សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម

មហាវិទ្យាល័យវិស្វកម្មកសិកម្ម

វិធីសាស្ត្រស្រាវជ្រាវសម្រាប់ វិស្វកម្មកសិកម្ម

RESEARCH METHODOLOGY FOR AGRICULTURAL ENGINEERING

បណ្ឌិត ថេង ឌីណា

ឧបត្ថម្ភដោយ

២០២១

សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម
មហាវិទ្យាល័យវិស្វកម្មកសិកម្ម

វិធីសាស្ត្រស្រាវជ្រាវសម្រាប់
វិស្វកម្មកសិកម្ម

RESEARCH METHODOLOGY FOR AGRICULTURAL ENGINEERING

បណ្ឌិត ថេង វីណា

២០២១

រក្សាសិទ្ធ

© ឆ្នាំ ២០២១

រក្សាសិទ្ធគ្រប់យ៉ាង

គ្មានផ្នែកណាមួយនៃសៀវភៅនេះ អាចត្រូវបានថតចម្លង និងផលិតឡើងវិញ ដោយគ្មានការអនុញ្ញាតជាលាយលក្ខណ៍អក្សរពីអ្នកនិពន្ធ និងសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម។

បោះពុម្ពលើកទី១ ដោយមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិតនិងនវានុវត្តន៍ (ស.គ.ន) នៃក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា នៅព្រះរាជាណាចក្រកម្ពុជា។

ទំនាក់ទំនងព័ត៌មានៈ

បណ្ឌិត ថេង ឌីណា

(+៨៥៥) ៧៨ ៧៩០ ២៨៩

thdyna@rua.edu.kh

© 2021 Theng Dyna All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted by any process without the prior written permission from the author and the Royal University of Agriculture.

First Edition
Printed in the Kingdom of Cambodia

Enquiries about the book:

Dr. Theng Dyna
(+855) 78 790 289
thdyna@rua.edu.kh

បុព្វកថា

ដំណើរអភិវឌ្ឍនៃព្រះរាជាណាចក្រកម្ពុជានៅក្នុងយុគសម័យទំនើបនេះ ជាមេរៀនដ៏ជោគជ័យបំផុតមួយ ដែលចាប់ឫសគល់ចេញពីការបញ្ចប់របបប្រល័យពូជសាសន៍ ការបញ្ចប់សង្គ្រាម ការផ្សះផ្សារជាតិ ការកសាងមូលដ្ឋានរឹងមាំនៃសន្តិភាពនិងស្ថេរភាព និងការអភិវឌ្ឍសេដ្ឋកិច្ច។ នៅក្រោយពេលដែលសន្តិភាពត្រូវបានកើតឡើងដោយបរិបូរណ៍នៅឆ្នាំ១៩៩៨ កម្ពុជាទទួលកំណើនសេដ្ឋកិច្ចខ្ពស់ គឺប្រមាណ៨% ក្នុងមួយឆ្នាំ។ លើសពីនេះទៀត អត្រានៃភាពក្រីក្រត្រូវបានកាត់បន្ថយពីប្រមាណ៥៣% នៅឆ្នាំ២០០៤ មកនៅទាបជាង១០% នៅឆ្នាំ២០១៩។ ដំណើរនៃការអភិវឌ្ឍជាតិជាសកម្មភាពដែលបន្តទៅមុខជាប់ជានិច្ច ហើយគោលនយោបាយថ្មីៗដែលមានលក្ខណៈអន្តរវិស័យគ្របដណ្តប់ក៏កំពុងលេចរូបរាងឡើង ដើម្បីតម្រង់ទិសកម្ពុជាឆ្ពោះទៅកាន់ប្រទេសមានប្រាក់ចំណូលមធ្យមកម្រិតខ្ពស់នៅឆ្នាំ២០៣០ និងឈានឡើងជាប្រទេសមានប្រាក់ចំណូលខ្ពស់ នៅឆ្នាំ២០៥០។ ការប្រែប្រួលឆាប់រហ័សនៃនិម្មាបនកម្មពិភពលោកនិងតំបន់ រួមទាំងទំនាក់ទំនងភូមិសាស្ត្រនយោបាយ បានផ្តល់កាលានុវត្តភាពសម្រាប់ការអភិវឌ្ឍឧស្សាហកម្មនៅកម្ពុជា ដែលត្រូវបានរាជរដ្ឋាភិបាលចាត់ទុកជាមូលដ្ឋានគ្រឹះនៃកំណើនសេដ្ឋកិច្ចកម្ពុជា។ រាជរដ្ឋាភិបាលកម្ពុជាបាន និងកំពុងបន្តពង្រឹងនិងអភិវឌ្ឍវិស័យអប់រំឆ្ពោះទៅរកការស្រាវជ្រាវនិងនវានុវត្តន៍ ដើម្បីពង្រឹងសមត្ថភាពនិងជំនាញរបស់ធនធានមនុស្សនៅកម្ពុជា ឱ្យស្របទៅនឹងបរិបទថ្មីនៃការអភិវឌ្ឍ ជាពិសេសការពង្រឹងសហគ្រិនភាពក្នុងការរៀបចំម៉ូដែលធុរកិច្ចថ្មីៗ។ ដើម្បីចាប់យកកាលានុវត្តភាពពីបដិវត្តន៍ឧស្សាហកម្មទី៤ និងសេដ្ឋកិច្ចឌីជីថលដែលកំពុងផុសផុលឡើង ប្រព័ន្ធអេកូឡូហ្ស៊ីដែលបង្កលក្ខណៈអំណោយផលដល់ការបង្កើតថ្មី នវានុវត្តន៍ ការស្រាវជ្រាវ និងអភិវឌ្ឍន៍ត្រូវតែមានការកែលម្អ។

បណ្តាប្រទេសនៅទ្វីបអាស៊ីកំពុងនាំមុខក្នុងការវិនិយោគលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍ ដោយមានភាគហ៊ុនប្រមាណ៤៤% នៃការវិនិយោគទាំងមូលរបស់ពិភពលោក។ ប្រទេសចិនកំពុងបន្តកសាងហេដ្ឋារចនាសម្ព័ន្ធនៃការវិនិយោគលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍ ក៏ដូចជាសមត្ថភាពមនុស្ស។ ផ្ទុយទៅវិញប្រទេសនៅទ្វីបអាមេរិកខាងត្បូងនិងអាហ្វ្រិក កំពុងស្ថិតនៅឆ្ងាយពីការវិនិយោគនេះ ហើយជាលទ្ធផលប្រទេសទាំងនោះក៏ពុំមានកំណើនសេដ្ឋកិច្ចគួរឱ្យកត់សម្គាល់ដែរ។ ទុនវិនិយោគសរុបលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍរបស់ប្រទេសនៅទ្វីបអាមេរិកខាងត្បូវនិងអាហ្វ្រិក មានប្រមាណ៥%នៃការវិនិយោគទាំងមូលរបស់ពិភពលោក ក្នុងពេលដែលតំបន់ទាំង២នេះមានប្រជាជនប្រមាណ២០%នៃប្រជាជនពិភពលោក។ ប្រទេសចំនួន៦ដែលមានលំដាប់ខ្ពស់ជាងគេនៅក្នុងការវិនិយោគលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍ រួមមានសហរដ្ឋអាមេរិក ចិន ជប៉ុន អាល្លឺម៉ង់ ឥណ្ឌា និងកូរ៉េខាងត្បូង ដែលស្មើនឹងប្រមាណ៧០%នៃទុនវិនិយោគសរុបរបស់ពិភពលោក។

តើចំណេះដឹង ផលិតផល និងសេវាកម្មថ្មីទាំងនេះកើតឡើងពីអ្វី? ហើយកើតឡើងដោយរបៀបណា? ព្រះរាជាណាចក្រកម្ពុជាកំពុងតែកសាងមូលដ្ឋានសម្រាប់ការត្រៀមខ្លួនទទួល និងប្រកួតប្រជែងក្នុងយុគសម័យបដិវត្តឧស្សាហកម្មទី៤ នៅក្នុងសេដ្ឋកិច្ចដែលផ្អែកលើពុទ្ធិ ហើយដែលប្រការនេះ

ចាំបាច់តម្រូវឱ្យពលរដ្ឋកម្ពុជា ត្រូវក្លាយខ្លួនជាពលរដ្ឋឌីជីថល ពលរដ្ឋសកល និងពលរដ្ឋដែលប្រកបដោយការទទួលខុសត្រូវ ដែលមានសមត្ថភាពក្នុងការផលិត ចែកចាយ និងប្រើប្រាស់ពុទ្ធិដើម្បីទទួលមនុញ្ញផល និងរួមចំណែកក្នុងកំណើន។ ធនាគារពិភពលោកបានធ្វើការកត់សម្គាល់តាំងពីឆ្នាំ ២០០៧នូវបម្លាស់ប្តូរនៃមូលដ្ឋានសេដ្ឋកិច្ច ពីសេដ្ឋកិច្ចដែលពឹងផ្អែកលើកម្លាំងពលកម្ម និងធនធានអតិកម្ម (Labour and Resource Based Economy) ទៅកាន់សេដ្ឋកិច្ចដែលពឹងផ្អែកលើពុទ្ធិ (Knowledge Based-Economy) ដែលក្នុងន័យនេះ ពុទ្ធិគឺជាគន្លឹះនៃការអភិវឌ្ឍ។ អាស្រ័យហេតុនេះ នៅលើគន្លងដែលកម្ពុជាកំពុងធ្វើដំណើរឆ្ពោះទៅកាន់សេដ្ឋកិច្ចឌីជីថល សង្គមកម្ពុជាត្រូវតែមានសមត្ថភាពក្នុងការផលិត ជ្រើសរើស បន្សាំ បង្កើតមុខរបរ និងប្រើប្រាស់ពុទ្ធិ ដើម្បីរក្សានិរន្តរភាពនៃកំណើន និងកែលម្អជីវភាពរស់នៅ។ សមត្ថភាពទាំងនេះ អាចកើតឡើងនៅពេលពលរដ្ឋកម្ពុជាមានឱកាសក្នុងការទទួលបានបទពិសោធន៍ពីការស្រាវជ្រាវ ការបណ្តុះគំនិតច្នៃប្រឌិត និងការស្វែងរកនវានុវត្តន៍។

កំណែទម្រង់វិស័យអប់រំ គឺជាការត្រួសត្រាយមាគ៌ាសម្រាប់ដំណើរឆ្ពោះទៅកាន់សង្គមប្រកបដោយពុទ្ធិ និងប្រជាពលរដ្ឋប្រកបដោយភាពរស់រវើក។ តាមរយៈមូលដ្ឋានអប់រំ សង្គមប្រកបដោយពុទ្ធិនឹងប្រមូលផ្តុំ បង្កើត និងចែករំលែក ទៅកាន់សមាជិកក្នុងសង្គមនូវសម្បទាអប់រំ ពិសេសគឺពុទ្ធិសម្បទាក្នុងបុព្វហេតុនៃមនុស្សជាតិនិងឧត្តមប្រយោជន៍នៃប្រទេស។ សង្គមប្រកបដោយពុទ្ធិ គឺពុំគ្រាន់តែជាសង្គមដែលសម្បូរព័ត៌មានប៉ុណ្ណោះទេ តែជាសង្គមដែលប្រជាពលរដ្ឋអាចធ្វើបរិវត្តកម្មពីព័ត៌មានទៅជាមូលធនប្រកបដោយប្រសិទ្ធភាព។ ការរីកចម្រើនទៅមុខជាលំដាប់នៃបច្ចេកវិទ្យានិងតំណភ្ជាប់ បានពង្រីកព្រំដែននៃការចូលទៅកាន់ និងការទទួលបានព័ត៌មានជាសកល ហើយដែលក្នុងន័យនេះ ការអប់រំនឹងបន្តវិវត្តទៅមុខនិងមានការផ្លាស់ប្តូរ។ សង្គមមួយដែលមានអំណាន និងរបាប់ជាបុរេលក្ខខណ្ឌនៃជីវភាពប្រចាំថ្ងៃនៃប្រជាពលរដ្ឋ ពេលនោះបំណិននៃអំណាន និពន្ធ និងការគណនាលេខនព្វន្ត គឺជាចលករនៃការរៀនរបស់សិស្ស។ ធាតុដ៏ចម្បងមួយដែលស្ថិតនៅក្នុងការកសាងសង្គមដែលប្រកបដោយពុទ្ធិគឺសៀវភៅសិក្សា ហើយការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សាជាប្រចាំ គឺជានវានុវត្តន៍នៃវិស័យអប់រំដែលនាំទៅរកការសិក្សាពេញមួយជីវិត ការអភិវឌ្ឍសម្បទាអប់រំ និងការចែករំលែកចំណេះដឹង។ មូលដ្ឋានអប់រំ ជាពិសេសគឺគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សាត្រូវមានតួនាទីដែលប្រកបដោយការឆ្លើយតប ចំពោះតម្រូវការខាងលើនេះ។ សាស្ត្រាចារ្យ អ្នកស្រាវជ្រាវ និងបុគ្គលិកអប់រំត្រូវបន្តសិក្សាជាប់ជានិច្ច តាមរយៈការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សា ហើយដែលសៀវភៅសិក្សាទាំងនេះនឹងក្លាយជាស្ពាននៃទំនាក់ទំនងរវាងនវានុវត្តន៍នៃបច្ចេកវិទ្យា និងការរៀននិងបង្រៀននៅក្នុងថ្នាក់រៀន។

សង្គមដែលប្រកបពុទ្ធិ ក៏ជាសង្គមដែលបណ្តុះឱ្យមានរចនាសម្ព័ន្ធទន់នៃសេដ្ឋកិច្ចដែលពឹងផ្អែកលើពុទ្ធិដែរ។ ឧទាហរណ៍ជាក់ស្តែងនៃបែបផែននេះរួមមាន Silicon Valley នៃសហរដ្ឋអាមេរិក សួនឧស្សាហកម្មវិស្វកម្មអាកាសយានយន្តនិងយានយន្តនៅទីក្រុង Munich ប្រទេសអាល្លឺម៉ង់ តំបន់ជីវបច្ចេកវិទ្យានៅក្រុង Hyderabad ប្រទេសឥណ្ឌា តំបន់ផលិតគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកនិងសារគមនាគមន៍ឌីជីថលនៅទីក្រុង Seoul ប្រទេសកូរេខាងត្បូង ក៏ដូចជាសួនឧស្សាហកម្មថាមពល និងឥន្ទនគីមីសាស្ត្រនៃប្រទេសប្រេស៊ីល ហើយក៏នៅមានទីក្រុងនៃប្រទេសជាច្រើនទៀតនៅលើពិភពលោក។ លក្ខណៈសម្បត្តិ

នៃទីក្រុងទាំងនេះគឺការប្រើប្រាស់និន្នាការនៃការអភិវឌ្ឍដែលជំរុញ និងតម្រង់ទិសដោយចំណេះដឹង ហើយដែលចំណេះដឹងទាំងនោះកើតចេញជាដំបូងពីការវិនិយោគទៅលើគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា ស្ថាប័នស្រាវជ្រាវ មជ្ឈមណ្ឌលឧត្តមភាពនៃជំនាញជាន់ខ្ពស់ ការប្រកួតប្រជែងដោយគុណាធិបតេយ្យ និងជាពិសេសគឺការបណ្តុះវប្បធម៌អំណាននិងនិពន្ធសៀវភៅ។ ល្បឿននៃការរីកចម្រើនផ្នែកពុទ្ធិ និងបច្ចេកវិទ្យាកំពុងមានសន្ទុះលឿនជាងអ្វីដែលសិស្ស និងនិស្សិតអាចទទួលបានពីគ្រូនៅគ្រឹះស្ថានសិក្សា ដែលធ្វើឱ្យគោលដៅនៃការអប់រំនៅពេលបច្ចុប្បន្ននេះ មានការប្រឈមខ្លាំងជាងពេលណាទាំងអស់។ ឧទាហរណ៍ក្នុងមួយឆ្នាំ មានសៀវភៅជាង២,២លានចំណងជើង ត្រូវបានសរសេរនិងបោះពុម្ព ដែលក្នុងនោះប្រទេសចិនមាន៤៤០ពាន់ ចំណែកឯសហរដ្ឋអាមេរិកមាន៣០៥ពាន់ និងប្រទេសរុស្ស៊ីមាន១២០ពាន់ចំណងជើង។

ខណៈពេលដែលបច្ចេកវិទ្យាកំពុងរីកចម្រើនជារៀងរាល់ថ្ងៃ មធ្យោបាយសម្រាប់អំណានក៏មានច្រើនជម្រើសសម្រាប់សិស្ស-និស្សិត និងសាធារណៈជន រួមមានការអានសៀវភៅ ការអានលើឧបករណ៍អេឡិចត្រូនិក ការអានដោយប្រើទូរសព្ទវៃឆ្លាត និងការអានលើកុំព្យូទ័រ ដែលសុទ្ធសឹងជាមធ្យោបាយសំខាន់ៗដែលនាំអ្នកអានទាំងឡាយឱ្យសម្រេចគោលបំណងអានរបស់ខ្លួន។ ម្យ៉ាងវិញទៀត អំណានដោយប្រើមធ្យោបាយបច្ចេកវិទ្យាទំនើប ចំណាយពេលតិច ងាយស្រួលអាន និងជួយដល់បរិស្ថានមួយកម្រិតទៀត។ នាពេលបច្ចុប្បន្ន សិស្ស-និស្សិត និងសាធារណៈជនកម្ពុជាដែលស្រឡាញ់អំណានកំពុងតែប្រើប្រាស់មធ្យោបាយអំណានទាំងនេះ។ បើយើងក្រឡេកមើលទៅប្រទេសជឿនលឿន ទោះបីជាបច្ចេកវិទ្យារីកចម្រើនខ្លាំងយ៉ាងណា អំណានតាមរយៈសៀវភៅនៅតែមានសន្ទុះដដែល។ ម្យ៉ាងវិញទៀត បច្ចេកវិទ្យាអានបែបទំនើបតាមរយៈឧបករណ៍ទំនើប អាស្រ័យលើលទ្ធភាពនៃធនធានអប់រំឌីជីថល និងមាតិកាឌីជីថលគ្រប់គ្រាន់ដែលបានផលិត និងបង្ហោះចែកចាយសម្រាប់អំណាន។

ក្នុងបរិបទកម្ពុជា ជាពិសេសក្នុងបរិការណ៍នៃការផ្ទុះរីករាលដាលនៃជំងឺកូវីដ-១៩ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានជំរុញឱ្យមានបរិវត្តកម្មឌីជីថលនៅក្នុងអេកូស៊ីស្តែមនៃការអប់រំ ជាពិសេសការអប់រំតាមប្រព័ន្ធអេឡិចត្រូនិកនិងការអប់រំពីចម្ងាយ ដើម្បីលើកកម្ពស់អំណាន តាមរយៈការផលិតមាតិកាឌីជីថលដែលមានភាពចំរុះ ការកសាងសមត្ថភាពផ្នែកតំណភ្ជាប់និងវេទិកាឌីជីថល ការពង្រីកវិសាលភាពនៃមជ្ឈមណ្ឌលទិន្នន័យ និងការលើកកម្ពស់គុណភាពនៃការផលិតធនធានអប់រំឌីជីថល គួបផ្សំជាមួយការចែកសន្លឹកកិច្ចការឱ្យសិស្សយកទៅរៀននៅផ្ទះ និងការចុះទៅជួបជាមួយសិស្សជាបណ្តុំនៅតាមសហគមន៍។ ក្នុងន័យលើកកម្ពស់អំណាន និងភាពសម្បូរបែបនៃធនធានសៀវភៅសិក្សា ឱ្យកាន់តែមានប្រសិទ្ធភាពនិងភាពសក្តិសិទ្ធិ និងផ្តល់ឱកាសអំណានកាន់តែច្រើនថែមទៀតដល់សិស្សានុសិស្ស និស្សិត និងសាធារណៈជន ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡាលើកទឹកចិត្តនូវចំណុចមួយចំនួនដូចខាងក្រោម៖

១. សាស្ត្រាចារ្យ អ្នកស្រាវជ្រាវ និងបុគ្គលិកអប់រំ សូមបន្តនិងបង្កើនការបោះពុម្ពស្នាដៃបន្ថែមទៀត ដើម្បីធ្វើឱ្យធនធានសម្រាប់អំណានកាន់តែសម្បូរបែប ជាពិសេសធនធានអំណានជាខេមរភាសា

២. គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា សូមផ្តល់លទ្ធភាពគ្រប់បែបយ៉ាង ដើម្បីឱ្យបុគ្គលិកអប់រំគ្រប់លំដាប់ថ្នាក់ និងនិស្សិតគ្រប់កម្រិតសិក្សាអាចចូលរួមអាន និងសិក្សាស្រាវជ្រាវតាមគ្រប់លទ្ធភាពជាមួយធនធានអំណាន ជាពិសេសការរៀបចំឱ្យមានពេលវេលាសម្រាប់សហសិក្សា និងអំណានក្នុងបណ្ណាល័យ
៣. សាស្ត្រាចារ្យតាមមុខវិជ្ជា និងអ្នកស្រាវជ្រាវតាមជំនាញឬវិស័យ ត្រូវរៀបចំដំណើរការរៀនបង្រៀន និងស្រាវជ្រាវដែលមានដាក់បញ្ចូលកិច្ចការស្វ័យសិក្សា សហសិក្សា ឬការស្រាវជ្រាវបណ្ណាល័យដែលតម្រូវឱ្យនិស្សិត ត្រូវអាននិងស្រាវជ្រាវជាមួយធនធានអំណាន
៤. គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងមជ្ឈមណ្ឌលស្រាវជ្រាវ ត្រូវខិតខំឱ្យអស់លទ្ធភាពក្នុងការបង្កើតបណ្ណាល័យ មជ្ឈមណ្ឌលរក្សាឯកសារ ឬមជ្ឈមណ្ឌលអប់រំឌីជីថលជាដើម ដើម្បីឱ្យបុគ្គលិកអប់រំគ្រប់លំដាប់ថ្នាក់និងនិស្សិតគ្រប់កម្រិតសិក្សាអាចទទួលបាន និងស្វែងរកប្រភពសម្រាប់អំណានកាន់តែសម្បូរបែប និងមានភាពបត់បែន ឆ្លើយតបតាមតម្រូវការអ្នកអាន
៥. និស្សិតគ្រប់កម្រិតសិក្សាត្រូវខិតខំនិងចំណាយពេលវេលាដើម្បីអាន និងចាត់ទុកវប្បធម៌និងអកប្បកិរិយាអំណានជាផ្នែកមួយ នៃពេលវេលានិងភាពស៊ីវិល័យនៃជីវិតប្រចាំថ្ងៃ
៦. បងប្អូនជនរួមជាតិ ដែលជាមាតាបិតា ឬអ្នកអាណាព្យាបាល សូមជួយជំរុញនិងបង្កលក្ខណៈកាន់តែច្រើនថែមទៀត ជាពិសេសការលៃលកចំណាយនៅក្នុងគ្រួសារសម្រាប់ការទិញសម្ភារៈសិក្សា សៀវភៅអាន និងឧបករណ៍សម្រាប់អំណានដល់កូនៗ ដែលចាត់ទុកជាការវិនិយោគមួយដ៏សំខាន់ សម្រាប់ បង្កើនចំណេះដឹង និងអនាគតរបស់ពួកគេ។

ដោយមានការគាំទ្រពីក្រសួងសេដ្ឋកិច្ច និងហិរញ្ញវត្ថុ នៅឆ្នាំ២០២០ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានបង្កើតមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ ដែលហៅកាត់ថា "មូលនិធិ ស.គ.ន." និងហៅជាភាសាអង់គ្លេសថា The Research Creativity and Innovation Fund ដែលហៅកាត់ជាភាសាអង់គ្លេសថា "RCI Fund"។ គោលដៅចម្បងនៃមូលនិធិនេះ គឺរួមចំណែកលើកកម្ពស់វប្បធម៌នៃការស្រាវជ្រាវ បំផុសគំនិតច្នៃប្រឌិត និងជំរុញការធ្វើនវានុវត្ត ដើម្បីជាប្រយោជន៍ដល់វិស័យអប់រំ យុវជន និងកីឡា ដែលឆ្លើយតបទៅនឹងទីផ្សារពលកម្ម និងសាកលភាវូបនីយកម្ម។ មូលនិធិ ស.គ.ន. បានសម្រេចកំណត់ប្រធានបទ ជាអាទិភាពសម្រាប់ការគាំទ្រដោយមូលនិធិចំនួន៣ រួមមានឌីជីថលនីយកម្មសម្រាប់បដិវត្តឧស្សាហកម្ម៤.០ (Digitalization for IR.4.0) ការស្រាវជ្រាវអនុវត្តលើវិស័យកសិកម្ម (Applied Agricultural Research) និងការស្រាវជ្រាវគរុកោសល្យសតវត្សទី២១ (21st Century Pedagogy Research)។

ដោយមានការធ្វើអាទិភាពវូបនីយកម្មទៅលើទិសដៅ នៃការប្រើប្រាស់ថវិកាមូលនិធិសម្រាប់ឆ្នាំ២០២០ ក្រសួងសេដ្ឋកិច្ច និងហិរញ្ញវត្ថុ និងក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានផ្តល់ការគាំទ្រដល់ការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អ សៀវភៅសិក្សា (Text book) ដែលនឹងត្រូវប្រើប្រាស់នៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។ គោលបំណងនៃការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អ សៀវភៅសិក្សានៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា គឺដើម្បីបង្កើនបរិមាណ លើកកម្ពស់គុណភាព និងពង្រីកសមធម៌នៃធនធានសិក្សាជាខេមរភាសា ជូនដល់និស្សិត

ដែលកំពុងបន្តការសិក្សា និងត្រៀមខ្លួនធ្វើការស្រាវជ្រាវនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។ លើសពីនេះទៀត ការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សានៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា មានគោលដៅដូចខាងក្រោម ៖

១. ឆ្លើយតបជាបន្ទាន់ចំពោះការខ្វះខាតធនធានសិក្សា ដែលជាតម្រូវការសិក្សារបស់និស្សិតនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា

២. លើកកម្ពស់ទំនើបភាវូបនីយកម្ម និងឧត្តមានុវត្តន៍នៃការរៀននិងបង្រៀន និងការស្រាវជ្រាវនៅលើមុខវិជ្ជា កម្មវិធីសិក្សា ឬមុខជំនាញជាក់លាក់

៣. បង្កើនភាពស៊ីជម្រៅក្នុងការកសាងវិជ្ជាជីវៈនិងបទពិសោធន៍សម្រាប់ឋានៈសាស្ត្រាចារ្យ និងអ្នកស្រាវជ្រាវ

៤. រួមចំណែកដល់ការកសាងភាពជាសហគមន៍វិជ្ជាជីវៈ ការចែករំលែកបទពិសោធន៍ និងវប្បធម៌នៃការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សានៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។

ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានវាយតម្លៃខ្ពស់ចំពោះការបោះជំហានប្រកបដោយមនសិការវិជ្ជាជីវៈនៃគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងបុគ្គលិកអប់រំទាំងអស់ ក្នុងការរៀបចំ រៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សា ដើម្បីបង្កើនបរិមាណ លើកកម្ពស់គុណភាព និងពង្រឹងសមធម៌នៃធនធានសិក្សាជាខេមរភាសា ជូននិស្សិតដែលកំពុងបន្តការសិក្សា និងត្រៀមខ្លួនធ្វើការស្រាវជ្រាវនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។ សៀវភៅសិក្សាជាផ្នែកមួយនៃការទទួលស្គាល់គុណភាពអប់រំនៃគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងជាធនធានសិក្សាដែលជាមូលដ្ឋានមួយដ៏សំខាន់ ក្នុងការគាំទ្រដល់ការបង្រៀន និងរៀន ហើយត្រូវមានបរិមាណគ្រប់គ្រាន់ ឆ្លើយតបទៅនឹងកម្មវិធីអប់រំ និងតម្រូវការសិក្សាស្រាវជ្រាវ។ ជាគោលការណ៍ គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សាទាំងអស់ ត្រូវមានសៀវភៅសិក្សាដែលប្រើជាគោលសម្រាប់មុខវិជ្ជានីមួយៗ។ ចំនួនសៀវភៅសិក្សាដែលគ្រប់គ្រាន់សម្រាប់ការស្រាវជ្រាវ និងការសិក្សារបស់និស្សិត ត្រូវមានយ៉ាងតិចមួយចំណងជើងក្នុងមួយមុខវិជ្ជា ហើយត្រូវតម្កល់យ៉ាងតិច២ច្បាប់នៅក្នុងបណ្ណាល័យ ឬអាចរកបានតាមប្រព័ន្ធអេឡិចត្រូនិក។ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា លើកទឹកចិត្តបន្ថែមទៀតជូនដល់គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សារដ្ឋ និងឯកជនដែលបានស្នើសុំថវិកាមូលនិធិ ស.គ.ន រួច សូមចូលរួមបន្ថែមទៀតដើម្បីបង្កើនចំនួនចំណងជើងសៀវភៅ។ ចំណែកគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សារដ្ឋ និងឯកជនដែលពុំទាន់បានដាក់ពាក្យស្នើសុំថវិកាមូលនិធិ ដើម្បីរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អ សៀវភៅសិក្សានៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា សូមរួសរាន់ចូលរួមដើម្បីជាគុណប្រយោជន៍ដល់តម្រូវការដ៏ទទូចនិងថ្លៃថ្លានៃនិស្សិតកម្ពុជាក្នុងការសិក្សា និងស្រាវជ្រាវនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។

សេចក្ដីបញ្ជាក់
នៃមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍

សៀវភៅសិក្សានេះជាលទ្ធផលនៃការស្នើសុំអនុវត្តថវិកាមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ ក្នុងគម្រោងរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សា ដែលនឹងត្រូវប្រើប្រាស់នៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។ សៀវភៅសិក្សានេះ ត្រូវបានរៀបរៀង និពន្ធ ឬកែលម្អដោយមានការធានាអះអាងថាជាស្នាដៃរបស់អ្នកនិពន្ធផ្ទាល់ និងបានឆ្លងកាត់ត្រួតពិនិត្យ ផ្ដល់យោបល់ និងវាយតម្លៃដោយក្រុមប្រឹក្សាអប់រំ ក្រុមប្រឹក្សាស្រាវជ្រាវ ឬក្រុមប្រឹក្សាដែលមានតម្លៃស្មើនៃគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងតាមរយៈកិច្ចសន្យាដែលបានធ្វើឡើង និងដែលបានតម្កល់ទុកនៅមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍។ រាល់ខ្លឹមសារ ការបកស្រាយ ឬរូបភាព ដែលមាននៅក្នុងសៀវភៅនេះ គឺជាជំហរនិងទស្សនៈផ្ទាល់របស់អ្នកនិពន្ធ ហើយពុំឆ្លុះបញ្ចាំង ឬជាតំណាងដល់មូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ នៃក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡាឡើយ។

សេចក្តីថ្លែងអំណរគុណ

សៀវភៅ វិធីសាស្ត្រស្រាវជ្រាវសម្រាប់វិស្វកម្មកសិកម្ម នេះអាចប្រសូត្រចេញបានដោយសារតែមានការចូលរួមនិងផ្តល់វិភាគទានយ៉ាងធំធេងពីបណ្តាអ្នកវិទ្យាសាស្ត្រ និងអ្នកស្រាវជ្រាវដែលមានបទពិសោធន៍នៅក្នុងផ្នែកស្រាវជ្រាវកសិកម្មនិងវិស្វកម្មកសិកម្មជាច្រើនរូប។

ខ្ញុំសូមថ្លែងអំណរគុណជាអនេកប្បការដល់ការពិនិត្យនិងផ្តល់ជាមតិល្អៗក្នុងការរៀបចំសៀវភៅនេះដោយៈ

- ឯកឧត្តមសាស្ត្រាចារ្យបណ្ឌិត **ង៉ោ ប៊ុនថាន** សាកលវិទ្យាធិការនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម ក៏ដូចជាអង្គភាពសាមី (សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម)
- ក្រសួងសេដ្ឋកិច្ចនិងហិរញ្ញវត្ថុ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា និងមូលនិធិស្រាវជ្រាវគំនិតច្នៃប្រឌិតនិងនវានុវត្តន៍
- ឯកឧត្តម **សាន វឌ្ឍនា** អនុរដ្ឋលេខាធិការនៃក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា
- អង្គភាព ស្ថាប័ននានាដែលបានជួយជ្រោមជ្រែងក្នុងការស្រាវជ្រាវ
- អ្នកផ្តល់យោបល់ ក៏ដូចជាអ្នកផ្តល់ឯកសារយោងនានា
- គណៈកម្មការត្រួតពិនិត្យៈ លោក ឡេ លីតួ លោកបណ្ឌិត ហ៊ិន លីហួរ
- ក្រុមគ្រួសារអ្នកនិពន្ធ

ដែលបានជួយផ្ទៀងផ្ទាត់អក្ខរាវិរុទ្ធ និងឃ្លាប្រយោគ។

អារម្ភកថា

បច្ចុប្បន្ននេះមុខវិជ្ជា វិធីសាស្ត្រស្រាវជ្រាវសម្រាប់វិស្វកម្មកសិកម្ម (Research Methodology for Agricultural Engineering) គឺជាមុខវិជ្ជាមួយផ្តល់ដល់និស្សិតនៃមហាវិទ្យាល័យវិស្វកម្មកសិកម្ម នៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម ផ្តល់ដល់និស្សិតថ្នាក់បរិញ្ញាបត្រឆ្នាំទី ៣ នៅឆមាសទី ២។ មុខវិជ្ជានេះគឺជាគ្រឹះមួយសម្រាប់និស្សិតកម្រិតឧត្តមសិក្សាត្រៀមលក្ខណៈនិងចំណេះដឹង ដើម្បីឈានទៅធ្វើការសិក្សាស្រាវជ្រាវ និងសរសេរសារណាបញ្ចប់ការសិក្សា ក៏ដូចជាឈានទៅការសរសេរអត្ថបទវិទ្យាសាស្ត្រសម្រាប់ការបោះពុម្ពផ្សាយក្នុងទស្សនាវដ្តីវិទ្យាសាស្ត្រទាំងក្នុងស្រុក និងទស្សនាវដ្តីអន្តរជាតិ ព្រមទាំងការធ្វើបទបង្ហាញផ្សព្វផ្សាយលទ្ធផលស្រាវជ្រាវរបស់ខ្លួននៅតាមវេទិការវិទ្យាសាស្ត្រនានាផងដែរ។

សៀវភៅនេះបង្ហាញពីបរិបទមេរៀន និងឯកសារស្រាវជ្រាវមួយដែលផ្តល់ដល់អ្នកអាន និងអ្នកស្រាវជ្រាវមានលទ្ធភាពយល់ដឹងបន្ថែមលើជំនាញវិស្វកម្មកសិកម្ម គ្រឿងយន្តកសិកម្ម ការកែច្នៃផលិតផលពីកសិកម្ម ។ លំនាំ និងអំណានទាំងឡាយក្នុងសៀវភៅនេះជាបទពិសោធន៍មួយថ្មី ដែលបានផ្តល់សម្រាប់ការចែករំលែកជាឧទាហរណ៍។

ទោះបីជាយ៉ាងណា សៀវភៅនេះក៏នៅមានចំណុចខ្វះខាតមួយចំនួនដែលត្រូវការកែលម្អផងដែរ។ អាស្រ័យហេតុដូចនេះ ខ្ញុំបាទសូមថ្លែងអំណរគុណជូនចំពោះអ្នកអាន និងអ្នកស្រាវជ្រាវទាំងអស់ ហើយក៏នឹងរង់ចាំទទួលនូវរាល់មតិរិះគន់ កែលម្អក្នុងន័យស្ថាបនា និងអភិវឌ្ឍន៍ ដើម្បីធ្វើឱ្យឯកសារនេះកាន់តែមានភាពសុក្រិត និងឆ្លើយតបតាមតម្រូវការរបស់អ្នកអាននិងអ្នកស្រាវជ្រាវ ជាពិសេសសម្រាប់និស្សិតគ្រប់កម្រិតសិក្សានៅមហាវិទ្យាល័យវិស្វកម្មកសិកម្ម។ ខ្ញុំបាទសូមអភ័យទោសដល់ឯកឧត្តម លោកជំទាវ លោក លោកស្រី បញ្ញវន្ត និស្សិត អ្នកស្រាវជ្រាវ និងអ្នកអានទាំងអស់ ប្រសិនបើមានការខុសឆ្គងដោយអចេតនាក្នុងការប្រើឃ្លាប្រយោគ ឬ កំហុសអក្ខរាវិរុទ្ធដែលនៅតែកើតមានក្នុងសៀវភៅនេះ។

នៅទីបញ្ចប់ ខ្ញុំបាទសូមគោរពជូនពរដល់ ឯកឧត្តម លោកជំទាវ លោក លោកស្រី អ្នកនាងកញ្ញា អ្នកស្រាវជ្រាវ និស្សិត និងអ្នកអានទាំងអស់សូមជួបតែនឹងពុទ្ធពរទាំង ៤ ប្រការគឺ អាយុ វណ្ណៈ សុខៈ និងពលៈ កុំបីឃ្លៀងឃ្លាតឡើយ និងសូមទទួលបានជោគជ័យគ្រប់កិច្ចការងារ។

ថ្ងៃអង្គារ ៤ រោច ខែកត្តិក ឆ្នាំឆ្លូវ ត្រីស័ក ព.ស២៥៦៥
រាជធានីភ្នំពេញ ថ្ងៃទី២៣ ខែវិច្ឆិកា គ.ស ២០២១
អ្នកនិពន្ធ

បណ្ឌិត ថេង ឌីណា

អ្នកនិពន្ធ

នាម និងគោត្តនាម ៖ បណ្ឌិត **ថេង ឌីណា**
អាស័យដ្ឋាន ៖ ភូមិខ្វា សង្កាត់/ខណ្ឌដង្កោ រាជធានីភ្នំពេញ
ស្ថាប័នការងារ ៖ សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម
ឯកទេស ឬមុខជំនាញ ៖ បច្ចេកវិទ្យាសរសៃធម្មជាតិនិងសារធាតុប៉ូលីម៊ែរ
ប្រវត្តិការសិក្សា ៖ បរិញ្ញាបត្រផ្នែក កសិ ឧស្សាហកម្ម ឆ្នាំ ២០០១ - ២០០៥
អនុបណ្ឌិតផ្នែក គ្រប់គ្រងចម្រុះសម្រាប់កសិកម្មនិងការអភិវឌ្ឍជនបទ ឆ្នាំ ២០០៧ - ២០១២
បណ្ឌិតផ្នែក បច្ចេកវិទ្យាសរសៃធម្មជាតិនិងសារធាតុប៉ូលីម៊ែរ ឆ្នាំ២០១៣ - ២០១៧

បទពិសោធន៍ការងារ ៖

២០១៨ - បច្ចុប្បន្ន៖ ព្រឹទ្ធបុរសរងមហាវិទ្យាល័យវិស្វកម្មកសិកម្ម នៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម

២០២០ - បច្ចុប្បន្ន៖ ប្រធានគម្រោង ការអភិវឌ្ឍសំបកវេចខ្ចប់មិនប៉ះពាល់បរិស្ថានពីកាកសំណល់កសិកម្ម

២០១៧ - បច្ចុប្បន្ន៖ អ្នកសម្របសម្រួលគម្រោង សម្ព័ន្ធគ្រឿងយន្តកសិកម្មសមស្របសម្រាប់ប្រពលវប្បកម្មប្រកបដោយនិរន្តរភាព ប្រចាំកម្ពុជា

២០១៧ - បច្ចុប្បន្ន៖ អនុប្រធានមជ្ឈមណ្ឌលបច្ចេកវិទ្យានិងព័ត៌មានជីវឧស្ម័នខ្នាតធំ

២០១៧ - ២០១៨៖ អ្នកសម្របសម្រួលគម្រោង ការធ្វើតេស្តសម្តែងកម្មឧបករណ៍សម្ងួត និងស្តុកទុកស្រូវផលិតនៅប្រទេសកូរ៉េ

២០១៧ - ២០១៨៖ ប្រធានដេប៉ាតឺម៉ង់ថាមពលនិងបរិស្ថានកសិកម្ម នៃមហាវិទ្យាល័យវិស្វកម្មកសិកម្ម សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម

២០១២ - ២០១៩៖ អ្នកស្រាវជ្រាវតាមគម្រោងនិងវិស័យពាក់ព័ន្ធដែលមានមហាវិទ្យាល័យវិស្វកម្មកសិកម្មជាអ្នកអនុវត្តគម្រោង

២០០៦ - បច្ចុប្បន្ន៖ គ្រូបង្រៀននៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម។

មាតិកា

បុព្វកថា និងសេចក្តីបញ្ជាក់មូលនិធិ

ទំព័រ

សេចក្តីថ្លែងអំណរគុណ i

អារម្ភកថា ii

មាតិកា iv

ជំពូក ១ មូលដ្ឋានគ្រឹះនៃការស្រាវជ្រាវ

១.១ សេចក្តីផ្តើមអំពីការស្រាវជ្រាវ ១

១.១.១ និយមន័យ និងសារៈសំខាន់នៃការស្រាវជ្រាវ ២

១.១.២ ដំណើរការនៃការស្រាវជ្រាវ ៤

១.១.៣ ក្រមសីលធម៌ក្នុងការស្រាវជ្រាវ ៩

១.១.៤ ជំនាញដែលត្រូវការសម្រាប់ការស្រាវជ្រាវ ១១

១.២ ប្រភេទនៃការស្រាវជ្រាវ ១៣

១.២.១ ប្រភេទនៃការស្រាវជ្រាវអាស្រ័យទំនាក់ទំនងជាមួយផលិតកម្ម ១៣

១.២.២ ប្រភេទនៃការស្រាវជ្រាវអាស្រ័យវិធីសាស្ត្រស្រាវជ្រាវ ១៤

១.២.៣ ប្រភេទនៃការស្រាវជ្រាវអាស្រ័យដំណើរការស្រាវជ្រាវ ១៥

១.២.៤ ប្រភេទនៃការស្រាវជ្រាវអាស្រ័យវិធីសាស្ត្រប្រមូលទិន្នន័យ ១៧

១.២.៥ ប្រភេទនៃការស្រាវជ្រាវអាស្រ័យផ្នែកវិទ្យាសាស្ត្រជំនាញ ២០

១.២.៦ ប្រភេទនៃការស្រាវជ្រាវអាស្រ័យកម្រិតនៃភាពជាក់លាក់ ២២

ជំពូក ២ ការសាកពិសោធន៍និងវាយតម្លៃឧបករណ៍និងម៉ាស៊ីនកសិកម្ម

២.១ គោលការណ៍នៃការអនុវត្ត ២៥

២.១.១ សេចក្តីផ្តើម ២៥

២.២ ខ្នាតរង្វាស់ ២៦

២.២.១ ខ្នាតរង្វាស់មូលដ្ឋាន...២៦

២.៣ ការកែតម្រូវឧបករណ៍ពិសោធន៍និងវាយតម្លៃ ៤៤

២.៤ ការអនុវត្តបច្ចេកទេសវាស់តាមគោលការណ៍ពិសោធន៍... ៤៥

២.៥ ការវាយតម្លៃលើប្រសិទ្ធភាពនិងភាពសមប្រកបរបស់ឧបករណ៍និងម៉ាស៊ីនកសិកម្ម..... ៥១

២.៦ គម្រូគោលការណ៍ពិសោធន៍និងវាយតម្លៃឧបករណ៍និងម៉ាស៊ីនកសិកម្ម ៥១

២.៦.១ ការវាស់កម្លាំង ៥១

២.៦.២ គោលការណ៍សម្រាប់ការវាយតម្លៃឧបករណ៍ដាំ ៦៣

២.៦.៣ គោលការណ៍សម្រាប់ការវាយតម្លៃឧបករណ៍ព្រោះ ឬ បាច ៧៥

២.៦.៤ គោលការណ៍សម្រាប់ការវាយតម្លៃម៉ាស៊ីនបូមទឹក...................................៧៧

ជំពូក ៣ ការពិសោធន៍និងវាយតម្លៃឧបករណ៍ប្រព័ន្ធស្រោចស្រពដំណាំកសិកម្ម

៣.១ សេចក្តីផ្តើម ១១២

៣.២ ឥទ្ធិពលនៃប្រព័ន្ធជារាសាស្ត្រ.. ១១២

៣.៣ ប្រព័ន្ធជារាសាស្ត្រ.. ១១៣

៣.៣.១ ទឹកពីលើដី.. ១១៣

៣.៣.២ ទឹកលើផ្ទៃដី...១១៤

៣.៣.៣ ទឹកលើផ្ទៃរង ១១៤

៣.៣.៤ ជម្រៅទឹកដែលត្រូវអនុវត្ត ១១៤

៣.៣.៥ សមត្ថភាពប្រព័ន្ធ ១១៦

ជំពូក ៤ ការពិសោធន៍និងវាយតម្លៃបច្ចេកវិទ្យាថាមពលកកើតឡើងវិញ

៤.១ សេចក្តីផ្តើម...១១៩

៤.២ ឧទាហរណ៍ករណីសិក្សានៅតាមទីតាំងកសិដ្ឋាន ១១៩

ជំពូក ៥ ការពិសោធន៍និងវាយតម្លៃផលិតផលសំបកវេចខ្ចប់ដែលមិនប៉ះពាល់បរិស្ថានផលិតពីភាកសំណល់កសិកម្ម

៥.១ សេចក្តីផ្តើម ១២២
៥.២ ផើងជីវៈ ១២៣
៥.២.១ ផើងដាំដំណាំដែលអាចរំលាយបានដោយជីវសាស្រ្តតាមជីវប្លាស្ទិច ១២៤
៥.២.២ ផើងជីវផ្អែកលើសំណល់ឧស្សាហកម្មនិងកសិកម្ម ១២៨
៥.២.៣ ឥទ្ធិពលនៃផើងជីវលើការលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ ១២៩
៥.៣ និន្នាការអនាគតនិងបញ្ហាប្រឈម ១៣២

ជំពូក ៦ ការរៀបចំគម្រោងសំណើស្រាវជ្រាវ (Research Proposal)

៦.១ សេចក្តីផ្តើម ១៣៤
៦.២ វិធីសាស្រ្តសរសេរសំណើស្រាវជ្រាវ ១៣៥
៦.២.១ សេចក្តីផ្តើម ១៣៦
៦.២.២ វិធីសាស្រ្ត ១៣៨

ជំពូក ៧ ការជ្រើសរើសវិធីសាស្ត្រស្រាវជ្រាវ (Research Design)

៧.១ គម្រោងការណ៍ស្រាវជ្រាវបែបបរិមាណវិស័យ ១៤៥
៧.១.១ គម្រោងការណ៍បែបពិសោធន៍ ១៤៨
៧.១.២ គម្រោងការណ៍ស្រាវជ្រាវបែបមិនពិសោធន៍ ១៧៦

ជំពូក ៨ ការវិភាគទិន្នន័យ (Data Analysis)

៨.១ សេចក្តីផ្តើម ១៨៣
៨.២ ស្ថិតិពិពណ៌នា ១៨៣
៨.២.១ ប្រភេទតម្លៃមធ្យម ១៨៥
៨.២.២ រង្វាស់វ៉ារីយ៉ាបល ១៩០
៨.២.៣ រង្វាស់ទំនាក់ទំនង ១៩៤
៨.៣ ស្ថិតិអសកម្ម ១៩៧

៨.៣.១ Sampling distribution ១៩៨
៨.៣.២ ការធ្វើតេស្តសម្មតិកម្ម ២០៧
៨.៤ ការវិភាគទិន្នន័យគុណភាព ២១៤
៨.៤.១ ការវិភាគត្រួសៗ ២១៤
៨.៤.២ ការកត់ត្រា ២១៦
៨.៤.៣ ការវិភាគទិន្នន័យរូបភាព ២១៦

ជំពូក ៩ ការសរសេររបាយការណ៍

៩.១ សេចក្តីផ្តើម ២១៩
៩.២ ប្រភេទនៃអត្ថបទវិទ្យាសាស្ត្រ ២២០
៩.៣ ការសរសេរអត្ថបទវិទ្យាសាស្ត្រ ២២១
៩.៣.១ ចំណងជើង ២២២
៩.៣.២ ការរៀបចំលំដាប់ឈ្មោះអ្នកនិពន្ធនិងទីកន្លែងបម្រើការងារ ២២៣
៩.៣.៣ របៀបសរសេរសង្ខេបអត្ថបទ ២២៥
៩.៣.៤ របៀបសរសេរសេចក្តីផ្តើម ២២៩
៩.៣.៥ របៀបសរសេរសម្ភារនិងវិធីសាស្ត្រស្រាវជ្រាវ ២៣០
៩.៣.៦ របៀបសរសេរលទ្ធផល ២៣១
៩.៣.៧ របៀបសរសេរការពិភាក្សា ២៤១
៩.៣.៨ របៀបសរសេរសេចក្តីថ្លែងអំណរគុណ ២៤៥
៩.៣.៩ របៀបដាក់ឯកសារយោង ២៤៥

ជំពូក១
សេចក្តីផ្តើម

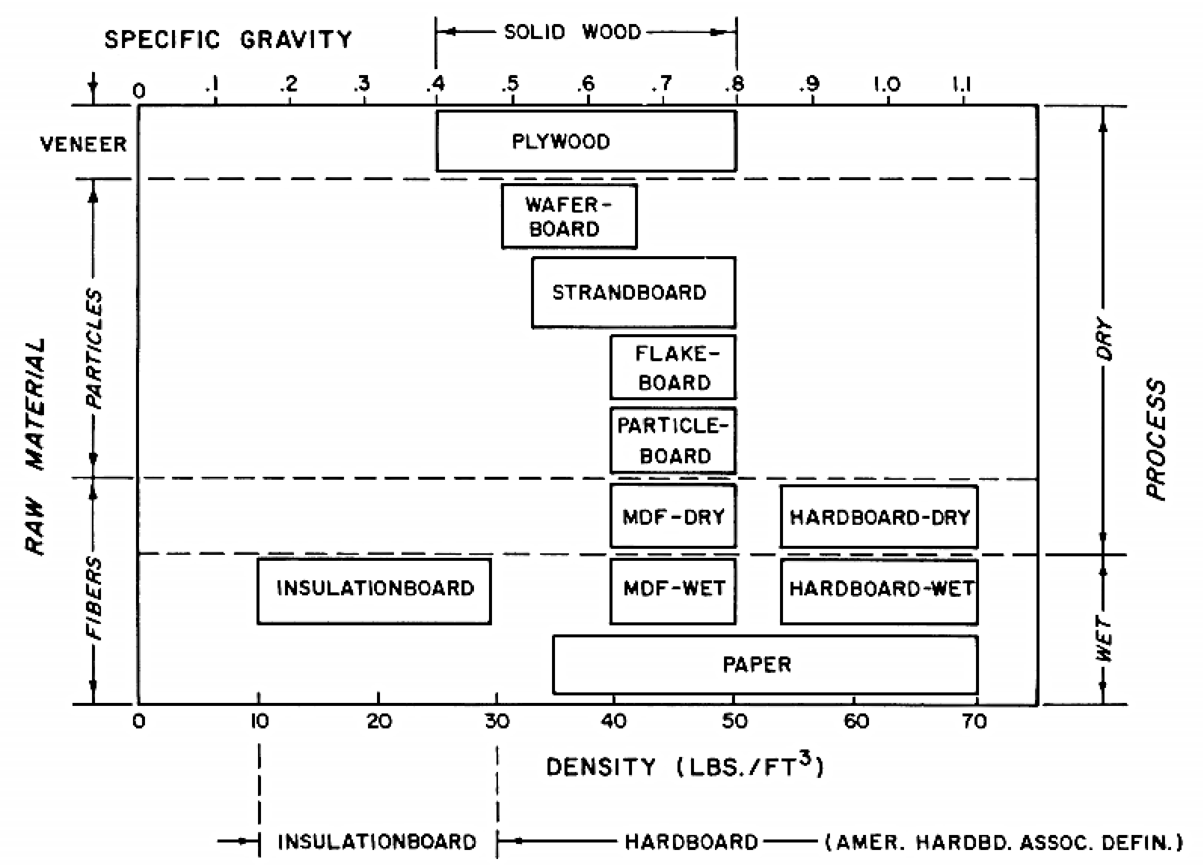
១.១ ព័ត៌មានទូទៅនិងការផលិត

ជាទូទៅ ក្តារបន្ទះដែលផលិតពីសរសៃឈើ (ជាភាសាអង់គ្លេសហៅថា fiberboard) គឺជាផលិតផលក្តារបន្ទះមួយប្រភេទដែលត្រូវបានផលិតឡើងដោយការផ្សំបញ្ចូលគ្នារវាងសារធាតុសរសៃនៃរុក្ខជាតិនិងជាតិជ័រស្អិតសំយោគ (ជ័រកាវ) ដែលគេផលិតឡើងក្រោមឥទ្ធិពលនៃកម្តៅនិងសម្ពាធ។ ក្តារបន្ទះនេះអាចផលិតឡើងតាមវិធីសាស្ត្រផលិតតាមបែបសើម (wet process) និងវិធីផលិតតាមបែបស្ងួត (dry process) ។ ចំពោះការផលិតតាមវិធីសើមគឺ គេប្រើប្រាស់ទឹកដើម្បីនាំយកសារធាតុសរសៃបញ្ចូលក្នុងពុម្ពចាក់ក្តារបន្ទះ រួចកៀបឱ្យទៅជាបន្ទះក្តារ ។ សម្រាប់វិធីស្ងួត បន្ទាប់ពីការកិន សារធាតុសរសៃត្រូវបានយកទៅដាក់ក្នុងម៉ាស៊ីនសម្ងួត ហើយដាក់ចូលទៅក្នុងបំពង់បង្ហូរទៅលាយជាមួយសារធាតុស្អិតនៅចំនុចមួយក្នុងដំណើរការ បន្ទាប់មកទៀតត្រូវបានគេបង្កើតជាទម្រង់នៅក្នុងសំណាញ់ដែលប្រើសម្រាប់កៀបឱ្យទៅជាបន្ទះ (Suchsland & Woodson, 1987)។

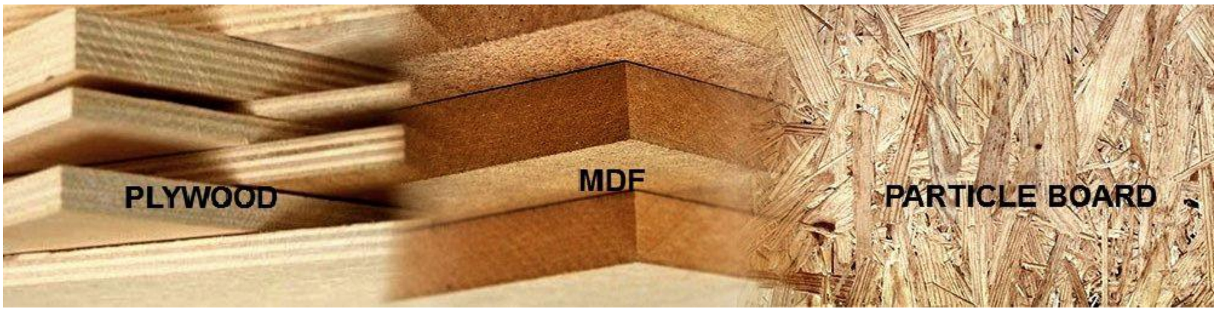
ក្តារបន្ទះ ឬ ឈើដែលផលិតដោយការផ្សំផ្គុំពីវត្ថុធាតុដើមផ្សេងៗ (Composite boards) មានច្រើនប្រភេទ ដែលត្រូវបានចាត់ថ្នាក់អាស្រ័យតាមដង់ស៊ីតេ (Density) វត្ថុធាតុដើម (Raw material) វិធីសាស្ត្រផលិត (Process) និងទម្ងន់ទំនាញជាក់លាក់ (Specific gravity) ដូចបង្ហាញនៅក្នុងរូបភាព ១.១ ខាងក្រោម។ ប្រភេទក្តារបន្ទះទាំងនោះមានដូចជា៖

- ក្តារអ៊ីសូឡង់ (insulation board) ឬ ក្តារបន្ទះដង់ស៊ីតេទាប (low density fiberboard)
- ក្តារបន្ទះដង់ស៊ីតេមធ្យម (medium-density fiberboard (MDF))
- ក្តារបន្ទះដង់ស៊ីតេខ្ពស់ (hardboard ឬ high density fiberboard (HDF))
- ឈើផលិតពីដុំបំណែកនៃឈើតូចៗ (particleboard)
- ឈើស្រាលៗដូចក្រដាស (flakeboard & Waferboard)
- ឈើកិននិងកៀប (strandboard)
- ក្តារកុងផ្លាកេ (plywood)។

ក្តារបន្ទះ ឬ Composite boards នេះត្រូវបានចាប់ផ្តើមឡើងនៅក្នុងសតវត្សទី ២០។ ក្តារអ៊ីសូឡង់ ត្រូវបានគេចាប់ផ្តើមផលិតអំឡុងសង្គ្រាមលោកលើកទី ១ នៅពេលដែលរោងចក្រផលិតក្តារដែលមានដង់ស៊ីតេខ្ពស់ ត្រូវបានសាងសង់ឡើងនៅឆ្នាំ ១៩២៦ ដោយមើលឃើញនូវបរិមាណដ៏ច្រើននៃសំណល់របស់រោងចក្រអារឈើ មានដូចជា slabs, edgings និងអាចម៍រណា នៅរោងម៉ាស៊ីនកិនដើមស្រល់ភាគខាងត្បូង។ ឈើផលិតពីដុំបំណែកនៃឈើតូចៗ (particleboard) ត្រូវបានបង្កើតឡើងដំបូងគេនៅប្រទេសអាឡឺម៉ង់ អំឡុងសង្គ្រាមលោកលើកទី ២ បន្ទាប់មកនាំចូលទៅសហរដ្ឋអាមេរិចនៅដើមទសវត្សឆ្នាំ ១៩៥០។ ក្តារបន្ទះដែលមានដង់ស៊ីតេមធ្យមនិងឈើស្រាលៗដូចជាក្រដាស (wafterboard) ត្រូវបានអភិវឌ្ឍឡើងនៅសហរដ្ឋអាមេរិច និងត្រូវបានសាយភាយខ្លាំងក្នុងទសវត្សឆ្នាំ ១៩៧០ (Suchsland & Woodson, 1987) ។



រូបភាព ១.១ ចំណាត់ថ្នាក់ប្រភេទផ្សេងៗនៃក្តារបន្ទះ

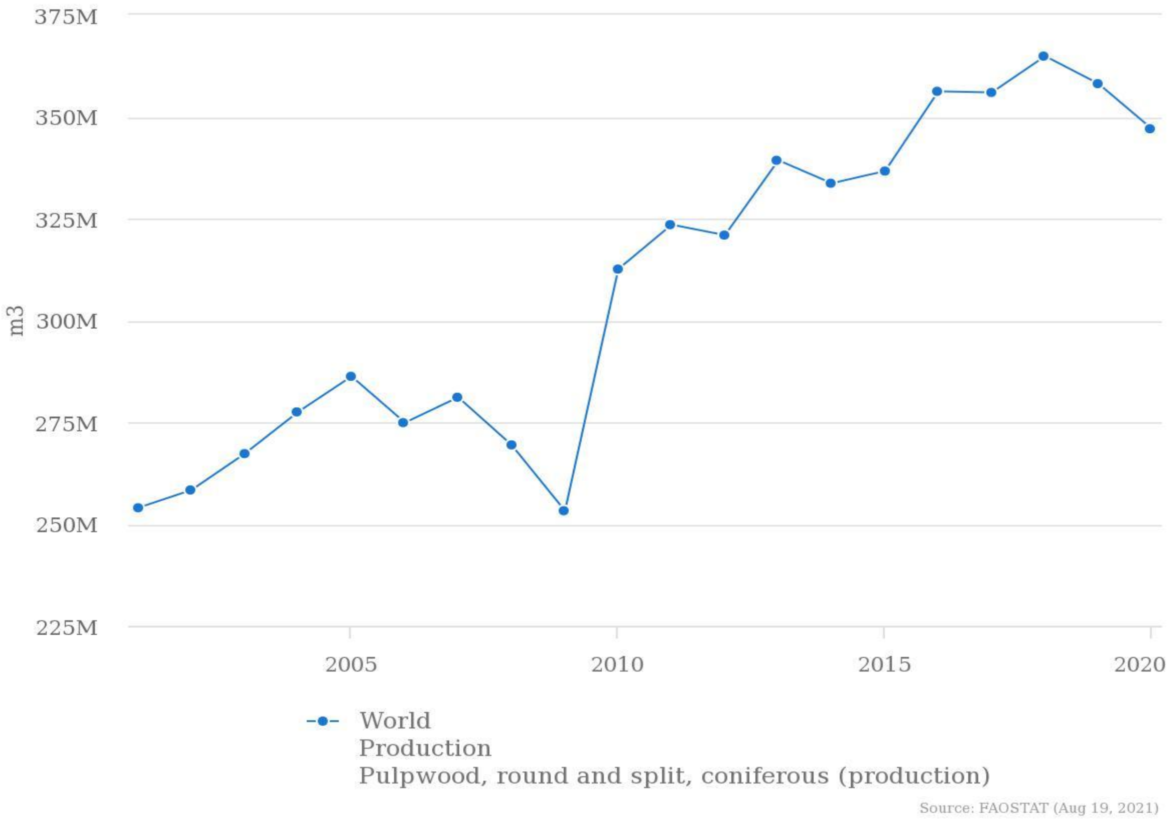


រូបភាព ១.២ ការប្រៀបធៀបលក្ខណៈរូបនៃផលិតផលក្តារបន្ទះប្រភេទ កុងផ្លាកេ (plywood) ក្តារបន្ទះនៃសរសៃឈើ (MDF) និងក្តារបន្ទះនៃដុំ ឬ ចំណិតឈើ (Particle board)

បច្ចុប្បន្ន ការប្រើប្រាស់វត្ថុធាតុដើមដែលមិនមានផលប៉ះពាល់ដល់បរិស្ថាន សម្តៅទៅលើប្រភេទវត្ថុធាតុដើមទាំងឡាយណា ដែលអាចពុកផុយរលួយដោយធម្មជាតិ អាចកកើតឡើងវិញ អាចប្រើប្រាស់ឡើងវិញបាន មាននិរន្តរភាព ហើយត្រូវបានគេប្រើប្រាស់ក្នុងការផលិតផលិតផលថ្មី ដោយយោងទៅតាមនិរន្តរភាពនៃប្រព័ន្ធអេកូឡូស៊ី និងគ្មានសារជាតុគីមី ឬ សារជាតុបំពុលពីឥន្ធនៈពន្ធ (Satyanarayana et al., 2009)។ សារជាតុសរសៃដែលបានមកពីរុក្ខជាតិជាប្រភេទវត្ថុធាតុដើមដែលអាចពុកផុយរលួយ អាចកកើតឡើងវិញ និង មិនមានផលប៉ះពាល់ដល់បរិស្ថាន។ វាត្រូវបានគេប្រើប្រាស់ដើម្បីកាត់បន្ថយនូវការប្រើប្រាស់ប្លាស្ទិច និងវត្ថុធាតុដើមផលិតប្រេង (petroleum-based materials) ដែលបង្ករផលប៉ះពាល់ដល់បរិស្ថាន មានជាតិពុល និងផលប៉ះពាល់នៃឧស្ម័នផ្ទះកញ្ចក់ (Lebreton et al., 2012)។ កាលពីរាប់ពាន់ឆ្នាំមុន សារជាតុសរសៃពីធម្មជាតិ ត្រូវបានគេប្រើប្រាស់ជាវត្ថុធាតុសម្រាប់សម្ភារៈវិស្វកម្ម និងត្រូវបានប្រើប្រាស់ច្រើននៅក្នុងរោងចក្រផលិតផលឈើ រោងចក្រផលិតផលក្រដាស ក៏ដូចជារោងចក្រវាយនភ័ណ្ឌផ្សេងៗទៀត នៅលើសកលលោក (Moon et al., 2011)។ ក្រោយមក សារជាតុសរសៃដែលបានពីធម្មជាតិទាំងនេះ ក៏ត្រូវបានប្រើប្រាស់ផងដែរក្នុងការផលិតក្តារបន្ទះ (fiberboard) ដែលជាវិស្វកម្មនៃការផលិតឈើពីកំទិចកំទីនៃឈើខ្លឹម (hardwood) ឈើស្រាយ (softwood) ឬ កាកសំណល់កសិកម្មផ្សេងៗទៀតដូចជា ចំបើង និងដើមពោត ស្រទបចេក។ល។ ដែលត្រូវបានគេបោះបង់ចោលបន្ទាប់ពីការប្រមូលផលនៃគ្រាប់ធញ្ញជាតិ ឬ ផ្លែ។

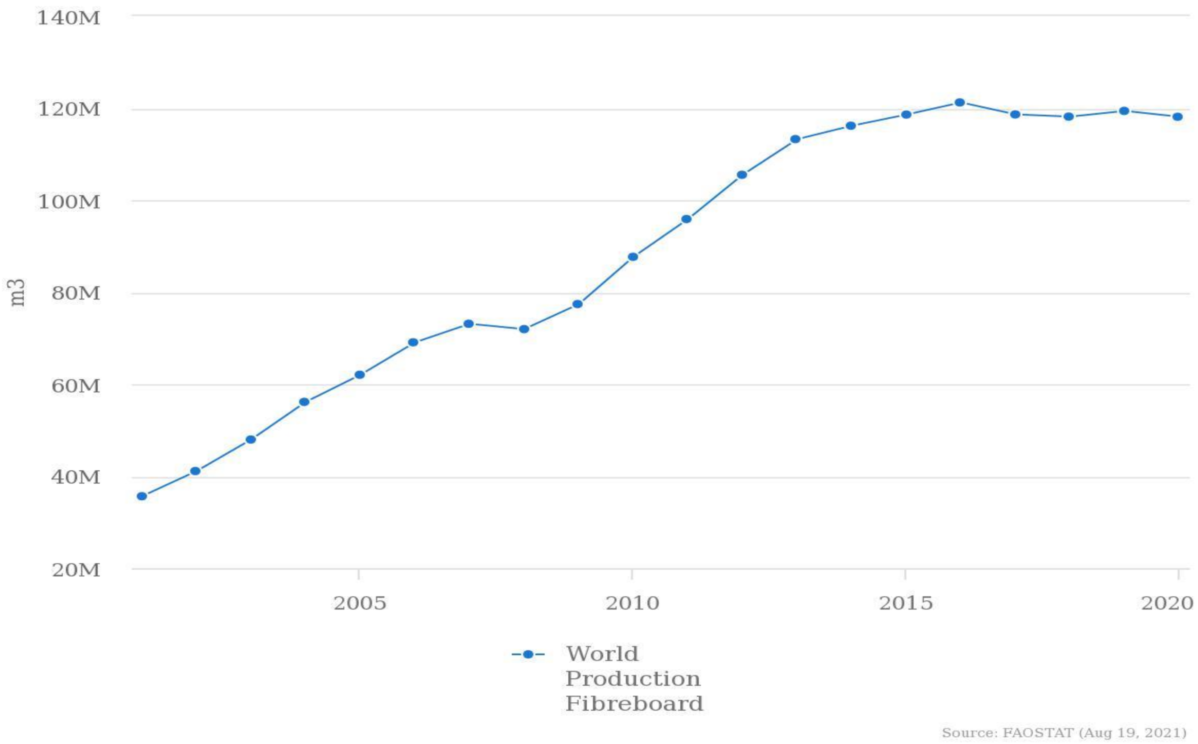
ម្យ៉ាងទៀត ចាប់តាំងពីផលិតផលឈើជួបបញ្ហាដោយមានការថយចុះដែលបណ្តាលមកពីការបាត់បង់ព្រៃឈើនៅកន្លែងជាច្រើននៃពិភពលោក (Baptist, 2013; Hurter, 1988) សារជាតុសរសៃដែលមិនមែនមានប្រភពមកពីឈើ (non-wood fiber) ត្រូវបានគេយកមកប្រើប្រាស់ជំនួសសារជាតុសរសៃដែលបានមកពីឈើ (wood fiber) នៅក្នុងផលិតកម្មក្រដាស និង ផាល់ (pulp)។ ជាទូទៅឈើគឺជាវត្ថុធាតុដើមដែលចំណាយពេលវេលាយូរក្នុងការលូតលាស់ ។ ឧទាហរណ៍៖ ដើមប្រេងខ្យល់ប្រភេទ camaldulensis (Eucalyptus camaldulensis) ដែលគ្រប់អាយុសម្រាប់ផលិតជា pulp គឺត្រូវមានអាយុ ១០ឆ្នាំ យ៉ាងតិច (Kasmani et al., 2011)។ ប្រសិនជាធ្វើការប្រៀបធៀបជាមួយ កាកសំណល់កសិកម្មដូចជា ចំបើង វាផ្តល់ឱ្យនូវវត្ថុធាតុដើមជារៀងរាល់ឆ្នាំ ឬ រដូវកាលប្រមូលផល (Nguyen, 2006)។ ក្រាហ្វិក ១.១ បង្ហាញពីកំណើននៃផលិតផលនៃpulp ដែលផលិតចេញពីឈើចាប់

ពីឆ្នាំ ២០០១ ដល់ ២០២០ ។ ផលិតផលនៃ pulp ផលិតចេញពីឈើ និងផលិតកម្មក្ដារបន្ទះ (ក្រាហ្វិក ១.២) បានកើនឡើងស្របតាមកំណើនប្រជាជន (ក្រាហ្វិក ១.៣) បើទោះបីជាកំណើនប្រជាជនមានការកើនឡើងជាលំដាប់ពីមួយឆ្នាំទៅមួយឆ្នាំ ក្នុងបន្ទាត់លីនេអ៊ែរ ខណៈដែលផលិតកម្មអាចមានការធ្លាក់ចុះនិងកើនឡើងវិញនៅតាមឆ្នាំ អាស្រ័យដោយវិបត្តិណាមួយកើតឡើងនៅតាមតំបន់ ដូចជានៅឆ្នាំ ២០០៧ និង ២០០៩ ជាដើម ។ លទ្ធផលនេះបានបង្ហាញឱ្យឃើញថា ឈើឬកាកសំណល់ឈើដែលត្រូវបានប្រើប្រាស់សម្រាប់ការផលិត pulp កំពុងតែប្រឈមមុខជាមួយភាពអនិរន្តរភាព (FOASTAT, 2021) ។

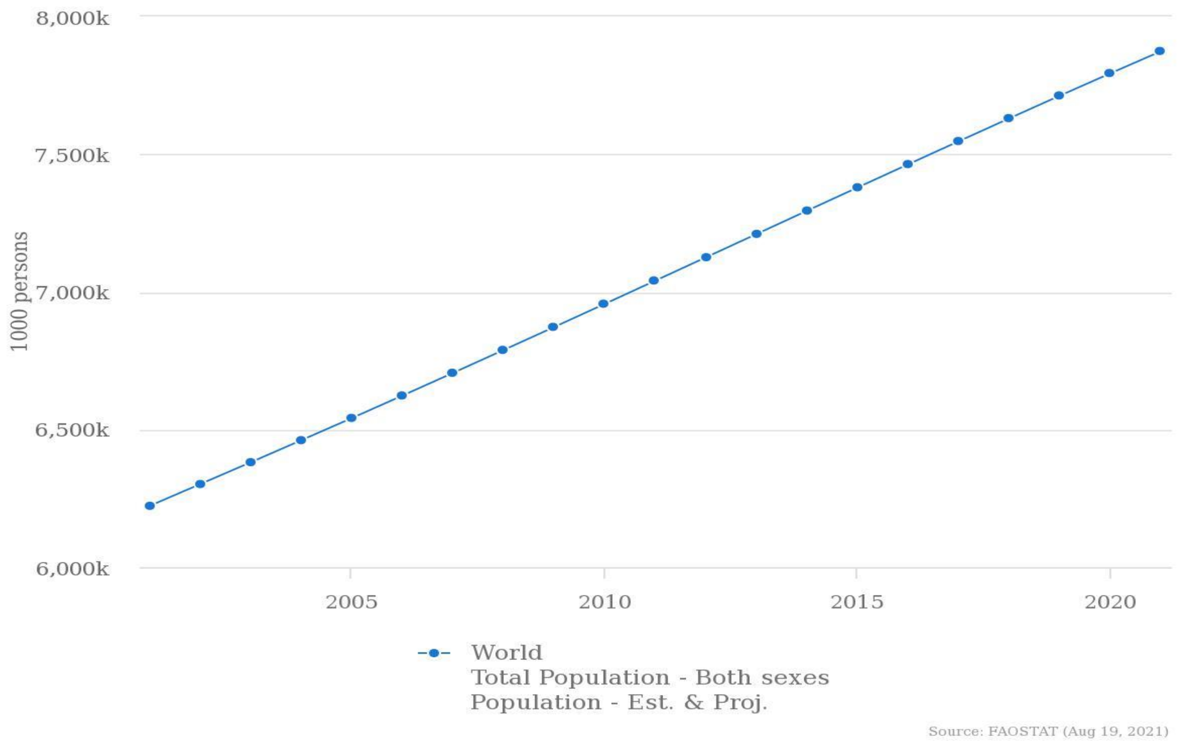


ក្រាហ្វិក ១.១ ការផលិតផលិតផលពាក់កណ្ដាលសម្រេចពីឈើគ្រប់ប្រភេទ (Pulpwood, round and split, coniferous) នៅទូទាំងសកលលោកចាប់ឆ្នាំ ២០០១-២០២០

ប្រភព៖ FOASTAT, 2021



ក្រាហ្វិក ១.២ ផលិតកម្មក្តារបន្ទះលើសកលលោកចន្លោះឆ្នាំ ២០០១ ដល់ ២០២០
ប្រភព៖ FOASTAT, 2021



ក្រាហ្វិក ១.៣ កំណើនប្រជាជនលើសកលលោកចន្លោះឆ្នាំ ២០០១ ដល់ ២០២០
ប្រភព៖ FOASTAT, 2021

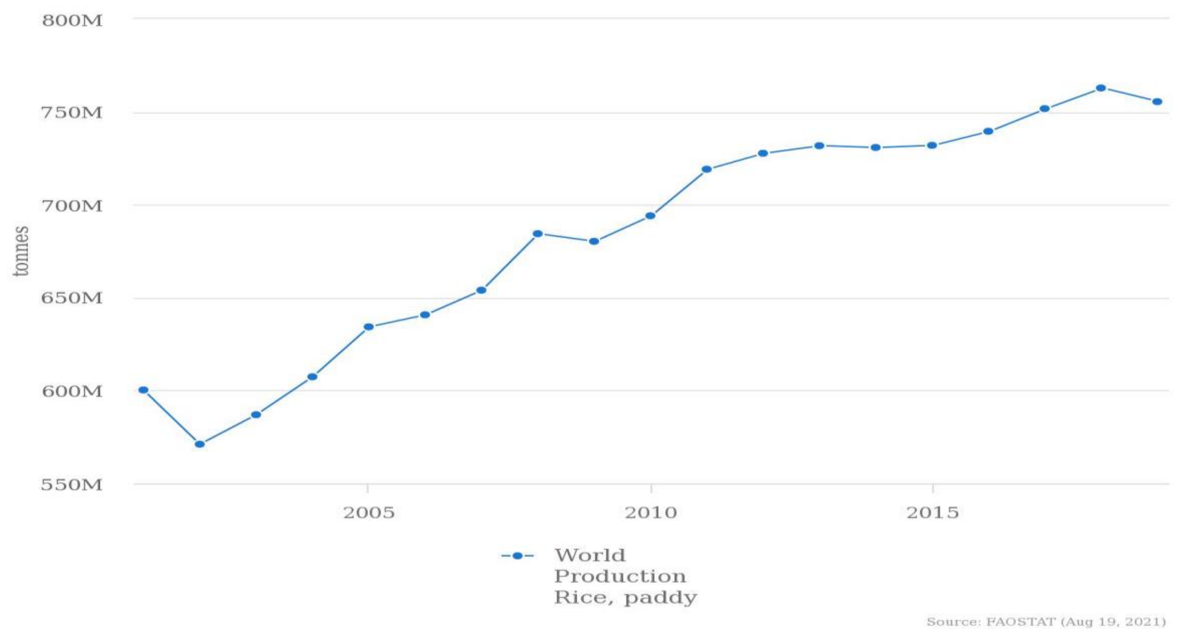
ការប្រើប្រាស់វត្ថុធាតុដើមពីប្រភពមិនមែនឈើ (non-wood) ផ្តល់នូវសារៈប្រយោជន៍ជាច្រើន ដូចជាការរក្សាទុកឈើសម្រាប់ប្រើប្រាស់ធ្វើជាវត្ថុមានតម្លៃផ្សេងៗ ដែលអាចកាត់បន្ថយបាននូវការ កាប់បំផ្លាញព្រៃឈើ និងការដាំដុះឡើងវិញ ។ វាក៏អាចជួយកាត់បន្ថយនូវការនាំចូលឈើ និងសារធាតុសរសៃរផ្សេងៗ សម្រាប់ប្រទេសដែលខ្វះខាតព្រៃឈើ ។ ទន្ទឹមនឹងនេះដែរ ការប្រើប្រាស់វត្ថុធាតុដើម ពីកាកសំណល់កសិកម្ម សម្រាប់កែច្នៃជាផលិតផលមានតម្លៃនានា អាចជួយកាត់បន្ថយនូវរាល់ការ ចាក់ចោល ឬ ដុតចោលសំរាមទាំងនេះ ជួយបង្កើននូវតម្លៃនៃការដាំដុះ និងជួយកាត់បន្ថយផល ប៉ះពាល់ដល់បរិស្ថានដែល បណ្តាលមកពី ការបំពុលផ្សេងៗ អគ្គីភ័យ និងសត្វចង្រៃ (Chandra IV, 1998; Rodríguez et al., 2010; Rodríguez et al., 2008b) ។ យោងតាម Hurter (1988) សារធាតុសរសៃរដែលបានមកពីប្រភពមិនមែនឈើត្រូវបានធ្វើការបែងចែកអាស្រ័យទៅនឹងប្រភពនៃសារធាតុសរសៃរទាំងនោះ (តារាង ១.១) ។

តារាង ១.១ ចំណាត់ថ្នាក់នៃសារធាតុសរសៃពីប្រភពមិនមែនឈើ

ក្រុម	ឈ្មោះទូទៅ
- សារធាតុសរសៃបានពីដើម	- ចំបើង ដើមរុក្ខជាតិក្រោយពេលប្រមូលផលគ្រាប់ធញ្ញជាតិ ស្មៅ ត្រែង ឬស្សី អំពៅ
- សារធាតុសរសៃបានពីផ្នែកនៃបំពង់ផ្លូវអែម ឬ Bast fibers	- ដើមកប្បាស ដើមក្រចៅ
	- sisal ដើមចេក
- សារធាតុសរសៃនៃស្លឹករុក្ខជាតិ	
- សារធាតុសរសៃដែលបានពីសំបកនៃគ្រាប់ធម្មជាតិ	- សំឡីកប្បាស

ចំបើងគឺជាប្រភេទកាកសំណល់កសិកម្មដែលត្រូវបានគេប្រើប្រាស់យ៉ាងទូលំទូលាយ ហើយក៏ត្រូវបានគេទុក និងដុតចោលមួយចំនួនផងដែរ ។ ការប្រើប្រាស់កាកសំណល់ក្រោយពេលប្រមូលផលនៃផលិតផលស្រូវគឺអាចជួយបង្កើននូវចំណូលដល់កសិករ ។ ម្យ៉ាងទៀត ប្រសិនបើសំណល់ទាំងនោះត្រូវបានប្រើប្រាស់ជាប្រយោជន៍របស់មនុស្ស នោះវាមិនមែនជាកាកសំណល់ទេ ប៉ុន្តែវាគឺជាប្រភពនៃធនធានថ្មីទៅវិញ (Nguyen, 2006) ។ ចំបើងស្រូវគឺស្ថិតនៅក្នុងក្រុមនៃសារធាតុសរសៃដែលបាន មកពីដើមនៃគ្រាប់ធញ្ញជាតិរបស់ពពួកសារធាតុសរសៃដែលមិនមែនជាឈើ (non-wood fiber) (Hurter, 1988) ។ សមាមាត្រនៃគ្រាប់ស្រូវទៅនឹងចំបើងគឺ ១.៤ (Kim & Dale, 2004) ។ ឧទាហរណ៍៖ ប្រសិនបើបរិមាណផលិតផលស្រូវ ទទួលបានគ្រាប់ចំនួន ១.៤ តោន នោះចំបើងមាន ១ តោន ។

ផលិតកម្មស្រូវនៅក្នុងពិភពលោកមានការកើនឡើងចាប់ពីឆ្នាំ ២០០៣ (ក្រាហ្វិក ១.៤)។ កម្ពុជាជាប្រទេសកសិកម្ម នោះវត្ថុធាតុដើមដែលមិនមែនឈើ (non-wood material) ដូចជាចំបើងស្រូវគឺសំបូរណាស់។



ក្រាហ្វិក ១.៤ ផលិតកម្មស្រូវលើសកលលោកចន្លោះឆ្នាំ ២០០១ ដល់ ២០២០
ប្រភព៖ FOASTAT, 2021

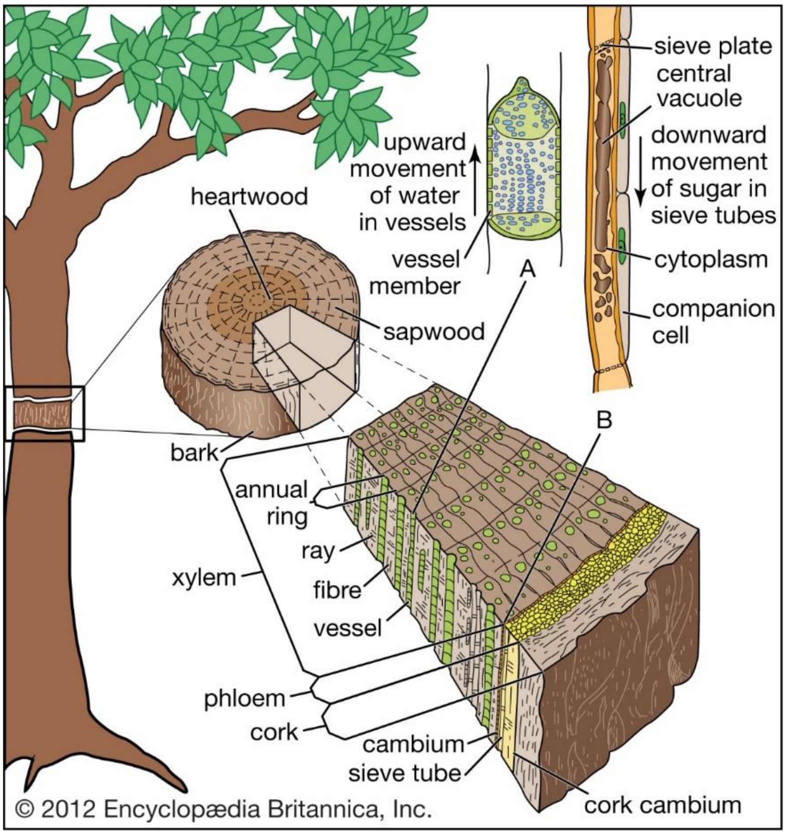
១.២ រចនាសម្ព័ន្ធនៃកោសិកាឈើ

នៅក្នុងដំណើរការនៃការចម្រាញ់សរសៃឈើធ្វើជាផាល់ (pulp) សម្រាប់ផលិតជាវត្ថុធាតុដើមក្នុងការផលិតផលិតផលផ្សេងៗទៀតដូចជា ក្រដាស ក្តារបន្ទះ។ល។ អាចធ្វើតាម វិធីគីមីពេញលេញ វិធីពាក់កណ្តាលគីមី (ប្រើសារធាតុគីមីខ្លះ) ឬ វិធីមេកានិច។ ចំណាត់ថ្នាក់នៃវិធីសាស្រ្តនេះសំដៅលើធម្មជាតិនៃដំណើរការហូត ឬ ចម្រាញ់យកជាតិសរសៃពីរុក្ខជាតិ។

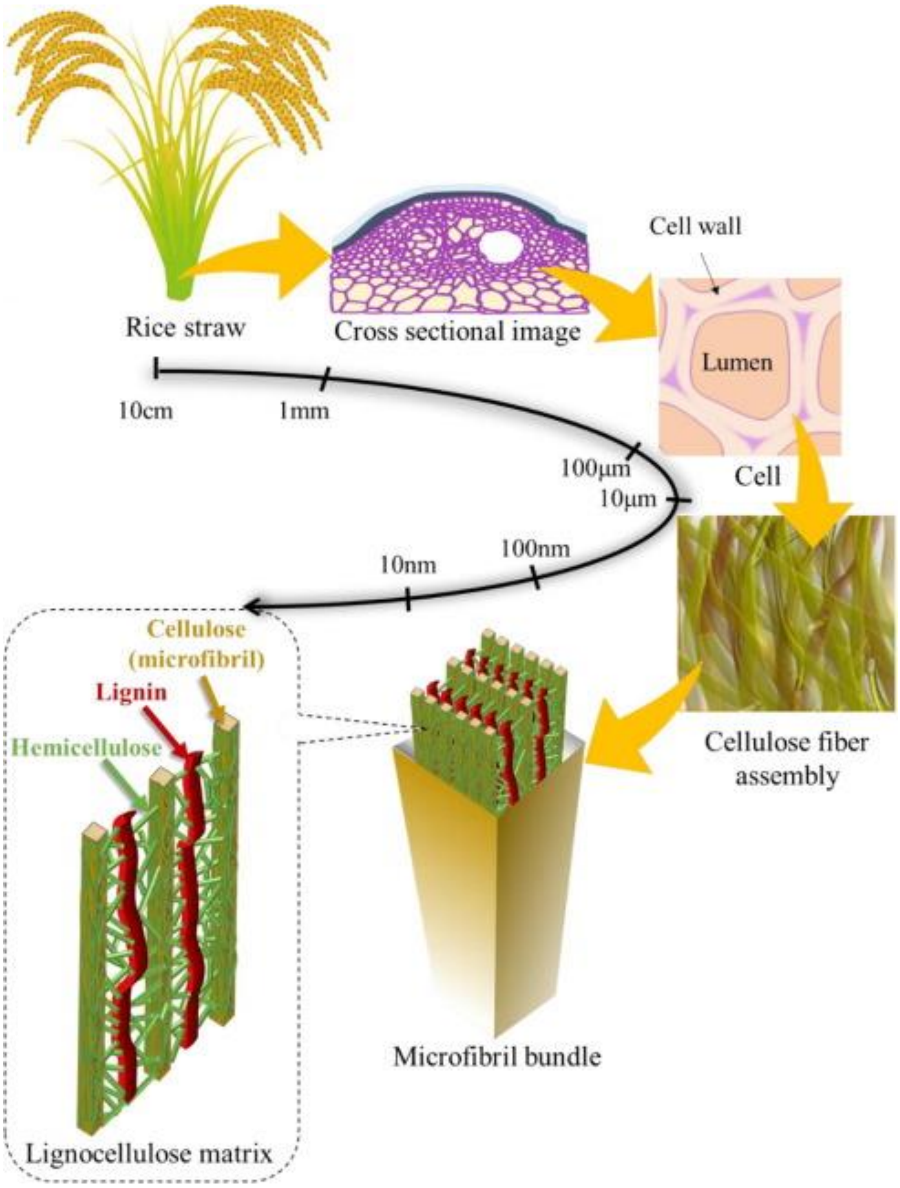
នៅក្នុងវិធីសាស្រ្តគីមីពេញលេញ កោសិកាឈើត្រូវបានញែកតាមរយៈការរំលាយនិងការដកយកចេញនូវភ្នាក់ងារចងសម្ព័ន្ធធម្មជាតិ ដូចជា lignin ជាដើម អាស្រ័យតាមលក្ខខណ្ឌសីតុណ្ហភាព និងសម្ពាធ។ នៅក្នុងវិធីសាស្រ្តមេកានិច កោសិកាឈើត្រូវបានញែកចេញដោយកម្លាំងបំបែក ភាគច្រើនតាមរយៈការបន្ថែមសម្ពាធចំហាយ។ ចំណែកឯវិធីសាស្រ្តពាក់កណ្តាលគីមី សំដៅលើការ ប្រើបន្សំគ្នារវាងប្រតិកម្មគីមីផង និងកម្លាំងមេកានិចបំបែកផង។

រចនាសម្ព័ន្ធនៃកោសិកាឈើ ឬ រុក្ខជាតិ គេអាចមើលឃើញដោយប្រើមីក្រូទស្សលើកំណាត់ ឬ បំណែកនៃដុំឈើ ឬ រុក្ខជាតិ។ រូបភាព ១.៣ និង ១.៤ ខាងក្រោមបង្ហាញអំពីរូបពុំនុះកាត់ពិនិត្យ កោសិកាឈើប្រភេទ ឈើរឹង និងឈើទន់។ កោសិកាដែលបង្កើតឡើងនៅដើមរដូវ (earlywood) ធំជាងនិង

ស្តើងជាងកោសិកាដែលត្រូវបានបង្កើតនៅចុងរដូវ (latewood) ក្នុងឆ្នាំតែ មួយ។ នៅពេល បញ្ចប់ការលូតលាស់ក្នុងមួយឆ្នាំ កោសិកានៃដុំឈើបានបិទបញ្ចប់ដោយសញ្ញារង្វង់រាងមូលដូច ជញ្ជៀនមួយ។



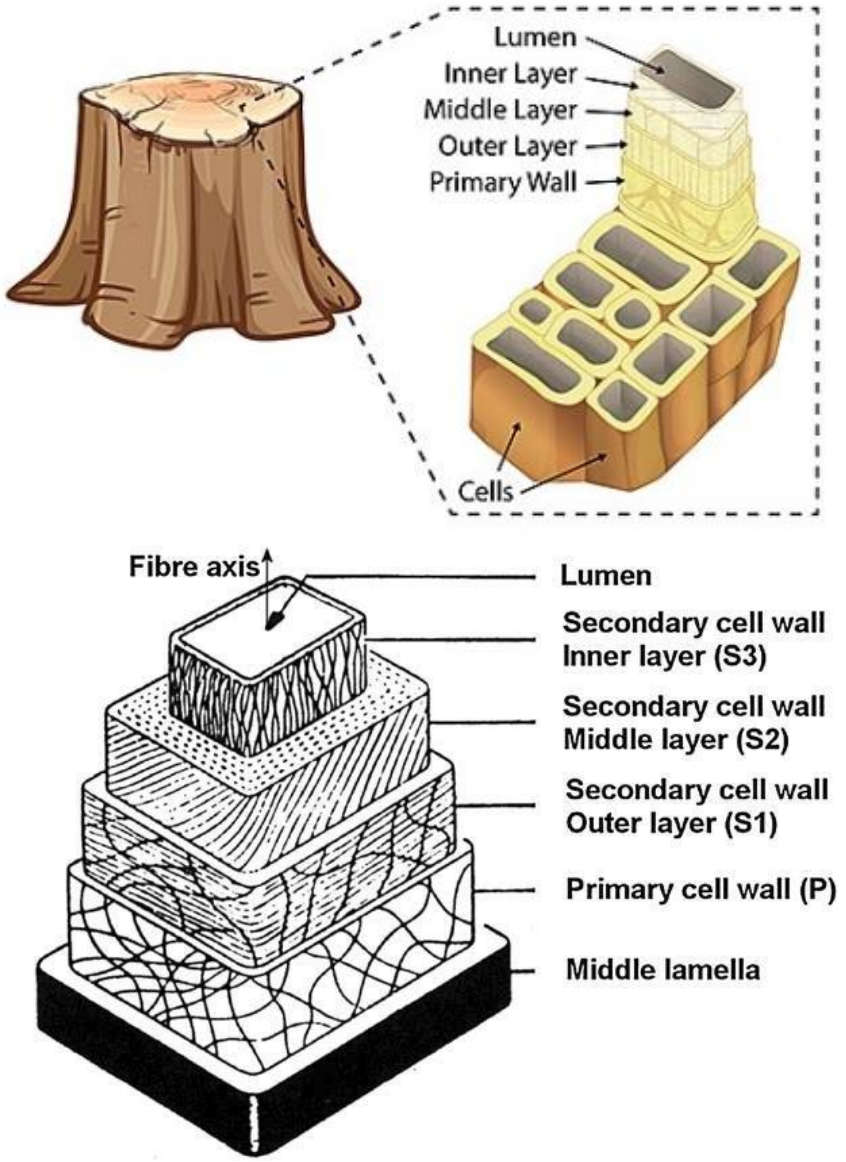
រូបភាព ១.៣ ពុំនុះកាត់ទទឹងនៃដុំឈើពិនិត្យមើលកោសិកានិងវិវត្តនៃការលូតលាស់របស់ដើមឈើតាមធម្មជាតិ



រូបភាព ១.៤ ពុំនុះកាត់ពិនិត្យមើលកោសិកាចំបើង

គ្រប់ប្រភេទកោសិកាឈើមានច្រើនស្រទាប់ ដូចជា៖ ជញ្ជាំងកោសិកា (P) ភ្នាសកោសិកាស្រទាប់ក្រៅ (S1) ភ្នាសកោសិកាស្រទាប់កណ្ដាល (S2) ភ្នាសកោសិកាស្រទាប់ក្នុង (S3) (រូបភាព ១.៥)។ សំណង់នៃធាតុមូលដ្ឋានតាមស្រទាប់ទាំងនេះ គឺជាសរសៃស្ថិតក្នុងទម្រង់ម៉ាទ្រីស amorphous ដូចជាសរសៃកញ្ចក់ដែលបង្កើតឡើងក្នុងទម្រង់បិទជ័រប៉ូលីអេស្ទែរក្នុងកញ្ចក់ធម្មតា។ លក្ខណៈខុសគ្នាតាមស្រទាប់អាស្រ័យលើការរៀបចំនៃសរសៃ (fibrils) នីមួយៗ។ នៅស្រទាប់ជញ្ជាំងកោសិកា សរសៃនីមួយៗរៀបចំដោយចៃដន្យ។ ចំណែកនៅភ្នាសកោសិកាស្រទាប់ខាងក្រៅមានស្រទាប់ស្តើងៗមួយចំនួនរៀបចំឡើងស្របគ្នានឹងសរសៃតាមមុំនៃកោសិកា នៅកម្រិត ៥០ ដឺក្រេ ទៅ ៧០ ដឺក្រេ។ នៅស្រទាប់កណ្ដាល សរសៃនីមួយៗរៀបស្របតាមអ័ក្សកោសិកានៅមុំប្រហែល ១០ ដឺក្រេ ទៅ ៣០ ដឺក្រេ។ នៅស្រទាប់ក្នុង មានលក្ខណៈរាបស្មើ ស្របទៅនឹងអ័ក្សកោសិកានៅមុំ ៦០ ដឺ

ក្រេ ទៅ ៩០ ដឺក្រេ។ ជាការពិតណាស់ថា សំណង់សរសៃនីមួយៗតាមស្រទាប់ភ្នាសកោសិកា មានសារសំខាន់លើលក្ខណៈនៃភាពរឹងមាំរបស់ដុំឈើ (Mark 1967)។



រូបភាព ១.៥ រចនាសម្ព័ន្ធនៃស្រទាប់កោសិកាឈើ

ជញ្ជាំងកោសិការបស់រុក្ខជាតិត្រូវបានចែកចេញជាស្រទាប់មានដូចជា middle lamella (ML), primary cell was (P), secondary cell wall និង lumen។ ML ដើរតួជាសមាសធាតុ តភ្ជាប់គ្នារវាងកោសិកានីមួយៗ ហើយមានបរិមាណ lignin ច្រើននៅក្នុងស្រទាប់មួយនេះ។ ML ស្ថិត នៅជុំវិញ primary cell wall។ ស្រទាប់ P មានលក្ខណៈស្ដើងហើយអាចបត់បែនបាន។ សមាសធាតុ ចំបងក្នុងស្រទាប់នេះមានដូចជា៖ អេមីសែលលុយឡូស លីកនីន និងបណ្ដុំនៃសារធាតុសរសៃតូចៗ ជាច្រើន។ ខ្សែច្រវ៉ាក់សែលុយឡូសត្រកួញចូលគ្នានៅលើអក្សនៃខ្សែច្រវ៉ាក់របស់ glucan ដែលខ្សែ ទាំងពីរនេះចងគ្នាដោយសម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែន។ Secondary wall ស្ថិតនៅចន្លោះស្រទាប់ P និង lumen។ វាមាន

ផ្ទុកនូវស្រទាប់បីផ្សេងទៀតដូចជា S1, S2, និងS3។ ហើយស្រទាប់ចុងក្រោយនៃជញ្ជាំង កោសិកាគឺ lumen ដែលមានភាពស្តោតហើយផ្ទុកនូវបរិមាណទឹក (Suchsland & Woodson, 1987)។

នៅក្នុងធម្មជាតិ កោសិកាត្រូវបានរៀបចំឡើងដោយសម្ព័ន្ធនៃសារធាតុស្អិតប្រភេទ amorphous ដែលហៅឈ្មោះថា ឡាមែឡកណ្តាល (middle lamella)។ សម្ព័ន្ធភ្ជាប់នេះអាចត្រូវបំបែកដោយវិធីគីមី ឬវិធីមេកានិច។

១.៣ សមាសធាតុនៃកោសិកាឈើ

សមាធាតុគីមីសំខាន់ៗរបស់កោសិកាឈើរួមមាន៖ សែលលុយឡូស អេមីសែលលុយឡូស លីកនីន (lignin) និងសារធាតុសរីរាង្គដែលរលាយមួយចំនួនទៀត (extractives)ដូចជា វីតាមីន លីពីត ជាដើម។ បរិមាណនៃសមាសធាតុទាំងនេះខុសគ្នាអាស្រ័យតាមប្រភេទរុក្ខជាតិ និងលក្ខខណ្ឌដាំដុះ (តារាង ១.២)។

តារាង ១.២ សមាសធាតុគីមីនៃកាកសំណល់កសិកម្មធៀបទៅនឹងប្រភពពីឈើផ្សេងៗ

ប្រភព	សែលលុយឡូស (%)	ប៉ង់តូសាន (%)	លីកនីន(%)	ផេះ(%)	ស៊ីលីកា (%)
ចំបើង	២៨ - ៣៦	២៣ - ២៨	១២ - ១៦	១៥ - ២០	៩ - ១៤
ចំបើងស្រូវសាឡី	២៩ - ៣៥	២៦ - ៣២	១៦ - ២១	៤ - ៩	៣ - ៧
ដើមពោត	៤៨	២៨	១៦	៣.២	-
ដើមក្រចៅ	៣៤	១៩.៣	១៧.៥	២.៥	-
កាកអំពៅ	៣២ - ៤៤	២៧ - ៣២	១៩ - ២៤	១.៥ - ៥	០.៧ - ៣
ក្រុមឈើទន់	៤០ - ៤៥	៧ - ១៤	២៦ - ៣៤	១	<១
ក្រុមឈើរឹង	៣៨ - ៤៩	១៩ - ២៦	២៣ - ៣០	១	<១

ប្រភព៖ (Hurter, 2001)

ម៉ូលេគុលសែលលុយឡូសគឺជាសរសៃបង្កើតប្លុកក្នុងជញ្ជាំងកោសិកា។ អេមីសែលលុយឡូស និងលីកនីនគឺជាសារធាតុម៉ាទ្រីសក្នុងស្រទាប់ភ្នាសកោសិកា ហើយលីកនីនគឺជាសមាសធាតុស្អិតចម្បងសម្រាប់ចងសម្ព័ន្ធកោសិការុក្ខជាតិ។ សមាសធាតុសរីរាង្គរលាយផ្សេងៗ គឺជាសមាសធាតុ ដែលមានទម្ងន់ម៉ូលេគុលស្រាល ឃើញមានជាពិសេសក្នុងខ្លឹមឈើ ដែលស្ថិតនៅស្រទាប់ខាងក្នុង។ វាមានមុខងារបង្កើតពណ៌ ធនទៅនឹងសត្វល្អិត និងជម្ងឺផ្សិត។ សារធាតុសរីរាង្គទាំងនេះអាចរំលាយ ដោយភ្នាក់ងាររំលាយសរីរាង្គ ឬ ចំហាយទឹក ។ បំណែងចែកសមាសធាតុទាំងនេះ ក្នុងជញ្ជាំងកោសិកា មានបង្ហាញក្នុងរូបភាព ១.៦។

ជញ្ជាំងកោសិកានៃរុក្ខជាតិមានសមាសធាតុសរីរាង្គសំខាន់ៗចំនួន ៣ គឺៈ សែលលុយឡូស អេមីសែលលុយឡូស និងលីកនីន។ សែលលុយឡូសគឺជាសារធាតុប៉ូលីម៊ែរដែលត្រូវបានគេបោះបង់ចោលច្រើនជាងគេបំផុតនៅលើភពផែនដី និងមានវត្តមាននៅក្នុងភាវរស់ជាច្រើនប្រភេទដូចជា រុក្ខជាតិ សត្វ និងបាក់តេរី (Chen, 2014)។

ដោយសារ តម្រូវការសរសៃធម្មជាតិសកលលោកកើនឡើងជាលំដាប់ពីមួយថ្ងៃទៅមួយថ្ងៃ ចំណែកឯដីព្រៃឈើមានសមត្ថភាពកំណត់ក្នុងការផ្គត់ផ្គង់ប្រភពវត្ថុធាតុដើមនៃសែលលុយឡូសទាំងនេះ (Hubbe, 2014)។ ក្នុងន័យនេះ ការសិក្សាស្រាវជ្រាវនិងស្វែងរកប្រភពវត្ថុធាតុដើមផ្សេងៗ សម្រាប់យកមកជំនួសសរសៃនៃឈើធម្មជាតិ ដើម្បីផលិតជាផលិតផលដែលអាស្រ័យសែលលុយឡូស និងមានសម្តែងកម្មល្អ។

កាកសំណល់កសិកម្ម គឺជាផលិតផលដែលគេបោះបង់ចោល មិនសូវមានតម្លៃ មានច្រើនលើភពផែនដី និងអាចកកើតឡើងវិញបាន។ វាជាជម្រើសល្អមួយសម្រាប់ជំនួសប្រភពនៃសែលលុយឡូសពីឈើ ដោយសារវាមានលក្ខខណៈស្រដៀងគ្នាទាំងសមាសធាតុគីមី (តារាង ១.២) និងសមាសធាតុរូប (តារាង ១.៣)។

យោងតាមលទ្ធផលបង្ហាញអំពីសមាសធាតុគីមីនៅក្នុងតារាង ១.២ រាល់ប្រភពមិនមែនឈើទាំងអស់ត្រូវបានចាត់ថ្នាក់ថាមានភាគរយសែលលុយឡូសនិងលីកនីនទាបជាងប្រភពពីឈើ ប៉ុន្តែមិនខុសគ្នាខ្លាំងគួរឲ្យកត់សម្គាល់នោះទេ។ សរសៃនៃកាកសំណល់ដំណាំដូចជា ចំបើង ចំបើងស្រូវសាឡីដើមពោត ដើមក្រចៅ និងកាកអំពៅមានសែលលុយឡូសចន្លោះ ២៨ ទៅ ៤៨% ប្រហាក់ប្រហែលនឹងប្រភពពីឈើរឹង (៤០ ទៅ ៤៥%) និងឈើទន់ (៣៨ ទៅ ៤៩%) ដែរ។ ប៉ុន្តែវាមានអេមីសែលលុយឡូស (ប៉ង់តូសាន) និងផេះច្រើនជាង ជាពិសេសចំបើង (ចន្លោះ ២៣ ទៅ ២៨% សម្រាប់ប៉ង់តូសាន និង ១៥ ទៅ ២០% សម្រាប់ផេះ) ដែលក្រុមឈើមានប៉ង់តូសានចន្លោះ ៧ ទៅ ១៤% (ឈើទន់) និង ១៩ ទៅ ២៦% (ឈើរឹង) និងផេះត្រឹមតែ ១% ប៉ុណ្ណោះ។

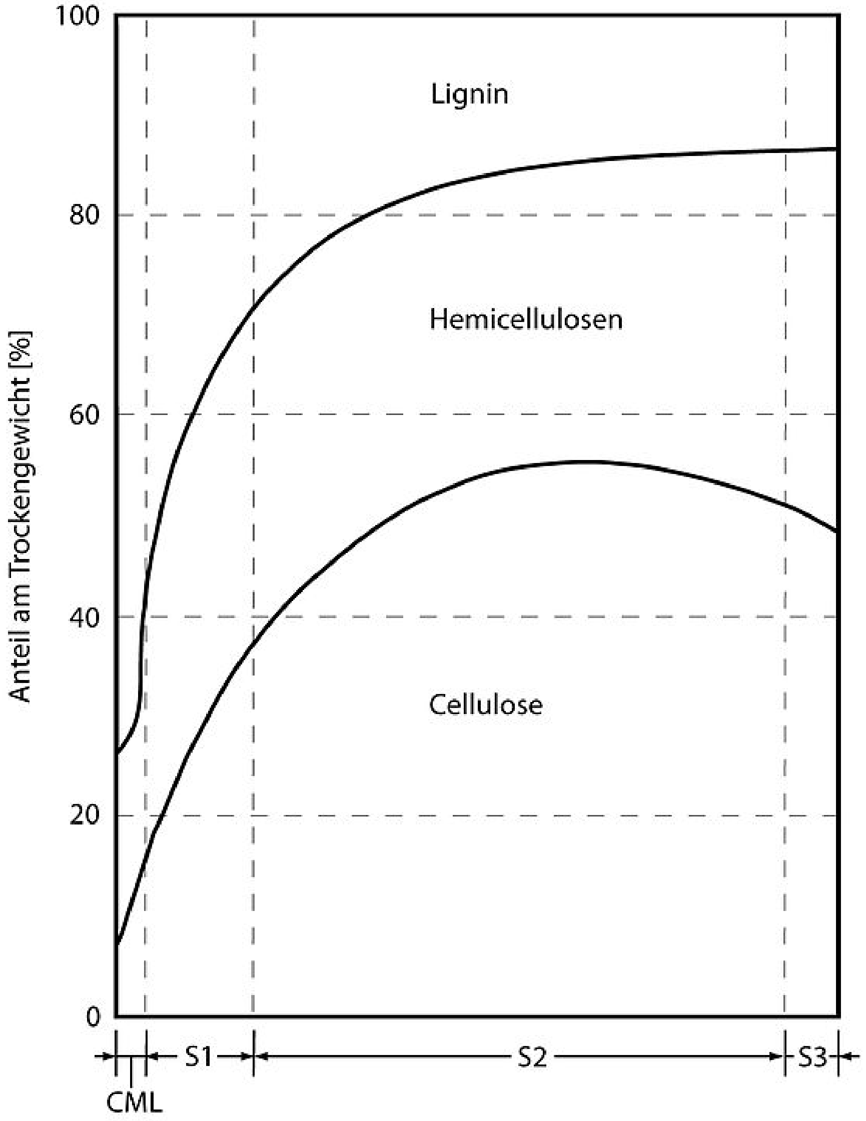
សម្រាប់លក្ខណៈរូប ក្រុមឈើទន់មានលក្ខណៈឯកសណ្ឋានភាពនៃសរសៃធ្មូតៗ (tracheid fibers) ច្រើនជាង ៩០% (ដែលផលធៀបនៃប្រវែងនិងអង្កត់ផ្ចិត ស្មើ ១០០) និងវ៉ាឌីកាល់កោសិកា និងសរសៃម៉ត់ត្រឹមតែ ១០% ប៉ុណ្ណោះ។ ក្រុមនៃឈើរឹងមានភាពអេតេរ៉ូសែនជាងក្រុមឈើទន់ និងមានសរសៃធ្មូតៗត្រឹមតែប្រហែល ៥០% (ដែលផលធៀបនៃប្រវែងនិងអង្កត់ផ្ចិត ស្មើ ៥០) ។ សម្រាប់ប្រភពមិនមែនឈើ លក្ខណៈរូបរបស់វាមានភាពខុសគ្នាខ្លាំងចន្លោះពី ២០ ទៅ ១៧៥ នៃផលធៀបរវាងប្រវែងនិងអង្កត់ផ្ចិតសរសៃ (តារាង ១.៣)។

ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ គុណវិបត្តិសំខាន់បំផុតនៃប្រភពពីឈើ គឺឈើត្រូវការរយៈពេលច្រើនឆ្នាំដើម្បីដុះលូតលាស់រហូតដល់មានអាយុកាលនិងទំហំសមស្របសម្រាប់ប្រមូលផល និងប្រើប្រាស់បាន។

តារាង ១.៣ សមាសធាតុរូបនៃកាកសំណល់កសិកម្មធៀបទៅនឹងប្រភពពីឈើផ្សេងៗ

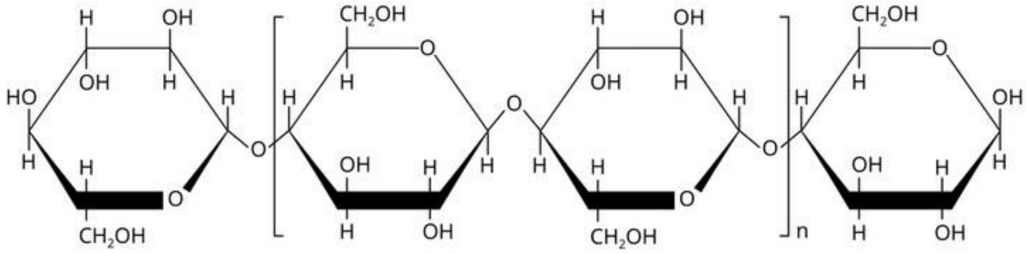
ប្រភព	ប្រវែង (មម)	អង្កត់ផ្ចិត (មម)	សមាមាត្រប្រវែង/អង្កត់ផ្ចិត
ចំបើង	១៤១០	៨	១៧៥
ចំបើងស្រូវសាឡី	១៤៨០	១៣	១១០
ដើមពោត	១២៦០	១៦	៨០
ដើមក្រចៅ	៦០០	៣០	២០
កាកអំពៅ	១៧០០	២០	៨៥
ក្រុមឈើទន់	៣០០០	៣០	១០០
ក្រុមឈើរឹង	១២៥០	២៥	៥០

ប្រភព៖ (Hurter, 2001)



រូបភាព ១.៦ អត្រាសមាជាតុគីមីសំខាន់ៗក្នុងកោសិការុក្ខជាតិតាមស្រទាប់ភ្នាសកោសិកា
ប្រភព៖ Punshin and deZeeuw 1970

សែលលុយឡូសគឺជាច្រវ៉ាក់ម៉ូលេគុលដែលគេអាចវាស់តាមចំនួនឯកតាគ្លុយកូស (រូបភាព ១.៧)។ ចំនួននេះហៅថា កម្រិតនៃការបំបែកចំណងប៉ូលីម៊ែរ (degree of Polymerization / DP) ដែលមានចន្លោះពី ៣០០០ ទៅ ១០០០០ អាស្រ័យតាមប្រភេទ (Rydholm 1965)។

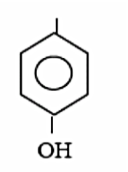


រូបភាព ១.៧ រចនាសម្ព័ន្ធសែលលុយឡូស

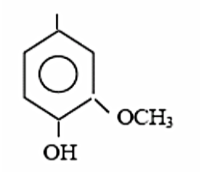
អេមីសែលលុយឡូសគឺជាសមាសធាតុប៉ូលីសាការីតដូចសែលលុយឡូសដែរ ប៉ុន្តែវាមានទម្ងន់ម៉ូលេគុលស្រាលជាង ងាយរលាយជាង ចូលរួមចំណែកតិចតួចជាងលើការធ្វើឲ្យជញ្ជាំងកោសិការឹងមាំ និងគ្មានទម្រង់ ឬ រូបរាងច្បាស់លាស់ (amorphous)។ វាមានច្រើនទម្រង់អាស្រ័យតាមប្រភេទម៉ូណូម៉ែរដែលមានដូចជា៖

- ហិចសូសាន (Hexosans) បំបែកជា ហិចសូស ដែលស្កររមានអាតូមកាបូនចំនួន ៦ អាតូម ដូចជា ស្ករគ្លុយកូស។ ម៉ាណានគឺជាហិចសូសានដែលសំខាន់ជាងគេ ឃើញមាននៅក្នុងប្រភេទឈើទន់ដែលមានកម្រិតបំបែកប៉ូលីម៉ែរប្រហែល ១៥០ ដឺក្រេ ។
- ប៉ង់តូសាន មានម៉ូណូម៉ែរប៉ង់តូស ដែលស្កររមានអាតូមកាបូនចំនួន ៥។ ឧទាហរណ៍ ស៊ីឡាន (xylan) មានទាំងនៅក្នុងប្រភេទឈើរឹង និងប្រភេទឈើទន់ ដោយនៅក្នុងឈើរឹងមានច្រើនជាងឈើទន់។
- ហ្គាឡាក់តាន (Galactan)
- អារ៉ាប៊ីណាន (Arabinan)។

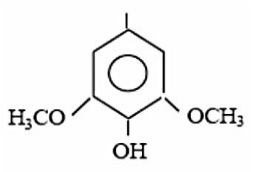
លីកនីន គឺជាសម្ព័ន្ធប៉ូលីម៉ែរដែលមានមុខ ៣ (three-dimensional cross-linked polymer) ត្រូវបានបង្កើតឡើងពីឯកតាផេនីលប្រូប៉ាន (phenylpropane) មានក្លិន (រូបភាពទី ១.៨) (Sarkanen 1970)។ លីកនីនគឺជាផ្នែកមួយនៃម៉ាទ្រីសដែលគ្មានទម្រង់ ឬ រូបរាងច្បាស់លាស់សម្រាប់ចងភ្ជាប់សរសៃសែលលុយឡូសក្នុងជញ្ជាំងកោសិកា។ វាមានច្រើននៅស្រទាប់ឡាមែលឡាកណ្តាល និងស្រទាប់ចន្លោះកោសិកា។ វាមានរចនាសម្ព័ន្ធ និងសារធាតុគីមីសាំញ៉ាំ ។ នៅក្នុងរោងចក្រផលិតក្រដាសគេដកវាចេញតាមទម្រង់រលាយ។ នៅក្នុងរោងចក្រផលិតក្តារបន្ទះ លីកនីនប្រើសម្រាប់ចូលរួមចំណែកក្នុងការបង្កើតចំណងសរសៃរុក្ខជាតិក្នុងដំណើរការកៀបដោយម៉ាស៊ីនកៀបប្រើសម្ពាធ និងកម្តៅ។ រូបភាព ១.៩ បង្ហាញអំពីបំណែងចែកឈើតាមសមាសធាតុគីមី។



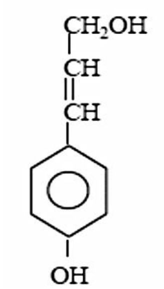
Radical
p-hidroxifenilo



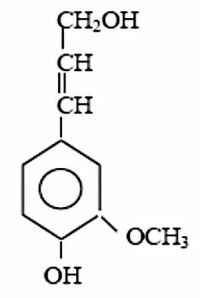
Radical
guayacilo



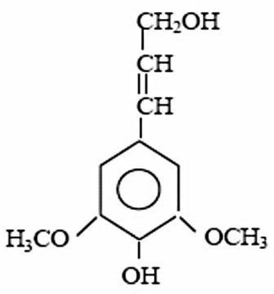
Radical
siringilo



Alcohol
p-Cumarilico



Alcohol
Coniferilico

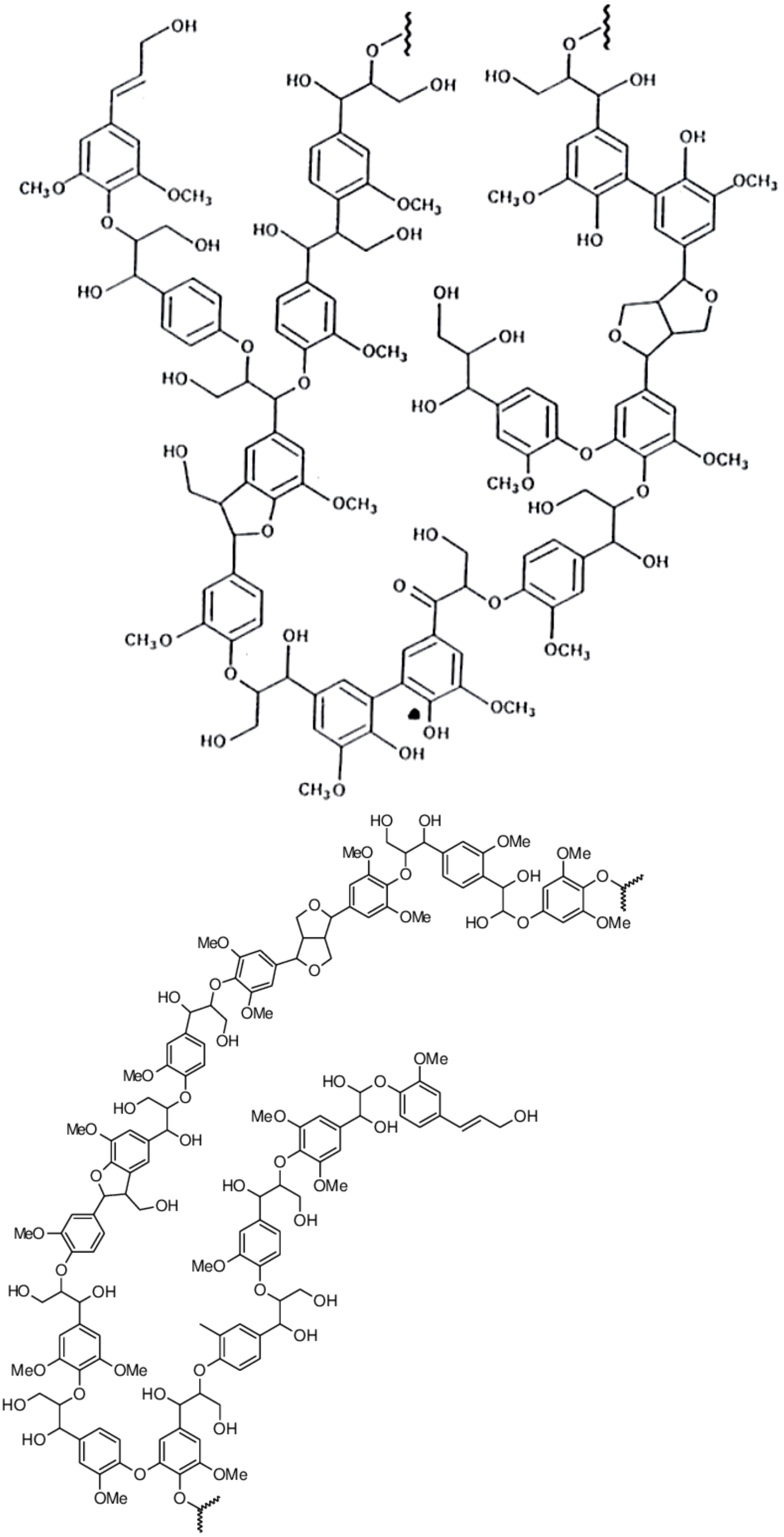


Alcohol
Sinapilico

រូបភាព ១.៨ រចនាសម្ព័ន្ធនៃឯកតា និងម៉ូណូម៉ែរបស់ lignin

ប្រភព៖ (Mancera, 2008)

Typical Softwood Lignin



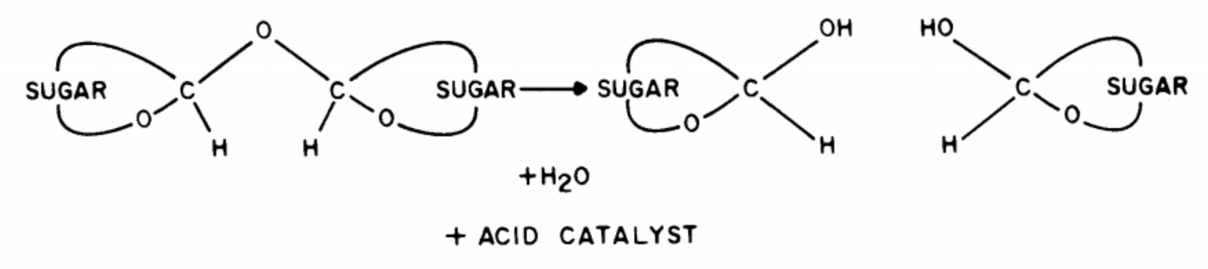
រូបភាព ១.៩ រចនាសម្ព័ន្ធគីមីរបស់លីកនីននៅក្នុងប្រភេទឈើរឹង (ខាងឆ្វេង) និងប្រភេទឈើទន់ (ខាងស្តាំ)

១.៤ ប្រតិកម្មគីមីក្នុងការផលិតក្ដារបន្ទះ

ប្រតិកម្មគីមីនៅក្នុងការផលិតក្ដារបន្ទះភាគច្រើនកើតឡើងនៅដំណាក់កាលផលិតផាល់ (pulping stage) និងដំណាក់កាលកៀបនៅក្នុងម៉ាស៊ីនកៀបដោយកម្ដៅនិងសម្ពាធ ។

១.៤.១ ប្រតិកម្មដោយទឹក (Hydrolysis)

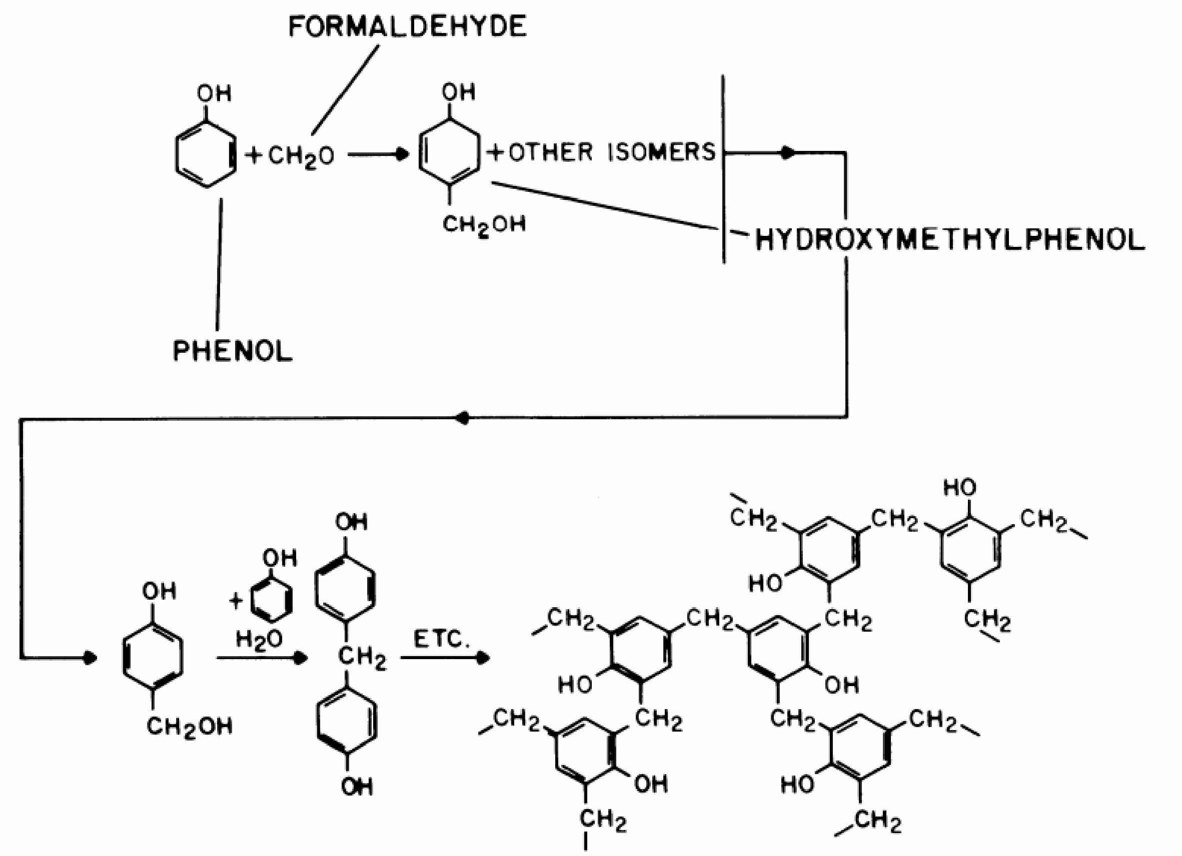
ប្រតិកម្មដោយទឹកជាប្រតិកម្មគីមីមួយប្រភេទដែលទឹកធ្វើប្រតិកម្មជាមួយជុំ ឬ សរសៃនៃឈើដើម្បីបង្កើតជាសម្ព័ន្ធថ្មីមួយ។ ឧទាហរណ៍ ការបំបែកស្ករ (ស្ករអំពៅ) ទៅជាគ្លុយកូសនិងហ្វ្រុកតូស និងការបំលែងម្សៅទៅជាស្ករដោយកាតាលីករសមស្រប (រូបភាពទី ១.១០) គ្លុយកូសគឺជាសមាសធាតុមូលដ្ឋាននៃសែលលុយឡូស។ ប្រតិកម្មដោយទឹកកាត់ប្រវែងច្រវ៉ាក់ ឬ ទំហំម៉ូលេគុលដើម្បីបង្កើនលទ្ធភាពរលាយ។ ប្រតិកម្មដោយទឹកអាស៊ីត (ប្រតិកម្មដោយទឹកក្នុងវត្តមានកាតាលីករអាស៊ីត) ជាប្រតិកម្មសំខាន់បំផុតក្នុងការផលិតក្ដារបន្ទះ។ នៅក្នុងដំណើរការផលិតផាល់ (pulping) វាបំបែកនិងបំបាត់ចំនួនខ្លះនៃអេមីសែលលុយឡូស ។ នៅក្នុងប្រតិកម្មដោយទឹក អាស៊ីតអាសេទិច និងអាស៊ីតហ្វ័រមិចត្រូវបានបង្កើតឡើងពីកាបូនីត្រាតរបស់ឈើ។ ប្រតិកម្មដោយទឹកនៃសរសៃអេមីសែលលុយឡូស (hemicellulose) កាត់បន្ថយទិន្នផលផាល់ និងបន្ទុកទឹកក្នុងដំណើរការ បំបែកស្ករ។



រូបភាព ១.១០ រចនាសម្ព័ន្ធនៃប្រតិកម្មបំបែកស្ករដោយទឹក

១.៤.២ ប្រតិកម្មដោយចំហាយទឹក ឬ ឧស្ម័ន (Condensation)

ប្រតិកម្មដោយចំហាយទឹក ឬ ឧស្ម័ន គឺជាប្រតិកម្មគីមីដែលរួមបញ្ចូលម៉ូលេគុលពីរ ឬ ច្រើនជាមួយនឹងការដកជាតិទឹកចេញ។ ប្រតិកម្មដោយចំហាយទឹក ឬ ឧស្ម័ន ខុសពីប្រតិកម្មដោយទឹក។ ប្រតិកម្មដោយចំហាយទឹក ឬ ឧស្ម័ន មានសារសំខាន់ណាស់ក្នុងការផលិតក្ដារបន្ទះជាមួយនឹងការប្រើជ័រកាវផេណូលិច ដែលបន្ថែមជាភ្នាក់ចងសម្ព័ន្ធ (រូបភាព ១.១១)។ ប្រតិកម្មនេះកើតឡើងនៅសីតុណ្ហភាពខ្ពស់ ដោយបង្កើតសម្ព័ន្ធរឹងមាំនៃមុំ ៣ ធំៗរវាងសរសៃឈើ។ ប្រតិកម្មនេះក៏អាចកើតឡើងនៅចន្លោះភ្នាសកោសិកាក្នុងម៉ាស៊ីនកៀបដោយប្រើសម្ពាធនិងកម្ដៅ ដែលផ្ដល់លទ្ធផលចងសម្ព័ន្ធសរសៃឈើបានដោយមិនត្រូវការបន្ថែមជ័រស្អិតពីខាងក្រៅ។



រូបភាព ១.១១ ប្រតិកម្មដោយចំហាយទឹក ឬ ឧស្ម័ននៃជ័រផេណុលឯហ្វ័រម៉ាលដេអ៊ីត

១.៤.៣ ប្រតិកម្មនៃកម្ដៅដោយគ្មានខ្យល់ (Pyrolysis)

ប្រតិកម្មនៃកម្ដៅដោយគ្មានខ្យល់ ឬ ការបំបែកសាច់ឈើដោយកម្ដៅគឺជាការបំបែកដោយអាស្រ័យលើសីតុណ្ហភាពក្នុងប្រតិកម្ម និងរយៈពេលប្រតិកម្ម (Beck 1979)។ នៅក្នុងការផលិតក្តារបន្ទះ ប្រតិកម្មនៃកម្ដៅដោយគ្មានខ្យល់នេះកើតឡើងនៅក្នុងម៉ាស៊ីនកៀបដោយកម្ដៅនិងសម្ពាធ។

១.៤.៤ pH

pH គឺជាលោការីតអវិជ្ជមានរបស់កំហាប់អ៊ីយ៉ុងអ៊ីដ្រូសែន។ វាមានមុខងារសម្រាប់ចង្អុលបង្ហាញសូលុយស្យុងថាជា អាស៊ីត ឬ បាស។ ទឹកសុទ្ធណឺត មាន pH ៧។ ប្រសិនបើ pH មានតម្លៃចន្លោះ ០ ទៅ ៧ បង្ហាញថាជា ជាតិអាស៊ីត ប៉ុន្តែប្រសិនបើវាមានតម្លៃចន្លោះ ៧ ទៅ ១៤ មានន័យថាជា បាស។ ឈើមានជាតិអាស៊ីតដែលមានន័យថា ប្រសិនបើយើងយកដុំឈើត្រាំទឹក នោះ pH របស់ទឹកនឹងក្លាយជាតម្លៃចន្លោះ ០ ទៅ ៧ (Stamm 1964)។

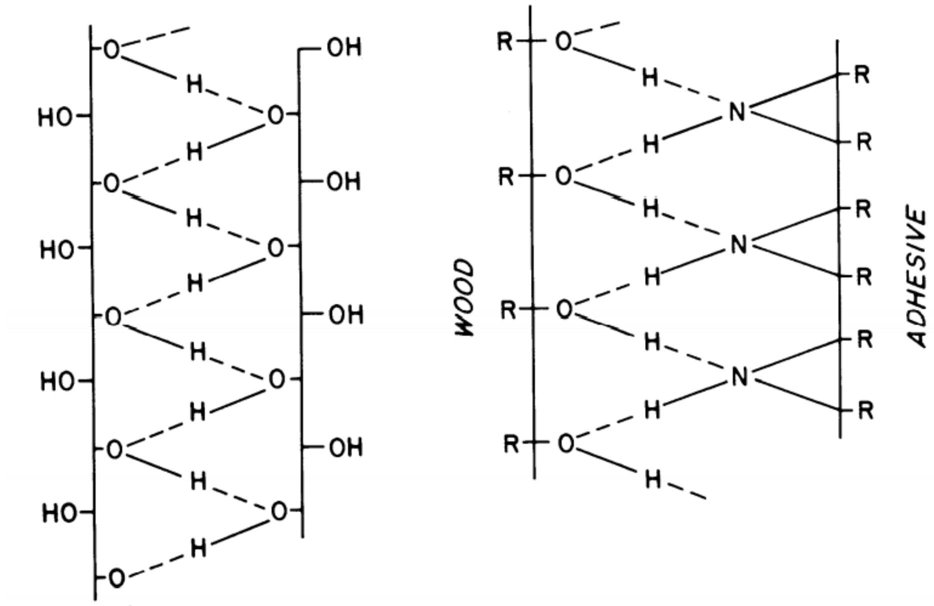
នៅក្នុងការផលិតក្តារបន្ទះតាមវិធីសាស្ត្រផលិតបែបសើម ការគ្រប់គ្រង pH គឺមានសារសំខាន់ណាស់នៅក្នុងការកំណត់ទំហំ ដែលកាត់បន្ថយកម្រិតស្រូបទឹកនិងបង្កើនការចងសម្ព័ន្ធរបស់សរសៃឈើ។ ប៉ុន្តែនៅក្នុងវិធីសាស្ត្រ ផលិតបែបស្ងួត pH មិនចាំបាច់ត្រូវការគ្រប់គ្រងទេ។

១.៥ សម្ព័ន្ធគីមីនៃជាតិស្អិត

ការបង្កើតសម្ព័ន្ធនៃជាតិស្អិតរវាងសមាសធាតុនៃដុំឈើជាមូលដ្ឋានគ្រឹះចំពោះការប្រើប្រាស់ឈើក្នុងវិស័យឧស្សាហកម្ម។ នៅក្នុងផលិតជាច្រើន សម្ព័ន្ធជាតិស្អិតជាសម្ព័ន្ធរឹងមាំនិងជាកត្តាដែលចូលរួមចំណែកសំខាន់នៅក្នុងការបង្កើតលក្ខណៈប្រកបដោយគុណប្រយោជន៍។

១.៥.១ សម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែន

រាល់ការចងសម្ព័ន្ធរបស់អង្គធាតុរឹងអាស្រ័យលើកម្លាំងនៃផ្ទៃម៉ូលេគុលដែលមានចន្លោះខ្លីៗ។ ប្រសិនបើផ្ទៃមិនត្រូវបានបំផ្លាញ នោះគម្លាតរបស់វាត្រូវបានកាត់បន្ថយ ដែលនាំឲ្យអាចចងសម្ព័ន្ធបានដោយមិនចាំបាច់បន្ថែមជ័រស្អិតពីខាងក្រៅ។ ភាគច្រើន គេត្រូវការប្រើប្រាស់ជ័រដើម្បីបង្កើតការចងសម្ព័ន្ធ ដែលវាអាចប៉ះពាល់ ឬ មានអំពើលើផ្ទៃទាំងពីរ និងបង្កើតឲ្យកាន់តែរឹងមាំឡើងថែមទៀត។ ការប្រើជ័រស្អិតបន្ថែមនេះក្នុងវិធីសាស្រ្តផលិតក្តារបន្ទះបែបស្ងួត។ ក្នុងន័យនេះ ការប្រើជ័រស្អិតចន្លោះវត្ថុរឹងពីរ ឬ ចន្លោះវត្ថុរឹងនិងជ័រស្អិតគឺជាសម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែន ដែលមានអាតូមបន្ទុក + និង អាតូមបន្ទុក - ដូចជាអុកស៊ីសែន (រូបភាព ១.១៣)។

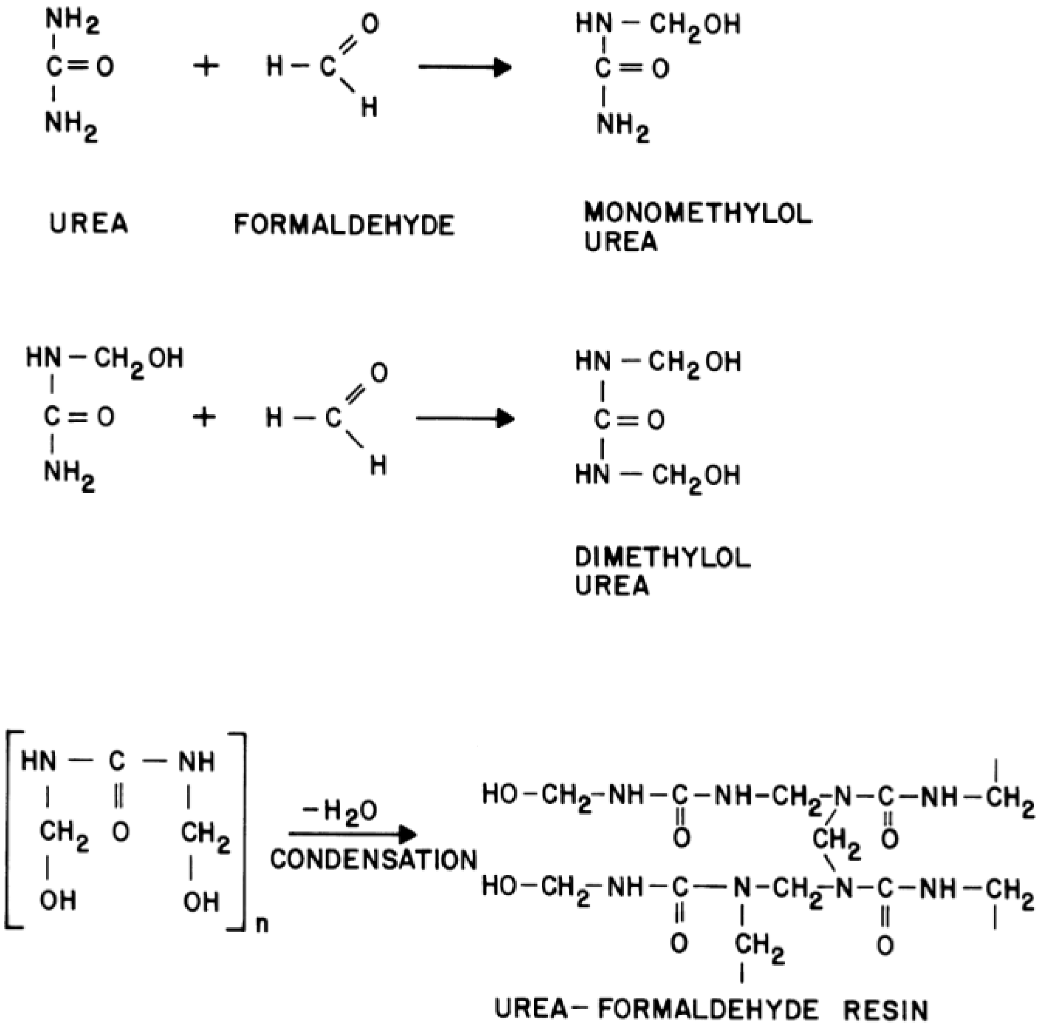


រូបភាព ១.១៣ សម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែនរវាងច្រវាក់សែលលុយឡូស ២។ សម្ព័ន្ធនេះបង្កើតឡើងរវាងក្រុមអ៊ីដ្រុកស៊ីល (-OH) របស់ម៉ូលេគុលសែលលុយឡូស និងបង្ហាញតាមបន្ទាត់ដាច់ៗ (រូបខាងឆ្វេង)។ រូបខាងស្តាំ ផ្ទៃនៃឈើនិងជ័រស្អិតមានក្រុមអ៊ីដ្រុកស៊ីល (ឈើ) និងក្រុម (-NH) (ជ័រស្អិត)។ សម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែនបង្ហាញតាមបន្ទាត់ដាច់ៗ (Lampert 1967)។

១.៥.២ ការចងសម្ព័ន្ធដោយជ័រស្អិត

ការចងសម្ព័ន្ធដោយជ័រស្អិតត្រូវការការបំលែងជ័រស្អិតពីទម្រង់រាវទៅរឹងបន្ទាប់ពីទម្រង់រាវបានរងប្រតិកម្មជាមួយនឹងផ្ទៃរឹង នោះវាបង្កើតបាននូវសម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែន។ ការបំលែងនេះអាចធ្វើដោយការ

សម្ងួត ការបញ្ចុះសីតុណ្ហភាព ឬ ដោយប្រតិកម្មគីមី។ គុណភាពនៃខ្សែច្រវ៉ាក់ផ្តល់ជ័រស្អិតរឹងអាស្រ័យលើការបំលែងអាចត្រលប់មកដើមវិញបានឬកអត់។ ប្រសិនបើវាអាចបំលែងត្រលប់មកវិញបាននោះការបន្ថែមទឹក ឬ កម្តៅនឹងធ្វើឲ្យភាពរឹងមាំរបស់វាថយចុះ។ ប៉ុន្តែ ប្រសិនបើវាមិនអាចបំលែងត្រលប់មកវិញបានទេ នោះជ័រស្អិតនេះអាចជួយឲ្យផលិតផលធន់ទៅនឹងជម្រាបទឹក និងកម្តៅ។ ការបំលែងដោយកម្តៅ ឬ ការបញ្ចុះសីតុណ្ហភាពជាវិធីសាស្រ្តមិនត្រលប់ ខណៈដែលប្រតិកម្មដោយគីមីជាការបំលែងដែលអាចត្រលប់មកវិញបាន។ ជ័រស្អិតប្រភេទ urea-formaldehyde និង ផេណុល ហ្វ័រម៉ាលដេអ៊ីត ជាប្រភេទប្រតិកម្មដោយគីមី ដែលអាចធ្វើដោយបំលែង pH ឬ ដោយការប្រើកម្តៅ ឬ ដោយប្រើវិធីសាស្រ្តទាំងពីរនេះ (រូបភាព ១.១៤)។



រូបភាព ១.១៤ រចនាសម្ព័ន្ធនៃការបង្កើតម៉ូលេគុលជ័រស្អិតទម្រង់មុខ ៣

១.៥.៣ ការចងសម្ព័ន្ធលីកនីនក្នុងការផលិតក្តារបន្ទះ

បើទោះបីជាមិនប្រើជ័រស្អិតពីខាងក្រៅក៏សម្ព័ន្ធអាចកើតមានចន្លោះសរសៃរុក្ខជាតិបានដែរ។ សម្ព័ន្ធទាំងនេះអាស្រ័យលើប្រតិកម្មដោយរូប ឬ ដោយគីមីដែលកើតឡើងនៅដំណាក់កៀបដោយប្រើសម្ពាធនិងកម្តៅ។

ជំពូក២
វត្ថុធាតុដើមសម្រាប់ផលិតក្តារបន្ទះ

២.១ វត្ថុធាតុដើម

២.១.១ លក្ខណៈទូទៅ

យោងតាមលទ្ធផលនៃការសិក្សាស្រាវជ្រាវនៅតាមមន្ទីរពិសោធន៍ពាក់ព័ន្ធក្នុងបណ្តាប្រទេសជាច្រើនលើសកលលោកបង្ហាញថា ក្តារបន្ទះអាចផលិតឡើងពីស្ទើគ្រប់វត្ថុធាតុដើមទាំងឡាយណាដែលមានលីកនីននិងសែលលុយឡូស (lignocellulosic materials) ។

សរសៃនៃធម្មជាតិគឺជាប្រភពវត្ថុធាតុដើមដែលគួរឲ្យចាប់អារម្មណ៍ជាងគេ យោងតាមហេតុផលជាច្រើនរួមមាន ជាសារធាតុដែល៖

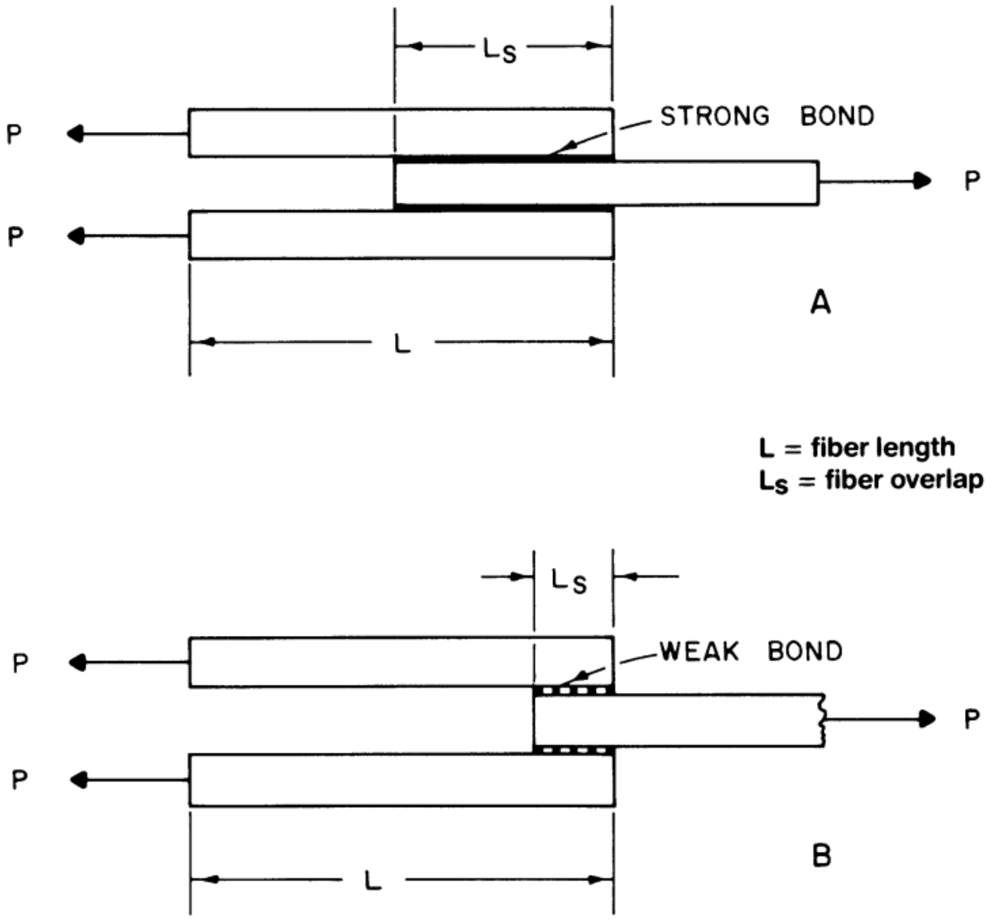
- អាចកកើតឡើងវិញបាន
- អាចរកបាន
- អាចរលាយទៅវិញដោយជីវសាស្ត្រ
- អាចកែច្នៃឡើងវិញបាន
- ស្រាល
- ធន់នឹងកម្លាំងប៉ះទង្គិចដោយមេកានិច (Sanjay, Arpitha, Naik, Gopalakrisha, & Yogesha, 2016) ។

២.១.២ សារសំខាន់នៃលក្ខណៈរបស់សរសៃឈើ

ការសិក្សាត្រូវបានធ្វើដោយអ្នកបច្ចេកទេសលើទំនាក់ទំនងរវាងលក្ខណៈរូប លក្ខណៈគីមី និងលក្ខណៈរបស់សរសៃ និងភាពរឹងមាំរបស់សរសៃឈើ។

ក ភាពរឹងមាំរបស់សរសៃឈើ (fiber strength)

កម្លាំងទាញរបស់សរសៃឈើមានសារសំខាន់នៅក្នុងការបង្កើតភាពរឹងមាំរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះនិងក្រដាស។ តាមរូបភាព ២.១ បង្ហាញថា Ls ស្មើទៅនឹងប្រវែងដែលគងគ្នារវាងសរសៃមួយទៅសរសៃមួយទៀត ដែលអាចគិតថាស្មើគ្នាទៅនឹងសមាមាត្រនៃផ្ទៃក្រឡាដែលចងសម្ព័ន្ធនៅក្នុងក្តារបន្ទះ ឬ ក្រដាសដែរ។ នៅពេលដែលប្រវែង Ls នេះខ្លី នោះគុណភាពរបស់សម្ព័ន្ធថយចុះ។



រូបភាព ២.១ លក្ខណៈនៃការចងសម្ព័ន្ធសរសៃឈើ ពិនិត្យឃើញតាមរយៈការប្រើកម្លាំងទាញបំបែកក្តារបន្ទះ។

ខ លក្ខណៈរបស់សរសៃ (fiber morphology)

លក្ខណៈរបស់សរសៃសំដៅលើទម្រង់និងរចនាសម្ព័ន្ធរបស់សរសៃឈើ។ ជាទូទៅ កាសិក្សាអំពីលក្ខណៈរបស់សរសៃឈើសំដៅលើការសិក្សាអំពីប្រវែងរបស់សរសៃ (fiber length) អង្កត់ផ្ចិត ឬ ទំហំរបស់សរសៃ (fiber diameter) និងអត្រាកំទិចម៉ត់នៃសរសៃ (% fine elements)។ ប្រវែងរបស់សរសៃមានឥទ្ធិពលលើភាពរឹងមាំដោយកម្លាំងមេកានិច ឬ ដោយអគ្គិសនីរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះ ឬ ក្រដាស ដោយសារវាមានផ្ទៃដែលចងសម្ព័ន្ធធំ វែង (Dadswll and Watson 1962)។ សរសៃដែលវែងក៏មានទិន្នផលនៃរចនាសម្ព័ន្ធចំហរនិងជុំធំជាងសរសៃខ្លីផងដែរ។

២.១.៣ ប្រភេទឈើ

ជាទូទៅ ឈើត្រូវបានចែកចេញជា ២ ប្រភេទគឺ ឈើរឹង (hardwood) និងឈើទន់ (Softwood) អាស្រ័យតាមលក្ខណៈរុក្ខវិទ្យា។ ឈើទន់សំដៅលើក្រុមឈើដែលមាន gymnosperm មានស្លឹកគ្រប់រដូវកាល ដូចជាពពួកឈើស្រល់ជាដើម (រូបភាព ២.២)។ ឈើរឹង គឺជាប្រភេទឈើដែលមាន argiosperms មានស្លឹកលូតលាស់និងទុំជ្រុះតាមរដូវកាល (ជ្រុះនៅរដូវ រងា) និងជាប្រភេទក្រុមឈើខ្លឹម ដូចជា អាកាស្យា ប្រេងខ្យល់ កៅស៊ូ ក្រញូង បេង នាងនួន ផ្ចឹក ស្វាយ ខ្នុរ។ល។

រូបភាព ២.២ ដើម ផ្កា និងសាច់ឈើស្រល់ (ប្រភេទឈើទន់)

រូបភាព ២.៣ ដើម ផ្កា និងសាច់ឈើប្រេងខ្យល់ (ប្រភេទឈើរឹង)

រូបភាព ២.៤ ដើមនិងសាច់ឈើកៅស៊ូ (ប្រភេទឈើរឹង)

២.១.៤ ចំណិតឈើ

នៅក្នុងការផលិតក្តារបន្ទះពីឈើ ដុំឈើត្រូវបានបកសំបកចេញនិងកិនជាចំណិតៗជាមុនសិន (រូបភាព ២.៣)។ ជាទូទៅដើម្បីបន្ទាបតម្លៃផលិតផល ត្រូវប្រើប្រភេទឈើដែលមិនសូវមានតម្លៃ ឬ មិនត្រូវការប្រើប្រាស់ក្នុងគោលបំណងផ្សេងៗ ។ នៅរោងម៉ាស៊ីនកិនចំណិតឈើគេត្រូវរែងញែកយកចេញនូវកំទិចកំទីម៉ត់ចេញ និងត្រូវពិនិត្យមើលញឹកញាប់លើទំហំនិងបរិមាណសំបក ពីព្រោះកំទិចម៉ត់និងសំបក នាំឲ្យគុណភាពរបស់ចំណិតឈើថយចុះគុណភាពនៅពេលផលិតក្តារបន្ទះ ក្តារចំណិតឈើ ឬ ក្រដាស និងចូលរួមចំណែកពីការខូចខាតដោយទឹកកខ្វក់។ ការស្តុកទុកចំណិតឈើរយៈពេលយូរក៏អាចធ្វើឲ្យចំណិតឈើរងការបំផ្លាញនិងពុកផុយផងដែរ។

រូបភាព ២.៥ ចំណិតឈើ

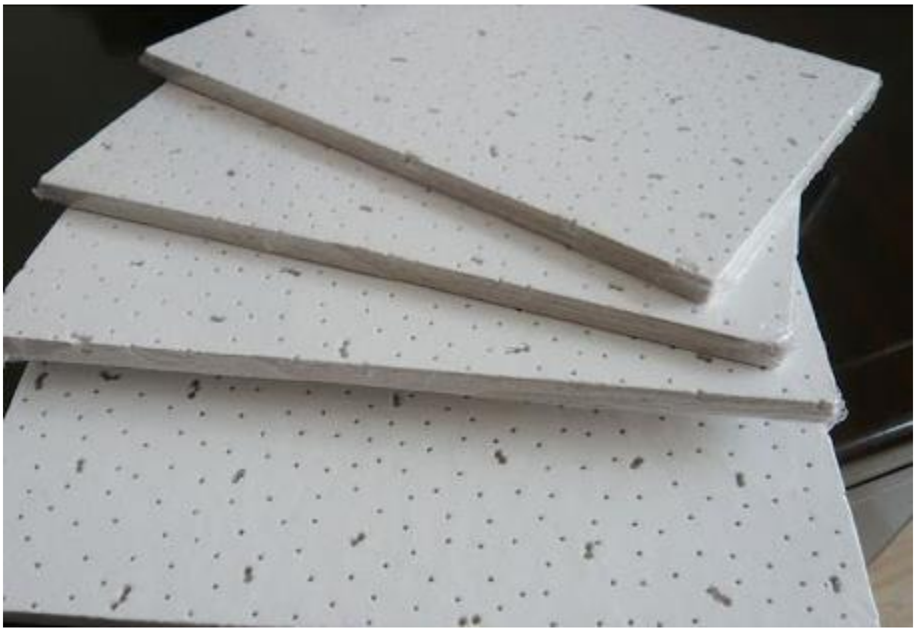
២.១.៥ កាកសំណល់ឈើ

ការប្រើប្រាស់កាកសំណល់ឈើដូចជាសំបកនិងអាចម៍រណាគឺជាការចូលរួមចំណែកក្នុងការដោះស្រាយបញ្ហាប្រឈមសម្រាប់អ្នកបច្ចេកទេសឈើ យោងតាមហេតុផលសំខាន់ៗ ២ គឺ៖ តម្លៃទាប និង បរិមាណច្រើន។ តាមលទ្ធផលនៃការសិក្សាកន្លងមក គេអាចប្រើវាប្រកបដោយប្រសិទ្ធិភាពជាងគេជា ឥន្ធនៈ ឬ វត្ថុធាតុសម្រាប់ដុតចំអិនអាហារ ឬ ឡសម្ងួតគ្រាប់ធញ្ញជាតិ។

២.១.៦ វត្ថុធាតុដើមក្រៅពីឈើ

ក្រៅពីឈើទាំងពីរប្រភេទខាងលើដែលអាចប្រើប្រាស់ជាវត្ថុធាតុដើមសម្រាប់ផលិតក្តារបន្ទះ ក៏នៅមានវត្ថុធាតុដើមនៃប្រភពដែលមិនមែនជាប្រភេទឈើរឹង ឬ ឈើទន់ ចំនួន ២ ប្រភេទទៀត គឺ៖ សរសៃនៃលីកណូសែលលុយឡូសជីវ (ចំរាញ់ចេញពីរុក្ខជាតិដែលមានអាយុកាលដាំដុះជាឆ្នាំ ឬ រដូវ (annual plants)) និង សរសៃខនិច (mineral fibers)។ កាកអំពៅ គឺជាវត្ថុដើមមួយដែលត្រូវបានគេប្រើប្រាស់តាំងពីយូរលង់ណាស់មកហើយលើការផលិតក្តារបន្ទះប្រភេទក្តារអ៊ីសូឡង់។ ដើមពោត សរសៃនៃដើមក្រចៅ ស្រទបចេក ចំបើងទាំងស្រូវខ្សាយ ស្រូវដំណើប និងស្រូវសាឡី និងសរសៃនៃរុក្ខជាតិផ្សេងៗទៀត ក៏ត្រូវបានសិក្សាថាអាចប្រើប្រាស់ជាវត្ថុធាតុដើមសម្រាប់ផលិតជាក្តារបន្ទះ ឬ ក្រដាសបានផងដែរ។ មានលទ្ធផលនៃការសិក្សាស្រាវជ្រាវជាច្រើនបានប្រើប្រាស់រុក្ខជាតិទាំងនេះជាវត្ថុធាតុដើមសម្រាប់ផលិតក្តារបន្ទះ ដោយយោងទៅលើសមាសធាតុបន្សំនៃរុក្ខជាតិទាំងនេះក៏មានសមាសធាតុសំខាន់ៗដូចជា៖ សែលុយឡូស អេមីសែលលុយឡូស និងលីកនីន ដូចគ្នាទៅនឹងប្រភេទឈើរឹង និងឈើទន់ដែរ ដោយគ្រាន់តែអត្រានៃសមាសធាតុនីមួយៗខុសគ្នាយោងតាមប្រភេទ និងអំបូររបស់រុក្ខជាតិតែប៉ុណ្ណោះ។

ការប្រើប្រាស់សរសៃខនិចសម្រាប់ផលិតជាក្តារអ៊ីសូឡង់គឺជាការអភិវឌ្ឍដ៏ល្អមួយ។ ក្តារបន្ទះដែលផលិតពីសរសៃខនិចត្រូវបានគេសិក្សាថាមានអត្រាធនទៅនឹងភ្លើងខ្ពស់ ដែលជាហេតុនាំឲ្យរោងចក្រផលិតក្តារអ៊ីសូឡង់បានពិចារណាកែប្រែទៅផលិតក្តារបន្ទះខនិចនេះវិញខ្លះផងដែរ។

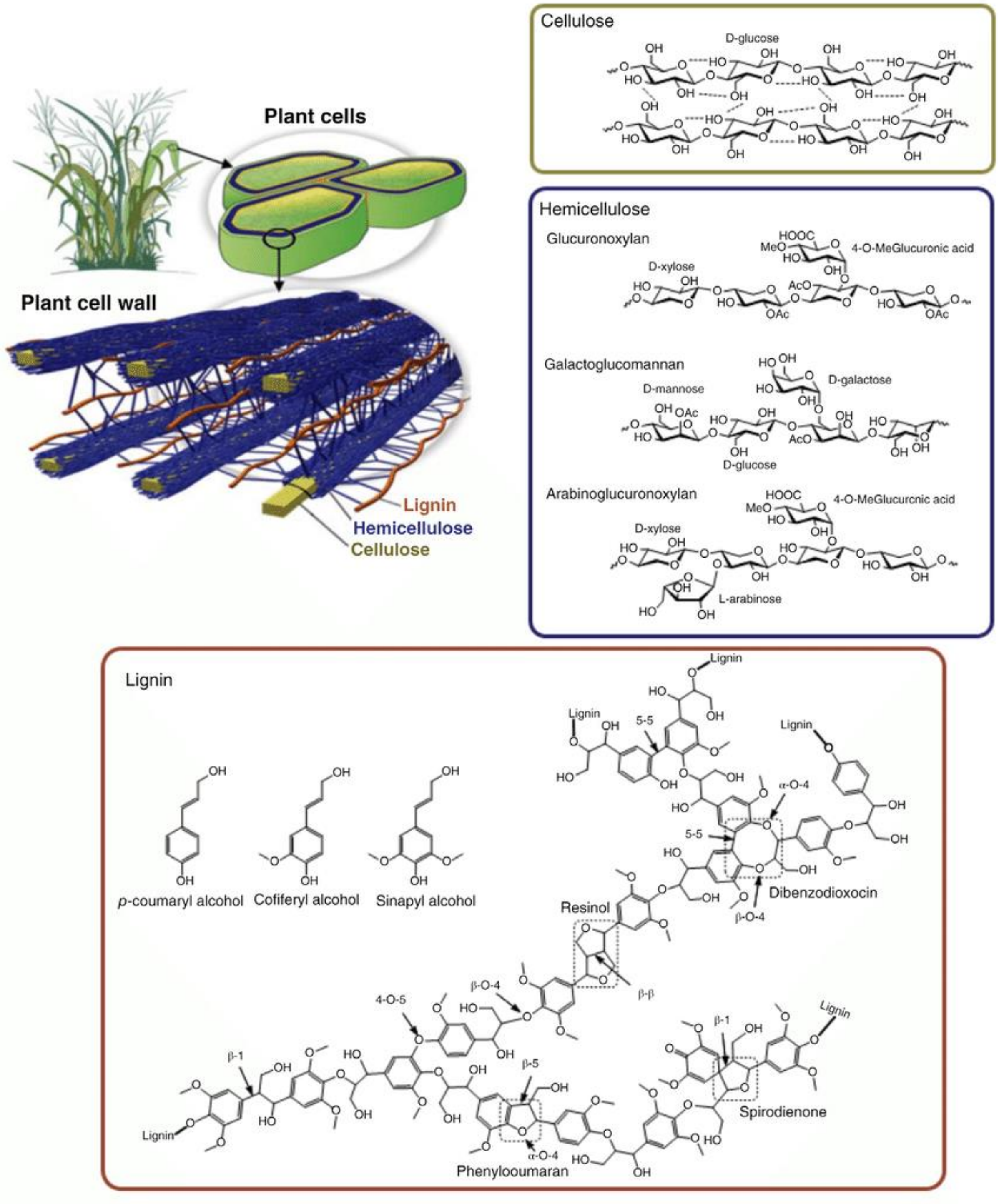


រូបភាព ២.៦ សរសៃខនិច (Mineral fibers)

រូបភាព ២.៧ ការប្រើប្រាស់ក្តារបន្ទះផលិតពីសរសៃខនិចជាពិដាន

២.២ ការរៀបចំវត្ថុធាតុដើម

គ្រប់ប្រភេទសរសៃរុក្ខជាតិមានទម្រង់អេតេរ៉ូសែននៃប៉ូលីម៉ែរកាបូនអ៊ីដ្រាតសាំញ៉ាំ។ សែលលុយឡូសនិងអេមីសែលលុយឡូសត្រូវបានសង្កត់ឲ្យណែនដោយស្រទាប់លីកនីន (រូបភាព ២.៨) ដែលជួយការពារវាពីប្រតិកម្មដោយទឹកនៃអង់ស៊ីម។ ដូចនេះ ប្រព្រឹតកម្មជាមុន ជាជំហានទី១ ដើម្បីបំបែកសែលលុយឡូស និងអេមីសែលលុយឡូស ដោយអង់ស៊ីម ឬ ដោយការកិន។ ដោយសារវត្ថុធាតុដើមនីមួយៗមានសមាសធាតុគីមីខុសៗគ្នា លក្ខខណ្ឌនិងដំណើរការប្រតិកម្មក៏ខុសៗគ្នាដែរ។ បច្ចុប្បន្នវិធីសាស្ត្រប្រព្រឹត្តកម្មមួយចំនួនត្រូវបានគេប្រើប្រាស់ដើម្បីទទួលបានសរសៃនៃកាកសំណល់កសិកម្ម តាមធនធាន និងគោលបំណងនានា។ វិធីសាស្ត្រទាំងនោះរួមមាន៖ ដោយគីមី ដោយមេកានិច និងដោយមេកានិចផ្សំជាមួយកម្តៅ (Pelaz-Samaniego, Yamada, Lowell, & Espinoza-Herrera, 2013)។



រូបភាព ២.៨ លក្ខណៈរូបនិងរូបមន្តគីមីនៃសមាសធាតុសំខាន់ៗទាំង ៣ នៃកោសិការុក្ខជាតិ

២.២.១ ការវាស់វត្ថុធាតុដើម

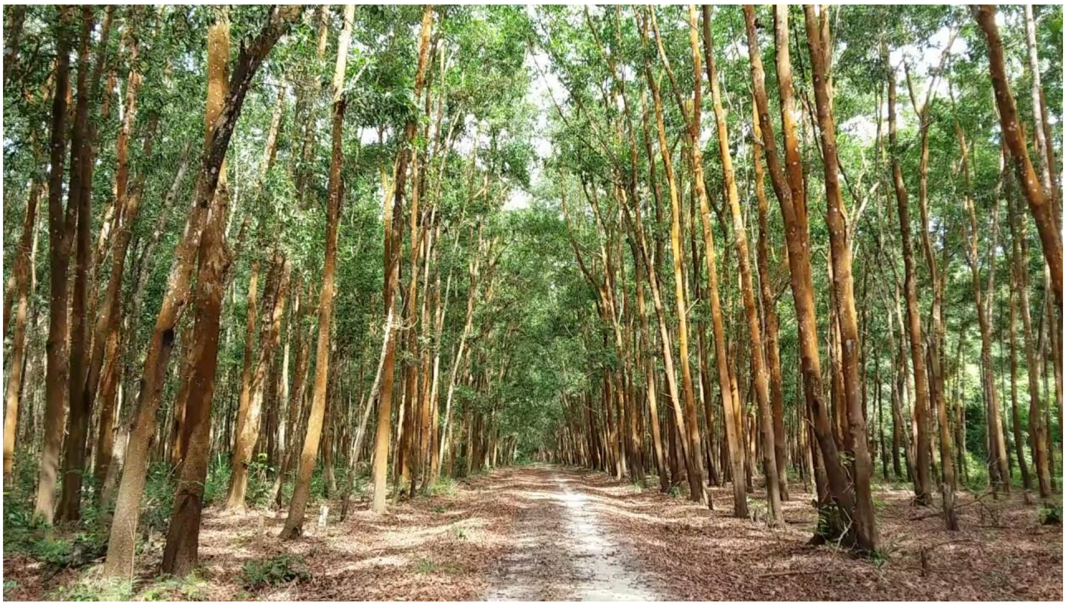
ការវាស់វត្ថុធាតុដើមគឺត្រូវគិតជាម៉ាសស្ងួត។ ប្រសិនបើវត្ថុធាតុដើមត្រូវបានវាស់ជាមាឌ ម៉ាសស្ងួតក្នុងមួយឯកតាមាឌមិនអាស្រ័យតែលើទម្ងន់ឈើជាក់ស្តែង ប៉ុន្តែក៏ត្រូវអាស្រ័យលើលំហរក្នុងមួយឯកតាមាឌផងដែរ ដោយសារឈើអាចមិនមានរាងត្រង់ដែលពេលដាក់គរលើគ្នាជាគំនរក្នុងទំហំ ១ម^៣ (រូបភាព ២.៩)។ ប៉ុន្តែប្រសិនបើវាត្រូវបានវាស់តាមទម្ងន់ នោះបរិមាណជាតិសរសៃនៃឈើក៏ត្រូវ

អាស្រ័យលើបរិមាណទឹកក្នុងដុំ ឬ សាច់ឈើ។ ជាការល្អប្រសើរគឺ វាស់ទម្ងន់ជាមួយនឹងការសិក្សាវិភាគជាតិទឹកក្នុងសាច់ឈើ។ ចំណុចទាំងនេះមានសារៈសំខាន់នៅពេលអ្នកត្រូវធ្វើការសិក្សា វាយតម្លៃ និងសម្រេចចិត្តទិញឈើសម្រាប់កិនជាចំណិតនិងចម្រាញ់យកជាតិសរសៃសម្រាប់ផលិតផលជាផលិតផលផ្សេងៗពាក់ព័ន្ធនឹងក្តារបន្ទះ ក៏ដូចជា ក្រដាស និងផលិតផលផ្សេងៗទៀត។

រូបភាព ២.៩ គំនរដុំឈើ

២.២.២ ការកាត់ឈើជាកង់ៗ

ការកាត់ឈើជាកង់ៗមុនពេលចូលក្នុងរោងចក្រកិនជាចំណិតៗជួយកាត់បន្ថយកម្លាំងពលកម្មសម្រួលដល់ការលើកដាក់ និងដឹកជញ្ជូន ព្រមទាំងស្របតាមច្បាប់នៅពេលត្រូវការដឹកវត្ថុធាតុដើមនៃឈើពីភូមិសាស្ត្រមួយទៅកាន់រោងចក្រនៅទីតាំងផ្សេងទៀត។



រូបភាព ២.១០ ចំការឈើអាកាស្យា

រូបភាព ២.១១ គំនរឈើអាកាស្យាដែលកាត់ជាកង់ៗ

រូបភាព ២.១២ ការដឹកជញ្ជូនឈើពីចម្ការទៅកាន់រោងចក្រកិន

២.២.៣ ការបកសំបក

ជាលិកាសំបកឈើនៅដើមឈើរស់មានតួនាទីសំខាន់ជាខែលការពារជុំវិញកោសិកាវុក្ខជាតិ (cambium) ឬ ស្រទាប់បង្កើតជាលិកាដែលរុំព័ទ្ធដើមឈើ។ ប៉ុន្តែសំបកឈើធ្វើឲ្យប៉ះពាល់ដល់ផលិតផលនៃសរសៃដូចជា៖ ប្រវែងសរសៃខ្លី មិនរឹងមាំ និងគុណភាពអន់។ ដូចនេះ នៅរោងចក្រគេតែងបកសំបកឈើចេញជាមុនសិន មុននឹងកិនឈើជាចំណិតៗសម្រាប់ជំហានកែច្នៃបន្ទាប់។ មូលហេតុដែលរោងចក្រកែច្នៃផលិតផលក្តារបន្ទះពីសរសៃឈើត្រូវការបកសំបកឈើចេញ យោងតាមហេតុផលដូចខាងក្រោម៖

១. វត្តមានសំបកធ្វើឲ្យដំណើរការច្រោះទឹកចេញយឺត នៅក្នុងវិធីសាស្ត្រផលិតបែបសើម។ បន្ថែមពីលើនេះទៀត គុណភាពផលិតផលក្តារបន្ទះផលិតពីសរសៃរុក្ខជាតិនេះនឹងមិនល្អទេ។

២. វត្តមានសំបកបង្កើននូវកាកសំណល់សរីរាង្គដូចជា តម្រូវការជីវអុកស៊ីសែន (Biological Oxygen Demand) ពី ១០ ទៅ ១៥%។

៣. វត្តមានសំបកក្នុងដំណើរការផលិតផាល់ (pulp) បន្ទាបតម្លៃ pH ដែលតម្លៃ pH នេះត្រូវការរក្សាឲ្យនៅថេរក្នុងដំណើរការផលិតកម្ម។

៤. វត្តមានសំបកធ្វើឲ្យធ្លាក់ចុះគុណភាពផលិតផលក្តារបន្ទះនៅផ្ទៃលើដោយសារសំបកស្រាលអណ្តែតឡើងលើពេលត្រាំទឹកក្នុងដំណើរការផលិតកម្ម។ វត្តមាននៃសំបកក៏ បណ្តាលឲ្យផលិតផលមានពណ៌ខ្មៅនៅពេលកៀបដោយប្រើកម្ដៅនិងសម្ពាធ ស្អិតជាប់ពុម្ព ព្រមទាំងពិបាកលាបថ្នាំពណ៌ផងដែរ។

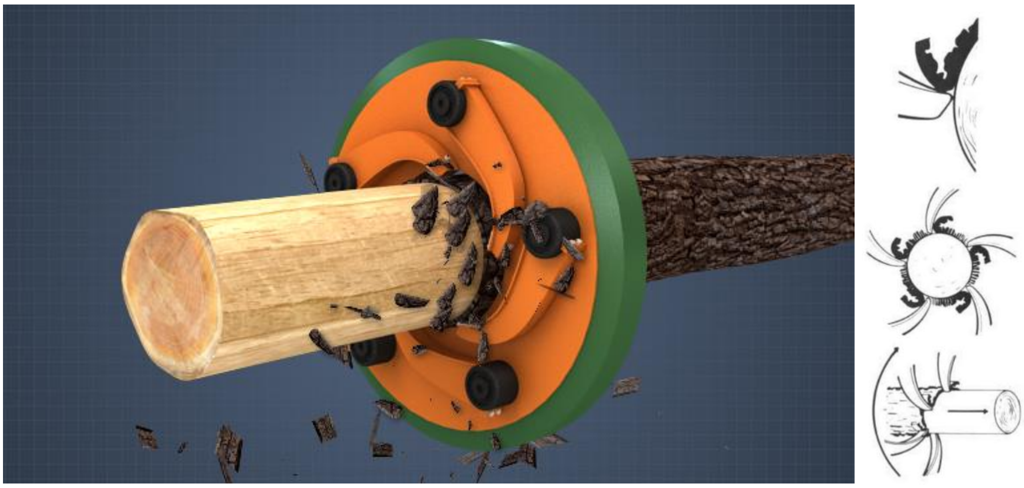
៥. សំបកក៏ផ្ទុកនៅសារជាតុពីខាងក្រៅផ្សេងៗដូចជា ធូលី គ្រាប់ខ្សាច់ ឬ គ្រួស។ល។ ដែលវាប៉ះពាល់ខ្លាំងដល់ពុម្ពចាក់ ខ្សែពាននាំយកកំទិចឈើកិន និងបណ្តាញទុយោ ផ្សេងៗទៀតក្នុងដំណើរការផលិតតាមបែបស្ងួត។ បន្ថែមពីលើនេះ វាក៏បណ្តាលឲ្យ បរិក្ខាផ្សេងៗទៀតងាយខូចនៅពេលប្រើប្រាស់ជាមួយនឹងផលិតផលក្តារបន្ទះដែលបានផលិតឡើងមានលាយឡំនៅសារជាតុពីខាងក្រៅនានាដូចជា គ្រាប់គ្រួស ថ្ម ខ្សាច់ជាដើម (Eustis 1980)។

ការបកសំបកឈើ គេអាចបកដោយកម្លាំងមនុស្ស ឬ ដោយកម្លាំងម៉ាស៊ីននិងឧបករណ៍បកសំបកឈើ។ នៅកម្ពុជា ការបកសំបកឈើនេះនៅរក្សាប្រើកម្លាំងមនុស្សភាគច្រើន ដោយសារកម្លាំងពលកម្មនៅមានតម្លៃទាបនិងតម្រូវការបរិមាណឈើនៅមានកម្រិតនៅឡើយ ខណៈដែលនៅបណ្តាប្រទេសជឿនលឿន សមត្ថភាពរោងចក្រធំ ត្រូវការបរិមាណឈើច្រើន កម្លាំងពលកម្មមានតម្លៃថ្លៃ គេនិយមប្រើប្រាស់ឧបករណ៍បកសំបកឈើ។ ឧបករណ៍បកសំបកឈើដែលគេនិយមប្រើមាន៖

- ឧបករណ៍បកសំបកឈើប្រភេទក្បាលរ៉ុស៊ែរ
- ឧបករណ៍បកសំបកឈើប្រភេទស្គរ
- ឧបករណ៍បកសំបកឈើប្រភេទកងចាក់។

រូបភាព ២.១៣ ឧបករណ៍បកសំបកឈើប្រភេទក្បាលរ៉ុស៊ែរ (rosserhead)

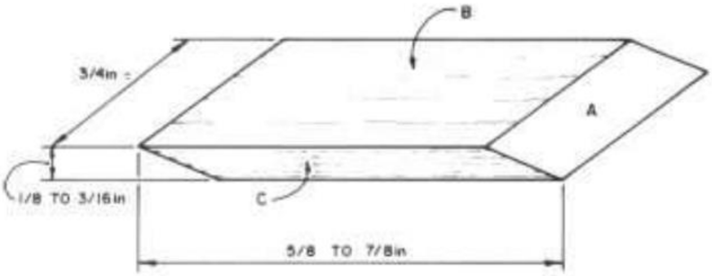
រូបភាព ២.១៣ ឧបករណ៍បកសំបកឈើប្រភេទស្គរ (drum)



រូបភាព ២.១៤ ឧបករណ៍បកសំបកឈើប្រភេទកងចាក់ (ring demarker)

២.២.៤ ការបកកិនជាចំណិតៗ

ការកិនចំណិតឈើគឺជាការកិនបំបែកពីដុំឈើធំៗទៅជាឈើចំណិតតូចៗដែលមានសរសៃឈើវែង និងមាំ ងាយស្រួលដឹកជញ្ជូន ប្រើប្រាស់ លើកដាក់ និងដំណើរការកែច្នៃ។ ជាទូទៅមានចុង (A) ចំនួនតែ ២ ទេ ដែលកាំបិតកាត់ដុំឈើជាចំណិត។ ប្រវែង កម្រាស់ និងទទឹងអាចគ្រប់គ្រងតាមការចង់បាន (រូបភាព ២.១៥)។



រូបភាព ២.១៥ ទម្រង់ រូបរាង និងទំហំចំណិតឈើកិន

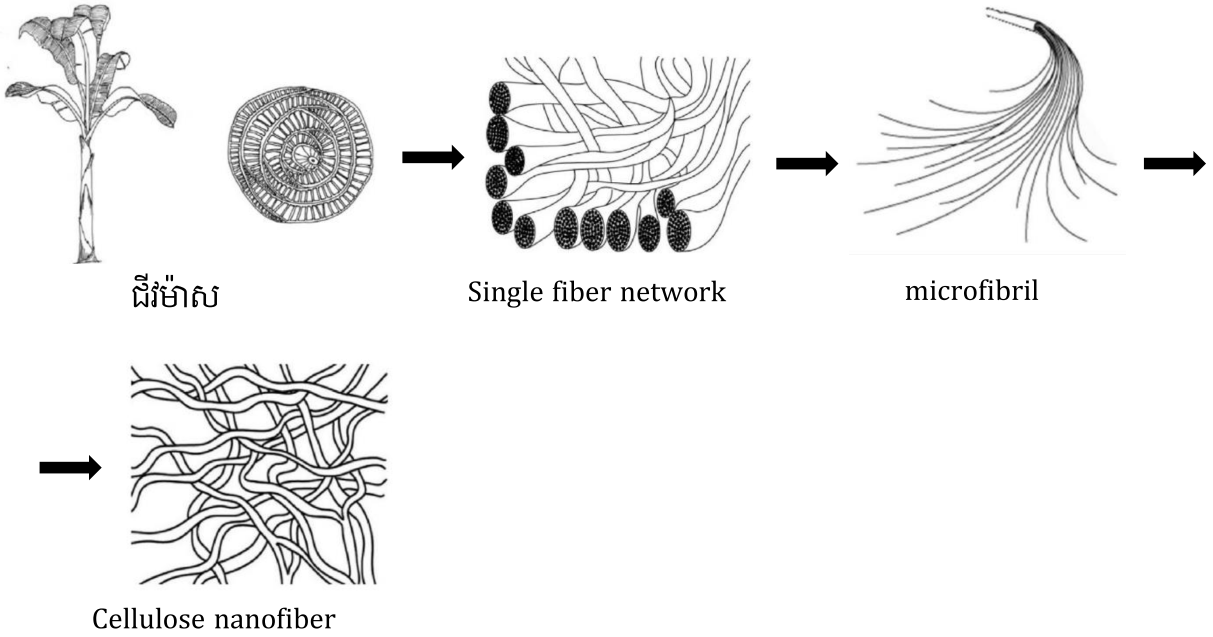
ម៉ាស៊ីនកិនដែលគេនិយមប្រើទាំងខ្នាតតូចចល័ត និងខ្នាតរោងចក្រមិនចល័ត (រូបភាព ២.១៦) គឺប្រភេទប្រើកាំបិតវិល មានមុខស្មើ។

រូបភាព ២.១៦ ម៉ាស៊ីនកិនចំណិតឈើ ខ្នាតតូចចល័ត (ខាងឆ្វេង) និងខ្នាតរោងចក្រមិនចល័ត (ខាងស្តាំ)

២.២.៥ ការរែង

ដោយសារនៅក្នុងដំណើរការផលិតផាល់ កំណត់ទំហំចំណិតឈើ ដូចនេះនៅក្នុងដំណើរការរៀបចំវត្ថុធាតុដើម ត្រូវធ្វើការញែកវត្ថុធាតុដើមតាមទំហំសមស្របក្នុងផលិតកម្ម ដើម្បីទទួលបានវត្ថុធាតុដើមសម្រាប់ផលិតប្រកបដោយគុណភាពខ្ពស់ និងឈានទៅផលិតផលិតផលប្រកបដោយគុណភាពខ្ពស់ផងដែរ។ ការរែងនេះធ្វើឡើងដើម្បីញែកចំណិតជា ៣ ក្រុម៖ ក្រុមដែលមានទំហំធំ ក្រុមដែលមានទំហំសមស្រប និងក្រុមម៉ត់ (ដែលជាទូទៅ មានទំហំតូចជាង ១/៨ នៃអង្កត់ផ្ចិតចង់បាន មានអាចម៍រណា សំបកឈើ និងចំណិតតូចៗខ្លាំង)។ ក្រុមម៉ត់នេះអាចជាកាកសំណល់សម្រាប់យកទៅដុតជាប្រភពថាមពលវិញ ខណៈដែលក្រុមដែលធំអាចបញ្ជូនត្រលប់ទៅកិន ឬ ទៅកព្រៀងរែងម្តងទៀត។

ថ្មីៗនេះមានការចាប់អារម្មណ៍ទៅលើការប្រើប្រាស់ cellulose nanofiber (CNF) ដែលជាប្រភេទនៃវត្ថុធាតុដែលជួយធ្វើឱ្យមាំ (reinforcement material) ដោយសារតែវាមានលក្ខណៈល្អជាច្រើនដូចជា អាចរលួយនៅក្នុងធម្មជាតិ (biodegradable) ជាវត្ថុធាតុដែលកកើតឡើងវិញ ការចម្លងកម្តៅទាប មានសមាមាត្របណ្តោយនឹងទទឹងខ្ពស់ (aspect ratio) មានឥទ្ធិពលជួយឱ្យមាំ មានលក្ខណៈមេកានិកល្អ និង មានតម្លៃសមរម្យ ។ យោងទៅលើលក្ខណៈទាំងនេះ CNF គឺសមស្របសម្រាប់ប្រើប្រាស់ក្នុងការអនុវត្តន៍ជាច្រើនដូចជា nanocomposite ផលិតផលក្រដាស ការប្រើប្រាស់ជាសារធាតុបន្ថែមសម្រាប់ស្រោបពីខាងក្រៅ (coating) និងសំបកវេចខ្ចប់ជាដើម (Belbekhouche et al., 2011) ។ ពាក្យថា nanocellulose ជាទូទៅគឺសម្តៅទៅលើវត្ថុធាតុដើមសែលុយឡូសដែលមានទំហំណាមួយជាខ្នាតណាណូម៉ែត្រ ហើយអាចផលិតបានតាមវិធីសាស្ត្រផ្សេងៗគ្នាពីប្រភពនៃ lignocellulosic ខុសៗគ្នា ។ ដ្យាក្រាម ២.១ បង្ហាញអំពីរចនាសម្ព័ន្ធនៃការបម្លែងពីសរសៃសែលលុយឡូសនៃជីវម៉ាសដើមចេកទៅជាសរសៃតូចឆ្មារ CNF ។ ការទាញយកសារធាតុសរសៃនៃ CNF ត្រូវការប្រព្រឹត្តិកម្មមេកានិក ដែលត្រូវការថាមពលខ្ពស់។ មានវិធីសាស្ត្រមេកានិកជាច្រើនផ្សេងៗគ្នា ដែលត្រូវបបានគេប្រើប្រាស់សម្រាប់ការទាញយកCNF ពីសារធាតុសរសៃរដូចជា homogenizing, microfluidization, grinding, cryocrushing និង high intensity ultrasonication (Khalil et al., 2014)។



រូបភាព ២.១៧ រចនាសម្ព័ន្ធនៃការបម្លែងពីជីរម៉ាសទៅជា CNF

ប្រភព៖ (Khalil et al., 2014)

២.២.៦ ប្រព្រឹត្តកម្មដោយការផលិតផាល់ (pulping)

ការផលិតផាល់គឺជាដំណើរការនៃការបំបែកសរសៃឈើ ឬ រុក្ខជាតិចេញពីការចងសម្ព័ន្ធដោយលីកនីន និងត្រាំសរសៃនេះក្នុងទឹកបង្កើតជា ល្បាយនៃកាកសំណល់រាវសមស្របសម្រាប់ការផលិតក្តារបន្ទះ ឬ ក្រដាស (Suchsland & Woodson, 1987)។

ជាទូទៅ នៅរោងចក្រផលិតផាល់ គេបែងចែកវិធីសាស្ត្រជា ៣ ជាក់លាក់រួមមាន៖

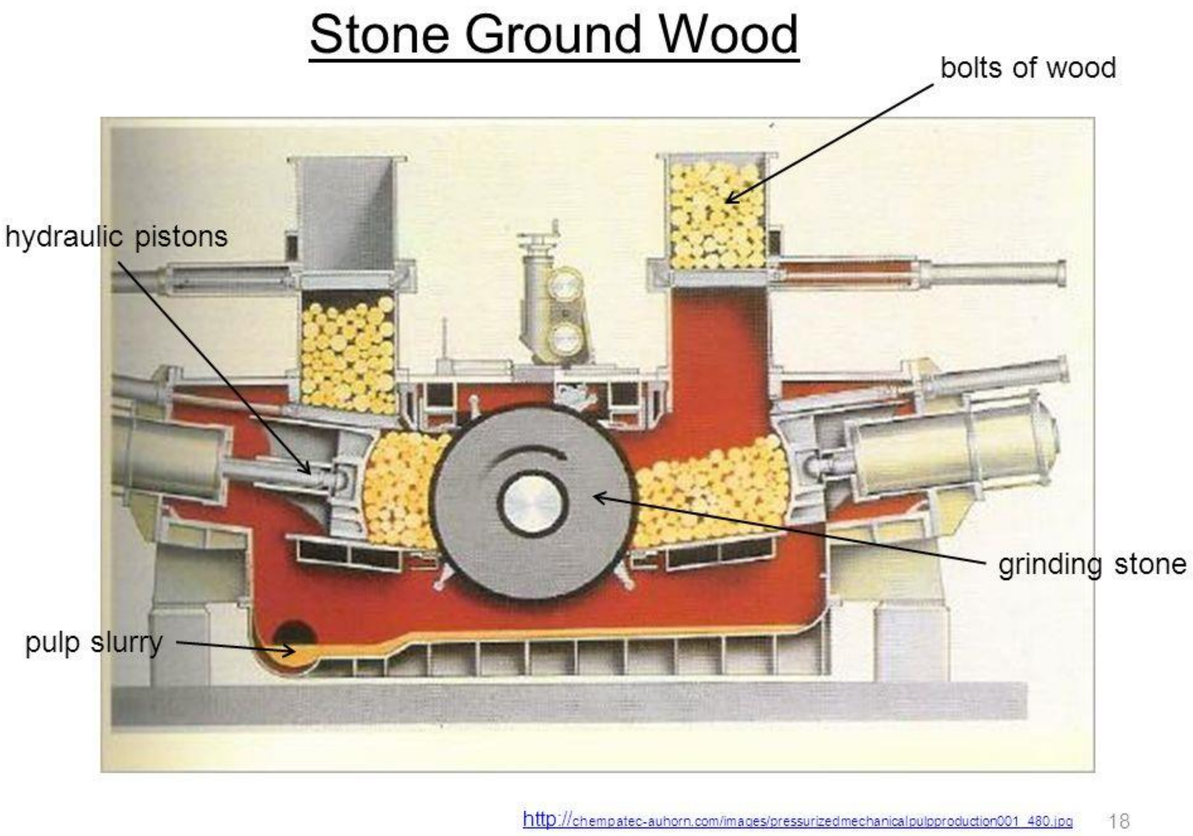
- ដោយមេកានិច
- ដោយគីមី
- ដោយពាក់កណ្តាលគីមី។

រូបភាព ២.១៧ ផាល់ផលិតពីចំបើង

ក ការផលិតផាល់ដោយមេកានិច (**mechanical pulping**)

ការផលិតផាល់ដោយមេកានិចគឺជាវិធីសាស្ត្រនៃការផលិតផាល់ដែលមានវ័យចំណាស់ជាងគេបំផុត។ វិធីសាស្ត្រនេះគឺគេប្រើថាមពលដោយមេកានិចដើម្បីធ្វើឲ្យខូចទ្រង់ទ្រាយ និងញែកសរសៃចេញពីឈើតាមរយៈការកិនបំបែក។ នៅក្នុងវិធីសាស្ត្រកិនបំបែកនៃការផលិតផាល់ដោយមេកានិចនេះ មាន ៤ ប្រភេទជាក់លាក់ដូចខាងក្រោម៖

– ការផលិតផាល់ដោយប្រើថ្ម ឬ ត្បាល់កិន (Stone groundwood pulping)៖ ចំណិត ឬ កំទិចឈើតូចៗត្រូវបានកិនដោយថ្ម ឬ ត្បាល់ធ្វើពីថ្ម (Silicon carbide) ឬ ដែក (Aluminum oxide grits)។ វិធីសាស្ត្រនេះផ្ដល់ទិន្នផលខ្ពស់ និងសរសៃខ្លី។ សម្រាប់ការផលិតក្រដាស វិធីសាស្ត្រនេះត្រូវការរួមផ្សំគ្នាជាមួយនឹងសារជាតុគីមីដើម្បីឲ្យសរសៃមានភាពរឹងមាំល្អនៅពេលឆ្លងកាត់ម៉ាស៊ីនផលិតក្រដាសនិងម៉ាស៊ីនព្រីន។



រូបភាព ២.១៨ ការផលិតផាល់ដោយប្រើថ្ម ឬ ត្បាល់កិន

រូបភាព ២.១៩ ត្បាល់កិននៃម៉ាស៊ីន Waldron Sprout Defibrator

– ការផលិតផាល់ដោយការបន្សុទ្ធ (refiner mechanical pulping) ៖ ចំណិតឈើ ឬ កំទិចឈើត្រូវបានកិននៅចន្លោះឌីសត្បាល់ទាំងពីរ។ វិធីសាស្ត្រនេះផ្តល់ទិន្នផលខ្ពស់និងមានសរសៃវែងនិងរឹងមាំ។ វាក៏អាចប្រើជាមួយនឹងប្រភេទវត្ថុធាតុដើមម៉ត់ដូចជាអាចម៍រណាផងដែរ។

រូបភាព ២.២០ ម៉ាស៊ីនផលិតផាល់ PFI refiner

រូបភាព ២.២១ ម៉ាស៊ីនផលិតផាល់ Valley Beater

រូបភាព ២.២២ ម៉ាស៊ីនផលិតផាល់ Jokro Refining Mill

- ការបន្សុទ្ធផាល់ (Refining Pulps)៖ គឺជាប្រព្រឹត្តិកម្មមេកានិកដែលធ្វើលើសារជាតុសរសៃ ដើម្បីបង្កើននូវគុណភាពរបស់សារជាតុសរសៃ ក៏ដូចជាបង្កើននូវសមត្ថភាពនៃការចងសម្ព័ន្ធរបស់វា ដោយធ្វើការផ្លាស់ប្តូរនូវលក្ខណៈរបស់សារជាតុសរសៃខាងក្នុងនិងខាងក្រៅ កាត់ឲ្យខ្លី និងម៉ត់ (fines formation)។ វាត្រូវបានធ្វើឡើងដោយឧបករណ៍ហៅថា refiner (Gharehkhani et al., 2015) ជាប្រភេទសម្រាប់ប្រើប្រាស់ក្នុងមន្ទីរពិសោធន៍ ឬក្នុងរោងចក្រឧស្សាហកម្ម។ ចំពោះ refiner ដែលប្រើក្នុងមន្ទីពិសោធន៍មានដូចជា PFI Mill ឬ Valley Beater ឬ Jokro mill។ Refiner ដែលមាន geometries ខុសៗគ្នា ដូចជា disk, conical និងcylindrical ត្រូវបានគេប្រើប្រាស់ក្នុងរោងចក្រ។ ដោយការបន្សុទ្ធនេះមានឥទ្ធិពលទៅលើការផ្លាស់ប្តូរលក្ខណៈរបស់សារជាតុសរសៃដូចជា៖
  - ការធ្វើឱ្យក្លាយទៅជាសារជាតុសរសៃរ (fibrillation ដូចជាសរសៃក្រៅ និងសរសៃក្នុង)
  - បង្កើតជាសារជាតុសរសៃរតូចៗ (fine formation) និង
  - កាត់ឱ្យខ្លី ។

ឥទ្ធិពលទាំងនេះមានរៀបរាប់ដូចខាងក្រោម៖

- ចំពោះសរសៃខាងក្នុង ការកិននេះធ្វើឱ្យមានការដាច់ រលាត់នៅលើស្រទាប់ដំបូង (primary cell wall) និង S1នៃស្រទាប់ទី២ ឬ secondary cell wall ដែលបណ្តាលមកពីកម្លាំងសង្កត់នៃថាសមូលនៅក្នុង refiner។ ការបែកនូវសម្ព័ន្ធខាងក្នុងរវាងសរសៃសែលលុយឡូសនីមួយៗ រវាងសារជាតុសរសៃនិងhemicellulose សែលុយឡូសនិងlignin និង hemicelluloseនិងlignin បង្កើតជារចនាសម្ពន្ធ័ដែលមានលក្ខណៈជារន្ធនៅក្នុងជញ្ជាំង

កោសិកាដើម្បីរីកប៉ោង ដែលអាចធ្វើឱ្យសារជាតុសរសៃរបត់បែនបានល្អជាងមុន។ លក្ខណៈទាំងនេះដែលបានកើតមាននៅលើស្រទាប់នៃជញ្ជាំងកោសិកាគឺជាចំណុចចំបង ដែលអាចរាំងនូវការរីកមាឌរបស់សារជាតុសរសៃរដោយសារលក្ខណៈមិនជ្រាបទឹកពីធម្មជាតិរបស់វា។

- ចំពោះសរសៃខាងក្រៅ ការសង្កត់បានធ្វើឡើងលើផ្ទៃខាងលើនៃសារជាតុសរសៃរដែលប៉ះដល់ស្រទាប់S2។ ឥទ្ធិពលដែលគួរឱ្យកត់សម្គាល់នៃសរសៃខាងក្រៅ គឺបង្កើននូវផ្ទៃនៃការចងសម្ព័ន្ធរបស់សារជាតុសរសៃរ។ ក្នុងពេលដំណើរការទាញយកសារជាតុសរសៃរ មានសមាសជាតុមិនចូលចិត្តទឹកមួយចំនួនដែលចេញមកពីជញ្ជាំងកោសិកា ហើយបង្កើតបានជាលក្ខណៈអន្ទិល ស្រទាប់ដែលមានលក្ខណៈអន្ទិលនេះអាចជួយបង្កើននូវការចងសម្ព័ន្ធរវាងសារជាតុសរសៃរនឹងសារជាតុសរសៃរ។ សរសៃខាងក្រៅ (External fibrillation) ភាគច្រើនអាចបង្កើតឡើងដោយការប្រើល្បឿននៃការកាត់លឿននៅក្នុងពេលប្រើប្រាស់ម៉ាស៊ីន refiner ដោយសារតែល្បឿនលឿនអាចជួយឱ្យសារជាតុសរសៃមានឱកាសច្រើនអាចប៉ះទៅនឹងរបាំងទាំងពីររបស់ម៉ាស៊ីន។

- រីឯសារជាតុសរសៃរតូចឆ្មារ ឬ ម៉ត់ (fine) ត្រូវបានគេឱ្យនិយមន័យទៅតាម ស្តង់ដារបច្ចេកទេស Technical Association of the pulp and Paper Industry (TAPPI) ថាជាផ្នែកនៃសារជាតុសរសៃរដែលទំហំទទឹងរបស់វាអាចឆ្លងកាត់នូវរន្ធដែលមានទំហំ ៧៦មីក្រូម៉ែត្រ (Chakraborty et al., 2007)។ សារជាតុសរសៃរតូចឆ្មារ (fine) នៅក្នុង pulp មានពីរប្រភេទគឺ primary fine និងsecondary fine។ Primary fine គឺមានស្រាប់នៅក្នុងpulp មុនពេលឆ្លងកាត់ការកិន (refining) ឯ secondary fine គឺទទួលបានក្រោយពេល pulp ត្រូវបានយកទៅធ្វើ refining ដែល fineទាំងនោះទទួលបានមកពីលទ្ធផលនៃ external fibrillation ឬការដែលធ្វើឱ្យសារជាតុសរសៃខ្លីៗ។ សារជាតុសរសៃរតូចឆ្មារទាំងនេះមានផ្ទៃសម្រាប់ការចងសម្ព័ន្ធខ្ពស់ ហើយអាចបង្កើនការចងសម្ព័ន្ធរបស់សារជាតុសរសៃរនឹងសារជាតុសរសៃរ (Gharehkhani et al., 2015)។ ចំនួននៃសារជាតុសរសៃរទាំងនេះអាចបង្កើននូវបន្ទុកនៅលើផ្ទៃនៃសារជាតុសរសៃ ខណៈដែលវាបន្ថយនូវល្បឿននៃការច្រោះទឹក។

- ការផ្លាស់ប្តូរមួយទៀតទៅលើគុណភាពនៃសារជាតុសរសៃរ គឺការបន្ថយនូវប្រវែងរបស់សារជាតុសរសៃ ដែលវាជាចំណុចដែលគេមិនចង់បាននៅពេលធ្វើការបន្សុទ្ធដោយ refining។ នៅពេលដែលការកិន ឬ refining ហួសតម្រូវការរបស់សារជាតុសរសៃនោះវាអាចបណ្តាលឱ្យសារជាតុសរសៃរទាំងនោះខ្លីជ្រុល មានកំហូចទ្រង់ទ្រាយនៃ

របេនាសម្ព័ន្ធខាងក្នុងរបស់សារជាតុសរសៃ ដែលបណ្តាលការសម្ព័ន្ធរវាងសារជាតុសរសៃពីមួយទៅមួយមិនល្អ (Gharehkhani et al., 2015) ។

– ការផលិតផាល់ដោយការរួមផ្សំគ្នានៃមេកានិចនិងកម្តៅ (thermo-mechanical pulping)៖ ចំណិតឈើ ឬ កំទិចឈើត្រូវបានចំហុយជាមុនសិនដើម្បីឲ្យទន់មុននឹងយកទៅកិនដោយប្រើត្បាល់ ឬ PFI refiner ។ វិធីសាស្ត្រនេះផលិតផាល់ដែលមានមេកានិចខ្ពស់បំផុត ប៉ុន្តែវាក៏ត្រូវការថាមពលច្រើនផងដែរដើម្បីចំហុយ។ ទោះបីជាយ៉ាងណា វាជាវិធីសាស្ត្រដែលពេញនិយមបំផុតនាពេលបច្ចុប្បន្ននេះ។ ក្នុងចំណោមវិធីសាស្ត្រប្រព្រឹត្តកម្មជាមុនទាំងអស់ វិធីសាស្ត្រនេះ(វិធីសាស្ត្រប្រើទឹកក្តៅ) ជាបច្ចេកវិទ្យាស្អាតដ៏គួរឲ្យចាប់អារម្មណ៍សម្រាប់ការបំបែកជីវម៉ាសដែលមានសែលលុយឡូសនិងលីកនីន (lignocellulosic biomass)។ វាគ្មានសារជាតុគីមី កាត់បន្ថយចំនួនឧបករណ៍ សាមញ្ញ ចំណេញផ្នែកសេដ្ឋកិច្ច ប៉ុន្តែវាក៏មាននូវគុណវិបត្តិមួយចំនួនដូចជា៖ បំបែកស៊ីឡាន (xylene) ទៅជាសមាសធាតុហើរ ផ្លាស់ប្តូរមិនចប់សព្វគ្រប់នៃសម្ព័ន្ធជីវម៉ាស និងបង្កើតឧបករណ៍រាំងមួយចំនួនសម្រាប់ជំហានបន្ទាប់ៗទៀត (Cotana, et al., 2015)។

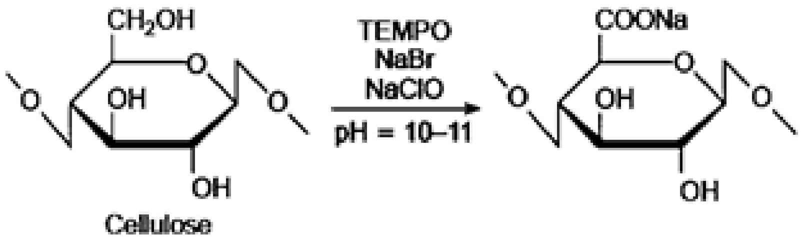
– ការផលិតផាល់ដោយអន្តរកម្មនៃគីមី កម្តៅ និងមេកានិច (chemi-thermo-mechanical pulping)៖ វាពាក់ព័ន្ធដល់ការប្រើប្រាស់សារជាតុគីមីទៅលើចំណិតឈើ ឬ កំទិចឈើដើម្បីផលិតជាផាល់។ ប្រតិកម្មជាមុនដោយគីមីលើចំណិតឈើធ្វើឲ្យមានការញែកសរសៃចេញពីចំណិតឈើ ធ្វើឲ្យសរសៃវែង មានបរិមាណសរសៃច្រើន និងភាពម៉ត់តិច។ វិធីសាស្ត្រនេះធ្វើឲ្យផលិតផលផាល់មានភាពរឹងមាំ ដង់ស៊ីតេខ្ពស់ ភ្លឺស្អាតជាងវិធីសាស្ត្រទាំង ៣ ខាងលើ។

ខ ការផលិតផាល់ដោយគីមី (chemical pulping)

ការផលិតផាល់ដោយគីមីត្រូវបានគេប្រើប្រាស់ច្រើនឆ្នាំមកហើយ លើទាំងប្រភេទឈើ និងមិនមែនឈើ (Wegener, 1992)។ វិធីសាស្ត្រនេះមាន ២ ប្រភេទ គឺ បែបអាល់កាឡាំង (kraft) និងបែបអាស៊ីត (sulfie)។ វិធីសាស្ត្របែបអាល់កាឡាំងដោយគីមីគឺជាវិធីសាស្ត្រសាមញ្ញមួយដែលគេប្រើដើម្បីដកលីកនីនចេញពីឈើ សម្រាប់ផលិតផាល់ដែលជាវត្ថុធាតុដើមសម្រាប់ផលិតក្រដាស ឬ ក្តារបន្ទះ។ វិធីសាស្ត្របែបអាល់កាឡាំងផលិតផាល់ដែលរឹងមាំ ប៉ុន្តែវាមានសម្ពាធលើបរិស្ថាន តាមរយៈការបំភាយឧស្ម័នផ្ទះកញ្ចក់នៃរោងចក្រដែលមាន សមាសធាតុស៊ុលផួរ ស៊ុលផួរអុកស៊ីត និងកាកសំណល់ពុលផ្សេងៗទៀត (Barla, 2007)។

ការផលិតផាល់ដោយគីមីបង្កើតបាននូវសរសៃដែលរាំងមាំជាងការផលិតដោយមេកានិច ប៉ុន្តែទទួលបានទិន្នផលទាបជាង ដែលមានត្រឹមតែប្រហែល ៤០ ទៅ ៥០% ប៉ុណ្ណោះ ខណៈដែលតាមបែបមេកានិចអាចទទួលបានរហូតដល់ ៩៧%។

ការផលិតផាល់តាមវិធី TEMPO-mediated oxidation៖ ២,២,៦,៦-Tetramethylpiperidine-១-oxyl (TEMPO) oxidation ឬ TEMPO-mediated oxidation គឺជាប្រព្រឹត្តិកម្មទុកជាមុនដែលមានលក្ខណៈសាមញ្ញបំផុតសម្រាប់ញែកបំបែកជាCNF។ វាជាវិធីសាស្ត្រដែលមានឥទ្ធិពលខ្លាំង និងងាយស្រួលក្នុងត្រួតពិនិត្យដើម្បីធ្វើការរៀបចំសម្រាប់ប្រព្រឹត្តិកម្មមេកានិក។ វិធីសាស្ត្រនេះធ្វើការបង្កើននូវក្រុម carboxyl នៅកាបូនទី៦នៃម៉ូលេគុលស្ករ។ ក្នុងដំណើរការរបស់ TEMPO oxidation ដោយកាតាលីករសូដ្យូមប្រូមួ (NaBr) ត្រូវបានធ្វើការបន្ថែម ហើយសូដ្យូមអីពៃក្លរីត (NaClO) ត្រូវបានប្រើសម្រាប់ការធ្វើអុកស៊ីតកម្មបឋមដើម្បីរក្សា pH ចន្លោះ ៩ ទៅ ១១។ ប្រត្តិកម្មដោយមេកានិកនៃ TEMPO oxidation របស់សែលលុយឡូសបានបង្ហាញនៅក្នុងរូបភាព ២.២៣ ។ ប្រព្រឹត្តិកម្មរបស់ TEMPO oxidation ជួយធ្វើការកាត់បន្ថយនូវចំនួនដងដែលត្រូវធ្វើការឆ្លងកាត់ម៉ាស៊ីនបន្សើសាច់ (homogenizer) ដើម្បីទទួលបានសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារ (CNF) ដែលមានលក្ខណៈអន្ទិល (González, 2014; Khalil et al., 2014)។



រូបភាព ២.២៣ ប្រត្តិកម្មមេកានិកនៃ TEMPO oxidation របស់សែលុយឡូស

ការផលិតផាល់ដោយពាក់កណ្តាលគីមី (មានប្រើប្រាស់សារធាតុគីមីខ្លះ) semichemical pulp (SCP)៖ គឺជាការរួមផ្សំនៃប្រតិកម្មគីមីផង និងប្រតិកម្មមេកានិកផង ។ ប្រព្រឹត្តកម្មនៃ កម្តៅទៅលើចំនិត ឬដុំនៃសារធាតុសរសៃក្នុងដំណើរការចំរាញ់យកជាតិសរសៃរធ្វើឱ្យមានការបាត់បង់នូវបរិមាណហេមីសែលុយលូល (hemicellulose) ទៅទឹក។ ប្រព្រឹត្តិកម្មដែលប្រើសីតុណ្ហភាពខ្ពស់ និងរយៈពេលយូរ មានឥទ្ធិពលដែលអាចបណ្តាលឱ្យសារធាតុសរសៃរមានភាពទន់ ដែលធ្វើឱ្យការចងសម្ព័នបានល្អ ប៉ុន្តែត្រូវមានការចំណាយបន្ថែមទៅលើថាមពល និងទឹកដែលប្រើនៅក្នុងប្រព្រឹត្តិកម្ម។

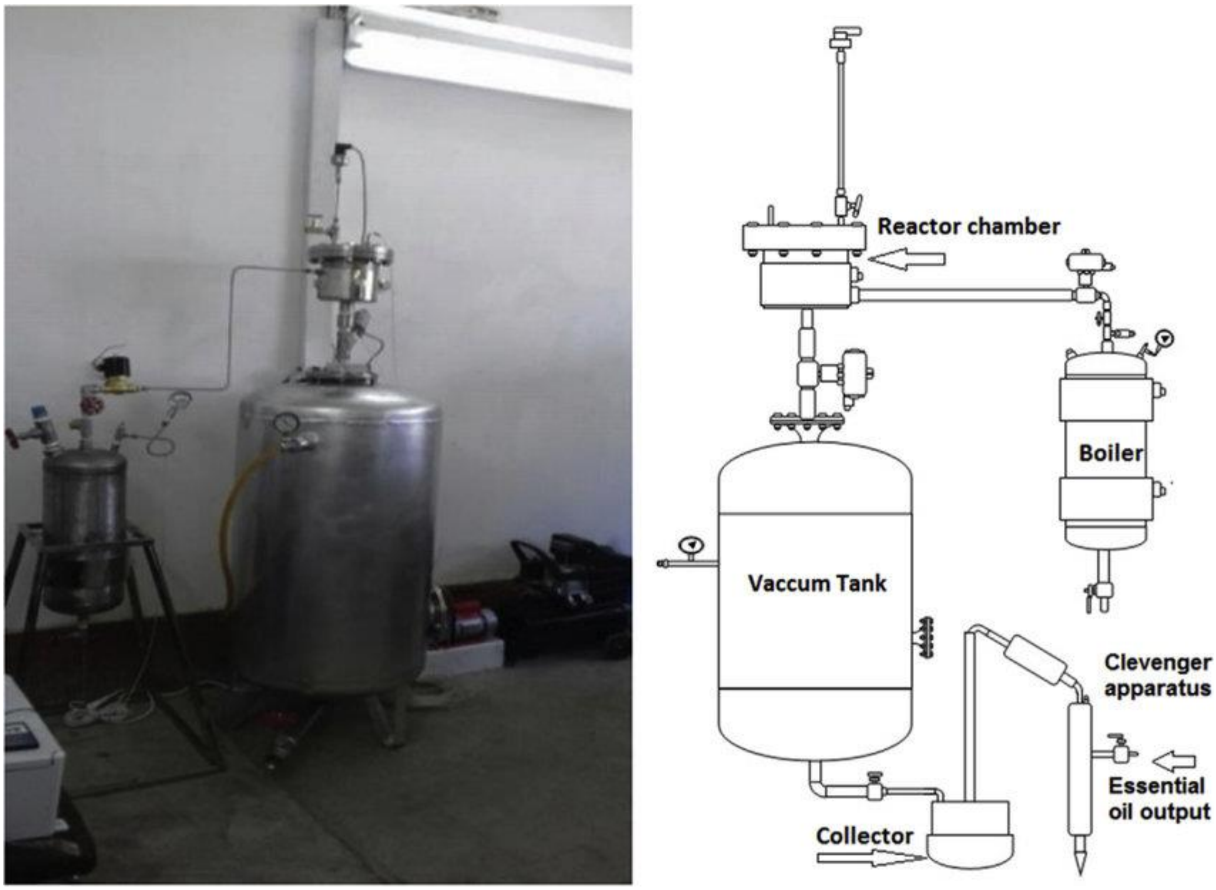
គ ប្រព្រឹត្តកម្មដោយការចំហុយ (Steam explosion)

បច្ចេកវិទ្យាប្រព្រឹត្តកម្មដោយចំហុយនេះត្រូវបានបង្កើតឡើងដោយលោក Mason នៅក្នុងឆ្នាំ ១៩២៦ សម្រាប់ប្រើប្រាស់ក្នុងញែកសារធាតុនៃឈើ។ វាជាវិធីសាស្ត្រប្រើថាមពលជីវនិងសម្រាប់ការ

ផលិតនូវផលិតផលប្រភេទសន្លឹក ឬ បន្ទះ (panel) ប្រកបដោយប្រសិទ្ធភាពបំផុត (Kabel, Bos, Zeevalking, Voragen, & Schols, 2007)។ ប្រព្រឹត្តកម្មដោយចំហុយនេះជាប្រព្រឹត្តកម្មលើវត្ថុធាតុដើមផ្នែករូបនិងគីមីដែលពាក់ព័ន្ធទៅនឹងការប្រើសម្ពាធចំហុយខ្ពស់ក្នុងធុងស៊ីឡាំងបិទជិត (រូបភាព ២.២៤)។ គោលការណ៍នៃប្រព្រឹត្តកម្មដោយចំហុយនេះគឺការប្រើសីតុណ្ហភាពខ្ពស់និងសម្ពាធខ្ពស់ដើម្បីកែច្នៃសរសៃនៃរុក្ខជាតិ។ គោលបំណងនៃប្រព្រឹត្តកម្មគឺការបំបែកអេមីសែលលុយឡូស ការបន្ទន់លីកនីន និងការបន្ថយភាពរឹងមាំនៃតំណរភ្ជាប់រវាងសរសៃ។ បន្ទាប់ពីប្រព្រឹតកម្មដោយសីតុណ្ហភាពខ្ពស់ និងសម្ពាធខ្ពស់រួចភ្លាមត្រូវបញ្ចេញចំហាយក្នុងរយៈពេលខ្លីដើម្បីធ្វើឲ្យការញែកសមាសធាតុគីមីនិងកំហូចទម្រង់រចនាសម្ព័ន្ធមានប្រសិទ្ធភាព (Vignon, Dupeyre, & Garcia-Jaldon, 1996)។

ក្នុងចំណោមវិធីសាស្ត្រប្រព្រឹត្តកម្មផ្សេងៗ វិធីសាស្ត្របែបចំហុយនេះត្រូវបានគេពេញនិយមប្រើប្រាស់សម្រាប់ប្រព្រឹត្តកម្មជីវមាសដែលមានសែលលុយឡូសនិងលីកនីន ដោយសារ៖

- មានប្រសិទ្ធភាពខ្ពស់និងគ្មានការបំពុល (ប្រើតែទឹក មិនប្រើសារធាតុគីមី)
- ទទួលបានទិន្នផលអេមីសែលលុយឡូសល្អជាមួយនឹងកាកសំណល់ដែលរលាយទាប
- ចំនួនឧបករណ៍តិចជាងប្រព្រឹត្តកម្មដោយទឹកអាស៊ីត
- គ្មានដំណាក់កាលប្រើប្រាស់អាស៊ីតនិងតំឡើង pH ឡើងវិញ
- កាត់បន្ថយកាកសំណល់រឹងពីដុំសរសៃនីមួយៗដោយឥទ្ធិពលនៃបន្ទុះចំហាយ (Garote, Dominguez, & Parajo, 1999)។



រូបភាព ២.២៤ ឆ្នាំងចំហុយ steam explosion

ឃ ប្រព្រឹត្តកម្មដោយ Extrusion

Extrusion មានន័យថាជាប្រតិបត្តិការបំបែកវត្ថុដោយពុំនុះកាត់ទទឹងនិងថេរតាមការរុញច្រានវត្ថុនោះឲ្យឆ្លងកាត់តាមរន្ធដែលគេចង់បាន។ វិធីសាស្ត្រនេះគឺជាវិធីសាស្ត្របន្តបន្ទាប់គ្នាតាមលក្ខណៈរូប។ វាត្រូវបានគេនិយមប្រើប្រាស់ក្នុងវិស័យម្ហូបអាហារក្រៀម ចំណីសត្វ ប្លាស្ទិច និងឧស្សាហកម្មផលិតសម្ភារប្រើប្រាស់ គ្រឿងសង្ហារឹម គ្រឿងសំណង់ដូចជា ក្តារបន្ទះជាដើម (Zheng & Rehmann, 2014)។

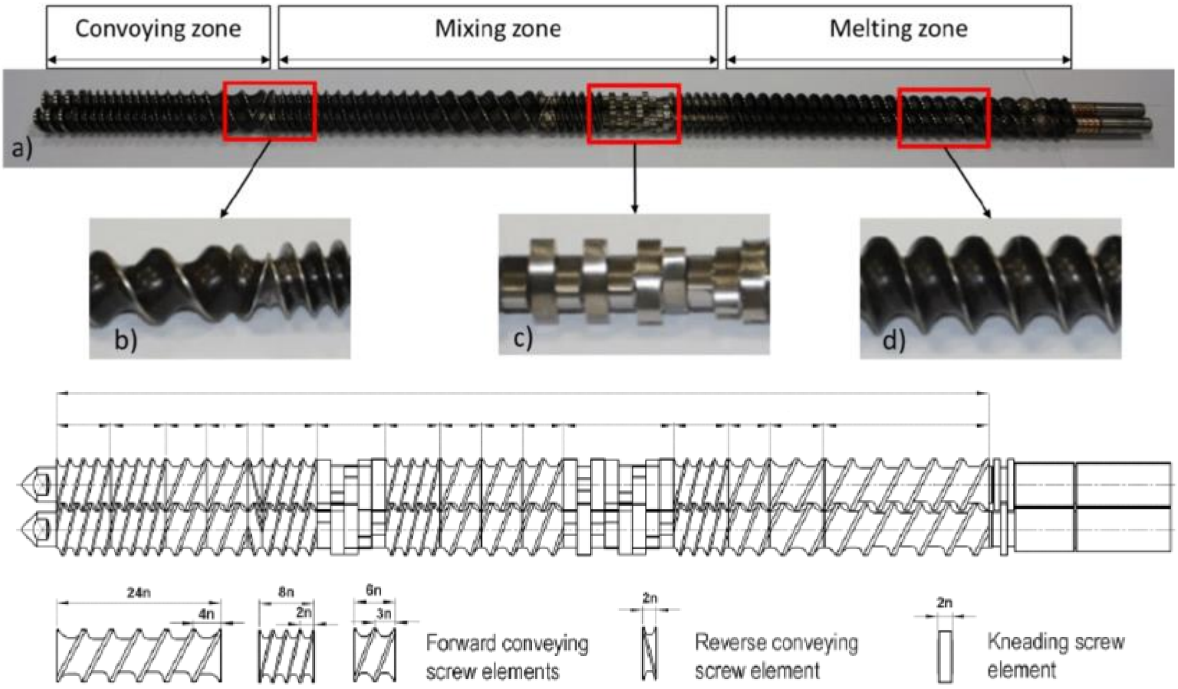
វិធីសាស្ត្រដោយ extrusion គឺជាបច្ចេកវិទ្យាប្រព្រឹត្តកម្មដោយកម្តៅនិងមេកានិចតាមការសន្យា និងបែបថ្មីសម្រាប់ការបំលែងជីវម៉ាសដោយសារវាមានតម្លៃទាប ងាយស្រួលគ្រប់គ្រងសីតុណ្ហភាពនិងល្បឿនធ្មេញកាត់ (screw speed) សមត្ថភាពកាត់ខ្លាំង (high shear) និងសមត្ថភាពដំណើរការកែច្នៃខ្ពស់។ ម៉ាស៊ីនកិនដែលមានភ្លៅកាត់ភ្លោះ (twin-screw extruder) កំពុងមានការពេញនិយមកើនឡើងដោយសារវាបានបង្កើនការគ្រប់គ្រងពេលវេលាកាត់និងលាយ កម្តៅខ្លាំង និងសមត្ថភាពបញ្ជូនជីវម៉ាសល្អ។ ជាទូទៅធ្មេញកាត់ត្រូវមាន ៣ ប្រភេទ៖

– ធ្មេញកាត់ទៅមុខ (forward screw elements)៖ បញ្ជូនវត្ថុទៅមុខ ដែលមានប្រវែងគ្រប់ខុសៗគ្នា (ខ្លី មធ្យម និង វែង) ជាមួយនឹងកម្រិតឥទ្ធិពលនៃការលាយនិងកាត់

– ធ្មេញកាត់ត្រង់ (kneading screw elements)៖ មានមុខងារកាត់និងលាយតាមមុំឈរ និងទ្រេតផ្សេងៗគ្នាដូចជា មុំ ៩០ ដឺក្រេ ឬ មុំ ៦០ ដឺក្រេ

– ធ្មេញវិលបញ្ច្រាស (reverse screw elements)៖ រុញវត្ថុថយក្រោយ មានមុខងារកាត់ និងលាយវត្ថុឲ្យកាន់តែល្អថែមទៀត។

រូបភាព ២.២៣ screw elements



រូបភាព ២.២៤ ទម្រង់បង្គុំ screw elements

ដោយមានប្រភេទ screw ខុសៗគ្នា ម៉ាស៊ីនកាត់ដែលមានភ្លៅភ្លោះនេះមានមុខងារផ្សេងៗតាមដំហានដូចជា៖ ដឹកជញ្ជូនវត្ថុធាតុ កម្តៅ លាយ កាត់ កិន ប្រតិកម្មដោយគីមី សម្ងួត និងញែករវាងវត្ថុរឹងនិងរាវ។

ប្រព្រឹត្តកម្មដោយ extrusion មានគុណសម្បត្តិដូចខាងក្រោម៖

- តម្លៃផលិតកម្មទាប និងងាយស្រួលគ្រប់គ្រងដំណើរការ
- គ្មានការរំលាយជាតិស្អិត ដែលជាសមាសធាតុអាចចូលរួមចំណែកក្នុងការចងសម្ព័ន្ធនៃផលិតផលក្តារបន្ទះតាមការប្រើប្រាស់ម៉ាស៊ីនកៀបដោយសម្ពាធនិងកម្តៅ (hot pressing machine)
- ងាយស្រួលកែប្រែដំណើរការនិងអត្រាបញ្ជូនវត្ថុធាតុចូលបន្តបន្ទាប់តាមការចង់បាន ដែលធ្វើឲ្យមានផលិតភាពខ្ពស់។

ប៉ុន្តែវាក៏មានគុណវិបត្តិមួយចំនួនដូចជា៖

- កំទិចថ្ម ឬ ដែកដែលនៅលាយជាមួយនឹងវត្ថុធាតុអាចធ្វើឲ្យខូច ឬ សឹក screw កាត់បន្ថយអាយុកាលប្រើប្រាស់ ដែលនាំដល់ការខាតបង់ផ្នែកសេដ្ឋកិច្ចនិងបង្អាក់ផលិតកម្ម
- មិនធន់នឹងកម្តៅ

- គុណភាពសរសៃផលិតផលទាបជាងការប្រើប្រាស់ឧបករណ៍ផ្សេងលើការផលិតផាល់ដោយកម្ដៅនិងមេកានិច។

ឧទាហរណ៍អំពី ការផលិតផាល់ (pulping)

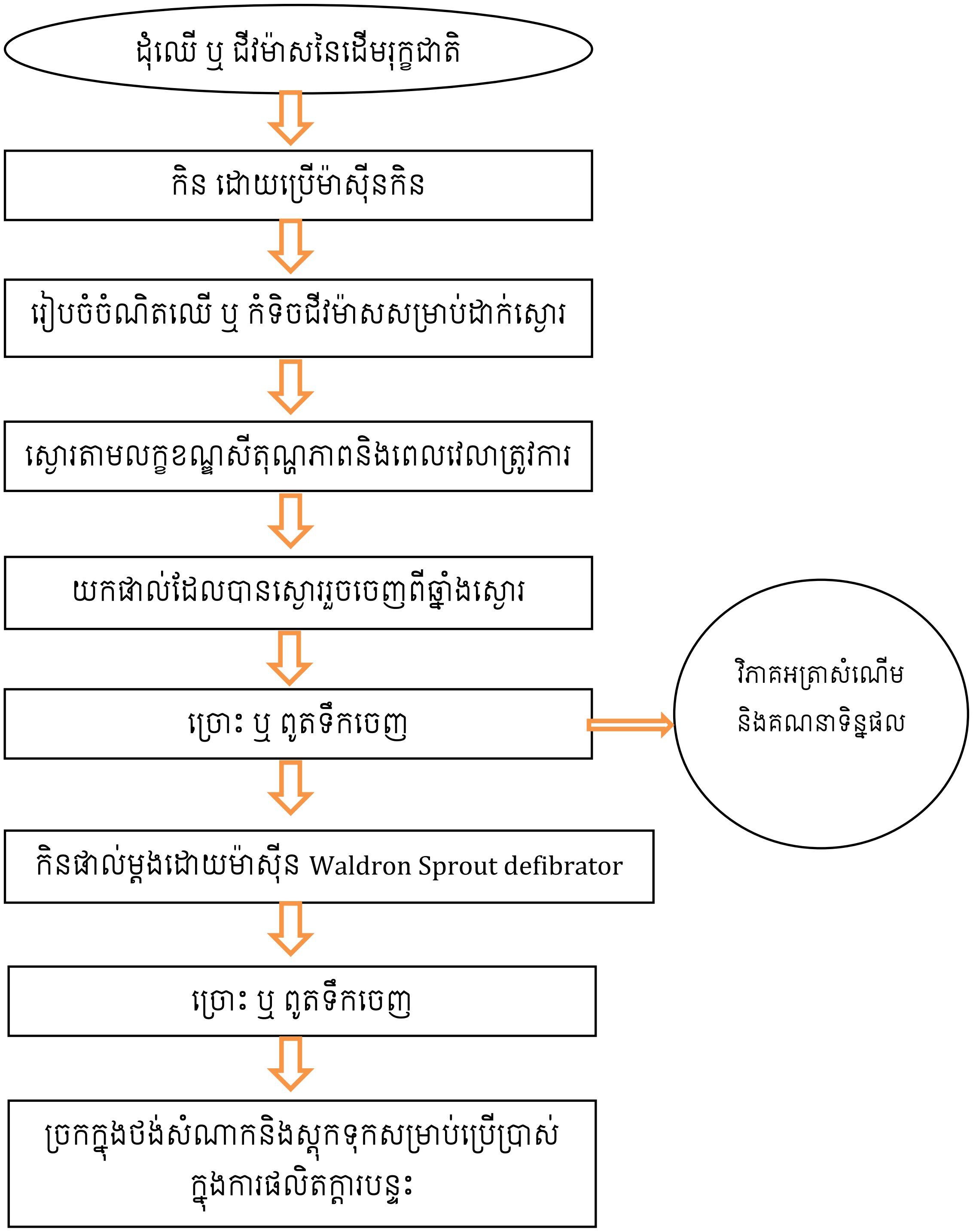
ដើម្បីផលិតផាល់ ដុំឈើ ឬ ជីវម៉ាសនៃដើមរុក្ខជាតិត្រូវបានកាត់ ឬ ចិញ្រ្ចាំដោយម៉ាស៊ីនកាត់ចិញ្រ្ចាំឲ្យមានទំហំប្រហែល ១០ មីលីម៉ែត្រ ហើយយកទៅស្តុកទុកនៅបន្ទប់ដែលមានសីតុណ្ហភាពធម្មតា មុនពេលយកទៅស្ងោ ឬ ចំហុយ ។ ការស្តុកទុកនៅក្នុងបន្ទប់ដែលមានសីតុណ្ហភាពបន្ទប់ ឬ សីតុណ្ហភាពធម្មតានេះ ដើម្បីរក្សាផលិតផលឲ្យស្ថិតក្នុងលក្ខខណ្ឌសីតុណ្ហភាព និងសំណើមធម្មតា។ បន្ទាប់មកវត្ថុធាតុដើមនៃចំណិតឈើ ឬ រុក្ខជាតិនេះត្រូវបានវាស់សំណើម ដើម្បីវិភាគលើម៉ាសស្ងួតនិងម៉ាសទឹកដែលមាន។ បន្ទាប់មកទៀត ត្រូវរៀបចំវត្ថុធាតុដើមនិងទឹកតាមសមាមាត្រដែលចង់បាន រួមបញ្ចូលទាំងបរិមាណទឹកដែលមាននៅក្នុងវត្ថុធាតុដើមស្រាប់ផងដែរ (ឧទាហរណ៍ ប្រសិនបើវត្ថុធាតុដើមត្រូវបានវិភាគឃើញមានអត្រាសំណើម ១០% នោះមានន័យថា វត្ថុនេះមានជាតិទឹក ១០ ក្រាម ក្នុង ១០០ ក្រាមវត្ថុសរុប)។ បន្ទាប់មកទៀត ត្រូវយកសំណាកវត្ថុធាតុដើមនិងទឹកដែលបានរៀបចំរួច ទៅដាក់ស្ងោរនៅក្នុងឆ្នាំងស្ងោរ (rotary digester) ដែលបានកម្ដៅជាមុនរហូតដល់សីតុណ្ហភាព ៨០ អង្សាសេ។ នៅក្នុងដំណើរការស្ងោរ មានឆ្នាំងស្ងោរពីរប្រភេទដែលត្រូវបានយកមកប្រើប្រាស់គឺ ឆ្នាំងស្ងោរដែលប្រើសម្ពាធ និងឆ្នាំងស្ងោរសម្ពាធធម្មតា។

ចំណុចគួរចងចាំ ការស្ងោរដោយប្រើឆ្នាំងមានសម្ពាធធម្មតាត្រូវធ្វើការកូររៀងរាល់ ៥នាទីម្ដងដើម្បីធានាថាវត្ថុធាតុនោះឆ្អិនសព្វល្អ។ លក្ខខណ្ឌនៃការស្ងោរខុសៗគ្នា អាស្រ័យទៅតាមប៉ារ៉ាម៉ែត្រមួយចំនួនដូចជា សីតុណ្ហភាព រយៈពេល សម្ពាធ សមាមាត្រទឹកនិងម៉ាសស្ងួត (liquid and solid ratio ឬ L/S) និងសារធាតុបន្ថែមផ្សេងៗទៀតដែលត្រូវប្រើ។ សូដ្យូមអ៊ីដ្រុកស៊ីត (NaOH) កំហាប់ ២៥ក្រាម/១លីត្រ និង anthraquinone (AQ) ឬ ($C_{14}H_8O_2$) ត្រូវបានគេប្រើប្រាស់សម្រាប់ការផលិតផាល់ដោយបន្សំនៃគីមីនិងកម្ដៅ ហើយទឹកបិទត្រូវបានប្រើប្រាស់ក្នុងដំណើរការនៃការស្ងោរ។

បន្ទាប់ពីការស្ងោរត្រូវបានបញ្ចប់តាមលក្ខខណ្ឌនិងពេលវេលាកំណត់ ត្រូវយកផាល់ចេញពីឆ្នាំងដោយអាចប្រើទឹកស្អាតធម្មតាដើម្បីលាងសម្អាតកំទិចដែលនៅជាប់ឆ្នាំង ក៏ដូចជាការលាងសម្អាតផាល់ផងដែរ នៅពេលព្យាយាមប្រមូលយករាល់ផាល់ដែលបានស្ងោរទាំងអស់ចេញពីឆ្នាំង។ ល្បាយផាល់និងទឹកត្រូវច្រោះ ឬ អាចពូតទឹកចេញដោយប្រើឧបករណ៍ spin dryer ដែលអាចដកទឹកចេញពីផាល់បានលឿនជាងច្រោះដោយក្រណាត់ ឬ តម្រងច្រោះ។ ផាល់នេះត្រូវធ្វើការគណនារកទិន្នផលក្រោយពេលស្ងោរ ដោយប្រើរូបមន្តខាងក្រោម ។

$$\text{ទិន្នផល} = \frac{\text{ម៉ាសស្ងួតក្រោយស្ងោរ}}{\text{ម៉ាសស្ងួតមុនស្ងោរ}} \times ១០០$$

បន្ទាប់មកទៀត ផាល់នេះត្រូវបានកិនបំបែកដោយប្រើប្រាស់ម៉ាស៊ីនកិនហូតសរសៃ Sprout Waldron defibrator រួចច្រោះទឹក ឬ ពូតទឹកចេញម្តងទៀត នឹងទទួលបានផាល់ដែលជាសរសៃតូចៗ។ ផាល់នេះអាចស្តុកទុកក្នុងថង់ផ្លាស្ទិចនិងនៅក្នុងទូរទឹកកកដែលមានសីតុណ្ហភាព ៤ អង្សាសេ សម្រាប់ប្រើប្រាស់លើការផលិតក្តារបន្ទះ។



ដ្យាក្រាម ២.១ ដំណើការផលិតផាល់

រូបភាព ២.២៥ ការកិនចំបើងដោយម៉ាស៊ីនកាន់ចិញ្ច្រាំខ្នាតមន្ទីរពិសោធន៍

រូបភាព ២.២៦ ការកិនចំបើងដោយម៉ាស៊ីនខ្នាតពាក់កណ្តាលឧស្សាហកម្ម (pilot scale)

រូបភាព ២.២៧ ការធ្វើប្រព្រឹត្តកម្មផលិតផាល់ចំបើងដោយម៉ាស៊ីន Twin-screw extruder

រូបភាព ២.២៨ ការថ្លឹងសំណាកផាល់ក្រោយប្រព្រឹត្តកម្មដោយម៉ាស៊ីន Twin-screw extruder

២.៣ ជ័រកាវ ឬ សារធាតុស្អិតធម្មជាតិ

នៅក្នុងការផលិតក្ដារបន្ទះ វត្តមានជ័រ ឬ ជាតិស្អិតទាំងប្រភេទជ័រធម្មជាតិ ឬ ជ័រសំយោគ (ជ័រកាវ) ដើម្បីឲ្យកំទិចឈើស្អិតជាប់គ្នា នាំដល់ការធ្វើឲ្យផលិតផលក្ដារបន្ទះមានគុណភាពល្អ រឹងមាំ។

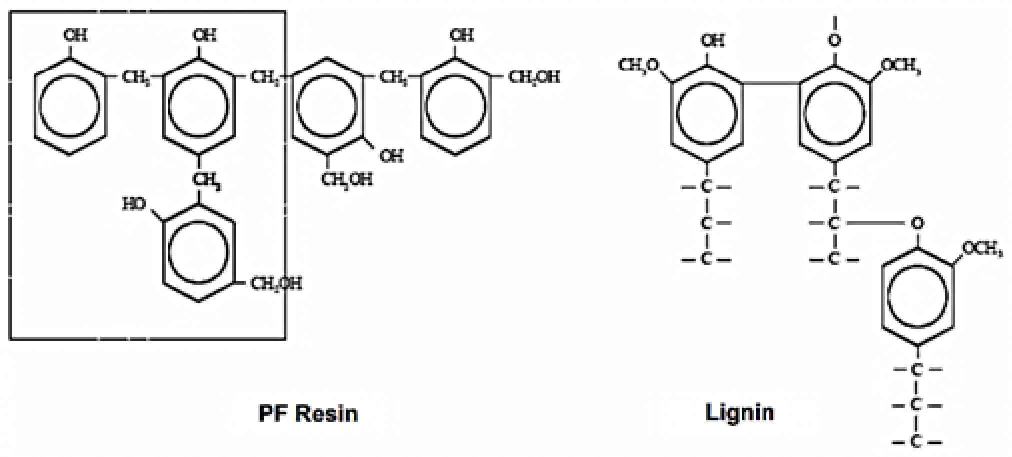
ជ័រសំយោគមួយចំនួនត្រូវបានគេចាត់ទុកជាភ្នាក់ងារចងភ្ជាប់យ៉ាងសំខាន់នៅក្នុងផលិតកម្មក្ដារបន្ទះពីសរសៃរុក្ខជាតិដែលបានចម្រាញ់ចេញពីឈើ ឬ មិនមែនឈើ ដូចជា៖

- melamine-formaldehye (MF)
- melamine-urea-formaldehye (MUF)
- phenol formaldehyde (PF)
- urea-formaldehyde (UF) (Despres et al., 2008)។

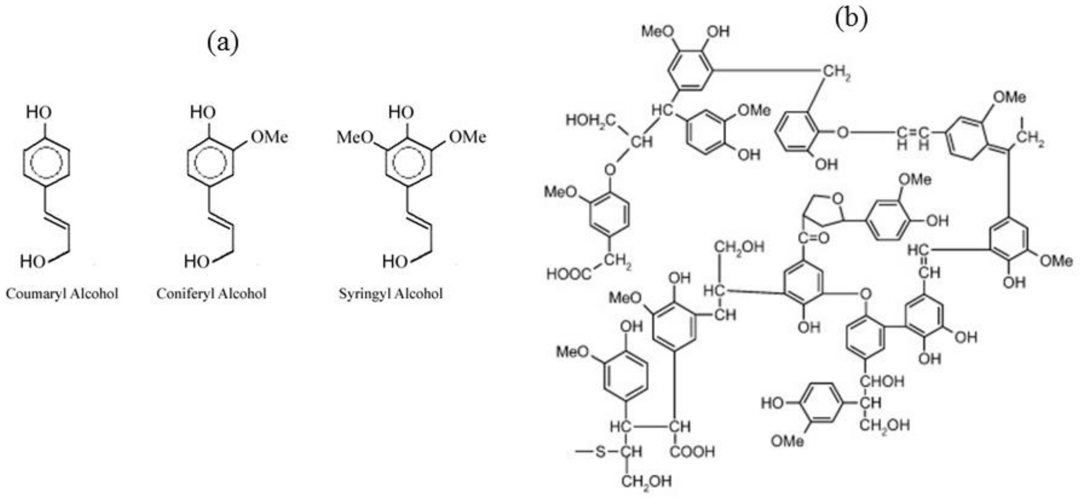
ក្នុងចំណោមភ្នាក់ងារចងភ្ជាប់ទាំងនោះ ផេណុល ហ្វ័រម៉ាលដេអ៊ីត (PF) និង អ៊ុយរ៉េហ្វ័រម៉ាលដេអ៊ីត (UF) ត្រូវបានគេចាត់ទុកថាជាភ្នាក់ងារចងភ្ជាប់ដែលគេនិយមប្រើប្រាស់ ជាងគេសម្រាប់ផលិតកម្មក្ដារបន្ទះ ដោយសារតែវាមានអន្តរអំពើខ្លាំង ជាប់ល្អ និងមានតម្លៃទាប (Dunky, 1998) ។ ម្យ៉ាងទៀតវាក៏ជួយដល់លក្ខណៈរូប និងលក្ខណៈមេកានិក (ភាពធន់) របស់ផលិតផលក្ដារបន្ទះផងដែរ ។ ជាអកុសល formaldehyde ជាសារជាតុដែលត្រូវបានគេរាយការណ៍ ឬ ចាត់ទុកថាមានផលប៉ះពាល់ដល់សុខភាពមនុស្ស សត្វ និង បរិស្ថាន ដូចជា ក្រហាយភ្នែកនិងច្រមុះ ឈឺបំពង់ក ឈឺក្បាល រោលកន្ទួលលើស្បែក (Despres et al., 2008; Harris et al., 1981; Lin et al., 2012; Ritchie & Lehnen, 1987)។ ក្រៅពីនេះ ការប្រើជ័រកាវបង្កើនតម្លៃបន្ថែមដល់ផលិតផលក្ដារបន្ទះប្រហែល ៦០% បន្ថែមទៀត។ ហេតុនេះហើយ ការផលិតក្ដារបន្ទះពីភ្នាក់ងារភ្ជាប់ ឬ សារជាតុស្អិតធម្មជាតិគឺ គួរពិចារណាជំនួសវិញ ។

ជ័រកាវ ឬ សារជាតុស្អិតធម្មជាតិដែលគេនិយមប្រើប្រាស់មាន លីកនីន ប៉ូលីឡាក់ទិចអាស៊ីត (PLA) ម្សៅមី សរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារ។

លីកនីន ត្រូវបានគេប្រើក្នុងមុខងារដូចជ័រសំយោគ (PF) និង (UF) ដែរ ដោយសារតែរចនាសម្ព័ន្ធរបស់ស្រដៀងគ្នាទៅនឹងសារជាតុសំយោគទាំងនោះ។ ចាប់តាំងពី lignin ត្រូវបានដឹងថាមិនមានផលប៉ះពាល់ គ្មានជាតិពុល និងមានតម្លៃទាបជាងជ័រសំយោគ វាត្រូវបានគេយកមកប្រើប្រាស់ជំនួស PF នៅក្នុងផលិតកម្ម ដែលត្រូវបានគេប្រើផ្ទាល់ទៅលើផលិតផលក្ដារបន្ទះសម្រាប់ជាភ្នាក់ងារភ្ជាប់ធម្មជាតិ (Velásquez et al., 2003)។



រូបភាព ២.២៩ រចនាសម្ព័ន្ធគ្រឹះនៃជ័រសំយោគ PF និង លីកនីន



រូបភាព ២.៣០ រចនាសម្ព័ន្ធលីកនីនទោលនីមួយៗ និង kraft-lignin

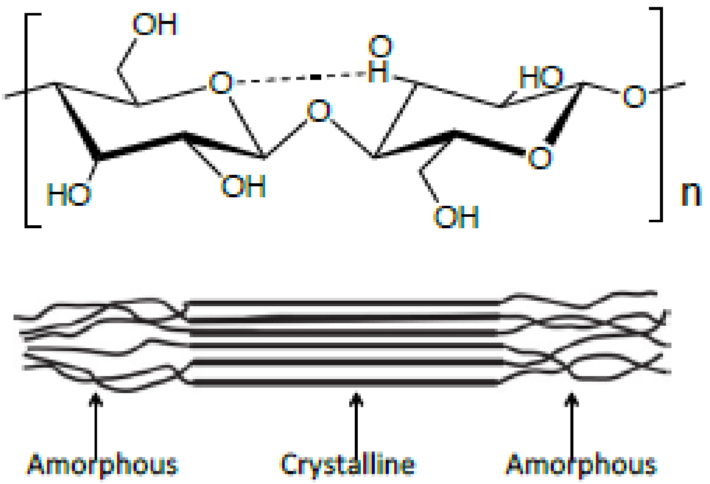
រោងចក្រផលិតក្រដាស និង ផាល់ គឺជាប្រភពចំបងនៃកាកសំណល់លីកនីន (lignin by-product)។ ជាលក្ខណៈបច្ចេកទេស លីកនីនអាចបែងចែកចេញជា២ប្រភេទដោយយោងទៅតាមចំនួនស្ពាន់ធ័រដែលមាន។ ប្រភេទទីមួយហៅថា commercial lignin ដែលមានស្ពាន់ធ័រជាប់នឹងរចនាសម្ព័ន្ធរបស់វាដែលត្រូវបានរកឃើញក្នុង Kraft lignin និងlignosulfonate។ Lignin ប្រភេទនេះជាប្រភេទligninដែលមានលក្ខណៈសាមញ្ញ និងជាទូទៅផលិតចេញពីឈើធម្មតា (softwood)។ ប្រភេទ ligninទី២គឺមានស្ពាន់ធ័រសេរី វាអាចផលិតបានតាមវិធីសាស្រ្តខុសៗគ្នា ហើយភាគច្រើននៃligninប្រភេទនេះមិនអាចប្រើប្រាស់បានជាលក្ខណៈពាណិជ្ជកម្មនោះទេ ដែលក្នុងនោះមានដូចជា ligninពីដំណើរការស្ងោរដោយប្រើសូដ្យូមអ៊ីដ្រុកស៊ីត, organosolv lignin, lignin ទទួលបានពីដំណើរការស្ងោរ, និង lignin ដែលទទួលបានពីដំណើរការបំបែកនៃជីវម៉ាស (Mancera, 2008)។

លីកនីនគឺជាសារធាតុប៉ូលីម៊ែរធម្មជាតុធំទី ២ បន្ទាប់ពីសែលលុយឡូសត្រូវបានគេបោះបង់ចោល។ លីកនីនត្រូវបានញែកចេញពីដុំឈើ ឬ រុក្ខជាតិនៅក្នុងដំណើរការផលិតផាល់និងក្រដាស (Lora &

Glasser 2002)។ លីកនីនមានរចនាសម្ព័ន្ធខុសៗគ្នាអាស្រ័យតាមវិធីសាស្ត្រញែក និងប្រភេទនៃរុក្ខជាតិ ដែលជាធម្មតាវាមាន ៣ ប្រភេទម៉ូណូម៉ែរផេនីលប្រូប៉ាន (phenylpropane monomers / monolignols) រួមមាន៖ coumaryl alchohol, coniferyl alcohol និង sinapyl alcohol (រូបភាព ២.២៩)។ លីកនីនទោលទាំង ៣ នេះមានច្រើននៅក្នុងម៉ូលេគុលប៉ូលីម៉ែរលីកនីន។ សមាមាត្រខុសៗគ្នារបស់លីកនីនក៏ខុសគ្នាអាស្រ័យតាមប្រភេទរុក្ខជាតិផងដែរ។ ប្រភេទលីកនីនជាច្រើនមាន Kraft lignin និង lignosulfonate ត្រូវបានប្រើប្រាស់ជាសារធាតុស្អិតបន្ថែមក្នុងការផលិតក្តារបន្ទះ។ នៅក្នុងការផលិតក្តារបន្ទះ លីកនីនជួយធ្វើឲ្យបង្កើតនូវជាតិស្អិត (ផ្លាស្ទិច) និងជួយភ្ជាប់សម្ព័ន្ធរវាងលីកនីននិងសារធាតុសរសៃ។ លីកនីនត្រូវបានរំលាយនៅសីតុណ្ហភាពជាក់លាក់មួយ នៅក្នុងដំណាក់កាលកៀបសង្កត់ជាផលិតផលក្តារបន្ទះ។

ក្រាហ្វលីកនីនមានពណ៌ខ្មៅ មិនរលាយក្នុងទឹក ឬ solvent ដោយសារវាមានកំហាប់ក្រុម ផេណុលអ៊ីដ្រុកស៊ីលខ្ពស់ (Lora & Glasser, 2002)។

សរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារ (*Cellulose nanofibers (CNF)*) គឺជាសរសៃនៃសែលលុយឡូសតូចបំផុតនាពេលបច្ចុប្បន្ននេះ ដែលត្រូវបានបង្កើតឡើងដោយច្រាំក់សែលលុយឡូសចំនួន ៣៦។ វាមានទំហំចន្លោះ ៥ ទៅ ៥០ ណាណូម៉ែត្រ ដែលភាពខុសគ្នានេះអាស្រ័យតាមប្រភពវត្ថុធាតុដើម វិធីសាស្ត្រផលិត (Thakur & Thakur, 2015)។ វាត្រូវបានគេចាត់ទុកថាជា សារធាតុនៃសែលលុយឡូសដែលមានភាពរឹងមាំខ្លាំង។ វាមានតំណរភ្ជាប់ម៉ូលេគុល D-Glucose ដែលមានសម្ព័ន្ធ 1-4 β glycosidic ចំនួន ២ និងមានទម្រង់ជាគ្រីស្តាល់និង amorphous (រូបភាព ២.៣០)។ សរសៃតូចឆ្មារនេះក៏អាចផលិតចេញពីប្រភពវត្ថុធាតុដើមនៃឈើ និងមិនមែនឈើដូចសែលលុយឡូសផងដែរ។



រូបភាព ២.៣០ រចនាសម្ព័ន្ធគីមីនិងទម្រង់នៃសរសៃតូចឆ្មារ

សរសៃតូចឆ្មារនេះត្រូវបានគេនិយមប្រើប្រាស់តាមមុខងារនិងផលិតផលផ្សេងៗយោងតាមគុណសម្បត្តិដូចខាងក្រោម៖

១. លក្ខណៈសម្បត្តិ (properties of CNF)

- ស្រាល
- ជាផលិតផលធម្មជាតិនិងផលិតផលកកើតឡើងវិញ
- អាចរំលាយដោយជីវ
- មានភាពរឹងមាំខ្លាំងនិងតឹងខ្លាំង
- មានផ្ទៃរាបធំ
- មានលក្ខណៈទប់ដូចជា ទប់ការហូរច្រោះទឹកជាដើម
- ភ្លឺ ថ្លា
- ទន់ អាចបត់បាន
- ធន់នឹងកម្តៅ ដល់ប្រហែល ២០០ អង្សាសេ

២. ការប្រើប្រាស់ប្រកបដោយសក្តានុពលសម្រាប់ផលិតផល៖

- សម្ភារ បរិក្ខារ ដែលផលិតឡើងដោយបន្សំ (ឧទាហរណ៍ គ្រឿងអេឡិចត្រូនិច គ្រឿងសែនសឺរជីវ...)
- បរិក្ខារសំណង់
- បរិក្ខារដែលមានរន្ធ
- រចនាសម្ព័ន្ធនៃសំណង់សរសៃ (ឧទាហរណ៍ ក្រដាស ក្តារ...)
- បរិក្ខារលាបពីក្រៅ
- សារធាតុបន្ថែម (ឧ. ភ្នាក់ងារកែប្រែរូបសាស្ត្រ)
- ផ្ទៃលើតាមមុខងារ
- បរិស្ថាននិងកែច្នៃកាកសំណល់

- ថាមពល
- អ៊ីសូឡង់នៃកម្តៅ
- ភ្ជាក់ងារទប់ទល់និងដកចេញនូវសារធាតុលោហៈធ្ងន់ និងជាតិពុល
- ក្រណាត់ (Wei et al., 2014)។

សរសៃតូចឆ្មារនេះត្រូវបានគេប្រើប្រាស់ជាសារធាតុបន្ថែមក្នុងល្បាយវត្ថុធាតុសម្រាប់ផលិតក្រដាស ហើយក៏មានការបញ្ជាក់តាមរយៈអត្ថបទបោះពុម្ពផ្សាយជាច្រើនលើការបង្កើនភាពរឹងមាំរបស់ផលិតផលក្រដាសតាមរយៈការដាក់បន្ថែមនូវសរសៃតូចឆ្មារនេះផងដែរ។ ការដាក់បន្ថែមសរសៃតូចឆ្មារនេះទៅក្នុងល្បាយវត្ថុធាតុសម្រាប់ផលិតក្រដាសជួយបង្កើតសម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែនរវាងសរសៃនៅពេលធ្វើក្រដាស ដែលយន្តការសំខាន់គឺគ្រប់គ្រងលើកំណើននៃភាពរឹងមាំរបស់ក្រដាស។ សរសៃតូចឆ្មារក៏ជួយបិទភ្ជិតរន្ធនៃសរសៃនិងបង្កើនដង់ស៊ីតេរបស់ក្រដាសផងដែរ ដោយសារសរសៃតូចឆ្មារនេះមានទំហំតូចខ្លាំង អាចបញ្ជ្រាតខ្លួនចូលទៅក្នុងរន្ធរបស់សរសៃនៃវត្ថុធាតុដើមផងនិងអាចបណែនតាមរយៈការសង្កត់ក្នុងដំណើរការផលិតកម្មផង (Espinosa et al., 2016) (Cui et al., 2014; Kojima et al., 2016)។

ករណីសិក្សា

ការផលិតក្តារបន្ទះពីកាកសំណល់រុក្ខកម្មនិងសារធាតុស្អិតធម្មជាតិ

សេចក្តីផ្តើម

ជំពូកនេះនឹងធ្វើការរៀបរាប់ពី វត្ថុធាតុដើម ឧបករណ៍ និងវិធីសាស្រ្តទាំងអស់ដែលប្រើសម្រាប់ការសិក្សាស្រាវជ្រាវទាំងមូល។ ការសិក្សានេះត្រូវបានធ្វើឡើងនៅបន្ទប់ពិសោធន៍នៃវិទ្យាស្ថានពហុបច្ចេកវិទ្យា (Polytechnic School) និងមន្ទីពិសោធន៍ Park of Science and Technology នៃសាកលវិទ្យាល័យជីរ៉ូណា ប្រទេសអេស្ប៉ាញ។ វត្ថុធាតុដើមដែលយកមកប្រើប្រាស់ក្នុងការសិក្សាស្រាវជ្រាវនេះមានដូចជា ចំបើង, សំណល់រាវនៃរោងចក្រក្រដាសនិងpulp (commercial black liquor), pulp ដែលផលិតចេញពីដើមប្រេងខ្យល់ (kraft eucalyptus pulp) និងសារធាតុឃាត់ ឬ retention agents (cationic starch និងcolloidal silica)។

ដំណើរការនៃការផលិត និង វិធីសាស្រ្តធ្វើតេស្តទៅលក្ខណៈរូបនិងលក្ខណៈមេកានិករបស់ fiberboard នឹងត្រូវបានធ្វើការបកស្រាយពន្យល់។ គុណភាពនៃសំណាកត្រូវបានវិភាគលើលក្ខណៈមួយចំនួនដូចជា វាយនៈភាពនៃការសង្កត់ ឬ modulus of rupture (MOR)វាយនៈភាពនៃការធន់ , នឹងភាពយឺត ឬmodulus of elasticity (MOE), វាយនៈភាពនៃភាពមាំនៃផ្នែកខាងក្នុង ឬ internal bonding strength (IB), វាយនៈភាពលើភាពទង្គិច ឬ impact strength (IS), ការវិភាគលើបរិមាណនៃការសម្រូបជាតិទឹក ឬ water absorption (WA) និង វាយនៈភាពនៃការរីកមាឌក្រោយការត្រាំទឹក ឬ thickness swelling (TS) ដែលធ្វើការវាយតម្លៃដោយយោងទៅតាមស្តង់ដារអឺរ៉ុប និងស្តង់ដារ American Society for Testing and Materials (ASTM)។

លើសពីនេះទៅទៀត ដំណើរការនៃការផលិត ក្រដាស CNF និងlignin ក៏ដូចជាវិធីសាស្រ្តនៃការវិភាគគុណភាពរបស់ចំបើង និងpulpពីចំបើង ដូចជា សមាសធាតុផ្សំគីមី រូបសាស្រ្តនៃសារធាតុសរសៃ (fiber morphological) និងអត្រានៃការច្រោះទឹករបស់សារធាតុសរសៃ ក៏ត្រូវបានធ្វើការរៀបរាប់ក្នុងជំពូកនេះផងដែរ។ លក្ខណៈនៃ cellulose nanofiber (CNF) ដូចជា បរិមាណcarboxyl សរុប (COOH content), ទិន្នផលនៃសារធាតុសរសៃដែលមានទំហំជាណាណូម៉ែត្រ (yield of nanofibrillated fiber), cationic demand (CD) និង degree of polymerization (DP) ត្រូវបានគេធ្វើការវិភាគ។ ការធ្វើតេស្តទៅលើវាយនៈភាពនៃការទាញទៅលើក្រដាសដែលផលិតចេញពី pulp ចំបើង ត្រូវបានធ្វើការសិក្សាផងដែរដោយសារតែក្រដាសទាំងនេះផលិតឡើងដើម្បីកំណត់រក pulpពីចំបើងដែលប្រសើរបំផុតសម្រាប់ការផលិត fiberboard។ តេស្តលើវាយនៈភាពនៃការទាញធ្វើឡើងដោយយោងទៅតាមស្តង់ដារ ISO ១៩២៤-១ និង១៩២៤-២។

វត្ថុធាតុដើម

វត្ថុធាតុដើមដែលប្រើសម្រាប់ការសិក្សានេះមានដូចជា ចំបើង pulpពីដើមប្រេងខ្យល់(kraft eucalyptus pulp) សំណល់រាវនៃរោងចក្រក្រដាសនិងpulp(commercial black liquor) និងសារធាតុឃាត់ ឬretention agents(cationic starch colloidal silica)។ ចំបើងត្រូវបានគេយកមកពីស្រែនៅ Pals, Girona នៃប្រទេសអេស្ប៉ាញ ដែលមានសំណើម ១១.៣៩% ហើយចំបើងទាំងនេះត្រូវបានគេធ្វើការស្តុកទុកនៅក្នុងបន្ទប់ដែលមានសីតុណ្ហភាពធម្មតា។ ចំបើងត្រូវបានគេយកមកប្រើប្រាស់សម្រាប់ផលិតជា pulp (rice straw pulp ឬRSP) និងcellulose nanofiber from rice straw (RS.CNF)។ ចំណែកឯpulpពីដើមប្រេងខ្យល់ដែលមានសំណើម១០% មានបរិមាណសែលុយឡូស៧៦% គឺយកមកពី La Montañanesa (Grupo Torraspapel, Zaragoza, Spain) ត្រូវបានធ្វើការស្តុកទុកក្នុងបន្ទប់ដែលមានសីតុណ្ហភាពធម្មតា សម្រាប់ផលិតជា cellulose nanofiber (Eu.CNF)។ សំណល់រាវពីរោងចក្រក្រដាស និងpulp (commercial black liquor) ត្រូវបានផ្គត់ផ្គង់ដោយរោងចក្រក្រដាស និងpulp (Torraspapel S.A., Zaragoza, Spain) ត្រូវបានយកប្រើសម្រាប់ផលិត lignin ដែលនឹងត្រូវប្រើក្នុងការផលិត fiberboard។ សារធាតុឃាត់ ឬ retention agents ដូចជា colloidal silica ទទួលបានពី Torraspapel S.A. (Saarià de Ter, Girona, Spain) ហើយម្សៅសម្រាប់ផលិតជា cationic starch ត្រូវបានផ្ដល់ឱ្យដោយ Cargill Reference of Cationic starch C* Bond HR05946។ វត្ថុធាតុដើមទាំងនេះនឹងត្រូវបានធ្វើការសង្ខេបក្នុងតារាងទី៣.១ ។

តារាងទី៣.១ វត្ថុធាតុដើម និងមុខងារនៃវត្ថុធាតុដើមដែលត្រូវបានប្រើប្រាស់ក្នុងការសិក្សា

វត្ថុធាតុដើម	មុខងារ
Pulpពីចំបើង (Rice straw pulps ឬ RSP)	វត្ថុធាតុដើមគោល
Cellulose nanofiber ពីចំបើង (RS.CNF)	សារធាតុជួយធ្វើឱ្យមាំ (reinforcement)
Cellulose nanofner ពីpulpនៃដើមប្រេងខ្យល់ (Eu.CNF)	សារធាតុជួយធ្វើឱ្យមាំ (reinforcement)
Lignin	សារធាតុស្អិតធម្មជាតិ ឬភ្នាក់ងារភ្ជាប់ (binder)
Cationic starch	សារធាតុឃាត់ (retention agent)
Colloidal Silica	សារធាតុឃាត់ (retention agent)

សម្ភារៈ និងឧបករណ៍ពិសោធន៍

សម្ភារៈ និងឧបករណ៍មួយចំនួនដែលចាំបាច់សម្រាប់ការធ្វើពិសោធន៍មានរៀបរាប់ក្នុងតារាងទី ៣.២ ។

តារាងទី៣.២ ពត៌មាន និងមុខងាររបស់ឧបករណ៍ដែលប្រើប្រាស់សម្រាប់ការពិសោធន៍

ឧបករណ៍	ពត៌មាន	មុខងារ
Knives mill	Agrisma, Torellò, Barcelona, Spain	កាត់ ចិញ្ច្រាំ
Rotary digester	LEPAMAP Group, UdG, Spain	ស្ងោរដោយប្រើសម្ពាធ
Atmospheric digester	LEPAMAP Group, UdG, Spain	ស្ងោរក្នុងសម្ពាធធម្មតា
Spin dryer	AEG-Electrolux, Germany	ដកទឹកចេញ
Sprout Waldron	105-A, Austria	កិនបំបែក (disintegrator/ refiner)
Thermo-balance analyzer	Sartorius AG, Geottinggen, Germany	រកបរិមាណម៉ាសស្ងួតក្នុងវត្ថុធាតុដើម
Schopper-Riegler tester	Model 95587 PTI	រកអត្រានៃការហូរទឹកចេញ
Pulper or disintegrator	Spain	បំបែក (Disintegrator)
Mechanical stirrer	RW28	កូរដោយប្រើកម្លាំងមេកានិក
Rapid Köthen	ISP mod.786 FH	ច្រោះទឹក និងសម្ងួត
Ultra turrax (rpm x 1000)	T25D,Germany	កាត់ និងបំបែក
PFI mill	NPFI 02, Metrotec SA	កិន (Refiner)
Fontune Presssure	Lab-Econ 300,Fontijne Grotnes B.V., The Netherland	កៀប និងសម្ងួត fiberboard
Mold	LEPAMAP Group, UdG, Spain	ពុម្ព
Hounsfield 42 universal testing machine equipped	H5KS, England	ធ្វើការតេស្តលើវាយនៈភាពនៃការទាញក្រដាស

with a 2.5 kN load cell		
Micrometer LAF	Nº84	វាស់កម្រាស់
Homogenizer	NS1001L PANDA 2K-GEA	ផលិត CNF
MorFi	IDM. The manufacturer is TECHPAP SAS (Grenoble, France)	វិភាគលក្ខណៈរូបសាស្ត្រ
Dynamometer	DTC-10 supplied by IDMtest (San Sebastián, Spain)	វិភាគ MOR, MOE និង IB
Drill	P13F	ចោះរន្ធ
Impact hammer (Izod)	Resil 5,5" supplied by CEAST (Pianezza, Italy)	ធ្វើតេស្តលើវាយនៈភាពដោយកម្លាំងទង្គិច
Clamp tensile sanwhich	AMADE Group	ធ្វើតេស្តលើភាពមាំខាងក្នុងនៃ fiberboard (IB test)
Climatic chamber	CCK-30/1000 supplied by Dycometal (Sant Boi de Llobregat, Spain)	សម្ងួតសំណាកសម្រាប់ IB test

វិធីសាស្ត្រស្រាវជ្រាវ

វិធីសាស្ត្រនៃការរៀបចំផលិត pulp ពីចំបើង

នៅក្នុងការសិក្សាស្រាវជ្រាវនេះ thermomechanical pulp (TMP) និងchem-thermomechanical pulp (CTMP) ពីចំបើងត្រូវបានផលិតឡើងសម្រាប់ការផលិត fiberboard។

ចំបើងត្រូវបានកាត់ ឬចិញ្ច្រាំដោយ knives mill ដែលមានការកំណត់ប្រវែងនៃការកាត់ ១០មីលីម៉ែត្រ ហើយយកទៅស្តុកទុកនៅបន្ទប់ដែលមានសីតុណ្ហភាពធម្មតា មុនពេលយកទៅស្ងោរដើម្បីផលិតជា pulpពីចំបើង (rice straw pulp ឬ RSP)។ នៅក្នុងដំណើរការស្ងោរ មានឆ្នាំងស្ងោរពីរប្រភេទដែលត្រូវបានយកមកប្រើប្រាស់គឺ ឆ្នាំងស្ងោរដែលប្រើសម្ពាធ និងឆ្នាំងស្ងោរសម្ពាធធម្មតា។ មុនពេលរៀបចំដំណើរការនៃការស្ងោរ និងដាក់វត្ថុធាតុដើមចូលទៅក្នុងឆ្នាំងទាំងពីរប្រភេទត្រូវបានធ្វើការកម្តៅទុកជាមុននៅសីតុណ្ហភាព ៨០ និង១០០អង្សារសេ តាមរៀងគ្នា។ ត្រូវចាំថាការស្ងោរដោយប្រើឆ្នាំង

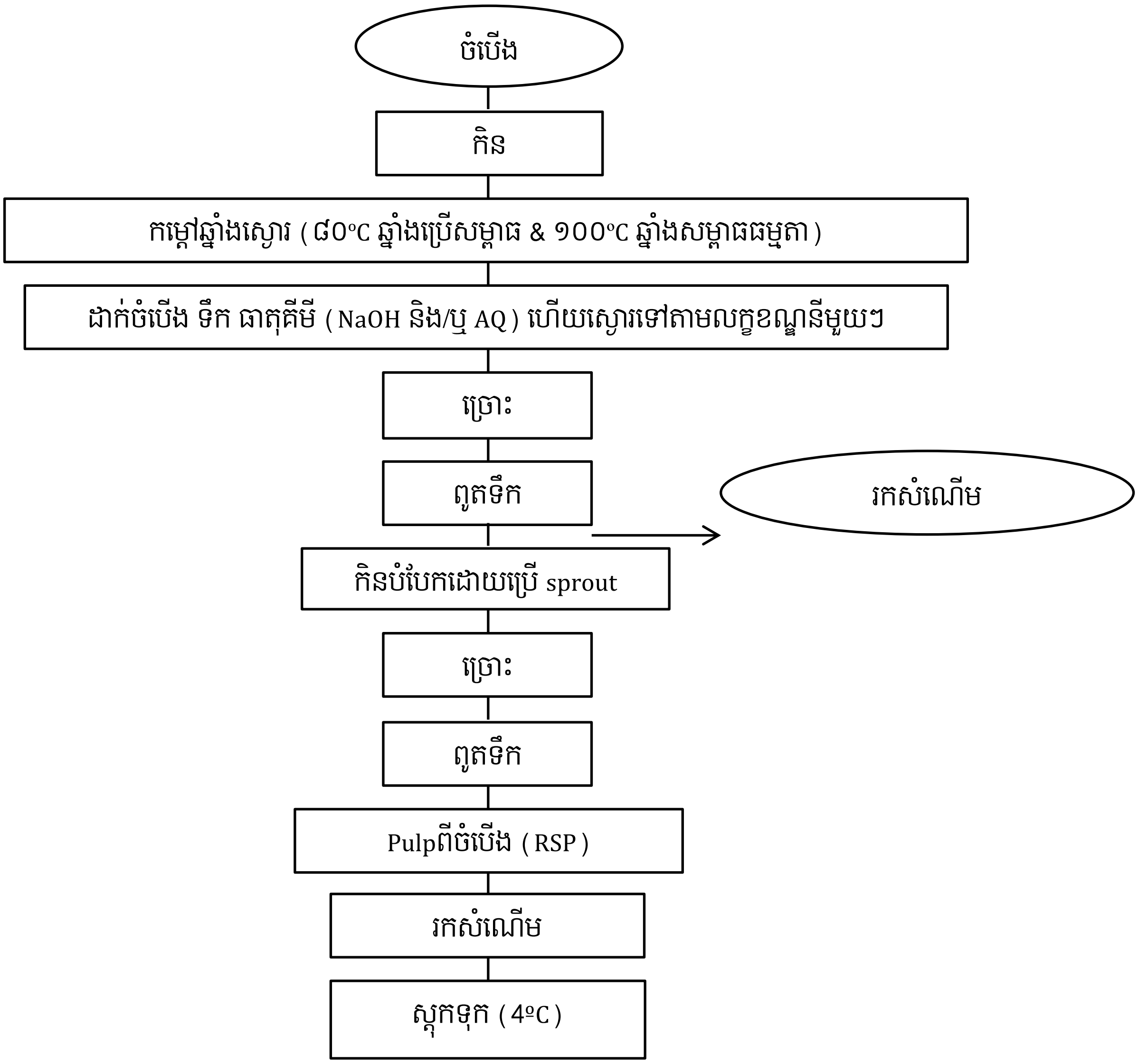
មានសម្ពាធធម្មតាត្រូវធ្វើការកូររៀងរាល់ ៥នាទីម្ដងដើម្បីធានាថាចំបើងឆ្អិនសព្វល្អ។ លក្ខខណ្ឌនៃការស្ងោរខុសៗគ្នា អាស្រ័យទៅតាមប៉ារ៉ាម៉ែត្រមួយចំនួនដូចជា សីតុណ្ហភាព រយៈពេល សម្ពាធ សមាមាត្រទឹកនិតម៉ាសស្ងួយ(liquid and solid ratio ឬL/S) និងសារធាតុគីមីដែលត្រូវប្រើ។ សូដ្យូមហ៊ីដ្រុកស៊ីត (NaOH) កំហាប់ ២៥ក្រាម/១លីត្រ និង anthraquinone (AQ) ឬ ($C_{14}H_8O_2$) ត្រូវបានគេប្រើប្រាស់សម្រាប់ chemi-thermomechanical pulp ហើយទឹកបិទត្រូវបានប្រើប្រាស់ក្នុងដំណើរការនៃការស្ងោរ។ បន្ទាប់ពីការស្ងោរ ចំបើងត្រូវបានធ្វើការលាងសម្អាតជាមួយទឹកធម្មតា រហូតមើលឃើញថាទឹកថ្លាទើបឈប់ ហើយយកទៅច្រោះ និងពូតទឹកចេញ ដោយប្រើឧបករណ៍spin dryer និងធ្វើការគណនារកទិន្នផលក្រោយពេលស្ងោរ ។

បន្ទាប់ពីការស្ងោរ សារធាតុសរសៃនៃចំបើងត្រូវបានយកទៅកិនបំបែកដោយប្រើប្រាស់ម៉ាស៊ីនឈ្មោះ Sprout Waldron ហើយធ្វើការច្រោះ ពូតទឹក ដាក់ក្នុងថង់ផ្លាស់ស្ទិច និងស្តុកទុកនៅក្នុងទូរទឹកកកសីតុណ្ហភាព ៤អង្សាសេ ដោយមានការសរសេរចំណាំនូវអត្រាសំណើមរបស់ pulpពីចំបើង (RSP)។ ដ្យាក្រាមទី៣.១ បង្ហាញពីខ្សែរសង្វាក់នៃការរៀបចំpulpពីចំបើង ហើយតារាងទី៣.៣ បង្ហាញពីលក្ខខណ្ឌនៃការស្ងោររបស់pulpពីចំបើង នីមួយៗ។ រូបមន្តខាងក្រោមត្រូវបានប្រើប្រាស់សម្រាប់ការគណនារកទិន្នផលរបស់pulpពីចំបើង ក្រោយពេលស្ងោរ៖

$$\text{ទិន្នផល} = \frac{\text{ម៉ាសស្ងួតក្រោយការស្ងោរ}}{\text{ម៉ាសស្ងួតមុនពេលស្ងោរ}} \times ១០០$$

តារាងទី៣. 1 លក្ខខណ្ឌនៃការស្ងោរ

ចំបើង (rice straw ឬ RS)		លក្ខខណ្ឌនៃការស្ងោរ				
ប្រភេទនៃ pulp	អក្សរតាង	សារធាតុគីមី	រយៈពេល (នាទី)	សីតុណ្ហភាព (°C)	សមាមាត្រទឹក និងម៉ាសស្ងួត	សម្ពាធ
TMP	RS_{TMP}	-	៣០	១៦០	៦	-
CTMP	RS_5	៥%NaOH, 0.១% AQ	៣០	១៦០	៦	-
	RS_3	៣% NaOH	៩០	១០០	៦	១ atm
	RS_6	៦% NaOH	៩០	១០០	៦	១ atm



ដ្យាក្រាមទី៣.១ ខ្សែសង្វាក់នៃការរៀបចំស្ងោរចំបើង ឬផលិត pulpពីចំបើង (RSP)

ការវិភាគលក្ខណៈរបស់សារធាតុសរសៃនៃចំបើង

ក ការវិភាគសមាសធាតុផ្សំគីមី

បរិមាណផេះ និង lignin នៅក្នុងចំបើងត្រូវបានកំណត់រកតាមស្តង់ដារ Tappi ដែល T-២២១ សម្រាប់បរិមាណផេះសរុប ហើយT-២៣៦ om-៨៥ សម្រាប់កំណត់រក Kappa number។ Kappa number ត្រូវបានគេកំណត់រកដោយសារតែវាជាគន្លឹះសំខាន់ក្នុងការកំណត់នូវបរិមាណរបស់ lignin ដែលមាននៅក្នុងសំណាក។ ទំនាក់ទំនងរវាង Kappa number និង ignin ជាទូទៅគឺខុសៗពីគ្នាអាស្រ័យទៅនឹងប្រភេទនៃសារជាតុសរសៃរបស់វត្ថុជាតុដើម។ យោងទៅតាម (Snelders et al., 2014) ដែលធ្វើការសិក្សាទាក់ទងជាមួយនឹងចំបើងពីស្រូវសាឡី Kappa number ត្រូវបានយកទៅ

ចែកនឹង ៦ ដើម្បីទទួលបានបរិមាណនៃ lignin ហើយក្នុងករណីរបស់ (Fatehi et al., 2009) ដែលបានធ្វើការសិក្សាជាមួយចំបើងពីស្រូវអង្ករ ពួកគេមានតម្លៃនៃបរិមាណរបស់ lignin ហើយគេបានទាញរកបរិមាណ Kappa number ដោយគុណជាមួយ ៦.៧។ ហេតុនេះហើយ ក្នុងការសិក្សានេះ Kappa number ដែលទទួលបានគឺចែកជាមួយ ៦.៧ ដើម្បីទទួលបានបរិមាណ lignin ដែលមានក្នុងចំបើង ។

ខ ការវិភាគលក្ខណៈរូបសាស្ត្រនៃសារធាតុសរសៃ (Morphological of fiber)

លក្ខណៈរូបសាស្ត្រនៃសារធាតុសរសៃ គឺជាវិទ្យាសាស្ត្រដែលសិក្សាពីទម្រង់នៃសារធាតុសរសៃ ដែលសម្តៅទៅលើ រាងរៅរបស់សារធាតុសរសៃ(រួញ ក្រញាញ់) ទំហំ(ប្រវែងបណ្តោយ ទទឹង -ល-) និងបរិមាណសារធាតុសរសៃតូចៗផ្ទារ (fines element) ជាដើម។ ឧបករណ៍ឈ្មោះ MorFi Compact analyzer ត្រូវបានប្រើប្រាស់សម្រាប់ការវិភាគនេះ (González et al., 2013)។

គ វិភាគអត្រានៃការហូររបស់ទឹកឆ្លងកាត់សារធាតុសរសៃ (Schopper-Riegler freeness)

អត្រានៃការហូររបស់ទឹកឆ្លងកាត់សារធាតុសរសៃ (Schopper-Riegler freeness ឬ drainage index) គឺជាការវាស់ ឬកំណត់នូវអត្រានៃទឹកនៅក្នុងល្បាយនៃសារធាតុសរសៃហូរឆ្លងកាត់ភ្នាសដែលមានរន្ធតូចល្អិត។ Schopper-Riegler freeness ឬ drainage index (ºSR) ត្រូវបានគេកំណត់រកដោយប្រើ Schopper-Riegler tester ម៉ូដែល ៩៥៥៨៧ PTI ដោយយោងតាមស្តង់ដារ ISO ៥២៦៧/១ (González et al., 2013)។

សារធាតុបន្ថែម

មានសារធាតុបន្ថែមចំនួនពីរប្រភេទ ដែលត្រូវបានប្រើប្រាស់ក្នុងការសិក្សានេះ សម្រាប់ជាប្រើជាសារធាតុស្អិតពីធម្មជាតិ គឺ cellulose nanofiber (CNF) និងlignin។ ក្នុងនោះដែរ cellulose nanofiber ដែលប្រើមានពីរប្រភេទទៀតគឺ cellulose nanofiberផលិតចេញពីចំបើង (rice straw cellulose nanofiber ឬRS.CNF) និងcellulose nanofiberផលិតចេញពីដើមប្រេងខ្យល់ (eucalyptus cellulose nanofiber ឬEu.CNF)។

ក ការរៀបចំ cellulose nanofiberផលិតចេញពីដើមប្រេងខ្យល់ (Eu.CNF)

Pulpពីដើមប្រេងខ្យល់ ត្រូវបានយកទៅធ្វើព្រឹត្តិកម្មជាមួយ TEMPO-mediate oxidation ជាមុនសិនមុនពេលយកទៅ pass homogenizer។ ដំបូង រៀបចំល្បាយនៃPulpពីដើមប្រេងខ្យល់ ក្នុង

កំហាប់ ១.៥wt% រួចយកទៅបំបែកនៅក្នុងឧបករណ៍បំបែកជាតិសរសៃ (pulper) ដែលមានល្បឿន ៣000rpm ឬជុំក្នុងមួយនាទីរយៈពេល៣០នាទី។ បន្ទាប់មកទៀត ថ្លឹងម៉ាសស្ងួត ១៥ក្រាម នៃPulp ពីដើមប្រេងខ្យល់ដាក់លាយទឹកបន្ថែមរហូតដល់ ១៥០០មីលីលីត្រ ដែលក្នុងនោះមាន TEMPO ០.២៤ក្រាម NaBr ១.៥ក្រាម ហើយកូរជាមួយក្នូរមេកានិកក្នុងល្បឿន ៥00rpm សីតុណ្ហភាព ៦០ អង្សារសេ រយៈពេល ២ម៉ោង។ ក្នុងពេលដំណើរការ ៦mmol នៃសូដ្យូមហ៊ីប៉ូក្លរីត (NaClO) ៤៤.៦៦ មីលីត្រ ត្រូវបានបន្តក់ចូលទៅក្នុងល្បាយនៃសារជាតុសរសៃ។ បន្ទាប់មកទៀត ១.៥M ត្រូវបានគេ បន្ថែមចូលទៅក្នុងល្បាយនៃសារជាតុសរសៃដើម្បីរក្សា pH១០។ ប្រត្តិកម្មនឹងបញ្ចប់នៅពេលដែល pH ថេរ។ បន្ទាប់មកទៀតល្បាយនៃសារជាតុសរសៃ ត្រូវបានយកទៅលាងជាមួយទឹកបិទដើម្បីលាងចេញ នូវសារជាតុគីមីដែលប្រើក្នុងប្រព្រឹត្តិកម្ម TEMPO-mediate oxidation។ សារជាតុសរសៃក្រោយពេល វងប្រព្រឹត្តិកម្មពីTEMPO-mediate oxidation ត្រូវបានយកមករៀបចំក្នុងកំហាប់ ១ភាគរយ និងpass homogenizer នៅសម្ពាធ៦០0bar ក្នុងសីតុណ្ហភាពពី ៦០ទៅ៧០អង្សារសេ និងpass homogenizer ចំនួន៥ដងដើម្បីទទួលបានលក្ខណៈអន្ទិល។ បន្ទាប់មកទៀត eucalyptus cellulose nanofiber (Eu.CNF) ៥ក្រាមត្រូវបានថ្លឹង និងសម្ងួតក្នុងទូរសម្ងួតសីតុណ្ហភាព ១០៥អង្សារសេ រយៈ ពេល២៤ម៉ោង ដើម្បីធ្វើការគណនារកកំហាប់របស់សារជាតុសរសៃដែលមាននៅក្នុងCNFបន្ទាប់មក ទៀតCNFត្រូវបានយកទៅស្តុកទុកនៅក្នុងទូរទឹកកកសីតុណ្ហភាព ៤អង្សារសេ។

ខ ការរៀបចំ cellulose nanofiberផលិតចេញពីចំបើង

ចំបើងស្ងោរហើយដែលមានអក្សរតាង RS៥ ដែលមាន Kappa number ៥៤ ត្រូវបានយកទៅ ធ្វើឱ្យស ឬដកយកបរិមាណlignin (bleach) ដើម្បីទទួលបាន Kappa number ៣០ មុនពេល pass homogenizer។ ចំបើង ៣០ក្រាម គិតជាម៉ាសស្ងួតត្រូវបានយកទៅbleachedក្រោមលក្ខខណ្ឌនៃ សីតុ ណ្ហភាព ៧០អង្សារសេ រយៈពេល១ម៉ោង ជាមួយសូដ្យូមអ៊ីប៉ូក្លរីត (NaClO) ៨ភាគរយ។ បន្ទាប់មក ទៀតសារជាតុសរសៃត្រូវបានយកទៅលាងសម្អាតសារជាតុគីមី ហើយយកទៅវិភាគរក Kappa number។ សារជាតុសរសៃដែលbleachedហើយ ត្រូវបានយកទៅលាយជាមួយទឹកបិទក្នុងកំហាប់ ១ ភាគរយ ហើយដាក់ក្នុងឧបករណ៍ កាត់និងបំបែកឈ្មោះ Ultra turrax (rpm x១០០០) នៅ ២០ revolutions រយៈពេល ៥នាទី។ បន្ទាប់មកទៀត ល្បាយនៃសារជាតុសរសៃ ត្រូវបានយកទៅ pass homogenizer ចំនួន១០ដង (៣០0bar ៣ដង និង ៦០0bar ៧ដង) ដើម្បីទទួលបាន cellulose nanofiber។

បន្ទាប់មកទៀត rice strawcellulose nanofiber (RS.CNF) ៥ក្រាម ត្រូវបានថ្លឹង និងសម្ងួតក្នុងទូរសម្ងួតសីតុណ្ហភាព ១០៥អង្សារសេ រយៈពេល២៤ម៉ោង ដើម្បីធ្វើការគណនារកកំហាប់របស់សារជាតុសរសៃរដែលមានក្នុងផលិតផលCNF និងត្រូវបានយកទៅស្តុកទុកនៅក្នុងទូរទឹកកកសីតុណ្ហភាព ៤អង្សារសេ ។ កំហាប់របស់ cellulose nanofiber ត្រូវបានគណនាតាមរូបមន្តដូចខាងក្រោម៖

$$C\% = \frac{\text{ម៉ាសស្ងួតសរុប} - \text{ម៉ាសចាន}}{\text{ម៉ាស CNFមុនពេលសម្ងួត}} \times ១០០$$

គ lignin

Kraft lignin សុទ្ធក្នុងភាពជាម្សៅដែលប្រើសម្រាប់ផលិតfiebrboard ត្រូវបានរៀបចំពីសំណល់រាវនៃរោងចក្រក្រដាស និងpulp(commercial black liquor) ដែលយកមកពីរោងចក្រដាស់ និងpulp, Torraspapel S.A. (Zaragoza, Spain)។ Lignin ត្រូវបានរៀបចំតាមវិធីសាស្ត្ររបស់ (Lin, 1992)។ ដំបូង commercial black liquor ត្រូវបានយកមកធ្វើប្រព្រឹត្តិកម្មជាមួយទឹកក្តៅ ដោយកូរឱ្យសព្វល្អ ដើម្បីរំលាយសូលុស្យុងឱ្យទៅជាខាប់អន្ទិល។ បន្ទាប់មកទៀតយកសូលុយស្យុងនោះ (pH=១២) ទៅលាយជាមួយអាស៊ីតស៊ុលផួរិចដែលមានកំហាប់ ៧២% ហើយកូរឱ្យសព្វ។ កករបស់lignin បានលេចឡើង នៅពេលដែលpHបានបញ្ចុះមកត្រឹម២ បន្ទាប់មកគេធ្វើការច្រោះយកកករនោះ។ ក្រោយពីច្រោះគេយកកករligninទៅលាងជាមួយទឹកបិទដើម្បីសម្អាតកាកសំណល់របស់អាស៊ីត។ បន្ទាប់មកទៀតដើម្បីឱ្យបានlignin សុទ្ធ និងជាម្សៅសម្រាប់ប្រើជាសារជាតុស្អិតធម្មជាតិ សូលុយស្យុងត្រូវបានបង្កើន pH ទៅ៦.០ ដោយបន្ថែម សូដ្យូមហ៊ីដ្រុកស៊ីត (NaOH) និងសម្ងួតក្នុងovenសីតុណ្ហភាព ៦០អង្សារសេ។ បន្ទាប់ពីសម្ងួត ligninត្រូវបានគេទុកក្នុងថង់ផ្លាស្ទិច ក្នុងសីតុណ្ហភាពធម្មតា ។

ឃ Refining

PFI mill គឺជាrefinerដែលត្រូវបានគេប្រើជាទូទៅនៅក្នុងមន្ទីពិសោធន៍។ នៅក្នុងការសិក្សានេះ pulpពីចំបើងប្រភេទ RSTMP (ស្ងោរនៅលក្ខខណ្ឌ ៣០នាទី ១៦០អង្សារសេ អត្រាទឹកនិងម៉ាសស្ងួត៦ ស្ងោរក្នុងឆ្នាំប្រើសម្ពាធ) ដែលជាប្រភេទ thermomechanical pulp ត្រូវបានកិន (refined) ដោយប្រើម៉ាស៊ីឈ្មោះ PFI mill។ ល្បាយនៃសារជាតុសរសៃរ និងទឹកត្រូវបានរៀបចំឡើងក្នុងកំហាប់ ១០%។ បន្ទាប់មកទៀតគេយក ល្បាយនៃសារជាតុសរសៃរទៅកិនក្នុងល្បឿនខុសៗគ្នាគឺ ៥០០ ១០០០ ១៥០០ ២០០០ ៣០០០ និង ៤០០០ revolutions សម្រាប់ផលិត fiberboard។

ង Retention agent

Cationic starch និង colloidal silica ត្រូវបានយកមកប្រើប្រាស់ជាសារធាតុសម្រាប់ឃាត់ (retention agent) cellulose nanofiber ឬlignin កុំឱ្យហូរទៅតាមទឹកនៅពេលច្រោះ (González et al., 2014)។ Colloidal silica យកមកពីក្រុមរោងចក្រក្រដាស និងpulpឈ្មោះ Torraspapel S.A. (Sarrià de Ter, Girona, Spain)។ ចំណែកឯ Cationic starch វិញគឺជាម្សៅដែលផ្គត់ផ្គង់ដោយ Cargill Reference of Cationic starch C* Bond HR05946 ហើយត្រូវបានយកមកលាយឱ្យទៅជាសូលុយស្យុងនៅក្នុងមន្ទីរពិសោធន៍ LEPAMAP នៃសាលាពហុបច្ចេកទេសរបស់សាកលវិទ្យាល័យជីរ៉ូណា ។ ដំណើរការសលាយ cationic starch មានដូចខាងក្រោម៖

- រំលាយម្សៅ cationic starch ២% ទៅក្នុងទឹកបិទ
- ធ្វើការកម្ដៅផ្ទាំងស្ងោរនៅសីតុណ្ហភាព ៩៨អង្សារសេ
- នៅពេលសីតុណ្ហភាពនៃផ្ទាំងកើនដល់ ៩៨អង្សារសេ ដាក់សូលុស្យុងដែលរៀបចំរួចចូលហើយកូរឱ្យខ្លាំងដោយប្រើក្ដួរមេកានិក
- នៅពេលសីតុណ្ហភាពរបស់សូលុយស្យុងកើនដល់ ៩៨អង្សារសេ ចាប់ផ្ដើមធ្វើការកំណត់រយៈពេល៩០នាទី
- ចុងក្រោយ ល្បាញនៃសូលុយស្យុងត្រូវបានធ្វើការស្ដុកទុកក្នុងដបកែបនៅក្នុង oven នៅសីតុណ្ហភាពពី ៦០ ទៅ៧០ អង្សារសេ

ការវិភាគលើលក្ខណៈរបស់ cellulose naonofiber (CNF)

ក ទិន្នផលនៃសារធាតុសរសៃរតូចឆ្មារ (Yield)

ទិន្នផលនៃ CNF ត្រូវបានគេធ្វើការវិភាគដើម្បីឱ្យដឹងពីចំនួននៃសារធាតុសរសៃរតូចឆ្មារ (nanofibrillated fraction)សរុបដែលមាននៅក្នុងផលិតផល CNF។ រៀបចំសូលុយស្យុងដែលមាន ០.១%នៃម៉ាសស្ងួតរបស់សារធាតុសរសៃរ ហើយដាក់ចូលទៅក្នុងដបសម្រាប់ធ្វើ centrifuge (១៥០ ក្រាម ក្នុងដបនីមួយ)។ ការធ្វើ centrifuge ត្រូវបានគេធ្វើឡើងនៅក្នុងល្បឿន ៤៥០០rpm រយៈពេល ២០នាទី។ បន្ទាប់ពីដំណើរការត្រូវបានបញ្ចប់ ល្បាយនឹងញែកចេញជាពីរផ្នែកដោយបរិមាណនៃសារធាតុសរសៃរតូចឆ្មារ (nanofibrillated contained) ធ្លាក់ចុះមកក្រោម។ ក្រោយមកគេត្រូវធ្វើការប្រមូលយកសារធាតុតូចឆ្មារទាំងនោះដោយសម្រិត ផ្នែកខាងលើចេញ។ បន្ទាប់ពីនោះកករនៃសារធាតុសរសៃរត្រូវបានគេយកទៅសម្ងួតក្នុងទូរសម្ងួតនៅ សីតុណ្ហភាព១០៥អង្សារសេ រយៈពេល២៤ម៉ោង សម្រាប់គណនារកទិន្នផលសរុបនៃសារធាតុសរសៃរតូចឆ្មារ។ ទិន្នផលនេះត្រូវបានធ្វើការគណនាតាមរូបមន្តដូចខាងក្រោម៖

ទិន្នផល= (១ - $\frac{\text{ទម្ងន់នៃម៉ាសស្ងួត}}{\text{ទម្ងន់នៃសំណាកដែលបានពង្រាវ x \%Sc}}$) x ១០០

ដែល, %Sc គឺជាអង្គធាតុរឹងសរុបដែលមាននៅក្នុង CNFដែលពង្រាវ

ខ Cationic Demand

Cationic Demand (CD) ត្រូវបានកំណត់រកដើម្បីឱ្យដឹងពីចំនួននៃបន្ទុកសរុបដែលមាននៅលើផ្ទៃនៃសំណាកសម្រាប់ការចងសម្ព័ន្ធរបស់សារធាតុសរសៃ។ CD នៃ CNF ត្រូវបានគេកំណត់ដោយប្រើ Mütek PCD 04 particle charge detector។ ដំបូងរៀបចំ ០.២ក្រាម នៃម៉ាសស្ងួតរបស់ CNF ហើយពង្រាវជាមួយទឹក ២៥០ក្រាម បន្ទាប់មកទៀតយកសូលុយស្យុងនោះ ១៥ក្រាម ដាក់ក្នុង centrifuge។ បន្ទាប់មក បន្ថែម២៥មីលីលីត្រនៃ polyDEDMACចូលទៅក្នុងសូលុយស្យុង ហើយធ្វើcentrifugeរយៈពេល២០នាទីក្នុងល្បឿន ១០០០០rpm។ បន្ទាប់មកទៀត យក១០មីលីលីត្រនៃផ្នែករាវ (supernatant) ទៅធ្វើតេស្តក្នុងឧបករណ៍ Mütek។ Anionic polymer (Pes-Na) ត្រូវបានដាក់បន្ថែមចូលទៅក្នុងសំណាកមួយដំណក់ម្តងៗដោយប្រើពីប៉ែត្រ (pipette) រហូតឧបករណ៍បង្ហាញ 0 mV។ មាឌនៃ anionic polymer ដែលប្រើត្រូវបានកត់ទុកសម្រាប់ធ្វើការគណនា។ CF ត្រូវបានគណនាតាមរូបមន្តដូចខាងក្រោម៖

CD (µeq/g) = $\frac{6.25 - \text{Vspent x 4}}{\text{ម៉ាសស្ងួតដែលដាក់ចូលក្នុងដបcetrifuge (ក្រាម)}}$

ដែល Vspent គឺជាមាឌនៃ anionic polymer ដែលប្រើ (មីលីលីត្រ)

គ បរិមាណ Carboxylic

បរិមាណនៃក្រុមកាបុកស៊ីល (carboxylic ឬCOOH) នៅក្នុងសារធាតុសរសៃដែលបានធ្វើអុកស៊ីតកម្ម ត្រូវបានធ្វើការគណនាដោយ conductometric titration។ សូលុយស្យុងត្រូវបានរៀបចំដោយពង្រាវ ០.១៥ក្រាម នៃម៉ាសស្ងួតរបស់ CNFក្នុងទឹកបិទ ៥៥មីលីលីត្រ។ បន្ទាប់មកទៀត សូដ្យូមក្លរ (NaCl) ដែលមានកំហាប់ ០.០១M ចំនួន ៥មីលីលីត្រ ត្រូវបានបន្ថែម និងកូរដោយប្រើក្បាលម៉ាញ៉េទិករយៈពេល២០នាទី។ បន្ទាប់មក បន្ថែមអាស៊ីតក្លរីឌ្រិច (HCl) កំហាប់ ០.១M ទៅក្នុងសូលុយស្យុងរហូតទទួលបាន pH ២.៨។ ក្រោយមក សូលុយស្យុងត្រូវបានធ្វើការបន្តក់ (titration) ដោយប្រើ ០.២មីលីលីត្រនៃ ០.០៥M នៃNaOH រួចធ្វើការវាស់វែង និងកត់ត្រាទុក។ ដំណើរការនេះត្រូវបានធ្វើម្តងហើយម្តងទៀតរហូតសង្កេតឃើញថាវាមានលក្ខណៈ ថយចុះ ថេរ និងកើនឡើងវិញ។ ជាមួយនឹងលទ្ធផលនេះ ខ្សែកោងនៃការបន្តក់ត្រូវបានគេសង់ឡើង បង្ហាញពីវត្តមាននៃអាស៊ីតខ្លាំងដែលតាងឱ្យចំនួន

នៃ HCl ដែលលើស និងអាស៊ីតខ្សោយដែលតាងឱ្យបរិមាណនៃក្រុនកាបុកស៊ីល។ មាឌនៃ NaOH ត្រូវបានគេគណនាដោយខ្សែកោងនៃការបន្តក់ និងដាក់ចូលទៅក្នុងរូបមន្តដើម្បីធ្វើការគណនារកបរិមាណនៃកាបុកស៊ីលដូចខាងក្រោម៖

$$C_{COOH} = \frac{(V2 - V1)x\ C.NaOH}{Wd}$$

ដែល

- CCOOH ជាបរិមាណនៃក្រុមកាបុកស៊ីលសរុប (mmol COOH/g cellulose)
- V1 និង V2 ជាសមមូលមាឌនៃ NaOH ដែលបានបន្តក់ចូលក្នុងសូលុយស្យុង (មីលីលីត្រ)
- C.NaOH ជាកំហាប់របស់ NaOH (M)
- Wd ជាម៉ាសស្ងួតនៃ CNF (ក្រាម)

ឃ Degree of polymerization

Degree of polymerization (DP) ត្រូវបានកំណត់ដើម្បីដឹងពីចំនួននៃចំនួននៃឯកត្តាទោល (monomeric unit) ដើម្បីផ្គុំគ្នាបានជាខ្សែ (polymeric chain)។ DP នៃសែលុយឡូសរបស់សារជាតុសរសៃត្រូវបានកំណត់ដោយ ភាពខាប់ខាងក្នុង (intrinsic viscosity) ឬ (η) នៃសូលុយស្យុងពង្រាវរបស់សារជាតុសរសៃក្នុង copper (II) ethylenediamine នៅសីតុណ្ហភាព ២៥អង្សាសេ។

ល្បាយនៃសារជាតុសរសៃក្នុង copper (II) ethylenediamine ត្រូវបានរៀបចំជា ៤ដប ដែលមានកំហាប់នៃសារជាតុសរសៃ (សារជាតុសរសៃត្រៀមសម្រាប់ផលិតCNF) ខុសៗគ្នាមានដូចជា ០.២ក្រាម ០.១២៥ក្រាម ០.០៨ក្រាម និង ០.០៤ក្រាម។ បន្ទាប់មកទៀត បន្ថែមទឹកបិតទៅក្នុងដបនីមួយៗរហូតដល់ ២៥ក្រាម រួចបន្ថែម ២ឬ៣ នៃដុំទង់ដែង និង២៥មីលីលីត្រនៃ copper (II) ethylenediamine ទៀតទៅក្នុងដបនីមួយៗ។ បន្ទាប់មកកូរដោយប្រើក្នុរម៉ាញេទិករយៈពេល២ម៉ោង (រយៈពេលនៃការកូរគឺអាស្រ័យទៅនឹងប្រភេទនៃសារជាតុសរសៃ) ដើម្បីធានាថាល្បាយនៃសារជាតុសរសៃរលាយសព្វ។ ក្រោយមកទៀត យក១០មីលីលីត្រ នៃសំណាកដែលរៀបចំរួចមកធ្វើការវាស់ល្បឿននៃលំហូររបស់សូលុយស្យុង និងធ្វើការកត់ទុកនូវរយៈពេល។

ភាពខាប់នៃសូលុយស្យុងរបស់pulp ផ្ដល់ឱ្យនូវចំនួនមធ្យមរបស់ DP នៃសែលុយឡូសដោយអាស្រ័យទៅតាមការកើនឡើងនៃកំហាប់របស់សូលុយស្យុង កាលណាល្បឿននៃលំហូររបស់សូលុយស្យុងយឺតមានន័យថា DP ខ្ពស់ឬ ខ្សែច្រវ៉ាក់របស់សែលុយឡូសមានប្រវែងវែង។ DP ត្រូវបានគណនាតាមរូបមន្តដូចខាងក្រោម៖

η = K.Ma

ដែល η ជាភាពខាប់របស់សារជាតុសរសៃ(intrinsic viscosity) ហើយ M ជាម៉ាសម៉ូលេគុល។ ចំណែកឯ K និង a ថេរគឺ ២.២៨ និង ០.៧៦ តាមរៀងគ្នា (González, 2014; Henriksson et al., 2008)។

ក្រដាស

ដោយយោងទៅតាម Suchsland and Woodson (1987) បច្ចេកទេសនៃការផលិតក្រដាសមានទំនាក់ទំនងយ៉ាងខ្លាំងទៅនឹងបច្ចេកទេសនៃការផលិតfiberboard ដូចនេះទើបក្នុងការសិក្សានេះធ្វើការផលិតក្រដាសដើម្បីឱ្យដឹងពីលក្ខណៈនៃសារជាតុសរសៃរបស់pulpsនីមួយៗ ជាពិសេសគឺលក្ខណៈនៃការដាច់ឬបាក់ដែលអាស្រ័យទៅនឹងភាពមាំរបស់សារជាតុសរសៃ (breaking length)។ ដោយសារតែគោលបំណងនៃការសិក្សាគឺ ចង់កំណត់រកនូវpulp ដែលប្រសើរបំផុតក្រោយការស្ងោរក្រោមលក្ខខណ្ឌខុសៗគ្នា មានប៉ារ៉ាម៉ែត្រពីរសំខាន់ៗដែលត្រូវបានគេកំណត់គឺ ទិន្នផលនៃpulpក្រោយការស្ងោរ និងលក្ខណៈនៃការដាច់ឬបាក់ដែលអាស្រ័យទៅនឹងភាពមាំរបស់សារជាតុសរសៃ (breaking length)។

ក ការផលិតក្រដាស

មានវិធីសាស្ត្រចំនួនពីរប្រភេទក្នុងការរៀបចំល្បាយនៃសារជាតុសរសៃក្នុសម្រាប់ការផលិតក្រដាស៖

❖ ទី១ ការរៀបចំល្បាយសម្រាប់ការផលិតក្រដាសច្រើនសន្លឹក

Pulpពីចំបើង (RSP) ចំនួន៣០ក្រាម គិតជាម៉ាសស្ងួត និងទឹក ២លីត្រ ត្រូវបានដាក់ចូលទៅក្នុងឧបករណ៍ disintegrator ដើម្បីកូរបំបែកនៅដែលធ្វើឡើងនៅក្នុងល្បឿន៣០០០rpm រយៈពេល ៣០នាទី។ បន្ទាប់មកទៀតល្បាយនោះត្រូវបានយកទៅពង្រាវឱ្យបាន៤លីត្រ ដើម្បីឱ្យបានកំហាប់នៃសូលុយស្យុង ០.៧៥wt%នៃសារជាតុសរសៃ។ វាល់សូលុយស្យុងដើម្បីឱ្យបានទម្ងន់ក្រដាសក្រោយពេលសម្ងួតចន្លោះពី ២.៣៥ក្រាម ទៅ២.៤០ក្រាម។ បន្ទាប់មកចាក់ចូលពុម្ពក្រដាស និងធ្វើការសម្ងួតដោយប្រើម៉ាស៊ីនឈ្មោះ Rapid Köthen។

❖ ការរៀបចំល្បាយសម្រាប់ការផលិតក្រដាសមួយសន្លឹក

Pulpពីចំបើង(RSP) ចំនួន ២.៣៥ក្រាម និងទឹកចជ៤០០មីលីលីត្រ ត្រូវបានធ្វើការកូរបំបែក ដោយប្រើឧករណ៍ឈ្មោះ Ultra turrax (rpm x១០០០) រយៈពេល ២នាទី។ បន្ទាប់មកទៀតចាក់ចូលពុម្ពក្រដាស និងធ្វើការសម្ងួតដោយប្រើម៉ាស៊ីនឈ្មោះ Rapid Köthen ។

ក្រោយពីក្រដាសត្រូវបានផលិតចេញមកហើយ គេយកវាទៅធ្វើតេស្តវាយនៈភាពនៃភាពរឹងមាំលើការដាច់របស់សារជាតុសរសៃ (breaking length) ជាមួយឧបករណ៍ឈ្មោះ Instron universal testing machine ដែលប្រើ ២.៥kN load cell។ តេស្តនេះត្រូវបានអនុវត្តន៍ដោយផ្អែកទៅលើស្តង់ដារ ISO ១៩២៤-១និង ១៩២៤-២។

ការផលិត fiberboard

ក ការរៀបចំបច្ច័យពិសោធន៍

Pulpពីចំបើងប្រភេទ thermomechanical pulp (RSTMP) ដែលធ្វើការស្ងោរក្នុងលក្ខខណ្ឌ ១៦០អង្សារសេ រយៈពេល៣០នាទី សមាមាត្រទឹកនិងម៉ាសអង្គធាតុស្ងួត៦ ស្ងោរក្នុងឆ្នាំងដែលប្រើសម្ពាធ និង Pulpពីចំបើងប្រភេទ chemi-thermomechanical pulp (RS៦) ដែលធ្វើការស្ងោរក្នុងលក្ខខណ្ឌ ៦%នៃNaOH ១០០អង្សារសេ រយៈពេល៩០នាទី សមាមាត្រទឹកនិងម៉ាសអង្គធាតុស្ងួត៦ ស្ងោរក្នុងឆ្នាំងដែលប្រើសម្ពាធធម្មតា ត្រូវបានយកមកប្រើប្រាស់ជាសារជាតុសរសៃសម្រាប់ការផលិត fiberboard។ ទំហំនៃ fiberboard ដែលគិតទុកមាន កម្រាស់៣មីលីម៉ែត្រ ប្រវែង បណ្តោយ១៥០មីលីម៉ែត្រ និង ទទឹង៥០មីលីម៉ែត្រ។ មានពីរជំហ៊ានសំខាន់ៗក្នុងដំណើរការនៃការផលិត fiberboardគឺ ការរៀបចំល្បាយនៃសារជាតុសរសៃ និងការកៀបឱ្យទៅជាបន្ទះដោយប្រើ hot press។

បច្ច័យនីមួយៗត្រូវបានរៀបចំឡើងដោយការលាយល្បាយនៃសារជាតុសរសៃខុសៗគ្នា ហើយក្នុងបច្ច័យនីមួយៗបានឡើងចំនួន៤សារ។ ល្បាយនៃ pulpពីចំបើង RS៦ និងcellulose nanofiberពីចំបើង (RS.CNF) ត្រូវបានលាយបញ្ចូលដោយបរិមាណនៃ RS.CNFផ្សេងៗគ្នាគឺ ០ ១ ២ ៣ និង ៦ ភាគរយ សមាមាត្រទៅនឹង១០០ភាគរយនៃសារជាតុសរសៃ។ ការលាយនៃល្បាយរបស់សារជាតុសរសៃមួយទៀតសម្រាប់ផលិតផល fiberboard គឺការប្រើប្រាស់pulpពីចំបើងប្រភេទ thermomechanical pulp ឬ RSTMP ដោយប្រើវិធីសាស្ត្របីខុសៗគ្នាផ្សេងទៀតដើម្បីជួយបង្កើននូវលក្ខណៈមេកានិករបស់ fiberboardឱ្យកាន់តែមាំ។ ទី១ ការបន្ថែមនូវ cellulose nanofiberពីដើមប្រេងខ្យល់ (Eu.CNF) ក្នុងបរិមាណផ្សេងៗគ្នា ០ ១ ២ ៣ ៤ និង៦ ភាគរយ សមាមាត្រទៅនឹង១០០ភាគរយនៃសារជាតុសរសៃ។ ទី២ ការបន្ថែមនូវសារជាតុស្អិតពីធម្មជាតិគឺ lignin ក្នុងបរិមាណ ០ ៥ ១០ ១៥ និង២០ ភាគរយ សមាមាត្រទៅនឹង១០០នៃសារជាតុសរសៃ។ ចំណែកឯទី៣ គឺការយក

pulpពីចំបើងប្រភេទ thermomechnical pulp ឱ្យឆ្លងកាត់ដំណើរការនៃការកិន (refining) មុនពេលយកទៅផលិតជា fiberboard ដោយប្រើប្រាស់ល្បឿនខុសៗគ្នាមានដូចជា ០ ៥០០ ១០០០ ១៥០០ ២០០០ ៣០០០ និង ៤០០០ revolutions។ តារាងទី៣.៤ សង្ខេបពីការបែងចែកបច្ច័យសម្រាប់ការផលិត fiberboard នៅក្នុងការសិក្សានេះ ហើយដ្យាក្រាមទី៣.២ បង្ហាញពីខ្សែសង្វាក់នៃផលិតកម្ម fiberboard។

តារាងទី៣.២ ការរៀបចំបែងចែកបច្ច័យពិសោធន៍

Pulpពីចំបើង (RSP)	RSP (%)	CNF (%)		Lignin (%)	Refining PFI (revolutions)	Retention agent (%)	ចំនួនសារ
		RS.CNF	Eu.CNF				
RS$_{៦}$	១០០	០		-	-	-	៤
	៩៩	១				០.៥% of Cationic starch + ០.៨% of Colloidal silica	
	៩៨	២					
	៩៧	៣					
	៩៤	៦					
RS$_{TMP}$	១០០		០	-	-	-	
	៩៩		១			០.៥% of Cationic starch + ០.៨% of Colloidal silica	
	៩៨		២				
	៩៧		៣				
	៩៦		៤				
	៩៤		៦				
	៩៥	-		៥	-	០.៥% of Cationic	
	៩០			១០			

	៨៥		១៥		starch + 0.៨% of Colloidal silica	
	៨០		២០			
	១០០	-	-	៥០០	-	៤
	១០០			១០០០		
	១០០			១៥០០		
	១០០			២០០០		
	១០០			៣០០០		
	១០០			៤០០០		

ខ ការរៀបចំល្បាយនៃសារជាតុសរសៃសម្រាប់ការផលិតfiberboard

❖ ការរៀបចំល្បាយដែលផ្សំឡើងពីសារជាតុសរសៃសុទ្ធ

ដំបូងយក pulpពីចំបើង ២៧ក្រាម គិតជាម៉ាសស្ងួតលាយជាមួយទឹកធម្មតា ២លីត្រ ដាក់ចូលទៅក្នុងឧបករណ៍កូរបំបែក (disintegrator) នៅក្នុងល្បឿន ៣០០០rpm រយៈពេល១ម៉ោង។ បន្ទាប់មកទៀតច្រោះល្បាយនៃសារជាតុសរសៃដោយប្រើ Rapid Köthen ហើយយកកាកសរសៃដាក់ចូលទៅក្នុងពុម្ព បន្ទប់មកទៀតយកទៅកៀបនៅក្នុងឧបករណ៍ឈ្មោះ hot press។

❖ ការរៀបចំល្បាយដែលផ្សំឡើងពីសារជាតុសរសៃលាយជាមួយCNF

សមាមាត្រនៃ pulpចំបើង និងCNF ត្រូវបានយកទៅលាយជាមួយ ទឹកធម្មតា២លីត្រ រួចដាក់ចូលទៅក្នុងឧបករណ៍កូរបំបែក (disintegrator) នៅក្នុងល្បឿន ៣០០០rpm រយៈពេល១ម៉ោង។ បន្ទាប់មកទៀតយកល្បាយទៅកូរដោយប្រើក្អូរមេកានិក ក្នុងពេលកូរគេមានបន្ថែម 0.៥% cationic starch និង0.៨%នៃcolloidal silica រួចកូរទុករយៈពេល២០នាទី។ ក្រោយមកទៀតច្រោះល្បាយនៃសារជាតុសរសៃដោយប្រើ Rapid Köthen ហើយយកកាកសរសៃទៅដាក់ក្នុងពុម្ព បន្ទប់មកទៀតយកទៅកៀបនៅក្នុងឧបករណ៍ឈ្មោះ hot press ។

❖ ការរៀបចំល្បាយដែលផ្សំឡើងពីសារជាតុសរសៃលាយជាមួយlignin

ម្សៅlignin ត្រូវបានយកទៅកូរដោយប្រើ Ulta turrax (rpm x ១០០០) នៅ២០ revolutions រយៈពេល២នាទី ជាមុនសិនមុនពេលដាក់ចូលកូរជាមួយសារធាតុសរសៃ។ បន្ទាប់មកសមាមាត្រនៃpulpពីចំបើង និងlignin ត្រូវបានយកទៅដាក់កូរក្នុងឧបករណ៍កូរបំបែក (disintegrator) នៅ៣០០០rpm រយៈពេល១ម៉ោង។ បន្ទាប់មកទៀតយកល្បាយនោះទៅកូរដោយប្រើក្ទួរមេកានិកដោយក្នុងពេលកូរគេមានបន្ថែម 0.៥% cationic starch និង0.៨%នៃcolloidal silica រួចទុករយៈពេល២០នាទី។ បន្ទាប់មកទៀតច្រោះល្បាយនៃសារធាតុសរសៃដោយប្រើ Rapid Köthen រួចយកកាកសរសៃទៅដាក់ក្នុងពុម្ព បន្ទប់មកទៀតយកទៅកៀបនៅក្នុងឧបករណ៍ឈ្មោះ hot press ។

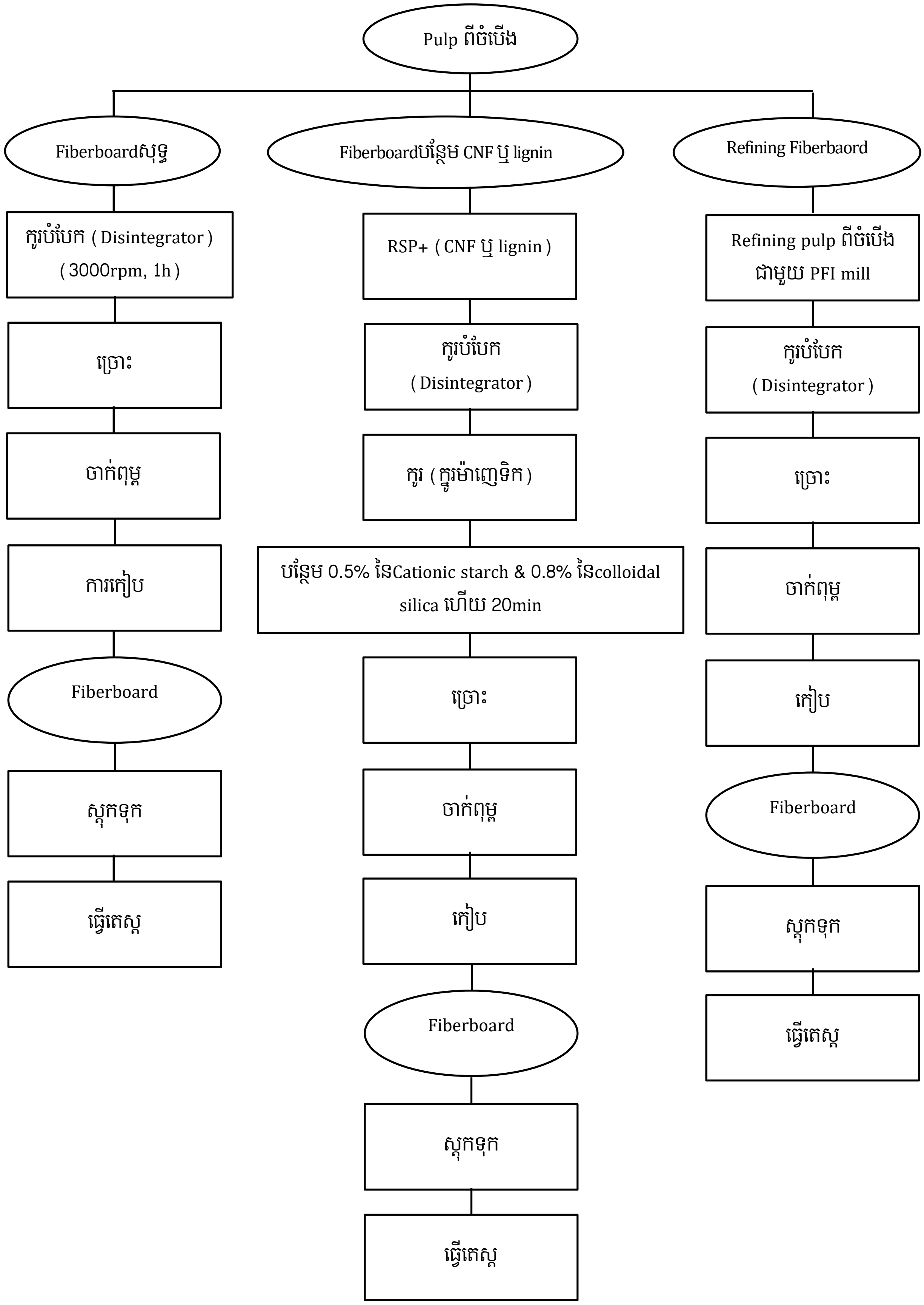
- ❖ ការរៀបចំល្បាយដែលផ្សំឡើងពីសារធាតុសរសៃដែលបានកិនរួច ឬrefined

ដំបូងយក pulpពីចបើងក្រោយពេលធ្វើការកិន ឬrefinedជាមួយឧបករណ៍ឈ្មោះ PFI mill ២៧ក្រាម ម៉ាសស្ងួតលាយជាមួយទឹកធម្មតា២លីត្រ ដាក់ចូលទៅក្នុងឧបករណ៍កូរបំបែក (disintegrator) នៅក្នុងល្បឿន ៣០០០rpm រយៈពេល១ម៉ោង។ បន្ទាប់មកទៀតច្រោះល្បាយនៃសារធាតុសរសៃដោយប្រើ Rapid Köthen ហើយយកកាកសរសៃទៅដាក់ក្នុងពុម្ព បន្ទប់មកទៀតយកទៅកៀបនៅក្នុងឧបករណ៍ឈ្មោះ hot press។

គ លក្ខខណ្ឌនៃការកៀប និងសីតុណ្ហភាព

លក្ខខណ្ឌនៃការកៀបមានដូចខាងក្រោម៖

- ដាក់ពុម្ពចូលទៅក្នុងម៉ាស៊ីនកៀប (hot press) ៣នាទី ៧៥អង្សារសេ ១០០KN
- តម្លើងសម្ពាធដល់ ១៧១អង្សារសេ ទុករយៈពេល ៥នាទី
- បន្ថយសម្ពាធមកនៅត្រឹម ១០០អង្សារសេវិញហើយយកចេញ
- ដាក់ពុម្ពទៅលើបន្ទះដែកមួយថ្មីទៀតហើយដាក់ចូលទៅក្នុងម៉ាស៊ីនកៀបវិញ នៅសីតុណ្ហភាព១៥០អង្សារសេ សម្ពាធ១០០KN រយៈពេល១ម៉ោង
- តម្លើងសីតុណ្ហភាពទៅដល់ ២៣០អង្សារសេ
- នៅពេលសីតុណ្ហភាពកើនដល់ ២៣០អង្សារសេ តម្លើងសម្ពាធដល់១៧១KN ហើយទុករយៈពេល២នាទី
- បញ្ឈប់ដំណើរការរបស់ម៉ាស៊ីន ហើយទម្លាក់ម៉ាស៊ីនចុះ ដើម្បីបន្ធូរសម្ពាធរយៈពេល១នាទី បន្ទាប់មកកៀបឡើងវិញ ៥នាទី
- ចុងក្រោយយកfiberboardចេញ និងបញ្ចុះសីតុណ្ហភាពរបស់ម៉ាស៊ីន។



ដ្យាក្រាមទី៣.២ ខ្សែសង្វាក់នៃផលិតកម្ម fiberboard

វិធីសាស្ត្រវិភាគគុណភាព

ដើម្បីអោយផលិតផលសម្រេចទទួលបាននូវគុណភាពល្អ និងមានភាពជឿជាក់ក្នុងការប្រើប្រាស់ផលិតផលសម្រេចត្រូវឆ្លងកាត់ការវិភាគលើវាយនៈភាពមួយចំនួនដូចជា៖ វាយនៈភាពនៃការសង្កត់ ឬ modulus of rupture (MOR) , វាយនៈភាពនៃការធន់នឹងភាពយឺត modulus of elasticity (MOE), វាយនៈភាពនៃភាពមាំនៃផ្ទៃកខាងក្នុង ឬ internal bonding strength (IB), វាយនៈភាពលើភាពទង្គិច ឬ impact strength (IS), ការវិភាគលើបរិមាណនៃការសម្រូបជាតិទឹក ឬ water absorption (WA) និង វាយនៈភាពនៃការរីកមាឌក្រោយការត្រាំទឹក ឬ thickness swelling (TS) ដែលការវិភាគទាំងនេះត្រូវបានធ្វើឡើងនៅ មន្ទីរពិសោធន៍ Park of Science and Technology របស់សាកលវិទ្យាល័យជីរ៉ូណាប្រទេសអេស្ប៉ាញ។

ការធ្វើតេស្តលើវាយនៈភាពនៃការសង្កត់ (MOR) និងវាយនៈភាពនៃការធន់នឹងភាពយឺត (MOE)

ក្នុងការធ្វើតេស្តលើវាយនៈភាពនៃការសង្កត់ (modulus of rupture ឬ MOR) និងវាយនៈភាពនៃការធន់នឹងភាពយឺត (modulus of elasticity ឬ MOE) សំណាកដែលត្រូវយកមកធ្វើតេស្តមានទំហំ ១៥០ x ៥០ x ៣ មីលីម៉ែត្រ។ តេស្តនេះត្រូវបានអនុវត្តន៍ឡើងដោយយោងទៅតាមស្តង់ដារអឺរ៉ុប EN ៣១០:១៩៩៣។ តេស្តនេះត្រូវបានកំណត់ដោយធ្វើការសង្កត់នៅចំផ្ទៃកកណ្តាលនៃសំណាកដែលមានការទប់ដោយជើងទម្រពីរ។ រូបភាពទី៣.១បង្ហាញពីការធ្វើតេស្តលើវាយនៈនៃការសង្កត់ (modulus of rupture ឬ MOR) និងវាយនៈភាពនៃការធន់នឹងភាពយឺត (modulus of elasticity ឬ MOE)។

- ❖ វាយនៈភាពនៃការសង្កត់ f_m (MPa) នៃសំណាកនីមួយៗត្រូវបានគណនាតាមរូបមន្តដូចខាងក្រោម៖

$$f_m = \frac{3F_{max}l_1}{2bt^2}$$

ដែល: - Fmax គឺជាកម្លាំងអតិបរិមាដែលប្រើក្នុងការសង្កត់(N)

- l_1 គឺជាគម្លាតរវាងជើងទម្រទាំងពីឬ (មីលីម៉ែត្រ)
- b គឺជាទទឹងរបស់សំណាក (មីលីម៉ែត្រ)
- t គឺជាកម្រាស់របស់សំណាក (មីលីម៉ែត្រ)

❖ វាយនៈភាពនៃការធន់នឹងភាពយឺត E_m (MPa) នៃសំណាកនីមួយៗត្រូវបានគណនាតាមរូបមន្តដូចខាងក្រោម៖

$$E_m = \frac{l_1^{\ 3}(F_2 - F_1)}{4bt^3(a_2 - a_1)}$$

ដែល: (F_2 -F_1) គឺជាការកើនឡើងនៃកម្លាំងដែលមាននៅលើខ្សែកោងនៃកម្លាំងដែលធ្វើឱ្យ fiberboardមានភាពកោង ហើយ (a_2 - a_1) គឺជាការកើនឡើងនៃចំណុចនៅលើផ្ទៃកោងរបស់សំណាក។

ការធ្វើតេស្តលើវាយនៈភាពនៃភាពមាំនៃផ្ទៃកខាងក្នុង (IB)

ក្នុងការសិក្សានេះ វាយនៈភាពនៃភាពមាំនៃផ្ទៃកខាងក្នុង (internal bonding strength ឬIB) ត្រូវបានអនុវត្តន៍ដោយយោងទៅតាមស្តង់ដារអឺរ៉ុប EN៣១៩:១៩៩៣។ សំណាកត្រូវបានកាត់ក្នុងទំហំ ៣ x ៥០ x ៥០មីលីម៉ែត្រ បន្ទាប់មកសំណាកត្រូវបានយកទៅបិតការជាមួយដុំឈើ ដែលមានចោះរន្ធសម្រាប់ភ្ជាប់ជាមួយឧបករណ៍ធ្វើតេស្ត(រូបភាពទី៣.២)។ នៅក្នុងស្តង់ដារគេប្រើប្រាស់ដុំដែកដើម្បីបិតការជាមួយសំណាក ដោយយល់ឃើញថាការប្រើប្រាស់ដែកមកបិតការជាមួយឈើមានការពិបាកក្រោយពេលបញ្ចប់ការធ្វើតេស្ត ហេតុនេះហើយទើបយើងសម្រេចចិត្តប្រើប្រាស់ឈើជំនួសវិញ។ ជាអកុសលដុំឈើត្រូវបានបាក់មុនពេលដែលសំណាកត្រូវបានខូច។ ដូចនេះយើងមិនមានលទ្ធផលជាក់លាក់សម្រាប់តេស្តនេះឡើយ។

វាយនៈភាពលើភាពទង្គិច (IS)

Impact គឺជាតេស្តដែលប្រើសម្រាប់ធ្វើតេស្តទៅលើភាពមាំនៃសំណាកដោយកម្លាំងទង្គិច ដែលអនុវត្តន៍តាមស្តង់ដារ ASTM D-២៥៦ (រូបភាពទី៣.៣) ។ Impact តេស្តមានពីរប្រភេទគឺ Izod និង Charpy។ ក្នុងការសិក្សានេះយើងប្រើប្រាស់ Izod។ សំណាកត្រូវបានកាត់ក្នុងទំហំ ១៣ x ៥០ មីលីម៉ែត្រ និងកម្រាស់ ៣មីលីម៉ែត្រ។ រូបភាពទី៣.៣បង្ហាញពីការធ្វើតេស្តលើវាយនៈភាពលើភាពទង្គិច (impact strength ឬIS) ។

ការវិភាគលើបរិមាណនៃការសម្រូបជាតិទឹក(WA) និង វាយនៈភាពនៃការរីកមាឌក្រោយការត្រាំទឹក (TS)

❖ ការវិភាគលើបរិមាណនៃការសម្រូបជាតិទឹក (Water absorption ឬWA)

ស្តង់ដារ EN ៣៨២:១៩៩៣ ត្រូវបានប្រើប្រាស់ជាមូលដ្ឋានគ្រឹះនៃការវិភាគបរិមាណនៃសម្រូបជាតិទឹក ក្នុងរយៈពេល ២៤ម៉ោង (រូបភាពទី៣.៤) ។ សំណាកត្រូវបានកាត់ជារាងការេ ៥០ x ៥០មីលីម៉ែត្រ និងកម្រាស់៣មីលីម៉ែត្រ។ កម្រិតនៃសម្រូបជាតិទឹកត្រូវបានគណនាតាមរូបមន្តខាងក្រោម៖

$$WA = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

ដែល, m_1 គឺជាម៉ាសសំណាកមុនពេលត្រាំទឹក និង m_2 គឺជាម៉ាសសំណាកក្រោយពេលត្រាំទឹក

❖ វាយនៈភាពនៃការរីកមាឌក្រោយការត្រាំទឹក (TS)

តេស្តនេះត្រូវបានធ្វើការសិក្សាដោយធ្វើការវាស់វែងទៅលើការរីកមាឌ ក្រោយពេលដែលសំណាកត្រូវបានត្រាំនៅក្នុងទឹករយៈពេល ២៤ម៉ោង។ តេស្តនេះត្រូវបានអនុវត្តទៅតាមស្តង់ដារ EN ៣១៧: ១៩៩៣ និងគណនាតាមរូបមន្តដូចខាងក្រោម៖

$$TS = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times ១០០$$

ដែល, t_1 គឺជាកម្រាស់នៃសំណាកមុនពេលត្រាំទឹក ហើយ t_2 គឺជាកម្រាស់នៃសំណាកក្រោយពេលត្រាំទឹក

ដង់ស៊ីតេ

ដង់ស៊ីតេគឺជាការកំណត់ដែលបានមកពីទំនាក់ទំនងម៉ាស និងមាឌ ។ ខ្នាតរបស់ដង់ស៊ីតេគឺ kg/m^3 ហើយតេស្តនេះគឺធ្វើការសិក្សាតាមស្តង់ដារ EN៣២៣:១៩៩៣ ហើយគណនាតាមរូបមន្តខាងក្រោម៖

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \times 10^6$$

ដែល,

- m គឺជាម៉ាសរបស់សំណាក (ក្រាម)
- b_1 គឺទទឹង (មម)
- b_2 គឺបណ្តោយ (មម)
- t គឺកម្រាស់ (មម)

ការប្រមូលទិន្នន័យ

ទិន្នន័យដែលទទួលបានសម្រាប់ការប្រមូលចងក្រងជាសៀវភៅ "ការផលិត fiberboard ពីកាកសំណល់កសិរុក្ខកម្ម និងសារធាតុស្អិតពីធម្មជាតិ" ត្រូវបានធ្វើការបែងចែកជាពីរ គឺទិន្នន័យចម្បង និងទិន្នន័យបន្ទាប់បន្សំ ។

- ទិន្នន័យចម្បង គឺជាទិន្នន័យដែលទទួលបានពីការពិសោធន៍ និងការសិក្សាស្រាវជ្រាវ។
- ទិន្នន័យបន្ទាប់បន្សំ គឺជាទិន្នន័យដែលទទួលបានពីការប្រមូលឯកសារផ្សេងៗដូចជា បណ្ណាល័យសាស្ត្រ និងអ៊ីនធឺណែត។

៣.៦ វិធីសាស្ត្រវិភាគទិន្នន័យ

រាល់ទិន្នន័យទាំងអស់ ដែលទទួលបានពីការវិភាគទៅលើ fiberboard ដូចជា វាយនៈភាពនៃការសង្កត់ ឬ modulus of rupture (MOR) , វាយនៈភាពនៃការធន់នឹងភាពយឺត modulus of elasticity (MOE), វាយនៈភាពនៃភាពមាំនៃផ្នែកខាងក្នុង ឬ internal bonding strength (IB), វាយនៈភាពលើភាពទង្គិច ឬ impact strength (IS), ការវិភាគលើបរិមាណនៃការសម្រូបជាតិទឹក ឬ water absorption (WA) និង វាយនៈភាពនៃការរីកមាឌក្រោយការត្រាំទឹក ឬ thickness swelling (TS) ត្រូវបានវិភាគ និងប្រើសម្រាប់សង់ក្រាហ្វិចតាមកម្មវិធី Microsoft Excel ។

លទ្ធផល និង ពិភាក្សា

ការវិភាគទៅលើលក្ខណៈនៃចំបើង និង pulpពីចំបើង

ដោយសារតែលក្ខខណ្ឌនៃការស្ងោរខុសៗគ្នានាំឱ្យ បរិមាណនៃសមាសធាតុផ្សំគីមី លក្ខណៈរូបសាស្ត្រនៃសារធាតុសរសៃ និងអត្រានៃការហូររបស់ទឹកឆ្លងកាត់សារធាតុសរសៃ របស់ចំបើង និង pulpពីចំបើង (rice straw pulp ឬRSP) ក៏មានការខុសគ្នាដែរ។

សមាសធាតុផ្សំគីមីនៅក្នុងចំបើង

តារាងទី៤.១ បង្ហាញពីលទ្ធផលនៃសមាសធាតុផ្សំគីមីរបស់ចំបើងដែលត្រូវបានយកមកប្រើសម្រាប់ការសិក្សានេះ ប្រៀបធៀបជាមួយលទ្ធផលរបស់ឯកសារវិទ្យាសាស្ត្រដែលធ្លាប់បានធ្វើការសិក្សាកន្លងមកលើចំបើង ក៏ដូចជាវត្ថុធាតុដើមផ្សេងទៀតដូចជា ចំបើងពីស្រូវសាឡី ដើមពោត កាកអំពៅ ដើមស្រល់(pine pinaster) និងដើមប្រេងខ្យល់(eucalyptus globulus)។ ចំបើងដែលប្រើក្នុងការ

សិក្សានេះមាន បរិមាណផេះ ១៤.៨២% និង lignin ១១.៣៤% ដែល lignin ទទួលបានពីចំនួននៃ Kappa Number ចែកនឹង ៦.៧ (Fatehi et al., 2009)។

លទ្ធផលនៃបរិមាណផេះសរុបក្នុងចំបើងដែលយកមកប្រើប្រាស់ក្នុងការសិក្សាស្រាវជ្រាវនេះ មានតម្លៃស្រដៀងទៅនឹងលទ្ធផលរបស់Lam et al. (2001) និងJahan et al. (2012)ហើយទាបជាងលទ្ធផលរបស់ Abdel-Mohdy et al. (2009), Hurter (1988) និង(ATEŞ et al., 2015)។ ប៉ុន្តែតម្លៃនេះខ្ពស់ជាងលទ្ធផលរបស់ (Hasanjanzadeh et al. (2014); Ho et al., 2011; Navaee-Ardeh et al., 2004; Rodríguez et al., 2010) ក៏ដូចជាបរិមាណផេះដែលមានក្នុងដើមពោត ស្រូវសាឡី កាកអំពៅ ដើមស្រល់(pine pinaster) និងដើមប្រេខ្យល់ (eucalyptus globulus) របស់(Rodríguez et al., 2008a; Theng et al., 2015) (តារាងទី ៤.១)។ យោងតាម Kurokochi and Sato (2015a) និង Pan et al. (1999) ច្រើនជាង៩០%នៃផេះដែលមានក្នុងចំបើងគឺ silica ដែលស្ថិតនៅក្នុង កោសិកាអេពីឌែមរបស់ចំបើង។ យោងតាម Kurokochi and Sato (2015a) និង Kurokochi and Sato (2015b) បរិមាណSilica អាចជួយធ្វើឱ្យការរីកមាឌមានការថយចុះ ដោយសារតែ silicaផ្ទាល់មិនស្រូបទឹក។ ចំណែកឯបរិមាណនៃ ligninដែលមានក្នុងចំបើងប្រើក្នុងការសិក្សានេះគឺស្រដៀងទៅនឹងលទ្ធផលរបស់ Hurter (1988) ប៉ុន្តែទាបជាងលទ្ធផលរបស់ឯកសារវិទ្យាសាស្ត្រផ្សេងៗដែលបានលើកឡើង និងកាកសំណល់ផ្សេងៗទៀតដូចជា ពោត ចំបើងពីស្រូវសាឡី កាកអំពៅ ដើមស្រល់(pine pinaster) និងដើមប្រេងខ្យល់ (Rodríguez et al., 2008a; Theng et al., 2015) (តារាងទី៤.១)។ ដោយយោងទៅតាមលទ្ធផលរបស់ឯកសារវិទ្យាសាស្ត្រដែលបានលើកឡើង បរិមាណនៃholocelluloseដែលមានក្នុងចំបើងទាបជាងគេគឺ ៥៨% (Navaee-Ardeh et al., 2004) ហើយខ្ពស់ជាងគេគឺ ៧៩.៣៩% (ATEŞ et al., 2015) ដូចនេះគេអាចសន្និដ្ឋានបានថា holocellulose ដែលមានក្នុងចំបើងគឺចន្លោះពី ៥៨ ទៅ ៧៩%។

តារាងទី៤.១ បរិមាណផេះ និងlignin ដែលមានក្នុងចំបើងនិងសំណល់កសិរុក្ខកម្មផ្សេងៗ

វត្ថុធាតុដើម	ផេះ (%)	Lignin (%)	Hollocellulose (%)

- ចំបើង *	១៤.៨៨	១១.៣៤	-
Rodríguez et al. (2010)	៩.២	២១.៩០	៦០ ទៅ ៧០
Lam et al. (2001)	១៤.៦	១៨.៣	-
Navaee-Ardeh et al. (2004)	១១.៣៥	៣០	៥៨ ទៅ៦៨
Hurter (1988)	១៥ ទៅ ២០	១២ ទៅ ១៦	-
Abdel-Mohdy et al. (2009)	១៧.៩៥	-	-
Jahan et al. (2012)	១៤.៦	២១.១	-
Hasanjanzadeh et al. (2014)	១០ ± ១.២	-	៧៣.៤ ± ៣.៣
ATEŞ et al. (2015)	១៥.៤៤	២៣.៧៧	៧៩.៣៩
Kadam et al. (2000)	១៨.០	១៣.៥	-
Zhu et al. (2006)	-	១៣.៦±០.៦	-
Ho et al. (2011)	១២.៦ ± ០.៥	២០.១ ± ០.៨	៦៨.២ ± ១.៨
Huang et al. (2007)	-	២៤.០២	-
Kurokochi and Sato (2015a)	១៥.៧	-	-
- ពោត (Theng et al., 2015)	៣.២	១៦.០	៧៧.៧
- ចំបើងស្រូវសាឡី (Rodríguez et al., 2008a)	៦.៤៩	១៧.៣	៧៦.២០
- កាកអំពៅ (Rodríguez et al., 2008a)	២.១	១៩.៨	៨០.២០
- ដើមស្រល់ (Pine Pinaster) (Rodríguez et al., 2008a)	០.៥៤	២៦.២	៦៩.៦
- ដើមប្រេងខ្យល់ (Eucalyptus globulus) (Rodríguez et al., 2008a)	០.៥៧	២០.០	៨០.៥

*លទ្ធផលនៃការសិក្សានេះ

សមាសធាតុផ្សំគីមីនៅក្នុង pulpពីចំបើង

នៅក្នុងការសិក្សានេះ ក្រដាស់ត្រូវបានផលិតឡើងដើម្បីកំណត់ភាពមាំ (breaking length ឬ BL) របស់សារជាតុសរសៃរនៃ pulpនីមួយៗដែលបានពីការស្ងោរក្រោមលក្ខខណ្ឌខុសៗគ្នា។

តារាងទី៤.២ បង្ហាញពីលទ្ធផលនៃទិន្នផលរបស់ចំបើងក្រោយពេលស្ងោរ ភាពមាំរបស់សារជាតុសរសៃរ(BL) និងសមាសជាតុផ្សំគីមីដែលមាននៅសល់ក្នុងចំបើងក្រោយពេលស្ងោរ។ លទ្ធផលនៃការសិក្សានេះត្រូវបានយកទៅធ្វើការប្រៀបធៀបជាមួយនឹងលទ្ធផលនៃការសិក្សារបស់ឯកសារវិទ្យាសាស្ត្រដែលធ្លាប់បានធ្វើការបោះពុម្ពរួច។

Pulpពីចំបើង (RSTMP) ដែលធ្វើការស្ងោរក្រោមលក្ខខណ្ឌនៃសីតុណ្ហភាព១៦០អង្សារសេ ៣០នាទី សមាមាត្រទឹកនិងម៉ាសស្ងួត៦ ស្ងោរក្នុងឆ្នាំងប្រើសម្ពាធ ទទួលបានទិន្នផល ៨២% ហើយ (RS៥) ដែលធ្វើការស្ងោរក្រោមលក្ខខណ្ឌ ៥% NaOH, 0.១% AQ, ១៦០អង្សារសេ ៣០នាទី សមាមាត្រទឹកនិងម៉ាសស្ងួត៦ ស្ងោរក្នុងឆ្នាំងប្រើសម្ពាធទទួលបានទិន្នផល ៥៩% ចំណែកឯ(RS៣) ដែលធ្វើការស្ងោរក្រោមលក្ខខណ្ឌ ៣%NaOH, ១០០អង្សារសេ ៩០នាទី សមាមាត្រទឹកនិងម៉ាសស្ងួត៦ ស្ងោរក្នុងឆ្នាំងសម្ពាធធម្មតាទទួលបានទិន្នផល ៨៤% និង RS៦ ដែលធ្វើការស្ងោរក្រោមលក្ខខណ្ឌ ៦% NaOH, ១០០អង្សារសេ ៩០នាទី សមាមាត្រទឹកនិងម៉ាសស្ងួត៦ ស្ងោរក្នុងឆ្នាំងសម្ពាធធម្មតា ទទួលបានទិន្នផល ៨១%។ តារាងទី៤.២ បង្ហាញថា RSTMP, RS៣ និង RS៦ ផ្តល់នូវទិន្នផលក្រោយពេលស្ងោរ ខ្ពស់ជាងលទ្ធផលរបស់ឯកសារវិទ្យាសាស្ត្រផ្សេងៗទៀត។ ដោយឡែក RS៥ ទទួលបានទិន្នផលទាបជាងគេ ក្នុងចំណោមលក្ខខណ្ឌផ្សេងៗដែលមានក្នុងការសិក្សានេះ ប៉ុន្តែទាបជាងលទ្ធផលរបស់ (Rodríguez et al., 2009) តែក៏ខ្ពស់ជាងលទ្ធផលនៃឯកសារវិទ្យាសាស្ត្រផ្សេងទៀតដែលបានលើកឡើង។

ចំពោះភាពមាំនៃសារជាតុសរសៃររបស់ pulpពីចំបើង (breaking length ឬBL) RSTMP និង RS៣ មានតម្លៃទាបជាងគេ។ ខណៈដែល RS៥ មានBL ៤៧៩៩ម៉ែត្រ ស្រដៀងទៅនឹងតម្លៃរបស់ (Navaee-Ardeh et al., 2004) ហើយទាបជាង Hurter (1988) និង ATEȘ et al. (2015) ហើយខ្ពស់ជាងលទ្ធផលនៃការសិក្សាផ្សេងៗទៀត។ RS៦ មាន BL ២៨១២ម៉ែត្រ ដែលទាបជាង RS៥, Lam et al. (2001), Navaee-Ardeh et al. (2004), Hurter (1988), Rodríguez et al. (2008a) និងATEȘ et al. (2015) ប៉ុន្តែក៏ខ្ពស់ជាងលទ្ធផលរបស់ RSTMP, RS៣, Rodríguez et al. (2008b), Rodríguez et al. (2009) និងRodríguez et al. (2010)។

បរិមាណនៃ lignin ក្នុងpulpពីចំបើងនៃការសិក្សានេះខ្ពស់ជាងការសិក្សារបស់ឯកសារវិទ្យាសាស្ត្រទាំងអស់ដែលបានលើកឡើង។ Pulpពីចំបើង RSTMP និងRS៥ ដែលធ្វើការស្ងោរក្នុងឆ្នាំងដែលប្រើ

សម្លាធមាន lignin នៅសល់ ៩.៨៥% និង៨.១១%តាមរៀងគ្នា។ ហើយ Pulpពីចំបើង RS៣ និងRS ៦ ដែលធ្វើស្ងោរក្នុងឆ្នាំងសម្ពាធធម្មតាមាន lignin នៅសល់ ១១.១៦% និង ៨.៤៩% តាមរៀងគ្នា។

បរិមាណផេះក្នុង pulpពីចំបើង RSTMP RS៣ RS៥ និងRS៦ គឺ ១៤.៤៩ ១៤.០២ ១៣.៩២ និង ១៣.១០% តាមរៀងគ្នា។ លទ្ធផលនេះខ្ពស់ជាងលទ្ធផលរបស់ (Abdel-Mohdy et al., 2009) ។ គេកត់សម្គាល់ឃើញថា បរិមាណផេះដែលមានក្នុង pulpពីចំបើង មិនមានភាពខុសគ្នាខ្លាំងទេ បើប្រៀបទៅនឹងបរិមាណផេះដែលមានក្នុងចំបើង (១៤.៨២%)។ ដោយសារតែសមាសធាតុចំបងនៃផេះដែលបានពីចំបើងគឺ silica មានន័យថាលក្ខខណ្ឌនៃការស្ងោរនេះមានលទ្ធភាពគ្រប់គ្រាន់ដើម្បីធ្វើការដកចេញនូវ silica ដែលមានឡើយ។ យោងតាម (Kurokochi & Sato, 2015a) និង(Kurokochi & Sato, 2015b) silica គឺជាសមាសធាតុដែលមិនស្រូបទឹក ដូចនេះហើយវាអាចជួយដល់ការរីកមាឌរបស់សំណាក។

យោងតាមលទ្ធផលដែលមានបង្ហាញក្នុងតារាងទី៤.២ លក្ខខណ្ឌសមស្របបំផុតសម្រាប់ការស្ងោរចំបើងដើម្បីទទួលបានទិន្នផលខ្ពស់ និងមាំល្អគឺលក្ខខណ្ឌ RS៦ ដែលស្ងោរក្នុងលក្ខខណ្ឌ ៦% NaOH, ១០០អង្សារសេ ៩០នាទី សមាមាត្រទឹកនិងម៉ាសស្ងួត៦ ស្ងោរក្នុងឆ្នាំងសម្ពាធធម្មតា ដែលទទួលបាន ទិន្នផល ៨១% និង breaking length (BL) ២៨១២ម៉ែត្រ ។

តារាងទី៤.២ លក្ខណៈ និងសមាសធាតុគីមីដែលមានក្នុង pulpពីចំបើងនៃការសិក្សានេះ

Pulp ពីចំបើង	ទិន្នផល (%)	Breaking Length (ម៉ែត្រ)	Lignin (%)	ផេះ (%)	Kappa N°
RS_{TMP} *	៨២	៧៨១	៩.៨៥	១៤.៤៩	៦៦
$RS_{៥}$ *	៥៩	៤៧៩៩	៨.១១	១៣.៩២	៥៤.៤
$RS_{៣}$ *	៨៤	១១៥៤	១១.១៦	១៤.០២	៧៤.៨
$RS_{៦}$ *	៨១	២៨១២	៨.៤៩	១៣.១០	៥៦.៩
Lam et al. (2001)	៤៤.៤	៣៩១៩	-	-	២៥.១
Rodríguez et al.	៤៣.៧	២៣៣៨	២.៦២	-	១៧
(2008b)	-	៤៦៨៧	-	-	-
Navaee-Ardeh et al.	៤០ទៅ	៥៤២០	-	-	-
(2004)	៤៣	-	៥០	៥.១៨	-
Hurter (1988)	-	៣៤៩៤	២.៤៤	-	១៥.៨៩
Abdel-Mohdy et al.	៣៦.៩៩	២៦០៣	២.៥៤	-	១៦.៥
(2009)	៤៥.២	២៥៩៩	២.៥៨	-	១៦.៨
Rodríguez et al.	៤៥.២	១៨៤៩	-	-	-
(2008a)	៦៦.៩	២៣៣៤	-	-	-
Rodríguez et al. (2010)	៤៤.៦	-	៥.៥	-	៣៦.៧
	-	-	៤.៩	-	៣២.៦
Rodríguez et al. (2009)	-	-	៣.៨	-	២៥.៦
	-	-	១.៩២	-	១២.៥
Fatehi et al. (2009)	៥៦.៥	-	១.៧៤	-	១១.៣
	៥៤.២	-	១.៥	-	៩.៨
	៥១.៩	-	១.៤	-	៨.៩
Jahan et al. (2012)	៥០.៤	-	៤.២៣	-	២៧.៥
	៤៣.២	-	៣.៨២	-	២៤.៨
	៥៤.៩	៦០២០	១.៧២	-	១១.២

Hasanjanzadeh et al. (2014) Jahan and Rahman (2012) ATEŞ et al. (2015)	៤២.៦				

* ឯកសារវិទ្យាសាស្ត្រ

លក្ខណៈរូបនៃសារធាតុសរសៃរបស់ pulpពីចំបើង

Pulpពីចំបើងប្រភេទ RSTMP, RSTMP ដែលបានធ្វើការកិន ឬrefined និងRS៦ ដែលត្រូវប្រើសម្រាប់ការផលិត fiberboard ត្រូវបានធ្វើការវិភាគទៅលើលក្ខណៈរូបនៃសារធាតុសរសៃរ (morphological)។ RSTMP ដែលជាប្រភេទ thermomechanical pulp (TMP) មានបរិមាណនៃសារជាតុសរសៃរតូចឆ្មារ(fine elements) ៦៧.៤%តិចជាង pulpដទៃទៀត។ ហើយ pulp ដែលបានឆ្លងកាត់ដំណើរការនៃការកិននៅ ៤០០០revolutions និង RS៦ ដែលជាប្រភេទ chemi-thermomechanical pulp (CTMP) មានបរិមាណនៃសារជាតុសរសៃរតូចឆ្មារ(fine elements)ច្រើនជាងគេគឺ៨៣ និង៨៤ ភាគរយតាមរៀងគ្នា។ ឯកសាររបស់ Gharehkhani et al. (2015) បានបង្ហាញថាសារជាតុសរសៃរតូចឆ្មារទាំងនោះមានផ្ទៃសម្រាប់ការចងសម្ព័ន្ធខ្ពស់ ដែលអាចជួយដល់ការចងសម្ព័ន្ធរបស់សារជាតុសរសៃរ ប៉ុន្តែវាក៏បានធ្វើឱ្យអត្រានៃលំហូរទឹកឆ្លងកាត់សារជាតុសរសៃរមានការថយចុះ(ហូរយឺត)។ សារជាតុសរសៃរតូចឆ្មារទាំងនេះអាចជួយបំបាត់នូវរចនាសម្ព័ន្ធនៅលើផ្ទៃនៃសារជាតុសរសៃរដែលបានពីចំបើងដូចជា trichomes និងprotuberance ដែលមានក្នុងកោសិការអេពីឌែមរបស់ចំបើង នាំឱ្យភាពមាំរបស់ fiberboardមានការកើនឡើង (Kurokochi & Sato, 2015a)។ ដូចលទ្ធផលដែលមានបង្ហាញក្នុងតារាងទី៤.៣ អត្រានៃការហូររបស់ទឹកឆ្លងកាត់សារជាតុសរសៃរ (°SR) របស់ pulpពីចំបើងប្រភេទ RSTMPគឺ ២៥ ហើយpulp ដែលបានឆ្លងកាត់ដំណើរការនៃការកិននៅ ៤០០០revolutions និង RS៦ មាន°SR ៦៧។ ក្នុងករណីទំហំរបស់សារជាតុសរសៃរ បណ្ដោយ(L) របស់pulpពីចំបើងប្រភេទRSTMP បានថយចុះខណៈដែលល្បឿននៃការធ្វើ refineកើនឡើង ចំណែកឯអង្កត់ផ្ចិត(D)របស់សារជាតុសរសៃរមិនមានអ្វីគួរឱ្យកត់សម្គាល់ឡើយ (តារាងទី៤.៣) ។ យោងតាម Gharehkhani et al. (2015) ប្រព្រឹត្តិកម្មមេកានិកនៃការកិនបានធ្វើឱ្យមានការផ្លាស់ប្ដូរនូវលក្ខណៈរបស់សារជាតុសរសៃរដូចជា ផ្នែកខាងក្រៅរបស់សារជាតុសរសៃរ(external fibrillation), ផ្នែកខាងក្នុងរបស់សារជាតុសរសៃ(internal fibrillation), ធ្វើឱ្យសារជាតុសរសៃរមានប្រវែងខ្លីជាងមុន

និង បង្កើតជាសារជាតុសរសៃរតូចឆ្មារ។ ដោយមូលហេតុនេះប្រសិនបើការកិនត្រូវបានធ្វើឡើងហួសតម្រូវការរបស់សារជាតុសរសៃរនោះ វាអាចបណ្តាលឱ្យមានកំហូចនូវលក្ខណៈរបស់សារជាតុសរសៃរដែលនាំឱ្យភាពមាំរបស់ fiberboard អាចមានការថយចុះ (Arévalo & Peijs, 2015)។ លើសពីនេះទៅទៀត តារាងទី ៤.៣ ក៏បានបង្ហាញថាសារជាតុសរសៃរដែលបានពី pulpពីចំបើងប្រភេទ RS៦ មានប្រវែងបណ្តោយ ៤៥៧មីក្រូម៉ែត្រ និងអង្កត់ផ្ចិត ១៦.២មីក្រូម៉ែត្រ ព្រមទាំងមានបរិមាណនៃសារជាតុសរសៃរតូចឆ្មារ និងអត្រានៃលំហូរទឹកឆ្លងកាត់នៃសារជាតុសរសៃរ (°SR) ខ្ពស់ជាងគេ លក្ខណៈទាំងនេះអាចបង្ហាញថា pulpប្រភេទនេះនឹងអាចផ្តល់នូវ fiberboard ដែលមានភាពរឹងមាំ។

តារាងទី៤.៣ លក្ខណៈរូបសាស្ត្រ និងអត្រានៃលំហូរទឹកឆ្លងកាត់សារជាតុសរសៃរ (°SR) របស់pulpពីចំបើងសម្រាប់ផលិតកម្ម fiberboard

Pulpsពីចំបើង	Fines (%)	L (µm)	D (µm)	ºSR
RS_{TMP}	៦៧.៤	២១៥	១៩.៨	២៥
RS_{TMP} + ៥០០	៦៨.៩	១៩៦	២០.៤	៥០
RS_{TMP} + ១០០០	៧៧.៧	១៦៤	២០.៦	៥៦
RS_{TMP} + ១៥០០	៧៨.៨	១៥៥	១៩.១	៥៧
RS_{TMP} + ២០០០	៨០.៤	១៥៤	២០.៦	៦២
RS_{TMP} + ៣០០០	៨២.៧	១៥៤	20.5	65
RS_{TMP} + ៤០០០	៨៣	១៥១	20.8	67
RS_6	៨៣.៤	៤៥៧	១៦.២	៦៧

ការវិភាគលើកលក្ខណៈរបស់ CNF

តារាងទី៤.៤ លក្ខណៈរបស់ cellulose nanofiber (CNF)

CNF	-COOH (µ.mol/g)	ទិន្នផល (%)	Cationic demand (µ.eq/g)	DP
RS.CNF	< ៧៨	២២	១៩៨	២៣៨២
Eu.CNF 6mmol	១០០៦	> ៩៥	១៤៦០	៣៥២
Eu.CNF 5mmol	៨៨១.១	៩៥.១	១២៣៥	៤៨៨

Delgado-Aguilar et al. (2015)				
Eu.CNF 10mmol $NaClO_2$, 0.1mmol NaClO González et al. (2014)	៤០០	៩០.១៣	៨៥៩	៤២៣

តារាងទី៤.៤ បង្ហាញពីលទ្ធផលនៃការវិភាគរបស់ cellulose nanofiber (CNF) ដូចជាទិន្នផលនៃការបំបែកទៅជាសារជាតុសរសៃរតូចធ្នាទំហំណាណូម៉ែត្រ, បរិមាណនៃបង្គុំកាបុកស៊ីល (COOH), Cationic demand (CD) និង degree of polymerization (DP)។ លទ្ធផលនៃ CNF ដែលផលិតពីចំបើង (RS.CNF) និង CNF ដែលផលិតពីដើមប្រេងខ្យល់ (Eu.CNF) នៃការសិក្សានេះត្រូវបានយកទៅធ្វើការប្រៀបធៀបជាមួយលទ្ធផលរបស់ឯកសារវិទ្យាសាស្រ្តដែលធ្លាប់បានធ្វើការសិក្សាពីមុន។

យោងទៅតាម (Henriksson et al., 2008) DP ដែលមានប្រវែងខ្លីគឺចន្លោះពី ៤១០ ទៅ ១១០០។ លទ្ធផលបានបង្ហាញថា RS.CNF ផ្តល់នូវ DP ២៣៨១ វែងជាង DP របស់ Eu.CNF (៣៥២) និងលទ្ធផលរបស់ Delgado-Aguilar et al. (2015) ក៏ដូចជា González et al. (2014) ៤៨៨ និង៤២៣ តាមរៀងគ្នា។ នេះដោយសារតែ RS.CNF បានធ្វើប្រព្រឹត្តិកម្មទុកជាមុនដែលមានឥទ្ធិពលទាបបំផុតដោយគ្រាន់ធ្វើការកំណត់ Kappa number ទៅត្រឹម៣០ មុនពេលយកទៅ pass homogenizer ហើយEu.CNF និង CNF របស់ González et al. (2014) និង Delgado-Aguilar et al. (2015) បានធ្វើប្រព្រឹត្តិកម្មទុកជាមុនជាមួយ TEMPO-mediated oxidation មុនពេល pass homogenizer ដែល TEMPO-mediated oxidation អាចជួយកាត់បន្ថយប្រវែងរបស់សារជាតុសរសៃរ (Khalil et al., 2014)។ DP មានទាក់ទងទៅនឹងភាពមាំរបស់ CNFនាំឱ្យសរសៃរសៃលុយឡូសដែលមាន DPវែងមានភាពមាំកាន់តែខ្លាំង (Alcalá et al., 2013; Delgado-Aguilar et al., 2015; González et al., 2014)

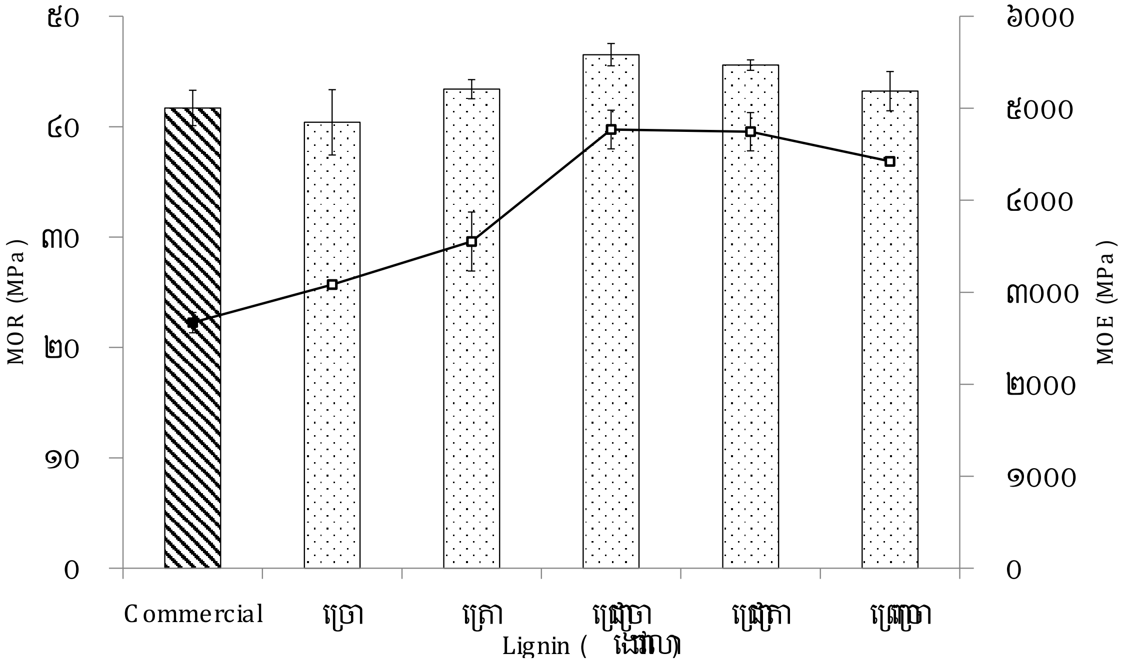
តារាងទី៤.៤ បានបង្ហាញថាcationic demand របស់RS.CNF (១៩៨ µ.eq/g) ទាបជាងលទ្ធផលនៃ Eu.CNF (១៤៦០ µ.eq/g) និងឯកសារដែលបានលើកឡើង។ ចំណែកឯបរិមាណនៃបណ្តុំ COOH របស់ Eu.CNF នៅក្នុងការសិក្សានេះគឺ ១០០៦ µmol/g ច្រើនជាង COOH នៃ RS.CNF (៧៨ µmol/g) ហើយក៏ច្រើនជាងលទ្ធផលនៃឯកសារដែលបានលើកឡើងក្នុងតារាងទី៤.៤ផងដែរ។ ទិន្នផលនៃសារជាតុសរសៃរតូចធ្នាដែលមានទំហំណាណូម៉ែត្ររបស់ផលិតផល CNF ប្រភេទ Eu.CNF ច្រើនជាង៩៥% ខ្ពស់ជាងលទ្ធផលរបស់ RS.CNF ដែលមានត្រឹមតែ២២% ហើយក៏ខ្ពស់ជាងលទ្ធនៃ

ឯកសារដែលបានលើកឡើងផងដែរ។ លទ្ធផលនេះអាចបង្ហាញបានថា Eu.CNF អាចផ្តល់នូវលទ្ធភាពនៃការចងសម្ព័ន្ធបានល្អជាង RS.CNF។

លទ្ធផល និងការពិភាក្សានៃការវិភាគលើវាយនៈភាពរបស់fiberboard

ការធ្វើតេស្តលើវាយនៈភាពនៃការសង្កត់ (MOR) និងវាយនៈភាពនៃការធន់នឹងភាពយឺត (MOE)

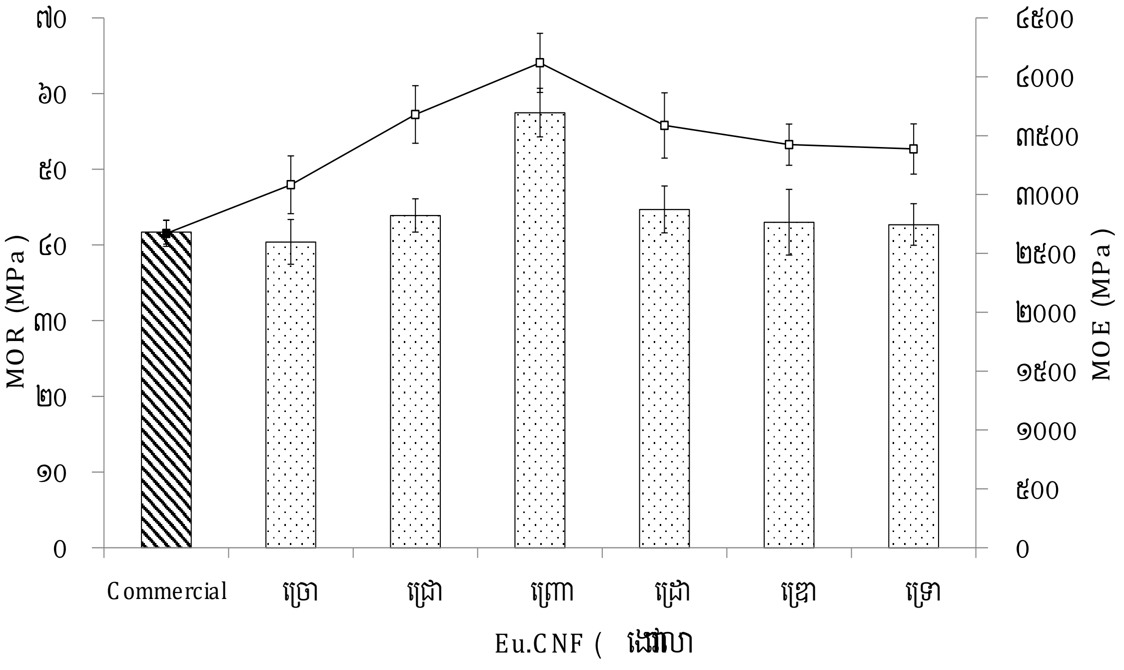
ការធ្វើតេស្តលើវាយនៈភាពនៃការការសង្កត់(MOR) និងវាយនៈភាពនៃការធន់នឹងភាពយឺត (MOE) ត្រូវបានប្រើសម្រាប់វិភាគលើភាពមាំតាមលក្ខណៈមេកានិក ទៅលើfiberboardដែលផលិតពីpulpពីចំបើងប្រភេទ RS៦ និងRSMTP តាមវិធីសាស្ត្រនៃការផលិតគឺខុសៗគ្នា។ Pulpពីចំបើងប្រភេទ RS៦ ត្រូវបានធ្វើការលាយបន្ថែមនូវ cellulose nanofiberពីចំបើង (RS.CNF) ខណៈដែលpulpពីចំបើងប្រភេទ RSTMP ត្រូវបានធ្វើការបង្កើននូវលក្ខណៈមេកានិកដោយវិធីសាស្ត្របីផ្សេងៗគ្នាមានដូចជា ការបន្ថែម lignin, ការបន្ថែម eucalyptus cellulose nanofiber (Eu.CNF) និងការយក pulpពីចំបើងប្រភេទ RSTMP ទៅកិនដោយ PFI millសម្រាប់ផលិត fiberboards។



ក្រាហ្វិកទី៤.១ MOR និងMOE នៃfiberboards ផលិតពីចំបើងប្រភេទ RS_{TMP} និង lignin

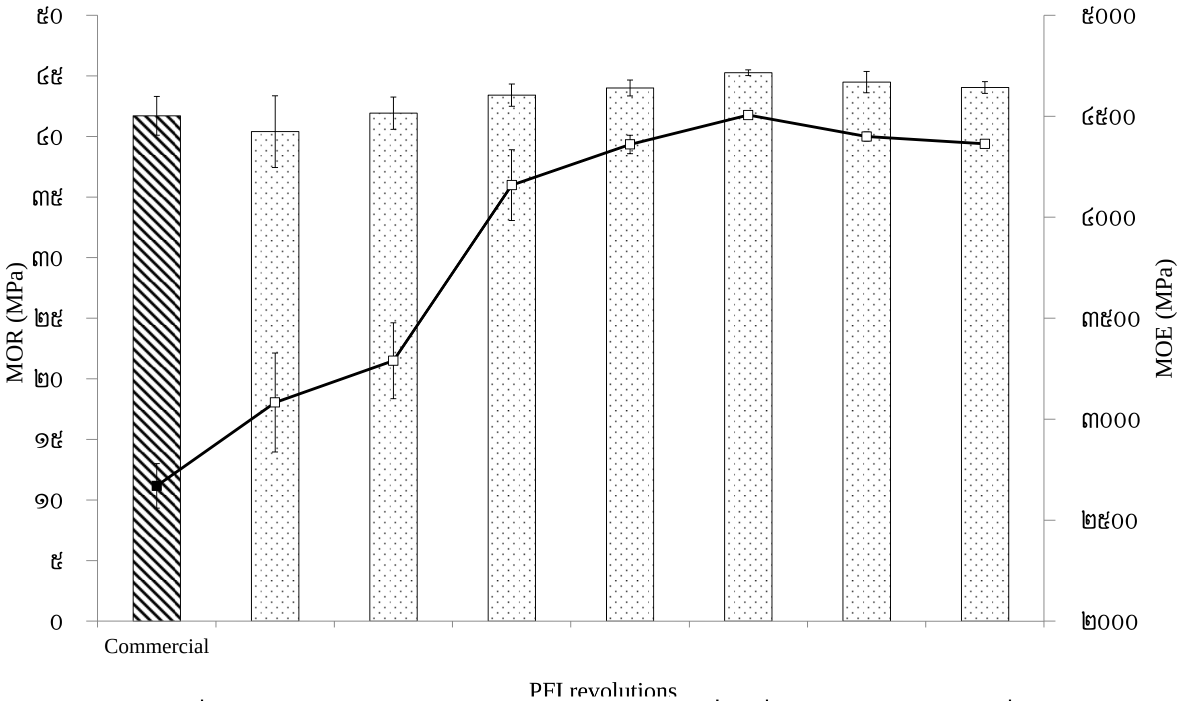
ក្រាហ្វិកទី៤.១ បង្ហាញពីលទ្ធផលនៃ MOR និងMOE របស់fiberboard ដែលផលិតពីpulpប្រភេទRSTMP ដោយបន្ថែម lignin (០, ៥, ១០, ១៥ និង ២០%) និងលទ្ធផលនៃfiberboardដែលមានលក់នៅលើទីផ្សារ (commercial)។ លទ្ធផលបានបង្ហាញថា MOR នៃRSTMP ជាមួយ 0% នៃlignin (៤០.៤MPa) ដែលទាបជាងតម្លៃនៃ fiberboard លើទីផ្សារបន្តិច(៤១.៧MPa)។ នៅ

ពេលដែលlignin ត្រូវបានបន្ថែម MOR នៃfiberboardផលិតពីpulp RSTMP បានកើនឡើងនៅ ៥% នៃlignin (៤៣.៤MPa) ដល់ ១០% នៃlignin (៤៦.៥២MPa) ខ្ពស់ជាង fiberboard នៅលើទីផ្សារ ហើយវាបានថយចុះមកវិញនៅពេលដែលបន្ថែមបរិមាណlignin ត្រូវបានបន្ថែមរហូតដល់២០% (៤៣.២២%)។ នោះបណ្តាលមកពី នៅពេល ligningត្រូវបានបន្ថែមវាធ្វើការចងភ្ជាប់ជាបណ្តាញរវាងសារជាតុសរសៃរ និងlignin ដែលអាចជួយបង្កើននូវភាពមាំដល់ fiberboard ប៉ុន្តែនៅពេលដែលបរិមាណលើសនៃ lignin ត្រូវបានបន្ថែមភាពខ្សោយនៃផ្នែកខាងក្នុងក៏លេចឡើងដោយសារតែម៉ូលេគុលនៃ lignin ចងផ្តុំគ្នា (Mancera et al., 2012)។ ក្នុងករណី MOE 0% នៃ lignin គឺ៣០៣៨MPa ខ្ពស់ជាង MOE នៃ fiberboard ដែលមានលើទីផ្សារ ២៦៧0MPa នេះអាចដោយសារតែវត្ថុជាតុដើមដែលយកមកប្រើក្នុងការផលិត fiberboard គឺខុសគ្នា ដូចគ្នានេះដែរដង់ស៊ីតេនៃ fiberboard ក៏ខុសគ្នា។ ទោះបីជាយ៉ាងណា MOE នៃfiberboard ផលិតពីចំបើងគឺមានទិសដៅដូចគ្នាទៅនឹង MOR។ លើសពីនេះទៅទៀត MOR និង MOE នៃ fiberboardដែលផលិតពីចំបើង RSTMP ដោយមិនមានការលាយជាមួយសារជាតុផ្សេងៗក៏ខ្ពស់ជាង fiberboard ដែលផលិតពីដើមពោតដែលមិនមានលាយជាមួយសារជាតុផ្សេងៗរបស់ Theng et al. (2015) (MOR= ២៩.៣៤MPa, MOE= ១៨៧១ MPa) ដែរ។



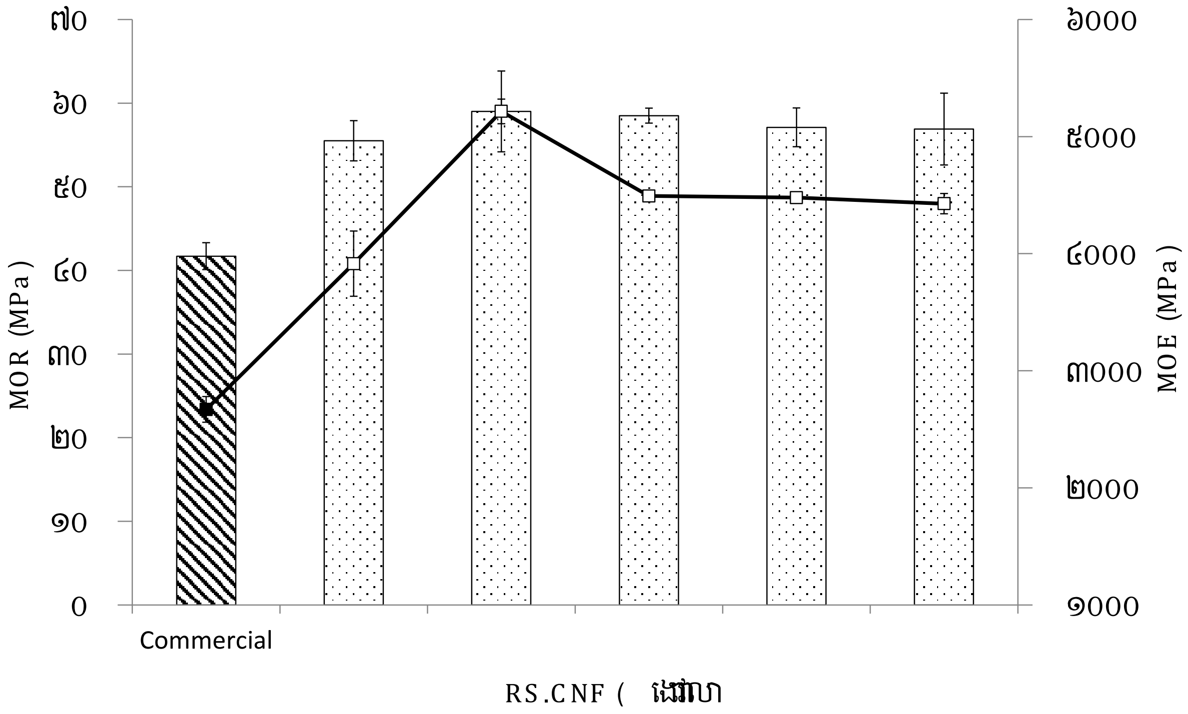
ក្រាហ្វិកទី៤.២ MOR និងMOE នៃfiberboards ផលិតពីចំបើងpulpប្រភេទ RS_{TMP} ជាមួយនិង Eu.CNF

ក្រាហ្វិកទី៤.២ បង្ហាញពីលទ្ធផលនៃ MOR និងMOE នៃfiberboard ដែលផលិតចេញពីpulp ពីចំបើងប្រភេទ RSTMP ដោយលាយជាមួយ eucalyptus cellulose nanofiber (Eu.CNF) និងលទ្ធផលនៃfiberboardទីផ្សារ។ លទ្ធផលបានបង្ហាញថា MOR នៃfiberboards ផលិតពី RSTMP បានកើនឡើងនៅពេលដែលបន្ថែម ១%នៃEu.CNF(៤៣.៩MPa) ហើយកើនឡើងកាន់តែខ្លាំងនៅពេលដែល Eu.CNF ត្រូវបានបន្ថែមនៅ ២% (៥៧.៥MPa) ដែលខ្ពស់ជាងតម្លៃ MOR របស់ commercial fiberboard (៤១.៧MPa)។ លើសពីនេះទៅទៀត តម្លៃអតិបរមានៃ fiberboard ផលិតពីចំបើងដែលបានបន្ថែម ២% នៃEu.CNF គឺខ្ពស់ជាងតម្លៃអតិបរិមារនៃ fiberboardដែលផលិតចេញពីដើមពោតហើយបន្ថែម ២% នៃEu.CNF (៥២.៥៧MPa) របស់ Theng et al. (2015)។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយនៅពេលដែល Eu.CNF ត្រូវបានបន្ថែមរហូតដល់ ៣ ៤ និង ៦% MOR បានថយចុះមកត្រឹម ៤៤.៧ ៤៣ និង ៤២.៧MPa តាមរៀងគ្នា។ ការកើនឡើងនូវលក្ខណៈមេកានិករបស់ fiberboard ផលិតពីចំបើង RSTMP និង Eu.CNF គឺមកពី high intrinsic mechanical properties និងhigh specific surface នៃEu.CNF ដែលអាចជួយបង្កើននូវការចងសម្ព័ន្ធហ៊ីដ្រូសែន និង កម្លាំងជម្រុញ ក៏ដូចជាភាពខ្ចីតូចរបស់ CNFដែលចូលទៅបំពេញនូវចន្លោះរវាងសារជាតុសរសៃទាំងនោះ (Alcalá et al., 2013; Delgado-Aguilar et al., 2015; Theng et al., 2015)។ ដោយ pulps មានបរិមាណនៃសារជាតុសរសៃតូចៗច្រើន (fines element) រហូតដល់ ៦៧% វាបណ្តាលឱ្យភាពឆ្អែតកើតមានឡើងក្នុងកម្រិតទាបនៃការបន្ថែម CNF (Delgado-Aguilar et al., 2015)។ ហេតុនេះប្រសិនបើ សារជាតុសរសៃតូចៗទាំងនោះត្រូវបានយកចេញ ការកើនឡើងនៃលក្ខណៈមេកានិកដោយការបន្ថែម CNF អាចនឹងកើតមានគួរឱ្យកត់សម្គាល់ កម្រិតនៃភាពឆ្អែតដោយការបន្ថែម CNF ក៏អាចកើតមានក្នុងកម្រិតខ្ពស់ជាងមុន (Theng et al., 2015)។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ សារជាតុសរសៃតូចៗទាំងនោះគឺមានផ្ទៃជាក់លាក់ខ្ពស់ (high surface area) អាចជួយបង្កើននូវសមត្ថភាពនៃការចងសម្ព័ន្ធរបស់សារជាតុសរសៃ (Gharehkhani et al., 2015) ហេតុនេះហើយគួរធ្វើការកត់សម្គាល់ឱ្យបានច្បាស់នៃអន្តរអំពើរបស់ CNF និង microfibers ក៏ដូចជាអន្តរអំពើនៃ CNF ជាមួយសារជាតុសរសៃតូចៗទាំងនោះ (Theng et al., 2015)។ ក្នុងករណីដែល CNF ទៅចងជាមួយសារជាតុសរសៃតូចៗវាអាចបណ្តាលឱ្យលក្ខណៈមេកានិកនៃ fiberboardមានការធ្លាក់ចុះដោយសារតែពួកវាចងចូលគ្នា ហើយមិនបានចូលទៅបំពេញ និង/ឬ ជួយឱ្យ fiberboard មានភាពរឹងមាំឡើយ។ លទ្ធផលនៃ MOE ជាទូទៅគឺមានទិសដៅដូច MOR។



ក្រាហ្វិកទី៤.៣ MOR និងMOE នៃfiberboards ផលិតពីចំបើង RS_{TMP} ដែលបានធ្វើការ refined

ក្រាហ្វិកទី៤.៣ បង្ហាញពីលទ្ធផលនៃ MOR និងMOE នៃfiberboards ដែលផលិតពីចំបើង RSTMP ដោយធ្វើការកិនក្នុងល្បឿននៃ revolutions ខុសៗគ្នានៃ PFI refining មានដូចជា ៥០០ ១០០០ ១៥០០ ២០០០ ៣០០០ និង ៤០០០ revolutions។ លទ្ធផលបានបង្ហាញថា លក្ខណៈមេកានិកនៃ fiberboard ដែលផលិតពី RSTMP ក្រោយពេលដែលចំបើងមានការកើនឡើងនៅពេលវាត្រូវបានrefined រហូតដល់ ២០០០revolutions (៤៥.២៦MPa) ហើយវាចាប់ផ្ដើមចុះបន្តិចម្ដងៗនៅពេលដែលចំបើងត្រូវបានកាន់តែខ្លាំង ។ យោងតាម Gharehkhani et al. (2015) refined បានបង្កើននូវ specific area នៃសារជាតុសរសៃរ ក៏ដូចជាបន្ទុកនៅផ្ទៃខាងលើដែលអាចជួយបង្កើនគុណភាពនៃសារជាតុសរសៃរ និងលទ្ធភាពនៃការចងសម្ព័ន្ធរបស់សារជាតុសរសៃរហើយក៏ជួយធ្វើឱ្យ fiber មានភាពបត់បែនកាន់តែខ្លាំង ដែលទាំងនេះជាហេតុនាំឱ្យលក្ខណៈមេកានិករបស់សារជាតុសរសៃរកើនឡើង។ ប៉ុន្តែនៅពេលដែល refining ត្រូវបានប្រព្រឹត្តទៅហួសតម្រូវការរបស់សារជាតុសរសៃរវាអាចធ្វើឱ្យខូច និងកាត់សារជាតុសរសៃរឱ្យខ្លីខ្លាំង ក៏ដូចជាធ្វើឱ្យខូចរចនាសម្ព័ន្ធរបស់វាផងដែរ នេះជាហេតុដែលបណ្ដាលឱ្យលក្ខណៈមេកានិករបស់fiberboard មានការថយចុះ (Alcalá et al., 2013; Arévalo & Peijs, 2015; Gharehkhani et al., 2015)។ លទ្ធផលនៃ MOE គឺមានលក្ខណៈដូចគ្នាទៅនឹង MOR ដែរ។



ក្រាហ្វិកទី៤.៤ MOR និងMOE នៃfiberboards ផលិតពីចំបើង RS៦ និងRS.CNF

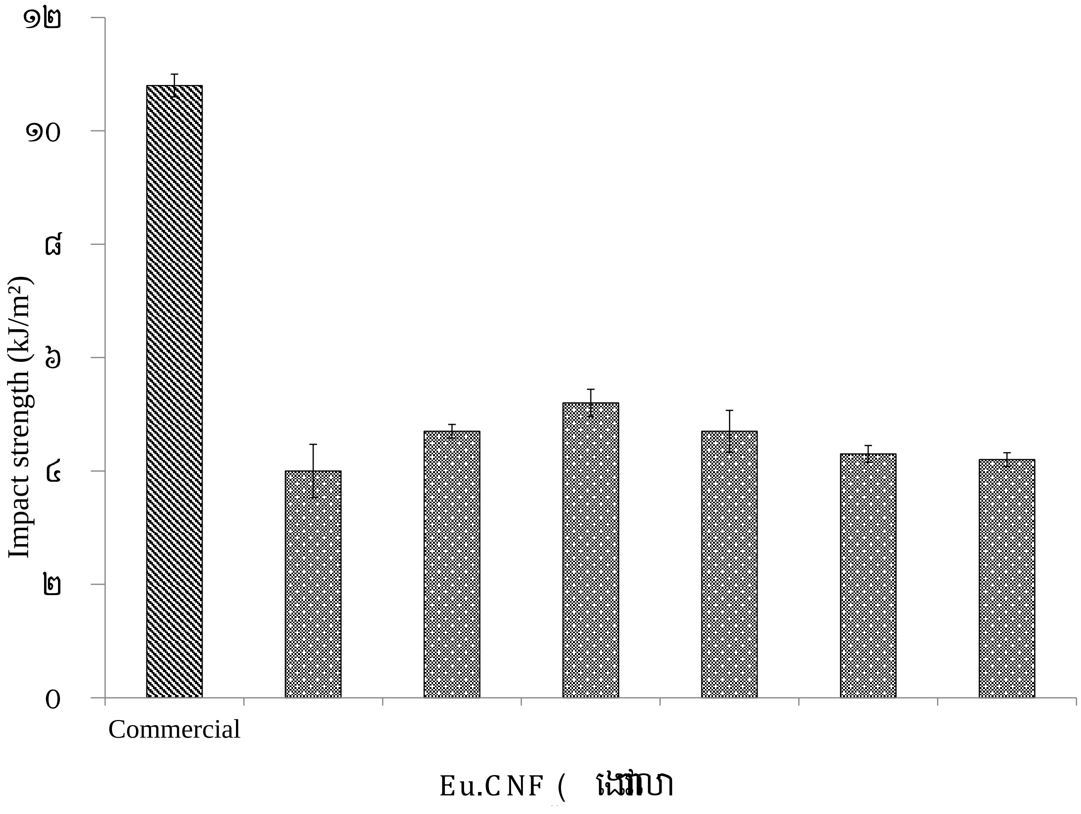
ក្រាហ្វិកទី៤.៤ បង្ហាញពីលទ្ធផលនៃ MOR និង MOE នៃfiberboard ដែលផលិតពីចំបើងប្រភេទ chemi-thermomechanical pulp (RS6) លាយជាមួយ cellulose nanofiberពីចំបើង (RS.CNF)។ លទ្ធផលបានបង្ហាញថា MOE នៃfiberboard ដែលផលិតពីចំបើង RS6 សុទ្ធគឺ ៥៥.៥ MPa ដែលតម្លៃនេះខ្ពស់ជាង fiberboardនៅទីផ្សារ (៤១.៧MPa) និង fiberboard ដែលផលិតពីចំបើង RSTMP (៤០.៤MPa) ក៏ដូចជា តម្លៃអតិបរមានៃ fiberboard ដែលផលិតពី RSTMP ជាមួយ lignin (៤៦.៥២MPa) និង PFI refining (៤៥.២៦MPa)។ តម្លៃនេះក៏ខ្ពស់ជាងតម្លៃអតិបរិមានៃfiberboard ដែលផលិតពីដើមពោតលាយជាមួយ ២% នៃ Eu.CNF (៥២.៥៧MPa) របស់ Theng et al. (2015)ផងដែរ។ នេះដោយសារតែចំបើង RS៦ គឺជាប្រភេទ chemi-thermomechanical ហើយមានបរិមាណសារជាតុសរសៃរតូចៗរហូតដល់ (៨៣%)។ ប្រព្រឹត្តិកម្មគីមី សីតុណ្ហភាព និង ប្រព្រឹត្តិកម្មរយៈពេលវែងអាចធ្វើឱ្យសារជាតុសរសៃរ មានលក្ខណៈទន់ និងមានលក្ខណៈនៃការចងសម្ពន្ធ័ពីធម្មជាតិបានយ៉ាងល្អ (Suchsland & Woodson, 1987)។ យោងតាម Kurokochi and Sato (2015a) រចនាសម្ពន័ដែលនៅលើផ្ទៃខាងលើ (surface structure) ដូចជា trichomes និង protuberance នៅលើកោសិកាអេពីឌែមរបស់ចំបើង ត្រូវបានបំបាត់ដោយសារជាតុសរសៃរតូចៗទាំងនោះ ដូចនេះហើយទើបសារជាតុសរសៃរតូចៗទាំងនោះ អាចបង្កើននូវលក្ខណៈមេកានិករបស់ fiberboard។ មិនតែប៉ុណ្ណោះបរិមាណដ៏ច្រើននៃសារជាតុសរសៃរតូចៗទាំងនោះក៏អាចធ្វើ

ឱ្យលក្ខណៈមេកានិកថយចុះដោយសារតែចំណុចនៃភាពឆ្អែតកើតឡើងនៅកម្រិតទាបនៃការបន្ថែម CNF(Delgado-Aguilar et al., 2015) ។ លទ្ធផលនេះបង្ហាញថាតម្លៃអតិបរមារនៃ RS6 fiberboard ឆ្អែតនៅពេលបន្ថែម ១% នៃRS.CNF (៥៩MPa)ខណៈដែលតម្លៃអតិបរមារនៃ RSTMP fiberboard ឆ្អែតនៅ ២% នៃEu.CNF (៥៧.៥MPa) ។ តម្លៃនៃ MOE គឺជាទូទៅមានទិសដៅដូច MOR។

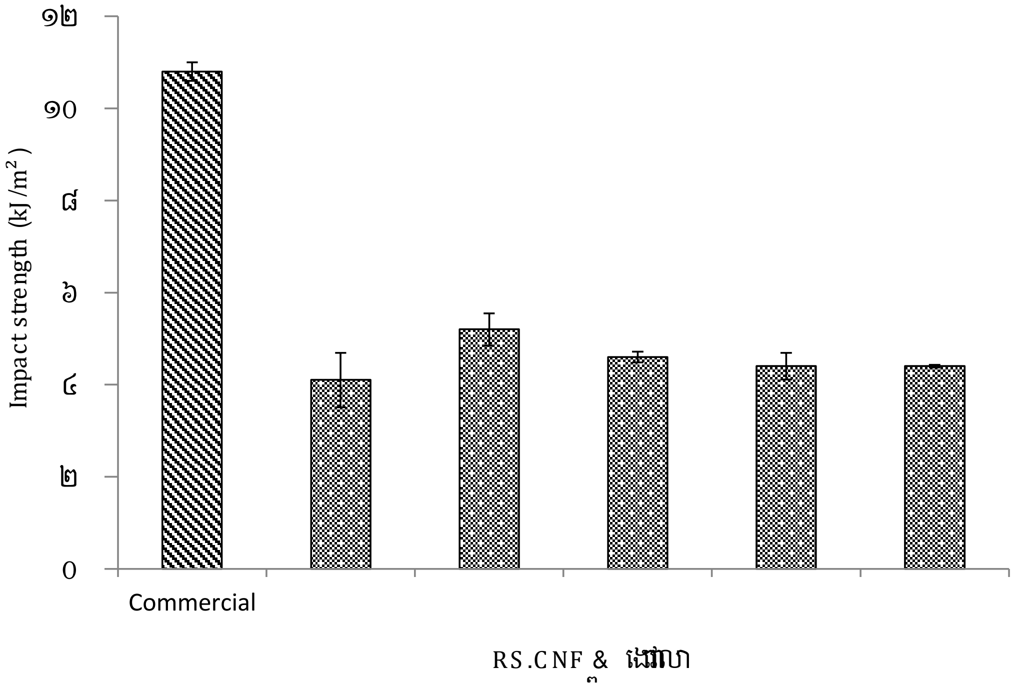
វាយនៈភាពលើភាពទង្គិច (IS)

ការវិភាគលើវាយនៈភាពដោយកម្លាំងទង្គិចបានធ្វើឡើងចំពោះfiberboar ផលិតពីចំបើង RSTMP ជាមួយ Eu.CNF និង fiberboardដែលផលិតចេញចំបើងប្រភេទ RS៦ជាមួយ RS.CNF។

ក្រាហ្វិកទី៤.៥ និង ៤.៦ បង្ហាញពីលទ្ធផលនៃ Izod impact strength ទៅលើភាពមាំរបស់ fiberboard ដែលផលិតពីចំបើង RSTMP ជាមួយ Eu.CNF និង Izod impact strength នៃ fiberboard ដែលផលិតពីចំបើង RS៦ ជាមួយ RS.CNF តាមរៀងគ្នា។ ថាមពលដែលត្រូវប្រើសម្រាប់បំបាក់ fiberboard ត្រូវបានធ្វើការកត់ទុក។ លទ្ធផលបានបង្ហាញថាតម្លៃអតិបរមានៃថាមពលដែលត្រូវការដើម្បីបំបាក់ fiberboard ផលិតពី RSTMP ជាមួយ Eu.CNF និង RS៦ ជាមួយ RS.CNF គឺដូចគ្នា (៥.២kJ/m^2)។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយតម្លៃនៃវាយនៈភាពដោយកម្លាំងទង្គិច (impact strength ឬIS) របស់fiberboards ផលិតពីចំបើងគឺ ទាបជាងfiberboardដែលលមានលក់នៅលើទីផ្សារ ដោយសារតែ fiberboardលើទីផ្សារផលិតដោយមានការលាយជាមួយ urea formaldehyde (UF) ដែលអាចជួយដល់ភាពមាំរបស់ fiberboard ទើបfiberboardទីផ្សារត្រូវការថាមពល ខ្ពស់ជាងដើម្បីបំបាក់ Theng et al. (2015)។



ក្រាហ្វិកទី៤.៥ Izod impact strength របស់ fiberboard ផលិតពីចំបើងប្រភេទ RS_{TMP} ជាមួយ Eu.CNF

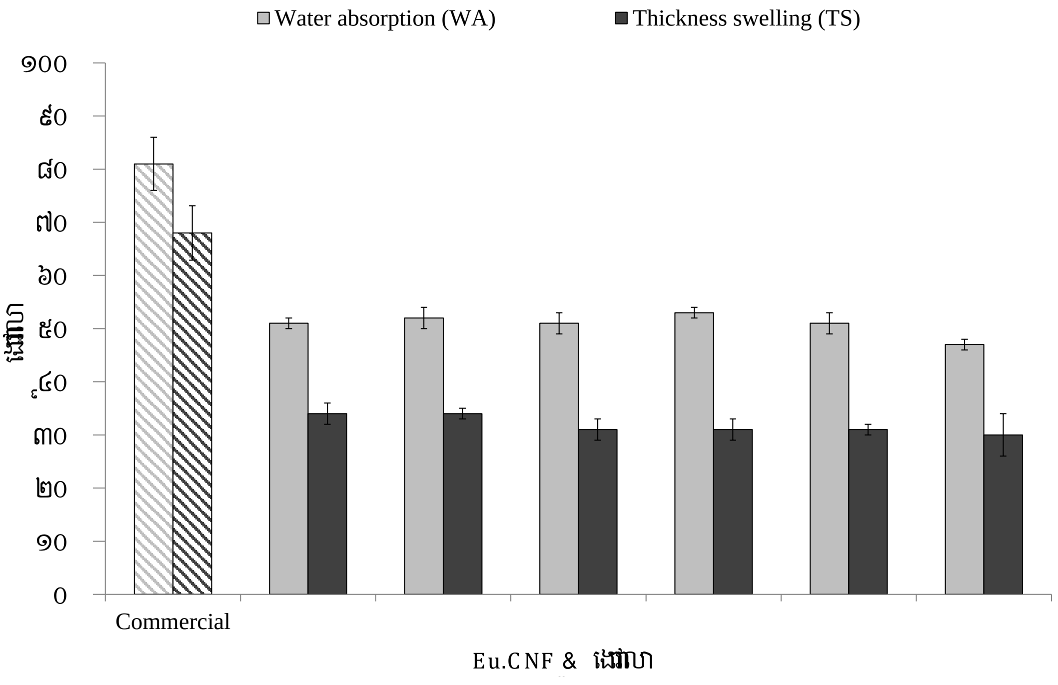


ក្រាហ្វិកទី៤.៦ Izod impact strength របស់ fiberboard ផលិតពីចំបើងប្រភេទ $RS_{៦}$ ជាមួយ RS.CNF

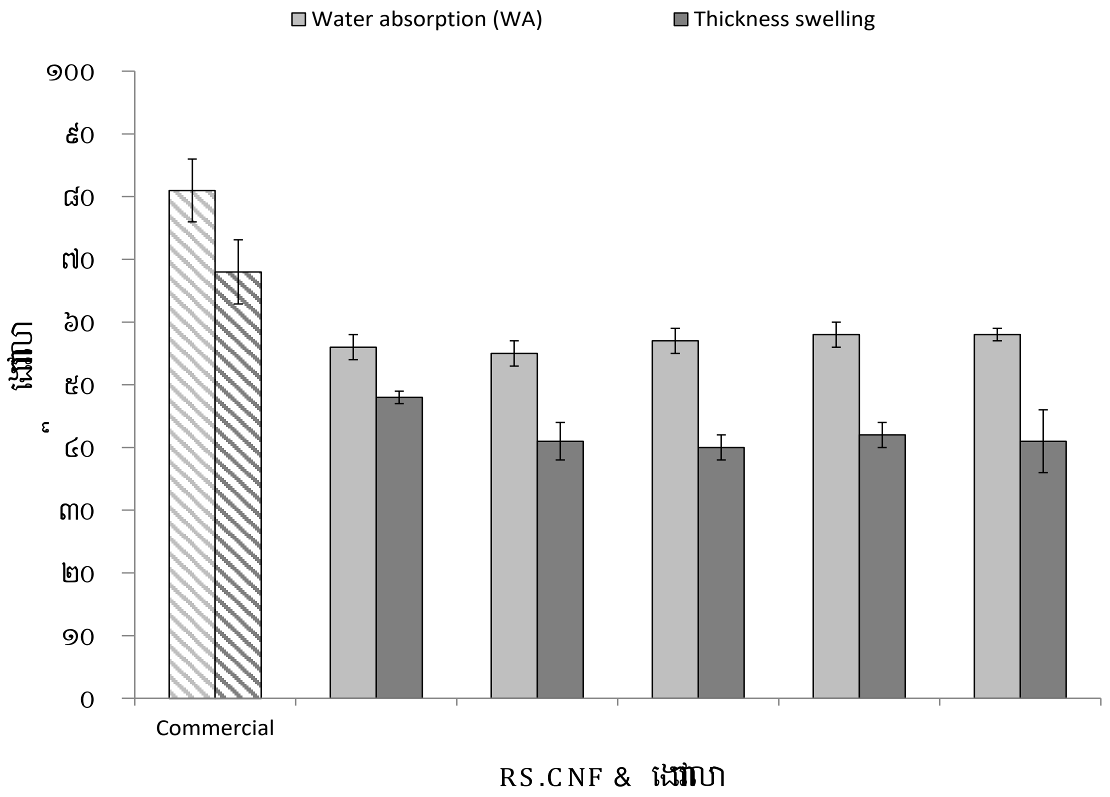
ការវិភាគលើបរិមាណនៃការសម្រូបជាតិទឹក(WA) និង វាយនៈភាពនៃការរីកមាឌក្រោយការត្រាំទឹក (TS)

បរិមាណនៃការសម្រូបជាតិទឹក(Water absorption ឬWA) និង វាយនៈភាពនៃការរីកមាឌក្រោយការត្រាំទឹក (thickness swelling ឬTS) គឺជាការវិភាគទៅលើលក្ខណៈរូបដែលមានលក្ខណៈសាមញ្ញ ហើយជាទូទៅត្រូវបានគេយកមកធ្វើតេស្តផលិតផល fiberboard។

ក្រាហ្វិកទី៤.៧ បង្ហាញពីលទ្ធផលនៃ WA និងTS របស់ផលិតផល fiberboard ផលិតពី pulp ពីចំបើង RSTMP ដោយធ្វើការបន្ថែម Eu.CNF។លទ្ធផលលបានបង្ហាញថា fiberboard ដែលផលិតពីចំបើង RSTMP សុទ្ធមាន WA= ៥១% ហើយ TS= ៣៤% ទាបជាង fiberboardដែលមានលក់លើទីផ្សារ (WA= ៨១% និង TS= ៦៨%) ហើយក៏ទាបជាងលទ្ធផលរបស់ Theng et al. (2015)ដែលធ្វើការសិក្សាលើដើមពោតសម្រាប់ផលិតកម្ម fiberboar ដែលមានWA= ៧៧% និង TS =៣៨%។ ដោយចំបើងសំបូរទៅដោយ silica និងសមាសធាតុដូចក្រមួនដែលអាចជួយឱ្យ fiberboard ផលិតពីចំបើងមានការសម្រូបជាតិទឹក និងការរីកមាឌតិច។ (Kurokochi & Sato, 2015a; Kurokochi & Sato, 2015b) តម្លៃដែលល្អជាងគេនៃ WA និង TS របស់ fiberboard ដែលផលិតពីចំបើង RSTMP គឺកើតឡើងនៅពេលដែលបន្ថែម Eu.CNF ៦% ដែលទទួលបាន WA=៤៧% និង TS= ៣០%។



ក្រាហ្វិកទី៤.៧ ការវិភាគលើបរិមាណនៃការសម្រូបជាតិទឹក(WA) និង វាយនៈភាពនៃការរីកមាឌក្រោយការត្រាំទឹក (TS) របស់ fiberboardផលិតពីចំបើង RS_{TMP} ជាមួយEu.CNF



ក្រាហ្វិកទី៤.៨ ការវិភាគលើបរិមាណនៃការសម្រូបជាតិទឹក (WA) និង វាយនៈភាពនៃការរីកមាឌក្រោយការត្រាំទឹក (TS) របស់ fiberboardផលិតពីចំបើង RS_6 ជាមួយ RS.CNF

ក្រាហ្វិកទី៤.៨ បង្ហាញពីលទ្ធផ WA និង TS របស់ fiberboard ផលិតពី pulpចំបើង RS៦ លាយជាមួយ RS.CNF។ លទ្ធផលបានបង្ហាញថា fiberboard ចំបើងប្រភេទ RS៦ មាន WA= ៥៦% និង TS=៤៨%ទាបជាងលទ្ធផលរបស់ fiberboard នៅលើទីផ្សារ។ WA fiberboard ផលិតពីចំបើងប្រភេទ RS៦ សុទ្ធក៏ទាបជាងតម្លៃនៃ WA របស់ fiberboard ដែលផលិតពីដើមពោតរបស់ Theng et al. (2015)។ គេសង្កេតឃើញថា WA មានការថយចុះតិចតួចបំផុតក្រោយពេលបន្ថែម ១% នៃRS.CNF (WA= ៥៥%) ហើយមិនមានអ្វីគួរឱ្យកត់សម្គាល់ទេទោះបី RS.CNF បន្ថែមកាន់តែច្រើន។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ TS ក៏បានថយចុះដែរ ប៉ុន្តែវាមិនការប្រែប្រួលឡើយចំពោះការបន្ថែមនូវ RS.CNF។

ដង់ស៊ីតេ

តារាងទី៤.៥ បង្ហាញពីលទ្ធផលនៃដង់ស៊ីតេនៃផលិតផល fiberboards ទាំងអស់ដែលផលិតពីចំបើងនៅក្នុងការសិក្សានេះក៏ដូចជាលក្ខណៈមេកានិកជាក់លាក់នៃ fiberboards ដែលផលិតចេញពីចំបើង។ លទ្ធផលបានបង្ហាញថាដង់ស៊ីតេនៃfiberboardsទាំងអស់នៃការសិក្សានេះគឺធំជាង ៨០០ គីឡូក្រាមក្នុងមួយម៉ែត្រគូប (Kg/m^3) ដូចនេះពួកវាជាប្រភេទ high density fiberboard (HDF)

ជាfiebrboardដែលមានដង់ស៊ីតេខ្ពស់។ គួរកត់សម្គាល់ថាភាពមាំជាក់លាក់នៃ MOR របស់fiberboard ផលិតពី RSTMP ជាមួយនិងការបន្ថែមនៃ lignin និងឥទ្ធិពលនៃ PFI refining គឺទាបជាងfiberboard ដែលមានលក់នៅលើទីផ្សារ តែទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ លទ្ធផលនៃការបន្ថែមEu.CNF ២%គឺ ០.០៥៣ MPa.kg/m³ ដែលមានតម្លៃធំជាង fiberboard ដែលលក់នៅក្នុងទីផ្សារ (០.០៤៧MPa.kg/m³)។

ក្នុងករណី fiberboard ដែលផលិតពីចំបើង RS៦ លាយជាមួយ RS.CNF តម្លៃនៃភាពរឹងមាំជាក់លាក់នៃ MOR របស់ fiberboardដែលមិនមានលាយអ្វីគឺ ០.០៤៩MPa.kg/m³ ខ្ពស់ជាង fiberboardដែលមានលក់ក្នុងទីផ្សារ ហើយវាកាន់តែល្អនៅពេលដែលបានបន្ថែម RS.CNF ដែលតម្លៃអតិបរមាទទួលបាននៅពេលបន្ថែម ១% នៃ RS.CNF(០.០៥៤MPa.Kg/m³)។ លទ្ធផលនេះក៏ខ្ពស់ជាងលទ្ធផលនៃ fiberboard ដែលផលិតពីដើមពោតរបស់ Theng et al. (2015)ផងដែរ។ លទ្ធផលនៃ MOE គឺជាទូទៅមានទិសដៅដូច MOR។

តារាងទី៤.៥ តម្លៃជាក់លាក់នៃវាយនៈភាពនៃភាពមាំរបស់fiberboardផលិតពីចំបើង។ តម្លៃដែលនៅក្នុងវង់ក្រចកគឺជាតម្លៃនៃភាពល្អៀង

ប្រភេទនៃ Fiberboard	ដង់ស៊ីតេ(ρ) (kg/m³)	MOR/ρ (MPa.m³/kg)	MOE/ρ (MPa.m³/kg)
Fiberboard ទីផ្សារ	៨៨៣ (១៩)	០.០៤៧	៣.០២
RSTMP	១១៣៣ (៤៥)	០.០៣៦	២.៧២
RSTMP+lignin ៥%	១១៤៥ (១៧)	០.០៣៨	៣.១០៣
RSTMP+lignin ១០%	១១៤៧ (១២)	០.០៤១	៤.១៥៦
RSTMP+lignin ១៥%	១១៦៥ (៥)	០.០៣៩	៤.០៧៣
RSTMP+lignin ២០%	១១៦៧ (១០)	០.០៣៧	៣.៧៩០
RSTMP+ ៥០០	១១៣៨ (១១)	០.០៣៧	២.៨៩១
RSTMP+ ១០០០	១១៤១ (២៨)	០.០៣៨	៣.៦៤៧
RSTMP+ ១៥០០	១១៥៦ (១៣)	០.០៣៨	៣.៧៧២
RSTMP+ ២០០០	១១៥៩ (១៦)	០.០៣៩	៣.៨៨៦
RSTMP+ ៣០០០	១១៧០ (១៤)	០.០៣៨	៣.៧៦២
RSTMP+ ៤០០០	១១៧៦ (៩)	០.០៣៧	៣.៧១១

RSTMP+ Eu.CNF ១%	១០៦៩ (៣៩)	0.០៤១	៣.៤៤២
RSTMP+ Eu.CNF ២%	១០៨២ (៥៧)	0.០៥៣	៣.៨០៧
RSTMP+ Eu.CNF ៣%	១០៦៣ (៤២)	0.០៤២	៣.៣៧៤
RSTMP+ Eu.CNF ៤%	១០៧៩ (៤២)	0.០៤០	៣.១៧៣
RSTMP+ Eu.CNF ៦%	១១៤៦ (៣៥)	0.០៣៧	២.៩៥៥
$RS_{៦}$	១១៣៣ (១៧)	0.០៤៩	៣.៤៥៥
RS_6+ RS.CNF 1%	១១០០ (៥០)	0.០៥៤	៤.៧៤១
RS_6+ RS.CNF 2%	១០៩៧ (៥៧)	0.០៥៣	៤.០៩៦
RS_6+ RS.CNF 3%	១១៥៥ (៥៨)	0.០៤៩	៣.៨៧៨
RS_6+ RS.CNF 6%	១១១០ (៥៨)	0.០៥១	៣.៩៨៨

សន្និដ្ឋាន និង អនុសាសន៍

សន្និដ្ឋាន

យោងតាមលទ្ធផលនៃការសិសក្សានេះគេអាចសន្និដ្ឋានបានថា៖

- Pulpពីចំបើងដែលប្រើសើរបំផុតសម្រាប់ការផលិត fiberboard គឺ $RS_{៦}$ ដែលធ្វើការស្ងោរក្នុងលក្ខខណ្ឌ ៦%NaOH សមាមាត្រទឹកនិងម៉ាសស្ងួតគឺ6 សីតុណ្ហភាព១០០អង្សារសេ រយៈពេល៩០នាទីស្ងោរក្នុងឆ្នាំងសម្ពាធធម្មតា។ ដោយសារវាផ្តល់នូវភាពមាំនៃ fiberboard ប្រសើរជាងគេគឺ ៥៥.៥MPa និង ភាពមាំនៃសារធាតុសរសៃរដែលបានការធ្វើក្រដាសគឺ ២៨១២ម៉ែត្រ ជាមួយនឹងទិន្នផលក្រោយការស្ងោរ ៨១%។

- Fiberboard ដែលផលិតពីចំបើងប្រភេទ $RS_{៦}$ មានភាពរឹងមាំជាងគេបើទោះជាវាមិនមានប្រើប្រាស់សារធាតុស្អិតពីធម្មជាតិក៏ដោយ ក៏វាអាចទទួលបានវាយនៈភាពដោយកម្លាំងសង្កត់ ៥៥.៥MPa ។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ កាបន្ថែមcellulose nonofiberពីចំបើង(RS.CNF) ត្រូវបានប្រើលាយបន្ថែមដើម្បីបង្កើននូវលក្ខណៈមេកានិករបស់ fiberboard។ លទ្ធផលបានបង្ហាញថាចំណុចនៃភាពផ្អែតបានលេចឡើងនៅ ១% នៅពេលថែម RS.CNF ហើយវាបានបង្កើននូវ MOR តិចតួចបំផុតគឺត្រឹម ៦%។

- ចំណែកឯការបន្ថែម lignin, eucalyptus cellulose nanofiber (Eu.CNF)និង ការដែលយក pulpពីចំបើងប្រភេទ RS_{TMP} ទៅកិនដោយ PFI mill ក៏បានបង្កើននូវលក្ខណៈមេកានិករបស់ fiberboards ដែលផលិតពីចំបើងប្រភេទ RS_{TMP}ដែរ។ គេសង្កេតឃើញថាEu.CNF មានការកើនឡើងនៃលក្ខណៈមេកានិកល្អជាងគេ។ វាអាចកើនឡើងដល់ ៤២% ធៀបជាមួយនឹង fiberboard ដែលផលិតពី RS_{TMP} សុទ្ធ និង ៣៨% បើប្រៀបធៀបជាមួយ fiberboardនៅលើទីផ្សារ។

- MOR និង MOE នៃ fiberboards ផលិតពីចំបើងគឺខ្ពស់ជាងMOR និងMOE នៃfiberboard នៅលើទីផ្សារ តែជាអកុសល វាយនៈភាពដោយកម្លាំងទង្គិច (impact strength ឬIS) នៃ fiberboards ដែលផលិតពី RS_{TMP} លាយជាមួយ Eu.CNF និង fiberboard ដែលផលិតពីចំបើង RS៦ មានតម្លៃនៃISទាបជាង fiberboardនៅលើទីផ្សារ ១០៨%។

អនុសាសន៍

- យោងទៅតាមលទ្ធផលនៃការពិភាក្សា និងសន្និដ្ឋានទៅ “ការផលិត fiberboard ពីកាកសំណល់កសិរុក្ខកម្មនិង សារជាតុស្អិតពីធម្មជាតិ” គំនិត និងយោបល់មួយចំនួនត្រូវបានចែករំលែកជាអនុសាសន៍ដែលមានដូចខាងក្រោម៖

- អ្នកសិក្សាជំនាន់ក្រោយគួរព្យាយាមសាកល្បងផលិត fiberboard ដែលផលិតពី pulpពីចំបើងប្រភេទ RSTMP ដោយមានការលាយបញ្ចូលនូវសារជាតុស្អិតធម្មជាតិទាំងពីរប្រភេទចូលគ្នាគឺ cellulose nanofiber (CNF) និង lignin។

- អ្នកសិក្សាជំនាន់ក្រោយគួរព្យាយាមធ្វើការផលិត fiberboard ដែលផលិតពី pulpពីចំបើងប្រភេទ chemi-thermomechanical pulp (RS៦) ដោយធ្វើការលាយជាមួយ lignin។

- អ្នកសិក្សាជំនាន់ក្រោយគួរសាកល្បងធ្វើការយកចេញនូវសារជាតុសរសៃតូចឆ្មារ (fines element) ពីpulpដែលផលិតពីចំបើង រួចធ្វើការលាយជាមួយ cellulose nanofiber (CNF) ដើម្បីបញ្ជាក់ពីសក្តានុពលភាពរបស់CNF ដោយមិនរងឥទ្ធិពលពីសារជាតុសរសៃតូចឆ្មារទាំងនោះ។

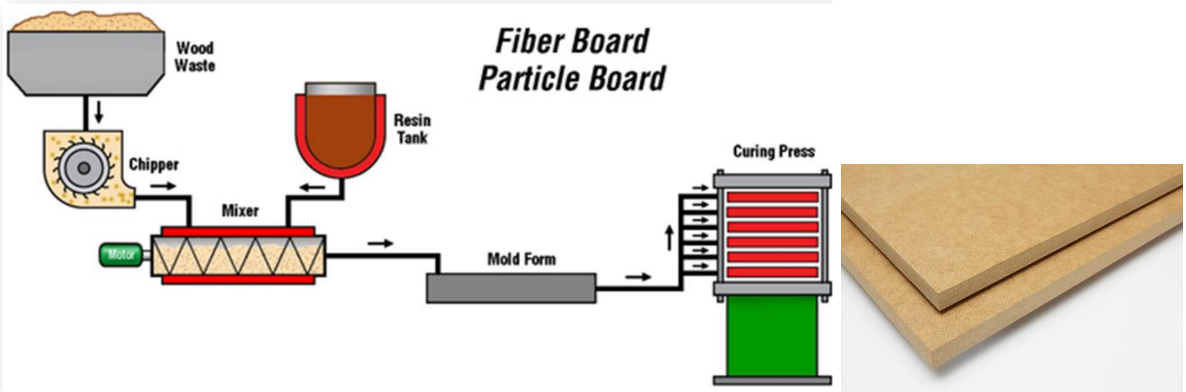
ជំពូក៣

ការផលិតក្ដារបន្ទះ

៣.១ សេចក្ដីផ្ដើម

ក្ដារបន្ទះ (fiberboard) គឺជាផលិតផលនៃសន្លឹក ឬ បន្ទះគ្រឿងសំណង់មួយប្រភេទ (construction panel) ផលិតពីឈើ ឬ សរសៃនៃរុក្ខជាតិ ដែលខ្លះជាសរសៃស្ទើសាច់ និងខ្លះទៀតមានលាយឡំដោយថ្នាំង ឬ ស្នូល តាមប្រភេទនិងលក្ខណៈរបស់ដើមរុក្ខជាតិ។ វត្ថុធាតុដើមដែលអាចប្រើប្រាស់សម្រាប់ផលិតជាក្ដារបន្ទះរួមមាន៖ ក្រចៅ ចំបើង កាកអំពៅ ស្មៅ flax ស្មៅ hemp ស្មៅ grass ក្រដាសកាសែតចាស់ៗ សំបកសណ្ដែកដី។ល។ ក្ដារបន្ទះប្រភេទនេះ គេនិយមប្រើប្រាស់ជាគ្រឿងសំណង់ គ្រឿងសង្ហារឹម គ្រឿងការពារសំលេង ឬ ជ្រាបទឹក ជាដើម។

ក្ដារបន្ទះអាចផលិតឡើងពីវត្ថុធាតុដើមដែលបានធ្វើប្រព្រឹត្តកម្មជាមុនតាមវិធីផ្សេងៗ ដូចបានបង្ហាញនៅក្នុងជំពូកទី ២ ខាងលើ តាម ២ វិធីសាស្ត្រផ្សេងគ្នា គឺ បែបសើម និងបែបស្ងួត។ ភាពខុសគ្នារវាងវិធីសាស្ត្រផលិតបែបសើមនិងបែបស្ងួតគឺអាស្រ័យលើអត្រាសំណើមនៃវត្ថុធាតុដើម ពោលគឺប្រសិនបើអត្រាសំណើមលើសពី ២០% គឺជាការផលិតតាមបែបសើម ប៉ុន្តែបើក្រោម ២០% គឺជាការផលិតតាមបែបស្ងួត (WPIF, TRADA, & TTF, 2014)។



រូបភាព ៣.១ ដំណើរការផលិតក្ដារបន្ទះ

៣.២ វិធីផលិតបែបសើម

៣.២.១ លក្ខណៈទូទៅ

ការផលិតតាមបែបសើមគឺជាការរំលាយសារធាតុសរសៃនៃសែលលុយឡូសក្នុងទឹក។ ការបង្កើតសម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែននិងលីកនីននឹងកើតមានឡើងនៅដំណាក់កាលកម្ដៅនិងសម្ងួត។ វិធីសាស្ត្រនេះ

សមស្របសម្រាប់ការផលិតក្ដារបន្ទះដោយមិនប្រើជ័រគីមី ប៉ុន្តែគុណវិបត្តិធំបំផុតនៃវិធីសាស្ត្រនេះគឺ ការបំពុលទឹកកខ្វក់ក្នុងដំណើរការផលិត។

៣.២.១ ឧបករណ៍ និងសម្ភារសម្រាប់ផលិតកម្ម

ក ម៉ាស៊ីនកិនចិញ្ច្រាំ

ជាប្រភេទម៉ាស៊ីនប្រើសម្រាប់កិនចិញ្ច្រាំវត្ថុធាតុដើមឲ្យខ្ចីតាមទំហំចង់បាន ដោយប្រើផ្លែកាំបិតកាត់។ ប្រភេទ រូបរាង និងទំហំមានខុសគ្នា អាស្រ័យតាមក្រុមហ៊ុន និងឆ្នាំផលិត (រូបភាព ៣.៩)។

រូបភាព ៣.៩ ម៉ាស៊ីនកាត់ចិញ្ច្រាំប្រើផ្លែកាំបិត

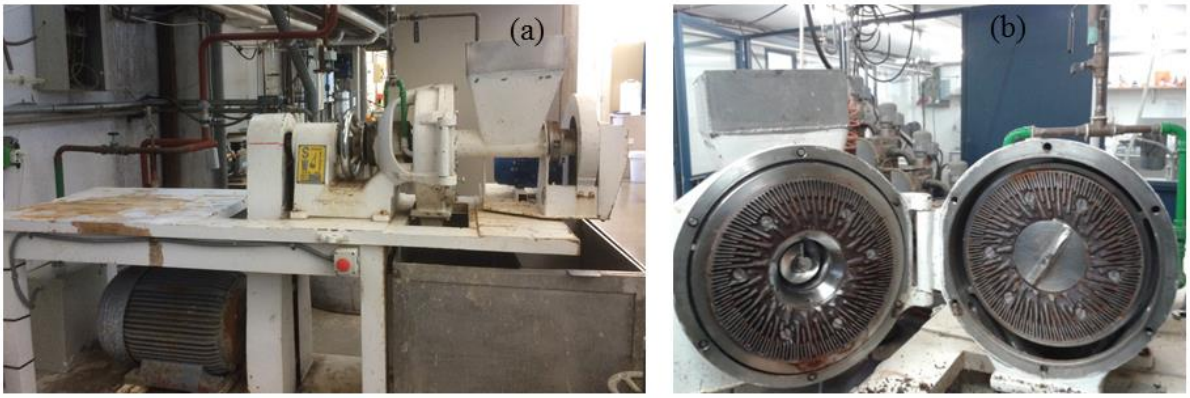
ខ ម៉ាស៊ីនចំហុយ (rotary digester)

ជាប្រភេទម៉ាស៊ីនផលិតតាមការរចនាដោយក្រុមអ្នកស្រាវជ្រាវនៅសាកលវិទ្យាល័យជីរ៉ូណា ប្រទេសអេស្ប៉ាញ ប្រើសម្រាប់ការផលិតផាល់តាមបែបមេកានិចនិងកម្ដៅ។ ម៉ាស៊ីននេះមានរ៉េស៊ីស្តង់កម្ដៅចំនួន ២ ដែលមានល្បឿនកើនកម្ដៅ ១ អង្សាសេក្នុងមួយនាទី និងមានម៉ូទ័រសម្រាប់បង្វិលឆ្នាំងចំហុយឲ្យវិលក្នុងទិសដៅបញ្ឈរ (រូបភាព ៣.១០)។

រូបភាព ៣.១០ ម៉ាស៊ីនចំហុយវត្ថុធាតុដើម (Rotary digester)

គ ម៉ាស៊ីនកិនហូតសរសៃ (Sprout Waldron defibrator)

ជាប្រភេទម៉ាស៊ីនប្រើសម្រាប់កិនហូតសរសៃនៃជីវម៉ាសបន្ទាប់ពីចំហុយរួច។ ម៉ាស៊ីននេះត្រូវបានផលិតឡើងនៅប្រទេសអូទ្រីស។ វាមានបំពាក់ជាមួយនឹងវ៉ានបញ្ចូលទឹកនិងធុងសម្រាប់ត្រងនិងច្រោះទឹកចេញពីល្បាយផាល់។ វ៉ានបញ្ចូលទឹកប្រើសម្រាប់បាញ់ទឹកនិងផាល់បញ្ចូលក្នុងម៉ាស៊ីនដើម្បីកិននិងរក្សាសីតុណ្ហភាពនិងការកកិតនៅពេលកិន (រូបភាព ៣.១១)។



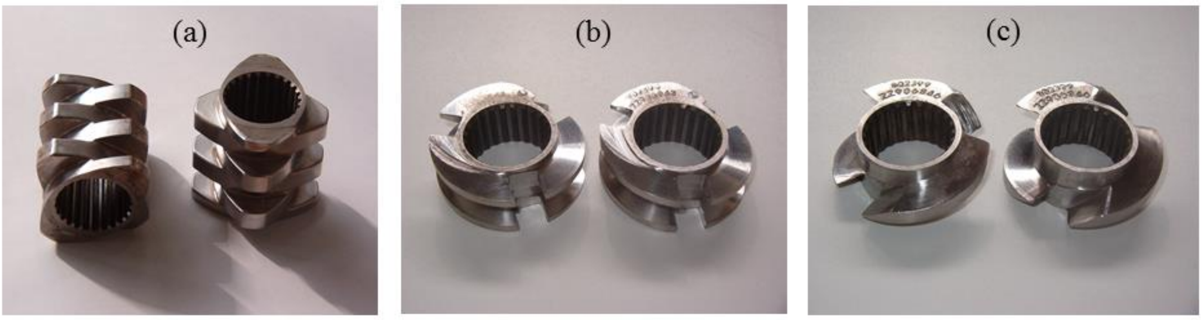
រូបភាព ៣.១១ ម៉ាស៊ីនកិនហូតសរសៃវត្ថុធាតុដើម (Sprout Waldron defibrator)

ឃ ម៉ាស៊ីនកិនដែលមានភ្លៅភ្លោះ (twin-screw extruder)

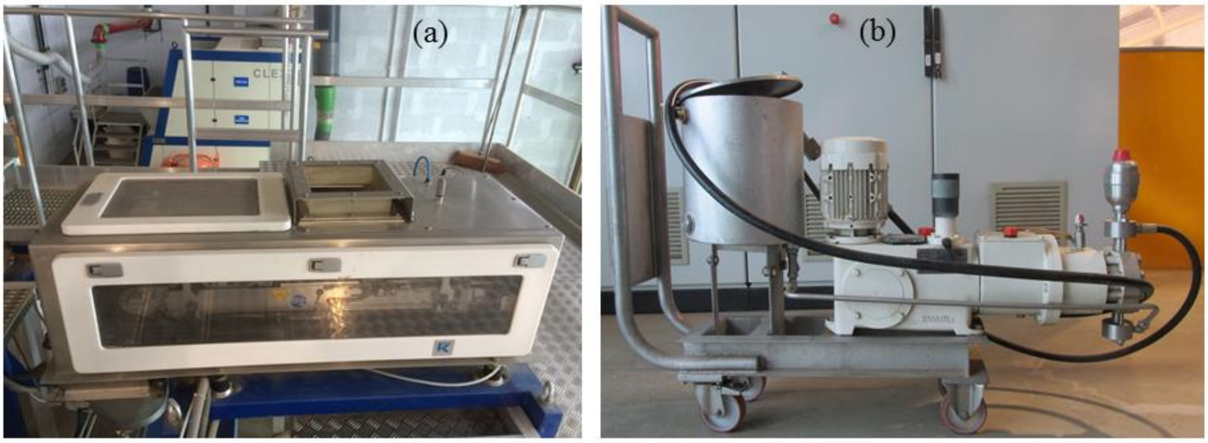
ជាប្រភេទម៉ាស៊ីនប្រើសម្រាប់ធ្វើប្រព្រឹត្តកម្មផលិតផាល់តាមវិធីសាស្ត្រ extrusion (រូបភាព ៣.១២)។ វាមានបំពាក់ screw elements ជាច្រើនគ្រាប់តាមទំហំ និងប្រភេទរបស់ម៉ាស៊ីន។ ជាធម្មតា screw elements ដែលបំពាក់ត្រូវមាន ៣ ប្រភេទ (វិលទៅមុខ ត្រង់ និង វិលបញ្ច្រាស (រូបភាព ៣.១៣) ដែលមានមុខងារជាក់លាក់ដូចជា៖

- ធ្មេញកាត់ទៅមុខ (forward screw elements)៖ បញ្ជូនវត្ថុទៅមុខ ដែលមានប្រវែងគ្រាប់ខុសៗគ្នា (ខ្លី មធ្យម និង វែង) ជាមួយនឹងកម្រិតឥទ្ធិពលនៃការលាយនិងកាត់
- ធ្មេញកាត់ត្រង់ (kneading screw elements)៖ មានមុខងារកាត់និងលាយតាមមុំឈរ និងទ្រេតផ្សេងៗគ្នាដូចជា មុំ ៩០ ដឺក្រេ ឬ មុំ ៦០ ដឺក្រេ
- ធ្មេញវិលបញ្ច្រាស (reverse screw elements)៖ រុញវត្ថុថយក្រោយ មានមុខងារកាត់ និងលាយវត្ថុឲ្យកាន់តែល្អថែមទៀត។

រូបភាព ៣.១២ ម៉ាស៊ីនកិន Twin screw extruder



រូបភាព ៣.១៣ ប្រភេទ screw សម្រាប់បំពាក់ជាមួយម៉ាស៊ីនកិន Twin screw extruder



រូបភាព ៣.១៤ ឧបករណ៍សម្រាប់ដាក់វត្ថុធាតុដើមចូលនិងម៉ូទ័របូមទឹក សម្រាប់បំពាក់ជាមួយម៉ាស៊ីនកិន Twin screw extruder

ង ម៉ាស៊ីនកូរ (pulper)

គឺជាប្រភេទឧបករណ៍ប្រើសម្រាប់លាយល្បាយផាល់ ទឹក និងសារធាតុដាក់បន្ថែមឲ្យស្មើសាច់ល្អ (រូបភាព ៣.១៥)។

រូបភាព ៣.១៥ ម៉ាស៊ីនកូរ pulper ខ្នាតមន្ទីរពិសោធន៍

ច ម៉ាស៊ីនច្រោះនិងចាក់ពុម្ព (cake former)

គឺជាប្រភេទឧបករណ៍ប្រើសម្រាប់ច្រោះទឹក និងចាក់ពុម្ពល្បាយមុនពេលដាក់ចូលក្នុងពុម្ពផលិតក្ដារបន្ទះ (រូបភាព ៣.១៦ និង ៣.១៧)។

រូបភាព ៣.១៦ ម៉ាស៊ីនច្រោះនិងចាក់ពុម្ពក្រដាសខ្នាតពិសោធន៍

រូបភាព ៣.១៧ ម៉ាស៊ីនច្រោះនិងចាក់ពុម្ពល្បាយវត្ថុធាតុខ្នាតមន្ទីរពិសោធន៍

រូបភាព ៣.១៨ ខេកផាល់ដែលបានចាក់រួច

រូបភាព ៣.១៩ ខែកផាល់ដែលបានកាត់តាមរូបរាងនិងទំហំផលិតក្តារបន្ទះ

ឆ ម៉ាស៊ីនពូតប្រោះទឹក (spin dryer)

គឺជាប្រភេទឧបករណ៍ប្រើសម្រាប់ប្រោះទឹកចេញពីផាល់ (រូបភាព ៣.២០)។

រូបភាព ៣.២១ ការពូតទឹកចេញដោយម៉ាស៊ីនពូតទឹក Spin dryer

ជ ម៉ាស៊ីនសង្កត់ពុម្ពផលិតក្តារបន្ទះដោយប្រើសម្ពាធនិងកម្តៅ (hot press)

គឺជាប្រភេទឧបករណ៍ប្រើសម្រាប់សង្កត់ចាក់ពុម្ពផលិតជាផលិតផលក្តារបន្ទះ។ ឧបករណ៍នេះមានការប្រើប្រាស់សម្ពាធ និងកម្តៅ ដើម្បីសម្ងួតនិងសង្កត់ល្បាយផាល់។ វាក៏អាចមានបំពាក់នូវប្រព័ន្ធទឹកត្រជាក់ធម្មតា ដើម្បីបង្កើនល្បឿនបញ្ចុះសីតុណ្ហភាពម៉ាស៊ីនឲ្យបានលឿនបន្ទាប់ពីវគ្គនៃដំណើរការផលិតនីមួយៗផងដែរ។

រូបភាព ៣.២១ ម៉ាស៊ីន *hot press* និងពុម្ពចាក់ក្តារបន្ទះខ្នាតមន្ទីរពិសោធន៍

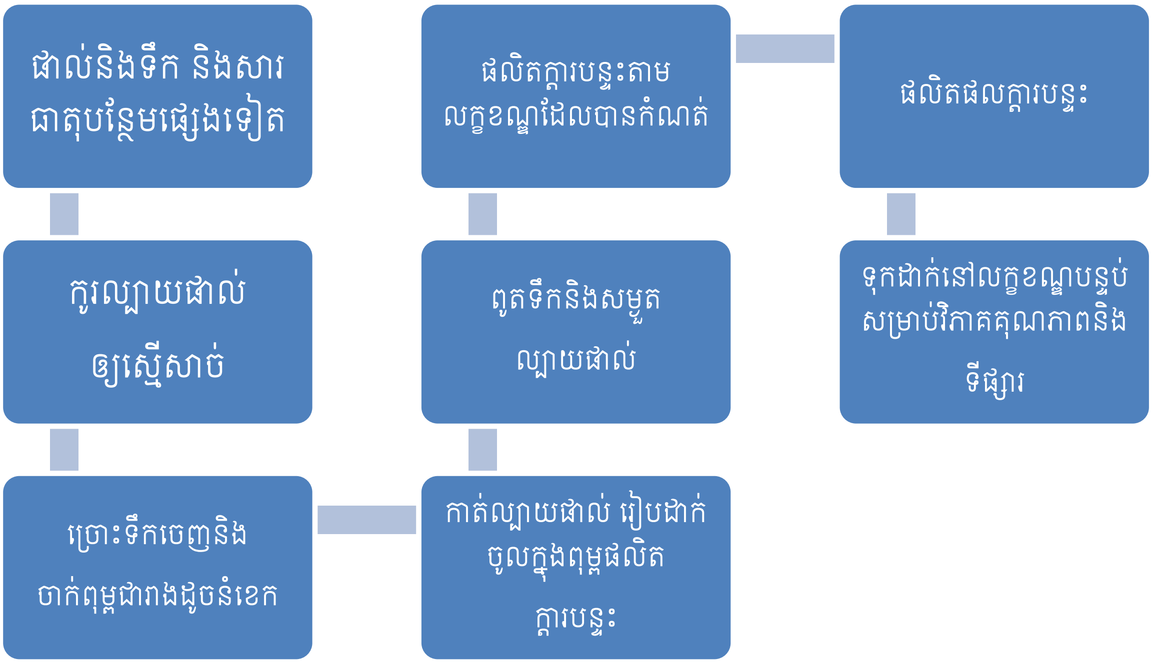
រូបភាព ៣.២២ ម៉ាស៊ីន *hot press* និងពុម្ពចាក់ក្តារបន្ទះខ្នាតសិប្បកម្ម ឬ ឧស្សាហកម្មខ្នាតតូច *(pilot scale)*

៣.២.៣ វិធីសាស្ត្រផលិតក្តារបន្ទះ

ជាទូទៅ ការផលិតក្តារបន្ទះពីសរសៃឈើ ឬ រុក្ខជាតិត្រូវការបន្ថែមជ័រដើម្បីបង្កើនភាពស្អិតនិងភាពរឹងមាំរបស់ផលិតផល។ ប៉ុន្តែ ដោយសារការប្រើប្រាស់ជ័រសំយោគដើម្បីជាជាតុជំនួយដល់ភាពស្អិតនិងមាំរបស់ផលិតផលប៉ះពាល់ដល់សុខភាពនិងបរិស្ថាន ការស្រាវជ្រាវរកវិធីផ្សេងៗមកជំនួសដូចជា៖ ការផលិតពីសមាសធាតុសរសៃសុទ្ធ និងការបន្ថែមជ័រស្អិតធម្មជាតិ។

នៅក្នុងដំណើរការផលិតក្តារបន្ទះពីផាល់នៃសមាសធាតុសរសៃសុទ្ធ ផាល់ត្រូវលាយជាមួយទឹកនិងកូរឲ្យសព្វល្អនៅមុនពេលចាក់ពុម្ពល្បាយផាល់ជារាងដូចនំខេក។ ក្នុងករណីការផលិតក្តារបន្ទះមានបន្ថែមសារជាតុស្អិត ឬ សារជាតុជំនួយឲ្យមានភាពរឹងមាំដល់ផលិតផលបន្ថែមទៀតដូចជា លីកនីន ឬ សរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារ អាចដាក់បន្ថែមជាមួយនឹងល្បាយផាល់និងទឹកដែលបានកូរសព្វល្អរួចហើយ។ ជាបទពិសោធន៍ ដើម្បីឲ្យប្រតិកម្មទាំងគីមីនិងរូបនៃល្បាយផាល់ដែលមានការបន្ថែមលីកនីន ឬ សរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារបានល្អ ត្រូវមានការបន្ថែមនូវភ្នាក់ងារទប់ទឹកនិងចងសម្ព័ន្ធ ២ ប្រភេទដែលរួមមាន សូលុយស្យុងម្សៅកាត្យូនិក (cationic starch) និង សីលីកា (colloidal silica) ពុំនោះទេ ប្រតិកម្មនិងការបំពេញមុខងាររបស់លីកនីននិងសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារមិនប្រព្រឹត្តទៅបានល្អទេ។ បន្ទាប់ពីល្បាយនៃសូលុយស្យុងសរសៃត្រូវបានលាយសព្វល្អហើយ សូលុយស្យុងនេះត្រូវច្រោះទឹកចេញ និងចាក់ពុម្ពសរសៃជារាងដូចនំខេក រួចកាត់តាមទំហំពុម្ពក្តារបន្ទះដែលបានកំណត់សម្រាប់លក្ខខណ្ឌពិសោធន៍ ឬ បង្ហូរល្បាយសូលុយស្យុងចូលទៅក្នុងពុម្ពចាក់ក្តារបន្ទះសម្រាប់លក្ខខណ្ឌឧស្សាហកម្ម។

នៅក្នុងដំណាក់កាលកៀបចាក់ពុម្ពជាក្តារបន្ទះ ត្រូវធ្វើការពូតយកទឹកចេញនិងសម្ងួតល្បាយជាមុនសិន ពុំនោះទេល្បាយសរសៃនឹងផ្ទុះនៅពេលរងសម្ពាធនិងកម្តៅនៃម៉ាស៊ីនកៀប hot press ដោយសារជាទូទៅ ល្បាយផាល់មានអត្រាសំណើមប្រហែល ៩០% បន្ទាប់ពីច្រោះទឹកនិងចាក់ជារាងដូចនំខេក។ ការពូតទឹកចេញដោយសង្កត់ mold ក្នុងម៉ាស៊ីន hot press នៅសីតុណ្ហភាពក្រោម ១០០ អង្សាសេ ជាមួយនឹងកម្លាំងសង្កត់បន្ថែមបន្តិចម្តងៗ អាចចាប់ពី ១០០ គីឡូញូតុន បន្ទាប់មក ១៧០ គីឡូញូតុន ក្នុងរយៈពេល ៣ ទៅ ៥ នាទីក្នុងលក្ខខណ្ឌកម្លាំងនីមួយៗ។ ការពូតទឹកបែបនេះ ជួយបញ្ចេញជាតិទឹកពីល្បាយបានច្រើន ប៉ុន្តែនៅមិនទាន់អស់អត្រាសំណើម ដែលនៅតែអាចបង្កឲ្យផ្ទុះបាននៅពេលកៀប។ ដូចនេះ គេត្រូវធ្វើការសម្ងួតល្បាយផាល់ដោយម៉ាស៊ីនកៀបបន្ថែមទៀតដោយអាចតម្លើងសីតុណ្ហភាពរហូតដល់ ១៥០ អង្សាសេ ជាមួយនឹងកម្លាំងសង្កត់ ១០០ គីឡូញូតុន រយៈពេល ១ ម៉ោង ដើម្បីឲ្យប្រាកដថា ល្បាយផាល់ស្ងួតល្អ រួចទើបធ្វើការសង្កត់និងកម្តៅតាមលក្ខខណ្ឌសីតុណ្ហភាពនិងសម្ពាធ និងរយៈពេលដំណើរការតាមការកំណត់និងចង់បាន។ នៅទីបញ្ចប់ យើងនឹងទទួលបាននូវផលិតផលក្តារបន្ទះដែលត្រូវការ។



ដ្យាក្រាម ៣.១ ដំណើការផលិតក្តារបន្ទះតាមបែបសើម

ករណីសិក្សា
ការផលិតក្តារបន្ទះពីសរសៃនៃដើមពោត

សេចក្តីផ្តើម

Fiberboards គឺជាបន្ទះសរសៃដែលបង្កើតឡើងពីវត្ថុធាតុ lignocellulosic ភ្ជាប់គ្នាជាមួយនឹងសារធាតុចងសំយោគ (ស្តង់ដារជាតិអាមេរិក ឆ្នាំ 2002)។ Urea-formaldehyde ឬ phenol-formaldehyde គឺជាជ័រធម្មតាដែលប្រើក្នុងការផលិតក្តារសរសៃ ព្រោះវាមានតម្លៃថោកជាងបើធៀបនឹងសារធាតុស្អិតផ្សេងទៀត។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយ ការបំភាយសារធាតុ formaldehyde គឺជាគុណវិបត្តិដ៏សំខាន់បំផុតមួយនៃជ័រទាំងនេះ ព្រោះវាអាចបង្កបញ្ហាដល់សុខភាព និងការបំពុល។ ផ្ទុយទៅវិញ ក្តារដែលមិនមានទ្រនាប់ គឺជាសមាសធាតុផ្សំពីឈើ ដែលមានភាគល្អិតនៃសារធាតុ lignocellulosic ភ្ជាប់ជាមួយគ្នាដោយមិនមានបន្ថែមជ័រ។ ថ្មីៗនេះ តម្រូវការពិភពលោកសម្រាប់ក្រុមប្រឹក្សាភិបាលដែលគ្មានការចងបានកំពុងកើនឡើង (El-Kassas & Mourad, 2013; Rokiah et al., 2009)។ ដើម្បីបំពេញតាមតម្រូវការទីផ្សារ និងការថែរក្សាបរិស្ថាន ការសិក្សាជាច្រើនត្រូវបានធ្វើឡើងដើម្បីបំប្លែង fiberboards ទៅជា fiberboards ដែលគ្មានការចង ដោយប្រើវិធីសាស្ត្រផ្សេងៗដូចជា thermotreatments (Anglès et al., 2001; Baskaran et al., 2012; Halvarsson et al. , 2009; Huang et al., 2015; Mejía et al., 2014; Pan et al., 2010; Quintana et al., 2009; Rokiah et al., 2009; Saari et al., 2014; Waluzella, ឆ្នាំ ២០១១); ការជំនួសសារធាតុអ៊ុយរ៉ាល់ដេអ៊ីតដោយម្សៅ (Abbott et al ។ , 2012); ការបន្ថែមប្រូតេអ៊ីនសណ្តែកសៀង (Ciannamea et al., 2010; Li et al., 2009); ព្យាបាលសរសៃដែលមានផ្សិតរលួយពណ៌ស (Wuzella et al ។ , 2011); ការបន្ថែមនៃ lignin (Anglès et al., 2001; Mancera et al., 2012; Mejía et al., 2014; Sun et al., 2014; Velásquez et al., 2003); ហើយថ្មីៗនេះ ដោយការបន្ថែមសារធាតុ cellulose nanofibers (Cui et al., 2014)។

ការសិក្សាបច្ចុប្បន្ននេះមានគោលបំណងបង្កើតបន្ទះសរសៃពីសរសៃមេកានិចដែលផលិតពីពោត។ លើសពីនេះ សារធាតុណាណូហ្វីបសែលុយឡូសនឹងត្រូវបានដាក់បញ្ចូលដើម្បីបង្កើនប្រសិទ្ធភាពមេកានិចនៃបន្ទះសរសៃពោត។ ជីវម៉ាស់ពោតនឹងត្រូវបានព្យាបាលដោយការចំហុយក្នុងម៉ាស៊ីនរំលាយរ៉ូតារី ហើយក្រោយមកត្រូវបានលាយជាមួយនឹង eucalyptus nanofibers។ គោលបំណងចុងក្រោយគឺដើម្បីផលិតបន្ទះសរសៃពោតដែលគ្មានសារធាតុចងជាមួយនឹងលក្ខណៈសម្បត្តិដែលប្រសើរឡើងទាក់ទងនឹង fiberboard ពាណិជ្ជកម្មដែលមាន adhesive សំយោគ។

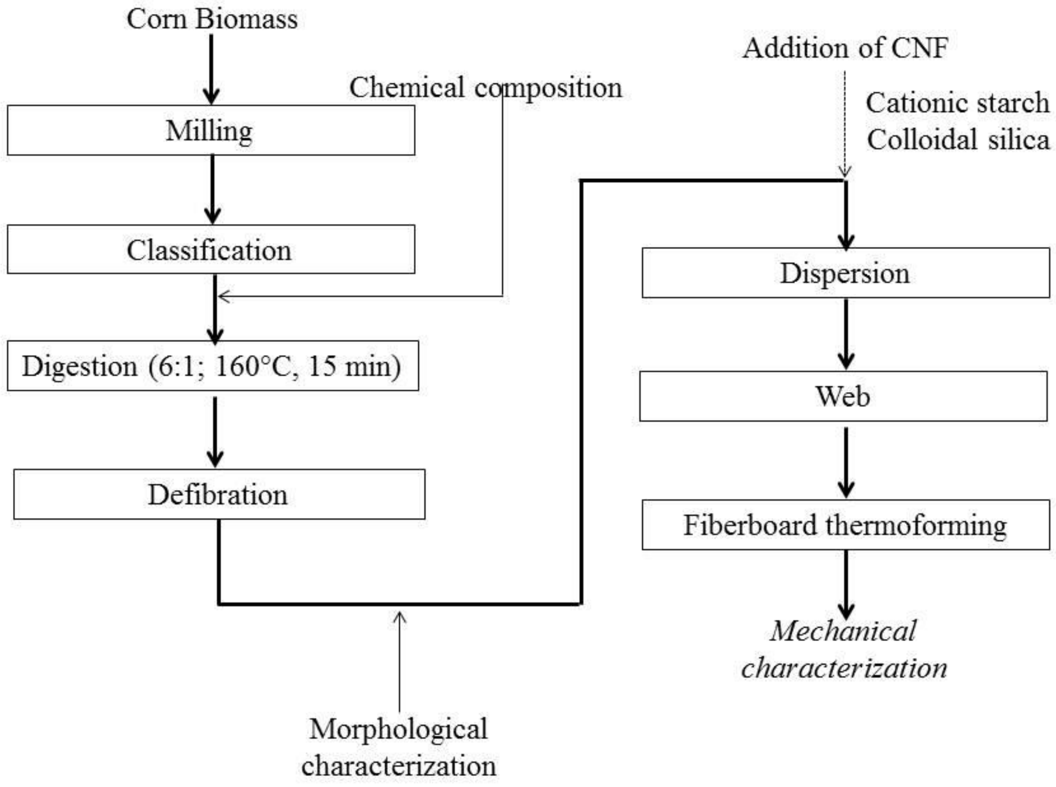
សម្ភារៈនិងវិធីសាស្ត្រ

សម្ភារៈ

សម្ភារៈជាមូលដ្ឋានដែលប្រើក្នុងការស្រាវជ្រាវគឺ ជីវម៉ាសពោត និង bleached Kraft Eucalyptus pulp ។ សំណល់ពោតត្រូវបានប្រមូលពីវាលស្រែនៅ La Tallada d'Empordà ប្រទេសអេស្ប៉ាញ ដែលមានសំណើមប្រហែល 12% រក្សាទុកនៅសីតុណ្ហភាពបន្ទប់ និងប្រើប្រាស់សម្រាប់ផលិតក្តារបន្ទះ។ ម្សៅ Kraft Eucalyptus ដែលត្រូវបាន bleached មានលេខ Kappa <1, កម្រិត Shopper-Riegler នៃ 16 និងមាតិកា α-cellulose គឺ 76% ដែលមានសំណើមប្រហែល 10% ។ pulp នេះត្រូវបានផ្តល់ដោយ La Montañanesa (Grupo Torraspapel, Zaragoza, Spain) រក្សាទុកនៅសីតុណ្ហភាពបន្ទប់ និងប្រើដើម្បីរៀបចំ cellulose nanofibers (CNF) ។ សារធាតុដែលប្រើសម្រាប់ផលិត CNF មាន៖ 2,2,6,6-tetramethylpiperidine-l-oxyl radical (TEMPO), sodium bromide (NaBr), sodium hypochlorite solution (NaClO) និង sodium hydroxide (NaOH)។ ទាំងនេះត្រូវបានទិញពី Sigma-Aldrich ហើយប្រើដោយគ្មានការបន្សុតបន្ថែម។ ម្សៅ cationic និង colloidal silica ត្រូវបានផ្តល់ដោយ Torraspapel S. A. (Sarrià de Ter, Girona, Spain) ហើយត្រូវបានគេប្រើជាភ្នាក់ងាររក្សាកំឡុងពេលបែកខ្ញែកនៃសរសៃពោត និង CNF ។

វិធីសាស្ត្រ

គំនូសតាងលំហូរនៃដំណើរការទូទៅត្រូវបានសង្ខេបនៅក្នុងដ្យាក្រាមទី១ ។ ជួរទីមួយពណ៌នាពីការផលិតសរសៃ thermomechanical ពីជីវម៉ាសពោត ខណៈដែលជួរឈរទីពីរពិពណ៌នាអំពីការបន្ថែម CNF និងភ្នាក់ងាររក្សា និងការបង្កើត fiberboard ។



ដ្យាក្រាមទី ១ ដំណើរការផលិតនិងវិភាគគុណភាពក្តារបន្ទះ

ការរៀបចំពោត thermomechanical pulp (TMP)

ជីវម៉ាសពោតអាំងតេក្រាលដែលមានដើម ស្លឹក និងអង្កាមត្រូវបានកាត់ជាមួយគ្នាដោយប្រើម៉ាស៊ីនកិនកាំបិតពីក្រុមហ៊ុន Agrisma (Torelló, Barcelona, អេស្ប៉ាញ) ដែលបំពាក់ដោយចង្កឹះលេខដែលមានផ្លូវ 10 មីលីម៉ែត្រ។ បន្ទាប់មក 600 ក្រាម (ទម្ងន់ស្ងួត) នៃបន្ទះសៀគ្វីពោតត្រូវបានចម្អិននៅក្នុងម៉ាស៊ីនរំលាយ rotary នៅ 160ºC រយៈពេល 15 នាទីដោយប្រើស្រាទៅសមាមាត្រ 6: 1 ។ pulp ត្រូវបានទឹកនាំទៅដោយទឹកម៉ាស៊ីន ត្រង និងឆ្លងកាត់ម្តងតាមរយៈម៉ាស៊ីនចម្រាញ់ Sprout-Waldron (ម៉ូដែល 105-A)។ លទ្ធផល TMP pulp ត្រូវបានទទួលរងនូវម៉ាស៊ីនបូមធូលីដើម្បីយកទឹកដែលលើសចេញរហូតដល់សំណើមឈានដល់ប្រហែល 85% រក្សាទុកក្នុងថង់ប្លាស្ទិចហើយរក្សាទុកនៅសីតុណ្ហភាពបន្ទប់សម្រាប់ការប្រើប្រាស់របស់វានៅក្នុងការផលិត fiberboard (Flandez et al ។, 2012; González et al., 2013)។

ការរៀបចំ CNF

ជាតិសរសៃ nanofibers ត្រូវបានផលិតដោយមធ្យោបាយនៃវិធីសាស្ត្រអុកស៊ីតកម្មដែលសម្របសម្រួលដោយ TEMPO ដូចដែលបានរាយការណ៍ដោយ (Alcalá et al., 2013; Alila et al., 2013; Besbes et al., 2011; González et al., 2013; Gonzal., 2013; Gonzal. 2014; Saito et al., 2007)។ ទីមួយការព្យួរនៅ 1.5wt% នៃ Eucalyptus pulp ត្រូវបានបំបែករហូតដល់ 60,000 ជុំ។ ទីពីរ 15 ក្រាម (ទម្ងន់ស្ងួត) នៃ pulp Eucalyptus ត្រូវបានផ្អាកនៅក្នុងដំណោះស្រាយដែលមាន TEMPO (0.24 ក្រាម) និង NaBr (1.5 ក្រាម) ។ ការព្យួរត្រូវបានកូរដើម្បីធានាបាននូវការបែកខ្ញាត់ខ្ញាយដ៏ល្អនៃសារធាតុប្រតិកម្មទាំងអស់។ 6 mmol នៃដំណោះស្រាយ sodium hypochlorite (44.66 ml) អមដោយ 1.5 M នៃ sodium hydroxide (NaOH) ត្រូវបានបន្ថែមទៅការព្យួរដើម្បីគ្រប់គ្រង pH ដល់ប្រហែល 10 ដោយកូរនៅ 500 rpm និង 60°C ក្នុងអំឡុងពេល 2 ម៉ោង។ ការកត់ត្រាត្រូវបានបញ្ចប់នៅពេលដែល pH នៃដំណោះស្រាយមានស្ថេរភាព។ បន្ទាប់មកវាត្រូវបានត្រងនិងលាងសម្អាតជាច្រើនដងមុនពេលបន្តការព្យាបាលដោយមេកានិក។ ចុងក្រោយ ដំណើរការ fibrillation ត្រូវបានអនុវត្តដោយឆ្លងកាត់ការព្យួរជាតិសរសៃពី 1 ទៅ 2wt% តាមរយៈម៉ាស៊ីនដូចគ្នាដែលមានសម្ពាធខ្ពស់ (NS1001L PANDA 2K-GEA) ។ ឧបករណ៍ដំណើរការនៅសម្ពាធ 600 bar និង 60-70°C ។ ដំណើរការនេះត្រូវបានធ្វើម្តងទៀត 5 ដងដើម្បីទទួលបានផលិតផលថ្លាដូចដែល។ សារធាតុណាណូហ្វីបសែលុយឡូសដែលមានលក្ខណៈដូចដែលត្រូវបានរក្សាទុកក្នុងទូទឹកកកនៅសីតុណ្ហភាព 4°C សម្រាប់ប្រើប្រាស់ជាភ្នាក់ងារពង្រឹងធម្មជាតិនៅក្នុងការផលិតបន្ទះសរសៃ (González et al., 2014)។

ការរៀបចំ Fiberboard

ពោតស្ងួតដែលមានមូលដ្ឋានលើ TMP មួយរយក្រាមជាមួយនឹងសំណើមប្រហែល 85% បូកនឹង CNF ពី 0 ទៅ 10wt% ត្រូវបានរាយប៉ាយដោយទឹកនៅក្នុងឧបករណ៍បំបែករហូតដល់ 80,000 បដិវត្តន៍។ CNF ត្រូវបានបំបែកដោយចាប់ផ្តើមពីទម្រង់ CNF gel-like ។ បរិមាណនៃដែល CNF ត្រូវបានគេយកហើយពនឺជាបន្តបន្ទាប់ជាមួយនឹងទឹកចម្រោះ។ ទម្រង់ diluted នៃ CNF ត្រូវបានបន្ថែមទៅ fiber suspension រហូតដល់ចំនួន CNF គោលដៅត្រូវបានឈានដល់។ បន្ទាប់ពីនោះ ម្សៅ cationic និង colloidal silica ត្រូវបានណែនាំក្នុងបរិមាណ 0.5wt% និង 0.8wt% រៀងគ្នា កូរនៅ 300 rpm រយៈពេល 20 នាទី ដើម្បីធានាបាននូវការបែកខ្ញែកដ៏ល្អនៃសារធាតុទាំងអស់ (Alcalá et al., 2013; González et al. , 2013)។

Rapid-Köthen (គំរូ ISP mod. 786 FH) ត្រូវបានប្រើដើម្បីបង្កើតបណ្តាញសរសៃ។ ពីនេះ នំសរសៃមួយត្រូវបានកាត់ទំហំប្រអប់ទម្រង់ (50 mm x 150 mm) ហើយបញ្ចូលទៅក្នុងម៉ាស៊ីនចុចក្តៅ (ម៉ូដែល Lab-Econ 300 ពី Fontijne Grotnes B.V, Netherland)។ បន្ទះសរសៃអំបោះដែលមានកម្រាស់ប្រហែល 3 ម.ម ត្រូវបានគេទទួលបាននៅសីតុណ្ហភាព 230°C និងកម្លាំងសង្កត់ 170 kN ពីព្រោះបន្ទាប់ពីធ្វើតេស្តបឋមមួយចំនួន វាត្រូវបានទទួលយកថាជាលក្ខខណ្ឌល្អបំផុត។ មានបីជំហាននៅក្នុងដំណាក់កាលចុច fiberboard (Angles et al., 1999; Mancera et al., 2012)៖

- ចុចរយៈពេល 2 នាទីនៅសីតុណ្ហភាពការងារ ហើយបានផ្ទុក
- ពុម្ពត្រូវបានបើក និងអនុញ្ញាតឱ្យដកដង្ហើមរយៈពេល 1 នាទី; និង
- ចុចម្តងទៀតរយៈពេល 5 នាទីទៀត។

លក្ខណៈរូបវិទ្យា និងគីមី

ការវិភាគរូបវិទ្យាត្រូវបានអនុវត្តដោយប្រើឧបករណ៍វិភាគ MorFi Compact (TechPap) ដែលអាចគណនាប្រវែងមធ្យម អង្កត់ផ្ចិតមធ្យម និងភាគរយពិន័យ ក្នុងចំណោមប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សេងទៀត។ ភាពសេរីរបស់ Schopper-Riegler ត្រូវបានកំណត់តាមស្តង់ដារ ISO 5267-1 ។

ទាក់ទងនឹងសមាសធាតុគីមី៖ ផេះ លីកនីន Pentosans និងមាតិកាសែលុយឡូសនៃជីវម៉ាសពោត និង TMP ត្រូវបានកំណត់។ មាតិកាសែលុយឡូសត្រូវបានវាស់ដោយ Wise et al., ១៩៤៦)។ ការកំណត់ផេះ លីកនីន និងផេនតូសាន់ ត្រូវបានធ្វើឡើងតាមវិធីសាស្ត្រស្តង់ដារ TAPPI T211 om-93, T222 om-88 និង T223 cm-84 រៀងគ្នា។

លក្ខណៈមេកានិច

ម៉ូឌុលនៃការប្រេះធា (MOR) ម៉ូឌុលនៃការបត់បែន (MOE) និងកម្លាំងចំណងខាងក្នុង (IB) ត្រូវបានវិភាគតាមស្តង់ដារអឺរ៉ុប។ ឧបករណ៍វាស់ស្ទង់ពី IDM Test (San Sebastian, Spain) ដែលមានកោសិកាផ្ទុក 5 kN ត្រូវបានប្រើក្នុងការធ្វើតេស្តទាំងនេះ។ EN 310:1993 ត្រូវបានគេយកសម្រាប់ MOR (eq. 5) និង MOE (eq. 6) characterization (ទំហំគំរូ 50 x 150 mm)។ IB (ឧ។ 7) ត្រូវបានកំណត់ស្របតាម EN 319:1993 (វិមាត្រនៃគំរូគឺ 50 x 50 មម)។ ការចុះឈ្មោះ និងដំណើរការទិន្នន័យត្រូវបានធ្វើឡើងដោយកម្មវិធី Register III។

ការវិភាគកម្លាំងផលប៉ះពាល់ (IS) ត្រូវបានធ្វើឡើងដោយប្រើការធ្វើតេស្តផលប៉ះពាល់ Izod តាមស្តង់ដារ ASTM D256 ជាមួយនឹងគំរូឧបករណ៍តេស្តផលប៉ះពាល់ Resil 5,5 ។ ទំហំគំរូគឺ 50 x 13 x 3 ម។

MOR (MPa) = 3Fmaxl/2bt2 (5)

MOE (MPa) = l3(F2-F1)/4bt3(a2-a1) (6)

IB (MPa) = Fmax/l b (7)

កន្លែង: Fmax គឺជាបន្ទុកអតិបរមា; l, b, និង t គឺជាប្រវែង ទទឹង និងកម្រាស់ F2-F1 គឺជាការកើនឡើងនៃបន្ទុកនៅលើផ្នែកបន្ទាត់ត្រង់នៃខ្សែកោងផ្ទុក - deflection; និង a2-a1 គឺជាការកើនឡើងនៃការផ្លាតនៅពាក់កណ្តាលប្រវែងនៃបំណែកសាកល្បង។

ការវិភាគរូបវិទ្យា

ការកំណត់លក្ខណៈរូបវន្តត្រូវបានធ្វើឡើងដោយការវាស់ស្ទង់ដង់ស៊ីតេ (eq. 8) ការហើមក្រាស់ (TS) (eq. 9) និងការស្រូបទឹក (WA) (eq. 10) ដោយអនុលោមតាម EN 323:1993, EN 317:1993 និង EN 382: 1993 រៀងគ្នា។ ក្នុងករណីនេះវិមាត្រនៃគំរូគឺ 50 x 50 ម។ សំណាកត្រូវបានជ្រមុជក្នុងទឹកចម្រោះ និងរក្សាទុកនៅសីតុណ្ហភាព 20°C ក្នុងរយៈពេល 24 ម៉ោង។

ដង់ស៊ីតេ = (m/(b1b2t))106 (8)

ដែល៖

- m ជាម៉ាស់នៃដុំតេស្ត
- b1 និង b2 ជាទទឹង និងប្រវែង
- t ជាកម្រាស់

TS = ((t2-t1)/t1)100 (9)

កន្លែងដែល៖

- t1 គឺជាកម្រាស់នៃដុំសាកល្បងមុនពេលពន្លិច ហើយ
- t2 គឺជាកម្រាស់នៃបំណែកសាកល្បងបន្ទាប់ពីការជ្រមុជ

WA = ((m2-m1)/m1)100 (10)

កន្លែង៖

- m1 គឺជាម៉ាស់នៃដុំសាកល្បងមុនពេលពន្លិច ហើយ
- m2 គឺជាម៉ាស់នៃដុំសាកល្បងបន្ទាប់ពីការពន្លិច

ការវិភាគ DMA

ការវិភាគមេកានិកថាមវន្ត (DMA) ត្រូវបានអនុវត្តដោយប្រើឧបករណ៍ DMA/SDTA861e ពី Mettler Toledo ដែលដំណើរការក្នុងរបៀបពត់កោង 3 ចំណុច។ DMA ផ្ដល់នូវផ្នែកពិត និងការស្រមើលស្រមៃនៃម៉ូឌុលភាពតានតឹងថាមវន្ត (ម៉ូឌុលផ្ទុក E' និងម៉ូឌុលការបាត់បង់ E" រៀងគ្នា)។ នៅក្នុងការងារនេះ ម៉ូឌុលស្មុគស្មាញត្រូវបានផ្ដល់ឱ្យ (E*= E'+i E')។ ការស្កេន isochronal ត្រូវបានកត់ត្រាពី 25 ទៅ 250 ºC នៅអត្រាកំដៅនៃ 5 ºC·min-1 នៅប្រេកង់ 1Hz និងទំហំ 15μm ។ វិមាត្រគំរូគឺ 10 x 50 x 3 ម។ របៀបកាត់បន្ថយកម្លាំងត្រូវបានភ្ជាប់ ដែលលៃតម្រូវកម្លាំងឋិតិវន្តកំឡុងពេលធ្វើតេស្ត ដើម្បីកាត់បន្ថយការអេិល។ ឡចំហាយ DMA ស្ថិតនៅក្រោមលំហូរអាសូតស្ងួត ដើម្បីកំណត់ការបំបែកទឹកកំឡុងពេលពិសោធន៍។

លទ្ធផលនិងការពិភាក្សា

សមាសធាតុជីវម៉ាសពោត

ជីវម៉ាសពោតមានដើម (60wt%) ស្លឹក (25wt%) និងសមាសធាតុដែលនៅសល់ដែលបង្កើតជាគ្រាប់ធញ្ញជាតិ លើកលែងតែ cob។ ដូចដែលបានរាយការណ៍ដោយ Byrd et al.,2006 ស្លឹក និងសមាសធាតុផ្សេងទៀតដែលជាធម្មតាត្រូវបានគេបោះចោល មានលក្ខណៈសម្បត្តិគួរឱ្យចាប់អារម្មណ៍ទាក់ទងនឹងសែលុយឡូស លីកនីន និងសមាសធាតុគីមីផ្សេងទៀត។ អ្នកនិពន្ធផ្សេងទៀត (Won & Ahmed, 2004) ក៏បានកំណត់សមាសធាតុគីមីនៃជីវម៉ាសដើមពោតផងដែរ។

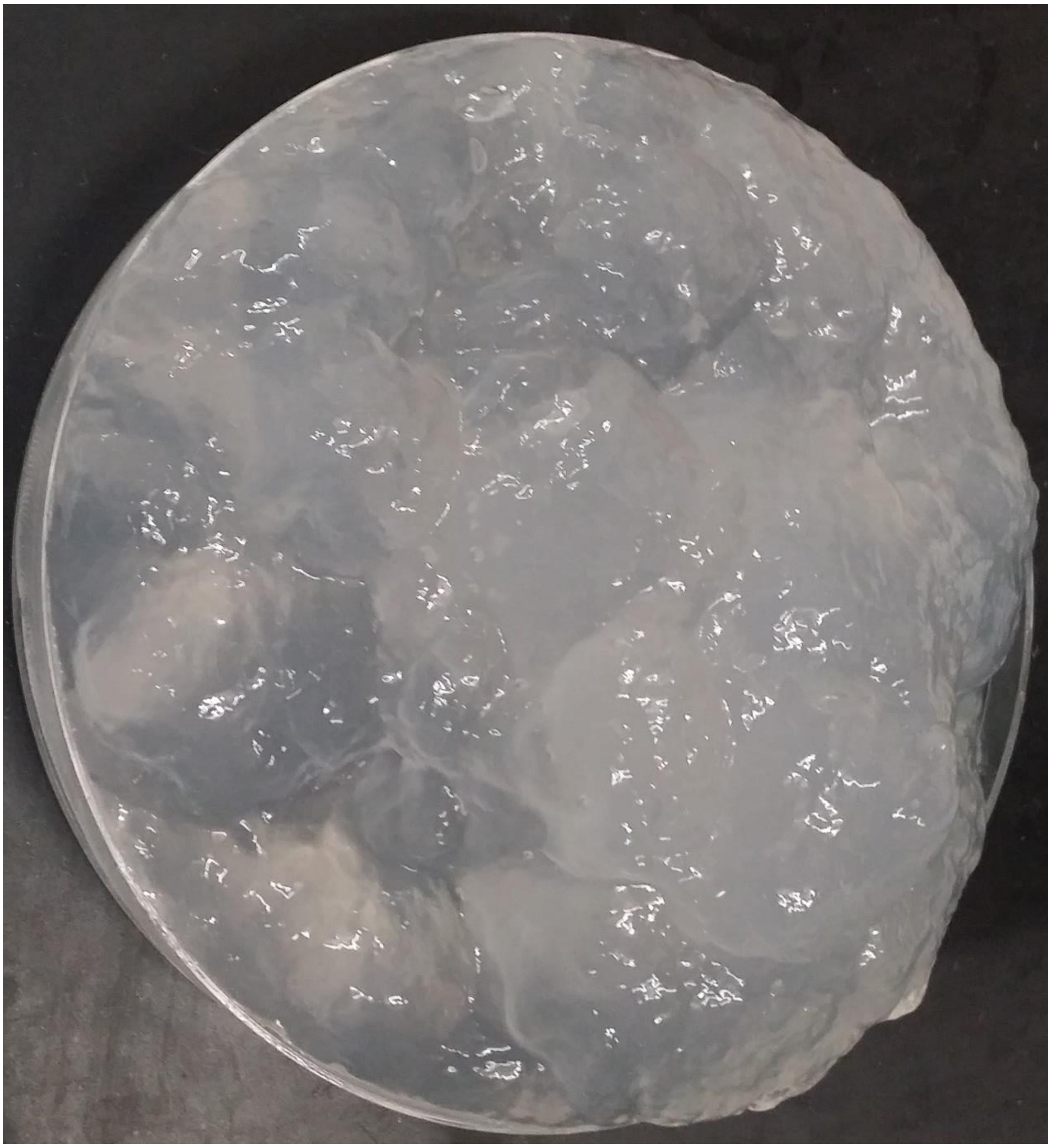
សមាសធាតុគីមីនៃជីវម៉ាសពោតដើមដែលប្រើក្នុងការសិក្សានេះត្រូវបានបង្ហាញក្នុងតារាងទី ១។ លទ្ធផលគឺស្ថិតនៅក្នុងជួរនៃអ្វីដែលបានរាយការណ៍នៅក្នុងអក្សរសិល្ប៍ (Akgül et al., 2010; Barbash et al., 2012; El-Tayeb et al., 2012; Flandez et al., 2012; Hess et al., 2002)។ ការព្យាបាលដោយទែរមេកានិកនៃជីវម៉ាសផ្លាស់ប្តូរសមាសធាតុគីមីដំបូង កាត់បន្ថយបរិមាណផេះ និងលីណូន និងបង្កើនសមាសធាតុ hollocellulose ។ ប្រសិនបើការព្យាបាលដើម្បីផលិត TMP pulp ត្រូវបានធ្វើឡើងដោយសីតុណ្ហភាពឬសម្ពាធខ្ពស់ទិន្នផលផលិតកម្មនឹងត្រូវបានកាត់បន្ថយ។ នេះនឹងនាំឱ្យទិន្នផលធ្លាក់ចុះ។ ដោយផ្អែកលើគោលការណ៍ "ពីសំណល់ សំណល់អប្បរមា" មេរ្យមេកានិក (TMP) ត្រូវបានជ្រើសរើសសម្រាប់ការផលិតបន្ទះសរសៃអំបោះ ដើម្បីជំនួសការប្រើប្រាស់ធនធានព្រៃឈើ ហើយកាត់បន្ថយកាកសំណល់ជាលទ្ធផល (Flandez et al., 2012)។

តារាងទី ១ សមាសធាតុគីមីនៃជីវម៉ាសដើមពោត និងផាល់នៃដើមពោត

វត្ថុធាតុ	ផេះ (%)	សារធាតុរលាយផ្សេងៗ (%)	Lignin (%)	Holocellulose (%)
ជីវម៉ាសនៃដើមពោត	3.2	3.1	16.0	77.7
ផាល់នៃដើមពោត	2.4	3.3	15.7	80.1

លក្ខណៈ CNF

នៅក្នុងការស្រាវជ្រាវបច្ចុប្បន្ន សារធាតុ cellulose nanofibers (CNF) ត្រូវបានរៀបចំដោយមធ្យោបាយនៃការកត់សុ ីដែលសម្របសម្រួលដោយ TEMPO យោងតាមនីតិវិធីដែលបានពិពណ៌នា។ ការបង្កើតក្រុម carboxylic នៅលើ C6 នៃសែលុយឡូសត្រូវបានកំណត់លក្ខណៈហើយសរសៃសែលុយឡូសអុកស៊ីតកម្មបានបង្ហាញពីមាតិកា carboxylic នៃ 1006 μeq / g (តារាង 2) ។ ការណែនាំនៃក្រុម carboxylic នៅក្នុងសង្វាក់សែលុយឡូសបង្កើតឱ្យមានការហើមនៃសរសៃនៅក្នុងការព្យួរ aqueous (Da Silva Perez et al., 2003) ដោយសារតែការកើនឡើងនៃតួអក្សរ hydrophilic របស់វា (Saito et al., 2007) ។ លើសពីនេះទៀតក្រុម carboxylic ក៏ប៉ះពាល់ដល់កម្រិតនៃការ defibrillation; ដូច្នេះ pulps ដែលមានមាតិកា carboxylic ខ្ពស់តម្រូវឱ្យមានការឆ្លងកាត់តិចជាងតាមរយៈ homogenizer ដើម្បីសម្រេចបាននូវកម្រិតដ៏ល្អនៃ microfibrillation (Alila et al., 2013; Benhamou et al., 2014; Besbes et al., 2011; Shinoda et al., 2012)។



រូបភាពទី ១ លក្ខណៈរបស់សរសៃតូចឆ្មារ

តារាងទី ២ លក្ខណៈរបស់សារធាតុសរសៃតូចឆ្មារ (CNF)

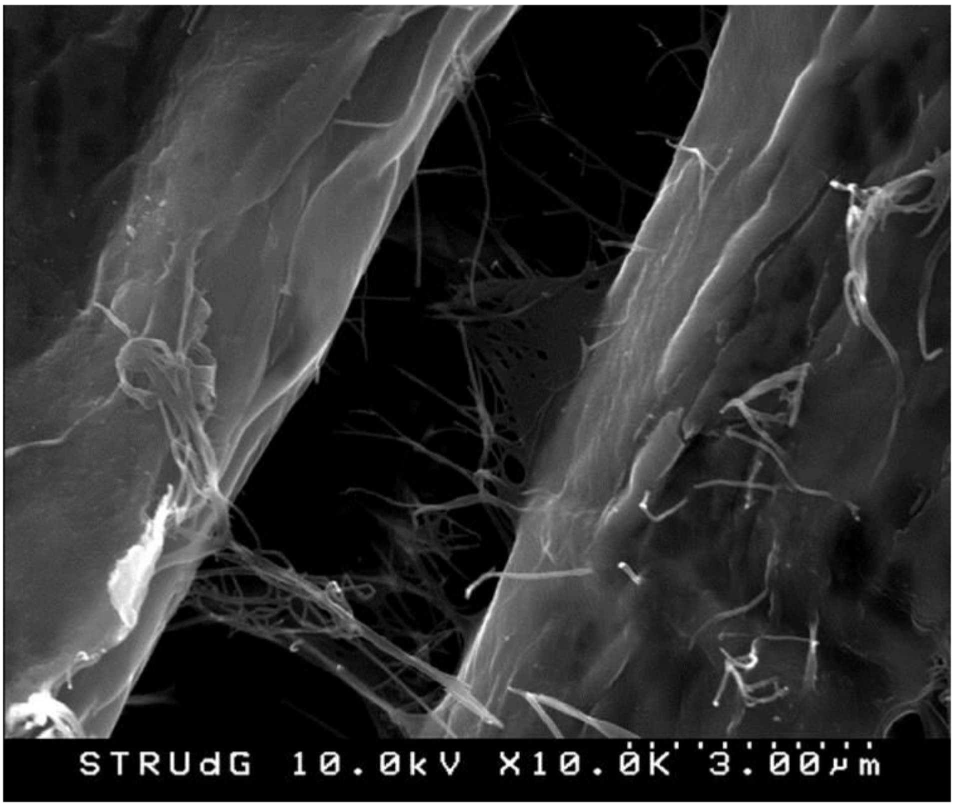
វត្ថុធាតុ	**-COOH content (μeq/g)**	**ទិន្នផល (%)**	**Cationic demand (μeq/g)**	**WRV (g/g)**	**DP**
CNF	1006	>95	1460	8.3	352

បរិមាណនៃក្រុម COOH កំណត់លក្ខណៈសម្បត្តិជាច្រើនដែលរំពឹងទុកសម្រាប់ការព្យួរ CNF (Besbes et al., 2011; Isogai et al., 2011) ។ CNF ដែលមានមាតិកា COOH ខ្ពស់មានកម្រិតនៃវត្ថុធាតុ polymerization (DP) ទាបជាងសរសៃដែលមិនបានព្យាបាល។ DP ត្រូវបានកាត់បន្ថយ

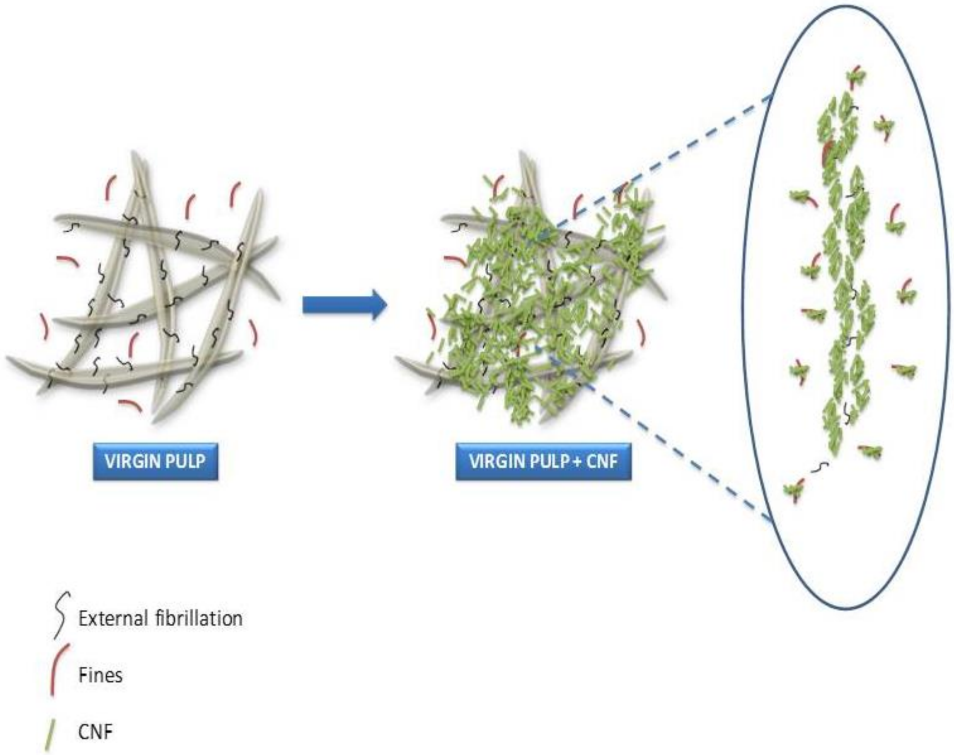
ដោយសារតែប្រតិកម្មចំហៀងដែលបំបែកចំណង glycosidic នៅក្នុងខ្សែសង្វាក់សែលុយឡូស (Alila et al., 2013; Saito et al., 2009) ។ នេះកាន់តែច្បាស់នៅក្នុងអុកស៊ីតកម្មដែលសម្របសម្រួលដោយ TEMPO ដែលត្រូវបានអនុវត្តក្រោមលក្ខខណ្ឌអាល់កាឡាំងដូចនៅក្នុងការសិក្សាបច្ចុប្បន្ន។ ផាល់ CNF ដែលផលិតចេញពី nanofibers ដែលមានកម្រិតខ្ពស់នៃវត្ថុធាតុ polymerization នឹងមានទំនោរទៅមានលក្ខណៈមេកានិចប្រសើរជាងខ្សែភាពយន្តពី CNF ដែលមាន DP's ទាប (Henriksson et al., 2008) ។ វាជាការសំខាន់ក្នុងការកត់សម្គាល់ថាកម្រិតទាបនៃវត្ថុធាតុ polymerization ត្រូវបានរំពឹងទុកបន្ទាប់ពីឆ្លងកាត់សរសៃអុកស៊ីតកម្មតាមរយៈម៉ាស៊ីនដូចគ្នា ចាប់តាំងពីកម្លាំងកាត់នៅខាងក្នុងម៉ាស៊ីនកាត់បន្ថយសរសៃ និងកាត់បន្ថយប្រវែងរបស់វាបន្ថែមទៀត (Benhamou et al., 2014; Shinoda et al., 2012) វាជួយសម្រួលដល់ការបំបែកសរសៃ និងការបញ្ចេញមីក្រូហ្វាយប៊ីរដែលមានប្រសិទ្ធភាពក្នុងអំឡុងពេលដំណើរការមេកានិក។ ទិន្នផលនៃជំងឺ fibrillation ក៏ខ្ពស់ផងដែរ ដែលមានន័យថា ស្ទើរតែទាំងអស់នៃវត្ថុរឹងត្រូវបាន nanosized យ៉ាងមានប្រសិទ្ធភាព។ CNF ដែលមានមាតិកា COOH ទាបនាំឱ្យទិន្នផលនៃជំងឺ fibrillation ទាបជាង (Besbes et al ។, 2011) ។

តំរូវការ cationic (CD) គឺជាវិធីសាស្ត្រមួយដើម្បីកំណត់ការចោទប្រកាន់លើផ្ទៃខាងក្រៅនៃសរសៃ ដែលជាធម្មតាត្រូវបានអនុវត្តចំពោះ pulp suspensions (Klemm et al., 2011; Rouger & Mutjé, 1984)។ វាតំណាងឱ្យធម្មជាតិ anionic នៃសរសៃ ហើយត្រូវបានគេប្រើជាប្រពៃណីដើម្បីកំណត់វិសាលភាពនៃជាតិសរសៃ delamination នៃ pulps វាយដំ។ តម្រូវការ cationic ខ្ពស់ត្រូវបានរំពឹងទុកសម្រាប់ CNF ដោយសារតែ fibrillation ធំ និងធម្មជាតិ anionic នៃសម្ភារៈ cellulosic ផ្អាកនៅក្នុងទឹក (Carrasco et al., 1996; Mutjé et al., 2006) ។

តម្លៃរក្សាទឹក (WRV) គឺជាប៉ារ៉ាម៉ែត្រផលិតក្រដាសដែលត្រូវបានគេប្រើជាទូទៅជារង្វាស់នៃសរសៃខាងក្នុងរបស់សរសៃ។ WRV ពិតជាវាស់ស្ទង់ទឹកដែលចងជាគីមីទៅនឹងសែលុយឡូស។ fibrillation កាន់តែខ្ពស់អនុញ្ញាតឱ្យបរិមាណសំណើមកាន់តែច្រើនភ្ជាប់ទៅនឹង CNF តាមរយៈចំណងអ៊ីដ្រូសែន (Alcalá et al., 2013; González et al., 2014)។ តម្លៃដែលបានរកឃើញនៅក្នុងការសិក្សានេះគឺ 8.3 ក្រាម/g (តារាងទី 2) គឺស្ថិតនៅក្នុងជួរដែលសម្រាប់សរសៃអុកស៊ីតកម្មដែលសម្របសម្រួលដោយ TEMPO ផ្សេងទៀត។



រូបភាពទី ៣ រូបថតនៃសរសៃតូចឆ្មារ



រូបភាពទី ៤ ការចងសម្ព័ន្ធនៃសរសៃតូចឆ្មារទៅនឹងសរសៃផាល់នៃដើមពោត

លក្ខណៈនៃពោត TMP

Thermomechanical pulp ត្រូវបានរៀបចំពីជីវម៉ាសពោតតាមនីតិវិធីដែលបានរៀបរាប់ខាងលើ។ តារាងទី 3 បង្ហាញពីលក្ខណៈរូបវន្តសំខាន់ៗ និងទិន្នផលផលិតកម្មនៃពោត TMP ក៏ដូចជាសញ្ញាបត្រ Schopper-Riegler របស់វា។

តារាងទី ៣ លក្ខណៈរូបនិងទិន្នផលរបស់ផាល់នៃដើមពោត

ទិន្នផល (%)	ប្រវែង (µm)	ទំហំ (µm)	ភាពម៉ត់ (%)	ºSR
87	653	24	60	44

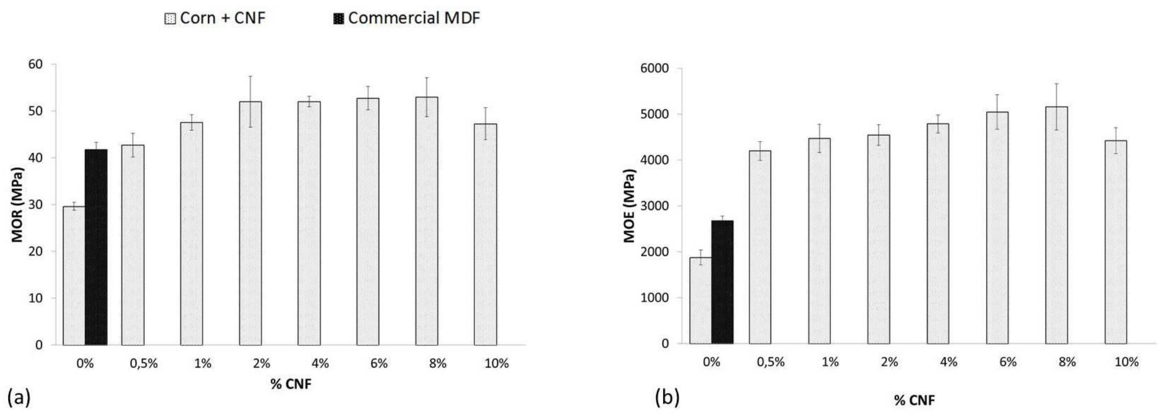
ប្រវែងទម្ងន់មធ្យម (Lw) និងអង្កត់ផ្ចិត (D) នៃសរសៃ TMP ពោតបានផ្តល់សមាមាត្រប្រហែល 27 ដែលជាតម្លៃដែលអាចទទួលយកបានដោយពិចារណាថាសរសៃទាំងនេះបានមកពីចំហាយទឹក និងការព្យាបាលដោយមេកានិក (Alila et al., 2013; Flandez et al., 2012)។ សមាមាត្រគឺជាប៉ារ៉ាម៉ែត្រដែលទាក់ទងដោយផ្ទាល់ទៅនឹងដំណើរការមេកានិចនៃផលិតផល fiberboard (Dasgupta, 1994; González et al., 2013; Mendez et al., 2007) ។ម្យ៉ាងវិញទៀត តម្លៃនៃសញ្ញាបត្រ Schopper-Riegler (44°SR) គឺខ្ពស់គួរសម ប៉ុន្តែស្របជាមួយនឹងខ្លឹមសារនៃការផាកពិន័យ (60%) ដែលមានតម្លៃខ្ពស់ផងដែរ (González et al., 2013)។ ទិន្នផលពោត TMP មានទិន្នផលផលិតកម្មប្រហែល 87% (តារាងទី 3) ។

ដូចដែលបានរំពឹងទុក សមាសធាតុគីមីនៃសរសៃ TMP បានផ្លាស់ប្តូរបើប្រៀបធៀបជាមួយនឹងជីវម៉ាសពោតដំបូង។ មាតិកាផេះបានថយចុះគួរឱ្យកត់សម្គាល់ (0.8%) ដែលជាលទ្ធផលនៃដំណើរការចំហាយទឹក និងការបន្ទោរបង់។ ការស្រង់ចេញមិនត្រូវបានប៉ះពាល់ខ្លាំងនោះទេ ដោយសារពួកវារលាយក្នុងសារធាតុរំលាយសរីរាង្គដូចជាអេតាណុល-តូលូអ៊ីន (3.3%)។ Lignin ពីសរសៃមានប្រភាគតូចរលាយក្នុងទឹក ហើយត្រូវបានឆ្លុះបញ្ចាំងនៅក្នុងមាតិកា lignin ដែលទទួលបាននៃសរសៃ TMP ដែលមាន 15.7% ។ មាតិកា holocellulose កើនឡើងរហូតដល់ 80% ដោយសារតែការយកចេញនៃសមាសធាតុគីមីផ្សេងទៀត (Flandez et al., 2012) ។

លក្ខណៈមេកានិច

ដំណើរការមេកានិចនៃ fiberboard ត្រូវបានកំណត់លក្ខណៈដោយម៉ូឌុលនៃការប្រេះស្រាំ (MOR) និងម៉ូឌុលនៃការបត់បែន (MOE) (Teixeira & Moslemi, 2001) ។ ដូចដែលបានបង្ហាញក្នុងរូបភាពទី ២ (a និង b) MOR និង MOE នៃបន្ទះសរសៃពោតមិនពង្រឹង TMP គឺ 29.63 MPa និង

1874 MPa រៀងគ្នា (Theng et al., 2014) ។ កម្លាំងនេះគឺទាបជាង HDF ពាណិជ្ជកម្ម ប៉ុន្តែខ្ពស់ជាងតម្លៃផ្សេងទៀតដែលមាននៅក្នុងអក្សរសិល្ប៍ ដូចជានៅក្នុងក្តារសរសៃដែលមិនមានទ្រនាប់ធ្វើពីកាកសំណល់កសិកម្ម (Mancera et al., 2012) ដែលធ្វើពីដើមពោតជាមួយជ័រ (Kargarfard & Jahan-Latibari, ឆ្នាំ 2011) ធ្វើពីដើមពោតដែលត្រូវបានព្យាបាលដោយអង់ស៊ីមផ្សិតរលួយពណ៌ស (Wu et al., 2011) និងនៅក្នុងបន្ទះសរសៃដែលមិនមានចងធ្វើពីបាច់ចេក (Quintana et al., 2009)។



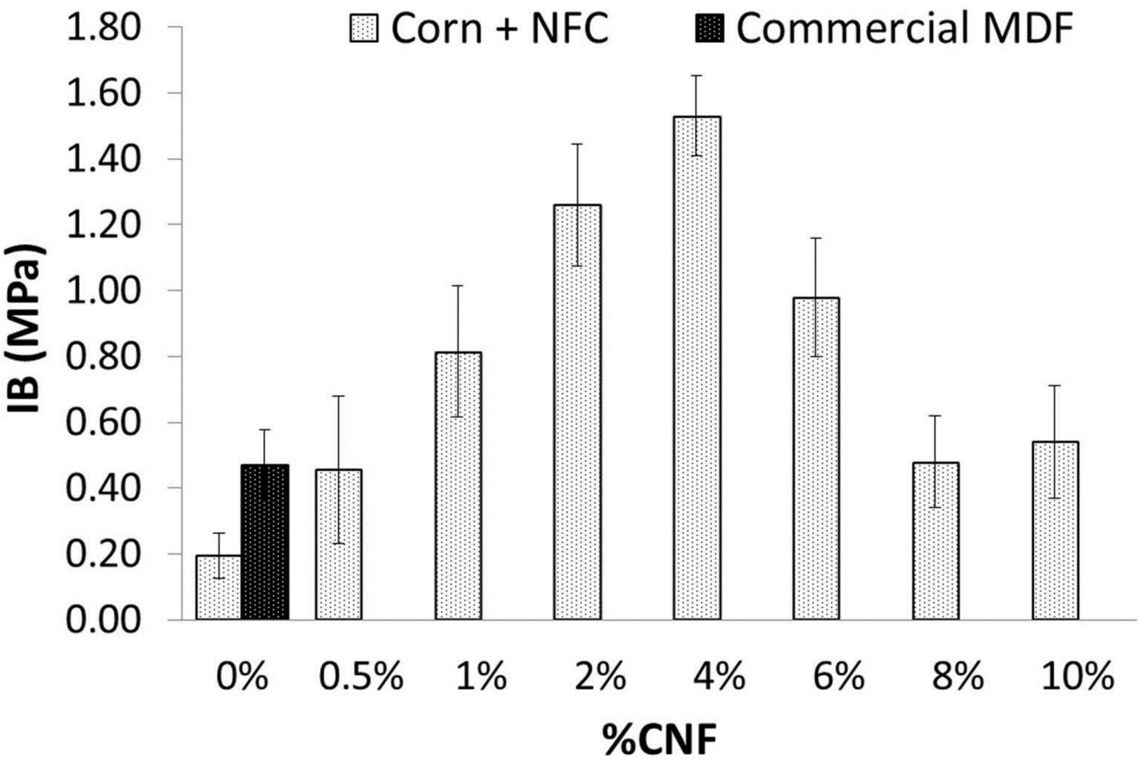
ក្រាហ្វិកទី ១ លទ្ធផលនៃភាពរឹងមាំរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះពីកម្លាំងសង្កត់ (a) និងភាពយឺត (b)

ជាមួយនឹងការរួមបញ្ចូលនៃ CNF, MOR និង MOE បានបង្កើនជាមួយនឹងការបង្កើនមាតិកា CNF (Alcalá et al., 2013; Delgado-Aguilar et al., 2015; González et al., 2013) ជាមួយនឹងតម្លៃអតិបរមា 53 MPa និង 5160 រៀងគ្នានៅ 8wt% នៃ CNF ។ ការកែលម្អនេះគឺដោយសារតែកត្តាជាច្រើនដូចជា លក្ខណៈសម្បត្តិមេកានិចខាងក្នុងខ្ពស់នៃ CNF ផ្ទៃជាក់លាក់ខ្ពស់របស់ពួកគេដែលពង្រីកចំនួនចំណងអ៊ីដ្រូសែនដែលអាចធ្វើទៅបាន ការកាត់បន្ថយចន្លោះទទេរវាងសរសៃដោយសារតែកម្លាំងភាពតានតឹង និងការរួញតូចរបស់ CNF និងការចែកចាយដូចគ្នានៃ សរសៃ (Alcalá et al., 2013; Delgado-Aguilar et al., 2015)។ អន្តរកម្មរវាងសរសៃ និង CNF អាចត្រូវបានគេមើលឃើញនៅក្នុងរូបភាពទី 2a ដែល CNF ត្រូវបានភ្ជាប់រវាងពួកវា និង macrofibers ដោយបង្កើតបណ្តាញមួយ (Alcalá et al., 2013)។ វាត្រូវបានគេសង្កេតឃើញថាម៉ូឌុលនៃការប្រេះឆាមិនមានភាពប្រសើរឡើងពីការបង្កើតនៅ 2wt% ទៅ 8wt% នៃ CNF (Theng et al., 2014) ។ នេះអាចបណ្តាលមកពីការតិត្ថិភាពនៃ CNF nanofibers លើសរសៃទំហំតូចនៃផ្ទៃពោត TMP ឬលក្ខខណ្ឌនៃការបែកខ្ញែកមិនល្អកំឡុងពេលរៀបចំ biocomposites ដែលបង្ហាញថាត្រូវការថាមពលបន្ថែមទៀតដើម្បីទទួលបានការបែកខ្ញែក និងអន្តរកម្មកាន់តែប្រសើរឡើងរវាង CNF និង សរសៃធំជាង (Alcalá et al., 2013) ។ លើសពីនេះទៅទៀត វាគឺមានតំលៃដើម្បីពិចារណាថាប្រសិនបើ pulp មានមាតិកាខ្ពស់នៃជាតុពិន័យឬការ fibrillation ខាងក្រៅនៃសរសៃ, តិត្ថិភាពនេះអាចលេចឡើងនៅកម្រិតទាបនៃ CNF (Delgado-Aguilar et al ។ , 2015) ។ ក្នុងករណីនេះការផាកពិន័យពោត TMP មានប្រហែល 60% ។ តាម

សម្មតិកម្ម ប្រសិនបើការផាកពិន័យទាំងនេះត្រូវបានដកចេញ ការពង្រឹងលក្ខណៈសម្បត្តិមេកានិចដែលផ្តល់ដោយ CNF នឹងខ្ពស់ជាង ហើយជាលទ្ធផលកម្រិតតិត្ថិភាពសម្រាប់ CNF ក៏នឹងខ្ពស់ជាងផងដែរ។ លទ្ធផលនេះគឺស្របនឹងលទ្ធផលដែលទទួលបានដោយ Cui et al ។ (2014) នៅលើបន្ទះភាគល្អិតធ្វើពីស្រល់ (Pinus pinaster L.) ដែលវាត្រូវបានគេរកឃើញថាបន្ទះដែលមាន CNF 2% គឺខ្លាំងបំផុត។ នៅក្នុងការសិក្សានេះ ការតិត្ថិភាពនេះត្រូវបានគេសង្កេតឃើញសម្រាប់លទ្ធផលលើម៉ូឌុលនៃការប្រេះឆា (MOR) ខណៈពេលដែលម៉ូឌុលនៃការបត់បែន (MOE) បន្តធ្វើឱ្យប្រសើរឡើងរហូតដល់ 8wt% នៃការបន្ថែម CNF ។ លក្ខណៈសម្បត្តិទាំងពីរបានជួបប្រទះការធ្លាក់ចុះយ៉ាងច្បាស់នៅមាតិកា 10wt% CNF ដែលជាការចង្អុលបង្ហាញពីដំណើរការគ្មានប្រសិទ្ធភាពនៃ nanoreinforcement នៅកម្រិតនេះ។ ការពិតនេះអាចត្រូវបានពន្យល់តាមរយៈរូបភាពទី 2b ដែលជាកន្លែងដែលវាអាចធ្វើទៅបានដើម្បីពេញចិត្តក្នុងការស្តាប់ការបង្ហាញពីគ្រោងការណ៍នៃរបៀបដែល CNF ធ្វើអន្តរកម្មជាមួយសរសៃ ក៏ដូចជាជាតុដ៏ល្អ (Alcalá et al., 2013; Delgado-Aguilar et al., 2015; Flandez et al. ., 2012; Theng et al., 2014)។

នៅក្នុងការសិក្សានេះ តម្លៃ MOR និង MOE នៃ fiberboard ដែលធ្វើពីជីវម៉ាសដើមពោតជាមួយនឹងការបន្ថែម CNF គឺល្អជាងអ្វីដែលបានរាយការណ៍នៅក្នុងការសិក្សាមុនៗ ដូចជាបន្ទះភាគល្អិតធ្វើពីស្រល់ជាមួយនឹងការពង្រឹង CNF (Cui et al., 2014) ឬពង្រឹងដោយអ៊ុយ។ -formaldehyde (Buyuksari et al., 2010) បន្ទះភាគល្អិតធ្វើពីអង្កាម និងប្រូតេអ៊ីនសណ្តែកសៀង (Ciannamea et al., 2010); ស្រដៀងទៅនឹងបន្ទះសរសៃដែលធ្វើពីកាកសំណល់កសិកម្មជាមួយនឹងការបន្ថែមនៃ lignin (Mancera et al ។, 2012) ។

ចំណងខាងក្នុង (IB) សំដៅទៅលើកម្លាំងនៃចំណងខាងក្នុងរវាងសរសៃ (Mancera et al., 2012)។ ទាក់ទងនឹងកម្លាំង IB និន្នាការស្រដៀងគ្នានេះត្រូវបានគេសង្កេតឃើញបើប្រៀបធៀបទៅនឹងប៉ារ៉ាម៉ែត្រមេកានិចផ្សេងទៀតដែលបានរៀបរាប់ខាងលើ។ លទ្ធផលដែលបង្ហាញក្នុងរូបភាពទី 4 បង្ហាញថា IB នៃ fiberboards ត្រូវបានធ្វើឱ្យប្រសើរឡើងជាមួយនឹងការបន្ថែម CNF ។ វាគឺដូចគ្នាទៅនឹងរបាយការណ៍របស់ González et al ។ (2013) ដែលតំបន់ជាក់លាក់ខ្ពស់នៃ CNF បានជួយពង្រឹងសមត្ថភាពភ្ជាប់នៃសរសៃ។ fiberboard ដែលមានត្រឹមតែ 1% នៃ CNF មានកម្លាំង IB បំពេញតាមស្តង់ដារជាក់លាក់ដែលត្រូវការ។ កម្លាំងអតិបរមាគឺ 1.53 MPa (រូបភាពទី 4) ប្រហែល 8 ដង និង 3 ដងខ្លាំងជាង fiberboard នៅ 0wt% CNF (0.19 MPa) និង HDF ពាណិជ្ជកម្ម (0.47 MPa) ហើយថែមទាំងខ្ពស់ជាង IB នៃ fiberboard ដែលផលិតជាមួយនឹង 20% បញ្ចូល។ lignin (Mancera et al., 2012) និងអក្សរសិល្ប៍ផ្សេងទៀត (Halvarsson et al., 2009; Kargarfard & Jahan-Latibari, 2011; Quintana et al., 2009; Velásquez et al., 2003)។

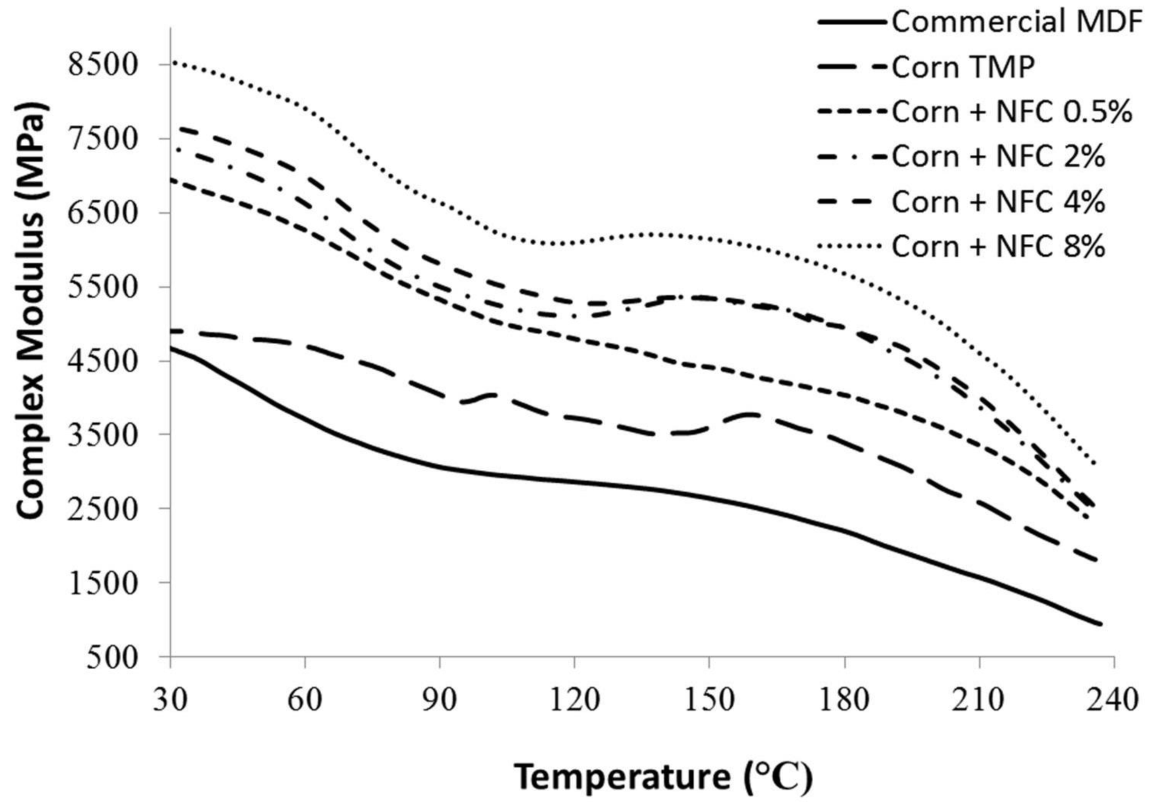


ក្រាហ្វិកទី ២ ភាពរឹងមាំនៃសាច់ក្នុងរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះធន់នឹងកម្លាំងទាញបំបែក

បន្ទះ fiberboard ទាំងអស់ដែលធ្វើពីសំណល់ពោតជាមួយ CNF មានដង់ស៊ីតេខ្ពស់ជាងបន្ទះសរសៃពោតដែលគ្មាន CNF (តារាងទី 4) ។ លទ្ធផលបានបង្ហាញដូចគ្នានៅក្នុងរបាយការណ៍មុន (Alcalá et al., 2013; Theng et al., 2014)។ យោងតាមស្តង់ដារអឺរ៉ុប EN 316: 1999 (EN316, 1999) បន្ទះកែច្នៃសើមត្រូវបានចាត់ថ្នាក់ជាមុខងារនៃដង់ស៊ីតេរបស់វាដូចជាបន្ទះសរសៃដង់ស៊ីតេខ្ពស់ (HDF ដង់ស៊ីតេ □ 900 kgm-3) បន្ទះសរសៃដង់ស៊ីតេមធ្យម (MDF ដង់ស៊ីតេ 400-9 ។ kgm-3), និង fiberboard ដង់ស៊ីតេទាប (LDF, ដង់ស៊ីតេ 230-400 kgm-3) ។ ដង់ស៊ីតេដែលត្រូវបានវាស់នៅក្នុងការសិក្សានេះគឺលើសពី MDF ដូច្នេះគួរតែត្រូវបានគេហៅថាបន្ទះសរសៃដង់ស៊ីតេខ្ពស់ (HDF) ។ ការប្តេជ្ញាចិត្តនៃដង់ស៊ីតេអនុញ្ញាតឱ្យគណនាលក្ខណៈសម្បត្តិមេកានិចជាក់លាក់នៃបន្ទះសរសៃពោត (តារាងទី 4) ។ គួរកត់សំគាល់ថា CNF fiberboard មានកម្លាំងជាក់លាក់ស្រដៀងគ្នាជាមួយ HDF ពាណិជ្ជកម្ម ប៉ុន្តែការបត់បែនជាក់លាក់ខ្ពស់ជាង (តារាងទី 4)។ ក្នុងករណីនេះការបន្ថែម nanoreinforcement គឺចាំបាច់ដើម្បីឱ្យស្មើឬលើសពីលទ្ធផលនៃសម្ភារៈផ្សារ។ តារាងទី 4 ក៏បង្ហាញពីលទ្ធផលនៃកម្លាំង Izod ផងដែរ។ វាត្រូវបានគេសង្កេតឃើញថាថាមពលដែលត្រូវការដើម្បីបំបែក CNF-corn fiberboards គឺខ្ពស់ជាង fiberboards ដែលមិនមានការពង្រឹង។ ទោះបីជាលទ្ធផលដែលបានកត់ត្រានៅក្នុងការសិក្សានេះគឺខ្ពស់ជាងអ្វីដែលបានរាយការណ៍ដោយអ្នកស្រាវជ្រាវមួយចំនួនផ្សេងទៀត (Castro et al., 2012; Silva et al., 2011) ក៏ដោយ ក៏ថាមពលសម្រាប់ការសាយភាយការបង្ក្រាបនៅតែមានកម្រិតទាបបំផុតទាក់ទងនឹងផលិតផលទីផ្សារ។ ហេតុផលដែលអាចរកបានគឺថា HDF

ពាណិជ្ជកម្មត្រូវការថាមពលខ្ពស់ជាងដើម្បីបំបែកដោយសារតែជ័រដែលមានមូលដ្ឋានលើ formaldehyde មានភាពរឹងមាំនៃការភ្ជាប់ចំណុចប្រទាក់ខ្ពស់ជាង (Castro et al ។, 2012) ជាង cellulose nanofibrils ។

ការវិភាគមេកានិក (DMA) គឺជាបច្ចេកទេសសើបដែលកំណត់លក្ខណៈនៃការឆ្លើយតបមេកានិកនៃសម្ភារៈដោយការត្រួតពិនិត្យការផ្លាស់ប្តូរទ្រព្យសម្បត្តិទាក់ទងនឹងសីតុណ្ហភាពនិងភាពញឹកញាប់នៃភាពតានតឹង sinusoidal ដែលបានអនុវត្ត។ បច្ចេកទេសនេះបែងចែកការឆ្លើយតបថាមវន្តនៃវត្ថុធាតុជាពីរផ្នែកផ្សេងគ្នា៖ ផ្នែកយឺត (E′) និងសមាសធាតុ viscous (E″) ។ ម៉ូឌុលស្មុគ្រស្មាញ E* (E* = E′+iE″) ត្រូវបានកំណត់ជាសមាមាត្រភ្លាមៗនៃការឆ្លើយតបក្នុងដំណាក់កាល ឬយឺត E′ (ដែលសមាមាត្រទៅនឹងថាមពលដែលអាចយកមកវិញបាន ឬរក្សាទុក) និងការឆ្លើយតប viscous E″ (ដែល គឺសមាមាត្រទៅនឹងថាមពលដែលមិនអាចយកមកវិញបាន ឬលាយបាត់)។ DMA ក៏ត្រូវបានគេប្រើដើម្បីវិភាគលក្ខណៈរចនាសម្ព័ន្ធ និងមេកានិចនៃសារធាតុ adhesive កំដៅ (Kumar et al., 2013)។ DMA សម្រាប់ HDF ពាណិជ្ជកម្ម និងបន្ទះសរសៃពោតក៏ត្រូវបានអនុវត្តផងដែរ។ ម៉ូឌុលស្មុគ្រស្មាញត្រូវបានបង្ហាញក្នុងរូបភាពទី 5 ។ បន្ទះសរសៃទាំងអស់ដែលផលិតពីជីវម៉ាសនៃដើមពោតបានផ្តល់លទ្ធផលល្អប្រសើរជាងផលិតផលពាណិជ្ជកម្ម។ ជាងនេះទៅទៀត ការដាក់បញ្ចូល cellulose nanoreinforcement បានផលិតម៉ូឌុលស្មុគស្មាញខ្ពស់ដែលកើនឡើងជាមួយនឹងមាតិកា CNF (Alcalá et al., 2013; Besbes et al., 2011; Silva et al., 2011)។ ក្នុងគ្រប់ករណីទាំងអស់ ភាពរឹងបានថយចុះជាមួយនឹងការកើនឡើងនៃសីតុណ្ហភាព (Kumar et al., 2013) ដូចដែលបានរំពឹងទុក។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ ខណៈពេលដែលក្តារសរសៃពាណិជ្ជកម្ម និងមិនមានការពង្រឹងបង្ហាញពីការថយចុះថេរនៃភាពរឹងជាមួយនឹងសីតុណ្ហភាព បន្ទះសរសៃអំបោះដែលពង្រឹងជាមួយនឹងសារធាតុ cellulose nanofibers បង្ហាញពីទំនោរខុសគ្នាមួយចំនួន។ ដូច្នេះភាពរឹងនៃបន្ទះសរសៃបង្ហាញការថយចុះបន្ទាប់ពី 60-70 ° C ដោយសារតែការកើនឡើងនៃការចល័តនិងចាប់ផ្តើមបន្ទន់នៃ lignin និងសមាសធាតុទម្ងន់ម៉ូលេគុលទាប។ បន្ទាប់ពីនោះ ចន្លោះពី 100-120ºC ម៉ូឌុលស្មុគស្មាញហាក់ដូចជាមានស្ថេរភាព ហើយការថយចុះនៃជម្រាលគឺទាបណាស់។ ការរក្សាម៉ូឌុលស្មុគ្រស្មាញនេះ ឬសូម្បីតែការឡើងរឹងតូចនៅក្នុងទម្រង់ខ្លះ អាចបណ្តាលមកពីការបញ្ចេញទឹកពីវត្ថុធាតុដែលការពារការបាត់បង់ភាពរឹងរបស់ fiberboard ។

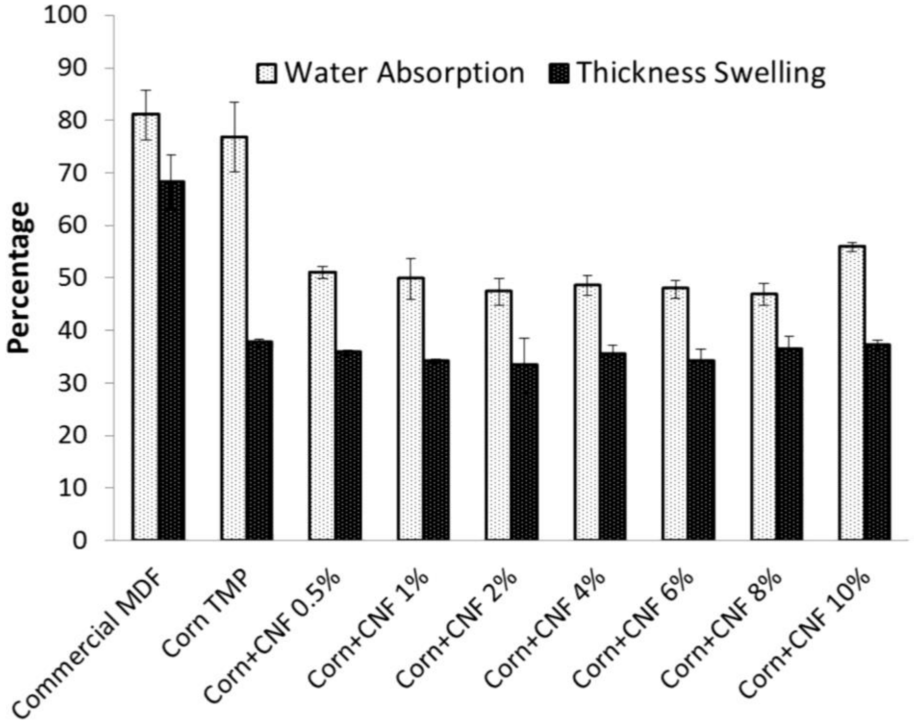


ក្រាហ្វិកទី ៣ ការវិភាគបម្រែបម្រួលមេកានិច

ការវិភាគលក្ខណៈរូប

ការស្រូបយកទឹក (WA) និងការហើមក្រាស់ (TS) គឺជាប៉ារ៉ាម៉ែត្រសំខាន់ពីរនៅពេលកំណត់លក្ខណៈរូបវន្តនៃ fiberboards (Mancera et al., 2012)។ ប៉ារ៉ាម៉ែត្រទាំងពីរត្រូវបានបង្ហាញក្នុងរូបភាពទី 6 ។ បន្ទះសរសៃពោតទាំងអស់ ជាពិសេសបន្ទះដែលមានសារធាតុ CNF មានភាគរយនៃការស្រូបយកទឹក និងហើមក្រាស់ជាងបន្ទះសរសៃពាណិជ្ជកម្ម។ WA និង TS នៃ HDF ពាណិជ្ជកម្មគឺ 81% និង 68% រៀងគ្នាខណៈពេលដែលវាមាន 50% និង 35% សម្រាប់បន្ទះសរសៃពោត។ រវាងក្ដារសរសៃដែលមាន និងគ្មាន CNF គួរឱ្យចាប់អារម្មណ៍ វត្តមានរបស់ CNF បានបន្ថយតម្លៃនៃការស្រូបយកទឹក (Theng et al., 2014)។ ការពន្យល់មួយអាចជា សារធាតុណាណូហ្វីប សែលុយឡូស នាំមកនូវរចនាសម្ព័ន្ធចុងក្រោយដែលបង្រួមជាងមុន ដែលការពារការជ្រៀតចូលនៃទឹកចូលទៅក្នុងបន្ទះសរសៃ។ ទោះបីជាពួកវាមានលក្ខណៈអ៊ីដ្រូហ្វីលីកក៏ដោយ ក៏សារធាតុណាណូហ្វីបសែលុយឡូសមានភាពឆបគ្នាជាមួយនឹងសមាសធាតុដែលនៅសល់នៃបន្ទះសរសៃ។ ដូច្នេះហើយ នៅក្នុងប្រព័ន្ធចែកចាយដ៏ល្អ ចំណុចប្រទាក់រវាង cellulose nanofibers និង microfibers ពោតមានភាពអំណោយផល ហើយលទ្ធផលចុងក្រោយអាចជាសម្ភារៈបង្រួមដែលស្រូបយកទឹកតិចជាងប្រភេទដែលមិនពង្រឹង។ វាកើតឡើងដោយគ្រាន់តែបន្ថែម 0.5wt% នៃ CNF ហើយនៅតែមានដូចនេះរហូតដល់ 8wt% នៃមាតិកា

nanofiber ។ លទ្ធផលដែលទទួលបានគឺខ្ពស់ជាងបន្តិចដែលបានរាយការណ៍នៅក្នុងអក្សរសិល្ប៍ ដោយអ្នកនិពន្ធមួយចំនួន (Kargarfard & Jahan-Latibari, 2011; Velásquez et al., 2003) ស្រដៀងទៅនឹងការសិក្សាពីមុន (Buyuksari et al., 2010; Quintana et al., 2009; Saari et al., 2014) ប៉ុន្តែតម្លៃទាបជាងតម្លៃរបស់ (Baskaran et al., 2012; Ciannamea et al., 2010; Hashim et al., 2010; Mancera et al., 2012)។



ក្រាហ្វិកទី ៤ លទ្ធផលវិភាគកម្រិតស្រូបទឹក និងរីកកម្រាស់ដោយសារជាំទឹក

សេចក្តីសន្និដ្ឋាន

យោងតាមលទ្ធផលនៃការសិក្សា យើងអាចសន្និដ្ឋានបានថា ការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារទៅក្នុងផាល់នៃដើមពោតពិតជាបានបង្កើនគុណភាពផលិតផលក្តារបន្ទះទាំងលក្ខណៈរូប និងលក្ខណៈមេកានិច និងបន្ថែមទម្ងន់ដល់ផលិតផលផងដែរ (ធ្វើឱ្យផលិតផលក្តារបន្ទះមានដង់ស៊ីតេខ្ពស់)។ បើប្រៀបធៀបផលិតផលក្តារបន្ទះនៃការពិសោធន៍នេះទៅនឹងផលិតផលក្តារបន្ទះដែលបានដាក់លក់នៅលើទីផ្សារ វាមានភាពរឹងមាំជាង និងធ្ងន់ជាងផងដែរ។ កំណើននៃភាពរឹងមាំរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះដែលមានការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារមានការកើនឡើងគួរឲ្យកត់សម្គាល់ចាប់ពីការបន្ថែមត្រឹម ០.៥% រហូតដល់ ៨% ប៉ុន្តែអត្រានៃការបន្ថែមដែលសមស្របបំផុតគឺនៅត្រឹម ២% ដោយសារចាប់ពី ២% រហូតដល់ ៨% នៃការបន្ថែមសារជាតុសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារទៅលើផាល់នៃដើមពោតនេះមិនមានភាពខុសគ្នាគួរឱ្យកត់សម្គាល់ឡើយ។

សរុបមក ផលិតផលក្តារបន្ទះដែលផលិតចេញពីផាល់នៃដើមពោត ដែលជាផលិតផលមិនមែនឈើជាមួយនឹងការដាក់បន្ថែមសារជាតុសរសៃសែលលុយឡូសតូចផ្ទារពិតជាផលិតផលល្អមួយដែលអាចប្រើប្រាស់ជំនួសផលិតផលក្តារបន្ទះផលិតផលពីកាកសំណល់នៃរោងចក្រអារឈើ ដែលបានផលិតជាមួយនឹងការដាក់បន្ថែមសារជាតុស្អិតគីមី ឬ ជ័រគីមី និងសរសៃឈើ។

៣.៣ វិធីផលិតបែបស្ងួត

៣.៣.១ លក្ខណៈទូទៅ

ការផលិតតាមបែបស្ងួតគឺជាការផលិតសារជាតុសរសៃនៃសែលលុយឡូសក្នុងលក្ខខណ្ឌសំណើមតូចជាង ២០%។ វិធីសាស្ត្រនេះសមស្របសម្រាប់ការផលិតក្តារបន្ទះដោយប្រើជ័រគីមី។

៣.៣.២ ឧបករណ៍

ក ម៉ាស៊ីនកិនចិញ្ច្រាំ

ជាប្រភេទម៉ាស៊ីនប្រើសម្រាប់កិនចិញ្ច្រាំវត្ថុជាតុដើមឲ្យខ្ចីតាមទំហំចង់បាន ដោយប្រើផ្លែកាំបិតកាត់។ ប្រភេទ រូបរាង និងទំហំមានខុសគ្នា អាស្រ័យតាមក្រុមហ៊ុន និងឆ្នាំផលិត (រូបភាព ៣.២៣)។

រូបភាព ៣.២៣ ម៉ាស៊ីនកាត់ចិញ្ច្រាំប្រើផ្លែកាំបិត

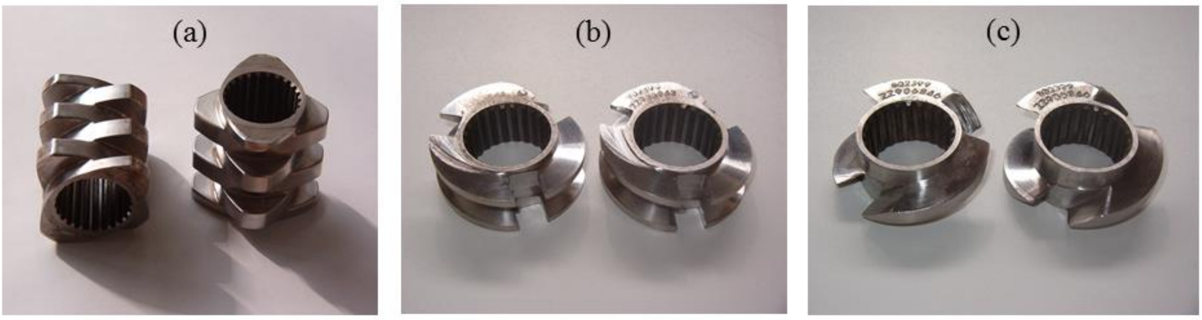
ខ ម៉ាស៊ីនកិនដែលមានភ្លៅភ្លោះ (twin-screw extruder)

ជាប្រភេទម៉ាស៊ីនប្រើសម្រាប់ធ្វើប្រព្រឹត្តកម្មផលិតផាល់តាមវិធីសាស្ត្រ extrusion (រូបភាព ៣.២៤)។ វាមានបំពាក់ screw elements ជាច្រើនគ្រាប់តាមទំហំ និងប្រភេទរបស់ម៉ាស៊ីន។ ជាធម្មតា

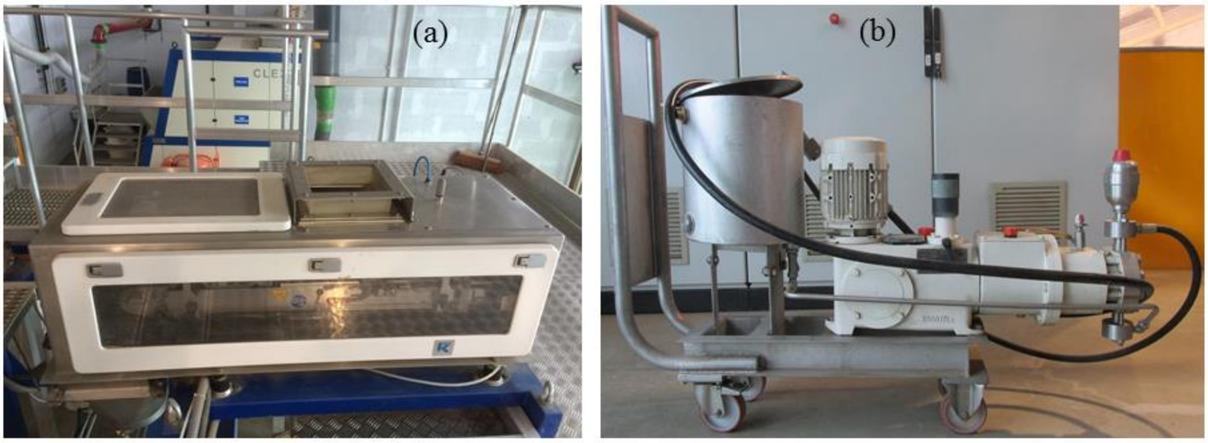
screw elements ដែលបំពាក់ត្រូវមាន ៣ ប្រភេទ (វិលទៅមុខ ត្រង់ និង វិលបញ្ច្រាស (រូបភាព ៣.២៥) ដែលមានមុខងារជាក់លាក់ដូចជា៖

- ធ្មេញកាត់ទៅមុខ (forward screw elements)៖ បញ្ជូនវត្ថុទៅមុខ ដែលមានប្រវែងគ្រាប់ខុសៗគ្នា (ខ្លី មធ្យម និង វែង) ជាមួយនឹងកម្រិតឥទ្ធិពលនៃការលាយនិងកាត់
- ធ្មេញកាត់ត្រង់ (kneading screw elements)៖ មានមុខងារកាត់និងលាយតាមមុំឈរនិងទ្រេតផ្សេងៗគ្នាដូចជា មុំ ៩០ ដឺក្រេ ឬ មុំ ៦០ ដឺក្រេ
- ធ្មេញវិលបញ្ច្រាស (reverse screw elements)៖ រុញវត្ថុថយក្រោយ មានមុខងារកាត់និងលាយវត្ថុឲ្យកាន់តែល្អថែមទៀត។

រូបភាព ៣.២៤ ម៉ាស៊ីនកិន Twin screw extruder



រូបភាព ៣.២៥ ប្រភេទ screw សម្រាប់បំពាក់ជាមួយម៉ាស៊ីនកិន Twin screw extruder



រូបភាព ៣.២៦ ឧបករណ៍សម្រាប់ដាក់វត្ថុធាតុដើមចូលនិងម៉ូទ័របូមទឹក សម្រាប់បំពាក់ជាមួយម៉ាស៊ីនកិន Twin screw extruder

គ ម៉ាស៊ីនសង្កត់ពុម្ពផលិតក្តារបន្ទះដោយប្រើសម្ពាធនិងកម្តៅ (hot press)

គឺជាប្រភេទឧបករណ៍ប្រើសម្រាប់សង្កត់ចាក់ពុម្ពផលិតជាផលិតផលក្តារបន្ទះ។ ឧបករណ៍នេះមានការប្រើប្រាស់សម្ពាធ និងកម្តៅ ដើម្បីសម្ងួតនិងសង្កត់ល្បាយផាល់។ វាក៏អាចមានបំពាក់នូវប្រព័ន្ធទឹកត្រជាក់ធម្មតា ដើម្បីបង្កើនល្បឿនបញ្ចុះសីតុណ្ហភាពម៉ាស៊ីនឲ្យបានលឿនបន្ទាប់ពីវគ្គនៃដំណើរការផលិតនីមួយៗផងដែរ។

រូបភាព ៣.២៧ ម៉ាស៊ីន *hot press* និងពុម្ពចាក់ក្តារបន្ទះខ្នាតមន្ទីរពិសោធន៍

រូបភាព ៣.២៨ ម៉ាស៊ីន hot press និងពុម្ពចាក់ក្តារបន្ទះខ្នាតសិប្បកម្ម ឬ ឧស្សាហកម្មខ្នាតតូច (pilot scale)

រូបភាព ៣.២៩ ថាសជ័រសម្រាប់រៀបចំផាល់និងលីកនីនសម្រាប់ផលិតក្តារបន្ទះ

រូបភាព ៣.៣០ ផាល់ដែលបានលាយទឹកនិងលីកនីនច្របល់សម្រាប់រៀបដាក់ចូលពុម្ពផលិតក្តារបន្ទះ

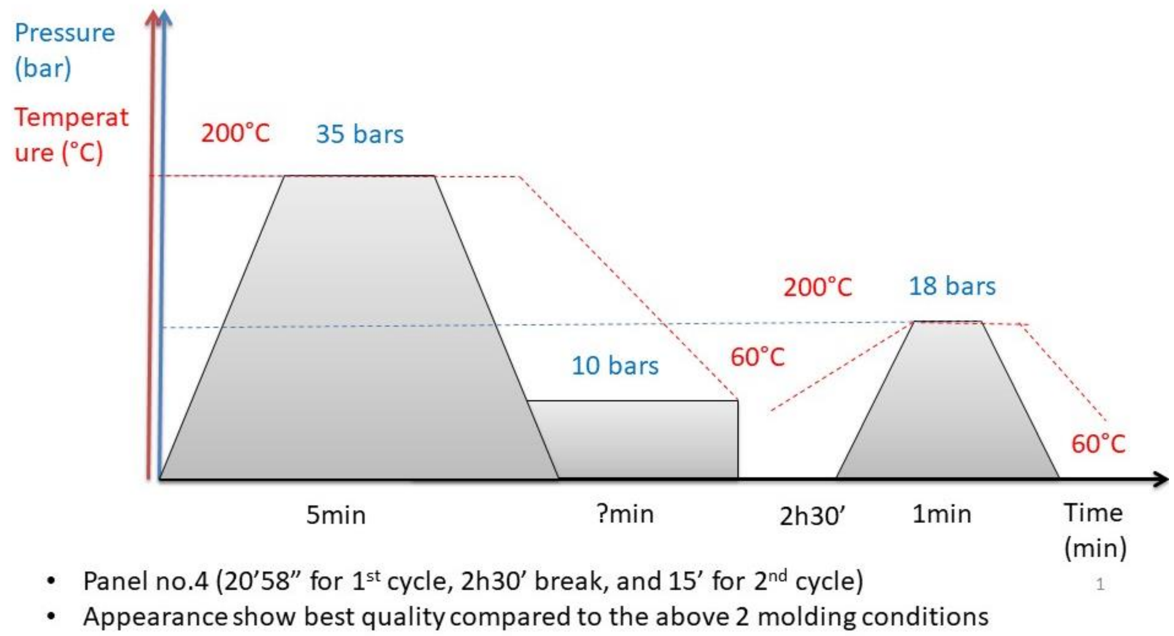
រូបភាព ៣.៣១ ការសម្ងួតល្បាយផាល់និងទឹកត្រៀមសម្រាប់ដាក់ចូលពុម្ពផលិតក្តារបន្ទះឲ្យមានអត្រាសំណើមទាបជាង ២០%

៣.២.៣ វិធីសាស្ត្រផលិតក្តារបន្ទះ

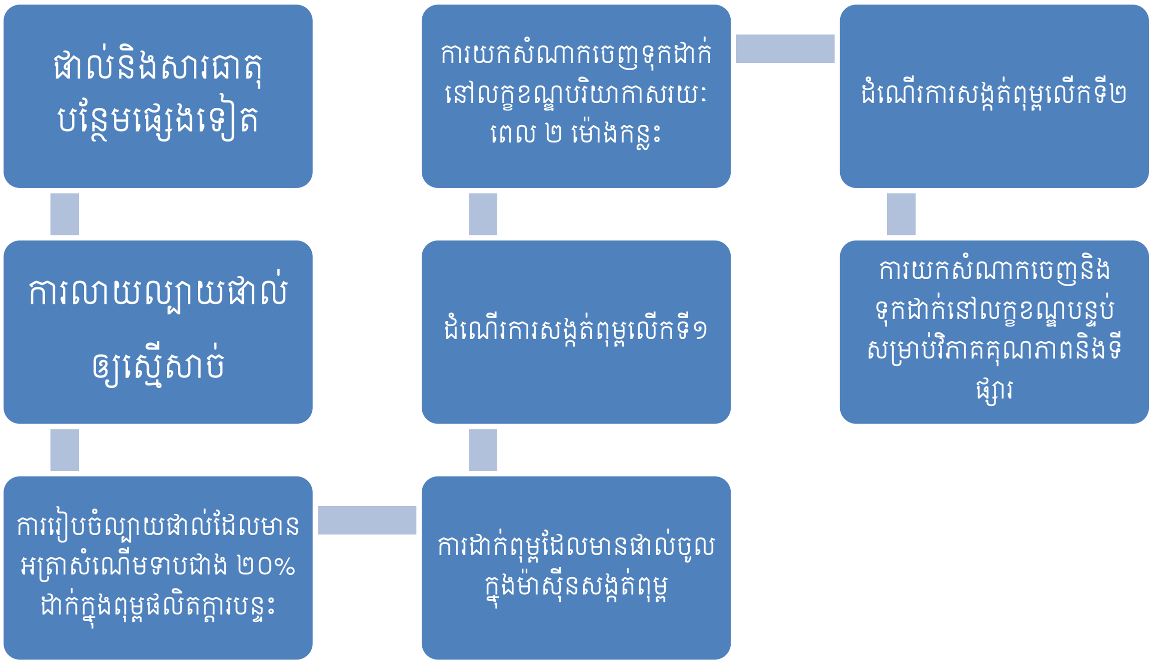
ជាទូទៅ ការផលិតក្តារបន្ទះពីសរសៃឈើ ឬ រុក្ខជាតិត្រូវការបន្ថែមជ័រដើម្បីបង្កើនភាពស្អិតនិងភាពរឹងមាំរបស់ផលិតផល។ ប៉ុន្តែ ដោយសារការប្រើប្រាស់ជ័រសំយោគដើម្បីជាជាតុជំនួយដល់ភាពស្អិតនិងមាំរបស់ផលិតផលប៉ះពាល់ដល់សុខភាពនិងបរិស្ថាន ការស្រាវជ្រាវរកវិធីផ្សេងៗមកជំនួសដូចជា៖ ការផលិតពីសមាសធាតុសរសៃសុទ្ធ និងការបន្ថែមជ័រស្អិតធម្មជាតិ។

នៅក្នុងដំណើរការផលិតក្តារបន្ទះពីផាល់នៃសមាសធាតុសរសៃលាយជាមួយលីកនីនដែលជាសារធាតុស្អិតបែបធម្មជាតិ ផាល់និងលីកនីនត្រូវលាយជាមួយទឹកនិងមានការបន្ថែមទឹកបន្តិចដើម្បីឲ្យល្បាយផាល់អាចលាយបានសព្វល្អ រួចសម្ងួតទឹកចេញវិញដោយប្រើឡសម្ងួត ឬ សម្ងិលក្នុងខ្យល់ឲ្យអត្រាសំណើមទាបជាង ២០%។ បន្ទាប់មក ដាក់ល្បាយផាល់ចូលក្នុងពុម្ពសម្រាប់ផលិតក្តារបន្ទះ និងដាក់ចូលក្នុងម៉ាស៊ីនសង្កត់ និងកៀបតាមលក្ខខណ្ឌដូចខាងក្រោម៖

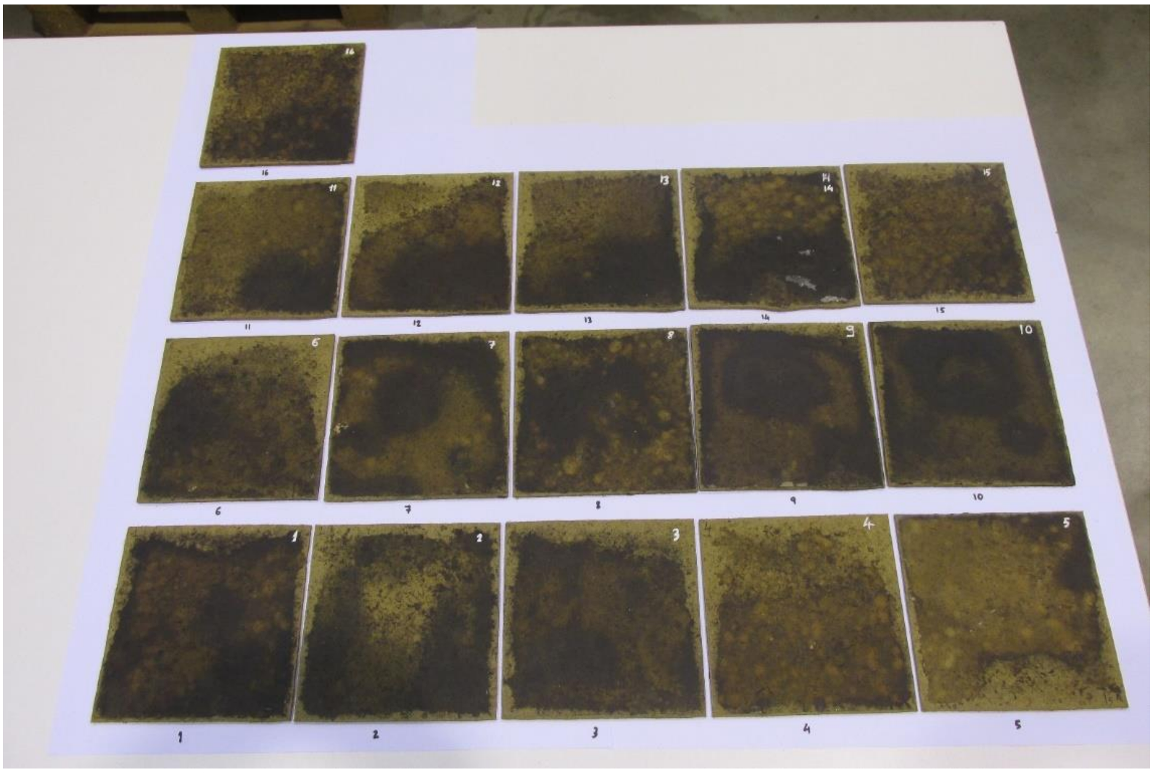
- កៀបនៅកម្លាំងសង្កត់ជាក់លាក់មួយដែលបានកំណត់តាមទំហំសំណាក និងប្រើសីតុណ្ហភាព ២០០ អង្សារសេ ដែលជាសីតុណ្ហភាពខ្ពស់បំផុតសម្រាប់ផលិតក្តារបន្ទះពីសរសៃរុក្ខជាតិ។ តាមបទពិសោធន៍នៃការសិក្សាស្រាវជ្រាវកន្លងមក និងតាមលទ្ធផលនៃការវិភាគលើភាពរលាយដោយកម្តៅនៃសរសៃរុក្ខជាតិ ជាធម្មតាសរសៃរុក្ខជាតិឆេះក្លោចនៅសីតុណ្ហភាពលើសពី ២០០ អង្សាសេ។ ការកៀបសង្កត់ពុម្ពត្រូវប្រើរយៈពេលសមស្របមួយដែលបានកំណត់ ដូចជា រយៈពេល ៥ នាទី។ បន្ទាប់មកបន្ថយសម្ពាធនៃកម្លាំងសង្កត់មកនៅត្រឹម ១០ បារ ដោយរក្សាសីតុណ្ហភាពឲ្យនៅថេរ។ លុះសម្ពាធបានចុះដល់ ១០ បារហើយទើបបញ្ចុះសីតុណ្ហភាពឲ្យមកនៅត្រឹម ៦០ អង្សារសេ ជាមួយនឹងការរក្សាសម្ពាធឲ្យនៅថេរវិញម្តង។ រួចទើបបើកពុម្ពដើម្បីយកសំណាកផលិតផលក្តារបន្ទះចេញ។
- បន្ទាប់ពីយកសំណាកក្តារបន្ទះចេញពីពុម្ព ត្រូវទុកនៅសីតុណ្ហភាពបន្ទប់ដោយប្រើវត្ថុធ្ងន់សង្កត់ពីលើដើម្បីកុំឲ្យផលិតផលឡើងកោង ឬ ផ្ទុះអំឡុងពេលស្តុកទុកនិងចុះត្រជាក់។ ការស្តុកទុកនៅសីតុណ្ហភាពធម្មតានេះ អាចប្រើរយៈពេល ២ ម៉ោង កន្លះ។
- យកសំណាកផលិតផលក្តារបន្ទះដែលបានកៀបនៅដំណាក់កាលទី ១ ខាងលើរួច និងទុកដាក់នៅសីតុណ្ហភាពធម្មតារយៈពេល ២ ម៉ោងកន្លះរួចទៅដាក់ចូលពុម្ពនិងកៀបម្តងទៀតក្នុងលក្ខខណ្ឌសីតុណ្ហភាព និងសម្ពាធ ព្រមទាំងដំណើរការយកសំណាកចេញដូចការកៀបនៅដំណាក់កាលទី ១ ដែរ គ្រាន់តែរយៈពេលកៀបតិចជាង គឺត្រឹមតែ ១ នាទីប៉ុណ្ណោះ។



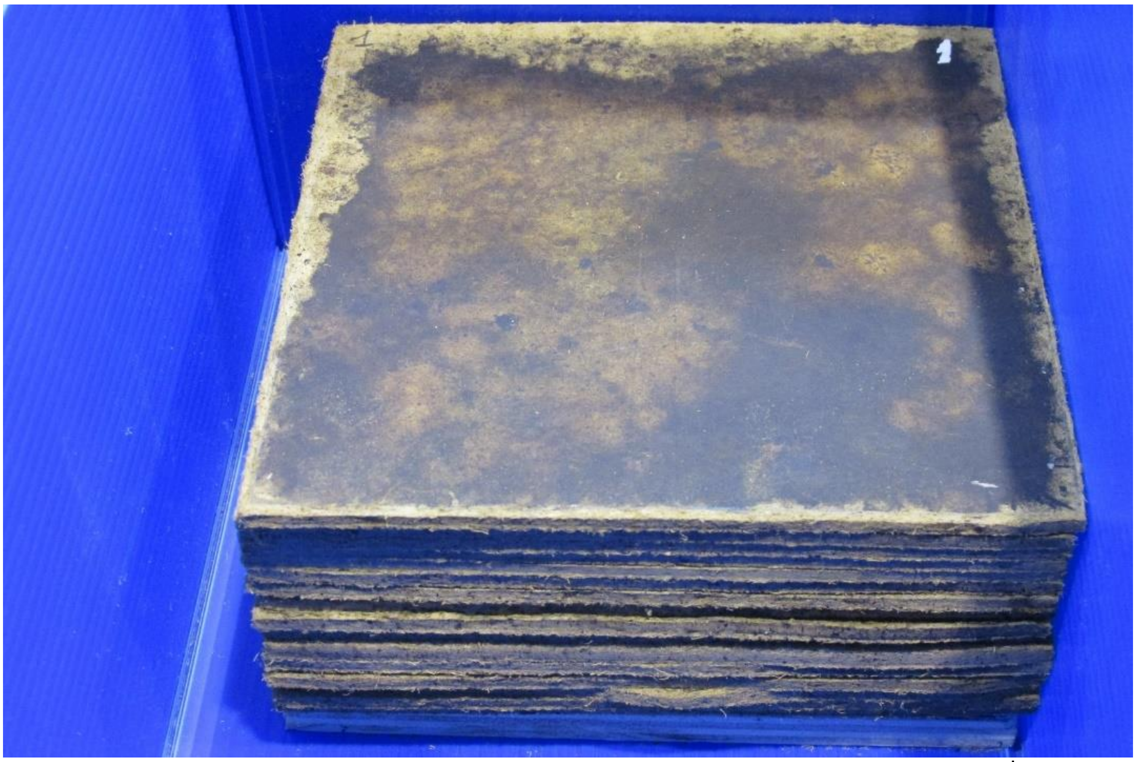
រូបភាព ៣.៣២ ដ្យាក្រាមនៃលក្ខខណ្ឌនិងដំណើរការផលិតក្តារបន្ទះ



ដ្យាក្រាម ៣.២ ដំណើរការផលិតក្តារបន្ទះតាមបែបស្ងួត



រូបភាព ៣.៣៣ សំណាកផលិតផលក្តារបន្ទះដែលបានផលិត



រូបភាព ៣.៣៤ ការទុកដាក់សំណាកផលិតផលក្តារបន្ទះនៅលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសធម្មតានៃសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម

ករណីសិក្សា

ការផលិតបន្ទះសរសៃអំបោះពីចំបើងស្រូវដោយប្រើនែរម៉ូមេកានិកដោយម៉ាស៊ីនកម្តៅ៖ ឥទ្ធិពលនៃរូបសណ្ឋានជាតិសរសៃ ការបន្ថែមទឹក និងមាតិកាលីកនីន

សេចក្តីផ្តើម

ជីវម៉ាស Lignocellulosic ត្រូវបានទទួលស្គាល់សម្រាប់ការប្រើប្រាស់សក្តានុពលក្នុងការផលិតសមាសធាតុធម្មជាតិ។ ការអនុវត្តជីវម៉ាសបែបនេះជាធម្មតាតម្រូវឱ្យមានការព្យាបាលជាមុន ឧ. ការព្យាបាលដោយមេកានិក កម្តៅ ឬគីមី ឬបន្សំរបស់ពួកគេ (Zhang et al. 2015)។ សម្ភារៈ lignocellulosic ទាំងអស់ រួមទាំងចំបើងស្រូវ មានទម្រង់នៃសារធាតុប៉ូលីម៉ែរកាបូអ៊ីដ្រាតស្មុគស្មាញ។ សែលុយឡូស និង hemicelluloses ត្រូវបានខ្ចប់យ៉ាងក្រាស់ដោយស្រទាប់នៃ lignin ដែលការពារពួកវាប្រឆាំងនឹងអ៊ីដ្រូលីស៊ីកនៃអង់ស៊ីម។ ដូច្នេះ ជំហានព្យាបាលមុនគឺចាំបាច់ដើម្បីបំបែកសារជាតុ lignin រហូតទាល់តែបញ្ចេញ cellulose និង hemicelluloses សម្រាប់សកម្មភាព enzymatic ជាបន្តបន្ទាប់ ឬរួមចំណែកដល់ defibration biomass (Vandenbossche et al. 2016)។

Extrusion គឺជាវិធីសាស្ត្រ pretreatment thermo-mechanical ដ៏ជោគជ័យមួយសម្រាប់ការបំប្លែងជីវម៉ាស់ ដោយសារតែតម្លៃទាបរបស់វា ការត្រួតពិនិត្យសីតុណ្ហភាព និងល្បឿនវីសបានល្អ ការកាត់ខ្ពស់ និងសមត្ថភាពដំណើរការដ៏ល្អ។ វីសតែមួយ និងវីសភ្លោះ ត្រូវបានគេប្រើយ៉ាងទូលំទូលាយនៅក្នុងអាហារសម្រន់ ចំណី ផ្លាស្ទិច និងឧស្សាហកម្មសមាសធាតុ។ ទោះបីជាប្រភេទទាំងពីរនៃ extruders ត្រូវបានប្រើនៅក្នុងដំណើរការ extrusion, twin-screw extruders គឺល្អជាងវីសតែមួយ ដោយសារតែការគ្រប់គ្រងកាន់តែច្រើននៃការចែកចាយពេលវេលាស្នាក់នៅ និងការលាយ ព្រមទាំងសមត្ថភាពខ្ពស់នៃការផ្ទេរកំដៅ និងម៉ាស់ផងដែរ (Lin et al. 2013)

ជាឧទាហរណ៍ បច្ចេកវិជ្ជាបន្ថែមវីសភ្លោះបានលេចចេញជាដំណោះស្រាយដើម និងដ៏មានអានុភាពសម្រាប់ចម្រាញ់ជីវសាស្ត្រនៃរុក្ខជាតិទាំងមូល (Evon et al. 2010)។ វីសស្ពឺភ្លោះនាំឱ្យកោសិកាមេកានិកដែលមានប្រសិទ្ធភាពខ្ពស់ក្នុងជំហានតែមួយបន្ទាប់ពីដំណើរការជាបន្តបន្ទាប់ (Evon et al. 2015)។ ថ្មីៗនេះ Vandenbossche et al (2015) ក៏បានប្រើបច្ចេកវិទ្យាការបន្ថែមវីសភ្លោះសម្រាប់ដំណើរការការព្យាបាលគីមី thermo-mechanical និង thermo-mechano-chemical នៃប្រភពជីវម៉ាស់ lignocellulosic ផ្សេងគ្នា មិនមែនសម្រាប់ការផលិតសម្ភារៈសមាសធាតុជាបន្តបន្ទាប់នោះទេ ប៉ុន្តែសម្រាប់ការផលិតទីពីរ- ការបង្កើត bioethanol ដោយប្រើសកម្មភាព biocatalytic ។ ការប្រើប្រាស់ឧបករណ៍ពង្រីកវីសពីរដើម្បីកំចាត់សរសៃពីកាកសំណល់កសិកម្មសម្រាប់សមាសធាតុ (ឧ. ការផលិត

បន្ទះសរសៃ) គឺមានតម្លៃថោកជាងបច្ចេកវិទ្យា defibring ផ្សេងទៀត ឧ. ប្រហែលប្រាំបួនដងដែលមានតម្លៃថោកជាងបើប្រៀបធៀបទៅនឹងដំណើរការរំលាយអាហារបូកនឹងដំណើរការ defibration ដោយប្រើឧបករណ៍រំលាយ rotary ហើយបន្ទាប់មកឧបករណ៍ defibrator Sprout-Waldron (Theng et al. នៅក្នុងការរៀបចំ)។ លើសពីនេះទៅទៀត ដោយសារគ្មានសមាសធាតុណាមួយត្រូវបានដកចេញពីវត្ថុធាតុរឹងកំឡុងពេលព្យាបាលដោយប្រើមេកានិកនៅក្នុងឧបករណ៍ពង្រីកវីសភ្លោះនោះ វាមិនមានការផ្លាស់ប្តូរទាំងលក្ខណៈគីមី និងកម្ដៅវាំងជីវម៉ាស់ឆៅ (ពោលគឺចំបើងស្រូវ) និងសារជាតុចម្រាញ់ដែលទទួលបាន។

ដោយសារសារធាតុ extrudates ទាំងនេះគឺជាល្បាយនៃសរសៃ lignocellulosic ពួកវាអាចដំណើរការយ៉ាងមានសក្តានុពលដោយការចុច thermo-pressing ចូលទៅក្នុង fiberboards ដែលស្អិតរមួត។ នៅក្នុងការងារថ្មីៗ Evon et al (2015, 2014) បានផលិតបន្ទះសរសៃដែលភ្ជាប់ដោយខ្លួនឯងពីនំដែលបានបង្កើតកំឡុងពេលចម្រាញ់ប្រេងផ្កាឈូករ័ត្នរុក្ខជាតិទាំងមូលនៅក្នុង Clextral (ប្រទេសបារាំង) BC 45 twin-screw extruder ដោយប្រើម៉ាស៊ីនចុចជាពសាស្ត្រដែលគេឱ្យឈ្មោះថា។ លើសពីនេះទៀត វាគឺជាប្រូតេអ៊ីនរបស់នំខេក ដែលដើរតួជាអ្នកចងធម្មជាតិនៅខាងក្នុងបន្ទះដូច្នេះធានាបាននូវភាពស្អិតរមួតរបស់មេកានិក។

សម្រាប់ចំបើង extrudates ភាពស្អិតរមួតរបស់ក្រុមប្រឹក្សាភិបាលអាចទទួលបានតាមរយៈការបន្ថែម lignin ។ ជាការពិតណាស់ លីកនីន គឺជាសារធាតុគីមីដ៏សំខាន់បំផុតសម្រាប់ការភ្ជាប់ដោយខ្លួនឯង និងសម្រាប់ការធន់នឹងទឹកនៃវត្ថុផ្សិតដែលមានជាតិសរសៃដោយគ្មានភ្នាក់ងារចង (Mason 1928) ។ សារធាតុ lignin ត្រូវបានរលាយ និងបង្កើតឥទ្ធិពលផ្សារក្នុងអំឡុងពេលប្រតិបត្តិការផ្សិត។ យោងតាមលោក Van Dam et al (2004) ចំហាយផ្ទុះ lignin និង organosolv lignin មានប្រតិកម្មខ្លាំងហើយអាចត្រូវបានប្រើជាភ្នាក់ងារភ្ជាប់សម្រាប់បន្ទះភាគល្អិត។ ពួកគេអាចជំនួសបានរហូតដល់ទៅ 50% នៃសារធាតុចងសំយោគ (ឧទាហរណ៍ជ័រដែលមានមូលដ្ឋានលើ phenolic) ទោះបីជាការប្រើប្រាស់ដ៏មានប្រសិទ្ធភាពរបស់ពួកគេសម្រាប់កម្មវិធីបែបនេះនៅតែមិនច្បាស់លាស់លើខ្នាតឧស្សាហកម្ម (Gosselink et al. 2011)។

ការសិក្សានេះមានគោលបំណងវាយតម្លៃលទ្ធភាពនៃការផលិតក្តារសរសៃដែលអាចបំបែកបានដោយប្រលោមលោកដោយការចុចកំដៅពីចំបើងចំបើងដែលរៀបចំដោយប្រើ Clextral Evolum HT 53 pilot-scale extruder twin-screw និងដើម្បីសិក្សាពីឥទ្ធិពលនៃមាតិកាផ្សិត (ឧ. ទឹកបន្ថែមនៅពេលផ្សិត។ មាតិកា lignin និងសមាមាត្ររាវ/រឹងដែលប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate) នៅលើលក្ខណៈសម្បត្តិមេកានិច និងរូបវន្តរបស់ fiberboards ។

សម្ភារៈនិងវិធីសាស្ត្រ

សម្ភារៈ

សម្ភារៈចាប់ផ្តើមគឺចំបើងតែមួយ (Oriza Sativa L.) ពោលគឺ រុក្ខជាតិទាំងមូល លើកលែងតែកួរ និងគ្រាប់ធញ្ញជាតិ។ ចំបើងស្រូវមានដើមកំណើតពីបារាំង ហើយវាត្រូវបានទិញពីក្រុមហ៊ុន JCL AGRI (Bouge-Chambalud ប្រទេសបារាំង)។ ស្រូវត្រូវបានប្រមូលផលក្នុងខែតុលា នៅពេលដល់ពេលដាំ។ សំណើមនៃចំបើងគឺ 7.4 ± 0.2% (ស្តង់ដារបារាំង NF V 03-90 903) ។ មុនពេលផលិតសារធាតុ extrudate ចំបើងត្រូវបានកំទេចដោយប្រើម៉ាស៊ីនកិនញញួរ (Elecra BC P, France) ដែលបំពាក់ជាមួយនឹងអេក្រង់ទំហំ 6 ម។

បន្ទាប់មកការបំបែកចំបើងតាមបែបទែម៉ូម៉ែត្រ ត្រូវបានធ្វើឡើងដោយប្រើម៉ាស៊ីន Clextral (France) Evolum HT 53 រួមបញ្ចូលគ្នា និងបង្វិលរួមគ្នា ដើម្បីផលិតវត្ថុធាតុដើម (ឧ. សារធាតុ extrudates ត្រូវបានគេទទួលបានដោយប្រើសមាមាត្រ L/S ចំនួនបីផ្សេងគ្នានៅឯការបញ្ចូល ពោលគឺ 1.0, 0.7 និង 0.4 រៀងគ្នា។ ព័ត៌មានលម្អិតសម្រាប់ការរៀបចំ extrudate (រួមទាំងដំណើរការ extrusion នីតិវិធីយកគំរូ និងការពិពណ៌នាអំពីឧបករណ៍ដែលប្រើសម្រាប់ defibring) ត្រូវបានពិពណ៌នានៅក្នុងសម្ភារៈបន្ថែម 1. មុនពេល molding extrudates ត្រូវបានកំទេចពីមុនដោយប្រើញញួរកិន (Electra VS 1 ប្រទេសបារាំង) បំពាក់ដោយអេក្រង់ទំហំ 15 មីលីម៉ែត្រ ដើម្បីកាត់បន្ថយហានិភ័យនៃពិការភាពដូចជាការប្រមូលផ្តុំ ការបន្សាប និងពងបែកនៅខាងក្នុងបន្ទះសរសៃនៅពេលចុចកំដៅ។ សំណើមនៃសារធាតុ extrudates គឺប្រហែល 7% (ស្តង់ដារបារាំង NF V 03-903) ។ ទំងន់ស្ងួតនៃ extrudate ដែលប្រើសម្រាប់ការពិសោធន៍ផ្សិតនីមួយៗគឺ 100 ក្រាម (ឧ. 444 mg/cm2) ។

ម្សៅ lignin ដែលប្រើក្នុងការសិក្សានេះត្រូវបានផ្គត់ផ្គង់ដោយ CIMV (Compagnie Industrielle de la Matière Végétale, Labège, France)។ ហៅថា BioLigninTM ផលិតផលនេះត្រូវបានបង្ហាញជាម្សៅពណ៌ត្នោតដែលទទួលបានពីចំបើងស្រូវសាលី (CIMV 2014) ។ លក្ខណៈសំខាន់ៗរបស់ BioligninTM ត្រូវបានបង្ហាញក្នុងតារាងទី 1 ។

ការរៀបចំម៉ាទ្រីសជាតិសរសៃមុនពេលចាក់ពុម្ព

Biolignin™ ក្នុងសមាមាត្រជាក់លាក់មួយ (តារាងទី១) និងទឹកចម្រោះ 500 mL ត្រូវបានលាយជាមួយទម្ងន់ស្ងួត 100 ក្រាមនៃសរសៃ extrudate ។ នៅទីនេះ ទឹកច្រើនជាងតម្លៃសំណើមដែលត្រូវការ (ឧ. 0-20%) ក្នុងការបង្កើតផ្សិតត្រូវបានបន្ថែម ដើម្បីធានានូវការលាយបញ្ចូលគ្នាប្រកបដោយប្រសិទ្ធភាពរវាងម្សៅ lignin និងសរសៃ extrudate ។ បន្ទាប់មក ល្បាយនេះត្រូវបានកូរដោយដៃក្នុងធុងប្លាស្ទិកសម្រាប់លាយល្អ ហើយបន្ទាប់មកវាត្រូវបានស្ងួតដោយខ្យល់មួយយប់នៅសីតុណ្ហភាពបន្ទប់នៅលើក្រណាត់នីឡុងជាបន្តបន្ទាប់។ សម្ភារៈដែលបានរៀបចំត្រូវបានស្ងួតហួតហែងនៅក្នុងឡដែលមានខ្យល់ចេញចូល 80 អង្សាសេនៅពេលព្រឹកនៃថ្ងៃបន្ទាប់រហូតដល់សំណើមដែលចង់បានសម្រាប់ពុម្ព។

តារាងទី ១ ការរៀបចំបច្ច័យពិសោធន៍

Board number	X_1	Water added at molding (%)	X_2	Lignin content (%)	X_3	L/S ratio during extrusion
1	1.000	20.0	0.000	12.5	0.000	0.7
2	-1.000	0.0	0.000	12.5	0.000	0.7
3	0.500	15.0	0.866	23.3	0.000	0.7
4	-0.500	5.0	-0.866	1.7	0.000	0.7
5	0.500	15.0	-0.866	1.7	0.000	0.7
6	-0.500	5.0	0.866	23.3	0.000	0.7
7	0.500	15.0	0.289	16.1	0.816	1.0
8	-0.500	5.0	-0.289	8.9	-0.816	0.4
9	0.500	15.0	-0.289	8.9	-0.816	0.4
10	0.000	10.0	0.577	19.7	-0.816	0.4
11	-0.500	5.0	0.289	16.1	0.816	1.0
12	0.000	10.0	-0.577	5.3	0.816	1.0
13	0.000	10.0	0.000	12.5	0.000	0.7
14	0.000	10.0	0.000	12.5	0.000	0.7

ការកំដៅ

ពុម្ពចាក់ត្រូវបានអនុវត្តដោយការចុចកំដៅនៅខាងក្នុងផ្សិតអាលុយមីញ៉ូម។ ម៉ាស៊ីនចុចជារាសាស្ត្រកំដៅដែលមានចំណុះ 400 តោន Pinette Emidecau Industries (បារាំង) ត្រូវបានប្រើដើម្បីផលិតបន្ទះសរសៃ 3 មម × 150 មម × 150 មម។ ក្តារសរសៃចំនួន 14 ត្រូវបានផលិតឡើងដោយប្រើប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សិតផ្សេងៗគ្នាយោងទៅតាមការរចនាពិសោធន៍របស់ Doehlert ជាមួយនឹងអថេរចំនួន 3 ពោលគឺទឹកដែលបានបន្ថែមនៅពេលផ្សិត (ពី 0 ទៅ 20%) មាតិកា lignin (ពី 0 ទៅ 25%) និងសមាមាត្ររាវ/រឹង ដែលប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate (ពី 0.33 ដល់ 1.07) (តារាង 2) ។ លក្ខខណ្ឌផ្សិត (ឧ. សម្ពាធដែលបានអនុវត្ត សីតុណ្ហភាពផ្សិត និងពេលវេលាផ្សិត) ត្រូវបានជួសជុលជាប៉ារ៉ាម៉ែត្រមិនប្រែប្រួលជាមួយនឹងវដ្តនៃការចុចពីរដូចខាងក្រោម៖

1. ការចុចក្តៅនៅ 22.3 MPa និង 200 °C កំឡុងពេល 5 នាទី។ បន្ទាប់ពីនោះសម្ពាធត្រូវបានថយចុះក្នុងល្បឿន 0.2 MPa/s ទៅ 1.0 MPa ជាមួយនឹងសីតុណ្ហភាពថេរ។ បន្ទាប់មក សីតុណ្ហភាពត្រូវបានកាត់បន្ថយមកត្រឹម 60 °C ខណៈពេលដែលរក្សាបាននូវសម្ពាធ 1.0 MPa ។ ទីបំផុតផ្សិតត្រូវបានបើកដោយប្រើមធ្យោបាយគ្រប់គ្រងដោយស្វ័យប្រវត្តិ។

2. បន្ទាប់ពីធ្វើឱ្យក្ដារសរសៃត្រជាក់នៅសីតុណ្ហភាពបន្ទប់ វាត្រូវបានចុចក្ដៅនៅ 11.2 MPa និង 200 °C ក្នុងអំឡុងពេល 1 នាទី។ ការបញ្ចប់នៃវដ្តនេះត្រូវបានអនុវត្តដោយប្រើនីតិវិធីដូចគ្នានឹងលើកទី 1 ពោលគឺដោយបន្ថយសម្ពាធដំបូងទៅ 1.0 MPa ហើយបន្ទាប់មកបន្ថយសីតុណ្ហភាពដល់ 60 ° C មុនពេលផ្សិតត្រូវបានបើកដោយស្វ័យប្រវត្តិ។

សីតុណ្ហភាពផ្សិត 200 ºC ដែលខ្ពស់ជាងសីតុណ្ហភាពផ្លាស់ប្ដូរកញ្ចក់ lignin ត្រូវបានជ្រើសរើសដើម្បីឈានដល់ស្ថានភាពកៅស៊ូសម្រាប់ BioigninTM កំឡុងពេលបង្កើតផ្សិត។ សីតុណ្ហភាពបែបនេះនាំឱ្យមានលក្ខណៈសម្បត្តិពត់កោងល្អបំផុតយោងទៅតាម Mancera et al (2012) ។ ស្របគ្នានេះ ការក្រឡេកមើលលទ្ធផល TGA សម្រាប់ BioligninTM និងចំបើងស្រូវ extrudates thermo-mechanical extrudates (Theng et al. នៅក្នុងការរៀបចំ) សីតុណ្ហភាពផ្សិតគឺស្ថិតនៅក្រោមការចាប់ផ្ដើមនៃការរិចរិលកម្ដៅនៃសមាសធាតុសរីរាង្គខាងក្នុងទាំងសរសៃចង និង lignocellulosic នៃ extrudates ។ សម្ពាធដែលបានអនុវត្ត និងរយៈពេលផ្សិតត្រូវបានជ្រើសរើសសម្រាប់កម្រាស់របស់ក្ដារសរសៃដែកដែលមានកម្រាស់ 3 ម.ម យោងទៅតាមប៉ារ៉ាម៉ែត្រដែលបានប្រើរួចហើយនៅក្នុងការសិក្សាពីមុន (Anglès et al. 2001; Mancera et al. 2012; Theng et al. 2017)។

ការវិភាគស្ថិតិនៃលទ្ធផលពីការរចនាពិសោធន៍របស់ Doehlert ត្រូវបានធ្វើឡើងដោយប្រើកម្មវិធី NEMRODW® (NEMRODW 2015) ដែលត្រូវបានប្រើដើម្បីគូសខ្សែកោង isoresponse ផងដែរ។ ការឆ្លើយតបលំដាប់ទីពីរដែលសមស្របបំផុត (Y) ដែលទទួលបានដើម្បីពិពណ៌នាអំពីលក្ខណៈនៃបន្ទះសរសៃនីមួយៗ (ឧ. លក្ខណៈសម្បត្តិ flexural, កម្លាំងផលប៉ះពាល់ Charpy, ភាពរឹងនៃផ្ទៃ Shore D, កម្រាស់ហើម, ការស្រូបយកទឹក និងពណ៌) ត្រូវបានផ្ដល់ដោយរូបមន្តខាងក្រោម៖

$$Y = a0 + (a1 \times X1) + (a2 \times X2) + (a3 \times X3) + (a11 \times X1 \times X1) + (a22 \times X2 \times X2) + (a33 \times X3 \times X3) + (a12 \times X1 \times X2) + (a13 \times X1 \times X3) + (a23 \times X2 \times X3) \quad (3)$$

ដែល៖ X1, X2, និង X3 គឺជាតម្លៃសរសេរកូដនៃការរចនាពិសោធន៍ ដែលនីមួយៗប្រែប្រួលពី -1.0 ដល់ 1.0 និងទាក់ទងទៅនឹងប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សិតទាំងបីដែលបានសាកល្បង (ទឹកបន្ថែមនៅផ្សិត មាតិកាលីកនីន និងសមាមាត្រ L/S ដែលប្រើសម្រាប់ ផលិតកម្ម extrudate រៀងគ្នា) និង ai (i ប្រែប្រួលពី 0 ទៅ 3) និង aij (i និង j ប្រែប្រួលពី 1 ដល់ 3 និង $i \le j$) មេគុណនៃគំរូពហុធា។

បន្ទះសរសៃចំនួនបីត្រូវបានផលិតសម្រាប់លក្ខខណ្ឌផ្សិតដែលបានសាកល្បងនីមួយៗ ដើម្បីអាចចម្លងបាន។ ភ្លាមៗបន្ទាប់ពីការបង្កើតផ្សិត វត្ថុទាំងនេះត្រូវបានដាក់ក្នុងបន្ទប់អាកាសធាតុ (60% RH, 25 °C) រយៈពេលបួនសប្ដាហ៍។ បន្ទះសរសៃអំបោះដំបូងត្រូវបានប្រើដើម្បីវាយតម្លៃកម្រាស់ ដង់ស៊ីតេជាក់ស្ដែង និងលក្ខណៈសម្បត្តិមេកានិចសម្រាប់ការពត់កោង។ បន្ទាប់ពីម៉ាស៊ីនត្រជាក់ គំរូតេស្ដទទឹង 30 មីលីម៉ែត្រចំនួន 4 ត្រូវបានកាត់ វាស់កម្រាស់របស់ពួកគេនៅ 3 ចំណុច និងប្រវែងរបស់វានៅ

ពីរចំណុច ដោយប្រើកាលីប័ររអិលឌីជីថលអេឡិចត្រូនិចដែលមានកម្រិតច្បាស់ 0.01 មីលីម៉ែត្រ។ កម្រាស់ ប្រវែង និងទម្ងន់ត្រូវបានកត់ត្រា ដើម្បីគណនាបរិមាណ និងដង់ស៊ីតេគំរូ។ កម្រាស់ (t) និងដង់ស៊ីតេជាក់ស្តែង (d) នៃ fiberboard គឺជាតម្លៃមធ្យមនៃការវាស់វែងដែលបានធ្វើឡើងនៅលើគំរូសាកល្បងទាំងបួន។ បន្ទះ fiberboard ទីពីរត្រូវបានប្រើសម្រាប់ការវាស់វែង៖ ភាពរឹងនៃផ្ទៃ Shore D និងកម្លាំងផលប៉ះពាល់ Charpy ។ បន្ទះសរសៃទីបីត្រូវបានប្រើសម្រាប់ការហើមក្រាស់ និងការស្រូបទឹក។

លក្ខណៈមេកានិចនៃការពត់កោង

ការវាស់វែងនៃលក្ខណៈសម្បត្តិបត់បែននៃគំរូតេស្តទទឹង 30 មីលីម៉ែត្រ យោងទៅតាមស្តង់ដារបារាំង NF EN 310 ត្រូវបានអនុវត្តដោយប្រើម៉ាស៊ីនតេស្តសាកល Instron 33R4204 (USA) ដែលបំពាក់ដោយកោសិកាផ្ទុក 500 N និងបច្ចេកទេសពត់កោងបីចំណុច។ ល្បឿនសាកល្បងគឺ 2 មីលីម៉ែត្រ / នាទីជាមួយនឹងការបំបែកការក្តាប់ 100 មីលីម៉ែត្រ។ ការផ្ទុកត្រូវបានអនុវត្តស្មើគ្នាពីការគាំទ្រទាំងពីរ ហើយទិសដៅផ្ទុកគឺកាត់កែងទៅនឹងផ្ទៃខាងលើនៃគំរូសាកល្បង។ លក្ខណៈសម្បត្តិគ្របដណ្តប់លើបន្ទុកបំបែក (F) កម្លាំងបត់បែននៅពេលបំបែក (□f) និងម៉ូឌុលបត់បែន (Ef) ។ ការកំណត់ទាំងអស់ត្រូវបានអនុវត្តចំនួនបួនដង ពោលគឺពីគំរូតេស្តនីមួយៗដែលកាត់ក្នុងបន្ទះសរសៃនីមួយៗ។

កម្លាំងប៉ះខ្លាំង

កម្លាំងផលប៉ះពាល់នៃគំរូតេស្តដែលមិនមានស្នាមឆ្កូត យោងទៅតាមស្តង់ដារបារាំង NF EN ISO 179 ត្រូវបានវាយតម្លៃដោយម៉ាស៊ីន Test-well Wolpert 0-40 daN cm (France) Charpy ហើយនេះក៏គ្របដណ្តប់ថាមពលស្រូបយក (W) និងភាពធន់នឹងផលប៉ះពាល់ (K) . សំណាកសាកល្បងចំនួនប្រាំបីដែលមានប្រវែង 60 មម និងទទឹង 10 មមត្រូវបានកាត់។ ដើម្បីគណនាផ្នែករបស់ពួកគេ កម្រាស់ត្រូវបានវាស់នៅបីចំណុចជាមួយនឹង 0.001 មីលីម៉ែត្រ អេឡិកត្រូនិកកាលីប័ររអិលឌីជីថល និងតម្លៃមធ្យមនៃកម្រាស់ដែលបានកត់ត្រា។ ការវាស់កម្លាំងផលប៉ះពាល់ត្រូវបានធ្វើឡើងនៅសីតុណ្ហភាព 23 °C ដោយប្រើបច្ចេកទេសពត់កោងបីចំណុច ដោយមានការបំបែកការក្តាប់ 25 មីលីម៉ែត្រ។ ការផ្ទុកត្រូវបានអនុវត្តស្មើគ្នាពីការគាំទ្រទាំងពីរ ហើយទិសដៅផ្ទុកគឺកាត់កែងទៅនឹងគំរូសាកល្បង។ ការកំណត់ទាំងអស់ត្រូវបានអនុវត្តប្រាំបីដង ពោលគឺពីគំរូសាកល្បងទាំងប្រាំបីដែលកាត់នៅក្នុងបន្ទះសរសៃនីមួយៗ។

ភាពរឹងនៃផ្ទៃ Shore D

ភាពរឹងនៃផ្ទៃ Shore D នៃក្តារសរសៃត្រូវបានវាយតម្លៃដោយប្រើឧបករណ៍វាស់ស្ទង់ Bareiss (អាល្លឺម៉ង់) ដោយយោងតាមស្តង់ដារបារាំង NF EN ISO 868 ។ ទិសដៅចូលបន្ទាត់គឺកាត់កែងទៅនឹងផ្ទៃខាងលើនៃបន្ទះសរសៃ។ ការប្តេជ្ញាចិត្តទាំងអស់ត្រូវបានអនុវត្ត 48 ដងសម្រាប់ក្តារបន្ទះនីមួយៗ (24 ដងសម្រាប់ផ្នែកខាងក្តារនីមួយៗ) ។

ការវិភាគពណ៌

ពណ៌នៃសំណាកធ្វើពីសរសៃអំបោះត្រូវបានវាស់ដោយប្រើឧបករណ៍វាស់ស្ទង់ Konica Minota CR-410 (Japan) spectrophotometer។ ការវាស់វែងពណ៌ត្រូវបានធ្វើឡើងដោយប្រើឯកសារយោង CIE L*a*b* ដែលត្រូវបានប្រើប្រាស់យ៉ាងទូលំទូលាយសម្រាប់វត្ថុដែលមិនមានពន្លឺ។ ពន្លឺគឺ D65 ហើយមុំសង្កេតគឺ 2° ។ នៅក្នុងចន្លោះពណ៌ L*a*b* L* ជាពន្លឺ ហើយវាប្រែប្រួលពី 0 (ខ្មៅ) ដល់ 100 (ស) ហើយ a* និង b* គឺជាកូអរដោណេ chromaticity: +a* ជាទិសក្រហម, - a* ជាទិសពណ៌បៃតង +b* ជាទិសលឿង ហើយ -b* ជាទិសពណ៌ខៀវ។ មជ្ឈមណ្ឌលនេះគឺ achromatic (Konica Minolta Sensing 2007) ។ ការកំណត់ទាំងអស់ត្រូវបានអនុវត្ត 48 ដងលើគំរូក្តារសរសៃនីមួយៗ ពោលគឺ 24 ដងសម្រាប់ផ្នែកខាងក្តារនីមួយៗ។

តម្លៃពណ៌ L* ដែលបានវាស់ត្រូវបានប្រើដើម្បីប៉ាន់ប្រមាណភាពងងឹតនៃបន្ទះសរសៃ បើប្រៀបធៀបទៅនឹងពណ៌នៃសម្ភារៈចាប់ផ្តើម ពោលគឺចំបើងស្រូវ។ លើសពីនេះ ភាពខុសគ្នានៃពណ៌ (□E*) រវាងចំបើង និងបន្ទះសរសៃនីមួយៗត្រូវបានគណនាដោយប្រើរូបមន្តដូចខាងក្រោម:

$$\Delta E^* = (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2$$

ការវិភាគរីកក្រាស់ និងការស្រូបយកទឹក

សំណាក 50 មម × 50 មមចំនួន 4 ត្រូវបានប្រើដើម្បីកំណត់ការហើមកម្រាស់ (TS) និងការស្រូបយកទឹក (WA) នៃបន្ទះសរសៃ។ ដើម្បីវាយតម្លៃ ពួកវាត្រូវដាក់ក្នុងទឹកចម្រោះនៅសីតុណ្ហភាព 25°C រយៈពេល 24 ម៉ោង។ TS ត្រូវបានគណនាតាមស្តង់ដារបារាំង NF EN 317 ហើយកម្រាស់នៃសំណាកនីមួយៗត្រូវបានវាស់នៅចំនុចកណ្តាលចំនួនបួននៅតាមបណ្តោយផ្នែកម្ខាងៗ 10 មមពីគែមមុន និងក្រោយពេលត្រាំក្នុងទឹកចម្រោះ។ សំណាកនីមួយៗត្រូវបានថ្លឹងទៅភាពត្រឹមត្រូវនៃ 0.01 ក្រាម ដើម្បីប៉ាន់ប្រមាណតម្លៃ WA ។

វិធីសាស្ត្រវិភាគ

មុនពេលការវិភាគនីមួយៗ វត្ថុធាតុដើម (ដូចជាចំបើងស្រូវ និងសារធាតុចម្រាញ់) ត្រូវបានកិនដោយប្រើម៉ាស៊ីនកាត់ Foss (ប្រទេសដាណឺម៉ាក) Cyclotec 1093 ដែលបំពាក់ដោយអេក្រង់ 1 មីលីម៉ែត្រ។ មាតិកាសំណើមត្រូវបានកំណត់តាមស្តង់ដារបារាំង NF V 03-903 ។ មាតិការ៉ែត្រូវបានកំណត់យោងទៅតាមស្តង់ដារបារាំង NF V 03-322 ។ ការប៉ាន់ប្រមាណនៃសមាសធាតុ parietal បី (សែលុយឡូស hemicelluloses និង lignins) ត្រូវបានធ្វើឡើងដោយប្រើវិធីសាស្ត្រ ADF-NDF នៃ Van Soest និង Wine (Van Soest និង Wine 1967; Van Soest 1968) ។ ការវាយតម្លៃនៃសមាសធាតុ

រលាយក្នុងទឹកត្រូវបានធ្វើឡើងដោយការវាស់ស្ទង់ការបាត់បង់ម៉ាស់នៃគំរូតេស្តបន្ទាប់ពី 1 ម៉ោងក្នុងទឹករំពុះ។ ការវិភាគទាំងអស់ត្រូវបានអនុវត្តដោយស្ទួន។

ការវិភាគទែរម៉ូក្រាវីម៉ែត្រ (TGA) នៃ BioligninTM ត្រូវបានអនុវត្តដោយប្រើឧបករណ៍វិភាគ Shimadzu TGA-50 (ជប៉ុន) ។ ការវិភាគថាមវន្តត្រូវបានធ្វើឡើងក្រោមបរិយាកាសខ្យល់ក្នុងអត្រាកំដៅ 5 ° C / នាទីពី 25 ទៅ 800 ° C ។ ម៉ាស់នៃគំរូតេស្តគឺប្រហែល 8 មីលីក្រាម។ ទំងន់នៃគំរូត្រូវបានវាស់ជាមុខងារនៃសីតុណ្ហភាពនិងរក្សាទុក។ ទិន្នន័យទាំងនេះត្រូវបានប្រើប្រាស់នៅពេលក្រោយដើម្បីកំណត់ភាគរយនៃគំរូដែលមិនបានបន្ទាប (1 - D) (%) ជាមុខងារនៃសីតុណ្ហភាព ដែល

$$D = W_0 - W / W_0$$

ដែល W_0 និង W គឺជាទម្ងន់នៅចំណុចចាប់ផ្តើម និងកំឡុងពេលស្កេន (mg)។ ការវាស់វែងត្រូវបានអនុវត្តដោយស្ទួន។

ការវិភាគរូបវិទ្យានៃសារធាតុ extrudates ត្រូវបានអនុវត្តដោយប្រើឧបករណ៍វិភាគ MorFi Compact (TechPap ប្រទេសបារាំង) ដែលបំពាក់ដោយកាមេរ៉ាវីដេអូ CCD ។ សរសៃប្រហែល 30,000 ត្រូវបានវិភាគដោយកម្មវិធី MorFi v9.2 ។ ក្នុងចំណោមប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សេងទៀត កម្មវិធីនេះអាចគណនាប្រវែងសរសៃមធ្យម អង្កត់ផ្ចិតមធ្យម និងភាគរយពិន័យ (សរសៃខ្លីជាង 76 µm)។ ការកំណត់លក្ខណៈទាំងអស់ត្រូវបានអនុវត្តដោយស្ទួន។

ដង់ស៊ីតេប៉ះត្រូវបានវាស់ដោយប្រើឧបករណ៍វាស់កម្រិតសំឡេង Granuloshop Densitap ETD-20 (បារាំង) ដែលបំពាក់ជាមួយស៊ីឡាំងបញ្ចប់ការសិក្សា 250 មីលីលីត្រ។ មុនពេលបង្រួម ដង់ស៊ីតេជាក់ស្តែងក៏ត្រូវបានវាស់ផងដែរ។ ការវាស់វែងទាំងអស់ត្រូវបានធ្វើឡើងដោយស្ទួន។

ការវិភាគទិន្នន័យ

សម្រាប់ទាំងសមាសភាពគីមី និងរូបសណ្ឋានជាតិសរសៃនៃ extrudates ការកំណត់ទាំងអស់ត្រូវបានធ្វើឡើងដោយស្ទួន។ ទិន្នន័យត្រូវបានបង្ហាញជាមធ្យោបាយ±គម្លាតស្តង់ដារ។ មធ្យោបាយត្រូវបានប្រៀបធៀបបន្ទាប់ពីការវិភាគមួយផ្លូវនៃការប្រែប្រួល (ANOVA) ដោយប្រើកម្មវិធី PAWS Statistics 18 ការវិភាគទិន្នន័យ។ ការប្រៀបធៀបរវាងមធ្យោបាយបុគ្គលផ្សេងៗគ្នាត្រូវបានអនុវត្តដោយប្រើការធ្វើតេស្តច្រើនជួររបស់ Duncan នៅកម្រិតប្រូបាប៊ីលីតេ 5% ។

លទ្ធផលនិងការពិភាក្សា

លក្ខណៈរូបវិទ្យា - លក្ខណៈគីមីនៃ extrudates

តារាងទី២ បង្ហាញពីសមាសធាតុគីមីនៃចំបើងមុន និងក្រោយការបញ្ចេញវីសពីរ។ ការព្យាបាលដោយប្រើមេកានិកដែលបានអនុវត្តនៅក្នុងឧបករណ៍បន្ថែមវីសភ្លោះមិនប៉ះពាល់ដល់សមាសធាតុគួរឱ្យកត់សម្គាល់ទេថាតើសមាមាត្រ L/S ខ្ពស់ (1.0 ពោលគឺ E1 extrudate) ឬទាប (0.4 ពោលគឺ E3 extrudate) ។ ក្រឡេកមើលការវិភាគស្ថិតិលីកនីនត្រូវបានកាត់បន្ថយនៅក្នុង extrudate E1 និង cellulose នៅក្នុង E3 ។ ផ្ទុយទៅវិញ មាតិកានៃ hemicelluloses និងសមាសធាតុរលាយក្នុងទឹកបានលេចឡើងខ្ពស់ជាងបន្តិចនៅក្នុង extrudates E1 និង E2 រៀងគ្នា។ ការវិភាគទំនាញកំដៅនៃ extrudates ក៏ត្រូវបានធ្វើឡើង (សូមមើលសម្ភារៈបន្ថែម 2) ។ ហើយចំពោះសមាសធាតុគីមី លទ្ធផល TGA គឺសមមូលសម្រាប់ទាំងចំបើងស្រូវ និងសារធាតុ extrudates មានន័យថា ការព្យាបាលដោយប្រើមេកានិកកំដៅដែលបានអនុវត្តទៅលើចំបើងស្រូវមិនបង្កើនស្ថេរភាពកម្ដៅរបស់វាឡើយ។

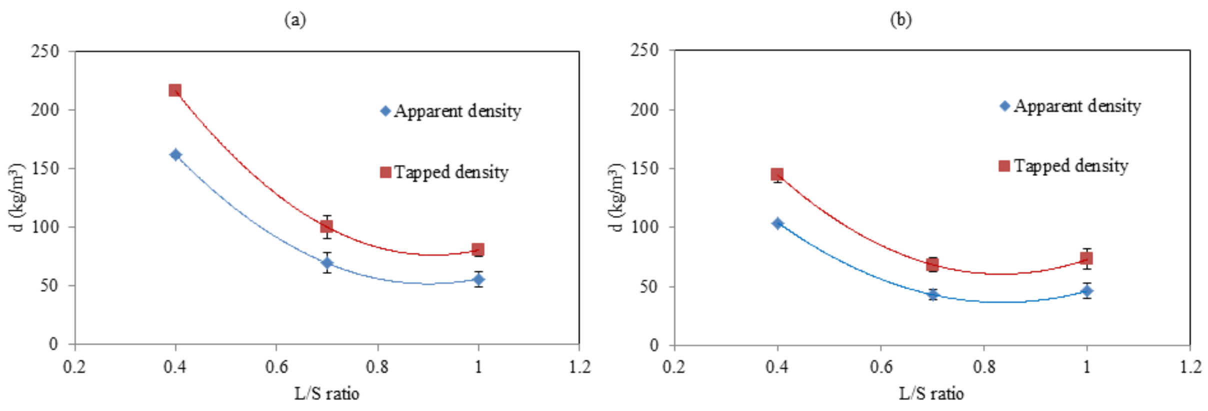
តារាងទី ២ លទ្ធផលនៃការវិភាគសមាសធាតុគីមីក្នុងវត្ថុធាតុដើម

Material	Minerals	Cellulose	Hemicelluloses	Lignin	Water-soluble components
Rice straw	14.7 ± 0.1 ^{a}	37.7 ± 0.3 ^{a}	27.9 ± 0.4 ^{a}	7.2 ± 0.1 ^{a}	16.0 ± 0.1 ^{a}
E_1 (1.0 L/S ratio)	14.3 ± 0.2 ^{a}	36.2 ± 0.5 ^{a}	33.0 ± 0.6 ^{b}	5.5 ± 0.5 ^{b}	15.9 ± 0.1 ^{a}
E_2 (0.7 L/S ratio)	14.4 ± 0.1 ^{a}	37.0 ± 0.9 ^{a}	28.4 ± 0.2 ^{a}	6.8 ± 0.3 ^{a}	17.3 ± 0.3 ^{b}
E_3 (0.4 L/S ratio)	15.8 ± 0.0 ^{b}	33.8 ± 0.1 ^{b}	29.3 ± 0.2 ^{a}	6.3 ± 0.2 ^{a,b}	16.2 ± 0.2 ^{a}

Means in the same column with the same superscript letter (a-b) are not significantly different at P < 0.05.

តារាងទី៣ បង្ហាញពីលក្ខណៈរូបវន្តសំខាន់ៗនៃសរសៃនៅក្នុង extrudates (E1 ដល់ E3) ដែលផលិតដោយប្រើលក្ខខណ្ឌប្រតិបត្តិការផ្សេងៗគ្នា មុន និងក្រោយការកំទេចនៅក្នុងម៉ាស៊ីនកិនញញួរដែលបំពាក់ដោយអេក្រង់ 15 មីលីម៉ែត្រ។ លក្ខណៈបែបនេះត្រូវបានកំណត់ដោយប្រើឧបករណ៍វិភាគ MorFi Compact ហើយពួកវារួមបញ្ចូលប្រវែង អង្កត់ផ្ចិត និងសមាមាត្រ (កំណត់ជាសមាមាត្រនៃប្រវែងទៅអង្កត់ផ្ចិត) នៃសរសៃ និងមាតិកាល្អនៅក្នុង extrudates ។ ពីប្រវែងមធ្យម (LW) និងអង្កត់ផ្ចិត (D) នៃសរសៃ extruded សមាមាត្រ LW/D ដែលត្រូវគ្នាគឺស្ថិតនៅក្នុងចន្លោះ 20.9-22.6 មុនពេលកំទេច។ ការថយចុះនៃសមាមាត្រដែលបានសង្កេតឃើញថាសមាមាត្រ L/S ដែលត្រូវបានប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate បានថយចុះពី 1.0 ទៅ 0.4 បណ្តាលឱ្យមានការថយចុះជាចម្បងនៃប្រវែងមធ្យមនៃសរសៃពី 571 ទៅ 494 μm (ពោលគឺ -14%) (តារាង 4) ។ នេះបានបង្ហាញឱ្យឃើញថា ការកាត់មេកានិកខ្ពស់ និងការឡើងកំដៅដោយខ្លួនឯងខ្ពស់នៃសម្ភារៈដែលផលិតដោយវីសបញ្ច្រាសបានបណ្តាលឱ្យមានសមាមាត្រ L/S ទាបនៅក្នុង extruder វីសភ្លោះដោយសារតែការកាត់សរសៃដែលពឹងផ្អែកខ្លាំងជាង។ វាអាចត្រូវបានគេមើលឃើញយ៉ាងច្បាស់យោងទៅតាមការវិភាគស្ថិតិនៃទិន្នន័យដែលលក្ខណៈសម្បត្តិ morphological នៃសរសៃនៅក្នុង extrudates E1 និង E2 (ឧទាហរណ៍ 1.0

និង 0.7 L/S ratios រៀងគ្នា) មិនមានភាពខុសគ្នាខ្លាំងនោះទេ។ ផ្ទុយទៅវិញ សរសៃនៅក្នុង extrudate E3 (ឧទាហរណ៍ 0.4 L/S ratio) ពិតជាខ្លីជាង។



ក្រាហ្វិកទី ១ ដង់ស៊ីតេរបស់សរសៃចំបើង

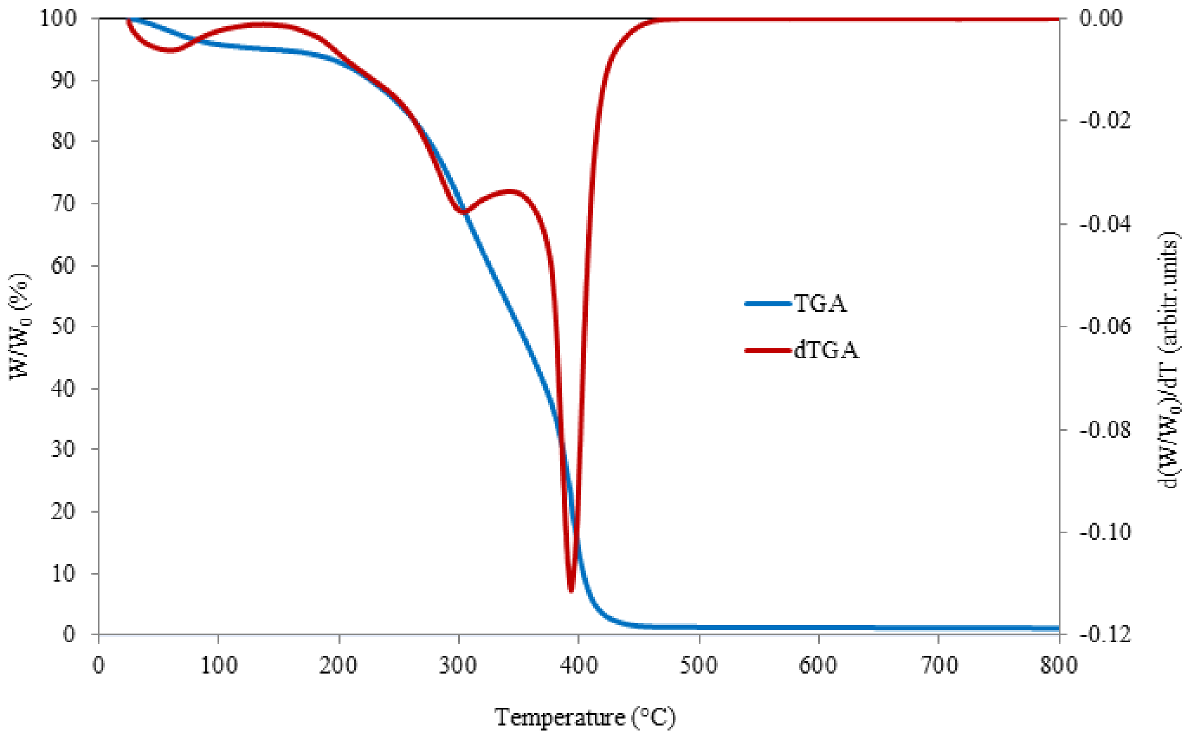
តារាងទី ៣ លទ្ធផលនៃការវិភាគលក្ខណៈរូបរបស់វត្ថុធាតុដើម

Material		L_W (µm)	D (µm)	L_W/D (aspect ratio)	Fines (%)
Before crushing	E_1 (1.0 L/S ratio)	571.5 ± 7.8 ^{a}	25.5 ± 0.0 ^{a}	22.4 ± 0.3 ^{a}	63.8 ± 0.4 ^{b}
	E_2 (0.7 L/S ratio)	571.0 ± 7.1 ^{a}	25.3 ± 0.0 ^{a}	22.6 ± 0.3 ^{a}	54.2 ± 4.9 ^{a}
	E_3 (0.4 L/S ratio)	494.0 ± 1.4 ^{b}	23.7 ± 0.1 ^{b}	20.9 ± 0.1 ^{b}	61.9 ± 0.5 ^{b}
After crushing	E_1 (1.0 L/S ratio)	346.0 ± 7.1 ^{a}	23.1 ± 0.1 ^{a}	15.0 ± 0.4 ^{a}	86.6 ± 0.7 ^{a}
	E_2 (0.7 L/S ratio)	306.0 ± 8.5 ^{b}	23.4 ± 0.6 ^{a}	13.1 ± 0.0 ^{b}	75.1 ± 1.3 ^{b}
	E_3 (0.4 L/S ratio)	270.0 ± 2.8 ^{c}	23.8 ± 0.4 ^{a}	11.3 ± 0.3 ^{c}	66.7 ± 3.5 ^{c}

Means in the same column with the same superscript letters (a-b before and a-c after crushing) are not significantly different at $P < 0.05$.

តារាងទី៣ ក៏បង្ហាញពីលក្ខណៈសម្បត្តិ morphological នៃ extrudates បន្ទាប់ពីឆ្លងកាត់ម៉ាស៊ីនកិនញញួរដែលបំពាក់ដោយអេក្រង់ 15 មីលីម៉ែត្រ។ អាស្រ័យលើសមាមាត្រ L/S ដែលត្រូវបានប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate ប្រវែងមធ្យម និងសមាមាត្រមធ្យមនៃសរសៃគឺស្ថិតនៅក្នុងជួរ 346-270 µm និង 15.0-11.3 រៀងគ្នា។ ការកាត់បន្ថយប្រវែងមធ្យមបង្ហាញថាម៉ាស៊ីនកិនញញួរមិនត្រឹមតែបំបែកការប្រមូលផ្តុំជាតិសរសៃប៉ុណ្ណោះទេ ប៉ុន្តែវាក៏រួមចំណែកក្នុងការកាត់សរសៃផងដែរ។ សមាមាត្រត្រូវបានកាត់បន្ថយប្រហែល 50% បើប្រៀបធៀបជាមួយនឹងសរសៃនៅខាងក្នុង extrudates មុនពេលកំទេច។ បន្ទាប់ពីជំហានកំទេច សរសៃខ្លីបំផុត និងសមាមាត្រទាបបំផុតត្រូវបានទទួលជាមួយនឹងតម្លៃទាបបំផុតនៃសមាមាត្រ L/S ដែលប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate (ឧ. 0.4) ។ បន្ទាប់មក ប្រវែងមធ្យម និងសមាមាត្រមធ្យមនៃសរសៃនៃ extrudates ទាំងបីគឺខុសគ្នាយ៉ាងខ្លាំង។

យោងតាម Okuda and Sato (2004) និង Shen (1986) ទំហំសរសៃតូចៗផ្តល់នូវឥទ្ធិពលវិជ្ជមានសម្រាប់ការផ្សិតព្រោះវាបង្កើនផ្ទៃជាក់លាក់ និងជួយសម្រួលដល់ភាពងាយស្រួលដល់សមាសធាតុជញ្ជាំងកោសិកាខាងក្នុង ដូច្នេះរួមចំណែកដល់ការកើនឡើង។ នៅក្នុងលក្ខណៈសម្បត្តិមេកានិចនៃបន្ទះ។ ទោះបីជាជំហាននៃការកិនត្រូវបានធ្វើឡើងជាចម្បងដើម្បីបំបែកការប្រមូលផ្តុំជាតិសរសៃ ដូច្នេះការសម្របសម្រួលនៃល្បាយជាបន្តបន្ទាប់រវាង extrudate, lignin និងទឹក វាក៏បានរួមចំណែកដល់ការបង្រួមនៃសរសៃ ហើយនេះសមហេតុផលក្នុងការសន្និដ្ឋានថាការកាត់បែបនេះនឹងរួមចំណែកធ្វើឱ្យប្រសើរឡើងនូវការពត់កោង។ លក្ខណៈសម្បត្តិនៃបន្ទះ។



ក្រាហ្វិកទី ២ លទ្ធផលនៃការវិភាគភាពធន់នឹងកម្តៅរបស់សរសៃចំបើង

ការចែកចាយសរសៃ morphological នៅក្នុង extrudates (តារាងទី៣) បានបង្ហាញផងដែរនូវវត្តមាននៃភាគល្អិតតូចៗ (សរសៃខ្លីជាង 76 µm) ។ ចំនួនប្រជាជននេះមិនត្រឹមតែមានសរសៃតូចបំផុតប៉ុណ្ណោះទេ ប៉ុន្តែក៏មានភាគល្អិតរាងស្វ៊ែរផងដែរ ពោលគឺការផាកពិន័យ ដែលមានប្រភពចេញពីដំណើរការបំបែកកំដៅ-មេកានិចនៃចំបើងអង្ករ បូកនឹងជំហានបន្ថែមនៃការកំទេច ដែលត្រូវនឹងតម្លៃអតិបរិមា 63.8% និង 86.6% មុន និងក្រោយពេលកំទេចរៀងគ្នា។ ជាចុងក្រោយ ដង់ស៊ីតេជាក់ស្តែង និងដែលបានប៉ះនៃសារធាតុ extrudates គឺទាបណាស់ ជាមួយនឹងតម្លៃអតិបរមាមុនពេលកំទេច 162 គីឡូក្រាម/m3 និង 216 គីឡូក្រាម/m3 រៀងគ្នា និងតម្លៃអតិបរមាបន្ទាប់ពីកំទេច 104 គីឡូក្រាម/m3 និង 145 គីឡូក្រាម/m3 រៀងគ្នា (រូបភាព .១).

លក្ខណៈមេកានិច និងរូបវន្តនៃក្តារសរសៃ

ពីការរចនាពិសោធន៍ ម្សៅ lignin ត្រូវបានបញ្ចូលទៅក្នុងចំបើង extrudates ជាមួយនឹងមាតិកាប្រែប្រួលពី 0 ទៅ 25% ប្រៀបធៀបទៅនឹងតម្លៃដែលបានប្រើក្នុងការសិក្សាពីមុន (Anglès et al. 2001; Mancera et al. 2012; Theng et al. 2017) . យោងតាម Mason (1928) និង Back (1987) លីកនីន ផ្អែកលើរចនាសម្ព័ន្ធប៉ូលីហ្វេណុលរបស់វាគឺជាសារធាតុគីមីដ៏សំខាន់បំផុតសម្រាប់ការភ្ជាប់ដោយខ្លួនឯង (ពោលគឺការភ្ជាប់ជាតិសរសៃក្នុង) និងសម្រាប់ការធន់នឹងទឹកនៃវត្ថុផ្សិតដែលមានជាតិសរសៃដែលមិនមានជ័រសំយោគ។. កំឡុងពេលចុចកំដៅនៅពេលបង្កើតផ្សិត សមាសធាតុម៉ាទ្រីស រួមទាំងលីកនីន ហូរចេញពីជញ្ជាំងកោសិកា ដើម្បីបំពេញចន្លោះរវាងភាគល្អិតសរសៃ (Takahashi et al. 2010)។ វត្តមាននៃទឹកជួយសម្រួលដល់ការបំបែកសារធាតុគីមីចេញពីជញ្ជាំងកោសិកាកំឡុងពេលធ្វើតេស្តលំហូរនៅសម្ពាធខ្ពស់ (Yamashita et al. 2009) ដោយសារតែចំណុចបន្ទន់នៃ lignin ទាប (ផ្លាស្ទិច) និងការផ្ទេរកំដៅកាន់តែប្រសើរ (Xu et al. 2006)) តាមរយៈការចុចក្តៅ ការរិចរិលត្រូវបានរាយការណ៍បន្ទាប់ពីការកើនឡើងនៃសីតុណ្ហភាព (Okuda et al. 2006)។ ការវិភាគ thermogravimetric នៃម្សៅ lignin ដែលប្រើក្នុងការសិក្សានេះត្រូវបានធ្វើឡើង ហើយខ្សែកោងការរិចរិល TGA ត្រូវបានបង្ហាញក្នុងរូបភាពទី 2 ។ ការបាត់បង់ម៉ាស់ដំបូងត្រូវបានគេសង្កេតឃើញនៅ 100 °C ដែលត្រូវគ្នានឹងការហួតទឹក។ មាតិកាសំណើមរបស់វាគឺប្រហែល 4% (តារាងទី 1) ហើយការបាត់បង់ម៉ាស់ដែលបានសង្កេតនៅក្នុងខ្សែកោង TGA ដែលត្រូវគ្នាត្រូវបានផ្សារភ្ជាប់ប្រហែលជាមួយនឹងភាគរយនៃការបាត់បង់ម៉ាស់ដូចគ្នា។ បន្ទាប់មកការរិចរិលកម្ដៅនៃសមាសធាតុសរីរាង្គបានកើតឡើងជាពីរដំណាក់កាលបន្តបន្ទាប់គ្នា (ចន្លោះពី 150 ទៅ 325 °C និងចន្លោះពី 350 ទៅ 450 ° C រៀងគ្នា) ដែលនាំឱ្យបាត់បង់ម៉ាស់ប្រហែល 40% និង 55% រៀងគ្នា។ សាកល្បងម៉ាស់ស្ងួតគំរូ។ ការសិក្សាពីមុនដោយប្រើប្រាស់វិធីសាស្ត្រស្កេនទែរម៉ូក្រាវីមេទ្រិច និងឌីផេរ៉ង់ស្យែល កាឡូរីមេទ្រី បានបង្ហាញថាព្រឹត្តិការណ៍ endothermic ដំបូងបានកើតឡើងនៅប្រហែល 150 °C សម្រាប់លីកនីន ដែលក្រោយមកត្រូវបានសន្មតថាជាការលាយបញ្ចូលគ្នានៃលីកនីន (Kim and Dale 2004; Murugan et al. 2008) ។ កំពូលភ្នំភ្លើងផ្សេងទៀតមួយចំនួនលើសពី 180 °C ក៏ត្រូវបានគេសង្កេតឃើញដែរ ហើយពួកគេត្រូវបានផ្សារភ្ជាប់ជាមួយនឹងការផ្លាស់ប្តូររាងកាយ និង/ឬគីមីនៃ lignin ។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយ ពួកគេពិបាកពន្យល់យ៉ាងពេញលេញ ដោយសារតែរចនាសម្ព័ន្ធដ៏ស្មុគស្មាញនៃលីនីន។ ការផ្លាស់ប្តូរដែលមិនអាចត្រឡប់វិញបាននៃ lignin បន្ទាប់ពីត្រូវបានកំដៅលើសពី 180 °C ប្រហែលជាទាក់ទងទៅនឹងបាតុភូត "ការធ្វើឱ្យសកម្មរបស់ lignin" ពោលគឺការ depolymerization ដោយផ្នែកដើម្បីទទួលបាននូវសមត្ថភាពភ្ជាប់ថ្មី (Mobarak et al. 1982)។ សារធាតុ lignin ដែលត្រូវបានធ្វើឱ្យសកម្មនឹងកាត់បន្ថយចំណុចរលាយ និងសមត្ថភាពសម្រាប់ polycondensate ។ ទាក់ទងនឹងបាតុភូតនៃការរិចរិល TGA ទីពីរដែលសង្កេតឃើញនៅសីតុណ្ហភាពខ្ពស់ (ឧទាហរណ៍ 350-450 ° C) ដែលត្រូវគ្នាទៅនឹងកត្តាសំខាន់ វាអាចឆ្លើយតបជាសំខាន់ទៅនឹងការរិចរិលនៃ lignin ។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ ដោយសារតែការវិភាគ TGA ត្រូវបានធ្វើឡើងក្រោមបរិយាកាសខ្យល់ ផ្នែកនៃដំណាក់កាលនៃការរិចរិលកម្ដៅទីពីរនេះ ក៏អាចឆ្លើយតបទៅនឹងការកត់សុីនៃផលិតផល degradation បឋមដែលមានប្រភព

ចេញពីបាតុភូត degradation មុន (Uitterhaegen et al. 2016) ដែលក្នុងករណី BiolignінTM ទទួលបានលទ្ធផល។ ពីការវិចរិលនៃប្រភាគប្រូតេអ៊ីន និង hemicellulose ។ នៅចុងបញ្ចប់នៃការវាស់វែង TGA សំណាកដែលមិនទាន់ខូចគុណភាពមានចំនួនតិចជាង 2% នៃម៉ាស់គំរូសាកល្បង ដែលត្រូវគ្នាទៅនឹងសារធាតុរ៉ែដែលមាននៅក្នុងម្សៅលីងនីន (តារាងទី 1)។

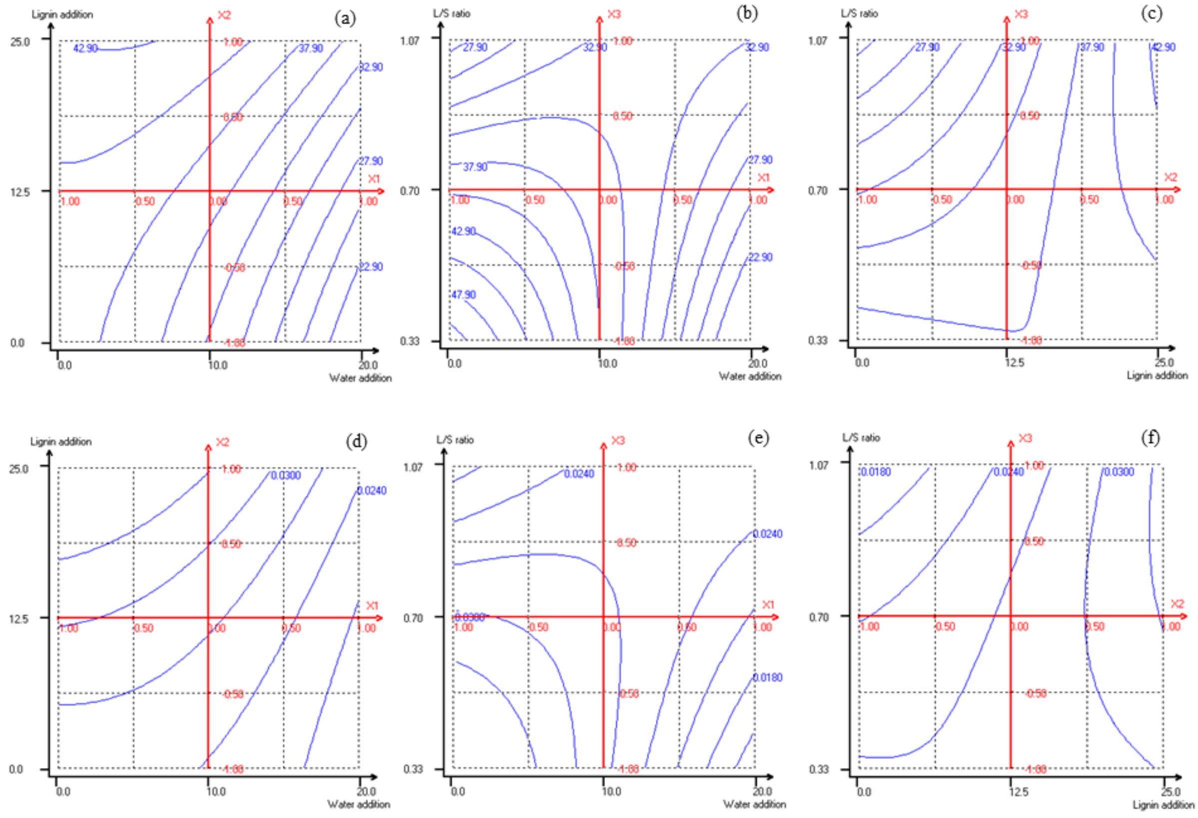
តារាងទី ៤ លក្ខណៈមេកានិចរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះ

Board number	Bending properties							
	t	d	F	σ_f	E_f	σ_f/d	E_f/d	S
1	3.6 ± 0.5	1273 ± 126	82.3 ± 9.1	27.9 ± 4.4	4.2 ± 0.9	21.8 ± 2.1	3.3 ± 0.5	7
2	3.6 ± 0.2	1337 ± 48	117.7 ± 8.0	38.3 ± 3.6	5.9 ± 0.7	28.6 ± 2.2	4.4 ± 0.6	7
3	3.6 ± 0.1	1360 ± 46	134.8 ± 9.9	41.6 ± 2.9	6.8 ± 0.5	30.7 ± 2.2	5.0 ± 0.3	7
4	3.1 ± 0.1	1390 ± 136	74.7 ± 11.1	33.1 ± 5.5	6.2 ± 0.7	23.1 ± 5.2	4.3 ± 0.8	7
5	3.2 ± 0.1	1300 ± 91	52.8 ± 7.0	22.9 ± 1.7	5.4 ± 0.5	18.2 ± 2.0	4.3 ± 0.5	7
6	3.7 ± 0.1	1239 ± 145	146.2 ± 4.4	47.1 ± 6.0	7.7 ± 0.9	38.8 ± 9.2	6.3 ± 1.2	7
7	3.7 ± 0.2	1324 ± 103	102.5 ± 4.1	31.1 ± 1.3	4.7 ± 0.7	23.8 ± 1.3	3.6 ± 0.2	7
8	3.2 ± 0.1	1414 ± 98	126.6 ± 22.4	50.3 ± 9.0	8.6 ± 1.5	35.7 ± 8.7	6.2 ± 1.5	7
9	3.4 ± 0.2	1326 ± 34	90.4 ± 1.5	31.8 ± 0.5	6.3 ± 0.4	24.0 ± 0.7	4.8 ± 0.4	7
10	4.0 ± 0.3	1242 ± 84	114.2 ±12.0	30.0 ± 2.6	4.8 ± 0.1	23.5 ± 2.6	3.8 ± 0.1	7
11	3.7 ± 0.1	1330 ± 19	95.8 ± 8.1	31.6 ± 5.0	6.2 ± 0.8	23.8 ± 3.5	4.7 ± 0.6	7
12	3.3 ± 0.1	1350 ± 18	97.0 ± 9.3	37.6 ± 3.3	7.0 ± 0.9	27.8 ± 2.2	5.2 ± 0.6	7
13	3.5 ± 0.2	1318 ± 47	111.1 ± 11.4	34.9 ± 5.8	6.5 ± 0.7	26.5 ± 4.6	4.9 ± 0.7	7
14	3.5 ± 0.1	1332 ± 17	109.6 ± 8.7	38.0 ± 3.1	6.5 ± 0.7	28.5 ± 2.5	4.9 ± 0.6	7

t, thickness (mm); d, density (kg/m^3); F, breaking load for bending (N); □$_f$, flexural strength at break (MPa); E_f, elastic modulus (GPa); σ_f/d, specific flexural strength at break (kPa.m^3/kg); E_f/d, specific elastic modulus (MPa.m^3/kg); W, absorbed energy during Charpy impact test (mJ); K, impact resilience (kJ/m^2).

តាមការពិសោធន៍ បន្ទះសរសៃដែលផលិតឡើងគឺមានភាពស្អិតល្អទាំងអស់ រួមទាំងបន្ទះដែលបរិមាណនៃសារធាតុ lignin បានបន្ថែមតិចតួច (ឧទាហរណ៍មានតែ 1.7%)។ ដង់ស៊ីតេរបស់ពួកគេស្ថិតនៅក្នុងជួរ 1239-1414 គីឡូក្រាម / ម 3 (តារាងទី 5) ដូច្នេះធ្វើឱ្យវត្ថុធាតុដែលអាចកកើតឡើងវិញបានចាត់ទុកថាជាបន្ទះរឹង។ ដង់ស៊ីតេនៃក្តារសរសៃដែលមានលំនឹងមិនត្រូវបានជះឥទ្ធិពលយ៉ាងខ្លាំងដោយលក្ខខណ្ឌនៃការចុចកំដៅទាំងអស់ដែលបានធ្វើតេស្តនោះទេ។ នេះត្រូវបានបង្ហាញដោយតម្លៃទាបបំផុតសម្រាប់មេគុណ a3 នៃគំរូពហុធាដែលពាក់ព័ន្ធ (ឧទាហរណ៍ 4.5) បើប្រៀបធៀប

ជាមួយតម្លៃ a1 និង a2 (ឧ. -23.9 និង -41.5 រៀងគ្នា) (តារាង 6)។ លើសពីនេះទៀត ដោយសារតែមេគុណ a1 និង a2 គឺអវិជ្ជមាន នេះបង្ហាញថាការបន្ថែមទឹកកាន់តែច្រើននៅពេលផ្សិត និង/ឬជាពិសេសបរិមាណខ្ពស់នៃ lignin នឹងរួមចំណែកដល់ការថយចុះនៃដង់ស៊ីតេនៃ fiberboard ។ ផ្ទុយទៅវិញ មេគុណ a3 មានភាពវិជ្ជមាន ការកើនឡើងនៃសមាមាត្រ L/S ដែលត្រូវបានប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate នឹងមានទំនោរធ្វើឱ្យ fiberboard កាន់តែក្រាស់បន្តិច។ ជាលទ្ធផល ក្រុមប្រឹក្សាភិបាលក្រាស់បំផុតនៃការសិក្សាទាំងមូលគឺបន្ទះលេខ 8 (1414 គីឡូក្រាម/m3) ហើយវាត្រូវបានផលិតចេញពីតម្លៃខាងក្រោមកណ្ដាលនៃដែនពិសោធន៍សម្រាប់ទាំងទឹកដែលបានបន្ថែមនៅផ្សិត និងមាតិកាលីកនីនពោលគឺ 5% និង 8.9 ។ % រៀងៗខ្លួន។ សមាមាត្រ L/S ដែលត្រូវគ្នាដែលប្រើកំឡុងពេលបញ្ចេញគឺនៅក្នុងករណីនោះ 0.4 ។ ផ្ទុយទៅវិញ បន្ទះដែលមានដង់ស៊ីតេតិចបំផុតពីរ ពោលគឺបន្ទះលេខ 6 និង 10 (1239 គីឡូក្រាម/ម3 និង 1242 គីឡូក្រាម/ម3 រៀងគ្នាសម្រាប់ដង់ស៊ីតេ) ទាំងពីរត្រូវបានផលិតដោយឡូជីខលពីបរិមាណខ្ពស់នៃលីនីន (23.3% និង 19.7% ។ រៀងៗខ្លួន)។

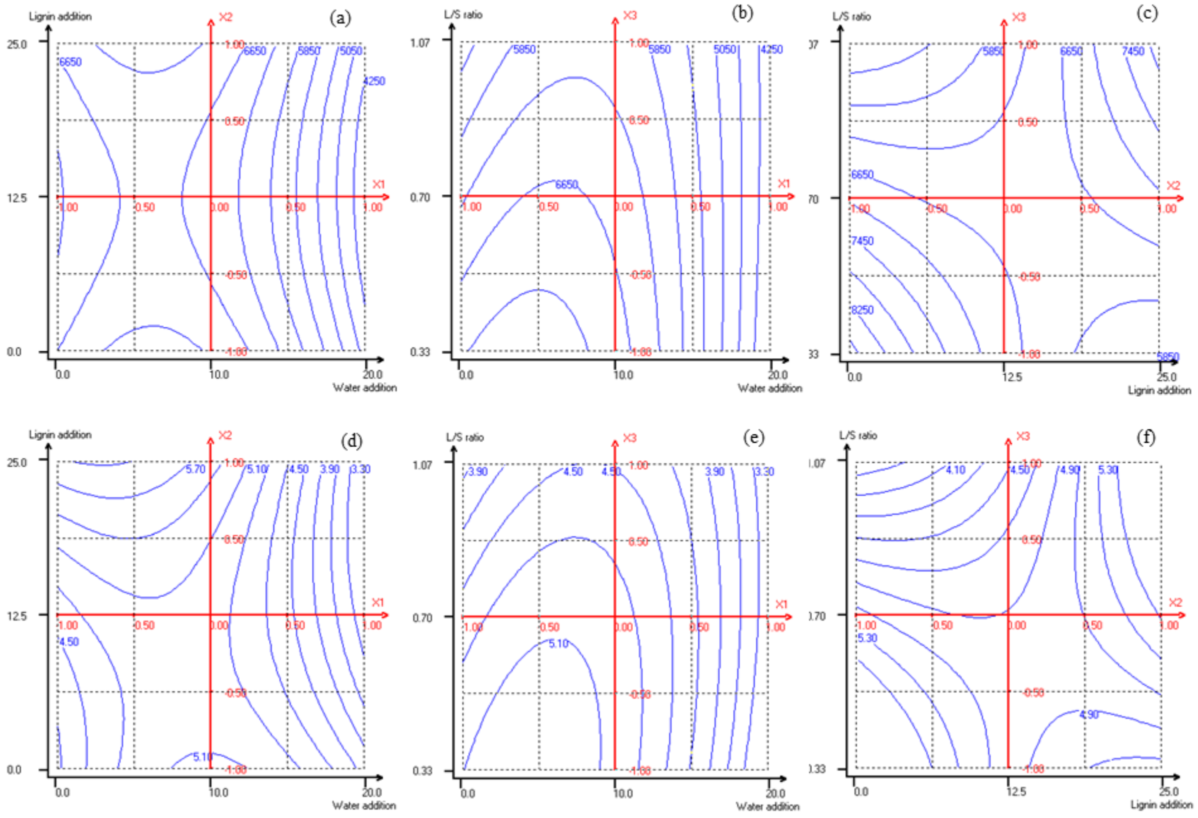


ក្រាហ្វិកទី ៣ លទ្ធផលភាពមាំរបស់ផលិតផលក្ដារបន្ទះ

លក្ខណៈសម្បត្តិពត់កោងនៃ fiberboards រួមទាំងការបំបែកបន្ទុក កម្លាំង flexural នៅ break និង elastic modulus ត្រូវបានធ្វើឱ្យប្រសើរឡើងនៅពេលដែលមាតិកា lignin កើនឡើងនៅក្នុងសម្ភារៈ ដូចដែលបានបង្ហាញដោយតម្លៃវិជ្ជមាននៃមេគុណ a2 ដែលពាក់ព័ន្ធ (តារាង 7) ។ នេះបានបញ្ជាក់ពីសមត្ថភាពចងនៃ lignin នៅខាងក្នុងក្ដារ ដូចដែលបានសង្កេតឃើញនៅពេលប្រៀបធៀបលក្ខណៈ

សម្បត្តិបត់បែនរបស់ក្រុមប្រឹក្សាភិបាលទី 5 និងទី 3 ហើយបន្ទាប់មកនៃក្រុមប្រឹក្សាភិបាលទី 4 និងទី 6 ដែលមាតិកា lignin កើនឡើងពី 1.7 ទៅ 23.3% ខណៈពេលដែលរក្សាបរិមាណទឹកដូចគ្នា (15% និង 5% រៀងគ្នា) និងសមាមាត្រ L/S ដូចគ្នា (0.7) (តារាង 5) ។ ផ្ទុយទៅវិញ ប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សិតពីរផ្សេងទៀតពោលគឺ ទឹកដែលបានបន្ថែមនៅការផ្សិត និងសមាមាត្រ L/S កំឡុងពេលបញ្ចេញមានឥទ្ធិពលអវិជ្ជមានលើលក្ខណៈសម្បត្តិមេកានិកនៃបន្ទះសរសៃ ដោយសារមេគុណ a1 និង a3 គឺអវិជ្ជមាន (តារាងទី 6)។ ដូច្នេះនៅពេលដែលសំណើមកាន់តែច្រើនត្រូវបានបន្ថែមនៅពេលផ្សិត ហើយនៅពេលដែលសមាមាត្រ L/S ដែលប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate គឺខ្ពស់ បន្ទះដែលទទួលបានគឺមានភាពផុយស្រួយជាងនៅក្នុងទិដ្ឋភាពពត់កោង។ ការរកឃើញថាសំណើមមានផលប៉ះពាល់អវិជ្ជមានលើលក្ខណៈសម្បត្តិមេកានិចគឺមានការយល់ព្រមជាមួយ Miki et al (2003) និង Mobarak et al (1982) ។ ម៉្យាងវិញទៀត ទឹកកាន់តែច្រើននឹងធ្វើអោយប្រសើរឡើងនូវការកៀរគរលីនីននៅពេលបង្កើតផ្សិតតាមរយៈការធ្វើប្លាស្ទិក (Yamashita et al. 2009, 2007)។ ម៉្យាងវិញទៀត ដោយសារម៉ាទ្រីសនៅតែសើមនៅពេលចុចធារាសាស្ត្របើក នេះអាចបណ្តាលឱ្យមានបាតុភូត degasing ដូច្នេះការរួមចំណែកដល់ការលេចចេញនៃពិការភាពដូចជាពងបែកនៅខាងក្នុង fiberboards និងនៅក្នុង embrittlement របស់ពួកគេ។ ទាក់ទងនឹងឥទ្ធិពលនៃសមាមាត្រ L/S នៅឯការបញ្ចេញ ដោយសារតែតម្លៃខ្ពស់នៃសមាមាត្រនេះរក្សាបាននូវប្រវែងខ្ពស់ជាងសម្រាប់សរសៃ (តារាងទី 4) វាកាត់បន្ថយផ្ទៃជាក់លាក់របស់វា ដូច្នេះរួមចំណែកដល់ការថយចុះនៃលក្ខណៈសម្បត្តិមេកានិចនៃក្តារ (Shen 1986 ; Okuda និង Sato 2004) ។ ទោះបីជាវាត្រូវបានគេសង្កេតឃើញថា lignin មានឥទ្ធិពលវិជ្ជមានលើលក្ខណៈសម្បត្តិពត់កោងក៏ដោយ ការបន្ថែមរបស់វាមិនអាចជួយបានច្រើនសម្រាប់ការកែលម្អលក្ខណៈមេកានិចរបស់ក្តារ នៅពេលដែលបរិមាណទឹកបន្ថែមនៅពេលបង្កើតផ្សិតគឺខ្ពស់ពេក។ ដូច្នេះបន្ទះសរសៃដែលធន់នឹងមេកានិចបំផុតក្នុងការពត់កោងនៃការសិក្សាទាំងមូលគឺបន្ទះលេខ 8 ហើយវាត្រូវបានផលិតចេញពីប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សិតបន្ទាប់៖ ទឹក 5.0% ដែលត្រូវបានបន្ថែមនៅពេលផ្សិត (ឧទាហរណ៍ X1 = -0.500) 8.9% មាតិកា lignin (ឧទាហរណ៍ X2 = -0.289) និងសមាមាត្រ 0.4 L/S ដែលប្រើកំឡុងពេលបញ្ចេញ (ឧទាហរណ៍ X3 = -0.816)។ លើសពីនេះទៀតបន្ទះដែលធន់នឹងមេកានិចបំផុតនេះក៏ជាបន្ទះក្រាស់បំផុតផងដែរ (តារាងទី 5) ។ ហើយនេះគឺជាការអនុលោមតាមការសិក្សាពីមុនដែលទាក់ទងនឹងក្តារសរសៃដែលអាចបំបែកបានដែលធ្វើពីនំផ្កាឈូករ័ត្នដែលខូចដោយប្រើប្រាស់ការចុចក្តៅផងដែរ (Evon et al. 2015) ។ ដោយសារតែក្តារសរសៃទាំងអស់មិនមានកម្រាស់ដូចគ្នា ហើយដូច្នេះដង់ស៊ីតេដូចគ្នា កម្លាំងបត់បែនជាក់លាក់របស់ពួកគេនៅពេលបំបែក និងម៉ូឌុលបត់បែនជាក់លាក់របស់ពួកគេ ដែលកំណត់ជាសមាមាត្រនៃលក្ខណៈពត់កោងទៅនឹងដង់ស៊ីតេបន្ទះក៏ត្រូវបានគណនាផងដែរ (តារាងទី 5) ។ ការរកឃើញបានបង្ហាញថាតម្លៃជាក់លាក់អតិបរមាសម្រាប់ទាំងកម្លាំងបត់បែននៅពេលបំបែក និងម៉ូឌុលយឺតត្រូវបានទទួលសម្រាប់ក្រុមប្រឹក្សាភិបាលលេខ 6 និងមិនមែនសម្រាប់ក្រុមប្រឹក្សាភិបាលលេខ 8 (តារាង 5) ទេ។ fiberboard នេះត្រូវបានផលិតចេញពីប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សិតបន្ទាប់៖ 5.0% ទឹកបន្ថែមនៅពេល molding (ឧ X1 = -0.500), 23.3% មាតិកា lignin (ឧទាហរណ៍ X2 = 0.866) និង

0.7 L/S ratio ដែលប្រើកំឡុងពេល extrusion (ឧទាហរណ៍ X3 = 0.000) . លទ្ធផលទាំងនេះបានបញ្ជាក់ថាការបន្ថែមលីកនីនគឺត្រូវបានទាមទារដើម្បីបង្កើនលក្ខណៈមេកានិចនៃបន្ទះសរសៃ ដូចដែលបានសង្កេតឃើញនៅពេលប្រៀបធៀបក្តារ 5 និង 3 ឬក្តារ 4 និង 6 ។ ផ្ទុយទៅវិញ បរិមាណទឹកច្រើនពេកក្នុងការបង្កើតផ្សិតមិនធ្វើអោយប្រសើរឡើងទេ។ លក្ខណៈសម្បត្តិចុងក្រោយរបស់ក្រុមប្រឹក្សា។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយ ការបន្ថែមទឹកតិចតួច (5%) គឺត្រូវការសម្រាប់ការចល័ត និងការធ្វើប្លាស្ទិកកាន់តែប្រសើរឡើង (Orliac et al. 2003; Pintiaux et al. 2015; Takahashi et al. 2010; Xu et al. 2006; Yamashita et al. 2009) . ជាចុងក្រោយ សមាមាត្រទាប (0.4) ឬមធ្យម (0.7) L/S កំឡុងពេលការបញ្ចេញ ដែលនាំទៅដល់ការកាត់សរសៃប្រវែងខ្លីនៅខាងក្នុង extrudates ទាំងពីរនេះ ហើយដូច្នេះឈានដល់ការថយចុះនៃសមាមាត្រទិដ្ឋភាពរបស់ពួកគេ ពី 15.0 សម្រាប់សមាមាត្រ 1.0 L/S ។ ដល់ 11.3 សម្រាប់សមាមាត្រ 0.4 L/S (តារាងទី 4) បានផ្តល់ភាពធន់នឹងក្តារកាន់តែប្រសើរនៅពេលពត់។ ការវិវត្តន៍នេះអាចត្រូវបានពន្យល់ថាជាលទ្ធផលនៃ (i) ការបង្រួមសរសៃល្អប្រសើរជាងមុននៅពេលចុចកំដៅ និង (ii) ការកើនឡើងនៃផ្ទៃជាក់លាក់របស់វា (Okuda and Sato 2004; Shen 1986) ។



ក្រាហ្វិកទី ៤ លទ្ធផលនៃភាពយឺតរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះ

ខ្សែកោង isoresponse សម្រាប់កម្លាំងបត់បែននៅពេលបំបែក និងកម្លាំងបត់បែនជាក់លាក់នៅពេលបំបែកត្រូវបានបង្ហាញក្នុងរូបទី 3 ' លក្ខណៈសម្បត្តិពត់កោង។ នៅសមាមាត្រ 0.7 L/S ដែល

ប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate (ឧ. X3 = 0.0) ទាំងកម្លាំងបត់បែន និងកម្លាំងបត់បែនជាក់លាក់មាននិន្នាការកើនឡើង ដោយសារមាតិកា lignin កើនឡើង ហើយទឹកដែលបានបន្ថែមនៅពេលបង្កើតផ្សិតបានថយចុះ (រូបភាព 3a និង 3d)។ នៅមាតិកា 12.5% lignin (ឧ. X2 = 0.0) និងនៅកម្រិតខ្ពស់នៃទឹកបន្ថែម ទាំងកម្លាំងបត់បែន និងកម្លាំងបត់បែនជាក់លាក់មាននិន្នាការកើនឡើង ដោយសារសមាមាត្រ L/S ដែលប្រើកំឡុងពេលបញ្ចូលក៏កើនឡើង (រូបភាព 3b និង 3e)។ ផ្ទុយទៅវិញ សម្រាប់បរិមាណទឹកទាប ខ្សែកោង isoreponse ទាំងនេះក៏បានបង្ហាញផងដែរថា កម្លាំងពត់កោងបានប្រសើរឡើងជាមួយនឹងការថយចុះនៃសមាមាត្រ L/S ដែលត្រូវបានប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate ។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយ នៅពេលប្រៀបធៀបបាតុភូតផ្ទុយគ្នាទាំងពីរនេះរវាងពួកវា ការកើនឡើងនៃកម្លាំងពត់កោងគឺមានសារៈសំខាន់ខ្លាំងជាងនៅបរិមាណទឹកទាបដែលបានបន្ថែមក្នុងពេលដំណាលគ្នាជាមួយនឹងសមាមាត្រ L/S ទាបដែលប្រើនៅការបញ្ចូលជាជាងទឹកដែលបន្ថែមនៅផ្សិត និងសមាមាត្រ L/S ខ្ពស់ . ជាចុងក្រោយ រូបទី 3c និង 3f បង្ហាញពីការវិវត្តន៍នៃកម្លាំងបត់បែនទាំងពីរ និងកម្លាំងបត់បែនជាក់លាក់ ដែលជាមុខងារនៃមាតិកាលីកនីន និងសមាមាត្រ L/S ដែលប្រើនៅការបញ្ចេញសម្រាប់ទឹក 10% ដែលត្រូវបានបន្ថែមនៅពេលផ្សិត (ឧទាហរណ៍ X1 = 0.0)៖ លីកនីនបន្ថែមទៀតត្រូវបានបន្ថែមក្នុងពេលដំណាលគ្នា។ ជាមួយនឹងការថយចុះដាច់ដាច់នៅក្នុងសមាមាត្រ L/S មាននិន្នាការបង្កើនកម្លាំងពត់របស់ក្ដារ។ សម្រាប់ម៉ូឌុលយឺត ការវិវត្តរបស់ពួកគេនៅសមាមាត្រ 0.7 L/S ដែលប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate (ឧទាហរណ៍ X3 = 0.0) ត្រូវបានបង្ហាញក្នុងរូបភាព 4a និង 4d ។ ម៉ូឌុលទាំងនេះបានកើនឡើងនៅពេលកាត់បន្ថយសមាមាត្រនៃទឹកបន្ថែមរហូតដល់តម្លៃដ៏ល្អប្រសើរដែលទទួលបាននៅប្រហែល 5% ការបន្ថែមទឹក។ ស្របគ្នា ដោយសារតែសមត្ថភាពចងរបស់វា មាតិកាលីកនីនកាន់តែច្រើនជាមួយនឹងការបន្ថែមទឹក 5% នោះ ម៉ូឌុលយឺតជាក់លាក់កាន់តែច្រើន (រូបភាពទី 4 ឃ) ។ នៅ 12.5% មាតិកា lignin (ឧទាហរណ៍ X2 = 0.0) រូបភាព 4b និង 4e បានបង្ហាញថាការថយចុះនៃទឹកដែលបានបន្ថែមនៅពេលផ្សិតផ្តល់នូវភាពរឹងកាន់តែប្រសើរសម្រាប់បន្ទះ តម្លៃដ៏ល្អប្រសើរសម្រាប់ម៉ូឌុលយឺតទាំងពីរត្រូវបានទទួលនៅប្រហែល 5% ការបន្ថែមទឹក។ លើសពីនេះ ពីបរិមាណទឹកដែលប្រសើរឡើងនេះ ក្ដារកាន់តែរឹងជាងមុន ដោយសារសមាមាត្រ L/S នៅការបញ្ចូលថយចុះ។ ជាចុងក្រោយ សម្រាប់ទឹក 10% ដែលត្រូវបានបន្ថែមនៅពេលផ្សិត (ឧទាហរណ៍ X1 = 0.0) ខ្សែកោង isoresponse (រូបភាព 4c & 4f) បានបង្ហាញពីភាពប្រសើរឡើងនៃម៉ូឌុលយឺត និងម៉ូឌុលយឺតជាក់លាក់ នៅពេលដែល (i) លីកនីនកាន់តែច្រើនត្រូវបានបន្ថែមក្នុងពេលដំណាលគ្នាជាមួយនឹងការកើនឡើង។ នៅក្នុងសមាមាត្រ L/S ដែលប្រើសម្រាប់ការបំប្លែងចេញ ឬនៅពេលដែល (ii) មាតិកា lignin និងសមាមាត្រ L/S នៅការបញ្ចូលត្រូវបានកាត់បន្ថយក្នុងពេលតែមួយ។

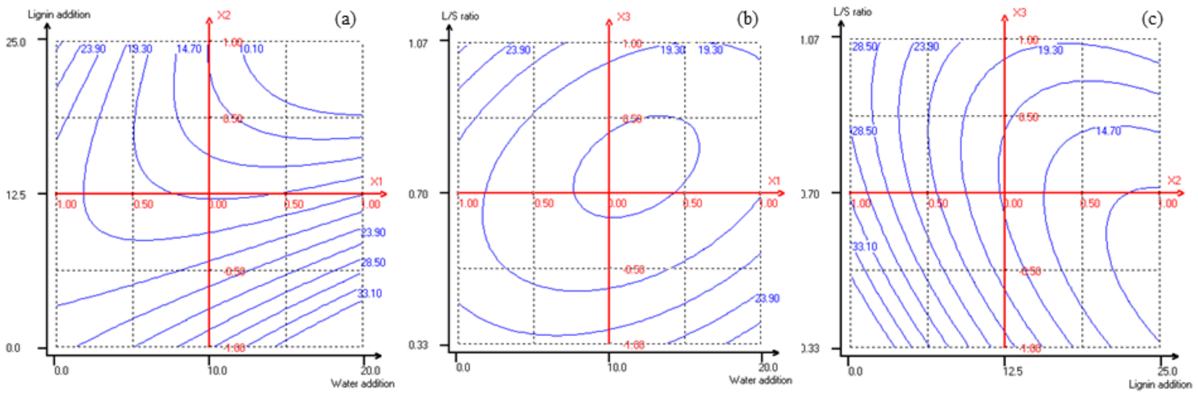
ផ្ទុយទៅវិញ ភាពរឹងនៃផ្ទៃ Shore D និងកម្លាំងផលប៉ះពាល់ Charpy គឺមានភាពឯករាជ្យលើប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សិត (តារាងទី 7)។ Shore D គឺខ្ពស់ណាស់ជាមួយនឹងតម្លៃមធ្យម 79.3° នៅក្នុងការរចនាពិសោធន៍របស់ Doehlert ទាំងមូល ដោយសារតែដង់ស៊ីតេខ្ពស់ដែលទទួលបានសម្រាប់ fiberboards ទាំងអស់ដែលផលិត។ ផ្ទុយទៅវិញ បន្ទះក្ដារមិនមានភាពធន់ទ្រាំខ្ពស់ចំពោះផលប៉ះពាល់ទេ ពោលគឺ

ត្រឹមតែ 3.2 kJ/m2 សម្រាប់ភាពធន់នឹងផលប៉ះពាល់ជាមធ្យម (តារាងទី 7) ហើយភាពផុយស្រួយបែបនេះអាចត្រូវបានពន្យល់ដោយភាពរឹងខ្ពស់នៃបន្ទះដែលផលិត (តារាង 5 និង 6) ។ លទ្ធផលទាំងនេះគឺស្របជាមួយនឹងការសិក្សាពីមុនរបស់ Evon et al (2015) ទាក់ទងនឹងក្តារដែលមានប្រភពមកពីរុក្ខជាតិទាំងមូល។

ការហើមក្រាស់ (TS) និងការស្រូបយកទឹក (WA) នៃបន្ទះសរសៃត្រូវបានវាស់ឥទ្ធិពលដោយប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សិត (តារាង 7) ។ តម្លៃអវិជ្ជមាននៃមេគុណ a1 និងជាពិសេស a2 នៅក្នុងគំរូពហុនាមដែលពាក់ព័ន្ធបានបង្ហាញយ៉ាងច្បាស់ថាការបន្ថែមទឹកកាន់តែច្រើននៅពេលផ្សិត និងជាពិសេសមាតិកាលីកនីនកាន់តែច្រើន ភាពធន់នឹងទឹកនៃបន្ទះសរសៃដែលទទួលបានកាន់តែច្រើន។ តម្លៃ TS និង WA អតិបរមាគឺ 35% និង 32% រៀងគ្នា ដែលត្រូវនឹងបន្ទះលេខ 5 (តារាង 6)។ ផ្ទុយទៅវិញ កម្រិតទាបបំផុតមានតែ 10% និង 7% ប៉ុណ្ណោះ ដែលត្រូវនឹងបន្ទះលេខ 3 (15% ទឹកបន្ថែម 23.3% មាតិកា lignin និង 0.7 L/S សមាមាត្រនៅពេលបន្ថែម) ។ ខ្សែកោង isoresponse សម្រាប់ការហើមក្រាស់ត្រូវបានបង្ហាញក្នុងរូបទី 5 ។ ជាពិសេសនៅសមាមាត្រ 0.7 L/S នៅពេលការបញ្ចេញ (ឧទាហរណ៍ X3 = 0.0) ការហើមក្រាស់បានថយចុះយ៉ាងឆាប់រហ័សជាមួយនឹងការកើនឡើងក្នុងពេលដំណាលគ្នានៃទឹកទាំងពីរដែលត្រូវបានបន្ថែមនៅផ្សិត និងមាតិកាលីកនីន (រូបភាព . 5 ក). ការរកឃើញដូច្នេះបានបង្ហាញថាបន្ទះដែលងាយនឹងជ្រាបទឹកតិចបំផុតគឺទទួលបានពីលក្ខខណ្ឌផ្សិតដោយប្រើមាតិកាលីកនីនខ្ពស់ (រូបភាព 5a និង 5c) ហើយតាមរបៀបដែលមិនសូវសំខាន់ សារធាតុ extrudates ផលិតពីសមាមាត្រ L/S ទាប (រូបភាព 5c) ។

គំរូពហុធាត្រូវបានប្រើដើម្បីកំណត់ការឆ្លើយតបដ៏ល្អប្រសើរសម្រាប់លក្ខណៈ fiberboard នីមួយៗដែលបានវិភាគ ពោលគឺ ដង់ស៊ីតេ លក្ខណៈសម្បត្តិពត់កោង ភាពធន់នឹងផលប៉ះពាល់ ភាពរឹងនៃផ្ទៃ shore D និងការហើមក្រាស់។ ការឆ្លើយតបដ៏ល្អប្រសើរទាំងអស់ និងលក្ខខណ្ឌផ្សិតដែលពាក់ព័ន្ធត្រូវបានផ្តល់ឱ្យក្នុងតារាងទី 8 ។ អាស្រ័យលើលក្ខណៈដែលបានសិក្សា អថេរផ្សិតល្អបំផុតគឺមិនតែងតែដូចគ្នានោះទេ។ តម្លៃនៃការសរសេរកូដ X1 ល្អបំផុតគឺ -1.0 ពោលគឺ 0% ទឹកបន្ថែម សម្រាប់ដង់ស៊ីតេ បន្ទុកបំបែក កម្លាំងបត់បែននៅពេលបំបែក កម្លាំងបត់បែនជាក់លាក់នៅពេលបំបែក និងភាពរឹងនៃផ្ទៃ shore D ។ តម្លៃនៃការសរសេរកូដ X1 ដ៏ល្អប្រសើរផ្សេងទៀតគឺប្រហែល -0.55 (ឧ. 4.5% ទឹកបន្ថែម) សម្រាប់ម៉ូឌុលនៃភាពបត់បែន និងម៉ូឌុលជាក់លាក់នៃការបត់បែន និង 1.0 (ឧ. 20% ទឹកបន្ថែម) សម្រាប់កម្លាំងផលប៉ះពាល់ Charpy និងការហើមក្រាស់។ តម្លៃនៃការសរសេរកូដ X2 ដ៏ល្អប្រសើរគឺភាគច្រើនគឺ 1.0 (ពោលគឺ 25% មាតិកាលីកនីន) ជាពិសេសសម្រាប់ការបំបែកបន្ទុក កម្លាំងបត់បែនជាក់លាក់នៅពេលបំបែក ម៉ូឌុលបត់បែនជាក់លាក់ ភាពរឹងនៃផ្ទៃ Shore D និងការហើមក្រាស់ (តារាងទី 8)។ ជាចុងក្រោយ តម្លៃនៃការសរសេរកូដ X3 ដ៏ល្អប្រសើរគឺ -1.0 (ឧទាហរណ៍ 0.33 L/S សមាមាត្រនៅការបញ្ចូល) សម្រាប់ដង់ស៊ីតេ និងលក្ខណៈសម្បត្តិពត់កោងរបស់ក្តារ។ ផ្ទុយទៅវិញ វាគឺ 1.0 សម្រាប់ភាពរឹងនៃផ្ទៃ និងកម្លាំងផលប៉ះពាល់ Charpy និង -0.16 សម្រាប់កម្រាស់ហើម។

លើសពីនេះទៀត ការវិភាគមួយត្រូវបានធ្វើឡើងដើម្បីស្វែងរកប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សិតដែលត្រូវប្រើសម្រាប់លក្ខណៈទាំងអស់ដែលបានសិក្សានៅជិតបំផុតតាមដែលអាចធ្វើទៅបានចំពោះតម្លៃដ៏ល្អប្រសើរដែលបានកំណត់សម្រាប់ពួកវានីមួយៗ (តារាងទី ៨)។ តម្លៃនៃការសរសេរកូដ X1, X2, និង X3 ដែលត្រូវគ្នាដូច្នេះបានកំណត់អត្តសញ្ញាណគឺ -1.0, 1.0 និង -1.0 រៀងគ្នា ដែលត្រូវគ្នាទៅនឹងប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សិតបន្ទាប់៖ ទឹក 0% បន្ថែមនៅពេលផ្សិត 25% lignin បន្ថែម និងសមាមាត្រ 0.33 L/S ដែលប្រើសម្រាប់ ផលិតកម្ម extrudate (តារាង 9) ។ ពីប៉ារ៉ាម៉ែត្រទាំងនេះ និងការប្រើប្រាស់គំរូពហុនាមសម្រាប់លក្ខណៈ fiberboard នីមួយៗដែលបានវិភាគ សម្ភារៈដែលបានបង្កើនប្រសិទ្ធភាពដោយចុច thermo-press នឹងមានដង់ស៊ីតេ 1102 kg/m3 ជំនួសឱ្យ 1593 kg/m3 សម្រាប់តម្លៃដង់ស៊ីតេអតិបរមា (ពោលគឺកាត់បន្ថយ 31%)។ ស្របគ្នា កម្លាំងបត់បែននៅពេលបំបែក និងម៉ូឌុលបត់បែននឹងមានប្រហែល 50 MPa និង 6.0 GPa រៀងគ្នា។ លក្ខណៈសម្បត្តិបត់បែនបែបនេះគឺទាបជាងអតិបរិមា (គ. 55 MPa និង 9.2 GPa រៀងគ្នា) ប៉ុន្តែមិនច្រើនទេ ជាពិសេសសម្រាប់កម្លាំងបត់បែន។ លើសពីនេះទៀត ពួកវាអាចប្រៀបធៀបបានយ៉ាងល្អឥតខ្ចោះជាមួយនឹងលទ្ធផលដែលទទួលបានពីការសិក្សាផ្សេងទៀតដែលទាក់ទងនឹងការផលិតក្តារសរសៃដោយប្រើការចុចក្តៅ (Anglès et al. 2001; Evon et al. 2015, 2012; Halvarsson et al. 2009, 2008; Mancera et al ។ 2012; Okuda et al. 2006, 2004; Theng et al. 2017, 2015)។



ក្រាហ្វិកទី ៥ លទ្ធផលនៃការវិភាគកម្រិតស្រូបទឹករបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះ

លក្ខណៈសម្បត្តិពត់កោងនៃក្រុមប្រឹក្សាភិបាលដែលបានកែលម្អភាគច្រើននឹងអនុលោមតាមស្តង់ដារបារាំង NF EN 312 (ស្តង់ដារឧទ្ទិសដល់លក្ខណៈជាក់លាក់សម្រាប់បន្ទះភាគល្អិត) សម្រាប់ក្តារប្រភេទ P7 ពោលគឺ បន្ទះផ្ទុកសម្រាប់ប្រើប្រាស់ក្រោមភាពតានតឹងខ្ពស់ និងក្នុងស្ថានភាពសើម (អនុសាសន៍ 20 MPa និង 3 GPa សម្រាប់កម្លាំងបត់បែននៅពេលបំបែកនិងម៉ូឌុលយឺតរៀងគ្នាសម្រាប់ក្តារដែលមានកម្រាស់ចន្លោះពី 3 ទៅ 4 មម) ។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយការហើមក្រាស់ដែលត្រូវការ 10% មិនត្រូវបានសម្រេចសម្រាប់ពេលនេះទេ។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ ដំណើរការបន្ថែមពីមុនត្រូវបានសាកល្បងដោយជោគជ័យដោយអ្នកនិពន្ធមួយចំនួនផ្សេងទៀត (Evon et al. 2015; Halvarsson et al. 2009; Okuda et al. 2006; Saadaoui et al. 2013; Uitterhaegen et al. 2017;

Widyorini et al. 2017; Widyorini et al. 2017; Widyorini et al. 2017; ដូចជាការកំដៅមុន គីមី ឬការព្យាបាលដោយចំហាយ ប្រហែលជាធ្វើអោយប្រសើរឡើងនូវប៉ារ៉ាម៉ែត្រស្ថេរភាពវិមាត្រនេះ។

តារាងទី ៥ លក្ខណៈរូបរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះ

Board number	Thickness swelling (%)	Water absorption (%)	Color			
			L*	a*	b*	ΔE*
1	17.3 ± 3.5	11.3 ± 1.2	67.5 ± 0.6	1.5 ± 0.5	2.5 ± 0.7	20.7
2	22.3 ± 1.7	15.8 ± 4.4	68.7 ± 1.5	1.5 ± 0.6	3.5 ± 1.6	19.1
3	10.1 ± 2.5	6.6 ± 1.0	67.8 ± 0.7	1.2 ± 0.3	2.5 ± 0.7	20.5
4	22.4 ± 2.2	17.8 ± 1.3	69.7 ± 1.2	2.6 ± 0.5	5.1 ± 1.3	17.3
5	35.2 ± 7.6	31.8 ± 9.0	71.1 ± 1.8	3.0 ± 0.5	6.5 ± 1.7	15.2
6	16.2 ± 3.2	14.3 ± 3.6	68.4 ± 1.3	1.3 ± 0.5	3.1 ± 1.2	19.7
7	15.6 ± 4.2	11.5 ± 1.9	68.4 ± 0.9	1.5 ± 0.7	3.1 ± 1.3	19.6
8	23.6 ± 2.7	17.6 ± 2.7	68.0 ± 0.7	1.4 ± 0.6	2.8 ± 0.9	20.1
9	28.4 ± 2.8	17.5 ± 3.9	67.8 ± 0.6	1.3 ± 0.5	2.6 ± 0.8	20.5
10	14.3 ± 1.4	9.5 ± 0.7	67.2 ± 0.4	0.9 ± 0.2	1.8 ± 0.5	21.4
11	21.8 ± 0.9	17.4 ± 5.1	69.0 ± 1.0	1.7 ± 0.6	4.0 ± 1.3	18.6
12	23.3 ± 1.4	16.7 ± 4.1	69.1 ± 1.7	1.9 ± 0.8	4.1 ± 1.9	18.3
13	16.5 ± 1.9	10.9 ± 0.6	68.4 ± 1.1	1.6 ± 0.6	3.3 ± 1.3	19.5
14	16.9 ± 1.9	12.1 ± 1.3	68.1 ± 1.0	1.5 ± 0.7	3.1 ± 1.3	19.9

សេចក្តីសន្និដ្ឋាន

បន្ទះសរសៃដែលអាចបំបែកបាន និងស្អិតរមួតប្រលោមលោក ត្រូវបានផលិតឡើងដោយប្រើសារធារាសាស្ត្រដែលគេឱ្យឈ្មោះថា ពីចំបើងចំបើងស្រូវដែលផលិតដោយប្រើការកែកំដៅដោយមេកានិចនៅក្នុងម៉ាស៊ីន extruder ភ្លោះ ពោលគឺដោយគ្មានប្រតិកម្មគីមី។ សារធាតុ Lignin និងទឹកដែលបានបន្ថែមនៅពេលបង្កើតផ្សិតបានដើរតួជាអ្នកចងធម្មជាតិ និងសារធាតុប្លាស្ទិក lignin រៀងគ្នា ហើយការភ្ជាប់នៃសរសៃ lignocellulosic ក៏ដើរតួជាការពង្រឹងមេកានិចផងដែរ។ ប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សិត (ឧ. ទឹកដែលបានបន្ថែមនៅការផ្សិត មាតិកាលីកនីន និងសមាមាត្រ L/S ដែលប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate នៅក្នុង extruder វីសភ្លោះ) បានជះឥទ្ធិពលលើលក្ខណៈសម្បត្តិមេកានិច និងរូបវន្តរបស់

ក្តារ។ ពី fiberboards ទាំងអស់ដែលផលិតដោយយោងទៅតាមការរចនាពិសោធន៍របស់ Doehlert លក្ខណៈសម្បត្តិ flexural ដ៏ល្អបំផុតត្រូវគ្នាទៅនឹងបន្ទះដែលផលិតចេញពី extrudate ដែលផលិតដោយប្រើសមាមាត្រ L/S ទាបបំផុតសម្រាប់ការបន្ថែមរើសភ្លោះ (ឧទាហរណ៍ 0.4)។ ក្រោយមកទៀតត្រូវបានផ្សិតជាមួយនឹងការបន្ថែមទឹក 5% និងជាមួយនឹងមាតិកា lignin 8.9% ។ ដង់ស៊ីតេនៃសម្ភារៈបែបនេះគឺខ្ពស់ (ឧទាហរណ៍ 1414 គីឡូក្រាម / ម 3) ធ្វើឱ្យវាក្លាយជាក្តាររឹង។ កម្លាំង flexural នៅ break និង elastic modulus គឺ 50.3 MPa និង 8.6 GPa រៀងគ្នា។ តម្លៃទាំងនេះគឺជាតម្លៃខ្ពស់បំផុតសម្រាប់ការសិក្សាទាំងមូល។ ការហើមក្រាស់ និងការស្រូបទឹកមាន 24% និង 18% រៀងគ្នា។ បន្ទះបែបនេះភាគច្រើនបានអនុលោមតាមស្តង់ដារបារាំង NF EN 312 ប្រភេទ P7 (ឧទាហរណ៍ផ្ទុកក្តារសម្រាប់ប្រើក្រោមភាពតានតឹងខ្ពស់និងក្នុងស្ថានភាពសើម) ទាក់ទងនឹងលក្ខណៈសម្បត្តិពត់កោង ទោះបីជាការព្យាបាលក្រោយការព្យាបាលគួរតែត្រូវបានទាមទារដើម្បីបង្កើនភាពធន់ទ្រាំទឹករបស់វា (10% តម្រូវការសម្រាប់ការហើមក្រាស់) ។ ដោយប្រើការវិភាគស្ថិតិបន្ទាប់ពីការរចនាពិសោធន៍របស់ Doehlert ការសម្របសម្រួលដ៏ល្អរវាងលក្ខណៈសម្បត្តិ flexural និងដង់ស៊ីតេអាចទទួលបានពីប៉ារ៉ាម៉ែត្រផ្សិតបន្ទាប់៖ ទឹក 0% បន្ថែមនៅពេលផ្សិត 25% មាតិកា lignin និងសមាមាត្រ 0.33 L/S ដែលប្រើសម្រាប់ការផលិត extrudate ។ ពីប៉ារ៉ាម៉ែត្របែបនេះ បន្ទះសរសៃដែលផលិតដោយមិនមានប្រតិកម្មគីមី ឬការបន្ថែមជ័រសំយោគនឹងបង្ហាញដង់ស៊ីតេ 1102 គីឡូក្រាម/ម3 កម្លាំងបត់បែននៅបំបែក 50 MPa និងម៉ូឌុលយឺតនៃ 6.0 GPa ។ លក្ខណៈសម្បត្តិទាំងនេះនឹងអនុលោមតាមស្តង់ដារបារាំង NF EN 312 ប្រភេទ P7 ។

ជំពូកទី ៤
លក្ខណៈនិងទីផ្សាររបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះ

៤.១ សេចក្តីផ្តើម

គុណលក្ខណៈនិរន្តរភាពនៃ fiberboard ធ្លាក់ចុះយ៉ាងល្អឥតខ្ចោះជាមួយនឹងការយល់ដឹងអំពីបរិស្ថានដែលកំពុងកើនឡើងក្នុងចំណោមអ្នកឧស្សាហកម្ម និងអ្នកប្រើប្រាស់ដូចគ្នា។ នេះបានជំរុញបន្ថែមទៀតនូវការទទួលយកបន្ទះសរសៃអំបោះនៅក្នុងកម្មវិធីដែលរួមមានកម្រាលខាងក្នុង និងបន្ទះក្តារ។ ការកើនឡើងតម្រូវការសម្រាប់ការកាប់បំផ្លាញព្រៃឈើ ដើម្បីបំពេញតម្រូវការពីការប្រើប្រាស់ឈើរឹងនឹងផ្តល់នូវទីផ្សារ fiberboard គែមមួយទាក់ទងនឹងផលប៉ះពាល់បរិស្ថាន។

កំណើនប្រាក់ចំណូលនៃទីផ្សារ fiberboard ពិភពលោកត្រូវបានប៉ាន់ប្រមាណថាលើសពី 6% ក្នុងអំឡុងពេលព្យាករណ៍នៃ 2018-2028 ។ Fiberboard ត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងមានការកើនឡើងដោយសារតែការកើនឡើងនូវចំណូលចិត្តលើជម្រើសផ្សេងទៀតដូចជា ឈើរឹង និងបន្ទះក្តារដែលមានតម្លៃថោកដែលប្រើនៅក្នុងប្រទេសកំពុងរីកចម្រើនជាច្រើន។ ភាពធន់ខ្ពស់របស់វាចំពោះការផ្លាស់ប្តូរកម្រិតកំដៅ និងសំណើម និងសក្តានុពលក្នុងការរក្សាការបំបែក ឬការពង្រីក និងការកន្ត្រាក់អំឡុងពេលបម្រែបម្រួលអាកាសធាតុ ដោយបន្ថែមទៅលើភាពធន់របស់វាគឺជាហេតុផលចម្បងមួយសម្រាប់តំបន់ដែលកំពុងរីកចម្រើនកំពុងជ្រើសរើសសម្រាប់ក្តារសរសៃ។

ទីផ្សារ fiberboard អាស៊ីប៉ាស៊ីហ្វិកត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងនៅតែស្ថិតក្នុងទីតាំងនាំមុខគេក្នុងអំឡុងពេលនៃការព្យាករណ៍។ តំបន់នេះត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងក្លាយជាអ្នករួមចំណែកដ៏សំខាន់ដល់ការរីកលូតលាស់នៃទីផ្សារ fiberboard ដោយសារតែការកើនឡើងនៃចំណង់ចំណូលចិត្តសម្រាប់ fiberboard ជាង plywood ដែលប្រើជាប្រពៃណីនៅក្នុងប្រទេសដូចជាប្រទេសឥណ្ឌា។ ប្រទេសចិន និងឥណ្ឌាត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងមានអត្រាកំណើនខ្ពស់បំផុតក្នុងអំឡុងពេលនៃការព្យាករណ៍។ ក្នុងចំណោមប្រទេសចិន និងឥណ្ឌា អតីតគឺមានចំនួនជាង 90% នៃការប្រើប្រាស់សរុបនៃ fiberboard នៅក្នុងតំបន់អាស៊ីប៉ាស៊ីហ្វិក។

ទីផ្សារ fiberboard ដែលបែងចែកនៅលើមូលដ្ឋាននៃប្រភេទក្តារត្រូវបានប៉ាន់ប្រមាណដើម្បីបង្ហាញពីភាពលេចធ្លោដោយ Medium Density Fiberboard (MDF) រួមជាមួយនឹងផ្នែក High Density Fiberboard (HDF) ក្នុងអំឡុងពេលនៃការព្យាករណ៍ចំនួន 3 ដងបើប្រៀបធៀបទៅនឹងផ្នែកផ្សេងទៀត។ ហេតុផលដែល MDF កំពុងចាប់យកទីផ្សារ fiberboard នៅក្នុងប្រទេសឥណ្ឌា គ្របដណ្តប់ជាផ្លូវការដោយ plywood គឺ versatility និងប្រសិទ្ធភាពចំណាយរបស់វា។ ផ្នែក MDF ដែលមាន CAGR លើសពី 6% ក្នុងរយៈពេលនៃការព្យាករណ៍។ ការកើនឡើងនៃតម្រូវការដូចគ្នានៅក្នុងបណ្តាប្រទេសនៃតំបន់ APEJ ដូចជាប្រទេសឥណ្ឌាត្រូវបានព្យាករណ៍ថានឹងជំរុញឱ្យមានឱកាសរីកចម្រើនសម្រាប់ទីផ្សារ fiberboard ។

ទីផ្សារ fiberboard ត្រូវបានជំរុញបន្ថែមទៀតដោយអ្នកបើកបរទីផ្សារសំខាន់ៗ។ តម្រូវការសម្រាប់ fiberboard នៅក្នុងទូ និងការពិចារណាសេដ្ឋកិច្ចកំពុងបង្កឱ្យមានការកើនឡើងនៃទីផ្សារ fiberboard ។ Fiberboard គឺមានប្រសិទ្ធភាពចំណាយច្រើនជាង ហើយនាំឱ្យមានអត្រាខូចខាតទាបបើធៀបនឹងឈើរឹង។ ជាមួយនឹងអ្នកផលិតដែលចូលចិត្តបន្ទះ fiberboard ជាងជម្រើសផ្សេងទៀតដោយសារភាពងាយស្រួលនៃការគ្រប់គ្រងរបស់វា ដូចជាអត្ថប្រយោជន៍បច្ចេកទេសរបស់វាដែលត្រូវកិនដោយឧបករណ៍កុំព្យូទ័រ ក៏ជាហេតុផលមួយក្នុងចំណោមហេតុផលដែលទីផ្សារ fiberboard មាននិន្នាការបង្ហាញពីការកើនឡើង។

ទីផ្សារ fiberboard បង្ហាញពីសក្តានុពលដ៏សំខាន់ក្នុងការរីកលូតលាស់ជាលទ្ធផលដែលអ្នកផលិតជាច្រើនកំពុងធ្វើការឥតឈប់ឈរឆ្ពោះទៅរកការសម្រេចបាននូវល្បឿននេះដោយធ្វើអោយប្រសើរឡើងនូវសមត្ថភាពផលិតកម្ម fiberboard របស់ពួកគេ។ ឧស្សាហកម្មត្រូវបានត្រៀមខ្លួនដើម្បីមើលឃើញពីការរីកចម្រើនជាលំដាប់ដែលអាចនាំឱ្យមានទីផ្សារថាមពលនៅចុងបញ្ចប់នៃរយៈពេលព្យាករ។ ជាមួយនឹងអ្នកលេងទីផ្សារសំខាន់ៗក្នុងការពង្រីកផលប័ត្រផលិតផលរបស់ពួកគេនៅក្នុងទីផ្សារឈានមុខគេ និងតំបន់ដែលកំពុងរីកចម្រើន ទីផ្សារ fiberboard ទំនងជានឹងកើនឡើងនាពេលអនាគតដ៏ខ្លីខាងមុខនេះ។

ក្រុមហ៊ុនផលិតបន្ទះសរសៃអំបោះកំពុងផ្តោតលើការបង្កើនសមត្ថភាពផលិតផល និងណែនាំមុខងារថ្មីសម្រាប់សកម្មភាពផលិតកម្មថ្មី។ ពួកគេកំពុងដើរទៅមុខឥតឈប់ឈរ ដើម្បីចាប់យកវត្តមានជាសកលនៅក្នុងតំបន់ដែលរកកម្រៃបាន ដូចជាមជ្ឈិមបូព៌ា និងអាហ្វ្រិក និងអាស៊ីប៉ាស៊ីហ្វិកក្នុងប៉ុន្មានឆ្នាំខាងមុខនេះ។ ការកើនឡើងនៃនគរូបនីយកម្ម និងរបៀបរស់នៅដែលប្រសើរឡើងនៅក្នុងបណ្តាប្រទេសដែលកំពុងរីកចម្រើនទាំងនេះកំពុងបន្ថែមតម្រូវការក្តារសរសៃដែលប្រើសម្រាប់ផ្ទៃខាងក្នុងទំនើប និងបន្ទះក្តារ។

៤.២ ការប្រើប្រាស់តាមប្រភេទ

Fiberboard ដែលមានដង់ស៊ីតេខ្ពស់អាចប្រើប្រាស់បានច្រើនប្រភេទដូចមានរៀបរាប់ក្នុងតារាងទី១.២ (Suchsland & Woodson, 1987)។

តារាង ៤.១ បម្រើបម្រាស់របស់ក្តារដែលមានដង់ស៊ីតេខ្ពស់ (Hardboard)

Hardboard	ការប្រើប្រាស់
គ្រឿងសង្ហារឹម	ទូរដែលប្រើប្រាស់ក្នុងផ្ទះបាយ, ទូរសម្លៀកបំពាក់, តុការិយាល័យ, ឧបករណ៍ប្រើប្រាស់, តុ, គ្រែទារក
ការដឹកជញ្ជូន និង ការដឹកជញ្ជូនតាម	កេសឬឡាំងដាក់របស់, ប្រអប់, កុងទ័រន័រ, ឃ្លាំង

កប៉ាល់	
ការលក់ដូរ និង ការដាក់តាំងបង្ហាញ	ជើងទម្រ, សម្ភារៈដាក់តាំង, display booths, ប្រអប់ផលិតផល, គ្រឿងសម្គាល់ផ្សេងៗ, ជើងតាំងសម្ភារៈ, កេស,
សម្ភារៈការិយាល័យផ្សេងៗ	តុការិយាល័យ, ទូរដាក់ឯកសារក្តារខៀន

៤.៣ ទីផ្សារសំខាន់ៗ

ទំហំទីផ្សារ fiberboard ដង់ស៊ីតេមធ្យមសកលមានតម្លៃ 61.3 ពាន់លានដុល្លារក្នុងឆ្នាំ 2019 ហើយត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងកើនឡើងក្នុងអត្រាកំណើនប្រចាំឆ្នាំ (CAGR) 6.6% ចាប់ពីឆ្នាំ 2020 ដល់ឆ្នាំ 2027។ ការកើនឡើងនៃការប្រើប្រាស់ផលិតផលក្នុងគ្រឿងសង្ហារឹម និងសំណង់ត្រូវបានគេរំពឹងថានឹង ជំរុញតម្រូវការផលិតផលក្នុងរយៈពេលព្យាករណ៍។

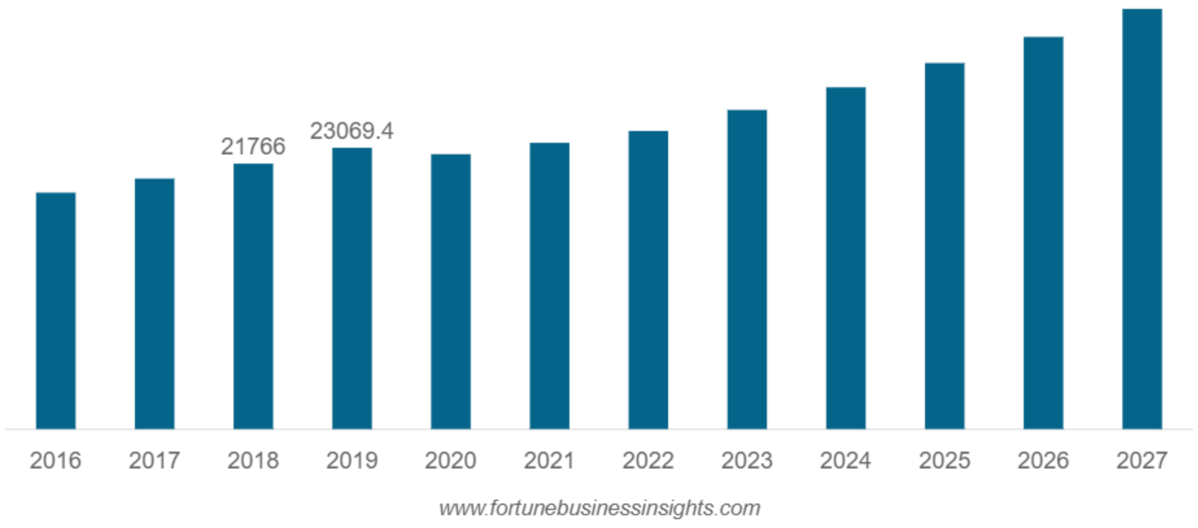
របាយការណ៍សង្ខេបតារាងមាតិកាការបែងចែកវិធីសាស្រ្តស្នើសុំច្បាប់ចម្លងគំរូឥតគិតថ្លៃ របាយការណ៍សង្ខេបទំហំទីផ្សារ fiberboard ដង់ស៊ីតេមធ្យមសកលមានតម្លៃ 61.3 ពាន់លានដុល្លារក្នុងឆ្នាំ 2019 ហើយត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងកើនឡើងក្នុងអត្រាកំណើនប្រចាំឆ្នាំ (CAGR) 6.6% ចាប់ពីឆ្នាំ 2020 ដល់ឆ្នាំ 2027។ ការកើនឡើងនៃការប្រើប្រាស់ផលិតផលក្នុងគ្រឿងសង្ហារឹម និងសំណង់ត្រូវបានគេរំពឹងថានឹង ជំរុញតម្រូវការផលិតផលក្នុងរយៈពេលព្យាករណ៍។

ទំហំទីផ្សារនៃបន្ទះសរសៃដង់ស៊ីតេមធ្យម (MDF) របស់សហរដ្ឋអាមេរិកដើម្បីស្វែងយល់បន្ថែមអំពីរបាយការណ៍នេះ សូមស្នើសុំច្បាប់ចម្លងគំរូដោយឥតគិតថ្លៃកំណើនសេដ្ឋកិច្ចជាប់លាប់រួមជាមួយនឹងអត្រាការប្រាក់ទាបបាននាំឱ្យមានការកើនឡើងនៃការអនុម័តគម្រោងសាងសង់នៅទូទាំងពិភពលោក។ ការពង្រីកហេដ្ឋារចនាសម្ព័ន្ធការិយាល័យដោយក្រុមហ៊ុននានាដើម្បីប្រកួតប្រជែងក្នុងទីផ្សារពិភពលោកកំពុងជំរុញឱ្យមានតម្រូវការគ្រឿងសង្ហារឹម និងសម្ភារៈរចនាខាងក្នុង ដោយហេតុនេះមានឥទ្ធិពលវិជ្ជមានទៅលើតម្រូវការផលិតផល។ នៅសហរដ្ឋអាមេរិក ទីផ្សារត្រូវបានគ្របដណ្តប់ដោយបន្ទះ fiberboard ដង់ស៊ីតេមធ្យមស្តង់ដារ (MDF) ដោយសារការប្រើប្រាស់យ៉ាងទូលំទូលាយរបស់វានៅក្នុងកម្មវិធីរចនាសម្ព័ន្ធ និងមិនមែនរចនាសម្ព័ន្ធនៅក្នុងឧស្សាហកម្មសំណង់។ លើសពីនេះ តម្លៃទាប និងភាពធន់ខ្ពស់ដែលទាក់ទងនឹងផលិតផល ត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងជំរុញឱ្យមានតម្រូវការសម្រាប់ MDF ស្តង់ដារ។

ការច្នៃប្រឌិតបច្ចេកទេស និងការកែលម្អនៅក្នុងដំណើរការផលិតបាននាំឱ្យការផលិតបន្ទះសរសៃអំបោះដែលមានដង់ស៊ីតេមធ្យម ជាមួយនឹងភាពធន់ល្អ និងអាយុកាលយូរអង្វែង។ បច្ចេកទេស adhesion ដ៏អស្ចារ្យជាមួយនឹងការប្រើប្រាស់ជ័រ formaldehyde ទាបដូចជា phenol-formaldehyde បានជំរុញការច្នៃប្រឌិតផលិតផលនៅក្នុងឧស្សាហកម្មនេះ។ ឧស្សាហកម្មបន្ទះសរសៃឈើដង់ស៊ីតេមធ្យមកំពុងផ្តោតយ៉ាងសកម្មលើការកាត់បន្ថយការពឹងផ្អែករបស់វាទៅលើសរសៃឈើដែលបានមកពីធម្មជាតិដែលជាប្រភពនៃវត្ថុធាតុដើម។ MDF ដែលត្រូវបានបោះចោល កាកអំពៅ និងអង្ករបានលេចចេញជាជម្រើសដែលអាចធ្វើទៅបាន។ ភាពជឿនលឿននៃបច្ចេកវិទ្យាឆ្ពោះទៅរកការប្រើប្រាស់វត្ថុធាតុដើមជំនួសទាំងនេះ ត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងកាត់បន្ថយថ្លៃដើមផលិតកម្ម និងកាត់បន្ថយការបោះជំហានបរិស្ថាននៃឧស្សាហកម្មទាំងមូល។

បន្ទះសរសៃអំបោះដង់ស៊ីតេមធ្យម គឺជាការជំនួសតម្លៃទាបសម្រាប់បន្ទះឈើធម្មជាតិ និងបន្ទះឈើ ដូចជាបន្ទះក្តារបន្ទះ និងបន្ទះខ្សែតម្រង់ទិស។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ វត្តមានរបស់ឧបករណ៍ជំនួសខាងក្រៅ រួមទាំងសមាសធាតុឈើ-ប្លាស្ទិក កញ្ចក់ និងជាតិសរសៃនៅក្នុងកម្មវិធីលំដាប់ខ្ពស់ ត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងរារាំងកំណើនឧស្សាហកម្ម។

Asia Pacific Medium-Density Fiberboard Market Size, 2016-2027 (USD Million)



នៅឆ្នាំ 2019 ផ្នែក MDF ស្តង់ដារមានចំណែកនៃប្រាក់ចំណូល 80.5% ហើយត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងបង្កើនល្បឿននៅ CAGR នៃ 6.4% ក្នុងរយៈពេលព្យាករណ៍។ ការកើនឡើងនៃការប្រើប្រាស់ផលិតផលនៅក្នុងឧស្សាហកម្មសំណង់ ក៏ដូចជាវិស័យផលិតគ្រឿងសង្ហារិម ត្រូវបានព្យាករណ៍ថាជាកត្តាចម្បងដែលជំរុញផ្នែកនេះ។

ស្តង់ដារ MDF មានសមត្ថភាពលាបពណ៌ ដើម្បីផ្តល់ឱ្យពួកគេនូវរូបរាងដូចឈើ ហើយអាចប្រើជំនួសឈើបាន។ ពួកគេមានតម្រូវការខ្ពស់នៅក្នុងឧស្សាហកម្មគ្រឿងសង្ហារឹមដោយសារតែការ

ចំណាយទាបរបស់ពួកគេ។ កត្តាដែលបានរៀបរាប់ខាងលើត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងជំរុញតម្រូវការសម្រាប់ MDFs ស្តង់ដារក្នុងអំឡុងពេលនៃការព្យាករណ៍។

MDFs ស្តង់ដារគឺងាយនឹងខូចខាតយ៉ាងខ្លាំងនៅពេលដែលប៉ះពាល់នឹងសំណើមឬសំណើម។ ជាលទ្ធផល ផលិតផលទាំងនេះមានកម្មវិធីកំណត់ក្នុងការកំណត់ខាងក្រៅ។ ដើម្បីជម្នះការខ្វះខាតនៃ MDF ស្តង់ដារនេះ អ្នកផលិតបានបង្កើត MDF ធន់នឹងសំណើម ដោយប្រើជ័រការពារសំណើម។

មានតម្រូវការកើនឡើងសម្រាប់គ្រឿងសង្ហារិម និងផលិតផលតុបតែងខាងក្នុងដែលវាយតម្លៃដោយអគ្គីភ័យ ដោយសារការកើនឡើងនៃការសង្កត់ធ្ងន់ទូទាំងពិភពលោកលើការកែលម្អសុវត្ថិភាពអគ្គីភ័យ និងកាត់បន្ថយការស្លាប់ដោយសារអគ្គីភ័យ។ ជាលទ្ធផលផ្នែក MDF ដែលធន់នឹងភ្លើងត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងធ្វើជាសាក្សីនៃ CAGR ដោយផ្អែកលើបរិមាណខ្ពស់បំផុតនៃ 6.8% រហូតដល់ឆ្នាំ 2027 ។

របាយការណ៍អំពីការគ្រប់ដណ្តប់ និងចែកចាយ

របាយការណ៍ PDF & ផ្ទាំងគ្រប់គ្រងលើអ៊ីនធឺណិតនឹងជួយអ្នកឱ្យយល់:

- ការវាយតម្លៃលក្ខណៈប្រកួតប្រជែង
- ទិន្នន័យប្រវត្តិសាស្រ្ត និងការព្យាករណ៍
- ភាគហ៊ុននៃប្រាក់ចំណូលរបស់ក្រុមហ៊ុន
- ឱកាសក្នុងតំបន់
- និន្នាការចុងក្រោយបំផុត និងថាមវន្ត
- ស្នើសុំច្បាប់ចម្លងគំរូដោយឥតគិតថ្លៃ
- បណ្ណាល័យធំ - BI បានបើកដំណើរការមូលដ្ឋានទិន្នន័យស្រាវជ្រាវទីផ្សារ

ប្រភេទ E1 MDF បាននាំមុខទីផ្សារ និងមានចំណែកច្រើនជាង 78.0% នៃប្រាក់ចំណូលសកលក្នុងឆ្នាំ 2019។E0 គឺជាប្រភេទបន្ទះសរសៃដង់ស៊ីតេមធ្យមដែលរីកលូតលាស់លឿនបំផុតនៅទូទាំងពិភពលោក។ ប្រភេទពិសេសនៃ fiberboard ដង់ស៊ីតេមធ្យមនេះត្រូវបានផលិតដោយប្រើជ័រ Polymeric Methylene Diphenyl Diisocyanate (polymeric MDI) ។ លើសពីនេះ បន្ទះសរសៃអំបោះដង់ស៊ីតេមធ្យម E0 ផ្តល់កម្រិតសូន្យនៃសារធាតុ formaldehyde ក្នុងអំឡុងពេលវដ្តជីវិតរបស់ផលិតផល។

ការអនុម័តបទដ្ឋាននៃការបំភាយ formaldehyde ដ៏តឹងរ៉ឹងនៅក្នុងប្រទេសដូចជាសហរដ្ឋអាមេរិក កាណាដា ជប៉ុន ដាណឺម៉ាក និងអូទ្រីស កំពុងបង្ហាញថាជាកត្តាចម្បងដែលជំរុញឱ្យមានតម្រូវការជាសកលសម្រាប់បន្ទះក្តារសរសៃដង់ស៊ីតេមធ្យម E0 ។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយ ផលិតផលនេះបានមើលឃើញពីកម្រិតនៃការជ្រៀតចូលទាបនៅក្នុងបណ្តាប្រទេសកំពុងរីកចម្រើនដូចជា ឥណ្ឌា ចិន ប្រេស៊ីល ដោយសារការចំណាយខ្ពស់ទាក់ទងនឹងវា។

បន្ទះសរសៃដង់ស៊ីតេមធ្យម E2 គឺជាប្រភេទបន្ទះសរសៃដង់ស៊ីតេមធ្យមធំជាងគេទីពីរ ដែលមានចំនួន 15.4% នៃប្រាក់ចំណូលទីផ្សារសរុបក្នុងឆ្នាំ 2019។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយ ផ្នែកនេះត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងមើលឃើញការថយចុះបន្តិចម្តងៗនៅក្នុងចំណែកទីផ្សាររបស់វាក្នុងរយៈពេលព្យាករណ៍ ដោយសារការបន្តការអនុម័ត។ បទដ្ឋាននៃការបំភាយ formaldehyde តឹងរ៉ឹង។

ទិដ្ឋភាពទូទៅទីផ្សារ Fiberboard ដង់ស៊ីតេមធ្យមសកល៖

បន្ទះសរសៃអំបោះដង់ស៊ីតេមធ្យម (MDF) ត្រូវបានផលិតដោយការបំបែកឈើទន់ និងសំណល់ឈើរឹងទៅជាសរសៃឈើ។ នេះត្រូវបានរួមបញ្ចូលគ្នាជាចម្បងដោយមានជំនួយពី defibrator ហើយបន្ទាប់មកសរសៃឈើត្រូវបានផ្សំជាមួយនឹងជ័រជ័រ & wax ហើយដោយមានជំនួយពីបន្ទះសម្ពាធខ្ពស់និងសីតុណ្ហភាពត្រូវបានបង្កើតឡើង។ នៅក្នុងការប្រៀបធៀបជាមួយនឹង plywood បន្ទះ fiberboard ដង់ស៊ីតេមធ្យមគឺ denser ។ MDF ត្រូវបានប្រើប្រាស់កាន់តែខ្លាំងឡើងនៅក្នុងសកម្មភាពសំណង់។

សក្តានុពលទីផ្សារ Fiberboard ដង់ស៊ីតេមធ្យមសកល៖

ឧស្សាហូបនីយកម្មយ៉ាងឆាប់រហ័សនៅក្នុងប្រទេសអភិវឌ្ឍន៍ និងអភិវឌ្ឍន៍ ហើយសកម្មភាពសំណង់ និងការកសាងឡើងវិញដែលកំពុងរីកចម្រើននៅទូទាំងពិភពលោក បណ្តាលឱ្យមានតម្រូវការកើនឡើងសម្រាប់ក្តារសរសៃដង់ស៊ីតេមធ្យម។ ទាំងនេះគឺជាកត្តាចម្បងដែលរំពឹងថានឹងជំរុញឱ្យមានការរីកលូតលាស់នៃទីផ្សារ fiberboard ដង់ស៊ីតេមធ្យមសកល។ លើសពីនេះ ការបង្កើនការអនុវត្តបន្ទះសរសៃអំបោះដង់ស៊ីតេមធ្យមក្នុងការផលិតគ្រឿងសង្ហារឹម ទ្វារ និងបន្ទះបង្អួច គឺជាកត្តាមួយផ្សេងទៀតដែលរំពឹងថានឹងជំរុញកំណើនទីផ្សារពិភពលោកក្នុងកម្រិតជាក់លាក់មួយ។

លើសពីនេះទៅទៀត ការបង្កើនតម្រូវការសម្រាប់បន្ទះសរសៃអំបោះដង់ស៊ីតេមធ្យមនៅក្នុងកម្មវិធីដ៏ធំទូលាយ ដោយសារលក្ខណៈសម្បត្តិផ្សេងៗដូចជាស្តេរភាព និងកម្លាំងដ៏ល្អឥតខ្ចោះ ធន់នឹងសីតុណ្ហភាពខ្ពស់ ធន់នឹងភ្លើង និងធន់នឹងសំណើម គឺជាកត្តាមួយផ្សេងទៀតដែលរំពឹងថានឹងគាំទ្រដល់កំណើននៃទីផ្សារបន្ទះសរសៃដង់ស៊ីតេមធ្យមសកល។ វិសាលភាពជាក់លាក់។

ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយ បទប្បញ្ញត្តិរបស់រដ្ឋាភិបាលដ៏តឹងរ៉ឹងទាក់ទងនឹងការប្រើប្រាស់ក្តារសរសៃដង់ស៊ីតេមធ្យមគឺជាកត្តាចម្បងដែលរំពឹងថានឹងកម្រិតកំណើននៃទីផ្សារបន្ទះសរសៃដង់ស៊ីតេមធ្យមសកលក្នុងកម្រិតជាក់លាក់មួយ។

ការបង្កើនការវិនិយោគដោយអ្នកលេងសំខាន់ៗសម្រាប់ភាពជឿនលឿនផ្នែកបច្ចេកវិទ្យា និងសកម្មភាពស្រាវជ្រាវ និងអភិវឌ្ឍន៍ និងការបង្កើនការផលិតផលិតផល MDF ដែលមិនប៉ះពាល់ដល់បរិស្ថាន ត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងបង្កើតឱកាសប្រាក់ចំណូលដ៏មានសក្តានុពលសម្រាប់អ្នកលេងដែលកំពុងប្រតិបត្តិការក្នុងទីផ្សារគោលដៅក្នុងរយៈពេលព្យាករណ៍។

ការវិភាគផ្នែក៖

នៅលើមូលដ្ឋាននៃប្រភេទទីផ្សារ fiberboard ដង់ស៊ីតេមធ្យមត្រូវបានចាត់ថ្នាក់ទៅជាធន់នឹងសំណើម ស្តង់ដារ និងធន់នឹងភ្លើង។ ផ្នែកស្តង់ដារត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងចុះបញ្ជីកំណើនគួរឱ្យកត់សម្គាល់ ដោយសារការកើនឡើងនៃតម្រូវការសម្រាប់ប្រភេទស្តង់ដារត្រូវបានរំពឹងទុកនៅក្នុងតំបន់អាស៊ីប៉ាស៊ីហ្វិក ជាពិសេសនៅក្នុងប្រទេសដែលមានសេដ្ឋកិច្ចកំពុងរីកចម្រើនដូចជាប្រទេសចិន និងឥណ្ឌា។ ដោយផ្អែកលើការអនុវត្ត ទីផ្សារបន្ទះសរសៃអំបោះដង់ស៊ីតេមធ្យមត្រូវបានបែងចែកទៅជាសម្ភារសំណង់ គ្រឿងសង្ហារឹម ការតុបតែងខាងក្នុង និងផ្សេងៗទៀត។

ការវិភាគតំបន់៖

អាមេរិកខាងជើងត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងគ្របដណ្តប់នៅក្នុងទីផ្សារ fiberboard ដង់ស៊ីតេមធ្យមជាសកលទាក់ទងនឹងប្រាក់ចំណូល ហើយត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងបន្តភាពលេចធ្លោរបស់ខ្លួនក្នុងរយៈពេលព្យាករណ៍។ ភាពលេចធ្លោអាចត្រូវបានគេសន្មតថាជាការកើនឡើងនៃតម្រូវការផ្នែកសំណង់ និងវត្តមានរបស់អ្នកលេងលេចធ្លោដែលកំពុងប្រតិបត្តិការនៅក្នុងប្រទេសនៅក្នុងតំបន់នេះ។ ទីផ្សារនៅអាស៊ីប៉ាស៊ីហ្វិកត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងឃើញកំណើនលឿនជាងមុន ដោយសារតែការបង្កើនប្រាក់ចំណូលរបស់អ្នកប្រើប្រាស់ រួមជាមួយនឹងការពង្រីកឧស្សាហកម្មជួសជុលលំនៅដ្ឋាន និងវត្តមានរបស់ក្រុមហ៊ុនផលិតធំៗដែលកំពុងប្រតិបត្តិការនៅក្នុងប្រទេសដែលមានសេដ្ឋកិច្ចកំពុងរីកចម្រើននៅក្នុងតំបន់នេះ។

ទីផ្សារនៅអាមេរិកឡាទីនត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងឃើញពីកំណើនមធ្យម ដោយសារកម្លាំងពលកម្មតម្លៃទាប ភាពងាយស្រួលនៃវត្ថុធាតុដើម និងការកើនឡើងនៃវត្តមានរបស់ក្រុមហ៊ុនផលិតធំៗនៅក្នុងប្រទេសកំពុងអភិវឌ្ឍន៍ដូចជាប្រេស៊ីល និងអាហ្សង់ទីននៅក្នុងតំបន់នេះ។ ទីផ្សារនៅអឺរ៉ុបត្រូវបានគេរំពឹងថានឹងរួមចំណែកចំណែកប្រាក់ចំណូលដ៏សំខាន់នៅក្នុងទីផ្សារពិភពលោក។

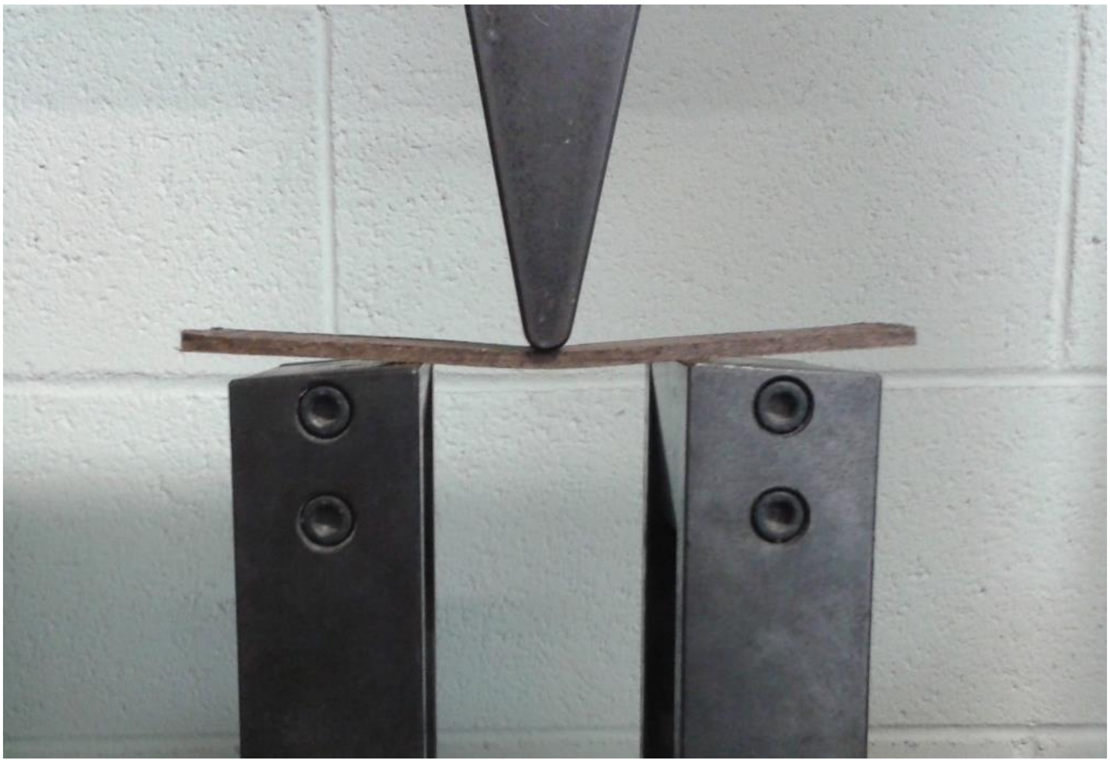
ជំពូកទី៥

ស្តង់ដានិងវិធីសាស្ត្រវិភាគគុណភាពផលិតផលក្តារបន្ទះ

៥.១ ការវិភាគលើភាពមាំនិងភាពយឺត

៥.១.១ គោលការណ៍វិភាគ

ការវិភាគលើគុណភាពរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះលើភាពមាំ (Modulus of Rupture- MoR) និងភាពយឺត (Modulus of Elasticity-MoE) ធ្វើឡើងដោយការប្រើកម្លាំងសង្កត់ចំកណ្តាលនៃផ្ទៃវត្ថុសំណាកវិភាគ ដែលមានចំណុចជ្រើទ្រចំនួន ២ (រូបភាព ៥.១)។ ភាពយឺតត្រូវបានគណនាដោយការប្រើជម្រាលនៃកំណោងរបស់វត្ថុសំណាក ដែលតម្លៃនៃការគណនាគឺជាភាពយឺតប៉ាន់ស្មាន មិនមែនជាភាពយឺតពិតប្រាកដនោះទេ ដោយសារវិធីសាស្ត្រវិភាគសំណាកវត្ថុក៏មានកម្លាំងសង្កត់ដូចគ្នាទៅនឹងការវិភាគគុណភាពលើភាពរឹងមាំផងដែរ។ ចំណែកឯការគណនាភាពរឹងមាំវិញ គឺគណនាដោយធ្វើការកំណត់លើសមាមាត្រនៃម៉ូម៉ង់ដែលបត់ M កម្លាំងសង្កត់អតិបរិមា F_{max} លើម៉ូម៉ង់នៃផ្នែកបាក់ទាំងស្រុង។



រូបភាព ៥.១ ចំណុចវិភាគដែលប្រើកម្លាំងសង្កត់ចំកណ្តាលវត្ថុសំណាក និងជើងទ្រចំនួនពីរ

៥.១.២ ឧបករណ៍វិភាគ

ឧបករណ៍សម្រាប់ប្រើប្រាស់ក្នុងការរៀបចំសំណាកសម្រាប់វិភាគ និងឧបករណ៍សម្រាប់វិភាគលើគុណភាពនៃភាពរឹងមាំនិងភាពយឺតនេះមានដូចជា៖

- ឧបករណ៍វាស់ទំហំនិងកម្រាស់វត្ថុសំណាក (រូបភាព ៥.២)
- ឧបករណ៍កាត់សំណាកសម្រាប់ទំហំ ៥០ ម.ម x ១៥០ ម.ម (ទទឹង x បណ្ដោយ)។ អាចប្រើរណាលើតុសម្រាប់ជាឧបករណ៍កាត់
- ឧបករណ៍វិភាគគុណភាព Dynamometer (រូបភាព ៥.៣)
- ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម (រូបភាព ៥.៤)

រូបភាព ៥.២ ឧបករណ៍វាស់កម្រាស់និងទំហំវត្ថុសំណាក (ម៉ែត្រកៀប)

រូបភាព ៥.៣ ឧបករណ៍ Dynamic mechanical analyzer

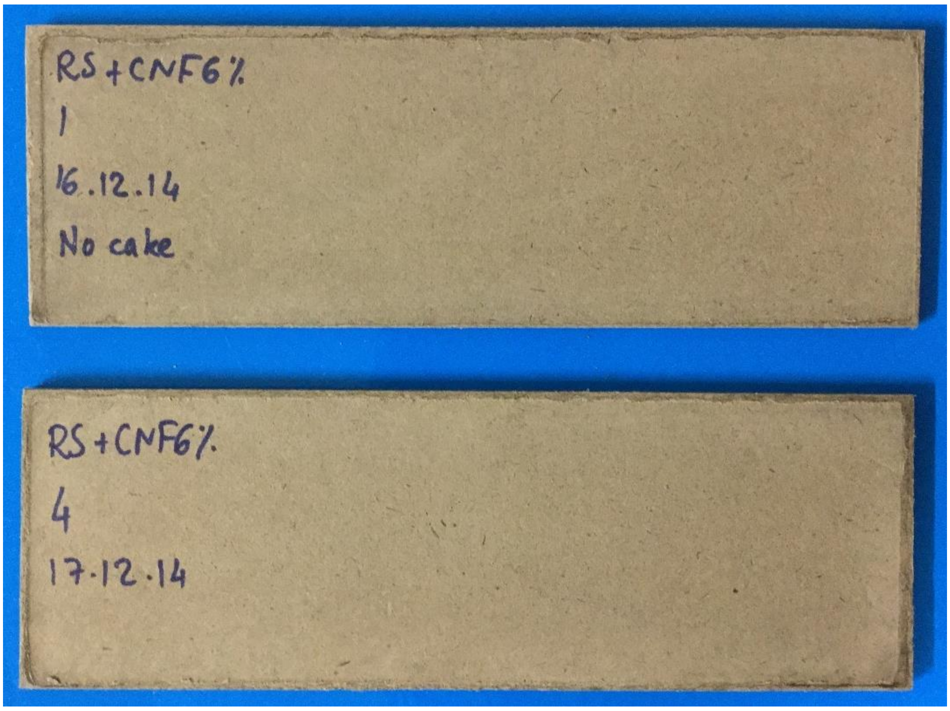
រូបភាព ៥.៤ ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម (Climatic chamber)

រូបភាព ៥.៥ រណាលើតុសម្រាប់កាត់វត្ថុសំណាក

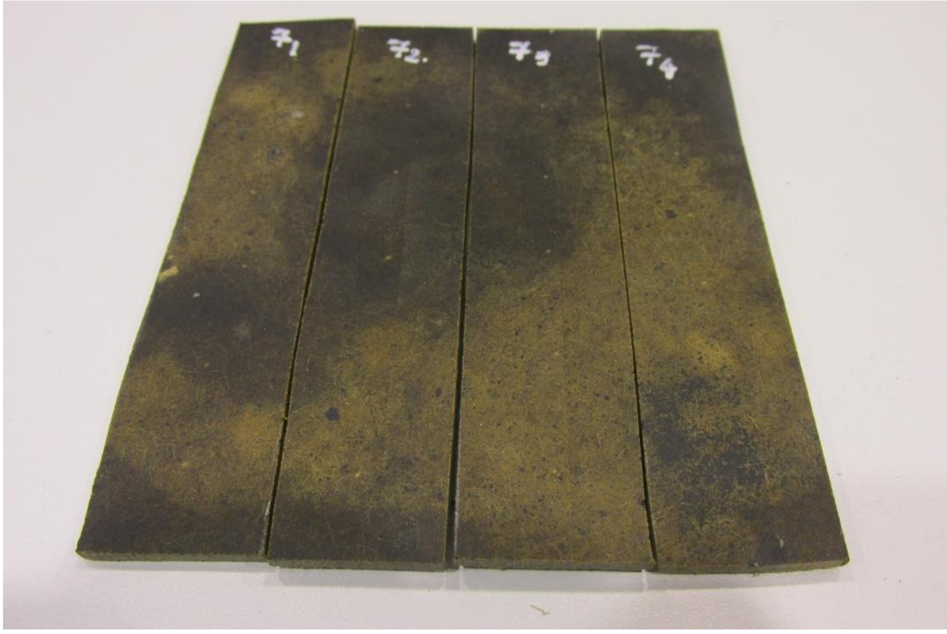
៥.១.៣ សំណាកវិភាគ

ក ការរៀបចំណាកវត្ថុវិភាគ

យោងតាមស្តង់ដារវិភាគរបស់សហគមន៍អឺរ៉ុប សំណាកវិភាគលើភាពមាំ និងភាពយឺតត្រូវមានទំហំតូចបំផុត ៥០ ម.ម x ១៥០ ម.ម (រូបភាព ៣.២០) ។ ដូចនេះ ប្រសិនបើវត្ថុសំណាកមានទំហំធំជាងនេះ គេអាចកាត់តាមទំហំនេះ (រូបភាព ៣.២១) ប៉ុន្តែបើតូចជាងនេះមិនអាចវិភាគតាមស្តង់ដារអឺរ៉ុបនេះបានទេ។ ការវាស់ត្រូវប្រើម៉ែត្រកៀបដែលមានកម្រិតលម្អៀង ± ០.០១ ម.ម ។ ការវាស់ទំហំគួរធ្វើចំនួន ៤ ចំណុចនៃបណ្តោយ ៣ ទៅ ៤ ចំណុចនៃទទឹង និង ៣ ទៅ ៤ ចំណុចនៃកម្រាស់ រួចវិភាគតម្លៃមធ្យម ដើម្បីកាត់បន្ថយកម្រិតលម្អៀង ដោយសារវត្ថុសំណាកដែលបានផលិតសម្រាប់ការពិសោធន៍ដែលមិនបានឆ្លងកាត់ឧបករណ៍ខាត់ឲ្យស្មើមិនមានភាពរាបស្មើគ្រប់ចំណុចនោះទេ ម្យ៉ាងទៀតការកាត់វត្ថុសំណាកក៏មិនអាចប្រាកដថាស្មើល្អឥតខ្ចោះនោះដែរ។



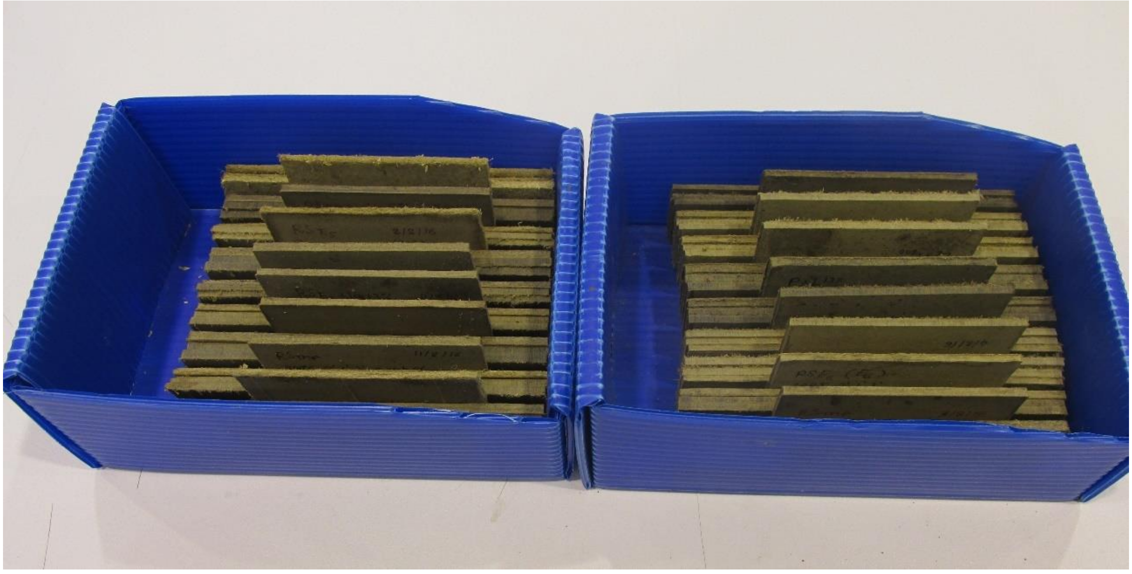
រូបភាព ៥.៥ សំណាកសម្រាប់វិភាគគុណភាពលើភាពមាំនិងភាពយឺតរបស់ផលិតផល



រូបភាព ៥.៦ សំណាកដែលមានកាត់រៀបចំសម្រាប់វិភាគគុណភាពលើភាពមាំនិងភាពយឺតរបស់ផលិតផល

ខ ការរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់របស់វត្ថុសំណាកមុនពេលវិភាគ

នៅមុនពេលវិភាគ វត្ថុសំណាកវិភាគត្រូវរក្សាទុកក្នុងទូរក្សាលក្ខណ្ឌបរិយាកាស (Climatic chamber) ដែលមានសំណើមធៀប ៦៥ ± ៥% និងសីតុណ្ហភាព ២០ ± ២ អង្សាសេ រយៈពេលយ៉ាងតិច ២៤ ម៉ោង។ ការរក្សាទុកនេះគឺធ្វើឡើងដើម្បីឲ្យម៉ាសរបស់វត្ថុសំណាកថេរ ឬ ខុសគ្នាមិនលើសពី ០.១%។



រូបភាព ៥.៧ វត្ថុសំណាកវិភាគរក្សាទុកសម្រាប់ការវិភាគ

៥.១.៤ ដំណើរការវិភាគ

នៅក្នុងដំណើរការនៃការវិភាគនេះ ត្រូវអនុវត្តតាមជំហានដូចខាងក្រោម៖

- វាស់និងកត់ត្រាទំហំនិងកម្រាស់វត្ថុសំណាកនីមួយៗឲ្យបានត្រឹមត្រូវនិងច្បាស់លាស់
- ដាក់វត្ថុសំណាកនៅលើជើងទម្ររបស់ឧបករណ៍ ដោយលៃយ៉ាងណាឲ្យវត្ថុសំណាកស្ថិតនៅចំកណ្តាលនៃឧបករណ៍
- ករណីប្រើប្រាស់ឧបករណ៍វិភាគ dynamic mechanical analyzer បើកដំណើរការកម្មវិធីវិភាគនៅលើកុំព្យូទ័រដែលភ្ជាប់ជាមួយនឹងឧបករណ៍វិភាគ បញ្ចូលទិន្នន័យទំហំ (ទទឹងនិងបណ្តោយ) និងកម្រាស់របស់វត្ថុសំណាក រួចចុចប៊ូតុងដំណើរការវិភាគ នោះឧបករណ៍នឹងចាប់ផ្តើមដំណើរការសង្កត់លើវត្ថុសំណាកវិភាគ រហូតដល់វត្ថុសំណាកបាក់ទើបឧបករណ៍សង្កត់ដកចេញវិញដោយស្វ័យប្រវត្តិ ហើយលទ្ធផលនៃភាពមាំនិងភាពយឺតក៏ត្រូវបានគណនាដោយស្វ័យប្រវត្តផងដែរ។
- បន្ទាប់ពីវិភាគរួច ត្រូវកត់ត្រាកម្លាំងសង្កត់អតិបរមាដែលបានប្រើ ដើម្បីអ្នកអាចគណនាបញ្ជាក់ដោយដៃតាមរយៈរូបមន្តខាងក្រោម។

ការគណនាលទ្ធផលវិភាគ

ចំពោះភាពរឹង ការគណនាលទ្ធផលវិភាគត្រូវប្រើរូបមន្ត៖

$$f_m = \frac{3F_{max}l}{2bt^2}$$

ដែល៖

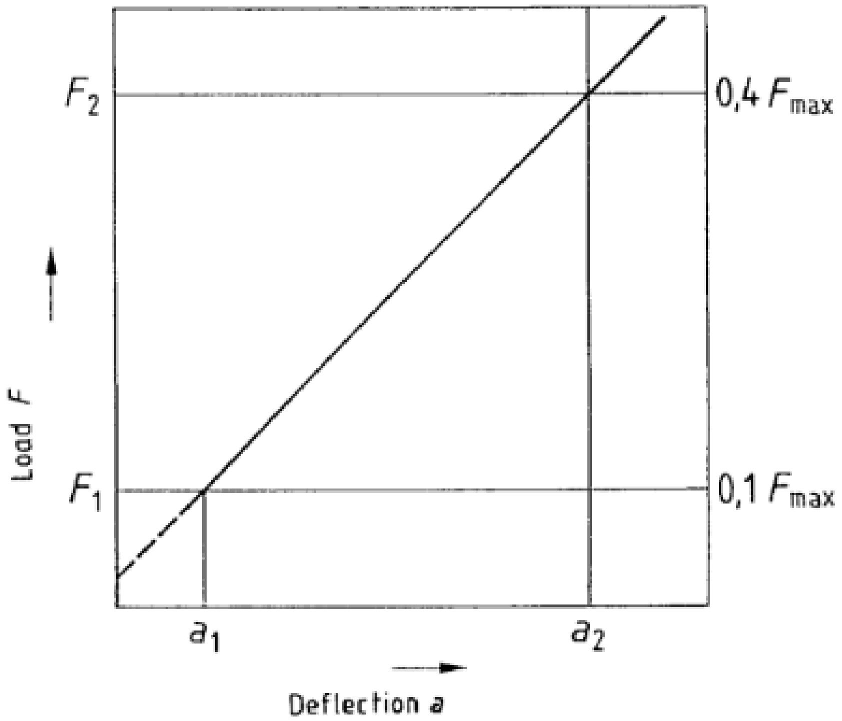
- f_m គឺជាភាពមាំដោយកម្លាំងសង្កត់ (N/mm² ឬ MPa)
- F_{max} គឺជាកម្លាំងសង្កត់អតិបរិមា (N)
- l គឺជាប្រវែងបណ្តោយវត្ថុសំណាក (ម.ម)
- b គឺជាតម្លៃទទឹងរបស់វត្ថុសំណាក (ម.ម)
- t គឺជាកម្រាស់របស់វត្ថុសំណាក (ម.ម)

ចំពោះភាពយឺត ការគណនាលទ្ធផលវិភាគត្រូវប្រើរូបមន្ត៖

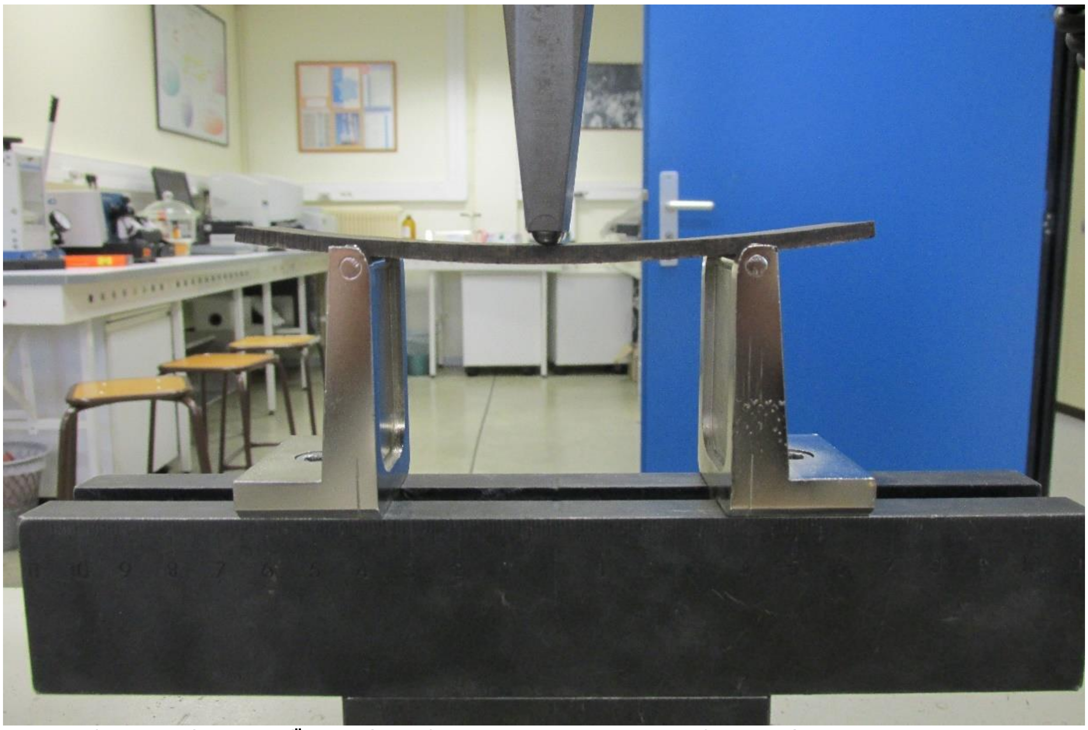
$$E_m = \frac{l^3(F_2 - F_1)}{4bt^3(a_2 - a_1)}$$

ដែល៖

- Em គឺជាភាពយឺតដោយកម្លាំងសង្កត់ (N/mm2 ឬ MPa)
- l គឺជាប្រវែងបណ្តោយវត្ថុសំណាក (ម.ម)
- b គឺជាតម្លៃទទឹងរបស់វត្ថុសំណាក (ម.ម)
- t គឺជាកម្រាស់របស់វត្ថុសំណាក (ម.ម)
- F2-F1 គឺជាកំណើននៃកម្លាំងដែលមាននៅលើខ្សែកោងនៃកម្លាំងដែលមានលើវត្ថុសំណាករហូតដល់វត្ថុសំណាកបាក់ (N)។ F1 គឺជាកម្លាំងដែលមានលើខ្សែកោងបន្ទាប់ពីចំណុចចាប់ផ្តើមបានប្រហែល ១០% ហើយ F2 គឺជាកម្លាំងដែលមានលើខ្សែកោងបន្ទាប់ពីចំណុចចាប់ផ្តើមប្រហែល ៤០%។
- a2 - a1 គឺជាកំណើននៃប្រវែងកោងនៅចំកណ្តាលនៃវត្ថុសំណាក។



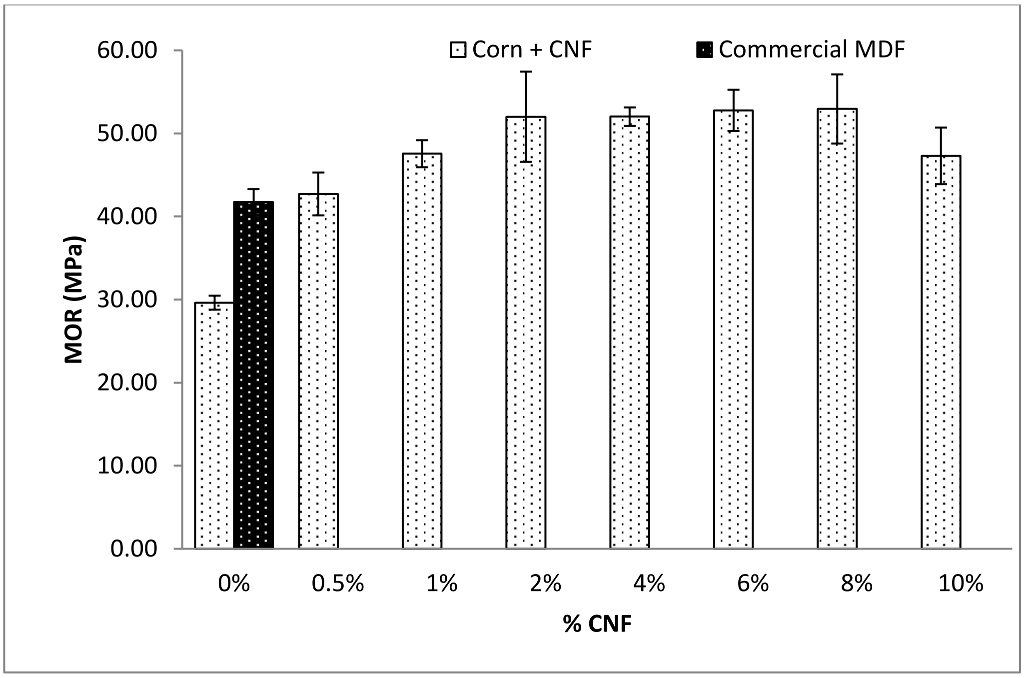
រូបភាព ៥.៨ ចំណុចកំណើននៃកម្លាំងសង្កត់និងប្រវែងកោងចំកណ្តាលវត្ថុសំណាកនៅ ១០% និង ៤០% បន្ទាប់ពីចំណុចចាប់ផ្តើម



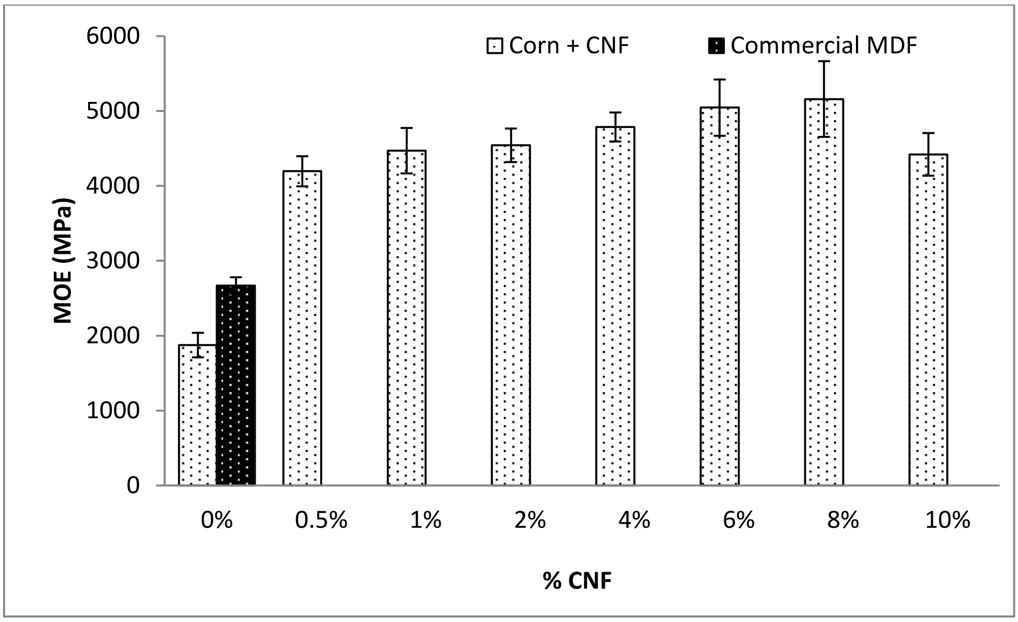
រូបភាព ៥.៩ កំណោងនិងភាពយឺតរបស់វត្ថុសំណាកដែលទទួលរងកម្លាំងសង្កត់

៥.១.៥ ការបង្ហាញលទ្ធផលវិភាគ

ឧទាហរណ៍ លទ្ធផលនៃការសិក្សាអំពីការផលិតក្ដារបន្ទះពីផាល់នៃដើមពោតដែលផលិតតាមបែបកម្ដៅនិងមេកានិច (Thermomechanical pulp) ជាមួយនឹងការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចផ្ទារនៅអត្រាផ្សេងៗគ្នា ធៀបជាមួយនឹងផលិតផលក្ដារបន្ទះដែលបានដាក់លក់នៅលើទីផ្សារ។ លទ្ធផលនេះមានបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៥.១ និង ក្រាហ្វិក ៥.២ និងការបកស្រាយលទ្ធផលវិភាគខាងក្រោម។



ក្រាហ្វិក ៥.១ លទ្ធផលនៃភាពមាំដោយកម្លាំងសង្កត់លើវត្ថុសំណាកផលិតផលក្ដារបន្ទះផលិតពីផាល់នៃដើមពោតសុទ្ធ ដើមពោតដែលមានបន្ថែមសារធាតុសរសៃតូចផ្ទារ (corn + %CNF) និងផលិតផលក្ដារបន្ទះលក់លើទីផ្សារ (Commercial MDF)



ក្រាហ្វិក ៥.២ លទ្ធផលនៃភាពយឺតដោយកម្លាំងសង្កត់លើវត្ថុសំណាកផលិតផលក្ដារបន្ទះផលិតពីផាល់នៃដើមពោតសុទ្ធ ដើមពោតដែលមានបន្ថែមសារជាតុសរសៃតូចឆ្មារ (corn + %CNF) និងផលិតផលក្ដារបន្ទះលក់លើទីផ្សារ (Commercial MDF)

យោងតាមអត្ថបទវិទ្យាសាស្ត្រមួយ (Teixei and Moslemi, 2001) បានបញ្ជាក់ថា សម្តែងកម្មដោយមេកានិចលើផលិតផលក្ដារបន្ទះជាធម្មតាត្រូវបានបញ្ជាក់តាមរយៈភាពមាំទប់ទល់នឹងកម្លាំងសង្កត់ (MOR) និងភាពយឺតរបស់ផលិតផលទប់ទល់នឹងកម្លាំងសង្កត់ (MOE)។ ដូចបានបង្ហាញនៅលទ្ធផលនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៥.១ និង ៥.២ ខាងលើ បានបង្ហាញថា ភាពមាំ និងភាពយឺតរបស់ផលិតផលក្ដារបន្ទះដែលបានផលិតពីផាល់នៃដើមពោតសុទ្ធ ដោយពុំមានបន្ថែមសារជាតុស្អិតសំយោគ ឬ ធម្មជាតិនោះ ភាពមាំ និងភាពយឺតរបស់វាមានប្រហែល ៣០ មេហ្គាប៉ាស្កាល់ (លើភាពមាំ) និង ១៨៧៤ មេហ្គាប៉ាស្កាល់ (លើភាពយឺត)។ តម្លៃដែលទទួលបាននេះទាបជាងតម្លៃដែលទទួលបានសម្រាប់ផលិតផលក្ដារបន្ទះដែលបានដាក់លក់លើទីផ្សារ ប៉ុន្តែខ្ពស់ជាងលទ្ធផលដែលទទួលបានសម្រាប់ផលិតផលក្ដារបន្ទះដែលបានផលិតឡើងដោយប្រើប្រាស់ផាល់នៃវត្ថុធាតុដើមផ្សេងៗទៀតនៃ អ្នកស្រាវជ្រាវមុនៗមកមួយចំនួន។

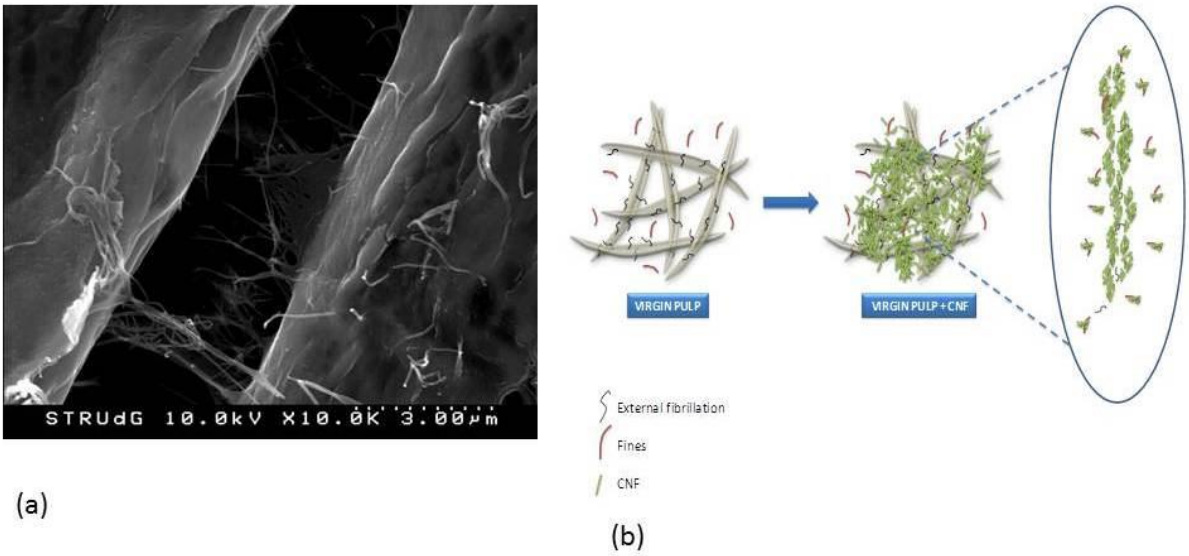
តាមលទ្ធផលដែលទទួលបាននិងបានបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៤.១ និង ៤.២ ខាងលើ យើងសង្កេតឃើញថា ការដាក់បន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារទៅលើផាល់នៃដើមពោតបានបង្កើននូវភាពរឹងមាំនិងភាពយឺតរបស់ផលិតផលក្ដារបន្ទះ ប៉ុន្តែមិនមានន័យថា ការបន្ថែមកាន់តែច្រើន ធ្វើឲ្យភាពមាំនិងភាពយឺតរបស់វាកាន់តែកើនឡើងដែរនោះទេ ពោលគឺអត្រានៃការបន្ថែមមានចំនួនកំណត់។ ជាលទ្ធផល ការដាក់បន្ថែមត្រឹមតែ ០.៥% នៃសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារទៅលើផាល់នៃដើមពោត ១០០% លទ្ធផលនៃសម្តែងកម្មដោយមេកានិចទាំងពីរនេះទទួលបានប្រហាក់ប្រហែលគ្នាទៅនឹងផលិតផលក្ដារបន្ទះដែលបានដាក់លក់នៅលើទីផ្សារដែរ។ លទ្ធផលសម្តែងកម្មដោយមេកានិចដែលទទួលបានខ្ពស់ជាងគេបំផុតលើវត្ថុសំណាកផលិតផលក្ដារបន្ទះដែលបានបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូ

សត្វចថ្នារ ៨% រហូតដល់ ៥៣ មេហ្គាប៉ាស្កាល់ សម្រាប់ភាពមាំ និង ៥១៦០ មេហ្គាប៉ាស្កាល់ សម្រាប់ភាពយឺត។ ការកើនឡើងលើប៉ារ៉ាម៉ែត្រសម្តែងកម្មដោយមេកានិចទាំងពីរនេះ តាមរយៈការដាក់បន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចថ្នារលើផាល់នៃដើមពោតបណ្តាលមកពីកត្តារួមផ្សំជាច្រើនរួមមាន៖

- លក្ខណៈភាពមាំនៃសម្តែងកម្មដោយមេកានិចរបស់សរសៃសែលលុយឡូសតូចថ្នារ
- ការពង្រីកផ្ទៃរាបដាក់លាក់និងសម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែន
- ការកាត់បន្ថយរន្ធ ឬ ប្រហោងចន្លោះសរសៃតាមការកៀបសរសៃឲ្យណែនជាប់គ្នានិងការបញ្ជ្រៀតចូលនៃសរសៃសែលលុយឡូសតូចថ្នារទៅក្នុងសរសៃផាល់នៃដើមពោត
- ភាពអូម៉ូសែននៃការបែងចែកសរសៃនៃផាល់និងសរសៃសែលលុយឡូសតូចថ្នារ (Alcalá et al., 2013; Delgado-Aguilar et al., 2015)។

អន្តរអំពើរវាងសរសៃនៃផាល់និងសរសៃសែលលុយឡូសតូចថ្នារអាចមើលឃើញតាមរយៈការថតលក្ខណៈដោយមីក្រូទស្សន៍និងការគូរជារូបគំនូរនៃសកម្មភាពនេះ (រូបភាព ៣.២៥)។ប៉ុន្តែការបន្ថែមដល់ ១០% ធ្វើឲ្យគុណភាពរបស់វាធ្លាក់ចុះវិញ។ ម្យ៉ាងទៀត ការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចថ្នាររហូតដល់ ៨% ទទួលបានលទ្ធផលសម្តែងកម្មដោយមេកានិចទាំងនេះមិនខុសគ្នាជាអត្ថន័យធៀបជាមួយនឹងការបន្ថែមនៅអត្រា ២% នោះទេ។ លទ្ធផលទាំងនេះអាចបណ្តាលមកពី៖

- ភាពឆ្អែតនៃសរសៃសែលលុយឡូសតូចថ្នារដែលបានដាក់បន្ថែមជ្រៀតចូលទៅក្នុងសរសៃនៃផាល់។
- សរសៃនៃសែលលុយឡូសតូចថ្នារមិនអាចរំលាយសព្វក្នុងផាល់ នៅដំណាក់កាលរៀបចំ។ ការបន្ថែមបរិមាណសរសៃសែលលុយឡូសតូចថ្នារកាន់តែច្រើន ការច្រោះទឹកចេញកាន់តែលំបាកនិងចំណាយពេលច្រើន រហូតដល់ស្ទើរលែងច្រោះទឹកទាំងស្រុងនៅអត្រា ១០% បើទោះបីជាបានខិតខំប្រើសម្ពាធបឺតទឹកយ៉ាងណាក៏ដោយ។



(a) (b)

រូបភាព ៥.១០ ការបង្ហាញអំពីការចាប់ភ្ជាប់នៃសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារទៅនឹងសរសៃនៃផាល់ ផលិតពីដើមពោត

៥.២ ការវិភាគលើការចងសម្ព័ន្ធសាច់ក្នុងក្ដារបន្ទះ (Internal Bonding / Tensile Strength Perpendicular Test)

៥.២.១ គោលការណ៍វិភាគ

ការវិភាគលើការចងសម្ព័ន្ធសាច់ក្នុងរបស់ផលិតផលក្ដារបន្ទះ ឬ ភាពរឹងមាំដោយការទាញហែក គឺជាការវិភាគលើភាពធន់ទៅនឹងការទាញហែកនៃផ្ទៃសាច់របស់ផលិតផលក្ដារបន្ទះ។ វាត្រូវបានកំណត់ដោយកម្លាំងផ្ទុកអតិបរិមាលើផ្ទៃរាបនៃវត្ថុសំណាកវិភាគ។

៥.២.២ ឧបករណ៍វិភាគ

ឧបករណ៍សម្រាប់ប្រើប្រាស់ក្នុងការរៀបចំសំណាកសម្រាប់វិភាគ និងឧបករណ៍សម្រាប់វិភាគលើការចងសម្ព័ន្ធសាច់ក្នុងរបស់ផលិតផល ឬ ភាពរឹងមាំរបស់ផលិតផលធន់ទៅនឹងការទាញហែក នេះមានដូចជា៖

- ឧបករណ៍វាស់ទំហំនិងកម្រាស់វត្ថុសំណាក (រូបភាព ៥.១១)
- ឧបករណ៍កាត់សំណាកសម្រាប់ទំហំ ៥០ ម.ម x ១៥០ ម.ម (ទទឹង x បណ្ដោយ)។ អាចប្រើរណារលើតុសម្រាប់ជាឧបករណ៍កាត់
- ឧបករណ៍វិភាគគុណភាព Dynamic mechanical analyzer (រូបភាព ៥.១២)

- ឧបករណ៍សម្រាប់ចាប់ទប់សំណាក (clump) (រូបភាព ៥.១៣)
- ដុំឈើសម្រាប់បិទភ្ជាប់វត្ថុសំណាកនិងឧបករណ៍សម្រាប់ចាប់ទប់សំណាកវិភាគ (រូបភាព ៥.១៤)
- ដង្កៀបសម្រាប់ចាប់សំណាកនៅពេលបិទជ័រភ្ជាប់វត្ថុសំណាកទៅនឹងដុំឈើ (រូបភាព ៥.១៥)
- ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម (រូបភាព ៥.១៦)

រូបភាព ៥.១១ ឧបករណ៍វាស់កម្រាស់និងទំហំវត្ថុសំណាក (ម៉ែត្រកៀប)

រូបភាព ៥.១២ ឧបករណ៍ Dynamic mechanical analyzer

រូបភាព ៥.១៣ Clump សម្រាប់ចាប់ទប់វត្ថុសំណាកវិភាគលើការចងសម្ព័ន្ធសាច់ក្នុងរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះ

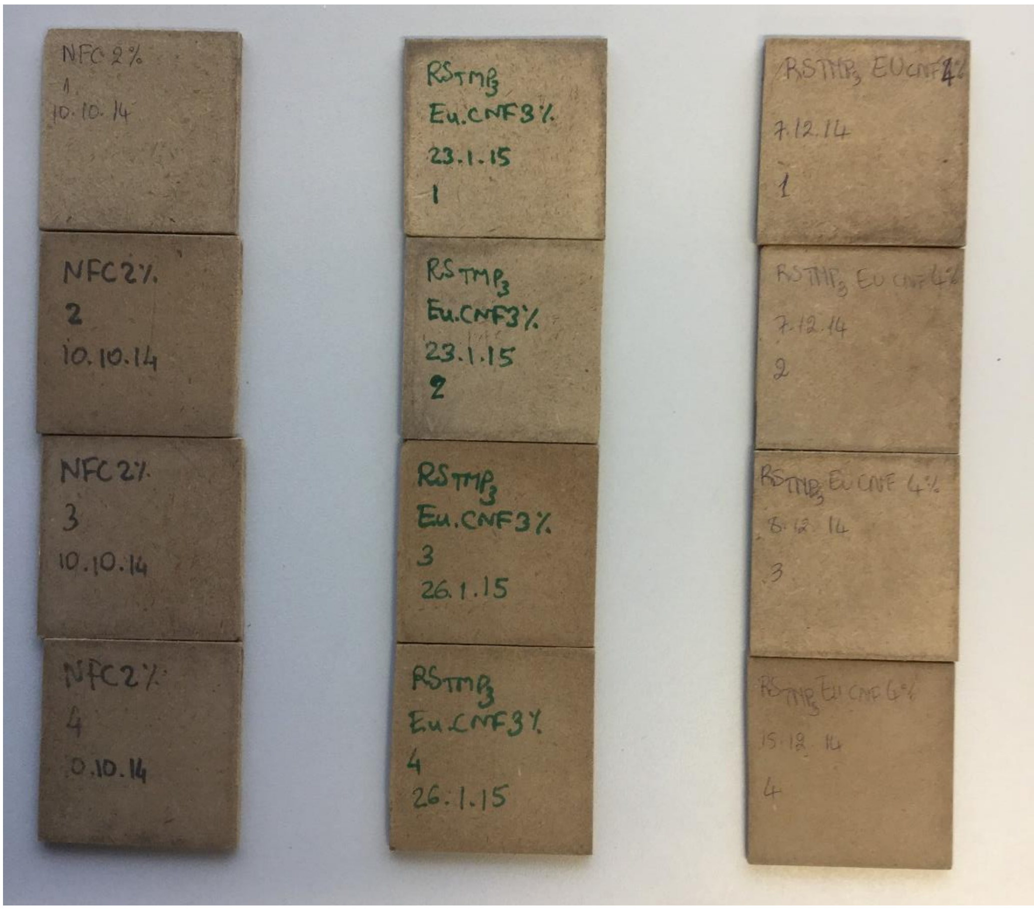
រូបភាព ៥.១៥ ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម (Climatic chamber)

រូបភាព ៥.១៦ រណាលើតុសម្រាប់កាត់វត្ថុសំណាក

៥.២.៣ សំណាកវិភាគ

ការវាស់កម្រាស់និងទំហំវត្ថុសំណាក

វត្ថុសំណាកនីមួយៗត្រូវបានវាស់កម្រាស់ បណ្តោយ និងទទឹងនៅមុនពេលបិទភ្ជាប់ជាមួយនឹងដុំឈើ សម្រាប់រៀបចំដាក់វិភាគ។ ការវាស់ត្រូវប្រើម៉ែត្រកៀបដែលមានកម្រិតលម្អៀង ± 0.0១ ម.ម ។ ការវាស់ទំហំនិងកម្រាស់គួរធ្វើចំនួន ៣ ទៅ ៤ ចំណុចនៃបណ្តោយ ៣ទៅ៤ចំណុចនៃទទឹង និង ៣ ទៅ ៤ ចំណុចនៃកម្រាស់ រួចវិភាគតម្លៃមធ្យម ដើម្បីកាត់បន្ថយកម្រិតលម្អៀង ដោយសារវត្ថុសំណាកដែលបានផលិតសម្រាប់ការពិសោធន៍ដែលមិនបានឆ្លងកាត់ឧបករណ៍ខាត់ឲ្យស្មើមិនមានភាពរាបស្មើគ្រប់ចំណុចនោះទេ ម្យ៉ាងទៀតការកាត់វត្ថុសំណាកក៏មិនអាចប្រាកដថាស្មើល្អឥតខ្ចោះនោះដែរ។

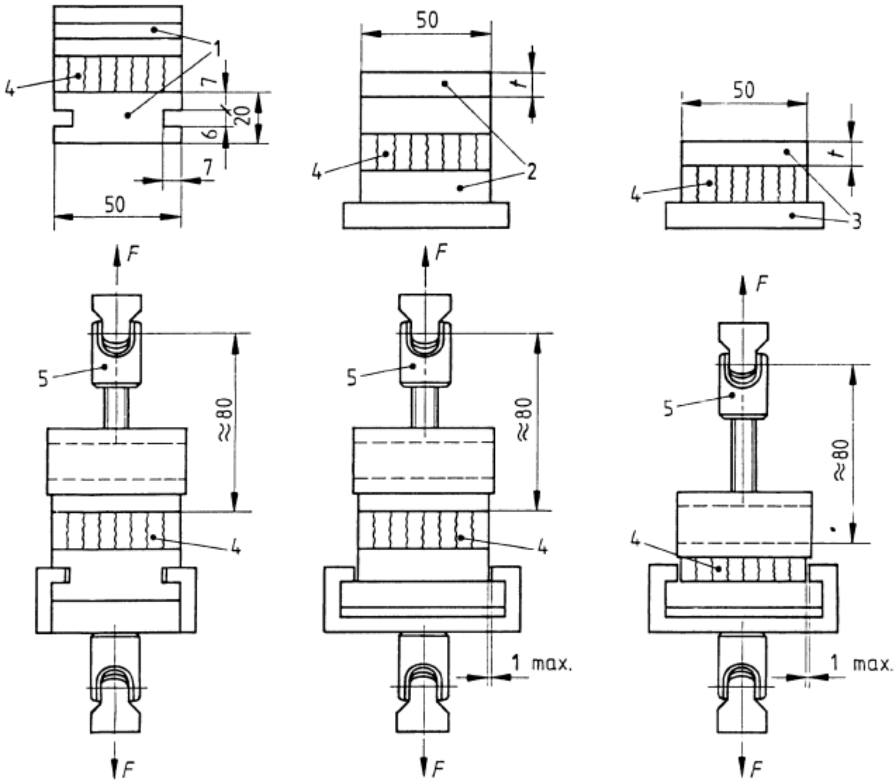


រូបភាព ៥.១៧ វត្ថុសំណាករៀបចំសម្រាប់វិភាគលើការចងសម្ព័ន្ធសាច់ក្នុងរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះ

រូបភាព ៥.១៨ ការរៀបចំបិទជ័រវត្ថុសំណាកភ្ជាប់ជាមួយដុំឈើ

រូបភាព ៥.១៩ ការរៀបចំដុំឈើដែលបានបិទភ្ជាប់ជាមួយវត្ថុសំណាករួចសម្រាប់ទុកក្នុងទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសនិងទុកឲ្យជ័ររឹងជាប់ល្អ

រូបភាព ៥.២០ ការរក្សាទុកវត្ថុសំណាកក្នុងទូររក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាស



រូបភាព ៥.២១ ការរៀបចំវត្ថុសំណាកភ្ជាប់ជាមួយ clump

រូបភាព ៥.២២ វត្ថុសំណាកដែលបានចាប់ភ្ជាប់ជាមួយ clump សម្រាប់ដំណើរការវិភាគ

រូបភាព ៥.២៣ វត្ថុសំណាកបន្ទាប់ពីវិភាគរួច

៥.២.៤ ដំណើរការវិភាគ

នៅក្នុងដំណើរការនៃការវិភាគនេះ ត្រូវអនុវត្តតាមជំហានដូចខាងក្រោម៖

- វាស់និងកត់ត្រាទំហំនិងកម្រាស់វត្ថុសំណាកនីមួយៗឲ្យបានត្រឹមត្រូវនិងច្បាស់លាស់
- រក្សាទុកវត្ថុសំណាកក្នុងទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសនៃសីតុណ្ហភាពនិងសំណើមធៀបបន្ទប់
- រៀបចំដុំឈើតាមទំហំសំណាកនិង clump សម្រាប់បិទភ្ជាប់សំណាកនិង clump
- បិទភ្ជាប់វត្ថុសំណាកទៅនឹងដុំឈើដែលបានរៀបចំរួច ដោយប្រើជ័រការដែលស្អិតជាប់ល្អ
- ប្រើដង្កៀបកៀបដុំឈើដែលបានបិទភ្ជាប់វត្ថុសំណាករួចដើម្បីឲ្យវត្ថុសំណាកនិងដុំឈើស្អិតជាប់គ្នាល្អនិងរឹងមាំ
- យកវត្ថុសំណាកដែលបានកៀបដង្កៀបរួច រក្សាទុកក្នុងទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាស រយៈពេល ៤៨ ទៅ ៧២ ម៉ោង
- ចាប់វត្ថុសំណាកជាមួយនឹង clump ដែលបានបំពាក់ជាមួយនឹងឧបករណ៍វិភាគ Dynamic mechanical analyzer រួចរាល់
- បើកដំណើរការកម្មវិធីវិភាគនៅលើកុំព្យូទ័រដែលភ្ជាប់ជាមួយនឹងឧបករណ៍វិភាគ បញ្ចូលទិន្នន័យទំហំ (ទទឹងនិងបណ្តោយ) និងកម្រាស់របស់វត្ថុសំណាក រួចចុចប៊ូតុងដំណើរការវិភាគ នោះឧបករណ៍នឹងចាប់ផ្តើមដំណើរការសង្កត់លើវត្ថុសំណាកវិភាគ រហូតដល់វត្ថុសំណាកបែកដាច់ចេញពីគ្នារវាង clump ខាងលើ និងខាងក្រោម ហើយលទ្ធផល ត្រូវបានគណនាដោយស្វ័យប្រវត្តិ ។
- បន្ទាប់ពីវិភាគរួច ត្រូវកត់ត្រាកម្លាំងទាញអតិបរមាដែលបានប្រើ ដើម្បីអ្នកអាចគណនាបញ្ជាក់ដោយដៃតាមរយៈរូបមន្តខាងក្រោម

$$f_{t\perp} = \frac{3F_{max}}{a \times b}$$

ដែល៖

- ft⊥ គឺជាភាពមាំដោយកម្លាំងទាញបំបែក (N/mm2 ឬ MPa)

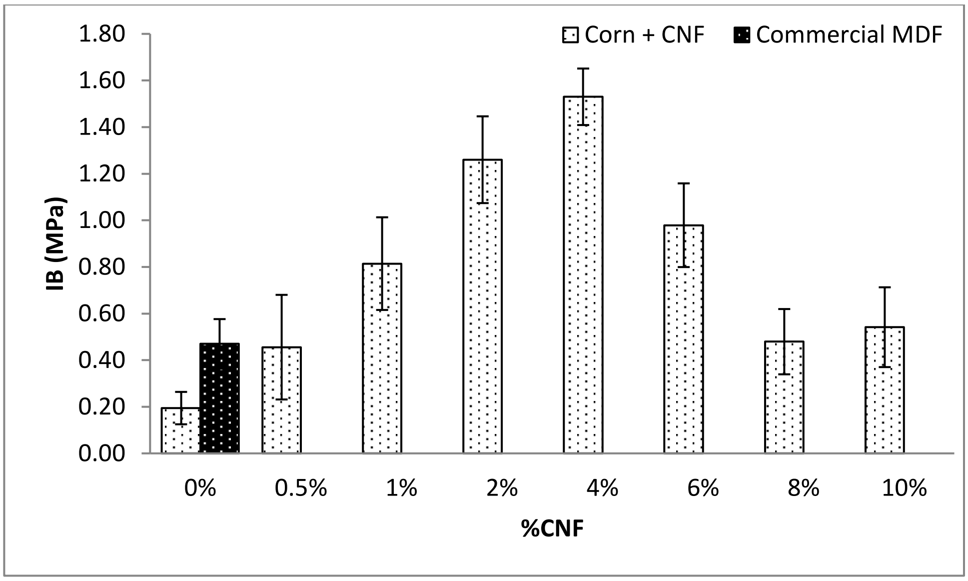
– Fmax គឺជាកម្លាំងទាញបំបែកអតិបរិមា (N)

– a គឺជាប្រវែងបណ្តោយវត្ថុសំណាក (ម.ម)

– b គឺជាប្រវែងទទឹងរបស់វត្ថុសំណាក (ម.ម)

៥.២.៥ ការបង្ហាញលទ្ធផលវិភាគ

ឧទាហរណ៍ លទ្ធផលនៃការសិក្សាអំពីការផលិតក្តារបន្ទះពីផាល់នៃដើមពោតដែលផលិតតាមបែបកម្តៅនិងមេកានិច (Thermomechanical pulp) ជាមួយនឹងការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារនៅអត្រាផ្សេងៗគ្នា ធៀបជាមួយនឹងផលិតផលក្តារបន្ទះដែលបានដាក់លក់នៅលើទីផ្សារ។ លទ្ធផលនេះមានបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៥.៣ និងការបកស្រាយលទ្ធផលវិភាគខាងក្រោម។



ក្រាហ្វិក ៥.៣ សម្តែងកម្មដោយមេកានិចលើភាពមាំធន់ទៅនឹងការទាញបំបែក លើវត្ថុសំណាកផលិតផលក្តារបន្ទះផលិតពីផាល់នៃដើមពោតសុទ្ធ ដើមពោតដែលមានបន្ថែមសារជាតុសរសៃតូចឆ្មារ (corn + %CNF) និងផលិតផលក្តារបន្ទះលក់លើទីផ្សារ (Commercial MDF)

សម្តែងកម្មដោយមេកានិចលើភាពមាំរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះធន់ទៅនឹងកម្លាំងទាញបំបែក ឬការបង្ហាញអំពីការចងសម្ព័ន្ធនៃសរសៃរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះសំដៅទៅលើការចងសម្ព័ន្ធរវាងសរសៃនិងសរសៃរបស់វត្ថុធាតុដែលបានប្រើសម្រាប់ផលិតជាផលិតផលក្តារបន្ទះនេះ (Mancera et al., 2012)។ លទ្ធផលដែលទទួលបានពីការសិក្សាស្រាវជ្រាវលើផលិតផលក្តារបន្ទះផលិតពីផាល់នៃដើមពោតដែលបានផលិតតាមវិធីសាស្ត្រកម្តៅនិងមេកានិច (TMP) ជាមួយនឹងការដាក់បន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារកម្រិតពី 0% ទៅ ១០% ធៀបជាមួយនឹងផលិតផលក្តារបន្ទះដែលបានដាក់លក់នៅលើទីផ្សារស្រដៀងគ្នាទៅនឹងលទ្ធផលនៃការវិភាគសម្តែងកម្មដោយមេកានិចលើភាពមាំនិងភាពយឺត

ខាងលើផងដែរ។ តាមលទ្ធផលបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៥.៣ ខាងលើ ភាពមាំធន់ទៅនឹងកម្លាំងទាញរបស់ផលិតផលដែលបានដាក់លក់លើទីផ្សារ ទទួលបានប្រហែល ០.៤៧ មេហ្គាប៉ាស្កាល់ ខ្ពស់ជាងផលិតផលក្តារបន្ទះដែលបានផលិតផលពីផាល់នៃដើមពោតដោយមិនមានបន្ថែមជាតិស្អិត ឬ ជ័រការដែលបានទទួលត្រឹមតែប្រហែល ០.១៩ មេហ្គាប៉ាស្កាល់ប៉ុណ្ណោះ។ ប៉ុន្តែនៅពេលបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារ ០.៥% ទៅលើសរសៃនៃផាល់ ១០០% នោះភាពមាំធន់ទៅនឹងកម្លាំងទាញរបស់វត្ថុសំណាកទទួលបានស្មើគ្នាទៅនឹងផលិតផលដែលបានដាក់លក់នៅលើទីផ្សារដែរ។ ហើយនៅពេលដាក់បន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មាររហូតដល់ ៤% ភាពមាំបានកើនឡើងរហូតដល់ ១.៥៣ មេហ្គាប៉ាស្កាល់ ដែលជាសមាមាត្រខ្ពស់បំផុតសម្រាប់ការដាក់បន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារលើសរសៃផាល់ផលិតពីដើមពោត។ លទ្ធផលទទួលបាននេះស្រដៀងគ្នាទៅនឹងការរកឃើញនៅក្នុងអត្ថបទស្រាវជ្រាវស្រដៀងគ្នាផ្សេងៗទៀតផងដែរ (Halvarsson et al., 2009; Kargarfard & Jahan-Latibari, 2011; Quintana et al., 200; Velásquez et al., 2003)។

៥.៣ ការវិភាគលើការរីកមាឌ

៥.៣.១ គោលការណ៍វិភាគ

ការវិភាគលើការរីកមាឌនេះធ្វើឡើងដើម្បីវាស់លើការកើនឡើងនៃកម្រាស់បន្ទាប់ពីការត្រាំទឹក រយៈពេល ២៤ ម៉ោង។

រូបភាព ៥.២៤ វត្ថុសំណាកនៅពេលចាប់ផ្តើមដាក់ត្រាំទឹក

រូបភាព ៥.២៥ វត្ថុសំណាកបន្ទាប់ពីត្រាំទឹករយៈពេល ២៤ ម៉ោង

រូបភាព ៥.២៦ ការរីកកម្រាស់នៃវត្ថុសំណាកបន្ទាប់ពីត្រាំទឹករយៈពេល ២៤ ម៉ោង

៥.៣.២ ឧបករណ៍វិភាគ

ឧបករណ៍សម្រាប់ប្រើប្រាស់ក្នុងការរៀបចំសំណាកសម្រាប់វិភាគ និងឧបករណ៍សម្រាប់វិភាគលើការរីកមាឌ មានដូចជា៖

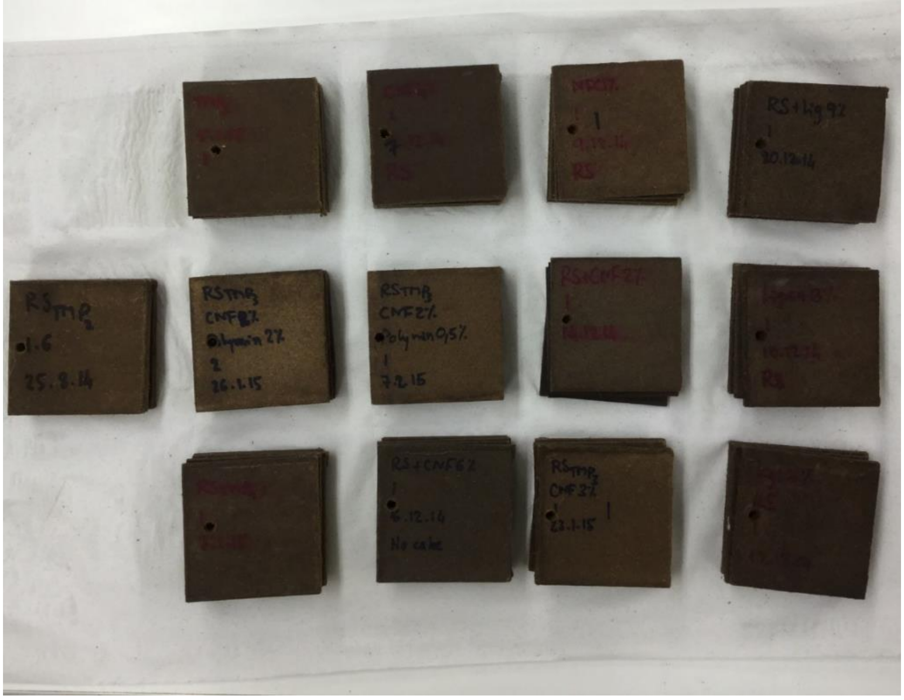
- ឧបករណ៍វាស់ទំហំនិងកម្រាស់វត្ថុសំណាក (រូបភាព ៣.១៧)
- ឧបករណ៍កាត់សំណាកសម្រាប់ទំហំ ៥០ ម.ម x ១៥០ ម.ម (ទទឹង x បណ្តោយ)។ អាចប្រើរណាលើតុសម្រាប់ជាឧបករណ៍កាត់
- ចានសម្រាប់ដាក់វត្ថុសំណាកត្រាំទឹក (រូបភាព ៣.១៨)
- ទឹកបិត

– ទូរក្បាលក្នខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម (រូបភាព ៣.១៩)

រូបភាព ៥.២៧ ឧបករណ៍វាស់កម្រាស់និងទំហំវត្ថុសំណាក (ម៉ែត្រកៀប)

រូបភាព ៥.២៨ ចានដាក់សំណាកសម្រាប់ត្រាំទឹក

រូបភាព ៥.២៩ ខ្សែចងវត្ថុសំណាកសម្រាប់ដាក់វត្ថុសំណាកត្រាំក្នុងចានដែលមានទឹកបិត



រូបភាព ៥.៣០ ក្រដាសអនាម័យសម្រាប់ផ្លិតទឹកចេញពីវត្ថុសំណាកបន្ទាប់ពីស្រង់វត្ថុសំណាកចេញពីទឹក និង មុនពេលវាស់ទំហំនិងកម្រាស់

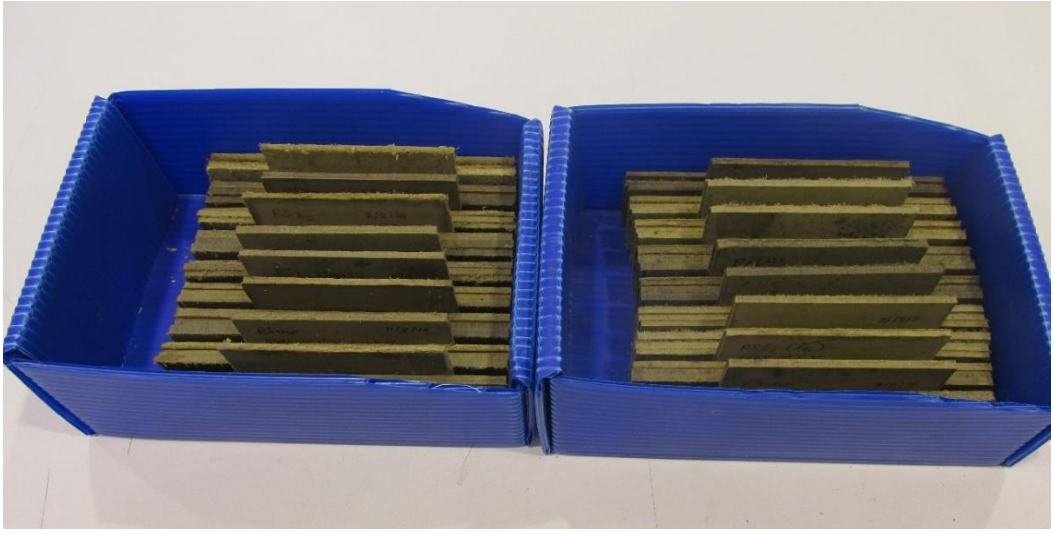
រូបភាព ៣.១៩ ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម (Climatic chamber)

រូបភាព ៥.៣១ រណាលើតុសម្រាប់កាត់វត្ថុសំណាក

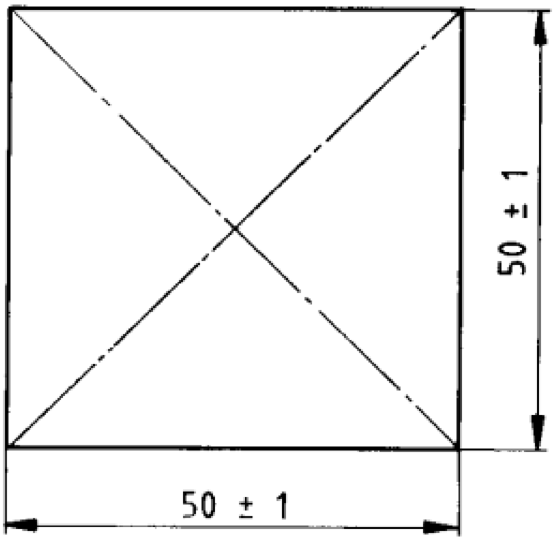
៥.២.៣ សំណាកវិភាគ

យោងតាមស្តង់ដារវិភាគរបស់សហគមន៍អឺរ៉ុប សំណាកវិភាគលើភាពមាំ និងភាពយឺតត្រូវមានទំហំបំផុត ៥០ ម.ម x ៥០ ម.ម (រូបភាព ៣.៣០) ។ ការវិភាគលើកម្រិតនៃការរីកមាឌដោយទឹកនេះត្រូវធ្វើលើវត្ថុសំណាកតែមួយជាមួយនឹងវត្ថុសំណាកដែលបានវិភាគលើសម្តែងកម្មដោយមេកានិចដែរ។ ដូចនេះ វត្ថុសំណាកដែលបានប្រើសម្រាប់វិភាគសម្តែងកម្មដោយមេកានិចរួចហើយ ត្រូវយកមកកាត់តាមទំហំស្តង់ដា ៥០ ម.ម x ៥០ ម.ម ជៀសវាងកន្លែងដែលបាក់បែក សម្រាប់ការវិភាគការរីកកម្រាស់បណ្តាលមកពីត្រាំទឹកនិងកម្រិតនៃការស្រូបទឹក។

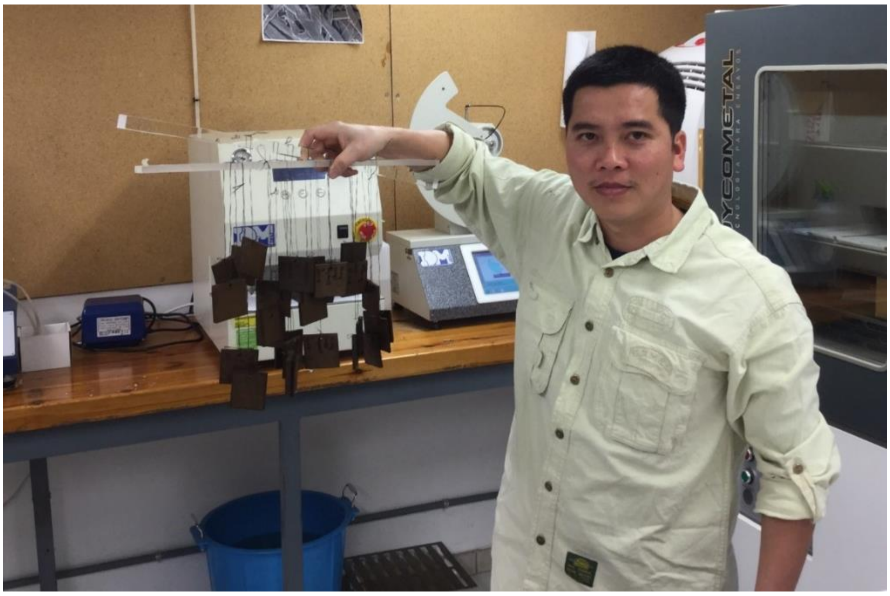
នៅមុនពេលវិភាគ វត្ថុសំណាកវិភាគត្រូវរក្សាទុកក្នុងទូរក្សាលក្ខណ្ឌបរិយាកាស (Climatic chamber) ដែលមានសំណើមធៀប ៦៥ ± ៥% និងសីតុណ្ហភាព ២០ ± ២ អង្សាសេ រយៈពេលយ៉ាងតិច ២៤ ម៉ោង។ ការរក្សាទុកនេះគឺធ្វើឡើងដើម្បីឲ្យម៉ាសរបស់វត្ថុសំណាកថេរ ឬ ខុសគ្នាមិនលើសពី ០.១%។



រូបភាព ៥.៣២ វត្ថុសំណាកវិភាគរក្សាទុកសម្រាប់ការវិភាគ



រូបភាព ៥.៣៣ ទំហំវត្ថុសំណាកសម្រាប់វិភាគកម្រិតរីកមាឌនិងកម្រិតស្រូបទឹករបស់ផលិតផល



រូបភាព ៥.៣៤ វត្ថុសំណាកដែលបានរៀបចំសម្រាប់ដាក់ត្រាំក្នុងទឹក

៥.២.៤ ដំណើរការវិភាគ

ក ការវាស់កម្រាស់និងទំហំវត្ថុសំណាក

វត្ថុសំណាកនីមួយៗត្រូវបានវាស់កម្រាស់ បណ្តោយ ទទឹងនិងថ្លឹងទម្ងន់នៅមុនពេលត្រាំទឹក និងក្រោយពេលត្រាំទឹក។ ការវាស់ត្រូវប្រើម៉ែត្រកៀបដែលមានកម្រិតលម្អៀង ± ០.០១ ម.ម និងការថ្លឹងទម្ងន់ត្រូវប្រើជញ្ជីងមន្ទីរពិសោធន៍ដែលមានកម្រិតលម្អៀង ០.០១ ក្រាម។ ការវាស់ទំហំនិងកម្រាស់គួរធ្វើចំនួន ៣ ទៅ ៤ ចំណុចនៃបណ្តោយ ៣ទៅ៤ចំណុចនៃទទឹង និង ៣ ទៅ ៤ ចំណុចនៃកម្រាស់ រួចវិភាគតម្លៃមធ្យម ដើម្បីកាត់បន្ថយកម្រិតលម្អៀង ដោយសារវត្ថុសំណាកដែលបានផលិតសម្រាប់ការពិសោធន៍ដែលមិនបានឆ្លងកាត់ឧបករណ៍ខាត់ឲ្យស្មើមិនមានភាពរាបស្មើគ្រប់ចំណុចនោះទេ ម៉្យាងទៀតការកាត់វត្ថុសំណាកក៏មិនអាចប្រាកដថាស្មើល្អឥតខ្ចោះនោះដែរ។ ការថ្លឹងទម្ងន់ត្រូវបានធ្វើសម្រាប់ការវិភាគដង់ស៊ីតេរបស់ផលិតផលវត្ថុសំណាក។

ខ ការត្រាំទឹក

វត្ថុសំណាកត្រូវដាក់ត្រាំក្នុងទឹកបិតដែលមាន pH ៧ ± ១ និងសីតុណ្ហភាព ២០ ± ១ អង្សាសេ និងដាក់វត្ថុសំណាកក្នុងទម្រង់បញ្ឈរមុខ។ សីតុណ្ហភាពត្រូវរក្សាឲ្យនៅថេរអំឡុងពេលវិភាគ។ វត្ថុសំណាកត្រូវដាក់ឲ្យនៅដាច់ដោយឡែកៗពីគ្នា កុំឲ្យត្រួតលើគ្នានិងកុំឲ្យប៉ះបាត ឬ ផ្ទៃចាន។ វត្ថុសំណាកត្រូវដាក់ត្រាំទាំងស្រុងក្នុងទឹក យ៉ាងហោចណាស់ឲ្យបាន ២៥ ± ៥ មម ពីផ្ទៃទឹកខាងលើ។ ទឹកត្រូវប្តូរចេញបន្ទាប់ពីការធ្វើតេស្តរួចម្តងៗ។ រយៈពេលនៃការត្រាំទឹក ប្រែប្រួលអាស្រ័យតាមស្តង់ដារនិងប្រភេទផលិតផលវត្ថុសំណាក។

បន្ទាប់ពីត្រាំទឹករួច ត្រូវយកវត្ថុសំណាកចេញពីទឹក ផ្ចិតសំអាតទឹកដោយប្រើក្រដាសអណាម័យ រួចវាស់ទំហំ និងកម្រាស់ និងថ្លឹងទម្ងន់លើវត្ថុសំណាកភ្លាមៗ។

៥.២.៥ ការបង្ហាញលទ្ធផលវិភាគ

ការវិភាគលើកម្រិតរីកមាឌដោយការត្រាំទឹក (TS) នេះត្រូវបានអនុវត្តទៅតាមស្តង់ដារ EN ៣១៧: ១៩៩៣ និងគណនាតាមរូបមន្តដូចខាងក្រោម៖

$$TS = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times ១០០$$

ដែល៖

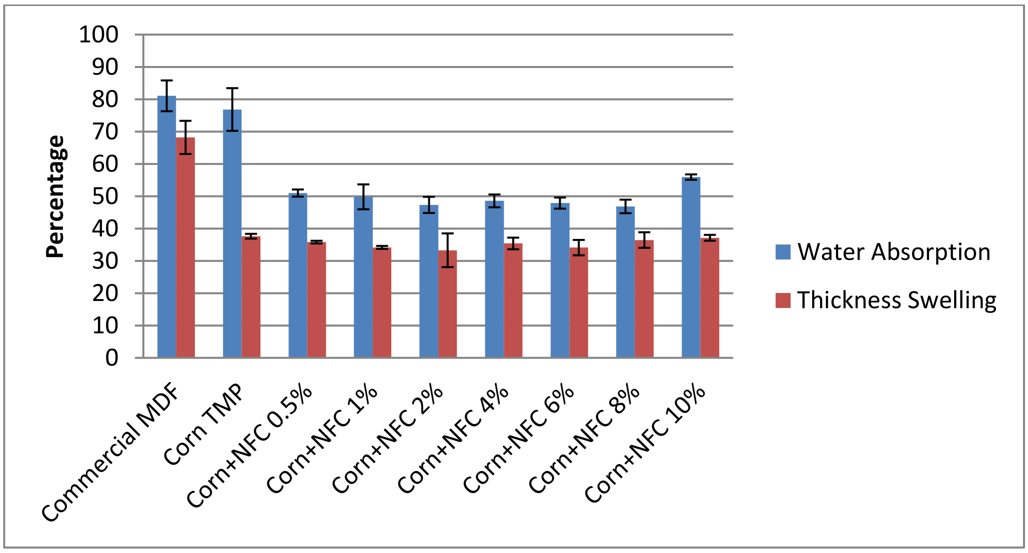
– TS គឺជាកម្រិតនៃការរីកមាឌដោយត្រាំទឹក (%)

– t1 គឺជាកម្រាស់នៃសំណាកមុនពេលត្រាំទឹក (មម)

– t2 គឺជាកម្រាស់នៃសំណាកក្រោយពេលត្រាំទឹក (មម)

ឧទាហរណ៍ លទ្ធផលនៃការសិក្សាអំពីការផលិតក្តារបន្ទះពីផាល់នៃដើមពោតដែលផលិតតាមបែបកម្តៅនិងមេកានិច (Thermomechanical pulp) ជាមួយនឹងការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារនៅអត្រាផ្សេងៗគ្នា ធៀបជាមួយនឹងផលិតផលក្តារបន្ទះដែលបានដាក់លក់នៅលើទីផ្សារ។ លទ្ធផលនេះមានបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៤.៣ និងការបកស្រាយលទ្ធផលវិភាគខាងក្រោម។

ភាពរីកមាឌនិងកម្រិតនៃការស្រូបទឹកគឺជាប៉ារ៉ាម៉ែត្រសំខាន់ៗសម្រាប់កំណត់លក្ខណៈរូបរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះ (Mancera et al., 2012) ដោយសារផលិតផលនេះអាចត្រូវបានប្រើប្រាស់ជាគ្រឿងសង្ហារឹម ឬ គ្រឿងសំណង់ផ្សេងៗដែលអាចមានប្រើប្រាស់ជាមួយនឹងទឹក អាចមានប៉ះពាល់ជាមួយទឹកដោយប្រការណាមួយនៅពេលប្រើប្រាស់សម្រាប់សំណង់វត្ថុផ្សេងៗ។ តាមលទ្ធផលដែលបានបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៤.៣ ខាងក្រោម គ្រប់វត្ថុសំណាកនៃផលិតផលក្តារបន្ទះ ដែលបាន ផលិតពីផាល់នៃដើមពោតទទួលបានលទ្ធផលល្អជាង បើប្រៀបធៀបជាមួយនឹងផលិតផលដែលបាន ដាក់លក់លើទីផ្សារ លើប៉ារ៉ាម៉ែត្ររីកមាឌនេះ។ តាមលទ្ធផលដែលបានបង្ហាញ ផលិតផលក្តារបន្ទះ ដែលបានដាក់លក់លើទីផ្សារមានកម្រិតរីកមាឌប្រហែល ៦៨% ចំណែកឯផលិតផលក្តារបន្ទះផលិតពី ផាល់នៃដើមពោតដែលមាន ការបន្ថែមសារជាតុសរសៃសែលលុយឡូសតូច ឆ្មារទៅលើផាល់នៃ ដើមពោតនិងមិនមានការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារមានត្រឹមតែប្រហែល ៣៥% ប៉ុណ្ណោះ (ក្រាហ្វិក ៥.៤) ។ កម្រិតនៃការរីកមាឌដោយការត្រាំទឹកកាន់តែតិច % មានន័យថា អាចការពារផលិតផល ពីកំហូចទ្រង់ទ្រាយបណ្តាលមកពីប៉ះទឹកបានកាន់តែល្អ។



ក្រាហ្វិក ៥.៤ មធ្យមនៃការរីកមាឌនិងស្រូបទឹករបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះផលិតពីផាល់នៃដើមពោត ជាមួយនឹងការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារ

៥.៤ ការវិភាគលើការស្រូបទឹក

៥.៤.១ គោលការណ៍វិភាគ

ការវិភាគលើការស្រូបទឹកដោយផលិតផលក្តារបន្ទះនេះធ្វើឡើងដើម្បីវាស់លើការកើនឡើងនៃកម្រាស់បន្ទាប់ពីការត្រាំទឹក រយៈពេល ២៤ ម៉ោង។

៥.៤.២ ឧបករណ៍វិភាគ

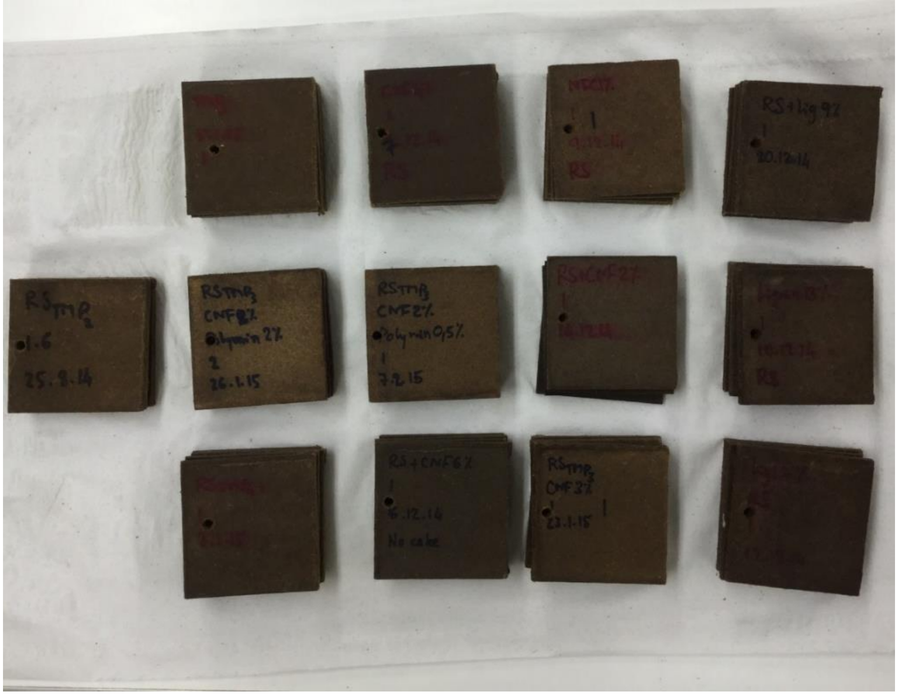
ឧបករណ៍សម្រាប់ប្រើប្រាស់ក្នុងការរៀបចំសំណាកសម្រាប់វិភាគ និងឧបករណ៍សម្រាប់វិភាគលើការរីកមាឌ មានដូចជា៖

- ឧបករណ៍វាស់ទំហំនិងកម្រាស់វត្ថុសំណាក
- ឧបករណ៍កាត់សំណាកសម្រាប់ទំហំ ៥០ ម.ម x ១៥០ ម.ម (ទទឹង x បណ្តោយ)។ អាចប្រើរណារលើតុសម្រាប់ជាឧបករណ៍កាត់
- ចានសម្រាប់ដាក់វត្ថុសំណាកត្រាំទឹក
- ទឹកបិត
- ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម
- ដង្កៀបចាប់និងស្លាបព្រាដែក

រូបភាព ៥.៣៥ ឧបករណ៍វាស់កម្រាស់និងទំហំវត្ថុសំណាក (ម៉ែត្រកៀប)

រូបភាព ៥.៣៦ ចានដាក់សំណាកសម្រាប់ត្រាំទឹក

រូបភាព ៥.៣៧ ខ្សែចងវត្ថុសំណាកសម្រាប់ដាក់វត្ថុសំណាកត្រាំក្នុងចានដែលមានទឹកបិត



រូបភាព ៥.៣៨ ក្រដាសអនាម័យសម្រាប់ផ្ចិតទឹកចេញពីវត្ថុសំណាកបន្ទាប់ពីស្រង់វត្ថុសំណាកចេញពីទឹក និងមុនពេលវាស់ទំហំនិងកម្រាស់

រូបភាព ៥.៣៩ ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម (Climatic chamber)

រូបភាព ៥.៤០ រណារលើតុសម្រាប់កាត់វត្ថុសំណាក

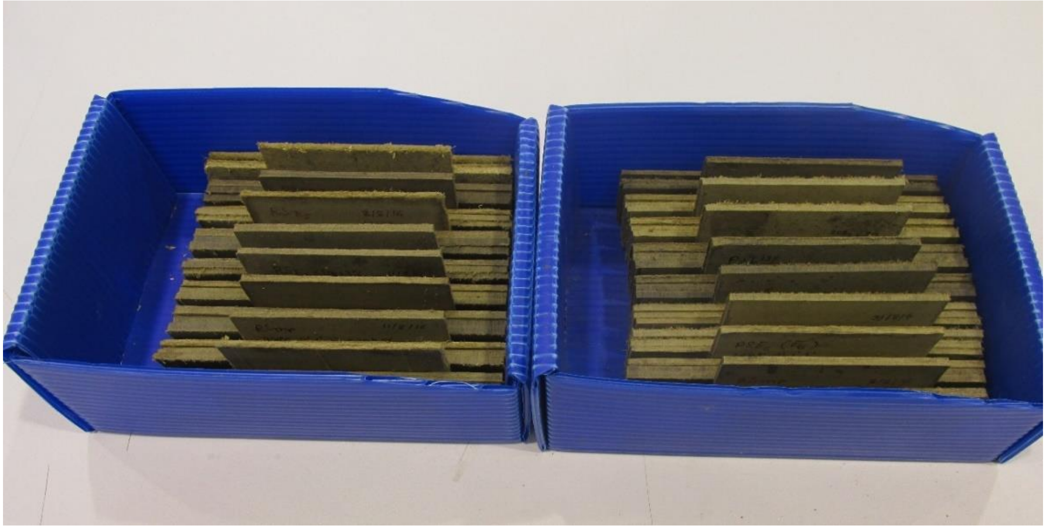
រូបភាព ៥.៤១ ការត្រាំទឹកវត្ថុសំណាកវិភាគកម្រិតស្រូបទឹករបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះ

៥.៤.៣ សំណាកវិភាគ

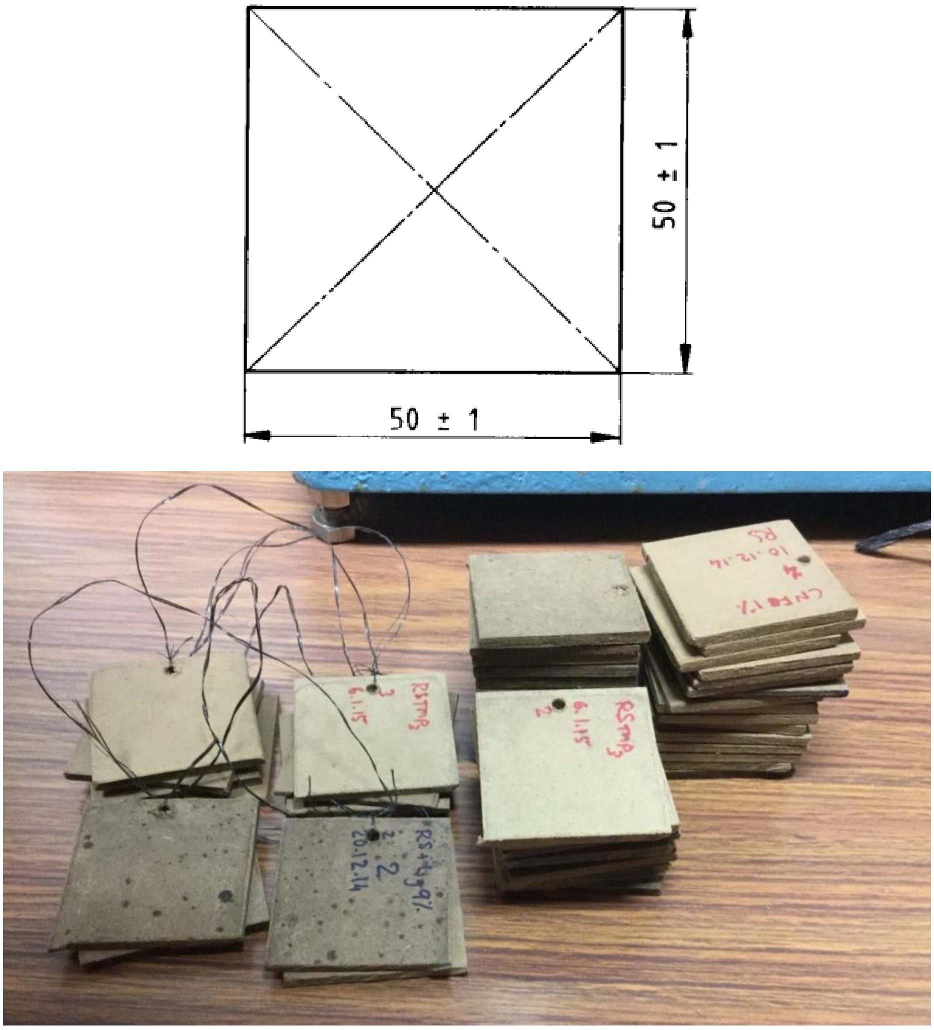
យោងតាមស្តង់ដាវិភាគរបស់សហគមន៍អឺរ៉ុប សំណាកវិភាគលើភាពមាំ និងភាពយឺតត្រូវមានទំហំបំផុត ៥០ ម.ម x ៥០ ម.ម (រូបភាព ៣.៣០) ។ ការវិភាគលើកម្រិតនៃការរីកមាឌដោយទឹកនេះត្រូវធ្វើលើវត្ថុសំណាកតែមួយជាមួយនឹងវត្ថុសំណាកដែលបានវិភាគលើសម្តែងកម្មដោយមេកានិចដែរ។ ដូចនេះ វត្ថុសំណាកដែលបានប្រើសម្រាប់វិភាគសម្តែងកម្មដោយមេកានិចរួចហើយ ត្រូវយកមកកាត់តាមទំហំស្តង់ដា ៥០ ម.ម x ៥០ ម.ម ជៀសវាងកន្លែងដែលបាក់បែក សម្រាប់ការវិភាគការរីកកម្រាស់បណ្តាលមកពីត្រាំទឹកនិងកម្រិតនៃការស្រូបទឹក។

នៅមុនពេលវិភាគ វត្ថុសំណាកវិភាគត្រូវរក្សាទុកក្នុងទូរក្សាលក្ខណ្ឌបរិយាកាស (Climatic chamber) ដែលមានសំណើមធៀប ៦៥ ± ៥% និងសីតុណ្ហភាព ២០ ± ២ អង្សាសេ រយៈពេលយ៉ាង

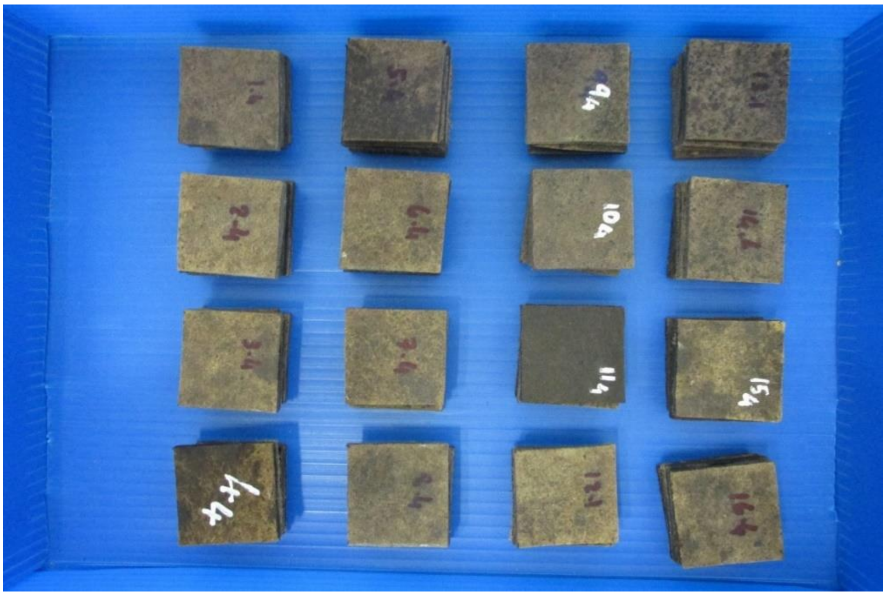
តិច ២៤ ម៉ោង។ ការរក្សាទុកនេះគឺធ្វើឡើងដើម្បីឲ្យម៉ាសរបស់វត្ថុសំណាកថេរ ឬ ខុសគ្នាមិនលើសពី ០.១%។



រូបភាព ៥.៤២ វត្ថុសំណាកវិភាគរក្សាទុកសម្រាប់ការវិភាគ

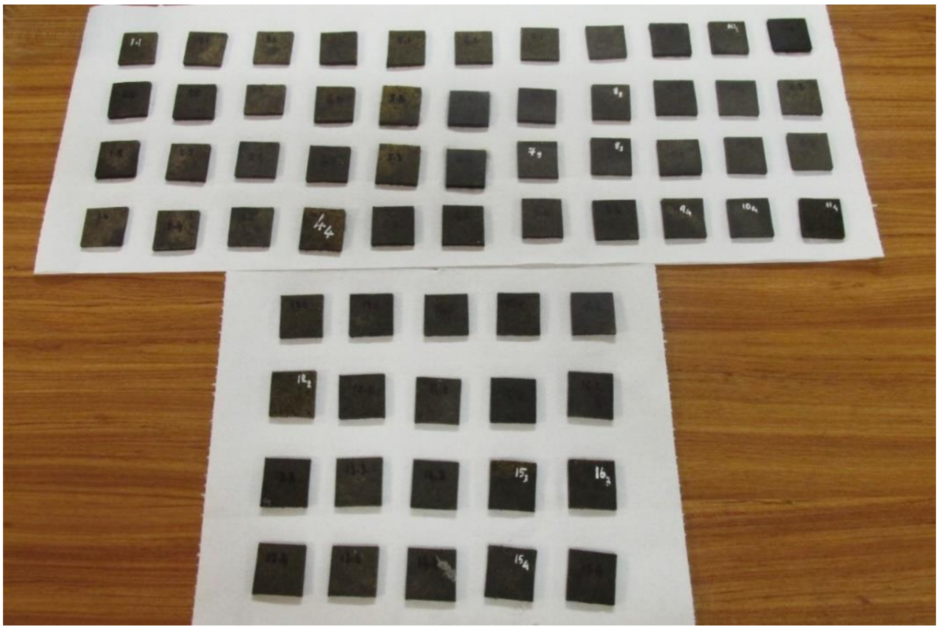


រូបភាព ៥.៤៣ ទំហំវត្ថុសំណាកសម្រាប់វិភាគកម្រិតរីកមាឌនិងកម្រិតស្រូបទឹករបស់ផលិតផល



រូបភាព ៥.៤៤ វត្ថុសំណាកដែលបានរៀបចំសម្រាប់ដាក់ត្រាំក្នុងទឹក

រូបភាព ៥.៤៥ ការចាប់យកវត្ថុសំណាកវិភាគចេញពីការត្រាំទឹកបន្ទាប់ពីបានត្រាំរយៈពេល ២៤ ម៉ោង



រូបភាព ៥.៤៦ ការសម្ងួតវត្ថុសំណាកវិភាគដោយប្រើក្រដាសអនាម័យបន្ទាប់ពីយកចេញពីទឹក

៥.៤.៤ ដំណើរការវិភាគ

ក ការវាស់កម្រាស់និងទំហំវត្ថុសំណាក

វត្ថុសំណាកនីមួយៗត្រូវបានវាស់កម្រាស់ បណ្តោយ ទទឹងនិងថ្លឹងទម្ងន់នៅមុនពេលត្រាំទឹក និងក្រោយពេលត្រាំទឹក។ ការវាស់ត្រូវប្រើម៉ែត្រកៀបដែលមានកម្រិតលម្អៀង ± 0.0១ ម.ម និងការថ្លឹងទម្ងន់ត្រូវប្រើជញ្ជីងមន្ទីរពិសោធន៍ដែលមានកម្រិតលម្អៀង 0.0១ ក្រាម។ ការវាស់ទំហំនិងកម្រាស់គួរធ្វើចំនួន ៣ ទៅ ៤ ចំណុចនៃបណ្តោយ ៣ទៅ៤ចំណុចនៃទទឹង និង ៣ ទៅ ៤ ចំណុចនៃកម្រាស់ រួចវិភាគតម្លៃមធ្យម ដើម្បីកាត់បន្ថយកម្រិតលម្អៀង ដោយសារវត្ថុសំណាកដែលបានផលិតសម្រាប់ការពិសោធន៍ដែលមិនបានឆ្លងកាត់ឧបករណ៍ខាត់ឲ្យស្មើមិនមានភាពរាបស្មើគ្រប់ចំណុចនោះទេ ម្យ៉ាងទៀតការកាត់វត្ថុសំណាកក៏មិនអាចប្រាកដថាស្មើល្អឥតខ្ចោះនោះដែរ។ ការថ្លឹងទម្ងន់ត្រូវបានធ្វើសម្រាប់ការវិភាគដង់ស៊ីតេរបស់ផលិតផលវត្ថុសំណាក។

ខ ការត្រាំទឹក

វត្ថុសំណាកត្រូវដាក់ត្រាំក្នុងទឹកបិតដែលមាន pH ៧ ± ១ និងសីតុណ្ហភាព ២០ ± ១ អង្សាសេ និងដាក់វត្ថុសំណាកក្នុងទម្រង់បញ្ឈរមុខ។ សីតុណ្ហភាពត្រូវរក្សាឲ្យនៅថេរអំឡុងពេលវិភាគ។ វត្ថុសំណាកត្រូវដាក់ឲ្យនៅដាច់ដោយឡែកៗពីគ្នា កុំឲ្យត្រួតលើគ្នានិងកុំឲ្យប៉ះបាត ឬ ផ្ទៃបាន។ វត្ថុសំណាកត្រូវដាក់ត្រាំទាំងស្រុងក្នុងទឹក យ៉ាងហោចណាស់ឲ្យបាន ២៥ ± ៥ មម ពីផ្ទៃទឹកខាងលើ។ ទឹកត្រូវប្តូរចេញបន្ទាប់ពីការធ្វើតេស្តរួចម្តងៗ។ រយៈពេលនៃការត្រាំទឹក ប្រែប្រួលអាស្រ័យតាមស្តង់ដារនិងប្រភេទផលិតផលវត្ថុសំណាក។

បន្ទាប់ពីត្រាំទឹករួច ត្រូវយកវត្ថុសំណាកចេញពីទឹក ផ្ចិតសំអាតទឹកដោយប្រើក្រដាសអណាម័យ រួចវាស់ទំហំ និងកម្រាស់ និងថ្លឹងទម្ងន់លើវត្ថុសំណាកភ្លាមៗ។

៥.៤.៥ ការបង្ហាញលទ្ធផលវិភាគ

ការវិភាគលើកម្រិតស្រូបទឹកដោយការត្រាំទឹក (WA) នេះត្រូវបានអនុវត្តទៅតាមស្តង់ដារ EN ៣៨២: ១៩៩៣ និងគណនាតាមរូបមន្តដូចខាងក្រោម៖

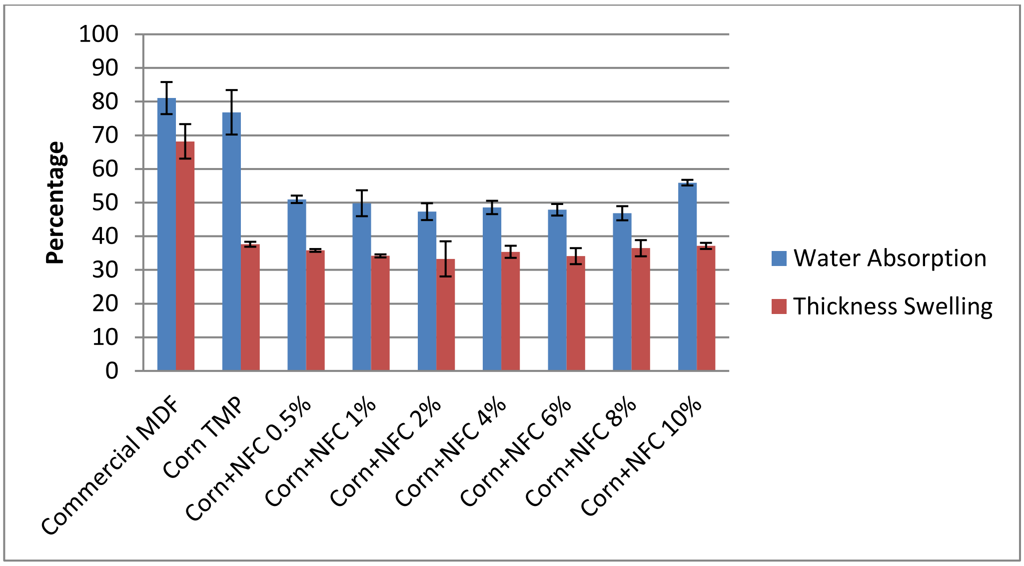
$$WA = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times ១០០$$

ដែល៖

- WA គឺជាកម្រិតនៃការស្រូបទឹករបស់វត្ថុសំណាក (%)
- m_1 គឺជាម៉ាសនៃសំណាកមុនពេលត្រាំទឹក (មម)
- m_2 គឺជាម៉ាសនៃសំណាកក្រោយពេលត្រាំទឹក (មម)

ឧទាហរណ៍ លទ្ធផលនៃការសិក្សាអំពីការផលិតក្តារបន្ទះពីផាល់នៃដើមពោតដែលផលិតតាមបែបកម្តៅនិងមេកានិច (Thermomechanical pulp) ជាមួយនឹងការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារនៅអត្រាផ្សេងៗគ្នា ធៀបជាមួយនឹងផលិតផលក្តារបន្ទះដែលបានដាក់លក់នៅលើទីផ្សារ។ លទ្ធផលនេះមានបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៥.៥ និងការបកស្រាយលទ្ធផលវិភាគខាងក្រោម។

កម្រិតនៃការស្រូបទឹកគឺជាប៉ារ៉ាម៉ែត្រមួយសម្រាប់កំណត់លក្ខណៈរូបរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះ (Mancera et al., 2012) ដោយសារផលិតផលនេះអាចត្រូវបានប្រើប្រាស់ជា គ្រឿងសង្ហារឹម ឬ គ្រឿងសំណង់ផ្សេងៗដែលអាចមានប្រើប្រាស់ជាមួយនឹងទឹក អាចមានប៉ះពាល់ ជាមួយទឹកដោយប្រការណាមួយនៅពេលប្រើប្រាស់សម្រាប់សំណង់វត្ថុផ្សេងៗ។ តាមលទ្ធផលដែល បានបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៤.៦ ខាងក្រោម គ្រប់វត្ថុសំណាកនៃផលិតផលក្តារបន្ទះ ដែលបាន ផលិតពីផាល់នៃដើមពោតទទួលបានលទ្ធផលល្អជាង បើប្រៀបធៀបជាមួយនឹងផលិតផលដែលបាន ដាក់លក់លើទីផ្សារ លើប៉ារ៉ាម៉ែត្រកម្រិតស្រូបទឹកនេះ។ តាមលទ្ធផលដែលបានបង្ហាញ ផលិតផលក្តារបន្ទះ ដែលបានដាក់លក់លើទីផ្សារមានកម្រិតស្រូបទឹកប្រហែល ៨០% ចំណែកឯផលិតផលក្តារបន្ទះផលិតពីផាល់នៃដើមពោតសុទ្ធមានប្រហែល ៧៨% ខណៈដែលការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារ កម្រិតនៃការស្រូបទឹកមានប្រហែលតែ ៥០% ប៉ុណ្ណោះ។ កម្រិតនៃការស្រូបទឹកកាន់តែទាប មានន័យថា ផលិតផលធន់ទៅនឹងភាពជាំទឹកនិងកំហូចទ្រង់ទ្រាយបណ្តាលមកពីប៉ះទឹកបានកាន់តែល្អ។



ក្រាហ្វិក ៥.៥ មធ្យមនៃការរីកមាឌនិងស្រូបទឹករបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះផលិតពីផាល់នៃដើមពោត ជាមួយនឹងការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារ

៥.៥ ការវិភាគលើដង់ស៊ីតេ

៥.៥.១ គោលការណ៍វិភាគ

ការវិភាគដង់ស៊ីតេគឺជាការកំណត់សមាមាត្ររវាងម៉ាសទៅនឹងមាឌរបស់វត្ថុសំណាក ដែលការវាស់ទាំងម៉ាសនិងមាឌស្ថិតក្នុងលក្ខខណ្ឌសីតុណ្ហភាពដូចគ្នា។

៥.៥.២ ឧបករណ៍វិភាគ

- ឧបករណ៍វាស់ទំហំនិងកម្រាស់វត្ថុសំណាក
- ឧបករណ៍កាត់សំណាកសម្រាប់ទំហំ ៥០ ម.ម x ១៥០ ម.ម (ទទឹង x បណ្តោយ) ។ អាចប្រើរណារលើតុសម្រាប់ជាឧបករណ៍កាត់
- ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម
- ជញ្ជីងមន្ទីរពិសោធន៍ដែលមានកម្រិតលម្អៀង ០.០១ ក្រាម។

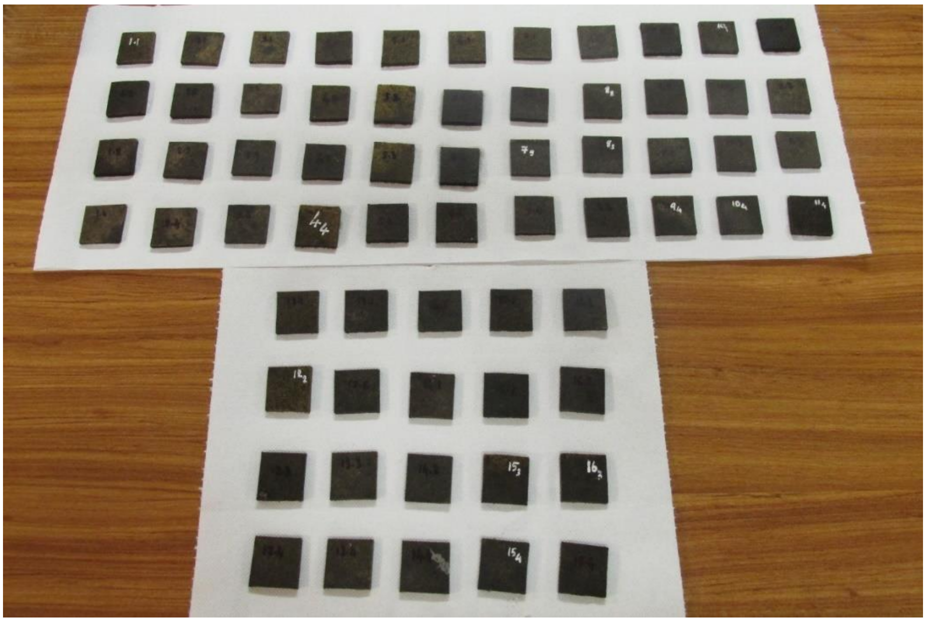
រូបភាព ៥.៤៧ ឧបករណ៍វាស់កម្រាស់និងទំហំវត្ថុសំណាក (ម៉ែត្រកៀប)

រូបភាព ៥.៤៨ ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម (Climatic chamber)

រូបភាព ៥.៤៩ រណាលើតុសម្រាប់កាត់វត្ថុសំណាក

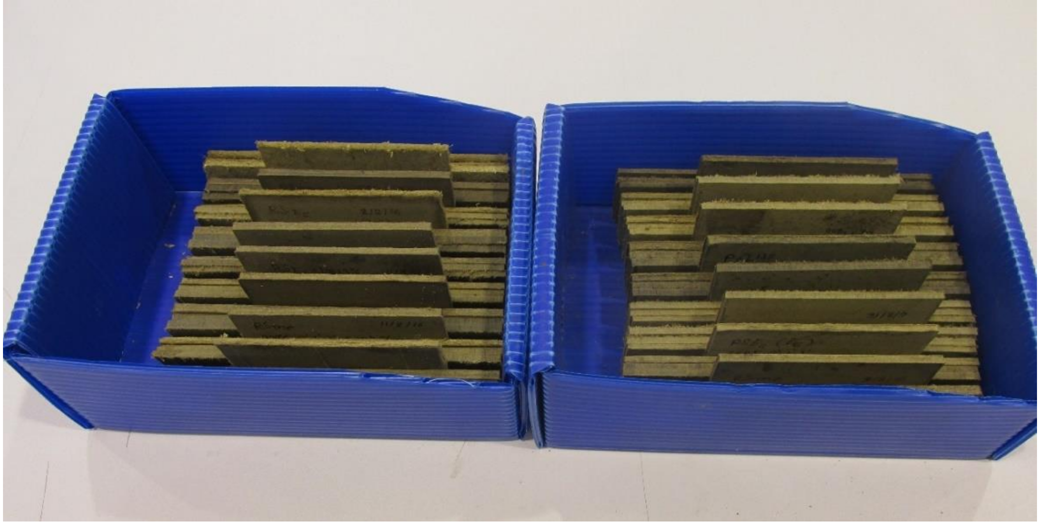
៥.៥.៣ សំណាកវិភាគ

យោងតាមស្តង់ដារវិភាគរបស់សហគមន៍អឺរ៉ុប សំណាកវិភាគដង់ស៊ីតេ ត្រូវមានទំហំ ៥០ ម.ម x ៥០ ម.ម (រូបភាព ៣.៣០) ។ ការវិភាគដង់ស៊ីតេនេះ ត្រូវធ្វើលើវត្ថុសំណាកតែមួយជាមួយនឹងវត្ថុសំណាកដែលបានវិភាគលើសម្តែងកម្មដោយមេកានិចដែរ។ ដូចនេះ វត្ថុសំណាកដែលបានប្រើសម្រាប់វិភាគសម្តែងកម្មដោយមេកានិចរួចហើយ ត្រូវយកមកកាត់តាមទំហំស្តង់ដា ៥០ ម.ម x ៥០ ម.ម ជៀសវាងកន្លែងដែលបាក់បែក ។

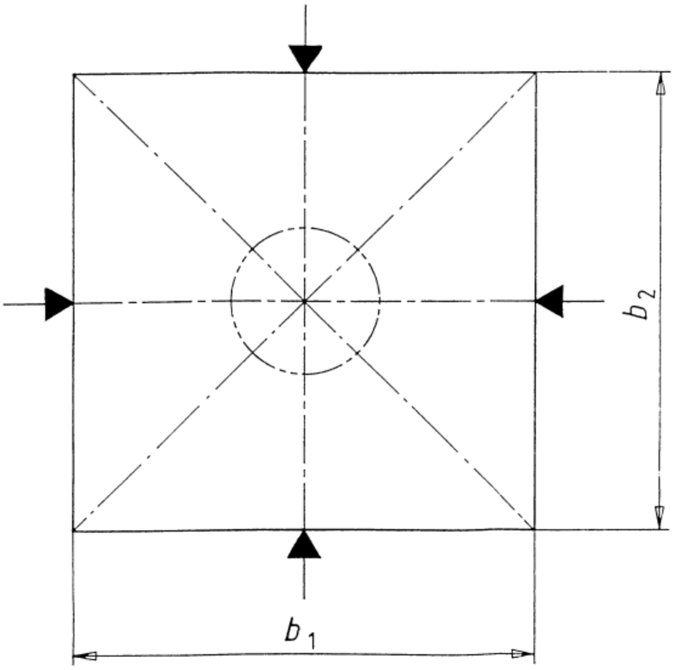


រូបភាព ៥.៥០ វត្ថុសំណាកសម្រាប់វិភាគដង់ស៊ីតេ

នៅមុនពេលវិភាគ វត្ថុសំណាកវិភាគត្រូវរក្សាទុកក្នុងទូរក្សាលក្ខណ្ឌបរិយាកាស (Climatic chamber) ដែលមានសំណើមធៀប ៦៥ ± ៥% និងសីតុណ្ហភាព ២០ ± ២ អង្សាសេ រយៈពេលយ៉ាងតិច ២៤ ម៉ោង។ ការរក្សាទុកនេះគឺធ្វើឡើងដើម្បីឲ្យម៉ាសរបស់វត្ថុសំណាកថេរ ឬ ខុសគ្នាមិនលើសពី ០.១%។



រូបភាព ៥.៥១ វត្ថុសំណាកវិភាគរក្សាទុកសម្រាប់ការវិភាគ



រូបភាព ៥.៥២ ការវាស់វត្ថុសំណាកសម្រាប់វិភាគដង់ស៊ីតេ

៥.៥.៤ ដំណើរការវិភាគ

ក ការថ្លឹងទម្ងន់

ការថ្លឹងទម្ងន់ត្រូវធ្វើបន្ទាប់ពីវត្ថុសំណាកត្រូវបានរក្សាទុកក្នុងទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសធម្មតា រយៈពេល ២៤ ម៉ោងរួច។ ការថ្លឹងត្រូវធ្វើនិងកត់ត្រាទិន្នន័យដោយប្រុងប្រយ័ត្ន។ ជាការល្អប្រសើរនៅក្នុងការចាប់កាន់វត្ថុសំណាកថ្លឹងគួរប្រើស្រោមដៃ។

ខ ការវាស់កម្រាស់និងទំហំវត្ថុសំណាក

វត្ថុសំណាកនីមួយៗត្រូវបានវាស់កម្រាស់ បណ្ដោយ និងទទឹងត្រង់ពីរចំណុចស្របគ្នានឹងកែម ឬ ជ្រុងរបស់វត្ថុសំណាក ឃ្លាតចេញពីគែមប្រហែល ០.១ មម។

៥.៥.៥ ការបង្ហាញលទ្ធផលវិភាគ

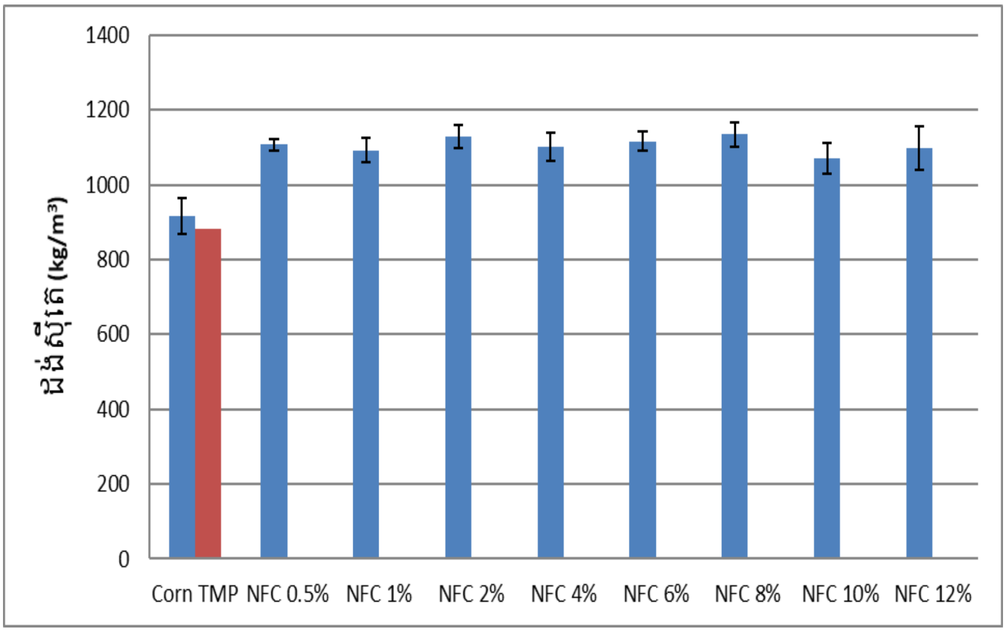
ការវិភាគដង់ស៊ីតេនេះគឺធ្វើការសិក្សាតាមស្ដង់ដារ EN៣២៣:១៩៩៣ ហើយគណនាតាមរូបមន្តខាងក្រោម៖

$$\rho = \frac{m}{b_1 \, x \, b_2 x \, t} \, x \, 10^6$$

ដែល៖

- m គឺជាម៉ាសរបស់វត្ថុសំណាក (ក្រាម)
- b_1 គឺជាទទឹង (មម)
- b_2 គឺជាបណ្ដោយ (មម)
- t គឺជាកម្រាស់ (មម)

ឧទាហរណ៍ លទ្ធផលនៃការសិក្សាអំពីការផលិតក្ដារបន្ទះពីផាល់នៃដើមពោតដែលផលិតតាមបែបកម្ដៅនិងមេកានិច (Thermomechanical pulp) ជាមួយនឹងការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារនៅអត្រាផ្សេងៗគ្នា ធៀបជាមួយនឹងផលិតផលក្ដារបន្ទះដែលបានដាក់លក់នៅលើទីផ្សារ។ លទ្ធផលនេះមានបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៥.៦ និងការបកស្រាយលទ្ធផលវិភាគខាងក្រោម។



ក្រាហ្វិក ៥.៦ មធ្យមនៃដង់ស៊ីតេផលិតផលក្តារបន្ទះផលិតពីផាល់នៃដើមពោតជាមួយនឹងការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារ ធៀបទៅនឹងផលិតផលក្តារបន្ទះដែលបានដាក់លក់លើទីផ្សារ

តាមលទ្ធផលបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៥.៦ ឃើញថា គ្រប់វត្ថុសំណាកនៃផលិតផលក្តារបន្ទះផលិតពីផាល់នៃដើមពោតមានដង់ស៊ីតេខ្ពស់ លើសពី ៩០០ គក្រ/មព ខណៈដែលផលិតផលដែលបានដាក់លក់លើទីផ្សារមានដង់ស៊ីតេប្រហែល ៩០០ គក្រ/មព ប៉ុណ្ណោះ។ បន្ថែមលើនេះទៀត ការដាក់បន្ថែមសរសៃតូចឆ្មារបានបង្កើននូវដង់ស៊ីតេរបស់វត្ថុសំណាកកាន់តែធ្ងន់ឡើងថែមទៀត រហូតដល់លើសពី ១១០០ គក្រ/មព។ លទ្ធផលដែលរកឃើញនេះ ក៏ដូចគ្នាទៅនឹងអត្ថបទវិទ្យាសាស្ត្រដែលបានបោះពុម្ពផ្សាយមួយចំនួនផងដែរ (Alcalá et a.l, 2013; Theng et al., 2014)។

៥.៦ ការវិភាគលើភាពមាំទប់នឹងកម្លាំងទង្គិច

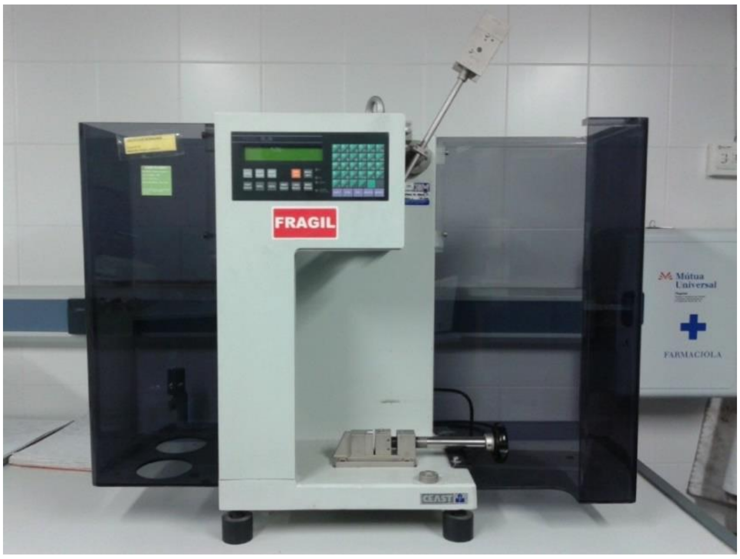
៥.៦.១ គោលការណ៍វិភាគ

ការវិភាគលើភាពមាំទប់នឹងកម្លាំងប៉ះទង្គិច (impact strength- IS test)គឺជាការវិភាគវត្ថុសំណាកដែលអាចបាក់បែកដោយសារកម្លាំងគោះ។ ការវិភាគនេះអនុវត្តតាមស្តង់ដា ASTM D-២៥៦។ ការវិភាគលើគុណភាពនេះមាន ២ ប្រភេទ គឺ៖

- ប្រភេទ Izod (រូបភាព ៥.៥៣)
- ប្រភេទ Charpy (រូបភាព ៥.៥៤)។

៥.៦.២ ឧបករណ៍វិភាគ

- ឧបករណ៍វិភាគ Impact strength tester
- ឧបករណ៍វាស់ទំហំនិងកម្រាស់វត្ថុសំណាក
- ឧបករណ៍កាត់សំណាកសម្រាប់ទំហំ ១៣ ម.ម x ១៥០ ម.ម (ទទឹង x បណ្តោយ)។ អាចប្រើរណារលើតុសម្រាប់ជាឧបករណ៍កាត់
- ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម



រូបភាព ៥.៥៣ ឧបករណ៍វិភាគភាពមាំធន់នឹងកម្លាំងប៉ះទង្គិច Resil 5,5

រូបភាព ៣.៥៤ ឧបករណ៍វិភាគភាពមាំធន់នឹងកម្លាំងទង្គិច Test-well WOLPERT

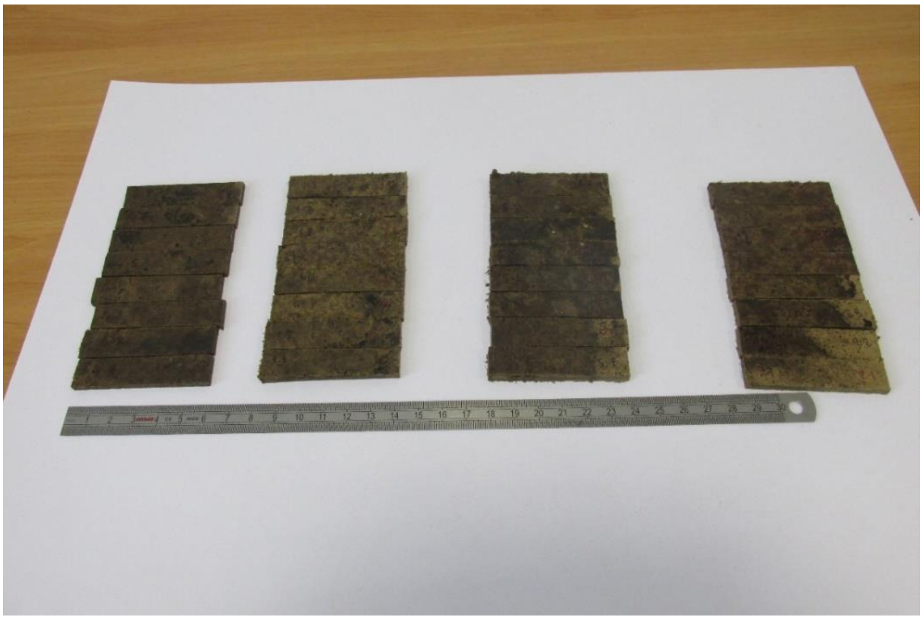
រូបភាព ៥.៥៥ ម៉ែត្រកៀប

រូបភាព ៥.៥៦ ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម (Climatic chamber)

រូបភាព ៥.៥៧ រណាលើតុសម្រាប់កាត់វត្ថុសំណាក

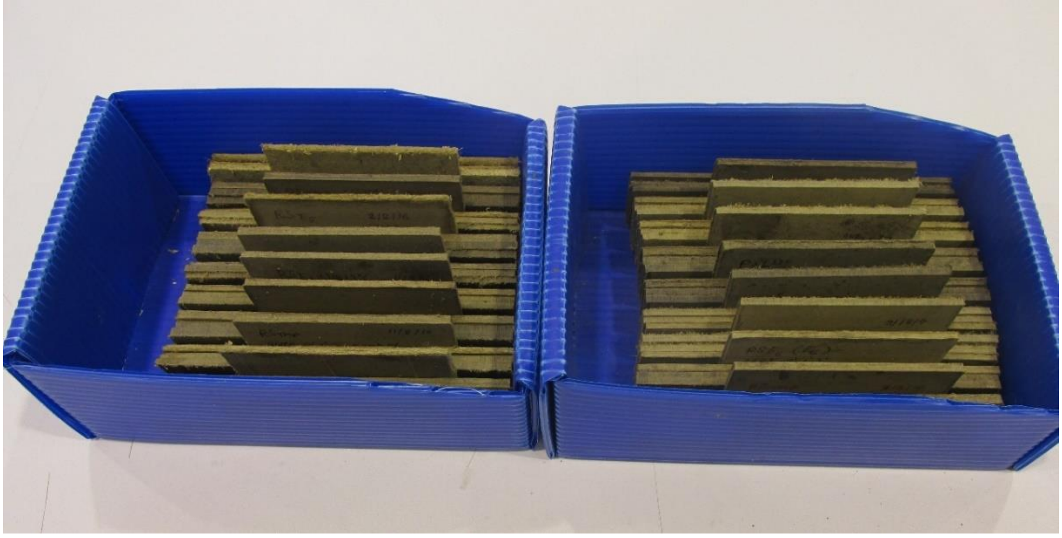
៥.៦.៣ សំណាកវិភាគ

យោងតាមស្តង់ដារវិភាគ ASTM D256 ឬ ISO 179 សំណាកវិភាគភាពមាំធន់នឹងកម្លាំងប៉ះទង្គិច (Impact Strength) ត្រូវមានទំហំ ១៣ ម.ម x ៥០ ម.ម (រូបភាព ៣.៥៨) ។ ការវិភាគភាពមាំធន់នឹងកម្លាំងប៉ះទង្គិចនេះ ត្រូវធ្វើលើវត្ថុសំណាកតែមួយជាមួយនឹងវត្ថុសំណាកដែលបានវិភាគលើសម្ពែងកម្មដោយមេកានិចដែរ។ ដូចនេះ វត្ថុសំណាកដែលបានប្រើសម្រាប់វិភាគសម្ពែងកម្មដោយមេកានិចរួចហើយ ត្រូវយកមកកាត់តាមទំហំស្តង់ដា ១៣ ម.ម x ៥០ ម.ម ជៀសវាងកន្លែងដែលបាក់បែក ។



រូបភាព ៥.៥៨ វត្ថុសំណាកសម្រាប់វិភាគភាពមាំធន់នឹងកម្លាំងប៉ះទង្គិច

នៅមុនពេលវិភាគ វត្ថុសំណាកវិភាគត្រូវរក្សាទុកក្នុងទូរក្សាលក្ខណ្ឌបរិយាកាស (Climatic chamber) ដែលមានសំណើមធៀប ៦៥ ± ៥% និងសីតុណ្ហភាព ២០ ± ២ អង្សាសេ រយៈពេលយ៉ាងតិច ២៤ ម៉ោង។ ការរក្សាទុកនេះគឺធ្វើឡើងដើម្បីឲ្យម៉ាសរបស់វត្ថុសំណាកថេរ ឬ ខុសគ្នាមិនលើសពី ០.១%។



រូបភាព ៥.៥៩ វត្ថុសំណាកវិភាគរក្សាទុកសម្រាប់ការវិភាគ

៥.៦.៤ ដំណើរការវិភាគ

នៅក្នុងដំណើរការនៃការវិភាគនេះ ត្រូវអនុវត្តតាមជំហានដូចខាងក្រោម៖

- វាស់ទទឹងនិងកម្រាស់ ដោយកត់ត្រាទិន្នន័យវត្ថុសំណាកនីមួយៗឲ្យបានត្រឹមត្រូវនិងច្បាស់លាស់
- រក្សាទុកវត្ថុសំណាកក្នុងទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសនៃសីតុណ្ហភាពនិងសំណើមជៀបបន្ទប់រយៈពេល ២៤ ម៉ោង
- លើកញញួររបស់ឧបករវិភាគឡើង
- ដាក់វត្ថុសំណាកដោយចាប់ភ្ជាប់ជើងទម្ររបស់ឧបករណ៍វិភាគ ដោយដាក់វត្ថុសំណាកឲ្យខ្ពស់ផុតពីជើងទម្រប្រហែល ២០ មម
- ចុចប៊ូតុងទម្លាក់ញញួរចុះ
- កត់ត្រាទិន្នន័យថាមពលដែលបានប្រើដើម្បីវាយបំបាក់វត្ថុសំណាក

៥.៦.៥ ការបង្ហាញលទ្ធផលវិភាគ

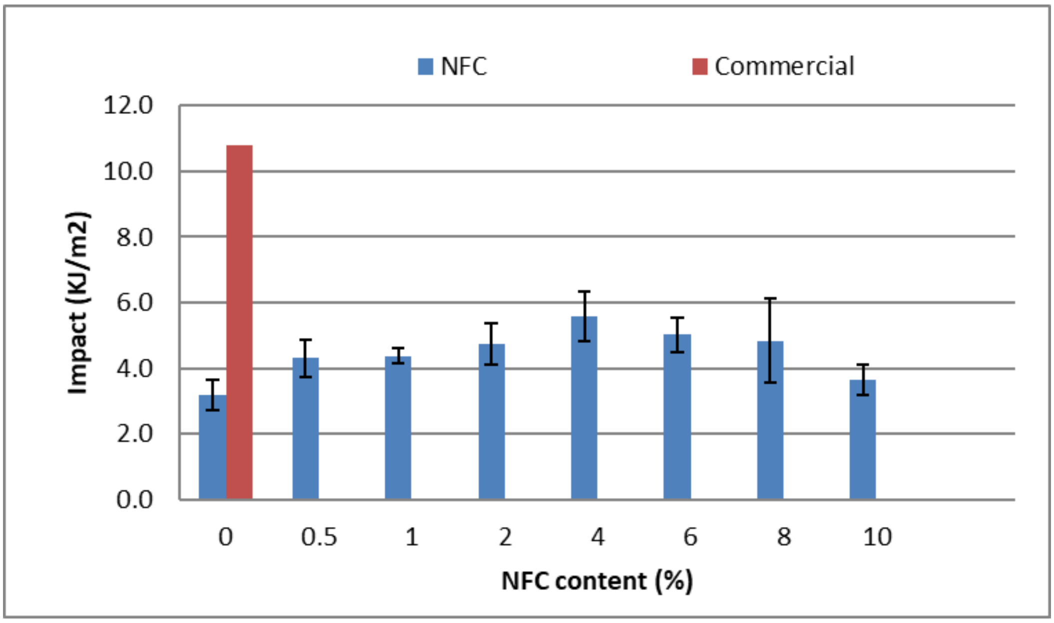
លទ្ធផលវិភាគដែលទទួលបាន ត្រូវគណនាតាមរូបមន្តដូចខាងក្រោម៖

$$\textit{ភាពមាំធន់នឹងកម្លាំងប៉ះទង្គិច} = \frac{\text{ថាមពលអតិបរមា}}{\text{ក្រឡាផ្ទៃវត្ថុសំណាក}}$$

ដែល៖

- ភាពមាំធន់នឹងកម្លាំងវាយបំបែក (KJ/m2)
- ថាមពលដែលប្រើ (KJ)
- ក្រឡាផ្ទៃ = ទទឹងវត្ថុសំណាក x កម្រាស់វត្ថុសំណាក (ម២)

ឧទាហរណ៍ លទ្ធផលនៃការសិក្សាអំពីការផលិតក្ដារបន្ទះពីផាល់នៃដើមពោតដែលផលិតតាមបែបកម្ដៅនិងមេកានិច (Thermomechanical pulp) ជាមួយនឹងការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារនៅអត្រាផ្សេងៗគ្នា ធៀបជាមួយនឹងផលិតផលក្ដារបន្ទះដែលបានដាក់លក់នៅលើទីផ្សារ។ លទ្ធផលនេះមានបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៤.៩ និងការបកស្រាយលទ្ធផលវិភាគខាងក្រោម។



ក្រាហ្វិក ៥.៧ មធ្យមនៃភាពមាំធន់នឹងកម្លាំងប៉ះទង្គិចរបស់ផលិតផលក្ដារបន្ទះ

តាមលទ្ធផលដែលបានបង្ហាញនៅក្នុងក្រាហ្វិក ៥.៧ ខាងលើ ភាពមាំរបស់ផលិតផលក្ដារបន្ទះផលិតពីផាល់នៃដើមពោត ជាមួយនឹងការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសតូចឆ្មារ ដែលមានកម្រាស់ ៣ មីលីម៉ែត្រធន់ទៅនឹងកម្លាំងប៉ះទង្គិចអាចទប់នឹងកម្លាំងសង្កត់បានចន្លោះពី ៣ ទៅ ៦ គីឡូស៊ូលក្នុងមួយម៉ែត្រការ៉េ។ ការបន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសទៅលើផាល់នៃដើមពោតបានបង្កើន ភាពរឹងមាំមួយនេះរហូតដល់ការបន្ថែមក្នុងបរិមាណ ៤% នៃ ១០០% ផាល់។ លទ្ធផលនៃប៉ារ៉ាម៉ែត្រនេះត្រូវបានសង្កេតឃើញថាទទួលបានដូចគ្នាទៅនឹងប៉ារ៉ាម៉ែត្រវិភាគលើភាពមាំធន់នឹងកម្លាំងទាញបំបែក ឬ ការចងសម្ព័ន្ធនៃសាច់ក្នុង ដែលបានបង្ហាញខាងលើដែរ ពោលគឺអត្រាដាក់បន្ថែមសរសៃសែលលុយឡូសទៅលើផាល់នៃដើមពោតផលិតតាមបែបមេកានិចនិងកម្ដៅខ្ពស់បំផុតត្រឹម ៤%។

លទ្ធផលដែលទទួលបានក្នុងប៉ារ៉ាម៉ែត្រភាពមាំធន់នឹងកម្លាំងប៉ះទង្គិចនេះ គ្រប់វត្ថុសំណាកនៃផលិតផលក្តារបន្ទះផលិតពីផាល់នៃដើមពោតមានភាពធន់តិចខ្លាំងជាងផលិតផលដែលបានដាក់លក់នៅលើទីផ្សារ។ ប៉ុន្តែទោះបីជាយ៉ាងនេះក្តី លទ្ធផលដែលបានសិក្សានេះត្រូវបានសង្កេតឃើញថាទទួលបានខ្ពស់ជាង បើធ្វើការប្រៀបធៀបលទ្ធផលនេះទៅនឹងលទ្ធផលដែលបានស្រាវជ្រាវ ចងក្រង និងបោះពុម្ពផ្សាយកន្លងមកមួយចំនួន (Castro et al., 2012; Silva et al., 2011) ។

៥.៧ ការវិភាគលើភាពមាំនៃផ្ទៃលើ

៥.៧.១ គោលការណ៍វិភាគ

ការវិភាគគុណភាពលើប៉ារ៉ាម៉ែត្រនេះ ដើម្បីសិក្សាអំពីភាពមាំនៃផ្ទៃលើរបស់ផលិតផលក្តារបន្ទះធន់ទៅនឹងការមុតឆ្កូះ ឬ ការរបកស្រទាប់ខាងលើរបស់ផលិតផល។

៥.៧.២ ឧបករណ៍វិភាគ

ឧបករណ៍សម្រាប់ប្រើប្រាស់ក្នុងការរៀបចំសំណាកសម្រាប់វិភាគ និងឧបករណ៍សម្រាប់វិភាគលើគុណភាពនៃភាពរឹងមាំផ្ទៃលើ (surface hardness / surface soundness) នេះមានដូចជា៖

- ឧបករណ៍វាស់ទំហំនិងកម្រាស់វត្ថុសំណាក
- ឧបករណ៍កាត់សំណាកសម្រាប់ទំហំ ៥០ ម.ម x ១៥០ ម.ម (ទទឹង x បណ្តោយ) ។ អាចប្រើរណាលើតុសម្រាប់ជាឧបករណ៍កាត់
- ឧបករណ៍វិភាគគុណភាព Durometer
- ឧបករណ៍វិភាគគុណភាព Shore D surface hardness
- ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម

រូបភាព ៥.៦០ ឧបករណ៍វិភាគភាពមាំនៃផ្ទៃលើ

រូបភាព ៥.៦១ ឧបករណ៍វាស់កម្រាស់និងទំហំវត្ថុសំណាក (ម៉ែត្រកៀប)

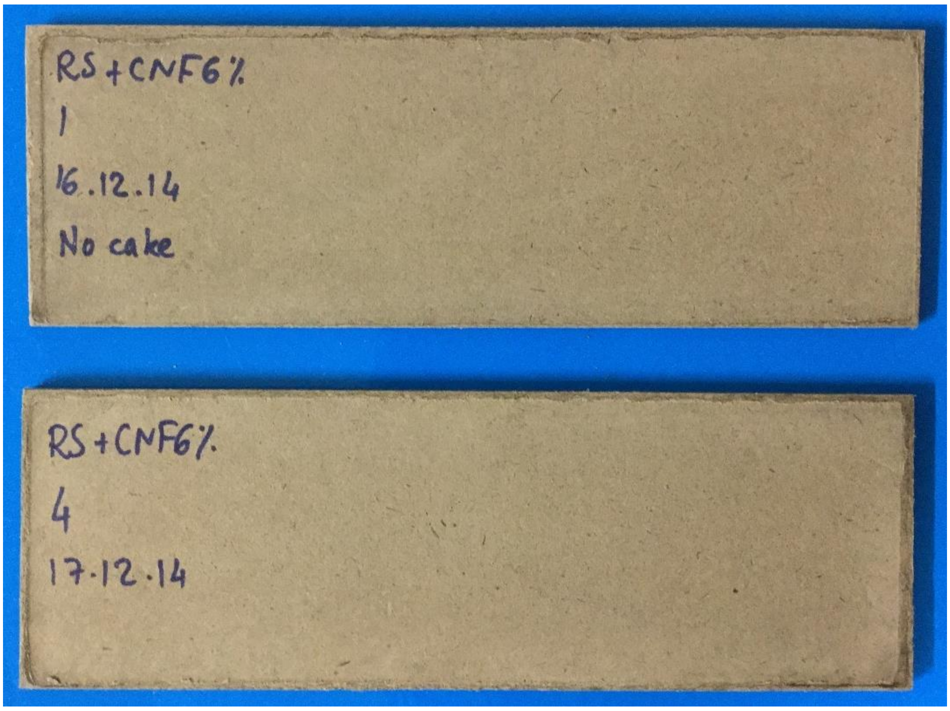
រូបភាព ៥.៦២ ទូរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់ លើសីតុណ្ហភាពនិងសំណើម (Climatic chamber)

រូបភាព ៥.៦៣ រណារលើតុសម្រាប់កាត់វត្ថុសំណាក

៥.៧.៣ សំណាកវិភាគ

ក ការរៀបចំសំណាកវត្ថុវិភាគ

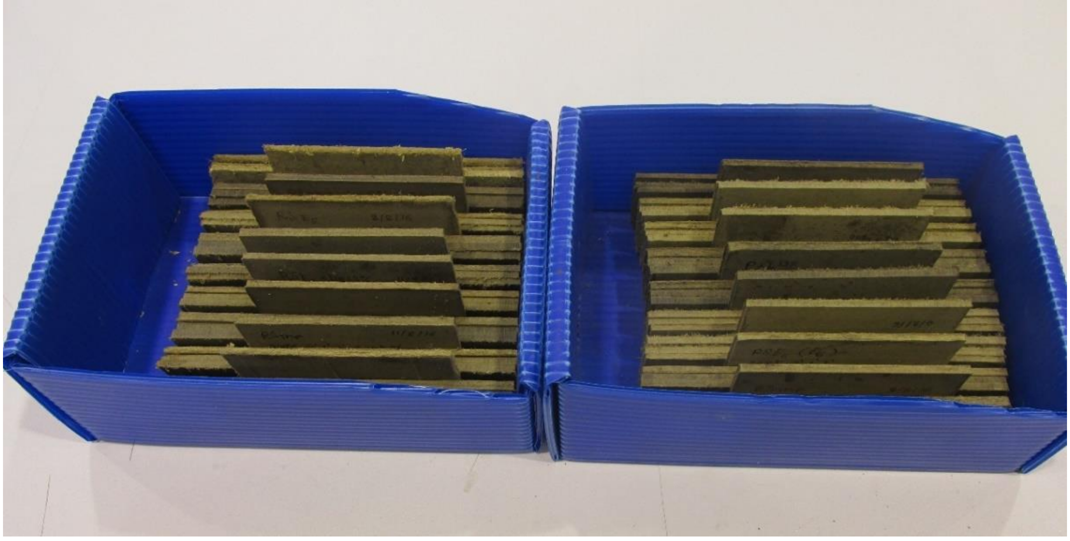
យោងតាមស្តង់ដារវិភាគរបស់សហគមន៍អឺរ៉ុប សំណាកវិភាគលើភាពមាំ និងភាពយឺតត្រូវមានទំហំតូចបំផុត ៥០ ម.ម x ១៥០ ម.ម (រូបភាព ៣.២០) ។ ដូចនេះ ប្រសិនបើវត្ថុសំណាកមានទំហំធំជាងនេះ គេអាចកាត់តាមទំហំនេះ (រូបភាព ៥.៦៤) ប៉ុន្តែបើតូចជាងនេះមិនអាចវិភាគតាមស្តង់ដារអឺរ៉ុបនេះបានទេ។ ការវាស់ត្រូវប្រើម៉ែត្រកៀបដែលមានកម្រិតលម្អៀង ± ០.០១ ម.ម ។ ការវាស់ទំហំគួរធ្វើចំនួន ៤ ចំណុចនៃបណ្តោយ ៣ ទៅ ៤ ចំណុចនៃទទឹង និង ៣ ទៅ ៤ ចំណុចនៃកម្រាស់ រួចវិភាគតម្លៃមធ្យម ដើម្បីកាត់បន្ថយកម្រិតលម្អៀង ដោយសារវត្ថុសំណាកដែលបានផលិតសម្រាប់ការពិសោធន៍ដែលមិនបានឆ្លងកាត់ឧបករណ៍ខាត់ឲ្យស្មើមិនមានភាពរាបស្មើគ្រប់ចំណុចនោះទេ ម្យ៉ាងទៀតការកាត់វត្ថុសំណាកក៏មិនអាចប្រាកដថាស្មើល្អឥតខ្ចោះនោះដែរ។



រូបភាព ៥.៦៤ សំណាកសម្រាប់វិភាគគុណភាពលើភាពមាំនិងភាពយឺតរបស់ផលិតផល

ខ ការរក្សាលក្ខខណ្ឌបរិយាកាសបន្ទប់របស់វត្ថុសំណាកមុនពេលវិភាគ

នៅមុនពេលវិភាគ វត្ថុសំណាកវិភាគត្រូវរក្សាទុកក្នុងទូរក្សាលក្ខណ្ឌបរិយាកាស (Climatic chamber) ដែលមានសំណើមធៀប ៦៥ ± ៥% និងសីតុណ្ហភាព ២០ ± ២ អង្សាសេ រយៈពេលយ៉ាងតិច ២៤ ម៉ោង។ ការរក្សាទុកនេះគឺធ្វើឡើងដើម្បីឲ្យម៉ាសរបស់វត្ថុសំណាកថេរ ឬ ខុសគ្នាមិនលើសពី ០.១%។



រូបភាព ៥.៦៥ វត្ថុសំណាកវិភាគរក្សាទុកសម្រាប់ការវិភាគ

៥.៧.៤ ដំណើរការវិភាគ

នៅក្នុងដំណើរការនៃការវិភាគនេះ ត្រូវអនុវត្តតាមជំហានដូចខាងក្រោម៖

- វាស់និងកត់ត្រាទំហំនិងកម្រាស់វត្ថុសំណាកនីមួយៗឲ្យបានត្រឹមត្រូវនិងច្បាស់លាស់
- លើកឧបករណ៍ឡើង
- ដាក់វត្ថុសំណាកនៅលើជើងទម្ររបស់ឧបករណ៍ រួចដាក់ឧបករណ៍ចុះមកសង្កត់ដោយធម្មតា មិនសង្កត់ ហើយក៏មិនថ្នមពេកដែរ
- បន្ទាប់ពីវិភាគរួច
- កត់ត្រាតម្លៃកម្រិត Shore D ដែលបង្ហាញនៅលើនាឡិការបស់ឧបករណ៍ សម្រាប់ប្រើជាទិន្នន័យលទ្ធផល
- ការវាស់ត្រូវធ្វើឲ្យបានច្រើន ដើម្បីកាត់បន្ថយកម្រិតលម្អៀង
- ការវាស់ត្រូវធ្វើទាំងសងខាងនៃផ្ទៃលើ និងផ្ទៃបាតរបស់វត្ថុសំណាកផលិតផល

៥.៨ ឧបករណ៍ និងសម្ភារសម្រាប់វិភាគគុណភាពសរសៃឈើ ឬ ផាល់

៥.៨.១ ឧបករណ៍វាស់សំណើម

គឺជាប្រភេទឧបករណ៍ប្រើសម្រាប់វាស់សំណើមវត្ថុធាតុដើមដូចជាសរសៃ ដើម្បីដឹងថាផលិតផលនេះមានម៉ាសស្ងួតប៉ុន្មាន និងមានជាតិទឹកប៉ុន្មានភាគរយ។ នៅមុនពេលផលិតផាល់ ឬវិភាគគុណភាពតាមប៉ារ៉ាម៉ែត្រនីមួយៗ អ្នកស្រាវជ្រាវត្រូវដឹងផលិតផល ឬ គុណភាពនេះមានម៉ាសស្ងួតប៉ុន្មាន ពីព្រោះការផលិត ឬ ការវិភាគនោះភាគច្រើនត្រូវការបន្ថែមទឹកជាល្បាយ ឬ ពង្រាវជាមុនសិន។ ក្រៅពីឧបករណ៍ទំនើបដូចជា ឧបករណ៍វាស់សំណើមប្រភេទធាប់ហ៊ាស (រូបភាព ៥.៦៦) ឬឧបករណ៍វិភាគសំណើមតាមទម្លាប់ (រូបភាព ៥.៦៧ និង ៥.៦៨)។ ករណីប្រើប្រាស់ឧបករណ៍ទំនើប (រូបភាព ៥.៦៩) មានភាពងាយស្រួល ដោយឧបករណ៍នេះត្រូវបានតំឡើងបច្ចេកទេសវិភាគនិងគណនាដោយស្វ័យប្រវត្តិ ដែលអ្នកស្រាវជ្រាវគ្រាន់តែដាក់សំណាកវិភាគចូល រួចដំណើរការវិភាគ។ បន្ទាប់មក នៅពេលដំណើរការវិភាគចប់សព្វគ្រប់នោះលទ្ធផលសំណើម ឬ ម៉ាសស្ងួតនឹងបង្ហាញនៅលើអេក្រង់របស់ឧបករណ៍តែម្តង ដោយមិនត្រូវការធ្វើការគណនាតាមរូបមន្តគណិតវិទ្យាណាមួយម្តងទៀតទេ។ ដំណើរការនេះក៏មានរយៈពេលលឿនជាងការវិភាគអត្រាសំណើមតាមទម្លាប់ផងដែរ ប៉ុន្តែអាចមានកម្រិតលម្អៀងខ្ពស់ជាងការប្រើប្រាស់ឧបករណ៍តាមទម្លាប់ និងអាស្រ័យតាមប្រភេទឧបករណ៍នីមួយៗ។

រូបភាព ៥.៦៦ ឧបករណ៍វាស់សំណើមហ៊ាស Infrared moisture tester

រូបភាព ៥.៦៧ ឧបករណ៍វាស់សំណើមដោយប្រើឡសម្ងួត (oven dryer)

៥.៨.២ ឧបករណ៍ថ្លឹងទម្ងន់

គឺជាប្រភេទឧបករណ៍ប្រើសម្រាប់ថ្លឹងសំណាកវិភាគ និងដំណើរការផលិតផាល់។

រូបភាព ៣.១១ ជញ្ជីងអេឡិចត្រូនិច

៥.៨.៣ ឧបករណ៍វិភាគលក្ខណៈរូបរបស់វត្ថុធាតុដើម (MorFI compact analyzer)

គឺជាប្រភេទឧបករណ៍ប្រើសម្រាប់វិភាគលក្ខណៈរូបសាស្ត្ររបស់សរសៃ។ លក្ខណៈរូបសាស្ត្រនៃសារធាតុសរសៃរ គឺជាវិទ្យាសាស្ត្រដែលសិក្សាពីទម្រង់នៃសារធាតុសរសៃរ ដែលសម្ដៅទៅលើ រាងរៅរបស់សារធាតុសរសៃរ(រួញ ក្រញាញ់) ទំហំ(ប្រវែងបណ្ដោយ អង្កត់ផ្ចិត និងសមាមាត្រប្រវែងនិងអង្កត់

ផ្ចិត) និងបរិមាណសារធាតុសរសៃរតូចៗផ្ទារ *(fines element)* ជាដើម។ ឧបករណ៍ឈ្មោះ *MorFi Compact analyzer* ត្រូវបានប្រើប្រាស់សម្រាប់ការវិភាគនេះ (*González et al.,* 2013)។

រូបភាព ៥.៦៨ ឧបករណ៍វិភាគលក្ខណៈរូបរបស់វត្ថុធាតុដើម *(MorFI compact analyzer*)

បណ្ណាល័យសាស្ត្រ

ម៉ែន សារុម (២០១២) ការស្រាវជ្រាវនិងការពិសោធន៍កសិកម្ម។ សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម ភ្នំពេញ កម្ពុជា

John W. Creswell (2012) Educational Research: Planning, conducing and evaluating quantitative and qualitative research. Fourth edition.

Burke Johnson and Larry Christensen (2014) Educational Research: Quantitative, Qualitative, and Mixed Approaches. Fifth edition.

Marguerite G. Lodico, Dean T. Spaulding, Katherine H. Voeglte (2006) Methods in Educational Research: From Theory to Practice.

Louis Cohen, Lawrence Manion, Keith Morrison (2000) Research Methods in Education. Fifth edition.

Leedy, P. D., & Ormrod, J. E. (2001). Practical research: Planning and design (7th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Mark, M. M., & Gamble, C. (2009). Experiments, quasi-experiments, and ethics. In D. M. Mertens & P. E. Ginsberg (Eds.), The handbook of social research ethics, pp. 198–213. Thousand Oaks, CA: Sage

Brown, B. L., & Hedges, D. (2009). Use and misuse of quantitative methods: Data collection, calculation, and presentation. In D. M. Mertens & P. E. Ginsberg (Eds.), The handbook of social research ethics (pp. 373–385). Los Angeles, CA: Sage.

Rossi, P. H., Lipsey, M. W., & Freeman, H. E. (2004). Evaluation: A systematic approach. Thousand Oaks, CA: Sage

Davidson, E. J. (2005). Evaluation methodology basics: The nuts and bolts of sound evaluation. Thousand Oaks, CA: Sage.

Harding, S. (Ed.). (2004). The feminist standpoint theory reader. New York, NY: Routledge.

Kirkpatrick, D. L. (2005). Evaluating training programs: The four levels. San Francisco, CA: Berrett-Koehler.

Phillips, D. C., & Burbules, N. C. (2000). Postpositivism and educational research. New York, NY: Rowman & Littlefield.

Reason, P., & Bradbury, H. (Eds.). (2006). Handbook of action research: Concise paperback edition. Thousand Oaks, CA: Sage.

Sandoval, C. (2000). Methodology of the oppressed. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Giuliano Vox, Rosa Viviana Loisi, Ileana Blanco, Giacomo Scarascia Mugnozza, Evelia Schettini (2016) Mapping of Agriculture Plastic Waste. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, 583-591

Picuno P. (2014) Innovative Material and Improved Technical Design for a Sustainable Exploitation of Agricultural Plastic Film. *Polymer Plastic Technological Engineering*, 53, 1000-1011.

Wang J., Zhang S. Lv, M., Chen G., Zhu T., Zhang S., Y. Teng, P. Christie, Luo Y. (2016) Effects of plastic film residues on occurrence of phthalates and microbial activity in soils. *Chemosphere*, 151 171–177. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2016.02.076.

Scalenghe R. (2018) A perspective of plastics degradation in soil with a focus on end-of-life options, Heliyon. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00941.

Evans M.R., Hensley D.L. (2004) Plant growth in plastic, peat, and processed poultry feather fiber growing containers, *HortScience*. 39, 1012–1014.

Evans M.R., Taylor M., Kuehny J. (2010) Physical properties of biocontainers for greenhouse crops production, *Horttechnology*. 20, 549–555.

Evans M.R., Koeser A.K., Nambuthiri G. Bi, S., Geneve R., Lovell S.T., Ryan Stewart J. (2015) Impact of biocontainers with and without shuttle trays on water use in the production of a containerized ornamental greenhouse crop, *Horttechnology*. 25, 35–41.

Kyrikou I., Briassoulis D. (2007) Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A Critical Review, *J. Polym. Environ*. 15, 125–150. https://doi.org/10.1007/s10924- 007-0053-8.

Candido V., Castronuovo D., Miccolis V. (2011) The use of biodegradable pots for the cultivation of poinsettia, *Acta Hortic.* 893, 1147–1154. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.893.132.

Kasirajan S., Ngouajio M. (2012) Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review, *Agronomic Sustainable Development.* 32, 501–529. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0068-3.

Schettini E., Sartore L., Barbaglio M., Vox G. (2012) Hydrolyzed protein based materials for biodegradable spray mulching coatings, *Acta Hortic*. 952, 359–366. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.952.45.

Sartore L., Schettini E., Bignotti F., Pandini S., Vox G. (2018) Biodegradable plant nursery containers from leather industry wastes, *Polym. Compos*. 39, 2743– 2750. https://doi.org/10.1002/pc.24265.

Candido V., Miccolis V., Gatta G., Margiotta S., Picuno P., Manera C. (2001) The effect of soil solarization and protection techniques on yield traits of melon in unheated greenhouse, in: Acta Hortic., International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 705–712. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.559.104.

Lucas N., Bienaime C., Belloy C., Queneudec M., Silvestre F., Nava Saucedo J.-E. (2008) Polymer biodegradation: mechanisms and estimation techniques., *Chemosphere.* 73, 429–442. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.06.064.

Gómez E.F., Michel F.C. (2013) Biodegradability of conventional and bio-based plastics and natural fiber composites during composting, anaerobic digestion and long-term soil incubation, *Polymer. Degradation. Stab*. 98, 2583–2591. https://doi.org/10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2013.09.018.

Rydz J., Sikorska W., Kyulavska M., Christova D. (2015) Polyester-based (bio)degradable polymers as environmentally friendly materials for sustainable development, Int. *J. Mol. Sci.* 16, 564–596. https://doi.org/10.3390/ijms16010564.

Hall C.R., Lopez R.G., Dennis J.H., Yue C., Campbell B.L., Behe B.K., (2010) The appeal of biodegradable packaging to floral consumers, *HortScience*. 45, 583–591.

Hall T.J., Lafayette W., Dennis J.H., Lopez R.G., Drive A.M., Lafayette W., Marshall M.I., Lafayette W., (2009) Factors Affecting Growers ' *Willingness to Adopt Sustainable Floriculture Practices*, 44, 1346–1351.

Hall T.J., Dennis J.H., Lopez R.G., Marshall M.I., (2009) Factors affecting growers' willingness to adopt sustainable floriculture practices, *HortScience*. 44, 1346–1351.

Koeser A., Lovell S.T., M. Evans, Stewart J.R., (2013) Biocontainer water use in shortterm greenhouse crop production, *Horttechnology*. 23, 215–219.

Yamauchi M., Masuda S., Kihara M., (2006) Recycled pots using sweet potato distillation lees, *Resour. Conserv. Recycl.* 47, 183–194. https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2005.10.008.

Malinconico M., (2017) Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-54130-2.

Niaounakis M., (2015) Definitions of Terms and Types of Biopolymers, in: M. Niaounakis (Ed.), Biopolym. Appl. Trends, William Andrew Publishing, 1–90. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35399-1.00001-6.

Shamsuddin R., (2013) Protein-Intercalated Bentonite for Bio-composites, University of Waikato. https://hdl.handle.net/10289/7719.

Aurebach S.M., Carrado K.A., Dutta P.K., (2004) Handbook of Layered Materials, 1st Editio, CRC Press.

Sharma S.K., Nema A.K., Nayak S.K., (2015) Effect of modified clay on mechanical and morphological properties of ethylene octane copolymer – polypropylene nanocomposites. https://doi.org/10.1177/0021998311413686.

Castronuovo D., Picuno P., Manera C., Scopa A., Sofo A., (2015) Scientia Horticulturae Biodegradable pots for Poinsettia cultivation : *Agronomic and technical traits*, 197 150–156.

She D., Dong J., J. Zhang, L. Liu, Q. Sun, Geng Z., Peng P., (2019) Development of black and biodegradable biochar/gutta percha composite films with high stretchability and barrier properties, *Composites Science Technology* 175, 1–5. https://doi.org/10.1016/J.COMPSCITECH.2019.03.007.

Sun E., Liao G., Q. Zhang, P. Qu, Wu G., Huang H., (2019) Biodegradable copolymerbased composites made from straw fi ber for biocomposite fl owerpots application, *Compos. Part B.* 165, 193–198. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.121.

Finkenstadt V.L., Tisserat B., (2010) Poly(lactic acid) and Osage Orange wood fiber composites for agricultural mulch films, Ind. Crops Prod. 31, 316–320. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2009.11.012.

Zeng X., Zhong B., Z. Jia, Q. Zhang, Chen Y., Jia D., (2019) Halloysite nanotubes as nanocarriers for plant herbicide and its controlled release in biodegradable polymers composite film, Appl. Clay Sci. 171, 20–28. https://doi.org/10.1016/J.CLAY.2019.01.021.

Schettini E., Santagata G., M. Malinconico, B. Immirzi, Scarascia Mugnozza G., Vox G., (2013) Recycled wastes of tomato and hemp fibres for biodegradable pots: Physico-chemical characterization and field performance, Resour. Conserv. Recycl. 70, 9–19. https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2012.11.002.

Grazuleviciene V., Augulis L., Grazulevicius J. V, Kapitanovas P., Vedegyte J., (2007) Biodegradable starch, PVA, and peat composites for agricultural use, Russ. *J. Appl. Chem.* 80, 1928–1930. https://doi.org/10.1134/S1070427207110304.

Santos C., Mateus A., A. Mendes, Malça C., (2017) Processing and Characterization of Thin Wall and Biodegradable Injected Pots, *Procedia Manuf.* 12, 96–105. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.08.013.

Trabka G., (2009) Bottomless plant container, Patent No. US 2009/0025290 A1, retrieved from https://patents.google.com/patent/US20090025290.

Cabrera Barja G., Soto Sanchez O., (2010) Biodegradable composition, preparation method and their application in the manufacture of functional containers for agricultural and/or forestry use, Patent No. CA 2688516 A1, retrieved from https://patents.google.com/patent/CA2688516A1/fi.

Tighzert E., Thi H., L. Nguyen, F. Berzin, Risse S.E., Vitofrancesco M., (2013) Composition a basic agri-sources and biodegradable polymers, Patent No. FR 3 014 885 A1, retrieved from https://patents.google.com/patent/FR3014885A1/en.

Environment FCC (2015) Linear to Circular Economy – closing the loop. https://www.fcc-group.eu/en/fcc-cee-group/news-and-media/stories-of-waste/fromlinear-to-circular-economy-closing-the-loop.html, (accessed 11 October 2019).

Sun Y., Niu G., A.K. Koeser, G. Bi, V. Anderson, K. Jacobsen, R. Conneway, S. Verlinden, Stewart R., Lovell S.T., (2015) Impact of biocontainers on plant performance and container decomposition in the landscape, *Horttechnology*. 25, 63–70.

Lopez R.G., Camberato D.M., (2011) Growth and Development of 'Eckespoint Classic Red' Poinsettia in Biodegradable and Compostable Containers, *HorTechnology*. 21, 419–423. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.4.419.

Wang X., Fernandez R.T., B.M. Cregg, R. Auras, A. Fulcher, D.R. Cochran, G. Niu, Y. Sun, Bi G., Nambuthiri S., Geneve R.L., (2015) Multistate Evaluation of Plant Growth and Water Use in Plastic and Alternative Nursery Containers, *Horttechnology.* 25, 42–49. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.25.1.42.

Nambuthiri S.S., Ingram D.L., (2014) Evaluation of Plantable Containers for Groundcover Plant Production and Their Establishment in a Landscape, *Horttechnology.* 24, 48–52. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.24.1.48.

Li T., Bi G., R.L. Harkess, G.C. Denny, Blythe E.K., Zhao X., (2018) Nitrogen Rate, Irrigation Frequency, and Container Type Affect Plant Growth and Nutrient Uptake of Encore Azalea 'Chiffon,' *HortScience.* 53, 560–566. https://doi.org/10.21273/HORTSCI12817-17.

Flax N.J., Currey C.J., J.A. Schrader, D. Grewell, Graves W.R., (2018) Herbaceous Perennial Producers Can Grow High-quality Blanket Flower in Bioplastic-based Plant Containers, *Horttechnology.* 28, 212–217. https://doi.org/10.21273/HORTTECH03922-17.

Beeks S.A., Evans M.R., (2013) Growth of Cyclamen in Biocontainers on an Ebb-andFlood Subirrigation System, Horttechnology. 23, 173–176. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.23.2.173.