



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราช

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
SUKHOTHAI THAMMATHIRAT OPEN UNIVERSITY

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - มิถุนายน 2566





วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม 2566 – มิถุนายน 2566

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

ดร.สิทธิชัย รัชชศโยธิน

ประธานกรรมการประจำ สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนกฤต โชติภาวริศ

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฐากร พงศ์วันประสุต

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปราการเจริญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เปรมพร เขมามุขม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏธรงค์ จตุรัส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อีธรรมมาร

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ดร.เตชรัฐสินปี เพี้ยซ้าย

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

รายนามคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ประจำฉบับ

รองศาสตราจารย์ ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อีธรรมมาร	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณี อัสกุลชัย	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธารชุตตา พันธนิกุล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.จุฬารัตน์ เอี่ยมสมัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.ณราวดี สิทธิเดชอำรง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ดร.เดชรัฐสินธุ์ เพี้ยชัย	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ดร.ธีรินทร์ คงพันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ฝ่ายบริหารจัดการประจำปี

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

9/9 หมู่ 9 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

โทรศัพท์ : 02-5048191 – 3 โทรสาร : 02-5034932

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานการวิจัยและผลงานวิชาการให้ทันสมัยและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง
2. เพื่อเป็นสื่อกลางและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการ
3. เพื่อส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพทางวิชาการของบุคลากรทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน, กรกฎาคม– ธันวาคม) ของทุกปี

ลักษณะของบทความ

1. ครอบคลุมในหัวเรื่องวิชาการและวิจัย
2. บทความที่นำเสนอต้องมีแนวทางสร้างสรรค์ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าของ
การศึกษา เศรษฐกิจ และสังคมโดยรวม
3. บทความที่นำเสนอต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการอื่นใดมาก่อน
4. ผู้เขียนจะต้องรับผิดชอบในข้อเขียน ข้อคิดเห็นของผู้เขียนต่อข้อกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่อ
บทความนั้น

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ฉบับนี้เป็นปีที่ 3 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน 2566 ซึ่งเป็นฉบับแรกของปีที่ 3 ซึ่งสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีวัตถุประสงค์สำคัญคือการเป็นพื้นที่ในการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ รวมถึงเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนแนวคิดให้กับ คณาจารย์และนักวิชาการทั่วไป เพื่อส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพทางวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยฉบับนี้ได้มีการเผยแพร่ผลงานทางวิจัยจำนวนทั้งสิ้น 3 บทความ ซึ่งทุกบทความได้ผ่านการประเมิน คุณภาพ อย่างเข้มข้นจากผู้ทรงคุณวุฒิตามศาสตร์สาขาที่เกี่ยวข้องจากหลากหลายสถาบัน ทำให้มั่นใจได้ว่า ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่นี้มีคุณภาพสามารถนำไปศึกษาค้นคว้า อ้างอิง รวมถึง นำไปใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติได้ต่อไป

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิจากหลากหลายสถาบัน ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการประเมินคุณภาพของบทความเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ ขอขอบคุณนักวิชาการที่ให้ความไว้วางใจส่งผลงานเข้ารับการเผยแพร่ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการที่จะกระตุ้นความคิดและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้อันจะนำมาซึ่งกระบวนการค้นคว้าทางความคิด รวมถึงให้องค์ความรู้ดังกล่าวทำหน้าที่ในการพัฒนาสังคมและประเทศชาติต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภุต โชติภาวริศ

บรรณาธิการ



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม 2566 – มิถุนายน 2566

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University

Vol.3, No.1, January 2023 - June 2023

สารบัญ

หน้า

1. กระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์สำหรับงานหัตถกรรม..... 1
อุดมเดชา พลเยี่ยม และนิภาพร ปัญญา
2. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับระบบไมโครตรีเดนเชียลส์.....13
ณัฐพร เห็นเจริญเลิศ, วรัญญา ปุณณวัฒน์ และอำนาจ ธรรมกิจ
3. การศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนของเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านยางคอมพอสิต
ตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตด้วยแผ่นรับภาพทางรังสี.....29
พนพน สาวีโรจน์ และพิทยา สีสด

กระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์สำหรับงานหัตถกรรม

Paper from sisal waste for handicrafts

อุดมเดช พลเยี่ยม¹ และ นิภาพร ปัญญา²

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1

แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800, E-Mail: udomdeja.p@rmutp.ac.th

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เลขที่ 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1

แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800, E-Mail: nipaporn.p@rmutp.ac.th

Udomdeja Polyium¹ and Nipaporn Panya²

¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, 1381 Pracharat 1

Road, Wongsawang, Bang Sue, Bangkok 10800, E-Mail: udomdeja.p@rmutp.ac.th

²Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, 1381 Pracharat 1

Road, Wongsawang, Bang Sue, Bangkok 10800, E-Mail: nipaporn.p@rmutp.ac.th

วันที่รับบทความ 10 พฤษภาคม 2566

วันแก้ไขบทความ 26 มิถุนายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 26 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาสภาวะในการทำกระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์ชุมชนหุบกะพง จังหวัดเพชรบุรี 2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติของกระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์ การทำกระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ การเตรียมเยื่อกระดาษ การต้มเยื่อกระดาษ การฟอกเยื่อกระดาษ การทำแผ่นกระดาษ การทดสอบคุณสมบัติกระดาษ และแนวทาง การทำผลิตภัณฑ์หัตถกรรม ผลการวิจัยพบว่า 1) สภาวะที่ใช้ในการทำกระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์ ประกอบด้วยน้ำยาต้มเยื่อ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการต้มเยื่อดังนี้ น้ำยาต้มเยื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2 ระดับคือ ความเข้มข้น 2% และ 4% โดยปริมาตร การต้มเยื่อใช้ระยะเวลาในการต้มเยื่อมี 3 ช่วงคือ ระยะเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิระดับเดียวคือ 200 องศาเซลเซียส จากสภาวะดังกล่าวจะได้กระดาษทั้งหมด 6 แบบ 2) กระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์มีคุณสมบัติดังนี้ น้ำหนักมาตรฐานมีค่าอยู่ระหว่าง 42.15-65.89 g/m² ความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 159.21- 189.74 ไมครอน ความชื้นมีค่าอยู่ระหว่าง 9.48 -11.81 % ความขาวสว่างมีค่าอยู่ระหว่าง 75.41 - 90.48 % ความทึบแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 75.15 - 92.71% ความต้านแรงดันทะลุมีค่าอยู่ระหว่าง 34.22 - 49.56 KPa ความต้านแรงดึง มีค่าอยู่ระหว่าง 75.32 - 102.25 KN/m² และความต้านแรงฉีกขาดมีค่าอยู่ระหว่าง 348.91 - 398.77 mN ทั้งนี้สภาวะที่ 1 ใช้ น้ำยาต้มเยื่อที่มีความเข้มข้น 2% เวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำกระดาษสำหรับงานหัตถกรรม

คำสำคัญ: การทำกระดาษ, กระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์, กระดาษสำหรับงานหัตถกรรม

ABSTRACT

This research aimed to 1) study the conditions for making paper from sisal residues. 2) to study the properties of paper from sisal waste. The research process is as follows: pulp preparation, pulp brewing, pulp bleaching, paper plate making, paper properties testing, and product development of decorative containers and souvenirs. The results showed that 1) The conditions used for making paper from sisal waste consisted of the pulping solution, temperature, and pulping time. The pulping solution used sodium hydroxide solution at two concentrations, 2% and 4% by volume. There are three periods of pulping, namely 2, 4, and 6 hours. The only temperature level is 200 °C. From these conditions, six types of paper are obtained. 2) The sisal paper has the following properties, basis weight 42.15-65.89 g/m², thickness 159.21- 189.74 microns, moisture content 9.48-11.81%, brightness 75.41 - 90.48%, opacity 75.15-92.71%, burst strength 34.22-49.56 KP, tensile strength 75.32-102.25 KN/m² and the tear strength 348.91-398.77 mN. However, condition one was used to boil pulp with a concentration of 2% for 2 hours at a temperature of 200 degrees Celsius, which was the most suitable condition for making paper for handicrafts.

KEYWORDS: Papermaking, Paper from sisal waste, Paper for crafting

1. บทนำ

ในพื้นที่ของจังหวัดเพชรบุรีมีกลุ่มชุมชนที่ประกอบอาชีพปลูกป่านศรนารายณ์เป็นอาชีพหลักและอาชีพเสริมเพื่อส่งจำหน่ายใบป่านศรนารายณ์สดและป่านศรนารายณ์แปรรูปให้แก่กลุ่มชุมชนผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ป่านศรนารายณ์ที่อยู่ในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดใกล้เคียง กลุ่มชุมชนผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ป่านศรนารายณ์ ได้แก่ กลุ่มสหกรณ์จักสานป่านศรนารายณ์ กลุ่มผลิตภัณฑ์ป่านศรนารายณ์ กลุ่มผู้ผลิตไม้กวาดป่านศรนารายณ์ กลุ่มสตรีศิลปาชีพป่านศรนารายณ์สหกรณ์หุบกะพง โดยชุมชนที่ปลูกป่านศรนารายณ์บางชุมชนได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการปลูกป่านศรนารายณ์ อาทิ หมู่บ้านสหกรณ์การเกษตรหุบกะพง จังหวัดเพชรบุรีมีพื้นที่เพาะปลูกจำนวนมาก การจำหน่ายป่านศรนารายณ์แปรรูปให้แก่ชุมชนผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากป่านศรนารายณ์นั้นจะจำหน่ายในลักษณะของเส้นใยป่านศรนารายณ์ การทำเส้นใยเริ่มจากขั้นตอนการนำใบของ ป่านศรนารายณ์ที่ตัดและทำความสะอาดแล้วมาชูดด้วยเครื่องชูดเส้นใย และนำเส้นใยที่ผ่านการชูดแล้วมาล้างให้สะอาดนำไปผึ่งตากแดดให้แห้ง มีดรวมกันพร้อมนำออกจำหน่ายได้ ทั้งนี้ในขั้นตอนการตัดเส้นใยและการชูดเส้นใยด้วยเครื่องจะมีส่วนต่างๆ ของป่านศรนารายณ์ที่เป็นเศษเหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก บางส่วนของเศษเหลือทิ้ง ชุมชนผู้ผลิตจะนำมาใช้เป็นวัสดุกันกระแทก แต่ส่วนใหญ่จะปล่อยทิ้งเป็นจำนวนมากที่ไม่ได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งส่วนของเศษเหลือทิ้งทั้งสดและแห้งนี้ จะก่อให้เกิดปัญหาด้านกลิ่นซึ่งเกิดจากการหมักเน่าโดยธรรมชาติและส่งผลทำให้เกิดน้ำเน่าในบริเวณดังกล่าว

ปัจจุบันความต้องการกระดาษโดยรวมเพิ่มขึ้นตามประชากรโลก กระดาษสำหรับงานหัตถกรรมเป็นอีกประเภทหนึ่งที่ทำรายได้ให้กับประเทศจำนวนมาก มีการผลิตทั้งในระดับครัวเรือน ระดับผู้ประกอบการขนาดกลาง และระดับผู้ประกอบการขนาดใหญ่ ทำให้การผลิตกระดาษขยายตัวมากยิ่งขึ้น ผู้ผลิตใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบสับปะรด ชานอ้อย ผักตบชวา และอื่น ๆ เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษสำหรับงานหัตถกรรม

การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการนำส่วนของป่านศรนารายณ์ที่เหลือทิ้งจากการชูดเส้นใย และการแยกเส้นใย และส่วนที่เหลือทิ้งของเปลือกป่านศรนารายณ์มาพัฒนาเป็นกระดาษสำหรับงานหัตถกรรม ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถสร้างรายได้ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตผลิตภัณฑ์หัตถกรรมจากกระดาษอีกทางหนึ่ง รวมไปถึงการแก้ปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบในการทำกระดาษ ลดการทำลายป่า ส่งเสริมการพัฒนาเศรษฐกิจของชุมชน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาสภาวะในการทำกระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์
- 2.2 เพื่อศึกษาสมบัติของกระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ

กระบวนการทำเยื่อและกระดาษสำหรับงานหัตถกรรมชุมชน (นุชศรา นงนุช, 2553, 17-24 และ Leulee, 2564, 22-25) กล่าวไว้ สรุปได้ดังนี้

1. วัตถุดิบ พืชที่เหมาะสมจะนำมาทำกระดาษควรมีปริมาณเส้นใยมาก และมีลักษณะเส้นใยยาว โดยสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือพืชยืนต้น (Wood) และ พืชล้มลุก (Non-wood) พืชล้มลุกได้แก่ (1) ส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย (2) พืชที่ปลูกขึ้นหรือเกิดขึ้นเอง เช่น ต้นไผ่ ผักตบชวา กระจูดปาล์ม (3) เส้นใยจากพืชผลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ได้แก่ เส้นใยจากเปลือกในและลำต้น เช่น ปอสา กระเจี๊ยบ เตื่อ หม่อน

2. การเตรียมเยื่อ เป็นการทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็ก ประกอบด้วยวิธีเมคานิกัล (Mechanical) วิธีเคมีเกิล (Chemical) และวิธีเคมีกึ่ง (Semichemical) ซึ่งจะได้เยื่อที่แตกต่างกัน วิธีเคมีเกิลจะได้ความสะอาดมาก เพราะถูกต้มด้วยน้ำยาเคมีในหม้อต้ม ภายใต้ความดันจนกระทั่งเส้นใยของไม้แยกจากกัน เยื่อจะมีความนุ่ม และเหนียวพอกให้ขาดได้ง่าย จึงใช้ทำกระดาษได้หลาย ๆ ชนิด ที่ใช้กันแพร่หลาย

3. การล้างร้อนเยื่อ เป็นการนำเยื่อไปล้างเอาน้ำยาต้มหรือสารเคมี สิ่งสกปรกที่ตกค้างอยู่ออกให้หมด โดยผ่านตะแกรงร้อนเยื่อแบบต่าง ๆ เพื่อเอาสิ่งแปลกปลอมออกให้หมด เยื่อในขั้นตอนนี้จะมียีนน้ำตาล

4. การฟอกเยื่อ กระบวนการฟอกเยื่อที่นิยมใช้กันคือกระบวนการ CEHD (C=Chlorination E=Alkali Extraction H=Hypochlorite และ D=Chlorine Dioxide) ขั้นแรกเป็นการฟอกด้วยสารคลอรีน หลังจากนั้นนำไปฟอก หรือต้มด้วยโซดาไฟ การฟอกสองขั้นแรกนี้เป็นการดึงเอาลิกนินที่คงเหลือหลังการต้มเยื่อออก หลังจากนั้นก็เป็นฟอกเส้นใยให้มีสีขาวด้วยน้ำยาฟอกขาวไฮโป แต่เนื่องจากความขาวของเส้นใยยังไม่มากพอ และเพื่อให้ได้เยื่อซึ่งมีความขาวสูง โดยที่ตัวเส้นใยไม่เสียหาย (Degradation) จึงต้องใช้ก๊าซคลอรีนไดออกไซด์(ClO_2) ในการฟอก ก๊าซนี้มีคุณสมบัติดีกว่าน้ำยาไฮโป เพราะไม่ทำให้คุณภาพของเส้นใยด้านความเหนียวลดลง

5. กระบวนการผลิตกระดาษ การผลิตกระดาษสำหรับงานหัตถกรรมชุมชน ใช้วิธีการการดักซ้อน โดยนำเยื่อที่ผ่านการเตรียมมาแล้วละลายลงในบ่อซ้อนลึก 80 เซนติเมตร ใช้ไม้กวาดเยื่อให้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ การดักซ้อนโดยทั่วไปจะใช้ตะแกรงไวนิล และตะแกรงมุ้งลวดซึ่งอยู่บนเฟรมไม้ทำการดักซ้อนเยื่อขึ้นมา จากนั้นทำให้แห้งโดยการนำตะแกรงไปตากแดด หรืออบแห้ง เป็นการใช้ความร้อนจากแสงแดดเมื่อแห้งดีแล้วจึงแกะกระดาษออก

3.2 คุณสมบัติทั่วไปของกระดาษ

คุณสมบัติทั่วไปของกระดาษ ประกอบด้วยคุณสมบัติด้านกายภาพ คุณสมบัติด้านทัศนมิติ และคุณสมบัติความแข็งแรง จูฑารินีย์ สุโรพันธ์, 2562, 27-28., นุชศรา นงนุช, 2553, 31-35 และ Leulee, 2564, 25-27 กล่าวไว้ สรุปได้ดังนี้

3.2.1 คุณสมบัติด้านกายภาพ

1. น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight or Grammage) หมายถึงน้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่ได้มีการควบคุมตามมาตรฐานกำหนด หน่วยที่ใช้ กรัมต่อตารางเมตร

2. ความหนา (Thickness) หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษระบบ SI ใช้หน่วยไมโครเมตร (micrometer)

3. ความชื้น หมายถึง ผลต่างระหว่างน้ำหนักของแผ่นเยื่อทดลองที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 2 และอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส กับน้ำหนักของแผ่นเยื่อที่อบแห้งอุณหภูมิ 105 ± 1 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นร้อยละ

3.2.2 คุณสมบัติด้านทัศนมิติ

1. ความขาวสว่าง (Brightness) หมายถึง ค่าการสะท้อนแสงของแสงสีน้ำเงินที่ช่วงคลื่น 457 นาโนเมตร (nm) ความขาวสว่างเป็นเกณฑ์การวัดทางฟิสิกส์ มีหน่วยเป็นร้อยละ

2 ความทึบแสง (Opacity) ความทึบแสงสามารถวัดได้โดยเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงสีเขียวที่ช่วงคลื่น 557 นาโนเมตร ระหว่างกระดาษแผ่นเดียวที่รองหลังด้วยพื้นดำสนิท กับกระดาษที่วางซ้อนกันหนาจนแสงไม่ผ่านทะลุ

3.2.3 คุณสมบัติความแข็งแรง

1. ความต้านแรงดันทะลุ (Burst strength) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะทนแรงดันได้สูงสุด เมื่อได้รับแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากต่อผิวหน้ากระดาษ มีหน่วยเป็น กิโลปาสคาล (kPa) หรือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2. ความต้านแรงดึง (Tensile strength) หมายถึง ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดที่กระดาษจะทนได้ก่อนจะขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ของกระดาษที่ใช้ทดสอบ เช่น กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (kN/m^2)

3. ความต้านแรงฉีกขาด (Tearing resistance) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกระทำ ซึ่งจะทำให้ฉีกขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ของกระดาษที่ฉีกได้เป็น $\text{mN.m}^2/\text{g}$ หรือ mN

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สิทธิศานต์ วชิราภาพ (2542) ศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากต้นยูคาเลียพตัสด้วยกระบวนการซัลเฟต โดยกำหนดปริมาณสารเคมี ระยะเวลาในการต้มที่เหมาะสม และทดลองการฟอกเยื่อรูปแบบปราศจากธาตุคลอรีนในแบบ D1-E1-D2 สภาพที่เหมาะสมในการต้มเยื่อ จากยูคาเลียพตัสในกระบวนการต้มเยื่อซัลเฟตที่ระดับ effective alkali ร้อยละ 25 และ sulfidity ร้อยละ 20 ที่ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมง โดยให้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 36.4 ของน้ำหนักเยื่อดิบแห้ง ดัชนีความต้านแรงดึง 68.2 กิโลนิวตัน.เมตร/กิโลกรัม ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด 6.60 นิวตัน.ตารางเมตร/กิโลกรัม และดัชนีความต้านแรงดันทะลุ 4.41 กิโลปาสคาล.ตารางเมตร/กรัม เพราะมีค่าดัชนีความต้านแรงดึง ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดและดัชนีความต้านแรงดันทะลุสูงสุด ซึ่งสามารถนำไปทำกระดาษที่ไม่พอกขาวได้ดี สภาพที่เหมาะสมในการฟอกเยื่อ สภาพที่เหมาะสมในการฟอกเยื่อรูปแบบปราศจากยูคาเลียพตัสให้ขาวใช้เยื่อที่ได้จากกระบวนการต้มเยื่อซัลเฟตที่ระดับ effective alkali ร้อยละ 25 และ sulfidity ร้อยละ 30 ที่ระยะเวลาในการต้ม 2 ชั่วโมงเพราะมีค่า kappa number ต่ำเท่ากับ 22.6 เวลาที่ใช้เหมาะสมในการฟอกเยื่อแบบปราศจากยูคาเลียพตัสโดยทำการฟอก 3 ขั้นตอนแบบ D1-Ep-D2 ความขาวสว่างของเยื่อฟอกที่ได้เท่ากับร้อยละ 75.0

รุ่งอรุณ และคณะ (2542) ศึกษาการผลิตเยื่อปอสาคุณภาพสูงในเชิงหัตถกรรม โดยนำปอสา 200 กรัมที่แช่น้ำ 1 คืน มาต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 ของน้ำหนักปอสา เป็นเวลา 3 ชม. พบว่าเยื่อที่ได้มีความขาวสว่าง ร้อยละ 25.6 37.6 46.4 และ 47.1 ตามลำดับ

สุญา ฤทธิศร และคณะ (2559) ศึกษาการผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมด้วยเปลือกสับปะรดจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง พบว่าการใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักเยื่อ ได้เยื่อกระดาษที่มีค่าแคปปานัมเบอร์ต่ำที่สุด เมื่อศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกเยื่อร้อยละ 0, 10 และ 20 ของน้ำหนักเยื่อ ตามลำดับ พบว่าคุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ ได้แก่ ความต้านทานแรงฉีกขาด มีค่า 16.71 ± 0.31 , 23.12 ± 0.12 , และ $22.11 \pm 0.09 \text{ mN.m}^2/\text{g}$

ความต้านทานแรงดึงของกระดาษ มีค่า 8.20 ± 0.51 kN/m, 10.27 ± 0.10 kN/m และ 9.70 ± 1.21 kN/m และความต้านทานแรงดันทะลุ มีค่า $1,008.67 \pm 58.06$ kPa, $1,273.33 \pm 25.14$ และ $1,128.67 \pm 76.14$ kPa ตามลำดับ

ชญาณิน วังตาล และรักชนก อินจันทร์ (2560) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากชานอ้อย เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากชานอ้อยของชุมชนบ้านปากอพัฒนา ตำบลดงมะดะ อำเภอมะนัง จังหวัดเชียงราย พบว่าชานอ้อยที่เหลือจากการคั้นน้ำออกแล้วสามารถนำมาพัฒนาเป็นกระดาษโดยวิธีการทำกระดาษด้วยมือ โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักแห้งของชานอ้อยต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ 7.5 % นำมาต้ม ใช้น้ำ 6 ลิตร เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และปั่นหรือตีเยื่อ จากนั้นนำตะแกรงไนลอนขนาด 57×47 ซม. มาร่อนโดยแต่ละ แผ่นจะใช้เยื่อประมาณ 150 กรัม อัตราส่วนนี้จะได้กระดาษชานอ้อย 6-7 แผ่น คุณสมบัติกระดาษชานอ้อย และผลิตภัณฑ์กระดาษชานอ้อยเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 1255/2549 กระดาษชานอ้อย และ 1259/2549 ผลิตภัณฑ์กระดาษชานอ้อย

จิตรลดา ชูมี และคณะ (2560) ศึกษาการผลิตกระดาษจากเปลือกมะพร้าวและพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษเปลือกมะพร้าว โดยการผสมเยื่อเปลือกมะพร้าวกับเยื่อสาใน อัตราส่วน 95:5 และ 70:30 และใช้สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นสารช่วยกระจายเยื่อ และทดสอบคุณสมบัติได้แก่ ความหนา ค่าความสว่าง ค่าดัชนีด้านแรงฉีกขาด และการดูดซึมน้ำของกระดาษที่ผลิตได้ พบว่าการผสมเยื่อสาลงในกระดาษมะพร้าวสามารถเพิ่มความสามารถในการต้านแรงฉีกขาดของกระดาษ อัตราส่วนระหว่างเยื่อมะพร้าวกับสาที่เหมาะสมคือ 70 : 30 โดย น้ำหนัก โดยกระดาษที่ผลิตได้มี ความหนา 0.28 มิลลิเมตร ค่าความสว่าง 65.00 เปอร์เซนต์ ค่าดัชนี ด้านแรงฉีกขาด 24.5 นิวตัน-ตารางเมตร ต่อกิโลกรัม การดูดซึมน้ำ 293 วินาที/0.05 มิลลิเมตร

วัชรเช ยี่สุนเทศ และ อิงอร ต้นพันธ์ (2562) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความนุ่มโดยใช้กระบวนการแช่เส้นใยป่านกับสารเคมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 ชั่วโมง แล้วทำการย้อมสีตามต้องการจากนั้นแช่ด้วยกรดอะซิติก ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำเส้นใยป่านไปขึ้นรูปตัดเย็บเป็นผลิตภัณฑ์ จากนั้นสร้างความสามารถกักน้ำโดยการฉีดพ่นด้วยสารฟลูออโรเคมีคัล แล้วจึงนำไปทดสอบความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ป่านศรนารายณ์ของหมู่บ้านสหกรณ์การเกษตร หุบกะพง ด้านผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาใหม่ พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลด้านเพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้ต่อเดือน และอาชีพ ที่ต่างกันมีความสัมพันธ์ต่อจำนวนครั้งของการซื้อสินค้าป่านศรนารายณ์

Leulee Nortoualee. (2564) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าวจำนวน 3 ชนิดมาผลิตเป็นกระดาษ โดยใช้ฟางข้าวชนิดละ 20 กรัม ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้นร้อยละ 0.5 1 2 4 และ 6 โดยน้ำหนักฟางข้าวแห้งต่อปริมาตร โดยเติมน้ำยาต้มเยื่อ 30 เท่าของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง ใช้อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อมากขึ้นทำให้ผลผลิตของเยื่อ (%Yield) มีค่าลดลง เมื่อนำเยื่อเปียกน้ำหนัก 20 30 40 และ 50 กรัม มาทำแผ่นกระดาษขนาด 25×25 เซนติเมตร แล้วนำกระดาษที่ได้ไปอัดด้วยเครื่องอัดที่มีแรงอัด 2,500 ปอนด์ต่อนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าความหนาและน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษแตกต่างกันตามปริมาณเยื่อเปียกที่ใช้ในการทำแผ่นส่งผลต่อสมบัติในด้านความต้านทานแรงดึงของกระดาษมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่า แผ่นกระดาษ 50 กรัม มีค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุด เท่ากับ 0.45 ± 0.04 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร การปรับปรุงสมบัติของกระดาษโดยใช้เยื่อกระดาษเปียก 50 กรัม ผสมกับแป้งมันสำปะหลังต้มสุก และแป้งข้าวเจ้าที่ต้มสุก ร้อยละ 6 ได้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มสูงมากขึ้น และพบว่ากระดาษฟางข้าวที่ทำการปรับปรุงด้วยแป้งข้าวเจ้าต้มสุกร้อยละ 6 ที่ผ่านการอัดเป็นกระดาษที่มีความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด

Mtweve Bosco, et, al. (2022) ศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษโดยใช้เศษเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ได้จากกระบวนการปั่นการผลิตเยื่อกระดาษทำได้โดยใช้เทคนิคการทำเยื่อโซดาด้วยอัลคาไลน์ 2 ระดับคือ 20% และ 24% เป็นเวลา 240 นาทีภายใต้อุณหภูมิสูงสุด 140°C และอัตราส่วนอัลคาไลน์ ต่อเส้นใย 4:1 เยื่อกระดาษที่ได้จะถูกนำมาใช้สำหรับการทำแผ่นกระดาษด้วย

มือและทดสอบคุณสมบัติทางกลของแผ่น น้ำหนักมาตรฐานมีค่า 61.1 g/m^2 ทั้งสองสภาวะ, ความต้านแรงดึงมีค่า 9.9 และ 22.3 Nm/g , ความต้านแรงฉีกขาด มีค่า 13.3 และ $17.4 \text{ Nm}^2/\text{g}$, ความต้านแรงดันทะลุ มีค่า 3.7 และ $1.7 \text{ kPa.m}^2/\text{g}$ ตามลำดับ

4. วิธีดำเนินการวิจัย/ระเบียบวิธีวิจัย/Research Methodology

1. การเตรียมเศษของป่านศรนารายณ์สำหรับการทำกระดาษ

นำเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์มาคัดแยกเศษวัสดุอื่นที่ปนมาออกไป นำมาตัดให้มีขนาดความยาวประมาณ 1 นิ้ว แล้วนำมาชั่งให้ได้น้ำหนัก 500 กรัม นำไปใส่ถุงพลาสติก เติมน้ำสะอาดจำนวน 4 ลิตร แช่ไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 1 เศษของป่านศรนารายณ์



รูปที่ 2 การแช่เศษของป่านศรนารายณ์

2. การต้มเยื่อกระดาษ และสภาวะที่ใช้การต้มเยื่อกระดาษ

นำเศษของป่านศรนารายณ์ที่แช่น้ำไว้ครบ 24 ชั่วโมง บีบน้ำออกแล้วต้มเยื่อตามสภาวะที่กำหนดไว้ดังนี้ น้ำยาต้มเยื่อคือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 2% โดยปริมาตร และ 4% โดยปริมาตร ระยะเวลาในการต้มเยื่อมีช่วงคือ ระยะเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ต้มที่อุณหภูมิระดับเดียวกันคือ 200 องศาเซลเซียส จะได้สภาวะในการต้มเยื่อ 6 สภาวะดังนี้ 1) NaOH 2% เวลา 2hr 2) NaOH 2% เวลา 4hr 3) NaOH 2% เวลา 6hr 4) NaOH 4% เวลา 2hr 5) NaOH 4% เวลา 4hr และ 6) NaOH 4% เวลา 6hr เยื่อกระดาษที่ต้มเสร็จแล้วปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นไฟฟ้า



รูปที่ 3 การต้มเยื่อกระดาษ

3. การฟอกเยื่อกระดาษ และการเตรียมเยื่อกระดาษ

3.1 เยื่อกระดาษที่ได้ทั้ง 6 สภาวะมาฟอกด้วยน้ำยาฟอกเยื่อที่เตรียมไว้คือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่มีความเข้มข้น 4% โดยปริมาตร โดยการชั่งเยื่อเศษของ ป่านศรนารายณ์ที่ต้มแล้วจำนวน 100 กรัม ใส่ในถุงพลาสติก แล้วเติมน้ำยาฟอกเยื่อ จำนวน 1 ลิตร ปิดปากถุงให้สนิท เขย่า และนำไปต้มที่อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชม. ปล่อยให้เยื่อกระดาษที่ฟอกแล้วเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง ล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.2 การเตรียมเยื่อกระดาษ นำเยื่อกระดาษที่ฟอกแล้วทั้งหมด มาทำการปั่นให้ละเอียด ด้วยเครื่องปั่นไฟฟ้า โดยใช้เวลาในการปั่นถุงละ 10 นาที



รูปที่ 4 การฟอกเยื่อกระดาษ



รูปที่ 5 การปั่นเยื่อกระดาษ

4. การทำแผ่นกระดาษ

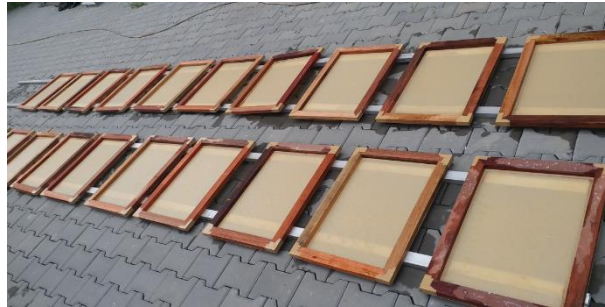
4.1 การตากชิ้นเยื่อ เตรียมตะแกรงตากชิ้นเยื่อกระดาษขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ 40X60 ซม. นำเยื่อจากเศษของป่านศรนารายณ์ที่ได้แต่ละสภาวะจำนวน 100 กรัม ใส่ลงในถังพลาสติกขนาดใหญ่ที่เตรียมไว้เป็นอ่างตากเยื่อ เติมน้ำสะอาดลงไปใอ่างตากชิ้นเยื่อ และทำการตีเยื่อด้วยไม้พายเพื่อให้เยื่อกระจายตัวอยู่ในน้ำอย่างสม่ำเสมอ ใช้ตะแกรงที่เตรียมไว้ตากชิ้นเยื่อตามความลึกที่กำหนดไว้ ด้วยการช้อนเยื่อเข้าหาตัว พร้อมยกตะแกรงให้สูงพ้นน้ำ ให้ตะแกรงขนานกับพื้นเพื่อให้กระดาษที่ได้มีความหนาสม่ำเสมอ



รูปที่ 6 การตากชิ้นเยื่อกระดาษ

4.2 การตากเยื่อกระดาษ นำตะแกรงที่ตากเยื่อจากเศษของป่านศรนารายณ์ไปตากแดดให้แห้ง เมื่อเยื่อแห้งแล้ว ให้ใช้นิ้วมือกรีดขอบด้านในของตะแกรง ให้เยื่อที่ติดได้ขอบตะแกรงขาด แล้วเคาะบริเวณตะแกรงจากด้านล่างเบาๆจะทำให้แผ่นกระดาษ

หลุดออกจากตะแกรงได้ง่ายขึ้นจากนั้นจึงค่อย ๆ ดึงออกจนหมดทั้งแผ่น เมื่อทำเสร็จทุกสภาวะจะได้กระดาษจากป่านศรนารายณ์ จำนวน 6 แบบ



รูปที่ 7 การตากเยื่อกระดาษ

5. การทดสอบคุณสมบัติ

ทำการสุ่มกระดาษแบบละ 5 แผ่น นำมาทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพ (Physical properties) คุณสมบัติด้านทัศนมิติ (Optical properties) และคุณสมบัติด้านความแข็งแรง (Strength properties) ตามมาตรฐานดังนี้คุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน (Basis Weight) ตามมาตรฐาน TAPPI-T410-om-93 ความหนา (Thickness) ตามมาตรฐาน TAPPI-T411-om-89 และความชื้น (Moisture Content) ตามมาตรฐาน TAPPI-T412-om-94 คุณสมบัติด้านทัศนมิติ ได้แก่ ความขาวสว่าง (Brightness) ตามมาตรฐาน ISO 2469 และความทึบแสง (Opacity) ตามมาตรฐาน ISO 2469 และคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ได้แก่ ความต้านแรงดันทะลุ (Burst strength) ตามมาตรฐาน TAPPI-T403-om-91 ความต้านแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน TAPPI-T404-om-88 และความต้านแรงฉีกขาด (Tear strength) ตามมาตรฐาน TAPPI-T414-om-88



รูปที่ 8 กระดาษจากเศษของป่านศรนารายณ์

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 คุณสมบัติของกระดาษจากป่านศรนารายณ์

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของกระดาษจากป่านศรนารายณ์

สภาวะ	คุณสมบัติด้านกายภาพ			คุณสมบัติด้านทัศนมิติ		คุณสมบัติด้านความแข็งแรง		
	น้ำหนักมาตรฐาน (g/m ²)	ความหนา (Micron)	ความชื้น (%)	ความขาวสว่าง (%)	ความทึบแสง (%)	ความต้านแรงดันทะลุ (KPa)	ความต้านแรงดึง (KN/m ²)	ความต้านแรงฉีกขาด (mN)
NaOH 2% เวลา 2hr	65.89	189.74	11.81	75.41	92.71	49.56	102.25	398.77
NaOH 2% เวลา 4hr	58.99	174.13	11.35	78.63	85.99	45.38	99.87	385.42
NaOH 2% เวลา 6hr	48.27	165.78	10.15	80.57	80.14	41.97	95.43	378.96
NaOH 4% เวลา 2hr	50.01	169.97	10.18	82.55	85.28	42.55	85.43	369.11
NaOH 4% เวลา 4hr	47.89	162.58	9.97	87.19	79.55	39.41	80.14	357.63
NaOH 4% เวลา 4hr	42.15	159.21	9.48	90.48	75.15	34.22	75.32	348.91

จากตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของกระดาษจากป่านศรนารายณ์ที่ได้มาจากสภาวะในการทำกระดาษ จำนวน 6 สภาวะ ดังนี้ สภาวะที่ 1. NaOH 2% เวลา 2hr อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สภาวะที่ 2. NaOH 2% เวลา 4hr อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สภาวะที่ 3. NaOH 2% เวลา 6hr อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สภาวะที่ 4. NaOH 4% เวลา 2hr อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สภาวะที่ 5. NaOH 4% เวลา 4hr อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และ สภาวะที่ 6. NaOH 4% เวลา 4hr อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสนั้นจะได้กระดาษจากป่านศรนารายณ์ 6 แบบ ตามลำดับ เมื่อนำกระดาษจากป่านศรนารายณ์มาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเป็นดังนี้ น้ำหนักมาตรฐานมีค่า 65.89, 58.99, 48.27, 50.01, 47.89 และ 42.15 g/m² ตามลำดับ ความหนามีค่า 189.74, 174.13, 165.78, 169.97, 162.58 และ 159.21 ไมครอน ตามลำดับ ความชื้นมีค่า 11.81, 11.35, 10.15, 10.18, 9.97 และ 9.48% ตามลำดับ ความขาวสว่างมีค่า 75.41, 78.63, 80.57, 82.55, 87.19 และ 90.48 % ตามลำดับ ความทึบแสง มีค่า 92.71, 85.99, 80.14, 85.28, 79.55 และ 75.15 % ตามลำดับ ความต้านแรงดันทะลุมีค่า 49.56, 45.38, 41.97, 42.55, 39.41 และ 34.22 KPa ตามลำดับ ความต้านแรงดึงมีค่า 102.25, 99.87,

95.43, 85.43, 80.14 และ 75.32 KN/m² ตามลำดับ และความต้านแรงฉีกขาด มีค่า 398.77, 385.42, 378.96, 369.11, 357.63 และ 348.91 mN ตามลำดับ

กระบวนการผลิตกระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านครนารายณ์ทั้ง 6 สภาวะนั้น มีผลต่อคุณสมบัติของกระดาษจากป่านครนารายณ์ ทั้งคุณสมบัติด้านกายภาพ คุณสมบัติด้านทัศนมิติ และคุณสมบัติความแข็งแรงดังนี้ 1) คุณสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความชื้น พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำยาต้มเยื่อและระยะเวลาต้มเยื่อเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการทำเยื่อกระดาษเป็นการสกัดเซลลูโลส (Cellulose) ออกจากวัตถุดิบ โดยใช้สารในกลุ่มอโนคาไลน์ เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาต้มกับวัตถุดิบ เพื่อกำจัดลิกนิน (Lignin) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) ออกไป ให้เหลือเซลลูโลสมากที่สุด (Li, et al., 2007) ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำยาต้มเยื่อเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถกำจัดลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และซิลิกอนไดออกไซด์ออกไปได้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักเยื่อ ความหนา และความชื้นลดลงไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Leulee Nortoualee (2564) ที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อจากฟางข้าว โดยใช้ฟางข้าวจากข้าว 3 ชนิด ๆ ละ 20 กรัม ต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้นร้อยละ 0.5, 1, 2, 4 และ 6 โดยน้ำหนักฟางข้าวแห้งต่อปริมาตร ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการต้มเยื่อมากขึ้นทำให้ผลผลิตของเยื่อ (%Yield) มีค่าลดลง 2) คุณสมบัติด้านทัศนมิติ ได้แก่ ความขาวสว่างพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนความทึบแสงมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเข้มข้นของน้ำยาต้มเยื่อ และระยะเวลาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาต้มเยื่อและระยะเวลาของการต้มเยื่อจะส่งผลให้การกำจัดลิกนินออกจากเส้นใยได้ในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งลิกนินเป็นสารที่ส่งผลต่อสีของเยื่อและกระดาษ โดยทำให้กระดาษมีสีน้ำตาล ทึบ ไม่ขาวสว่าง (จุฑามาส เรืองยศจันทนา และรัชฎา บุญเต็ม (2560) ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำยาต้มเยื่อและระยะเวลาเพิ่มขึ้นจึงทำให้กระดาษมีความขาวสว่างเพิ่มมากขึ้นและส่งผลให้ความทึบแสงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรุ่งอรุณ และคณะ (2542) ที่ศึกษาการผลิตเยื่อปอสาคุณภาพสูงในเชิงหัตถกรรมโดยนำปอสา มาต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 พบว่าเยื่อที่ได้มีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น 3) คุณสมบัติความแข็งแรงทั้ง ความต้านแรงดันทะลุ ความต้านแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาดแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำยาต้มเยื่อและระยะเวลาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาต้มเยื่อซึ่งเป็นสารประเภทอัลคาไลน์เพิ่มขึ้น จะมีผลต่อโครงสร้างของเส้นใยป่านครนารายณ์ซึ่งเป็นเซลลูโลส ทำให้ความเป็นพอลิเมอร์ของเซลลูโลสมีระดับลดลง (Bali, G., et al, 2015, 1) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Mtweve Bosco, et, al. (2022, 788) ที่ศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษโดยใช้เศษเส้นใยป่านครนารายณ์ที่ได้จากกระบวนการปั่น และต้มกับสารอัลคาไลน์ 2 ระดับพบว่า ความต้านแรงดึง ความต้านแรงฉีกขาด และความต้านแรงดันทะลุของกระดาษที่ได้จากกระบวนการที่ใช้อัลคาไลน์ที่เข้มข้นมากขึ้นมีค่าลดลง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปัจจัยอื่นพบว่าความเข้มข้นของน้ำยาฟอกซึ่งใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) ที่มีความเข้มข้น 4% โดยปริมาตรส่งผลให้คุณสมบัติความแข็งแรงลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุธยา ฤทธิศร และคณะ (2559) ที่ศึกษาการผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมด้วยเปลือกสับปะรดจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกเยื่อร้อยละ 0, 10 และ 20 ของน้ำหนักเยื่อพบว่า เมื่อใช้น้ำยาฟอกเข้มข้นร้อยละ 20 คุณสมบัติของกระดาษ ได้แก่ ความต้านทานแรงฉีกขาด ความต้านทานแรงดึงของกระดาษ และความต้านทานแรงดันทะลุมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณามาตรฐานอุตสาหกรรมเอส (มอก. เอส 81-2563) กระดาษเส้นใยพืช กระดาษเส้นใยพืช (plant fiber paper) หมายถึง กระดาษที่ทำจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ลำต้น ใบ ดอก หรือส่วนอื่น ๆ ของพืช นำมาผ่านกระบวนการต้มเยื่อหรือวิธีการอื่น แล้วขึ้นแผ่นกระดาษบนตะแกรง ทำให้ ลักษณะทั่วไปต้องเป็นแผ่น เหนียว ไม่ขาดง่าย ไม่มีรอยทะลุหรือไม่มีรอยฉีกขาด ไม่มีสิ่งปนเปื้อนหรือตำหนิและไม่มีรา ปรากฏให้เห็นเด่นชัด มีความประณีต และความชื้นต้องไม่เกิน 13 % นั้น นอกจากนี้มาตรฐานอุตสาหกรรมเอส (มอก. เอส 82-2563) ผลิตภัณฑ์ประดิษฐ์จากกระดาษ ผลิตภัณฑ์ประดิษฐ์จากกระดาษ (paper craft) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกระดาษต่าง ๆ เช่น กระดาษเส้นใยพืช กระดาษหนังสือพิมพ์ และอื่นๆ จะเห็นได้ว่ากระดาษจากป่านครนารายณ์คุณสมบัติสอดคล้องกับ มอก. เอส 81-2563 กระดาษเส้นใยพืช และ มอก. เอส 82-

2563 ผลิตภัณฑ์ประดิษฐ์จากกระดาษ ดังนั้นกระดาษจากป่านศรนารายณ์จึงสามารถนำมาใช้ในเชิงทดแทนสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ประดิษฐ์จากกระดาษ ซึ่งจะนำไปสู่การเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนได้ต่อไป

6. สรุปผลการวิจัย

6.1 สภาวะในการผลิตกระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์เป็นดังนี้ น้ำยาต้มเยื่อคือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 และ 4% โดยปริมาตร และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ได้สภาวะในการผลิตกระดาษทั้งหมด 6 สภาวะ และได้กระดาษ 6 แบบ

6.2 การศึกษาคุณสมบัติของกระดาษจากป่านศรนารายณ์พบว่า มีน้ำหนักมาตรฐาน $42.15-65.89 \text{ g/m}^2$ ความหนา $159.21-189.74$ ไมครอน ความชื้น $9.48-11.81 \%$ ความขาวสว่าง $75.41-90.48 \%$ ความทึบแสง $75.15-92.71 \%$ ความต้านแรงดันทะลุ $34.22-49.56 \text{ KPa}$ ความต้านแรงดึง $75.32-102.25 \text{ KN/m}^2$ และความต้านแรงฉีกขาด $348.91-398.77 \text{ mN}$

6.3 กระดาษจากป่านศรนารายณ์จากสภาวะที่ 1 มีค่าคุณสมบัติของกระดาษในภาพรวมดีที่สุด ทั้งคุณสมบัติด้านกายภาพ ด้านทัศนมิติ และด้านความแข็งแรง นอกจากนี้ยังเป็นสภาวะที่ใช้ความเข้มข้นของน้ำยาต้มเยื่อ และระยะเวลาที่น้อยที่สุดจึงทำให้ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย ดังนั้นสภาวะที่ 1 จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำกระดาษสำหรับงานทดแทน

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 จากการวิจัยในครั้งนี้การผลิตกระดาษจากเศษเหลือทิ้งของป่านศรนารายณ์แต่ละสภาวะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ตาม คุณสมบัติของกระดาษสำหรับงานทดแทน โดยพิจารณาจากประเภทของผลิตภัณฑ์ประดิษฐ์จากกระดาษที่ต้องการ

7.2 ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรพัฒนากระดาษเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มวัสดุกันกระแทก วัสดุดูดซับ และวัสดุชีวภาพ ซึ่งจะช่วยให้ช่องทางการนำไปใช้ประโยชน์และมูลค่าของผลิตภัณฑ์

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

9. เอกสารอ้างอิง

จิตรลดา ชูมีและคณะ. (2560). รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาการผลิตกระดาษจากเปลือกมะพร้าวสู่ระบบธุรกิจชุมชน.

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

จุฑามาส เรืองยศจันทนา และรัชฎา บุญเต็ม. (2560). การสกัดเซลลูโลสและการทำกระดาษจากเปลือกข่อย. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*, 4(3), 50-59.

ชญาณิน วังตาล และรักชนก อินจันทร์. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากขานอ้อยของชุมชนบ้านปาก่อพัฒนา ตำบลดงมะตะ อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย. *เนตรวิทย์ครั้งที่ 13: วิจัยและนวัตกรรมขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม*, 13. 916-925.

ฐิตาริณี สุโรพันธ์. (2562). การผลิตกระดาษจากเศษผ้าฝ้าย. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 8, 25-33.

นุศรา นงนุช. (2553). *ความเป็นไปได้ในการใช้เยื่อจากกระดาษคราฟท์และกระดาษกล่องมาผลิตกระดาษเช็ดมือ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

- รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ อีระชัย รัตนโรจนมงคล และจิระศักดิ์ ชัยสินทิ. (2542). การผลิตเยื่อปอสาคุณภาพสูง. กองการวิจัย. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 1-46.
- วัชรระ ยี่สุนเทศ และ อิงอร ตันพันธ์. (2562). การสร้างมูลค่าเพิ่มผลิตภัณฑ์แปรรูปป่านครนารายณ์ของชุมชนหุบกะพง อำเภอยะอำ จังหวัดเพชรบุรี. **Journal of Management Science Nakhon Pathom Rajabhat University**, 6(2), 50-65
- สิทธิศานต์ วชิราภาพ. (2542) การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเยื่อกระดาษจากต้นธูปฤาษี. มหาวิทยาลัยมหิดล/ กรุงเทพฯ.
- สุจิตรา ฤทธิศรี รัมภา จุฑะกนก และ จันทิมา ชีวะ. (2559). การผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมด้วยเปลือกสับปะรดจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง. **Science and Technology RMUTT Journal**, 6(1), 39-47.
- Leulee Nortoualee. (2564). การเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- Bali, G., Meng, X., Deneff, J. I., Sun, Q., & Ragauskas, A. J. (2015). The effect of alkaline pretreatment methods on cellulose structure and accessibility. **ChemSusChem**, 8(2), 275–279.
- Li, J. B., Henriksson, G. and Gellerstedt, G. (2007). Lignin depolymerization/repolymerization and its critical role for delignification of aspen wood by steam explosion. **Bioresource Technology**, 98: 3061–3068.
- Mtweve Bosco, Ekael Mbise, Rwaichi J. A. Minja. (2022). Production of Paper Pulp Using Sisal Fiber Waste from Sisal Spinning Processes. **Tanzania Journal of Engineering and Technology**, 41(2), 151-157

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับระบบไมโครครีเดนเชียลส์

The Application of Blockchain Technology for Micro-Credentials System

ณัฐพร เเห็นเจริญเลิศ¹ วรัญญา ปุณณวัฒน์² และอำนาจ ธรรมกิจ³
^{1,2}สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
³สำนักคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 9/9 ถนนแจ้งวัฒนะ
ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด นนทบุรี 11120

Nuttaporn Hencharoenlert¹, Waranya Poonnawat² and Amnat Thammakit³

¹School of Science and Technology, Sukhothai Thammarathirak Open University, nuttaporn.hen@stou.ac.th

² School of Science and Technology, Sukhothai Thammarathirak Open University, waranya.poo@stou.ac.th

³Office of Computer Service, Sukhothai Thammarathirak Open University, amnat.tha@stou.ac.th

9/9 Chaengwattana Rd., Bangpood, Pakkret Nonthaburi 11120

วันที่รับบทความ: 8 เมษายน 2566

วันแก้ไขบทความ: 7 มิถุนายน 2566

วันตอบรับบทความ: 26 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการประยุกต์เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับระบบไมโครครีเดนเชียลส์โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาแนวทางการประยุกต์เทคโนโลยีบล็อกเชนมาใช้ในการพัฒนาระบบไมโครครีเดนเชียลส์ของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 2) เพื่อพัฒนาต้นแบบแอปพลิเคชันบล็อกเชนในการรับรองผลการเรียนแบบไมโครของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ กลุ่มตัวอย่างในการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ ได้แก่ 1) คณะอนุกรรมการพัฒนาระบบจัดการเรียนการสอนแบบโมดูล และ 2) ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่จากสำนักการศึกษาต่อเนื่อง ตัวอย่างข้อมูลผู้สำเร็จการศึกษากว่า 2,000 รายการ ในปี พ.ศ. 2563 ได้มาจากโครงการ STOU MODULAR และโครงการ MOOCs เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและประเมินความพึงพอใจ คือแบบสอบถาม เครื่องมือในการสร้างเครือข่ายบล็อกเชน ได้แก่ อิเธอเรียมแพลตฟอร์ม เฟรมเวิร์กทรีฟเฟิล กานาซ และเมทามาร์ก ชุดโปรแกรม XAMPP ใช้สำหรับการให้บริการเว็บผ่านอินเทอร์เน็ต สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) เทคโนโลยีบล็อกเชนสามารถประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบไมโครครีเดนเชียลส์ได้อย่างมั่นคงปลอดภัย 2) ต้นแบบแอปพลิเคชันประกอบด้วย 6 โมดูล ได้แก่ การจัดการผู้ใช้ การจัดการหลักสูตร การเตรียมข้อมูลผู้เรียน การแปลงข้อมูลผู้เรียนเข้าสู่เครือข่ายบล็อกเชน การค้นหา และรายงาน และผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ ในภาพรวมโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: เทคโนโลยีบล็อกเชน, อิเธอเรียม, ระบบไมโครครีเดนเชียลส์

ABSTRACT

This research was an application of blockchain technology for the micro-credential system. The research objectives were 1) to study the approach to the application of blockchain technology to the micro-credential

system at Sukhothai Thammathirat Open University; 2) to develop a prototype of blockchain application for the micro-credential system of Sukhothai Thammathirat Open University, and to evaluate the user satisfaction. The samples for evaluating user satisfaction were 1) the sub-committee on the modular learning management system, and 2) the director and the officers from the Office of Continuing Education. There were 2,000 records of graduate data sample in 2020 collected from the STOU MODULAR projects and MOOCs projects. Tools for building the blockchain network were the Ethereum platform, Truffle framework, Ganache, Metamask, and XAMPP package. The statistics for data analysis were percentage, mean, and standard deviation. The results showed that 1) the blockchain technology was able to be applied to the micro-credential system securely; 2) the prototype of the application was consisted of 6 modules. The evaluation of the overall user satisfaction was at the highest level.

KEYWORDS: blockchain technology, Ethereum, micro-credential system

1. บทนำ

การเรียนรู้โดยได้รับใบรับรองผลการเรียนแบบไมโครครีเดนเชียล (micro-credentials) หรือแบบย่อ (mini-certificates) นั้น พบเห็นมากในรูปแบบที่เป็นดิจิทัลแบดจ์ (digital badge) โดยเฉพาะการเรียนรู้เนื้อหาแบบออนไลน์ ซึ่งเป็นแนวโน้มที่สถาบันการศึกษาหรือหน่วยงานเอกชนทั่วโลกหลายแห่งหลายระดับทั้งแบบที่เป็นทางการและไม่เป็นทางการกำลังนิยมและให้ความสนใจ ซึ่งตอบสนองต่อแนวคิดการเรียนรู้ตลอดชีวิต (lifelong learning)

การเรียนรู้แบบไมโครครีเดนเชียลนั้น เป็นลักษณะการเรียนรู้ที่เพิ่มเติมให้กับผู้เรียนในทุกกลุ่มทุกวัย ทั้งที่เป็นนักเรียน นักศึกษา ผู้ที่ทำงานแล้ว ผู้ว่างงาน หรือผู้สูงอายุ รวมถึง ผู้ที่ต้องการใช้เวลาว่างให้เป็นประโยชน์ เป้าหมายหลักคือ ต้องการเพิ่มพูนความรู้หรือทักษะที่ทันสมัยให้กับตัวผู้เรียน โดยเฉพาะการพัฒนาตนเองในด้านวิชาชีพ (professional development) หรือทักษะเฉพาะด้าน (specific areas/skills) สำหรับใช้ในการทำงาน ผู้เรียนสามารถออกแบบการเรียนรู้โดยเลือกเนื้อหาทั้งทฤษฎีและทักษะที่ตนเองสนใจเรียนได้เองเพื่อเสริมงานที่ทำอยู่หรือตอบสนองความสนใจส่วนตัว

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราชมีโครงการจัดการเรียนการสอนที่มีลักษณะแบบไมโครครีเดนเชียล (Micro-Credentials) คือโครงการ STOU MODULAR ซึ่งเป็นการศึกษาทางไกลระดับต่ำกว่าปริญญา (Non-degree) เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 โดยการเรียนรู้นี้จะเน้นการพัฒนาหรือเพิ่มทักษะการทำงานที่ทันสมัย เพื่อตอบสนองต่อความต้องการพัฒนาทรัพยากรบุคคลขององค์กรและหน่วยงาน การรับรองหน่วยกิตมีลักษณะยืดหยุ่น โดย 1 โมดูลการเรียนรู้จะเทียบได้ 1-3 หน่วยกิต ขึ้นกับจำนวนชั่วโมงการเรียนรู้ ซึ่งสามารถสนับสนุนการเรียนรู้ตลอดชีวิตในระบบการศึกษาทางไกลได้เป็นอย่างดี

และยังมีหลายมหาวิทยาลัยที่สนใจการจัดการศึกษาลักษณะแบบไมโครครีเดนเชียล เช่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) มีนโยบายปรับระบบการศึกษาแบบเดิมเข้าสู่วัตกรรมการศึกษาที่เรียกว่า KMUTT Micro-Credential ที่เน้นการพิสูจน์และพัฒนาความสามารถที่เฉพาะเจาะจงของผู้เรียน (Competency-Based Learning) โดยใช้ความต้องการของผู้เรียนและตลาดแรงงานเป็นตัวตั้งให้กับนักศึกษาและผู้สนใจผ่านระบบ KMUTT Micro-Credential สำหรับการพิสูจน์ความสามารถนั้น ผู้ที่ประสงค์ขอการรับรองความสามารถ ไม่จำเป็นต้องเข้าชั้นเรียน แต่สามารถใช้หลักฐานต่าง ๆ ที่แสดงถึงความชำนาญในการนำความรู้ไปใช้กับงานได้จริง การแก้ปัญหาจริง ด้วยระบบการเรียนการสอนที่ผ่านการออกแบบและตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเมื่อผ่านการพิสูจน์ความสามารถแล้ว ผู้เรียนหรือผู้ขอการรับรองจะได้รับประกาศนียบัตรดิจิทัลขนาดเล็ก (Digital Badge) ซึ่งสามารถสะสมเป็นหน่วยกิตสำหรับรับปริญญาได้ต่อไป โดย มจธ. จะเปิดให้ผู้สนใจสามารถเข้ามาใช้ระบบ Micro-Credential ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 (<https://www.engineeringtoday.net/มจธ-จับมือ-digital-promise/>)

นอกจากนี้ยังมีมหาวิทยาลัยบูรพาที่กำลังสนใจพัฒนาหลักสูตร Non-degree แบบ Micro-Credentials โดยได้จัดโครงการอบรมการพัฒนาหลักสูตร Non-degree แบบ Micro-Credentials เมื่อวันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2563

(<http://service.buu.ac.th/index.php/news10sep2020/>) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (มจพ.) มีหลักสูตรประกาศนียบัตร (Non-degree) จำนวน 7 หลักสูตรในโครงการสร้างบัณฑิตพันธุ์ใหม่และกำลังคนที่มีสมรรถนะเพื่อตอบโจทย์ภาคการผลิตตามนโยบายการปฏิรูปอุดมศึกษาไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 (<https://www.kmutnb.ac.th/news/university-news/มจพ-สร้างบัณฑิตพันธุ์ใหม่-เนนสมรรถนะชนสง-ตอบโจ.aspx>) อีกทั้งกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) ดำเนินโครงการพัฒนาทักษะกำลังคนของประเทศ (Reskill/Upskill/Newskill) เพื่อการมีงานทำและการเตรียมความพร้อมรองรับการทำงานในอนาคตหลังวิกฤต COVID-19 ให้กับกลุ่มเป้าหมายได้มีงานทำอย่างเร่งด่วน มุ่งพัฒนาวิชาชีพตลอดชีวิต (Lifelong Learning) เพื่อการมีงานทำ โดยได้เปิดตัวแพลตฟอร์มออนไลน์ “Future Skill x New Career Thailand” และได้สนับสนุนงบประมาณรวมทั้งสิ้น 14,000,000 บาท ให้สถาบันอุดมศึกษาพัฒนาหลักสูตรเสริมทักษะที่เป็นหลักสูตรฝึกอบรม (Non-degree) เพื่อเป็นการลงทุนในมนุษย์และให้ปัญญามนุษย์ในการต่อสู้กับ COVID-19 อย่างแท้จริง และรับมือการอยู่ในโลกศตวรรษที่ 21 ที่เกิดการก้าวกระโดดด้านเทคโนโลยี (technology disruption) โครงการนี้มีสถาบันอุดมศึกษานำร่องที่ผ่านการคัดเลือกจากคณะกรรมการบริหารโครงการของ อว. จำนวน 19 แห่ง ในหลักสูตรประกาศนียบัตร (Non-degree) และมีมหาวิทยาลัยของรัฐ 17 แห่ง (<https://www.adslthailand.com/post/7001>)

จะเห็นว่าหลายมหาวิทยาลัยมีความสนใจและเปิดโครงการจัดการเรียนการสอนแบบไมโครครีเดนเชียลส์กันอย่างหลากหลาย เพื่อส่งเสริมการศึกษาการเรียนรู้ตลอดชีวิต ให้สามารถพัฒนาสมรรถนะส่วนบุคคลได้ตลอดเวลา อย่างไรก็ตามใบรับรองผลการเรียนแบบไมโครครีเดนเชียลส์ที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้น มักจะไม่ปรากฏอยู่ในเอกสารที่เป็นทางการ เอกสารสำเร็จการศึกษา หรือจัดเก็บกระจายตามหน่วยงานที่ออกใบรับรอง มีข้อจำกัดที่สำคัญหลายประการ เช่น ความน่าเชื่อถือของใบรับรองผลการเรียนซึ่งอาจมีการปลอมแปลง การตรวจสอบกับต้นสังกัดว่าเป็นใบรับรองฉบับจริงที่ออกให้โดยต้นสังกัดซึ่งใช้เวลานาน หน่วยงานที่ออกใบรับรองผลการเรียนปิดตัวลงทำให้ใบรับรองเป็นโมฆะ การไม่สามารถเข้าถึงใบรับรองผลการเรียนของผู้เรียนด้วยตนเองต้องขอผ่านหน่วยงานต้นสังกัด และอาจมีค่าใช้จ่าย ความปลอดภัยของใบรับรองผลการเรียนว่าจะไม่มีผู้ประสงค์ร้ายเข้ามาแก้ไขหรือขโมยไป เป็นต้น อีกทั้งมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราชเองก็ยังไม่มียุทธศาสตร์หรือแอปพลิเคชันเพื่อให้ผู้เรียนสามารถตรวจสอบการรับรองผลการเรียนของ STOU MODULAR ด้วยตนเอง เพื่อให้เกิดความสะดวกในการอ้างอิงเป็นหลักฐานในยกระดับการพัฒนาสมรรถนะส่วนบุคคล

เทคโนโลยีบล็อกเชน (blockchain technology) เป็นเทคโนโลยีการบันทึกธุรกรรมแบบกระจายซึ่งมีความปลอดภัยสูง ข้อมูลที่จัดเก็บในบล็อกเชนจะไม่สามารถถูกขโมยหรือทำการเปลี่ยนแปลงได้ การบันทึกข้อมูลลงในบล็อกเชนต้องได้รับฉันทามติจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ว่าเป็นธุรกรรมจริง โดยไม่มีหน่วยงานใดหรือใครเป็นผู้ควบคุมเพียงคนเดียว (no single point of control) จึงทำให้มั่นใจได้ว่าหากบันทึกข้อมูลใบรับรองผลการเรียนลงในบล็อกเชนแล้วจะไม่สามารถปลอมแปลงได้อย่างแน่นอน

จากประเด็นที่กล่าวมา ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาประยุกต์ใช้กับงานด้านการศึกษาทางไกล ในประเด็นเกี่ยวกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการรับรองผลการเรียนแบบไมโครครีเดนเชียลส์ (Micro-Credentials) ในรูปแบบดิจิทัลที่มีความปลอดภัย สามารถใช้ร่วมกับหน่วยงานหรือสถาบันการศึกษาที่มีข้อตกลงความร่วมมือการจัดการเรียนการสอนแบบไมโครครีเดนเชียลส์ รวมทั้งผู้เรียนสามารถเข้าถึงจากอินเทอร์เน็ตด้วยตนเองได้ ทีมวิจัยจึงนำเสนอโครงการวิจัยการพัฒนาแอปพลิเคชันบล็อกเชนสำหรับระบบไมโครครีเดนเชียลส์ซึ่งคาดว่าจะประโยชน์ และเป็นแนวทางในการจัดการใบรับรองผลการเรียนสำหรับการเรียนการสอน STOU MODULAR ของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราชได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาแนวทางในการประยุกต์เทคโนโลยีบล็อกเชนมาใช้ในการพัฒนาระบบไมโครครีเดนเชียลส์ของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช โดยใช้แพลตฟอร์มบล็อกเชนแบบเปิด เพื่อให้สถาบันการศึกษาที่มีการจัดการเรียนการสอนแบบไมโครครีเดนเชียลส์สามารถใช้งานร่วมกันได้

- 2.2 เพื่อพัฒนาต้นแบบแอปพลิเคชันบล็อกเชนในการรับรองผลการเรียนแบบไมโครครีเดนเชียลส์ของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบไมโครครีเดนเชียลส์ของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาต้นแบบแอปพลิเคชันผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้า ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

3.1 เทคโนโลยีบล็อกเชน แพลตฟอร์มอีเธอเรียม และระบบการออกใบรับรองดิจิทัล

เทคโนโลยีบล็อกเชน (blockchain) เป็นเทคโนโลยีของสถาปัตยกรรมการกระจายซึ่งคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องในเครือข่ายเรียกว่า โหนด (node) จะทำการประมวลผลและบันทึกรายการข้อมูล (transaction) ในลักษณะที่เรียกว่า บล็อก (block) โดยในแต่ละบล็อกข้อมูลจะถูกบันทึกเพียงครั้งเดียว ทุกบล็อกจะต้องได้รับการพิสูจน์ว่าถูกต้องและได้รับการยอมรับอย่างเป็นทางการในเครือข่ายก่อนการบันทึก การเรียงลำดับจะต่อกับบล็อกก่อนหน้านี้ และแต่ละบล็อกจะมีการเข้ารหัสไว้ซึ่งสามารถตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้คีย์สาธารณะ (public key) และคีย์ส่วนตัว (private key) เพื่อรักษาความมั่นคงปลอดภัย ทั้งนี้ แต่ละโหนดในเครือข่ายจะดูแลและตรวจสอบกันโดยมีแรงจูงใจทางเศรษฐศาสตร์เพื่อรักษาภาวะเป็บบของเครือข่ายไว้ ทั้งนี้ เทคโนโลยีบล็อกเชนพัฒนาบนพื้นฐานของวิทยาการเข้ารหัสลับเพื่อทำให้เกิดความไว้วางใจของผู้ที่อยู่ในเครือข่าย บุคคลทุกฝ่ายแลกเปลี่ยนธุรกรรมกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้องค์กรกลาง ทำให้สามารถลดการใช้อำนาจองค์กรกลาง (third-party) หรือตัวกลางในการทำรายการธุรกรรมได้

คุณลักษณะของบล็อกเชนที่ทำให้สารสนเทศที่อยู่ในบล็อกเชนน่าเชื่อถือ มี 4 ข้อ ดังนี้

1) **การสร้างและบันทึกรายการทางอิเล็กทรอนิกส์** ระบบที่จะทำการบันทึกข้อมูลจะต้องมีรูปแบบในการบันทึกและสถานที่จัดเก็บ การลงทะเบียนรายการต่างๆ จะถูกบันทึกโดยระบบบล็อกเชนจะเป็นรายการทางดิจิทัลที่บันทึกเชื่อมต่อกันไปได้เรื่อยๆ แต่ละรายการที่เกิดขึ้นจะเป็นเสมือนหนึ่งบล็อกในสายโซ่และมีการเชื่อมต่อกันไป สายโซ่เหล่านั้นจะถูกบันทึกและเชื่อมโยงไว้ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องนั้นจะเรียกว่าโหนด อย่างน้อยต้องมีหนึ่งโหนดที่มี 1 สำเนาของบล็อกนั้น และอาจจะเก็บสำเนาทั้งหมดของสายโซ่นั้นไว้ด้วย การเพิ่มบล็อกลงในสายโซ่ ผู้มีส่วนร่วมจะประกาศไปในเครือข่ายเกี่ยวกับรายละเอียดของรายการนั้น และโหนดจะช่วยกันตรวจสอบรายการนั้น โดยจะตรวจสอบจำนวนของรายการ และประมวลผลตามเกณฑ์ที่กำหนดก่อนที่จะเพิ่มบล็อกลงในสายโซ่

2) **การเข้ารหัสข้อมูลต่อรายการ** พื้นฐานหนึ่งของการรักษาความปลอดภัยข้อมูล คือ การเข้ารหัสข้อมูล ด้วยการเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลโดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อปิดบังข้อมูลต้นฉบับและสามารถจะเข้าถึงได้โดยเจ้าของและผู้รับที่ระบุไว้เท่านั้น การเข้ารหัสเป็นที่ยอมรับกันแพร่หลายในการเก็บบันทึกข้อมูลและการทำรายการธุรกรรมทางธุรกิจบนอินเทอร์เน็ต ซึ่งการเข้ารหัสจะต้องใช้ทั้ง 2 เทคนิค คือ การเข้ารหัสเพื่อเปลี่ยนรูปแบบข้อมูล และการถอดรหัสเพื่อให้ได้ข้อมูลเดิมนั้นกลับมา เทคโนโลยีบล็อกเชนใช้วิธีการเข้ารหัสที่เรียกว่า การเข้ารหัสแบบแฮช (hashing) เมื่อได้รับรายการ เนื้อหาของรายการนั้นจะถูกสร้างเป็น เมตาเดตา (metadata) ซึ่งจะประกอบด้วย เวลาที่สร้างรายการ (timestamp) และข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง เมตาเดตาจะถูกนำไปเข้ารหัสโดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ผลลัพธ์ที่ได้นี้จะเรียกว่า แฮช (hash) ฟังก์ชันที่ใช้ในการเข้ารหัสนี้จะเรียกว่า ฟังก์ชันแฮช (hash function) เมื่อใช้ฟังก์ชันแฮชเดิมเข้ารหัสกับข้อความเดิมจะได้ผลลัพธ์แฮชเดียวกันและเหมือนกันทุกครั้ง แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ กับข้อมูลเดิมผลลัพธ์แฮชที่ได้จะแตกต่างกันไป ดังนั้น เทคโนโลยีบล็อกเชนจึงใช้ผลลัพธ์แฮชสำหรับการตรวจสอบสำเนาของรายการหรือเอกสารข้อมูลของบล็อกเชนว่าเป็นต้นฉบับที่ถูกต้องหรือไม่

3) **การตรวจสอบความถูกต้องของรายการ** รายการแต่ละรายการจะมี 2 คีย์ คือ คีย์สาธารณะ (public key) ซึ่งทุกคนจะรู้และคีย์ส่วนตัว (private key) ซึ่งจะถูกเก็บเป็นความลับ ผู้ส่งจะใช้คีย์ส่วนตัวเพื่อเข้ารหัสข้อมูล ผู้รับซึ่งในที่นี้คือ ทุกโหนดในเครือข่ายจะใช้คีย์สาธารณะเพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของรายการนั้น สิ่งที่ต้องตรวจสอบ เช่น ลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์ของผู้ส่ง เป็นต้น โดย

ผู้ส่งจะรู้ว่าข้อมูลนั้นเป็นรายการปรับปรุงที่ถูกต้องหรือไม่ โดยการใช้คีย์สาธารณะและคีย์ส่วนตัว เป็นเทคนิคที่สำคัญและได้รับการพิสูจน์แล้วสำหรับรักษาความปลอดภัยในการติดต่อสื่อสาร

4) **การประทับเวลา** การบันทึกข้อมูลในบล็อกเชนจะเรียงตามลำดับตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น สิ่งที่เชื่อมโยงหรือลิงก์ (link) แต่ละบล็อกเข้าด้วยกันคือ ตราเวลาหรือประทับเวลา (timestamp) ซึ่งได้มาจากเซิร์ฟเวอร์และจะถูกเข้ารหัส การประทับเวลาของรายการใหม่จะอ้างอิงจากการประทับเวลาของรายการที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ โดยรายการที่เกิดขึ้นใหม่จะถูกเพิ่มต่อท้ายในบล็อกเชนไปเรื่อย ๆ

อีเธอเรียม (Ethereum) เป็นแพลตฟอร์มสำหรับพัฒนาเครือข่ายบล็อกเชน โดยทำงานบนเครื่องจักรเสมือนจริงอีเธอเรียม หรืออีวีเอ็ม (Ethereum Virtual Machine - EVM) ซึ่งใช้ในการสร้างสมาร์ตคอนแทร็ก (smart contract) ที่อนุญาตให้สามารถเขียนโปรแกรมลงไปเพื่อให้ทำงานอัตโนมัติเมื่อพบเงื่อนไขเป็นไปตามที่กำหนด ซึ่งเป็นแพลตฟอร์ม (platform) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สมาร์ตคอนแทร็ก (Smart Contract) เป็นคำสั่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer code) เพื่อกำหนดเงื่อนไขและข้อมูล ที่ใช้ในการรับรองผลการเรียนแบบไมโคร ข้อมูล เช่น ชื่อนักศึกษา ชื่อวุฒิการศึกษา ชื่อสถาบันการศึกษา และวันเดือนปีที่สำเร็จการศึกษา เป็นต้น

ระบบการออกใบรับรองดิจิทัล (digital credential system) (Schmidt, 2017) เป็นระบบที่ทำให้สามารถทวนสอบได้ว่าใครเป็นผู้ได้รับใบรับรองผลการเรียนและใครเป็นผู้ออกใบรับรองผลการเรียน รวมถึง การตรวจสอบเนื้อหาของใบรับรองผลการเรียนว่าถูกต้อง มีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1) **การสร้างดิจิทัลไฟล์** ซึ่งจัดเก็บข้อมูลของ ผู้รับใบรับรองผลการเรียน ผู้ออกใบรับรองผลการเรียน วันที่ออกใบรับรองผลการเรียน ประเภทของใบรับรอง และข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งโครงสร้างจะเป็นไปตามมาตรฐานแบบฉบับเปิดของสถาบันไอเอ็มเอส (IMS open badge standard)

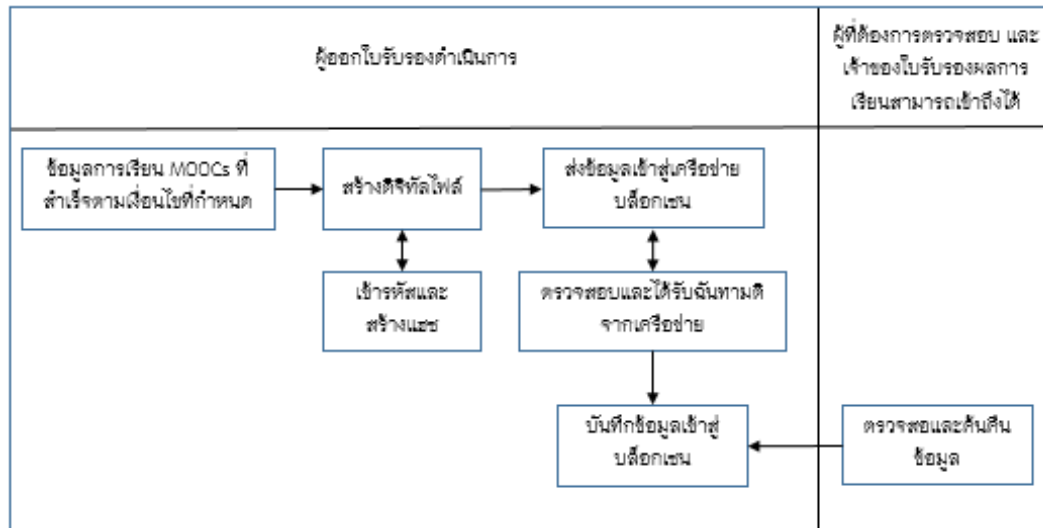
2) **การเข้ารหัสดิจิทัลไฟล์** โดยการใช้คีย์ส่วนตัว ซึ่งมีเพียงผู้ออกใบรับรองเท่านั้นสามารถเข้าถึงเอกสารที่เข้ารหัสนี้ได้

3) **การสร้างแฮชให้กับดิจิทัลไฟล์** เป็นการใส่แฮชฟังก์ชันสร้างแฮชให้กับดิจิทัลไฟล์ สำหรับใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของเอกสารว่า ถูกต้องเหมือนต้นฉบับไม่มีการเปลี่ยนแปลง

4) **การบันทึกข้อมูลลงบล็อกเชน** เป็นการที่ใช้คีย์ส่วนตัวควบคุมไปกับข้อมูลที่บันทึกลงบล็อกเชน พร้อมกับระบุข้อมูลดิจิทัลแบบฉบับและวันที่ออกใบรับรอง ซึ่งผู้ที่ได้รับใบรับรองสามารถเข้าถึงข้อมูลนี้ได้

5) **การตรวจสอบใบรับรองผลการเรียน** หน่วยงานหรือผู้ที่ต้องการตรวจสอบสามารถทำกระบวนการย้อนกลับ เพื่อตรวจสอบว่าแฮชตรงกันหรือไม่ หากแฮชตรงกันก็แสดงว่าเอกสารเป็นต้นฉบับจริง

จากแนวคิดเทคโนโลยีบล็อกเชนและระบบการออกใบรับรองดิจิทัล ผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์โดยมีกรอบแนวคิดการวิจัยดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แนวคิดการออกใบรับรองผลการเรียนแบบไมโครครีเดนเชียลส์

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยการประยุกต์เทคโนโลยีบล็อกเชนทางการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บข้อมูลวุฒิการศึกษาให้มีความปลอดภัย เชื่อถือได้ โดยผู้เรียนจะใช้อ้างอิงได้จากอินเทอร์เน็ตด้วยตนเอง แนวทางการใช้ประโยชน์และการได้รับการยอมรับจากสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ดังนี้

Sharples and Domingue (2016) กล่าวถึง การประยุกต์เทคโนโลยีบล็อกเชนในการจัดเก็บข้อมูลทางการศึกษา โดยพิจารณาเป็นสี่ประเด็นตามคุณลักษณะและความสามารถ ดังนี้

ประเด็นที่หนึ่งคือ การเก็บรายการธุรกรรมแบบดิจิทัล (Distributed Digital Record) ซึ่งในการด้านการศึกษาสามารถนำมาใช้เก็บข้อมูลผลการเรียนและหน่วยกิตได้ รวมถึง วุฒิการศึกษา ข้อมูลวุฒิการศึกษาจะเพิ่มเข้าไปในบล็อกเชนโดยหน่วยงานที่ออกวุฒิการศึกษาให้ และนักศึกษาสามารถเข้าถึง และแบ่งปันไปยังนายจ้าง หรือเชื่อมโยงไว้กับประวัติส่วนตัวออนไลน์ได้ (online CV)

ประเด็นที่สองคือ การพิสูจน์ชิ้นงาน (Proof of intellectual work) ซึ่งทุกคนสามารถเก็บผลงานความคิดสร้างสรรค์ของตัวเองไว้ในที่สาธารณะได้ เช่น สิ่งประดิษฐ์ บทกวี งานศิลปะ ความรู้ใหม่ เป็นต้น โดยสามารถระบุเจ้าของและเวลาเพื่อให้รู้ว่าการบันทึกเป็นครั้งแรก ทำให้สามารถใช้เป็นประวัติส่วนตัวอิเล็กทรอนิกส์แบบถาวร ไม่ต้องการพิสูจน์ใดๆ เพิ่มเติมอีก เช่น บริษัทสตาร์ทอัพชื่อ Blockai ได้พัฒนาระบบบล็อกเชนเพื่อช่วยให้ผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์ลงทะเบียนผลงานเพื่อป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์

ประเด็นที่สามคือ สกุลเงิน (Intellectual Currency) สามารถนำมาใช้ให้รางวัลสำหรับนักศึกษาที่ทำกิจกรรมทางการศึกษา เช่น นักศึกษาที่ช่วยประเมินให้เพื่อนจะได้รับเงินรางวัลโดยอัตโนมัติ เป็นต้น หรือการได้รับรางวัลทำให้มีชื่อเสียงซึ่งสามารถสร้างมูลค่าเพื่อใช้ในการเลื่อนขั้นหรือการจ้างงานได้

ประเด็นที่สี่คือ สมาร์ทคอนแทร็ก (Smart Contracts) ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ดำเนินการกับธุรกรรมบล็อกเชน เมื่อมีสถานการณ์ตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ทำให้สามารถจัดเก็บข้อตกลงร่วมกันเอาไว้เพื่อการประมวลผลออนไลน์ เช่น บริษัท Visa และ DocuSign ประยุกต์สมาร์ทคอนแทร็กในการให้เช่ารถยนต์ทำให้ลูกค้าบัตรเครดิตไม่มีความจำเป็นต้องกรอกข้อมูลซ้ำหากต้องการเช่ารถยนต์และชำระด้วยบัตรเครดิต เป็นต้น

Jirgensons and Kapenieks (2018) กล่าวถึง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนกับการบริหารจัดการและการประเมินผลเพื่อการออกใบรับรองผลการเรียนแบบดิจิทัลในอนาคต โดยใบรับรองผลการเรียนแบบนี้จะทำให้ผู้เรียนสามารถออกแบบการเรียนรู้ตลอดชีวิตของตนเองในลักษณะการศึกษาส่วนบุคคลตามความจำเป็นและคุณค่าที่ผู้เรียนแต่ละคนต้องการ ใบรับรองผลการเรียนในลักษณะออนไลน์นี้มักจะอยู่ในรูปของแบดจ์ (badge) ซึ่งสามารถเผยแพร่และเรียกดูในเครือข่ายสังคม (social network) และพอร์ตโฟลิโออิเล็กทรอนิกส์ (e-portfolio) ได้ ซึ่งเทคโนโลยีบล็อกเชนถูกนำมาประยุกต์เพื่อสร้างเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับ จัดทำ จัดเก็บ

และจัดการ ใบรับรองผลการเรียนแบบไมโคร ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงและควบคุมประวัติการเรียนรู้ของตนเองได้ และทำให้สถาบันการศึกษาลดต้นทุนในการบริหารจัดการและลดขั้นตอนที่ยุงยากลง

Grech and Camilleri (2017) นำเสนอกรณีศึกษาที่หลายมหาวิทยาลัยนำเทคโนโลยีบล็อกเชนไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการศึกษา อาทิเช่น

1) สถาบันสื่อความรู้หรือเคเอ็มไอ (Knowledge Media Institute – KMI) ของมหาวิทยาลัยเปิดแห่งสหราชอาณาจักร (Open University UK) ทำวิจัยเกี่ยวกับการเสริมสร้างมาตรฐานการใช้แบดจ์และประกาศนียบัตรต่างๆ ที่เผยแพร่บนเว็บโดยการใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนเพื่อให้เกิดความไว้วางใจในธุรกรรมเหล่านั้น นอกจากนี้ การรับรองผลการเรียนต่างๆ จะเปลี่ยนจากแบดจ์ไปอยู่ในรูปแบบสมาร์ตคอนแทร็ก (smart contract) และพัฒนาต้นแบบการออกใบรับรองผลการเรียนแบบไมโครด้วยบล็อกเชน ทั้งนี้ สถาบันสื่อความรู้ได้ทำงานร่วมกับองค์กรให้บริการดิจิทัลทางการศึกษาหรือเจไอเอสซี (JISC) เพื่อพัฒนาเครือข่ายบล็อกเชนสำหรับสถาบันอุดมศึกษาทั้งหมดของสหราชอาณาจักรและการรับรองคุณสมบัติทางศึกษาอื่นๆ โดยเทคโนโลยีบล็อกเชนที่นำมาใช้นั้น จะช่วยให้เกิดการปรับรื้อระบบการออกใบรับรองผลการเรียนของสถาบันอุดมศึกษาแบบเดิม ทำให้ผู้เรียนเป็นเจ้าของใบรับรองผลการเรียนของตนเองได้อย่างแท้จริงแทนที่จะถูกควบคุมจากสถาบันการศึกษาที่ออกใบรับรองหรือนายจ้าง อีกทั้ง การเรียนในยุคนี้ส่วนใหญ่อยู่บนแพลตฟอร์มที่เป็นออนไลน์ เทคโนโลยีบล็อกเชนจะทำให้เกิดความปลอดภัยและน่าเชื่อถือของการรับรองผลการเรียนแบบใหม่เหล่านี้ได้

2) มหาวิทยาลัยนิโคเซีย ประเทศกรีซ ได้นำเทคโนโลยีบล็อกเชนในการออกและพิสูจน์ใบรับรองผลการเรียน โดยการออกใบรับรองผลการเรียน MOOCs ทั้งหมดใช้บล็อกเชนสาธารณะ (public blockchain) ความท้าทายของการใช้บล็อกเชนสำหรับการออกใบรับรองผลการเรียนไม่ใช่เรื่องของเทคโนโลยีเท่านั้น แต่เกี่ยวข้องกับเรื่องของการบริหารจัดการด้วย เช่น หากต้องการขยายผลให้เกิดการใช้งานที่กว้างขวางขึ้นอาจจะนำไปใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชันอื่น อาทิ การบูรณาการระบบการตรวจสอบใบรับรองผลการเรียนร่วมกับแอปพลิเคชันด้านทรัพยากรบุคคล หรือการโอนหน่วยกิตระหว่างมหาวิทยาลัยได้โดยอัตโนมัติไม่ต้องมีการทำคำร้อง ซึ่งจะดำเนินการเหล่านี้ได้ต้องมีการทำข้อตกลงร่วมกันและมีการโอนข้อมูลระหว่างกัน เป็นต้น เทคโนโลยีบล็อกเชนช่วยทำให้นักศึกษาต่างชาติสามารถแสดงใบรับรองผลการเรียนที่เป็นของแท้โดยไม่ต้องติดต่อประเทศหรือสถาบันการศึกษาที่ออกใบรับรองให้ อย่างไรก็ตาม สถาบันการศึกษาต่างๆ ควรมีหรือควรใช้มาตรฐานเดียวกันหรือมาตรฐานที่มีข้อมูลพื้นฐานร่วมกันหรือมาตรฐานแบบเปิด

4. วิธีดำเนินการวิจัย/ระเบียบวิธีวิจัย/Research Methodology

ในการสร้างต้นแบบแอปพลิเคชันนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดผู้ใช้เพื่อสอบถามความต้องการในการใช้งาน ข้อมูลเพื่อการทดสอบ จัดเตรียมอุปกรณ์ทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์เพื่อใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนที่เป็นแบบเปิดบนอินเทอร์เน็ต รายละเอียดดังนี้

4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากร คือ ผู้ใช้งานระบบไมโครครีเดนเชียลส์ที่รองรับผลการเรียนแบบ STOU MODULAR ของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช กลุ่มตัวอย่างได้เลือกแบบเจาะจงเพื่อสอบถามความต้องการและประเมินความพึงพอใจในการพัฒนาระบบฯ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม 1) กลุ่มผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับระบบรับรองผลการเรียน STOU MODULAR มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ได้แก่ บุคลากรของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราชและโครงการมหาวิทยาลัยไซเบอร์ไทยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการออกใบรับรองผลการเรียน STOU MODULAR ประกอบด้วย คณะกรรมการพัฒนา STOU MODULAR อาจารย์ผู้ออกแบบและผลิตชุดการสอน ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่จากสำนักการศึกษาต่อเนื่อง รวมทั้งหมด 6 คน และ 2) กลุ่มผู้ใช้จากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ที่นอกเหนือจากผู้ใช้ระบบโดยตรงเพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้ระบบรับรองผลการเรียน STOU MODULAR โดยจัดสัมภาษณ์เชิงปฏิบัติการเพื่อทดสอบระบบ และประเมินความพึงพอใจกลุ่มตัวอย่าง

4.2 ข้อมูล เป็นข้อมูลตัวอย่างของผู้สำเร็จการศึกษาของผู้เรียนโครงการ STOU MODULAR และข้อมูลผู้เรียนที่สำเร็จการศึกษา MOOCs ในโครงการที่มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราชมีร่วมกับโครงการมหาวิทยาลัยไซเบอร์ไทย (Thailand Cyber University Project - TCU) จำนวน 2,000 รายการ

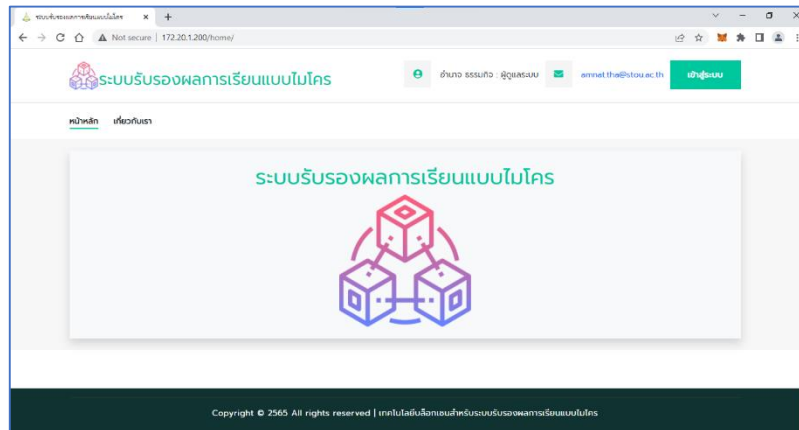
4.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ 1) ฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนที่เป็น Desktop เพื่อเป็น Server ในการติดตั้งระบบและเน็ตบุ๊กเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบ 2) ซอฟต์แวร์ ประกอบด้วย Ethereum platform โดยใช้ Truffle framework เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเขียน smart contract ด้วยภาษาโปรแกรม Solidity บน Ethereum platform และ Ganache เป็นโปรแกรมสร้างเครือข่ายบล็อกเชนแบบจำลอง Metamask เป็นโปรแกรมส่วนขยายของ Google Chrome ใช้สำหรับเชื่อมต่อ smart contract และ XAMPP 8.0.8 สำหรับพัฒนาเว็บไซต์ 3) แบบสัมภาษณ์แบบเจาะลึก เพื่อสอบถามความต้องการของระบบฯ และแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบผ่าน google form หลังจากสัมภาษณ์เชิงปฏิบัติการแล้ว

4.4 การพัฒนาระบบ ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ศึกษาความต้องการและกระบวนการในการรับรองผลการเรียน STOU MODULAR โดยการสัมภาษณ์กลุ่มผู้เกี่ยวข้องที่เป็นกลุ่มตัวอย่างและศึกษากระบวนการเรียนและรับรองผลการเรียน 2) ศึกษาข้อมูลสำหรับทดสอบระบบ ซึ่งเป็นข้อมูลผู้สำเร็จการเรียน MOOCs จาก TCU และเรียนจบโครงการ STOU MODULAR ในปีการศึกษา 2563 3) ออกแบบระบบ โดยศึกษาและติดตั้งโปรแกรมที่เกี่ยวข้องบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของมหาวิทยาลัย ใช้ภาษา Solidity เพื่อสร้าง Smart Contract ที่เหมาะสมกับการรับรองผลการเรียน แล้วทดสอบการ deploy Smart Contract ลงบน Ganache ออกแบบข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับเก็บข้อมูลรับรองผลการเรียน ซึ่งควรมีขนาดเล็กเพื่อไม่ให้ใช้เวลาประมวลผลการเข้ารหัสนานเกินไป และมีเฉพาะข้อมูลที่จำเป็นเพื่อใช้ในการตรวจสอบ ดังภาพที่ 2

```
struct Graduate {
    uint256 id;
    string userid;
    string fullname;
    string course_id;
    string course_no;
    string credit_hours;
    string project_id;
    string certificate_file;
    string certificate_hash;
    string certificate_date;
}
```

ภาพที่ 2 ตัวอย่างภาษา Solidity ที่ใช้เก็บโครงสร้างข้อมูล

4) ออกแบบผู้ใช้งานระบบและการจัดการข้อมูล โดยแบ่งผู้ใช้งานเป็น 3 ส่วน คือ ผู้ดูแลระบบ (administrator) เจ้าหน้าที่ (staff) และผู้เรียน ออกแบบโมดูลสำหรับกระบวนการรับรองผลการเรียน ทั้งหมด 6 โมดูล ได้แก่ (1) การจัดการผู้ใช้ เพื่อกำหนดสิทธิของผู้ใช้งานในระบบ (2) การจัดการโครงการและหลักสูตร (3) การนำเข้าข้อมูลทั้งรายบุคคลและเป็นกลุ่ม เข้าสู่ตารางข้อมูลเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการนำเข้าสู่ Blockchain (4) การแปลงข้อมูลจากตารางข้อมูลที่จัดเตรียมไว้เข้าสู่ Blockchain (5) การตรวจสอบข้อมูล/ค้นหาข้อมูลรับรองผลการเรียนใน Blockchain (6) การแสดงผลลัพธ์ทั้งที่บนจอภาพและรายงาน 5) ออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ เพื่อใช้งานผ่าน browser ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ออกแบบจอภาพเพื่อเข้าสู่ระบบ

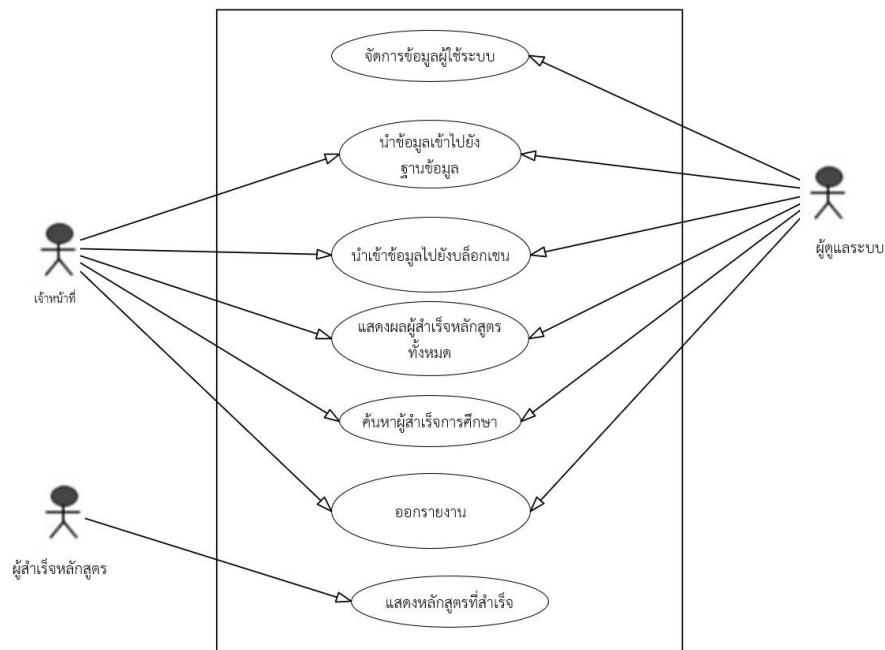
6) ปรับปรุงการออกแบบระบบออกแบบที่ใช้ Blockchain มาจัดเก็บข้อมูลแทนระบบฐานข้อมูลดั้งเดิม ทั้งในกระบวนการนำเข้าข้อมูล การตรวจสอบ ให้เหมาะสมกับผู้ใช้งาน 7) ดำเนินการฝึกอบรมผู้ใช้งานระบบไมโครครีเดนเชียลโดยจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการ โดยเชิญผู้เชี่ยวชาญร่วมสัมมนาจากหน่วยงานภายในและหน่วยงานภายนอกที่สนใจในระบบรับรองผลการเรียน ฯ

4.5 การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ ผู้วิจัยได้จัดทำการประเมินเป็นระยะในระหว่างการพัฒนา ระบบ ซึ่งทีมงานวิจัยใช้วิธีการพัฒนาระบบแบบ agile คือสอบถามความต้องการและความพึงพอใจของผู้ใช้เป็นระยะเมื่อมีการพัฒนาแต่ละโมดูลออกมา ตั้งแต่การ login เข้าสู่ระบบรับรองผลการเรียน นำข้อมูลเข้าสู่บล็อกเชน การทดสอบค้นหาข้อมูล การทดสอบการแสดงผลทั้งบนจอภาพและพิมพ์รายงาน จนระบบที่พัฒนามีความเสถียรแล้ว จึงได้จัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการฯ โดยเชิญผู้ใช้งานทั้งจากหน่วยงานภายในและหน่วยงานภายนอกมหาวิทยาลัย เพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีบล็อกเชน ที่สามารถนำมาใช้ในระบบรับรองผลการเรียน ตลอดจนทดสอบการใช้งานและทดสอบความพึงพอใจในการใช้ระบบ

5. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบไมโครครีเดนเชียลของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชโดยใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนซึ่งเป็นแพลตฟอร์มของอีเธอเรียมแบบเปิด เพื่อให้สถาบันการศึกษาที่มีการจัดการเรียนการสอนแบบไมโครครีเดนเชียลสามารถใช้งานร่วมกันได้ ได้แนวทางการพัฒนาระบบดังนี้

5.1 ยูสเคสไดอะแกรม (Use Case Diagram) หลังจากผู้วิจัยได้ศึกษาวิเคราะห์ความต้องการของระบบไมโครครีเดนเชียลแล้วได้ออกแบบระบบให้ประกอบด้วย 6 โมดูลหลัก ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ยูสเคสไดอะแกรมของระบบไมโครครีเดนเชียลส์

5.2 โครงสร้างข้อมูลของระบบรับรองผลการเรียน STOU MODULAR ผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างข้อมูลให้เหมาะสมกับเทคโนโลยีบล็อกเชนดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 โครงสร้างข้อมูลที่จัดเก็บในบล็อกเชนของระบบรับรองผลการเรียน STOU MODULAR

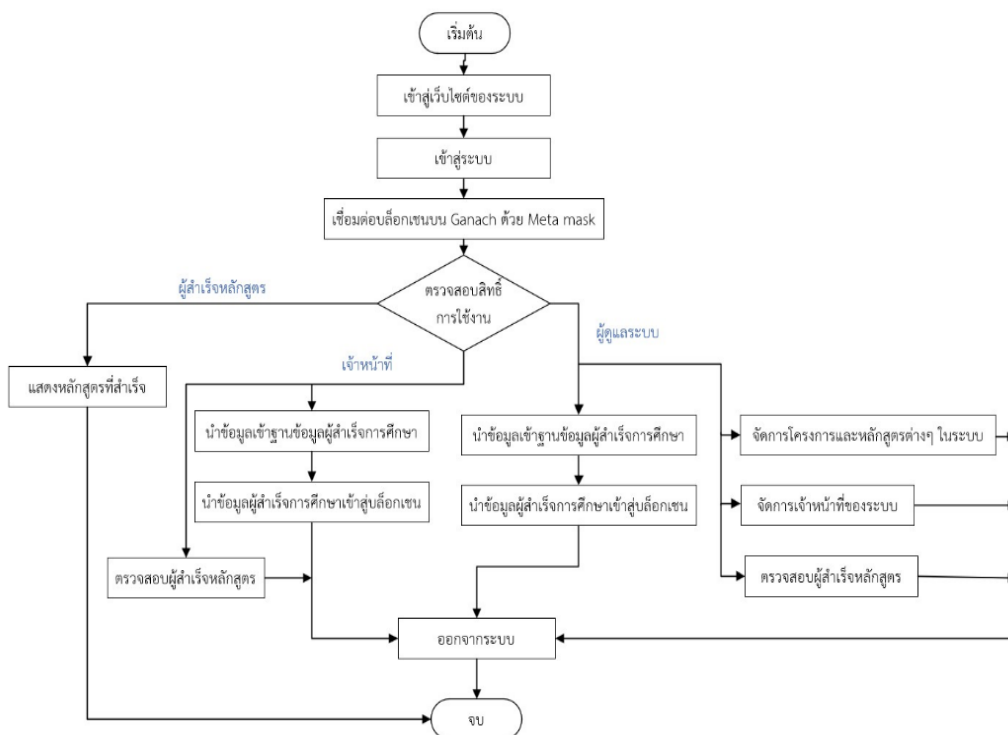
ชื่อข้อมูล	รายละเอียด
Id	หมายเลขประจำตัว
fullname	ชื่อ-นามสกุล
Course	ชื่อหลักสูตร
Course_no	รุ่นที่
Credit	จำนวนหน่วยกิต
Project	โครงการที่สำเร็จ (STOU MDULAR / THAI MOOC)
Certificate_file	URL หรือภาพใบสมรณบัตร
Certificate_date	วันที่จบหลักสูตร
Certificate_hash	ค่าแฮชของภาพสมรณบัตร

5.3 การแปลงข้อมูลผู้สำเร็จการศึกษาเข้าสู่บล็อกเชน หลังจากได้ปรับปรุงโครงสร้างข้อมูลแล้ว ผู้วิจัยได้แปลงข้อมูลเข้าสู่บล็อกเชนตามภาพที่ 5



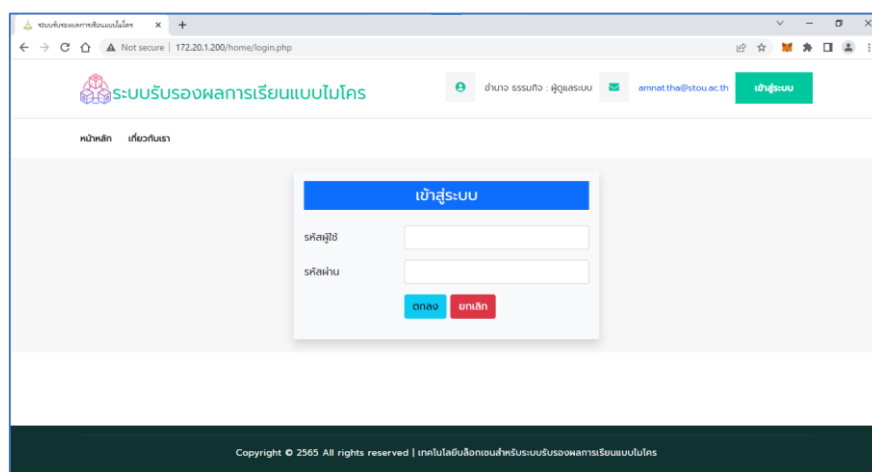
ภาพที่ 5 flowchart ขั้นตอนแปลงข้อมูลเข้าสู่บล็อกเชนที่ใช้แพลตฟอร์มอีเธอเลียม

5.4 การพัฒนาระบบไมโครครีเดนเชียลส์บนเว็บไซต์เพื่อให้ผู้เรียนและเจ้าหน้าที่สามารถเข้าใช้งานระบบผ่านอินเทอร์เน็ตได้ โดยออกแบบให้มีขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 6

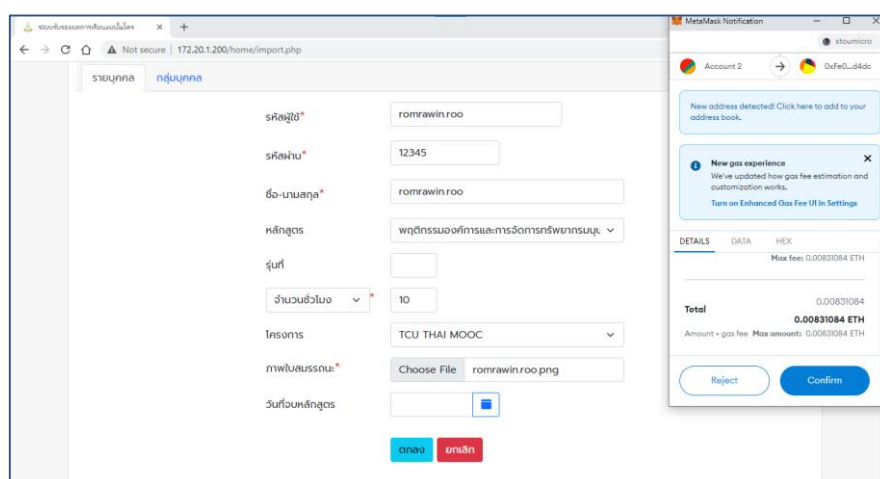


ภาพที่ 6 flowchart ขั้นตอนการทำงานของระบบไมโครครีเดนเชียลส์บนเว็บ

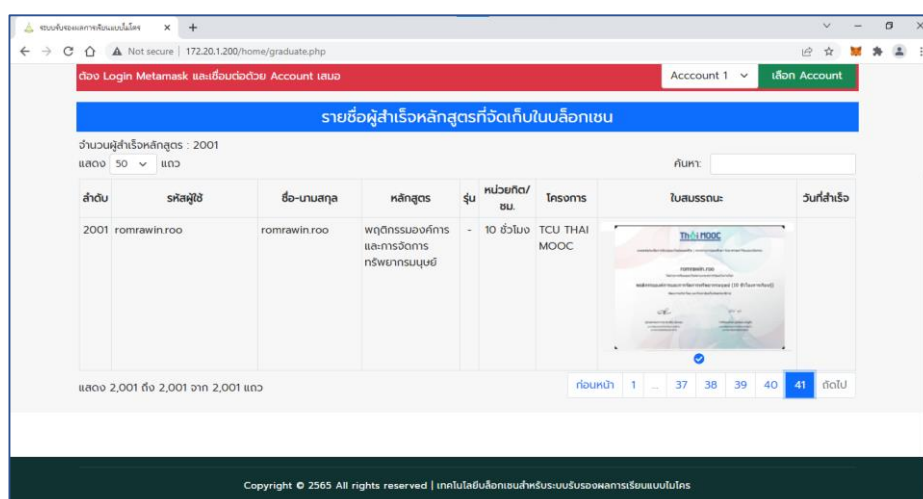
5.5 การเข้าใช้ระบบรับรองผลการเรียน STOU MODULAR ตัวอย่างการเข้าใช้ระบบตั้งแต่การเข้าสู่ระบบ การเพิ่มข้อมูลเข้าสู่ระบบทั้งรายบุคคลและเป็นกลุ่ม การแสดงข้อมูลผู้สำเร็จการศึกษาจากระบบไมโครครีเดนเชียลส์ดังภาพที่ 7-10



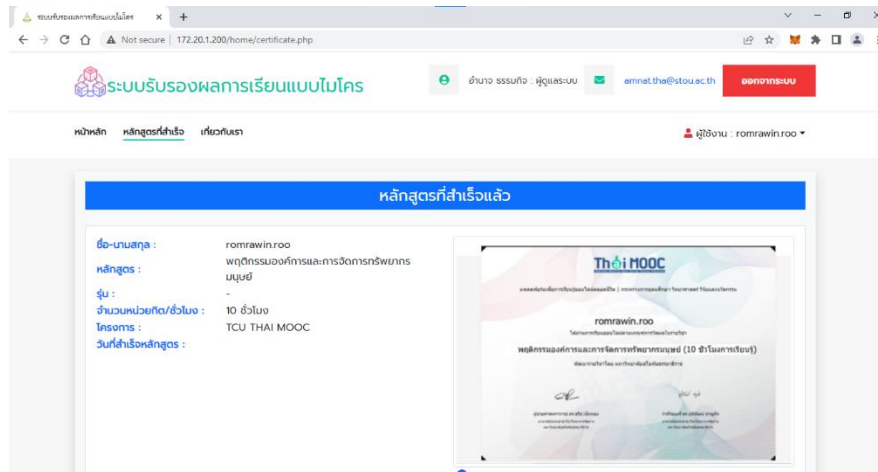
ภาพที่ 7 หน้าจอหลักของระบบรับรองผลการเรียน



ภาพที่ 8 การแปลงข้อมูลเข้าสู่เครือข่ายบล็อกเชน



ภาพที่ 9 แสดงข้อมูลผู้สำเร็จการศึกษาจากเครือข่ายบล็อกเชน



ภาพที่ 10 แสดงผลการ login ของผู้เรียนเพื่อเรียกดูข้อมูลสำเร็จการศึกษาแล้ว

6. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับระบบไมโครครเดนเชียลส์ได้ใช้กระบวนการพัฒนาแบบแอกไจล์ (agile methodology) ที่เน้นการทำงานใกล้ชิดกับผู้ใช้และพัฒนาต้นแบบได้ด้วยความยืดหยุ่นและรวดเร็ว โดยสร้างต้นแบบไปทีละส่วนให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้และทดสอบไปทีละโมดูล ทำให้ผู้ใช้มีส่วนร่วมในการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง พบว่าผู้ใช้งานมีความต้องการให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงระบบรับรองผลการเรียน STOU MODULAR จากอินเทอร์เน็ตได้ เนื่องจากผู้เรียนเข้าศึกษาและเข้าร่วมทำกิจกรรมของชุดวิชาออนไลน์ผ่านอินเทอร์เน็ตอยู่แล้ว และเทคโนโลยีบล็อกเชนสามารถให้ความมั่นใจในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลที่จัดเก็บอยู่บนอินเทอร์เน็ต และได้ต้นแบบแอปพลิเคชัน ที่ประกอบด้วย 6 โมดูลหลัก รวมทั้งฟังก์ชันการทำงานที่เกี่ยวข้องทั้งในด้านการจัดการผู้ใช้ การจัดการโครงการและหลักสูตร การนำข้อมูลเข้าทั้งรายบุคคลและเป็นกลุ่ม การแปลงข้อมูลจากตารางข้อมูลเข้าสู่บล็อกเชน การตรวจสอบข้อมูล/ค้นหาข้อมูลรับรองผลการเรียนในบล็อกเชน และการแสดงผลทั้งที่บนจอภาพและรายงาน

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ใช้ซึ่งเป็นผู้บริหารและเจ้าหน้าที่จากสำนักงานการศึกษาต่อเนื่องจำนวน 9 คนโดยมีหัวข้อสอบถามความพึงพอใจทั้งหมด 7 หัวข้อ การวิเคราะห์โดยใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการแปลผลโดยใช้ค่าเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบความพึงพอใจ 5 ระดับ คือ พอใจมากที่สุด พอใจมาก พอใจปานกลาง พอใจน้อย และพอใจน้อยที่สุด ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ใช้ในการใช้ระบบไมโครครเดนเชียลส์

การใช้งาน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D)	การแปลผล
1. การนำเข้าและบันทึกข้อมูล ทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว	4.3	0.7	พอใจมาก
2. การสืบค้นข้อมูล ทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว	4.6	0.7	พอใจมากที่สุด
3. การจัดทำรายงาน ทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว	4.4	0.8	พอใจมาก
4. เมนูคำสั่งต่าง ๆ ครอบคลุมตามความต้องการ	4.6	0.7	พอใจมากที่สุด
5. ความปลอดภัยและการกำหนดระดับสิทธิ์ในการเข้าถึงระบบและข้อมูลเพียงพอและตรงตามความต้องการ	4.7	0.5	พอใจมากที่สุด
6. ความปลอดภัยในการออกใบรับรองผลการเรียนแบบไมโคร แทนการออกใบรับรองผลการเรียนแบบเดิม	4.6	0.7	พอใจมากที่สุด
7. ความพึงพอใจโดยรวมของการใช้งานระบบ	4.6	0.7	พอใจมากที่สุด
ระดับความพึงพอใจเฉลี่ย	4.5	0.7	พอใจมากที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่า 4 อันดับแรกที่มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูงสุด ($\bar{X}$ = 4.7) ได้แก่ 1) ความปลอดภัยและการกำหนดระดับสิทธิ์ในการเข้าถึงระบบและข้อมูลเพียงพอและตรงตามความต้องการ ($\bar{X}$ = 4.6) 2) เมนูคำสั่งต่าง ๆ ครอบคลุมตามความต้องการ ($\bar{X}$ = 4.6) 3) ความปลอดภัยในการออกใบรับรองผลการเรียนแบบไมโคร แทนการออกใบรับรองผลการเรียนแบบเดิม และ 4) ความพึงพอใจโดยรวมของการใช้งานระบบ ($\bar{X}$ = 4.6)

สรุปผลวิจัยได้ว่าข้อมูลผู้เรียนในระบบไมโครครีเดนเชียลส์ที่ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนนี้สามารถจัดเก็บ ตรวจสอบ ค้นหาและแสดงผล ช่วยทำให้ผู้เรียนและผู้ใช้ของมหาวิทยาลัยเข้าถึงได้ด้วยตนเองจากอินเทอร์เน็ต ที่มีความปลอดภัยสูง ยังคงอยู่สามารถใช้อ้างอิงได้ตลอดเวลาและไม่มีค่าใช้จ่าย

งานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sharples and Domingue (2016) ที่กล่าวถึงการประยุกต์เทคโนโลยีบล็อกเชนในการจัดเก็บข้อมูลทางการศึกษา และงานวิจัยของ Jirgensons and Kapenieks (2018) กล่าวถึง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนกับการบริหารจัดการและการประเมินผลเพื่อการออกใบรับรองผลการเรียนแบบดิจิทัลในอนาคต โดยใบรับรองผลการเรียนแบบนี้จะทำให้ผู้เรียนสามารถออกแบบการเรียนรู้ตลอดชีวิตของตนเองในลักษณะการศึกษาส่วนบุคคลตามความจำเป็นและคุณค่าที่ผู้เรียนแต่ละคนต้องการ และสอดคล้องกับ Grech and Camilleri (2017) นำเสนอกรณีศึกษาที่หลายมหาวิทยาลัยนำเทคโนโลยีบล็อกเชนไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการศึกษา และเป็นไปตามนโยบายของกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมที่มีนโยบายชัดเจนในการส่งเสริมให้สถาบันอุดมศึกษาทั้งภาครัฐและภาคเอกชนนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ในการบริหารงานและการให้บริการนิสิต นักศึกษา ประชาชน และหน่วยงานต่าง ๆ

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1) การจะนำผลการวิจัยครั้งนี้ไปใช้นั้น มหาวิทยาลัยจะต้องกำหนดนโยบาย กฎระเบียบ แนวปฏิบัติในการนำเข้าข้อมูลผู้เรียนเข้าสู่ระบบ และหากสถาบันหรือหน่วยงานการศึกษาอื่นที่ต้องการให้ผู้เรียนเข้าถึงข้อมูลการสำเร็จการศึกษาระบบไมโครได้ด้วยตนเอง สามารถทำความร่วมมือและทำข้อตกลง เพื่อสนับสนุนการใช้งานร่วมกันอย่างเป็นรูปธรรมได้

2) มหาวิทยาลัยจะต้องแจ้งให้ผู้เรียนทราบ เมื่อต้องการนำข้อมูลของผู้เรียนเข้าระบบไมโครครีเดนเชียลส์นี้และต้องได้รับความยินยอมจากผู้เรียนที่เป็นเจ้าของข้อมูลก่อนดำเนินการ ตรวจสอบข้อมูลหลังจากดำเนินการแล้ว นอกจากนี้ถ้าจะต้อง

ทำการศึกษาต่อไปว่าควรให้ผู้เรียนเป็นผู้ให้สิทธิแก่สถาบันการศึกษาใดบ้างในการบันทึกหรือเรียกดูข้อมูลโดยใช้ private/public keys ด้วยหรือไม่

7.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การวิจัยครั้งนี้เป็นต้นแบบการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนสำหรับระบบไมโครเครดิตโดยเน้นการอำนวยความสะดวกให้กับมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราชในการจัดเก็บข้อมูลผู้สำเร็จการศึกษาโครงการ STOU MODULAR ให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ด้วยตนเอง และใช้แพลตฟอร์มบนเครื่องเดสก์ท็อป ทั้งนี้ การวิจัยครั้งนี้ไม่รวมการใช้เทคโนโลยีลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์ของผู้เรียน เพื่อตรวจสอบความเป็นเจ้าของข้อมูลได้ หรือการใช้แพลตฟอร์มบนคลาวด์ ดังนั้น การต่อยอดงานวิจัยนี้ในอนาคตสามารถนำประเด็นเหล่านี้มาพิจารณาเพื่อปรับปรุงและเติมเต็มให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นและรองรับการทำงานที่มีขอบเขตการให้บริการที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้นได้

8. เอกสารอ้างอิง

กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา. (2563). *การพัฒนาหลักสูตร Non-Degree แบบ Micro-Credentials*.

เข้าถึงได้จาก <http://service.buu.ac.th/index.php/news10sep2020/>.

ทศพล เขียวชาญประพันธ์. (2561). *การเข้าถึงเอกสารสำคัญทางการศึกษาผ่านช่องทาง*

ดิจิทัล:กรณีศึกษาจากออสเตรเลีย. เข้าถึงได้จาก <https://bit.ly/3LcvQnH>.

พุทธิพร หงษ์สุกุล. (2016). *Ethereum คืออะไร และ World Computer คืออะไร*. เข้าถึงได้จาก

<http://www.blockchain.fish/ethereum-คืออะไร>.

พุทธิพร หงษ์สุกุล. (2016). *Blockchain. ประเภทไหนเหมาะกับองค์กรของคุณ*. เข้าถึงได้จาก <http://www.blockchain.fish/>

องค์กรไหนควรใช้-blockchain-ประเภท/.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2562). *มจพ. สร้างบัณฑิตพันธุ์ใหม่*

เน้นสมรรถนะขั้นสูง ตอบโจทย์นโยบายการปฏิรูปอุดมศึกษาไทย. เข้าถึงได้จาก <https://bit.ly/3syNJqo>.

สำนักข่าว กรมประชาสัมพันธ์. (2564). *มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ยกกระดับ Transcript*

สู่ Digital เป็นแห่งแรกของประเทศไทย. เข้าถึงได้จาก <https://bit.ly/3wv6Brx>.

สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์. (2563). *เปิดมิติใหม่การศึกษาไทย นำร่องใช้*

Digital Transcript ปี '63 พร้อมดันสู่ Digital Transformation เต็มรูปแบบ.

เข้าถึงได้จาก <https://www.etda.or.th/th/newsevents/pr/Launching-Digital-Transcript.aspx>

Blockchain.Fish Team. (2016). *Ethereum คืออะไร และ World Computer คือ*

อะไร. เข้าถึงได้จาก <http://www.blockchain.fish/ethereum-คืออะไร/>.

Blockchain.Fish Team. (2016). *Blockchain ประเภทไหนเหมาะกับองค์กรของ*

คุณ. เข้าถึงได้จาก <http://www.blockchain.fish/องค์กรไหนควรใช้-blockchain-ประเภท/>.

Engineering Today. (2563). *มจร. จับมือ Digital Promise ครั้งแรกในไทย เร่งแก้วิกฤต*

การศึกษาไทย – คนวัยทำงาน. เข้าถึงได้จาก <https://bit.ly/3sCJdY9>.

Yokekung. (2563). *อว. เปิดตัวแพลตฟอร์มออนไลน์ “Future Skill x New Career Thailand” รับมือโลกในศตวรรษ*

ที่ 21. เข้าถึงได้จาก <https://www.adsthailand.com/post/7001>.

Condos, J., Sorrell, W. H., & Donegan, S. L. (2016). *Blockchain Technology:*

Opportunities and Risks. Vermont. Retrieved from <https://bit.ly/38toqIJ>.

- Grech, A, & Camilleri, A. F. (2017). *Blockchain in Education*. European Commission: JRC Science for Policy Report. Retrieved from <https://bit.ly/3FM6kEZ>.
- Jirgensons, M., & Kapenieks, J. (2018). Blockchain and the Future of Digital Learning Credential Assessment and Management. *Journal of Teacher Education for Sustainability*, 20(1), 145-156. Retrieved from <https://sciendocom/article/10.2478/jtes-2018-0009>.
- Lim, C. L., Nair, P. K., Keppell, M. J., Hassan, N., & Ayub, E. (2018). Developing a Framework for the University-Wide Implementation of Micro-Credentials and Digital Badges: A Case Study From a Malaysian Private University. *2018 IEEE 4th International Conference on Computer and Communications (ICCC)*, 2018, pp. 1715-1719, doi: 10.1109/CompComm.2018.8780706.
- Schmidt, J. P. (2017, April 24). Credentials, Reputation, and the Blockchain. Retrieved from <https://er.educause.edu/articles/2017/4/credentials-reputation-and-the-blockchain>.
- Sharples, M., & Domingue, J. (2016). The Blockchain and Kudos: A Distributed System for Educational Record, Reputation and Reward. In: Verbert, K, Sharples, M. Klobucar, T. (Eds.) *Adaptive and Adaptable Learning* (pp. 490–496). Springer. Retrieved from <https://bit.ly/3PosLnP>.
- STOU MODULAR. (2563). *เรียน MODULAR ที่มสธ. “เพิ่มขีดความสามารถ...สร้างโอกาสที่ดีกว่า”*. Retrieved from <http://modular.stou.ac.th/>.

การศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนของเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนของ แบเรียมซัลเฟตด้วยแผ่นรับภาพทางรังสี

A study of attenuation coefficient of x-ray attenuated with the barium sulphate-filled rubber compounds recorded using an imaging plate

พนพน สวีโรจน์¹ และ พิทยา สีสด²

¹สาขาวิชารังสีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, E-Mail panapon8961@gmail.com

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, E-Mail s.phittaya@ru.ac.th

Panapon Savitrot¹ and Phittaya Sisot²

¹Department of Radiological technology, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University,

E-Mail panapon8961@gmail.com

²Department of Chemistry, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, E-Mail s.phittaya@ru.ac.th

วันที่รับบทความ 10 กุมภาพันธ์ 2566

วันแก้ไขบทความ 18 มิถุนายน 2566

วันตอบรับบทความ 20 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ

ในยุคปัจจุบันได้มีการนำเอกซเรย์มาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์มากมาย ในการทำงานที่เกี่ยวข้องจึงต้องมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสีอย่างเหมาะสม โดยปกตินิยมใช้อุปกรณ์ที่มีตะกั่วมาทำบังเนื่องจากมีคุณสมบัติในการลดทอนรังสี แต่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตด้วยแผ่นรับภาพทางรังสี วัสดุอุปกรณ์ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดเอกซเรย์, แผ่นรับภาพทางรังสี, เครื่องอ่านภาพทางรังสี และโปรแกรม ImageJ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่วิเคราะห์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า แรงดันไฟฟ้าที่ใช้คือ 60-80 kVp เมื่อแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่าลดลง และอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต 0, 5, 10, 15 phr เมื่ออัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตมากขึ้น จะทำให้การดูดกลืนพลังงานของเอกซเรย์มากขึ้น เป็นผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย โดยที่แผ่นยางคอมพอสิต 15 phr ที่พารามิเตอร์ 5 mAs 60 kVp มีการลดทอนปริมาณรังสีมากที่สุดในการทดลอง 19.2770% สรุปผลการวิจัยแผ่นยางพาราคอมพอสิตสามารถเป็นอุปกรณ์การป้องกันอันตรายจากรังสี และสามารถเป็นแนวทางการสร้างอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสีที่มีเทคนิคแตกต่างกันได้

คำสำคัญ: ภาพถ่ายทางรังสี, แบเรียมซัลเฟต, ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงาน

ABSTRACT

Actual progress of applied radiation plays a highly important role in medical radiology. In practice, generated materials optimize the process by decreasing the level of X-ray absorption. Radiation protection equipment is manufactured using lead because its properties decrease radiation doses, but it has negative environmental effects. This research studies the radiographic image intensity attenuated with barium sulphate-filled rubber compounds recorded with an imaging plate. The equipment used in this study includes an X-ray generator, radiographic imaging plate, radiographic readers and *ImageJ* open-source software to process and analyse scientific images. The results indicate that the X-ray generator, in the terms of voltage values in the range of 60-80 kVp, was higher, which has a greater attenuation coefficient value than the decrease in voltage. When the ratio of barium sulphate was increased, the barium sulphate-filled rubber compounds 0, 5, 10 and 15 phr resulted in X-ray energy absorption. This trends to a greater level of X-ray absorption and an increase in the attenuation coefficient. The rubber-compounded barium sulphate 15 phr by the terms in 5 mAs and 60 kVp was higher and had a 19.2770% greater attenuation coefficient value in condition. It can therefore be concluded that the rubber-compounded barium sulphate could be used as a guide to create radiation protection equipment and to develop radiation protection for other research techniques.

KEYWORDS: Radiographic image, Barium sulfate, Attenuation coefficient

1. บทนำ

หลายปีที่ผ่านมากระบวนการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์มีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของการตรวจสอบแบบไม่ทำลายวัตถุ (Non-Destructive Testing, NDT) ซึ่งเป็นที่นิยมในกระบวนการอุตสาหกรรมและรังสีวิทยาทางการแพทย์ โดยอาศัยเอกซเรย์ทะลุผ่านวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ ความผิดปกติของวัตถุซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ในปัจจุบันมีการใช้แผ่นรับภาพทางรังสี (Imaging plate) เพิ่มความสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น ส่วนการป้องกันอันตรายจากรังสีเป็นอีกกระบวนการหนึ่งซึ่งต้องคำนึงถึง ควบคู่กับการทำงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีในด้านต่างๆ เนื่องจากพลังงานของเอกซเรย์มีอำนาจทะลุทะลวงสูง โดยเอกซเรย์จะถูกปล่อยออกมาจากเครื่องกำเนิดรังสีและกระทบกับวัตถุที่ต้องการ การทดสอบวัตถุเพื่อรับรังสีจะเกิดการดูดกลืนไว้บางส่วน และยอมให้รังสีบางส่วนทะลุผ่าน รังสีที่ทะลุผ่านจะถูกกรองรับด้วยแผ่นรับภาพ ภาพถ่ายทางรังสีจะประกอบไปด้วยหน่วยเล็กๆ ที่เรียกว่าจุดภาพ (Pixel) ซึ่งจะเป็นพื้นที่เล็กๆจุดหนึ่งในภาพ โดยในแต่ละจุดนั้นจะมีเลขกำกับ ใช้อบกระดัความเข้มของแต่ละเฉดสี หากมีจุดหลายๆ จุดภาพมาต่อกันก็จะกลายเป็นภาพที่มีขนาดและความยาวเกิดขึ้น โดยภาพถ่ายทางรังสีเป็นภาพระดับสีเทา (Gray scale image) คือภาพที่มีสีอยู่ในโทนสีเทา จะมีจำนวนสีที่เป็นได้ทั้งหมด 256 สี ตั้งแต่สี ดำ (0) ถึงขาว (255) อีกทั้งในสถานพยาบาลในปัจจุบันนั้น ผู้ป่วยที่เข้ารับการบริการเอกซเรย์ในหอผู้ป่วยมีจำนวนมาก ทำให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองเพื่อการสร้างภาพทางรังสีนั้น ทำให้ได้ข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางของการสร้างอุปกรณ์การป้องกันอันตรายจากรังสีจากอุปกรณ์ที่มีอยู่หรือหาได้ง่าย

จากประเด็นสำคัญการสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์และเทคโนโลยีใหม่ ใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่อยู่ในประเทศ ก่อให้เกิดงานวิจัยเรื่องนี้ขึ้นซึ่งเป็นการศึกษาทางคอมพิวเตอร์สืตลอกอนเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านอย่างคอมพิวเตอร์ตามอัตราส่วนของแบบเรียบซัลเฟต

เพื่อเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคตในการนำไปใช้จริงได้ของสถานพยาบาล งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดลงของความเข้มของรังสีจากการถ่ายภาพทางรังสีผ่านแผ่นยางคอมพอสิตที่มีแบบเรียบซัลเฟตเป็นองค์ประกอบในอัตราส่วนแตกต่างกัน

นอกจากนี้ยังศึกษาค่าเฉลี่ยจากโปรแกรม Image J แล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของแผ่นยางคอมพอสิตที่มีแบบเรียบซัลเฟตเป็นองค์ประกอบในแต่ละอัตราส่วน เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันอันตรายจากเอกซเรย์ได้มากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์จากการบันทึกภาพของแผ่นยางคอมพอสิต โดยประกอบด้วยอัตราส่วนของแบบเรียบซัลเฟตที่ต่างกัน
- 2.2 เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนของพลังงานของเอกซเรย์เมื่อผ่านวัตถุต่างชนิดกัน

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว

สมการ Beer-Lambert Law ใช้อธิบายเอกซเรย์ที่มีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว (monochromatic X-ray beam) ตามสมการ The Beer-Lambert law

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{1}{x} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

เมื่อ	x	คือ	ความหนาของแผ่นยางคอมพอสิต
	I_0	คือ	ความเข้มของเอกซเรย์ (ความเข้มของเดตีส) ก่อนทะลุผ่านตัวกลาง
	I	คือ	ความเข้มของเอกซเรย์ (ความเข้มของเดตีส) หลังทะลุผ่านตัวกลาง
	μ	คือ	สัมประสิทธิ์การลดทอนความเข้มรังสีเชิงเส้น (linear attenuation coefficient)

3.2 รูปภาพและระบบสี

รูปภาพประกอบไปด้วยหน่วยเล็กๆ ที่เรียกว่าเม็ดสีหรือจุดภาพ ซึ่งจะเป็พื้นที่ที่เล็ก ๆ จุดหนึ่งในภาพ โดยในแต่ละจุดนั้นจะมีเลขกำกับ ซึ่งตัวเลขเหล่านี้จะมาจากค่าของแม่สีสามสี สีแดง (R), สีเขียว (G) และสีฟ้า (B) ใช้บอกระดับความเข้มของแต่ละเดตีส หากมีจุดหลายๆจุดภาพมาต่อกันก็จะกลายเป็นภาพที่มีขนาดและความยาวเกิดขึ้น อย่างเช่น มีรูปภาพขนาด 320×240 นั้นหมายความว่าภาพนี้มีขนาดความกว้างของภาพคือ 320 พิกเซล และความยาวของภาพคือ 240 พิกเซล เป็นต้น

- ภาพระดับสีเทา (Gray scale image) คือภาพที่มีสีอยู่ในระดับโทนสีเทา ถ้าเป็นภาพ 8 บิต จะมีจำนวนสีที่เป็นได้ทั้งหมด 256 สี ตั้งแต่สี ดำ (0) ถึงขาว (255)
- ภาพแท่งความถี่ (Histogram) คือ กราฟที่แสดงจำนวนจุดภาพทั้งหมดในภาพที่ความเข้มต่างของภาพ โดยที่แกนนอนจะแสดงระดับความเข้มที่แบ่งระดับเป็น 256 ระดับ ซึ่งมีค่าตั้งแต่สี 0 ถึง 255 ซึ่งระดับสีเทามีค่าต่ำ ก็หมายถึงความเข้มที่มีค่าสีน้อยจะมองเห็นเป็นสีดำ แต่ในทางกลับกันหากค่าระดับสีเทามาก หมายถึงมีความเข้มมากจะมองเห็นเป็นสีขาว และแกนตั้งของกราฟจะแสดงจำนวนจุดภาพที่มีค่าในแต่ละช่วงระดับความเข้ม

3.3 เทคโนโลยีการออกสูตรเคมียาง

การออกสูตรเคมียางให้เหมาะสมนั้นนับเป็นขั้นตอนแรก ที่มีความสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากจะส่งผลต่อสมบัติหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยาง การออกสูตรเคมียางที่ดีนั้นต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับสมบัติและการใช้งานของยางแต่

ละชนิดโดยละเอียด ต้องรู้หน้าที่กลไกการทำงานของสารเคมีต่างๆ ที่จะผสมลงไปเป็นอย่างดี รวมทั้งต้องมีความรู้เกี่ยวกับเครื่องจักรที่จะใช้ในการผสมและการแปรรูปด้วย

โดยทั่วไปส่วนประกอบต่างๆ ในสูตรเคมียาง ประกอบด้วย

1. ยาง เป็นยางธรรมชาติ (natural rubber), ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber), ยางผสม (blends) หรือยางเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic elastomer)
2. สารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent) เป็นสารที่ช่วยให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงตาข่าย (cross linking)
3. สารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator) ในแต่ละกลุ่ม อาจจะมีการใช้สารเคมีมากกว่าหนึ่งตัว เช่น สารตัวเร่งปฏิกิริยา อาจจะใช้สองตัวร่วมกัน หรือสี่อาจใช้สามหรือสี่ชนิดรวมกัน เป็นต้น

3.4 สารประกอบแบเรียมซัลเฟต

แบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) ลักษณะทางกายภาพเป็นผลึกสีขาวหรือสีขาวไม่มีกลิ่น เป็นสารประกอบไอออนิกที่ประกอบด้วยธาตุแบเรียม, ซัลเฟอร์ และออกซิเจน โดยมีมวลโมเลกุล 233.4 g/mol ความหนาแน่น 4.5 g/cm³ มีจุดหลอมเหลวที่ 1,580°C และดัชนีหักเห 1.637 แบเรียมซัลเฟตมีความสามารถในการดูดซับเอกซเรย์ที่ไม่สามารถซึมผ่านได้ กระจายในยางธรรมชาติซึ่งถือเป็นวัสดุที่สามารถลดทอนรังสีได้

สารประกอบแบเรียมซัลเฟตมีลักษณะเป็นผงสำหรับใช้เป็นสารเพิ่มความหนาแน่น อีกทั้งใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในอุตสาหกรรมยาง, พอลิเมอร์ และอุตสาหกรรมการขุดเจาะปิโตรเคมี สำหรับในทางการแพทย์ใช้เป็นสารประกอบไอออนิกที่มีคุณสมบัติสารทึบรังสี (radiocontrast) สำหรับเอกซเรย์เพื่อการถ่ายภาพทางการแพทย์ สำหรับการวินิจฉัยโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคในช่องท้องและทางเดินอาหาร, การตรวจระบบทางเดินอาหารส่วนบนและส่วนล่าง, การตรวจดูของหลอดอาหาร, การตรวจกระเพาะอาหาร และการตรวจลำไส้

แบเรียมซัลเฟตจะอยู่ในรูปสารแขวนลอยของผงละเอียดที่กระจายตัวในสารละลายน้ำ ถึงแม้ว่าแบเรียมจะเป็นโลหะหนักที่สารประกอบของมัน เมื่อละลายน้ำถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้วจะเป็นพิษสูง แต่เนื่องจากแบเรียมซัลเฟตละลายน้ำได้น้อยมากคนไข้จึงไม่ได้รับอันตรายจากพิษของมัน

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

V.P.Singh et al. (2558) ที่ศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ด้วยโปรแกรม Monte Carlo ด้วยพอลิเมอร์ที่มีองค์ประกอบต่างๆ เช่น H, C, N, O และ F พบว่าผลการวิจัยในการทดลองผ่านวัสดุที่มีองค์ประกอบของ Polypropylene, Perspex และน้ำ ด้วยพลังงานรังสีแกมมา เมื่อค่าพลังงานมากขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานมีค่าน้อยลงตามไปด้วย

เสาวภาคย์ และคณะ (2562) ศึกษาแผ่นป้องกันรังสีที่มีส่วนผสมของยางธรรมชาติและบิสมันท์ปริมาณสูงทดแทนการใช้ตะกั่วเป็นส่วนผสม และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดทอนรังสีของแผ่นป้องกันรังสีที่มีส่วนผสมของยางแท่งและบิสมันท์ปริมาณต่างๆ กับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีสมมูลตะกั่ว 0.5 mm โดยทำการทดลองด้วยแผ่นยางที่เตรียมจากสูตรยางธรรมชาติผสมบิสมันท์ ทั้ง 6 สูตร คือ 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 phr โดยที่ตัวอย่างแผ่นยางมีความหนาตั้งแต่ 1 ถึง 5 mm ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการลดทอนปริมาณรังสี โดยใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 50 ถึง 120 kVp และค่ากระแสหลอด 20 mAs ผลการวิจัยพบว่า ร้อยละการลดทอนปริมาณรังสี มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของบิสมันท์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีสมมูลตะกั่ว 0.5 mm กับแผ่นป้องกันรังสีที่ประดิษฐ์ขึ้นพบว่าแผ่นยางสูตรที่ผสมตะกั่ว 300 phr มีความหนา 3 mm มีค่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสี 97.33 ที่ 100 kVp ซึ่งใกล้เคียงกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีที่มีความหนาสมมูลบิสมันท์ 0.5 mm และเมื่อเพิ่มปริมาณบิสมันท์เป็น 400 และ 500 phr ประสิทธิภาพการลดทอนปริมาณรังสีได้ดีกว่าอุปกรณ์เปรียบเทียบที่มีความหนา 3 mm

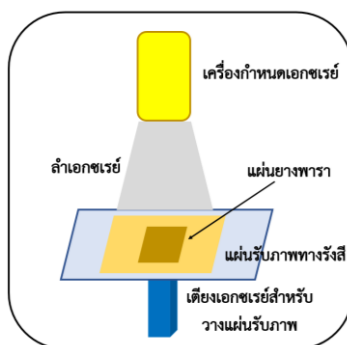
ภาคภูมิ อรชร (2560) ศึกษาการใช้เอกซเรย์พลังงานต่ำในช่วง 13.6-43.5 keV ที่ได้จากต้นกำเนิดรังสี ^{238}Pu โดยใช้การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของของเหลวชนิดต่างๆที่มีค่าขึ้นกับพลังงาน ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า สามารถคัดแยกของเหลวชนิดต่างๆ เช่น น้ำ น้ำมัน แอลกอฮอล์ ออกจากกันได้แม้อยู่ในขวดแก้วแบบปิดและภาชนะที่มีขนาดต่างๆกัน

ทิวาวัลย์ และคณะ (2560) ศึกษาการผลิตวัสดุลดทอนเอกซเรย์ทดแทนโลหะตะกั่ว โดยผลการวิจัยพบว่า การดูดกลืนเอกซเรย์ของแผ่นพอลิยูรีเทน (PU) ที่มีความหนา 2 mm ด้วยพลังงานของเอกซเรย์เท่ากับ 60 kV พบว่าเอกซเรย์ที่ผ่านแผ่น PU มีค่าใกล้เคียงกับเอกซเรย์ที่ผ่านอากาศแสดงให้ว่า ความสามารถในการลดทอนเอกซเรย์ของแผ่น PU มีค่าน้อยมาก อีกนัยหนึ่งคืออะตอมที่เป็นองค์ประกอบใน PU แต่เมื่อนำ PU ไปคอมพอสิตกับสารแบเรียมซัลเฟต พบว่าแผ่นคอมพอสิต PU/BaSO₄ ดูดกลืนเอกซเรย์ได้ดี และเมื่อผสมแบเรียมซัลเฟตมากขึ้นทำให้การดูดกลืนเอกซเรย์เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การออกแบบระบบการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์

ระบบการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์ที่พัฒนาขึ้นแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วน ซึ่งประกอบด้วย เครื่องกำเนิดเอกซเรย์, เติงเอกซเรย์สำหรับวางแผ่นรับภาพ, แผ่นรับภาพ และเครื่องรับภาพรับทางรังสี ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์

4.2 การออกแบบวัสดุตัวอย่างของการวิจัย

การออกแบบวัสดุตัวอย่าง โดยจะออกแบบวัตถุเป็นแผ่นยางคอมพอสิต โดยมีองค์ประกอบของแบเรียมซัลเฟตที่อัตราส่วนแตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การออกแบบสูตรผสมเคมีของวัสดุตัวอย่าง

สูตรผสมเคมี	ปริมาณสาร (phr*)			
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ยางธรรมชาติ	100	100	100	100
Stearic acid	1	1	1	1
ZnO	3	3	3	3
Zinc dibutyl dithiocarbamate (ZDBC)	1	1	1	1
Sulfur	2	2	2	2
BaSO ₄	0	5	10	15

*phr ย่อมาจาก parts per hundred of rubber หมายถึง หน่วยการผสมยางโดยคิดสัดส่วนปริมาณสารต่าง ๆ เมื่อเทียบกับยาง 100 ส่วน (โดยน้ำหนัก)

4.3 ขั้นตอนการผสมสารในการผลิตแผ่นยาง

โดยการผสมสารแต่ละสูตรในเครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill) ได้แผ่นยางคอมพอสิตที่ผสมตามสูตรตามด้วยขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นยางคอมพอสิตด้วยเครื่องอัดในแม่แบบ (compression moulding) และหลังเสร็จสิ้นการหลอมขึ้นรูปแผ่นยางคอมพอสิต ใช้อุณหภูมิ 170°C เวลา, preheat 2 นาที, heat 3 นาที, pressure 10 psi และ cooling 3 min to 50°C ได้ขนาดของแผ่นยางคอมพอสิตตามที่ต้องการที่มีความหนา 3 mm ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผ่นยางคอมพอสิตสำเร็จรูป

4.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลวิจัยเพื่อหาค่าความเข้มของเฉดสี

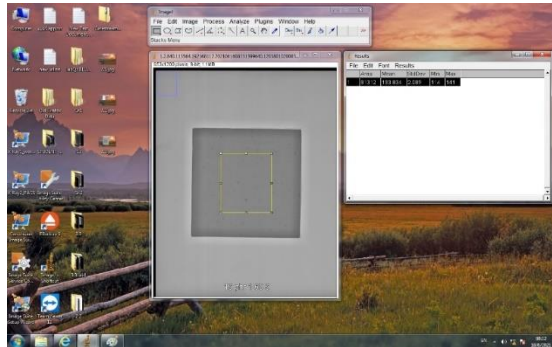
1. วางแผนเก็บภาพทางรังสีบนแท่นวางวัตถุ
2. ทำการเก็บภาพทางรังสีโดยการเก็บภาพรังสีโดยเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า คือ 60 kVp, 65 kVp, 70 kVp, 75 kVp และ 80 kVp ตามลำดับ
3. เปลี่ยนพารามิเตอร์ของกระแสหลอด-เวลา (mAs) ของเครื่องกำเนิดเอกซเรย์เป็น 5 mAs, 6.3 mAs, 8 mAs, 10 mAs และ 12 mAs
4. ทำการเก็บภาพทางรังสีเหมือนกับ 3 แต่เปลี่ยนสูตรยางชนิดอื่น ซึ่งมีอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต 5, 10, 15 phr ตามความหนาของสูตรยางแต่ละรอบ
5. บันทึกผลการทดลอง

4.5 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์ผลผ่านโปรแกรม ImageJ เพื่อต้องการหาเฉดสีขาว-ดำ ตามหลักการของ Gray scale

1. นำภาพทางรังสีต่างๆ มาอ่านภาพในเครื่องอ่านภาพทางรังสี โดยเครื่องอ่านภาพรังสียี่ห้อ Carestream CR system ด้วยคำสั่ง Invert gray scale
2. เมื่อนำภาพทางรังสีที่ได้มาแล้ว มาวิเคราะห์ผลกับโปรแกรม Image J และอ่านค่าความเข้มของภาพด้วยโปรแกรม ImageJ โดยใช้ขอบเขตของช่วงพิกเซลที่ต้องการอ่านค่า เรียกว่า Rest of interest (ROI) ตำแหน่งกลางของภาพทางรังสีโดยเป็นผลค่าเฉลี่ยความเข้มของภาพทางรังสีภายใน Rest of interest เพื่อดูค่าของเฉดสีระบบ RGB ตามความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของเครื่องเอกซเรย์ในรูปแบบต่างๆ
3. จากขั้นตอนที่ 2 ทำให้ได้ค่าของข้อมูลเฉดสีตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตที่เป็นองค์ประกอบ ค่าความเข้มของเฉดสีจะมีความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า และความหนาแน่นของแบเรียมซัลเฟตที่เป็นองค์ประกอบ
4. ค่าเฉดสีของภาพรังสีที่ได้นำมาคำนวณสัมประสิทธิ์การลดทอนของพลังงานเอกซเรย์หลังจากผ่านวัตถุได้ ตามสมการ (1)

5. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของภาพกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ตามตัวแปรของการทดลอง ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า, ขนาดความหนาของแผ่นยางคอมพอสิตตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตที่เติมลงในแผ่นยางคอมพอสิต



รูปที่ 3 การวิเคราะห์กับโปรแกรม Image J

4.6 ขั้นตอนการหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์

จากสมการ (1) ;

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\mu = \frac{1}{x} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

เมื่อ	x	คือ	ความหนาของแผ่นยางคอมพอสิต
	I_0	คือ	ความเข้มของเอกซเรย์ (ความเข้มของเดดลี) ก่อนทะลุผ่านตัวกลาง
	I	คือ	ความเข้มของเอกซเรย์ (ความเข้มของเดดลี) หลังทะลุผ่านตัวกลาง
	μ	คือ	สัมประสิทธิ์การลดทอนความเข้มรังสีเชิงเส้น (linear attenuation coefficient)

เมื่อได้ค่า μ จะทำให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ในแผ่นยางพาราแบเรียมซัลเฟตในแต่ละอัตราส่วน

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลการทดสอบหาค่าความเข้มของเดดลีของแผ่นยางคอมพอสิตที่ความหนา 3 mm

จากการทดลองถ่ายภาพเอกซเรย์ด้วยแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 60-80 kVp ลงแผ่นรับภาพทางรังสี โดยมีแผ่นยางคอมพอสิตที่มีความหนา 3 mm และอ่านค่าความเข้มของภาพด้วยโปรแกรม ImageJ โดยใช้ขอบเขตของช่วงพิกเซลที่ต้องการอ่านค่า เรียกว่า Rest of interest (ROI) ตำแหน่งกลางของภาพทางรังสีโดยเป็นผลค่าเฉลี่ยความเข้มของภาพทางรังสีภายใน Rest of interest เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของรังสีที่ทะลุผ่านแผ่นยางคอมพอสิตตามอัตราส่วน ได้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ 5, 6.3, 8, 10, 12 mAs และผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ 5 mAs

แรงดันไฟฟ้า (kVp)	แผ่นยางพาราอัตราส่วนของ BaSO ₄ (phr)			
	0	5	10	15
60	0.0262	0.0262	0.0550	0.0714
65	0.0169	0.0138	0.0365	0.0639
70	0.0285	0.0252	0.0379	0.0516
75	0.0193	0.0077	0.0241	0.0304
80	0.0273	0.0242	0.0348	0.0351

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ 6.3 mAs

แรงดันไฟฟ้า (kVp)	แผ่นยางพาราอัตราส่วนของ BaSO ₄ (phr)			
	0	5	10	15
60	0.0090	0.0169	0.0407	0.0711
65	0.0043	0.0129	0.0270	0.0505
70	0.0159	0.0160	0.0254	0.0510
75	0.0088	0.0251	0.0240	0.0238
80	0.0084	0.0148	0.0211	0.0214

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ 8 mAs

แรงดันไฟฟ้า (kVp)	แผ่นยางพาราอัตราส่วนของ BaSO ₄ (phr)			
	0	5	10	15
60	0.0179	0.0285	0.043	0.0623
65	0.0183	0.0175	0.0297	0.0533
70	0.0011	0.0079	0.0188	0.0392
75	0.0085	0.0261	0.0245	0.0247
80	0.0072	0.0237	0.0211	0.0214

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ 10 mAs

แรงดันไฟฟ้า (kVp)	แผ่นยางพาราอัตราส่วนของ BaSO ₄ (phr)			
	0	5	10	15
60	0.0112	0.0193	0.0333	0.0572
65	0.0003	0.0175	0.0326	0.0419
70	0.0073	0.0257	0.0261	0.0437
75	0.0175	0.0300	0.0221	0.0224
80	0.0174	0.0130	0.0211	0.0212

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่ 12 mAs

แรงดันไฟฟ้า (kVp)	แผ่นยางพาราอัตราส่วนของ BaSO ₄ (phr)			
	0	5	10	15
60	0.0096	0.0273	0.0399	0.0664
65	0.0110	0.0264	0.0272	0.0456
70	0.0092	0.0166	0.0170	0.0440
75	0.0196	0.0148	0.0357	0.0359
80	0.0106	0.0067	0.0146	0.0147

จากตารางที่ 2-6 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ทะลุผ่านแผ่นยางคอมพอสิต ทำให้ทราบถึงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่าลดลงตามแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น กล่าวคือที่อัตราส่วนเดียวกัน มีความสามารถในการลดทอนของเอกซเรย์ได้ลดลงเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้าเดียวกัน แผ่นยางคอม

พอลิตที่มีอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตมากกว่า จะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มากกว่าอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตที่น้อยกว่า กล่าวคือ แผ่นยางคอมพอลิตที่มีอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต 0 phr มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์น้อยที่สุด และแผ่นยางคอมพอลิตที่มีอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต 15 phr มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มากที่สุด แต่มีบางค่าที่ไม่เป็นตามแนวโน้มคือ แผ่นยางคอมพอลิตที่มีอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต 0 phr อาจเป็นผลของค่าความเข้มของภาพที่น้อยมาก จนเกินขอบเขตของแผ่นรับภาพทางรังสีที่จะรับได้

จากการทดลองทดสอบการดูดกลืนพลังงานของเอกซเรย์ของแผ่นยางคอมพอลิตที่มีความหนา 3 mm ด้วยแรงดันไฟฟ้า 60, 65, 70, 75 และ 80 kVp โดยองค์ประกอบภายในยางคอมพอลิต ได้แก่ C, O, H และ S (เลขมวลเท่ากับ 12, 16, 1 และ 32 g ตามลำดับ) จึงลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ได้น้อย แต่เมื่อนำแผ่นยางคอมพอลิตเติมสารแบเรียมซัลเฟตพบว่าสามารถดูดกลืนเอกซเรย์ได้ดี และเมื่อผสมแบเรียมซัลเฟตมากขึ้น ทำให้เกิดการลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าสมบัติการลดทอนของเอกซเรย์ของแผ่นยางคอมพอลิตซึ่งมีการเติมแบเรียมซัลเฟต ขึ้นกับความหนาแน่นของสารดูดกลืนเอกซเรย์ กล่าวคือ ขึ้นกับปริมาณของสารดูดกลืนเอกซเรย์กับความหนาของแผ่นคอมพอลิตตามสมการ Lambert's law สอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานขึ้นอยู่กับพลังงานของเอกซเรย์ และชนิดของตัวกลางที่ทะลุผ่าน

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ BaSO_4 ในแผ่นยางคอมพอลิตที่มีอัตราส่วนของ BaSO_4 น้อยกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานน้อยกว่า อัตราส่วนของ BaSO_4 มากกว่า เนื่องจากจะมีอะตอมของแบเรียมซัลเฟตซึ่งดูดกลืนเอกซเรย์ได้มากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดแรงดันไฟฟ้าต่างกันพบว่า ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานมากกว่า ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า เนื่องจากมาจากพลังงานของเอกซเรย์มีอำนาจทะลุทะลวงวัตถุ เมื่อพลังงานสูงขึ้นเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานมีค่าน้อยลง และแผ่นยางคอมพอลิตที่ผสมอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตมากขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์จะมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากมีมวลโมเลกุล 233.4 g/mol และ ความหนาแน่น 4.5 g/cm^3 มีความสามารถในการดูดซับเอกซเรย์ที่ไม่สามารถซึมผ่านได้ ซึ่งถือเป็นวัสดุที่สามารถลดทอนรังสีได้ โดยที่แผ่นยางคอมพอลิต 15 phr 5 mAs 60 kVp มีค่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสี 19.2770% โดยมีค่าร้อยละการลดทอนปริมาณรังสีมากที่สุดในการทดลอง

จากการผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า แผ่นยางคอมพอลิตที่มีอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต ถ้ามีอะตอมของแบเรียมซัลเฟตมากขึ้น จะทำให้ดูดกลืนพลังงานของเอกซเรย์มากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย และพารามิเตอร์แรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดเอกซเรย์ เนื่องจากมีอำนาจทะลุทะลวงต่อวัตถุ เมื่อพลังงานสูงแสดงว่าอำนาจทะลุทะลวงสูง เป็นผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มีค่าน้อยลงตามไปด้วย จากกราฟข้างต้นทำให้พบว่า เมื่อปริมาณแบเรียมซัลเฟตในแผ่นคอมพอลิตมากขึ้น เช่น อัตราส่วนแบเรียมซัลเฟตในแผ่นคอมพอลิต 5 phr มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ 0.016 mm^{-1} ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ที่แรงดันไฟฟ้า 70 kVp 6.3 mAs 3 mm น้อยกว่าอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟตในแผ่นคอมพอลิต 15 phr มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ 0.051 mm^{-1} และอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟตในแผ่นคอมพอลิต 5 phr 70 kVp 6.3 mAs 3 mm มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ 0.0160 mm^{-1} ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มากกว่าอัตราส่วนแบเรียมซัลเฟตในแผ่นคอมพอลิต 5 phr 80 kVp 6.3 mAs 3 mm มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ 0.0148 mm^{-1}

6. สรุปผลการวิจัย

6.1 การศึกษาความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์จากการบันทึกภาพของแผ่นยางคอมพอลิต โดยประกอบด้วยอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตที่ต่างกัน

การพัฒนาารูปแบบการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของรังสีควมู่ไปกับการทดลองการวิจัยข้างต้น เพื่อออกแบบวิธีการทดลองและศึกษาการวิเคราะห์ความเข้มของภาพทางรังสี ให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคตต่อไปได้

โปรแกรม ImageJ เป็นโปรแกรมที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในโลกปัจจุบัน ที่มีการประยุกต์ใช้ในทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก ด้วยการเรียนรู้และเข้าใจง่าย โดยนำมาประยุกต์การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์อาศัยพื้นฐานฟิสิกส์รังสีและฟิสิกส์อะตอมเป็นสำคัญ หลักการทั่วไปเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้คือการศึกษาค่าความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์จากการบันทึกภาพของแผ่นยางคอมพอสิต โดยประกอบด้วยอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตที่ต่างกัน ซึ่งความเข้มของภาพดิจิทัลที่ได้จากการถ่ายภาพทางรังสีแปรผันตรงกับค่าความเข้มของรังสีที่ตกกระทบกับแผ่นรับภาพ ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความเข้มของภาพเหล่านี้เป็นตัวแทนของความเข้มของรังสีที่ตกกระทบแผ่นได้ โดยเมื่อแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์บนแผ่นรับภาพจะมากขึ้นค่ามากขึ้น, กระแสหลอด-เวลา (mAs) มากขึ้นความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์บนแผ่นรับภาพจะมากขึ้นค่ามากขึ้น และเมื่ออัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตมากขึ้นความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์บนแผ่นรับภาพจะน้อยลง เนื่องจากการลดทอนจากอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตที่มากขึ้น

การประยุกต์ใช้เทคนิคที่ได้นำเสนอข้างต้น สามารถนำหลักการเดียวกันนี้กับชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพและเครื่องเอกซเรย์ชนิดอื่นในอนาคตที่เหมาะสมและจัดหาได้ และผลการวัดด้วยเทคนิคเดียวกับอุปกรณ์อื่นๆ ก็จะเป็นการประยุกต์ใช้กับเครื่องกำเนิดเอกซเรย์กับเฉพาะเครื่องนั้นๆ ไม่สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์มาเปรียบเทียบกับผลการวิจัยนี้ แต่ทุกระบบและกระบวนการสามารถคัดกรองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของเอกซเรย์ได้

6.2 การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานตามอัตราส่วนของแผ่นยางคอมพอสิต

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มของภาพถ่ายเอกซเรย์ที่ทะลุผ่านวัสดุตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟตด้วยแผ่นรับภาพทางรังสี ซึ่งสามารถนำไปเป็นอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากรังสีในการประยุกต์ใช้ข้างต้น มีต้นทุนการผลิตไม่สูงมากขึ้นประกอบการผลิตของยางวัลคาไนซ์ที่มีส่วนประกอบของแบเรียมซัลเฟตมีต้นทุนการผลิตน้อย และลดการหักงอของวัสดุ เนื่องจากยางพารามีความยืดหยุ่นและมีค่าความแข็งแรงสูง

ขณะที่ตะกั่วโดยคุณสมบัติทั่วไปมีความเป็นพิษสูงต่อร่างกาย ดังนั้นถ้าหากนำโลหะออกไซด์ที่สามารถนำมาเป็นวัสดุกำบังรังสีที่มีคุณสมบัติที่เทียบเท่าตะกั่ว แบเรียมซัลเฟตจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทดแทนตะกั่วซึ่งคอมพอสิตของยางพารา ที่มี การเติมแบเรียมซัลเฟตให้คุณสมบัติเชิงกลที่ดี และสามารถลดทอนปริมาณหรือกำบังรังสีได้เทียบเท่ากับคอมพอสิตของยางพาราที่มีการเติม PbO

การศึกษาค่าเตรียมสูตรยางพาราผสมแบเรียมซัลเฟต โดยมีการเติมปริมาณของแบเรียมซัลเฟต ผลการศึกษาการเตรียมคอมพอสิตของยางธรรมชาติที่มีการเติมแบเรียมซัลเฟตที่มีปริมาณ 15 phr พบว่าส่งผลให้สมบัติในการลดทอนของเอกซเรย์มากที่สุด เนื่องจากจะมีอะตอมของแบเรียมซัลเฟตซึ่งดูดกลืนเอกซเรย์ได้มากขึ้น จากผลการวิจัยข้างต้น ทำให้เป็นประโยชน์ในแนวทางการสร้างอุปกรณ์การป้องกันอันตรายจากรังสีได้จากวัสดุและอุปกรณ์ข้างต้น ฉะนั้นแล้วแผ่นยางคอมพอสิตที่มีการเติมตามอัตราส่วนของแบเรียมซัลเฟต และสามารถกำบังเอกซเรย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยแผ่นยางคอมพอสิตที่จัดทำขึ้นสามารถกำบังรังสีได้ในอัตราต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าในเชิงพาณิชย์ได้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่เอื้อเฟื้อเงินทุนวิจัยในการสนับสนุนเป็นปัจจัยในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ทำให้สามารถพัฒนารูปแบบการวิจัยเรื่องนี้ตลอดเวลาที่ทำการทดลองและการทำวิจัยในด้านต่างๆ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายจ่ายจากรายได้มหาวิทยาลัยรามคำแหง ประเทมหาวิทยาลัย โดยสถาบันวิจัยและพัฒนา งบประมาณประจำปี 2564

8. เอกสารอ้างอิง

- เสาวภาคย์ ภูศิริ และคณะ. (2562). การประดิษฐ์อุปกรณ์ป้องกันรังสีจากยางธรรมชาติผสมบิสฟีนอล A ปริมาณสูงสำหรับงานรังสีวินิจฉัย: วารสารรังสีเทคนิค, 44(1), 8-14.
- ภาคภูมิ อรชร, นเรศร์ จันทน์ขาว, สมยศ ศรีสถิตย์. (2560). การพัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจวัดของเหลวในขวดแก้วโดยใช้การทะลุ ผ่านของรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ: วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 16, 20-16.
- นพรัตน์ แก้วใหม่. (2560). การพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่บันทึกภาพโดยใช้กล้องดิจิทัลสำหรับการคัดกรองของเหลว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริลักษณ์ อินต้อม. (2562). การเตรียมอีลาสโตเมอร์กำบังรังสีปลอดตะกั่วจากคอมโพสิตยางธรรมชาติผสมกับสารประกอบของออกไซด์ (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ทิวาวัลย์ อธิชาติกุล และคณะ. (2560). สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์ของแผ่นคอมพอสิต PU/BaSO₄: วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 27, 159-168.
- ธัญรัตน์ ชูศิลป์ และคณะ. (2561). ตัวบ่งชี้ปริมาณรังสีในระบบการถ่ายภาพรังสีแบบดิจิทัล: วารสารรังสีเทคนิค, 43(1), 21-28.
- ศุภวิภู สุขเพ็ง. (2559). การวัดปริมาณรังสีเอกซ์จากการตรวจวินิจฉัย และแนวทางการใช้รังสีอย่างเหมาะสม (พิมพ์ครั้งที่ 1). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- V.P.Singh et al. (2015). Determination of mass attenuation coefficient for some polymers using Monte Carlo simulation: Vacuum journal, 119, 284-288.

คำแนะนำในการจัดเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้เขียน

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

1. ข้อมูลเบื้องต้นของวารสาร

ขอบเขตเนื้อหา ประกอบด้วย

- 1.1 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- 1.2 วิศวกรรม
- 1.3 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
- 1.4 เทคโนโลยีสารสนเทศ
- 1.5 สหวิทยาการ

2. นโยบายการพิจารณาตีพิมพ์ผลงาน

2.1 คำแนะนำทั่วไป

2.1.1 ผลงานที่เสนอตีพิมพ์ต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร เอกสารการประชุม หรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน (ยกเว้นรายงานวิจัย และวิทยานิพนธ์)

2.1.2 ผลงานที่เสนอตีพิมพ์ต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณารอตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด ทัศนะและข้อคิดเห็นใดๆ ในบทความถือเป็นทัศนะของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วยกับทัศนะเหล่านั้นและไม่ถือว่าเป็นความรับผิดชอบของกองบรรณาธิการ กรณีมีการฟ้องร้องเรื่องการละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงฝ่ายเดียว

2.1.3 ลิขสิทธิ์บทความเป็นของผู้เขียนและสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับการสงวนสิทธิตามกฎหมาย การตีพิมพ์ซ้ำต้องได้รับอนุญาตโดยตรงจากผู้เขียนและสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เป็นลายลักษณ์อักษร

2.2 ประเภทผลงานที่รับตีพิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช รับพิจารณาตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ดังนี้

- 2.2.1 บทความวิชาการ (Academic Article)
- 2.2.2 บทความวิจัย (Research Article)
- 2.2.3 บทความปริทัศน์ (Review Article)
- 2.2.4 บทวิจารณ์หนังสือ (Book Review)

2.3 การพิจารณากลับกรองบทความ

2.3.1 บทความที่จะได้รับพิจารณาพิมพ์ ต้องเป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพทางวิชาการและมีประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีเพื่อให้นักวิจัยสามารถนำไปพัฒนาหรือสร้างองค์ความรู้ใหม่ และประโยชน์ในเชิงปฏิบัติที่นักปฏิบัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในภาคส่วนต่างๆ ทั้งภาครัฐ ภาคธุรกิจ และภาคสังคมและชุมชน

2.3.2 บทความที่จะได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านกระบวนการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ท่านและได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

2.4 กระบวนการพิจารณากลับกรองบทความ (Peer Review)

2.4.1 กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้เขียนทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้ว็บบทความเรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการจะตรวจสอบบทความว่าอยู่ในขอบเขตเนื้อหาวารสารหรือไม่ รวมถึงคุณภาพทางวิชาการ และประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ

2.4.2 ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับบทความไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการส่งบทความเพื่อกลั่นกรองต่อไป โดยจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ท่าน ประเมินคุณภาพของบทความว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะลงตีพิมพ์หรือไม่ โดยกระบวนการกลั่นกรองนี้ทั้งผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น 1 ควรนำลงตีพิมพ์ หรือควรส่งให้ผู้เขียนแก้ไขแล้วส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินอีกครั้งหนึ่ง หรือปฏิเสธ การตีพิมพ์

3. ข้อกำหนดต้นฉบับ

3.1 การจัดพิมพ์ต้นฉบับ

3.1.1 ผลงานที่เสนอพิจารณาตีพิมพ์ควรมีความยาวประมาณ 5 - 15 หน้ากระดาษ A4

3.1.2 บทความภาษาไทย พิมพ์ด้วย TH Sarabun New ขนาดตัวอักษร 14 Point บทความภาษาอังกฤษ พิมพ์ด้วย TH SarabunNew ขนาดตัวอักษร 14 Point

3.1.3 ระยะขอบกระดาษ 1 นิ้ว (เท่ากันทุกด้าน)

3.1.4 ชื่อเรื่องบทความ ขนาดตัวอักษร 18 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้ายของกระดาษ

3.1.5 ชื่อหัวข้อ ขนาดตัวอักษร 16 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้ายของกระดาษ

3.1.6 บทคัดย่อภาษาไทย ความยาว 1 ย่อหน้า (250 คำ) ขนาดตัวอักษร 14 Point พิมพ์ 1 คอลัมน์ และต้องพิมพ์คำสำคัญต่อท้าย

3.1.7 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ความยาว 1 ย่อหน้า (250 คำ) ขนาดตัวอักษร 14 P 1 คอลัมน์ และต้องพิมพ์คำสำคัญต่อท้าย

3.1.8 เนื้อหาพิมพ์ 1 คอลัมน์ ขนาดตัวอักษร 14 Point

3.1.9 ชื่อและหมายเลขกำกับตาราง ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา ให้พิมพ์ไว้บนตารางจัดชิดซ้าย ใต้ตารางบอกแหล่งที่มา จัดชิดซ้าย)

3.1.10 ชื่อภาพและหมายเลขกำกับภาพ ชื่อแผนภูมิและหมายเลขกำกับแผนภูมิ ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) ให้พิมพ์ไว้ใต้ภาพ (ควรเป็นภาพที่ชัดเจน และควรแนบ File ภาพมาด้วย)

3.1.11 แผนภูมิ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ ใต้ภาพ แผนภูมิบอกแหล่งที่มา จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

3.1.12 ชื่อบรรณูปกรรรม/เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย ส่วนเนื้อหา บรรณูปกรรรม/เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 14 Point พิมพ์ 1 คอลัมน์

3.1.13 พิมพ์ชื่อและนามสกุลของผู้เขียนทุกคน พร้อมระบุคุณวุฒิสูงสุด ตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) ตำแหน่งงาน และหน่วยงานที่สังกัด หรือสถานศึกษา และแนบ File jP ภาพถ่ายผู้เขียนมาด้วย

3.1.14 ผู้เขียนต้องตรวจสอบความถูกต้องของการพิมพ์ต้นฉบับ เช่น ตัวสะกด วรรคตอน และความ สละสลวยของการใช้ภาษา

3.2 ส่วนประกอบของบทความ

3.2.1 บทความวิชาการ หัวข้อและเนื้อหาควรชี้ประเด็นที่ต้องการนำเสนอให้ชัดเจนและมีลำดับ เนื้อหาที่เหมาะสมเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ชัดเจน รวมถึงมีการใช้ทฤษฎีวิเคราะห์และเสนอแนะประเด็น อย่างสมบูรณ์ โดยควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

(1) ชื่อเรื่อง (Title)

(2) บทคัดย่อ (Abstract)

สรุปเนื้อหาของบทความให้ได้ใจความชัดเจน กำหนดให้มีทั้งบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยเขียนเป็นภาษาไทยก่อน ความยาว 1 ย่อหน้า ไม่เกิน 250 คำ

(3) คำสำคัญ (Keyword)

ระบุคำที่เป็นคำสำคัญของเนื้อหาเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นคำค้นในระบบฐานข้อมูล

(4) บทนำ (Introduction)

เป็นส่วนแนะนำและปูพื้นเรื่องเพื่อให้ผู้อ่านทราบข้อมูลเบื้องต้นของเนื้อหา เป็นการจูงใจให้ผู้อ่านเกิดความ สนใจในเรื่องนั้น ๆ

(5) เนื้อหา (Body of Text)

เป็นส่วนหลักของเนื้อหาบทความ การจัดลำดับเนื้อหา ควรมีการวางแผนจัดโครงสร้างของเนื้อหา ที่นำเสนอให้เหมาะสมกับธรรมชาติของเนื้อหานั้น การนำเสนอเนื้อหาควรมีความต่อเนื่องเพื่อช่วยให้ผู้อ่าน เข้าใจสาระนั้นได้โดยง่าย

(6) สรุป (Conclusion)

เป็นการสรุปเนื้อหาในบทความทั้งหมดออกมาอย่างชัดเจน และกระชับโดยมีการสรุปปิดท้ายเนื้อหาที่เราได้ นำเสนอไปแล้วว่ามีผลดี หรือผลเสียอย่างไร

(6) เอกสารอ้างอิง (Reference)

เขียนบรรณานุกรมในรูปแบบ APA (American Psychological Association)

3.2.2 บทความวิจัย ควรมีการนำเสนอผลการวิจัยที่ได้รับอย่างเป็นระบบ โดยควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

(1) ชื่อเรื่อง (Title)

ชื่อเรื่องควรมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยพิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยและตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษในบรรทัดต่อมา

(2) บทคัดย่อ (Abstract)

กำหนดให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยเขียนเป็นภาษาไทยก่อน ความยาว 1 ย่อหน้า ไม่เกิน 250 คำ (การเขียนบทคัดย่อ คือ การสรุปสาระสำคัญของเรื่องโดยเฉพาะวัตถุประสงค์ วิธีการ และผลการวิจัย)

(3) คำสำคัญ (Keyword)

ระบุคำที่เป็นคำสำคัญของเนื้อหาเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นคำค้นในระบบฐานข้อมูล

(4) บทนำ (Introduction)

เป็นการอธิบายถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา และเหตุผลที่นำไปสู่การวิจัยมีข้อมูลทางวิชาการสนับสนุนหรือโต้แย้ง รวมถึงแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

(5) วัตถุประสงค์ (Research Objectives)

ระบุถึงวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการวิจัย

(6) วิธีการวิจัย (Research Methodology)

อธิบายถึงกระบวนการดำเนินการวิจัยอย่างละเอียดและชัดเจน

(7) ผลการวิจัย (Results)

เสนอผลการวิจัยที่ตรงประเด็นตามลำดับขั้นของการวิจัย การใช้ตารางหรือแผนภูมิไม่ควรเกิน 5 ตารางหรือแผนภูมิโดยมีการแปลความหมายและวิเคราะห์ผลที่ค้นพบอย่างชัดเจน

(8) อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

ผสมผสานเปรียบเทียบและตีความผลการวิจัยให้เข้ากับหลักทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเชื่อมโยงผลการวิจัยให้สอดคล้องกับประเด็นปัญหาการวิจัย

(9) สรุป (Conclusion)

สรุปสาระสำคัญของผลการวิจัย และให้ข้อเสนอแนะที่จะนำผลการวิจัยนั้นไปใช้ประโยชน์

(10) เอกสารอ้างอิง (Reference)

เขียนบรรณานุกรมในรูปแบบของ APA (American Psychological Association)

3.3 การอ้างอิง

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ใช้รูปแบบการอ้างอิงของ APA (American Psychological Association)

3.3.1 การอ้างอิงในเนื้อหาให้ใช้รูปแบบ ดังนี้

(ชื่อ-นามสกุลผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, เลขหน้า)

ตัวอย่าง

(เกียรติศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์, 2546, 64)

3.3.2 บรรณานุกรมท้ายบทให้ใช้รูปแบบ ดังนี้

(1) หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อหนังสือ. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

Bolinger, Dwight (1977). The Form of Language. London: Longmans

(2) บทความจากวารสาร

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร ปีที่(ฉบับที่), เลขหน้าที่อ้างอิงถึง

ตัวอย่าง

Klimoski, R., & Palmer, S. (1993). The ADA and the hiring process in organizations. Consulting Psychology Journal: Practice and Research, 45(2), 10-36

(3) วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อวิทยานิพนธ์. วิทยานิพนธ์ปริญมหาบัณฑิต, ชื่อมหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง

สรรพพงษ์ จันทเลิศ (2546) การสร้างเว็บไซต์ท่องเที่ยวของจังหวัดเชียงราย

วิทยานิพนธ์ปริญมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

(4) เว็บไซต์

ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานเจ้าของเว็บไซต์. (ปีที่จัดทำ). ชื่อเรื่อง. สืบค้นเมื่อจาก URL.

ตัวอย่าง

ชนะ ภาวนันท์. (2548). ธุรกิจสปาไทยนำก้าวไกลไปกว่านี้. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม

2548, จาก <http://www.businessstgai.co.th/content.php?data=407720->

Opinion

4. ข้อพิจารณาทางด้านจริยธรรม

องค์ค่านึงหลักจริยธรรมการวิในมนุษย์ เคารพในบุคคล (Respect to person) เช่
ยินยอม ความเป็นส่วนตัว การเก็บรักษาความลับ

5. การส่งต้นฉบับ

ผู้เขียนส่งต้นฉบับพร้อมไฟล์ (Microsoft Word) และแบบฟอร์มเสนอแนะขอบทความเพื่อพิจารณา
ตีพิมพ์ไปที่ <https://ph02.tc-thaijo.org/index.php/stouscitech> เพื่อทำการลงทะเบียนสมาชิกวารสารและ
ดำเนินการส่งบทความเข้าฐานข้อมูลระบบออนไลน์ของวารสาร จึงสามารถดาวน์โหลดคำแนะนำการได้ที่
<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/stouscitech/about/submissions>