

STJ

RMUTK
SCIENCE AND
TECHNOLOGY
JOURNAL

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.กรุงเทพ



ISSN 2392-5647

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
SCIENCE AND TECHNOLOGY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY KRUNGTHAP

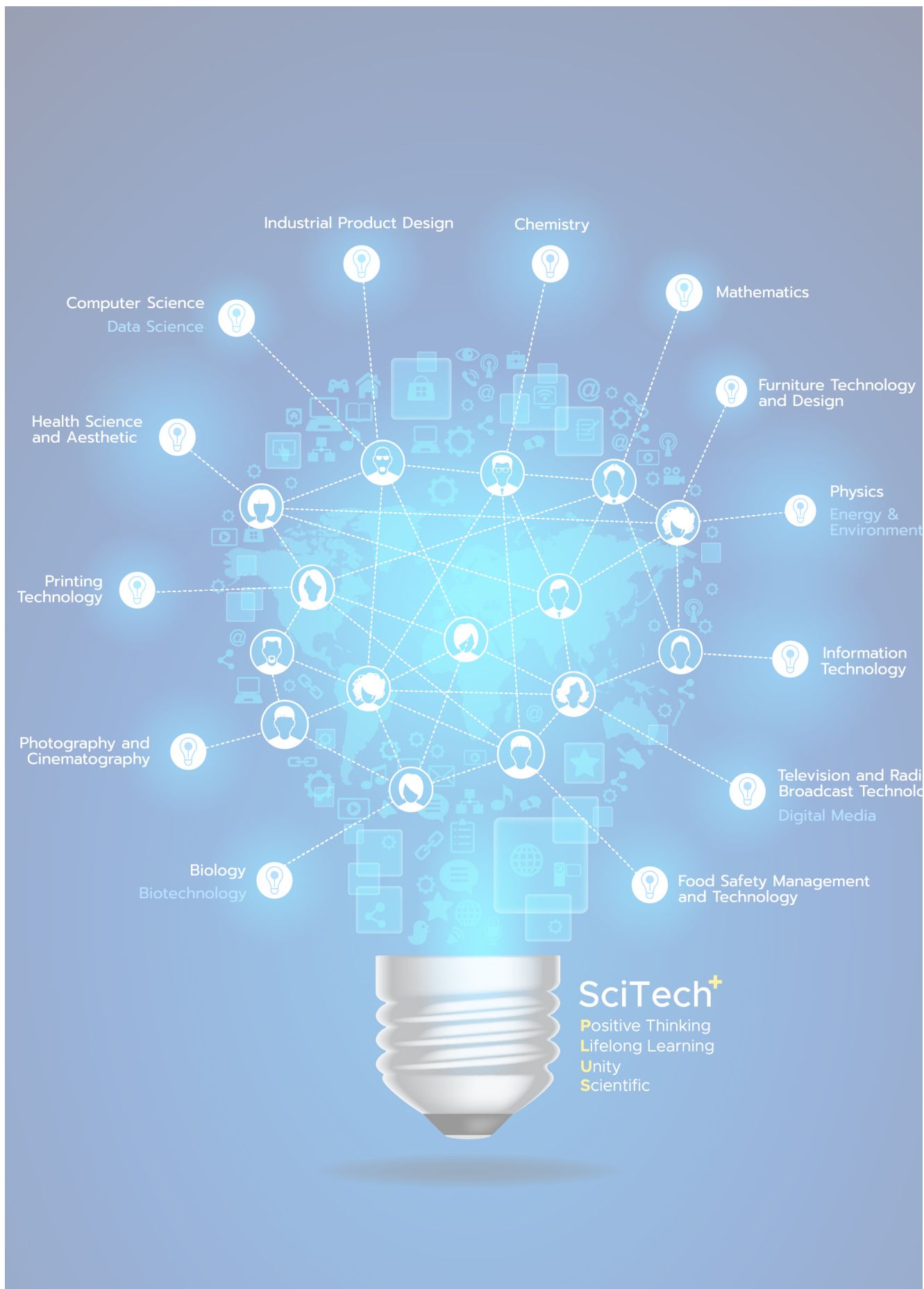


2020

JULY-DECEMBER
ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม 2563

YEAR 1st
2nd EDITION

02





ISSN 2392-5647

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
SCIENCE AND TECHNOLOGY
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY KRUNGTHEP
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.กรุงเทพ (STJ)

เป็นวารสารที่มุ่งเน้นเผยแพร่ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสาร สถาปัตยกรรมและการออกแบบ เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเกษตร การบูรณาการความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีร่วมกับศาสตร์ต่างๆ ที่หลากหลาย รวมถึงวิชาการขั้นสูงที่เกี่ยวกับธุรกิจและอุตสาหกรรม

สาขาวิชาที่เปิดรับบทความ

- สาขาวิทยาศาสตร์
- สาขาวิทยาศาสตร์ประยุกต์
- สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
- สาขาสถาปัตยกรรมและการออกแบบ
- สาขาอุตสาหกรรมเกษตร
- สาขาการจัดการนวัตกรรมและเทคโนโลยี
- สาขาคำรู้ทางวิชาการขั้นสูงที่เกี่ยวข้องกับการบริหารธุรกิจ
- สาขาเทคโนโลยีการศึกษา

กำหนดการเผยแพร่วารสาร

กำหนดออก (เผยแพร่): ปีละ 2 ฉบับ

ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - มิถุนายน

ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม

การเผยแพร่

มอบให้สถาบันการศึกษาและหน่วยงานของรัฐ และ www.stj.sci.rmutk.ac.th

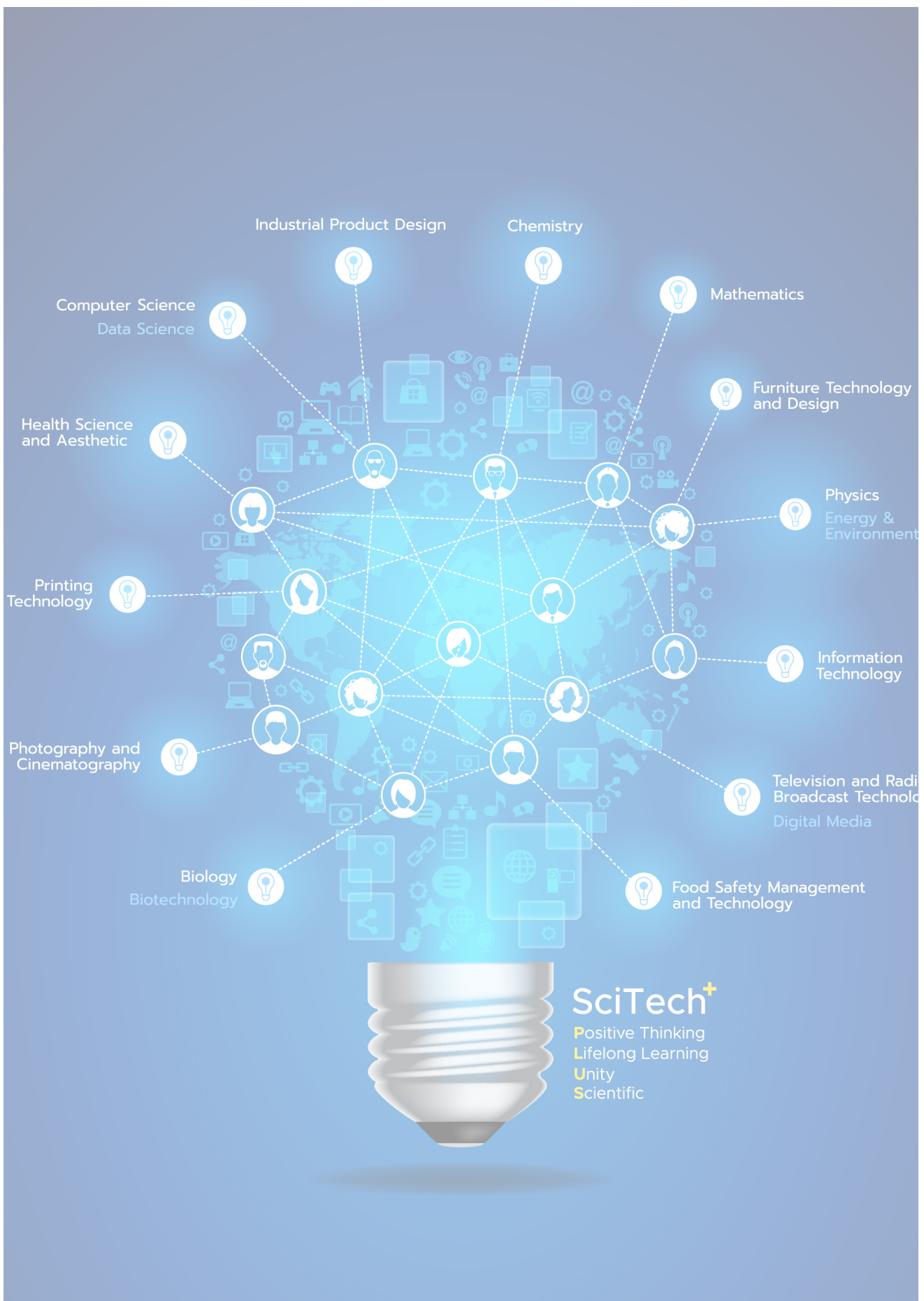
ติดต่อสอบถาม

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.กรุงเทพ (STJ)

สถานที่ออกแบบและจัดพิมพ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ โทร: 02 287 9600 ต่อ 7555, 7556

Email: sjt@mail.rmutk.ac.th



ความเป็นมา

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.กรุงเทพ (RMUTK Science and Technology Journal) ได้ดำเนินการจัดทำครั้งแรกประมาณปี พ.ศ. 2553 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการหรืองานวิจัยที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ หรือนวัตกรรมทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งนี้การดำเนินการจัดทำวารสารฯ ได้ขาดช่วงลงไประยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากปัญหาในด้านบุคลากรและงบประมาณ การกลับมาดำเนินการจัดทำวารสารฯ ครั้งนี้ เป็นการดำเนินการจัดพิมพ์เผยแพร่หลังจากยุติการดำเนินการมาเป็นระยะเวลา 4 ปี และเนื่องในโอกาสครบรอบ 10 ปีนับจากการดำเนินการจัดทำวารสารฯ ในครั้งแรกจึงมีการรื้อฟื้นจัดทำวารสารฯ เพื่อเพิ่มช่องทางการเผยแพร่ผลงานวิชาการหรืองานวิจัยของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและเป็นไปตามนโยบายของ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้แสดงต่อบุคลากรของคณะฯ ในช่วงการสรรหาคณบดี ซึ่งต้องการให้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มีความเข้มแข็งทางวิชาการและการวิจัย ตลอดจนสามารถเป็นที่พึ่งทางวิชาการของสังคม ให้สมกับการเป็นมหาวิทยาลัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของประเทศ ดังนั้นวารสารฯ นี้จึงขอเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่บทความ โดยมุ่งเน้นการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสถาปัตยกรรมและการออกแบบ เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเกษตร การบูรณาการความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีร่วมกับศาสตร์ต่าง ๆ ที่หลากหลาย รวมถึงวิชาการขั้นสูงที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจและอุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศและสังคมอย่างยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.กรุงเทพ เป็นวารสารที่มุ่งเน้นเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สถาปัตยกรรมและการออกแบบ อุตสาหกรรมเกษตร รวมทั้งการบูรณาการความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีร่วมกับศาสตร์ต่าง ๆ ที่หลากหลาย รวมถึงวิชาการขั้นสูงที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจและอุตสาหกรรม

นโยบายการรับบทความ

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.กรุงเทพ มีความยินดีที่จะรับบทความจากนักวิจัยทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการในสาขาวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาปัตยกรรมและการออกแบบ อุตสาหกรรมเกษตร การจัดการนวัตกรรมและเทคโนโลยี รวมถึงการประยุกต์ความรู้ทางวิชาการขั้นสูงที่เกี่ยวข้องกับการบริหารธุรกิจ หรือการศึกษา ที่เขียนเป็นภาษาไทย ซึ่งผลงานวิชาการที่ส่งมาต้องไม่เคยได้รับการเผยแพร่และต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการพิจารณากลั่นกรองคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิและได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการข้อความที่ปรากฏอยู่ในแต่ละบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเล่มนี้ เป็นความคิดเห็นส่วนบุคคลของผู้เขียนแต่ละท่าน ไม่เกี่ยวข้องกับวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.กรุงเทพแต่อย่างใด ความรับผิดชอบด้านเนื้อหาและการตรวจร่างบทความเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้เขียนแต่ละท่านจะต้องรับผิดชอบบทความของตนแต่ผู้เดียว

กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์มิให้นำเนื้อหาหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ของบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.กรุงเทพ ไปเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาต จากกองบรรณาธิการอย่างเป็นทางการเป็นลายลักษณ์อักษร ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสาร

รายละเอียดการส่งบทความและคำแนะนำ

www.stj.sci.rmutk.ac.th

สามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมที่ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. กรุงเทพฯ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ พุ่งมหาเมฆ สาทรกรุงเทพฯ 10120

โทรศัพท์ 0 2287 9600 ต่อ 7555, 7556

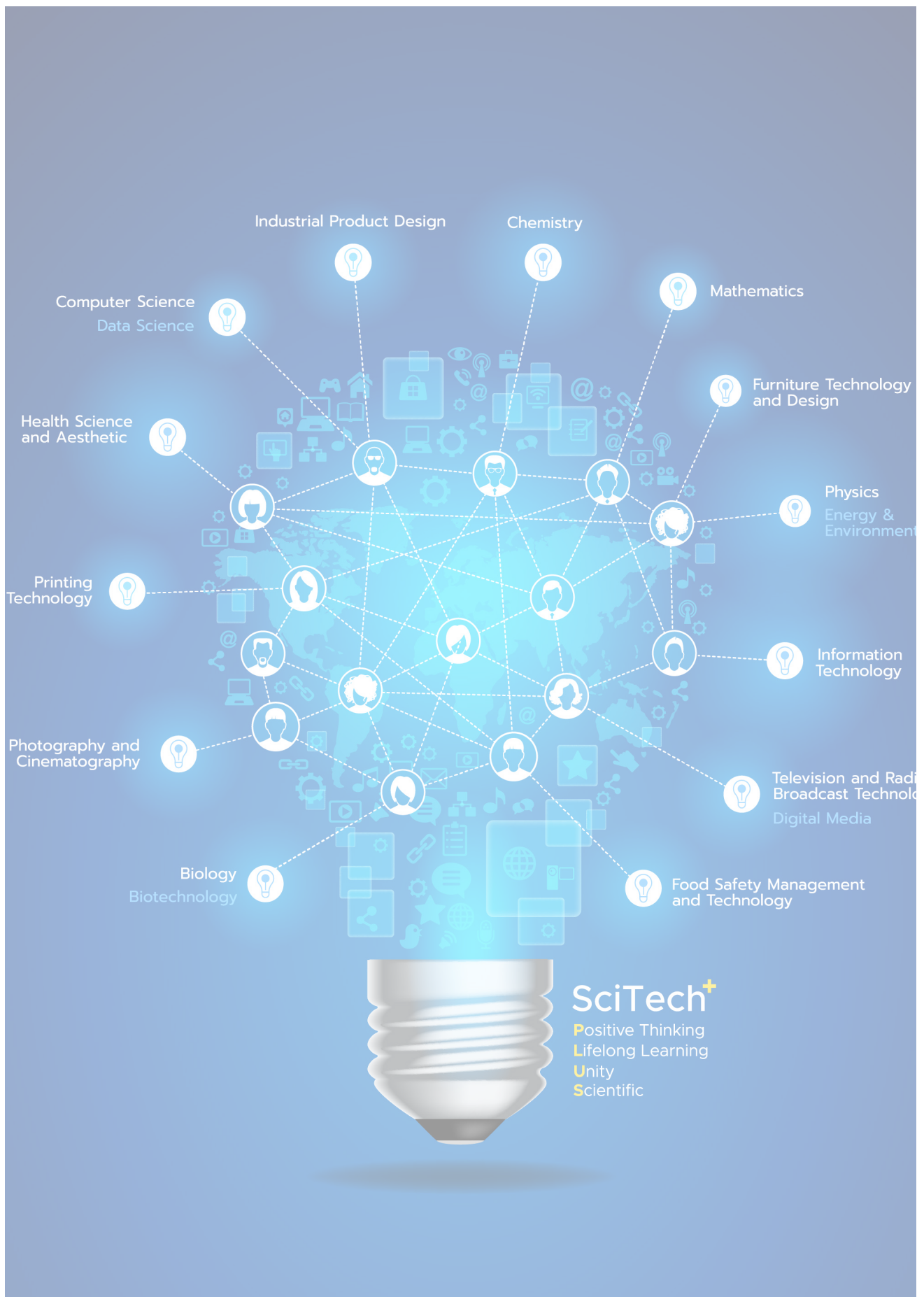
โทรศัพท์เคลื่อนที่ 085 357 1153

website : www.stj.sci.rmutk.ac.th

ผู้ทรงคุณวุฒิ

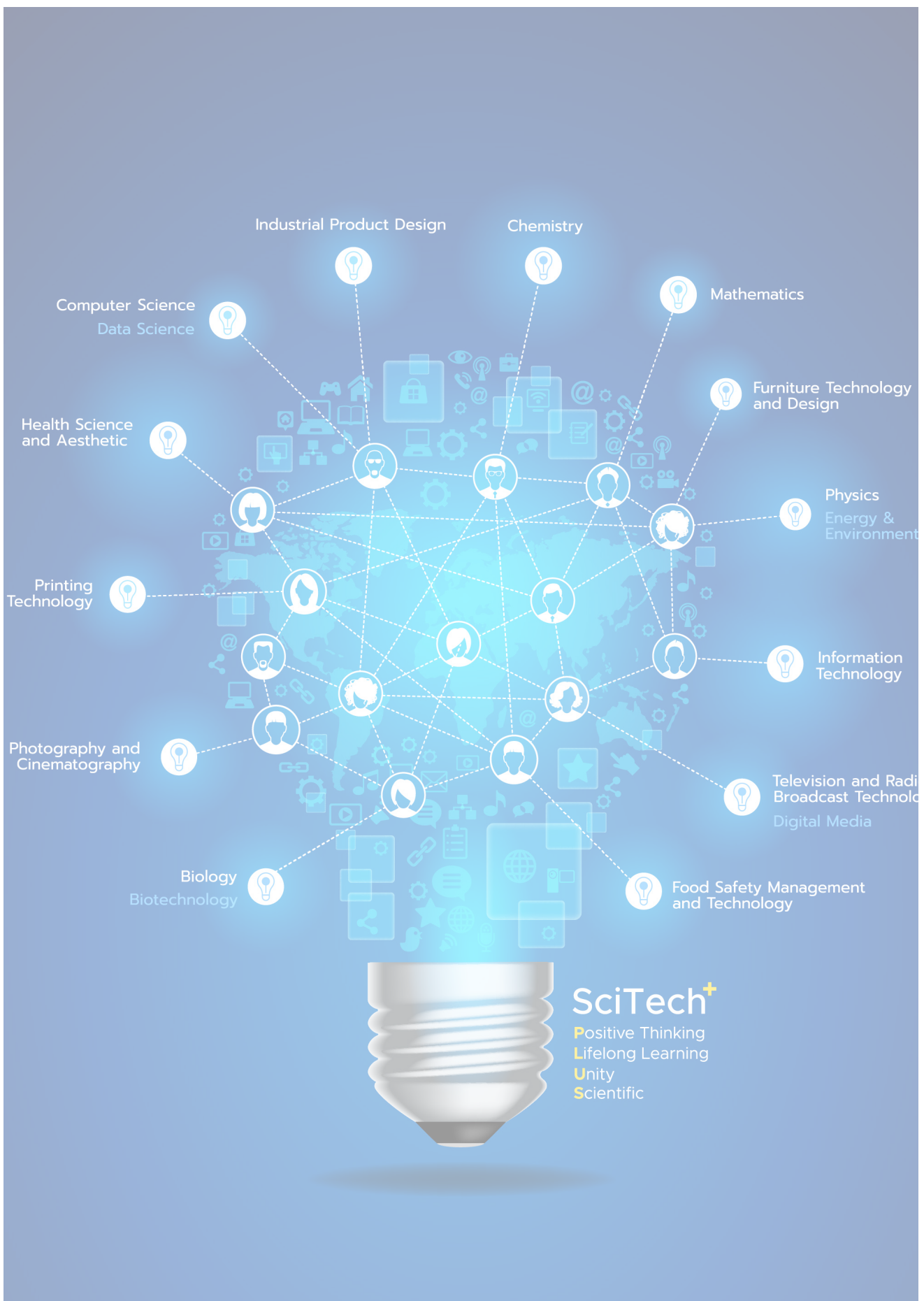
รองศาสตราจารย์ ดร.พินันทา ฉัตรวัฒนา
 รองศาสตราจารย์ ปิยนุช นาคพงศ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ ถิรพันธุ์เมธี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์รัตน์ กิ่งแสง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุเมธ ใจเย็น
 อาจารย์ ดร.ครองศักดิ์ ภาคนกนก
 อาจารย์ ดร.ปฐมนิธิ นรินทร์
 อาจารย์ ดร.ณัฐกานต์ ภาคพรต
 อาจารย์ ดร.ณิชาอร ชูเมือง
 อาจารย์ ดร.ธนะวัชร จริยะภูมิ
 อาจารย์ ดร.สุภารัตน์ ศรีมา
 อาจารย์ ดร.ณรงค์ศักดิ์ แสงป้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
 มหาวิทยาลัยมหิดล
 มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านจอมบึง
 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านจอมบึง
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
ความเป็นมา	ค
ผู้ทรงคุณวุฒิ	จ
สารบัญ	ช
ผลของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและโซเดียมเคซีเนตในการทดแทนฟอสเฟต ต่อคุณลักษณะทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกหมูผสมไก่ Effect of Soy Protein Isolate and Sodium Caseinate Used as Phosphate Replacer on Physical and Sensory Characteristics of Pork/Chicken Sausage	1
ระบบลงชื่อเข้าชั้นเรียนด้วยรหัสบาร์โค้ดและคิวอาร์โค้ด System for Class Attendance Checking Using Raspberry PI and QR Code	12
การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้กระดูกหมูเหลือทิ้งแปรรูปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Ethyl Ester Synthesis Using Modified Pork Bone Waste as a Catalyst	19
การจำแนกประเภทข้อมูลแบบหลายโมเดล Multi-Model Classifier	27



ผลของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและโซเดียมเคซีเนตในการทดแทนฟอสเฟต
ต่อคุณลักษณะทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกหมูผสมไก่
Effect of Soy Protein Isolate and Sodium Caseinate Used as Phosphate
Replacer on Physical and Sensory Characteristics of Pork/Chicken Sausage

นฤมล จอมมาก¹ สวรรักษ์ จันทระพิมากุล² และ ปัทมา ระตะนนะอาพร³

^{1,2} ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

³ ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

ฟอสเฟตเป็นสารเติมแต่งอาหารที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักหลังสุก เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและปรับปรุงเนื้อสัมผัส อย่างไรก็ตามการใช้ฟอสเฟตในปริมาณมากเกินไปอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาผลของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (SPI) และโซเดียมเคซีเนต (SC) ในการทดแทนฟอสเฟตต่อคุณลักษณะทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกหมูผสมไก่ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการทดแทนฟอสเฟตด้วย SPI ปริมาณ 2% หรือ SC ปริมาณ 1% ช่วยปรับปรุงการอุ้มน้ำเช่นเดียวกับฟอสเฟตปริมาณ 0.3% โดย SPI ปริมาณ 2% สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำให้สุกได้มากกว่าตัวอย่างอื่นเมื่อเทียบกับระหว่างตัวอย่างที่ใช้สารทดแทน ($p < 0.05$) ขณะที่ผลนี้ไม่แตกต่างกันระหว่าง SC ปริมาณ 1% และ 2% ($p \geq 0.05$) ดังนั้นไส้กรอกที่เติม SPI ปริมาณ 2% และ SC ปริมาณ 1% จึงถูกเลือกไปศึกษาค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่าสารทั้งสองชนิดที่ปริมาณดังกล่าวสามารถเพิ่มความสว่างและปรับปรุงเนื้อสัมผัสซึ่งบ่งชี้ความแข็งแรงภายในโครงสร้างของไส้กรอกในทิศทางเดียวกับฟอสเฟต ($p \geq 0.05$) แต่ไส้กรอกที่เติม SPI ปริมาณ 2% ได้คะแนนความชอบด้านความชุ่มฉ่ำและความชอบโดยรวมสูงกว่าไส้กรอกที่เติม SC ปริมาณ 1% ซึ่งผลเป็นทำนองเดียวกับฟอสเฟต สรุปได้ว่า SPI ปริมาณ 2% และ SC ปริมาณ 1% มีความเป็นไปได้ที่จะใช้ทดแทนฟอสเฟต เนื่องจากมีแนวโน้มช่วยรักษาความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยการใช้ SPI ปริมาณ 2% มีประสิทธิภาพเหนือกว่า SC ปริมาณ 1% ในด้านการลดการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำให้สุกและปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัส

คำสำคัญ: ฟอสเฟต โปรตีนถั่วเหลืองสกัด โซเดียมเคซีเนต ไส้กรอก

Abstract

Phosphate is commonly food additive used in sausage for reducing cooking losses, improving the water holding capacity and texture property. However, an excessive use of phosphate might affect the customer's health. The aim of this study was to determine the effect of soy protein isolate (SPI) and sodium caseinate (SC) replacing phosphate on physical and sensory characteristics of pork/chicken sausage. The result showed that replacement of phosphate with SPI at concentrations of 2% or SC at concentration of 1% resulted in improving water holding capacity, which were similar to addition of 0.3% phosphates. The 2% SPI could significantly reduce cooking loss compared with other samples among the replacers ($p < 0.05$), while there was no difference between the 1% and 2% SC ($p \geq 0.05$). Therefore, the sausage with 2% SPI and 1% SC were collected to study for color values, texture profile and sensory characteristics. Both replacers at those levels could increase lightness and improve textural properties of sausage indicated the strengthen structure similar to those of phosphate sample ($p \geq 0.05$). But the sausage added with 2% SPI had sensory liking scores greater than those with 1% SC for juiciness and overall liking. The results were same as those with phosphate. In conclusion, 2% SPI and 1% SC are likely to use in replacing for phosphate because they could maintain water holding capacity while the use

¹ อาจารย์, ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ Email: naruemon.j@mail.rmutk.ac.th

² อาจารย์, ดร., ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

³ รองศาสตราจารย์, ดร., ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

of 2% SPI was more effective in terms of reducing cooking loss and improving sensory quality of the sausage than that of 1% SC.

Keyword: Sausage, Phosphate, Soy protein isolate, Sodium caseinate

1. บทนำ

ไส้กรอกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปเนื้อสัตว์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของไส้กรอก ประเภทแรกคือไส้กรอกบดหยาบ ได้จากการใช้เนื้อสัตว์ที่บดแบบหยาบผสมกับเครื่องปรุงเครื่องเทศแล้วบรรจุใส่ อาจจะมีรมควันหรือไม่รมควันก็ได้ เมื่อนำมาบริโภคจะต้องทำให้สุกก่อน ตัวอย่างของไส้กรอกชนิดนี้ ได้แก่ ไส้กรอกเนื้อหมูสด ไส้กรอกเนื้อวัวสด กุนเชียงและไส้กรอกอีสาน เป็นต้น ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือไส้กรอกบดละเอียดเป็นไส้กรอกที่ต้องทำให้เนื้อสัตว์ ไขมัน และน้ำรวมเป็นเนื้อเดียวกันเป็นอิมัลชัน (Emulsion) มีการปรุงรสด้วยเครื่องเทศและเครื่องปรุงรสต่างๆ ได้แก่ ไส้กรอกเวียนนา (Vienna sausage) โบโลญา (Bologna) และแฟรงค์เฟอเตอร์ (Frankfurter) เป็นต้น [1] ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกทั่วไปผู้ผลิตนิยมใช้ฟอสเฟตเป็นส่วนผสมเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไม่สูญเสียน้ำหนักมากหลังการปรุงสุก [2] ฟอสเฟตเป็นวัตถุปรุงแต่งที่นิยมเติมในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเพื่อเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มฉ่ำและช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักหลังปรุงสุก อีกทั้งช่วยให้เนื้อมีความนุ่ม ความฉ่ำน้ำ สี กลิ่น และรส [3], [4] แต่การเติมฟอสเฟตในปริมาณมากเกินไปอาจเกิดผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ เนื่องจากฟอสเฟตที่มากเกินไปจะส่งผลให้ความเข้มข้นของฮอโมนพาราไทรอยด์ในเซรัมเพิ่มสูงขึ้นและขัดขวางการดูดซึมแร่ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมเข้าสู่กระดูกทำให้กระดูกมีความหนาแน่นลดลงและเพิ่มความเสี่ยงในการเป็นโรคกระดูกพรุน [4] จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาวิจัยและค้นคว้าหาสารธรรมชาติเพื่อทดแทนสารประกอบกลุ่มฟอสเฟตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัย สารทดแทนฟอสเฟตที่มีการศึกษาและนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ได้แก่ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและ

โซเดียมเคซีเนต เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและโซเดียมเคซีเนตต่อคุณลักษณะทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่ เพื่อเป็นแนวทางการใช้สารทางเลือกสำหรับทดแทนการใช้สารกลุ่มฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ โดยใช้ในระดับ 1% และ 2% โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่กำหนดให้ใช้สารดังกล่าวได้ไม่เกิน 2% โดยน้ำหนัก [5]

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไส้กรอกอิมัลชันเป็นผลิตภัณฑ์ที่จัดอยู่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์ลดขนาดบดละเอียดอิมัลชันซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ที่ถูกบดด้วยเครื่องบดและสับละเอียดจนโครงสร้างในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลง โดยมีโปรตีนไมโอซินละลายออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อ และทำให้ส่วนผสมแปรเปลี่ยนเป็นมวลเหนียว ซึ่งเป็นลักษณะของส่วนผสมที่เรียกว่าอิมัลชัน [2]

2.1 สารประกอบฟอสเฟต (Phosphate compounds)

สารฟอสเฟตเป็นสารเจือปนอาหารที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ มีหน้าที่สำคัญคือเพิ่มความแข็งแรงของอิมัลชันเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียส่วนของเหลวในเนื้อมากเกินไปในช่วงการทำให้สุก และยังช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น โดยช่วยทำให้โปรตีนแอ็กโตไมโอซินสามารถแยกตัวออกจากกันเป็นแอ็กตินและไมโอซินเข้าไปจับหุ้มใยไขมันไว้ และเกิดการจับตัวกันเป็นโครงร่างแหทำให้เกิดเป็นระบบอิมัลชันที่มีความคงตัว [2], [6] เมื่อมีการให้ความร้อน น้ำและไขมันไม่ไหลออกมาจากโครงสร้างจึงทำให้การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการต้มสุกลดน้อยลง รวมทั้งความแน่นเนื้อและการเกาะตัวกันจึงเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งชนิดของสารประกอบฟอสเฟตที่นิยมใช้เพื่อทำให้การสูญเสีย

น้ำหนักภายหลังการให้ความร้อนลดลง ช่วยให้ความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น และปรับปรุงเนื้อสัมผัสได้แก่ โซเดียมไตรฟอสเฟตและโซเดียมเตตระฟอสเฟต แต่การใช้สารประกอบฟอสเฟตมีข้อจำกัดการใช้ต้องไม่เกิน 0.3% ตามพระราชบัญญัติอาหาร และการใช้ปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติคล้ายสบู่ มีรสชาติฝาดทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค จึงเป็นข้อจำกัดทำให้ไม่สามารถใช้ในปริมาณที่สูงได้ [7]

2.2 โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (Soy protein isolate หรือ SPI)

โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง มีสมบัติเชิงหน้าที่คล้ายกับโปรตีนจากนมและไข่แต่มีราคาถูกกว่ามาก ผู้ผลิตนิยมเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ ลดต้นทุนในการผลิตโดยเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองทดแทนเนื้อแดงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ลดขนาดชนิดบดละเอียด นอกจากนี้ยังมีสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ดีเนื่องจากในโมเลกุลประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จึงสามารถจับน้ำและไขมันให้คงตัวอยู่ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ได้ ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปต่าง ๆ ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส ทำให้มีความชุ่มฉ่ำมากขึ้น รวมถึงช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักหลังผ่านการทำให้สุกและระหว่างการเก็บรักษา [8], [9]

2.3 โซเดียมเคซีนเตต (Sodium caseinate หรือ SC)

โซเดียมเคซีนเตตเป็นส่วนที่ได้จากการตกตะกอนโปรตีนในน้ำนม มีสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์ สามารถจับกับน้ำและไขมันได้ดี จึงช่วยให้อิมัลชันมีความคงตัวและช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านการจับกับน้ำของแบดเตอร์ และสามารถเกิดเจลร่วมกับโปรตีนที่จะทำให้เกิดเป็นโครงสร้างแบบร่างแหตาข่ายหลังการให้ความร้อนได้ [10] โซเดียมเคซีนเตตจึงสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปได้ดี นอกจากนี้ยังมีความคงตัวสูงระหว่างการแช่แข็งและการละลาย โดยอาจเติมโซเดียมเคซีนเตตลงไปได้โดยตรงหรือเติมในรูปของอิมัลชันของไขมัน (fat emulsion) ก็ได้ [8], [11]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบริโภคฟอสเฟตปริมาณสูงเกินไปส่งผลต่อระบบการทำงานของร่างกายผู้บริโภค โดยเกิดภาวะฟอสเฟตในเลือดสูง (Hyperphosphatemia) คือภาวะที่มีระดับฟอสเฟตในซีรัมมากกว่า 5 mg/dL [12] ซึ่งจะไปกระตุ้นต่อมพาราไทรอยด์ให้หลั่งฮอร์โมนพาราไทรอยด์ (Parathyroid hormone) ซึ่งฮอร์โมนพาราไทรอยด์จะไปสลายแคลเซียมออกจากกระดูกเพื่อมาจับฟอสเฟตในเลือดที่มากเกินไปเพื่อให้ระดับฟอสเฟตในเลือดกลับมามีอยู่ในระดับปกติคือช่วง 2.7-4.9 mg/dL [13] เมื่อเกิดภาวะฟอสเฟตในเลือดสูงจึงส่งผลให้เกิดอาการคันตามผิวหนัง มีก้อนแคลเซียมเกาะตามเนื้อเยื่อ กระดูกบางและเปราะ ภาวะต่อมพาราไทรอยด์โต (Hyperparathyroidism) และโรคหลอดเลือดแข็งในที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่เป็นโรคไตเรื้อรังที่ได้รับการบำบัดทดแทนไตด้วยการฟอกเลือดด้วยเครื่องล้างไต มักมีภาวะฟอสฟอรัสในเลือดสูงเนื่องจากการทำงานของไตลดลง จึงไม่สามารถกำจัดฟอสเฟตออกจากร่างกายได้ นอกจากนี้แล้วฟอสฟอรัสที่สะสมมากน้อยมากขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการบริโภคจากอาหารด้วย [14]

Youssef และ Barbut [15] ได้ศึกษาผลของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อิมัลชันที่ผ่านการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ พบว่าการเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักรวม จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างมากขึ้น ในขณะที่มีค่าสีแดง ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการให้ความร้อน และค่าความแข็ง (ความแน่นเนื้อ) ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์อิมัลชันที่ไม่มีการเติม เนื่องมาจากโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ไปรบกวนโครงสร้างเจลของเนื้อสัตว์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มลง และจากการศึกษาของ Akesson [16] ผลของการเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ปริมาณ 1% ถึง 2% โดยน้ำหนักรวมต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูลดไขมันที่ผ่านการให้ความร้อนระดับพาสเจอร์ไรส์ พบว่าการเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ปริมาณ 2% โดยน้ำหนักรวม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มน้ำและค่าสีเหลืองสูง ในขณะที่ค่าสีแดง ค่าการ

ปริมาณส่วนผสม (กรัม)	ตัวอย่าง					
	ควบคุม	PP*	SPI		SC	
			1%	2%	1%	2%
เนื้อหมู			54.42			
เนื้อไก่			15.24			
น้ำแข็ง			18			
น้ำมันถั่วเหลือง			5			
มันหมูแข็งบด			6.2			
เกลือป่น			0.6			
น้ำตาล			0.12			
พริกไทยป่น			0.12			
กระเทียมป่น			0.12			
ลูกผักชีป่น			0.12			
ลูกจันทน์ป่น			0.03			
อบเชยป่น			0.03			
ฟอสเฟต**	-	0.3	-	-	-	-
โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง	-	-	1.0	2.0	-	-
โซเดียมเคซีเนต	-	-	-	-	1.0	2.0
น้ำหนักรวม	100	100.3	101	102	101	102

สูญเสียน้ำหนัก และปริมาณของเหลวที่ไหลออกจากผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหลังการให้ความร้อนมีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง ปริมาณ 2% โดยน้ำหนักรวม มีคะแนนความแข็งทางด้านสี ความชุ่มฉ่ำ และความแน่นเนื้อมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง

Zhang และคณะ [17] ศึกษาผลของการใช้โซเดียมเคซีเนตในการผลิตไส้กรอก โดยเติมในรูปของอิมัลชันที่ประกอบด้วย โซเดียมเคซีเนต ไขมันไก่ และน้ำ ในอัตราส่วน 1:9:8 แล้วจึงนำอิมัลชันที่ได้ไปผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ เนื้อหมูปราศจากไขมัน เกลือ สตาร์ช ไขมันหมู ฟอสเฟต เครื่องเทศ และน้ำแข็ง เมื่อตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างโดยวิธีส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscopic method) พบว่ามีฟิล์มบาง ๆ ของโซเดียมเคซีเนต (ความหนา 1 มิลลิ

ไมครอน) หุ้มล้อมรอบอนุภาคเม็ดไขมันไว้ จึงทำให้ความคงตัวของระบบไขมัน-โปรตีน-น้ำ สูงขึ้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมไส้กรอกหมูผสมไก่

ส่วนผสมของไส้กรอกหมูผสมไก่สูตรไม่เติมฟอสเฟต สูตรฟอสเฟต และสูตรเติมสารทดแทนฟอสเฟต 2 ชนิด ได้แก่ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (SPI) และโซเดียมเคซีเนต (SC) ในปริมาณ 2 ระดับ (1% และ 2%) โดยน้ำหนักรวม (w/w) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของไส้กรอกหมูผสมไก่สูตรควบคุม สูตรเติมฟอสเฟต และสูตรเติมสารทดแทนฟอสเฟต

หมายเหตุ * หมายถึง ไส้กรอกสูตรเติมฟอสเฟต ดัดแปลงจาก วิชชุตา [18], ** หมายถึง ฟอสเฟตผสมระหว่างโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตและเตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟต อัตราส่วน 1:1

3.1.1 เตรียมเนื้อหมูผสมไก่ โดยนำสันในหมูและอกไก่มาล้างด้วยน้ำสะอาด ลอกพังผืดที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าออก หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ บดละเอียดครั้งแรกด้วยเครื่องบดเนื้อผ่านหน้าแปลนขนาด 5 มิลลิเมตร แล้วผสมสันในหมูและอกไก่บดที่ได้ตามสัดส่วนที่กำหนดในสูตรดังตารางที่ 1 จากนั้นนำมาบดรวมกันอีกครั้ง และนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนใช้งาน

3.1.2 เตรียมมันหมูแข็งบดโดยนำมันหมูแข็งมาล้างด้วยน้ำสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และบดละเอียดด้วยเครื่องบดเนื้อเช่นเดียวกับเนื้อบด บดจำนวน 1 ครั้ง แล้วบรรจุลงภาชนะโดยการเกลี่ยให้เป็นแผ่นบาง ๆ นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำออกมาใช้งาน

3.1.3 ทำการผลิตไส้กรอกโดยมีการควบคุมอุณหภูมิขณะผสมส่วนผสมทั้งหมดไม่เกิน 18 องศาเซลเซียส ภายในเครื่องผสมอาหาร (รุ่น 5KSM150CZ ยี่ห้อ Kitchen Aid, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยนำเนื้อสันในหมูและอกไก่บดละเอียด นวดผสมกับเกลือบริโภค เป็นเวลา 8 นาที แล้วเติมน้ำแข็ง 1 ใน 3 ส่วนของที่ใช้ทั้งหมด นวดผสมเป็นเวลา

3 นาที จากนั้นเติมสารฟอสเฟตหรือสารทดแทน หรือไม่เติมสารใดๆสำหรับชุดควบคุม นวดผสมต่อเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงเติมน้ำแข็งส่วนที่ 2 และส่วนผสมเครื่องปรุงที่เหลือ ยกเว้นมันหมูบดแช่แข็ง นวดผสมเป็นเวลา 3 นาที สุดท้ายเติมมันหมูบด และน้ำแข็งส่วนสุดท้าย ปั่นด้วยเครื่องปั่นมือถือ (รุ่น MSM6S90B ยี่ห้อ Bosch, ประเทศสาธารณรัฐสโลวีเนีย) ที่ความเร็วระดับสูง และค่อยๆ เติมน้ำมันถั่วเหลืองลงไปในขณะที่ปั่นผสม ปั่นเป็นเวลา 4 นาที นำอิมัลชันของไส้กรอก (Batter) ที่ได้ไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง แล้วนำมาบรรจุใส่ไส้เทียมคอลลาเจน หมดความยาวท่อนละ 5 นิ้ว นำไปต้มสองครั้งที่อุณหภูมิ 60 และ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอุณหภูมิละ 15 นาที หลังการต้มสุกนำไปแช่ในน้ำเย็นประมาณ 5 นาที ผึ่งให้สะเด็ดน้ำบนตะแกรงที่สะอาด แล้วจึงนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะด้านต่าง ๆ ของไส้กรอกหมูผสมไก่

3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกหมูผสมไก่

3.2.1 วิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity; WHC) ของไส้กรอกหมูผสมไก่ ตามวิธีดัดแปลงจาก Thorarinsdottir และคณะ [19] โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างไส้กรอก 1.5 กรัม บนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นนำไปเหวี่ยงด้วยความเร็ว 1,500 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง (รุ่น Mikro 22R ยี่ห้อ Hettich, ประเทศเยอรมนี) แล้วนำกระดาษกรองหลังเหวี่ยงมาชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ และคำนวณค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ดังสมการที่ 1

$$WHC (\%) = ((M_2 - M_1) / M_3) \times 100 \quad (1)$$

โดย M_1 คือ น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม) เริ่มต้น

M_2 คือ น้ำหนักกระดาษกรอง (กรัม) หลังปั่นเหวี่ยง

M_3 คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม) เริ่มต้น

3.2.2 วิเคราะห์ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก (Cooking loss; CL) ของไส้กรอกหมูผสมไก่ ตามวิธีดัดแปลงจาก Porcella [20] โดยชั่งน้ำหนักรวมของ

ตัวอย่างไส้กรอกที่บรรจุไส้ก่อนการทำสุก (W_1) และชั่งน้ำหนักรวมของตัวอย่างภายหลังการทำสุก (W_2) เพื่อใช้คำนวณค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก ดังสมการที่ 2 ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ

$$CL (\%) = ((W_1 - W_2) / W_1) \times 100 \quad (2)$$

โดย W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม) ก่อนการทำสุก

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม) หลังการทำสุก

3.2.3 วิเคราะห์ค่าสี โดยทำการวัดค่าสี ในระบบ CIE ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าสี รุ่น Color Quest XE ยี่ห้อ Hunter Lab (ประเทศสหรัฐอเมริกา) เตรียมตัวอย่างทดสอบโดยตัดตัวอย่างไส้กรอกหมูผสมไก่ความหนา 0.5 เซนติเมตร ตั้งค่าการใช้เครื่องในโหมด RSEX (Reflectance Specular Excluded) แล้ววิเคราะห์ค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.2.4 วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis; TPA) โดยทำการเตรียมตัวอย่างไส้กรอกหมูผสมไก่ หั่นเป็นชิ้นหนา 1.5 เซนติเมตร นำไปทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) รุ่น TA.XT Plus ยี่ห้อ Stable Micro System (ประเทศอังกฤษ) โดยใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P/50) กำหนดให้หัววัดกดลงบนตัวอย่างจำนวน 2 ครั้ง ด้วยความเร็วก่อนกด 2 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วขณะกด 1 มิลลิเมตร/วินาที และให้หัววัดเคลื่อนที่กลับด้วยความเร็ว 10 มิลลิเมตร/วินาที ซึ่งดัดแปลงจาก Ordonez และคณะ [21] แต่ละสูตรทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ แล้วคำนวณค่าทดสอบ ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) การยึดเกาะ (cohesiveness) และแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness)

3.2.5 ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยทำการประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่สูตรเติมสารทดแทนฟอสเฟตที่ได้จากการคัดเลือกในการศึกษาข้างต้นและให้สูตรที่ไม่เติมฟอสเฟตเป็นชุดควบคุม เตรียมตัวอย่างทดสอบโดยหั่นใส่

กรอกหมูผสมไก่เป็นชิ้นตามขวาง หน้า 2 เซนติเมตร ใส่ลงในถ้วยพลาสติกที่มีรหัสกำกับตัวอย่างโดยใช้เลขสุ่ม 3 หลัก แล้วเสิร์ฟตัวอย่างให้ผู้บริโภคเพื่อให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความแน่นเนื้อ ความชุ่มฉ่ำ และความชอบโดยรวม โดยใช้แบบทดสอบความชอบ 9 คะแนน (9 point hedonic scale) กำหนดให้คะแนน 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด และใช้ผู้บริโภคทั่วไปที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

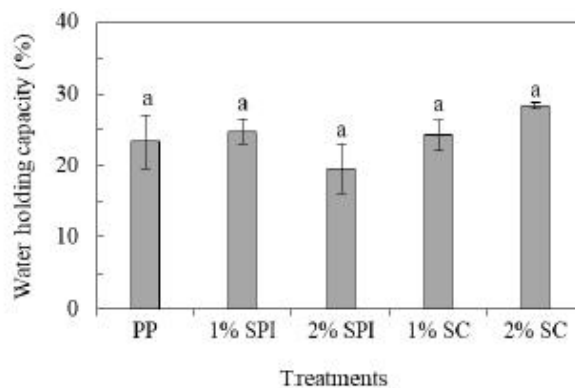
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ

สำหรับการประเมินคุณภาพทางกายภาพใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomize design) ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize complete block design) แล้ววิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. ผลการวิจัย

ในการศึกษาผลของโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (SPI) และโซเดียมเคซีเนต (SC) ที่ระดับปริมาณ 1% และ 2% โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ ในการเป็นสารทดแทนฟอสเฟต (PP) ในไส้กรอกหมูผสมไก่ ผู้วิจัยได้นำผลิตภัณฑ์ที่มีการทดแทนสารฟอสเฟตไปวิเคราะห์คุณลักษณะด้านกายภาพและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ทั้งนี้เพื่อประเมินความเป็นไปได้ที่จะใช้ทดแทนฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่

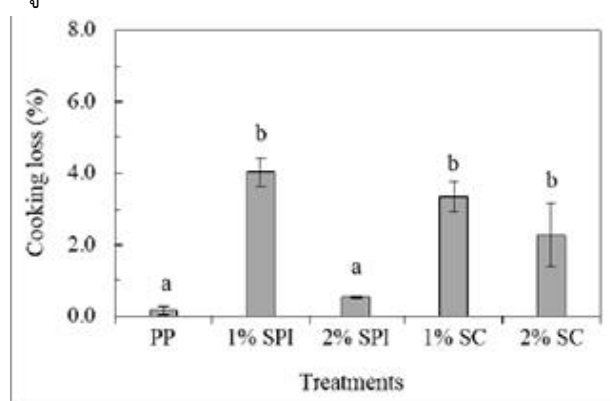
ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่ จากการคำนวณเป็นร้อยละของการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ (รูปที่ 1) พบว่าไส้กรอกทุกตัวอย่างมีความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)



รูปที่ 1 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ของไส้กรอกหมูผสมไก่

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ (a) เหมือนกัน หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก (Cooking loss) แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าการใช้ฟอสเฟตทำให้ไส้กรอกหมูผสมไก่มีปริมาณการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกต่ำที่สุด ($p < 0.05$) โดยมีค่าการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่า 1% และผลเป็นทำนองเดียวกับไส้กรอกที่เติม SPI ปริมาณ 2% ขณะที่การเติม SC ปริมาณ 1% และ 2% มีค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกสูงกว่าไส้กรอกที่เติมฟอสเฟต แต่ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุกอยู่ในระดับต่ำ โดยอยู่ในช่วง 3–4%



รูปที่ 2 ค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก (Cooking loss) ของไส้กรอกหมูผสมไก่

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ (a,b) ที่ต่างกัน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลการศึกษาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก แสดงให้เห็นว่าการเติม SPI ปริมาณ 2% ของไส้กรอกหมูผสมไก่ สามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ทำนองเดียวกับฟอสเฟต ส่วนการเติม SC ที่ปริมาณ 1% และ 2% แม้มีประสิทธิภาพต่ำกว่า SPI แต่ผลแสดงแนวโน้มที่จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ทำนองเดียวกัน อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณ SC มากขึ้นเป็น 2 เท่า จาก 1% เป็น 2% ประสิทธิภาพของสารเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ดังนั้นในการศึกษาถัดไปผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาผลของการเติม SPI ที่ปริมาณ 2% และ SC ที่ปริมาณ 1% ต่อคุณลักษณะด้านสี ลักษณะโครงสร้างเนื้อสัมผัส และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่ โดยศึกษาเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเติมฟอสเฟต (ตัวอย่างควบคุม) และตัวอย่างที่มีการเติมฟอสเฟต

ผลการวิเคราะห์ค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของไส้กรอกหมูผสมไก่ทั้ง 4 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าสีของไส้กรอกที่เติมฟอสเฟตมีค่าความสว่างต่ำที่สุดเท่ากับ 63.10 ($p < 0.05$) ส่วนไส้กรอกที่เติม SPI ปริมาณ 2%, ที่เติม SC ปริมาณ 1% และที่ไม่เติมฟอสเฟต มีค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 66.66 ถึง 67.21 ขณะที่ไส้กรอกที่เติม SC ปริมาณ 1% นั้นมีผลทำให้ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองสูงกว่าตัวอย่างอื่น

ตารางที่ 2 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	ความสว่าง	สีแดง (a^*)	สีเหลือง (b^*)
ควบคุม	66.66 $\pm$ 0.82 ^b	12.29 $\pm$ 1.31 ^a	25.75 $\pm$ 2.02 ^a
PP	63.10 $\pm$ 0.57 ^a	13.61 $\pm$ 1.04 ^{bc}	25.89 $\pm$ 1.90 ^a
2% SPI	66.98 $\pm$ 0.50 ^b	13.15 $\pm$ 0.31 ^b	24.72 $\pm$ 0.62 ^a
1% SC	67.21 $\pm$ 0.45 ^b	14.04 $\pm$ 0.43 ^c	27.89 $\pm$ 0.67 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ (a,b,c) ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างเนื้อสัมผัสของไส้กรอกทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แต่ไส้กรอกที่มีการเติมฟอสเฟตจะมีคุณลักษณะด้านความแข็ง การยึดเกาะ และแรงที่ใช้ในการเคี้ยวหรือความเหนียวของไส้กรอกที่ดีกว่าตัวอย่างอื่น โดยมีค่าทดสอบแต่ละคุณลักษณะสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ค่าความแข็ง ค่าการยึดเกาะ และแรงที่ใช้ในการเคี้ยวของไส้กรอกที่มีการเติม SPI ปริมาณ 2% หรือ SC ปริมาณ 1% แสดงให้เห็นว่าผลของสารทดแทนฟอสเฟตทั้งสองชนิดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับการใช้ฟอสเฟตมากกว่าการไม่เติมสารฟอสเฟต ($p \geq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะโครงสร้างเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่

ตัวอย่าง	ลักษณะโครงสร้างเนื้อสัมผัส			
	ความแข็ง (กรัม)	ความยืดหยุ่น (วินาที)	การยึดเกาะ	แรงที่ใช้ในการเคี้ยว (กรัม.วินาที)
ควบคุม	2,076.89 $\pm$ 345.23 ^a	0.84 $\pm$ 0.02 ^a	0.35 $\pm$ 0.05 ^a	616.78 $\pm$ 177.13 ^a
ฟอสเฟต	2,839.73 $\pm$ 531.40 ^b	0.85 $\pm$ 0.01 ^a	0.44 $\pm$ 0.04 ^b	1,076.57 $\pm$ 276.64 ^b
2% SPI	2,358.60 $\pm$ 239.03 ^a	0.86 $\pm$ 0.02 ^a	0.38 $\pm$ 0.03 ^a	768.99 $\pm$ 49.44 ^a
1% SC	2,267.22 $\pm$ 244.05 ^a	0.85 $\pm$ 0.03 ^a	0.36 $\pm$ 0.02 ^a	688.61 $\pm$ 80.54 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ (a,b) ที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4 คะแนนทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่

คุณลักษณะ	ตัวอย่าง			
	ควบคุม	ฟอสเฟต	2% SPI	1% SC
ลักษณะปรากฏ	6.27±1.53 ^b	6.77±1.30 ^{ab}	7.40±0.89 ^a	7.10±0.96 ^a
สี	6.67±1.49 ^a	7.07±1.17 ^a	7.27±1.08 ^a	7.10±0.96 ^a
กลิ่นเครื่องเทศ	5.90±1.95 ^a	6.47±1.50 ^a	6.53±1.20 ^a	6.13±1.31 ^a
กลิ่นรส	5.87±1.57 ^a	6.30±1.51 ^a	6.37±1.27 ^a	6.10±1.16 ^a
รสชาติ	5.97±1.65 ^a	6.13±1.57 ^a	6.17±1.32 ^a	5.53±1.28 ^a
ความแน่นเนื้อ	5.17±1.98 ^a	5.90±2.17 ^a	5.73±1.23 ^a	5.30±1.29 ^a
ความชุ่มฉ่ำ	4.60±1.73 ^b	5.70±1.91 ^a	5.77±1.07 ^a	4.93±0.91 ^b
ความชอบโดยรวม	5.47±1.68 ^b	6.63±1.56 ^a	6.67±1.12 ^a	5.67±0.96 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ (^{a,b}) ที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่ แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าไส้กรอกทุกตัวอย่างมีคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นเครื่องเทศ กลิ่นรส รสชาติ และความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ขณะที่ไส้กรอกที่เติม SPI ปริมาณ 2% ได้รับคะแนนความชอบด้านความชุ่มฉ่ำและความชอบโดยรวมเป็นทำนองเดียวกันกับสูตรฟอสเฟต ส่วนไส้กรอกที่เติม SC ปริมาณ 1% ได้รับคะแนนความชอบด้านความชุ่มฉ่ำและความชอบโดยรวมต่ำกว่าทั้งสองสูตรข้างต้น ($p < 0.05$) ซึ่งเป็นทำนองเดียวกับไส้กรอกที่ไม่มีการเติมฟอสเฟต อย่างไรก็ตามจากผลคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของไส้กรอกที่เติม SPI หรือ SC ที่ระดับปริมาณดังกล่าว มีค่าที่สูง โดยมีคะแนนในช่วง 7 ถึง 8 ซึ่งหมายถึงชอบระดับปานกลางจนถึงชอบมาก

5. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกหมูผสมไก่ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารทดแทนฟอสเฟต ได้แก่ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (SPI) และโซเดียมเคซีเนต (SC) มีผลในการช่วยรักษาความสามารถในการอุ้มน้ำและสามารถป้องกันการสูญเสีย น้ำหนักหลังการทำสุกของไส้กรอกได้ เนื่องจาก SPI และ SC เป็นสารประกอบโปรตีนที่มีสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์

สามารถจับกับน้ำและไขมันได้ดี ทำให้อิมัลชันมีความคงตัว และช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านการจับกับน้ำของแบคทีเรีย และสามารถเกิดเจลร่วมกับโปรตีนที่จะทำให้เกิดเป็นโครงสร้างแบบร่างแหตาข่ายที่แข็งแรงภายหลังการให้ความร้อนได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Akesson [16] ที่พบว่าการเติม SPI ปริมาณ 2% เป็นปริมาณที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมู ไขมันต่ำมีการสูญเสีย น้ำหนักหลังให้ความร้อนต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติม SPI ขณะที่โซเดียมเคซีเนตที่เติมลงไปสามารถเข้าจับกับโปรตีนและไขมัน แล้วเกิดเป็นอิมัลชันของโปรตีนและไขมันที่มีความคงตัวสูงซึ่งมีการหุ้มล้อมรอบน้ำเอาไว้ และเมื่อนำไปให้ความร้อนหรือทำให้ไส้กรอกสุก ไขมันจะถูกตรึงไว้ภายในโดยล้อมรอบด้วยโครงสร้างที่เป็นโปรตีนและเสริมสร้างความแข็งแรงด้วยโซเดียมเคซีเนตที่แทรกอยู่ระหว่างโครงสร้างดังกล่าว [22] ในด้านคุณสมบัติทางเคมีหากมีการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ เป็นไปได้ว่าการใส่หรือไม่ใส่สารประกอบฟอสเฟตซึ่งเป็นสารอนินทรีย์นั้นไม่มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนและไขมันของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน แต่การใส่ฟอสเฟตอาจทำให้ปริมาณไขมันมากขึ้น และอาจแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการใส่ฟอสเฟตเช่นเดียวกับการรายงานก่อนหน้านี้ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูที่มีการใช้สารฟอสเฟตปริมาณเท่ากันคือ 0.3% ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ [23] และจากงานวิจัยนี้จะเห็นว่า

การทดแทนฟอสเฟตปริมาณ 0.3% ด้วยสารกลุ่มโปรตีนที่ได้มาจากพืชและสัตว์ ได้แก่ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองและโซเดียมเคซีเนต ตามลำดับ ในปริมาณสูงสุด 2% ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ เป็นไปได้ว่าปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอาจจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย และอาจจะเป็นทำนองเดียวกับรายงานก่อนหน้านี้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงค์เฟอเตอร์ที่มีการเติมสตาร์ชมันสำปะหลังร่วมกับโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองหรือโซเดียมเคซีเนต ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางเคมีแสดงให้เห็นว่าไส้กรอกมีปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับไส้กรอกที่เติมสตาร์ชมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณไขมัน [24] ทั้งนี้เนื่องจากทั้งโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองหรือโซเดียมเคซีเนตเป็นสารประกอบกลุ่มโปรตีนสูงนั่นเอง

จากผลการศึกษาค่าสีของไส้กรอกหมูผสมไก่ที่มีเติมสารทดแทนฟอสเฟตทั้งสองชนิดที่มีแนวโน้มว่าค่าสีแดงจะมากกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมฟอสเฟต สอดคล้องกับงานวิจัยของกรรวิ และ ประภาศรี [25] ที่พบว่า SPI มีผลต่อค่าสีแดง โดยทำให้ค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์ไก่ย้อมสีแดงเพิ่มขึ้นจากสูตรที่ไม่เติมฟอสเฟต ส่วน Akesowan [16] ที่พบว่าการเติม SPI มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำมีค่าสีเหลืองมากกว่าสูตรควบคุมที่ไม่มีการเติม SPI รวมถึงการเติม SPI ที่ปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำมีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ชนิดของสารทดแทนฟอสเฟตที่เติมก็มีผลต่อค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ได้ด้วย

ส่วนผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง ความยืดหยุ่น การยึดเกาะ และแรงที่ใช้ในการเคี้ยว ซึ่งเป็นลักษณะที่บ่งชี้ถึงความแน่นเนื้อและความแข็งแรงของโครงสร้างภายในไส้กรอก จากงานวิจัยนี้การเติม SPI และ SC จะช่วยปรับปรุงคุณลักษณะเนื้อสัมผัสเหล่านี้ของไส้กรอกได้ดีกว่าการไม่เติมฟอสเฟต โดยอิมัลชันของไส้กรอกที่เติมโปรตีนจากถั่วเหลืองจะมีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดีผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความแข็งและความยืดหยุ่น ทั้งนี้เนื่องมาจากโปรตีนถั่วเหลืองสามารถเกิดเป็นเจลและอุ้มน้ำไว้ในโครงสร้างเจลนั้น [26] และผลจากการเติมสารเติมแต่งอาหารชนิด SPI ปริมาณ 2% เพื่อทดแทน

ฟอสเฟตในการศึกษานี้ มีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่เพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุมที่ไม่เติมฟอสเฟต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Akesowan [16] จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสรายงานว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำที่เติม SPI ปริมาณ 2% ได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านสี ความชุ่มฉ่ำ และความแน่นเนื้อมากกว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูไขมันต่ำที่ไม่มีการเติม SPI อย่างไรก็ตามทั้ง SPI และ SC เป็นสารประกอบกลุ่มโปรตีนที่มีคุณสมบัติช่วยในการจับและยึดเกาะน้ำ ลดการสูญเสียความชื้นขณะทำให้สุก [9] ดังนั้นนอกจากช่วยไม่ให้เกิดผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำหนักแล้ว ยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัส สีสัน และกลิ่นดีขึ้นด้วย รวมทั้งเป็นการหลีกเลี่ยงมิให้มีการบริโภคสารฟอสเฟตในปริมาณมากเกินไปจนกระทั่งส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้

ดังนั้นสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมูผสมไก่ที่ผลิตขึ้นโดยใช้ SPI ที่ระดับปริมาณ 2% หรือ SC ที่ระดับปริมาณ 1% มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ทดแทนสารฟอสเฟต เนื่องจากมีแนวโน้มช่วยรักษาความสามารถในการอุ้มน้ำ โดยที่การใช้ SPI ปริมาณ 2% จะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าการใช้ SC ปริมาณ 1% ในด้านการป้องกันการสูญเสียน้ำหนักหลังการทำให้สุกและคุณภาพทางประสาทสัมผัส

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อรรถกร มุนิกานนท์, “บทบาทของสารฟอสเฟตและสตาร์ชตัดแปรต่อคุณภาพของไส้กรอกไขมันต่ำจากเนื้อหมูที่เก็บรักษา โดยการแช่เยือกแข็ง”, วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์การอาหาร), กรุงเทพฯ, 2546.
- [2] เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์, เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์พิมพ์ครั้งที่ 2, โรงพิมพ์สหมิตรออฟเซต, กรุงเทพฯ, 2536.
- [3] A.A. Gonçalves, and J.L.D. Ribeiro, “Do phosphates improve the seafood quality? Reality and legislation,” *Pan-American*

- Journal of Aquatic Sciences*, vol. 3, no. 3, pp. 237-247, August, 2008.
- [4] N.H. Long, R. Gal, and F. Bunka, "Use of phosphates in meat products", *African Journal of Biotechnology*, vol. 10, no. 86, pp. 19874-19882, 2011.
- [5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม: ไส้กรอกเวียนนา (มอก. 2300-2549), 2549.
- [6] D.M. Theno, D.G. Siegel, and G.R. Schmidt, "Meat massaging: Effects of salt and phosphate on the ultrastructure of cured porcine muscle", *Journal of Food Science*, vol. 43, no. 2, pp. 488-492, 1978.
- [7] อรรถกร มุณีภานนท์ และมาลัยวรรณ อารยะสกุล, "บทบาทของฟอสเฟตและสารชนิดดัดแปรในการผลิตไส้กรอกที่ทำจากเนื้อหมูที่ผ่านการแช่แข็ง", ใน *การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42*: 2547, น. 354-361.
- [8] R. Marsili, "Protein power: Functionality and versatility", *Food Product Design*, pp. 67-80, Sept., 1993.
- [9] M. Petracci, M. Bianchi, S. Mudalal and C. Cavani, "Functional ingredients for poultry meat products", *Trends in Food Science & Technology*, vol. 33, no. 1, pp. 27-39, 2013.
- [10] Y. Su, J. Bowers and J. Zayas, "Physical characteristics and microstructure of reduced-fat frankfurters as affected by Salt and emulsified fats stabilized with nonmeat proteins", *Journal of Food Science*, vol. 65, no. 1, pp. 123-128, 2000.
- [11] R. Salavatulina, A. Belousov, E. Ovsianikova, and B. Garian, "Use of sodium caseinate in sausage production", *Myasnaya Industriya SSSR*. vol. 2, 24-29, 1975.
- [12] อุบลรัตน์ ศุภสินธุ์, "Phosphate disorder," . ใน *Essential Nephrology*. พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์นำอักษรการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2557.
- [13] สมาคมโรคไตแห่งประเทศไทย, *ข้อแนะนำเวชปฏิบัติทางการแพทย์ด้วยเครื่องไตเทียม พ.ศ.2557*. พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์เดือนตุลา, กรุงเทพฯ, 2557.
- [14] ณัฐพล เลหาเจริญยศ, "อาหารและฟอสฟอรัส," [Online]. Available: <https://sriphat.med.cmu.ac.th/th/knowledge-63>. [Accessed: 20 พฤศจิกายน 2563].
- [15] M. Youssef and S. Barbut, "Effects of two types of soy protein isolates, native and preheated whey protein isolates on emulsified meat batters prepared at different protein levels," *Meat Science*, vol. 87, no. 1, pp. 54-60, 2011.
- [16] A. Akesson, "Effect of soy protein isolate on quality of light pork sausages containing konjac flour", *African Journal of Biotechnology*, vol. 7, no. 24, pp. 4586-4590, 2008.
- [17] Z. Zhang, X. Wang, J. Yu, S. Chen, H. Ge, and L. Jiang, "Freeze-thaw stability of oil-in-water emulsions stabilized by soy protein isolate-dextran conjugates", *LWT - Food Science and Technology*, vol. 78, pp. 241-249, 2017.
- [18] วิชชุดา สังข์แก้ว, "การใช้น้ำมันพืชทดแทนไขมันหมูในไส้กรอกแฟรงค์เฟิร์ตเตอร์", *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 2, หน้า 36-52, 2546.
- [19] K. Thorarinsdottir, S. Arason, S. Bogason and K. Kristbergsson, "Effects of phosphate on yield, quality, and water-holding capacity in the processing of salted cod (*Gadus*

- morhua*),” *Journal of Food Science*, vol. 66, no. 6, pp. 821-826, 2001.
- [20] M.I. Porcella, G. Sanchez, S.R. Vaudagna, M.L. Zanelli, A.M. Descalzo, L.H. Meichtri, M.M. Gallinger, and J.A. Lasta, “Soy protein isolate added to vacuum-packaged chorizos: effect on drip loss, quality characteristics and stability during refrigerated storage”, *Meat Science*, vol. 57, no. 4, pp. 437-443, 2001.
- [21] M. Ordonez, J. Rovira and I. Jaime, “The relationship between the composition and texture of conventional and low-fat frankfurters,” *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 36, no. 7, pp. 749-758, 2001.
- [22] A. Atugonu, J. Zayas, T. Herald, and L. Harbers, “Thermo-rheological properties and cooking yield of sausage-type products as affected by levels of fat and added-water”, *Journal of Food Quality*, vol. 21, no. 2, pp. 129-143, 1998.
- [23] C.K. Yeung, and S.C. Huang, “Effects of food proteins on sensory and physico-chemical properties of emulsified pork meatball”, *Journal of Food and Nutrition Research*, vol. 6, no.1, pp. 8-12, 2018.
- [24] สุนทรี สุวรรณสิขณน์, “การใช้สตาร์ชมันสำปะหลังร่วมกับโซเดียมเคซีเนต โปรตีนถั่วเหลือง และคาร์ราจีแนนเป็นสารทดแทนไขมันในไส้กรอกแฟรงค์เฟอเตอร์ไขมันต่ำ”, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 15, ฉบับที่ 2, หน้า 8-21, พฤษภาคม-สิงหาคม, 2550.
- [25] กรรวิ พิสันเทียะ และประภาศรี เทพรักษา, “การใช้สารทดแทนฟอสเฟตต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ไก่ยอพร้อมรับประทานที่บรรจุในรีทอร์ทเพาซ์”, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 26, ฉบับที่ 1, หน้า 121-135, มกราคม – กุมภาพันธ์, 2561.
- [26] J. Endres, *Soy protein products*. Champaign, Ill.: AOCS Press, 2001.

ระบบลงชื่อเข้าชั้นเรียนด้วยรหัสเบอร์ดี้พายและคิวอาร์โค้ด

System for Class Attendance Checking Using Raspberry PI and QR CODE

รัชณี วงศ์มัตย์¹ สมฤดี เทียมมีเชาว์² และ ปิยะ ธิรพันธุ์เมธี³

^{1,2} สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

³ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

ระบบลงชื่อเข้าชั้นเรียนด้วยรหัสเบอร์ดี้พาย และคิวอาร์โค้ด จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบลงชื่อเข้าชั้นเรียนด้วยคิวอาร์โค้ด และเพื่อแสดงข้อมูลการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษา แยกตามภาคการศึกษา ซึ่งมีขั้นตอนการพัฒนาตามหลักวงจรชีวิตของการพัฒนาซอฟต์แวร์ โดยระบบแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนฮาร์ดแวร์ ใช้รหัสเบอร์ดี้พายเชื่อมต่อกับโมดูลกล้องรหัสเบอร์ดี้พายเพื่อสแกนคิวอาร์โค้ด และใช้ไวไฟเอสพีอะแดปเตอร์ เพื่อทำงานเป็นไวไฟฮอตสปอต ส่วนซอฟต์แวร์ทำการออกแบบโปรแกรมโดยใช้แผนภาพยูเอ็มแอลในการออกแบบ และพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบในด้านการรองรับผู้ใช้งานที่เข้าใช้ระบบพร้อมกันด้วยโปรแกรมอาปาเช เจเมเตอร์ ซึ่งพบว่าเวลาเฉลี่ยที่ระบบสามารถตอบสนองการใช้งานพร้อมกัน 150 คน ใช้เวลาตอบสนองประมาณ 15 วินาที และที่ 200 คน ใช้เวลาตอบสนองประมาณ 1 นาที 35 วินาที

คำสำคัญ: ลงชื่อเข้าชั้นเรียน คิวอาร์โค้ด รหัสเบอร์ดี้พาย

Abstract

This student attendance system leverages QR code scanning via mobile application on students' device. For the administrator UI, there are functionalities such as adding users, classes, and viewing summary. The system is divided into two parts: hardware and software. For hardware, The Raspberry Pi would act as a WIFI hotspot so that the students' mobile devices could connect to and request attendance QR Code. The Raspberry Pi Camera module is used to scan the attendance QR code from the students' mobile devices. The mobile application backend and the administrator web UI are developed using PHP. We performed load test on the system using Apache JMeter and the result shows that the average time for the response of 150 people takes about 15 second, and for 200 people it takes about 1 minutes and 35 seconds to respond.

Keywords Class Attendance, QR Code, Raspberry Pi

1. บทนำ

ปัญหาการเข้าชั้นเรียนไม่ตรงต่อเวลา และการขาดความรับผิดชอบเข้าชั้นเรียน ถือเป็นปัญหาที่สำคัญที่เกิดจากพฤติกรรมของนักศึกษาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน [1] โดยมีผลกระทบ ได้แก่ ไม่มีสิทธิสอบเนื่องจากระยะเวลาเข้าชั้นเรียนไม่เพียงพอ ส่งผลให้เรียนจบล่าช้าเกินกว่าระยะเวลาที่กำหนด

ทั้งนี้การไม่เข้าเรียน อาจทำให้พลาดโอกาสการสอบเก็บคะแนนระหว่างเรียน หรือไม่ได้รับคะแนนในส่วนของการเข้าชั้นเรียน ซึ่งจากองค์ประกอบเหล่านี้จึงเป็นสาเหตุให้ได้รับผลเสียทางการศึกษาที่ต่ำ ดังนั้นการลงชื่อเข้าชั้นเรียนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อช่วยเหลือนักศึกษาให้สำเร็จการศึกษาภายในระยะเวลาที่หลักสูตรกำหนดไว้ มีผลเสียทางการศึกษาที่สูงขึ้น

^{1,2} นักศึกษา, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

³ อาจารย์, ดร., สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ Email: piya.t@mail.rmutk.ac.th

และสามารถนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้กับองค์กรในการทำงานในอนาคตอันใกล้ [2] การตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนเพื่อบันทึกผลการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษาในแต่ละรูปแบบมีปัญหาที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ได้แก่ การลงเวลาเข้าชั้นเรียนแทนกัน การฝากบัตรประจำตัวสแกน หากดำเนินการตรวจสอบเป็นรายบุคคลส่งผลให้สิ้นเปลืองเวลา และไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการลงเวลาเข้าชั้นเรียนของนักศึกษาได้ เนื่องจากอาจารย์ประจำวิชาไม่ทราบสถานะของนักศึกษาเมื่อไม่เข้าชั้นเรียนโดยไม่มีการแจ้งเวลาเรียนล่วงหน้า [3] จากการที่เทคโนโลยีปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด(Quick Response Code: QR Code) เป็นอีกระบบหนึ่งที่ช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ คิวอาร์โค้ดยังเป็นเทคโนโลยีที่สามารถเก็บข้อมูลในรูปของตัวอักษรได้เป็นจำนวนมาก [4]

คิวอาร์โค้ด ซึ่งหมายถึงการถอดรหัสได้อย่างรวดเร็วฉับพลันในปัจจุบันเราสามารถ用手机 (Smart Phone) ที่มีกล้องและซอฟต์แวร์สำหรับอ่านถอดรหัสติดตั้งอยู่ ถ่ายภาพดวงสัญลักษณ์รหัส คิวอาร์โค้ด เพื่อถอดรหัสข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว คิวอาร์โค้ดนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมาก [5]

เทคโนโลยีการสื่อสารที่ก้าวหน้าในปัจจุบัน ส่งผลให้โทรศัพท์มือถือกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการติดต่อสื่อสาร การพัฒนาองค์ความรู้ และข่าวสารต่าง ๆ ถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานบนโทรศัพท์มือถือได้อย่างเหมาะสม สามารถอำนวยความสะดวกให้แก่มนุษย์มากมายทั้งในด้านของสังคม ธุรกิจบันเทิง และการศึกษา [6]

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงนำมาสู่การพัฒนาระบบลงชื่อเข้าชั้นเรียน ด้วยรหัสบาร์โค้ดและคิวอาร์โค้ด เพื่อเป็นแนวทางในการลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการลงชื่อ อีกทั้งระบบสามารถนำข้อมูลการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษาไปประยุกต์ใช้งานต่อเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยมีการแจ้งเตือนการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษาสำหรับอาจารย์ผ่านโปรแกรมประยุกต์ (Application) เพื่อให้อาจารย์ประจำวิชาได้ทราบรายชื่อของนักศึกษาที่ขาดเรียนในกรณีผิดปกติเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาที่อาจส่งผลกระทบต่อการศึกษาของนักศึกษา

1.1 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาระบบลงชื่อเข้าชั้นเรียนด้วยคิวอาร์โค้ด

- 2) เพื่อแสดงข้อมูลการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษาแยกตามภาคการศึกษา

1.2 ขอบเขต

- 1) นักศึกษา และอาจารย์สามารถตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนในแต่ละวิชา
- 2) ระบบสามารถกำหนดสิทธิ์การใช้งาน และการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้
- 3) ระบบสามารถแสดงข้อมูลการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฑารัตน์ โถชัย และณัฐวิ อดตฤกษ์ [7] ศึกษาเรื่องระบบจัดการครุภัณฑ์ด้วยเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดบนแอนดรอยด์โฟน บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบจัดการครุภัณฑ์โดยใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดเป็นเครื่องมือในการจัดการ และตรวจสอบข้อมูลครุภัณฑ์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน โดยพัฒนาระบบเป็นแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์โฟนด้วยภาษาจาวา และมายเอสคิวแอล เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล ระบบได้รับการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน และประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบ โดยผู้ใช้งานทั่วไปจำนวน 21 คน ผลการประเมินพบว่าระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ 99 และผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.78 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.55 จากผลการประเมินระบบข้างต้น สามารถที่จะสรุปได้ว่าระบบที่พัฒนานั้นมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการครุภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี

นฤเทพ สุวรรณธาดา สมคิด แซ่หลี่ และสรเดช ครุฑจั่น [8] ศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้คิวอาร์โค้ดในการบันทึกข้อมูลการเข้าร่วมกิจกรรม เพื่อสำเร็จการศึกษา โดยนำเข้าสู่ข้อมูลผ่านระบบเก็บข้อมูลออนไลน์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อประยุกต์ใช้คิวอาร์โค้ดในการบันทึกข้อมูลการเข้าร่วมกิจกรรมเพื่อสำเร็จการศึกษา โดยนำเข้าสู่ข้อมูลผ่านระบบเก็บข้อมูลออนไลน์ 2) เพื่อศึกษาวิธีการลดและแก้ไขปัญหาในการบันทึกข้อมูลการเข้าร่วมกิจกรรมเพื่อสำเร็จการศึกษา 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของคณะกรรมการนักศึกษาที่มีต่อการประยุกต์ใช้คิวอาร์โค้ดในการบันทึกข้อมูลการเข้าร่วมกิจกรรมเพื่อสำเร็จการศึกษา โดยนำเข้าสู่ข้อมูลผ่านระบบเก็บข้อมูลออนไลน์ ซึ่งในปัจจุบันใช้วิธีการจดในสมุด

บันทึก ทำให้ยากต่อการตรวจสอบอีกทั้งใช้เวลานาน จากผลการวิจัยพบว่า การประยุกต์ใช้คิวอาร์โค้ดในการบันทึกข้อมูลการเข้าร่วมกิจกรรมเพื่อสำเร็จการศึกษา โดยนำเข้าข้อมูลผ่านระบบเก็บข้อมูลออนไลน์ สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้จริง และช่วยให้การบันทึกการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษา มีความถูกต้อง ชัดเจน และสามารถตรวจสอบได้ เมื่อสรุปผลการประเมินความพึงพอใจของคณะกรรมการนักศึกษา ที่มีต่อการประยุกต์ใช้คิวอาร์โค้ดในการบันทึกข้อมูลการเข้าร่วมกิจกรรมเพื่อสำเร็จการศึกษา พบว่าอยู่ในระดับดี อีกทั้งมีข้อเสนอแนะว่าควรนำคิวอาร์โค้ดไปผนวกกับบัตรประจำตัวนักศึกษา

กัลยาณี บรรจงจิตร ทวีฤทธิ์ มานวกุล และวณิชช์ วิชญ เสรณี [9] ศึกษาเรื่องระบบลงชื่อนิสิตด้วยลายนิ้วมือ โปรแกรมลงชื่อนิสิตด้วยลายนิ้วมือ พัฒนาขึ้นโดยใช้ซอฟต์แวร์ไมโครซอฟท์ วิซวลสตูดิโอเดสท็อปเน็ต 2005 (Microsoft Visual Studio.Net 2005) และไมโครซอฟท์เอสคิวแอลเซิร์ฟเวอร์ 2005 (Microsoft SQL Server 2005) เป็นโปรแกรมที่รวบรวมรายละเอียดเกี่ยวกับการเข้าเรียน และคะแนนสอบของนิสิตไว้ในฐานข้อมูล โดยโปรแกรมสามารถบันทึกเวลาเข้าเรียนนิสิตด้วยการสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งสามารถยืนยันตัวตนได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ข้อมูลการเข้าเรียน และคะแนนของนิสิตยังได้จัดเก็บไว้อย่างเป็นระบบ ถูกต้อง และแม่นยำ เมื่อจบภาคการศึกษา อาจารย์สามารถประมวลผลการเรียนจากฐานข้อมูล นอกจากนี้ นิสิต และผู้ปกครองสามารถตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนของนิสิตได้ผ่านทางเว็บไซต์

Sartid Vongpradhip [10] วิจัยเรื่องการใช้มัลติเพล็กซ์ (Multiplexing) เพื่อเพิ่มข้อมูลในคิวอาร์โค้ด ในบทความนี้เป็นวิธีการใหม่ในการมัลติเพล็กซ์ ข้อมูลในรหัสคิวอาร์โค้ด เทคนิคนี้สามารถเพิ่มจำนวนข้อมูลที่เป็นข้อมูลเดิมในรหัสคิวอาร์โค้ด รวมทั้งการรักษาความลับของข้อมูล ข้อมูลเดิมสำหรับการเข้ารหัสจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็ก ๆ ซึ่งแต่ละส่วนจะเป็นรูปแบบคิวอาร์โค้ดในรูปแบบมาตรฐาน แต่ละรูปแบบมีการเข้ารหัส หรือมัลติเพล็กซ์ และเป็นตัวแทนแต่ละโมดูลในคิวอาร์โค้ด ที่มีสัญลักษณ์พิเศษสีดำ และสีขาว เมื่อสิ้นสุดการรับคิวอาร์โค้ดนี้ด้วยสัญลักษณ์พิเศษที่ถูกมัลติเพล็กซ์ จะถูกถอดรหัสเพื่อให้รูปแบบคิวอาร์โค้ดที่ได้รับการมัลติเพล็กซ์แล้ว รูปแบบของคิวอาร์โค้ดเหล่านี้สามารถอ่านได้โดยเครื่องอ่านคิวอาร์โค้ดทั่วไป และข้อมูลสามารถถูกแบ่งกลับไปเป็นข้อมูลเดิมได้

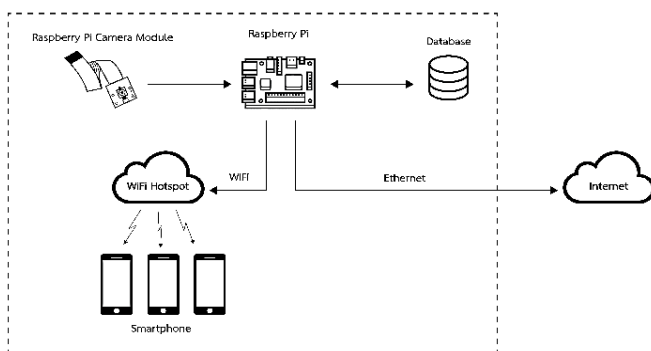
Sumit Tiwari [11] วิจัยเรื่องการแนะนำเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด คิวอาร์โค้ด คือการตอบสนองอย่างรวดเร็ว เป็นรหัสแบบเมทริกซ์ หรือบาร์โค้ด 2 มิติ ที่ถูกออกแบบมาโดยการรักษาสองจุดภายใต้การพิจารณา คือ มันต้องจัดเก็บข้อมูลจำนวนมากกว่าเมื่อเทียบกับรหัสบาร์โค้ด 1 มิติ และต้องถูกถอดรหัสความเร็วสูงโดยใช้อุปกรณ์มือถือ เช่น โทรศัพท์มือถือ คิวอาร์โค้ดช่วยให้สามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว การสแกน การอ่านรอบทิศทาง และอื่น ๆ อีกมากมาย รวมถึงการแก้ไขข้อผิดพลาด เพื่อให้รหัสที่เสียหายสามารถอ่านได้สำเร็จ และประเภทที่แตกต่างกันของรุ่น รูปแบบที่แตกต่างกันของสัญลักษณ์คิวอาร์โค้ด เช่น โลโก้คิวอาร์โค้ด การเข้ารหัสคิวอาร์โค้ด นอกจากนี้ยังให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ได้ตามต้องการ ปัจจุบันคิวอาร์โค้ดถูกนำไปใช้ในแอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การตลาด การรักษาความปลอดภัย นักวิชาการ เป็นต้น และได้รับความนิยมในอัตราที่สูงมาก ปัจจุบันมีบุคคลทั่วไปรู้ถึงถึงเทคโนโลยีนี้มากขึ้น และใช้งานได้ตามความเหมาะสม ความนิยมของคิวอาร์โค้ดเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการเติบโตของผู้ใช้สมาร์ทโฟน (Smartphone) และรหัสคิวอาร์โค้ด มีการยอมรับในระดับสูงทั่วโลก

Lance Allison, Mohammad Muztaba Fuad [12] วิจัยเรื่องการสื่อสารระหว่างแอปพลิเคชันแอนดรอยด์ที่พัฒนาขึ้นโดยแอปโอเวนเตอร์ (App Inventor) และแอนดรอยด์สตูดิโอ (Android Studio) การสื่อสารระหว่างแอปพลิเคชันบนมือถือเป็นสิ่งสำคัญของแพลตฟอร์ม (Platforms) แอนดรอยด์ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะ โดยคำนึงถึงการสื่อสารระหว่างแอป และขึ้นอยู่กับคุณลักษณะ เพื่อให้ฟังก์ชันการทำงานแตกต่างกัน ทั้งสองแพลตฟอร์มนี้มีเทคนิคการสื่อสารระหว่างแอปพลิเคชันในแพลตฟอร์มเดียวกัน แต่ยังไม่มียังวิธีการสื่อสารระหว่างแอปพลิเคชันกับแพลตฟอร์มอื่น บทความนี้ให้ข้อมูลที่ขาดหายไป เป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการสื่อสารแอปพลิเคชัน และได้นำเสนอวิธีการสำหรับการส่ง และรับ การขัดแย้งระหว่างแอปพลิเคชันที่พัฒนาในทั้งสองแพลตฟอร์ม บทความนี้ยังแสดงถึงความสำคัญของผลลัพธ์ การตรวจสอบ และข้อจำกัด

3. วิธีการดำเนินการ

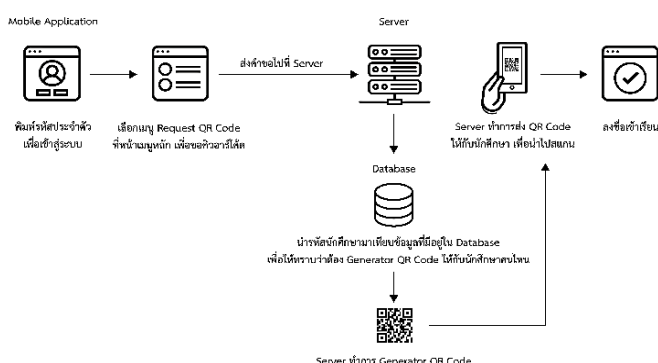
3.1 การทำงานของระบบลงชื่อเข้าชั้นเรียนด้วยรหัสบาร์โค้ดและคิวอาร์โค้ด ซึ่งประกอบด้วย โมดูลกล้องรหัสบาร์โค้ด (Raspberry Pi Camera Module) บอร์ดรหัสบาร์โค้ด (Raspberry Pi Board) ฐานข้อมูล (Database) สมาร์ทโฟน

(Smartphone) ไวไฟฮอตสปอต (WiFi Hotspot) เทคโนโลยีเครือข่ายอีเทอร์เน็ต (Ethernet) โดยให้บอร์ดราสเบอร์รี่พายเป็นตัวประมวลผลหลัก ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์ ทำการอินเตอร์เฟซกับโมดูลกล้องราสเบอร์รี่พาย ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสแกนคิวอาร์โค้ด เมื่อทำการสแกนคิวอาร์โค้ดข้อมูลบันทึกลงในฐานข้อมูล เป็นข้อมูลการลงทะเบียนเรียนของนักศึกษา ในการใช้งานราสเบอร์รี่พายต้องทำการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายเพื่อให้ราสเบอร์รี่พายมีสัญญาณอินเทอร์เน็ต สมาร์ทโฟนจึงสามารถเชื่อมต่อเพื่อเข้าใช้งานระบบ แต่ไม่ทำการยอมให้ข้อมูลจากสมาร์ทโฟนส่งข้ามเครือข่ายผ่านราสเบอร์รี่พาย ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การทำงานของระบบลงทะเบียนเรียนด้วยราสเบอร์รี่พายและคิวอาร์โค้ด ส่วนการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย

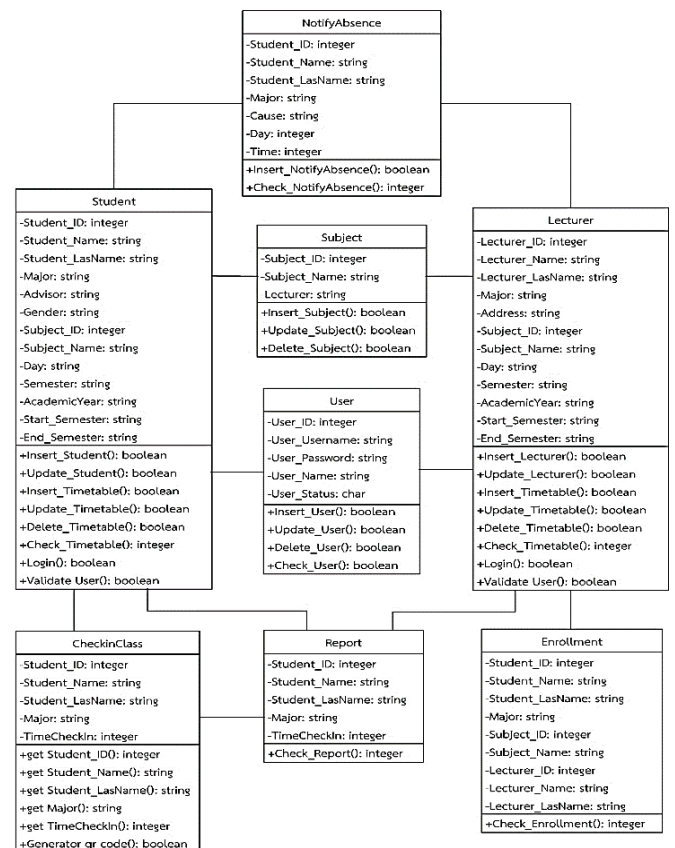
จากภาพที่ 1 เมื่อนำไปออกแบบแนวคิดการทำงานของระบบลงทะเบียนเรียนด้วยราสเบอร์รี่พายและคิวอาร์โค้ด ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การทำงานของระบบลงทะเบียนเรียนด้วยราสเบอร์รี่พายและคิวอาร์โค้ด ส่วนการส่งคำขอคิวอาร์โค้ด

จากภาพที่ 2 แสดงภาพการทำงานของระบบลงทะเบียนเรียนด้วยราสเบอร์รี่พายและคิวอาร์โค้ด ซึ่งประกอบด้วยโมบายแอปพลิเคชัน (Mobile Application) เซิร์ฟเวอร์ (Server) ฐานข้อมูล (Database) ผู้ใช้งานนักศึกษา กรอกรหัสประจำตัวเพื่อเข้าสู่ระบบ เมื่อนักศึกษาเลือกเมนู Request QR Code ระบบทำการส่งคำขอไปยังเซิร์ฟเวอร์ เพื่อให้เซิร์ฟเวอร์ทำการเจนเนอเรเตอร์ (Generator) คิวอาร์โค้ดให้กับนักศึกษาเพื่อนำไปสแกนลงทะเบียนเรียน

3.2 แผนภาพคลาส (Class Diagram) ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลาสทั้งหมดของระบบลงทะเบียนเรียนด้วยราสเบอร์รี่พายและคิวอาร์โค้ด ดังนี้



ภาพที่ 3 แผนภาพคลาสของระบบลงทะเบียนเรียนด้วยราสเบอร์รี่พายและคิวอาร์โค้ด

จากภาพที่ 3 แผนภาพคลาสไดอะแกรม คือ แผนภาพที่ใช้แสดงคลาส (Class) และความสัมพันธ์ (Relation) ระหว่างคลาสเหล่านั้น ประกอบด้วยคลาสต่าง ๆ ดังนี้

- 1) คลาสนักศึกษา ซึ่งจะเก็บข้อมูลของผู้ใช้งานนักศึกษา
- 2) คลาสอาจารย์ ซึ่งจะเก็บข้อมูลของผู้ใช้งานอาจารย์

3) คลาสรายชื่อนักศึกษาที่ลงทะเบียน ซึ่งจะเก็บข้อมูลของนักศึกษาที่ทำการลงทะเบียนเรียน

4) คลาสการลงชื่อเข้าชั้นเรียน ซึ่งจะเก็บข้อมูลที่ใช้ในการลงชื่อเข้าชั้นเรียน

5) คลาสข้อมูลการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษา ซึ่งจะเก็บข้อมูลที่นักศึกษาทำการลงชื่อเข้าชั้นเรียน

6) คลาสการแจ้งเตือนเรียนฉุกเฉิน ซึ่งจะเก็บข้อมูลการแจ้งเตือนเรียนฉุกเฉินของนักศึกษา

7) คลาสรายวิชาที่เปิดสอน ซึ่งจะเก็บข้อมูลรายวิชาที่เปิดสอน

8) คลาสผู้ใช้งานระบบ ซึ่งจะเก็บข้อมูลผู้ใช้งานระบบ

4. ผลการดำเนินการ

4.1 เข้าสู่ระบบนักศึกษา และจอภาพหลัก

1) ส่วนการเข้าสู่ระบบของนักศึกษา ซึ่งประกอบด้วย กล่องข้อความสำหรับกรอกรหัสผ่าน ปุ่มเข้าสู่ระบบ ปุ่มตัวเลือกสำหรับนักศึกษา และปุ่มตัวเลือกสำหรับอาจารย์ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 จอภาพการเข้าสู่ระบบของนักศึกษา

2) จอภาพหลักของนักศึกษา ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันขอรหัสคิวอาร์โค้ด (Request QR Code) ฟังก์ชันรายงานการเข้าชั้นเรียน (Report) ฟังก์ชันแจ้งเตือนเรียนฉุกเฉิน (Notify) และฟังก์ชันตารางเรียน (Timetable) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 จอภาพหลักของนักศึกษา

4.2 การขอคิวอาร์โค้ดเพื่อสแกนลงชื่อเข้าเรียน

1) ส่วนการแสดงคิวอาร์โค้ด ซึ่งประกอบด้วย ภาพคิวอาร์โค้ด และฟังก์ชันรีเฟรช (Refresh) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 จอภาพการแสดงคิวอาร์โค้ด

4.3 ข้อมูลการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษา

1) ส่วนการแสดงผลข้อมูลการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษา ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลชื่อผู้ใช้งานระบบ สถานะผู้ใช้งานระบบ ชื่อนักศึกษา นามสกุลนักศึกษา รหัสนักศึกษา สาขาวิชาเอกของนักศึกษา และวันเวลาที่นักศึกษาลงชื่อเข้าชั้นเรียน ดังภาพที่ 7

Ms. Somrudee Thiemmeechao ID:585021001490 student				
StudyID	Name	LastName	Major	TimeCheckin
585021001490	Ms. Somrudee	Thiemmeechao	IT	26/10/2020-08:51:02
585021001490	Ms. Somrudee	Thiemmeechao	IT	26/10/2020-08:51:05
585021001490	Ms. Somrudee	Thiemmeechao	IT	28/10/2020-23:23:21

ภาพที่ 7 จอภาพการแสดงผลข้อมูลการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษา

เมื่อพัฒนาระบบลงชื่อเข้าเรียนด้วยรหัสเบอร์รี่พายและคิวอาร์โค้ด เพื่อให้แน่ใจถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ จึงทำการทดสอบการใช้งานแอปพลิเคชัน โดยจำลองการเข้าใช้งานพร้อมกันของผู้ใช้งาน ทดสอบด้วยโปรแกรมอาปาเช่ เจเมเตอร์ (Apache JMeter) เพื่อหาค่าเวลาการตอบสนองของระบบ (Response Time) และเพิ่มความแม่นยำในการทดสอบจึงทำการทดสอบระบบ ครั้งละ 10 รอบ โดยใส่ค่าการร้องขอ (Request) ให้แตกต่างกัน เพื่อให้เห็นความต่างของค่าเวลาการตอบสนองของระบบอย่างชัดเจน หลังจากนั้นจึงคำนวณหาค่าเฉลี่ยของแต่ละค่าการร้องขอ และนำค่าเฉลี่ย (Average) ของแต่ละหน้ามาสรุปผล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนองของระบบ

จำนวน Request	ค่าเฉลี่ยเวลาการตอบสนองของระบบ (Response Time)			
	Login	GetqrAck	Table	Check
	(sec)	(sec)	Teacher (sec)	history (sec)
50	11.9	12.2	13.8	10.9
100	58.7	13.4	13.8	14.6
150	60	15.4	15.6	18.8
200	151.2	95.6	117	21.8
300	482.9	334.8	438.2	224.1
500	513	479	678.8	545.5

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การพัฒนาระบบลงชื่อเข้าเรียนด้วยรหัสเบอร์รี่พายและคิวอาร์โค้ด สามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์และขอบเขตที่กำหนดไว้ ถือเป็นอีกระบบหนึ่งที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการบันทึกผล และประมวลผลการเข้าเรียนของนักศึกษา ส่งผลให้อาจารย์ผู้สอน และตัวนักศึกษาเองได้ทราบข้อมูลการเข้าเรียนที่เป็นปัจจุบัน ซึ่งทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบในด้านการรองรับผู้ใช้งานที่เข้าใช้ระบบพร้อมกันด้วยโปรแกรมอาปาเช่ เจเมเตอร์ ซึ่งพบว่าเวลาเฉลี่ยที่ระบบสามารถตอบสนองการใช้งานพร้อมกัน 150 คน ใช้เวลาตอบสนองประมาณ 15 วินาที และที่ 200 คน ใช้เวลาตอบสนองประมาณ 1 นาที 35 วินาที

5.2 อภิปรายผล

การวัดประสิทธิภาพของระบบในการเข้าใช้งานระบบตรวจสอบการเข้าเรียนพร้อมกัน ภาพรวมพบว่าการตอบสนองการทำงานบนแอปพลิเคชัน แม้จะมีการประมวลผลช้าลงเมื่อมีผู้ใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น แต่ระบบยังคงสามารถรองรับการใช้งานได้ ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการทำงานของแอปพลิเคชัน ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลในเซิร์ฟเวอร์ได้ถูกแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของการรับส่งข้อมูลขนาดเล็กบนมือถือก่อน ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาที่มากขึ้นในการรับส่งข้อมูลทั้งหมด อีกทั้งหน่วยประมวลผลบนมือถือมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าคอมพิวเตอร์ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านสถาปัตยกรรมที่ใช้พลังงานอย่างจำกัด รวมถึงระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการประมวลผลที่นานกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวัฒนพล ชุมเพชร ภูริณัฐ หนูขุน และคุณัญญ์ เตียวนะ [13] ได้ศึกษาเรื่องการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อการติดตามพฤติกรรม การเข้าเรียนของนักศึกษา แบบมีส่วนร่วมผ่านระบบออนไลน์ ผลการวิจัยพบว่า การตอบสนองการทำงานบนแอปพลิเคชัน มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 1.91 วินาที และเมื่อเปรียบเทียบกับ การตอบสนองการทำงานบนเว็บเบราว์เซอร์ มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 0.95 วินาที ซึ่งมีความเร็วที่สูงกว่า

ด้านประสิทธิภาพของระบบ สามารถรองรับผู้ใช้งานได้เป็นจำนวนมาก เพิ่มความสะดวก และรวดเร็วในการใช้งานระบบสอดคล้องกับ Ann Barron, Karen Ivers [14] ที่ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการใช้งานเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทางการศึกษาไว้ว่า เป็นการลดการใช้กระดาษ ประหยัดงบประมาณ มีความรวดเร็ว มีประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล ช่วยลดความซับซ้อนในการจัดเตรียม และส่งเอกสาร และยังสามารรถปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัย การติดต่อสื่อสารถือเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลจากผู้สอนไปสู่ตัวนักศึกษา รวมถึงทำให้การติดตามจากอาจารย์สะดวกมากยิ่งขึ้น

สำหรับกระบวนการติดตามการขาดเรียน หรือมาสายของนักศึกษา การแจ้งเตือนบ่อยครั้งขึ้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นการเสริมแรง (Reinforcement) สอดคล้องกับวิจัยของคงกฤษ พิมพ์า [15] ศึกษาเรื่องการพัฒนาความสนใจในการเรียนวิชาการสร้างภาพสามมิติ โดยการใช้เทคนิคการเสริมแรงว่าการเสริมแรงนั้นเป็นการพยายามทำให้เกิดการตอบสนองเพิ่มขึ้น โดยการกำจัดสิ่งเร้าที่ไม่พึงประสงค์ออกไป และการเสริมแรงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Reinforcement) ซึ่งเป็นการเสริมแรงทุกครั้ง

บุคคลมีพฤติกรรม ก็จะทำให้พฤติกรรมเหล่านั้นลดลงอย่างรวดเร็วได้ ส่งเสริมให้นักศึกษามีผลการเรียนที่ดียิ่งขึ้น

5.3 ข้อจำกัด

ระบบลงชื่อเข้าชั้นเรียนด้วยรหัสเบอร์รี่พายและคิวอาร์โค้ดเป็นระบบปิด การใช้งานระบบ จำเป็นต้องให้อุปกรณ์ที่ขอคิวอาร์โค้ด เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายของรหัสเบอร์รี่พาย และหมายเลขไอพีที่ได้รับต้องอยู่ในซับเน็ต (Subnet) เดียวกันกับรหัสเบอร์รี่พายเท่านั้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการรองรับการลงชื่อเข้าชั้นเรียนของนักศึกษาได้จริงควรมีการสนับสนุนให้ใช้ระบบนี้ เพื่อลดภาระของอาจารย์ผู้สอน ในการตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนของนักศึกษา ก่อนเริ่มการเรียนการสอน

ในการพัฒนาระบบลงชื่อเข้าชั้นเรียนด้วยรหัสเบอร์รี่พายและคิวอาร์โค้ด มีการนำรหัสเบอร์รี่พายมาใช้ เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลหลักในการสแกนคิวอาร์โค้ด ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในส่วนของวัสดุอุปกรณ์ค่อนข้างสูง ในการพัฒนาครั้งต่อไปอาจเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเป็นอาดุยโน (Arduino) แทนเพราะมีราคาถูกกว่า

พัฒนาแอปพลิเคชันระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนโดยการสแกนคิวอาร์โค้ด ด้วยรหัสเบอร์รี่พายผ่านโปรแกรมประยุกต์ให้รองรับระบบปฏิบัติการไอโอเอส (iOS)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์. 2554. **พฤติกรรมที่ไม่ตรงต่อเวลาและการไม่รับผิดชอบเข้าชั้นเรียนวิชานุกรมวิธานแมลง ของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาชีววิทยา**. วิทยาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยาและโรคพืช คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [2] ปริญญ์ ธรรมสิทธิ์. 2559. **ระบบเช็คชื่อเข้าชั้นเรียนโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ตรวจหาหลายใบหน้า**. วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [3] บุชบา จันเจริญ และอดิวัชร อมรมงคล. 2561. **ระบบเช็คชื่อเข้าเรียนด้วยรหัสคิวอาร์**. วิทยาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
- [4] มงคล รอดจันทร์ อวยไชย อินทรสมบัติ และธานิล ม่วงพูล. **การพัฒนาแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์ร่วมกับคิวอาร์โค้ด สำหรับการบันทึกการเข้าเรียนของนักศึกษาวิชาทหาร**. วารสารวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ และนวัตกรรม ปีที่ 5. ฉบับที่ 1. หน้า 89-96. 2561.
- [5] คุณธัม วศินเกษม. **QR Code**. วารสารเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา ปีที่ 5. ฉบับที่ 5. หน้า 85-88. 2553.
- [6] ชูติมา เหมวิเศษ และกัญลักษณ์ ชุมณี. **พฤติกรรมการใช้โทรศัพท์มือถือของนักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: <https://sites.google.com/site/0840586616aaa/bthkhadyx> (วันที่สืบค้น 15 มิถุนายน 2561).
- [7] จุฑารัตน์ โกชัย และ ญัฐวี อุตกฤษฎ์. **ระบบจัดการครุภัณฑ์ด้วยเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดบนแอนดรอยด์โฟน**. The Eleventh National Conference on Computing and Information Technology, หน้า 674-679, 2015.
- [8] นฤเทพ สุวรรณธาดา สมคิด แซ่หลี่ และ สรเดช ครุฑจ้อน. **วิจัยการประยุกต์ใช้คิวอาร์โค้ดในการบันทึกข้อมูลการเข้าร่วมกิจกรรม เพื่อสำเร็จการศึกษา โดยนำเข้าข้อมูลผ่านระบบเก็บข้อมูลออนไลน์**. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ ปีที่ 9. ฉบับที่ 2. หน้า 20-26. 2556.
- [9] กัลยาณี บรรจงจิตร ทวีฤทธิ์ มานวกุล และ วณิชชัย วิชญเศรณี. 2558. **ระบบเช็คชื่ออัตโนมัติด้วยลายนิ้วมือ**. วิทยาสตรบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์) ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
- [10] Sartid Vongpradhip. 2013. **Use Multiplexing to Increase Information in QR Code**. Bachelor of Engineering, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
- [11] Sumit Tiwari. 2016. **An Introduction to QR Code Technology**. International Conference on Information Technology, หน้า 39-44, 2016.
- [12] Lance Allison, Mohammad Muztaba Fuad. 2016. **Inter-App Communication between Android Apps Developed in App-Inventor and Android Studio**. International Conference on Mobile

การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้กระดูกหมูเหลือทิ้งแปรรูปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Ethyl Ester Synthesis Using Modified Pork Bone Waste as a Catalyst

สตัยา แสนกล้า¹, อมรรัตน์ ดวงเพชร¹, ชุติมา อุปลัมภ์² และ ศศิวิมล วุฒิกนกกาญจน^{3*}

^{1,3}สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถ. นางลิ้นจี่ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

²สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถ. นางลิ้นจี่ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีราคาถูกและได้มาจากของเหลือทิ้งส่งผลต่อการลดต้นทุนในการผลิต งานวิจัยเรื่องนี้นำกระดูกหมูเหลือทิ้งมาแปรรูปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ จากวัตถุดิบเริ่มต้นคือน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้แล้ว การทดลองจะเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยนำกระดูกหมูมาเผาที่ 1000 °C และเพิ่มความว่องไวโดยการเคลือบฝังแบบเปียกด้วยสารละลาย K_2CO_3 ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา และหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิคงที่ 75 °C ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับร้อยละ 6-10 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1-15:1 เวลาระหว่าง 2-4 ชั่วโมง ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เทคนิค XRD พบสัญญาณที่แสดงโครงสร้างของไฮดรอกซีอะพาไทต์ การวัดค่าความเป็นเบสโดยใช้ Hammett indicator ค่าความเป็นเบสอยู่ในช่วง $9.3 < H_- < 15$ การเคลือบฝังด้วยสารละลาย K_2CO_3 ส่งผลต่อความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา ภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาคือ อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันที่ 9:1 เวลา 3 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ได้ปริมาณเอทิลเอสเทอร์สูงสุดถึงร้อยละ 90.3 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลประเภทเอทิลเอสเทอร์จากเอทานอลที่สามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม

คำหลัก: เอทิลเอสเทอร์; ไบโอดีเซล; ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์; กระดูกหมูเหลือทิ้ง

Abstract

This work has concerned the development of inexpensive catalyst, derived from pork bone waste, for the synthesis of ethyl ester from used palm oil. The experiment was commenced by calcination of pork bone at 1000 °C, followed by wet impregnation with 30 wt% of K_2CO_3 . The synthesis of ethyl ester via transesterification was then carried out under various conditions, at 75 °C for 2-4 h, with the use of 6-10 wt% of the catalyst and 6:1 to 15:1 molar ratios of ethanol to palm oil. The results from XRD technique confirmed the formation of hydroxyapatite. The base strength determined by using Hammett indicator was in the range of $9.3 < H_- < 15$. It was also found that activity of the catalyst was effected by impregnation with K_2CO_3 . In overall, from this study, the optimum conditions was found at the molar ratio of 9:1, 3 h reaction time, and 8 wt% loading of the prepared catalyst. The above conditions yield the maximum percentage yield of ethyl ester of 90.3 wt%. This approach was considere

Keywords: Ethyl ester; Biodiesel; Heterogeneous catalyst; Pork bone waste

¹ นักศึกษา, สาขาวิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ดร., สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

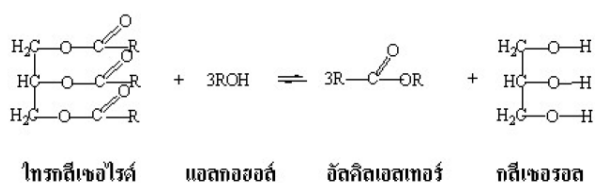
³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ E-mail: sasiwimol.w@mail.rmutk.ac.th

1. บทนำ

จากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วในหลายประเทศ ทำให้ความต้องการด้านคมนาคมและการขนส่งเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อปัญหามลพิษที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงที่แปรรูปมาจากปิโตรเลียม ทั้งภาวะโลกร้อน (Global warming) มลภาวะทางอากาศ และฝนกรด (Acid rain) เพื่อเป็นการลดปัญหาดังกล่าวจึงมีการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงทดแทน (Alternative fuel) เพิ่มมากขึ้นในภาคการขนส่ง

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีศักยภาพในการปลูกพืชเศรษฐกิจหลายชนิด สำหรับพืชในกลุ่มแป้งและน้ำตาลเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตเอทานอล ปัจจุบันมีกำลังการผลิตติดตั้งจริงในประเทศประมาณ 6 ล้านลิตรต่อวันจาก 27 โรงงาน [1] เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงจะนำมาผสมในน้ำมันแก๊สโซลีนในสัดส่วนต่างๆ เพื่อผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซลีน ทั้งชนิด E10 E20 และ E85 เมื่อพิจารณาปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและทิศทางการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีรถยนต์ในระยะยาว อาจส่งผลกระทบทำให้ปริมาณความต้องการเอทานอลที่นำไปใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงทางเลือกลดลง ในกลุ่มพืชน้ำมันประเทศไทยมีผลผลิตน้ำมันปาล์มเป็นอันดับสามของโลก ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ รวมถึงใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล B100 [2] จากมาตรการเพิ่มอัตราผสมไบโอดีเซล B100 ในน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมัน B10 ซึ่งเป็นน้ำมันเกรดมาตรฐาน และน้ำมัน B7 และ B20 เป็นน้ำมันทางเลือกเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2020 [3] ทำให้ปริมาณความต้องการไบโอดีเซล B100 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ไบโอดีเซลหรืออัลคิลเอสเทอร์ (Alkyl ester) สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ที่ใช้แอลกอฮอล์โมเลกุลขนาดเล็กทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืช ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับ [4] ตามสมการ



การใช้เอทานอลจะมีข้อดีเหนือกว่าเมทานอลในเรื่องความปลอดภัย ทั้งยังส่งเสริมการใช้เอทานอลที่สามารถผลิตได้จากภายในประเทศ ในขณะที่การนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่ช่วยลดวงจรการนำน้ำมันที่ผ่านการประกอบอาหารกลับมาบริโภคซ้ำซึ่งส่งผลเสียอย่างรุนแรงต่อสุขภาพ การใช้วัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดสามารถลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลให้สามารถแข่งขันกับน้ำมันดีเซลที่แปรรูปมาจากปิโตรเลียมได้ การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจำเป็นต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือเบส และเพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่สามารถแปรรูปได้จากของเหลือทิ้งตามธรรมชาติ เช่น เปลือกไข่ [5], กระดองปู [6] และกระดูกสัตว์ [7-10] โครงสร้างของกระดูกสัตว์จะมีส่วนประกอบไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite; $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) ที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาการนำกระดูกไก่มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เกิดผลิตภัณฑ์ร้อยละ 89.3 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 15:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 65 °C เวลา 4 ชั่วโมง และยังสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำ 4 ครั้ง [7] นอกจากนี้ยังมีการนำกระดูกหมูมาแปรรูปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกหมูธรรมดา และกระดูกหมูที่ผ่านการเคลือบฝังด้วยสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต (Potassium carbonate; K_2CO_3) สตรอนเทียมไนเตรต [Strontium nitrate ; $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$] และลิเทียมไนเตรต (Lithium nitrate ; LiNO_3) พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกหมูธรรมดาเกิดเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 85.2 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 18:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 65 °C ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกหมูที่เคลือบฝังด้วยโพแทสเซียมคาร์บอเนตเกิดเมทิลเอสเทอร์สูงสุด ร้อยละ 96.4 โดยน้ำหนัก ตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกหมูที่เคลือบฝังด้วย

สตรอนเทียมไนเตรท เกิดเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 94.7 โดยน้ำหนัก และตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกหมูที่เคลือบฝังด้วยลิเทียมไนเตรทเกิดเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 93.2 โดยน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เวลา 1.5 ชั่วโมง อุณหภูมิ 65 °C [10] ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนากระบวนการผลิตเอทิลเอสเทอร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ต้นทุนการผลิตต่ำ จึงทำการศึกษาการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรรูปมาจากกระดูกหมูเหลือทิ้งและเคลือบฝังด้วยสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต

2. การทดลอง

2.1 สารเคมีและวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา

สารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทั้งหมดเป็นเกรดสำหรับการวิเคราะห์

กระดูกหมูเป็นกระดูกหมูที่ใช้ทำน้ำซุป ได้รับความอนุเคราะห์จากร้านขายอาหาร บริเวณถนนราธิวาสราชนครินทร์ นำมาล้างกับน้ำสะอาด หลังจากนั้นนำมาต้มเป็นเวลา 20 นาที ซ้ำ 3 ครั้ง และแยกส่วนที่เป็นเนื้อหมูที่ติดค้างออก อบกระดูกหมูที่ อุณหภูมิ 110 °C อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ลักษณะกระดูกหมูดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจะนำไปใช้ในการแปรรูปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป



รูปที่ 1 ลักษณะกระดูกหมูที่ใช้ในการศึกษา

น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดปาท่องโก๋ ซื้อมาจากตลาดย่านสวนพลู มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาล มีกลิ่นเฉพาะตัว ซึ่งจะนำมาผ่านการกรองโดยใช้ผ้าขาวบางเก็บใส่ขวดที่ปิดมิดชิดเพื่อป้องกันความชื้น และนำมาวิเคราะห์สมบัติบางประการได้แก่ ค่าความหนืด ตามวิธีมาตรฐาน

ASTM D 445-09 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ตามวิธีมาตรฐาน AOAC Official Method 940.28 ค่าแชนอนิฟิเคชัน ตามวิธีมาตรฐาน AOAC Official Method 920.160 และสี ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1500-07

2.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

นำกระดูกหมู (PB) ที่ผ่านการทำความสะอาดและแห้งมาหุบละเอียดและคัดขนาดในช่วง 63-45 ไมครอน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง 1000 °C ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง (PHAP) และนำไปเคลือบฝังแบบเปียกด้วยสารละลาย K_2CO_3 ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการกวนส่วนผสมที่ประกอบด้วยสารละลาย K_2CO_3 กับผงกระดูกหมูอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราความเร็วที่คงที่เป็นเวลา 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง และนำไปเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (K/PHAP) [10] เก็บตัวเร่งปฏิกิริยาไว้ในเดซิเคเตอร์เพื่อป้องกันความชื้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จะทำการทดสอบค่าความเป็นเบส โดยใช้ Hammett Indicator วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และศึกษาความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาแทรนส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.3 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาแทรนส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การศึกษาผลของตัวแปรต่อการเกิดปฏิกิริยาแทรนส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จะทำการศึกษาที่ละตัวแปรโดยเริ่มจากอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1-15:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 6-10 โดยน้ำหนัก และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 2-4 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยควบคุมอุณหภูมิคงที่ 75 (±2) °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงจุดเดือดของเอทานอล

ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในหลอดแก้วปิด ที่ผนังมีความหนาทำมาจากแก้วบอโรซิลิเกต มีการควบคุมอุณหภูมิผ่านอ่างควบคุมอุณหภูมิ [11] ดังแสดงในรูปที่ 2 ในการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันที่ 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เริ่มจากใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.43 กรัม เอทานอล 3.20 มิลลิลิตร และ

น้ำมันปาล์มใช้แล้ว 5 กรัม พร้อมแท่งกวนขนาดเล็ก ในหลอดแก้ว ปิดฝา วางลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ค่อยๆให้ความร้อนเมื่ออุณหภูมิถึง $75 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ เริ่มจับเวลาในการทำปฏิกิริยา



ก

ข

รูปที่ 2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (ก) ระบบในการทำปฏิกิริยา (ข) ลักษณะของสารตั้งต้นที่อยู่ในหลอดแก้วปิด

ในแต่ละภาวะที่ทำการศึกษาเมื่อครบตามเวลาที่กำหนด หยุดการให้ความร้อน เปิดฝาหลอดแก้วและเทสารผสมลงในกรวยแยกตั้งทิ้งไว้ 1 คืน จะเกิดการแยกออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็ง กลีเซอรอล และส่วนเอทิลเอสเทอร์ ทำการแยกชั้นของเอทิลเอสเทอร์และนำมากรอง ด้วยกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman no. 2 อีกครั้งเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาที่อาจมีปะปน และนำส่วนของชั้นเอทิลเอสเทอร์มาล้างด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ $60 (\pm 5) ^\circ\text{C}$ เพื่อแยกส่วนของเอทานอล และกลีเซอรอล ในอัตราส่วนของเหลวต่อน้ำอุ่นที่ 1:1 จนกระทั่งน้ำที่ผ่านการล้างมีค่าพีเอชเท่ากับน้ำอุ่นเริ่มต้น แยกส่วนเอทิลเอสเทอร์มาระเหยน้ำและเอทานอลที่ตกค้างที่อุณหภูมิ 105 ถึง $110 ^\circ\text{C}$ วิเคราะห์หาปริมาณเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ตามวิธีมาตรฐาน EN14103 โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC)

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

3.1 สมบัติของน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว โดยเป็นน้ำมันที่ผ่านการทอดปลาทอดไก่ที่

อุณหภูมิประมาณ $150 ^\circ\text{C}$ เมื่อนำมาทดสอบสมบัติของน้ำมันเป็นไปดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติบางประการของน้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ในการทดลอง

รายการ	ผล
ความหนืดจลน์ ที่อุณหภูมิ $40 ^\circ\text{C}$ ($\text{mm}^2/\text{วินาที}$)	38.52
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.48
ค่าแซฟอนิฟิเคชัน (มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัมไขมัน)	208.69
สี	4 ASTM COLOR

จากผลการทดสอบพบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีความหนืดสูงเนื่องจากในน้ำมันพืชมีองค์ประกอบหลักคือโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ประเภทเอสเทอร์ที่มาจากกลีเซอรอลและกรดไขมัน โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ทำให้มีความต้านทานการไหลสูง ค่าที่ได้จากการทดสอบใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา [7] ในขณะที่ปริมาณกรดไขมันอิสระมีปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ทำให้สามารถนำน้ำมันดังกล่าวมาสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสได้โดยไม่มีปัญหาที่เกิดจากปฏิกิริยาแซฟอนิฟิเคชัน จากค่าแซฟอนิฟิเคชัน คำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันที่นำมาใช้ในการศึกษาได้เท่ากับ 812.01 กรัมต่อโมล

3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและการวิเคราะห์

กระดุกหมูที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ $1000 ^\circ\text{C}$ เพื่อกำจัดสารประกอบอินทรีย์ เมื่อนำมาบดและคัดขนาดจะมีลักษณะเป็นผงสีขาวนวล องค์ประกอบที่เหลืออยู่เป็นสารประกอบไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งจะเพิ่มความเป็นเบส โดยการเคลือบฝังด้วยสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต การกวนเป็นเวลานานจะทำให้สารละลายมีเวลามากพอที่จะแพร่เข้าไปในรูพรุนของตัวรองรับ หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ $110 ^\circ\text{C}$

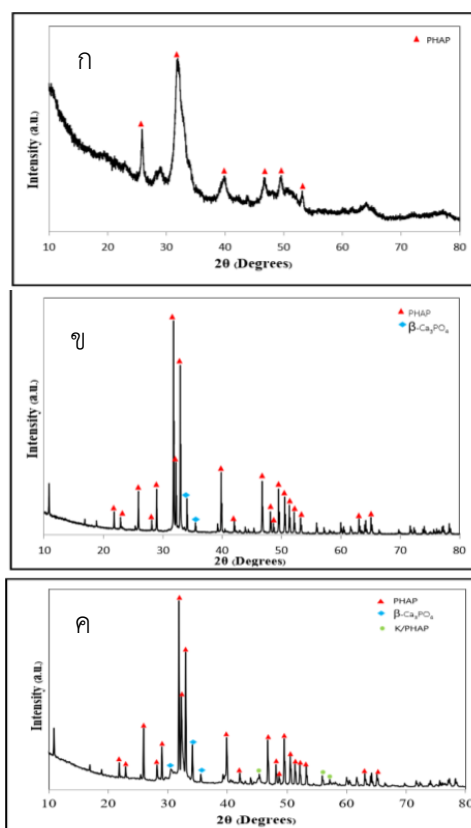
เป็นเวลา 10 ชั่วโมง และนำตัวเร่งปฏิกิริยามาเผาต่อที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จะมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ลักษณะคล้ายแป้ง ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะของกระดูกหมู (ก) ก่อนเผา (ข) หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง (PB)

จากผลการทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ รูปที่ 4 แสดงค่าสัญญาณของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (PHAP), ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (β - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) และ K/PHAP [7,8] ซึ่งยืนยันว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมมีองค์ประกอบของไฮดรอกซีอะพาไทต์จริง และเมื่อผ่านการเคลือบฝังด้วยสารละลาย K_2CO_3 พบสัญญาณของ K/PHAP ซึ่งสอดคล้องกับการเปรียบเทียบค่าความเป็นเบสโดยใช้ Hammett indicator ของ K/PHAP อยู่ในช่วง $9.3 < \text{H}_+ < 15$ ในขณะที่ PB และ PHAP มีค่าความเป็นเบส $\text{H}_+ < 7.2$

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างของตัวเร่งปฏิกิริยา PB, PHAP และ K/PHAP โดยการทำปฏิกิริยาภายใต้ภาวะเดียวกันคือ อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ $75 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา K/PHAP ให้ปริมาณเอทิลเอสเทอร์เท่ากับ 90.3 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ ตัวเร่งปฏิกิริยา PB และ PHAP ไม่เกิดเอทิลเอสเทอร์ การเคลือบฝังด้วยสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนตในตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เพิ่มความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา



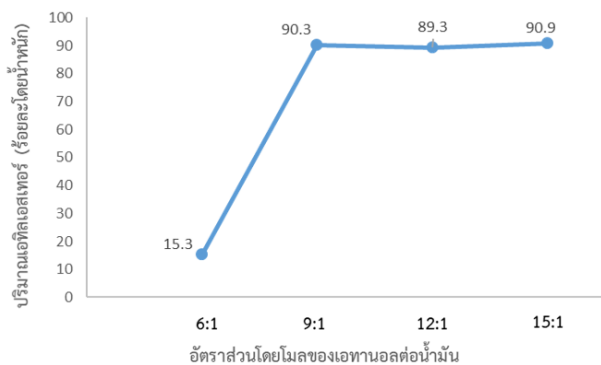
รูปที่ 4 การทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของกระดูกหมู (ก) กระดูกหมู (PB) (ข) กระดูกหมูที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง (PHAP) (ค) กระดูกหมูที่ผ่านการเผาและเคลือบฝังด้วย K_2CO_3 (K/PHAP)

3.3 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน

3.3.1 อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน

ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันมีผลต่อปริมาณเอทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันจาก 6:1 ไปถึง 9:1 ปริมาณเอทิลเอสเทอร์ที่ได้มากขึ้น และสูงสุดที่อัตราส่วน 9:1 ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้นจะผลักดันให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปทางขวามากขึ้น ปริมาณเอทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันไปจนถึงอัตราส่วน 15:1 พบว่ามีปริมาณเอทิลเอสเทอร์คงที่ แสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 9:1 ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลแล้ว ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ

ของเอทานอลมากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อให้เกิดเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณเอทิลเอสเทอร์สูงสุดที่เกิดขึ้นเท่ากับร้อยละ 90.3 โดยน้ำหนัก



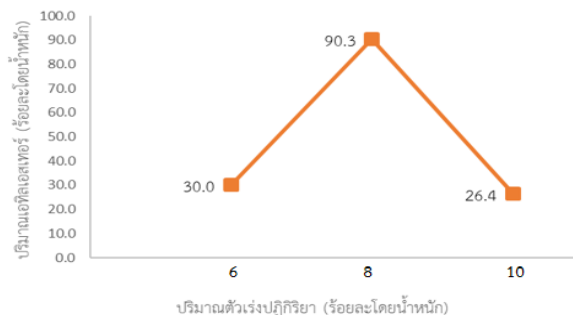
รูปที่ 5 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันต่อปริมาณเอทิลเอสเทอร์ ตัวเร่งปฏิกิริยา K/PHAP ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 75 °ซ เวลา 3 ชั่วโมง

3.3.2 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา K/PHAP ต่อการเกิดเอทิลเอสเทอร์ ที่ร้อยละ 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนัก

จากการศึกษาเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา K/PHAP จากร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก พบว่าทำให้เกิดเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นทั้งนี้ เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นการเพิ่มตำแหน่งที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้นมากขึ้น จึงส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เกิดเอทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 90.3 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาปริมาณที่เหมาะสม เพราะการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะส่งผลในด้านลบ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งจะไปขัดขวางการเข้าทำปฏิกิริยาทำให้เกิดผลิตภัณฑ์น้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกไก่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เกิดเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 89.33 โดยน้ำหนัก [7] ในขณะที่งานวิจัยที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกหมูที่ผ่านการเคลือบฝังด้วยสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เกิดเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ

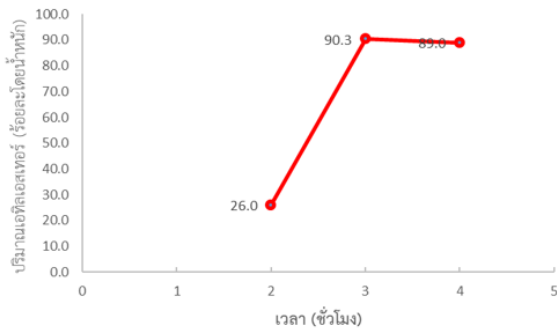
96.4 โดยน้ำหนัก [8] เนื่องจากการเกิดเอสเทอร์ขึ้นสมบัติของน้ำมันเริ่มต้น แหล่งที่มาของน้ำมัน ชนิดของแอลกอฮอล์ ในขณะที่เมื่อทำปฏิกิริยาที่ภาวะเดียวกัน เมทิลเอสเทอร์จะเกิดขึ้นในปริมาณที่สูงกว่าเอทิลเอสเทอร์เพราะเมทานอลมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าเอทานอลจึงมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์มากกว่า



รูปที่ 6 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา K/PHAP ต่อปริมาณเอทิลเอสเทอร์ อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 9:1 อุณหภูมิ 75 °ซ เวลา 3 ชั่วโมง

3.3.3 เวลาในการทำปฏิกิริยา

เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเกิดเอทิลเอสเทอร์ เนื่องจากถ้าใช้เวลาน้อยเกินไปมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ไม่สมบูรณ์ หรือหากใช้เวลานานเกินไปและระบบเข้าสู่สมดุลแล้วจะเป็นการสิ้นเปลืองเวลา ได้ทำการศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 2, 3 และ 4 ชั่วโมง จากรูปที่ 7 พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มปริมาณร้อยละการเกิดเอทิลเอสเทอร์ มากขึ้นเช่นเดียวกัน โดยที่เวลา 3 ชั่วโมง สามารถให้ปริมาณเอทิลเอสเทอร์สูงสุดถึงร้อยละ 90.3 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แปรรูปจากกระดูกไก่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง เกิดเอสเทอร์ประเภทเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 89.3 โดยน้ำหนัก [7] ปริมาณเอทิลเอสเทอร์ กับปริมาณเมทิลเอสเทอร์จากงานวิจัยที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกไก่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่งานวิจัยที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระดูกไก่ ไม่ได้ทำการเคลือบฝังจึงใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่นานกว่า



รูปที่ 7 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณเอทิลเอสเทอร์ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา K/PHAP ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 75 °ซ

3.4 สมบัติบางประการของเอทิลเอสเทอร์

จากผลการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ที่ภาวะที่เหมาะสม เมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเอสเทอร์มีค่าเท่ากับร้อยละ 90.3 โดยน้ำหนัก มีค่าความหนืด เท่ากับ 13.71 มม²/วินาที และค่าสีเท่ากับ 2 ASTM COLOR

4. สรุปผลการทดลอง

การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้แล้วสามารถทำได้โดยนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้แล้วมาทำปฏิกิริยากับเอทานอลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และใช้กระดูกหมูเหลือทิ้งมาพัฒนาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของกระดูกหมูยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตเอทิลเอสเทอร์ให้ต่ำลง

ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลา และอุณหภูมิ การใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาสมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปทางที่เกิดผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น ในเวลาอันสั้น

ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ให้ปริมาณเอทิลเอสเทอร์สูงสุด คือ อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา K/PHAP ร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก เวลา 3 ชั่วโมง ที่

อุณหภูมิ 75 °ซ ได้ปริมาณเอทิลเอสเทอร์สูงสุดร้อยละ 90.3 โดยน้ำหนัก

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2020). ข้อมูลโรงงานผลิตเอทานอล, URL: <http://www.dede.go.th>, สืบค้นเมื่อ 29/11/2020.
- [2] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้) (2020). ปาล์มน้ำมัน, URL: <https://www.arda.or.th/kasetinfo/south/datasource.php>, สืบค้นเมื่อ 29/11/2020.
- [3] The Siam Commercial Economic Intelligence Center (2020). AGRICULTURAL COMMODITY 2020: อีไอซีวิเคราะห์ อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันไทยปี 2020 มีแนวโน้มปรับตัวดีขึ้น จากมาตรการเพิ่มอัตราผสมไบโอดีเซล URL:<https://www.scbeic.com>, สืบค้นเมื่อ 29/11/2020.
- [4] Kucek, K.T., César-Oliveira, M. A. F., Wilhelm, H. M., Ramos, L.P. 2007. Ethanolysis of refined soybean oil assisted by sodium and potassium hydroxides. Journal of the American Oil Chemists' Society, vol.84, pp. 385–392.
- [5] Boro, J., Konwar, L.J. and Deka, D. (2014). Transesterification of non edible feedstock with lithiumincorporated egg shell derived CaO for biodiesel production. Fuel Processing Technology, vol.122, pp. 72-78.
- [6] Boey, P., Maniam, G.P. and Hamid, S.A. (2009). Biodiesel production via transesterification of palm olein using waste mud crab (Scylla serrata) shell as a heterogeneous catalyst. Bioresource Technology, vol.100, pp. 123-128.

vol.100, pp. 6362-6368.

[7] Farooq, M., Ramli, A. and Naeem, A. (2015). Biodiesel production from low FFA waste cooking oil using heterogeneous catalyst derived from chicken bones. *Renewable Energy*, vol.76, pp. 362-368.

[8] Chen, G., Shan, R., Shi, J., Liu, C. and Yan, B. (2015). Biodiesel production from palm oil using active and stable K doped hydroxyapatite catalysts. *Energy Conversion and Management*, vol.98, pp. 463-469.

[9] Smith, M.S., Oopathum, C., Weeramongkhonlert, V., Smith, B.C., Chaveanghong, S., Ketwong, P., Boonyuen, S. (2013). Transesterification of soybean oil using bovine bone waste as new catalyst. *Bioresource Technology*, vol.143, pp. 686- 690.

[10] Obadiah, A., Swaroopa, A.G., Kumar, V.S., Jeganathan, R.K., Ramasubbu, A. (2012). Biodiesel production from Palm oil using calcined waste animal bone as catalyst. *Bioresource Technology*, vol.116, pp. 512-516.

[11] Chaveanghong, S., Smith, S.M., Oopathum, C., Smith C. B., Luengnaruemitchai, A. (2017). Fatty acid methyl ester (FAME) production from soybean oil under ambient conditions using strontium loaded bovine bone. *Renewable Energy*, vol.109, pp. 480-486.

การจำแนกประเภทข้อมูลแบบหลายโมเดล Multi-Model Classifier

กานต์นิธิ แซ่ลิ้ม¹ ศักดิ์ดา กรรัมย์² และ ศุภฤกษ์ ฉัตรธนโชติ³

^{1,2,3} สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

การจำแนกประเภทข้อมูลนั้นมีการพัฒนาเทคนิคในการจำแนกประเภทอย่างต่อเนื่อง โดยค่าความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อมูลถือเป็น ค่าที่นำมาใช้ในการวัดประสิทธิภาพของตัวจำแนกประเภทอย่างแพร่หลาย ในแต่ละชุดข้อมูลที่มีความแตกต่างกันมีความเหมาะสมในการเลือกใช้ตัวจำแนกประเภทที่แตกต่างกันซึ่งมีความยากต่อผู้ใช้โดยทั่วไป งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมจำแนกประเภทข้อมูลแบบหลายโมเดล โดยคัดเลือกตัวจำแนกที่เป็นที่รู้จัก ห้าชนิด ได้แก่ Neural Network, Decision Tree, Naïve Bayes, Support Vector Machine, และ K-Nearest Neighbor มาใช้งานร่วมกันเพื่อให้โปรแกรมคัดเลือกโมเดลที่ดีที่สุดสำหรับชุดข้อมูลนั้น ๆ มาใช้งาน ผลการทดสอบกับชุดข้อมูล แอปชุด พบว่าในแต่ละชุดข้อมูลจะมีตัวจำแนกประเภทที่เหมาะสมและให้ค่าความถูกต้องสูง กระจ่ายตัวกันไป และตัวโปรแกรมได้เลือกใช้โมเดลที่มีค่าความถูกต้องสูงที่สุดให้ผู้ใช้โดยอัตโนมัติ

คำหลัก: การจำแนกประเภทข้อมูล, ออนซัมเบิล, การเรียนรู้ของเครื่อง

Abstract

Data Classification has been developed to improve the accuracy value because it is used as a measurement of classification performance. Selected classifier from users might be not suitable for the dataset. In this work, we proposed the program that makes the selected classifier for the dataset task is easier than usual by converting the manual process to an automatically selected classifier. The proposed program creates several models from Neural network, Decision Tree, Naïve Bayes, Support Vector Machine, and K-Nearest Neighbor prior selected the best one based on accuracy value. Finally, the test results are represented that matching of suitable classifier and dataset are selected by the proposed program. Therefore, this program can be used by users easily without concerning about the suitable classifier and dataset.

Keywords: data classification, ensemble, machine learning.

1. บทนำ

การจำแนกประเภทข้อมูลถือเป็นแขนงหนึ่งของศาสตร์ทางด้านปัญญาประดิษฐ์[2] โดยหนึ่งในการวัดประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทข้อมูลนั้นสามารถหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) ในขั้นตอนของการทำทดสอบ จากการศึกษาพบว่าตัวจำแนกประเภทข้อมูลและชุดข้อมูลที่มี

ข้อมูล ซึ่งตัวจำแนกประเภทข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูลหลากหลายชนิด ในหลายครั้งของการทำงานจำแนกประเภทข้อมูลจึงต้องทดสอบกับตัวจำแนกประเภทข้อมูลหลายประเภทเพื่อใช้ในการเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับชุดข้อมูลที่เรานำมาจำแนก งานวิจัยนี้จึงเป็น

^{1,2} นักศึกษา สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

³ อาจารย์ สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ Email: suphroek.c@mail.rmutk.ac.th

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อให้สามารถเลือกตัวจำแนกประเภทข้อมูลที่เหมาะสมให้แบบอัตโนมัติ โดยเลือกใช้ตัวจำแนกประเภทข้อมูล ห้าชนิดที่เป็นที่รู้จักได้แก่ Decision Tree, Neural Network, Naïve Bayes, Support Vector Machine, และ K-Nearest Neighbor

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้เลือกนำเอาตัวจำแนกประเภทข้อมูลที่ได้รับค่านิยม และลักษณะแตกต่างกันทั้งหมด ห้าชนิดเพื่อนำมาพัฒนาโปรแกรมสำหรับจำแนกประเภทข้อมูลแบบหลายโมเดล และวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลแบบ ออนซัมเบิล (Ensemble) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความคล้ายคลึงกับแนวคิดในงานนี้มาใช้ ในเนื้อหาส่วนนี้จึงเป็นการนำเสนอวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลในแต่ละประเภทและเทคนิคแบบออนซัมเบิล เพื่อให้เห็นภาพรวมและที่มาแบบพอสังเขป

2.1 Decision Tree

ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) เป็น Classifier ชนิดหนึ่งที่มีรูปแบบการเรียนรู้โดยสร้างกฎการเรียนรู้ให้อยู่ในรูปแบบของโครงสร้างข้อมูลแบบ Tree ประกอบไปด้วย Internal node และ Leaf node โดยแทนที่ด้วยข้อมูลแต่ละชนิดตามรูปแบบของข้อมูลและเงื่อนไขในการตัดสินใจนั้นเกิดจากการคำนวณค่าทางคณิตศาสตร์เพื่อหาช่วงข้อมูลที่เหมาะสมในการนำไปสร้างเป็นกฎ วิธีการคำนวณค่าที่ใช้ในต้นไม้ตัดสินใจนั้นมีหลายวิธีการ C4.5 เป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้ในการสร้างโมเดลด้วย Decision Tree โดยใช้ค่า Information Gain ในการนำคำนวณหาการตัดสินใจ

$$Information\ Gain = I(parent) - \sum_{j=1}^k \frac{N(V_j)}{N} I(V_j) \quad (1)$$

การสร้างโมเดลด้วย Decision Tree นั้นจะได้กฎการจำแนกประเภทข้อมูลที่ใช้สามารถทำความเข้าใจได้ และยังเหมาะกับข้อมูลที่มีลักษณะแบบเป็นประเภทข้อมูล (Nominal)

2.2. Neural Network

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลที่จำลองมาจากการทำงานของสมองมนุษย์ที่มีโครงข่ายที่ซับซ้อนเชื่อมโยงกัน การจำลองโครงข่ายในวิธีการนี้จึงใช้แนวคิดโดยนำเอาโครงข่ายที่มีการเชื่อมโยงกัน โดย

แบ่งออกเป็นชั้นของข้อมูลโดยทั่วไปจะถูกกำหนดเป็นสามรูปแบบคือ Input layer, hidden layer, output layer โดยที่ทั้งสามชั้นมีส่วนที่เชื่อมต่อกันและใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการส่งสัญญาณที่เป็นข้อมูลออกไปยังแต่ละชั้น โดยเรียกว่า Activate Function หนึ่งในฟังก์ชันที่นำมาใช้ได้แก่ Sigmoid

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการสร้างโมเดลจำแนกประเภทข้อมูลนั้นมีความซับซ้อน โมเดลที่ได้นั้นจะเป็นค่าตัวเลขในการปรับน้ำหนัก ซึ่งผู้ใช้โดยทั่วไปไม่สามารถตีความตัวเลขเหล่านี้ได้อย่างชัดเจน จึงเหมาะกับการนำไปใช้กับงานที่ไม่จำเป็นที่จะต้องรู้ขั้นตอนหรือกฎในการจำแนกประเภท

2.3. Support Vector Machine: SVM

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เป็นตัวสร้างโมเดลจำแนกประเภทข้อมูลที่ใช้หลักคณิตศาสตร์ในกลุ่มเดียวกับกับโครงข่ายประสาทเทียม หลักในการจำแนกประเภทข้อมูลด้วย SVM นั้น ใช้แนวคิดในการลากเส้นตรงตัดผ่านข้อมูลเพื่อแยกประเภทของข้อมูลออกจากกัน ซึ่งเรียกแนวคิดนี้ว่าไฮเปอร์เพลน การใช้ SVM นั้นเริ่มต้นจากการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของพิกัดบนแผนภูมิ เพื่อให้สามารถลากเส้นผ่านในการแบ่งประเภทข้อมูลได้ จะเห็นว่าการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบพิกัดนั้นเหมาะกับข้อมูลที่เป็นชนิดตัวเลขมากกว่าชนิดที่เป็นประเภท

2.4. Naïve Bayes

การจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีการนี้ เป็นการประยุกต์ใช้พื้นฐานทางสถิติมาใช้ในการหากลุ่มหรือประเภทของข้อมูล โดยวิธีการนี้ใช้พื้นฐานจากกฎของเบย์ โดยใช้ค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลในแต่ละรายการที่นำเข้ามาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลในการจำแนกประเภทข้อมูล โดยคำนวณค่า $P(X|Y)$ ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นที่ตัวแปร X แต่ละตัวที่ให้ผลลัพธ์เป็น Y และเมื่อนำมาสร้างโมเดลจากผลในหลายรายการจะสามารถสร้างได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P(Y|X) = \frac{P(Y) \prod_{i=1}^d P(X_i|Y)}{P(X)} \quad (3)$$

2.5. K-Nearest Neighbor: KNN

วิธีการจำแนกประเภทข้อมูลวิธีการนี้แตกต่างจากอีกสี่วิธีการที่ผ่านมา โดยวิธีการนี้จะไม่มีการสร้างโมเดลขึ้นมา ก่อน แต่จะใช้นำข้อมูลในชุดข้อมูลมาเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับค่ากลุ่มเป้าหมายโดยใช้ค่าระยะห่างจากสมการคณิตศาสตร์ต่าง ๆ เช่น Euclidean distance วิธีการจำแนกประเภทข้อมูลด้วย KNN นี้มีความคล้ายกับการทำงานแบบจัดกลุ่มข้อมูล (Data Clustering) จากการใช้ระยะห่าง เนื่องจากใช้ค่าระยะห่างในการจัดประเภทของข้อมูล

2.6. Ensemble Classification

ออนซัมเบิล เป็นเทคนิคที่ใช้ในงานจำแนกประเภทข้อมูล เพื่อให้โมเดลที่ได้มีความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อมูลดีขึ้น เทคนิคนี้ใช้วิธีการนำตัวจำแนกประเภทข้อมูลมากกว่าหนึ่งชนิด[1][2] มาทำงานร่วมกันและใช้เทคนิคที่มีหลายชนิด เช่น Bagging, Boosting หรือ Random forest มาใช้ในการคัดเลือกหรือรวมคำตอบเพื่อให้ได้โมเดลที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดไปใช้งาน ผลจากการทดสอบความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อมูลระหว่างการใช้ตัวจำแนกประเภทเดียวเทียบกับการใช้เทคนิคออนซัมเบิลร่วมด้วย พบว่าผลที่ได้จากการใช้เทคนิคออนซัมเบิลนั้นให้ผลที่ดีกว่า[3] ทั้งนี้เทคนิคออนซัมเบิลเป็นเพียงแนวทางในการนำตัวจำแนกประเภทหลายชนิดมาทำงานร่วมกัน การนำเทคนิคนี้ไปเป็นพื้นฐานในการพัฒนารูปแบบของการจำแนกประเภทข้อมูลยังสามารถพบได้จากงานวิจัยในหลายชนิด เช่น เทคนิค EF-Wolf[4] หรือ M-Ensemble[5] ที่เป็นการพัฒนาเทคนิคการโหวตบนพื้นฐานของออนซัมเบิลด้วยเช่นกัน แนวคิดของการใช้ออนซัมเบิลยังถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในงานจำแนกประเภทข้อมูลเช่นการนำไปใช้ในการจัดการกับปัญหาที่ข้อมูลประเภทบางชนิดมีขนาดเล็กน้อย[6] อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าการใช้งานเทคนิคนี้ค่อนข้างมีความหลากหลายและซับซ้อน ในงานขึ้นนี้จึงเป็นการนำเสนอวิธีการที่มีความเรียบง่ายต่อการทำความเข้าใจและนำไปพัฒนาเป็นโปรแกรมที่มีความเป็นอัตโนมัติ เพื่อให้ผู้ใช้โดยทั่วไปสามารถใช้งานได้

3. โปรแกรมจำแนกประเภทข้อมูลแบบหลายโมเดล

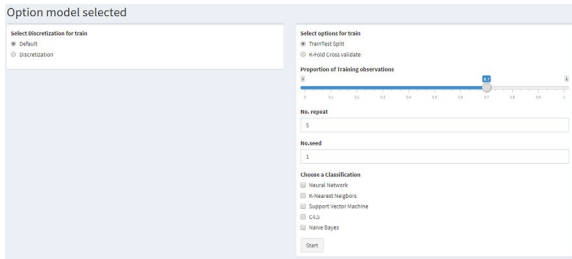
โปรแกรมจำแนกประเภทข้อมูลแบบหลายโมเดลที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานนี้ เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้ทั่วไปสามารถใช้งานได้อย่างง่าย และได้ผลลัพธ์ของความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อมูลที่ดีขึ้น เนื้อหาในส่วนนี้เป็นการอธิบายให้เห็นถึงแนวทางในการออกแบบโปรแกรม แนวทางการเลือกใช้ตัวจำแนกประเภท การเลือกใช้ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ

3.1 การเลือกใช้ตัวจำแนกประเภทข้อมูล

ตัวจำแนกประเภทข้อมูลในงานจำแนกประเภทข้อมูลมีหลายชนิด และแต่ละประเภทมีความสามารถและคุณสมบัติที่ใช้งานได้ดีกับชนิดของข้อมูลที่แตกต่างกัน เพื่อความหลากหลายในการนำไปใช้ได้กับชุดข้อมูลในหลายรูปแบบ การเลือกใช้ตัวจำแนกประเภทข้อมูลในงานนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ความหลากหลายในแต่ละประเภทของตัวจำแนก และเลือกใช้ตัวจำแนกประเภทที่เป็นที่รู้จักโดยทั่วไป เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจของผู้ใช้ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวจำแนกประเภทข้อมูล ห้ารูปแบบ ได้แก่ Neural Network, Support Vector Machine, Decision Tree, Naïve Bayes, และ K-Nearest Neighbor โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มที่ใช้สมการคณิตศาสตร์แต่มีหลักการการทำงานที่แตกต่างกันสองรูปแบบคือ Neural Network และ Support Vector Machine กลุ่มที่สองคือกลุ่มที่ใช้การสร้างโมเดลเป็นกฎการจำแนกในรูปแบบของโครงสร้างข้อมูลแบบต้นไม้คือ Decision Tree กลุ่มที่สามเป็นตัวจำแนกประเภทข้อมูลที่ใช้พื้นฐานของสถิติได้แก่ Naïve Bayes และกลุ่มสุดท้ายจะเป็นรูปแบบที่แตกต่างจากอีกสี่รูปแบบข้างต้นคือการจำแนกประเภทโดยไม่มีการสร้างโมเดลไว้ล่วงหน้า แต่ใช้การวัดระยะห่าง ซึ่งคล้ายกับวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูล (Data Clustering)

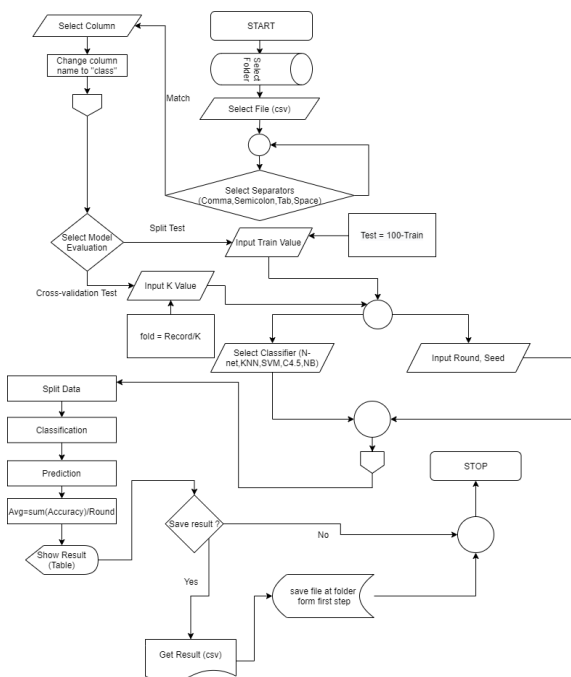
3.2 การพัฒนาโปรแกรมจำแนกประเภทข้อมูล

โปรแกรมจำแนกประเภทข้อมูลแบบหลายโมเดลนี้มีวัตถุประสงค์ในการจัดทำอยู่สองข้อ คือการคัดเลือกโมเดลที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลแต่ละชุดที่สุดโดยพิจารณาจากค่าความถูกต้อง (Accuracy) และความง่ายของผู้ใช้งานที่สามารถนำไปใช้ในรูปแบบ GUI ที่เรียบง่ายดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพหน้าจอการทำงานของโปรแกรมฯ

สำหรับการทำงานของตัวโปรแกรมนั้นเริ่มจากการนำเอาวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลทั้ง ห้ารูปแบบคือ Neural Network, Support Vector Machine, Decision Tree (C4.5), Naïve Bayes, และ K-Nearest Neighbor มาทำงานร่วมกัน เพื่อทำการสร้างโมเดลสำหรับชุดข้อมูลที่แตกต่างกันในหลายรูปแบบ โดยจะมีการทำงานเป็นรอบ ในแต่ละรอบจะมีการสร้างโมเดลตัดสินใจขึ้นมาจากตัวจำแนกประเภททั้งห้ารูปแบบ เป็นจำนวนสิบรอบเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของความถูกต้องของข้อมูลสูงที่สุดและมีความผันผวนต่ำที่สุด ดังนั้นในแต่ละการเทรนชุดข้อมูลของโปรแกรมนี้อาจจะเป็นการคัดเลือกโมเดลที่ดีที่สุดโมเดลเดียวจาก 50 โมเดลเพื่อนำไปใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูลสำหรับชุดข้อมูลนั้น ๆ ดังที่ได้แสดงขั้นตอนในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมฯ

3.3 การเลือกชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ

ในการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานนี้เลือกใช้ฐานข้อมูลจากฐานข้อมูลเปิดให้ใช้ทั่วไปมาใช้ในการทดสอบโดยชุดข้อมูลที่เลือกมานั้นเป็นแบบไบนารีคลาสและแบบมัลติคลาสสูงสุดที่ 4 คลาส มีจำนวนข้อมูลอยู่ในช่วง 150 ถึง 3,168 และจำนวนคุณสมบัติตั้งแต่ 4 ถึง 20 โดยที่คุณสมบัติของชุดข้อมูลในแต่ละชุดจะประกอบไปด้วยชนิดตัวเลขแบบต่อเนื่อง (Continuous) และชนิดประเภท (Nominal) ซึ่งแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของชุดข้อมูลที่ใช้

ชื่อชุดข้อมูล	จำนวนข้อมูล	จำนวนคุณสมบัติ	จำนวนประเภท
Iris	150	4 (0/4)	3
balance	625	4 (0/4)	3
car evaluation	1728	6 (0/6)	4
contraceptive method choice	1473	9 (7/2)	3
Indian liver patient	583	10 (1/9)	2
Tic-Tac-Toe Endgame	958	9 (9/0)	2
Voice Gender	3168	20 (0/20)	2
Wine Type	178	13 (0/13)	3

หมายเหตุ จำนวนคุณสมบัติ (ชนิดประเภท/ชนิดตัวเลข)

4. การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

การทดสอบผลการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นทดสอบด้วยชุดข้อมูลทั้งหมด แปรชุด ตามตารางที่ 1 เพื่อหาผลลัพธ์โดยใช้ค่าความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อมูลเป็นตัววัดประสิทธิภาพ ผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นซึ่งได้ผลการทดสอบตามรายละเอียดในหัวข้อย่อต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาค่าความถูกต้องในการจำแนกประเภทข้อมูลได้ผลลัพธ์เป็นไปตามตารางที่ 2 โดยค่าตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ และชุดตัวเลขที่มีการทำเครื่องหมายขีดเส้นใต้ไว้ เป็นโมเดลที่มีค่าเฉลี่ยในการจำแนกประเภทข้อมูลสูงที่สุดในแต่ละชุด

ข้อมูล ซึ่งเป็นโมเดลที่ตัวโปรแกรมเลือกนำไปใช้ ในกรณีที่มูลค่าที่สูงที่สุดเท่ากันโปรแกรมจะให้ผู้ใช้เป็นผู้เลือกโมเดลที่ต้องการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความถูกต้อง (Accuracy)

ชื่อชุดข้อมูล	NN	C4.5	NB	KNN	SVM
Iris	<u>98.0</u>	92.3	94.5	93.3	96.7
Balance	<u>91.7</u>	67.7	<u>91.7</u>	75.6	79.3
Car Evaluation	<u>94.8</u>	91.4	75.2	57.2	93.3
Contraceptive Method Choice	58.3	<u>69.3</u>	59.5	41.7	53.8
Indian Liver Patient	61.7	<u>65.5</u>	62.0	60.5	61.2
Tic-Tac-Toe Endgame	<u>98.3</u>	93.4	65.3	93.1	<u>98.3</u>
Voice Gender	97.3	68.6	<u>97.9</u>	97.3	93.3
Wine Type	93.8	94.4	<u>96.1</u>	70.8	96.0

4.2 อภิปรายผล

การทดสอบประสิทธิภาพจากโปรแกรมที่แสดงในตารางที่ 2 นั้น แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในการเลือกใช้ตัวจำแนกประเภทที่แตกต่างกันในแต่ละชุดข้อมูล ในบางชุดข้อมูลที่มีความซับซ้อนไม่มากมีแนวโน้มที่ทุกตัวจำแนกจะให้ผลลัพธ์ที่ดีใกล้เคียงกัน เช่นชุดข้อมูล Iris และในบางชุดข้อมูลจะมีความแตกต่างกันมากในการเลือกตัวจำแนกประเภทข้อมูลตัวอย่างเช่นชุดข้อมูล Voice Gender ซึ่งจากการทดสอบพบว่าตัวจำแนกประเภทข้อมูลด้วย Decision Tree(C4.5) นั้น มีประสิทธิภาพที่แตกต่างจากตัวจำแนกประเภทอื่นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับ Naïve Bayes ที่ให้ค่าความถูกต้องดีที่สุดจะมีความแตกต่างกันถึง 29.3 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เมื่อสังเกตจากคุณลักษณะของชุดข้อมูล จะพบว่าชุดข้อมูล Voice Gender มีคุณสมบัติของแต่ละตัวแปรที่มากที่สุดคือ 20 ตัวแปร และทั้งหมดเป็นค่าตัวแปรชนิดตัวเลขแบบต่อเนื่องทั้งหมด ซึ่งการสร้างกฎในตัวจำแนกประเภทนี้อาจทำงานได้ไม่ทันนัก โดยภาพรวมจะเห็นว่าตัวจำแนกแบบ Neural Network ค่อนข้างมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยสามารถใช้งานโมเดลนี้ได้ถึงสี่จากแปดชุดข้อมูล ในขณะที่โมเดลที่ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีนักคือโมเดลที่ได้จาก K-Nearest Neighbor ที่ไม่ได้รับการเลือกใช้เลย อย่างไรก็ตาม

เห็นว่าการทดสอบนี้ในแต่ละชุดข้อมูล จะมีความเหมาะสมกับตัวจำแนกประเภทที่แตกต่างกัน และโปรแกรมนี้ช่วยในการคัดเลือกและจับคู่โมเดลที่มีความเหมาะสมกันให้กับผู้ใช้แบบอัตโนมัติ เพื่อให้ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเข้าถึงและใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น

5. สรุป

โปรแกรมจำแนกประเภทข้อมูลแบบหลายโมเดลที่นำเสนอนี้เป็นการสร้างความสะดวกให้แก่ผู้ใช้โดยคัดเลือกตัวจำแนกประเภทที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลให้เองโดยอัตโนมัติ ซึ่งจากการทดสอบพบว่าโปรแกรมได้เลือกโมเดลที่มีค่าความถูกต้องที่ดีที่สุดให้ผู้ใช้ และเป็นการเลือกใช้จากตัวจำแนกประเภทที่แตกต่างกันโดยอัตโนมัติ อย่างไรก็ตาม ตัวจำแนกประเภทข้อมูลทั้งห้าชนิดนี้อาจจะยังไม่ครอบคลุมการใช้กับชุดข้อมูลทั้งหมด แนวทางในการพัฒนาต่อนั้น อาจสามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มตัวจำแนกประเภทข้อมูลให้กับตัวโปรแกรมเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติที่เหมาะสมกับแต่ละชุดข้อมูล

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bramer M. (2013) Ensemble Classification. In: Principles of Data Mining. Undergraduate Topics in Computer Science. Springer, London.
- [2] Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). Data mining: Concepts and techniques, third edition (3rd ed.). Morgan Kaufmann Publishers.
- [3] R. I. Batygin and O. K. Alsova, "Software system for different types of data classification based on the ensemble algorithms," 2016 13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), Novosibirsk, Russia, 2016, pp. 506-509
- [4] D. Jitkongchuen and W. Paireekreng, "The improved ensemble classification technique using Wolf algorithm," 2017 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Phuket, Thailand, 2017, pp.1-5

- [5] A. Rojarath, W. Songpan and C. Pong-inwong, "Improved ensemble learning for classification techniques based on majority voting," 2016 7th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS), Beijing, 2016, pp. 107-110
- [6] A. Mahdavi-Shahri, J. Karimian, A. Javadi and M. Houshmand, "Multi-Label Classification of Small Samples Using an Ensemble Technique," Electrical Engineering (ICEE), Iranian Conference on, Mashhad, Iran, 2018, pp. 1708-1713
- [7] Dua, D. and Graff, C. (2019). UCI Machine Learning Repository [<http://archive.ics.uci.edu/ml>]. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science
- [8] Kaggle Inc (2019), Kaggle Online Dataset, URL: <https://www.kaggle.com>, access on 17/12/2020
- [9] Woyera Inc (2020), API Spread Sheets Dataset, URL: <https://www.apispreadsheets.com/datasets>
- [10] Ethem Alpaydin. (2010) Introduction to Machine Learning (2nd. ed.). The MIT Press.

