



วารสารวิจัย

Research Journal



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Vol. 15 Issue. 1 January-June 2016

ISSN 1686-8420

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2559)

Science and Technology

RJ-RMUTT



วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 259

วัตถุประสงค์

วารสารวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (RJ-RMUTT) เป็นวารสารที่เผยแพร่องค์ความรู้ และประสบการณ์ทางด้านการวิชาการและวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีจุดหมายและวัตถุประสงค์ของวารสารวิจัยดังนี้

1. เพื่อเผยแพร่แนวความคิด งานวิจัย การพัฒนาและประเด็นสำคัญในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อกระตุ้นให้เกิดการอภิปรายทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขาวิชา ซึ่งเป็นทั้งงานวิจัยพื้นฐานและงานวิจัยประยุกต์

ทั้งนี้วารสารวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีอยู่ในฐานข้อมูลดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai Journal Citation Index Centre, TCI Centre) โดยผ่านการรับรองคุณภาพจาก TCI และจะมุ่งเน้นพัฒนาคุณภาพเพื่อเข้าสู่ฐานข้อมูลสากลต่อไป

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ	ปิ่นปฐมรัฐ	อธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมหมาย	ผิวสอาด	รองอธิการบดี
นายพงศ์พิชญ์	ถ้วนภูษา	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริแซ	พงษ์สวัสดิ์	รองอธิการบดี
Prof.Dr. Sean	Danaher	Northumbria University (UK)
Prof.Dr. Hee Young	Lee	Yeungnam University (Korea)
Prof.Dr.kiyoshi	Yoshikawa	Kyoto University (Japan)
Prof.Dr. Hiroyuki	Hamada	Kyoto Institute of Technology (Japan)
Prof. Dr. Seiichi	Kawahara	Nagaoka University of Technology (Japan)

บรรณาธิการบริหาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วารุณี	อริยวิริยะนันท์	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
-------------------------------	-----------------	--------------------------------

บรรณาธิการวิชาการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรี	ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
------------------------------	-------------	------------------------------------

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร. ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร. พิเชษฐ	ลัมสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์	ชื่นแขก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร. มนัส	ชัยจันทร์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร. กฤษณ์ชนม์	ภูกิตติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวกร	อ่างทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมร	ไชยสตัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นริศร์	บาลทิพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายนิติ	วิทยาวิโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

จัดทำโดย

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เลขที่ 39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ 0 2549 4681 โทรสาร 0 2577 5038 และ 0 2549 4680
Website: <http://www.ird.rmutt.ac.th>

คณะผู้จัดทำ

นางสาวกชกร	ดาราพาณิชย์	สถาบันวิจัยและพัฒนา
นางสาวสร้อยญา	จันทร์แดง	สถาบันวิจัยและพัฒนา
นางสาวฉัตรวดี	สายไยทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา
นางสาวณัฐวรรณ	ธรรมวัชรกร	สถาบันวิจัยและพัฒนา
นางสาวพัชรี	แซ่ฉั่ว	สถาบันวิจัยและพัฒนา

ออกแบบปก

นางสาวเบญสิริยา	ปานบุญเดช	สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
นางสาวปณณานันท์	พันธ์แก่น	สถาบันวิจัยและพัฒนา

จัดทำรูปเล่ม

นางสาวสร้อยญา	จันทร์แดง	สถาบันวิจัยและพัฒนา
---------------	-----------	---------------------

คำนำ

วารสารวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (RJ-RMUTT) เป็นวารสารที่ส่งเสริมงานด้านวิจัยและดำเนินงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีซึ่งอยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai Journal Citation Index, TCI Centre) รับผิดชอบบทความวิจัย บทความวิชาการ เปิดรับบทความทั้งเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยครอบคลุมในสาขาวิชาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและวิชาการ รวมถึงแนวคิดในการพัฒนางานวิจัย เพื่อกระตุ้นให้เกิดเป็นแนวทางการอภิปรายทุกสาขาซึ่งเป็นทั้งงานวิจัยพื้นฐาน และวิจัยประยุกต์ ทั้งภายใน และภายนอกมหาวิทยาลัย

สำหรับวารสารฉบับนี้ ได้รวบรวมบทความทางวิชาการและบทความจากผลการวิจัยทั้งสิ้น จำนวน 9 บทความ ประกอบด้วยบทความจากผลงานวิจัยจากหลากหลายสาขา ซึ่งได้ผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) ทั้งภายนอกและภายในมหาวิทยาลัย กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าทุกบทความจะเป็นประโยชน์และสามารถช่วยพัฒนางานวิจัยแก่ผู้ที่สนใจให้ก้าวหน้าต่อไปได้

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

การจำลองเชิงคอมพิวเตอร์สำหรับการรักษามะเร็งตับโดยใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟผ่านทางท่อนำคลื่น	1
Computer Simulation for the Treatment of Liver Cancer by Using Microwave Coaxial Antenna จิตรภาณุ กุลทอง, สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย, สุชัย พงษ์พากเพียร, พรทิพย์ แก่งอินทร์ และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	
การหุ้มอนุภาคนาโนแม่เหล็กด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยใช้การระเหยตัวทำละลายแบบง่ายในระบบอิมัลชัน	13
Encapsulation of Magnetic Nanoparticles with Polymethyl methacrylate using a Simple Emulsion Solvent Evaporation สาวิตรี เสือเอ็ง, ศิริวรรณ ท้าวจตุรัส, นพวรรณ เหมือนบาง, วรายุทธ สะโคมแสง, ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์ และ อมร ไชยสัตย์	
การเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกกลิ่นของจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	21
Efficiency Enhancement of Electronic Nose Classification Using Artificial Neural Network ชนะ จันทศรี และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร	
การจดจำวัตถุจากประสาทสัมผัสทางกายโดยใช้ภาพถ่ายระยะประชิดความละเอียดต่ำร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและ z-score	27
Tactile Object recognition using low resolution image from close up image and Principle Component Analysis and z-score สมชาย เปาะทองคำ และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร	
การศึกษาและการใช้ประโยชน์การแปลงเวฟเลตสำหรับการบีบอัดสัญญาณเสียง	32
Studying and Exploiting Wavelet Transform for Speech Compression สุภาวณิ กรสิงห์, จักรี ศรีนนท์ฉัตร	
การพัฒนาบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ของคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล	42
Development of Maintenance Management System Based on Web Application of Faculty of Pharmacy, Mahidol University โสรจ ทัศนเจริญ, ชาญเดช แสงงาม, สิริมา วูตเด่น, อรพรรณ โขมะสรานนท์ และ นันทวรรณ จินากุล	

สารบัญ (ต่อ)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนดาวเทียมกับฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน	51
The relationship between satellite rainfall and the gauge rainfall in Nan River Basin สุบรรร ผลกะสิ	
ความหลากหลายชนิดและการแพร่กระจายของปลาในวงศ์ Cyprinidae บริเวณพื้นที่ต้นน้ำตาปี	57
Diversity and Distribution of Cyprinid Fishes in Tapi Upstream System ธีรภูมิ เลิศสุทธิขวาล และ จันทนา ขวัญใจ	
A Study on Speckle Noise Reduction and Feature Extraction in Ultrasonic Images	64
Napa Sae-Bae and Somkait Udomhunsakul	

การจำลองเชิงคอมพิวเตอร์สำหรับการรักษามะเร็งตับโดยใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟผ่านทางท่อนำคลื่น

Computer Simulation for the Treatment of Liver Cancer by Using Microwave Coaxial Antenna

จิตรภาณุ กุลทอง, สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย*, สุชัย พงษ์ปากเพียร, พรทิพย์ แก่งอินทร์ และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

99 หมู่ 18 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

*E-mail: vsomsak@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

Abstract

ในปัจจุบันการรักษามะเร็งตับมีอยู่หลากหลายวิธี เช่น การผ่าตัด หรือการใช้เคมีบำบัด แต่บ่อยครั้งที่การรักษาด้วยวิธีดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อผู้รักษาหรือยังมีข้อจำกัดในการรักษาบางประการ การใช้พลังงานความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟในการรักษามะเร็ง (Microwave ablation : MWA) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการรักษามะเร็งตับ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรักษาโรคมะเร็งตับโดยใช้พลังงานความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟผ่านทางท่อนำคลื่นไมโครเวฟ (Microwave antenna) ด้วยการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ อิทธิพลของค่ากำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Microwave power input) ระยะเวลาในการให้ความร้อน และระยะห่างจากท่อนำคลื่นที่ส่งผลต่อการกระจายตัวเชิงอุณหภูมิภายในเนื้อเยื่อตับจะถูกศึกษา โดยในงานวิจัยนี้จะเน้นศึกษาผลการกระจายตัวเชิงอุณหภูมิที่ได้จากการใช้แบบจำลองไบโอฮีท (Bioheat model) และแบบจำลองวัสดุพรุน (Porous media model) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับความถูกต้องกับผลการทดลองจริง การควบคุมของสมการโมเมนตัมในสถานะไม่คงตัว (แบบจำลองบริงค์แมน (Brinkman model)) สมการถ่ายเทความร้อนในสถานะไม่คงตัวและสมการการแพร่กระจายตัวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกแก้ปัญหโดยใช้วิธีแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method : FEM) แบบจำลองแบบสมมาตรรอบแกนสองมิติจะถูกพิจารณาในการศึกษา ผลจากการศึกษาพบว่าผลการกระจายตัวเชิงอุณหภูมิที่ได้จากการใช้แบบจำลองวัสดุพรุนจะใกล้เคียงกับผลการทดลองจริงมากกว่าการใช้แบบจำลองไบโอฮีท โดยแบบจำลองเชิงตัวเลขในการศึกษานี้จะสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาการรักษาโรคมะเร็งตับโดยใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

คำสำคัญ : ไมโครเวฟ มะเร็งตับ การกระจายตัวเชิงอุณหภูมิ

The current treatment for liver cancer has many ways, such as surgery or use of chemotherapy but often the treatments may affect to the patient or treatment is still limited in some respects. Microwave ablation (MWA) is one promising alternative for liver cancer treatment. The objective of this research is study the treatment of liver cancer using microwave heat energy by microwave antenna with using a computer program simulation. The influences of microwave power input, heating time and distance from the microwave antenna on temperature distribution within the liver. This research focuses on the effects of temperature distribution results calculated from a porous media model compared with the results calculated from a bioheat model as well as the experimental results in order to show the validity of the numerical results, nonlinear transient momentum equations (Brinkman model) and transient heat transfer equation and electromagnetic wave propagation equation are solved using the axisymmetric finite element method (FEM). An axially symmetric model is considered in this study. The results are the temperature distribution result of the porous media model is in agreement with experimental data better than bioheat model. Numerical model in this study can be used as basis for the development of liver cancer treatment by using the heat energy from the microwave.

Keywords : Microwave, Liver cancer, Temperature distribution

บทนำ

โรคมะเร็งตับเป็นโรคที่พบได้ในอันดับต้น ๆ ในประเทศไทย และหลายประเทศ สาเหตุที่แท้จริงยังเป็นที่ศึกษาวิจัย คาดว่าสาเหตุที่กระตุ้นการเกิดโรคมะเร็งตับที่สำคัญได้แก่ การอักเสบของตับเรื้อรังจากเชื้อไวรัสตับอักเสบบีและซี ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงของการเกิดมะเร็งตับมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ การรักษาโรคมะเร็งตับมีหลายวิธี เช่น การผ่าตัด[1] การปลูกถ่ายตับ การใช้เคมีบำบัด[2] หรือการฉีดเอทานอลเข้าทำลายก้อนมะเร็ง ซึ่งวิธีที่ได้กล่าวมาอาจมีผลข้างเคียงกับคนไข้ตามมาทำให้มีการคิดค้นการรักษาวิธีใหม่ ๆ ขึ้นมา วิธีการรักษาที่ได้รับความสนใจของแพทย์ทั่วโลกคือ การใช้คลื่นไมโครเวฟในการรักษาโดยจะเสียบท่อนำคลื่นเข้าไปโดยตรงกับเนื้อเยื่อส่วนที่เป็นมะเร็ง ซึ่งในปัจจุบันวิธีการรักษาวิธีนี้มีนักวิจัยได้ศึกษามาแล้วพอสมควร ทั้งแบบจำลองไปโออีที แบบจำลองวัสดุพูน และนำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยท่านอื่น ๆ ซึ่งงานวิจัยนี้จะแตกต่างจากบทความวิจัยที่อ้างอิงก็คือจะทำการศึกษาร่างแบบจำลองทั้งในแบบจำลองไปโออีทีและแบบจำลองที่เป็นเนื้อเยื่อวัสดุพูน เพื่อศึกษาและหาข้อพิสูจน์ว่าแบบจำลองชนิดใดที่สามารถทำนายพฤติกรรมของการให้ความร้อนในการรักษามะเร็งตับได้ใกล้เคียงกว่ากัน โดยจะนำไปวิเคราะห์เทียบผลของแบบจำลองกับการทดลองภายในห้องทดลอง ซึ่งในงานวิจัยที่อ้างอิงนั้นไม่ได้ทำการทดลอง[6] เพื่อประโยชน์ในทาง การแพทย์ในด้านของการทำนายลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเนื้อเยื่อว่าควรจะใช้ตัวแปรในการรักษาอย่างไรบ้าง เพื่อทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ป่วยน้อยที่สุด

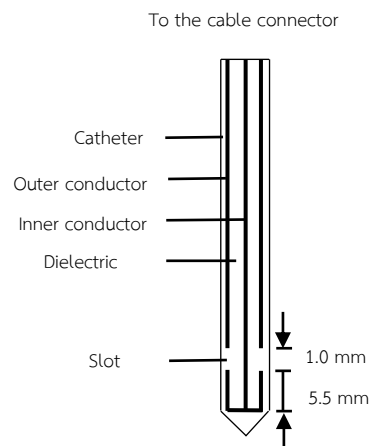
ในงานบทความนี้จะเน้นงานวิจัยที่ทำการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการรักษามะเร็งตับที่แตกต่างกันคือ แบบจำลองแบบไปโออีที [6] และแบบจำลองที่เป็นวัสดุพูน [8] แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของการทดลองจริงที่ใช้ตัวแปรในการทดลองที่เป็นงานวิจัยภายในห้องทดลอง RCME การใช้ประโยชน์จากคลื่นไมโครเวฟ ที่จำนวนพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าไป และที่เวลาเท่ากัน โดยในงานวิจัยนี้จะสร้างแบบจำลองใน 2 มิติ แบบสมมาตรรอบแกน [10] ภายใต้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Comsol multiphysics 3.4

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ท่อนำคลื่น

ในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองท่อนำคลื่นชนิดช่องออกคลื่นช่องเดียว (coaxial single slot antenna) ซึ่งท่อนำคลื่นภายในจะประกอบด้วยช่องออกคลื่น (slot) รูปร่างวงแหวนขนาด 1 มิลลิเมตร อยู่ห่างจากตัวนำภายนอก (outer conductor) 5.5

มิลลิเมตร จากทางด้านหัวของท่อนำคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 1 ด้านในจะประกอบด้วยตัวไดอิเล็กตริก (dielectric) ตัวนำภายใน (inner conductor) และภายนอก (outer conductor) และด้านนอกของท่อนำคลื่นจะหุ้มด้วยปลอก (catheter) ที่ทำ จากโพลีเตตระฟลูออโรเอทีลีน (polytetrafluoroethylene; PTFE) และท่อนำคลื่นจะทำงานที่ความถี่คลื่นไมโครเวฟ คือ 2.45 GHz



รูปที่ 1 ท่อนำคลื่นชนิดช่องออกคลื่นช่องเดียว [6]

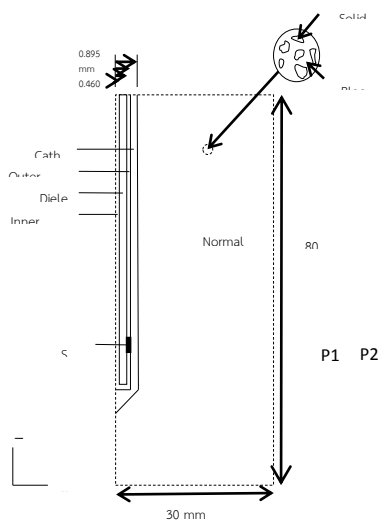
ตารางที่ 1 ขนาดของท่อนำคลื่น [6]

Materials	Dimensions (mm)
Inner conductor	0.135 (radial)
Dielectric	0.335 (radial)
Outer conductor	0.460 (radial)
Catheter	0.895 (radial)
Slot	1.000 (wide)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางไดอิเล็กตริกของท่อนำคลื่น [6]

Properties	Relative permittivity ϵ_r	Electric conductivity σ (S/m)	Relative permeability μ_r
Dielectric	2.03	0	1
Catheter	2.1	0	1
Slot	1	0	1

แบบจำลองเนื้อเยื่อตับ



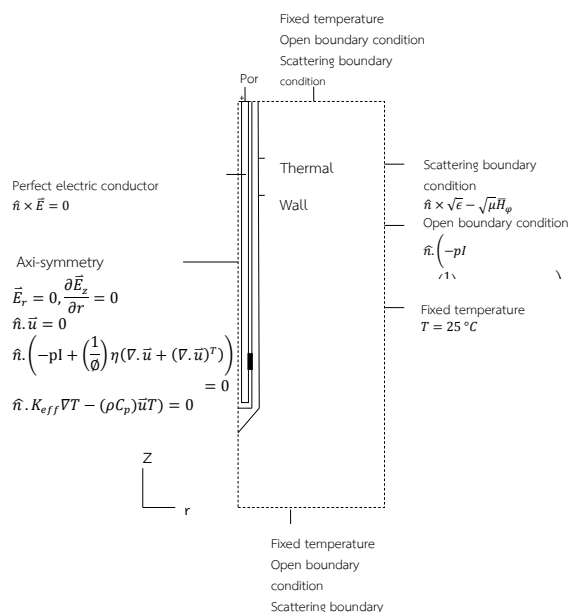
รูปที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สมมาตรรอบแกน P1(4.5mm, 16mm), P2(9.5mm, 16mm) [7]

ในแบบจำลองฉบับนี้จะพิจารณาให้เนื้อเยื่อตับเป็นทรงกระบอกเป็นแบบจำลองที่มีลักษณะเป็นวัสดุพหุ และ มีลักษณะเป็นวัสดุชีวภาพหรือแบบจำลองไบโอฮีท ซึ่งแบบจำลองทั้งสองแบบนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง แต่เมื่อนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ในโปรแกรมจะพิจารณาให้แบบจำลองเป็นแบบสมมาตรรอบแกนใน 2 มิติ และขนาดของเนื้อเยื่อตับจะมีความสูงเท่ากับ 80 มิลลิเมตร และมีความกว้างเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ส่วนเนื้อเยื่อมะเร็งที่เป็นทรงกลมจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และการเสียบท่อนำคลื่นเข้าไปในเนื้อเยื่อนั้นจะเสียบเข้าไปลึกโดยประมาณ 70.5 มิลลิเมตร โดยวัดจากด้านบนเนื้อเยื่อไปถึงปลายท่อนำคลื่น โดยแบบจำลองจะแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 3 ค่าคุณสมบัติทางความร้อนและทางไดอิเล็กตริกของเนื้อเยื่อตับ เลือด [7]

Properties	Thermal conductivity K (W/m °C)	Density ρ (kg/m ³)	Specific heat capacity C_p (J/kg °C)	Relative permittivity ϵ_r	Electric conductivity σ (S/m)
Normal tissue	0.497	1030	3600	43.00	1.69
Blood	0.45	1058	3960	58.30	2.54

ทฤษฎีและขอบเขตของแบบจำลอง



รูปที่ 3 เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง [8]

การวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แบบจำลองนี้พัฒนาขึ้นเพื่อทำนายการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและอุณหภูมิ ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีผลทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อเยื่อนั้นเปลี่ยนไป โดยจะกำหนดสมมติฐานเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1) ปรากฏการณ์พิจารณาแบบสมมาตรรอบแกน (Axisymmetric)

2) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ภายในท่อนำคลื่นไมโครเวฟจะพิจารณาในโหมดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวาง (Transverse Electromagnetic Wave; TEM) ซึ่งจะไม่มีการมีสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กในทิศของการแพร่กระจายของคลื่น

3) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่เข้าสู่เนื้อเยื่อตับจะพิจารณาในโหมดคลื่นที่มีแนวสนามแม่เหล็กวางตามขวาง (Transverse Magnetic Wave; TM) คือไม่มีสนามแม่เหล็กในทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นมีเฉพาะสนามไฟฟ้าในทิศทางนั้น

4) ผนังของท่อนำคลื่นไมโครเวฟกำหนดให้เป็นตัวนำสมบูรณ์ (Perfect electric conductor)

5) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ฉีกรอยต่อระหว่างท่อนำคลื่นไมโครเวฟ กับเนื้อเยื่อตับมีความต่อเนื่องกัน

6) ค่าสมบัติไดอิเล็กตริกของท่อนำคลื่นไมโครเวฟเป็นค่าคงที่

โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ภายในท่อนำคลื่นเราจะสมการแมกซ์เวลล์ในการวิเคราะห์ จะใช้ท่อนำคลื่นที่มีช่องออกคลื่นช่องเดียว [9]

สนามไฟฟ้า ($\vec{E}$)

$$\vec{E} = e_r \frac{C}{r} e^{j(\omega t - kz)} \quad (1)$$

สนามแม่เหล็ก ($\vec{H}$)

$$\vec{H} = e_\phi \frac{C}{rZ} e^{j(\omega t - kz)} \quad (2)$$

โดย $C = \sqrt{\frac{ZP}{\pi \ln(r_{outer}/r_{inner})}}$, โดยที่ Z คือ wave

Impedance(Ω), P คือ พลังงานไมโครเวฟที่ใส่เข้าไป(W), r_{inner} คือ รัศมีไดอิเล็กตริกภายใน (m), r_{outer} คือ รัศมีไดอิเล็กตริกภายนอก (m), $\omega = 2\pi f$ คือ ความถี่เชิงมุม (rad/s), f คือความถี่ Hz, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ คือ ค่าคงที่ของการแพร่ (m^{-1}), และ λ คือความยาวคลื่น (m)

ภายในเนื้อเยื่อก็คจะมีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เข้าไปทำให้เนื้อเยื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานกลายเป็นพลังงานความร้อน

$$\nabla \times \left(\left(\epsilon_r - \frac{j\sigma}{\omega \epsilon_0} \right)^{-1} \nabla \times \vec{H}_\phi \right) - \mu_r k_0^2 \vec{H}_\phi = 0 \quad (3)$$

โดย $\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12}$ F/m คือ ค่าการดูดซับสนามไฟฟ้าในสุญญากาศ, ϵ_r คือ ค่าการดูดซับสนามไฟฟ้าสัมพัทธ์, σ คือ ค่าการนำไฟฟ้า (S/m), μ_r คือ ค่าการซึมผ่านสัมพัทธ์ และ k_0 คือ free space wave number

เงื่อนไขขอบเขตการแพร่คลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ขอบเขตของการแพร่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ท่อนำคลื่นจะต่อจากแหล่งกำเนิดคลื่นแล้วต่อเข้ากับเนื้อเยื่อตับและให้คลื่นแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อตับ โดยจะวิเคราะห์ให้เป็นแบบจำลองสมมาตรรอบแกน ที่จุดกึ่งกลางของแบบจำลองจะให้ป็นระยะ $r=0$

$$\vec{E}_r = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \vec{E}_z}{\partial r} = 0 \quad (5)$$

ขอบเขตแรกคือ ขอบเขตการกระเจิงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งใช้วิเคราะห์ที่ขอบของเนื้อเยื่อตับภายนอก [10]

$$\hat{n} \times \sqrt{\epsilon} \vec{E} - \sqrt{\mu} \vec{H}_\phi = -2\sqrt{\mu} \vec{H}_{\phi 0} \quad (6)$$

โดย $\vec{H}_{\phi 0} = C/Zr$ คือ การกระตุ่นของสนามแม่เหล็ก

และขอบเขตของผนังของท่อนำคลื่นกำหนดให้เป็น ตัวนำไฟฟ้าแบบสมบูรณ์

$$\hat{n} \times \vec{E} = 0 \quad (7)$$

การวิเคราะห์การไหลของเลือดและการถ่ายเทความร้อน

ในแบบจำลองนี้จะเป็นแบบจำลองที่เป็นวัสดุพหุนเมื่อมีการให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟจะมีการถ่ายเทความร้อนทั้งในเนื้อเยื่อและเลือดผ่านการคำนวณภายใต้สมการพลังงาน [8] เมื่อปล่อยคลื่นไมโครเวฟเข้าสู่เนื้อเยื่อ เนื้อเยื่อก็คจะมีการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ และเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนภายใน ทำให้มีการเคลื่อนที่ของเลือด เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจึงตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

1) ปรากฏการณ์พิจารณาแบบสมมาตรรอบแกน (Axisymmetric)

2) กำหนดให้เนื้อเยื่อตับมีคุณสมบัติเป็นวัสดุพหุน มีคุณสมบัติคงที่สม่ำเสมอ และให้เลือดเป็นของเหลวอิมพัลส์

3) การไหลของเลือดกำหนดให้เป็นแบบอัดตัวไม่ได้ และแบบนิวโตเนียน [11]

4) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสารภายในเนื้อเยื่อตับ ไม่มีการถ่ายเทมวลสารออกจากเนื้อเยื่อตับ ไม่มีการถ่ายเทพลังงานออกจากเนื้อเยื่อตับและไม่มีการเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นภายในเนื้อเยื่อตับ

5) องค์ประกอบที่ผิวรอยต่อระหว่างท่อนำคลื่นไมโครเวฟกับเนื้อเยื่อตับมีความต่อเนื่องกัน

6) คุณสมบัติทางความร้อนของเนื้อเยื่อให้เป็นค่าคงที่

สมการไปโอฮีท

สมการไปโอฮีทนี้เป็นสมการของ Pennes [12] ใช้วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อเยื่อ โดยจะขึ้นอยู่กับเวลา ซึ่งแสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดภายในเนื้อเยื่อตับได้ตั้งสมการต่อไปนี้

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k_{th} \nabla T) + \rho_b C_b \omega_b (T_b - T) + Q_{met} + Q_{ext} \quad (8)$$

เทอมทางซ้ายมือสมการที่ (8) คือทรานเซียนเทอม คือเทอมที่ขึ้นอยู่กับเวลา ส่วนเทอมที่หนึ่ง สอง สาม สี่ ทางด้านขวามือของสมการที่ (12) คือเทอมของการนำความร้อน การกระจายตัวของเลือด ความร้อนจากการสันดาปภายใน และความร้อนที่ได้จากภายนอก(ในที่นี้คือความร้อนที่ได้จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า) ตามลำดับ

สมการโมเมนตัม

สมการโมเมนตัมนี้เป็นสมการ The Brinkman model [8] ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของเลือดในเนื้อเยื่อวัสดุพูนดังต่อไปนี้

สมการความต่อเนื่อง [8]

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (9)$$

สมการโมเมนตัม [8]

$$\frac{1}{\phi} \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) + \frac{1}{\phi^2} \left(u \frac{\partial u}{\partial r} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho_b} \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{v}{\phi} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \frac{uv}{k} \quad (10a)$$

$$\frac{1}{\phi} \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right) + \frac{1}{\phi^2} \left(u \frac{\partial w}{\partial r} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho_b} \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right) + \frac{v}{\phi} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - \frac{wv}{k} + g\beta(T - T_\infty) \quad (10b)$$

โดยที่ u และ w คือความเร็วเลือด (m/s), ϕ คือ ค่าความพูน, $v = 3.78 \times 10^{-7} m^2/s$ คือ ความหนืดจลน์, $\beta = 1 \times 10^{-4} 1/k$ คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน และ k คือ permeability m^2 สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\kappa = \frac{\phi^3 d_p^2}{175(1-\phi)^2} \quad (11)$$

โดย $d_p = 1 \times 10^{-4} m^2$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์เนื้อเยื่อ

สมการพลังงาน

ในเนื้อเยื่อวัสดุพูนนี้จะเป็นการกระจายตัวเชิงอุณหภูมิที่ขึ้นอยู่กับเวลาโดยจะวิเคราะห์ได้จากสมการพลังงานของสถานะเนื้อเยื่อและสถานะเลือด ซึ่งเป็นสมการที่สมดุลทางความร้อน

ที่ซึ่งมีพลังงานไมโครเวฟที่ดูดซับและพลังงานภายในนั้นก็คือพลังงานที่ได้จากการสันดาปภายในของเนื้อเยื่อ โดยจะแสดงได้ดังนี้

$$(\rho C_p)_{eff} \frac{\partial T_t}{\partial t} + (\rho C_p)_b \left(u \frac{\partial T}{\partial r} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = K_{eff} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q_{met} + Q_{ext} \quad (12)$$

โดย

$$(\rho C_p)_{eff} = (1 - \phi)(\rho C_p)_s + \phi(\rho C_p)_b \quad (13)$$

$$K_{eff} = (1 - \phi)K_s + \phi K_b \quad (14)$$

ความร้อนที่ได้จากการเมตาบอลิซึมจะให้ค่าเท่ากับ $Q_{met} = 33,800 W/m^3$ และส่วนความร้อนที่ได้จากภายนอก Q_{ext} เป็นความร้อนที่ได้จากการกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและจะสมมติให้ความร้อนนี้มาจากส่วนของแข็ง ซึ่งจะแสดงได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_{ext} = \frac{\sigma |\vec{E}|^2}{2} \quad (15)$$

ซึ่งคุณสมบัติของไฟฟ้านั้นมีผลอย่างมากสำหรับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเนื้อเยื่อ โดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อเนื้อเยื่อนั้นสามารถอธิบายในสูตรของ SAR เมื่อคลื่นไมโครเวฟแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อตัว จะดูดซับคลื่นเอาไว้และเปลี่ยนไปพลังงานความร้อนที่ซึ่งทำให้เนื้อเยื่อตัวนั้นมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดย SAR จะเป็นจะแสดงได้ในสมการต่อไปนี้

$$SAR = \frac{\sigma |\vec{E}|^2}{2\rho} = \frac{Q_{ext}}{\rho} \quad (16)$$

3.2.4 เงื่อนไขขอบเขตของการไหลของเลือดและการถ่ายเทความร้อน

ในการวิเคราะห์เงื่อนไขขอบเขตของการไหลของเลือดและการถ่ายเทความร้อนนี้ จะวิเคราะห์ในส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อตัวเพียงอย่างเดียว โดยจะไม่รวมไปถึงตัวท่อนำคลื่น และจะมีเงื่อนไขและสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้

แบบจำลองเป็นแบบสมมาตรรอบแกนที่ $r=0$ วิเคราะห์สำหรับการไหลของเลือด

$$\hat{n} \cdot \vec{u} = 0 \quad (17)$$

$$\hat{n} \cdot (-pI + (1/\phi)\eta(\nabla \cdot \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T)) = 0 \quad (18)$$

$$\hat{n} \cdot (K_{eff} \nabla T - (\rho C_p)_b \vec{u} T) = 0 \quad (19)$$

ที่ขอบผิวเนื้อเยื่อที่กำหนดให้เนื้อเยื่อมีอุณหภูมิเท่ากับ 25 °C และขอบเขตของการไหลของเลือดวิเคราะห์ให้เป็นขอบเขตแบบเปิด

$$\hat{n} \cdot (-pI + (1/\phi)\eta(\nabla \cdot \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T)) = -F_0 \cdot \hat{n} \quad (20)$$

โดย η คือ ความหนืดพลวัต ($Pa \cdot s$) และ F_0 คือ ความเค้นปกติ (N/m^2)

และที่พื้นผิวภายนอกระหว่างท่อนำคลื่นกับเนื้อเยื่อพิจารณาให้เป็นขอบเขตแบบฉนวน

$$\hat{n} \cdot (K_{eff} \nabla T) = 0 \quad (21)$$

และที่ผิวระหว่างท่อนำคลื่นและผิวด้านนอกท่อนำคลื่นกับเนื้อเยื่อที่กำหนดให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง และไม่มีการลื่นไถล ซึ่งใช้ในสมการโมเมนต์

$$\vec{u} = 0 \quad (22)$$

อุณหภูมิเริ่มต้นของเนื้อเยื่อและเนื้อเยื่อมีแรงสมมติให้เท่ากันทั้งแบบจำลอง

$$T(t_0) = 25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (23)$$

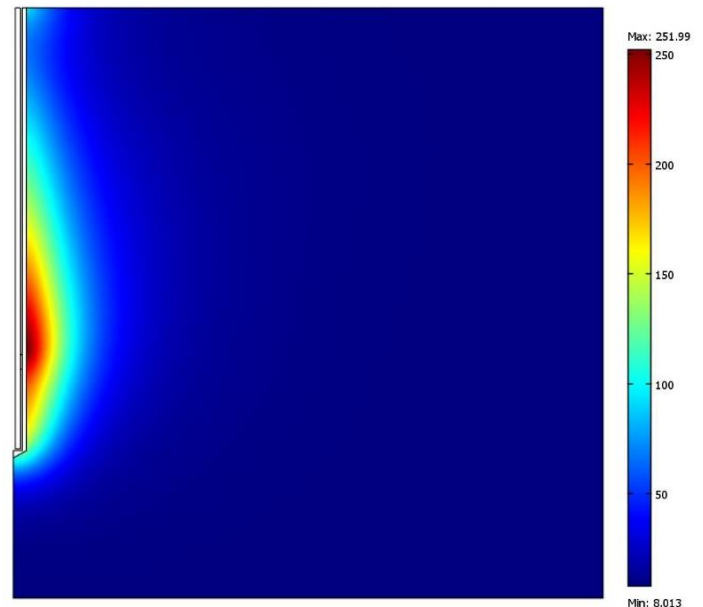
ความเร็วและความดันเริ่มต้น

$$u(t_0) = 0 \text{ m/s}, w(t_0) = 0 \text{ m/s}, p(t_0) = 0 \text{ Pa} \quad (24)$$

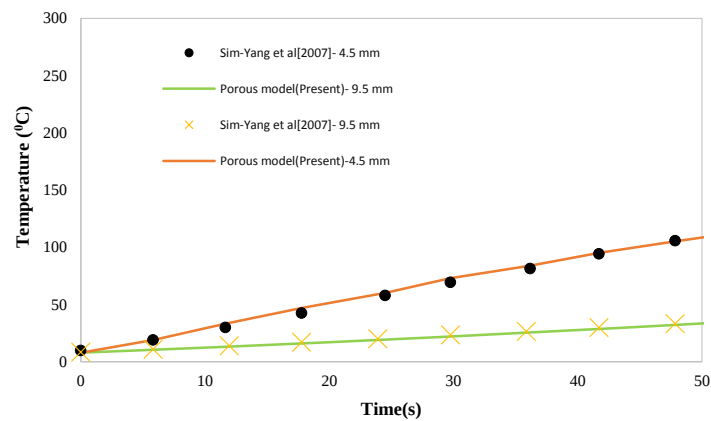
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

การตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณ

ก่อนทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรม COMSOLTM Multiphysics ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Yang ซึ่งเป็นการศึกษาการจำลองลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในกระบวนการทำความร้อนภายในเนื้อเยื่อโดยใช้คลื่นไมโครเวฟผ่านท่อนำคลื่นชนิดช่องออกช่องเดียว ด้วยแบบจำลองที่ใช้สมการไบโอฮีทซึ่งได้ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิดังรูปที่ 4 และกราฟในรูปที่ 5 เป็นกราฟที่ได้จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิที่ระยะห่าง 4.5 และ 6.5 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของช่องออกคลื่น



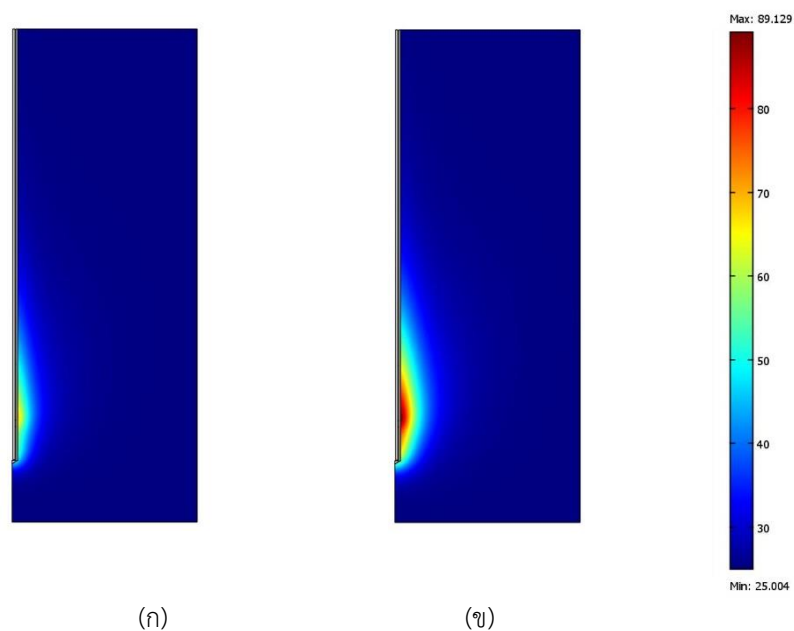
รูปที่ 4 การกระจายตัวของอุณหภูมิในแบบจำลอง [9]



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณเทียบกับแบบจำลองที่จุด P1(4.5mm,16mm) และP2(9.5mm,16mm) [9]

จากกราฟในรูปที่ 5 พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ได้มีความแตกต่างกับงานวิจัยของ Yang และคณะ แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นโปรแกรมและแบบจำลองที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จึงมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำมาใช้คำนวณปัญหาที่จะวิเคราะห์ได้

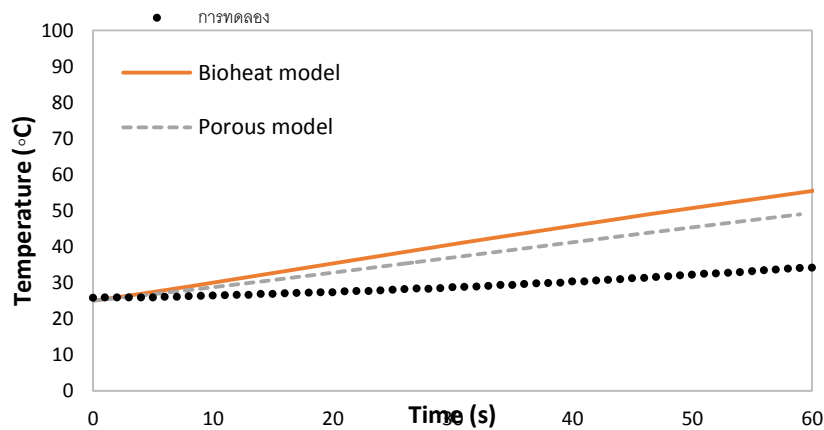
การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างแบบจำลองไปโอฮีทและวัสดุพูนกับการทดลอง ที่กำลังวัตต์ 20 วัตต์



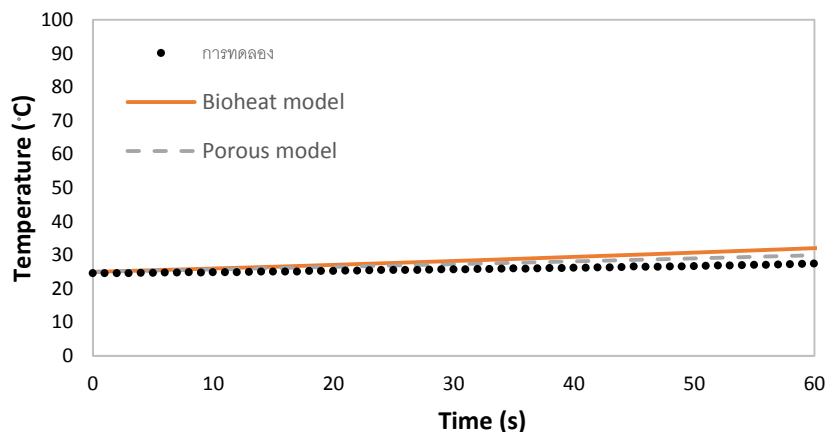
รูปที่ 6 ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิในแบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่เป็นวัสดุพูน ที่กำลังวัตต์ 20 วัตต์ เวลา (ก) 15 วินาที (ข) 30 วินาที

จากรูปที่ 6 คือรูปลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของแบบจำลองตับ แสดงให้เห็นว่าที่เวลา 15 วินาทีนั้น มีลักษณะของรูปร่างการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เป็นวงแคบกว่าที่เวลา 30 วินาทีอย่างเห็นได้ชัดในโดยการจำลองที่แบบจำลองเดียวกัน และใช้พิสัยวัดที่เท่ากัน เนื่องจากการดูดซับคลื่นของ

เนื้อเยื่อนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เมื่อเวลาผ่านไปมาก ก็จะมียิ่งดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้มาก เนื่องจากในสมการการพลังงานที่ใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนนั้น มีเทอมที่เรียกว่า ทรานเซียน ซึ่งเป็นเทอมที่อุณหภูมินั้นขึ้นอยู่กับเวลาที่เปลี่ยนไป จึงทำให้มีลักษณะดังรูปที่ 6



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลของแบบจำลองที่ 20 วัตต์ ที่จุด P1

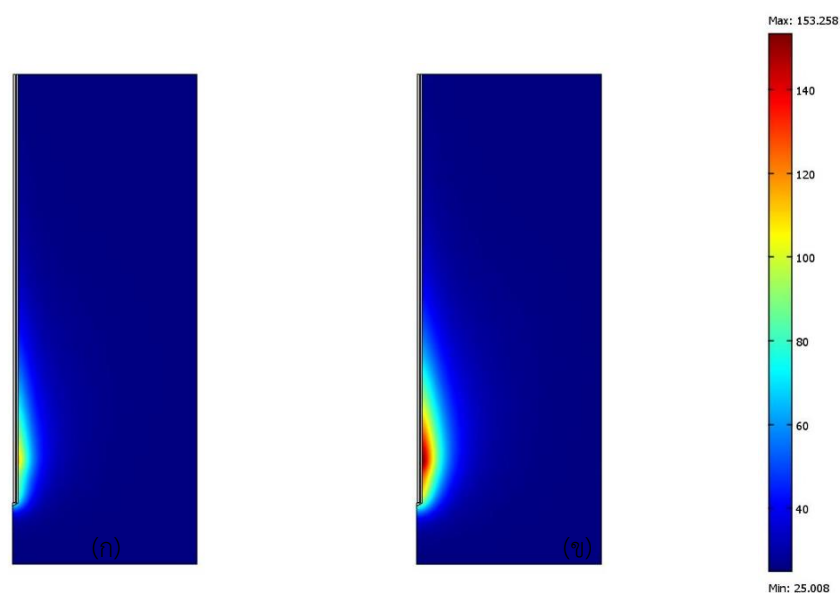


รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลของแบบจำลองที่ 20 วัตต์ ที่จุด P2

จากรูปที่ 7 และ 8 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการผลของแบบจำลองและผลของการทดลอง จะเห็นได้ว่าผลของการทดลองทั้งแบบจำลองและการทดลองนั้นมีผลการทดลองที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่ในระยะที่ห่างจากช่องออกคลื่นที่ระยะ 4.5 มิลลิเมตร ผลของแบบจำลองนั้นจะมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงกว่าการทดลองอยู่เล็กน้อยประมาณ 10 องศาเซลเซียส ส่วนที่ระยะห่างจากช่องออกคลื่น 9.5 มิลลิเมตรอุณหภูมิทั้งการทดลองและแบบจำลองนั้นมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก

แตกต่างกันน้อยมากทำให้ยากต่อการวิเคราะห์เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจากคลื่นนั้นอาจส่งผลมาไม่ถึงตำแหน่งนี้ จึงทำให้กราฟแต่เส้นไม่มีความแตกต่างกัน แต่จากการวิเคราะห์จากรูปที่ 7 แล้วนั้นแบบจำลองที่เป็นวัสดุพูนนั้น จะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงผลของการทดลองมากกว่าแบบจำลองที่เป็นไบโอฮีท เนื่องจากในแบบจำลองที่เป็นวัสดุพูนนั้นมีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อจริง ซึ่งจะมีสถานะของของเหลว ของแข็ง และก๊าซ ทำให้มีผลของอุณหภูมิที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับผลการทดลอง

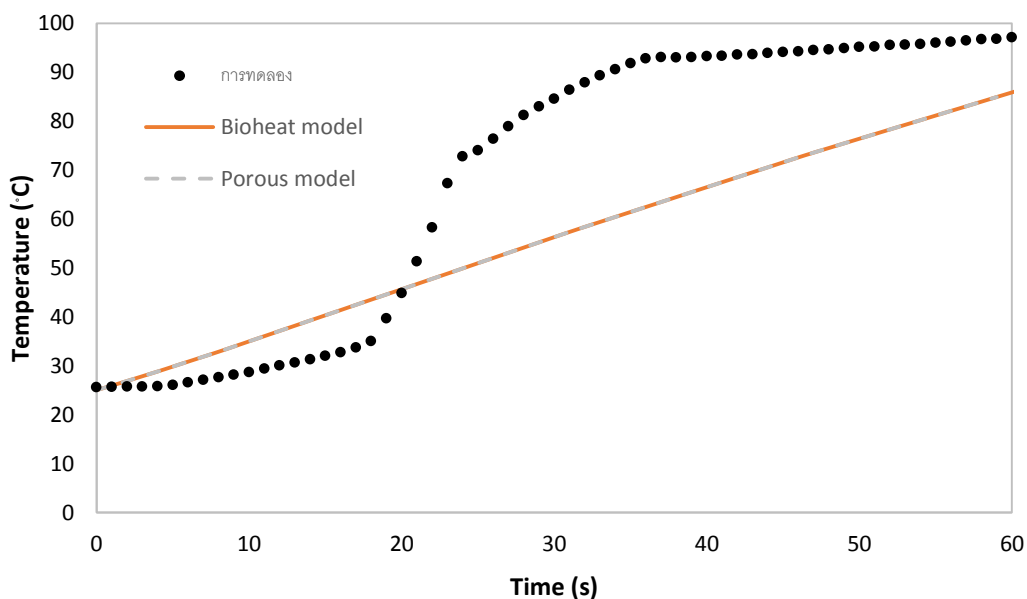
การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างแบบจำลองไปโอฮีทและวัสดุพูนกับการทดลอง ที่กำลังวัตต์ 40 วัตต์



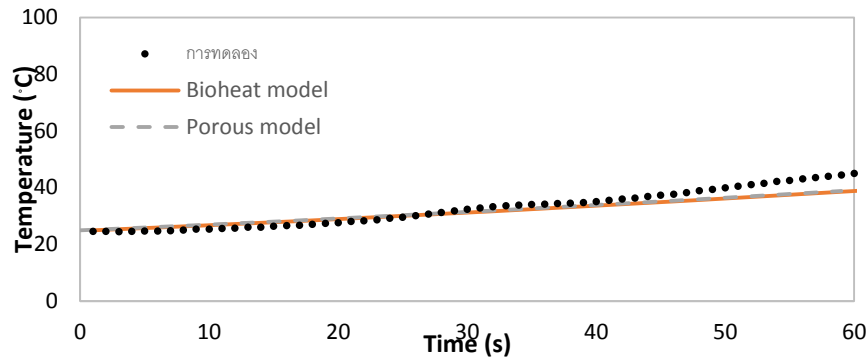
รูปที่ 9 ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิในแบบจำลองเนื้อเยื่อตับที่เป็นวัสดุพูน ที่กำลังวัตต์ 40 วัตต์ เวลา (ก) 15 วินาที (ข) 30 วินาที

จากรูปที่ 9 แสดงถึงลักษณะการกระจายตัวอุณหภูมิของแบบจำลองตับที่เวลา 15 วินาที และ 30 วินาที จะเห็นได้ว่าที่เวลา 15 วินาทีนั้น มีลักษณะของการขยายตัวที่แคบกว่าที่เวลา 30 วินาทีอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยเทียบที่พิสัยที่เท่ากัน

เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปมากเท่าไร การดูดซับคลื่นของเนื้อเยื่อก็คงยิ่งมากตามไปด้วย ทำให้ที่ระยะเวลานานกว่า ก็จะมีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่มากกว่า



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลของแบบจำลองที่ 40 วัตต์ ที่จุด P1



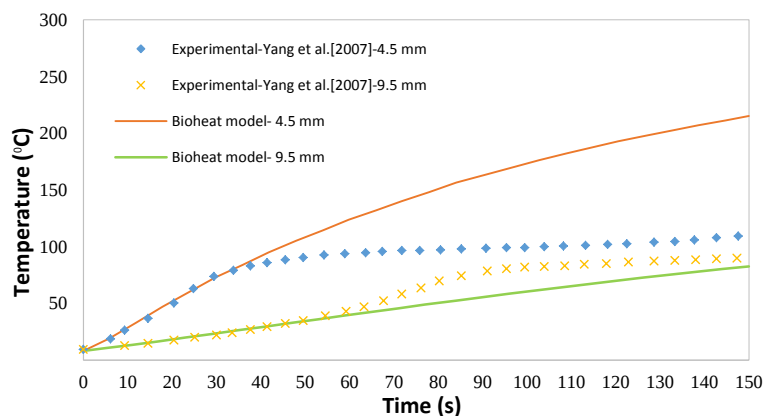
รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลของแบบจำลองที่ 40 วัตต์ ที่จุด P2

จากรูปที่ 10 และ 11 เป็นการเปรียบเทียบแต่ละแบบจำลองที่กำลัง 40 วัตต์ และ ระยะห่างจากช่องออกคลื่น 4.5 และ 9.5 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าที่ระยะ 9.5 มิลลิเมตรนั้น ทั้งผลการทดลองและแบบจำลองมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันมาก กราฟนั้นแทบจะเป็นเส้นเดียวกันเลยจึงทำให้วิเคราะห์ได้ยากมาก ซึ่งที่ระยะห่างจากช่องออกคลื่น 4.5 มิลลิเมตร มีแนวโน้มของกราฟใกล้เคียงกับที่กำลังวัตต์ 20 วัตต์ เนื่องจากที่ระยะห่าง ๆ จากช่องออกคลื่นออกไปนั้น จะได้รับผลจากความร้อนที่ได้จากคลื่นไมโครเวฟค่อนข้างน้อย แต่ในอีกมุมหนึ่งนั้น ที่ระยะห่าง 4.5 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิของแบบจำลองทั้งสองแบบที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับการทดลองในช่วง 20 วินาที แต่

หลังจากนั้นผลของการทดลอง จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของของเหลวที่มีอยู่ภายในเนื้อเยื่อ เนื่องจากมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนถึง 100 องศาเซลเซียส จะสังเกตเห็นได้ว่า ในช่วงเวลาที่ 20 ถึง 35 วินาทีนั้น จะมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นเหตุเพราะว่า เมื่อให้ความร้อนต่อของเหลวต่อเนื่องเป็นเวลานานจะมีช่วงเวลาที่ของเหลวนั้นเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว การที่ของเหลวยังมีการดูดพลังงานเข้าไปนั้น ก็เพื่อจะไปสลายแรงยึดเหนี่ยวของของเหลวเพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากนั้นก็กราฟระหว่างแบบจำลองกับการทดลองก็เริ่มไม่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากในแบบจำลองนั้น ไม่ได้วิเคราะห์ไปถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะของของเหลว

การเปรียบเทียบแบบจำลองกับการทดลองของนักวิจัยที่ผ่านมา

ในงานวิจัยที่ผ่านมา [9] ได้ทำการทดลองการรักษามะเร็งตับโดยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟผ่านทางท่อนำคลื่น โดยจากการทดลองใช้กำลังวัตต์ 10 วัตต์ ใช้เวลา 150 วินาที และวัดอุณหภูมิที่ระยะห่างจากทางออกคลื่นที่ 4.5 และ 9.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 12 กราฟเทียบผลการทดลองระหว่าง Yang [9] กับแบบจำลองไบโอฮีทที่กำลังวัตต์ 10 วัตต์ เวลา 150 วินาที ที่จุด P1(4.5mm, 16mm) และ P2(9.5mm, 16mm)

จากการเปรียบเทียบผลของแบบจำลองและการทดลองจากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่า ที่ระยะ 4.5 มิลลิเมตร กราฟของแบบจำลองและการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในช่วงเวลา 30 วินาทีแรก จึงสังเกตได้ว่าในแบบจำลองไบโอฮัทนั้นสามารถพฤติกรรมของอุณหภูมิของเนื้อเยื่อตับนี้ได้ค่อนข้างแม่นยำในช่วง 30 วินาที แต่ก็ขึ้นอยู่กับอีกปัจจัยก็คือ ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิ จะสังเกตเห็นได้ว่าที่ระยะห่าง 9.5 มิลลิเมตร จะสามารถทำนายพฤติกรรมของอุณหภูมิได้แม่นยำจนถึงเวลาที่ 60 วินาที เนื่องจากมีระยะที่ห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นความร้อนจึงทำให้ได้รับความร้อนไม่มาก เมื่อถึงอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียสกราฟของการทดลองที่ระยะ 4.5 มิลลิเมตรจะมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างคงที่ เนื่องจากในวัสดุพูนนั้นมีของเหลวและของเหลวนั้นกำลังอยู่ในช่วงเปลี่ยนสถานะกลายเป็นก๊าซจึงทำให้มีแนวโน้มของกราฟที่แตกต่างกัน แต่ในสมการของแบบจำลองนั้นไม่ได้วิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนสถานะ จึงทำให้มีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลา โดยจะไม่มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิคงที่ ในทำนองเดียวกันกับที่ระยะ 9.5 มิลลิเมตร ก็มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันกับระยะ 4.5 มิลลิเมตร แต่กราฟของผลการทดลองจะเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนแปลงสถานะช้ากว่า เนื่องจากที่ระยะ 9.5 มิลลิเมตร อยู่ห่างจากแหล่งความร้อน นั่นก็คืออยู่ห่างจากช่องออกคลื่นมากกว่า จึงทำให้ได้รับความร้อนที่น้อยกว่า ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะช้ากว่า

สรุป

ในงานบทความนี้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละแบบจำลองนั้นก็จะมีผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกับผลการทดลองจริง โดยแบบจำลองที่เป็นวัสดุพูนนั้น จะค่อนข้างมีความแม่นยำในการทำนายลักษณะแนวโน้มมากกว่าแบบจำลองที่เป็นไบโอฮัท ผลที่ได้จากบทความนี้สามารถนำไปช่วยวิเคราะห์ในทางการแพทย์ในการรักษามะเร็งตับได้โดยแสดงให้เห็นว่าวิธีการใช้คลื่นไมโครเวฟในการรักษามะเร็งตับนั้นเป็นวิธีที่ค่อนข้างมีผลการทดลองใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริง และยังสามารถทำนายพฤติกรรมของการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเนื้อเยื่อตับ เพื่อลดผลข้างเคียงหลังจากการรักษาของผู้ป่วย สามารถนำผลที่ได้ไปทำนายลักษณะการกระจายตัวของความร้อนที่ปล่อยออกให้มีปริมาณที่เหมาะสมต่อการรักษาได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองทั้งสองอย่างนั้น ก็ยังมีข้อบกพร่องในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงสถานะเมื่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนใกล้เคียง 100 องศาเซลเซียสแบบจำลองทั้งสองแบบนี้ก็ยังไม่สามารถทำนายพฤติกรรมของอุณหภูมิได้ใกล้เคียง ซึ่งภายในอนาคตอาจจะมีการศึกษาในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงสถานะของของเหลวโดยเพิ่มเทอม

ของการเปลี่ยนสถานะไปในสมการการถ่ายเทความร้อนเพื่อที่จะให้แบบจำลองทำนายพฤติกรรมได้ใกล้เคียงกับการทดลองมากยิ่งขึ้น และงานวิจัยที่จะทำเพิ่มในอนาคตคือส่วนของผนังท่อนำคลื่นที่สัมผัสกับเนื้อเยื่อที่มีความร้อนที่ไปทำลายเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นผลเสียต่อผู้ป่วยที่อาจจะเกิดผลข้างเคียงตามมาภายหลัง จึงเป็นสิ่งที่ควรจะต้องปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2557 และมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] G. Torzilli, A. Palmisano and F. Procopio, "A new systematic small for size resection for liver tumors invading the middle hepatic vein at its caval confluence: Mini mesohepatectomy," *Annals of surgery*, vol. 251, no. 1, 2010, pp. 33-36.
- [2] S. Benoist, and B. Nordlinger, "The role of preoperative chemotherapy in patients with resectable colorectal liver metastases," *Annals of Surgical Oncology*, vol. 16, no. 9, 2009, pp. 2385-2390.
- [3] J. P. Ritz, K. S. Lehmann and U. Zurbuchen, "Improving laser-induced thermotherapy of liver metastases – Effects of arterial microembolization and complete blood flow occlusion," *European Journal of Surgical Oncology*, vol. 33, no. 5, 2007, pp. 608-615.
- [4] R. Lencioni, L. Crocetti and M. D. Pina, "Percutaneous image-guided radiofrequency ablation of liver tumors," *Abdominal Imaging*, vol. 34, no. 5, 2009, pp. 547-556.
- [5] P. Zhou, P. Liang and X. Yu, "Percutaneous microwave ablation of liver cancer adjacent to the gastrointestinal tract," *Journal of Gastrointestinal Surgery*, vol. 13, no. 2, 2009, pp. 318-324.
- [6] P. Keangin, P. Rattanadecho and T. Wessapan, "An analysis of heat transfer in liver tissue during microwave ablation using single and double slot

antenna,” *International communication in heat and mass transfer*, vol.38, 2011, pp.757-766.

[7] P.Keangin and P.Rattanadecho, “Analysis of heat transport on local thermal non-equilibrium in porous liver during microwave ablation,” *International journal of heat and mass transfer*, vol.67, 2013, PP.46-60.

[8] P. Rattanadecho and P. Keangin, “Numerical study of heat transfer and blood flow in two-layered porous liver tissue during microwave ablation process using single and double slot antenna,” *International journal of heat and mass transfer*, 2013 ,pp. 457-470.

[9] D.Yang and Member, “Expanding the bioheat equation to include tissue internal water evaporation during heating,” *IEEE transactions on biomedical engineering*, Vol.54, No.8, August, 2007.

[10] P.Keangin, T.Wessapan and P.Rattanadecho, “Analysis of heat transfer in deformed liver cancer modeling treated using a microwave coaxial antenna,” *Applied thermal engineering*, 2011, pp.3243-3254.

[11] A. Nakayama, F. Kuwahara and A general “bioheat transfer model based on the theory of porous media,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2008, pp. 3190–3199.

[12] T. Wessapan , S. Srisawatdhisukul and P. Rattanadecho, “The effects of dielectric shield on specific absorption rate and heat transfer in the human body exposed to leakage microwave energy,” *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 2001, pp. 255-262.

[13] W. Klinbun, P. Rattanadecho and W. Pakdee, “Microwave heating of saturated packed bed using a rectangular waveguide (TE₁₀ mode): influence of particle size, sample dimension, frequency, and placement inside the guide,” *Int. J. Heat Mass Transfer*, 2011, pp.1763-1774.

การหุ้มอนุภาคนาโนแม่เหล็กด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต โดยใช้การระเหยตัวทำละลายแบบง่ายในระบบอิมัลชัน

Encapsulation of Magnetic Nanoparticles with Polymethyl methacrylate using a Simple Emulsion Solvent Evaporation

สาวตรี เสือเอ็ง¹ ศิริวรรณ ท้าวจตุรัส¹ นพวรรณ เหมือนบาง¹ วรายุทธ สะใจแสง²
ปรียาภรณ์ ไชยสัตย์¹ และ อมร ไชยสัตย์^{1*}

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110

²ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ถ. พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง

อำเภอคลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

*E-mail: a_chaiyasat@mail.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการระเหยตัวทำละลายแบบง่ายในระบบอิมัลชันในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนแม่เหล็ก โดยใช้พอลิเมทิล-เมทาคริเลต และอนุภาคเหล็ก (III) ออกไซด์ เป็นเปลือกพอลิเมอร์และอนุภาคนาโนแม่เหล็กตามลำดับ จากนั้นเคลือบแคปซูลที่เตรียมได้ด้วยไคโตซานโดยใช้กลูตารอลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวางแหในการเชื่อมสายโซ่ของไคโตซาน เพื่อให้ที่ผิวของแคปซูลมีหมู่เอมีโนที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านตัวตรวจวัดชีวภาพและการแยกโปรตีน เป็นต้น พบว่าแคปซูลที่เตรียมได้ มีลักษณะเป็นทรงกลม มีขนาดประมาณ 2 ไมโครเมตรและมีค่าประจุบนผิวของแคปซูลประมาณ +36.60 มิลลิโวลต์ เนื่องจากการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน

คำสำคัญ : การหุ้ม อนุภาคนาโนแม่เหล็ก การระเหยตัวทำละลายแบบง่ายในระบบอิมัลชัน

Abstract

In this research, a simple emulsion solvent evaporation technique was used to prepare the polymer capsule containing magnetic nanoparticles. The polymethyl methacrylate and iron (III) oxide (Fe_2O_3) were used as polymer shell and magnetic nanoparticles, respectively. The obtained capsules were thus coated with chitosan using glutaraldehyde as a crosslinker to connect chitosan chains presenting amino group on capsule surface. They would be applied in biosensor, protein separation and so on. It was found that the prepared capsules were spherical with the average diameter about 2 μm . The zeta

potential was approximately +36.60 mV due to the coating of chitosan.

Keywords: Encapsulation, Magnetic Particle, Simple Emulsion Solvent Evaporation

บทนำ

ในปัจจุบันวัสดุแม่เหล็กถือว่าเป็นวัสดุที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งเนื่องจากมีพลังแม่เหล็ก (magnetism) สูงจึงสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย อย่างไรก็ตาม การใช้งานวัสดุแม่เหล็กโดยตรงยังมีข้อด้อยเนื่องจากมีความเสถียรต่ำ และอนุภาคแม่เหล็กจะเกาะรวมตัวกันได้ง่าย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการห่อหุ้มอนุภาคแม่เหล็กหรือผสมกับพอลิเมอร์ ซึ่งจะทำให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [1] เนื่องจากการมีอำนาจแม่เหล็กสูงของวัสดุแม่เหล็ก ถึงแม้จะถูกห่อหุ้มอยู่ในแคปซูลก็สามารถดึงดูดกับสนามแม่เหล็กด้านนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2] จึงนิยมนำไปใช้ในงานด้านนำส่งยา [3] การแยกและทำบริสุทธิ์ของโปรตีนหรือดีเอ็นเอ [4] และไบโอเซนเซอร์ [5] เป็นต้น

การเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มวัสดุแม่เหล็กมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การเคลือบ (coating method) การสังเคราะห์ด้วยมอนอเมอร์ (monomer polymerization) และการสะสมที่ผิวของอนุภาคแม่เหล็ก (interface deposition) สำหรับเทคนิคการเคลือบ อนุภาคแม่เหล็กจะกระจายอยู่ในสารละลายของพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์จะสามารถเกาะที่ผิวของอนุภาคแม่เหล็กด้วยแรงวันเดอวาล์ (van der waals forces) และพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonding) เช่น การเตรียมแคปซูลที่หุ้มอนุภาคแม่เหล็กด้วยไคโตซาน (100-250 ไมโครเมตร)[6] พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (1-10 ไมโครเมตร)[7] พอลิเมทิลเมทาคริเลต (300 ไมโครเมตร)[8] และ พอลิอิลเลคโตรไลต์ [9] อย่างไรก็ตาม การเตรียมด้วยวิธีนี้ถึงแม้ว่าจะสะดวกและง่ายแต่ก็ยังมีข้อด้อยอยู่

หลายประการ เช่น รูปร่างของแคปซูลไม่สมมาตร และมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสูง กรณีของการเตรียมด้วยเทคนิคการผสมที่ผิวของอนุภาคแม่เหล็ก อนุภาคพอลิเมอร์กับแม่เหล็กที่มีประจุบนผิวของอนุภาคตรงข้ามกันจะเกาะกันด้วยแรงไฟฟ้าสถิต เช่น การเตรียมอนุภาคพอลิไธรีน-โคบอลต์เหล็กออกไซด์ (PS-CoFe₂O₄) [10] และการเตรียมอนุภาคพอลิอิเล็กโตรไลต์ที่มีช่องว่างที่แกน [11] ที่ให้การกระจายตัวของอนุภาคที่แคบ แต่เทคนิคนี้ค่อนข้างยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง ไม่เหมาะนำไปประยุกต์ในระดับอุตสาหกรรม ในขณะที่การสังเคราะห์ด้วยมอนอเมอร์ในระบบกระจายเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความสะดวกเนื่องจากได้ขนาดอนุภาคแคปซูลเล็กจนถึงระดับนาโนเมตรซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวสูงมาก โดยเทคนิคการสังเคราะห์แคปซูลมีอยู่หลายเทคนิคด้วยกัน เช่น แบบแขวนลอย (suspension polymerization) [12] แบบอิมัลชัน (emulsion polymerization)[13] แบบดิสเพอซชัน (dispersion polymerization)[1] และแบบมินิอิมัลชัน (mini-emulsion polymerization)[2] เทคนิคที่ให้ประสิทธิภาพในการหุ้มอนุภาคแม่เหล็กสูง คือ การสังเคราะห์แบบแขวนลอยและแบบมินิอิมัลชัน เนื่องจากพอลิเมอร์เกิดขึ้นในหยดของมอนอเมอร์ ซึ่งต่างจากการสังเคราะห์แบบอิมัลชันและแบบดิสเพอซชันที่เกิดพอลิเมอร์เริ่มต้นจะเกิดในวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) ในกรณีของการสังเคราะห์แบบแขวนลอยและแบบมินิอิมัลชันอนุภาคแม่เหล็กต้องกระจายตัวในมอนอเมอร์อย่างสมบูรณ์ก่อนการสังเคราะห์ เพื่อลดการเกาะรวมตัวกันของอนุภาคแม่เหล็กในวัฏภาคกระจาย (dispersed phase) ผิวของอนุภาคแม่เหล็กจำเป็นต้องเคลือบด้วยสารลดแรงตึงผิว โดยจากงานวิจัยต่างๆก่อนหน้านี้พบว่ากรดโอเลอิก (oleic acid) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ดีที่สุดในการเคลือบลงบนผิวของอนุภาคแม่เหล็ก[14] ไม่มีการเกาะรวมตัวกันของอนุภาคแม่เหล็ก ทำให้มีการนำวิธีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการเตรียมแคปซูลหุ้มอนุภาคแม่เหล็ก [15] อย่างไรก็ตาม วิธีการสังเคราะห์ทั้งสองวิธีดังกล่าวข้างต้นต้องใช้เวลานาน และมีประสิทธิภาพในการเตรียมแคปซูลค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะในกรณีที่เปลือกแคปซูลเป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้วสูง เนื่องจากมีการเกิดอนุภาคพอลิเมอร์อิสระในวัฏภาคต่อเนื่อง แข่งขันกับการเกิดแคปซูลในหยดของมอนอเมอร์ เพื่อลดปัญหาการเกิดอนุภาคพอลิเมอร์อิสระและลดเวลาในการเตรียมแคปซูลให้สั้นลง การใช้เทคนิคการการระเหยตัวทำละลายแบบง่ายในระบบอิมัลชันจึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำมาเตรียมแคปซูลหุ้มอนุภาค โดยนำพอลิเมอร์มาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมก่อนผสมกับอนุภาคแม่เหล็กที่เคลือบด้วยกรดโอเลอิก หลังจากการเตรียม

หยดสารละลาย พอลิเมอร์ที่มีอนุภาคแม่เหล็กอยู่ภายใน จะทำการระเหยตัวทำละลายออก ซึ่งจะทำให้ได้อนุภาคพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มอนุภาคแม่เหล็กอยู่ภายใน

ในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการเตรียมพอลิเมอร์แคปซูลที่หุ้มอนุภาคแม่เหล็กเพื่อใช้สำหรับเป็นตัวตรวจวัด เช่นวิเคราะห์หาสารบ่งชี้มะเร็ง โดยพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้จะต้องมีหมู่อะมิโนหุ้มอยู่ที่ผิวเพื่อทำหน้าที่ตรึงแอนติเจน วัฏรอบอนุภาคแคปซูลผ่านสารเชื่อมไขว้ของสารกลูตาโรลดีไฮด์ (glutaraldehyde) ที่จับยึดหมู่อะมิโนของทั้งแคปซูลและแอนติเจน [16] ดังนั้น จะทำการศึกษาการเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตหุ้มอนุภาคนาโนแม่เหล็ก แล้วปรับแต่งเปลือกของแคปซูลที่เตรียมได้ด้วยการเคลือบด้วยไคโตซานในขั้นตอนสุดท้าย โดยจะทำการศึกษาผลของปริมาณของกรดโอเลอิก และปริมาณของตัวทำละลายโทลูอีนต่อประสิทธิภาพการเกิดเป็นแคปซูลและเวลาในการเตรียม

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมี

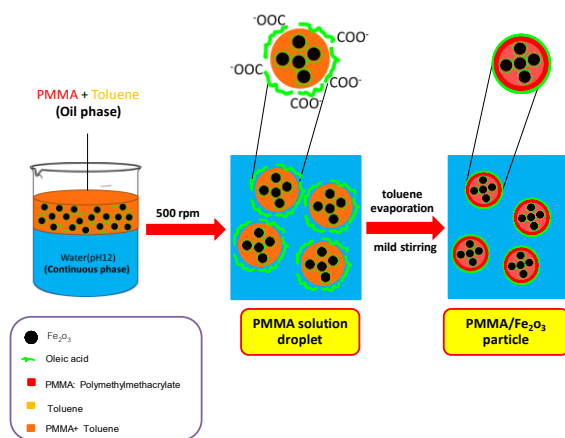
เมทิล เมทาคริเลต (methyl methacrylate; MMA, Aldrich, Wisconsin, USA; purity, 99%) ทำให้บริสุทธิ์โดยการผ่านคอลัมน์ที่ใช้อะลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัฏภาคคงที่ เหล็ก (III) ออกไซด์ (iron (III) oxide; Fe₂O₃; < 50 nm, Aldrich, Wisconsin, USA; purity, 98%) ใช้เป็นวัสดุแม่เหล็ก โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (potassium persulfate; KPS, Unilab; purity, 97 %) ทำให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอน และพอลิออกซีเอทิลีน (20) ซอร์บิทัน มอนอโอเลอเทต (polyoxyethylene (20) sorbitan monooleate; Tween 80; Aldrich, Wisconsin, USA) ใช้เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยาและใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวในการเตรียมอนุภาคพอลิเมทิลเมทาคริเลตตามลำดับ โทลูอีน (toluene ; Aldrich, Wisconsin, USA) กรดอะซิติก (acetic acid; Aldrich, Wisconsin, USA) ไคโตซาน (chitosan; low molecular weight, Aldrich, Wisconsin, USA) กลูตาโรลดีไฮด์ (glutaraldehyde; 25% in water, Aldrich, Wisconsin, USA) และ กรดโอเลอิก (oleic acid; Technical grade 90%, Aldrich, Wisconsin, USA) และน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 18 เมกะโอห์ม กลั่นก่อนใช้

วิธีการทดลอง

การสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA) โดยกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชัน

อัตราส่วนในการสังเคราะห์เป็นไปตามงานวิจัยก่อนหน้านี้

[17-19] โดยสรุปคร่าวๆดังนี้ ชั่งเมทิล เมทาคริเลต (60 กรัม) ทวีน 80 (2.00 กรัม) โพลีเมทิลเมทาคริเลต (240 มิลลิกรัม) และน้ำกลั่น (240) จากนั้นใส่ทวีน 80 ที่ละลายในน้ำ 220 กรัม และเมทิล เมทาคริเลตลงในชุดสังเคราะห์แล้วทำให้อยู่ในระบบสุญญากาศโดยการใช้ปั๊มดูดสลับกับการเป่าแก๊สไนโตรเจน ประมาณ 5 รอบ และสุดท้ายให้ระบบอยู่ในสุญญากาศ เริ่มสังเคราะห์โดยเติมโพลีเมทิลเมทาคริเลตที่ละลายในน้ำ 20 กรัม ลงไป ใช้เวลาในการสังเคราะห์ 24 ชั่วโมง ภายใต้อุณหภูมิคงที่ 70 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการปั่น 200 รอบต่อนาที นำอนุภาคพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่สังเคราะห์ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง



รูปที่ 1 แผนภาพขั้นตอนการเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ โดยใช้การระเหยตัวทำละลายแบบง่ายในระบบอิมัลชัน

เตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ (Fe_2O_3) โดยใช้การระเหยตัวทำละลายแบบง่ายในระบบอิมัลชัน

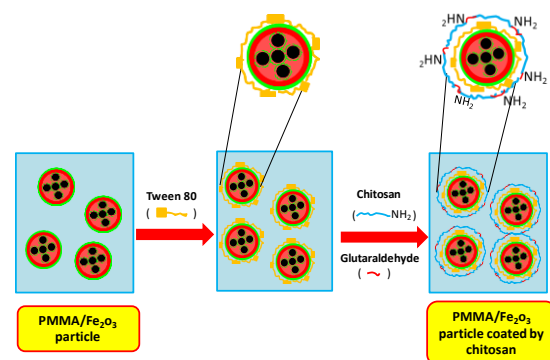
นำอนุภาคพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เตรียมได้จากขั้นตอนแรกมาละลายในโทลูอีน ในขณะที่อนุภาคนาโนของเหล็ก (III) ออกไซด์จะนำไปกระจายตัวอยู่ในกรดโอเลอิกก่อน หลังจากนั้น ผสมทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันแล้วปั่น ด้วยอัตราเร็ว 500 รอบต่อนาที ประมาณ 5 นาที จะได้ชั้นน้ำมันหรือวัฏภาคกระจาย (dispersed phase) แล้วค่อยๆ หยดชั้นน้ำหรือวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) ที่มี pH12 ลงไป พร้อมปั่นด้วยอัตราเร็ว 800 รอบต่อนาที จะได้หยดน้ำมันที่มีอนุภาคนาโนของเหล็ก (III) ออกไซด์ อยู่ในกระเจาตัวอยู่ในชั้นน้ำ เมื่อทำการระเหยโทลูอีนออก พอลิเมทิล-เมทาคริเลตจะแยกวัฏภาคกับอนุภาคนาโนของเหล็ก (III) ออกไซด์ ทำให้ได้ พอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลที่หุ้มอนุภาคนาโน

โนของเหล็ก (III) ออกไซด์ แผนภาพขั้นตอนการเตรียมแสดงดังรูปที่ 1 โดยได้ทำการศึกษาลักษณะของกรดโอเลอิก อัตราส่วนระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับเหล็ก (III) ออกไซด์ และผลของโทลูอีนต่อประสิทธิภาพการกักเก็บอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ซึ่งอัตราส่วนในการทดลองต่างๆแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคแคปซูลที่หุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ด้วยการระเหยตัวทำละลายแบบง่ายในระบบอิมัลชัน

การทดลอง	PMMA (g)	Fe_2O_3 (g)	Oleic acid (g)	Toluene (g)	H_2O^* (pH 12) (g)
1	0.45	0.05	2.50	45.00	90.00
2	0.45	0.05	1.25	45.00	90.00
3	0.45	0.05	0.63	45.00	90.00
4	0.45	0.05	0.63	30.00	90.00
5	0.45	0.05	0.63	15.00	90.00

* H_2O (pH 12) ปรับด้วย 2 M NaOH



รูปที่ 2 แผนภาพการเคลือบผิวของแคปซูลที่หุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ด้วยไคโตซาน

การปรับปรุงผิวของแคปซูลที่หุ้มอนุภาคนาโนของเหล็ก (III) ออกไซด์ ให้มีหมู่เอมีโนโดยการเคลือบด้วยไคโตซาน

นำพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลที่แห้งใส่ลงไปในกระเจาตัวในสารละลายทวีน 80 (2-6 %w/w) แล้วปรับให้มี pH เท่ากับ 7 ด้วย 2 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้น นำไปปั่นเหวี่ยงที่อัตราเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ดูดสารละลายส่วนบนออกแล้วอบให้แคปซูลแห้งในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง นำเฉพาะพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลที่หุ้มด้วย

ทวิน 80 ที่แห้งแล้วใส่ลงไปกระจายตัวในสารละลายไคโตซานใน 1% กรดอะซิติก แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่อัตราเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เพื่อกำจัดไคโตซานส่วนเกินออก โดยดูดสารละลายส่วนบนออก นำเฉพาะแคปซูลที่หุ้มด้วยไคโตซานใส่ลงไปกระจายตัวในสารละลาย 1% กรดอะซิติกอีกครั้งและหยดกลูตาโรลดีไฮด์ลงไป 2-3 หยด เพื่อให้เกิดโครงร่างแหระหว่างสายโซ่ของไคโตซาน ขั้นตอนการเตรียมแสดงดังรูปที่ 2

การหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคแคปซูลที่หุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์

ทำการตรวจสอบลักษณะรูปร่างของพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ โดยการศึกษารูปร่างภายในด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (optical microscope; OM, SK-100EB & SK-100 ET, Seek Inter Co. Ltd., Thailand) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy; TEM; JEM-1230, JEOL, JEOL Ltd., Japan) ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์แคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM, JSM-6510, JEOL, JEOL Ltd., Japan) วัดขนาดของพอลิเมอร์แคปซูลและความเป็นประจุที่ผิวด้วยเทคนิคการกระเจิงแสง ที่มุม 165° ที่อุณหภูมิห้อง และ Zeta potential ตามลำดับ (Delsa Nano-C, Beckman Coulter, USA) คำนวณเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (% monomer conversion) โดยใช้การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (gravimetry) หาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวนและน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (number- and weight-average molecular weights; M_n and M_w) ด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี (gel permeation chromatography; GPC; Water 2414, Water, USA) โดยใช้คอลัมน์พอลิ(สไตรีน-โค-ไดไวโนลเบนซีน) (Phenogel 5 x 10^4 and 5 x 10^5 Å (pores), 7.8 nm (i.d) x 30 cm (length), Phenomenex, USA) ที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้เทระไฮโดรฟูแรนเป็นสารตัวพา และหาการเกาะที่ผิวของสายโซ่ไคโตซานด้วยเทคนิคควิ-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-visible spectrophotometry; 1601, Perkin-Elmer, USA)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

การเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชัน

ในการสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยกระบวนการแบบอิมัลชัน พบว่า พอลิเมอร์ที่ได้มีลักษณะขาวขุ่น คล้ายน้ำมัน

เนื่องจากอนุภาคพอลิ-เมอร์กระจายตัวอยู่ในน้ำในลักษณะสารแขวนลอยที่เสถียรเป็นอิมัลชัน และเมื่อระเหยนํ้าออกจะมีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวดังรูปที่ 3 จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติพื้นฐานของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เตรียมได้ พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์เท่ากับ 98.99% เมื่อวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยด้วยเทคนิคเจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟี พบว่า มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (M_n) เท่ากับ 219,000 และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (M_w) เท่ากับ 455,000 กรัมต่อโมล และมีอุณหภูมิ การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature; T_g) ที่ 107 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับค่า T_g ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยทั่วไป



รูปที่ 3 อนุภาคพอลิเมทิลเมทาคริเลตหลังจากทำให้แห้งที่เตรียมด้วยกระบวนการสังเคราะห์แบบอิมัลชัน

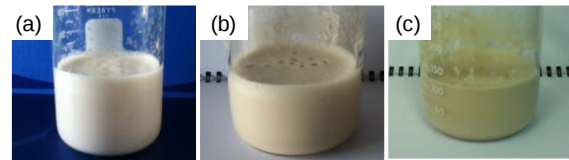
การเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ โดยใช้การระเหยนํ้าทำลายแบบง่ายในระบบอิมัลชัน

ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ประสบความสำเร็จในการเตรียมพอลิเมทิล เมทาคริเลตแคปซูลที่หุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ โดยการสังเคราะห์ พอลิเมอร์แบบแขวนลอย [20] อย่างไรก็ตามพบว่าเกิดอนุภาคพอลิเมทิล เมทาคริเลตอิสระในวัฏภาคต่อเนื่องแข่งขันกับการเกิดแคปซูลซึ่งจะทำให้เปลือกแคปซูลที่ได้ไม่แข็งแรง นอกจากนี้ยังใช้เวลาค่อนข้างนานในการเตรียม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะลดข้อด้อยทั้งสองโดยจะไม่ใช้การสังเคราะห์ แต่จะใช้พอลิเมทิลเมทาคริเลตมาละลายในโทลูอีนซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ระเหยนํ้าได้ง่ายผสมกับอนุภาคเหล็ก (III) ออกไซด์ ที่กระจายตัวอยู่ในสารละลายกรดโอเลอิกซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวแล้วหยदनํ้าที่มี pH 12 ลงไปเพื่อทำให้กรดโอเลอิกแตกตัวได้สมบูรณ์ โดยกรดโอเลอิกบางส่วนที่แตกตัวจะเคลื่อนที่ออกมาเคลือบที่ผิวด้านนอกของหยดสารละลายพอลิเมทิลเมทาคริเลตเมื่อปั่นด้วยอัตราเร็ว 800 รอบต่อนาที ทำให้เกิดแรงเฉือนได้เป็นหยดสารละลายพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ อยู่ภายในเมื่อทำการระเหยนํ้าออก พอลิเมทิลเม

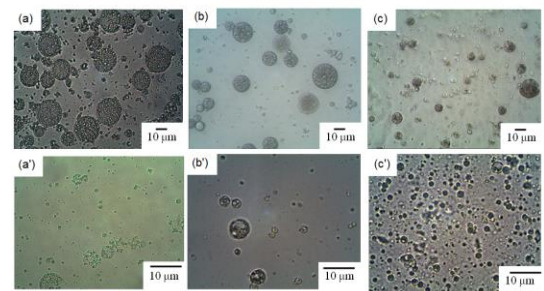
ทาคิริเลตจะแยกวัฏภาคกับอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ทำให้ได้พอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ โดยได้ศึกษาผลของกรดโอเลอิกต่อสัณฐานวิทยาของแคปซูล โดยได้ปรับเปลี่ยนปริมาณตั้งแต่ 0.63 ถึง 2.5 กรัม (ดังการทดลองที่ 1-3) พบว่ามีลักษณะทั้งสามมีลักษณะขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน และมีการตกตะกอนหรือการเกาะตัวกันของหยดน้อยมาก ดังรูปที่ 4 และเมื่อพิจารณาถึงสัณฐานวิทยาของหยดน้ำมันและแคปซูลที่เตรียมได้ทีละสถานะต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ดังรูปที่ 5 พบว่าหยดน้ำมันที่ประกอบไปด้วยพอลิ-เมทิลเมทาคริเลต เหล็ก (III) ออกไซด์ กรดโอเลอิก และไทลูอิน ของทั้งสามสถานะการทดลอง (รูปที่ 5 a, b และ c) มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีเปลือกสีดำอยู่ภายใน ซึ่งน่าจะเป็นอนุภาคนาโนของเหล็ก (III) ออกไซด์ โดยขนาดของหยดน้ำมันจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของกรดโอเลอิก อาจเนื่องมาจากความหนืดภายในของวัฏภาคน้ำมันจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของกรดโอเลอิก เมื่อใช้ความเร็วในการปั่นเตรียมหยดเท่ากัน วัฏภาคน้ำมันที่มีความหนืดน้อยกว่าจะเตรียมหยดได้ง่ายกว่าและมีขนาดเล็กกว่าวัฏภาคน้ำมันที่มีความหนืดสูง และเมื่อทำการระเหยไทลูอินโดยการปั่นอิมัลชันประมาณ 24 ชั่วโมง พบว่าขนาดของแคปซูลที่ได้ทั้งสามสถานะ (รูปที่ 5 a', b' และ c') มีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับหยดน้ำมันเนื่องจากไทลูอินระเหยออกไป นอกจากนี้ ยังพบว่าแคปซูลในกรณีที่ใช้กรดโอเลอิก 2.5 กรัม จะเกิดการแตกเป็นขนาดเล็กๆ อาจเนื่องมาจากการมีกรดโอเลอิกมากเกินไป ในระหว่างการระเหยไทลูอิน กรดโอเลอิกจะเคลื่อนที่มาที่ผิวของหยดและแตกตัวได้ง่าย ทำให้ละลายในน้ำได้มากกว่าสถานะอื่นๆ การมีกรดโอเลอิกหรือสารลดแรงตึงผิวในน้ำที่มากจะลดแรงตึงระหว่างผิวของหยดน้ำมันกับน้ำทำให้ขนาดของอนุภาคเล็กลง อย่างไรก็ตาม การที่กรดโอเลอิกออกมาชั้นน้ำในปริมาณมากจะเหนี่ยวนำให้อนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ เคลื่อนที่ออกมาสู่น้ำได้มากเช่นกัน ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5 a' แคปซูลที่เตรียมได้มีความโปร่งแสงแสดงว่ามีปริมาณของอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ น้อยกว่าอีกสองสถานะการทดลอง

นอกจากนี้ ยังได้ทำการวัดขนาดและการกระจายตัวของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ด้วยเทคนิคการกระเจิงของแสง พบว่า ที่ปริมาณกรดโอเลอิก 2.5 กรัม มีความหนืดมากจึงไม่สามารถตรวจวัด ได้ ส่วนที่ปริมาณกรดโอเลอิก 1.25 กรัม แคปซูลมีขนาด (ขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยจำนวน; $d_n = 2.52$ ไมโครเมตร) ใหญ่กว่าสถานะที่ใช้ปริมาณกรดโอเลอิก 0.63 กรัม ($d_n = 1.88$ ไมโครเมตร) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าปริมาณกรดโอเลอิก 0.63 กรัม เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก

(III) ออกไซด์ เนื่องจากได้แคปซูลขนาดเล็กระดับนาโนเมตรและมีอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ถูกหุ้มได้มาก



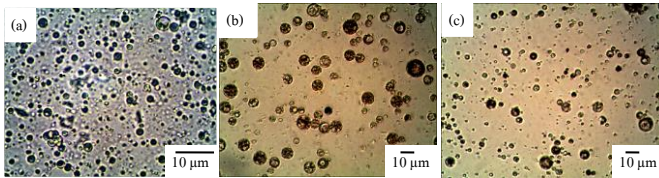
รูปที่ 4 อิมัลชันของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ที่ปริมาณต่างๆ ของกรดโอเลอิก (กรัม); (a) 2.50 (b) 1.25 และ (c) 0.63



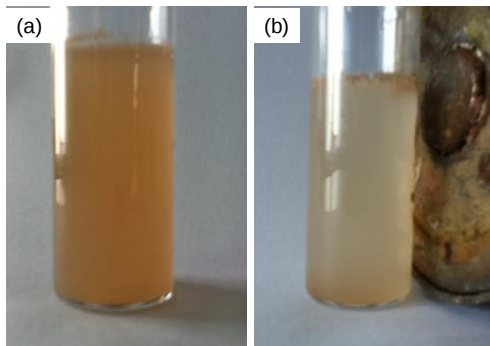
รูปที่ 5 optical micrograph ของหยดน้ำมัน (a, b และ c) ก่อนระเหย ไทลูอิน และพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ (a', b' และ c') ที่ปริมาณต่างๆ ของกรดโอเลอิก (กรัม); (a และ a') 2.50 (b และ b') 1.25 และ (c และ c') 0.63

ในการเตรียมแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนของเหล็ก (III) ออกไซด์ เวลาที่ใช้ในการระเหยไทลูอิน เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญ ดังนั้น จึงได้ปรับเปลี่ยนปริมาณของไทลูอิน ที่ 15 30 และ 45 กรัม พบว่าหยดสารละลายพอลิเมทิลเมทาคริเลตหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ มีการกระจายตัวและมีขนาดใกล้เคียงกันทั้งสามสถานะการทดลอง (ดังรูปที่ 6) โดยในกรณีที่ใช้ปริมาณไทลูอิน 15 มิลลิลิตร จะใช้เวลาในการระเหยไทลูอินสั้นที่สุด จึงได้เลือกที่สถานะนี้ในการทดลองต่อไป เนื่องจากสามารถเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ให้มีลักษณะเป็นอิมัลชันได้โดยใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อย ซึ่งเป็นการประหยัดทั้งปริมาณและเวลาในการระเหยไทลูอิน โดยแคปซูลที่เตรียมได้นี้สามารถนำไปใช้ในการเป็นวัสดุสำหรับตัวตรวจวัด หรือสำหรับแยกโปรตีน ที่สามารถจับกับสารเป้าหมายแล้วแยกออกมาจากตัวอย่างได้ง่ายด้วยการดึงดูดกับแม่เหล็ก โดยรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงความแรงแม่เหล็กของอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ที่อยู่ในแคปซูล โดยการนำแคปซูลมากระจายตัวใน

น้ำเป็นสีส้มขุ่นดังรูปที่ 7 a เมื่อนำแม่เหล็กมาดึงดูดที่ด้านข้างเพียงระยะเวลาครั้งนาที แคปซูลสามารถจับกับแม่เหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยแคปซูลจะเคลื่อนที่มาด้านข้างในตำแหน่งของแม่เหล็ก เห็นสารละลายใสอย่างชัดเจนดังรูปที่ 7 b



รูปที่ 6 optical micrograph ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ที่ปริมาณต่างๆ ของไทลูมิน (กรัม); (a) 45 (b) 30 และ (c) 15

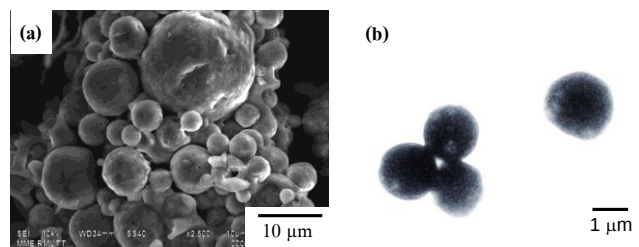


รูปที่ 7 ภาพสารแขวนลอยของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำก่อน (a) และหลัง (b) การใช้แม่เหล็กดึงดูด

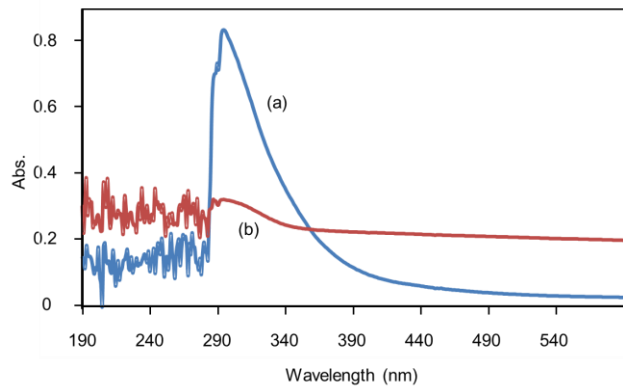
ปรับปรุงผิวของแคปซูลที่หุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ให้มีหมู่อะมิโนโดยการเคลือบด้วยไคโตซาน

ในการที่จะนำพอลิเมอร์แคปซูลของอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ไปประยุกต์ใช้งานจำเป็นต้องมีการปรับปรุงผิวของแคปซูลให้มีหมู่ฟังก์ชันที่เหมาะสม เช่น หมู่คาร์บอกซิล หมู่อะมิโน ซึ่งในการทดลองนี้จะเลือกการปรับปรุงผิวของแคปซูลเป็นหมู่อะมิโนโดยการนำพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ มาเคลือบด้วยไคโตซาน และใช้ กลูตาโรลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวางเพื่อป้องกันไม่ให้ไคโตซานหลุดออกจากผิวแคปซูลในระหว่างการใช้งาน โดยกลูตาโรลดีไฮด์จะเชื่อมสองสายโซ่ของไคโตซานด้วยพันธะโควาเลนต์ผ่านหมู่อะมิโนของไคโตซาน [21] ก่อนนำพอลิเมอร์แคปซูลไปเคลือบไคโตซานจำเป็นต้องเคลือบผิวของแคปซูลด้วยทวิน 80 เนื่องจากสารละลายไคโตซานจะมีสถานะเป็นกรด ในขณะที่แคปซูลที่

เตรียมได้จะมีกรดโอเลอิกเป็นสารลดแรงตึงผิว กรดโอเลอิกจะไม่แตกตัวในสภาวะกรดทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคแคปซูลได้ง่าย หลังจากการเคลือบด้วยไคโตซานพบว่าขนาดของแคปซูลเพิ่มขึ้น ($d_n = 3.42$ ไมโครเมตร) และเมื่อหยดสารละลายกลูตาโรลดีไฮด์ลงไป ขนาดของแคปซูลมีขนาดเล็กลง ($d_n = 2.38$ ไมโครเมตร) โดยขนาดที่ลดลงน่าจะเนื่องจากหมู่อะมิโนของสายโซ่ไคโตซานบางส่วนเกิดโครงร่างหักกับ กลูตาโรลดีไฮด์จึงทำให้ไคโตซานยึดติดกับผิวของแคปซูลได้แน่นขึ้น นอกจากนี้ ได้ทำการวัดค่าความเป็นประจุของแคปซูลก่อนและหลังเคลือบ ไคโตซาน และหลังทำปฏิกิริยากับกลูตาโรลดีไฮด์ พบว่าประจุที่ผิวของแคปซูลก่อนเคลือบไคโตซานมีประจุติดลบ (-31.81 mV) เนื่องมาจากการมีกรดโอเลอิกเคลือบอยู่ที่ผิว และเมื่อเคลือบไคโตซานที่ผิวของแคปซูล ประจุที่ผิวจะเปลี่ยนเป็นบวก (52.00 mV) อย่างชัดเจนและเมื่อหมู่อะมิโนบางส่วนของสายโซ่ไคโตซานเกิดพันธะโควาเลนต์กับกลูตาโรลดีไฮด์เกิดการเชื่อมขวาง ประจุบวกบนผิวของแคปซูล (36.60 mV) จะลดลงเล็กน้อย แต่ก็เพียงพอต่อการป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคแคปซูล ดังจะเห็นได้จากรูป SEM (รูปที่ 8a) และ TEM (รูปที่ 8b) ของแคปซูลที่หุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ที่เคลือบด้วยไคโตซาน โดยแคปซูลมีการเกาะตัวกันน้อยแม้อยู่ในสถานะที่แห้ง และผิวของอนุภาคจะไม่ค่อยเรียบซึ่งน่าจะเนื่องจากมีไคโตซานเคลือบอยู่ (รูปที่ 8a) ในขณะที่ภายในแคปซูลแสดงให้เห็นชัดเจนว่ามีอนุภาคเหล็ก (III) ออกไซด์ อยู่ภายใน (รูปที่ 8b)



รูปที่ 8 รูป SEM (a) และ TEM (b) ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ที่เคลือบด้วยไคโตซาน



รูปที่ 9 UV-visible สเปกตรัมของสารละลายไคโตซาน (1%)
(a) และพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ที่เคลือบด้วยไคโตซาน (b)

อย่างไรก็ตาม ได้ทำการยืนยันผลการยึดติดของสายโซ่ไคโตซานบนผิวของแคปซูลโดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี เนื่องจากหุ้มอะมิโนดูดกลืนแสงในช่วงยูวี ดังนั้น หากมีไคโตซานเคลือบที่ผิวแคปซูลจริงจะต้องมีสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงในช่วงยูวี จากรูปที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบสเปกตรัมของไคโตซานและพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ที่เคลือบด้วยไคโตซาน พบว่าแคปซูลมีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับไคโตซานบริสุทธิ์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถเคลือบผิวของพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ด้วยไคโตซานได้ ซึ่งจะสามารถนำพอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้งานในด้านตัวตรวจวัดชีวภาพและการแยกสารต่อไป

สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการเตรียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตแคปซูลหุ้มอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ ได้ด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลายแบบง่ายในระบบอิมัลชัน โดยมีสภาวะที่เหมาะสมคือใช้ กรดโอเลอิก 12.6 (0.63 กรัม) เท่าของอนุภาคนาโนเหล็ก (III) ออกไซด์ (0.05 กรัม) และใช้ตัวทำละลายโทลูอีนประมาณ 13 เท่าของผลรวมของพอลิเมทิลเมทาคริเลต และเหล็ก (III) ออกไซด์ โดยแคปซูลที่เตรียมได้มีลักษณะทรงกลมขนาดประมาณ 2 ไมโครเมตร โดยมีอนุภาคนาโนของเหล็ก (III) ออกไซด์ อยู่ภายใน นอกจากนี้ ยังสามารถเคลือบไคโตซานลงบนผิวของแคปซูลเพื่อให้มีหุ้ม อะมิโนบนผิว โดยใช้กลูตาไรลไฮดรอกไซด์เป็นสารเชื่อมขวางแทนทำให้สายโซ่ไคโตซานยึดติดกับผิวของอนุภาคแคปซูล โดยสามารถยืนยันผลได้จากการดูดกลืนแสงของไคโตซานบนผิวของแคปซูลที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร สอดคล้องกับไคโตซานบริสุทธิ์ ดังนั้น พอลิเมอร์แคปซูลที่เตรียม

ได้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านตัวตรวจวัดชีวภาพและการแยกสารได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] L.H. Fan, Y.L. Luo, Y.S. Chen, C.H. Zhang and Q.B. Wei, "Preparation and characterization of Fe₃O₄ magnetic composite microspheres covered by a P(MAH-co-MAA) copolymer," J Nanopart Res, 2009, pp. 449-458.
- [2] X. Q. Liu, Y. P. Guan, Z. Y. Ma and H. Z. Liu, "Surface modification and characterization of magnetic polymer nanospheres prepared by miniemulsion polymerization," Langmuir, vol. 20(23), 2004, pp. 10278-10282.
- [3] Z. Bo, X. Jianmin and L. Huizhou, "Preparation and application of magnetic microsphere carriers," Front. Chem. Eng. China, vol. 1(1), 2007, pp. 96-101.
- [4] P. S. Doyle, J. Bibette, A. Bancaud and J.-L. Viovy, "Self-Assembled Magnetic Matrices for DNA Separation Chips," Science, vol. 295, 2002, pp. 2237-2237.
- [5] I. Koh and L. Josephson, "Magnetic Nanoparticle Sensors," Sensors, vol. 9, 2009, pp. 8130-8145.
- [6] E. B. Denkbaz, E. Kilicay, C. Birlıkseven and E. Ozturk, "Magnetic chitosan microspheres: preparation and characterization," Reactive & Functional Polymers, vol. 50, 2002, pp. 225-232.
- [7] B. Xue, X. D. Tong, and Y. Sun, "Characterization of PVA-based magnetic affinity supported for protein adsorption," Sep Sci Technol, vol. 36, 2001, pp. 2449-2461.
- [8] A. Denizle, G. Ozkan, and M. Y. Arica, "Preparation and characterization of magnetic polymethylmethacrylate microbeads carrying ethylene diamine for removal of Cu(II), Cd(II), Pb(II) and Hg(II) from aqueous solutions," J Appl Polym Sci, vol. 78, 2000, pp. 81-89.
- [9] D. G. Shchukin, I. L. Radtchenko, and G. B. Sukhorukov, "Micron-scale hollow polyelectrolyte capsules with nanosized magnetic Fe₃O₄ inside," Materials Letters, vol. 57, 2003, pp. 1743-1747.

- [10] Y. Li, D. Yin, Z. Wang, B. Li and G. Xue, "Controlling the heterocoagulation process for fabricating PS-CoFe₂O₄ nanocomposite particles," *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, vol. 339, 2009, pp. 100-105.
- [11] M. Nakamura, K. Katagiri and K. Koumoto, "Preparation of hybrid hollow capsules formed with Fe₃O₄ and polyelectrolytes via the layer-by-layer assembly and the aqueous solution process," *J Colloid Interface Sci*, vol. 341, 2010, pp. 64-68.
- [12] Y.-H. Chen, Y.-Y. Liu, R.-H. Lin and F.-S. Yen, "Characterization of magnetic poly(methyl methacrylate) microspheres prepared by the modified suspension polymerization," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 108, 2008, pp. 583-590.
- [13] H. Zhang, Q. Zhang, B. Zhang and F. Guo, "Preparation of magnetic composite microspheres by surfactant free controlled radical polymerization: Preparation and characteristics," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 321, 2009, pp. 3921-3925.
- [14] A. K. Gupta and M. Gupta, "Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications," *Biomaterials*, vol. 26, 2005, pp. 3995-4021.
- [15] A. Xi, J. Hu, C. Wang and D. Jiang, "Synthesis of magnetic microspheres with controllable structure via polymerization-triggered self-positioning of nanocrystals," *Small*, vol. 3, 2007, pp. 1811-1817.
- [16] C. Berggren and G. Johansson, "Capacitance Measurements of Antibody-Antigen Interactions in a Flow System," *Analytical Chemistry*, vol. 69, 1997, pp. 3651-3657.
- [17] A. Chaiyasat, M. Yamada, H. Kobayashi, T. Suzuki, and M. Okubo, "Incorporation of nonionic emulsifier inside styrene-methacrylic acid copolymer particles during emulsion copolymerization," *Polymer*, vol. 49, 2008, pp. 3042-3047.
- [18] M. Okubo, A. Chaiyasat, M. Yamada, T. Suzuki, and H. Kobayashi, "Influence of hydrophilic-lipophilic balance of nonionic emulsifiers on emulsion copolymerization of styrene and methacrylic acid," *Colloid Polym. Sci.*, vol. 285, 2007, pp. 1755-1761.
- [19] A. Chaiyasat, H. Kobayashi and M. Okubo, "Incorporation of nonionic emulsifier inside methacrylic polymer particles in emulsion polymerization," *Colloid Polym. Sci.*, vol. 285, 2007, pp. 557-562.
- [20] A. Chaiyasat, P. Chaiyasat, B. Sirisawad, R. Khunlad, and S. Kongtham, "Preparation and characterization of magnetic polymeric composite particles by modified-suspension polymerization," in *10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium*, Ubon ratchathani, Thailand, 2012, pp. 589-593.
- [21] D. J. Macquarrie and A. Bacheva, "Efficient subtilisin immobilization in chitosan, and peptide synthesis using chitosan-subtilisin biocatalytic films," *Green Chem.*, vol. 10, 2008, pp. 692-695.

การเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกกลิ่นของจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

Efficiency Enhancement of Electronic Nose Classification Using Artificial Neural Network

ชนะ จันทศรี และ จักรี ศรีนันทมิตร*

ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

*E-mail: jakkree.s@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันจมูกอิเล็กทรอนิกส์ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาไปใช้ในงานต่างๆ มากมาย เนื่องจากมีความสะดวก รวดเร็วในการทำงานและง่ายต่อการใช้งาน บทความนี้จะนำเสนอการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการจำแนกกลิ่นเสื้อบุคคล โดยใช้แก๊สเซ็นเซอร์ชนิดเมทัลออกไซด์ทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์รับกลิ่น เนื่องด้วยมีความทนทาน เชื่อถือได้และสะดวกในการออกแบบวงจร ซึ่งการทำงานของระบบจะทำการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดเหงื่อและติดบนเสื้อของอาสาสมัครหลังการสวมใส่ จากนั้นนำค่าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณสูงสุดที่เอาต์พุตของแก๊สเซ็นเซอร์แต่ละตัวมาใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อจำแนกกลิ่นเสื้อตัวอย่างของอาสาสมัครแต่ละคน ผลการทดลองพบว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกกลิ่นเสื้อตัวอย่างของอาสาสมัครจำนวน 7 คน ได้เป็นอย่างดีโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลให้ความถูกต้องประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งดีกว่าการใช้เทคนิค MDA และ PCA

คำสำคัญ: จมูกอิเล็กทรอนิกส์ แก๊สเซ็นเซอร์ โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

Electronic nose is recently popular and has been used in various applications according to it is very facility and easy to use. This paper presents the classification method for personal shirt odor. The metal oxide gas sensors have been measured the shirt odor because it is stable, reliable and convenience to design the circuit to measure the VOCs from sample shirt. The evaluate highest signal changing value of gas sensor is then analyze using artificial neural network to classify the shirt odor of each person. The results show that electronic nose in this experiment can exactly classify the shirt odor of

7 volunteers. The relative absolute correctly is 99% that result is better than MDA and PCA technique.

Keywords: Electronic nose, Gas sensor, Artificial neural network

บทนำ

การรับรู้กลิ่นของมนุษย์เป็นความรู้สึกเมื่อมีโมเลกุลของสารส่งกลิ่นหรือไอระเหยจากสารชนิดต่างๆ มาสัมผัสส่ววัยรับรู้กลิ่นซึ่งก็คือจมูก แต่อย่างไรก็ตามว่าจมูกมนุษย์มีขีดจำกัดในการใช้งาน เช่น จมูกสามารถดมกลิ่นได้บางกลิ่น ไม่เหมาะการดมกลิ่นสารพิษต่างๆ เป็นต้น เมื่อจมูกมนุษย์มีข้อจำกัดในการใช้งาน จึงต้องอาศัยเครื่องมือที่สามารถระบุกลิ่นหรือก๊าซที่เรียกว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose) ซึ่งถูกออกแบบและสร้างเพื่อตรวจสอบและจำแนกกลิ่นหรือก๊าซต่างๆ ได้คล้ายการทำงานของจมูกมนุษย์ ทั้งนี้จุดเด่นของการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์คือเป็นอุปกรณ์ใช้ง่าย รู้ผลการตรวจเร็ว และบอกข้อมูลเชิงคุณภาพของกลิ่นที่สนใจได้ถูกต้อง เป็นต้น โดยจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะทำการดมกลิ่นและจำแนกแบบแผน(Pattern) [1] ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดจากตัวอย่าง ซึ่งจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีการนำไปใช้งานอย่างหลากหลาย เช่น การตรวจสอบคุณภาพอาหาร [2] การเฝ้าระวังมลพิษทางอากาศ[3] ผู้ป่วยโรคมะเร็งปอดจากลมหายใจ [4] เป็นต้น เนื่องจากกลิ่นตัวของมนุษย์มีความจำเพาะเจาะจงในแต่ละบุคคล [5] ผู้วิจัยจึงใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แก๊สเซ็นเซอร์หลายตัวต่อร่วมกันจำแนกกลิ่นเสื้อบุคคลหลังจากการสวมใส่ [6] ซึ่งได้ตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้มีความสามารถและประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยการปรับเปลี่ยนตัวแก๊สเซ็นเซอร์ที่มีความไว(Sensitivity) เพิ่มขึ้นและใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีกว่าเทคนิคการวิเคราะห์หลัก (PCA) ที่ใช้อยู่เดิมประมวลผลข้อมูลที่ได้หลังการทดสอบ

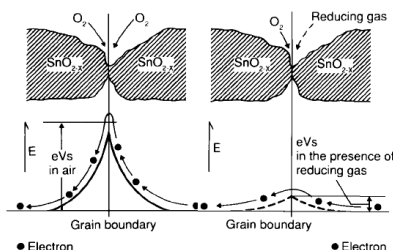
วิธีการทดลอง

หลักการของแก๊สเซ็นเซอร์แบบอาร์เรย์

แก๊สเซ็นเซอร์ (Gas Sensor) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามแก๊สต่างๆ ที่มันอยู่ ซึ่งตัวที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายทำจากออกไซด์ของโลหะ เช่น ดีบุกออกไซด์ (SnO_2), ทังสเตนออกไซด์ (WO_3) เป็นต้น ซึ่งการทำงานในสภาวะปกติผลึกออกไซด์จะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของออกซิเจนที่อยู่รอบๆ จะไปเกาะตัวที่ผิวของผลึกโลหะออกไซด์ด้วยประจุที่เป็นลบทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่ผิวเกิดการขัดขวางการไหลของอิเล็กตรอนทำให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์เพิ่มสูงขึ้นและเกิดแรงดันตกคร่อมเพิ่มมากขึ้น จากนั้นเมื่อมีตัวอย่างที่ต้องการวัดผ่านเข้ามาทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง หรือทำให้เกิดการ Deoxidizing ขึ้น ทำให้ความหนาแน่นประจุลบที่ผิวผลึกออกไซด์โลหะลดลงและศักย์ไฟฟ้าซึ่งกีดขวางการไหลของอิเล็กตรอนลดลงด้วยเป็นผลให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์ลดลง และแรงดันตกคร่อมก็ลดลงไปด้วยความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ และความเข้มข้นของ Deoxidizing gas สามารถอธิบายได้ตามสมการ

$$R_s = A[C]^{-\alpha} \quad (1)$$

โดยที่ R_s คือค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ A คือค่าคงที่, C คือค่าความเข้มข้นของแก๊ส และ α คือความชันของกราฟ

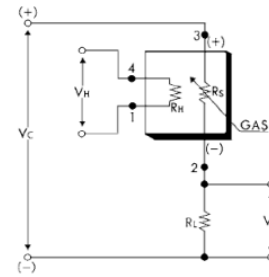


ความต้านทาน

R_s

รูปที่ 1 แบบจำลองศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะอยู่ในสภาวะปกติและทำการวัดตัวอย่าง

วงจรของเซ็นเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 2 จากวงจร V_H เป็นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวทำความร้อน (Heater) เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้กับเซ็นเซอร์ให้คงที่เพื่อควบคุมความไวของเซ็นเซอร์ให้คงที่อีกทีหนึ่ง เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อความไวของเซ็นเซอร์



รูปที่ 2 วงจรพื้นฐานสำหรับแก๊สเซ็นเซอร์โลหะออกไซด์ [8]

เราสามารถจะคำนวณความต้านทาน (R_s) ได้จากสมการ

$$R_s = \left(\frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L \quad (2)$$

โดยเซ็นเซอร์แก๊สแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมรอบตัวมันต่างกันส่วนความไว (Sensitivity) จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแก๊สเซ็นเซอร์ที่ออกแบบมาใช้งานกับสารเคมีที่ต้องการตรวจวัด ซึ่งความไวมีผลต่อการจำแนกกลิ่น เราจึงนำแก๊สเซ็นเซอร์หลายชนิดมาต่อรวมกันหลายตัวเพื่อตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ติดบนเสื้อ

ตารางที่ 1 เบอร์และสารเคมีที่ตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดเมเทลออกไซด์ที่ใช้

ลำดับ	เบอร์	สารเคมีที่ตอบสนอง
1	TGS 2602	สารปนเปื้อนในอากาศ
2	TGS 2600	สารปนเปื้อนในอากาศ
3	TGS 822	ไอระเหยสารละลายอินทรีย์
4	TGS 813	กลุ่มแก๊สที่เผาไหม้ได้
5	TGS 832	เอทานอล
6	TGS 826	สารประกอบเอมีน
7	TGS 825	แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์
8	SMTHS07	ความชื้น



รูปที่ 3 แก๊สเซ็นเซอร์ต่อรวมกันเป็นจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์

การวิเคราะห์หลักมิติเปิดดิสคริมิแนนต์

เทคนิคการวิเคราะห์หลักมิติเปิดดิสคริมิแนนต์(MDA) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่มีการเรียนรู้แบบมีการสอนเหมาะสำหรับการนำตัวแปรอิสระหลายตัว ซึ่งวัดในมาตรอันตรภาคหรืออัตราส่วน ไปทำนายตัวแปรตาม ซึ่งเป็นตัวแปรกลุ่มหรือตัวแปรจัดประเภท ตัวแปรกลุ่มอาจเป็นตัวแปรจัดประเภทมากกว่า 2 กลุ่ม แนวคิดของการจำแนกทดสอบสมมติฐาน คือ การหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรต้นแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากันหรือไม่ การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติเป็นการทดสอบระยะห่างระหว่างค่าเฉลี่ยของคะแนนจำแนกของแต่ละกลุ่ม ทำให้ได้ฟังก์ชันการจำแนกไว้อธิบายว่าสามารถจำแนกกลุ่มใดด้วยตัวแปรใด การวิเคราะห์วิธีนี้นอกจากจะสามารถจำแนกระหว่างกลุ่มได้อย่างสูงสุดแล้ว ยังสามารถบอกธรรมชาติบางอย่างของการจำแนกนั้นด้วย เช่น บอกว่าตัวแปรใดจำแนกได้ดีมากน้อยกว่ากัน นั่นคือสามารถบอกประสิทธิภาพการจำแนกของกลุ่มตัวอย่างที่นำมาทดสอบ นอกจากนี้การวิเคราะห์หลักมิติเปิดดิสคริมิแนนต์ยังสามารถพยากรณ์การเข้าสู่กลุ่มของข้อมูลใหม่ด้วย ฟังก์ชันการจำแนกจะเป็นผลรวมเชิงเส้นของตัวแปรตามที่เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่มมากที่สุด ขั้นตอนการวิเคราะห์เริ่มต้นจะต้องหาค่า Eigenvalue หรือที่เรียกว่า Discriminant Criterion เขียนแทนด้วย สัญลักษณ์ λ ซึ่งก็คือ ความแปรปรวนของคะแนนแปลงรูป Y ที่แปลงมาจาก $X_1, X_2, \dots, X_p$ เขียนในรูปสมการได้เป็น

$$\lambda = \frac{SS_b(Y)}{SS_w(Y)} \quad (3)$$

โดยที่ $SS_b(Y)$ แทน Sum of Square of between group จากคะแนน Y และ $SS_w(Y)$ แทน Sum of Square of within group จากคะแนน Y หลังจากหาคำนวนค่า λ แต่ละค่าแล้ว นำค่าเหล่านี้ไปคำนวณหาค่า b แต่ละชุด ค่า λ_1 จะให้ค่า b_1 ค่า λ_2 จะให้ค่า b_2 และค่า λ_3 ก็จะให้ค่า b_3 ดำเนินการจนครบ λ ทุกค่า โดยใช้สมการ

$$(W^{-1}B - \lambda I)b = 0 \quad (4)$$

โดยที่ W^{-1} แทน อินเวอร์สเมตริกซ์ของผลรวมของกำลังสองและของผลคูณ ภายในกลุ่ม, B แทน เมตริกซ์ของผลรวมกำลังสองและของผลคูณ ระหว่างกลุ่ม, λ แทน Eigenvalue และ I แทน ไอน์ไเดนตีเมตริกซ์ (Identity matrix) หลังจากได้ค่า b

ของแต่ละค่า λ แล้วนำค่าแต่ละชุดเขียนเป็นสมการจำแนก (Discriminant Function) ดังนี้

$$\begin{aligned} z_1 &= b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + \dots b_{1p}x_p \\ z_2 &= b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + b_{23}x_3 + \dots b_{2p}x_p \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ z_i &= b_{i1}x_1 + b_{i2}x_2 + b_{i3}x_3 + \dots b_{ip}x_p \end{aligned} \quad (5)$$

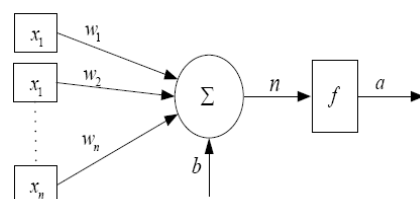
เมื่อได้สมการจำแนกกลุ่มก็จะทำการทดสอบนัยสำคัญของสมการที่ได้เพื่อทราบว่าสมการเหล่านั้นสมการใดมีอำนาจจำแนกกลุ่มได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้วิธี Barlett test

$$V_m = [N - 1 - 0.5(p + k)] \ln(1 + \lambda_m) \quad (6)$$

โดยที่ V_m แทน ค่าที่จะใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเพื่อทราบนัยสำคัญของสมการที่ m ส่วน N แทน จำนวนสมาชิกในกลุ่มทั้งหมด p แทน จำนวนตัวแปร k แทนจำนวนกลุ่มและ λ แทน Eigen value ของสมการที่ทดสอบ สมการจำแนกจะมีนัยสำคัญ เมื่อค่า V_m ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับวิกฤติ (Critical Value)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

มีพื้นฐานมาจากการจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จุดมุ่งหมายของโครงข่ายประสาทเทียมคือต้องการให้คอมพิวเตอร์มีความชาญฉลาดในการเรียนรู้เหมือนที่มนุษย์มีการเรียนรู้สามารถฝึกฝนได้และสามารถนำความรู้และทักษะ รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับปัญหา Classification, Regression และ Clustering เทคนิคนี้มักถูกเรียกว่า “black box” เนื่องจากการทำงานมีความซับซ้อนมากกว่าเทคนิคอื่นๆค่อนข้างมาก การเรียนรู้ของนิวรอลเน็ตเวิร์ก ทำได้โดยการส่งข้อมูลเข้ามายังส่วนที่เรียกว่าเพอร์เซปตรอน (perceptron) สามารถเทียบได้กับเซลล์สมองของมนุษย์ โดยที่เพอร์เซปตรอนทำการรับข้อมูลที่อยู่ในรูปของเมทริกซ์ซึ่งเป็นตัวเลขเข้ามาคำนวณ ซึ่งมีไดอะแกรมการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมดังรูปที่ 4



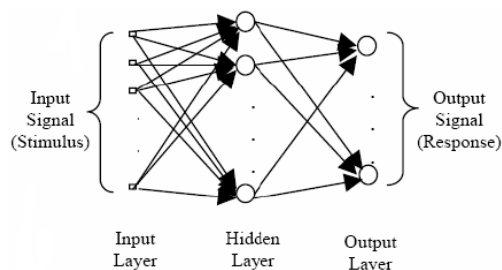
รูปที่ 4 หลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม [7]

ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function) โดย i มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง z

$$n = \sum_{i=1}^z x_i w_i + b \quad (7)$$

โดยที่ n คือ ผลรวมที่ได้จากฟังก์ชันผลรวม
 x_i คือ ค่าข้อมูลเข้าตัวที่ i
 w_i คือ ค่าน้ำหนักของนิวรอนตัวที่ i
 z คือ จำนวนนิวรอนชั้นข้อมูลเข้า
 b คือ ค่าความโน้มเอียง

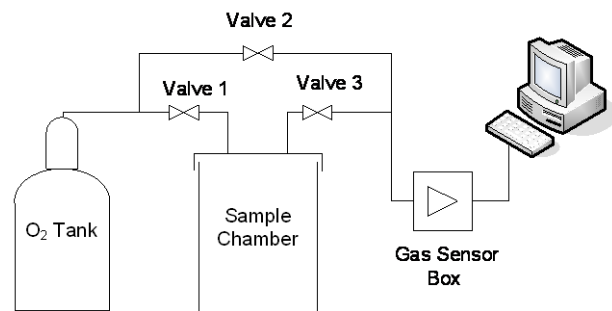
โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multilayer Perceptron (MLP) [7] โครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP เป็นรูปแบบหนึ่งของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างเป็นแบบชั้นใช้สำหรับงานที่มีความซับซ้อนได้ผลเป็นอย่างดี โดยมีกระบวนการฝึกฝนเป็นแบบ Supervise และใช้ขั้นตอนการส่งค่าย้อนกลับ (Back propagation) สำหรับการฝึกฝน กระบวนการส่งค่าย้อนกลับประกอบด้วย 2 ส่วนย่อยคือ การส่งผ่านไปข้างหน้า (Forward Pass) การส่งผ่านย้อนกลับ (Backward Pass) สำหรับการส่งผ่านไปข้างหน้า ข้อมูลจะผ่านเข้าโครงข่ายประสาทเทียมที่ชั้นของข้อมูลเข้าและจะส่งผ่านจากอีกชั้นหนึ่งไปสู่อีกชั้นหนึ่งจนกระทั่งถึงชั้นข้อมูลออก ส่วนการส่งผ่านย้อนกลับค่าน้ำหนักการเชื่อมต่อจะถูกปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับกฎการแก้ข้อผิดพลาด (Error correction) คือ ผลต่างของผลตอบที่แท้จริง (Actual response) กับผลตอบเป้าหมาย (Target response) เกิดเป็นสัญญาณผิดพลาด (Error signal) ซึ่งสัญญาณผิดพลาดนี้จะถูกส่งย้อนกลับเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมในทิศทางตรงกันข้ามกับการเชื่อมต่อ ค่าน้ำหนักการเชื่อมต่อจะถูกปรับจนกระทั่งผลตอบที่แท้จริงเข้าใกล้ผลตอบเป้าหมาย ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงข่ายประสาทเทียม Multilayer Perceptron [7]

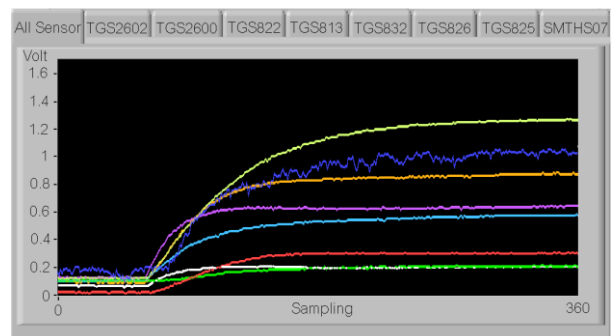
การจำแนกกลิ่นเสื้อบุคคลโดยใช้แก๊สเซ็นเซอร์มาเป็นจุมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ติด

บนเสื้อนั้น เสื้อที่นำมาทดสอบดมกลิ่นด้วยจุมูกอิเล็กทรอนิกส์จะมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างโดยจะให้อาสาสมัครสวมใส่เสื้อที่จะนำมาทดสอบออกกำลังกายให้เกิดเหงื่อและมีกลิ่นตัวติดบนเสื้อ โดยอาสาสมัครทุกคนมีการดำเนินชีวิตประจำวันในลักษณะคล้ายคลึงกัน ต่อจากนั้นนำมาทดสอบกับจุมูกอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีไดอะแกรมการทำงานดังรูปที่ 6 โดยประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ระบบการควบคุมการไหลของแก๊สซึ่งมีออกซิเจนเป็นแก๊สพาหุ ชุดแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดเมทอลออกไซด์ต่อร่วมกันแบบอาร์เรย์และระบบการบันทึกสัญญาณ ซึ่งใช้อุปกรณ์ DAQ NI-USB 6008 ร่วมกับโปรแกรม Labview 7.1



รูปที่ 6 ไดอะแกรมการทำงานของจุมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้จำแนกกลิ่นเสื้อบุคคล

การทำงานของระบบดมกลิ่นตัวอย่างเสื้อจะเริ่มจากการปล่อยให้แก๊สออกซิเจนไหลผ่านแก๊สเซ็นเซอร์อาร์เรย์ในอัตรา 1 ลิตร/นาที่ เป็นเวลา 1 นาที ให้ระดับสัญญาณ Baseline เซ็นเซอร์ทั้ง 8 ตัวคงที่ โดยการปิดวาล์วตัวที่ 1, 3 และเปิดวาล์วตัวที่ 2 ในระหว่างนั้นนำตัวอย่างเสื้อใส่ในภาชนะขนาด 2000 ml ต่อจากนั้นระบบจะทำการปิดวาล์วตัวที่ 2 และเปิดวาล์วตัวที่ 1, 3 เพื่อให้แก๊สพาทนำสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ติดบนเสื้อตัวอย่างไหลสู่เซ็นเซอร์อาร์เรย์ทั้ง 8 ตัว เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งจะได้สัญญาณการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 สัญญาณการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของเซ็นเซอร์ที่ได้จากการทดสอบเสื้อตัวอย่าง

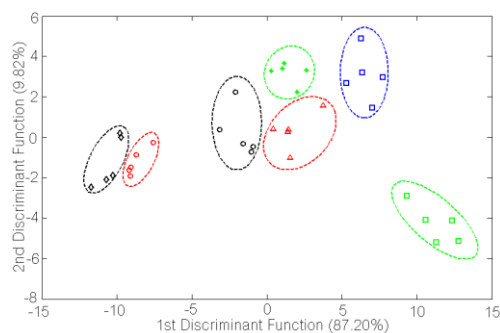
ผลการทดลอง

การใช้หมึกอิเล็กทรอนิกส์ทดแทนอย่างเสื่อจะทำการเก็บตัวอย่างและทดลองเป็นเวลา 5 วัน แต่ละวันก็จะมีการตรวจวัดหลังจากการออกกำลังกายของอาสาสมัคร ซึ่งมีจำนวนอาสาสมัคร 7 คน หลังจากการตรวจวัดจะหาค่าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณสูงสุดของแก๊สเซ็นเซอร์ที่มีกับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายบนเสื่อ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาสร้างเมตริกข้อมูลขนาด 30x8 เพื่อนำไปวิเคราะห์การจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) และการวิเคราะห์มิติเปิดดิสคริมิแนนต์ (MDA)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณสูงสุดของแก๊สเซ็นเซอร์ของอาสาสมัครแต่ละคน

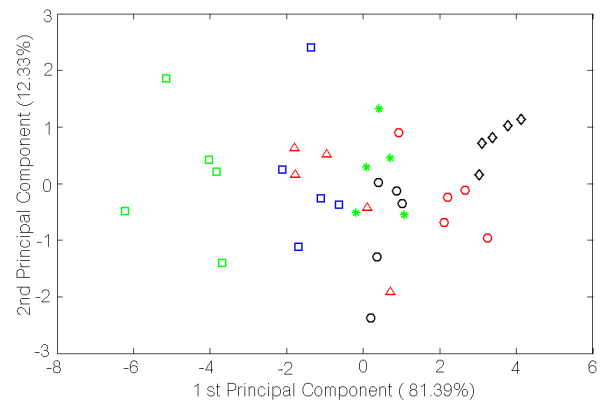
คน ที่	TGS 2602 (V)	TGS 2600 (V)	TGS 822 (V)	TGS 813 (V)	TGS 832 (V)	TGS 826 (V)	TGS 825 (V)	SMT HS07 (V)
1	0.157	0.265	0.108	0.364	0.764	0.604	0.745	0.598
2	0.061	0.2	0.079	0.239	0.243	0.19	0.439	0.61
3	0.126	0.248	0.106	0.36	0.64	0.522	0.741	0.642
4	0.047	0.147	0.069	0.192	0.145	0.128	0.296	0.476
5	0.124	0.226	0.091	0.299	0.505	0.475	0.494	0.578
6	0.192	0.314	0.139	0.616	1.286	0.825	1.103	0.647
7	0.098	0.232	0.092	0.294	0.513	0.41	0.516	0.71

การวิเคราะห์เมตริกข้อมูลจากการใช้หมึกอิเล็กทรอนิกส์ทดแทนอย่างเสื่อ เราจะใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA เพื่อดูผลการวิเคราะห์เบื้องต้นว่าข้อมูลมีโอกาสจำแนกได้หรือไม่ โดยดูจากผลจากการวิเคราะห์เราจะได้ตัวแปรใหม่ $PCA1$ และ $PCA2$ ซึ่งทั้งสองตัวแปรจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าข้อมูลสามารถจำแนกกันได้หรือไม่ โดยดูจากผลรวมเปอร์เซ็นต์การดึงความสัมพันธ์ของเมตริกข้อมูลของทั้งสองตัวแปร ถ้ายิ่งมากแสดงว่าการจำแนกได้ดี ซึ่งต้องได้ค่าอย่างน้อยร้อยละ 80



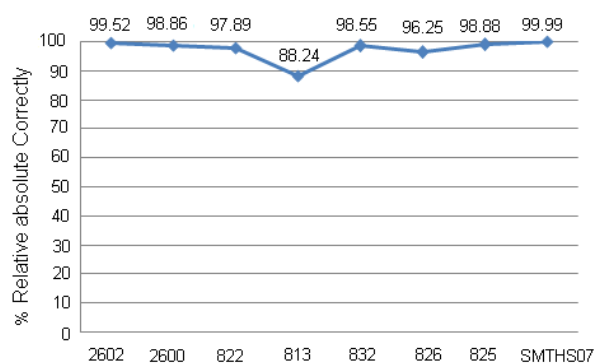
รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์การจำแนกเมตริกข้อมูลด้วยเทคนิค PCA

จากการใช้เทคนิค PCA วิเคราะห์เมตริกข้อมูล พบว่าได้ผลการดึงความสัมพันธ์ของตัวแปร $PCA1$ และ $PCA2$ ร้อยละ 81.39 และ 12.33 ตามลำดับ ซึ่งได้ผลรวมของทั้งสองตัวแปรร้อยละ 93.72 ซึ่งเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ แต่จากการพล็อตกราฟจะเห็นว่าการจำแนกยังไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากการซ้อนทับกันของข้อมูลในบางคน ซึ่งเราจะแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการนำเมตริกข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค MDA ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์การจำแนกเมตริกข้อมูลด้วยเทคนิค MDA

หลังจากการใช้เทคนิค MDA จะสามารถจำแนกกลุ่มเสื่อของแต่ละคนออกได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 8 ซึ่งให้ผลการดึงความสัมพันธ์ของเมตริกข้อมูลทั้งตัวแปร $DF1$ และ $DF2$ ร้อยละ 87.2 และ 9.82 ได้ผลรวม 97.02 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำข้อมูลมาจำแนกด้วยเทคนิค MLP เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลที่ขึ้นโดยใช้ฟังก์ชัน Sigmoid มี Hidden Layer จำนวน 4 Node ได้ค่าเอาต์พุต Node คือ -0.868, -1.430, 0.681, 3.696 ตามลำดับ และ Threshold เท่ากับ -1.326 ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลด้วยเทคนิค MLP

จะเห็นว่าการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของแก๊สเซ็นเซอร์ในแต่ละตัวให้ความถูกต้องประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลการทำงานที่ดีกว่า PCA และ MDA ซึ่งให้ความถูกต้องประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์

สรุปผล

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้ออกแบบและพัฒนาจากการใช้แก๊สเซ็นเซอร์ชนิดเมทอลออกไซด์มาต่อร่วมกันเพื่อตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ติดบนเสื้อผ้าของอาสาสมัครหลังจากออกกำลังกาย พบว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มีค่าแตกต่างกันออกไปและเมื่อเราทำการเปลี่ยนแปลงสูงสุดจากการวัดในแต่ละครั้งมาทำการวิเคราะห์ขั้นต้นโดยใช้เทคนิค PCA พบว่าสามารถถึงความสัมพันธ์ของเมตริกข้อมูลของตัวแปร $PCA1$ และ $PCA2$ ร้อยละ 93.72 แต่จากการพลอตกราฟพบว่าการจำแนกไม่เด่นชัดโดยมีการซ้อนทับของข้อมูล เราจึงใช้เทคนิค MDA ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีการเรียนรู้แบบมีการสอน มาวิเคราะห์พบว่าให้ค่าการถึงความสัมพันธ์ของเมตริกข้อมูลของตัวแปร $DF1$ และ $DF2$ ร้อยละ 97.02 และสามารถจำแนกข้อมูลจากการดมกลิ่นเสื้อของอาสาสมัครจำนวน 7 คน ออกเป็นกลุ่มอย่างชัดเจนและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแก๊สเซ็นเซอร์ในแต่ละตัวให้ดียิ่งขึ้น จึงนำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP มาใช้โดยให้ความถูกต้องประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลการจำแนกดีกว่าเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์หลักตีเปิดดิสคริมีแนนต์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Z. Tao, "Pattern Recognition of the Universal Electronic Nose", Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 2008.
- [2] C. Di Natale, "Advances in Food Analysis by Electronic Nose", IEEE Catalog Number: 97THS280, 1997, pp. SS122-SS127.
- [3] I. Morsi, "Electronic Noses for Monitoring Environmental Pollution and Building Regression Model", Arab Academy for Science and Technology, Egypt/ Alexandria, 2008.
- [4] R. Blatt, "Lung Cancer Identification by an Electronic Nose based on an Array of MOS Sensors", International Conference on Neural Networks, August 12-17, 2007.

[5] C. Wongchoosuk, M. Lutz and T. Kerdcharoen, "Correction of Humidity Effect for Detection of Human Body Odor", Proceedings of ECTI-CON, 2008.

[6] ชนะ จันทร์ศรี และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร, "จมูกอิเล็กทรอนิกส์จำแนกกลิ่นเสื้อบุคคลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลักตีเปิดดิสคริมีแนนต์", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33, ธันวาคม 2553.

[7] ภรณ์ยา อัมฤครัตน์, การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดเลือกและจำแนกข้อมูลด้วยวิธีการทางเครือข่ายประสาทเทียม, The 5th National Conference on Computing and Information Technology, 2009.

[8] Figaro company, Gas sensor datasheet, (Online) Available: www.figaro.co.jp (10 March 2010).

การจดจำวัตถุจากประสาทสัมผัสทางกายโดยการใช้ภาพถ่ายระยะประชิดความละเอียดต่ำร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและ z-score

Tactile Object recognition using low resolution image from close up image and Principle Component Analysis and z-score

สมชาย เปาะทองคำ และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร*

ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12110

*E-mail : jakkree.s@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาาระบบประสาทสัมผัสเทียมของหุ่นยนต์และคอมพิวเตอร์เป็นการพัฒนาเพื่อให้หุ่นยนต์และคอมพิวเตอร์รับรู้และเข้าใจลักษณะทางกายภาพของวัตถุนั้นทำให้คอมพิวเตอร์สามารถจดจำวัตถุได้จากการสัมผัส ซึ่งเป็นพื้นฐานในการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับคอมพิวเตอร์ บทความนี้นำเสนอเทคนิคในการจดจำวัตถุจากระบบประสาททางกาย โดยการประมวลผลภาพที่ได้จากวัตถุนั้นๆที่ได้ในระยะประชิด โดยเป็นภาพที่มีความละเอียดต่ำขนาด 16x16 จุด จำนวน 60 ภาพต่อตัวอย่าง ทำการแยกกลุ่มวัตถุ 6 กลุ่ม ซึ่งมีกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง การประมวลผลและการวิเคราะห์ของภาพที่ได้จากการสัมผัสวัตถุที่แตกต่างกันนั้น ในการศึกษาใช้วิธีวิเคราะห์ทางสถิติที่สกัดจากจำนวนภาพที่ได้ ทำการจัดหมวดหมู่ของวัตถุในรูปโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและ z-score เพื่อใช้ในการจำแนกวัตถุจากการทดลองพบว่าระบบมีความถูกต้องในการจำแนกเฉลี่ยได้ 85% ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นสูงเมื่อค่าความสว่างในระดับสีเทาของวัตถุนั้นๆมีความแตกต่างกันมาก เช่นรถยนต์ที่มีหลากหลายสีจะมีความถูกต้องเพียง 50% แต่ความสามารถในการจัดกลุ่มจะมีความถูกต้องสูงเมื่อวัตถุนั้นมีค่าความสว่างในระดับสีเทาใกล้เคียงกัน เช่นยางรถยนต์มีความถูกต้องในการจำแนก 100%

คำสำคัญ: Object Recognition Tactile Image Machine Learning Principle Component Analysis z-score

Abstract

The development of an artificial sensory systems for robotic and computers is develop for a computer to recognize and understand the physical nature of the object. As The basis for the development of artificial intelligence system for computers. This paper presents a technique to recognize physical objects from the image tactile system by processing images from the object at close range. This study using a low resolution image size

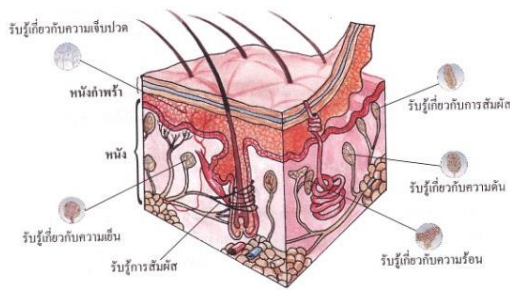
16x16 point for 60 images per sample and for 6 groups with each group of 10 samples. Processing and analysis in this study, statistical features are extracted from a number of acquired tactile images for classification in their respective object image data. Principle Component Analysis (PCA) used for extract and analyzes an image sample. Which resulted in average classification accuracy is 85%. The error will occur when the brightness of the object in the gray level that are very different as car sample is lowest accuracy is 50%.and ability grouping is accurate when the object is the brightness in the gray level are low differenced as tire sample is 100% accuracy.

Keywords: Object Recognition, Tactile Image, Machine Learning, Principle Component Analysis, z-score

บทนำ

ระบบประสาทสัมผัส [1]

ระบบรับรู้ความรู้สึกทางกาย (SOMATOSENSORY SYSTEM) ดังรูปที่ 1[2] เป็นตัวรับรู้ความรู้สึกจากส่วนนอกของร่างกาย เช่น รับความรู้สึกที่ผิวหนัง หรือรับรู้ความรู้สึกจากอวัยวะภายในร่างกาย โดยที่ตัวรับรู้ความรู้สึก (SENSORY RECEPTOR) จะมีการตอบสนองต่อความรู้สึกอย่างจำเพาะเช่นการสัมผัส แรงกดดัน (PRESSURE) อุณหภูมิ ความเจ็บปวด ความสั่นสะเทือน และความรู้สึกถึงการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อและตำแหน่งข้อต่อ



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของประสาทรับรู้การสัมผัส

การสัมผัส [2]

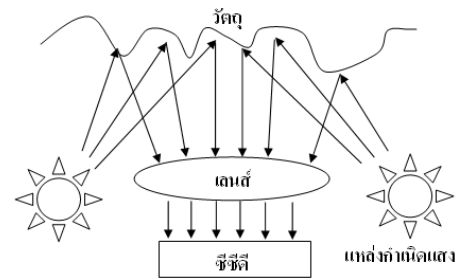
การถูกต้องสัมผัสเป็นความรู้สึกที่เริ่มมาจากการทำงานของเซลล์รับความรู้สึก ซึ่งทั่ว ๆ ไปมีอยู่ในผิวหนังรวมทั้งปุ่มขน (HAIR FOLLICLE) แต่ก็มีอยู่ที่ลิ้น คอ และเยื่อเมือกด้วย มีตัวรับแรงกด (PRESSURE RECEPTOR) ที่ตอบสนองต่อแรงกดแบบต่าง ๆ (แบบหนักแน่น แบบผ่าน ๆ แบบคงที่) สำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์คือผิวหนังอิเล็กทรอนิกส์ที่มีเซ็นเซอร์รับแรงกด

การเก็บภาพพื้นผิวเชิงแสง [3]

ระบบประสาทสัมผัสอิเล็กทรอนิกส์ (TACTILE SENSOR) มีหลายเทคนิค แต่ในบทความนี้ใช้เทคนิคการเก็บภาพพื้นผิวเชิงแสงซึ่งถูกพัฒนามาสำหรับตัวรับรู้ลายนิ้วมือ โดยใช้เทคโนโลยีทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับแสงโดยเก็บภาพในเชิงสองมิติหรือภาพสามมิติ แนวทางในการเก็บภาพลายวัตถุเชิงแสงจะใช้กล้องวิดีโอเป็นตัวรับภาพแล้วใช้แสงส่องไปที่วัตถุการสะท้อนของแสงอันเกิดจากลักษณะพื้นผิวของวัตถุจะมีความแตกต่างกันจนสามารถมองเห็นถึงความแตกต่างของพื้นผิววัตถุที่ต่างชนิดกัน เทคนิคการเก็บภาพลายพื้นผิวของแสงนี้มี 3 วิธีหลักคือ เทคนิคการสะท้อนภายในกลับหมด (FRUSTRATED TOTAL REFLECTION TECHNIQUE) เทคนิครับภาพตรงบนแท่น (DIRECT VIEW ON PLATEN TECHNIQUE) และเทคนิครับภาพตรงไม่สัมผัส (TOUCHLESS DIRECT VIEW TECHNIQUE) ซึ่งในบทความนี้ได้ใช้เทคนิคเก็บภาพพื้นผิววัตถุแบบนี้ในการเก็บภาพ

เทคนิครับภาพตรงไม่สัมผัส (Touchless Direct View Technique) [4]

เป็นการใช้กล้องที่มีคุณภาพสูงทำการโฟกัสบริเวณพื้นผิวของวัตถุในระยะที่กำหนดและทำการถ่ายภาพโดยตรงของวัตถุ ดังนั้นการควบคุมแสงจึงมีความสำคัญในการเก็บภาพเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุ (Touchless Sensor) ทำให้เกิดข้อดีที่ไม่เกิดปัญหาเรื่องความบิดเบี้ยวแบบไม่เป็นเชิงเส้นได้ แต่มีข้อเสียที่ภาพที่ได้จะเป็นภาพพื้นผิวที่ไม่ได้เป็นภาพแรงที่กระทำต่อเซ็นเซอร์การทำงานแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของเทคนิครับภาพตรงไม่สัมผัส

ระบบประสาทสัมผัสแบบอิเล็กทรอนิกส์และการวิเคราะห์สัญญาณ

ในปี 2013 Shreyasi Datta [5] และคณะได้นำเสนองานที่ใช้รูปที่ได้จากการสัมผัสวัตถุแล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการจำแนกข้อมูลโดยเทคนิค k-nearest neighbor (kNN), Naïve Bayes classifier และ Linear Discriminant Analysis (LDA) and Ensemble) in one-versus-one (OVO) ในบทความนี้ทางผู้วิจัยจึงได้ทดลองนำเสนอเทคนิคใหม่ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ในลักษณะเดียวกันซึ่งได้ทำการทดลองการวิเคราะห์ข้อมูลสอบเทคนิคร่วมกันคือการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและ z-score

วิธีการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์โดยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก[6] หรือ Principle Component Analysis (PCA) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดมิติของเวกเตอร์ลักษณะ โดยการฉาย (Project) เวกเตอร์ไปบนแกนใหม่ที่เราเรียกว่าแกนองค์ประกอบหลัก (Principle Component) ซึ่งแกนเหล่านี้มีความสำคัญแตกต่างกันลงไปตามความแปรปรวน (Variance) บนแต่ละแกน ในการวิเคราะห์แบ่งขั้นตอนได้ดังนี้ การจัดรูปแบบข้อมูลที่ได้จากภาพประสาทสัมผัสแต่ละจุดเป็น Column และข้อมูลที่ได้ในแต่ละวัตถุจัดเก็บข้อมูลจัดเป็น Rows ซึ่งจะได้ข้อมูลทั้งหมดอยู่ในรูปเมทริกซ์

$$X = \begin{bmatrix} x_1^{(1)} & x_1^{(2)} & \dots & x_1^{(n)} \\ x_2^{(1)} & x_2^{(2)} & \dots & x_2^{(60)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m^{(1)} & x_m^{(2)} & \dots & x_m^{(n)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i^{(k)} \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n x_i^{(k)} x_j^{(k)} \quad (3)$$

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ลบด้วยค่าเฉลี่ยของทุก Column เมื่อจัดรูปแบบข้อมูลแล้วคำนวณหา Covariance เมทริกซ์ด้วยสมการที่ 4 และนำเมทริกซ์ที่ได้ค่า eigenvector และ eigenvalue ด้วยสมการที่ 5

$$S(X) = \frac{1}{n-1} XX^T \quad (4)$$

$$XX^T = \frac{1}{n-1 \sum_{k=1}^n (x^{(k)} - \bar{x})(x^{(k)} - \bar{x})^T} \quad (5)$$

ผลลัพธ์จาก PCA จะได้ค่า eigenvalue และ eigenvectors ซึ่งข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ขั้นตอนสุดท้ายคือการแปลงเพื่อแสดงเป็นภาพฉายโดยจะเลือกแกนจาก eigenvectors ที่มีการกระจายสูงสุดและมีค่าอธิบายความสัมพันธ์ได้มากกว่าหรือเท่ากับ 80% ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นแกน Projection 1(PC1), Projection 2 (PC2) และ Projection 3 (PC3) ทั้งสามแกนสามารถแสดงเป็นภาพฉายได้ในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับชุดข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ และเป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยวิเคราะห์จำแนกข้อมูลของพื้นผิววัตถุได้

ในงานวิจัยนี้แบ่งตัวอย่างออกเป็นวัตถุ 6 ชนิดชนิดละ 10 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วย ยางรถยนต์ เก้าอี้ รถยนต์ พระพุทธรูป บ้าน และรถจักรยาน โดยเริ่มต้นจากการเก็บภาพในระดับสีเทา (Gray Scale Image) ของพื้นผิวระยะใกล้ตามเทคนิคการถ่ายภาพพื้นผิวสัมผัสแบบรับภาพตรงไม่สัมผัส ซึ่งเปรียบเสมือนข้อมูลที่ได้จากระบบประสาทสัมผัสสัมผัสกับพื้นผิววัตถุของวัตถุนั้นตามหลักการทำงานของ โดยเก็บตัวอย่างภาพพื้นผิวของตัวอย่างแต่ละชนิดที่ความละเอียด 16x16 จุดในตำแหน่งแนวตัวอย่างจากด้านบนลงมาด้านล่างวัตถุขึ้นละ 30 ตัวอย่างและตัวอย่างด้านซ้ายไปด้านขวาอีกจำนวนวัตถุขึ้นละ 30 ตัวอย่างเพื่อใช้เป็นตัวอย่างสำหรับเทรนจำนวนวัตถุชนิดละ 5 ตัวอย่างและเป็นตัวอย่างสำหรับทดสอบอีกวัตถุชนิดละ 10 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ดังรูปที่ 3 และตัวอย่างภาพจากการสัมผัสตัวอย่างดังรูปที่ 4 ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

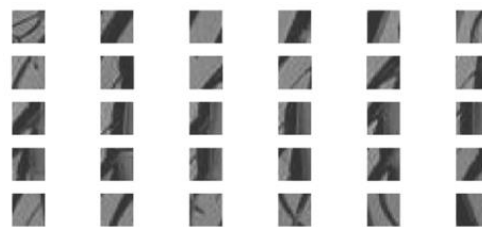


รูปที่ 3 ล้อรถยนต์ซึ่งเป็นวัตถุตัวอย่าง



รูปที่ 4 รูปพื้นผิววัตถุขนาด 16x16 จุด ที่ได้จากผิวสัมผัสของวัตถุ

จากนั้นเมื่อได้ภาพในแนวแกน x จำนวน 30 ภาพและในแนวแกน y จำนวน 30 ภาพดังรูปที่ 5 ก็ทำการนำภาพดังกล่าวมาจัดเรียงเป็นเมทริกซ์ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์โดยในแต่ละแถวจะเป็นเมทริกซ์ข้อมูลที่ได้ทั้ง 60 ข้อมูลของวัตถุแต่ละชิ้น



รูปที่ 5 รูปพื้นผิววัตถุจำนวนที่ได้ 30 รูป

จากนั้นทำการรวมค่าความเข้มเฉลี่ยของข้อมูลภาพแต่ละภาพตามสมการที่ 6

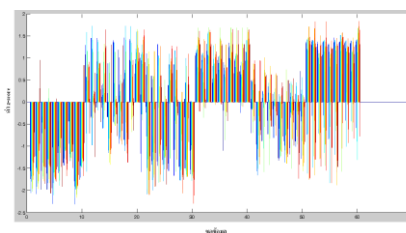
$$x_m^n = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I(i, j) \quad (6)$$

แล้วทำการจัดเรียงข้อมูลทั้งหมดซึ่งจะได้เมทริกซ์ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์โดยในแต่ละแถวจะเป็นเมทริกซ์ข้อมูลที่ได้ทั้ง 60 ข้อมูลของวัตถุแต่ละชิ้นทั้งหมด

ดังสมการที่ 1 จากนั้นทำการหา z-score ของข้อมูล ตามสมการที่ (7) ซึ่งจะนำไปเป็นค่าเปรียบเทียบในการวิเคราะห์แยกกลุ่มข้อมูล

$$z = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \quad (7)$$

จะได้เวกเตอร์ข้อมูลดังรูปที่ 6 ซึ่งจะเห็นการจัดกลุ่มของข้อมูลอย่างชัดเจน



รูปที่ 6 เวกเตอร์ข้อมูลจาก z-score

จากค่าเวกเตอร์ข้อมูลที่ได้จาก z-score นั้นในชุดข้อมูลเทรนใน 5 ชุดแรกของแต่ละชุดตัวอย่างเพื่อนำมาทำเป็นแม่แบบในการเปรียบเทียบโดยให้ทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ตามสมการที่(8) แล้วนำมาเป็นข้อมูลหลักสำหรับหาค่าความแตกต่างของข้อมูลตัวที่ต้องการทดสอบ จากนั้นทำการหาค่าความแตกต่างของข้อมูลที่ต้องการทดสอบกับข้อมูลแม่แบบ หากการทดสอบแล้วพบว่าข้อมูลที่ต้องการทดสอบมีความแตกต่างน้อยสุดกับชุดข้อมูลแม่แบบชุดใด ก็ให้

ตัดสินใจเป็นสมาชิกของข้อมูลกลุ่มนั้นซึ่งเป็นการจัดกลุ่มข้อมูล ดังสมการที่ 9

$$\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_j^k \quad \text{เมื่อ } j=1,2,\dots,m \quad (8)$$

$$\Delta x_j = |\bar{x}_j - x_j| \quad (9)$$

เมื่อ $\bar{x}_j$ คือค่าเฉลี่ยของตัวแม่แบบ

และ x_j คือค่าของตัวอย่างทดสอบที่คอลัมน์ j

ซึ่งจะได้ เมทริกซ์ของ Δx_j ของตัวอย่างที่ทดสอบ

$$\Delta X_j = \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(1)} & \Delta x_1^{(2)} & \dots & \Delta x_1^{(n)} \\ \Delta x_2^{(1)} & \Delta x_2^{(2)} & \dots & \Delta x_2^{(60)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta x_m^{(1)} & \Delta x_m^{(2)} & \dots & \Delta x_m^{(n)} \end{bmatrix} \quad (10)$$

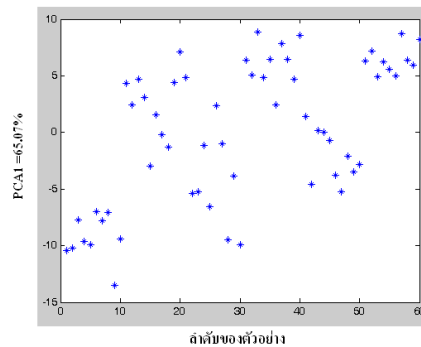
จากนั้นทำการหาผลรวมของแต่ละแถวจะได้ค่าความแตกต่างรวมจากตัวแม่แบบนั้น

$$\Delta \bar{x}_{ji} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i^{(k)} \quad (11)$$

ทำการทดสอบข้อมูลกับข้อมูลแม่แบบทุกชุดแล้วนำผลรวมของแต่ละแถวมาจัดเมทริกซ์เปรียบเทียบเพื่อหาข้อมูลน้อยสุดในแต่ละแถวแล้วพิจารณาว่าข้อมูลตัวน้อยสุดอยู่ในคอลัมน์ใด หากอยู่ในคอลัมน์ใดก็ให้เป็นสมาชิกของกลุ่มแม่แบบตัวนั้นและได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของข้อมูลซึ่งผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะได้เวกเตอร์ข้อมูลจากนั้นในชุดข้อมูลเทรนทั้ง 5 ชุดให้ทำการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ตามสมการที่ (11) แล้วนำมาเป็นข้อมูลหลักสำหรับหาค่าความแตกต่างของข้อมูลตัวที่ต้องการทดสอบ จากนั้นทำการหาค่าความแตกต่างหากตัวอย่างใดมีค่าเวกเตอร์องค์ประกอบหลักแตกต่างจากค่าเวกเตอร์องค์ประกอบหลักของข้อมูลของตัวเทรนน้อยสุดก็ให้ตัดสินใจเป็นสมาชิกของข้อมูลกลุ่มนั้นซึ่งเป็นการจัดกลุ่มข้อมูล

ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากกลุ่มข้อมูลทั้งหมด เมื่อแสดงผลเวกเตอร์องค์ประกอบหลักจะได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการฉายองค์ประกอบหลักของข้อมูลทั้งหมด

และผลจากวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลโดยการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างน้อยสุดของสมาชิกในเมทริกซ์ผลรวมของภาพเปรียบเทียบกับแม่แบบข้อมูลโดยใช้การหาค่าความแตกต่างจากค่า z-score ได้ผลตามตารางที่ 1 วัตถุ พบว่าระบบมีความถูกต้องในการจำแนกเฉลี่ยได้ 85% ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นสูงเมื่อค่าความสว่างในระดับสีเทาของวัตถุชนิดนั้นๆ มีความแตกต่างกันมากเช่นรถยนต์ที่มีหลากหลายสีจะมีความถูกต้องเพียง 50% แต่ความสามารถในการจัดกลุ่มจะมีความถูกต้องสูงเมื่อวัตถุนั้นมีค่าความสว่างในระดับสีเทาใกล้เคียงกันเช่นยางรถยนต์มีความถูกต้องในการจำแนก 100% ผลการจัดกลุ่มข้อมูลตามตารางที่ 1 และค่าความถูกต้อง

ตารางที่ 1 ผลการจัดกลุ่มข้อมูลและความถูกต้อง

ชุด	A	B	C	D	E	F	ความถูกต้อง
1	10	0	0	0	0	0	100%
2	0	8	0	1	1	0	80%
3	3	0	5	1	1	0	50%
4	0	1	0	9	0	0	90%
5	1	0	0	0	9	0	90%
6	0	0	0	0	0	10	100%
เฉลี่ย							85%

สรุปผล

เทคนิคในการจดจำวัตถุจากระบบประสาททางกายโดยใช้เทคนิครับภาพตรงไม่สัมผัสเป็นระบบประสาทสัมผัสอิเล็กทรอนิกส์ทำงานร่วมกับการประมวลผลภาพที่ได้จากวัตถุต่างๆที่ได้ในระยะระยะชัดทดสอบกับภาพวัตถุตัวอย่างจำนวน 60 วัตถุซึ่งเป็นกลุ่มวัตถุ 6 กลุ่ม มีกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง การประมวลผลและการวิเคราะห์ของภาพที่ได้จากการสัมผัสวัตถุที่แตกต่างกันนั้น ในการศึกษาใช้วิธีวิเคราะห์ทางสถิติที่สกัดจากจำนวนภาพที่ได้ ทำการจัดหมวดหมู่ของวัตถุในรูปโดย

ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและ z-score เพื่อใช้ในการจำแนกวัตถุ พบว่าระบบมีความถูกต้องในการจำแนกเฉลี่ยได้ 85% ต่ำสุด 50% สำหรับตัวอย่างที่เป็นรถยนต์ และสูงสุด 100% สำหรับตัวอย่างที่เป็นยางรถยนต์และรถจักรยาน เทคนิคนี้เป็นพื้นฐานที่สามารถนำไปใช้กับการเรียนรู้ระบบประสาทสัมผัสทางกายสำหรับคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ระบบรับรู้สัมผัส.กายระบบรับรู้สัมผัสทาง.[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://th.wikipedia.org/wiki/ระบบรับรู้สัมผัส> (15 เมษายน 2558).
- [2] ประสาท สัมผัส. ประสาทสัมผัส. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://th.wikipedia.org/wiki/ระบบรับรู้สัมผัส> (15 เมษายน 2558).
- [3] อวัยวะรับรู้สัมผัส.ผิวหนังกับการรับรู้สัมผัส.[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:<http://www.thaigoodview.com/node/43966?page=0,1> (15 เมษายน 2558).
- [4] ลายนนิ้วมือและการเก็บภาพ วุฒิพงศ์ อารีกุล, 2557. การประมวลลายนิ้วมือดิจิทัลอยู่โอ :กรุงเทพฯ.
- [5] S. Datta, Object Shape and Size Recognitio From Tactile Images, In IEEE International Conference on Control Communication and Computing (ICCC) 2013.
- [6] สมชาย เปาะทองคำ, 2552. การแยกแยะชนิดและควบคุมคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ระบบเปิดวิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [7] ชีร์เกียรติ์ เกิดเจริญ, Electronic nose (Online), Available: <http://nanotech.sc.mahidol.ac.th/i-sense/nose/e-nose.html> 2005.
- [8] J. David, et, "Review Chemical Sensors for Electronic Nose Systems,"Microchimica Acta Springer published online (Electronic), Vol. 149, No.1-2, 2004, pp.1-17.
- [9] P. Wang "Development of Electronic Nose for Diagnosis of Lung Cancer at Early Stage," Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology and Application in Biomedicine, 2nd, May 2008, Shenzhen China, pp. 588-591.

การศึกษาและการใช้ประโยชน์การแปลงเวฟเล็ตสำหรับการบีบอัดสัญญาณเสียง

Studying and Exploiting Wavelet Transform for Speech Compression

สุภาธินี กรสิงห์¹ จักรี ศรีนนท์ฉัตร^{2*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตนครราชสีมา

²ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12110

*E-mail: jakkree.s@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและการใช้ประโยชน์การแปลงเวฟเล็ตสำหรับการบีบอัดสัญญาณเสียง การทดลองนี้ได้ใช้สัญญาณเสียงทั้งหมด 80 เสียง โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ เสียงพูดของผู้หญิงและผู้ชายที่มีความยาว 5 วินาที และ 60 วินาที อย่างละ 20 เสียง จากนั้นนำสัญญาณเสียงไปเข้ากระบวนการคัดเลือกเวฟเล็ตจากเวฟเล็ต 3 ประเภท คือ ฮาร์เวฟเล็ต ไบออร์ทอโกนอลเวฟเล็ต และการประมาณค่าไม่ต่อเนื่องของเมเยอร์เวฟเล็ต เพื่อหาเวฟเล็ตที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ ทั้งนี้วิธีการคัดเลือกใช้หลักการหาค่าพลังงานเฉลี่ย การเปรียบเทียบความถี่สเปกโตรแกรม และหลักการของ ไดนามิกไทม์วอร์ปิง เป็นตัววัดผล หลังจากนั้นนำเวฟเล็ตที่ผ่านการคัดเลือกไปทำการบีบอัดสัญญาณเสียงในระดับที่ 1-3 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเทคนิคการบีบอัดสัญญาณด้วย Federal Standard 1016 Code Excite Linear Prediction (FE 1016 CELP) โดยใช้หลักการของค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสองและอัตราส่วนของสัญญาณสูงสุดเป็นตัววัดคุณภาพของการบีบอัดสัญญาณผลการทดสอบพบว่า เวฟเล็ตตระกูลไบออร์ทอโกนอลให้ประสิทธิภาพในการบีบอัดสูงที่สุด และในการสังเคราะห์เสียงด้วยการคืนกลับเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง นั้นสัญญาณเสียงของผู้หญิงที่มีความยาว 5 วินาทีให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยดีที่สุด ในการเปรียบเทียบค่า MSE และ PSNR ของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดนั้นทั้งหมดด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง และ CELP ผลปรากฏว่าการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องให้ประสิทธิภาพในการบีบอัดสัญญาณเสียงดีกว่า CELP และยังมีค่าผิดพลาดน้อยกว่าเมื่อนำสัญญาณไปเปรียบเทียบกับสัญญาณต้นฉบับ

คำสำคัญ: ฮาร์เวฟเล็ต ไบออร์ทอโกนอลเวฟเล็ต การประมาณค่าไม่ต่อเนื่องของเมเยอร์เวฟเล็ต การบีบอัดสัญญาณเสียงพูด

to the original. This thesis presents a studying and comparison of wavelet filter for speech compression.

In the experiments, there are 80 speech signals which are used as input data. These signals can be categorized into 4 groups that consist of male and female speech signal with the length of 5 and 60 seconds respectively. These signals are then pass through to the three types of Wavelet Transform: Haar wavelet, Biorthogonal wavelet and Discrete Approximation of Meyer Wavelet, in order to search the best appropriate for this experiment. To classify wavelet, the energy average, spectrogram and Dynamic Time Warping (DTW) are used. The best appropriate wavelet is then used to compress speech signal in level 1-3. The result of this experiment is then compared with the Federal Standard 1016 Code Excite Linear Prediction (FS 1016 CELP) in the term of speech quality using Means Square Error (MSE) and Peak Signal to Noise Ratio (PSNR).

The results show that Biorthogonal Wavelet provides the best compress efficiency. Also the synthesis speech signal with Inverse Discrete Wavelet Transform (IDWT) indicated that the 5 seconds female speech signal provides the best average efficiency. Moreover, the DWT and CELP speech compression is compared in the term of PSNR and MSE. The results show that DWT provides better performance than CELP speech compression and also it gives the errorless when it compares to the original speech signal.

Abstract

Recently, speech compression research aims to produce a compact representation of speech sounds such that when reconstructed it is perceived to be close

Keywords: Haar wavelet, Biorthogonal wavelet, Discrete approximation of meyer wavelet, Speech signal compression

บทนำ

สัญญาณเสียงพูด (Speech Signal) [1] นั้น เป็นสัญญาณที่มีแถบความถี่ต่ำที่สุด จึงเป็นที่สนใจในการนำมาประมวลผลสัญญาณแบบเวลาจริง (Real Time) เพื่อนำไปพัฒนาต่อเทคโนโลยีต่างๆ และในงานทางการสื่อสารอีกเป็นจำนวนมาก แต่ปัญหาที่สำคัญของการสื่อสารด้วยสัญญาณเสียงพูดคือ การที่ระบบสื่อสารนั้นมีแบนด์วิดท์ที่มีจำกัด (Limited Bandwidth) ดังนั้นการพัฒนาให้การประมวลผลสัญญาณเสียงพูดมีความเร็วแบบเวลาจริงนั้นจึงจำเป็นต้องลดขนาดของสัญญาณลงหรือเรียกว่าการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด (Speech Compression) เพื่อให้เหมาะสมกับแบนด์วิดท์ที่มีอย่างจำกัด และเมื่อนำเสียงพูดที่ถูกบีบอัดไปแล้วนั้น มาทำการคืนกลับสัญญาณเสียงหรือการสังเคราะห์สัญญาณเสียงขึ้นมาใหม่ อาจทำให้คุณภาพของสัญญาณเสียงพูดที่ได้มีคุณูปภาพที่ต่างมาก เนื่องจากการสูญเสียข้อมูลจำนวนมากขณะบีบอัดสัญญาณ ซึ่งในปัจจุบันนี้เทคนิคที่ใช้สำหรับการลดขนาดหรือการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดมีหลากหลายเทคนิค ซึ่งแต่ละเทคนิคนั้นจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน และจากการศึกษาพบว่า การบีบอัดสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform; DWT) เป็นเทคนิคได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน

เทคนิค DWT คือ กระบวนการบีบอัดสัญญาณหรือการวิเคราะห์สัญญาณ โดยใช้ตัวกรองความถี่ ซึ่งโดยปกติสัญญาณเสียงมนุษย์จะมีทั้งความถี่ต่ำและความถี่สูง ดังนั้นเมื่อนำสัญญาณเสียงเข้าสู่กระบวนการบีบอัดด้วยเวฟเล็ตสัญญาณจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การประมาณค่า (Approximation) และรายละเอียด (Detail) ค่าการประมาณจะเป็นส่วนของความถี่ต่ำ และค่ารายละเอียดจะเป็นส่วนของความถี่สูง แต่สำหรับการกรองความถี่ของสัญญาณเสียงพูดนั้น ส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือ ส่วนที่เป็นความถี่ต่ำ เนื่องจากเสียงมนุษย์นั้นเมื่อนำส่วนความถี่สูงออกเสียงจะเปลี่ยนแปลงไป แต่ยังคงรู้ว่าเป็นเสียงพูดต้องการสื่อถึงอะไร แต่ถ้าหากนำส่วนความถี่ต่ำออกไปนั้น จะกลายเป็นเสียงพิมพ์เท่านั้น

บทความนี้ได้้นำเทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วย DWT ไปประยุกต์ใช้กับเสียงทั้งหมด 80 เสียง และได้นำเทคนิค CELP (Code Excite Linear Prediction) [2-3] มาเปรียบเทียบกับหาคุณภาพของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดหลังจากการคืนกลับสัญญาณหรือการสังเคราะห์สัญญาณนั้นๆ ซึ่ง CELP เป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับในมาตรฐานตามสากลระหว่างประเทศซึ่งแบ่งออกเป็น 4 มาตรฐาน คือ มาตรฐาน Linear Predict Coefficient-10 (LPC-10) มาตรฐาน Vector Sum Excited Linear Prediction (VSELP) มาตรฐาน Low Delay Code Excited Linear Prediction (LD-CELP) และ มาตรฐาน Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Predictive (CS-ACELP) แต่ในบทความนี้ได้เลือกใช้การบีบอัดสัญญาณเสียงด้วย CELP

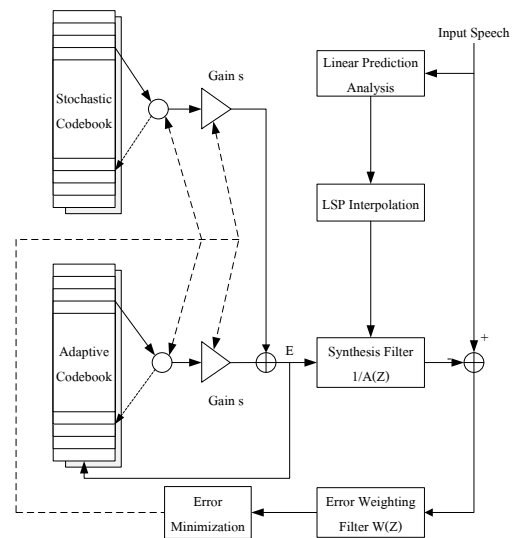
ในมาตรฐานของ FS1016 CELP เพื่อนำไปเทียบคุณภาพกับเทคนิค DWT

วิธีการทดลอง

ทฤษฎีการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด

การเข้ารหัสสัญญาณเสียงพูดด้วย CELP

CELP ย่อมาจาก Code Excite Linear Prediction [2-3] เป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการบีบอัดสัญญาณเสียงซึ่งได้รับมาตรฐานมากในระดับสากล และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านงานประมวลผลมากมาย ซึ่งมาตรฐานของ CELP ยังสามารถแยกออกเป็นมาตรฐานย่อยอื่นๆ อีก แต่สำหรับบทความนี้จะศึกษาเฉพาะมาตรฐานของสถาปัตยกรรม Federal Standard 1016 CELP (FS1016 CELP) [4] ซึ่งมีการพัฒนาร่วมกันระหว่างสหรัฐอเมริกาและห้องปฏิบัติการของ AT & Bell สามารถบีบอัดสัญญาณเสียงพูดที่ 4.8 กิโลบิตต่อวินาที และจะเข้ารหัสโดยการแบ่งสัญญาณเสียงพูดเป็นเฟรม (Frame) ซึ่งในหนึ่งเฟรมจะใช้อัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sample Rate) 8 kHz และขนาดเฟรม (Frame Size) 30 วินาที (ประมาณ 240 ตัวอย่างต่อ 1 เฟรม)



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัส FS 1016 CELP [2]

จากรูปที่ 1 เป็นการเข้ารหัสของ FS1016 CELP เริ่มจากการนำสัญญาณเสียงแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกนำไปเข้ากระบวนการเข้ารหัส CELP บนพื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยการสังเคราะห์หาค่าถ่วงน้ำหนักของเวกเตอร์คอนไคซ์เซชัน (Vector Quantization; VQ) และจากการทำนายพันธะเชิงเส้น (Linear Prediction) ซึ่งมีการกระตุ้นของสัญญาณด้วย Codebook ที่ใช้งาน 2 ส่วน คือ Adaptive Codebook และ Stochastic Codebook โดย Adaptive Codebook จะถูกนำมา

สร้างสัญญาณกระตุ้นความล่าช้าและ Stochastic Codebook จะถูกนำมาเพื่อแสดงความแตกต่างระหว่างรูปแบบของคลื่นที่เกิดขึ้นจริงและส่วนขยายระยะที่เหมาะสมของการกระตุ้น

การทำนายพันธะเชิงเส้น (Linear Predictive) เป็นเทคนิคที่สำคัญทางด้านการวิเคราะห์เสียงเนื่องจากมีความแม่นยำสูงในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของเสียงพูดเมื่อเทียบกับความเร็วในการประมวลผล หลักการพื้นฐานของการทำนายพันธะเชิงเส้นอาศัยแนวความคิดว่าตัวอย่างสัญญาณเสียงพูดสามารถประมาณค่าได้จากผลรวมของตัวอย่างสัญญาณเสียงพูดจากอดีต การวิเคราะห์พารามิเตอร์เพื่อใช้ในการทำนายโดยทั่วไปเรียกว่าการเข้ารหัสการทำนายพันธะเชิงเส้น (Linear Predictive Coding; LPC) ในด้านการประมวลผลสัญญาณเสียง การเข้ารหัสการทำนายพันธะเชิงเส้นถูกนำไปใช้ในสองแนวทาง ได้แก่

ก. การเข้ารหัสสัญญาณเสียง เป็นวงจรกรองวิเคราะห์การทำนายพันธะเชิงเส้น (LP Analysis Filter) เพื่อแยกส่วนที่มีการซ้ำซ้อน (Redundancy) ของสัญญาณเสียงออก ส่วนที่เหลือเรียกว่าสัญญาณตกค้าง (Residual Signal)

ข. การสังเคราะห์สัญญาณเสียงพูด เป็นวงจรกรองการทำนายพันธะเชิงเส้นผกผัน (Inverse LP Filter) หรือวงจรกรองสังเคราะห์การทำนายพันธะเชิงเส้น (LP Synthesis Filter) โดยที่ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองดังกล่าวแสดงกรอบสเปกตรัมของสัญญาณเสียงพูด วงจรกรองสังเคราะห์การทำนายพันธะเชิงเส้นแสดงช่องทางเดินเสียงของมนุษย์และใช้หาสัญญาณกระตุ้นที่เหมาะสม แต่เนื่องจากพารามิเตอร์ LPC มีความเสถียรของสัญญาณที่ต่ำ ซึ่งอาจส่งผลต่อการไปคืนกลับสัญญาณเสียงได้ ดังนั้นจึงได้นำค่าพารามิเตอร์จาก LPC ไปพัฒนาต่อยอดด้วย LSP

คู่เส้นสเปกตรัม (Line Spectral Pairs; LSP) หรือความถี่เส้นสเปกตรัม (Line Spectral Frequency; LSF) เป็นพารามิเตอร์รูปแบบหนึ่งที่พัฒนามาจากพารามิเตอร์การทำนายพันธะเชิงเส้นเนื่องจากพารามิเตอร์การทำนายพันธะเชิงเส้นในขั้นตอนการประมาณค่าพารามิเตอร์อาจทำให้เกิดความไม่เสถียรของสัญญาณได้ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของเสียง ในขณะที่พารามิเตอร์คู่เส้นสเปกตรัมมีคุณสมบัติที่เด่นคือ ค่าพารามิเตอร์อยู่ในขอบเขตที่จำกัด มีการเรียงลำดับของค่าพารามิเตอร์ และสามารถตรวจสอบเสถียรภาพของวงจรกรองได้ง่าย นอกจากนี้คู่เส้นสเปกตรัมยังแสดงในรูปเชิงความถี่จึงสามารถนำไปใช้ในการหาคุณสมบัติที่แน่นอนในระบบการรับรู้ของคนได้

การแปลงเวฟเลต

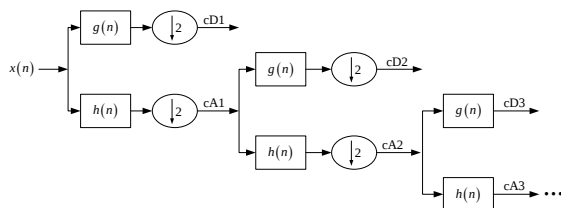
การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform)[4-7] เป็นคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ลักษณะของสัญญาณซึ่งมี

ประโยชน์มากในงานทางด้านการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) ปัจจุบันนี้เวฟเลตที่นำมาใช้งานทางด้านการประมวลผลสัญญาณมีหลายตระกูล ที่สามารถเลือกใช้ได้เหมาะสมสำหรับแต่ละงาน โดยสามารถแบ่งเป็น Biorthogonal Wavelet และเวฟเลตเชิงตั้งฉากปกติ เช่น Daubechies, Symlet และ Coiflet เป็นต้น แต่ละตระกูลจะเป็นฟังก์ชันพื้นฐานที่มีรูปร่างลักษณะที่แตกต่างกันไป ซึ่งแต่ละตระกูลจะมีค่า Number of Vanishing Moments (NVM) ทำให้อัตราส่วนเช่น Daubechies 4, 8,..., 20, Symlet 4, 5, 6, ..., 10 และ Coiflet 1, 2, ..., 5 เป็นต้น ถ้าค่า NVM มีค่ามากขึ้นลักษณะของฟังก์ชันพื้นฐานที่เลือกจะมีความราบเรียบ (Smooth) มากขึ้น ประโยชน์ของค่า NVM นี้ก็คือสามารถเลือกชนิดของเวฟเลตมาประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการได้อย่างหลากหลายและเหมาะสมมากขึ้น ตระกูลของเวฟเลตแม่ที่สำคัญและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform) [1] ในทางปฏิบัติแล้วสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์จะมีลักษณะแบบแบ่งช่วง หรือเป็นสัญญาณที่ถูกแซมปลิง (Sampling) เข้ามา ดังนั้นจึงได้มีพัฒนาการวิเคราะห์การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่องขึ้น (Discrete Wavelet Transform: DWT) โดยจะใช้ตัวกรองในกระบวนการแปลง ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Mallat ในปี 1988 ระเบียบวิธีการทำงานของ Mallat เป็นแบบแผนที่รู้จักกันในกลุ่มผู้ที่ทำการแปลงสัญญาณว่าเป็นการเข้ารหัสแบบ 2 ช่องสัญญาณย่อย (Two-channel Sub band Coder)

สำหรับหลายๆ สัญญาณจะมีส่วนความถี่ต่ำเป็นส่วนสำคัญมากที่สุด ซึ่งจะให้ลักษณะของสัญญาณ ในทางตรงกันข้าม ส่วนความถี่สูงจะบอกความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาเสียงมนุษย์ ถ้าคุณย้ายส่วนความถี่สูงออก เสียงจะต่างออกไป แต่ยังคงรู้ว่าคุณพูดอะไร อย่างไรก็ตามถ้าหากคุณย้ายส่วนความถี่ต่ำออกไปมากพอแล้วจะกลายเป็นเสียงพิมพ์คำเท่านั้น ดังนั้นการวิเคราะห์เวฟเลตจึงมักพูดถึงการประมาณค่า (Approximation) และรายละเอียด (Detail) ซึ่งค่าการประมาณจะเป็นส่วนของความถี่ต่ำ และค่ารายละเอียดจะเป็นส่วนของความถี่สูง ถ้าสร้างสัญญาณการแปลงสัญญาณเวฟเลตแบบแบ่งช่วงในขั้นตอนเดียว (1 ระดับการแปลง) เมื่อสัญญาณอินพุต 1000 แซมเปิล โดย cA จะเป็นค่าการประมาณ และ cD จะเป็นค่ารายละเอียด

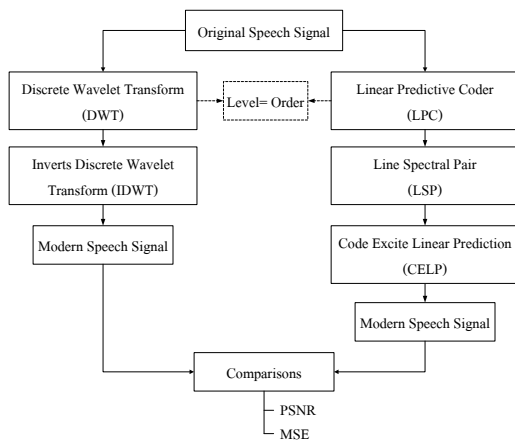
เมื่อพิจารณาการแยกส่วนประกอบหลายๆ ระดับโดยการแยกส่วนประกอบที่สามารถกระทำซ้ำด้วยการประมาณค่าที่ต่อเนื่องตามระดับที่ต้องการ เช่น การแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วงที่ 3 ระดับการแปลงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การสร้างสัญญาณการแปลงสัญญาณเวฟเล็ตแบบแบ่งช่วงในขั้นตอนเดียว

บทความนี้นำเสนอเทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด 2 เทคนิค โดยขั้นตอนต่างๆ จะประกอบด้วย การเตรียมสัญญาณเสียงพูดก่อนการบีบอัดสัญญาณ กระบวนการบีบอัดเสียง กระบวนการคืนกลับสัญญาณจากการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด และการเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณเสียงใหม่ที่ใกล้เคียงกับสัญญาณต้นฉบับโดยเปรียบเทียบกันทั้ง 2 เทคนิค ซึ่งขั้นตอนต่างๆ จะแสดงในรูปที่ 3

การเลือกตระกูลเวฟเล็ต เป็นกระบวนการการคัดเลือกเวฟเล็ตเพื่อนำไปใช้ในการบีบอัดสัญญาณเสียง เพื่อเลือกเวฟเล็ตที่เหมาะสมที่สุดสำหรับบทความนี้ โดยจะนำเวฟเล็ตที่ผ่านการคัดเลือกจะถูกบีบอัดสัญญาณเสียงและคืนกลับสัญญาณ เพื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค LPC



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำงาน

บทความนี้ใช้การบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยวิธี DWT ระดับที่ 2 โดยใช้เวฟเล็ตทั้งหมด 3 ตระกูล คือ Haar wavelet, Biorthogonal wavelet และ Discrete Approximation of Meyer Wavelet ซึ่งในขั้นตอนแรกคือกระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยใช้เวฟเล็ต จะทำการแยกสัญญาณออกเป็นค่าสัมประสิทธิ์ 2 ค่า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การประมาณ (Approximate Coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์รายละเอียด (Detail Coefficient) ซึ่งการเปรียบเทียบคุณภาพของการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดของเวฟเล็ตแต่ละตระกูลสามารถทดสอบ

และตัดสินใจดังนี้ [8-9]

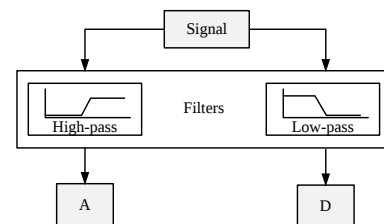
เตรียมสัญญาณเสียงพูด

สัญญาณเสียงพูดที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 80 เสียง ซึ่งเป็นสัญญาณเสียงภาษาอังกฤษและแต่ละสัญญาณเสียงเป็นประโยคคำพูดที่แตกต่างกัน และจะมีอัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate) อยู่ที่ 8000 Hz โดยข้อมูลมีขนาด 8 บิต ใช้ช่องสัญญาณเดี่ยว (Mono) โดยรูปแบบจะเป็นมาตรฐานของระบบพีซีเอ็ม (Pulse-Code Modulation: PCM) ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มตามเวลาและแยกเป็นสัญญาณเสียงของผู้ชายและผู้หญิงได้ดังนี้

1) เสียงผู้ชายที่เวลา 5 วินาที และ 60 วินาที อย่างละ 20 เสียง

2) เสียงผู้หญิงที่เวลา 5 วินาที และ 60 วินาที อย่างละ 20 เสียง

การบีบอัดสัญญาณเสียงพูดเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกเวฟเล็ตที่เหมาะสมงานวิจัยนี้ใช้การบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยวิธี DWT ระดับที่ 2 ซึ่งเวฟเล็ตที่นำมาทำการวิจัยทั้งหมด 3 ตระกูล คือ เวฟเล็ต Haar เวฟเล็ต Biorthogonal และ เวฟเล็ต Discrete Approximation of Meyer ซึ่งในกระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียงโดยใช้เวฟเล็ตนั้น จะทำการแยกสัญญาณออกเป็นค่าสัมประสิทธิ์สองค่าคือค่าสัมประสิทธิ์การประมาณ (Approximate Coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์รายละเอียด (Detail Coefficient) โดยนำข้อมูลเหล่านี้ไปประมวลผลในกระบวนการอื่นต่อไปดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การแยกองค์ประกอบของความถี่ต่ำและความถี่สูงของการแปลงเวฟเล็ต [8]

การปรับปรุงสัญญาณเสียงพูดใหม่

นำสัญญาณเสียงพูดใหม่ที่ได้มาปรับปรุงอัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sample Rate) เพื่อให้ได้คุณภาพของสัญญาณเสียงที่ดีขึ้นดังสมการที่ 1

$$x_{new} = \frac{p}{q} \times \text{sampling rate}_{new} \times t_{sec} \quad (1)$$

โดยที่ x_{new} คือ สัญญาณเสียงพูดใหม่

t_{sec} คือ เวลาในหน่วยของวินาที (ในการทดลองนี้คือ 5 วินาที และ 6 วินาที)

$\frac{p}{q}$ คือ อัตราส่วนที่ใช้ในการ Resample

ในงานวิจัยนี้จะใช้อัตราส่วน (p/q) ทั้งหมด 5 อัตราส่วน คือ $3/2$, $4/2$, $5/2$, 3 และ 4 ซึ่งค่า p/q ทั้งหมดนี้ได้ผ่านการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมแล้วโดยอาศัยเวลาเป็นเกณฑ์อ้างอิง ซึ่งค่าที่ได้เมื่อนำไปทดสอบแล้วจะทำให้ได้ค่าสัญญาณเสียงพูดที่มีเวลาเท่าเดิมตั้งนั้นจากการคำนวณจึงทำให้ได้ค่า Sample Rate และค่าอัตราการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดดังตารางที่ 1

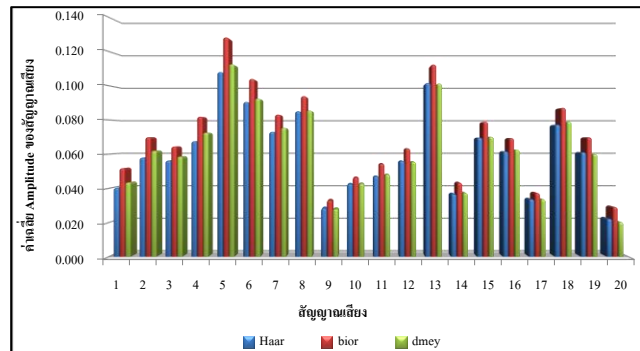
ตารางที่ 1 อัตราการสุ่มตัวอย่างและอัตราการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดของอัตราส่วน p/q แต่ละค่า

อัตราส่วนที่	P	q	p/q	Sampling rate	Compression Rate
1	3	2	1.5	3000	2.67
2	4	2	2	4000	2.00
3	5	2	2.5	5000	1.60
4	3	1	3	6000	1.33
5	4	1	4	8000	1.00

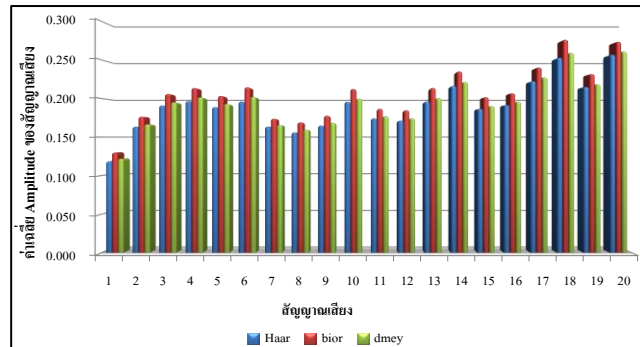
จากตารางที่ 1 จะสังเกตเห็นว่าที่ค่าอัตราส่วน p/q ที่ $3/2$ หรือ 1.5 จะสามารถลดค่า Sampling Rate เท่ากับ 3000 Hz จาก 8000 Hz หรือลดลง 2.67 เท่าของสัญญาณเสียงพูดต้นฉบับ เปรียบเทียบคุณภาพของการบีบอัดสัญญาณเสียงของเวฟเลตแต่ละตระกูล ในการบีบอัดสัญญาณเสียงครั้งนี้ เพื่อหาเวฟเลตที่ดีที่สุดจากทั้ง 3 ตระกูล โดยวิธีทดสอบและตัดสินใจดังนี้

ก. การหาค่าพลังงานเฉลี่ยของสัญญาณเสียง โดยนำสัญญาณเสียงที่ผ่านการปรับปรุงสัญญาณเสียงทั้ง 80 เสียง คำนวณหาค่าพลังงานเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณเสียงพูดหลังจากการบีบอัดของเวฟเลตทั้ง 3 ตระกูล โดยวิธีการหาค่าพลังงานเฉลี่ยตามสมการที่ 2 ซึ่งถ้าเวฟเลตตระกูลใดมีค่าพลังงานเฉลี่ยที่มากที่สุดจะเป็นเวฟเลตที่ถูกเลือกมาใช้งาน ซึ่งในที่นี้ก็คือ Biorthogonal เวฟเลต เนื่องจากให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด และแสดงกราฟค่าพลังงานเฉลี่ยในรูปที่ 5-8

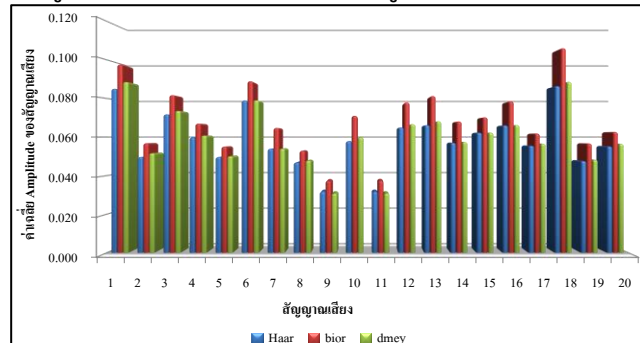
$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_i| \quad (2)$$



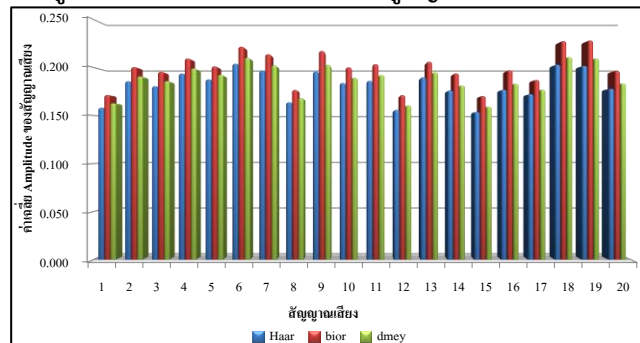
รูปที่ 5 ค่าพลังงานเฉลี่ยของเสียงผู้ชายที่เวลา 5 วินาที



รูปที่ 6 ค่าพลังงานเฉลี่ยของเสียงผู้ชายที่เวลา 60 วินาที

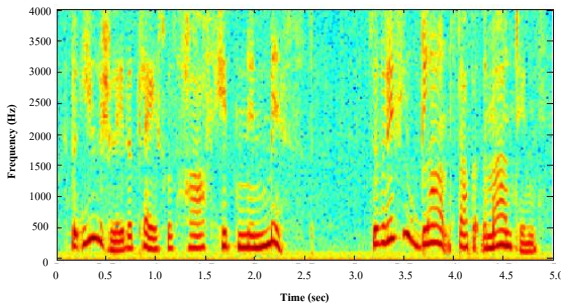


รูปที่ 7 ค่าพลังงานเฉลี่ยของเสียงผู้หญิงที่เวลา 5 วินาที

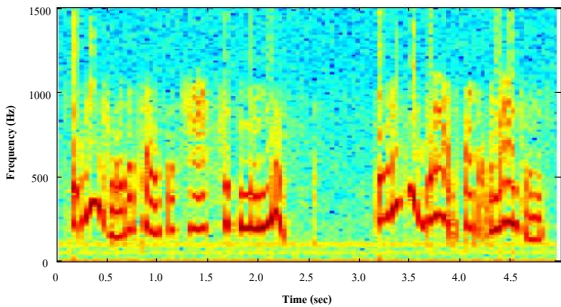


รูปที่ 8 ค่าพลังงานเฉลี่ยของเสียงผู้หญิงที่เวลา 60 วินาที

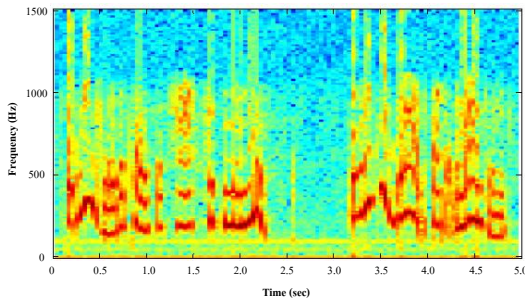
ข. สังเกตจากความถี่สเปกตรัมโดยใช้สเปกโตรแกรม (Spectrogram) ซึ่งโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 แบบคือ



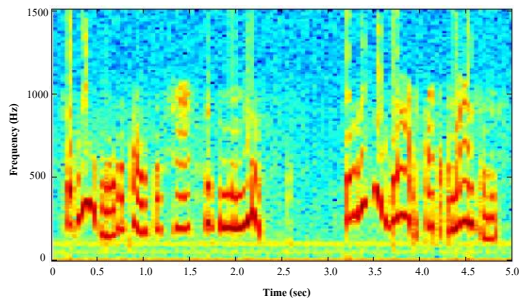
ก. Original



ข. เวฟเลต Haar



ค. เวฟเลต Biorthogonal



ง. เวฟเลต Discrete Approximation of Meyer

รูปที่ 9 ตัวอย่างการเปรียบเทียบความถี่สเปกตรัมของสัญญาณเสียง

จากรูปที่ 9 เป็นตัวอย่างของการเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณเสียงพูดหลังจากการบีบอัดด้วยของเวฟเลตทั้ง 3 ตระกูล โดยใช้เทคนิคสเปกโตรแกรมมาช่วยในการเปรียบเทียบค่าความถี่ของสัญญาณเสียงหลังจากการปรับปรุงสัญญาณเสียงพูดแล้ว โดย

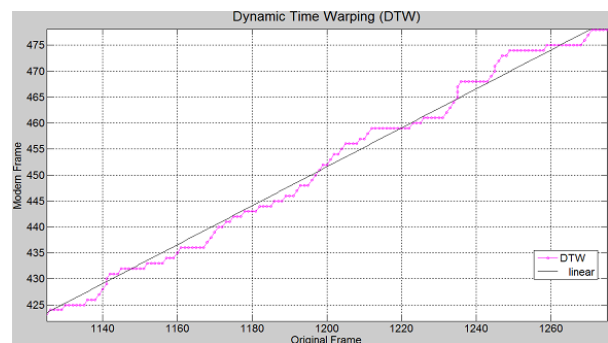
วิเคราะห์จากค่าความเข้มของความถี่ ถ้าเวฟเลตตระกูลใดมีลักษณะของกราฟความถี่ที่มีค่าผิดเพี้ยนน้อยที่สุดหรือมีกราฟความถี่ที่คล้ายกับต้นฉบับมากที่สุดจะถือว่าเวฟเลตตระกูลนั้นดีที่สุดสำหรับบทความนี้โดยเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงต้นฉบับ

ค. ใช้ Dynamic Time Warping (DTW) เป็นขั้นตอนวิธีสำหรับการเปรียบเทียบความคล้ายกันระหว่างข้อมูล 2 ชุด โดยผลลัพธ์ที่ได้จะให้ค่าระยะทางและวิธีการปรับแนว (Alignment) ที่ดีที่สุดระหว่างข้อมูลทั้งสอง ซึ่งสามารถยืดหรือหดให้รองรับความแปรผันในแกนเวลาได้ ซึ่ง DTW สามารถนำไปประยุกต์ได้กับวิดีโอ เสียง และภาพ รวมไปถึงการประมวลผลสัญญาณต่าง ๆ ที่สามารถแปลงให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงเส้นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเทคนิคของ DTW มาประยุกต์ใช้ เพื่อจัดการกับคำพูดที่มีความเร็วและการส่อข้อมูลที่ไม่เท่ากันแม้จะสื่อความหมายเดียวกัน หรือเพื่อให้จังหวะทางเวลาของสัญญาณตัวอย่างมีค่าตรงกับสัญญาณต้นแบบเพื่อลดข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในการเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณ โดยกำหนดให้ลำดับของ เวกเตอร์ A และ เวกเตอร์ B ดังสมการที่ 3 และ การเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างเวกเตอร์ $4A$ และ เวกเตอร์ B แสดงในสมการที่ เมื่อ $5d(i, j)$ เป็นระยะห่างระหว่างคู่จุดที่จุด i ของเฟรม A และ j ของเฟรม B โดยที่ a_{in} เป็นค่าลำดับที่ i ของเวกเตอร์ A และ b_{jn} เป็นค่าลำดับที่ j ของเวกเตอร์ B และ K เป็นจำนวนของลักษณะของเวกเตอร์ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าระยะทางที่มีค่าน้อยที่สุด

$$A = a_1, a_2, \dots, a_I \quad (3)$$

$$B = b_1, b_2, \dots, b_J \quad (4)$$

$$d(i, j) = \sum_{n=1}^K (a_{in} - b_{jn})^2 \quad (5)$$



รูปที่ 10 ตัวอย่างการเปรียบเทียบความคล้ายกันระหว่างสัญญาณเสียงต้นฉบับและเสียงใหม่

จากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าเส้น DTW จะมีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นตรงที่เป็นเส้นอ้างอิงมาก ซึ่งเทคนิคถ้าเส้น DTW ใกล้เคียงเส้นตรงมากเท่าไร แสดงให้เห็นว่าสัญญาณเสียงมีความใกล้เคียงกับต้นฉบับมากเท่านั้น ดังนั้นการเปรียบเทียบลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงจึงจะใช้ตัวตรวจจับแบบสหสัมพันธ์ (Correlation Detector) โดยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างเส้น DTW และ เส้นอ้างอิงตามสมการที่ 6

$$r = \frac{N \sum XY - ((\sum X)(\sum Y))}{\sqrt{(N \sum X^2 - (\sum X)^2)(N \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (6)$$

เมื่อ X คือ สัญญาณเสียงต้นฉบับ

Y คือ สัญญาณเสียงที่ถูกคืนกลับ

จากสมการที่ 6 เป็นการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวฟเล็ตทั้ง 3 ตระกูล ซึ่งผลลัพธ์ของสัญญาณเสียงพูดแต่ละกลุ่มได้แสดงดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณเสียงของผู้หญิงที่เวลา 5 วินาที

อัตราการสุ่มตัวอย่าง ของสัญญาณเสียงพูด	ตระกูลเวฟเล็ต		
	Haar	Biorthogonal	Discrete Approximation of Meyer
3000	0.99931	0.99953	0.99902
4000	0.99957	0.99848	0.99876
5000	0.99970	0.99964	0.99965
6000	0.99974	0.99984	0.99988
8000	0.99938	0.99833	0.99787

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณเสียงของผู้ชายที่เวลา 5 วินาที

อัตราการสุ่มตัวอย่าง ของสัญญาณเสียงพูด	ตระกูลเวฟเล็ต		
	Haar	Biorthogonal	Discrete Approximation of Meyer
3000	0.99273	0.97433	0.98839
4000	0.96996	0.96652	0.99299
5000	0.99468	0.99386	0.99208
6000	0.99213	0.97846	0.98747
8000	0.99389	0.99164	0.94263

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณเสียงของผู้หญิงที่เวลา 60 วินาที

อัตราการสุ่มตัวอย่าง ของสัญญาณเสียงพูด	ตระกูลเวฟเล็ต		
	Haar	Biorthogonal	Discrete Approximation of Meyer
3000	0.99986	0.99978	0.99986
4000	0.99977	0.99898	0.99941
5000	0.99993	0.99879	0.99870
6000	0.99983	0.99978	0.99980
8000	0.99979	0.99966	0.99986

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณเสียงของผู้ชายที่เวลา 60 วินาที

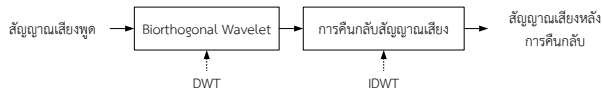
อัตราการสุ่มตัวอย่าง ของสัญญาณเสียงพูด	ตระกูลเวฟเล็ต		
	Haar	Biorthogonal	Discrete Approximation of Meyer
3000	0.99597	0.98840	0.98443
4000	0.98199	0.97472	0.95501
5000	0.99239	0.99095	0.99226
6000	0.99765	0.99473	0.99533
8000	0.99755	0.99592	0.99883

จากตารางที่ 2-5 เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเวฟเล็ตทั้ง 3 ตระกูล มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกันมาก โดยเฉพาะ Haar เวฟเล็ต ให้ประสิทธิภาพการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดและคืนกลับสัญญาณได้ดีกว่า Biorthogonal เวฟเล็ต และ Discrete Approximation of Meyer เวฟเล็ต เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด

จากการคัดเลือกตระกูลเวฟเล็ตทั้ง 3 ตระกูล เพื่อหาเวฟเล็ตที่เหมาะสมสำหรับบทความนี้ได้ข้อสรุปเป็นตระกูลเวฟเล็ต Biorthogonal เนื่องจากเวฟเล็ตตระกูลนี้มีฟังก์ชันพื้นฐานที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์สัญญาณที่มีลักษณะไม่คงที่ ในรูปที่ 5-8 จะเห็นได้ว่า เวฟเล็ต Biorthogonal ให้ผลที่ดีกว่าเวฟเล็ตตระกูลอื่น ในขั้นตอนต่อไปนี้จะกล่าวถึงการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยเวฟเล็ตเปรียบเทียบกับวิธีการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วย CELP โดยการบีบอัดนั้นจะใช้ Order สำหรับการบีบอัดที่เท่ากัน คือ Order 10, 20 และ 30

การบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เวฟเลตตระกูล Biorthogonal

ในขั้นตอนนี้จะนำสัญญาณเสียงที่ได้เตรียมไว้เข้าสู่กระบวนการบีบอัดด้วยเวฟเลตดังรูปที่ 11

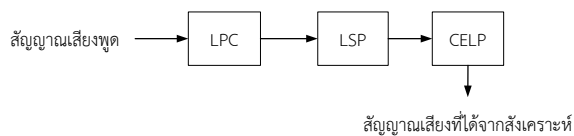


รูปที่ 11 กระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดของเวฟเลต

จากรูปที่ 11 สัญญาณเสียงทั้งหมดจะถูกบีบอัดสัญญาณเสียงพูดด้วย Biorthogonal เวฟเลตโดยใช้เทคนิคของการแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (DWT) และทำการคืนกลับสัญญาณเสียงโดยใช้เทคนิคการแปลงกลับเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Inverse Discrete Wavelet Transform; IDWT)

การสกัดลักษณะของสัญญาณเสียงพูดโดยใช้การเข้ารหัสแบบเชิงเส้น (LPC)

ในขั้นตอนนี้จะนำสัญญาณเสียงพูดเดียวกันกับการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วยเวฟเลต เพื่อเข้าสู่กระบวนการสกัดลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงด้วยเทคนิค LPC และใช้หลักการของ CELP เพื่อบีบอัดสัญญาณและสังเคราะห์สัญญาณเสียงขึ้นมาใหม่ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 กระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดของ CELP

จากรูปที่ 12 เสียงทั้งหมดจะถูกนำไปสกัดลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงด้วย LPC ที่ Order 10, 20 และ 40 แต่เนื่องจากเทคนิคของ LPC จะมีประสิทธิภาพไม่ค่อยดี จึงส่งค่าพารามิเตอร์การควอนไทซ์เซชันของ LPC ไปแปลงเป็นค่าพารามิเตอร์ของ LSP เพื่อปรับปรุงการเข้ารหัสสัญญาณเสียงพูดให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น หลังจากนั้นนำไปบีบอัดสัญญาณเสียงด้วย CELP และสังเคราะห์สัญญาณเสียงขึ้นมาใหม่โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของ LSP ในการสังเคราะห์ ซึ่ง CELP เป็นเทคโนโลยีในการบีบอัดสัญญาณเสียงที่ได้รับมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับและน่าจับตามองในปัจจุบัน

เทคนิคการเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณเสียง

หลังจากการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดด้วย DWT และ CELP นั้นได้ทำการคืนกลับสัญญาณเสียงด้วยเทคนิคที่แตกต่างกันคือ DWT จะคืนกลับเสียงด้วย IDWT และ CELP สังเคราะห์สัญญาณเสียงขึ้นมาใหม่โดยใช้พารามิเตอร์ของ LSP ซึ่งเสียงที่ได้จะมีความ

แตกต่างกัน ดังนั้นในบทความนี้จึงใช้เทคนิคค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square Error; MSE) และอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak Signal to Noise Ratio; PSNR) ในการเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณเสียง เพื่อหาเทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงที่เหมาะสมที่สุด

ก. การหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Square Error)

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (s_i - p_i)^2 \quad (7)$$

โดยที่ s_i คือ สัญญาณเสียงต้นฉบับ

p_i คือ สัญญาณเสียงที่ถูกคืนกลับ

ข. อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak Signal to Noise Ratio)

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{NX^2}{\|x-r\|^2} \quad (8)$$

โดยที่ N คือ ความยาวของสัญญาณเสียงที่ถูกคืนกลับ

X คือ ค่าสูงสุดของค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณเสียงต้นฉบับ

$\|x-r\|^2$ คือ ความแตกต่างของระดับพลังงานระหว่างสัญญาณเสียงต้นฉบับกับสัญญาณเสียงคืนกลับ

ผลการทดลอง

จากการบีบอัดสัญญาณเสียงทั้งหมด 80 เสียง โดยแบ่งเป็นเสียงของผู้หญิงและผู้ชายที่มีความยาว 5 วินาที และ 60 วินาที อย่างละ 20 เสียง เพื่อบีบอัดสัญญาณเสียงด้วย DWT ระดับที่ 1- 3 และ CELP Level ที่ 10, 20, 30 โดยเปรียบเทียบผลการทดลองจากค่าความผิดพลาดของ MSE และการหาประสิทธิภาพของ PSNR แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ผ่านการบีบอัดด้วย DWT จะเห็นว่าคุณภาพของสัญญาณเสียงจะดีขึ้นเป็นลำดับโดยเฉพาะอย่างยิ่งการบีบอัดด้วยระดับ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับที่บีบอัดด้วย CELP ซึ่งสามารถสรุปเป็นค่าเฉลี่ยของเสียงแต่ละประเภทดังตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของ MSE

ระดับการบีบอัด	เสียงพูด	ค่าเฉลี่ย MSE	
		DWT	CELP
ระดับที่ 3 หรือ Order 10	ผู้หญิง 5 วินาที	0.0039684	0.0394481
	ผู้ชาย 5 วินาที	0.002262	0.0109041
	ผู้หญิง 60 วินาที	0.0081388	0.015538
	ผู้ชาย 60 วินาที	0.0040201	0.0037642
ระดับที่ 2 หรือ Order 20	ผู้หญิง 5 วินาที	0.000699	0.0346344
	ผู้ชาย 5 วินาที	0.001325	0.0098298
	ผู้หญิง 60 วินาที	0.0024015	0.0161028
	ผู้ชาย 60 วินาที	0.0025496	0.0045219
ระดับที่ 1 หรือ Order 30	ผู้หญิง 5 วินาที	0.0002561	0.041775
	ผู้ชาย 5 วินาที	0.0003154	0.0105815
	ผู้หญิง 60 วินาที	0.0005144	0.0168456
	ผู้ชาย 60 วินาที	0.0007185	0.00439

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยของ PSNR

ระดับการบีบอัด	เสียง	ค่าเฉลี่ย PSNR	
		DWT	CELP
ระดับที่ 3 หรือ Order 10	ผู้หญิง 5 วินาที	22.964986	13.781483
	ผู้ชาย 5 วินาที	19.55126	19.381605
	ผู้หญิง 60 วินาที	21.404765	17.657204
	ผู้ชาย 60 วินาที	22.588559	23.782297
ระดับที่ 2 หรือ Order 20	ผู้หญิง 5 วินาที	30.536701	14.82256
	ผู้ชาย 5 วินาที	24.893672	20.100045
	ผู้หญิง 60 วินาที	27.309833	17.807994
	ผู้ชาย 60 วินาที	26.265939	23.250548
ระดับที่ 1 หรือ Order 30	ผู้หญิง 5 วินาที	34.548318	13.704442
	ผู้ชาย 5 วินาที	32.612891	19.78766
	ผู้หญิง 60 วินาที	33.886936	17.548176
	ผู้ชาย 60 วินาที	31.965845	23.639487

สรุปผล

บทความนี้เป็นการศึกษาและการใช้ประโยชน์การแปลงเวฟเลตสำหรับการบีบอัดสัญญาณเสียงพูด โดยใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วย DWT และ CELP เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพหลังการคืนกลับสัญญาณ ซึ่งปกติแล้วในกระบวนการส่งสัญญาณเสียงที่มีการบีบอัดสัญญาณเสียงนั้น เพื่อต้องการลดขนาดของสัญญาณเสียงพูดจากสัญญาณเสียงต้นฉบับ และต้องการให้สัญญาณเสียงพูดมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงพูดต้นฉบับมากที่สุดหรือขึ้นอยู่กับการนำเสียงนั้นๆ ไปประยุกต์ใช้งาน

ผลการทดลองพบว่าเวฟเลตที่เหมาะสมและผ่านการคัดเลือกคือ Biorthogonal เวฟเลต เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการบีบอัดสัญญาณที่สูงกว่าเวฟเลตทั้ง 2 ตระกูล ดังนั้นจึงนำ Biorthogonal

เวฟเลต เข้าสู่กระบวนการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดโดยใช้เทคนิคของ DWT ระดับที่ 1 – 3 และคืนกลับสัญญาณเสียงด้วย IDWT จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเสียงพูดที่มีความยาว 5 วินาที จะมีประสิทธิภาพในการคืนกลับสัญญาณมากกว่าเสียงพูดที่มีความยาว 60 วินาที โดยเฉพาะสัญญาณเสียงพูดของผู้หญิง

เมื่อนำสัญญาณเสียงพูดหลังจากการคืนกลับสัญญาณเสียงไปเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณเสียงกับเทคนิคการบีบอัดสัญญาณของ CELP ที่ Order 10, 20 และ 30 เนื่องจากเทคนิคการบีบอัดสัญญาณเสียงของ CELP นั้นเป็นมาตรฐานการบีบอัดที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ซึ่งหลักการที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณระหว่างการบีบอัดสัญญาณเสียงพูดด้วย DWT กับ CELP นั้น จะใช้ค่า MSE และ PSNR มาวิเคราะห์ผล ซึ่งปรากฏว่าการบีบอัดสัญญาณเสียงด้วย DWT ให้ประสิทธิภาพในการบีบอัดสัญญาณเสียงที่ดีกว่า CELP และทั้งนี้ยังมีค่าผิดพลาดที่น้อยกว่าเมื่อนำสัญญาณไปเปรียบเทียบกับสัญญาณต้นฉบับ และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้บีบอัดข้อมูลชนิดอื่นได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระยุทธ คุณรัตนศิริ และจักรี ศรีนนท์ฉัตร .“การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบีบอัดเสียงพูดโดยใช้เทคนิคเวฟเลต”. การประชุมเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3(EENET), 2011, หน้า 339-342
- [2] B.Dennis. “Details to assist in implementation of Federal Standard 1016 CELP,” National Communication Bulletin ,1-92The Manager National Communications system,1992 .
- [3] A.N.Suen, J.F. Wang and T. C. Yao. “Dynamic partial search scheme for stochastic codebook of FS1016 CELP coder,” IEEE Proc. – Image Signal Process, vol. 142, China, February 1, 1995, pp. 52-58.
- [4] M.A. Osman and Hussein, N. “Speech compression using LPC and wavelet,” 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology (ICCET), April Chengdu China, 2010, pp. 92-97.
- [5] S. M. Joseph and P. Babu Anto, “Speech Compression Using Wavelet Transform,” IEEE-International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), Anna University, Chennai. June 5-3, 2011, pp. 754-758.
- [6] Z. Dan and M.A. Sheng-qian, “Speech Compression With Best Wavelet Packet Transform And SPIHT

Algorithm,” Second International Conference on Computer Modeling and Simulation, 2010, pp. 360-363.

[7] S. Ranjan, “A Discrete Wavelet Transform Based Approach to Hindi Speech Recognition,” International Conference on Signal Acquisition and Processing (ICSAP) ,Bangalore India, 2010 , pp. 345-348.

[8] S. Korsing and J. Srinonchat. “Exploring Dynamic Time Warping Techniques to Wavelet Speech Compressing,” 9th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics Computer Telecommunications and Information Technology , Hua Hin, Thailand, 2012, pp. 1-4.

[9] S. Korsing and J. Srinonchat, “Enhancement Speech Compression Technique Using Modern Wavelet Transforms,” International Symposium on Computer Consumer and Control, Hua Hin, Thailand, 2012, pp. 393-396.

การพัฒนาระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ของคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

Development of Maintenance Management System Based on Web

Application of Faculty of Pharmacy, Mahidol University

โสรัจ ทศนเจริญ ชาญเดช แสงงาม สิริมา วุดเด่น อรพรรณ โขมะสรานนท์ นันทวรรณ จินากุล*

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนศรีอยุธยา แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

*E-mail : nanthawan.jin@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ 2) ประเมินระยะเวลาแล้วเสร็จในการดำเนินการซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ โดยทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบตามรูปแบบวงจรการพัฒนาแบบ (SDLC) ซึ่งแบ่งเป็น 5 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1) การวางแผนโครงการ ระยะที่ 2) การวิเคราะห์ ระยะที่ 3) การออกแบบ ระยะที่ 4) การนำไปใช้ และระยะที่ 5) การบำรุงรักษา จากนั้นทำการประเมินระยะเวลาแล้วเสร็จในการดำเนินการซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2556 – 30 กันยายน พ.ศ. 2557 จำนวน 895 รายการ สถิติที่ใช้ คือ ค่าฐานนิยม ค่าร้อยละ และค่าเฉลี่ย ผลการวิจัยพบว่า 1) ระบบที่ได้จากการพัฒนาสามารถติดตามสถานะการซ่อม ดูประวัติการซ่อมและแจ้งผลการดำเนินการซ่อมโดยสามารถนำมาพัฒนาระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ของคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลได้ 2) การประเมินระยะเวลาแล้วเสร็จในการดำเนินการซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ พบว่า ระยะเวลาในการซ่อมแล้วเสร็จของระบบงานไฟฟ้า ระบบงานปรับอากาศ ระบบงานประปา และ ระบบงานตัวอาคาร มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาแล้วเสร็จต่อรายการ คือ 3.85, 3.75, 2.73 และ 4.08 วัน ตามลำดับ ระยะเวลาแล้วเสร็จที่มีความถี่สูงสุดในการดำเนินการซ่อมต่อรายการ คือ 1 วัน ในทุกระบบงาน การพัฒนาระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์นั้นช่วยให้งานซ่อมบำรุงมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการบริหารงานเพื่อปรับปรุงการบริการให้ดีขึ้น ตลอดจนสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบการจัดการในหน่วยงานอื่นได้ต่อไป

คำสำคัญ: ระบบงานซ่อมบำรุงผ่านเว็บ การบริหารจัดการงานซ่อมบำรุง

Abstract

This study was aimed to 1) develop a maintenance management system based on web application 2) evaluate the period for completion of maintenance on web application based on the model system development life cycle (SDLC). This system was divided into five phases: 1) planning 2) analysis 3) design 4) application and 5) maintenance. Then, the completion period of maintenance was determined by the collection of 895 documents during October 1, 2013 - September 30, 2014. The statistics used were the mode, percentages and averages. The results showed that 1) the developed system was able to track the status of the repair, history and results of operations, which could be adapted to develop maintenance management system on web application of the Faculty of Pharmacy, Mahidol University 2) the period for completion of maintenance on web application showed that the period of the repair of electrical systems, air conditioning systems, plumbing systems and system building, had average completion periods per item of 3.85, 3.75, 2.73 and 4.08, respectively. Completion period with the highest frequency in the repair list was 1 day of every system. Development of maintenance management system based on web application allows for more efficient maintenance and can be used to plan the administration to improve the service for the better. It can be taken as a model in the development of management systems in other departments in the future.

Keywords: System maintenance through the web, The management of maintenance

บทนำ

ตามที่มหาวิทยาลัยมหิดลได้กำหนดยุทธศาสตร์ พ.ศ.2556-2559 ทั้งหมด 9 ด้าน โดยเฉพาะด้านที่ 6 ไว้ คือ การสร้างมหาวิทยาลัยที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเป็นพื้นฐาน(ICT-based University) รวมถึงมี เป้าประสงค์หลักเพื่อการส่งเสริมให้เกิดการเป็น ECO University เช่น อัตราการใช้กระดาษในสำนักงานลดลง เป็นต้น คณะเภสัชศาสตร์เป็นองค์กรหนึ่งในมหาวิทยาลัยมหิดลที่มีพันธกิจด้านการสร้างบัณฑิตที่มีคุณภาพ ผลิตและเผยแพร่งานวิจัยและนวัตกรรมเป็นศูนย์กลางการให้บริการวิชาการ เสริมสร้างและสนับสนุนด้านศิลปวัฒนธรรม จากพันธกิจดังกล่าวจึงทำให้มีจำนวนวัสดุและครุภัณฑ์ที่อยู่ในการดูแลเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเมื่อเกิดการชำรุดจึงต้องซ่อมให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานได้ตลอดเวลา งานซ่อมบำรุงจะมีหน่วยดูแลทรัพย์สินซึ่งมีช่างประจำทำหน้าที่ในการซ่อม โดยระบบการแจ้งซ่อมเดิมเป็นการกรอกรายละเอียดลงในใบส่งซ่อมผ่านเจ้าหน้าที่ทำการส่งเอกสาร 2 ฉบับ รวมทั้งสิ้น 3 ฉบับทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรกระดาษในขณะเดียวกันการส่งเอกสารแจ้งซ่อมไปยังหน่วยงานที่รับผิดชอบมีหลายขั้นตอน และยุ่งยากทำให้เกิดปัญหาต่างๆ อาทิ เอกสารแจ้งซ่อมสูญหาย ติดตามการดำเนินการซ่อมของช่างและหน่วยพัสดุไม่ได้ ขาดการประสานงานระหว่างผู้รับผิดชอบ ผู้บังคับบัญชาหรือหัวหน้าหน่วยไม่ทราบวัสดุและครุภัณฑ์ ในหน่วยมีการชำรุดเนื่องจากเจ้าหน้าที่ทำการส่งซ่อมได้เองโดยไม่ต้องผ่านการอนุมัติ นอกจากถ้ามีการส่งช่างหรือบริษัทภายนอกคณะฯ จึงจะให้ผู้บังคับบัญชา หรือหัวหน้าหน่วยอนุมัติ ปัจจัยเหล่านี้ทำให้ระบบการซ่อมไม่มีประสิทธิภาพและไม่ราบรื่น นับว่าไม่เป็นระบบในการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงที่ดี ดังนั้น เพื่อให้การบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงมีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผล รวดเร็วทันกำหนดเวลา ประหยัดกระดาษที่ต้องใช้แจ้งซ่อมและให้สอดคล้องกับแผนดังกล่าวจำเป็นต้องนำข้อมูลต่างๆในเอกสารแจ้งซ่อมมาจัดเก็บรวบรวมไว้อยู่ในรูปของระบบฐานข้อมูล ดังที่ ชาตรี คงสมบูรณ์ ได้ทำการศึกษาโดยนำข้อมูลมาเก็บอยู่ในรูปของระบบฐานข้อมูลพัฒนาโดย Web Application มีข้อดี คือ ไม่ต้องมีเจ้าหน้าที่ประจำในการรอรับการแจ้งซ่อม การเก็บข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น การเรียกใช้งานข้อมูลมีความรวดเร็วถูกต้องและสามารถรวบรวมข้อมูลทั้งหมดไว้สำหรับการบริหารจัดการ สามารถตรวจสอบข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลออกมาในรูปแบบเอกสารเพื่อนำเสนอได้อย่างรวดเร็ว [1] ดังนั้นการเพิ่มสมรรถนะทางด้านการบริหารจัดการด้วยการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการแก้ไขปัญหาระบบงานส่งซ่อมที่มีอยู่เดิมจะสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะ

พัฒนาระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์โดยผู้ส่งซ่อมสามารถแจ้งงานซ่อมผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ภายในของคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล หรือระบบ intranet เพื่อมุ่งหวังในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่จะอำนวยความสะดวกให้กับช่างและเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการแจ้งการซ่อมบำรุง โดยมีการบันทึกข้อมูลประวัติการซ่อม, การติดตามสถานะการซ่อม และบันทึกผลการปฏิบัติงานของหน่วยดูแลทรัพย์สินได้ อีกทั้งจะช่วยให้อัตราการใช้กระดาษในสำนักงานลดลงช่วยประหยัดทรัพยากรกระดาษลงได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์
2. เพื่อประเมินระยะเวลาแล้วเสร็จในการดำเนินการซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์

ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการโดยศึกษาปัญหาระบบงานซ่อมบำรุงแบบเดิมจากการเขียนใบส่งซ่อมแล้วส่งรับในสมุดทะเบียนมาทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบงานเพื่อนำมาพัฒนาระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์และประเมินระยะเวลาแล้วเสร็จในการดำเนินการซ่อมบำรุงโดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มใช้ระบบใหม่ในวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2556 – 30 กันยายน พ.ศ. 2557 เนื่องจากการส่งซ่อมระบบเดิมซึ่งใช้วิธีเขียนใบส่งซ่อมทำให้เกิดการสูญหายของเอกสาร ติดตามสถานะซ่อม และ ประเมินระยะเวลาแล้วเสร็จไม่ได้ทำให้ข้อมูลที่ได้นั้นไม่สมบูรณ์จึงไม่สามารถนำข้อมูลเดิมมาใช้ในการเปรียบเทียบกับข้อมูลในระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น โดยระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นจะสามารถนำมาใช้ในระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ของคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลให้ได้ประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

วิธีการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การพัฒนาโปรแกรมให้มีลักษณะเป็นแบบ Web-Based Application โดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ประเภท Open Source Computer Language ได้แก่ PHP, HTML และ SQL ทำงานร่วมกันเพื่อให้สามารถ เรียกดู แก้ไข และบันทึกข้อมูลบนเครื่อง Database Server และ Web Server ซึ่งติดตั้งอยู่ในระบบเครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network :LAN) โดยให้ผู้ใช้งานเข้าใช้โปรแกรมผ่าน Web Browser ด้วยรหัสผู้ใช้งานที่ผู้ดูแลระบบกำหนดสิทธิ์ไว้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ใดๆก็ได้ในระบบเครือข่ายท้องถิ่นภายในคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนามีดังนี้

1. ระบบปฏิบัติการ(OS) และ Software (โปรแกรมประยุกต์)ที่ใช้บนเครื่อง Web Server ได้แก่

1.1 Microsoft Windows Server 2008 R2 Enterprise 64-Bit (OS)

1.2 IIS (Internet Information Services) Version 7.5.7600

1.3 PHP Version 5.2.17

2. ระบบปฏิบัติการ(OS) และ Software (โปรแกรมประยุกต์)ที่ใช้บนเครื่อง Database Server ได้แก่

2.1 Microsoft Windows Server 2008 R2 Enterprise 64-Bit (OS)

2.2 Microsoft SQL Server 2008 R2 64-Bit

3. ระบบปฏิบัติการ (OS) และ Software (โปรแกรมประยุกต์) ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ได้แก่

3.1 Microsoft Windows 7 Enterprise 64-Bit Service Pack 1 (OS)

3.2 Microsoft SQL Server Management Studio 10.50.1600.1

3.3 Macromedia Dreamweaver 8

3.4 Mozilla Firefox Version 30-34

3.5 Google Chrome Version 30-39

3.6 Microsoft Internet Explorer Version 8-11

4. ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนา ได้แก่

4.1 PHP ภาษา PHP (Personal Home Page Tool) เป็นการเขียน

คำสั่งหรือโค้ดโปรแกรมที่เก็บและทำงานบนฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server-Side Script) ซึ่งเป็นรูปแบบในการเขียนคำสั่งการทำงานมีลักษณะคล้ายภาษา Perl หรือภาษา C และสามารถที่จะใช้ร่วมกับภาษา HTML [2]

4.2 HTML (Hypertext Markup Language) ใช้ในการกำหนดรูปแบบ

ของเอกสารเว็บเพจ โดยจะมีลักษณะที่ต่างไปจากภาษาคอมพิวเตอร์ทั่วไปโดยโครงสร้างของมันจะอยู่ในลักษณะของคำสั่งที่เรียกว่า แท็ก (Tag) สำหรับการระบุจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของช่วงที่เราจะต้องการจัดรูปแบบ ซึ่งแท็กใน HTML จะใช้เพื่อกำหนดตัวอักษร, พื้นหลัง, สร้างตาราง ฯลฯ [3]

4.3 JAVA SCRIPT เป็นภาษาสคริปต์ที่ใช้ทำงานบนระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อ

ใช้ในการพัฒนา Web Page ต่างๆ สามารถเพิ่มลูกเล่นให้กับ Web Page และโต้ตอบกับผู้ชม [4]

4.4 SQL (Structured Query Language) จัดเป็นภาษามาตรฐานบน

ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ในการสร้างฐานข้อมูลและโครงสร้างรีเลชัน สนับสนุนงานด้านการจัดการข้อมูลพื้นฐาน เช่น การเพิ่ม การปรับปรุง และการลบ ข้อมูลจากรีเลชัน สนับสนุนการคิวรีข้อมูลและแปลงข้อมูลให้เป็นสารสนเทศ [5]

วิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าหลักการทฤษฎีต่างๆ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบ และประเมินระยะเวลาแล้วเสร็จในการซ่อมบำรุงโดยได้กำหนดวิธีดำเนินการดังนี้

1. พัฒนาระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์

การวิเคราะห์และทำการออกแบบระบบ ตามรูปแบบวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle) หรือเรียกสั้นๆว่า SDLC [6] ซึ่งแบ่งเป็น 5 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 : การวางแผนโครงการ (Project Planning Phase)

ปัญหาที่พบจากการแจ้งซ่อมในระบบเดิมที่มีความล่าช้าในการดำเนินการด้านเอกสาร เอกสารมีการสูญหาย ติดตามการดำเนินการซ่อมไม่ได้ จากปัญหาเหล่านี้จึงได้มีการประชุมเพื่อชี้แจงปัญหาต่างๆของแต่ละหน่วยงาน ระหว่างผู้บริหาร หัวหน้างาน และ หัวหน้าหน่วย พร้อมทั้งระดมความคิดเห็นต่างๆ โดยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งาน การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบและคาดคะเนความต้องการของผู้ใช้ระบบเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์และออกแบบ ซึ่งระบบที่จะพัฒนาขึ้นมาต้องสามารถแก้ไขปัญหาและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ ดังนั้น จึงได้กำหนดให้มีการเปลี่ยนระบบจากการเขียนใบแจ้งซ่อมแล้วลงรับในสมุดทะเบียนมาเป็นระบบการแจ้งซ่อมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาพัฒนาให้เป็นระบบการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์

ระยะที่ 2 : การวิเคราะห์ (Analysis Phase)

ทำการศึกษาและทำความเข้าใจในความต้องการต่างๆ โดยการรวบรวมความต้องการระบบใหม่ กำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับความต้องการของผู้ใช้ระบบ จำแนกข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ ศึกษาเอกสารและเครื่องมือที่นำมาใช้ในการพัฒนา และเขียนแผนภาพการทำงาน

ระยะที่ 3 : การออกแบบ (Design Phase)

ทำการออกแบบให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยนักวิเคราะห์และออกแบบระบบตัดสินใจเลือกเครื่องมือ อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และเครือข่าย การออกแบบการรายงาน การออกแบบหน้าจอ การออกแบบผังงานระบบ รายละเอียดโปรแกรม และฐานข้อมูล

ระยะที่ 4 : การนำไปใช้ (Implementation Phase)

สร้างระบบขึ้นมาด้วยการเขียนโปรแกรม ดำเนินการทดสอบระบบ และทำการติดตั้งระบบ ดำเนินการฝึกอบรมแก่ผู้ใช้งาน พร้อมทั้งประเมินผลระบบใหม่โดยการนำข้อเสนอแนะและความคิดเห็นต่างๆของผู้ใช้งานมาทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของระบบ และนำระบบที่สมบูรณ์มาเปิดใช้งาน

ระยะที่ 5 : การบำรุงรักษา (Maintenance Phase)

ระยะการบำรุงรักษาเป็นระยะที่มีการเปิดการใช้งานของระบบซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์เรียบร้อยแล้ว โดยระบบสามารถรองรับเทคโนโลยีใหม่ๆ ได้หรือมีการเพิ่มเติมคุณสมบัติของระบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยผู้วิจัยจะได้มีการปรับปรุงเพื่อพัฒนาระบบต่อไปในอนาคต โดยหากทำการปรับปรุงระบบใหม่จะต้องเริ่มที่ระยะที่ 1 : การวางแผนโครงการ (Project Planning Phase) ตามวงจรการพัฒนา (SDLC) จนเสร็จสมบูรณ์

2. ประเมินระยะเวลาแล้วเสร็จในดำเนินการซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการส่งซ่อมในระบบการซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ.2556 – 30 กันยายน พ.ศ.2557 มีจำนวนทั้งสิ้น 895 รายการ โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มงาน ตามระบบงานซ่อม ดังนี้

- 2.1 ระบบงานไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้า เช่น เครื่องมือวิทยาศาสตร์ หลอดไฟ พัดลม เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น
- 2.2 ระบบงานปรับอากาศ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์ เป็นต้น
- 2.3 ระบบงานประปา ได้แก่ ท่อประปา ท่อระบายน้ำ ชักโครก อ่างน้ำ ก๊อกน้ำ สายฉีดชำระ เป็นต้น
- 2.4 ระบบงานตัวอาคาร หรือ ครุภัณฑ์ติดตึก ได้แก่ ประตูหน้าต่าง โต๊ะ เก้าอี้ ตู้ ฝาเพดาน โทรศัพท์ พื้นกระเบื้อง บ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลการส่งซ่อมที่ได้จากระบบการซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ.2556 – 30 กันยายน พ.ศ.2557 มาทำการลงรหัสข้อมูล แล้วประมวลผลข้อมูลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows version 18.0 และนำค่าสถิติต่างๆ ไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อแปลผล โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าฐานนิยม (Mode)

ผลการทดลอง

1. พัฒนาระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์

การวิเคราะห์และทำการออกแบบระบบตามรูปแบบวงจรการพัฒนา (System Development Life Cycle) หรือ SDLC จากการสำรวจความต้องการของผู้ใช้งาน พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่ต้องลดขั้นตอนการดำเนินการด้านเอกสาร สามารถติดตามสถานะการซ่อมและการดำเนินงานของช่างได้ สามารถดูประวัติการซ่อม มีการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลครุภัณฑ์ และมีระบบการแจ้งผลการส่งซ่อมผ่านทางเมลให้ทราบเป็นระยะ หัวหน้าหน่วย/หัวหน้างานสามารถตรวจสอบการดำเนินการซ่อมได้ ซึ่งผลการวิจัยที่ได้มีดังต่อไปนี้

1.1 การเข้าสู่ระบบ ผู้ใช้งานสามารถขอ username และ password ได้ที่ หน่วยงานเทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อการเรียนการสอน เพื่อนำมาใช้ในการเข้าระบบ แสดงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 การเข้าระบบการใช้งาน

1.2 การแจ้งซ่อม เมื่อได้รับรหัสในการเข้าระบบผู้ใช้งานสามารถเข้าไปกรอกรายละเอียดในการแจ้งซ่อม โดยใช้เมนูด้านซ้าย (Maintenance) เพื่อแจ้งซ่อมใหม่ หรือ ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปตรวจสอบสถานะงานที่กำลังซ่อมงานที่ซ่อมเสร็จแล้ว และสามารถดูประวัติการซ่อมได้ เพื่อใช้ในการติดตามสถานะของงานที่แจ้งซ่อม และผลการดำเนินงานของช่าง โดยระบบจะแสดงวัน เวลาที่แจ้งซ่อม และผู้มีสิทธิ์อนุมัติการซ่อม แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การแจ้งซ่อม

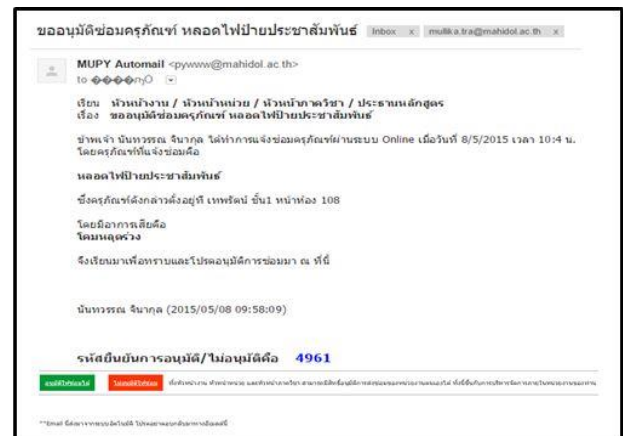
1.3 เมื่อแจ้งซ่อมแล้วจะมีการแจ้งในระบบว่า “ส่งรายการแจ้งซ่อมสมบูรณ์แล้วโปรดรออนุมัติจากหัวหน้าหน่วยงานของท่านก่อน” ทั้งนี้ผู้แจ้งซ่อมสามารถเช็คสถานะงานซ่อมด้วยตนเองได้ที่เมนู “งานที่กำลังซ่อม” หรือ “งานที่ซ่อมเสร็จแล้ว” เพื่อติดตามสถานะการซ่อม แสดงดังรูปที่ 3



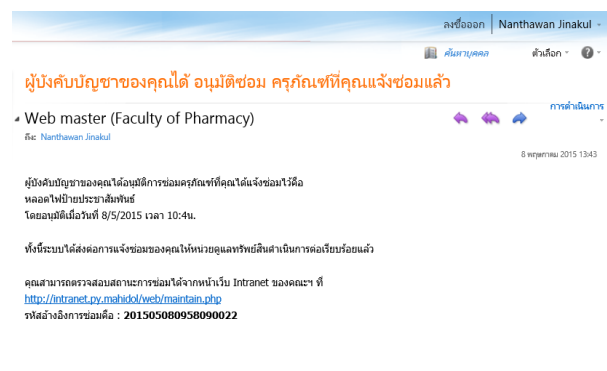
รูปที่ 3 ผู้แจ้งซ่อมติดตามสถานการณ์ซ่อม

1.4 ระบบจะส่งเมลไปยังหัวหน้าหน่วยงาน หรือผู้บังคับบัญชาที่มีสิทธิ์อนุมัติเพื่อพิจารณาอนุมัติการซ่อมโดยใส่รหัสยืนยันการอนุมัติ / ไม่อนุมัติ เมื่ออนุมัติการซ่อมแล้วจะส่งเมลไปยังผู้แจ้งซ่อม พร้อมทั้งแจ้งงานซ่อมไปยังหน่วยดูแลทรัพย์สิน หัวหน้าหน่วยดูแลทรัพย์สินจะรับเรื่องและดำเนินการมอบหมายงานให้แก่ช่างเป็นผู้รับผิดชอบในการซ่อมโดยระบบจะส่งเมลแจ้งกลับไปผู้แจ้งซ่อม และผู้อนุมัติการซ่อมโดยแจ้งรายละเอียดให้ทราบว่าขณะนี้ทางหน่วยดูแลทรัพย์สินได้รับเรื่องซ่อมแล้ว พร้อมทั้งระบุชื่อช่างผู้รับผิดชอบให้ทราบ และแจ้งรหัสยืนยันการซ่อมซึ่งทำให้สามารถติดตามสถานะการซ่อมได้ง่าย แต่ถ้าหากหัวหน้างานหรือผู้บังคับบัญชาไม่อนุมัติการซ่อมระบบ

จะส่งเมลแจ้งกลับไปผู้แจ้งซ่อมโดยไม่ได้ส่งรายการแจ้งซ่อมไปยังหน่วยดูแลทรัพย์สิน แสดงดังรูปที่ 4-7

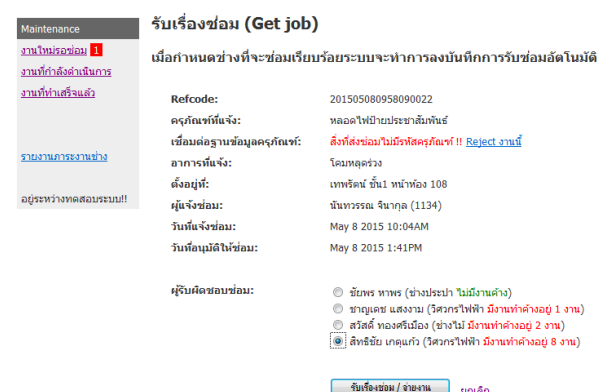


รูปที่ 4 ขออนุมัติการซ่อมไปยังผู้มีสิทธิ์อนุมัติ

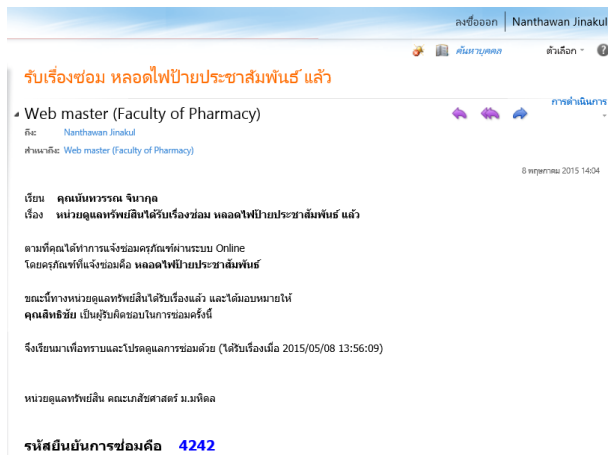


**Email ที่ส่งมาจากระบบอัตโนมัติ โปรดอย่าตอบกลับทางอีเมลล์

รูปที่ 5 การส่งเมลตอบกลับการอนุมัติซ่อมไปยังผู้แจ้งซ่อม

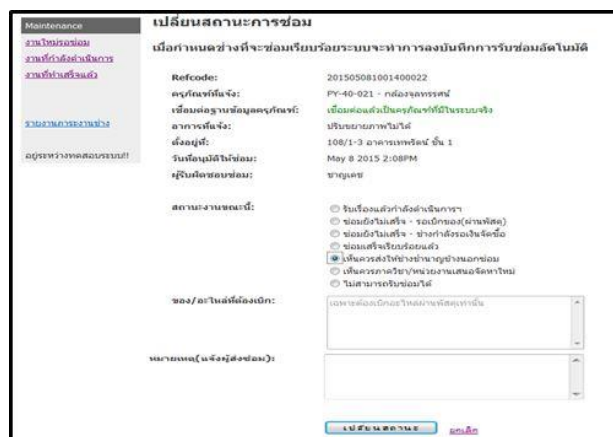


รูปที่ 6 หัวหน้าหน่วยดูแลทรัพย์สินรับเรื่องซ่อมและมอบหมายงานให้ช่าง



รูปที่ 7 การแจ้งเมล์กลับไปยังผู้แจ้งซ่อมเพื่อติดตามสถานะการซ่อม

1.5 เมื่อช่างได้ดำเนินการซ่อมแล้ว หัวหน้าหน่วยดูแลทรัพย์สินจะทำการเปลี่ยนสถานะการซ่อมเพื่อแจ้งสถานะงานในขณะนี้กลับไปยังผู้แจ้งซ่อมและผู้อนุมัติการซ่อม เช่น ช่างกำลังดำเนินการ, ซ่อมยังไม่เสร็จ-รอเบิกของ(ผ่านพัสดุ), ซ่อมยังไม่เสร็จ-ช่างกำลังรอเงินจัดซื้อ, ซ่อมเสร็จเรียบร้อยแล้ว, เห็นควรส่งให้ช่างชำนาญช่างนอกซ่อม, เห็นควรภาคิวิชา/หน่วยงานเสนอจัดหาใหม่ และไม่สามารถรับซ่อมได้ โดยระบบจะส่งเมลล์แจ้งรายละเอียดต่างๆให้ทราบสถานะการซ่อม แสดงดังรูปที่ 8-9



รูปที่ 8 หัวหน้าหน่วยดูแลทรัพย์สินเปลี่ยนสถานะการซ่อม



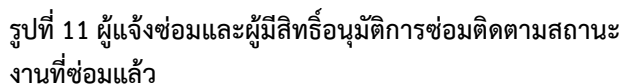
รูปที่ 9 แจ้งสถานะการซ่อมไปยังผู้แจ้งซ่อม และผู้อนุมัติการซ่อม

1.6 กรณีการแจ้งซ่อมครุภัณฑ์จะมีการเชื่อมต่อฐานข้อมูลครุภัณฑ์ หน่วยดูแลทรัพย์สินสามารถดูข้อมูลรายละเอียดของครุภัณฑ์นั้นๆ รวมทั้งประวัติการซ่อมที่ผ่านมาก่อนเปลี่ยนสถานะการซ่อมเพื่อประกอบการพิจารณาในการดำเนินการซ่อมแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 หัวหน้าหน่วยดูแลทรัพย์สินเปลี่ยนสถานะการซ่อมครุภัณฑ์

1.7 ผู้แจ้งซ่อมและผู้มีสิทธิอนุมัติการซ่อมสามารถติดตามสถานะงานที่ซ่อมเสร็จแล้ว โดยสามารถดูประวัติการซ่อมได้ หากเป็นครุภัณฑ์จะมีการเชื่อมต่อฐานข้อมูลครุภัณฑ์โดยจะแสดงในส่วนของการแจ้งซ่อมทั้งหมดของหน่วยงานที่ผู้แจ้งซ่อมสังกัดอยู่เท่านั้น แสดงดังรูปที่ 11



ระบบเดิม

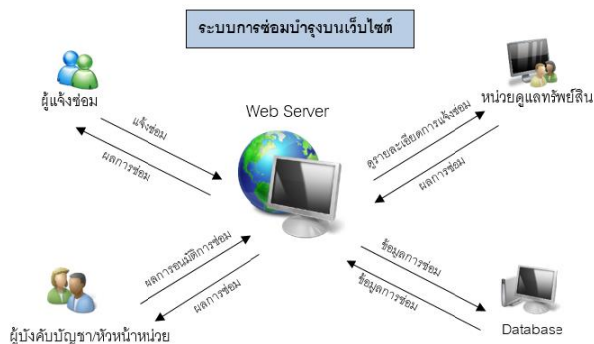
```

graph LR
    A[ผู้แจ้งข้อร้องเรียนไปยังข้อคม] <--> B[ลงรับเรื่อง  
(หน่วยสารบรรณ)]
    B <--> C[รับเรื่อง/จ่ายงาน  
(หน่วยดูแลทรัพย์สิน)]
    C <--> D[หน่วยพิทักษ์  
(เบิก)]
    B --> E[แจ้งผลการดำเนินการ]
    E --> A
    E --> F[ขออนุมัติการซ่อมจากผู้บังคับบัญชา หรือหัวหน้าหน่วย (ส่งช่วงหรือบริษัทยานุรักษ์)]
  
```

The flowchart illustrates the existing complaint handling process. It begins with a box labeled 'ผู้แจ้งข้อร้องเรียนไปยังข้อคม' (Complainant reports to the committee). A double-headed arrow connects this to 'ลงรับเรื่อง (หน่วยสารบรรณ)' (Receive report (Administrative Unit)). Another double-headed arrow connects this to 'รับเรื่อง/จ่ายงาน (หน่วยดูแลทรัพย์สิน)' (Receive/Assign work (Asset Management Unit)). A double-headed arrow then connects this to 'หน่วยพิทักษ์ (เบิก)' (Guard Unit (Request)). Below the 'ลงรับเรื่อง' box, a line leads to 'แจ้งผลการดำเนินการ' (Report progress), which then branches: one path goes back to the complainant, and another goes to 'ขออนุมัติการซ่อมจากผู้บังคับบัญชา หรือหัวหน้าหน่วย (ส่งช่วงหรือบริษัทยานุรักษ์)' (Request repair approval from superiors or unit head (Send to relevant parties or external companies)).

รูปที่ 12 การแจ้งซ่อมด้วยระบบเดิม

จัดเก็บและประมวลผล WEB APPLICATION ต่างๆ โดยส่งออก
ข้อมูลมาให้ผู้เรียกใช้งานด้วยเว็บเบราว์เซอร์ (WEB BROWSER)
แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 การแจ้งซ่อมด้วยระบบการซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์

ทำการแยกกลุ่มการแจ้งซ่อมตามระบบงานซ่อมโดยนำจำนวนวันที่แล้วเสร็จมาหาความถี่จากค่าฐานนิยม (Mode) ค่าร้อยละ (%) และค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) แสดงดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1 ค่าฐานนิยม (Mode) ค่าร้อยละ (%) และ
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของระยะเวลาแล้วเสร็จของงานซ่อมบำรุงบน
เว็บไซต์จำนวน 895 รายการ

งานซ่อมบำรุง	จำนวน (รายการ)	ระยะเวลาแล้วเสร็จ(วัน) /รายการ	
		Mode (%)	$\bar{x}$
ไฟฟ้า	391	1 วัน (60.4)	3.85 วัน
ปรับอากาศ	102	1 วัน (47.1)	3.75 วัน
ประปา	149	1 วัน (67.8)	2.73 วัน
ตัวอาคาร	253	1 วัน (46.6)	4.08 วัน

ตารางที่ 2 การแจกแจงความถี่ และค่าร้อยละ (%) ของ
จำนวนวันที่แล้วเสร็จของงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์จำนวน
895 รายการ

งานซ่อมบำรุง (จำนวนทั้งหมด)	จำนวนงานซ่อมที่แล้วเสร็จ (ร้อยละ)						
	ระยะเวลา แล้วเสร็จ	ระยะเวลา แล้วเสร็จ	ระยะเวลา แล้วเสร็จ	ระยะเวลา แล้วเสร็จ	ระยะเวลา แล้วเสร็จ	ระยะเวลา แล้วเสร็จ	
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน	≥ 6 วัน	
ไฟฟ้า (391)	236 (60.3)	27 (6.8)	30 (7.6)	18 (4.5)	26 (6.5)	54 (14.3)	
ปรับอากาศ (102)	48 (47.1)	10 (9.8)	16 (15.7)	11 (10.8)	5 (4.8)	12 (11.8)	
ประปา (149)	101 (67.8)	8 (5.4)	9 (6.0)	13 (8.7)	6 (4.0)	12 (8.1)	
ตัวอาคาร (253)	118 (46.6)	29 (11.5)	17 (6.7)	18 (7.1)	14 (5.5)	57 (22.6)	

จากการประเมินการใช้ระยะเวลาแล้วเสร็จในการดำเนินการซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ ดังแสดงในรูปที่ 14-15 พบว่าระยะเวลาแล้วเสร็จที่มีความถี่สูงสุดในการดำเนินการซ่อมต่อรายการของระบบงานไฟฟ้า, ระบบงานปรับอากาศ, ระบบงานประปา และระบบงานตัวอาคาร คือ 1 วัน ในทุกระบบงาน นั้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อหน่วยดูแลทรัพยากรรับเรื่องการแจ้งซ่อม หลังจากผู้บังคับบัญชาหรือหัวหน้าหน่วยงานมีการซ่อมจนกระทั่งช่างซ่อมเสร็จเรียบร้อยแล้วส่วนใหญ่ใช้ระยะเวลา 1 วัน ต่อรายการ ส่วนค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ระยะเวลาแล้วเสร็จ(วัน) ต่อ รายการของแต่ละระบบงาน ได้แก่ งานไฟฟ้าใช้เวลา 3.85 วัน งานปรับอากาศใช้เวลา 3.75 วัน งานประปาใช้เวลา 2.73 วัน และงานตัวอาคารหรือครุภัณฑ์ติดตึกใช้เวลา 4.08 วัน นั้น แสดงว่า ผู้แจ้งซ่อมสามารถคาดคะเนระยะเวลาแล้วเสร็จโดยเฉลี่ยของแต่ละระบบงานที่แจ้งซ่อมได้

จากการพัฒนาระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ และประเมินระยะเวลาแล้วเสร็จในการดำเนินการซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ทำให้ได้แนวทางในการจัดทำแผนการพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพต่อไปได้ 4 แผนงาน ดังนี้

1. แผนพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสาร

จัดระบบข้อมูลข่าวสารภายในองค์กร เช่น ระเบียบประกาศ ขั้นตอนการแจ้งซ่อมและข้อมูลอื่นๆ ให้ผู้บริหาร อาจารย์ บุคลากรทั้งเก่าและใหม่ให้ความสนใจในระบบการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์เพื่อให้เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งระบบ

2. แผนพัฒนาระบบฐานข้อมูลการซ่อม

พัฒนาฐานข้อมูล ซอฟต์แวร์ โดยใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อนำมาปรับปรุงระบบเดิมให้ทันสมัย สร้างฐานข้อมูลที่มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น กำหนดผู้ดูแลระบบเพิ่มความเหมาะสมเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงเนื้อหาให้มีความทันสมัย ถูกต้องชัดเจนเนื่องจากฐานข้อมูลที่ดียังจะช่วยรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจและกำหนดแนวทางในการพัฒนาระบบอื่นๆต่อไป

3. แผนพัฒนาขั้นตอนการปฏิบัติ

พัฒนาขั้นตอนการปฏิบัติให้เหมาะสม และถูกต้อง สอดคล้องกันทั้งองค์กร ร่วมกันกำหนดแนวทางเพิ่มลดขั้นตอนให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ จัดทำคู่มือการแจ้งซ่อม ทำป้ายประชาสัมพันธ์การใช้งาน เป็นต้น

4. แผนพัฒนาระดับความพึงพอใจ

ระดับความพึงพอใจเป็นตัวชี้วัดผลสำเร็จด้านคุณภาพ การจัดทำแผนพัฒนาระดับความพึงพอใจจะใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาระบบได้ต่อไป ดังนั้นจึงได้กำหนดแผนพัฒนาระดับความพึงพอใจของบุคลากรในคณะเภสัชศาสตร์ต่อระบบซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ ทั้งหมด 5 ด้าน ได้แก่ ด้าน

รูปแบบของระบบงาน ด้านระบบการแจ้งซ่อม ด้านการติดตามผลการดำเนินการ ด้านสิทธิ์และความปลอดภัยของระบบ และด้านการตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน

แผนการพัฒนาระบบทั้ง 4 แผนจะทำให้ระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ของคณะเภสัชศาสตร์ดำเนินการอย่างเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและเป็นต้นแบบของการพัฒนางานเทคโนโลยีสารสนเทศด้านอื่นๆต่อไป

สรุปผล

ระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ทำให้สะดวกและลดขั้นตอนในการแจ้งซ่อมสามารถติดตามสถานะการซ่อม ดูประวัติการซ่อม มีระบบการแจ้งสถานะงานเป็นระยะ ผู้ใช้งานสามารถดูรายงานจากระบบแม่ข่ายเพื่อดำเนินการขั้นต่อไปได้ง่าย ทำให้องค์กรมีสมรรถนะในการบริหารจัดการด้านต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะด้านการสร้างบัณฑิต บริการวิชาการ งานวิจัยและนวัตกรรมที่อำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเป็นพื้นฐานตามยุทธศาสตร์ที่ 6 ICT-based University ส่งเสริมให้เกิดการเป็น ECO University โดยลดการใช้ทรัพยากรกระดาษจากเดิมที่เคยใช้จำนวน 3 แผ่น ลดลงเหลือ 1 แผ่น ทำให้ช่วยประหยัดทรัพยากรกระดาษลงได้ ซึ่งสอดคล้องกับ ปริญญา สัมพันธ์ สวาท ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงรักษาคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย หน่วยเทคโนโลยีการศึกษาและสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้เทคโนโลยีเว็บดาต้าเบส เพื่อจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ การแจ้งซ่อม ประวัติการซ่อมบำรุงรักษา และมีระบบจัดการการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีการจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานระบบเครือข่าย ข้อมูลเครื่องแม่ข่าย ข้อมูลอุปกรณ์ด้านระบบเครือข่าย สามารถตรวจสอบสถานะการให้บริการด้านระบบเครือข่ายได้ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำสารสนเทศที่ได้จากระบบไปใช้ในวางแผนการบริหารงาน เพื่อปรับปรุงการบริการให้ดีขึ้น ตลอดจนสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการให้บริการในหน่วยงานอื่นต่อไป [7] ดังนั้นการพัฒนาระบบสารสนเทศด้านการซ่อมบำรุงรักษานั้นสามารถช่วยให้งานด้านการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถนำสารสนเทศที่ได้จากระบบไปใช้ในวางแผนการบริหารงานด้านต่างๆให้ดีขึ้น ตลอดจนสามารถนำไปเป็น

ต้นแบบในการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการด้านการซ่อมบำรุงในหน่วยงานอื่นๆต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบการซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ทั้งระบบ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการซ่อมบำรุงให้ดีขึ้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จุฑามณี สุทธิสีสังข์ คณบดี คณะเกษตรศาสตร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มัลลิกา ชมนาวัง หัวหน้าภาควิชาจุลชีววิทยา รองศาสตราจารย์ ดร. ม.ล.สุมาลย์ สาระยา อาจารย์ ดร. จตุรงค์ ประเทืองเดชกุล และ อาจารย์ ดร. ปิยทิพย์ ชันตยาภรณ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ แก่ผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ขาตรี คงสมบูรณ์, 2551. ระบบแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์ผ่านเว็บสำหรับภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [2] กิตติศักดิ์ เจริญโกคานนท์, 2548. คู่มือเรียนเขียนเว็บอีคอมเมิร์ซด้วย PHP 5. กรุงเทพฯ: ชัคเชส มีเดีย.
- [3] บัญชา ปะสีละเตสัง, 2551. ออกแบบและพัฒนาเว็บด้วย DHTML. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [4] วิชา ศิริธรรมจักร และ กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล, 2549. Web Programming ด้วย AJAX และ PHP. กรุงเทพฯ: เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.
- [5] โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, 2549. การออกแบบและจัดการฐานข้อมูล. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [6] โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, 2548. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [7] ปริญญา สัมพันธ์สวาท, 2551. การค้นคว้าแบบอิสระ เรื่อง การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานซ่อมบำรุงรักษาคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย หน่วยเทคโนโลยีการศึกษาและสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ, บัณฑิตวิทยาลัย (โครงการพิเศษ), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนดาวเทียมกับฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน

The relationship between satellite rainfall and the gauge rainfall

in Nan River Basin

สุบรรณ ผลกะสิ*

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

*E-mail: subanphon@gmail.com

บทคัดย่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM และปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน โดยใช้ข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมงระหว่างปี 2552 ถึง 2554 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณฝนจากดาวเทียมมีปริมาณมากกว่าฝนจากสถานีวัดปริมาณฝนจากดาวเทียมส่วนใหญ่ร้อยละ 48 มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 5 มิลลิเมตร ค่าเปอร์เซ็นต์การตรวจจับสัญญาณ (Probability Of Detection ,POD) มีค่า 58 % การหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยใช้ข้อมูลฝนรายเดือนได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.557

คำสำคัญ: ฝนจากดาวเทียม ดาวเทียม TRMM ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

Abstract

The relationship between the rainfall obtained from weather satellite of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) and the recorded rainfall from Thai Meteorology Department (TMD) was investigated. The 3 hourly rainfall data during 2009-2011 over the study area of the Nan River Basin were used in this study. The TRMM rainfall is higher than 3- hourly areal rainfall over the study area. More than 48% of 3-hourly rainfall pair occurrences are in the range of 0-5 mm. The obtained Probability of Detection (POD) score is more than 58%. The comparison of the TRMM rainfalls and the gauging rainfalls was undertaken using the linear regression technique. The comparison result was quite satisfactory with R^2 of 0.557.

Keywords: Satellite rainfall, TRMM, linear regression technique

บทนำ

บริเวณภาคเหนือของประเทศไทยเป็นแหล่งต้นน้ำสำคัญ มีสภาพภูมิประเทศเป็นภูเขาสูงและป่าไม้ การประเมินน้ำฝนด้วยเครื่องมือภาคพื้นดินทั้งจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน หรือจากเรดาร์ตรวจอากาศ ไม่ทั่วถึงและมีจุดอ่อนในบางพื้นที่ จากการวิเคราะห์ระบบเครือข่ายสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าใน 25 ลุ่มน้ำประธานของประเทศไทย [1] ระบุว่าลุ่มน้ำสาขาที่อยู่ตอนบนของแต่ละลุ่มน้ำประธานซึ่งเป็นพื้นที่ต้นน้ำของแต่ละลุ่มน้ำ มีจำนวนสถานีวัดน้ำฝนอยู่น้อย ความหนาแน่นของปริมาณสถานีวัดฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบนของประเทศไทยประกอบด้วย ลุ่มน้ำปิง วัง ยม น่าน และสาละวิน เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (The World Meteorological Organization : WMO) ยังมีค่าน้อย [2] ในขณะที่เครือข่ายเรดาร์ตรวจอากาศที่มีอยู่ครอบคลุมทั่วประเทศ มีปัญหาการปรับแก้ค่าสัญญาณและปัญหาจากแนวภูเขาสูงบังสัญญาณในบางพื้นที่ [3] ดังนั้นข้อมูลปริมาณฝนในแต่ละช่วงเวลาที่ยังไม่เพียงพอที่จะสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ทุกบริเวณ บางพื้นที่สถานีตรวจวัดปริมาณฝนมีความห่างกันมากทำให้ไม่สามารถทราบค่าปริมาณน้ำฝนบริเวณจุดที่สนใจ การตรวจวัดปริมาณฝนโดยใช้ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเป็นอีกทางเลือก โดยสามารถตรวจวัดได้ครอบคลุมพื้นที่ได้ทั่วถึง โดยเฉพาะบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน เช่น บริเวณพื้นที่ป่า บริเวณพื้นที่ภูเขาสูง ซึ่งไม่สะดวกในการตั้งสถานีภาคพื้นดินดังนั้นจุดประสงค์หลักในการศึกษาครั้งนี้คือการเปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้โดยดาวเทียมอุตุนิยมวิทยากับปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดฝนภาคพื้นดินในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ข้อมูลของพื้นที่ศึกษา ข้อมูลฝนจากการสำรวจด้วยดาวเทียม ข้อมูลฝนจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน และวิธีการทางสถิติ มีรายละเอียดดังนี้

พื้นที่ศึกษา

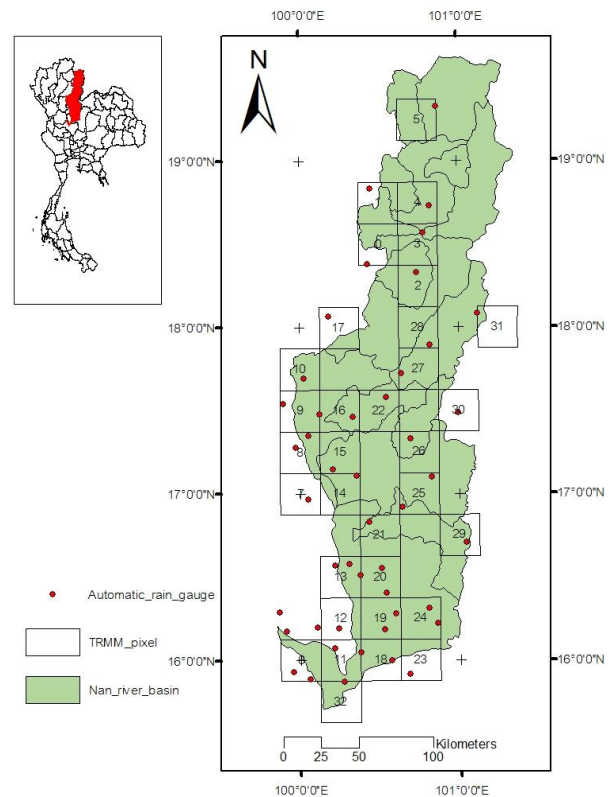
พื้นที่ลุ่มน้ำน่านดังแสดงในรูปที่ 1 ครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัดในเขตภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดน่าน, อุตรดิตถ์, พิษณุโลก, พิจิตร และนครสวรรค์ ลักษณะลุ่มน้ำวางตัวตามแนวทิศเหนือ-ใต้ มีพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งสิ้น 34,331 ตารางกิโลเมตร [4] แม่น้ำน่านประกอบด้วย 16 ลำน้ำสาขา ได้แก่ แม่น้ำน่านตอนบน ห้วยน้ำยาว 1 แม่น้ำน่านส่วนที่ 2 น้ำยาว 2 น้ำสมุน แม่น้ำน่านส่วนที่ 3 น้ำสา น้ำว่า น้ำแห้ง น้ำน่านส่วนที่ 4 น้ำปาด คลองตรอน แม่น้ำแควน้อย น้ำภาค แม่น้ำวังทอง และแม่น้ำน่านตอนล่าง [5]

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจาก TRMM

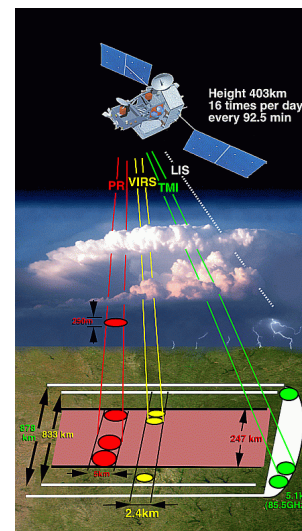
ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาดังแสดงในรูปที่ 2 ชื่อว่า The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) ซึ่งเป็นโครงการที่มีความร่วมมือกันเกิดขึ้นระหว่าง (National Aeronautics Space Administration) NASA และ (Japan Aerospace Exploration Agency) JAXA เริ่มใช้งานเมื่อ (วันที่ 27 พฤศจิกายน 2540) [6] ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงในช่วงระหว่างปี 2552 ถึงปี 2554 จากผลการสำรวจ Product ของ TRMM Multisatellite Precipitation Analysis ซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ที่ <http://disc.2nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/realtime.3B42RT.2.shtml>

ข้อมูลฝนจากสถานีวัด

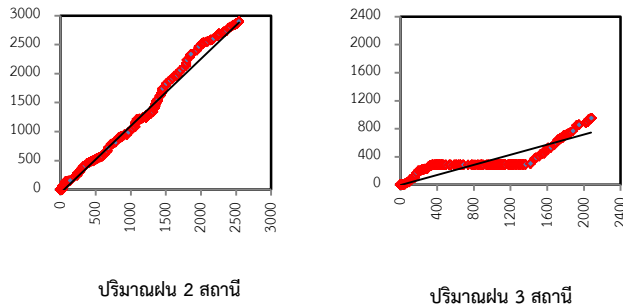
กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ได้ดำเนินการตามแผนการติดตั้งเครือข่ายสถานีวัดฝนอัตโนมัติ พัฒนาระบบเฝ้าระวังการเตือนภัย โดยกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นหน่วยงานหลักในการดูแลรับผิดชอบ ดำเนินการติดตั้งเครื่องวัดฝนอัตโนมัติพร้อมระบบสื่อสาร จำนวน 820 สถานี ทั่วประเทศไทย แล้วเสร็จพร้อมทั้งทดสอบการทำงานในช่วงต้นปี 2552 และได้ขยายเป็น 1,184 สถานี ในช่วงปลายปี 2552 [8] สามารถรายงานข้อมูลได้ทันทั่วทั้ง และมีความละเอียดถึงระดับนาที่ โดยจำนวนสถานีวัดปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำหลักทางภาคเหนือ 5 ลุ่มน้ำ มีจำนวนและความหนาแน่นดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 เครือข่ายสถานีวัดน้ำฝน และ TRMM พิกเซลในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน



รูปที่ 2 ดาวเทียมลักษณะการทำงานของดาวเทียม TRMM [9]



รูปที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลฝนที่ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ของ TOVAS [7]

ตารางที่ 1 ความหนาแน่นของสถานีวัดฝนอัตโนมัติในลุ่มน้ำทางภาคเหนือ [2]

หมายเลข ลุ่มน้ำ	ชื่อลุ่มน้ำ	พื้นที่ (ตร.กม.)	จำนวน สถานีวัดฝน	ความหนาแน่น (ตร.กม. / สถานี)
1	สาละวิน	17,918	12	1,493.16
6	ปิง	33,896	45	753.24
7	วัง	10,791	16	674.44
8	ยม	23,330	45	518.44
9	น่าน	34,330	50	686.60

ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านมีสถานีวัดฝนอัตโนมัติจำนวน 50 สถานี และมีพิกเซลของ TRMM จำนวน 70 พิกเซลในพื้นที่ศึกษาดังรายละเอียดในรูปที่ 1 มีพิกเซลที่มีสถานีวัดฝนอัตโนมัติอยู่ภายในมี 10 พิกเซลที่มีสถานีวัดฝนมากกว่า 1 สถานีในพื้นที่พิกเซล มี 22 พิกเซลที่มีสถานีวัดฝน 1 สถานีในพื้นที่พิกเซล และมี 37 พิกเซลที่ไม่มีสถานีวัดฝนอยู่ในพื้นที่พิกเซล

การเปรียบเทียบปริมาณ

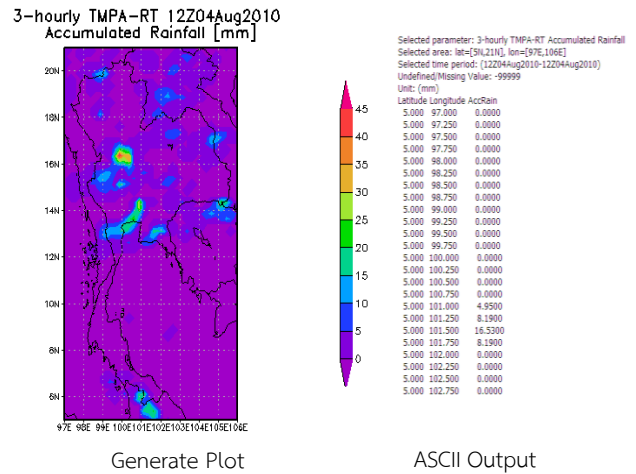
สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบความสัมพันธ์และเปรียบเทียบปริมาณฝนที่ได้จาก TRMM กับปริมาณฝนจากสถานีวัดฝน ได้แก่ Mean Absolute Error (MAE) คือค่าความคลาดเคลื่อนกลางเฉลี่ยสมบูรณ์, Multiplicative Bias (Bias) คือค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากค่าจริง, Probability of Detection (POD) และ False-alarm Ratio (FAR) [10]

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |(S - G)| \quad (1)$$

$$Bias = \sum S / \sum G \quad (2)$$

$$POD = \frac{A}{A+C} \quad (3)$$

$$FAR = \frac{B}{A+B} \quad (4)$$

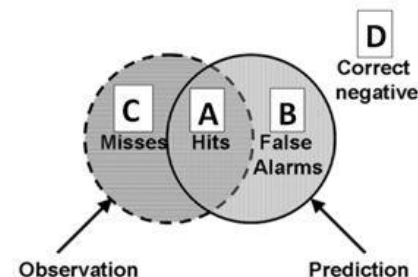


โดยที่ G คือ ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ที่ได้จากสถานีวัดฝน (มม.)
S คือ ปริมาณฝนที่ได้จากดาวเทียม TRMM (มม.)
N คือ จำนวนคู่ของข้อมูลระหว่าง S และ G ที่อยู่ในตำแหน่งและเวลาเดียวกัน

ค่า A B C และ D คือกรณีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM และปริมาณฝนเชิงพื้นที่จากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน โดยให้ค่าเริ่มต้นที่ 0.1 มม. ที่เป็นค่าเริ่มต้นที่ได้จากดาวเทียม TRMM ดังแสดงกรณีต่างๆ ในตารางที่ 2 และในรูปที่ 4

ตารางที่ 2 กรณีของการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และฝนจากการสำรวจด้วยดาวเทียม

	ฝนเชิงพื้นที่ ≥ 0.1 มม.	ฝนเชิงพื้นที่ < 0.1 มม.
TRMM ≥ 0.1 มม.	A	B
TRMM < 0.1 มม.	C	D



รูปที่ 4 กรณีของการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และฝนจากการสำรวจจากดาวเทียม [11]

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

รวบรวมข้อมูล

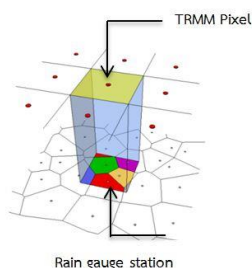
ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายวันและราย 3 ชั่วโมงในช่วงปี 2552 -2554 จากกรมอุตุนิยมวิทยาและจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM รวมทั้งข้อมูลทางกายภาพและข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาภายในพื้นที่ศึกษาจากกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา

วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

พื้นที่ลุ่มน้ำน่านมีสถานีวัดฝนอัตโนมัติจำนวน 50 สถานี และพิกเซลจาก TRMM จำนวน 70 พิกเซล ทำการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้น ได้แก่ จำนวนของข้อมูลทั้งหมด จำนวนที่ข้อมูลขาดหาย ปริมาณฝนรวมรายปีและค่าสถิติพื้นฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธี Double Mass Curve คัดเลือกสถานี รูปที่ 5 (ก) ผลการตรวจสอบข้อมูลสถานี 3790002 เป็นลักษณะเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลน่าเชื่อถือ ต่างกับผลการตรวจสอบในรูปที่ 5 (ข) สถานี 378000 ค แสดงผลการตรวจสอบข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือ จากนั้นทำการจัดสร้างฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในส่วนอื่นต่อไป

เปรียบเทียบปริมาณฝน

การตรวจสอบความสัมพันธ์และเปรียบเทียบปริมาณฝนที่ได้จาก TRMM กับปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนอัตโนมัติ โดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ Bias MAE POD และ FAR ในเวลาและตำแหน่งเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 6 ค่าสถิติที่สำคัญที่จะบอกถึงประสิทธิภาพของการตรวจวัดปริมาณฝนของดาวเทียมได้แก่ POD ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ค่า 1 แสดงว่าการตรวจวัดโดยดาวเทียมมีประสิทธิภาพดีมาก และ ค่า FAR มีค่าระหว่าง 0-1 ค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าความผิดพลาดจากการตรวจวัดมีน้อยมาก



รูปที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณฝนจากสถานีพื้นดินและปริมาณจากการสำรวจโดยดาวเทียม [2]

หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจาก TRMM กับฝนจากสถานีวัด

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณน้ำฝนจาก TRMM กับปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน โดยคัดเลือกเฉพาะข้อมูลปริมาณฝนตกปานกลาง (10.1 – 35 มม.) และฝนตกหนัก (35.1 - 90 มม.) ตามเกณฑ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา [12] เนื่องจากเป็นช่วงปริมาณฝนส่วนใหญ่ที่เกิดในฤดูของประเทศไทย

ผลการวิจัย

ผลการรวบรวมข้อมูลจากสถานีวัดและจากดาวเทียม TRMM จากข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมง ในฤดูฝนระหว่างปี พ.ศ. 2552 ถึง 2554 ปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงจากทั้งสองแหล่งข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 0.1 มิลลิเมตร มีจำนวน 18,849 คู่ ปริมาณฝนจากการสำรวจด้วยดาวเทียม TRMM ส่วนใหญ่ร้อยละ 48 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนจากการสำรวจด้วยดาวเทียม TRMM และค่าปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนมีค่า 9.59 มิลลิเมตรและ 4.11 มิลลิเมตร ตามลำดับ จำนวนคู่ข้อมูลแยกเป็น 4 กรณีจากจำนวนคู่ข้อมูลทั้งหมด 142,927 คู่ ดังแสดงในตารางที่ 3

ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝนโดยค่าสถิติของข้อมูลทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4 การกระจายตัวของข้อมูลฝนในกรณี A จำนวน 18,849 คู่ข้อมูล จาก TRMM ในแต่ละช่วงปริมาณ 5 มม. แสดงในรูปที่ 7 ปริมาณฝนร้อยละ 48 จะมีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.1- 5 มิลลิเมตรและจำนวนลดลงในช่วงปริมาณฝนที่มากขึ้น

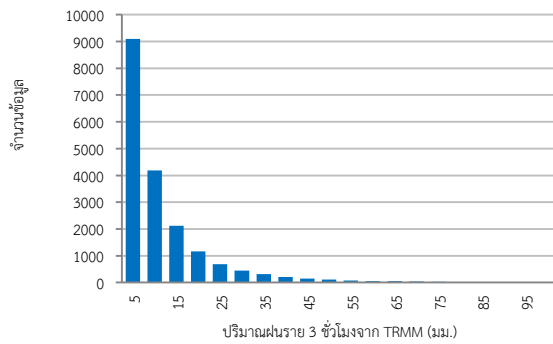
ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในกรณี A ในช่วงข้อมูลปริมาณฝนตกปานกลางและฝนตกหนัก แบบเส้นตรง แบบ Exponential และแบบยกกำลัง แสดงผลโดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.557 0.519 และ 0.492 ดังแสดงในรูปที่ 8 ถึง 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 จำนวนกรณีของการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และฝนจากการสำรวจจากดาวเทียม

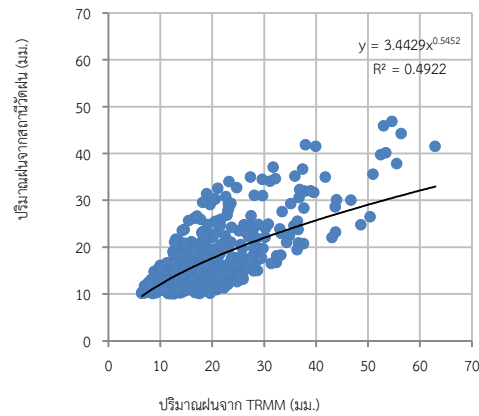
	ฝนเชิงพื้นที่ ≥ 0.1 มม.	ฝนเชิงพื้นที่ < 0.1 มม.
TRMM ≥ 0.1 มม.	(A) 18,849	(B) 23,647
TRMM < 0.1 มม.	(C) 13,671	(D) 86,760

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติและความสัมพันธ์ของข้อมูลฝน

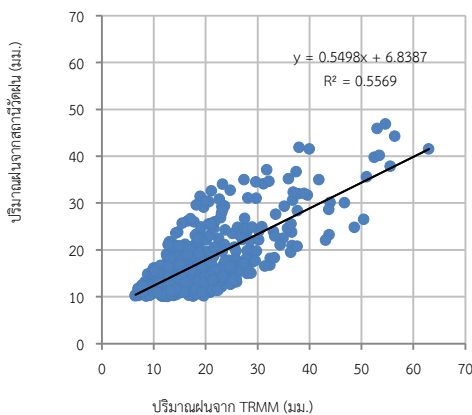
ประเภทของค่าสถิติ	ค่าสถิติ
จำนวนคู่ข้อมูล	142,927
Mean Absolute Error (MAE)	1.433
Multiplicative bias (Bias)	2.958
Probability Of Detection (POD)	0.580
False-Alarm Ratio (FAR)	0.557



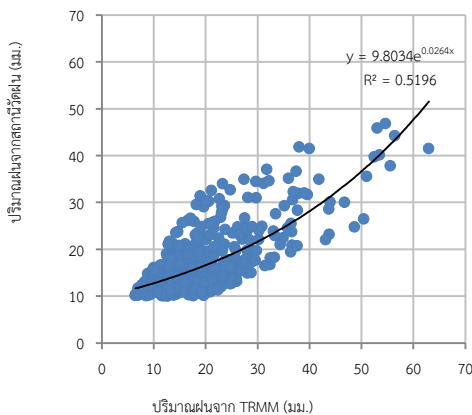
รูปที่ 7 จำนวนข้อมูลปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM ในแต่ละช่วงปริมาณ 5 มิลลิเมตรในช่วงฤดูฝนปี 2552-2554



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์แบบยกกำลังระหว่างข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมงในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่างข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมงในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์แบบ Exponential ระหว่างข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมงในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน

สรุปผล

จากข้อมูลทั้งหมดจำนวนทั้งสิ้น 142,927 คู่ ได้ค่าสถิติ ดังนี้ MAE เท่ากับ 1.433, Bias มีค่าเท่ากับ 2.958, POD มีค่าเท่ากับ 0.58 เป็นค่าที่ค่อนข้างน่าพอใจและค่า FAR คือค่าเปอร์เซ็นต์สัญญาณการตรวจจับที่ผิดพลาด มีค่าเท่ากับ 0.557 เป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ พิจารณาในช่วงฤดูฝนพบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยจากการสำรวจด้วยดาวเทียม TRMM มีค่าที่มากกว่าปริมาณฝนเฉลี่ยจากสถานีวัดฝน 2.33 เท่า สาเหตุเนื่องมาจากระดับของเมฆฝนที่ตรวจวัดจากดาวเทียม TRMM จะอยู่เหนือขึ้นไปจากระดับพื้นดินประมาณ 2 กิโลเมตร [13] ดังนั้นหากมีอิทธิพลของลมในขณะที่เมฆฝนกำลังตกลงพื้นดินหรือกรณีฝนตกในปริมาณที่น้อยกว่าเมฆฝนจะระเหยไประหว่างทางก่อนตกลงพื้นดิน มีผลทำให้ปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากดาวเทียมมีความคลาดเคลื่อนและมีปริมาณมากกว่าที่วัดได้จากสถานีภาคพื้นดิน ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เฉพาะในช่วงข้อมูลปริมาณฝนตกปานกลางและฝนตกหนัก แบบเส้นตรงแบบ Exponential และแบบยกกำลัง พบว่าวิธีการหาความสัมพันธ์แบบเส้นตรงให้ค่า R^2 ดีที่สุด

การศึกษาครั้งนี้เป็นส่วนเริ่มต้นของใช้ผลการสำรวจปริมาณฝนจากดาวเทียมเพื่อจะได้นำผลความสัมพันธ์ไปใช้เป็นตัวปรับแก้ค่าปริมาณฝนจากการสำรวจด้วยดาวเทียม TRMM ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน โดยวิธีการศึกษาดังกล่าวสามารถนำไปปรับใช้ในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดฝนหรือบริเวณที่สนใจอื่น ๆ หรือนำวิธีการศึกษานี้ไปปรับใช้กับการสำรวจปริมาณฝนจากดาวเทียมดวงอื่น ๆ เพื่อนำผลการศึกษาไปใช้ในทางอุทกวิทยาด้านต่าง ๆ เช่น การเตือนภัยน้ำหลาก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่อนุเคราะห์ข้อมูลฝนที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] วัชร องค์กรโชติกุล, 2542. การวิเคราะห์ระบบเครือข่ายสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าใน 25 กลุ่มน้ำประธานของประเทศไทย กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] S. Tantaneer and S. Phonkasi, Investigation of relationship between satellite rainfall and observed rainfall from gauging station network for northern Thailand. In The 2nd EIT International Conference on Water Resources Engineering. Chiang Rai: Le Méridien Chiang Rai Resort 2013.
- [3] R. Chokngamwong and S. Chiu Long , Thailand Daily Rainfall and Comparison with TRMM Products. Journal of Hydrometeorology, 2008, pp. 256-266.
- [4] สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่ กรมชลประทาน 25 กลุ่มน้ำ. ที่มา <http://kromchol.rid.go.th/lproject/2010/index.php/> สืบค้นเมื่อ [14 กันยายน 2555]
- [5] สำนักวิจัยพัฒนาและอุทกวิทยา. แผนที่มาตรฐานการแบ่งลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำสาขาของประเทศไทย กรุงเทพฯ . กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2552.
- [6] M.N. Islam and H. Uyeda, "Use of TRMM in determining the climatic characteristics of rainfall over Bangladesh," Remote Sensing of Environment, 2007 108(3), pp. 264-276.
- [7] National Aeronautics and Space Administration. TRMM Online Visualization and Analysis System Retrieved May 3 2010, from <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/>
- [8] กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. รายงานประจำปี 2551. กรุงเทพฯ: กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.
- [9] A. Braun, TRMM Background. Retrieved October 22, 2010, from http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/background.html.
- [10] T. Dinku, F. Ruiz, J. Stephen and P. Ceccato, "Validation and Intercomparison of Satellite Rainfall Estimates over Colombia," Journal of Applied Meteorology and Climatology, vol.49(5), 2009, pp. 1004-1014.
- [11] A. Behrangil, B. Khakbaz, T.Chun, H. AghaKouchak, and S.Sorooshian, Hydrologic evaluation of satellite precipitation products over a mid-size basin. Journal of Hydrology, 2011, pp. 225-237.
- [12] U.Lewlompaisarl, and P. Saengsattha, "High accuracy tipping bucket rain gauge," In IEEE SICE Annual Conference (SICE), Proceedings 2012.
- [13] S.A. Ackerman, and J.Knox, Meteorology. N.P: Jones & Bartlett, 2011.

ความหลากหลายและการแพร่กระจายของปลาในวงศ์ Cyprinidae บริเวณพื้นที่ต้นน้ำตาปี

Diversity and Distribution of Cyprinid Fishes in Tapi Upstream System

ธีรวิทย์ เลิศสุทธิขวาล* และจันทนา ขวัญใจ

หน่วยวิจัยการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วิทยาเขตนครศรีธรรมราช อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช 80110

*E-mail: theerawootl@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษาความหลากหลายและการแพร่กระจายของปลาในวงศ์ Cyprinidae บริเวณพื้นที่ต้นน้ำตาปี ในระหว่าง ปี พ.ศ. 2555 – 2557 โดยทำการสำรวจพื้นที่เก็บตัวอย่างรวม 16 จุด ดังนี้ จังหวัดสุราษฎร์ธานี 6 จุด, จังหวัดนครศรีธรรมราช 4 จุด และจังหวัดกระบี่ 6 จุด ผลการศึกษาสามารถจำแนกพรรณปลาในวงศ์ Cyprinidae ได้จำนวน 26 สกุล, 36 ชนิด โดยใช้หลักเกณฑ์ของ Fishbase (2016) พื้นที่ต้นน้ำตาปี ในเขตจังหวัดกระบี่พบจำนวนชนิดในกลุ่มนี้สูงสุดจำนวน 25 ชนิด ตามด้วยพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชและสุราษฎร์ธานีที่มี จำนวน 21 ชนิดเท่ากัน ส่วนการแพร่กระจายพบว่าชนิดปลาที่มีการแพร่กระจายทั้ง 3 พื้นที่ มีจำนวน 11 ชนิด ขณะที่ชนิดปลาที่พบได้จากพื้นที่ (จังหวัด) เดียวมีจำนวน 15 ชนิด โดยพบในจังหวัดกระบี่ 8 ชนิด, จังหวัดนครศรีธรรมราช 4 ชนิด และจังหวัดสุราษฎร์ธานี 3 ชนิด

คำสำคัญ: ความหลากหลายทางชีวภาพ การแพร่กระจายของปลา แม่น้ำตาปี

Abstract

Diversity and distribution of Cyprinidae in Tapi upstreams were investigated during 2012 - 2014. Sixteen localities from three provinces were assigned as fish collection sites, Suratthani (6 stations), Nakhonsithammarat (4 stations) and Krabi (6 stations). In this study 26 genera and 36 species of Cyprinidae were identified and confirmed according the Fishbase (2016). Krabi has the highest number of fish species (25 spp.), followed by Nakhonsithammarat and Suratthani (21 spp.). Of 36 fish species collected, 11 species were distributed in all three provinces, while 15 species were present in each province, Krabi (8 spp.), Nakhonsithammarat (4 spp.) and Suratthani (3 spp.).

Key words: Species diversity, Fish distribution, Cyprinidae, Tapi River

บทนำ

ระบบแม่น้ำในภาคใต้ประกอบด้วยแม่น้ำสายสั้น ๆ มีหลายสาย แต่ลุ่มน้ำที่คลุมพื้นที่กว้างที่สุดคือลุ่มน้ำตาปี ทั้งนี้ลุ่มน้ำในภาคใต้ที่ไหลลงสู่อ่าวไทยและมหาสมุทรอินเดีย พบปลาได้มากกว่า 270 ชนิด (ขวลิต, 2547) ปัจจุบันมีรายงานว่าปลาน้ำจืดในประเทศไทยมีประมาณ 720 ชนิด ในลุ่มน้ำภาคใต้พบประมาณ 250 ชนิด (ภาสกร, 2557)

ในการสำรวจพันธุ์ปลาในจังหวัดนครศรีธรรมราชในปี พ.ศ. 2544 - 2545 พบปลาน้ำจืด 11 อันดับ 31 วงศ์ 112 ชนิด วงศ์ที่พบมากที่สุดคือ Cyprinidae (ปลาตะเพียน ปลาสร้อย ปลาชิว) พบ 40 ชนิด รองลงมาคือ Bagridae (ปลากด ปลาแขยง) พบ 8 ชนิด Cobitidae (ปลาหมู ปลาอืด) พบ 7 ชนิด Mastacembelidae (ปลากระทิง ปลาหลด) พบ 7 ชนิด Balitoridae (ปลาจิ้งจก ปลาดิน) พบ 6 ชนิด ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบปลาครอบครัวอื่นๆ อีกวงศ์ละ 1 - 5 ชนิด รวม 44 ชนิด (ธีรวิทย์และคณะ, 2548) และจากการศึกษาการแพร่กระจายของประชาคมปลาในแม่น้ำตาปี พบว่าปลาในแม่น้ำตาปี 88 ชนิด 32 วงศ์ วงศ์ปลาตะเพียนพบมากที่สุดรวม 34 ชนิด โครงสร้าง และประชาคมปลาโดยจำนวนและน้ำหนักที่พบมากที่สุดคือปลาช่า (*Dangila lineatus*) และปลาตะเพียนขาว (*Barbodes gonionotus*) องค์ประกอบของกลุ่มปลาพบกลุ่มปลา มีเกล็ด ปลาอื่น ๆ ปลาหนังและปลากินเนื้อ ร้อยละ 79.95, 7.76, 7.72 และ 3.57 ตามลำดับ (สุภาพและคณะ, 2554) ขณะที่ศูนย์ศึกษาและวิจัยอุทยานแห่งชาติทางบก จังหวัดสุราษฎร์ธานี (2554) ได้รายงานถึงปลาน้ำจืดที่พบบริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกรุง อำเภอวิภาวดี จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีจำนวน 40 ชนิด จาก 15 วงศ์ ในจำนวนนี้ 17 ชนิด เป็นปลาในวงศ์ Cyprinidae

ในการศึกษารังนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาปลาน้ำจืดเฉพาะในกลุ่ม Cyprinidae ตลอดจนการแพร่กระจาย ในบริเวณต้นน้ำตาปี ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 3 จังหวัด คือสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และกระบี่ ข้อมูลจากการศึกษาจะนำไปสู่แนวทางในการอนุรักษ์ทรัพยากรสัตว์น้ำ ซึ่งนับวันแต่จะสูญหายซึ่งมีสาเหตุจากการ

ทำลายป่าต้นน้ำ และเป็นการใช้ประโยชน์จากปลาน้ำจืด ในแง่ของการเพิ่มมูลค่าในการเป็นปลาสวยงามได้อีกด้วย

วิธีการศึกษา

1. การวางแผนการศึกษาวิจัย

กำหนดจุดสำรวจตามลักษณะความแตกต่างของสภาพพื้นที่ นิเวศวิทยา และลักษณะของชั้นลุ่มน้ำ ซึ่งประกอบด้วย 3 พื้นที่ ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 1)

1. พื้นที่ต้นน้ำจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง 6 จุด ดังนี้

1.1 กลุ่มพื้นที่อำเภอคีรีรัฐนิคม และอำเภอวิภาวดี จำนวน 3 จุด ได้แก่

1. คลองพาย ตำบลน้ำหัก อำเภอคีรีรัฐนิคม (จุดที่ 1)
2. คลองตุย ตำบลน้ำหัก อำเภอคีรีรัฐนิคม (จุดที่ 2)
3. คลองยัน ตำบลตะกุกเหนือ อำเภอวิภาวดี (จุดที่ 3)

1.2 พื้นที่อำเภอพนม จำนวน 3 จุด ได้แก่

1. คลองศกทิศตะวันตก ตำบลคลองศก อำเภอพนม (จุดที่ 4)

2. คลองศกทิศตะวันออก ตำบลคลองศก อำเภอพนม (จุดที่ 5)

3. คลองพนม ตำบลคลองศก อำเภอพนม (จุดที่ 6)

2. พื้นที่ต้นน้ำบริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราช มีจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง 4 จุด ดังนี้

1. คลองตาปี ตำบลนาเกลือ อำเภอฉวาง (จุดที่ 7)
2. คลองคุดด้วน ตำบลจันดี อำเภอฉวาง (จุดที่ 8)
3. คลองระแนง ตำบลพิปูน อำเภอพิปูน (จุดที่ 9)
4. คลองงา ตำบลช้างกลาง อำเภอช้างกลาง (จุดที่ 10)

3. พื้นที่ต้นน้ำบริเวณจังหวัดกระบี่ มีจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง 6 จุด ดังนี้

3.1 พื้นที่อำเภอปลายพระยา

1. คลองพันดอน ตำบลปลายพระยา อำเภอปลายพระยา (จุดที่ 11)

2. คลองพระยา ตำบลปลายพระยา อำเภอปลายพระยา (จุดที่ 12)

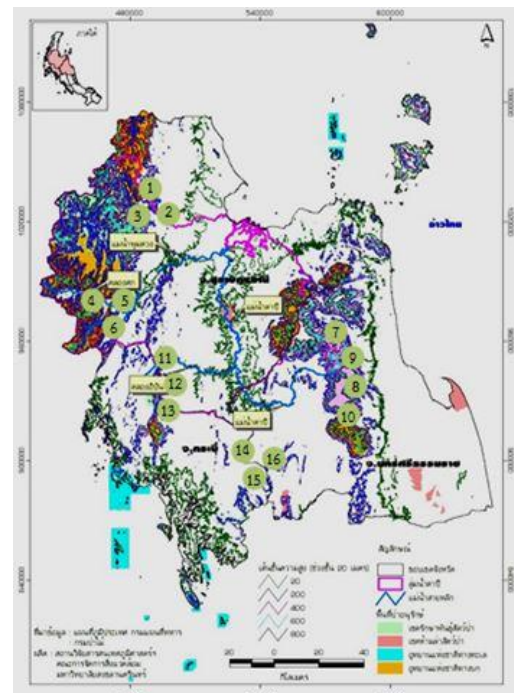
3. คลองบางเหลียว ตำบลคีรีวงค์ อำเภอปลายพระยา (จุดที่ 13)

3.2 พื้นที่อำเภอปลายพระยา

1. คลองสินปุน ตำบลลำทับ อำเภอลำทับ (จุดที่ 14)

2. ฟายน้ำล้นทับไม้เลียบ ตำบลทุ่งไทรทอง อำเภอลำทับ (จุดที่ 15)

3. คลองพุดินนา ตำบลพุดินนา อำเภอคลองท่อม (จุดที่ 16)



ที่มา: สถาบันวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รูปที่ 1 บริเวณพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่างปลา

2. การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์พรรณปลา

เก็บรวบรวมตัวอย่างปลาโดยใช้เครื่องมือประมงพื้นบ้าน ได้แก่ อวน ลอบ ข่ายดักปลา ไซ เบ็ด และศรยิงปลา ตัวอย่างปลาที่รวบรวมได้จะถูกนำมาจำแนกตามเอกสารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ คณะนักวิจัยจาวบ้านเชียงของ-เวียงแก่น (2549), ขวลิต (2544, 2547), ขวลิตและคณะ (2540), ธีรวิทย์และคณะ (2548), ศูนย์ศึกษาและวิจัยอุทยานแห่งชาติทางบก จังหวัดสุราษฎร์ธานี (2554), ภาสกร (2537), Kottelat (2000), Rainboth, (1996), Smith (1945), Tyson (1898), Vidthayanon (2002), Vidthayanon *et al.* (2005) และตรวจสอบยืนยัน valid species หรือ accepted name โดยฐานข้อมูล FishBase (www.fishbase.org: 2016) ตัวอย่างปลาจะถูกเก็บรักษาไว้ ณ ห้องปฏิบัติการมินวิทยา สาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช

ผลการวิจัย

จากการสำรวจและศึกษาความหลากหลายชนิด รวมถึงการแพร่กระจายของปลาใน วงศ์ Cyprinidae บริเวณพื้นที่ต้นน้ำตาปี ในระหว่าง ปี พ.ศ. 2555 - 2557 สามารถจำแนกพรรณปลาในวงศ์ Cyprinidae ได้จำนวน 26 สกุล 36 ชนิด ตามหลักเกณฑ์ของ FishBase ได้ดังนี้ Barbichthys (1 ชนิด), Barbonymus (3 ชนิด), Barbodes (1 ชนิด), Crossocheilus (1 ชนิด), Cyclocheilichthys (1 ชนิด), Devario (1 ชนิด), Esomus (1 ชนิด), Garra (2 ชนิด), Hampala (1 ชนิด), Henicorhynchus (2 ชนิด), Labeo (1 ชนิด), Labiobarbus (2 ชนิด), Leptobarbus (1 ชนิด), Lobocheilos (1 ชนิด), Mystacoleucus (1 ชนิด), Neolissochilus (1 ชนิด), Osteochilus (3 ชนิด), Oxygaster (1 ชนิด), Puntioplites (1 ชนิด), Puntigrus (1 ชนิด), Puntius (2 ชนิด), Raiamas (1 ชนิด), Rasbora (3 ชนิด), Systomus (1 ชนิด), Thynnichthys (1 ชนิด) และ Tor (1 ชนิด) (ตารางที่ 1, รูปที่ 2-37)

พื้นที่ต้นน้ำตาปีในเขตจังหวัดกระบี่ สามารถพบจำนวนชนิดในกลุ่มนี้สูงสุด คือ 25 ชนิด ตามด้วยพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช (21 ชนิด) และสุราษฎร์ธานี (21 ชนิด) ส่วนการแพร่กระจายพบว่าชนิดปลาที่มีการแพร่กระจายทั้ง 3 พื้นที่ มีจำนวน 11 ชนิด ขณะที่ชนิดปลาที่พบได้จากพื้นที่ (จังหวัด) เดียว มีจำนวน 15 ชนิด โดยพบในจังหวัดกระบี่จำนวน 8 ชนิด, จังหวัดนครศรีธรรมราชจำนวน 4 ชนิด และจังหวัดสุราษฎร์ธานีจำนวน 3 ชนิด (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ชนิดและการแพร่กระจายของปลาในวงศ์ Cyprinidae ในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำตาปี

ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อไทย	สุราษฎร์ธานี						นครศรีธรรมราช				กระบี่					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	<i>Barbichthys laevis</i>	หางบัว													•	•		•
2	<i>Barbonymus altus</i>	ตะเพียนทอง													•	•		
3	<i>Barbonymus gonionotus</i>	ตะเพียนขาว	•		•		•	•		•	•	•	•	•		•	•	•
4	<i>Barbonymus schwanenfeldii</i>	กระแห ลำปำ			•		•	•		•	•		•	•	•	•		
5	<i>Barbodes binotatus</i>	ตะเพียนน้ำตก	•		•											•	•	
6	<i>Crossocheilus reticulatus</i>	เล็บมือนาง								•	•	•						
7	<i>Cyclocheilichthys apogon</i>	ไล่ต้นตาแดง				•	•	•					•		•			
8	<i>Devario regina</i>	จิ่วใบไม้					•	•	•	•	•	•						
9	<i>Esomus metallicus</i>	จิ่วหนวดยาว								•	•				•	•		
10	<i>Garra cambodgiensis</i>	เลียหิน แดง		•	•		•	•	•	•		•			•	•		
11	<i>Garra salweenica</i>	เลียหิน หมูด	•	•	•		•	•			•	•	•	•	•			
ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์	ชื่อไทย	สุราษฎร์ธานี						นครศรีธรรมราช				กระบี่					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
12	<i>Hampala macrolepidota</i>	กระสูบขีด	•				•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	
13	<i>Henicorhynchus lobatus</i>	สร้อยขาว														•	•	
14	<i>Henicorhynchus siamensis</i>	สร้อยขาว														•	•	•
15	<i>Labeo chrysophekadion</i>	กาดำ			•				•		•							
16	<i>Labiobarbus leptocheilus</i>	ชำ											•	•		•	•	
17	<i>Labiobarbus lineatus</i>	ชำ สร้อยลูกกล้วย													•	•	•	
18	<i>Leptobarbus hoevenii</i>	บ้า			•			•	•		•	•						



รูปที่ 2 - 37 ชนิดปลาในวงศ์ Cyprinidae ในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำตาปี

- 2: *Barbichthys laevis*, 3: *Barbonymus altus*, 4: *Barbonymus gonionotus*, 5: *Barbonymus schwanenfeldii*, 6: *Barbodes binotatus*,
 7: *Crossocheilus reticulatus*, 8: *Cyclocheilichthys apogon*, 9: *Devario regina*, 10: *Esomus metallicus*, 11: *Garra cambodgiensis*,
 12: *Garra salweenica*, 13: *Hampala macrolepidota*, 14: *Henicorhynchus lobatus*, 15: *Henicorhynchus siamensis*,
 16: *Labeo chrysophekadion*, 17: *Labiobarbus leptocheilus*, 18: *Labiobarbus lineatus*, 19: *Leptobarbus hoevenii*,
 20: *Lobocheilos quadrilineatus*, 21: *Mystacoleucus marginatus*, 22: *Neolissochilus soroides*, 23: *Osteochilus vittatus*,
 24: *Osteochilus melanopleurus*, 25: *Osteochilus waandersii*, 26: *Oxygaster pointoni*, 27: *Puntigrus partipentazona*,
 28: *Puntioplites proctozystron*, 29: *Puntius brevis*, 30: *Puntius lateristriga*, 31: *Raiamas guttatus*, 32: *Rasbora caudimaculata*,
 33: *Rasbora myersi*, 34: *Rasbora sumatrana*, 35: *Systomus rubripinnis*, 36: *Thynnichthys thynnoides*, 37: *Tor tambroides*

การศึกษาความหลากหลายชนิดและการแพร่กระจายของปลาในวงศ์ Cyprinidae บริเวณพื้นที่ต้นน้ำตาปี ในระหว่างปี พ.ศ. 2556 - 2557 โดยทำการสำรวจพื้นที่เก็บตัวอย่างรวม 16 จุด ดังนี้ จังหวัดสุราษฎร์ธานี 6 จุด, จังหวัดนครศรีธรรมราช 4 จุด และจังหวัดกระบี่ 6 จุด ผลการศึกษาสามารถจำแนกพรรณปลาในวงศ์ Cyprinidae ได้จำนวน 26 สกุล 36 ชนิด ทั้งนี้ในการศึกษาที่ผ่านมา มีรายงานว่าโครงสร้างประชาคมปลาในแม่น้ำตาปีและคลองสาขามีถึง 110 ชนิด ซึ่ง 10 อันดับแรกที่พบมากที่สุด ได้แก่ สร้อยนก-เขา ชิวควาย ชิว ชิวกลม ร่องไม้ดับแป้น ตะเพียนขาว ไล่ตันตาแดง ไล่ตันตาขาว ซึ่งทั้งหมดเป็นปลาในกลุ่ม Cyprinidae ทั้งสิ้น (นพดล, 2558) นอกจากนี้สุภาพและคณะ (2554) ศึกษาเรื่องโครงสร้างประชาคมปลา และประสิทธิภาพของเครื่องมือข่ายในอ่างเก็บน้ำเขื่อนรัชชประภา พ.ศ. 2546 - 2550 พบว่ามีพันธุ์ปลา 37 ชนิด 12 วงศ์ พบวงศ์ปลาตะเพียนมากที่สุดรวม 21 ชนิด และเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนชนิดปลาที่สำรวจพบในกลุ่มน้ำต่าง ๆ ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ในปี พ.ศ. 2544 -2545 โดยธีรวุฒิ และคณะ (2548) พบปลาในกลุ่มเดียวกันนี้ถึง 40 ชนิด จากที่สำรวจพบทั้งหมด 112 ชนิด ซึ่งให้เห็นว่าปลาในวงศ์ Cyprinidae จัดเป็นปลาที่สามารถพบได้มากที่สุดในกลุ่มน้ำตาปี และใกล้เคียง รวมทั้งมีการแพร่กระจายมากที่สุด เนื่องจากพบได้ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ

ปลากลุ่มนี้หลายชนิดมีความสวยงาม และสามารถนำมาเพาะขยายพันธุ์เพื่อเป็นปลาสวยงามเพิ่มมูลค่าได้ นอกเหนือจากที่มีเลี้ยงและจำหน่ายอยู่แล้ว ได้แก่ ชิวไบไฟ ร่องไม้ดับ เลียหิน สร้อยลูกบัว และอีกอง เป็นต้น

อย่างไรก็ดีจำนวนชนิดหรือสกุลของปลาในกลุ่มนี้ อาจมีมากขึ้นหรือลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงชื่อวิทยาศาสตร์ หรือชื่อสกุล โดยองค์กรนานาชาติ Fish Base ซึ่งมีการทบทวนระบบอนุกรมวิธานของปลาอย่างต่อเนื่อง ทำให้การจำแนกวิเคราะห์พรรณปลาจะต้องทันต่อเหตุการณ์และการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

สรุป

การศึกษาความหลากหลายชนิด และการแพร่กระจายของปลาในวงศ์ Cyprinidae บริเวณพื้นที่ต้นน้ำตาปี ทั้ง 3 จังหวัดคือ สุราษฎร์ธานี, นครศรีธรรมราช และกระบี่ รวม 16 จุด ในระหว่างปีพ.ศ.2555 – 2557 สามารถจำแนกพรรณปลาในวงศ์ Cyprinidae ได้จำนวน 26 สกุล 36 ชนิด ชนิดปลาที่มีการแพร่กระจายทั้ง 3 พื้นที่ (จังหวัด) มีจำนวน 11 ชนิด ขณะที่ชนิดปลาที่พบได้จากพื้นที่เดียว มีจำนวน 15 ชนิด โดยพบในจังหวัดกระบี่ 8 ชนิด, นครศรีธรรมราช 4 ชนิด และสุราษฎร์ธานี 3 ชนิด ข้อมูลที่ได้ นอกจากเป็นฐานข้อมูลในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติแล้ว ปลาบางชนิดยังมีแนวโน้มที่จะพัฒนาเป็นปลาสวยงามได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณดำเนินโครงการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2555 ขอขอบคุณชุมชนต้นน้ำ ทุกพื้นที่ ๆ เกี่ยวข้องในการอำนวยความสะดวก และช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างปลาบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาครัฐและเอกชน ผู้นำชุมชน ตลอดจนชุมชนบริเวณต้นน้ำตาปีทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลต่าง ๆ อย่างดียิ่ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะนักวิจัยจาวบ้านเชียงของ-เวียงแก่น, ความรู้ท้องถิ่นเรื่องพันธุ์ปลาแม่น้ำโขง. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: โครงการแม่น้ำเพื่อชีวิต. เครือข่ายแม่น้ำเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 2549.
- [2] ขวลิต วิทยานนท์, 2544. ปลาน้ำจืดไทย. กรุงเทพฯ: บริษัท นานมีบุ๊คส์จำกัด.
- [3] ขวลิต วิทยานนท์, 2547. ปลาน้ำจืด. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สารคดี.
- [4] ขวลิต วิทยานนท์, จรัสธาดา กรรณสูต และจารุจินต์ นกิตะภัก, 2540. ความหลากหลายของปลาน้ำจืดไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม.
- [5] ธีรวุฒิ เลิศสุทธิवाल, วรณะ นนทนาพันธ์, ธรรมบุญ งานวิสุทธิพันธ์ และบานชื่น เมืองแก้ว, 2548. การสำรวจพันธุ์ปลาน้ำจืดของไทยในจังหวัดนครศรีธรรมราช. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช.
- [6] นพดล จินดาพันธ์. โครงสร้างประชาคมปลาในแม่น้ำตาปีและคลองสา [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.fisheries.go.th/if-surat-thani/R29.pdf> (2 มีนาคม 2558).
- [7] ภาสกร แสนจันแดง, 2557. สารานุกรมปลาน้ำจืดของไทย. ขอนแก่น: หจก. โรงพิมพ์คลังน่านวิทยา.
- [8] ศูนย์ศึกษาและวิจัยอุทยานแห่งชาติทางบก จ.สุราษฎร์ธานี ปลา กบ เขียด อุทยานแห่งชาติแก่งกรุง เข้าถึงได้จาก: <http://www.npic-surat.com/web/index.php/2013-07-23-06-00-51/2554/2013-09-03-11-04-54>. (3 มีนาคม 2559).
- [9] สุภาพ สังข์ไพฑูรย์, พิษณุ นอนันต์, สุวีณา บานเย็น และ สุวิมล สิริรัญ-วงศ์, โครงสร้างประชาคมปลาและประสิทธิภาพของเครื่องมือข่าย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 28/2554. ในอ่างเก็บน้ำเขื่อนรัชชประภา พ.ศ. 2546-2550. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดพัทลุง. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง. 55 น. 2554.
- [10] M. Kottelat, "Diagnoses of a new genus and 64 new species of fishes from Laos (Teleostei: Cyprinidae,

Balitoridae, Bagridae,” Syngnathidae, Chaudhuriidae and Tetraodontidae), 2000, pp.37-82.

[11] W. Rainboth, J.. Fishes of the Cambodian Mekong. FAO Species Identification Field Guide for Fishery Purposes. Rome: Food and Agricultural Organization, UN 1996.

[12] J. Smith, M.H. , The Freshwater Fishes of Siam, or Thailand. Washington: United State Government Printing Office 1945.

[13] R. Tyson ,The Freshwater Fishes of Western Borneo (Kalimantan Barat, Indonesia). Memoirs of the California Academy of Sciences. No. 14. San Francisco 1898.

[14] C. Vidthayanon, Identification Guide to Freshwater Fish. Bangkok: Amarin Printing and Publishing Public Co. Ltd. 2002.

[15] C. Vidthayanon, A. Termvidchakorn and Pe, M. Inland Fishes of Myanmar. Bangkok: Southeast Asian Fisheries Development Center 2005.

A Study on Speckle Noise Reduction and Feature Extraction in Ultrasonic Images

Napa Sae-Bae¹ and Somkait Udomhunsakul^{2*}

¹Faculty of Science and Technology, ²Faculty of Engineering and Architecture

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

*E-mail: sudomhun@hotmail.com

Abstract— Ultrasonic image is one of the imaging techniques that widely used and safe for medical diagnostic, due to its noninvasive, low cost and real time forming. However, the qualities of ultrasonic images are typically degraded mainly due to the presence of signal independent known as speckle noise. In this paper, speckle noise suppression in wavelet domain and feature extraction technique is studied. In particular, speckle noise reduction is a preprocessing step before applying a feature extraction process. In speckle noise suppression process, the logarithmic transform is firstly applied to the original image in order to convert multiplicative noise to additive one. 2D Stationary Wavelet Transform (SWT) is used to decompose the logarithmic image into four subbands. Next, 2D adaptive Wiener Filter is applied all over areas only in detail subbands. Finally, the 2D Inverse SWT is computed and it is followed by the exponential transform to get the reconstructed image. To evaluate the studied method for speckle noise reduction, some classical well-know methods, such as Median filter, Wiener filter, Discrete Wavelet Transform (DWT) based on Soft thresholding and DWT along with Wiener filter are compared. For feature extraction process, Haar wavelet filter is used to extract the ultrasonic features compared with Sobel and Canny operator. Moreover, the nonmaxima suppression technique is adopted to get the edge localization. Finally, the hysteresis thresholding is applied to get the final result in binary format. The results have clearly demonstrated that the studied method outperforms several existing methods for speckle noise reduction in terms of signal to mse ratio (S/mse) and edge preservation (β). Moreover, the studied method can detect well-localized and thin edges.

Keywords - Feature Extraction, Speckle Noise Reduction, Stationary Wavelet Transform, Ultrasonic Images.

I. INTRODUCTION

Ultrasound imaging is widely used and plays an important role in medical diagnosis because it is a noninvasive, real-time and inexpensive modality [1]. However, ultrasonic images are usually suffered from speckle noise, which corresponds to coherent wave interference in tissue. It is well known to be signal-dependent in ultrasound imaging system. Over the years, speckle noise suppression and feature extraction have been widely studied and considered. When filtering random noise from a noisy image, two main issues to be considered are: 1) how much noise had been removed, and 2) how well edges are preserved without blurring. Conventionally, there are several simple techniques for speckle noise suppression. Some of well-known classical speckle filterings include Lee filter, Kuan filter, Median filter and homomorphic Wiener filters [2-5]. They can effectively suppress speckle noise but they fail to adequately preserve the edges. In the past decade, there had been considerable interest in using the Wavelet transform as a powerful tool for recovering signal from noisy data. This method is generally referred to as wavelet shrinkage technique. In 1995, D. L. Donoho presented a soft thresholding method for denoising in one dimensional signal [6]. S. Chang, B. Yu and M. Vetterli introduced a new shrinkage method, BaeyShrink [7], which also outperformed Donoho and Johnstone's Sureshrink [8]. Furthermore, others proposed probabilistic methods for speckle noise reduction in the wavelet domain [9]-[12]. Another proposed approach uses adaptive block-based singular value decomposition

for speckle noise suppression [13]. Recently, A. K. Gupta and D. Sain have proposed a speckle reduction technique using logarithmic threshold contourlet [14]. The method proposed by C. Barcelos and L. Vieira used an adaptive edge-controlled variation function to detect and reduce speckle noise [15]. Moreover, speckle noise suppression and feature extraction in ultrasonic images is proposed [16].

In this research, a method for speckle reduction and feature extraction in ultrasonic images is studied. First, a logarithm is applied to the original image in order to transform the multiplicative noise into the additive noise. Next, a 2D Stationary wavelet transform (SWT) is used to decompose the image result from the first step into four subbands. Then, 2D adaptive Wiener filter is applied over areas only in detailed subbands. Finally, an inverse 2D SWT is computed and applied the exponential transform to reconstruct the image. The studied method is also compared with some existing approaches, such as Median filter, Wiener filter, 2D Discrete Wavelet Transform (DWT) based on Soft thresholding and DWT along with Wiener filter. Speckle noise reduction is a preprocessing step before applying a feature extraction process. Next, feature extraction process, Haar wavelet filter is used to extract the ultrasonic features compared with Sobel and Canny operator. Moreover, the nonmaxima suppression technique is adopted to get the edge localization. Finally, the hysteresis thresholding is applied to get the final result in binary format.

The rest of this paper is organized as follows. Section II describes the study of speckle noise reduction, feature extraction and quantitative image quality measures. Also, the experimental results are expressed in section III. Finally, the conclusion is provided in section IV.

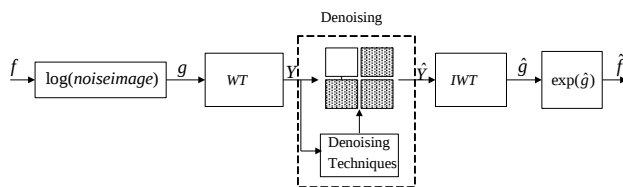


Figure 1. Block diagram for speckle noise reduction

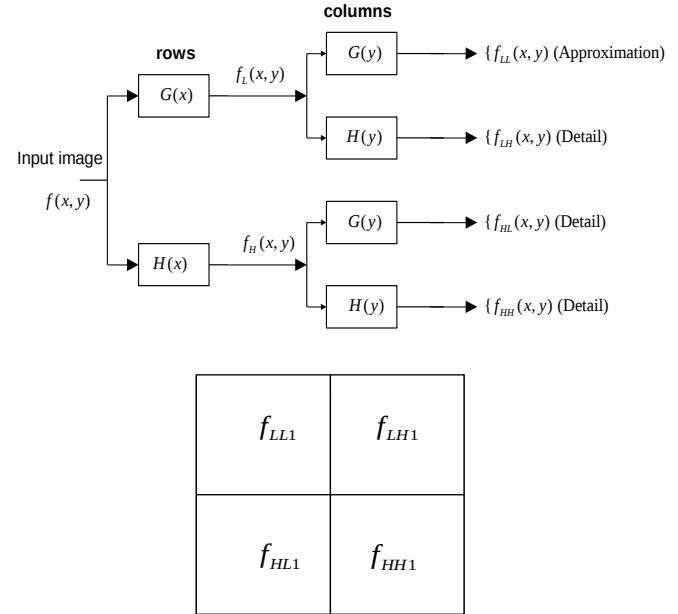


Figure 2. 2D Stationary Wavelet Transform Decomposition Scheme

II. RESEARCH METHODOLOGY

A. Speckle noise reduction and feature extraction

Similar to homomorphic Wiener filtering, the studied method can develop a speckle noise reduction, which is done in the SWT domain. The block diagram of the studied method is illustrated in Fig. 1. Details are as follows [16]:

- Take a logarithmic transform to the original image (f), which yields image result (g).
- Perform a 2-D SWT of the log transformed image and decompose into four subbands (LL, LH, HL and HH).
- Perform a 2-D adaptive Wiener filter only in the detailed subbands (LH, HL and HH), window size 7×7 is chosen, which yields the image result ($\hat{Y}$).
- Apply the inverse 2-D SWT, which yields a denoised image ($\hat{g}$).
- Take the exponential transformation of the denoised image to get the reconstructed image ($\hat{f}$).

1) 2D Stationary Wavelet Transform

Unlike the conventional Discrete Wavelet Transform (DWT), the two dimensional Stationary Wavelet

Transform (2D SWT) is based on the idea of no decimation, which means the SWT is translation-invariant [17]. It applies the DWT and omits both down-sampling in the forward and up-sampling in the inverse transformation. 2D SWT can be implemented by first applying the DWT along the rows of an image, and then applying it on the column of an image. Therefore, a transformed image is decomposed into four subbands, which are the same size as the original image. The LL band contains the approximation coefficients, the LH band contains the horizontal details, the HL band contains the vertical details and the HH band contains the diagonal details. Without translation-invariance, slight shifts in the input signal will produce variations in the wavelet coefficients that might introduce artifacts into the noise reduction process. This property is good for noise removal because the noise is usually spread over a small number of neighboring pixels. The 2D SWT decomposition scheme is illustrated in Fig 2.

2) 2D Adaptive Wiener Filter

Two dimensional Wiener filter is a minimum mean-square error filter [18]. It is a nonlinear spatial filter that moves a window or kernel over each pixel in the image, computing and replacing the central pixel values under the window. It uses a neighborhood of window sizes to estimate the noise power from the local image mean (μ) and standard deviation (σ). 2-D Wiener filter has output defined by [19-20],

$$\hat{Y}(x_i, y_j) = \mu + \frac{\sigma^2 - v^2}{\sigma^2} (Y(x_i, y_j) - \mu) \quad (1)$$

where μ , σ^2 represents the local mean, standard deviation obtained from the noisy image window respectively. Y is the noisy pixel and $\hat{Y}$ is the filtered pixel. Also, v is the noise variance, estimated from the average of all the local estimated variances in the image. The size of the kernel should be odd. If the size is too large, important features will be lost. On the other hand, if the size is too small, noise reduction may not yield good results. In general, a size 3x3 and 7x7 kernel provides good results [14].

3) Feature extraction

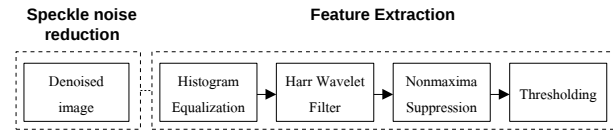


Figure 3. Block diagram for feature extraction process [16]

Fig. 3 shows the feature extraction process. First, the denoised image is enhanced by histogram equalization technique where the accumulative histogram of the image is linear [2]. The goal of this method is to make structure within the image more visible to human observers. Next, Haar filter is used to extract the object from denoised images in the vertical and horizontal direction separately and modulus sum is used to get the edge detection result. Then, nonmaxima suppression technique is adopted to get the edge localization. Finally, the adaptive hysteresis thresholding is applied to get the final result in the binary format. In a binary image, each pixel value is represented by a single binary format.

B. Quantitative quality measures

To quantify the achieved noise reduction ability performance, there are two main issues to be considered, which are how much noise has been removed, and how well edges are preserved without blurring. In the past decade, there have been many quantitative quality measurements proposed. In this research study, three image quality measurements: Mean Square Error (MSE), Signal to MSE ratio (S/mse), and edge preservation (β) are used and computed using original and reconstructed image data [21-22].

1) Mean Square Error (MSE)

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i,j=1}^{m,n} (\hat{s}_{i,j} - s_{i,j})^2 \quad (2)$$

Whereas n and m are image size, $\hat{S}$ and S refer to reconstructed and original images, respectively. The higher MSE values denote lower image quality.

2) Signal to MSE ratio (S/mse)

To evaluate speckle noise reduction, a Signal to MSE ratio (S/mse) is used, instead of the standard signal to noise ratio. This is defined as below:

$$\beta = \frac{\Gamma(\Delta s - \overline{\Delta s}, \Delta \hat{s} - \overline{\Delta \hat{s}})}{\sqrt{\Gamma(\Delta s - \overline{\Delta s}, \Delta s - \overline{\Delta s}) \cdot \Gamma(\Delta \hat{s} - \overline{\Delta \hat{s}}, \Delta \hat{s} - \overline{\Delta \hat{s}})}} \quad (3)$$

where $\overline{\Delta s}$ and $\overline{\Delta \hat{s}}$ are the mean values in the region of interest (ROI) s_{ij} and $\hat{s}_{ij}$, respectively. Also, Δs and $\Delta \hat{s}$ represent the high pass filtered operation of s and $\hat{s}$ respectively, obtained with a 3x3 pixel standard approximation of Laplacian operator with

$$\Gamma(s_1, s_2) = \sum_{i,j=1}^{m,n} s_{1(i,j)} \cdot s_{2(i,j)} \quad (4)$$

The larger values of β signify the better feature preservation ability of the reconstructed image.

III. EXPERIMENTAL RESULTS

A. Speckle noise reduction

Speckle noise reduction is a preprocessing step before applying a feature extraction process. In this part of the experiment, to validate the performance of the studied method, various liver ultrasonic images are used, as shown in Fig. 4. The image size is 256x256. A number of experiments were conducted and compared with other traditional methods, which were Median filter (7x7), 2D adaptive Wiener filter (7x7), DWT with soft thresholding, and DWT along with Wiener filter. The experiments reported in this section have been tested using MATLAB 10.0 – R2010b (64 bit). All the wavelet-based techniques used Daubechies 4 wavelet basis, with one level of DWT and SWT decomposition. In fact, noise is generally spread over in detailed subbands, due to the components of highpass wavelet filters. Therefore, the 2D adaptive Wiener filter is applied only in detailed subbands. To quantify the achieved performance in terms of the ability of speckle noise reduction and edge preservation, the original liver ultrasonic images are corrupted with noise at variance 0.08. S/mse and β are used to evaluate the reconstructed image quality. The

results are tabulated in Table I. As can be seen, the studied method outperforms other methods in terms of S/mse and β .

To visually compare with all other methods, the original kidney ultrasonic images are corrupted with noise at variance 0.08 as shown in Fig. 5 (a). The comparatives of various results are also shown in Fig. 5 (b)-(f). As for the results, Fig. 5(b) and Fig. 5(c) are operated by a fixed 7x7 sized window using Median filter and Wiener filter respectively in a special domain. The reconstructed images are smoothed over and have artifacts around the object. On the other hand, the combination of Wiener filter and SWT outperforms DWT with soft thresholding and DWT along with Wiener filter, as shown in Fig. 5(d), (e) and (f). It can efficiently reduce noise and smooth over the homogeneous area. In addition, it can preserve the edge features whereby enhancing the visual perception of the reconstructed image.

B. Feature extraction

Next experiments, the realistic noisy uterus and cholecystitis ultrasonic images are tested, as shown in Fig. 6(a) and Fig. 7(a), respectively. The denoised images and enhancement results using studied method are expressed in Fig. 6(b)-(c) and Fig. 7(b)-(c). In the feature extraction process, Haar wavelet filter is used for feature extraction pointed out by an ultrasonographer [23]. In fact, gray level is important information for diagnosis and Haar wavelet filter seemed to be able to preserve original gray level after feature extraction. This thin edge detected image with preserved gray level is important information for diagnosis because gray level expresses power of reflected signal. Consequently, the ratio of sound velocity at tissue-tissue-interface from the gray level can be identified, which may mean elasticity of tissue. As a result, Fig. 6(d,e,f) and Fig. 7(d,e,f) are performed by applying Sobel operator, Canny operator, and the proposed method, respectively, to derive the edge feature. It can be seen that the studied method leads to an effective method for speckle noise reduction and yields the best result for feature extraction.

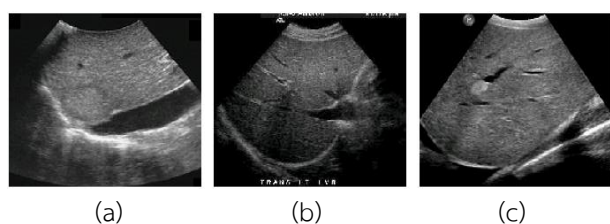


Figure 4. Liver ultrasound images

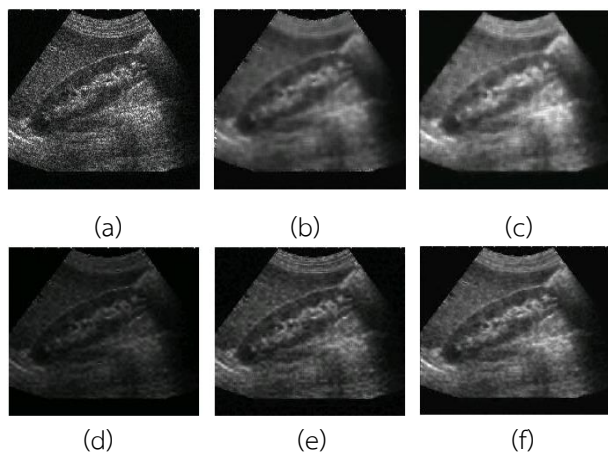


Figure 5. Results of various speckle reduction methods (a) noisy kidney ultrasound image (b) denoised image using 2D Median filter (c) denoised image using 2D Wiener filter (d) denoised image using Visushink and Soft thresholding (e) denoised image using DWT and Wiener filter (f) denoised image using SWT and Wiener filter

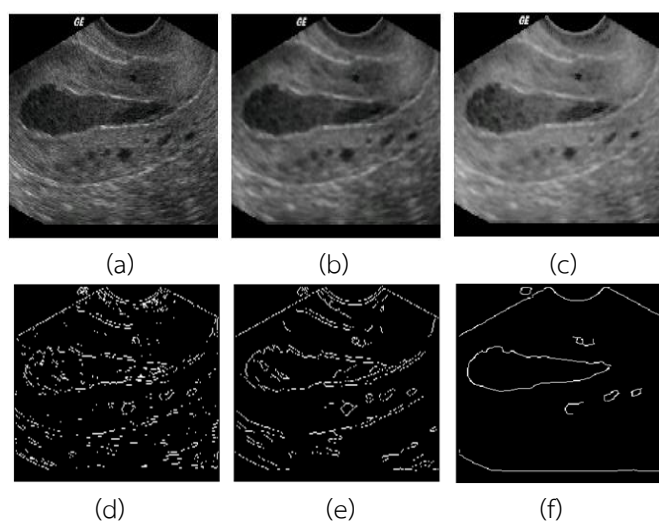


Figure 6. Results of various feature extraction methods (a) noisy uterus ultrasound image (b) denoised image using SWT and Wiener filter (c) enhanced image (d) Sobel operator (e) Canny operator (f) Studied method

TABLE I EXPERIMENTAL RESULTS AT NOISE VARIANCES 0.08

Images	Methods	Mask size	S/mse	β
liver (a)	Median filtering	7x7	17.014	0.0502
	Wiener filtering	7x7	17.047	0.1704
	Visushink with Soft thresholding	-	17.613	0.2441
	DWT and Wiener filter	7x7	17.375	0.2135
	SWT and Wiener filter	7x7	18.166	0.3089
liver (b)	Median filtering	7x7	9.7961	0.0504
	Wiener filtering	7x7	12.971	0.7636
	Visushink with Soft thresholding	-	12.799	0.6505
	DWT and Wiener filter	7x7	13.505	0.7117
	SWT and Wiener filter	7x7	14.113	0.7801
liver (c)	Median filtering	7x7	15.076	0.2351
	Wiener filtering	7x7	15.482	0.3650
	Visushink with Soft thresholding	-	14.991	0.3205
	DWT and Wiener filter	7x7	15.918	0.3356
	SWT and Wiener filter	7x7	16.868	0.4359

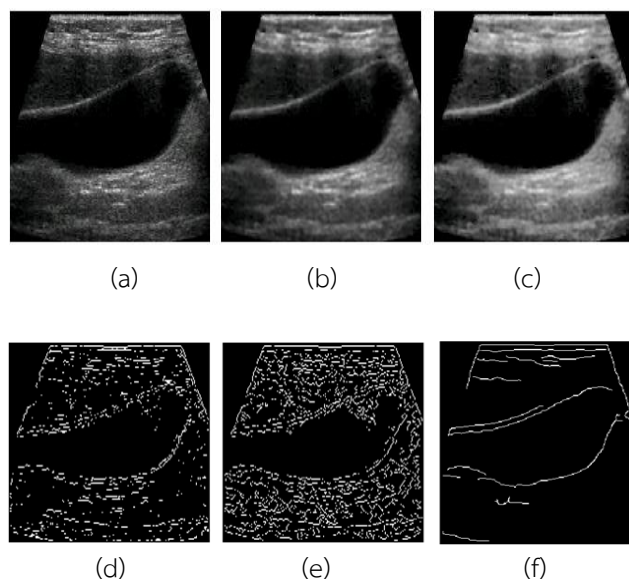


Figure 7. Results of various feature extraction methods
 (a) noisy cholecystitis ultrasound image
 (b) denoised image using SWT and Wiener filter
 (c) enhanced image (d) Sobel operator
 (e) Canny operator (f) Studied method

IV. CONCLUSION

In this research, the main aim is to study and compare the different methods of speckle noise suppression and feature extraction in ultrasonic images. For speckle noise reduction, the studied method uses SWT to transform a logarithmic image and then applies an adaptive Wiener filter only in each detail subband. The advantage of multiresolution analysis using SWT for speckle noise reduction is that it can reduce noise while preserving the feature structure of the reconstructed image. From the results, the combination of the SWT and adaptive Wiener filter has better quantitative and qualitative performances, compared with existing methods. For feature extraction process, the denoised image is enhanced by histogram equalization. Haar wavelet filter is used for feature extraction. From the results, the studied method compared with Sobel operator and Canny operator can be detected well-localized and thin edges. Therefore, the studied method leads to a practical method for speckle noise reduction and feature extraction in ultrasonic images.

REFERENCES

- [1] A. Webb and G. C. Kagadis, "Introduction to biomedical imaging," Wiley Hoboken, 2003.
- [2] A. McAndrew, "Introduction to digital image processing with MATLAB," Course Technology, ISBN-10 534400116, 2004.
- [3] J. S. Lee, "Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, no. 2, 1980, pp. 165–168.
- [4] D. T. Kuan, A. A. Sawchuk, T. C. Strand, and P. Chavel, "Adaptive noise smoothing filter for images with signal-dependent noise," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, no. 2, 1985, pp. 165–177.
- [5] A. K. Jain, "Fundamentals of digital image processing," Prentice-Hall Englewood Cliffs, 1989.
- [6] D. L. Donoho, "De-noising by soft-thresholding," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 41, no. 3, 1995, pp. 613–627.
- [7] S. G. Chang, B. Yu, and M. Vetterli, "Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 9, no. 9, 2000, pp. 1532–1546.
- [8] D. L. Donoho and J. M. Johnstone, "Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage," Biometrika, vol. 81, no. 3, 1994, pp. 425–455.
- [9] P. Kishore, A. Sastry, A. Kartheek, and S. H. Mahatha, "Block based thresholding in wavelet domain for denoising ultrasound medical images," International Conference in Signal Processing And Communication Engineering Systems (SPACES), 2015, pp. 265–269.
- [10] J. Jin, Y. Liu, Q. Wang, and S. Yi, "Ultrasonic speckle reduction based on soft thresholding in quaternion wavelet domain," Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2012, pp. 13–16.
- [11] C. Chen and N. Zhou, "A new wavelet hard threshold to process image with strong gaussian noise," International Conference in Advanced Computational Intelligence (ICACI), 2012, pp. 558–561.
- [12] J. Scharcanski, C. R. Jung, and R. T. Clarke, "Adaptive image denoising using scale and space consistency," IEEE

Transactions on Image Processing, vol. 11, no. 9, 2002, pp. 1092–1101.

[13] N. Sae-Bae and S. Udomhunsakul, “Despeckling algorithm on ultrasonic image using adaptive block-based singular value decomposition,” in Photonics Asia 2007, International Society for Optics and Photonics, 2007, pp. 68 330J–68 330J.

[14] A. K. Gupta and D. Sain, “Speckle noise reduction using logarithmic threshold contourlet,” International Conference in Green Computing, Communication and Conservation of Energy (ICGCE), 2013, pp. 291–295.

[15] C. A. Barcelos and L. E. Vieira, “Ultrasound speckle noise reduction via an adaptive edge-controlled variational method,” International Conference in Systems, Man and Cybernetics (SMC), 2014, pp. 145–151.

[16] S. Udomhunsakul and P. Wongsita, “Feature extraction in medical ultrasonic image,” in 3rd Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering 2006, ser. IFMBE Proceedings, F. Ibrahim, N. Osman, J. Usman, and N. Kadri, Eds. Springer Berlin Heidelberg, vol. 15, 2007, pp. 267–270.

[17] G. P. Nason and B. W. Silverman, “The stationary wavelet transform and some statistical applications,” in Wavelets and statistics, Springer, 1995, pp. 281–299.

[18] J. S. Lim, “Two-dimensional signal and image processing,” Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1990.

[19] D. Lai, N. Rao, C. H. Kuo, S. Bhatt, and V. Dogra, “An ultrasound image despeckling method using independent component analysis,” International Symposium in Biomedical Imaging: From Nano to Macro, 2009, pp. 658–661.

[20] E. Ercelebi and S. Koc, “Lifting-based wavelet domain adaptive wiener filter for image enhancement,” IEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing, vol. 153, no. 1, 2006, pp. 31–36.

[21] A. Achim, A. Bezerianos, and P. Tsakalides, “Novel bayesian multiscale method for speckle removal in medical ultrasound images,” IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 20, no. 8, 2001, pp. 772–783.

[22] F. Sattar, L. Floreby, G. Salomonsson, and B. Lovstrom, “Image enhancement based on a nonlinear

multiscale method.” IEEE transactions on image processing, vol. 6, no. 6, 1996, pp. 888–895.

[23] S. Udomhunsakul and K. Hamamoto, “Blood vessel diameter measurement on ultrasonic images,” Proceedings of the SPIE, Vol. 5637, 2005, pp. 113–117.

จัดทำโดย

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

โทร 0 2549 4682 - 4 โทรสาร 0 2549 4680

www.ird.rmutt.ac.th

Research Journal

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Institute of Research and Development

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

39 M.1 Klong Hok, Thanyaburi, Pathumtanee 12110 Thailand

Tel (02) 549-4682-4 Fax. (02) 577-5038 (02) 549-4680

www.ird.rmutt.ac.th