



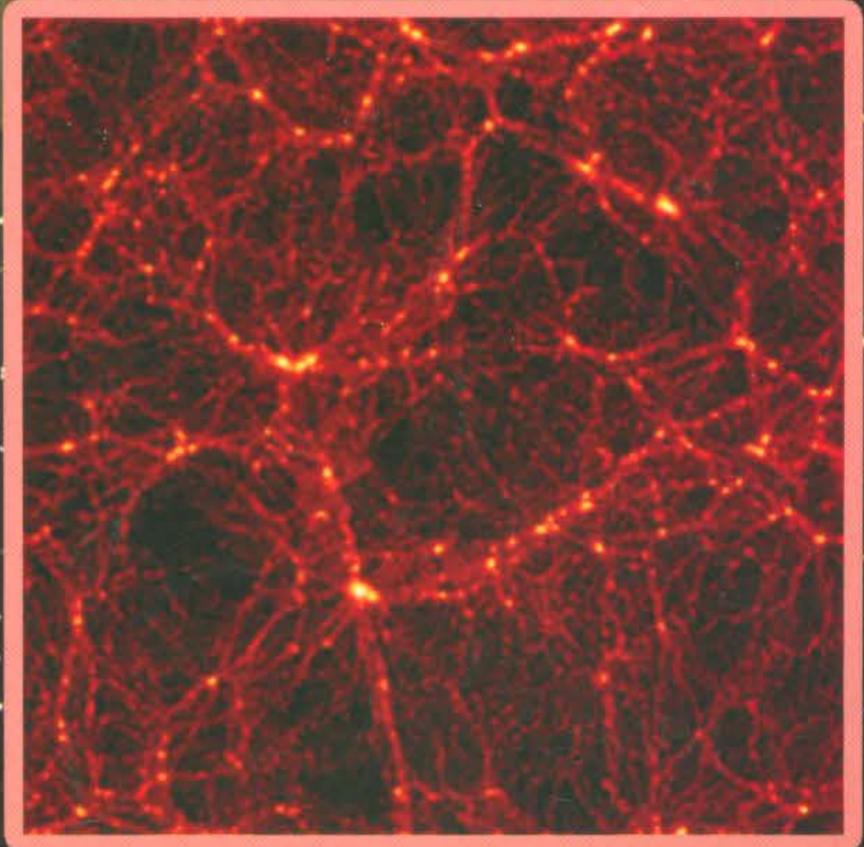
วารสาร

# วิทยาศาสตร์ชุมชน.

KKU SCIENCE JOURNAL

ปีที่ 34 ฉบับที่ 4 (ต.ค.-ธ.ค. 49) Vol.34 No. 4 (Oct.-Dec.' 06)

Copy 1





วารสาร  
**วิทยาศาสตร์ปูช.**  
KKU SCIENCE JOURNAL

### เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### สำนักงาน

คณะวิทยาศาสตร์ ตึก 6 มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิทยาการในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางด้านการวิจัย และการศึกษา ค้นคว้าของอาจารย์และนักศึกษา
3. เพื่อเป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนความรู้ และแนวความคิดทางวิชาการระหว่างอาจารย์ นักศึกษา และผู้สนใจ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน

### กำหนดออก ปีละ 4 ฉบับ

- ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม
- ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน
- ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน
- ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม

### ที่ปรึกษา

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ละออศรี เสนาะเมือง)  
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ  
(เอกพรรณ สวัสดิ์ชิตัง)

### บรรณาธิการ

นฤมล แสงประดับ

### กองบรรณาธิการ

กิตติกร นาคประสิทธิ์  
งามนิจ อางอินทร์  
ชุตินา หาญจวนิช  
ประเสริฐ แข่งขัน  
สมปอง ธรรมศิริรักษ์  
สมเดช กนกเมธากุล  
สุพรรณิ อึ้งปัญสัตวงศ์  
เสาวนิต ทองพิมพ์  
อัจฉราภรณ์ ภัคดี

### ฝ่ายศิลป์และภาพ

กิเลน ดิฉนรเศรษฐ์  
สุชาติ เทพภูเขียว

### ฝ่ายเหรียญกษาปณ์

บุญคุ้ม เหลือล้ำน

### ฝ่ายจัดการและเลขานุการ

ศุภลักษณ์ ทองปิ่น  
สมศักดิ์ อุ่นจันทิ

**บทความและงานวิจัย  
ได้รับการกลั่นกรอง  
จากผู้ทรงคุณวุฒิ**

**บรรณาธิการแถลง**

**รายงานพิเศษ**

- ☐ ดร. อรรจุณี เหมือนวงศ์  
 รางวัลนักวิจัยรุ่นใหม่ดีเด่น สกว.-สกอ. ประจำปี 2549  
 กองบรรณาธิการ..... 251

**บทความ**

- ☐ การตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนหมู่ของการดำเนินการ  
 ทวิภาคบนเซตจำกัด  
 วิจารณ์ สดศิริ..... 254
- ☐ การศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหล  
 โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข  
 อนุสรณ์ ศรีธีระวิโรจน์..... 259
- ☐ อันตรายที่อาจมากับไตรโคลซาน  
 วิวัฒน์ หาญวงษ์..... 265

วารสาร

# วิทยาศาสตร์ชุมชน

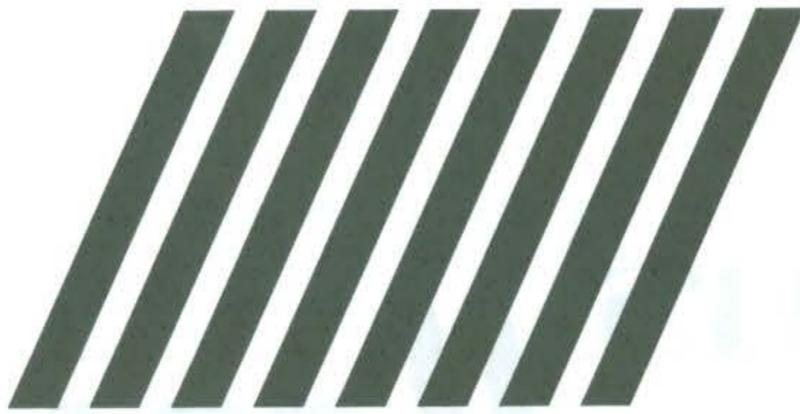
KKU SCIENCE JOURNAL

ปีที่ 34 ฉบับที่ 4

Volume 34 Number 4

## งานวิจัย

- การจำแนกสมาชิกนิรพล สมาชิกที่หาตัวผกผันได้ และสมาชิกปกติ ในวง  $M_2(\mathbb{Z})_4$   
 สมจิต โชติชัยสถิตย์ และ  
 ณีฐุเดช ทองใบ..... 268
- คุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทและคุณภาพ  
 น้ำแข็งหลอดในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน  
 จิตลัดดา รุ่งเรือง..... 275
- วัสดุปลูกในการย้ายปลูกต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลือง  
 จันทบูร ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ  
 สมพร ประเสริฐส่งสกุล และพิสมัย นุ่มน้อย... 283
- กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติ  
 กับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะครีเลต  
 กณสิทธิ์ จตุเทน ปวีณา ฆารไสว  
 ไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์  
 และสิทธิพงษ์ อำนวยพานิชย์..... 289



วิทยาลัยวิทยาศาสตร์  
KKU SCIENCE JOURNAL



**Publisher**

Faculty of Science, Khon Kaen University,  
Thailand.

**Office**

Faculty of Science, Building 6, Khon Kaen  
University.

**Objectives**

1. To promote dissemination of knowledge in all fields of science.
2. To publish research results of faculty, researchers and students
3. To be a medium for the exchange of knowledge and ideas among faculty, researchers and student of Khon Kaen University and other institutions

**Publishing frequency**

KKU Science Journal is a quarterly journal,  
Each volume consists of 4 numbers

- Number 1 January - March
- Number 2 April - June
- Number 3 July - September
- Number 4 October - December

Advisory Committee	Dean, Faculty of Science (La-Orsri Sanoamuang)
	Associate Dean for Academic Affairs (Ekaphan Swaisitang) <b>น.พ. 2550,</b>
Editor	Narumon Sangpradub
Editorial Board	Kittikorn Nakpasit Ngamnij Arch-int Chutima Hanjavanit Prasert Kaengkan Sompong Thammahirak Somdej Kanokmedhakul Supunee Ungpansattawong Soawanit Tongpim Adcharaporn Pagdee
Artists	Kilen Tinnoraset Suchart Thepphukhieo
Treasurer	Boonkoom Lualon
Manging Staff And Secretary	Suphaluk Tongpun Somsak Unjantee

**All articles published in  
KKU Science Journal have been  
peer reviewed.**

**The views and opinions expressed in this journal are those of the author(s), and do not necessarily reflect the views and opinion of the editorial board.**

# บรรณาธิการ

# แถลง

สวัสดีค่ะ ท่านสมาชิกและท่านผู้อ่านวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ที่เคารพรักทุกท่าน

วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ฉบับสิ้นปี 2549 ขอแสดงความยินดีกับ ดร.อรรุจีเหมือนวงศ์ อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้รับรางวัลนักวิจัยรุ่นใหม่ดีเด่น สกว.-สกอ. ประจำปี 2549 ด้วยผลงานวิจัยด้านดาราศาสตร์ กองบรรณาธิการฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ประวัติดีและสรุปผลงานวิจัยในรายงานพิเศษของท่านจะช่วยปลุกเร้าท่านที่อยู่ในแวดวงวิทยาศาสตร์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเยาวชนไทยให้ความสนใจเป็นนักวิจัยเพิ่มขึ้น

จากการที่กองบรรณาธิการได้เคยเรียนท่านสมาชิกและท่านผู้อ่านว่าจะมีการปรับอัตราค่าสมาชิกใหม่ ในปี 2550 นั้น ท่านคณบดีคณะวิทยาศาสตร์ได้เสนอให้เป็นวารสารเผยแพร่ ดังนั้น วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ตั้งแต่ปี 2550 เป็นต้นไป จึงยกเลิกค่าสมาชิก ทั้งนี้ จะยังคงส่งวารสารเป็นบรรณาการแก่ท่านสมาชิกเดิม และหากหน่วยงานใดต้องการรับวารสาร กรุณาแจ้งความประสงค์มาที่คุณศุภลักษณ์ ทองปิ่น ฝ่ายจัดการและเลขานุการวารสาร และขอเชิญทุกท่านส่งเรื่องมาเผยแพร่และแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิทยาศาสตร์เช่นนี้ตลอดไปค่ะ

บรรณาธิการ

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ทรง  
คุณวุฒิที่กรุณาให้เกียรติพิจารณาบทความวิจัยและบทความปริทัศน์ เพื่อลงใน  
วารสาร ฉบับปีที่ 34 (ปี พ.ศ. 2549) ดังรายนามต่อไปนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า  
จะได้รับความกรุณาจากท่านตลอดไป

ดร.กิตติกร นาคประสิทธิ์

รศ.ดร.กัลยาณี ศิริสินธุ์

ผศ.ดร.คมสร ลมไธสง

ผศ.งามนิจ นนทโส

ดร.จันทร์เพ็ญ ส.โทมัส

อ.ดร.จิรภัทร จันทะพงษ์

รศ.ดร.ฉวีวรรณ รัตนประเสริฐ

รศ.ดร.ชุติมา หาญจวนิช

ผศ.ดร.ชัยวัฒน์ มณีสว่าง

รศ.ดร.นฤมล แสงประดับ

รศ.ดร.นุชรีย์ ศิริ

ผศ.ดร.นิพนธ์ กสิพร้อง

รศ.บุญยืน กิจวิจารณ์

รศ.ดร.บุญรักษา สุนทรธรรม

ศ.ดร.ประมวถ ตั้งบริบูรณ์รัตน์

ผศ.ดร.ประสาร สวัสดิ์ชิตัง

ดร.ประเสริฐ แข่งขัน

รศ.ดร.พีระพนธ์ โสพัศสถิตย์

รศ.รัตนา มหาชัย

รศ.ดร.วรรณภา อิชิตะ

ผศ.ดร.วิไลลักษณ์ ชินะจิตร

รศ.ดร.วีระ บุญจริง

รศ.ดร.วีระพงษ์ ลูลิตานนท์

ผศ.ดร.ศักดา คาดวง

ผศ.ดร.ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย

รศ.สมจิต โชติชัยสถิต

รศ.ดร.สมเดช กนกเมฆากุล

ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์

ผศ.ดร.สมปอง ธรรมศิริรักษ์

ดร.สัญญาชัย ประยูร โภคราช

รศ.สุพจน์ ไวฑ์ยางกูร

ผศ.ดร.สุภร กตเวทิน

รศ.ดร.สุนนทิพย์ บุนนาค

รศ.ดร.สุรศักดิ์ วัฒนเสถ์

รศ.ดร.อำพา เหลืองภิรมย์



## รายงานพิเศษ

### ดร. อรุณี เหมือนวงศ์

#### รางวัลนักวิจัยรุ่นใหม่ดีเด่น สกว.-สกอ. ประจำปี 2549



#### ประวัติส่วนตัว

ดร. อรุณี เหมือนวงศ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ เกียรตินิยม อันดับหนึ่ง) จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปี พ.ศ. 2540 ปริญญาโทและปริญญาเอก สาขาคณิตศาสตร์ จาก University of Sussex ประเทศสหราชอาณาจักร ในปี พ.ศ. 2541 และ 2545 ตามลำดับ ปัจจุบันรับราชการเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์และดำรงตำแหน่งผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

#### ทุนการศึกษาและวิจัย

1. ทุนการศึกษาจากโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (โครงการ พสวท.) ตั้งแต่ระดับปริญญาตรี ถึงปริญญาเอก

2. ทุนพัฒนาศักยภาพการทำวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ปี พ.ศ. 2546-2548 และได้รับรางวัลนักวิจัยรุ่นใหม่ดีเด่น สกว. – สกอ. ประจำปี 2549

3. เงินทุนช่วยเหลือการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มูลนิธิโทรเรเพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ ประเทศไทย พ.ศ. 2549

#### สรุปงานวิจัยของ ดร. อรุณี เหมือนวงศ์

ดร. อรุณี เหมือนวงศ์ ได้รับการสนับสนุนการทำวิจัยโดย สกว.-สกอ. ด้วยทุนส่งเสริมศักยภาพการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ ในระหว่างปี พ.ศ. 2546-2548 ภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง “การศึกษาวิวัฒนาการของคุณสมบัติทางรังสีเอกซ์ของกลุ่มกาแลกซี “ โดยมี Prof. Dr. Peter A. Thomas จาก University of Sussex เป็นนักวิจัยที่ปรึกษา และมีผู้ร่วมวิจัยอีกท่านหนึ่งคือ Dr. Scott T. Kay จาก University of Oxford ประเทศสหราชอาณาจักร

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการต่อยอดจากการทำวิทยานิพนธ์ซึ่งมี Prof. Thomas เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงในการจำลองแบบเอกภพ ซึ่งเกิดจากความร่วมมือในเครือข่ายนานาชาติที่มีชื่อว่า Virgo Supercomputing Consortium เครือข่ายนี้มีนักวิจัยจากทั่วยุโรป

และอเมริกาทำงานร่วมกัน โดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษา โครงสร้างภายในเอกภพที่ได้จากการจำลองแบบ

สำหรับงานวิจัยของ ดร. อรุณี นั้น เกี่ยวข้องกับวัตถุที่เรียกว่ากลุ่มกาแลกซีเป็นหลัก กลุ่มกาแลกซีเป็นวัตถุที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาวิจัยเอกภพ เพราะเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ในเอกภพที่สามารถนำมาใช้เชื่อมต่อความเข้าใจทางด้านทฤษฎี และด้านการสังเกตการณ์ของนักเอกภพวิทยาได้ วัตถุชนิดนี้ประกอบไปด้วยพลาสมาร้อนซึ่งสามารถให้พลังงานในย่านรังสีเอกซ์ แต่เนื่องจากรังสีเอกซ์ถูกดูดกลืนในชั้นบรรยากาศดังนั้นการสังเกตการณ์วัตถุเหล่านี้จึงต้องใช้กล้องโทรทรรศน์อวกาศรังสีเอกซ์ การใช้กลุ่มกาแลกซีเพื่อการศึกษาเอกภพจึงจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติทางรังสีเอกซ์ของวัตถุเหล่านี้ นักทฤษฎีได้สร้างแนวความคิดเกี่ยวกับการเกิดโครงสร้างหรือกลุ่มกาแลกซีเหล่านี้โดยพิจารณาเฉพาะผลของการยุบตัวของโครงสร้างภายใต้ความโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียว แต่ในการสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์อวกาศรังสีเอกซ์ในช่วงปี ค.ศ. 1990 เป็นต้นมา พบว่าคุณสมบัติทางรังสีเอกซ์ของกลุ่มกาแลกซีนั้นไม่สามารถอธิบายได้จากแนวคิดดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องจากเอนโทรปีในใจกลางของกลุ่มกาแลกซีนี้นั้นมีค่าสูงมากกว่าที่ทฤษฎีนี้ทำนายไว้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาผลทางความร้อนจากปรากฏการณ์อื่นที่ไม่ใช่ผลของการยุบตัวภายใต้ความโน้มถ่วง (non-gravitational heating) จึงทำให้นักทฤษฎีหันมาให้ความสนใจเกี่ยวกับความร้อนที่เกิดจากแหล่งต่างๆภายในกลุ่มกาแลกซี ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียพลังของก๊าซร้อนแบบที่เรียกว่า radiative cooling หรือความร้อนจาก Active Galactic Nuclei เป็นต้น แต่เนื่องจากปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้มีความซับซ้อนจึงจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการจำลองแบบเพื่อศึกษาว่าปรากฏการณ์เหล่านี้จะส่งผลต่อคุณสมบัติทางรังสีเอกซ์ของกลุ่มกาแลกซีอย่างไร

จากงานวิจัยที่คณะผู้วิจัยได้เคยทำมาก่อนพบว่า คุณสมบัติทางรังสีเอกซ์ในแบบจำลองที่มีปรากฏการณ์ทางความร้อนภายในกลุ่มกาแลกซีต่างๆ ที่เป็น non-gravitational heating นั้น มีค่าใกล้เคียงกันมากสำหรับกลุ่มกาแลกซีที่อยู่ใกล้กับกาแลกซีของเรา ดังนั้นการที่จะเข้าใจอย่างแท้จริงว่าปรากฏการณ์ใดมีความถูกต้องสอดคล้องกับความเป็นจริงนั้น จะต้องอาศัยการศึกษาวิวัฒนาการของคุณสมบัติเหล่านี้ ซึ่งในโครงการวิจัยภายใต้การสนับสนุนของ สกว.-สกอ. นี้ ได้ทำการศึกษาวิวัฒนาการดังกล่าว และพบว่าแต่ละแบบจำลองกลุ่มกาแลกซีแสดงวิวัฒนาการที่ต่างกัน การทดสอบว่าแบบจำลองใดถูกต้องนั้นจะต้องอาศัยการสำรวจกลุ่มกาแลกซีด้วยกล้องโทรทรรศน์อวกาศรังสีเอกซ์ที่จะสำรวจวัตถุเหล่านี้ในช่วงเวลาต่างๆกัน เช่น โครงการสำรวจ XMM Cluster Survey (XCS) ด้วยกล้องโทรทรรศน์อวกาศ XMM-Newton เป็นต้น ซึ่งการสำรวจนี้คาดว่า จะเสร็จสิ้นในอนาคตอันใกล้ หารู้ไม่ว่าแบบจำลองที่นำมาศึกษาในครั้งนี้มีขนาดค่อนข้างเล็ก กล่าวคือ ความยาวของกล้องที่ใช้จำลองแบบมีขนาดด้านละเพียงประมาณ 100 เมกะพาร์เซก (1 พาร์เซก เท่ากับ 3.26 ปีแสง) และใช้อุณหภูมิจำนวน  $2 \times 160^3$  อนุภาค (อนุภาคที่ใช้ ได้แก่ สสารมืดและบารีออน) จึงทำให้ได้กลุ่มกาแลกซีที่อยู่ในวิวัฒนาการช่วงต้นยังมีจำนวนค่อนข้างน้อย

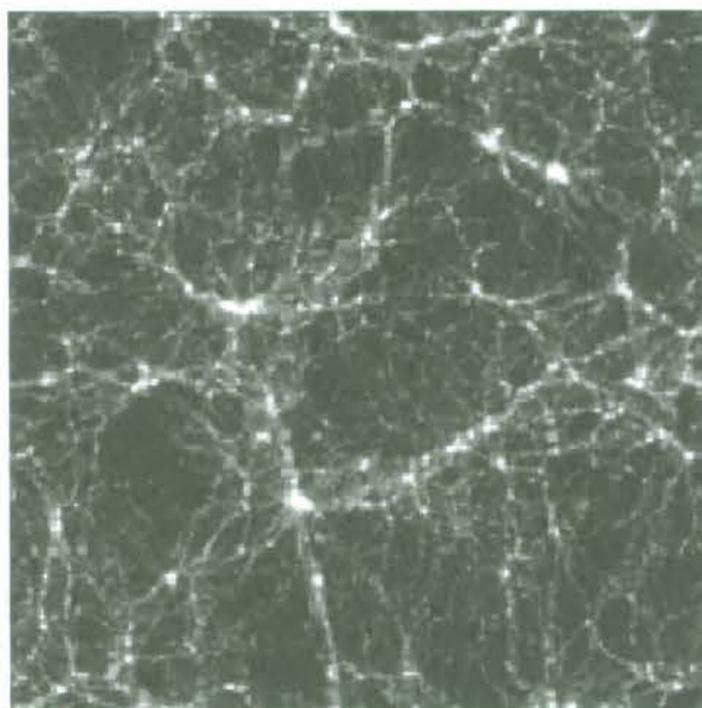
ผู้ที่จะได้รับประโยชน์โดยตรงจากงานวิจัยชิ้นนี้ คือนักเอกภพวิทยาที่จะได้ขยายผลในการศึกษาเอกภพภาคสังเกตการณ์และนำไปสู่ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มกาแลกซี อย่างไรก็ตามแม้ว่างานวิจัยด้านดาราศาสตร์ดูเหมือนจะห่างไกลกับคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ของประชากร แต่ความท้าทายและความน่าพิศวงของเอกภพนั้นอยู่ใกล้ชิดกับจิตสำนึกของมนุษย์อย่างมากทีเดียว ดังนั้นงานวิจัยทางดาราศาสตร์ไม่ว่าจะเป็นแขนงใดก็ตาม

จึงมีบทบาทที่สำคัญในการผลักดันให้มนุษยชาติก้าว  
พ้นขีดจำกัดทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งจะได้  
สร้างผลผลิตทางวิชาการในสาขาต่างๆที่นำมา  
บูรณาการ โดยทางตรงและรวมถึงการเพิ่มพูนทาง  
เศรษฐกิจโดยทางอ้อมอีกด้วย

### บทส่งท้าย

ดังที่ได้กล่าวมานี้ จะเห็นได้ว่าการวิจัยนั้น  
เป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยสร้างสรรค์ความก้าวหน้าทาง  
วิชาการอย่างแท้จริง เชื่อว่านักวิจัยหลายๆท่าน  
คงจะเห็นด้วยว่าความสุขที่ได้จากการได้เรียนรู้หรือ  
ค้นพบสิ่งใหม่นั้น เป็นรางวัลที่ไม่สามารถหาสิ่งใด  
มาเทียบได้เลย นักวิจัยที่มุ่งค้นคว้าในสาขาที่ตนเอง  
ถนัดเฉพาะด้านก็จะมองเห็นความพิเศษและ  
เอกลักษณ์ของงานที่ตนเองได้ทุ่มเทศึกษา และเป็น  
เพราะความพิเศษและเอกลักษณ์นี้เองที่ทำให้การ  
ทำงานวิจัยนั้นดึงดูดให้เราศึกษาต่อไปอย่างไม่สิ้นสุด  
แม้ว่าการทำงานวิจัยจะต้องฝ่าฟันอุปสรรคมากมาย  
ทั้งที่คาดคิดหรือไม่ก็ตาม การแก้ปัญหาแต่ละอย่าง  
นั้นคือความท้าทายที่ทำให้เราได้เรียนรู้สิ่งใหม่ๆ

อยู่เสมอ ดังนั้นจึงขอให้นักวิจัยทุกท่านทุ่มเทและเป็น  
กำลังใจให้กันและกันในการทำงานเพื่อความก้าวหน้า  
ของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่อไป



ตัวอย่างภาพแสดงโครงสร้างเอกภพในแบบจำลอง  
กลุ่มจุดสว่างแต่ละกลุ่มคือกลุ่มกาแลกซี  
(เครดิตภาพ Dr. Joerg Colberg และ Virgo Supercom-  
puting Consortium)

\*\*\*\*\*

## การตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนหมู่ ของการดำเนินการทวิภาคบนเซตจำกัด

วิจารณ์ สดศิริ<sup>1</sup>

จากวิชาพีชคณิตนามธรรมชั้นแนะนำ เรามีทฤษฎีบทต่อไปนี้

**ทฤษฎีบท 1** ถ้า  $*$  เป็นการดำเนินการทวิภาคบนเซต  $G$  โดยที่

(i)  $*$  มีสมบัติการเปลี่ยนหมู่ และ

(ii) สำหรับแต่ละ  $a, b \in G$  จะมี  $x, y \in G$  ซึ่ง  $a*x = b$  และ  $y*a = b$

แล้วเราได้ว่า ระบบคณิตศาสตร์  $\langle G, * \rangle$  เป็นกรุป (group)

เป็นที่น่าเสียดายที่เราไม่สามารถตัดเงื่อนไขที่ว่า  $*$  มีสมบัติการเปลี่ยนหมู่ทิ้งไปได้ หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งคือ การที่  $*$  จะมีสมบัติการเปลี่ยนหมู่หรือไม่นั้น ไม่ได้เป็นผลมาจากสมมุติฐานที่ว่า สำหรับแต่ละ  $a, b \in G$  จะมี  $x, y \in G$  ซึ่ง  $a*x = b$  และ  $y*a = b$  เลยดังตัวอย่างต่อไปนี้

**ตัวอย่าง 1** ให้  $G = \{e, a, b, c, d\}$  และให้  $*$  เป็นการดำเนินการทวิภาคบน  $G$  นียามตามตารางที่ 1 ดังนี้

$*$	$e$	$a$	$b$	$c$	$d$
$e$	$e$	$a$	$b$	$c$	$d$
$a$	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$
$b$	$b$	$d$	$e$	$a$	$c$
$c$	$c$	$e$	$d$	$b$	$a$
$d$	$d$	$c$	$a$	$e$	$b$

ตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 เราได้ว่า  $e$  เป็นเอกลักษณ์สำหรับ  $*$  และสำหรับแต่ละ  $p, q \in G$  จะมี  $x, y \in G$  เพียงชุดเดียวเท่านั้น ซึ่ง  $p*x = q$  และ  $y*p = q$  (เพราะว่าสมาชิกแต่ละตัวของ  $G$  ปรากฏอยู่ในแต่ละแถวและแต่ละสดมภ์ของตารางที่ 1 เพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น) แต่เนื่องจาก

$$(a*a)*b \neq a*(a*b)$$

ดังนั้น  $*$  ไม่มีสมบัติการเปลี่ยนหมู่ เพราะฉะนั้นระบบคณิตศาสตร์  $\langle G, * \rangle$  จึงไม่เป็นกรุปยิ่งกว่านั้นเราจะสังเกตเห็นว่า  $c$  เป็นตัวผกผันทางซ้าย (left inverse) ของ  $a$  แต่  $c$  ไม่เป็นตัวผกผันทางขวา (right inverse) ของ  $a$  ทั้งนี้ก็เพราะว่า  $a * c \neq e$

จึงเกิดคำถามขึ้นว่า นอกจากจะดูการปรากฏของแต่ละสมาชิกของ  $G$  ในแต่ละแถวและในแต่ละสดมภ์ในตาราง ถ้าหากเราเพิ่มสมมุติฐานอีกว่าสมาชิกแต่ละตัวของ  $G$  มีตัวผกผัน (ทั้งสองด้าน) เทียบกับ  $*$  และ  $e$  แล้ว  $*$  จะมีสมบัติการเปลี่ยนหมู่หรือไม่ จากนิยามของตัวผกผันของสมาชิกของ  $G$  เราทราบว่า ถ้า  $a^{-1} \in G$  เป็นตัวผกผันของ  $a \in G$  แล้ว  $a^{-1} * a = e = a * a^{-1}$

ดังนั้น ตำแหน่งของเอกลักษณ์  $e$  ที่ปรากฏอยู่ในตารางต้องสมมาตรเทียบกับแนวเส้นทแยงมุมหลัก แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าเราจะเพิ่มเงื่อนไขที่ว่า ตำแหน่งของเอกลักษณ์ที่ปรากฏอยู่ในตารางสมมาตรกันเทียบกับแนวเส้นทแยงมุมหลัก ก็ไม่เพียงพอที่จะทำให้  $*$  มีสมบัติการเปลี่ยนหมู่ ดังตัวอย่าง 2 ข้างล่างนี้

ตัวอย่าง 2 ให้  $G = \{e, a, b, c, d\}$  และให้  $*$  เป็นการดำเนินการทวิภาคบน  $G$  นิยามตามตารางที่ 2 ดังนี้

$*$	$e$	$a$	$b$	$c$	$d$
$e$	$e$	$a$	$b$	$c$	$d$
$a$	$a$	$e$	$d$	$b$	$c$
$b$	$b$	$c$	$e$	$d$	$a$
$c$	$c$	$d$	$a$	$e$	$b$
$d$	$d$	$b$	$c$	$a$	$e$

ตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 เราจะเห็นได้ว่า ตำแหน่งของเอกลักษณ์  $e$  ปรากฏอยู่ในแนวเส้นทแยงมุมหลัก นั่นแสดงว่าสมาชิกแต่ละตัวของ  $G$  เป็นตัวผกผันของตัวเอง แต่เป็นที่น่าเสียดายว่า  $*$  ไม่มีสมบัติการเปลี่ยนหมู่ ทั้งนี้เนื่องจาก

$$(d * d) * c \neq d * (d * c)$$

หมายเหตุ จากตัวอย่าง 2 นี้เอง เราจะเห็นได้ว่าการที่  $*$  จะมีสมบัติการเปลี่ยนหมู่หรือไม่ นั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ การที่ ระบบคณิตศาสตร์  $\langle G, * \rangle$  มีเอกลักษณ์  $e$  และ สมาชิกแต่ละตัวของ  $G$  มีตัวผกผัน และ ระบบสมการ  $a * x = b$  และ  $y * a = b$  มีคำตอบใน  $G$  สำหรับ  $a, b \in G$  ทุกตัว แต่อย่างใด

แต่ถ้าหากว่า ตารางเคย์เลย์ (Cayley table) สำหรับการดำเนินการทวิภาค  $*$  มีสมบัติเชิงสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular property) ตามนิยามข้างล่างนี้แล้ว  $*$  จะมีสมบัติการเปลี่ยนหมู่

บทนิยาม ให้  $G$  เป็นเซตจำกัดและให้  $*$  เป็นการดำเนินการทวิภาคบน  $G$  โดยที่มี  $e \in G$  เป็นสมาชิกเอกลักษณ์ เราจะกล่าวว่าตารางเคย์เลย์สำหรับ  $*$  มีสมบัติเชิงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ก็ต่อเมื่อ สำหรับแต่ละตำแหน่งของ  $e$  ที่ปรากฏอยู่ในตาราง ถ้า  $r$  อยู่ในสดมภ์เดียวกันกับ  $e$  และ  $s$  อยู่ในแถวเดียวกันกับ  $e$  (ตัวเดียวกัน) แล้ว  $r * s$  เป็นจุดยอดจุดหนึ่งของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มี  $r, e$  และ  $s$  เป็นจุดยอดอยู่ก่อนแล้ว ดังเช่นในตารางที่ 3

	$*$	$u$	$v$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$w$	$\dots$	$r$	$\dots$ $r*s$ $\dots$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x$	$\dots$	$e$	$\dots$ $s$ $\dots$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

ตารางที่ 3

**ทฤษฎีบท 2 (การตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนหมู่)** ให้  $*$  เป็นการดำเนินการทวิภาคบนเซตจำกัด  $G$  และให้  $e$  เป็นสมาชิกเอกลักษณ์ของ  $G$  สมมติว่า  $*$  ถูกกำหนดโดยตารางเคย์เลย์โดยที่ สมาชิกแต่ละตัวของ  $G$  ปรากฏในแต่ละแถวและแต่ละสดมภ์ของตารางเคย์เลย์ เราได้ว่า ข้อความต่อไปนี้สมมูลกัน

- (i) ตารางเคย์เลย์ของ  $*$  มีสมบัติเชิงสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- (ii)  $*$  มีสมบัติการเปลี่ยนหมู่
- (iii) ระบบคณิตศาสตร์  $\langle G, * \rangle$  เป็นกรุป

**บทพิสูจน์ ((i)  $\Rightarrow$  (ii))** สมมติว่าตารางเคย์เลย์ของ  $*$  มีสมบัติเชิงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้  $r, s, k \in G$  เราจะต้องแสดงว่า

$$(r*s)*k=r*(s*k) \tag{1}$$

ถ้า  $r = e$  หรือ  $s = e$  หรือ  $k = e$  แล้วเห็นได้ชัดว่าสมการ (1) เป็นจริง สมมติว่า  $r, s$  และ  $k$  ต่างก็ไม่เท่ากับ  $e$  โดยสมบัติของตารางเคย์เลย์ของ  $*$  เราทราบว่าในสดมภ์หนึ่ง จะมี  $e$  และ  $r$  ปรากฏอยู่ และมี  $s$  ปรากฏอยู่ในแถวเดียวกันกับ  $e$  โดยสมบัติเชิงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเราได้ว่า  $r, e, s$  และ  $r*s$  เป็นจุดยอดของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ารูปหนึ่ง

	$*$	$a$	$b$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$u$	$\dots$	$r$	$\dots$ $r*s (=e)$ $\dots$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$v$	$\dots$	$e$	$\dots$ $s$ $\dots$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

ตารางที่ 4

**กรณีที่ 1:**  $r*s = e$  (ตารางที่ 4) โดยสมบัติเชิงสี่เหลี่ยมผืนผ้า เราได้ว่า  $s*r = e$  ถ้า  $k = r$  แล้ว  $s*k = e$  ทำให้ได้ว่า  $(r*s)*k = k = r = r*e = r*(s*k)$  สมมติว่า  $k \neq r$  มี  $k$  ปรากฏอยู่ในแถวเดียวกันกับแถวที่มี  $r$  และ  $r*s$  ปรากฏอยู่ ดังเช่นตารางที่ 5 ดังนั้น

$$v*c = s*k$$

*	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
		⋮	⋮
<i>u</i>	⋯ <i>r</i> ⋯	⋯ $r*s (= e)$ ⋯	⋯ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><i>k</i></span> ⋯
		⋮	⋮
<i>v</i>	⋯ <i>e</i> ⋯	⋯ <i>s</i> ⋯	⋯ $s*k$ ⋯
		⋮	⋮

ตารางที่ 5

*	<i>a</i>	<i>b</i>
	⋮	⋮
<i>u</i>	⋯ <i>r</i> ⋯	⋯ $r*s$ ⋯
	⋮	⋮
<i>v</i>	⋯ <i>e</i> ⋯	⋯ <i>s</i> ⋯
	⋮	⋮
<i>w</i>	⋯ <i>k</i> ⋯	⋯ <i>e</i> ⋯
	⋮	⋮

ตารางที่ 6

*	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
	⋮	⋮	⋮
<i>u</i>	⋯ <i>r</i> ⋯	⋯ $r*s$ ⋯	⋯ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>u*c</math></span> ⋯
	⋮	⋮	⋮
<i>v</i>	⋯ <i>e</i> ⋯	⋯ <i>s</i> ⋯	⋯ $s*k$ ⋯
	⋮	⋮	⋮
<i>w</i>	⋯ ⋮ ⋯	⋯ <i>e</i> ⋯	⋯ <i>k</i> ⋯
	⋮	⋮	⋮

ตารางที่ 7

และ

$$r*(s*k) = k$$

เนื่องจาก  $r*s = e$  ดังนั้น

$$(r*s)*k = e*k = k$$

เพราะฉะนั้น

$$(r*s)*k = r*(s*k)$$

กรณีที่ 2:  $r*s \neq e$  ในหลักที่มี *s*

และ  $r*s$  ปรากฏอยู่ จะต้องมี *e* ปรากฏอยู่ด้วย ในทำนองเดียวกัน แถวที่มี *e* ตัวหลังนี้ปรากฏ จะต้องมี *k* ปรากฏอยู่ ถ้า  $w*a = k$  (ดูตารางที่ 6 ประกอบ) แล้ว  $(r*s)*k = r$  เนื่องจาก  $s*k = e$  ดังนั้น  $r*(s*k) = r*e = r$  เพราะฉะนั้น

$$(r*s)*k = r*(s*k)$$

สมมติว่า  $w*a \neq k$  จากตารางที่ 7 เราได้ว่า

$$v*c = s*k$$

เพราะฉะนั้นในตำแหน่งของ  $u*c$  ในตารางที่ 7 คือ

$$(r*s)*k = u*c = r*(s*k)$$

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ท้ายที่สุดเราได้ว่า

$$(r*s)*k = r*(s*k)$$

ตามต้องการ เพราะฉะนั้น \* มีสมบัติการเปลี่ยนหมู่

((ii)  $\Rightarrow$  (iii)) สมมติว่า \* มีสมบัติการเปลี่ยนหมู่ เนื่องจากสมาชิกแต่ละตัวของ *G* ปรากฏใน แต่ละแถวและแต่ละสดมภ์ของตารางเคย์เลย์ ดังนั้น สำหรับแต่ละ  $a, b \in G$  จะมี  $x, y \in G$  ซึ่ง  $a*x = b$  และ  $y*a = b$  โดยทฤษฎีบท 1 เราสรุปได้ว่า  $\langle G, * \rangle$  เป็นกรุป

((iii)  $\Rightarrow$  (i)) สมมติว่า  $\langle G, * \rangle$  เป็นกรุป ให้  $e, r, s$  ปรากฏในตารางเคย์เลย์โดยที่  $r \neq e, s \neq e, r$  อยู่ในสดมภ์เดียวกันกับ *e* และ *s* อยู่ในแถวเดียวกันกับ *e* (ดังเช่นในตารางที่ 8) เนื่องจาก  $b*c = e$  ดังนั้น  $c = b^{-1}$  เพราะฉะนั้น  $r = a*c = a*b^{-1}$  เราจึงสรุปได้ว่า

*		$c$		$d$	
		$\vdots$		$\vdots$	
$a$	$\cdots$	$r$	$\cdots$	$a*d$	$\cdots$
		$\vdots$		$\vdots$	
$b$	$\cdots$	$e$	$\cdots$	$s$	$\cdots$
		$\vdots$		$\vdots$	

ตารางที่ 8

$$a*d = (a*b^{-1})* (b*d) = r*s$$

นั่นแสดงว่า ตารางเคย์เลย์ของ  $*$  มีสมบัติเชิงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตามต้องการ

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงบทความนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

### บรรณานุกรม

Fraleigh, J. B. (1994). A First Course in Abstract Algebra. (5th ed.). Reading : Addison-Wesley.

\*\*\*\*\*

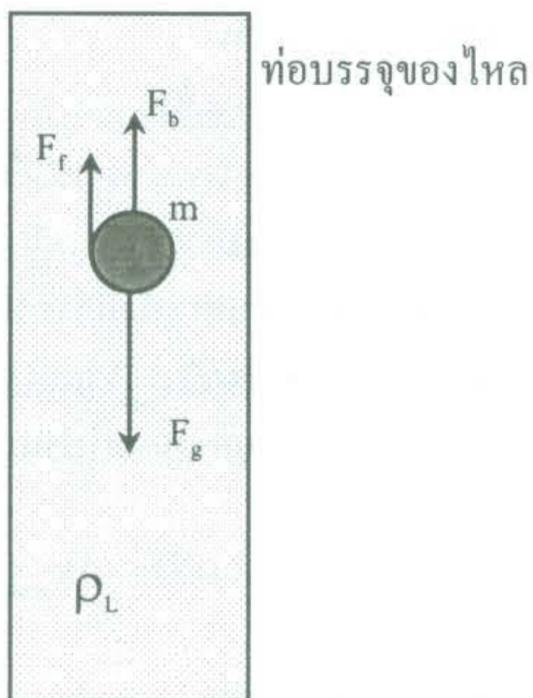
## การศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหล โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข

อนุสรณ์ ศรีธีระวิโรจน์<sup>1</sup>

### บทนำ

การเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลที่มีความหนืด (Viscosity) จะต้องคิดทั้งน้ำหนักของวัตถุ (Weight) แรงเสียดทานในของไหล (Fluid Resistance) และแรงลอยตัว (Buoyant Force) ด้วย โดยแรงเสียดทานในของไหลจะขึ้นอยู่กับความเร็วของวัตถุ ทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุไม่คงที่ จึงมีผลต่อความเร่งของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การใช้สมการการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงที่มีค่าความเร่งคงที่แก้ปัญหานี้ไม่ได้ หรือการหาคำตอบโดยใช้สมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Equation) จะได้ค่าความเร็วที่เวลาต่างๆ แต่ไม่สามารถหาคำแหน่งที่วัตถุเริ่มมีความเร็วคงที่ (Terminal Velocity) ได้ ดังนั้นการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุจากการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Modeling) โดยใช้วิธีมิดพอยท์ (Midpoint Method) จะทำให้ทราบตำแหน่งและเวลาที่วัตถุเริ่มมีความเร็วคงที่ได้

### ทฤษฎี



รูปที่ 1 แสดงแรงที่กระทำต่อวัตถุทรงกลม

จากรูปที่ 1 เมื่อวัตถุทรงกลมมวล  $m$  รัศมี  $r$  เคลื่อนที่ในของไหล โดยเริ่มตกจากหยุดนิ่ง ( $u=0$ ) แล้วจะมีความเร็ว ( $v$ ) เพิ่มขึ้น เกิดแรงเสียดทาน ( $F_r$ ) ที่แปรผันโดยตรงกับความเร็ว ( $v$ ) ตาม กฎของสโตก (Stokes's Law)

$$F_r = K\eta v \quad (1)$$

เมื่อ  $\eta$  คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดของไหล ( $N.s.m^{-2}$ )

$r$  คือ รัศมีของวัตถุทรงกลม ( $m$ )

$v$  คือ ความเร็วของวัตถุ

$K$  คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุ

สำหรับวัตถุทรงกลมมี  $K = 6\pi r$

และมีแรงลอยตัว ( $F_b$ ) กระทำต่อวัตถุตามสมการ

$$F_b = \rho_L g V \quad (2)$$

เมื่อ  $\rho_L$  คือ ความหนาแน่นของของไหล ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  คือ ค่าความโน้มถ่วงของโลก ( $\text{m/s}^2$ )

$V$  คือ ปริมาตรของของไหลที่ถูกแทนที่

( $\text{m}^3$ ) ซึ่งเท่ากับปริมาตรของวัตถุทรงกลมคือ  $\frac{4}{3}\pi r^3$

และมีน้ำหนักของวัตถุทรงกลม ( $F_g$ ) ตามสมการ

$$F_g = mg$$

$$F_g = \rho_m gV \quad (3)$$

เมื่อ  $\rho_m$  คือ ความหนาแน่นของวัตถุ ( $\text{kg/m}^3$ )

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\sum F = ma \quad (4)$$

$$F_g - F_r - F_b = ma \quad (5)$$

$$a = (F_g - F_r - F_b)/m \quad (6)$$

เมื่อวัตถุมีความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งทำให้วัตถุมีความเร่งเป็นศูนย์ในสมการ(6) วัตถุจะมีความเร็วคงที่ เรียกความเร็วนี้ว่า ความเร็วปลาย (Terminal Velocity) เขียนสัญลักษณ์แทนด้วย  $v_t$  เมื่อแทนสมการ (1), (2) และ (3) ลงสมการ (5) ที่มี  $a=0$  แล้ว จะได้

$$v_t = \frac{2}{9} \frac{gr^2}{\eta} (\rho_m - \rho_L) \quad (7)$$

สมการ (7) ทำให้เราทราบค่าความเร็วปลายว่ามีค่าเป็นเท่าไร แต่ไม่ทราบที่เวลาและตำแหน่งต่างๆจะมีค่าความเร็วเท่าไร จึงหาคำตอบโดยใช้สมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Equation)

เมื่อแทนสมการ (1), (2) และ (3) ลงสมการ (6) จะได้

$$a = \frac{dv}{dt} = (\rho_m gV - K\eta v - \rho_L gV)/m$$

$$v = \frac{gV}{K\eta} (\rho_L - \rho_m) \left( 1 - e^{-\frac{K\eta t}{m}} \right) \quad (8)$$

สมการนี้ เราทราบค่าความเร็วที่เวลาใดๆ แต่ไม่ทราบว่า วัตถุเริ่มมีความเร็วคงที่ที่ตำแหน่งใด และต้องใช้เวลาานเท่าไร จึงต้องสร้าง แบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Modeling) เพื่อติดตามการ

เคลื่อนที่ของวัตถุในช่วงเวลาสั้นๆว่าที่ตำแหน่งต่างๆ วัตถุมีความเร็วเท่าไร โดยใช้ วิธีมิดพอยท์ (Midpoint Method) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้หาคำตอบสมการดิฟเฟอเรนเชียลโดยการแบ่งช่วงเวลาให้สั้นๆ ( $\Delta t$ ) เพื่อคำนวณความเร็วถัดไป โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) วัตถุเริ่มต้นจากหยุดนิ่ง จะมีความเร็วเริ่มต้นเป็นศูนย์ และระยะทางเริ่มต้นเป็นศูนย์

$$\text{รอบที่ } i = 0$$

$$\text{เวลา } t = 0$$

$$v = 0$$

$$y = 0$$

แรงลอยตัว ( $F_b$ ) ในสมการ (2)

$$F_b = \rho_L gV$$

น้ำหนักของวัตถุในสมการ(3)

$$F_g = \rho_m gV$$

2) คำนวณ

แรงเสียดทานในสมการ(1)

$$F_r = 6\pi\eta r v$$

ความเร่งในสมการ (6)

$$a_i = (F_g - F_r - F_b)/m$$

พิจารณาช่วงเวลาถัดไป  $\Delta t$

$$v_i = v_{i-1} + a_i \Delta t \quad (9)$$

$$y_i = y_{i-1} + [(v_i + v_{i-1})/2] \Delta t \quad (10)$$

$$t = t + \Delta t \quad (11)$$

3) ทำซ้ำข้อ 2 จนกระทั่งมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วน้อยกว่าที่กำหนด ( $\Delta v_{\min}$ ) แสดงว่า มีความเร็วปลายแล้ว โดยเงื่อนไขการหยุดโปรแกรมคือ

$$\frac{V_{\text{theory}} - V_i}{V_{\text{theory}}} \times 100 \leq \Delta v_{\min} \quad (12)$$

ค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยสุด

$$\Delta v_{\min} = 0.05 \%$$

4) แบ่งเวลาให้เล็กลง

$$\Delta t = \Delta t_{\text{start}} / \text{Loop} \quad (13)$$

เมื่อ  $\Delta t_{start}$  คือ เวลาเริ่มต้นของโปรแกรม กำหนดให้เป็น  $1.0 \times 10^{-3}$  s

Loop คือ รอบที่ 1, 2, 3, ...

5) ทำซ้ำข้อ 1 จนกระทั่งพื้นที่ใต้กราฟของรอบปัจจุบันและรอบที่แล้วต่างกันน้อยกว่าค่าที่กำหนด ( $\Delta area_{min}$ ) ตามสมการ

$$\Delta area = \frac{area_n - area_{n-1}}{area_n} \times 100 \quad (14)$$

$$\Delta area \leq \Delta area_{min} \quad (15)$$

ในแบบจำลองนี้ใช้

$$\Delta area_{min} = 0.05 \% \quad (16)$$

เมื่อพื้นที่ใต้กราฟคำนวณจาก

$$area = \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \right) \Delta t \right] \quad (17)$$

จะศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมเคลื่อนที่ในกลีเซอริน (Glycerine) ซึ่งมีค่าเริ่มต้นต่างๆ ดังนี้

ความหนาแน่นของวัตถุทรงกลม

$$\rho_m = 7850.0 \text{ kg/m}^3$$

รัศมีของวัตถุทรงกลม

$$r = 1.58 \times 10^{-3} \text{ m}$$

ความหนาแน่นของกลีเซอริน

$$\rho_L = 1236.0 \text{ kg/m}^3$$

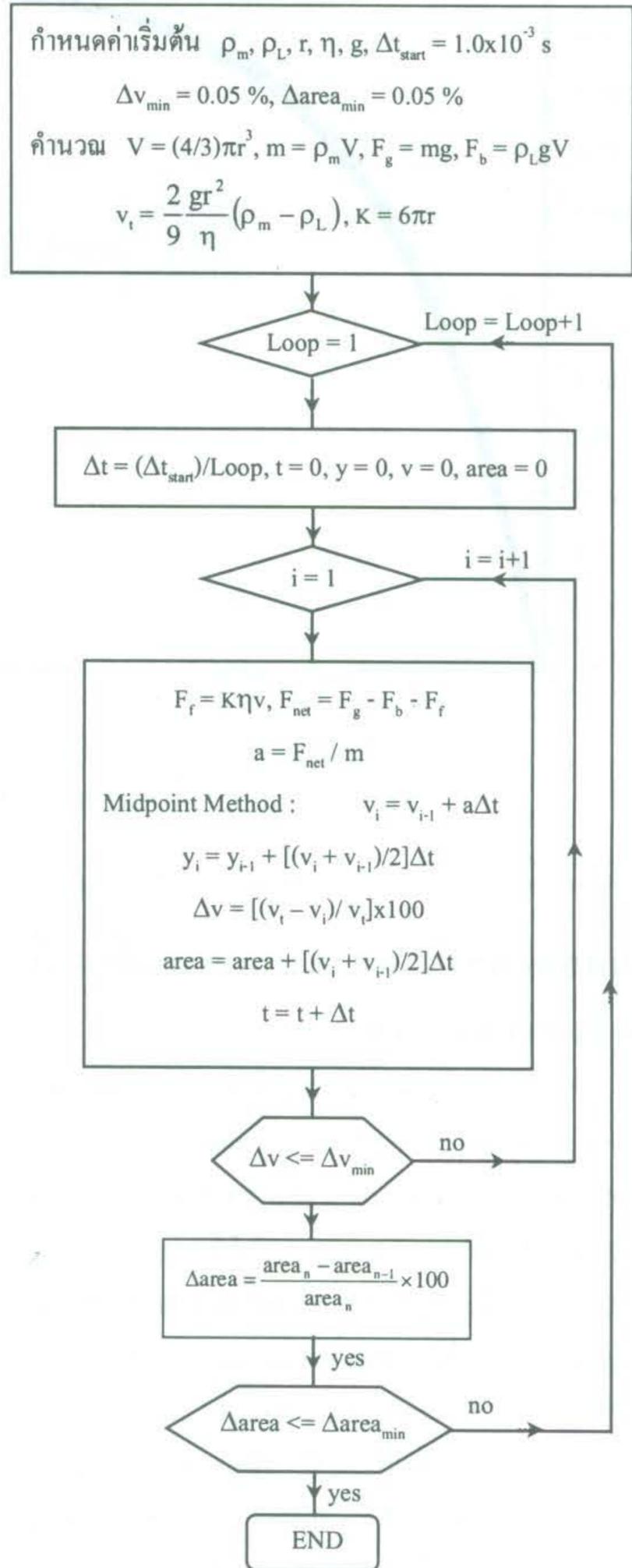
สัมประสิทธิ์ความหนืดของกลีเซอริน

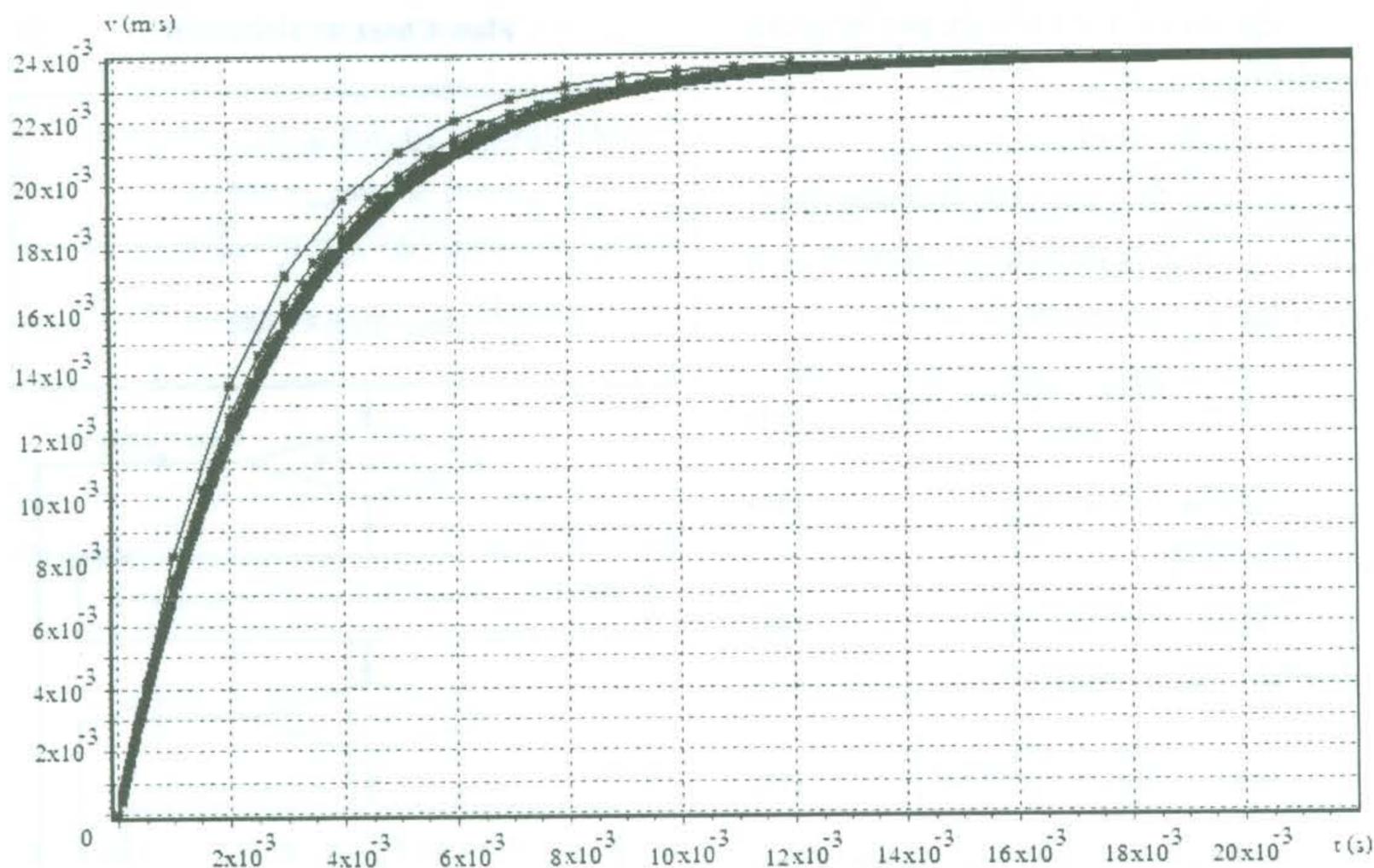
$$\eta = 1.5 \text{ N.s.m}^{-2}$$

ค่าความโน้มถ่วงของโลก

$$g = 9.782 \text{ m/s}^2$$

Flow Chart ของโปรแกรม





รูปที่ 2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็ว(v)และเวลา(t)ในแต่ละรอบ

### ผลของการจำลองแบบการเคลื่อนที่ และการวิเคราะห์

เมื่อสร้างแบบจำลองเพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้โปรแกรม Delphi 7 แล้ว ได้ผลดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป ความเร็วของวัตถุจะเริ่มคงที่และเมื่อแบ่งเวลาให้เล็กลง การเปลี่ยนแปลงความเร็วจะลู่เข้าสู่ค่าความเร็วปลายเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันที่ตำแหน่ง (y) และเวลา (t) ที่วัตถุเริ่มมีความเร็วคงที่ในแต่ละรอบเท่านั้น

จากรูปที่ 3 โปรแกรมจะหยุดคำนวณในรอบที่ 20 ซึ่งมีค่า  $\Delta t = 5.00 \times 10^{-5}$  s ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ใต้กราฟของรอบที่ 20 เทียบกับรอบที่ 19 จะน้อยกว่า 0.05 % ตามเงื่อนไขในสมการ (14) นั่นคือ ในรอบที่ 20 วัตถุเริ่มมีความเร็วปลายเมื่อตำแหน่ง  $y = 4.546305 \times 10^{-4}$  m และเวลา  $t = 2.19000 \times 10^{-2}$  s

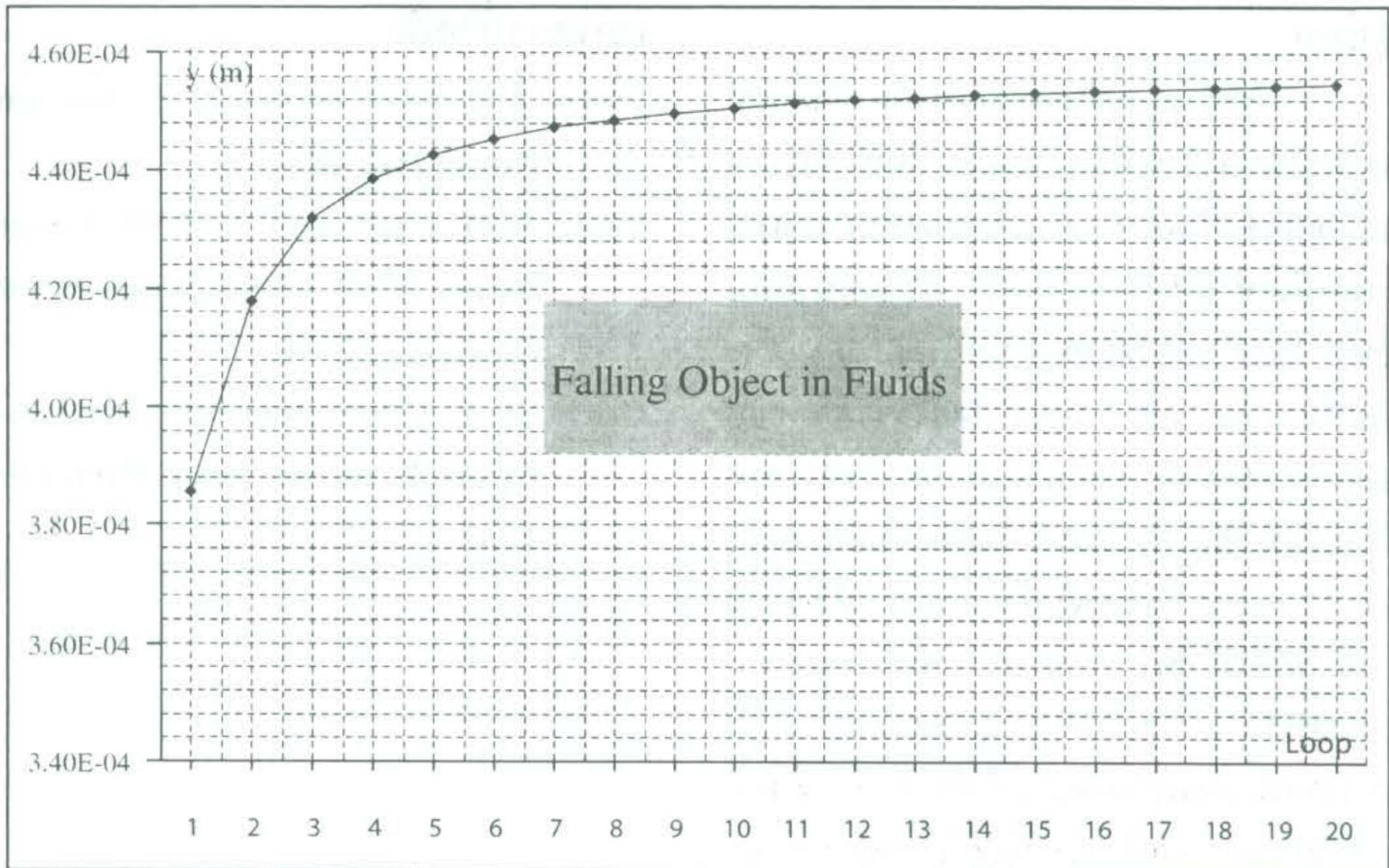
เมื่อเปลี่ยนขนาดของวัตถุให้มีรัศมีเป็น 2 เท่าเพื่อเปรียบเทียบกัน ปรากฏว่า วัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า(มวลมากกว่า) จะมีค่าความเร็วปลายมากกว่า ดังรูปที่ 4 และอยู่ที่ตำแหน่งลึกกว่า (y มากกว่า) จากทฤษฎีในสมการ (7) ได้ค่าความเร็วปลายเท่ากับ  $9.57111 \times 10^{-2}$  m/s และผลจากแบบจำลอง เมื่อวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าเริ่มมีความเร็วปลาย จะมีค่าต่างๆ ดังนี้

ค่าความเร็วปลาย  $v_t = 9.56632 \times 10^{-2}$  m/s

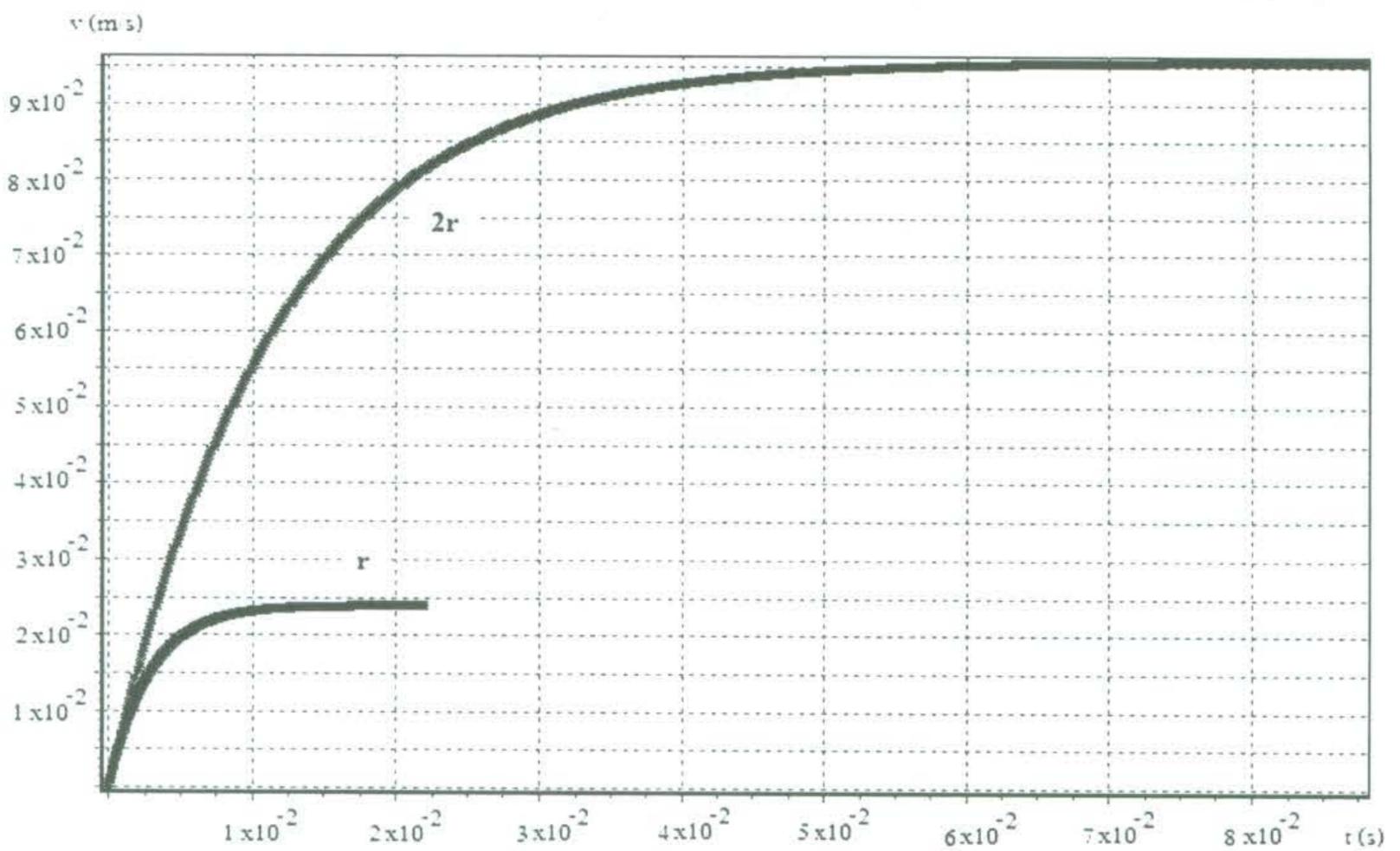
ตำแหน่ง  $y = 7.30576 \times 10^{-3}$  m

เวลา  $t = 8.79 \times 10^{-2}$  s

นั่นคือ วัตถุที่มีมวลมากกว่าจะเริ่มมีความเร็วปลายที่ตำแหน่งที่ลึกกว่าและมีค่าความเร็วปลายมากกว่าด้วย



รูปที่ 3 กราฟแสดงตำแหน่งที่วัตถุเริ่มมีความเร็วคงที่ในแต่ละรอบ



รูปที่ 4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุที่มีขนาดต่างกัน

## สรุปผล

การสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลที่มีความหนืด โดยศึกษาของไหลคือกลีเซอริน(Glycerine)ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดเท่ากับ  $1.5 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$  ความหนาแน่น  $1,236.0 \text{ kg}/\text{m}^3$  และวัตถุทรงกลมมีรัศมี  $1.58 \times 10^{-3} \text{ m}$  ความหนาแน่น  $7,850.0 \text{ kg}/\text{m}^3$  โดยใช้วิธีมิดพอยท์ (Midpoint Method) ปรากฏว่า จากเงื่อนไขการหยุดโปรแกรมที่  $\Delta v_{\min} = 0.05\%$  วัตถุจะเริ่มมีความเร็วปลาย (Terminal Velocity) เมื่อแบ่งเวลาให้สั้นๆ ในรอบที่ 20 ซึ่งมี  $\Delta t = 5.00 \times 10^{-5} \text{ s}$  ที่ตำแหน่ง  $y = 4.546305 \times 10^{-4} \text{ m}$  และเวลา  $t = 2.19000 \times 10^{-2} \text{ s}$  ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหล สำหรับวัตถุที่มีขนาดต่างๆ และของไหลชนิดอื่นๆ ในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ และวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ได้อีกด้วย

## เอกสารอ้างอิง

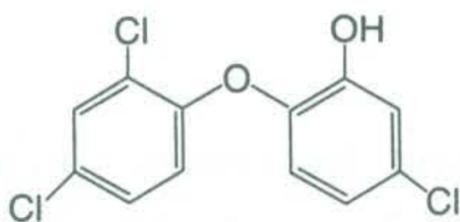
- Walker, J. S. (2004). Physics. 2<sup>nd</sup> ed. New Jersey. Prentice Hall. 489-491.
- Young, H. D., Freedman, R.A. (2000). University Physics. 10<sup>th</sup> ed. Addison-Wesley Publishing Company. 427-448.
- Garcia, A. L. (2000). Numerical Methods for Physics. 2<sup>nd</sup> ed. New Jersey. Prentice Hall. 41-42.



## อันตรายที่อาจมากับไตรโคลซาน

วิวัฒน์ หาญวงวงศ์

ไตรโคลซาน (Triclosan) เป็นอนุพันธ์ไคฟีนิลอีเธอร์ มีชื่อทางเคมีว่า 2, 4, 4'-ไตรคลอโร-2'-ไฮดรอกซีไคฟีนิลอีเธอร์ หรือ 5-คลอโร-2-(2, 4-ไดคลอโรฟีนิล) ฟีนอล และมีสูตร โครงสร้างดังนี้



Triclosan

ไตรโคลซานถูกผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Ciba-Geigy ในสหรัฐอเมริกา เมื่อกว่า 35 ปีมาแล้ว ภายใต้ชื่อทางการค้า Irgasan DP300 และในปัจจุบันมีการผลิตสารนี้ทั้งในสวีตเซอร์แลนด์ เนเธอร์แลนด์ จีน อินเดีย เกาหลีใต้ ฯลฯ

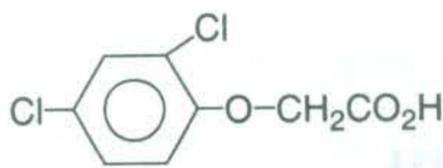
จากคุณสมบัติที่เป็นสารต้านแบคทีเรียหรือสารต้านจุลชีพซึ่งมีฤทธิ์ครอบคลุมกว้าง ทำให้มีการนำสารนี้มาใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์รักษาสุขอนามัยส่วนตัว ดังเช่น ยาสีฟัน ผลิตภัณฑ์ดับกลิ่นกาย-กลิ่นปาก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเสื้อผ้า น้ำยาล้างจาน เครื่องสำอาง ครีมฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ โลชั่น และสบู่ล้างมือ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเติมแต่ง (additive) ในพลาสติก พอลิเมอร์ และเส้นใยเพื่อให้เครื่องใช้ที่ผลิตขึ้นดังเช่น เครื่องใช้ในครัว ของเล่น

เด็ก ผ้าที่ใช้ทำเครื่องนอน ชุดนักเรียน และถุงเท้า มีคุณสมบัติต้านแบคทีเรีย

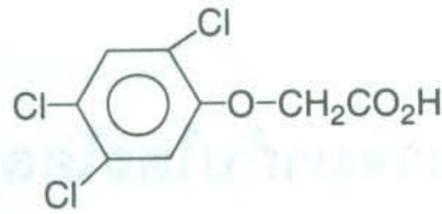
ไตรโคลซานสามารถคงอยู่บนผิวหนังหรือพื้นผิวได้หลังจากทำความสะอาด ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีไตรโคลซานเป็นส่วนผสมสามารถมีฤทธิ์ต่อต้านแบคทีเรียได้อย่างยาวนาน และเนื่องจากการฆ่าแบคทีเรียเป็นผลมาจากการรบกวนเอนไซม์ enoyl-acyl carrier-protein reductase หรือ ENR ที่จำเป็นสำหรับการสร้างกรดไขมันของแบคทีเรีย ซึ่งมนุษย์เราไม่มีเอนไซม์นี้ ดังนั้นไตรโคลซานจึงไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

มีรายงานว่าไตรโคลซานทำปฏิกิริยากับคลอรีนในน้ำประปาให้คลอโรฟอร์ม ซึ่งเป็นสารที่ Environmental Protection Agency (EPA) ของสหรัฐอเมริกาจัดให้เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ อย่างไรก็ตามคลอโรฟอร์มที่เกิดจากการแปร่งพื้นหรือล้างมือนานกว่า 2 ชั่วโมงมีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์อันตราย 80 ppb (parts per billion) ที่กำหนดโดย EPA ของสหรัฐอเมริกา

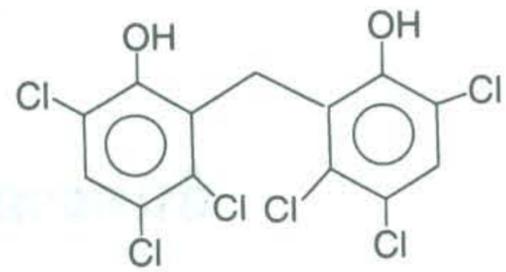
ไตรโคลซานมีโครงสร้างใกล้เคียงกับพอลิคลอโรไคฟีนิลอีเธอร์และบิส-ฟีนิลคลอโรฟีนอลหลายชนิด ซึ่งในการสังเคราะห์สารประกอบเหล่านี้พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะเกิดผลพลอยได้ (by-product) ที่ไม่พึงประสงค์ในปริมาณเล็กน้อย



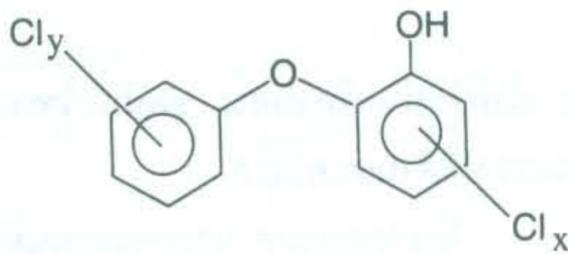
2, 4 - D



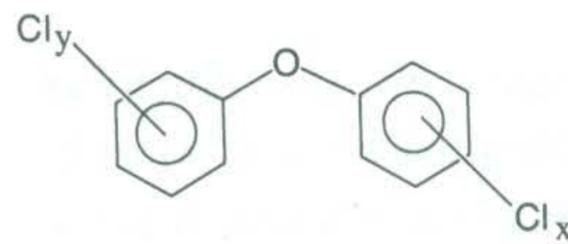
2, 4, 5 - T



Hexachlorophene



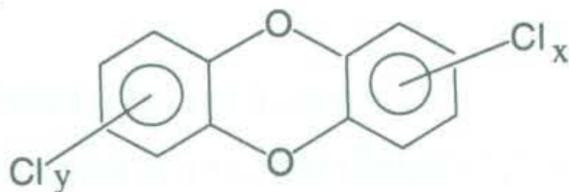
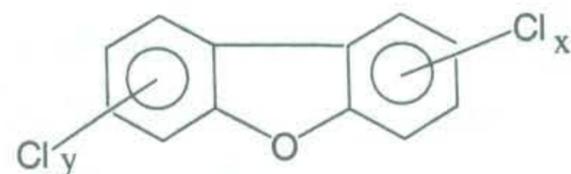
Polychlorophenoxyphenol



Polychlorodiphenylether

โดยมีรายงานว่าพบพอลิคลอโรไดออกซินและพอลิคลอโรฟิวแรน ปนเปื้อนอยู่ในสารฆ่าวัชพืช (herbicides) จำพวกฟีนอกซี ดังเช่น 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซีแอซีติก (หรือ 2,4-D) และกรด 2,4,5-ไตรคลอโรฟีนอกซีแอซีติก (หรือ 2,4,5-T) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ Agent Orange และพบในเฮกซาคลอโรฟีนที่เป็นสารฆ่าแบคทีเรีย (bactericide) ตลอดจนในพอลิคลอโรฟีนอกซีฟีนอลและพอลิคลอโรไดฟีนีลอีเธอร์บางชนิด

ดังนั้น ในการสังเคราะห์ไตรโคลซานซึ่งก็มีโครงสร้างเป็นพอลิคลอโรฟีนอกซีฟีนอล จึงเป็นไปได้ว่า อาจมีพอลิคลอโรไดเบนโซ-พารา-ไดออกซินและพอลิคลอโรไดเบนโซฟิวแรนหลายชนิดปนเปื้อนอยู่ โดยปริมาณที่อาจมีปนเปื้อนอยู่ย่อมขึ้นกับความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้นที่ใช้สังเคราะห์ไตรโคลซาน ตลอดจนสถานะของปฏิกิริยาดังเช่น อุณหภูมิ และความดัน

Polychlorodibenzo-*p*-dioxins

Polychlorodibenzofurans

พอลิคลอโรไดเบนโซ-พารา-ไดออกซิน และพอลิคลอโรไดเบนโซฟิวแรนจัดเป็นสารประกอบกลุ่มไดออกซินซึ่งมีพิษร้ายแรงมาก International Agency for Research on Cancer (IARC) ซึ่งเป็นหน่วยงานขององค์การอนามัยโลกจัดลำดับให้ไดออกซินเป็นสารก่อมะเร็งอันดับหนึ่ง และการศึกษาวิจัยยังพบว่าไดออกซินมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน ระบบประสาท ระบบต่อมไร้ท่อ และระบบสืบพันธุ์

ความเป็นพิษของไดเบนโซ-พารา-ไดออกซินและไดเบนโซฟิวแรน แปรตามตำแหน่งและจำนวนของคลอรีนอะตอมที่ต่ออยู่กับวงแหวนอะโรแมติก โดยทั่วไปความเป็นพิษเพิ่มขึ้นตามจำนวนคลอรีนอะตอมที่มีอยู่มากกว่า ไดออกซินและไดเบนโซฟิวแรนที่มีคลอรีนอะตอมอยู่ที่ตำแหน่ง 2, 3 และ 7 จะเป็นพิษมากเป็นพิเศษ เตตระคลอโรไดเบนโซ-พารา-ไดออกซิน และเตตระคลอโรไดเบนโซฟิวแรนที่มีคลอรีนอะตอมอยู่ที่ตำแหน่ง 2, 3, 7 และ 8 จัดเป็นสารที่เป็นพิษมากที่สุด และแสดงความเป็นพิษแม้ระดับ ppt (parts per trillion)

จากความเป็นไปได้ที่ไตรโคลซานอาจมีพอลิคลอโรไดเบนโซ-พารา-ไดออกซินและพอลิคลอโรไดเบนโซฟิวแรนเป็นสารปนเปื้อน และที่น่าวิตกมากขึ้นเมื่อมีห้องปฏิบัติการเพียงบางแห่งเท่านั้นที่สามารถวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนที่มีปริมาณน้อยพวกนี้ได้ ดังนั้นผู้บริโภคจึงยังคงมีความกังวลในการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของไตรโคลซาน

## บรรณานุกรม

- Menoutis, J, Parisi-Menoutis, AI. Polychlorinated Dioxins and Furans in your Toothpaste ? Triclosan and Its Impurities. [cited 2006 September 4]. Available from: URL: <http://www.mindfully.org/Pesticide/toothpaste.htm>.
- Ciba. Triclosan Information. [cited 2006 September 4]. Available from: URL: [http://cibasc.com/index/ind-index/ind-per\\_car/ind-pc-ah/ind-pc-triclosan.htm](http://cibasc.com/index/ind-index/ind-per_car/ind-pc-ah/ind-pc-triclosan.htm).
- Wikipedia, The Free Encyclopedia. Triclosan. [cited 2006 September 4]. Available from: URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Triclosan>.
- Senese, F. What are triclocarban and triclosan (ingredients in some antiseptic soaps)? [cited 2006 September 4]. Available from: URL: <http://antoine.frostbury.edu/chem/senese/101/consumer/fag/triclosan.shtml>.
- Triclosan Briefing. [cited 2006 September 4]. Available from: URL: <http://www.oztoxics.org/ntn/triclosan%20briefing.pdf>.
- Kepner, J. Triclosan Hazards.....Continued. [cited 2006 September 4]. Available from: URL: <http://www.beyondpesticides.org/infoservices/pesticidesandyou/Winter%2004-05/triclosan%20update.pdf>.
- Dioxin Homepage. [cited 2006 December 29]. Available from: URL: <http://www.ejnet.org/dioxin>.



**การจำแนกสมาชิกนิรพล สมาชิกที่หาตัวผกผันได้  
และสมาชิกปกติ ในวง  $M_2(\mathbb{Z})_4$   
Characterization of Idempotent, Invertible and  
Regular Elements in Ring  $M_2(\mathbb{Z})_4$**

สมจิต โชติชัยสถิตย์ และ ณีฐฐุเดช ทองใบ'

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัตินิรพล การหาตัวผกผันได้ และปกติ ของสมาชิกในวง  $M_2(\mathbb{Z})_4$  และใช้ตัวกำหนดในการจำแนกสมาชิก เราพบว่า สมาชิกในวง ที่ตัวกำหนดเท่ากับ 1 หรือ เท่ากับ 3 เป็นสมาชิกที่หาตัวผกผันได้ และเป็นสมาชิกปกติ ส่วนสมาชิกในวง  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่ตัวกำหนดเท่ากับ 2 ไม่เป็นสมาชิกนิรพล เป็นสมาชิกที่หาตัวผกผันไม่ได้ และไม่ป็นสมาชิกปกติ และกรณีที่ สมาชิกในวง  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่ตัวกำหนดเท่ากับ 0 เราประยุกต์ทฤษฎีบทต่อไปนี้ ในการจำแนก สมาชิกนิรพล และ สมาชิกปกติ

ทฤษฎีบท ให้  $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$  เป็นสมาชิกใด ๆ ของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  จะได้ว่า

1.  $A$  เป็นสมาชิกนิรพล ก็ต่อเมื่อ  $A$  สอดคล้องเงื่อนไขต่อไปนี้
  1.  $a = d = 0$  และ  $b = c = 0$  ( $A$  เป็นเมทริกซ์ศูนย์)
  2.  $a = d = 1$  และ  $b = c = 0$  ( $A$  เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์)
  3.  $b \cdot c = 0$  และ  $a, d \in \{0, 1\}$ ,  $a \neq d$
  4.  $b \cdot c = 2$  และ  $a, d \in \{2, 3\}$ ,  $a \neq d$
2. ให้  $A$  ไม่เป็นสมาชิกศูนย์ และ  $\det A = 0$  จะได้ว่า  
 $A$  ไม่เป็นสมาชิกปกติ ก็ต่อเมื่อ  $\{a, b, c, d\} \subseteq \{0, 2\}$

**Abstract**

In this research, we study properties of idempotency, invertibility and regularity of elements of ring  $M_2(\mathbb{Z})_4$  by using determinant for separating the elements. We found that elements of ring  $M_2(\mathbb{Z})_4$  having determinant equal to 1 or 3 are invertible elements and are regular elements, elements of ring  $M_2(\mathbb{Z})_4$  having determinant equal to 2 are not idempotent element, are not invertible element and are not regular elements. In the case that elements of ring has determinant equal to 0 we apply the following theorem for separating the elements.

**Theorem** Let  $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$  be any element of  $M_2(\mathbb{Z})_4$ . Then

1.  $A$  is an idempotent element if and only if  $A$  satisfies one of the following conditions
  1.  $a = d = 0$  and  $b = c = 0$  ( $A$  is the zero element).
  2.  $a = d = 1$  and  $b = c = 0$  ( $A$  is the identity element).
  3.  $b \cdot c = 0$  and  $a \neq d$ .
  4.  $b \cdot c = 2$  and  $a \neq d$ .
2. Suppose  $A$  is a non-zero element and  $\det A = 0$ . Then  $A$  is not a regular element if and only if  $\{a, b, c, d\} \subseteq \{0, 2\}$ .

## 1. บทนำ

ให้  $R$  เป็นริงที่มีเอกลักษณ์ จะเรียก  $a \in R$  ว่าเป็นสมาชิกนิรพล (idempotent element) ถ้า  $a^2 = a$  จะเรียก  $a \in R$  ว่าเป็นสมาชิกที่หาตัวผกผันได้ (invertible element) ถ้ามี  $b \in R$  ที่ทำให้  $ab = 1 = ba$  จะเรียก  $a \in R$  ว่าเป็นสมาชิกปกติ (regular element) ถ้ามี  $s \in R$  ที่ทำให้  $a = asa$  และจะเรียกริง  $R$  ว่าเป็นริงปกติ (regular ring) ถ้าทุกสมาชิกของริง  $R$  เป็นสมาชิกปกติ

เราจะแทนเซตของเมทริกซ์จัตุรัสขนาด  $n$  ที่มีสมาชิกอยู่ในริง  $R$  ด้วย  $M_n(R)$  นั่นคือ

$$M_n(R) = \{[a_{ij}]_{n \times n} \mid a_{ij} \in R\}$$

ภายใต้การบวกและการคูณเมทริกซ์ จะได้ว่า  $M_n(R)$  เป็นริงที่มีเอกลักษณ์ ในกรณีที่  $R$  เป็นฟิลด์ (field) เราจะได้ว่า  $M_n(R)$  เป็นริงปกติ

ถ้า  $n$  เป็นจำนวนเต็มบวก จะใช้สัญลักษณ์  $\mathbb{Z}_n$  แทนเซตของจำนวนเต็มมอดุโล  $n$  จะได้ว่า  $\mathbb{Z}_p$  เป็นฟิลด์ (field) ก็ต่อเมื่อ  $p$  เป็นจำนวนเฉพาะ ดังนั้น ถ้า  $p$  เป็นจำนวนเฉพาะ แล้ว  $M_2(\mathbb{Z}_p)$  เป็นริงปกติ เนื่องจาก  $\mathbb{Z}_4$  ไม่เป็นฟิลด์ ดังนั้น  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ไม่เป็นริงปกติ งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาสมาชิกของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ว่าสมาชิกใดบ้างที่มีสมบัติเป็นสมาชิกปกติ สมบัตินิรพล และรวมไปถึงสมบัติการหาตัวผกผันได้

ข้อตกลง 1. เราจะแทนสมาชิกของ  $\mathbb{Z}_4$  ด้วย 0, 1, 2, 3

เราจะแทนตัวกำหนด (determinant) ของ  $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \in M_2(\mathbb{Z})_4$  ด้วย  $\det A = ad - bc$

## 2. สมาชิกนิรพลของ $M_2(\mathbb{Z})_4$

ในการศึกษา สมาชิกนิรพลของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  เราจะใช้สมบัติพื้นฐานของตัวกำหนดของเมทริกซ์ ซึ่งกล่าวว่า ถ้า  $A$  และ  $B$  เป็นเมทริกซ์ แล้ว  $\det(AB) = \det A \det B$  ช่วยในการพิสูจน์ดังนี้

ทฤษฎีบทประกอบ 1 : ให้  $A$  เป็นสมาชิกนิรพลของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  แล้ว  $\det A = 0$  หรือ  $\det A = 1$

พิสูจน์: ให้  $A$  เป็นสมาชิกนิรพลของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  นั่นคือ  $A \cdot A = A$  ดังนั้น  $(\det A)^2 = \det A$

จาก  $\det A \in \mathbb{Z}_4$  จะได้  $\det A = 0$  หรือ  $\det A = 1$  □

ทฤษฎีบท 2 : ให้  $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \in M_2(\mathbb{Z})_4$

$A$  เป็นสมาชิกนิรพล ก็ต่อเมื่อ  $A$  สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1.  $a = d = 0$  และ  $b = c = 0$  ( $A$  เป็นเมทริกซ์ศูนย์)
2.  $a = d = 1$  และ  $b = c = 0$  ( $A$  เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์)
3.  $b \cdot c = 0$  และ  $a, d \in \{0, 1\}$ ,  $a \neq d$
4.  $b \cdot c = 2$  และ  $a, d \in \{2, 3\}$ ,  $a \neq d$

พิสูจน์:

( $\Rightarrow$ ) ให้  $A$  เป็นสมาชิกนิรพล นั่นคือ  $A \cdot A = A$  ดังนั้น

$$\begin{bmatrix} aa + bc & ab + db \\ ac + dc & dd + bc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$$

เพราะฉะนั้นเราจะได้ระบบสมการต่อไปนี้

$$aa + bc = a \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$ab + bd = b \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$ac + cd = c \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$bc + dd = d \quad \dots\dots\dots(4)$$

จากสมการ (1) และ (4) จะได้ว่า

$$a - aa = bc = d - dd \quad \dots\dots\dots(5)$$

เนื่องจาก  $d \in \mathbb{Z}_4$  จะได้ว่า  $bc = d - dd \in \{0, 2\}$  ดังนั้นเราพิจารณา  $bc$  เป็น 2 กรณีต่อไปนี้

กรณีที่  $bc = 0$  จากสมการ (5) จะได้  $aa = a$  และ  $dd = d$  เพราะฉะนั้น  $a, d \in \{0, 1\}$

ทำให้ได้  $\det A = 0$  หรือ  $\det A = 1$  ดังนั้นเราจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณีย่อย คือ

ถ้า  $\det A = 0$  ในกรณีที่  $a = d$  จะได้  $a = d = 0$  และเมื่อแทนค่า  $a, d$  ลงในสมการ (2) และ (3)

จะได้ว่า  $b = c = 0$  ดังนั้น  $A$  สอดคล้องเงื่อนไขข้อที่ 1 ส่วนในกรณีที่  $a \neq d$  จะได้ว่า  $A$  สอดคล้องเงื่อนไขข้อที่ 3

ถ้า  $\det A = 1$  ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อ  $ad = 1$  เพราะฉะนั้น  $a = d = 1$  และเมื่อแทนค่า  $a, d$  ลงในสมการ

(2) และสมการ (3) จะได้ว่า  $b = c = 0$  ดังนั้น  $A$  สอดคล้องเงื่อนไขข้อที่ 2

กรณีที่  $bc=2$  จากสมการ (1) และ (4) จะได้ว่า  $aa+2=a$  และ  $2+dd=d$  จะได้ว่า  $a, d \in \{2,3\}$  ถ้า  $\det A=1$  จะได้  $ad=1+bc=3$  จะเห็นว่ากรณีนี้เป็นไปไม่ได้เพราะ  $a, d \in \{2,3\}$  ดังนั้น  $\det A=0$  ซึ่งจะได้ว่า  $ad=2$  และ  $a \neq d$  นั่นคือ  $A$  สอดคล้องเงื่อนไขข้อที่ 4

( $\Leftarrow$ ) ให้  $A$  สอดคล้องเงื่อนไขของทฤษฎีบท ในกรณีที่  $A$  สอดคล้องเงื่อนไขข้อที่ 1 หรือข้อที่ 2 จะเห็นได้โดยง่ายว่า  $A$  เป็นสมาชิกนिरพล ต่อไปเราจะพิจารณากรณีที่  $A$  สอดคล้องเงื่อนไขข้อที่ 3 หรือ ข้อที่ 4

กรณีที่  $A$  สอดคล้องเงื่อนไขข้อ ที่ 3 จะได้ว่า  $bc=0$  และ  $a, d \in \{0,1\}$ ,  $a \neq d$  ดังนั้น  $a^2=a$ ,  $d^2=d$  และ  $a+d=1$  ทำให้ได้

$$A \cdot A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} aa+bc & ab+bd \\ ac+dc & bc+dd \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a^2 & b(a+d) \\ c(a+d) & d^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = A$$

กรณีที่  $A$  สอดคล้องเงื่อนไขข้อ ที่ 4 นั่นคือ  $bc=2$  และ  $a, d \in \{2,3\}$ ,  $a \neq d$  จะได้ว่า  $aa+2=a$ ,  $dd+2=d$ ,  $a+d=1$  จาก

$$A \cdot A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} aa+bc & ab+bd \\ ac+dc & bc+dd \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} aa+2 & b(a+d) \\ c(a+d) & dd+2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = A$$

ไม่ว่ากรณีใด  $A$  เป็นสมาชิกนिरพล

จากทฤษฎีบทนี้ เราสามารถหาสมาชิกนिरพลทั้งหมดของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ได้ดังนี้

1. สมาชิกของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่สอดคล้องเงื่อนไขข้อ 1 มี 1 ตัว คือ  $\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

2. สมาชิกของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่สอดคล้องเงื่อนไขข้อ 2 มี 1 ตัว คือ  $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

3. สมาชิกของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่สอดคล้องเงื่อนไขข้อ 3 มี 16 ตัว คือ

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 3 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4. สมาชิกของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่สอดคล้องเงื่อนไขข้อ 4 มี 8 ตัว คือ

$$\begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 1 & 3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 3 & 3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & 3 \\ 2 & 3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 3 & 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 3 & 3 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}$$

ดังนั้นสมาชิกนिरพลทั้งหมดของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  มีทั้งหมด 26 ตัว

จากทฤษฎีบท 2 เราสามารถแสดงโดยการคำนวณได้ว่า สมาชิก  $A \in M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่สอดคล้องเงื่อนไขข้อที่ 1, 3 และ 4 จะมี  $\det A = 0$  และสมาชิก  $A \in M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่สอดคล้องเงื่อนไขข้อที่ 2 จะมี  $\det A = 1$  ซึ่งทำให้เราได้ บทแทรกต่อไปนี้

**บทแทรก 3** ถ้า  $A$  เป็นสมาชิกนิรพลของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่มี  $\det A \neq 0$  แล้ว  $A$  เป็นเมทริกซ์เอกลักษณะ

### 3. สมาชิกที่หาตัวผกผันได้

ในหัวข้อนี้จะศึกษาเพื่อจำแนกสมาชิกที่หาตัวผกผันได้ของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$

ทฤษฎีบท 4 ให้  $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$  เป็นสมาชิกใดๆของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  แล้ว

$A$  หาตัวผกผันได้ก็ต่อเมื่อ  $\det A = 1$  หรือ  $\det A = 3$

และในกรณีที่  $A$  หาตัวผกผันได้ จะได้  $A^{-1} = \begin{bmatrix} (\det A)d & -(\det A)b \\ -(\det A)c & (\det A)a \end{bmatrix}$

พิสูจน์: ให้  $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \in M_2(\mathbb{Z})_4$

( $\Rightarrow$ ) สมมติ  $A$  หาตัวผกผันได้ นั่นคือ  $AB = I_2$  บาง  $B \in M_2(\mathbb{Z})_4$  ดังนั้น

$(\det A)(\det B) = \det AB = \det I_2 = 1$  จาก  $\det A \in \mathbb{Z}_4$  จะได้ว่า  $\det A = 1$  หรือ  $\det A = 3$

( $\Leftarrow$ ) สมมติ  $\det A = 1$  หรือ  $\det A = 3$  ใน  $\mathbb{Z}_4$  จะได้ว่า

ให้  $B = \begin{bmatrix} (\det A)d & -(\det A)b \\ -(\det A)c & (\det A)a \end{bmatrix}$  จะได้ว่า  $B$  เป็นสมาชิกใน  $M_2(\mathbb{Z})_4$  และ  $AB = I_2 = BA$  นั่นคือ

$A$  หาตัวผกผันได้ และตัวผกผันของ  $A$  คือ  $B = A^{-1} = \begin{bmatrix} (\det A)d & -(\det A)b \\ -(\det A)c & (\det A)a \end{bmatrix}$  □

### 4. สมาชิกปกติ

ในหัวข้อนี้จะศึกษาสมบัติของสมาชิกปกติของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$

ทฤษฎีบท 5 ให้  $A$  เป็นสมาชิกใดๆใน  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่มี  $\det A = 2$  แล้ว  $A$  ไม่เป็นสมาชิกปกติ

พิสูจน์: ให้ เป็นสมาชิกใดๆใน  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่มี  $\det A = 2$  สมมติให้  $A$  เป็นสมาชิกปกติ ดังนั้น  $A = ASA$

บาง  $S \in M_2(\mathbb{Z})_4$  เพราะฉะนั้น  $\det A = \det(ASA) = (\det A)(\det S)(\det A) = 0$  ขัดแย้งกับ ดังนั้น

$A = ASA$  บาง  $S \in M_2(\mathbb{Z}_4)$  เพราะฉะนั้น  $\det A = \det(ASA) = (\det A)(\det S)(\det A) = 0$

ขัดแย้งกับ  $\det A = 2$  ดังนั้น  $A$  ไม่เป็นสมาชิกปกติ

ทฤษฎีบท 6 ให้  $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$  เป็นสมาชิกที่ไม่เป็นศูนย์ของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  และ  $\det A = 0$  จะได้ว่า  $A$  ไม่เป็นสมาชิกปกติ ก็ต่อเมื่อ  $\{a, b, c, d\} \subseteq \{0, 2\}$

พิสูจน์: ให้  $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$  เป็นสมาชิกใดๆใน  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่ไม่เป็นเมทริกซ์ศูนย์ และ  $\det A = 0$  นั่นคือ  $ad - bc = 0$  หรือ  $ad = bc$

( $\Rightarrow$ ) จะแสดงว่า ถ้า  $A$  ไม่เป็นสมาชิกปกติ แล้ว  $\{a, b, c, d\} \subseteq \{0, 2\}$  เราจะพิสูจน์ข้อความนี้โดยใช้การพิสูจน์แบบ ประพจน์แย้งสลับที่ (contrapositive) นั่นคือจะแสดงว่าถ้า  $\{a, b, c, d\} \not\subseteq \{0, 2\}$  แล้ว  $A$  เป็นสมาชิกปกติ นั่นคือ เราจะเริ่มที่สมมติให้  $\{a, b, c, d\} \not\subseteq \{0, 2\}$

ดังนั้นเราสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณี 1:  $a \notin \{0, 2\}$  นั่นคือ  $a = 1$  หรือ  $a = 3$  จะได้  $a^2 = 1$  และ  $d = bca$

เลือก  $S = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$  เป็นสมาชิกใน  $M_2(\mathbb{Z})_4$  จะได้ว่า

$$ASA = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a^2 & 0 \\ ca & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & cba \end{bmatrix} = A$$

กรณี 2:  $b \notin \{0, 2\}$  นั่นคือ  $b = 1$  หรือ  $b = 3$  จะได้  $b^2 = 1$  และ  $abd = c$

เลือก  $S = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ b & 0 \end{bmatrix}$  เป็นสมาชิกใน  $M_2(\mathbb{Z})_4$  จะได้ว่า  $ASA = A$

กรณี 3:  $c \notin \{0, 2\}$  นั่นคือ  $c = 1$  หรือ  $c = 3$  จะได้  $c^2 = 1$  และ  $acd = b$

เลือก  $S = \begin{bmatrix} 0 & c \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$  เป็นสมาชิกใน  $M_2(\mathbb{Z})_4$  จะได้ว่า  $ASA = A$

กรณี 4:  $d \notin \{0, 2\}$  นั่นคือ  $d = 1$  หรือ  $d = 3$  จะได้  $d^2 = 1$  และ  $a = bcd$

จาก  $S = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & d \end{bmatrix}$  เป็นสมาชิกใน  $M_2(\mathbb{Z})_4$  จะได้ว่า  $ASA = A$

ไม่ว่ากรณีใด  $A$  เป็นสมาชิกปกติ ดังนั้นถ้า  $A$  ไม่เป็นสมาชิกปกติ แล้ว  $\{a, b, c, d\} \subseteq \{0, 2\}$

สมมติให้  $\{a, b, c, d\} \subseteq \{0, 2\}$  จะเห็นว่า  $xy = 0$  สำหรับทุก  $x, y \in \{a, b, c, d\}$  และจากการคำนวณโดยตรงจะได้ว่า  $ASA = 0$  ทุกๆ  $S \in M_2(\mathbb{Z})_4$  แต่จาก  $A$  ไม่เป็นสมาชิกศูนย์ ดังนั้นจะได้ว่าไม่มีสมาชิกใดของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่ทำให้  $ASA = A$  ดังนั้น  $A$  ไม่เป็นสมาชิกปกติ

จากทฤษฎีบทนี้ ทำให้เราสามารถหาสมาชิกทั้งหมดของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่มี  $\det A = 0$  ที่ไม่เป็นสมาชิกปกติ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \\ & \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \\ & \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, \\ & \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

## 5. บทสรุป

ให้  $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \in M_2(\mathbb{Z})_4$  เราจำแนกสมาชิกนิรพลของ  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ด้วยทฤษฎีบทต่อไปนี้

ทฤษฎีบท:  $A$  เป็นสมาชิกนิรพล ก็ต่อเมื่อ  $A$  สอดคล้องเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1.  $a = d = 0$  และ  $b = c = 0$  ( $A$  เป็นเมทริกซ์ศูนย์)
2.  $a = d = 1$  และ ( $A$  เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์)
3.  $b \cdot c = 0$  และ  $a, d \in \{0, 1\}$ ,  $a \neq d$
4.  $b \cdot c = 2$  และ  $a, d \in \{2, 3\}$ ,  $a \neq d$

เราสามารถใช้ตัวกำหนดของสมาชิกใน  $M_2(\mathbb{Z})_4$  กำหนดเงื่อนไขที่เพียงพอสำหรับสมาชิกใน  $M_2(\mathbb{Z})_4$  ที่จะเป็นสมาชิกนิรพล สมาชิกที่หาตัวผกผันได้ หรือสมาชิกปกติ

1. ถ้า  $\det A = 1$  หรือ  $\det A = 3$  แล้ว  $A$  เป็นสมาชิกที่หาตัวผกผันได้ เป็นสมาชิกปกติ และไม่เป็นสมาชิกนิรพล ยกเว้น  $I_2$

2. ถ้า  $\det A = 0$  หรือ  $\det A = 2$  แล้ว เป็นสมาชิกที่หาตัวผกผันไม่ได้

3. ถ้า แล้ว ไม่เป็นสมาชิกนิรพล เป็นสมาชิกที่หาตัวผกผันไม่ได้ และไม่เป็นสมาชิกปกติ

ในกรณีที่  $\det A = 0$  เราประยุกต์ทฤษฎีบทต่อไปนี้ จำแนกสมาชิกปกติของ  $M_2(\mathbb{Z}_4)$

ทฤษฎีบท: ให้  $A$  ไม่เป็นเมทริกซ์ศูนย์ และ  $\det A = 0$  จะได้ว่า

$$A \text{ ไม่เป็นสมาชิกปกติ ก็ต่อเมื่อ } \{a, b, c, d\} \subseteq \{0, 2\}$$

## เอกสารอ้างอิง

ณรงค์ ปิ่นน้อม.(2536). พีชคณิตระดับมหาวิทยาลัย. สุวีริยาสาส์น, กรุงเทพฯ

Howie J.M. (1995). Fundamentals of semigroup theory. Oxford university press. Oxford.

Rowen L.H. (1991). Ring Theory. Student edition. Academic press. London.

P. B. Bhattacharya P.B., Jain S. K., and Nagpaul S.R. (1994). Basic abstract algebra. Cambridge university press.



# คุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทและคุณภาพน้ำแข็งหลอด ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

## Quality of Bottled Water and Sealed Ice Packages in the Upper North Eastern Region

จิตลัดดา รุ่งเรือง<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทและน้ำแข็งหลอดเป็นที่นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายของประชาชนทั่วไป ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่นจึงได้เฝ้าระวังตามโครงการคุ้มครองผู้บริโภค โดยได้มีการทดสอบความสามารถของวิธีการและผู้ตรวจวิเคราะห์ในด้านความแม่นยำและความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ต่างๆ พบว่ามีค่าต่างๆ สอดคล้องกับค่าของ Predicted Horwitz แสดงให้เห็นว่ามีความแม่นยำและความถูกต้องในการตรวจวิเคราะห์โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการวิเคราะห์ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ เหล็ก ตะกั่วในน้ำบริโภคเท่ากับ 3.71, 0.73, 2.03, 5.89, 2.06 ตามลำดับ ค่าร้อยละการกลับคืนของน้ำบริโภคที่เติมในเตรท 1 มิลลิกรัม/ลิตร มีเท่ากับ 83.90 ที่เติมเหล็กความเข้มข้น 0.025, 0.0375, 0.0750 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 84.9-90.3 ส่วนที่เติมตะกั่วความเข้มข้น 0.025, 0.05, 1.0 มิลลิกรัม/ลิตรมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 100.7 -108.57

ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่น ได้วิเคราะห์คุณภาพน้ำบริโภคและน้ำแข็งหลอดจำนวน 1242 ตัวอย่าง จาก 390 แห่ง ประกอบด้วยตัวอย่างน้ำบริโภคและน้ำแข็งหลอดที่สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเก็บตัวอย่างส่งตรวจเพื่อเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในเขตพื้นที่จังหวัดขอนแก่น เลย สกลนคร กาฬสินธุ์ตามโครงการคุ้มครองผู้บริโภคประจำปีงบประมาณ 2541 -2546 และตัวอย่างที่ผู้ผลิตส่งตรวจเพื่อขอขึ้นทะเบียนตำรับอาหาร พบว่ามีคุณภาพไม่ได้มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 61 (พ.ศ.2542) และฉบับที่ 135 (พ.ศ.2534) จำนวน 118 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 9.5 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนตัวอย่างน้ำและน้ำแข็งที่ไม่ได้มาตรฐานจากตัวอย่างส่งตรวจเพื่อขอขึ้นทะเบียนตำรับอาหารและตัวอย่างส่งตรวจเพื่อเฝ้าระวังคุณภาพพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 9.8 (จากตัวอย่าง 29 ตัวอย่าง) และร้อยละ 9.4 (จากตัวอย่าง 89 ตัวอย่าง) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบในระหว่างแต่ละปีงบประมาณ พบว่าตัวอย่างน้ำและน้ำแข็งหลอดที่มีคุณภาพไม่ได้มาตรฐานมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีการควบคุมการผลิตให้เป็นไปตามมาตรฐานสถานที่ผลิต รวมทั้งการเลือกวัตถุดิบในการผลิตน้ำ จึงทำให้น้ำบริโภคและน้ำแข็งหลอดมีความปลอดภัยมากขึ้น

<sup>1</sup>ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่น ถนนหน้าศูนย์ราชการ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

### Abstract

Bottled water and sealed ice packages are widely consumed among people. In order to solve the problems, the Regional Medical Science Khon Kaen has raised the method validation on precision and accuracy to assure that the usage methods are efficient for analysis. The results were got along with the Predicted Horwitz. That shows, it has precision and accuracy for analysis. Analysis of Total solid, Hardness, Chloride, Iron and Lead were done according to the mentioned purposes. The results revealed that %RSD were found in 3.71, 0.73, 2.03, 5.89 and 2.06 respectively. Besides, the results also showed that % recovery of Nitrate at 1 mg/L found in 83.90 %, % recovery of Iron at 0.0250, 0.0375 and 0.0750 mg/L found in range 84.90-90.30%, and % recovery of Lead at 0.025, 0.05, and 1.0 mg/L found in range 100.70-108.57

The Regional Medical Science Khon Kaen has analysis the quality of bottled water and sealed ice packages on 1,242 samples from 390 manufacturers, consists of bottled water and sealed ice packages that the provincial public health official in Khon Kaen, Loei, Sakon Nakhon and Kalasin provinces during B.E. 2541-2546, and samples that the manufacturers were sent for analysis. The analysis results did not pass the Ministry of Public Health Standard which were declared in the Notification Number 61 (B.E. 2524) and Number 135 (B.E. 2534), amount 118 samples, in the amount of percentage which were 9.5%. When compare the substandard samples that the manufacturers and samples that the provincial public health official were sent for analysis were closely in the amount of percentage which were 9.8% from 29 samples and 9.4% from 89 samples, respectively. When compare the quality of samples in each year found that bottled water and sealed ice packages had the substandard products has decreased due to the strengthening on Good Manufacturers were the important reason why bottled and sealed ice packages were more safe for consumers.

### บทนำ

น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทและน้ำแข็งหลอด จัดเป็นอาหารควบคุมเฉพาะตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) และฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) ซึ่งกำหนดค่ามาตรฐานไว้ดังนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.5-8.5 ปริมาณสารทั้งหมดไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร ความกระด้างทั้งหมดไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร คลอไรด์ไม่เกิน 250 มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรทไม่เกิน 4 มิลลิกรัม/ลิตร เหล็กไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร และตะกั่วไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ผู้บริโภคเชื่อว่าน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทมีความสะอาดและปลอดภัยกว่าน้ำจากแหล่งอื่น โดยเฉพาะน้ำบริโภคฯที่ได้รับ

ทะเบียนตำรับอาหารแล้ว (อย.) ส่วนน้ำแข็งหลอดนั้นก็เป็นที่นิยมเพราะบรรจุถุง พลาสติกที่ปิดสนิทมีฉลากแสดงทะเบียนตำรับอาหารอีกทั้งชีวิตประจำวันที่เร่งรีบประกอบกับความสะดวกสบายในการเลือกซื้อ จึงทำให้น้ำบริโภคฯและน้ำแข็งหลอดเป็นที่นิยมนักมากในปัจจุบัน ด้วยเหตุผลนี้ผู้ประกอบการจึงหันมาผลิตน้ำบริโภคฯและน้ำแข็งหลอดบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิทกันมากขึ้น เนื่องจากเป็นสินค้าที่เป็นที่ต้องการของตลาด

จากรายงานผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำบริโภคฯและน้ำแข็งหลอดที่ผลิตและจำหน่ายในเขตพื้นที่จังหวัดขอนแก่น เลย สกลนคร และกาฬสินธุ์ ของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่น

ในปี 2539 จำนวน 122 ตัวอย่าง พบไม่ได้มาตรฐาน 59 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 48.40 ส่วนในปี 2540 มีตัวอย่างที่ไม่ได้มาตรฐานจำนวน 50 ตัวอย่างจากตัวอย่างทั้งหมด 119 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 42 (น้อยทองสกุลพานิชย์, 2540)

ได้มีการควบคุมมาตรฐานสถานที่ผลิตจะต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิต (Good Manufacturing Practice :GMP) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 220) พ.ศ. 2544 เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 3) กำหนดให้สถานที่ผลิตต้องปฏิบัติตาม GMP (มณฑนา จุฬหวิทย์ และคณะ, 2544) นอกจากนี้ตัวผู้ประกอบการเองได้มีการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ของตนเองก่อนส่งตรวจเพื่อขอขึ้นทะเบียนตำรับอาหาร โดยใช้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำเกี่ยวกับความกระด้างของน้ำ รวมทั้งเลือกแหล่งวัตถุดิบในการผลิตน้ำ เนื่องจากแหล่งน้ำมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของน้ำบริโภคฯ และน้ำแข็งหลอด โดยน้ำบ่อจะทำให้คุณภาพของน้ำบริโภคฯและน้ำแข็งหลอดที่ผลิตต่ำกว่าน้ำบาดาลและน้ำประปา (ชนินทร์ เจริญพงศ์และประธาน ประเสริฐวิทยาการ, 2544) ในปีงบประมาณ 2541 เป็นต้นมาศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่นได้ทดสอบประสิทธิภาพวิธีวิเคราะห์น้ำบริโภคฯและน้ำแข็งหลอด เพื่อให้ผลการตรวจวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น และวิเคราะห์คุณภาพของน้ำบริโภคฯและน้ำแข็งหลอดที่ผลิตหรือจำหน่ายในเขตพื้นที่จังหวัดขอนแก่น เลย สกลนคร และ กาฬสินธุ์ ที่ส่งตรวจโดยสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อขอขึ้นทะเบียนตำรับอาหารและตามโครงการคุ้มครองผู้บริโภค เพื่อหาร้อยละของน้ำบริโภคฯและน้ำแข็งหลอดที่ไม่ได้มาตรฐาน และเป็นข้อมูลในการแก้ไขปัญหาต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### ตัวอย่างน้ำ

น้ำดื่มบรรจุขวด 3 ขนาด ได้แก่ ปริมาตร 20 ลิตร 950 มิลลิลิตร 500 มิลลิลิตร และน้ำแข็งหลอดในถุงพลาสติกใสที่ปิดสนิท รวมทั้งหมด 1,242 ตัวอย่าง ที่ประกอบด้วยตัวอย่างที่ผู้ประกอบการส่งตรวจเพื่อขอขึ้นทะเบียนตำรับอาหาร เป็นจำนวน 297 ตัวอย่าง และตัวอย่างสุ่มเก็บโดยสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนจำนวน 945 ตัวอย่าง โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างจากสถานที่ผลิตรวม 390 แห่ง หรือ 390 เครื่องหมายการค้า ได้แก่ จากขอนแก่น จำนวน 137 แห่ง เลย จำนวน 64 แห่ง สกลนคร จำนวน 84 แห่ง กาฬสินธุ์ จำนวน 35 แห่ง และจังหวัดอื่นๆ ที่อยู่นอกเขตรับผิดชอบ จำนวน 70 แห่ง

### เครื่องมือ

Spectrophotometer รุ่น V-530 , Jasco ; Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น 3300, Perkin Elmer ; water bath รุ่น W760 , Memmert ; hot air oven รุ่น ULM400 ,Memmert ; pH meter รุ่น MPC227 , Mettler ; Analytical balance รุ่น AE260 , Mettler

### วิธีวิเคราะห์

1. การตรวจวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดด่างในน้ำ โดยวิธี Electrometric method ( APHA, 1998)
2. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารทั้งหมดและปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายปฏิบัติตาม(APHA, 1998 และกรรณิการ์ สิริสิงห์, 2525)
3. การตรวจวิเคราะห์ความกระด้างทั้งหมดของน้ำโดยวิธี EDTA Titrimetric Method (APHA,1998 และกรรณิการ์ สิริสิงห์, 2525)
4. การตรวจวิเคราะห์คลอไรด์ในน้ำโดยวิธี Argentometric (APHA,1998 )

5. การตรวจวิเคราะห์ไนเตรทในน้ำโดยวิธี spectrophotometric Method (APHA, 1998 และ อัมรา กิ่งเกตุ ม.ป.ป.)

6. การวิเคราะห์เหล็กและตะกั่วในน้ำโดยวิธี atomic absorption spectrophotometric method (APHA, 1998 และกรรณิการ์ สิริสิงห์, 2525)

### การทดสอบประสิทธิภาพวิธี

มีการทดสอบความถูกต้องและความแม่นยำของวิธีตามวิธีของ Horwitz et. al., 1980 ดังนี้

1. มีการปรับเทียบเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ด้วยพีเอชบัฟเฟอร์มาตรฐานที่มีค่า 4.00, 7.00 และ 10.00 ทุกๆการตรวจวัดตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง

2. ทดสอบความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ โดยมีการวิเคราะห์ซ้ำในตัวอย่างเดียวกัน 7 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (%RSD) หา limit of detection (LOD) , หาค่า limit of quantitation (LOQ)

3. ทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ไนเตรทในน้ำ โดยวิเคราะห์ในน้ำบริโภคน้ำที่เติมไนเตรทความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 7 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันและร้อยละการกลับคืน (% recovery)

4. ทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์เหล็กและตะกั่วในน้ำ โดยวิเคราะห์ในน้ำบริโภคน้ำที่เติมเหล็กความเข้มข้น 0.025, 0.0375 และ 0.075 มิลลิกรัม/ลิตร และน้ำบริโภคน้ำที่เติมตะกั่ว 0.025, 0.05 และ 0.10 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 7 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันและร้อยละการกลับคืน (% recovery )

### ผลการทดลอง

#### การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีตรวจวิเคราะห์

การทดสอบความสามารถของวิธีการและ ผู้ตรวจวิเคราะห์ในด้านความแม่นยำและความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ต่างๆพบว่ามีความแตกต่าง สอดคล้องกับค่าของ Predicted Horwitz แสดงให้เห็นว่ามีความแม่นยำและมีความถูกต้องในการตรวจวิเคราะห์ดังนี้

1. สัมประสิทธิ์ความแปรผันในการวิเคราะห์ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ เหล็ก ตะกั่วในน้ำบริโภคน้ำเท่ากับ 3.71, 0.73, 2.03, 5.89 และ 2.06 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ เหล็ก และตะกั่วในตัวอย่างน้ำบริโภคน้ำ

รายการวิเคราะห์	ค่าที่วัดได้ (mean $\pm$ SD)	% RSD	Predicted Horwitz
ปริมาณสารทั้งหมด	132.71 $\pm$ 4.92	3.71	4.14
ความกระด้างทั้งหมด	65.36 $\pm$ 0.48	0.73	5.28
คลอไรด์	12.93 $\pm$ 0.26	2.03	4.60
เหล็ก	0.58 $\pm$ 0.02	5.89	12.66
ตะกั่ว	0.54 $\pm$ 0.01	2.06	16.57

2. ค่าร้อยละการกลับคืนของน้ำบริโภคน้ำที่เติมในเตรท 1 มิลลิกรัม/ลิตร ดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าร้อยละการกลับคืน LOD LOQ ของน้ำบริโภคน้ำที่เติมในเตรท 1 มิลลิกรัม/ลิตร

รายการวิเคราะห์	ค่าที่วัดได้
ร้อยละการกลับคืน(%)	83.90
LOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.025
LOQ (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.10

3. ค่าร้อยละการกลับคืนของน้ำบริโภคน้ำที่เติมเหล็กความเข้มข้น 0.025 0.0375 0.075 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 84.9 -90.3 ดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำบริโภค

ปริมาณเหล็กที่เติม (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าที่วัดได้ (Mean $\pm$ SD)	% Recovery	Predicted Horwitz
0.02	0.02 $\pm$ 0.00	90.25	80-110
0.04	0.03 $\pm$ 0.01	84.93	
0.08	0.07 $\pm$ 0.02	89.37	

4. ค่าร้อยละการกลับคืนของน้ำบริโภคน้ำที่เติมตะกั่วความเข้มข้น 0.025, 0.05, 0.10 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 100.7 - 108.57 ดังในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การทดสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในน้ำบริโภค

ปริมาณตะกั่วที่เติม (มิลลิกรัม/ลิตร)	ค่าที่วัดได้ (Mean $\pm$ SD)	% Recovery	Predicted Horwitz
0.025	0.03 $\pm$ 0.00	108.57	80-110
0.05	0.06 $\pm$ 0.00	100.70	
0.10	0.11 $\pm$ 0.02	105.54	

### การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของน้ำบริโภคและน้ำแข็งหลอด

1. จำนวนตัวอย่างของน้ำบริโภคและน้ำแข็งหลอดที่มีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน ระหว่างปีงบประมาณ 2541-2546 จำนวน 1,242 ตัวอย่าง ที่เก็บจากแหล่งผลิต 390 แห่ง พบไม่ได้มาตรฐาน จำนวน 118 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 9.5 ดังในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพของน้ำบริโภคและน้ำแข็งหลอด ที่ไม่ได้มาตรฐานปีงบประมาณ 2541-2546

ปี	จำนวนตัวอย่างที่ตรวจ	คุณภาพไม่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์กำหนด	
		จำนวน	ร้อยละ
2541	249	28	11.20
2542	400	28	7.00
2543	136	7	5.10
2544	70	16	22.90
2545	97	19	19.60
2546	290	20	6.90
รวม	1,242	118	9.5

2. คุณสมบัติของน้ำบริโภคและน้ำแข็งหลอดที่ ไม่ได้มาตรฐาน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ความกระด้าง ทั้งหมด ปริมาณสารทั้งหมด ไนเตรท คลอไรด์ ตะกั่ว ดังในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณสมบัติของน้ำบริโภคและน้ำแข็งหลอดที่ ไม่ได้มาตรฐาน

คุณสมบัติ	จำนวนที่ ไม่ได้มาตรฐาน	ร้อยละ
ความเป็นกรด-ด่าง	77.00	6.20
ความกระด้างทั้งหมด	23.00	1.90
ปริมาณสารทั้งหมด	12.00	1.00
คลอไรด์	1.00	0.10
ไนเตรท	4.00	0.30
ตะกั่ว	1.00	0.10
รวม	118.00	9.60

3. เปรียบเทียบคุณภาพที่ ไม่ได้มาตรฐานของน้ำบริโภคและน้ำแข็งหลอด เพื่อขอขึ้นทะเบียนตำรับอาหารและเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้บริโภคปีงบประมาณ 2541-2546 ดังในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบคุณภาพที่ไม่ได้มาตรฐานของน้ำบริโภคและน้ำแข็งหลอด เพื่อขอขึ้นทะเบียนตำรับอาหารและเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้บริโภคปีงบประมาณ 2541-2546

ปี	จำนวนตัวอย่างที่ขอขึ้นทะเบียนตำรับอาหาร			จำนวนตัวอย่างที่เฝ้าระวังความปลอดภัย		
	จำนวนที่ ตรวจ	พบไม่ได้มาตรฐาน		จำนวนที่ ตรวจ	พบไม่ได้มาตรฐาน	
		จำนวน	ร้อยละ		จำนวน	ร้อยละ
2541	72	6	8.33	177	22	12.43
2542	74	4	5.40	326	24	7.36
2543	28	2	7.14	108	5	4.63
2544	30	8	26.67	40	8	20.00
2545	24	2	8.33	73	7	23.33
2546	69	7	10.14	221	13	5.88
รวม	297	29	9.8	945	89	9.4

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบความแม่นยำและความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์น้ำโดยศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่น พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารทั้งหมด ความกระด้างทั้งหมด คลอไรด์ เหล็ก และตะกั่ว ในน้ำเท่ากับ 3.71, 0.73, 2.03, 5.89 และ 2.06 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ในเตรทในน้ำบริโภคที่ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ร้อยละการกลับคืนเท่ากับ 83.90 เหล็กที่ความเข้มข้น 0.02, 0.04 และ 0.08 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 84.90-90.30 ตะกั่วที่ความเข้มข้น 0.025, 0.05 และ 0.10 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ร้อยละการกลับคืนในช่วง 100.70 – 108.57 ซึ่งสอดคล้องกับ Predicted Horwitz แสดงว่าวิธีวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือ เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำบริโภคและน้ำแข็งหลอดที่ผลิตและจำหน่ายในเขตพื้นที่จังหวัดขอนแก่น เลย สกลนคร และ กาฬสินธุ์ พบว่าคุณภาพน้ำไม่ได้มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่

61 (พ.ศ. 2524) และฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) ในปี 2541, 2542, 2543, 2544, 2545 และ 2546 ร้อยละ 11.20, 7.00, 5.10, 22.90, 19.60 และ 6.90 ตามลำดับ ซึ่งลดลงเมื่อเทียบกับปีงบประมาณ 2539 และ 2540 ไม่ได้มาตรฐานร้อยละ 48.40 และ 42.00 ส่วนใหญ่มีปัญหาเรื่องความเป็นกรด-ด่าง มากกว่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ ปริมาณสารทั้งหมด คลอไรด์ ไนเตรท ตะกั่ว แต่ไม่พบมีปัญหาปริมาณเหล็กเกินกว่าเกณฑ์กำหนด เนื่องจากศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่นร่วมกับสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ได้เฝ้าระวังตรวจสอบคุณภาพน้ำถึงจำนวน 2 ครั้ง ในแต่ละปีงบประมาณ และตัวผู้ประกอบการเองได้มีการตรวจคุณภาพน้ำด้วยตนเองโดยใช้ชุดทดสอบ แต่พบว่าการควบคุมคุณภาพน้ำมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน นอกจากนี้ในช่วง 3 ปีแรกพบตัวอย่างที่คุณภาพไม่ได้มาตรฐานมีแนวโน้มลดลง คือจากร้อยละ 11.24 ในปี 2541 ลดลงเป็นร้อยละ 7.00 และ 5.15 ในปีงบประมาณ 2542 และปีงบประมาณ 2543 ตามลำดับ แต่ในปีงบประมาณ 2544 เริ่มมีการควบคุมมาตรฐาน

สถานที่ผลิต (GMP) พบว่า จำนวนตัวอย่างส่งตรวจ มีจำนวนน้อยแต่คุณภาพไม่ได้มาตรฐานสูงกว่าปีอื่นๆ ซึ่งสูงถึงร้อยละ 22.86 อาจเป็นเพราะว่าอยู่ในระหว่างการปรับปรุงระบบเพื่อเข้า GMP และผู้ประกอบการเองอาจขาดความใส่ใจในคุณภาพของน้ำ ไม่มีการเลือกแหล่งวัตถุดิบ ซึ่งถ้าเป็นน้ำบ่อจะทำให้คุณภาพของน้ำบริโภคและน้ำแข็ง-หลอดที่ผลิตมีคุณภาพต่ำกว่าน้ำบาดาล และน้ำประปา รวมทั้งการดูแลรักษาและล้างเครื่องกรองน้ำให้มีคุณภาพคืออยู่เสมอ แต่ในปีงบประมาณ 2545-2546 พบว่าคุณภาพน้ำดื่มบริโภคและน้ำแข็งหลอดไม่ได้มาตรฐานลดลงเป็นร้อยละ 19.59 และ 6.90 แสดงว่าในภาพรวมของคุณภาพน้ำดื่มบรรจุขวดและน้ำแข็งมีคุณภาพดีขึ้นเป็นลำดับ

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเภสัชกรหญิงลักษณะ ลือประเสริฐ ผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่นที่ปรึกษางานศึกษาวิจัยนี้และสนับสนุนการนำเสนอผลงาน ตลอดจนเจ้าหน้าที่กลุ่มคุ้มครองผู้บริโภคด้านอาหารที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

### เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. (2522). พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524). เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท.ราชกิจจานุเบกษา. (เล่ม 98). ตอนที่ 157 ลงวันที่ 24 กันยายน 2524.

กระทรวงสาธารณสุข. (2522). พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534). เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2) ราชกิจจานุเบกษา. (เล่ม 108 ). ตอนที่ 61. ลงวันที่ 2 เมษายน 2534.

กรรณิการ์ สิริสิงห์.(2525). เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์.(พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: บริษัท ประยวงส์ จำกัด หน้า 119-132, 167-171 และ 257-266.

ชรินทร์ เจริญพงศ์ และ ประธาน ประเสริฐวิทยาการ.(2544).การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยพื้นฐานในการผลิตต่อมาตรฐานของน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ในเขต 12.วารสารอาหารและยา (ฉบับที่ 1/2544) หน้า 22.

น้อย ทองสกุลพานิชย์.(2540). รายงานประจำปี 2540. ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่น.

มัณฑนา จุณหะวิทย์ และคณะ.(2544). น้ำเพื่อชีวิต.นิตยสารใกล้หมอ.ปีที่ 25. ฉบับที่ 10.

อมรา กิ่งเกตุ.( ม.ป.ป.). วิเคราะห์ในเตรทในน้ำ. กองวิเคราะห์อาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.

APHA( 1998 ). Standard methods for the Examination of water and wastewater. Greenberg, A.E., Cleseri, L.S., Eaton. A.D. 20<sup>th</sup> edition, American Public Health Association, Washington DC: 1-8, 3111B.



## วัสดุปลูกในการย้ายปลูกต้นกล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

สมพร ประเสริฐส่งสกุล และพิสมัย นุ่มน้อย<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

การย้ายปลูกต้นกล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร (*Dendrobium friedericksianum* Rchb.f) โดยใช้ต้นกล้าที่มีการเจริญเติบโตของรากที่สมบูรณ์ ย้ายลงปลูกในวัสดุปลูก 3 ชนิด ได้แก่ เพอร์ไลต์ (perlite) ผสมเวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) อัตราส่วน 1:1 กาบมะพร้าว และกาบมะพร้าวผสมถ่านไม้ อัตราส่วน 1:1 สภาพการเลี้ยงในกระถางที่ตั้งไว้ในตู้กระจก ภายใต้อุณหภูมิ 28-32 องศาเซลเซียส ความชื้น 70-85 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 3 สัปดาห์ วัสดุปลูกที่เป็นกาบมะพร้าว ให้ผลทางด้านความสูง จำนวนใบ จำนวนราก จำนวนหน่อ และเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต ใกล้เคียงกับวัสดุปลูกอื่น แต่หาง่ายและราคาถูกกว่า

### Abstract

Plantlets of *Dendrobium friedericksianum* Rchb.f with well developed roots were transferred from the medium to planting substances. Three different types of planting substrates were examined including perlite mixed with vermiculite (1:1), coconut coat and coconut coat mixed with charcoal (1:1). The potted plantlets were maintained in the chamber at 28-32°C and relative humidity of 70-85% for three weeks. Coconut coat gave comparable in the average numbers of shoot length, leaves, roots, shoots and percentage of plantlet survival to other planting substrates. Beneficially, coconut coat are available and low cost.

## บทนำ

กล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร (*Dendrobium friedericksianum* Rchb.f) เป็นกล้วยไม้พื้นเมืองของประเทศไทย มีเขตกระจายพันธุ์อยู่ในป่าดิบทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออกแถบจังหวัดจันทบุรีและตราด (อบนันท, 2543) กล้วยไม้นี้มีสีสวยงาม จึงมีผู้นำออกมาจากป่าเป็นจำนวนมาก ทำให้มีโอกาสดูพันธุ์ ได้มีการวิจัยเพื่อหาวิธีการขยายพันธุ์กล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรให้ได้จำนวนมากโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชจากงานวิจัยของนงนุช (2544) นำฝักกล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร อายุ 5-6 เดือนหลังการผสม มาเพาะบนอาหารวุ้นสูตรต่าง ๆ พบว่าเมล็ดสามารถงอกได้ดีในอาหาร จิตราพรรณ IV (2535) ซึ่งงอกภายใน 3-4 สัปดาห์ สุกาญดา (2545) ศึกษาการเพาะเลี้ยงต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรบนอาหารอินทรีย์พบว่าอาหารสูตรจิตราพรรณ IV เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร รัชพล และคณะ (2546) ศึกษาการเพาะเลี้ยงต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรบนอาหารอินทรีย์พบว่า อาหารดัดแปลงจากสูตร Vacin และ Went (1949) (VW) เหมาะสมต่อการชักนำให้ต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรมีการเจริญเติบโตดีที่สุด หลังจากการเพาะเมล็ด สมพรและนัยนา (2547) รายงานผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตและผงถ่านกัมมันต์ต่อการพัฒนาการขยายพันธุ์กล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร พบว่าต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรที่เลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร Vacin และ Went ที่เติมเอ็นเอเอ (NAA, Naphthaleneacetic acid) ความเข้มข้น 1 มก./ล. ร่วมกับไคนิน (Kn, N6-furfurylaminopurine) ความเข้มข้น 1 มก./ล. มีผลต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรมากที่สุด โดยเฉพาะเมื่อเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.3% ทำให้การเกิดใบ ราก ความสูงและน้ำหนักสดเฉลี่ยของต้นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะสามารถขยายพันธุ์กล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรได้ในหลอดทดลอง

แต่การย้ายออกปลูกมักจะประสบปัญหา จึงจำเป็นต้องเลือกวัสดุปลูกที่เหมาะสม การเลือกใช้วัสดุปลูกต้องคำนึงถึงสมบัติหรือลักษณะทางฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา รวมถึงความง่ายในการเสาะหา ราคา และความคุ้นเคยของผู้ใช้ในพื้นที่ (กองประชาสัมพันธ์ราชมณฑล, 2546) ดังนั้นจุดประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อหาวัสดุปลูกที่เหมาะสมในการย้ายปลูกต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรเพื่อให้ได้ต้นที่แข็งแรงเพื่อนำไปขยายพันธุ์ต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมพืชทดลอง

นำต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรที่ได้จากการเพาะเมล็ด นำมาวางเลี้ยงบนอาหารสูตรจิตราพรรณ IV เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ก่อนที่จะนำไปทำการทดลอง

### วิธีการทดลอง

#### การศึกษาผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร

ย้ายต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรที่เลี้ยงบนอาหารสูตรจิตราพรรณ IV ลงปลูกในวัสดุปลูก โดยการเปิดฝาขวด ดึงต้นกล้ากล้วยไม้ออกจากขวด ล้างวุ้นออกให้สะอาด นำต้นที่ได้ไปปลูกในวัสดุปลูก ดังนี้ เพอร์ไลท์ผสมเวอร์มิคิวไลท์ อัตราส่วน 1:1 กาบมะพร้าว และกาบมะพร้าวผสมถ่านไม้ อัตราส่วน 1:1 โดยปลูก 1 ต้น ต่อ 1 กระถาง จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น สภาพของการเลี้ยงในตู้กระจกที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 28-32 °C ความเข้มแสงไม่เกิน 4000 ลักซ์ ความชื้น 70-80 เปอร์เซ็นต์

#### การวิเคราะห์ผลการทดลอง

โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) บันทึก ความสูง จำนวนใบ จำนวนราก จำนวนหน่อ และลักษณะทางกายภาพของต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร

และคูเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

### ผลการทดลอง

จากการศึกษาการเจริญของต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรโดยการย้ายปลูกลงในวัสดุปลูก 3 ชนิด ที่มีการควบคุมความชื้นและความเข้มแสงตลอดเวลา หลังจากการวางเลี้ยงเป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่า ต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง จำนวนใบ จำนวนราก และจำนวนหน่อ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1) โดยความสูงของต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรที่ย้ายปลูกในเพอร์ไลต์และเวอร์มิคิวไลต์ มีการเจริญเติบโตมากที่สุด คือมีความสูงเฉลี่ย 6.7 เซนติเมตร ในขณะที่ต้นกล้ากล้วยไม้ที่ย้ายปลูกในกาบมะพร้าวและกาบมะพร้าวผสมถ่านไม้ มีความสูงเฉลี่ย 6.4 เซนติเมตร ขณะที่เมื่อวัสดุปลูกที่เป็นกาบมะพร้าวให้จำนวนใบ (5.3 ใบ/ต้น) จำนวนราก (16.6 ราก/ต้น) จำนวนหน่อ (3.8 หน่อ/ต้น) เพิ่มขึ้นมากที่สุด

สำหรับการย้ายปลูกลงในกล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรลงในกาบมะพร้าวผสมถ่านไม้ เพอร์ไลต์ผสมเวอร์มิคิวไลต์ ให้จำนวนใบรองลงมา 5.2 ใบ/ต้น และ 5.00 ใบ/ต้น ตามลำดับ สำหรับจำนวนราก และจำนวนหน่อเมื่อปลูกในวัสดุปลูกกาบมะพร้าวมีการเจริญสูงกว่าเมื่อปลูกในวัสดุปลูกเพอร์ไลต์ผสมเวอร์มิคิวไลต์ และกาบมะพร้าวผสมถ่านไม้ ตามลำดับ เมื่อติดตามเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร พบว่าต้นกล้าที่ปลูกในเพอร์ไลต์ผสมเวอร์มิคิวไลต์ มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงที่สุด คือ 85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับต้นกล้าที่ปลูกลงในกาบมะพร้าว และกาบมะพร้าวผสมถ่านไม้ มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต 75 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ลักษณะของต้นกล้ากล้วยไม้ที่เจริญในวัสดุปลูกทั้งสามมีความแตกต่างกัน โดยต้นกล้ากล้วยไม้ที่ปลูกในกาบมะพร้าวมีลักษณะของต้นอวบ ใบมีสีเขียวสดมากกว่าวัสดุปลูกที่เป็นเพอร์ไลต์ผสมเวอร์มิคิวไลต์ และกาบมะพร้าวผสมถ่านไม้ตามลำดับ (ตารางที่ 2, รูปที่ 1 และ 2)

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรในวัสดุปลูกต่าง ๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

วัสดุปลูก	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	จำนวนราก (ราก/ต้น)	จำนวนหน่อ (หน่อ/ต้น)
เพอร์ไลต์ผสม เวอร์มิคิวไลต์	6.7 ± 0.3 <sup>a</sup>	5.0 ± 0.6 <sup>a</sup>	13.0 ± 2.2 <sup>a</sup>	3.3 ± 0.9 <sup>a</sup>
กาบมะพร้าว	6.4 ± 0.5 <sup>a</sup>	5.3 ± 0.2 <sup>a</sup>	16.6 ± 1.2 <sup>a</sup>	3.8 ± 1.5 <sup>a</sup>
กาบมะพร้าว ผสมถ่านไม้	6.4 ± 0.4 <sup>a</sup>	5.2 ± 0.5 <sup>a</sup>	12.2 ± 1.8 <sup>a</sup>	2.8 ± 0.5 <sup>a</sup>
F-test	ns	ns	ns	ns
CV.	13.3	12.7	3.1	7.9

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ในคอลัมน์นั้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบ โดยวิธี DMRT ค่าเฉลี่ย+SE จากการทดลอง 4 ซ้ำ ๆ ละ 5 ตัวอย่าง

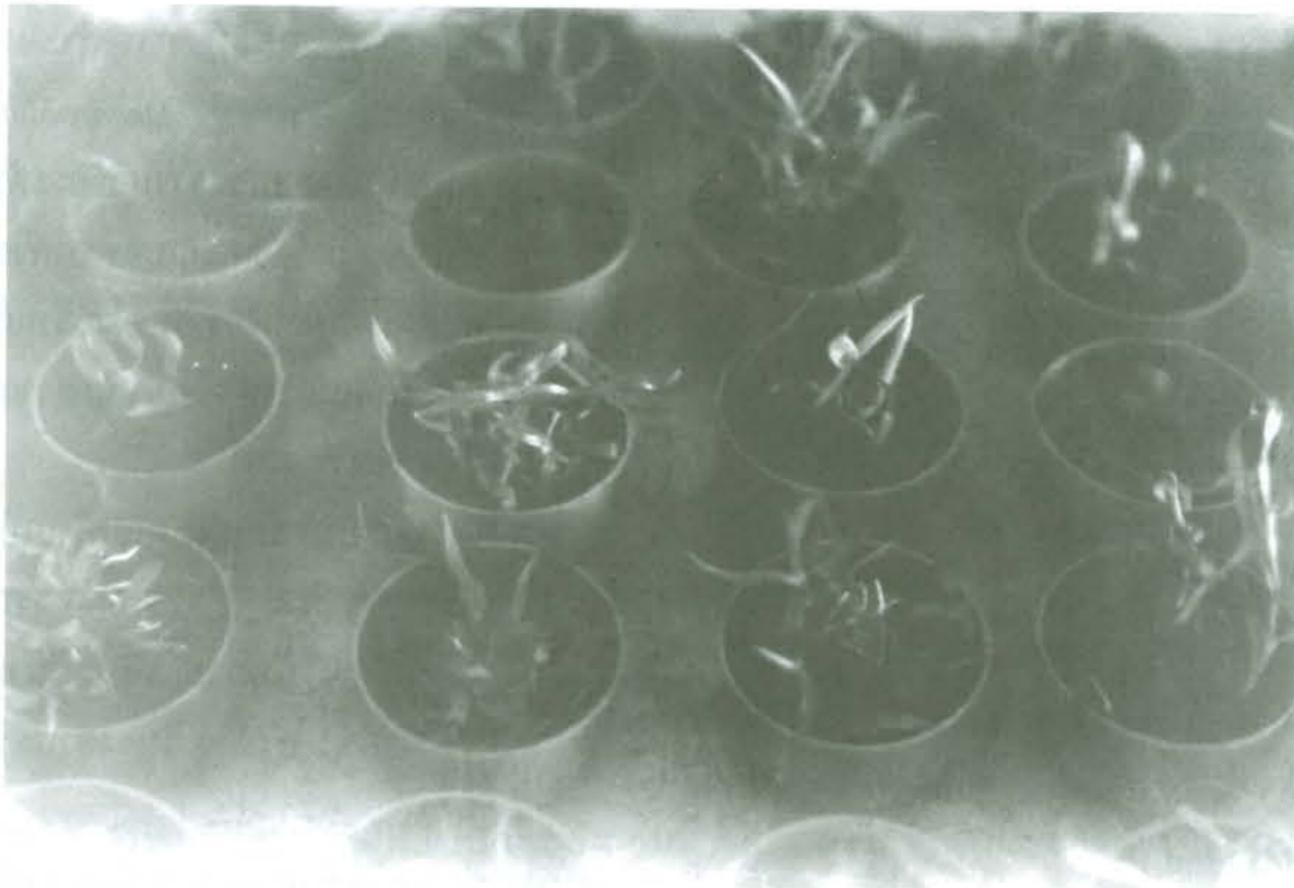
ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตและลักษณะของต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรที่ปลูกในวัสดุปลูกต่าง ๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

วัสดุปลูก	เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต (เปอร์เซ็นต์)	ลักษณะของต้นกล้ากล้วยไม้ หวายเหลืองจันทบูร
เพอร์ไลท์ผสมเวอร์มิคิวไลท์	85.0+ 0.5 <sup>a</sup>	ลำต้นค่อนข้างอวบ มีสีเขียวเข้ม
กาบมะพร้าว	75.0 +0.3 <sup>a</sup>	ลำต้นอวบ มีสีเขียว
กาบมะพร้าวผสมถ่านไม้	70.0+ 0.3 <sup>a</sup>	ลำต้นผอม มีสีเขียว ใบเล็ก
F-test	ns	
CV.	15.7	

หมายเหตุ ns ค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์ในคอลัมน์นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ค่าเฉลี่ย+SE จากการทดลอง 4 ซ้ำ ๆ ละ 5 ตัวอย่าง



รูปที่ 1 ลักษณะต้นกล้าหวายเหลืองจันทบูรที่เลี้ยงในอาหารสูตรจัตราพรรณ IV อายุ 4 สัปดาห์ ที่พร้อมที่จะนำออกย้ายปลูก



- รูปที่ 2** ลักษณะของต้นกล้ากล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรที่ปลูกในวัสดุปลูกต่าง ๆ
- แถวที่ 1 จากด้านซ้ายของภาพ คือ เพอร์ไลท์ผสมเวอร์มิคิวไลท์
- แถวที่ 2 ถัดเข้ามา คือ กาบมะพร้าวผสมถ่านไม้
- แถวที่ 3 ถัดจากแถวที่ 2 คือ กาบมะพร้าว

## วิจารณ์

การศึกษาครั้งนี้ผลการทดลองเมื่อพิจารณาจากค่าทางสถิติพบว่าวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิด สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุในการย้ายปลูกได้ แต่ควรพิจารณาดังกล่าวใช้จ่าย เนื่องจากเพอร์ไลท์และเวอร์มิคิวไลท์มีราคาสูง การใช้กาบมะพร้าวจะช่วยประหยัดต้นทุนมากกว่า และหาได้ง่าย เมื่อนำไปใช้จริงควรคำนึงถึงอิทธิพลอื่นร่วมด้วย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น หากให้น้ำมากไปแก่ต้นกล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร จะทำให้เกิดการเน่าและตายได้ง่าย จากการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรที่ย้ายปลูกพบว่า กาบมะพร้าวเป็นวัสดุปลูกที่ทำให้ต้นกล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรมีการเจริญเติบโตทางด้านจำนวนใบ จำนวนราก จำนวนหน่อ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากวัสดุปลูก

ที่เป็นเพอร์ไลท์ผสมเวอร์มิคิวไลท์ และกาบมะพร้าวผสมถ่านไม้ มีรายงานการใช้วัสดุปลูกอื่นที่ไม่ใช่กาบมะพร้าว แต่เป็นขุยมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุปลูกใกล้เคียงกัน โดยจินดา และคณะ (2543) ทำการย้ายปลูกต้นกล้วยไม้สิงโตนกยูงทอง พบว่าวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญมากที่สุด คือ ขุยมะพร้าว ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวัสดุปลูกที่ให้ความชื้นสูง เหมาะสำหรับกล้วยไม้ปลูกใหม่ เพราะจะทำให้ตั้งตัวเร็วทำให้กล้วยไม้เจริญงอกงามเร็วกว่าปลูกด้วยวัสดุปลูกชนิดอื่น ๆ จวงจันทร์ และสมพร (2548) ศึกษาการขยายพันธุ์กล้วยไม้ว่านเพชรหึงโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ พบว่าเมื่อย้ายปลูกลงในวัสดุปลูกที่มีส่วนประกอบของขุยมะพร้าว เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ มีเปอร์เซ็นต์การรอด 100 เปอร์เซ็นต์ และมีการเจริญเติบโตเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกอื่น

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแผนกวิชาชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และภาควิชาเทคโนโลยีและการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ได้สนับสนุนอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

กองประชาสัมพันธ์ราชมงคล. (2546). วิธีการปลูกกล้วยไม้ [online] [อ้างเมื่อ 15 กรกฎาคม 2546] จาก [www.panmai.com/Orchid/orchid5.html](http://www.panmai.com/Orchid/orchid5.html)

จวงจันทร์ สุวรรณชาติ และสมพร ประเสริฐสงสกุล. (2548). การขยายพันธุ์กล้วยไม้ว่านเพชรหึง โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. การประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย ภาคโปสเตอร์ ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 19 สิงหาคม 2548 หน้า 68-75.

จิตรพรธรรม พิสิท. (2535). การเพาะเมล็ดและการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกล้วยไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

จินดา สุควัดแก้ว นาดยา มนตรี และกนกพร บุญญะอดิชาติ. (2543). ศึกษาผลของ 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2, 4-D) และ Benzyladenine (BA) ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้สิงโตนกยูงทอง [online] [อ้างเมื่อ 28 มิถุนายน 2547] จาก [www.Kmitl.ac.th/Chumphon](http://www.Kmitl.ac.th/Chumphon)

นงนุช เครือสนิท. (2544). การเพาะเมล็ดกล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร (*Dendrobium friedericksianum* Rchb.f). รายงานวิจัยระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีและการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

รัฐพล นัทรบรรยงค์ นฤมล ตูลยพิทักษ์ และสมพร ประเสริฐสงสกุล. (2546). การเพาะเลี้ยงต้นกล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูรบนสูตรอาหารอินทรีย์. ว.วิทยาศาสตร์เกษตร. 34: 36-39.

สมพร ประเสริฐสงสกุล และนัยนา ศรีชัย. (2547). ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตและผงถ่านกัมมันต์ต่อการพัฒนาการขยายพันธุ์กล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 26(5): 757-763.

สุกาญจนา เอี้ยวเจริญ. (2545). การเพาะเลี้ยงต้นกล้วยไม้หวายเหลืองจันทบูร (*Dendrobium friedericksianum* Rchb.f). บนสูตรอาหารอินทรีย์. รายงานวิจัยระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีและการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

อบฉันท์ ไทยทอง. (2543). กล้วยไม้เมืองไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. อมรินทร์พริ้นติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ. 461 หน้า.

Vacin, E., Went, F. (1949). Some pH change in nutrient solution. Botan. Gaz. 110: 605-613.



## กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติ กับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต

### Grafting of 2-Hydroxyethyl Acrylate onto Natural Rubber

กณสิทธิ์ จตุเทน ปวีณา ฆารไสว ไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์  
และสิทธิพงษ์ อำนวยพานิชย์

#### บทคัดย่อ

กราฟต์โคพอลิเมอร์ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต (HEA) บนยางธรรมชาติ ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยใช้กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน ในการทดลองได้ศึกษาผลของปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาโปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟต และอัตราส่วน HEA ต่อยางธรรมชาติที่มีต่อประสิทธิภาพการกราฟต์ การหาเอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยเทคนิค FT-IR ปรากฏพีกของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ที่  $3382\text{ cm}^{-1}$  หมู่คาร์บอนิล (C=O) ที่  $1732\text{ cm}^{-1}$  และพันธะคู่อะลิฟาติก (C=CH) ที่  $837\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการยืนยันการเกิดกราฟต์ของ พอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) (PHEA) บนยางธรรมชาติ ประสิทธิภาพการกราฟต์สูงสุดอยู่ที่ 84.1% โดยใช้อัตราส่วนโมลของ HEA ต่อยางธรรมชาติเป็น 85:15 และปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 โมลเปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าสมบัติทางความร้อนและการละลายของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้มีความแตกต่างกัน เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติและ PHEA

#### Abstract

The graft copolymerization of 2-hydroxyethyl acrylate (HEA) onto natural rubber (NR) was carried out by emulsion polymerization. The effects of the amount of potassium persulfate initiator and monomer-to-rubber molar ratio on the grafting efficiency (GE) are investigated. The graft copolymers were characterized by infrared spectroscopy (FT-IR) and found the characteristic peaks of hydroxyl (OH) group at  $3382\text{ cm}^{-1}$ , carbonyl (C=O) group at  $1732\text{ cm}^{-1}$  and aliphatic double bond (C=CH) at  $837\text{ cm}^{-1}$  which confirmed the grafting of poly (2-hydroxyethyl acrylate) (PHEA) onto NR. The grafting efficiency showed the highest value of 84.1 % when molar ratio of NR to HEA was 85:15 and 0.50 mole% of initiator was used. In addition, graft copolymers showed different thermal properties and solubility when compared with NR and PHEA.

คำสำคัญ : กราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน ยางธรรมชาติ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต

Key words : graft copolymerization; natural rubber, 2-hydroxyethyl acrylate

## บทนำ

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber: NR) มีชื่อทางเคมีคือ *cis*-1,4-polyisoprene ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (Isoprene:  $C_5H_8$ ) มาต่อกันเป็นสายยาวในหน่วยของไอโซพรีนจะมีหมู่แอลฟาเมทิลีน ( $\alpha$ -Methylene) และพันธะคู่ โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีสมบัติคือยบางประการ โดยเฉพาะการไม่ทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ การปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเตรียมยางผสม (rubber blend) การใช้สารเติมแต่ง และการทำให้เกิดเป็นกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยที่โคพอลิเมอร์แบบกราฟต์ มีลักษณะเป็นสายโซ่โมเลกุลที่มีกิ่งแยกจากสายโซ่หลัก และแต่ละหน่วยของมอนอเมอร์ในสายโซ่หลักจะมีชนิดเดียว

ในการปรับปรุงสมบัติการทนต่อน้ำมันของยางธรรมชาติโดยการกราฟต์พอลิเมอร์ มักใช้มอนอเมอร์ที่มีความเป็นขั้วค่อนข้างสูง เช่น มอนอเมอร์ที่มีหมู่อะมิโน เช่น ไคเมทิลอะมิโนเอทิลเมทาคริเลต (Oliveira et al., 2004) หรือที่มีหมู่ไฮดรอกซี เช่น 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต (Vargun et al., 2005) 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (Ferrer et al., 2004) และ เมทิลเมทาคริเลต (Lee et al., 2002) ความเป็นขั้วของมอนอเมอร์ก่อให้เกิดพันธะไฮโดรเจน ซึ่งทำให้มีการดูดซับน้ำหรือกลุ่มโมเลกุลที่มีขั้วได้ดี และทำให้ยางธรรมชาติที่มีการกราฟต์สามารถทนตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดีขึ้น

ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำมอนอเมอร์ที่มีขั้วสูง ได้แก่ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลตมากราฟต์ลงบนยางธรรมชาติเพื่อให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติที่มีความเป็นขั้วเพิ่มขึ้น โดยการกราฟต์จะอาศัยการสังเคราะห์แบบอิมัลชันพอลิเมอร์ เซชัน โดยศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติกับมอนอเมอร์ และปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพของการกราฟต์ รวมทั้งศึกษาสมบัติทางความร้อน และการละลาย โดย

เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติและพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต)

## สารเคมี

น้ำยางธรรมชาติชนิดข้น (natural rubber latex: NRL) ซึ่งมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 61 เปอร์เซ็นต์ (61% Dry Rubber Content; DRC) ได้จาก บมจ.ไทยฮั้วยางพารา (สาขาอุดรธานี) มอนอเมอร์ที่ใช้คือ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต (2-hydroxyethyl acrylate: HEA) จากบริษัท Acros ตัวริเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนที่ใช้คือ โพแตสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium persulfate:  $K_2S_2O_8$ ) จากบริษัท Aldrich และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide: BPO) จากบริษัท Acros อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้คือ โซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium lauryl sulfate: SLS) จากบริษัท Ajax บัฟเฟอร์ที่ใช้คือ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium hydrogen carbonate:  $NaHCO_3$ ) จากบริษัท Aldrich อะซิโตน (Acetone) จากบริษัท Carlo Erba คลอโรเบนซีน (Chlorobenzene) จากบริษัท Riedel เอทานอล (Ethanol) ไคเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide: DMSO) จากบริษัท BDH ปีโตรเลียมอีเธอร์ (Petroleum ether) เฮกเซน (Hexane) โทลูอีน (Toluene) ไดคลอโรมีเทน (Dichlorobenzene) จากบริษัท Lab-Scan และอะลูมินา (Aluminum oxide) เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl Ethyl Ketone: MEK) จากบริษัท Unilab

## วิธีการทดลอง

### การสังเคราะห์พอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) (PHEA)

นำ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต (HEA) ที่ผ่านการกำจัดตัวยับยั้งปฏิกิริยาด้วยอะลูมินาแล้ว 6.0 กรัมใส่ในขวดก้นกลม 2 คอขนาด 100 มิลลิลิตร ละลาย HEA ด้วยเอทานอลปริมาณ 40 มิลลิลิตร แล้ว

ผ่านแก๊สไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมตัวริเริ่มปฏิกิริยาเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (BPO) ปริมาณ 0.05 กรัม แล้วทำการพอลิเมอไรซ์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำสารที่ได้ไประเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสาร (Rotary evaporator) แล้วนำไปทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งโดยละลายในเอทานอล แล้วนำไปตกตะกอนด้วยไคลคลอโรมีเทน จากนั้นแยกเอาพอลิเมอร์ที่ตกตะกอนออก แล้วปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยที่อุณหภูมิห้อง นำไปอบในตู้อบสุญญากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พอลิเมอร์ที่ได้จะมีลักษณะเหนียวใส

#### การกราฟต์โคพอลิเมอร์ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลตบนยางธรรมชาติ (NR-g-PHEA)

ผสมน้ำยางธรรมชาติ อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) 0.05 กรัม บัฟเฟอร์ (Buffer) 0.05 กรัม และน้ำที่ปราศจากไอออนในขวดก้นกลม 30 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟตซึ่งละลายในน้ำที่ปราศจากไอออนลงไป โดยค่อยๆหยดลงไปภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นค่อยๆเติม HEA ลงไปโดยมีปริมาณสัดส่วนของยางธรรมชาติต่อ HEA และปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยา แสดงในตารางที่ 1 ทำการกวนของผสมตลอดเวลาแล้วปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำลาเทกซ์ที่ได้เทลงใน Petri dish แล้วนำไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น

#### การหาประสิทธิภาพการกราฟต์

นำตัวอย่างแห้งมาชั่งน้ำหนักแล้วตัดเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปสกัดแบบซอกซ์เลต (soxhlet extraction) โดยสกัดครั้งที่ 1 ใช้เอทานอลเป็นตัวสกัดเพื่อสกัดเอา PHEA ที่ไม่เกิดกราฟต์ออก จากนั้นนำตัวอย่างเดิมมาทำการสกัดครั้งที่ 2 โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์สกัดเอา NR ที่มีการกราฟต์ออก การสกัดแต่ละครั้งใช้เวลา 24 ชั่วโมง สารละลายที่ได้

จากการสกัดนำไประเหยตัวทำละลายออกแล้วนำไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก ส่วนที่เหลือจากการสกัดทั้งสองครั้งจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และ TG/DTA ต่อไป

ประสิทธิภาพการกราฟต์ (% Grafting Efficiency: % GE ) ของ PHEA บน NR คำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ GE} = \frac{\text{น้ำหนักกราฟต์ PHEA}}{\text{น้ำหนัก PHEA ที่ไม่เกิดกราฟต์} + \text{น้ำหนักกราฟต์ PHEA}} \times 100$$

#### การวิเคราะห์ หามุมฟังก์ชันของพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) ในโมเลกุลของยางธรรมชาติ

วิเคราะห์ หามุมฟังก์ชันโดยเครื่อง FT-IR ของ Perkin-Elmer รุ่น Spectrum One เตรียมตัวอย่างโดยนำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ผ่านการสกัดซอกซ์เลต (soxhlet extraction) ทั้งสองครั้งมาละลายกับโทลูอีน แล้วนำไปป้ายลงบนโซเดียมคลอไรด์เซลล์ ระเหยตัวทำละลายออก หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์หามุมฟังก์ชันของพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) โดยพิกที่สำคัญอยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่  $3422 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงการยืดของพันธะ OH และ ตำแหน่งเลขคลื่นที่  $1730 \text{ cm}^{-1}$  แสดงการยืดของ C=O สำหรับค่าการดูดกลืนรังสีในช่วงอินฟราเรดที่บอกเอกลักษณ์ของยางธรรมชาติ (NR) ที่สำคัญได้แก่ ตำแหน่งเลขคลื่นที่  $837 \text{ cm}^{-1}$  เป็นการงอของพันธะ C=CH และที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่  $1448$  และ  $1376 \text{ cm}^{-1}$  เป็นการยืดของพันธะ C-H ของอะลิฟาติก จาก IR สเปกตรัมสามารถหาค่า Absorbance ratio (Nakason et al., 2004) ระหว่างค่า Absorbance ของพิก C=O ที่  $1730\text{-}1738 \text{ cm}^{-1}$  (ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) กับพิกของ C=CH ที่  $834\text{-}841 \text{ cm}^{-1}$  (ของยางธรรมชาติ) ซึ่งถ้าค่า Absorbance Ratio สูงแสดงว่าระดับการเกิดกราฟต์ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต บนยางธรรมชาติมีค่าสูง

### การศึกษาสมบัติเชิงความร้อน

นำยางธรรมชาติ พอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) และกราฟต์โคพอลิเมอร์ ประมาณ 7-9 มิลลิกรัม ไปทดสอบการสลายตัวด้วยเครื่อง TG-DTA รุ่น Pyris Diamond TG/TGA ในช่วงอุณหภูมิ 30-520 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการเพิ่มความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

### การทดสอบการละลาย

เปรียบเทียบการละลายของยางธรรมชาติ พอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) และกราฟต์โคพอลิเมอร์ (NR-g-PHEA) โดยนำตัวอย่าง 10 มิลลิกรัม มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในตัวทำละลาย 2 มิลลิลิตรซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ ได้แก่ อะซิโตน คลอโรเบนซีน ไคคลอโรมีเทน ไคเมทิลซัลฟอกไซด์ เอทานอล เมทิลเอทิลคีโตน และ โทลูอีน แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 2 วัน

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### การศึกษาโครงสร้างของกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยเทคนิค FT-IR

สเปกตรัมค่าการดูดกลืนรังสีในช่วงอินฟราเรดของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (NR-g-PHEA) แสดงพีคที่สำคัญของทั้งยางธรรมชาติ และพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) โดยจะเห็นได้ชัดเจนว่ามีพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่  $837\text{ cm}^{-1}$  เป็นการงอของพันธะ C=CH และที่ตำแหน่งเลขคลื่นที่  $1448$  และ  $1376\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงถึงพันธะ C-H ของอะลิฟาติก และมีพีคของ OH ที่  $3382\text{ cm}^{-1}$  และพีคของ C=O ที่  $1732\text{ cm}^{-1}$  ดังแสดงในรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ของพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) บนยางธรรมชาติ

### ผลของปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยา

รูปที่ 2 แสดงผลของตัวริเริ่มปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพการกราฟต์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาในช่วงแรก จากนั้นเมื่อมีการเพิ่มตัวริเริ่มปฏิกิริยาอีก พบว่า % GE กลับมีค่าลดลง ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากที่ในช่วงแรกปริมาณของตัวริเริ่มน้อย ทำให้จำนวนอนุมูลเสรีมีปริมาณไม่มาก ซึ่งอนุมูลเสรีนี้จะเข้าไปเกิดปฏิกิริยากับพันธะคู่บนโมเลกุลยางธรรมชาติตามกลไกพอลิเมอไรเซชันแบบผ่านอนุมูลเสรี ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์จึงได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่เมื่อปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเพิ่มมากเกินไป ปริมาณของอนุมูลเสรีมีมากเกินไป ทำให้โอกาสที่อนุมูลเสรีของมอนอเมอร์จับกันเองเป็นไปได้สูง และอนุมูลเสรีบางส่วนจะไปจับกับตำแหน่งที่เกิดการกราฟต์ทำให้ปฏิกิริยาลิ้นสุด ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์จึงลดลง ซึ่งเป็นผลให้ความยาวสายโซ่ของกราฟต์สั้นลง (ปรีชา, 2542) ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวพบได้ในการกราฟต์มอนอเมอร์ชนิดอื่นบนยางธรรมชาติเช่นกัน เช่น การกราฟต์เมทิล เมทาคริเลตบนยางธรรมชาติ (Thiraphataraphun et al., 2001) การกราฟต์มาเลอิก แอนไฮไดรด์บนยางธรรมชาติ (Nakason et al., 2004)

### ผลของอัตราส่วนโดยโมลของยางธรรมชาติต่อ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต

รูปที่ 3 แสดงผลของปริมาณ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลตต่อเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์ (% Grafting Efficiency, % GE) พบว่าเมื่อปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลตต่อยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์

มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่ม NR:HEA เป็น 80:20 เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการกราฟต์มีค่าลดลง จากการทดลองพบว่า % GE มีค่าสูงสุด เมื่อมีอัตราส่วน โดยโมลของ NR:HEA เป็น 85:15 นอกจากนี้จากการหาค่า Absorbance ratio จาก FT-IR สเปกตรัมก็พบว่า การเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มไปทางเดียวกัน ผลที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์เชชันจะเกิดปฏิกิริยาที่บริเวณผิวของอนุภาคยางธรรมชาติ ในกรณีที่ใช้อัตราส่วนของมอนอเมอร์ต่อยางธรรมชาติน้อย ความหนาของชั้นมอนอเมอร์รอบอนุภาคยางธรรมชาติน้อยทำให้มอนอเมอร์เกิดกราฟต์กับยางธรรมชาติได้ง่าย ประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์จึงมีค่ามาก แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของมอนอเมอร์ต่อยางธรรมชาติมากขึ้น ความหนาของชั้นมอนอเมอร์นอกอนุภาคยางธรรมชาติจะเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ระยะทางในการแพร่ของอนุมูลเสรีไปยัง พื้นผิวของอนุภาคยางธรรมชาติมีระยะ เพิ่มขึ้นมาก ทำให้การกราฟต์ระหว่างมอนอเมอร์ และสายโซ่ยางธรรมชาติเป็นไปได้ยาก จึงทำให้ประสิทธิภาพการกราฟต์มีค่าลดลง (ปรีชา, 2542)

#### สมบัติเชิงความร้อน

TG เทอร์โมแกรม ที่แสดงการสลายตัวของยางธรรมชาติบริสุทธิ์ PHEA และ NR-g-PHEA แสดงในรูปที่ 4 พบว่ายางธรรมชาติบริสุทธิ์มีการสูญเสีย น้ำหนักอย่างช้าๆ ในช่วงแรก โดยมีการลดลงของ น้ำหนักประมาณ 10% ที่อุณหภูมิประมาณ 309°C หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วและที่อุณหภูมิ 369°C มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 50% ส่วนพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) พบว่าที่อุณหภูมิ 257°C มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 10% หลังจากนั้นมีการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วและที่อุณหภูมิ 385°C มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 50% ส่วนกราฟต์โคพอลิเมอร์ (NR-g-PHEA) พบว่าที่อุณหภูมิ 342°C มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 10% และมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 50% ที่อุณหภูมิ 388°C

จากเทอร์โมแกรม DTG ในรูปที่ 5 พบว่า อัตราการสูญเสียน้ำหนักของยางธรรมชาติบริสุทธิ์มีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 371°C ส่วนอัตราการสูญเสียน้ำหนักของพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) เกิดขึ้นสูงสุดที่อุณหภูมิ 388°C เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดของกราฟต์โคพอลิเมอร์กับยางธรรมชาติบริสุทธิ์ และพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) สำหรับ NR-g-PHEA พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดที่ 384°C ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดของยางธรรมชาติบริสุทธิ์ และพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต)

#### สมบัติการละลาย

ตารางที่ 2 แสดงการละลายของยางธรรมชาติ พอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) และกราฟต์โคพอลิเมอร์ (NR-g-PHEA) ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ได้แก่ อะซิโตน คลอโรเบนซีน ไคคลอโรมีเทน ไคเมทิลซัลฟอกไซด์ เอทานอล เมทิลเอทิลคีโตน และโทลูอีน ยางธรรมชาติละลายได้ดีในโทลูอีน ซึ่งยางธรรมชาติเป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเหมือนกัน และพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) ละลายได้ดีในเอทานอล เนื่องจากพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) นั้นเป็นสายโซ่พอลิเมอร์มีขั้วค่อนข้างสูงจึงละลายได้ดีกับตัวทำละลายที่มีขั้วสูงเช่นเดียวกัน ส่วนพอลิเมอร์ที่มีขั้วค่อนข้างสูงนั้นเมื่อเข้าไปกราฟต์บน โมเลกุลของยางธรรมชาติ ทำให้การละลายในโทลูอีนนั้นยากขึ้น ทำให้ตัวทำละลายโทลูอีนเข้าไปแทรกภายใน โมเลกุลของกราฟต์โคพอลิเมอร์ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น กราฟต์โคพอลิเมอร์ (NR-g-PHEA) จึงบวมเล็กน้อยในตัวทำละลายโทลูอีน ทำให้ยางที่มีการกราฟต์ด้วยพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) ทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดีขึ้น

## สรุปผลการทดลอง

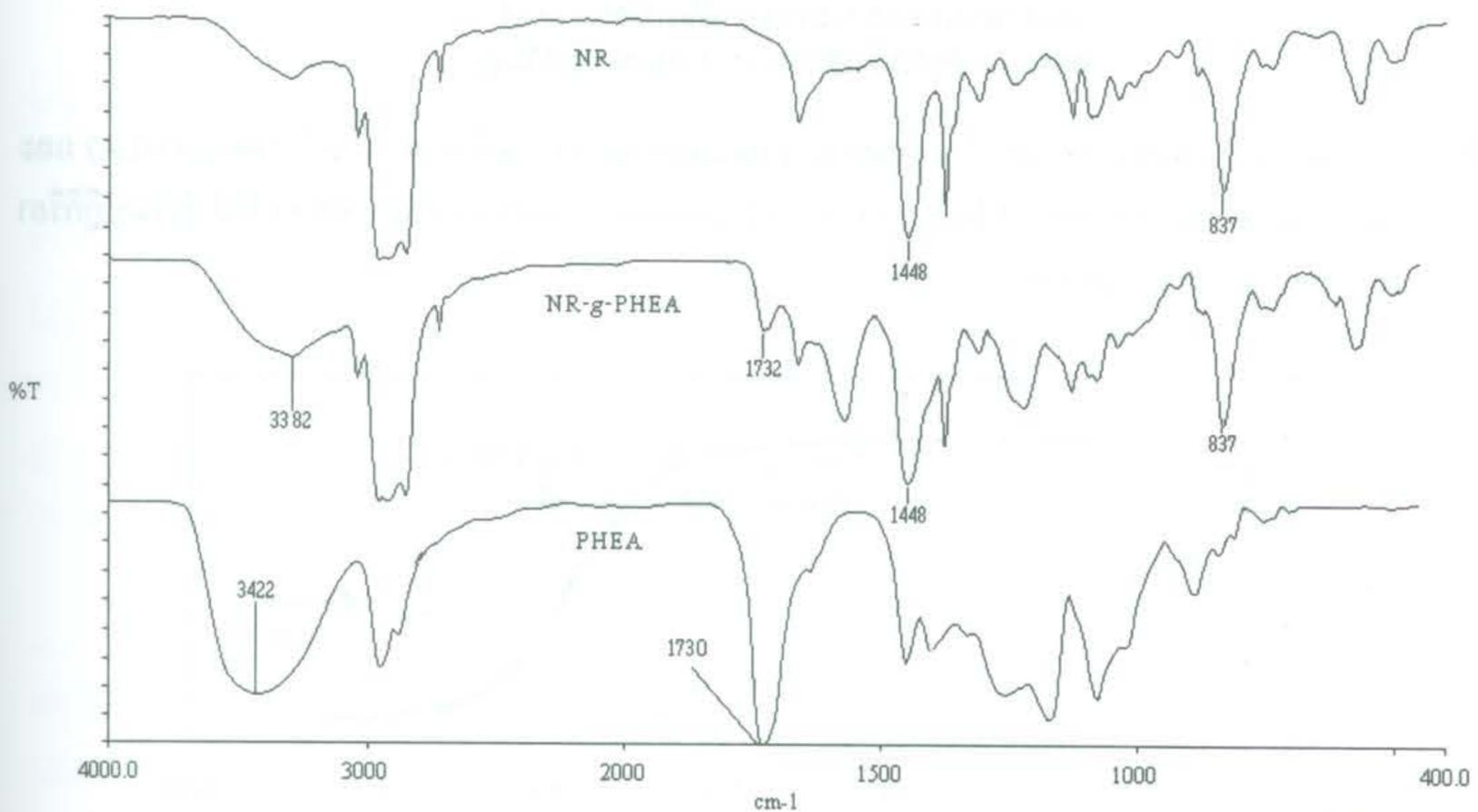
จากการทดลองสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลตมอนอเมอร์โดยใช้โปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟต ( $K_2S_2O_8$ ) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาในกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน โดยแปรเปลี่ยนอัตราส่วนโมลระหว่างยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลตเป็น 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 พบว่าเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพการกราฟต์ (% Grafting Efficiency : % GE) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต และ ที่อัตราส่วน 85:15 นั้นมี % GE มีค่าสูงสุด โดยใช้ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 0.50 เปอร์เซ็นต์โมล แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของมอนอเมอร์ขึ้น โดยเพิ่มอัตราส่วนโมลของยางธรรมชาติต่อมอนอเมอร์เป็น 80:20 % GE มีค่าลดลง และในขณะเดียวกันเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณของ โปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟต ( $K_2S_2O_8$ ) ที่เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาเป็น 0.02 0.05 และ 0.80 เปอร์เซ็นต์โมล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยา % GE มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงแรกและจะลดลงเมื่อตัวริเริ่มปฏิกิริยามีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกและพบว่าปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์โมลจะให้ประสิทธิภาพการกราฟต์สูงสุด โดยที่ NR:HEA เป็น 85:15 การเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ (NR-g-PHEA) สามารถยืนยันได้จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ โดยใช้เทคนิค FT-IR ซึ่งแสดงพิกที่สำคัญของทั้งยางธรรมชาติ (NR) และพอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) (PHEA) การศึกษาสมบัติทางความร้อนของกราฟต์โคพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค TG/DTA พบว่าอุณหภูมิที่มีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดของกราฟต์โคพอลิเมอร์อยู่ระหว่างอุณหภูมิที่มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดของยางธรรมชาติบริสุทธิ์ และของพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) เนื่องจากอิทธิพลของการเกิดกราฟต์เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติและพอลิ (2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต) นอกจากนี้จากการทดสอบการละลายพบว่า กราฟต์โคพอลิเมอร์ มีความคงทนต่อตัวละลายอินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ

## เอกสารอ้างอิง

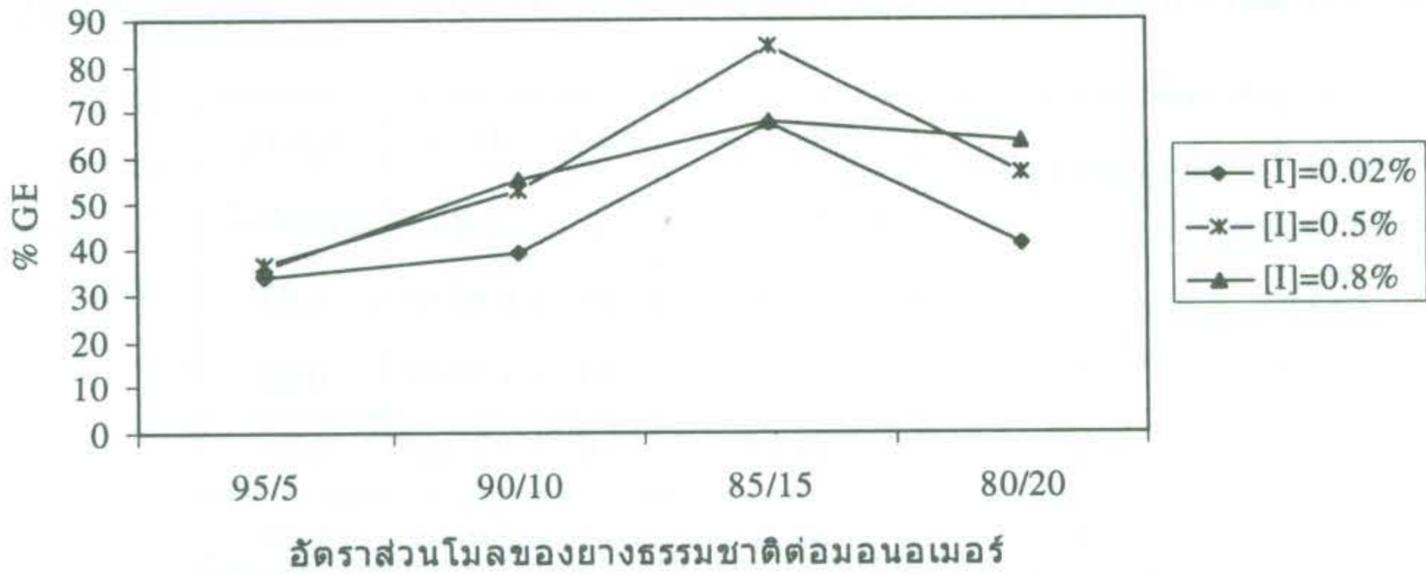
- Oliveira, P.C., Guimaraes, A., Cavaille, J.Y., Chazeau, L., and Gilbert, R.G. (2004). Poly (dimethylaminoethyl methacrylate) graft natural rubber from seeded emulsion polymerization. *Polymer*. 46: 1105-1111.
- Vargn, E. and Usanmaz, A. (2005). Polymerization of 2-hydroxyethyl acrylate in bulk and solution by chemical initiator and by ATRP method. *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.* 43: 3957-3965.
- Ferrer, G.G., Monleón Pradas, M., Gómez Ribelles, J. L., and Sánchez, S.M. (2004). Thermodynamical analysis of the hydrogel state in poly (2-hydroxyethyl acrylate). *Polymer*. 45: 6207-6217.
- Lee, D.Y., Subramaniam, N., Fellows, C.M., and Gilbert, R.G. (2002). Structure-Property Relationships in Modified Natural Rubber Latexes Grafted with Methyl Methacrylate and Vinyl neo-Decanoate. *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.* 40: 809-822.
- Nakason, C., Kaesaman, A., and Supasanthitikul, P. (2004). The grafting of maleic anhydride onto natural rubber. *Polym. Test.* 23: 35-41.
- Thiraphattaraphun, L., Kaitkamjornwong, K., Prassarakich, P., and Damronglerd, S. (2001). Natural rubber-g-methyl methacrylate/poly (methyl methacrylate) blends. *J. Appl. Polym. Sci.* 81: 428-439.
- ปรีชา สุนทรเรืองยศ. (2542). การกราฟต์สไตรีนและเมทิลเมทาคริเลตบนยางธรรมชาติในกระบวนการอิมัลชันแบบกะและกึ่งกะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ตารางที่ 1 ปริมาณสารที่ใช้ในการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ เมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณของ  $K_2S_2O_8$

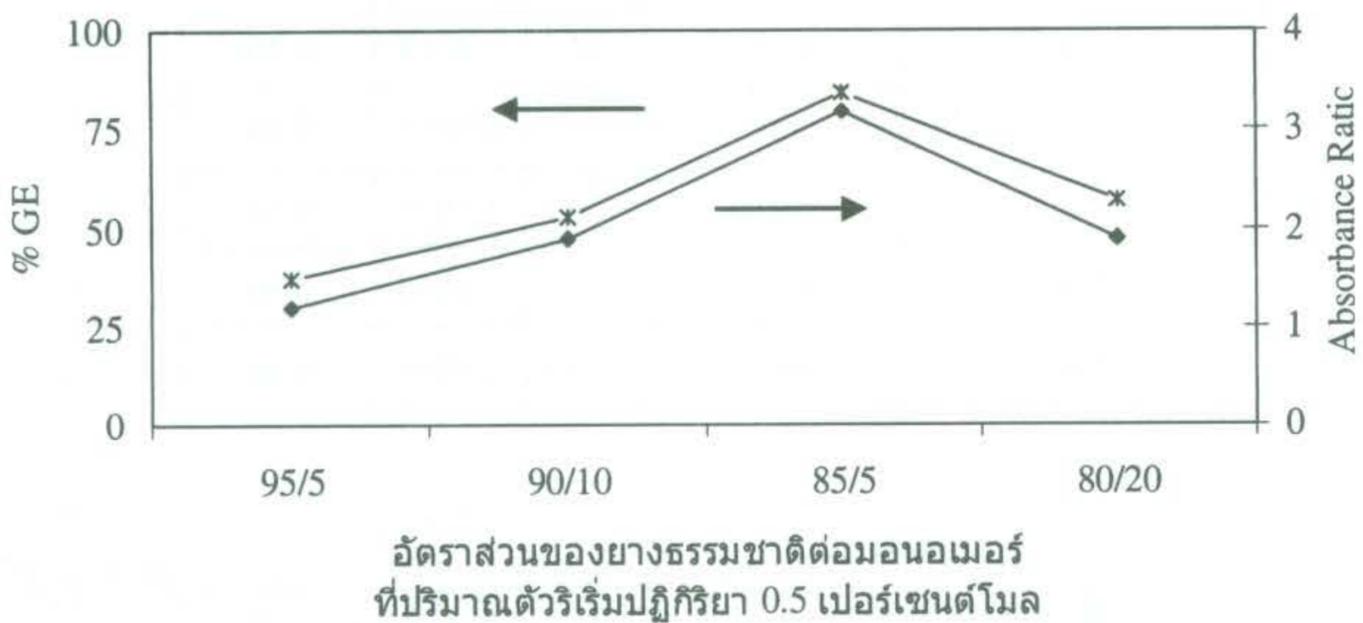
การทดลองชุดที่	NR:HEA (molar ratio)	NRL (g)	HEA (g)	$K_2S_2O_8$ (mol%)
1.1	95:5	10	0.6575	0.02
1.2	90:10	10	1.2680	0.02
1.3	85:15	10	1.8780	0.02
1.4	80:20	10	2.6152	0.02
2.1	95:5	10	0.5696	0.50
2.2	90:10	10	1.3045	0.50
2.3	85:15	10	2.5014	0.50
2.4	80:20	10	2.8118	0.50
3.1	95:5	10	0.5681	0.80
3.2	90:10	10	1.1979	0.80
3.3	85:15	10	1.8816	0.80
3.4	80:20	10	2.6560	0.80



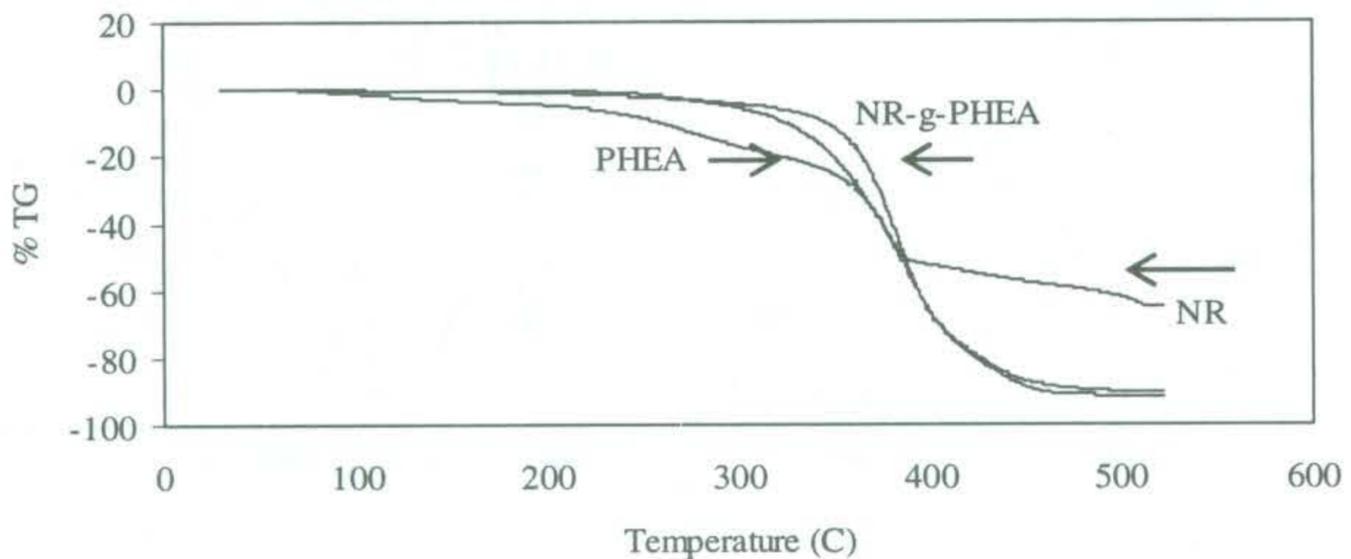
รูปที่ 1 IR สเปกตรัมของ NR บริสุทธิ์ PHEA และกราฟต์โคพอลิเมอร์ (NR-g-PHEA)



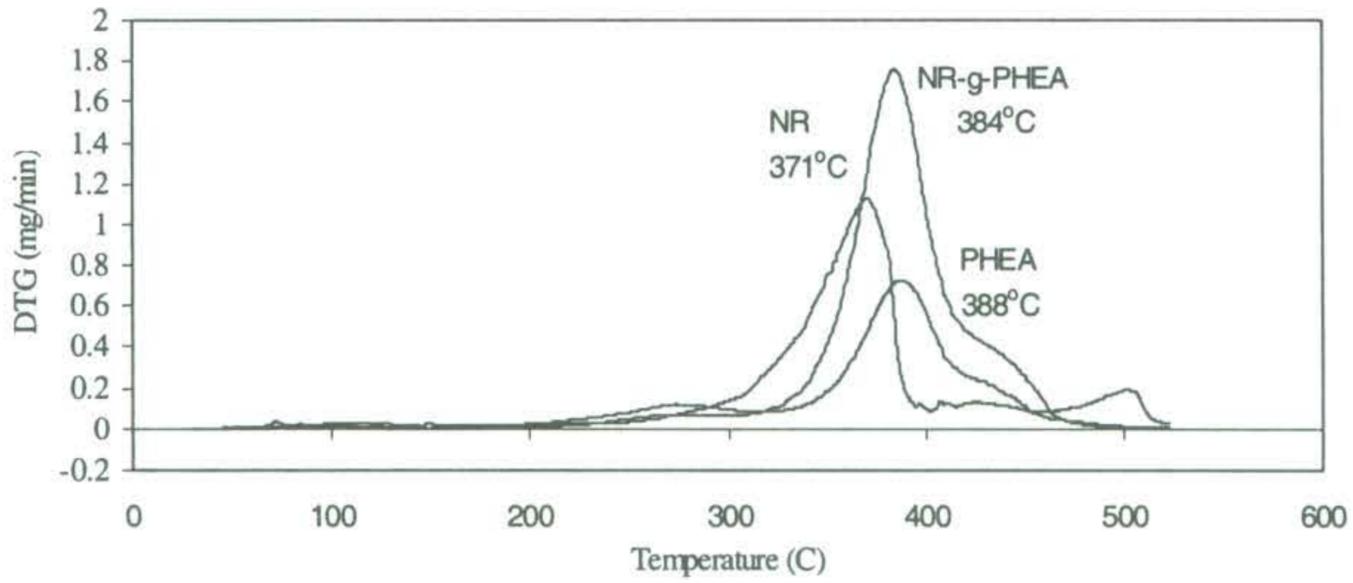
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Grafting Efficiency ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (NR-g-PHEA) กับอัตราส่วนโมลของยางธรรมชาติต่อมอนอเมอร์ เมื่อเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โมลของตัวริเริ่มปฏิกิริยา



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Grafting Efficiency ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ (NR-g-PHEA) และ Absorbance ratio กับ อัตราส่วน โมลของยางธรรมชาติต่อมอนอเมอร์ (NR: HEA) ที่ตัวริเริ่มปฏิกิริยาเท่ากับ 0.50 เปอร์เซ็นต์โมล



รูปที่ 4 TGA เทอร์โมแกรมของยางธรรมชาติบริสุทธิ์ PHEA และ NR-g-PHEA



รูปที่ 5 DTG เทอร์โมแกรมของ ยางธรรมชาติบริสุทธิ์ PHEA และ NR-g- PHEA

ตารางที่ 2 การละลายของกราฟต์โคพอลิเมอร์ เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติกับ PHEA

ตัวทำละลาย	ตัวอย่าง		
	ยางธรรมชาติ	PHEA	NR-g-PHEA
โทลูอีน	ละลาย	ไม่ละลาย	บวมเล็กน้อย
ไดคลอโรมีเทน	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย
เมทิลเอทิลคีโตน	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย
คลอโรเบนซีน	บวม	บวม	บวม
อะซีโตน	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย
ไดเมทิลซัลฟอกไซด์	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย	ไม่ละลาย
เอทานอล	ไม่ละลาย	ละลาย	ไม่ละลาย

\*\*\*\*\*



FIGURE 1. PERCENTAGE OF THE POPULATION IN THE SEVERAL CLASSES OF THE INCOME TAX.

TABLE 1. THE PERCENTAGE OF THE POPULATION IN THE SEVERAL CLASSES OF THE INCOME TAX.

Year	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
1900	10	10	10	10
1901	15	15	15	15
1902	20	20	20	20
1903	30	30	30	30
1904	40	40	40	40
1905	85	45	45	45
1906	70	35	35	35
1907	50	25	25	25
1908	30	15	15	15
1909	20	10	10	10
1910	15	10	10	10

TABLE 2. THE PERCENTAGE OF THE POPULATION IN THE SEVERAL CLASSES OF THE INCOME TAX.

ดัชนีุกรมวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

(เรียงตามชื่อผู้เขียน)

ปีที่ 34 (พ.ศ. 2549)

ผู้เขียน	ชื่อเรื่อง	ฉบับที่	หน้า
รายงานพิเศษ ดร.อรุณี เหมือนวงศ์	รางวัลนักวิจัยรุ่นใหม่ดีเด่น สกว.-สกอ. ประจำปี 2549	4	251-253
Alongkoad Tanomtong, Sumpars Khunsook, Wiwat Kaensa, Roungwit Bunjongrat and Wichit Kongkham	Cytogenetics of the Rhesus Monkey, <i>Macaca mulatta</i> (Primate, Cercopithecidae) in Thailand	2	103-113
Wijarn Sodsiri	Lorentzian Motions in Minkowski 3-space	3	242-249
กมลสิทธิ์ จตุเทน ปวีณา ชารุโสภา ไชยวัฒน์ รักษกุลพิวัฒน์ และ สิทธิพงษ์ อำนวยพานิชย์	กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต Grafting of 2-Hydroxyethyl Acrylate onto Natural Rubber	4	289-297
กรรมทิวา แสนพรม	การยับยั้งแสดงออกของ MHC class I ในเซลล์ประสาท	2	141-147
จิตลัดดา รุ่งเรือง	คุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทและคุณภาพ น้ำแข็งหลอดในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	4	275-282
ชุติมา คู่อุ่มพร, ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง และศุภลักษณ์ ศรีจรรย์	ผลกระทบของการชะล้างเกลือตามธรรมชาติและการผลิตเกลือ ต่อคุณภาพน้ำในแม่น้ำสงคราม	1	47-58
ดวงพร กุลมณฑลลักษมี	การกลายพันธุ์ของไขหวัดนก	2	148-152
ทรงยศ พิสิษฐ์กุล เกียรติสยาม แก้วดอกกรัก อนันต์ พลธานี และปรีชา นิระ	การศึกษาระดับความต้านทานของข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อด้วงค้ำ <i>Heteronychus lioderes</i> , <i>Alissonotum simile</i> และ พฤติกรรมการทำลายของแมลง	2	121-132
ธวัช ช่างผัด	เมตริกซ์กับจำนวนเส้นทาง	1	37-40
ธิดารัตน์ ขวัญสวัสดิ์ และนาถธิดา วีระปรียาภูร	การวิเคราะห์หาปริมาณสารสังเคราะห์ไบโอรีดักทีฟ	3	209-217
ธีรยุทธ ชาญนวงศ์	PSD เทคโนโลยีอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งชนิดใหม่	3	153-160
นฤมล แสงประดับ	การประเมินคุณภาพน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพ	1	24-36
นิภา มิตินทวิสมัย และสุวรรณมา เนียมสนิท	แบคทีเรียที่ใช้ toluene เป็นแหล่งต้นตอคาร์บอนและสามารถ สลาย trichloroethylene (TCE) ที่แยกได้จากธรรมชาติ และ แหล่งปนเปื้อน และความสามารถในการใช้สารต้นตอคาร์บอน ตัวอื่น	1	59-71
บุญทรัพย์ ไวกำ	โมบายไอพี	1	1-10
ปรียะวุฒิ วัชรานนท์	กระดองของเต่ากับตะพาบน้ำ	1	15-23
ปัญญาพล หอระตะ	แผนภาพคลาสในยูเอ็มแอล	3	171-182
ปิยะพร แสนสุข และเลิศชาย สาพรอมมา	การขยายพันธุ์กล้วยไม้ป่า กะระกะร้อนในหลอดทดลอง	3	231-241

ผู้เขียน	ชื่อเรื่อง	ฉบับที่	หน้า
พินิจ หวังสมนึก ฉันทนันท์ ประยูรชาญ นันทพร จารุพันธุ์ และสมพงษ์ คุลย์จินดาชบาพร	ความหลากหลายชนิดของโพรโทซัวในบ่อบำบัดน้ำเสียบึงทุ่งสร้าง	1	72-87
มิตรี กระพีแดง	การหารลงตัวของ $x^n - y^n$ ด้วย $x - y$	1	11-14
ยศินทร์ กิติจันทร์โรภาส	บทบาทของ perforin ต่อการเกิด apoptosis	2	145-147
รัตนา มหาชัย ชุติมา กุญ์สมุทร และทิพย์วัลย์ คำเหม็ง	ถึงบ้านคนน้ำสีย้อมเคมี	2	133-140
วัชรีย์ หาญยิ่ง	อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในกลไกของการเกิดมะเร็ง	3	199-208
วิจารณ์ สดศิริ	การตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนหมู่ของการดำเนินการทวิภาคบนเซตจำกัด	4	254-258
วิวัฒน์ หาญวงวงศ์	อันตรายที่อาจมากับไตรโคไลซาน	4	265-267
วิวัฒน์ ยงค์	การเขียนโปรแกรมติดต่อกับเครื่องบอกตำแหน่งระบบดาวเทียม GPS	3	161-170
วิวัฒน์ ยงค์ พรพิศ กงภูธร เอียน โทมัส และจันทร์เพ็ญ โทมัส	การศึกษาลักษณะของไข้ไก่ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยใช้ MRI	2	114-120
สมจิต โชติชัยสถิต และณัฐเรศ ทองใบ	การจำแนกสมาชิกนिरพล สมาชิกที่หาตัวผกผันได้และสมาชิกปกติในวง $M_2(Z_4)$	4	268-274
สมทรง ณ นคร และคณะ	ความชุกของการถนัดมือซ้ายในนักเรียนไทย : การศึกษานำร่อง	1	41-46
สมพร ประเสริฐส่งสกุล และพิสมัย นุ่มน้อย	วัสดุปลูกในการย้ายปลูกต้นกล้วยไม้หวายเหลืองจันทร์บุรีที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	4	283-288
สินีนากู ศิริ และกฤษณะ อินทร์คำน้อย	สารเอสโตรเจนจากสิ่งแวดล้อม	2	89-96
สุพร นุชดำรง	อนุมูลอิสระ: คุณและโทษต่อมนุษย์	2	97-102
หนูเดือน เมืองแสน	วัคซีนทานได้จากพืช	3	183-190
อนุสรณ์ ศรีธีระวิโรจน์	การศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลโดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข	4	259-264
อรุณี เหมือนวงศ์	การศึกษาเอกภพโดยใช้กระจุกกาแลกซี	3	191-198
อำพา เหลืองภิรมย์ ราเชษฐ สาครเจริญ และชุติมา หาญจวนิช	ผลกระทบของกรด 2,4-ไดคลอโรฟีนิลออกซีอะซิติก (2,4-ดี) ต่อตัวอ่อนระยะหลังการฝังตัวและระยะฟักตัวของหนูแฮมเตอร์	3	218-230

ดัชนีบูรณวารสารวิทยาศาสตร์ มข.  
(เรียงตามชื่อเรื่อง)  
ปีที่ 34 (พ.ศ. 2549)

ชื่อเรื่อง	ผู้เขียน	ฉบับที่	หน้า
รายงานพิเศษ ดร.อรุณี เหมือนวงศ์ รางวัลนักวิจัยรุ่นใหม่ดีเด่น สกว.-สกอ. ประจำปี 2549		4	251-253
Cytogenetics of the Rhesus Monkey, <i>Macaca mulatta</i> (Primate, Cercopithecidae) in Thailand	Alongkoad Tanomtong, Sumpars Khunsook, Wiwat Kaensa, Rongwit Bunjongrat and Wichit Kongkham	2	103-113
Lorentzian Motions in Minkowski 3-space	Wijarn Sodsiri	3	242-249
PSD เทคโนโลยีอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งชนิดใหม่	ธีรยุทธ ชาญนวงศ์	3	153-160
กระดองของเต่ากับตะพานน้ำ	ปรียะวุฒิ วัชรานนท์	1	15-23
กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลต Grafting of 2-Hydroxyethyl Acrylate onto Natural Rubber	กมลสิทธิ์ จตุเทน ปวีณา มารไสว ไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์ และสิทธิพงษ์ อำนวยพานิชย์	4	289-297
การกลายพันธุ์ของไข้ห้วคณก	ดวงพร กุลฉนทลลัษมี	2	148-152
การขยายพันธุ์กล้วยไม้ป่ากะเรกะร้อนในหลอดทดลอง	ปิยะพร แสนสุข และ เลิศชาย สาพรมมา	3	231-241
การเขียนโปรแกรมติดต่อกับGPS เครื่องบอกตำแหน่ง ระบบดาวเทียม	วิวัฒน์ ยงค์	3	161-170
การจำแนกสมาชิกนิรพล สมาชิกที่หาตัวผกผันได้ และสมาชิกปกติในวง $M_2(Z_4)$	สมจิต โชติชัยสถิต และ ณัฐเดช ทองใบ	4	268-274
การตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนหมู่ของ การดำเนินการทวิภาคบนเซตจำกัด	วิจารณ์ สดศิริ	4	254-258
การประเมินคุณภาพน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพ	นฤมล แสงประดับ	1	24-36
การยับยั้งแสดงออกของ MHC class I ในเซลล์ประสาท	กรรณทิวา แสนพรหม	2	141-147
การวิเคราะห์หาปริมาณสารสังเคราะห์ไบโอรีดักทีฟ	ธิดารัตน์ ขวัญสวัสดิ์ และ นาถธิดา วีระปรียากร	3	209-217
การศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหล โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข	อนุสรณ์ ศรีธีระวิโรจน์	4	259-264
การศึกษาระดับความต้านทานของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ต่อด้วงค้ำ <i>Heteronychus lioderes</i> , <i>Alissonotum simile</i> และ พฤติกรรมการทำลายของแมลง	ทรงยศ พิสิษฐ์กุล เกียรติสยาม แก้วดอกกรัก อนันต์ พลธานี และปรีชา นิระ	2	121-132
การศึกษาลักษณะของไข้ไก่ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยใช้ MRI	วิวัฒน์ ยงค์ พรพิศ กงภูธร เอียน โทมัส และจันทรเพ็ญ โทมัส	2	114-120
การศึกษาเอกภพโดยใช้กระจุกกาแลกซี	อรุณี เหมือนวงศ์	3	191-198
การหารลดตัวของ $x^n - y^n$ ด้วย $x - y$	มิตรี กระพีแดง	1	11-14

ชื่อเรื่อง	ผู้เขียน	ฉบับที่	หน้า
ความชุกของการถนัดมือซ้ายในนักเรียนไทย : การศึกษานำร่อง	สมทรง ฉ นคร และคณะ	1	41-46
ความหลากหลายของโพรโทซัวในบ่อบำบัดน้ำเสียบึงทุ่งสร้าง	พินิจ หวังสมนึก ฉัฐนันท์ ประยูรชาญ นันทพร จารุพันธุ์ และสมพงษ์ คุลย์จินดาชบาพร	1	72-87
คุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทและคุณภาพน้ำแข็งหลอดในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	จิตลัดดา รุ่งเรือง	4	275-282
ถังบำบัดน้ำเสียข้อมเคมี	รัตนา มหาชัย ชูติมา กุคู่สมุทร และทิพย์วัลย์ คำเหม็ง	2	133-140
บทบาทของ perforin ต่อการเกิด apoptosis	ยศินทร์ กิติจันทร์โรภาส	2	145-147
แบคทีเรียที่ใช้ toluene เป็นแหล่งคาร์บอนและสามารถสลาย trichloroethylene (TCE) ได้ที่แยกได้จากธรรมชาติ และแหล่งปนเปื้อนและความสามารถในการใช้สารคาร์บอนตัวอื่น	นิภา มลินทวิสมัย และ สุวรรณา เนียมสนิท	1	59-71
ผลกระทบของกรด 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซีอะซิติก (2,4-ดี) ต่อตัวอ่อนระยะหลังการฝังตัวและระยะฟักตัวของหนูแฮมสเตอร์	อำพา เหลืองภิรมย์ ราเชษฐ สาครเจริญ และชูติมา หาญจวนิช	3	218-230
ผลกระทบของการชะล้างเกลือตามธรรมชาติและการผลิตเกลือต่อคุณภาพน้ำในแม่น้ำสงคราม	ชูติมา กุคู่สมุทร ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง และศุภลักษณ์ ศรีจารณีย์	1	47-58
แผนภาพคลาสในยูเอ็มแอล	ปัญญาพล หอระตะ	3	171-182
เมตริกซ์กับจำนวนเส้นทาง	ธวัช ช่างผัส	1	37-40
โมบายไอพี	บุญทรัพย์ ไวกำ	1	1-10
วัคซีนทานได้จากพืช	หนูเดือน เมืองแสน	3	183-190
วัสดุปลูกในการย้ายปลูกต้นกล้วยไม้หวายเหลืองจันทร์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	สมพร ประเสริฐส่งสกุล และ พิสมัย นุ่มน้อย	4	283-288
สารเอสโตรเจนจากสิ่งแวดล้อม	สินีนานู ศิริ และ กฤษณะ อินทร์คำน้อย	2	89-96
อนุมูลอิสระ: คุณและโทษต่อมนุษย์	สุพร นุชดำรง	2	97-102
อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในกลไกของการเกิดมะเร็ง	วัชรีย์ หาญยิ่ง	3	199-208
อันตรายที่อาจมากับไตรโคลซาน	วิวัฒน์ หาญจนวนวงศ์	4	265-267

## ข้อแนะนำในการเขียนบทความลงวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

### ประเภทของเรื่องที่จะตีพิมพ์

1. รายงานผลการวิจัยและค้นคว้าหรือการสำรวจที่ยังไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสืออื่นมาก่อน
2. บทความปริทัศน์ ได้แก่งานเขียนที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากเอกสารหรือหนังสือต่าง ๆ เพื่อเผยแพร่และฟื้นฟูงานด้านวิชาการระดับต่าง ๆ
3. บทความแสดงข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในด้านวิชาการ เรื่องแปลข่าววิชาการ ย่อความจากงานวิจัยหรือหนังสือใหม่ที่น่าสนใจ
4. เรื่องที่จะตีพิมพ์ ต้องไม่เคยได้รับการตีพิมพ์ในวารสารอื่น หรือ Proceedings ของการประชุมทางวิชาการมาก่อน

### รูปแบบของการเขียนและเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ ต้องเป็นตัวพิมพ์ปกติ มีช่วงห่างระหว่างบรรทัดตามมาตรฐาน พิมพ์ลงในกระดาษขาว A4 (โรเนียวสัน) โดยใช้กระดาษหน้าเดียว ความยาวไม่เกิน 10 หน้า ส่งต้นฉบับ 2 ชุด
2. ต้นฉบับ จะถูกพิจารณาโดยกองบรรณาธิการ และจะตอบรับการได้รับบทความโดยไม่ส่งต้นฉบับคืน ผู้เขียนควรจะทำสำเนาเก็บไว้เป็นหลักฐานของตัวเอง 1 ฉบับ
3. ต้นฉบับ จะต้องมีความถูกต้องทั้งในด้านเนื้อหา และการใช้ภาษา รวมทั้งมีความสมบูรณ์ในรูปแบบพร้อมที่จะนำลงตีพิมพ์ได้
4. ชื่อเรื่อง ให้ใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ไม่ยาวเกินไป และหลีกเลี่ยงการใช้คำย่อโดยไม่จำเป็น
5. ชื่อผู้เขียน เขียนชื่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษพร้อมทั้งบอกสถานที่ทำงานให้ชัดเจน
6. เนื้อเรื่อง ใช้ได้ทั้งภาษาไทยล้วน และภาษาอังกฤษล้วน ถ้าใช้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษที่ใช้ปนกับภาษาไทยนั้นให้พยายามแปลเป็นไทยเท่าที่จะทำได้ และให้เขียนคำเดิมกำกับในวงเล็บ การทับศัพท์ภาษาอังกฤษ ตลอดทั้งการเขียนตัวสะกด การันต์ ในภาษาไทยให้ใช้ตามแบบราชบัณฑิตยสถาน
7. ในกรณีของบทความวิจัย ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และแบ่งเนื้อหาของบทความเป็นบทนำ วิธีดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์ บทสรุปและวิจารณ์
8. เชิงอรรถ (footnote) ใช้เฉพาะที่จำเป็นเพื่อขยายหรือให้รายละเอียดเพิ่มเติมแก่ใจความเฉพาะตอนในบทความ
9. ตารางและภาพประกอบ คำบรรยายประกอบตารางหรือภาพประกอบควรจะสั้นและชัดเจน ถ้าเป็นภาพถ่ายให้ใช้ภาพขาว-ดำ ขนาดโปสการ์ด ภาพเขียนลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกดำ ภาพที่เขียนต้องชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสม
10. เอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม แนะนำให้เขียนตามแบบที่ทางวารสารกำหนด

### ส่งต้นฉบับมาที่

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

### อภิสิทธิ์ทางการสำหรับผู้เขียน

เรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารฉบับนั้น 2 เล่ม และสำเนาพิมพ์อีก 15 ชุด

## การเขียนเอกสารอ้างอิงในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

**เอกสารอ้างอิง (Reference)** หมายถึง เอกสารหรือส่วนหนึ่งของเอกสารที่อ้างอิงถึงหรือแปลมาโดยตรง การเขียนเอกสารอ้างอิงในเนื้อหานั้น ให้ใช้ระบบชื่อและปี เช่น Williams (2001) รายงานว่า.... หรือ...(Williams, 2001) การเขียนเอกสารอ้างอิงในตอนท้ายบทความนั้น ให้ใส่เฉพาะเล่มที่มีการอ้างไว้แล้วในเนื้อหาเท่านั้น

**บรรณานุกรม (Bibliography)** หมายถึง เอกสารที่ใช้อ้างอิงในลักษณะที่สรุปเป็นหลักการหรือทฤษฎี โดยมีได้อ้างอิงหรือแปลมาโดยตรง

**การเขียนเอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม มีแนวทางการเขียนดังนี้**

### 1. หนังสือ

ก. ภาษาไทย

ชื่อตัว นามสกุลของผู้แต่ง. (เลขปี พ.ศ.). ชื่อหนังสือ. (เล่มที่). (พิมพ์ครั้งที่). เมืองที่พิมพ์ : โรงพิมพ์ หรือสำนักพิมพ์. เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายที่อ้างอิง.

ข. ภาษาอังกฤษ

ชื่อสกุล, อักษรย่อชื่อต้น. อักษรย่อชื่อรอง. (เลขปี ค.ศ.). ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือ. เมืองที่พิมพ์ : โรงพิมพ์ หรือสำนักพิมพ์. เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายที่อ้างอิง.

### 2. เอกสารราชการ

ชื่อหน่วยราชการ. (เลขปี พ.ศ. หรือ ค.ศ.). ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือ. เมืองที่พิมพ์ : โรงพิมพ์ หรือสำนักพิมพ์

### 3. วารสาร

ก. ภาษาไทย

ชื่อตัว นามสกุลของผู้แต่ง. (เลขปี พ.ศ.). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. เล่มที่ (ฉบับที่): เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายที่อ้างอิง.

ข. ภาษาอังกฤษ

ชื่อสกุล, อักษรย่อชื่อต้น. อักษรย่อชื่อรอง. (เลขปี ค.ศ.). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. เล่มที่ (ฉบับที่) : เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายที่อ้างอิง.

### หมายเหตุ

1. กรณีที่เป็นเอกสารอ้างอิงจากแหล่งอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดข้างต้น เช่น จุลสาร หนังสือพิมพ์ ฯลฯ ให้ยึดหลักการเขียนตามแบบข้างต้นโดยอนุโลม
2. กรณีที่มีผู้เขียน 2 คน ให้เขียนตามแบบของผู้เขียนคนแรก แต่ให้เติมคำว่า "และ" หรือ "and" หน้าชื่อสุดท้ายในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ
3. กรณีที่มีผู้เขียนมากกว่า 2 คนขึ้นไป ให้ใส่เฉพาะชื่อแรก และใส่คำว่า "และคณะ" หรือ "et al." ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ (เฉพาะในเนื้อหาเท่านั้น)
4. ถ้าเอกสารที่ถูกอ้างอิงอยู่ในระหว่างตีพิมพ์ ให้บอกรายละเอียดมากที่สุดและใช้คำว่า "ระหว่างตีพิมพ์" หรือ "in press" ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ โดยวงเล็บต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้น

วารสาร

# วิทยาศาสตร์มนุษย์

K K U S C I E N C E J O U R N A L

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิทยาการในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางด้านการวิจัย และการศึกษา ค้นคว้าของอาจารย์และนักศึกษา
3. เพื่อเป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนความรู้ และ แนวความคิดทางวิชาการระหว่างอาจารย์ นักศึกษา และผู้สนใจ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน

## กำหนดออก ปีละ 4 ฉบับ

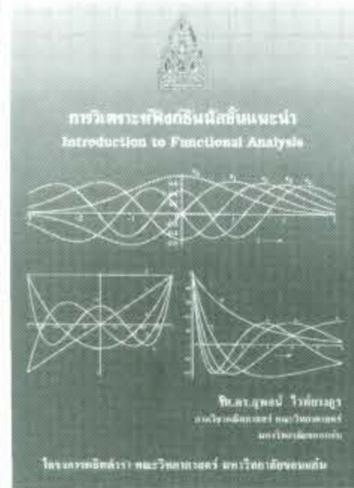
- ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม
- ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน
- ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน
- ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม

# หนังสือในโครงการผลิตตำรา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



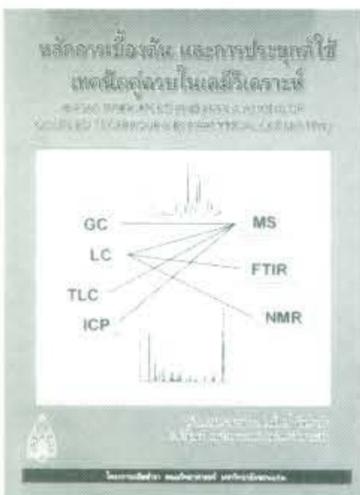
**สถิติพื้นฐาน พร้อม  
ตัวอย่างการวิเคราะห์  
ด้วยโปรแกรม MINITAB  
SPSS และ SAS**

รองศาสตราจารย์ชัชวาล เรืองประพันธ์  
พิมพ์ครั้งที่ 2 2543 • 510 หน้า  
ISBN 974-675-666-4  
ราคา 180 บาท



**การวิเคราะห์ฟังก์ชันขั้นต้น  
ขั้นแนะนำ**

รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ ไท่ข่างกูร  
2547 • 344 หน้า  
ISBN 974-367-958-8  
ราคา 200 บาท



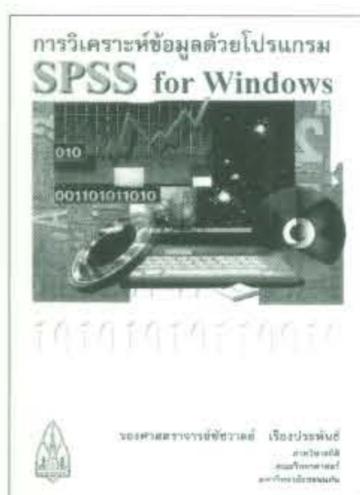
**หลักการเบื้องต้นและ  
การประยุกต์ใช้เทคนิค  
คู่ควบคู่ในเคมีวิเคราะห์**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย  
2543 • 202 หน้า  
ISBN 974-678-333-2  
ราคา 150 บาท



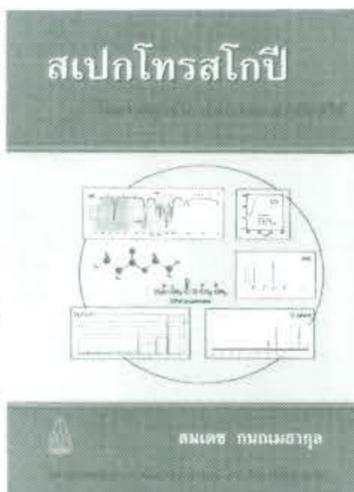
**แมงป่องข้าง**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดา ดาดวง  
นางสาวนันท์วัน เอื้องวงศ์กุล  
2547 • 64 หน้า  
ISBN 974-435-571-9  
ราคา 160 บาท



**การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย  
โปรแกรม  
SPSS for Windows**

รองศาสตราจารย์ชัชวาล เรืองประพันธ์  
2544 • 620 หน้า  
ISBN 974-654-608-2  
ราคา 300 บาท



**สเปกโทรสโกปีในการพิสูจน์  
โครงสร้างของสารอินทรีย์**

รองศาสตราจารย์ ดร.สมเดช กนกเมฆากุล  
2547 • 238 หน้า  
ISBN 974-435-348-1  
ราคา 180 บาท

