



วารสาร

วิทยาศาสตร์มข.

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 17 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2532





๖๖๕๘๖

วิทยาศาสตร์ปู.
THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ISSN 0125-2364

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงาน

ตึก 6 ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิทยาการในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานด้านการวิจัย และการศึกษา ค้นคว้าของอาจารย์และนักศึกษา
3. เพื่อเป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนความรู้ และแนวความคิดทางวิชาการระหว่างอาจารย์ นักศึกษาและผู้สนใจ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน

กำหนดออก

ปีละ 4 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม – มีนาคม

ฉบับที่ 2 เมษายน – มิถุนายน

ฉบับที่ 3 กรกฎาคม – กันยายน

ฉบับที่ 4 ตุลาคม – ธันวาคม

ค่าบำรุง ปีละ 40 บาท چاپปลีกเล่มละ 12 บาท

การบอกรับเป็นสมาชิก

แจ้งความจำนงค์เป็นจดหมาย หรือกรอกใบสมัครเป็นสมาชิก พร้อมส่งค่าบำรุงเป็นธนาคัตติ หรือเช็คไปรษณีย์ในนามของนางบุญคุ้ม เหลือล้ำ ฝ่ายจัดการ ส่งไปยัง ป.ท.มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

ที่ปรึกษา

คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ

บรรณาธิการ

บรรณาธิการผู้ช่วย

กองบรรณาธิการ

จารุมาลย์	จิตรังษี
สมพงษ์	ธรรมถาวร
ชุตินา	กฤษณ์สมุทร
ปณัญญา	ชีระกุล
สยาม	ชูถิ่น
เอกพรรณ	สวัสดิ์ชิตัง
พรรณี	ฐิตาภิชิต
รัชณี	ฉวีราช
สุชัย	ดนัยอัครดามวณ
สมจิต	โชติชัยสถิตย์
วิชุดา	ชนชาติประเสริฐ
สุพรรณิ	อร่ามวัฒนกุล

ฝ่ายศิลป์และภาพ

ฝ่ายเหรียญก

ฝ่ายจัดการ

กิลิน	ดิณนรเศรษฐี
ทรงเวทย์	เบ้าชัย
ลักขณา	สุชัยบาง
สงวน	พงศ์กิจวิทูร
บุญคุ้ม	เหลือล้ำ
บุษราภรณ์	ดวงคำน้อย
อาน	มามูล
สมศักดิ์	อุ้นจันท์
พยอม	เดชพลมาตย์



วิทยาศาสตร์พอเพียง

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

สารบัญ ปีที่ 17 ฉบับที่ 4

181



200



241



คอลัมน์ประจำ

ข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	
กองบรรณาธิการ	181
แฟ้มวิทยาศาสตร์	
เอกภพ	183

สารคดี-วิชาการ

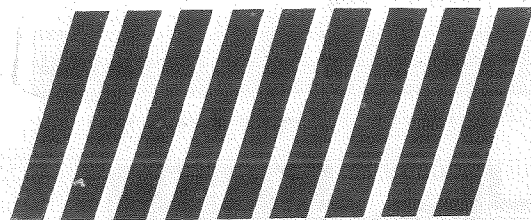
สุริยุปราคาและจันทรุปราคา ปี 2533	
ชาว เหมือนวงศ์	187
การดูแลสุขภาพแบบไม่มีลบลบคมใน	
ปัญญา ธีรมงคล	192
โรคพิษสุราและปัจจัยทางพันธุกรรม	
พิษณุ วิเชียรสรรค์	197
การรวมตัวแบบเย็น	
รงค์ รุจกรกานต์	200

งานวิจัย

การปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงเพื่อต้านทานโรคราสนิม	
สนั่น จอกลอย	209
การวิเคราะห์ซีโรวาของ salmonella ในจิ้งจกบ้านพัก	
พนักงานสวนดุสิต	
บัญญัติ สุขศรีงาม และคณะ	214
การแก้สมการ $x^2 + (1+i)y^2 = z^2$ ในจำนวนเต็มเกาส์	
เทียง ภูมิสะอาด	221
การผลิตกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูในรูปเชื้อผง	
รสสุคนธ์ เหล่าไพบูลย์	230
การศึกษาแมลงศัตรูของปอเทืองที่ปลูกในฤดูฝนและฤดูแล้ง	
ทรงยศ-พิชัยภูัก และคณะ	237

เบ็ดเตล็ด

เกร็ดความรู้	
หญ้าปล้อง	241
คอลัมน์นี้มีรางวัล	
น.ส. TINA	246



015817

ISSN 0158-2264

วิทยาาสตร์
THE JOURNAL OF SCIENCE, KHONKAEN UNIVERSITY**Publisher**

Faculty of Science, Khon Kaen University,
Thailand.

Office

Faculty of Science Library, Building 6, Khon
Kaen University.

Objectives

1. To promote and propagate knowledge in all fields of science.
2. To publish results from research and studies by academic staff and students.
3. To be a medium for the exchange of knowledge and ideas among staff, students and those interested from both inside and outside the institute.

Publishing terms

four issues per annual volume
Issue no. 1 January - March
Issue no. 2 April - June
Issue no. 3 July - September
Issue no. 4 October - December

Subscription rate

40 baht per annum. Single issue price 12 baht.

Membership

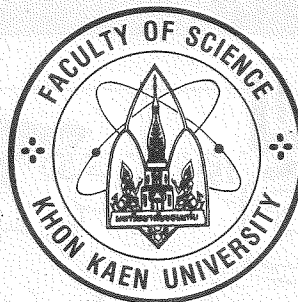
Membership request can be made by letter or by completing the membership form, with the fee paid in the form of a postal order or postal cheque sent to Mrs. Boonkoom Lualon, Managing Committee, Khon Kaen University Post Office, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002.

Advisory Committee**Editor****Associate Editor****Editorial Board**

Dean, Faculty of Science

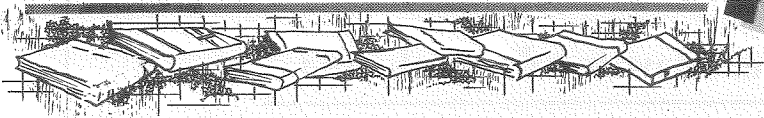
Associate Dean for Academic Affairs

Charumal	Jitrangsri
Sompong	Thammathaworn
Chutima	Kukusamude
Panadda	Chirakul
Siam	Choothin
Ekaphan	Sawadcitang
Pannee	Dhitaphichit
Rachanee	Chaveerach
Suchai	Tanaicdchawoot
Somchit	Chotchaisthit
Wichuda	Chunchatprasert
Supanee	Aramwattanakul
Kilen	Tinnoraset
Songwate	Bousechai
Luckana	Sukbang
Sanguan	Pongkitwitoon
Boonkoom	Lualon
Bussaraporn	Duangkomnoi
Oan	Mahamool
Somsak	Unjantee
Payom	Dejpolmataya

Artist**Treasurer****Managing Committee**

The views and opinions expressed in this journal are those of the authors, and do not necessarily reflect the views and opinions of the editorial board.

บรรณาธิการ แสดง



ในที่สุด วิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 17 ฉบับที่ 4 ก็ออกมาสู่สายตาท่านผู้อ่านได้ทันส่งท้ายปีเก่าต้อนรับปีใหม่ พร้อม ๆ กับความหนักใจของกองบรรณาธิการชุดใหม่ ซึ่งไม่แน่ใจว่าพวกเราจะสามารถรักษาคุณภาพของวารสารที่ได้รับรางวัลผู้ตีพิมพ์บทความส่งเสริมวิทยาศาสตร์ดีเด่นประจำปี 2532 ดังที่บรรณาธิการและทีมงานเก่าได้ทำชื่อเสียงไว้ได้หรือไม่ อย่างไรก็ตามกำลังใจของผู้จัดทำย่อมได้มาจากสมาชิกและท่านผู้อ่านซึ่งก็หวังว่าคงจะสนับสนุนวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ของเรต่อไป

ฉบับนี้ ยังคงเข้มข้นด้วยเนื้อหาสาระทางวิชาการตามปกติ นอกจากท่านจะได้ทำการทำนาย **สุริยุปราคาและจันทรุปราคา** ปี 2533 โดยผู้เชี่ยวชาญทางดาราศาสตร์ประจำคณะวิทยาศาสตร์ มข. ของเราแล้ว คงจะมีท่านสมาชิกบางท่านสงสัยใคร่รู้เกี่ยวกับเรื่องของการรวมตัวแบบเย็น ซึ่งเป็นที่ฮือฮากันมากในปี พ.ศ. ที่ผ่านมานี้ ท่านจะได้รับความกระจ่างเมื่อเปิดอ่านบทความภายในฉบับนี้ บรรดาคุณครูทั้งหลายก็คงจะได้เกิดลัทธิสอน **การคูณสมการเคมีแบบไม่มีลิบลมคมใน** ไปแนะนำลูกศิษย์อีกวิธีหนึ่ง นอกจากนี้ ท่านยังจะได้พบกับคอลัมน์ประจำใหม่ **แฟ้มวิทยาศาสตร์** ซึ่งควบคุมโดย “เอกภพ” และได้รับ **เกล็ดความรู้** ที่น่าสนใจต่าง ๆ จาก “หญาปล้อง” ส่วน น.ส. TINA ก็ยังคงขยันสรรหาปัญหามาให้พวกเราขบคิดกันตามปกติค่ะ

ก่อนจบด้อยแถลงนี้ใคร่ขอเชิญชวนท่านผู้อ่านที่ได้สนับสนุนวารสารนี้มาได้กรุณาแจ้งต่ออายุสมาชิก และท่านผู้อ่านที่ยังไม่ได้สมัครเป็นสมาชิกโปรดสมัครมาด่วนที่ฝ่ายจัดการวารสารวิทยาศาสตร์ มข. นี้แหละ ขอให้ท่านผู้อ่านทุกท่านมีความสุขตลอดปี 2533

สวัสดีปีใหม่ค่ะ
จารุมาลย์ จิตรังษี

๐ คำบรรยายภาพปกหน้าและปกหลัง ๐



ปกหน้า : รักเร่ *Dahlia pinnata* Cav. ไม้ล้มลุก
ต่างประเทศ อยู่ในวงศ์ Asteraceae
วงศ์เดียวกับ เยอร์บีรา, ดาวเรือง,
บัวตอง ฯลฯ ลักษณะของใบหนา
สีเขียวจัด เรียงตรงกันข้ามเป็นคู่
ดอกมีหลายหลากสีทั้งดอกแฉะและ
ดอกซ้อน นิยมปลูกเป็นไม้ประดับ

ปกหลัง : คาร์เนชั่น, ผีเสื้อ *Dianthus caryo-*
phyllus Linn. ไม้ล้มลุกต่างประเทศ
จัดอยู่ในวงศ์ Caryophyllaceae
ใบเดี่ยวรูปในหอก ขอบใบเรียบ
จัดเรียงตรงกันข้าม ลำต้นมีข้อโป่ง
ออก ขยายกลีบดอกเป็นคลื่นและ
จัก ดอกมีหลายสี เช่น เหลือง,
ชมพู, แดง ออกดอกกระหว่างเดือน
มี.ค.-มิย.



ภาพปกหน้า-ปกหลัง : ประนอม จันทรโณทัย
บรรยายภาพ : รัชณี ฉวีราช



การเปลี่ยนแปลงค่ามาตรฐานใหม่

ตั้งแต่ 1 มกราคม 2533 UK'S National Physical Laboratory จะประกาศใช้ค่ามาตรฐานใหม่ สำหรับค่าความต่างศักย์และความต้านทาน รวมทั้งการกำหนดมาตรฐานของอุณหภูมิ (ITS-90) โดยค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกลดลง 8.06 ส่วนในล้านส่วน จากค่ามาตรฐานเดิม ส่วนค่าความต้านทานจะถูกลดลง 1.61 ส่วน ในล้านส่วน จากค่ามาตรฐานเดิม การเปลี่ยนแปลงในครั้งนี้เนื่องมาจากผลของ quantum Hall effect และการยอมรับค่าคงที่ โจเซฟสัน ค่าใหม่

เลเซอร์ เพื่อการสืบสวน

การพัฒนาเลเซอร์ เพื่อการตรวจวินิจฉัยทางนิติเวช โดยบริษัท Coherent แห่งประเทศอังกฤษ สามารถอำนวยความสะดวกและรวดเร็ว ในการตรวจหาหลักฐานประกอบการดำเนินคดี ที่ต้องการหลักฐานแต่ตรวจหาไม่เจอ โดยวิธีการต่างๆ ไป ด้วยเลเซอร์รอยนิ้วมือจาก ๆ หรือแม้แต่ ที่มองไม่เห็นด้วยตา ก็สามารถตรวจพบได้ โดย รอยนิ้วมือนั้นไม่ได้ถูกแตะต้อง, ทำลาย, หรือเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ซึ่งเป็นข้อดีเพราะสามารถนำไปตรวจสอบด้วยวิธีการอื่นๆ ต่อไปได้อีก

ไม่เฉพาะรอยนิ้วมือนั้น เส้นใย และของเหลว อื่นที่เป็นส่วนหนึ่งของร่างกายเรา ก็สามารถ วิเคราะห์ได้ด้วยเลเซอร์เช่นกัน

ภาพถ่ายดาวเทียม บอกแหล่งชุกชุมของยุงได้

นักชีววิทยา สามารถบอกแหล่งหรือทำนาย การย้ายแหล่งของยุง หรือแมลงอื่นๆ ที่เป็นพาหะ นำเชื้อได้โดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม การวิเคราะห์นั้น จะดูจากสภาพที่เปลี่ยนไปของ ภูมิประเทศ อันเนื่องมาจากสภาพความชื้นหรือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ก็จะทำให้บอกแหล่งชุกชุม ของแมลงได้ ซึ่งจะประโยชน์อย่างยิ่งต่อการ ควบคุม, ทำลายหรือป้องกันการแพร่ระบาดของแมลง

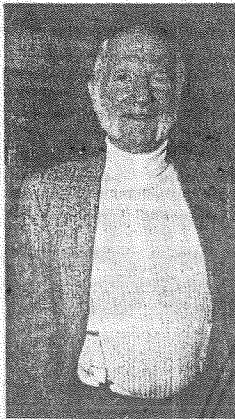
รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ปี 1989

รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ประจำปี 1989 ได้แก่ นักฟิสิกส์อาวุโส 3 ท่าน

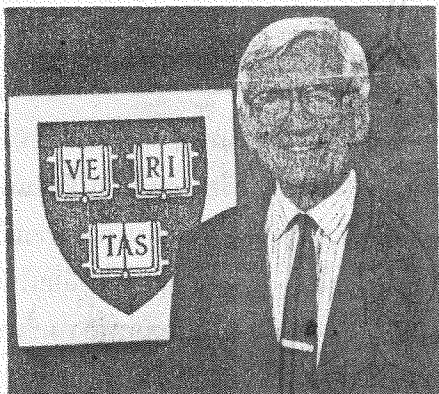
ท่านแรก Norton Ramsay นักฟิสิกส์แห่ง มหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด อายุ 74 ปี ได้รับรางวัล ครั้งหนึ่งเป็นเงิน 235,000 เหรียญสหรัฐ จาก ผลงานการเป็นผู้บุกเบิก วิธีการวัดคาบเวลาภายใน อะตอมอันเป็นพื้นฐานของการสร้างนาฬิกา อะตอมในปัจจุบัน



Paul: first to make an ion trap



Dehmelt: observed a single ion



Ramsey: provided the basis for atomic clocks

อีกสองท่านคือ Wolfgang Paul แห่งมหาวิทยาลัยบอนน์ เยอรมันตะวันตก อายุ 76 ปี และ Hans Dehmelt แห่งมหาวิทยาลัยวอชิงตัน เมืองซีแอตเติล อายุ 67 ปี ทั้งสองอาจารย์และลูกศิษย์ได้รับรางวัลที่เหลือนี้อีกครั้งหนึ่งร่วมกัน ในผลงานการเป็นผู้คิดค้น "วิธีการกัก" (Trapping) ทั้งอิเล็กตรอนเดี่ยวและไอออนเป็นผลสำเร็จ และ H. Dehmelt ยังใช้วิธีการดังกล่าว กักอิเล็กตรอนเดี่ยวในสุญญากาศได้ครั้งละหลาย ๆ เดือน นอกจากนี้ยังประสบความสำเร็จ ในการสังเกตการเปลี่ยน

สถานะของอะตอมเดี่ยวที่ถูกกักเมื่อได้รับพลังงาน และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง

จาก Time, October 23, 1989

เครื่องตรวจหาสิ่งมีชีวิต

ทีมวิจัยของห้องทดลองมหาวิทยาลัยแห่งรัฐมิชิแกน ที่เมือง East Lansing นำโดย Kun-MuChen ศาสตราจารย์วิศวกรรมไฟฟ้า ประสบผลสำเร็จในการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจหาสิ่งมีชีวิต อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับระบบเรดาร์ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (ความถี่อยู่ในย่าน GHz) ส่งออกไป คลื่นที่สะท้อนจากสิ่งมีชีวิตที่ยังมีลมหายใจ หรือการเต้นของหัวใจ จะมีการเปลี่ยนเฟสไปจากสัญญาณอ้างอิง ทำให้สามารถเห็นจังหวะการเต้นของหัวใจหรือลมหายใจได้ที่จอร์ับภาพของอุปกรณ์

ผลการทดสอบโดยใช้คลื่นขนาด 10 GHz สามารถบอกตำแหน่งของคนที่อยู่ห่างออกไป 300 ฟุต ได้ และถ้าใช้คลื่นความถี่ 2 GHz สามารถตรวจหาสิ่งมีชีวิตที่อยู่ใต้กองสิ่งปรักหักพังได้ถึง 5 ฟุต

ปัญหาที่ยังมีอยู่ของอุปกรณ์ชิ้นนี้ ได้แก่ เครื่องรับมีความไวมาก สามารถบันทึกการเต้นของหัวใจของคนรอบๆ ข้างได้ทั้งหมด ทำให้ทางทีมวิจัยเร่งแก้ปัญหานี้เป็นการใหญ่ โดยมุ่งประเด็นไปที่การพัฒนาสายอากาศที่เหมาะสม สามารถส่งและรับสัญญาณเฉพาะทิศ เพื่อลดสัญญาณรบกวนอื่นๆ ออกไป

ครบในไม่ช้า การช่วยเหลือผู้ประสบอุบัติเหตุผู้ป่วยในสนามรบคงจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตลอดจนการตรวจวัดชีพจรคนไข้ระยะไกลคงจะมีได้ในอนาคต

จาก Discovery, August, 1989



แฟ้มวิทยาศาสตร์ เป็นคอลัมน์ที่เปิดกว้างในการนำเสนอสาระทางวิชาการ ในแนววิทยาศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสร้างประสบการณ์, ความเข้าใจ หรือแนวความคิดทางวิทยาศาสตร์ สำหรับผู้สนใจวิทยาศาสตร์โดยทั่วไป

มนุษย์กับการท้าทายความเร็ว

มนุษย์เรานั้นชอบผจญภัย และทำอะไรที่ท้าทายหรือบ้าบิ่นอยู่เสมอ เป็นต้นว่า เดินบนเส้นลวดระหว่างตึกสูงๆ, ปีนน้ำตกที่เป็นน้ำแข็ง, ไต่หน้าผาที่เป็นหินลื่นๆ และอีกมากมาย ส่วนที่จะกล่าวถึงในแฟ้มวิทยาศาสตร์ จะเป็นเรื่องราวของมนุษย์ 2 แบบ ที่ท้าทายอยู่กับความเร็วขนาด 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นั่นก็คือ นักสกีประเภทดาวน์ฮิล (สกีลงจากทางชัน ซึ่งมักจะเป็นภูเขา) และนักดิ่งพสุธา จากรายงานที่มีบันทึกไว้ ความเร็วปลาย (terminal velocity) หรือความเร็วสูงสุดที่นักดิ่งพสุธาเหิรเวหาลงมามีค่า 120 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือราวๆ 192 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนนักสกีประเภทนี้สามารถท้าทายความเร็วได้สูงถึง 124.34 ไมล์ต่อชั่วโมง ก็ราวๆ 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่านั้นเอง ลองวิเคราะห์ดูบ้างเป็นไรว่าเหตุใดลงถึงเป็นไปไดขนาดนี้

กรณีนักดิ่งพสุธา

สมมติว่า มิตร มีมวลเป็น m และพื้นที่ของลำตัวด้านหน้าที่จะปะทะอากาศเป็น A , ดิ่งลงมาด้วยความเร็ว v (ดูรูป 1a) แรงที่กระทำต่อเขาก็คือ mg ซึ่งเนื่องมาจากความโน้มถ่วง และแรงต้านจากอากาศ (F_{res}) ซึ่งมีขนาดดังนี้

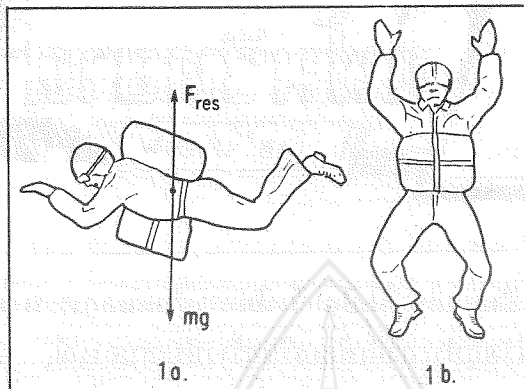
$$F_{res} = -kmAv^2 \quad (1)$$

ทิศทางของแรง ดูรูป 1a ประกอบ k เป็นค่าคงที่ คราวนี้ก็ถึงบทของพระเอกของเราแล้วก็กฎข้อที่สองของนิวตันยังไ้ ถ้ามีบทบาทเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ที่ไหนละก็ พระเอกของเราจะเล่นบทนี้เสมอ ดังนั้น

$$mg - kmAv^2 = ma \quad (2)$$

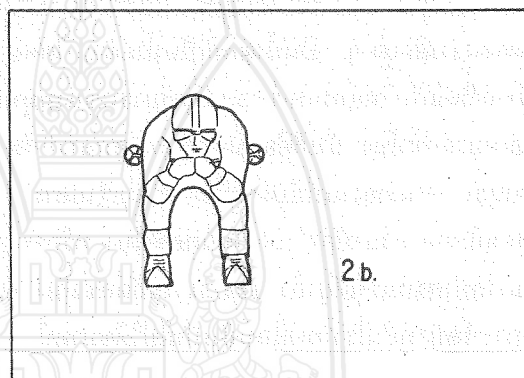
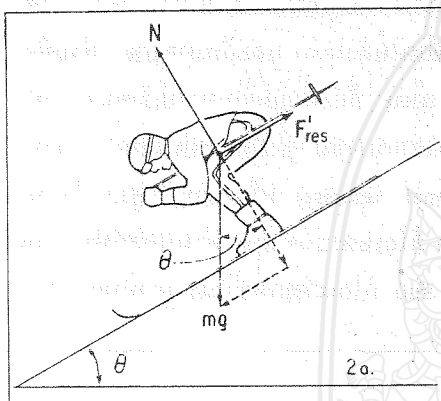
กำหนดให้ ทิศทางดิ่งลงมีเครื่องหมายเป็นบวก เมื่อมิตรดิ่งพสุธาลงมาได้สักพักจนมีความเร็วถึงค่าที่เรียกว่า ความเร็วปลาย (terminal velocity) นั่นคือ ทำให้ระบบการเคลื่อนที่ที่พิจารณาไม่มีความเร่ง ดังนั้น $a = 0, v = v_T$

$$v_T = \left(\frac{g}{kA}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$



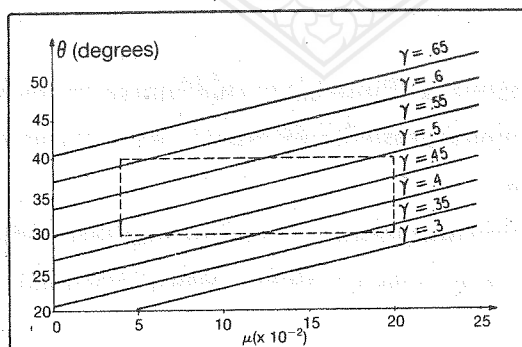
รูป 1a แสดงด้านข้างของนักดิ่งพสุธา แรงที่กระทำต่อเขาก็คือ น้ำหนักตัว mg และแรงต้านของอากาศ (สมการ (1))

รูป 1b แสดงด้านหน้าของนักดิ่งพสุธา (ด้านปะทะลม)



รูป 2a แสดงด้านข้างของนักสกีดาวน์ฮิล แรงที่กระทำต่อเขาก็คือ น้ำหนักตัว mg , แรงปฏิกิริยาในแนวตั้งฉาก N , และแรงต้านทานจากลม กับสิ่งที่สัมผัสกับหิมะ

รูป 2b แสดงด้านหน้าของนักสกีดาวน์ฮิล (ด้านปะทะลม) จะเห็นว่า $A' < A$



รูปที่ 3 แสดงกราฟระหว่าง θ กับ μ ที่ค่า γ ต่างๆ กัน กรอบสี่เหลี่ยมแสดงค่า θ และ μ ที่เป็นไปได้สำหรับนักสกี

กรณีนักสกีดำน้อิล

สมมติว่าสเตฟาน มีมวล m , พื้นที่ของลำตัวที่ปะทะลมเป็น A' สก๊กลงมาจากเขาที่ชันคงที่ ทำมุม θ กับแนวราบ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างสกีกับหิมะเป็น μ แรงที่กระทำต่อสเตฟาน แสดงในรูปที่ 2a ซึ่งมี mg , N และ F'_{res} โดย

$$F'_{res} = -\mu mg \cos\theta - kA'v'^2 \quad (4)$$

v' เป็นความเร็วของสเตฟานที่สก๊กลงมา และเมื่อดูรูป 1b กับ 2b จะเห็นว่า A' น้อยกว่า A เราสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ของสเตฟาน ได้ดังนี้

$$mg \sin\theta - \mu mg \cos\theta - kA'v'^2 = ma' \quad (5)$$

ในทำนองเดียวกันกับมิตร เมื่อสเตฟานสก๊กลงมาจนได้ที่ ทำให้ $a' = 0$, $v' = v'_T$

$$\therefore v'_T = \left(\frac{g}{kA'} \right)^{1/2} \quad (6)$$

$$\text{เมื่อ } g' = g(\sin\theta - \mu\cos\theta) \quad (7)$$

บทวิเคราะห์

$$\text{ถ้าเราให้ } \alpha = \frac{A'}{A} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{v'_T}{v_T} \quad (9)$$

จากสมการ (3) และ (6) ความเร็วปลายของมิตร จะเท่ากับของสเตฟาน เมื่อ พจน์ทางขวามือของทั้งสองสมการเท่ากัน นั่นคือ

$$\left(\frac{g'}{kA'} \right)^{1/2} = \beta \left(\frac{g}{kA} \right)^{1/2} \quad (10)$$

เมื่อ $\beta = 1$ จากสมการ (10) จะได้ว่า

$$\sin\theta - \mu\cos\theta = \gamma \quad (11)$$

$$\text{เมื่อ } \gamma = \alpha\beta^2$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง θ กับ μ สำหรับ γ ต่างๆ กัน จะได้กราฟรูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างสกีกับหิมะโดยทั่วไปมีค่าตั้งแต่ $\mu = 0.04$ สำหรับหิมะแห้งที่ 0°C จนถึง $\mu = 0.20$ สำหรับหิมะเปียก ส่วนความชันของทางสกีก็มีค่า θ อยู่ในช่วง 30 ถึง 40 องศา กรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าในรูปที่ 3 แสดงช่วงของมุม θ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ ที่เป็นไปได้ เมื่อพิจารณาภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้ จะเห็นว่ามีคู่ของ θ และ μ หลายคู่ที่เหมาะสมและสอดคล้องกับสมการ (11) ซึ่งจะทำให้ $\beta = 1$ ก็ได้ นั่นคือ สเตฟานสก๊กลงมาด้วยความเร็วปลายเท่ากับความเร็วปลายที่มิตรตั้งพสุธา หรือทำให้ $\beta > 1$ ก็ได้ซึ่งก็หมายความว่า สเตฟานสก๊กลงเขาด้วยความเร็วปลายที่มากกว่าของมิตร ตัวอย่าง ถ้าให้ความเร็วปลายของมิตร คือ $v_T = 53.65 \text{ m/s}$ (120 mph) จากสมการ (11) เราจะได้ว่าทางสกีควรจะชัน ทำมุม $\theta = 35^\circ$ และ $\mu = 0.09$ สเตฟานจึงจะมีความเร็วปลาย (v'_T) เท่ากับมิตร

โดยมีข้อแม้นิดหน่อยว่า α ต้องเท่ากับ 0.50 นั่นคือ สเตฟานต้องทำตัวให้มีพื้นที่ปะทะลมน้อยกว่า มิตรครึ่งหนึ่ง และมันก็เป็นไปได้ ที่สเตฟานจะทำความเร็วปลายให้ได้ถึง 55.58 m/s (124.23 mph ซึ่ง เป็นสถิติโลก) โดยการลดสัดส่วนพื้นที่ปะทะลมให้น้อยลง จาก $\alpha = 0.50$ เป็น $\alpha = 0.466$

เอกสารอ้างอิง

The Physics Teacher, Vol. 22 No.2 February 1984

THE OLD SCIENTIFIC METHOD

Formulate a hypothesis.
Accumulate data.
Do extensive
experimentation.



THE NEW SCIENTIFIC METHOD

Formulate a hypothesis.
Patent it.
Raise \$17 million.



สุริยุปราคาและจันทรุปราคา ในปี พ.ศ.2533

ชาว เหมือนวงศ์*

สุริยุปราคาและจันทรุปราคา หรือที่เรียกรวมกันว่าอุปราคานั้น เป็นปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์ที่น่าสนใจมาก ไม่เฉพาะแต่ในหมู่นักดาราศาสตร์เท่านั้น แม้บุคคลในสาขาวิชาการอื่น และตลอดจนประชาชนทั่วไปในทุกวัยและวุฒิ ต่างก็ให้ความสนใจในปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่พิเศษสุดและระทึกใจยิ่งนี้โดยทั่วกัน จึงเป็นการจำเป็นที่ วารสารวิทยาศาสตร์ มข. จะต้องแจ้งให้ผู้อ่านได้มีโอกาสทราบเวลาการเกิดอุปราคาแต่ละครั้งเป็นการล่วงหน้าในช่วงเวลาแต่ละปี นับแต่ปีนี้เป็นต้นไป

ในยุคนี้อย่างนี้นั้นแม้ว่าโลกของเราจะพัฒนาก้าวหน้าทางวิชาการเป็นอย่างมากแล้วก็ตาม แต่หน้าที่การคำนวณพยากรณ์ปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์ล่วงหน้ารายปีนั้น ก็ยังคงเป็นของประเทศชั้นนำของโลก คือ อังกฤษ ฝรั่งเศส และอเมริกา เป็นต้น โดยประเทศเหล่านี้ได้ร่วมมือกันทำ แล้วนำออกเผยแพร่ร่วมกันในรูปของหนังสือปฏิทินดาราศาสตร์ประจำปีของแต่ละปี เพื่อที่จะให้ได้ทราบการเกิดปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์ที่จะมีขึ้นในปีหนึ่ง ๆ และเราจะ

ต้องสมัครเป็นสมาชิกเพื่อบอกรับปฏิทินนี้ ทั้งนี้ไม่ได้หมายถึงเฉพาะแต่ประเทศไทยเท่านั้น ทุกประเทศทั้งที่พัฒนาแล้วและที่กำลังพัฒนายาก็ทำอย่างเดียวกัน คือต้องจ่ายเงินซื้อหนังสือราคาแพงมากแต่มีอายุการใช้งานเพียงปีเดียวนี้เหมือนกัน แต่จะมีรายละเอียดแตกต่างกันบ้างก็คือ สำหรับสถาบันที่มีเงินมากก็ดำเนินการจัดซื้อให้หนังสือเล่มนี้มาถึงมือล่วงหน้าก่อนจะถึงปีที่ต้องใช้เช่น โดยการส่งตรงและให้ส่งทางเครื่องบินเป็นต้น ทั้งนี้เพื่อเป็นหลักประกันว่ากรณีที่ไม่ได้ทำการสังเกตปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์สำคัญที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต้นปีซึ่งเป็นขณะที่หนังสือปฏิทินยังเดินทางมาไม่ถึงจะต้องไม่บังเกิดขึ้นในสถาบันแห่งนั้นเป็นอันขาด สำหรับไทยเรายังทำเช่นนั้นไม่ได้ เรายังคงต้องสั่งหนังสือปฏิทินนี้โดยผ่านตัวแทนในไทย ทำสัญญาการซื้อตามระเบียบของทางราชการทุกประการด้วยราคาที่ถูกต้องที่สุดที่จะกระทำได้ กว่าจะหนังสือปฏิทินนี้จะมีมาถึงมือผู้ใช้ก็เกือบครึ่งปีไปแล้ว เท่ากับเวลาที่นักดาราศาสตร์ของไทยถูกตัดขาดจากโลกและดวงดาวในแต่ละปีนั่นเอง

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เพื่อที่จะไม่ให้เกิดจุดบอดเช่นนี้ขึ้น เราจะ
ต้องสามารถพึ่งตัวเองให้ได้เพื่อความเป็นไททาง
วิชาการในสาขานี้ ดังนั้น ผู้เขียนจึงได้สร้างโปรแกรม
คอมพิวเตอร์ระบบการทางดาราศาสตร์ขึ้นให้
สามารถทำการคำนวณตำแหน่ง ดวงอาทิตย์ ดวง
จันทร์ และดาวเคราะห์ต่างๆ บรรดาที่มีในระบบ
สุริยะ พร้อมด้วยปรากฏการณ์ที่สำคัญที่เรากำลัง
กล่าวถึง คือ การเกิดอุปราคา ทั้งนี้โดยไม่มี
การได้รับความช่วยเหลือจากต่างประเทศและใน
ประเทศ ไม่ว่าทั้งทางด้านเทคนิคและเงินทุนแต่
ประการใดทั้งสิ้น โปรแกรมเหล่านี้ได้ผ่านการ
ทดสอบใช้งานว่ามีความถูกต้องเป็นที่เชื่อถือได้
โดยเฉพาะโปรแกรมอุปราคานั้น ได้ผ่านการ
ใช้งานสำคัญๆ ในระดับชาติมาแล้ว ถึงขนาดได้
ทำการคำนวณพบความจริงว่า พระบาทสมเด็จพระ
จอมเกล้าเจ้าอยู่หัว องค์พระบิดาแห่งวิทยา-
ศาสตร์ไทย ได้ทอดพระเนตรสุริยุปราคาเดียว
กันกับที่สมเด็จพระนารายณ์มหาราชได้ทอดพระ-
เนตรมาแล้วเมื่ออดีตเวลาย้อนหลังไป 180 ปี
พอดี โดยเหตุฉะนั้นเราจึงมีความพร้อมเป็นอย่างสูง
ที่จะทำการแก้จุดบอดทางวิชาการนี้ โดยเราจะ
ทำการคำนวณพยากรณ์การเกิดอุปราคาล่วงหน้า
ในแต่ละปี แล้วนำมาเสนอต่อท่านในวารสาร
วิทยาศาสตร์ มข. จึงเป็นเรื่องที่น่ายินดีที่ได้นำ
เอาโปรแกรมชุดนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางการ
ศึกษาและวิชาการต่อไป

สุริยุปราคา

อาจกล่าวได้ว่า ปี พ.ศ.2532 เป็นปีที่อาภ
ของสุริยุปราคา เพราะเป็นปีที่ชาวโลกไม่ว่าจะอยู่
ส่วนใดของโลก รวมทั้งที่ซีกโลกซึ่งเป็นบริเวณที่
จะเห็นสุริยุปราคาได้มากที่สุด ก็ไม่สามารถจะ
ขึ้นชมกับปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์อันมหัศจรรย์

ที่เปลี่ยนเที่ยงวันให้มีดสนิทเป็นเที่ยงคืนในบัดดล
นี้ได้ แม้ว่าจะได้มีข่าวจากต่างประเทศว่าจะมี
สุริยุปราคาในเดือนสิงหาคมแต่ความจริงแล้วไม่ใช่
สุริยุปราคาที่เราอยากชม เราเรียกมันว่าเป็น
คราสเทียม เพราะแกนของกรวยเงาไม่ได้พุ่งมา
สัมผัสส่วนหนึ่งส่วนใดของโลกแม้แต่เล็กน้อย จึง
ไม่ใช่ **คราสแท้** หรือที่เราเรียกกันว่า Central
Eclipse เราจึงไม่มีโอกาสได้เห็นเงามืดของคราส
นี้ ในปี 2532 เราจึงไม่มีกิจกรรมเกี่ยวกับสุริยุ-
ราคากัน

ในปี พ.ศ.2533 นี้ จะมี **คราสแท้** เกิดขึ้น
จำนวน 2 ครั้ง ดังนี้

1. สุริยุปราคาวงแหวน

เกิดขึ้นตรงกับเวลามาตรฐานประเทศไทย
ตอนกลางวันของเช้าวันที่ 27 มกราคม เกิด
ศูนย์กลางคราสเวลา 1 นาฬิกา 52 นาที ณ
บริเวณซีกโลกใต้ ที่น่าสนใจเป็นพิเศษสำหรับ
สุริยุปราคาครั้งนี้ก็คือ บริเวณที่เกิดนั้นตรงกับ
เวลากลางคืน ไม่ใช่ตอนกลางวันอย่างที่เรเคย
เรียนกันมาว่าสุริยุปราคาต้องเกิดตอนกลางวัน
เท่านั้น ต้องจันทรุปราคาจึงจะเกิดกลางคืนได้
อันนี้ไม่แน่มเสมอไปเพราะที่บริเวณซีกโลกทั้งสอง
นั้น ในแต่ละปีจะมีปรากฏการณ์ที่เรียกว่า
พระอาทิตย์เที่ยงคืน คือดวงอาทิตย์ไม่ยอมตกดิน
และนั่นก็หมายความว่าจะต้องไม่มีดวงอาทิตย์
ขึ้นด้วย เพราะตัวดวงอาทิตย์ลอยเป็นวงอยู่ค้างฟ้า
ให้เห็นอยู่แล้วตลอดเวลา ดวงอาทิตย์เที่ยงคืนนี้
ก็ย่อมจะมีโอกาสเกิดสุริยุปราคาได้เช่นกันกับ
ดวงอาทิตย์เที่ยงวัน เช่นการเกิดสุริยุปราคาครั้งนี้
เป็นต้น น่าเสียดายที่ไม่สามารถสังเกตได้ใน
ประเทศไทย

2. สุริยุปราคามืดเต็มดวง

เกิดขึ้นตรงกับเวลามาตรฐานประเทศไทย วันที่ 22 กรกฎาคม ศูนย์กลางคราสเกิดขึ้นเวลาเช้า 9 นาฬิกา 36 นาที ณ ตำแหน่งเส้นแวง 142 องศา 30 ลิปดา ตะวันออก เส้นรุ้ง 73 องศา 28 ลิปดา เหนือ คือบริเวณชายฝั่งมหาสมุทรอาร์คติกของแคว้นไซบีเรีย เริ่มเกิดคราสแท้ที่เวลา 8 นาฬิกา 53 นาที ณ ตำแหน่ง เส้นแวง 23 องศา 48 ลิปดา ตะวันออก เส้นรุ้ง 59 องศา 47 ลิปดา เหนือ คือบริเวณตอนใต้ของประเทศฟินแลนด์ สิ้นสุด คราสแท้ เวลา 11 นาฬิกา 11 นาที ณ ตำแหน่ง เส้นแวง 138 องศา 48 ลิปดา ตะวันตก เส้นรุ้ง 29 องศา 57 ลิปดา เหนือ ซึ่งเป็นย่านกึ่งกลางระหว่างหมู่เกาะชวาย กับชาย

ฝั่งตะวันตกของสหรัฐอเมริกา ไม่สามารถเห็นได้ในไทย

จันทรุปราคา

จะมีจันทรุปราคาเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2533 นี้จำนวน 2 ครั้ง เป็นที่น่ายินดีว่าสามารถจะสังเกตเห็นได้ในประเทศไทยทั้ง 2 ครั้ง และเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ท่านในการสังเกตเราได้ใช้ให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำการวาดรูปเพื่อให้ท่านได้ใช้ประกอบการสังเกตด้วยทั้งสองครั้ง ดังนี้คือ

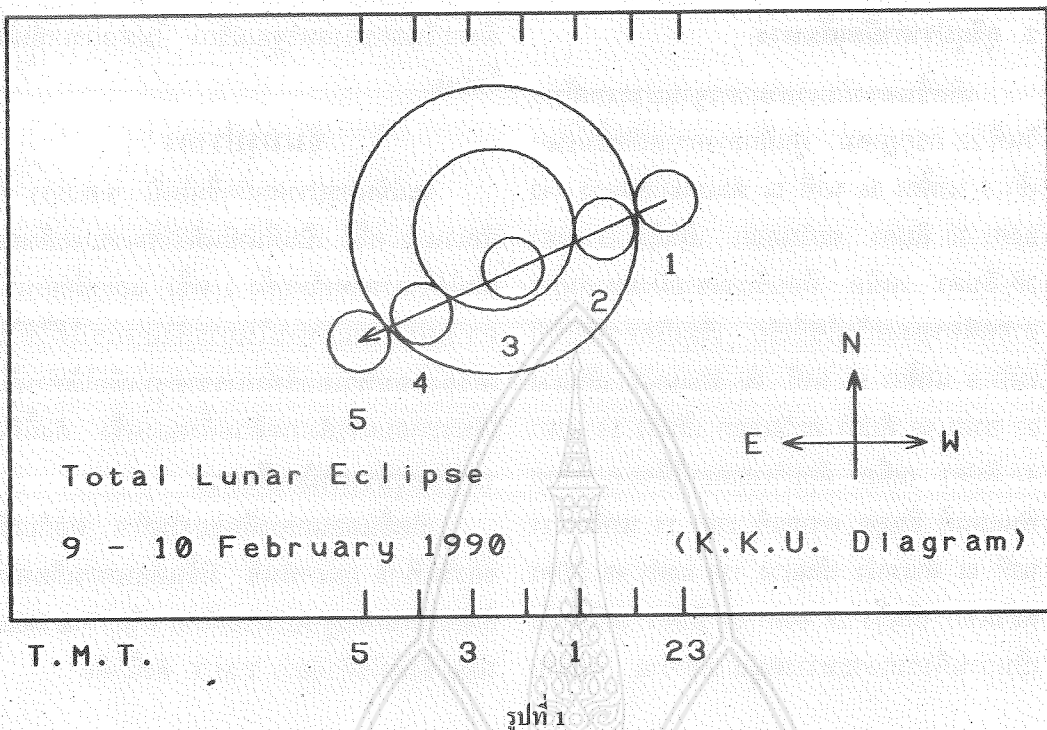
1. จันทรุปราคามืดเต็มดวง

เกิดขึ้นตอนกลางคืนของวันที่ 9 ต่อกับเช้าของวันที่ 10 กุมภาพันธ์ มีขั้นตอนการเกิดตามลำดับเวลามาตรฐานประเทศไทย หรือ Thai Mean Time ซึ่งเราใช้ตัวย่อว่า T.M.T. ดังนี้ คือ

1. ดวงจันทร์เริ่มเข้าเงามัว	23 นาฬิกา 20 นาที
2. ดวงจันทร์เริ่มเข้าเงามืด	00 นาฬิกา 29 นาที
- เริ่มมืดเต็มดวง	01 นาฬิกา 49 นาที
3. กึ่งกลางคราส	02 นาฬิกา 11 นาที
- สิ้นสุดมืดเต็มดวง	02 นาฬิกา 33 นาที
4. ดวงจันทร์ออกจากเงามืดทั้งดวง	03 นาฬิกา 54 นาที
5. สิ้นสุดเงามัวทั้งดวง	05 นาฬิกา 03 นาที

ดังแสดงในรูปที่ 1 จะเห็นเส้นลูกศรแสดงทิศทางการเคลื่อนตัวของดวงจันทร์ ซึ่งแสดงด้วยวงกลมเล็ก 5 วง มีหมายเลขกำกับตั้งแต่ 1 ถึง 5 ตรงกับตำแหน่งของดวงจันทร์ตามลำดับขั้นตอนการเกิดจันทรุปราคา 5 จังหวะที่มีหมายเลขตรงกันกับตารางเวลาข้างบนนี้ ส่วนวงกลมขนาดกลางใช้แทนวงกลมอันเกิดจากการตัดขวางกรวยเงามืดของโลก ณ จุดที่ดวงจันทร์โคจรผ่านเข้าไป

ดังเช่นจังหวะหมายเลข 3 จะแสดงให้เห็นสัมพันธ์ลักษณะว่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของดวงจันทร์กับจุดศูนย์กลางเงามืดของโลกอยู่เหลื่อมกัน ดังนั้นแม้จะเป็นจันทรุปราคาเต็มดวงก็จริงแต่ก็ยังไม่เข้าไปลึกถึงใจกลาง ทำนองเดียวกันสำหรับวงกลมใหญ่กลางรูป ใช้สำหรับเงามัว ในรูปนี้เราแสดงเวลาการเกิดที่จังหวะต่างๆ ให้เห็นที่แกนราบหากต้องการทราบเวลาใดจันทรุปราคา



รูปที่ 1

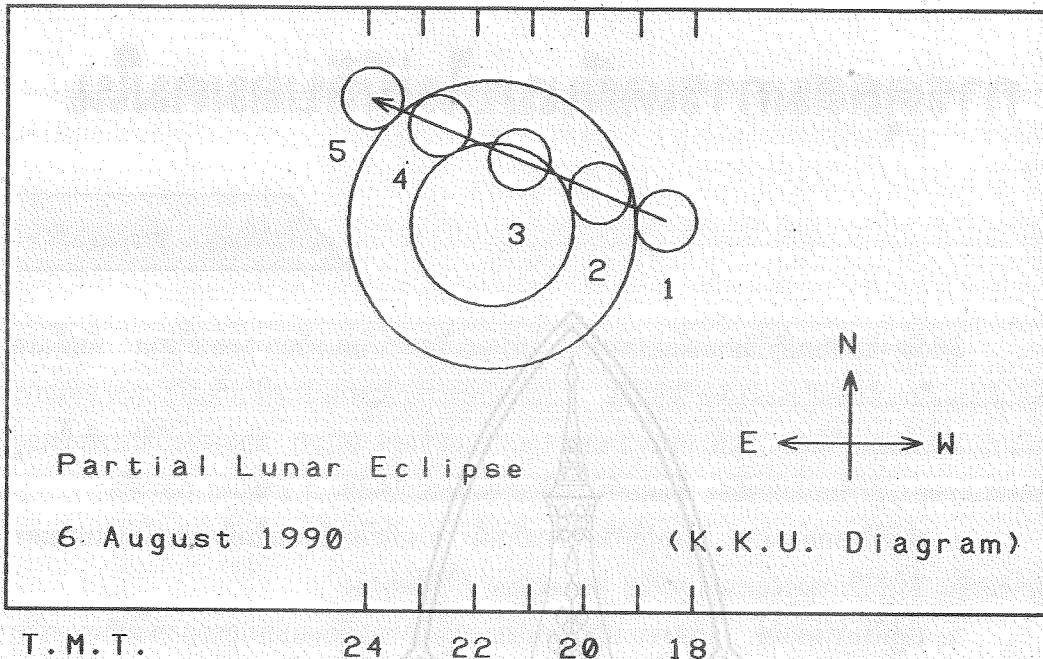
จะมีสัมพันธ์ลักษณะระหว่างดวงจันทร์กับระบบกรวยเงาของโลกเป็นอย่างไรก็ลากเส้นเชื่อมแกนราบของกรอบบนและกรอบล่างที่เวลาประสงค์ให้ตัดกับเส้นลูกศรแล้วทำให้จุดตัดนี้เป็นจุดศูนย์กลางเขียนวงกลมรัศมีเท่าวงจันทร์ในรูปท่านก็จะได้เห็นลักษณะของจันทรุปราคา ณ เวลานั้นขอให้ท่านทดลองฝึกทำกับจังหวะของการเกิด

เริ่มมืดเต็มดวง และ สิ้นสุดมืดเต็มดวง ที่เราเว้นไว้ให้ ก็จะเป็นการเสริมสร้างให้เกิดจินตนาการกว้างไกลออกไป

2. จันทรุปราคามืดบางส่วน

เกิดขึ้นในคืนวันที่ 6 สิงหาคม โดยมีลำดับขั้นตอนการเกิดดังนี้ คือ

- | | |
|---------------------------------|-------------------|
| 1. ดวงจันทร์เริ่มเข้าเงามัว | 18 นาฬิกา 29 นาที |
| 2. ดวงจันทร์เริ่มเข้าเงามืด | 19 นาฬิกา 44 นาที |
| 3. กึ่งกลางคราส | 21 นาฬิกา 12 นาที |
| 4. ดวงจันทร์ออกจากเงามืดทั้งดวง | 22 นาฬิกา 40 นาที |
| 5. สิ้นสุดเงามัวทั้งดวง | 23 นาฬิกา 54 นาที |



รูปที่ 2

ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่าขณะที่ดวงจันทร์เดินทางเข้าไปในเงามืดมากที่สุดแล้วนั้นคือ วงจันทร์หมายเลข 3 ก็ยังมีส่วนหนึ่งของผิวดวงจันทร์อยู่นอกวงของเงามืด จึงเกิดได้เพียงจันทรุปราคามีบางส่วน จากการคำนวณของเครื่องคอมพิวเตอร์พบว่า เมื่อคราสจับเต็มที่นั้น ดวงจันทร์ถูกกลืนเข้าไปในเงามืดคิดเป็นความลึกของเส้นผ่าศูนย์กลางของวงจันทร์เพียง 68 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นเอง

มีสิ่งทีใครจะขอเรียนในโอกาสนี้ถึงการถ่ายภาพเขียนทั้งสองนี้ประกอบการสังเกตการณ์เกิดจันทรุปราคา เมื่อท่านเห็นเครื่องหมายแสดงทิศอยู่ที่มุมล่างขวามือของรูปแล้วอาจแปลกใจว่าทำไมทิศตะวันตก W จึงอยู่ขวามือ ทิศตะวันออก E อยู่ซ้ายมือ เหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะนักดาราศาสตร์ใช้แผนที่ดาวกลับทางกับนักภูมิศาสตร์ใช้แผนที่โลก กล่าวคือนักดาราศาสตร์จะคว่ำแผนที่ลงใน

ขณะที่แท่งหน้าขึ้นมองท้องฟ้าแล้วเทียบตำแหน่งดาวจริงเข้ากับตำแหน่งดาวในแผนที่ จึงต้องเขียนรูปและทิศให้กลับขวาซ้ายแต่ให้ตรงคงเดิมในแนวเหนือใต้ ดังนั้นเมื่อท่านจะใช้รูปเขียนทั้งสองนี้ประกอบการสังเกตการณ์ ก็ขอให้ท่านจงทำตามหลักที่กล่าวมานี้โดยการคว่ำรูปลงแล้วจัดให้ทิศในรูปตรงกับทิศทางภูมิศาสตร์แล้วยึดแขนที่ถือรูปนี้ให้ชี้ตรงไปยังดวงจันทร์ ด้วยจินตนาการอีกเล็กน้อยท่านก็จะสามารถหยั่งซึ่งถึงลักษณะการอันเกริกไกรที่ท่านจะพึงพบพานถ้าแม้ว่าท่านคือเทพเจ้าแห่งสรวงสวรรค์กำลังทอดพระเนตรการโคจรของดวงจันทร์วันเพ็ญเคลื่อนตัดผ่านเข้าไปในกรวยเงาอันเกิดจากการที่แสงอาทิตย์ถูกโลกกำบัง ทำให้จันทร์เพ็ญเป็นจันทร์มืด แต่จันทร์ก็ยังทรงวงโคจรตัดพันวิถีศูนย์ กลายกลับมาเป็นจันทร์เพ็ญเช่นดังเดิม

การดุลสมการเคมีแบบไม่มีลบลมคมใน

ปริญา ธีรมงคล**

ผู้ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการเรียนหรือการสอนก็ตาม นับตั้งแต่ระดับมัธยมศึกษาไปจนถึงระดับมหาวิทยาลัย คงจะเคยประสบปัญหานำปวดหัวเกี่ยวกับการดุลสมการเคมีมาบ้างแล้วไม่มากนักน้อย ทั้งนี้เพราะความหลากหลายและขั้นตอนต่าง ๆ ของแต่ละวิธีการซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท กล่าวคือ

1. ปฏิกิริยาอย่างง่าย ในปฏิกิริยาประเภทนี้ ธาตุที่เกี่ยวข้องจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน จึงใช้วิธีการดุลแบบตรวจพินิจ (inspection)^{1,2} ได้โดยตรง

2. ปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากปฏิกิริยาประเภทนี้มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุที่เกี่ยวข้อง จึงใช้วิธีดุลแบบพิจารณาเลขออกซิเดชัน^{3,4} และอาจใช้วิธีพิจารณาครึ่งเซลล์หรืออ็อกซิดอน-อีเลคตรอน⁴ ก็ได้

ขั้นตอนต่าง ๆ ของวิธีดุลข้างต้นนั้น ผู้ที่สนใจจะค้นหารายละเอียดได้จากเอกสารอ้างอิง ซึ่งของดที่กล่าวอีกในที่นี้ อย่างไรก็ดี วิธีดุลสมการที่จะกล่าวต่อไปนั้นนับว่าเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ยางและตรงไปตรงมา ทั้งยังสามารถใช้ดุลสมการทุก ๆ ประเภทที่กล่าวแล้วข้างต้นได้อีกด้วย⁵

ขอให้ลองเริ่มจากปฏิกิริยาอย่างง่าย ๆ อย่างเช่น การสันดาปของมีเทน (methane) ดังสมการที่ 1



เมื่อพินิจดูแล้วลองให้สัมประสิทธิ์ ของ CH_4 เป็น 1 ก็หาค่าของ x ได้โดยอาศัย กฎทรงมวลของสสาร* ซึ่งในที่นี้ยอมหมายความว่า ในสมการของปฏิกิริยาเคมีใด ๆ นั้น จำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิดในแต่ละข้างของสมการจะต้องเท่ากัน ฉะนั้นเมื่อแก้สมการย่อยของออกซิเจนที่ได้ดุลแล้วก็จะได้อค่า x ดังนี้

$$\text{สมการของ O :} \quad 2x = 2 + 2 \quad (2)$$

$$\therefore x = 2$$

ข้อที่น่าสังเกตของสมการทั่วไปประเภทนี้ก็คือ ตัวแปรหรือตัวไอ้โม่ง (unknown) จะมีมากกว่าจำนวนสมการที่ดุลอยู่หนึ่งเสมอ (ในสมการที่ 1 มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอยู่สองตัวคือ 1 สำหรับ CH_4 และ 2 สำหรับ O_2) และโดยทั่วไปเรานิยมจะกำหนดค่าตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งตามใจชอบเพื่อให้สัมประสิทธิ์ที่ได้ทั้งชุดเป็นเลขจำนวนเต็มค่าน้อย ๆ

* กฎทรงมวลของสสาร (Law of Conservation of Mass) นี้ ลาวัชเชอร์ (Lavoisier) เป็นผู้ตั้งเอาไว้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1777 โดยกล่าวว่า *Mass is conserved, element by element.*

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กรณีที่ตัวแปรที่มีจำนวนเท่ากับจำนวนสมการ เช่น ปฏิกริยาที่กรดซัลฟิวริกสูญเสียน้ำ (dehydration of sulfuric acid) ดังแสดงในสมการที่ 3



จะเห็นว่ามีธาตุอยู่ 3 ชนิดพร้อมกับสัมประสิทธิ์ 3 ตัว ถ้าลองกำหนดให้จำนวนอะตอมของกำมะถันทางซ้ายมือเป็น 1 ก็พบว่า ซัลเฟอร์ไทรออกไซด์ทางขวามือก็ต้องมีเพียง 1 โมเลกุลด้วย ฉะนั้นน้ำก็ต้องมีเพียง 1 โมเลกุลด้วยเพื่อให้จำนวนอะตอมของไฮโดรเจนได้ดุล เมื่อตรวจสอบจำนวนอะตอมของออกซิเจนก็พบว่าสมการที่ 3 นี้ได้ดุลแล้ว

คราวนี้ถ้าบังเอิญพบปฏิกริยาแบบสมการที่ 4 จะทำอย่างไร?



ลองกำหนดให้สัมประสิทธิ์ของกำมะถันเป็น x แล้วดูอะตอมของกำมะถันพร้อมกับไฮโดรเจนก็จะได้



เมื่อพิจารณาสมการของออกซิเจนก็จะเห็นความจริงว่า

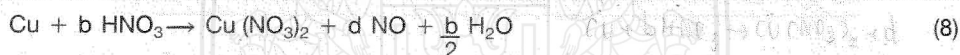
$$\text{สมการของ O : } 4x = x + 2x \quad (6)$$

ซึ่งจะเป็นจริงก็ต่อเมื่อ $x = 0$ ฉะนั้น ปฏิกริยาแบบในสมการที่ 4 จึงไม่น่าเป็นไปได้

การดุลสมการรีดอกซ์ด้วยวิธีนี้ก็สมารถทำได้โดยง่าย ดังตัวอย่างปฏิกริยาที่กรดไนตริกออกซิไดซ์โลหะทองแดงในสมการที่ 7



ลองกำหนดให้อะตอมทองแดงเป็น 1 และจำนวนโมเลกุลของกรดไนตริกเป็น b และเพราะว่าโมเลกุลที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนนั้นมีเพียงข้างละชนิดเดียว เราจึงเขียนสมการเสียใหม่ว่า

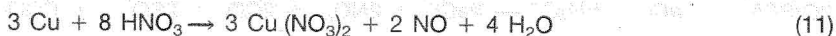


ดังนั้นสมการที่ดุลแล้วทั้งของไนโตรเจนและออกซิเจนจะเป็น

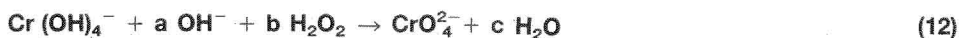
$$\text{สมการของ N : } b = 2 + d \quad (9)$$

$$\text{สมการของ O : } 3b = 6 + d + \frac{b}{2} \quad (10)$$

จากสมการที่ 9 และ 10 ย่อมจะให้ค่า $b = 8/3$ และ $d = 2/3$ ครั้นเมื่อปรับสัมประสิทธิ์ให้เป็นเลขจำนวนเต็มก็จะได้สมการที่ดุลเรียบร้อยแล้วแสดงในสมการที่ 11



สมการรีดอกซ์แบบอ็อกซิเดชันแสดงในสมการที่ 12 ก็ดุลได้ไม่ยาก โดยเลือกกำหนดให้จำนวนอะตอมของโครเมียมเป็น 1 ไว้ก่อน



สมการที่ดุลแล้วตามมาคือ

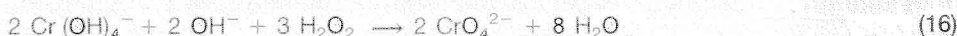
$$\text{สมการของ O : } 4 + a + 2b = 4 + c \quad (13)$$

$$\text{สมการของ H : } 4 + a + 2b = 2c \quad (14)$$

$$\text{สมการของประจุ : } -1 + (-a) = -2 \quad (15)$$

จากสมการที่ 15 ให้ค่า $a = 1$ และสมการที่ 13 และ 14 จะให้ค่า $c = 4$ และ $b = \frac{3}{2}$ เมื่อปรับสัมประสิทธิ์

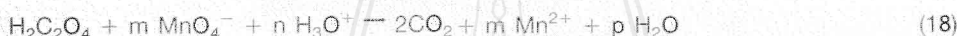
ให้เป็นเลขจำนวนเต็มก็จะให้สมการที่ดุลถูกต้องดังแสดงในสมการที่ 16



สมการที่มีสารอินทรีย์เกี่ยวข้องก็ดุลได้โดยไม่ต้องกังวลถึงเลขออกซิเดชันของอะตอมคาร์บอนอีกต่อไป ดังจะเห็นได้ในสมการแสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดออกซาลิก (oxalic acid) ข้างล่างนี้



เมื่อเลือกกำหนดให้จำนวนโมเลกุลของกรดออกซาลิกเป็น 1 ก็จะได้



และสมการที่ดุลแล้วชนิดต่าง ๆ ดังนี้

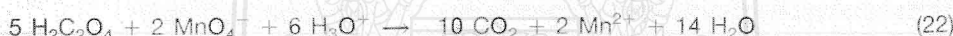
$$\text{สมการของ H : } 2 + 3n = 2p \quad (19)$$

$$\text{สมการของ O : } 4 + 4m + n = 4 + p \quad (20)$$

$$\text{สมการของประจุ : } -m + n = 2m \quad (21)$$

เมื่อแก้สมการที่ 19, 20 และ 21 จะได้ $m = \frac{2}{5}$, $n = \frac{6}{5}$, และ $p = \frac{14}{5}$ ฉะนั้นเมื่อปรับสัมประสิทธิ์แล้ว

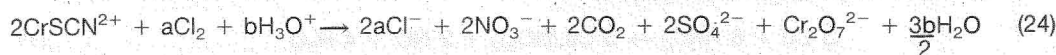
สมการที่สมบูรณก็คือ



ขอให้สังเกตว่าเราสามารถดุลสมการรีดอกซ์ได้โดยไม่ต้องอาศัยเลขออกซิเดชันเลย วิธีเช่นนี้จึงสะดวกอย่างยิ่งที่จะใช้กับสมการของปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันหลายค่า ดังตัวอย่างข้างล่างนี้



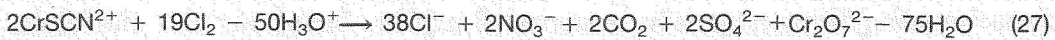
เราจะกำหนดสัมประสิทธิ์หน้า CrSCN^{2+} เป็น 2 ไว้ก่อนเพราะ Cr ปรากฏให้เห็นอีกเพียงครั้งเดียวทางขวาในรูปของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ดังนั้น จึงเขียนสมการที่ 23 เสียใหม่เป็นสมการที่ 24



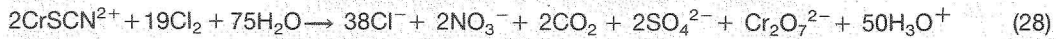
$$\text{สมการของ O : } b = 6 + 4 + 8 + 7 + \frac{3b}{2} \quad (25)$$

$$\text{สมการของประจุ : } 4 + b = -2a - 2 - 4 - 2 \quad (26)$$

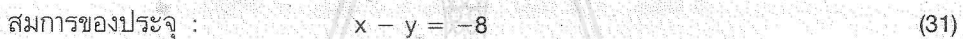
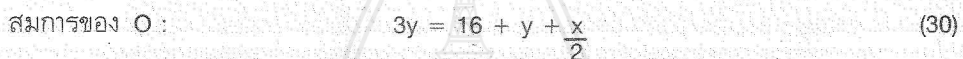
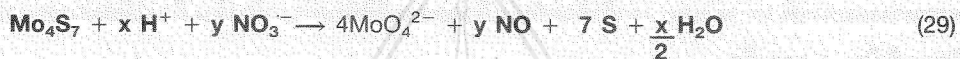
จากสมการที่ 25 จะให้ $b = -50$ และจากสมการที่ 26 จะให้ $a = 19$ เมื่อแทนค่าเหล่านี้ลงในสมการที่ 24. จะได้



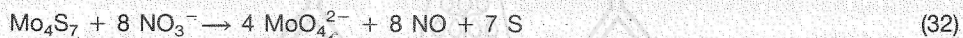
เมื่อย้ายข้างของ H_3O^+ และ H_2O ก็จะได้สมการที่ดุลสมบูรณ์



ตัวอย่างที่น่าสนใจอีกอันหนึ่งคือ ปฏิกิริยาที่กรดไนตริกออกซิไดซ์โมลิบดีนัมซัลไฟด์ โดยเราจะกำหนดให้สัมประสิทธิ์ของโมลิบดีนัมซัลไฟด์ เป็น 1 ไว้ก่อน



จะได้ว่า $x = 0$ และ $y = 8$ ฉะนั้นจึงเขียนสมการที่ 29 เสียใหม่เป็น

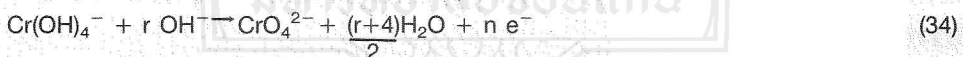


จากตัวอย่างนี้ จะเห็นว่า H^+ ไม่ใช่สารทำปฏิกิริยาโดยตรง แต่อาจเป็นเพียงคะตะลิสต์ที่ช่วยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปด้วยอัตราเร็วขึ้นเท่านั้นเอง ดังนั้นจึงไม่ปรากฏในสมการที่ 32 เลย!

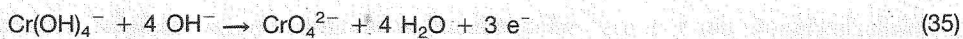
ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน แยกจากปฏิกิริยารีดักชัน ก็สามารถดุลได้ด้วยวิธีที่กล่าวมาแล้ว ดังตัวอย่างปฏิกิริยาครึ่งเซลล์ของ Cr^{3+} ในสารละลายเบสข้างล่างนี้



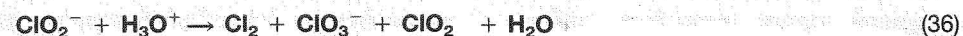
กำหนดให้สัมประสิทธิ์ของโครเมียมเป็น 1 แล้วเขียนสมการใหม่เป็น



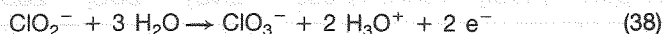
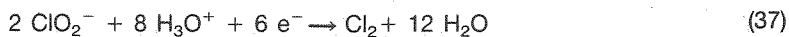
จากสมการของออกซิเจนและประจุจะได้ $r = 4$ และ $n = 3$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 34 ก็จะได้สมการที่สมบูรณ์ของครึ่งเซลล์ดังนี้



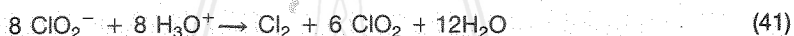
ตัวอย่างสุดท้ายจะแสดงให้เห็นถึงกรณีที่ปฏิกิริยามีโอกาสจะเกิดขึ้นปนกันได้หลายแบบพร้อม ๆ กัน ดังแสดงในสมการที่ 36



เมื่อลองวิเคราะห์ปฏิกิริยาของธาตุคลอรีน โดยแยกออกเป็นปฏิกิริยาครึ่งเซลล์ พบว่ามี 3 ชนิดที่เป็นไปได้กล่าวคือ



จะเห็นว่าปฏิกิริยานี้เป็นแบบที่เรียกว่า auto-redox ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ของออกซิเดชัน 2 ชนิด ฉะนั้นเมื่อจับคู่ระหว่างสมการที่ 37, 38 และ 39 เข้าด้วยกัน แล้วดุลตามวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ก็จะทำให้สมการของปฏิกิริยารีดอกซ์เป็น 2 แบบคือ



มาถึงขั้นนี้แล้วก็เห็นจะต้องหยุดไว้แค่สองสมการนี้เท่านั้น เพราะการจะนำสมการที่ 40 รวมกับสมการที่ 41 เพื่อให้ได้สมการรวม (แบบสมการที่ 36) ที่บอกอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดนั้น ย่อมจะไม่ถูกต้อง เพราะในความเป็นจริงแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละสมการนั้น เราไม่ทราบแน่นอนจากการดุลสมการแต่เพียงอย่างเดียว วิธีที่จะทราบได้ก็คือทำการทดลอง แล้ววิเคราะห์หาอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

โดยสรุปแล้ว วิธีดุลสมการแบบที่กล่าวมาแล้วนี้ นับว่าเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ไม่เพียงจะง่าย แต่ยังให้ผลดีอีกด้วย เพราะไม่ต้องกังวลกับเลขออกซิเดชันของธาตุต่างๆ แต่อย่างใด ซึ่งในบางครั้ง การพิจารณาเลขออกซิเดชันก็ไม่ใช่ว่าจะง่ายอย่างที่คาด และอาจจะถือได้ว่าเป็นเรื่อง "ลึกลับคมใน" ของการดุลสมการทีเดียว เพราะฉะนั้น การดุลสมการแบบนี้จึงควรถือได้ว่าเป็นวิธีที่ตรงไปตรงมา สะดวก และไม่มี "ลึกลับคมใน" จริงๆ

บรรณานุกรม

1. "หนังสือเรียนวิชาเคมี เล่ม 1 ว 031" หลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พ.ศ.2524, พิมพ์ครั้งที่ 3, โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว กรุงเทพฯ, 2528, บทที่ 3, หน้า 44.
2. บุญพฤกษ์ จากามระ (บรรณธิการ), "เคมี เล่ม 1" ทบวงมหาวิทยาลัย, อักษรเจริญทัศน์ กรุงเทพฯ, 2523, บทที่ 2, หน้า 30.
3. "หนังสือเรียนวิชาเคมี เล่ม 5 ว 035" หลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พ.ศ.2524, พิมพ์ครั้งที่ 2, โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว กรุงเทพฯ, 2526, บทที่ 13, หน้า 16.
4. บุญพฤกษ์ จากามระ (บรรณธิการ), "เคมี เล่ม 2" ทบวงมหาวิทยาลัย, อักษรเจริญทัศน์ กรุงเทพฯ, 2524, บทที่ 12, หน้า 4.
5. S.K. Porter, *J. Chem. Educ.*, 1985, 62, 507-508.
6. บุญพฤกษ์ จากามระ (บรรณธิการ), "เคมี เล่ม 1" ทบวงมหาวิทยาลัย, อักษรเจริญทัศน์ กรุงเทพฯ, 2523, บทที่ 31-32.

โรคพิษสุราภัยกับปัจจัยทางพันธุกรรม*

พิษณุ วิเชียรสรรค์**

ได้มีการสังเกตกันมานานแล้วว่า คนเชื้อสายมองโกล (ญี่ปุ่น จีน เกาหลี ฯลฯ) มีจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคพิษสุราน้อยกว่าคนผิวขาวในทวีปยุโรปและอเมริกาอย่างเห็นได้ชัดเจน และคนเชื้อสายมองโกลส่วนมากไม่สามารถดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ในปริมาณมากได้ เนื่องจากคนในกลุ่มนี้เมื่อดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เข้าไปแล้วพบว่าร่างกายจะมีการตอบสนองต่อฤทธิ์ของเอทิลแอลกอฮอล์อย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะดื่มเพียงเล็กน้อยก็ตาม ก็เกิดอาการที่เรียกว่า "Flushing" คือจะมีอาการหน้าแดง และอัตราการเต้นของหัวใจถี่ขึ้น ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้พบว่าสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดอาการนี้ เนื่องมาจากความบกพร่องหรือความผิดปกติของเอ็นไซม์ในคนเอเชีย และเป็นลักษณะที่มีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมด้วย

โรคพิษสุรา หรือติดเหล้า คือ พฤติกรรมการดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของเอทิลแอลกอฮอล์ในปริมาณมากจนทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ ต่อการเข้าสังคมและสิ้นเปลืองเงิน พฤติกรรมดังกล่าวจัดเป็นลำดับขั้นมากขึ้นตั้งแต่ดื่มเป็นนิสัยจนถึงขั้นเสพติดได้ โรคพิษสุรายังสามารถแบ่งออกได้เป็นแบบเฉียบพลัน และแบบเรื้อรัง โรคพิษสุราแบบเฉียบพลันเกิดขึ้นเนื่องจากแอลกอฮอล์ไป

ก่อกำหนดการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งถ้ากดมากก็จะก่อกำหนดการหายใจและทำให้เสียชีวิตในที่สุดได้ ส่วนโรคพิษสุราแบบเรื้อรัง ผู้ป่วยจะมีอาการเบื่ออาหาร ท้องเสีย น้ำหนักลด สภาวะจิตไม่ปกติ และอาจเป็นโรคตับแข็งในที่สุด

เนื่องจากแอลกอฮอล์ เป็นสารที่มีผลต่อสมองส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมพฤติกรรมทางร่างกายและทางจิตใจของมนุษย์ (psychomotoric Functions) ดังนั้นการดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินไป จึงถือว่าเป็นนิสัยการบริโภคที่ไม่ดี ในศาสนาพุทธและบางศาสนาถือว่ากาติดื่มสุราเป็นอบายมุขและเป็นสิ่งต้องห้ามเลยทีเดียว เมื่อต้นปี ค.ศ.1900 มานี้เอง มนุษย์เราเริ่มรู้ว่าการติดสุราก็ถือเป็นโรคชนิดหนึ่งเช่นกัน และในปัจจุบันพบว่า โรคพิษสุราเรื้อรังเป็นโรคที่คุกคามต่อสุขภาพอนามัยของชาวโลกอย่างมาก จากการศึกษาได้พบว่าพันธุกรรมก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อโรคพิษสุราเรื้อรังอย่างแน่นอน นอกเหนือไปจากอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม สังคม ขนบธรรมเนียมประเพณีต่างๆ อาทิเช่น ราคาและความแพร่หลายของเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ในสังคมนั้นๆ สภาพภูมิอากาศ ศาสนา นิสัยการดื่มในครอบครัว เป็นต้น

* บทความนี้เรียบเรียงจากงานวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ที่มหาวิทยาลัยฮัมเบอร์ก ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน

** อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พิษและการสลายตัวของแอลกอฮอล์

การสลายตัวของแอลกอฮอล์ส่วนมากจะเกิดขึ้นในตับ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ในขั้นแรก แอลกอฮอล์จะถูกเอ็นไซม์ Alcohol Dehydrogenase (ADH) ออกซิไดส์ให้เป็น Acetaldehyde ซึ่งจะถูกเอ็นไซม์ Aldehyde Dehydrogenase (ALDH) เปลี่ยนไปเป็น Acetate ในขั้นต่อไป การเป็นพิษของแอลกอฮอล์ เกิดขึ้นเนื่องจากร่างกายของผู้ดื่มขาดเอ็นไซม์ ALDH ที่จะไปสลาย Acetaldehyde ซึ่งพิษที่แสดงออกในรูปของการปล่อยสารส่งสัญญาณประสาท (Neurotransmitter) เช่น Adrenalin หรือ Catecholamine ตัวอื่นๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการขยายตัวของเส้นเลือด ทำให้หน้าแดง และทำให้อุณหภูมิที่ผิวหนังสูงขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจถี่ขึ้น และมีอาการไม่สบายเนื้อตัวตามอีกด้วย ดังนั้นผู้ที่ดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์แต่ขาดเอ็นไซม์ ALDH แทนที่จะรู้สึกผ่อนคลาย จึงกลับมีอาการตรงกันข้าม ซึ่งก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่ง ที่อธิบายได้ว่า ทำไมคนเราหลังดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์แล้วจึงมีพฤติกรรมแสดงออกแตกต่างกัน

ผลการศึกษาจากประเทศต่าง ๆ

จากผลของการศึกษาในหลาย ๆ ประเทศพบว่า เอ็นไซม์ ALDH ในตับของมนุษย์เป็น Isoenzyme ซึ่งมี 2 ชนิด คือ ALDH I และ ALDH II เอ็นไซม์ทั้งสองทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมีเดียวกัน แต่มีโครงสร้างต่างกัน ซึ่งจะทำให้สมบัติทางอิเล็คโทรโฟรีซิสต่างกันด้วย นักวิทยาศาสตร์พบว่า ระดับ ALDH-Isoenzyme ในตับของคนเยอรมันและคนญี่ปุ่นไม่เหมือนกัน กล่าวคือ ในตับของคนญี่ปุ่นร้อยละ 40 ถึง 50 จะขาด ALDH I ในขณะที่ในตับของคนเยอรมันมีเอ็นไซม์

ตัวนี้อยู่ครบถ้วน การที่การขาดเอ็นไซม์ดังกล่าวเกิดขึ้นเฉพาะในคนญี่ปุ่นเท่านั้น ประกอบกับอาการ Flushing นั้นเกิดขึ้นบ่อยๆ กับคนญี่ปุ่น หลังจากที่ดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เข้าไปแล้ว ทำให้นักวิทยาศาสตร์ตั้งข้อสมมุติฐานว่า การขาดเอ็นไซม์ ALDH I เป็นสาเหตุที่ทำให้ระดับของ Acetaldehyde สูงขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดอาการ Flushing

ได้มีการพบว่า ALDH-Isoenzyme นี้สามารถตรวจหาได้จากรากผม โดยใช้วิธีทางอิเล็คโทรโฟรีซิส ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถศึกษาและติดตามถึงสภาพการขาดเอ็นไซม์ดังกล่าวได้สะดวกยิ่งขึ้น ในคนญี่ปุ่นที่ขาดเอ็นไซม์นี้ เมื่อดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เข้าไปแล้ว จะมีปริมาณความเข้มข้นของ Acetaldehyde ในเลือดมากกว่าคนญี่ปุ่นที่มีเอ็นไซม์ตัวนี้ 15 ถึง 20 เท่า และในกลุ่มที่ขาดเอ็นไซม์ จะไม่ชอบดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ เพราะเมื่อดื่มแล้วจะมีอาการไม่สบายเนื้อตัวดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในขณะที่คนญี่ปุ่นที่มีเอ็นไซม์นี้เป็นปกติจะชอบดื่ม และดื่มได้มากพอๆ กับคนยุโรป หรือคนอเมริกัน จากการศึกษา ยังพบต่อไปอีกด้วยว่า การขาดเอ็นไซม์ ALDH I จะย่อยสลาย Acetaldehyde นี้พบเฉพาะในชนเชื้อสายมองโกลเท่านั้น และเป็นลักษณะที่ถ่ายทอดกันทางพันธุกรรมได้ด้วย แต่จะไม่พบการขาดเอ็นไซม์ดังกล่าวเลยในคนผิวขาวในยุโรป และอเมริกา รวมทั้งคนอัฟริกันเผ่าต่างๆ ด้วย นักวิทยาศาสตร์ยังได้ทำการสำรวจผู้ที่ป่วยด้วยโรคพิษสุราเรื้อรังในโรงพยาบาลที่ประเทศญี่ปุ่น พบว่า ผลการสำรวจได้ยืนยันความเชื่อที่ว่า การขาดเอ็นไซม์ ALDH นี้ เป็นปัจจัยสำคัญที่จะป้องกันไม่ให้ดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์มากเกินไป เนื่องจากปรากฏว่า ร้อยละ 98 ของผู้ที่ป่วยด้วย

โรคพิษสุราเรื้อรังมีเอ็นไซม์ ALDH เป็นปกติ จึงทำให้สามารถดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ได้มากจนกลายเป็นโรคพิษสุราเรื้อรัง และมีเพียงร้อยละ 2 ของผู้ป่วยเท่านั้นที่ร่างกายขาดเอ็นไซม์ ALDH แต่ก็ยังดื่มมากจนทำให้เกิดโรคพิษสุราเรื้อรัง

ปัจจัยที่สนับสนุนสมมุติฐานนี้อีกประการหนึ่งก็คือ การพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอลกอฮอล์ที่ดื่มกับการขาดเอ็นไซม์ ALDH ของคนในชาติเดียวกัน จากการสำรวจพบว่าทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีผู้ขาดเอ็นไซม์ ALDH ในตัวร้อยละ 25 จะมีอัตราการดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์สูงถึง 6 ลิตรต่อคนต่อปี ในขณะที่ทางตอนใต้ของประเทศซึ่งมีผู้ขาดเอ็นไซม์ดังกล่าวถึงร้อยละ 52 ปรากฏว่ามีอัตราการดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เพียง 3 ลิตรต่อคนต่อปี ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญแบบเดียวกันนี้ ก็ได้มีรายงานพบในประเทศเกาหลีและไต้หวันด้วย

ประชากรโลกที่มีเชื้อสายมองโกลมีประมาณร้อยละ 30 และในคนเชื้อสายนี้มีการขาดเอ็นไซม์ ALDH ในตัวร้อยละ 30 ถึง 50 ซึ่งก็หมายความว่า มีประชากรโลกประมาณ 1,000 ล้านคนที่มีขบวนการทางพันธุกรรมที่ช่วยป้องกันการดื่มแอลกอฮอล์มากเกินไปแล้ว เป็นการช่วยป้องกันการเกิดโรคพิษสุรา และในความเป็นจริงก็พบว่าอัตราการดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ของคนในซีกโลกตะวันออกต่ำกว่าในซีกโลกตะวันตกเป็นอย่างมาก

ท่านผู้อ่านอาจจะอยากทราบว่า คนไทยมีผู้ขาดเอ็นไซม์ ALDH มากน้อยเพียงไร ขอให้พิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 1 และสังเกตดูนิสัยการดื่มในสังคมรอบ ๆ ตัวท่านเอง ท่านอาจจะมีความเห็นคล้อยตามสมมุติฐานของนักวิทยาศาสตร์เหล่านี้ก็เป็นได้

ตารางที่ 1 ความไวในการตอบสนองต่อแอลกอฮอล์ของคนชาติต่าง ๆ ในเอเชีย

ประเทศ	จำนวนประชากรที่เกิดอาการ "Flushing" หลังดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์* (ร้อยละ)
เวียดนาม	53
ญี่ปุ่น	44
อินโดนีเซีย	39
จีน	31
เกาหลี	27
ฟิลิปปินส์	13
ไทย	8

(* สำหรับคนผิวขาวในยุโรปและอเมริกา รวมทั้งคนอัฟริกัน ตัวเลขนี้ = 0)

จากตัวเลขในตารางที่ 1 อาจจะพอสรุปได้ว่าคนไทยมีจำนวนประชากรที่ขาดเอ็นไซม์ ALDH น้อยที่สุดในเอเชีย และในพวกเชื้อสายมองโกลด้วยกัน ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้คนไทยเราดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์กันเก่งก็เป็นได้ และสำหรับท่านที่มีความสนใจทางประวัติศาสตร์ และโบราณคดี อาจจะคิดเลยไปอีกได้ว่า อาจเป็นความจริงที่ว่าคนไทยเราก็อายุที่นี้แหละ ไม่ได้อพยพมาจากไหน

เอกสารอ้างอิง

- Goedde, H.W. and D.P. Agarwal (1988) Warum Asiaten keinen Alkohol vertragen genetischer Schutz vor Alkoholismus Forschung - Mitteilungen der DFG 4

การรวมตัวแบบเย็น (cold fusion)*

รงค์ รุขกรกานต์**

บทคัดย่อ

พลังงานที่เกิดจากการรวมตัว (fusion) เป็นพลังงานที่สะอาดมีใช้ไม่สิ้นสุด การรวมตัวที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เช่น ที่แกน (core) ของดวงอาทิตย์ภายใต้อุณหภูมิประมาณ 2×10^7 เคลวิน คือ ปฏิกิริยาการรวมตัวแบบร้อน (hot fusion) นักวิทยาศาสตร์พยายามเลียนแบบและควบคุมกระบวนการดังกล่าวให้ได้ในห้องทดลองบนพื้นโลก โดยการสร้างเตาปฏิกรณ์การรวมตัว (fusion reactor) เพื่อดึงเอาพลังงานไปใช้ให้เกิดประโยชน์ อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นเตาปฏิกรณ์แบบโทคาแมค (tokamak) หรือแบบเลเซอร์ (laser pellets) ล้วนแต่มีขนาดมหึมา ต้นทุนการสร้างมหาศาลแต่ให้พลังงานออกมาน้อยมาก คือมีประสิทธิภาพพลังงานน้อยกว่า 1% จึงยังอยู่ในช่วงการพัฒนา การค้นพบการรวมตัวที่อุณหภูมิห้องของหลุย อาวาเรซ (Luis Alvarez) ในปี ค.ศ.1956 นับเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการรวมตัวแบบเย็น (cold fusion) ซึ่งเรียกชื่อเฉพาะว่าการรวมตัวแบบเย็นด้วยมิวออน (muon-catalysed fusion) เพราะต้องอาศัยมิวออนเร่งปฏิกิริยาในแก๊สดีวเทอเรียม (deuterium) หรือทริเทียม (tritium) เป็นที่น่ายินดีว่ามิวออนมีช่วงอายุสั้นเฉลี่ยประมาณ 2.2×10^{-6} วินาที ปริมาณที่เกิดตามธรรมชาติจากรังสีคอสมิกมีน้อย อีกทั้งการผลิตอนุภาคนี้ขึ้นในห้องทดลองก็แพงมาก ทำให้แผนของการนำวิธีการแบบนี้มาใช้ผลิตพลังงานต้องล้มเลิกไป จนกระทั่งเดือนมีนาคม ค.ศ.1989 บี สแตนลีย์ พอนส์ (B. Stanley Pons) กับมาร์ติน ฟไลชแมนน์ (Martin Fleischmann) ได้ประกาศเป็นทางการว่า สามารถค้นพบกระบวนการรวมตัวแบบเย็นโดยไม่ต้องอาศัยมิวออน ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีซึ่งประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าแพลเลเดียม (Pd) และแพลตินัม (Pt) จุ่มอยู่ในสารละลายน้ำหนักหนัก (D_2O , heavy water) โดยได้ความร้อนออกมาถึงประมาณ 4 เท่าของพลังงานที่จ่ายให้กับเซลล์ อีกหนึ่งเดือนถัดมา เอส อี โจนส์ (S.E. Jones) ยืนยันเพิ่มเติมถึงการพบการรวมตัวแบบเย็นในเซลล์ไฟฟ้าประเภทเดียวกัน แต่ประมาณความร้อนที่ได้จากเซลล์น้อยมาก และยังมีนิวตรอนถูกปลดปล่อยออกมาด้วย ขณะนี้นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ยังไม่ยอมรับแนวคิดและการทดลองของพอนส์กับฟไลชแมนน์ ความฝันของชุมชนพลังงานที่มีใช้ไม่รู้จักหมดจึงขึ้นอยู่กับใครจะสามารถพิสูจน์ยืนยันให้เห็นเด่นชัดว่ากระบวนการที่เกิดขึ้นในเซลล์ไฟฟ้านั้นเป็นการรวมตัวจริง

Abstract

Energy obtained from fusion is clean and virtually limitless. For years, scientists have been trying to reproduce the (hot) fusion processes of the sun at tremendous pressures and temperatures in huge reactors like tokamaks or laser pellets. However, these reactors can only generate a fraction of energy of what they consume. In 1956, Luis Alvarez first observed a cold fusion or room-temperature fusion using muons injected into deuterium and tritium gases. It turned out apart from the prohibitive cost of producing muons as catalysts, their life time is too short to provide a net gain of energy from the reaction. In March 1989, B. Stanley Pons and Martin Fleischmann announced that they achieved cold fusion in an electrochemical cell consisted of palladium and platinum electrodes immersed in heavy water. S.E. Jones also found similar process a month later, but with very less energy compared to what claimed by Pons and Fleischmann. Presently, scientists are still skeptical about these results.

* เสนอในการประชุมวิชาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในวาระครบรอบ 25 ปี

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วันที่ 15 สิงหาคม 2532

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1. การรวมตัวแบบร้อน

เป็นที่ทราบกันดีว่า การรวมตัวแบบร้อนที่เกิดขึ้นในธรรมชาติหรือในห้องทดลองนั้น เป็นปฏิกิริยาตามมาตรฐานการรวมตัวของอนุภาคที่เป็นไอโซโทปของไฮโดรเจนแล้วปลดปล่อยพลังงานออกมา กล่าวคือ



เมื่อ p, d และ t เป็นอนุภาคโปรตรอน (proton) ดิวเทอรอน (deuteron) และทริตอน (triton) ตามลำดับ ส่วน ${}^3\text{He}$ และ ${}^4\text{He}$ เป็นไอโซโทปของฮีเลียม

ปกติ การที่ปฏิกิริยาการรวมตัวดังกล่าวจะเกิดได้ อนุภาคเหล่านั้นต้องเกาะกลุ่มอยู่ในสถานะพลาสมา (plasma) หรือก๊าซไอออน ซึ่งมีความหนาแน่นและอุณหภูมิสูงภายใต้สภาวะลอว์สัน (Lawson criterion) : ผลคูณของความหนาแน่นไอออนกับเวลาการกักตัว (confinement time) $n\tau \approx 10^{14} - 10^{16}$ วินาที-ลูกบาศก์เซนติเมตร

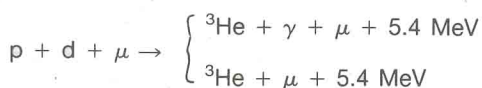
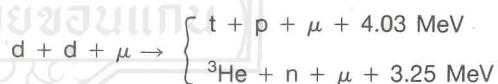
ในดวงอาทิตย์ สภาวะแรงโน้มถ่วงเป็นตัวกักพลาสมาให้การรวมตัวดำเนินไปอย่างช้าๆ สำหรับเตาปฏิกรณ์การรวมตัว (ซึ่งมีขนาดมหึมาและมูลค่ามหาศาล) บนพื้นโลก ที่นิยมกันมีสองชนิด โทคามัค (รูปที่ 1) ใช้สภาพแม่เหล็กรูปโดนัท (torroid) เป็นตัวกักไม่ให้พลาสมาสลายตัวในช่วงขณะที่มีการเผาเชื้อเพลิงดิวเทอเรียม (D) เพื่อจุดการรวมตัว ส่วนในเตาปฏิกรณ์แบบเลเซอร์ (รูปที่ 2) มีลำเลเซอร์ของแสงใต้แดง (infrared) พลังงานสูงยิงไปที่เม็ดอัดเชื้อเพลิงดิวเทอเรียม จนเกิดการระเบิดอย่างรุนแรง ขณะระเบิดแรงอัดจะเป็นตัวกักพลาสมาให้จุดการรวมตัว เป็นที่น่าเสียดายว่าค่าเวลาการกักตัวประมาณ 10^{-3} วินาทีในเตาปฏิกรณ์นั้น ไม่นานพอ

ที่จะนำพลังงานส่วนเกินไปใช้ได้ทัน ทำให้ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของเตาปฏิกรณ์น้อยกว่า 1% แล้วยังมีมลภาวะ เช่น อนุภาคนิวตรอน (n) และรังสีแกมมา (γ) ตามมาอีกด้วย นักฟิสิกส์จึงคาดการณ์ว่าการพัฒนาเตาปฏิกรณ์ให้ถึงแค่ได้พลังงานออกมาเท่ากับที่ให้เข้าไปนั้น อย่างน้อยต้องนานถึง ค.ศ.2050

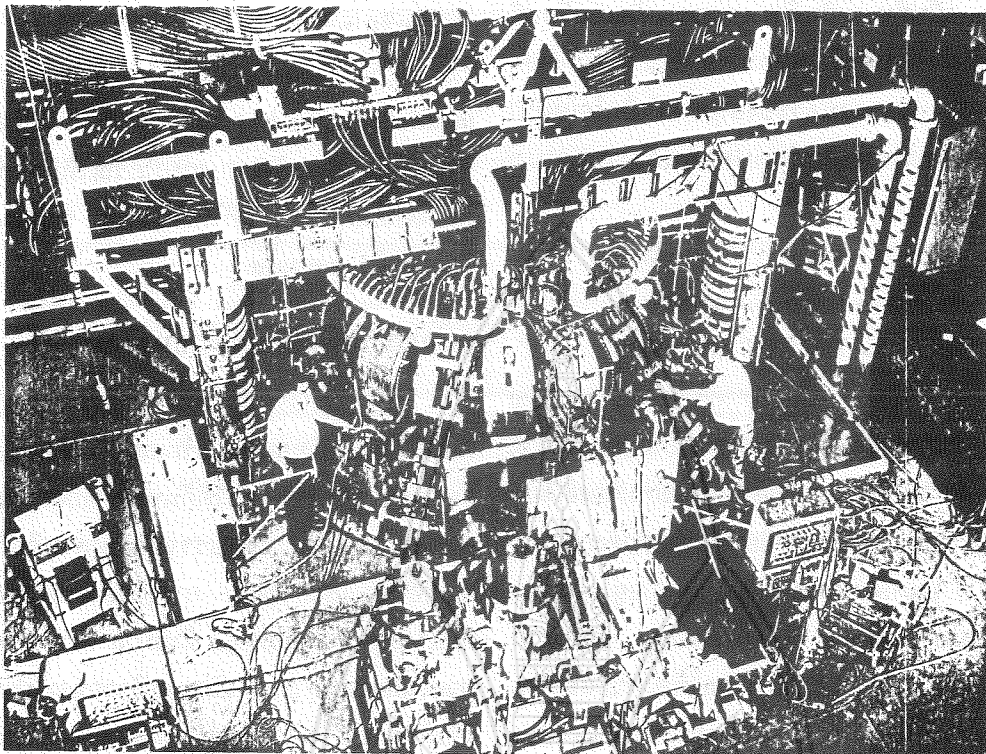
2. การรวมตัวแบบเย็นด้วยมิวออน

ในปี ค.ศ.1956 นักวิทยาศาสตร์ระดับรางวัลโนเบล ที่มหาวิทยาลัยเบอร์กลีย์ คาลิฟอร์เนีย ชื่อ หลุย อาวาช [1] ได้ค้นพบการเกิดการรวมตัวที่อุณหภูมิห้องในถังบรรจุของเหลวหรือก๊าซดิวเทอเรียมและทริเทียม การรวมตัวแบบนี้อาศัยการเร่งอนุภาคมิวออน (μ) ซึ่งมีมวล 207 เท่าของมวลอิเล็กตรอน ($m_\mu = 207 m_e$) มิวออนจะไปแทนที่อิเล็กตรอนซึ่งโคจรรอบนิวเคลียสของดิวเทอเรียม บีบรัดให้นิวเคลียสรวมตัวกัน ปลดปล่อยนิวตรอนและพลังงานส่วนเกินออกมา

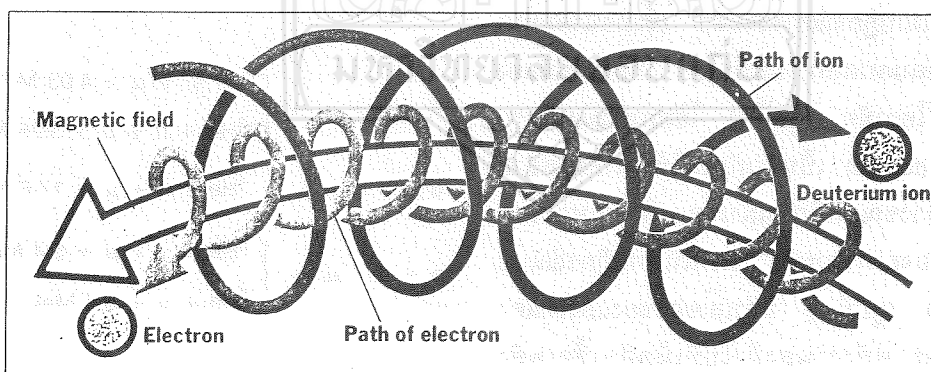
ปฏิกิริยาหลักของการรวมตัวแบบเย็นนี้ แยกออกเป็นสามกลุ่มใหญ่ ได้แก่ [2]



การแทนที่ของมิวออนจะลดกำแพงศักย์คูลอมบ์ (Coulomb barrier) ลงเกือบเท่ากับ m_μ/m_e หรือ 207 เท่า และจากการคำนวณพบว่าเวลาการกักตัว $\tau = 8 \times 10^{-13}$ วินาที และ 2×10^{-9} วินาที



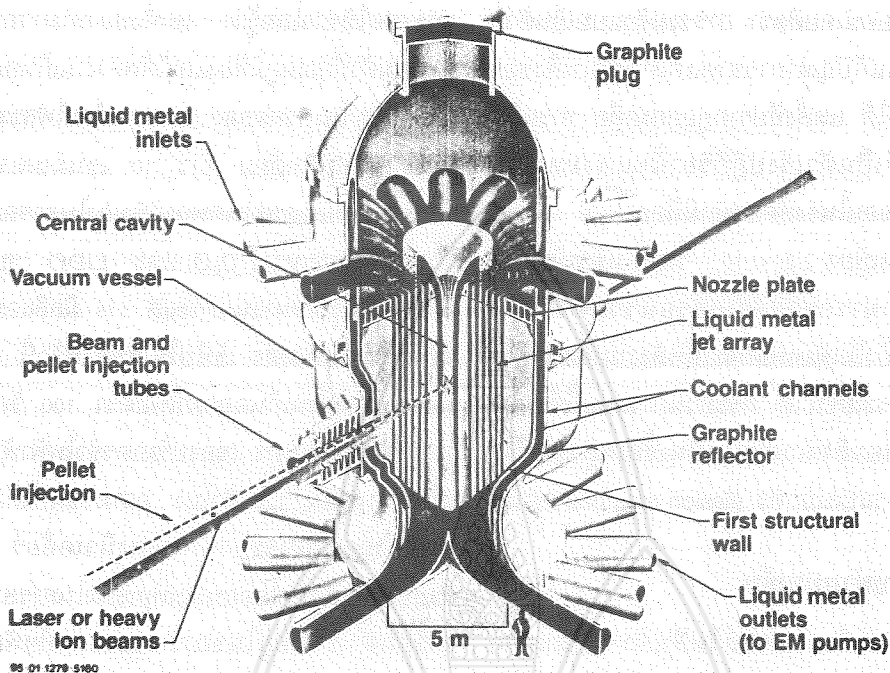
The ST Tokamak at the Plasma Physics Laboratory at Princeton, New Jersey.
[Sponsored by the U.S. Atomic Energy Commission.]



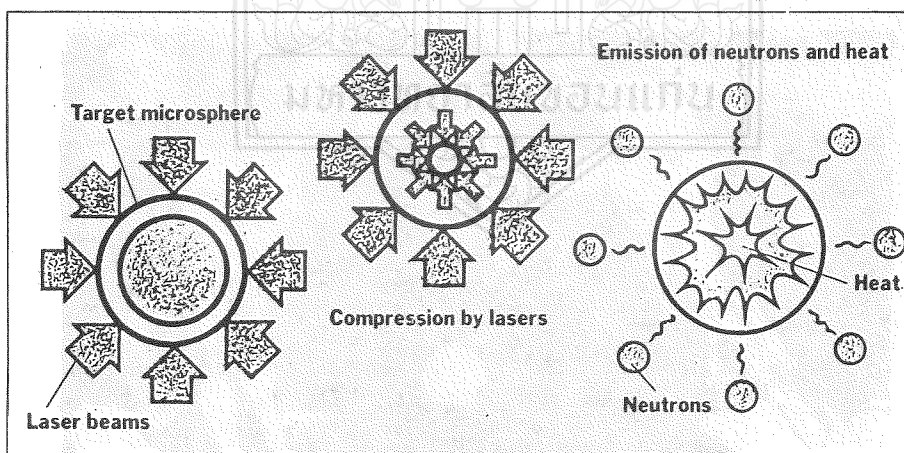
The magnetic field confines deuterium, stripped of its electrons, causing fusion.

รูปที่ 1. เตาปฏิกรณ์โทคามักและหลักการทำงานของกรักพลาสมาแบบ
สนามแม่เหล็ก

HYLIFE REACTION CHAMBER



The HYLIFE concept for a laser-fusion reaction chamber. Liquid lithium forms a massive spray as from a gigantic showerhead; the pellets and laser beam pass through the gaps in the spray. The lithium, heated by pellet microexplosions, then is used to boil water, raising steam for electric turbines in a power plant.



Laser beams set off fusion by crushing tiny spheres filled with heavy hydrogen.

สำหรับปฏิกิริยาการรวมตัว $d - t$ และ $d-d$ ตามลำดับ

หลายคนเคยคิดว่า การรวมตัวแบบเย็นด้วยมิวออนจะแก้ปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงของมนุษยชาติได้ แต่สิ่งที่ปรากฏออกมาคือ การผลิตมิวออนให้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นแพงมหาศาล จำนวนมิวออนในรังสีคอสมิกมีน้อย [2] และมีช่วงชีวิตสั้นเพียง 2.2×10^{-6} วินาที แม้ว่ามิวออนหนึ่งตัวสามารถช่วยตัวเทอร์อนรวมตัวกันถึง 150 คู่ ก็ยังไม่เพียงพอที่จะให้พลังงานออกมามากพอจนใช้ประโยชน์ได้ กระบวนการแบบนี้จึงนิยมใช้เพียงเพื่อผลิตนิวตรอนเป็นเชื้อเพลิงของเตาปฏิกรณ์การแบ่งแยกตัว (fission reactors) เท่านั้น

3. การรวมตัวแบบเย็น

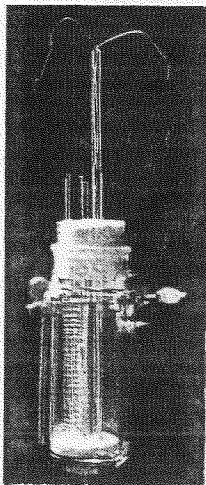
ถ้าผลึกฟลดาเดียมในเซลล์ไฟฟ้าเล็กๆ สามารถทำหน้าที่เหมือนเตาปฏิกรณ์การรวมตัวอันมหึมา และมูลค่าหลายพันล้านเหรียญสหรัฐ ย่อมเป็นความฝันอันมหัศจรรย์

23 มีนาคม ค.ศ.1989 สองนักเคมีชื่อ บี สแตนเลย์ ฟอนส์ แห่งมหาวิทยาลัยยูทาห์ สหรัฐ

อเมริกา กับมาร์ติน ไพลชมานน์ แห่งมหาวิทยาลัยเซาท์แอสตัน ประเทศอังกฤษ (รูปที่ 3) ร่วมกันประกาศให้ชาวโลกรู้ว่า เขาทั้งสองสามารถสร้างการรวมตัวที่อุณหภูมิห้องและได้พลังงานเกินออกมาถึง 4 เท่า ในการทดลอง [3] ฟอนส์กับไพลชมานน์ จุ่มแคโทดฟลดาเดียม ยาว 10 เซนติเมตร ซึ่งพันรอบด้วยลวดแอโนดฟลดาตินมลงในสารละลายน้ำชนิดหนักระหว่าง D_2O และ $LiDO$ (รูปที่ 4) เมื่อปล่อยความหนาแน่นกระแส 516 มิลลิแอมแปร์ ต่อตารางเซนติเมตร เข้าไปในเซลล์ไฟฟ้านี้ พบว่ามีความร้อนส่วนเกินออกมาในอัตรา 100 วัตต์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ของปริมาตรขั้วไฟฟ้าฟลดาเดียม) นานถึง 120 ชั่วโมง ความร้อนที่ได้มีมากจนต้องถือเป็นกระบวนการทางนิวเคลียร์ เขาทั้งสองเลยสรุปว่าไอออนตัวเทอร์อนเริ่มในสารละลายเคลื่อนตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างของแลตทิซฟลดาเดียม รวมตัวกันเป็นอะตอมฮีเลียม (He) แล้วแจกจ่ายพลังงานออกมา นอกจากนั้นยังพบรังสีแกมมาพลังงาน 2.22 MeV ซึ่งคาดว่ามาจากนิวตรอนซึ่งมีพลังงาน 2.45 MeV อันเป็นผลของการรวมตัวรอบๆ สารละลาย



รูปที่ 3 ไพลชมานน์และฟอนส์ผู้ประกาศว่าพบการรวมตัวแบบเย็น



The test tube where all the fuss began



Physicist Steven Jones's modest claims may stand up. The pennies absorb stray radiation.

รูปที่ 4 เซลล์ไฟฟ้าที่เป็น
ต้นตำหรับ

รูปที่ 5 เอส อี โจนส์ผู้ประกาศว่าพบการรวมตัวแบบเย็นในเซลล์ไฟฟ้า
เช่นกัน

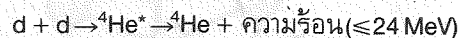
หนึ่งเดือนถัดมา เอสอี.โจนส์ แห่งมหาวิทยาลัยบรินแกมยัง สหรัฐอเมริกา (รูปที่ 5) ได้ทำการทดลองกับเซลล์ประเภทเดียวกัน [4] พบนิวตรอนหลุดออกมาจากการแยกสลาย รมิปริมาณพอที่สันนิษฐานว่าน่าจะมาจากการรวมตัว แต่ความร้อนที่ได้กลับน้อยกว่าของพอนส์กับไฟลชมานน์หลายพันเท่า ผลที่ได้จึงมีบางอย่างค้านกัน

นักวิจัยหลายกลุ่มทั่วโลกพยายามทำการทดลองซ้ำโดยเลียนแบบพอนส์กับไฟลชมานน์และของโจนส์ มีอยู่สองสามกลุ่มที่พบปริมาณความร้อนส่วนเกิน หรือฟลักซ์นิวตรอน แต่ส่วนใหญ่ไม่พบทั้งความร้อนหรืออนุภาคอื่นเป็นผลจากการรวมตัว

3. แบบจำลองการรวมตัวแบบเย็น

นักทฤษฎีพยายามหาหนทางที่จะอธิบายผลการทดลองอันแปลกประหลาดของพอนส์กับ

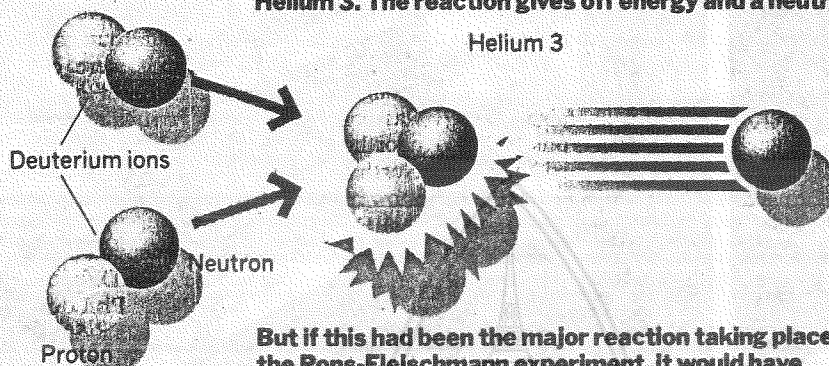
ไฟลชมานน์ ศาสตราจารย์ชาเวล ที่ วอลลิง (Cheves T. Walling) และแจ๊ค ซีมอนส์ (Jack Simons) ได้สร้างแบบจำลองที่อาจจะอธิบายได้ [5] ดังในรูปที่ 6 โดยเสนอว่าดิวเทรอนสองตัวเมื่อรวมตัวแบบเย็นเป็นนิวเคลียสของฮีเลียมในสถานะไม่เสถียร คือ ${}^4\text{He}^*$ ซึ่งปกติจะคายรังสีแกมมา หรือให้นิวตรอน โปรตอน และทริตอนออกมา แต่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีอิเล็กตรอนอยู่หนาแน่น เช่น ในเลดทิกซ์ฟลลาเดียมซึ่งเป็นขั้วของเซลล์ไฟฟ้า จะกลับส่งพลังงานให้อิเล็กตรอนและคายออกมาในรูปความร้อน ดังปฏิกิริยา



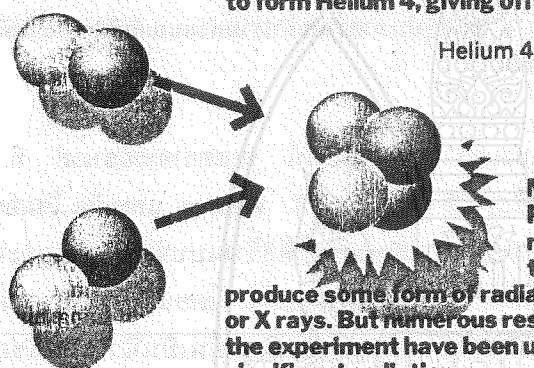
โดยอัตราการรวมตัวระดับ 10^{12} ต่อวินาที ปัจจุบันที่สำคัญที่ทำให้เกิดการรวมตัวมาจากการบดบัง (screening) ของอิเล็กตรอนหนัก (heavy electron) ซึ่งมีมวลยังผล (effective mass) $m^* = 10 m_e$ สามารถย่นระยะก่าแพงศักย์ให้ต่ำลง อีกทั้งสิ่ง

MOLECULAR MYSTERY

In one well-known fusion reaction, which is generally believed to occur rapidly only at very high temperatures, two deuterium ions combine to form Helium 3. The reaction gives off energy and a neutron.

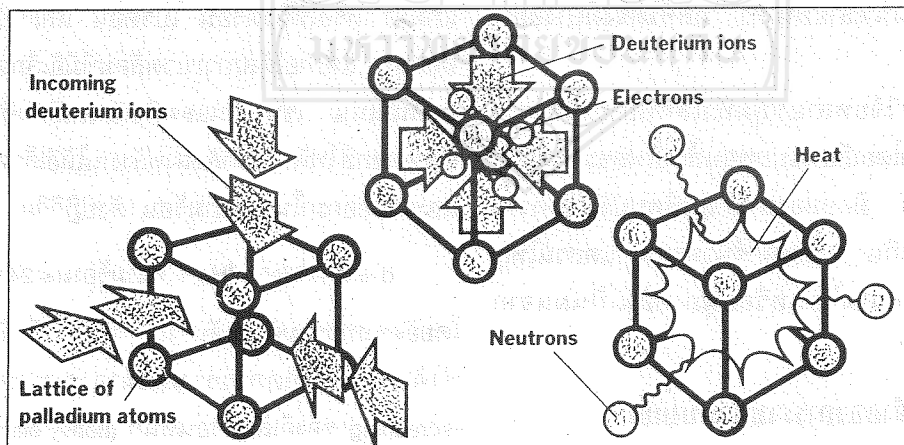


But if this had been the major reaction taking place in the Pons-Fleischmann experiment, it would have produced enough neutrons to kill the researchers. Since they survived and detected few neutrons, they believe that a different fusion reaction is occurring. In one variation, the two deuterium ions would combine to form Helium 4, giving off energy but no neutron.



Many scientists doubt that Pons and Fleischmann are right because even unusual types of fusion should produce some form of radiation, perhaps gamma rays or X rays. But numerous researchers trying to repeat the experiment have been unable to detect any significant radiation.

TIME Diagram by Joe Lertola



In theory, deuterium inside a cubelike palladium lattice fuses and emits heat.

รูปที่ 6 แบบจำลองการเกิดการรวมตัวแบบเย็น ของ d-d ในแลตทิซพัลลาเดียม

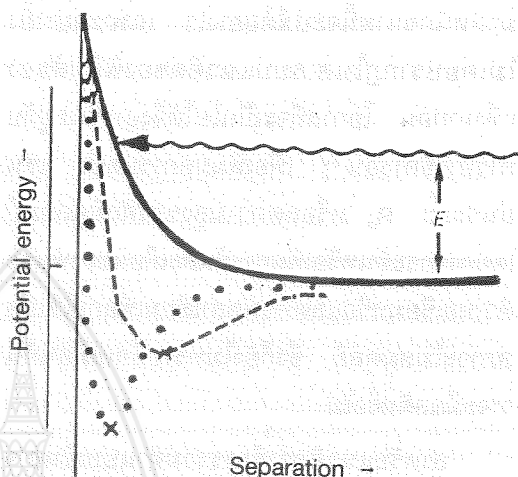
แวลลุ่มของแลตทิซพัลลาเดียมช่วยเร่งให้เกิดกระบวนการผ่อนคลายแบบไม่มีรังสี (radiationless relaxation process) ของ $^4\text{He}^*$ ตรงกันข้ามโจนส์ [4] กลับอธิบายว่าการรวมตัวแบบเย็นในเซลล์ไฟฟ้าน่าจะมาจากปฏิกิริยา $d + d \rightarrow ^3\text{He} + n + 3.27 \text{ MeV}$ แต่เกิดที่อุณหภูมิต่ำได้เพราะดิวเทรอนไปอยู่ในแลตทิซของโลหะและประเมนจากปริมาณนิวตรอน พบว่าอัตราการเกิดการรวมตัวต้องเป็น 1/200 ต่อวินาที

กลุ่มนักวิทยาศาสตร์ชาวโซเวียต ซึ่งในปี 1986 ได้รายงานการพบนิวตรอนจากการรวมตัวตรงรอยร้าวของผลึกซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างลิเทียม (Li) และดิวเทอเรียม เสนอทฤษฎีอธิบายการรวมตัวแบบเย็นว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าตรงแนวร้าวไปเร่งอะตอมของดิวเทอเรียมจนพลังงานสูงถึงระดับกิโลอิเล็กตรอนโวลต์ชนกันแล้วจึงเกิดการรวมตัวขึ้น

ในทำนองเดียวกัน วิโรจน์ ตันตราภรณ์ [6] เสนอแนวคิดว่า การรวมตัวในเซลล์แบบของพอนส์กับไฟลชมานน์นั้นน่าจะเกิดตรงบริเวณผิวของขั้วไฟฟ้าพัลลาเดียมมากกว่าที่จะเกิดอยู่ภายในแลตทิซ และภาพประจุ (image charges) จะเป็นตัวดบังกำแพงศักย์คูลอมบ์ ก่อให้เกิดการทะลุทะลวงการเร่งดิวเทรอนอาจเพิ่มได้จากการทำผิวของขั้วไฟฟ้าพัลลาเดียมให้มีลักษณะคล้ายฟันปลา

5. ความเป็นไปได้

จากการวิเคราะห์ ขณะที่ดิวเทอเรียมอยู่ในแลตทิซพัลลาเดียม ถ้าการรวมตัวแบบเย็นนั้นสามารถเกิดขึ้นจริง โดยอาศัยการบดบังเพื่อลดกำแพงศักย์คูลอมบ์พร้อมกับการทะลุทะลวงดังที่เห็นในรูปที่ 7 โอกาสของการทะลุทะลวงจะมี



Schematic of the potentials between two nuclei (not to scale): solid line, unscreened; broken, with electron screening (chemical bonding); dotted, with muon screening. To the right of the barrier, electrostatic interactions are dominant; to the far left, strong nuclear interactions occur as expressed by the astrophysical S factor. Wavy line indicates collision energy E in scattering experiments, the classical distance of closest approach (R_0) at the arrow head. The bond length (x) is actually about 207 times shorter for muons than for electrons and the potential well is about 207 times deeper.

รูปที่ 7 ศักไฟฟ้าระหว่าง d-d และผลจากการบดบังกำแพงศักย์ไฟฟ้า

น้อยมาก เพราะระยะห่างปกติระหว่างนิวเคลียสของดิวเทอเรียม $R_0 = 0.74 \text{ \AA}$ เทียบเป็นพลังงานได้เพียง 20 eV ซีเคิลและโจนส์ (C. DeW Van Siclen and S.E. Jones) คำนวณหาความเป็นไปได้พบว่าเท่ากับ 10^{-70} ต่อโมเลกุลต่อวินาที [7] ถ้าอาศัยแนวคิดทำนองการรวมตัวแบบมิวออนอิเล็กตรอนที่อยู่รอบดิวเทอเรียมนิวเคลียสภายในแลตทิซพัลลาเดียม ต้องเปลี่ยนสภาพเป็นอิเล็กตรอนซึ่งมีขนาดของมวลเท่ากับ m^* เพื่ออธิบายผลการทดลองพอนส์กับไฟลชมานน์และของโจนส์ m^* ต้องเท่ากับ $10 m_e$ และ $5 m_e$ ตามลำดับ

ปัญหาสำคัญคือ กลไกที่จะสร้างอิเล็กตรอนให้มีมวลหนักขนาดนี้จะทำได้อย่างไร เฉพาะอย่างยิ่งไม่เคยปรากฏในสารบบแนวคิดของฟิสิกส์ของแข็งมาก่อน โอกาสที่จะเป็นไปได้จึงอาจขึ้นอยู่กับการหาวิธีการอื่นๆ เพื่อเพิ่มผลการบดบัง เช่น ย่านระยะ R_0 หรือลดความสูงของศักย์คูโลมบ์ โดยการกระตุ้นหรือเพิ่มการสั่นสะเทือนของพันธะ ดิวเทอเรียมหรือแลตทิซพัลลาเดียมเพื่อก่อให้เกิดสภาวะไม่สมดุล ซึ่งก็ยังไม่ทราบอีกเหมือนกันว่าจะมีผลดีหรือไม่

สำหรับแนวคิดว่าการรวมตัวแบบเย็นอาจเกิดจากการเร่งดิวเทอรอนในสนามไฟฟ้าความเข้มสูงมากๆ หรือแบบภาพประจันนั้น รายละเอียดยังไม่มีพอ ยังต้องการหลักการทางทฤษฎีและผลการทดลองยืนยันต่อไป

6. สรุป

ทุกวันนี้ นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ยังไม่ยอมเชื่อผลการทดลองของพอนส์กับไฟลชมานน์ เพราะทดลองซ้ำแล้วได้ผลไม่เหมือนแม้ว่าจะใช้เครื่องมือที่ทันสมัยกว่า และถึงแม้ว่า บริษัท เจนเนอรัลอิเล็กทริก (G.E.) ในอเมริกาจะส่งนักวิทยาศาสตร์ไปร่วมวิจัยที่อยู่ที่ทำห้แต่คณะกรรมการที่ปรึกษาด้านพลังงานของสหรัฐ (US Department of Energy Research's Advisory Board) ได้ลงความเห็นว่าการเกิดการรวมตัวแบบเย็นจริงยังมีไม่พอ

หลักการทางทฤษฎีสองข้อที่หลายคนสงสัยคือ ข้อหนึ่ง ดิวเทอรอนสองตัวในผลึกพัลลาเดียมจะชนแรงผลึกอย่างรุนแรงที่อุณหภูมิห้อง จนสามารถรวมตัวแบบเย็นได้อย่างไร และข้อสอง นิวเคลียส $^4\text{He}^*$ ส่งพลังงานส่วนเกินไปที่แลตทิซพัลลาเดียมแล้วคายความร้อนแทนการคายแกมมา-ตาพารังสี ตราบใดที่ยังไม่มีใครสามารถอธิบายได้อย่างแจ่มชัด และยืนยันแน่ชัดว่าเหตุการณ์เหล่านั้นเกิดขึ้นจริง ตราบนั้นชุมชนพลังงานอันมหาศาลที่ใช้ไม่รู้จักหมด คงยังต้องอยู่ในความฝันอีกต่อไป

อย่างไรก็ดี สิ่งที่หลายคนยอมรับกันคือ พอนส์กับไฟลชมานน์ ได้ก่อให้เกิดความตื่นตัวของงานวิจัยด้านพลาสมาอีก หลังจากที่ซบเซากันอยู่นานจนแทบไม่มีใครสนใจ

เอกสารอ้างอิง

1. L.W. Alvarez, Nobel Lecture (1948).
2. J.S. Cohen and J.D. Davies, *Nature* **338**1, 705 (1989).
3. M. Fleischmann and S. Pons, *J Electroanal. Chem.* **261**, 301 (1989).
4. S.E. Jones et al. *Nature* **338**, 737 (1989).
5. Cheves Walling and Jack Simons, *J. of Phys. Chem.* **93**, 4693 (1989).
6. W. Tantraporn, "Cold Fusion and The Role of Image Charge", to be published.
7. C. DeW. Van Sichen and S.E. Jones, *J. Phys. G* **12**, 213 (1986).

การปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงเพื่อต้านทานโรคราสนิม ที่เกิดจากเชื้อรา *Puccinia arachidis* Speg.

สนั่น จอกลอย*

ถั่วลิสง (*Arachis hypogaea* L.) จัดเป็นพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย วุฒิกร (2532) รายงานว่าประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกถั่วลิสงประมาณ 800,000 ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ย 217 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งที่ผลผลิตที่ได้จากแปลงทดลองสูงถึง 300 กว่ากิโลกรัมต่อไร่ จะเห็นได้ว่าระดับผลผลิตถั่วลิสงของไทยยังนับว่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับประเทศผู้ผลิตถั่วลิสงที่สำคัญของโลก เช่น จีน และ สหรัฐอเมริกา ซึ่งสามารถผลิตถั่วลิสงได้ถึง 334 และ 422 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ สาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลผลิตถั่วลิสงของไทยยังต่ำอยู่มากมีหลายประการ เช่น การจัดการยังไม่ดีพอ ภาวะการแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน การระบาดของทำลายของโรคและแมลง เป็นต้น (Patanothai et. al., 1987) การป้องกันกำจัดโรคถั่วลิสงที่สำคัญ เช่น โรคราสนิม (Rust) ซึ่งทำให้ผลผลิตของถั่วลิสงลดลงถึง 10% (Wongkaew et. al., 1987) ก็นับว่าเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มผลผลิตของถั่วลิสงต่อไร่ได้ การป้องกันกำจัดโรคราสนิมอาจจะกระทำได้โดยการใช้สารเคมีฉีดพ่น แต่ปัจจุบันสารเคมีมีราคาแพงมากจึงไม่เหมาะสมต่อเกษตรกรซึ่งมีฐานะยากจนจะนำมาใช้ นอกจากนั้น การใช้สารเคมี เกษตรกรจะ

ต้องมีความรู้เป็นอย่างดี จึงจะทำให้การป้องกันกำจัดโรคราสนิมมีประสิทธิภาพ ยิ่งไปกว่านั้นการใช้สารเคมี อาจก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษ ดังนั้นความต้องการในการป้องกันกำจัดโรคราสนิมของถั่วลิสงโดยใช้พันธุ์ต้านทาน จึงมีความสำคัญมากขึ้นเป็นลำดับ ปัจจุบันจึงนับได้ว่าการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงเพื่อต้านทานต่อโรคราสนิม เป็นวัตถุประสงค์หลักที่สำคัญอันหนึ่งของโครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงของไทย

ลักษณะอาการและการระบาดของโรคราสนิม

โรคราสนิมของถั่วลิสงมีลักษณะอาการเป็นตุ่มนูน (pastules) สีคล้ายสนิมเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 ถึง 2.00 mm ปรากฏขึ้นด้านหลังใบ (Kolte, 1984) ในช่วงอุณหภูมิที่พอเหมาะระหว่าง 15-30°C และมีความชื้นสูง สปอร์จะงอกและส่งส่วนของเส้นใยเจริญผ่านทางปากใบเข้าทำลายถั่วลิสง (Subrahmanyam และ McDonald, 1983) เมื่อเชื้อโรคนี้เจริญเติบโตเต็มที่ก็จะสร้างสปอร์ขึ้นมาใหม่ และปลิวแพร่กระจายเข้าทำลายถั่วลิสงต้นใหม่ หรือใบใหม่ ทำให้เกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากพื้นที่ใบที่ใช้ในการปรุงอาหารของพืชถูกทำลาย เมื่อโรคนี้ระบาด

* อาจารย์ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002 ประเทศไทย

อย่างรุนแรงใบย่อยจะห่อม้วน และร่วงหล่นไปในที่สุดถั่วลิสงมักจะเป็นโรคราสนิม เมื่ออายุมากกว่า 45 วัน เนื่องจากถั่วลิสงมีทรงต้นพุ่มใหญ่หนาทึบเก็บความชื้นได้สูง จึงมีสภาพเหมาะสมต่อการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุของโรคได้มากเป็นอย่างยิ่ง

การคัดพันธุ์ถั่วลิสงเพื่อความต้านทานต่อโรคราสนิม พอจะสรุปได้ดังนี้

1. แหล่งของพันธุ์ถั่วลิสงต้านทานต่อโรคราสนิม

สายพันธุ์ที่ได้รับการคัดเลือกเป็นพันธุ์ต้านทานต่อโรคราสนิม มีทั้งถั่วลิสงพันธุ์ปลูก และพันธุ์ป่า (wild species) ถั่วลิสงพันธุ์ปลูกที่ต้านทานต่อโรคราสนิมที่ผ่านการคัดเลือก และแนะนำโดย International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) เช่น พันธุ์ NC Ac 17090, EC 76446 (292), PI 259747, NC Ac 927, PI 350680 และ NC Ac 17133-RF (Subrahmanyam และ McDonald, 1983) โครงการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้นำสายพันธุ์ต่าง ๆ เพื่อมาทดสอบความต้านทานต่อโรคราสนิมในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย พบว่ามีหลายสายพันธุ์ที่มีระดับความต้านทานโรคค่อนข้างดี เช่น PI 298115, EC 76446(292), (M13×Dht 200), (Chico × PI 259747)-1-1-1 (Wongkaew, 1987)

ปัจจุบันการผสมระหว่างถั่วลิสงพันธุ์ป่า และพันธุ์ปลูก ยังมีปัญหาของการผสมไม่ติดหรือผสมติด แต่ embryo ไม่เจริญเติบโต ดังนั้นการนำพันธุ์ป่าที่ต้านทานต่อโรคราสนิมมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์จึงมีน้อยมาก ถั่วลิสงพันธุ์ป่าหลายพันธุ์ที่พบว่ามีระดับความต้านทานสูงมาก

เช่น PI 298639, PI 219823, PI 331194 (Subrahmanyam *et. al.*, 1983b.)

2. วิธีการคัดพันธุ์ต้านทานโรคราสนิม

การคัดพันธุ์ต้านทานโรคราสนิมของถั่วลิสงโดยทั่วไปมี 2 วิธีคือ

2.1 การคัดเลือกพันธุ์ต้านทานในเรือนทดลองและห้องปฏิบัติการ

การคัดเลือกพันธุ์ต้านทานในเรือนทดลองและห้องปฏิบัติการนั้นอาจจะกระทำได้ดีในกรณีที่มีพันธุ์เข้ารับการคัดเลือกจำนวนไม่มากนัก การคัดเลือกในเรือนทดลองมีข้อดีคือ สามารถควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและการเกิดโรคได้ดีมาก ปกติการคัดเลือกในเรือนทดลอง อาจจะทำการคัดเลือกพันธุ์ต้านทานโดยปลูกเชื้อโรคบนต้นถั่วลิสงทั้งต้น และคัดเลือกพันธุ์หรือต้นที่ต้านทานได้ ส่วนการทดลองในห้องปฏิบัติการอาจจะกระทำได้โดยวิธีตัดใบ จากพันธุ์ที่ต้องการคัดเลือกมาประมาณ 1-2 ใบ (detached leaf) แล้วปลูกเชื้อลงบนใบ ใบจากพันธุ์ต้านทานจะมีระดับความต้านทานโรคต่ำกว่าพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคนี้ (Malouk และ Banks, 1978) วิธีการคัดพันธุ์ต้านทานโดยวิธีการตัดใบแล้วนำไปปลูกเชื้อนี้ได้ถูกเรียบเรียงและสรุปโดยละเอียด โดย Subrahmanyam *et. al.*, (1983a) และยังมีอธิบายอีกว่า การคัดพันธุ์ต้านทานโดยวิธีการตัดใบนี้มีข้อดีคือทำให้ผู้ศึกษาได้ทราบลักษณะต้านทานโดยละเอียด เช่น พันธุ์ต้านทานจะมีจำนวนแผลน้อย ขนาดแผลเล็ก และมีเปอร์เซ็นต์แผลที่สร้างสปอร์ต่ำ

2.2 การคัดเลือกพันธุ์ต้านทานในสภาพไร่

การคัดเลือกในสภาพไร่นั้นอาจจะกระทำได้โดยปลูกพันธุ์ถั่วลิสงที่ต้องการคัดเลือกแล้วปล่อยให้เกิดโรคราสนิมขึ้นเองในธรรมชาติ ซึ่งปกติ

แล้วจะมีโรคนี้ระบาดทำลายถั่วลิสงในทุกปี และคัดเลือกพันธุ์ที่ต้านทานไว้เพื่อทำการปลูกและทดสอบซ้ำในปีต่อไป การคัดเลือกพันธุ์แบบนี้มีข้อเสียบางประการคือ เชื้อที่มีอยู่โดยธรรมชาติมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ทำให้การคัดพันธุ์ต้านทานต่อโรคผิดพลาดอยู่เสมอเพราะในระยะแรกๆ อาจจะมีพันธุ์บางส่วนไม่เป็นโรคเนื่องจากถั่วลิสงไม่ได้รับเชื้อโรค ทำให้เกิดความเข้าใจผิดว่าเป็นพันธุ์ต้านทาน ต่อมาในระยะหลัง ปรากฏว่าพันธุ์ถั่วลิสงเกิดเป็นโรคขึ้นมา เมื่อปลูกในสภาพที่มีโรคระบาดอย่างรุนแรงมากขึ้น การแก้ไขปัญหานี้ อาจจะทำให้ได้โดยการปลูกเชื้อโรค (inoculation) ให้กับต้นถั่วลิสงพันธุ์ต่างๆ ที่ได้คัดพันธุ์โดยการใส่สปอร์ของราสนิมผสมน้ำฉีดพ่นบนถั่วลิสงพันธุ์ทดสอบอย่างสม่ำเสมอในทุกแถวปลูก แล้วคัดเลือกพันธุ์ต้านทานคือพันธุ์ที่เป็นโรคในระดับต่ำ วิธีการนี้นับว่าได้ผลดี แต่ก็ยังมีปัญหาอยู่บ้าง คือ จะต้องเก็บสปอร์ราสนิมเป็นจำนวนมากเพื่อใช้ในการปลูกเชื้อ

ปัจจุบันนักโรคพืช และนักปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงได้ดัดแปลงวิธีการคัดเลือกพันธุ์ถั่วลิสงต้านทานในสภาพไร่โดยการใช้ infector rows เข้าช่วยในการคัดพันธุ์ โดยการปลูกพันธุ์ถั่วลิสงที่อ่อนแอต่อโรคราสนิม (infector row) สลับกับพันธุ์ถั่วลิสงที่ใช้ทดสอบ (test rows) อัตราส่วน infector row : test rows 1:4 ซึ่งพอจะสรุปวิธีการดำเนินงาน โดยย่อดังนี้ หลังจากปลูกพันธุ์อ่อนแอต่อโรคราสนิม และพันธุ์ที่ต้องการคัดเลือกไปแล้วประมาณ 7 อาทิตย์ จะทำการปลูกเชือบนแถว infector row ก่อน โรคจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากพันธุ์ที่ใช้เป็น infector row เป็นพันธุ์อ่อนแอจึงสร้างสปอร์ได้มากและรวดเร็ว และจะปลิวแพร่กระจายไปบนพันธุ์ที่ทดสอบได้ ซึ่ง

วิธีการนี้นับได้ว่าใช้ได้ผลดี เนื่องจากการแพร่กระจายของเชื้อโรคสม่ำเสมอดีมาก และยังเป็นการประหยัดสปอร์ของเชื้อสาเหตุได้อีกด้วย (โสภณและคณะ, 2526)

3. พันธุศาสตร์ของความต้านทานโรคราสนิมและแนวทางปรับปรุงพันธุ์

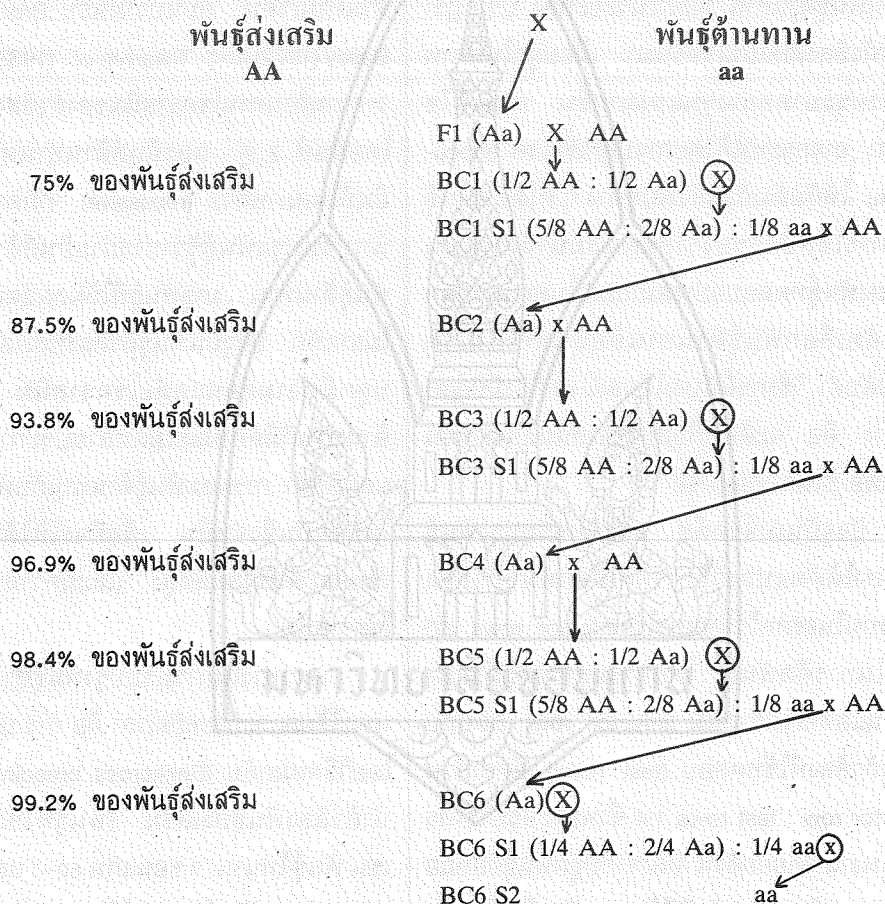
โรคราสนิมของถั่วลิสงนับว่าเป็นโรคที่สำคัญ แต่ความรู้ทางด้านพันธุศาสตร์ของความต้านทานโรคนี้ ยับยั้งว่ามีน้อย Bromfield และ Bailey (1972) และ Tiwari *et al.*, (1983) ได้รายงานว่าความต้านทานโรคราสนิมของถั่วลิสงถูกควบคุมโดยยีนส์ 2 คู่ และยีนส์ต้านทานต่อโรคนี้เป็นยีนส์ในสภาพด้อย (recessive) จากความรู้นี้ทำให้นักปรับปรุงพันธุ์รู้ว่าการถ่ายยีนส์ต้านทานจากพันธุ์ต้านทาน มาสู่พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงกระทำได้ไม่ยากนัก ปัจจุบันพันธุ์ถั่วลิสงที่ส่งเสริมให้กลีกรปลูกมีความอ่อนแอต่อโรคราสนิม และพันธุ์ต้านทานก็มีลักษณะไม่ดีหลายประการ และให้ผลผลิตต่ำ การผสมพันธุ์ต้านทานกับพันธุ์ส่งเสริมในปัจจุบันจึงจำเป็น เพื่อที่จะให้ได้ลูกผสมที่มีลักษณะดีให้ผลผลิตสูง และมีความต้านทานต่อโรคราสนิม

แนวทางในการปรับปรุงพันธุ์ต้านทานโรคนี้ น่าจะได้ผลและประหยัดเวลา คือ การปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีผสมกลับ (Backcross breeding) โดยการนำถั่วลิสงพันธุ์ส่งเสริม (พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง) เช่น พันธุ์ไทนาน 9 ขอนแก่น 60-1 และขอนแก่น 60-2 ผสมพันธุ์กับพันธุ์ต้านทานโรคราสนิมนำลูกผสมที่ได้ (F_1) ผสมกลับกับพันธุ์ส่งเสริม (BC_1) แล้วผสมตัวเองของลูกที่ได้ (BC_1S_1) จากการผสมย้อนกลับ คัดเลือกเฉพาะต้นที่ต้านทานเพื่อใช้ผสมกลับกับพันธุ์ส่งเสริม เริ่มวงจรใหม่ออย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าลูกผสมที่ได้จะมีลักษณะ

ใกล้เคียงกับพันธุ์ส่งเสริมมากที่สุด หากแต่มียีนส์ที่ต้านทานต่อโรคราสนิมดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 4 ปีก็จะได้พันธุ์ไหนาน 9 ขอนแก่น 60-1 และขอนแก่น 60-2 ที่มีความต้านทานต่อโรคราสนิม วิธีการนี้จะเสียเวลาในการผสมข้ามพันธุ์หลายครั้ง หากแต่ประหยัดเวลาในการเปรียบเทียบผลผลิตของลูกผสมที่ได้เพราะได้ลักษณะต่าง ๆ ของพันธุ์ส่งเสริมมาทั้งหมด

จากการผสมกลับหลายครั้ง จึงไม่มีความจำเป็นต้องทดสอบผลผลิตมากครั้งเหมือนพันธุ์ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีอื่น ๆ

จากแนววิธีการปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงนี้ คาดว่าในอนาคตอันใกล้ น่าจะมีพันธุ์ถั่วลิสง ที่ต้านทานต่อโรคราสนิมสำหรับแนะนำให้เกษตรกรได้ใช้ปลูกกันต่อไป



(X) = ผสมตัวเอง; X = ผสมข้าม

A = ยีนส์ในสภาพเด่น; a = ยีนส์ในสภาพด้อย

(พันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะเหมือนพันธุ์ส่งเสริมถึง 99.2% และมีความต้านทานโรคราสนิม)

รูปที่ 1 แสดงวิธีการผสมพันธุ์เพื่อปรับปรุงพันธุ์ต้านทานโรคราสนิมของถั่วลิสง

เอกสารอ้างอิง

- วุฒิกร มะสะพันธุ์. 2532. สถานการณ์การผลิตและการตลาดถั่วลิสงปี 2530. รายงานการสัมมนาเรื่องงานวิจัยถั่วลิสงครั้งที่ 7 ณ โรงแรมชิปรีชพัทยา ชลบุรี 16-18 มีนาคม 2531.
- โสภณ วงศ์แก้ว, อารันต์ พัฒโนทัย, ปรีชา สิงหา และคำทูน จารุรัชตพันธุ์. 2526. การทดสอบเทคนิคการคัดพันธุ์ถั่วลิสงที่ต้านทานต่อโรคราสนิมและโรคใบจุดในแปลง และการคัดเลือกหาพันธุ์ต้านทาน. รายงานการสัมมนาเรื่องงานวิจัยถั่วลิสงครั้งที่ 2 ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ตากฟ้า นครสวรรค์. 11-13 กุมภาพันธ์ 2526.
- Bromfield, K.R. and W.K. Bailey. 1972. Inheritance of resistance to *Puccinia arachidis* in peanut. *Phytopathology* 62:748-749.
- Kolte, S.J. 1984. *Peanut Diseases*. CRC Press, Inc : Florida.
- Melouk, H.A. and D.J. Banks. 1978. A method of screening peanut genotypes for resistance to cercospora leafspot. *Peanut Sci.* 5:112-114.
- Patanothai, A., S.Toomsan and A. Warunyuwat 1987. *Progress of peanut breeding work in Thailand*. PP. 8-14. Proceeding of peanut workshop, Khon Kaen, Thailand. August 19-21, 1986.
- Subrahmanyam, P. and D. MacDonald. 1983. *Rust disease of groundnut*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Patancheru P.O., Andhra Pradesh 502 324, India.
- Subrahmanyam, P., D. MacDonald, R.W. Gibbons and P.V.S. Rao. 1983a. Components of resistance to *Puccinia arachidis* in peanuts. *Phytopathology* 73:253-256.
- Subrahmanyam, P., J.P. Moss and V.R. Rao. 1983b. Resistance to rust in wild *Arachis* species. *Plant Dis.* 67:209-212.
- Tiwari S.P., S.M. Khanorkar, M.P. Ghewande, R.N. pandey and D.P. Misra. 1983. Lines x tester analysis for rust resistance in groundnut. *Indian J. Agric. Sci.* 53(12):1074-1076.
- Wongkaew, S. 1987. *Groundnut pathology research at Khon Kaen University*. KCU-IDRC Groundnut Improvement Project Report of work for 1982-1985. Khon Kaen University. Khon Kaen, Thailand.
- Wongkaew, S., P. surin and T. Sommartya 1987. *Peanut pathology 1985. Progress report from Thailand*, PP. 24-28. Proceeding of peanut workshop, Khon Kaen, Thailand. August 19-21, 1986.

การวิเคราะห์ซีโรวของ *Salmonella* ในจิ้งจกจาก บ้านพักพนักงานสวนสัตว์ดุสิต เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร

Analysis of Serovar of *Salmonella* in Lizards from the Residence of
Dusit Zoo's Official, Dusit, Bangkok.

สุภาพร กล่อมเมฆ¹ บัญญัติ สุขศรีงาม² อรุณ บ้างตระกูลนนท์³

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษา *Salmonella* ในจิ้งจก โดยวิเคราะห์หาซีโรวของ *Salmonella* ในจิ้งจก จากบ้านพักพนักงานองค์การสวนสัตว์ดุสิต เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร จำนวน 50 ตัวอย่างต่อเดือน เป็นเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2531 ถึงมกราคม 2532 รวม 200 ตัวอย่าง และวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในลำไส้จิ้งจก เดือนละ 5 ตัวอย่าง รวม 20 ตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์พบ *Salmonella* 65 ตัวอย่าง (ร้อยละ 32.5) จำนวน 7 ซีโรว ได้แก่ *Salmonella Weltevreden*, *S. Lexington*, *S. Brunei*, *S. Anatum*, *S. Albany*, *S. Weston* และ *S. IV 43 : Z₄, Z₂₃* :- ส่วนผลการวิเคราะห์ จำนวนแบคทีเรียในลำไส้จิ้งจก พบจำนวนแบคทีเรียเฉลี่ยเท่ากับ 3.93×10^9 เซลล์ต่อลำไส้จิ้งจก 1 กรัม

Abstract

The purpose of the experiment was to analyze lizards for *Salmonella* from the Residence of Dusit Zoo's official in Dusit, Bangkok. Out of 200 total samples collected from October 1988 to January 1989, *Salmonella* was found in 65 samples (32.5%). There were 7 Serovars, *Salmonella Weltevreden*, *S. Lexington*, *S. Brunei*, *S. Anatum*, *S. Albany*, *S. Weston* and *S. IV 43 : Z₄, Z₂₃* :- The average amount of bacteria from the intestine of lizards was about 3.93×10^9 cells per gram of samples

1. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน
2. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน
3. กองพยาธิวิทยา กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

คำนำ

ปัจจุบันนี้โรคภัยไข้เจ็บเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ประชากรมีสุขภาพไม่ดีและส่งผลกระทบต่อพัฒนาประเทศเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจ็บป่วยที่เกิดจากโรคอุจจาระร่วงเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญทั้งระดับชาติและระดับโลก เพราะเป็นสาเหตุการตายที่สำคัญของประชากรในประเทศที่กำลังพัฒนา สำหรับประเทศไทยพบว่าโรคนี้เป็นสาเหตุการตายที่สำคัญในเด็กเล็ก⁽⁵⁾

โรคอุจจาระร่วงพบว่ามีสาเหตุจากแบคทีเรียมากที่สุด โดยเฉพาะ *Salmonella* ซึ่งเป็นเชื้อที่มีการแพร่ระบาดจากอุจจาระของผู้ป่วยติดต่อกับผู้อื่นโดยปนเปื้อนในอาหารนมและน้ำ⁽⁶⁾ และนอกจากนี้ยังมีรายงานการพบ *Salmonella* ในสัตว์เลื้อยคลานหลายชนิด ซึ่งพบว่าเป็นพาหะของ *Salmonella* ได้เสมอ⁽¹³⁾ และเชื้อนี้สามารถแพร่ระบาดมายังมนุษย์ได้⁽¹⁵⁾ ส่วนสัตว์ที่พบเป็นแหล่งสะสมเชื้อหรือเป็นพาหะของโรค ได้แก่ นกกระเจียวเทศ จิ้งจก ตุ๊กแก เต่า และสัตว์เลื้อยคลานอื่นๆ⁽¹⁾ สัตว์เหล่านี้มีทั้งที่เป็นสัตว์เลี้ยงและสัตว์ที่อาศัยตามอาคารบ้านเรือนจึงเป็นพาหะของเชื้อนี้ได้และเป็นแหล่งแพร่ระบาดของเชื้อได้โดยตรงอีกด้วย⁽⁶⁾

สำหรับจิ้งจกซึ่งเป็นสัตว์ที่พบในอาคารบ้านเรือน จึงมีความสัมพันธ์กับมนุษย์เป็นอย่างมาก และเนื่องจากเป็นสัตว์ที่ไม่น่ารังเกียจเหมือนสัตว์อื่นจึงไม่มีการกำจัดทิ้ง ทำให้จิ้งจกเป็นแหล่งสะสมเชื้อได้ดี ในประเทศไทยมีการวิเคราะห์ *Salmonella* ในจิ้งจก เมื่อปี พ.ศ. 2512 พบ *Salmonella* ร้อยละ 43⁽⁴⁾ ปี พ.ศ. 2529 พบร้อยละ 47⁽²⁾ และปี พ.ศ. 2530 พบร้อยละ 52.5⁽³⁾ ส่วนในต่างประเทศก็มี

การวิเคราะห์พบ *Salmonella* ในงู เต่า ตุ๊กแก และจิ้งจกด้วยเช่นกัน^(10,12,14,16) จะเห็นได้ว่าจิ้งจกเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคได้ และเป็นพาหะสำคัญในการแพร่ระบาดของเชื้อนี้ และด้วยเหตุที่จิ้งจกเป็นสัตว์กินแมลง กัดแทะและถ่ายไม่เลือกที่ จึงทำให้ *Salmonella* จากจิ้งจกปนเปื้อนสู่อาหารและน้ำดื่มได้ แม้แต่น้ำลายจิ้งจกก็มีเชื้อที่ทำให้เกิดโรคอุจจาระร่วงได้⁽⁷⁾ ดังนั้น ถ้าขาดความรู้เกี่ยวกับอนามัยส่วนบุคคล พฤติกรรมอนามัยในการประกอบอาหาร และรับประทานอาหารก็อาจติดเชื้อ *Salmonella* ทำให้เกิดอุจจาระร่วงได้ง่าย ตามปกติแล้ว *Salmonella* มีการแพร่ระบาดได้ดีในชุมชนแออัด ซึ่งเนื่องมาจากการสุขาภิบาลด้านอาหารและภาวะแวดล้อมไม่ถูกสุขลักษณะ และจิ้งจกในชุมชนแออัดยังสามารถแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว จึงเป็นพาหะสำคัญในการระบาดของโรคได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการศึกษา *Salmonella* ในจิ้งจกจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการป้องกันหรือควบคุมการแพร่ระบาดของเชื้อที่อาจเกิดขึ้นได้จะช่วยให้ประชาชนมีความปลอดภัยจากเชื้อนี้ และมีสุขภาพดี รวมทั้งเป็นการลดปัญหาทางสาธารณสุขของประเทศอีกด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาซีโรวาของ *Salmonella* และปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในลำไส้จิ้งจก

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างจิ้งจกได้จากอาคารบ้านเรือนของพนักงานสวนสัตว์ดุสิต เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร โดยใช้จิ้งจก 50 ตัวอย่างต่อเดือน เป็นเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2531 ถึงมกราคม 2532 รวมทั้งหมด 200 ตัวอย่าง และวิเคราะห์หา

ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในลำไส้จึงจาก 5 ตัวอย่าง ต่อเดือน รวมทั้งหมด 20 ตัวอย่าง

2. การแยกเชื้อบริสุทธิ์

2.1 ตัดอวัยวะทางเดินอาหารของจิ้งจก ให้เป็นชิ้นละเอียดใส่ใน Selenite broth บ่มเชื้อที่ อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง

2.2 ถ่ายเชื้อจาก selenite broth ลงใน อาหารเลี้ยงเชื้อ SS agar (Salmonella Shigella agar) และ DHL agar (Desoxycholate Hydrogen Sulfide Lactose agar) โดยขีดให้ได้โคโลนีเดี่ยว ซึ่งถือว่าเป็นเชื้อบริสุทธิ์ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

2.3 เลือกโคโลนีที่มีลักษณะกลวงใส ตรงกลางมีสีดำจากอาหารเลี้ยงเชื้อ SS agar และ DHL agar ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSI agar (Triple sugar Iron agar) และ LIM (Lysine Indole Motility medium) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำไปทดสอบสมบัติทางชีวเคมี

3. การทดสอบสมบัติทางชีวเคมี

นำเชื้อบริสุทธิ์ที่เพาะเลี้ยงใน TSI agar ไปทดสอบสมบัติทางชีวเคมี ได้แก่ Indole test, Citrate test, การสร้าง H₂S และการใช้น้ำตาล ชนิดต่าง ๆ

4. การทดสอบสมบัติทางเซรุ่มวิทยา

นำเชื้อบริสุทธิ์ที่ได้จากการทดลองสมบัติทางชีวเคมีแล้วไปทดสอบสมบัติทางแอนติเจน เพื่อวิเคราะห์ซีโรว่าโดยใช้ O-antiserum และ H-antiserum ที่ผลิตจากกองพยาธิวิทยาคลินิก กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

5. การหาปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด

ตัดอวัยวะทางเดินอาหารของจิ้งจกแต่ละตัวให้เป็นชิ้นละเอียด ซึ่งน้ำหนัก 0.1 กรัม ใส่ buffer 9.9 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเจือจาง 1:100 เจือจางให้ได้ 1:1,000, 1:10,000, 1:100,000 และ 1:1,000,000 ตามลำดับ ดูดสารละลายที่เจือจางไว้ 1 มิลลิลิตรใส่จานเพาะเชื้อ เทอาหารเลี้ยงเชื้อ plate count agar บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำมานับจำนวน โคโลนีทั้งหมด

ผลการทดลอง

1. Salmonella ในจิ้งจก

จากการวิเคราะห์ Salmonella ในจิ้งจกจาก อาคารบ้านเรือนของพนักงานสวนสัตว์ดุสิต เขต ดุสิต กรุงเทพมหานคร เดือนละ 50 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 200 ตัวอย่าง พบ Salmonella ทั้งหมด 65 ตัวอย่าง (ร้อยละ 32.5) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนซีโรของ Salmonella ที่พบในจิ้งจกในแต่ละเดือน

เดือน	ตัวอย่าง	จิ้งจกที่ตรวจพบเชื้อ		จำนวนซีโรของ Salmonella
		จำนวน	ร้อยละ	
ตุลาคม	50	28	56	6
พฤศจิกายน	50	21	42	3
ธันวาคม	50	4	8	2
มกราคม	50	12	24	3
รวม	200	65	32.5	7*

*ในแต่ละเดือนมีซีโรที่ซ้ำกัน

เมื่อนำเชื้อบริสุทธิ์มาทดสอบสมบัติทาง 2. จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในจิ้งจก
 เซรุ่มวิทยา พบ *Salmonella* ทั้งหมด 4 หมู่ (group) จากการวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด
 ดังตารางที่ 2 เมื่อจำแนกซีโรวาที่พบ มีจำนวน 7 ในลำไส้จิ้งจก เดือนละ 5 ตัวอย่าง รวม 20
 ซีโรวา สำหรับลักษณะทางแอนติเจนของแต่ละ ตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 4
 ซีโรวาดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 หมู่ของ *Salmonella* ในจิ้งจกในแต่ละเดือน

เดือน	จำนวนตัวอย่าง	group				รวม	ร้อยละ
		C	E	I	U		
ตุลาคม	28*	13	19	1	—	33	47.14
พฤศจิกายน	21	2	19	—	—	21	30.00
ธันวาคม	4	—	4	—	—	4	5.72
มกราคม	12	—	11	—	1	12	17.14
รวม	65	15	53	1	1	70	100.00

* มี 5 ตัวอย่างที่พบว่า มี 2 หมู่ต่อ 1 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3 หมู่และลักษณะทางแอนติเจนของ *Salmonella* ในจิ้งจก

Serovar	group	antigenic formula		
		O-antigen	H-antigen	
			phase I	phase II
<i>S. Brunei</i>	C ₃	8, 20	y	1, 5
<i>S. Albany</i>	C ₃	8, 20	Z ₄ , Z ₂₄	-
<i>S. Weltevreden</i>	E ₁	3, 10	r	Z ₆
<i>S. Lexington</i>	E ₁	3, 10	Z ₁₀	1, 5
<i>S. Anatum</i>	E ₁	3, 10	eh	1, 6
<i>S. Weston</i>	I	16	eh	Z ₆
<i>S. IV 43 : Z₄, Z₂₃:-</i>	U	43	Z ₄ , Z ₂₃	-

ตารางที่ 4 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดในลำไส้จิ้งจก

ตัวอย่างที่	จำนวนโคโลนี ($\times 10^9$ /กรัม)	ตัวอย่างที่	จำนวนโคโลนี ($\times 10^9$ /กรัม)
1	0.0091	11	0.007
2	0.76	12	0.0065
3	3.1	13	3.6
4	0.008	14	9.6
5	13.0	15	5.4
6	0.022	16	24.5
7	1.4	17	0.02
8	1.28	18	1.99
9	10.2	19	0.54
10	0.17	20	3.0

จากตารางที่ 4 จำนวนโคโลนีแบคทีเรียทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ 3.93×10^9 เซลล์ต่อลำไส้จิ้งจก 1 กรัม

วิจารณ์

จากการวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในลำไส้จิ้งจก เดือนละ 5 ตัวอย่าง เป็นเวลา 4 เดือน รวม 20 ตัวอย่าง พบว่าจำนวนแบคทีเรียต่อลำไส้จิ้งจก 1 กรัม เฉลี่ยเท่ากับ 3.93×10^9 เซลล์ ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้ส่วนมากเป็นแบคทีเรียประจำถิ่นมีอยู่แล้วในลำไส้จิ้งจก รวมทั้ง *Salmonella* เป็นแบคทีเรียที่พบในสัตว์เลี้ยงคลานหลายชนิด รวมทั้งจิ้งจกด้วย⁽¹³⁾ และจากการวิเคราะห์ *Salmonella* ในจิ้งจก เดือนละ 50 ตัวอย่าง รวม 200 ตัวอย่าง พบ *Salmonella* 65 ตัวอย่าง (ร้อยละ 32.5) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Cambre และคณะซึ่งได้ศึกษา *Salmonella* และ *Arizona* ในสัตว์เลี้ยงคลาน พบเชื้อจากจิ้งจกร้อยละ 26⁽⁹⁾ สอดคล้องกับรายงานการสำรวจ *Salmonella* ในจิ้งจกของ

ศูนย์ทดลองโรคติดต่อจุลภาวะร่วม กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ในปี พ.ศ. 2512 พบ *Salmonella* จากจิ้งจก 5 จังหวัดในประเทศไทย ร้อยละ 43 และปี พ.ศ. 2529 พบ *Salmonella* จากจิ้งจกในกรุงเทพมหานคร ร้อยละ 46⁽⁴⁾ รวมทั้งสอดคล้องกับรายงานของดิเรก ธนาพันธ์นิวาส และคณะ ในปี พ.ศ. 2529 พบ *Salmonella* ในจิ้งจกร้อยละ 47⁽²⁾ และรายงานของปรีติววรรณ กระชาปณการ และคณะ ในปี พ.ศ. 2530 พบ *Salmonella* ในจิ้งจกร้อยละ 52.5⁽³⁾

จากการวิเคราะห์ทางเซรุ่มวิทยาของ *Salmonella* ในการศึกษานี้พบทั้งหมด 7 ซีโรวา ได้แก่ *S. Weltevreden*, *S. Lexington*, *S. Brunei*, *S. Anatum*, *S. Albany*, *S. Weston* และ *S. IV* 43 : Z₄, Z₂₃ :- ซึ่งซีโรวาที่พบนี้ส่วนใหญ่คล้ายคลึงกับซีโรวาที่มีการตรวจพบในจิ้งจกในปี พ.ศ. 2512⁽⁴⁾, 2529⁽²⁾ และ พ.ศ. 2530⁽³⁾ สำหรับ *Salmonella* ที่ตรวจพบในจิ้งจกนี้เป็นซีโรวาที่ศูนย์ทดสอบโรค

ติดเชื่ออุจจาระร่วงขององค์การอนามัยโลกทดสอบยืนยันได้ว่าเป็นเชื้อที่พบได้ทั้งผู้ป่วยโรคอุจจาระร่วงและในจิ้งจก⁽⁴⁾ แสดงให้เห็นว่าจิ้งจกเป็นพาหะที่สำคัญอย่างหนึ่งของโรคอุจจาระร่วง และเนื่องจาก *Salmonella* มีการแพร่ระบาดได้ทั่วไปในมนุษย์ สัตว์ อาหาร อาหารสัตว์ และสิ่งแวดล้อม จึงทำให้มนุษย์มีโอกาสได้รับการติดเชื้อ *Salmonella* โดยการปนเปื้อนของเชื้อที่มีสัตว์ต่างๆ เป็นพาหะ สัตว์เหล่านี้มีทั้งสัตว์เลี้ยง สัตว์เลื้อยคลาน สัตว์ปีก สัตว์ฟันแทะ และแมลง⁽⁸⁾ สำหรับการพบ *Salmonella* ในจิ้งจก อาจเนื่องมาจากการที่จิ้งจกกินอาหารและน้ำที่มีการปนเปื้อนของเชื้อ หรือกินแมลงที่เป็นพาหะของเชื้อทำให้จิ้งจกได้รับ *Salmonella* จึงเป็นพาหะได้และเชื้อนี้จะแพร่มาสู่มนุษย์จากการรับประทานอาหารหรือน้ำดื่มที่สัมผัสกับน้ำลายหรืออุจจาระของจิ้งจก หรือจากการรับประทานจิ้งจกเป็นๆ ตามความเชื่อที่สามารถรักษาโรคต่างๆ ได้ ซึ่งเป็นความเชื่อที่ไม่ถูกต้องและก่อให้เกิดโรคอุจจาระร่วงได้โดยตรง⁽⁴⁾ ด้วยเหตุนี้จิ้งจกจึงเป็นพาหะที่สำคัญในการแพร่ระบาดของ *Salmonella* ที่มีความใกล้ชิดกับมนุษย์เป็นอย่างมาก จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการป้องกันเพื่อมิให้มีการติดเชื้อเกิดขึ้นโดยการระวังไม่ให้จิ้งจกมาสัมผัสหรือถ่ายอุจจาระใส่ในอาหารและน้ำดื่ม รวมทั้งการรักษาความสะอาดโดยทั่วไป เช่น ควรรับประทานอาหารที่ปรุงสุกและน้ำดื่มควรต้มเสียก่อน เพราะ *Salmonella* ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หรือ 60 องศาเซลเซียส นาน 15-20 นาที⁽¹¹⁾ นอกจากนี้การมีความรู้และการปฏิบัติเกี่ยวกับอนามัยส่วนบุคคลที่ถูกต้องจะสามารถลดการแพร่ระบาดของ *Salmonella* ที่มีจิ้งจกเป็นพาหะได้เป็นอย่างดี ดังนั้นกระทรวง

สาธารณสุขหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องให้ความรู้ในด้านอนามัยส่วนบุคคลแก่ชุมชนอย่างรีบด่วน เพื่อช่วยให้ประชาชนมีความปลอดภัยจากเชื้อที่ทำให้เกิดโรคอุจจาระร่วงและเป็นการช่วยลดปัญหาทางสาธารณสุขที่ก่อให้เกิดความสูญเสียในด้านเศรษฐกิจเป็นจำนวนมากอีกด้วย

สรุป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า พบ *Salmonella* ในจิ้งจก 200 ตัวอย่าง จากบ้านพักพนักงานสวนสัตว์ดุสิต กรุงเทพมหานครทั้งหมด 7 ซีโรวา ซีโรวาที่พบมากที่สุดคือ *S. Weltevreden* รองลงมาคือ *S. Lexington*, *S. Brunei*, *S. Anatum*, *S. Albany*, *S. Weston* และ *S. IV : Z₄, Z₂₃* :- ตามลำดับและจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในลำไส้จิ้งจกโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.93×10^6 เซลล์ต่อกรัม

เอกสารอ้างอิง

1. จันทรนิวัทธิ เกษมสันต์ "ท้องร่วงกับสุขภาพ" *รามารับดี* 12(3) : 18-20 กรกฎาคม 2524
2. ดิเรก ชานนท์นิवास บัญญัติ สุขศรีงาม และอรุณ บังตระกูลนนท์ การวิเคราะห์เชื้อโรไทป์ของซาลโมเนลลา *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 3(2) : 85-93 พฤษภาคม-สิงหาคม 2531
3. ปรีดาวรรณ กระชาปณการ บัญญัติ สุขศรีงาม และอรุณ บังตระกูลนนท์ การวิเคราะห์เชื้อโรไทป์ของซาลโมเนลลาในจิ้งจกจากชุมชนแออัดในกรุงเทพมหานคร *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์* ครั้งที่ 27, 30 มกราคม-1 กุมภาพันธ์ 2532, หน้า 364
4. วิทยาศาสตร์การแพทย์. กรม *อันตรายจากการกินจิ้งจก* ที่ สธ. 0501/6393 ลงวันที่ 8 กันยายน 2529, หน้า 2
5. สิทธิพันธ์ ไชยนิรันดร์ และคณะ เปรียบเทียบพฤติกรรมอนามัยของประชาชนในหมู่บ้านที่มีอัตราป่วยด้วยโรคอุจจาระร่วงสูงและต่ำ *สาธารณสุขศาสตร์* 18(1) : 17-29 มกราคม 2531

6. โสภณ คงสำราญ และคณะ แบคทีเรียทางการแพทย์
โรงพยาบาลพิษณุพนธ์ 2524, หน้า 562
7. อุคเดช บุญประกอบ และชนิด เอกวิทย์ เล็กๆ น้อยๆ
กับสัตว์แพทย์ *เว็ทเทอร์นารีนิวส์* ตุลาคม 2528 หน้า 22
8. Boyd, Robert F. and Bryan G. Hoerl. *Basic
Medical Microbiology*. Boston, Little Brown and
Company, 1981, 766 p.
9. Cambre, Richard C. and others. Salmonellosis
and Arizonosis in the Reptile Collection at the
National Zoological Park *Journal of the American
Veterinary Medical Association*. 177 : 800-803;
November, 1980.
10. Chiodini, Rodrick Transovarian Passage, Visceral
Distribution and Pathogenicity of Salmonella in
Snakes. *Infection and Immunity*. 36 : 710-713;
May, 1982.
11. Christie, A.B. *Infection Disease*. London, Churchill
Livingstone Edinburg, 1987, 1306 p.
12. Cohen, Mitchell L. and others, Turtle-Associated
Salmonellosis in the United States. *Journal of
the American Medical Association*. 243 : 1247-
1249; March, 1980.
13. Koopman, J.P. and F.G.J. Janssen The Occurrence
of salmonellas and Lactose-Negative Arizonas in
Reptiles in the Netherlands, and a Comparison of
Three Enrichment Methods Used in Their Isola-
tion *Journal of Hygiene*. 71 : 363-371; October,
1973.
14. Kourany, Miguel and Sam R. Telford, Lizards in
the Ecology of Salmonellosis in Panama. *Applied
and Environmental Microbiology*. 41 : 1248-1253;
May 1981.
15. Levy, Julia and others. *Introductory Microbiology*.
New York, John Willey & Sons, 1971. 684 p.
16. Obegbulem, S.I. and A.V. Iseghohimhen, Wall
Geckos (Geckonidae) as Reservoirs of *Salmonella*
in Nigeria : Problems for Epidemiology and Public
Health. *Journal of Zoonoses*. 12 : 188-232; Sep-
tember, 1985.

แก้คำผิด

ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2532

เรื่องจะเข้า หน้า 136 แก่ชื่อ อ.วิโรจน์ นุตพันธุ์
เป็น อ.วิโรจน์ นุตพันธุ์

การแก้สมการ $x^2 + (1+i)y^2 = z^2$ ในจำนวนเต็มเกาส์

* เทียง ภูมิสะอาด

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะแสดงวิธีการก่อกำเนิดเซตคำตอบทั้งหมดของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ เมื่อ $d = 1+i$ ในเซตจำนวนเต็มเกาส์ โดยอาศัยวิธีการก่อกำเนิดเซตคำตอบของสมการ $x^2 + 2y^2 = z^2$ ในเซตจำนวนเต็มบวก

Abstract

In this research we display a method for generating all solutions in the Gaussian integers of the equation, $x^2 + dy^2 = z^2$, where $d = 1+i$, keeping one eye on the scheme for generating all solutions in the positive integers of the equation $x^2 + 2y^2 = z^2$

1. บทนำ

ให้ Z เป็นเซตของจำนวนเต็ม อันดับสามชั้น (x, y, z) ใน Z จะเป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2 + 2y^2 = z^2$ ถ้าแต่ละคู่ของ x, y, z เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน ซึ่งแน่นอนว่าสองตัวเป็นจำนวนเต็มคี่ และถ้าพิจารณาจากสมการ $x^2 + 2y^2 = z^2$ แล้วจะได้ว่า x และ z เป็นจำนวนเต็มคี่ ถ้าให้ C เป็นเซตของคู่อันดับ (u, v) ของจำนวนเต็มบวก ซึ่งมี u เป็นจำนวนเต็มบวกคี่ และ u, v เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันแล้ว [2] ได้แสดงว่า C เป็นเซตก่อกำเนิดเซตคำตอบทั้งหมดของสมการ $x^2 + 2y^2 = z^2$ โดยอาศัยฟังก์ชันหนึ่งต่อหนึ่งจาก C ไปทั่วถึงเซตคำตอบทั้งหมดของสมการ กำหนดโดย

$$(u, v) \rightarrow (\pm(u^2 - 2v^2), 2uv, u^2 + 2v^2)$$

โดยเลือกเครื่องหมายที่ทำให้พิกัดที่หนึ่งมีค่าเป็นบวก

งานวิจัยนี้จะขยายความคิดในเรื่องนี้ไปยังเซตจำนวนเต็มเกาส์ กล่าวคือ ต้องการหาเซต S ที่เป็นตัวก่อกำเนิดเซตคำตอบทั้งหมดของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ ในเซตจำนวนเต็มเกาส์ พร้อมทั้งกำหนดฟังก์ชันหนึ่งต่อหนึ่ง จาก S ไปทั่วถึงเซตคำตอบทั้งหมดของสมการด้วย

2. จำนวนเต็มเกาส์

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงจำนวนเต็มเกาส์ตลอดจนคุณสมบัติบางประการของจำนวนเต็มเกาส์ที่จำเป็นต้องใช้ในงานวิจัยนี้

เซตจำนวนเต็มเกาส์เป็นวงย่อยของเซตจำนวนเชิงซ้อน ซึ่งมีสมาชิกเขียนอยู่ในรูป $x+yi$ เมื่อ x, y เป็นจำนวนเต็ม ซึ่งจะเขียนแทนด้วย G สำหรับ a, b ใน G จะกล่าวว่า a หาร b ลงตัวใน G ถ้ามี m ใน G ซึ่ง $b = ma$ เขียนแทนด้วย $a|b$ ถ้า $a \neq 0, b \neq 0$ จะกล่าวว่า p ใน G เป็น ห.ร.ม. ของ a กับ b ถ้า (1) $p|a$ และ $p|b$ ใน G (2) ถ้า r อยู่ใน G และ $r|a, r|b$ แล้ว $r|p$

สำหรับสมาชิก $c = x+yi$ ใดๆ ใน G จะกำหนดค่าประจำของ c ซึ่งเขียนแทนด้วย $N(c)$ โดยที่ $N(c) = (x+yi)(x-yi) = x^2+y^2$ จากการกำหนดค่าประจำของจำนวนเต็มเกาส์ เราสามารถแสดงได้ว่าค่าประจำของจำนวนเต็มเกาส์ใดๆ จะมีค่าเป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ $N(ab) = N(a)N(b)$ และถ้า $a \neq 0$ และ $a|b$ ใน G แล้ว $N(a)|N(b)$ ในเซตจำนวนเต็มด้วย

การกำหนดสมาชิกหนึ่งหน่วยใน G ก็กำหนดเช่นเดียวกับเซตอื่นๆ ที่เคยพบมาแล้วในเรื่องพีชคณิต กล่าวคือ จำนวนเต็มเกาส์ u จะเป็นสมาชิกหนึ่งหน่วยใน G ก็ต่อเมื่อมี u^* ใน G ซึ่ง $uu^* = 1$ นั่นคือ $N(u) = 1$ ซึ่งจะได้ว่าเซตของสมาชิกหนึ่งหน่วยใน G คือ $U = \{1, -1, i, -i\}$ จะกล่าวว่า a, b ใน G เป็นสมาชิกกลุ่มเดียวกัน (associate) ถ้ามีสมาชิกหนึ่งหน่วย u ใน G ซึ่ง $ua = b$ และ a ใน G จะเป็นจำนวนเฉพาะ (prime) ใน G ก็ต่อเมื่อ a ไม่เป็นสมาชิกหนึ่งหน่วย และถ้า $p|a$ ใน G แล้ว p จะเป็นสมาชิกหนึ่งหน่วยหรือเป็นสมาชิกกลุ่มเดียวกันกับ a และจะกล่าวว่า a, b ใน G เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน (relatively prime) ใน G ก็ต่อเมื่อ ห.ร.ม. ของ a กับ b เป็นสมาชิกหนึ่งหน่วยใน G

ในการกำหนดจำนวนเต็มเกาส์คู่และจำนวนเต็มเกาส์คี่ เราจะกำหนดโดยอาศัยให้ $d = 1+i$ ทำหน้าที่คล้าย 2 ในเซตจำนวนเต็ม ก่อนอื่นเราจะเห็นว่า d เป็นจำนวนเฉพาะใน G และใน [3] ได้แสดงให้เห็นว่า d จะหารจำนวนเต็มเกาส์ $a = x+yi$ ลงตัวใน G ก็ต่อเมื่อ $x-y$ หารด้วย 2 ลงตัวใน Z และยังพบว่าสำหรับ a ใดๆ ใน G a หารด้วย d ลงตัวใน G หรือ $a-1$ หารด้วย d ลงตัวใน G เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งอย่างเดียวนั้น เราจะเรียก a ใน G ซึ่งหารด้วย d ลงตัวว่า จำนวนเต็มเกาส์คู่ และเรียก b ใน G ซึ่ง $b-1$ หารด้วย d ลงตัวว่า จำนวนเต็มเกาส์คี่

จากการกำหนดจำนวนเต็มเกาส์คู่และจำนวนเต็มเกาส์คี่ เราสามารถแสดงได้ว่า

- 1) ผลบวกของจำนวนเต็มเกาส์คู่หรือผลบวกของจำนวนเต็มเกาส์คี่เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่
- 2) ผลบวกของจำนวนเต็มเกาส์คู่กับจำนวนเต็มเกาส์คี่เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่
- 3) ผลคูณของจำนวนเต็มเกาส์คู่กับจำนวนเต็มเกาส์คู่หรือคี่เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่
- 4) ให้ a เป็นจำนวนเต็มเกาส์ใดๆ จะได้ว่า

(4.1) ถ้า a^2 เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่แล้ว a จะเป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่ด้วย

(4.2) ถ้า b^2 เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่แล้ว b จะเป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่ด้วย

จากนิยามการหารลงตัวใน G จะสามารถพิสูจน์คุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่งของจำนวนเต็มเกาส์ได้ ดังทฤษฎีบทประกอบต่อไปนี้

ทฤษฎีบทประกอบที่ 2.1 ให้ a, b เป็นจำนวนเต็มเกาส์ จะได้ว่า ถ้า $(a/b)^2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์แล้ว a/b จะเป็นจำนวนเต็มเกาส์ด้วย

พิสูจน์ ให้ $a = x_1 + iy_1$, $b = x_2 + iy_2$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} a/b &= (x_1x_2 + y_1y_2)/(x_2^2 + y_2^2) + i(x_2y_1 - x_1y_2)/(x_2^2 + y_2^2) \\ &= R(a/b) + iI(a/b) \end{aligned}$$

สมมุติว่า a/b ไม่เป็นจำนวนเต็มเกาส์ จะได้ว่า $R(a/b)$ หรือ $I(a/b)$ ไม่เป็นจำนวนเต็ม และจาก $(a/b)^2 = [R(a/b)]^2 - [I(a/b)]^2 + 2iR(a/b)I(a/b)$ จะเห็นว่า ถ้า $R(a/b)$ เป็นจำนวนเต็มแต่ $I(a/b)$ ไม่เป็นจำนวนเต็ม จะได้ว่า ส่วนจริงของ $(a/b)^2$ ไม่เป็นจำนวนเต็ม ดังนั้น $(a/b)^2$ ไม่เป็นจำนวนเต็มเกาส์ ซึ่งขัดแย้งกับที่กำหนดให้ ทำนองเดียวกัน ถ้า $R(a/b)$ ไม่เป็นจำนวนเต็มแต่ $I(a/b)$ เป็นจำนวนเต็มจะได้ข้อขัดแย้งเช่นเดียวกัน และถ้า $R(a/b)$ และ $I(a/b)$ ไม่เป็นจำนวนเต็ม จะได้ว่าส่วนจินตภาพของ $(a/b)^2$ ไม่เป็นจำนวนเต็ม ดังนั้น $(a/b)^2$ ไม่เป็นจำนวนเต็มเกาส์ ซึ่งขัดแย้งกับที่กำหนดให้ นั่นคือ a/b เป็นจำนวนเต็มเกาส์ #

3. คำตอบของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีบทประกอบต่างๆ ที่จะต้องนำไปช่วยในการพิสูจน์ทฤษฎีบทหลัก ในการหาคำตอบทั้งหมดของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ ในเซตจำนวนเต็มเกาส์ ก่อนอื่นจะให้นิยามคำตอบปฐมฐานของสมการนี้ใน G ก่อนดังนี้

นิยาม 3.1 อันดับสามชั้น (a, b, c) ใน G จะเป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ ใน G ก็ต่อเมื่อ แต่ละคู่ของ a, b, c เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน

จากนิยามคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ จะเห็นว่า $(12+11i, -2+16i, -2+13i)$ เป็นคำตอบปฐมฐานอันหนึ่ง และยิ่งกว่านั้นยังได้ว่า $(12+11i, 2-16i, -2+13i), (-12-11i, -2+16i, 2-13i), (-11+12i, 16+2i, -13-2i)$ เป็นคำตอบปฐมฐานด้วย แต่เราไม่ต้องการให้คำตอบในลักษณะนี้เป็นคำตอบที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะแบ่งคำตอบของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ ใน G ออกเป็นกลุ่มสมมูลกัน กล่าวคือ (a, b, c) สมมูลกับ (a_1, b_1, c_1) ก็ต่อเมื่อมีสมาชิกหนึ่งหน่วย u_1, u_2, u_3 ซึ่ง $a_1 = u_1a, b_1 = u_2b, c_1 = u_3c$ และจะเขียน $[(a, b, c)]$ แทนกลุ่มสมมูลที่มี (a, b, c) เป็นสมาชิก และเราจะได้คุณสมบัติที่สำคัญของคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ ดังทฤษฎีบทประกอบต่อไปนี้

ทฤษฎีบทประกอบที่ 3.1 ถ้า (a, b, c) เป็นคำตอบของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ ใน G ซึ่งไม่มีตัวหารร่วมกัน (ยกเว้นสมาชิกหนึ่งหน่วย) แล้ว (a, b, c) จะเป็นคำตอบปฐมฐาน

พิสูจน์ เราต้องการแสดงว่าแต่ละคู่ของ a, b, c เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน สมมุติว่า p เป็นจำนวนเฉพาะใน G และเป็นตัวหารร่วมของ a กับ b จาก $a^2 + db^2 = c^2$ หารตลอดด้วย p^2 จะได้ว่า $(a/p)^2 + d(b/p)^2 = (c/p)^2$ เนื่องจาก $p|a$ และ $p|b$ ใน G จะได้ว่า $(a/p)^2 + d(b/p)^2$ เป็นสมาชิกของ G โดยทฤษฎีบทประกอบที่ 2.1 จะได้ว่า c/p เป็นสมาชิกของ G ดังนั้น p เป็นตัวหารร่วมของ a, b, c

ซึ่งขัดแย้งกับที่กำหนดให้ นั่นคือ a, b เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน ข้อสรุปนี้สามารถพิสูจน์ได้ในทำนองเดียวกัน ถ้า a, c หรือ b, c มีจำนวนเฉพาะเป็นตัวหารร่วม ดังนั้น (a, b, c) เป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ #

ทฤษฎีบทประกอบที่ 3.2 ถ้า (a, b, c) เป็นคำตอบของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ ใน G แล้ว a, c จะเป็นจำนวนเต็มเกาส์

พิสูจน์ สมมติว่า a เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่ จะได้ว่า a^2 เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่ด้วย ดังนั้น $a^2 + db^2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่ เนื่องจาก $a^2 + db^2 = c^2$ จะได้ว่า c^2 เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่ ดังนั้น c เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่ซึ่งขัดแย้งกับ a และ c เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน จะได้ว่า a เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่ ดังนั้น $a^2 + db^2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่ นั่นคือ c เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่ #

ทฤษฎีบทประกอบที่ 3.3 ถ้า (a, b, c) เป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ ใน G แล้ว 2 จะเป็น ห.ร.ม. ของ $c+a$ กับ $c-a$

พิสูจน์ โดยทฤษฎีบทประกอบที่ 3.2 จะได้ว่า a และ c เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่ ดังนั้น $c+a$ และ $c-a$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่ จะได้ว่า d^2 หาร $(c+a)(c-a)$ ลงตัวใน G จาก $db^2 = (c+a)(c-a)$ จะได้ว่า d^2 หาร db^2 ลงตัวใน G ดังนั้น b^2 เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่ นั่นคือ b เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่ จะได้ว่า b^2 เป็นพหุคูณของ d^2 ดังนั้น db^2 เป็นพหุคูณของ d^3 นั่นคือ d^3 หาร $(c+a)(c-a)$ ลงตัวใน G เนื่องจาก d เป็นจำนวนเฉพาะ จะได้ว่า d^2 หาร $c+a$ หรือ $c-a$ ลงตัวใน G แต่ถ้า d^2 หาร $c+a$ ลงตัวแล้ว d^2 จะหาร $c-a$ ลงตัวด้วย และถ้า d^2 หาร $c-a$ ลงตัวใน G แล้ว d^2 จะหาร $c+a$ ลงตัวด้วยจะได้ว่า $2|(c+a)$ และ $2|(c-a)$ สมมติว่า p ไม่เป็นสมาชิกหนึ่งหน่วยและ $p|(c+a), p|(c-a)$ ให้ $c+a = mp$ และ $c-a = np$ จะได้ว่า $2c = (m+n)p$ และ $2a = (m-n)p$ ดังนั้น $p|2c$ และ $p|2a$ แต่ c กับ a เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน จะได้ว่า p หาร c หรือ a ไม่ลงตัวใน G ดังนั้น $p|2$ นั่นคือ 2 เป็น ห.ร.ม. ของ $c+a$ กับ $c-a$ #

เนื่องจาก 2 เป็น ห.ร.ม. ของ $c+a$ กับ $c-a$ จะได้ว่า $(c+a)/2$ กับ $(c-a)/2$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน ดังนั้น $(c+a)/2$ หรือ $(c-a)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่ จากผลที่ได้นี้ทำให้เราสามารถแสดงได้ว่า $(c+a)/2$ กับ $c-a$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน หรือ $(c-a)/2$ กับ $c+a$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน ดังทฤษฎีบทประกอบต่อไปนี้

ทฤษฎีบทประกอบที่ 3.4 ถ้า (a, b, c) เป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2 + dy^2 = z^2$ ใน G แล้ว $(c+a)/2$ กับ $c-a$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันหรือ $(c-a)/2$ กับ $c+a$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน

พิสูจน์ เนื่องจาก $(c+a)/2$ กับ $(c-a)/2$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน จะได้ว่า $(c+a)/2$ หรือ $(c-a)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่ ถ้า $(c+a)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่ จะได้ว่า d กับสมาชิกกลุ่มเดียวกันของ d ไม่เป็นตัวประกอบของ $(c+a)/2$ ถ้ามี p ใน G ซึ่งไม่เป็นสมาชิกหนึ่งหน่วยและไม่เป็นสมาชิกกลุ่มเดียวกันกับ d เป็น ห.ร.ม. ของ $(c+a)/2$ กับ $c-a$ จะได้ว่า $2p$ หาร $c+a$ และ $c-a$ ลงตัวใน G แต่ $2p$ หาร 2 ไม่ลงตัวใน G ซึ่งขัดแย้งกับ 2 เป็น ห.ร.ม. ของ $c-a$ จะได้ว่า p เป็นสมาชิกหนึ่งหน่วย

หรือ p เป็นสมาชิกกลุ่มเดียวกับ d เนื่องจาก $(c+a)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์และ p ทหาร $(c+a)/2$ ลงตัวใน G จะได้ว่า p ไม่เป็นสมาชิกกลุ่มเดียวกับ d ดังนั้น p เป็นสมาชิกหนึ่งหน่วยใน G นั่นคือ $(c+a)/2$ กับ $c-a$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน จะสามารถพิสูจน์ได้ในทำนองเดียวกันว่า ถ้า $(c-a)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์แล้ว $(c-a)/2$ กับ $c+a$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน #

เนื่องจากถ้า (a,b,c) เป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ใน G และ $(c+a)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์แล้ว $(c+a)/2$ และ $c-a$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน จะได้ว่า $(c+a)/2$ กับ $(c-a)/id$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันด้วย จาก $a^2 + db^2 = c^2$ จะได้ว่า $(b/d)^2 = [(c+a)/2][(c-a)/id]$ เนื่องจาก $(c+a)/2$ กับ $(c-a)/id$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันและมีผลคูณเขียนอยู่ในรูปกำลังสอง จะมี p, q ใน G และสมาชิกหนึ่งหน่วย u_1, u_2 ซึ่ง $(c+a)/2 = u_1 p^2$ และ $(c-a)/id = u_2 q^2$ ทฤษฎีบทประกอบต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นว่าเราสามารถเลือก u_1, u_2 เป็น 1 ได้

ทฤษฎีบทประกอบที่ 3.5 ถ้า (a,b,c) เป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ใน G แล้วจะมี (a_1, b_1, c_1) ใน $[a,b,c]$ และจำนวนเต็มเกาส์ P และ Q ซึ่ง $(c_1+a_1)/2 = P^2$ และ $(c_1-a_1)/id = Q^2$ พิสูจน์ ให้ $(c+a)/2 = u_1 p^2$ และ $(c-a)/id = u_2 q^2$ จะได้ว่า $[(c+a)/2][(c-a)/id] = u_1 u_2 p^2 q^2$ เนื่องจาก $u_1 u_2$ ต้องเป็นสมาชิกหนึ่งหน่วยใน G ที่สามารถเขียนอยู่ในรูปกำลังสองได้ จะได้ว่า $u_2 = \pm u_1$ ดังนั้น $[(c+a)/2][(c-a)/id] = \pm u_1^2 p^2 q^2 = b^2/d^2$ หรือ $(1/2id)(c/u_1 + a/u_1)(c/u_1 - a/u_1) = \pm q^2 p^2$ ให้ $P = p$ และ $Q = q$ ถ้า $u_2 = u_1$ หรือ $Q = iq$ ถ้า $u_1 = -u_1$, $a_1 = a/u_1$, $b_1 = b/u_1$, $c_1 = c/u_1$ จะได้สิ่งที่ต้องการ #

จากทฤษฎีบทประกอบที่ 3.5 จะเห็นว่า ถ้า (a,b,c) เป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ใน G แล้วจะมีจำนวนเต็มเกาส์ p และจำนวนเต็มเกาส์ q ซึ่ง p, q เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน และ $(c+a)/2 = p^2$, $(a-a)/id = q^2$ สำหรับกรณีที่ $(c-a)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์ จะได้ผลสรุปอย่างเดียวกัน กล่าวคือ มีจำนวนเต็มเกาส์ p และจำนวนเต็มเกาส์ q ซึ่ง $(c-a)/2 = p^2$ และ $(c+a)/id = q^2$ จากผลที่ได้นี้เราสามารถหาค่า a, b, c ในเทอมของ p กับ q ได้ดังนี้ ถ้า $(c+a)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์ จะได้ว่า

$$(c+a)/2 = p^2, (c-a)/id = q^2, [(c+a)/2][(c-a)/id] = b^2/d^2$$

$$c+a = 2p^2, c-a = idq^2, b^2 = d^2 p^2 q^2$$

แก้สมการหาค่า a, b และ c จะได้ว่า

$$a = (2p^2 - idq^2)/2, b = \pm dpq, c = (2p^2 + idq^2)/2$$

เนื่องจาก q เป็นจำนวนเต็มเกาส์ ดังนั้นถ้าให้ $p = m$, $q = dn$ แล้วจะได้ว่า

$$a = m^2 + dn^2, b = \pm 2imn, c = m^2 - dn^2$$

ทำนองเดียวกัน ถ้า $(c-a)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์ ให้

$$(c-a)/2 = p^2, (c+a)/id = q^2, [(c-a)/2][(c+a)/id] = b^2/d^2$$

และให้ $p = m$, $q = dn$ จะได้ว่า

$$a = -(m^2 + dn^2), b = \pm 2imn, c = m^2 - dn^2$$

เมื่อรวมทั้งสองกรณีเข้าด้วยกัน จะได้ว่า

$$a = \pm(m^2+dn^2), b = \pm 2imn, c = m^2-dn^2$$

ดังนั้น $a = \pm(m^2+dn^2)$, $b = \pm 2imn$, $c = m^2-dn^2$ เป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ซึ่งเมื่อเลือกตามเครื่องหมายแล้วจะได้หลายคำตอบ แต่อย่างไรก็ตามคำตอบทั้งหมดนี้ก็อยู่ในกลุ่มสมมูลเดียวกัน ซึ่งเราอาจจะแทนกลุ่มสมมูลนี้ด้วย

$$[(m^2+dn^2, 2imn, m^2-dn^2)] \text{ หรือ } [(a,b,c)] = [(m^2+dn^2, 2imn, m^2-dn^2)]$$

เนื่องจาก $(c+a)/2 = p^2 = m^2$ และ $(c-a)/id = q^2 = (dn)^2$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน จะได้ว่า m, n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันด้วย และ m เป็นจำนวนเต็มเกาส์ ดังนั้นเราอาจจะคาดการณ์ได้ว่าเซตของคู่อันดับ (m,n) ใน G ซึ่ง m เป็นจำนวนเต็มเกาส์ และ m, n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันก่อกำเนิดเซตคำตอบทั้งหมดของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ใน G ซึ่งก็เป็นการคาดการณ์ที่ถูกต้อง แต่เซตที่ก่อกำเนิดเซตคำตอบนี้ก็มิขนาดใหญ่เกินไป เราอาจจะจำกัดให้เซตที่เป็นตัวก่อกำเนิดเซตคำตอบให้เล็กลงกว่านี้ได้ ก่อนอื่นพิจารณาว่าจำนวนเต็มเกาส์ $a = x+iy$ ใดๆ จะเป็นจำนวนเต็มเกาส์ก็ต่อเมื่อ $(x-1)-y$ หารด้วย 2 ลงตัว นั่นคือเมื่อ x เป็นจำนวนเต็มคี่ y เป็นจำนวนเต็มคู่ หรือเมื่อ x เป็นจำนวนเต็มคู่ y เป็นจำนวนเต็มคี่ ดังนั้นเราอาจจะแบ่งจำนวนเต็มเกาส์ใน G ออกได้เป็นสองพวกดังนิยามต่อไปนี้

นิยาม 3.2 ให้ $a = x+iy$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์ จะกล่าวว่า a เป็นจำนวนเต็มเกาส์ (odd), ถ้า x เป็นจำนวนเต็มคี่ และจะกล่าวว่า a เป็นจำนวนเต็มเกาส์ (odd), ถ้า y เป็นจำนวนเต็มคี่

ทฤษฎีบทประกอบต่อไปนี้ จะแสดงให้เห็นว่าเราสามารถจำกัดขนาดของเซตก่อกำเนิดเซตคำตอบของสมการให้เล็กลงเป็นเซตของคู่อันดับ (m,n) ใน G ซึ่ง m เป็นจำนวนเต็มเกาส์ (odd), และ m, n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน

ทฤษฎีบทประกอบที่ 3.6 ถ้า (a,b,c) เป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ซึ่ง $(c+a)/2 = m^2$, $(c-a)/id = (dn)^2$ เมื่อ $(c+a)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่หรือ $(c-a)/2 = m^2$, $(c+a)/id = (dn)^2$ เมื่อ $(c-a)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่ แล้วจะมีคำตอบปฐมฐาน (a_1, b_1, c_1) ใน $[(a,b,c)]$ และ M, N ใน G ซึ่ง M เป็นจำนวนเต็มเกาส์ (odd), และ M, N เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันที่ทำให้ $(c_1+a_1)/2 = M^2$, $(c_1-a_1)/id = (dN)^2$ เมื่อ $(c_1+a_1)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่ หรือ $(c_1-a_1)/2 = M^2$, $(c_1+a_1)/id = (dN)^2$ เมื่อ $(c_1-a_1)/2$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่

พิสูจน์ ทั้งสองกรณีจะเห็นว่า ถ้า m เป็นจำนวนเต็มเกาส์ (odd), แล้ว im เป็นจำนวนเต็มเกาส์ (odd), ดังนั้น ให้ $M = im$, $N = in$ และ $(a_1, b_1, c_1) = (-a, -b, -c)$ จะได้สิ่งที่ต้องการ #

จากทฤษฎีบทประกอบนี้ทำให้เราสามารถจำกัดขนาดเซตก่อกำเนิดเซตคำตอบทั้งหมดของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ใน G ให้เล็กลงได้ แต่อย่างไรก็ตามเรายังจำกัดให้เล็กลงอีกได้ ซึ่งพิจารณาได้ดังนี้ เนื่องจาก $a = m^2+dn^2$, $b = 2imn$, $c = m^2-dn^2$ จะเห็นว่าค่าของ a, c จะไม่แตกต่างกันระหว่าง m กับ $-m$ หรือ n กับ $-n$ ส่วนค่า b จะมีเครื่องหมายตรงกันข้าม ในกรณีที่เครื่องหมายของ m

กับ n เปลี่ยนเพียงตัวเดียว แต่คำตอบที่ได้ก็ยังอยู่ในกลุ่มสมมูลเดียวกัน ซึ่งจะถือว่าให้ผลไม่แตกต่างกัน ดังนั้นเราจึงสามารถจำกัดขนาดเซตที่เป็นตัวก่อกำเนิดเซตคำตอบทั้งหมดของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ใน G เป็นเซตของคู่อันดับ (m,n) ซึ่ง m,n เป็นจำนวนเต็มเกาส์ที่มีส่วนจริงไม่เป็นลบ m เป็นจำนวนเต็มเกาส์ (odd), n มีส่วนจินตภาพเป็นบวก ถ้าส่วนจริงเป็นศูนย์ และ m,n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน

ตัวอย่างที่ 3.1 ให้ $(a,b,c) = (-20+13i, 2-24i, 22-27i)$ จงแสดงว่า (a,b,c) เป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ และหา (a_1,b_1,c_1) ใน $[(a,b,c)]$, m,n ใน G ซึ่งมีส่วนจริงไม่เป็นลบ m เป็นจำนวนเต็มเกาส์ (odd), n มีส่วนจินตภาพเป็นบวก ถ้าส่วนจริงเป็นศูนย์ และ m,n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน ที่ทำให้

$$a_1 = m^2+dn^2, b_1 = 2imn, c_1 = m^2-dn^2$$

วิธีทำ $a^2 = (-20+13i)^2 = 231-520i$

$$db^2 = (1+i)(2-24i)^2 = -476-688i$$

$$c^2 = (22-27i)^2 = -245-1188i$$

$$a^2+db^2 = -245-1188i$$

จะได้ว่า $a^2+db^2 = c^2$ ดังนั้น (a,b,c) เป็นคำตอบของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ สมมุติว่า p เป็นตัวหารร่วมของ a,b จะได้ว่า p หาร a,b ลงตัวใน G ดังนั้น $N(p)$ หาร $N(a), N(b)$ ลงตัวในเซตจำนวนเต็ม แต่ $N(a) = 569, N(b) = 580$ และ 569 กับ 580 เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน จะได้ว่า $N(p) = 1$ ดังนั้น a,b เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน ในทำนองเดียวกันจะแสดงได้ว่า a,c และ b,c เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน นั่นคือ (a,b,c) เป็นคำตอบปฐมฐาน จาก

$$(c-a)/2 = 21-20i = (5-2i)^2$$

$$(c+a)/id = -8+6i = 2i(3+4i) = [d(2+i)]^2$$

ให้ $m = 5-2i, n = 2+i$ จะได้ว่า

$$a_1 = m^2+dn^2 = 20-13i = -a$$

$$b_1 = 2imn = -2+24i = -b$$

$$c_1 = m^2-dn^2 = 22-27i = c$$

ดังนั้น $(a_1, b_1, c_1) = (-a, -b, c)$

ถ้าให้ P แทนเซตของกลุ่มสมมูลของคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ใน G และให้ S เป็นเซตคู่อันดับ (m,n) ใน G ซึ่ง m,n มีส่วนจริงไม่เป็นลบ m เป็นจำนวนเต็มเกาส์ (odd), n มีส่วนจินตภาพเป็นบวก ถ้าส่วนจริงเป็นศูนย์ และ m,n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันแล้ว จะได้ทฤษฎีบทสำคัญที่เป็นการหาคำตอบทั้งหมดของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ใน G ดังนี้

ทฤษฎีบทที่ 3.7 ฟังก์ชันจากเซต S ไปยังเซต P กำหนดโดย

$$f(m,n) = [(m^2+dn^2, 2imn, m^2-dn^2)]$$

เป็นฟังก์ชันหนึ่งต่อหนึ่งจาก S ไปทั่วถึง P

พิสูจน์ ให้ (m,n) อยู่ใน S และ $(a,b,c) = (m^2+dn^2, 2imn, m^2-dn^2)$ จะได้ว่า a,b,c อยู่ใน G และ $a^2 = m^4+2dm^2n^2+d^2n^4$, $db^2 = -4dm^2n^2$, $c^2 = m^4-2dm^2n^2+d^2n^4$, $a^2+db^2 = m^4-2dm^2n^2+d^2n^4 = c^2$ ดังนั้น (a,b,c) เป็นคำตอบของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ถ้า p เป็นตัวหารร่วมของ a,c จะได้ว่า p หาร m^2+dn^2 และ m^2-dn^2 ลงตัว เนื่องจาก m^2 เป็นจำนวนเต็มเกาส์ก็จะได้ว่า m^2+dn^2 และ m^2-dn^2 เป็นจำนวนเต็มเกาส์ก็ ดังนั้น a และ c เป็นจำนวนเต็มเกาส์ก็นั่นคือ p เป็นจำนวนเต็มเกาส์ด้วย จาก p หาร a และ c ลงตัว จะได้ว่า p หาร $c+a = 2m^2$ ลงตัว และหาร $c-a = 2dn^2$ ลงตัว เนื่องจาก m,n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน จะได้ว่า m^2 , n^2 เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันด้วย และ m^2 เป็นจำนวนเต็มเกาส์ก็ จะได้ว่า m^2 , dn^2 เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน ดังนั้น ท.ร.ม. ของ $c+a$ กับ $c-a$ คือ 2 นั่นคือ p หาร 2 ลงตัวใน G แต่ p ไม่ใช่ d จะได้ว่า p เป็นสมาชิกหนึ่งหน่วย ดังนั้น a กับ c เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน นั่นคือ a,b,c ไม่มีตัวหารร่วมกัน โดยทฤษฎีบทประกอบที่ 3.1 จะได้ว่า (a,b,c) เป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ดังนั้น (a,b,c) เป็นสมาชิกของ P นั่นคือ f เป็นฟังก์ชันจาก S ไปยัง P จากทฤษฎีบทประกอบต่างๆ ที่พิจารณามาแล้ว จะได้ว่า f เป็นฟังก์ชันจาก S ไปทั่วถึง P ต่อไปจะแสดงว่า f เป็นฟังก์ชันหนึ่งต่อหนึ่ง สมมุติว่า (m,n) และ (M,N) เป็นสมาชิกของ S ซึ่ง $f(m,n) = f(M,N)$ และให้ $(a,b,c) = (m^2+dn^2, 2imn, m^2-dn^2)$, $(a_1,b_1,c_1) = (M^2+dn^2, 2iMN, M^2-dn^2)$ จะได้ว่า (a,b,c) สมมูลกับ (a_1,b_1,c_1) ดังนั้นจะมีสมาชิกหนึ่งหน่วย u_1, u_2, u_3 ใน G ซึ่ง $(a_1,b_1,c_1) = (u_1a, u_2b, u_3c)$ เนื่องจากสมาชิกหนึ่งหน่วยยกกำลังสองมีค่าเป็น 1 หรือ -1 เท่านั้น และจาก $(a,b,c), (a_1,b_1,c_1)$ เป็นสมาชิกของ P จะได้ว่า $a^2+db^2 = c^2$ และ $(u_1a)^2+d(u_2b)^2 = (u_3c)^2$ หรือ $a^2+db^2 = c^2$ และ $\pm a^2 \pm b^2 = \pm c^2$ เมื่อพิจารณาทั้งสองกรณีรวมกันจะได้ว่าเครื่องหมายในสมการหลังจะต้องเลือกให้เหมือนกัน ดังนั้น $u_3 = \pm u_1$ จาก $M^2+dn^2 = u_1(m^2+dn^2)$, $M^2-dn^2 = u_3(m^2-dn^2)$ ถ้า $u_3 = u_1$ จะได้ว่า $M^2 = u_1m^2$ และ $N^2 = u_1n^2$ ถ้า $u_3 = -u_1$ จะได้ว่า $M^2 = u_1dn^2$ และ $dn^2 = u_1m^2$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เพราะว่า M^2 และ u_1m^2 เป็นจำนวนเต็มเกาส์ก็ แต่ dn^2 และ u_1dn^2 เป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่ ดังนั้น $u_3 = u_1$ จะได้ว่า u_1, u_3 เขียนอยู่ในรูปกำลังสองได้ ซึ่งจะมีค่าเป็น 1 หรือ -1 ถ้า $u_1 = u_3 = 1$ จะได้ว่า $M^2 = m^2$ และ $N^2 = n^2$ จาก M,N,m,n มี ส่วนจริงเป็นบวก หรือ N,n มีส่วนจินตภาพเป็นบวก ถ้ามีส่วนจริงเป็นศูนย์ จะได้ว่า $M = m$ และ $N = n$ ถ้า $u_1 = u_3 = -1$ จะได้ว่า $M^2 = -m^2$ ดังนั้น $M = \pm im$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เพราะว่า M เป็นจำนวนเต็มเกาส์ (odd), แต่ $\pm im$ เป็นจำนวนเต็มเกาส์ (odd), ดังนั้น f เป็นฟังก์ชันหนึ่งต่อหนึ่ง #

ตัวอย่างที่ 3.2

$(1+2i, 1-2i)$ ก่อกำเนิดกลุ่มสมมูลของคำตอบปฐมฐาน $[(-2-3i, 10i, -4+11i)]$

$(3+2i, 3-2i)$ ก่อกำเนิดกลุ่มสมมูลของคำตอบปฐมฐาน $[(22+5i, 26i, -12+19i)]$

$(3+2i, 1-2i)$ ก่อกำเนิดกลุ่มสมมูลของคำตอบปฐมฐาน $[(6+5i, 8+14i, 4+19i)]$

4. บทสรุป

จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด จะเห็นว่าถ้าเราต้องการหาคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ ก็เพียงแต่หาคู่อันดับ (m,n) ใน G ซึ่ง m เป็นจำนวนเต็มเกาส์และ m,n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน แล้ว $(m^2+dn^2, 2imn, m^2-dn^2)$ จะเป็นคำตอบปฐมฐานของสมการ $x^2+dy^2 = z^2$ และยิ่งกว่านั้น ถ้า (a,b,c) เป็นคำตอบของสมการและ t เป็นจำนวนเต็มเกาส์ใดๆ แล้ว (ta,tb,tc) จะเป็นคำตอบของสมการด้วย ดังนั้นปัญหาการหาคำตอบของสมการจึงอยู่ที่การหาคู่อันดับ (m,n) ใน G ซึ่ง m เป็นจำนวนเต็มเกาส์และ m,n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน การหาคู่อันดับ (m,n) ซึ่ง m เป็นจำนวนเต็มเกาส์ทำได้ไม่ยาก ส่วนการตรวจสอบว่า m,n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันก็ทำได้โดยอาศัยขั้นตอนวิธีของยูคลิด อย่างไรก็ตาม ถ้าเราทราบว่า m หรือ n ตัวใดตัวหนึ่งเป็นจำนวนเฉพาะแล้ว จะบอกได้ทันทีว่า m,n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน ดังนั้นถ้าเราทราบว่าจำนวนเต็มเกาส์ตัวใดบ้างเป็นจำนวนเฉพาะ จะช่วยในการหาคู่อันดับ (m,n) ซึ่ง m,n เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันได้เร็วขึ้น การหาจำนวนเต็มเกาส์ที่เป็นจำนวนเฉพาะนั้น [3] ได้พิจารณาไว้ดังนี้

จำนวนเต็มเกาส์ที่เป็นจำนวนเฉพาะและเป็นจำนวนเต็มเกาส์คู่มีเพียง 4 ตัวเท่านั้น คือ $d, id, -d, -id$ ส่วนจำนวนเฉพาะที่เป็นจำนวนเต็มเกาส์คี่จะทำได้โดยอาศัยจำนวนเต็มที่เป็นจำนวนเฉพาะในเซตจำนวนเต็ม กล่าวคือ ถ้า p เป็นจำนวนเต็มบวกที่เป็นจำนวนเฉพาะใน Z ซึ่ง $p \equiv 3 \pmod{4}$ ทหารด้วย 4 ลงตัวใน Z แล้ว p จะเป็นจำนวนเฉพาะใน G และถ้า r เป็นจำนวนเต็มบวกที่เป็นจำนวนเฉพาะใน Z ซึ่ง $r \equiv 1 \pmod{4}$ ทหารด้วย 4 ลงตัวใน Z และ $r = q\bar{q}$ โดยที่ $q, \bar{q}$ เป็นสังยุคกันแต่ไม่เป็นสมาชิกกลุ่มเดียวกันแล้ว q และ $\bar{q}$ จะเป็นจำนวนเฉพาะใน G เช่น

$$5 = (1+2i)(1-2i), \quad 13 = (3+2i)(3-2i), \quad 41 = (5+4i)(5-4i)$$

จำนวนเต็มเกาส์ใน G ที่อยู่ในรูปแบบ d, p หรือ q กับสมาชิกกลุ่มเดียวกันของมันเท่านั้นที่จะเป็นจำนวนเฉพาะใน G ดังนั้นจำนวนเฉพาะใน G ได้แก่

$$3, 7, 11, 19, 23, 31, \dots$$

$$1+2i, 1-2i, 3+2i, 3-2i, 1+4i, 1-4i, \dots$$

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนจากงบประมาณเงินอุดหนุนการวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2533

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมจิต ไซตชัยสถิตย์ อาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ช่วยอ่านเพื่อข้อบกพร่องของงานวิจัยนี้

References

- [1] เทียง ภูมิสะอาด, อันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานในจำนวนเต็มเกาส์ วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 15 ฉบับที่ 3 หน้า 141-148
- [2] A.O. Gelfond, Solving Equations in Integers, English translation Mir Publishers, Moscow, 1981
- [3] James T. Gross, Primitive Pythagorean Triples of Gaussian Integers, Mathematics Magazine, Vol.59, No.2 April 1986, p.106-110
- [4] Robert C. Thomson and Adil Yaqub, Introduction to Abstract Algebra, Scott, Foresman and Company, 1970

การผลิตกล้ำเชื้อน้ำส้มสายชูในรูปเชื้อผง

Production of acetic acid bacteria powdered inoculum

รสสุคนธ์ เทลาไพบูลย์*และ นภา โล่ห์ทอง**

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ทดสอบการเจริญของ *Acetobacter* sp. 249-1 ในสภาวะที่มีสารกันเสีย และศึกษากรรมวิธีในการผลิตเชื้อน้ำส้มสายชูสายพันธุ์นี้ในรูปเชื้อผง พบว่าการผลิตโดยบรรจุรำละเอียด 10 กรัม ลงในถุงพลาสติกชนิดทนร้อน นึ่งฆ่าเชื้อที่ 121°ซ เป็นเวลา 20 นาที แล้วเติมน้ำมะพร้าวปลอดเชื้อที่มีเอทานอล 1% และกล้ำเชื้อ *Acetobacter* sp. 249-1 10^3 เซลล์ต่อกรัม บ่มที่อุณหภูมิห้อง 48 ชั่วโมง ทำการลดความชื้นโดยการเติมน้ำละเอียดที่นึ่งฆ่าเชื้อผสมกรดโปรปิโอนิกจนได้ความเข้มข้น 2% ของส่วนผสม เชื้อผงที่ผลิตได้จะมีความชื้น 17-19% และเมื่อเก็บในตู้เย็นเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณเซลล์จะลดลงเพียงประมาณ 1 log cycle การเก็บเชื้อที่อุณหภูมิห้อง, 30°ซ 6 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิ 35°ซ 4 สัปดาห์ เชื้อจะลดลงประมาณ 2 log cycle ส่วนเชื้อผงที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าสามารถเก็บในอุณหภูมิห้องได้นานถึง 8 สัปดาห์ โดยพบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์อื่นต่ำมาก

Abstract

Inhibitory effect of 5 preservatives against acetic acid bacteria and microorganisms normally found contaminated in dry inocula was determined. The results showed that 0.2-0.25% propionic acid gave a selective antagonistic effect on the contaminants. Solid substrate cultivation of *Acetobacter* sp. 249-1 was carried out in a plastic bag containing 10g sterile rice bran or rice flour and 3-5 ml coconut water supplemented with 1% ethanol. Cells were propagated from 10^3 to 10^8 cells/gram substrate after 48 hours incubation at room temperature. To each bag, sterilized rice bran containing 0.3% propionic acid or rice flour was added at a ratio of 2:1 (w/w) followed by thoroughly mixing. The powdered culture obtained contained 17-19% moisture and could be kept in the refrigerator for 6 months with only one log cycle cell reduction. Whereas two log cycles of cells were reduced in those storage at room temperature and at 30° C of 4 weeks or at 35° C for 2 weeks. Although, the inocula obtained by adding propionic acid had shorter shelf life at room temperature, than that prepared without the acid, they were free from contaminants. Substitution of rice flour without preservative to rice bran brought about substantial reduction of contamination. The rice flour powdered culture could be kept at room temperature for 8 weeks.

* ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

** ภาควิชาพื้นฐาน วิทยาลัยอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กํานา

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำส้มสายชูหมักในประเทศไทยยังมีปัญหาเรื่องการขาดกล้าเชื้อในรูปที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ การหมักที่ทำกันส่วนใหญ่ในปัจจุบันยังคงอาศัยการใช้กล้าเชื้อต่อเนื่องจากถังหมักเดิม (Adams, 1985) ซึ่งเมื่อใช้เป็นระยะเวลาานเชื้อจะมีประสิทธิภาพต่ำลง การนำเชื้อบริสุทธิ์ ซึ่งเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (slant culture) หรือเชื้อโลโอฟิลโลซ์ มาเป็นกล้าเชื้อนั้น มีขอบเขตที่ทำได้เฉพาะในห้องปฏิบัติการ นอกจากนั้นเชื้อน้ำส้มสายชูยังเป็นจุลินทรีย์ที่มีอายุการรอดชีวิตในสภาพที่เลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อสั้นมาก (สายชล และ นภา, 2517) ถึงแม้ว่าจะได้มีการผลิตลูกแบ่งน้ำส้มสายชูมาแต่เดิม แต่วิธีการและสูตรที่ใช้ผลิตจะถูกสงวนเป็นความลับในครัวเรือนจึงทำให้ไม่เป็นที่แพร่หลาย จากการศึกษาการรวมวิธีการผลิตลูกแบ่งน้ำส้มสายชูในระยะ 2-3 ปี ที่ผ่านมานี้พบว่าได้ผลดีพอสมควร (บรรจงจิตร และคณะ, 2530) ซึ่งในการผลิตลูกแบ่งจากการศึกษานี้ยังจำเป็นต้องใช้สมุนไพรและสารยับยั้งการเจริญบางชนิด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกล้าเชื้อน้ำส้มสายชูในรูปเชื้อผงในถุงพลาสติกโดยไม่ใช้สมุนไพร

อุปกรณ์ และวิธีการ

1. จุลินทรีย์

เชื้อที่ใช้ผลิตเชื้อผง ได้แก่ *Acetobacter* sp. 249-1 ซึ่งได้คัดเลือกแล้วว่ามีความมีประสิทธิภาพในการผลิตกรดอะซิติกได้ดี (รสสุคนธ์ และ นภา, 2527) เชื้อนี้มีอายุการอยู่รอดในสภาพห้องเป็นเวลานานถึง 40 วัน และทนอุณหภูมิได้สูงอย่างน้อยที่สุดถึง 42°C (บรรจงจิตร และคณะ, 2530) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตเชื้อผง

2. การทดสอบผลของสารกันเสีย (preservative) ต่อจุลินทรีย์

นำ *Acetobacter* sp. 249-1 และจุลินทรีย์ที่มักพบปนเปื้อนในเชื้อผง และลูกแบ่งมาทำการทดสอบโดยเติมซัสเพนชันของเชื้อแบคทีเรีย ($O.D = 0.5$) หรือเชื้อรา 10^3 สปอร์ต่อมิลลิลิตรลงในอาหาร น้ำมะพร้าวปลอดเชื้อที่มีเอทานอล 1% แล้วปรับพีเอชให้ได้ 5.0 5.5 และ 6.0 แต่ละระดับพีเอชเติมสารกันเสียความเข้มข้นต่างๆ นำไปเข้าเครื่องเขย่าตามช่วงเวลาเหมาะสมแล้ววัดการเจริญโดยหาค่า $O.D.$ (Optical density) ที่ช่วงคลื่นความยาว 540 นาโนเมตร สำหรับเชื้อรานั้นใช้วิธีการหาน้ำหนักของเส้นใย

3. การผลิตเชื้อผง

เลี้ยงเชื้อในสภาพ solid substrate ในถุงพลาสติกชนิดทนร้อน (Lotong and Suwanarit, 1983) โดยบรรจุรำละเอียดหรือแป้งข้าวเจ้า 10 กรัมลงในถุงพลาสติกชนิดทนร้อนขนาด 5×7 นิ้ว เติมกล้าเชื้อซึ่งเลี้ยงในน้ำมะพร้าวปลอดเชื้อที่มีเอทานอล 1% อายุ 12 ชั่วโมง ปริมาณ 10^3 เซลล์ต่อกรัม บ่มในอุณหภูมิห้อง 48 ชั่วโมง จากนั้นลดความชื้นของเชื้อที่ผลิตได้โดยการเติมรำละเอียดหรือแป้งข้าวเจ้า

4. การศึกษาการมีชีวิตรอดของเชื้อ

ตรวจการรอดชีวิตของเชื้อตามระยะเวลาการเก็บต่าง ๆ โดย

4.1 ตรวจนับปริมาณ *Acetobacter* sp. 249-1 ด้วยวิธี spread plate บนอาหารซึ่งประกอบด้วยน้ำมะพร้าว ผสมยีสต์เอกซ์แทรค 0.3%, $CaCO_3$ 0.2% Bromocresol purple 0.0004% และวุ้น 1.5% หลังจากนึ่งฆ่าเชื้อแล้วเติมเอทานอลที่ปลอดเชื้อ (กรองด้วยแผ่นกรองแบคทีเรีย) 4%

บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจนับโคโลนีที่มีบริเวณใสสีเหลืองเกิดอยู่รอบ ๆ

4.2 ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน

ด้วยวิธี spread plate ในอาหารสูตรเดียวกับข้อ

4.1 โดยไม่เติม CaCO_3 และ Brocresol purple

5. หาคความชื้น

โดยคำนวณจากน้ำหนักที่ลดลงเมื่ออบที่ 105°C ครั้งละ 3 ชม. สลับกับการเก็บในโถอบแห้ง (dessicator) จนได้น้ำหนักคงที่

ผลและวิจารณ์

ประสิทธิภาพของสารกันเสียต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

1. ประสิทธิภาพที่มีต่อ *Acetobacter* sp.

249-1 จากสารกันเสีย 5 ชนิดที่นำมาทดสอบพบว่าโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ยับยั้งการเจริญของ *Acetobacter* sp. 249-1 ได้เป็นอย่างดีจึงไม่สามารถนำสารนี้มาใช้ในการผลิตเชื้อผง

Acetobacter sp. 249-1 เจริญได้ดีในอาหารซึ่งมีพีเอช 5.5 ที่เติมกรดโปรปิโอนิกโปแตสเซียม-ซอร์เบท และโซเดียมเบนโซเอท ส่วนอาหารที่เติมเมธิลพาราไฮดรอกซีเบนโซเอทเชื้อเจริญได้ดีที่พีเอช 6.0 ดังแสดงผลในตารางที่ 1 แต่สารกันเสียชนิดนี้จะละลายในอาหารได้ยากจึงไม่สะดวก

ต่อการนำไปใช้

2. ประสิทธิภาพที่มีต่อจุลินทรีย์ที่มักพบปนเปื้อนในลูกแป้งและเชื้อผง ซึ่งได้แก่ *Penicillium* sp. และ *Bacillus* sp. ที่แยกได้จากลูกแป้ง (บรรจง-จิตร, 2529) และ *Penicillium* sp-2 และ *Penicillium* sp-3 แยกได้จากเชื้อผง (รสสุคนธ์, 2528) เมื่อนำจุลินทรีย์เหล่านี้มาเลี้ยงในอาหารน้ำมะพร้าวพีเอช 5.5 ที่เติมสารกันเสียพบว่ากรดโปรปิโอนิก 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้อย่างสมบูรณ์ โดยที่ *Bacillus* sp. ยังคงสามารถเจริญได้เล็กน้อย ส่วนโซเดียมเบนโซเอทในปริมาณที่ไม่มีผลต่อเชื้อน้ำส้มสายชู (1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) นั้นถึงแม้ว่าจะมีผลยับยั้งการเจริญของ *Bacillus* sp. ได้เกือบสมบูรณ์ แต่จะมีผลต่อเชื้อราน้อยกว่ากรดโปรปิโอนิก ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในการผลิตเชื้อผงนั้น เชื้อราจะก่อให้เกิดปัญหามากกว่า *Bacillus* sp. ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของนภา และคณะ (2529) ดังนั้นในการผลิตกล้าเชื้อ *Acetobacter* sp. 249-1 ในลักษณะผงจึงใช้กรดโปรปิโอนิกเป็นสารป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของสารกันเสียต่อการเจริญของ *Acetobacter* sp. 249-1

ชนิด และความเข้มข้น ของสารกันเสีย (มก.ต่อ ล.)	O.D. ที่ 540 nm ที่ระดับพีเอชต่าง ๆ		
	5.0	5.5	6.0
โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์	0.66	0.76	0.63
50	0	0.13	0
150	0	0.10	0
200	0	0.30	0

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชนิดและความเข้มข้น ของสารกันเสีย (มก.ต่อล.)	O.D. ที่ 540 nm ที่ระดับพีเอชต่างๆ		
	5.0	5.5	6.0
กรดโปรปีโอนิก			
100	0.65	0.76	0.63
1000	0.64	0.75	0.62
2000	0.46	0.62	0.46
2500	0.25	0.29	0.19
3000	0	0	0
โปแตสเซียมซอร์เบท			
100	0.56	0.65	0.58
500	0.40	0.53	0.44
1000	0.28	0.40	0.34
1500	0	0	0
โซเดียมเบนโซเอท			
100	0.62	0.72	0.55
500	0.44	0.60	0.44
1000	0.36	0.44	0.47
1500	0.05	0.10	0.24
เมทิลพารไฮดรอกซีเบนโซเอท			
700	0.55	0.69	0.63
900	0.46	0.50	0.58
1000	0.43	0.37	0.54
1200	0.27	0.22	0.41
1500	0	0	0.12

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของสารกันเสียต่อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในลูกแป้ง และเชื้อผง

จุลินทรีย์	การเจริญ				
	ไม่เติมสาร กันเสีย	โอนิก 2000 มก./ล.	กรดโปรปี โอนิก 2500 มก./ล.	โปแตสเซียม ซอร์เบท 1000 มก./ล.	โซเดียม เบนโซเอท 1000 มก./ล.
Penicillium sp.1 ^{1/}	1,280.85	-	-	7.58	35.46
Penicillium sp.2 ^{1/}	562.95	-	-	8.55	24.18
Penicillium sp.3 ^{1/}	637.40	-	-	8.04	23.93
Bacillus sp.2 ^{2/}	4.00	0.820	0.2000	0.16	0.01

หมายเหตุ 1/ น้ำหนักแห้งของเส้นใย 2/ ค่า O.D. ที่ความยาวช่วงคลื่น 540 นาโนมิเตอร์

การผลิตเชื้อผง

ทำให้ง่ายต่อการทำให้แห้ง

1. การผลิตเชื้อผงด้วยรำละเอียด

เมื่อผสมรำละเอียด 2 ส่วนต่อเชื้อสด ซึ่ง

จากการเตรียมเชื้อสดในถุงพลาสติกชนิด หนา 100 ไมครอน โดยใช้รำละเอียด 10 กรัม และน้ำมะพร้าว ปลอดเชื้อที่มีเอทานอล 1% ปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร เป็นอาหารเหลว พบว่าการบ่ม ในสภาพห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจพบปริมาณ เซลล์สูงกว่าการบ่มเป็นเวลาเพียง 24 ชั่วโมง และการเติมน้ำมะพร้าวปลอดเชื้อที่มีเอทานอล 1% ปริมาณ 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ในรำละเอียดมี ผลต่อการเพิ่มปริมาณเซลล์แตกต่างกันน้อยมาก ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนั้นการเตรียมเชื้อสด ด้วยรำละเอียดในการทดลองต่อมาจึงใช้น้ำมะพร้าว ปลอดเชื้อที่มีเอทานอล 1% ปริมาณ 3-5 มล. และบ่มเชื้อในสภาพห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่ง แตกต่างจากรายงานการเตรียมเชื้อสด *Lactobacillus casei* (นภา และคณะ, 2529) ที่ใช้รำละเอียด และอาหารเหลวในอัตราส่วน 2:1 และบ่มที่อุณหภูมิ 37°ซ เป็นเวลาเพียง 24 ชั่วโมง ซึ่งตรวจพบ ปริมาณเชื้อได้ใกล้เคียงกับการศึกษาครั้งนี้ โดย ที่การใช้อาหารเหลวในปริมาณน้อยในการศึกษา ครั้งนี้เชื้อสดที่ผลิตได้จะมีความชื้นเริ่มต้นต่ำ

มีความชื้น 29% 1 ส่วน พบว่าความชื้นของเชื้อ ผงจะลดลงเหลือ 17.6% - 19% ซึ่งเชื้อผงที่ผลิต โดยไม่เติมกรดโปรปิโอนิกจะมีการเจริญของเชื้อรา บนเบ้าในปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อที่ ผลิตโดยการเติมกรดโปรปิโอนิกให้ได้ 0.2% ของ ส่วนผสม (ตารางที่ 4) เชื้อผงที่เติมกรดโปรปิโอนิก นั้นสามารถเก็บในอุณหภูมิตู้เย็นเป็นเวลาอย่าง น้อย 6 เดือน โดยที่ปริมาณเชื้อลดลงประมาณ 1 log cycle ส่วนการเก็บที่อุณหภูมิห้องและ 30°ซ เป็นเวลาหนึ่งเดือนและการเก็บที่อุณหภูมิ 35°ซ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ทำให้ปริมาณเชื้อลดลง ประมาณ 2 log cycle การเติมกรดโปรปิโอนิก ไม่มีผลต่อปริมาณเชื้อรอดชีวิตในเชื้อผงที่เก็บ ในตู้เย็นแต่จะทำให้เชื้อมีชีวิตรอดน้อยลง เมื่อ เก็บเชื้อผงที่อุณหภูมิห้อง 30°ซ และ 35°ซ เป็น เวลาเดือนครึ่งและ 1 เดือน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการเติมกรดโปรปิโอนิกในเชื้อแห้งของ แล็กโตบาซิลลัส (นภา และคณะ, 2529) และในการ ผลิตลูกแป้งน้ำส้มสายชู (บรรจงจิตร และคณะ, 2530)

ตารางที่ 3 การเพิ่มจำนวนเชื้อน้ำส้มสายชูในเชื้อสดที่เลี้ยงในสภาพ solid substrate

ระยะเวลาการบ่ม (ชั่วโมง)	ปริมาณเซลล์ต่อกรัมของเชื้อสดเมื่อใช้อาหารเหลวปริมาณต่าง ๆ ^{1/}				
	1 มล.	2 มล.	3 มล.	4 มล.	5 มล.
24	2.20×10^5	7.30×10^6	4.20×10^7	1.49×10^8	3.70×10^8
48	9.10×10^7	4.00×10^8	1.30×10^9	1.78×10^9	2.40×10^9

หมายเหตุ 1/ ใช้กล้าเชื้ออายุ 12 ชั่วโมง ปริมาณ 3.3×10^3 เซลล์ต่อกรัมของอาหาร

2. การผลิตเชื้อผงด้วยแป้งข้าวเจ้า

การเตรียมเชื้อในถุงพลาสติกชนิดหนาหรือ
โดยใช้แป้งข้าวเจ้าผสมน้ำมะพร้าวลดเชื้อที่มี
เอทานอล 1% ในอัตราส่วน 10:5 และเติม
Acetobacter sp. 249-1 ปริมาณ 1.34×10^3 เซลล์
ต่อกรัม เมื่อป้อนในสภาพห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
ตรวจพบปริมาณเซลล์ถึง 3.20×10^8 เซลล์ต่อกรัม
เมื่อลดความชื้นโดยการเติมแป้งข้าวเจ้า 30 กรัม
แล้วเก็บเชื้อผงที่ได้ไว้ในอุณหภูมิห้อง จากการ
ตรวจปริมาณเชื้อ พบเซลล์รอดชีวิตอยู่เป็นเวลา
ถึง 8 สัปดาห์ (ตารางที่ 5) ซึ่งเป็นเวลานานกว่า
ช่วงการรอดชีวิตของเซลล์ในเชื้อผงที่ผลิตจาก
รำละเอียด (ตารางที่ 4) เชื้อผงที่ผลิตจากแป้งโดย
ไม่เติมกรดโปรปิโอนิกนี้พบการปนเปื้อนน้อยกว่า

เชื้อผงที่ผลิตจากรำละเอียดถึงแม้ว่าแป้งที่ใช้จะ
ไม่ได้ผ่านขั้นตอนการฆ่าเชื้อ ทั้งนี้เนื่องจากแป้ง
ข้าวเจ้าตราโมที่ใช้มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์
น้อยมาก (บรรจงจิตร และคณะ, 2530)

กล้าเชื้อผงนี้จะมีชีวิตการอยู่รอดนานพอ ๆ
กับกล้าเชื้อในรูปลูกแป้ง และถึงแม้ว่าระยะเวลา
การเก็บเชื้อในลักษณะนี้จะสั้นกว่าเชื้อไลโอไฟล์ซึ่ง
ซึ่งสามารถเก็บได้นานถึง 2-5 ปี (Nickol, 1979)
แต่ต้นทุนการผลิตจะต่ำกว่าเป็นอย่างมาก และ
ระยะเวลาที่สามารถเก็บเชื้อผงในตู้เย็นได้นาน
เกิน 6 เดือนขึ้นไป ย่อมเพียงพอต่อการนำไปใช้
หมักน้ำส้มสายชูในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม
และการหมักในครัวเรือน

ตารางที่ 1 ปริมาณเชื้อที่ตรวจพบในเชื้อผงซึ่งผลิตและเก็บในสภาวะต่าง ๆ

เวลา สัปดาห์	ปริมาณเชื้อเป็นเซลล์ต่อกรัมของเชื้อผง							
	กรดโปรปิโอนิก 0.2% ^{2/}							
	ตู้เย็น	อุณหภูมิห้อง	30° ซ	35° ซ	ตู้เย็น	อุณหภูมิ	30° ซ	35° ซ
2	2.0×10^8	1.6×10^7	3.4×10^7	4.3×10^6	9.7×10^7	1.7×10^7	2.3×10^7	3.8×10^6
4	1.0×10^8	4.2×10^6	9.5×10^6	1.7×10^4	8.5×10^7	2.2×10^6	5.4×10^6	9.5×10^3
6	9.5×10^7	1.5×10^5	6.2×10^5	—	7.7×10^7	6.7×10^4	4.75×10^4	—
8	8.7×10^7	—	—	—	6.9×10^7	—	—	—
12	7.6×10^7	—	—	—	5.2×10^7	—	—	—
16	6.5×10^7	—	—	—	4.4×10^7	—	—	—
20	5.9×10^7	—	—	—	4.8×10^7	—	—	—
24	4.0×10^7	—	—	—	2.2×10^7	—	—	—
อัตราการปนเปื้อน	2/24	2/10	1/10	2/10	—	—	—	—

หมายเหตุ 1/ เชื้อผงที่ผลิตโดยใช้รำละเอียดปริมาณเซลล์เริ่มต้น 3.2×10^8 เซลล์ต่อกรัมของเชื้อผง

2/ เชื้อผงที่ผลิตโดยใช้รำละเอียดผสมกรดโปรปิโอนิก 0.2% มีปริมาณเซลล์เริ่มต้น 2.6×10^8 เซลล์ต่อกรัมของเชื้อผง

3/ อัตราการปนเปื้อนได้จากจำนวนถุงที่ปนเปื้อนต่อจำนวนถุงเชื้อผงทั้งหมดในแต่ละ treatment

ตารางที่ 5 ปริมาณเซลล์รอดชีวิตของเชื้อหมักที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า

อายุการเก็บ (สัปดาห์)	เซลล์รอดชีวิต	% ความชื้น
0	2.86×10^8	16.52
2	6.10×10^6	16.60
4	4.25×10^5	16.55
6	1.08×10^4	16.50
6	3.35×10^2	15.94
10	—	16.20

เอกสารอ้างอิง

- นภา โล่ห์ทอง, เพิ่มพงษ์ ศรีประเสริฐศักดิ์ และวิลาวัลย์ อัจจิมากุล. 2529. การผลิตบักเตวแลคติกในรูปเชื้อผงเพื่อใช้เสริมอาหารสุกร. ว.วิทย.กฟ. 19(15) 299-312.
- บรรจงจิตร มหิทรเทพ. 2529. การผลิตลูกแป้งน้ำส้มสายชูและอิทธิพลของสมุนไพรต่อจุลินทรีย์ในลูกแป้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- บรรจงจิตร มหิทรเทพ, รสสุคนธ์ เหล่าไพบูลย์ และนภา โล่ห์ทอง. 2530. การผลิตลูกแป้งด้วยเชื้อบริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อการหมักน้ำส้มสายชู. เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 25 วันที่ 3-6 กุมภาพันธ์ 2530 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- รสสุคนธ์ เหล่าไพบูลย์. 2528. การคัดเลือกสายพันธุ์เชื้อน้ำส้มสายชูที่เหมาะสมต่อวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- รสสุคนธ์ เหล่าไพบูลย์ และนภา โล่ห์ทอง. 2527. การคัดเลือกเชื้อน้ำส้มสายชูซึ่งเหมาะสมต่อกรรมวิธีการหมักแบบต่าง ๆ. บทความประกอบการประชุมวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 22 วันที่ 30 มกราคม - 30 กุมภาพันธ์ 2527. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สายชล ชิวปรีชา และนภา โล่ห์ทอง. 2517. การใช้น้ำมะพร้าวเป็นอาหารเลี้ยง และเก็บเชื้อบักเตวผลิตกรดแลคติกและกรดน้ำส้ม. รวมเรื่องย่อการประชุมวิชาการเกษตรศาสตร์ และชีววิทยา สาขาพืช ครั้งที่ 13, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Adams, M.R. 1985. Vinegar. In B.J.B. Wood (ed.) **Microbiology of Fermented Foods Vol 1.** Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Lotong, N. and P. Suwanarit. 1983. **Production of spore inoculum of soy sauce koji molds in plastic bags.** Appl. Environ. Microbiol. 46, 1224-6.
- Nickol, G.B. 1979. Vinegar. In H.J. Pepple and D. Perlman (eds). **Microbial Technology, Vol 2.** Academic Press, New York.

การศึกษาแมลงศัตรูของปอเทือง (*Crotalaria juncea* L.) ที่ปลูกในฤดูฝนและฤดูแล้ง

โดย ทรงยศ พิสิทธิ์กุล¹ สุวัฒน์ ชีวพงษ์ชนากร²

บทคัดย่อ

แมลงศัตรูปอเทืองที่พบในฤดูฝนและแล้ง ส่วนมากเป็นชนิดเดียวกันและปริมาณแมลงก็ใกล้เคียงกัน แมลงศัตรูสำคัญที่ทำลายปอเทืองมาก ได้แก่ มวนหน้างด Miridae เพี้ยจักจั่น วงศ์ Cicadellidae ซึ่งแมลงทั้ง 2 วงศ์นี้พบดูดกินน้ำเลี้ยงจากใบและยอดอ่อนทั้งในระยะตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลง ทำให้ใบย่นและยอดชงกการยืดตัว ต่อมาใบจะเปลี่ยนเป็นสีเงิน แท้งและหลุดร่วงเร็วกว่าปกติ ส่วนแมลงปากกัดที่สำคัญ ได้แก่ หนอนผีเสื้อลายเสือ วงศ์ Arctiidae พบกัดกินทำลายดอกและฝักอ่อนเสียหายมาก จนแทบจะเก็บผลผลิตและเมล็ดไม่ได้เลย

ระดับความเสียหายของปอเทืองอันเนื่องมาจากแมลงศัตรูพบรุนแรงในฤดูแล้งมากกว่าในฤดูฝน แม้ว่าชนิดและปริมาณแมลงศัตรูที่พบทั้ง 2 ฤดูนี้ ส่วนมากเป็นชนิดเดียวกัน และปริมาณก็ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากในฤดูแล้งตรงกับสภาพอากาศหนาว ซึ่งเป็นช่วงวันสั้นจึงทำให้ปอเทืองออกดอกเร็ว ตั้งแต่ต้นยังเล็กและความชื้นในดินก็ต่ำ พืชจึงเครียดแกรนตลอดจนพืชซึ่งเป็นอาหารของแมลงในไร่นาน้อย เพราะไม่ค่อยมีการปลูกพืชอื่นในช่วงนี้ ปริมาณแมลงศัตรูปอเทือง ซึ่งมีมากขึ้น เนื่องจากแมลงศัตรูเคลื่อนย้ายมาจากแปลงข้างเคียง

ABSTRACT

Insect pests of sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.) were found to be similar in both population size and species either in wet or dry season. The most prevalent sucking insect pest species found were Miridae and Cicadellidae, both nymphs and adults were found feeding on leaves or young shoots of the plants and made them become silvery and stunt. Only the larval stages of Arctiidae were found feeding on flowers and young pods causing almost or total loss of seed yields.

The damages due to the infestation were however more severe in the dry season. The unfavorable conditions during the dry season were suggested to predispose the plants hence made the damages more severe

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2. ผู้ช่วยวิจัย

คำนำ

ปอเทืองเป็นพืชอาหารสัตว์ทั้งในช่วงฤดูฝนและแล้ง Shelton (1976) พบว่าปอเทืองเป็นพืชเพียงชนิดเดียวในกลุ่มพืชตระกูลถั่ว 5 ชนิดที่ให้ผลผลิตดีเมื่อปลูกในแปลงนาหลังเก็บเกี่ยวข้าว ปอเทืองสามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้งในช่วง 3-4 เดือนของฤดูแล้ง ในฤดูฝนปอเทืองสามารถปลูกได้ในนา ก่อนปลูกข้าวหรือปลูกในที่ดอน เพื่อทำพืชอาหารสัตว์ชนิดแห้ง หรือสด (Aitken และ Shelton, 1979) อย่างไรก็ตามสังเกตว่าปอเทืองถูกแมลงหลายชนิดลงทำลาย ทำให้ผลผลิตของพืชอาหารสัตว์และเมล็ดลดลง ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของแมลงและความรุนแรงของการทำลายจึงมีความจำเป็นสำหรับการปลูกปอเทืองเพื่อเป็นแนวทางป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช

วิธีการทดลอง

ปลูกปอเทืองทั้ง 2 ฤดูกาล คือฤดูฝนช่วงเดือนสิงหาคมและพฤศจิกายน 2523 และฤดูแล้งช่วงเดือนพฤศจิกายน 2523 และมีนาคม 2524 ที่หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในแต่ละฤดูกาลใช้พื้นที่ปลูก 400 ตร.เมตร โดยแบ่งออกเป็น 2 แปลงๆ ละ 200 ตร.เมตร ดังนี้-

R_1 = พื้นที่ปลูกปอเทืองช่วงฤดูฝน ซึ่งติดกับแปลงถั่วพืชอาหารสัตว์อื่นๆ เช่น Siratro, Verano และ Seca

R_2 = พื้นที่ปลูกปอเทืองช่วงฤดูฝน ซึ่งติดกับแปลงข้าวฟ่าง

D_1 = พื้นที่ปลูกปอเทืองช่วงฤดูแล้ง ซึ่งติดกับแปลง R_1 และแปลงถั่วพืชอาหารสัตว์ชนิดอื่นๆ

D_2 = พื้นที่ปลูกปอเทืองช่วงฤดูแล้งซึ่งติดกับแปลงมันสำปะหลัง

ปลูกปอเทืองในแต่ละแปลงโดยโรยเมล็ดเป็นแถว ระยะระหว่างแถว 50 ซม. และถอนแยกให้เหลือประมาณ 35,200 ต้นต่อไร่

การสุ่มจับแมลงในแปลงทำได้ 2 วิธี คือ

1. ใช้สวิงสุ่มจับทุกสัปดาห์
2. ใช้กับดักกาวและตรวจนับแมลงทุก 2 สัปดาห์

นำแมลงที่จับได้มาตรวจดูชนิดและนับจำนวนตลอดฤดูกาลปลูกและตรวจดูอาการทำลาย เนื่องจากแมลงทุกสัปดาห์

1. แมลงที่พบในแปลงปอเทืองที่ปลูกในช่วงฤดูฝน (สิงหาคม-พฤศจิกายน 2523) ซึ่งเป็นแปลงที่ปลูกติดกับแปลงพืชตระกูลถั่วอาหารสัตว์อื่นๆ (R_1) พบแมลงศัตรู 8 วงศ์ ดังนี้ :- Miridae, Cicadellidae, Arctiidae (*Utethesia puchella*, *Argina cribaria*), Chrysomelidae (*Aulacophora similis*) Noctuidae (*Phytometra chalcites*), Pentatomidae (*Nezara viridula*), Thripidae และ Lycaenidae (*Catochrysops strabo*)

2. แมลงที่พบในแปลงปอเทืองที่ปลูกในช่วงฤดูฝน (สิงหาคม-พฤศจิกายน 2523) ซึ่งเป็นแปลงที่ปลูกติดกับแปลงข้าวฟ่าง (R_2) พบแมลงศัตรู 21 วงศ์ ดังนี้ :- Miridae, Arctiidae (*Utethesia puchella*, *Argina cribaria*), Chrysomelidae (*Aulacophora similis*), Noctuidae (*Phytometra chalcites*, *Helicoverpa armigera*, *Spodoptera litura*), Pentatomidae (*Nezara viridula*), Thripidae, Lycaenidae (*Catochrysops strabo*), Tortricidae (*Archip micaceana*), Corcidae (*Cletus trigonus*) Curculionidae, Acrididae, Aphididae, Elateridae (*Aelodeima* sp.), Tettigoniidae (*Elimace* sp.), Gryllidae, Delphacidae, Pyralidae, Aleyrodidae, Lymantriidae และ Cercopidae (*Poophilus* sp.)

3. แมลงที่พบในแปลงปอเทืองที่ปลูกในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน 2523 - มีนาคม 2524) ซึ่งเป็นแมลงที่ปลูกติดกับแปลง R_1 และแปลงพืชตระกูลถั่วอาหารสัตว์อื่น ๆ (D_1) พบแมลงศัตรู 21 วงศ์ดังนี้ :- Miridae, Cicadellidae, Arctiidae (*Utethesia puchella*, *Argina cribaria*), Chrysomelidae (*Monolepta signata*), Noctuidae (*Phytometra chalcytes*), Pentatomidae (*Nezara viridula*), Thripidae, Lycaenidae (*Catochrysops strabo*), Tortricidae (*Archip micaceana*), Corcidae (*Cletus trigonus*), Acrididae, Elateridae, Tettigoniidae, Gryllidae, Pyralidae, Aleyrodidae, Lymantriidae, Ricanidae, Plataspidae, และ Bruchidae

4. แมลงที่พบในแปลงปอเทืองที่ปลูกในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน 2523 - มีนาคม 2524) ซึ่งเป็นแปลงที่ปลูกติดกับแปลงมันสำปะหลัง (D_2) พบแมลงศัตรู 19 วงศ์ ดังนี้ :- Arctiidae (*Utethesia puchella*, *Argina cribaria*), Chrysomelidae, Thripidae, Pentatomidae (*Nezara viridula*), Lycaenidae (*Catochrysops strabo*), Tortricidae (*Archip micaceana*), Corcidae (*Cletus trigonus*), Aphididae, Elateridae, Tettigoniidae, Gryllidae, Aleyrodidae, Lymantriidae, Ricanidae, Plataspidae, Bruchidae, Cercopidae, Curculionidae และ Lygaeidae

ผลการทดลอง

ปอเทืองที่ปลูกในฤดูฝน (แปลง R_1 และ R_2)

ชนิดของแมลงศัตรูที่พบในแปลงปอเทืองที่ปลูกในฤดูฝน ผลปรากฏว่ามีแมลงศัตรูหลายชนิดในแปลง R_2 มากกว่า R_1 ทั้งในระยะเวลาการเจริญเติบโตทางใบและทางดอกของพืช ทั้งนี้อาจจะเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ประการ คือ

ปัจจัยที่ 1 การเจริญเติบโตของพืชในแปลง R_1 ต่ำกว่าและไม่ค่อยสม่ำเสมอ อาจเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของดินในแปลง R_1

ปัจจัยที่ 2 การเคลื่อนย้ายของแมลงอื่น ๆ จากแปลงข้าวฟ่างที่อยู่ติดกันเข้าไปในแปลง R_2 จากการสำรวจพบว่า พืชที่สมบูรณ์แข็งแรงจะดึงดูดแมลงได้มากกว่าพืชที่อ่อนแอกว่า กลุ่มแมลงศัตรูที่พบมากในแปลง R_1 และ R_2 ปรากฏว่า วงศ์ Miridae พบมากที่สุด ตามด้วยวงศ์ Cicadellidae และ Arctiidae โดยแมลงทั้ง 3 วงศ์นี้ทำความเสียหายแก่ปอเทืองมาก ในระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโต

แมลงในวงศ์ Miridae, Cicadellidae และ วงศ์ Arctiidae (*Utethesia puchella*) ทำให้ใบปอเทืองเสียหายและพืชชงกการเจริญเติบโต ส่วน *Argina cribaria* ทำลายดอกและฝักอ่อนของพืช ส่วนแมลงศัตรูที่สำคัญอื่น ๆ ที่พบระหว่างการออกฝัก ได้แก่ *Catochrysops strabo* ในวงศ์ Lycaenidae โดยตัวอ่อนของแมลงชนิดนี้ทำลายฝักอ่อนเกือบหมดทำให้เมล็ดเสียหายมาก

ปอเทืองที่ปลูกในฤดูแล้ง (แปลง D_1 และ D_2)

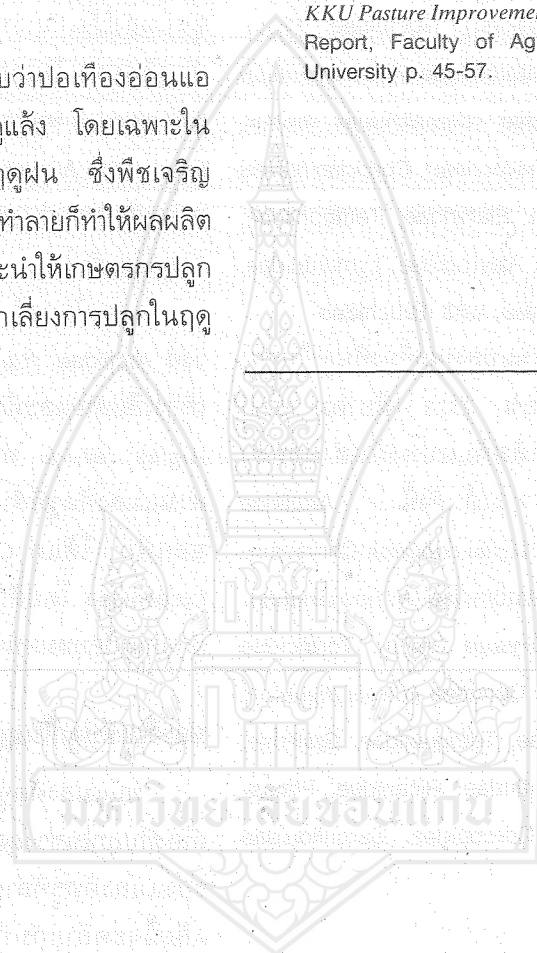
พบแมลงศัตรูจำนวน 27 วงศ์ในแปลงปอเทืองที่ปลูกในช่วงฤดูแล้ง แม้ว่าจำนวนและชนิดของแมลงศัตรูที่สำคัญของปอเทืองที่ปลูกในฤดูแล้งนี้จะคล้ายกับที่ปลูกในฤดูฝน แต่การถูกทำลายของพืชรุนแรงกว่า เนื่องจากว่าในช่วงฤดูแล้งนี้มีพืชชนิดอื่น ๆ น้อยกว่า จำนวนแมลงพบมากในแปลง D_1 ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนย้ายเข้าไปได้ง่ายจากแปลงข้างเคียง (R_1) นอกจากนี้ การเจริญเติบโตของพืชก็น้อยทั้งในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น ใบและดอก เนื่องจากมีความชื้นในดินต่ำ และความเสียหายจากแมลงดูดน้ำเลี้ยง

จากใบ (วงศ์ Miridae) ส่วนมากปอเหืองที่ปลูก ช่วงฤดูแล้งไม่สามารถเจริญเติบโตถึงระยะออกฝัก เพราะดอกเกือบทั้งหมดถูกหนอน *Utethesia pu-chella* และ *Argina cribaria* ในวงศ์ Arctiidae ลงทำลาย ปอเหืองที่ปลูกในฤดูแล้งได้ผลผลิตต่ำ เมล็ดน้อย แต่มีแมลงศัตรูลงทำลายมาก เมื่อเทียบกับตอนปลูกในฤดูฝน

จากการทดลองนี้ทราบว่ปอเหืองอ่อนแอ ต่อการทำลายของแมลงในฤดูแล้ง โดยเฉพาะในช่วงอากาศหนาวมากกว่าในฤดูฝน ซึ่งพืชเจริญเติบโตได้ดี แม้จะมีแมลงลงทำลายก็ทำให้ผลผลิตเสียหายน้อยกว่า จึงควรแนะนำให้เกษตรกรปลูก ปอเหืองในฤดูฝน และหลีกเลี่ยงการปลูกในฤดูแล้งที่มีอากาศหนาว

เอกสารอ้างอิง

- Aitken, R.L. and H.M. Shelton 1979. Strategies for growing Sunnhemp (*Crotalaria juncea*) in northeast Thailand. *KKU Pasture Improvement Project*, 1979. Annual Report, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University p. 47-50.
- Shelton, H.M. 1976. An evaluation of dry season legume forage growth following paddy rice. *KKU Pasture Improvement Project* 1976. Annual Report, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University p. 45-57.



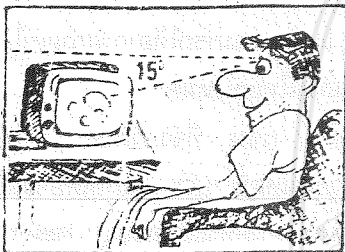
โทรทัศน์

โดย หญาปล้อ

• ความสูงที่เหมาะสม •

ความสูงที่เหมาะสมของตำแหน่งที่ตั้งทีวี

การดูทีวีและวิดีโอ ที่เราๆ ท่านๆ ทราบดีอยู่แล้ว ว่าต้องดูห่างประมาณ 2 เมตรครึ่ง เป็นอย่างน้อย ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี ที่จะเป็นอันตรายต่อนัยน์ตา จนทำให้มีผู้ทำแผ่นกรองแสงกันรังสีออกวางขายกันมากมายในท้องตลาดขณะนี้ นั่นก็ถือเป็นการป้องกันได้ทางหนึ่ง แต่ท่านทราบหรือไม่ว่าระดับความสูงของทีวีที่เราดูอยู่นั้นมีผลต่อสุขภาพด้วยเช่นกัน



จาก 2001 science Today,
December 1988)

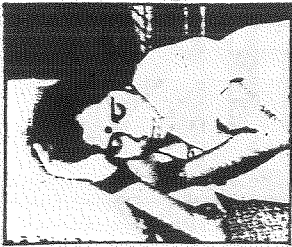
จากการศึกษาวิจัยและมีผลออกมาแล้ว พบว่าระดับความสูงของทีวี กำหนดจากมุมมองที่ผู้ดูนั่งดูทีวีอยู่ โดยต้องให้ศูนย์กลางของจอทีวี อยู่ต่ำกว่าระดับสายตา 15° (เป็นค่ามุมเฉลี่ย สำหรับผู้ใหญ่ทั่วไป... ของเด็กไม่มีรายงาน!) เหตุผลหรือครับ เป็นเรื่องของสรีระของมนุษย์ เพราะที่ระดับมุมมองนี้ กล้ามเนื้อที่คอของเราจะเกิดความเมื่อยล้าน้อยที่สุด

ครับ..... ถึงตอนนี้ ใครที่คิดจะแข่งขันนั่งดูทีวีทน รายงานนี้ถือเป็นกลเม็ดได้อย่างหนึ่ง

สำหรับผู้ที่จะตั้งบ๊อมดูหนังเรื่องยาว จากวิดีโอ หรือทีวี 4 ชั่วโมงรวด นอกจากจะมีรีโมทเปลี่ยนช่องแล้ว คงจะต้องมีรีโมทเปลี่ยนตำแหน่งทีวีด้วยเพื่อผ่อนคลายความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อที่คอไปพร้อมๆ กัน.....!

ความสูงที่เหมาะสมของหมอน

เป็นที่น่าสังเกตว่า ถ้าเปรียบเทียบกับที่นอนแล้ว ผู้คนไม่ค่อยให้ความสนใจกับเรื่องของหมอน ที่หนุนนอนมากนัก แต่ก็มีกลุ่มผู้สนใจการศึกษาเรื่องของหมอน และพบว่าหมอนที่ดีต้องไม่แข็งหรืออ่อนเกินไป ไม่สูงหรือต่ำเกินไป ก็ต้องมีระดับความสูงเหมาะสม



(จาก 2001 science Today,
May 1989)

ความสูงที่เหมาะสมของหมอนนั้น ผลการศึกษาพบว่ามีความ
ประมาณ 7-8 เซนติเมตร (เป็นค่าเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่อีกเช่นกัน...)
เหตุผลก็คือ ที่ระดับความสูงนี้ จะทำให้กล้ามเนื้อคออยู่ในลักษณะ
ผ่อนคลายมากที่สุด

อย่างไรก็ตาม จะมีใครกล้ารับประกันได้ว่า ถ้านอนหนุน
หมอนที่มีระดับความสูงพอเหมาะพอดีนี้แล้ว ตื่นขึ้นมาตอนเช้าคอ
จะไม่เคล็ด.....?

ความสูงที่เหมาะสมของการวัดอุณหภูมิอากาศ

ครับ อาจเป็นปัญหาที่ตามอยู่ในใจของผู้อ่านมานานแล้ว ว่าอุณหภูมิอากาศที่รายงานโดยกรม
อุตุนิยมวิทยานั้น เขาวัดกันที่ไหน มีหลักเกณฑ์อย่างไร รายงานออกมาแล้ว ไม่เห็นตรงกับอุณหภูมิใน
ห้องเราเลย !

การวัดอุณหภูมิอากาศ มีหลักที่สำคัญ คือ อุณหภูมิที่วัดได้ต้องเป็นอุณหภูมิของอากาศส่วนใหญ่
อย่างแท้จริง จึงได้มีการกำหนดโดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) ว่า ตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องมือวัด
ต้องอยู่ไกลจากสิ่งก่อสร้าง อนุบาบริเวณพื้นที่ตั้งเครื่องมือ ต้องเป็นธรรมชาติของบริเวณนั้น (ไม่เท
คอนกรีต) มีตู้สกรีนที่สามารถกันการแผ่รังสีโดยตรงและโดยอ้อม แต่ต้องสามารถให้อากาศถ่ายเทได้
อย่างสะดวก อุณหภูมิที่วัดได้ จึงจะถือเป็นตัวแทนของอุณหภูมิอากาศส่วนใหญ่ทั้งหมด

ปัญหาที่ตามมาอีกว่า ที่ระดับความสูงต่างกันอุณหภูมิไม่เท่ากัน (เช่น ที่จังหวัดเลย บางปี
อุณหภูมียอดหุบเขาเฉียดๆ ศูนย์องศา แต่รายงานบอกว่า 9 องศา) ด้วยสาเหตุนี้ ประกอบกับเพื่อจะได้
เป็นค่าที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ทั่วโลก WMO จึงกำหนดให้วัดอุณหภูมิอากาศที่ระดับความสูงประมาณ
1.25-2.00 เมตร เหตุผลนั้น นัยว่ามาจากความรู้สึกสัมผัสของมนุษย์ต่อความร้อนหนาวของอากาศ
กล่าวคือ ที่ระดับความสูงดังกล่าวนั้น จะอยู่ระดับบริเวณหน้าอกของคนทั่วไป ซึ่งจะเป็นบริเวณที่
มีพื้นที่ของร่างกายสัมผัสกับอากาศมากที่สุด น่าจะบอกความรู้สึกร้อนหนาวได้มากที่สุดครับ สำหรับ
คนที่มีพละนาถัยสมบูรณ์ จนหาเอาไม่พบ คงจะมีความรู้สึกสัมผัสที่แตกต่างออกไป

ดรชนีเรื่องในวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 17 (2532)

เรื่อง	ฉบับที่ (หน้า)
เกม	
การดูดสมการเกมแบบไม่มีลำดับลมคมใน	4(192-196)
ไปทำวิจัยเรื่องแคลโมดูลินที่เมืองมะกัน	2(76-81)
ผลกระทบของอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมที่มีต่อคุณภาพของน้ำในลำน้ำพอง	1(50-57), 2(110-116)
โรคพิษสุรากับปัจจัยทางพันธุกรรม	4(197-199)
คณิตศาสตร์และสถิติ	
การแก้สมการเชิงเส้นสองตัวแปรในจำนวนเต็มเกาส์	1(31-42)
การแก้สมการ $x^2 + (1+i)y^2 = z^2$ ในจำนวนเต็มเกาส์	4(221-229)
การประมาณค่าความแปรปรวนของการเลือกตัวอย่างแบบมีระบบ	2(82-89)
การประเมินผลโครงการสร้างงานในชนบท พ.ศ.2531 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1(43-49)
ชีววิทยา	
กายวิภาคระบบสืบพันธุ์ของเข้	2(96-102)
การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารระหว่างออสซิลลาทอเรียและสไปรูลีนา	2(90-95)
การผลิตกล้าเขื่อน้ำส้มสายชูในรูปเชื้อผง	4(230-236)
การวิเคราะห์ซีโรวของ Salmonella ในจิ้งจกบ้านพักพนักงานสวนดุสิต	4(214-220)
การศึกษาต่อมพิษในผิวหนังและพฤติกรรมของอนุเรน	3(157-163)
คุณสมบัติของพืชในการทนต่อดินเค็ม	2(69-72)
โครโมโซมและการไอบีของเข้พันธุ์ <i>Leiolepis belliana rubritaeniata</i> (Mertens)	3(152-156)
จระเข้	3(136-142)
พรรณไม้หน้า “บัวหลวง”	3(147-151)
พลังเจียบของสับปะรด	2(73-75)

เรื่อง

ฉบับที่ (หน้า)

พืชและสัตว์ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ตอนที่ 1 แพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์

3(164-175)

พืชสมุนไพรที่เป็นพืชต่อดับ

1(12-15)

ละอองเรณู

1(19-25)

ฟิสิกส์

การเตรียมสารตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงกลุ่ม Y-Ba-Cu-O

1(26-30)

การรวมตัวแบบเย็น

4(200-208)

การศึกษาโครงสร้างผลึกของสารประกอบฮาโลไฟไรท์กลุ่ม I-III-VI₂

โดยใช้ทฤษฎีพันธะและแถบพลังงาน

2(103-109)

ประโยชน์ของไฟฟ้าสถิต

3(129-135)

สุริยุปราคาและจันทรุปราคา ปี 2533

4(187-191)

เกษตรศาสตร์

การปรับปรุงพันธุ์ถั่วลิสงเพื่อต้านทานโรคราสนิม

4(209-213)

การศึกษาแมลงศัตรูของปอเทืองที่ปลูกในฤดูฝนและฤดูแล้ง

4(237-240)

อื่น ๆ

ประกันภัยช่วยท่านได้อย่างไร

1(7-11)

ล้าหน้า....ท้าทาย....สมาคมอวกาศนานาชาติ

1(16-18)

หากท่านไม่อยากจะผิดหวังกับบริษัทประกันภัย

3(143-146)

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ดรชนีผู้เขียนในวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 17 (2532)

ผู้เขียน	ฉบับที่ (หน้า)	ผู้เขียน	ฉบับที่ (หน้า)
กิม ศักดิ์ทัศน์า	3 (129-135)	รังสรรค์ เนียมสนิทและคณะ	1(43-49)
ชศยา 1(58-59), 2(117-118), 3(176-178)		รัชณี นววิราช	1(19-25), 3(147-151)
ขาว เหมือนวงศ์	4(187-191)	โรจน์ชัย ศัตตราหา	2(96-102), 3(152-156)
ฉวีวรรณ นาระกล	2(67)	วิโรจน์ นุตพันธุ์	3(136-142)
เฉลิม เรื่องวิริยะชัย	1 (16-18)	สนั่น จอกลอย	4(209-213)
ชุดิมา คู่คุ้มทรร และคณะ	1(50-57), 2(110-116)	สินธพ โคมยา	1(12-15)
ดร.เพี้ยน	2(68), 3(128)	สุวคนธ์ พลกนิษฐ์ และพาณี วรรณนิธิกุล	
ตริตาภรณ์ ชูศรี	2(76-81)		3(157-163)
ทรงยศ พิษฐ์กุล และคณะ	4(237-240)	สุนนทิพย์ บุญนาค	2(90-95)
เที่ยง ภูมิสะอาด	1(31-42), 4(221-229)	หญ้าปล้อง	4(241-242)
น.ส.TINA	1(ปกหลังด้านใน), 2(119), 3(179), 4(246)	อนิทัย ตรวณิช	1(7-11), 2(82-89), 3(143-146)
บัญญัติ สุขศรีงาม	4(214-220)	เอกภพ	4(183-186)
ประนอม จันทโรทัย และคณะ	3(164-175)		
ประสงค์ คุณานวัฒน์ชัยเดช	1(5-6), 3(126-127)		
ประสิทธิ์ สวัสดิ์ชิตัง และคณะ	1(26-30)		
ประเสริฐ แข่งขัน	2(103-109)		
ปริญญา ธีรมงคล	4(192-196)		
พัชรีย์ แสนจันทร์	2(69-72)		
พาณี วรรณนิธิกุล	2(73-75)		
พิษณุ วิเชียรสรรค์	4(197-199)		
รงค์ รุจกรกานต์	4(200-208)		
รสสุคนธ์ เหล่าไพบูลย์	4(230-236)		

คอลัมน์นี้มีรางวัล



.....มารู้จักเห็ดกันเถอะ.....

คุณรู้จักเห็ดดีพอหรือยัง ลองตอบคำถามต่อไปนี้ซิคะ

1. มีดอกเห็ดชนิดหนึ่งมีก้านออกมาทางด้านล่างของดอก ท่านคิดว่าก้านที่เกิดขึ้นนั้นคืออะไร?
2. ท่านทราบหรือไม่ว่า เห็ดรสเชียว เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากจุลินทรีย์พวกใด?
3. จงบอกลักษณะที่สำคัญที่เห็นได้ชัดเจนของเห็ดที่มีพิษ (2 ลักษณะขึ้นไป)
4. ท่านทราบหรือไม่ว่า “เห็ดหมื่นปี” มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอะไร?

ตอบได้ไข่มุมคะ รับส่งคำตอบภายในเดือนธันวาคม 2532 มายัง

น.ส. TINA
วารสารวิทยาศาสตร์ มข.
ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

.....น.ส. TINA.....

เฉลย.....

หยุดคิดสักนิดกับคณิต.....

(ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 เมษายน- มิถุนายน 2532)

1. ในการเข้าแถวซื้อตั๋วเข้าชมภาพยนตร์แห่งหนึ่ง ฉันเป็นคนที่ 6 จากทั้งหัวแถวและปลายแถว ขณะนั้นมีคนทั้งหมด 11 คนที่กำลังเข้าแถว
2. ผมอายุมากกว่าภรรยา 5 ปี ซึ่งภรรยาผมมีอายุเป็นห้าเท่าของลูกชาย ถ้าลูกชายผมมีอายุ 4 ปี เมื่อสามปีที่แล้ว ปัจจุบันผมมีอายุ 40 ปี
3. ตัวเลขที่หายไปจากชุดอนุกรมของตัวเลข 9 7 8 6 7 5 ----- ? คือ 6

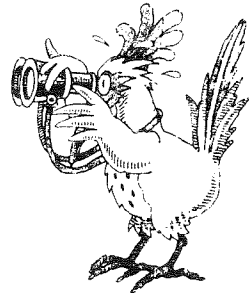
คนเก่งของเราประจำฉบับนี้คือ คุณราตรี ลิขิตอำนาจ จ.ขอนแก่น รางวัลได้จัดส่งไปให้แล้วนะค่ะ โอกาสหน้าหวังว่าคงร่วมสนุกกับเราใหม่

บ้าย บาย.....น.ส. TINA.....



ข้อแนะนำ

ในการเขียนบทความลงวารสาร “ วิทยาศาสตร์ มข. ”



ประเภทของเรื่องที่จะตีพิมพ์

1. รายงานผลวิจัยและค้นคว้าหรือการสำรวจที่ยังไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสืออื่นมาก่อน
2. บทความปริทัศน์ ได้แก่งานเขียนที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากเอกสารหรือหนังสือต่าง ๆ เพื่อเผยแพร่และฟื้นฟูงานด้านวิชาการระดับต่าง ๆ
3. บทความแสดงข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในด้านวิชาการ เรื่องแปล ข่าววิชาการย่อความจากงานวิจัยค้นคว้าหรือหนังสือใหม่ที่น่าสนใจ

รูปแบบของการเขียนและการเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ **ต้องเป็นตัวพิมพ์ดีดปกติ** มีช่วงห่างระยะบรรทัดตามมาตรฐาน พิมพ์ลงในกระดาษขาว A4 (โรเนียวสั้น) โดยใช้กระดาษหน้าเดียว **ความยาวไม่เกิน 10 หน้า ส่งต้นฉบับ 2 ชุด**
2. ต้นฉบับ จะถูกพิจารณาโดยกองบรรณาธิการ และจะตอบรับเท่านั้นโดยไม่ส่งคืน ผู้เขียนควรจะทำสำเนาเก็บไว้เป็นหลักฐานของตัวเอง 1 ฉบับ
3. ต้นฉบับ จะต้องมีความถูกต้องทั้งในด้านเนื้อหา และการใช้ภาษา รวมทั้งมีความสมบูรณ์ในรูปแบบพร้อมที่จะนำลงตีพิมพ์ได้
4. ชื่อเรื่อง ให้ใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ **ไม่ยาวเกินไป** และหลีกเลี่ยงการใช้คำย่อโดยไม่จำเป็น
5. ชื่อผู้เขียน เขียนชื่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษพร้อมทั้งบอกสถานที่ทำงานให้ชัดเจน
6. เนื้อเรื่อง ใช้ได้ทั้งภาษาไทยล้วนหรือภาษาอังกฤษล้วน ถ้าใช้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษที่ใช้ปนกับภาษาไทยนั้นให้พยายามแปลเป็นไทยเท่าที่จะทำได้และให้เขียนคำเดิมกำกับในวงเล็บ การทับศัพท์ภาษาอังกฤษ ตลอดทั้งการเขียนตัวสะกดการันต์ในภาษาไทยให้ใช้ตามแบบราชบัณฑิตยสถาน
7. ในกรณีของบทความวิจัย **ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** และแบ่งเนื้อหาของบทความเป็นหน้าวิธีดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์ บทสรุปและวิจารณ์
8. เชิงอรรถ (footnote) ใช้เฉพาะที่จำเป็นเพื่อขยายหรือให้รายละเอียดเพิ่มเติมแก่ใจความเฉพาะตอนในบทความข้อความที่จำเป็นจะต้องมีเชิงอรรถให้ใช้เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับท้าย
9. ตารางและภาพประกอบ คำบรรยายประกอบตารางหรือภาพประกอบควรจะสั้นและชัดเจน ถ้าจะเป็นภาพถ่ายให้ใช้ภาพขาว-ดำ ขนาดโปสต์การ์ด ภาพเขียนลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกดำ ภาพที่เขียนต้องชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสม
10. เอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม เขียนตามแบบสากลนิยม
ส่งต้นฉบับมาที่

อภิชนนทานการสำหรับผู้เขียน

1. เรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ผู้เขียนจะได้รับวารสารฉบับนั้น 2 เล่ม และสำเนาพิมพ์อีก 15 ชุด

: กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

