ISSN 0125-2364

วารสาร

วิทยาศาสตร์มข.

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 25 ฉบับที่ 4 ต.ค. - ธ.ค. 40







- เปิดโลกอินเตอร์เน็ต
- Antisense therapy
- คุณค่าทางอาหารของหอยเต๋อ
- คุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน
- ปฏิกิริยาออกซิเดชันและการผุกร่อน

15.-

ISSN 0125-2364

วารสาร วิทยาศาสตร์ มข.
THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

เจ้าของ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงาน
คณะวิทยาศาสตร์ ตึก 6
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิทยาการใน สาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานด้านการวิจัย และการศึกษา ค้นคว้าของอาจารย์และนักศึกษา
3. เพื่อเป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนความรู้และแนวความคิดทางวิชาการระหว่างอาจารย์ นักศึกษาและผู้สนใจ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน

กำหนดออก ปีละ 4 ฉบับ

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

ค่าบำรุง ปีละ 55 บาท ขายปลีก เล่มละ 15 บาท

การบอกรับเป็นสมาชิก

แจ้งความจำนงเป็นจดหมาย หรือกรอกใบสมัครเป็นสมาชิก พร้อมส่งค่าบำรุงเป็นธนาณัติ หรือเช็คไปรษณีย์ในนามของนางบุญคุ้ม เหลือล้น ฝ่ายจัดการ สั่งจ่าย ป.ท.มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

ที่ปรึกษา คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ

บรรณาธิการ เอกพรรณ สวัสดิ์ชิตัง

บรรณาธิการผู้ช่วย เยาวภา บริพันธุ์

กองบรรณาธิการ
รัชนี ฉวีราช
เดือนใจ ดุลย์จินดาชบาพร
พลสัณห์ มหาขันธ์
อาคม โสวณา
สยาม ชูถิ่น
วิชุดา ไชยศิวามงคล
พุธษดี ศิริแสงตระกูล
สุพร นุชดำรงค์
ประภัทร วิเศษมงคลชัย

ฝ่ายศิลป์และภาพ กิเลน ดิณนรเศรษฐ์
ทรงเวทย์ เบ้าชัย

ฝ่ายเหรัญญิก บุญคุ้ม เหลือล้น

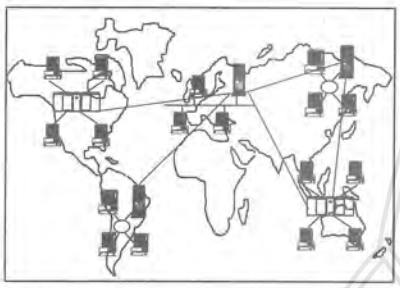
ฝ่ายจัดการและเลขานุการ
ทัศนีย์ จิตตะกวี
สมศักดิ์ อุ่นจันที
สนธนี วรชินา

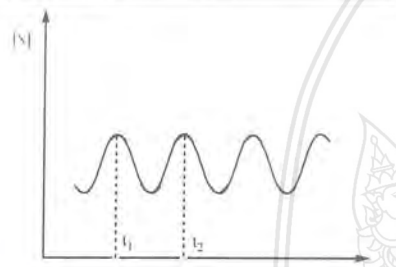
บทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ในวารสารนี้เป็นของผู้เขียน ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทัศนะของกองบรรณาธิการ

สารบัญ

ISSN 0125 - 2364

วารสาร
วิทยาศาสตร์ มข.
THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY









ปีที่ 25 ฉบับที่ 4

บรรณาธิการแถลง

ข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการ 247

บทความ

- *เปิดโลกอินเตอร์เน็ต*
  งามนิจ อาจอินทร์ 251
- *กลไกการเกิดออสซิสเลชันแบบ BZ เป็นอย่างไร "คำถามที่ยังต้องรอคำตอบ"*
  อัจฉรา ศิริมังคะลา 261
- ***Antisense therapy***
  ศักดา ดาดวง 270
- ***Apoptosis* โปรแกรมการตายของเซลล์**
  สมปอง ธรรมศิริรักษ์ 274

งานวิจัย

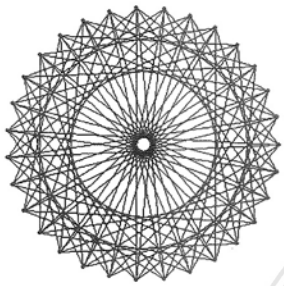
- *คุณค่าทางอาหารของหอยเดื่อ* ***Hemiplecta distincta (Pfeiffer)***
  ไพรัช ทาบสีแพรและคณะ 281
- *คุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน*
  น้อย ทองสกุลพานิชย์ และคณะ 288
- *ผลของการใช้สารสกัดจากรากหญ้าแฝกที่มีต่อด้วงถั่ว*
  อุดมพร แพ่งนคร 298
- *สัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชสกุล* **Utricularia** l.
  รัชนี ฉวีราช และคณะ 303
- *การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในตัวอย่างของเหลวรูเมน*
  ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย 314

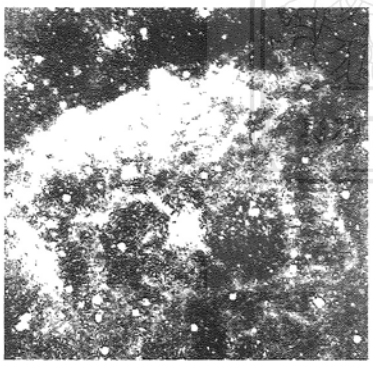
สารบัญ (ต่อ)

ISSN 0125 - 2364

วารสาร
วิทยาศาสตร์ มข.
THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 25 ฉบับที่ 4







คอลัมน์ประจำ

- เกร็ดคอมพิวเตอร์
  Mathematica ระบบสำหรับคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยคอมพิวเตอร์ (ตอน 5)
  นายถังเบียร์ 320
- เกร็ดเล็กเกร็ดน้อย "เห็ดนำโชค, วุ้นสวรรค์ : เห็ดที่ไม่ใช่เห็ด วุ้นที่ไม่ใช่วุ้น"
  อ๊อดน้อย ลูกบางปลาสร้อย 325
- เสริมทักษะวิทยาศาสตร์
  ปฏิกริยาออกซิเดชัน และการผุกร่อน (Oxidation and Corrosion)
  ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย 329
- คอลัมน์นี้มีรางวัล
  ศรีปราชญ์ 334

เบ็ดเตล็ด

- ผลการตัดสินการประกวดและการแข่งขันกิจกรรมต่างๆ งานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ ประจำปี 2540 18-20 สิงหาคม 2540 335
- ดัชนีนุกรมวารสารวิทยาศาสตร์ มข. (เรียงตามชื่อผู้เขียน).. 341
- ดัชนีนุกรมวารสารวิทยาศาสตร์ มข. (เรียงตามชื่อเรื่อง)..... 345
- ข้อแนะนำในการเขียนบทความลงวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
- การเขียนเอกสารอ้างอิงในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
- ใบสมัครเป็นสมาชิกวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
- ใบสั่งลงโฆษณาในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

ISSN 0125-2208

วิทยาศาสตร์ มข.

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

Publisher

Faculty of Science, Khon Kaen University, Thailand.

Office

Faculty of Science, 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

55 baht per annum. Single issue price 15 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	Dean, Faculty of Science Associate Dean for Academic affairs	
Editor	Ekaphan	Sawadcitang
Associate Editor	Javapa	Boripun
Editorial Board	Rachanee	Chaveerach
	Toenchai	Dulchindashabaporn
	Polson	Mahakhan
	Akom	Sowana
	Prapat	Wisetmongkolchai
	Siam	Choothin
	Vichuda	Chaiyasivamongkol
	Pusadee	Seresangtakul
	Suporn	Nuchadamrong
Artist	Kilen	Tinnoraset
	Songwate	Bousechai
Treasurer	Boonkoom	Lualon
Managing Staff and Secretary	Tassanee	Jittakhawee
	Somsak	Unjantee
	Sontani	Worashina

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.

แก้คำผิด

ว.วิทย มข. 25(3) : 201-207 (2540)

อิทธิพลของ timentin, cefotaxime และ carbenicillin ต่ออัตราการเจริญของแคลลัสถั่วพุ่ม และความสามารถในการกำจัด *Agrobacterium tumefaciens* EHA 105

Effcets of Timentin, Cefotaxime and Carbenicillin on Growth Rate of Cowpea Calluses and the Efficiency in Eliminating *Agrobacterium tumefuciens* EHA 105

คำที่ขีดเส้นใต้ Effcets แก้เป็น Effects

คำที่ขีดเส้นใต้ tumefuciens แก้เป็น tumefaciens

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บรรณาธิการแถลง

สวัสดีปีใหม่ พ.ศ. 2541 ครับท่านผู้อ่านที่รักทุกท่าน

ก่อนอื่นขออวยพรปีใหม่ท่านผู้อ่านทุกท่านโดยขอกราบอาราธนาคุณพระศรีรัตนตรัย จงดลบันดาลให้ทุกท่านมีจิตใจที่เข้มแข็ง เบิกบาน ผ่องแผ้ว มีสุขภาพแข็งแรง เพื่อที่จะได้ปฏิบัติหน้าที่การงานของท่านให้ลุล่วงและประสบความสำเร็จได้ตามที่มุ่งหวังไว้ทุกประการ

โลกมิได้หยุดนิ่งฉันใด วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีก็พัฒนาไม่มีวันหยุดยั้งฉันนั้น ในรอบปีที่ผ่านมามีเรื่องราวข่าวคราววิทยาศาสตร์ที่น่าสนใจมากมาย ตั้งแต่ในโลกของเราไปจนถึงนอกโลกไกลโพ้น ภาพปกหน้า-หลังของฉบับจึงได้รวบรวมภาพข่าวที่น่าสนใจทางวิทยาศาสตร์ไว้

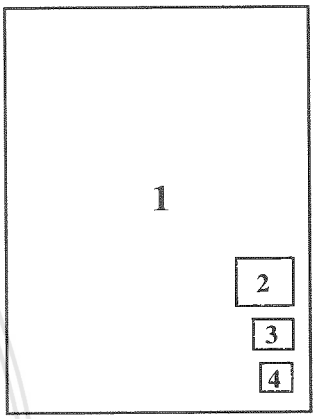
ภาษาไทยของเรามีสำนวนที่กล่าวไว้ว่า "ดาบสองคม" ซึ่งหมายถึงมีทั้งคุณและโทษ วิทยาศาสตร์ก็เช่นกันหากถูกนำไปใช้ในทางที่ไม่ดีก็ย่อมก่อให้เกิดโทษภัยอย่างมหันต์ เช่นการสร้างระเบิดปรมาณู หรืออาวุธสงคราม อุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ เพื่อประหัตประหารกัน หรือแม้แต่ข่าวที่ได้ยินเกี่ยวกับการพยายามจะโคลนนิ่งมนุษย์ สิ่งเหล่านี้ถูกต้องเพียงใด ขัดต่อจริยธรรมคุณธรรมแค่ไหน ผลที่ตามมาจะน่าสะพรึงกลัวและกระทบต่อมนุษย์ที่เกิดโดยวิธีตามธรรมชาติอย่างไร นักวิทยาศาตร์จะต้องคำนึงถึงเรื่องเหล่านี้ และควรมีจรรยาบรรณในวิชาชีพของตน สร้างสรรค์แต่สิ่งที่ดีงามเพื่อโลกจะได้น่าอยู่

สวัสดีครับ

บรรณาธิการ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คำบรรยายภาพปกหน้า



คำบรรยายภาพปกหน้า

1. **พิสตอล สตาร์** หรือดาวปืนพก เป็นภาพถ่ายด้วยกล้องฮับเลิล สเปซ เชื่อว่าเป็นดาวที่สุกสว่างที่สุดในจักรวาล มีพลังงานมากกว่าดวงอาทิตย์ถึง 10 ล้านเท่า อยู่ห่างจากโลกราว 25,000 ล้านปีแสง มีกำเนิดเมื่อ 1-3 ล้านปีก่อน ตั้งอยู่กลางทางช้างเผือก มีรัศมี 93-139.5 ล้านไมล์

2. **ดาวหาง เฮล-บอพพ์** เหนือสถาปัตยกรรมสโตนเฮนจ์ ประเทศอังกฤษ ค้นพบโดย เฮล วีเวอร์ นักดาราศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยจอห์นส์ฮอปกินส์และทอม บอพพ์ เป็นดาวหางที่ใหญ่ที่สุดและสว่างที่สุดที่โคจรเข้ามาใกล้โลกนับแต่ปี พ.ศ. 2354 มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 กิโลเมตร และมีหางยาวหลายล้านกิโลเมตร

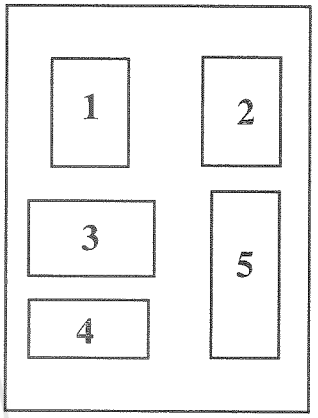
3. **โซเจอร์เนอร์** รถหุ่นยนต์วิ่งลงจากยานพาธไฟน์เดอร์ เพื่อสำรวจหินบนดาวอังคาร โดยส่งคลื่นวิทยุจากโลกบังคับการทำงาน (4 ก.ค. 2540)

4. **คลื่นพลังงานจากเปลวของดวงอาทิตย์**

ดาวเทียม SOHO ในโครงการความร่วมมือขององค์การนาซาและองค์กรอวกาศยุโรป ได้ตรวจพบและบันทึกภาพพื้นผิวของดวงอาทิตย์ที่มีการระเบิดปะทุเป็นเปลวจ้า ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า จำนวนมากพุ่งออกมา เรียกลมสุริยะซึ่งหากพุ่งเข้าสู่โลกก็จะส่งผลกระทบต่อการสื่อสารบนโลก เนื่องจากพายุแม่เหล็ก (เมษายน 2540)

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คำบรรยายภาพปกหลัง



คำบรรยายภาพปกหลัง

1. โคลนนิ่ง

ในภาพดอลลี่ เป็นชื่อลูกแกะตัวแรกที่เกิดจากการโคลนนิ่ง เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ โดยนักวิทยาศาสตร์แห่งสถาบันโรสลินในสกอตแลนด์ ในการโคลนนิ่งเขานำเอาเซลล์เต้านมของแม่ 1 เซลล์ไปใส่ในไข่ซึ่งเอานิวเคลียสออก ยีนส์หรือหน่วยพันธุกรรมที่อยู่ในเซลล์ จึงเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโตของเซลล์ส่วนอื่นๆ ทำให้ดอลลี่มีลักษณะเหมือนแม่ของมันทุกประการ

2. ลิง ที่เกิดจากการโคลนนิ่งที่สถาบันวิจัยในสหรัฐ

3. พอลลี ลูกแกะตัวที่สองที่เกิดจากการโคลนนิ่งโดยใช้ยีนส์มนุษย์

4. ปรากฏการณ์เอลนิโน

เป็นการไหลย้อนกลับของผิวน้ำทะเลที่อุ่นในช่วงเวลาหนึ่งจากบริเวณศูนย์สูตรทางมหาสมุทรแปซิฟิกไปแทนที่กระแสน้ำเย็นที่พัดอยู่เดิมตามบริเวณเส้นศูนย์สูตรทางมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออกและบริเวณชายฝั่งตะวันออก-เฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้ ส่งผลให้อากาศในซีกโลกใต้แปรปรวน บริเวณที่ฝนเคยตกก็จะแห้งแล้ง หรือเกิดฝนตกหนักบริเวณที่แห้งแล้งอยู่เดิม

5. ภาพพระอาทิตย์ตก บนดาวอังคาร เมื่อ 31 ก.ค. 2540

บรรณานุกรม

1. หนังสือพิมพ์ข่าวสด ฉบับวันพุธที่ 31 ธันวาคม 2540 คอลัมน์เจ๊าะแจ๊ะวิทยาศาสตร์ หน้า 23.

ว.วิทย มข. 25(4) : 247-250 (2540)

กองบรรณาธิการ

ข่าววิทยาศาสตร์เทคโนโลยี

การศึกษาอนุภาค Higgs boson

Higgs factories คือ เครื่องเร่งอนุภาคสร้างขึ้นเพื่อการศึกษาอนุภาคมูลฐานที่ชื่อว่า Higgs boson ที่ให้ผลแม่นยำสูง โดยอาศัยการชนกันของอนุภาค leptons (อิเล็กตรอนหรือมิวออน) แทนการใช้โปรตอน ทั้งนี้เพราะว่าลำของอนุภาคสามารถส่งผ่านพลังงานในอนุภาคคล้ายจุดได้ ขณะที่โปรตอนมีมวลมากกว่าและประกอบด้วย quarks และ gluons นักฟิสิกส์มีความกระหายใคร่รู้เกี่ยวกับอนุภาค Higgs ให้มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในแบบจำลองมาตรฐานจะบอกว่า อนุภาค Higgs เป็นอนุภาคที่ให้มวลแก่อนุภาคมูลฐานอื่น ๆ

ในอีกแง่หนึ่ง Higgs factory ก็คือเครื่องเร่งอนุภาคเพื่อทำให้อนุภาคชนกันในแนวเส้นตรง (Next Linear Collider, NLC) ซึ่งอิเล็กตรอนจะถูกเร่งในแนวตรงที่มี positrons กำลังเคลื่อนที่เข้าหาในทิศตรงข้ามกัน เส้นทางตรงจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานอันเกิดจากการแผ่รังสีซินโครตรอน อันเนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นทางโค้งของอิเล็กตรอนในเครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม ในการชนกันนี้เพื่อให้ได้พลังงานในระดับ TeV (10^{15} eV) เครื่องเร่งในแนวตรง (NLC) จะต้องมีความยาวถึง 10 กิโลเมตร

Physics News Update,
No. 347, November 19, 1997

อิเล็กตรอนจะสามารถประพฤติตัวคล้ายกับดาวเคราะห์ได้หรือไม่

สืบเนื่องจากวิชากลศาสตร์ควอนตัม อิเล็กตรอนในอะตอมจะถูกมองว่ามีตำแหน่งที่เป็นไปได้กระจัดกระจายอยู่รอบนิวเคลียสในลักษณะที่เป็นกลุ่มหมอกเมฆ แต่เมื่อไม่นานมานี้ นักฟิสิกส์ได้ลองคิดว่าจะมีความเป็นไปได้หรือไม่ที่จะสร้างสถานะที่เรียกว่า สถานะ Trojan โดยที่สถานะนี้อิเล็กตรอนจะครอบครองพื้นที่เล็กๆ แล้วโคจรรอบนิวเคลียสคล้ายกับดาวเคราะห์ ชื่อของสถานะนี้ก็ได้มาจากชื่อของกลุ่มดาวเคราะห์น้อย Trojan ที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ ในวงโคจรเดียวกันกับดาวพฤหัสบดี โดยบางกลุ่มอยู่ด้านหน้าและบางกลุ่มอยู่ด้านหลัง

แนวความคิดในการสร้างสถานะ Trojan มีดังนี้ขั้นแรกจะใช้แสงเลเซอร์กระตุ้นให้อิเล็กตรอนเข้าสู่สถานะที่เรียกว่า circular Rydberg โดยที่สถานะนี้อิเล็กตรอนจะถูกพบในตำแหน่งที่เป็นไปได้เป็นรูปโดนัทบางๆ จากนั้นจะใช้คลื่นไมโครเวฟกระตุ้นทำให้บริเวณนี้มีลักษณะเป็นข้อๆ คล้ายไส้กรอกและหมุนไปรอบนิวเคลียส

การสร้างสถานะ Trojan มีอุปสรรคขัดขวางอยู่ 2 ประการคือ ความเป็นไปได้ที่อิเล็กตรอนจะถูกไอออไนซ์โดยสนามของคลื่นไมโครเวฟและการตกกลับสู่สถานะพลังงานต่ำแล้วปลดปล่อยโฟตอนออกมา อย่างไรก็ตามนักวิจัยในประเทศโปแลนด์ ได้ทำการคำนวณและพบว่าการปลดปล่อยโฟตอน มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยกว่าการถูกไอออไนซ์ถึงล้านเท่า ทำให้มีโอกาสที่จะทำการทดลองเพื่อค้นหา Trojan electron

Physical Review A, November, 1997

อุณหภูมิของบรรยากาศชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์สูงกว่าที่ผิวได้อย่างไร

เป็นที่ทราบกันดีว่าบรรยากาศชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์ ซึ่งอยู่เหนือขึ้นไปจากผิวของดวงอาทิตย์ มีอุณหภูมิสูงในระดับล้านเคลวินในขณะที่ผิวมีอุณหภูมิเพียง 6000 เคลวิน จึงมีคำถามว่าบรรยากาศชั้นโคโรนาดึงเอาพลังงานจากดวงอาทิตย์ได้อย่างไร จากข้อมูลที่วัดได้ใหม่โดยดาวเทียม SOHO เปิดเผยว่าจากไดโพลแม่เหล็ก ที่มีจำนวนมาก ที่ชั้นผิวของดวงอาทิตย์ นักวิจัยของ SOHO คาดว่า สนามแม่เหล็กที่ม้วนตัวเป็นวงปิดมีความหนาแน่นมากจนแยกปริออกทำให้เกิดการลัดวงจร ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าพลังงานมหาศาลไหลผ่านได้ และเป็นตัวส่งพลังงานไปยังบรรยากาศชั้นโคโรนาที่อยู่เบื้องบน

Science News, November 8, 1997

รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ปี 1997

รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปีนี้ได้มอบให้แก่ ศาสตราจารย์ Steven Chu (มหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด, สหรัฐอเมริกา) ศาสตราจารย์ Claude Cohen-Tannoudji (Collige de France and Ecole Normale Superieure, ฝรั่งเศส) และดอกเตอร์ William D. Phillips (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, แมรีแลนด์, สหรัฐอเมริกา) สำหรับการพัฒนาวิธีการจับและทำอะตอมให้เย็นลง โดยแสงเลเซอร์

ปกติอะตอมและโมเลกุลของก๊าซ ในอากาศจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 4,000 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในทิศทางต่าง ๆ กันแบบสุ่ม ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ยากแก่การศึกษาอะตอมและโมเลกุลเหล่านี้ เพราะไม่อยู่นิ่งและเคลื่อนที่หายไปอย่างรวดเร็วมากในบริเวณที่เราสังเกต ถ้าหากลดอุณหภูมิให้ต่ำลงเราสามารถลดอัตราเร็วของมันได้ แต่ปัญหามีอยู่ว่าเมื่อก๊าซถูกทำให้เย็นลง มันจะควบแน่นเป็นของเหลวเสียก่อน แล้วในที่สุดก็แข็งตัว นอกจากนี้ในสภาวะที่เป็นของเหลวหรือของแข็งการศึกษายิ่งยากขึ้นไปอีกด้วยความจริงที่ว่า อะตอมหรือโมเลกุลเดี่ยว ๆ เหล่านี้อยู่ใกล้ชิดกันมากเกินไป อย่างไรก็ตามถ้าขบวนการลดอุณหภูมินี้ทำในสูญญากาศ เราสามารถรักษาความหนาแน่นให้ต่ำเพียงพอ เพื่อเลี่ยงไม่ให้ก๊าซควบแน่นและกลายเป็นของแข็ง แต่ว่าแม้จะลดอุณหภูมิลงไปถึง -270°C อัตราเร็วก็ยังคงมากถึง 400 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอกจากว่าจะลดอุณหภูมิให้ต่ำถึงศูนย์องศาสัมบูรณ์ (-273°C) อัตราเร็วจึงจะลดลงมาก เช่น เมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 1 μK (1 ไมโครเคลวิน = 1×10^{-6} เคลวิน) อะตอมไฮโดรเจนอิสระจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่ต่ำกว่า 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือเท่ากับ 25 เซนติเมตรต่อวินาที

Professor Steven Chu, Professor Claude Cohen - Tannoudji และ Dr. William D. Phillips ได้พัฒนาวิธีการโดยใช้แสงเลเซอร์เพื่อทำให้ก๊าซเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิระดับไมโครเคลวิน และรักษาอะตอมที่เย็นจัดนี้ ให้ลอยหรือถูกจับไว้ในกับดักอะตอม (atom traps) ชนิดต่าง ๆ

แสงเลเซอร์ ทำหน้าที่คล้ายกับเป็นชั้นของเหลวหนาข้น ซึ่งภายในลำแสงอะตอมจะถูกหน่วงให้เคลื่อนที่ช้าลง แต่ละอะตอมจึงถูกศึกษาได้ด้วยความถูกต้องแม่นยำสูงและสามารถคำนวณโครงสร้างภายในได้ด้วย และเมื่อมีอะตอมหลาย ๆ อะตอมถูกดักไว้มันก็จะรวมตัวเป็นก๊าซแล้วเราก็สามารถศึกษาคุณสมบัติของก๊าซได้อย่างละเอียด

วิธีการใหม่ที่นักวิทยาศาสตร์ ทั้งสามท่านได้พัฒนาขึ้นมานี้ส่งผลต่อความรู้ทางด้านการแผ่รังสีและสสารเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้เกิดความเข้าใจพฤติกรรมเชิงควอนตัมฟิสิกส์ของก๊าซที่อุณหภูมิต่ำวิธีการนี้ยังอาจนำไปสู่การออกแบบนาฬิกาอะตอมที่มีความแม่นยำสูงกว่านี้ เพื่อใช้ในการนำร่องในอวกาศและคำนวณหาตำแหน่งได้ถูกต้องยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังอาจออกแบบเครื่องมือวัดที่ทำจากอะตอมคือ atomic interferometers ซึ่งจะช่วยให้การวัด gravitational forces มีความแม่นยำสูงมาก และ atomic lasers ซึ่งอาจจะนำไปใช้ในอนาคต เพื่อช่วยผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่เล็กมาก ๆ

http : //www.nobel.se/announcement-97/physics 97.html

สถิติงบประมาณด้านการวิจัยของรัฐบาลไทย

ในการค้นหาข้อมูล จากฐานข้อมูลสำนักงานงบประมาณ โดยการใช้ key word ว่า "วิจัย" ค้นในฐานข้อมูลดังกล่าว พบว่าในปีงบประมาณ 2540 หน่วยงานระดับกรมที่ได้รับงบประมาณวิจัยสูงสุดคือ กรมวิชาการเกษตรเป็นเงิน 2,238,591,500 บาท มหาวิทยาลัยที่ได้รับงบประมาณวิจัยสูงสุดคือ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นเงิน 362,964,818 บาท ระดับกรมและระดับมหาวิทยาลัยที่ได้รับงบประมาณสูงสุด 10 อันดับแสดงรายละเอียดตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 1 หน่วยงานในระดับกรมที่ได้รับงบประมาณวิจัย ปีงบประมาณ 2540 สูงสุด 10 อันดับแรก

หน่วยงานระดับกรม		งบประมาณ (บาท)
1.	กรมวิชาการเกษตร	2,238,591,500
2.	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	1,303,681,400
3.	กรมประมง	773,673,800
4.	สำนักงานปลัดทบวง	532,119,100
5.	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	382,812,100
6.	สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์	320,000,000
7.	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย	300,000,000
8.	กรมศิลปากร	265,875,200
9.	กรมป่าไม้	228,461,500
10.	กรมการแพทย์	133,244,800

ตารางที่ 2 มหาวิทยาลัยที่ได้รับงบประมาณวิจัย ปีงบประมาณ 2540 สูงสุด 10 อันดับแรก

มหาวิทยาลัย		งบประมาณ (บาท)
1.	มหาวิทยาลัยมหิดล	362,964,818
2.	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	245,239,918
3.	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	188,584,418
4.	มหาวิทยาลัยนเรศวร	177,062,109
5.	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	62,596,206
6.	มหาวิทยาลัยบูรพา	54,884,400
7.	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	26,596,200
8.	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	22,712,700
9.	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	20,932,100
10.	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	20,641,600

(จาก ประชาคมวิจัย ฉบับที่ 13 หน้า 20-21 พ.ค. 40)

ว.วิทย มข. 25(4) : 251-260 (2540)

เปิดโลก

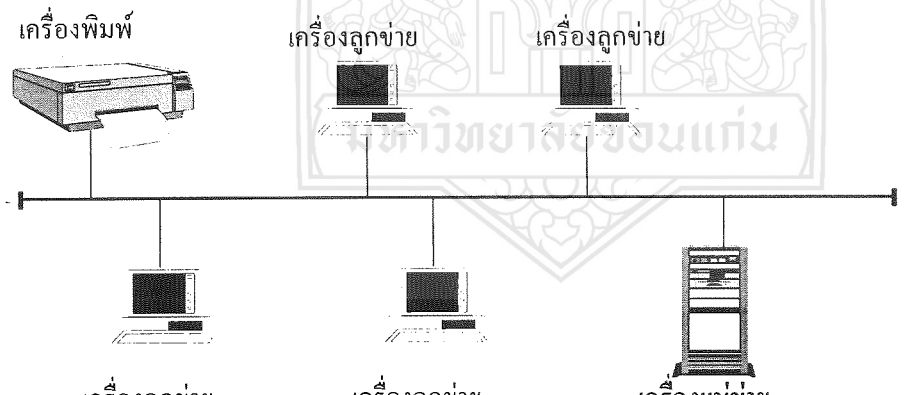
อินเตอร์เน็ต

*งามนิจ อาจอินทร์**

อินเตอร์เน็ตคืออะไร

ในปัจจุบันจะเห็นว่ามีผู้คนจากทั่วทุกมุมโลก แทบทุกวัยและทุกอาชีพ ต่างก็ให้ความสนใจกับเทคโนโลยีทางด้านอินเตอร์เน็ต แต่ก็ยังมีคนหลายคนที่ยังไม่เข้าใจว่าอินเตอร์เน็ตคืออะไร และจะใช้ประโยชน์จากอินเตอร์เน็ตได้อย่างไร

ก่อนที่จะมาทำความรู้จักอินเตอร์เน็ต ควร จะต้องรู้จักความหมายของคำว่า *เครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network)* ก่อนว่าคืออะไร คำว่าเครือข่ายคอมพิวเตอร์โดยทั่วไปจะหมายถึงกลุ่มของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลและใช้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น ดิสค์ เทป เครื่องพิมพ์ ฯลฯ ร่วมกันได้ ซึ่งในแต่ละหน่วยงานไม่ว่าจะเป็นในภาครัฐ หรือเอกชน ที่มีการติดตั้งเครือข่ายคอมพิวเตอร์ต่างก็ต้องรับผิดชอบเครือข่ายของตนเอง



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างการเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์บนเครือข่ายอีเทอร์เน็ต

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างการเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์บนเครือข่ายอีเทอร์เน็ต

* อาจารย์ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างระบบเครือข่ายแบบใกล้ หรือที่เรียกว่า *แลน (LAN : Local Area Network)* ที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์การสื่อสารอื่นๆ เช่น เครื่องพิมพ์ ฯลฯ ในบริเวณที่ไม่ห่างไกลกันมากนัก เช่น ภายในหน่วยงานเดียวกันหรือภายในตึกเดียวกัน ซึ่งระบบเครือข่ายแบบใกล้นี้อาจมีรูปแบบของการเชื่อมต่อได้หลายแบบ รูปแบบที่แสดงในรูปที่ 1 นี้ เป็นรูปแบบหนึ่งที่เรียกว่า "เครือข่ายแบบอีเทอร์-เน็ต" (Ethernet) โดยจะมีเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องลูกข่าย (Client) ต่อเชื่อมเข้ากับคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์กลางที่เรียกว่า เครื่องแม่ข่าย (Server) ซึ่งอาจเป็นไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ หรือมินิคอมพิวเตอร์ หรือเมนเฟรม การเก็บข้อมูลและการประมวลผลต่างๆ จะกระทำที่เครื่องแม่ข่าย สำหรับเครื่องลูกข่ายก็จะมีหน้าที่ส่งข้อมูลเข้ามาประมวลผลในเครื่องแม่ข่ายหรือคอยรับผลลัพธ์จากการประมวลผลของเครื่องแม่ข่าย ระบบเครือข่ายแบบใกล้นี้ยังมีรูปแบบของเครือข่ายแบบอื่นๆ อีก เช่น เครือข่ายแบบวงแหวน (Ring) หรือเครือข่ายแบบดาว (Star) ซึ่งจะมีรูปแบบของการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกันออกไปอีก

ในองค์กรหนึ่งๆ อาจมีการติดตั้งระบบเครือข่ายแบบใกล้ตั้งแต่ 2 ระบบขึ้นไปแต่เป็นระบบที่อยู่ห่างไกลกันมาก เช่น อยู่คนละจังหวัด ระบบเครือข่ายแบบใกล้แต่ละระบบก็สามารถถูกเชื่อมโยงเข้าด้วยกันกลายเป็นเครือข่ายที่เรียกว่าเครือข่ายระยะไกลหรือ *แวน (WAN : Wide Area Network)* และนอกจากนี้เครือข่าย WAN ที่หนึ่งก็จะสามารถเชื่อมเข้ากับ WAN ในอีกที่หนึ่งที่อยู่ห่างไกลกันออกไปมากๆ ได้อีก เช่น อยู่คนละประเทศหรือคนละทวีป ทำให้เกิดระบบเครือข่ายที่เรียกว่า "Internetworking" ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายขนาดใหญ่และเป็นหลักการที่กลายมาเป็นระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2

อินเตอร์เน็ต (Internet) เป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่มาก เกิดจากการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์จำนวนมากมายในโลกเข้าด้วย ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายขนาดเล็ก เช่น ระบบเครือข่ายแบบใกล้หรือระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ เช่น ระบบเครือข่ายของมินิหรือเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งแต่ละเครือข่ายก็จะมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นผู้ให้บริการที่เรียกว่า เครื่อง*แม่ข่าย (Server)* หรือ*โฮสต์ (host)* ซึ่งก็มีอยู่หลากหลายชนิด หลากหลายยี่ห้อ โดยจะมีการกำหนดข้อตกลงในการสื่อสารที่เรียกว่าโปรโตคอล (Protocol) ขึ้นมาเพื่อให้คอมพิวเตอร์หลากหลายชนิดทั้งหลายสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โปรโตคอลมาตรฐานที่ใช้ในการสื่อสารบนอินเตอร์เน็ตจะมีชื่อเรียกว่า TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)

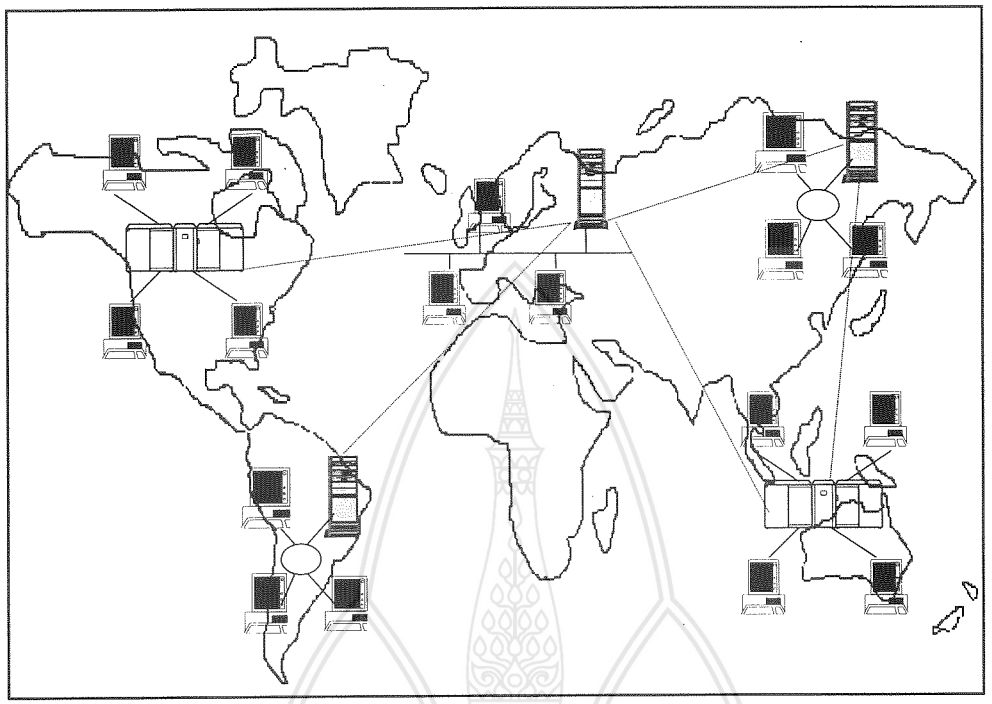
ถ้าเราเปรียบให้โปรโตคอลเหมือนภาษาที่ใช้ในการสื่อสารของมนุษย์ ซึ่งภาษามนุษย์นั้นมีมากมายหลายภาษาเช่นเดียวกับโปรโตคอลซึ่งก็จะมีโปรโตคอลอยู่หลายแบบ สำหรับ TCP/IP นั้นจะเปรียบได้กับภาษาอังกฤษ เนื่องจากเป็นโปรโตคอลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ของทุกระบบเข้าใจ และมีการใช้โปรโตคอลนี้ร่วมกันเพื่อการต่อเชื่อมเข้าสู่อินเตอร์เน็ต

ทำไมต้องใช้อินเตอร์เน็ต

ในยุคของข่าวสารข้อมูลในปัจจุบัน แม้ว่าผู้คนจะสามารถส่งข่าวสารกันได้หลายวิธี เช่น การใช้โทรศัพท์ การส่งข่าวสารจากโทรทัศน์ วิทยุหรือทางไปรษณีย์ ฯลฯ แต่การใช้อินเตอร์เน็ตจะสามารถใช้แทนรูปแบบของการสื่อสารต่างๆ ได้ทุกประเภท ยกตัวอย่างเช่น

- **การใช้อินเตอร์เน็ตแทนโทรศัพท์**

ถ้าเราทำการเชื่อมเครื่องคอมพิวเตอร์ของเราเข้ากับเครือข่ายของอินเตอร์เน็ต เราจะ



รูปที่ 2 แสดงการเชื่อมโยงเครือข่ายทั่วโลกเข้าด้วยกันบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ของเราติดต่อพูดคุยกับเพื่อนที่อยู่ในต่างประเทศได้ ซึ่งถ้าเพื่อนคนนั้นกำลังใช้งานอินเตอร์เน็ตอยู่ด้วย เราก็สามารถเรียกใช้โปรแกรมการสนทนา เช่น IRC (Internet Relay Chat) ซึ่งเป็นบริการอันหนึ่งในอินเตอร์เน็ตที่ช่วยให้ผู้คนหลายคนสามารถพูดคุยกันโดยใช้แป้นพิมพ์ผ่านทางอินเตอร์เน็ต หรือโปรแกรม IRC : Internet Phone ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองการใช้โทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ต ที่ทำให้คนสองคนสามารถใช้ไมโครโฟนในการพูดและใช้ลำโพงในการฟังเสียงได้

การพูดคุยกันโดยผ่านทางอินเตอร์-เน็ตนี้มีข้อดีที่เหนือกว่าโทรศัพท์คือ ผู้ใช้ไม่ต้องเสียค่าโทรศัพท์ทางไกลไม่ว่าจะอยู่ในที่แห่งใดในโลกก็ตาม

- **การใช้อินเตอร์เน็ตแทนโทรทัศน์**

ในปัจจุบันสถานีโทรทัศน์ชั้นนำของโลกต่างก็นำเนื้อหาสาระทั้งทางด้านข่าวสารและการบันเทิง ที่มีการออกอากาศนั้นมาใส่ในอินเตอร์เน็ตด้วย ซึ่งก็จะมีการแสดงทั้งข้อความ รูปภาพ และวีดีโอ แม้ความคมชัดและขนาดของภาพจะไม่เท่ากับในโทรทัศน์ แต่ก็มีข้อดีที่เหนือกว่าโทรทัศน์คือผู้ใช้จะสามารถเลือกดูเฉพาะข่าวหรือเรื่องที่ตนสนใจได้ และจะเลือกดู ณ เวลาใดๆ ก็ได้ นอกจากนี้ยังเป็นข่าวที่มีความทันต่อเหตุการณ์ บางครั้งเป็นข่าวที่มีการนำเสนอก่อนที่จะมีการเผยแพร่ทางโทรทัศน์อีกด้วย

● **การใช้อินเตอร์เน็ตแทนวิทยุ**

ในปัจจุบันมีสถานีวิทยุทั้งในประเทศและต่างประเทศอยู่บนอินเตอร์เน็ตเป็นจำนวนมาก ผู้ใช้สามารถเปิดเสียงรายการวิทยุใดที่ต้องการฟังได้โดยผ่านข่ายอินเตอร์เน็ต เช่น รายการสรุปข่าวช่วงเช้า ฟังเพลงจากศิลปินคนดัง หรือฟังคำบรรยายในหัวข้อวิชาการต่างๆ เป็นต้น ข้อดีของอินเตอร์เน็ตที่เหนือกว่าวิทยุทั่วไปคือเจ้าของสถานีวิทยุบนอินเตอร์สามารถเปิดเสียงจากสถานีได้อย่างไม่จำกัดเวลา และผู้ฟังก็สามารถเลือกฟังสถานีใดก็ได้ทั้งในและต่างประเทศ

ตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้สำหรับการฟังเสียงบนอินเตอร์เน็ตนี้ได้แก่ Real Audio หรือ Stream Work

● **การใช้อินเตอร์เน็ตแทนไปรษณีย์**

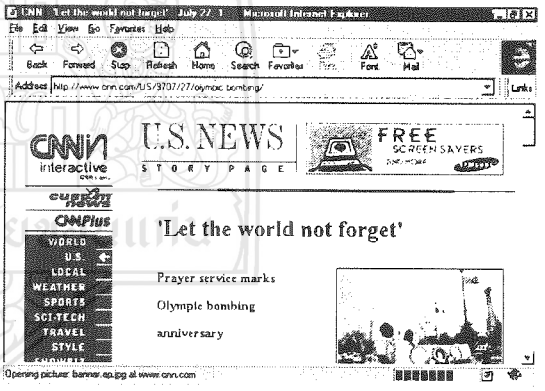
อินเตอร์เน็ตยังมีบริการรับ/ส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Mail : E-Mail) ให้ผู้ใช้สามารถพิมพ์ข้อความในลักษณะของจดหมายบนเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วส่งไปยังผู้รับผ่านทางอินเตอร์เน็ตได้ในเวลาอันรวดเร็วและมีค่าใช้จ่ายต่ำมากเมื่อเทียบกับการส่งจดหมายจริงๆทางไปรษณีย์ นอกจากนี้ยังเปิดโอกาสให้ผู้ใช้สามารถส่งไฟล์ข้อมูลใดๆ เช่น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือไฟล์เอกสารจากเครื่องคอมพิวเตอร์ของตนร่วมไปกับจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ได้อีกด้วย ซึ่งเป็นข้อดีของอินเตอร์เน็ตที่เหนือกว่าไปรษณีย์ทั่วไป ตัวอย่างของโปรแกรมจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ เช่น โปรแกรม Pine, Mail, Eudora, Internet Mail เป็นต้น

เราจะได้อะไรจากอินเตอร์เน็ต

นอกจากอินเตอร์เน็ตจะสามารถใช้แทนสื่อต่างๆ เพื่อประโยชน์ในการสื่อสารข้อมูลแล้ว ยังมีบริการอื่นๆ อีกที่มีอยู่บนอินเตอร์เน็ต ซึ่งสรุปได้พอสังเขปดังนี้

● **การบริการข้อมูลข่าวสาร**

อินเตอร์เน็ตจะเปิดโอกาสให้ผู้ที่มีความรู้ความชำนาญในด้านต่างๆ สามารถเผยแพร่ความรู้ของตนไปยังผู้คนทั่วโลกได้ เช่น ถ้าเราต้องการจะเผยแพร่ให้ผู้คนทั่วโลกรู้จักจังหวัดที่เราอยู่ว่ามีสถานที่ท่องเที่ยวที่ใดบ้างที่น่าสนใจ หรือประเพณีต่างๆ ในจังหวัด เราสามารถที่จะสร้างข้อมูลเกี่ยวกับจังหวัดนั้น พร้อมรูปภาพประกอบใส่ไว้ในคอมพิวเตอร์ที่มีการเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ต ผู้คนจากทั่วทุกมุมโลกที่มีการใช้งานอินเตอร์เน็ตก็จะสามารถรับทราบได้โดยง่าย และนอกจากนี้ถ้าผู้ใช้ต้องการทราบข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับเรื่องใด ไม่ว่าจะเป็นข่าวที่น่าสนใจในหนังสือพิมพ์ หรือโทรทัศน์ รายการทีวี กีฬาที่ชอบ ตำรับอาหาร ข้อมูลทางด้านวิทยาศาสตร์ งานวิจัย งานเขียน ตารางเที่ยวบิน หรืออื่นๆ อีกมากมาย ผู้ใช้ก็สามารถใช้เครื่องมือที่มีอยู่ในอินเตอร์เน็ตทำการค้นหาข้อมูลนั้นได้ด้วย



รูปที่ 3 การแสดงข่าวสารออกทางอินเตอร์เน็ตของสำนักข่าว CNN

ข้อมูลข่าวสารในอินเตอร์เน็ตนั้นสามารถแสดงออกมาในรูปแบบของตัวอักษร รูปภาพนิ่ง เช่นในรูปที่ 3 และภาพเคลื่อนไหว (Animation) วีดิโอ เสียง รวมไปถึงการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลในที่แห่งใดออกมาแสดงได้ด้วย

● **การบริการด้านซอฟต์แวร์**

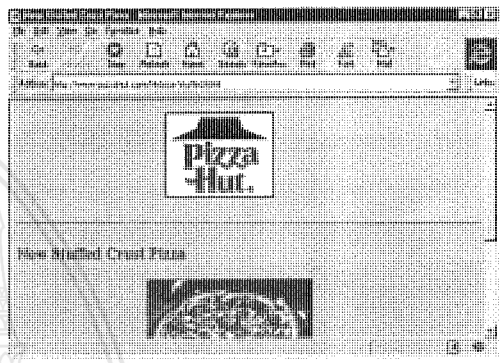
บนอินเตอร์เน็ตยังมีบริการหนึ่งที่เรียกว่า FTP (File Transfer Protocol) ให้ผู้ใช้สามารถสำเนา (Copy) หรือบางครั้งจะเรียกว่าการดาวน์โหลด (Download) ซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมจากเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งที่อยู่ปลายทางมายังเครื่องของผู้ใช้โดยผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ ซึ่งในอินเตอร์เน็ตจะมีซอฟต์แวร์ทางด้านต่าง ๆ สำหรับให้บริการดาวน์โหลดฟรีอยู่มากมาย และที่สำคัญซอฟต์แวร์นั้นยังเป็นรุ่นใหม่ล่าสุดอีกด้วย

● **การบริการด้านบันเทิง**

บนอินเตอร์เน็ตมีเกมส์ให้เลือกเล่นกันฟรี ๆ อย่างมากมาย และเรายังสามารถได้มีโอกาสชมตัวอย่างภาพยนตร์เรื่องล่าสุด ซึ่งเป็นภาพวีดีโอและมีเสียงประกอบได้อีกด้วย นอกจากนี้ถ้าต้องการอ่านวารสารต่าง ๆ บนอินเตอร์เน็ตก็มีบริการสมัครสมาชิกผ่านอินเตอร์เน็ตและให้สมาชิกสามารถเรียกดูวารสารได้ตามที่สมัคร ซึ่งก็จะมีภาพประกอบบนจอคอมพิวเตอร์เหมือนกับการอ่านจากหนังสือจริง

● **การบริการสั่งซื้อสินค้า**

บนอินเตอร์เน็ตผู้ที่ประกอบธุรกิจการค้า จะสามารถทำการโฆษณาสินค้าและบริการของตนผ่านทางอินเตอร์เน็ตได้ ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำกว่าการทุ่มโฆษณาด้วยวิธีอื่น ๆ นอกจากนี้ทางด้านผู้ซื้อก็สามารถสั่งซื้อสินค้าหรือบริการที่ตนสนใจผ่านทางอินเตอร์เน็ตได้เช่นกัน โดยใช้วิธีการชำระเงินด้วยบัตรเครดิตที่ทางผู้ขายยอมรับ เช่น VISA, Master Card, American Express เป็นต้น ซึ่งผู้ซื้อเพียงแต่กรอกชื่อและเลขที่บัตรเครดิตลงไปในแบบฟอร์มบนจอภาพ ก็จะมีการส่งสินค้ามาให้ทางไปรษณีย์และมีการหักเงินจากบัญชีของผู้ซื้อในธนาคารโดยอัตโนมัติ เช่น รูปที่ 4



รูปที่ 4 ผู้ใช้บริการสามารถเลือกดูเมนูอาหารก่อนการสั่งซื้อผ่านทางอินเตอร์เน็ต

Word Wide Web (WWW) คืออะไร? ทำไมต้อง WWW?

เมื่อไม่กี่ปีก่อนหน้านี้มีผู้ที่สนใจใช้งานอินเตอร์เน็ตไม่มากนัก เนื่องจากการใช้บริการอินเตอร์เน็ตไม่ว่าจะเป็นการค้นหาข่าวสารข้อมูล การรับส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ การสำเนาไฟล์ ฯลฯ จะอยู่ในรูปแบบของตัวอักษร (Text Mode) เท่านั้น ไม่มีการแสดงที่เป็นรูปภาพ เสียง และไม่มีตัวอักษรแบบต่าง ๆ ปรากฏให้เห็นแต่อย่างใด นอกจากนี้ผู้ใช้ยังต้องเรียนรู้และจดจำคำสั่งคอมพิวเตอร์มากมาย เช่น ต้องเรียนรู้คำสั่งเบื้องต้นของยูนิกซ์ (UNIX) เนื่องจากเมื่อจะมีการเรียกใช้งานอินเตอร์เน็ต เครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นเพียงเทอร์มินัลของโฮสต์คอมพิวเตอร์ที่ให้บริการอินเตอร์เน็ต และโฮสต์ส่วนมากจะทำงานอยู่ภายใต้ระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ ดังนั้นผู้ใช้จึงต้องเรียนรู้คำสั่งเบื้องต้นของยูนิกซ์ (เช่นเดียวกับการเรียนรู้คำสั่งของดอส (DOS) บนพีซี) เพื่อทำการป้อนคำสั่งที่เป็นตัวอักษรด้วยตนเองให้โฮสต์คอมพิวเตอร์ทำงานตามที่เราต้องการได้

จนกระทั่งมี World Wide Web (WWW)

หรือ เครือข่ายใยแมงมุมเกิดขึ้น จึงทำให้ความนิยมของการใช้อินเตอร์เน็ตเพิ่มสูงขึ้นเป็นทวีคูณ เนื่องจาก WWW เป็นบริการอันหนึ่งที่มีอยู่ในอินเตอร์เน็ต ทำให้การใช้งานอินเตอร์เน็ตเป็นสิ่งที่ง่ายขึ้น ผู้ใช้ไม่ต้องจดจำคำสั่งต่างๆ ของยูนิกซ์อีกต่อไป การอ่านและค้นหาข่าวสารข้อมูลทำได้โดยการกดปุ่มบนเมาส์เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ข่าวสารข้อมูลหรือเอกสารที่เก็บอยู่ในอินเตอร์เน็ตจะอยู่ในรูปแบบของสื่อผสม (Multimedia) ที่เรียกว่า "เวปเพจ" (web page) อันประกอบไปด้วยตัวอักษร ข้อความที่มีรูปแบบต่างๆ รูปภาพ เสียง ภาพเคลื่อนไหว วีดีโอ และไฮเปอร์เท็กซ์ (Hypertext) ซึ่งเป็นการแสดงข้อความที่มีการเชื่อมโยงถึงกันได้ เหมือนกับการเรียกใช้ Help ในโปรแกรม Windows โดยผู้ใช้สามารถเรียกดูเอกสารหนึ่งจากเอกสารหนึ่งได้ ซึ่งเป็นลักษณะการเชื่อมต่อที่คล้ายกับใยแมงมุม จึงมีการตั้งชื่อบริการนี้ว่าเป็นเครือข่ายใยแมงมุม

- **ส่วนประกอบของ WWW**

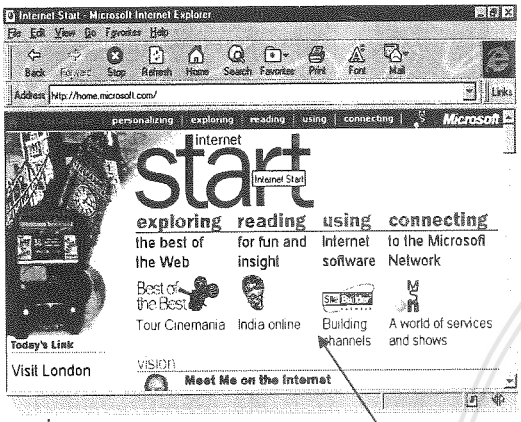
การจะใช้บริการ WWW ได้นั้นจำเป็นต้องมีส่วนประกอบสองส่วนดังนี้

- แหล่งข้อมูลหรือเวบไซต์ (Web site)

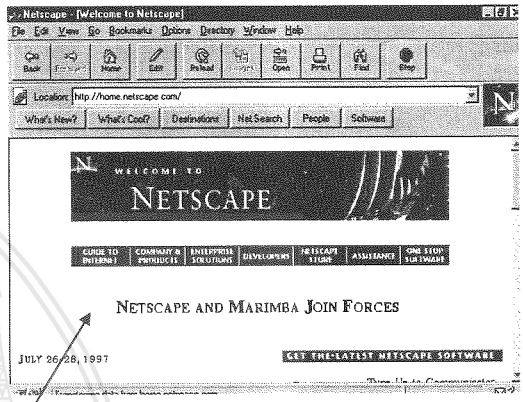
เวบไซต์ หรือ เวบเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) คือระบบคอมพิวเตอร์ที่เป็นแหล่งเก็บเวบเพจ ที่ผู้ใช้บริการสามารถเรียกดูเวบเพจที่เก็บอยู่ในเวบไซต์นั้นได้ ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเวบไซต์อาจจะใช้ระบบปฏิบัติการยูนิกซ์หรือวินโดวส์เอนที (Windows NT) ก็ได้ และจะต้องมีการติดตั้งโปรแกรมจัดการที่จะทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องนั้นทำหน้าที่เป็นเวบไซต์ ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่เครื่องคอมพิวเตอร์นั้นใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์เอนที จะมีซอฟต์แวร์เวบเซิร์ฟเวอร์ให้เลือกใช้ เช่น โปรแกรม Purveyor HTTP Server ของสถาบัน European Microsoft Windows NT Academic Centre (EMWAC), โปรแกรม WebSite ของบริษัท O'Reilly and Associate เป็นต้น หรือถ้าใช้ระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ก็อาจใช้เวบเซิร์ฟเวอร์เป็น NCSA httpd เป็นต้น ผู้ที่เป็นเจ้าของเวบไซต์จะต้องสร้างเวบเพจของตนเก็บไว้ที่เวบไซต์นั้นเพื่อให้ผู้ใช้คนอื่นๆ ทั่วโลกสามารถเข้ามาดูเวบเจพที่เก็บไว้ในเวบไซต์นั้นได้ ตัวอย่างเช่น เวบเพจของสำนักข่าว CNN จะเก็บอยู่ที่เวบไซต์ www.cnn.com เป็นต้น

- โปรแกรมเวบบราวเซอร์ (Web Browser)

เป็นโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเข้าสู่ WWW และเปิดดูเวบเพจที่เก็บอยู่ในเวบไซต์ใดๆ ตัวอย่างของโปรแกรมเวบบราวเซอร์ที่มีให้ดาวน์โหลดใช้กันได้ฟรีได้แก่ โปรแกรม Netscape Navigator จาก บริษัท Netscape Communications และโปรแกรม Microsoft Internet Explorer จากบริษัท Microsoft ผู้ผลิตโปรแกรมวินโดวส์ที่ผู้คนรู้จักกันดี เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมเวบบราวเซอร์ส่วนใหญ่นั้นจะทำงานร่วมกับโปรแกรมวินโดวส์ และนอกจากจะใช้เพื่อดูเวบเพจจากเวบไซต์แล้ว หลายโปรแกรมยังมีความสามารถอื่นๆ เช่น บริการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ การค้นหาข้อมูล การโอนถ่ายโปรแกรมด้วย FTP เป็นต้น



รูปที่ 5 ก. โปรแกรม Internet Explorer ของบริษัท Microsoft



รูปที่ 5ข. โปรแกรม Netscape Navigator ของบริษัท Netscape Communications

โฮมเพจ

โฮมเพจคืออะไร

โฮมเพจ (Home Page) จะหมายถึงหน้าแรกของเวบเพจทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการบนอินเตอร์เน็ตจะพบเมื่อมีการเข้าไปยังเวบไซต์ใด ๆ โฮมเพจจึงเปรียบเสมือนกับสารบัญและคำนำที่เจ้าของเวบไซต์สร้างขึ้น เพื่อใช้ประชาสัมพันธ์องค์กรของตนว่าให้บริการในสิ่งใดบ้าง นอกจากนี้ภายในโฮมเพจก็อาจมีเอกสารข้อความอื่น ๆ ที่เชื่อมโยงต่อจากโฮมเพจนั้น ๆ ได้อีกที่เรียกว่า เวบเพจ ซึ่งโฮมเพจหนึ่ง ๆ ก็อาจมีการเชื่อมกับเวบเพจอื่น ๆ อีกเป็นจำนวนมากได้ ดังตัวอย่างในรูป 5 ก. เป็นโฮมเพจของบริษัท Microsoft รูป 5 ข. เป็นโฮมเพจของบริษัท Netscape Communications เป็นต้น

IP Address, DNS, E-mail Address และ URL คืออะไร

- **IP Address**

เนื่องจากในระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตจะใช้โปรโตคอล TCP/IP เป็นมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูล ซึ่งจะมีการกำหนดหมายเลขประจำตัวที่ไม่ซ้ำกันให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่มีการเชื่อมกันอยู่ในระบบเครือข่าย หมายเลขประจำตัวที่ว่านี้จะถูกเรียกว่า IP Address หรือหมายเลข IP โดยมีรูปแบบเป็นชุดของตัวเลข 4 ชุด ที่คั่นด้วยเครื่องหมายจุด เช่น 202.44.192.43 ตัวเลขในแต่ละชุดจะมีขนาด 8 บิท ดังนั้นแต่ละชุดจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง $2^8-1 = 255$ เท่านั้น ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดหมายเลข IP ให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทั้งหมดถึง 4 พันล้านเลขหมายที่ไม่ซ้ำกันเลย

ดังนั้นเมื่อมีการติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นโฮสต์คอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับอินเตอร์เน็ตและให้บริการต่าง ๆ จำเป็นต้องขอหมายเลข IP จากหน่วยงาน Internet Network Information Center (InterNIC) ขององค์กร Network Solution Incorporated (NSI) ที่รัฐเวอร์จิเนีย สหรัฐอเมริกา แต่ถ้าผู้ใช้สมัครเป็นสมาชิกกับหน่วยงานที่ทำหน้าที่เป็นผู้ให้บริการอินเตอร์เน็ต (Internet Service Provider : ISP) (ในประเทศไทยมีอยู่หลายหน่วยงาน) ก็ไม่ต้องขอ

หมายเลข IP เนื่องจาก ISP จะเป็นผู้ส่งหมายเลข IP ให้แก่ผู้ใช้เอง

- **DNS (Domain Name System)**

การใช้หมายเลข IP ซึ่งเป็นตัวเลขล้วนๆ ในการอ้างอิงถึงเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่งนั้น จะมีข้อเสียคือจำยากและก่อให้เกิดความสับสนได้ง่าย ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการอ้างอิงถึงหมายเลข IP แบบใหม่ที่เรียกว่า Domain Name System (DNS) ขึ้นมา

DNS เป็นเทคนิคการเปลี่ยนหมายเลข IP ที่เป็นตัวเลขให้เป็นตัวอักษรแทน เช่น หมายเลข IP เป็น 202.12.97.1 ผู้ใช้บริการสามารถเขียนเป็นชื่อโดเมนคือ kku1.kku.ac.th แทน ซึ่งเป็นหน้าที่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า Domain Name Server ที่จะทำหน้าที่ในการแปลงจากชื่อโดเมนให้เป็นหมายเลข IP อีกทีหนึ่ง รูปแบบของชื่อโดเมนจะมีดังต่อไปนี้

ชื่อโฮสต์คอมพิวเตอร์.ชื่อเครือข่ายท้องถิ่น[.ชื่อโดเมนย่อย.].ชื่อโดเมนระดับบนสุด

ชื่อโดเมนจะมีการแบ่งออกเป็นระดับชั้น โดยใช้เครื่องหมายจุดคั่น ชื่อโดเมนที่อยู่ทางด้านขวาสุดจะเรียกว่าชื่อโดเมนระดับบนสุด ซึ่งจะแบ่งออกได้อีก 2 ประเภทคือ

ชื่อโดเมนระดับบนสุดที่เป็นชื่อย่อประเภทขององค์กรในสหรัฐอเมริกา เช่น

com	commercial กลุ่มองค์กรเอกชน
edu	educational กลุ่มสถาบันการศึกษา
gov	governmental กลุ่มองค์กรของรัฐทั่วไป
mil	military กลุ่มองค์กรทหาร
net	network services กลุ่มองค์กรบริการเครือข่าย
org	non-commerial organization กลุ่มองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร

ตัวอย่างเช่น ชื่อโดเมน www.microsoft.com โดเมนระดับบนสุดคือ com ที่แสดงถึงองค์กรเอกชนที่อยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับระดับถัดไปคือ microsoft จะแสดงถึงชื่อเครือข่ายของบริษัทเอกชนนั้น และ www จะหมายถึงชื่อโฮสต์คอมพิวเตอร์ที่ให้บริการ เป็นต้น

ชื่อโดเมนระดับบนสุดที่เป็นชื่อย่อของประเทศต่างๆ เช่น

au	ออสเตรเลีย
jp	ญี่ปุ่น
ca	แคนาดา
th	ไทย
fr	ฝรั่งเศส
uk	อังกฤษ

จะมีสับโดเมน (Subdomain) ที่แสดงถึงประเภทขององค์กรในประเทศนั้นๆ เช่น

ac	สถาบันการศึกษา
go	องค์กรรัฐบาล
co	องค์กรเอกชน
or	องค์กรไม่แสวงหาผลกำไร

ตัวอย่างเช่น ชื่อโดเมน kku1.kku.ac.th โดเมนระดับบนสุดคือ th ที่หมายถึงประเทศไทย ระดับรองลงมาหรือโดเมนย่อยคือ ac หมายถึงเป็นสถาบันการศึกษา ระดับถัดไปคือ kku หมายถึงมหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งโดยทั่วไปจะหมายถึงเครือข่ายมหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับ kku1 จะเป็นชื่อโฮสต์คอมพิวเตอร์ที่ให้บริการ เป็นต้น

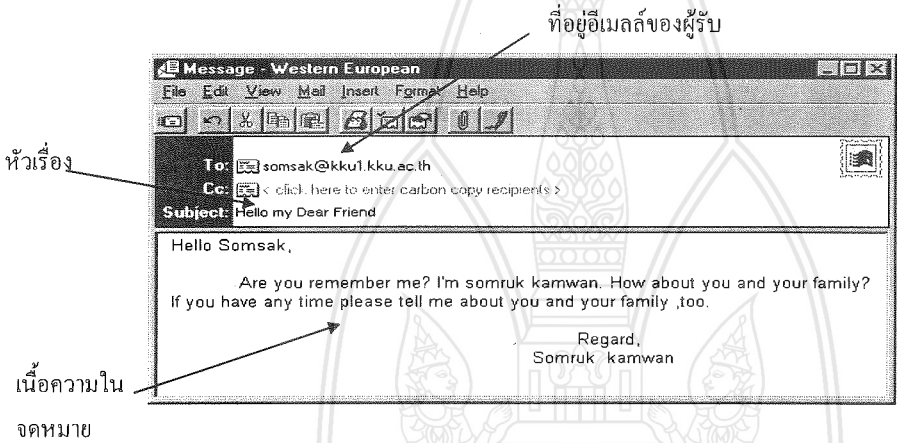
● **E-mail Address**

ชื่อโดเมนได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างที่อยู่จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail Address) หรือเรียกสั้นๆ ว่าที่อยู่อีเมลล์ เพื่อให้ผู้ใช้งานอินเตอร์เน็ตสามารถรับส่งจดหมายกันได้ ซึ่งผู้ใช้งานแต่ละคนจะต้องมีที่อยู่อีเมลล์ที่มีรูปแบบดังต่อไปนี้

ชื่อผู้ใช้@ชื่อโฮสต์.ชื่อเครือข่ายท้องถิ่น[.ชื่อโดเมนย่อย.].ชื่อโดเมนระดับบนสุด

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ @ อ่านว่า "แอท" เป็นการบ่งบอกว่าผู้ใช้คนนั้นอยู่ที่ใด

ตัวอย่างเช่น somsak@kku1.kku.ac.th เป็นที่อยู่อีเมลล์ของผู้ใช้ที่ชื่อ somsak ที่อยู่โฮสต์ชื่อ kku1 ในเครือข่ายมหาวิทยาลัยขอนแก่น (kku) ซึ่งเป็นสถาบันศึกษา (ac) ที่อยู่ประเทศไทย (th) เป็นต้น ดูรูปที่ 6 ประกอบ



รูปที่ 6 ตัวอย่างการส่งจดหมายโดยการเรียกใช้จดหมายอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 6 ตัวอย่างการส่งจดหมายโดยการเรียกใช้จดหมายอิเล็กทรอนิกส์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

● **URL**

นอกจากที่อยู่อีเมลล์แล้ว ชื่อโดเมนยังนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูล URL (Uniform Resource Locator) ซึ่งโปรแกรมเวบบราวเซอร์จะใช้ข้อมูล URL นี้ในการค้นหาที่อยู่ของเวบไซต์ที่ผู้ใช้บริการจะไปเรียกดูข้อมูล รูปแบบของ URL มีดังนี้

โปรโตคอล://ชื่อโดเมน/ไดเรกทอรีที่เก็บไฟล์ในโฮสต์/ชื่อไฟล์ในโฮสต์

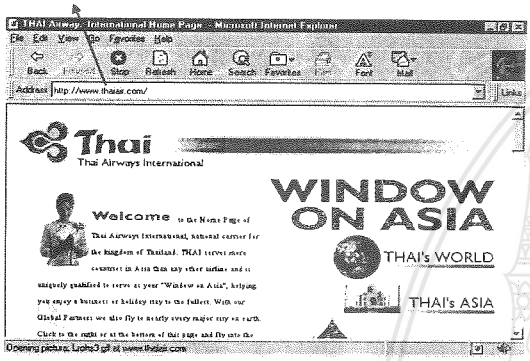
หมายเหตุ : โปรโตคอล หมายถึง โปรโตคอลที่ใช้เรียกบริการในอินเตอร์เน็ตเช่น

http:// หมายถึงโปรโตคอลที่เรียกใช้บริการ WWW ที่มีข้อมูลเป็น Hypertext

ftp:// หมายถึงโปรโตคอลที่เรียกใช้บริการ FTP เป็นต้น

ตัวอย่างเช่น ถ้าผู้ใช้ต้องการเรียกใช้บริการ WWW เพื่อเข้าไปยังโฮมเพจของบริษัท การบินไทยจะทำได้โดยการระบุ URL เป็น http://www.thaiair.com/ ในช่อง Address ของเวบบราวเซอร์ที่ใช้ โดยระบุเฉพาะชื่อโดเมนอย่างเดียว ดูรูปที่ 7 แต่ถ้าต้องการจะเรียกดูข้อมูลตารางเที่ยวบินของบริษัท จะสามารถระบุ URL

เป็น http://www.thaiair.com/flying/schedule.htm หรือทำการคลิกเลือกหัวข้อตารางเที่ยวบินที่อยู่ภายในโฮมเพจนั้นได้เลย

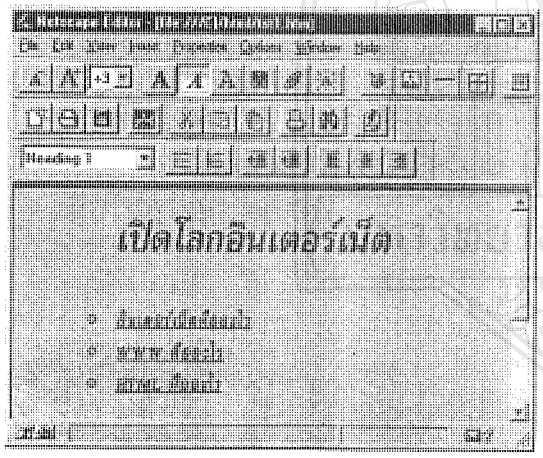


รูปที่ 7 แสดงการระบุ URL ในโฮมเพจของบริษัทการบินไทย

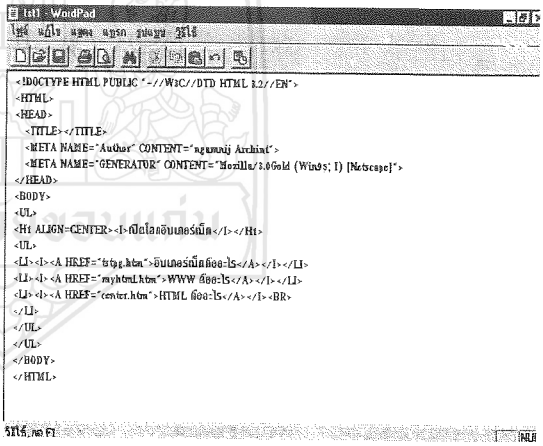
HTML คืออะไร

โฮมเพจและเวบเพจใดๆ โดยส่วนใหญ่จะถูกสร้างขึ้นมาด้วยภาษาที่เรียกว่า HTML (HyperText Markup Language) หรือ "ภาษาสำหรับทำเครื่องหมาย" ประกอบด้วยคำสั่ง (Tags) ที่ใช้ในการกำหนดว่าเวบเพจจะมีข้อความอะไร มีการแสดงรูปภาพ เสียง และภาพวีดีโอที่ตำแหน่งใด นอกจากนี้ยังมีคำสั่งสำหรับการเชื่อมโยงเวบเพจหนึ่งไปยังอีกเวบเพจหนึ่ง และไปยังบริการอื่นๆ ในอินเตอร์เน็ตอีกด้วย

การสร้างเวบเพจนอกจากจะสร้างโดยการเขียนด้วย HTML ลงบนโปรแกรม Editor ตัวใดตัวหนึ่ง เช่น โปรแกรม Notepad บน Windows แล้ว ยังสามารถใช้โปรแกรมช่วยสร้างเวบเพจกำหนดรูปร่างหน้าตาของเวบเพจได้โดยตรง โดยที่ผู้สร้างไม่จำเป็นต้องเขียนหรือเรียนรู้ HTML แต่อย่างใด ซึ่งในปัจจุบันจะมีโปรแกรมช่วยสร้างเวบเพจหลายตัว เช่น โปรแกรม Microsoft FrontPage, โปรแกรม Netscape Navigator Gold เป็นต้น



รูปที่ 8 ก. การเรียกใช้โปรแกรม Netscape Gold ช่วยสร้างเวบเพจ



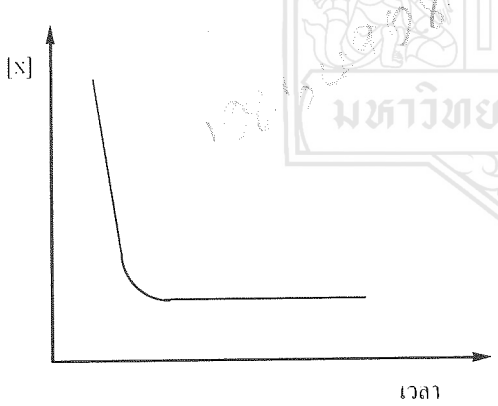
รูปที่ 8 ข. การใช้ภาษา HTML สร้างเวบเพจที่มีหน้าตาเหมือนดังรูป 8 ก.

ว.วิทย มข. 25(4) : 261-269 (2540)

กลไกการเกิดออสซิลเลชันแบบ BZ เป็นอย่างไร ?: "คำถามที่ยังต้องการคำตอบ"

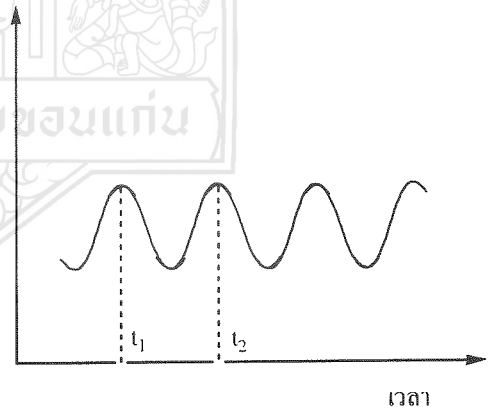
อัจฉรา ศิริมังคะลา*

ในการศึกษาทางจลนพลศาสตร์เคมีเชิงพลวัตที่ไม่เป็นเส้นตรง (non-linear dynamics) นั้น นับว่าปฏิกิริยาออสซิลเลชันที่เกิดขึ้นในกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ มีความสำคัญและได้รับความสนใจศึกษาและวิจัยอย่างแพร่หลาย โดยทั่วๆ ไป เมื่อนำสารสองชนิดมารวมกัน ปฏิกิริยามักเกิดรวดเร็วเมื่อเริ่มต้นแล้วค่อยๆ ช้าลง ความเข้มข้นของสารตั้งต้นในตอนแรกจะลดลงอย่างรวดเร็วแล้วช้าลงๆ จนในที่สุดถึงสภาวะสมดุล (equilibrium) ความเข้มข้นเกือบไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าเขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนความเข้มข้นกับเวลาของปฏิกิริยาจะได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนความเข้มข้น [x] กับเวลา

ในกรณีของการเกิดปฏิกิริยาออสซิลเลชัน พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนความเข้มข้นกับเวลา ไม่เป็นไปตามรูปที่ 1 แต่จะมีลักษณะแตกต่างไป กล่าวคือ มีการเปลี่ยนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างสม่ำเสมอในหนึ่งช่วงเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2 การเปลี่ยนของค่า [X] แสดงตำแหน่งสูงสุด (maximum) และต่ำสุด (minimum) ที่เวลาต่างๆ เมื่อ [X] หมายถึง สมบัติต่างๆ ของระบบที่แสดงการเกิดออสซิลเลชัน เช่น ความเข้มข้น ค่าความต่างศักย์รีดอกซ์ (redox potential) ความดัน เป็นต้น



รูปที่ 2 การเกิดออสซิลเลชัน

* ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

แนวความคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับการเกิดออสซิลเลชันในปฏิกิริยาเคมีนั้นเชื่อว่าเกี่ยวข้องโดยตรงกับเกรเดียนท์ของการแพร่ (diffusion gradient) และไม่สามารถเกิดขึ้นในระบบปิดเอกพันธุ์ (closed homogeneous system) ได้ แม้ในเวลาต่อมาจะมีการทดลองต่างๆ ในระบบปิดเอกพันธุ์ ซึ่งแสดงว่ามีการเกิดปฏิกิริยาออสซิลเลชันของระบบ แต่ในเชิงทฤษฎีของการศึกษาเรื่องนี้ในระยะนั้น ก็ยังคงเชื่อกันว่าการเกิดออสซิลเลชันมีสาเหตุมาจากอนุภาคขนาดเล็กที่ปนเปื้อนอยู่ในระบบทดลอง จุดกระตุ้นให้นักวิทยาศาสตร์สนใจศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับกลไกของปฏิกิริยาออสซิลเลชันประการสำคัญ คือ การเสนอรูปแบบการเกิดออสซิลเลชันในระบบสิ่งมีชีวิต[1] (biological and biochemical oscillators) ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณแบบออสซิลเลชันของตัวให้อิเล็กตรอน (electron donor) ที่สำคัญ คือ NADH (nicotinamide adenine dinucleotide) ในปฏิกิริยา peroxidase-oxidase ในเซลของยีสต์ เพื่อให้ได้คำตอบเกี่ยวกับกลไกของการเกิดออสซิลเลชัน เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้อธิบายกลไกของปฏิกิริยาออสซิลเลชันที่พบในสิ่งมีชีวิต ในเชิงปฏิบัติมีการศึกษาระบบออสซิลเลชันในปฏิกิริยาเคมีแบบต่างๆ เช่น ปฏิกิริยาออสซิลเลชันแบบ Bray-Liebhafsky (BL)[2] ปฏิกิริยาออสซิลเลชันแบบ Belousov-Zhabotinsky (BZ)[3,4] ปฏิกิริยาออสซิลเลชันแบบ Briggs-Rauscher (BR)[5] และปฏิกิริยาระหว่างคลอไรท์ ไอโอไดด์ และกรดมาโลนิก (CIMA)[6] เป็นต้น โดยมีการศึกษาอัตราเร็ว (rate) และกลไก (mechanism) ของปฏิกิริยาต่างๆ อันเป็นองค์ประกอบหลักในระบบออสซิลเลชัน และการทำแบบจำลองการเกิดปรากฏการณ์โดยคอมพิวเตอร์ (simulation) เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งนับว่าเป็นข้อมูลสำคัญที่จะสามารถนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบออสซิลเลชันได้ในระดับหนึ่ง

ในความพยายามที่จะอธิบายกระบวนการออสซิลเลชันทางเคมีอย่างง่าย (simplest chemical oscillator) นั้น มีการเสนอรูปแบบทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย (simple mathematical model) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1920[7] โดย *Lotka* นักคณิตศาสตร์-เคมีชาวอเมริกัน เพื่ออธิบายปรากฏการณ์การเกิดออสซิลเลชันในระบบของอะซิโตนและกรดออกซาลิก รูปแบบดังกล่าว ซึ่งต่อมารู้จักกันในชื่อว่ารูปแบบ Lotka-Volterra* (LV model) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง A, B, X และ Y โดยเขียนเป็นสมการ 3 ขั้นตอน โดยที่ 2 ขั้นตอนแรก เป็นกระบวนการแบบออโตคะตะไลติก** (autocatalytic reaction):

$$A + X \rightarrow 2X$$
$$X + Y \rightarrow 2Y$$
$$Y \rightarrow B$$

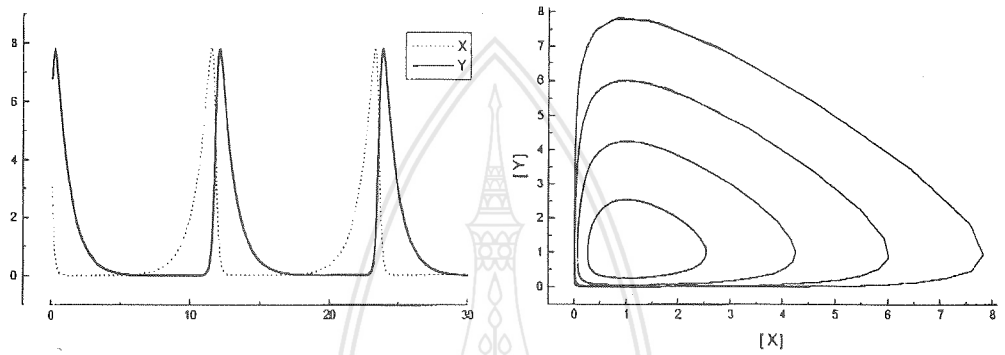
เพื่อให้สามารถเข้าใจถึงกลไกข้างต้น ขอยกตัวอย่างการศึกษาความสัมพันธ์ของจำนวนประชากรของกระต่ายและสุนัขจิ้งจอก โดยกำหนดให้ A เป็นปริมาณของหญ้า X และ Y เป็นจำนวนกระต่ายและสุนัขจิ้งจอกตามลำดับ ขณะที่ B คือ

---

* ในปี ค.ศ. 1932 *Volterra* นักคณิตศาสตร์ชาวอิตาเลียน ได้เสนอรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ในลักษณะเดียวกัน แต่ใช้ในการอธิบายการเปลี่ยน แปลงจำนวนประชากร (population dynamics)

** เป็นปฏิกิริยาแบบเร่งอัตโนมัติ กล่าวคือ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยา $A \rightarrow P$ ที่มีกฎอัตราเป็น $d[P]/dt = k[A][P]$ อัตราการเกิดสาร P แปรผันตรงกับความเข้มข้นของสาร P ที่เกิดขึ้น โดยที่ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการผลิตสาร P โดยปฏิกิริยาอื่นๆ ในระบบ

ปริมาณการเสียชีวิตของสุนัขจิ้งจอก เมื่อคำนวณค่า [X] และ [Y] ตามสมการของ Lotka-Volterra จะเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ [X] และ [Y] ที่เวลาใดๆ (รูปที่ 3a) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง [X] และ [Y] (รูปที่ 3b) ซึ่งแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ X และ Y เป็นแบบออสซิลเลชัน

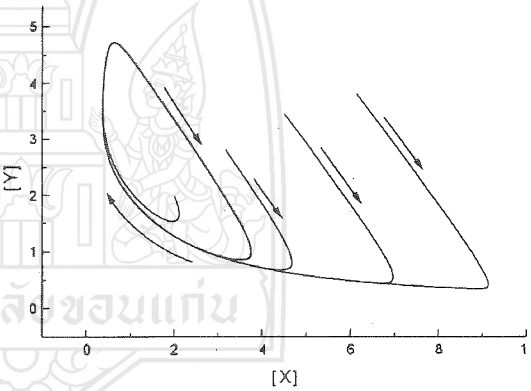


รูปที่ 3 รูปแบบ Lotka-Volterra แสดงความสัมพันธ์ ***
a) จำนวนประชากรกับเวลา และ b) จำนวนประชากร [Y] กับ [X]

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่น่าสนใจอีกทฤษฎีหนึ่ง ได้แก่ รูปแบบบรัสเซเลเตอร์ (Brusselator model)[8] :

$$A \rightarrow X$$
$$2X + Y \rightarrow 2X$$
$$B + X \rightarrow Y + C$$
$$X \rightarrow D$$

เมื่อสารตั้งต้น A และ B มีความเข้มข้นคงที่ ขณะที่สาร X และสาร Y เปลี่ยนไปเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของ X และ Y ที่คำนวณโดยใช้รูปแบบบรัสเซเลเตอร์ ****



รูปที่ 4 วงจรจำกัดของรูปแบบบรัสเซลเลเตอร์

ปฏิกิริยาออสซิลเลชันที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมใช้เป็นตัวอย่างศึกษาเกี่ยวกับ

*** คำนวณ [X] และ [Y] โดย *Andras Volford* เมื่อกำหนดให้ค่า A ที่จุดเริ่มต้น เท่ากับ 1 และให้ค่าคงที่อัตรา (k) เท่ากับ 1

**** คำนวณโดย *Andras Volford* กำหนดให้ $A = 1$, $B = 3$ และค่าคงที่อัตรา (k) ของทุกขั้นตอน = 1

กระบวนการการเกิดออสซิลเลชันในปฏิกิริยาเคมี คือ ปฏิกิริยาออสซิลเลชันแบบ *BZ* (Belousov-Zhabotinsky oscillatory reaction) พบเป็นครั้งแรกโดย *Belousov*[3] นักชีวฟิสิกส์ชาวรัสเซีย ในปี ค.ศ. 1958 เมื่อเขาทดลองผสมโปแตสเซียม-โบรเมต ($KBrO_3$) เซอริกซัลเฟต ($Ce(SO_4)_2$) และกรดซิตริก (citric acid) ลงในสารละลายเจือจางกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และพบว่าค่าความเข้มข้นของเซอริกไอออน [Ce^{4+}] และเซอรัสไอออน [Ce^{3+}] มีค่าเพิ่มขึ้น ลดลง เพิ่มขึ้น ลดลง เป็นดังนี้ไปเรื่อย ๆ (เกิดการออสซิลเลต (oscillated) ของปริมาณของสารที่เกี่ยวข้อง) ซึ่งในเวลาต่อมา *Zhabotinsky*[4] พบว่า การเกิดออสซิลเลชันนั้นสามารถเกิดขึ้นได้แม้มีการเปลี่ยนสารตั้งต้นจากกรดซิตริกไปเป็นกรดคาร์บอกซิลิกอื่น ๆ ที่มีโครงสร้างเป็น $R-(CO)-(CH_2)-COOH$ หรืออาจเปลี่ยนสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์จากเซอเรียมไปเป็นแมงกานีส เป็นต้น

ระบบที่จัดว่าเป็นปฏิกิริยา *BZ* แบบคลาสสิก (classical Belousov-Zhabotinsky reaction) ได้แก่ ระบบที่มีเซอเรียม โบรเมต และกรดมาโลนิก (malonic acid) เป็นสารตั้งต้น ในตัวกลางที่เป็นกรด ปฏิกิริยาออสซิลเลชัน ประกอบด้วยปฏิกิริยาหลัก 2 ส่วนคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ของกรดมาโลนิกโดยเซอริกไอออน และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของเซอรัสไอออนโดยโบรเมต ปริมาณของสารตั้งต้น คือ กรดมาโลนิก และโบรเมต ลดลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากถูกใช้ไปในการเกิดปฏิกิริยา ขณะที่สารละลายเซอริก (Ce^{4+}) มีสีเหลืองเข้ม สารละลายเซอรัส (Ce^{3+}) เป็นสารไม่มีสี ในอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารตั้งต้น (ได้แก่ เซอริกไอออน กรดมาโลนิก โบรเมต และ กรดซัลฟูริก) ที่เหมาะสม จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนสีของสารละลายจากสีเหลืองเป็นไม่มีสี และกลับมาเป็นสีเหลืองอีกครั้งหนึ่ง ในช่วงเวลา (period) ประมาณ 1 นาที ที่อุณหภูมิทดลอง ซึ่งนับเป็นตัวอย่างที่เหมาะสมเป็นอย่างยิ่งในการสาธิตให้เห็นถึงลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออสซิลเลชันในห้องปฏิบัติการ

ในการอธิบายเชิงทฤษฎี หากนำรูปแบบ Lotka-Volterra มาประยุกต์ใช้สำหรับการอธิบายการเกิดออสซิลเลชันแบบ *BZ* โดยกำหนดให้ $HBrO_2$ = X, HOBr = Y และกรด โบรเมต ($H^+ + BrO_3^-$) = A จะเขียนเป็นกลไกของระบบได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

$$[3H^+ + BrO_3^-] + HBrO_2 \longrightarrow 2HBrO_2 + [H_2O] \qquad [A] + X \longrightarrow 2X \qquad \{LV1\}$$

$$2Ce^{3+} \rightleftharpoons 2Ce^{4+}$$

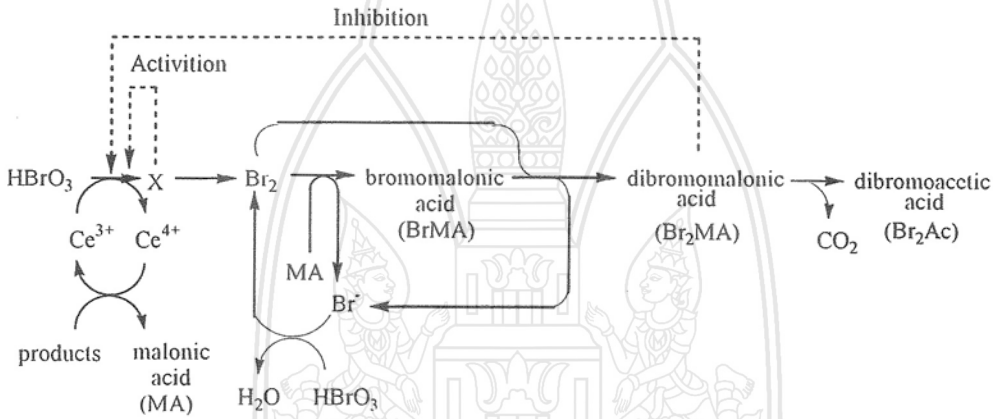
$$[2H^+ + 2CO_2] \longrightarrow [(COOH)_2]$$

$$2Ce^{3+} \rightleftharpoons 2Ce^{4+}$$

$$HBrO_2 + HOBr + [2H^+] \longrightarrow 2HOBr + [H_2O] \qquad X + Y \longrightarrow 2Y \qquad \{LV2\}$$

$$[CH_3COCH_3] + HOBr \longrightarrow [CH_2BrCOCH_3 + H_2O] \qquad Y \longrightarrow [B] \qquad \{LV3\}$$

จากการศึกษาเชิงจลนพลศาสตร์เคมี พบว่า ระบบออสซิลเลชันแบบ BZ มีวงกระตุ้นกลับ (feed-back loop) เกี่ยวข้องมากกว่า 1 วงจร (ดูรูปที่ 5) วงจรแรกคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเซอรัสไอออนโดยโบรเมต (BrO_3^-) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแบบเร่งอัตโนมัติ (autocatalytic reaction) ได้ผลผลิตเป็นโบรมีน (Br_2) วงจรที่ 2 คือ โบรมีนทำปฏิกิริยากับกรดมาโลนิก (MA) เกิดเป็นกรดไดโบรโมมาโลนิก (Br_2MA, dibromomalonic acid) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งสำหรับปฏิกิริยาแบบเร่งอัตโนมัติข้างต้น โดยเสนอแนวคิดว่า ตัวยับยั้งการกระตุ้นกลับ (feed-back inhibitors) คือ โบรไมด์-ไอออน (Br^-) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาช่วงชีวิต (lifetime) ของสารโบรไมด์ที่ปรากฏในระบบแล้วพบว่า ในกรณีที่อยู่ในสารละลายที่มีค่าออกซิไดส์สูง ๆ ช่วงชีวิตดังกล่าวสั้นเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับช่วง (period) ของการเกิดออสซิลเลชัน ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งคือ ช่วงการเกิดออสซิลเลชันจะมากขึ้นเมื่อลดความเข้มข้นของโบรเมต เป็นการสนับสนุนว่า กลไกของปฏิกิริยามี BrO_3^- ทำหน้าที่เป็นขั้นกำหนดอัตรา (rate determining step)



รูปที่ 5 แผนผังแสดงวงกระตุ้นกลับ (feed-back loop) ในระบบ BZ

ในปี ค.ศ. 1972 *Field, Körös* และ *Noyes*[9] เสนอกลไกเอฟเคเอ็น (FKN mechanism) โดยมีรากฐานมาจากรูปแบบของ Lotka-Volterra เพื่ออธิบายการเกิดปฏิกิริยาโบรมิเนชันและออกซิเดชันของกรดมาโลนิกโดยโบรเมตในสารตัวกลางที่เป็นกรด โดยมีเซอเรียม (IV) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้

1) ขั้นตอนการกำจัดโบรไมด์ออกจากระบบ :

$$Br^- + HOBr + H^+ \rightleftharpoons Br_2 + H_2O$$

$$Br^- + HBrO_2 + H^+ \rightleftharpoons 2HOBr$$

$$Br^- + BrO_3^- + 2H^+ \rightleftharpoons HOBr + HBrO_2$$

2) ออโตคะตะไลซิส :

$$2HBrO_2 \rightleftharpoons HOBr + BrO_3^- + H^+$$

$$HBrO_2 + BrO_3^- + H+ \rightleftharpoons 2BrO_2\bullet + H_2O$$

$$BrO_2\bullet + Ce^{3+} + H^+ \rightleftharpoons Ce^{4+} + HBrO_2$$

3) การเกิดสารโบรไมด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดอินทรีย์ :

$CH_2(COOH)_2 \rightleftharpoons (HO)_2C{=}CHCOOH$ (Enol)

$Enol + Br_2 \rightarrow BrCH(COOH)_2 + H^+ + Br^-$

$2Ce^{4+} + CH_2(COOH)_2 + BrCH(COOH)_2 \rightarrow 2Ce^{3+} + xBr^- + products$

กลไกเอฟเคเอ็น อธิบายถึงการเกิดกรดทาร์โทรนิก (tartronic acid) หลังจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดมาโลนิกโดยเซอเรียม (IV) เมื่อกรดทาร์โทนิกถูกออกซิไดซ์เกิดสารมัธยันตร์ (intermediates) คือโบร์ไมด์ (Br^-) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารมัธยันตร์ควบคุม (control intermediate) ต่อมา *Field* และ *Noyes*[10] จากมหาวิทยาลัยออเรกอน (the university of Oregon) ได้เสนอรูปแบบการคำนวณเป็นสมการในเชิงคณิตศาสตร์ที่รู้จักกันในชื่อของ "รูปแบบออเรกอเนเตอร์" (Oregonator model):

O1	$A + Y \rightarrow X + P$	Rate =	k_1AY
O2	$X + Y \rightarrow 2P$		k_2XY
O3	$A + X \rightarrow 2X + 2Z$		k_3AX
O4	$2X \rightarrow A + P$		k_4X^2
O5	$B + Z \rightarrow \frac{1}{2}f\,Y$		k_5BZ

เมื่อ $A = BrO_3^-$, $Y = Br^-$, $X = HBrO_2$, $P = HOBr$, $Z = Ce^{4+}$, B คือ สารอินทรีย์ทุกตัวที่ถูกออกซิไดส์ได้ และ f คือ ค่า stoichiometric factor

สมการอัตราสำหรับสารมัธยันตร์ (intermediates) X, Y, Z คือ

$$\frac{dX}{dt} = k_1AY - k_2XY + k_3AX - 2k_4X^2$$

$$\frac{dY}{dt} = -k_1AY - k_2XY + \tfrac{1}{2}fk_5Bz$$

และ $$\frac{dZ}{dt} = 2k_3AX - k_5BZ \qquad [1]$$

เขียนค่าความเข้มข้น X, Y, Z ให้อยู่ในรูปของตัวแปรที่ไร้มิติ (dimentionless variables) โดยนิยามเทอม x, y, z และ τ ดังนี้

$$x = \frac{2k_4X}{k_3A}$$

$$y = \frac{k_2Y}{k_3A}$$

$$z = \frac{k_5k_4BZ}{(k_3A)^2}$$

และ $$\tau = k_5Bt \qquad [2]$$

จะสามารถเขียนสมการอัตราเป็นฟังก์ชันของเทอม x, y, z และ τ ได้ดังนี้

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{qy - xy + x(1-x)}{\varepsilon}$$

$$\frac{dy}{d\tau} = \frac{-qy - xy + fx}{\varepsilon'}$$

และ $$\frac{dz}{d\tau} = x - z \qquad [3]$$

เมื่อ $$\varepsilon = \frac{k_5B}{k_3A}$$

$$\varepsilon' = \frac{2k_5 - k_4B}{k_2k_3A}$$

และ $$q = \frac{2k_1k_4}{k_2k_3} \qquad [4]$$

สำหรับค่าความเข้มข้น A = 0.06 M และ B = 0.02 M ในสมการข้างต้น จะพบว่า เทอมต่าง ๆ ข้างต้นมีค่าเป็น

$$\varepsilon = 10^{-2}$$
$$\varepsilon' = 2.5\times10^{-5}$$
$$q = 9\times10^{-5}$$

ซึ่งแสดงว่า ค่า ε' มีค่าน้อยมาก ๆ นั่นคือเมื่อเวลาผ่านไป ความเข้มข้นของ Br^- (y) จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (หรือกล่าวได้ว่า ค่า $\frac{dy}{d\tau}$ มีค่าสูงมาก ๆ) ในการคำนวณที่ classical steady state approximation จะสมมติให้

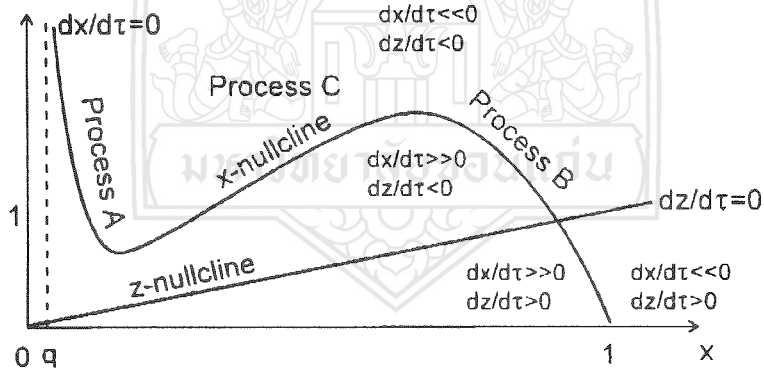
$$y = \frac{fz}{q+x} \qquad [5]$$

นั่นคือ ค่า $[Br^-]$ อยู่ที่ dynamic steady state ซึ่งสัมพันธ์กับค่า $[HBrO_2]$ และสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ใหม่เป็น

$$\varepsilon \frac{dx}{d\tau} = x(1-x) - \frac{(x-q)}{q+x} fz \qquad [6]$$

$$\frac{dz}{d\tau} = x-z \qquad [7]$$

เทอมทั้งสองในสมการที่ [6] เป็นเทอมที่แสดงถึง Process B (ดูรูปที่ 6) ได้แก่ ปฏิกิริยาออโตคะตะไลซิส (O3 และ O4) ซึ่งกำหนดโดยขั้นตอน disproportionation และ Process A ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการผลิตและการกำจัด $HBrO_2$ (O1 และ O2) ขณะที่สองเทอมในสมการที่ [7] อธิบายขั้นตอนการเกิด Ce^{4+} ใน process B และการเกิดปฏิกิริยารีดักชันใน process C (O5)



รูปที่ 6 รูปแบบออเรกอเนเตอร์ (แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง z และ x)

แม้ว่ากลไกเอฟเคเอ็นและรูปแบบออเรกอเนเตอร์ จะเป็นที่ยอมรับและใช้ในการอ้างอิงอย่างกว้างขวาง แต่ทฤษฎีดังกล่าวก็ยังไม่สามารถอธิบายผลการทดลองต่างๆ ในเชิงเคมีได้ทั้งหมด เช่น กรณีที่มีผลการวิจัยรายงานว่า[11,12] ไม่พบกรดฟอร์มิก (formic acid) ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกรดทาร์โทรนิกในปฏิกิริยา BZ เป็นต้น การปรับปรุงแก้ไขทฤษฎีดังกล่าวที่สำคัญ ได้แก่ ผลงานของ *Försterling* และคณะ[13] ซึ่งพบว่า มีสารมัธยันตร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมปฏิกิริยา(control intermediates) ควบคู่ไปกับโบร์ไมด์ คือ อนุมูลอัลคิลมาโลนิล (MA$^{\bullet}$) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ $BrO_2^{\bullet}$ โดยตรง:

$$MA^{\bullet} + BrO_2^{\bullet} \rightarrow MABrO_2$$

จัดเป็นวงควบคุมแบบใหม่ที่เรียกว่า "วงกระตุ้นกลับเนกาทีฟแบบที่สอง" (the second nagative feed-back loop) และมีการเสนอทฤษฎีใหม่ เรียกว่า "รูปแบบราดิคอเลเตอร์" (Radicalator model) โดยมีสารควบคุมกึ่งปฏิกิริยาตัวใหม่เป็นอนุมูลอิสระของกรดอินทรีย์คือ อนุมูลอัลคิลมาโลนิล (MA$^{\bullet}$) มีการเสนอผลงานตีพิมพ์ที่สนับสนุนทฤษฎีใหม่ อาทิ การเกิดอนุมูลอัลคิลมาโลนิล (MA$^{\bullet}$) ในปฏิกิริยาออสซิลเลชันแบบ Belousov-Zhabotinsky[13-17] การเหนี่ยวนำให้เกิดออสซิลเลชันของคลอไรด์ไอออนในปฏิกิริยาออสซิลเลชันแบบ Belousov-Zhabotinsky ซึ่งอธิบายโดยทฤษฎีแบบเรดิคอเลเตอร์[18] การศึกษาอิทธิพลของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนโดยวัดการเกิดอนุมูลอัลคิลมาโลนิล โดยใช้ ESR[19] เป็นต้น และเมื่อไม่นานมานี้ มีผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ของ *Györgyi, Turanyi* และ *Field*[20] ซึ่งเสนอกลไกจีทีเอฟ (GTF model) โดยประยุกต์หลักทฤษฎีที่มีสารควบคุมกึ่งปฏิกิริยาเป็นโบร์ไมด์ (Br^-) และอนุมูลอัลคิลมาโลนิล (MA$^{\bullet}$) เข้าด้วยกัน โดยมีสมการเคมีเกี่ยวข้องมากถึง 80 สมการ ประเด็นที่น่าสนใจคือ กลไกดังกล่าวยังคงประกอบไปด้วยสมการเคมีซึ่งแสดงการเกิดกรดทาร์โทรนิกจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดมาโลนิกโดยเซอเรียม (IV) โดยมีสมการเคมีซึ่งมีกรดทาร์โทรนิกเกี่ยวข้องอยู่ถึง 25 สมการ

เมื่อมีการประยุกต์ใช้เทคนิคทาง HPLC เพื่อติดตามสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดมาโลนิกโดยเซอเรียม (IV) โดยตรง ในปี ค.ศ. 1995 โดย *Gao* และคณะ[21] พบว่า กรดทาร์โทรนิกไม่ใช่ทั้งสารมัธยันตร์และสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาดังกล่าว ผลการศึกษาพบว่า สารที่เป็นสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาคือ กรด 1,12,2-อีเทนเตตราคาร์บอกซิลิก (1,12,2-ethanetetracarboxylic acid, ETA) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของอนุมูลอัลคิลมาโลนิล (MA$^{\bullet}$) ผลการวิจัยข้างต้นได้รับการสนับสนุนจากงานการวิจัยของผู้เขียนและคณะ[22] ซึ่งพบว่านอกจากสารผลิตภัณฑ์หลักคือ ETA แล้ว สารที่เป็นสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาอีกชนิดหนึ่งคือโมโนมาโลนิลมาโลเนต (Monomalonyl malonate, MAMA) แสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาในเชิงเคมีที่ถูกต้อง ทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับปฏิกิริยาออสซิลเลชันแบบ Belousov-Zhabotinsky ระหว่างกรดมาโลนิก (malonic acid) โบรเมท (BrO_3^-) และ เซอเรียม (IV) ยังต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขและคำถามที่ว่า "กลไกการเกิดออสซิลเลชันแบบ BZ ที่แท้จริงเป็นอย่างไร" ก็ยังคงเป็นคำถามที่ได้รับการสนใจศึกษาและค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ถูกต้องต่อไป

เอกสารอ้างอิง :

1. Chance, B.; Pye, E. K.; Ghosh, A. K.; Hess, B., Eds., Biological and Biochemical Oscillators (Academic Press: New York. 1973).

2. Bray, W. J.; Liebhalfsky, H. A. *J. Am Soc.* **1931**, 53, 38.
3. Belousov, B. P., Sbornik Referatov po Radiatsionni Meditsine (Meddgiz, Moscow, 1958) 145.
4. Zhabotinsky, A. M. *Biofizika* **1964**, 9, 306.
5. Briggs, T. S.; Rauscher, W. C.; *J. Chem. Educ.* **1973**, 50, 496.
6. Kepper, P. De; Boissononade, J.; Epstein, I. R. *J. Phys. Chem.* **1990**, 94, 4404.
7. Lotka, A. J. *J. Am. Chem. Soc.* **1920**, 42, 1595.
8. Scott, S. K., Oscillation, Waves and Chaos in Chemical Kinetics (Oxford Univ. Press, Oxford, 1994).
9. Field, R. J.; K"r"s, E.; Noyes, R. M. *J. Am. Chem. Soc.* **1972**, 84, 8649.
10. Field, R. J.; Noyes, R. M. *J. Chem. Phys.* **1974**, 60, 1877.
11. Bruza, M. A.; Coulussi, A. J. *Int. J. Chem. Kinet.*. **1983**, 15, 1335.
12. Hansen, E. W.; Gran, H. C. Rueff, P. *J. Phys. Chem.* **1984**, 88, 4908.
13. Försterling, H. D.; Noszticzius, Z. *J. Phys. Chem.* **1989**, 93, 2740.
14. F"rsterling, H. D.; Muranyi, S.; Noszticzius, Z. *J. Phys. Chem.* **1990**, 94, 2915.
15. F"rsterling, H. D.; Muranyi, S. *Z. Naturforsch.* **1990**, 45a, 1259.
16. Ruoff, P; F"rsterling, H. D.; Gyoergyi. L; Noyes, R. M., *J. Phys. Chem.* **1991**, 95, 9315.
17. Försterling, H. D.; Stuk, L. *J. Phys. Chem.* **1991**, 95, 7320.
18. Försterling, H. D.; Muranyi, S. *Z. Naturforsch.* **1990**, 45a, 135.
19. Försterling, H. D.; Stuk, L. *J. Phys. Chem.* **1992**, 96, 3067.
20. Györgyi, L.; Turanyi, T.; Field, R. T. *J. Phys. Chem.* **1993**, 97, 1931.
21. Gao, Y.; F"rsterling, H. D.; Noszticzius, Z.; Meyer, B. *J. Phys. Chem.* **1994**, 98, 8377.
22. Sirimungkala, A.; F"rsterling, H. D.; Noszticzius, Z. *J. Phys. Chem.* **1996**, 100, 3051.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ว.วิทย มข. 25(4) : 270-273 (2540)

ANTISENSE THERAPY

*ภก. ดร. ศักดา ดาดวง**

หลังจากที่นิตยสาร "Science" ปี 1992 จัดลำดับให้ "antisense technology" เป็น 1 ใน 10 ของงานวิจัยที่น่าสนใจมากที่สุดทางด้าน molecular biology นับแต่นั้นเทคโนโลยีนี้ได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยกันอย่างแพร่หลายตั้งแต่ในเรื่อง molecular biology ขั้นพื้นฐานไปจนถึงใช้สำหรับงานวิจัยทางคลีนิค ในเรื่องของการรักษาโรคหลายชนิด เช่น โรคทางพันธุกรรม เอดส์ มะเร็ง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม หลายปีที่ผ่านมา แม้ว่าการใช้เทคนิคนี้ในการรักษาจะได้รับผลดีตามที่คาดหวัง แต่ก็มีอาการข้างเคียง (side effect) ที่ไม่ได้คาดคิดกันมาก่อนเกิดขึ้น นักวิจัยจึงเริ่มรู้ว่า การนำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้ทางคลีนิคนั้นไม่ได้ง่ายอย่างที่คิดเสียแล้ว แม้จะทราบกันดีว่า antisense oligonucleotide ที่สร้างขึ้นในหลอดทดลองมีความจำเพาะเจาะจงต่อ RNA หรือ DNA เป้าหมายก็ตาม

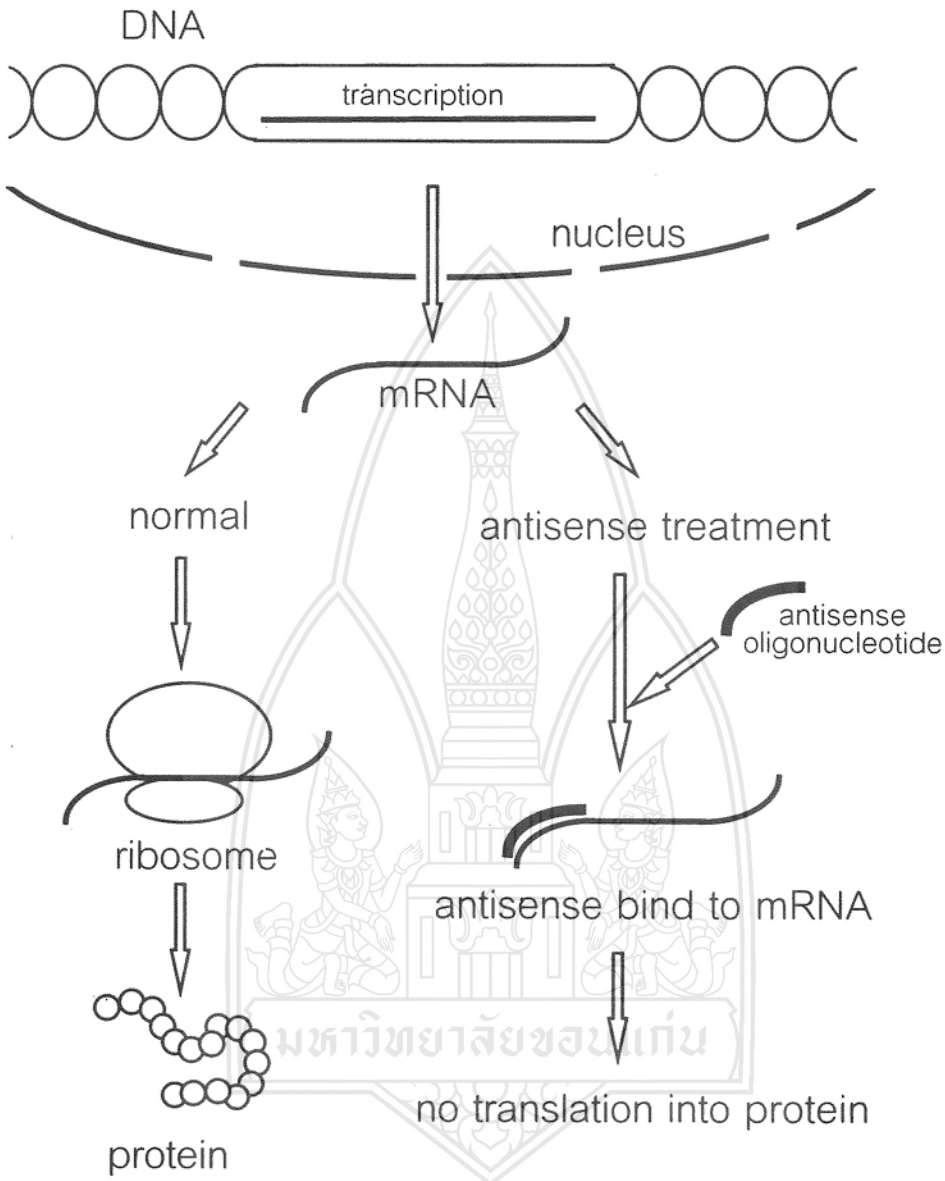
หลักการของ antisense technology

ในระหว่างที่มีการสร้างโปรตีน DNA เพียงเส้นเดียว (ในสองเส้น) เท่านั้นที่ถูกนำมาใช้เป็นแม่แบบในการถอดรหัส (transcript) เป็น mRNA และแปลรหัส (translate) เป็นโปรตีนตามลำดับ [1] (รูปที่ 1) ต่อมาในปี 1970 Paul Zamecnik นักวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ได้สร้าง oligonu-cleotide โดยใช้วิธีการทางเคมี oligonucleotide ดังกล่าวมีขนาดยาวราว 20 เบส และมีลำดับบนเส้นเข้าคู่กันกับ DNA หรือ RNA เป้าหมาย เรียกว่า antisense oligonucleotide เมื่อ oligonucleotide นี้เข้าจับกับ DNA จะขัดขวางการถอดรหัส DNA ไปเป็น mRNA หรือถ้าเข้าจับกับ mRNA ก็จะขัดขวางการแปลรหัสไปเป็นโปรตีน ในการประยุกต์ใช้ทางคลีนิคนั้นจำเป็นต้องมีการดัดแปลงโครงสร้างโมเลกุลของ antisense oligon-ucleotide เพื่อป้องกันการทำลายจากเอนไซม์ในเซลล์ โดยอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุลจะถูกแทนที่ด้วยอะตอมของซัลเฟอร์ ได้อนุพันธ์ซึ่งเรียกว่า phosphorothioates เพื่อให้แน่ใจว่าหลังจากที่ให้เข้าในร่างกายแล้ว จะสามารถอยู่ได้นานพอที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลของการวิจัยในห้องทดลองและปัญหา

ในขั้นต้น phosphorothioates ที่สังเคราะห์ได้ จะถูกนำไปทดสอบกับเซลล์เพาะเลี้ยงในห้องทดลอง ตัวอย่างเช่น ห้องวิจัยที่มี Sudhir Agrawal เป็นรองหัวหน้าแห่งบริษัท Hybridon ณ เมือง Worcester มลรัฐแมสซาชูเสต สหรัฐอเมริกา พบว่า GEM91 ซึ่งเป็น phosphorothioates ที่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อขัดขวางการถอดรหัสจีน gag (ซึ่งเป็นจีนจำเป็นต่อวงจรชีวิตของไวรัส) สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งการเพิ่มจำนวนของไวรัสเอดส์ (HIV-1 virus) ให้ประสิทธิภาพสูงถึง 100 % โดยขึ้นกับโดส (dose) ที่ใช้ [2]

* *ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*



รูปที่ 1 แสดงกลไกการทำงานของ antisense oligonucleotide จากภาพจะเห็นว่าในสภาวะปกติ mRNA ที่ได้จากการถอดรหัส DNA จะถูกแปลรหัสได้โปรตีนในที่สุด แต่เมื่อ mRNA ถูกจับด้วย antisense oligonucleotide ซึ่งมีลำดับเบสคู่สมกัน mRNA จะไม่ถูกแปลรหัสเป็นโปรตีน (ดัดแปลงจาก Roush, W.[4])

ส่วนห้องวิจัยของบริษัท Gilead Sciences ซึ่งทำงานด้านเทคโนโลยีชีวภาพ อยู่ที่เมือง Foster City มลรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา Richard Wagner นักวิจัยที่นี่พบว่า หลังจากฉีด antisense oligonucleotide ต่อจีน *rev* หรือ *gag* เข้าไปในเซลล์โดยตรง สามารถที่จะยับยั้งการเพิ่มจำนวนของไวรัส HIV-1 (ref. 2) และในการทดลองอีกชิ้นหนึ่งให้ผลที่แสดงว่า antisense oligonucleotide ต่อจีน *c-myc* สามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเซลล์เม็ดเลือดขาวจากผู้ป่วยโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาว (leukemia) ได้[2] แต่หลังจากทำงานกันไปได้ไม่นานก็พบว่า antisense oligonucleotide ที่สร้างขึ้นไม่สามารถผ่านเข้านิวเคลียสซึ่งเป็นเป้าหมายออกฤทธิ์ (site of action) ได้ ดังนั้น แม้ว่าอาจจะใช้ได้ผลเมื่อฉีดโดยตรงเข้าไปในเซลล์เพาะเลี้ยง แต่ยังไม่สามารถใช้ได้จริงกับร่างกาย

นอกจากนี้นักวิจัยยังพบว่า oligonucleotide ที่ใช้เป็นชุดควบคุม (control) ซึ่งคือ oligonucleotide ที่ไม่มีลำดับเบสคู่สมกับจีน *gag* หรือจีน *rev* หรือจีน *c-myc* ก็สามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนของไวรัส HIV-1 หรือเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวได้ดีเท่ากับ antisense oligonucleotide ที่กำลังใช้ศึกษาอยู่ Wagner กล่าวว่า "ทุกครั้งที่เราทำการทดสอบการออกฤทธิ์ของ antisense oligonucleotide การทดลองชุดควบคุมก็จะให้ผลบวกเช่นกัน และเมื่อย้อนกลับไปดูรายงานฉบับแรกๆ เกี่ยวกับเรื่องนี้จะด้วยสาเหตุใดไม่ทราบ มักจะไม่รายงานผลของชุดควบคุมกำกับไว้ด้วย"[2]

คำกล่าวของ Wagner มีข้อมูลจากห้องวิจัยอื่นสนับสนุน เช่น Arthur Krieg แห่งมหาวิทยาลัยไอโอวา และคณะ[2] ได้พยายามที่จะพัฒนาเทคนิคนี้เพื่อใช้กับโรค autoimmune เช่น rheumatoid arthritis ซึ่งโรคนี้มีสาเหตุมาจาก B-cell ในผู้ป่วยนั้นทำงานมากกว่าปกติ จึงได้ศึกษาหาจีนที่เป็นสาเหตุและพยายามที่จะยับยั้งกระบวนการถอดรหัสของจีนนั้นเสียโดยใช้ antisense technology แต่กลับพบว่า การใช้เทคนิคนี้ทำให้ B-cell ทำงานได้ดีกว่าเดิม

ต่อมา Krieg และคณะ[3] อธิบายสาเหตุของการกระตุ้น B-cell ของ antisense oligonucleotide ว่า antisense oligonucleotide ที่สังเคราะห์ขึ้นในห้องปฏิบัติการนั้นเป็นสิ่งแปลกปลอมในเซลล์ของสัตว์ชั้นสูง เพราะมีส่วนคล้าย DNA ของแบคทีเรีย จึงสามารถกระตุ้น B-cells และ killer cells ได้ ลักษณะสำคัญของ DNA ของแบคทีเรียที่เป็นสิ่งแปลกปลอมต่อเซลล์ของสัตว์ชั้นสูงนั้นได้แก่ บริเวณลำดับ CpG (C คือเบสไซโตซีน, G คือเบสกัวนีน และ p คือหมู่ฟอสเฟต) ซึ่งไม่มีการเติมหมู่เมธิล (methylation) ที่เบสไซโตซีน ในขณะที่ลำดับ CpG ในสัตว์ชั้นสูงส่วนใหญ่มีหมู่เมธิลติดอยู่ เพื่อเป็นการป้องกันมิให้ DNA ถูกทำลายจากแบคทีเรียหรือเพื่อเป็นการควบคุมการแสดงออกของจีน ดังนั้น antisense oligonucleotide จากการสังเคราะห์ ที่ไม่ได้เติมหมู่เมธิลไว้ ทำให้ระบบภูมิคุ้มกันของเซลล์คิดว่าเป็นสิ่งแปลกปลอม จึงกระตุ้น B-cell และสร้างภูมิคุ้มกันขึ้นมา ด้วยเหตุนี้ ทำให้ Krieg คิดที่จะนำเอา antisense oligonucleotide ไปใช้กับผู้ป่วยเอดส์ เนื่องจากมีการเพิ่มการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันอาจทำให้อาการของผู้ป่วยดีขึ้นได้ แต่ยังไม่มีข้อมูลมากพอที่จะสรุปผลการกระตุ้น B-cell โดย antisense oligonucleotide ในผู้ป่วยเอดส์ได้

ผลทางคลีนิคและอาการข้างเคียง

เมื่อต้นปี 1997 Branimir Sikic แห่งมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด ได้รายงานว่า ISIS3521 ซึ่งเป็น antisense oligonucleotide ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยบริษัท Isis สามารถหยุดการแพร่กระจายของมะเร็งรังไข่ในผู้ป่วย 3 ใน 17 คน โดยมีอาการข้างเคียงน้อยมาก[4] ส่วน ISIS2302 ก็สามารถนำ

มาใช้รักษาโรคโครห์น (Crohn's disease) และบริษัทก็ประสบผลสำเร็จจากการสังเคราะห์ antisense oligonucleotide เพื่อใช้ยับยั้ง cytomegalovirus ที่ทำลายเรตินาในผู้ป่วยเอดส์ได้ด้วย

แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงมีรายงานในเรื่องของอาการข้างเคียงจากการใช้ antisense oligonucleotide อยู่มาก นักวิจัยทั้งที่ Hybridon และ Isis พบว่ามีการสะสมของ phosphorothioates ที่ตับไต และไขกระดูก [2] และ Dr. Agrawal แห่งบริษัท Hybridon รายงานว่า อาการข้างเคียงที่น่ากลัวมากที่สุด คือการเสียชีวิตจากการกระตุ้นคอมพลีเมนต์ (complement) ของระบบภูมิคุ้มกันของลิงทดลอง หลังให้ phosphorothioates ในปริมาณที่สูงในทันที และยังทำให้ปริมาณของเม็ดเลือดขาวลดลง รวมทั้งทำให้ความดันโลหิตและจังหวะการเต้นของหัวใจเปลี่ยนแปลงในสัตว์ทดลอง แต่ผลต่อระบบหัวใจและโลหิต สามารถลดลงได้โดยให้ทีละน้อยและบ่อยๆ แล้วค่อยๆ เพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อยๆ โดยได้ทดลองใช้ GEM91 พบว่าเมื่อให้โดสที่สูงด้วยวิธีการดังกล่าวแก่ผู้ป่วยเอดส์ สามารถทำให้จำนวนของไวรัสลดลงได้ โดยมีผลต่อระบบหัวใจและโลหิตไม่มากนัก [2]

ในการประชุมในหัวข้อ Art of Antisense ซึ่งจัดขึ้นที่เมืองนิวออร์ลีน เมื่อวันที่ 21 และ 22 กันยายน 1995 Dr.Stein แห่งมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ได้เสนอผลงานต่อที่ประชุมว่า สาเหตุที่ทำให้ antisense oligonucleotide ไม่สามารถผ่านเข้านิวเคลียส ก็เพราะถูกจับโดยโปรตีนบางชนิดในเซลล์และถูกเก็บไว้ในไซโตพลาสซึม ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุของการสะสมของ antisense oligonucleotide ที่ตับและไต ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น นอกจากนี้ ประจุลบของ oligonucleotide ทำให้จับตัวได้ดีกับโปรตีนบางชนิดนอกเซลล์ เช่น fibronectin และ laminin ซึ่งจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของเซลล์ (cell migration) และการยึดติดกับเนื้อเยื่อพื้นผิวของเซลล์ (cell adhesion) อันจะมีผลต่อการสมานแผล และการซ่อมแซมต่างๆ

อนาคตของ antisense technology ต่อวงการแพทย์

ถึงแม้ดูเหมือนว่า antisense oligonucleotide จะนำมาใช้ในวงการแพทย์ได้ แต่ก็ยังต้องพัฒนาให้ดีขึ้น ปัญหาใหญ่ประการหนึ่งคือ antisense oligonucleotide ผ่านเข้าเซลล์ได้ไม่ดีนัก ดังนั้นหากสามารถใช้ไลโปโซม (liposome) เป็นตัวพา (carrier) ก็จะช่วยให้ผ่านเข้าเซลล์และนิวเคลียสได้ง่ายขึ้น และอีกปัญหาหนึ่ง คือ antisense oligonucleotide มีประจุ จึงสามารถจับกับชีวโมเลกุลต่างๆ ได้ดี ทำให้เกิดอาการข้างเคียงมาก จึงจำเป็นต้องพัฒนาให้มีความจำเพาะเจาะจงสูงต่อ DNA หรือ RNA เป้าหมาย จึงจะนำมาใช้งานทางคลีนิคได้

เอกสารอ้างอิง

1. Wolfe, S.L., (1993) **Molecular and Cellular Biology**, (1st ed.). Belmont, California, Wadsworth Publishing Company, p.733-5
2. Gura, T. (1995) Antisense has growing pains, **Science** 270, 575-7.
3. Krieg, A.M. et al. (1995) CpG motifs in bacterial DNA trigger direct B-cell activation, **Nature** 374, 546-9.
4. Roush, W. (1997) Antisense Aims for a Renaissance, **Science** 276, 1192-3.

ว.วิทย มข. 25(4) : 274-280 (2540)

Apoptosis....
โปรแกรมการตายของเซลล์

*สมปอง ธรรมศิริรักษ์**

โดยทั่วไปเซลล์สามารถจะกำจัดหรือฆ่าตัวเองได้เสมอ เรียกกระบวนการนี้ว่า โปรแกรมการตายของเซลล์ (apoptosis) โปรแกรมนี้มีความสำคัญต่อการทำหน้าที่ของเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย หากเกิดการบกพร่องอาจเป็นสาเหตุเบื้องหลังของการเกิดพยาธิสภาพของโรคได้ และขณะเดียวกัน apoptosis อาจนำไปสู่สภาวะการเสื่อมของอวัยวะต่างๆ ได้

ทุกวินาทีภายในร่างกายจะมีการตายของเซลล์เกิดขึ้นตลอด จากการศึกษาวิจัยของนักวิทยาศาสตร์กลุ่ม Burgeon พบว่า การที่มนุษย์มีชีวิตอยู่รอดนั้นไม่ได้เกิดจากความสามารถในการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาเท่านั้น แต่ต้องมีความสามารถในการทำลายเซลล์ของตัวเองด้วย เมื่อเซลล์นั้นเกิดความผิดปกติจนไม่สามารถทำหน้าที่ได้ ซึ่งขั้นตอนการทำลายเซลล์ของตัวเองนี้ก็คือ apoptosis นั่นเอง ได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่มมากที่พยายามศึกษาว่า apoptosis เกิดขึ้นได้อย่างไรและมีวิถีทางที่จะป้องกันได้ไหม? ปี 1950 มีการศึกษาเกี่ยวกับการตายหรือการทำลายตัวเองของเซลล์อย่างจริงจัง เช่น กรณีการหดหายไปของหางลูกอ๊อดขณะเจริญเติบโตเป็นกบ หรือการลบหายไปของเซลล์สมองบางส่วนของมนุษย์ นักวิทยาศาสตร์ได้บ่งชี้ให้เห็นว่า apoptosis มีความสำคัญและแตกต่างจากการตายของเซลล์แบบ necrosis โดยการตายแบบ necrosis นี้ จะเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ได้รับบาดเจ็บอย่างรุนแรง หรือขณะที่เซลล์ขาดออกซิเจน เซลล์จะมีลักษณะบวม ออร์กาเนลต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น ไมโตคอนเดรีย ก็จะพองกลมเหมือนลูกโป่งแล้วก็จะแตกออก ทั้งหมดนี้เกิดจากเซลล์สูญเสียการควบคุมน้ำและอิเลคโตรไลต์ซึ่งจะมีการนำเอาโซเดียมอิออน และแคลเซียมอิออนเข้าเซลล์ได้มากขึ้น นอกจากนี้จากการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันจะทำให้เกิดอาการอักเสบของเนื้อเยื่อด้วย ส่วนการตายของเซลล์แบบ apoptosis มีลักษณะที่สำคัญคือ ไม่มีการบวมของเซลล์ ตรงกันข้ามเซลล์จะหดตัว (shrink) แยกออกจากเซลล์ข้างเคียง และภายในนิวเคลียส จะตรวจพบโครมาตินเข้มขึ้น โดยทั่วไปเซลล์ที่เกิด apoptosis จะถูกระบบภูมิคุ้มกันทำลายโดยไม่ปรากฏอาการอักเสบร่วมด้วย แต่ถ้าบางเซลล์ยังไม่ถูกทำลาย เซลล์นั้นก็จะมีการเปลี่ยนแปลงต่อ โดยมีการแบ่งเซลล์ซึ่งอาจมีหรือไม่มีนิวเคลียสติดมาด้วย เรียกเซลล์ชนิดนี้ว่า apoptotic bodies นอกจากนี้ โครมาตินจะเกิดการแตกหักเป็นท่อนๆ สามารถตรวจสอบได้โดยเทคนิคเจลอิเลคโตรโฟรีซีส เป็นที่น่าสนใจมากว่าโปรแกรมการตายของเซลล์บางชนิดไม่ได้เกิดขึ้นทันทีแต่จะใช้เวลานานมาก เช่น เลนส์ตาจะตายก็ต่อเมื่อภายในไซโตพลาซึมของเซลล์ถูกแทนที่ด้วยโปรตีนที่ชื่อ crystallin แต่เซลล์ keratinocyte ซึ่ง

* *อาจารย์ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

สร้างจากผิวหนังชั้นใน จะตายไปภายใน 21 วัน ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่ผิวหนังชั้นในนั้นพัฒนาเป็นผิวหนังชั้นนอก (epidermis) แล้ว การตายแบบ apoptosis นี้ มีบทบาทต่อการพัฒนาของตัวอ่อน[1] นอกจากนี้ปัจจุบันพบว่าจะมีการตายของเซลล์บางชนิดเกิดขึ้นตลอดเวลาขณะเจริญเติบโตและพัฒนาจนถึงเซลล์ที่โตเต็มที่ นักวิทยาศาสตร์ยังมีการตั้งสมมุติฐานว่าการกระตุ้นโปรแกรมการตายของเซลล์แบบไม่เหมาะสมหรือการขัดขวางโปรแกรมการตายของเซลล์อาจจะทำให้เกิดโรคมากมายโดยเฉพาะโรคมะเร็ง จนปัจจุบันมีนักวิทยาศาสตร์ทราบบ้างแล้วว่า เมื่อใดเซลล์จะฆ่าตัวตายและตายอย่างไร เช่น พบว่าเซลล์จะมีโปรตีน ซึ่งทำหน้าที่คล้ายเป็นอาวุธคอยทำลายตัวเอง โดยในช่วงเวลาที่เซลล์มีชีวิตจะเป็นประโยชน์ แต่โปรตีนพวกนี้จะกลับมาทำหน้าที่เป็นอาวุธทำลายเซลล์ทันทีเมื่อเซลล์นั้นติดเชื้อหรือเป็นมะเร็ง

การตายแบบ apoptosis อาจจะถูกกระตุ้นได้หลายทาง ได้แก่ การขาดสัญญาณที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ เช่น ฮอร์โมนเจริญเติบโต (growth hormone) หรือสารที่ทำให้ชีวิตรอด (survival factors) นอกจากนี้อาจมีการกระตุ้นอื่น ๆ จากภายนอกเซลล์และที่สำคัญอาจเกิดจากภายในเซลล์เอง ตัวอย่างเช่น ในเซลล์ของสัตว์ชั้นสูงโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นอาวุธในการฆ่าตัวตายของเซลล์เป็นเอนไซม์โปรติเอสเรียกว่า ICE-like protease เหตุที่มีชื่อเช่นนี้เพราะมีลักษณะโครงสร้างเหมือน Interleukin-1 converting enzyme (ICE) เอนไซม์โปรติเอสดังกล่าวโดยปกติจะเหมือนมีดที่อยู่ในฝักแต่เมื่อถูกกระตุ้นให้ทำงานจะตัดหรือทำลายโปรตีนต่าง ๆ ที่สำคัญของเซลล์จนทำให้เซลล์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ นอกจากนี้พบว่าเซลล์ต่างชนิดกันก็จะตอบสนองต่อโปรแกรมการตายของเซลล์ที่แตกต่างกัน การศึกษาวิจัยในปัจจุบันจึงมุ่งประเด็นที่ว่ามีอะไรบ้างที่สามารถกระตุ้นโปรแกรมการตายของเซลล์แบบ apoptosis ได้ และมีสารอะไรบ้างที่จะนำไปสู่การทำลาย ICE-like protease.

จากการศึกษาในเซลล์ของเม็ดเลือดขาวที่เรียกว่า T-lymphocyte หรือ T-cell การตายของเซลล์แบบ apoptosis สามารถเกิดขึ้นได้หลายครั้งตลอดช่วงอายุการทำงาน T-lymphocyte เป็นเซลล์ภูมิคุ้มกันของร่างกาย เมื่อร่างกายได้รับเชื้อโรค เช่น แบคทีเรีย เซลล์นี้จะถูกกระตุ้นให้ทำงานโดยเข้าทำลายเชื้อโรคนั้นเสีย ในขั้นตอนของการพัฒนา (differentiation) เซลล์ T-lymphocyte มีจุดเริ่มต้นสร้างจากไขกระดูก หลังจากนั้นเซลล์อ่อนจะเดินทางไปที่ต่อมไธมัส ที่นี่เซลล์จะถูกเรียกว่า Thymocyte และจะมีการเติม receptor ที่จำเพาะให้กับ Thymocyte ได้เป็น T-lymphocyte ที่สามารถจับทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่ถ้าขั้นตอนนี้ไม่สำเร็จ Thymocyte จะถูกทำลายไปโดยการเกิด apoptosis ขึ้น จะมีแต่ matured T-cell เท่านั้นสามารถผ่านเข้าสู่กระแสโลหิตได้ แต่อย่างไรก็ตามเซลล์เหล่านี้ก็อาจจะถูกกระตุ้นให้ตายได้โดย แสง X-ray หรือสารต่าง ๆที่ทำลาย DNA เซลล์ที่ถูกทำลาย จะปล่อยโปรตีนที่เรียกว่า p53 ซึ่ง p53 นี้จะสามารถกระตุ้นการตายของเซลล์แบบ apoptosis ให้เกิดขึ้นได้

สาเหตุของ apoptosis ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์อาจจะถูกเหนี่ยวนำได้ 2 ทาง

1. สภาวะการขาดสารที่ทำให้ชีวิตรอด
2. การเพิ่มปริมาณของโปรตีน Fas ซึ่งโมเลกุลนี้กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก

ในเซลล์ T-lymphocyte ที่อยู่ในภาวะพัก Fas จะมีระดับต่ำ Fas เป็นโปรตีนชนิด transmembrane protein ที่มีส่วนของโมเลกุลอยู่ทั้งด้านนอกและด้านในเซลล์ Fas สามารถกระตุ้นการตายแบบ apoptosis ได้โดยส่งผ่านสัญญาณเข้าไปในเซลล์ เมื่อ T-cell ถูกกระตุ้นจากแอนติเจน (activated T-cell) จะทำให้เกิดการสร้าง Fas ขึ้นมากมายบน

ผิวเซลล์แต่ยังไม่พร้อมทำงาน นอกจากนี้ T-cell ยังสร้างโปรตีนที่เรียกว่า Fas ligand ขึ้นมาด้วย หลังจากผ่านไป 2-3 วันการทำงานกระตุ้นการตายตามโปรแกรมของ Fas จะเริ่มขึ้นโดยที่ Fas ที่อยู่บนผิวเซลล์ของ activated T-cell จะจับ Fas ligand ในเซลล์เดียวกันหรือกับ Fas ligand ของเซลล์อื่นที่เกิดการติดเชื้อ ซึ่งจะทำให้ Fas กระตุ้น apoptosis ทันที[4] ดังแสดงใน Fig. 1A. อย่างไรก็ตามดังที่กล่าวไว้แล้วว่าเซลล์แต่ละชนิดจะมีความไวต่อการตายแบบ apoptosis ที่แตกต่างกัน เซลล์สมองและเซลล์กล้ามเนื้อจะไม่มีความไวต่อการตายแบบ apoptosis เพราะเซลล์พวกนี้ถ้าตายไปก็จะทำให้การทำงานของร่างกายผิดปกติไปด้วย ซึ่งตรงกันข้ามกับเซลล์ที่มีช่วงชีวิตสั้น และจนถึงปัจจุบันพบว่ามีโมโลกุล Bcl-2 เป็นโปรตีนที่สามารถยับยั้งกระบวนการ apoptosis ได้

โปรแกรมการตายของเซลล์ในโรคติดเชื้อไวรัส

โรคติดเชื้อไวรัสก็เป็นอีกโรคหนึ่งที่สาเหตุของการเจ็บป่วยเป็นผลจากโปรแกรมการตายของเซลล์ถูกเปลี่ยนแปลงไป หลังจากไวรัสเข้าสู่เซลล์ได้ ไวรัสจะทำให้การสร้างโปรตีนของเซลล์ลดลงยกเว้นโปรตีนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของไวรัสแทน ปัญหาที่สำคัญของไวรัสก็คือการกระทำเช่นนี้จะกระตุ้นให้เซลล์ฆ่าตัวตาย และถ้าเซลล์ตายไวรัสก็จะไม่สามารถมีชีวิตรอดด้วย เพราะฉะนั้นไวรัสจะต้องมีกลไก antiapoptosis เพื่อที่จะทำให้ตัวไวรัสมีชีวิตอยู่ได้ ในโรค mononucleosis ซึ่งเป็นโรคเกี่ยวกับมะเร็งของต่อมน้ำเหลือง สาเหตุของโรคนี้คือ Epstein Barr virus ไวรัสชนิดนี้จะผลิตโปรตีนที่มีหน้าตาคล้ายโปรตีน Bcl-2 ซึ่งสามารถขัดขวางโปรแกรมการตายของเซลล์แบบ apoptosis และยังกระตุ้นการสร้าง Bcl-2 ของเซลล์ปกติให้มากขึ้น ด้วย Papilloma virus ซึ่งเป็นสาเหตุของมะเร็งปากมดลูกก็ขัดขวางโปรแกรมการตายของเซลล์โดยการทำลาย p53 ซึ่งเป็นโมเลกุลที่กระตุ้นให้โปรแกรมการตายของเซลล์ทำงาน นอกจากนี้ Cowpox virus ซึ่งเป็นวัคซีนที่ใช้ในการรักษาโรคฝีดาษจะขัดขวางโปรแกรมการตายของเซลล์ที่ติดเชื้อนี้โดยการผลิตโปรตีนที่ป้องกันการทำงานจาก ICE-like proteases การติดเชื้อไวรัสอื่นๆ ก็เช่นกัน เชื้อไวรัสจะพยายามขัดขวางโปรแกรมการตายของเซลล์ จากความรู้เรื่องการตายของเซลล์นี้อาจนำไปสู่การรักษาโรคติดเชื้อไวรัส โดยการหาโมเลกุลหรือยาที่ขัดขวางการทำงานของ antiapoptosis ที่เกิดจากไวรัส อย่างไรก็ตามเป็นความโชคดีของมนุษย์ที่มีระบบภูมิคุ้มกันโดยเฉพาะ T-lymphocyte ชนิด Killer-cell ที่ทำหน้าที่ในการกำจัดเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัสนั้น เมื่อ T-cell พวกนี้จับเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัส เซลล์นี้จะกระตุ้นให้เกิดการตายของเซลล์ติดเชื้อไวรัส โดยจะมีโปรตีนชนิดหนึ่งสอดเข้าไปในเยื่อเซลล์ของเซลล์ที่ติดเชื้อ แล้วสร้างรู (pore) ขึ้นในเยื่อเซลล์ทำให้โปรตีนอื่นๆ สามารถเข้าไปในเซลล์ได้โดยโปรตีนพวกนี้จะไปกระตุ้นการทำงานของ ICE-like proteases แล้วส่งผลกระตุ้นการตายของเซลล์ตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ แต่ถ้าโปรแกรมนี้ล้มเหลวคือเซลล์ยังไม่ตาย ยังมีอีกทางหนึ่งคือรูที่เกิดขึ้นจะทำให้แคลเซียมอิออนผ่านเข้าเซลล์แล้ว ทำให้กระตุ้นการตายของเซลล์ตายแบบ necrosis

แต่ความโชคร้ายมักจะเกิดควบคู่กับความโชคดีเสมอ เนื่องจากความสามารถของ T-cell สามารถกระตุ้นโปรแกรมการตายของเซลล์เพื่อนบ้านหรือเซลล์ข้างเคียงได้ด้วย เซลล์ที่ติดเชื้อจะสามารถทำให้เซลล์เพื่อนบ้านที่อยู่ใกล้เคียงเกิดการเสียหายได้เพราะทุกเซลล์ในร่างกายจะสร้าง Fas ได้ โดยเฉพาะเมื่อเซลล์นั้นหรือเซลล์เพื่อนบ้านติดเชื้อไวรัส เมื่อ T-cell กระตุ้นการตายของเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัสโดยใช้ Fas ligand ที่อยู่บน T-cell จับกับ Fas ที่อยู่บนเซลล์ติดเชื้อทำให้เปิดโปรแกรมการ

ตายของเซลล์ที่มีไวรัสนั้นตายเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อร่างกาย แต่ Fas ligand ที่อยู่บน T-cell ก็สามารถจับกับ Fas ที่อยู่บนเซลล์ปกติได้ และกระตุ้นโปรแกรมการตายของเซลล์ปกติที่อยู่ใกล้เคียงได้เหมือนกัน จากความรู้นี้สามารถอธิบายการตายของเซลล์ตับในโรคไวรัสตับอักเสบบีได้ เพราะโรคนี้แม้ว่าจะมีเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัสจำนวนน้อยแต่กลับทำความเสียหายให้กับเซลล์ตับได้อย่างมาก การติดเชื้อไวรัสที่สำคัญมากอีกโรคหนึ่งคือ โรคเอดส์จากไวรัส HIV โรคนี้จะทำให้เซลล์ T-cell ชนิด T-helper cell ตายและก็ทำให้ killer-cell ตายไปด้วย เพราะ killer-cell นี้ต้องการ growth signal จาก T-helper cell อาการต่างๆ ของโรคนี้ก็เกิดจากการทำลายเซลล์ T-cell แล้วทำให้ระบบภูมิคุ้มกันต่ำลงทำให้มีอาการแทรกซ้อนของโรคต่างๆ ขึ้น จนถึงปัจจุบันไม่มีใครทราบว่ามีอะไรเป็นตัวกระตุ้นให้เซลล์ตายแบบ apoptosis เกิดขึ้นมากมายในโรคนี้ คำตอบที่อาจเป็นไปได้คือ เซลล์ T-cell อาจมีการสร้าง Fas เพิ่มขึ้น ซึ่งโดยปกติ T-cell จะมี Fas ก็ต่อเมื่อถูกกระตุ้นหรือพร้อมที่จะตาย แต่ T-cell ในคนไข้เอดส์ อาจจะมี Fas เกิดขึ้นก่อนที่ T-cell จะได้พบกับแอนติเจน Fas ที่เกิดขึ้นที่ผิวเซลล์นี้จะจับกับ Fas ligand บนเซลล์อื่นทำให้โปรแกรมการตายของเซลล์ทำงานและทำให้เซลล์นั้นตายก่อนที่จะโตเต็มที่ และที่โชคร้ายมากในการติดเชื้อ HIV คือเซลล์อ่อนของ T-cell พวกนี้ก็อาจจะกระตุ้นให้ตัวเองตายโดยปราศจากสัญญาณจาก activated T-cell โดยเซลล์อ่อนพวกนี้อาจเจอกับแอนติเจนที่จำเพาะบนเซลล์ แล้วแอนติเจนจะกระตุ้นให้มีการสร้าง Fas ligand ขึ้น ซึ่ง Fas ligand บนเซลล์อ่อนนี้สามารถจับได้กับ Fas บนเซลล์ของตัวเอง ทำให้กระตุ้นโปรแกรมการดายของเซลล์ที่ยังไม่โตเต็มที่เกิดขึ้นได้ (Fig. 1B.)

นอกจากนี้โปรแกรมการตายของเซลล์ในโรคเอดส์ยังอาจถูกกระตุ้นให้ทำงานได้โดยอนุมูลอิสระของออกซิเจน (oxygen free radicals) จากการศึกษาพบว่า อนุมูลอิสระนี้สร้างมาจากเซลล์ติดเชื้อไวรัสที่มีอาการอักเสบจากต่อมน้ำเหลืองจากคนไข้เอดส์ ซึ่งอนุมูลอิสระสามารถทำลาย DNA ของเซลล์หรืออาจจะทำให้เซลล์ตายแบบ necrosis และกระตุ้นการตายแบบ apoptosis ด้วย

บทบาทของโปรแกรมการตายของเซลล์ในโรค Autoimmunity

Autoimmunity คือโรคที่เซลล์ของระบบภูมิคุ้มกันไม่สามารถจดจำหรือแยกความแตกต่างระหว่างแอนติเจนจำเพาะกับแอนติเจนบนเซลล์ปกติ จึงกระตุ้นให้เซลล์ปกตินั้นตายได้ ถ้าร่างกายสามารถกำจัด T-lymphocyte ที่ทำลายเซลล์ของตัวเองได้หมด โรค Autoimmunity ก็จะไม่เกิดขึ้น แต่ในทางเป็นจริงแล้วร่างกายจะปล่อยให้ T-lymphocyte เหล่านี้หลุดเข้าไปในกระแสโลหิตได้แล้วเกิดการทำลายเซลล์ปกติทำให้เกิดอาการของโรคขึ้น แต่โรคนี้ก็รักษาได้ง่ายโดยการทำลายหรือกำจัดแอนติเจนของโรคนี้ แต่เป็นที่น่าแปลกใจว่า T-lymphocyte ของผู้ป่วยโรคนี้มีช่วงอายุยาวกว่าปกติและมักจะกระตุ้นโปรแกรมการตายของเซลล์ปกติให้ทำงานเร็วขึ้นเช่น โรค Systemic lupus erythematosus (SLE) และ Rheumatoid arthritis

การที่สองโรคนี้มี T-lymphocyte ที่อายุยืนมาก เพราะเซลล์นี้สามารถสร้างโมเลกุลที่ขัดขวางไม่ให้ Fas-ligand จากเซลล์อื่นจับกับ Fas บนเซลล์ของตัวเองซึ่งขัดขวางการส่งสัญญาณกระตุ้นโปรแกรมการตายของเซลล์ให้ทำงาน มีบางสมมุติฐานกล่าวไว้ว่าการที่ T-lymphocyte พวกนี้มีอายุยืนอาจเกิดจากการสร้าง Fas บนเซลล์น้อยหรือมีการสร้างโปรตีน Bcl-2 ได้มากจึงทำให้เซลล์ T-lymphocyte พวกนี้ไม่ตายตามโปรแกรมของเซลล์ที่ตั้งไว้

มะเร็งเป็นโรคที่เซลล์ลืมตาย

มะเร็งเป็นโรคที่เซลล์มีการเจริญเติบโตผิดปกติ ความผิดปกตินี้เกิดจากการสะสมของการเกิดการผ่าเหล่า (mutation) ของจีนหลายแห่งที่ทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตและการรอดชีวิตของเซลล์ โดยทั่วไปถ้ามีการผ่าเหล่าเกิดขึ้นภายในเซลล์ เซลล์นั้นมักจะทำลายตัวเองเสีย แต่ถ้าเซลล์นั้นไม่ตายก็มักจะเกิดการเจริญเติบโตแบ่งตัวจนไม่สามารถควบคุมได้และอาจมีการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง (metastasis) จากจุดที่เป็นเริ่มต้นทำให้เกิดมะเร็งขึ้นได้อีกบริเวณหนึ่งที่ห่างออกไป ในโรคมะเร็งนี้การเสียหายทางพันธุกรรมทำให้เซลล์ไม่สามารถเข้าสู่โปรแกรมการตายตามธรรมชาติได้ เพราะการผ่าเหล่าที่เกิดขึ้นทำให้จีนของโปรตีน p53 ไม่ทำงาน เช่น กรณีของเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่และเซลล์มะเร็งทรวงอก พบว่าจะไม่มีโปรตีน p53 เลย ซึ่ง p53 นี้เป็นตัวกระตุ้นที่ทำให้โปรแกรมการตายของเซลล์ทำงาน

ในโรคมะเร็งของต่อมน้ำเหลืองพบว่าการที่เซลล์มะเร็งไม่ตายเป็นเพราะว่าเซลล์นี้มีการสร้าง Bcl-2 ได้มาก หรือเซลล์มะเร็งพวกนี้มีกลไกป้องกันการทำงานของ Fas หรือสร้าง Fas ligand ที่สามารถหลบหลีกการกระตุ้นให้เซลล์ตายโดยระบบภูมิคุ้มกัน ปกติโดยทั่วไปเซลล์จะสร้าง Bcl-2 มากเพื่อป้องกันไม่ให้เซลล์ตาย แต่ถ้าเซลล์เกิดผ่าเหล่าเป็นเซลล์มะเร็งก็จะกลับกลายเป็นว่า เป็นการทำให้เซลล์นี้รอดจากการตายแล้วยังเป็นการทำให้เกิด matastasis อีกด้วย จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันพบว่าโดยทั่วๆ ไปเซลล์จะตายด้วย apoptosis ซึ่งถูกกระตุ้นโดย p53 ดังนั้นเซลล์ที่ขาด p53 หรือสร้าง Bcl-2 มากอาจจะมีผลกระทบในการรักษาโรคมะเร็งในอนาคตได้ อีกทางหนึ่งของการรักษาโรคมะเร็งคือ gene therapy โดยการใส่จีนปกติของ p53 เข้าไปในเซลล์มะเร็ง โดยหวังผลให้เกิดการสร้างโปรตีน p53 ปริมาณมากขึ้นเพื่อกระตุ้นให้เกิดการตายในเซลล์มะเร็งนั้นหรือขัดขวางไม่ให้เซลล์มะเร็งรับเอา growth factors มาใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์ได้หรือหาทางป้องกันไม่ให้เซลล์มะเร็งสร้าง Bcl-2 ได้มากเกินไป

โปรแกรมการตายของเซลล์ในหัวใจและสมอง

การตายของเซลล์หัวใจจะแตกต่างจากเซลล์มะเร็ง เนื่องจากการตายแบบ apoptosis เกิดขึ้นน้อย อย่างไรก็ตามเซลล์หัวใจก็มีการตายอยู่บ้าง ซึ่งแม้จำนวนเซลล์ที่ตายจะไม่มากนักแต่เป็นผลเสียอย่างมากต่อการทำหน้าที่ของเซลล์ เพราะว่าไม่ว่าจะเป็นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจหรือเซลล์สมองจะไม่มีการแบ่งตัวเพิ่มอีกแล้วในผู้ใหญ่ ส่วนใหญ่สาเหตุการตายของเซลล์เกิดจากการขาดเลือดไปเลี้ยงบริเวณนั้นของเซลล์ (ischemic heart or strokes) เซลล์ส่วนใหญ่จะตายแบบ necrosis สาเหตุของการตายแบบนี้ก็คือการขาดออกซิเจนและกลูโคส หรือมีการนำแคลเซียมเข้าสู่เซลล์มากขึ้น ซึ่งการตายแบบ necrosis จะทำให้เซลล์บวมและจะทำให้เกิดการกำจัดเซลล์นั้นทิ้ง โดยเฉพาะผู้ป่วยโรคหัวใจรายที่รักษาด้วยการทำให้เลือดหมุนเวียนตามปกติโดยการขยายหลอดเลือดด้วยวิธีกินยาหรือใส่ ballon มักจะทำเกิดผลข้างเคียงทำให้เซลล์ตายแบบ necrosis หรือ apoptosis ได้ เพราะการรักษาแบบนี้จะทำให้มีการเพิ่มอนุมูลอิสระมากขึ้น ดังนั้นการรักษาจึงควรจะหายาที่สามารถขัดขวางการเกิดอนุมูลอิสระ หรือ ขัดขวางการทำงาน ICE like proteases

สำหรับโรคในสมองที่เกี่ยวข้องกับการชำรุดของเซลล์สมอง เช่น Alzheimer's disease, Parkinson's disease, Huntington's disease และโรค Amyotropic lateral sclerosis ก็เกี่ยวข้องกับการตายของเซลล์สมองโดย apoptosis เช่นกัน แต่สาเหตุจริงๆ ยังไม่มีใครทราบ มีการศึกษาจากนักวิทยาศาสตร์หลายๆ กลุ่ม พบว่าอาจเกิดได้จาก

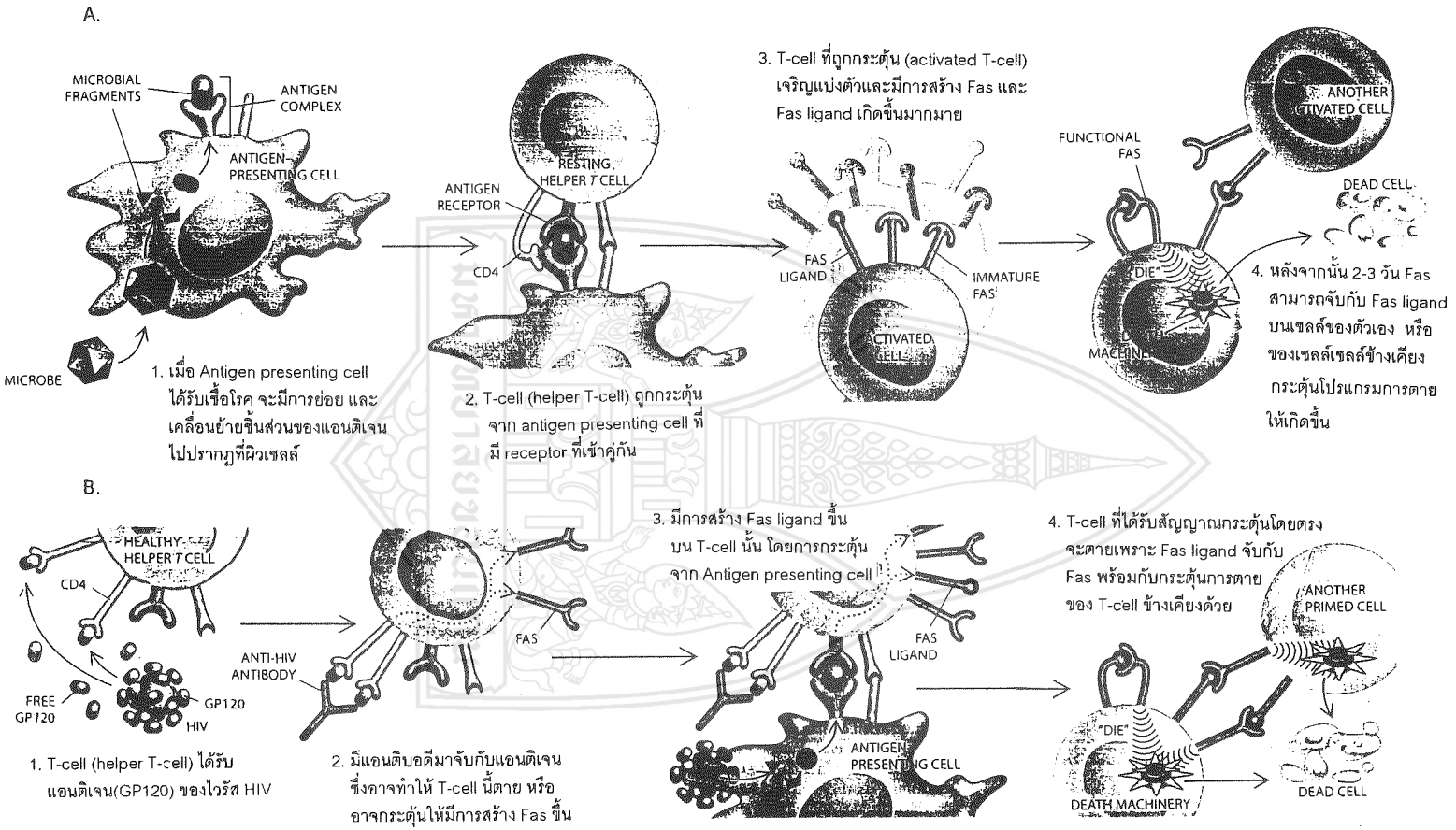


Fig.1. แสดงโปรแกรมการตายแบบ apoptosis (A.) ในภาวะปกติของเซลล์ (B.) ในภาวะติดเชื้อไวรัส HIV

สาเหตุต่อไปนี้คือมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นหรือมี nerve growth factor ไม่พอ และ/หรือมีระดับของ neurotransmitters ที่สูงเกินไป ทั้งสามสาเหตุนี้อาจจะเกิดร่วมกันได้ จากการศึกษาในสัตว์พบว่าถ้ามีการให้ nerve growth factor จะสามารถป้องกันการตายของเซลล์ที่เรียกว่า apoptosis ได้ จากการศึกษานี้มีประโยชน์มากเพราะจะนำไปสู่การรักษาโรคต่าง ๆ ได้ดีมากขึ้นโดยเฉพาะอาจมีการออกแบบยาชนิดใหม่หรือนำเอายาชนิดเก่ามาปรับเปลี่ยนให้มีประสิทธิภาพที่ทำให้เซลล์มีชีวิตรอดได้มากขึ้น และการศึกษานี้ยังจุดประกายความหวังทางวงการแพทย์ที่จะพยายามควบคุมโรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นให้อยู่มืออีกด้วย

บรรณานุกรม

1. Kerr, J.F.R., Wyllie, A.H., and A.R. 1972. Apoptosis: A basic biological phenomenon with wide ranging implication in tissue kinetics. **Currie in British Journal of Cancer**, 26 : 239-257.
2. Richard, C.D., David, M.O., and John D.E.Y. 1996. Cell suicide in health and disease. **Scientific American**, 275 : 48-55.
3. John, J.C., Richard, C.D., Valerie, A.F., and Karen, S.S. 1992. Apoptosis and programmed cell death in immunity. **Annual Reveiw of Immunology**, 10 : 267-293.
4. Nagata, S., and Golstein, P. 1995. The Fas death factor. **Science**, 267 : 1449-14456.
5. Stanley, J.K. 1995. Regulator of cell death. **Trends in Genetics**, 11 : 101-105.
6. Seamus, J.M., and Douglas, R.G. 1995. Proteases activation during apoptosis: Death by thousand cut? **Cell**,.82 : 349-352.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ว.วิทย มข. 25(4) : 281-287 (2540)

คุณค่าทางอาหารของหอยเดื่อ
Hemiplecta distincta Pfeiffer

*ไพรัช ทาบสีแพร**
*วิรัช ว่องพัฒนากุล***
*รวมทรัพย์ ชำนาญธนา****

บทคัดย่อ

หอยเดื่อ (*Hemiplecta distincta* Pfeiffer) เป็นหอยฝาเดียว (gastropod) อาศัยอยู่บนบก ซึ่งชาวชนบทในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมนำมาบริโภค และพบแพร่กระจายอยู่ทั่วไป จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่ามีความชื้น โปรตีน ไขมัน และ คาร์โบไฮเดรต ปริมาณร้อยละ 68.64, 19.18, 0.22 และ 9.29 ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่า หอยเดื่อมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าอาหารจากธรรมชาติหลายชนิดที่ใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีน

คำนำ

ทรัพยากรที่สำคัญที่สุดในการพัฒนาประเทศ คือ การมีประชากรที่มีคุณภาพ ดังนั้นการพัฒนาสาธารณสุขขั้นมูลฐานจึงเป็นการพัฒนาทรัพยากรประชากรให้มีคุณภาพด้านหนึ่งเช่นกัน ประเทศไทยมีปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญด้านหนึ่ง คือ การขาดสารอาหารโปรตีน โดยเฉพาะประชากรแถบชนบทในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากรายงานของกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข เกี่ยวกับภาวะโภชนาการของทารกและเด็กวัยก่อนเรียน พบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีจำนวนเด็กขาดสารอาหารมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับภูมิภาคอื่น ๆ[1]

ประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมรับประทานข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักซึ่งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต สำหรับแหล่งอาหารโปรตีนจะหาได้จากธรรมชาติ ได้แก่เนื้อสัตว์จากแมลงชนิดต่าง ๆ กบ เขียด ปลา แย้ และกิ้งก่า เป็นต้น จากการวิเคราะห์หาคุณค่าอาหารพบว่ามีโปรตีนปริมาณสูงพอสมควร สามารถใช้ทดแทนเนื้อสัตว์จากฟาร์มและปศุสัตว์ได้[2] เนื้อสัตว์จากธรรมชาติพวกหนึ่งซึ่งประชาชน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมนำมาปรุงอาหารคือ พวกหอยน้ำจืด ได้แก่ หอยโข่ง หอยขม และหอยกาบ เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีหอยชนิดหนึ่งซึ่งอาศัยอยู่บนบกและนิยมรับประทานอย่างกว้างขวางคือ หอยเดื่อ[3] ซึ่งมีลักษณะแตกต่าง

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
***นักศึกษาภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

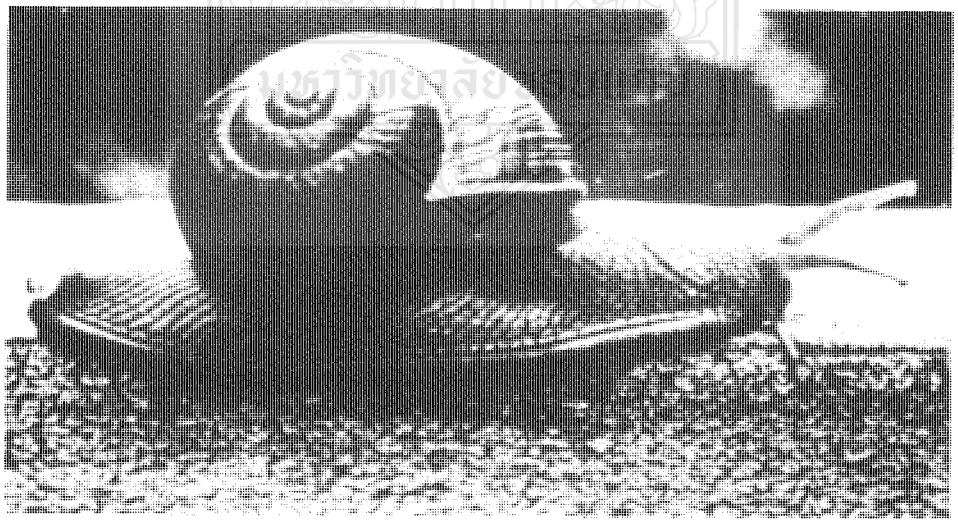
จากหอยทากยักษ์ (*Achantina fulica*)

หอยเดื่อ เป็นชื่อสามัญซึ่งเป็นที่รู้จักของชาวชนบทในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั่วไป จัดเป็นหอยฝาเดียว (gastropod) ที่อาศัยอยู่บนบก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hemiplecta distincta* Pfeiffer จัดอยู่ใน ไฟลัมมอลลัสกา (Phylum Mollusca), คลาสแกสโทรโพดา (Class Gastropoda), ซับคลาส พัลโมนาตา (Subclass Pulmonata) ถิ่นอาศัยของหอยชนิดนี้จะเป็นบริเวณป่าเต็งรัง ชาวบ้านจะไปหาหอยชนิดนี้บริเวณโคก จอมปลวก และโพรงดินที่มีความชื้น เนื่องจากชาวชนบทในภาคตะวันออก-เฉียงเหนือนิยมบริโภคหอยเดื่อ จึงได้มีนักวิชาการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับชีววิทยาบางประการของหอยชนิดนี้ ได้แก่ การแพร่กระจาย และการสืบพันธุ์ รวมถึงการเป็นพาหะกึ่งกลาง (intermediate host) ของหนอนพยาธิปอดหนู (rat lungworm, ***Angiostrogylus cantonensis***) ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ[3] [4]

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลด้านคุณประโยชน์ของหอยชนิดนี้ยังไม่มีการศึกษา ดังนั้นรายงานวิจัยฉบับนี้ จะได้รายงานถึงคุณค่าทางสารอาหารของหอยเดื่อ ซึ่งเกี่ยวกับคุณค่าของทรัพยากรทางชีวภาพที่มีอยู่ตามท้องถิ่นชนบทต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลการนำมาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

วิธีการศึกษา

ตัวอย่างของหอยเดื่อเจริญเต็มวัย 20 ตัว จากบริเวณป่าเต็งรังตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น มีขนาดของเปลือก (shell) เฉลี่ยสูง 3.5 เซนติเมตร กว้าง 5.39 เซนติเมตร โดยนำส่วนของแผ่นเท้า (foot) มาบดรวมกันให้ละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์หาความชื้นด้วยการอบด้วยความร้อน, วิเคราะห์หาปริมาณของเถ้าด้วยการเผา, วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนในรูปของไนโตรเจนรวม (total nitrogen) โดยวิธีเจลดาห์ล (Modified Kjeldahl method), วิเคราะห์หาปริมาณของไขมันโดยวิธีให้ตัวอย่างถูกสกัดเป็นช่วง (Intermittent Method), และหาปริมาณของคาร์โบไฮเดรต โดยคำนวณเป็นร้อยละจาก 100 - (ปริมาณร้อยละของโปรตีน+ไขมัน+ความชื้น+เถ้า)



รูปที่ 1. หอยเดื่อ *Hemiplecta distincta* Pfeiffer

ผลการทดลอง

จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน สรุปได้ดังตารางที่ 1, ตารางที่ 2, ตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตามลำดับ และสรุปผลรวมของการศึกษาไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของหอยเดื่อ อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

ลำดับที่	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักที่หายไปหลังการอบ (กรัม)	ร้อยละของความชื้น
1	2.013	1.4012	
2	2.006	1.3800	
3	2.001	1.3517	
น้ำหนักรวม	6.020	4.1329	
น้ำหนักเฉลี่ย	2.007	1.3776	68.64

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าของหอยเดื่อ เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 5-8 ชั่วโมง

ลำดับที่	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักเถ้าหลังจากการเผาที่ 105°C (กรัม)	ร้อยละของเถ้า
1	2.006	0.0571	
2	2.004	0.0534	
3	2.001	0.0501	
น้ำหนักรวม	6.011	0.1606	
น้ำหนักเฉลี่ย	2.004	0.0535	2.67

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนของหอยเดื่อด้วยวิธีโดยวิธีเจลดาห์ล

ลำดับที่	น้ำหนักสด (กรัม)	ปริมาตรสารละลายมาตรฐานใช้ไทเทรท (ลบ.ซม.)	ร้อยละของโปรตีน
1	2.000	44.40	
2	2.000	43.67	
3	2.000	44.01	
น้ำหนักรวม	6.000	132.08 (ปริมาตรรวม)	
น้ำหนักเฉลี่ย	2.000	44.03 (ปริมาตรเฉลี่ย)	19.18

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไขมันของหอยเดื่อ ด้วยวิธีให้ตัวอย่างถูกสกัดเป็นช่วง ๆ

ลำดับที่	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักไขมันที่ได้หลังจากระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ (กรัม)	ร้อยละของไขมัน
1	2.002	0.0032	
2	2.011	0.0051	
3	2.009	0.0049	
น้ำหนักรวม	6.022	0.0132	
น้ำหนักเฉลี่ย	2.007	0.0044	0.22

ตารางที่ 5 ผลสรุปผลการวิเคราะห์หาปริมาณของความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตของหอยเดื่อคิดเป็นร้อยละ ของน้ำหนักสด

คุณค่าอาหาร	ร้อยละของน้ำหนักสด
ความชื้น	68.64
เถ้า	2.67
โปรตีน	19.18
ไขมัน	0.22
คาร์โบไฮเดรต	9.29

สรุปและวิจารณ์

จากการศึกษาวิเคราะห์คุณค่าอาหารของหอยเดื่อ พบว่าประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เถ้า และความชื้นร้อยละ 19.18, 9.28, 0.22, 2.67 และ 68.64 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของโปรตีนจากแหล่งอาหารอื่น ๆ ดังตารางที่ 6 ได้แก่ ถั่วลิสง ปลาร้า แมลง หอย ทากยักษ์ และหอยขม เป็นต้น พบว่าถั่วลิสงมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 24.8 ซึ่งสูงกว่าของหอยเดื่อมาก อย่างไรก็ตามการรับประทานถั่วลิสง อาจจะมีปัญหาจากสารพิษจากเชื้อราคือ อัลฟาท๊อกซิน

(alfatoxin)[2] นอกจากนั้น โปรตีนจากถั่วลิสงมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential amino acid) ไม่ครบทุกชนิด ต้องรับประทานเนื้อสัตว์ควบคู่ไปด้วย สำหรับปลาร้ามีปริมาณของโปรตีนร้อยละ 13 ซึ่งน้อยกว่าของหอยเดื่อ แต่มีคุณค่าทางอาหารครบทั้ง 5 หมู่ อย่างไรก็ตามปลาร้าเป็นอาหารประเภทหมักดองชนิดหนึ่ง มีการศึกษาพบปริมาณสารก่อมะเร็ง 0.04-1.23 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งแม้มีปริมาณน้อย หากบริโภคเป็นประจำก็สามารถทำให้เกิดโรคมะเร็งได้เช่นกัน แต่สามารถแก้ไขได้ โดยการนำไปต้มให้สุกจะทำให้สารนี้สลายตัวเมื่อถูกความร้อน[5]

แมลงชนิดต่างๆ ที่ชาวชนบทในภาคตะวันออกเฉียงเหนือรับประทาย เช่น จิ้งหรีด ตั๊กแตน แมลงกะชอน ตัวอ่อนมดแดง และดักแด้ไหม (โดยยกเว้นแมลงตับเต่า) จะมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าหอยเดื่อ อย่างไรก็ตามจะพบพวกแมลงดังกล่าว จำนวนมากตลอดทั้งปี จึงสามารถนำมาใช้ทดแทนแหล่งอาหารโปรตีนได้ แต่ต้องระวังเรื่องสารพิษตกค้าง โดยเฉพาะยาฆ่าแมลง[6] สำหรับหอยทากยักษ์พบว่ามีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าหอยเดื่อ และชาวบ้านไม่นิยมนำมารับประทาน เพราะรสชาดของหอยเดื่อดีกว่า ในกรณีหอยขมซึ่งมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าหอยเดื่อ แต่เป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากหาง่ายและราคาถูกกว่า

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของหอยเดื่อกับอาหารจากธรรมชาติชนิดอื่นๆ คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักสด

ชนิดอาหาร	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	หมายเหตุ
ถั่วลิสง	4.40	2.60	24.80	46.10	29.10	(2)
ปลาล้า	52.00	31.00	13.00	4.00	-	(2)
จิ้งหรีด	71.40	2.10	12.90	5.50	5.10	(6)
ตั๊กแตน	76.70	1.10	14.30	3.30	2.10	(6)
แมลงตับเต่า	61.20	2.80	21.00	7.10	0.30	(6)
แมลงกระชอน	71.20	2.70	15.40	6.30	1.70	(6)
ตัวอ่อนมดแดง	82.40	0.57	8.82	2.56	-	(7)
ดักแด้ไหม	70.68	1.73	16.50	7.53	0.75	(8)
หอยทากยักษ์	-	2.36	14.32	0.23	-	(9)
หอยขม	78.00	-	12.00	2.00	4.00	(10)
หอยเดื่อ	68.64	2.67	19.18	0.22	9.29	-

เมื่อพิจารณาถึงเนื้อไก่ หมู (เนื้อแดง) เนื้อวัว ปลาดุก ซึ่งมีปริมาณของโปรตีนร้อยละ 23.3, 14.1, 22.2 และ 18.7 ตามลำดับ[11] จะเห็นว่าเนื้อไก่ และเนื้อวัว เท่านั้นที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าหอยเดื่อโดยที่หอยเดื่อจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าหมูเนื้อแดง และปลาดุก ดังนั้น หอยเดื่อสามารถจัดได้ว่าเป็นแหล่งอาหารโปรตีนจากธรรมชาติ ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับแหล่งโปรตีนจากเนื้อสัตว์จากปศุสัตว์ ฟาร์ม และการเพาะเลี้ยงซึ่งมีราคาสูง โดยหอยเดื่อ มีปริมาณของไขมันและคาร์โบไฮเดรตน้อย ซึ่งอาหารในหมู่นี้มักจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการขาดแคลนมากนัก

ปัญหาการขาดสารอาหารโปรตีนจะพบอยู่เสมอกับประชากรที่อาศัยอยู่ตามชนบท อย่างไรก็ตามในชนบทหลายแห่งจะมี "ปราชญ์ชาวบ้าน" ซึ่งเป็นภูมิปัญญาไทยกับการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรชีวภาพท้องถิ่น ในกรณีนี้พบว่าชาวชนบทนิยมนำเอาหอยเดื่อมาเผาไฟจนสุกให้เด็กที่เป็นโรคตานขโมยรับประทาน โรคดังกล่าวมีสาเหตุจากการขาดสารอาหารโปรตีน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่าปริมาณสารอาหารโปรตีนในหอยเดื่อค่อนข้างสูง นอกจากนั้นการทำให้เนื้อหอยเดื่อสุกยังช่วยป้องกันการติดเชื้อจากหนอนพยาธิชนิดต่าง ๆ ได้ดีอีกด้วย ความรู้จากปราชญ์ชาวบ้านและภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นเสมือนเทคโนโลยีพื้นบ้าน และเป็นรากฐานสำคัญสำหรับการศึกษาหาความรู้ความเข้าใจในทรัพยากรชีวภาพที่มีอยู่ในท้องถิ่น เพื่อที่จะได้นำเอามาพัฒนาให้เกิดคุณค่ามากยิ่งขึ้น โดยอาศัยหลักวิชาการวิทยาศาสตร์ยุคใหม่ ซึ่งจะก่อให้เกิดผลดีต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมในชนบทให้สอดคล้องกับสมดุลธรรมชาติ[12]

เอกสารอ้างอิง

1. สมใจ วิชัยดิษฐ์. 2529. ภาวะโภชนาการของชาวชนบทภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. **โภชนาการ.** 20(3) : 259-265.
2. พงศธร สังข์เผือก ประภาศรี ภูวเสถียร สมศรี เจริญเกียรติกุล และรัชนี คงคาฉุยฉาย. 2527. คุณค่าอาหารไทยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. **โภชนาการสาร.** 18(3) : 164-174.
3. Panha, S. 1987. The breeding data of Thai edible land snail *Hemiplecta distinta* Pfeiffer (Pulmonata : Ariophantidae). **Venus.** 46(1) : 25-34.
4. Panha, S. 1988. Natural infection of the rat lung worm *Angiostrogylus cantonensis* in a Thai edible land snail, *Hemiplecta distinta.* **J. Sci. Thailand.** 14 : 233-239.
5. ประสงค์ คุณานุวัฒน์ชัยเดช. 2530. คุณและโทษของปลาร้า. **โภชนาการสาร.** 21(2) : 150-153.
6. พงศธร สังข์เผือก และประศรี ภูวเสถียร. 2526. คุณค่าอาหารของแหล่งโปรตีนของชาวชนบท : แมลง. **โภชนาการสาร.** 17(6) : 6-11.
7. สมถวิล ชื่นสมุทร และนุ่มนวล อุดมพงษานนท์. 2528. คุณค่าอาหารในไข่มดแดง. **วารสารวิทยาศาสตร์ มข.** 13(1) : 49-53.
8. นุ่มนวล อุดมพงษานนท์ และกันยาลักษณ์ ลักษณะหุต. 2527. คุณค่าอาหารในดักแด้ไหม. **วารสารวิทยาศาสตร์ มข.** 12(2) : 129-137.

9. Hongladarom, T. and Indarakoses, A. 1966. Eosinophilic meningoencephalitis caused by *Pila* snail ingestion in Bangkok. **J. Med. Assoc. Thailand.** 49(1):1-9.

10. ไสว พูลเกษ. 2525. การเลี้ยงหอยขม. **เพื่อนเกษตร.** 9(4) : 23-34.

11. กาญจนา ภู่มาลา วรรธณี ชัยรัตน์ และไกรสิทธิ์ ตันติศรินทร์. 2522. การศึกษาปริมาณเพียวรีนในอาหารชนิดต่าง ๆ. **โภชนาการสาร.** 13(4) : 222-229.

12. วิสุทธิ์ ใบไม้. 2538. **สถานภาพความหลากหลายทางชีวภาพในประเทศไทย.** เคล็ดไทย 254 หน้า

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ว.วิทย มข. 25(4) : 288-297 (2540)

คุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

Quality of Bottled Water in the Upper North Eastern Region

น้อย ทองสกุลพานิชย์, สุภาพร เวทีวุฒาจารย์*, ไพรวัลย์ อินทร์อุดม* วิไล เส*, ลักษณา ลือประเสริฐ**

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประชาชนนิยมดื่มน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทกันอย่างแพร่หลาย คุณภาพของน้ำบริโภคในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในระหว่างปี 2535-2537 พบว่ายังมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐานเฉลี่ยร้อยละ 32.0 ในปีงบประมาณ 2539 ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ ขอนแก่นร่วมกับสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดในเขต 6 จึงจัดทำโครงการยกระดับคุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในภาคตะวันออก-เฉียงเหนือตอนบนเพื่อตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพของน้ำบริโภคจากทุกสถานที่ผลิตในเขตรับผิดชอบให้มีคุณภาพมาตรฐาน จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของน้ำบริโภคที่เก็บจากสถานที่ผลิตในเขต 6 จำนวน 429 ตัวอย่าง พบว่าไม่ได้มาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) และฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) จำนวน 152 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 35.4 โดยไม่ได้มาตรฐานทางกายภาพ ทางเคมีและทางจุลชีววิทยา จำนวน 7, 35 และ 115 ตัวอย่าง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.6, 8.2 และ 26.8 ตามลำดับ น้ำบริโภคที่บรรจุในภาชนะชนิดที่ใช้แล้วทิ้งมีคุณภาพดีกว่าน้ำที่บรรจุในภาชนะที่หมุนเวียนสลับมาใช้ ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการแนะนำ อบรม ผู้ผลิตน้ำบริโภคให้มีความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องด้านสุขาภิบาล สุขอนามัยส่วนบุคคล และปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตน้ำบริโภคให้ได้มาตรฐาน เพื่อการคุ้มครองผู้บริโภค

Abstract

Bottled water has been popularly marketed and consumed nationwide. As the quality of bottled water marketed in the north eastern region during 1992-1994 did not conform to the drinking water standards at 32 percent in average. In the fiscal year 1996 the project of quality development of bottled water in the upper north eastern region was jointly implemented by Regional

* *ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ ขอนแก่น กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*

Medical Sciences Center Khon-Kaen and Provincial Public Health Offices in the upper northeastern region. According to the project , the quality monitoring of bottled water was implemented to have conformed standard to the regulation of the Thai Food Notification No. 61 (1981) and No. 135 (1991). A total of 429 samples of bottled water collected from the manufacturers were investigated for physical, chemical and microbiological quality. It was found that 152 samples (35.4%) were non-conformed products. The percentages of the samples failed to comply with the requirements regarding physical,chemical and microbiological quality were 1.6, 8.2 and 26.8 respectively. The quality of one way-bottled water was better than that of recycle bottled water. The result of this study has been utilizing information as technical guidance, good manufacturing practice, sanitation and personal hygiene for the manufacturing development of the bottled water quality marketed on the basis of the consumers' safety.

บทนำ

น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทหรือที่เรียกกันสั้นๆ ว่า " น้ำบรรจุขวด" จัดเป็นอาหารควบคุมเฉพาะประเภทหนึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524)[1] และฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534)[2] ซึ่งกำหนดคุณภาพมาตรฐานในเรื่องความสะอาด ปราศจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งมีสารเคมีอยู่ในปริมาณที่ไม่เกินมาตรฐาน ในปัจจุบันสภาพสังคมที่เร่งรีบและวิถีการดำรงชีวิตของคนที่เปลี่ยนไปทำให้ประชาชนนิยมบริโภคน้ำดื่มบรรจุขวดมากขึ้น โดยเชื่อหรือคาดหวังว่าจะเป็นน้ำที่สะอาด มีความปลอดภัยเหมาะสมกับการบริโภคมากกว่าน้ำจากแหล่งน้ำอื่นๆ อีกทั้งหาซื้อได้สะดวกทำให้มีผู้ผลิตน้ำบริโภคโดยบรรจุในภาชนะขนาดต่างๆ ออกจำหน่ายมากมายและเกิดการแข่งขันอย่างมากในธุรกิจตลาดน้ำดื่ม จากข้อมูลการสำรวจในปี 2538 จำนวนผู้ผลิตน้ำดื่มในประเทศมีจำนวนสูงถึงกว่า 2,000 แห่ง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้ง 19 จังหวัดมีสถานที่ผลิตน้ำบริโภคที่ได้รับอนุญาตแล้วรวมทั้งสิ้น 388 แห่งแยกเป็นสถานที่ผลิตที่เข้าข่ายโรงงาน 87 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 22.4 และสถานที่ผลิตที่ไม่เข้าข่ายโรงงาน 301 แห่งคิดเป็นร้อยละ 77.6

จากข้อมูลผลการตรวจวิเคราะห์น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในปี 2535-2537 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 37.7, 27.4 และ 31.0 ตามลำดับ[3] ซึ่งปัญหาคุณภาพของน้ำบริโภคของสถานที่ผลิตต่างๆ จะมีความแตกต่างกันไปโดยมีผลจากกรรมวิธีการผลิตที่ไม่เหมือนกัน มีความหลากหลายในหลายๆ ปัจจัย เช่น ชนิดและขนาดของเครื่องกรอง ประเภทของน้ำซึ่งเป็นวัตถุดิบ การบำรุงรักษาเครื่องกรอง การล้างภาชนะบรรจุตลอดจนการเก็บรักษาและการขนส่ง เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้มีผลทำให้คุณภาพของน้ำแตกต่างกันและไม่คงที่

ในปีงบประมาณ 2539 ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ขอนแก่นร่วมกับสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดในเขต 6 จึงจัดทำโครงการยกระดับคุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนเพื่อตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพของน้ำบริโภคจากทุกสถานที่ผลิตให้มีคุณภาพมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข

ว.ท.๑๐๙๒๕

วัตถุและวิธีการ

1. ตัวอย่างน้ำ

1.1 ตัวอย่างน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิททุกขนาดบรรจุที่ผลิต (ขวด ขนาด 20 ลิตร , ขวดขนาด 950 ซม^3 และ 500 ซม^3) ซึ่งสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดในเขต 6 สุ่มเก็บจากสถานที่ผลิต 177 แห่ง (177 ชื่อผลิตภัณฑ์) ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น 47 แห่ง จังหวัดอุดรธานี 43 แห่ง จังหวัดสกลนคร 25 แห่ง จังหวัดเลย 16 แห่ง จังหวัดหนองคาย 31 แห่ง จังหวัดกาฬสินธุ์ 9 แห่ง และจังหวัดหนองบัวลำภู 6 แห่ง ตามแผนเก็บตัวอย่างในโครงการยกระดับคุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จำนวนรวม 429 ตัวอย่าง ในการเก็บตัวอย่างน้ำจะสุ่มเก็บจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในรุ่นเดียวกันโดยมีปริมาณหน่วยที่เก็บต่อตัวอย่างดังนี้ ขวดขนาด 20 ลิตร เก็บ 1 ขวด ขวดขนาด 950 ซม^3 และ 500 ซม^3 เก็บ 6 ขวดต่อหนึ่งตัวอย่าง

1.2 ตัวอย่างน้ำบริโภคจากผู้ผลิตในเขต 6 และจังหวัดอื่นๆ ซึ่งผู้ผลิตเก็บตัวอย่างเองและส่งตรวจวิเคราะห์เพื่อประกอบการขอขึ้นทะเบียนตำรับอาหาร ในปีงบประมาณ 2539 จำนวน 82 ตัวอย่าง (ปริมาณหน่วยต่อตัวอย่างที่ส่งตรวจเก็บเช่นเดียวกับข้อ 1.1)

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องสเปคโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Jasco รุ่น 7800 ชนิด Double Beam Spectrophotometer

2.2 เครื่องสเปคโทรโฟโตมิเตอร์ชนิดเอเอ (Atomic Absorption Spectrophotometer) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น 3300

2.3 อ่างน้ำร้อน (Water Bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น W 760

2.4 ตู้อบ (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Precision

2.5 ตู้อบเพาะเชื้อ (Incubator) 35-37 °ซ ยี่ห้อ Memmert รุ่น S80

2.6 เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter) ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI 8819 N

2.7 เครื่องชั่งละเอียด (Analytical Balance) ยี่ห้อ Mettler รุ่น AE 260

2.8 เครื่องนึ่งทำลายเชื้อ (Autoclave) ยี่ห้อ Hirayama รุ่น HA-3D

3. การตรวจวิเคราะห์และวิธีวิเคราะห์

วิเคราะห์คุณภาพของน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) และฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) ตามหัวข้อในตารางที่ 1

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ตารางที่ 1 แสดงรายการวิเคราะห์ วิธีวิเคราะห์ และมาตรฐานกำหนด

รายการวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์ / เครื่องมือ	มาตรฐานกำหนด (ไม่เกิน)	เอกสารอ้างอิง
คุณภาพทางกายภาพ			
1. ความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	6.5-8.5	1,4
คุณภาพทางเคมี (มิลลิกรัม/ลิตร)			
1. ปริมาณสารทั้งหมด	Gravimetric method	500.0	1,4
2. ความกระด้างทั้งหมด (คำนวณเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต)	EDTA Tritimetric method	100.0	1,4
3. คลอไรด์ (คำนวณเป็นคลอรีน)	Argentometric method	250.0	1,4
4. ไนเตรท (คำนวณเป็นไนโตรเจน)	Colorimetric method	4.0	1,5
5. เหล็ก	AAS	0.3	1,2,4
6. ตะกั่ว	AAS	0.05	1,2,4
คุณภาพทางจุลชีววิทยา			
1. MPN Coliforms/ 100 มิลลิลิตร	Multiple Tube Fermentation Technique	น้อยกว่า 2.2	1,2,4
2. E. coli / 100 มิลลิลิตร	Multiple Tube Fermentation Technique	ไม่พบ	1,3
3. *S. aureus* / 100 มิลลิลิตร	Membrane Filtration (MF) Technique และ Coagulase Test	ไม่พบ	1,3
4. Salmonellae / 100 มิลลิลิตร	MF Technique, Serological และ Biochemical Test	ไม่พบ	1,3
5. *C. perfringens* / 100 มิลลิลิตร	MF Technique และ Nagler's Test	ไม่พบ	1,3

ผล

จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในปีงบประมาณ 2539 ที่เก็บจากสถานที่ผลิตจำนวน 183 แห่งเพื่อเฝ้าระวังความปลอดภัยของผู้บริโภค (Postmarketing control) พบไม่ได้มาตรฐานจำนวน 97 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 53.0 ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างวิเคราะห์ทั้งหมด 429 ตัวอย่าง พบคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน 152 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 35.4 โดยไม่ได้มาตรฐานทางกายภาพ 7 ตัวอย่าง (ร้อยละ 1.6) ทางเคมี 35 ตัวอย่าง (ร้อยละ 8.2) ทางจุลชีววิทยา 115 ตัวอย่าง (ร้อยละ 26.8) สาเหตุอันดับสูงสุดที่น้ำบริโภคไม่ได้มาตรฐานคือพบเชื้อโคลิฟอร์มเกินมาตรฐานร้อยละ 26.3 อันดับรองลงมาคือความกระด้างทั้งหมดเกินมาตรฐานร้อยละ 5.6 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบสาเหตุการไม่ได้มาตรฐานของน้ำบริโภค ปีงบประมาณ 2539

คุณสมบัติ	ไม่ได้มาตรฐาน		สาเหตุการไม่ได้มาตรฐาน		
	จำนวน	ร้อยละ	รายการ	จำนวน	ร้อยละ
กายภาพ	7	1.6	ความเป็นกรด-ด่าง (pH ต่ำ)	7	1.6
เคมี	35	8.2	ความกระด้างทั้งหมด	24	5.6
			ปริมาณสารทั้งหมด	8	1.9
			ไนเตรท	4	0.9
			คลอไรด์	2	0.5
			เหล็ก	1	0.2
จุลชีววิทยา	115	26.8	เชื้อโคลิฟอร์ม	113	26.3
			E.coli	6	1.4
			S. aureus	5	1.2
			Salmonellae	2	0.5

เมื่อแยกพิจารณากลุ่มภาชนะบรรจุน้ำ ตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราที่ต่ำกว่าน้ำที่บรรจุในขวดพบว่า ขวดแก้วและขวดพลาสติกชนิดอ่อนชนิดที่ พลาสติกที่หมุนเวียนสลับมาใช้ทั้งขนาด 950 ซม^3 ใช้แล้วทิ้ง (ขวด one way) ตรวจพบคุณภาพไม่ได้ และ 20 ลิตร โดยตรวจพบจุลินทรีย์ร้อยละ 35.1 มาตรฐานทางจุลินทรีย์คิดเป็นร้อยละ 11.1 และ 13.4 และ 50.0 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงสาเหตุที่น้ำบริโภคไม่ได้มาตรฐานทางจุลินทรีย์แยกตามภาชนะบรรจุ

ประเภทภาชนะ	จำนวนตัวอย่าง		จำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบเชื้อ			
	วิเคราะห์	ไม่ได้มาตรฐาน (ร้อยละ)	MPN Coliforms / 100 ml ≥ 2.2	*E. coli*	*S. aureus*	Salmonellae
ขวดพลาสติก ขนาด 20 ลิตร	124	62 (50.0)	60	3	5	2
ขวดพลาสติก ขนาด 950 ซม^3 (ขวด reuse)	57	20 (35.1)	20	-	-	-
ขวดแก้ว ขนาด 500 ซม^3	9	1 (11.1)	1	-	-	-
ขวดพลาสติก ขนาด 950 ซม^3 (ขวด one way)	239	32 (13.4)	32	3	-	-
รวม	429	115	113	6	5	2
ร้อยละ	100	26.8	26.3	1.4	1.2	0.5

เมื่อพิจารณาคุณภาพของน้ำบริโภคโดยผู้ผลิตเป็นผู้ส่งตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์คุณภาพขอขึ้นทะเบียนตำรับอาหาร หรือขออนุญาตใช้ฉลาก (Premarketing control) จำนวน 82 ตัวอย่าง พบว่าคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน 15 ตัวอย่าง หรือคิดเป็นร้อยละ 18.3

สำหรับคุณภาพของน้ำบริโภคในปีงบประมาณ ที่ผ่านมาตั้งแต่ปี 2535-2538 พบว่าคุณภาพของน้ำมีแนวโน้มไม่ได้มาตรฐานมากขึ้น โดยรายการที่ไม่ได้มาตรฐานจะคล้ายคลึงกันในทุก ๆ ปี คือ ทางกายภาพน้ำไม่มีค่าเป็นกลางและจะมีความเป็นกรดมากกว่าความเป็นด่าง คือมี pH น้อยกว่า 6.5 ทางเคมีปัญหาที่พบคือเรื่องความกระด้าง และปริมาณสารทั้งหมดในน้ำที่เกินมาตรฐานเป็นส่วนใหญ่ เหล็กและไนเตรทเป็นปัญหาบ้าง ทางจุลชีววิทยาส่วนใหญ่จะเป็นเรื่องของ coliform และ *E. coli* ซึ่งเป็นเชื้อที่บ่งบอกการผิดสุขลักษณะของการผลิต ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงคุณภาพของน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในปีต่าง ๆ และสาเหตุที่ไม่ได้มาตรฐาน

ปีงบประมาณ	จำนวนตัวอย่าง		รายการที่ไม่ได้มาตรฐาน							
	วิเคราะห์	ไม่ได้มาตรฐาน (ร้อยละ)	ทางกายภาพ		ทางเคมี				ทางจุลชีววิทยา	
			pH สูง	pH ต่ำ	TS	TH	Fe	NO_3	Co	E
2536	160	49 (30.6)	1	2	1	6	-	1	36	4
2537	112	38 (33.9)	4	7	1	13	-	-	17	1
2538	165	58 (35.2)	5	4	3	15	3	-	33	1

หมายเหตุ TS = ปริมาณสารทั้งหมด TH = ความกระด้างทั้งหมด
Fe = เหล็ก NO_3 = ไนเตรท
Co = Coliform E = *E. coli*

วิจารณ์

จากผลการตรวจวิเคราะห์จะเห็นว่าคุณภาพของน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนในปีงบประมาณ 2539 มีคุณภาพไม่ได้มาตรฐานร้อยละ 35.4 ซึ่งใกล้เคียงกับปี 2538 โดยไม่ได้มาตรฐานทั้งทางจุลชีววิทยา ทางเคมี และทางกายภาพ เชื้อจุลินทรีย์ที่พบมากเป็นเชื้อที่บ่งถึงการผิดสุขลักษณะของการผลิต คือ เชื้อ Coliform และ *E.coli* แสดงว่ายังมีการควบคุมในเรื่องความสะอาดไม่ดีพอ มีการปนเปื้อนจากลำไส้ของสัตว์เลือดอุ่น นอกจากนี้ยังพบเชื้อโรคอาหารเป็นพิษ *S. aureus* และ Salmonellae แสดงว่ายังมีการปนเปื้อนของอุจจาระของคนและสัตว์จากคนงานซึ่งผิวหนังมีบาดแผลหรือมีสุขอนามัยที่ไม่ดี สำหรับคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีขึ้นกับคุณภาพของน้ำที่ใช้ และกระบวนการผลิตที่มีการเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำและประสิทธิภาพของเครื่องกรอง คุณภาพทางกายภาพที่ไม่ได้มาตรฐานเนื่องจากน้ำมีความเป็นกรด คุณภาพทางเคมีที่พบเป็นปัญหามากที่สุด คือ น้ำมีความกระด้างทั้งหมดสูง ซึ่งพบมากในบางพื้นที่ซึ่งใช้น้ำบาดาลเป็นน้ำดิบในการผลิตน้ำบริโภค นอกจากนี้เรื่อง

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปริมาณสารทั้งหมด ไนเตรท คลอไรด์ และเหล็กก็เป็นปัญหาบ้าง เมื่อเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ในปี 2536-2538 ปัญหาที่พบจะคล้ายคลึงกันในรายการที่ไม่ได้มาตรฐานและคุณภาพของน้ำมีแนวโน้มไม่ได้มาตรฐานเพิ่มสูงขึ้น

น้ำบริโภคที่ไม่ได้มาตรฐานส่วนใหญ่เนื่องจากพบเชื้อจุลินทรีย์ถึงร้อยละ 26.8 จากจำนวนไม่ได้มาตรฐานทั้งหมดร้อยละ 35.4 เมื่อแยกพิจารณาตามกลุ่มของภาชนะบรรจุน้ำพบว่าน้ำบริโภคที่บรรจุในภาชนะซึ่งนำมาหมุนเวียนสลับใช้จะพบปัญหาเรื่องจุลินทรีย์มากที่สุด โดยเฉพาะขวดขนาด 20 ลิตร ซึ่งพบคุณภาพของน้ำไม่ได้มาตรฐานถึงร้อยละ 50.0 ส่วนคุณภาพของน้ำในขวดพลาสติกชนิดอ่อนชนิดที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งนั้นพบไม่ได้มาตรฐานเพียงร้อยละ 11.1 ในทางปฏิบัติผู้ผลิตน้ำดื่มส่วนใหญ่ไม่ค่อยพิถีพิถันในเรื่องความสะอาดของภาชนะบรรจุมากนัก มีการนำภาชนะของผู้อื่นมาใช้บรรจุน้ำ และบางรายใช้ภาชนะบรรจุน้ำใส่วัสดุอื่น ทำให้เกิดการปนเปื้อนซึ่งทำความสะอาดได้ยากมาก อีกทั้งวิธีการล้างยังไม่ใช่วิธีที่ถูกต้อง ซึ่งปัญหาเหล่านี้เป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำบริโภคในภาชนะที่นำมาสลับใช้หมุนเวียนมีปัญหาเรื่องจุลินทรีย์ค่อนข้างมาก ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องให้ความสนใจเรื่องคุณภาพมากขึ้น ผู้ผลิตบางรายไม่มีความรู้เรื่องการผลิตและการควบคุมคุณภาพน้ำที่ดีพอและไม่ได้ให้ความสำคัญในเรื่องคุณภาพจนเจ้าหน้าที่ของรัฐเก็บตัวอย่างตรวจวิเคราะห์ เมื่อพบว่าไม่ได้มาตรฐานจึงดำเนินการแก้ไข โดยจากผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของน้ำของ Premarketing Control และ Postmarketing Control ชี้ให้เห็นว่าน้ำบริโภคที่ผู้ผลิตนำส่งตรวจเพื่อขอขึ้นทะเบียนมักจะไม่มีปัญหาด้านคุณภาพมาตรฐาน ปัญหาเรื่องน้ำไม่ได้คุณภาพเป็นปัญหาที่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องต้องร่วมกันรณรงค์ช่วยกันแก้ไข โดยขอเสนอแนะดังนี้

1. ควรใช้มาตรการทางกฎหมายอย่างเคร่งครัดหลังจากตรวจพบว่าไม่ได้มาตรฐานมากกว่า 1 ครั้งขึ้นไป โดยดูจากข้อมูลผลวิเคราะห์ในปีที่ผ่านมาและการใช้มาตรการทางกฎหมายนั้นควรมีบรรทัดฐานเดียวกันทั้งประเทศ

2. รัฐควรออกกฎหมายเรื่องข้อกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำของสถานที่ผลิตน้ำบริโภคในด้านมาตรฐานเฉพาะของเครื่องกรอง อุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต รวมทั้งมีเครื่องมือสำหรับตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของน้ำภายในสถานที่ผลิตก่อนออกจำหน่าย

3. รณรงค์ให้ความรู้แก่ผู้ผลิตเรื่องกระบวนการผลิต การควบคุมคุณภาพ การบรรจุ การขนส่งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและปราศจากการปนเปื้อน

4. พัฒนาชุดทดสอบเพื่อให้ผู้ผลิตสามารถตรวจสอบคุณภาพของน้ำก่อนออกจำหน่าย ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้เผยแพร่ชุดทดสอบความกระด้างของน้ำให้เอกชนและผู้สนใจนำไปใช้แล้ว และจะมีการพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำด้านอื่นๆ เพื่อเผยแพร่ต่อไป

สรุป

ข้อมูลผลการตรวจวิเคราะห์ที่ได้จะเห็นว่าคุณภาพของน้ำบริโภคในปี 2539 ยังไม่ดีขึ้น แม้ว่าจะได้มีการเฝ้าระวังคุณภาพผลิตภัณฑ์และเก็บตัวอย่างน้ำส่งตรวจวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องทุกปีก็ตาม แต่คุณภาพน้ำก็ยังไม่ดีขึ้นและมีแนวโน้มไม่ได้มาตรฐานเพิ่มขึ้น และสาเหตุที่ไม่ได้มาตรฐานก็ยังเป็นปัญหาเดิมที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างจริงจัง จึงสมควรที่จะหามาตรการที่เหมาะสมให้ผู้เกี่ยวข้องมาร่วมดำเนินการแก้ไข ซึ่งต้องประสานความร่วมมือกันทั้งเจ้าหน้าที่ของรัฐในการให้ความรู้ คำแนะนำในการผลิตเพื่อให้ได้คุณภาพมาตรฐาน

และผู้ผลิตต้องมีจิตสำนึกในการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพทั้งนี้เพื่อพิทักษ์ผลประโยชน์และความปลอดภัยของผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

1. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522. ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 61 (พ.ศ.2524) เรื่องน้ำ บริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 98 ตอนที่ 157 ลงวันที่ 24 กันยายน 2524
2. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522. ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2) ราชกิจจานุเบกษาเล่ม 108 ตอนที่ 61 ลง วันที่ 2 เมษายน 2534
3. กองวิเคราะห์อาหาร. หนังสือคู่มือการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องการควบคุมคุณภาพน้ำดื่มของกองวิเคราะห์อาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ณ โรงแรมโซลทวินทาวเวอร์ วันที่ 20-23 มิถุนายน พ.ศ. 2538 หน้าที่ 11, 53-58, 80-92
4. Greenberg, A.E.,Clesceri , L.S. and Eaton, A.D.(eds),1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition . American Public Health Association, Washington DC. P 2-36, 2-55, 3-9 , 3-13, 4-49, 4-68, 9-46
5. Taras,M.J. et al. (eds), 1971. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 13th edition . American Public Health Association, Washington DC. P 233-237

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ ขอนแก่นได้ตรวจสอบคุณภาพมาตรฐานของน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่ผลิตในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน 7 จังหวัดในปีงบประมาณ 2539 โดยมีจำนวนชื่อผลิตภัณฑ์รวมทั้งสิ้น 177 รายตามรายชื่อผลิตภัณฑ์ดังนี้คือ

1. จังหวัดขอนแก่น มี จำนวนชื่อผลิตภัณฑ์ 47 ราย

1. อินเตอร์วอเตอร์	2. ต้นสาย
3. ซีสตาร์	4. อุดมทิพย์
5. เวียงนคร	6. เฟอร์รี่
7. วอเตอร์	8. วอเตอร์แมน
9. อิงมอ	10. บีเอส
11. หยาดฝน	12. ชลทิพย์
13. พาราลิส	14. พีเอส
15. ธาราทิพย์	16. ควีน
17. พีวีริส	18. เนรมิต
19. เพชร	20. ชัวร์
21. ขามแก่นน้ำทิพย์	22. แฟรนไชล์
23. หยดทิพย์	24. ซีซี
25. ศรีพรรณี	26. สิงห์
27. พูนทวี	28. น้ำทิพย์
29. เอสซี	30. ทรงวุฒิ
31. รินทิพย์	32. สายฝน
33. โคลิ	34. โคโรลิส
35. น้องใหม่	36. บีพี
37. ไทยสมัย	38. สูตรทิพย์
39. นฤมิตร	40. ทีที
41. เอม	42. ไอริส
43. กรีนเวิลด์	44. เควีกระนวน
45. ไมตรีวิริยะ	46. ดอกหญ้า
47. แก่นทิพย์	

2. จังหวัดอุดรธานี มีจำนวนชื่อผลิตภัณฑ์ 43 ราย

1. เพื่อคุณ	2. นาวา
3. มิตรภาพ	4. เอส แอด์ ซัน
5. ยูนาซิส	6. ซี ที ที
7. ศรีประจักษ์	8. รินทิพย์
9. พรรณราย	10. เย็น เย็น
11. กรีน	12. มธุรส
13. สตาร์ไทย	14. สยาม
15. วีต้า	16. ท๊อปริช
17. ทุ่งฝน	18. สุวรรณสุข
19. ชาววัง	20. ไชยสิงหาร
21. ชื่นใจ	22. โตลาริส
23. โฮลี	24. เอ. เจ. วาย
25. แสงจันทร์	26. วังทอง
27. โชคไพบูลย์	28. อำพร
29. แหลมทอง	30. นวกิจ
31. ชัยวัฒน์	32. มณีทิพย์
33. แสงตะวัน	34. ช้างศึก
35. นภางค์	36. อุดรทิพย์
37. ศุภสิทธิ์	38. โปรโรลิส
39. ธเนศ	40. ศุภวรรณ
41. ผาสุก	42. อีโก้
43. ปิยทิพย์	

3. จังหวัดสกลนครมีจำนวนชื่อผลิตภัณฑ์ 25 ราย

1. โปรตอน	2. ควีน
3. เฟิส	4. โพลาริส
5. ราชา	6. คิงส์
7. สก๊อต	8. คลีน
9. สกลกิจ	10. วนิดา
11. ธารน้ำเย็น	12. โอลิมปิค
13. กมลทิพย์	14. ภูพาน
15. คูลน้ำทิพย์	16. อนงค์ทิพย์
17. เพียว	18. ชิงชิง
19. สายทิพย์	20. สว่างธาร
21. วัชราภาณ์	22. วี ไอ พี
23. อัจฉรา	24. นันท์
25. มังกรทอง	

4. จังหวัดเลยมีจำนวนชื่อผลิตภัณฑ์ 16 ราย

1. ภูหลวง	2. เลยน้ำทิพย์
3. วังน้ำทิพย์	4. ทิพย์ธารา
5. ชื่นจิต	6. โพโรลิส
7. ปาริสุทธิ์	8. เอสที
9. ด่านซ้าย	10. นาคราช
11. วังน้ำเย็น	12. ภูกระดึง
13. แม่คะนิ้งภูเรือ	14. นัมเบอร์วัน
15. จัตุรัส	16. ปราณี

5. จังหวัดหนองคายมีจำนวนชื่อผลิตภัณฑ์ 31 ราย

1. ประทานทิพย์	2. เอสพี
3. หนองคายแกรนด์	4. รสทิพย์
5. สมบูรณ์	6. หลักหิน
7. วังน้ำเย็น	8. ยินดี
9. เสนารักษ์	10. วีระผล
11. ชื่นจิต ท่าบ่อ	12. สมพร
13. แสงธรรม	14. ชื่นจิต
15. ทิพย์	16. เอเชีย
17. บีเค	18. มะณูชัย
19. วีรวรรณ	20. ถาวร
21. โพลิส	22. ธารทอง
23. วี ไอพี	24. ไฮคลาส
25. โพธิ์ชัย	26. กลันทิพย์
27. ศรีเมือง	28. กุหลาบทิพย์
29. เบสต์	30. พญานาค
31. วีไอพีเฟรช	

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. จังหวัดกาฬสินธุ์ มีจำนวนชื่อผลิตภัณฑ์ 9 ราย

1. เฟรช
2. มอร์ริส
3. โอริสา
4. เซเว่นสตาร์ส
5. ธาราริน
6. แสงทิพย์
7. โบลาริส
8. ดาว
9. โป๊ยเซียน

7. จังหวัดหนองบัวลำภูมีจำนวนชื่อผลิตภัณฑ์ 6 ราย

1. ธารทิพย์
2. สายฝน
3. ลำภู
4. รุ่งทิพย์
5. สุวรรณทิพย์
6. โพโลริส

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ว.วิทย มข. 25(4) : 298-302 (2540)

ผลของการใช้สารสกัดจากรากหญ้าแฝกที่มีต่อด้วงถั่ว

Effect of Vetiver Grass Extracts on Cowpea weevil

อุดมพร แพ่งนคร ทรงยศ พิสิษฐ์กุล**

บทคัดย่อ

ผลของการทดลองนำรากหญ้าแฝกหอม (*Vetiver zizanioides* Linn.) มาสกัด 2 วิธีคือการกลั่นด้วยไอน้ำ และสกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด ตามลำดับ ได้แก่ เฮกเซน, เมธานอล และคลอโรฟอร์ม นำสารออกฤทธิ์ที่สกัดได้ทั้ง 2 วิธี มาทำการทดสอบกับตัวเต็มวัยด้วงถั่ว ด้วยวิธีการที่เรียกว่า Residue film test ตรวจผลการตายทุกวันเป็นเวลา 3 วัน พบว่า สารสกัดจากรากหญ้าแฝกหอมโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำที่ความเข้มข้นสูงสุด คือ 100% สามารถทำให้ด้วงถั่วตายได้ถึง 52.63% และความเข้มข้นรองลงมาคือ 90% จะมีฤทธิ์ทำให้ด้วงถั่วตายได้เพียง 18.42% ในขณะที่ความเข้มข้นต่ำตั้งแต่ 80% ลงมาจนถึง 50% จะไม่มีผลต่อการตายของด้วงถั่วอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสารที่สกัดได้ด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ เฮกเซน, เมธานอล และคลอโรฟอร์ม, จะมีฤทธิ์ฆ่าด้วงถั่วได้ในระดับที่ค่อนข้างต่ำคือ 18.42%, 15.78% และ 7.89% ตามลำดับ

ABSTRACT

Roots of vetiver grass (*Vetiver zizanioides* Linn.) were collected and two methods were used in extraction, steam distillation and extracted with three solvents (Hexanne, Chloroform and Methanol). Toxicity of the extract was tested on cowpea weevil (Callosobruchus maculatus Fabr.) under laboratory conditions using Residue film test and the mortality was observed daily for 3 days. The result revealed that steam distillation method at the highest concentration (100%) and 90% killed 52.63% and 18.42% of cowpea weevil respectively. No significant lethal effect was obtained at the concentration between 50% to 80%. The root extract with either of these following three solvents: hexane, methanol or chloroform gave rather low mortality at 18.42%, 15.78% and 7.89% respectively when they were applied on cowpea weevils.

**ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002*

บทนำ

ด้วงถั่ว (*Callosobruchus maculatus* Fabr.) เป็นแมลงศัตรูในโรงเก็บที่สำคัญชนิดหนึ่ง โดยตัวหนอนจะเจาะกินเมล็ดถั่วต่าง ๆ มากมายหลายชนิด เช่น ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง และถั่วพุ่ม การป้องกันกำจัดโดยการใช้สารฆ่าแมลงต่าง ๆ ตลอดทั้งการใช้สารรม อาจทำให้กลิ่น รส และสีของถั่วเปลี่ยนไปจากเดิมได้[1] นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น อันตรายต่อผู้ใช้โดยตรง พิษตกค้าง ความต้านทานของแมลง รวมทั้งความงอกของเมล็ดเสื่อม[2] จึงได้มีการศึกษาวิจัยการใช้สารสกัดจากพืชเพื่อใช้ทดแทนเช่นการทดลองใช้พริกไทยในการกำจัดด้วงถั่ว [3] ซึ่งก่อนหน้านี้มีรายงานวิจัยว่าเปลือกส้มบดเป็นผง สามารถควบคุมด้วงถั่วและยังทำให้การวางไข่ลดลงด้วย[4]

หญ้าแฝกหอม (*Vetiver zizaniodes* Linn.) มีลักษณะหลังใบโค้งปลายแบน สีเขียวเข้ม เนื้อใยค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบมาก ทำให้ดูมันท้องใบออกสีขาวซีดกว่าด้านหลังใบ ในรากหญ้าแฝกหอม มีโพรงอากาศในชั้นคอร์เทกซ์ขนาดใหญ่ เป็นพืชที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ได้ทรงมีพระราชดำริถึงแนวนโยบายที่จะสนับสนุนส่งเสริมการนำมาใช้ประโยชน์ โดยที่รากแฝกหอมมีคุณสมบัติเป็นสมุนไพร ใช้อบเสื้อผ้าให้หอม ขณะเดียวกันยังออกฤทธิ์ขับไล่แมลงได้[5] ดังนั้นการศึกษาถึงความเป็นพิษจากสารสกัดจากรากหญ้าแฝกที่มีต่อด้วงถั่ว จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เพื่อหาทางลดปัญหาสารพิษต่อสภาพแวดล้อมและผู้บริโภคต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่างแห้งรากแฝกหอม

นำรากหญ้าแฝกหอมสดรวมทั้งเหง้ามาล้างน้ำให้สะอาดผึ่งให้แห้ง สับให้ละเอียดและป่นจนมีขนาดเล็กลงด้วย blender ได้เป็นตัวอย่างแห้งสำหรับการทดลองสกัด

2. การแยกสกัดสารออกฤทธิ์จากรากแฝกหอม

2.1 วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ (steam destillation method) นำตัวอย่างแห้งรากหญ้าแฝกหอมบรรจุลงในภาชนะแก้วก้นกลม ประมาณ 500 กรัมต่อการกลั่น 1 ครั้ง ทำการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยให้ความร้อนประมาณ 80-100 °C และควบแน่นจนกระทั่งมีน้ำมันผสมน้ำตกลงมา กรองเอาแต่น้ำมันซึ่งจะลอยอยู่บนผิวชั้นบน รวบรวมเก็บเอาน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5-10 °C เพื่อเตรียมไว้ใช้ทดสอบต่อไป ทั้งนี้ใช้เวลาในการกลั่นแต่ละครั้งนานประมาณ 3-4 ชั่วโมง

2.2 สกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) โดยใช้เครื่องสกัด soxhlet apparatus นำตัวอย่างแห้งรากหญ้าแฝกหอมบรรจุในถุงผ้าประมาณ 20 กรัม ใส่ลงใน soxhlet เติมสารตัวทำละลายลงในภาชนะแก้วก้นกลม ให้ความร้อนประมาณ 80-100 °C และควบแน่นเพื่อสกัดสารให้ปนออกมากับตัวทำละลายแล้วนำไประเหยแห้งตัวทำละลายจนเหลือแต่สารสกัดที่ต้องการ ชั่งน้ำหนักสารที่ได้ และเก็บไว้ใช้เพื่อทดสอบต่อไป สารตัวทำละลาย ที่ใช้เรียงตามลำดับ polarity ดังนี้คือ เฮกเซน, คลอโรฟอร์ม และเมธานอล ซึ่งแต่ละชนิดใช้เวลาสกัดประมาณ 7-10 วัน

3. การเตรียมด้วงถั่วเพื่อใช้ทดสอบ

เก็บรวบรวมตัวเต็มวัยของด้วงถั่วจากเมล็ดถั่วเขียวในโรงเก็บ นำมาเลี้ยงในโหลแก้วที่บรรจุเมล็ดถั่วเขียว เพื่อเป็นแหล่งอาหาร และวางไข่ของด้วงถั่ว โดยนำเมล็ดถั่วเขียวไปแช่แข็งก่อน 3 วัน เพื่อฆ่าไข่แมลงชนิดอื่น ๆ หรือแมลงศัตรูธรรมชาติ เช่น ตัวเบียนของด้วงถั่วที่อาจติดมากับเมล็ด จากนั้นปิดโหลแก้วด้วยกระดาษซับ เก็บรวบรวมไข่ใน

แต่ละวันซึ่งจะฟักเป็นตัวเต็มวัยภายใน 20 วัน

4. การเตรียมสารสกัดจากรากหญ้าแฝกหอมเพื่อทดสอบสารออกฤทธิ์ต่อด้วงถั่ว

นำสารที่สกัดได้ในข้อ 2.1 มาทำให้มีความเข้มข้นต่างๆ กันโดยใช้อะซิโตลเป็นตัวทำละลาย ตั้งแต่ 30% -100% และสารสกัดด้วยวิธีในข้อ 2.2 มาทดสอบฤทธิ์ ต่อด้วงถั่วโดยวิธีที่เรียกว่า Residue film test โดยดูดสารที่จะใช้ทดสอบความเข้มข้นต่างๆ 1 มล. หยดลงในขวดแก้วขนาดเล็กที่มีฝาปิด กลิ้งไปมาด้วยเครื่อง roll tube apparatus ประมาณ 5 นาที เพื่อให้สารทดสอบที่หยดลงไปเคลือบพื้นผิวภายในขวดแก้วเล็กจนทั่วทั้งขวด เปิดฝาออกปล่อยทิ้งไว้จนแห้งดีแล้ว นำเอาด้วงถั่วเพศเมียอายุ 2-3 วัน ใส่ลงในขวดที่มีสารสกัดจากรากหญ้าแผกหอมความเข้มข้นต่างๆ ขวดละ 10 ตัว ความเข้มข้นละ 4 ซ้ำ ปิดขวดด้วยผ้าบางไนล่อน เพื่อให้อากาศถ่ายเท เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ตรวจผลทุกวันตลอด 3 วัน

Table 1 Residual contact toxicities of extracted volatile oils from the root of vetiver grass to *Callosobruchus maculatus* Fabr.

Treatment	Mortality *		
	24 hour	48 hour	72 hour
Control	0.0	0.0	2.5 cd *2
50%	0.0	0.0	0.0 d *2
60%	0.0	2.65	2.65 cd *2
70%	5.26	5.26	7.89 bc *2
80%	0.0	2.65	7.89 bc *2
90%	2.65	10.52	18.42 b *2
100%	10.52	18.42	52.63 a *1

* Abbott's formula

LSD = 1.0950

* 1 = highly significant, *2 = non significant

Table 2 Residual contact toxicities of solvent extracts from the root of vetiver grass to *Callosobruchus maculatus* Fabr.

Treatment	Mortality*		
	24 hour	48 hour	72 hour
Control	0.0	2.65	2.65 ns
Hexane	2.65	10.52	18.46 ns
Chloroform	2.65	5.26	7.69 ns
Methanol	0.0	7.89	15.78 ns

* Abbott's formula

ns = non significant

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ประสิทธิภาพของสารสกัดจากรากหญ้าแฝกโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ (ตารางที่ 1) พบว่า ที่ระดับความเข้ม 100% และ 90% ทำให้ด้วงตายได้ในระดับ 52.63% และ 18.42% ตามลำดับ ส่วนสารสกัดจากรากหญ้าแฝกตั้งแต่ที่ระดับความเข้ม 50% ถึง 80% ทำให้ด้วงตายเพียงเล็กน้อยที่ระดับ 2.65%-7.89% โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 50% จะไม่มีผลต่อการตายของด้วงถั่ว ประสิทธิภาพของสารสกัดจากรากหญ้าแฝกที่ได้จากการกลั่นเห็นผลชัดเจนที่ระดับความเข้มข้น 100% เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นของรากหญ้าแฝกจะออกมาในรูปของ film บางๆ ลอยอยู่ชั้นบน ไม่มีสีเช่นเดียวกับน้ำจึงไม่สามารถแยกชั้นออกมาให้เห็นได้อย่างชัดเจน แม้จะตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน แตกต่างจากน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากตะไคร้หอม ซึ่งจะเห็นชั้นของน้ำมันเป็นสีเหลืองแยกชั้นจากน้ำได้ชัดเจน[6] ดังนั้นน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากการกลั่นจึงไม่สามารถบอกปริมาณความเข้มข้นได้ แต่ในการทดลองครั้งนี้ถือว่า ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 100% เมื่อนำมาเติมตัวทำละลายเพื่อให้ได้ปริมาณความเข้มข้นที่เจือจางลงในระดับต่างๆ จึงเห็นผลของสารออกฤทธิ์ที่ไม่ชัดเจน และไม่ได้ผลดีเท่าที่ความเข้มข้นของสารสกัดที่ระดับ 100%

2. ประสิทธิภาพของสารสกัดจากรากหญ้าแฝกด้วยตัวทำลายทั้ง 3 ชนิด ดัง (ตารางที่ 2) ต่อด้วงถั่วพบว่า เฮกเซน และ เมธานอล มีผลต่อการตายของตัวงถั่วตัวเต็มวัยที่ระดับ 18.42% และ 15.78% ใน 72 ชั่วโมง ภายหลังการทดลอง ให้ผลใกล้เคียงกับการสกัดด้วยการกลั่นที่ระดับความเข้มข้น 90% ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองของรุ่งนภาและคณะ[7] ว่าสารสกัดจากรากหญ้าแฝกจะให้ผลดีต่อการตายของตัวอ่อนเห็บโคเกือบ 100% แต่ตัวเต็มวัยของเห็บโคจะไม่ค่อยให้ผลดีที่น่าพอใจ ส่วนผลของสารสกัดด้วย คลอโรฟอร์ม มีฤทธิ์ต่อการตายของด้วงถั่วเพียง 7.89%

สรุป

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากรากหญ้าแฝกหอมโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ ทำให้ด้วงถั่วตาย 52.63% โดยจะเห็นผลชัดเจนเฉพาะที่ระดับความเข้มข้นของสารสกัด 100% และจะมีฤทธิ์ด้อยลงเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเจือจางต่ำลงมา ส่วนผลของสารสกัดจากรากหญ้าแฝกหอมด้วย เฮกเซน และ เมธานอล มีผลในการควบคุมตัวเต็มวัยด้วงถั่วได้ในระดับ 18.42% และ 15.78% ดังนั้นจึงเป็นแนวทางที่จะนำสารออกฤทธิ์จากสารสกัดรากหญ้าแฝกหอมมาใช้ประโยชน์ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยเฉพาะตัวอ่อนของแมลงแทนการใช้สารเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

1. ชุมพล กันทะ. 2521. แมลงศัตรูในโรงเก็บ. หนังสือประกอบการเรียนการสอนวิชาแมลงศัตรูในโรงเก็บ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หน้า 28-29.
2. Sukprakarn, C. 1977. Testing of some grain protectants against maize weevil *(Sitophilus zeamais Motsch.)*. The Ninth National Corn and Sorghum Reporting Session ,5 p.
3. Helen, C.F. Su. 1977. Insecticidal properties of black pepper to rice weevils and cowpea weevils. Journal of Economic Entomology 70(1) : 18-20.
4. Taylor, T.A. 1985 Effects of orange and grapefruit peels on *Callosobruchus maculatus* infestation of cowpea. Ghana Journal of Agricultural Science 8 (2): 169-172.
5. จเร สดากร. 2535. แฝกหอม หญ้าแฝก. กสิกร 65(2): 135-140.
6. Chungsamarnyart, N. and Jiwajinda, S. 1992. Acaricidal activity of volatile oil from lemon and citronella grasses on tropical cattle ticks. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 26(5): 52-56.
7. รุ่งนภา ก่อประดิษฐ์สกุล, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล, สุรัตน์วดี จิวะจินดา, สุรพงษ์ สวัสดิ์พาณิชย์ และ ราเชนทร์ ถิรพร. 2538. การใช้สารสกัดจากรากหญ้าแฝกในการควบคุมเห็บโค เอกสารประกอบการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 หน้า 460-466.

ว.วิทย มข. 25(4) : 303-313 (2540)

สัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชสกุล *Utricularia* L.

Pollen Morphology of *Utricularia* L.

*รัชนี ฉวีราช**
*วิชัย ณีรัตนพันธุ์***
*สุรพล แสนสุข****

บทคัดย่อ

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชสกุล *Utricularia* L. จำนวน 6 ชนิด โดยนำละอองเรณูมาผ่านกรรมวิธีอะซีโตไลซีสแล้วศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงรายงานผลการวิจัยพร้อมรูปภาพประกอบ ได้แก่ รูปทรงแบบ prolate-spheroidal oblate-spheroidal subprolate ขนาดตั้งแต่ 61.12-116.68 μ ขั้ว isopolar และ heteropolar ช่องเปิดแบบ polyzonosyncolporate, 4-colporate, 4-syncolporate, 3-colporate และ 3-syncolporate ลวดลายบนผนังเรณูแบบ finely reticulate

Abstract

A study on pollen morphology of 6 species *Utricularia* L. has been undertaken by acetolysis method. The palynological charaters were examined by light microscope. The palynological studies and photographs of all species were reported that are prolate-spheroidal, oblate-spheroidal, subprolate in shape, 61.12-116.68 μ in size, isopolar and heteropolar in polarity, polyzonosyncolporate, 4-colporate, 4-syncolporate, 3-colporate and 3-syncolporate in aperture, finely reticulate in exine sculpturing.

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**อาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ละอองเรณูเป็นเซลสืบพันธ์เพศผู้ของพืชมีดอกซึ่งเกิดจากการแบ่งตัวของเซลต้นกำเนิด (spore mother cell) เมื่อเจริญเปลี่ยนแปลงเป็นละอองเรณูจะมี 2 นิวเคลียส (binucleate) คือ เวเจทเททีฟ นิวเคลียส (vegetative nucleus) และเจเนอเรทีฟ นิวเคลียส (generative nucleus) โดยทั่วไปละอองเรณูประกอบด้วยโปรตีน 20% คาร์โบไฮเดรต 37% ไขมัน 4% และ เกลือแร่ 3% (knox, 1979) ดังนั้นจึงมีคุณค่าทางอาหารด้วย

การศึกษาสัณฐานวิทยาละอองเรณูเป็นข้อมูลพื้นฐานของการศึกษาทางพฤกษศาสตร์ ซึ่งจะนำไปสู่การศึกษาสาขาอื่นอีกมากมาย เช่น การศึกษาทางโบราณคดี (Archaeology) การศึกษาละอองเรณูในน้ำผึ้ง (Melitopalynology) การศึกษาเกี่ยวกับโรคภูมิแพ้ (Aeropalynology) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาทางด้านพฤกษานุกรมวิธาน (Plant Taxonomy) และอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากว่าเรณูของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไปทั้งรูปร่างลักษณะ ขนาด โครงสร้าง ขั้ว ช่องเปิด ลวดลายบนผนังเรณู ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะชนิดของพืช

พืชวงศ์ Lentibulariaceaeมี 1 สกุล คือ *Utricularia* L. มีหลายชนิดที่เป็นพืชกินแมลง (carnivorous plants) มีลักษณะที่น่าสนใจคือเป็นพืชที่ลอยเป็นอิสระในน้ำ หรือเจริญในที่แฉะ ไม่มีราก ใบจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้างพิเศษเพื่อทำหน้าที่ดักแมลงมีลักษณะคล้ายถุง (bladder) อยู่ใกล้กับโคนใบ ซึ่งถุงดักแมลงนี้ในแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไป สามารถนำลักษณะนี้ไปใช้ในการตรวจสอบ (Identification) และจัดจำแนก (Classification) ได้ด้วย ดอกเกิดเป็นช่อแบบ ราซีม (raceme)

Tseng-Chieng Huang, 1972 ได้ศึกษาเรณูของพืชในไต้หวัน รวมทั้งสกุล *Utricularia* L. ชนิดต่างๆ ดังนี้

***U. aurea* Lour.**

เรณูแบบแพนโทคอลเพท (pantocolpate) จำนวน 18-22 คอลเพท รูปทรงสับโพรเลท (subprolate) ถึงทรงกลม (spheroidal) ขนาด 32-40 x 30-37 μ ที่บริเวณขั้วขนาด 32-40 x 30-37 μ เอ็กซีน (exine) หนา 2.5 μ

***U. bifida* Linn.**

เรณู 4-(5) คอลโพเรท (colporate) รูปทรงออปเลท (oblate) ถึงทรงกลมขนาด 20-26 x 27-30 μ เอ็กซีนหนา 1 μ เซ็กซีน (sexine) แบบไฟน์ลี่ เรทติคิวเลท (finely reticulate)

วิธีการวิจัย

1. เก็บส่วนดอกของพืชสกุล *Utricularia* L. 6 ชนิด ดังตาราง แล้วนำเรณูมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 °C

ลำดับที่	local name	Scientific name	เดือนที่เก็บ	สถานที่เก็บ
1	สาหร่ายข้าวเหนียว สาหร่ายดอกเหลือง	*Utricularia aurea* Lour.	พ.ย. 2538	อ.โคกศรีสุพรรณ จ.สกลนคร
2	หญ้าสีทอง	*U. bifida* L.	พ.ย. 2538	อ.โคกศรีสุพรรณ จ.สกลนคร
3	ดุสิตา หญ้าข้าวก่ำน้อย	*U. delphinioides* Thor. Ex. Pell.	พ.ย. 2538	อ.โคกศรีสุพรรณ จ.สกลนคร
4	-	*U. inflata* Walt	พ.ย. 2538	อ.เมือง จ.ขอนแก่น
5	หญ้าเข็ม หญ้าฝอยเล็ก	*U. caerulea* Linn.	พ.ย. 2538	อ.โคกศรีสุพรรณ จ.สกลนคร
6	ทิพเกสร	*U. minutissima* Vahl.	พ.ย. 2538	อ.โคกศรีสุพรรณ จ.สกลนคร

2. ตรวจสอบชนิด เทียบตัวอย่างที่หอพรรณไม้ กรมป่าไม้ และหอพรรณไม้ ตึกพืชพรรณ กรมวิชาการเกษตร

3. เตรียมละอองเรณูเพื่อศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยนำละอองเรณูมาผ่านขบวนการอซีโตไลซีส (Erdtman, 1966)

4. สรุปผลงานวิจัยเป็นตาราง พร้อมกับบันทึกภาพ

สัณฐานวิทยาละอองเรณูที่นำมาศึกษา

1. รูปทรง (shape) ได้จากอัตราส่วนของค่าความยาวของเรณูในแนวแกนระหว่างขั้วทั้งสองของเรณู (polar axis : P) ต่อค่าความกว้างของเรณูในแนวเส้นศูนย์สูตร (eguatorial axis : E) (Erdtman, 1952) ในกรณีที่ไม่มีช่องเปิด หรือช่องเปิดกระจายอยู่ทั่วเรณู วัดโดยโฟกัสให้เห็น median optical section แล้ววัด 2 ครั้งในแนวตั้งฉากกัน

2. ขนาด (size) วัดในแนวแกน P หรือ E โดยเลือกแกนที่ยาวที่สุด จำนวนของละอองเรณูที่วัดแต่ละชนิด 15 เรณู

3. ขั้ว (polarity)

4. ช่องเปิด (aperture)

5. ลวดลายบนผนังเรณูชั้นนอก (exine sculpturing)

ผลการวิจัย

แสดงผลการวิจัยในรูปตารางดังนี้

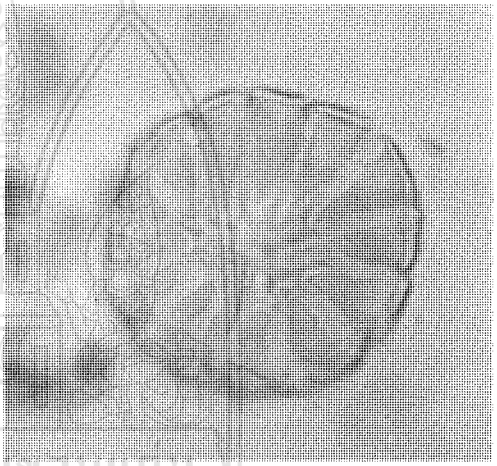
local nme	scientific name	shape (P/E)	size (μ)	Polarity	aperture	exine sculpturing
สาหร่ายข้าวเหนียว สาหร่ายดอกเหลือง	*Utricularia aurea Lour.*	prolate-spheroidal	83.34-116.68	isopolar	polyzonosyncolpate (10-16 colpate)	finely reticulate
หญ้าสีทอง	*U. bifida L.*	oblate-spheroidal	61.12-72.23	heteropolar isopolar	3-colporate 3-syncolporate	finely reticulate
ดุลิตา หญ้าข้าวก่ำน้อย	*U. delphinioides* Thor. Ex. Pell.	oblate-spheroidal	77.79-100.01	heteropolar isopolar	4-colporate 4-syncolporate	finely reticulate
-	*U. inflata Walt*	oblate-spheroidal	83.34-100.01	isopolar	polyzonosyncolpate (13-17 colpate)	finely reticulate
- หญ้าเข็ม	*U. caerulea Linn.*	oblae-spheroidal	61.12-83.34	heteropolar isopolar	3-colporate 3-syncolporate	finely reticulate
ทิพเกสร หญ้าฝอยเล็ก	*U. minutissima* Vahl.	subprolate	61.12-88.89	heteropolar isopolar	3-colporate, 3-syncolporate	finely reticulate



ก



ข



ค

ภาพที่ 1 *Utricularia aurea* Lour.

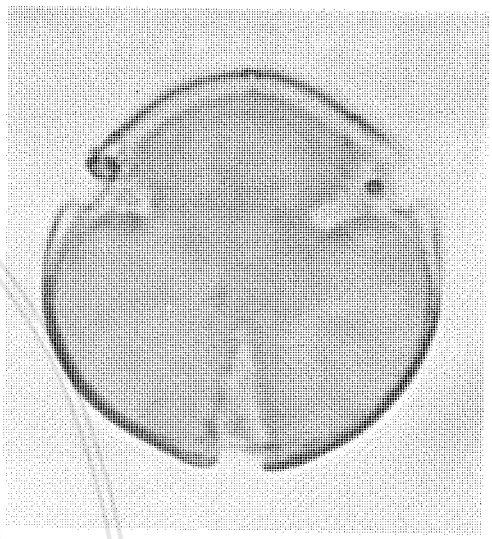
ก. ดอก

ข. ละอองเรณู equatorial view LM x100

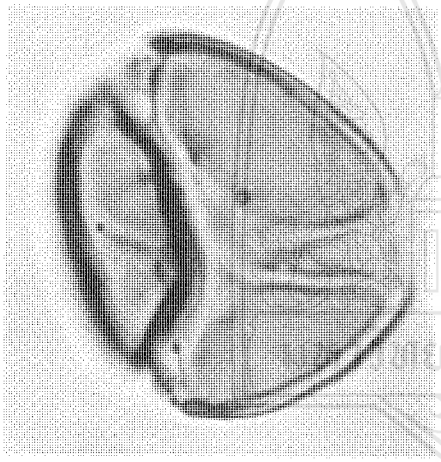
ค. ละอองเรณู polar view LM x 100



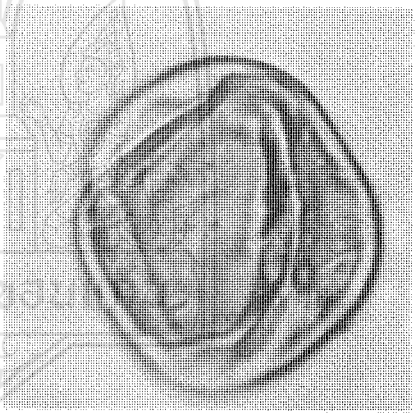
ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 2 *Utricularia bifida L.*

ก. ดอก

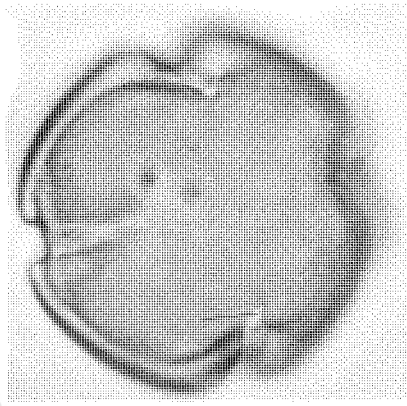
ข. ละอองเรณู polar view LM x100

ค. ละอองเรณู polar view LM x 100

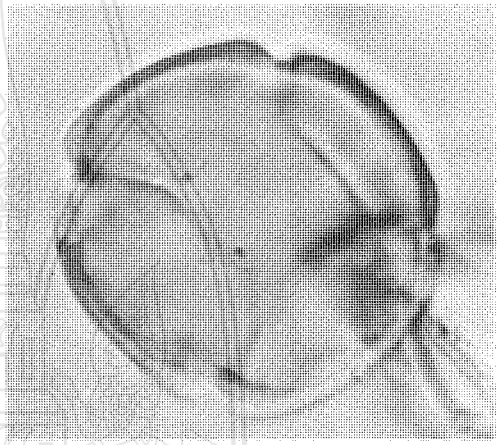
ง. ละอองเรณู equatorial view LM x 100



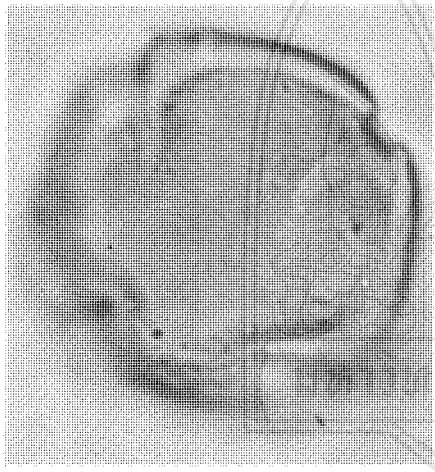
ก



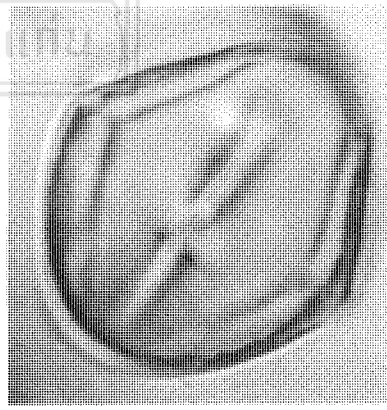
ข



ง



ค



จ

ภาพที่ 3 *Utricularia delphinioides* Thor.Ex.Pell.

ก. ดอก

ข. ละอองเรณู oblique polar view LM x100

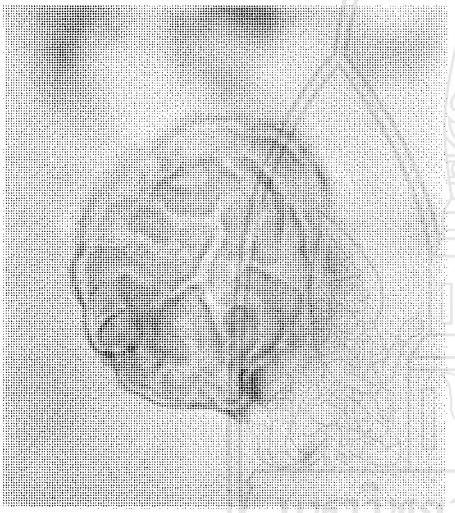
ค. ละอองเรณู oblique polar view LM x100

ง. ละอองเรณู polar view LM x 100

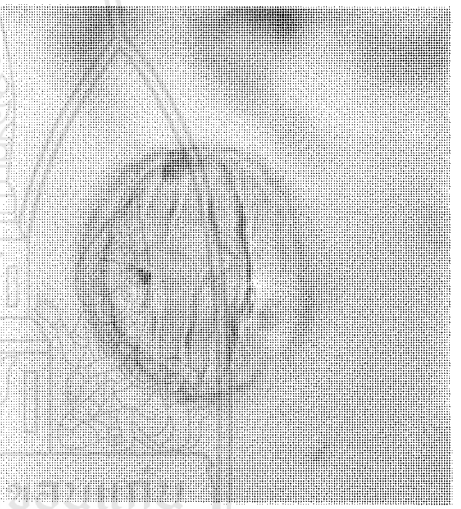
จ. ละอองเรณู equatorial view LM x 100



ก



ข



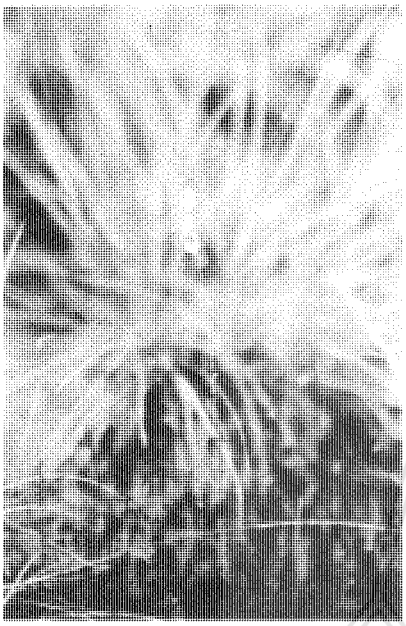
ค

ภาพที่ 4 *Utricularia inflata* Walt

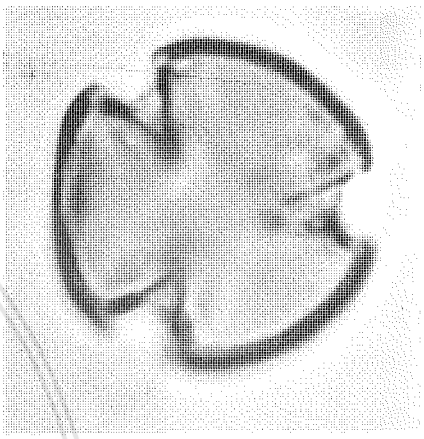
ก. ดอก

ข. ละอองเรณู polar view LM x100

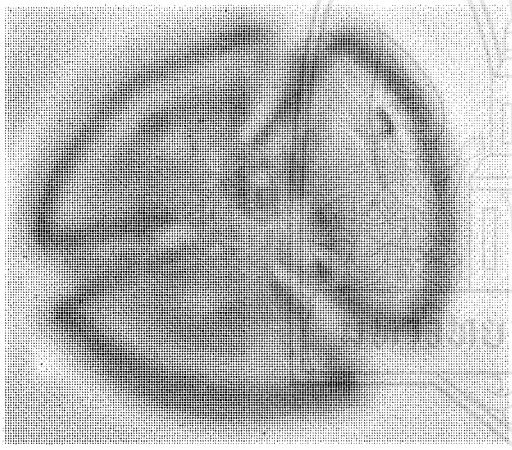
ค. ละอองเรณู equatorial view LM x 100



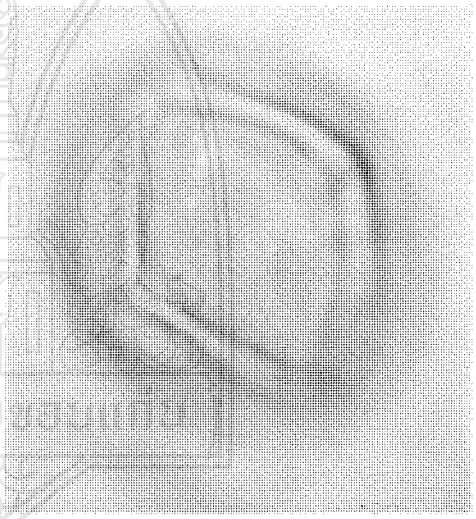
ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 5 *Utricularia caerulea* Linn.

ก. ดอก

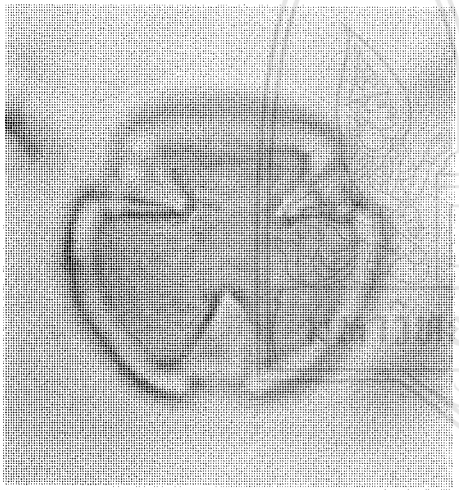
ข. ละอองเรณู polar view LM x100

ค. ละอองเรณู polar view LM x 100

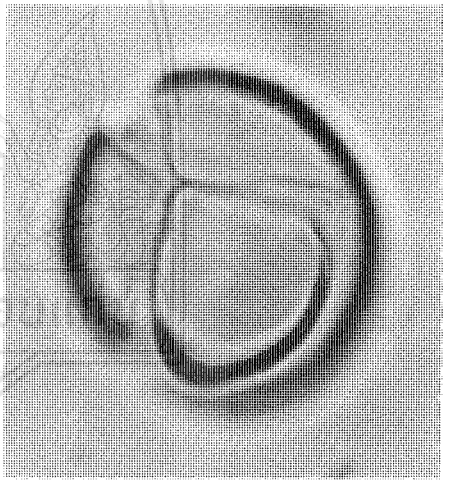
ง. ละอองเรณู equatorial view LM x 100



ก



ข



ค

ภาพที่ 6 *Utricularia minutissima* Vahl.

ก. ดอก

ข. ละอองเรณู polar view LM x100

ค. ละอองเรณู oblique polar view LM x 100

สรุปผลและวิจารณ์

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาละอองเรณู พบว่า

รูปทรง จะพบรูปทรงที่แตกต่างกันออกไป 3 แบบ คือ prolate-spheroidal พบใน *Utricularia aurea* Lour. รูปทรง oblate-spheroidal พบใน *U. inflata* Walt, *U. delphinioides* Thor.Ex.Pell., *U. bifida* L. และ *U. caerulea* Linn. รูปทรง subprolate พบใน *U. minutissima* Vahl. ขนาดพบตั้งแต่ 61.12 μ พบใน *U.bifida* L., *U. minutissima* Vahl. และ *U. minutissima* Vahl. ขนาดใหญ่ที่สุดในกลุ่มคือ 116.68 3 μ พบใน *U. aurea* L. ขั้ว พบทั้ง heteropolar และ isopolar ดังนั้น จึงแบ่งเรณูออกได้เป็น 2 กลุ่มตามลักษณะของขั้ว คือ

ขั้วแบบ isopolar ได้แก่

U. aurea Lour.

U. inflata Walt.

ขั้วแบบ heteropolar ได้แก่

U. delphinioides Thor.Ex.Pell.

U. bifida L.

U. caerulea Linn.

U. minutissima Vahl.

จำนวนและลักษณะของช่องเปิดพบว่ามี 3 แบบคือ polyzonocolpate 4-colporate 4-syncolporate 3-colporate และ 3-syncolporate โดย polyzonocolpate พบใน *U. aurea* Lour. *U. inflata* Walt. 4-colporate และ 4-syncolporate พบใน *U. delphinioides* Thor.Ex.Pell. 3-colporate และ 3-syncolporate พบใน *U. bifida* L. *U. caerulea* Linn. *U. minutissima* Vahl.

ลวดลายบนผนังเรณูนั้นเป็นแบบ reticulate ทุกชนิด

สำหรับความหนาของชั้นเอ็กซีนทั้ง 6 ชนิด ไม่สามารถวัดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงได้เพราะผนังไม่หนาพอ

สัณฐานวิทยาละอองเรณูที่กล่าวมาข้างต้นมี 4 ชนิด ที่แตกต่างกันบ้างในระดับชนิด ยกเว้น 2 ชนิด คือ *U. bifida* L. และ *U. caerulea* Linn. ที่มีลักษณะเหมือนกัน ซึ่ง Erdtman, 1952 กล่าวไว้ว่า สัณฐานวิทยาละอองเรณูในระดับชนิดจะไม่มีความแตกต่างกัน แต่จะมีความแตกต่างกันในระดับสกุลขึ้นไป ดังนั้นในการที่จะนำสัณฐานวิทยาละอองเรณูมาใช้ในการตรวจสอบและจำแนกชนิดของพืชจำเป็นจะต้องศึกษาลักษณะอื่นด้วยเป็นต้นว่าและการศึกษารายละเอียดอื่น ๆ เช่น ความหนาของผนังชั้นนอก ความหนาของผนังชั้นนอกบริเวณช่องเปิด โครงสร้างของช่องเปิด ฯลฯ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope : TEM) ก็จะได้รายละเอียดของความแตกต่างมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Erdtman, G. 1952. Angiosperm. Pollen Morphology and Plant Taxonomy I. Stockholm and Waltham, Man.
2. Erdtman, G. 1966. Angiosperm (An Introduction to Palynology I). Pollen Morphology and Plant Taxonomy. 3d ed. Hafner Publishing. New York.
3. Knox, R.B. 1979. Pollen and Allergy. Edward Arnold, London.
4. Moore, P.D. and Webb, J.A. 1987 Pollen grains and spores. An Illustrated Guide to Pollen Analysis. Hodder and Stoughton, London.
5. Tseng-Chieng Huang. 1972 Pollen Flora of Taiwan. Ching-HWA Press Co. LTD., Taiwan.

ว.วิทย มข. 25(4) : 314-319 (2540)

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย ในตัวอย่างของเหลวรูเมน (Determination of Volatile Fatty Acids in Rumen Fluid Sample)

*ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย**

บทคัดย่อ

วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids, VFAs) ในของเหลวรูเมน (rumen fluid) ของโคและกระบือทดลอง โดยใช้วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำและไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อหาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมด (total VFAs) และใช้วิธีโครมาโทกราฟีแบบก๊าซ-ของเหลว (Gas-Liquid Chromatography, GLC) หาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายแต่ละชนิด (individual VFAs) จากผลการวิเคราะห์ พบว่า วิธีการกลั่นและไทเทรตได้ total VFAs อยู่ในช่วงความเข้มข้น 39.21 ถึง 168.11 mM และ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 65.01 ± 22.80 mM โดยมี % recovery ของวิธีการกลั่นและไทเทรต เท่ากับ 99.24 ± 0.63 ส่วนวิธี GLC สามารถแยก VFAs จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ อะซิติค (C_2), โพรพิออนิค (C_3), ไอโซบิวทิริค (iso-C_4), บิวทิริค (C_4), ไอโซวาลิริค (iso-C_5) และ วาลิริค (C_5) ออกจากกัน ตามลำดับ และพบว่า กรดชนิด C_2, C_3 และ C_4 ซึ่งพบในปริมาณมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.20, 10.48 และ 2.92 mM ตามลำดับ ส่วนกรดชนิด iso-C_4, C_5 และ iso-C_5 นั้นพบในปริมาณที่ค่อนข้างน้อย เมื่อรวม VFAs แต่ละชนิดที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วงความเข้มข้น 37.11 ถึง 134.45 mM และ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.92 ± 17.80 mM โดยมี % recovery ของวิธี GLC เท่ากับ 89.38 ± 4.81

Abstract

Volatile fatty acids (VFAs) in ruminal fluid samples collected from cattle and buffaloes were quantitatively determined as a total VFAs and an individual VFAs by using a steam distillation and titration, and a gas-liquid chromatography (GLC), respectively. It was found that the distillation and titration method gave the total VFAs concentration in range of 39.21 - 168.11 mM with an average value of 65.01 ± 22.80 mM. And this method showed very high % recovery (99.24 ± 0.63).

*อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Six VFAs (acetic acid, C_2; propionic acid, C_3; iso-butyric acid, iso-C_4; butyric acid, C_4; iso-valeric, iso-C_5 and valeric acid, C_5) were sequentially well separated by GLC. The major VFAs (C_2, C_3 and C_4) were 41.20, 10.48 and 2.92 mM, respectively, whereas the minor VFAs were very low concentration. When these individual VFAs were pooled together and the total were 37.11 - 134.45 mM with the average value of 57.92 ± 17.80 mM. The GLC method also showed rather high % recovery (89.38 ± 4.81).

1. บทนำ

สัตว์เคี้ยวเอื้อง (ruminant) เช่น โคและกระบือ มีความสามารถพิเศษในการย่อยสลายอาหารหยาบ (roughage) ให้เป็นประโยชน์ อาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะถูกหมักอยู่ในส่วนของกระเพาะรูเมน (rumen) ซึ่งมีจุลินทรีย์หลายชนิดทำหน้าที่ย่อยสลายอาหารเหล่านั้นภายใต้สภาวะไร้ก๊าซออกซิเจน (anaerobic fermentation) กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids, VFAs) ได้แก่ กรดอะซิติค (acetic acid, C_2) กรดโพรพิออนิค (propionic acid, C_3) กรดบิวทิริค (butyric acid, C_4) และ กรดวาลิริค (valeric acid, C_5) เป็นต้น จัดเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย (end- products) ประเภทหนึ่งที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้โดยตรงจากกระเพาะส่วนนี้ (เมธา, 2533) กรดไขมันเหล่านี้มีปริมาณมากน้อยในสัดส่วนต่างกันขึ้นกับชนิดของอาหารที่สัตว์กินเข้าไป เช่น กรณีการย่อยสลายอาหารข้น (concentrates) อย่างเดียว หรือ อาหารหยาบเพียงอย่างเดียว จะมีปริมาณ VFAs โดยเฉลี่ยของ C_2:C_3:C_4 ในสัดส่วน 55:25:15 หรือ 70:15:10 ตามลำดับ (IAEA, 1985) สำหรับ VFAs ในตัวอย่างของเหลวรูเมนของโคและกระบือที่ทดลองกับอาหารบางกลุ่มนั้น มีปริมาณโดยเฉลี่ยในสัดส่วน 59:13:4 (ศักดิ์สิทธิ์ และ ไชยวรรณ, 2533) ปริมาณ VFAs จึงเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการสังเคราะห์สารชีวโมเลกุลในเมตาโบลิซึมของการผลิตสัตว์ ในการศึกษาด้านสรีรวิทยาการย่อยได้ดังกล่าวสามารถหาปริมาณ VFAs ได้ง่ายโดยการกลั่นด้วยไอน้ำแล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานเบส และ/หรือ การแยก VFAs แต่ละชนิดโดยวิธีโครมาโทกราฟี รายงานนี้ได้เสนอการวิเคราะห์หาปริมาณ VFAs ในตัวอย่างของเหลวรูเมน (rumen fluid) จำนวนหนึ่งเพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

2. การวิเคราะห์ปริมาณ VFAs

ตัวอย่างของเหลวรูเมน (ประมาณ 50 ml) ที่สุ่มเก็บจากกระเพาะรูเมนของโคและกระบือทดลองที่ได้รับอาหารต่างชนิดกัน นำมาปรับสภาพกรดทันทีด้วย 6 N HCl และแช่แข็งไว้จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ ดังนี้

2.1 วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมด (total VFAs) (อ้างอิงใน Chanthai *et al.*, 1987) โดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำและไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานเบส (steam distillation and titration) นำตัวอย่างของเหลวรูเมนออกจากตู้แช่แข็งและทำให้ละลายจากนั้นนำไปเหวี่ยงใส (centrifuge) ด้วยความเร็ว 4,500 - 5,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที เพื่อขจัดสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกไป เก็บเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำ (supernatant) ไว้วิเคราะห์ปิเปต 2 ml (ชั่งน้ำหนัก) ใส่ลงใน Kjeldahl flask เติมสารละลายอิ่มตัวของ $MgSO_4/H_2SO_4$ ประมาณ 2 ml และนำเข้าเครื่องกลั่นทันทีโดยใช้ชุดกลั่นแบบ Semi-micro Kjeldahl เก็บส่วนที่กลั่นได้ประมาณ 150 ml ไว้ไทเทรตกับ 0.0283 N NaOH

โดยใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ ทำการกลั่นสารละลายมาตรฐาน VFAs เพื่อตรวจสอบ % recovery รวมทั้งการกลั่น blank ด้วยทุกครั้ง

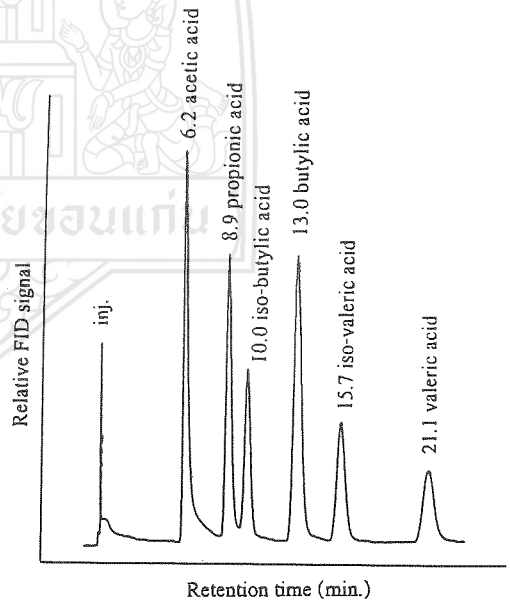
2.2 วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายแต่ละชนิด (individual VFAs) (ดัดแปลงจาก Bartle *et al.*, 1979) โดยวิธีโครมาโทกราฟีแบบก๊าซ-ของเหลว (Gas-Liquid Chromatography, GLC) ใช้คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3.2 mm ยาว 2.1 m บรรจุด้วย 10% FFAP Chromosorp WHP 80-100 mesh ปรับอุณหภูมิคอลัมน์, อุณหภูมิระบบฉีดสาร, อัตราเร็วของก๊าซพา และใช้ FID เป็นตัววัดสัญญาณ หาประสิทธิภาพของคอลัมน์ดังกล่าว โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกสารมาตรฐาน VFAs โดยการปรับอัตราเร็วของก๊าซพาที่ 30, 40, 50 และ 60 ml/min ก่อนใช้แยกสารตัวอย่าง

นำของเหลวรูเมนที่ผ่านการเหวี่ยงใสแล้วมากรองด้วยชุดกรองสารตัวอย่าง (Millipore) ก่อนฉีดเข้าเครื่อง GC และ คำนวณหาปริมาณ VFAs โดยวิธี two-point calibration (Shimadzu, 1987) นอกจากนี้ได้ฉีดสารมาตรฐาน VFAs เพื่อหา % recovery และ ตรวจสอบประสิทธิภาพการแยกเช่นเดียวกัน

3. สรุปผลและวิจารณ์

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณ VFAs ในตัวอย่างของเหลวรูเมนของโคและกระบือ ดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นว่า ปริมาณ total VFAs ที่ได้จากวิธีการกลั่นและไทเทรต มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 39.21 - 168.11 mM ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของอาหารที่โคและกระบือกินเข้าไป หรือ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 65.01 ± 22.80 mM เมื่อพิจารณา % recovery (99.24 ± 0.63) ที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำนั้น จะเห็นว่า เครื่องกลั่นชุดนี้ให้ผลอย่างสม่ำเสมอและสามารถประยุกต์ใช้กลั่น VFAs ได้ด้วย ปกติแล้วจะใช้กลั่นแอมโมเนียเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

สำหรับการใช้เครื่อง GC แยกชนิดและหาปริมาณ VFAs นั้น เริ่มต้นจากการเตรียมคอลัมน์โดยบรรจุอนุภาคชนิด 10% FFAP Chromosorp WHP แล้วบ่มไว้ จากนั้นได้ศึกษาสภาวะการแยกสารผสม VFAs โดยปรับเลือกพารามิเตอร์ที่สำคัญบางอย่าง เช่น อุณหภูมิคอลัมน์ อุณหภูมิระบบฉีดสาร และ อัตราเร็วของก๊าซพา เป็นต้น พบว่า เมื่อใช้อัตราเร็วของก๊าซพา 30 ml/min สามารถแยก VFAs ทั้ง 4 ชนิด รวมทั้ง ไอโซเมอร์ อีก 2 ชนิด ออกจากกันได้ค่อนข้างสมบูรณ์ภายในเวลาประมาณ 21 นาที (รูปที่ 1) จะเห็นว่า กรดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ จะแยกออกก่อนและ กรดที่เป็นไอโซเมอร์จะมีพฤติกรรมการแยกออกเร็วกว่ากรดที่มีโครงสร้างปกติ เช่น iso-C_4 กับ C_4 และ iso-C_5 กับ C_5 ให้ค่าเวลาการคงไว้ (retention time) แตกต่างกัน



รูปที่ 1 Chromatogram of Volatile Fatty Acids (C_2-C_5)

ตารางที่ 1 ปริมาณ VFAs ในตัวอย่างของเหลวรูเมนของโคและกระบือ

ปริมาณ VFAs (mM)								
ไทเทรต/วิธีกลั่น		วิธีโครมาโทกราฟี*						
ตัวอย่างที่	total VFAs	total VFAs**	C_2	C_3	iso-C_4	C_4	iso-C_5	C_5
1	66.95	69.572	52.900	12.830	0.068	3.340	0.174	0.261
2	65.96	64.831	41.000	12.640	3.302	4.789	1.948	2.152
3	60.74	63.036	38.400	11.000	2.909	4.227	2.630	3.870
4	59.52	51.629	41.000	8.250	N.D.	2.220	N.D.	0.159
5	168.11	134.447	89.400	4.311	0.364	1.303	0.935	1.404
6	58.45	49.185	39.000	6.830	0.100	2.110	0.050	0.195
7	76.06	71.287	54.300	13.283	0.227	2.590	0.261	0.326
8	80.11	73.091	50.500	17.583	N.D.	4.432	0.383	0.426
9	100.03	81.515	52.500	23.883	0.091	0.425	0.239	0.554
10	58.65	56.318	38.100	11.500	0.159	4.705	0.087	0.369
11	91.68	63.231	48.000	15.250	0.341	3.839	0.383	0.426
12	69.02	56.151	33.400	10.440	3.023	1.745	3.217	4.326
13	65.44	56.606	36.500	7.415	2.590	3.340	2.826	3.935
14	78.65	46.025	36.300	7.830	N.D.	1.602	0.122	0.172
15	53.66	54.115	40.700	8.750	0.225	3.770	0.325	0.345
16	56.96	63.454	43.100	15.165	0.082	4.602	0.180	0.339
17	51.28	44.960	33.400	8.358	N.D.	2.864	0.033	0.333
18	54.11	42.432	31.000	7.800	N.D.	2.816	0.261	0.543
19	39.21	39.970	27.000	8.775	0.052	3.245	0.057	0.333
20	68.01	62.773	42.000	14.330	N.D.	5.659	0.234	0.560
21	60.53	58.425	44.500	10.800	N.D.	2.591	0.332	0.202
22	45.35	37.105	24.700	6.083	N.D.	1.909	0.109	0.333
23	49.58	37.458	30.600	5.583	N.D.	1.110	N.D.	0.165
24	74.39	69.302	45.900	16.583	0.295	5.745	0.272	0.507
25	70.88	55.737	35.300	13.500	0.023	5.836	0.565	0.513
26	75.06	66.428	52.70	10.440	0.236	2.590	0.311	0.361
27	69.89	62.128	47.000	12.083	0.114	2.475	0.152	0.304
28	60.44	54.495	39.000	10.967	0.045	2.611	0.065	0.261
29	40.62	49.061	30.000	6.833	2.864	1.930	3.043	4.391
30	46.42	46.190	38.100	7.583	N.D.	1.520	0.072	0.143
31	52.18	51.763	41.400	7.665	0.045	2.385	0.043	0.225
32	40.42	29.419	24.400	4.083	0.341	0.389	0.022	0.185
33	50.26	52.984	41.000	9.083	0.682	2.500	0.870	0.246
34	55.19	48.957	37.665	8.917	0.091	2.045	0.261	0.033
$\bar{X}$ =	65.01 ± 22.80	57.92 ± 17.80	41.20	10.48	0.76	2.92	0.64	0.85

(n = 34)

N.D. = not detectable

*เครื่อง GC : Shimadzu Gas Chromatograph GC-9A และ Shimadzu Chromatopac CR-3A ร่วมกับสภาวะการแยกสาร : Injection temperature (200 °C), colunm temperature (150 °C), FID (fuel gas: H_2 + support gas: air), carrier gas (OFN) at flow-rate of 50 ml/min, injection volume (5 µl)

**total VFAs = $C_2+C_3+C_4+isoC_4+C_5+isoC_5$

อย่างไรก็ตาม สามารถใช้อัตราเร็วของก๊าซพา 40 หรือ 50 ml/min เพื่อลดเวลาในการวิเคราะห์ได้เช่นกันโดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการแยกมากนัก

นอกเหนือจากคุณภาพวิเคราะห์แล้ว ปริมาณ VFAs ที่วิเคราะห์ได้ (ตารางที่ 1) อาจพิจารณาได้สองกรณี คือ C_2, C_3, C_4 (major VFAs) และ iso-C_4, C_5, iso-C_5 (minor VFAs) มีปริมาณเฉลี่ย เท่ากับ 41.20, 10.48, 2.92 และ 0.76, 0.85, 0.64 mM ตามลำดับ โดยทั่วไปแล้ว จะใช้สัดส่วนของ $C_2 : C_3 : C_4$ ในการประเมินคุณภาพอาหารข้นหรืออาหารหยาบที่สัตว์เคี้ยวเอื้องได้รับ ครั้นเมื่อรวม VFAs แต่ละชนิดที่แยกได้จากวิธี GLC จะได้ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 37.11 - 134.45 mM และได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.92 ± 17.80 mM การวิเคราะห์โดยวิธี GLC ก็ให้ % recovery (89.38 ± 4.81) ค่อนข้างสูงเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยนี้กับ total VFAs ที่ได้จากวิธีการกลั่นและไทเทรต ด้วย F-test พบว่า ข้อมูลทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการวิเคราะห์หาปริมาณ VFAs ในตัวอย่างของเหลวรูเมนของโคและกระบือโดยวิธีการกลั่นและไทเทรต และวิธีโครมาโทกราฟีแบบก๊าซ-ของเหลวดังกล่าว ปกติแล้ว จะวิเคราะห์หาปริมาณ total VFAs ก่อนซึ่งทำได้ง่ายและเร็วกว่า เพราะใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ไม่ยุ่งยากเท่าใดนัก เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์หาปริมาณ VFAs แต่ละตัวโดยวิธี GC การใช้เครื่องมือ GC นั้นต้องอาศัยความรู้และความชำนาญสูงพอควร เพราะเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีราคาค่อนข้างแพง จะเห็นว่าปริมาณ VFAs จากทั้งสองวิธีนี้อาจแตกต่างกันบ้างในรายละเอียด ปกติแล้วจะนำส่วนที่กลั่นและไทเทรตนั้นมาวิเคราะห์หาปริมาณ VFAs แต่ละตัวอีกทีโดยนำสารละลายที่ผ่านการไทเทรตแล้วมาระเหยเพื่อลดปริมาตร กล่าวคือ จะได้ total VFAs อยู่ในรูปเกลือโซเดียม และ สามารถนำตัวอย่างนี้มาปรับสภาพกรดกลับคืนอีกครั้ง เพื่อฉีดเข้าเครื่อง GC ต่อไป อย่างไรก็ตาม แม้ว่าปริมาณ VFAs ที่หาได้ทั้งสองวิธีนี้จะให้ผลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณต่างกันก็ตาม การวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ ส่งผลดีทางอ้อมในแง่การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ รวมถึง ความคุ้นเคย ความรู้ความชำนาญ และการแก้ปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์ดังกล่าวถือเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อการศึกษาค้นคว้าต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เมธา วรรณพัฒน์ และนักวิจัยทุกคน ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้คำแนะนำการใช้เครื่องกลั่นและอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนการเตรียมตัวอย่างของเหลวรูเมนจากกระเพาะหมักของโคและกระบือทดลอง ขอขอบคุณ นางสาวกรรณิกา ยานุ นางสาวรุ้งลาวัลย์ ชาญประสิทธิ์ชัย และนางสาวสายพิณ พานิชพันธุ์ นักศึกษาเคมีชั้นปีที่ 4 ปีการศึกษา 2535 ที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดังกล่าว พร้อมนี้ ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ศุภลักษณ์ ศรีจารนัย และ ผศ.ดร. เฉลิม เรืองวิริยะชัย ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและวิจารณ์ผลการวิเคราะห์ครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

เมธา วรรณพัฒน์ 2533 โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยวเอื้อง กรุงเทพฯ ฟันนี่พับบลิชชิ่ง หน้า 14

ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย และ ไชยวรรณ วัฒนจันทร์ 2533 องค์ประกอบของกรดไขมันระเหยง่ายในของเหลวรูเมนโคกระบือ วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 18 (3) : 152-156

Bartle, E.E., Herod, E.L., Bechtle, R.M., Sapianza, D.A. and Brent, B.E. 1979. Effect of monesin or lasalocid with and without niacin or amicloral on rumen fermentation and feed efficiency. *J. Anim. Sci.*, 49(4): 1066-1075.

Chanthai, S., Wanapat, M. and Wachirapakorn, C. 1987. Rumen ammonia-N and volatile fatty acid concentrations in cattle and buffalo given rice straw based diets. Paper presented at the 7th AAFARR Network, held at Chiang Mai Phucome Hotel, Chiang Mai, Thailand June 2-6.

IAEA 1985. Laboratory training manual on the use of nuclear techniques in animal nutrition. Technical reports series No. 248, Vienna, Austria.

Shimadzu Corporation 1987. Chromatopac C-R3A, Instruction Manual. Kyoto, Japan.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ว.วิทย มข. 25(4) : 320-324 (2540)

กราฟคอมพิวเตอร์

"นายถังเบียร์"

Mathematica ระบบสำหรับคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยคอมพิวเตอร์ (ตอน 5)

ใน *Mathematica* มีโปรแกรมสำเร็จสำหรับให้เราใช้หลายอย่างด้วยกัน โดยแบ่งเป็นในส่วน พีชคณิต (Algebra) แคลคูลัส (Calculus) คณิตศาสตร์เต็มหน่วย (DiscreteMath) เรขาคณิต (Geometry) กราฟ (Graphics) พีชคณิตเชิงเส้น (LinearAlgebra) ทฤษฎีจำนวน (NumberTheory) คณิตศาสตร์เชิงตัวเลข (NumericalMath) และสถิติ (Statistics) การจะใช้ส่วนของเรื่องใดให้ใช้คำสั่ง

<<Algebra ต้องการใช้ส่วนพีชคณิต

<<Calculus ต้องการใช้ส่วนแคลคูลัส

ในแต่ละส่วนยังมีส่วนย่อยอีกหลายอย่าง ท่านอาจจะศึกษาได้จากหนังสือ Guide to Standdard Mathematica Packages Version 2.2 ในที่นี้จะขอยกตัวอย่าง เช่น

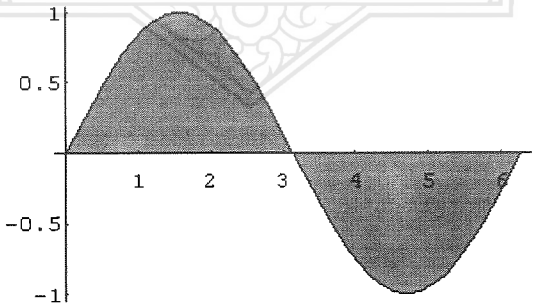
- ต้องการแสดงพื้นที่ระหว่างเส้นกราฟต่าง ๆ จะใช้คำสั่ง **<<Graphics`FilledPlot`**

In[1]:=

<<Graphics`FilledPlot`

In[2]:=

FilledPlot[Sin[x],{x,0,2Pi}]



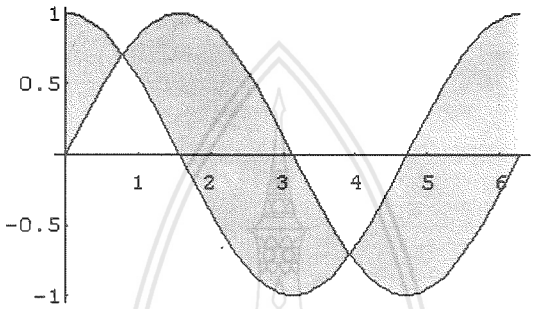
Out[2] =

-Graphics-

ตัวอย่างแสดงพื้นที่ระหว่างเส้นโค้งกราฟ $y = \sin x$ กับแกน X เมื่อ x มีค่าระหว่าง 0 ถึง 2π

In[3]:=

FilledPlot[{Sin[x],Cos[x]},{x,0,2Pi}]



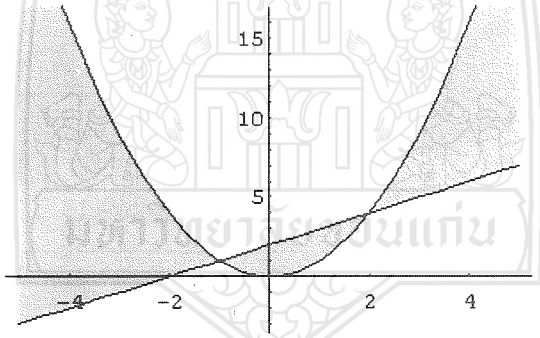
Out[3] =

-Graphics-

ตัวอย่างแสดงพื้นที่ระหว่างเส้นโค้งกราฟ $y = \sin x$ กับ $y = \cos x$ เมื่อ xมีค่าระหว่าง 0 ถึง 2π

In[4]:=

FilledPlot[{x^2,x+2},{x,-5,5}]



Out[4] =

-Graphics-

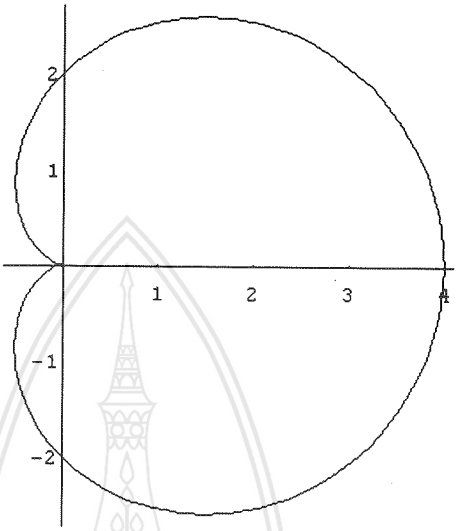
- ต้องการแสดงกราฟต่าง ๆ ในระบบพิกัดเชิงขั้ว จะใช้คำสั่ง **<<Graphics`Graphics`**

In[5]:=

<<Graphics`Graphics`

In[6]:=

PolarPlot[2+2*Cos[t],{t,0,2*Pi}]



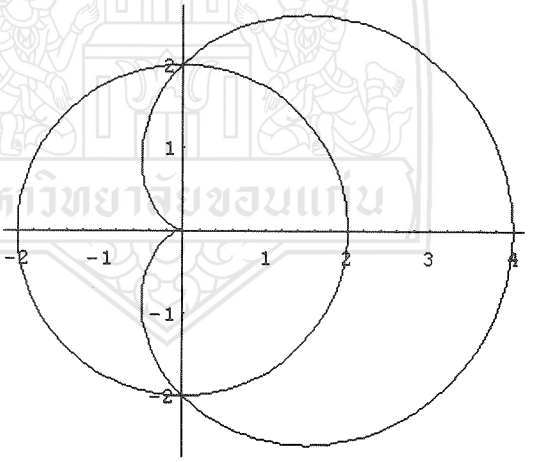
Out[6] =

-Graphics-

ตัวอย่างแสดงกราฟของฟังก์ชัน $r = 2 + 2\cos\theta$ เมื่อ $0 \le \theta \le 2\pi$

In[7]:=

PolarPlot[{2,2+2*Cos[t]},{t,0,2*Pi}]



Out[7] =

-Graphics-

ตัวอย่างแสดงกราฟของฟังก์ชัน $r = 2 + 2\cos\theta$ กับ $r = 2$ เมื่อ $0 \le \theta \le 2\pi$

ต่อไปจะแสดงเส้นกราฟต่างโดยใช้ส่วนคณิตศาสตร์เติมหน่วย

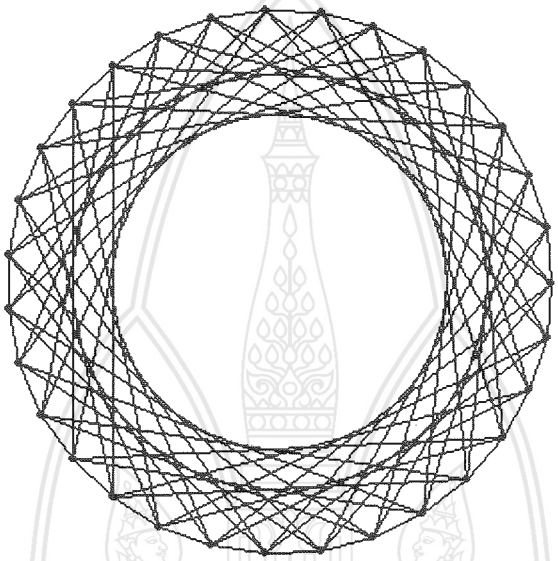
โดยใช้คำสั่ง **<<DiscreteMath`Combinatorica`**

In[8]:=

<<DiscreteMath`Combinatorica`

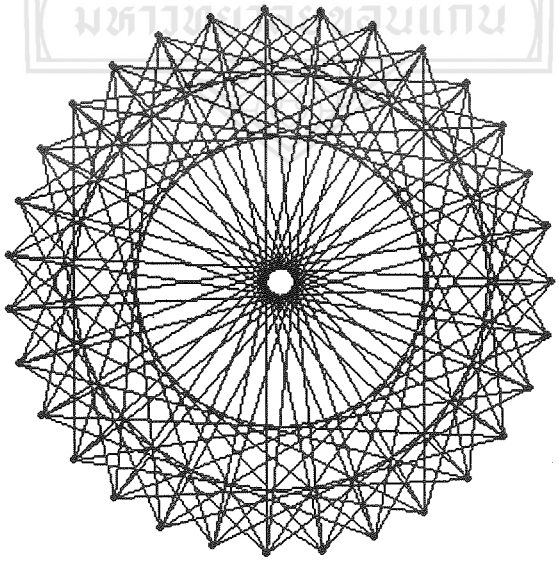
In[9]:=

ShowGraph[CirculantGraph[31,RandomKSubset[Range[10],3]]];



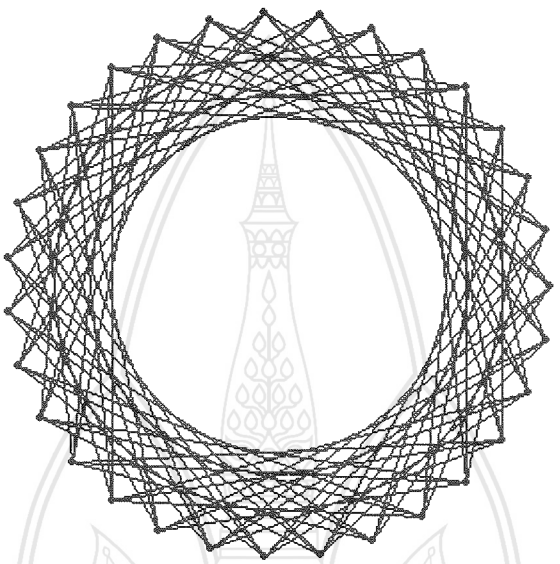
In[10]:=

ShowGraph[CirculantGraph[31,RandomKSubset[Range[10],3]]];



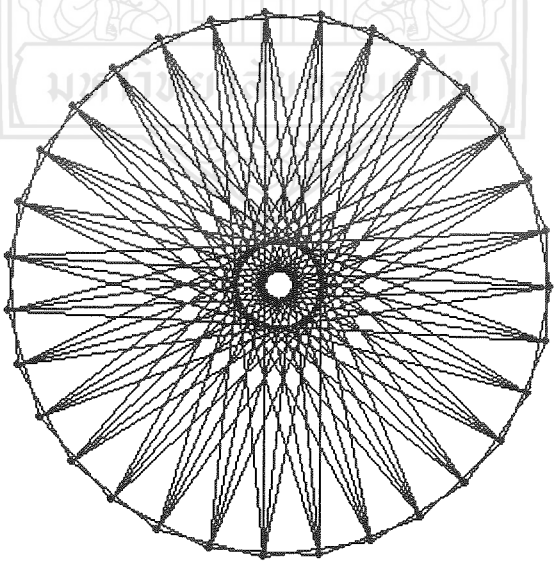
In[11]:=

ShowGraph[CirculantGraph[31,RandomKSubset[Range[10],3]]];



In[12]:=

ShowGraph[CirculantGraph[31,RandomKSubset[Range[10],3]]];



ว.วิทย มข. 25(4) : 325-328 (2540)

เกร็ดเล็กเกร็ดน้อย

โดย อ๊อดน้อย ลูกบางปลาสร้อย

ตอน เห็ดนำโชค, วุ้นสวรรค์ : เห็ดที่ไม่ใช่เห็ด วุ้นที่ไม่ใช่วุ้น

เหตุที่นำเรื่องนี้มาเล่าสู่กันฟังก็เนื่องจากขณะนี้กำลังเป็นที่สนใจกันอยู่ทั่วไป ถึงแม้บางท่านอาจรู้จักกันบ้างแล้วเนื่องจากมีการนำมาออกรายการโทรทัศน์ วิทยุ และหนังสือพิมพ์ กันพอสมควรแล้ว แต่กระผมในฐานะที่เขียนเรื่องอยู่ในวารสารวิทยาศาสตร์ ก็ต้องขอนำมาพูดให้เราท่านทั้งหลายรู้จักกันอีกที โดยคงพูดในแง่วิทยาศาสตร์ด้วย เนื่องจากชาวไทยไม่ว่าจะเป็นภาคไหน ความรู้ระดับใด ไม่ว่าจะเป็นผู้นำหรือผู้ตาม ก็มักเชื่อในสิ่งที่พิสูจน์ไม่ได้ อันนี้เราก็ไม่ว่ากันเพราะเป็นความเชื่อส่วนบุคคลเราคงไม่ไปว่ากันหรอกครับ แต่ถ้าอะไรบางอย่างเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่พิสูจน์ได้แล้วและในหมู่นักวิทยาศาสตร์หรือผู้ที่ศึกษาในด้านนั้นๆ ได้ทราบกันแล้ว อาจทำให้ท่านได้หายสงสัยหรือได้ข้อพิสูจน์ เค้าว่ากันว่าวิทยาศาสตร์เกิดจากความอยากรู้อยากเห็นของมนุษย์ และความพยายามที่จะพิสูจน์สิ่งต่างๆ ที่อยู่รอบตัวเรา ถ้าเรามีความเป็นนักวิทยาศาสตร์คือไม่เชื่ออะไรอย่างงมงายก็คงจะไม่ถูก ผู้ที่ฉลาดกว่าหลอกเอานะครับ

มีการพูดกันต่อๆ มาว่าการที่เราไม่รู้ หรืออธิบายบางอย่างไม่ได้ ทำให้เรากลัว เช่นเรื่องไฟ มนุษย์สมัยโบราณเลยกลัวไฟ หรือฟ้าผ่า หรือสุริยุปราคา จันทรุปราคา ดาวตก หรือดาวหางต่างๆ เพราะคนเหล่านั้นไม่ทราบว่าปรากฏการณ์เหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร ต่อมาเมื่อมีการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์และสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ เหล่านั้นได้คนส่วนใหญ่ที่ประจักแก่ใจแล้วว่าเหตุการณ์นั้นไม่ได้เกิดจากภูตผีปีศาจใดๆ แต่เป็นเพียงปรากฏการณ์ธรรมชาติที่อาจทำนาย หรือขอใช้คำว่าคำนวณได้ว่าจะเกิดขึ้นเมื่อใดที่ไหน จึงเลิกกลัวไปในที่สุด แต่ก็มีคนบางส่วนที่ยังคงเชื่อถือตามคำโบราณที่เล่าต่อกันมาอยู่ แต่ถ้าเชื่อแล้วไม่ก่อความเดือดร้อนให้กับตนเองและผู้อื่นอีกทั้งยังทำให้เป็นคนดีอีกเราก็ไม่ว่ากันนะครับ อาจเป็นกุศโลบายของคนโบราณที่เอาความเชื่อมาทำให้คนเป็นคนดีก็ได้ครับ เห็นมั๊ยครับคนฉลาดกว่าย่อมสามารถชักนำคนที่มีแนวโนมที่จะเชื่อผู้อื่นได้ง่ายโดยไม่ไตร่ตรอง หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า.....ได้ดีครับ (สรุปว่าถ้าท่านเป็นคนฉลาดแล้วจงเฉลียวด้วยนะครับ อย่าฉลาดจำอย่างเดียวจงฉลาดคิดด้วยครับ)

พูดไปพูดมายังไม่ได้เข้าเรื่องเลย มาพูดเรื่องของเรากันดีกว่า เรื่องเห็ดนำโชค ซึ่งไม่ทราบว่าผู้ประสงค์ดีหรือร้ายมีการทำในลักษณะจดหมายลูกโซ่ ที่จริงแล้วเห็ดนำโชคนั้นมีการเลี้ยงกันมานานพอควรโดยอาจเรียกในชื่ออื่น เช่น เห็ดรัสเซีย เห็ดซาแดง หรือชื่ออื่นๆ โดยจะเลี้ยงในน้ำชา และใส่น้ำตาลให้เล็กน้อย เมื่อขึ้นก็จะเป็นแผ่นวุ้นหนาๆ อยู่บริเวณผิวของน้ำชา ลักษณะก็คล้ายๆ ดอกเห็ดเหมือนกัน เมื่อรับประทานน้ำชาที่ใช้เลี้ยงเห็ดกล่าวว่ามีสรรพคุณในการรักษาโรคต่างๆ และบำรุงสุขภาพได้ดี อันนี้เดี๋ยวจะกล่าวถึงอีกทีครับว่ามีสรรพคุณอย่างนั้นจริงๆ หรือเปล่า

นอกจากที่รู้จักกันในนามเห็ดแล้ว ยังรู้จักในนามวุ้นอีก เช่น วุ้นมะพร้าว วุ้นสวรรค์ เป็นต้น อันนี้ท่านคงอาจเคยเห็นที่มีขายอยู่ตามร้านทั่วไป ที่มีชื่อเรียกเช่นนี้เนื่องจากจะเลี้ยงในน้ำมะพร้าวแต่จะรับประทานในส่วนที่มีลักษณะเป็นวุ้น โดยตัดเป็นชิ้นและเชื่อมในน้ำเชื่อม ขายบรรจุในขวดรับประทานเป็นของหวานรสหวานอมเปรี้ยว กรอบหรือหยุ่นคล้ายวุ้น นับเป็นผลิตภัณฑ์ที่กำลังนิยมอีกชนิดหนึ่งในปัจจุบัน

แล้วเจ้าที่ว่านี้เป็นอะไรกัน ขอเล่าให้ฟังดังนี้ครับ ที่จริงเป็นจุลินทรีย์ครับ เป็นแบคทีเรียชนิดหนึ่งที่มีชื่อว่า อะซิโตแบคเตอร์ ไซลินั่ม เจ้าแบคทีเรียชนิดนี้จะสร้างสารออกมารอบๆ ตัวเอง สารนั้นเป็นสารพวกเซลลูโลส ชื่อคุ้นมั๊ยครับ ที่จริงก็เป็นสารชนิดเดียวกับกระดาษนั่นเอง คือประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสาย คล้ายกับแป้ง แต่แตกต่างกันเล็กน้อย คือเจ้าเซลลูโลสนี่ร่างกายคนเราย่อยไม่ได้นะครับ เหมือนกับวุ้นนั่นแหละครับ แต่ก็มีโครงสร้างและองค์ประกอบต่างจากวุ้น ดังนั้นถ้ารับประทานเซลลูโลสนี้ก็จะทำหน้าที่เป็นกากอาหาร เหมือนกับเส้นใยจากพืช แต่ไม่ได้ว่าเหมือนรับประทานหญ้าหรือฟาง หรือกระดาษนะครับ เพราะที่จริงแล้วนอกจากเซลลูโลสแล้วแบคทีเรียชนิดนี้ก็ยังสร้างสารอีกหลายชนิด ซึ่งอาจมีทั้งที่เป็นประโยชน์และไม่เป็นประโยชน์กับร่างกาย ผลิตภัณฑ์หลักอย่างหนึ่งที่สร้างขึ้นในขณะที่เจริญก็คือกรด เชื้อจะสร้างกรดอะซิติกขึ้นทำให้มีผลิตภัณฑ์เซลลูโลสที่ได้มีรสเปรี้ยวด้วย นักวิทยาศาสตร์บางท่านกล่าวว่าเซลลูโลสที่เชื้อนี้สร้างขึ้นเพื่อพยุงให้เชื้อลอยอยู่บนผิวอาหารเนื่องจากเชื้อชนิดนี้ต้องการอากาศในการเจริญจึงต้องลอยอยู่บนผิวอาหาร เซลลูโลสดังกล่าวเป็นส่วนที่เรียกว่า slime layer คือสารพวกโพลิแซคคาร์ไรด์ที่แบคทีเรียสร้างออกมารอบๆ ตัวในบางสภาวะเพื่อช่วยให้แบคทีเรียสามารถคงทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น บางท่านอาจเคยสังเกตเห็นอาหารที่ทิ้งไว้นาน แล้วบูดเสียมีลักษณะเป็นเมือกเหนียวส่วนหนึ่งเกิดจาก slime layer ที่สร้างขึ้นโดยแบคทีเรียซึ่งเจริญในอาหารแล้วทำให้อาหารเสียนั่นเอง สารเหล่านี้จะมีหลายชนิดส่วนมากประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายด้วยพันธะและรูปแบบต่างๆ เป็นร่างแห มักจะสามารถ ละลายน้ำได้

นักวิทยาศาสตร์ยังพยายามใช้ประโยชน์จากสารเซลลูโลสที่เชื้อนี้สร้างขึ้นให้มีประโยชน์มากกว่านำมารับประทานธรรมดา แต่จะนำไปใช้ในทางการแพทย์ และอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษและฝ้าย โดยใช้จุลินทรีย์ดังกล่าวเป็นตัวแทนในการศึกษากลไกการสังเคราะห์เซลลูโลสเพื่อที่จะหาหนทางในการปรับปรุงและควบคุมการผลิตให้มีปริมาณและคุณภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเซลลูโลสที่ได้จากจุลินทรีย์ดังกล่าวยังมีคุณภาพสูงกว่าที่ได้จากพืชทั่วไปอีกด้วย บริษัทโซนี่ได้มีการนำเซลลูโลสจากจุลินทรีย์นี้ไปใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษที่ใช้เป็นส่วนประกอบของหูฟังที่มีประสิทธิภาพสูงได้เป็นอย่างดีที่เรียกว่าไบโอเซลลูโลส โดยมีคุณสมบัติที่มีเนื้อละเอียดและมีความเหนียว ทางด้านการแพทย์ยังพบว่าสามารถใช้เซลลูโลสจากจุลินทรีย์นี้ในการตกแต่งบาดแผลเนื่องจากสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ง่ายโปร่งใสและแนบติดกับแผลได้ดี เป็นต้น นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์ยังมีแผนที่จะพยายามปรับปรุงสายพันธุ์หรือใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมในการตัดต่อสารพันธุกรรมที่ควบคุมการสร้างเซลลูโลสจากจุลินทรีย์นี้ไปสู่พืชชั้นสูง หรือจุลินทรีย์ชนิดอื่นเพื่อให้สามารถสร้างเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุณภาพสูงอีกทั้งมีราคาถูกอีกด้วย คงไม่ต้องอดใจรอนานนักในช่วงชีวิตของพวกเราก็คงมีโอกาสได้เห็นหรือใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวก็เป็นได้ครับ

พูดเรื่องไกลตัวเสียนาน แต่ก็ควรรู้ไว้บ้างนะครับเพราะคงไม่นานก็จะมาใกล้ตัว และก็ยัง

แอบหวังเล็กๆ ว่าอยากให้เกิดจากความคิดของนักวิทยาศาสตร์ไทยของเราบ้างก็จะดีครับ เรามารู้จักวุ้นสวรรค์หรือวุ้นมะพร้าว หรือชื่ออื่นๆ กันอีกนิดหนึ่งนะครับ อย่างที่ได้กล่าวไว้ตอนต้นแล้วว่าเกิดจากเจ้าเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นแบคทีเรียชื่อ อะซิโตแบคเตอร์ ไซลินั่ม นั่นเอง ที่จริงแล้วแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นกลุ่มเดียวกับ อะซิโตแบคเตอร์ อะซิไต ซึ่งใช้ผลิตน้ำสมสายชู นักวิทยาศาสตร์บางท่านยังจัดอยู่ในชนิดเดียวกันแต่มีการแปรผันไปเล็กน้อยจนไม่ถือเป็นชนิดใหม่ จึงเรียกอย่างเต็มๆ ว่า อะซิโตแบคเตอร์ อะซิไต สับสปีชีส์ ไซลินั่ม อ้อ ต้องขออภัยท่านผู้อ่านเล็กน้อยที่ขออนุญาติเขียนเป็นคำอ่านภาษาไทย ซึ่งดูขัดๆ แต่ไม่กล้าเขียนเป็นชื่อวิทยาศาสตร์แล้วครับเพราะพอเอาไปเรียงพิมพ์ที่ไรก็ไม่ขีดเส้นใต้ หรือทำเป็นตัวเอียงให้ผมเลย เดี๋ยวผู้อ่านจะว่าเอาว่าเขียนเรื่องวิทยาศาสตร์ทั้งทียังเขียนชื่อวิทยาศาสตร์ไม่ถูกวิธีอีก ก็เลยตัดปัญหาเขียนเอาแบบไทยๆ เรานี่แหละครับ มีเอกสารเค้ากล่าวว่าเจ้าเชื้อที่สร้างแผ่นวุ้นหรือเซลลูโลสนี้เดิมเป็นสายพันธุ์ที่ก่อกวนมากในกระบวนการผลิตน้ำส้มสายชู คือจะทำให้มีน้ำส้มสายชูน้อยแถมยังมีวุ้นมาอุดตันหรือลอยอยู่อีก ในประเทศแถบบ้านเราเค้าก็รู้จักวุ้นชนิดนี้เหมือนกัน เช่นมีรายงานในประเทศฟิลิบปินส์ก็มีการผลิตวุ้นจากน้ำมะพร้าวและสามารถทำเป็นอุตสาหกรรมและเป็นสิ้นค้าส่งออกได้อีกด้วย ในประเทศไทยก็มีงานวิจัยในการศึกษาการผลิตวุ้นชนิดนี้จากวัตถุดิบชนิดต่างๆ เพื่อให้ได้วุ้นคุณภาพดีและราคาถูกในสถาบันการศึกษาต่างๆ มากมาย และก็มีการถ่ายทอดความรู้ออกสู่ประชาชนทำให้มีการผลิตขายกันอย่างมากเมื่อไม่นานมานี้ เนื่องจากทำได้ไม่ยากนัก อีกทั้งลงทุนต่ำและให้ค่าตอบแทนดีพอควรเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ยังมีผู้ผลิตไม่มากนักในตอนแรกๆ สำหรับบุคคลทั่วไปที่สนใจก็สามารถหาซื้อหรือขอเจ้าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดนี้ได้ตามสถาบันอุดมศึกษาที่มีการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์ได้ทั่วไป หรือที่เป็นแหล่งสำคัญและผลิตจำหน่ายโดยตรงซึ่งจะได้จุลินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงสำหรับผลิตวุ้นก็คือ ศูนย์เก็บรักษาพันธุ์จุลินทรีย์หรือที่เรียกว่า Bangkok MERCEN ตั้งอยู่ข้างๆ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย แถวๆ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้านถนนพหลโยธินนะครับ

ได้แต่พูดถึงเรื่องเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างวุ้นเซลลูโลสนี้ แต่ยังไม่ได้พูดถึงการผลิตกันเลย ก็ขอกล่าวกันเล็กน้อยนะครับ ขอเริ่มจากวัตถุดิบที่นิยมจริงๆ ก็คือน้ำมะพร้าวจากมะพร้าวแก่ โดยสามารถไปขอจากร้านที่คั้นกะทิเค้ามักจะทิ้งน้ำมะพร้าวไปก็สามารถไปขอมาหรือซื้อมาก็ได้ครับ นอกจากน้ำมะพร้าวยังอาจใช้น้ำผลไม้ชนิดอื่นเช่น น้ำสับปะรด หรือน้ำอ้อยก็ได้ เติมน้ำตาลไปเล็กน้อยถ้าเป็นชาวบ้านก็ใช้น้ำตาลทราย แต่ถ้าจะให้ดีหน่อยก็ใช้เป็นน้ำตาลกลูโคสเอาแบบที่ขายตามร้านขายยาก็ได้ และถ้าปรับความเป็นกรดด่างให้เป็นกรดเล็กน้อยโดยเติมน้ำสมสายชูได้ก็จะดี ต้มน้ำมะพร้าวจนเดือดล้างภาชนะที่จะใช้เลี้ยงควรเป็นภาชนะปากกว้างอาจใช้โหลแก้ว หรือกล่องพลาสติก ลวกน้ำร้อนหรือเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ชนิดรับประทานได้นะครับใส่น้ำมะพร้าวที่ยังอุ่นๆ อยู่ลงไป เติมเชื้อแล้วปิดฝาด้วยผ้าขาวบาง บางแห่งใช้หนังสือพิมพ์ที่ฆ่าเชื้อด้วยการรีดด้วยเตารีดร้อนๆ แต่ต้องเลือกวัสดุที่ให้อากาศเข้าได้นะครับเพราะจุลินทรีย์นี้ชอบอากาศ หาที่เหมาะๆ อากาศถ่ายเทพอควร ไม่พลุกพล่านนัก วางไว้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ก็จะเห็นแผ่นวุ้นขึ้นที่ผิวของน้ำมะพร้าว อ้อต้องระวังเชื้อราด้วยนะครับถ้าเห็นมีเชื้อราขึ้นด้วยต้องทิ้งไปเลยนะครับอย่าเสียดายเพราะอาจทำให้เกิดอันตรายขึ้นได้หากรับประทานแม้จะนำไปต้มแล้วก็ตาม เมื่อได้แผ่นวุ้นหนาพอควรแล้วก็นำออกมาต้ม และตัดเป็นชิ้นๆ อาจปรุงเป็นอาหารหวาน เช่น แช่ในน้ำเชื่อม หรืออาจปรุงเป็นอาหารคาว เช่น ยำต่างๆ แทนส่วน

ของวุ้นเส้น หรือ เห็ดหูหนู เป็นต้น

สุดท้ายนี้ก็ต้องขออำลาท่านผู้อ่านทั้งหลาย หวังว่าในโอกาสหน้าคงได้มาเล่าเรื่องราวต่างๆ สู่กันฟังอีกครับถ้ายังไม่เบื่อหรือลืมกันเสียก่อนนะครับ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านคงจะได้รับสาระไปบ้างไม่มากก็น้อยและขออวยพรท่านผู้อ่านทั้งที่เป็นนักวิทยาศาสตร์และสนใจวิทยาศาสตร์ให้มีความสุข และขอให้เอาความเป็นนักวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการดำรงชีวิต ไม่ใช่แต่ในตำราเท่านั้นนะครับ จะได้เป็นผู้รู้ ผู้ตื่น ผู้เบิกบาน นะครับ

บรรณานุกรม

พอใจ คำปังสุ์ ปฏิบัติการผลิตเซลลูโลสด้วยจุลชีพ วารสาร UPDATE ปีที่ 12 ฉบับที่ 133 กรกฎาคม 2540.

สุเมธ ตันตระเธียร และ วราวุฒิ ครูส่ง วุ้นน้ำมะพร้าว วารสารวิทยาศาสตร์ ปีที่ 48 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม 2537.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ว.วิทย มข. 25(4) : 329-333 (2540)



ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ การผุกร่อน*

(Oxidation and Corrosion)

*ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย***

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาตินั้นสามารถพบเห็นอยู่ทั่วไป แต่ถ้าจะอธิบายสิ่งที่ยุ่งยากซับซ้อนเหล่านั้นให้เข้าใจง่ายขึ้น มนุษย์เรายังคงอ้างอิงถึงหลักการและข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ค้นพบแล้ว บทความนี้ก็เป็นเรื่องเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและคุ้นเคยกันดีในชีวิตประจำวัน นั่นคือ การผุกร่อนของโลหะที่ใช้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคาร หรือ สะพาน เป็นต้น และ มักจะส่งผลเสียต่อความสง่างามของโครงสร้างและทางเศรษฐกิจ สำหรับการผุกร่อนของโลหะ เช่น เหล็ก จัดเป็นขบวนการทางเคมีไฟฟ้าระบบหนึ่งซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน

1. ออกซิเดชันในสภาพแห้ง (Dry Oxidation)

โดยทั่วไปแล้วก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศสามารถออกซิไดซ์โลหะใดๆ ก็ได้ (สมการ 1) ยกเว้น ทอง และ เงิน ซึ่งเป็นโลหะที่มีสภาพเฉื่อยต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือ ถูกออกซิไดซ์ได้ยาก แสดงปฏิกิริยาทั่วไป ดังนี้

$$M + O \rightarrow MO \quad .....(1)$$

โลหะ ออกซิเจน โลหะออกไซด์

ปกติแล้ว ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้น 2 ขั้นตอนพร้อมกัน คือ ถ้าให้โลหะ M สูญเสีย อิเล็กตรอน 2 ตัวแล้วกลายเป็นโลหะไอออน (สมการ 2) และ ออกซิเจนจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแล้วกลายเป็นออกไซด์

บรรยายพิเศษแก่นักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ภาคสมทบ, 2-4 พฤษภาคม 2540

***อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

(สมการ 3)

$$M \rightarrow M^{2+} + 2e^- \quad .....(2)$$

$$O + 2e^- \rightarrow O^{2-} \quad .....(3)$$

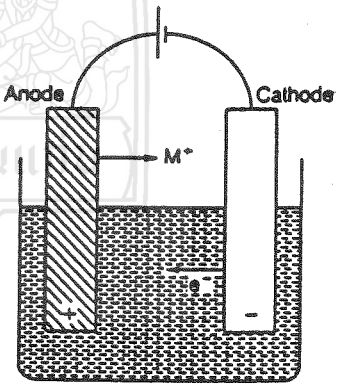
ดังนั้น ที่ผิวโลหะจะมีออกไซด์จำนวนหนึ่งรวมตัวกันเกิดเป็นชั้นบาง ๆ ส่วนโลหะไอออนและอิเล็กตรอนจะแพร่กระจายออกมาพบกับออกไซด์ที่ผิวด้านนอก หรือ ออกไซด์อาจแพร่กระจายเข้าสู่เนื้อโลหะด้านใน จะเห็นว่า อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงขึ้นกับทิศทางของครึ่งปฏิกิริยาใดก็ได้ที่เกิดขึ้นได้ดีและเร็วกว่า ด้วยเหตุนี้ ความหนาและโครงสร้างของผิวออกไซด์น่าจะเป็นปัจจัยควบคุมปฏิกิริยาดังกล่าว

โลหะบางชนิด มีชั้นออกไซด์ปกคลุมผิวอยู่ค่อนข้างน้อย ทำให้ชั้นออกไซด์เปราะแตกได้ง่ายแล้วปรากฏเห็นผิวเนื้อโลหะชั้นใน ในบางกรณีโลหะถูกปกคลุมด้วยชั้นออกไซด์อยู่หนามาก อาจทำให้บริเวณนั้นเกิดเป็นรอยย่นและดีดตัวออกไปแล้วเปิดผิวเนื้อโลหะชั้นในได้เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ชั้นออกไซด์กับผิวโลหะเกิดเสริมกันอย่างสม่ำเสมอและทำให้เกิดแผ่นฟิล์มบาง ๆ เกาะติดแน่น มีลักษณะคล้ายแผงกั้นเป็นเกราะป้องกันการเกิดออกซิไดซ์ เช่น การเกิดชั้นออกไซด์ในโลหะ อะลูมิเนียม (Al), โครเมียม (Cr) และนิเกิล (Ni) โลหะ Al มีลักษณะเบากว่าโลหะชนิดอื่นนิยมใช้ประกอบตัวถังเครื่องบิน มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานค่อนข้างต่ำ (-1.7 V) ซึ่งควรถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายในสภาที่มี O_2 และความชื้น แต่เนื่องจาก Al กลายสภาพเป็นชั้นบาง ๆ ของ Al_2O_3 ปกคลุมผิวโลหะอย่างสม่ำเสมอ หรือ อาจอยู่ในรูป $Al_2(OH)_6$ ยิ่งช่วยสกัดกั้นการผุกร่อนได้ดีขึ้น พบว่า ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของชั้นอะลูมิเนียมที่เคลือบด้วยออกไซด์ (oxide-coated Al) มีค่าสูงขึ้น (-0.6 V) ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของโลหะเฉื่อยทั่วไป ส่วนโลหะ Cr และ Ni นิยมใช้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเหล็กสแตนเลส (stainless steel) มีสมบัติต้านทานการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นอย่างดี

2. การผุกร่อนในสภาพชื้น (Wet Corrosion)

ในสภาพที่มีความชื้นปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีรูปแบบต่างไปจากเดิมบ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกซิไดซ์โลหะและมีการสูญเสียเนื้อโลหะไปเนื่องจากสภาพการผุกร่อนที่เห็นชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนั้นการผุกร่อนจึงเป็นการหมุนเวียนโลหะบริสุทธิ์กลับสู่สภาพธรรมชาติ เช่น อยู่ในแร่ที่มีโลหะนั้น ๆ เป็นองค์ประกอบ

โลหะที่ถูกออกซิไดซ์ในสภาพแห้งนั้นมีกลไกพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโลหะไอออน แต่ถ้าไอออนทั้งหลายที่ละลายอยู่ในตัวกลางใด ๆ ก็ตาม ปกติแล้วคือน้ำ พวกโลหะก็จะค่อย ๆ ผุสลายไปเรื่อย ๆ เช่น เมื่อพิจารณาจากเซลไฟฟ้าอย่างง่ายที่ประกอบด้วยอิเล็กโตรด 2 ตัว จุ่มอยู่ในสารละลายที่นำไฟฟ้าได้และเชื่อมต่อโลหะทั้งสองชนิดเข้ากับแบตเตอรี (รูปที่ 1)

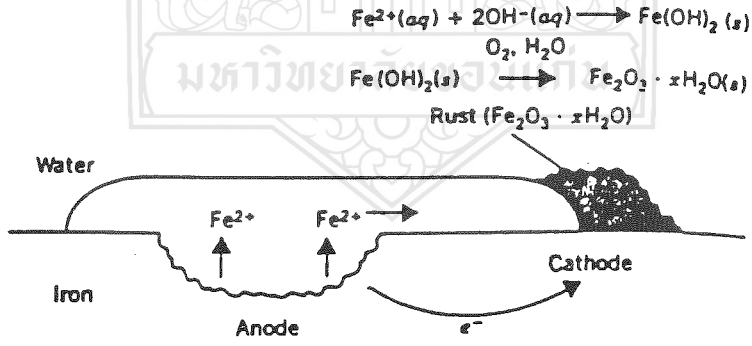


รูปที่ 1 เซลเคมีไฟฟ้าอย่างง่าย

แบตเตอรีจะช่วยให้โลหะที่เป็นขั้วคาโธด (cathode) มีสภาพลบเพิ่มขึ้น ขณะที่โลหะที่เป็นขั้วแอโนด (anode) จะปล่อยอิเล็กตรอนออกมา เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลเวียนผ่านสารละลาย อิเล็กโตรไลท์

ครบวงจร ทำให้โลหะไอออนละลายลงสู่สารละลายและไหลข้ามไปสะเทินประจุบนขั้วคาโธด ด้วยเหตุนี้ ขั้วแอโนดของโลหะชนิดที่ 1 ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่าจึงผุกร่อนไปเรื่อยๆ ปกติแล้วโลหะที่ใช้เป็นขั้วแอโนดมักจะไม่ค่อยบริสุทธิ์เท่าไรเมื่อเทียบกับโลหะชนิดที่ 2 ในขณะเดียวกันก็มีการสะสมโลหะชนิดที่ 1 บนผิวของขั้วคาโธดเป็นการเคลือบผิวโลหะชนิดที่ 2 ด้วยโลหะชนิดที่ 1 ซึ่งมีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น เรียกว่า การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (electroplating) สามารถประยุกต์ใช้ผลิตโลหะในขั้นตอนที่ต้องการเตรียมโลหะให้มีความบริสุทธิ์สูงๆ เช่น การผลิตโลหะทองแดง (Cu) บริสุทธิ์ เพื่อผลิตสายไฟฟ้า เป็นต้น

การเกิดสนิมเหล็ก จัดเป็นลักษณะการผุกร่อนที่พบเห็นอยู่ทั่วไปและเป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าระบบหนึ่ง โดยมี O_2 และ H_2O (ความชื้น) เป็นปัจจัยสำคัญ ปกติแล้วเหล็ก (Fe) จะไม่เป็นสนิมในน้ำบริสุทธิ์ที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนปนอยู่ และจะไม่เป็นสนิมในสภาพที่มีเฉพาะก๊าซออกซิเจนอย่างเดียวโดยไม่มีความชื้นปนอยู่เลยเช่นกัน ดังนั้นขบวนการผุกร่อนของเหล็กจึงเป็นปรากฏการณ์ทางเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ง่ายในธรรมชาติ จากตัวอย่างการเกิดสนิมเหล็กดังแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นว่า ทั้งขั้วแอโนดและขั้วคาโธดไม่ได้แยกกันชัดเจนเหมือนเซลไฟฟ้าที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ (รูปที่ 1) แต่เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดเซลไฟฟ้าซึ่งมีการแบ่งสภาพขั้วอันเนื่องจาก ความต่างระดับของความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโตรไลท์ หรือ ที่เรียกว่า Concentration cell กล่าวคือ ที่ผิวเหล็กซึ่งมีหยดน้ำปกคลุมอยู่จะเป็นบริเวณที่มีสภาพขั้วแอโนด และที่บริเวณใกล้เคียงซึ่งมีสนิมเหล็กเกิดขึ้นจะมีสภาพขั้วคาโธด ปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ละลายในน้ำกับก๊าซออกซิเจนในอากาศในบริเวณใกล้เคียงจึงแตกต่างกันด้วย เมื่อผิวเหล็กบริเวณขั้วแอโนดสูญเสียอิเล็กตรอนไปแล้วกลายสภาพเป็นเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ละลายอยู่ในสารละลาย ส่วนอิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วคาโธดดังกล่าว ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กจึงเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด (สมการ 4) และปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซออกซิเจนกับน้ำเกิดที่ขั้วคาโธด (สมการ 5) ดังนี้



รูปที่ 2 การเกิดสนิมเหล็ก

$$\text{Anode} : Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \quad \text{.....(4)}$$

$$\text{Cathode} : \tfrac{1}{2} O_{2(aq)} + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-_{(aq)} \quad \text{.....(5)}$$

นอกจากปฏิกิริยาหลักๆ ข้างต้นนี้แล้ว ที่ขั้วแอโนด ยังมีปฏิกิริยาอื่น เช่น การแตกตัวของน้ำ (สมการ 6) และ การเกิดก๊าซไฮโดรเจน (สมการ 7) ดังนี้

$$H_2O_{(1)} \rightarrow H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \quad .....(6)$$

$$2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} \quad .....(7)$$

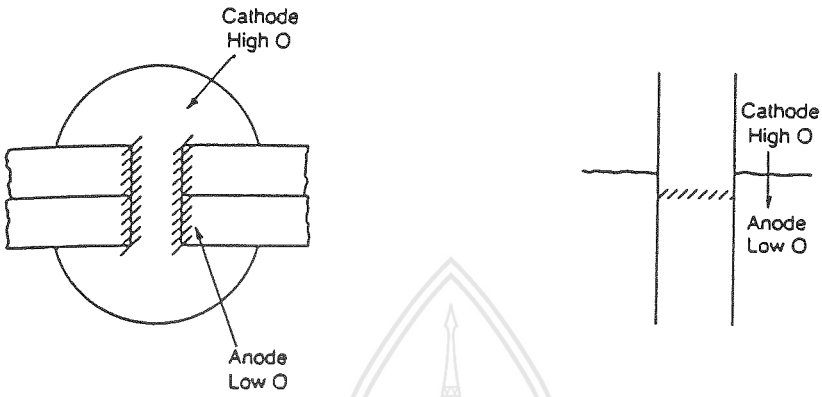
ผลจากการสะสม H_2 ที่ผิวเหล็กนั้นเป็นเสมือนปฏิกิริยาที่รั้งไม่ให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วคาโธด อย่างไรก็ตาม ก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำก็สามารถเกิดปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นและได้น้ำกลับคืนมา จะเห็นว่า ขั้นตอนที่ปรากฏสนิมเหล็กให้เห็นนั้นเกิดจากปฏิกิริยาต่อเนื่อง กล่าวคือ ที่ขั้วแอโนด (ผิวด้านหนึ่งของเหล็ก) จะถูกออกซิไดซ์เมื่อมีหยดน้ำปกคลุม และจะได้ Fe^{2+} ละลายอยู่บริเวณนั้น อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจะวิ่งไปยังบริเวณที่แสดงตัวเป็นขั้วคาโธดในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งมีก๊าซออกซิเจนอยู่หนาแน่นกว่า และ O_2 จะถูกรีดิวซ์ได้ OH^- อยู่ในสารละลาย ในขณะเดียวกัน Fe^{2+} ที่บริเวณแอโนดจะแพร่กระจายไปสัมผัสกับ OH^- และเกิดตะกอน $Fe(OH)_2$ จากนั้น ตะกอน $Fe(OH)_2$ จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปได้ง่ายแล้วเกิดเป็น $Fe(OH)_3$ ซึ่งมีโอกาสสูญเสียน้ำได้ง่ายขึ้น ดังสมการ (8)

$$2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3 + 3H_2O \quad .....(8)$$

หรือ มีการสูญเสียน้ำไปเพียงบางส่วน จะได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบอยู่ระหว่าง OH^- และ O^{2-} หรือ สนิมเหล็กที่มีรูป **Hydrated oxide** ($Fe_2O_3.xH_2O$)

เนื่องจากมีการเคลื่อนย้ายไอออน และอิเล็กตรอนที่พบในส่วนที่เป็นสนิมเหล็ก คือ บริเวณห่างไกลจากส่วนที่ Fe สลายไปแล้วเกิดเป็นรูพรุนในเนื้อเหล็ก นอกจากนี้น้ำผลึกที่เหลืออยู่ในออกไซด์ของเหล็กยังมีผลต่อสีของสนิมเหล็กนั้นด้วยซึ่งอาจแปรเปลี่ยนไปบ้างตั้งแต่สีดำเป็นสีเหลือง หรือกลายเป็นสีน้ำตาลแดง เป็นต้น

จากปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ จะเห็นว่าความชื้นมีบทบาทสำคัญต่อขบวนการผุกร่อนเป็นอย่างยิ่ง ความชื้นที่มีอยู่ทั่วไปจะมีพฤติกรรมคล้ายเป็นสะพานเกลือ (salt bridge) ระหว่างขั้วแอโนดและขั้วคาโธด ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง เช่น โครงสร้างอาคารที่เป็นเหล็ก หรือ ตัวถังรถยนต์ก็ตามที่ใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน ในสภาพอากาศที่มีความชื้นแตกต่างกัน ก็ส่งผลให้อายุการใช้งานของเหล็กที่เป็นองค์ประกอบนั้นๆ แตกต่างกันไปด้วย กล่าวได้ว่า สาเหตุของการผุกร่อนนั้น อาจเนื่องจากความต่างระดับของสารละลายอิเล็กโตรไลท์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณ O_2 ที่ทำให้มีการดึงอิเล็กตรอนมาใช้ในปฏิกิริยารีดักชัน อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกปล่อยออกจากบริเวณข้างเคียงซึ่งมีสภาพขาด O_2 (deficient oxygen) ดังนั้นบริเวณใดก็ตามที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนไปจะกลายเป็นขั้วแอโนดและผุกร่อนไปเรื่อยๆ เมื่อประยุกต์ใช้หลักการนี้กับงานด้านวิศวกรรมแล้ว สามารถอธิบายการเกิดสนิมเหล็กตามรูรั่ว (pitting corrosion) หรือ รอยข้อต่อหมุด (rivet) (รูปที่ 3ก) หรือ บริเวณสลักเกลียว (bolt) ที่มีการผุกร่อน พบว่า ตามซอกมุมแคบๆ เหล่านั้นจะเป็นส่วนที่มี O_2 เบาบางกว่า ด้านนอก อีกกรณีหนึ่งที่พบเห็นทั่วไป คือ การผุกร่อนของท่อส่งน้ำที่เป็นท่อเหล็กฝังอยู่ในน้ำนิ่ง (รูปที่ 3ข) จากหลักการเดียวกันนี้ บริเวณผิวน้ำจะมี O_2 อยู่มากกว่า จึงทำหน้าที่เป็นขั้วคาโธด ส่วนด้านล่างใต้ผิวน้ำจะเป็นบริเวณที่ขาด O_2 มีสภาพเป็นขั้วแอโนดและจะผุกร่อนไปเรื่อยๆ



(ก) at riveted connection (ข) waterline corrosion

รูปที่ 3 ลักษณะของ concentration cells

เกลือ หรือ ที่รู้จักกันดีได้แก่ เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จัดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดสนิมเหล็กที่ดีชนิดหนึ่ง ปกติแล้วมักใช้เกลือโปรยตามพื้นถนน เพื่อละลายผิวหิมะหรือน้ำแข็ง เช่น รถยนต์ที่วิ่งในพื้นที่ดังกล่าวหรือที่ใช้งานอยู่ในเขตที่พักอาศัยตามชายทะเลก็ตาม พบว่าเหล็กเป็นสนิมได้ง่าย เนื่องจากเกลือที่ละลายตามผิวถนนจะช่วยเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย จึงเป็นการเร่งปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าโดยเฉพาะเกิดการผุกร่อนได้ดี ส่วน Cl^- ก็สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน กับ Fe^{3+} ได้สารผลิตภัณฑ์ที่เสถียรพอควรและมีโอกาสทำให้ Fe สลายตัวได้ดียิ่งขึ้น ถือว่าช่วยเร่งการผุกร่อน เช่นกัน

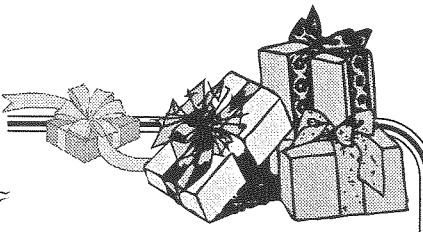
นอกจากนี้ อาจพบการผุกร่อนในลักษณะอื่นของพวกโลหะมีตระกูล (noble metals) บางชนิดเช่น โลหะ Cu และ Ag แต่อาจมีปฏิกิริยายุ่งยากซับซ้อน อย่างไรก็ตาม ภายใต้สภาวะปกติทั่วไป Cu ที่มักปรากฏคราบสีเขียวเป็นชั้นบาง ๆ เรียกว่า patina ของ $CuCO_3$ ส่วนที่เรียกว่า silver tarnish จะมี Ag_2S เคลือบตามผิวโลหะเงิน ในกรณีของโลหะทอง (Au) ซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานค่อนข้างสูง (+1.50 V) และสูงกว่าค่าของ O_2 มาก (+1.23 V) จึงไม่ปรากฏสภาพการผุกร่อนให้เห็นในอากาศ

บรรณานุกรม

Illston, J. M. (1994). Construction Materials : their nature and behaviour. Chapter 11, Chapman & Hall, p. 70-75.

Brady, J. E. and Humiston, G. E. (1982). General Chemistry : Principles and Structures. 3rd ed., John Wiley and Sons. NY.

คอลัมน์นี้มีรางวัล



ศรีปราชญ์

สวัสดีปีใหม่ พ.ศ. 2541 แฟนคอลัมน์นี้มีรางวัลทุกท่าน

เมื่อสวัสดีปีใหม่แล้วศรีปราชญ์ก็ถือโอกาสอวยพรซะเลย ขอให้ทุกท่านมีความสุข ตั้งใจทำในสิ่งดีงามใดไว้ก็ขอให้สำเร็จตามความตั้งใจทุกอย่าง ขอให้มีสุขภาพแข็งแรง

คำถามในฉบับที่ 3 อาจจะยากไปสักหน่อย จึงไม่มีผู้ใดตอบถูกเลย ขอให้ดูเฉลยก่อนนะครับ

ข้อ 1. นักวิทยาศาสตร์ท่านใดบ้างที่ได้รับรางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ในปีนี้

<u>คำตอบ</u> 1. Professor Stven Chu

2. Professor Claude Cohen-Tannoudji

และ 3. Dr.William D.Phillips

รายละเอียดติดตามอ่านได้ในข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับนี้

ข้อ 2. เพชรที่ทุกคนรู้จักดีว่าสวยและแข็งที่สุดแม้ว่าเพชรจะเป็นฉนวนไม่นำไฟฟ้าแต่ก็ยังมีคุณสมบัติเหนือกว่าวัสดุทั้งปวงอยู่อีกข้อหนึ่ง คุณสมบัติข้อนั้นคืออะไร

<u>คำตอบ</u> เพชรสามารถนำความร้อนได้ดีที่สุดมากกว่าทองแดงถึง 5 เท่า สภาพนำความร้อนมีค่า 6-20 W/cm.k ที่อุณหภูมิห้อง (20°C)

สำหรับฉบับส่งท้ายปีเก่า พ.ศ. 2540 และรับปีใหม่ พ.ศ. 2541 ศรีปราชญ์มีคำถามที่ไม่ยากมาก 2 ข้อดังนี้

ข้อ 1. ปรากฏการณ์ เอล นิโน คืออะไร

ข้อ 2. ดาวดวงใหม่ในกาแลกซี ซึ่งถูกค้นพบโดยกล้องฮับเบิล สเปซ และมีพลังงานมากกว่าดวงอาทิตย์ถึง 10 ล้านเท่า มีชื่อว่าอะไร

ส่งคำตอบมายังศรีปราชญ์ตามจ่าหน้าข้างล่างนี้ ภายในวันที่ 30 มีนาคม 2541 นี้นะครับ

นายศรีปราชญ์ (คอลัมน์นี้มีรางวัล)
กองบรรณาธิการ วารสารวิทยาศาสตร์ มข.
สำนักงานคณบดี คณะวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

ขอให้คุณผู้อ่านทุกท่านโชคดี

ศรีปราชญ์

ว.วิทย มข. 25(4) : 335-340 (2540)

ผลการตัดสินการประกวดและการแข่งขันกิจกรรมต่าง ๆ งานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ ประจำปี 2540 ในระหว่างวันที่ 18-20 สิงหาคม 2540 *ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

❑❑❑◆◆◆❑❑❑

ผลการตัดสินดังนี้

การประกวดโครงงานวิทยาศาสตร์
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ประเภทไม่กำหนดหัวข้อ

รางวัลที่ 1 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 5,000 บาท
โครงงาน การศึกษาและป้องกันการชักใยของแมงมุมบ้าน
โรงเรียนบัวขาว จังหวัดกาฬสินธุ์

รางวัลที่ 2 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 3,500 บาท
โครงงาน สีย้อมผ้าจากผลอ่ำไอ่
โรงเรียนอำนาจเจริญ จังหวัดอำนาจเจริญ

รางวัลที่ 3 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 2,500 บาท
โครงงาน เครื่องเตือนวาตภัย
โรงเรียนพิมายวิทยา จังหวัดนครราชสีมา

รางวัลชมเชย 2 รางวัล รางวัลละ 1,000 บาท

1. โครงงาน แผ่นกรองอากาศจากเส้นใยธรรมชาติ
   โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม จังหวัดบุรีรัมย์
2. โครงงาน การศึกษาประสิทธิภาพของสารฟอกขาวจากขี้เถ้าชนิดต่าง ๆ
   โรงเรียนพิมายวิทยา จังหวัดนครราชสีมา

การประกวดโครงงานวิทยาศาสตร์
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ประเภทกำหนดหัวข้อ

รางวัลที่ 1 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 5,000 บาท
โครงงาน เครื่องฟอกอากาศชีวภาพ
โรงเรียนสุรนารีวิทยา จังหวัดนครราชสีมา

รางวัลที่ 2 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 3,500 บาท
โครงงาน กระบะไข่ Recycle
โรงเรียนสิรินธร จังหวัดสุรินทร์

รางวัลที่ 3 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 2,500 บาท
โครงงาน ผู้พิฆาตแมลงศัตรูพืช
โรงเรียนเมืองพลพิทยาคม จังหวัดขอนแก่น

รางวัลชมเชย 2 รางวัล รางวัลละ 1,000 บาท
1. โครงงาน การศึกษาการดูดซับไอออนของโลหะตะกั่วด้วยสาหร่ายหางกระรอก
โรงเรียนชุมพวงศึกษา จังหวัดนครราชสีมา
2. โครงงาน เครื่องรดน้ำไฮเทค
โรงเรียนนวมินทราชูทิศอีสาน จังหวัดมุกดาหาร

การประกวดโครงงานวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
ประเภททั่วไป

รางวัลที่ 1 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 4,000 บาท
โครงงาน กาวกะเพราพิชิตแมลงวัน
โรงเรียนสีคิ้ว "สวัสดิ์ผดุงวิทยา" จังหวัดนครราชสีมา

รางวัลที่ 2 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 2,500 บาท
โครงงาน การศึกษาเปรียบเทียบสารจากมะกรูดในการป้องกันและกำจัดมอด
โรงเรียนพิมายวิทยา จังหวัดนครราชสีมา

รางวัลที่ 3 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 2,000 บาท
โครงงาน การศึกษาผลกระจายของปุ๋ยเคมีที่มีต่อปลาตะเพียนขาว
โรงเรียนสารคามพิทยาคม จังหวัดมหาสารคาม

รางวัลชมเชย 2 รางวัล รางวัลละ 1,000 บาท

1. โครงงาน การศึกษาความสามารถในการลดความเหนียวของเนื้อวัวด้วยยางรัก
   โรงเรียนชุมพวงศึกษา จังหวัดนครราชสีมา
2. โครงงาน การศึกษาชนิดของสมุนไพรที่มีผลต่อการเก็บรักษาเนื้อหมู
   โรงเรียนสีคิ้ว "สวัสดิ์ผดุงวิทยา" จังหวัดนครราชสีมา

การประกวดโครงงานวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ประเภทกำหนดหัวข้อ

รางวัลที่ 1 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 4,000 บาท
โครงงาน เครื่องตรวจ (pH) ดินเพื่อปลูกผัก
โรงเรียนน้ำพองพัฒนศึกษารัชมังคลาภิเษก จังหวัดขอนแก่น

รางวัลที่ 2 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 2,500 บาท
โครงงาน ลักษณะพืชอาหารของแมลงแคง
โรงเรียนเมืองพลพิทยาคม จังหวัดขอนแก่น

รางวัลที่ 3 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 2,000 บาท
โครงงาน การป้องกันและกำจัดหนอนกินใบมะนาว
โรงเรียนบัวขาว จังหวัดกาฬสินธุ์

รางวัลชมเชย 2 รางวัล รางวัลละ 1,000 บาท

1. โครงงาน ศึกษาการงอกของเมล็ดพืชด้วยน้ำมะพร้าวและน้ำคั้นผักโขม
   โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
2. โครงงาน มันสำปะหลังอาหารของเห็ดนางฟ้า
   โรงเรียนนาแกสามัคคีวิทยา จังหวัดนครพนม

การแข่งขันตอบปัญหาวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

รางวัลที่ 1 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 4,000 บาท
โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์
จังหวัดกาฬสินธุ์

รางวัลที่ 2 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 3,500 บาท
โรงเรียนสกลราชวิทยานุกูล
จังหวัดสกลนคร

รางวัลที่ 3 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 3,000 บาท
โรงเรียนสารคามพิทยาคม
จังหวัดมหาสารคาม

รางวัลชมเชย 2 รางวัล รางวัลละ 1,000 บาท
1. โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (มอดินแดง)
จังหวัดขอนแก่น
2. โรงเรียนสุรวิทยาคาร
จังหวัดสุรินทร์

รางวัลพิเศษ 3 รางวัล หนังสือความหลากหลายทางชีวภาพของประเทศไทย
1. โรงเรียนยโสธรพิทยาคม
จังหวัดยโสธร
2. โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน
จังหวัดขอนแก่น
3. โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ศึกษาศาสตร์)
จังหวัดขอนแก่น

การแข่งขันทักษะทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

ผลการแข่งขันและรางวัล

รางวัลที่ 1 สาขาเคมี โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 2,000 บาท
ชื่อ นายอัฐพร ก้อนคำ
โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย มุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร

รางวัลที่ 2 สาขาเคมี โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 1,500 บาท
ชื่อ นายอธิคม์ สุวิตธรรม
โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จังหวัดอุดรธานี

รางวัลที่ 3 สาขาเคมี โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 1,000 บาท
ชื่อ นางสาวสุรางคณา มาตย์วิเศษ
โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย จังหวัดขอนแก่น

รางวัลที่ 1 สาขาชีววิทยา โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 2,000 บาท
ชื่อ นางสาวจิราวดี น้อยวัฒนกุล
โรงเรียนสุรนารีวิทยา จังหวัดนครราชสีมา

รางวัลที่	2	สาขาชีววิทยา	โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด ชื่อ นางสาวกรรณิการ์ คงบุญเกียรติ โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จังหวัดขอนแก่น	1,500	บาท
รางวัลที่	3	สาขาชีววิทยา	โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด ชื่อ นางสาวดลนภา รัตนากร โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จังหวัดอุดรธานี	1,000	บาท
รางวัลที่	1	สาขาคณิตศาสตร์	โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด ชื่อ นายภูชิชย์ ดอนหงษา โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (คณะศึกษาศาสตร์) จังหวัดขอนแก่น	2,000	บาท
รางวัลที่	2	สาขาคณิตศาสตร์	โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด ชื่อ นายธีรรักษ์ มณีนาถ โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย จังหวัดขอนแก่น	1,500	บาท
รางวัลที่	3	สาขาคณิตศาสตร์	โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด ชื่อ นายพงษ์ตะวัน กัลยพฤกษ์ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม จังหวัดบุรีรัมย์	1,000	บาท
รางวัลที่	1	สาขาฟิสิกส์	โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด ชื่อ นายจักรพงษ์ วงศ์กมลาไสย โรงเรียนสารคามพิทยาคม จังหวัดมหาสารคาม	2,000	บาท
รางวัลที่	2	สาขาฟิสิกส์	โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด ชื่อ นายสุปรีดิ์ พินิจสุนทร โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จังหวัดขอนแก่น	1,500	บาท
รางวัลที่	3	สาขาฟิสิกส์	โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด ชื่อ นางสาววิลาสินี ประกายมั่นตระกูล โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จังหวัดอุดรธานี	1,000	บาท

รางวัลคะแนนรวมทั้ง 4 สาขาวิชา

รางวัลคะแนนรวมที่ 1 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 2,000 บาท
โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จังหวัดอุดรธานี

รางวัลคะแนนรวมที่ 2 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 1,500 บาท
โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จังหวัดขอนแก่น

รางวัลคะแนนรวมที่ 3 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 1,000 บาท
โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย จังหวัดขอนแก่น

การแข่งขันวาดภาพความคิดสร้างสรรค์และจินตนาการทางวิทยาศาสตร์

รางวัลที่ 1 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 3,000 บาท
ชื่อ เด็กชายคมไผ่ แข็งแรง
โรงเรียนมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร

รางวัลที่ 2 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 2,500 บาท
ชื่อ นางสาวจันทร์จิรา สีม่วง
โรงเรียนวังทรายขาววิทยา จังหวัดเลย

รางวัลที่ 3 โล่เกียรติยศพร้อมเงินสด 2,000 บาท
ชื่อ เด็กชายอวยชัย ชินศักดิ์ชัย
โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย 2 จังหวัดนครราชสีมา

รางวัลชมเชย 2 รางวัล รางวัลละ 1,000 บาท

1. ชื่อ เด็กชายวัชรพล บรรดา
   โรงเรียนสารคามพิทยาคม จังหวัดมหาสารคาม

2. ชื่อ เด็กชายวิทยา พิมพ์ดา
   โรงเรียนกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ว.วิทย มข. 25(4) : 341-348 (2540)

ดัชนีนุกรมวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
(เรียงตามชื่อผู้เขียน)
ปีที่ 25 พ.ศ. 2540

ผู้เขียน	ข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	ฉบับที่	หน้าที่
กองบรรณาธิการ	นาโนทิวบ์	1	1
”	สควีซ์โฟนอน (Squeezed Phonon)	1	2
”	โปรตอนทรานซิสเตอร์เมมโมรี	1	2
”	สถิติการใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในแถบเอเชีย	1	3
”	DRAM ขนาด 1 - Gbit อันแรกของโลก	2	101
”	ตัวเก็บแสง	2	102
”	การออกกำลังกายให้ผลดีได้อย่างไร	2	103
”	สถิติที่น่าสนใจของประเทศไทย	2	104
”	อุปกรณ์ตัวเก่ง (Smart matter)	3	159
”	อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำงานได้เร็วที่สุดในโลก	3	160
”	โฟโตไดโอดอาจเข้ามาแทนที่เซลล์รับแสงของนัยน์ตามนุษย์	3	160
”	สถิติด้านอุตสาหกรรมโรงแรมในประเทศไทย	3	162
”	การศึกษาอนุภาค Higgs boson	4	247
”	อิเล็กตรอนจะสามารถประพฤติตัวคล้ายกับดาวเคราะห์ได้หรือไม่	4	248
”	อุณหภูมิของบรรยากาศชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์สูงกว่าที่ผิวได้อย่างไร	4	248
”	รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ปี 1997	4	249
”	สถิติงบประมาณด้านการวิจัยของรัฐบาลไทย	4	250

ผู้เขียน	บทความทั่วไป	ฉบับที่	หน้าที่
Sartra Wongthanavasu	Acomparison of complexity among three different sorting methods on array of 16-bit integers	3	163
กัลยา เพ็ญสุวรรณ และรัชนี ฉวีราช	พัฒนาการของอับเรณูและละอองเรณูของพืช	3	182
กิเลน ติณนรเศรษฐ์	การใส่โค้ด DX บนกลักฟิล์ม 35 มม.	2	116
งามนิจ อาจอินทร์	เปิดโลกอินเตอร์เน็ต	4	251
จตุพร วิทยาคุณ	Nobel Fullerene	1	34
ชนกพร เผ่าศิริ	การใช้โปรแกรม HPLC Simulator ในการสอนวิชาเคมีวิเคราะห์	1	15
ประสาร สวัสดิ์ชิดัง	Dietary Antioxidants	3	193
วาสนา จันทะชุม และคณะ	โรคที่พบมากของผู้ป่วยสูงอายุในโรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	1	51
วิชัย ณีรัตนพันธุ์	เห็ดพิษหรือเห็ดเมา (The Poisonous Mushroom)	3	175
ผศ.วิชุดา ไชยศิวามงคล	แนวคิดการพัฒนาองค์กรในยุคเทคโนโลยีสารสนเทศ	1	44
ศักดา ดาดวง	Antisense therapy	4	270
ศาสตรา วงศ์ธนวสุ	CLIPS and Blocks World Problem	1	24
สมปอง ธรรมศิริรักษ์	Apoptosis โปรแกรมการตายของเซลล์	4	274
สมพร ประเสริฐส่งสกุล	ความหลากหลายของสัตว์ในอ่าวปัตตานี	3	189
อัจฉรา ศิริมังคะลา	กลไกการเกิดออสซิลเลชันแบบ BZ เป็นอย่างไร? "คำถามที่ยังต้องการคำตอบ"	4	261
อารยัน จันศรี	เคมีกับถุงลมนิรภัย	2	112

ผู้เขียน	บทความพิเศษ	ฉบับที่	หน้าที่
กองบรรณาธิการ	สัมภาษณ์พิเศษศาสตราจารย์ ดร.วิรุฬห์ สายคณิต ผู้อำนวยการศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ (NSRC)	1	4
กองบรรณาธิการ	สัมภาษณ์พิเศษหัวหน้าอุทยานแห่งชาติภูกระดึง	2	105

ผู้เขียน	งานวิจัย	ฉบับที่	หน้าที่
Wittayakun, J. et al.	Ethanol Decomposition Over Lanthana-Modified Platinum Catalysts	2	124
ชรินทร์ คูคู่สมุทร และอำนวย มณีศรีวงศ์กูล	การศึกษาเปรียบเทียบการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ 3 วิธี : การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดวงกลม การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่ และการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดสองเชิงเส้น	2	134
ดวงใจ โอชัยกุล และอรวรรณ ชัยลภากุล	การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระหว่างการหมักเมล็ดโกโก้ด้วยเชื้อ Saccharomyces cerevisiae	1	56
น้อย ทองสกุลพานิชย์ และคณะ	คุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน (Quality of Bottled Water in the Upper Northeastern Region)	4	288
ไพรัช ทาบสีแพร และคณะ	คุณค่าทางอาหารของหอยเดื่อ Hemiplecta distincta (Pfeiffer)	4	281
รัชนี ฉวีราช และคณะ	สัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชสกุล *Polygonum l.*	3	208
รัชนี ฉวีราช และคณะ	สัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชสกุล *Utricularia l.*	4	303
ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย	การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในตัวอย่างของเหลวรูเมน (Determination of Volatile Fatty Acids in Rumen Fluid Sample)	4	314
สุนีย์ นิธิสินประเสริฐ และสุทธิพันธุ์ แก้วสมพงษ์	การคัดเลือกและคุณลักษณ์ของเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายขนไก่จากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทย	1	65
สุมนทิพย์ บุนนาค และเนริสา คุณประทุม	อิทธิพลของ timentin cefotaxime และ cabenicillin ต่ออัตราการเจริญของแคลลัสถั่วพุ่มและความสามารถในการกำจัด Agrobacterium tumefacines EH 105	3	201
อุดมพร แพ่งนคร	ผลของการใช้สารสกัดจากรากหญ้าแฝกที่มีต่อด้วงถั่ว	4	298
เอก วัฒนา	การสำรวจนกบริเวณเขตห้ามล่าสัตว์ ป่าหนองแวง อ.คอนสวรรค์ จ.ชัยภูมิ	2	120

ผู้เขียน	เกร็ดคอมพิวเตอร์	ฉบับที่	หน้าที่
นายถังเบียร์	การสร้าง Home page โดยใช้ภาษา HTML	1	76
นายถังเบียร์	Mathematica ระบบสำหรับคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยคอมพิวเตอร์ (ตอน 4)	2	140
นายถังเบียร์	Mathematica ระบบสำหรับคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยคอมพิวเตอร์ (ตอน 5)	4	320
อนุสรณ์ ศรีธีระวิโรจน์	การใช้ Microsoft Excel for Windows ช่วยในการตัดเกรดและพิมพ์ใบส่งเกรด	3	215

ผู้เขียน	เกร็ดเล็กเกร็ดน้อย	ฉบับที่	หน้าที่
อ๊อดน้อย ลูกบางปลาสร้อย	เบียร์ คำสั้น ๆ แต่มีความหมาย	1	92
อ๊อดน้อย ลูกบางปลาสร้อย	เมรัย เหล้าไทยที่กำลังจะหายไปกับความเจริญ	2	146
อ๊อดน้อย ลูกบางปลาสร้อย	นมหมักจากจุลินทรีย์	3	232
อ๊อดน้อย ลูกบางปลาสร้อย	เห็ดนำโชค, วุ้นสวรรค์ : เห็ดที่ไม่ใช่เห็ดวุ้นที่ไม่ใช่วุ้น	4	325

ผู้เขียน	เสริมทักษะวิทยาศาสตร์	ฉบับที่	หน้าที่
ขวัญใจ กนกเมธากุล	การทำโมเดลจำลองรูปร่างโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอน	2	151
ผศ.รัชนี ฉวีราช	การสืบพันธุ์ของพืชไร้ดอก เฟิร์น	1	97
ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย	ปฏิกิริยาออกซิเดชันและการผุกร่อน (Oxidation and Corrosion)	4	329
ผศ.สยาม ชูถิ่น	สมการเชิงพีชคณิตในการคำนวณเรื่องกระจกและเลนส์	3	236

ดัชนีนุกรมวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
(เรียงตามชื่อเรื่อง)
ปีที่ 25 พ.ศ. 2540

ข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	ผู้เขียน	ฉบับที่	หน้าที่
การศึกษาอนุภาค Higgs boson	กองบรรณาธิการ	4	247
การออกกำลังกายให้ผลดีได้อย่างไร	”	2	103
ตัวเก็บแสง	”	2	102
นาโนทิวบ์	”	1	1
โปรตอนทรานซิสเตอร์เมมโมรี	”	1	2
โฟโตไดโอดอาจเข้ามาแทนที่เซลล์รับแสงของนัยน์ตามนุษย์	”	3	160
รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ปี 1997	”	4	249
สควิซ์โฟนอน (Squeezed Phonon)	”	1	2
สถิติการใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในแถบเอเชีย	”	1	3
สถิติงบประมาณด้านการวิจัยของรัฐบาลไทย	”	4	250
สถิติด้านอุตสาหกรรมโรงแรมในประเทศไทย	”	3	162
สถิติที่น่าสนใจของประเทศไทย	”	2	104
อิเล็กตรอนจะสามารถประพฤติตัวคล้ายกับดาวเคราะห์ได้หรือไม่	”	4	248
อุณหภูมิของบรรยากาศชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์สูงกว่าที่ผิวได้อย่างไร	”	4	248
อุปกรณ์ตัวเก่ง (Smart matter)	”	3	159
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำงานได้เร็วที่สุดในโลก	”	3	160
DRAM ขนาด 1-Gbit อันแรกของโลก	”	2	101

บทความทั่วไป	ผู้เขียน	ฉบับที่	หน้าที่
A comparison of complexity among three different sorting methods on array of 16-bit integers	Sartra Wongthanavasu	3	163
Antisense therapy	ศักดา ดาดวง	4	270
Apoptosis โปรแกรมการตายของเซลล์	สมปอง ธรรมศิริรักษ์	4	274
CLIPS and Blocks World Problem	ศาสตรา วงศ์ธนวสุ	1	24
Dietary Antioxidants	ประสาร สวัสดิ์ชิดัง	3	193
Nobel Fullerene	จตุพร วิทยาคุณ	1	34
กลไกการเกิดออสซิลเลชันแบบ BZ เป็นอย่าง? "คำถามที่ยังต้องการคำตอบ"	อัจฉรา ศิริมังคะลา	4	261
การใช้โปรแกรม HPLC Simulator ในการสอนวิชาเคมีวิเคราะห์	ชนกพร เผ่าศิริ	1	15
การใส่โค้ด DX บนกลักฟิล์ม 35 มม.	กิเลน ติณนรเศรษฐ์	2	116
ความหลากหลายของสัตว์ในอ่าวปัตตานี	สมพร ประเสริฐส่งสกุล	3	189
พัฒนาการของอับเรณูและละอองเรณูของพืช	กัลยา เพ็ญสุวรรณ และรัชนี ฉวีราช	3	182
เคมีกับถุงลมนิรภัย	อารยัน จันศรี	2	112
เห็ดพิษหรือเห็ดเมา (The Poisonous Mushroom)	วิชัย ณีรัตนพันธุ์	3	175
แนวคิดการพัฒนาองค์กรในยุคเทคโนโลยีสารสนเทศ	ผศ.วิชุดา ไชยศิวามงคล	1	44
โรคที่พบมากของผู้ป่วยสูงอายุในโรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	วาสนา จันทะชุม และคณะ	1	51
เปิดโลกอินเตอร์เน็ต	งามนิจ อาจอินทร์	4	251

บทความพิเศษ	ผู้เขียน	ฉบับที่	หน้าที่
สัมภาษณ์พิเศษศาสตราจารย์ ดร.วิรุฬห์ สายคณิต ผู้อำนวยการศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ (NSRC)	กองบรรณาธิการ	1	4
สัมภาษณ์พิเศษหัวหน้าอุทยานแห่งชาติภูกระดึง	กองบรรณาธิการ	2	105

งานวิจัย	ผู้เขียน	ฉบับที่	หน้าที่
Ethanol Decomposition Over Lanthana-Modified Platinum Catalysts	Wittayakun, J. et al.	2	124
การคัดเลือกและคุณลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายขนไก่จากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทย	สุนีย์ นิธิสินประเสริฐ และสุทธิพันธุ์ แก้วสมพงษ์	1	65
การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในระหว่างการหมักเมล็ดโกโก้ด้วยเชื้อ Saccharomyces cerevisiae	ดวงใจ โอชัยกุล และอรวรรณ ชัยลภากุล	1	56
การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในตัวอย่างของเหลวรูเมน (Determination of Volatile Fatty Acids in Rumen Fluid Sample)	ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย	4	314
การสำรวจนกบริเวณเขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองแวง อ.คอนสวรรค์ จ.ชัยภูมิ	เอก วัฒนา	2	120
การศึกษาเปรียบเทียบการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ 3 วิธี : การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดวงกลม การสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดใหม่และการสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบชนิดสองเชิงเส้น	ชรินทร์ คูคู่สมุทร และอำนวย มณีศรีวงศ์กุล	2	134
คุณค่าทางอาหารของหอยเดื่อ Hemiplecta distincta (Pfeiffer)	ไพรัช ทาบสีแพรและคณะ	4	281
คุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน (Quality of Bottled Water in the Upper Northeastern Region	น้อย ทองสกุลพานิชย์ และคณะ	4	288
ผลของการใช้สารสกัดจากรากหญ้าแฝกที่มีต่อด้วงถั่ว	อุดมพร แพ่งนคร	4	298
สัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชสกุล *Polygonum l.*	รัชนี ฉวีราช และคณะ	3	208
สัณฐานวิทยาละอองเรณูของพืชสกุล *Utricularia l.*	รัชนี ฉวีราช และคณะ	4	303
อิทธิพลของ timentin cefotaxime และ carbenicillin ต่ออัตราการเจริญของแคลลัสถั่วพุ่มและความสามารถในการกำจัด Agrobacterium tumefaciens EHA 105	สุมนทิพย์ บุนนาค และเนริสา คุณประทุม	3	201

เกร็ดคอมพิวเตอร์	ผู้เขียน	ฉบับที่	หน้าที่
Mathematica ระบบสำหรับคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยคอมพิวเตอร์ (ตอน 4)	นายถังเบียร์	2	140
Mathematica ระบบสำหรับคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยคอมพิวเตอร์ (ตอน 5)	นายถังเบียร์	4	320
การใช้ Microsoft Excel for Windows ช่วยในการตัดเกรดและพิมพ์ใบส่งเกรด	อนุสรณ์ ศรีธีระวิโรจน์	3	215
การสร้าง Home page โดยใช้ภาษา HTML	นายถังเบียร์	1	76

เกร็ดเล็กเกร็ดน้อย	ผู้เขียน	ฉบับที่	หน้าที่
นมหมักจากจุลินทรีย์	อ๊อดน้อย ลูกบางปลาสร้อย	3	232
เบียร์ คำสั้น ๆ แต่มีความหมาย	อ๊อดน้อย ลูกบางปลาสร้อย	1	92
เมรัย เหล้าไทยที่กำลังจะหายไปกับความเจริญ	อ๊อดน้อย ลูกบางปลาสร้อย	2	146
เห็ดนำโชค, วุ้นสวรรค์ : เห็ดที่ไม่ใช่เห็ด วุ้นที่ไม่ใช่วุ้น	อ๊อดน้อย ลูกบางปลาสร้อย	4	325

เสริมทักษะวิทยาศาสตร์	ผู้เขียน	ฉบับที่	หน้าที่
การทำโมเดลจำลองรูปร่างโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอน	ขวัญใจ กนกเมธากุล	2	151
การสืบพันธุ์ของพืชไร้ดอก เฟิร์น	ผศ.รัชนี ฉวีราช	1	97
ปฏิกิริยาออกซิเดชันและการผุกร่อน (Oxidation and Corrosion)	ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย	4	329
สมการเชิงพีชคณิตในการคำนวณเรื่องกระจกและเลนส์	ผศ.สยาม ชูถิ่น	3	236

ข้อแนะนำในการเขียนบทความลงวารสาร วิทยาศาสตร์ มข.

ประเภทของเรื่องที่จะตีพิมพ์

1. รายงานผลวิจัยและค้นคว้าหรือการสำรวจที่ยังไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสืออื่นมาก่อน

2. บทความปริทัศน์ ได้แก่งานเขียนที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากเอกสารหรือหนังสือต่าง ๆ เพื่อเผยแพร่และฟื้นฟูงานด้านวิชาการระดับต่าง ๆ

3. บทความแสดงข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในด้านวิชาการ เรื่องแปล ข่าววิชาการ ย่อความจากงานวิจัยหรือหนังสือใหม่ที่น่าสนใจ

รูปแบบของการเขียนและการเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ **ต้องเป็นตัวพิมพ์ปกติ** มีช่วงห่างระยะบรรทัดตามมาตรฐาน พิมพ์ลงในกระดาษขาว A4 (โรเนียวสั้น) โดยใช้กระดาษหน้าเดียว **ความยาวไม่เกิน 10 หน้า ส่งต้นฉบับ 2 ชุด หรือต้นฉบับพิมพ์ 1 ชุด และ Diskette ของบทความนั้น**

2. ต้นฉบับ จะถูกพิจารณาโดยกองบรรณาธิการ และจะตอบรับการได้รับบทความโดยไม่ส่งต้นฉบับคืน ผู้เขียนควรจะอัดสำเนาเก็บไว้เป็นหลักฐานของตัวเอง 1 ฉบับ

3. ต้นฉบับ จะต้องมีความถูกต้องทั้งในด้านเนื้อหา และการใช้ภาษา รวมทั้งมีความสมบูรณ์ในรูปแบบพร้อมที่จะนำลงตีพิมพ์ได้

4. ชื่อเรื่อง ให้ใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ **ไม่ยาวเกินไป** และหลีกเลี่ยงการใช้คำย่อโดยไม่จำเป็น

5. ชื่อผู้เขียน เขียนชื่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษพร้อมทั้งบอกสถานที่ทำงานให้ชัดเจน

6. เนื้อเรื่อง ใช้ได้ทั้งภาษาไทยล้วนหรือภาษาอังกฤษล้วน ถ้าใช้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษที่ใช้ปนกับภาษาไทยนั้นให้พยายามแปลเป็นไทยเท่าที่จะทำได้และให้เขียนคำเดิมกำกับในวงเล็บ การทับศัพท์ภาษาอังกฤษตลอดทั้งการเขียนตัวสะกดการันต์ในภาษาไทยให้ใช้ตามแบบราชบัณฑิตยสถาน

7. ในกรณีของบทความวิจัย **ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** และแบ่งเนื้อหาของบทความเป็นบทนำ วิธีดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์ บทสรุปและวิจารณ์

8. เชิงอรรถ (footnote) ใช้เฉพาะที่จำเป็นเพื่อขยายหรือให้รายละเอียดเพิ่มเติมแก่ใจความเฉพาะตอนในบทความ ข้อความที่จำเป็นจะต้องมีเชิงอรรถให้ใช้เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับท้าย

9. ตารางและภาพประกอบ คำบรรยายประกอบตารางหรือภาพประกอบควรจะสั้นและชัดเจน ถ้าเป็นภาพถ่ายให้ใช้ภาพขาว - ดำ ขนาดโปสการ์ด ภาพเขียนลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกดำ ภาพที่เขียนต้องชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสม

10. เอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม เขียนตามแบบที่ทางวารสารกำหนด

ส่งต้นฉบับมาที่

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

อภินันทนาการสำหรับผู้เขียน

เรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารฉบับนั้น 2 เล่ม และสำเนาพิมพ์อีก 15 ชุด

การเขียนเอกสารอ้างอิงในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

การเขียนเอกสารอ้างอิงในเนื้อหานั้น ให้ใช้ระบบหมายเลขแบบไม่คำนึงถึงลำดับตัวอักษร (order system) การเขียนเอกสารอ้างอิงตอนท้ายบทความนั้น ให้ใส่เฉพาะเล่มที่มีการอ้างไว้แล้วในเนื้อหาเท่านั้น โดยเรียงตามลำดับที่อ้างถึงในบทความ มีแนวทางการเขียนดังนี้

1. หนังสือ

ก. ภาษาไทย

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

ข. ภาษาอังกฤษ

ชื่อสกุล, อักษรย่อชื่อต้น. อักษรย่อชื่อรอง. (เลขปี ค.ศ.). **ชื่อหนังสือ.** (เล่มที่). (พิมพ์ครั้งที่). เมืองที่พิมพ์ : โรงพิมพ์ หรือสำนักงานพิมพ์. เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสุดท้ายที่อ้างอิง.

2. เอกสารราชการ

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

3. วารสาร

ก. ภาษาไทย

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

ข. ภาษาอังกฤษ

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

หมายเหตุ

1. กรณีที่เป็นเอกสารอ้างอิงจากแหล่งอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดข้างต้น เช่น จุลสาร, หนังสือพิมพ์ ฯลฯ ให้ยึดหลักการเขียนตามแบบข้างต้นโดยอนุโลม
2. กรณีที่มีผู้เขียน 2 หรือ 3 คน ให้เขียนตามแบบของผู้เขียนคนแรก แต่ให้เติมคำว่า “และ” หรือ “and” หน้าชื่อสุดท้ายในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ
3. กรณีที่มีผู้เขียนมากกว่า 3 คนขึ้นไป ให้ใส่เฉพาะผู้แต่งชื่อแรกและใส่คำว่า “และคณะ” หรือ “et. al.” ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ
4. ถ้าเอกสารที่ถูกอ้างอิงอยู่ในระหว่างตีพิมพ์ ให้บอกรายละเอียดมากที่สุดและใช้คำว่า “ระหว่างตีพิมพ์” หรือ “in press” ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ โดยวงเล็บต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ใบสั่งลงโฆษณา
ในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

เขียนที่.....

วันที่.....

เรียน บรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

ข้าพเจ้า.....เป็นตัวแทนของ (บริษัท, ห้างร้าน, องค์การ).....ที่อยู่.....

.....โทรศัพท์.....โทรสาร.....

มีความประสงค์จะลงโฆษณาในวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ดังรายการต่อไปนี้

☐ ปกหลังด้านใน ☐ เต็มหน้า ☐ ครึ่งหน้า

☐ ในฉบับ ☐ เต็มหน้า ☐ ครึ่งหน้า

โดยข้าพเจ้าขอให้ลงโฆษณา จำนวน.....ฉบับ นับตั้งแต่ฉบับแรก ที่จะพิมพ์ในครั้งต่อไปหลังจากที่ท่านได้รับหนังสือนี้แล้ว

พร้อมกับจดหมายฉบับนี้ข้าพเจ้าได้ส่งต้นฉบับเพื่อลงโฆษณาและเงินค่าโฆษณา จำนวน.....บาท (.....)

เป็น ☐ ธนาณัติ หรือ ☐ เช็คไปรษณีย์ ในนามของนางบุญคุ้ม เหลือล้น

สั่งจ่าย ป.ท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ลงนาม.....

ตำแหน่ง.....

อัตราค่าโฆษณาในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

		ลง 1 ฉบับ	ลง 4 ฉบับ
ปกหลัง	ด้านในเต็มหน้า	1,000 บาท	3,600 บาท
	ด้านในครึ่งหน้า	500 บาท	1,800 บาท
ในฉบับ	เต็มหน้า	500 บาท	1,600 บาท
	ครึ่งหน้า	250 บาท	800 บาท

หมายเหตุ ถ้าทางวารสารฯ ไม่สามารถลงตีพิมพ์บนปกหลังได้ วารสารฯ จะตีพิมพ์ลงในฉบับแทนในวงเงินเท่ากัน

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วารสาร
วิทยาศาสตร์ มข.
THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิทยาการในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานด้านวิจัย และการศึกษา ค้นคว้าของอาจารย์และนักศึกษา
3. เพื่อเป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนความรู้และแนวความคิดทางวิชาการระหว่างอาจารย์ นักศึกษาและผู้สนใจ ทั้งภายในและภายนอกสถาบัน

กำหนดออก ปีละ 4 ฉบับ

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

ใบสมัครเป็นสมาชิก "วารสารวิทยาศาสตร์ มข."

☐ สมาชิกใหม่
☐ ต่ออายุ

ชื่อ-สกุล.....

ที่อยู่.....

รหัสไปรษณีย์.....หมายเลขสมาชิก.....

ตั้งแต่ฉบับที่.....ปีที่.....ถึงฉบับที่.....ปีที่..... รวม.....ฉบับ

พร้อมนี้ได้ส่งเงินจำนวน.....บาท มาทาง

☐ ธนาณัติสั่งจ่าย ป.ท.มข.
☐ เช็คไปรษณีย์
☐ เงินสด

อัตราค่าบำรุง

☐ 1 ปี 4 เล่ม 55 บาท
☐ 2 ปี 8 เล่ม 100 บาท
☐ 3 ปี 12 เล่ม 150 บาท
☐ 4 ปี 16 เล่ม 200 บาท

ลายเซ็นผู้สมัคร.....

หมายเหตุ
1. ส่งเงินทางธนาณัติหรือเช็คไปรษณีย์ ในนามของ นางบุญคุ้ม เหลือล้น คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สั่งจ่าย ป.ท.มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
2. กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงที่อยู่ กรุณาแจ้งให้ทราบล่วงหน้า ไม่น้อยกว่า 1 เดือน ก่อนเดือนสุดท้ายของกำหนดวารสารออก เพื่อความสะดวกในการส่งวารสารแก่ท่าน

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พิมพ์ที่ : หจก. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา ขอนแก่น
โทร. 043-332152-3

