



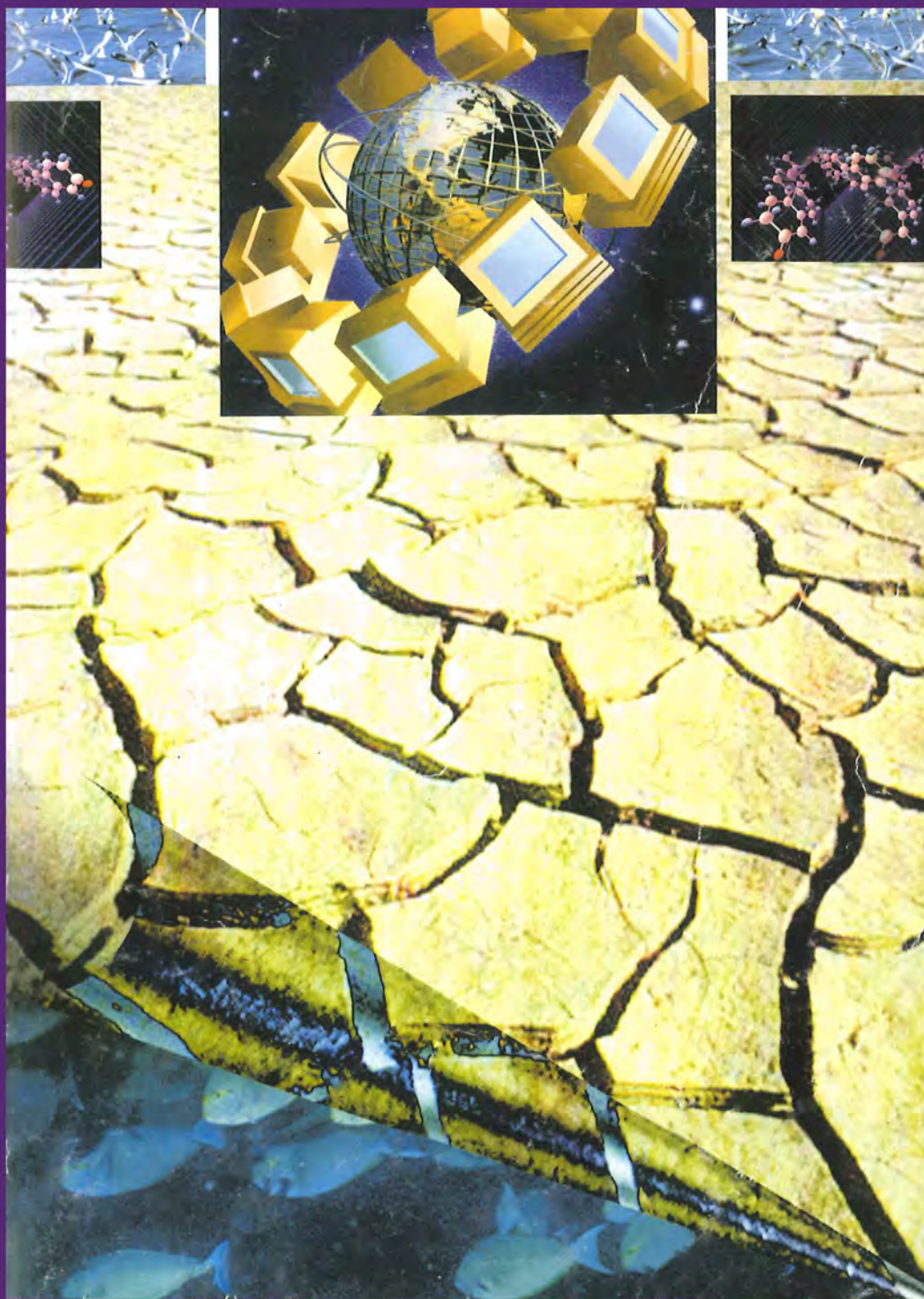
วารสาร

ISSN 0125 -2364

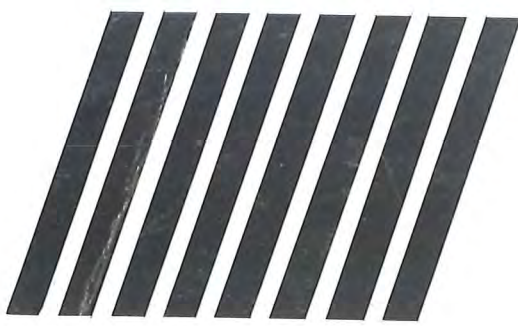
วิทยาศาสตร์มข.

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 27 ฉบับที่ 2 เม.ย. - มิ.ย. 42



20.-



วารสาร
วิทยาศาสตร์ชุมชน
THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ISSN 0125 - 2264

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สำนักงาน

คณะวิทยาศาสตร์ ตึก 6

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วัตถุประสงค์

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

กำหนดออก

ปีละ 4 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม

ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน

ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน

ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม

คำนำร่อง ปีละ 75 บาท ขนปลีก เล่มละ 20 บาท

การบอกรับเป็นสมาชิก

แจ้งความจำนงค์เป็นจดหมาย หรือกรอกใบสมัครเป็นสมาชิก พร้อมส่งคำนำร่องเป็นชนาฉติ หรือเช็คไปรษณีย์ในนามของนางบุญคุ้ม เหลือล้น ฝ่ายจัดการ ส่งจ่าข ป.ท.มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

ที่ปรึกษา

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ

บรรณาธิการ

ศักดิ์สิทธิ์

จันทร์ไทย

บรรณาธิการผู้ช่วย

อัจฉรา

ศิริมั่งคะลา

กองบรรณาธิการ

เฉลิม

เรืองวิริยะชัย

บำรุง

สมสวัสดิ์

วิทยา

อมรกิจบำรุง

สุพร

นุชดำรงค์

ประนอม

จันทร์โทยัย

นฤมล

แสงประดับ

สุวรรณา

เนียมสนิท

เพ็ญประภา

เพชรบุรณิน

สุพจน์

ไวทย่างกูร

วิจารณ์

สศศิริ

วิชุดา

ไชยทิวามงคล

พูนชัย

ศิริแสงตระกูล

ฝ่ายศิลป์และภาพ

กิเลน

ดินนรเศรษฐ์

ทรงเวทย์

เบ้าชัย

ฝ่ายเหรียญก

บุญคุ้ม

เหลือล้น

ฝ่ายจัดการและ

ทัศนีย์

จิตตะกวี

เลขานุการ

สมศักดิ์

อุ้นจันท์

สุคนธ์

กลินศกา

บทความและงานวิจัย
ได้รับการกลั่นกรอง
จากผู้ทรงคุณวุฒิ

บทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ในวารสารนี้เป็นของผู้เขียน ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทัศนะของกองบรรณาธิการ

วารสาร

วิทยาศาสตร์ชุมชน

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 27 ฉบับที่ 2

บรรณาธิการแถลง

ข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการ..... 73

บทความ

■ การแก้ปัญหาคำหนดการแข่งขัน
(Linear Programming) ด้วย Excel Solver

สุกัญญา เรืองสุวรรณ..... 76

■ อุปกรณ์กรองสัญญาณทางแสง (Optical Fiber)

ธีรยุทธ ชาญนวงศ์
ปรีชา ชุพาพันธ์..... 84

■ มาตรการความปลอดภัยกับสิ่งมีชีวิตที่ได้รับ
การดัดแปลงหรือปรับเปลี่ยนสารพันธุกรรม

สิรินดา ยืนกลาง..... 97

■ Roles of Antigen-Presenting Cells in the
Immune Responses against Exogenous
Immunogens

Jagkrit Parakarn..... 105

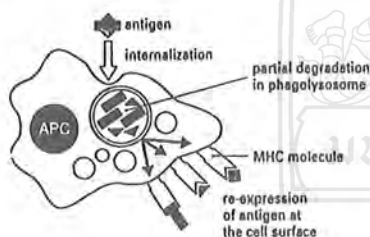
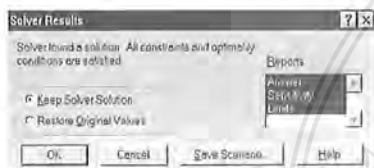
■ Big 6 : พลาสติกหลัก 6 ชนิด

ชูศักดิ์ พูนสวัสดิ์..... 120

งานวิจัย

■ การจำลองแบบเพื่อศึกษาผลกระทบของการปิดเศษ
ของข้อมูลที่มีต่ออำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ
ปกติบางตัว

สุพรรณิ อึ้งปัญญสังข์
พัฒนพงศ์ นีมา
ปิยวรรณ ทะแพงพันธ์..... 127

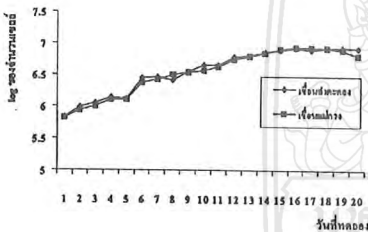


วารสาร

วิทยาศาสตร์ชุมชน

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

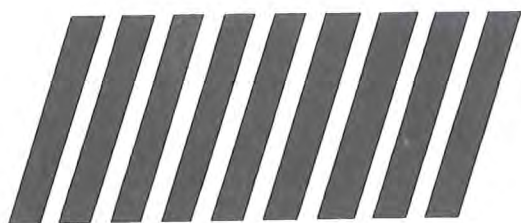
ปีที่ 27 ฉบับที่ 2



- การหาปริมาณอัลกอฮอล์และสารระเหยง่ายอื่น
ในไวน์มะม่วงและไวน์องุ่น โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี
ศักดิ์สิทธิ์ จันทน์ไทย
สำรวย นางทะราช
สามารถ มุลอมาตย์
เกษม นันทชัย
ไพบุลย์ คำนวัญชัย..... 137
- การศึกษาวัฒนธรรมชาติเพื่อดูดซับโลหะหนัก
ที่มีพิษในน้ำเสีย
รัตนา มหาวัย..... 143
- การตรวจสอบฤทธิ์ของสารสกัดจากไชยาโน
แบคทีเรีย *Microcystis* sp. ซึ่งแยกได้จากแหล่งน้ำ
ในเขื่อนลำตะคองและเขื่อนแม่กวงในการยับยั้ง
แบคทีเรียก่อโรคบางชนิด
ธีรศักดิ์ สมดี
อรสุภาวีย์ สายเพชร
ปรีชญ์พันธ์ มีทรัพย์
ศักดา คาควง..... 153

คอลัมน์ประจำ

- ท้องอาณัติกรคณิตศาสตร์
วิจารณ์ สดศิริ..... 161
- เสริมทักษะวิทยาศาสตร์
ครูหนูอ้วน..... 166



ISSN 0125-2254



วิทยาาสตร์
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

75 baht per annum. Single issue price 20 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

Saksit Chanthai

Associate Editor

Atchara Sirimungkala

Editorial Board

Chalerm Ruangviriyachai
Bamrung Somsasdi
Vittaya Amornkitbamrung
Suporn Nuchadomrong
Pranom Chantaranothai
Narumon Sangpradub
Suwanna Niamsanit
Penprapa Phetcharaburanin
Supot Waitayangkoon
Wijarn Sodsiri
Wichuda Chaisiwamongkol
Pusadee Seresangtakul

Artist

Kilen Tinnoraset
Songwate Bousechai

Treasurer

Boonkoom Lualon

Managing Staff and Secretary

Tassanee Jittakhawee
Somsak Unjantee
Sukhon Klinpaka

**The articles and research
publications have been reviewed
by qualified readers**

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

บรรณาธิการ *แดง*

เรียน ท่านสมาชิกวารสาร ฯ และท่านผู้อ่านที่รัก

ได้เวลาที่วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 27 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนเมษายน-มิถุนายน พ.ศ. 2542 ออกสู่สายตาท่านผู้อ่านอีกแล้ว ในฉบับนี้มีบทความเชิงความรู้หลากหลายสาขา (สถิติ ฟิสิกส์ ชีววิทยา และเคมีพอลิเมอร์) และบทความงานวิจัยที่น่าสนใจหลายด้านเช่นเดียวกัน (สถิติ เคมีวิเคราะห์ และจุลชีววิทยา) ส่วนในคอลัมน์ประจำยังเสนอ “ท่องอาณาจักรคณิตศาสตร์” ตอนที่ 2 และ “ครูหม้อ่วน” เขียนคอลัมน์เสริมทักษะวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ยากจริง หรือ ตอนที่ 1 ไปด้วย เราหวังว่าเนื้อหาในคอลัมน์เหล่านี้จะช่วยเสริมสร้างทักษะทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ได้บ้างไม่มากก็น้อย แล้วพบกันใหม่ในฉบับหน้าเร็วๆ นี้

สวัสดิ์ครับ
บรรณาธิการ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คำบรรยายภาพปกหน้า-หลัง

ปกหน้า



“จินตภาพแห่งการพัฒนาด้วยวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยีเพื่อความอุดมสมบูรณ์แก่มนุษย์”

สถิติการส่งออกของไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาในอุตสาหกรรมสินค้าส่งออกอันดับหนึ่งของประเทศ ซึ่งระยะ 3 ปีที่ผ่านมา สินค้าอุตสาหกรรมมีมูลค่าการส่งออกมากขึ้น ในปัจจุบันพบว่าสินค้าที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นอันดับ 1 ปีละกว่า 6,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ คือ สินค้าเครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ส่วนประกอบ จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า ใน 10 เดือนแรกของปี 2542 ไทยมีมูลค่าการส่งออกสินค้าเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ส่วนประกอบ รวมทั้งสิ้น 6,672 ล้านดอลลาร์สหรัฐ อัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นจากช่วงระยะเวลาเดียวกันของปี 2541 เฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 4.46 โดยมีตลาดส่งออกที่สำคัญตามตารางที่ 2 จะเห็นว่าไทยส่งออกไปยังฟิลิปปินส์นั้นขยายตัวเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 72.23

ตารางที่ 1 สินค้าส่งออกสำคัญของไทย 10 อันดับแรก

ประเทศ	2541 (ม.ค.-ต.ค.)	2542 (ม.ค.-ต.ค.)	อัตราการ ขยายตัว (ร้อยละ)	สัดส่วน (ร้อยละ)
1. เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ส่วนประกอบ	6387.01	6871.79	4.46	13.96
2. เสื้อผ้าสำเร็จรูป	2510.18	2391.31	-4.74	5.00
3. แผงวงจรไฟฟ้า	1873.10	2347.27	25.31	4.91
4. ยานพาหนะและอุปกรณ์ส่วนประกอบ	1292.78	1946.46	50.56	4.07
5. ข้าว	1702.08	1553.46	-8.73	3.25
6. อาหารทะเลกระป๋อง	1357.94	1394.68	2.71	2.92
7. อัญมณีและเครื่องประดับ	1146.78	1270.46	10.79	2.66
8. กุ้งสดแช่เย็นแช่แข็ง	1120.59	1043.54	-6.88	2.18
9. เม็ดพลาสติก	821.88	1006.48	22.46	2.11
10. เครื่องรับวิทยุโทรทัศน์และ ส่วนประกอบ	1220.77	995.01	-18.49	2.08
รวมสินค้า 10 รายการ	19433.08	20620.46	6.11	43.14
อื่นๆ	25825.47	27179.39	5.24	56.86
มูลค่ารวม	45258.55	47799.85	5.62	100.00

ที่มา : ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์
ศูนย์สารสนเทศการค้าระหว่างประเทศ กรมส่งเสริมการส่งออก

ตารางที่ 2 ตลาดส่งออกเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ส่วนประกอบที่สำคัญ 10 ประเทศแรกของไทย

ประเทศ	2541 (ม.ค.-ต.ค.)	2542 (ม.ค.-ต.ค.)	อัตราการขยายตัว (ร้อยละ)	สัดส่วน (ร้อยละ)
1. สหรัฐอเมริกา	1767.56	1709.42	-3.29	25.62
2. สิงคโปร์	1310.26	1477.59	12.77	22.15
3. เนเธอร์แลนด์	581.71	616.00	5.89	9.23
4. ญี่ปุ่น	522.46	497.77	-4.73	7.46
5. ไต้หวัน	225.84	393.64	74.30	5.90
6. สหราชอาณาจักร	272.35	339.59	24.69	5.09
7. จีน	437.22	292.57	-33.08	4.39
8. มาเลเซีย	303.95	293.54	-6.72	4.25
9. ฟิลิปปินส์	141.48	243.68	72.23	3.65
10.ฮ่องกง	124.29	150.64	21.20	2.26
รวม 10 ประเทศ	5687.12	6004.43	5.58	90.00
อื่นๆ	699.88	667.37	-4.65	10.00
มูลค่ารวม	6387.01	6671.79	4.46	100.00

ที่มา : ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์

ศูนย์สารสนเทศการค้าระหว่างประเทศ กรมส่งเสริมการส่งออก

ซึ่งการผลิตสินค้าเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์นั้น เราจะต้องนำเข้าวัตถุดิบและเทคโนโลยีจากต่างประเทศกว่าร้อยละ 90 เนื่องจากอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นการลงทุนของชาวต่างประเทศที่ใช้ประเทศไทยเป็นฐานการผลิต จากตารางที่ 3 พบว่า มูลค่ารวมในการนำเข้าวัตถุดิบและเทคโนโลยีได้เพิ่มจากระยะเวลาเดียวกันของปี 2541 คิดเป็นร้อยละ 18.40

ตารางที่ 3 แหล่งนำเข้าส่วนประกอบคอมพิวเตอร์สำคัญ 5 ประเทศแรกของไทย

ประเทศ	2541 (ม.ค.-ต.ค.)	2542 (ม.ค.-ต.ค.)	อัตราการขยายตัว (ร้อยละ)	สัดส่วน (ร้อยละ)
1. ฟิลิปปินส์	258.87	327.41	26.48	19.42
2. จีน	251.65	325.10	29.19	19.28
3. สหรัฐอเมริกา	210.95	299.83	42.13	17.78
4. ญี่ปุ่น	183.60	176.62	-3.80	10.47
5. สิงคโปร์	84.23	147.65	75.29	8.76
รวมสินค้า 5 ประเทศ	989.30	1276.61	33.86	75.71
อื่นๆ	434.88	409.61	-5.81	24.29
มูลค่ารวม	1424.18	1686.22	18.40	100

ที่มา : ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์

ศูนย์สารสนเทศการค้าระหว่างประเทศ กรมส่งเสริมการส่งออก

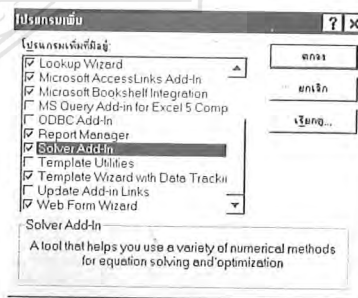
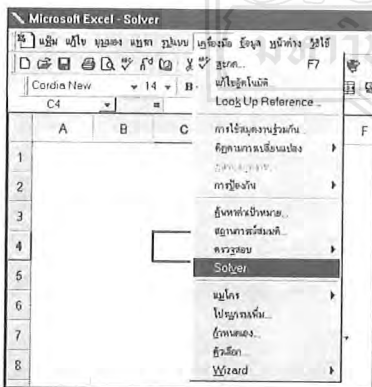
จะเห็นว่า นอกจากปัญหาที่ไทยต้องพึ่งพาวัตถุดิบจากต่างประเทศแล้ว ไทยยังขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ ความเชี่ยวชาญ และมีวิสัยทัศน์ด้านการพัฒนาเทคโนโลยี และยังขาดการเชื่อมโยงอย่างเพียงพอในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนภายในประเทศ ระหว่างผู้ประกอบการของไทยกับนักลงทุนชาวต่างชาติ



การแก้ปัญหาหาค่าเหมาะที่สุดเชิงเส้น (Linear Programming) ด้วย Excel Solver

สุกัญญา เรื่องสุวรรณ*

กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ที่ใช้ในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้แก่กิจกรรมต่างๆ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด เทคนิคกำหนดการเชิงเส้นนั้นได้ถูกคิดค้นขึ้นเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1930 ในประเทศรัสเซีย และได้มีการพัฒนาต่อมาจนกระทั่งปัจจุบันมีการนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ อย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านอุตสาหกรรม ธุรกิจการเงิน การเกษตร เศรษฐกิจ และการขนส่ง แต่อุปสรรคที่เกิดขึ้นในการใช้เทคนิคกำหนดการเชิงเส้นก็คือ ผู้ใช้จะต้องมีความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์เพื่อสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น และวิธีการแก้ปัญหาซึ่งเรียกว่า วิธีซิมเพลกซ์ (Simplex Method) นั่นก็ต่ออาศัยการแก้สมการคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นการยากสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ทางด้านนี้โดยเฉพาะ ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีผู้คิดค้นโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้แก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นออกมามากมาย ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ โปรแกรมยอดนิยม Microsoft Office โดยส่วนที่จะใช้ในการแก้ปัญหาคำหนดการเชิงเส้นนี้จะอยู่ในโปรแกรม Excel ที่มีชื่อว่า Solver ซึ่งคำสั่งนี้จะอยู่ที่เมนูเครื่องมือ (Tools) ดังรูปที่ 1 แต่ถ้าหากไม่พบคำสั่ง Solver สามารถติดตั้งเพิ่มเติมได้โดยเลือกเมนูโปรแกรมเพิ่ม... (Add-Ins) ภายใต้มenuเครื่องมือ (Tools) เมื่อปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์โปรแกรมเพิ่ม (Add-Ins) ให้เลือก Solver Add-In ตามรูปที่ 2 แล้วระบบจะติดตั้ง Solver ให้เรียบร้อยแล้วให้ปิดโปรแกรม Excel แล้วจึงเรียกเข้าไปใหม่ เท่านั้นก็พร้อมแล้วที่จะใช้ Solver ในการแก้ปัญหาคำหนดการเชิงเส้น



รูปที่ 1 คำสั่ง Solver ภายในเมนูเครื่องมือ

รูปที่ 2 ไตอะลือกบ็อกซ์โปรแกรมเพิ่ม

* ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ตัวอย่างการสร้างตัวแบบ

เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นจะขอยกตัวอย่างปัญหาการผลิต โดยที่ บริษัทถั่วเลิศรส จำกัด ต้องการที่จะผสมถั่วสูตรพิเศษเพื่อวางจำหน่ายในช่วงปิดเทอมนี้ โดยสูตรที่จะผสมมี 2 สูตร ซึ่งแต่ละสูตรต้องใช้วัตถุดิบแตกต่างกันดังตารางที่ 1 โดยที่ราคาขายถั่วสูตรที่ 1 ตั้งราคาไว้กิโลกรัมละ 50 บาท และสูตรที่ 2 จะขายกิโลกรัมละ 80 บาท แต่เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันกำลังย่ำแย่บริษัทมีเงินหมุนเวียนจำนวนจำกัด จึงสามารถจัดสรรเงินเพื่อซื้อวัตถุดิบได้จำกัดคือสามารถซื้อถั่วลิสงได้ 40,000 กิโลกรัม เม็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ 20,000 กิโลกรัม และอัลมอนต์ได้ 7,000 กิโลกรัม นอกจากนี้ ฝ่ายการตลาดยังคาดว่าจะสามารถขายถั่วสูตรที่ 1 ได้ไม่ต่ำกว่า 1,000 กิโลกรัมแน่นอน บริษัทถั่วเลิศรส จำกัด ควรจะจัดการผลิตอย่างไร จึงจะมีรายได้มากที่สุด

ตารางที่ 1 ข้อมูลการผลิตถั่ว

สูตร	ราคาขาย (บาท/กก.)	วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต (กก.)		
		ถั่วลิสง	เม็ดมะม่วง หิมพานต์	อัลมอนต์
1	50	1/2	1/2	-
2	80	3/5	1/4	3/20
จำนวนวัตถุดิบที่มีอยู่		40,000	20,000	7,000

จากข้อมูลดังกล่าวปัญหา คือ อยากทราบว่า จะต้องผลิตถั่วทั้งสองสูตรจำนวนเท่าใด เพื่อให้มีรายได้มากที่สุด ดังนั้นตัวแปรตัดสินใจ คือ X_j แทนจำนวนถั่วสูตรที่ j ที่จะผลิต หน่วย : กิโลกรัม ; $j = 1, 2$ สมการเป้าหมายคือ

รายได้ = (ราคาขายต่อกิโลกรัม. x จำนวนถั่วสูตร 1) + (ราคาขายต่อกิโลกรัม. x จำนวนถั่วสูตร 2)
ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Maximize } Z = 50X_1 + 80X_2$$

โดยจะต้องสอดคล้องกับจำนวนวัตถุดิบที่มีอยู่ ซึ่งเรียกว่าข้อจำกัด มีทั้งหมด 5 ข้อจำกัด ดังนี้

ข้อจำกัดที่ 1 ข้อจำกัดของจำนวนถั่วลิสงที่มีอยู่

(จำนวนถั่วลิสงที่ใช้ผลิตถั่วสูตร 1 หนึ่ง กก. x จำนวนถั่วสูตร 1) + (จำนวนถั่วลิสงที่ใช้ผลิตถั่วสูตร 2 หนึ่ง กก. x จำนวนถั่วสูตร 2) ≤ จำนวนถั่วลิสงทั้งหมดที่มี

นั่นคือ $1/2 X_1 + 3/5 X_2 \leq 40000$

ข้อจำกัดที่ 2 ข้อจำกัดของจำนวนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีอยู่

(จำนวนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้ผลิตถั่วสูตร 1 หนึ่ง กก. x จำนวนถั่วสูตร 1) + (จำนวนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้ผลิตถั่วสูตร 2 หนึ่ง กก. x จำนวนถั่วสูตร 2) ≤ จำนวนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ทั้งหมดที่มี

นั่นคือ $1/2 X_1 + 1/4 X_2 \leq 20000$

ข้อจำกัดที่ 3 ข้อจำกัดของจำนวนอัลมอนต์ที่มีอยู่

(จำนวนอัลมอนต์ที่ใช้ผลิตถั่วสูตร 1 หนึ่ง กก. x จำนวนถั่วสูตร 1) + (จำนวนอัลมอนต์ที่ใช้ผลิตถั่วสูตร 2 หนึ่ง กก. x จำนวนถั่วสูตร 2) $\leq$ จำนวนอัลมอนต์ทั้งหมดที่มี

นั่นคือ $3/20X_2 \leq 9000$

ข้อจำกัดที่ 4 เนื่องจากฝ่ายการตลาดได้ประเมินว่าจะสามารถขายถั่วสูตรที่ 1 ได้ไม่น้อยกว่า 1000 กิโลกรัม

นั่นคือ $X_1 \geq 1000$

ข้อจำกัดที่ 5 คือจำนวนถั่วทั้งสองสูตรที่จะผลิตต้อง ≥ 0

นั่นคือ $X_1 \geq 0$ และ $X_2 \geq 0$

รูปแบบกำหนดการเชิงเส้น

ดังนั้น สามารถสร้างเป็นแบบคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

สมการเป้าหมาย Maximize $Z = 50X_1 + 80X_2$

ภายใต้ข้อจำกัด $1/2 X_1 + 3/5 X_2 \leq 40000$ (1)

$1/2 X_1 + 1/4 X_2 \leq 20000$ (2)

$3/20 X_2 \leq 9000$ (3)

$X_1 \geq 1000$ (4)

$X_1, X_2 \geq 0$ (5)

เมื่อ Z คือ รายได้ (หน่วย : บาท)

X_j คือ จำนวนถั่วสูตรที่ j ที่จะผลิต (หน่วย : กิโลกรัม) ; $j = 1, 2$

การใช้ Excel Solver แก้ปัญหา

เมื่อได้ตัวแบบแล้วสามารถหาคำตอบได้โดยใช้โปรแกรม Excel โดยแบ่งพื้นที่ worksheet ออกเป็น 4 ส่วน ดังตารางที่ 2 คือ

1. ส่วนของข้อมูล ซึ่งในส่วนนี้จะใส่ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถั่วแต่ละสูตร และจำนวนวัตถุดิบที่มีอยู่

2. ส่วนของตัวแปรตัดสินใจ (X_j) ซึ่งปัญหานี้มีอยู่ 2 ตัวแปรคือ จำนวนถั่วสูตรที่ 1 และจำนวนถั่วสูตรที่ 2 ที่จะผลิต

ตำแหน่ง C11 = ค่าของตัวแปรจำนวนถั่วสูตรที่ 1 ที่จะผลิต (เริ่มต้นต้องกำหนดให้เป็น 0)

ตำแหน่ง C12 = ค่าของตัวแปรจำนวนถั่วสูตรที่ 2 ที่จะผลิต (เริ่มต้นต้องกำหนดให้เป็น 0)

3. ส่วนของสมการเป้าหมาย (Z) ซึ่งในปัญหานี้ต้องการให้ได้ผลตอบแทนมากที่สุด

ตำแหน่ง C16 = รายได้จากการขายถั่ว

ให้พิมพ์สูตร = (C11*B5) + (C12*B6)

โดยที่ B5 และ B6 คือตำแหน่งที่ใส่ราคาถั่วสูตรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

4. ส่วนของข้อจำกัด ซึ่งในปัญหานี้มีทั้งหมด 5 ข้อจำกัดดังกล่าวแล้ว

ข้อจำกัดที่ 1 ตำแหน่ง C22 = (C11*C5)+(C12*C6)

ข้อจำกัดที่ 2 ตำแหน่ง D22 = (C11*D5)+(C12*D6)

ข้อจำกัดที่ 3 ตำแหน่ง E22 = (C11*E5)+(C12*E6)

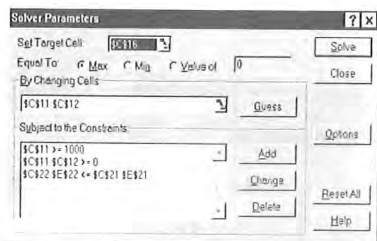
ข้อจำกัดที่ 4 $C11 \geq 1000$

ข้อจำกัดที่ 5 $C11$ และ $C12 \geq 0$

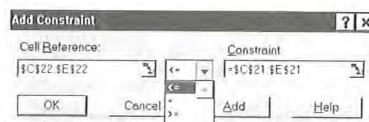
ตารางที่ 2 work sheet ปัญหาการผลิตถั่วสูตรพิเศษ ของบริษัทถั่วเลิศรส

	A	B	C	D	E	F
1	ปัญหาการวางแผนการผลิตถั่วสูตรพิเศษของบริษัทถั่วเลิศรส จำกัด					
2	ส่วนที่ 1 ส่วนของข้อมูล					
3			วัตถุดิบ (กก.)			
4	สินค้า	ราคาขาย (บาท/กก.)	ถั่วลิสง	เม็ดมะม่วงหิมพานต์	อัลมอนต์	
5	ถั่วสูตรที่ 1	50	0.50	0.50	0	
6	ถั่วสูตรที่ 2	80	0.60	0.25	0.15	
7	จำนวนวัตถุดิบที่มีอยู่		40000	20000	7000	
8						
9	ส่วนที่ 2 ส่วนของตัวแปรตัดสินใจ					
10			(กก.)			
11	(X ₁)	ถั่วสูตรที่ 1	0			
12	(X ₂)	ถั่วสูตรที่ 2	0			
13						
14	ส่วนที่ 3 ส่วนของสมการเป้าหมาย					
15			(บาท)			
16	รายได้มากที่สุด		0			
17	(รายได้ = 50X ₁ + 80X ₂)					
18						
19	ส่วนที่ 4 ส่วนของข้อจำกัด					
20			ถั่วลิสง	เม็ดมะม่วงหิมพานต์	อัลมอนต์	
21	จำนวนวัตถุดิบทั้งหมด		40000	20000	7000	
22	จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ไป		0	0	0	
23						

เมื่อสร้าง worksheet ตามตารางที่ 2 เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้ solver โดยเลือกคำสั่ง solver จากเมนูเครื่องมือ (Tools) ซึ่งจะปรากฏโดยเลือกบล็อก Solver Parameters ตามรูปที่ 3 โดยช่องต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Parameters



รูปที่ 4 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Add Constraint

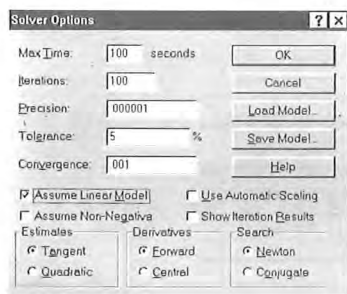
1. ช่อง Set Target Cell : ให้ใส่ตำแหน่งของสมการเป้าหมายในที่นี้คือตำแหน่ง C16 ให้พิมพ์ \$C\$16 ซึ่งสามารถที่จะกำหนดได้ว่าต้องการให้เป้าหมายมีค่าสูงสุด (Max) หรือต่ำสุด (Min) โดยเลือกจาก Equal To : หรือถ้าต้องการให้ค่าของสมการเป้าหมายมีค่าเท่ากับค่าเฉพาะให้เลือก Value of : แล้วใส่ค่าในช่องว่างนั้น แต่ในปัญหานี้เราต้องการที่จะหาค่ารายได้มากที่สุดที่จะได้รับ ดังนั้นเลือก Max

2. ช่อง By Changing Cells ในช่องนี้จะใส่ตำแหน่งของตัวแปรตัดสินใจ ค่าของตัวแปรตัดสินใจจะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ เพื่อให้ค่าของสมการเป้าหมายดีที่สุด ซึ่งโปรแกรม Excel สามารถรับตัวแปรได้ถึง 200 ตัวแปร ในปัญหานี้มีตัวแปรตัดสินใจ 2 ตัวแปร ดังนั้นระบุเซลล์ \$C\$11:\$C\$12

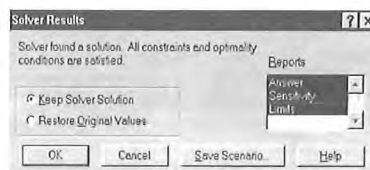
3. ช่อง Subject to the Constraints ในส่วนนี้เป็นส่วนของข้อจำกัด ให้กดปุ่ม Add เพื่อใส่ข้อจำกัด ตามรูปที่ 4 ในช่อง Cell Reference: ให้ใส่ตำแหน่งของเซลล์ที่จะกำหนดค่าในที่นี้คือ \$C\$22:\$E\$22 แล้วเลือกเครื่องหมายเปรียบเทียบจากดรอปดาวน์ลิสต์ที่อยู่ตรงกลางของไดอะล็อกบ็อกซ์ ซึ่งมี $\leq$, $\geq$, $=$, int (จำนวนเต็ม) และ bin (มีค่า 0 กับ 1) เลือก $\leq$ จากนั้นให้ระบุค่าเงื่อนไขไว้ในกรอบทางด้านขวามือในที่นี้คือ \$C\$21:\$E\$21 หลังจากนั้นกด Add เพื่อระบุเงื่อนไขต่อไป คือ \$C\$11 $\geq$ 1000 และ \$C\$11:\$C\$12 $\geq$ 0 แล้วกดปุ่ม OK เพื่อกลับไปไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Parameters

4. หลังจากใส่ค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว กดปุ่ม Options จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Options ดังรูปที่ 5 ซึ่งสามารถกำหนดระยะเวลาสูงสุดที่ใช้ในการคำนวณ (Max Time) จำนวนรอบสูงสุดที่จะให้เครื่องทำการคำนวณ (Iterations) นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดความผิดพลาดที่ยอมรับได้จาก (Precision, Tolerance, Convergence) ในปัญหานี้ใช้ตัวเลือกที่เครื่องกำหนดและเลือก Assume Linear Model เพื่อเป็นการบอกกับโปรแกรมว่า ปัญหาที่สร้างขึ้นนี้อยู่ในรูปของปัญหาเชิงเส้น แล้วกดปุ่ม OK เพื่อออกจากไดอะล็อกบ็อกซ์นี้

5. กดปุ่ม Solve เพื่อสั่งให้โปรแกรมเริ่มทำงานโปรแกรมจะคำนวณหาทางเลือกที่ดีที่สุดเพื่อให้บริษัท ถั่วเลิศรส จำกัด ได้รับรายได้มากที่สุด



รูปที่ 5 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Options



รูปที่ 6 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Results

รายงานผลที่ได้จากโปรแกรม

เมื่อโปรแกรมคำนวณคำตอบได้แล้วจะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Results ตามรูปที่ 6 เพื่อให้เลือกรายงานที่ต้องการซึ่งมี 3 รายงานได้แก่

1. **Answer Report** ดังตารางที่ 3 จะแสดงคำตอบที่ดีที่สุดคือ ควรจะผลิตถ้วยสูตรที่ 1 จำนวน 16,666.67 กิโลกรัม และผลิตถ้วยสูตรที่ 2 จำนวน 46,666.67 กิโลกรัม ซึ่งจะทำให้ได้รับรายได้มากที่สุดจำนวน 4,566,666.67 บาท ในส่วนของวัตถุดิบนั้นใช้ถ้วยลิสงไป 36,333 กิโลกรัม ซึ่งยังเหลืออีก 3,666.67 กิโลกรัม ส่วนเม็ดมะม่วงหิมพานต์ และอัลมอนต์ใช้หมดพอดี

2. **Sensitivity Report** ดังตารางที่ 4 จะแสดงการวิเคราะห์ความไว คือถ้ามีพารามิเตอร์บางตัวเปลี่ยนค่าไปคำตอบที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร จากรายงานในสดมภ์ของ Shadow Price จะบอกให้ทราบว่าหากมีอัลมอนต์ และเม็ดมะม่วงหิมพานต์เพิ่มขึ้นอย่างละ 1 กิโลกรัม จะสามารถผลิตถ้วยสูตรพิเศษทั้งสองสูตรได้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้นอีก 367 บาท และ 100 บาท ตามลำดับ ส่วนถ้วยลิสงนั้นยังใช้ไม่หมดไม่จำเป็นต้องจัดหาเพิ่มเติม

3. **Limits Report** ดังตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าต้องผลิตถ้วยสูตรที่ 1 ไม่ต่ำกว่า 1000 กิโลกรัม และผลิตได้ไม่เกิน 16,666.67 กิโลกรัม ส่วนถ้วยสูตรที่ 2 ผลิตได้ต่ำสุดศูนย์กิโลกรัม และผลิตได้สูงสุด 46,666.65 กิโลกรัม

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ตารางที่ 3 Answer Report

Target Cell (Max)					
Cell	Name	Original Value	Final Value		
\$C\$16	รายได้มากที่สุด (บาท)	0	4566666.667		
Adjustable Cells					
Cell	Name	Original Value	Final Value		
\$C\$11	ถั่วสูตรที่ 1 (กก.)	0	16666.66667		
\$C\$12	ถั่วสูตรที่ 2 (กก.)	0	46666.66667		
Constraints					
Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$C\$22	จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ไป (ถั่วลิสง)	36333	\$C\$22<=\$C\$21	Not Binding	3666.666667
\$D\$22	จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ไป (เมล็ดมะม่วงหิมพานต์)	20000	\$D\$22<=\$D\$21	Binding	0
\$E\$22	จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ไป (อัลมอนต์)	7000	\$E\$22<=\$E\$21	Binding	0
\$C\$11	ถั่วสูตรที่ 1 (กก.)	16666.66667	\$C\$11>=0	Not Binding	16666.66667
\$C\$12	ถั่วสูตรที่ 2 (กก.)	46666.66667	\$C\$12>=0	Not Binding	46666.66667
\$C\$11	ถั่วสูตรที่ 1 (กก.)	16666.66667	\$C\$11>=1000	Not Binding	15666.66667

ตารางที่ 4 Sensitivity Report

Adjustable Cells						
Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease
\$C\$11	ถั่วสูตรที่ 1 (กก.)	16666.66667	0	50	110	50
\$C\$12	ถั่วสูตรที่ 2 (กก.)	46666.66667	0	80	1E+30	55
Constraints						
Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease
\$C\$22	จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ไป ถั่วลิสง	36333	0	40000	1E+30	3666.666667
\$D\$22	จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ไป เมล็ดมะม่วงหิมพานต์	20000	100	20000	3666.666667	7833.333333
\$E\$22	จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ไป อัลมอนต์	7000	367	7000	1571.428571	7000

รายได้ที่เพิ่มขึ้นหากมีวัตถุดิบเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 Limits Report

Cell	Target Name	Value	ขอบเขตของจำนวนที่จะผลิต			
\$C\$16	รายได้มากที่สุด (บาท)	4566666.667				
Cell	Adjustable Name	Value	Lower Limit	Target Result	Upper Limit	Target Result
\$C\$11	ถั่วสูตรที่ 1 (กก.)	16666.66667	1000	3783333.333	16666.66667	4566666.667
\$C\$12	ถั่วสูตรที่ 2 (กก.)	46666.66667	0	833333.3333	46666.65087	4566665.403

สรุป

จากการแก้ปัญหาของ Solver บริษัทถั่วเลิศรส จำกัด ควรจะผลิตถั่วสูตรที่ 1 จำนวน 16,666.67 กิโลกรัม และถั่วสูตรที่ 2 จำนวน 46,666.67 กิโลกรัม ซึ่งจะทำให้บริษัทได้รับรายได้มากที่สุดเป็นเงิน 4,566,666.67 บาท และหากต้องการให้มีรายได้มากขึ้นจะต้องจัดหา อัลมอนต์ และเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เพิ่มขึ้น

จะเห็นได้ว่าการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นด้วย Solver ของโปรแกรม Excel นั้นทำได้ง่ายมาก สามารถจัดการข้อมูลต่าง ๆ บน work sheet ได้ และยังสามารถทดลองเปลี่ยนนโยบายต่าง ๆ หรือเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ในตัวแบบเพื่อดูผลกระทบที่จะเกิดขึ้นได้ทันที เช่น ลองเปลี่ยนจำนวนวัตถุดิบที่มี ราคาขาย หรือจำนวนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถั่วแต่ละสูตร เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตได้ แต่ถ้าหากปัญหาที่สร้างขึ้นมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น Solver ก็ยังสามารถแก้ปัญหาได้

คำสั่ง Solver ของโปรแกรม Excel นั้นเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นได้ดี ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านกำหนดการเชิงเส้น นอกจาก Solver แล้วยังมีโปรแกรมสำหรับแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นอีกมากมาย อาทิเช่น LINDO, QSB+, GAMS เป็นต้น ทำให้การแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นทำได้ง่ายขึ้น ช่วยให้ผู้ใช้หาทางเลือกที่ดีที่สุดในการผลิตสินค้าได้เร็วขึ้น ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงการผลิต หรือพัฒนาระบบงานให้ดีขึ้น เพื่อความอยู่รอดในภาวะเศรษฐกิจเช่นนี้

บรรณานุกรม

จิตหุติ พิชผล. การใช้ Linear Optimization Model : Excel Solver เพื่อแก้ปัญหารูทริก. ไมโครคอมพิวเตอร์. ฉบับที่ 151 : 127-131.

นิกร วัฒนพนม. (2535). การโปรแกรมเชิงเส้นเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วันชัย เตชพรุ่ง และสมชาย เตชพรุ่ง. (2541). คู่มือการใช้งาน Microsoft Excel 97. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.

Bazaraa, Mokhtar S. Jarvis John J. and Sherali Hanif D. (1997). Linear Programming and Network Flows. (2nd ed). Republic of Singapore : John Wiley & Sons, Inc. .

Cook, Thomas M. and Russell, Robert A. (1981). Introduction to Management Science. (2nd ed). Englewood Cliffs : Prentice-Hall, Inc.

Swanson, Leonard W. (1987). Linear Programming Basic Theory and Applications. Republic of Singapore : McGraw-Hill, Inc.

อุปกรณ์กรองสัญญาณทางแสง (Optical Filter)

ธีรยุทธ ชานนวงศ์ และ ดร.ปรีชา ยูพาพันธ์*

1. บทนำ

การกรองสัญญาณทางแสง (Optical filtering) คืออีกวิธีการหนึ่งที่น่าไปใช้ร่วมกับระบบสำหรับการมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์ทางแสง การเพิ่มและลดสัญญาณ และสวิตช์ในเครือข่ายระบบการมัลติเพล็กซ์แบบความยาวคลื่น ฟิลเตอร์ทางแสงชนิดต่างๆ ที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เช่น

1.1 ชนิดท่อนำคลื่น (Waveguide Type)

- แมกเซนเดอร์ฟิเตอร์ (Mach-Zehnder Filter)
- อาร์เรย์เวฟไกด์เกรตติ้ง (Arrayed Waveguide Grating)

1.2 ฟิเตอร์ชนิดบิลค์ (Bulk Type)

- เกรตติ้ง (Grating)
- ปริซึม (Prism)
- ฟิเตอร์แบบแทรกสอดในฟิล์มบางไดอิเล็กตริก (Dielectric Thin Film Interference Filter)
- เอโอฟิเตอร์ (AO Filter)

1.3 ฟิเตอร์ชนิดเส้นใยนำแสง (Fiber Type)

- ฟาบริเพอร์โรต์เส้นใยนำแสง (Fiber FP Cavity)
- เกรตติ้งเส้นใยนำแสง (Fiber Grating)

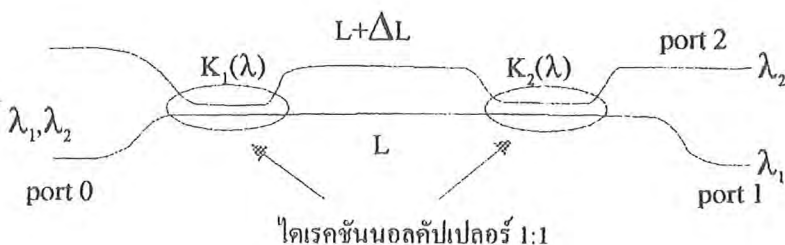
2. ฟิเตอร์ชนิดท่อนำคลื่นซิลิคอน (Silicon Waveguide Type Filter)

เป็นฟิเตอร์ที่มีการนำมาใช้ในระบบเครือข่ายเส้นใยนำแสงแล้วสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

2.1 แมกเซนเดอร์ฟิเตอร์ (Mach-Zehnder Filter)

รูปที่ 1 แสดงผังการทำงานของแมกเซนเดอร์ฟิเตอร์ ซึ่งจะเห็นว่ามียุทโธปกรณ์สองอันที่มีความยาวต่างกัน ΔL ต่ออยู่กับไดเรกชันนอลคัปเปิลเลอร์ซึ่งมีอัตราส่วน 50% 2 อัน เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน เดินทางมาตามท่อนำคลื่น กำลังของแสงจะถูกแบ่งครึ่งเข้าไปในท่อนำคลื่นแต่ละอันเมื่อผ่านคัปเปิลเลอร์อันแรก $K_1(\lambda)$ และจะถูกแบ่งอีกครั้งหนึ่งเมื่อผ่านคัปเปิลเลอร์อันที่สอง $K_2(\lambda)$ โดยที่คัปเปิลเลอร์ทั้งสองแสงในท่อนำคลื่นทั้งสองจะเกิดการแทรกสอดซึ่งกันและกัน

* รองศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีคลื่นและแสง คณะวิทยาศาสตร์ สจล.



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงโครงสร้างของฟิลเตอร์แบบแมกเซนเดอร์ (Mach-Zehnder filter)

ซึ่งผลของการแทรกสอดจะขึ้นกับผลต่างของเฟสของคลื่นในท่อนำคลื่นที่มีความยาวต่างกัน ΔL ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของความยาวท่อกับเฟสของคลื่น คือ

$$\Delta\phi = 2\pi f \Delta L n_{\text{eff}} / c \quad (1)$$

เมื่อ n_{eff} คือ ดัชนีหักเหของท่อนำคลื่น

f คือ ความถี่ของคลื่นแสง

c คือ ความเร็วของคลื่นแสงในสุญญากาศ

ซึ่งคลื่นที่มีความถี่ f_1 จะออกมาที่ท่อนำคลื่น port 1 และคลื่น f_2 จะออกมาที่ท่อนำคลื่น port 2 ถ้าผลต่างเฟสของคลื่นทั้งสองสอดคล้องกับเงื่อนไข

$$\Delta\phi_1 = (2m - 1)\pi \quad (2)$$

$$\Delta\phi_2 = 2m\pi \quad (3)$$

จาก 1, 2 และ 3 จะได้

$$\Delta\phi_1 = 2\pi f_1 \Delta L n_{\text{eff}} / c = (2m - 1)\pi \quad (4)$$

$$\Delta\phi_2 = 2\pi f_2 \Delta L n_{\text{eff}} / c = 2m\pi \quad (5)$$

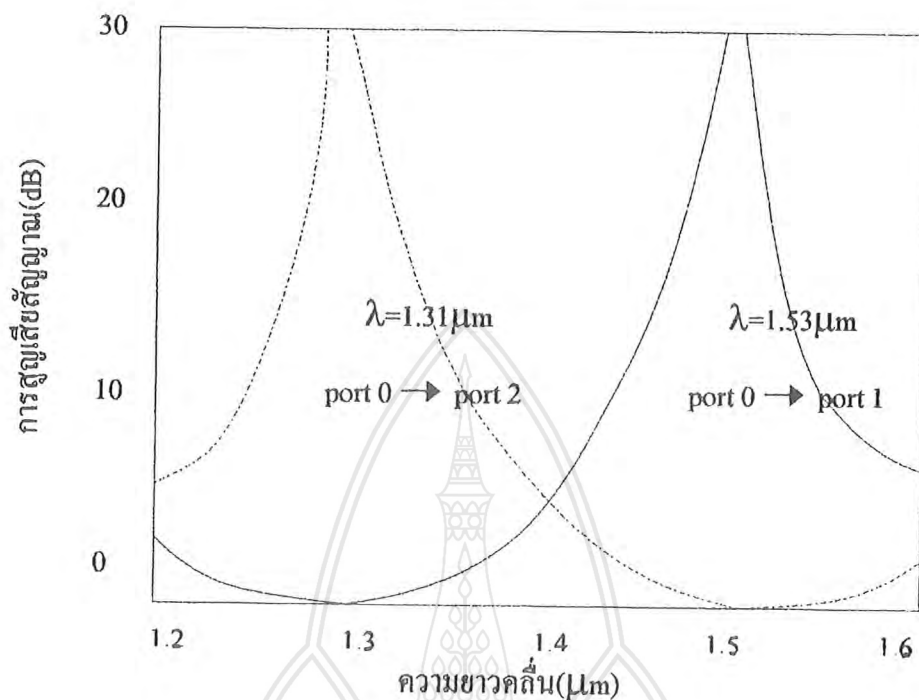
จะได้ระยะห่างของช่องสัญญาณ (optical channel spacing)

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

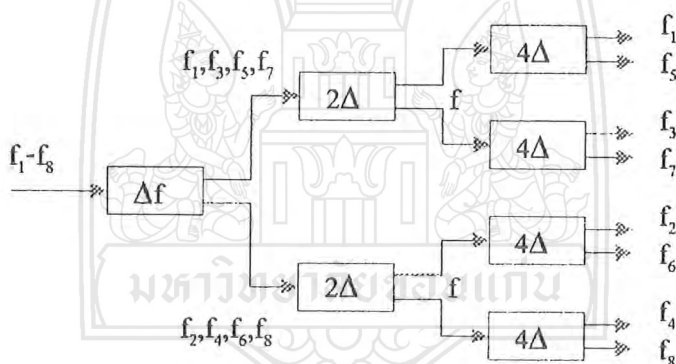
$$\text{เป็น } \Delta f = c / (2n_{\text{eff}} \Delta L)$$

เป็นความสามารถในการแยกแสงสองความถี่ออกจากกัน ซึ่งขึ้นกับค่า ΔL เช่น ถ้าให้ $\Delta L = 2.7 \mu\text{m}$ ในท่อนำคลื่นซิลิคอนจะสามารถแยกแสงที่มีความยาวคลื่น 1.3 และ 1.55 μm ออกจากกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2

ด้วยการออกแบบให้ได้ฟิลเตอร์ที่มีสมบัติต่างๆ กัน คือ มีระยะห่าง Δf , $2\Delta f$, $4\Delta f$ ต่อกัน จะสามารถแยกแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันออกจากกันได้ ดังรูปที่ 3 ถ้าสามารถทำให้ฟิลเตอร์เป็นแบบปรับเลือกความถี่ได้ ก็จะสามารถกำหนดให้ความถี่ใดความถี่หนึ่งผ่านได้ เช่น ปรากฏการณ์เทอร์โมออปติก (thermo optics) ของฟิล์มบางของซิลิคอน ถ้าเราเปลี่ยนอุณหภูมิของฟิล์มบางก็จะสามารถปรับเลือกความถี่ที่ส่งผ่านได้



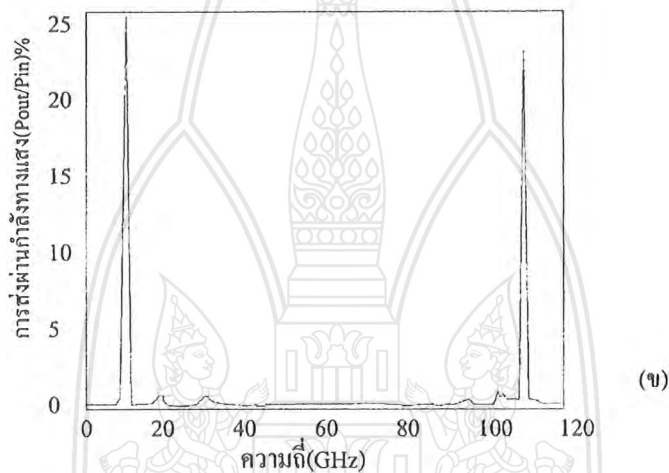
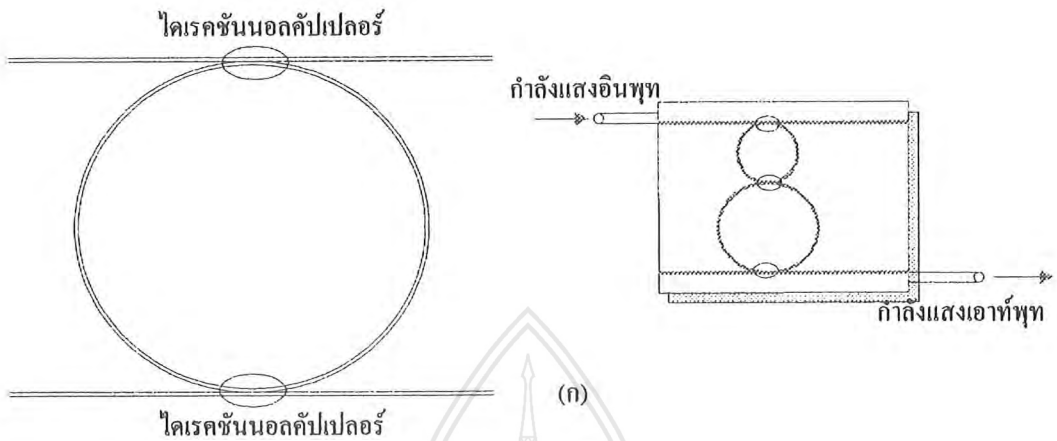
รูปที่ 2 แสดงลักษณะการกรองของฟิลเตอร์ที่ความยาวคลื่นแสง 1.31/1.53 μm



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงการจัดมัลติฟิลเตอร์ซึ่งมีสมบัติการแยกช่อง Δf , $2\Delta f$ และ $4\Delta f$ ต่อกัน ซึ่งทำให้สามารถแยกแสงหลายๆ ความถี่ออกจากกันได้

2.2 ตัวกำทอนแบบวงแหวน (Ring Resonators)

รูปที่ 4 (ก) แสดงตัวกำทอนแบบวงแหวน และภาพ (ข) แสดงสมบัติการส่งผ่านของตัวกำทอนแบบวงแหวนคู่ (double ring resonator) ซึ่งตัวกำทอนแบบวงแหวนจะประกอบด้วยท่อนำคลื่นสองอันต่ออยู่กับไดเรคชันนอลคัปเปิลเลอร์ 2 อัน ซึ่งมีอัตราการคัปปลิ้งต่ำมาก ๆ



รูปที่ 4 (ก) แสดงโครงสร้างของริงรีโซเนเตอร์
(ข) แสดงสมบัติการกรองของดับเบิลริงรีโซเนเตอร์

ความถี่ที่เกิดการกำทอนจะกำหนดโดย

$$f_0 = mc/n_{\text{eff}} L \quad (6)$$

เมื่อ f_0 คือ ความถี่ที่เกิดการกำทอน

m คือ จำนวนนับ

L คือ ระยะทางที่แสงเดินในตัวกำทอนแบบวงแหวน

จากสมการที่ (6) จะเห็นว่า มีความถี่มากมายที่เกิดการกำทอน ช่วงความถี่ที่อยู่ระหว่างการกำทอนและความถี่ที่อยู่ถัดไป เรียกว่า ช่วงสเปกตรัมอิสระ (free spectrum range, FSR) ซึ่งหาได้จาก

$$\text{FSR} = f_0 - f'_0 = [mc/n_{\text{eff}} L] - [(m-1)c/n_{\text{eff}} L] = c/n_{\text{eff}} L \quad (7)$$

ซึ่งจะเห็นว่า FSR จะแปรผกผันกับ $1/L$ ถ้าต้องการแยก 2 ความถี่ที่อยู่ห่างกันมาก หรือ FSR มาก จะต้องออกแบบให้มี L ที่มีระยะทางสั้น ๆ ในทางกลับกัน ถ้า FSR น้อย L จะต้องมีความยาวมาก

ตัวกำทอนแบบวงแหวนมีความสามารถในการแยกความถี่ต่างกันได้แคบมากถ้าต้องการแยกความถี่ที่มีความต่างความถี่ที่มาก ๆ จะต้องออกแบบให้มี L ที่แคบมาก ๆ ซึ่งทำให้มีการสูญเสียของสัญญาณมาก

ถ้าออกแบบให้เป็นตัวกำทอนแบบวงแหวนคู่ที่มีความถี่กำทอนที่ไม่เท่ากัน จะสามารถแยกความถี่ที่มีความถี่ต่างกันมาก ๆ ได้ ผลต่างความถี่ที่เกิดการกำทอน (FSR) ของตัวกำทอนแบบวงแหวนคู่กำหนดโดย

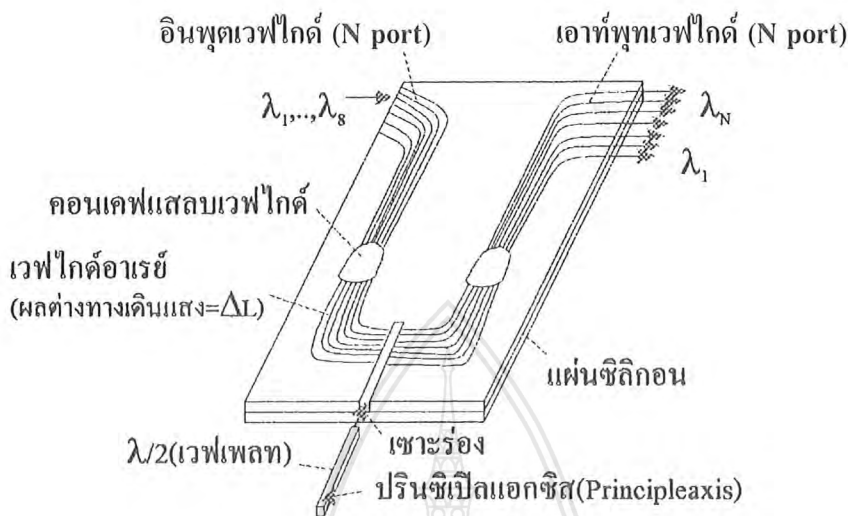
$$FSR_d = m_1 FSR_1 = m_2 FSR_2 \quad (8)$$

เมื่อ m_1 และ m_2 เป็นจำนวนธรรมชาติ เช่น ถ้าตัวกำทอนแบบวงแหวนมี $FSR_1 = 14.29$ GHz และ $FSR_2 = 12.50$ GHz จะทำให้ตัวกำทอนแบบวงแหวนคู่มี $FSR_d = 100$ GHz เมื่อ $m_1 = 7$ และ $m_2 = 8$ ตามลำดับ

2.3 ฟิเตอร์ชนิดอาร์เรย์เวฟไกด์เกรตติง (Arrayed Waveguide Grating Filters)

ฟิเตอร์ชนิดอาร์เรย์เวฟไกด์เกรตติงเป็นอุปกรณ์ชนิด $N \times N$ มัลติเพลกเซอร์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนอินพุตและเอาต์พุตต่อกันแบบดาวหรือสตาร์ (star) และมีเฟสเวฟไกด์อาร์เรย์ (phase waveguide array) ทำหน้าที่เป็นเกรตติง ดังรูปที่ 5 คอนเคฟสแลบเวฟไกด์ (concave slab waveguide) ที่ต่ออยู่กับสัญญาณอินพุต N ช่อง ซึ่งเป็นคัปเปิลเลอร์แบบสตาร์ที่จะรวมลำแสงที่เข้ามาทุกช่องให้ผ่านออกไปสู่อาร์เรย์เวฟไกด์เกรตติงด้วยเฟสที่เท่ากัน และเวฟไกด์แต่ละช่องที่อยู่ติดกันจะมีระยะทางเดินแสงต่างกัน ΔL โดยทางเดินของแสงจะถูกกั้นด้วยแผ่นเวฟไกด์บาง ๆ ($\lambda/2$ wave plate) เพื่อชดเชยไบร์ฟริงเจนซ์ของเวฟไกด์ สัญญาณแสงที่ออกจากอาร์เรย์เวฟไกด์เกรตติง จะเกิดการแทรกสอดกันขึ้นในเอาต์พุตคอนเคฟสแลบเวฟไกด์เกรตติงเพราะมีเฟสที่ต่างกัน เมื่อแสงเดินทางถึงเกรตติงปริมาณการแทรกสอดจะขึ้นอยู่กับความถี่ของแสง ดังนั้นเมื่อสัญญาณคลื่นแสงผสมผ่านออกจากเกรตติง คลื่นแสงหลายความถี่จะถูกแยกออกแต่ละความถี่สู่เอาต์พุตพอร์ต ซึ่งคลื่นความถี่ที่ได้จะขึ้นกับตำแหน่งของอินพุตและเอาต์พุตเวฟไกด์พอร์ต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างของฟิลเตอร์แบบอาร์เรย์เวฟไกด์เกรตติง (arrayed waveguide grating)

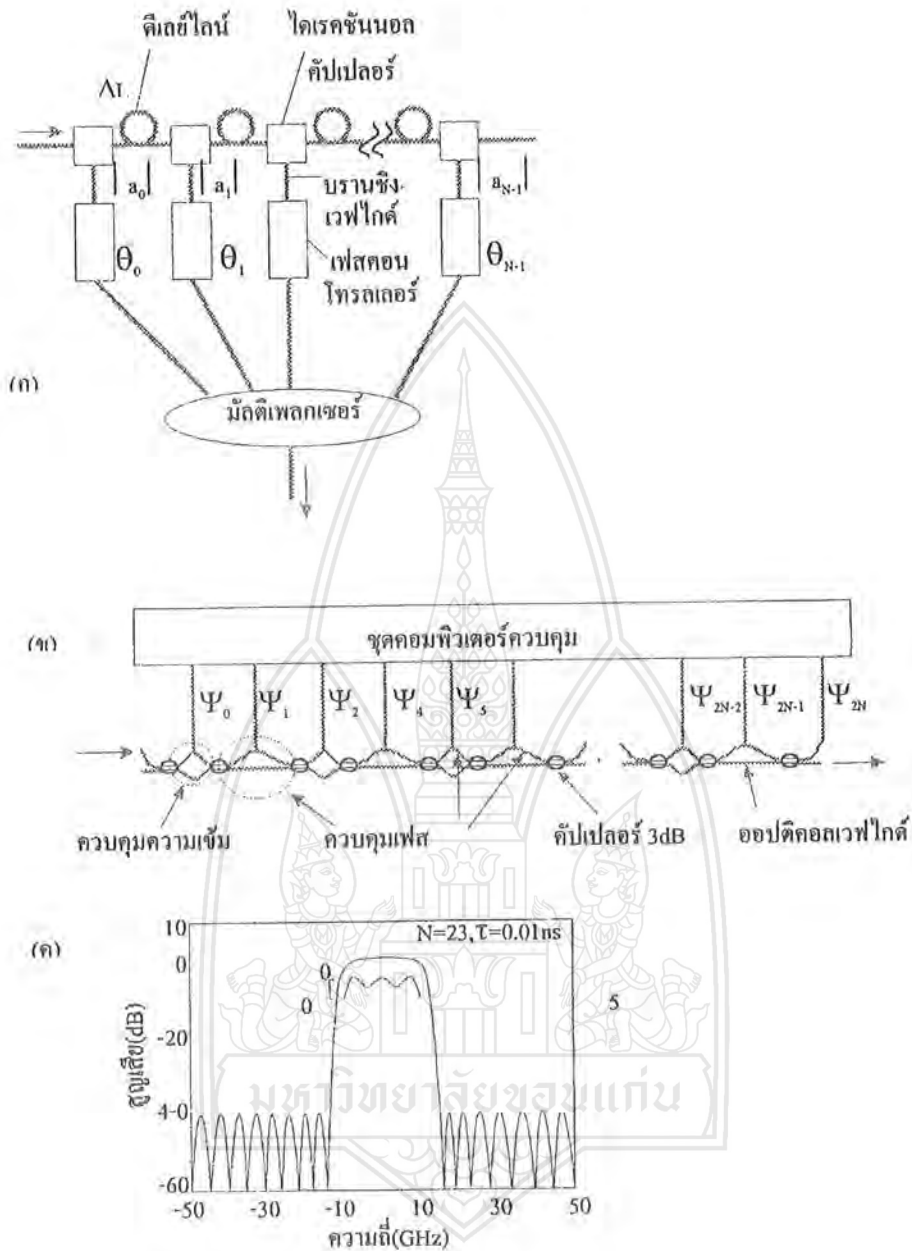
สมบัติอีกอย่างหนึ่งของอาร์เรย์เวฟไกด์เกรตติงที่เรียกว่า ฟิลเตอร์ย้อนกลับ (wrap-around filtering) ดังรูปที่ 6 (ก) เมื่อคลื่นแสงผสมที่ประกอบด้วย ความถี่ $f_1, f_2, f_3, \dots, f_8$ เข้าที่ อินพุตพอร์ต 8 ความถี่ f_1 จะออกมาที่เอาต์พุตพอร์ต 8 และถ้าคลื่นแสงผสมเข้าที่อินพุตพอร์ต 7, ความถี่ f_1 จะออกที่เอาต์พุตพอร์ต 7, ความถี่ f_8 จะออกที่เอาต์พุตพอร์ต 8 ลักษณะเช่นนี้เมื่อคลื่นอินพุตมีการเลื่อนตำแหน่ง เอาต์พุตก็จะเลื่อนตามด้วย ความละเอียดของฟิลเตอร์จะถูกกำหนดโดยจำนวนของอาร์เรย์เวฟไกด์และระยะทางที่แตกต่างของทางเดินของคลื่นแสง ΔL การกระจายแสงของอาร์เรย์เวฟไกด์เกรตติงกำหนดโดย

$$\frac{dx}{df} = \frac{Fm\lambda^2}{n_c d c} \quad (9)$$

เมื่อ $m = \frac{n_c \Delta L}{\lambda}$ คือลำดับการเลี้ยวเบนของเกรตติง

และ x คือ ตำแหน่งโฟกัส, f คือความถี่ของคลื่นแสง, F คือความยาวโฟกัสของคอนเคฟสแลบ λ คือ ความยาวคลื่นแสง, n_c คือค่าดัชนีหักเหของเวฟไกด์, d คือระยะห่างระหว่างอาร์เรย์ และ c คือ ความเร็วคลื่นแสงในสุญญากาศ

ตัวอย่างเช่น ความยาวโฟกัส $F = 5762 \mu\text{m}$, $d = 20 \mu\text{m}$, $\Delta L = 1656 \text{ mm}$ สำหรับเวฟไกด์ซิลิกอนมีค่า $dx/df = 25 \mu\text{m}/10 \text{ GHz}$ สำหรับลำดับการเลี้ยวเบนของเกรตติงที่ 1550



รูปที่ 7 ตัวอย่างออปติคอลฟิลเตอร์ที่โปรแกรมได้สองตัวอย่าง

(ก) ฟิลเตอร์ชนิดทรานสเวอร์ซอล

(ข) แลทิสฟิลเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยฟิลเตอร์ชนิดแมกเซนเตอร์มาต่อเรียงอนุกรมกัน

(ค) โดยการควบคุมอัตราการแยกของไดเรกชันนอลคัปเปิลอร์ และการหน่วงเฟสของแมกเซนเตอร์ฟิลเตอร์ เราก็จะสามารถควบคุมลักษณะการกรองของฟิลเตอร์ได้

2.4 ฟิลเตอร์ที่สามารถโปรแกรมได้ (Programmable Filters)

ถ้าเราสามารถควบคุมเฟสและแอมพลิจูดของคลื่นแสงได้แล้ว เราก็จะสามารถสร้างฟิลเตอร์ทางแสงที่โปรแกรมได้ ซึ่งจะคล้ายกับฟิลเตอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยชุดควบคุมเฟส ชุดควบคุมแอมพลิจูด ไดรেকชันนอลคัปเปิลอร์ที่ควบคุมอัตราการแยกกำลัง ส่วนหน่วงสัญญาณ (delay lines) เป็นต้น ดังรูปที่ 7 จะแสดงถึงตัวอย่างของ ทรานสเวอร์ซอล (ก) และแลตทิสฟิลเตอร์ (ข) (transversal filter and lattice filter) การทำงานของทรานสเวอร์ซอลฟิลเตอร์ จะเริ่มจากคลื่นแสงที่เข้ามาจะถูกแยกผ่านคัปเปิลอร์ด้วยอัตราส่วน a_i สัญญาณที่แยกออกมาจะถูกควบคุมให้มีเฟสต่างเป็น θ_i สัญญาณอีกส่วนหนึ่ง จะถูกหน่วงเวลาด้วย ΔL และนำมาผสมกัน ดังนั้นถ้าเราเปลี่ยนอัตราการแยกและเฟสได้ ก็จะสามารถเลือกความยาวคลื่นที่ต้องการได้

ส่วนแลตทิสฟิลเตอร์ จะประกอบด้วยแมกเซนเดอร์ฟิลเตอร์หลาย ๆ ชุดต่อกันแบบอนุกรม ถ้าสามารถควบคุมอัตราส่วนการแยกกำลังของไดเรกชันนอลคัปเปิลอร์ และการหน่วงเฟสของแมกเซนเดอร์ฟิลเตอร์ได้ เราก็จะสามารถเลือกคลื่นความถี่ที่ต้องการได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีทางด้านนี้ยังต้องการการพัฒนาด้านการควบคุมและลดการสูญเสียกำลังอีกมาก เพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ฟิลเตอร์ชนิดบัลค์ (Bulk Type Filters)

เป็นฟิลเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์แบบดั้งเดิม เช่น ฟิลเตอร์ชนิดแทรกสอดในฟิล์มบาง (dielectric thin film interference filter) เกรตติง (grating) และ ปริซึม (prism)

3.1 ฟิลเตอร์ชนิดแทรกสอดในฟิล์มบาง (Dielectric Thin Film Interference Filters)

ฟิลเตอร์ชนิดแทรกสอดในฟิล์มบางจะประกอบด้วยชั้นของฟิล์มบางไดอิเล็กตริกที่มีค่าดัชนีหักเหต่าง ๆ กัน เกิดการแทรกสอดของคลื่นที่ทะลุผ่านและคลื่นสะท้อนภายในชั้น ซึ่งความถี่ของคลื่นแสงที่เกิดการแทรกสอดจะขึ้นอยู่กับสมบัติของชั้นฟิล์มไดอิเล็กตริกแต่ละชั้น จากรูปที่ 8 แสดงโครงสร้างของฟิลเตอร์ชนิดแทรกสอดในฟิล์มบาง ในการวิเคราะห์แบบจำลองนี้เราจะใช้ทฤษฎีวงจรสี่ขั้ว (four-port electric circuit) ซึ่งสำหรับคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่น λ เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในฟิลเตอร์มีแมทริกซ์สำหรับฟิล์มบางชั้นที่ i กำหนดโดย

$$\begin{bmatrix} \cos \delta_i & i \frac{1}{\omega_i} \sin \delta_i \\ i \omega_i \sin \delta_i & \cos \delta_i \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\text{เมื่อ } \delta_i = \frac{2\pi}{\lambda} n_i d_i \cos \phi_i$$

และ $\omega_i = n_i \cos \phi_i$ สำหรับ p-polarized light wave และ $\omega_i = n_i / \cos \phi_i$ สำหรับ s-polarized light wave, n_i = ดัชนีหักเหของไดอิเล็กตริก ชั้นที่ i , d_i = ความหนาของไดอิเล็กตริก ชั้นที่ i , ϕ_i = มุมของแนวรังสีตกกระทบของไดอิเล็กตริก ชั้นที่ i ดังนั้นจะได้แมทริกซ์ ดังนี้

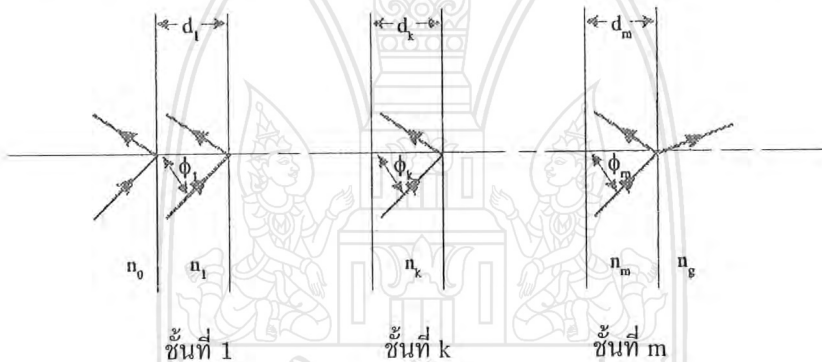
$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \prod_1^n \begin{bmatrix} \cos \delta_i & i \frac{1}{\omega} \sin \delta_i \\ i \omega \sin \delta_i & \cos \delta_i \end{bmatrix} \quad (11)$$

เมื่อฟิลเตอร์ชนิดแทรกสอดในฟิล์มบางวางอยู่ระหว่างตัวกลางที่มีดัชนีหักเหเป็น n_o และ n_g พลังงานมีสัมประสิทธิ์การสะท้อน R และสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน T ได้ดังนี้ คือ

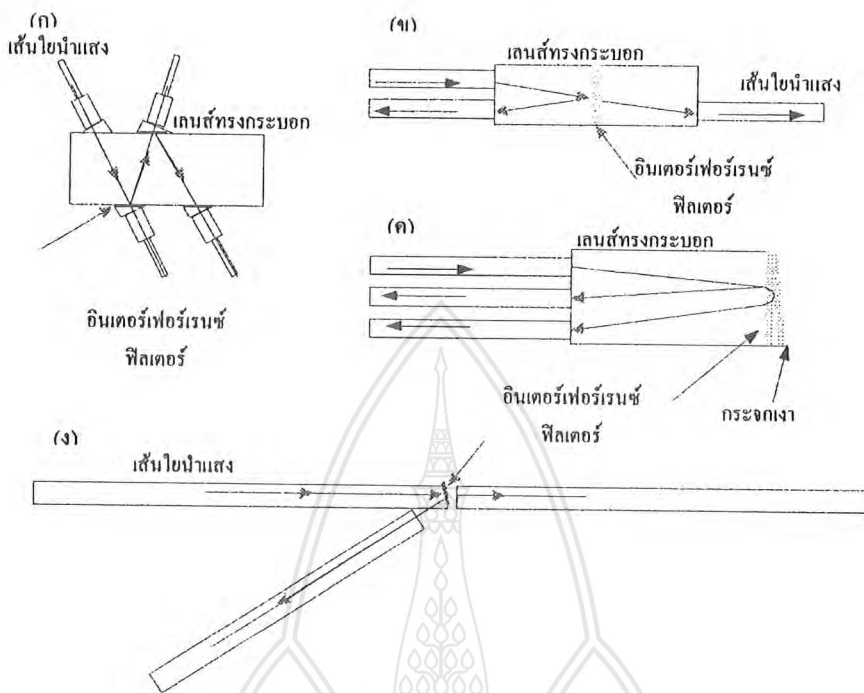
$$R = \left| \frac{n_o A + n_o n_g B - C - n_g D}{n_o A + n_o n_g B + C + n_g D} \right|^2 \quad (12)$$

$$T = \left| \frac{4n_o n_g}{n_o A + n_o n_g B + C + n_g D} \right|^2 \quad (12)$$

ค่าดัชนีหักเหของแต่ละชั้นควรมีค่าต่างกันมาก ๆ เพื่อจะได้ค่าคัทออฟ (Cut off) ที่แคบมาก เช่น TiO_2 ($n = 2.2$ to 2.4) และ SiO_2 ($n = 1.46$) จะนำมาใช้เป็นฟิล์มบางได้ดี และสามารถสร้างฟิลเตอร์ที่มีชั้นฟิล์มบางถึง 30 ชั้น ซึ่งมีช่วงคลื่นส่งผ่านแคบกว่า 1 THz ที่ความยาวคลื่นกลาง $1.55 \mu\text{m}$.



รูปที่ 8 โครงสร้างของฟิลเตอร์ชนิดแทรกสอดในฟิล์มบาง



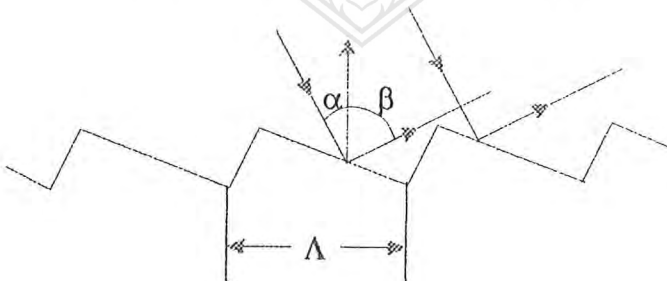
รูปที่ 9 แสดงโครงสร้างอุปกรณ์กรองสัญญาณที่ใช้ไดอิเล็กตริกอินเตอร์เฟอเรนซ์ฟิลเตอร์

3.2 ฟิลเตอร์ชนิดเกรตติง (Grating Filters)

มุมที่แสงกระจาย (diffracted) ออกจากเกรตติง เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 10 เป็นเกรตติงชนิดสะท้อนแสง ซึ่งผิวหน้าถูกเจาะเป็นร่อง เมื่อแสงสะท้อนออกจากแต่ละร่องมีระยะทางเดินของแสงต่างกัน $m\lambda$ เมื่อ m เป็นจำนวนนับ และ L เป็นความยาวคลื่นแสงแล้ว คลื่นแสงสะท้อนจะเกิดการแทรกสอดกันตามสมการ

$$\Lambda(\sin \alpha + \sin \beta) = m\lambda \quad (14)$$

เมื่อ Λ คือระยะห่างระหว่างช่องของเกรตติง, α คือมุมตกกระทบ, β คือมุมสะท้อน



รูปที่ 10 แสดงเกรตติงแบบสะท้อนแสง ซึ่งที่ผิวหน้าจะถูกเจาะเป็นร่องแคบๆ

ซึ่งการกระจายมุมกำหนดโดย

$$\frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{m}{\Lambda \cos\beta} \quad (15)$$

รูปที่ 11 แสดงลักษณะของมัลติเพลกเซอร์ชนิดบิลด์เกรตติง (bulk grating-type multiplexer) ลำแสงตกกระทบจะถูกบีบโดยเลนส์ และกระจายที่ผิวเกรตติง และลำแสงที่กระจายจะถูกบีบผ่านเลนส์อีกครั้ง ให้ไปออกที่เอาต์พุตใยแก้วนำแสงโดยความถี่หรือความยาวคลื่นแสงที่เอาต์พุตเส้นใยนำแสงจะเลือก โดยการวางตำแหน่งของเอาต์พุตเส้นใยนำแสงโดยสมการ

$$\text{Output fiber interval} = \Delta\lambda f \frac{d\beta}{d\lambda} \quad (16)$$

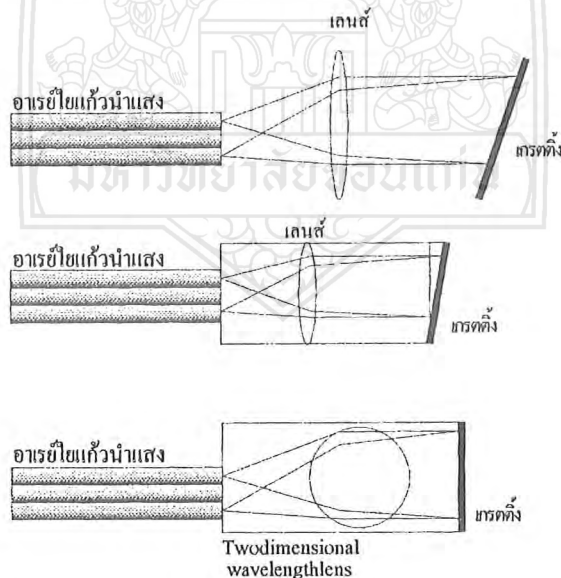
เมื่อ $\Delta\lambda$ คือ ระยะห่างของช่องความยาวคลื่น (wavelength channel spacing)

f คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์คอลลิเมตติง (collimating lens)

และ $\frac{d\beta}{d\lambda}$ ได้จากสมการ 15

4. ฟิลเตอร์ชนิดอื่น ๆ

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ฟิลเตอร์ชนิดอื่น ๆ ก็สามารถใช้ในระบบมัลติเพลกซ์ทางแสงได้เช่นกัน บางชนิดสามารถพัฒนาให้เป็นฟิลเตอร์ชนิดที่ปรับเลือกความถี่ได้ เช่น อะคูสโตออปติกส์จูนเนเบิลฟิลเตอร์ (Acousto-optics tunable filters) และไฟเบอร์ฟาบรีเพอโรต์จูนเนเบิลฟิลเตอร์ (fiber Fabry-Perot tunable filters) ก็มีการเลือกใช้ในการทดลองเกี่ยวกับการสื่อสาร



รูปที่ 11 แผนผังโครงสร้างของมัลติเพลกเซอร์แบบบิลด์เกรตติง

สรุป

การกรองสัญญาณด้วยวิธีการทางแสงนั้น เป็นวิธีที่ทำให้ได้ข้อมูลในการส่งข่าวสารมากกว่าวิธีอื่น ๆ ที่มีข้อจำกัดอยู่ในย่าน 10^6 บิตต่อวินาที ในขณะที่การส่งสัญญาณทางแสงนั้น มีข้อมูลอยู่ในย่าน 10^{12} บิตต่อวินาที และปัจจุบันการส่งข่าวสารจำเป็นต้องใช้ทางด่วนข้อมูลที่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบสื่อสารที่สามารถรองรับความจุของข้อมูลสูง ๆ ได้ การส่งข้อมูลทางแสงถึงจะสามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้ โดยการเลือกใช้อุปกรณ์จะต้องคำนึงถึงเรื่องขนาดของอุปกรณ์และความจุของสัญญาณเป็นสำคัญ ในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำมาใช้บ้างแล้ว เช่น การกรองสัญญาณโดยใช้เกรตติงและฟอโตรีเฟรคเตอร์ เป็นต้น ในส่วนของโปรแกรมเมเบิลฟิลเตอร์นั้นก็ยังมีนักศึกษาวิจัยกันอยู่มาก เพื่อที่จะทำให้การควบคุมใช้งานได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ปรีชา ยุพาพิน, เครือข่ายใยแก้วนำแสง, สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2541

ปรีชา ยุพาพิน, เทคโนโลยีคลื่นและแสง, ครุสภา, 2540

Kiyoshi Nosu, Optical FDM Network Technologies, Artech House Inc., London, 1997

มาตรการความปลอดภัยกับสิ่งมีชีวิตที่ดัดแปลงหรือปรับเปลี่ยนสารพันธุกรรม

สิรินดา ยุ่นฉลาด*

หากมีการย้อนไปสู่อดีตกาลก็จะพบว่า มนุษย์ได้รู้จักใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่ยีสต์และแบคทีเรียมาเป็นเวลานานแล้วตั้งแต่ก่อนที่ หลุยส์ ปาสเตอร์ จะค้นพบจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่จะมองเห็นได้โดยการอาศัยกำลังขยายของเลนส์จากกล้องจุลทรรศน์อีกด้วยเข้าไป โดยดูได้จากการบันทึกภาพรูปภาพของชาวอียิปต์โบราณในปิรามิดที่พวกเขาได้รู้จักการใช้ยีสต์ในการผลิตเบียร์ และในการทำขนมปัง หรือเมื่อกว่า 7,000 ปีมาแล้วชาวเมโสโปเตเมียก็ใช้แบคทีเรียเปลี่ยนไวน์ให้เป็นน้ำส้มสายชู เป็นต้น ดังนั้น เทคโนโลยีชีวภาพจึงไม่ใช่ของใหม่ เพียงแต่เมื่อไม่นานมานี้เองมีการค้นพบหลักการและองค์ความรู้ใหม่ๆ ทางด้านชีวเคมี และจุลชีววิทยาเฉพาะอย่างยิ่งทางพันธุศาสตร์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดเทคนิคทันสมัยที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในงานทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ เกิดการค้นพบเทคนิค วิธีการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ใหม่ๆ ที่บังเกิดประโยชน์อย่างมากมายจนทำให้ขอบเขตของเทคโนโลยีชีวภาพได้ขยายออกอย่างกว้างขวาง มีการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ที่ครอบคลุมกิจกรรมและภาคการผลิต อาทิ การเกษตรกรรม อุตสาหกรรมอาหาร การผลิตชีวภัณฑ์เภสัชภัณฑ์ สารเคมี ชีวเคมี การแพทย์และสาธารณสุข ตลอดจนแนวทางการแก้ไขและป้องกันมลภาวะ เป็นต้น

ปัจจุบันเทคโนโลยีชีวภาพเจริญรุดหน้าไปมาก อันเป็นผลมาจากการใช้พันธุวิศวกรรม (genetic engineering) ที่ทำให้สามารถ ตัดแต่ง ตัดต่อ หรือ ตกแต่งสารพันธุกรรมในสิ่งมีชีวิตได้นั่นเอง มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต ที่เรียกว่า genome research ทำให้สามารถวิเคราะห์ ส่วนประกอบและโครงสร้างของยีน (gene) ได้ลึกซึ้งขึ้น ยีน คือหน่วยพันธุกรรมที่บรรจุข้อมูลและรหัสพันธุกรรม (genetic code) ที่ควบคุมการแสดงออกของลักษณะต่างๆ ในสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ส่วนประกอบสำคัญของยีน ได้แก่ ดีเอ็นเอ (DNA) ที่ประกอบด้วยไนโตรจีนัสเบสรูปเหลี่ยม (nitrogenous base) ต่างๆ เรียงรายอยู่ตามลำดับที่ถูกกำหนดไว้ด้วยรหัสพันธุกรรมดังกล่าว ซึ่งนักวิจัยสามารถวิเคราะห์หาลำดับได้โดยวิธีทำ DNA Sequencing เพื่อศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างของสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ได้ นอกจากนั้นยังสามารถสังเคราะห์ ตกแต่ง และตัดต่อชิ้นส่วนของยีนที่ควบคุมลักษณะที่ต้องการได้ แล้วนำมาประกอบกันเป็นสารพันธุกรรมใหม่ด้วยเทคนิคการทำ DNA สายผสม (Recombinant DNA Technology, rDNA) และเทคนิคในการถ่ายทอดหรือถ่ายโอนสารพันธุกรรมในระหว่างสิ่งมีชีวิต (DNA Transfer Technology) ทำให้สามารถถ่ายฝากสารพันธุกรรมที่สร้างขึ้นใหม่ให้สิ่งมีชีวิตอื่นได้อย่างกว้างขวางทั้งในระหว่างชนิดสายพันธุ์เดียว

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กันและข้ามสายพันธุ์ได้ นั่นคือ ยีนจากจุลินทรีย์อาจได้รับการถ่ายฝากไปยังพืชหรือสัตว์ก็ได้ เพื่อปรับปรุงให้มีคุณลักษณะดีกว่าเดิม อย่างไรก็ตามการวิจัยและพัฒนาดังกล่าว แม้ว่าจะมีประโยชน์มากในการพัฒนาอุตสาหกรรมต่าง ๆ ก็ตาม หากการพัฒนาและการนำมาใช้ไม่ได้ใช้ความระมัดระวังเท่าที่ควร เทคโนโลยีที่มีประโยชน์ก็อาจเป็นโทษได้ และด้วยความที่เป็นสิ่งใหม่จึงทำให้มีความเป็นห่วงว่าอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งแวดล้อมโดยรวม ซึ่งรวมเรียกว่า “ความเป็นวิตกกังวลและห่วงเรื่องความปลอดภัยทางชีวภาพ (Biosafety Awareness)” ดังนั้น จึงควรมีมาตรการและแนวทางในทางปฏิบัติเพื่อก่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้บริโภคและอุปโภค ตลอดจนระบบนิเวศน์วิทยาสิ่งแวดล้อม

ในช่วงแรก ๆ เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมได้บังเกิดผลสำเร็จกับจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรีย จึงทำให้เกิดการตื่นตัว และเรียกจุลินทรีย์ที่ได้รับการตกแต่งหรือดัดแปลงสารพันธุกรรมนี้ว่า Genetically Engineered Microorganisms (GEMs) ต่อมาการตกแต่งหรือดัดแปลงสารพันธุกรรมก็ได้ทำสำเร็จในสิ่งมีชีวิตกลุ่มอื่น ๆ ได้ด้วย เช่น ในปี พ.ศ. 2524 นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยแห่งมลรัฐ Ohio สหรัฐอเมริกา สามารถถ่ายยีนจากสัตว์อื่นมาใส่ในหนูได้ จึงบังเกิดสัตว์ถ่ายยีน สัตว์ดัดต่อสารพันธุกรรมหรือสัตว์แปลงพันธุ์ (Transgenic animal) เป็นครั้งแรกหนึ่งปีต่อมา ได้มีการอนุญาตให้ใช้วัคซีนที่ผลิตจากเทคโนโลยีดีเอ็นเอสายผสมเป็นครั้งแรกในยุโรป ส่วนในสหรัฐอเมริกาก็อนุญาตให้ใช้อินซูลิน (Insulin) ซึ่งผลิตด้วย rDNA โดยบริษัท Eli-Lilly ไปรักษาผู้ป่วยโรคเบาหวานได้ และในปี พ.ศ. 2526 ได้มีการถ่ายยีนจากพืชชนิดหนึ่งไปให้พืชอีกชนิดหนึ่งได้เกิดเป็นพืชถ่ายยีน พืชดัดต่อสารพันธุกรรม หรือพืชแปลงพันธุ์ (Transgenic Plant) ต่อมาคำว่า “GEMs” จึงได้ถูกยกเลิกไป เนื่องจากเหตุผล 2

ประการ คือ ประการแรกชื่อย่อ GEMs ไปซ้ำซ้อนกับชื่อย่อขององค์การ Global Environment Monitory Services ขององค์การอนามัยโลก (WHO) ที่ได้ใช้ย่อและเรียกมาก่อน ประการที่ 2 คือ การตกแต่งหรือดัดแปลงสารพันธุกรรมในปัจจุบันได้ทำสำเร็จในสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ นอกเหนือไปจากจุลินทรีย์ด้วยดังกล่าว จึงได้เรียกรวม ๆ ว่าเป็น Genetically Modified Organisms (GMOs) หรือ Living Modified Organisms (LMOs) หรือสิ่งมีชีวิตแปลงพันธุ์ในปี พ.ศ. 2535

ตัวอย่างของ LMOs ที่นำมาใช้กันในการเกษตรกรรม อุตสาหกรรมอาหารและยา แล้วนั้น ได้แก่ การผลิตอินซูลิน (insulin) เพื่อใช้กับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ซึ่งแต่เดิมจะสกัดอินซูลินจากตับอ่อนของแกะและหมู แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเอายีนที่ควบคุมการสร้างอินซูลินใส่เข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรียและนำไปใช้ผลิตในระดับอุตสาหกรรมหรือในด้านการเกษตรกรรมได้มีการใช้ยีนที่กระตุ้นให้เกิด tumor ของพืช โดยยีนชุดนี้จะพบใน Ti plasmid ของ *Agrobacterium tumefaciens* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ปกติจะก่อให้เกิดโรค crown galls ในพืชใบเลี้ยงคู่ จากนั้นจึงใส่ยีนที่ต้องการให้ปรากฏลักษณะใหม่ในพืชต่อไป เช่น ยีนที่ผลิตสารฆ่าแมลงศัตรูพืช เป็นต้น เข้าไปแล้วนำไปถ่ายทอดให้พืชต่อไป หรือในการควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ที่มหาวิทยาลัยเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ได้มีการปรับปรุงพันธุ์ของแบคทีเรียโดยการตกแต่งสารพันธุกรรมให้สามารถย่อยสลายสารในกลุ่ม chlorinated aromatics ที่เป็นสารพิษเมื่อปลดปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม จากนั้นจึงปล่อยแบคทีเรียเหล่านั้นลงสู่แม่น้ำ ทะเล หรือดิน เพื่อทำลายสารพิษที่ปนเปื้อนดังกล่าว ยิ่งไปกว่านั้น นับแต่ปี พ.ศ. 2355 เป็นต้นมา จนถึงปัจจุบันมีการใช้ LMOs อย่างแพร่หลาย เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีการตกแต่งสารพันธุกรรมในพืชเป็นจำนวนมากแล้วปล่อยลงสู่ภาคสนาม

และผลิตพืชแปลงพันธุ้ในเชิงการค้าเป็นจำนวนมาก จีนเป็นประเทศแรกที่มีการปลูกพืชแปลงพันธุ้ ส่วนสหรัฐอเมริกาได้ให้การยอมรับอาหารที่เป็นพืชแปลงพันธุ้ คือมะเขือเทศสุกช้า Flavr-Savr เป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2537 และต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2539 ถึง 2541 มีการผลิตพืชแปลงพันธุ้เพิ่มขึ้นประมาณ 15 เท่า ในประมาณ 8 ประเทศ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา แคนาดา อาร์เจนตินา เม็กซิโก สเปน ฝรั่งเศส ออฟริกาใต้และออสเตรเลีย พื้นที่เพาะปลูกพืชแปลงพันธุ้มีประมาณ 11.0 ล้านเอเคอร์ ในช่วงปี พ.ศ. 2540 และมีประมาณ 27.8 ล้านเอเคอร์ ในปี พ.ศ. 2541 โดยที่นับสหรัฐอเมริกาได้ว่ามีพื้นที่ในการเพาะปลูก 20.5 ล้านเอเคอร์ รองลงมาคืออาร์เจนตินา ประมาณ 4.3 ล้านเอเคอร์ พืชที่มีการได้รับการปรับเปลี่ยนสารพันธุกรรมที่ทำการมากที่สุด ได้แก่ ข้าวโพด รองลงมาคือ มะเขือเทศ ถั่วเหลือง ข้าวโพดฝ้าย Canola/rape seed และมันฝรั่ง ตามลำดับ โดยพืชเหล่านี้จะมีลักษณะพิเศษที่ต่าง ๆ เช่น ทนทานต่อวัชพืช (27.6 เปอร์เซ็นต์) ต้านทานแมลง (23.7 เปอร์เซ็นต์) ให้คุณภาพของผลผลิตดีขึ้น (26 เปอร์เซ็นต์) ต้านทานไวรัส (10.8 เปอร์เซ็นต์) และต้านทานเชื้อรา (3.5 เปอร์เซ็นต์) จากปริมาณการผลิตพืชแปลงพันธุ้ที่เพิ่มมากขึ้นแสดงได้ว่า ผู้เพาะปลูกมีความพอใจกับผลผลิตที่มีคุณภาพดีขึ้น สูงขึ้น สามารถแก้ไขปัญหเกี่ยวกับคุณลักษณะและคุณภาพของผลผลิตที่เกิดความสอดคล้องกับความต้องการของตลาด มีการใช้สารกำจัดแมลงและศัตรูพืชน้อยลง นอกจากนั้น จากรายงานของ Global Review of Commercialized Transgenic Crops ฉบับที่ 8 ปี พ.ศ. 2541 เกี่ยวกับมูลค่าการตลาดของพืชแปลงพันธุ้ว่านับวันจะเพิ่มขึ้น โดยจาก 75 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ. 2538 เพิ่มขึ้นเป็น 670 ล้าน ในปี พ.ศ. 2539 และคาดว่าจะประมาณ 3 ล้านล้านเหรียญหรือมากกว่าในปี พ.ศ. 2543

เทคโนโลยีพันธุวิศวกรรมหรือการตัดต่อ

ดัดแปลงยีนนั้น มีประโยชน์มากดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตาม อาจมีผลทางลบต่อสุขภาพมนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งแวดล้อมโดยรวมได้ ทั้งนี้เนื่องจากนักวิชาการสามารถแยกสกัดยีนที่ต้องการจากจุลินทรีย์ พืช สัตว์ หรือแม้แต่จากมนุษย์ และนำไปถ่ายฝากให้ตัวรับ (Host Organisms) ได้อย่างกว้างขวาง ยีนจากจุลินทรีย์อาจนำไปใส่ให้พืช สัตว์ และมนุษย์ได้ ยีนจากมนุษย์ก็อาจถ่ายไปยังพืชและสัตว์ได้เช่นเดียวกัน นอกจากนั้นกระบวนการนำยีนเป้าหมายที่ควบคุมลักษณะหนึ่ง ๆ ที่ต้องการ (Target Gene) เข้าไปถ่ายทอดยังจำเป็นต้องมียีนอื่น เช่น ยีนช่วยการแสดงออก (Promoter Gene) และยีนช่วยการเลือกคัดหรือเลือกเฟ้น (Selectable Marker Gene) ด้วย เป็นต้น ยีนเหล่านี้รวมทั้งยีนเป้าหมายได้มาจากแหล่งที่ต่างกัน ทั้งที่ไม่ปรากฏความเสี่ยงหรืออันตราย และทั้งที่อาจมีอันตราย หรือที่มีความเสี่ยงสูง ดังนั้น ในการดำเนินงานวิจัยและพัฒนาทุกระดับ ตั้งแต่ในห้องปฏิบัติการ จนถึงการผลิตทดสอบภาคสนาม จะต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิดทุกขั้นตอนก่อนใช้

ถ้าเราผลิตพืชต้านทานต่อแมลง ซึ่งเป็นพืชที่ได้รับการดัดแปลงสารพันธุกรรมนี้มียีนที่ควบคุมการสร้างสารพิษ ดังนั้น เมื่อแมลงมากินพืช แมลงก็จะตายโดยไม่มี ความจำเป็นต้องใชยาปราบศัตรูพืชใด ๆ เท่ากับเป็นการลดปัญหาสารเคมีที่มีพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อม แต่ในขณะเดียวกัน ถ้าผีเสื้อหรือผึ้งซึ่งเป็นแมลงเช่นเดียวกัน มาดูดน้ำหวานจากพืชที่เป็น LMOs นี้ ก็อาจมีผลกระทบกับผีเสื้อหรือผึ้งได้ หรือ แบคทีเรียที่เป็น GMOs เอง เมื่อถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมเช่นในดินจะสามารถถ่ายทอดยีน (gene transfer) ที่ได้รับการดัดแปลง โดยเฉพาะกลุ่มยีนที่ควบคุมลักษณะการต้านทานปฏิชีวนะไปสู่แบคทีเรียที่มีอยู่เดิมในดิน อาจโดยวิธี conjugation หรือชิ้นส่วนของ DNA อาจถูกถ่ายทอดโดยไวรัสด้วยวิธี transduction หรือด้วยวิธี transformation ซึ่งก็ยังไม่มีความชัดเจนว่าจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากน้อยหรือ

ไม่อย่างไร จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า GMOs/LMOs เป็นทางออกในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและกลายเป็นเหมือนเครื่องมือหรืออุปกรณ์ชิ้นสำคัญของเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อตอบสนองความจำเป็นในการเพิ่มและจัดหาแหล่งอาหาร ยารักษาโรค วิตามินจันทรโร การผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในทางอุตสาหกรรม ขณะเดียวกันผู้ผลิตควรคำนึงถึงผลในการใช้ LMOs ที่มีต่อผู้บริโภคอุปโภคโดยตรงหรือต่อสิ่งแวดล้อมหรือระบบนิเวศน์วิทยาของโลก เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ จึงควรมีการตรวจสอบ ทดสอบและประเมินความเสี่ยงเป็น เรื่องก่อนนำมาใช้ จากคำถามและการคาดคะเนความเป็นไปได้ในทางวิชาการต่างๆ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตแปลงพันธุ์เหล่านี้ต่างจากพันธุ์ธรรมชาติหรือธรรมชาติตรงที่ได้รับยีนใหม่ (Novel genes) เข้าไป

จึงเกิดมีคำถามต่างๆ อันสืบเนื่องมาจากความวิตกกังวลในด้านความปลอดภัย อาทิ

1. เสถียรภาพของสารพันธุกรรมที่ได้ประกอบขึ้นใหม่ (rDNA) จะอยู่คงทนในพันธุ์นั้นชนิดนั้นนานแค่ไหน ที่ช่วยอายุ หรือจะหายไปในช่วงชั่วเวลา

2. ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากส่วนประกอบของสารพันธุกรรมที่ตัดต่อ ตกแต่ง และดัดแปลงที่นำมาใช้ในการถ่ายทอดและถ่ายทอดระหว่างสิ่งมีชีวิต เช่น ยีนช่วยแสดง เพื่อช่วยในการแสดงออกของยีน นอกจากนั้นยังต้องมียีนช่วยการเลือกคัดอีกด้วย ยีนพวกนี้อาจเป็นยีนต้านทานยาปฏิชีวนะ หรือยีนต้านทานสารกำจัดวัชพืชที่มาจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น เช่น มาจากแบคทีเรีย ยีนเหล่านี้ต้องสร้างเป็นส่วนประกอบของดีเอ็นเอสายเดียวกันแล้วจึงถ่ายทอดให้พืชตัวรับ ปัญหาที่ตามมาคือ ยีนช่วยการเลือกคัดอาจมีพิษภัยต่อสิ่งมีชีวิตที่ได้รับเข้าไปก็เป็นได้เพราะเป็นยีนใหม่ที่มาจากสิ่งมีชีวิตอื่น

ในการปล่อย LMOs เข้าสู่ระบบนิเวศน์วิทยาสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นในด้านการทดลองการ

ติดตามผลในการวิจัย หรือในด้านการค้า จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อธรรมชาติอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ปัจจัยที่จำเป็นจะต้องนำมาใช้ในการพิจารณาเบื้องต้นก่อนการปล่อยเข้าสู่ระบบที่ใหญ่กว่าและเป็นระบบเปิด มากกว่าระบบปิดในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ความจำเพาะเจาะจงต่อสิ่งมีชีวิตกลุ่มอื่นๆ ที่เป็นเป้าหมายว่า LMOs จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตใด ๆ บ้างและอย่างไร สามารถคาดการณ์ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ การสืบพันธุ์และการแพร่กระจายของ LMOs ว่าเกิดขึ้นได้มากน้อยเพียงใด และโดยวิธีใดในสิ่งแวดล้อม การคำนึงถึงระดับและขนาดของการปล่อย LMOs ที่เหมาะสมลงสู่สิ่งแวดล้อม และความสามารถในการกลับคืนหรือความเสถียรของยีนใน LMOs ว่าจะคงอยู่ได้นานเพียงใด ในธรรมชาติหลังจากปลดปล่อยแล้ว ดังนั้นในการประยุกต์ใช้ LMOs จึงควรมีการควบคุมกิจกรรมหรือพฤติกรรมของ GMOs/LMOs การควบคุมการตรวจวัดต่างๆ การตรวจสอบความเป็นพิษภายในห้องปฏิบัติการและการทดสอบในภาคสนาม รวมไปถึงการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก GMOs/LMOs ก่อนออกจำหน่ายสู่ท้องตลาด ทั้งนี้เพราะ LMOs หรือสารพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับ LMOs อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไม่เพียงแต่กับสิ่งแวดล้อมและอาจมีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมกับสิ่งมีชีวิตอื่นด้วย ดังนั้น การออกแบบหรือการทบทวนที่มาและผลกระทบต่อ LMOs จึงต้องมีการดำเนินการอย่างรัดกุม เพื่อตรวจสอบว่า LMOs นั้น ๆ ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงในเชิงลบเมื่อปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

จากพัฒนาการเกี่ยวกับการวางมาตรการเพื่อตรวจสอบความปลอดภัยกับการใช้ GMOs/LMOs ต่างๆ ในปี พ.ศ. 2529 จึงได้มีการเปิดเผยการทดสอบเชื้อโรคกลัวน้ำ (rabies) ที่ได้มาจากการดัดแปลงทางพันธุวิศวกรรมที่ไม่ถูกต้องตามกฎหมายในประเทศอาร์เจนตินาโดยสถาบัน Wistar Institute แห่งเมือง Pennsylvania สหรัฐอเมริกา

และเมื่อปี พ.ศ. 2530 สำนักงานสิทธิบัตรและทะเบียนการค้าของสหรัฐอเมริกา ได้อนุญาตให้มีการจดทะเบียนสิทธิบัตรสัตว์ที่มีการดัดแปลงโดยเทคนิคทางพันธุวิศวกรรมได้ พร้อมไปกับได้มีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมของสิ่งมีชีวิตที่มีการดัดแปลงทางพันธุกรรมโดยเทคนิคทางพันธุวิศวกรรมโดยบริษัทเทคโนโลยีชีวภาพแห่งหนึ่งในแคลิฟอร์เนียอย่างถูกต้องตามกฎหมาย

แนวทางการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพ

ในระดับนานาชาติหลายประเทศ ทั้งที่พัฒนาแล้ว และที่กำลังพัฒนา ได้จัดทำกฎระเบียบและแนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพสำหรับงานวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวกับพันธุวิศวกรรม หรือ rDNA กฎระเบียบและแนวปฏิบัติของแต่ละประเทศอาจแตกต่างกันบ้างแต่เนื้อหาสาระจะคล้ายคลึงกัน ส่วนใหญ่แล้วมักนำเอากฎระเบียบและแนวปฏิบัติที่ใช้กันอยู่ในประเทศที่พัฒนาแล้วมาดัดแปลงให้เหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจและสังคมของประเทศนั้นๆ ในระดับนานาชาติมีหลายหน่วยงาน เช่น Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) และ United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) ได้จัดทำกฎระเบียบและแนวปฏิบัติขึ้น เพื่อเป็นการช่วยเหลือชาติต่างๆ ที่ยังไม่พร้อมที่จะดำเนินการเองได้ เช่น การวางหลักเกณฑ์การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (laboratory tests) การประเมินความเสี่ยง (risk assessment) การทดสอบภาคสนาม (field trials) ทั้งในระบบปิดคือจำกัดพื้นที่และระบบเปิด (open field)

ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือ แต่ละประเทศต่างก็มีเกณฑ์ (guidelines) และการควบคุม (regulations) ที่แตกต่างกันไป ตั้งแต่ไม่มีกฎเกณฑ์หรือการควบคุมแต่อย่างใดทั้งสิ้นจนถึงขั้นที่การรัดกุมและควบคุม

อย่างเข้มงวด อย่างเช่นในสหรัฐอเมริกาโดย U.S. National Institute of Health (NIH) และในสหราชอาณาจักรโดย UK Genetic Manipulation Advisory Group ทางด้านความปลอดภัยต่อสาธารณชน ทุกประเทศควรที่จะมีกฎเกณฑ์และข้อบังคับในรูปแบบหนึ่งเพื่อการควบคุมการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการดำเนินงานทางด้านพันธุวิศวกรรม ทั้งนี้ กฎเกณฑ์และข้อบังคับเหล่านั้นต้องควบคุมตั้งแต่ความปลอดภัยของการทำงานการผลิต ตลอดไปจนถึงการนำมาใช้ต่อสาธารณชน และในสภาพแวดล้อมภายนอกห้องปฏิบัติการ เรือนทดลองของพืช หรือ คอกทดลองของสัตว์ด้วย ในระดับนานาชาติประเทศนั้นมีหลักเกณฑ์ใหญ่ๆ ของ OECD ที่เรียกว่า Recombinant DNA Safety Considerations ในปี พ.ศ. 2529 ซึ่งได้ระบุปัจจัยต่างๆ ที่จะต้องนำมาพิจารณาอย่างถี่ถ้วนในขอบข่ายการวิเคราะห์ 4 ขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย

1. การนำไปใช้ในสภาพแวดล้อม
2. การอยู่รอดการเพิ่มปริมาณและ/หรือการแพร่ขยายในสภาพแวดล้อม
3. ปฏิกริยาร่วมกับระบบชีววิทยาและระบบนิเวศน์
4. ผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

U.S. National Institute of Health (NIH) ได้จัดทำ Guidelines for Research Involving Recombinant DNA Molecules (OTA, 1981) ซึ่งกฎเกณฑ์นี้ถือว่าเป็นกฎเกณฑ์นานาชาติซึ่งอาจถูกนำไปใช้ในหลายประเทศ หรือมิได้ถูกนำไปใช้ในหลายประเทศที่มีการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับ rDNA แต่อย่างใด แต่ที่ปรากฏโดยทั่วๆ ไปคือ การนำกฎเกณฑ์ที่ได้จัดทำขึ้นโดยประเทศอุตสาหกรรมที่พัฒนาแล้ว นำไปดัดแปลงปรับปรุงและแก้ไขให้เหมาะสมกับสถานการณ์ในประเทศของตน ทางด้านการปลดปล่อย หรือการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมของ LMOs ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นก็ยังไม่เป็นที่กระจ่าง

ชัดมากนัก หรืออาจจะไม่มีเลยก็ได้ แต่จากการคาดการณ์โดยการวิเคราะห์ทางด้านนิเวศวิทยา ปรากฏว่า จะมีความเป็นไปได้ที่ยีนที่ได้ปลดปล่อยไปนั้น อาจจะถ่ายทอดไปสู่สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ได้ ในสหรัฐอเมริกาจะมีการตรวจสอบการปลดปล่อยพืชที่มีการดัดแปลงทางพันธุวิศวกรรมสำหรับโครงการต่างๆ ภายใต้การสนับสนุนของ NIH คณะกรรมการ Recombinant DNA Advisory Committee (RAC) ได้ให้คำแนะนำออกระเบียบ NIH Guidelines for Research Involving Recombinant DNA Molecules เพื่อให้นำไปใช้ปฏิบัติและการดำเนินการใด ๆ ก็ตาม จะต้องได้รับการเห็นชอบและอนุญาตโดย RAC ก่อน ส่วนการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมพันธุ์พืชหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในเกษตรกรรม กระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Agriculture, USDA) จะมีคณะกรรมการ Agricultural Biotechnology Recombinant DNA Advisory Committee (ABRAC) คอยทำการควบคุมรวมไปถึงการนำเข้าวัสดุจากการดำเนินงานด้วยเทคนิคทางพันธุวิศวกรรมว่าจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุมของหน่วยกักกันพืชและสัตว์หรือ Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS) ด้วยเช่นเดียวกับวัสดุพืช หรือสัตว์อื่นๆ จากกฎเกณฑ์ระเบียบข้อบังคับต่างๆ เหล่านี้ ได้มีการปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ทางพันธุวิศวกรรมหลายชนิดในสหรัฐอเมริกาโดยบริษัทต่างๆ ซึ่งการปลดปล่อยเหล่านี้ได้ทำขึ้นในวงแคบในพื้นที่ทดลองเท่านั้น แต่การที่จะนำไปทดสอบขนาดใหญ่จะต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมก่อนที่จะดำเนินการได้ แต่กฎเกณฑ์เหล่านี้ก็ยังไม่เข้มงวดเท่ากับกฎเกณฑ์ข้อบังคับในการทดสอบสารจุลินทรีย์กำจัดศัตรูพืช (microbial pesticides) บริษัท Ecogen Inc. มีการทดสอบภาคสนามขนาดใหญ่ของสารฆ่าแมลงชีวภาพสองหน้าที่ (bifunctional bioinsecticide) กับมันฝรั่ง โดยได้รับ Environmental Use Permit จาก EPA ผลผลิตนี้ประกอบด้วยสายพันธุ์ของ

Bacillus thuringiensis ซึ่งมีชื่อทางการค้า คือ “ฟอยล์” (Folios) ซึ่งสามารถทำลายด้วงมันฝรั่งทั้งในระยะตัวหนอนและระยะตัวเต็มวัยพร้อมกันไป ซึ่งโดยทั่วไป *B. thuringiensis* จะมีผลต่อตัวอ่อนเท่านั้น การทดสอบขนาดใหญ่นี้ได้ทดสอบกับด้วงมันฝรั่ง หนอนผีเสื้อเจาะลำต้นข้าวโพด และหนอนคืบกะหล่ำปลี

ในประเทศออสเตรเลีย คณะกรรมการ Recombinant DNA Monitoring Committee (RDMC) ได้ออกกฎเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น Guidelines for large scale work with recombinant DNA (RDMC, 1984), Guidelines for small scale work with recombinant DNA (RDMC, 1985) และ Procedures for assessment of the planned release of recombinant DNA organisms รวมไปถึงการมีคณะกรรมการ Recombinant DNA Monitoring Committee เพื่อทำการตรวจสอบและติดตามผลด้วย (RDMC, 1987)

ทางด้านทวีปยุโรป EC (European Community) ได้จัดทำข้อเสนอกฎเกณฑ์ที่จะแยกการปลดปล่อยเพื่อการทดลองออกจากการปลดปล่อยทางการค้า โดยในการปลดปล่อยเพื่อการทดลองจะต้องพิจารณาเป็นกรณีไป ส่วนการปลดปล่อยทางการค้าจะต้องได้รับความเห็นชอบจากทุกประเทศสมาชิกก่อน เพื่อความเห็นชอบในการจำหน่ายในประเทศใดก็ได้ภายใต้ EC ในประเทศฝรั่งเศส กระทรวงเกษตรจะเป็นผู้พิจารณาการปลดปล่อยเป็นกรณีไป

สำหรับ ญี่ปุ่น อินเดีย และฟิลิปปินส์ ก็มีแนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพ โดยได้รับการเสนอให้เป็นโครงการเครือข่ายของ UNIDO ในด้านสารสนเทศความปลอดภัยทางชีวภาพและการให้คำปรึกษา เรียกว่า Biosafety Information Network and Advisory Services-BINAS) โดยมีศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

เป็นสำนักประสานงาน และในขณะนี้ UNEP ได้ยก
ร่างพิธีการเกี่ยวกับความปลอดภัยทางชีวภาพ
(Biosafety Protocol) ขึ้นด้วย

สำหรับประเทศไทยได้เริ่มดำเนินการตั้งแต่
ปี 2533 โดยศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยี
ชีวภาพแห่งชาติ (ศช.) ได้แต่งตั้งคณะกรรมการ
กำหนดมาตรการความปลอดภัยในการทำงานด้าน
พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีทางชีวภาพขึ้นเสร็จ
สมบูรณ์ในเดือนมิถุนายน 2535 และได้จัดพิมพ์
แนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยขึ้น 2 เล่ม เล่ม
หนึ่งเป็นแนวปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ และอีกเล่ม
หนึ่งสำหรับภาคสนามเพื่อให้การดำเนินงานควบคุม
ดูแลงานวิจัยและพัฒนาทางด้านนี้เป็นไปอย่างมี
ประสิทธิภาพ ศช. โดยคณะกรรมการพัฒนาวิทยา-
ศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้แต่งตั้งคณะ
กรรมการกลางด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ
(National Biosecurity Committee - NBC) ขึ้นใน
เดือนมกราคม 2536 จากนั้นหน่วยงานวิจัยและ
พัฒนาของราชการและมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ได้ทยอย
ตั้งคณะกรรมการสถาบัน (Institutional Biosafety
Committee - IBC) ของตนเองขึ้น อาทิ คณะ
กรรมการด้านความปลอดภัยทางชีวภาพของมหา-
วิทยาลัยขอนแก่น ที่แต่งตั้งขึ้นใน ปี พ.ศ. 2540

การทดสอบภาคสนามในประเทศไทย

ในระยะที่ผ่านมา มีการทดสอบภาคสนาม
พืชแปลงพันธุ้หลายรายการในประเทศไทย ซึ่งนับ
เป็นประเทศแรกในเอเชียตะวันออกเฉียงเหนือใต้ที่
อนุญาตให้มีการทดสอบภาคสนามได้ พืชที่ได้รับ
การทดสอบ ได้แก่ มะเขือเทศสุกงอมช้า (Flavr
Savr Tomato) ของบริษัท Calgene จากประเทศ
สหรัฐอเมริกา การทดสอบภาคสนามได้รับอนุญาต
ให้ดำเนินการโดยบริษัท Thai Pan โดยใช้พื้นที่
ในจังหวัดพิษณุโลก เพราะคณะกรรมการกลางฯ
(NBC) เห็นว่าเป็นการตัดแต่งยีนไม่มียีนที่อาจเป็น

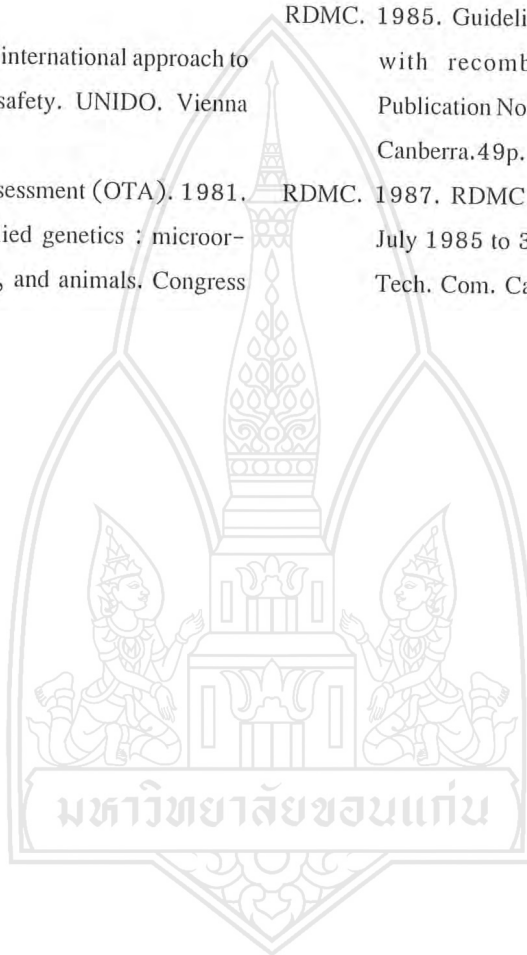
อันตรายเกี่ยวข้อง นอกจากนั้น มะเขือเทศพันธุ์ดัง
กล่าวยังได้ผ่านการทดสอบมาหลายประเทศและได้
รับอนุญาตให้จำหน่ายสำหรับบริโภคในสหรัฐฯ ได้
แล้ว อย่างไรก็ตาม ในการทดสอบ คณะกรรมการ
กลางฯ ได้ขอให้ปลูกในเรือนตาข่ายเพื่อป้องกันการ
ผสมข้ามโดยแมลง เพราะเป็นการดำเนินการครั้ง
แรกในประเทศไทยการดำเนินการทดสอบภาคสนาม
นอกจากจะทดสอบการปรับตัวของยีนแล้ว ยังเป็น
การทดลองผลิตลูกผสมอีกด้วย ซึ่งทั้งสองกรณีได้
ผลเป็นที่น่าพอใจและได้สิ้นสุดลงด้วยดี บริษัท
มอนซานโตได้รับอนุญาตให้ทดสอบภาคสนาม ฝ้าย
บี ที ที่ต้านทานแมลงกลุ่มหนึ่ง 2 ครั้ง และพบว่า
มีความปลอดภัยเพียงพอ ขณะนี้กำลังดำเนินการ
ขออนุญาตผลิตเป็นการค้าอยู่เนื่องจากมีกฎกระทรวง
ห้ามนำเข้าพืชที่ได้รับการแปลงพันธุ์เข้าประเทศเป็น
การค้านตาม พ.ร.บ. กักกันพืช และขณะนี้ข้าวโพด
บี ที ของบริษัท Novatis ได้รับอนุญาตให้ทดสอบ
ภาคสนามอยู่ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ประเทศไทยก็ได้
ตระหนักถึงความปลอดภัยของการใช้ LMOs และ
โดยคณะผู้ทำงานในระดับประเทศ ได้แก่ คณะ
กรรมการกลางฯ ดังกล่าวก็ได้กำหนดมาตรการ มี
แนวทางและมีระบบควบคุมให้นักวิจัยไทยที่ดำเนิน
งานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างและการใช้ประโยชน์จาก
LMOs เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ ผู้บริโภค ต่อ
สภาพแวดล้อมและระบบนิเวศน์วิทยาของความ
หลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) ด้วย

เอกสารอ้างอิง

บรรพต ณ ป้อมเพชร 2536 การจัดทำหลักเกณฑ์
สำหรับการทดสอบภาคสนามและการ
ปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมของชีวพันธุกรรมที่มีการ
ดัดแปลงทางพันธุกรรม วารสารวิทยา-
ศาสตร์ มก. 11(1): 37-44

หนึ่ง เตียอำรุง และนันทกร บุญเกิด 2540 สิ่งมีชีวิต
ที่ได้รับการดัดแต่งสารพันธุกรรมและความ

- ปลอดภัยทางชีวภาพ วารสารเทคโนโลยี
สุนารี 4:131-142
- สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์ 2541 ความปลอดภัยทางชีวภาพกับชีวจริยธรรม เอกสารประกอบการประชุมประจำปีของศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ 25 พฤศจิกายน 2541
- Karney, G.M. 1986. An international approach to biotechnology safety. UNIDO. Vienna 178 p.
- Office of Technology Assessment (OTA). 1981. Impacts of applied genetics : microorganisms, plants, and animals. Congress of the United States. Office of Technology Assessment. Washington D.C. 331 p.
- RDMC .1984. Guidelines for large scale work with recombinant DNA. RDMC Publication No. 4 Dept. Science and Technology, Belconnen, 46p.
- RDMC. 1985. Guidelines for small scale work with recombinant DNA. RDMC. Publication No. 5 Dept. Ind. Tech.Com., Canberra.49p.
- RDMC. 1987. RDMC Report for the period 1 July 1985 to 30 June 1986. Dept. Ind. Tech. Com. Canberra. 24 p.



Roles of Antigen–Presenting Cells in the Immune Responses against Exogenous Immunogens

*Jagkrit Parakarn**

Introduction

From the continual battle with microorganisms, vertebrates have evolved an elaborate set of protective measures collectively called an immune system (Darnell, et al., 1990). The word “immune” comes from a Latin word meaning “exempt” and implies the freedom from infection by an infecting agent. In order to free from infection, the immune system works in three fundamentally different ways:

Antibody-mediated immune response (humoral immunity)

Antibody-mediated immune response involves the production of antibodies by B cells (Alberts, et al., 1994), which are immunoglobulin protein molecules synthesized on exposure to antigen^a foreign substance that can induce an immune response (Tizard, 1995). The antibodies circulate in the blood stream and permeate the

other body fluids, where they bind specifically to the foreign antigen that induces them (Alberts, et al., 1994). Binding by antibody inactivates viruses and bacterial toxins (such as tetanus or botulinum toxin) by blocking their ability to bind to receptors on host cells. Antibody binding also marks invading microorganisms for destruction, either by making it easier for phagocytic cells (e.g., macrophages, neutrophils, and eosinophils) to ingest them or by activating a system of blood proteins, collectively called complements (e.g., C1, C3, C9, etc.), that kills the invaders by cell lysis and opsonization. The humoral (fluid-phase) branch of immune response consists of soluble antibodies and other proteins that are primarily responsible for protection against extracellular bacteria, toxins, and extracellular phase of virus transmission (Stansfield, et al., 1996).

* *Biology Department, Faculty of Science, Mahasarakham University KhamRiang Campus, Mahasarakham 44150 E-mail: jagkrit.p@msu.ac.th*

Cell-mediated immune response (cellular immunity)

Cell-mediated immune response involves the production of specialized cells (e.g., T cells) that react with foreign antigens on the surface of other host cells (Alberts, et al., 1994). The reacting cells (e.g., cytotoxic T cells), for example, can kill a virus-infected host cell that has viral antigens on its surface, thereby eliminating the infected cell before the virus has replicated. In other case, the reacting cells (e.g., helper T cells) secrete chemical signals (e.g., interleukin-2, interferon-?) that activate macrophages to destroy the invading microorganisms. Cellular immunity is largely responsible for attacking foreign tissues (grafts) and parasitic organisms (e.g., fungi, protozoans), bacteria-infected and virus-infected cells, and abnormal or cancerous cells (Stansfield, et al., 1996).

Secretion of proteins called cytokines and lymphokines

Secretion of cytokines and lymphokines releases many proteins that help trigger the immune response (Darnell, et al., 1990). They stimulate humoral immunity and cellular immunity as well as the production of phagocytes (e.g., macrophages), which are cells that carry out killing reactions of both pathogens and the cell debris of dead cells. The generic term for regulatory proteins secreted by cells is **cytokine**, and the cytokines secreted by **lymphocytes** (e.g., B cells and T cells) are called lymphokines (Tizard, 1995). At least 90 lymphokine-mediated activities have been recognized.

The main classes of cytokines include interleukins, interferons, tumor necrosis factors, growth factors, and chemokines (Tizard, 1995). The **interleukins** are cytokines that regulate the interactions between lymphocytes and other leukocytes (or white blood cells). The **interferons** are glycoproteins synthesized in response to virus infection, to immune stimulation, or to a variety of chemical stimulators. The interferons inhibit virus replication by interfering with viral RNA and protein synthesis. The **tumor necrosis factors** are two related cytokines, one derived from macrophage and another derived from T cells; both have the ability to kill tumor cells. Many cytokines act as **growth factors** that stimulate many cell populations to grow. The **chemokines** are a family of small proteins that play an important role in inflammatory reactions.

Lymphocytes

Lymphocyte is a small mononuclear cell with a round nucleus containing densely packed chromatin (Tizard, 1995). Most lymphocytes have thin rims of cytoplasm. Lymphocytes (e.g., B lymphocytes, T lymphocytes, natural killer cells) can specifically recognize and response to foreign antigens (Abbas, et al., 1997). However, both recognition and activation phases of specific immune responses depend on non-lymphoid cells, called **accessory cells** (e.g., mononuclear phagocytes, dendritic cells, and several other cells). In general, there are three subsets of lymphocytes : T lymphocytes (T cells), B lymphocytes (B cells), and natural killer cells (NK cells) (Creager, et al., 1990).

T lymphocytes

Lymphocytes that develop within the thymus are known as T cells (Tizard, 1995). These T cells account for about 70% of the lymphocytes in blood (Tizard, 1995). Table 1 shows some of the properties of T cells. There are probably three subclasses of T cells:

Helper T cells

Helper T cells are subclass T cells which can help generate cytotoxic T cells and cooperate with B cells in the production of antibody responses (Tizard, 1995). Various lymphokines (e.g., interleukin-2, interleukin-4, etc.) are made by helper T cells and are stimulatory to B cells, antigen-presenting cells, and to all classes of T cells (Stansfield, et al., 1996).

Cytotoxic T cells

Cytotoxic T cells or killer T cells can recognize foreign antigens on virus-infected host cells, cancer cells, and foreign grafted cells or tissues, and they can destroy them by producing and secreting protein called perforins that form membrane channels analogous to those made of complement proteins (Stansfield, et al., 1996).

Suppressor T cells

There is evidence that T cells can suppress immune responses through direct cytotoxicity of antigen-presenting cells, through suppressive cytokines, or through idiotypic network (Roitt, et al., 1996). Lymphokines produced by suppressor T cells can inhibit B cells, antigen-presenting cells, and T cells (Stansfield, et al., 1996).

Table 1 Characteristics of B lymphocytes, T lymphocytes, and Macrophages (Creager, et al., 1990)

Characteristics	B lymphocytes	T lymphocytes	Macrophages
Site of production	Bursal-equivalent tissues	Thymus or under thymic hormones	
Type of immunity	Humoral immunity	Cellular immunity	Humoral and cellular immunities
subpopulations	Plasma cells and memory cells	Cytotoxic, helper, suppressor, delayed hypersensitivity, and memory cells	Fixed and wandering
Presence of surface antibodies	Yes	No	No
Presence of foreign surface antigens	No	No	Yes
Presence of receptors for antigens	Yes	Yes	No
Life span	Short	Long and short	Long
Secretory product	Antibodies	Lymphokines	Interleukin-1
% distribution in peripheral blood	15-30%	55-75%	2-12%

B lymphocytes

Lymphocytes that originate in the bone marrow are known as **B cells** (Tizard, 1995). In birds, B cells differentiate in a uniquely avian organ, the bursa of Fabricius (Roitt, et al., 1996). Upon immunological stimulating by an antigen (foreign substance), B cells will proliferate and will develop into plasma B cells and memory B cells. The **plasma B cells** will produce an antibody (immunoglobulin specific for the antigen), whereas the **memory B cells** will remain available for the re-stimulation if the re-encountering with the same antigen may occur. The B cells account for about 20% of blood lymphocytes (Tizard, 1995). **Table 1** compares some properties of B cells with T cells.

Natural killer cells

A few lymphocytes that cannot be identified as either B cells or T cells are found in tissues and circulating in blood (Creager, et al., 1990). These undifferentiated cells are called null cells and include the so-called **natural killer (NK) cells**. NK cells are large lymphocytes with obvious granules in their cytoplasm (Tizard, 1995). They originate in the bone marrow, and their production is promoted by interleukin-2 (IL-2), interleukin-12 (IL12), and interferon- γ (IFN- γ). NK cells are closely related to T cells in that both develop from a common precursor. NK cells do not require prior sensitization or antigen presentation through MHC molecules to kill their targets. Nevertheless, they can bind to target cells and effectively cause their destruction. NK cells kill their target by both antibody-dependent process

(mediated through CD16) and antibody-independent process (mediated through perforins and cytotoxins). The major mechanisms of tumor-cell destruction involve NK cells, although cytotoxic T cells, activated macrophages, and antibodies also participate in killing tumor cells.

Lymphocyte surface molecules and receptors

On the cell surface of lymphocytes, there are many cell surface molecules. One kind of which are the **CD molecules**, which are classified according to internationally accepted CD (Cluster of Differentiation) system (Tizard, 1995). The CD molecules may be distinguishable with monoclonal antibodies and may be used to differentiate different cell populations (Roitt, et al., 1996). In addition to CD molecules, lymphocytes carry **major histocompatibility (MHC) molecules** and specialized receptors for foreign antigens (Tizard, 1995). For most of the B cells, they carry MHC class II molecules on their surface, and for most of the T cells they carry MHC class I molecules. For B cells, their **B-cell antigen receptors (BCRs)** are the antibodies (or immunoglobulin molecules) on their surface, and for **T-cell antigen receptors (TCRs)** they are the protein molecules CD4 and CD8. For helper T cells, the cells express the surface proteins CD4+CD8- phenotype, whereas the cytotoxic T cells express the CD4-CD8+ phenotype.

The major histocompatibility complex (MHC)

Antigen processing requires not only the fragmentation of antigen molecules inside cells,

but also the linkage of these fragments to appropriate antigen-presenting molecules called **major histocompatibility** or **MHC molecules** (Tizard, 1995). The MHC molecules are in fact specialized receptor glycoproteins inherited in a large gene complex called **major histocompatibility complex (MHC)**. The absolute need for antigens to be presented have to bind to MHC molecules is called **MHC restriction**. The major histocompatibility complex contains three classes of genes:

MHC class I

MHC Class I genes code for MHC molecules (**Figure 1**) found on the surface of most nucleated cells and on red cells in some species (Tizard, 1995). The MHC class I genes can be divided into two subclasses: **MHC class Ia** genes which are highly polymorphic, and **MHC class Ib** genes which have very little polymorphism. Polymorphism refers to inherited structural differences between proteins. The MHC class I genes are involved antigen presentation to cytotoxic T cells.

MHC class II

A second class, called **MHC class II** genes, codes for MHC molecules (**Figure 1**) found only on the surface of macrophages, dendritic cells, and B cells (Tizard, 1995). However, they are involved in antigen presentation to helper T cells, unlike the MHC class I molecules that help present antigen to cytotoxic T cells. The presentation of exogenous antigen is the prime function of MHC class II molecules. The helper T cells can recognize only the antigen bound to

MHC class II molecule and stimulate the immune response.

MHC class III

A third class, called MHC class III genes, encodes for a mixture of proteins with a wide variety of functions that are not directly linked to antigen presentation (Tizard, 1995). Some of these MHC class III genes code for **complement proteins**, which are serum proteins that are activated by factors such as the combination of antigen and antibody and results in a wide variety of biological consequences, including cell lysis and opsonization.

Antigens and antigenicity

An antigen is a foreign substance that can induce an immune response (Tizard, 1995). One of the most significant responses of the immune system to any foreign substance is to produce anti-antigen proteins or antibodies (Creager, et al., 1990). The ability of the antigen to elicit the immune response is called immunogenicity, and the ability of the antigen to be recognized by an antibody or lymphocyte is called antigenicity (Tizard, 1995). In an antigenic molecule, it is showed to have regions against which the immune responses are directed and with which antibodies will bind. These molecular sites or regions that stimulate immune response are termed epitopes, or antigenic determinants. In general, the number of epitopes on a molecule is directly related to the size of the antigen, and thus there is usually about one epitope for each 5 kDa of a protein.

By the way, the most effective foreign antigens (or highly antigenic) are large, rigid,

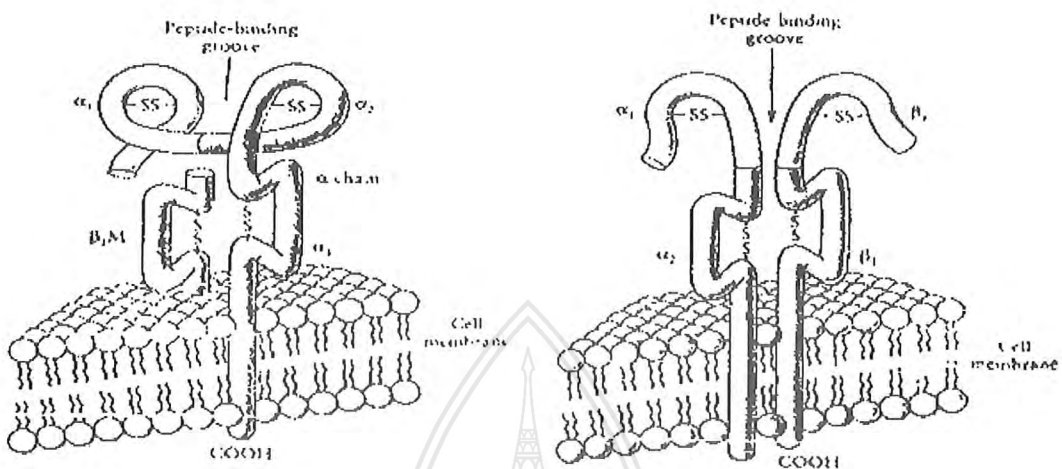


Figure 1. Structures of Major Histocompatibility Complex (MHC) molecules (Tizard, 1995)

(A.) MHC class I molecule: consisting of a single polypeptide called α chain noncovalently linked of a much smaller chain called β 2-microglobulin. (B.) MHC class II molecule: consisting of two polypeptide chains called α and β .

chemically complex molecules that can be degraded — stable configuration.

fairly readily to soluble fragments that the immune system can recognize (Tizard, 1995). Overall, there are four factors that influence the antigenicity:

(1) Molecular size: in general the larger molecule is the better antigen (Tizard, 1995). The size must be fairly greater than 1 kDa. Some small molecules can not initiate an immune response, but when bound to large protein they can stimulate the immune response. These small molecules are called haptens, and the large protein bound to the hapten is called carrier.

(2) Structural stability: the highly flexible molecules that have no specific shape are poor antigens, because the cell of the immune system can recognize only a specific shape (Tizard, 1995). For example, gelatin, flagellin, and starch are poor antigen, because they do not assume a

(3) Degradability: the cells of the immune system can recognize molecular fragments and soluble antigens (Tizard, 1995). If the molecule cannot be broken or fragmented, the molecule can not act as an antigen. For example, stainless steel pins and plastic joints are commonly implanted in the body without triggering an immune response, because they cannot be degraded. Thus, the more degradable is the more antigenic.

(4) Foreignness: the antigen-sensitive cells (e.g., T cells) are selected in such a way that they do not usually respond to normal body components; this is called **self-tolerance** (Tizard, 1995). The antigen-sensitive cells will however response mostly to the foreign molecules. The more foreignness is the more immune response or immunogenicity. If the self-tolerance is broken

down, that is the immune response is mounted against the normal body components or self-molecules, this will result in a process called **autoimmunity**.

For the foreign antigens that can trigger an immune response, there are two distinct types of the antigens: one called endogenous antigens and another called exogenous antigens (Tizard, 1995):

Endogenous antigens

Examples of endogenous antigens are the new proteins made in viral-infected cells when the host protein synthesis is taken over by virus (Tizard, 1995). These endogenous antigens are bound to MHC class I molecules and transported to the cell surface. These MHC-bound antigens can trigger an immune response of the lymphocytes called **cytotoxic T cells**, not helper T cells like exogenous antigens.

Exogenous antigens

Exogenous antigens are foreign antigens that originate from a source outside the body, for example, from invading organisms such as bacteria (Tizard, 1995). These exogenous antigens are bound to MHC class II molecules and transported to the cell surface. These MHC-bound antigens can trigger an immune response of the lymphocytes called **helper T cells**, not cytotoxic T cells like endogenous antigens.

Forms of antigens

The forms of antigens that can be recognized by T lymphocytes have the following

features (Abbas, et al., 1997):

(1) Most T cells can recognize only peptides, whereas B cells can specifically recognize peptides, proteins, nucleic acids, polysaccharides, lipids, and small chemicals. This is why T cells need cells called **antigen-presenting cells (APCs)** to help process the protein antigens into peptide fragments before presented to T cells.

(2) T cells recognizes only linear determinants of peptides defined predominantly by primary amino acid sequences. In contrast, B cells specific for protein antigens may recognize conformational determinants that exist when proteins are in their native tertiary (folded) configuration.

(3) T cells recognize and respond to foreign peptide antigens only when the antigen is attached to the surfaces of other cells such as APCs, whereas B cells and secreted antibodies can bind soluble antigens in the body fluids or cell surface antigens.

Antigen-presenting cells (APCs)

Antigens may be presented to lymphocytes by many cell types, but the three most antigen-presenting cells (APCs) are macrophages, dendritic cells, and B cells (**Table 2**), which are collectively called **professional antigen-presenting cells** (Tizard, 1995; Abbas, et al., 1997), because they can process the endocytosed antigens, express MHC class II molecules and present the antigen-MHC class II complexes to helper T cells. All the three APCs also secrete interleukin-1 (IL-1) and interleukin-12 (IL-12), though their relative amounts may vary. These APCs can then process the exogenous antigen and present it appropriately

to antigen-sensitive cells (e.g., helper T cells and cytotoxic T cells).

Macrophages

Macrophages are important antigen-presenting cells when the animal has not been previously encountered the antigen before (i.e., no antibody for that antigen) (Tizard, 1995). Thus these macrophages can phagocytose the organisms in the absence of antibody for opsonization. **Opsonization** is a process by which the opsonins (e.g., antibody, C3b) are deposited on the antigen so that the antigen coated with opsonins can be easily detected and uptaken by phagocytes through phagocytosis (Roitt, et al., 1996). Macrophages become less importance when there are preexisting antibodies, since the antibodies will increase the efficiency of antigen processing by dendritic cells and B cells (Tizard, 1995). Although all macrophages can phagocytose foreign particles, only those macrophages express MHC class II molecules can process this material in such a way that the immune response is activated. It is observed that if the macrophages are treated with antibodies against MHC class II molecules so that the MHC class II molecules disappear from the cell surface of the macrophages, the treated macrophages will lose their ability to initiate the immune response. As a result, the MHC class II molecules also play role in antigen presentation to antigen sensitive cells (e.g., helper T cells).

Dendritic cells

Antigen processing by macrophage alone is inefficient, an alternative pathway of antigen

presentation involves antigen uptake by mononuclear cells called dendritic cells (Tizard, 1995). These dendritic cells are located throughout the body, especially in lymphoid organs. They have many long, filamentous cytoplasmic processes called **dendrites**. They also have lobulated nuclei and a clear cytoplasm containing characteristic granules called **Birbeck granules**. Several types of dendritic cells are found in the body, including Langerhans cells located in the skin and interdigitating cells and follicular dendritic cells in lymphoid tissues (e.g., spleen and lymph nodes). The **Langerhans cells** are dendritic cells found in the epidermis of the skin, and they trap and present antigens that penetrate the skin (e.g., resins of poison ivy and mosquito saliva). As a result, Langerhans cells influence the development of skin allergies such as delayed hypersensitivity and allergic contact dermatitis.

B cells

B lymphocytes or B cells may also be effective and important antigen presenting cells (Tizard, 1995). They bind whole antigen molecules by means of their **B-cell antigen receptors (BCRs)** and present the processed antigens to helper T cells. In addition to binding antigen and signaling the B cell to response, the BCRs can also trigger endocytosis of the antigen, leading to its proteolysis, processing, and expression of peptides associated with MHC class II molecules. The specific antigen-binding structure of the BCRs is a cell membrane immunoglobulin or antibody. In order for B cells to response to antigens, the B cells must be co-stimulated by several other

co-stimulatory molecules including CD40 and CR2 molecules in a surface protein complex containing CD19 molecule.

Other antigen-presenting cells

Other poorly antigen-presenting cells (Table 2) include eosinophils, vascular endothelial cells, and skin keratinocytes (Tizard, 1995). These antigen-presenting cells are called non-

professional antigen-presenting cells, because they generally do not express co-stimulatory molecules (Abbas, et al., 1997). For instance, vascular endothelial cells can take up an antigen and synthesize interleukins-1 (IL-1), then these endothelial cells can express the antigen molecule on their surface (Tizard, 1995). For skin keratinocytes, they can produce factors similar to IL-1 and present antigen to T cells.

Table 2. Types, locations, and phagocytosis abilities of antigen-presenting cells (Roitt, et al., 1996).

Antigen-presenting cells	Types of Cells	Locations	Phagocytosis Abilities
phagocytes (monocyte/macrophage lineage)	monocytes	blood	yes
	macrophages	tissue	yes
	marginal zone macrophages	spleen and lymph node	yes
	Kupffer cells	liver	yes
	microglia	brain	yes
non-phagocytic APCs	Langerhans' cells	skin	no
	interdigitating dendritic cells	lymphoid tissue	no
	follicular dendritic cells	lymphoid tissue	no
lymphocytes	B cells	lymphoid tissues and sites of immune reactions	no
facultative APCs	astrocytes	brain	yes
	follicular cells	thyroid	no
	endothelium	vascular and lymphoid tissue	no
	fibroblasts	connective tissue	no

The roles of antigen-presenting cells in the immune response to exogenous immunogens

Although virtually all nucleated cells express MHC class I molecules (and are thus potential targets for cytotoxic T cells, when they

present a viral or other nonself antigens), MHC class II molecules are expressed only on special antigen-presenting cells (APCs), principally macrophages, dendritic cells, and B cells (Davis, et al., 1990). Optimal antibody production of antibodies requires interactions between APCs and

helper T cells. The APCs bind, ingest, and cleave protein antigens into peptide fragments that become bound to MHC class II molecules on the cell surface, where they can be recognized by helper T cells. Recognition of the antigen-MHC II complex by receptors on helper T cells stimulates these helper T cells to secrete several lymphokines such as interleukin-2 (IL-2) and interferon- γ (IFN- γ) that help stimulate the immune responses (**Figure 2**).

The T cell and APC interactions can have a number of functional consequences (Abbas, et al., 1997): First, it induces helper T cells to express cytokines and new cell surface molecules and initiates the process of T cell clonal expansion and performance of effector functions. Second, the cytokines (e.g., IFN- γ) can enhance the antigen-presenting function of APCs by upregulating the expression of MHC class II molecules and co-stimulatory molecules on the surface of APCs. Besides, the cytokines also enhance effector function or end effect of the immune responses of B cells and macrophage. The antibody production and isotype switching of B cells can be activated. The microbicidal activities of macrophage can be increased.

Macrophages

For macrophages, there are several steps in exogenous antigen processing by macrophages (Tizard, 1995). First, the antigen must be phagocytosed or pinocytosed and taken into phagosomes. Phagosomes then fuse with granules containing acidic proteases. Ingested peptides are broken down by lysosomal enzymes into fragments

about 10 to 20 amino acids long. The endosomes containing the antigenic peptides then fuse with other endosomes carrying newly synthesized MHC class II molecules. The fused vesicles continue to move toward the cell surface while the antigenic peptides bind to the MHC groove. Once the vesicles reach the cell surface, they fuse with the cell membrane and the MHC-peptide complex is presented on the cell surface in such a way that it can be recognized by receptors on the helper T cell (**Figure 2**).

Dendritic cells

For dendritic cells, they present antigens in two ways (Tizard, 1995). If the animal is unprimed (i.e., the animal has not previously been exposed to the antigen), the antigen presentation is a passive process; the dendritic cells simply provide a surface on which antigen can be presented. If the animal has previously been exposed to an antigen and so possesses antibodies, the antigen and antibody will combine to form antibody-antigen complexes called **immune complexes**. These immune complexes later become round, beaded structures called **icosomes** which are subsequently attached to B cells so that the B cells can present the antigen to antigen-sensitive T cells (**Figure 3**). The antigen processed by dendritic cells is a potent stimulator for T cells (about 10,000 times more efficient than the unbound antigen).

B cells

For B cells, they also process and present antigens in a similar way like other professional APCs (e.g., macrophages and dendritic cells).

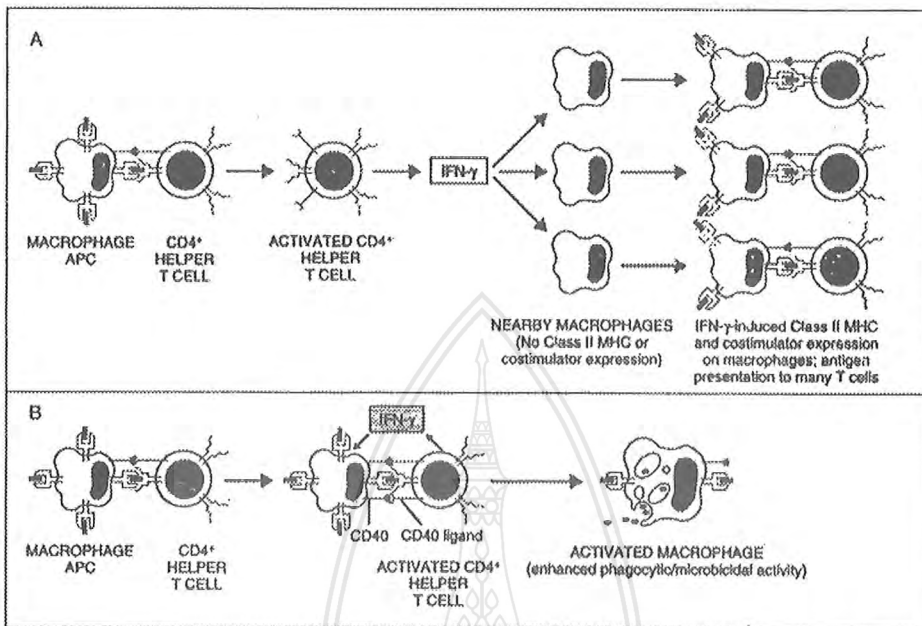


Figure 2. Consequences of antigen presentation off T cells by antigen-presenting cells (APCs), in this case by macrophages (Abbas, et al., 1997). The binding of the processed foreign peptide antigens to MHC class II molecules on macrophage APCs activates CD4⁺ helper T cells. The activated helper T cells then secrete cytokines (e.g., interferon- γ), which show two effects on macrophages: (A.) The nearby macrophages become effective macrophage APCs, and (B.) The microbicidal functions of the macrophage APCs become enhanced.

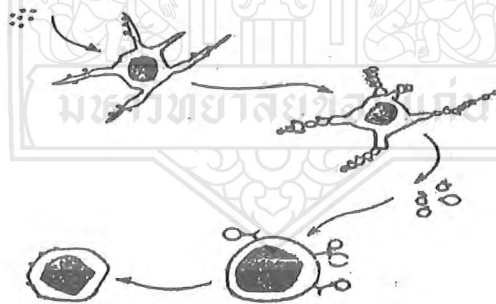


Figure 3. The suggested way that dendritic cells help present foreign antigens (Tizard, 1995).

The antigens are bound to antibodies to form antibody-antigen complexes called **immune complexes**. These immune complexes will be taken up by follicular dendritic cells on their surface and will shed the immune complexes in round, beaded structures called **icosomes**, which are subsequently attached to B cells. Later, the B cells process and present the antigens of icosomes to helper T cells.

The macrophages and dendritic cells seem to bind many different proteins with little or no specificity to surface molecules, unlike B cells which possess antibodies (or immunoglobulin molecules) that have high affinity and specificity for antigens (Roitt, et al., 1996; Abbas, et al., 1997). As a result, B cells can mediate protein antigen internalization more effectively than macrophages and dendritic cells when the antigen concentration is low. However, the general roles of all APCs are the same and can be pictured in three steps as in **Figure 4** (Roitt, et al., 1996).

(A) **Antigen processing:** the antigen is internalized, proteolytically degraded in phagolysosome, and bound to MHC class II molecule.

(B) **Antigen presentation:** after antigen processing, the antigen is presented for helper T cells (TH).

(C) **Co-stimulatory molecule expression:** various cytokines and cell surface molecules are involved in the interaction between T cells and APCs. The most potent co-stimulatory molecules known are termed B7-1 (CD80) and B7-2 (CD86). They are the ligands for CD28 on the T cell surface. Without co-stimulatory molecules, the T cells cannot respond and become immunological tolerance called **clonal anergy**. Many adjuvants may facilitate immune responses by inducing expression of high levels of MHC and co-stimulatory molecules on the APCs (Roitt, et al., 1996). **Adjuvant** is a substance that can enhance immune response to antigen when given with the antigen (Tizard, 1995).

The mechanism of antigen presentation for helper T cells by antigen-presenting cells

The mechanism of antigen presentation for helper T cells by antigen-presenting cells (APCs) (**Figure 5**) can be generally divided in to several steps as follows (Abbas, et al., 1997):

(1) The protein antigen is internalized by endocytosis into endosome, which is an intracellular membrane-bound vesicle.

(2) The internalized antigen is proteolytically cleaved into peptide fragments in the endosomal / lysosomal vesicles.

(3) The processed peptide antigen is bound to MHC class II molecule, which is produced by endoplasmic reticulum (ER). The binding of antigen-MHC involves two polypeptides: calnexin and invariant chain. The calnexin is the molecular chaperone that ensures the proper folding of the a and b chains of MHC class II molecule. The invariant chain (Ii) help release calnexin and direct the MHC class II out of the ER. In addition, the invariant chain also prevents nascent unfolded polypeptides in the ER from binding to MHC class II ab heterodimers, so the invariant chain must be removed before the MHC class II molecule can completely bind to the peptide antigen.

(4) The antigen-MHC complex is directed by the invariant chain to a specialized endosomal / lysosomal organelles called MHC class II compartment (MIIC) in macrophage and called class II vesicle (CIIV) in B cells.

(5) Within the MII/CIIV compartment, the invariant chain is removed from MHC class II molecules by the proteolytic enzymes and the HLA-DM molecule. The invariant chain is

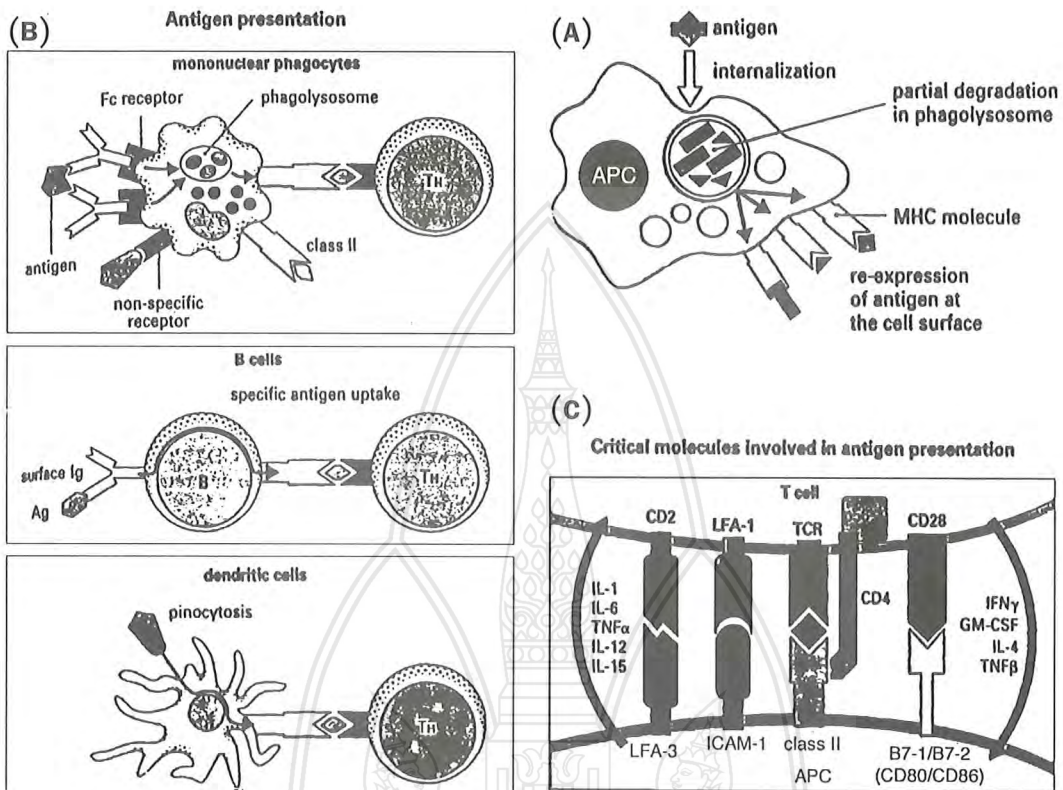


Figure 4. The antigen presentation by antigen-presenting cells (APCs) (Roitt, et al., 1996).

(A.) Antigen processing: the antigen is internalized, proteolytically degraded in phagolysosome, and bound to MHC class II molecule. **(B.) Antigen presentation:** after antigen processing, the antigen is presented for helper T cells (Th). The figure shows three professional APCs: mononuclear phagocytes, B cells, and dendritic cells. **(C.) Co-stimulatory molecule expression:** various cytokines and cell surface molecules are involved in the interaction between T cells and APCs

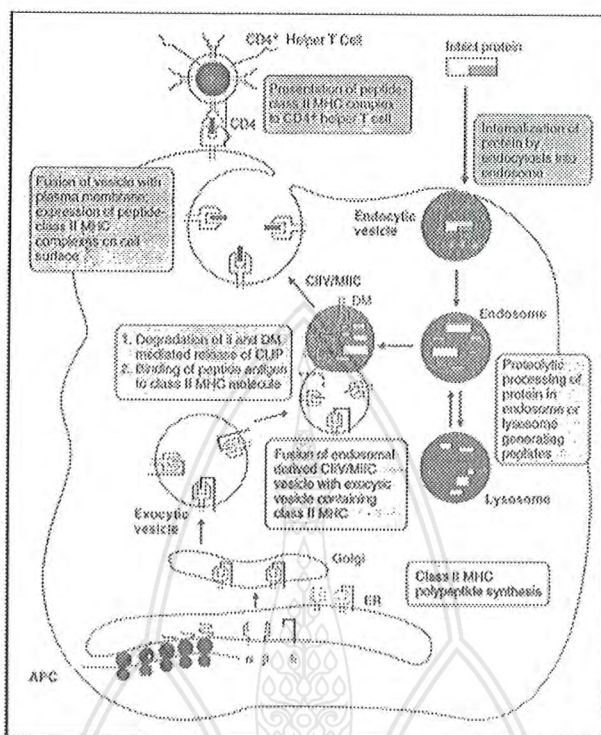


Figure 5. Mechanism of antigen presentation for helper T cells by antigen-presenting cells (Abbas, et al., 1997).

(1) The protein antigen is internalized by endocytosis into **endosome**, which is an intracellular membrane-bound vesicle.

(2) The internalized antigen is proteolytically cleaved into peptide fragments in the endosomal/lysosomal vesicles.

(3) The processed peptide antigen is bound to MHC class II molecule, which is produced by endoplasmic reticulum (ER). The binding of antigen-MHC involves two polypeptides: calnexin and invariant chain. The **calnexin** is the molecular chaperone that ensures the proper folding of the α and β chains of MHC class II molecule. The **invariant chain (Ii)** help release calnexin and direct the MHC class II out of the ER. In addition, the invariant, the invariant chain also prevents nascent unfolded polypeptides in the ER from binding to MHC class II $\alpha\beta$ heterodimers, so the invariant chain must be removed before the MHC class II molecule can completely bind to the peptide antigen.

(4) The antigen-MHC complex is directed by the invariant chain to a specialized endosomal/lysosomal organelles called **MHC class II compartment (MIIC)** in macrophage and called **class vesicle (CIIV)** in B cells.

(5) Within the MIIC/CIIV compartment, the invariant chain is removed from MHC class II molecules by the proteolytic enzymes and the **HLA-DM** molecule. The invariant chain is proteolytically cleaved into a 24-amino acid remnant called **class II-associated invariant chain peptide (CLIP)**.

The CLIP is then removed from the MHC class II binding cleft so that the MHC class II molecule can perfectly bind to the processed peptide antigen.

(6) The peptide antigen-MHC class II complex is presented on the cell surface of the antigen-presenting cell for the helper T cell.

proteolytically cleaved into a 24-amino acid remnant called class II-associated invariant chain peptide (CLIP). The CLIP is then removed from the MHC class II binding cleft so that the MHC class II molecule can perfectly bind to the processed peptide antigen.

(6) The peptide antigen-MHC class II complex is presented on the cell surface of the antigen-presenting cell for the helper T cell.

Conclusion

Above all, all of the antigen-presenting cells (APCs) mentioned seem to play very essential roles in the immune responses to exogenous antigens. Without the APCs, our immune system could not ever be effective to protect us against the infectious agents. For the foreign antigens to get destroyed by the cells of the immune system, the antigens must be processed by APCs prior to presentation to the effector or antigen-sensitive cells. Our professional APCs are macrophages, dendritic cells, and B cells, along with our effector or antigen-sensitive cells which may be T cells or even be macrophages. Our lives are prolonging if our APCs still work effectively well in a coordinate fashion with other cells of the immune system.

References

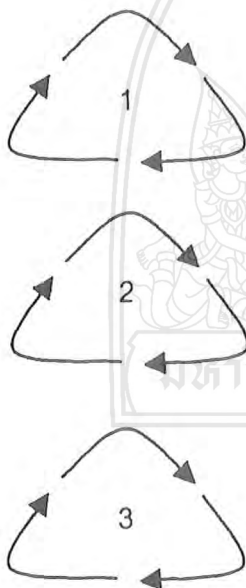
- Abbas, A.K., A.H. Lichtman, and J.S. Pober. 1997. **Cellular and Molecular Immunology**, 3rd edition. W.B. Saunders Company. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Alberts, B., D. Bray, J. Lewis, et al. 1994. The immune System. In **Molecular Biology of the Cell**, 3rd edition. Garland Publishing, Inc. New York, USA.
- Creager, J.G., J.G. Black, and V.E. Davison. 1990. Immunology I: Basic Principles of Specific Immunity and Immunization. In **Microbiology: Principles and Applications**. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA.
- Darnell, J., H. Lodish, and D. Baltimore. 1990. Immunity. In **Molecular Cell Biology**, 2nd edition. Scientific American Books, Inc. USA.
- Davis, B.D., R. Dulbecco, H.N. Eisen, and H.S. Ginsberg. 1990. Cellular basis for immune responses. In **Microbiology**, 4th edition. Harper & Row Publishers. Singapore.
- Roitt, I., J. Brostoff, and D. Male. 1996. **Immunology**, 4th edition. Times Mirror International Publishers Limited. Barcelona, Spain.
- Stansfield, W.D., J.S. Colome, and R.J. Cano. 1996. The Immune System. In **Molecular and Cell Biology**. Schaum's Outline Series. McGraw-Hill. New York, USA.
- Tizard, Ian R. 1995. **Immunology: An Introduction**, 4th edition. Saunders College Publishing. New York, USA.

Big 6 ; พลาสติกหลัก 6 ชนิด

ดร.ชูศักดิ์ พูนสวัสดิ์¹

เป็นที่ทราบกันดีว่า วัสดุพอลิเมอร์* จำพวกพลาสติก มีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ เริ่มตั้งแต่แปรงฟัน ใช้ชั้นล้างหน้า เส้นใยเสื้อผ้า ผ้าเช็ดตัว เข็มขัด รองเท้า พรหม อุปกรณ์เครื่องเขียน วัสดุสำนักงาน กรอบทีวี คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ในยานพาหนะ เทฟลอน สไตรโพรฟม โนลอน ฟอรัไมกา เทปวีดีโอ อื่น ๆ อีกมากมาย ทำให้นึกคิดว่าถ้าโลกนี้ปราศจากพลาสติก มนุษย์เราจะอยู่ได้อย่างไร

ในที่นี้จะขอลำถึงพลาสติกหลักที่สำคัญและใช้กันอย่างกว้างขวางเพียง 6 ชนิดคือ LDPE, HDPE, PVC, PS, PP และ PET โดยจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์จากพลาสติกที่เราพบเห็นในท้องตลาดส่วนมากจะทำขึ้นมาจากพลาสติก Big 6 ถึงประมาณ 80 % พลาสติกทั้ง 6 ชนิดนี้จะมีรหัสรีไซเคิลประจำตัวดังต่อไปนี้**



พอลิเอทิลีนเทอฟาทาเลท (เพ็ต) : PET

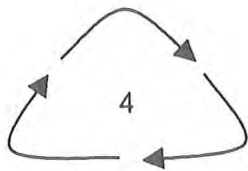
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง : HDPE

พอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) : PVC

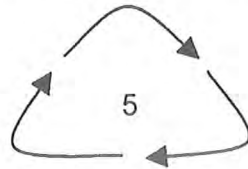
¹ อาจารย์ สาขาเคมีประยุกต์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น Choosak@kku1.kku.ac.th

* พอลิเมอร์ คือ สารประกอบที่มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (> 10,000) และมีโครงสร้างของหน่วยย่อยที่ซ้ำ ๆ กันมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะทางเคมี

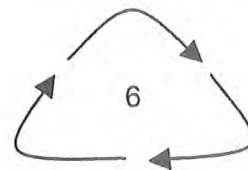
** จะสังเกตเห็นรหัสรีไซเคิลจากตัวเลขที่ปรากฏบนผลิตภัณฑ์ หรือที่กันขวด หรือที่กันภาชนะ



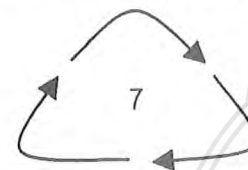
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ : LDPE



พอลิโพรพิลีน : PP



พอลิสไตรีน : PS



พลาสติกตัวอื่นๆ ที่มีใช้ 6 ตัวหลัก

1. พอลิเอทิลีน (พอลิทีน) : Polyethylene , PE

เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด มีปริมาณการใช้สูงที่สุดจนได้ฉายาว่า ราชของพลาสติก (King of Plastics) เป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นมาจากเอทิลีนซึ่งได้มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ลักษณะทั่วไป สีขาว นุ่มขึ้น ผสมสีได้ดี ลอยน้ำ ผิวแข็ง ไม่สามารถใช้เล็บบูดเป็นรอยได้ การโค้งตัวและหดตัวสูง เสี่ยงตกกระแทก พื้นทึบ ติดไฟเปลวไฟจ้า มีแกนในของเปลวสีน้ำเงินและหยด กลิ่นคล้ายเทียนไข ไม่สปริงตัว



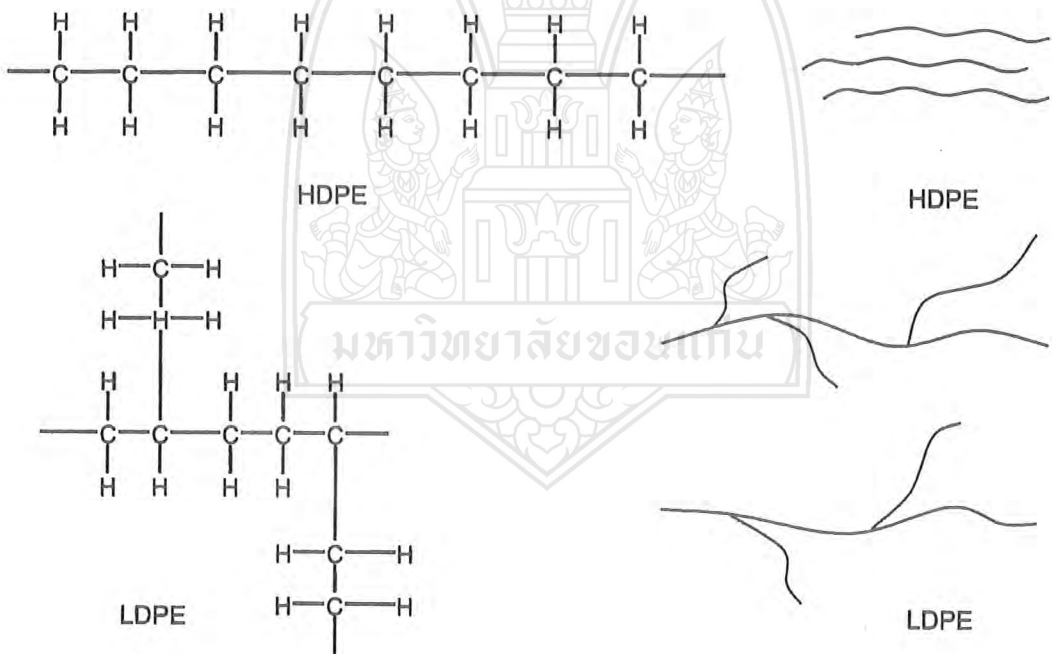
1.1 พอลิเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE)

เป็นพลาสติกทึบ สีขาว มีความยืดหยุ่นสูง มีความเป็นผลึกประมาณ 55 % ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือเบส จะอ่อนตัวเมื่อเจอน้ำมัน หลอมเหลวที่อุณหภูมิ $100 - 125^{\circ}\text{C}$ มีความหนาแน่น $0.915 - 0.925 \text{ g cm}^{-3}$ ยอมให้ก๊าซผ่านได้ นิยมใช้พลาสติกประเภทนี้ทำถุงเย็น ถุงขยะ พลาสติกห่ออาหาร (cling film) ขวดน้ำดื่ม (ชนิดขุ่น) ไซเคิลรถจักรยาน พลาสติกชนิดนี้มีความหนาแน่นต่ำ เพราะมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขาดังแสดงในรูปที่ 1 มีกรรมวิธีการผลิต คือผ่านเอธิลีนลงไปในท่ออัดความดันและเพิ่มอุณหภูมิจนได้ผงขาว ๆ ของพลาสติกออกมา

1.2 พอลิเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE)

พลาสติกชนิดนี้ถูกค้นพบหลังจาก LDPE ประมาณ 20 ปี โดย Karl Ziegler และ Giulio Natta (รางวัลโนเบล ปี พ.ศ. 2496) เมื่อเปรียบเทียบกับ LDPE พลาสติกชนิดนี้จะมีลักษณะที่หนาแน่นกว่า ความเป็นผลึกสูงกว่า ความหนาแน่นมากกว่า ($0.945 - 0.965 \text{ g cm}^{-3}$) ทนความร้อนได้ดีกว่า มีจุดหลอมเหลวที่ 130°C ยอมให้ก๊าซผ่านได้ มีความแข็งแรงและเหนียวมากกว่า มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง กระบวนการผลิต HDPE จากเอธิลีน ทำได้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดันและอุณหภูมิต่ำ ๆ ปฏิกิริยาเป็นแบบโคออดิเนชัน

นิยมนำพลาสติกตัวนี้มาทำเป็น ถุงหิ้ว ถุงร้อน เครื่องใช้ภายในบ้าน ขวดบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ งานขามท่อสายยางสายไฟ เป็นต้น



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ HDPE และ LDPE

2. พอลิโพรพิลีน : Polypropylene , PP

เป็นพลาสติกที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด (0.90 gcm^{-3}) โครงสร้างเป็นเส้นตรง มีจุดหลอมเหลวสูงประมาณ $160 - 170^\circ \text{C}$ เม็ดสีขุนผสมสีได้ดี มีความเหนียวและแข็ง เสียดกพื้นเสียงทึบ ติดไฟเปลวคล้ายเปลวเทียน กลิ่นหอม ไม่ยอมให้ของเหลวและก๊าซผ่าน ผิวเรียบแข็งและเป็นมัน ใช้ใส่อาหารมีไขมัน ร้อนและเข้าไมโครเวฟได้

กรรมวิธีการผลิตคล้ายกับ HDPE มีตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้อุณหภูมิและความดันที่ไม่สูงนัก



โพธิ์พิน

พอลิโพรพิลีน

นิยมใช้ทำ ถ้วย จาน อ่าง ตะกร้า ขวดนม ถุง และกล่อง แบตเตอรี่ในรถยนต์ เพราะทนต่อกรด

3. พอลิสไตรีน : Polystyrene , PS

มีลักษณะคล้ายแก้ว เม็ดพลาสติกใส ผสมสีได้ดี มีความหนาแน่น 0.95 g cm^{-3} ที่จม ที่ลอย มีผิวแข็งแต่เปราะ ทนต่อการด่างและแอลกอฮอล์ ไม่ทนเบนซิน เสียดกกระทบพื้นเสียงใสกังวาน ติดไฟ มีเปลวจำ มีเขม่ามาก กลิ่นคล้ายของหวาน นิยมใช้ทำดิลิปเทป ขวดยา แก้วน้ำ แก้วโค้ก แก้วกาแฟ แปรงสีพื้น ทำกล่องโฟมใส่อาหาร ไม่มีไขมัน ไม่ร้อน

ผลิตมาจากสไตรีนมอนอเมอร์ ผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูล (radical polymerization)



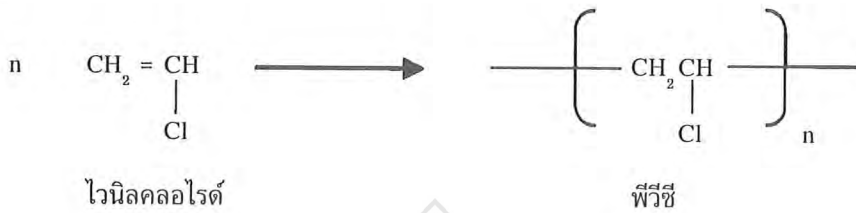
สไตรีน

พอลิสไตรีน

4. พอลิไวนิลคลอไรด์ : Polyvinylchloride , PVC

เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างเส้นตรง มีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรง ทนต่อแรงดกกระแทกได้สูง มีหมุ่คลอไรด์ (Cl) เกาะอยู่ ทำให้ทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี ติดไฟยาก โดยเฉพาะพีวีซี ชนิดแข็ง ติดไฟแล้วจะไม่ลุกลามเหมือนวัตถุชนิดอื่น จะดับทันทีที่นำเชื้อเพลิงออก และเมื่อมีการเผาพีวีซี ก๊าซส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นคือก๊าซของกรดเกลือ (HCl) ซึ่งมีกลิ่นฉุน PVC จึงเป็นฉนวนความร้อนที่ดี

นิยมใช้ทำภาชนะบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ใส่ออาหารมีไขมัน ไม่ร้อน สายไฟ ท่อยาง ท่อน้ำ ผนังเทียม เป็นต้น

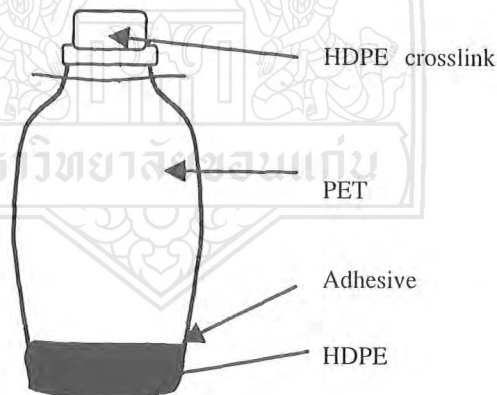


5. พอลิเอธิลีนเทอพาทาเลท : Polyethylene terephthalate , PET

พลาสติกใสคล้าย PS แต่มีความแข็งแรงมากกว่า เป็นพลาสติกที่เกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่น (condensation polymerization) ของเอธิลีนไกลคอล และกรดเทอพาทาลิก จัดเป็นพลาสติกกลุ่มพอลิเอสเตอร์ (กลุ่มเส้นใยเสื้อผ้า)



มีชื่อทางการค้า เช่น Mylar เป็นผ้าแถบเทป หรือผ้าแถบวีดีโอ , Dacron เป็นเส้นใยเสื้อผ้า และปัจจุบันนำมาทำเป็นหลอดเลือดเทียม หรือหัวใจเทียม ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก PET ที่คนรู้จักกันมากที่สุดคือ ขวดน้ำมันพืช หรือขวดน้ำอัดลมเพ็ทใสๆ



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของขวดน้ำอัดลมใส

การจำแนกพลาสติก

1. เทอร์โมพลาสติก

ส่วนมากจะทำเป็นงานฉีดเข้าแม่พิมพ์ ทำให้นิ่มตัวด้วยความร้อนและให้แข็งตัวด้วยความเย็น สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้

วิธีทดสอบ

- ๑ ใช้ตะปูเผาไฟแล้วจิ้มลงบนแผ่นชิ้นงาน พลาสติกจะหลอมยุบตัว
- ๑ ใช้มีดเฉือนขอบจะเป็นเส้นเรียบ

1.1 เทอร์โมพลาสติก แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มแสงผ่านได้

- ๑ พอลิคาร์บอเนต (PC)
- ๑ พอลิสไตรีน (PS)
- ๑ พีวีซี (PVC)
- ๑ อะครีลิก (PMMA)
- ๑ สไตรีนอะครีโลไนไตรบิวทาไดอีน (SAN)

กลุ่มทึบแสง

มีความเหนียว/ยืดหยุ่นดี

- ๑ พอลิเอทิลีน (PE)
- ๑ พอลิโพรพิลีน (PP)
- ๑ พอลิอะไมด์ (PA)
- ๑ พอลิออกซีคเมทิลีน (POM)

2. เทอร์โมเซตติง

ไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้อีก/แข็ง

วิธีทดสอบ

- ๑ ใช้มีดเฉือนขอบจะเป็นขุยใช้ในงานอัดขึ้นรูป

การทดสอบหาชนิดพลาสติก

1. ทดสอบทางกล : ความเหนียว ความแข็ง ความยืดตัว ความหดตัว
2. ทดสอบทางความร้อน : หาจุดหลอมละลายสถานภาพ
3. ทดสอบทางไฟฟ้า : คุณสมบัติต่อการนำกระแสไฟ

4. ทดสอบทางกายภาพด้วยประสาท เช่น

- หู : ฟังเสียงกระทบจากพื้น
ตา : พื้นฐานธรรมชาติ เช่น ผิว
จมูก : ดมกลิ่นหลังไหม้ไฟ

การทดสอบอย่างง่ายในวัสดุพลาสติกชนิด

1. ดูความหนาแน่นของวัสดุ
 - : จมน้ำ ถ้าความถ่วงจำเพาะเกิน 1 (ABS CA PA PC PMMA PVC)
 - : ลอยน้ำ ถ้าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1 (PE PP PS)
2. ความแข็งของผิววัสดุ
 - : ผิวอ่อน เล็บจิกเป็นรอย (PE)
 - : ผิวแข็ง เล็บจิกไม่เป็นรอย (ABS CA PA PP PS)
3. การเผาไฟ
 - : ติดไฟ (ABS CA PA PC PE PMMA PP PS)
 - : ติดเฉพาะอยู่ในเปลว (PVC)
4. สีเปลวไฟขณะติดไฟ
 - : สีเหลือง / สีเหลืองดำมีควันมาก / สีน้ำเงินอ่อน
5. การเกิดฟองอากาศขณะเผาไหม้
 - : เดือด
6. กลิ่นหลังเผาไหม้
 - : กลิ่นหอม กลิ่นฉุน
7. ฟังเสียงตกกระทบพื้น / เสียงกังวาน / เสียงทึบ
8. ความใส : PC PMMA หรือดูจากรหัสที่ขึ้นงาน

ผู้เขียนหวังว่าท่านผู้อ่าน คงได้รับความรู้จาก Big 6 พลาสติกหลัก 6 ชนิดบ้างไม่มากนักน้อย และหวังว่าผู้อ่านคงจะสนุกกับการพลิกดูที่ก้นภาชนะ แล้วมองหารหัสรีไซเคิล เพื่อจำแนกแยกชนิดของขยะพลาสติกออกจากกัน ท้ายที่สุดอย่าลืมติดตามบทความเกี่ยวกับเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ในวารสารฉบับต่อไปนะคะ

การจำลองแบบเพื่อศึกษาผลกระทบของการปัดเศษ ของข้อมูลที่มีต่ออำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบปกติบางตัว

The simulation to study the effect of rounding on the power of the test of certain normal test statistics

สุพรรณิ อึ้งปัญญาตวงศ์*

พัฒนพงศ์ มีมาก**

ปิยวรรณ ทะแพงพันธ์**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะของการปัดเศษข้อมูลที่มีต่ออำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ ได้แก่สถิติทดสอบทีสำหรับ 1 ประชากร สถิติทดสอบทีสำหรับ 2 ประชากร สถิติทดสอบไคสแควร์ และ สถิติทดสอบเอฟ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอนคือ ตอนที่ 1 พิจารณาความสามารถในการควบคุม ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองกับสถิติทดสอบโดยยึดองศาความแม่นยำเป็นหลัก พบว่า สถิติทดสอบทีสำหรับ 2 ประชากรมีความแข็งแกร่งของการทดสอบมากที่สุด สถิติทดสอบไคสแควร์มีความแข็งแกร่ง น้อยที่สุด ส่วนสถิติทดสอบเอฟและสถิติทดสอบทีสำหรับ 1 ประชากรมีความแข็งแกร่งในระดับปานกลาง ตอนที่ 2 พิจารณาอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ พบว่าอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบทุกตัวมีค่าต่ำ มาก ซึ่งแสดงว่าการทดสอบทางสถิติโดยใช้ข้อมูลที่ปัดเศษจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ หรือ ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติที่ไม่ต่อเนื่องทำให้สถิติทดสอบข้างต้นมีอำนาจการทดสอบน้อย ซึ่งก็คือ ประสิทธิภาพในการทดสอบของสถิติทดสอบนั้นน้อย

Abstract

The method of simulation was used in this study to investigate the effect of rounding on the power of the test of four test statistics : one-sample t test, two-sample t test, chi-square test and F test. Samples were drawn from normal distributed data. The results of this study were discussed in terms of robustness and power of the test. First, it was found that two-sample t test was the most robust while F test and one-sample t test were moderate and chi-square test the least robust. Second, each of the four

* รองศาสตราจารย์ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** นักศึกษาภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ ม.ข. ปีการศึกษา 2537 (ปัจจุบันประกอบกิจการส่วนตัว)

** นักศึกษาภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ ม.ข. ปีการศึกษา 2537 (ปัจจุบันเป็นนักศึกษาระดับปริญญาโท สังกัดภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล)

tests demonstrated low power of the test. As a result, these test statistics will not be efficiently applied the data unless the data are continuous and normally distribution.

บทนำ

ในการทดสอบทางสถิติเพื่อที่จะทำการทดสอบมีความถูกต้องหรือมีความเชื่อถือได้สูง จะต้องทำการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการทดสอบทางสถิติที่กล่าวไว้ว่า ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบกับสถิติทดสอบต้องมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติที่ต่อเนื่อง ถ้าหากไม่ดำเนินการทดสอบตามข้อตกลงเบื้องต้น จะทำให้การทดสอบเกิดความผิดพลาดที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือมีความเชื่อถือได้น้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติมาทำการปิดเศษตามวิธีการปิดเศษที่สนใจในงานวิจัยครั้งนี้ทำให้ข้อมูลที่ได้มีการแจกแจงแบบปกติที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นของการทดสอบทางสถิติ โดยที่ตัวสถิติทดสอบที่ศึกษาครั้งนี้คือ สถิติทดสอบสำหรับ 1 ประชากร สถิติทดสอบสำหรับ 2 ประชากร สถิติทดสอบไคสแควร์ และสถิติทดสอบเอฟ ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นว่าสถิติทดสอบยังมีความแข็งแกร่งเช่นเดิมหรือไม่ และหากสถิติทดสอบดังกล่าวมีความแข็งแกร่งในการทดสอบแล้วอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบเหล่านั้นจะเป็นอย่างไร ซึ่งถ้าหากอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบเหล่านั้นมีค่าสูง แสดงว่าสถิติทดสอบนั้นมีประสิทธิภาพในการทดสอบสูง ในทางตรงกันข้ามคือ ถ้าหากอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบต่ำก็แสดงว่าสถิติทดสอบนั้นมีประสิทธิภาพในการทดสอบต่ำ ทั้งนี้จะต้องมีการทดลองโดยยึดองศาความแม่นยำในการปิดเศษเป็นหลัก

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการจำลองแบบปัญหาโดยเทคนิคของมอนติคาร์โลมาประยุกต์ใน

การสร้างตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติและทำการปิดเศษตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกตินั้นเพื่อนำมาใช้ในการทดสอบความแข็งแกร่งในการทดสอบ และศึกษาถึงผลกระทบต่ออำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบเหล่านั้น เนื่องจากวิธีการจำลองแบบปัญหาสามารถกำหนดเงื่อนไขภายใต้การทดลองได้และสามารถทำการทดสอบความถูกต้องของผลการทดลองได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบต่ออำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบบางตัว ได้แก่ สถิติทดสอบสำหรับ 1 ประชากร (One Sample T-test) สถิติทดสอบสำหรับ 2 ประชากร (Two Samples T-test) สถิติทดสอบไคสแควร์ (Chi-Square Test) และสถิติทดสอบเอฟ (F-test) เมื่อทดสอบกับข้อมูลที่ถูกปิดเศษหรือข้อมูลที่มาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติที่ไม่ต่อเนื่อง
2. เพื่อนำการจำลองแบบปัญหามาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาคณิตศาสตร์ทางสถิติ

ระเบียบวิธีวิจัย

- 1.3.1 สร้างแบบจำลอง (เขียนโปรแกรม) เพื่อทดสอบความแข็งแกร่งของสถิติทดสอบเมื่อทดสอบกับข้อมูลที่ถูกปิดเศษจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ
- 1.3.2 ทำการศึกษาอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบที่มีความแข็งแกร่งของการทดสอบ กับข้อมูลที่ถูกปิดเศษจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ
- 1.3.3 ทดสอบโปรแกรมและปรับปรุงโปรแกรม
- 1.3.4 เสนอรายงานผลการวิเคราะห์
- 1.3.5 ปรับปรุงและแก้ไขรายงาน

ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่ออำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบเมื่อทดสอบกับข้อมูลที่ถูกปิดเศษซึ่งได้แก่สถิติทดสอบสำหรับ 1 ประชากร (One Sample T-test) สถิติทดสอบสำหรับ 2 ประชากร (Two Sample T-test) สถิติทดสอบไคสแควร์ (Chi-Square Test) และสถิติทดสอบเอฟ (F-test) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การพิจารณาความแกร่งของการทดสอบของสถิติทดสอบ จะพิจารณาจากความ

สามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลอง มีการกำหนดแผนการทดลองดังนี้

กำหนดสัญลักษณ์ในตารางที่ 1

n คือ ขนาดตัวอย่าง

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

σ^2 คือ ความแปรปรวนของประชากร

α คือ ระดับนัยสำคัญ

r คือ องศาความแม่นยำ

w คือ ความกว้างของช่วงในการปิดเศษ

c คือ ค่ากึ่งกลางของช่วงในการปิดเศษ

ตารางที่ 1 ตารางแสดงแผนการทดลองเพื่อหาค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลอง

สถิติทดสอบ	n	μ	σ^2	α		r	w	c
				One tail	Two tail			
One sample t-test	5,10,25	0	1	.001,.01,.05	.05	2,1.5,1,.5,.25	2,1.5,1,.5,.25	-.5,-.4,...,.4,.5
Two sample t-test	5,10,25	0	1	.001,.01,.05	.05	2,1.5,1,.5,.25	2,1.5,1,.5,.25	-.5,-.4,...,.4,.5
Chi-square test	5,10,25	0	1	.001,.01,.05	.05	2,1.5,1,.5,.25	2,1.5,1,.5,.25	-.5,-.4,...,.4,.5
F-test	5,10,25	0	1	.001,.01,.05	.05	2,1.5,1,.5,.25	2,1.5,1,.5,.25	-.5,-.4,...,.4,.5

หมายเหตุ ตัวอย่างที่นำมาทดสอบกับสถิติทดสอบสำหรับ 2 ประชากรและสถิติทดสอบเอฟทั้ง 2 กลุ่มมีขนาดเท่ากันและมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติที่มีพารามิเตอร์เท่ากัน

ตอนที่ 2 การหาอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบ มีการกำหนดแผนการทดลองดังนี้

กำหนดสัญลักษณ์ในตารางที่ 2

n คือ ขนาดตัวอย่าง

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

σ^2 คือ ความแปรปรวนของประชากร

α คือ ระดับนัยสำคัญ

r คือ องศาความแม่นยำ

w คือ ความกว้างของช่วงในการปิดเศษ

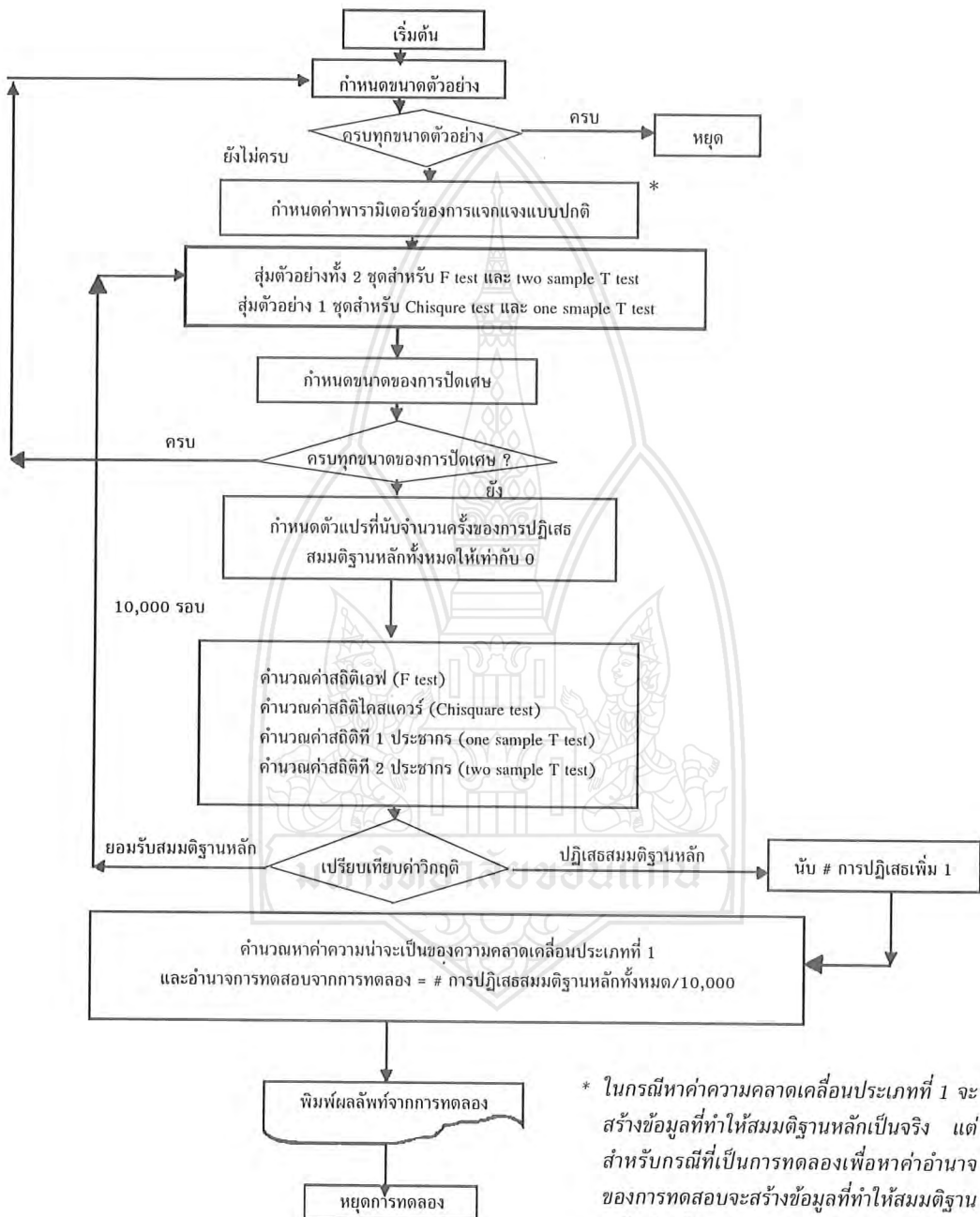
c คือ ค่ากึ่งกลางของช่วงในการปิดเศษ

ตารางที่ 2 ตารางแสดงแผนการทดลองเพื่อหาค่าอำนาจการทดสอบจากการทดลอง

สถิติทดสอบ	n	μ	σ^2	α		r	w	c
				One tail	Two tail			
One sample t-test	5,10,25	0	1	.001,.01,.05	.05	2,1.5,1,.5,.25	2,1.5,1,.5,.25	-.5,-.4,...,.4,.5
Two sample t-test	5,10,25	0	1	.001,.01,.05	.05	2,1.5,1,.5,.25	2,1.5,1,.5,.25	-.5,-.4,...,.4,.5
Chi-square test	5,10,25	0	4	.001,.01,.05	.05	2,1.5,1,.5,.25	4,3,2,1,.5	-.5,-.4,...,.4,.5
F-test	5,10,25	0	4	.001,.01,.05	.05	2,1.5,1,.5,.25	4,3,2,1,.5	-.5,-.4,...,.4,.5

หมายเหตุ ตัวอย่างที่นำมาทดสอบกับสถิติทดสอบสำหรับ 2 ประชากรและสถิติทดสอบเอฟทั้ง 2 กลุ่มมีขนาดเท่ากันและมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติที่มีพารามิเตอร์เท่ากัน

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองการทดลองขึ้น และอาศัยเทคนิคมอนติคาร์โล ใช้โปรแกรมภาษาซีทดลองซ้ำ 10,000 ครั้งในแต่ละสถานการณ์ดังที่กำหนดไว้ในตารางแผนการทดลองข้างต้น ขั้นตอนในการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนของการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้

ผลการวิจัย

จากการจำลองแบบเพื่อศึกษาผลกระทบของการปิดเศษของข้อมูลที่มีต่ออำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบบางตัว ได้แก่ สถิติทดสอบที่สำหรับทดสอบ 1 ประชากร สถิติทดสอบที่สำหรับ 2 ประชากร สถิติทดสอบไคสแควร์และสถิติทดสอบเอฟ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 พิจารณาความแข็งแกร่งของสถิติทดสอบโดยพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเมื่อนำข้อมูลที่ถูกปิดเศษจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติมาทดสอบกับสถิติทดสอบ ได้แก่ สถิติทดสอบที่สำหรับ 1 ประชากร สถิติทดสอบที่สำหรับ 2 ประชากร สถิติทดสอบไคสแควร์ และสถิติทดสอบเอฟ เมื่อหาว่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1

จากการทดลองและใช้เกณฑ์ในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองที่ Tricker ใช้ในการศึกษาผลกระทบต่อระดับนัยสำคัญ เมื่อข้อมูลมีการปิดเศษจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติและเกณฑ์ของ Bradley ร่วมกัน โดยพิจารณา ณ ระดับนัยสำคัญ (α) ขนาดตัวอย่าง (n) องศาความแม่นยำ (r) และประเภทของสมมติฐาน {One tail (upper และ lower) หรือ Two tails} จะได้ผล^M ที่สามารถสรุปได้ดังนี้

สถิติทดสอบที่สำหรับ 2 ประชากรสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองได้ที่องศาความแม่นยำสูงกว่าสถิติทดสอบทุกตัว แสดงว่ามีความแข็งแกร่งในการทดสอบกับข้อมูลที่ถูกปิดเศษจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ สถิติทดสอบไคสแควร์สามารถควบคุมความคลาด

เคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองได้เมื่อทดสอบที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 5 ที่องศาความแม่นยำค่อนข้างสูง แต่ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองได้ เมื่อทดสอบที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 และ 25 แสดงว่าสถิติทดสอบไคสแควร์มีความแข็งแกร่งในการทดสอบต่ำ

สถิติทดสอบเอฟและสถิติทดสอบที่สำหรับ 1 ประชากร สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองได้ที่องศาความแม่นยำระดับปานกลางและค่าเท่า ๆ กันแสดงว่าสถิติทดสอบเอฟและสถิติทดสอบที่สำหรับ 1 ประชากร มีความแข็งแกร่งในการทดสอบในระดับปานกลางและเท่า ๆ กัน

จากการพิจารณาความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองของสถิติทดสอบเมื่อทดสอบกับข้อมูลที่ถูกปิดเศษจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติสามารถสรุปได้ว่าถ้าหากการทดสอบไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการทดสอบที่กล่าวไว้ว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบต้องการแจกแจงแบบปกติที่ต่อเนื่อง จะมีผลทำให้สถิติทดสอบมีความแข็งแกร่งต่ำ หรือมีความผิดพลาดในการทดสอบเกินกว่าที่จะสามารถควบคุมได้

ตอนที่ 2 การพิจารณาอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองได้เมื่อทำการทดสอบที่ขนาดตัวอย่าง องศาความแม่นยำ ระดับนัยสำคัญ และประเภทสมมติฐานที่ทดสอบ จากการพิจารณาอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบที่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองได้สรุปผลดังตารางที่ 3 - 9 ต่อไปนี้

^M พัฒนพงศ์ มีมาก ปิยวรรณ ทะแพงพันธ์ “การจำลองแบบเพื่อการศึกษาผลกระทบของการปิดเศษของข้อมูลที่มีต่ออำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบบางตัว” ปีการศึกษา 2540 ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หน้าที่ 34

ตารางที่ 9 แสดงอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบสำหรับ two-tail เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 25 ณ ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ .05 ขนาดตัวอย่าง (n) ขนาดต่าง ๆ และองศาความแม่นยำ (r) ระดับต่าง ๆ

r \ n	One sample t-test			Two sample t-test			Chi-square test			F-test		
	5	10	25	5	10	25	5	10	25	5	10	25
2		.289			.152	.154					.220	
1.5							.0201					
1	.2213			.1380						.1706		
.5												
.25												

สรุปผลการวิจัย

จากตารางที่ 3-9 พบว่าอำนาจการทดสอบมีค่าต่ำมาก แสดงว่าเมื่อนำข้อมูลที่ถูกปิดเศษจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติมาทดสอบจะทำให้ประสิทธิภาพในการทดสอบของสถิติทดสอบมีประสิทธิภาพต่ำ ถึงแม้ว่าสถิติทดสอบนั้นจะมีความแม่นยำ

การทดสอบ one tail (upper) ที่ $\alpha=0.001$ n = 5 พบว่าสถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงกว่าสถิติทดสอบตัวอื่น รองลงมาคือ สถิติทดสอบสำหรับ 1 ประชากร สถิติทดสอบสำหรับ 2 ประชากร ที่ r=1 และสถิติไคสแควร์ที่ r=1.5 ตามลำดับ แต่ที่ n=10 และ 25 สถิติทดสอบไคสแควร์ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองได้พบว่าสถิติเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด อำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบทั้ง 4 ตัวนี้มีค่าน้อยมากแสดงว่าประสิทธิภาพในการทดสอบต่ำแต่สถิติทดสอบเอฟมีประสิทธิภาพในการทดสอบสูงสุด

การทดสอบ one tail (lower) ที่ $\alpha=0.001$ n=5 พบว่า สถิติทดสอบไคสแควร์มีอำนาจการทดสอบสูงสุด แต่ที่ n=10 และ 25 พบว่าสถิติ

ทดสอบสำหรับ 1 ประชากร มีอำนาจการทดสอบสูงกว่าสถิติทดสอบตัวอื่น ที่ r=1.5 รองลงมาคือ สถิติทดสอบเอฟ สถิติทดสอบสำหรับ 2 ประชากร ส่วนสถิติทดสอบไคสแควร์ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองได้ การทดสอบ one tail (upper) ที่ $\alpha=0.01$ สถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบที่ต่ำมาก แสดงว่าประสิทธิภาพในการทดสอบต่ำ

การทดสอบ one tail (lower) ที่ $\alpha=0.01$ สถิติทดสอบสำหรับ 1 ประชากรมีประสิทธิภาพในการทดสอบสูงที่สุด ที่ r=1

การทดสอบ one tail (upper) ที่ $\alpha=0.05$ สถิติทดสอบเอฟมีอำนาจการทดสอบสูงสุด

การทดสอบ one tail (lower) ที่ $\alpha=0.05$ พบว่าสถิติทดสอบสำหรับ 1 ประชากรมีอำนาจการทดสอบสูงที่สุด

การทดสอบ two tails ที่ $\alpha=0.05$ n=5 และ 10 พบว่าอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบสำหรับ 1 ประชากรมีค่าสูงสุด แต่ที่ n=25 สถิติทดสอบสำหรับ 2 ประชากร มีอำนาจการทดสอบสูงสุด

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่าสถิติทดสอบเอฟและสถิติทดสอบทีสำหรับ 1 ประชากร มีอำนาจการทดสอบสูงกว่าสถิติทดสอบตัวอื่น แต่ก็มีค่าที่ค่อนข้างต่ำที่องศาความแม่นยำต่ำ แสดงว่าประสิทธิภาพในการทดสอบต่ำ สถิติทดสอบทีสำหรับ 2 ประชากรมีอำนาจการทดสอบต่ำ แต่องศาความแม่นยำสูง แสดงว่ามีประสิทธิภาพในการทดสอบต่ำ เช่นกันส่วนสถิติทดสอบไคสแควร์ไม่สามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 จากการทดลองได้ จึงไม่พิจารณาอำนาจการทดสอบ

ดังนั้นจึงเป็นการสรุปได้ว่า การนำข้อมูลที่ถูกปิดเศษจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติมาทดสอบกับสถิติทดสอบจะมีผลทำให้อำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบมีค่าต่ำถึงแม้ว่าสถิติทดสอบบางตัวมีความแกร่งในการทดสอบ แต่เมื่อทดสอบกับข้อมูลที่ถูกปิดเศษแล้วก็ยังมีอำนาจการทดสอบที่ต่ำ เช่น สถิติทดสอบทีสำหรับ 2 ประชากร สำหรับการทดสอบบางประเภท ที่ขนาดตัวอย่าง (n) องศาความแม่นยำ (r) ที่แตกต่างกัน ก็มีผลทำให้อำนาจการทดสอบมีค่าที่แตกต่างกันได้

ข้อเสนอแนะ

1. การทดสอบสมมติฐานทางสถิติข้อมูลที่ใช้ทดสอบต้องมีการแจกแจงแบบปกติที่ต่อเนื่อง จึงจะทำให้อำนาจการทดสอบมีค่าสูง
2. ถ้าหากต้องการทดลองกับตัวสถิติตัวอื่น ควรเพิ่มจำนวนครั้งในการทดลองให้มากกว่า 10,000 รอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาในการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย
3. การปิดเศษข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เมื่อค่ากึ่งกลางช่วง (c) เท่ากับ 0 จะทำให้อำนาจการทดสอบมีค่าสูงที่สุด
4. การทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 จะมีค่าอำนาจการทดสอบสูงที่สุด แสดงว่าการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จะ

ทำให้สถิติทดสอบมีประสิทธิภาพในการทดสอบสูงสุด

บรรณานุกรม

- ชัชวาลย์ เรืองประพันธ์. สถิติเบื้องต้น. ขอนแก่น : ภาควิชาสถิติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2537.
- ภรณ์เจริญภักตร์และคนอื่นๆ. ความน่าจะเป็นและสถิติ. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : พิกัดการพิมพ์, 2537.
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การจำลองแบบปัญหา. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
- สุพรรณิ อังปัญสดวงศ์. การจำลองแบบและการจัดทำตัวแบบระบบงาน. ขอนแก่น: ภาควิชาสถิติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2538.
- อโนทัย ตรีวานิช. ทฤษฎีการอนุมานทางสถิติ. ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, 2539.
- นงราม เหมือนฤทธิ์ ศิริรัตน์ กันต์พิทยา. “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีทดสอบที่ไม่ใช้พารามิเตอร์ในแผนการสุ่มแบบบล็อกสมบูรณ์” วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2535.
- พัฒน์พงศ์ มีมาก ปิยวรรณ ทะแพงพันธ์. “การจำลองแบบเพื่อการศึกษาผลกระทบของการเศษของข้อมูลที่มีต่ออำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบบางตัว” วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2540.
- Huber, Peter J. *Robust Statistics*. New York : Wiley, 1981.
- Kariya, Takeaki. and Sinha, Bimal K. *Robustness of statistical tests*. Boston, Mass.: Academic Pr., 1989.

- Rubinstein, Reuven Y. **Simulation and the monte carlo method**. New York : Wiley, 1981.
- Nicholson, M.D.(1979) On expressing the mean of rounded data, *Biometrics*, 35 ,pp.873-874.
- Tricker, A.R. "The effect of rounding on the significant level of certain normal test statistics.", *Journal of Applied Statistics*, 17, pp. 31-38.



การหาปริมาณแอลกอฮอล์และสารระเหยง่ายอื่น ในไวน์มะม่วงและไวน์องุ่น โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี

(DETERMINATION OF ALCOHOLS AND OTHER VOLATILES IN
MANGO AND GRAPE WINES BY GAS CHROMATOGRAPHY)

ศักดิ์สิทธิ์ จันทร์ไทย*, สำรวย นางทะราช**,
สามารถ มูลอามาตย์**, เกษม นันทชัย** และ ไพบุลย์ ด้านวิรุทย์**

บทคัดย่อ

ได้วิเคราะห์หาปริมาณแอลกอฮอล์และสารระเหยง่ายอื่นในไวน์มะม่วงและไวน์องุ่นโดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่า สามารถแยกแอลกอฮอล์ 3 ชนิด และอัลดีไฮด์กับเอสเทอร์อย่างละชนิดออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 26 นาที และหาปริมาณสารเหล่านี้ในตัวอย่างไวน์มะม่วงแก้ว ไวน์มะม่วงโชคอนันต์ และไวน์แดงองุ่นสำเร็จรูป ได้ผลดังนี้ คือ มีปริมาณเมทานอล (89-375 ppm), เอทานอล (9.73-13.25 %v/v), นอร์มอล-โพรพานอล (24-650 ppm), ไอโซ-บิวทานอล (216-410 ppm), ไอโซ-เอมิล อัลกอฮอล์ (120-523 ppm) และเอธิลอะซิเตต (12-109 ppm) นอกจากนี้ยังพบ อะซีตัลดีไฮด์ (44 ppm) เฉพาะในตัวอย่างไวน์มะม่วงแก้วอีกด้วย

Abstract

Alcohols and other volatiles in mango and grape wines were quantitatively determined by gas chromatography. Optimum chromatographic conditions can be well separated for some alcohols, aldehyde and ester within 26 min. It was found that all samples ("Kaew" mango wine, "Chok-anant" mango wine and grape red wine) contained methanol (89-375 ppm), ethanol (9.73-13.25 %v/v), n-propanol (24-650 ppm), iso-butanol (216-410 ppm), iso-amyl alcohol (120-523 ppm), and ethylacetate (12-109 ppm). Moreover, acetadehyde (44 ppm) was found only in "Kaew" mango wine.

* ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1. บทนำ

ไวน์ (Wine) เป็นเครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์ (alcohols) ที่รู้จักกันดีชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่นิยมใช้ดื่มเพื่อกระตุ้นให้เกิดความอยากรับประทานอาหารโดยทั่วไปแล้วไวน์จะมีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 10-20 % ผลิตได้จากการหมักน้ำผลไม้กับเชื้อยีสต์ (yeast) ซึ่งผ่านกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ในแถบยุโรปและสหรัฐอเมริกามีการผลิตไวน์จากผลองุ่นสดเป็นส่วนใหญ่เรียกว่า ไวน์องุ่น (grape wine) นอกจากนี้ ยังสามารถผลิตไวน์จากผลไม้ชนิดอื่นๆ ในประเทศไทยก็สามารถผลิตไวน์จากผลองุ่นสดได้เช่นกันนอกเหนือจากการผลิตไวน์จากผลไม้ชนิดอื่น เช่น กระจับปี่ กล้วย มะยม มะขาม สับปะรด และมะม่วง เป็นต้น

ถ้าใช้เกณฑ์แอลกอฮอล์ที่มีอยู่ในไวน์เป็นตัวกำหนดแล้ว สามารถจำแนกไวน์ได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ (1) Sweet wine (8-10% alcohol), (2) Dry wine (10-17% alcohol) และ (3) Dessert wine (17-21% alcohol) โดยทั่วไปแล้ว มีการวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีในไวน์หรือสุรากลั่นเพื่อควบคุมคุณภาพและให้ได้มาตรฐานอุตสาหกรรมสุราของกระทรวงอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยและเป็นธรรมแก่ผู้บริโภค ในเครื่องดื่มประเภทที่มีแอลกอฮอล์ทั้งหลายจะมีส่วนผสมของสารอินทรีย์ที่สำคัญอยู่หลายชนิด ซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของไวน์

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกและหาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ประเภทแอลกอฮอล์, อัลดีไฮด์ และเอสเทอร์ ในตัวอย่างไวน์มะม่วง และไวน์องุ่น โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) เพื่อใช้ศึกษาชนิดของสารประกอบอินทรีย์ของไวน์ชนิดต่างๆ ต่อไป

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ใช้เครื่อง GC-14B (Shimadzu) และเครื่อง Data processor C-R7A โดยมีคอลัมน์แยกแบบสแตนเลส (Stainless column) เส้นผ่าศูนย์กลางภายในขนาด 2 มิลลิเมตร ความยาว 2 เมตร ซึ่งบรรจุด้วยวัสดุ Porapak Q และใช้ระบบตรวจวัดแบบฟลูออโรออสซิลเลชัน (FID detector) ใช้ Microsyringe ขนาด 10 μ L และชุดกรองสารตัวอย่างพร้อมด้วย Filter membrane (Millipore) ขนาด 0.45 μ m

2.2 สารเคมีและการเตรียมสาร

ใช้สารมาตรฐานแต่ละชนิดที่มีความบริสุทธิ์สูง และเตรียมสารละลายผสมที่มีสารมาตรฐานแต่ละชนิดเข้มข้น 1 % (v/v) ของ methanol, n-propanol, iso-butanol, n-butanol, iso-amyl alcohol, acetaldehyde และ ethylacetate โดยใช้ ethanol ซึ่งมีความเข้มข้น 10 % (v/v) เป็นตัวทำละลายและปรับปริมาตรสุดท้าย

2.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยก

ได้ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกโดยนำสารมาตรฐานแต่ละชนิดฉีดเข้าเครื่อง GC โดยเริ่มปรับสภาวะในการแยกแบบ Isothermal และ Gradient and Step Gradient Temperature Program ซึ่งต้องปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในแต่ละขั้นตอนของการแยก และเปลี่ยนอัตราการเพิ่มอุณหภูมิรวมทั้ง hold time จนกระทั่งได้สภาวะที่เหมาะสมในการแยกแบบ Temperature program คือ ใช้อุณหภูมิคอลัมน์เริ่มต้นที่ 130 °C แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 170 °C ด้วยอัตรา 5 °C ต่อนาที จนกระทั่งคงที่ที่ 170 °C นาน 2 นาที จากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิเป็น 180 °C ด้วยอัตรา 5 °C ต่อนาที และให้อุณหภูมิคงที่ที่ 180 °C นาน 2 นาที แล้วก็เพิ่มอุณหภูมิเป็น 220 °C ด้วยอัตรา 10 °C ต่อนาทีและให้คงที่ที่อุณหภูมินี้ 20 นาที ซึ่งเป็นอุณหภูมิสุดท้าย

โดยใช้อุณหภูมิของระบบฉีด 150 °C อุณหภูมิของระบบตรวจจับ 250 °C และให้อัตราเร็วของแก๊สพาที่ความดัน 100 kPa ส่วนอัตราการไหลแสดงในหน่วยความดันของแก๊สไฮโดรเจนและอากาศอัดเท่ากับ 70 kPa และ 60 kPa ตามลำดับ ซึ่งจากสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวข้างต้นนี้ สามารถแยกสารผสมทั้ง 7 ชนิดออกจากกันได้ภายในเวลาประมาณ 26 นาที

2.4 การเตรียมตัวอย่างไวน์

นำตัวอย่างไวน์ที่ต้องการวิเคราะห์มาผ่านกระบวนการขจัดสิ่งเจือปน โดยกรองผ่าน filter

membrane ขนาด 0.45 μm 2 ครั้ง เนื่องจากไวน์มีลักษณะใส และปราศจากตะกอนแขวนลอยก่อนฉีดเข้าเครื่อง GC

2.5 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

ได้เตรียมชุดสารละลายมาตรฐานผสมแต่ละชนิดที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน (ตารางที่ 1) โดยกำหนดความเข้มข้นของสารมาตรฐานแต่ละชนิด ตามปริมาณสารประกอบอินทรีย์ที่ควรพบในตัวอย่างไวน์เป็นเกณฑ์อ้างอิง แล้วใช้ ethanol 10 % (v/v) เป็นตัวทำละลาย

ตารางที่ 1 ชุดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานผสม (% ,v/v)

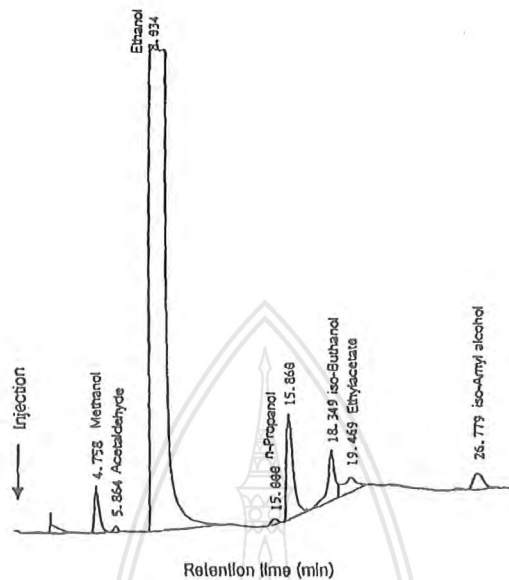
สารเคมี	Standard 1	Standard 2	Standard 3	Standard 4
Methanol	0.02	0.03	0.05	0.07
Acetaldehyde	3×10^{-3}	4×10^{-3}	5×10^{-3}	6×10^{-3}
Ethanol	9.00	11.00	13.00	15.00
n-Propanol	2×10^{-3}	3×10^{-3}	4×10^{-3}	5×10^{-3}
iso-Butanol	0.02	0.04	0.06	0.08
Ethylacetate	0.01	15×10^{-3}	20×10^{-3}	30×10^{-3}
iso-Amyl alcohol	7×10^{-3}	10×10^{-3}	12×10^{-3}	15×10^{-3}

3. ผลการวิเคราะห์

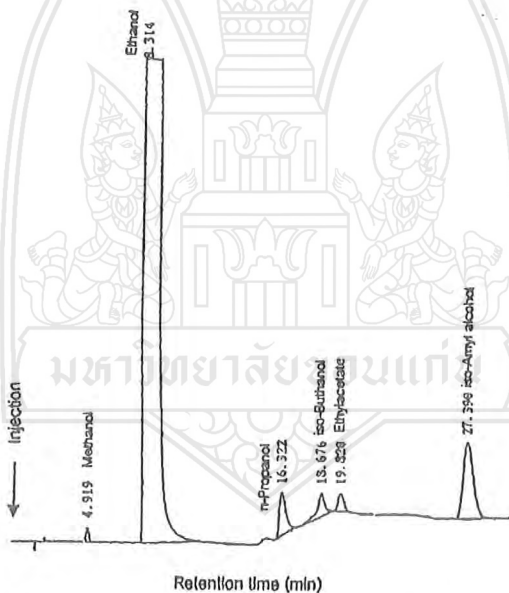
3.1 สภาวะที่เหมาะสมในการแยก

เนื่องจากสภาวะในการแยกแบบ isothermal นั้นมี baseline resolution และ analysis time ยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควร จึงทำการแยกแบบ Gradient Temperature Program และ Step Gradient Temperature Program จนกระทั่งได้สภาวะที่เหมาะสมในการแยกเพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณสาร

อินทรีย์ในตัวอย่างไวน์ จากผลการทดลอง ดังแสดงตัวอย่างไว้ในรูปที่ 1 และรูปที่ 2 คือโครมาโทแกรมของสารอินทรีย์ที่พบในตัวอย่างไวน์มะม่วงแก้วและไวน์องุ่นตามลำดับและพบว่าในตัวอย่างไวน์มะม่วงแก้วเหล่านี้มีส่วนผสมของสารที่สนใจ คือ methanol, acetaldehyde, ethanol, n-propanol, iso-butanol, ethyl acetate และ iso-amyl alcohol ตามลำดับ



รูปที่ 1 โครมาโทแกรมของสารอินทรีย์ที่พบในไวน์มะม่วงแก้ว



รูปที่ 2 โครมาโทแกรมของสารอินทรีย์ที่พบในไวน์องุ่น

3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ

นำตัวอย่างไวน์ชนิดต่าง ๆ มาวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ที่สนใจโดยเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐานแบบ External calibration และได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในตัวอย่างไวน์ 5 ชนิด

สารที่สนใจ	ความเข้มข้น (ppm)				
	ไวน์มะม่วงแก้ว	ไวน์มะม่วง โชคอนันต์*	ไวน์มะม่วง โชคอนันต์**	ไวน์องุ่น ปี 1985	ไวน์องุ่น ปี 1993
Methanol	375	211	242	80	130
Acetaldehyde	44	n.d.***	n.d.	n.d.	n.d.
<u>Ethanol (%v/v)</u>	<u>13.25</u>	<u>10.27</u>	<u>10.54</u>	<u>12.16</u>	<u>9.73</u>
n-Propanol	650	n.d.	n.d.	26	24
iso-Butanol	216	410	245	247	317
Ethyl acetate	12	109	75	31	83
iso-Amyl alcohol	120	200	265	523	238

*ชนิดหวาน **ชนิดธรรมดา *** not detectable

4. สรุปผลและวิจารณ์

จากผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี ซึ่งส่วนใหญ่คือ อัลกอฮอล์ และมีอัลดีไฮด์กับเอสเทอร์อย่างละชนิดเท่านั้น การแยกสารที่มีสมบัติทางเคมีและกายภาพคล้ายคลึงกันโดยใช้เทคนิค GC นั้น จำเป็นต้องปรับสภาวะในการแยกสารที่สนใจให้เหมาะสมและรวดเร็ว จากการเปรียบเทียบค่าเวลาการคงไว้ของสารแต่ละชนิดกับสารผสมสามารถบ่งชี้ลำดับของพีคในโครมาโทแกรมของสารผสมโดยเรียงจากเวลาน้อยไปหามากได้ดังนี้ คือ methanol, acetaldehyde, ethanol, n-propanol, iso-butanol, ethyl acetate, n-butanol และ iso-amyl alcohol

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างไวน์ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ไวน์มะม่วงแก้ว (ในโครงการวิจัยการผลิตไวน์และสุราจากมะม่วงแก้ว ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น) ไวน์มะม่วง “โชคอนันต์” ชนิดธรรมดาและชนิดหวาน ไวน์องุ่น ปี 1985 และไวน์องุ่น ปี 1993 พบว่า ไวน์เหล่านี้จะมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่คล้าย

คลึงกัน คือ methanol, ethanol, iso-butanol, ethyl acetate และ iso-amyl alcohol แตต่างกันในเรื่องปริมาณ นอกจากนี้ในไวน์องุ่นทั้งสองตัวอย่างยังพบ n-propanol ในปริมาณที่น้อยกว่า ส่วนในตัวอย่างไวน์มะม่วงแก้วนั้นจะมีองค์ประกอบเพิ่มอีกสองชนิด คือ acetaldehyde และ n-propanol

จะเห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีที่พบในตัวอย่างไวน์ที่ผลิตจากมะม่วงแก้วนั้นมีสารที่สนใจครบทุกตัว เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไวน์ที่ได้จากมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ หรือไวน์องุ่นบางชนิด เมื่อพิจารณาในแง่ปริมาณแล้ว จะมีเฉพาะ ethanol และ methanol เท่านั้นที่ยังมีปริมาณค่อนข้างสูงกว่า เป็นที่สังเกตว่า ปริมาณ ethanol ในไวน์องุ่นทั้งสองตัวอย่างมีค่าต่ำกว่าปริมาณที่ระบุไว้ (13 %v/v) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นไวน์ต่างประเทศซึ่งผลิตในปริมาณมาก และส่งผลให้อัลกอฮอล์มีปริมาณแปรปรวนไปบ้าง หรืออาจเป็นเพราะอายุของไวน์ที่เก็บไว้นานเกินไป สำหรับเอสเทอร์นั้น แม้ว่า จะวิเคราะห์หา ethyl acetate เพียงชนิดเดียวเท่านั้น พบว่า ในตัวอย่างไวน์มะม่วงโชคอนันต์ชนิดหวาน

นั้นมีสารชนิดนี้ในปริมาณค่อนข้างสูงกว่าไวน์ชนิดอื่น ๆ

ในที่นี้ยังไม่ได้หาดัชนีบ่งชี้คุณภาพที่ชัดเจนจากข้อมูลข้างต้นนี้ อย่างไรก็ตาม หากถือตามเกณฑ์กำหนดสารที่ให้โทษในสุราเป็นเกณฑ์อ้างอิง คือ ไม่ควรมี methanol เจือปนอยู่เลย กลุ่มของอัลดีไฮด์ซึ่งคิดในเทอมของ acetaldehyde ก็ไม่ควรมากกว่า 80 ppm และมีเอสเทอร์ในเทอมของ ethyl acetate ไม่ควรเกิน 1200 ppm เป็นต้น ดังนั้นจึงมีแต่ methanol เท่านั้นที่ยังเกินมาตรฐานกำหนด ส่วนอัลดีไฮด์กับเอสเทอร์นั้นยังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์

ปกติแล้ว การวิเคราะห์คุณภาพเครื่องดื่มเหล่านี้อาจเป็นงานประจำที่ห้องปฏิบัติการ หรือศูนย์วิจัยและพัฒนาในบริษัทผู้ผลิตเพื่อการจำหน่ายนั้นได้ปฏิบัติกันอยู่แล้ว ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีในไวน์และสุรากลั่นที่ผลิตได้จากผลไม้ต่างชนิดกันน่าจะมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่สามารถดึงดูดและเพิ่มแรงจูงใจให้กับผู้บริโภคได้บ้างไม่มากนักน้อย ดังนั้น ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อประกอบการศึกษาดัชนีบ่งชี้ในการประเมินคุณภาพเครื่องดื่ม ยิ่งน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตไวน์ หรือสุรากลั่นจากผลไม้พื้นบ้าน อย่างเช่น มะม่วงแก้ว ที่นับวันจะมีผลผลิตเพิ่มมากขึ้นในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนงบประมาณโครงการวิจัยการผลิตไวน์และสุรากลั่นจากมะม่วงแก้ว ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- Cochrane, G.C. (1986) Methods of analysis used for investigating whisky compounds. *Analytical Proceedings*, 23: 357-359.
- Tamaki, T., Takamiya, Y., Miyagi, T. and Nishiya, T. (1986) Changes in ester compounds and higher alcohols of Awamori during aging. *J. Ferment. Techno.*, 64 (1): 17-24.
- Martin, G.E., Burggraff, J.M., Dyer, R.H. and Buscemi, P.C. (1981) Gas-liquid chromatographic determination of congeners in alcoholic products with confirmation by gas chromatography / mass spectrometry. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 64 (1): 186-190.
- Brander, C.F., Kepner, R.E. and Webb, A.D. (1980) Identification of some volatile compounds of wine of Vitis Vinifera cultivar pinot noir. *Am. J. Enol. Vitic.*, 31 (1) : 69-75.

การศึกษาวัสดุธรรมชาติเพื่อดูดซับโลหะหนักที่มีพิษในน้ำเสีย

The Study on Natural Materials for Adsorption of Some Heavy Metals Toxicity in Waste Water

รัตนา มหาชัย*

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาการดูดซับโลหะหนักที่มีพิษบางตัวได้แก่ แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) และสังกะสี (Zn) ด้วยวัสดุธรรมชาติชนิดต่างๆ ที่หาง่ายและราคาถูก ดังนี้ แกลบเผา ถ่าน ถ่านกัมมันต์ ชี้เถ้า คาโอลิน เบนโทไนต์ กาบมะพร้าว รังไหม เยื่อไม้ไผ่ และใยข้าวโพด จากการศึกษาพบว่า โลหะตะกั่วถูกดูดซับได้มากที่สุดในวัสดุเกือบทุกชนิด เมื่อแยกกลุ่มปริมาณการดูดซับเป็นร้อยละ (กรัม/กรัม) (ก) ตะกั่ว อยู่ในช่วง 30-70% (ข) ทองแดง แคดเมียม สังกะสี อยู่ในช่วง 2-10% และ (ค) นิกเกิล โครเมียม แมงกานีส น้อยกว่า 1% และเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโลหะของวัสดุเรียงลำดับมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ชี้เถ้า ถ่านกัมมันต์ เบนโทไนต์ ส่วนถ่าน แกลบเผา เยื่อไม้ไผ่ กาบมะพร้าว และใยรังไหม มีความสามารถในการดูดซับโลหะใกล้เคียงกัน เมื่อศึกษาวิธีการกำจัดโลหะหนักที่มีพิษทั้ง 7 ตัว ผสมกัน พบว่า วิธีการแบบต่อเนื่องมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดีกว่าวิธีการแบบไม่ต่อเนื่องประมาณ 5 เท่า แต่เมื่อนำวิธีทั้งสองมาทำร่วมกัน โดยใช้วัสดุชี้เถ้าได้ผลเหมาะสมที่สุด

Abstract

Adsorption properties of some toxic cations on some natural adsorbents were studied. The cations were Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} and Zn^{2+} . The adsorbents were rice husk ash, charcoal, activated charcoal, charcoal ash, kaolin, bentonite, coconut husk, silk cocoon, bamboo cellulose and corn husk. From the results, each pair of adsorbate/adsorbent indicated that lead was easily adsorbed by most adsorbents. The amount of the metals adsorbed per gram of the adsorbents can be classified into 3 groups : (i) $\text{Pb} \approx 30-70\%$, (ii) Cu , Cd , $\text{Zn} \approx 2-10\%$, and (iii) Ni , Cr , $\text{Mn} \leq 1\%$. The adsorptive ability of the adsorbents were of order : charcoal ash > activated charcoal > bentonite > charcoal $\approx$ rice husk ash bamboo cellulose $\approx$ coconut husk $\approx$ silk cocoon. Studies on treatment of the toxic metals by adsorption method showed that continuous flow method was more effective than batch technique about five times. However, it was better to apply both continuous flow and batch techniques together and found that the suitable adsorptive material was charcoal ash.

* รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1. บทนำ

รัตนมา มหัชย และคณะ⁽¹⁾ ได้ศึกษาเพื่อหาวัสดุกรองน้ำกร่อยและสนิมเหล็กเจือปนพบว่าเป็นดินขาวและเบนโทไนต์สามารถดูดซับโปแตสเซียมและเหล็ก ส่วนพวกเส้นใยสามารถดูดซับแอมโมเนียและถ่านดูดซับแคลเซียมและแมกนีเซียม เกษมจันทร์แก้ว และคณะ⁽²⁾ ได้ใช้ผักตบชวาดูดซับโลหะหนักที่มีพิษในบึงมกคะสัน Tiwari et.al⁽³⁾ ได้มีการนำถ่านแกลบที่ได้จากข้าวมาดูดซับโลหะหนักเช่นปรอท โดยการทำให้แบบแซ่ 3 ชั่วโมงควบคุมพี-เอช 4-6 พบว่าวัสดุดูดซับปรอทได้ 98% โอโซเทอรัมเป็นแบบแลงเมียร์ นอกจากนี้ Feng et.al⁽⁴⁾ ได้ทำการกระตุ้นวัสดุดูดซับประเภทซิลิกาด้วยหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่ไทออกซิล สามารถจับโลหะหนัก เช่น ปรอทได้ดีขึ้น

2. วิธีการทดลอง

2.1 ศึกษาสมบัติน้ำตัวอย่าง (มาตรฐาน)

ได้ทำการเตรียมน้ำตัวอย่างจำลองสำหรับเป็นตัวถูกดูดซับโดยใช้สารละลายมาตรฐานของโลหะต่าง ๆ ดังนี้

โลหะไอออนเดี่ยวได้แก่ Cd Cr Cu Pb Mn Ni และ Zn

โลหะไอออนผสมของโลหะทั้ง 7 ตัว

1.1 วัดค่าพี-เอชและค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายน้ำตัวอย่าง

1.2 ตรวจสอบการตกตะกอนของโลหะ

ทำโดยนำสารละลายโลหะไอออนแต่ละตัวมาปรับพี-เอชและวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่เหลือ

2.2 การเตรียมวัสดุดูดซับ

วัสดุที่ใช้ได้แก่

กลุ่ม 1 วัสดุมีรูพรุน ได้แก่ แกลบเผา ชี้ถั่ว ถ่านกัมมันต์และถ่านไม้

กลุ่ม 2 วัสดุเส้นใย ได้แก่ เชื้อไม้ไผ่ ใยกาบมะพร้าว ใยข้าวโพด และใยรังไหม

กลุ่ม 3 แร่ ได้แก่ ดินขาว และเบนโทไนต์

2.2.1 การทำความสะอาด นำวัสดุชนิดต่าง ๆ มาล้างน้ำกลั่น แล้ววัดค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำล้าง จนได้ค่าการนำไฟฟ้าคงที่

2.2.2 ทดสอบนำน้ำล้างวัสดุครั้งสุดท้ายแต่ละชนิด มาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ

2.3 การศึกษาการดูดซับ

2.3.1 แบบไม่ต่อเนื่อง (แบบแซ่) ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดหนัก 5 กรัม ใส่ลงในภาชนะเติมสารละลายโลหะไอออนแต่ละตัว คนสารละลายตั้งทิ้งไว้ 8 วัน กรองสารละลายที่ได้แล้วนำไปวิเคราะห์

สารละลายโลหะไอออนผสม 7 ตัว ทำการทดลองเช่นเดียวกัน

สรุปหาวัสดุที่เหมาะสมที่ดูดซับโลหะได้มากที่สุดในแต่ละกลุ่ม เพื่อทำการทดลองแบบต่อไป

2.3.2 แบบต่อเนื่อง

(1) แบบต่อเนื่องคอลัมน์ชั้นเดียว ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดหนัก 1 กรัม (ยกเว้นเชื้อไม้ไผ่ 0.5 กรัม) บรรจุลงในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm สูงประมาณ 3 cm นำสารละลายโลหะไอออนแต่ละชนิดผ่านลงไปคอลัมน์ ปรับอัตราการไหลประมาณ 0.1-1 ml/min เก็บสารละลายที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์

ทำการทดลองกับโลหะไอออนผสมเช่นเดียวกันและทำการคัดเลือกวัสดุเพื่อนำไปทำการทดลองแบบต่อไป

(2) แบบต่อเนื่องคอลัมน์ 2 ชั้น ทำการทดลองคล้ายข้อ (1) แต่บรรจุวัสดุแต่ละชนิดลงในคอลัมน์ แล้วนำคอลัมน์มาต่อกัน ผ่านสารละลายโลหะไอออนจากคอลัมน์บนไหลต่อลงมา

คอลลิมน์ล่างอย่างต่อเนื่อง แล้วเก็บสารละลายที่ได้จากคอลลิมน์สุดท้ายนำไปวิเคราะห์ต่อไป

(3) แบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่อง 2 ชั้น ทำการทดลองคล้าย (2) แต่ใช้ภาชนะใหญ่ขึ้นใส่สารละลายโลหะไอออนลงในภาชนะที่บรรจุวัสดุแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 วัน แล้วจึงปล่อยให้ไหลลง

ภาชนะบรรจุวัสดุชนิดที่สอง ทิ้งไว้ 1 วัน เช่นกัน แล้วเก็บสารละลายที่ได้เพื่อนำไปวิเคราะห์

(4) แบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่อง 3 ชั้น ทำการทดลองคล้ายหัวข้อ (3) โดยทำกับสารละลายโลหะไอออนผสม

3. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับด้วยวัสดุเมื่ออยู่ในรูปโลหะไอออนผสมโดยวิธีไม่ต่อเนื่อง (แบบแซ่)

วัสดุ	ปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับ ไมโครกรัม/กรัมวัสดุ, (%) โดยน้ำหนัก							รวมโลหะทั้งหมด
	Cd	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Zn	
แกลบ	317 (0.032)	566 (0.057)	351 (0.035)	433 (0.043)	14 (0.001)	351 (0.035)	300 (0.030)	2,312 (0.231)
ถ่าน	1,116 (0.112)	1,482 (0.148)	2,504 (0.250)	3,933 (0.393)	212 (0.021)	550 (0.055)	1,084 (0.108)	10,881 (1.088)
ถ่านกัมมันต์	409 (0.041)	1,096 (0.110)	617 (0.062)	752 (0.075)	0.000 (0.000)	423 (0.042)	350 (0.035)	4,647 (0.465)
ขี้เถ้า	3,353 (0.335)	1,217 (0.122)	3,511 (0.351)	9,166 (0.917)	2,100 (0.210)	2,210 (0.210)	3,800 (0.380)	25,357 (2.536)
เกลาลิน	38 (0.004)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	0.000 (0.000)	38 (0.004)
เบนโทไนต์	1,345 (0.134)	712 (0.071)	0.000 (0.000)	813 (0.081)	0.000 (0.000)	946 (0.095)	1,223 (0.122)	5,039 (0.504)
เยื่อไม้ไผ่	438 (0.044)	855 (0.086)	471 (0.047)	936 (0.094)	367 (0.037)	567 (0.057)	584 (0.058)	4,218 (0.422)
กาบมะพร้าว	281 (0.028)	639 (0.064)	211 (0.021)	707 (0.071)	155 (0.016)	279 (0.028)	380 (0.038)	2,652 (0.265)
ใยรังไหม	296 (0.027)	518 (0.052)	263 (0.026)	318 (0.032)	165 (0.016)	297 (0.030)	266 (0.027)	2,096 (0.210)

หมายเหตุ ในตาราง บน แสดงค่าการดูดซับในหน่วยไมโครกรัมต่อกรัมวัสดุ
ล่าง แสดงค่าการดูดซับในหน่วย % โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับด้วยวัสดุเมื่ออยู่ในรูปโลหะผสมโดยวิธีต่อเนื่องคอลัมน์เดียว

วัสดุ	ปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับไปวัดกรัม/กรัมวัสดุและ (% โดยน้ำหนัก)						
	Cd	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Zn
ซีเมนต์	3,980 (0.398)	6,599 (0.660)	7,175 (0.718)	1,954 (1.925)	4,520 (0.452)	4,520 (0.452)	7,699 (0.770)
ถ่านกัมมันต์	2,461 (0.2461)	4,289 (0.429)	1,226 (0.1231)	3,150 (0.315)	406 (0.041)	2,475 (0.248)	3,459 (0.346)
ถ่านไม้	2,093 (0.209)	4,746 (0.475)	2,023 (0.2021)	2,240 (0.224)	736 (0.074)	2,807 (0.281)	3,743 (0.0374)
เยื่อไม้ไผ่	3,887 (0.389)	8,817 (0.882)	3,644 (0.364)	4,471 (0.447)	2,009 (0.201)	5,742 (0.574)	7,343 (0.734)
กากมะพร้าว	1,966 (0.197)	3,946 (0.395)	1,169 (0.117)	1,696 (0.170)	705 (0.071)	2,597 (0.260)	2,457 (0.246)
ใยสังไหม	2,030 (0.203)	4,527 (0.453)	1,503 (0.150)	1,467 (0.147)	375 (0.038)	2,596 (0.260)	2,720 (0.272)

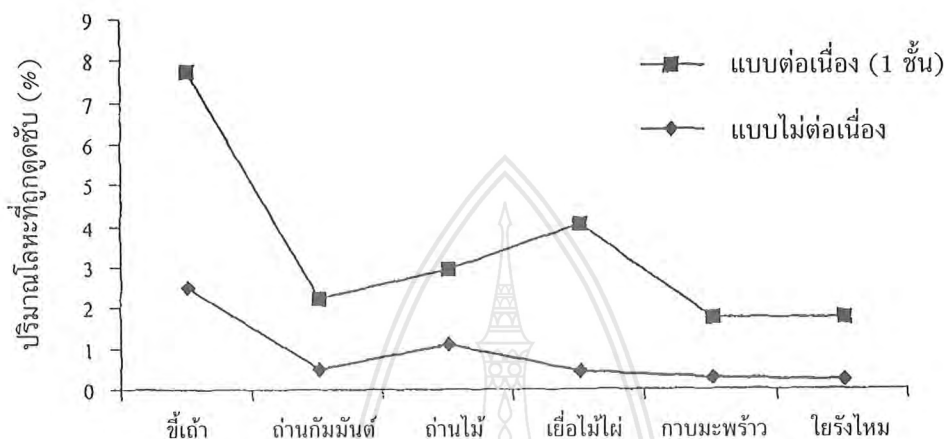
3.1 เปรียบเทียบวิธีการบำบัดแบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่อง

ในการเปรียบเทียบพิจารณา 2 ตัวแปรด้วยกัน คือ (1) ชนิดของวัสดุที่ดูดซับปริมาณโลหะทั้งหมดมากที่สุดในแต่ละวิธีโดยเปรียบเทียบวัสดุรวมที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงเปรียบเทียบได้ 2 วิธี คือ แบบไม่ต่อเนื่อง และต่อเนื่อง ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 1

ตารางที่ 3 ปริมาณการดูดซับโลหะทั้งหมดรวม 7 ตัว ที่ถูกดูดซับเป็น % (g/g) ในโมเดลตัวอย่างน้ำโลหะผสม โดยทำวิธีการบำบัดแบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่องเปรียบเทียบกัน

ชนิดวัสดุ	ปริมาณโลหะทั้งหมดที่ถูกดูดซับ (ในตัวอย่างโลหะผสม)		โลหะผสม ต่อเนื่อง : ไม่ต่อเนื่อง
	แบบไม่ต่อเนื่อง	แบบต่อเนื่อง	
ซีเมนต์	2.536	5.209	1 : 2
ถ่านกัมมันต์	0.465	1.747	1 : 4
ถ่านไม้	1.088	1.839	1 : 2
เยื่อไม้ไผ่	0.422	3.591	1 : 9
กากมะพร้าว	0.265	1.454	1 : 5
ใยสังไหม	0.210	1.521	1 : 7
		เฉลี่ย	1 : 5

จากรูปพบว่าทุกวัสดุ ได้แก่ ชี้เถ้า ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ เยื่อไม้ไผ่ กาบมะพร้าว และใยรังไหม วิธีการดูดซับแบบต่อเนื่องดูดซับได้ดีกว่าแบบไม่ต่อเนื่องประมาณ 5 เท่า

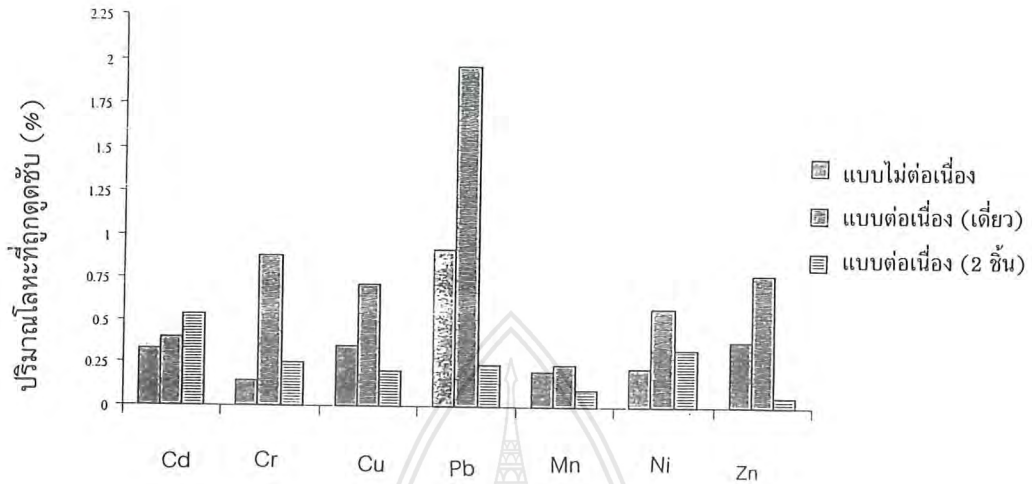


รูปที่ 1 แสดงปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับด้วยวัสดุคอลัมน์ 2 ชั้น เมื่ออยู่ในรูปโลหะผสม

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับด้วยวัสดุคอลัมน์ 2 ชั้น เมื่ออยู่ในรูปโลหะผสม

วัสดุ	ปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับ (ไมโครกรัม/กรัมวัสดุและ (% โดยน้ำหนัก)						
	Cd	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Zn
ถ่านไม้	5,377	2,384	569	902	955	1,331	0.000
เยื่อไม้ไผ่	(0.538)	(0.238)	(0.057)	(0.090)	(0.096)	(0.313)	(0.001)
เยื่อไม้ไผ่	5,321	2,565	683	1,356	891	3,281	577
ถ่านไม้	(0.532)	(0.257)	(0.068)	(0.136)	(0.891)	(0.328)	(0.058)
ถ่านไม้	4,021	2,523	2,027	2,426	825	2,674	0.000
ใยรังไหม	(0.402)	(0.252)	(0.203)	(0.243)	(0.083)	(0.267)	(0.001)
ใยรังไหม	4,171	2,505	1,073	2,185	921	2,705	563
ถ่านไม้	(0.417)	(0.251)	(0.107)	(0.219)	(0.092)	(0.271)	(0.056)

ปริมาณโลหะแต่ละตัวที่ถูกดูดซับสูงสุดในวัสดุต่าง ๆ ในวิธีการบำบัดแบบไม่ต่อเนื่อง แบบต่อเนื่อง ชั้นเดียว และแบบต่อเนื่อง 2 ชั้น ในตัวอย่างน้ำโลหะผสม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลดังตารางที่ 4 และรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบวิธีการบำบัด 3 วิธี

จากรูปเมื่อเปรียบเทียบวิธีการบำบัดพบว่า วิธีการบำบัดแบบต่อเนื่องชั้นเดียวดูดซับโลหะได้ดีกว่าวิธีการบำบัดแบบไม่ต่อเนื่อง ส่วนวิธีการบำบัดแบบต่อเนื่อง 2 ชั้น ผลดังตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับต่ำสุดส่วนปริมาณโลหะแต่ละตัวที่ถูกดูดซับแบ่งกลุ่มได้ 2 กลุ่มใหญ่ คือ (ก) ถูกดูดซับได้ค่อนข้างมากประมาณ $> 1\%$ ได้แก่ Pb และ Cu (ข) ถูกดูดซับได้ปานกลาง อยู่ระหว่าง $0.1-1\%$ ได้แก่ Cd Cr Mn Ni และ Zn

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับแบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่องในโมเดลตัวอย่างน้ำโลหะผสม โดยนำข้อมูลการดูดซับสูงสุดมาใช้ % (g/g)

วิธี	Cd	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Zn	ปริมาณโลหะทั้งหมด
แบบไม่ต่อเนื่อง	ซีดำ	ถ่านไม้ 0.335	ซีดำ 0.148	ซีดำ 0.351	ซีดำ 0.917	ซีดำ 0.210	ซีดำ 0.221	2.562 0.350
แบบต่อเนื่อง (คอลัมน์เดี่ยว)	ซีดำ 0.398	เยื่อไม้ไผ่ 0.882	ซีดำ 1.965	ซีดำ 1.965	ซีดำ 0.246	ซีดำ 0.574	ซีดำ 0.770	5.553
แบบต่อเนื่อง (คอลัมน์ 2 ชั้น)	ถ่าน-ไหม 0.538	ไผ่-ถ่าน 0.257	ถ่าน-ไหม 0.203	ถ่าน-ไหม 0.243	ถ่าน-ไผ่ 0.096	ไผ่-ถ่าน 0.328	ไผ่-ถ่าน 0.058	1.723

3.2 การศึกษาแบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่องผสมกัน

การศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะปนเปื้อนแบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่องผสมกันจากข้อสรุปจากการศึกษาพบว่าวิธีการแบบต่อเนื่องมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับดีกว่าแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่องชั้นเดียวดูดซับโลหะได้ดีกว่าแบบสองชั้น แต่ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของวัสดุแต่ละชนิดในโลหะแตกต่างกันด้วย ดังนั้นจึงตัดสินใจเลือกวัสดุในแต่ละกลุ่มที่ดูดซับได้ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดเป็นหลัก

เมื่อทำการทดลองถึงขั้นสุดท้ายได้ข้อสรุปว่า ถ้าต้องการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะไอออนที่มีพิษ วัสดุที่ควรเลือกใช้คือซีเถ้า เพราะสภาพสารละลายเป็นเบสช่วยทำให้โลหะไอออนตกตะกอนได้บางส่วน

ก่อนที่จะมีการดูดซับที่ผิวของวัสดุ และจากข้อสรุปเบื้องต้นพบว่า วิธีการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะไอออนอยู่ควรใช้แบบไม่ต่อเนื่อง เพราะเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะไอออนของวัสดุได้มากกว่าแบบต่อเนื่อง คอลลิ้นเดี่ยวและคอลลิ้นคู่ แต่ปัญหาของการทำแบบไม่ต่อเนื่องคือต้องเปลี่ยนวัสดุทุกครั้งที่ยำบัด เพราะประสิทธิภาพของวัสดุจะลดลง เนื่องจากการดูดซับเกิดที่ผิววัสดุเป็นแบบโมโนเลเยอร์ อย่างไรก็ตามวิธีการบำบัดแบบต่อเนื่องก็มีข้อที่ดีกว่าคือสามารถรีเจนเนอเรทได้ โดยการล้างหรือทำความสะอาดด้วยกรดแล้วใช้งานใหม่อีก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องศึกษาต่อไป โดยทำแบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่องร่วมกันแบบใช้วัสดุ 2 ชั้น (ชนิด) และ 3 ชั้น (ชนิด) ผลดังตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับด้วยวัสดุเมื่อทำแบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่อง 2 ชั้น ของโลหะผสม

วัสดุ	ปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับไมโครกรัม/กรัมวัสดุ (% โดยน้ำหนัก)						
	Cd	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Zn
ถ่านไม้	661	601	503	888	221	1,212	351
ใยสังไหม	(0.066)	(0.060)	(0.050)	(0.089)	(0.022)	(0.121)	(0.035)
ใยสังไหม	0.000	477	464	701	221	1,012	88
ถ่านไม้	(0.000)	(0.048)	(0.046)	(0.070)	(0.022)	(0.101)	(0.009)
ซีเถ้า	796	0.000	876	1,320	516	1,094	938
ใยสังไหม	(0.080)	(0.000)	(0.088)	(0.132)	(0.056)	(0.109)	(0.094)
ใยสังไหม	1,450	904	1,652	1,622	936	1,778	1,622
ซีเถ้า	(0.145)	(0.090)	(0.165)	(0.162)	(0.094)	(0.178)	(0.162)
ซีเถ้า	1,437	2,811	2,404	3,686	640	15,577	2,014
เยื่อไม้ไผ่	(0.144)	(0.281)	(0.240)	(0.369)	(0.064)	(0.156)	(0.201)
เยื่อไม้ไผ่	1,018	1,378	1,315	2,662	908	1,784	1,954
ซีเถ้า	(0.102)	(0.138)	(0.132)	(0.266)	(0.091)	(0.178)	(0.195)

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับด้วยวัสดุเมื่อทำแบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่อง 3 ชั้น ของโลหะผสม

วัสดุ	ปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับไมโครกรัม/กรัมวัสดุ (% โดยน้ำหนัก)						
	Cd	Cr	Cu	Pb	Mn	Ni	Zn
ซีเมนต์-เบนโทไนต์-ไยริงโหม	250 (0.025)	0.000 (0.000)	270 (0.027)	729 (0.073)	0.000 (0.000)	333 (0.032)	490 (0.049)
ไยริงโหม-เบนโทไนต์-ซีเมนต์	678 (0.068)	0.000 (0.000)	552 (0.055)	656 (0.066)	584 (0.058)	500 (0.050)	782 (0.078)
ถ่านไม้-เบนโทไนต์-ไยริงโหม	468 (0.047)	0.000 (0.000)	530 (0.053)	437 (0.044)	229 (0.023)	572 (0.057)	583 (0.058)
ไยริงโหม-เบนโทไนต์-ถ่านไม้	218 (0.022)	167 (0.017)	250 (0.025)	292 (0.029)	0.000 (0.000)	416 (0.042)	468 (0.047)

จากการศึกษา พยายามออกแบบโมเดล ให้ใกล้เคียงกับการบำบัดน้ำเสียจริงจึงตัดสินใจเลือก ทำให้แบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่องกับวัสดุ 3 กลุ่ม คือ ทำทั้งแบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่องกับวัสดุ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มรูพรุน ได้แก่ ถ่าน ซีเมนต์ กลุ่มเส้นใย ได้แก่ ไยริงโหม และเยื่อไม้ไผ่ กลุ่มแร่เบนโทไนต์ โดย ทำกับสารละลายไฮดรอกไซด์ ซึ่งคาดว่าจะเป็ สารละลายที่คล้ายกับน้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรมมากที่สุด วิธีการทำ 2 แบบ

3.2.2 การศึกษาแบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่องบรรจุวัสดุ 3 ชั้น

3.2.1 การศึกษาแบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่องบรรจุวัสดุ 2 ชั้น

จากที่ได้กล่าวมาในตอนต้นแล้วว่า น้ำทิ้ง หรือน้ำเสียจากแหล่งน้ำต่าง ๆ มักมีโลหะหนัก หลายชนิดปนกันอยู่ ดังนั้น ตัวอย่างน้ำที่ใช้จึงเป็น ตัวอย่างที่มีโลหะทั้ง 7 ชนิดผสมกัน วัสดุดูดซับ บรรจุในภาชนะเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. ทำแบบ ไม่ต่อเนื่องแค่ 2 วัน แล้วค่อยปล่อยน้ำไหลไปยัง วัสดุชนิดที่สองแล้วแค่ 2 วัน วัสดุที่ใช้คือ ถ่านไม้ ถ่าน ไยริงโหม และเยื่อไม้ไผ่ ผลการทดลอง ดัง ตารางที่ 6 พบว่าปริมาณการดูดซับโลหะทุกตัวอยู่ ในช่วง เป็น $\mu\text{g/g}$ (% g/g) ดังนี้คือ 221-1212

จากการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง พบว่าวัสดุ ซีเมนต์สามารถทำให้โลหะไฮดรอกไซด์ตกตะกอนได้บางส่วน และยังดูดซับได้ดีที่สุด จึงตัดสินใจออกแบบโมเดล กำจัดน้ำเสียเป็นแบบไม่ต่อเนื่องผสมแบบต่อเนื่อง โดยใช้วัสดุ 3 ชั้น ร่วมกันวิธีการทดลองเหมือนเดิม วัสดุที่ใช้ คือ ซีเมนต์ เบนโทไนต์ และถ่าน ผลดัง ตารางที่ 7 พบว่าปริมาณการดูดซับโลหะทุกตัวอยู่ ในช่วงเป็น (g/g (% g/g)) ดังนี้คือ 0.000-729 (0.00-0.073); 0.000-782 (0.000-0.078); 0.000-583 (0.000-0.058) และ 0.00-468 (0.000-0.047) ในวัสดุซีเมนต์-เบนโทไนต์-ไยริง โหมไยริงโหม-เบนโทไนต์-ซีเมนต์ ซีเมนต์-เบนโทไนต์-

ไยรังไหมและไยรังไหม-เบนโทไนด์-ซีเถ้าตามลำดับ
ข้อสรุปเบื้องต้น โมเดลบำบัดน้ำเสียเพื่อ
กำจัดโลหะในตัวอย่างน้ำเสียจำลองโดยการผสม
โลหะทุกตัว ได้ข้อสรุปดังนี้

(1) การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ต่อเนื่องและ
ต่อเนื่อง วัสดุดูดซับ 2 ชนิด คือ ถ่านไม้-ไยรังไหม
กับไยรังไหม-ถ่านไม้ปริมาณการดูดซับโลหะทั้งหมด
0.296-0.444% ซีเถ้า-ไยรังไหม ไยรังไหม-ซีเถ้า
ปริมาณการดูดซับโลหะทั้งหมด 0.555-0.996%
ซีเถ้า-เยื่อไม้ไผ่ กับเยื่อไม้ไผ่-ซีเถ้า ปริมาณการดูด
ซับโลหะทั้งหมด 1.062-1.357% พบว่ามีการ
สลับตำแหน่งการวางวัสดุก่อนหลังไม่มีผลต่อการ
ดูดซับคือ ปริมาณการดูดซับโลหะไม่แตกต่างกันใน
แต่ละคู่ วัสดุที่มีการดูดซับโลหะทั้งหมดสูงสุด ได้แก่
ซีเถ้า กับเยื่อไม้ไผ่

(2) การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ต่อเนื่องและ
ต่อเนื่อง ใช้วัสดุ 3 ชนิด โดยเพิ่มเบนโทไนด์และ
ต้องเปลี่ยนเยื่อไม้ไผ่เป็นไยรังไหม เพราะในธรรม-
ชาติเยื่อไม้ไผ่หายากกว่า และวัสดุซีเถ้าพบว่าปริมาณ
การดูดซับโลหะทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.181-0.375%
และลดลงประมาณ 3 เท่า

4. สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

ในการกำจัดโลหะหนักที่มีพิษบางตัวด้วย
วัสดุธรรมชาติ งานวิจัยที่ได้เลือกวัสดุธรรมชาติที่หา
ง่ายและราคาถูก 3 กลุ่ม ได้แก่ (ก) พวกมีรูพรุน
ได้แก่ ซีเถ้า แกลบ เป็นต้น (ข) กลุ่มแร่ธรรมชาติ
ได้แก่ เกลิน เบนโทไนด์ เป็นต้น และ (ค) กลุ่ม
เส้นใย เช่น เยื่อไม้ไผ่ ใบมะพร้าว เป็นต้น โลหะ
หนักที่มีพิษ ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม ทองแดง
ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล และสังกะสี โมเดลน้ำ
ตัวอย่างตามทฤษฎีแล้วจะต้องเตรียมโลหะไอออน
แต่ละตัว (ไอออนเดี่ยว) เพื่อดูแนวโน้มประสิทธิภาพ
ของวัสดุแต่ละชนิดในการกำจัดโลหะไอออนแต่ละตัว
พบว่า โลหะตะกั่วถูกกำจัดได้มากที่สุดในทุกวัสดุ

และวัสดุที่กำจัดโลหะได้มากที่สุดเกือบทุกโลหะคือ
ซีเถ้า เนื่องจากสารละลายของวัสดุมีฤทธิ์เป็นเบส
ดังนั้นการกำจัดโลหะอาจมีทั้งตกตะกอนและดูดซับ
ผสมกัน เมื่อได้แนวโน้มแล้วจึงทำการทดลองโมเดล
น้ำตัวอย่างโลหะไอออนผสม 7 ตัว รวมกัน พบว่า
ปริมาณการกำจัดโลหะน้อยลง ได้ข้อสรุปปริมาณ
โลหะหนักทั้งหมดทุกตัวรวม 7 ตัว ที่ถูกกำจัดใน
วัสดุแต่ละกลุ่มดังนี้

1. กลุ่มรูพรุน วัสดุซีเถ้ากำจัดโลหะได้
มากที่สุด ประมาณ 2.5% และเมื่อพิจารณาวัสดุทั้ง
กลุ่มอยู่ในช่วง 0.23-2.5% (g/g)

2. กลุ่มแร่ธรรมชาติ วัสดุเกลิน และ
เบนโทไนด์ กำจัดโลหะได้ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง
0.00-0.5% (g/g)

3. กลุ่มเส้นใย พบว่า วัสดุ เยื่อไม้ไผ่,
กาบมะพร้าว และไยรังไหม กำจัดโลหะได้ใกล้เคียง
กัน อยู่ในช่วง 0.21-0.43% (g/g)

โดยกลุ่มรูพรุน กำจัดโลหะได้มากที่สุดรอง
ลงมา กลุ่มเส้นใยและกลุ่มแร่ตามลำดับ

งานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบวิธีการบำบัดน้ำ
เสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ 3 แบบคือ (1) แบบ
ไม่ต่อเนื่อง (Batch Method หรือ Non Continuous
flow) (2) แบบต่อเนื่อง (Continuous flow) โดย
ให้สารละลายน้ำตัวอย่างไหลตลอดเวลาทำทั้งแบบ
ชั้นเดียวและ 2 ชั้น พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด
โลหะแบบ 2 ชั้นน้อยกว่าแบบชั้นเดียว 4 เท่า และ
เมื่อเปรียบเทียบวิธีการบำบัดแบบต่อเนื่องสามารถ
กำจัดโลหะได้มากกว่าแบบไม่ต่อเนื่องชั้นเดียวถึง
5 เท่า (3) แบบไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่อง เป็นวิธี
การออกแบบการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อน
โดยใช้ภาชนะขนาดใหญ่ขึ้น พบว่าการออกแบบใส่
วัสดุแต่ละชนิดในภาชนะแต่ละใบแล้วเข้มน้ำตัวอย่าง
ไว้ 2 วัน แล้วปล่อยสู่ภาชนะใบที่สองที่บรรจุวัสดุ
คนละชนิด โดยเลือกวัสดุ 3 กลุ่มเช่นเดิม พบว่า
วัสดุซีเถ้า-เยื่อไม้ไผ่ สามารถกำจัดโลหะทั้งหมดได้

มากประมาณ 1% (g/g) แต่เนื่องจากเยื่อไม้ไผ่หายาก ถ้าเปลี่ยนเป็นขี้เถ้า-ใยรังไหมสามารถกำจัดโลหะทั้งหมดได้น้อยกว่าวัสดุคู่แรกเล็กน้อยอยู่ประมาณ 0.5-1.0% (g/g)

5. ข้อเสนอแนะ

การกำจัดโลหะหนักที่มีพิษในน้ำทั้งเป็นสิ่งที่น่าสนใจและน่าศึกษา เนื่องจากการดูดซับโลหะเหล่านี้มีประโยชน์ในการควบคุมมลพิษในสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นการศึกษาการดูดซับโลหะด้วยวัสดุธรรมชาติที่หาง่ายราคาถูก เป็นเรื่องที่น่าสนใจ แต่การศึกษายังขาดงานวิจัยพื้นฐานดังนี้

1. พฤติกรรมการดูดซับระหว่างตัวดูดซับกับวัสดุดูดซับแต่ละชนิด
2. สมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุดูดซับแต่ละชนิด รวมทั้งพื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนของวัสดุ
3. การปรับปรุงเพื่อทำให้วัสดุดูดซับมีประสิทธิภาพการดูดซับได้มากขึ้นโดยศึกษาการเผาหรือการกระตุ้นแบบอื่นๆ เช่น เติมหุ้ฟงชันนอล
4. น่าจะมีการศึกษาโดยการนำเอาวัสดุที่ดูดซับโลหะหนักที่ใช้แล้วมาทำ เพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ (recycle)

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากมูลนิธิโตโยต้าประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- รัตน มหาชัย และคณะ 2534 การศึกษาเพื่อหาวัสดุกรองน้ำกร่อยและสนิมเหล็กเจือปน. รายงานประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 31 วันที่ 3-6 กุมภาพันธ์
- เกษม จันทรแก้ว และคณะ 2532. โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริโครงการปรับปรุงบึงมกกระสัน. เอกสารการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 27 วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์
- Tiwari, D.P.; Singh, D.K. and Sakseena, D.N. Hg (II) Adsorption from aqueous solution using Rice-Husk Ash. Journal of Environmental Engineering 1995; 479-481
- Feng, X.; Fryxell, G.E; Wang; L.G; Kim, A.Y.; Liu, J. and Kemner, K.M. Functionalized Monolayers on ordered Mesoporous Supports, Science 1997: 923-926

**การตรวจสอบฤทธิ์ของสารสกัดจากไซยาโนแบคทีเรีย
Microcystis sp. ซึ่งแยกได้จากแหล่งน้ำในเขื่อนลำตะดองและ
เขื่อนแม่วงในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคบางชนิด**

**Bacteriostatic Activity of Substances in Organic Extracts from
Microcystis sp. Sampled from Lumtakong Dam and Maekuang Dam**

ธีรศักดิ์ สมดี * อรสุภาว สายเพชร **
ปริญพันธ์ มีทรัพย์ ** และ ศักดา ดาดวง***

บทคัดย่อ

การศึกษาไซยาโนแบคทีเรียจากแหล่งน้ำ 2 แห่งคือ เขื่อนแม่วง จังหวัดเชียงใหม่ และเขื่อนลำตะดอง จังหวัดนครราชสีมา พบว่าสามารถแยกเชื้อ *Microcystis* sp. ได้บริสุทธิ์ โดยจัดจำแนกว่าเป็น *M. aeruginosa* โดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นหลัก แต่เมื่อศึกษารูปแบบของโปรตีนโดยวิธี SDS-Polyacrylamide gel electrophoresis พบว่าเชื้อจากทั้งสองแหล่งอยู่ในจีนัสเดียวกัน เมื่อนำมาเพาะเลี้ยงและสกัดสารภายในเซลล์พบว่าสามารถยับยั้งแบคทีเรียทดสอบได้ โดยสารสกัดอินทรีย์จากเขื่อนลำตะดองให้ผลการยับยั้งแบคทีเรียทดสอบได้ทุกชนิดและให้ผลที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากเขื่อนแม่วง โดยสามารถยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ *Bacillus cereus*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* และ *Bacillus subtilis* ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจาก *Microcystis* sp. ให้ผลในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทดสอบได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะทดสอบบางชนิด โดยสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะทดสอบอื่น ยกเว้น streptomycin และยับยั้งเชื้อ *Sal. typhimurium* ได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะทดสอบ ยกเว้น chloramphenicol

Abstract

Cyanobacteria *Microcystis* sp., sampled from Lumtakong dam, Nakornratchasima Province and Maekuang dam, Chiangmai Province were isolated. Pured ones identified by morphologic characteristics were found to be *M. aeruginosa* Kütz. Studies of protein band pattern by SDS-

* อาจารย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** อาจารย์ ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

polyacrylamide gel eletrophoresis shows that sampled from both of dams were in the same genus. Studies of pathogenic microorganism inhibitory ability of organic extract from *Microcystic* sp. by disc diffusion method showed that extraction from Lumtakong dam gave wider in inhibition zone than one from Maekuang dam. The extract from Lumtakong dam gave the best result when tested with *Staphylococcus aureus*. The extract of 50 mg dry weight of *Microcystic* sp. from Lumtakong dam gave wider zone than 10 µg streptomycin, 30 µg tetracycline, 30 µg chloramphenical, 10 µg colistin, 30 µg neomycin, 10 unit penicillin G, 25 µg bactrim and 30 µg kanamycin when tested with *B. cereus*, *S. aureus* and *E. coli*. Inhibition zone of the extract tested with *B. subtilis* and *S. typhimurium* appeared wider than all antibiotics except chloramphenical.

คำนำ

เมื่อปลายปี พ.ศ. 2541 มีรายงานข่าวใหญ่ถึงการเพิ่มปริมาณอย่างมากของไซยาโนแบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis aeruginosa* ในแหล่งน้ำขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนแม่งวง จ.เชียงใหม่ เขื่อนลำนะคอง จ.นครราชสีมา และอ่างเก็บน้ำบางพระ จ.ชลบุรี (หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ, วันที่ 29 ตุลาคม 2541) ก่อให้เกิดการตื่นตระหนกกับประชาชนในแหล่งที่ใช้น้ำเป็นอย่างมาก เนื่องจากไซยาโนแบคทีเรียชนิดนี้มีความสามารถในการสร้างสารพิษที่เรียกว่า ไมโครซิสติน (microcystin) โดยมีรายงานทางการแพทย์ยืนยันว่าเป็นพิษต่อตับ (hepatotoxic) และเป็นสารส่งเสริมการเกิดเนื้องอก ก่อให้เกิดการเสี่ยงและเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ที่บริโภคน้ำที่มีการปนเปื้อนของไซยาโนแบคทีเรียชนิดดังกล่าว สารพิษที่ไซยาโนแบคทีเรียสร้างขึ้นเป็นสารเมตะบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิด โดยเฉพาะพวกโพรคาริโอตมากกว่ายูคาริโอต (Carmichael et al., 1992) สาเหตุของการสร้างสารเมตะบอไลต์ทุติยภูมิจากไซยาโนแบคทีเรียตามธรรมชาติยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดเข้าใจว่าเป็นกระบวนการปรับตัวตามธรรมชาติ (Ostensvik et al., 1998) ในปัจจุบันมีความสนใจ

ศึกษาไซยาโนแบคทีเรียเพื่อผลิตเป็นยาตัวใหม่หรือสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กันเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้หลายชนิด เช่น แบคทีเรีย (Flint and Moreland, 1946) เชื้อรา (Welch, 1962) และไวรัส (Starr et al., 1962) เป็นต้น งานวิจัยนี้มุ่งที่จะนำไซยาโนแบคทีเรีย *Microcystis* sp. ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาทำให้เกิดประโยชน์ โดยสกัดสารที่มันสร้างขึ้นมายับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคบางชนิด

อุปกรณ์และวิธีการ

การแยกเชื้อบริสุทธิ์

เก็บน้ำตัวอย่างจากแหล่งที่พบปัญหาการเพิ่มปริมาณอย่างมากของ *Microcystis* sp. 2 แหล่ง คือเขื่อนแม่งวง จ.เชียงใหม่ และเขื่อนลำนะคอง จ.นครราชสีมา โดยใช้ตาข่ายแพลงก์ตอนขนาด 10 ไมโครเมตร กรองเซลล์เพื่อนำมาแยกให้บริสุทธิ์โดยการ cross streak บนอาหาร BG-11 บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 40 วัตต์ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% เป็นเวลา 20 วัน โคโลนีที่ได้นำมา streak ซ้ำจนแน่ใจว่าได้เชื้อบริสุทธิ์ จากนั้นนำมาบ่งชนิดโดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ศึกษารูปแบบโปรตีน โดยวิธี Sodium dodecyl sulphate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)

นำเซลล์ตัวอย่างมาทำให้แตกด้วย sonicator แล้วผสมกับบัฟเฟอร์ ที่ประกอบด้วย 2% sodium dodecyl sulfate, 40% glycerol, 20 mM Tris pH 6.8, 0.002% bromophenol blue ในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำไปต้มที่ 100°C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้น Load ตัวอย่างลงบน polyacrylamide ที่เตรียมไว้ แล้วให้กระแสไฟฟ้าด้วยความต่างศักย์คงที่ที่ 150 V. จนกระทั่ง dye front เคลื่อนลงมาสุดแผ่น gel นำ gel มาย้อมใน staining solution (0.1% coomassie brilliant blue, 10% acetic acid, 40% methanol) กระทั่งแผ่นเจลติดสี จากนั้น destain ด้วย destaining solution (10% acetic acid, 40% methanol) จนกระทั่งเห็น band ชัดเจน

ศึกษาการเจริญเติบโต

นำเชื้อบริสุทธิ์ที่แยกได้จากแต่ละแหล่งมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร BG-11 จนวัดค่า absorbance ที่ 600 นาโนเมตรได้ 0.7 นำ suspension จำนวน 10 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงใน BG-11 ปริมาตร 125 มิลลิลิตร บ่มที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ บนเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 rpm นับจำนวนเซลล์ด้วย haemocytometer ทุก 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 20 วัน

การสกัดสารจากเซลล์

เพาะเลี้ยง *Microcystis* sp. ในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตร BG-11 ที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ เป็นเวลา 20 วัน เก็บเซลล์โดยการทำให้ Freeze-dry แล้วนำมาสกัดสารโดยวิธีการดังนี้

1. น้ำสกัด (water extract) นำเซลล์ส่วนที่ freeze-dry ของ *Microcystis* sp. จำนวน 50 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นปลอดเชื้อ จำนวน

3 มิลลิลิตร ค่อย ๆ ผสมให้เข้ากัน ทั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 g เป็นเวลา 6 นาที ส่วนใส่นำมาใช้ทดสอบการยับยั้งกับจุลินทรีย์ก่อโรคต่อไป

2. สารสกัดอินทรีย์ (organic extract) สกัดตามขั้นตอนข้อ 1 เมื่อได้ส่วนใส นำมาสกัดต่อไป คือเติมเมทานอล จำนวน 3 มิลลิลิตร และกรดอะซิติก จำนวน 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันโดยการเขย่า และปล่อยให้ทิ้งไว้ 10 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 2500 g เป็นเวลา 6 นาที แล้วนำไปประเหยน้ำออกโดยใช้ evaporator ที่ความร้อนของอ่างน้ำร้อน 40 องศาเซลเซียส แล้วเติมเมทานอลลงไป 1 มิลลิลิตร นำส่วนของของเหลวที่สกัดได้ นำไปทดสอบการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคต่อไป

การเตรียมแบคทีเรียทดสอบ

แบคทีเรียทดสอบที่ใช้ คือ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, *Bacillus subtilis* และ *Bacillus cereus* เลี้ยงในอาหาร nutrient broth บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำมาวัดค่า absorbance ที่ 600 นาโนเมตร ให้ค่าอยู่ในช่วง 0.5 - 1.0 เจือจางเซลล์ด้วย normal saline โดยปรับความเข้มข้นของแบคทีเรียทดสอบให้อยู่ในช่วง $1.0 \times 10^5 - 5.0 \times 10^5$ CFU ml⁻¹ นำไป pour plate ด้วย Nutrient agar เพื่อทดสอบยับยั้งต่อไป

สารสกัดจาก *Microcystis* sp. ที่มีผล

ยับยั้งแบคทีเรียทดสอบ

นำสารสกัดที่สกัดได้เติมลงบนกระดาดกรองปลอดเชื้อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 มิลลิเมตร แผ่นละ 75 ไมโครลิตร ทั้งไว้ 1 คืน จากนั้นนำไปวางบนผิวหน้าอาหาร Nutrient agar ที่มีแบคทีเรียทดสอบอยู่ ชุดควบคุมคือเมทานอลและกรดอะซิติก

เปรียบเทียบการยับยั้งแบคทีเรียทดสอบ กับยาปฏิชีวนะทดสอบ

แผ่นยาปฏิชีวนะทดสอบ ประกอบด้วย streptomycin 10 ไมโครกรัม, tetracycline 30 ไมโครกรัม, chloramphenicol 30 ไมโครกรัม, colistin 10 ไมโครกรัม, neomycin 30 ไมโครกรัม, penicillin G 10 ยูนิต, bactrim 25 ไมโครกรัม และ kanamycin 30 ไมโครกรัม นำแผ่นยาปฏิชีวนะมาตรฐานดังกล่าวมาทดสอบการยับยั้งกับแบคทีเรียทดสอบ วัดความสามารถในการยับยั้งจากขนาด inhibition zone ที่เกิดขึ้น เพื่อเปรียบเทียบผลกับสารสกัดจาก *Microcystis*

การตรวจสอบความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทดสอบ (MIC)

เจือจางสารสกัดอินทรีย์ (organic extract) ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียทดสอบ ทีละ 2 เท่า (two-fold dilution) ในหลอดทดสอบที่มี nutrient broth โดยทำให้เจือจางเป็น 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128 และ 1/256 ผสมกับแบคทีเรียทดสอบ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง อ่านค่าความเจือจางสุดท้ายที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อทดสอบได้ ถือว่าเป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารปฏิชีวนะในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทดสอบ (มีหน่วยเป็น dilution units)

ความคงทนของสารสกัดในการยับยั้งแบคทีเรียทดสอบ

นำสารสกัดอินทรีย์หยดลงบนกระดาษกรอง ปลอดภัยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 มิลลิเมตร แผ่นละ 75 ไมโครลิตร เก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2, 3, 4 และ 5 วัน ตามลำดับ เมื่อครบกำหนดนำมาทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียทดสอบ

ผลการทดลอง

ผลการการตรวจสอบสายพันธุ์โดยพิจารณาจากลักษณะสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาไซยาโนแบคทีเรียจากแหล่งน้ำ 2 แห่งคือเขื่อนแม่กวงและเขื่อนลำตะคอง พบว่าสามารถแยกได้เชื้อ *Microcystis* sp. ที่บริสุทธิ์ เมื่อนำมาศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาพบว่าเซลล์มีรูปร่างกลม หรือรี ขนาด 3.5-5.0 ไมโครเมตร พบ gas vacuole อยู่ภายในเซลล์ เซลล์ส่วนใหญ่จะอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวไม่อยู่รวมกันเป็นโคโลนีอย่างที่พบตามธรรมชาติ

ผลการตรวจสอบสายพันธุ์ด้วยวิธี SDS-PAGE

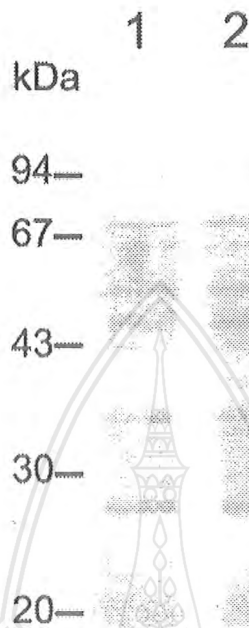
จากการตรวจสอบสายพันธุ์ของ *Microcystis* sp. ที่เลี้ยงในสภาวะเดียวกัน เซลล์ไซยาโนแบคทีเรียจากทั้งสองแหล่งถูกนำมาสกัดโปรตีน และตรวจสอบรูปแบบโปรตีนด้วย 12% gel SDS-PAGE พบแถบโปรตีนคล้ายคลึงกันหลายแถบ แสดงให้เห็นว่าไซยาโนแบคทีเรียดังกล่าวอยู่ในจีนัสเดียวกัน

ผลการศึกษาการเจริญเติบโต

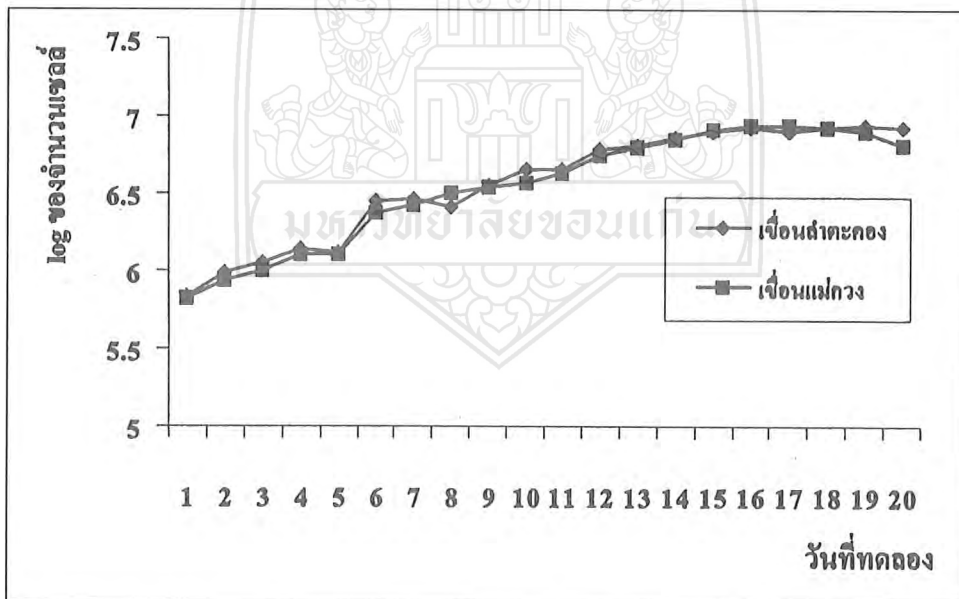
เมื่อศึกษาการเจริญเติบโตของ *Microcystis* sp. ทั้งสองสายพันธุ์ที่แยกได้แสดงดังกราฟ 1 พบว่ามีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน โดยสายพันธุ์ที่แยกได้จากเขื่อนลำตะคอง มีการเจริญสูงสุดในวันที่ 19 ส่วนสายพันธุ์ที่แยกได้จากเขื่อนแม่กวงมีการเจริญสูงสุดในวันที่ 17 ของการทดลอง

ผลของสารสกัดต่อแบคทีเรียทดสอบ

ผลของสารสกัดที่มีต่อแบคทีเรียทดสอบ แสดงดังตาราง 1 พบว่าน้ำสกัด (water extract) จากเซลล์ *Microcystis* sp. จากแหล่งน้ำทั้งสองแห่งให้ผลต่อแบคทีเรียทดสอบน้อยมากหรือไม่มีผลในการ



รูปที่ 1 รูปแบบของแถบโปรตีนที่สกัดจากเซลล์ *Microcystis* sp. จากเขื่อนแม่กวง (lane 1) และเขื่อนลำตะคอง (lane 2) นำเซลล์ *Microcystis* sp. จากแหล่งทั้งสองมาสกัดโปรตีน แล้วนำไปแยกแถบโปรตีนด้วยวิธี SDS-PAGE ตัวเลขทางซ้ายมือ คือ น้ำหนักโมเลกุลมีหน่วยเป็น Kilodalton



กราฟ 1 การเจริญของ *Microcystis* sp. จากเขื่อนลำตะคองและเขื่อนแม่กวง

ตารางที่ 1 ความกว้างของ inhibition zone ของแบคทีเรียทดสอบ

สารสกัดและ ยาปฏิชีวนะมาตรฐาน	ความกว้างของ inhibition zone (mm.)				
	<i>B. cereus</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>Sal. typhimorium</i>
เชื้อนํ้าต๋องคอง					
water extract	-	-	-	-	-
organic extract	2.70	3.1	3.25	2.13	2.55
เชื้อนํ้าแมกวง					
water extract	-	-	-	-	-
organic extract	-	-	2.40	1.41	1.65
streptomycin	4	5	5	3	1
tetracycline	4	5	3	6	1
chloramphenical	7	10	1	7	6
colistin	2	4	2	2	1
neomycin	1	4	1	2	-
penicillin G	1	2	1	1	-
bactrim	1	2	1	2	-
kanamycin	3	3	2	3	-

หมายเหตุ ; (-) ไม่ยับยั้งแบคทีเรียทดสอบ

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่มีผลยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทดสอบ (MIC)

แบคทีเรียทดสอบ	ความเข้มข้นของสารสกัดจากเชื้อนํ้าต๋องคอง										ความเข้มข้นของสารสกัดจากเชื้อนํ้าแมกวง									
	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256		
<i>B. cereus</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>B. subtilis</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>E. coli</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+		
<i>S. aureus</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+		
<i>Sal. typhimorium</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+		

หมายเหตุ ; (+) เกิดความขุ่น และ (-) ไม่เกิดความขุ่น

ตารางที่ 3 ความคงทนของสารสกัดในการยับยั้งแบคทีเรียทดสอบ

แบคทีเรียทดสอบ	ความกว้างของ inhibition zone (mm.)							
	สารสกัดจากเชื้อนํ้าต๋องคอง				สารสกัดของเชื้อนํ้าแมกวง			
	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5
<i>B. cereus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>B. subtilis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>S. aureus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sal. typhimorium</i>	2.3	1.0	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ ; (-) ไม่ยับยั้งแบคทีเรียทดสอบ

ยับยั้งเลย ส่วนผลของสารสกัดอินทรีพบว่า สายพันธุ์จากเชื้อนมแม่ลำคองจะให้ผลยับยั้งแบคทีเรียทดสอบดีกว่าสายพันธุ์ที่แยกได้จากเชื้อนมแม่กว โดยสายพันธุ์จากเชื้อนมแม่ลำคองสามารถยับยั้งแบคทีเรียทดสอบได้ทุกชนิด โดยสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ *B. cereus*, *Sal. typhimorium*, *S. aureus* และ *B. subtilis* ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ที่แยกได้จากเชื้อนมแม่กวให้ผลการยับยั้งการเจริญต่อเชื้อทดสอบน้อยกว่าและยับยั้งแบคทีเรียทดสอบได้บางชนิดเท่านั้น คือ *E. coli*, *Sal. typhimorium* และ *S. aureus* ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบการยับยั้งแบคทีเรียทดสอบกับยาปฏิชีวนะทดสอบ

จากการทดลองพบว่า สารสกัดอินทรีจากเชื้อนมแม่ลำคองให้ผลการยับยั้งได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะ bactrim และ penicillin G ในแบคทีเรียทดสอบทุกชนิด โดยสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะทดสอบ ยกเว้น streptomycin และสามารถยับยั้งเชื้อ *Sal. typhimorium* ได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะทดสอบอื่นๆ ยกเว้น chloramphenical

ผลการตรวจสอบความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทดสอบ (MIC)

ความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่มีผลยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทดสอบ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าเมื่อ นำสารสกัดมาเจือจางลงที่ละ 2 เท่า แล้วนำมาทดสอบ ความสามารถในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทดสอบ พบว่า สารสกัดอินทรีจากเชื้อนมแม่กวที่มีความเข้มข้น $1/64$ เป็นความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทดสอบทุก ชนิด ส่วนสารสกัดจากเชื้อนมแม่ลำคองที่มีความเข้มข้น $1/32$ เป็นความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทดสอบบางชนิด คือ *E. coli*, *Sal.*

typhimorium และ *S. aureus* เท่านั้น

ผลความคงทนของสารสกัดในการยับยั้งแบคทีเรียทดสอบ

การทดสอบความคงทนของสารสกัด แสดงดังตาราง 3 พบว่า เมื่อนำสารสกัดมาหยดลงบนกระดาษกรองปลอดเชื้อ แล้วทิ้งไว้ 2, 3, 4 และ 5 วัน แล้วนำมาทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย พบว่า ความคงทนของสารสกัดที่มีผลยับยั้งแบคทีเรียทดสอบมีน้อยมาก กล่าวคือ จะมีผลยับยั้งเฉพาะเชื้อ *Sal. typhimorium* ในวันที่ 2 และ 3 เท่านั้น

สรุปและวิจารณ์

การบ่งชนิดของ *Microcystis* sp. จากแหล่งน้ำ 2 แห่ง คือ เชื้อนมแม่กวและเชื้อนมแม่ลำคอง พบว่า หากพิจารณาโดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยา สามารถจัดจำแนกได้เป็นชนิดเดียวกัน คือ *M. aeruginosa* แต่หากพิจารณาถึงรูปแบบของโปรตีน พบว่าผลที่ได้ยังไม่ชัดเจนเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าเป็นชนิดเดียวกันหรือไม่ เนื่องจาก band ที่เกิดขึ้นหลาย band ปรากฏขึ้นแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น วิเคราะห์ดีเอ็นเอหรือไกลโคโปรตีนของ *Microcystis* sp. ทั้งสองสายพันธุ์ การทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียทดสอบพบว่า น้ำสกัดที่ได้จากทั้งสองสายพันธุ์ไม่มีผลในการยับยั้งแบคทีเรียทดสอบ ส่วนผลของสารสกัดอินทรีพบว่าสารสกัดที่ได้จากเชื้อนมแม่ลำคองสามารถยับยั้งแบคทีเรียทดสอบได้ดีกว่าและให้ผลกับแบคทีเรียทดสอบได้ทุกชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากเชื้อนมแม่กว โดยพบว่า สารสกัดอินทรีสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ *B. cereus*, *Sal. typhimorium*, *S. aureus* และ *B. subtilis* ได้ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลการยับยั้งกับยาปฏิชีวนะทดสอบพบว่า สารสกัดอินทรีสามารถยับยั้งเชื้อ *Sal. typhimorium* ได้ใน

ขณะที่ neomycin, penicillin G, bactrim และ kanamycin ไม่เกิดผลการยับยั้งและให้ผลการยับยั้งที่ต่ำกว่ายาปฏิชีวนะทดสอบอื่นๆ ยกเว้น chloramphenical นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดอินทรีย์ยังสามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะทดสอบทุกชนิด ยกเว้น streptomycin จากการทดลองจึงสรุปได้ว่าสารสกัดอินทรีย์จาก *Microcystis* sp. สามารถยับยั้งแบคทีเรียทดสอบได้และมีประสิทธิภาพการยับยั้งได้ต่ำกว่ายาปฏิชีวนะบางชนิด สิ่งหนึ่งที่น่าสนใจจากการทดลองครั้งนี้คือสารสกัดจาก *Microcystis* sp. สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สำคัญทางสาธารณสุขในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเชื้อที่ก่อตัวยาปฏิชีวนะที่มีใช้ในโรงพยาบาล ซึ่งมักเป็นเชื้อฉวยโอกาสทำให้เกิดโรครุนแรง ดังนั้นสารสกัดที่ได้จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการทำลายหรือยับยั้งแบคทีเรียที่ก่อโรคในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Carmichael, W. W. 1992. Cyanobacteria Secondary Metabolites - the Cyanotoxins. *Journal of Applied Bacteriology* 72 : 445-459.
- Desikachary, T. V. 1959. Cyanophyta. Indian Council of Agricultural Research, New Dehi.
- Falch, C. S., Konig, G. M. and Wright, A. D. 1995. Biological Activities of Cyanobacteria : Evolution of Extracts and Pure Compound. *Planta Medica* 61 : 321-328.
- Flint, L. H. and Moreland, C. F. 1946. Antibiosis in the blue-green algae. *American journal of Botany* 33 : 218 Quoted to Chetsumon, A. 1993. Production of a novel antibiotic "scytonema X" by immobilized cyanobacteria cells in a seaweed-type photobioreactor. Ph.D. thesis, Osaka Univ., Osaka.
- Komorek, J. and Angnostidis, K. 1986. Modern Approach to the Classification System of Cyanobacteria 2 Chroococcales. *Archives Hydrobiologia* 43:157-197
- Metting, B. and Pyne, J. W. 1986. Biologically Active Compounds from Microalgae. *Enzyme and Microbiology Technology* 8 : 386-394.
- Ostensvik, O., Skulberg O.M., Underdal B. and Hormazabal V. 1998. Antibacteriology Properties of Extracts from Selected Planktonic Freshwater Cyanobacteria - A Comparative Study of Bacterial Bioassay. *Journal of Applied Microbiology* 84(6) : 1117-1124.
- Patterson, G. M. L., Larsen, L. K. and Moore, R.E. 1994. Bioactive natural products from blue-green algae. *Journal of Applied Phycology* 6 : 151-157.
- Starr, T. J., Dieg, K. K., Church, K. K. and Allen M. B. 1962. Texas report on biology and medicine. 20 : 271. Quoted to Chetsumon, A. 1993. Production of a novel antibiotic "scytonema X" by immobilized cyanobacteria cells in a seaweed-type photobioreactor. Ph.D. thesis, Osaka Univ., Osaka.
- Watanabe, M. F., Harada, K., Carmichael W. W. and Fujiki, H. 1996. Toxic of *Microcystis*. CRC Press, New York.
- Welch, A. M. 1962. Preliminary survey of fungistatic properties of marine algae. *Journal of bacteriology* 83 : 97. Quoted to Chetsumon, A. 1993. Production of a novel antibiotic "scytonema X" by immobilized cyanobacteria cells in a seaweed-type photobioreactor. Ph.D. thesis, Osaka Univ., Osaka.



กองกานาจักร

คณิตศาสตร์

วิจารณ์ สดศิริ*

ระบบจำนวนจริง (The Real Number System) ตอนที่ 2

ขอเชิญชวนท่านผู้อ่านร่วมทอ่งเทียระบบจำนวนจริงกันต่อครับ ตามที่ผู้เขียนได้ตั้งใจเอาไว้ เราจะในเรื่องของระบบจำนวนจริงไว้แค่ 2 ตอนเท่านั้น ด้วยเหตุผลที่ว่าคอลัมน์นี้ถูกออกแบบมาสำหรับผู้สนใจคณิตศาสตร์ทั่วไป เพราะฉะนั้นเราจะไม่ว่าะลึกในเนื้อหา เดินทางกันต่อดีกว่าครับ

2. สมบัติอันดับอย่างดีของ I^+ (The Well-Ordering Property of I^+)

สมบัติพื้นฐานอันหนึ่งของ I^+ ซึ่งในที่นี้เราจะยอมรับโดยไม่พิสูจน์คือ สมบัติอันดับอย่างดีของ I^+

สัจพจน์ 2.1 (สมบัติอันดับอย่างดีของ I^+) สับเซตของ I^+ ที่ไมใช่เซตว่างทุกสับเซตจะมีสมาชิกน้อยสุดเสมอ กล่าวคือ ถ้า $S \subset I^+$ และ $S \neq \emptyset$ แล้วจะมี $s_0 \in S$ ซึ่งสำหรับ $s \in S$ ทุกตัว, $s_0 \leq s$

3. สมบัติความบริบูรณ์ของ $\mathbb{R}$ (The Completeness Property of $\mathbb{R}$)

สมบัติข้อหนึ่งของระบบจำนวนจริง $(\mathbb{R}, +, \cdot, \leq)$ ที่ต่างไปจากระบบจำนวนตรรกยะ $(\mathbb{Q}, +, \cdot, \leq)$ ก็คือ สมบัติความบริบูรณ์ ยิ่งกว่านั้นระบบของจำนวนจริง $(\mathbb{R}, +, \cdot, \leq)$ เป็น “โครงสร้าง” ของสนามอันดับบริบูรณ์ (a complete ordered field) เพียงโครงสร้างเดียวเท่านั้น กล่าวคือ สนามอันดับบริบูรณ์ใดๆ จะ สมสัณฐาน (isomorphic) กับ $(\mathbb{R}, +, \cdot, \leq)$

สัจพจน์ 3.1 (สัจพจน์ของความบริบูรณ์ของ $\mathbb{R}$ หรือ สมบัติการมีค่าขอบเขตบนน้อยสุดของ $\mathbb{R}$)

ถ้า A เป็นสับเซตของ $\mathbb{R}$ โดยที่ A ไมใช่เซตว่างและมีขอบเขตบน แล้ว A จะมีขอบเขตบนน้อยสุด

* อาจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ทฤษฎีบท 3.2 (สมบัติการมีขอบเขตล่างมากที่สุด) ถ้า A เป็นสับเซตของ $\mathbb{R}$ โดยที่ A ไม่ใช่เซตว่าง และมีขอบเขตล่าง แล้ว A จะมีขอบเขตล่างมากที่สุด

บทพิสูจน์ สมมติว่า A เป็นสับเซตของ $\mathbb{R}$ โดยที่ A ไม่ใช่เซตว่างและมีขอบเขตล่าง เนื่องจากเซต $A_1 = \{-a \mid a \in A\}$ เป็นเซตที่มีขอบเขตบน ดังนั้นโดยสัจพจน์ของความสมบูรณ์ของ $\mathbb{R}$ ได้ว่า A_1 มีขอบเขตบนน้อยสุด ให้ $u = \sup(A_1)$ เราได้ว่า $-u$ เป็นขอบเขตล่างมากที่สุดของ A ตามต้องการ $\diamond$

ตัวอย่าง 3.3

3.3.1 กำหนดให้ A เป็นสับเซตของ $\mathbb{R}$ โดยที่ A ไม่ใช่เซตว่างและมีขอบเขตบน และให้ $x \in \mathbb{R}$ เราได้ว่าเซต $x + A = \{x + a \mid a \in A\}$ เป็นเซตที่มีขอบเขตบน และ $\sup(x + A) = x + \sup(A)$

3.3.2 กำหนดให้ D เป็นสับเซตของ $\mathbb{R}$ โดยที่ $D \neq \emptyset$ และให้ $f: D \rightarrow \mathbb{R}$ และ $g: D \rightarrow \mathbb{R}$ โดยที่ $f(x) \leq g(x)$ สำหรับ $x \in D$ ทุกตัว สมมติว่า R_f เป็นเซตที่มีขอบเขตบน เราได้ว่า

$$\sup(R_f) \leq \sup(R_g)$$

3.3.3 กำหนดให้ D เป็นเซตย่อยของ $\mathbb{R}$ โดยที่ $D \neq \emptyset$ และให้ $f: D \rightarrow \mathbb{R}$ และ $g: D \rightarrow \mathbb{R}$ โดยที่ $f(x) \leq g(y)$ สำหรับ $x, y \in D$ ทุกตัว เราได้ว่า

$$\sup(R_f) \leq \inf(R_g)$$

4. สมบัติอาร์คิมิดีส (The Archimedean Property)

ผลที่สำคัญอีกข้อหนึ่งของสมบัติความสมบูรณ์ของ $\mathbb{R}$ คือเซตของจำนวนเต็มบวก I^* ไม่มีขอบเขตบน

ทฤษฎีบท 4.1 (สมบัติอาร์คิมิดีส) สำหรับแต่ละ $x \in \mathbb{R}$ จะมี $n_x \in I^*$ ซึ่ง $x < n_x$
บทพิสูจน์ ให้ x เป็นจำนวนจริงใดๆ (จะต้องแสดงว่า มี $n_x \in I^*$ ซึ่ง $x < n_x$) สมมติว่า $n \leq x$ สำหรับ $n \in I^*$ ทุกตัว ดังนั้น x เป็นขอบเขตบนของ I^* ให้ $u = \sup(I^*)$ เนื่องจาก $u - 1 < u$ ดังนั้นจะมี $m \in I^*$ ซึ่ง $u - 1 < m$ เพราะฉะนั้น $u < m + 1$ แต่เนื่องจาก $m + 1 \in I^*$ ดังนั้นจึงเกิดการขัดแย้งกับข้อสมมติฐานที่ว่า u เป็นขอบเขตบนของ I^* $\diamond$

บทแทรก 4.2 ให้ a และ b เป็นจำนวนจริงบวกใดๆ จะได้ว่า

1. มี $n \in I^*$ ซึ่ง $a < nb$
2. มี $n \in I^*$ ซึ่ง $0 < \frac{1}{n} < b$
3. มี $n \in I^*$ ซึ่ง $n - 1 \leq a < n$

บทพิสูจน์ แบบฝึกหัด (สำหรับผู้สนใจ)

5. ความหนาแน่นของจำนวนตรรกยะและจำนวนอตรรกยะ

(Density of Rational Numbers and Irrational Numbers)

ในหัวข้อนี้เราจะแสดงว่า ระหว่างจำนวนจริงสองจำนวนใดๆ จะมีจำนวนตรรกยะและจำนวนอตรรกยะ (เป็นจำนวนอนันต์จำนวน) อยู่ระหว่างจำนวนจริงทั้งสองนั้นเสมอ

ทฤษฎีบท 5.1 ถ้า x และ y เป็นจำนวนจริงซึ่ง $x < y$ แล้วจะมีจำนวนตรรกยะ z ซึ่ง $x < z < y$
บทพิสูจน์ จะพิสูจน์เฉพาะกรณีที่ $x > 0$ เท่านั้น ส่วนกรณีอื่นๆ ให้เป็นแบบฝึกหัด สมมติว่า $x > 0$ ให้ $n \in \mathbb{I}^+$ ซึ่ง $1 < n(y - x)$ ดังนั้น $nx + 1 < ny$ โดยบทแทรก 4.2(3) จะมี $m \in \mathbb{I}^+$ ซึ่ง $m - 1 \leq nx < m$ เพราะฉะนั้น $nx < m < ny$ ให้ $r = \frac{m}{n}$ ดังนั้น $r \in \mathbb{Q}$ และ $x < r < y$ ตามต้องการ



บทแทรก 5.2 ถ้า x และ y เป็นจำนวนจริงซึ่ง $x < y$ แล้วจะมีจำนวนอตรรกยะ z ซึ่ง $x < z < y$
บทพิสูจน์ โดยทฤษฎีบท 5.1 จะมีจำนวนตรรกยะ $r \neq 0$ ซึ่ง $\frac{x}{\sqrt{2}} < r < \frac{y}{\sqrt{2}}$ เลือก $z = \sqrt{2}r$ ดังนั้น z เป็นจำนวนอตรรกยะ และ $x < z < y$ ตามต้องการ



แบบฝึกหัด จงหา $\max(A)$, $\min(A)$, $\sup(A)$, $\inf(A)$ (ถ้ามี) ของเซต A ต่อไปนี้เมื่อ

$$1. A = \left\{ \frac{1}{n} \mid n \in \mathbb{I}^+ \right\}$$

$$2. A = \left\{ \frac{1}{n} - \frac{1}{m} \mid n, m \in \mathbb{I}^+ \right\}$$

$$3. A = \left\{ \frac{n}{n+1} \mid n \in \mathbb{I}^+ \right\}$$

$$4. A = \left\{ \frac{n+1}{n} \mid n \in \mathbb{I}^+ \right\}$$

$$5. A = \left\{ 1 - \frac{(-1)^n}{n} \mid n \in \mathbb{I}^+ \right\}$$

$$6. A = \{ x \mid x \in \mathbb{Q} \text{ และ } 0 \leq x \leq \pi \}$$

$$7. A = \{ x \mid x \in \mathbb{R} - \mathbb{Q} \text{ และ } 0 \leq x \leq \pi \}$$

$$8. A = \{ x \mid x \in \mathbb{Q} \text{ และ } x^2 < 2 \}$$

เฉลยแบบฝึกหัด

1. จากที่กำหนด $A = \left\{ \frac{1}{n} \mid n \in I^+ \right\} = \left\{ 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots \right\}$ (โดยการลงจุดแทนสมาชิกของเซต A บนเส้นจำนวนจริง เราคาดหวังว่า $\max(A) = \sup(A) = 1$ และ $\inf(A) = 0$ แต่เซต A ไม่มีสมาชิกน้อยสุด)

จะแสดงว่า $\max(A) = \sup(A) = 1$ เนื่องจาก $1/n \leq 1$ สำหรับจำนวนเต็มบวก n ทุกตัว ดังนั้น 1 เป็นขอบเขตบนของ A ให้ b เป็นขอบเขตบนใด ๆ ของ A เพราะว่า $1 \in A$ เราจึงได้ว่า $1 \leq b$ นั้นแสดงว่า $1 = \sup(A)$ โดยทฤษฎีบท 1.13(6) เราสรุปได้ว่า $1 = \max(A)$

จะแสดงว่า $\inf(A) = 0$ นั่นคือจะต้องแสดง 2 ขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 0 เป็นขอบเขตล่างของ A และ

ขั้นตอนที่ 2 ถ้า c เป็นขอบเขตล่างของ A แล้ว $c \leq 0$

ขั้นตอนที่ 1 เนื่องจาก $0 \leq 1/n$ สำหรับจำนวนเต็มบวก n ทุกตัว ดังนั้น 0 เป็นขอบเขตล่างของ A

ขั้นตอนที่ 2 สมมติว่ามีขอบเขตล่าง c^* ของเซต A ซึ่ง $0 < c^*$ โดยบทแทรก 4.2(2) มี $n_0 \in I^+$ ซึ่ง $1/n_0 < c^*$ เพราะฉะนั้น c^* ไม่เป็นขอบเขตล่างของ A จึงเกิดการขัดแย้งกับที่เราสมมติว่า c^* เป็นขอบเขตล่างของ A นั้นแสดงว่า $c \leq 0$ เมื่อ c เป็นขอบเขตล่างของ A

จะแสดงว่า A ไม่มีสมาชิกน้อยสุด สมมติว่าเซต A มี a เป็นสมาชิกน้อยสุด เนื่องจาก $a \in A$ ดังนั้นจะมีจำนวนเต็มบวก m ซึ่ง $a = 1/m$ แต่ $1/(m+1) \in A$ และ $1/(m+1) < 1/m = a$ แสดงว่า a ไม่เป็นสมาชิกน้อยสุดของ A จึงเกิดข้อขัดแย้งขึ้น เพราะฉะนั้น A ไม่มีสมาชิกน้อยสุด

สรุป

$\max(A)$	$\min(A)$	$\sup(A)$	$\inf(A)$
1	ไม่มี	1	0

2.

$\max(A)$	$\min(A)$	$\sup(A)$	$\inf(A)$
ไม่มี	ไม่มี	1	-1

3.

$\max(A)$	$\min(A)$	$\sup(A)$	$\inf(A)$
ไม่มี	$1/2$	1	$1/2$

4.

$\max (A)$	$\min (A)$	$\sup (A)$	$\inf (A)$
2	ไม่มี	2	1

5.

$\max (A)$	$\min (A)$	$\sup (A)$	$\inf (A)$
2	$1/2$	2	$1/2$

6.

$\max (A)$	$\min (A)$	$\sup (A)$	$\inf (A)$
ไม่มี	0	π	0

7.

$\max (A)$	$\min (A)$	$\sup (A)$	$\inf (A)$
π	ไม่มี	π	0

8.

$\max (A)$	$\min (A)$	$\sup (A)$	$\inf (A)$
ไม่มี	ไม่มี	$\sqrt{2}$ แทน	$-\sqrt{2}$

ในฉบับต่อไปเราจะท่องเที่ยวไปแห่งหนตำบลใดขออุบไว้ก่อน พบกันใหม่ฉบับหน้าครับ

ปริมาตรศึกษาปริมาตร

๘ ครูหมอ้วน

เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ยากจริงหรือ (ตอนที่ 1)

ปัญหาของนักเรียนที่เรียนเรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ มักจะบ่นว่ายาก อ่านข้อสอบแล้วไม่รู้จะทำอย่างไร คำตอบคือ นิยามต้องแม่นและมีหลักในการคำนวณ

มวลโมเลกุล (molecular weight) คือ ผลบวกของมวลอะตอมของธาตุทุกตัวในสารประกอบ
หลักการคำนวณ เขียนสูตรสารประกอบ ทราบค่ามวลอะตอมของธาตุแล้วแทนค่า

ตัวอย่างที่ 1 จงหามวลโมเลกุลของเปอร์ซัลเฟตไดไฮเดรต
(Cu = 63.5, S = 32, O = 16, H = 1)

วิธีทำ สูตร $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
 $= 63.5 + 32 + (16 \times 4) + 2(1 \times 2 + 16)$
 $= 195.5$

ลักษณะข้อสอบ

แบบที่ (1) จงหามวลของธาตุในสารประกอบ

ตัวอย่างที่ 2 จงหามวลของไนโตรเจนในยูเรีย
(C = 12, N = 14, O = 16, H = 1)

วิธีทำ สูตร ยูเรีย $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
มวลโมเลกุล $2(14 + 1 \times 2) + 12 + 16 = 60$
มวลโมเลกุลยูเรีย 60 g มีไนโตรเจน 2×14 g
มวลโมเลกุลยูเรีย 100 g มีไนโตรเจน 46.7 %

แบบที่ (2) หาค่าปริมาณธาตุในสารประกอบ

ตัวอย่างที่ 3 ในโพแทสเซียมแมงกานेट 594 g มีมวลโพแทสเซียมเท่ากับมวลโพแทสเซียมในสารประกอบ

1. โพแทสเซียมออกไซด์ 282 g

หรือ 2. โพแทสเซียมไนเตรท 303 g

(Mn = 55, K = 39, O = 16, N = 14)

วิธีทำ สูตร โพแทสเซียมแมงกานेट K_2MnO_4

มวลโมเลกุล $K_2MnO_4 = 2 \times 39 + 55 + 16 \times 4 = 197$

K_2MnO_4 มวล 197 g มี K 2×39 g

K_2MnO_4 มวล 594 g มี K 235 g

สูตร โพแทสเซียมออกไซด์ K_2O

มวลโมเลกุล $K_2O = 2 \times 39 + 16 = 94$

K_2O มวล 94 g มี K 2×39 g

K_2O มวล 282 g มี K 234 g

สูตร โพแทสเซียมไนเตรท

KNO_3

มวลโมเลกุล $KNO_3 = 39 + 14 + 16 \times 3 = 101$

KNO_3 มวล 101 g มี K 39 g

KNO_3 มวล 303 g มี K 117 g

แบบที่ (3) หามวลอะตอมของธาตุ

ตัวอย่างที่ 4 X_2O_5 4.55 g ประกอบด้วย X มีมวล 2.55 g จงหามวลอะตอม X (O = 16)

มวลโมเลกุล $X_2O_5 = 2X + 16 \times 5 = 2X + 80$

X_2O_5 $2X + 80$ g มี X $2X$ g

X_2O_5 4.55 g มี X $\left(\frac{2X}{2X + 80} \right) 4.55$ g

โจทย์กำหนด X มีมวล = 2.55 g

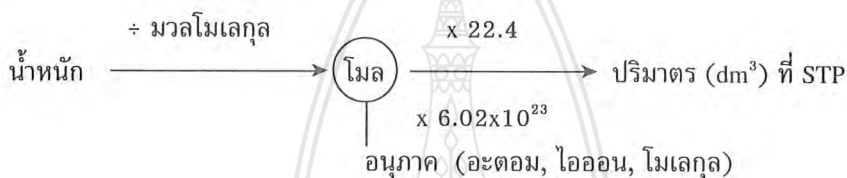
$$\left(\frac{2X}{2X + 80} \right) 4.55 \text{ g} = 2.55 \text{ g}$$

$$X = 51 \text{ g}$$

โมล (mole)

1. ความสัมพันธ์โมลกับน้ำหนัก
สารใดๆ 1 โมลหนักเท่ากับมวลโมเลกุลของมัน
2. ความสัมพันธ์โมลกับปริมาตร
สารใดๆ 1 โมลมีปริมาตร 22.4 dm^3 ที่ STP
3. ความสัมพันธ์โมลกับจำนวนอนุภาค
สารใดๆ 1 โมลมีจำนวน 6.02×10^{23} อนุภาค

หลักการคำนวณ (ดูแผนภาพประกอบ) โจทย์กำหนดอะไร และคำนวณหาอะไร



ตัวอย่างที่ 5 ข้อความใดถูกต้องของแอมเฟตามีน $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{N}$

ก. แอมเฟตามีนหนัก 0.135 g มีจำนวน 6.02×10^{20} โมเลกุล

วิธีทำ มวลโมเลกุล $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{N} = 135$

ดูแผนภาพ ทราบน้ำหนัก หาโมล จากโมลไปหาจำนวนโมเลกุล

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.135}{135} \text{ โมล} = 0.001 \text{ โมล} \\
 &= 0.001 \times 6.02 \times 10^{23} = 6.02 \times 10^{20} \text{ โมเลกุล}
 \end{aligned}$$

ข. แอมเฟตามีน 8 โมเลกุลมีมวล $1.080 \times 1.66 \times 10^{-21} \text{ g}$

วิธีทำ ดูแผนภาพ ทราบโมเลกุล หาโมล ไปหามวล

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8}{6.02 \times 10^{23}} \text{ โมล} \quad (\text{คิดเร็ว } \frac{1}{6.02 \times 10^{23}} = 1.66 \times 10^{-24}) \\
 &= 8 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ โมล} \\
 &= 8 \times 1.66 \times 10^{-24} \times 135 \text{ g} \\
 &= 1.08 \times 1.66 \times 10^{-21} \text{ g}
 \end{aligned}$$

หน่วยความเข้มข้นสารละลาย

1. ร้อยละ (%)

ในสารละลาย 100 หน่วยมีตัวถูกละลาย x หน่วย

ก. ร้อยละโดยมวล (%w/w)

ในสารละลาย 100 หน่วยน้ำหนักมีตัวถูกละลาย x หน่วยน้ำหนัก

ข. ร้อยละโดยปริมาตร (%v/v)

ในสารละลาย 100 หน่วยปริมาตรมีตัวถูกละลาย x หน่วยปริมาตร

ค. ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร (%w/v)

ในสารละลาย 100 หน่วยปริมาตร มีตัวถูกละลาย x หน่วยน้ำหนัก

2. โมลาริตี (โมลาร์, M, mole/dm³)

ในสารละลาย 1 dm³ (1000 cm³) มีตัวถูกละลาย x โมล

3. โมแลลิตี (โมแลล, m, mole/kg)

ในตัวทำละลาย 1 kg (1000 g) มีตัวถูกละลาย x โมล

4. เศษส่วนโมล (x)

จำนวนโมลของสารในจำนวนโมลทั้งหมด

$$\text{สูตร } \%W/W = \frac{\text{น้ำหนักตัวถูกละลาย}}{\text{น้ำหนักสารละลาย}} \times 100$$

$$\%V/V = \frac{\text{ปริมาตรตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรสารละลาย}} \times 100$$

$$\%W/V = \frac{\text{น้ำหนักตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรสารละลาย}} \times 100$$

$$M = \frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{มวลโมเลกุล}} \times \frac{1000}{\text{ปริมาตรสารละลาย (cm}^3\text{)}}$$

$$m = \frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{มวลโมเลกุล}} \times \frac{1000}{\text{ปริมาตรสารละลาย (g)}}$$

$$X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

หลักการคำนวณ

1. ถ้าโจทย์กำหนดหน่วยมาให้ อธิบายความหมายตามนิยามของหน่วยนั้น ๆ

2. ถ้าโจทย์ถามหา หน่วย ทำได้ 2 แบบ (ก) เทียบบัญญัติไตรยางค์ลายนิยามหรือ (ข) ใช้สูตร

การเจือจางสารละลาย จำนวนโมลเท่ากัน

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

สารละลาย A(1) ผสมสารละลาย A(2) ได้สารละลาย A(3)

$$\boxed{M_1 V_1} + \boxed{M_2 V_2} = \boxed{M_3 V_3}$$

M = โมลาริตี

V = ปริมาตร cm^3

ตัวอย่างที่ 6 สารละลาย HX ที่มีเพื่อ HX ร้อยละ X โดยมวลมีความหนาแน่น $d \text{ g/cm}^3$ จะมีความเข้มข้นกี่โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ถ้า HX มีมวลโมเลกุล A

วิธีทำ ข้อสอบบอกหน่วยร้อยละโดยมวลอธิบายได้ว่า

ในสารละลาย 100 g มี HX x g

แบบ (ก) เทียบบัญญัติไตรยาง

ในสารละลาย..... cm^3 มี HX $\frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{มวลโมเลกุล}}$ โมล

ในสารละลาย 1000 cm^3 มี HX โมล

จากโจทย์สารละลาย 100 g เปลี่ยนเป็น cm^3 อาศัยความหนาแน่น

$$D = \frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{ปริมาตร}}$$

$$Y = \frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{ปริมาตร}}$$

$$\text{ปริมาตรสารละลาย} = \frac{100}{d} \text{ cm}^3$$

$$\text{ในสารละลาย} = \frac{100}{d} \text{ cm}^3 \text{ มี HX } \frac{X}{A} \text{ โมล}$$

$$\text{ในสารละลาย} = 1000 \text{ cm}^3 \text{ มี HX } \frac{X}{A} \times \frac{1000}{\frac{100}{d}} = \frac{10 dx}{A}$$

แบบ (ข) ใช้สูตร

$$M = \frac{X}{A} \times \frac{1000}{\frac{100}{d}}$$

ตัวอย่างที่ 7 ในการเตรียมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1.0 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตรจากกรดอะซิติกบริสุทธิ์ความหนาแน่น 1.10 g/cm^3 ใช้กรดกี่ cm^3

วิธีทำ อ่านโจทย์แล้วเป็นการเจือจางสารละลาย

$$\text{ใช้สูตร } M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$M_2 = 1.0, \quad V_2 = 250 \text{ cm}^3$$

ข้อสอบหา $V_1 = ?$ ต้องทราบ M_1

จาก CH_3COOH มีความหนาแน่น 1.10 g/cm^3 หว่ากโมลาร์

นิยาม ในสารละลาย..... cm^3 มี CH_3COOH $\frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{มวลโมเลกุล}}$ โมล

ในสารละลาย 1000 cm^3 มี CH_3COOH โมล

แทนค่า ในสารละลาย 1 cm^3 มี CH_3COOH $\frac{1.10}{60}$ โมล

ในสารละลาย 1000 cm^3 มี CH_3COOH $\frac{10 \text{ dx}}{A} \times 1000$
 $= 18.3 \text{ M}$

แทนค่า $M_1 V_1 = M_2 V_2$
 $V_1 = \frac{1.0 \times 250}{18.3} = 13.7 \text{ cm}^3$

ตัวอย่างที่ 8 สารละลาย NaCl เข้มข้น 0.1 M 200 cm^3 ผสมกับ NaCl 0.05 M ปริมาตรกี่ cm^3 ได้สารละลายผสมเข้มข้น 0.07 M

$$\begin{aligned} M_1 V_1 + M_2 V_2 &= M_3 V_3 \\ (0.1 \times 200) + (0.05a) &= 0.07 \times (a + 200) \\ a &= 300 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

คิดว่านักเรียนคงได้ความรู้และรู้จักการนำไปใช้จากการอ่านบทความนี้ ฉบับหน้าจะได้เรียนรู้เรื่อง สมการเคมี

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ข้อแนะนำในการเขียนบทความลงวารสาร วิทยาศาสตร์ มข.

ประเภทของเรื่องที่จะตีพิมพ์

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

รูปแบบของการเขียนและการเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ ต้องเป็นตัวพิมพ์ปกติ มีช่วงห่างระยะบรรทัดตามมาตรฐาน พิมพ์ลงในกระดาษขาว A4 (โรเนียวสัน) โดยใช้กระดาษหน้าเดียว ความยาวไม่เกิน 10 หน้า ส่งต้นฉบับ 2 ชุด หรือต้นฉบับพิมพ์ 1 ชุด และ Diskette ของบทความนั้น
2. ต้นฉบับ จะถูกพิจารณาโดยกองบรรณาธิการ และจะตอบรับการได้รับบทความโดยไม่ส่งต้นฉบับคืน ผู้เขียนควรจะต้องสำเนาเก็บไว้เป็นหลักฐานของตัวเอง 1 ฉบับ
3. ต้นฉบับ จะต้องมีความถูกต้องทั้งในด้านเนื้อหา และการใช้ภาษา รวมทั้งมีความสมบูรณ์ในรูปแบบพร้อมที่จะนำลงตีพิมพ์ได้
4. ชื่อเรื่อง ให้ใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ไม่ยาวเกินไป และหลีกเลี่ยงการใช้คำย่อโดยไม่จำเป็น
5. ชื่อผู้เขียน เขียนชื่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษพร้อมทั้งบอกสถานที่ทำงานให้ชัดเจน
6. เนื้อเรื่อง ให้ได้ทั้งภาษาไทยล้วนหรือภาษาอังกฤษล้วน ถ้าใช้ภาษาไทย ภาษาอังกฤษที่ใช้ปนกับภาษาไทยนั้นให้พยายามแปลเป็นไทยเท่าที่จะทำได้และให้เขียนคำเดิมกำกับในวงเล็บ การทับศัพท์ภาษาอังกฤษตลอดทั้งการเขียนตัวสะกดการันต์ในภาษาไทยให้ใช้ตามแบบราชบัณฑิตยสถาน
7. ในกรณีของบทความวิจัย ต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และแบ่งเนื้อหาของบทความเป็นบทนำ วิธีดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์ บทสรุปและวิจารณ์
8. เชิงอรรถ (footnote) ใช้เฉพาะที่จำเป็นเพื่อขยายหรือให้รายละเอียดเพิ่มเติมแก่ใจความเฉพาะตอนในบทความ ข้อความที่จำเป็นจะต้องมีเชิงอรรถให้ใช้เครื่องหมายดอกจัน (*) กำกับท้าย
9. ตารางและภาพประกอบ คำบรรยายประกอบตารางหรือภาพประกอบควรจะสั้นและชัดเจน ถ้าเป็นภาพถ่ายให้ใช้ภาพขาว - ดำ ขนาดโปสเตอร์ ภาพเขียนลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกดำ ภาพที่เขียนต้องชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสม
10. เอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม แนะนำให้เขียนตามแบบที่ทางวารสารกำหนด

ส่งต้นฉบับมาที่

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

อภิสิทธิ์สำหรับการสำหรับผู้เขียน

เรื่องที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารฉบับนั้น 2 เล่ม และสำเนาพิมพ์อีก 15 ชุด

การเขียนเอกสารอ้างอิงในวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

เอกสารอ้างอิง (Reference) หมายถึง เอกสารหรือส่วนหนึ่งของเอกสารที่อ้างอิงถึงหรือแปลมาโดยตรง การเขียนเอกสารอ้างอิงในเนื้อหา นั้น ให้ใช้ระบบหมายเลขเรียงตามลำดับที่อ้างอิง การเขียนเอกสารอ้างอิงในตอนท้ายบทความนั้น ให้ใส่เฉพาะเล่มที่มีการอ้างไว้แล้วในเนื้อหาเท่านั้น

บรรณานุกรม (Bibliography) หมายถึง เอกสารที่ใช้อ้างอิงในลักษณะที่สรุปเป็นหลักการหรือทฤษฎีโดยมิได้อ้างอิงหรือแปลมาโดยตรง จึงไม่ต้องมีหมายเลขกำกับในรายงาน แต่สรุปรวมเป็นรายชื่อเอกสารในส่วนของบรรณานุกรมโดยคำนึงถึงลำดับตัวอักษร (order system)

การเขียนเอกสารอ้างอิง หรือบรรณานุกรม มีแนวทางการเขียนดังนี้

1. หนังสือ

ก. ภาษาไทย

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

ข. ภาษาอังกฤษ

ชื่อสกุล, อักษรย่อชื่อต้น, อักษรย่อชื่อรอง. (เลขปี ค.ศ.). 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

- กรณีที่ เป็นเอกสารอ้างอิงจากแหล่งอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดข้างต้น เช่น จดสาร, หนังสือพิมพ์ ฯลฯ ให้ยึดหลักการเขียนตามแบบข้างต้นโดยอนุโลม
- กรณีที่ มีผู้เขียน 2 หรือ 3 คน ให้เขียนตามแบบของผู้เขียนคนแรก แต่ให้เติมคำว่า “และ” หรือ “and” หน้าชื่อสุดท้ายในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ
- กรณีที่ มีผู้เขียนมากกว่า 3 คนขึ้นไป ให้ใส่เฉพาะผู้แต่งชื่อแรกและใส่คำว่า “และคณะ” หรือ “et. al.” ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ
- ถ้าเอกสารที่ถูกอ้างอิงอยู่ในระหว่างตีพิมพ์ ให้บอกรายละเอียดมากที่สุดและใช้คำว่า “ระหว่างตีพิมพ์” หรือ “in press” ในกรณีของภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามลำดับ โดยวงเล็บต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้น

