



ฉบับที่ 15

วิทยาศาสตร์แม่เพช.

THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

ปีที่ 15 ฉบับที่ 3 ก.ค. - ก.ย. 30

ฉบับฉลองวันวิทยาศาสตร์ไทย 2530



ISSN 0125-2384



วารสาร

วิทยาศาสตร์ปู.
THE JOURNAL OF SCIENCE KHONKAEN UNIVERSITY

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
สำนักงาน

ตึก 3 ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วัตถุประสงค์

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

กำหนดออก

ปีละ 4 ฉบับ

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

ค่าบำรุง ปีละ 40 บาท ขายปลีกเล่มละ 12 บาท

การบอกรับเป็นสมาชิก

แจ้งความจำนงค์เป็นจดหมาย หรือกรอกใบสมัครเป็นสมาชิก พร้อมส่งค่าบำรุงเป็นธนาคัติ หรือเช็คไปรษณีย์ในนามของนางบุญคุ้ม เหลือล้ำ ฝ่ายจัดการ ส่งจ่าย ป.ท.มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

ที่ปรึกษา

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ
ทวีศักดิ์ แก้วชม
สุวิน บุศราคัม

บรรณาธิการ
บรรณาธิการผู้ช่วย
กองบรรณาธิการ

ละออศรี เสนาะเมือง
เทียง ภูมิสะอาด
ไพบุลย์ มงคลถาวรชัย
ปริญญา ชีรมงคล
อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์
ชัชวาลย์ เรืองประพันธ์
พาณี วรรณนิชกุล
เฉลิม เรืองวิริยะชัย
อโนทัย ตรีนานิช
วิทยา อมรกิจบำรุง

ฝ่ายจัดหาทุน

วัฒนา นันทสาร
วิจิตร ทุนอินทร์

ฝ่ายศิลป์และภาพ

ทรงเวทย์ เป้าชัย

ฝ่ายเหรียญก

ลักขณา สุขบาง

ฝ่ายจัดการ

สวางน หว่างจิตร
บุญคุ้ม เหลือล้ำ
บุษราภรณ์ ดวงคำน้อย
สมศักดิ์ อุ่นจันทิ



บทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ในวารสารนี้เป็นของผู้เขียน ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับทัศนะของกองบรรณาธิการ

สารบัญ

วารสาร

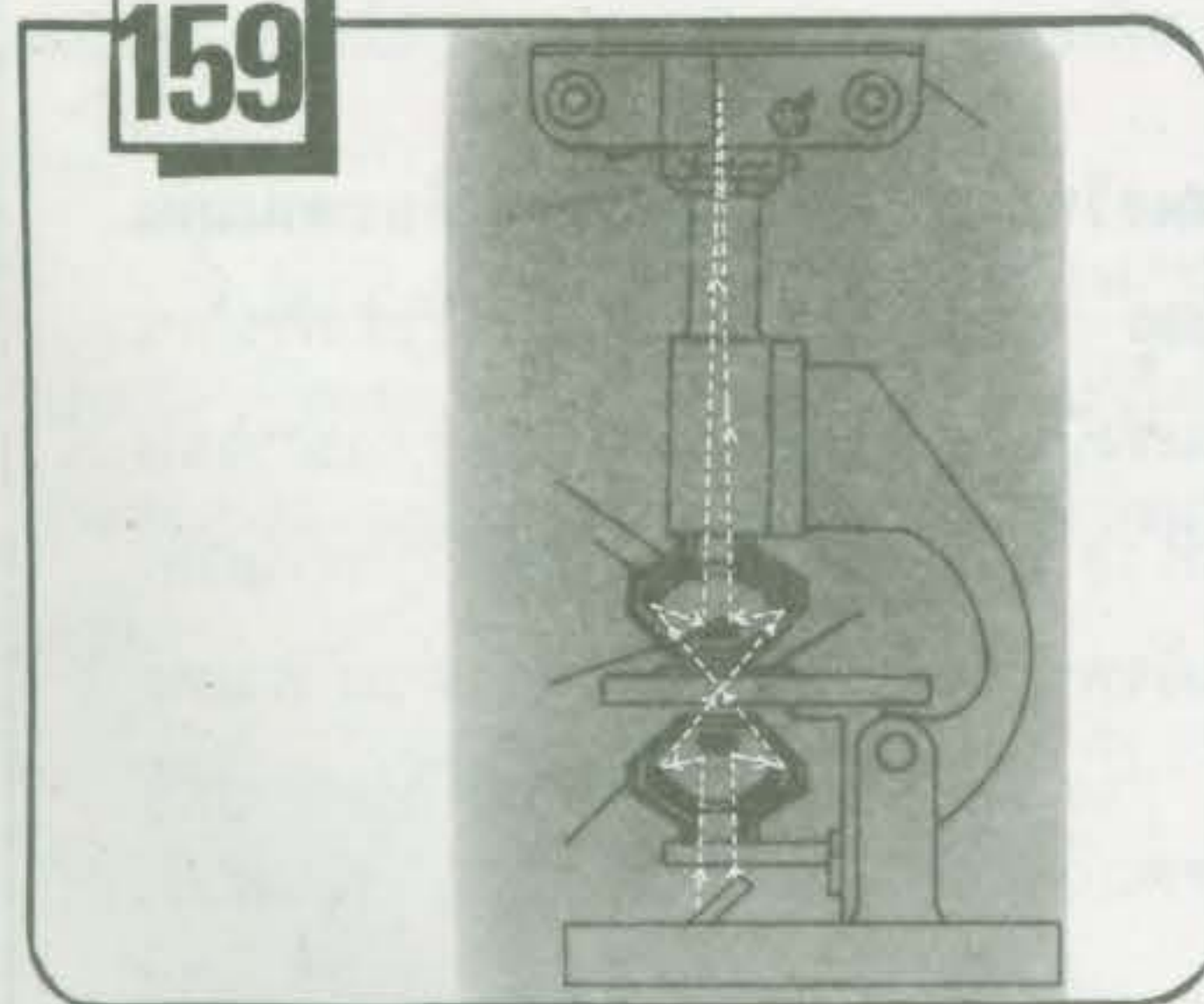
วิทยา

THE JOURNAL OF

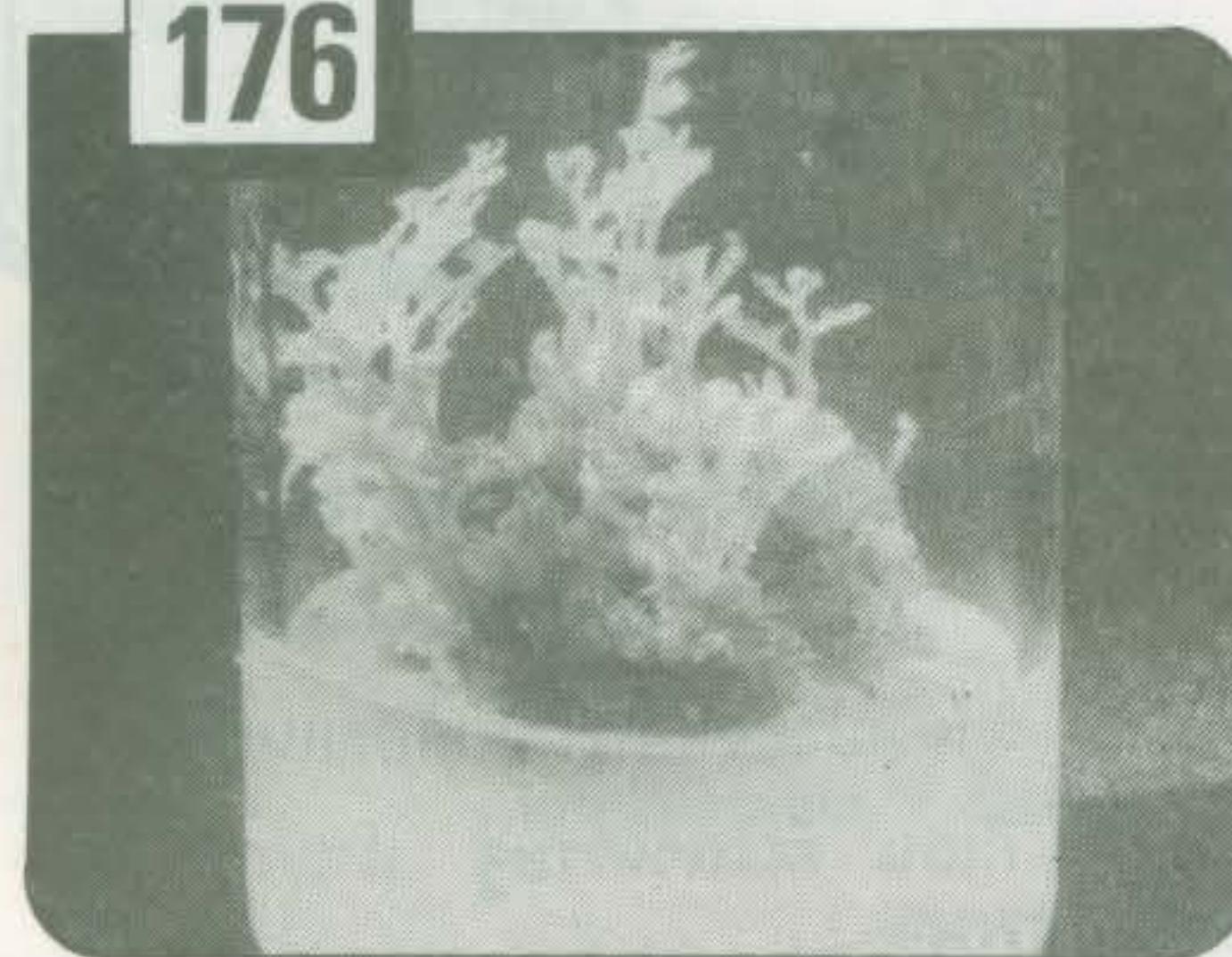
125



159



176



125-2364

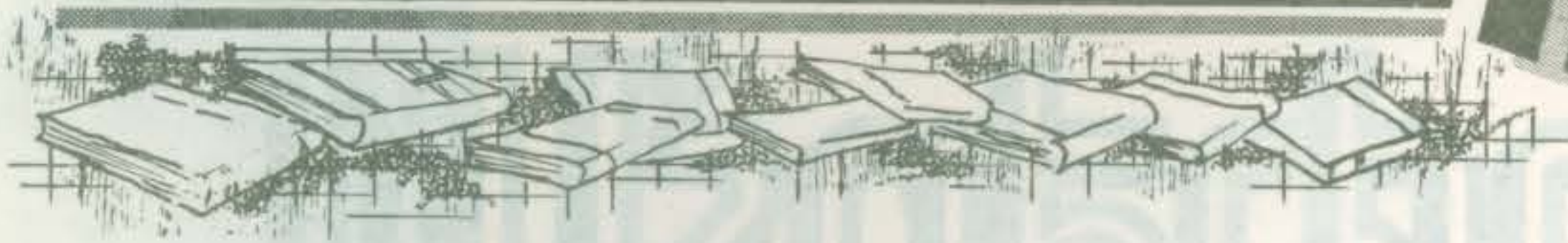
ช.

5 ฉบับที่ 3

กองบรรณาธิการ	125
ไม่ลองก็ไม่รู้	
ดร.เพ็ญ	127
วิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวัน	
นาย TONY	128
บทความ	
แผนภูมิคู่กรด - เบส	
รัตนา มหาชัย	131
อันดับสามชั้นปีทาโกรัสปฐมฐานในจำนวนเต็มเกาส์	
เทียง ภูมิสะอาด	141
โพลีเมอร์	
พัฒนา เห็นแสงหงษ์	149
กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง	
สยาม ชูถิ่น	159
ผลึกเหลวกับการประยุกต์ใช้	
ทิพาภรณ์ ศรีชัยรัตน์	164
เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับไวตามินบี 1 (ไทอามีน)	
พหล จิตติยศรา	170
ตัวนำยวดยิ่งเซรามิก	
วิทยา อมรกิจบำรุงและ นพปฎล สุทธิศิริ	172
งานวิจัย	
การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเฟิร์นราชินี	
ในหลอดทดลอง	
บุญยืน กิจวิจารณ์	176
การตรวจสอบส่วนประกอบทางเคมีของผักตบชวา	
ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง และคณะ	180
เบ็ดเตล็ด	
คอลัมน์นี้มีรางวัล	
นาย TONY	ปกหลังด้านใน



บรรณารักษ์การเกษตร



เพื่อเป็นการฉลองวันวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ประจำปี 2530 นี้ จึงนำ “กาลพฤกษ์” ต้นไม้ประจำมหาวิทยาลัยขอนแก่น มาเป็นภาพปกวารสารฯ ฉบับนี้ บทความในเล่มล้วนแล้วแต่น่าสนใจ ขอแนะนำบทความเกี่ยวกับความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เรื่อง “ตัวนำเวดยั้งเซรามิก” ของ อ.วิทยา อมรกิจบำรุง และ อ.นพปฎล สุทธิศิริ, เรื่อง “กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง” ของ อ.สยาม ชูถิ่น และเรื่อง “ผลึกเหลวกับการประยุกต์ใช้” ของ ดร.ทิพาภรณ์ ศรีธัญญรัตน์

คอลัมน์วิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวัน ฉบับนี้ นาย TONY เสนอเรื่องราวเกี่ยวกับ “น้ำใส ๆ ที่เรียกว่า น้ำส้มสายชู” ได้ชี้แจงความแตกต่างระหว่างน้ำส้มสายชูเทียมและน้ำส้มสายชูปลอมไว้ด้วย

กิจกรรมวันวิทยาศาสตร์แห่งชาติปีนี้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กำหนดจัดงานฉลองระหว่างวันที่ 16-18 สิงหาคม 2530 ขอเชิญชมนิทรรศการทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ การประกวดโครงงานวิทยาศาสตร์ การแข่งขันตอบปัญหาวิทยาศาสตร์ การแข่งขันทักษะการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ สำหรับวันที่ 18 สิงหาคม 2530 มีพิธีวางพวงมาลาถวายสักการะพระบรมสาทิสลักษณ์ พระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว พระบิดาแห่งวิทยาศาสตร์ไทย อย่าลืมว่าท่านมีนัดกับเราวันที่ 16 - 18 สิงหาคม 2530 ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นนะคะ

สวัสดิ์

ละออศรี เสนาะเมือง



ปกหน้าและปกหลัง

กาลพฤกษ์ (*Cassia bakeriana*)
ต้นไม้ประจำมหาวิทยาลัยขอนแก่น
กิเลน ติณนรเศรษฐ์ ถ่ายภาพ



สารทำลายมะเร็ง

อีกไม่นานแพทย์ชาวอเมริกันและญี่ปุ่นจะ
ได้เริ่มทำการทดลองใช้สารธรรมชาติอย่างหนึ่ง
กับมนุษย์ ซึ่งได้รับการวิจัยแล้วว่าสามารถฆ่าเซลล์
มะเร็งในสัตว์ได้ และไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ
อื่น ๆ ด้วย สารดังกล่าวนี้คือ T-N-F

T-N-F เป็นสารที่พบในร่างกายของมนุษย์
และสัตว์ที่ไม่เป็นมะเร็ง สำหรับผู้ที่เป็มะเร็งนั้น
ร่างกายได้สูญเสียความสามารถในการผลิตสาร
ตัวนี้

จากการทดลองใช้สาร T-N-F กับสัตว์
นักวิจัยพบว่า เมื่อนำสารนี้ใส่ลงไปในเลือดของ
หนูที่เป็นเนื้องอกมะเร็ง ภายใน 24 ชั่วโมง เนื้อ
อกทั้งหมดจะเริ่มสลายตัว

การทดลองใช้สาร T-N-F กับมนุษย์ คาด
ว่าจะใช้เวลาอย่างน้อย 2 ปี บรรดานายแพทย์ต่าง
หวังกันว่า T-N-F จะให้ผลในการต่อต้านมะเร็ง
ของปอด, เต้านม, กระเพาะอาหาร, ปากมดลูก และ
เลือด

Intellectuals, 7 March, 1987

สมพร ชันเงิน

เพชรในอวกาศ

จากการศึกษาของนักวิจัยจากสถาบัน Enrico
Fermi Institute ในชิคาโก และ American National
Bureau of Standards พบว่าผงละเอียดที่อยู่ใน
ช่องว่างระหว่างดวงดาว คือ เพชรเม็ดเล็ก ๆ ซึ่ง
เชื่อว่าเกิดจากดวงดาวที่กำลังแตกสลายปล่อยคาร์-
บอนออกมาในรูปก๊าซแล้วจึงรวมตัวกันเป็นเพชร
ขนาดประมาณ 5 นาโนเมตร

บรรดานักวิจัยได้ตรวจสอบชิ้นส่วนของ
ลูกอุกกาบาตที่รู้ว่ามีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดย
นำไปฉายเอ็กซเรย์ และทำการแยกอิเล็กตรอน
เขาพบว่า ชิ้นส่วนดังกล่าวมีโครงสร้างและรูปแบบ
ของเพชร

ชิ้นส่วนที่กล่าวถึงยังมีสัดส่วนของก๊าซเฉื่อย
ที่ผิดธรรมดา ซึ่งแสดงว่า ชิ้นส่วนเหล่านี้ไม่ได้เกิด
ขึ้นในระบบสุริยะก่อน ๆ แต่มาจากดวงดาวรุ่น
ก่อน คณะนักวิจัยกล่าวว่า เพชรจะต้องเกิดจาก
การควบแน่นของคาร์บอนอะตอมที่แผ่มาจากดวง
ดาวสีแดงขนาดใหญ่ และเขาสรุปว่า ธรรมชาติมี
ประสิทธิภาพในการสร้างเพชรได้ดีกว่าห้องปฏิบัติ
การใด ๆ ในโลกนี้

New Scientist, 19 March, 1987.

สมพร ชันเงิน

กล้องถ่ายรูป : ถ่ายแล้วทิ้ง

ภาพ 2 ภาพที่ท่านเห็นอยู่นี้ เป็นวิวัฒนาการใหม่ของกล้องถ่ายรูป หลังถ่ายรูปหมดม้วน นำ



ฟิล์มไปล้าง กล้องก็ทิ้งไปได้เลย เป็นที่สนอกสนใจของนักถ่ายรูปสมัครเล่นทีเดียว สำหรับรูปล้างสุดเป็นของบริษัทโกดัก ใช้ฟิล์มขนาด 24 ภาพ ความไว 110 ถูกบรรจุอยู่ในกล่องกระดาษ ติดเลนส์ขนาด 25 mm. f/8 ความเร็วชัตเตอร์ $1/120$ วินาที พร้อมคู่มือการใช้ฟิล์ม มุ่งตลาดผู้ซื้อตามสวนผักผ่อน และตามหาดทราย ราคาต่ำกว่า 7 ดอลลาร์ รูปบนสุด เป็นของบริษัทฟูจิฟิล์มเลอร์ ใช้ฟิล์มขนาด 24 ภาพ แต่ฟูจิใช้ฟิล์มขนาด 35 mm. และความไวไม่เท่ากับ 110 ใช้ถ่ายรูปกลางแจ้งเหมือนของโกดัก ความเร็วชัตเตอร์เท่ากับ $1/100$ วินาที ราคาต่ำกว่า 10 ดอลลาร์

Popular Science, June 1987.

ชำนาญ ปัญญาใส

แสงสว่างกับคุณค่าของงานศิลปะ

ศูนย์อิเล็กทรอนิกส์แห่งมหาวิทยาลัย ESSEX

ในประเทศอังกฤษได้ศึกษาการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมปริมาณแสงในหอแสดงภาพรวม 8 แห่ง โดยคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งในแต่ละหอแสดงภาพจะมีหัววัดปริมาณแสง 6 หัว ก่อนที่จะปรับปริมาณแสงโดยอัตโนมัติ ให้พอเหมาะกับการชมภาพมากที่สุด ด้วยการเปิดหรือปิดบานเกล็ดกันแสงที่ส่องผ่านหลังคาแก้วในเวลากลางวันหรือโดยการเพิ่มหรือหรี่แสงจากหลอดไฟในเวลากลางคืนซึ่งสามารถตั้งโปรแกรมตามช่วงเวลาเปิดการแสดงของแต่ละวันในสัปดาห์ ตลอดจนวันปิดพิเศษ เช่น วันคริสต์มาส นอกจากนั้นยังปรับแสงให้เหมาะสมกับการรักษาความปลอดภัยในเวลากลางคืนอีกด้วย

ปัจจุบันศูนย์ดังกล่าวยังได้ขยายการศึกษาถึงระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อป้องกันการเกิดราซึ่งนอกจากช่วยยืดอายุของภาพแล้วยังเพิ่มความสบายแก่ผู้เข้าชมอีกด้วย

(New Scientist, Jan. 1987)

ชีชาวัลย์ เรื่องประพันธ์

ไม่ลองก็ไม่รู้



โดย...ดร.เพี้ยน

บทความในชุด “ไม่ลองก็ไม่รู้” นี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อกระตุ้นความสนใจและเสริมความเข้าใจด้านวิทยาศาสตร์โดยการทดลอง หรือประดิษฐ์เครื่องมืออย่างง่าย ซึ่งนอกจากจะให้ความเพลิดเพลินแล้วยังคาดว่าจะมีประโยชน์ต่อการสอนวิทยาศาสตร์ในแบบแผนปัจจุบันอีกด้วย

การทำสบู่ให้ใส

คนเรามักไม่ชอบสิ่งจำเจซ้ำซาก การที่ผู้คนจำนวนมากพากันเบียดเสียดยัดเยียดไปชมขบวนแห่ก็เพราะมันไม่มีให้ชมทุกวันนั่นเอง ลองถามตัวเองดูว่า ความจริงแล้วเราไปชมความงดงามของขบวนแห่ หรือไปชมสิ่งที่แปลกไปจากสิ่งจำเจประจำวันกันแน่ ถ้ายังหาคำตอบไม่ได้ก็ลองถามต่อไปดูซิว่า ถ้ามีขบวนแห่ที่สวยงามให้ชมทุกวัน สามเวลาหลังอาหาร จะไปดูหรือไม่? มีผู้ตั้งข้อสังเกตว่าของเก่าที่นำมาดัดแปลงให้ดูเป็นของใหม่ (โดยไม่แจ้งให้ทราบ) และในทำนองกลับกัน ของใหม่ที่นำมาทำให้ดูเป็นของเก่า (โดยไม่แจ้งให้ทราบอีก) มักจะนำความชื่นชมยินดีเป็นอย่างยิ่งมาสู่ทั้งคู่ให้ (ขาย) และผู้รับ (ซื้อ) โดยพร้อมเพรียงกัน สมกับคำพังเพยที่ว่า **เหล้าเก่าในขวดใหม่ หรือเหล้าใหม่ในขวดเก่า** ทำนองนั้น

ของใช้ใกล้ตัวประจำวันอย่างสบู่ก็เช่นกัน เดิมทีเคยเป็นก้อนทึบ ๆ ทึม ๆ น่าเบื่อหน่าย ครั้นพอดัดแปลงให้มีเนื้อใสแจ๋วคล้ายวุ้นหรือเจลลี่ (jelly) เข้าสักหน่อย ก็จะมีราคาสูงขึ้นได้มากพอสมควรทีเดียว เช่น ส่วนที่เราต้องจ่ายเพิ่มขึ้นก็คือค่าอยากลองของใหม่ หรือภาษีจำเจนั่นเอง

ในคราวนี้จะได้แสดงวิธีการเปลี่ยนสบู่ธรรมดาให้กลายเป็นสบู่ใส ได้โดยไม่ยากเย็นอะไรเลย โดยมีอุปกรณ์และสารเคมีดังนี้

1. สบู่เกล็ด 20 กรัม
2. กลีเซอริน (glycerine) 25 มิลลิลิตร
3. เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol 95%) 15 มิลลิลิตร
4. น้ำกลั่น (น้ำฝน) 15 มิลลิลิตร

ผสมสบู่และสารเคมีอีก 3 ชนิดที่เหลืออยู่เข้าด้วยกันตามลำดับ นำไปอุ่นบนเตาไฟฟ้า ระวังอย่าให้ร้อนจัด ค่อย ๆ กวนให้เข้ากันช้า ๆ จนได้สารละลายใส เสร็จแล้วเทลงในแม่พิมพ์ แล้วปล่อยให้เย็นตัวลง ก็จะได้สบู่ตามต้องการ แต่ถ้าอยากให้มีสีสวยงามก็เติมสีชนิดที่ใช้ผสมอาหารลงไปสัก 1 - 2 หยด ในขณะที่สบู่ยังเหลวอยู่ หรือต้มให้มิกลิ้นคล้ายสบู่ใสราคาแพง ก็เติม eugenol (oil of cloves) ลงไปสัก 0.5 มิลลิลิตร ถ้าต้องการกลิ่นอื่น ๆ ก็เลือกใส่หัวน้ำหอมชนิดที่ต้องการลงไปตามชอบใจ สบู่ชนิดนี้มีข้อเสียอยู่ 3 ประการคือ

1. ต้องเก็บในกล่องหรือห่อไว้ให้มิดชิด เพื่อไม่ให้แอลกอฮอล์ และน้ำในสบู่ระเหยออกไป มิฉะนั้นสบู่จะกลับชุ่มอีก
2. มีลักษณะคล้ายขนม เด็กเล็ก ๆ อาจจะเข้าใจผิด เอามารับประทาน จึงควรเก็บให้พ้นมือของเด็ก
3. คุณสมบัติคล้ายสบู่ใสที่วางขายในท้องตลาดมากจนไม่อยากจะไปซื้อมาใช้อีกเลย

วิทยาศาสตร์

ในชีวิตประจำวัน

ตอน น้ำใส ๆ ที่เรียกว่า..... น้ำส้มสายชู

นาย TONY

“เจ้! เจ้! ขอถ้วยเตี้ยชามึง เล็กน้ำ ไม่ออก”

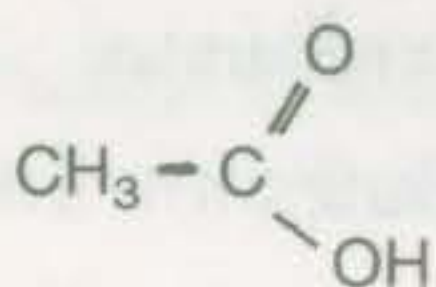
“ได้จ๊ะ” “มาแล้ว จ้า”

“ขอเครื่องปรุงด้วย”

เหตุการณ์เช่นนี้ ไม่ว่าใคร ๆ ก็คงเคยพบ.....
ประสบมาด้วยกันแทบทั้งสิ้น ในการทานอาหาร
ประเภทนี้ สุดท้ายมักลงเอยด้วยการเติมน้ำส้ม
สายชูลงไป เพื่อให้เกิดรสชาติที่เอร็ดอร่อยยิ่งขึ้น
(เปรี้ยวมาก.....เปรี้ยวน้อย ตามสะดวก) ปัจจุบัน
ปัญหาเรื่องน้ำส้มสายชูแท้และปลอมยังคงมีปรากฏ
ให้เห็นอยู่บ่อย ๆ อย่างนั้นเราลองมาดูซิว่า.....น้ำส้ม
สายชูนั้นเป็นอย่างไรกันบ้าง

น้ำส้มสายชูคือ.....

น้ำส้มสายชู หรือกรดน้ำส้ม ภาษาอังกฤษ
ใช้คำว่า **acetic acid** (กรดอะซีติก) มีสูตรเคมีดังนี้



บางที่เรียกว่า ethanoic acid หรือ vinegar
acid หรือ methanecarboxylic acid

มีรสเปรี้ยว เป็นของเหลวไม่มีสี กลิ่นฉุน
(กลิ่นกรด) มีจุดหลอมเหลว 16.6°C . มีจุดเดือด
 118.1°C . (ที่ความดัน 765 มม.ปรอท) สามารถละลาย
น้ำได้ทุกอัตราส่วน ถ้าเป็นกรดอะซีติกบริสุทธิ์
นิยมเรียกว่า glacial acetic acid

ความจริงน้ำส้มสายชู เป็นที่รู้จักกันมาก
กว่า 10,000 ปีแล้ว ซึ่งได้มาโดยบังเอิญจากการเก็บ
เหล้าไวน์ไว้นาน ๆ จนเกินกำหนด ชาวฝรั่งเศส
จึงเรียกผลิตภัณฑ์ใหม่อันน่าทึ่งและน่าอัศจรรย์นั้นว่า
VINAIGRE (ไวน์เปรี้ยว)

ซึ่งต่อมาอีกหลายร้อยปี จึงเริ่มนำพืชชนิด
ต่าง ๆ เช่น อ้อย ข้าวฟ่าง มันฝรั่ง แดงโม มะพร้าว
 ฯลฯ มาผลิตเป็นน้ำส้มสายชู แต่หลักการโดยทั่ว ๆ
ไป ก็ยังคงเหมือนเดิม.....ไม่เปลี่ยน กล่าวคือ เป็น
การหมักน้ำตาลตามธรรมชาติ เพื่อให้กลายเป็น
แอลกอฮอล์ แล้วหมักต่อจนกลายเป็นน้ำส้มสายชู

ชนิดของน้ำส้มสายชู.....

นักวิชาการได้แบ่งน้ำส้มสายชูออกเป็น 3
ชนิด ตามขั้นตอนในการผลิตดังต่อไปนี้

1. น้ำส้มสายชูหมัก ได้แก่ น้ำส้มที่ได้จากการหมักพวกพืช ผลไม้ หรือน้ำตาลกับยีสต์ แล้วนำมาหมักกับเชื้อน้ำส้มสายชู น้ำส้มชนิดนี้ราคาค่อนข้างสูง

2. น้ำส้มสายชุกลิ้น ได้แก่ น้ำส้มที่ได้จากการนำแอลกอฮอล์กลั่นเจือจาง มาหมักกับเชื้อน้ำส้มสายชู น้ำส้มชนิดนี้มีรสและกลิ่นค่อนข้างรุนแรง มักไม่มีสี และใสกว่าน้ำส้มสายชูหมัก

3. น้ำส้มสายชูเทียม ได้แก่ น้ำส้มที่ได้จากการนำกรดน้ำส้มมาทำให้เจือจาง

น้ำส้มสายชูทั้ง 3 ชนิดนี้ สามารถรับประทานได้.....ไม่เป็นอันตราย

แต่น้ำส้มปลอมนั้น จะได้จากการนำกรดกำมะถัน หรือกรดฟอสฟอรัส มาทำให้เจือจาง ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้เกิดโรคกระเพาะและปวดท้องอย่างรุนแรง บางครั้งอาจถึงตายได้

การสังเกตน้ำส้มสายชูที่ถูกต้อง.....

กระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้ผู้ผลิตน้ำส้มแสดงข้อความต่อไปนี้ไว้ที่ฉลาก

1. ชื่อต้องบ่งชัดว่าเป็น "น้ำส้มสายชูหมัก" หรือ "น้ำส้มสายชุกลิ้น" หรือ "น้ำส้มสายชูเทียม"
2. มีชื่อและเลขทะเบียนอาหาร
3. บอกปริมาณเป็นมิลลิลิตร
4. บอกชื่อและที่ตั้งสถานที่ผลิต
5. ในกรณีที่กรดน้ำส้มเกิน 7 กรัม ต่อ 100 มิลลิกรัม จะต้องแสดงปริมาตรกรดน้ำส้ม และวิธีที่ทำให้เจือจาง ก่อนนำไปใช้บริโภคด้วย...ปกติจะใช้น้ำส้มสายชู 5% เท่านั้น

ดังนั้นก่อนซื้อน้ำส้มสายชู ควรพิจารณาที่ฉลากให้ถี่ถ้วนเสียก่อน และที่สำคัญ คือ ร้านบางแห่งในท้องตลาด เรียกกรดน้ำส้มชนิดหนึ่งว่า

หัวน้ำส้ม นั้น จะไม่อยู่ในความควบคุมของกระทรวงสาธารณสุข ฉะนั้นหัวน้ำส้มนี้อาจมีสิ่งเป็นพิษเจือปนอยู่ด้วย เช่น ปรอท หรือตะกั่ว

เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับน้ำส้มสายชู

เป็นเรื่องที่น่าอัศจรรย์มากในช่วงที่มนุษย์รู้จักน้ำส้มสายชูมากกว่าร้อยศตวรรษนั้น มนุษย์ก็ได้นำน้ำส้มสายชูมาใช้ให้เป็นประโยชน์อื่น ๆ นานาชนิด นอกจากใช้ปรุงอาหารให้มีรสเปรี้ยว อาทิเช่น ชาวบาบิโลน นำไปใช้ถนอมอาหาร (ดอง) ใช้เป็นเครื่องปรุง และยังรู้จักทำให้มีรสชาติแปลกออกไปด้วยสมุนไพร ทหารโรมันใช้เป็นเครื่องดื่ม พระนางคลีโอพัตราได้รับรางวัลก้อนใหญ่จากการพ่นน้ำส้มสายชูละลายไข่มุกที่มีค่าได้ ฮิปโปเครติส (บิดาแห่งวงการแพทย์) ได้สรรเสริญน้ำส้มสายชูที่สามารถใช้เป็นยาได้ และเป็นการรักษาแบบหนึ่งตามตำรับโบราณจากหลักฐานในพระคัมภีร์ แสดงว่าน้ำส้มสายชูใช้บรรเทาและรักษาโรคได้

จนถึงทุกวันนี้ ก็ยังมีผู้คนพยายามคิดค้นหาวิธีนำน้ำส้มสายชูไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

ต่อไปนี้เป็นประโยชน์ส่วนหนึ่งของน้ำส้มสายชู ที่สถาบันวิจัยน้ำส้มสายชู (The Vinegar Institute) ได้รวบรวมเอาไว้

1. น้ำส้มสายชูทำให้เนื้อนุ่ม
ขณะที่กำลังต้มเนื้ออยู่ ถ้าใส่น้ำส้มสายชูลงไปสักเล็กน้อย จะช่วยทำให้เนื้อนุ่ม.....น่ารับประทานมากขึ้น
2. น้ำส้มสายชูทำให้ผักมีสีสด
ในการต้มผัก เช่น กระหล่ำปลี หรือผักกาด อยู่ควรเติมน้ำส้มสายชูลงไปสักหน่อย จะช่วยทำให้ผักมีสีสดขึ้น.....น่ามหำจริง ๆ

3. น้ำส้มสายชูช่วยระบายท้องที่อุดตัน

ในกรณีที่ท้องอุดตัน สามารถแก้ไขได้ โดยการเท **โซดาบิงขนมปัง** ลงไปในท่อสัก 1 กำมือ แล้วเทน้ำส้มสายชูสักครึ่งถ้วยตามลงไป ปิดปาก ท่อให้มิดชิดสักครู่แล้วเทล้างด้วยน้ำอีกครั้งหนึ่ง.... เป็นอันว่าเรียบร้อย ระบายสะดวก

4. น้ำส้มสายชูช่วยละลายต่างผงซักฟอกที่ติดกับผ้า

ก่อนซักผ้าให้สุดท้าย ลองเทน้ำส้มสายชู ลงไปสักเล็กน้อย ไม่ว่าคุณจะใช้ซักด้วยเครื่องหรือ มือก็ตาม จะทำให้ต่างผงซักฟอกที่เกาะติดอยู่กับ ผ้าละลายออกมาได้....ร้านซักรีดทั่ว ๆ ไปมักใช้ วิธีนี้

5. น้ำส้มสายชูขจัดกลิ่นบูหรีในห้อง

นำน้ำส้มสายชูเพียง 1 ถ้วย ไปวางไว้ใน ห้องที่มีกลิ่นบูหรี ระหว่างหรือหลังงานเลี้ยงสัง- สรรค์....รับรองกลิ่นสะอาดอย่างแน่นอน

6. น้ำส้มสายชูทำให้เส้นผมสะอาดและสลวย

ภายหลังจากการสระผม ให้ล้างด้วยน้ำ ต่อน้ำส้มสายชูในอัตราส่วน 1 ถ้วยต่อ 1 ช้อนโต๊ะ จะช่วยล้างน้ำยาสระผมที่ค้างคั่งอยู่ออกไปหมด.... ทำให้เส้นผมสะอาด แลดูสลวย แถมเป็นเงางาม อีกด้วย

7. น้ำส้มสายชูช่วยป้องกันหมอกจับบนกระจกรถยนต์

เมื่อท่านมีความจำเป็นต้องจอดรถยนต์ ทั้งค้างไว้นอกโรงรถตลอดคืน ควรจะเคลือบกระจก รถยนต์ของท่านเสียก่อน ด้วยน้ำต่อน้ำส้มสายชู ในอัตราส่วน 1 ส่วนต่อ 3 ส่วน ซึ่งสามารถช่วย ป้องกันไม่ให้หมอกจับบนกระจกรถยนต์....ไม่ผ้าแก้ว

8. น้ำส้มสายชูช่วยบรรเทาอาการคัน

น้ำส้มสายชูช่วยคลายอาการคันจากแมลง

กัดต่อย ซึ่งวิธีนี้รู้จักใช้กันมานานแล้ว....สำหรับการรักษา เมื่อถูกตัวต่อหรือมดตะนอยต่อยก็สามารถ ทำได้อีกด้วย

9. น้ำส้มสายชูทำให้เครื่องแก้วแวววาว

ให้ผสมน้ำต่อน้ำส้มสายชู ในอัตราส่วน 1 แกลลอน ต่อครึ่งถ้วย จะช่วยกำจัดรอยสกปรกที่ ติดอยู่ที่เครื่องแก้ว....จะทำให้บรรดาแก้วเหล่านั้น เป็นแวววาว และมีประกายอีกด้วย

และ.....

น้ำส้มสายชูช่วยขจัดกลิ่นปลา

น้ำส้มสายชูทำให้มันฝรั่งดูขาวและน่าทาน

น้ำส้มสายชูช่วยลดความเค็มในอาหาร

น้ำส้มสายชูช่วยรักษาสีของเสื้อผ้าให้ทนทาน

น้ำส้มสายชูช่วยขจัดคราบมัน

น้ำส้มสายชูช่วยให้ทาเล็บติดได้ทนทาน

น้ำส้มสายชูช่วยลบรอยเปื้อนของถ้วยชา-

กาแฟ

น้ำส้มสายชูช่วยลบรอยเลอะตะเข็บผ้า

น้ำส้มสายชูช่วยทำความสะอาดเครื่องใช้

สแตนเลส

น้ำส้มสายชูช่วยทำความสะอาดเตารีดไฟฟ้า

น้ำส้มสายชูช่วย.....

ฯลฯ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า น้ำส้มสายชูนั้นมีประโยชน์ มากมายจริง ๆ

เอาหละ กล่าวถึง น้ำใส ๆ ประเภทนี้มาก ทีเดียว ชักรู้สึกหิว อุตส่าห์สั่งถ้วยเตี๋ยมาตั้งนาน คง จืดชืดหมดแล้ว

“เจ้! เจ้! ขอน้ำส้มสายชูแก้หน้อย”

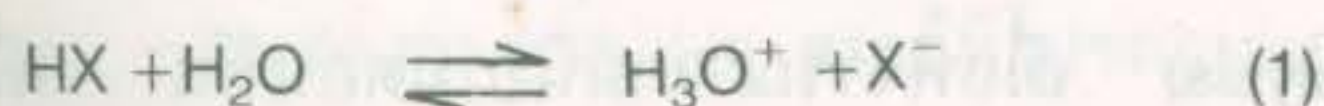
แผนภูมิคู่

กรด-เบส

*รัตนา มหาชัย

เคมีของกรด - เบส มีความซับซ้อนยากต่อการเข้าใจ และมักทำให้ผู้เรียนสับสนจึงได้มีการนำเอาแผนภูมิกรด - เบส มาใช้สอนในห้องเรียน⁽¹⁾ แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ความแรงกรดและเบส และใช้ทำนายทิศทางและแนวโน้มของการเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายโปรตอน

ก่อนจะกล่าวถึงแผนภูมิควรทราบนิยามกรดเบสก่อน ได้มีผู้ให้นิยามกรดเบสไว้หลายท่าน อาทิเช่น อาร์ลีนียัส (Arrlenius) บรอนสเตด (Bronsted) นิยามที่นิยมใช้กันมากเป็นนิยามของบรอนสเตด ซึ่งมีใจความว่ากรดเป็นสารที่ให้โปรตอน (ไฮโดรเจนไอออน, H^+) แก่สารอื่น เบสคือสารที่สามารถรับโปรตอนจากกรด⁽²⁾ ปฏิกิริยากรดเบสของบรอนสเตดจะเป็นดังนี้

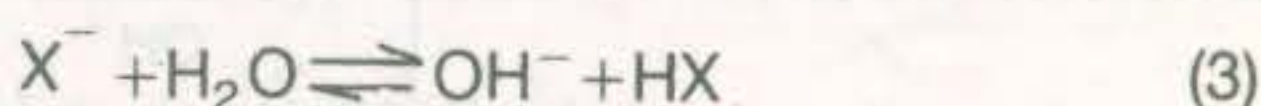


กรด₁ เบส₂ กรด₂ เบส₁

จากปฏิกิริยาจะเห็นว่ามีการกรดและเบสอย่างละ 2 ตัว กรด HX เมื่อเกิดปฏิกิริยาได้เบส X^- สาร 2 ตัวนี้เรียกว่า **คู่กรด - เบส** (conjugated acid-base) โดย X^- เป็นคู่เบสของกรด HX ทำนองเดียวกัน HX เป็นคู่กรดของเบส X^- ในปฏิกิริยานี้มีคู่กรดเบสอีก 1 คู่ คือ H_2O และ H_3O^+ ความแรงของกรด HX วัดได้จากค่าคงที่การแตกตัว K_a ดังสมการ

$$K_a = \frac{[H_3O^+][X^-]}{[HX]} \quad (2)$$

เมื่อให้ $pK_a = -\log K_a$ ปฏิกิริยาที่ 1 เขียนย้อนกลับได้ดังนี้



เบส₁ กรด₂ เบส₂ กรด₁

X^- เป็นคู่เบสของกรด HX ความแรงของเบสวัดจากความสามารถในการรับโปรตอนของน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นกรดได้

$$K_b = \frac{[OH^-][HX]}{[X^-]} \quad (4)$$

เมื่อให้ $pK_b = -\log K_b$ นำเอาสมการ (2) คูณกับสมการ (4) สมการลดรูปเป็น

$$K_a K_b = [H_3O^+][OH^-] \quad (5)$$

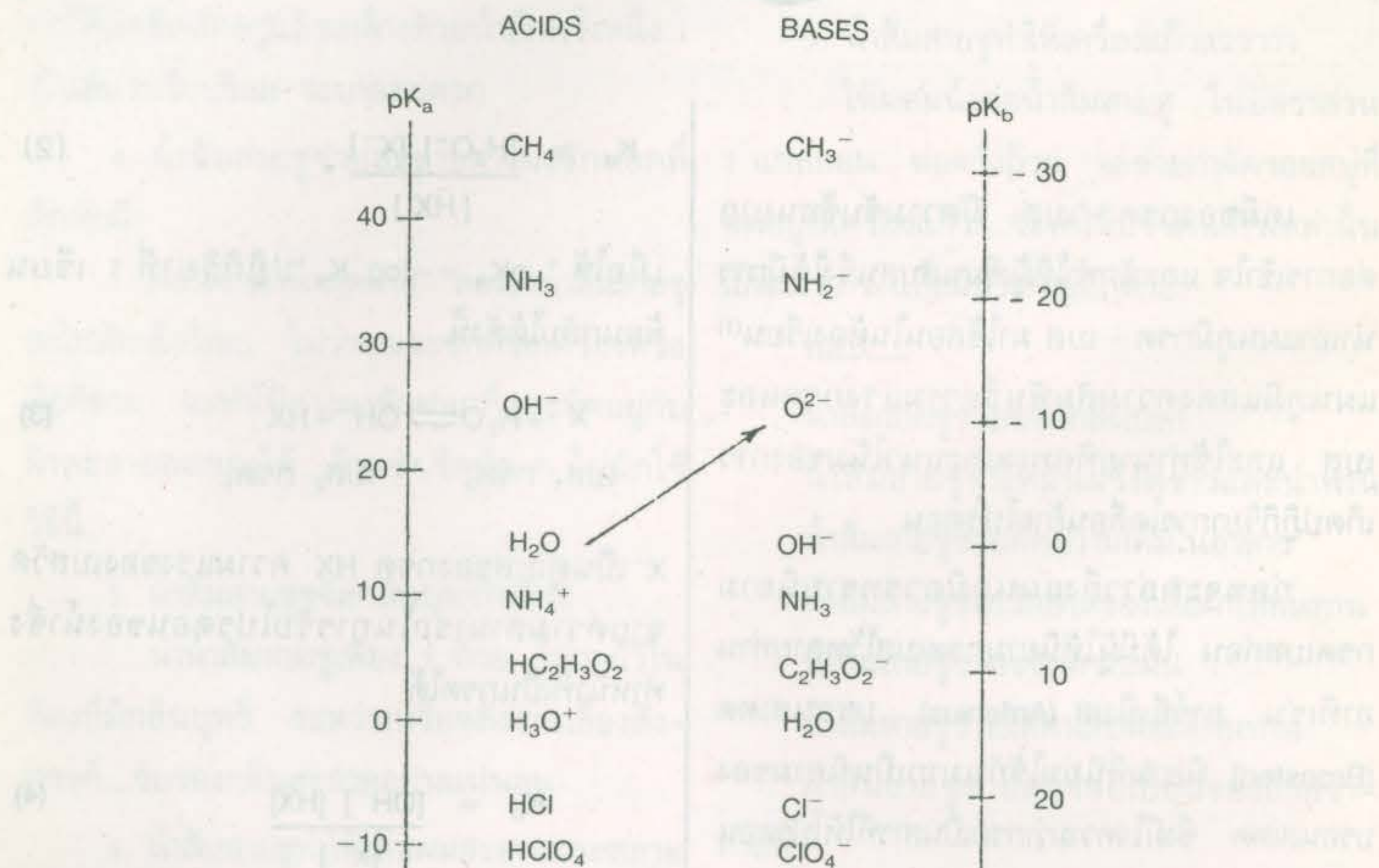
จากสมการ (5) ทางขวามือคือ ผลผลิตไอออน (ion product) ของน้ำมีค่าเท่ากับ 1.0×10^{-14} ที่ 25°C และแทนค่าในเทอมลอการิทึมจะได้

$$pK_a + pK_b = 14.0 \quad (6)$$

เมื่อ pK_a เป็นของกรดและ pK_b เป็นของคู่เบสของมัน มีค่าไม่ขึ้นต่อกัน ถ้า pK_a มีค่าลดลง pK_b จะเพิ่มขึ้นในทางตรงข้ามกรดจะเป็นกรดแก่ขึ้นแต่คู่เบสของมันกลับเป็นเบสที่อ่อนลง

การสร้างแผนภูมิ และรายละเอียด

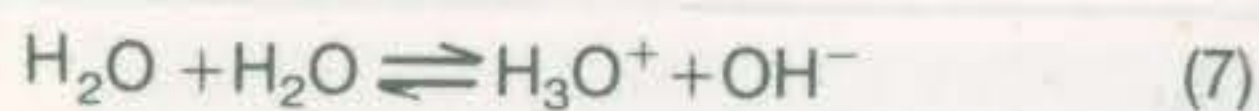
เมื่อต้องการเปรียบเทียบกรดอาจลำดับได้ตามความแรงของมันในแผนภูมิคูกรด - เบส
รูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมิคูกรด - เบส ลูกศรตามแนวทะแยงมุมแสดงแนวโน้มกรดที่ทำให้โปรตอนแก่เบสที่อยู่สูงกว่า

จากรูปกรดอยู่ทางซ้ายมือมีสเกลค่า pK_a ค่า pK_a มีค่าลดลงจากบนลงล่างกรดจะแก่ขึ้นจากบนลงล่าง ด้านขวามือเป็นเบสมีสเกล pK_b ถ้า pK_b เพิ่มขึ้นความแรงของเบสลดลง การวางคูกรด - เบสลงในแผนภูมิจะต้องทราบ pK_a ของกรดหรือ pK_b ของเบส การสร้างแผนภูมิได้โดยอาศัยข้อมูลจากหนังสือมาตรฐานต่าง ๆ

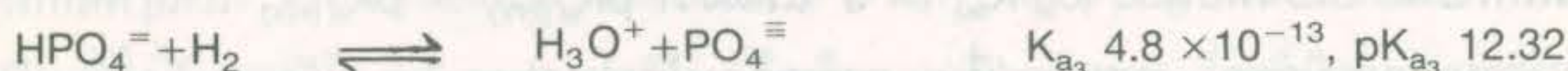
สิ่งที่น่าสนใจมากในแผนภูมิคือตำแหน่งของ H₂O ทั้งสองคอลัมน์ น้ำเป็น **แอมฟิ-โปรติก**⁽²⁾ (เป็นได้ทั้งกรดและเบส) สามารถให้โปรตอนแก่ตัวมันเองดังสมการ



ปฏิกิริยานี้เรียกว่า **ออโตโปรโตไลซิส** (autoprotolysis) เมื่อพิจารณาตามนิยามตอนต้น เพื่อคำนวณ pK_a และ pK_b ของน้ำทั้งสองมีค่าเท่ากับ 14.0 ดังแสดงตำแหน่งของน้ำในคอลัมน์ทั้งสองข้าง

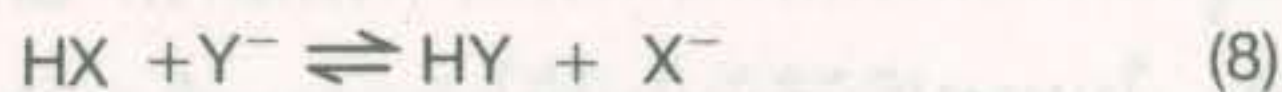
นอกจากนี้ความแรงของกรดหรือเบสดูจากโครงสร้างโมเลกุล (molecular structure) นำมาประกอบการอธิบายแนวโน้มบนแผนภูมินี้ได้ ดังตัวอย่างรูปที่ 1 ความแรงของกรดพวกไฮไดรด์ (hydride) ลดลง : $H_2O > NH_3 > CH_4$ เนื่องจากจากผลของธาตุที่อยู่ตรงกลางมีสภาพไฟฟ้าลบของออกซิเจนมากกว่าไนโตรเจนมากกว่าคาร์บอน ทำให้ H ใน OH มีประจุเป็นบวก

มากกว่าจึงหลุดได้ง่าย⁽²⁾ ตัวอย่างอีกอย่างหนึ่งอันเนื่องมาจากผลของประจุที่สามารถให้โปรตอน ความแรงของการลดลงในอนุกรม $H_3O^+ > H_2O > OH^-$ แต่พวกกรดโพลีโปรติกเมื่อแตกตัวให้โปรตอนในขั้นที่ 1 แล้วเป็นกรดอ่อนลง ค่า pK_a แต่ละขั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมันเสียโปรตอนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น กรดฟอสฟอริกเป็นกรดไตรโปรติกแตกตัวได้ 3 ขั้นตอน ดังสมการต่อไปนี้⁽³⁾



โดยทั่ว ๆ ไปความเป็นกรด (acidity) หรือความเป็นเบส (basicity) เนื่องจากความเกี่ยวพันกันของโครงสร้างโมเลกุลก็อาจนำมาเขียนเป็นแผนภูมิอย่างง่าย ๆ ได้เหมือนกัน

การใช้แผนภูมิกรด - เบส เพื่อทำนายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดเบสแต่ละชนิด ดังตัวอย่างปฏิกิริยาทั่ว ๆ ไป



กรด₁ เบส₂ กรด₂ เบส₁

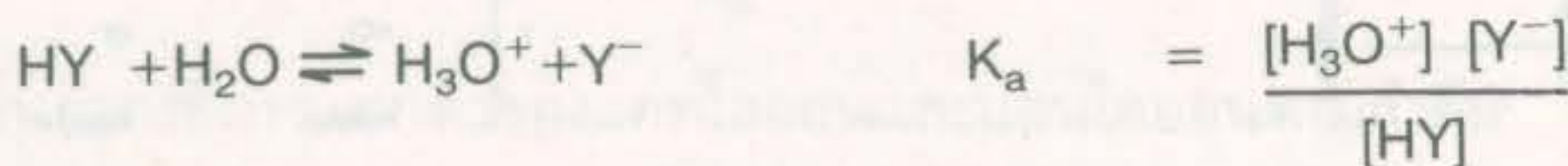
เขียนค่าคงที่สมดุล

$$K_{eq} = \frac{[HY][X^-]}{[HX][Y^-]} \quad (9)$$

ถ้า $K_{eq} > 1$ แสดงว่า กรด HX ชอบให้โปรตอนแก่เบส Y^- เมื่อเขียน K_{eq} ในเทอมของ $K_{a(HX)}$ และ $K_{a(HY)}$ โดยอาศัยสมการการแตกตัวของกรด HX และ HY ดังนี้



$$\frac{[X^-]}{[HX]} = \frac{K_a}{[H_3O^+]}$$



$$\frac{[Y^-]}{[HY]} = \frac{K_a}{[H_3O^+]}$$

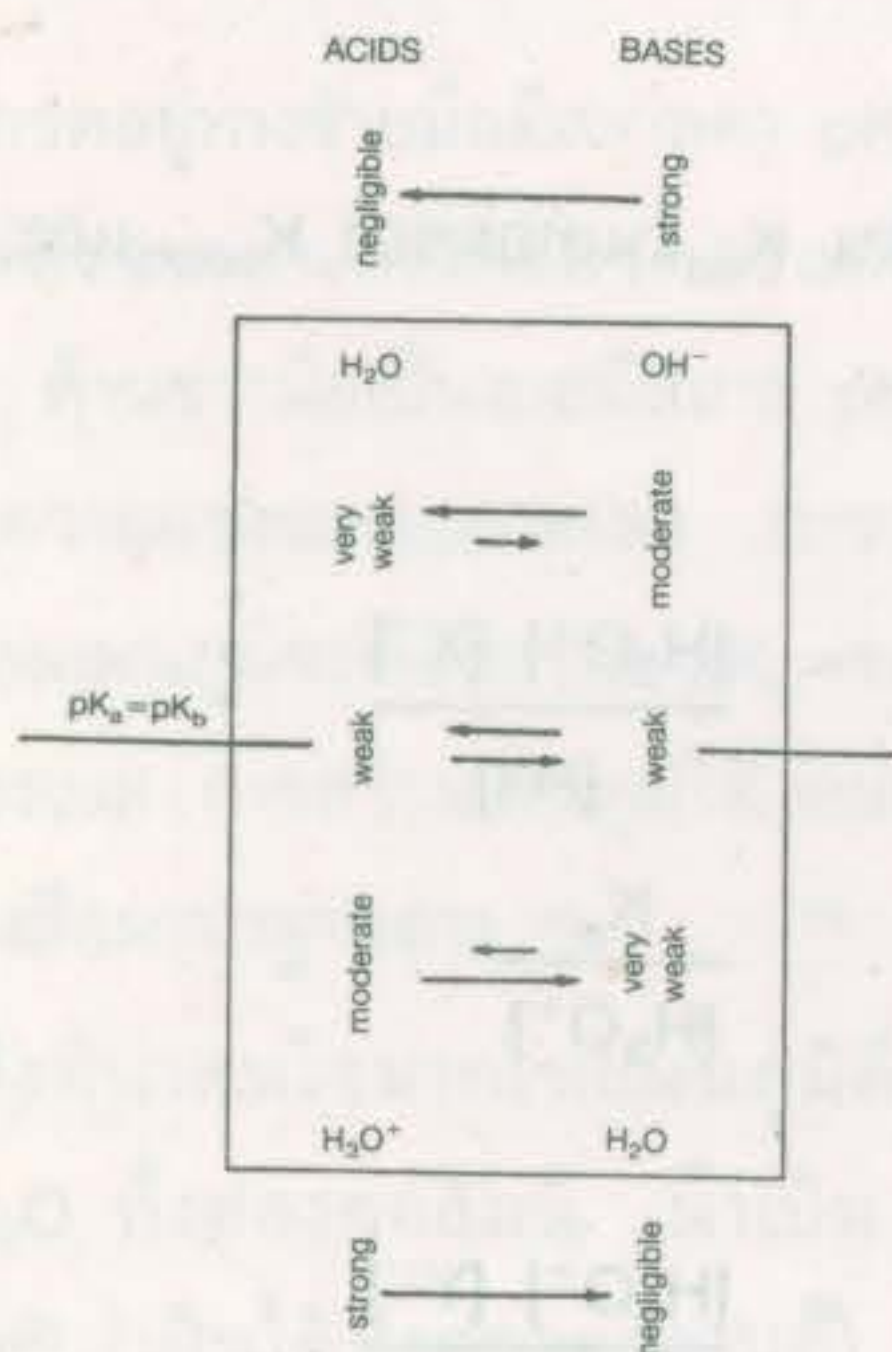
จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ของ K_{eq} และ K_a ของกรดทั้งสองดังสมการ (10)

$$K_{eq} = \frac{K_a(HX)}{K_a(HY)} \quad (10)$$

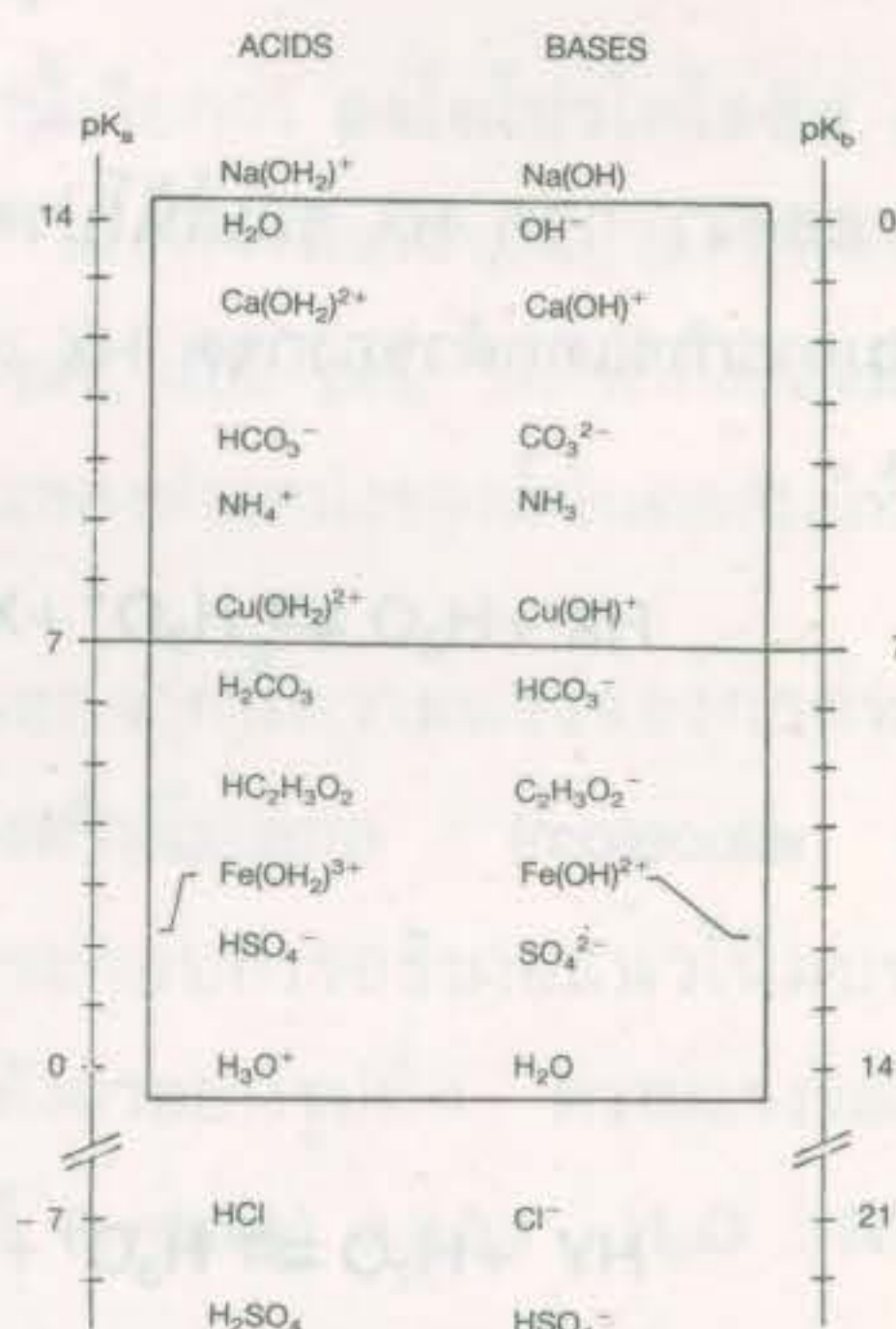
เมื่อใส่ลอการิทึมทั้งสองข้าง

$$\log K_{eq} = pK_{a(HY)} - pK_{a(HX)} \quad (11)$$

ระบบจะมีเคลื่อนย้ายโปรตอนถ้า $\log K_{eq} > 0$ แสดงว่า $pK_{a(HY)} > pK_{a(HX)}$ นำเอาหลักการดังกล่าวมาพิจารณาตามแผนภูมิกรด - เบส รูปที่ 1 การเคลื่อนย้ายโปรตอนมีแนวโน้มจะเกิดขึ้น ถ้า Y^- เป็นเบสที่แก่กว่าและอยู่สูง (บน) กว่ากรด HX หรือพูดง่าย ๆ ว่า **การเคลื่อนย้ายโปรตอนชอบที่จะเกิดขึ้นถ้าเส้นลูกศรจากกรดไปหาเบสเป็นทางลาดสูงขึ้น** ลองนำหลักการข้างต้นมาพิจารณากรดหลาย ๆ ชนิดในตัวทำละลายน้ำ เช่น กรดแก่ HCl อยู่คอลัมน์ซ้ายข้างล่างแผนภูมิกรดนี้อยู่ต่ำกว่าเบส H_2O ซึ่งอ่อนกว่าอยู่คอลัมน์ขวามือเหนือกรดนี้ กรด HCl ให้โปรตอนแก่ H_2O ได้ดีแล้วได้ H_3O^+ เป็นกรดอยู่ในระดับเดียวกัน อีกตัวอย่างหนึ่งคือกรดอ่อน $HC_2H_3O_2$ ให้โปรตอนเล็กน้อยแก่เบส H_2O ที่แก่กว่าอยู่คอลัมน์ขวามือซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่ากรดนี้ ดังนั้นกรด CH_4, NH_3 , และ OH^- อยู่คอลัมน์ซ้ายมืออยู่เหนือเบส H_2O มาก ในทางปฏิบัติมันไม่ให้โปรตอนแก่ H_2O ทำนองเดียวกันเบสแก่ เช่น $CH_3^-, NH_2^-,$ และ O^{2-} รับโปรตอนจากกรด H_2O ซึ่งอยู่ต่ำกว่าได้ดีเบสเหล่านี้อยู่เหนือเบส OH^- ส่วนเบสอ่อน เช่น NH_3 รับโปรตอนจากกรด H_2O ได้น้อย เพราะ H_2O เป็นกรดที่อยู่สูงกว่ามันและในทางปฏิบัติ Cl^- และ ClO_4^- เป็นเบสอ่อนมากไม่รับโปรตอนจาก H_2O



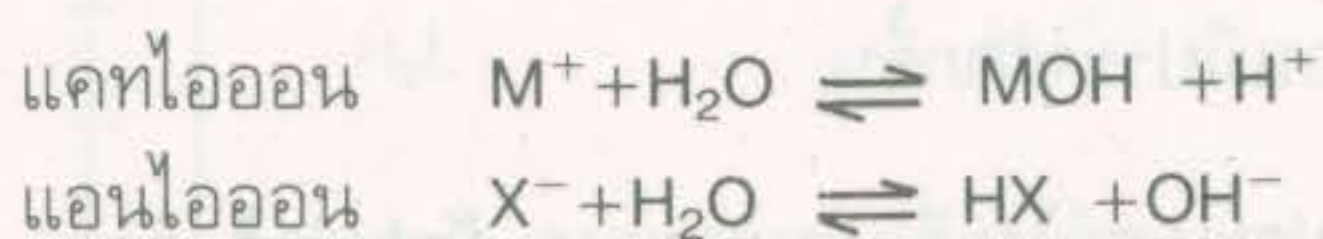
รูปที่ 2 แผนภูมิกรด - เบส ประกอบด้วยกล่องสมดุลของน้ำและมีเส้น $pK_a = pK_b$



รูปที่ 3 แผนภูมิกรด - เบส เพื่อแสดงสารละลายเกลือในน้ำว่าเป็นกรดหรือเบส

รูปที่ 2 เป็นการสรุปการแบ่งแถบแผนภูมิเป็นส่วน ๆ ว่า แก่ ปานกลาง อ่อน อ่อนมาก และ อ่อนมากบอกเป็นค่าตัวเลขไม่ได้ ลูกศรแสดงทิศทางแนวโน้มของปฏิกิริยาว่าชอบจะเกิดทิศทางใด มากกว่ากัน เครื่องหมายลูกศรทิศทางเดียว ($\rightarrow$) ด้านบนและด้านล่างของแผนภูมิหมายถึงกรดแก่ หรือเบสแก่ทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายแล้วเกิดปฏิกิริยาไม่ผันกลับ เครื่องหมายลูกศรสองทิศทางมี **แบบ เท่ากัน** ($\rightleftharpoons$) และ **แบบไม่เท่ากัน** ($\rightleftharpoons$, $\rightleftharpoons$) เห็นได้จากความยาวของลูกศรทั้งสอง แตกต่างกัน ปฏิกิริยาเป็นแบบผันกลับ แนวโน้มของปฏิกิริยาว่าทิศใดจะเกิดได้มากกว่าซึ่งจะแทนด้วย ลูกศรยาวกว่า ตัวอย่างเช่น กรดปานกลาง HSO_4^- เมื่อเกิดปฏิกิริยาได้คู่เบสอ่อนของมันเป็นเบสที่อ่อนมาก (ดูรูปที่ 3) ในรูปที่ 2 มีเส้นแบ่งแผนภูมิออกเป็น 2 ส่วนที่ $\text{pK}_a = \text{pK}_b$ เส้นนี้เป็นที่เปรียบเทียบว่า กรดและเบสบนเส้นนี้มีความแก่ (strong) เท่ากัน จึงเรียกรูปที่ 2 มีกรอบสี่เหลี่ยมล้อมรอบว่า **กล่อง สมดุล** (equilibrium box) ของน้ำ

เมื่อเกลือละลายในน้ำแล้วมันแตกต่างตัวเป็นแคทไอออนและแอนไอออน ไอออนเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายเรียก **ไฮโดรไลซิส**⁽²⁾ (hydrolysis) ตัวอย่างปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น



การทำนายว่าสารละลายที่ได้เป็นกรดหรือเบส อาจดูจากแผนภูมิกรด - เบสได้ ตัวอย่างเช่นจากรูปที่ 2 และ ที่ 3 เกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ เมื่อละลายน้ำได้สารละลายเป็นกรด ดูจากแผนภูมิ รูปที่ 3 NH_4^+ เป็นกรดอ่อน และ Cl^- เป็นเบสที่อ่อนมากจนบอกเป็นค่าตัวเลขไม่ได้กรดอ่อน จึงมีอำนาจเหนือกว่า ในกรณีของเกลือโซเดียมไบซัลเฟตจะยุ่งยากมากขึ้น เพราะแอนไอออน HSO_4^- เป็นแอมฟิโพรติก HSO_4^- เป็นกรดปานกลาง แต่เป็นเบสอ่อนมากบอกเป็นค่าตัวเลขไม่ได้ สารละลายที่ได้จึงเป็นกรด เราทำนายได้ว่าสารละลายโซเดียมไบซัลเฟตเป็นกรด ส่วนสารละลายแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตวิเคราะห์ ได้ยากขึ้นอีก เพราะ NH_4^+ เป็นกรดอ่อน และ HCO_3^- เป็นเบสอ่อนจะต้องพิจารณาว่าไอออนใดมี อำนาจเหนือกว่ากันโดยวัดระยะห่างจากเส้น $\text{pK}_a = \text{pK}_b$ NH_4^+ เป็นกรดมีระยะห่างจากเส้นดังกล่าว มากกว่า HCO_3^- ซึ่งเป็นเบส ดังนั้นทำนายว่าสารละลายของเกลือนี้มีฤทธิ์เป็นเบสเกิดจากการไฮโดรไลซิส ของแอนไอออน HCO_3^-

การคำนวณ พี - เอช (pH) ของสารละลายเกลือเมื่อแตกตัวเป็นไอออนที่มีอยู่ภายในกล่องสมดุล ค่าความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) โดยประมาณไม่ขึ้นกับความเข้มข้นสารละลายดังสมการ^(3,4)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{\frac{K_a K_w}{K_b}} \quad (12)$$

เมื่อ K_a และ K_b เป็นค่าคงที่การแตกตัวของแคทไอออนและแอนไอออนตามลำดับ ใส่ลอการิทึมและ แทนค่า $\text{pK}_w = 14.0$ จะได้

$$\text{pH} = \frac{\text{pK}_a - \text{pK}_b}{2} + 7.0 \quad (13)$$

จากสมการนี้ เมื่อนำมาใช้โดยอาศัยแผนภูมิรูปที่ 3 ประกอบกัน สารละลายแอมโมเนียมโบคาร์บอเนต มี pH 7.81

โลหะไอออน บัฟเฟอร์ และพี - เอช ไทเทรชัน

โลหะแคทไอออนจากเกลือเมื่ออยู่ในน้ำมีโมเลกุลทางน้ำล้อมรอบอยู่เรียก ไฮเดรท (hydrate) เมื่อน้ำเข้าล้อมรอบแคทไอออนทางโลหะ มันจะหันด้านที่เป็นออกซิเจนเข้าหา กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนจะมาดึงดูดกับประจุบวกมากขึ้นทำให้พันธะระหว่าง H-O อ่อนลง H ตัวนี้จึงหลุดออกไปได้ง่ายกว่าปกติ ได้ไฮโดรเนียมไอออนเกิดขึ้น เรียกปฏิกิริยานี้ว่า **ไฮโดรไลซิส**⁽²⁾ แต่ถ้าตัวทำละลายเป็นอย่างอื่น เรียกโซลโวไลซิส (solvolysis) เช่น ไฮเดรทแคทไอออน



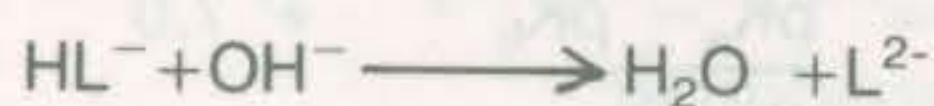
pK_a 12.6 แคลเซียมไอออนจัดเป็นพวกกรดอ่อนมาก ๆ ตามรูปที่ 2 และ 3 ความสามารถในการให้โปรตอนเพิ่มมากขึ้นเมื่อโลหะไอออนมีประจุมากขึ้น

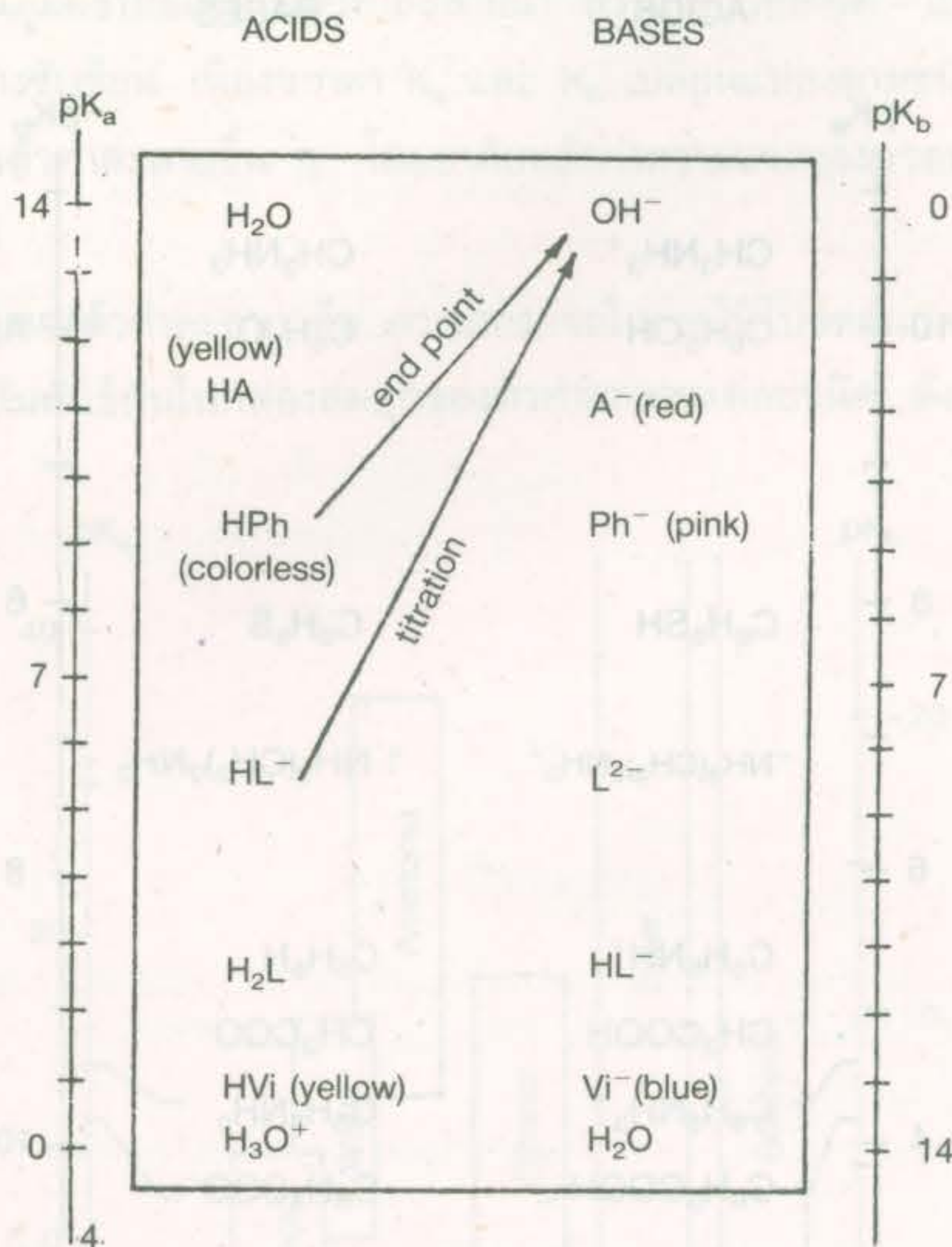
แผนภูมิกรด - เบส ให้ประโยชน์ในเรื่องสารละลาย **บัฟเฟอร์** ด้วย สารละลายบัฟเฟอร์เป็นสารละลายผสมของกรดอ่อนและคู่เบสของมัน คู่กรด - เบสแต่ละคู่สามารถรักษาความเป็นบัฟเฟอร์เมื่อวางอยู่ในกล่องสมดุลของน้ำ ตัวอย่างเช่น กรดอ่อน H_2CO_3 และคู่เบสของมัน HCO_3^- เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ รูปที่ 3 ในกล่องสมดุลประกอบ สมการของ **Henderson - Hasselbalch** บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่าง พี - เอช และความเข้มข้น ดังนี้

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{conjugate base}]}{[\text{acid}]}$$

ถ้าความเข้มข้นของกรดและคู่เบสเท่ากัน ค่า pH มีค่าเท่ากับ pK_a ของกรดนั้น กลไกของความเป็นบัฟเฟอร์อธิบายบนแผนภูมิได้ กล่าวคือ เมื่อเติมกรดแก่ลงไปในบัฟเฟอร์โปรตอนจากกรดจะถูกใช้หมดไปโดยคู่เบสของบัฟเฟอร์นั้น

แผนภูมิออกแบบใช้ประโยชน์สำหรับการไทเทรต ได้อีกด้วย พิจารณาการสแตนด์ดาร์ดไดซ์ (standardized) สารละลาย NaOH โดยไทเทรต กับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิกรด กรดที่เลือกต้องแก่พอที่จะทำปฏิกิริยากับ OH^- ในปริมาณใกล้เคียงกัน ตัวที่เลือกใช้ได้แก่โปแตสเซียมพทาเลต ดังรูปที่ 4 ตำแหน่งของพทาเลตไอออน (HL^-) บนแผนภูมิอยู่ในคอลัมน์กรดอยู่ต่ำกว่าเบส OH^- เมื่อเติมเบสแก่ OH^- จากบิวเรตลงไปที่มีการเคลื่อนย้ายโปรตอน ดังสมการ



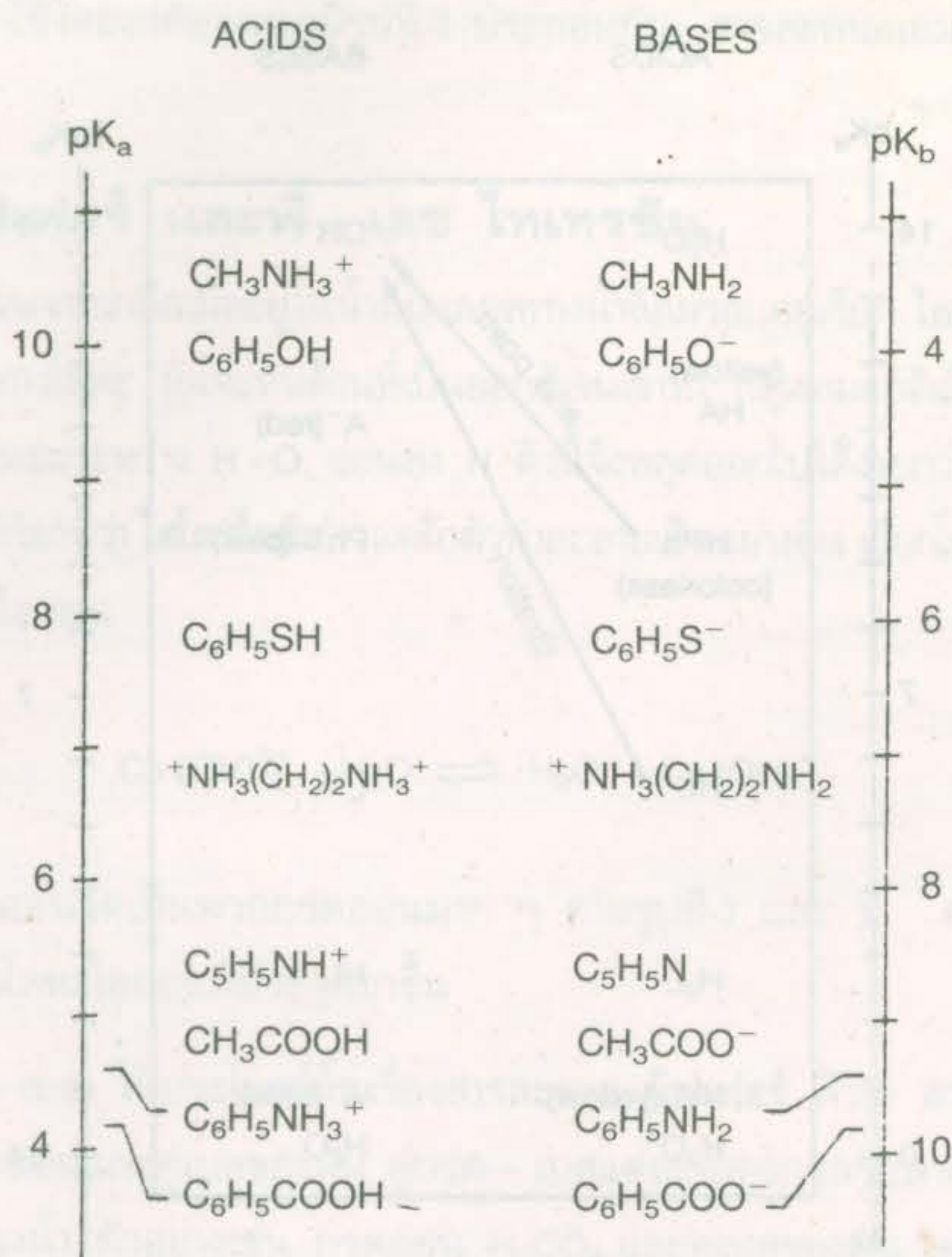


รูปที่ 4 การไทเทรตของสารละลาย NaOH กับกรดพทาเลตไอออน (HL^-) อยู่ในแผนภูมิกรด - เบส ลูกศรแสดงทิศทางการเคลื่อนย้ายโปรตอนของการไทเทรต ปฏิกริยาถึงจุดยุติ และอินดิเคเตอร์ที่เลือก

ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ ($K_{eq} 3.1 \times 10^8$) กรดตัวอื่น ๆ ที่อ่อนกว่า HL^- มีความเหมาะสมที่ใช้เป็นสารละลายมาตรฐานน้อยกว่า การเลือกอินดิเคเตอร์จากรูปที่ 4 ที่ควรเลือกมี 3 ตัว ได้แก่ อลิซาริน เยลโลว์ HA (alizarin yellow) ฟีนอล์ฟทาลีน HPh (phenolphthalein) และคริสตัลไวโอเลต HVi (crystal violet) อินดิเคเตอร์เป็นกรดหรือเบสและมันสามารถเปลี่ยนสีเป็นอีกสีหนึ่งเมื่อเป็นกรดคู่หรือคู่เบสของมัน จากตัวอย่างการไทเทรตกรด HL^- ถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยากับเบสแก่ OH^- จนหมดไป เลือกอินดิเคเตอร์ที่เป็นกรดแก่ใกล้เคียงกับเบสแก่ถ้าเลือก HA เป็นกรดอ่อนเกินไปที่จะให้โปรตอนแก่เบส OH^- ดังนั้นควรเลือก HPh ซึ่งมีความแรงใกล้เคียงกับ OH^- และอยู่ตรงกลางมันจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูเมื่อถึงจุดยุติ เพื่อนำไปบอกถึงจุดสมมูล

กลุ่มฟังก์ชันนอลสารอินทรีย์ และในตัวทำละลายไม่ใช้น้ำ

สารประกอบอินทรีย์ส่วนมากในโมเลกุล จะมีส่วนที่แสดงความเป็นกรด หรือเบส ดังรูปที่ 5 เป็นเพียงบางตัวอย่างที่ยกมาให้ดู เช่น CH_3NH_2 แทนอะลิฟาติกอะมีน (aliphatic amine) ปกติมีค่า pK_a อยู่ในช่วง 2.9 - 4.1 กลุ่มฟังก์ชันนอลสารอินทรีย์บางตัวในโมเลกุลประกอบด้วยส่วนที่เป็นทั้งกรดและ



รูปที่ 5 สารประกอบอินทรีย์บนแผนภูมิกรด - เบสของน้ำ

เบส เช่น ไกลซีน (glycine) เป็นการดอะมิโน ซึ่งสามารถเกิด **อินเตอร์โมเลกุลออตโตไลซิส** (intermolecular outolysis) ดังสมการ



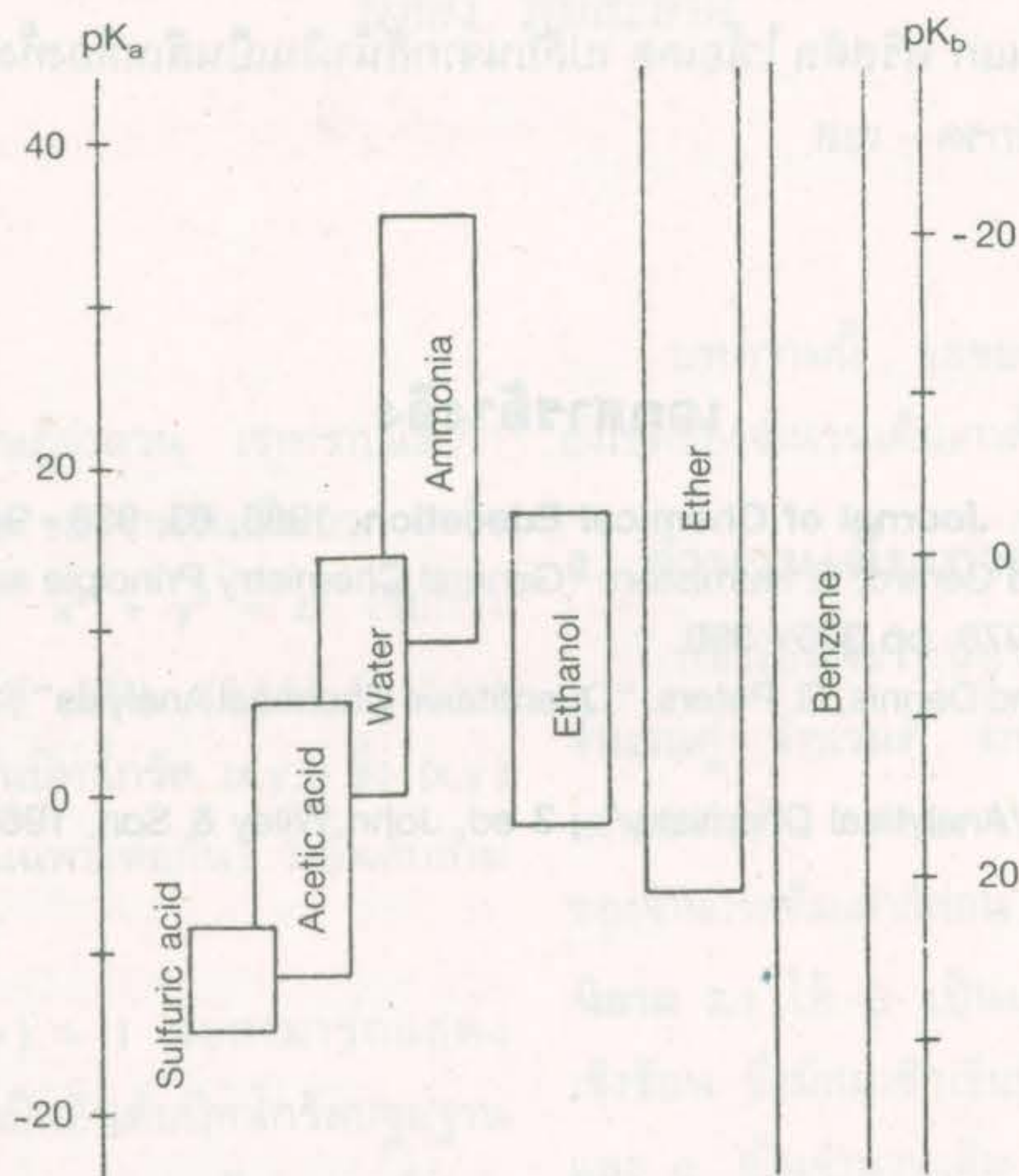
แนวโน้มของปฏิกิริยาถูกตัดสินจากรูปที่ 5 ข้อสังเกตกลุ่มอะลิฟาติกคาร์บอกซิล (CH_3COOH) วางอยู่ใต้กลุ่มอะลิฟาติกอะมีน (CH_3NH_2) การเคลื่อนย้ายโปรตอนเกิดขึ้นเกือบสมบูรณ์ และโมเลกุลของไกลซีนเป็นรูปสวิตเตอร์ไอออน (switterion) โมเลกุลที่มีไบฟังก์ชันนอลไม่ใช่ทั้งหมดที่จะเกิดออตโตโปรโตไลซิส (autoprotolysis) เช่น เมตา - อะมิโนฟีนอล สมดุลมันจะเลื่อนไปซ้ายได้ดีกว่า ในทางปฏิบัติสวิตเตอร์



ไอออนก็ไม่เกิดขึ้น จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์และตำแหน่งของอะโรมาติกไฮดรอกซิล และกลุ่มอะมีน

บทสรุป แผนภูมิอธิบายได้ดีในตัวทำละลายน้ำ ส่วนปฏิกิริยากรด - เบสในตัวทำละลายอื่น ๆ เข้าใจได้ยากและค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากค่า K_a และ K_b เปลี่ยนแปลงตามชนิดของตัวทำละลาย แต่เราอาจสร้างแผนภูมิในตัวทำละลายอื่น ๆ โดยอาศัยหลักว่าความแรงของกรดหรือเบสในตัวทำละลายแต่ละชนิดไม่ขึ้นต่อกัน

สมบัติที่สำคัญของตัวทำละลาย คือ ความสามารถในการให้โปรตอนและรับโปรตอน การหาว่า จะวางตัวถูกละลายให้สัมพันธ์กันในกล่องสมดุลของตัวทำละลายแต่ละชนิด ดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็น



รูปที่ 6 กล่องสมดุลของตัวทำละลายต่าง ๆ วางบน
แผนภูมิกรด - เบส ของน้ำ

การแสดงกล่องสมดุลของตัวทำละลายทั่ว ๆ ไปบนแผนภูมิกรดเบสของน้ำ แผนภูมิอย่างง่ายที่สุดโดย ด้านบนและด้านล่างของแต่ละกล่องอาจเขียนคู่กรดเบสของตัวทำละลาย ตัวอย่างเช่น ตัวทำละลาย โมเนียเหลว NH_4^+ และ NH_3 คู่กรดเบสควรอยู่ด้านล่าง ส่วน NH_3 และ NH_2^- อยู่ด้านบน สังเกต กรดอะซิติกเป็นกรดอ่อนในน้ำวางอยู่ใต้กล่องสมดุลของแอมโมเนีย แต่มันแสดงเป็นกรดแก่เมื่ออยู่ใน น้ำตัวทำละลายเบสนี้ จากรูปกล่องของเบนซีนยาวมากเพราะมันเป็นตัวทำละลายอะโปรติก (aprotic solvent) ไม่แสดงพฤติกรรมดังกรดหรือเบส และไม่สามารถบอกระดับกรดแก่สุดหรือเบสแก่สุดได้

ในการไทเทรตในตัวทำละลายที่ไม่ใช่น้ำ สามารถเข้าใจด้วยแผนภูมิกรด - เบส เมื่อต้องการ หาอะซิเตทไอออนโดยไทเทรตกับกรดเปอร์คลอริก ถ้าใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย $HClO_4$ ได้ระดับใกล้เคียง

กับ H_3O^+ (ดูรูปที่ 1) ในน้ำปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของ H_3O^+ และ $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ สังเกตได้ว่า H_3O^+ อยู่ต่ำกว่า $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ แต่ไม่มากนัก ดังนั้นการสะเทินจะไม่สามารถบอกปริมาณได้ที่จุดสมมูลย์ ปฏิกิริยาจะเกิดได้สมบูรณ์เมื่อใช้ตัวทำละลายเป็นกรด เช่น กรดอะซิติก ซึ่งเหมาะสมที่สุด ในตัวทำละลายนี้กรดเปอร์คลอริกทำให้ได้ระดับกับ $\text{H}_2\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ การไทเทรตรวมถึงปฏิกิริยาของ $\text{H}_2\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ซึ่งเป็นกรดแก่และเบสแก่ในกรดอะซิติก อินดิเคเตอร์ที่เลือกตามรูปที่ 4 มีอยู่ตัวเดียวคือ คริสตอล ไวโอเลต ซึ่งเป็นกรด มันจะเกิดดีโปรโตเนต (deprotonate) ในสารละลายเริ่มต้นของอะซิเตทไอออนในกรดอะซิติกเมื่อการไทเทรตดำเนินไป กรดเปอร์คลอริกที่จะเติมจะสะเทินอะซิเตทไอออนที่จุดสมมูลย์ มันให้โปรตอนแก่ คริสตอล ไวโอเลต เปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลืองทั้งสองปฏิกิริยาสามารถแสดงในการสร้างแผนภูมิกรด - เบส

เอกสารอ้างอิง

1. Richard, S. Treptow. **Journal of Chemical Education**. 1986, 63, 938 - 941.
2. James, E. Brady and Gerard, E. Humiston. "General Chemistry Principle and structure" ; 2 ed, John Wiley Sons, 1978, pp 375 - 390.
3. Robert, B. Fischer and Dennis, G. Peters. "Quantitative Chemical Analysis" ; 3 ed, W.B. Saunders Company, 1968.
4. Gary, D. Christian. "Analytical Chemistry" ; 3 ed, John Wiley & Son, 1980.

อันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐาน ในจำนวนเต็มเกาส์

(Primitive Pythagorean Triples of Gaussian Integers)

*เที่ยง ภูมิสะอาด

1. บทนำ

ในการศึกษาทฤษฎีจำนวน เราทราบแล้วว่า อันดับสามชั้น (x,y,z) ของจำนวนเต็มบวก ซึ่งสอดคล้องกับสมการ $x^2 + y^2 = z^2$ เรียกว่า อันดับสามชั้นพีทาโกรัส เช่น $(3,4,5)$, $(5,12,13)$ และเรียกอันดับสามชั้นพีทาโกรัส (x,y,z) ซึ่ง $(x,y) = 1$ (x,y เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน) ว่าอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐาน

โดยอาศัย $(x,y) = 1$ จะสามารถแสดงได้ว่า ถ้า (x,y,z) เป็นอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐาน แล้ว $(x,z) = 1$ และ $(y,z) = 1$ ด้วย และยิ่งกว่านั้น x,y,z จะเป็นจำนวนเต็มคี่สองตัว เป็นจำนวนเต็มคู่หนึ่งตัว จากเรื่องทฤษฎีจำนวน เราสามารถหาเซต P ของอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานทั้งหมดได้ กล่าวคือ ถ้าให้ C เป็นเซตของคู่อันดับ (c,d) ในเซตจำนวนเต็มซึ่ง c เป็นจำนวนเต็มคี่ d เป็นจำนวนเต็มคู่ และ $(c,d) = 1$ แล้วจะแสดงได้ว่าเซต C และ P เป็นเซตที่เทียบเท่ากัน โดยมีฟังก์ชัน $(c,d) \rightarrow (\pm(c^2 - d^2), 2cd, c^2 + d^2)$ เมื่อ $\pm(c^2 - d^2)$ มีค่าเป็นบวก เป็นฟังก์ชันหนึ่งต่อหนึ่งจาก C ไปทั่วถึง P

บทความนี้ จะขยายความคิดในเรื่องนี้ไปยังเซตของจำนวนเต็มเกาส์ ดังต่อไปนี้

2. จำนวนเต็มเกาส์

ก่อนอื่นจะให้นิยามของจำนวนเต็มเกาส์ จำนวนคู่ จำนวนคี่ จำนวนเฉพาะ และจำนวนเฉพาะต่อกัน ตลอดจนคุณสมบัติบางประการของจำนวนเต็มเกาส์ก่อน ดังต่อไปนี้

นิยาม 2.1 ให้ G เป็นเซตย่อยของเซตจำนวนเชิงซ้อน ซึ่งมีสมาชิกเขียนได้ในรูป $p + qi$ เมื่อ p และ q เป็นจำนวนเต็ม จะเรียกสมาชิกของ G ว่า จำนวนเต็มเกาส์

จากนิยามของจำนวนเต็มเกาส์ เราสามารถแสดงได้ว่าเซตของจำนวนเต็มเกาส์เป็นวงย่อยของเซตจำนวนเชิงซ้อน

นิยาม 2.2 ให้ α เป็นสมาชิกของ G ซึ่ง $\alpha = x + yi$ นอร์ม ของ α เขียนแทนด้วย $N(\alpha)$ เมื่อ $N(\alpha) = (x + yi)(x - yi) = x^2 + y^2$

จะเห็นว่า $N(\alpha)$ เป็นจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ และยิ่งกว่านั้นจะได้คุณสมบัติเกี่ยวกับนอร์มของสมาชิกของ G ดังนี้

ถ้า α, β เป็นสมาชิกใด ๆ ของ G แล้ว
จะได้ว่า

$$1.) N(\alpha\beta) = N(\alpha) N(\beta)$$

2.) ถ้า α/β เป็นสมาชิกของ G แล้ว $N(\alpha)/N(\beta)$ จะเป็นจำนวนเต็ม ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\text{ให้ } \alpha = a + bi, \beta = c + di$$

$$\begin{aligned} 1) N(\alpha\beta) &= N[(a + bi)(c + di)] \\ &= N[(ac - bd) + i(ad + bc)] \\ &= (ac - bd)^2 + (ad + bc)^2 \\ &= a^2 c^2 + b^2 d^2 + a^2 d^2 + b^2 c^2 \\ &= (a^2 + b^2)(c^2 + d^2) \\ &= N(\alpha) N(\beta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) N(\alpha/\beta) &= N[(ac + bd)/(c^2 + d^2) + i(bc - ad)/(c^2 + d^2)] \\ &= [(ac + bd)/(c^2 + d^2)]^2 + [(bc - ad)/(c^2 + d^2)]^2 \\ &= (a^2 + b^2)/(c^2 + d^2) \\ &= N(\alpha) / N(\beta) \end{aligned}$$

เนื่องจาก α/β เป็นสมาชิกของ G จะได้ว่า

$(ac + bd)/(c^2 + d^2)$ และ $(bc - ad)/(c^2 + d^2)$ เป็นจำนวนเต็ม

ดังนั้น $[(ac + bd)/(c^2 + d^2)]^2$ และ $[(bc - ad)/(c^2 + d^2)]^2$ เป็นจำนวนเต็มด้วย

นั่นคือ $N(\alpha)/N(\beta)$ เป็นจำนวนเต็ม

เนื่องจาก G เป็นวงย่อยของจำนวนเชิงซ้อน ดังนั้น G อาจจะมีสมาชิกหนึ่งหน่วย ซึ่งสมาชิกหนึ่งหน่วยมีนิยามดังนี้

นิยาม 2.3 ให้ $u \in G$ จะกล่าวว่า u เป็น สมาชิกหนึ่งหน่วยใน G ถ้ามี $v \in G$ ซึ่ง $uv = 1$

จากนิยามจะเห็นว่า ถ้า u เป็นสมาชิกหนึ่งหน่วยใน G แล้ว $uv = 1$ ซึ่งจะได้ว่า $N(uv) = N(u) N(v) = 1$ ดังนั้น $N(u) = 1$ จากที่พิจารณานี้จะได้ว่าเซตของสมาชิกหนึ่งหน่วยใน G คือ U

$= \{1, i, -1, -i\}$ และเนื่องจากในเซตจำนวนเต็ม นั้น (x, y, z) จะเป็นอันดับสามชั้นปีทาโกรัสปฐมฐาน เมื่อ $(x, y) = 1$ และ x เป็นจำนวนเต็มคือ y เป็นจำนวนเต็มคู่ ดังนั้นต่อไปจะพิจารณาเพื่อให้นิยามของ จำนวนเฉพาะ จำนวนคี่ และจำนวนคู่ ในเซตจำนวนเต็มเกาส์ดังต่อไปนี้

นิยาม 2.4 ให้ $\alpha \in G$ จะกล่าวว่า α เป็น จำนวนเฉพาะใน G ก็ต่อเมื่อ α ไม่เป็นสมาชิกหนึ่งหน่วย และมีส่วนจริงเป็นจำนวนเต็มบวก ซึ่งถ้า β ทหาร α ลงตัวใน G แล้ว $N(\beta) = 1$ หรือ $N(\beta) = N(\alpha)$

นิยาม 2.5 ให้ α, β เป็นสมาชิกของ G จะกล่าวว่า α และ β เป็น จำนวนเฉพาะต่อกัน ก็ต่อเมื่อ ถ้า γ ทหาร α และ β ลงตัวใน G แล้ว $N(\gamma) = 1$

ต่อไปจะพิจารณาเพื่อให้นิยามจำนวนคี่และจำนวนคู่ใน G ให้ $\delta = 1 + i$ จะได้ว่า $N(\delta) = 2$

จะพิจารณาให้ δ ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ 2 ในจำนวนเต็ม ก่อนอื่นจะแสดงให้เห็นว่า δ เป็นจำนวนเฉพาะใน G สมมติว่า $\alpha\beta = \delta$ จะได้ว่า

$N(\alpha\beta) = N(\alpha)N(\beta) = N(\delta) = 2$ ดังนั้น $N(\alpha) = 1$ หรือ $N(\beta) = 1$ นั่นคือ δ มีตัวประกอบตัวหนึ่งเป็นสมาชิกหนึ่งหน่วย และตัวประกอบอีกตัวหนึ่งมีนอร์มเท่ากับนอร์มของ δ จะได้ว่า δ เป็นจำนวนเฉพาะใน G ในทำนองเดียวกันเราสามารถแสดงได้ว่า $\bar{\delta}$ เป็นจำนวนเฉพาะด้วย และจะเห็นว่า $2 = \delta\bar{\delta} = -i\delta^2 = i\bar{\delta}^2$ เนื่องจาก

$(x+yi)/\delta = [(x+yi)\bar{\delta}]/(\delta\bar{\delta}) = (x+yi)/2 + i(y-x)/2$ จะเห็นว่า δ ทหาร $x+yi$ ลงตัวใน G ก็ต่อเมื่อ $x \equiv y \pmod{2}$ ต่อไปจะแสดงให้เห็นว่าโดยอาศัย δ จะสามารถแบ่งสมาชิกของ G ออกเป็นสองกลุ่ม ดังนี้

ให้ α เป็นสมาชิกของ G ซึ่ง $\alpha = x+yi$ ถ้า $x \equiv y \pmod{2}$ จะได้ว่า $\alpha \equiv 0 \pmod{\delta}$ ดังนั้น α ทหารด้วย δ ลงตัวใน G ถ้า $x \not\equiv y \pmod{2}$ จะได้ว่า $x-1 \equiv y \pmod{2}$ ดังนั้น $x-1+yi$ ทหารด้วย δ ลงตัวใน G นั่นคือ $\alpha \equiv 1 \pmod{\delta}$

โดยอาศัยผลที่ได้ จะให้นิยามของจำนวนคู่และจำนวนคี่ในเซต G ได้ดังนี้

นิยาม 2.6 ให้ $\alpha \in G$ α จะเป็น จำนวนคู่ ใน G ก็ต่อเมื่อ α ทหารด้วย δ ลงตัวใน G และ α จะเป็น จำนวนคี่ใน G ก็ต่อเมื่อ α ทหารด้วย δ เหลือเศษ 1 ใน G

จากที่ได้พิจารณามาแล้ว และนิยามของจำนวนคู่และจำนวนคี่ใน G จะเห็นว่า $x+yi$ จะเป็นจำนวนคู่ใน G ก็ต่อเมื่อ $x \equiv y \pmod{2}$ และ $x+yi$ จะเป็นจำนวนคี่ใน G ก็ต่อเมื่อ $x-1 \equiv y \pmod{2}$ และยิ่งกว่านั้นเราสามารถพิสูจน์ได้ว่า

1) ผลบวกของจำนวนคู่กับจำนวนคู่หรือ

จำนวนคี่กับจำนวนคี่เป็นจำนวนคู่

2) ผลบวกของจำนวนคู่กับจำนวนคี่เป็นจำนวนคี่

3) ผลคูณระหว่างจำนวนคี่กับจำนวนคี่เป็นจำนวนคี่

4) ผลคูณระหว่างจำนวนคู่หรือคี่กับจำนวนคู่เป็นจำนวนคู่

3. อันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานในเซตจำนวนเต็มเกาส์

ถ้า (α, β, γ) เป็นอันดับสามชั้นใน G ซึ่งไม่มีค่าใดเป็นศูนย์ α, β เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน และ $\alpha^2 + \beta^2 = \gamma^2$ แล้วจะสามารถแสดงได้ว่าแต่ละคู่เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน และถ้าตรวจสอบมากกว่านั้นจะพบว่า มีจำนวนที่เป็นจำนวนคี่สองตัวและเป็นจำนวนคู่หนึ่งตัว จากการพิจารณานี้จะให้นิยามของอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G ดังนี้

นิยาม 3.1 ให้ (α, β, γ) เป็นอันดับสามชั้นใน G ซึ่งไม่มีค่าใดเป็นศูนย์ จะเรียก (α, β, γ) ว่าอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G ถ้า α, β เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน α, γ เป็นจำนวนคี่ β เป็นจำนวนคู่ และ $\alpha^2 + \beta^2 = \gamma^2$

นิยาม 3.2 ให้ $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$ และ $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2)$ เป็นอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G จะกล่าวว่า $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$ สมมูลกับ $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2)$ ถ้ามีสมาชิกหนึ่งหน่วย u_1, u_2 และ u_3 ใน G ซึ่ง $\alpha_1 = u_1 \alpha_2, \beta_1 = u_2 \beta_2, \gamma_1 = u_3 \gamma_2$

จากนิยามของการสมมูลกัน ของอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G จะเห็นว่ากลุ่มสมมูลแบ่งอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G ออกเป็นกลุ่ม ๆ โดยที่สมาชิก ในแต่ละกลุ่มสมมูลกัน จะให้ $[(\alpha, \beta, \gamma)]$ แทนกลุ่มสมมูลที่มี

(α, β, γ) เป็นสมาชิก ต่อไปจะพิจารณาถึงวิธีการที่จะหากลุ่มสมมูลของอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานทั้งหมดใน G

ให้ (α, β, γ) เป็นอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G เนื่องจาก $(\alpha + \beta i)(\alpha - \beta i) = \alpha^2 + \beta^2$ จะได้ว่า $(\alpha + \beta i)(\alpha - \beta i) = \gamma^2$

ข้อสังเกต เนื่องจาก $\alpha, \beta \in G$ ดังนั้น $\alpha + \beta i$ และ $\alpha - \beta i$ ไม่จำเป็นต้องเป็นคู่สังยุค ซึ่งกันและกัน

ต่อไปจะพิจารณาคคุณสมบัติต่าง ๆ ของ $\alpha + \beta i$ กับ $\alpha - \beta i$ เพื่อนำไปช่วยในการพิจารณาปัญหาที่ต้องการ

ทฤษฎีบทประกอบที่ 3.1 ถ้า (α, β, γ) เป็นอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G แล้ว $\alpha + \beta i$ กับ $\alpha - \beta i$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน

พิสูจน์ สมมติว่ามีจำนวนเฉพาะ π เป็นตัวประกอบร่วมของ $\alpha + \beta i$ กับ $\alpha - \beta i$ จะได้ว่า π เป็นตัวประกอบร่วมของ $2\alpha = (\alpha + \beta i) + (\alpha - \beta i)$ กับ $2\beta i = (\alpha + \beta i) - (\alpha - \beta i)$

ดังนั้น π หารทั้ง 2α และ $2\beta i$ ลงตัวใน G เนื่องจาก π ไม่เป็นสมาชิกหนึ่งหน่วยและ α กับ β เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน

จะได้ว่า π หาร 2 ลงตัวใน G ดังนั้นเราอาจให้ $\pi = \delta = 1+i$

เนื่องจาก β เป็นจำนวนคู่และ δ หาร $\alpha + \beta i$ ลงตัวใน G

จะได้ว่า α เป็นจำนวนคู่ด้วย ดังนั้น δ หารทั้ง α และ β ลงตัว

นั่นคือ α และ β ไม่เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน ขัดกับที่กำหนดให้

เนื่องจาก ถ้า (α, β, γ) เป็นอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานแล้ว $(\alpha + \beta i)(\alpha - \beta i) = \gamma^2$ จาก

ทฤษฎีบทประกอบที่ 3.1 จะได้ว่า γ^2 เป็นผลคูณของจำนวนที่เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน เนื่องจาก $\alpha + \beta i$ กับ $\alpha - \beta i$ ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน จะได้ว่ามีสมาชิกหนึ่งหน่วย u_1, u_2 และ a, b ใน G ซึ่ง $\alpha + \beta i = u_1 a^2$ และ $\alpha - \beta i = u_2 b^2$ เนื่องจาก γ^2 เป็นจำนวนคี่ จะได้ว่า a, b เป็นจำนวนคี่ด้วย ต่อไปจะแสดงให้เห็นว่า เราสามารถเลือก u_1, u_2 เป็น 1 ได้

ทฤษฎีบทประกอบที่ 3.2 ถ้า (α, β, γ) เป็นอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G แล้วจะมี $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$ ใน $[(\alpha, \beta, \gamma)]$ และ A, B ใน G ซึ่ง $\alpha_1 + \beta_1 i = A^2$ และ $\alpha_1 - \beta_1 i = B^2$

พิสูจน์ ให้ $\alpha + \beta i = u_1 a^2$ และ $\alpha - \beta i = u_2 b^2$ จะได้ว่า $\gamma^2 = u_1 u_2 a^2 b^2 = (u_1 u_2)(a^2 b^2)$ ดังนั้น $u_1 u_2 = u_3^2$ เมื่อ $u_3 \in U$

แต่ u_3^2 เป็นไปได้ 2 ค่า คือ 1 กับ -1

จะได้ว่า $u_2 = \pm u_1$

เนื่องจาก $(\alpha/u_1 + \beta i / u_1)(\alpha/u_1 - \beta i / u_1) = (u_2 a^2 b^2) / u_1$

และ $(\alpha/u_1 + \beta i / u_1)(\alpha/u_1 - \beta i / u_1) = (\gamma/u_1)^2$

ดังนั้น ถ้าให้ $A = a$ และ $B = b$ เมื่อ $u_2 = u_1$ หรือ $B = ib$ เมื่อ $u_2 = -u_1$

จะได้ว่า $\alpha_1 = \alpha/u_1, \beta_1 = \beta/u_1$ และ $\gamma_1 = \gamma/u_1$

ดังนั้น $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1) \in [(\alpha, \beta, \gamma)]$ และ $\alpha_1 + i\beta_1 = A^2, \alpha_1 - i\beta_1 = B^2$

จากทฤษฎีบทประกอบที่ 3.2 จะได้ว่า ถ้า (α, β, γ) เป็นอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G แล้วจะมี $a, b \in G$ ซึ่ง $\alpha + \beta i = a^2$ และ $\alpha - \beta i = b^2$ เนื่องจาก $\alpha + \beta i$ กับ $\alpha - \beta i$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน จะได้ว่า a, b เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันใน G ด้วย และจาก α เป็นจำนวนคี่ใน G β เป็นจำนวนคู่ใน G จะได้ว่า a และ b เป็นจำนวน

คือทั้งคู่ จาก $\alpha + \beta i = a^2$ และ $\alpha - \beta i = b^2$ จะได้ว่า $ab = \gamma$, $(a^2 + b^2)/2 = \alpha$ และ $(a^2 - b^2)/2i = \beta$ ดังนั้น ถ้า a, b เป็นจำนวนคี่ใน G ซึ่งเป็นจำนวนเฉพาะต่อกันแล้ว เราสามารถหาค่า α, β และ γ จาก a, b ซึ่ง (α, β, γ) เป็นอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G ได้ นั่นคือเราสามารถหาเซตคำตอบของสมการ $\alpha^2 + \beta^2 = \gamma^2$ ได้จากเซต $\{(a, b) \in G \times G / a, b \text{ เป็นจำนวนคี่ที่เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน}\}$

แต่อย่างไรก็ตามเซตนี้ยังมีขนาดใหญ่เกินไป กล่าวคือเราสามารถหาเซตที่มีขนาดเล็กกว่านี้ซึ่งก่อกำเนิดเซตคำตอบของสมการ $\alpha^2 + \beta^2 = \gamma^2$ ในเซต G ดังจะพิจารณาต่อไปนี้

ตามที่ได้พิจารณามาแล้วว่าสมาชิก $\alpha = x + yi$ ใน G จะเป็นจำนวนคี่ ก็ต่อเมื่อ $x \not\equiv y \pmod{2}$ นั่นคือระหว่าง x กับ y ต้องมีตัวหนึ่งเป็นจำนวนคี่และอีกตัวหนึ่งเป็นจำนวนคู่ โดยอาศัยการพิจารณานี้ จะให้นิยามจำนวนคี่ใน G เป็นสองพวก ดังนี้

นิยาม 3.3 ให้ $\alpha = x + yi$ เป็นจำนวนคี่ใน G จะกล่าวว่า α เป็น $(\text{odd})_r$ ถ้า x เป็นจำนวนคี่ และจะกล่าวว่า α เป็น $(\text{odd})_i$ ถ้า y เป็นจำนวนคี่

ทฤษฎีบทประกอบที่จะกล่าวต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นว่าเราสามารถหาเซตที่เล็กที่สุดซึ่งก่อกำเนิดเซตคำตอบของสมการ $\alpha^2 + \beta^2 = \gamma^2$ ใน G ได้

ทฤษฎีบทประกอบที่ 3.3 ถ้า (α, β, γ) เป็นอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G ซึ่ง $\alpha + \beta i = a^2$ และ $\alpha - \beta i = b^2$ แล้วจะมี $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$ ใน $[(\alpha, \beta, \gamma)]$ และ A, B ใน G ที่เป็น $(\text{odd})_r$ ซึ่ง $\alpha + \beta i = A^2$ และ $\alpha - \beta i = B^2$

พิสูจน์ ก่อนอื่นจะแสดงว่า α จะเป็นจำนวนคี่

และ β เป็นจำนวนคู่ ก็ต่อเมื่อ a, b เป็น $(\text{odd})_r$ ทั้งคู่หรือเป็น $(\text{odd})_i$ ทั้งคู่

สมมติว่า α เป็นจำนวนคี่และ β เป็นจำนวนคู่

เนื่องจาก $\alpha + \beta i = a^2$ และ $\alpha - \beta i = b^2$

จะได้ว่า $2\alpha = a^2 + b^2$ และ $2\beta i = a^2 - b^2$

เนื่องจาก β เป็นจำนวนคู่จะได้ว่าผลต่างระหว่างส่วนจริงกับส่วนจินตภาพของ β ทหารด้วย 2 ลงตัว ดังนั้นผลต่างระหว่างส่วนจริงกับส่วนจินตภาพของ $2\beta i$ ทหารด้วย 4 ลงตัว

ดังนั้นถ้าให้ $a = x_1 + iy_1$ และ $b = x_2 + iy_2$

จะได้ว่า $a^2 - b^2 = (x_1^2 - x_2^2) + (y_2^2 - y_1^2) + 2(x_1 y_1 - x_2 y_2)i$

เนื่องจาก $2(x_1 y_1 - x_2 y_2)$ ทหารด้วย 4 ลงตัว และ $2\beta i = a^2 - b^2$

จะได้ว่า $(x_1^2 - x_2^2) + (y_2^2 - y_1^2)$

ทหารด้วย 4 ลงตัว

ดังนั้น a และ b จะเป็น $(\text{odd})_r$ เหมือนกันหรือเป็น $(\text{odd})_i$ เหมือนกัน

ในทางกลับกัน สมมติว่า a, b เป็น $(\text{odd})_r$ ทั้งคู่หรือเป็น $(\text{odd})_i$ ทั้งคู่

ถ้า a, b เป็น $(\text{odd})_r$ ทั้งคู่ ให้ $a = x_1 + iy_1$ และ $b = x_2 + iy_2$ โดยที่ x_1, x_2 เป็นจำนวนเต็มคี่ และ y_1, y_2 เป็นจำนวนเต็มคู่ จาก $2\alpha = a^2 + b^2 = (x_1^2 + x_2^2) - (y_1^2 + y_2^2) + 2(x_1 y_1 + x_2 y_2)i$

และ $2\beta i = a^2 - b^2 = (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2) + 2(x_1 y_1 - x_2 y_2)i$

ถ้าพิจารณาค่า x_1, x_2, y_1, y_2 จากที่กำหนดให้ จะได้ว่า α เป็นจำนวนคี่ และ β เป็นจำนวนคู่

ทำนองเดียวกัน ถ้า a, b เป็น (odd), จะสามารถพิสูจน์ได้ว่า α เป็นจำนวนคี่และ β เป็นจำนวนคู่

ดังนั้นถ้า a, b เป็น (odd), จะได้ว่า ia และ ib เป็น (odd),

ให้ $A = ia, B = ib$ และ $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1) = (-\alpha, -\beta, \gamma)$

เนื่องจากถ้า $\alpha + \beta i = a^2$ และ $\alpha - \beta i = b^2$ แล้ว $\alpha + \beta = (-a)^2$ และ $\alpha - \beta i = (-b)^2$ ด้วย และจาก a, b เป็น (odd), จะได้ว่าส่วนจริงของ a, b ไม่เป็นศูนย์ ทำให้เราสามารถเลือก $a, b \in G$ ที่มีส่วนจริงเป็นจำนวนเต็มบวกก็ได้

ตัวอย่างที่ 3.1 จงแสดงว่า $(\alpha, \beta, \gamma) = (-4 + i, 4 + 8i, 4 + 7i)$ เป็นอันดับสามชั้นปีทาโกรัสปฐมฐานใน G และถ้า $\alpha + \beta i = a^2$ และ $\alpha - \beta i = b^2$ ให้หา $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$ ใน $[(\alpha, \beta, \gamma)]$ และ A, B ใน G ที่มีส่วนจริงเป็นจำนวนเต็มบวก

วิธีทำ เนื่องจาก $\alpha^2 = (4 + i)^2 = 15 - 8i, \beta^2 = (4 + 8i)^2 = -48 + 64i$

$$\gamma^2 = (4 + 7i)^2 = -33 + 56i$$

$$\text{จะได้ว่า } \alpha^2 + \beta^2 = \gamma^2$$

ต่อไปจะแสดงว่า α, β เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน

สมมติว่า π เป็นตัวประกอบเฉพาะของ α และ β

จะได้ว่า $\pi | \alpha$ และ $\pi | \beta$ ดังนั้น $N(\pi) |$

$$N(\alpha) \text{ และ } N(\pi) | N(\beta)$$

ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เพราะว่า $N(\alpha) = 17,$

$$N(\beta) = 80 \text{ และ } (17, 80) = 1$$

ดังนั้น α, β เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน จะได้ว่า (α, β, γ) เป็นอันดับสามชั้นปีทาโกรัสปฐมฐานใน G

$$\text{จ 1 ก } \alpha + \beta i = -12 + 5i = i(3 + 2i)^2 = ia^2$$

$$\alpha - \beta i = 4 - 3i = (-i)(2 + i)^2 = -ib^2$$

โดยทฤษฎีบทประกอบที่ 3.2 เลือก

$$(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1) = (\alpha / i, \beta / i, \gamma / i) =$$

$$(1 + 4i, 8 - 4i, 7 - 4i)$$

$$\text{และ } \alpha_1 + i\beta_1 = 5 + 12i = (3 + 2i)^2 = A^2$$

$$\alpha_1 - i\beta_1 = -3 - 4i = (1 - 2i)^2 = B^2$$

จากที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่า ถ้า (α, β, γ) เป็นอันดับสามชั้นปีทาโกรัสปฐมฐานใน G แล้ว จะมี $a, b \in G$ ซึ่งส่วนจริงเป็นจำนวนเต็มบวกคี่ที่เป็นจำนวนเฉพาะต่อกันและมี $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1) \in [(\alpha, \beta, \gamma)]$ ซึ่ง $\alpha_1 + i\beta_1 = a^2$ และ $\alpha_1 - i\beta_1 = b^2$ จากการพิจารณานี้ เราจะหาเซตที่ก่อกำเนิดเซตของอันดับสามชั้นปีทาโกรัสปฐมฐานใน G ดังนี้

ทฤษฎีบทที่ 3.4 ให้ $S = \{(a, b) / a, b \in G \text{ ซึ่งเป็น (odd), มีส่วนจริงเป็นจำนวนเต็มบวกคี่ และเป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน}\}$

$P = \{[(\alpha, \beta, \gamma)] / (\alpha, \beta, \gamma) \text{ เป็นอันดับสามชั้นปีทาโกรัสปฐมฐานใน } G\}$ ถ้า f เป็นฟังก์ชันที่กำหนดโดย

$$(a, b) \rightarrow [(a^2 + b^2) / 2, (a^2 - b^2) / 2i, ab]$$

แล้ว f จะเป็นฟังก์ชันหนึ่งต่อหนึ่งจาก S ไปทั่วถึง P

พิสูจน์ จะแสดงว่า f เป็นฟังก์ชันจาก S ไปยัง P

กล่าวคือจะแสดงว่า ถ้า $\{a, b\} \in S$ แล้ว $((a^2 + b^2) / 2, (a^2 - b^2) / 2i, ab) \in P$

เนื่องจาก a, b เป็น $(\text{odd})_r$ ใน G จะได้ว่า a^2, b^2 เป็น $(\text{odd})_r$ ใน G

ดังนั้น $a^2 + b^2$ และ $a^2 - b^2$ ทหารด้วย 2 ลงตัวใน G

นั่น คือ $(a^2 + b^2)/2$ และ $(a^2 - b^2)/2i$ เป็นสมาชิกของ G

ต่อไปจะแสดงว่า $\alpha = (a^2 + b^2)/2$ และ $\beta = (a^2 - b^2)/2i$ เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน

สมมุติว่า π เป็นตัวประกอบร่วมเฉพาะของ α กับ β

จะได้ว่า π ทหาร $\alpha + \beta i = a^2$ และ $\alpha - \beta i = b^2$ ลงตัวใน G

ซึ่งเป็นไปไม่ได้เพราะว่า a และ b เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน

ดังนั้น α กับ β เป็นจำนวนเฉพาะต่อกัน

นั่น คือ $((a^2 + b^2)/2, (a^2 - b^2)/2i, ab) \in P$

นั่น คือ $((a^2 + b^2)/2, (a^2 + b^2)/2i, ab) \in P$

จากการพิจารณาในทฤษฎีบทประกอบ 3.1, 3.2 และ 3.3 จะได้ว่า f เป็นฟังก์ชันจาก S ไปทั่วถึง P

ต่อไปจะแสดงว่า f เป็นฟังก์ชันหนึ่งต่อหนึ่ง สมมุติว่า $\{a, b\}, \{A, B\} \in S$ และ

$$f(\{a, b\}) = f(\{A, B\})$$

$$\text{จะได้ว่า } ((a^2 + b^2)/2, (a^2 - b^2)/2i, ab) = (\alpha, \beta, \gamma)$$

$$\text{สมมุติกับ } ((A^2 + B^2)/2, (A^2 - B^2)/2i, AB) = (\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$$

ดังนั้น จะมีสมาชิกหนึ่งหน่วย u_1, u_2, u_3 ใน G ซึ่ง

$$(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1) = (u_1 \alpha, u_2 \beta, u_3 \gamma)$$

เนื่องจาก (α, β, γ) และ $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$

เป็นอันดับสามชั้นพีทาโกรัสปฐมฐานใน G

จะได้ว่า $\alpha^2 + \beta^2 = \gamma^2$ และ

$$(u_1 \alpha)^2 + (u_2 \beta)^2 = (u_3 \gamma)^2$$

เนื่องจากกำลังสองของสมาชิกหนึ่งหน่วยใน G มีค่าเป็น 1 หรือ -1

$$\text{จะได้ว่า } \alpha^2 + \beta^2 = \gamma^2 \text{ และ } \pm \alpha^2 \pm \beta^2 = \pm \gamma^2$$

จากสมการทั้งสอง จะได้ว่าสมการที่สองแต่ละเทอมจะมีเครื่องหมายเหมือนกัน

$$\text{ดังนั้น } u_2 = \pm u_1$$

$$\text{จาก } \alpha_1 = u_1 \alpha \text{ และ } \beta_1 = u_2 \beta$$

$$\text{จะได้ว่า } A^2 + B^2 = u_1 (a^2 + b^2) \text{ และ}$$

$$A^2 - B^2 = u_2 (a^2 - b^2)$$

ดังนั้น ถ้า $u_2 = u_1$ โดยการแทนค่าแล้ว นำสมการทั้งสองบวกกลับกัน

$$\text{จะได้ว่า } A^2 = u_1 a^2 \text{ และ } B^2 = u_1 b^2$$

ทำนองเดียวกัน ถ้า $u_2 = -u_1$ จะได้ว่า

$$A^2 = u_1 b^2 \text{ และ } B^2 = u_1 a^2$$

ดังนั้น u_1 จะสามารถเขียนอยู่ในรูปกำลังสองของสมาชิกหนึ่งหน่วยใน G ได้

$$\text{นั่นคือ } u_1 = 1 \text{ หรือ } u_1 = -1$$

$$\text{ถ้า } u_1 = u_2 = 1 \text{ จะได้ว่า } A^2 = a^2 \text{ และ}$$

$$B^2 = b^2$$

เนื่องจาก A, B, a, b มีส่วนจริงเป็นจำนวนเต็มบวก

$$\text{จะได้ว่า } A = a, B = b \text{ ดังนั้น } \{a, b\} = \{A, B\}$$

$$\text{ถ้า } u_1 = 1, u_2 = -1 \text{ จะได้ว่า } A^2 = b^2, B^2 = a^2$$

$$\text{จะได้ว่า } A = b, B = a \text{ ดังนั้น } \{A, B\} = \{a, b\}$$

$$\text{ถ้า } u_1 = -1, u_2 = 1 \text{ จะได้ว่า } A^2 = -b^2 = (\pm bi)^2$$

ดังนั้น $A = \pm bi$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ เพราะว่า bi เป็น $(odd)_i$

ถ้า $u_1 = u_2 = -1$ จะได้ว่า $A^2 = -a^2$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้เช่นเดียวกัน

จากที่พิจารณามาทุกกรณี. จะได้ว่า f เป็นฟังก์ชันหนึ่งต่อหนึ่ง

ตัวอย่างที่ 3.2

$\{a,b\} = \{1+2i, 1-2i\}$ จะทำให้เกิดกลุ่มสมมูล $[(3,4,5)]$

$\{3+2i, 3-2i\}$ ทำให้เกิดกลุ่มสมมูล $[(5,12,13)]$

$\{3+2i, 1-2i\}$ ทำให้เกิดกลุ่มสมมูล $[(1+4i, 8-4i, 7-4i)]$

References

- [1] A.O. Gelfond, Solving Equations in Integers, English translation, Mir Publishers, Moscow, 1981
- [2] James T. Cross, Primitive Pythagorean Triples of Gaussian Integers, Mathematics Magazine 59 (1986) p. 106 - 110
- [3] R.A. Dean, Elements of Abstract Algebra, International Edition, John Wiley and Sons, Inc., 1966

ความรู้พอกพูน เพื่อเกษตรสมบูรณ์ สมัครเป็นสมาชิกวารสาร

แค้นเกษตร

วารสารราย 2 เดือน
ของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บุคคลทั่วไปปีละ 40 บาท

นักเรียน นักศึกษา

ปีละ 35 บาท

(ปีละ 6 ฉบับ)

ติดต่อสมัครเป็นสมาชิกได้ที่ คุณ วิยะดา อรัญนารถ
งานการเงินและบัญชี คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ขอนแก่น 40002 (ธนาณัติสั่งจ่าย ปณ.มหาวิทยาลัยขอนแก่น)



โพลีเมอร์

*พัฒนา เห็นแสงหงษ์

บทนำ

มนุษย์รู้จักใช้โพลิเมอร์ธรรมชาติ ได้แก่วัสดุ ใย ไผ่ และยางมานานแล้ว เมื่อความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพิ่มพูนขึ้น ประกอบกับมีการพัฒนาเครื่องมือต่าง ๆ ให้ดีขึ้นเรื่อยมาจากอดีตจนปัจจุบัน จึงมีการสังเคราะห์ปรับปรุงคุณภาพและผลิตเครื่องใช้ต่าง ๆ จากโพลิเมอร์ เสื้อผ้าสวย ๆ งาม ๆ เครื่องใช้ในบ้าน เครื่องประดับ ชิ้นส่วนของเครื่องบิน ภาชนะบรรจุของ กระจกรถยนต์ ราวบันได ร่องเท้า ถุงใส่ของ ท่อน้ำ โฟม ของเล่นเด็ก ยางรถยนต์ กระดุมเสื้อ หูโทรศัพท์ ล้วนแล้วแต่ผลิตจากโพลิเมอร์สังเคราะห์ โดยมีการเติมสารเคมีลงไปเมื่อปรับปรุงคุณภาพให้ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ เช่น เต็มอร์โท - ไฮดรอกซีเบนโซฟีโนนในโพลีลิสทรีนเพื่อให้อยู่ตัวเมื่อโดนแสงสว่าง เต็มซิลิกาเจลในโพลิ (ไวนิล คลอไรด์) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทำให้โปร่งแสง เต็มทัลค (talc) ในโพลิโพรพิลีน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทนอุณหภูมิสูง ๆ ได้ เต็มไดเฟนิล - พารา - เฟนิลีน ไดอะมีนเพื่อกันโพลิเอทิลีนถูกออกซิไดซ์ เต็มแมกนีเซียมซิลิเกตไม่ให้ทำปฏิกิริยากับกรด เต็มฟอสเฟตเอสเทอร์กันการติดไฟ เต็มสีทาและสีย้อมเพื่อให้สีสวยและทนทานต่อการใช้ ในอนาคตถ้าสามารถปรับปรุงคุณภาพของทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติงพลาสติกให้ตรงตามวัตถุประสงค์ได้ทุกประการ

แล้วก็คงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้วัสดุที่ทำด้วยเหล็ก แก้ว และไม้อีกต่อไป

โพลิเมอร์ (polymer) คืออะไร ?

โพลิเมอร์มาจากภาษากรีก 2 คำ คือ คำว่า poly ซึ่งแปลว่า หลาย มาก และคำว่า mer ซึ่งแปลว่า หน่วย ส่วน โพลิเมอร์เกิดจากหน่วยโมโนเมอร์ซ้ำ ๆ กันจำนวนมาก จึงมีโมเลกุลใหญ่ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โพลิเมอร์ที่รู้จักกันดีได้แก่ พลาสติก และยาง

1. พลาสติกธรรมชาติและพลาสติกสังเคราะห์ (1)-(4)

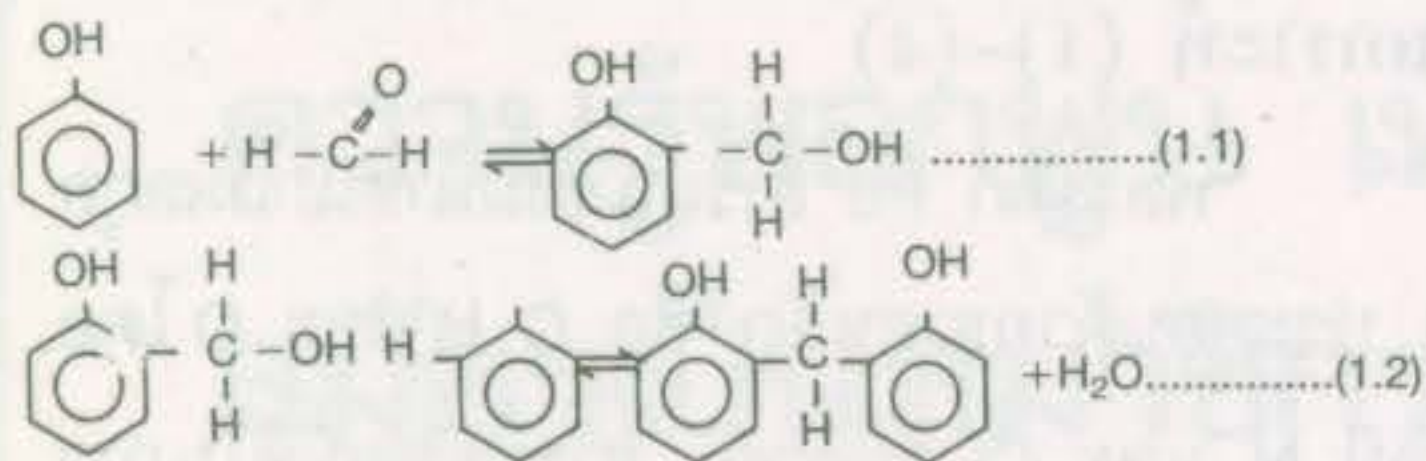
พลาสติก คือ สารเคมีซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยธาตุหลัก คือ C H และ O โดยอาจมี N และ Cl อยู่ด้วย สารนี้มีสมบัติในการเป็นพลาสติก (plasticity) คือ สามารถหล่อเป็นรูปได้ สามารถเปลี่ยนรูปร่างเมื่อถูกแรงกระทำ และสามารถคงสภาพนั้นได้เมื่อไม่ถูกแรงกระทำต่อไป พลาสติกจะมีสมบัติอ่อนขณะทำการผลิต และค่อนข้างแข็ง หรือแข็งมากหลังจากผลิตแล้ว พลาสติกในธรรมชาติมีไม่มากนัก ได้แก่ ครั่ง ไข (wax) และยาง (resin) สารเหล่านี้มีประโยชน์บ้างแต่ไม่มากเท่าพลาสติกสังเคราะห์ อันได้แก่ โพลีเอทิลีน โพลี (ไวนิล คลอไรด์) และเมลามีนฟอर्मัลดีไฮด์ (melamine formaldehyde, MF)

ในปี ค.ศ. 1859 Butlerove เริ่มทำการสังเคราะห์

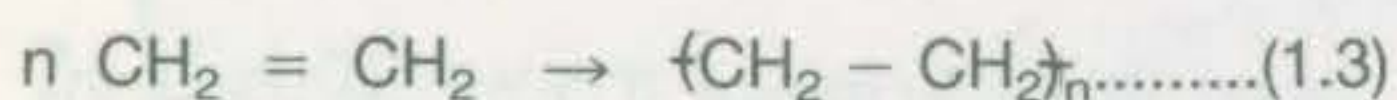
พอร์มัลดีไฮด์ โพลีเมอร์ ปี ค.ศ. 1929 Carother W.H. เป็นผู้สังเคราะห์ไนลอน ปี ค.ศ. 1930 Earben I.G. สังเคราะห์โพลิสไตรีน และกลางปี ค.ศ. 1950 มีการสังเคราะห์โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) (2)

ในปี ค.ศ. 1954 Karl Ziegler นักเคมีชาวเยอรมัน และ Gialio Natta นักเคมีชาวอิตาลีได้พบคะตะลิสต์ที่สามารถใช้สังเคราะห์โพลีเมอร์ที่มีการจัดหมู่อัลคิลได้ตามต้องการ คะตะลิสต์ดังกล่าวมีชื่อว่า **ซีเกล - เนตตา คะตะลิสต์** (Ziegler-Natta Catalyst) (5)(6)

โพลีเมอร์อาจเกิดจากปฏิกิริยาชนิดควบแน่นโดยโมโนเมอร์มาจับกันแล้วมีโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น H_2O HCl CH_3OH หลุดออกไป เช่น การที่ฟีนอลกับพอร์มัลดีไฮด์มาจับกันแล้วสูญเสียโมเลกุลของน้ำดังสมการ



ปฏิกิริยาการเกิดโพลีเมอร์อีกแบบหนึ่งเป็นชนิดเพิ่มเข้า ซึ่งเมื่อโมโนเมอร์มาจับกันแล้วไม่มีโมเลกุลเล็ก ๆ หลุดหายไป เช่น การที่เอทิลีนจับกันเพื่อเกิดเป็นโพลีเอทิลีนตามสมการ



1.1 ชนิดของพลาสติก

ราวต้นคริสต์ศตวรรษที่ 19 นักเคมีสามารถแบ่งพลาสติกออกเป็น 2 ประเภท คือ เทอร์โมพลาสติก (thermoplastics, TP) และเทอร์-

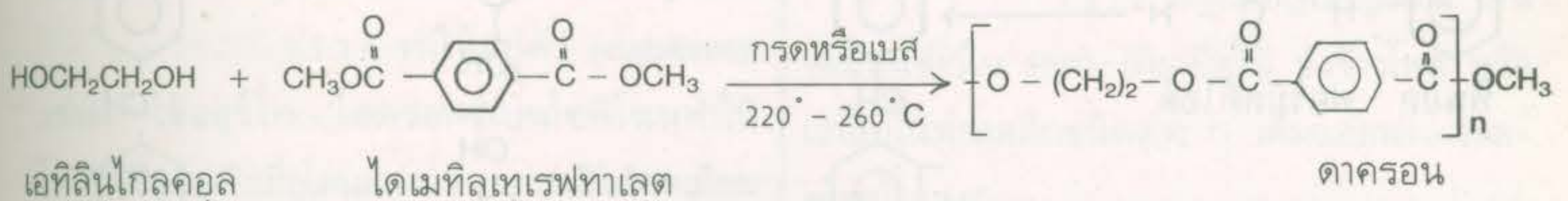
โมเซตติง (thermosetting, TS) หรือเทอร์โมเซตติงพลาสติก

เทอร์โมพลาสติก เป็นพลาสติกชนิดที่เมื่อทำให้ร้อนจะอ่อนตัวหรือมีสมบัติเป็นพลาสติกโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นก็จะกลับแข็งตัวใหม่ ทั้งนี้โดยสามารถทำให้อ่อนตัวแล้วทิ้งไว้ให้แข็งตัวได้หลายครั้งโดยวิธีการให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้ให้เย็นตามลำดับ (3) - (6) โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกไม่ได้เกาะเกี่ยวซึ่งกันและกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ดังนั้นเมื่อเผาให้ร้อนภายใต้ความดัน แต่ละโพลีเมอร์จะไหลผ่านกันได้ และเมื่อทิ้งให้เย็นก็จะกลับเป็นของแข็งเดิม โดยสามารถทำให้ร้อนและเย็นได้ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีครั้งแล้วครั้งเล่า (2) สิ่งของที่ทำจากเทอร์โมพลาสติก เมื่อทำให้ร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็ว เช่น หวี ที่ทำด้วยเซลลูลอยด์ เมื่อนำไปใส่น้ำเดือดจะอ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างได้

เทอร์โมเซตติง พลาสติกต่างจากเทอร์โมพลาสติกที่เมื่อเผาให้ร้อนและอยู่ในระยะที่กำลังอ่อนตัวอยู่นั้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหลังจากทิ้งให้เย็นจนแข็งตัวแล้ว เมื่อให้ความร้อนอีกครั้งจะไม่กลับอ่อนตัวอีก หากแต่จะไหม้หรือดำลงกว่าเดิม (3), (4) เทอร์โมเซตติง พลาสติกจัดเป็นโพลีเมอร์แบบเชื่อมโยง (cross-linked polymers) ซึ่งโมเลกุลเกาะเกี่ยวกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนและความดัน โพลีเมอร์จะไหลผ่านกันไม่ได้ เว้นไว้แต่เมื่อมีการแตกตัวเกิดขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการจะทำให้เป็นรูปร่างตามต้องการ ต้องทำก่อนเกิดการเชื่อมโยงตัวอย่างเทอร์โมเซตติง ได้แก่ ฟีนอลิก เมลามีน และซิลิโคน

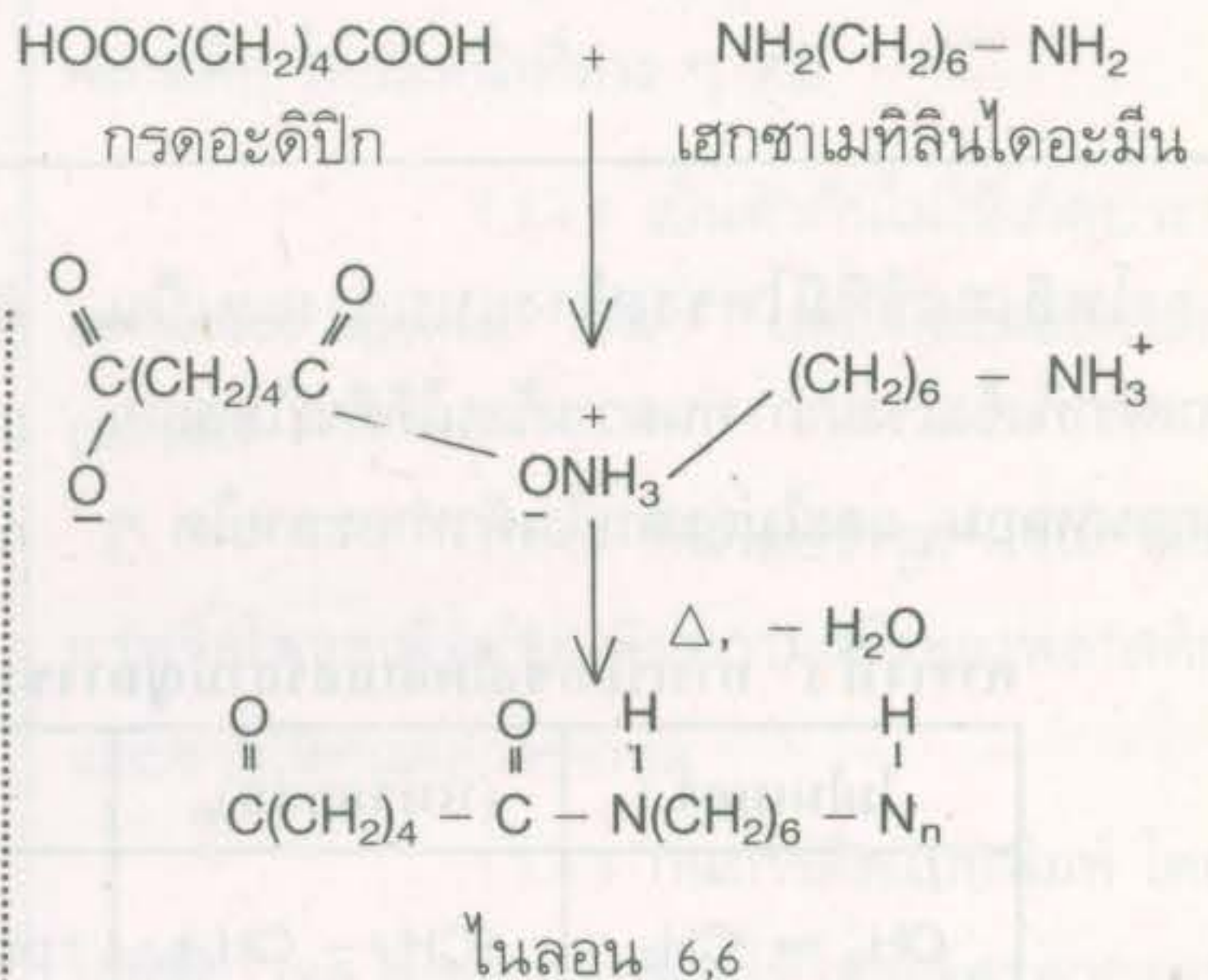
1.2 ปฏิกริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน เป็นปฏิกิริยาที่ใช้เตรียมโพลิเมอร์จากโมโนเมอร์ ซึ่งมีปฏิกิริยาหลักอยู่ 2 ประเภท อันได้แก่ โพลิเมอร์ไรเซชันแบบเพิ่มเข้า (addition polymerization) และโพลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น (condensation polymerization)

โรงงานอุตสาหกรรมใช้โพลิเมอร์เรซินแบบ
 ควบแน่นเตรียมโพลิเมอร์เป็นจำนวนมาก เช่น
 เตรียมโพลิเอสเตอร์ชื่อดาครอน (dacron) จาก
 เอทิลีนไกลคอลและไดเมทิลเทเรพทาเลต ดังสมการ

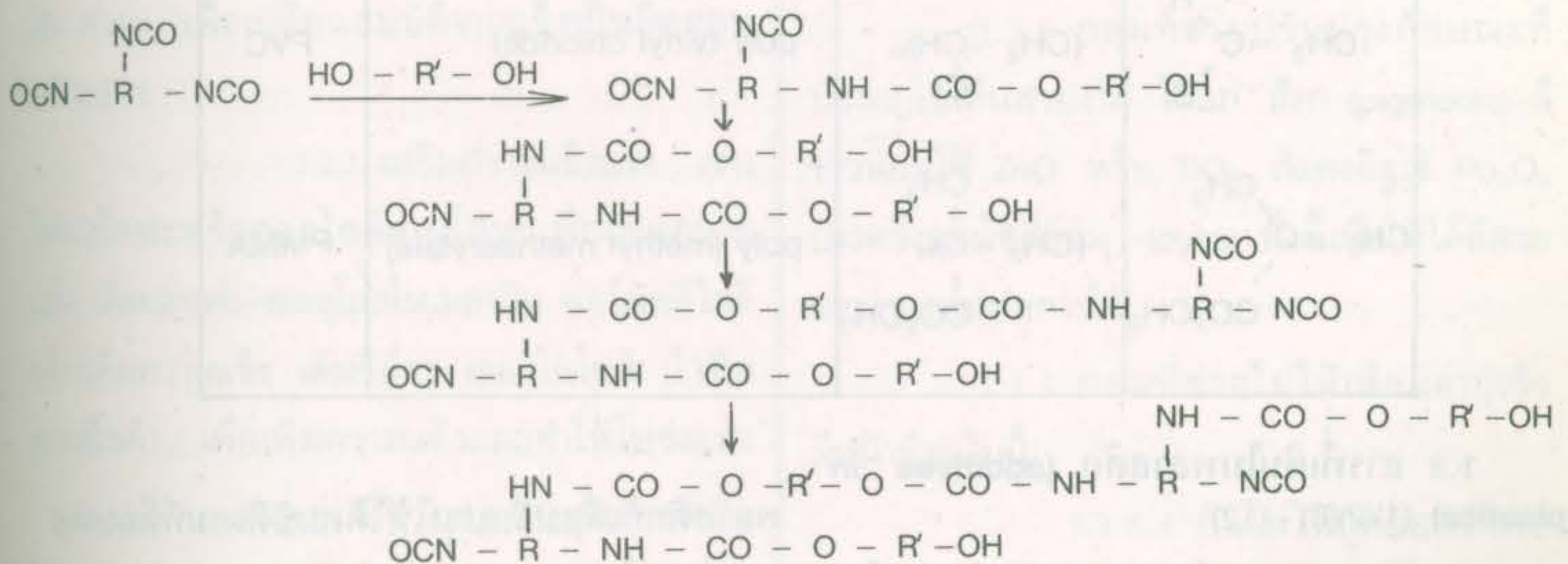


อาจสังเคราะห์ในลอน 6,6 ซึ่งเป็นโพลิอะมีด
ได้จากกรดอะดิปิกและเฮกซะเมทิลินไดอะมีน
ดังสมการ

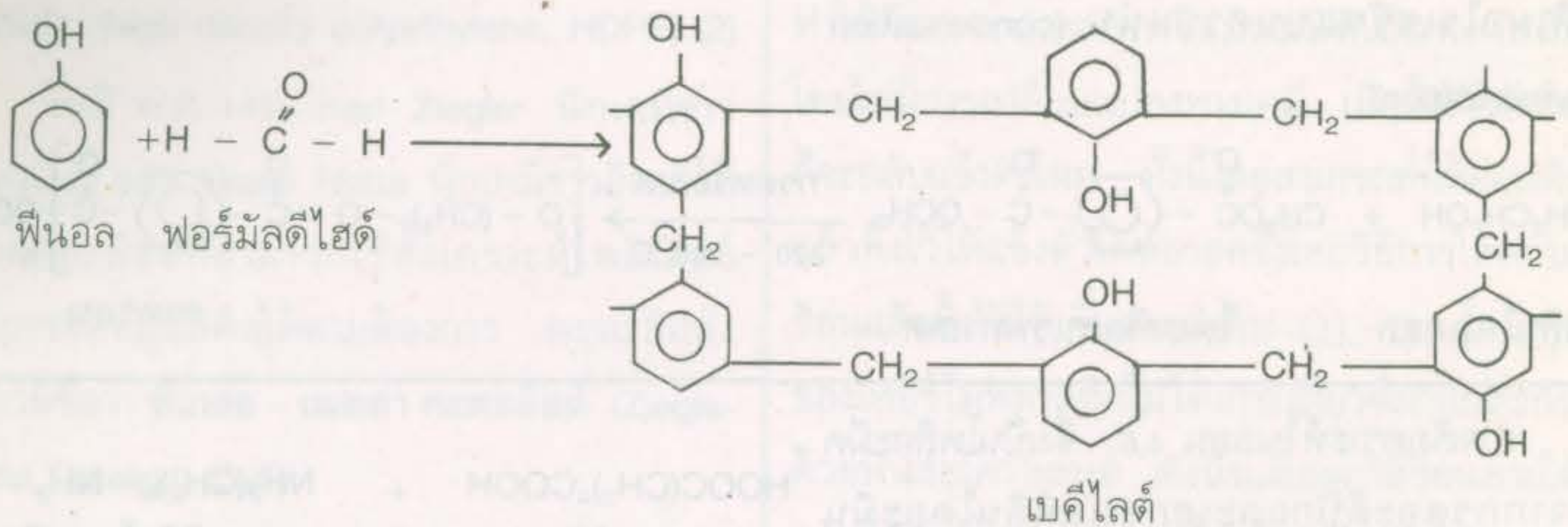
โพลิเมอร์แบบควบแน่นที่เตรียมจากโมโน-เมอร์ที่มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัวเพียงสองหมู่ ดังได้กล่าวมาแล้ว มีโครงสร้างเป็นโซ่ยาวหรือเป็นเส้นตรง ไม่มีโซ่สาขา แต่ถ้าโมโนเมอร์มีหมู่แสดงสมบัติเฉพาะตัว 3 หมู่หรือมากกว่า โครงสร้างของโพลิเมอร์ที่ได้จะมีโซ่สาขาโดยบางครั้งโซ่สาขาอาจเกิดเชื่อมโยงกันภายในโมเลกุลหรือกับโมเลกุลของโพลิเมอร์อื่น ๆ เกิดเป็นโพลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือโพลิเมอร์แบบร่างแห (network polymer)



ได้ ตัวอย่างโพลิเมอร์ที่มีโซ่สาขา ได้แก่ โพลิเมอร์
ซึ่งสังเคราะห์จากไตรโอไซไซยานูเรตและเอทิลิน
ไกลคอล ดังสมการ



โพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบเชื่อมโยงหรือร่างแหได้แก่ เบคิลไลต์ (bakelite) ซึ่งเป็นพลาสติกเนื้อแข็งที่สังเคราะห์ได้จากฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์ ดังสมการ



โพลีเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแหเป็นพลาสติกที่แข็งแรงมาก ทนความร้อนได้ดีจะไม่สลายตัวก่อนหลอม และไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ

ตัวอย่างโพลีเมอร์บางชนิดและชื่อตามระบบ IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเรียกชื่อโพลีเมอร์สามัญบางชนิดตามชื่อของโมโนเมอร์

โมโนเมอร์	(หน่วยย่อย) _n	ชื่อโพลีเมอร์	อักษรย่อ
$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	$\text{-(CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}\text{)}_n$	polyethylene	PE
$\text{CH}_2 = \underset{\text{H}}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}$	$\text{-(CH}_2 - \underset{\text{H}}{\text{C}}\text{)}_n$	polypropylene	PP
$\text{CH}_2 = \underset{\text{I}}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}$	$\text{-(CH}_2 - \underset{\text{I}}{\text{CH}}\text{)}_n$	Polystyrene	PS
$\text{CH}_2 = \underset{\text{Cl}}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}$	$\text{-(CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}}\text{)}_n$	poly (vinyl chloride)	PVC
$\text{CH}_2 = \underset{\text{CO}_2\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}$	$\text{-(CH}_2 - \underset{\text{CO}_2\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}\text{)}_n$	poly (methyl methacrylate)	PMMA

1.3 สารที่เติมในพลาสติก (additives in plastics) (1)(2)(8) - (12)

วัตถุประสงค์ของการเติมสารลงใน

พลาสติกก็เพื่อปรับปรุงให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ สารที่เติมนี้จะกระจายเข้าไปในโพลีเมอร์ โดยไม่มี

ผลต่อโครงสร้างโมเลกุลาร์ของโพลิเมอร์แต่อย่างใด การแบ่งกลุ่มของสารที่เติมลงไปอาศัยตามลักษณะหน้าที่มากกว่าลักษณะทางเคมี โดยแบ่งออกได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ 7 กลุ่มคือ

1.3.1 กลุ่มที่ช่วยกระบวนการผลิต โดยทำหน้าที่ต่างกัันดังต่อไปนี้

1.3.1.1 ทำให้อยู่ตัว (stabilizers) เช่น ใช้ออร์โท - ไฮดรอกซีเบนโซฟีโนนทำให้โพลิสไตรีนอยู่ตัวเมื่อโดนแสงสว่าง การเติมแคดเมียมลงในไวนิล (vinyls) เพื่อกันการแตกตัวถ้าต้องการเก็บไว้นาน ๆ หรือใช้งานที่อุณหภูมิสูง

1.3.1.2 ช่วยหล่อลื่นทั้งภายในและภายนอก เช่น ใส่แคลเซียม สเตียเรตในโพลิ (ไวนิล คลอไรด์) ชนิดไม่ใส หรือเติมแมกนีเซียม สเตียเรตในโพลิ (ไวนิล คลอไรด์) ชนิดแข็ง

1.3.1.3 ช่วยเร่งกระบวนการผลิตและการไหล เช่น เติมกำมะถันเพื่อเร่งกระบวนการผลิต เติมซิลิกา เจล เพื่อควบคุมการไหลของโพลิสไตรีน

1.3.2 กลุ่มที่ใช้ปรับปรุงสมบัติทางเมคานิกส์ ได้แก่

1.3.2.1 เพิ่มความเป็นพลาสติกหรือความยืดหยุ่น เช่น การเติมได - ไอโซ - ออกทิลฟทาเลต 70 ส่วนลงในโพลิ (ไวนิล คลอไรด์) 30 ส่วน เพื่อเปลี่ยนสมบัติจากแข็งเป็นยืดหยุ่นคล้ายยาง

1.3.2.2 เสริมความแข็งแรง เช่น ใส่ผงโลหะหรือออกไซด์ของโลหะเพื่อเพิ่มความแข็งแรง เติมแอลฟา - เซลลูโลสในเมลามีน พอร์มัลดีไฮด์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง เติมซิลิกา เจล ในโพลิ (ไวนิล คลอไรด์) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทำให้โปร่งแสง

1.3.3 กลุ่มที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต ได้แก่

1.3.3.1 สารที่เติมเฉพาะแต่ละชนิดของพลาสติก เช่น ถ้าต้องการ PVC ชนิดทึบแสงใส่ CaCO_3 หรือ BaSO_4 เติมทัลค (talc, $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ใน PP เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทนอุณหภูมิสูง ๆ

1.3.3.2 เติมเพื่อเพิ่มปริมาณ เช่น เติมปูนขาวใน PVC เติมเยื่อไม้ ชั่งข้าวโพด หรือเกล็ดในพลาสติกชนิดต่าง ๆ เติมแอลฟา - เซลลูโลสใน MF

1.3.4 กลุ่มที่ช่วยปรับปรุงผิวหน้าของพลาสติก โดยมีหน้าที่ต่าง ๆ คือ

1.3.4.1 เป็นตัวกันไม่ให้เกิดประจุ (antistatic agents) เช่น ใส่อะมีนในอะคริลิก (acrylic)

1.3.4.2 กันรอยขรุขระ เช่น เติมแร่หรือโลหะเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงของพลาสติกและช่วยให้ทนต่อการขรุขระ

1.3.4.3 กันการติดแบบพิมพ์ โดยใส่ซิลิกา เจล ในพลาสติกช่วยให้ไหลได้สะดวกและไม่ติดแบบพิมพ์

1.3.4.4 ทำให้เกาะกันแน่น ผงโลหะ ออกไซด์ของโลหะและสีบางชนิดทำให้พลาสติกเกาะกันแน่นขึ้น

1.3.5 กลุ่มที่ช่วยปรับปรุงลักษณะที่ปรากฏให้เห็นสวยงาม ได้แก่ สีทา (pigments) สีขาวนิยมใช้ ZnO หรือ TiO_2 สีแดงอิฐใช้ Pb_3O_4 บางครั้งอาจใช้สีย้อม (dyes) ทั้งนี้เพื่อให้ได้สีสวยและทนทานต่อการใช้

1.3.6 กลุ่มที่ช่วยไม่ให้เสื่อมอายุเร็ว มีหน้าที่ต่อไปนี้

1.3.6.1 กันไม่ให้ถูกออกซิไดซ์ เช่น ใช้ไดเฟนิล - พารา - เฟนิลีน ไดอะมีนกัน

PE ถูกออกซิไดซ์ ใส่ 2-ไฮดรอกซี - 4 -เมทอกซีเบนโซฟีโนนกัน PS ถูกออกซิไดซ์

1.3.6.2 ทนสารเคมี โดยใส่แมกนีเซียม ซิลิเกตในพลาสติกกันไม่ให้ทำปฏิกิริยากับกรด

1.3.7 กลุ่มอื่น ๆ ได้แก่

1.3.7.1 สารที่เติมลงในพลาสติกที่ผลิตโดยใช้แบบเป่า (blow molding) ซึ่งใช้ทั้งสารอินทรีย์ คือ ไดเอโซอะมิโนเบนซีนและสารอนินทรีย์ คือ เอโซไฮโซบิวทีโรไนตริล

1.3.7.2 สารกันไม่ให้ติดไฟ (flame retardants) ได้แก่ ฟอสเฟต เอสเทอร์

1.4 สมบัติของพลาสติก

ทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติงมีสมบัติหลัก 3 ประการคือ

1.4.1 สมบัติทางเมคานิกส์ ได้แก่ ความแข็งแรง ความเหนียว ความยืดหยุ่น น้ำหนักเบา

1.4.2 สมบัติทางไฟฟ้า พลาสติกจะเป็นฉนวน

1.4.3 สมบัติทางเคมี ได้แก่ ความทนกรด เบส และตัวทำละลายอินทรีย์

1.5 ประโยชน์ของพลาสติก

การใช้ประโยชน์จากพลาสติกมีมาตั้งแต่อดีต เช่น ในปี ค.ศ. 1944 มีการผลิตฟีนอลิกเรซินโดยบริษัท General Bakelite Company และบริษัทอื่น ๆ ทั่วโลกถึง 175,000 ตัน เพื่อใช้ทำเครื่องใช้ที่ต้องการความแข็งแรง เช่น โทรทัศน์ ส่วนของภาชนะที่ทนความร้อนได้ เช่น หูหม้อและกะทะ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ซึ่งมีความหนาแน่น $0.94 - 0.95 \text{ g/cm}^3$ มีจุดหลอมเหลวประมาณ 115°C เนื้อเยื่อต่อปฏิกิริยาไม่ทำลายในตัวทำละลายใด ๆ

ที่อุณหภูมิปกติทนต่อกรดแก่ เบสแก่ จึงใช้ผลิตภาชนะสำหรับบรรจุกรดและเบส รวมทั้งกรดไฮโดรฟลูออริก ทำภาชนะในครัวเรือนที่ไม่ต้องการความทนทานมากนัก เช่น อ่างซักผ้า แก้วน้ำ จาน ใช้ทำของเล่นสำหรับเด็ก ดอกไม้เทียม ใช้หุ้มสายไฟและสายเคเบิล HDPE ซึ่งมีความหนาแน่น $0.95 - 0.97 \text{ g/cm}^3$ มีจุดหลอมเหลวประมาณ 135°C จึงนิยมใช้ทำถุงทนความร้อนเพื่อบรรจุอาหารและเครื่องต้มร้อน ๆ โดยประโยชน์อื่น ๆ ก็เหมือน LDPE นอกจากนี้ยังใช้ทำเกลลอนสำหรับบรรจุ น้ำมันรถยนต์และน้ำมันหล่อลื่น และใช้ทำเครื่องใช้อื่น ๆ ที่ต้องการความแข็งแรงมากกว่า LDPE PP มีความหนาแน่นต่ำมาก 0.905 g/cm^3 มีความเหนียวและแข็งแรง เพราะน้ำหนักเบาจึงเหมาะสำหรับทำกล่อง ขวด และภาชนะบรรจุของเพื่อหุน ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า และเนื่องจากจุดหลอมเหลวสูงกว่า 140°C จึงทนความร้อนได้ถึง 135°C อยู่ตัวกว่าและแข็งแรงกว่า PE ทนสารเคมีได้ดีมาก ทนกรด เบส และเกลือได้แม้ที่อุณหภูมิสูง ไม่ยอมให้ไอและแก๊สผ่าน เมื่อสัมผัสกับน้ำเดือดหรือไอน้ำก็ยังคงรูปเดิม แม้ราคาจะแพงกว่า PE ก็ใช้ประโยชน์ได้ดีกว่า นิยมใช้ทำถุงบรรจุของร้อน หุ้มของบุหรี เชือก สายไฟ สายเคเบิล กล่องแบตเตอรี่ ถังตักน้ำ ฝาปิดโถส้วม หมวกกันน็อค กระเป๋าใส่ของใช้และขวดนมเด็ก PS เป็นพลาสติกที่เบาที่สุด หดตัวน้อยมาก เปราะ เป็นฉนวนที่ดี ดูดน้ำน้อย ทนความร้อนพอควร ทนสารเคมี กรด เบส น้ำมัน น้ำส้ม นิยมใช้ทำเครื่องมือที่ใช้กับไฟฟ้าที่มีความถี่สูง ส่วนประกอบของเครื่องทำความเย็น เครื่องใช้ในบ้าน จุกขวด ภาชนะใส่ของและโฟม PVC เป็นพลาสติกแข็งและเปราะ แตกง่าย ไม่เสถียรต่อความร้อนและแสงแดดซึ่งทั้งสองสารนี้ทำให้ PVC สลายเสีย HCl แต่เนื่องจากทนสาร

เคมี ไม่เกาะติดสิ่งสกปรก ทำความสะอาดง่าย จึงนิยมใช้ทำผ้ายาง รองเท้า รวบันได หนังสือพิมพ์ฟิล์มท่อน้ำ สายไฟ ถุงมือ ของเล่นสำหรับเด็ก ภาชนะบรรจุอาหาร ขวดยา ขวดยาสระผม ขวดน้ำมันพืช โดยเติมสารต่าง ๆ ลงไปเพื่อให้ได้สมบัติตามประสงค์ เช่น เติมพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) เพื่อลดความแข็งและความเปราะ เติมสารทนต่อการถูกออกซิไดซ์และเติมสารให้ทนต่อแสงอุลตราไวโอเล็ต เติมสีเพื่อให้สวยงาม แต่ต้องระมัดระวังอันตรายเพราะสารที่เติมบางชนิดเป็นพิษต่อร่างกาย โดยสารเหล่านี้อาจหลุดจาก PVC เข้าไปปะปนกับอาหารและน้ำมันพืชได้ PMMA มีความใสเหมือนกระจก ทนกรดและเบสได้ดี จึงใช้ทำกระจกบ้าน กระจกรถยนต์ โคมไฟ ไฟท้าย และไฟสัญญาณจราจร อีพอกซี (epoxy) เป็นพลาสติกทนกรด เบส และตัวทำละลาย ดูนํ้าน้อย จึงใช้อีพอกซีชนิดเหลวทำการติดโครงสร้างฝังในเครื่องปั้น ทำวัสดุเคลือบผิว เคลือบกรอบหน้าเครื่องรับโทรทัศน์ ทำไฟเบอร์กลาส ชิ้นส่วนของเครื่องบินและรถยนต์ โพลีเอสเตอร์ เป็นพลาสติกที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ทนกรดและเบสอ่อน ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องบิน ทำไฟเบอร์กลาส ท่อและถังบรรจุของเหลว เพอร์นิเจอร์ หินอ่อนเทียม งาช้างเทียม เซรามิกเทียม แก้วเทียม ผสมกับอะคริลิกทำไข่มุกเทียม เครื่องประดับ กระดุม ทำเสื้อผ้าตาครอนซิลิโคน เป็นพลาสติกที่ทนความร้อนได้ดี เป็นฉนวนทั้งความถี่ต่ำและสูง ติดไฟช้า นำความร้อนได้ดี ทนกรด เบส ไม่ติดพลาสติก ยาง แก้ว และโลหะ จึงใช้ทำน้ำยาถอดแบบ

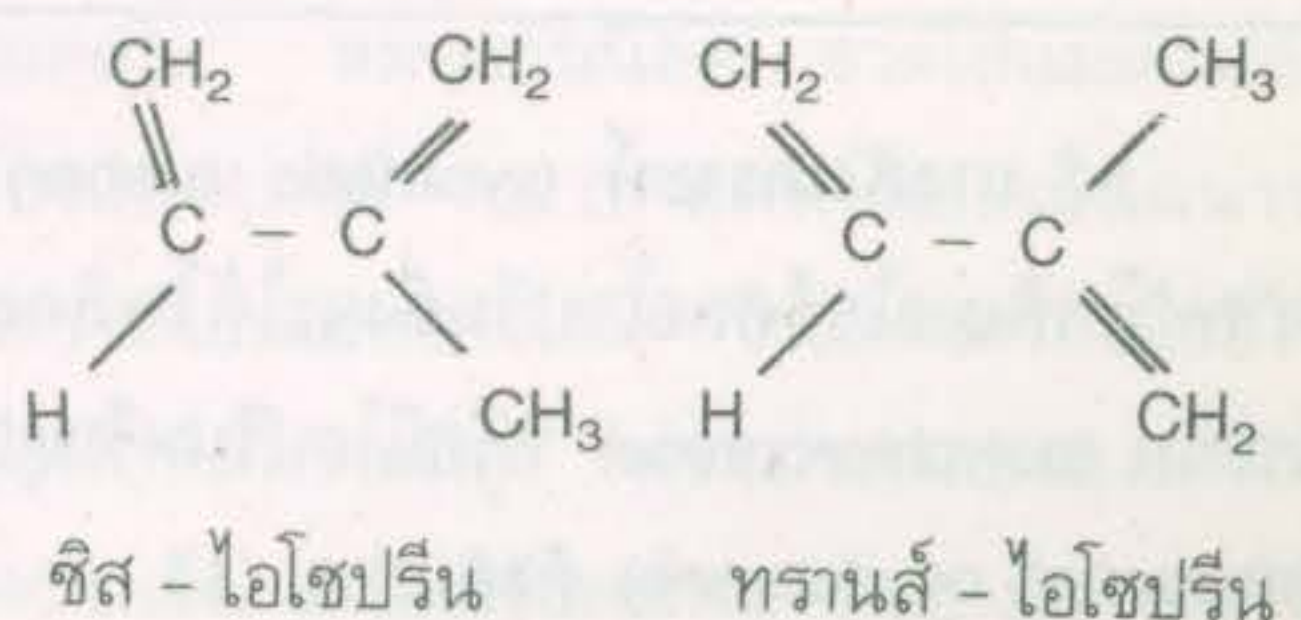
ปัจจุบันมีการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชนิดต่าง ๆ ให้ดียิ่ง ๆ ขึ้น เช่น ผสม PS กับอะครีโลไนไตรล (acrylonitrile) เพื่อทำภาชนะที่เป็นฉนวนความร้อนที่ดีและมีความแข็งแรง นำ PVC

มาผสมกับแอสเบสตอส (asbestos) เพื่อใช้ทำกระเบื้องยางปูพื้น ผสมเอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตลงใน PE เพื่อให้เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ผสมสารเคมีชนิดต่าง ๆ ลงในพลาสติกเพื่อให้มีสมบัติทนไฟ เช่น แบเรียม เมตาโบเรต สูตร $BaB_2O_4 \cdot H_2O$ ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิที่หลอมเหลว $900-1050^\circ C$ ผสมไฟเบอร์กลาสลงในพลาสติกชนิดต่าง ๆ เพื่อกันการกัดกร่อน (corrosion) (8)-(11)

2. ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์

2.1 ยาง (rubber) ได้ชื่อจากพริสเลย์ (Joseph Priestley) เพราะเห็นสมบัติที่สามารถใช้ลบ (rub out) รอยดินสอได้ แต่ปัจจุบันยางหมายถึงสารที่มีความยืดหยุ่น ได้มาจากต้นยาง (Hevea brasiliensis) ซึ่งเมื่อกรีดแล้วจะให้นํ้ายางดิบ (latex) เมื่อนำไปกรองแล้วเติมแอมโมเนียเพื่อกันไม่ให้เนื่อยางซึ่งมีอยู่ 60 - 70% ตกตะกอนขณะส่งไปทำยางแผ่น โดยการเติมกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก หรือกรดซัลฟูริกเพื่อทำให้นํ้ายางรวมตัวกันเป็นก้อนแล้วตกตะกอน ยางที่ได้นี้เมื่อรีดเป็นแผ่นและทำให้แห้งจะได้แผ่นยางดิบ

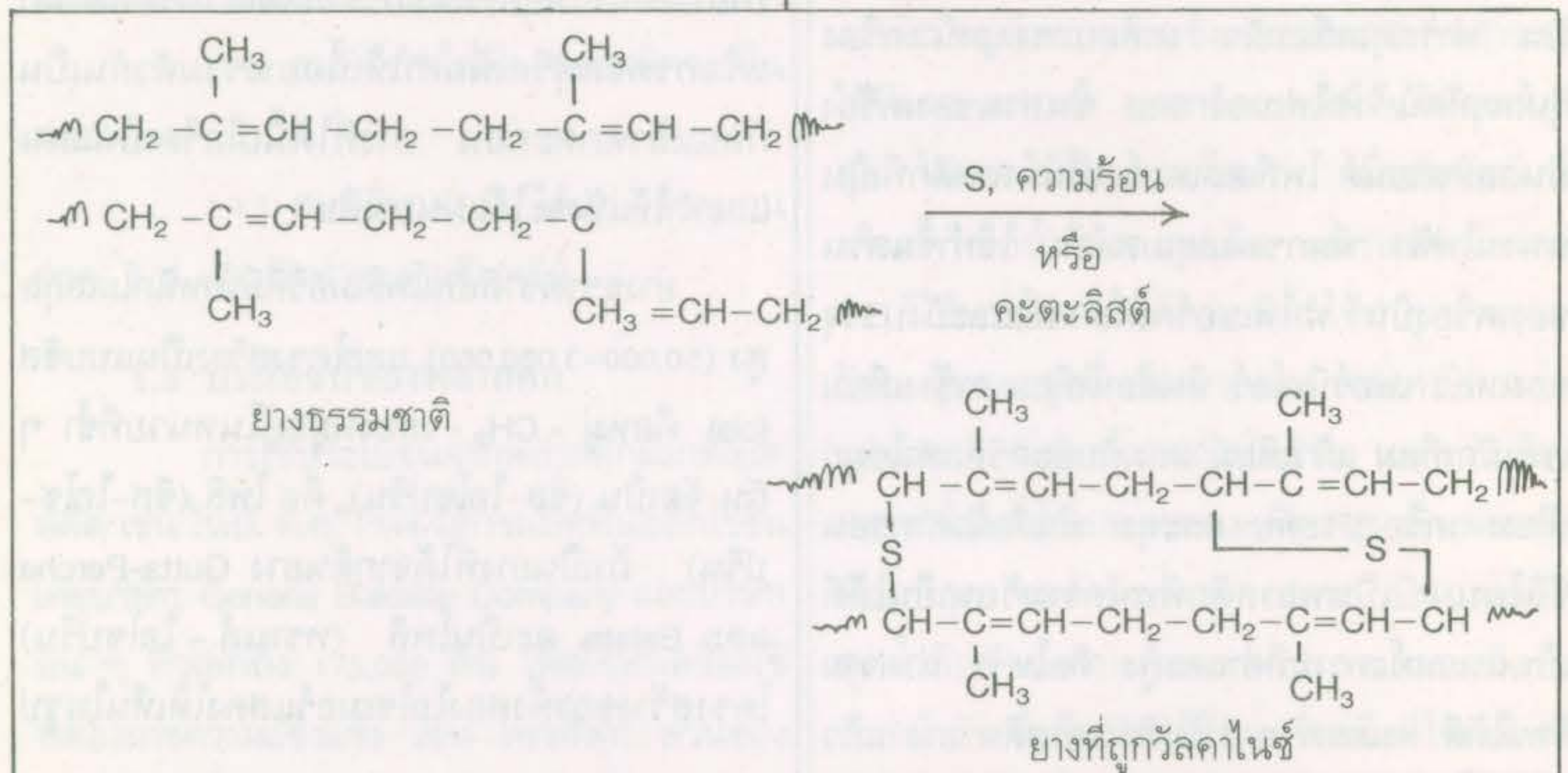
ยางธรรมชาติเป็นโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (50,000-3,000,000) และโครงสร้างเป็นแบบซิส (cis) คือหมู่ $-CH_2-$ สองหมู่อยู่ในหน่วยที่ซ้ำ ๆ กัน จัดเป็น (ซิส-ไอโซพรีน)_n คือ โพลิ (ซิส-ไอโซพรีน) ถ้าเป็นยางที่ได้จากต้นยาง Gutta-Percha และ Balata จะเป็นโพลิ (ทรานส์ - ไอโซพรีน) โครงสร้างของทั้งสองไอโซเมอร์แสดงให้เห็นในรูป



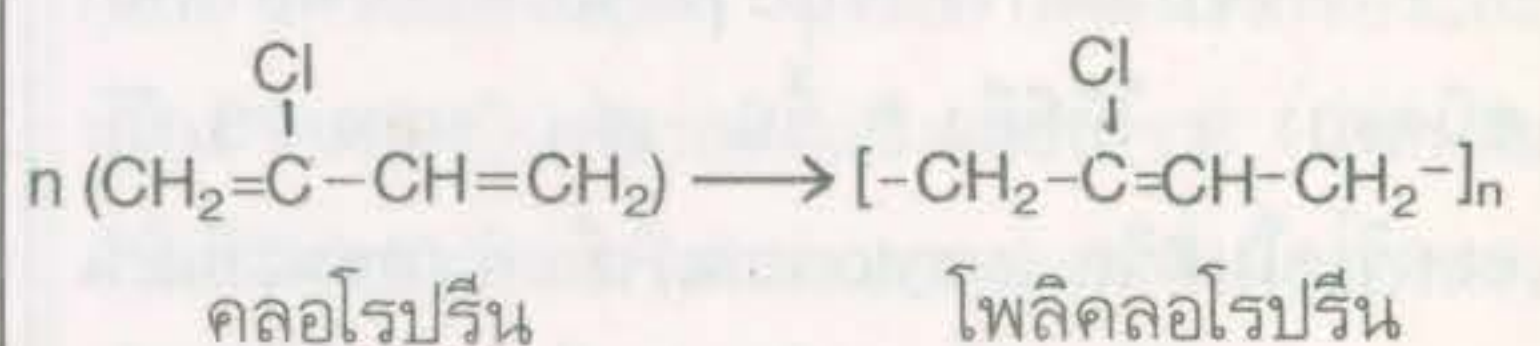
กระบวนการที่ต้นยางสังเคราะห์โพลิเมอร์ที่มีทรงเรขาคณิตโดยเฉพาะดังกล่าวยังไม่เป็นที่ทราบกันแน่นอน แต่จากการศึกษาค้นคว้าและการวิจัยทำให้เชื่อได้ว่าสารตั้งต้นน่าจะเป็นกรดอะซิติก นักเคมีหลายท่านได้ทำการสังเคราะห์สารที่มีโครงสร้างและสมบัติเหมือนยางด้วยวิธีการต่าง ๆ รวมทั้งการเลียนแบบสภาวะที่เหมือนสภาพแวดล้อมในต้นยาง จนปี ค.ศ. 1955 นักวิทยาศาสตร์ก็ประสบความสำเร็จ โดยสังเคราะห์ยางจากไอโซพรีนโมโนเมอร์โดยใช้ ซีเกล - เนตตา อะตะลิสต์ ซึ่งมักจะเป็นของผสมของสารสองชนิด ชนิดหนึ่งเป็นสารออร์แกโนเมทัลลิก (organometallic) ที่มีสูตรทั่วไป R_3Al และอีกชนิดหนึ่งเป็นเฮไลต์ของโลหะทรานสิชัน เช่น $TiCl_4$ (5)

โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติไม่มีการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลจึงมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก โดยรูปร่างเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เมื่อได้รับ

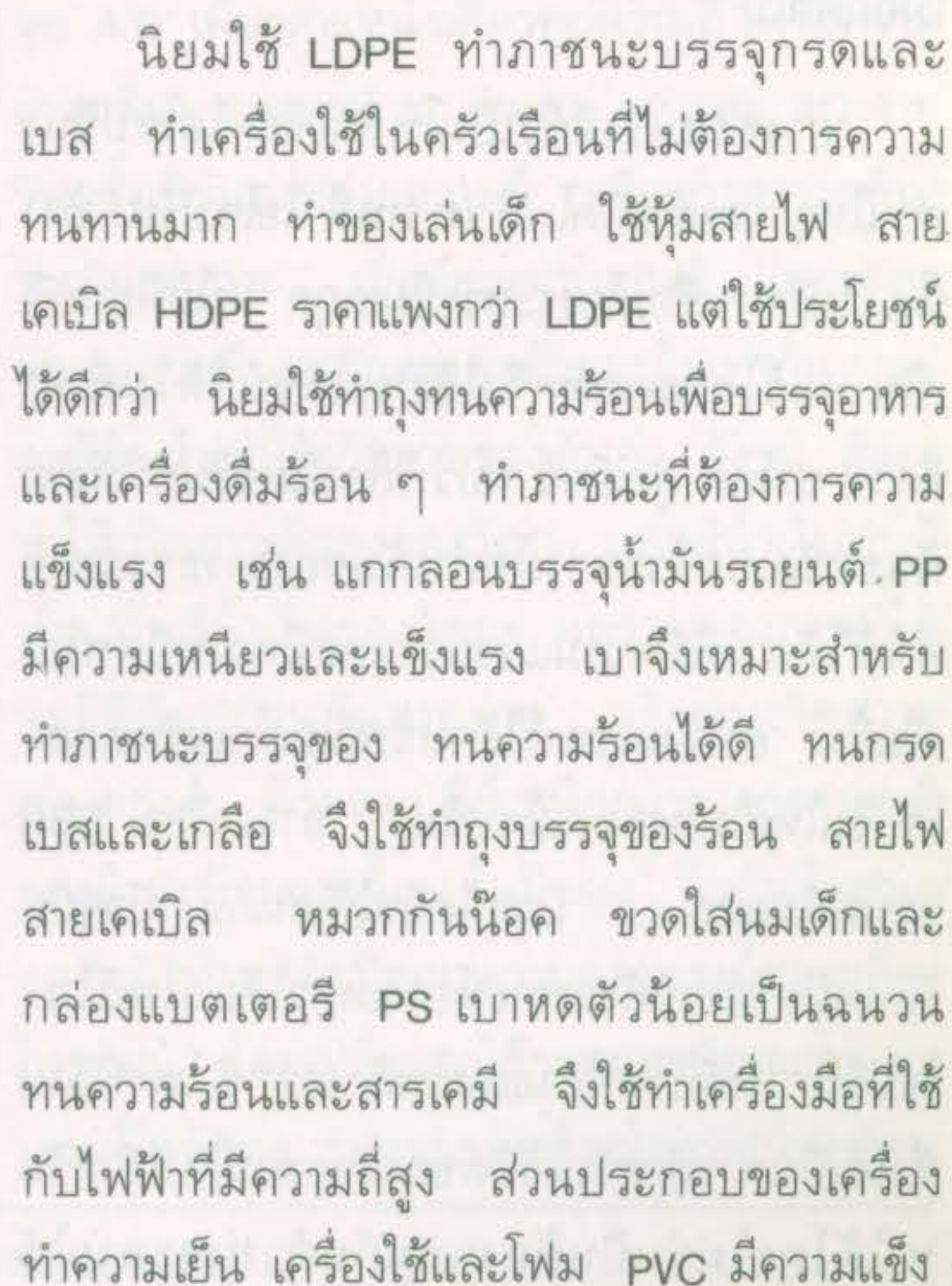
ความร้อนจะมีสภาพอ่อนนุ่มและเหนียวเหนอะหนะ แต่พอถูกความเย็นจะแข็ง เปราะและแตกง่าย จึงไม่สามารถใช้ประโยชน์เท่าที่ควร ในปี ค.ศ. 1834 ชาร์ลส กูดเยียร์ (Charles Goodyear) นักประดิษฐ์ชาวอเมริกันทดลองทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติดีขึ้นโดยใช้กระบวนการชื่อ วุลคาไนเซชัน (vulcanization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การให้ความร้อน แสง หรือโดยการเติมสาร เช่น กำมะถันหรือสารที่มีกำมะถัน ผลก็คือ ยางจะมีความแข็งแรงขึ้น มีความยืดหยุ่น (elasticity) เพิ่มขึ้น ทนความร้อนได้ที่อุณหภูมิสูงพอสมควรโดยไม่อ่อนตัว มีความยืดหยุ่นมากขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นเหตุให้ความเปราะลดลง ทั้งนี้เพราะเกิดพันธะซัลเฟอร์ (sulfur bridges) ระหว่างโซ่ต่างกัน ดังสมการ (5)



2.2 ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber) ได้จากทำโพลิเมอไรซ์คลอโรพรีนซึ่งจะได้โพลิคลอโรพรีน (polychloroprene) หรือนีโอพรีนหรือดูพรีน (neoprene or duprene) ดังสมการ (5)



ของยางธรรมชาติ คือ ไทย และเมเลเชีย ถูกญี่ปุ่น
ยึดครองฝ่ายพันธมิตรจึงต้องสังเคราะห์ยาง สติริน-
บิวตาไดอิน (styrene-butadiene rubber) (SBR)
ตามสมการ



ทนสารเคมี ไม่เกาะติดสิ่งสกปรกจึงนิยมใช้ทำ ฝ้ายาง รองเท้า ราวบันได หนังสือพิมพ์ ฟิล์ม ท่อน้ำ สายไฟ ถุงมือ ของเล่นเด็ก ภาชนะบรรจุอาหาร และน้ำมันพืช PMMA ไสทนกรด เบส นิยมใช้ทำ กระจก โคมไฟ อีพอกซี เป็นพลาสติกทนกรด เบส และตัวทำละลาย นิยมใช้ทำภาว เคลือบครอบหน้า เครื่องรับโทรทัศน์ ทำไฟเบอร์กลาส ชิ้นส่วนของ เครื่องบินและรถยนต์ เพอร์นิเจอร์ เครื่องประดับ ทำเสื้อผ้าตาครอน ซิลิโคนเป็นพลาสติกที่ทนความร้อนได้ดี เป็นฉนวน นำความร้อนได้ดีไม่ติด พลาสติก ยาง แก้ว และโลหะจึงใช้น้ำยา ถอดแบบ

ปัจจุบันมีการปรับปรุงสมบัติของพลาสติก ทุกชนิดโดยการเติมสารเคมีลงไปเพื่อให้ได้สมบัติ ตามวัตถุประสงค์ หรือใช้วิธีเตรียมโคโพลิเมอร์ เพื่อให้ได้สมบัติดีเยี่ยม คาดว่าในอนาคตคงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้วัสดุที่ทำด้วยเหล็ก แก้วและ ไม้อีกต่อไป

ยางธรรมชาติซึ่งเป็นโพลิ (ซิส-ไอโซพรีน) ส่วนใหญ่ โดยมีซินดิโพลิ (ทรานส์-ไอโซพรีน) บ้าง นั้น ไม่มีการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้มีสมบัติ เป็นเทอร์โมพลาสติกจึงใช้ประโยชน์ได้ไม่ดีเท่า ที่ควร ชาร์ลส กูดเยียร์ พบว่าวัลคาไนเซชันทำให้เกิด พันธะซัลเฟอร์ระหว่างโซ่ต่างกันของยางธรรมชาติ ทำให้ได้ยางที่มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่น เพิ่มขึ้น ยางสังเคราะห์ได้จากโพลิเมอไรเซชันคลอ-โรพรีนให้เป็นโพลิคลอโรพรีน อาจเตรียม SBR จากสตีรีนและ 1,3 - บิวตาไดอีนได้เช่นกัน ปัจจุบัน นักเคมีสามารถสังเคราะห์ยางเหลวได้แก่โพลิไอ-โซพรีน โพลิบิวตาไดนและโพลิ (ออกซี โพรพิลีน) ซึ่งใช้เป็นสารสำหรับใช้ติดของและทำเป็นสีสำหรับ ทาได้โดยไม่จำเป็นต้องผสมกับตัวทำละลายได้

แล้ว คาดว่าในอนาคตคงจะมีการปรับปรุงคุณภาพ ให้ดีขึ้นเพื่อให้ใช้ประโยชน์ได้เอนกประสงค์

บรรณานุกรม

1. Brydson, J.A. 1966. **Plastic Materials**. London Iliffe Bk. Ltd. D.Van Nostrand Co. Inc.
2. Saunders, K.J. 1973. **Organic Polymer Chemistry**. Tokyo. Toppan Co. Ltd.
3. Ronald, J.B. 1971. **Industrial Plastics**. Illinois. The Goodheart-Willcox Co. Inc.
4. Plastic Industry Safety Handbook, 1973. Cahners Practical Plastic Series.
5. Morrison, R.T. and Boyd, R.N. 1983. **Organic Chemistry**. 4 th. ed. Boston. Allyn.
6. Solomons, T.W.G. 1980. **Organic Chemistry**. 2 nd. ed. New York. John Wiley & Sons.
7. Billmeyer, F.W. 1972. **Textbook of Polymer Science**. 2 nd. ed. New York. John Wiley & Sons.
8. Mascia, L. 1974. **The Role of Additives in Plastics**. Fletcher & Son Ltd.
9. Crompton, T.R. 1977. **Chemical Analysis of Additives in Plastics**. 2 nd. ed. New York. Pergamon Press.
10. Donald, J.J. 1976. **Manufacturing Processes : Plastics**. Prentice-Hall Inc.
11. Baird, R.J. & Baird, D.T. 1982. **Industrial Plastics**. Illinois. The Goodheart Willcox Co. Inc.
12. Katz, H.S. & Milewski, J.V. 1978. **Handbook of Fillers and Reinforcements for Plastics**. New York. Van Nostrand Reinhold Co.

กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง

* สยาม ชูถิ่น

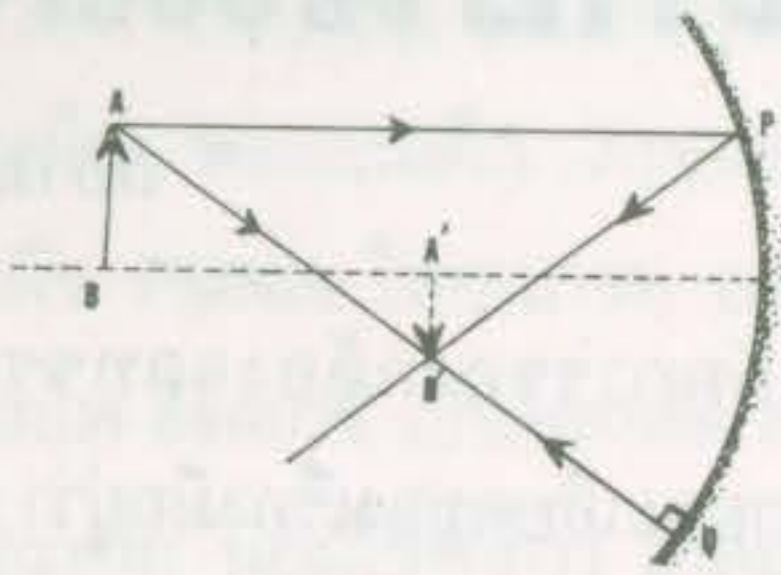
ประมาณสองถึงสามปีที่ผ่านมา มีข่าวเกี่ยวกับการพัฒนากล้องจุลทรรศน์เพื่อให้มีกำลังขยายสูงขึ้นไปอีกเป็นผลสำเร็จ โดยกลุ่มนักประดิษฐ์ชาวรัสเซีย กล้องจุลทรรศน์ดังกล่าวไม่ใช่กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้หลักการหักเหของแสง ดังเช่น กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไปในห้องปฏิบัติการขั้นต้น แต่เป็นกล้องจุลทรรศน์ชนิดที่ใช้หลักการสะท้อนของแสง ซึ่งจะเรียกสั้น ๆ ว่า “กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง” (the reflecting microscope) ชื่อนี้หลายท่านอาจเพิ่งเคยได้ยิน อีกหลายท่านอาจบอกว่า เคยได้ยินแต่ “กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง” ซึ่งเป็นแบบหนึ่งของกล้องดูดาว และหลายท่านอาจคิดว่า เป็นสิ่งประดิษฐ์ใหม่ทางวิทยาศาสตร์ ครับ.....ในบทความนี้เราจะพาท่านไปรู้จักกับ “กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง” ในแง่มุมต่าง ๆ พอสมควร

ประวัติและหลักการ

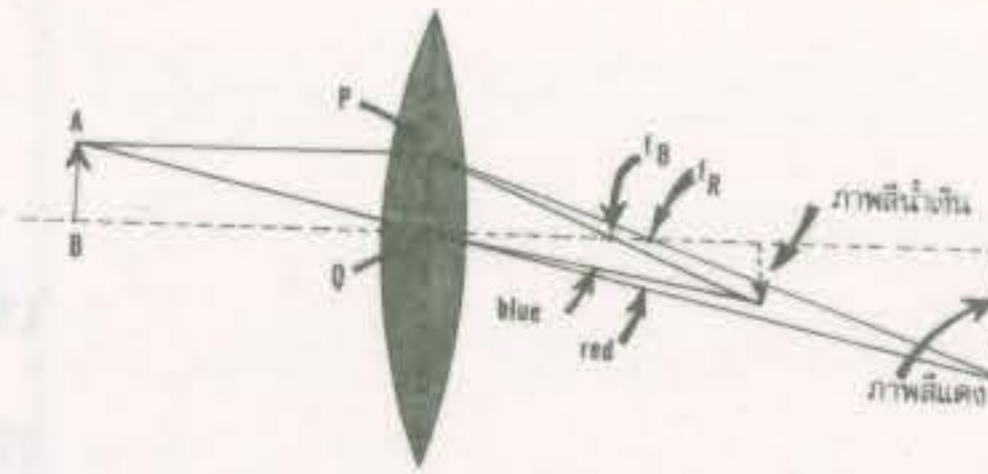
ในบรรดากล้องจุลทรรศน์แบบต่าง ๆ กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงมีประวัติการพัฒนาที่ยาวนาน ไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบหักเหแสงทั่ว ๆ ไป จึงนับว่าไม่ใช่สิ่งประดิษฐ์ใหม่แต่อย่างใด ประวัติการคิดและพัฒนา กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงถือได้ว่าเริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1672 ซึ่งเป็นปีที่ ไอแซค นิวตัน (Isaac Newton) ส่งจดหมายไปยัง “the Royal Society in London”

เพื่ออธิบายหลักการของกล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง รายละเอียดของเรื่องมีอยู่ว่า การสร้างกล้องโทรทรรศน์หรือกล้องดูดาวในสมัยนั้น ต้องประสบปัญหาเกี่ยวกับความบกพร่องของเลนส์ใกล้วัตถุ เป็นความบกพร่องที่ทำให้ภาพที่ได้มีสีสันท่าง ๆ มากมาย ในวิชาทัศนศาสตร์เรียกความบกพร่องชนิดนี้ว่า “ความคลาดรงค์” (chromatic aberration) นิวตันพบว่า ธรรมชาติของผิวสะท้อนแสงนั้นจะไม่ทำให้เกิดความคลาดรงค์ ขอให้ดูรูปที่ 1 ซึ่งเป็นรูปเปรียบเทียบการเกิดภาพจากผิวสะท้อนแสง และการเกิดภาพจากการหักเหผ่านเลนส์ รูป ก. ลำแสง AP และ AQ จากวัตถุซึ่งเป็นแสงหลายความถี่ (หรือความยาวคลื่น) ปนกันไปสะท้อนที่ผิวสะท้อนแสงกลับมาทำให้เกิดภาพที่จุด A'B' เพียงตำแหน่งเดียวทุกความถี่ (หรือความยาวคลื่น) แสง รูป ข. ลำแสง AP และ AQ จากวัตถุซึ่งเป็นแสงหลายความถี่ (หรือความยาวคลื่น) ปนกันเช่นกัน เมื่อหักเหผ่านเลนส์ แสงแต่ละความยาวคลื่นจะหักเหออกด้วยมุมไม่เท่ากัน แต่ละสีก็จะไปทำให้เกิดภาพของตัวเอง ดังรูป สีแดงทำให้เกิดภาพสีแดงของวัตถุ และสีน้ำเงินทำให้เกิดภาพสีน้ำเงินของวัตถุ ผลรวมของภาพที่ได้จะมีสีสันทะกวมกันมากมาย เรียกว่าเกิดความคลาดรงค์ ด้วยสมบัติที่เหนือกว่าทางธรรมชาติของผิวสะท้อนแสงนี้เอง ในปี 1665^๑ นิวตันจึงเสนอความคิดที่จะขจัดปัญหาความคลาดรงค์ของกล้องโทรทรรศน์ โดยเปลี่ยนมาใช้ระบบสะท้อนแสงแทนเลนส์ใกล้วัตถุ รูปแบบของกล้องโทรทรรศน์สะท้อน

* อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



ก



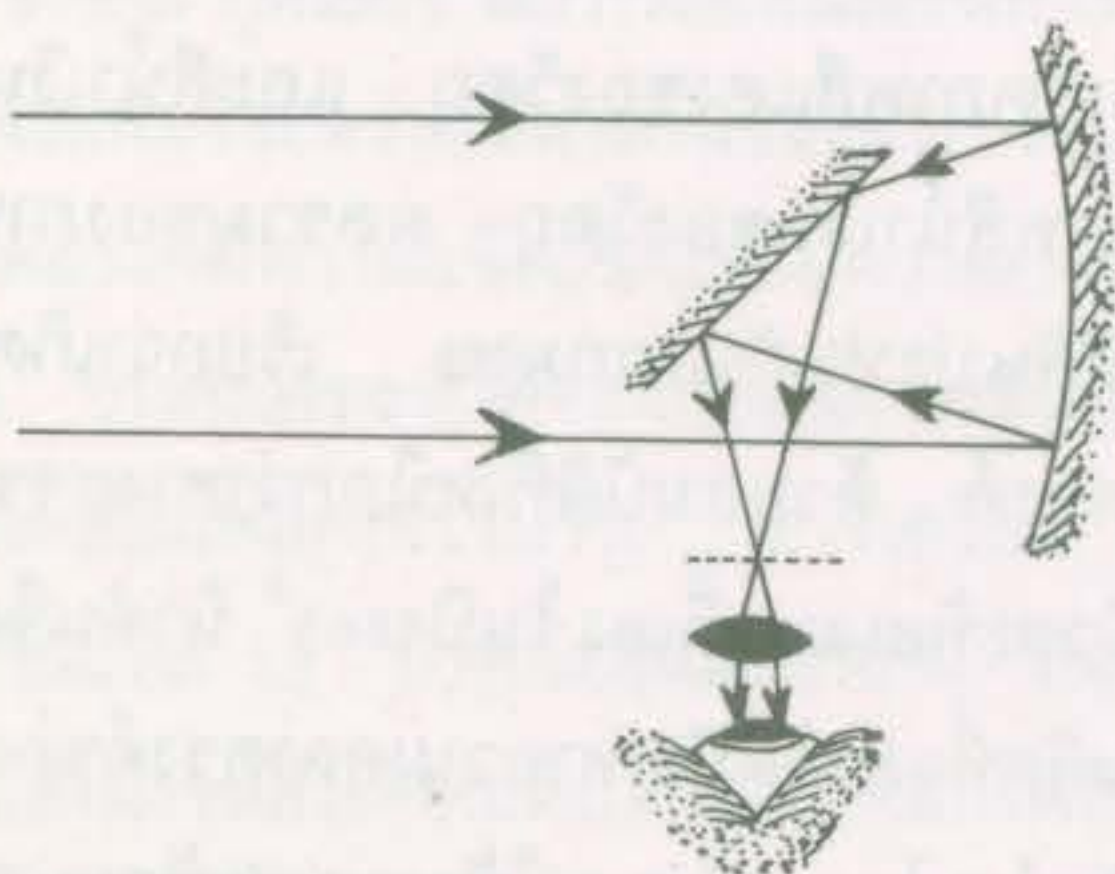
ข

รูปที่ 1 เปรียบเทียบการเกิดภาพที่ผิวสะท้อนแสงและการเกิดภาพจากการหักเหผ่านเลนส์

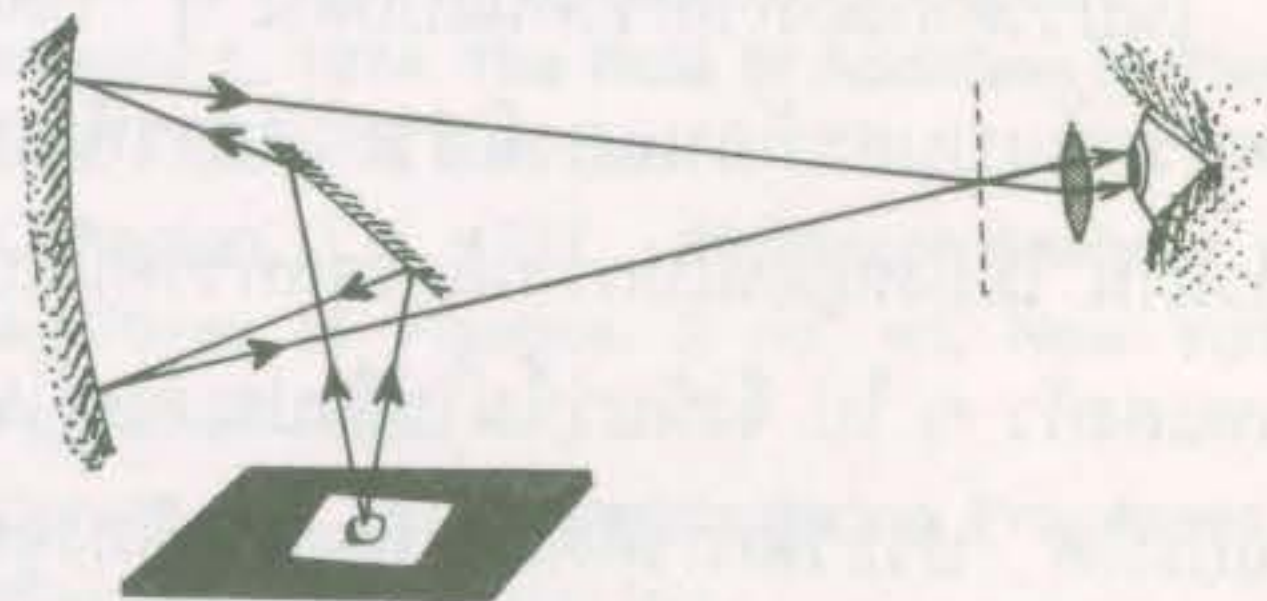
แสงตามแนวคิดของนิวตัน แสดงไว้ในรูปที่ 2¹ อีกเกือบสิบปีต่อมา คือ ในปี 1672⁷ นิวตันพบว่า objective แบบสะท้อนแสงของกล้องโทรทรรศน์ ตามแนวความคิดของเขานั้น สามารถดัดแปลงเป็น objective ของกล้องจุลทรรศน์ได้ โดยจัดให้แสงเดินทางในทิศทางข้ามกัน ดังรูปที่ 3¹ เขาจึงได้เขียนจดหมายอธิบายความคิดที่เป็นหลักการของ กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง ตามได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น

ในช่วงเวลาอีกกว่า 100 ปีต่อมา นักคิด นักประดิษฐ์ต่าง ๆ ก็พยายามออกแบบกล้อง จุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงตามแนวความคิดของ นิวตัน ได้รูปแบบของกล้องมากมาย การคิดและ

พัฒนาหยุดลงประมาณปี 1824 เมื่อมีผู้สร้างเลนส์ แก้วความคลาดรังค์ได้สำเร็จ จึงได้เปลี่ยนแนวหัน ไปศึกษาเลนส์ออร์ค (หรือเลนส์ที่แก้ความคลาดรังค์) แทน จนถึงประมาณปี 1931 ความก้าวหน้าทาง การวิจัยและอุตสาหกรรมขยายตัวขึ้น จึงมีผู้เห็น จุดเด่นของกล้องจุลทรรศน์ระบบสะท้อนแสง และได้นำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ อีกเป็น วาระที่สอง⁷ ซึ่งต่อมาจนถึงปัจจุบัน จุดเด่นของ ระบบกล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง ที่นอกเหนือ ไปจากไม่มีความคลาดรังค์ ได้แก่ ระยะที่จัดวาง ชิ้นงานห่างจาก objective มากกว่าระบบหักเห แสง นอกจากนี้ยังสามารถขยายขอบเขตการใช้งาน ออกไปในย่านการแผ่รังสีอื่น ๆ ได้ นอกจากในย่าน



รูปที่ 2 กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงของนิวตัน (ดัดแปลงจาก Longhurst, R.S., 1978)



รูปที่ 3 กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง ตามแนว ความคิดของนิวตัน สร้างโดย Amici (ดัดแปลง จาก Longhurst, R.S., 1978)

ของแสงที่ตามองเห็น เช่น ในย่านอุลตราไวโอเลต (ultraviolet; UV) และอินฟราเรด (infrared; IR) เป็นต้น

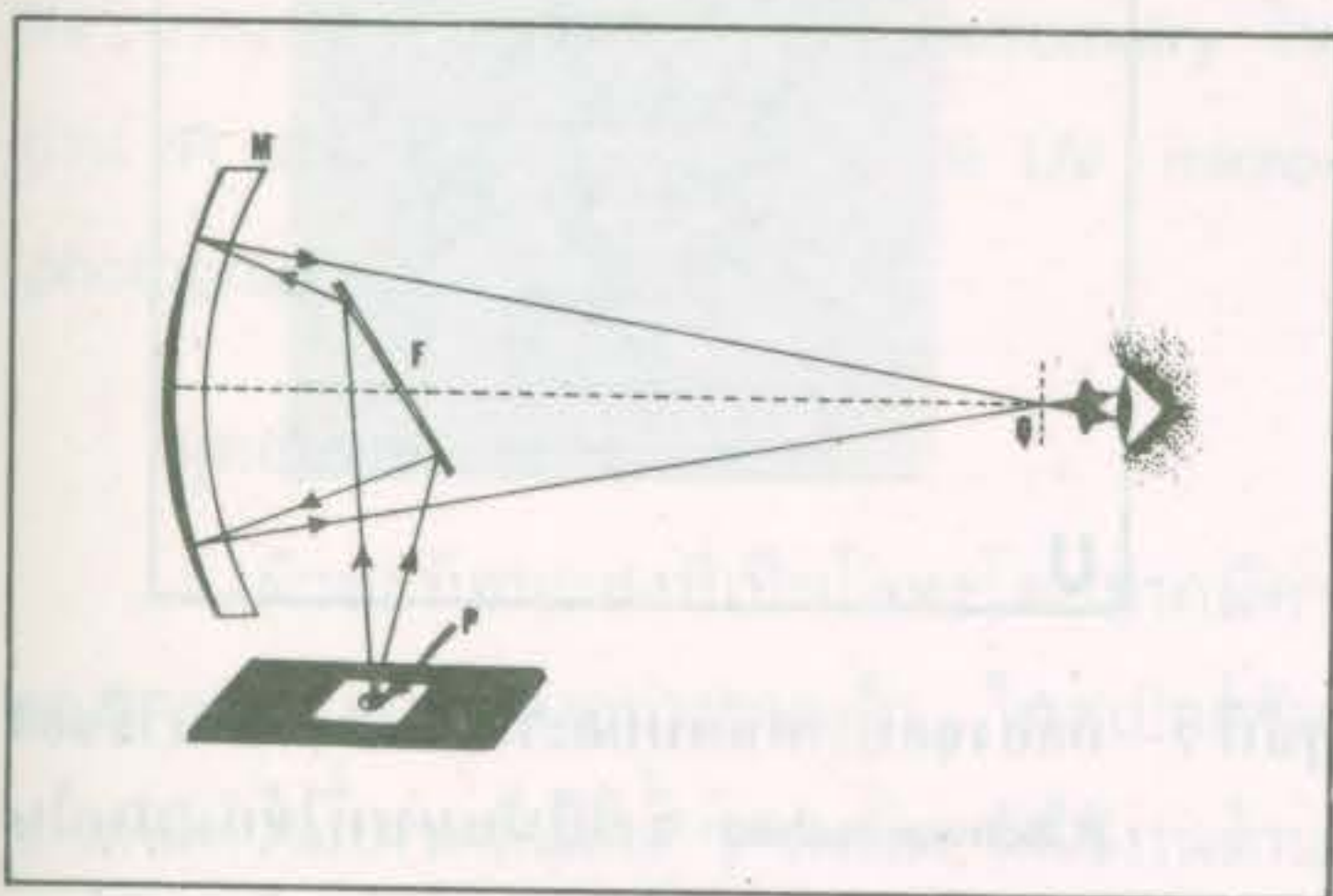
ชนิดของกล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง

หลังปี 1931 เป็นต้นมา มีการพัฒนาและดัดแปลงกล้องจุลทรรศน์ระบบสะท้อนแสง ไปใช้ในงานด้านต่าง ๆ มากมาย แต่ก็พอจะแบ่งกลุ่มตามลักษณะรูปแบบของกล้องได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ⁷ คือ

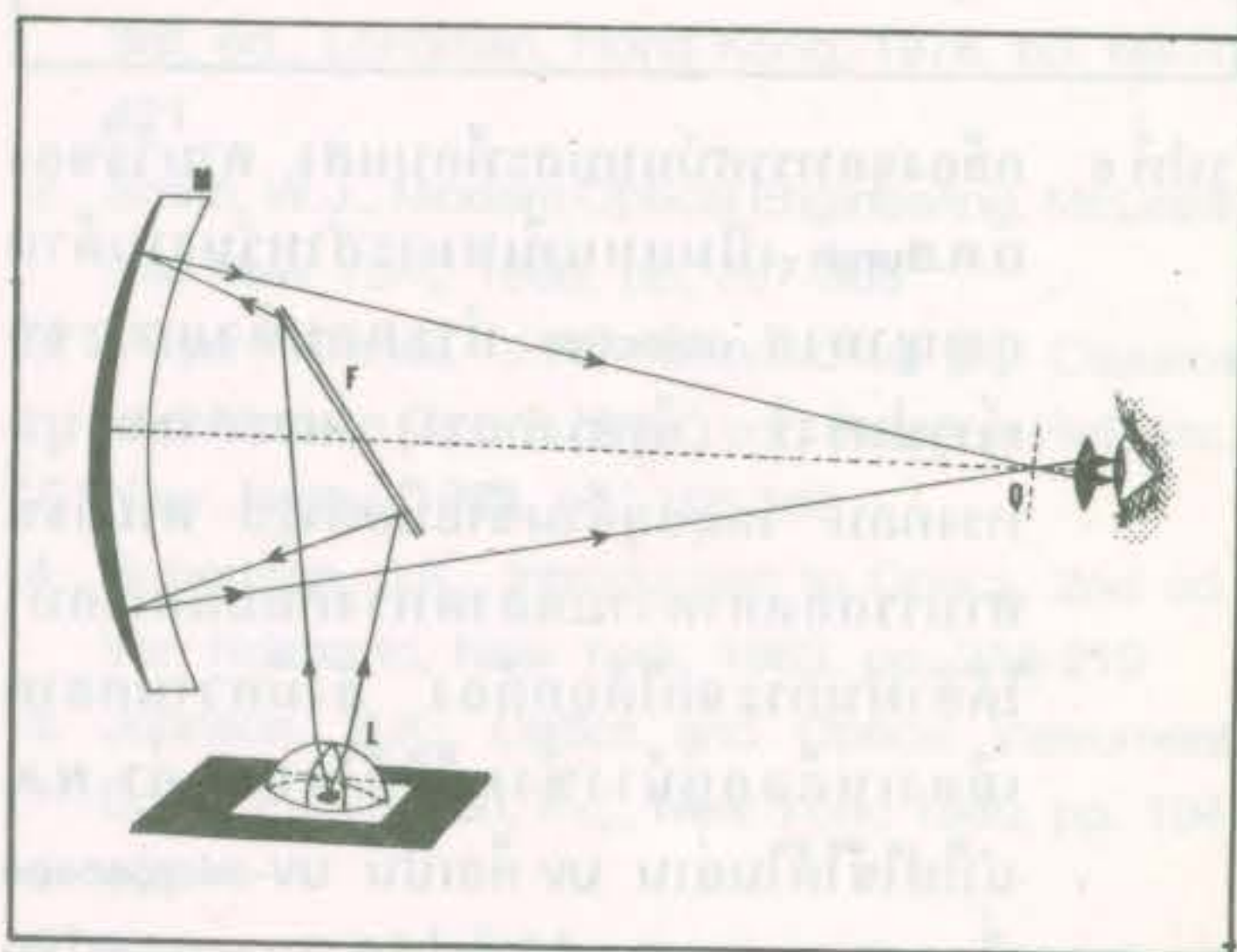
1. single mirror objectives เป็นกล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงที่มี objective เป็นกระจกโค้งแผ่นเดียว นักวิทยาศาสตร์ที่มีผลงานการศึกษาและดัดแปลงที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น R. Smith (1738), K.Schwarzschild (1905), H.Chretien (1922), B.K.

Johnson (1934), A.H.Linfoot (1938), D.D.Maksutov (1944), J.D.Dyson (1944), A.Elliot (1950) ฯลฯ ตัวอย่างของกล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงของ Amici ดังรูปที่ 3 กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงตามวิธีของ B.K.Johnson⁴ ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5

2. two - mirror objectives เป็นกล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงที่มี objective เป็นกระจกโค้ง 2 แผ่น มีความโค้งตรงข้ามกันเพื่อลดค่าความคลาดของกันและกัน นักวิทยาศาสตร์ที่มีผลงานการศึกษาและดัดแปลง ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ Hershgorin และเพื่อนร่วมงาน (1941), D.R.Burch (1943), E.M.Brumberg (1943), A.H.Bennett และเพื่อนร่วมงาน (1948), W.E.Seeds (1949), D.L.Wood (1950), E.R.Blout และเพื่อนร่วมงาน (1950), D.W.Dewhirsh (1951), S.Miyata (1952) ฯลฯ ตัวอย่างของกล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง ที่



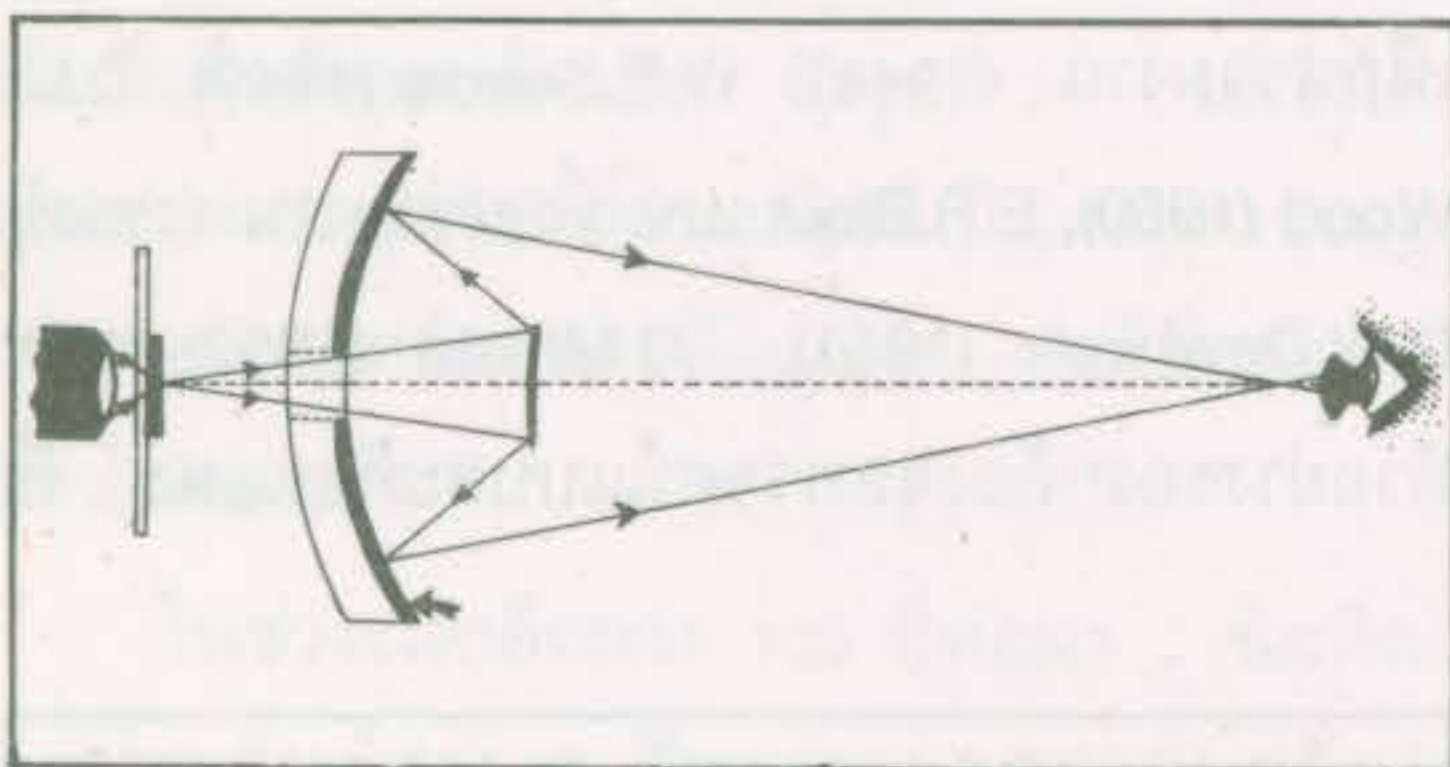
รูปที่ 4 กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงตามวิธีของ B.K.Johnson แสงจากวัตถุ P สะท้อนที่แผ่นแก้วใส F จะตกลงบนกระจกหนา M ทำให้เกิดภาพที่จุด Q ซึ่งอาจใช้เลนส์ใกล้ตาหรือใช้ตาจับก็ได้ ระยะจาก Q ถึงกระจกประมาณ 100 เซนติเมตร กระจก M ทำด้วย LiF ฉาบผิวสะท้อนที่ด้านหลัง ผิวหลังของ F ฉาบผิวป้องกันการสะท้อนไว้ด้วย เพื่อไม่ให้มีภาพซ้อน การจัดตามวิธีนี้มีค่าช่องเปิดเชิงตัวเลข (N.A.) ประมาณ 0.4 (ดัดแปลงจาก Robertson, J.K., 1963)



รูปที่ 5 กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงตามวิธีของ B.K.Johnson (ในรูปที่ 4) ดัดแปลงเพื่อให้ได้ค่า N.A. มีค่าสูงขึ้น โดยการวางวัตถุไว้ที่จุดออปานาติคของเลนส์ครึ่งทรงกลม L ทำให้ได้ค่า $N.A. = 0.84$ (ดัดแปลงจาก Robertson, J.K., 1963)

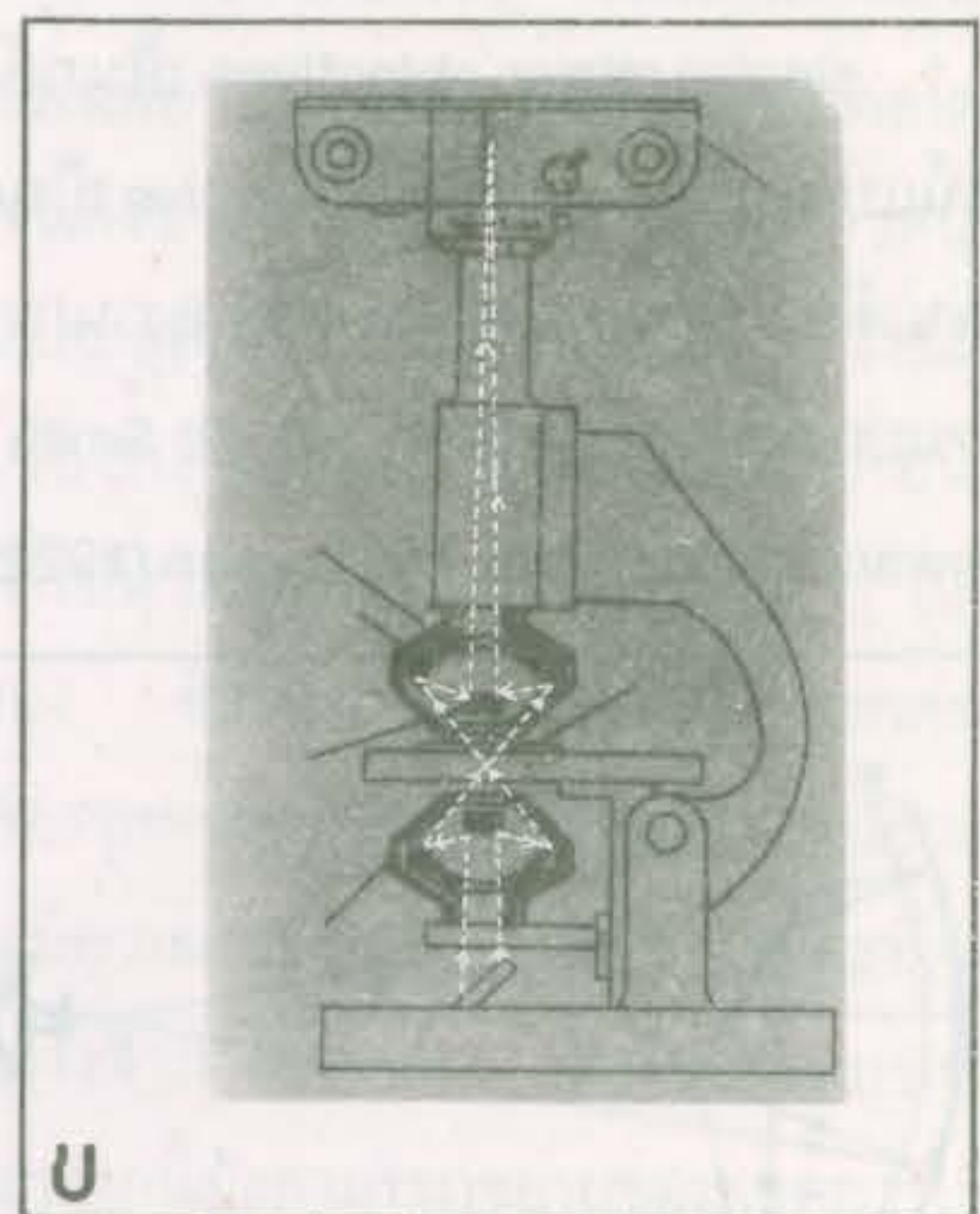
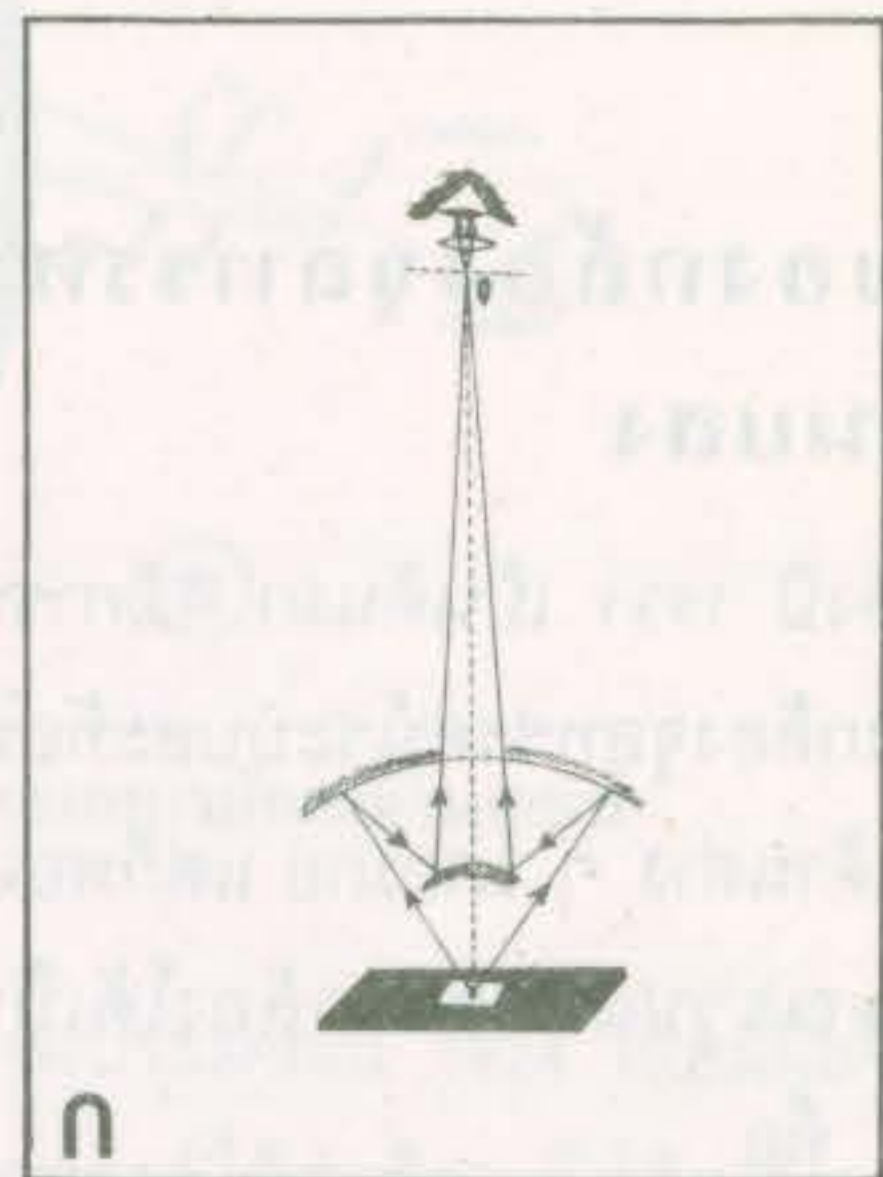
จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ดังแสดงในรูปที่ 6⁵ และรูปที่ 7^{3,6}

3. solid objectives กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงลักษณะนี้ ประกอบด้วยผิวสะท้อนแสงจำนวนมาก ตัวกลางระหว่างผิวสะท้อนแสงไม่ใช่อากาศ อาจเป็นแก้วควอทซ์หรือสารอื่น ๆ ตามชนิดของงานที่จะใช้ ในอนาคตคาดกันว่า การพัฒนากล้องจุลทรรศน์ให้มีความยาวสูง ๆ จะต้องสร้างตามแนวความคิดนี้ ซึ่งไม่ทราบว่า กลุ่มนักประดิษฐ์ชาวรัสเซียใช้ระบบเช่นนี้หรือไม่ นักวิทยาศาสตร์ที่มีผลงานการศึกษาและดัดแปลง ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น D.D.Maksutov (1932), D.G. Wynne (1952), A.Bouwer (1952) ฯลฯ (ตัวอย่างของกล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง ที่จัดอยู่



รูปที่ 6 กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง ตามวิธีของ D.R.Burch เป็นแบบที่เหมาะสมสำหรับงานด้านสเปกโทรสโกปี objective ประกอบด้วยกระจกเว้ารูปทรงรี (มีรูตรงกลาง) และกระจกนูนทรงกลม วัตถุอยู่ด้านซ้ายมือดังรูป ตามวิธีนี้สามารถลดค่าความคลาดทรงกลมและโคมาได้ถ้าแผ่นกระจกได้ถูกต้อง ยังมีความคลาดเอียงเหลืออยู่บ้างซึ่งแก้ได้โดยลดค่า N.A. นำไปใช้ได้ภายในย่าน UV ถือเป็น UV-microscope ซึ่งจะสะดวกตอนปรับโฟกัส สามารถปรับโฟกัสโดยใช้แสงที่ตามองเห็นก่อน แล้วสามารถใช้กับ UV ได้เลยไม่ว่าจะเปลี่ยนค่าความยาวคลื่นของ UV เป็นเท่าใด โดยไม่ต้องปรับโฟกัสใหม่ ตามรูปเป็นระบบที่ใช้ LiF แสดงว่าใช้กับสเปกตรัมในย่าน 200 nm-100 nm (UV) (ดัดแปลงจาก Johnson, B.K., 1960)

ในกลุ่มนี้ ไม่ได้นำมาแสดงไว้ เพราะยังไม่มีรายละเอียดเพียงพอ)



รูปที่ 7 กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง ตามวิธีของ K.Schwarzschild ซึ่งเป็นแบบที่ใช้กันมากในงานทางจุลทรรศน์วิทยา (microscopy) รูป ก. แสดงรูปแนวทางเดินแสงภายใน objective ซึ่งประกอบด้วยกระจก 2 แผ่น แผ่นแรกเป็นกระจกเว้า แผ่นที่สองเป็นกระจกนูน แสงจากวัตถุตกกระทบบนที่กระจกเว้าสะท้อนมายังกระจกนูน และสะท้อนจากกระจกนูนผ่านรูตรงกลางของกระจกเว้า ไปทำให้เกิดภาพที่จุด Q อาจจะใช้เลนส์ใกล้ตามองหรือใช้ฉากรับภาพหรือใช้ฟิล์มเมื่อต้องการถ่ายภาพก็ได้ รูป ข. เป็นรูปกล้องจุลทรรศน์ที่สร้างตามวิธีของ K.Schwarzschild⁶ (ดัดแปลงจาก Meyer-Arendt, J.R., 1984 และ G.L.Clark, 1961)

สรุป

จุดเด่นของกล้องจุลทรรศน์ระบบสะท้อนแสงคือ

1. เป็นระบบที่ไม่มีความคลาดรังค์ ทำให้มีการใช้ระบบนี้กับแสงที่ตามองเห็นในยุคแรก ๆ ก่อนพบวิธีสร้างเลนส์อรงค์
2. เป็นระบบที่มีระยะห่างระหว่างวัตถุกับ objective ยาวกว่าระบบหักเหแสง จึงมีผู้นำกล้องจุลทรรศน์ระบบนี้ไปใช้ในการตรวจสอบโลหะที่อยู่ในเตาหลอม
3. ธรรมชาติของผิวสะท้อนแสง ภาพที่ได้ไม่ขึ้นกับความยาวคลื่นแสง นั่นคือ เราสามารถขยายขอบเขตการใช้งานไปในย่าน UV หรือ IR ได้ และในปัจจุบันยังใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงในงานด้าน microspectrometry ในย่าน IR และ UV และงานทางด้าน UV - micro-photography

จุดอ่อนของระบบนี้คือ

1. ผิวสะท้อนแสงที่เป็นโลหะโดยมากมีค่าของการสะท้อนลดลงอย่างรวดเร็ว ในสเปกตรัมย่านที่มีความยาวคลื่นสั้น ๆ ดังนั้น ถ้าใช้งานด้านการถ่ายรูป จึงต้องใช้เวลากำนาน (exposure time มีค่ามาก)
2. กระจกสะท้อนตัวที่สอง (ตัวเล็ก) ก่อให้เกิดการเลี้ยวเบนรบกวนภาพที่เกิดขึ้นได้
3. ทำยาก เพราะผิวสะท้อนแสงที่ดีจะมีค่า tolerance น้อยมาก คือ ผิวสะท้อนแสงที่ดีจะต้องมีความแม่นยำสูงมาก ทำให้การสร้างยากขึ้นเป็นเงาตามตัว ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ระบบนี้ไม่แพร่หลายเท่าใดนัก จะมีใช้ก็เพียงแต่ในงานที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จริง ๆ

คือ เป็นงานที่ใช้ระบบหักเหธรรมดาทั่ว ๆ ไปไม่ได้ หรือหาสารที่จะมาใช้ทำเป็นเลนส์ได้ยาก เช่น ในย่านสเปกตรัม UV และ IR เป็นต้น

ที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นว่า กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง เป็นตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์อันหนึ่งที่มีลำดับการคิดค้น พัฒนา และดัดแปลงเป็นที่น่าศึกษา น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง

บรรณานุกรม

1. Longhurst, R.S., Geometrical and Physical Optics, 3rd, ed., Longman, Hong Kong, 1978, pp. 69-70, 421
2. Smith, W.J., Modern Optical Engineering, McGraw-Hill, New York, 1966, pp. 367-368
3. Meyer - Arendt, J.R., Introduction to Classical and Modern Optics, 2nd., ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1984, pp. 166-168
4. Robertson, J.K., Introduction to Optics, 2nd ed., Van Nostrand, New York, 1963, pp. 218-219
5. Johnson, B.K., Optics and Optical Instrument, Dover Publication, Inc., New York, 1960, pp. 104-105
6. Parker, S.P., editor, Concise Encyclopedia of Science & Technology, McGraw-Hill, New York, 1984., p. 1469
7. Clark, G.L., editor, the Encyclopedia of Microscopy, Reinhold Publishing Corp., New York, 1961, pp. 454-464
8. Tolansky, S., Revolution in Optics, Penquin books, 1968

การวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลขหรือข้อมูลที่สามารถวัดค่าได้ โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์เชิงปริมาณจะเกี่ยวข้องกับการใช้วิธีการทางสถิติเพื่อสรุปผลจากข้อมูลที่ได้มา การวิเคราะห์เชิงปริมาณสามารถทำได้ทั้งในระดับข้อมูลดิบและในระดับข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลแล้ว

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงบรรยายหรือข้อมูลที่ไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง การวิเคราะห์เชิงคุณภาพจะเกี่ยวข้องกับการใช้วิธีการทางเนื้อหา (Content Analysis) เพื่อสรุปผลจากข้อมูลที่ได้มา การวิเคราะห์เชิงคุณภาพสามารถทำได้ทั้งในระดับข้อมูลดิบและในระดับข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลแล้ว

การวิเคราะห์เชิงปริมาณและการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเป็นวิธีการที่互补กัน การวิเคราะห์เชิงปริมาณจะช่วยให้เราเห็นภาพรวมของข้อมูล ในขณะที่การวิเคราะห์เชิงคุณภาพจะช่วยให้เราเข้าใจความหมายและบริบทของข้อมูล

1. Longman, R.S. *Quantitative and Qualitative Research Methods*. London: Longman, 1980. pp. 88-92.

2. Smith, W.J. *Qualitative Research Methods*. New York: McGraw-Hill, 1985. pp. 100-105.

3. Krippner, H. *Content Analysis: An Introduction to its Methodology*. New York: McGraw-Hill, 1956. pp. 100-105.

4. Krippner, H. *Content Analysis: An Introduction to its Methodology*. New York: McGraw-Hill, 1956. pp. 100-105.

5. Krippner, H. *Content Analysis: An Introduction to its Methodology*. New York: McGraw-Hill, 1956. pp. 100-105.

6. Krippner, H. *Content Analysis: An Introduction to its Methodology*. New York: McGraw-Hill, 1956. pp. 100-105.

7. Krippner, H. *Content Analysis: An Introduction to its Methodology*. New York: McGraw-Hill, 1956. pp. 100-105.

8. Krippner, H. *Content Analysis: An Introduction to its Methodology*. New York: McGraw-Hill, 1956. pp. 100-105.

9. Krippner, H. *Content Analysis: An Introduction to its Methodology*. New York: McGraw-Hill, 1956. pp. 100-105.

10. Krippner, H. *Content Analysis: An Introduction to its Methodology*. New York: McGraw-Hill, 1956. pp. 100-105.

การวิเคราะห์เชิงปริมาณและการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเป็นวิธีการที่互补กัน การวิเคราะห์เชิงปริมาณจะช่วยให้เราเห็นภาพรวมของข้อมูล ในขณะที่การวิเคราะห์เชิงคุณภาพจะช่วยให้เราเข้าใจความหมายและบริบทของข้อมูล

การวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลขหรือข้อมูลที่สามารถวัดค่าได้ โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์เชิงปริมาณจะเกี่ยวข้องกับการใช้วิธีการทางสถิติเพื่อสรุปผลจากข้อมูลที่ได้มา การวิเคราะห์เชิงปริมาณสามารถทำได้ทั้งในระดับข้อมูลดิบและในระดับข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลแล้ว

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงบรรยายหรือข้อมูลที่ไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง การวิเคราะห์เชิงคุณภาพจะเกี่ยวข้องกับการใช้วิธีการทางเนื้อหา (Content Analysis) เพื่อสรุปผลจากข้อมูลที่ได้มา การวิเคราะห์เชิงคุณภาพสามารถทำได้ทั้งในระดับข้อมูลดิบและในระดับข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลแล้ว

การวิเคราะห์เชิงปริมาณและการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเป็นวิธีการที่互补กัน การวิเคราะห์เชิงปริมาณจะช่วยให้เราเห็นภาพรวมของข้อมูล ในขณะที่การวิเคราะห์เชิงคุณภาพจะช่วยให้เราเข้าใจความหมายและบริบทของข้อมูล

โครงสร้างนี้อาจจะถือว่าเป็นกองของแผ่นบางต่าง ๆ (stack of sheets) การจัดตัวของโมเลกุลในแต่ละแผ่นจะเหมือนกับในผลึกเหลวนี้มาติกคือแกนยาวของโมเลกุลในแต่ละแผ่นจะขนานกับ director แต่ director จะจัดตัวต่างกันในแต่ละแผ่นที่อยู่ติด ๆ กัน เมื่อผ่านจากแผ่นหนึ่งไปยังอีกแผ่นหนึ่ง director จะหมุนต่อเนื่องเป็นแบบตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งขึ้นกับนัยของการหมุนเวียนของสารประกอบที่มีคุณสมบัติไวต่อแสงที่กำลังสังเกตอยู่ จึงทำให้เกิดฮีลิกซ์ขึ้น โดยที่แกนของฮีลิกซ์คือแกน Z ในรูปที่ 2 ระยะช่วงเกลียว (P) ของโครงสร้างก็คือระยะทางที่ director เคลื่อนที่ไปเป็นมุมเท่ากับ 2π

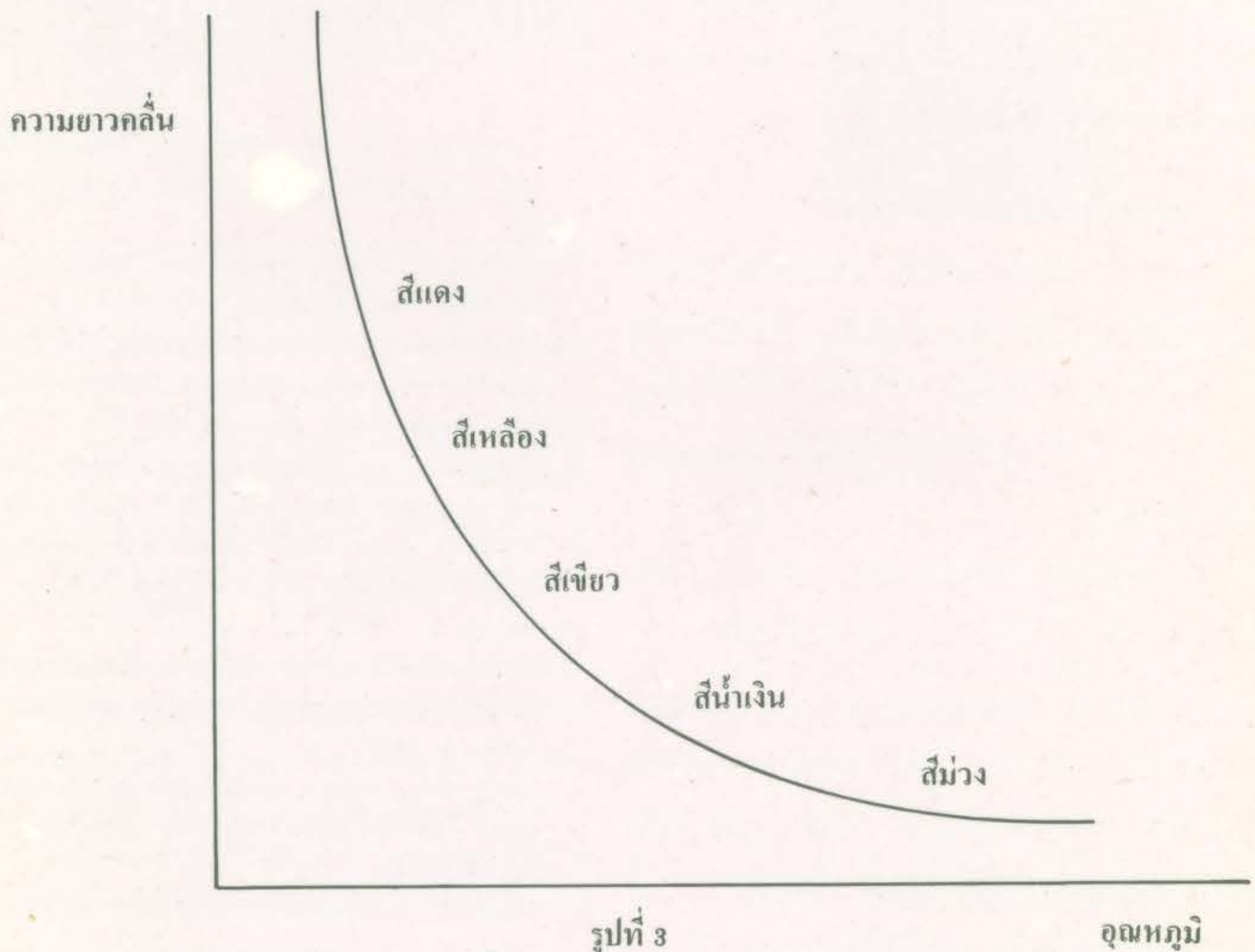
เมื่อแกนของฮีลิกซ์วางตัวขนานกับรังสีตกกระทบ แผ่นบาง ๆ ของผลึกเหลวคอเลสเทอริก

จะประพฤติตัวเป็นแบบเกรตติงที่มีการแทรกสอดหลาย ๆ ชั้น และจะเลือกสะท้อนรังสีตกกระทบ ความยาวคลื่นของรังสีตกกระทบจะสัมพันธ์กับระยะช่วงเกลียวของฮีลิกซ์ ดังสมการ

$$\lambda = \bar{n} P \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ $\bar{n}$ คือค่าดัชนีหักเหเฉลี่ย

ดังนั้น รังสีที่สะท้อนอาจจะเปลี่ยนสีผ่านสเปกตรัม รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากสีม่วงเป็นสีแดง เมื่อระยะช่วงเกลียวของฮีลิกซ์เพิ่มขึ้น ถ้าอุณหภูมิลดลง ดังรูปที่ 3 โดยทั่ว ๆ ไประยะช่วงเกลียวของโครงสร้างผลึกเหลวคอเลสเทอริกเท่ากับ 0.2 - 20 ไมโครเมตร



รูปที่ 3

อุณหภูมิ

ตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ที่แสดงวัฏภาคผลึกเหลวชนิดต่าง ๆ พร้อมทั้งอุณหภูมิทรานสิชัน (transition. temperature) ระหว่างวัฏภาคต่าง ๆ เป็นองศาเซนติเกรด แสดงไว้ในตารางที่ 1 ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้มีดังนี้

C = ผลึกของแข็ง

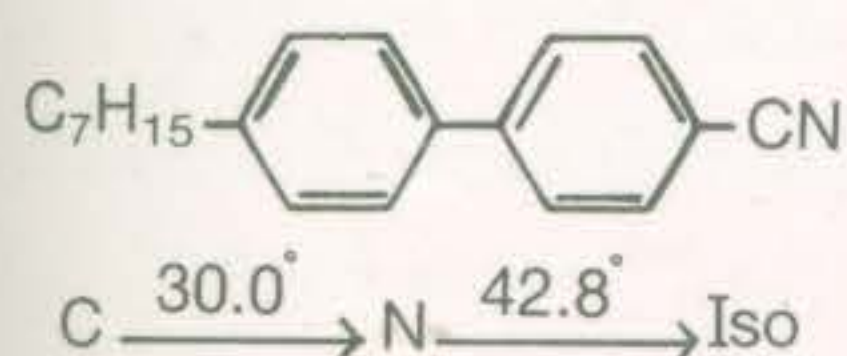
N = นีมาติก

S_A = สเมกติก A

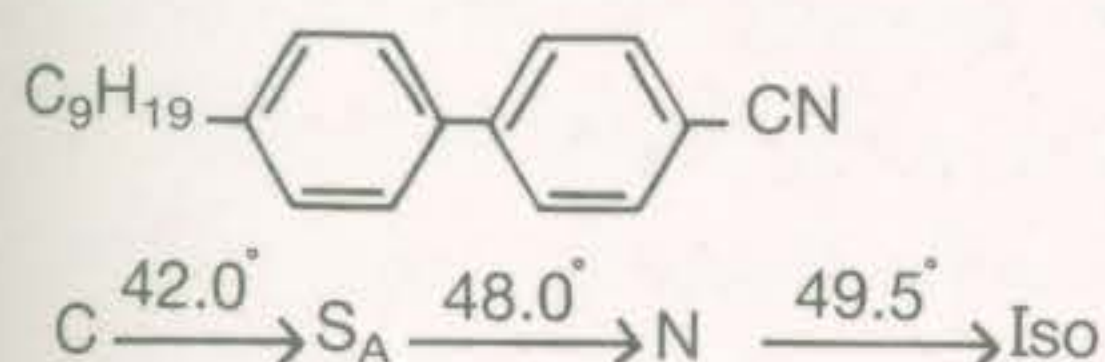
Iso = ของเหลวไอโซทรอปิก

สารประกอบที่แสดงวัฏภาคผลึกเหลว

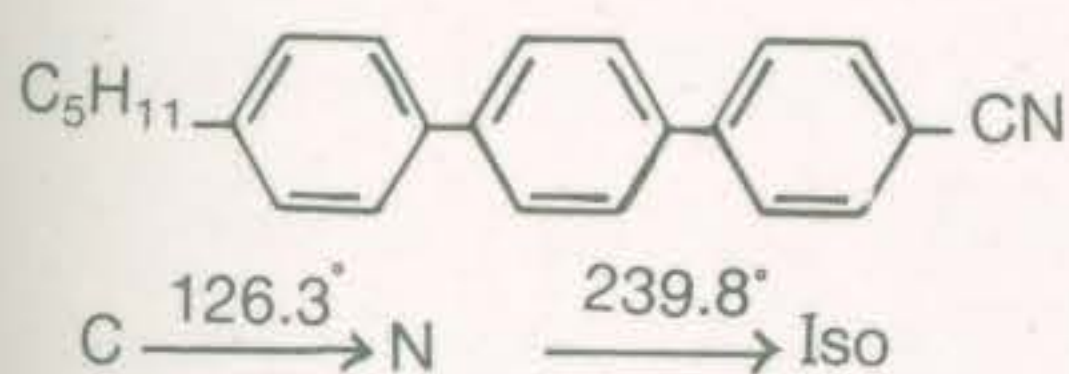
1. 4-Cyano-4'-n-heptylbiphenyl



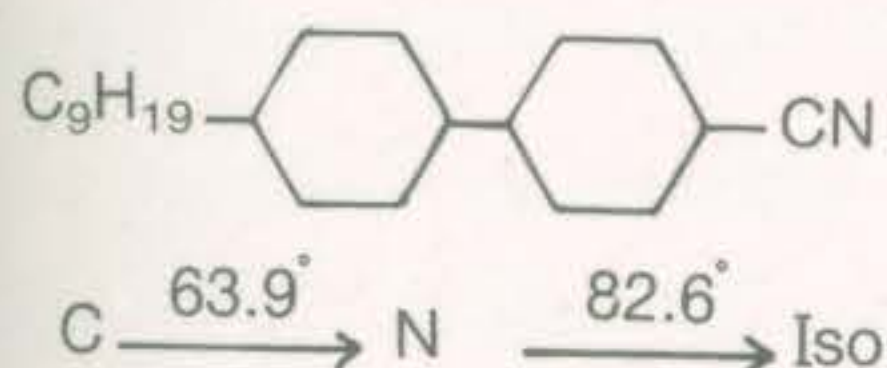
2. 4-Cyano-4'-n-nonylbiphenyl



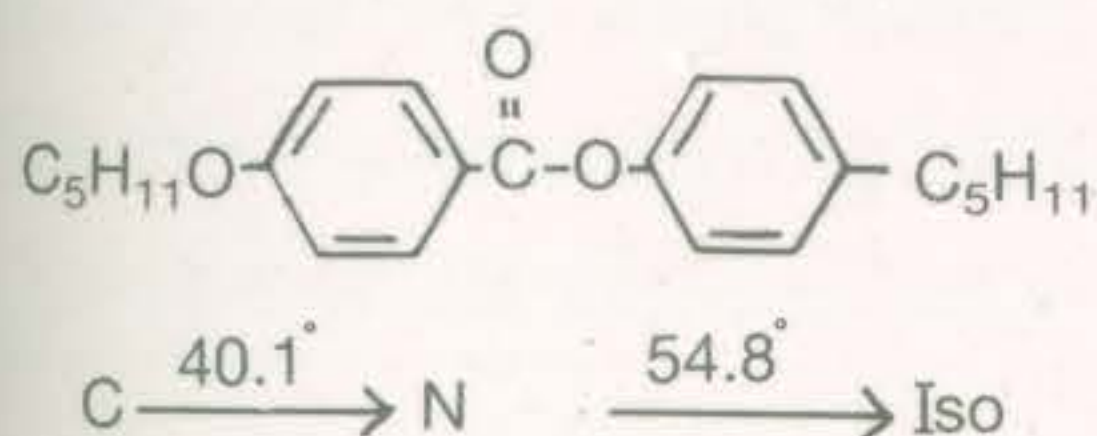
3. 4-Cyano-4''-n-pentyl-p-terphenyl



4. trans-1-n-Nonyl-4-(trans-4'-cyanocyclohexyl)-cyclohexane



5. 4-n-Pentylphenyl-4-n-pentyloxybenzoate



การประยุกต์ใช้ผลึกเหลว (The application of liquid crystals)

เครื่องมือที่แสดงไฟฟ้าทางทัศนศาสตร์ซึ่งใช้ผลึกเหลวมีอยู่หลายชนิด เครื่องมือเหล่านี้จะเปลี่ยนข้อมูลไปเป็นการเสนอข้อมูลที่มองเห็นได้ และมีลักษณะการสร้างที่คล้ายคลึงกัน ในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องมือที่แสดงไฟฟ้าทางทัศนศาสตร์ชนิดนีมาติกแบบบิดเท่านั้น

เครื่องมือที่แสดงไฟฟ้าทางทัศนศาสตร์ชนิดนีมาติกแบบบิด (The twisted nematic electro-optical display device)

ในปัจจุบันนี้เครื่องมือที่แสดงไฟฟ้าทางทัศนศาสตร์ส่วนมากจะเป็นชนิดนีมาติกแบบบิด ลักษณะของเซลล์ประกอบด้วยแผ่นแก้วบาง ๆ 2 แผ่นที่เคลือบผิวด้านในด้วยสารตัวนำไฟฟ้าที่โปร่งใส เช่น SnO₂ หรือ In₂O₃ เพื่อทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า และให้สนามไฟฟ้าผ่านไปได้ ภายหลังที่ทำให้พื้นผิวของขั้วไฟฟ้าเหมาะสม นำแผ่นแก้วทั้ง 2 มาเชื่อมติดเข้าด้วยกันเพื่อบรรจุผลึกเหลวนีมาติก โดยทั่ว ๆ ไปผลึกเหลวที่บรรจุจะมีความหนาประมาณ 12 ไมโครเมตร สำหรับเครื่องมือที่แสดงไฟฟ้าทางทัศนศาสตร์ชนิดนีมาติกแบบบิดซึ่งใช้ผลึกเหลวนีมาติกที่มีค่า dielectric anisotropy เป็นบวก ($\Delta\epsilon > 0$) บรรจุลงในเซลล์ และปรับแนวจนกระทั่งแกนยาวของโมเลกุลขนานกับพื้นผิวของขั้วไฟฟ้าจะมีลักษณะดังรูปที่ 4

dielectric anisotropy มีนิยามดังสมการ

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ $\epsilon_{\parallel}$ และ $\epsilon_{\perp}$ เป็นค่า dielectric permittivities ซึ่งขนานและตั้งฉากกับแกนยาวของโมเลกุลตามลำดับ

Preparation and Properties of Polyimides

The polyimides were prepared by the polycondensation reaction of tetracarboxylic dianhydrides with diamines in the presence of triethylamine as a catalyst. The reaction was carried out in N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) at 180°C for 24 h. The resulting polyimides were then cast into films and annealed at 300°C for 2 h to improve their thermal and mechanical properties.

The polyimides were characterized by their high glass transition temperatures (T_g) and excellent thermal stability. The T_g values of the polyimides ranged from 280 to 320°C, and they all showed 5% weight loss temperatures above 400°C.

The mechanical properties of the polyimide films were also evaluated. The films exhibited high tensile strength and modulus, with elongation at break values ranging from 1.5 to 2.5%. The polyimides were also found to be chemically resistant to various solvents, including tetrahydrofuran (THF), dimethyl sulfoxide (DMSO), and concentrated sulfuric acid.

In conclusion, the polyimides prepared in this study showed promising properties for high-performance applications. Further research is needed to optimize the synthesis and properties of these polymers.

The polyimides were prepared by the polycondensation reaction of tetracarboxylic dianhydrides with diamines in the presence of triethylamine as a catalyst. The reaction was carried out in N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) at 180°C for 24 h.

The resulting polyimides were then cast into films and annealed at 300°C for 2 h to improve their thermal and mechanical properties. The polyimides were characterized by their high glass transition temperatures (T_g) and excellent thermal stability.

The T_g values of the polyimides ranged from 280 to 320°C, and they all showed 5% weight loss temperatures above 400°C. The mechanical properties of the polyimide films were also evaluated. The films exhibited high tensile strength and modulus, with elongation at break values ranging from 1.5 to 2.5%.

The polyimides were also found to be chemically resistant to various solvents, including tetrahydrofuran (THF), dimethyl sulfoxide (DMSO), and concentrated sulfuric acid. In conclusion, the polyimides prepared in this study showed promising properties for high-performance applications. Further research is needed to optimize the synthesis and properties of these polymers.

The polyimides were prepared by the polycondensation reaction of tetracarboxylic dianhydrides with diamines in the presence of triethylamine as a catalyst. The reaction was carried out in N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) at 180°C for 24 h.

The resulting polyimides were then cast into films and annealed at 300°C for 2 h to improve their thermal and mechanical properties.

เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับ

วิตามิน บี 1

(ไทอามีน)

*พหล จิตติยศรา

วิตามินบี 1 เป็นวิตามินที่ไม่มีสี, ไม่มีกลิ่น, ละลายในน้ำและแอลกอฮอล์ การละลายน้ำของวิตามินบี 1 ทำให้สูญเสียวิตามินนี้ได้ง่ายในการประกอบอาหาร เช่น การแช่ข้าวเหนียว, ข้าวขาว, แช่ผักนาน ๆ หรือแช่ผักในน้ำยาโซเดียมไบคาร์บอเนต ขบวนการผลิตอาหารสามารถทำลายวิตามินบี 1 ได้ นอกจากนี้การรักษาโรคบางชนิด สามารถทำลายวิตามินบี 1 ได้เช่นกัน เช่น ยาแก้ท้องร่วง, ยาแก้ไอ, ยาแก้หวัด, ยาลดกรด, ยาช่วยย่อย และยาแอนตี้ไบโอติกบางชนิด เป็นต้น กรณีที่ร่างกายอยู่ในภาวะเครียด หรือเจ็บไข้ หรือได้รับการผ่าตัด ความต้องการวิตามินบี 1 ของร่างกายจะเพิ่มมากขึ้น

วิตามินบี 1 เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ในรูปของไทอามีนไพโรฟอสเฟต (thiamine pyrophosphate) ซึ่งช่วยในกระบวนการสลายตัวของกลูโคสในเซลล์เพื่อให้ได้พลังงาน ถ้าขาดวิตามินบี 1 กลูโคสจะสลายตัวไม่สมบูรณ์ทำให้กรดไพรูวิกจำนวนมากสะสมอยู่ในกระแสโลหิต ทำให้มีผลกระทบกระเทือนต่อระบบประสาทซึ่งอาจทำให้ประสาทเสื่อม นอกจากนี้วิตามินบี 1 ยังช่วยทำ

ให้เจริญอาหารและช่วยในการเคลื่อนไหวของลำไส้ ทำให้การย่อยอาหารเป็นไปอย่างปกติ

อาการของคนขาดวิตามินบี 1 ก็คือ เบื่ออาหาร, อ่อนเพลีย, นอนไม่หลับ, เหนื่อยง่าย, ชาที่นิ้วมือ นิ้วเท้า และเมื่อขาดวิตามินบี 1 รุนแรง ก็จะเป็นโรคเหน็บชา

จากตารางคุณค่าอาหารไทย ปี พ.ศ. 2513 และ พ.ศ. 2527 ของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พอยกตัวอย่างอาหารบางตัวที่มีวิตามินบี 1 จากมากไปน้อย (คิดจากอาหาร 100 กรัม) ดังนี้

ยีสต์แห้ง (6.00 mg), มاکารีน (5.57 mg), เมล็ดทานตะวัน (1.96 mg), ลูกหว้า (1.87 mg), รำข้าว (1.85 mg), ทูเรียนกระดุม (1.08 mg), เมล็ดมะม่วงหิมพานต์คั่ว (1.06 mg), ปลาสด (1.00 mg), งาคั่ว (0.97 mg), กลอยแห้ง (0.85 mg), งาขาวคั่ว (0.83 mg), มันปูทะเล (0.79 mg), เนื้อหมู (0.69 mg), ข้าวโอ๊ต (0.60 mg), ข้าวเสริมวิตามิน (0.60 mg), ไข่เป็ด - ไข่แดง (0.56 mg), เนื้อขนุนอ่อน (0.49 mg), ถั่วลิสงต้มสุก (0.48 mg), เนื้อมะขามหวาน (0.46 mg), เมล็ดบัว - แกะแ่น้ำนิ่ง (0.45 mg), ยอดชะอม (0.33 mg), ยอดกระถิน (0.33 mg), ถั่วลิสงคั่วใส่เกลือ (0.32 mg), หมูหยอง (0.32 mg), ตับไก่ (0.31 mg), พริกขี้หนู - พริกขี้ฟ้า (0.31 mg), ใบยอ (0.30 mg), ตับหมู (0.29 mg),

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ข้าวสาร 100% (0.26 mg), กระเทียม (0.25 mg), เต้าเจี้ยวขาว (0.23 mg), ถั่วเหลืองต้มสุก (0.21 mg), ไข่ไก่ - ไข่แดง (0.21 mg), ปลาดุก (0.20 mg), ขนมหัง (0.16 mg), เนื้อแตงโมสุก (0.16 mg)

ในสลากติดภาชนะใส่อาหารที่จำหน่ายตามท้องตลาด ถ้าได้เติมวิตามินบี 1 ด้วย จะเขียนว่าได้ใส่ thiamine hydrochloride หรือ thiamine mononitrate

ข้าวที่สีด้วยโรงสี จะสูญเสียวิตามินบี 1 มากกว่าข้าวซ้อมมือ ยิ่งสีข้าวหรือขัดข้าวจนเป็นสีนํากินก็ยิ่งสูญเสียวิตามินบี 1 มากขึ้น ฉะนั้นควรกินข้าวซ้อมมือหรือข้าวอนามัย ซึ่งเป็นข้าวที่เติมวิตามินและเกลือแร่อื่น ๆ ที่มีคุณค่าทางวิตามินมาก

ผักบางชนิดมีเอนไซม์ ซึ่งสามารถทำลายวิตามินบี 1 ได้ เช่น ใบชา, เมียง (ใบเมียง), ผักที่มีรสฝาด หรือขมบางชนิด เช่น ผักแว่น, ใบชะพลู, ปลาร้าดิบ หรือปลาบางชนิด แต่ถ้าทำอาหารให้สุกเสียก่อนจะช่วยทำลายสารนี้ได้ เช่น ต้มปลาร้า, ไม่กินปลาดิบ, หลีกเลี่ยงการกินผักสดบางชนิด เป็นต้น

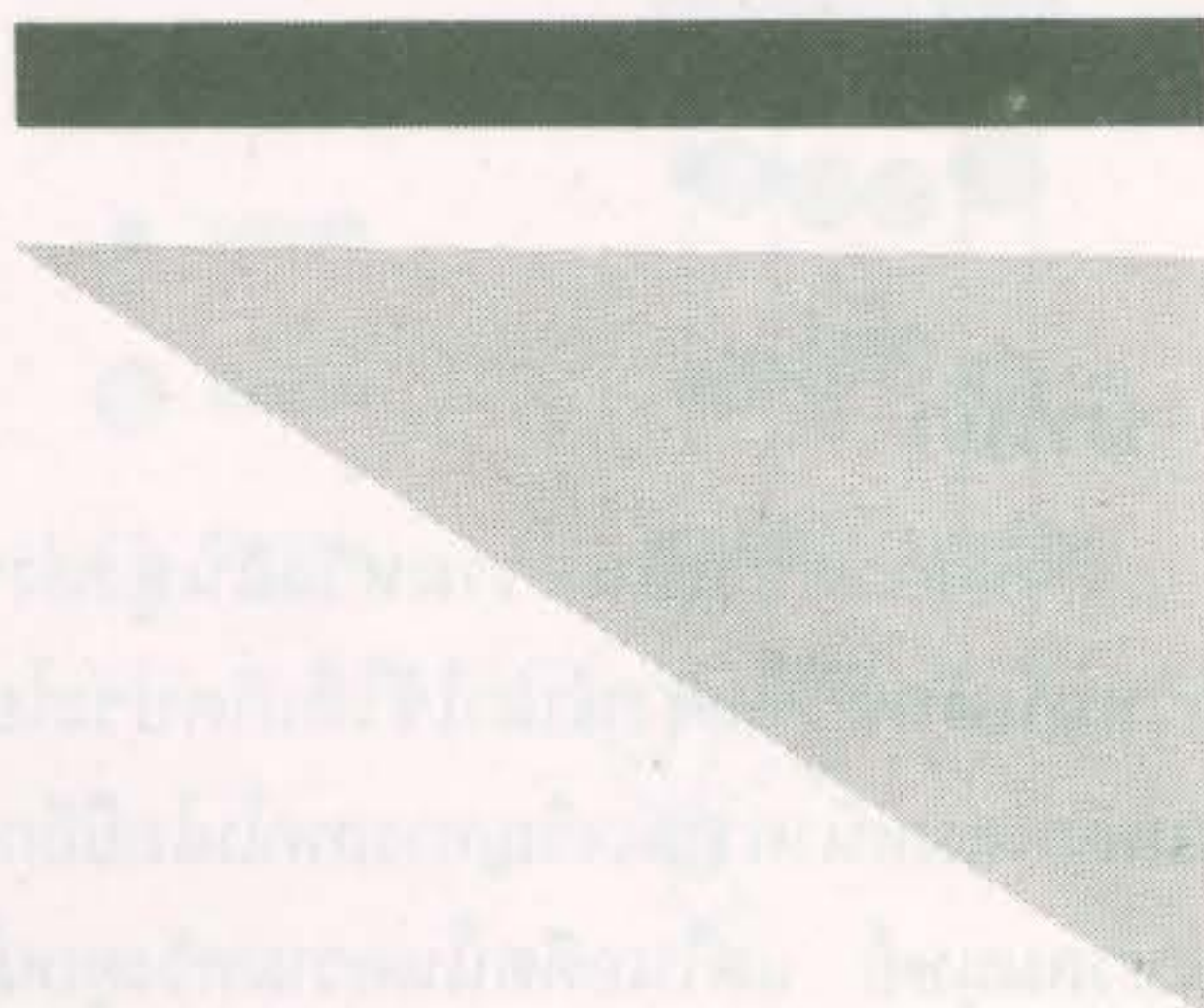
วิตามินบี 1 ละลายในน้ำ ร่างกายจะเก็บไว้ในปริมาณที่จำกัด ถ้าเหลือก็จะถูกขับออกมา ถ้ากินอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตมาก เช่น ข้าวหรือข้าวเหนียว จะต้องกินอาหารที่มีวิตามินบี 1 มากด้วย

วิตามินบี 1, วิตามินบี 2 และวิตามินบี 6 จะออกฤทธิ์ร่วมกัน จึงต้องทานในขนาดที่สมดุลย์กัน การทานวิตามินบี อย่างใดอย่างหนึ่ง จะทำให้มีความต้องการวิตามินอื่น ๆ เพิ่มขึ้น

ความต้องการวิตามินในเด็กและผู้ใหญ่ จะแตกต่างกัน สำหรับเด็กเล็ก ๆ การให้วิตามินแก่เด็กจะน้อยกว่าเด็กโตและผู้ใหญ่ วิตามินบี 1

ที่ให้แก่เด็กโตและผู้ใหญ่ เพื่อให้ได้สุขภาพสมบูรณ์เต็มที่ ตามที่ได้มีการวิจัยมานั้น พบว่ามีค่าประมาณ 10 ถึง 50 mg ต่อวัน

หากบทความที่เขียนมาข้างต้น จะเห็นว่าวิตามินบี 1 เป็นวิตามินที่มีความสำคัญต่อร่างกายไม่น้อย เราท่านทั้งหลายจึงควรคิดอยู่เสมอว่าแต่ละวันนั้นเราได้มีเขาอยู่ในร่างกายของเราเพียงพอแล้วหรือ



เอกสารอ้างอิง

ยุวดี กาญจนขจรจิต. "วิตามินบีหนึ่ง." หน้า 223-224. เอกสารการสอนชุดวิชา วิทยาศาสตร์กับสังคม หน่วยที่ 5-9. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช : บริษัทโปรเฟสชั่นแนลพับลิชชิง จำกัด, 2524.

พ.อ.หญิงศรีนวล เจียจันทร์พงษ์. "วิตามินบีหนึ่ง." หน้า 86 ถึง 89. อาหารและสุขภาพ. เล่ม 18.

ตารางคุณค่าอาหารไทยปี พ.ศ. 2513 และ พ.ศ. 2527 ของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

ตัวนำยวดยิ่ง เซรามิก

* วิทยา อมรกิจบำรุง
* นพปฎล สุทธิศิริ

1. บทนำ

ตัวนำยวดยิ่งเป็นความหวังอันสูงส่งของนักวิทยาศาสตร์ที่หวังนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อพลิกโฉมหน้าความเจริญทางเทคโนโลยีอีกครั้งของมวลมนุษย์ แต่ในอดีตนั้นความหวังดูเหมือนจะเลื่อนลง เพราะว่าเราสามารถทำตัวนำยวดยิ่งให้ใช้งานได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 23 องศาเซลวิน จนกระทั่งเมื่อไม่นานมานี้ ได้มีการค้นพบสภาพนำยวดยิ่งของสารกลุ่ม Y - Ba - Cu - O ซึ่งเป็นสารเซรามิกที่ใช้งานได้ถึงอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลวิน อุณหภูมิระดับนี้ถือว่าเราได้ผ่านจุดวิกฤตอันหนึ่งมาแล้ว คือ สามารถใช้ในโทรเจนเหลวเป็นตัวทำความเย็นให้ตัวนำยวดยิ่งใช้งานได้แทนที่จะเป็นฮีเลียมเหลวเหมือนในอดีต (อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลวประมาณ 77 องศาเซลวิน, อุณหภูมิของฮีเลียมเหลวประมาณ 0 องศาเซลวิน) ขณะนี้นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกกำลังทำการวิจัยเพื่อให้ได้ตัวนำยวดยิ่งที่ใช้งานได้ที่อุณหภูมิของบรรยากาศปกติ

2. ประวัติการวิจัยและพัฒนาตัวนำยวดยิ่ง⁽¹⁾

ในปี ค.ศ. 1911 นักฟิสิกส์ชาวเนเธอร์แลนด์ ชื่อ H. Kamerlingh Onnes เป็นคนแรกที่ค้นพบสถานะนำไฟฟ้ายวดยิ่งของปรอท โดยแช่ปรอทในฮีเลียมเหลวและวัดความต้านทานของปรอทพบว่าที่อุณหภูมิประมาณ 4.2 องศาเซลวิน ค่าความต้านทานลดลงสู่ศูนย์ซึ่งต่อมาเรียกว่าอุณหภูมิวิกฤต (critical temperature ย่อว่า T_c) การที่ค่าความต้านทานลดลงสู่ศูนย์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต ทำให้สารนั้นเป็นตัวนำอย่างสมบูรณ์ Onnes ได้ทดลองกับตะกั่วและดีบุกก็ได้ผลเช่นเดียวกัน

หลังจากนั้นก็ได้มีการค้นคว้าและพัฒนาตัวนำยวดยิ่งมาตามลำดับ โดยในปี ค.ศ. 1954 พบว่าสารประกอบ V_3Si มี $T_c \sim 17.1^\circ K$, สารประกอบ Nb_3Sn มี $T_c \sim 18.6^\circ K$ อีกเกือบ 20 ปีต่อมา คือ ในปี ค.ศ. 1975 ค้นพบสารประกอบ Nb_3Ge มี $T_c \sim 23^\circ C$ ต่อมาการวิจัยและพัฒนาสารตัวนำยวดยิ่งไม่ค่อยก้าวหน้าเท่าที่ควร เพราะ

* อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายต่างเชื่อว่าสารที่จะเป็นตัวนำยวดยิ่งต้องอุณหภูมิต่ำมากเท่านั้น การพัฒนาสารตัวนำยวดยิ่งจึงหยุดชะงักลง

เมื่อปีกลายนี้ อาจถือได้ว่าการพัฒนาสารตัวนำยวดยิ่งในยุคใหม่ได้เริ่มแล้ว คือ ราวต้นเดือนธันวาคม ค.ศ. 1986 C.W. Chu และผู้ร่วมงานแห่งมหาวิทยาลัย Houston สหรัฐอเมริกา ได้รายงานความสำเร็จในการทำสารตัวนำยวดยิ่งที่อุณหภูมิ $\sim 70^\circ \text{K}$ โดยเป็นสารกลุ่ม La-Ba-Cu-O ต่อมาในเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 1987 C.W. Chu ก็ได้ประสบความสำเร็จในการทำตัวนำยวดยิ่งที่อุณหภูมิ $\sim 98^\circ \text{C}$ ซึ่งเป็นสารกลุ่ม Y-Ba-Cu-O ซึ่งจะได้กล่าวถึงวิธีเตรียม ตลอดจนการตรวจสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารกลุ่มนี้ต่อไป

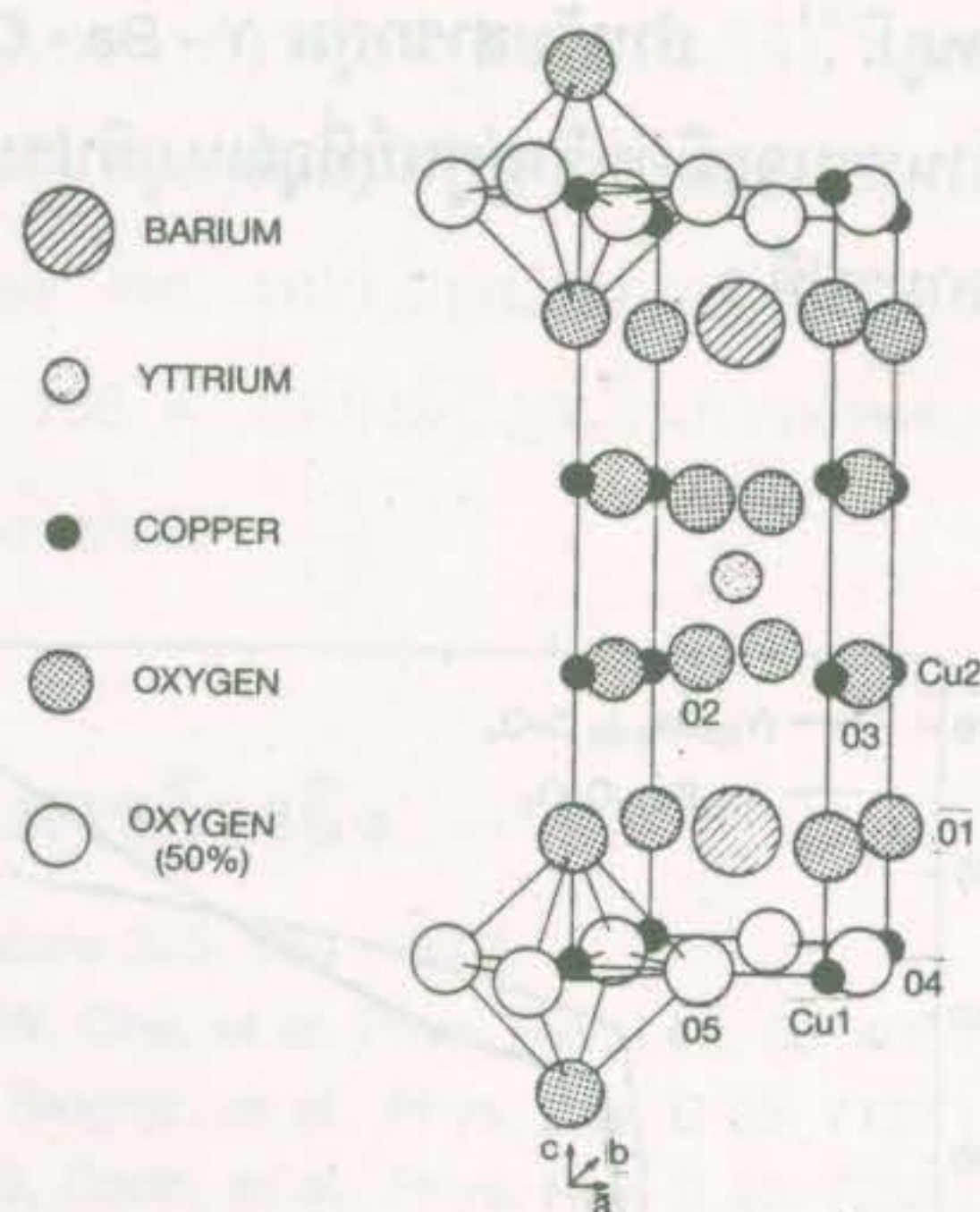
3. วิธีเตรียมสารกลุ่ม Y-Ba-Cu-O⁽²⁾

นำผงละเอียดเป็นแป้งของ Y_2O_3 , BaCO_3 และ CuO ที่มีความบริสุทธิ์ 99.999% มาผสมกันตามอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้นนำมาเผาให้ร้อนที่อุณหภูมิ 900°C ในก๊าซออกซิเจน เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง นำมาบดแล้วนำไปเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิและเวลาเท่าเดิม นำสารตัวอย่างที่ได้มาวัดเป็นแผ่นกลม หนาประมาณ 1 - 2 มม. นำแผ่นสารตัวอย่างที่ได้มาเผาในอากาศที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิห้องภายในเวลา 8 ชั่วโมง

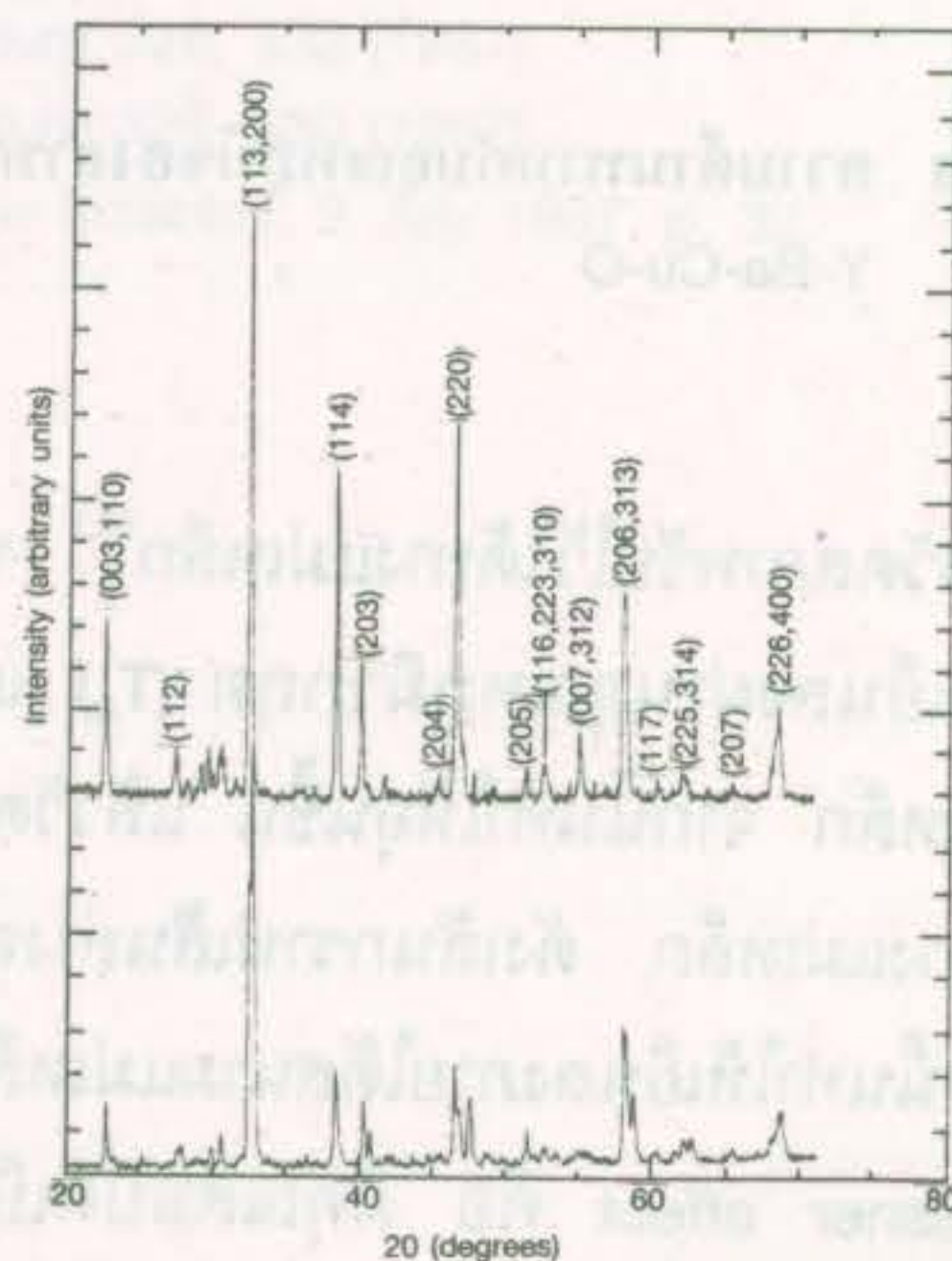
4. โครงสร้างผลึกของสารกลุ่ม Y-Ba-Cu-O

จากการศึกษาโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่าโครงสร้างผลึกของตัวนำยวดยิ่งกลุ่มใหม่นี้ประกอบด้วยหลายโครงสร้างปนกันอยู่ จึงยังไม่แน่นอนว่าโครงสร้างแบบไหนที่มีผลต่อ

คุณสมบัติความเป็นตัวนำยวดยิ่ง แต่พบว่าในสารตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ มีโครงสร้างแบบ distorted perovskite ที่มีออกซิเจนเป็น defect เป็นส่วนมาก ตามรูปที่ 1⁽³⁾ แสดง unit cell ของ $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_7$ และรูปที่ 2⁽⁴⁾ แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ $\text{Ba}_{0.4}\text{Y}_{0.1}\text{Cu}_{0.5}\text{O}_x$ (ภาพบน) และ $\text{Ba}_{0.3}\text{Y}_{0.3}\text{Cu}_{0.4}\text{O}_x$ (ภาพล่าง)



รูปที่ 1 unit cell ของ $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_7$

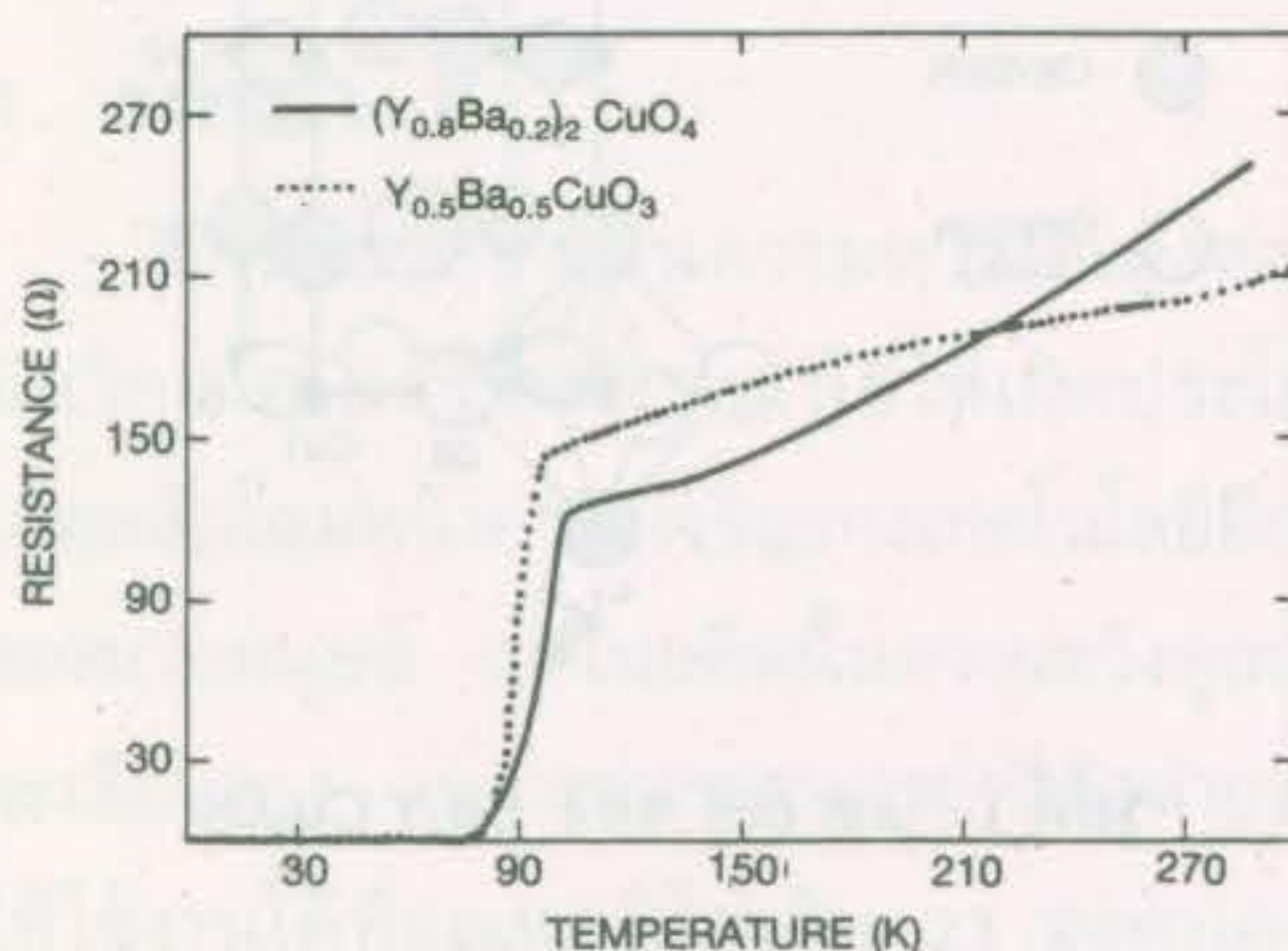


รูปที่ 2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ $\text{Ba}_{0.4}\text{Y}_{0.1}\text{Cu}_{0.5}\text{O}_x$ (ภาพบน) และ $\text{Ba}_{0.3}\text{Y}_{0.3}\text{Cu}_{0.4}\text{O}_x$ (ภาพล่าง)

5. คุณสมบัติของตัวนำยวดยิ่ง

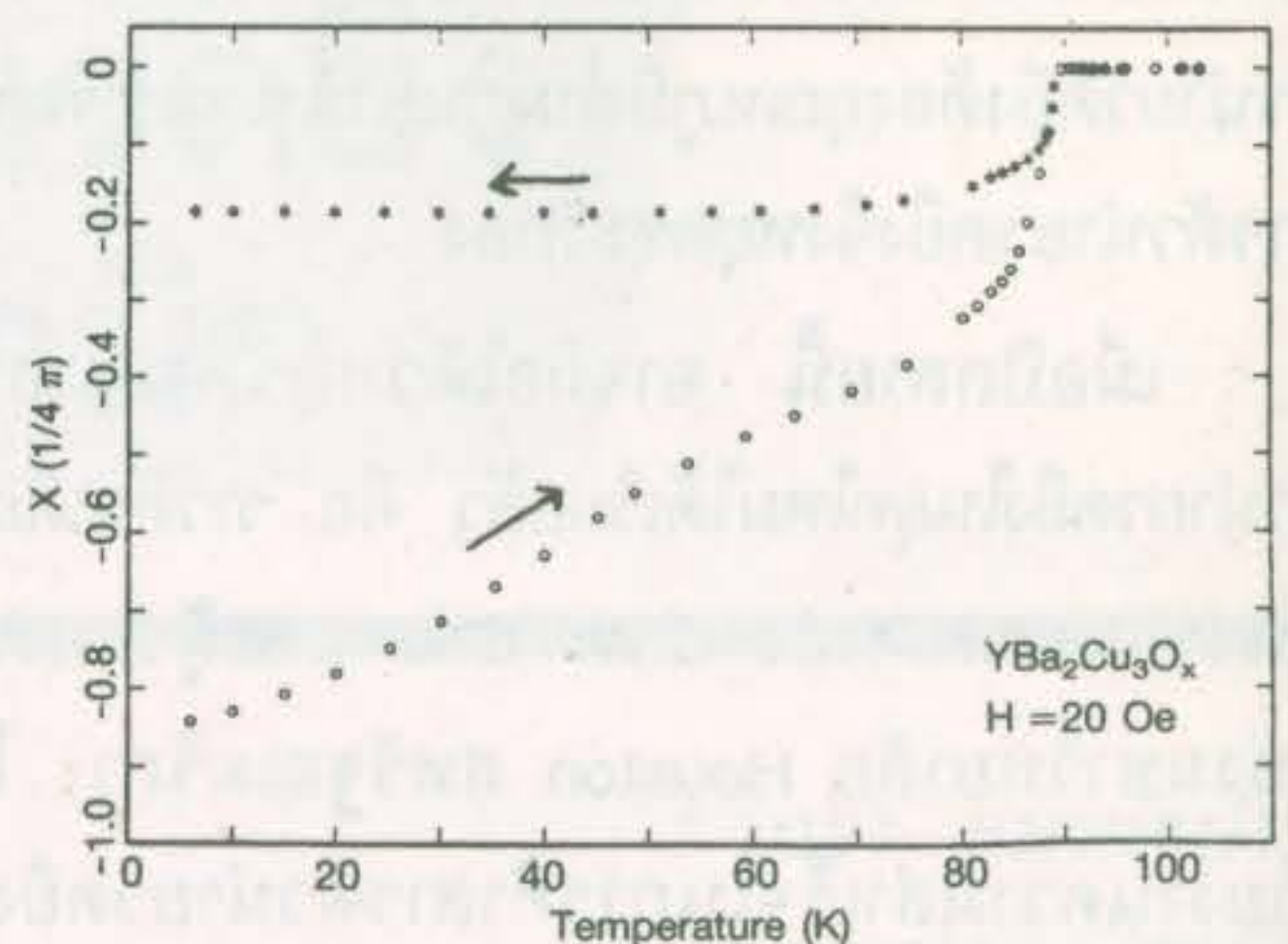
คุณสมบัติที่ได้มีการทดสอบความเป็นตัวนำยวดยิ่ง ได้แก่ สภาพต้านทาน (resistivity) สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) และความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ (I - V characteristic)

อาศัยเทคนิค 4 ขั้ว วัดความต้านทานเทียบกับอุณหภูมิ⁽⁵⁾ สำหรับสารกลุ่ม Y - Ba - Cu - O ความต้านทานจะมีค่าเข้าสู่ศูนย์ที่อุณหภูมิประมาณ 90° K ตามรูปที่ 3

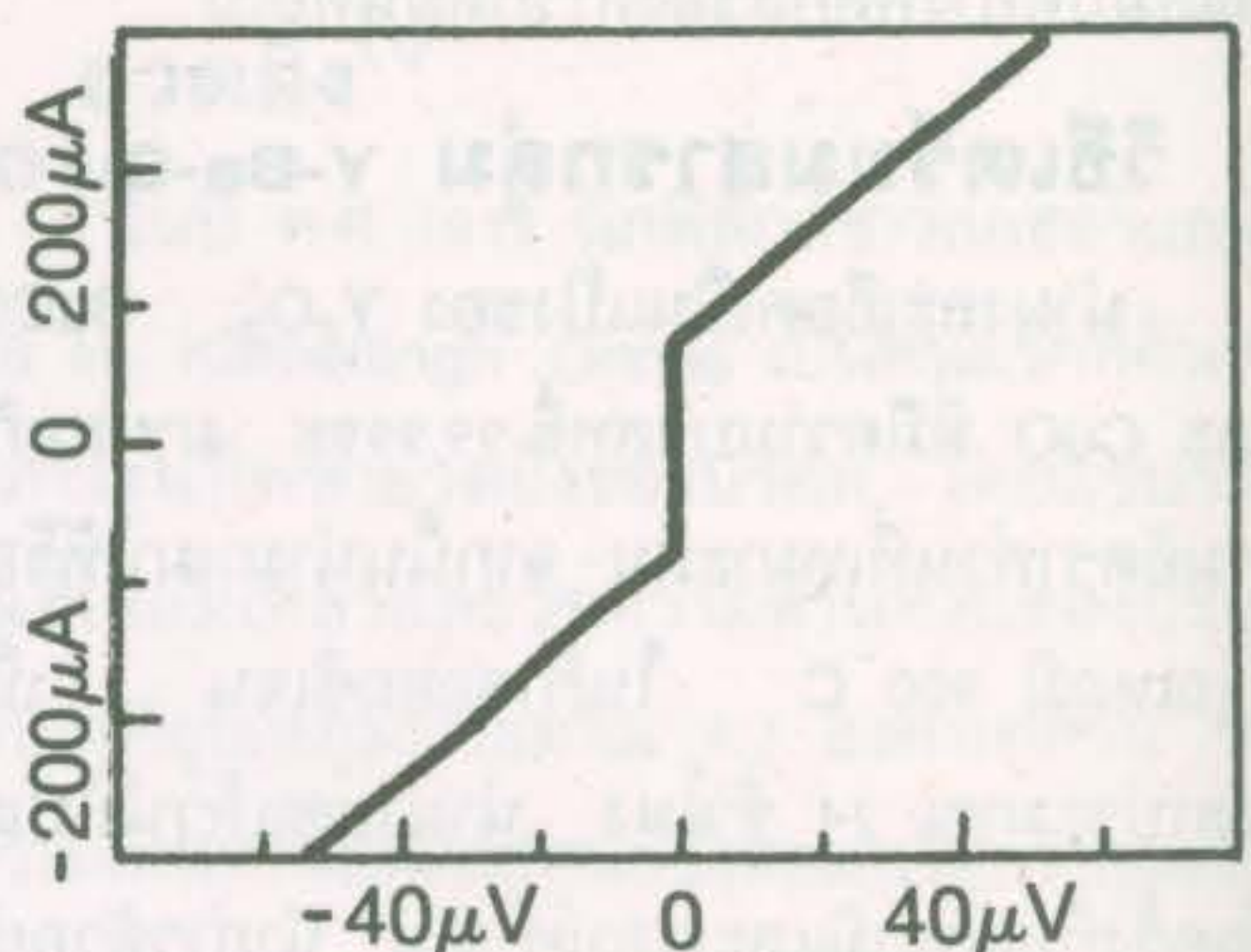


รูปที่ 3 ความต้านทานกับอุณหภูมิของสารกลุ่ม Y-Ba-Cu-O

การวัดสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก⁽⁶⁾ ทำโดยการทำใหเย็นลงผ่านอุณหภูมิวิกฤต (T_c) แล้วใส่สนามแม่เหล็ก จากนั้นทำให้อุ่นขึ้น แล้ววัดสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก ดังเส้นกราฟเส้นล่างตามรูปที่ 4 จากนั้นทำใหเย็นลงภายใต้สนามแม่เหล็กก็จะพบ Meissner effect คือ มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็กแบบไดอะที่สมบูรณ์ (perfect diamagnetism) โดยไม่ยอมให้สนามแม่เหล็กผ่าน ดังเส้นกราฟเส้นบนตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 สภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก กับอุณหภูมิ, กราฟเส้นล่างแสดง diamagnetic shielding, กราฟเส้นบนแสดง Meissner effect



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่แสดง Josephson effect

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์⁽⁷⁾ ของ Nb/Y-Ba-Cu-O junction ที่อุณหภูมิ 4.2° K แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งแสดง Josephson effect คือ เป็นปรากฏการณ์ tunneling ของ superconduction electron pairs จากตัวนำยวดยิ่งอันหนึ่งไปสู่ตัวนำยวดยิ่งอีกอันหนึ่ง ทั้ง ๆ ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กระหว่างตัวนำยวดยิ่งทั้งสอง

6. สรุปและรายงานความก้าวหน้า

การที่สารตัวนำยวดยิ่ง มีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้จะเป็นประโยชน์อย่างมหาศาลในการใช้เป็นสายส่งกระแสไฟฟ้าแรงสูง ด้านสนามแม่เหล็กความเข้มสูง หรือในด้าน large scale integrated circuits เพราะว่าจะไม่มีการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อน เนื่องจากไม่มีความต้านทาน จึงได้มีการพัฒนาและค้นหาสารตัวนำยวดยิ่งที่มีค่าอุณหภูมิวิกฤตไม่ต่ำมากจนกระทั่งต้องใช้ฮีเลียมเหลวเป็นตัวทำความเย็น อย่างน้อยก็ควรสามารถใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นตัวทำให้สารเป็นสารตัวนำยวดยิ่งได้ ถ้าจะให้ดีจริง ๆ ก็ควรเป็นสารที่แสดงคุณสมบัตินำไฟฟ้ายวดยิ่งที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาตัวนำยวดยิ่งจึงทำกันอย่างกว้างขวาง เช่น ในสหรัฐ ญี่ปุ่น อังกฤษ จีน อินเดีย ดังรายงานความก้าวหน้าดังนี้⁽⁸⁾

Argonne National Laboratory ที่ Illinois, สหรัฐสามารถทำสารตัวนำยวดยิ่งให้เป็นเส้นได้ โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ~ 0.2 มม.

บริษัท Toshiba Corporation, ญี่ปุ่นสามารถทำเป็นเส้นได้ โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ~ 0.6 มม. และทำเป็นเทปได้กว้าง ~ 5 มม. หนา ~ 0.1 มม.

บริษัท Matsushita Electric Industrial Company, ญี่ปุ่นประสบความสำเร็จในการทำตัวนำยวดยิ่งเป็น monocrystal ceramic film

บริษัท Mitsubishi Electric Corporation, ญี่ปุ่น⁽⁹⁾ ทำสารตัวนำยวดยิ่งเป็นแผ่นจาน มีความหนาแน่นของกระแสยวดยิ่งถึง 200 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร

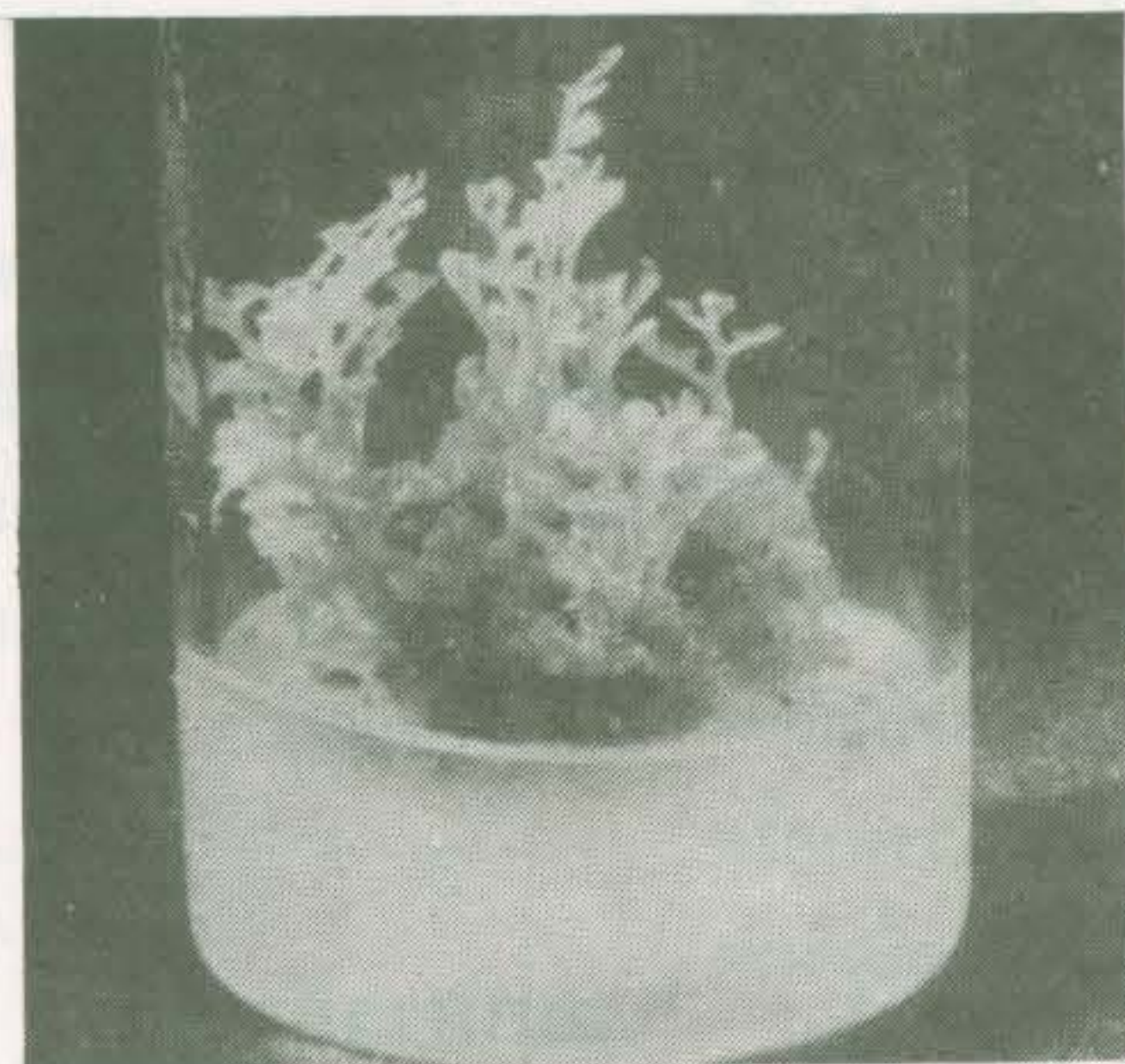
และรายงานล่าสุดของทีมีวิจัย Michigan, Stanford Ovshinsky⁽¹⁰⁾ และ Energy Conversion Devices Inc. พบว่าสารประกอบ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{F}_2\text{O}_y$ มี $T_c \sim 155^\circ \text{K}$ แต่ยังมีปัญหาในการทำทดลองซ้ำ (reproducible)

เอกสารอ้างอิง

1. Nature 325, 664 (1987).
2. C.W. Chu, et al. Phys. Rev. Lett. 58, 405 (1987).
3. T. Siegrist, et al., Phys. Rev. B 35, 7137 (1987).
4. S.B. Qadri, et al., Phys. Rev. B 35, 7235 (1987).
5. J.Z. Sun, et al., Phys. Rev. Lett. 58, 1574 (1987).
6. P.M. Grant, et al., Phys. Rev. B 35, 7242 (1987).
7. J.S. Tsai, Y. Kubo and J. Tabuchi Phys. Rev. Lett. 58, 1979 (1987).
8. Nature 326, 533 (1987).
9. Nature 326, 630 (1987).
10. New Scientist, 2 July 1987, p. 32.

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเฟิร์นราชินีใน หลอดทดลอง

(In Vitro Culture of *Nephrolepis exaltata* L.)



* บุญยี่น กิจวิจารณ์

บทคัดย่อ

เฟิร์นเป็นพืชที่สร้างสปอร์ซึ่งสามารถเจริญได้ในพื้นที่ต่าง ๆ แตกต่างกันตั้งแต่ที่ชื้นจนถึงที่แห้งแล้ง เฟิร์นราชินี (*Nephrolepis exaltata* L.) เป็นพืชประดับชนิดหนึ่งที่มีลักษณะสวยงามและปลูกในที่ร่มเงาภายในอาคารบ้านเรือน การขยายพันธุ์เฟิร์นอาศัยจากไรโซม (rhizome) จะได้จำนวนน้อยและช้า การขยายพันธุ์โดยนำเอาก้านใบอ่อนของเฟิร์น (Circinate leaf) มาเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Murashige และ Skoog ที่มี NAA 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร และ BA 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำมะพร้าว 15 เปอร์เซ็นต์ อยู่ภายใต้สภาวะควบคุมได้รับความเข้มของแสง 3,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 25 - 27 องศาเซลเซียส สามารถทำให้เกิดต้นเป็นจำนวนมากภายในเวลา 12 - 16 สัปดาห์ การขยายพันธุ์โดยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนี้สามารถนำไปใช้ขยายเฟิร์นชนิดอื่น ๆ ได้

Abstract

Ferns are spore - producing plants which can grow in different areas from humid to arid zone. *Nephrolepis exaltata* L. is a beautifully decorated fern grown in shady area. Propagation of this fern by rhizome is rather slow. The tissues of young circinate leaf were used for propagating in Murashige and Skoog's medium supplemented with 0.1 mg/l NAA (Naphthelene acetic acid), 0.1 mg/l BA (N^6 . benzylaminopurine) and 15% coconut water. Under controlled condition of 3,000 lux of fluorescent lamp for 16 hours/day at 25-27° C, plantlets were generated from protocorm-like bodies within 12-16 weeks. Vegetative propagation by this mean for propagation of other ferns.

คำนำ

ในปัจจุบันประชากรได้เพิ่มจำนวนมากขึ้น ความต้องการที่อยู่อาศัยของคนในเมืองใหญ่จึงมากขึ้นเป็นเงาตามตัว เมื่อพื้นที่จำกัด อาคารที่อยู่ จึงต้องสร้างขึ้นเป็นตึกสูง ๆ เช่น อพาร์ทเมนต์ คอนโดมิเนียม และแฟลต เป็นต้น ความร่มรื่นที่จะได้จากพืชนั้นลดลงมาก ดังนั้นความต้องการไม้ประดับภายในอาคารบ้านเรือนจึงมีความสำคัญมากขึ้นเพื่อให้เกิดความสดชื่นภายในห้อง เฟิร์นเป็นไม้ประดับชนิดหนึ่งที่ทำให้ความสวยงามและสดชื่น เฟิร์นราชีนีสามารถปลูกได้ดีในที่ร่ม ใบอ่อนพริ้วสวยงามมาก การขยายพันธุ์ของเฟิร์นทำได้ 2 วิธี คือ หน่อที่เกิดจากไรโซมและสปอร์ การขยายพันธุ์จากไรโซมนี้ให้จำนวนน้อย เมื่อปี ค.ศ. 1950 ได้นำเอาเนื้อเยื่อของเฟิร์นมาศึกษาเกี่ยวกับการเจริญและการพัฒนาการของใบ (leaf primordia) ต่อมาได้นำเอาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไปใช้ในการขยายพันธุ์เฟิร์น (Bristow, 1962) โดยการเพาะสปอร์ของเฟิร์นในอาหารวุ้นเพื่อให้เจริญเป็นโปรทัลเลียม (prothallium) นำเนื้อเยื่อของโปรทัลเลียมไปปั่นในเครื่องปั่น ในอาหารสูตร MS ที่มีความเข้มข้นของอาหารเพียงครึ่งเดียว จากนั้นจึงนำไปทดลองบนพื้นดินเพื่อให้เกิดเป็นโปรทัลเลียมจำนวนมาก ส่วนของโปรทัลเลียมจะสร้างอวัยวะสืบพันธุ์ เมื่อเซลล์สืบพันธุ์รวมกันจะได้เป็นไซโกต ไซโกตเจริญเป็นต้นสปอโรไฟท์ (sporophyte) วิธีการดังกล่าวนี้จะช่วยให้ได้จำนวนสปอโรไฟท์เพิ่มมากขึ้น ต่อมาได้เปลี่ยนมาใช้เนื้อเยื่อของเฟิร์นที่อยู่ในระยะสปอโรไฟท์มาขยายพันธุ์โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งไม่ต้องอาศัยระยะการผสมพันธุ์เพื่อให้เจริญเป็นต้นสปอโรไฟท์

ในปัจจุบันสามารถเอาเนื้อเยื่อของเฟิร์นหลายชนิดมาเพาะเลี้ยงในอาหารสังเคราะห์ได้สำเร็จ

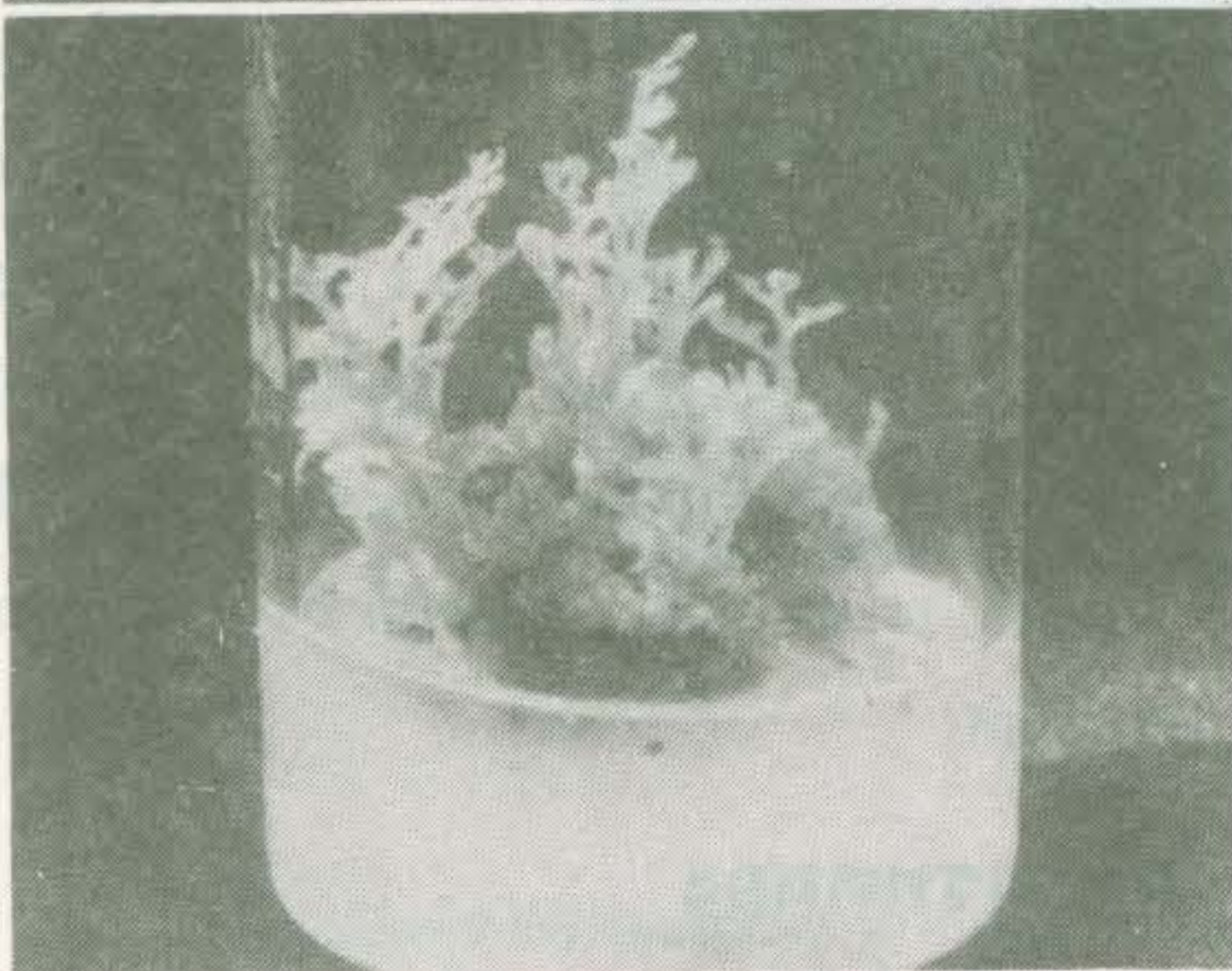
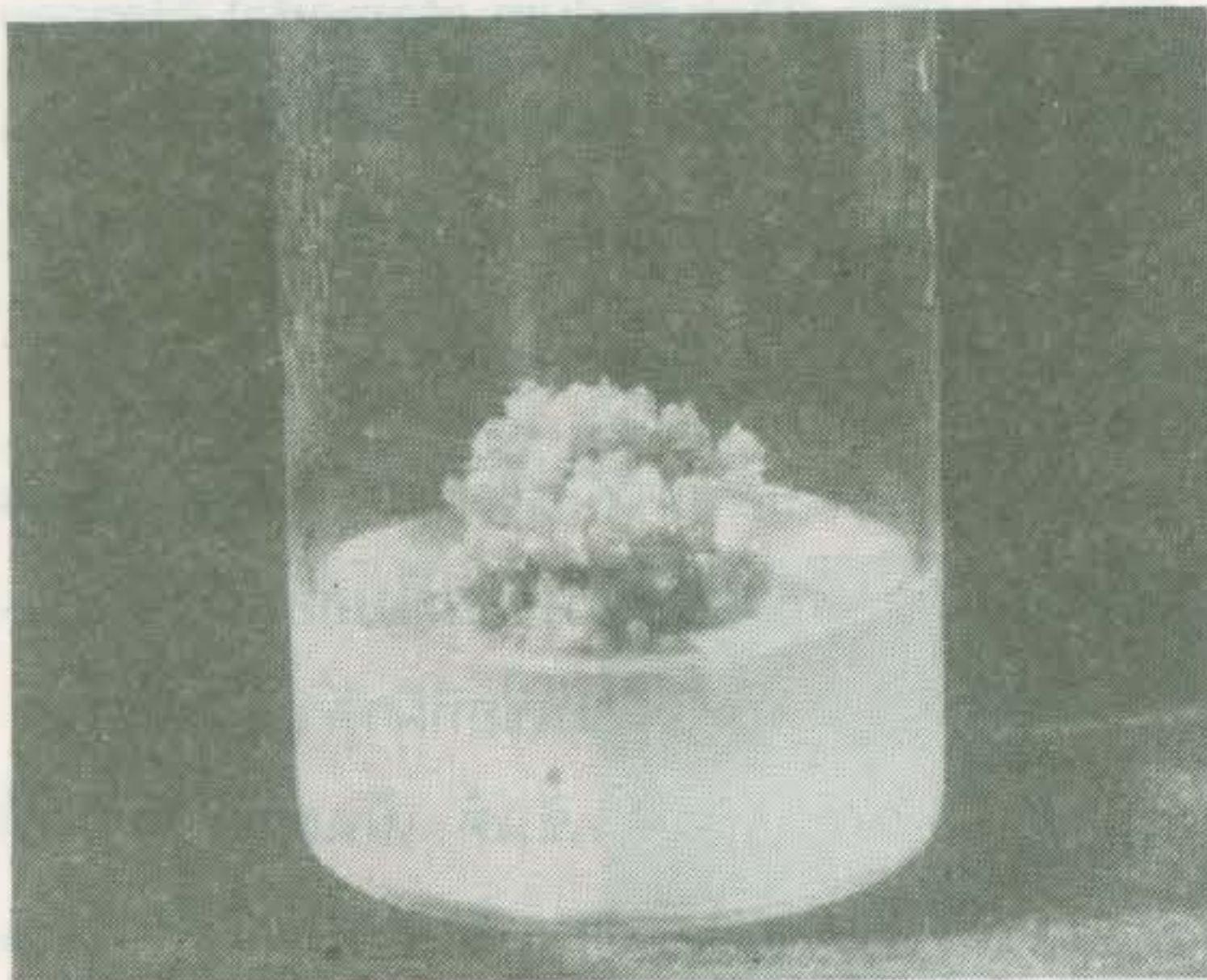
เช่น สไปลิดา (*Platyserium stamaria*) (Hennen and Sheehan, 1978 ; Cooke, 1977) และเฟิร์นนาคราช (*Davallia*) (Cooke, 1979)

อุปกรณ์และวิธีการ

ใช้ใบอ่อนของเฟิร์นราชีนี (*Nephrolepis exaltata* L.) ที่เจริญอยู่ในระยะใบอ่อนม้วน (Circinate leaf) นำมาฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวด้วยน้ำยาคลอรีน 10 และ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ ล้างด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 2 ครั้ง ๆ ละประมาณ 1 นาที และนำไปเลี้ยงในอาหารสูตร MS ที่มี NAA 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร และ BA 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำมะพร้าว 15 เปอร์เซ็นต์ ได้รับแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ในความเข้มของแสง 3,000 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชม.ต่อวัน อุณหภูมิ 25 - 27 องศาเซลเซียส

ผลการทดลอง

เนื้อเยื่อใบอ่อนของเฟิร์นราชีนีที่ผ่านการฟอกฆ่าเชื้อแล้ว จึงนำไปเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่มี NAA 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร และ BA 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำมะพร้าว 15 เปอร์เซ็นต์ ได้รับแสงไฟจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในความเข้มของแสง 3,000 ลักซ์ เป็นเวลา 16 ชม./วัน อุณหภูมิ 25 - 27 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะดังกล่าวปรากฏว่าใบอ่อนของเฟิร์นราชีนีเจริญเป็นใบเต็มภายใน 1 - 2 สัปดาห์ บริเวณรอยตัดของก้านใบที่สัมผัสกับอาหารเกิดเป็นกลุ่มคล้ายโปรโตคอร์ม (protocorm-like bodies) และมีขนาดเล็ก ๆ เกิดขึ้นจำนวนมาก เมื่อย้ายกลุ่มคล้ายโปรโตคอร์มนี้นี้ไปเลี้ยงบนอาหารใหม่ก็สามารถเพิ่มจำนวนได้เรื่อย ๆ จึงเป็นขั้นตอนที่สามารถเพิ่มจำนวนได้มากมายตามที่ต้องการ กลุ่มคล้ายโปรโตคอร์มที่



ภาพที่ 1 ลักษณะของ Protocorm-like bodies จากก้านใบของเฟิร์นราชินี

ภาพที่ 2 ลักษณะการเจริญของใบอ่อนในระยะแรก

ภาพที่ 3 ต้นที่เจริญเปลี่ยนแปลงเป็นใบภายในเวลา 4 - 6 สัปดาห์

ภาพที่ 4 ต้นที่สมบูรณ์สามารถนำไปปลูกได้

เลี้ยงไว้ในอาหารเต็มนี้เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ก็สามารถเจริญเปลี่ยนแปลงไปเป็นต้น รากและใบจำนวนมากมาย

ต้นที่สมบูรณ์ก็สามารถย้ายไปปลูกในดินได้ โดยการแยกออกจากขวด นำมาล้างน้ำเพื่อให้ รากออกจนหมด แช่น้ำประมาณ 1 คืน จากนั้นจึงนำไปปลูกในทราย เก็บไว้ในที่ร่ม ควบคุมความชื้นให้พอเพียง

สรุปและวิจารณ์

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเฟิร์นในอาหารสังเคราะห์ได้ประสบความสำเร็จแล้วหลายชนิด เช่น เฟิร์นสไปลิดา (*Platycerium stamaria*) และ เฟิร์นนาคราช (*Davallia*) ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนได้มากมาย การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเฟิร์นราชินีในอาหารสังเคราะห์พบว่าปัญหาส่วนใหญ่ก็คือ การฟอกฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ติดมากับผิวนั้น สามารถ

ทำให้ปลอดเชื้อได้ยาก เนื่องจากใบอ่อนของเฟิร์นอยู่ในลักษณะม้วนงอและมีขนขนาดเล็กจำนวนมาก ใบอ่อนของเฟิร์นเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับนำมาเพาะเลี้ยงเนื่องจากเนื้อเยื่อประกอบด้วยเซลล์ที่กำลังมีการเจริญ เมื่อนำเอาเนื้อเยื่อในระยะใบอ่อนมาเพาะเลี้ยง จึงสามารถเจริญได้โดยเนื้อเยื่อบริเวณโคนที่สัมผัสกับอาหารมีการแบ่งเซลล์มากขึ้นจนเกิดเป็นกลุ่มคล้ายกับโปรโตคอร์ม (Protocorm-like bodies) มีลักษณะสีเขียวเข้มและมีขนขนาดเล็กสีน้ำตาลล้อมรอบจำนวนมาก เมื่อแยกโปรโตคอร์มนั้นไปเลี้ยงในอาหารใหม่ก็สามารถเพิ่มจำนวนได้มากขึ้น ดังนั้นในแง่ของการขยายพันธุ์ของเฟิร์นราชินีในหลอดทดลองจึงสามารถเพิ่มปริมาณได้มาก จากส่วนที่คล้ายโปรโตคอร์มนี้นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดเป็นส่วนของใบ (frond) การเจริญของใบในระยะเริ่มแรกไม่ได้มีลักษณะที่แสดงว่ามีการม้วนงอของใบ (circinate leaf) เมื่อใบเจริญได้ระยะหนึ่งแล้ว จึงมีการม้วนงอของใบเพียงเล็กน้อย โดยเฉพาะของส่วนปลายก้านใบ ลักษณะการเจริญของใบในระยะเริ่มแรกจึง

แตกต่างจากการเจริญของใบเฟิร์นในธรรมชาติที่มีการม้วนงอของใบ การเจริญของใบจนได้เป็นใบที่สมบูรณ์กินระยะเวลาประมาณ 16 สัปดาห์ การเจริญของรากจะเกิดขึ้นภายหลังมีสีน้ำตาลเข้ม การเจริญของรากในอาหารที่เลี้ยงนี้ค่อนข้างช้า ในระยะที่มีรากและต้นแล้วก็สามารถแยกเพิ่มจำนวนได้ ต้นที่สมบูรณ์แล้วย้ายไปปลูกในดิน โดยควบคุมความชื้นและได้รับแสงในที่ร่มเฟิร์นราชินีก็สามารถเจริญเป็นต้นที่สมบูรณ์ได้

เอกสารอ้างอิง

- Bristow, J.M. 1962. The controlled **in vitro** differentiation of callus from a fern **Pteris cretica** L., into gametophytic or sporophytic tissue. *Devel. Biol.* 4 : 361 - 375.
- Cooke, R.C. 1979. Homogenization as an aid in tissue culture propagation of **Platyserium** and *Davallia*. *Hortscience* 14(1) : 21 - 22.
- Hennen, G.R. and T.J. Sheehan. 1978. **In vitro** Propagation of **Platyserium stemaria** (Beauvois) Desv. *Hortscience* 13 (3) : 245.

การตรวจสอบส่วนประกอบทางเคมีของผักตบชวา



* ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง

* ศุภลักษณ์ ศรีจรรย์

* เฉลิม เรืองวิริยะชัย

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของผักตบชวา ในการทดลองนี้ได้ทำการสุ่มตัวอย่าง 50 ตัวอย่าง จากแหล่งน้ำจากจังหวัดต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยทำการเก็บตัวอย่างระหว่างเดือน มีนาคม - พฤษภาคม 2529 นำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์แยกเป็นส่วนใบ ลำต้นและราก จากผลการวิเคราะห์พบว่าผักตบชวา (อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 - 110°ซ) มีส่วนประกอบทางเคมีหลายตัวที่มีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในส่วนใบมีปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนสูงกว่าส่วนลำต้นและราก คือ โปรตีนในส่วนใบมีปริมาณ $(13.81 \pm 0.12) - (19.63 \pm 0.08)$ เปอร์เซ็นต์ ในส่วนลำต้น $(6.50 \pm 0.20) - (10.75 \pm 0.15)$ เปอร์เซ็นต์ และในส่วนราก $(4.69 \pm 0.21) - (7.12 \pm 0.19)$ เปอร์เซ็นต์ สำหรับแร่ธาตุตัวอื่น ๆ ซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ คือ แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส เหล็ก สังกะสี ฟอสฟอรัส คลอไรด์ และกำมะถัน ในส่วนใบ ลำต้น และรากจะมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน ดังที่ได้แสดงในตารางผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ส่วนใบจะมีปริมาณไนโตรเจนและโปรตีนสูงกว่าส่วนลำต้น และราก ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณคุณค่าทางโภชนาการในส่วนใบที่ตากแห้งด้วย จากผลการวิเคราะห์พบว่าในผักตบชวามีแร่ธาตุและองค์ประกอบทางโภชนาการหลายตัวที่สามารถนำไปทำอาหารสัตว์ได้ โดยเฉพาะส่วนใบของผักตบชวาเป็นส่วนที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังนำผักตบชวาไปทำเป็นปุ๋ยได้ เพราะมีส่วนประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมค่อนข้างสูง

Abstract

The 50 samples of water hyacinth (*Eichornia crassipes*) grown in natural water resource in the city of Northeast Thailand, have been collected, during March-May 1986. Leaf, stalk and root portions were separately analysed. The studies of chemical composition in dry sample (heating at 100-110° C). Nitrogen and crude protein were determined by Kjeldahl method, leaf, stalk and root portions contained $(13.81 \pm 0.12) - (19.63 \pm 0.08)$, $(6.50 \pm 0.20) - (10.75 \pm 0.15)$ and $(4.69 \pm 0.21) - (7.12 \pm 0.19)$ percent crude protein. Ca, Na, K, Mg, Mn, Fe, Zn, P, Cl and S were analysed. These elements and minerals were important for animal feeding. The leaf portion contains more nitrogen and crude protein than stalk and root portions. Other nutritive components were also determined in dry leaf portion. The result of the analysis indicates that the leaf portion of water hyacinth is the most suitable part for animal feeding. Moreover, because of a quite high N, P and K content in all parts of water hyacinth. So it can be used for compost also.

ค่านำ

ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*) เป็น วัชพืชน้ำที่เจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว มาก ผักตบชวาเพียง 2 ต้น สามารถแตกหน่อได้ ถึง 30 ต้น ภายใน 23 วัน และเมื่อปล่อยให้ทิ้งไว้ อีก 4 เดือน จะเกิดต้นใหม่อีก 1,200 ต้น นอกจากนี้ ได้มีการคำนวณว่า ถ้าเริ่มจากผักตบชวาเพียง 10 ต้น ปล่อยให้ทิ้งไว้ในช่วงเวลา 8 เดือน จะ สามารถให้ต้นใหม่ได้ถึง 655,360 ต้น (เอกสาร วิชาการเรื่องผักตบชวา สำนักงานกรรมการประ- สานงานวัชพืชน้ำ สภาวิจัยแห่งชาติ, 2520)

นักวิจัยได้พยายามศึกษาวิธีการนำผักตบชวา มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในหลาย ๆ ด้านด้วยกัน สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์หาส่วนประกอบ ทางเคมีของผักตบชวา โดยเน้นการวิเคราะห์ใน ด้านการนำไปทำอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การวิเคราะห์โปรตีนหยาบในผักตบชวาส่วนใบ ลำต้นและราก ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานส่วนหนึ่ง ของงานวิจัยเรื่องการเพิ่มโปรตีนในผักตบชวาเพื่อ เป็นอาหารสัตว์ (โครงการวิจัยภายใต้เงินอุดหนุน การวิจัย จากองค์การบริหารวิเทศสหกิจ สหรัฐ- อเมริกา (USAID) ประเทศไทย มหาวิทยาลัย ขอนแก่น, 2529)

ผักตบชวานอกจากจะมีโปรตีน ไขมัน และ คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบทางเคมีแล้ว ยังมี แร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับสัตว์อยู่หลายชนิด แร่ธาตุ ที่จำเป็นนี้หมายถึงแร่ธาตุที่จำเป็นต่อสุขภาพและ การเจริญเติบโตของมนุษย์และสัตว์ ถ้าขาดหรือ ได้รับไม่เพียงพอจะทำให้เกิดโรคได้ ในปัจจุบันมี แร่ธาตุที่จำเป็นอยู่ 17 ชนิด ได้แก่ แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) คลอไรด์ (Cl) กำมะถัน (S) เหล็ก

(Fe) ทองแดง (Cu) ไอโอดีน (I) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) โคบอลต์ (Co) ซีลีเนียม (Se) โมลิบ- ดินัม (Mo) ฟลูออรีน (F) และโครเมียม (Cr)

แร่ธาตุที่จำเป็นเหล่านี้แบ่งออกเป็น 2 พวก ใหญ่ ๆ ตามปริมาณที่ร่างกายต้องการ คือ

1. แร่ธาตุหลัก หมายถึงแร่ธาตุจำเป็นที่ ร่างกายต้องการในปริมาณค่อนข้างมาก แร่ธาตุในกลุ่มนี้ ได้แก่ แคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส คลอไรด์ และกำมะถัน
2. แร่ธาตุรอง หมายถึงแร่ธาตุจำเป็นที่ ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยมาก แร่ธาตุ ในกลุ่มนี้ ได้แก่ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง ไอโอดีน สังกะสี โคบอลต์ ซีลีเนียม โมลิบดินัม ฟลูออรีน และโครเมียม

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการหาปริมาณแร่ธาตุ หลักทุกตัวและแร่ธาตุรองเป็นบางตัว

การเก็บและเตรียมตัวอย่างเพื่อ การวิเคราะห์

ได้ทำการสุ่มตัวอย่างโดยการเก็บตัวอย่าง ผักตบชวา 50 ตัวอย่างจากแหล่งน้ำ จากจังหวัด ต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ดังแสดงในตารางที่ 1) นำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ แยกเป็นส่วนใบ (leaf) ลำต้น (stalk) และราก (root) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ ทำได้โดยนำตัวอย่างมาหั่นเป็นชิ้นหยาบ ๆ นำไป ตากแดดเป็นเวลา 2 วัน ๆ ละ 8 ชั่วโมง แล้ว จึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 - 110°ซ จาก ตัวอย่างที่แห้งนี้นำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบ ต่าง ๆ ทางเคมี ด้วยวิธีการดังแสดง ในตาราง ที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงแหล่งน้ำที่เก็บตัวอย่างผักตบชวามาทำการวิเคราะห์

ตัวอย่างที่	แหล่งน้ำที่เก็บตัวอย่าง	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด
1	อ่างเก็บน้ำหนองหัวช้าง	สีลา	เมือง	ขอนแก่น
2	อ่างเก็บน้ำท่าพระ	ดอนหัน	เมือง	ขอนแก่น
3	อ่างเก็บน้ำห้วยใหญ่	สาวะถี	เมือง	ขอนแก่น
4	อ่างเก็บน้ำหนองซ่องแมว	สีลา	เมือง	ขอนแก่น
5	อ่างเก็บน้ำห้วยเสียว	วังไชย	เมือง	ขอนแก่น
6	อ่างเก็บน้ำหนองโอน	เข็ญพิณ	เมือง	อุดรธานี
7	อ่างเก็บน้ำกุดลิงจ้อ	นาดี	เมือง	อุดรธานี
8	อ่างเก็บน้ำหนองสำโรง	หมูปัน	เมือง	อุดรธานี
9	อ่างเก็บน้ำหนองปะโค	ปะโค	กุมภวาปี	อุดรธานี
10	อ่างเก็บน้ำหนองหมากจอก	ยางตลาด	ยางตลาด	กาฬสินธุ์
11	อ่างเก็บน้ำห้วยแก่ง	คงพูน	เมือง	กาฬสินธุ์
12	อ่างเก็บน้ำห้วยสีทน	บึงวิชัย	เมือง	กาฬสินธุ์
13	อ่างเก็บน้ำห้วยโพธิ์	หุด	เมือง	กาฬสินธุ์
14	อ่างเก็บน้ำห้วยผา	คำบง	กุฉินารายณ์	กาฬสินธุ์
15	อ่างเก็บน้ำห้วยผึ่ง	คำบง	กุฉินารายณ์	กาฬสินธุ์
16	อ่างเก็บน้ำห้วยระบาค	คำบง	กุฉินารายณ์	กาฬสินธุ์
17	อ่างเก็บน้ำห้วยทราย	ขมิ้น	เมือง	สกลนคร
18	อ่างเก็บน้ำหนองญาติ	หนองญาติ	เมือง	นครพนม
19	อ่างเก็บน้ำหนองกระทุ่ม	เขว้า	เมือง	มหาสารคาม
20	อ่างเก็บน้ำห้วยกะลา	โคกก่อ	เมือง	มหาสารคาม
21	อ่างเก็บน้ำแก่งเลิงจาน	ตลาด	เมือง	มหาสารคาม
22	อ่างเก็บน้ำหนองแกดำ	แกดำ	กิ่ง อ.แกดำ	มหาสารคาม
23	อ่างเก็บน้ำหนองผือ	ดุกอ	พนมไพร	ร้อยเอ็ด
24	อ่างเก็บน้ำห้วยน้อย	นาอ้อ	เมือง	เลย
25	อ่างเก็บน้ำห้วยอีเลศ	วังสะพุง	วังสะพุง	เลย
26	อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำวก	ท่าลี่	ท่าลี่	เลย
27	อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำพา	โนนเมือง	เมือง	เลย
28	อ่างเก็บน้ำหนองบัวโลก	หนองบัวโลก	จตุรัส	ชัยภูมิ
29	อ่างเก็บน้ำหนองผักปิง	ผักปิง	ภูเขียว	ชัยภูมิ
30	อ่างเก็บน้ำหนองปลาเฒ่า	รอบเมือง	เมือง	ชัยภูมิ
31	อ่างเก็บน้ำห้วยม่วง	ขามใหญ่	เมือง	อุบลราชธานี
32	อ่างเก็บน้ำหนองบัว	ประทุม	เมือง	อุบลราชธานี
33	อ่างเก็บน้ำห้วยวังนอง	ประทุม	เมือง	อุบลราชธานี
34	อ่างเก็บน้ำหนองสะอาก	ห้วยเหนือ	ชุมพวง	ศรีสะเกษ
35	อ่างเก็บน้ำหนองลี	ลี	ขุนหาญ	ศรีสะเกษ
36	อ่างเก็บน้ำห้วยตามาย	สระเขาวัว	กันทรลักษ์	ศรีสะเกษ
37	อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำคำ	เมืองใต้	เมือง	ศรีสะเกษ

ตัวอย่างที่	แหล่งน้ำที่เก็บตัวอย่าง	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด
38	อ่างเก็บน้ำหนองกระทุ่ม	ชุมพลบุรี	ชุมพลบุรี	สุรินทร์
39	อ่างเก็บน้ำหนองกา	รัตนบุรี	รัตนบุรี	สุรินทร์
40	อ่างเก็บน้ำห้วยแกว	รัตนบุรี	รัตนบุรี	สุรินทร์
41	อ่างเก็บน้ำห้วยตลาด	เสม็ด	เมือง	บุรีรัมย์
42	อ่างเก็บน้ำหนองตาหมุ่	นางรอง	นางรอง	บุรีรัมย์
43	อ่างเก็บน้ำห้วยใหญ่	โคกสะอาด	ลำปลายมาศ	บุรีรัมย์
44	อ่างเก็บน้ำห้วยสะกาด	นิคม	พิมาย	นครราชสีมา
45	อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำเค็ม	บัวใหญ่	บัวใหญ่	นครราชสีมา
46	อ่างเก็บน้ำลำเชียงไกร	บัลลังก์	โนนไทย	นครราชสีมา
47	อ่างเก็บน้ำลำสำลาย	ตะขบ	ปักธงชัย	นครราชสีมา
48	อ่างเก็บน้ำหนองปรือ	ห้วยทะเล	เมือง	นครราชสีมา
49	อ่างเก็บน้ำหนองแหน	ห้วยทะเล	เมือง	นครราชสีมา
50	อ่างเก็บน้ำบึงตาหลั่ว	หนองไผ่ล้อม	เมือง	นครราชสีมา

ตารางที่ 2 วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ (the methods for analysis)

การวิเคราะห์หา	วิธีการที่ใช้วิเคราะห์
ความชื้น (moisture)	วิธีการทำให้แห้ง (drying method)
เถ้าทั้งหมด (total ash)	วิธีคลาสสิกอล (classical method)
เถ้าที่ละลาย (soluble ash)	วิธีคลาสสิกอล
เถ้าที่ไม่ละลาย (insoluble ash)	วิธีคลาสสิกอล
ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	วิธีเจลดาคัล (Kjeldahl method)
โปรตีนหยาบ (crude protein)	วิธีเจลดาคัล
โซเดียม (Na)	อะตอมมิคอิมิซันสเปกโตรสโกปี (AES)
โปแตสเซียม (K)	อะตอมมิคอิมิซันสเปกโตรสโกปี
แคลเซียม (Ca)	อะตอมมิคแอบซอร์ฟชันสเปกโตรสโกปี (AAS)
แมกนีเซียม (Mg)	อะตอมมิคแอบซอร์ฟชันสเปกโตรสโกปี
แมงกานีส (Mn)	อะตอมมิคแอบซอร์ฟชันสเปกโตรสโกปี
เหล็ก (Fe)	อะตอมมิคแอบซอร์ฟชันสเปกโตรสโกปี
สังกะสี (Zn)	อะตอมมิคแอบซอร์ฟชันสเปกโตรสโกปี
ทองแดง (Cu)	อะตอมมิคแอบซอร์ฟชันสเปกโตรสโกปี
ฟอสฟอรัส (P)	สเปกโตรโฟโตเมตรี (spectrophotometry)
กำมะถัน (S)	สเปกโตรโฟโตเมตรี
คลอไรด์ (Cl)	วิธีมอห์ (Mohr's method)
พลังงาน (enery)	บอมบ์คัลเลอรีเมตรี (Bomb calorimetry)
เยื่อใยหยาบ (crude fiber)	วิธีการใช้เครื่องย่อยหาเยื่อใย (crude fiber apparatus)
อีเทอร์เอ็กซ์แทรก	วิธีการสกัดด้วยเครื่องลอกซ์เลท (extraction, Soxhlet apparatus)

ผลการทดลอง

จากการนำตัวอย่างผักตบชวา 50 ตัวอย่าง
มาทำการวิเคราะห์ได้ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้คือ

ตารางที่ 3 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นในผักตบชวา (moisture in water hyacinth)

ความชื้น	ใบ	ลำต้น	ราก
ความชื้นที่สูญหายไปโดยวิธีธรรมชาติ (นำผักตบชวาทากแดดเป็นเวลา 2 วัน ๆ ละ 8 ชั่วโมง)	81.22-89.05	79.53-93.75	83.05-95.24
ความชื้นทั้งหมด (total moisture)	84.31-93.04	89.87-95.99	90.95-95.27

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบทางเคมีในผักตบชวาแห้งในหน่วยเปอร์เซ็นต์
(chemical composition of water hyacinth, %)

การวิเคราะห์หา	ใบ	ลำต้น	ราก
เถ้าทั้งหมด (total ash)	11.52-15.57	16.65-19.47	10.58-12.67
เถ้าที่ละลาย (soluble ash)	11.01-14.85	15.54-17.32	9.85-12.00
เถ้าที่ไม่ละลาย (insoluble ash)	0.51-0.72	0.05-0.07	0.45-0.64
ไนโตรเจน (nitrogen)	2.21-3.14	1.04-1.72	0.75-1.14
โปรตีนหยาบ (crude protein)	13.81-19.63	6.50-10.75	4.69-7.12
โซเดียม (Na)	0.11-0.68	0.16-0.60	0.12-0.32
โปแตสเซียม (K)	1.49-2.29	0.69-1.18	0.37-1.43
แคลเซียม (Ca)	0.81-2.71	0.23-1.25	0.20-0.32
แมกนีเซียม (Mg)	0.20-0.52	0.20-0.48	0.21-0.81
แมงกานีส (Mn)	0.02-0.08	0.03-0.08	0.01-0.04
เหล็ก (Fe)	0.01-0.04	0.01-0.05	0.09-1.93
สังกะสี (Zn)	0.003-0.004	0.003-0.005	0.003-0.005
ทองแดง (Cu)	0-0.001	0-0.004	0-0.003
ฟอสฟอรัส (P)	0.31-0.70	0.13-0.28	0.05-0.09
ซัลเฟอร์ (S)	0.03-0.10	0.02-0.05	0.09-0.25
คลอไรด์ (Cl)	0.18-1.23	0.07-1.24	0.02-0.68

จากผลการวิเคราะห์พบว่าในผักตบชวามี
แร่ธาตุและองค์ประกอบทางโภชนะหลายชนิดที่
สามารถนำไปทำอาหารสัตว์ได้ โดยเฉพาะในส่วน
ใบของผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนและโปรตีน

หยาบมากกว่าส่วนลำต้นและราก ดังนั้นจึงได้ทำ
การวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อหาปริมาณคุณค่าทาง
โภชนะในส่วนใบที่ตากแห้งด้วย ดังผลการทดลอง
ที่แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงคุณค่าทางโภชนาการในส่วนใบของผักตบชวา (proximate analysis base on dry basis)

การวิเคราะห์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์
สิ่งแห้ง (dry matter)	%	12.19
ความชื้น (moisture)	%	11.59
เถ้าทั้งหมด (total ash)	%	13.20
อีเทอร์เอ็กซแทรก (ether extract)	%	1.43
เยื่อใยหยาบ (crude fiber)	%	20.39
โปรตีนหยาบ (crude protein) %	%	18.26
พลังงาน (Gross energy)	Mcal/kg	3.86
แคลเซียม (Ca)	%	1.97
ฟอสฟอรัส (P)	%	0.49

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์พบว่าผักตบชวามีองค์ประกอบทางเคมีที่มีคุณค่าทางโภชนาการหลายชนิดที่สามารถนำไปทำอาหารสัตว์ได้ โดยเฉพาะโปรตีนหยาบในส่วนใบของผักตบชวามีปริมาณตั้งแต่ $(13.81 \pm 0.12) - (19.63 \pm 0.08)$ เปอร์เซ็นต์ ในส่วนลำต้น $(6.50 \pm 0.20) - (10.75 \pm 0.15)$ เปอร์เซ็นต์ และในส่วนราก $(4.69 \pm 0.21) - (7.12 \pm 0.19)$ เปอร์เซ็นต์

ส่วนปริมาณแร่ธาตุตัวอื่น ๆ ในส่วนใบ ลำต้นและรากจะมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของแร่ธาตุ ถ้าพิจารณาผลการวิเคราะห์โดยรวม ๆ แล้วจะพบว่าส่วนใบของผักตบชวามีปริมาณแร่ธาตุอยู่ในปริมาณสูงกว่าส่วนลำต้นและราก (ดูตารางที่ 4) เช่น ในส่วนใบจะมีแคลเซียม $(0.81 \pm 0.01) - (2.71 \pm 0.02)$ เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส $(0.31 \pm 0.01) - (0.70 \pm 0.03)$ เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ถ้านำผักตบชวาไปทำเป็นอาหารสัตว์แล้ว ส่วนใบของผักตบชวาน่าจะเป็นส่วนที่ดีและเหมาะสมที่สุด เพราะมีปริมาณไนโตรเจน โปรตีนหยาบและแร่ธาตุบางตัวมากกว่าส่วนอื่น ๆ นอกจากนี้อาจ

นำผักตบชวาไปทำเป็นปุ๋ยได้ เพราะมีส่วนประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม (N-P-K) ค่อนข้างสูง คือ ในส่วนใบ ลำต้น และราก มีไนโตรเจน $(2.21 \pm 0.02) - (3.14 \pm 0.01)$, $(1.04 \pm 0.03) - (1.72 \pm 0.02)$ และ $(0.75 \pm 0.03) - (1.14 \pm 0.03)$ เปอร์เซ็นต์ มีฟอสฟอรัส $(0.31 \pm 0.04) - (0.70 \pm 0.02)$, $(0.13 \pm 0.02) - (0.28 \pm 0.02)$ และ $(0.05 \pm 0.01) - (0.09 \pm 0.01)$ เปอร์เซ็นต์ และมีโปแตสเซียม $(1.49 \pm 0.01) - (2.29 \pm 0.02)$, $(0.69 \pm 0.01) - (1.18 \pm 0.01)$ และ $(0.37 \pm 0.01) - (1.43 \pm 0.02)$ เปอร์เซ็นต์

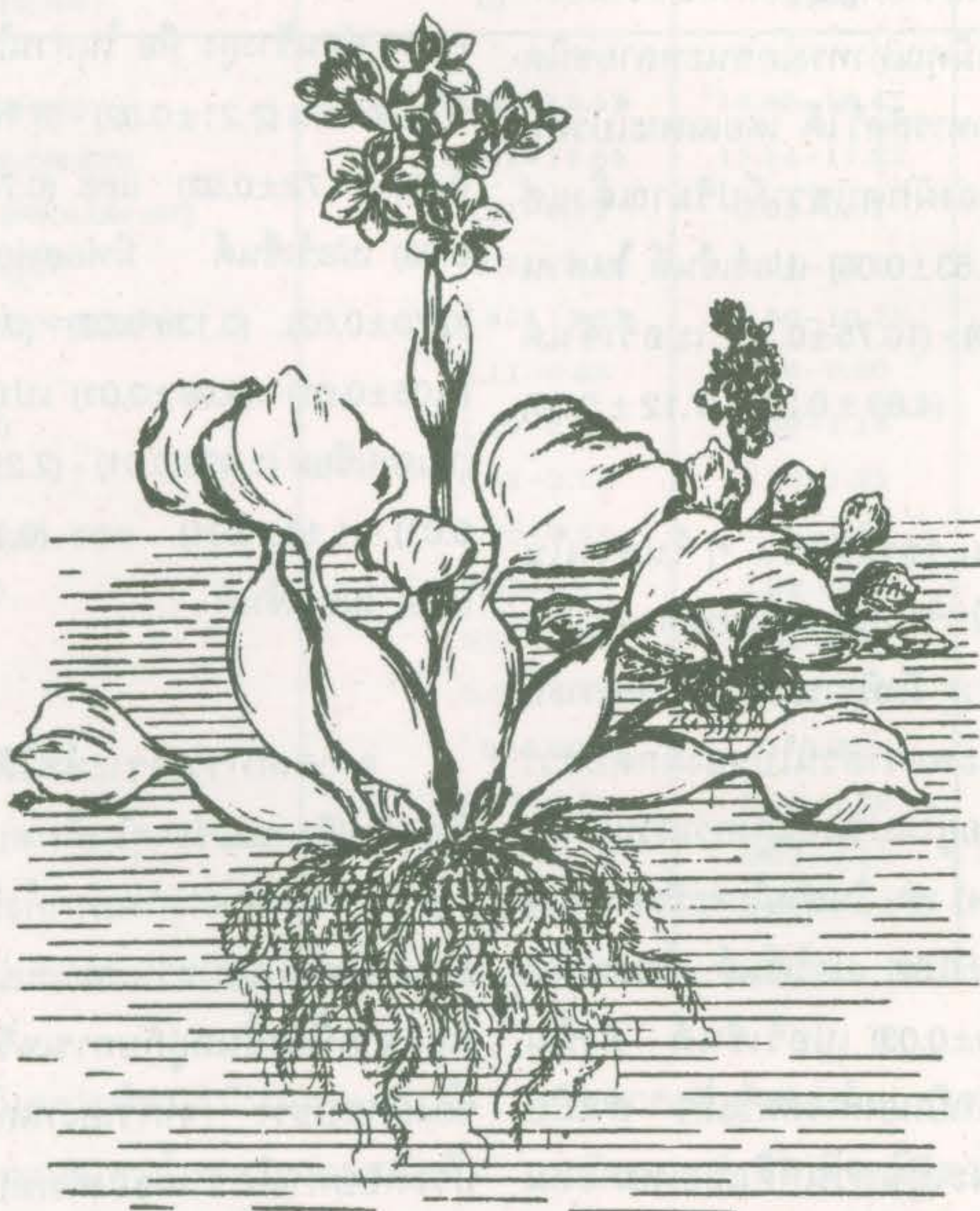
จากผลการวิเคราะห์ที่ได้มีสิ่ง值得สังเกต คือ ปริมาณแร่ธาตุในผักตบชวาจะให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันมากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าเป็นส่วนใดของผักตบชวาและแหล่งน้ำที่เก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับวิธีการเจริญเติบโตและอายุของผักตบชวา (จากรายงานการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการของผักตบชวาระหว่างการประชุมพิเศษของ special meeting of the ASA Joint Working Party, Bangkok, Thailand, 1966)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยการเพิ่มโปรตีนในผักตบชวาเพื่อเป็นอาหารสัตว์ ภายใต้เงินอุดหนุนการวิจัยจากองค์การบริหารวิเทศ-สหกิจแห่งสหรัฐอเมริกา (USAID) ประเทศไทย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

1. คณะกรรมการประสานงานวิจัยพืชน้ำ, "เอกสารวิชาการเรื่องผักตบชวา", สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2520, หน้า 1 - 33
2. AOAC "Official Method of Analysis" Washington DC., 12 th. ed, 1975
3. Skoog Douglas A. West Donald M., "Principle of Instrumental Analysis" Hott-Saunders International Editions. 2nd. ed., 1981
4. T. Comemheng, "Determination of Some Chemical Compounds in Water Hyacinth" 12th Conference on Science and Technology of Thailand, 22-25 Oct, 1986, p. 446 - 447.
5. "Special Meeting of the ASA Joint Working Party", Bangkok, Thailand, 27-29 July, 1966. Working Paper No.2 (SJWP/66/T-WP. 2)



คอลัมน์นี้มีรางวัล



นักวิทยาศาสตร์ที่รัก

นาย TONY

1. เป็นผู้ค้นพบกัมมันตภาพรังสี
2. เป็นผู้ค้นพบธาตุกัมมันตภาพรังสี 2 ชนิด คือ โพโลเนียม และเรเดียม
3. เป็นผู้ค้นพบหลักการและประดิษฐ์บาร์อมิเตอร์
4. เป็นผู้ค้นพบเพนิซิลลิน
5. เป็นผู้ค้นพบประจุไฟฟ้าในบรรยากาศ
6. เป็นผู้ค้นพบรังสีบวก
7. เป็นผู้ค้นพบมาตราสัมบูรณ์ของอุณหภูมิ
8. เป็นผู้ค้นพบบทบาทของออกซิเจนในการเผาไหม้
9. เป็นผู้ค้นพบรังสีเอ็กซ์
10. เป็นผู้ค้นพบสูตรโครงสร้างของอินซูลิน

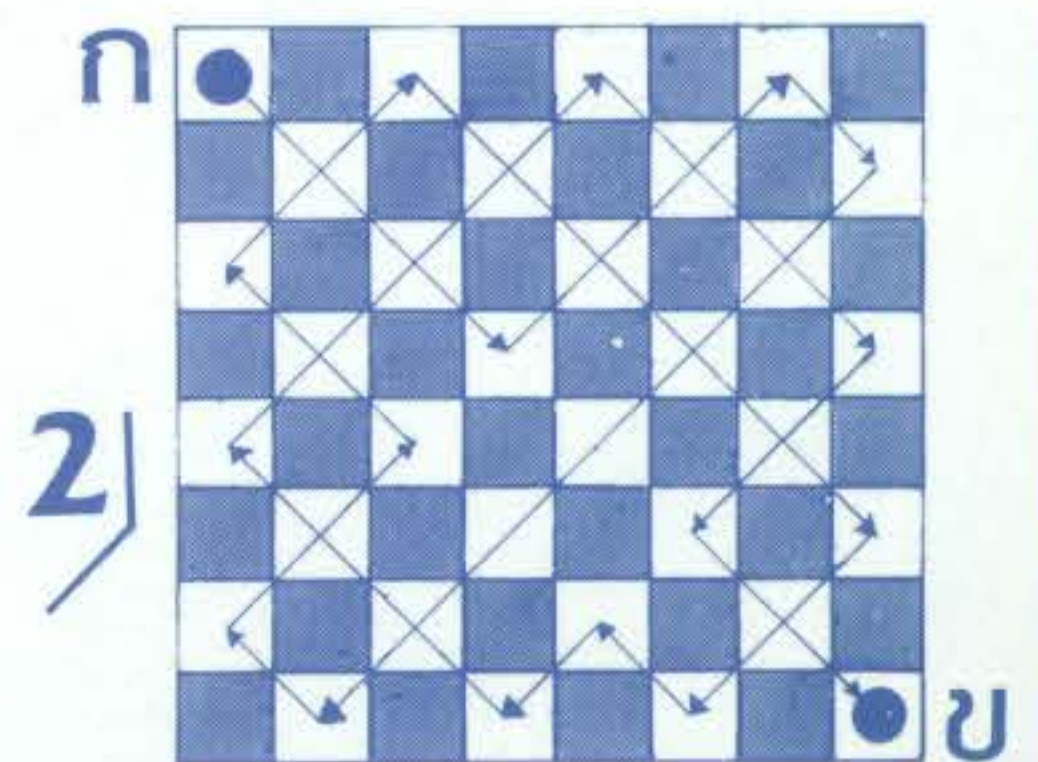
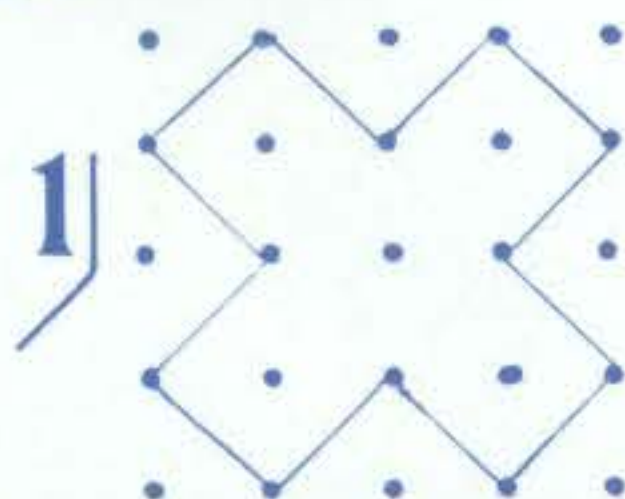
ส่งคำตอบมาทางไปรษณียบัตร ภายในเดือนกันยายน 2530 เรามีรางวัลจะมอบให้.....



เฉลย.....

คณิต คิดสนุก.....

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 ม.ค. - มี.ค. 2530



ผู้ที่ได้คิดแล้วสนุก คือ คุณศิริรัตน์ คงสมบูรณ์ ชัยภูมิ และคุณประสิทธิ์ ยอดมุดดี ร้อยเอ็ด
หวังว่า.....คงได้รับรางวัลแล้วนะครับ

นาย TONY

