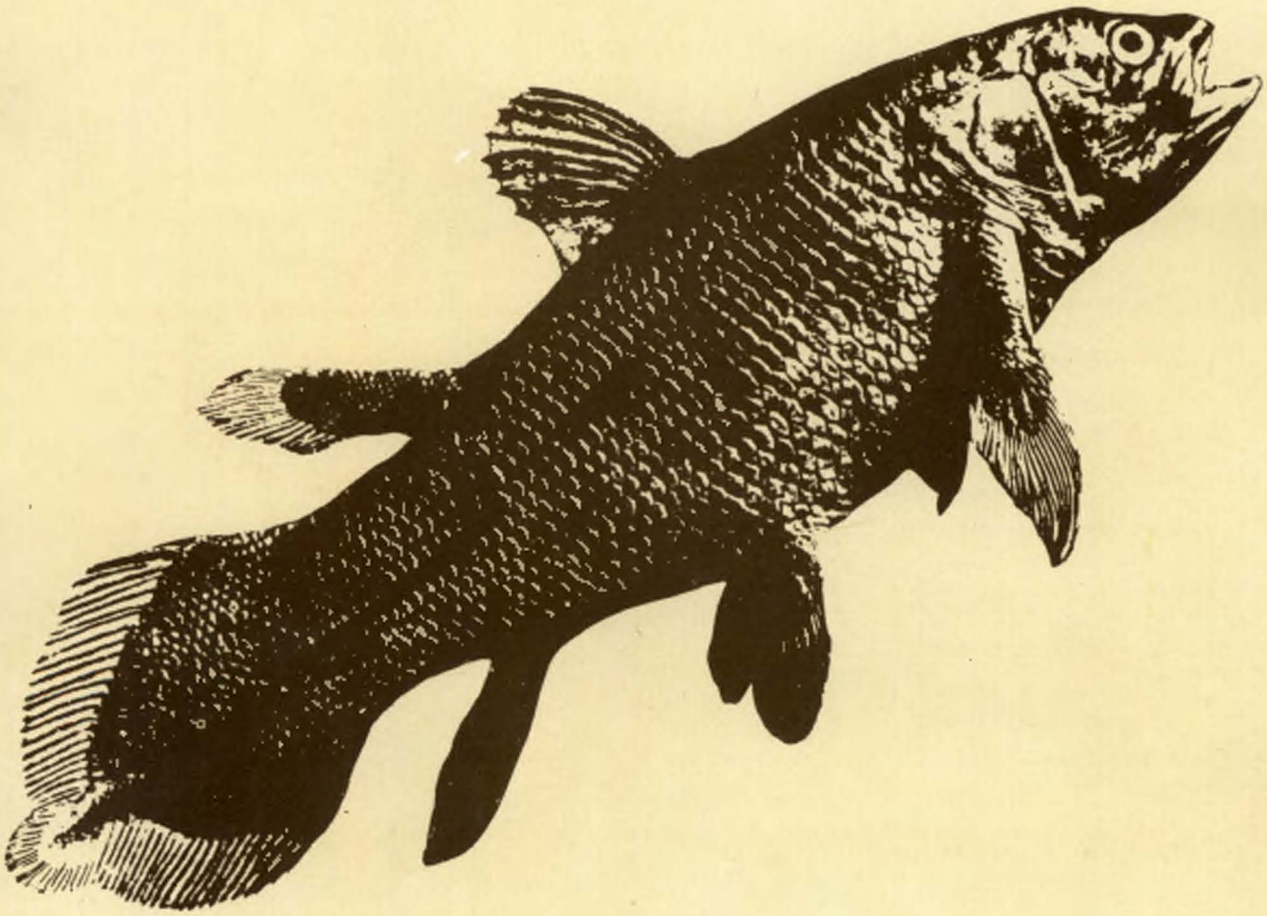
ISSN 0125-2364

# วารสาร วิทยาศาสตร์ มข.

THE JOURNAL OF SCIENCE KHON KAEN UNIVERSITY

ปีที่ 11 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2526



ISSN 0125-2364

# วารสาร วิทยาศาสตร์ มข.

# THE JOURNAL OF SCIENCE KHON KAEN UNIVERSITY

**เจ้าของ** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**สำนักงาน** ตึก 3 ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**วัตถุประสงค์**

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่วิทยาการในสาขาวิชาต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานด้านการวิจัย และการศึกษาค้นคว้าของอาจารย์และนักศึกษา
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 30 บาท

**การบอกรับเป็นสมาชิก**

แจ้งความจำนงเป็นจดหมาย หรือกรอกใบสมัครเป็นสมาชิก พร้อมส่งค่าบำรุงเป็นธนาณัติหรือเช็คไปรษณีย์ในนามของนางบุญคุ้ม เหลือสัน ฝ่ายจัดการ สั่งจ่าย ป.พ.มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

**ปีที่ 11 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2528**


กองบรรณาธิการ

| | | |
|---|---|---|
| ไฉนพร ด่านวิรุทัย | บรรณาธิการแถลง | |
| | ข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี | |
| | เกร็ดความรู้ | |
| นิสันต์ สัตยาศัย | ลองภูมิ | |

บทความวิทยาศาสตร์

| | | |
|---|---|---|
| วลัยรัตน์ ศรีรุ่งเรือง | การเตรียมและการศึกษาสภาวะการเตรียม | |
| สุรศักดิ์ สุจริตวณิชพงศ์ | ลิโทโพนจากแร่แบไรท์ | 216 |
| ละออศรี เสนาะเมือง | สัตว์โบราณที่ยังมีชีวิตอยู่ : ตอนปลาซีลาแคนท์ | 224 |
| ปัฐวุฒิ ธานี | ผงซักฟอกกับปัญหาสภาวะแวดล้อม | 229 |
| กุลวดี รังษีวัฒนานนท์ | โฟโตเคมีและเบียร์ (Photochemistry and Beer) | 237 |
| พาณี วรรณนิธิกุล | ต่อมพิษของคางคกบ้าน | 241 |

บทความพิเศษ

| | | |
|---|---|---|
| สามารถ อังศุสิงห์ | การสร้างกล้องดาราทัศน์ด้วยตนเอง : ตอนที่ 3 | 247 |

งานวิจัย

| | | |
|---|---|---|
| มนตรี บุญเสนอ | การสำรวจแหล่งแร่เศรษฐกิจในบริเวณจังหวัดเลยและจังหวัดอื่น ๆ ในภาคอีสาน | 259 |
| เสาวนิต หองพิมพ์ R.R. Beumer E.H. Kampelmacher | การสำรวจหาเชื้อซัลโมเนลลาใน "ฟิเลท์อเมริเคน" Examination of Salmonella from "filet americain" | 267 |


# บรรณาธิการแถลง

ในนามของคณะผู้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ชุดใหม่ (12 ธ.ค. 26 - 11 ธ.ค. 27) ขอกล่าวคำว่า **"สวัสดี"** ผู้อ่านทุกท่าน และใคร่ขอเรียนให้ทราบถึงสาเหตุบางอย่างที่ทำให้การออกวารสารล่าช้า กล่าวคือ คณะผู้จัดทำชุดเดิมได้หมดวาระไปตั้งแต่วันที่ 5 ตุลาคม 2526 และมีคำสั่งแต่งตั้งคณะกรรมการชุดใหม่ขึ้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2526 อันเป็นช่วงเวลาที่วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ 11 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2526 ควรจะปรากฏแก่สายตาผู้อ่านแล้ว อย่างไรก็ตาม คณะผู้จัดทำชุดใหม่ก็ได้พยายามเร่งรีบเพื่อออกวารสารให้ครบและสอดคล้องกับช่วงเวลาที่วางไว้ โดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

ถึงแม้ว่าการเผยแพร่วิชาการผ่านวารสารของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้ขาดหายไปในช่วงตุลาคม - ธันวาคม 2526 แต่ในช่วงนั้นทางคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้มีบทบาทร่วมที่สำคัญในการเป็นเจ้าภาพ ในการจัดประชุมทางวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์ ประจำปี 2526 ในหัวข้อ **"วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ครั้งที่ 9"** ระหว่างวันที่ 27-29 ตุลาคม 2526 ซึ่งจัดโดย สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ สมาคมวิทยาศาสตร์การเกษตรแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมเคมีร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น การประชุมครั้งนี้ ฯพณฯ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน เป็นผู้กล่าวเปิดประชุมและให้การบรรยายพิเศษเรื่อง **"แนวนโยบายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ"** นอกจากนั้นยังมีการอภิปรายพิเศษ 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 "วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับอีสาน : เศรษฐกิจ" และตอนที่ 2 "วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับอีสาน : สังคม" ผู้ร่วมอภิปรายในตอนที่ 1 มี ผู้ช่วยเลขาธิการสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ(นายโฆษิต ปั้นเปี่ยมรัษฎ์) คณบดีคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (รศ.ดร.กวี จุติกุล) ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(ดร.สมิทธ์ คำเพิ่มพูล) นายกสมาคมเคมี (ศ.ดร.กำจร มนุญปิจุ) ส่วนผู้ร่วมอภิปรายในตอนที่ 2 มี ผู้อำนวยการศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยอนามัยชนบท จ.นครราชสีมา ม. มหิดล (นพ.ฉลาด ถิรพัฒน์) คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ (รศ.ดร.สัจจะ เสถบุตร) รองอธิบดีกรมสามัญศึกษา (ดร.นิเชต สุนทรพิทักษ์) อธิการบดีมหาวิทยาลัยขอนแก่น (รศ.นพ.นพดล ทองโสภิต)

นอกจากการอภิปรายพิเศษข้างต้นแล้วยังมีสิ่งที่น่าสนใจไม่น้อยไปกว่ากันคือ มีปาฐกถาพิเศษของนักวิทยาศาสตร์ดีเด่นประจำปี 2526 (ศ.นพ.ประเวศ วะสี คณะแพทยศาสตร์และศิริราชพยาบาล ม.มหิดล) นักวิจัยยอดเยี่ยมประจำปี 2526 (นายจำลอง เพ็งคล้าย กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรฯ) และนักประดิษฐ์ยอดเยี่ยมประจำปี 2526 (ดร.โกศล เพชร์สุวรรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

การอภิปรายอีกหัวข้อหนึ่ง ที่มีประโยชน์ต่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ "ปัญหาการเผยแพร่วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ประชาชนระดับท้องถิ่น" ซึ่งมีนักวิทยาศาสตร์ดีเด่นประจำปี 2525 (ศ.ดร. วิรุฬห์ สายคณิต จุฬาฯ) มาร่วมอภิปรายกับประธานชมรมนักเขียนและผู้จัดทำหนังสือวิทยาศาสตร์ (ศ.บุญถึง แน่นหนา) และกรรมการในชมรมดังกล่าว ได้แก่ อ.มานิตย์ รุจิวโรดม และคุณหนง โชติสรยุทธ

ที่ได้กล่าวมาเป็นเพียงส่วนหนึ่งของการประชุมเท่านั้น แต่อีกส่วนหนึ่งซึ่งเป็นการเสนอผลงานทางวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ ทั่วประเทศ ผลงานวิจัยเหล่านั้นมีส่วนนำไปสู่การนำเอาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไปใช้ในการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ท่านที่พลาดโอกาสครั้งนั้น ก็สามารถเข้าร่วมได้ในโอกาสต่อไป บทบาทของวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ที่จะรับช่วงต่อ คือการเผยแพร่ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีสู่ประชาชนและถ้าจะให้ถึงระดับประชาชนในท้องถิ่นได้ ก็คงต้องอาศัยการสืบต่อไปเป็นทอด ๆ ได้ คือ จากมหาวิทยาลัยสู่วิทยาลัย โรงเรียน และหมู่บ้าน ตามลำดับ

ในวารสารฉบับที่ท่านถืออ่านอยู่นี้มีบทความทั้งที่เกี่ยวข้องกับส่วนใกล้ตัวของประชาชน ไปจนกระทั่งถึงผลงานวิจัยที่มีความเกี่ยวเนื่องกับทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและบทความที่น่าสนใจอื่น ๆ อีก ทางด้านข่าววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ก็ได้พยายามเอาเรื่องที่ใหม่และใช้เทคโนโลยีขั้นสูงมาเสนอให้ทราบ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการตื่นตัวและให้ทราบว่าตอนนี้โลกภายนอกเขาก้าวไปถึงไหน เพื่อจะได้เร่งตัวเอง เพราะเราย่อมยอมรับว่าการพัฒนาที่จะให้ประชาชนมีความอยู่ดีกินดี มีรายได้สูง จะต้องพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อันหมายถึงทางอุตสาหกรรมด้วย ในฉบับหน้าท่านจะได้พบกับบทความสรุป เกี่ยวกับผลงานของนักวิทยาศาสตร์ที่ได้รับรางวัลโนเบลประจำปี 1983 สาขาเคมี (Henry Taube) สาขาฟิสิกส์ทางดาราศาสตร์ (Subrahmanyan Chandrasekhar และ Willy Fowler) และทางด้านสรีรวิทยาและการแพทย์ (Barbara McClintock) รวมทั้งบทความพิเศษเรื่องการสร้างกล้องดาราทัศน์

สวัสดี

ไชนพร ด่านวิรุทัย

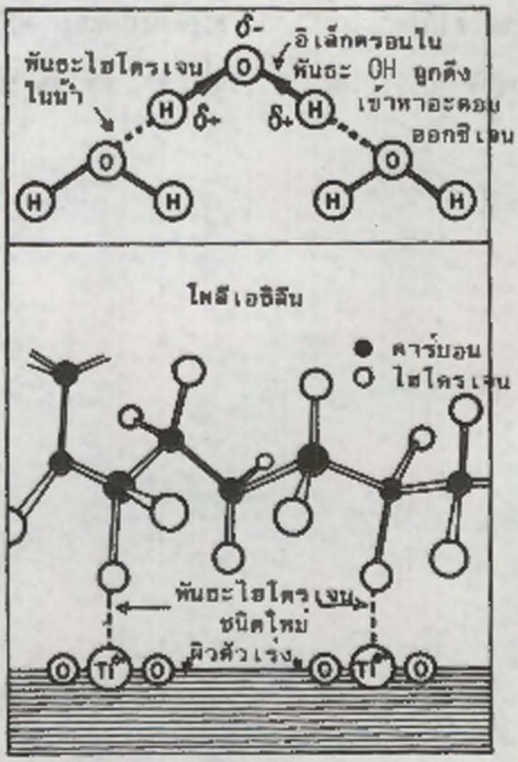
# ทำไมเสื้อจึงเรืองแสงในความสลัวของบาร์ดิสโก้

## พันธะไฮโดรเจนชนิดใหม่

เมื่อเดือนธันวาคม 2526 พบข่าวสั้นอันหนึ่ง[1] พาดหัวเรื่องว่า "A new type of hydrogen bond" ทำให้ดึงความสนใจได้ทันที และพยายามจับจุดหาคำตอบว่า "พันธะไฮโดรเจนแบบใหม่ นั้น ต่างจากแบบเก่าที่เรารู้กันอย่างไร ?" ถ้าผู้อ่านติดตามไปด้วย จะเห็นว่าบทความนี้ชวนให้ผู้อ่านติดตามเรื่องราวต่อไปอีกว่า รายละเอียดของการศึกษาจนได้ข้อสรุปนั้นเป็นอย่างไรแน่ สาระของเรื่องมีดังนี้คือ

"ขณะนี้กำลังรวบรวมหลักฐานเกี่ยวกับ "พันธะไฮโดรเจนชนิดใหม่" Norman Sheppard กับผู้ร่วมงาน สังกัดมหาวิทยาลัย East Anglia ได้ค้นพบพันธะไฮโดรเจนแบบใหม่ ในขณะที่ทำการศึกษาการเกิดโพลีเมอไรเซชัน(polymerisation) ของเอธิลีน (ethylene) โดยมีติตาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, $TiO_2$)เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พวกเขาพบว่าอะตอมของไฮโดรเจนตัวที่ต่ออยู่กับอะตอมของคาร์บอนในสารประกอบโพลีเอธิลีน (polyethylene) เกิดพันธะอ่อน ๆ กับอิออนติตาเนียมที่อยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยานั้นด้วย

ถ้าไฮโดรเจนต่ออยู่กับอะตอมที่เป็น "ตัวดึงอิเล็กตรอน"(electron-withdrawer)ที่มีศักยภาพซึ่งเป็นพวกอะตอมที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง เช่น ออกซิเจน อิเล็กตรอนในพันธะ O-H จะใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ใกล้อะตอมของออกซิเจน จึงทำให้อะตอมของไฮโดรเจนเป็นบวกเล็กน้อย จึงทำให้ดึงดูดอะตอมออกซิเจนของโมเลกุลข้างเคียงได้ แล้วเกิดเป็นพันธะอ่อน ๆ ขึ้น ตามที่เรียกกันว่า "พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond)" พันธะชนิดนี้จะมีความแข็งแรงประมาณเศษหนึ่งส่วนสิบของพันธะเคมีปกติ ในกรณีของของเหลวน้ำ โมเลกุลจะสร้างพันธะไฮโดรเจนต่อกัน เกิดเป็นกลุ่มโมเลกุลใหญ่อยู่อย่างหลวม ๆ อะตอมไนโตรเจน และฟลูออรีนเมื่อต่ออยู่




(1) New Scientist 8 December 1983, p.737.

กับไฮโดรเจน ก็จะเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ และทั้งแอมโมเนียและไฮโดรเจน ฟลูออไรด์ (HF) ต่างก็เป็นของเหลว

ปกติจะคิดว่าอะตอมของคาร์บอนไม่เข้ามามีส่วนร่วมในการเกิดพันธะไฮโดรเจน เหตุผลอันหนึ่งก็คือ อะตอมของคาร์บอนมีอิเล็กโตรเนกาติวิตีไม่สูงพอ แต่ในขณะที่ Sheppard กับผู้ร่วมงานศึกษาการเกิดโพลีเมอไรเซชันของเอธิลีน ณ อุณหภูมิห้องโดยมีติตาเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พวกเขาสังเกตเห็นความผิดปกติบางอย่างเกิดขึ้นในสเปคตรัมช่วงอินฟราเรด (infrared spectrum) ของโพลีเอธิลีน โดยมียอดแถบการดูดแสงใหม่เกิดขึ้น ในขณะที่ความยาวของโซ่โพลีเอธิลีนเพิ่มขึ้น ยอดแถบการดูดแสงที่เคยสังเกตมาก่อนเกิดมาจากสาเหตุอื่น

Sheppard สังเกตเห็นว่ายอดแถบการดูดแสงในช่วงอินฟราเรด อาจจะเกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ C-H กับ $Ti^{4+}$ ในผิวของ $TiO_2$ ดังแสดงในรูปที่ 1 แต่บนอะตอมคาร์บอนของโพลีเอธิลีนมีอยู่ 2 หมู่ของ C-H ถ้าหากว่าหมู่ C-H อันหนึ่งสร้างพันธะไฮโดรเจนจริง หากให้เหตุผลแล้วละก็หมู่ C-H อีกอันหนึ่งที่ไม่สร้างพันธะไฮโดรเจน จะต้องให้แถบการดูดแสง ณ ตำแหน่งที่มีความถี่สูงกว่า และตามที่สังเกตจริงก็พบว่าเป็นเช่นนั้น

ขณะนี้ Sheppard กำลังใช้เทคนิคทางอินฟราเรดช่วยในการหาค่าของมุมพันธะไฮโดรเจนแบบใหม่เหล่านี้[2]

สิ่งที่ผู้อ่านอาจจะตั้งข้อสงสัยก็คือ ด้วยเหตุผลอะไรนะ -H ในหมู่ C-H จึงสร้างพันธะไฮโดรเจนกับ $Ti^{4+}$ แทนที่จะเป็นกับอะตอมออกซิเจนใน $TiO_2$ ผู้ที่สนใจโปรดติดตามในวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ฉบับต่อ ๆ ไป

(2) N. Sheppard et al., J. Chem. Soc., Chem. Communication, 1983, P.1258

## เลเซอร์ช่วยเร่งพันธุวิศวกรรม

นักวิจัยญี่ปุ่นใช้เลเซอร์ในการสอดใส่ DNA จากอวัยวะหนึ่งเข้าไปในอีกอวัยวะหนึ่งได้ เทคนิคใหม่นี้ควรจะทำให้การบอกจุดในยีนส์(genes)ที่เป็นสาเหตุของมะเร็งได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นก็ยังสามารถช่วยให้นักวิทยาศาสตร์ ผลิตโปรตีนเป็นปริมาณมาก ๆ และพัฒนาการเพิ่มผลิตผลทางเกษตรได้

เมื่อคอมพิวเตอร์ตัวหนึ่งต่อเข้ากับเซลล์ที่ใช้เป็นเป้าซึ่งวางอยู่ในของเหลวสำหรับเพาะเลี้ยงที่มี DNA อยู่ จากนั้นก็เจาะเซลล์ด้วยความเร็วอย่างสูงยิ่ง ในหน่วยของหลาย ๆ $10^{-9}$ วินาที (nanoseconds) โดยใช้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงอุลตราไวโอเลต (ultraviolet laser) ผลก็คือทำให้เกิดรูขนาดจิ๋วมาก ๆ ขึ้นที่เยื่อหุ้ม (membrane) ชั้นนอกของเซลล์ภายในเวลาประมาณ 1 วินาที และเวลานี้ก็นานพอที่จะทำให้ DNA เข้าไปในเซลล์ได้ก่อนที่รูจิ๋วนั้นจะปิด

คณะทำงานร่วมระหว่างผู้ชำนาญทางเลเซอร์และมะเร็งในห้องวิจัยที่มีชื่อแห่งหนึ่งของญี่ปุ่น ที่ได้รับความสนับสนุนจากรัฐบาล อยู่ที่สถาบันวิจัยทางฟิสิกส์และเคมี (Institute of Physical and Chemical Research) ที่ Wako - shi ใกล้โตเกียว คณะทำงานนี้ได้พัฒนาเทคนิคดังกล่าวข้างต้น ตามที่ ดร.ทาคาฮิโร คาซูยา (Dr. Takahiro Kasuya) รายงาน ก็คือนี่เป็นครั้งแรกที่เซลทำงานตามปกติหลังการถูกกระทำการด้วยเลเซอร์แล้ว

ในการหายีนส์ที่ก่อให้เกิดมะเร็งในเซลล์ที่เป็นโรคนั้น นักวิจัยกลุ่มดังกล่าว ได้ตัดเอายีนส์ที่สงสัย

ออกมา แล้วเอาไปสอดใส่เข้าในเซลล์ที่ปกติ ถ้าสมมุติว่า เซลล์ที่มียีนส์อยู่มากมายหลายแสนยีนส์จะทำให้ใช้เวลาอย่างมาก

วิธีการสอดใส่ยีนส์เข้าไป ที่เคยทำกันมา ทำได้ 2 วิธี คือ วิธีอาศัยมือและวิธีทางเคมี ทั้งสองวิธีนี้ต่างก็ประสบปัญหา

ในวิธีแรกคือการทำโดยอาศัยมือ จะใช้มือฉีดยีนส์เข้าไปในเซลล์ ที่เป็น host ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ วิธีนี้ต้องอาศัยความชำชองและต้องใช้สมาธิอย่างสูง อย่างดีที่สุดโดยวิธีการเช่นนี้จะได้เซลล์ที่ถูกใส่ยีนส์เข้าไป (doctored cell) ประมาณ 1000 เซลล์ต่อชั่วโมง และจะมีน้อยกว่า 1% ที่ทำงานได้ตามปกติต่อไปอีก

ในวิธีที่สองคือ อาศัยวิธีทางเคมี อัตราความสำเร็จ (success rate) โดยวิธีนี้จะยิ่งต่ำลงไปมากคือประมาณ 1 ใน 100,000 เคล็ดลับในการทำงานก็คือในตอนแรกนักวิทยาศาสตร์ต้องทำให้เยื่อหุ้มชั้นนอกของเซลล์อ่อนตัวลงเสียก่อน ซึ่งในกระบวนการเช่นนี้บ่อยครั้งที่ทำให้เซลล์ตาย

เทคนิคเลเซอร์ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทันสมัย และกึ่งอัตโนมัติ สามารถที่จะดัดแปลงเซลล์ได้ประมาณ 1000 เซลล์ต่อนาที ด้วยอัตราของความสำเร็จประมาณ 1 ถึง 100

กระบวนการนี้จะมีภาพแสดงให้เห็นเซลล์ปรากฏบนจอ เพื่อที่ผู้กระทำการจะสามารถชี้ลงไปด้วยปากกาแสง (light-pen) ว่าเซลล์ไหนที่เลเซอร์จะต้องเจาะ ดร.คาซูยากล่าวว่า ในอนาคตกระบวนการทำโดยเทคนิคเลเซอร์นี้จะเป็นระบบอัตโนมัติอย่างสมบูรณ์

เท่าที่คณะทำงานนี้ได้ทำงานมาก็มีการต่อยีนส์จาก *Escherichia coli* เข้าไปในเซลล์ไตของหนู (rat) คำถามในตอนนี้ก็คือ เทคนิคเช่นนี้จะทำให้ได้ผลที่น่าสนใจสำหรับนักวิจัยมะเร็ง และนักวิจัยทางเทคโนโลยีชีวภาพหรือไม่

(New Scientist 1 December 1983, p.662.)

## การทำความสะอาดสารพิษเหลือใช้ด้วยไฮโดรเจน

วิธีการใหม่ที่ค่อนข้างจะถูกในการทำลายสารพิษที่เหลือใช้พวกอินทรีย์คลอรีน (organochlorine) โดยขณะเดียวกันได้สารที่เป็นประโยชน์เกิดขึ้นเป็นผลพลอยได้คือกรดเกลือและไฮโดรคาร์บอนที่ใช้เป็นวัตถุดิบได้ Robert Louw, Hans Dijks และ Peter Mulder แห่งมหาวิทยาลัย Leiden ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ใช้ความร้อนและไฮโดรเจนในการแทนที่คลอรีนด้วยอะตอมไฮโดรเจน(thermal hydrodechlorination) ในสารประกอบอินทรีย์คลอรีนจำนวนมากมายหลายชนิด

สารประกอบอินทรีย์คลอรีนที่ผลิตขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อใช้กันอย่างกว้างขวางนั้น ได้นำไปใช้เป็นยากำจัดศัตรูพืช (รวมถึง DDT) และตัวทำละลาย สารประกอบพวกนี้บางตัวมีพิษสูงมาก และการทำลายสารเหลือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมย่อมก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม วิธีขจัดที่ดีที่สุดคือการเผาให้เป็นเถ้าที่อุณหภูมิสูงๆ ราว 1,100° C แต่วิธีนี้ค่อนข้างแพง อย่างไรก็ตาม ถ้าเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้จะให้ผลิตภัณฑ์พลอยได้ซึ่งเป็นอันตราย ตัวอย่างเช่น พีซีบี หรือ โพลีคลอริเนเตด ไบฟีไนล์ (polychlorinated biphenyls, PCB) ซึ่งใช้เป็นยากำจัดศัตรูพืช จะให้สารพลอยได้คือไดออกซิน (dioxins)

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมสารประกอบอินทรีย์

คลอรีน จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนแล้วให้ไฮโดรคาร์บอนกับ ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) นักวิทยาศาสตร์ชาวดัชช์กลุ่มดังกล่าว ได้ศึกษาปฏิกิริยาเช่นนี้ โดยใช้สารประกอบอินทรีย์คลอรีนชนิดต่าง ๆ ที่เป็นอนุพันธ์ของเบนซีน (benzene), อัลคีน(alkenes) และอัลเคน (alkanes) หลังจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบดังกล่าวกับ ไฮโดรเจน เกิดขึ้นภายใต้อุณหภูมิ 700-1000° C ก็ทำให้สารที่ได้เย็นลง ดักแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ที่ได้ด้วยน้ำจะได้กรดเกลือ ส่วนชนิดของไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้น สามารถวิเคราะห์ได้โดยอาศัยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟฟี (gas chromatography)

สารพวกคลอโรเบนซีน ถ้าอยู่ในที่มีอุณหภูมิ 1000° C นาน 2-3 นาที และปล่อยให้เปลี่ยนแปลงตามกระบวนการที่กล่าวข้างต้น จะสลายตัวให้ส่วนผสมของ เบนซีน (benzene), มีเธน (methane) และไฮโดรเจนคลอไรด์ ภายใต้ภาวะแบบเดียวกัน สารพวกคลอรีนเนเตดเอธิลีน (chlorinated ethylene) จะเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่า แล้วให้อัตราส่วนระหว่างเอธิลีน (ethylene) และอีเธน (ethane) ที่สูง สารผลผลิตไฮโดรเจนคาร์บอนเหล่านี้มีประโยชน์ เช่น มีเธน เป็นแหล่งพลังงานที่มีประโยชน์ และเอธิลีนก็เป็นวัตถุดิบที่สำคัญตัวหนึ่งสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเคมี

นักเคมีชาวดัชช์กลุ่มนี้เสนอความคิดขึ้นมาว่า ปฏิกิริยาการแทนที่ คลอรีนด้วยไฮโดรเจนโดยอาศัยความร้อนนั้น จะเกิดตามกลไกลูกโซ่ แรดิคัลอิสระ (free radical) อันใดอันหนึ่งในสองอันนี้คือ

$$R\text{-}Cl + H^{\cdot} \longrightarrow R\text{-}H + Cl^{\cdot}$$

$$Cl^{\cdot} + H_2 \longrightarrow HCl + H^{\cdot}$$

หรือ

$$R\text{-}Cl + H^{\cdot} \longrightarrow R^{\cdot} + HCl$$

$$R^{\cdot} + H_2 \longrightarrow R\text{-}H + H^{\cdot}$$

**หมายเหตุ:** แรดิคัลอินทรีย์คือโมเลกุลสารอินทรีย์ที่มีอิเล็กตรอนโดด

ภายใต้ภาวะของการเกิดปฏิกิริยา โมเลกุลไฮโดรเจนบางส่วนแตกออก เป็นอะตอมไฮโดรเจน แล้วอะตอมไฮโดรเจนรวมเข้ากับสารประกอบอินทรีย์คลอรีน โดยการแทนที่คลอรีนแล้วให้แรดิคัลคลอรีน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไฮโดรเจน แล้วให้ไฮโดรเจนคลอไรด์กับอะตอมไฮโดรเจนอีกตัวหนึ่ง

กลไกที่ให้เลือกได้อีกอันหนึ่งคือ อะตอมไฮโดรเจนดึงเอาอะตอมคลอรีนแล้วเกิดเป็นไฮโดรเจนคลอไรด์ และแรดิคัลอินทรีย์ ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อไปกับโมเลกุลไฮโดรเจนแล้วให้ไฮโดรคาร์บอน

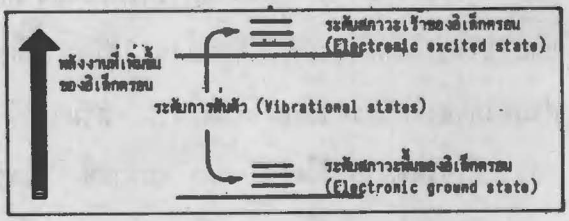
(New Scientist 1 December, 1983 p.656)

# เกร็ดความรู้

คนที่เคยเข้าไปในงานราตรีที่ใช้ไฟสลัว ๆ หรือในบาร์ดิสโก คงเคยเห็นว่า เสื้อผ้าสีอ่อน ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีขาวจะเรืองแสงได้เมื่อใช้แสงไฟช่วงอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet) ในความสลัว ๆ นั้น บางคนคงอยากรู้ว่าเป็นเพราะอะไร มีกลไกการเกิดอย่างไร และทำไมเสื้อผ้าสีอื่นจึงไม่เรืองแสง

เหตุผลก็คือ ในกระบวนการผลิตเส้นใย, สิ่งทอสีขาว หรือสีอ่อน ๆ รวมทั้งการซักฟอกธรรมดานั้น สารที่ใช้ซักฟอก (detergent) สมัยใหม่มักเติมสารเพิ่มประกายนวลเข้าไปด้วย สารพวกนี้เป็นพวกสีย้อมที่เรืองแสงได้ (fluorescent dye)ซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงอุลตราไวโอเลตและปล่อยแสงสีน้ำเงินออกมา ทำให้บดบังเงาสกปรกไว้ได้ ทำให้เสื้อผ้าหรือสิ่งทอดูขาวสะอาดน่าใช้มากขึ้น แสงสีน้ำเงินที่ถูกปล่อยออกมานี้ มีความยาวคลื่นยาวกว่าช่วงอุลตราไวโอเลต เราเรียกว่าเกิดการเรืองแสงขึ้น (fluorescing) แสงแดดมีความยาวคลื่นในช่วงอุลตราไวโอเลตน้อยมาก สารเรืองแสงที่ติดอยู่ตามเนื้อผ้าจึงเรืองแสงได้น้อยด้วย แต่ก็ยังทำให้เสื้อดูขาวสะอาดขึ้นกว่าเดิม ในบาร์ดิสโกที่ใช้แสงอุลตราไวโอเลต สารเรืองแสงที่ติดตามเส้นใยของเนื้อผ้าดูดกลืนคลื่นแสงช่วงนี้ได้มาก จึงเรืองแสงออกมาให้เห็นเป็นสีน้ำเงิน

ขั้นตอนต่าง ๆ ของการเกิดการเรืองแสงใน



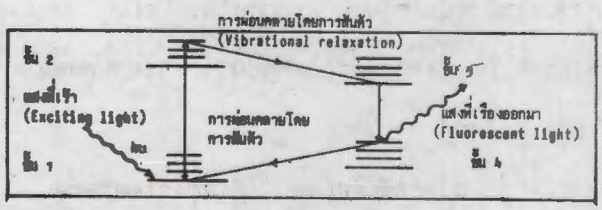

**รูปที่ 1 ระดับพลังงานในโมเลกุล**

โมเลกุล อธิบายได้โดยพิจารณาระดับพลังงานภายในโมเลกุล ดังแสดงในรูปที่ 1 กล่าวคือ เมื่อแสงเร้าโมเลกุล ทำให้อิเล็กตรอนจากระดับพลังงานต่ำสุดหรือสภาวะพื้น (ground state) กระโดดขึ้นไปยังระดับพลังงานสูงกว่า หรือสภาวะเร้า (excited state) จากนั้นอาจมีปรากฏการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้นได้หลายอย่าง เมื่ออิเล็กตรอนกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำสุดตามเดิมนั้น โมเลกุลคายพลังงานออกมาโดยการเรืองแสง ความยาวคลื่นของแสงที่เรืองออกมานี้ควรจะเท่ากับความยาวคลื่นของแสงที่ใช้เร้า แต่ในความเป็นจริง แสงที่คายออกมามีความยาวคลื่นยาวกว่าเดิม (พลังงานน้อยกว่า) แสดงว่าพลังงานส่วนหนึ่งของโมเลกุลที่สภาวะเร้ามีการเปลี่ยนแปลงโดยการนำไปใช้ในการสั่นตัวของอะตอมภายในโมเลกุล

สำหรับโมเลกุลใด ๆ ที่อิเล็กตรอนอยู่ในสภาวะพื้นมีจำนวนการสั่นตัวที่แน่นอนหลายแบบและมีได้หลายระดับพลังงาน โมเลกุลที่อิเล็กตรอนถูกเร้าพันธะเคมี

ของโมเลกุลคลายการยืดเหนี่ยวระหว่างอะตอมกล่าวคืออะตอมเคลื่อนห่างออกจากกันเล็กน้อย การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน(electronic transition) ในโมเลกุล (ในรูปที่ 2 จากขั้น 1 ไปยังขั้น 2) เกิดขึ้นรวดเร็วกว่าการสั่นตัวมาก อะตอมจึงอยู่ในภาวะ **"เครียด"** โมเลกุลผ่อนคลายโดยการเปลี่ยนแปลงการยืดเหนี่ยวของพันธะเคมี ซึ่งเกิดได้โดยการเปลี่ยนระดับพลังงานของการสั่นตัว พลังงานลดลงเล็กน้อยกว่าของโมเลกุลที่อิเล็กตรอนถูกเร้า (ในรูปที่ 2 จากขั้น 2 ไปยังขั้น 3)

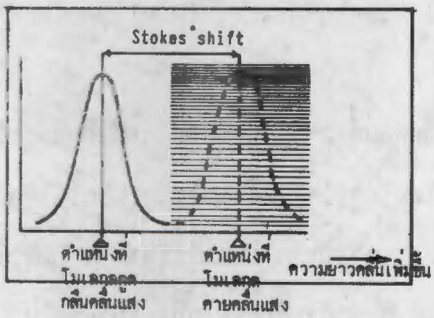
หลังจากนั้นอิเล็กตรอนที่ถูกเร้าจะตกลงมายังสภาวะพื้นและให้แสงที่เรือง (fluorescing light) ดังรูปที่ 2 จากขั้น 3 ไปยังขั้น 4 อะตอมในโมเลกุลยังอยู่ในสภาวะเร้า จึงมีการผ่อนคลายพลังงานโดยการสั่นตัวอีกครั้งหนึ่ง (จากรูปที่ 2 จากขั้น 4 ไปยังขั้น 1) จนกระทั่งโมเลกุลอยู่ในระดับพลังงานต่ำสุด (สภาวะพื้น) เหมือนเมื่อเริ่มต้น




**รูปที่ 2 ขั้นตอนการเกิด Stokes shift**

เพราะว่าการผ่อนคลายโดยการสั่นตัวของโมเลกุลมี 2 ขั้นตอน อิเล็กตรอนที่ถูกเร้าลดพลังงานลงจากเดิมเล็กน้อยโดยการสั่นตัวของโมเลกุล ก่อนเกิดการเรืองแสงในเวลาต่อมา ความแตกต่างของความยาวคลื่นของแสงที่เรืองและแสงเร้าเรียกว่า **"red-shifted"** ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ความยาวคลื่นมากขึ้น (พลังงานต่ำลง) นักวิทยาศาสตร์เรียกการเปลี่ยนไปนี้ว่า **"Stokes shift"**

**ถอดความและเพิ่มเติม จาก L.Milgrom, New Scientist, 13 October 1983, p.106.**




**รูปที่ 3 ตำแหน่งของ Stokes shift ที่ปรากฏ**

## วิธีตรวจสอบผ้าไหม: แท้หรือเทียม

การตรวจสอบว่า เส้นไหมที่ใช้ทอผ้าไหมนั้นเป็นไหมแท้(ไหมธรรมชาติ)หรือไม่นั้น จะต้องทำการทดสอบเป็นขั้น ๆ ไป เพราะเส้นใยต่าง ๆ ที่นำมาทอเป็นผ้านั้น อาจจะทำมาจากพืช เช่น ฝ้าย หรืออาจได้มาจากสัตว์เช่น ขนสัตว์ต่าง ๆ หรืออาจจะทำมาจากผลผลิตที่ได้จากสัตว์บางประเภท เช่นตัวไหม หรืออาจจะทำมาจากเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้น เป็นต้น ดังนั้นการตรวจสอบจึงต้องกระทำเป็นขั้น ๆ ไป เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้อง ตามวิธีการวิเคราะห์ต่อไปนี้คือ

**ขั้นตอนที่ 1** วิธีทดสอบว่าเส้นใย และเส้นพุ่งทำมาจากขนสัตว์หรือใยพืชหรือไม่ ทำได้ 2 วิธี คือ

1.1 นำเส้นยืนและเส้นพุ่ง แยกกันใส่ในถ้วยแก้วมาอย่างละ 1 ถ้วย แล้วเติมด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เข้มข้น 5-10% แล้วนำไปต้มตั้งทิ้งไว้และสังเกตผล ถ้าเส้นใยทำมาจากขนสัตว์จะละลายหมด แต่ถ้าทำจากพืชจะไม่ละลาย

1.2 นำเส้นยืนและเส้นพุ่งมาใหม่ใส่ในถ้วยแก้วอีกอย่างละ 1 ถ้วย แล้วเติมกรดดินประสิว หรือกรดไนตริก ($HNO_3$) เข้มข้นลงไปแล้วสังเกตผล ถ้าเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แสดงว่า ทำมาจากขนสัตว์ แต่

ถ้าไม่เปลี่ยนสีและไม่ละลาย แสดงว่าทำมาจากพืช

จากผลในขั้นนี้ จะพิสูจน์ได้ว่าเส้นยืนและเส้นพุ่งทำมาจากขนสัตว์หรือไม่และถ้าใช่ จะทำจากไหม (silk) หรือทำจากขนสัตว์ (wool)ที่ทดสอบตามวิธีที่ต่อไปคือ

**ขั้นตอนที่ 2** วิธีทดสอบว่าเส้นยืนและเส้นพุ่งทำจากไหม (silk) หรือขนสัตว์ (wool)ให้ทำดังนี้

2.1 นำเส้นยืนและเส้นพุ่งมาใส่ในถ้วยแก้วอย่างละถ้วย แล้วเติมกรดเกลือเข้มข้นลงไป นำไปอุ่นจะปรากฏว่า ถ้าทำด้วยไหมจะละลายหมา ในเวลาอันสั้น แต่การทำด้วยขนสัตว์จะละลายให้หมดต้องใช้เวลาหลายวัน

2.2 นำเส้นยืนและเส้นพุ่งแยกใส่ถ้วยแก้วอย่างละ 1 ถ้วย แล้วเติมสารละลายสังกะสีซัลเฟต ($ZnSO_4$) ที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.7 ลงไป แล้วนำไปอุ่น แล้วสังเกตผล ถ้าละลายได้หมด แสดงว่า ทำจากไหม แต่ถ้าไม่ละลาย แสดงว่าทำจากขนสัตว์

จากขั้นตอนที่ 2 จะทราบว่าเส้นยืนและเส้นพุ่งเป็นไหมหรือไม่ แต่จะต้องพิสูจน์ให้แน่ว่าเป็น "ไหมธรรมชาติ" หรือ "ไหมสังเคราะห์(ไหมเทียม)" ท่านสามารถทำการทดสอบได้ตามขั้นตอนที่ 3

**ขั้นตอนที่ 3** วิธีทดสอบว่าเส้นยืนและเส้นพุ่งเป็นไหมธรรมชาติหรือไม่

3.1 นำเส้นยืนและเส้นพุ่งแยกใส่ถ้วยอย่างละ 1 ถ้วย แล้วเติมสารละลายที่เตรียมดังต่อไปนี้ลงไป: เติมทองแดงซัลเฟต ($CuSO_4$) 10 กรัม ลงไปในน้ำกลั่น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเติมกลีเซอรีน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะเกิดตะกอนสีขาว จากนั้นเติมสารละลายด่างไปแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ลงไปทีละน้อย จนตะกอนขาวละลายหมดไป

จากนั้นสังเกตผล ถ้าพบว่าเส้นใยละลายหมด แสดงว่าเป็น "ไหมธรรมชาติ" แต่ถ้าละลายไม่หมด แสดงว่าเป็นไหมสังเคราะห์

## ส่วนประกอบของแป้งโรยตัว

แป้งโรยตัวมักจะเป็นฝุ่นสีขาวเม็ดละเอียดปราศจากความมัด ลื่น และกระจายตัวได้ดี สามารถดูดซึมเหงื่อ ซับไขมันได้ดี มีตัวยาป้องกันเชื้อโรคและรักษาผิวเจ็บปนอยู่ ส่วนประกอบสำคัญมี

1. แมกนีเซียมซิลิเกต (Magnesium silicate, $MgSiO_3$) ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นฝุ่น(Talcum) ถ้าเป็นแป้งผัดหน้าจะมีส่วนผสมอยู่ 40-60% ถ้าเป็นแป้งโรยตัวจะมีส่วนนี้อยู่ 90-99% จะช่วยให้ลื่นและกระจายตัวได้ดี

2. แคลเซียมคาร์บอเนต หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate, $CaCO_3$ or Magnesium carbonate, $MgCO_3$) จะช่วยดูดซึมเหงื่อและไขมัน

3. สังกะสีสเตียเรต (Zinc stearate, $(C_{17}H_{35}COO)_2Zn$) ช่วยป้องกันไม่ให้ส่วนผสมของแป้งหลุดออกจากผิวกาย

4. แมกนีเซียมสเตียเรต$(C_{17}H_{35}COO)_2Mg$ ทำหน้าที่เหมือนในข้อ 3

# คอลัมภูมิ

คอลัมภ์นี้จะจัดเป็นประจำในวารสารวิทยาศาสตร์ มช. จุดประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านได้ทดลองใช้ภูมิปัญญาในการตีความหมายของประโยคปริศนา และหาคำตอบที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับคำถามที่สุด นอกจากนี้จำนวนอักษรในคำตอบจะต้องเท่ากับจำนวนช่องที่กำหนดไว้ด้วย ผู้ที่ตอบปัญหาได้ถูกต้องและส่งไปอึงบรรณาธิการทุกคน จะได้รับรางวัลตอบแทนพร้อมทั้งได้รับการลงชื่อเพื่อประกาศความสามารถในเล่มต่อไป

## เฉลยปัญหาฉบับที่แล้ว

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | G | O | S | S | Y | P | O | L | |
| M | E | T | H | A | N | O | L | | | | | | | | |
| | | | | | | | Y | E | A | S | T | | | | |
| A | R | S | E | N | I | | C | | | | | | | | |
| | | | | | | | I | N | S | E | C | T | I | S | I | D | E |
| I | N | S | U | L | I | | N | | | | | | | | |
| | | | | | | | E | S | T | R | O | G | E | N | |

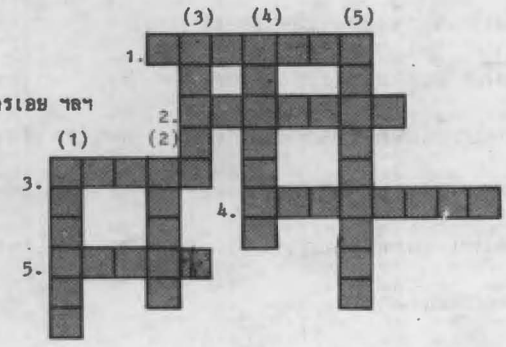
แถวนอน
1. คุณทราบไหมว่า ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ใช้เจ้านี้เป็นยาคุมกำเนิดในผู้ชาย
2. พวกพ่อค้าที่เห็นแก่ตัวชอบเอาสารนี้มาปลอมปนในเหล้า และบางทีก็ปนในสารละลายที่ใช้ทำหวกสเปรย์
3. อยากหมักไวน์รึ เอ้า เอาเจ้านี้ไปเลี้ยงซิ
4. สารตัวนี้สมัยก่อนใช้เป็นยาเบื่อหนู แต่เดี๋ยวนี้เลิกใช้แล้ว เพราะพิษสูง
5. ผักเจ้านี้งามจัง แต่ชักกลัวสารพิษตกค้างซะแล้ว
6. เจ้านี่แหละที่จะทำให้น้ำตาลในเลือดลดต่ำลงได้
7. นี่แหละคือส่วนประกอบในยาคุมกำเนิดของสตรี

แถวตั้ง ภรตอัลฟาอะมิโนตัวนี้ ไม่มี asymetric carbon atom จริง ๆ ด้วย

**ผู้ที่ตอบปัญหาถูก คือ**

1) ดร.ดริตาภรณ์ ชูศรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2) อาจารย์วิวัฒน์ หาญวจนวงศ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
3) ผศ.จารุมาลย์ จิตรังษี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## ปัญหาประจำฉบับ : โดย ดาวัลย์ บุญยะรัตน์




แถวนอน
1. ใครก็รู้ว่า การทำงานของสมองต้องอาศัยพลังงานจากฉัน
2. ถ้ากินเนื้อสัตว์ ก็ไม่ขาดสิ่งนี้แน่
3. บทบาทฉันในร่างกายมีสารพัด ขนส่งออกซิเจนเอย ขนส่งอาหารเอย ฯลฯ แต่พอหลุดออกมานอกร่างกายให้เห็นกลับทำเป็นขยะแขยง
4. อากาศ(บรรยากาศ) มีสารชนิดนี้เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุด
5. ธาตุลิเธียม(lithium) อยู่ในตำลับนี้เอง

แถวตั้ง
1. ฉันเป็นวิตามินตัวหนึ่ง ถ้ารับประทานไข่ขาวดิบมากไป จะทำให้ขาดฉัน
2. รังไข่ไงล่ะ
3. การเต้นของหัวใจต้องใช้พลังงานจากฉัน เมื่อใดที่สมองขาดพลังงานจากเบอร์ 1 แถวนอน ก็ต้องวิ่งมาพึ่งพลังงานทดแทนจากฉันเท่านั้น
4. ทำอย่างไรจะให้ดื่มน้ำเย็นเจี๊ยบจับใจ
5. ฉันเป็นส่วนนอกสุดของผิวหนัง

วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ ๑๑ ฉบับที่ ๔ ต.ค. - ธ.ค. ๒๕๒๖

# การเตรียมและการศึกษาสภาวะการเตรียมลิโทโพนจากแร่แบไรท์

วลัยรัตน์ ศรีรุ่งเรือง *
สุรศักดิ์ สุจริตวณิชพงศ์ **

**บทคัดย่อ**

เนื่องจากการสำรวจแหล่งแร่ของกรมทรัพยากรธรณีได้พบแหล่งแร่แบไรท์สำรองอยู่เป็นจำนวนมาก ประกอบกับราคาของแร่แบไรท์บดมีราคาไม่สูงมากนัก จึงเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมการผลิต เคมี ภัณฑ์ ของแบเรียมต่าง ๆ จากแร่แบไรท์มีความน่าสนใจอยู่มาก ดังนั้นจึงได้มีหน่วยงานต่าง ๆ พยายามผลิตเคมีภัณฑ์ของแบเรียมต่าง ๆ จากแร่แบไรท์ขึ้นมาใช้ประโยชน์กันมากขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้กล่าวถึงการผลิตลิโทโพนและการศึกษาสภาวะการเตรียมลิโทโพน ซึ่งใช้เป็นแม่สีสีขาวจากแร่แบไรท์ของบริษัทไทยสินพัฒนา จำกัด กรุงเทพฯ ซึ่งแบ่งขั้นตอนการเตรียมได้หลายขั้นตอน ดังนี้คือ ขั้นตอนการเตรียมแบลคแอช ขั้นตอนการละลายแบเรียมซัลไฟด์จากแบลคเอช ขั้นตอนการผสมระหว่างแบเรียมซัลไฟด์กับสังกะสีซัลเฟต เพื่อให้เกิดลิโทโพน และขั้นตอนการเผาเพื่อให้ลิโทโพนที่เตรียมได้มีคุณสมบัติดีขึ้น

จากผลการทดลองปรากฏว่าลิโทโพนที่ เตรียมได้มีองค์ประกอบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือมีแบเรียมซัลเฟต 60-70 % และสังกะสีซัลไฟด์ 20 - 35 % นอกจากนี้ได้นำเอาลิโทโพนที่เตรียมได้ ไปวิเคราะห์โครงสร้างของสังกะสีซัลไฟด์ พบว่าสังกะสีซัลไฟด์ในลิโทโพนมีโครงสร้างเป็นแบบ wurtzite ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความคงทนที่อุณหภูมิสูงจึงเหมาะสมสำหรับใช้ในการเป็นแม่สีสีขาวได้อย่างดี

## 1. บทนำ

จากการสำรวจแหล่งแร่ของกรมทรัพยากรธรณีได้พบแหล่งแร่แบไรท์ที่มีปริมาณแร่สมบูรณ์หลายแห่งในประเทศไทย แร่แบไรท์ที่พบส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เกิดในสายแร่ มักพบอยู่บนเนินเขาหรือยอดเขาในเกือบทุกภาคของประเทศ ดังต่อไปนี้

ภาคเหนือ พบที่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง ตาก สุโขทัย อุตรดิตถ์ เชียงราย และ แพร่

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบที่ จังหวัดเลย อุดรธานี และเพชรบูรณ์

ภาคตะวันออก พบที่ จังหวัดชลบุรี ระยอง และจันทบุรี

ภาคใต้ พบที่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรี-

* นักวิทยาศาสตร์ 4 ฝ่ายเคมีวิเคราะห์ กองธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม (อาจารย์พิเศษภาควิชาเคมี สจ.ธ)
** อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สจ.ธ

ธรรมราช ตรัง สงขลา สตูล และกระบี่

สำหรับแหล่งแร่แบไรท์ที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทยในปัจจุบัน คือ แหล่งภูไม้ตอง กิ่งอำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งประมาณว่าจะมีปริมาณแร่แบไรท์สำรองไม่น้อยกว่า 6 ล้านตัน รองลงมาได้แก่ แหล่งแร่บ่อหินขาว จังหวัดเลย ซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณแร่แบไรท์สำรองประมาณ 2.4 ล้านตัน แหล่งแร่แบไรท์ที่สำคัญอื่น ๆ นอกจากนี้ได้แก่ แหล่งแร่เขาไม้ไผ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช แหล่งแร่คอยรุ่งระหริ่ง จังหวัดตาก แหล่งแร่คลองงาน-ห้วยแก้ว จังหวัดสุราษฎร์ธานี นอกจากนี้ก็เป็นแหล่งแร่ขนาดเล็กที่กระจายอยู่ตามภาคต่าง ๆ ของประเทศ รวมแหล่งแร่ทั้งหมดแล้วประเทศไทย จะมีปริมาณแร่แบไรท์สำรองทั้งสิ้นประมาณ 15 ล้านตัน(1)

จากการสำรวจของกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม พบว่าปริมาณแร่แบไรท์ที่ขุดได้เกือบทั้งหมดในประเทศไทยถูกนำมาบด เพื่อส่งเป็นสินค้าออกขายยังต่างประเทศ โดยประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์จะใช้ในขบวนการเจาะสำรวจน้ำมัน และประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ใช้ในอุตสาหกรรมผลิต เคมีภัณฑ์ของสารประกอบแบเรียม

เนื่องจากปริมาณแร่แบไรท์สำรองในประเทศมีอยู่มาก ประกอบกับแบไรท์บดมีราคาไม่สูงมากนัก คือประมาณตันละ 1,100-1,400 บาท(พ.ศ.2521) จึงเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมการผลิต เคมีภัณฑ์ของแบเรียมต่าง ๆ จากแร่แบไรท์มีความน่าสนใจอยู่มาก ดังนั้นจึงได้มีหน่วยงานต่าง ๆ พยายามศึกษาค้นคว้าในการที่จะนำแร่แบไรท์มาใช้ประโยชน์ภายในประเทศมากขึ้น เช่น ในปี พ.ศ.2523 กองโลหะกรรม กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม ได้มีโครงการศึกษากรรมวิธีการผลิตลิโทโพน ซึ่งเป็นแม่สีสีขาวที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมยาง เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นสินค้าที่มีการสั่งนำเข้าจากต่างประเทศในปริมาณสูง

ในปัจจุบันนี้มีแม่สีสีขาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมการทำสีอยู่หลายชนิด เช่น แม่สีไททาเนียม แม่สีตะกั่ว และแม่สีลิโทโพน เป็นต้น ที่นิยมใช้มากที่สุดคือแม่สีไททาเนียม เนื่องจากมีคุณสมบัติดี มีความคงทนสูง แต่มีข้อเสียคือมีราคาแพง แม่สีที่นิยมใช้กันอีกชนิดหนึ่ง คือ แม่สีลิโทโพน ซึ่งมีราคาถูกกว่าและมีคุณสมบัติดี แม้ว่าจะไม่ดีเท่ากับแม่สีไททาเนียม สีที่ผลิตจากแม่สีลิโทโพนเป็นสีที่มีราคาถูก จึง เหมาะสม กับ เศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบัน กรรมวิธีการผลิตแม่สีลิโทโพนไม่ยุ่งยากและเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตมีราคาไม่แพงมากนัก นอกจากนี้วัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตก็สามารถหาได้จากภายในประเทศ ซึ่งเป็นการประหยัด และไม่เป็นการเสียเปรียบดุลการค้าแก่ต่างประเทศอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อที่จะศึกษาถึงกรรมวิธีการผลิตลิโทโพนจากแร่แบไรท์ และหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตลิโทโพน เพื่อ ให้ได้ปริมาณของลิโทโพนมากที่สุด

## 2. ทฤษฎีการผลิตลิโทโพน

กรรมวิธีการผลิตลิโทโพน มีขบวนการใหญ่ ๆ อยู่ 2 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแบเรียมซัลไฟด์

การเตรียมสารละลายแบเรียมซัลไฟด์จากแร่แบไรท์นี้ยังแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ อีก 2 ขั้นตอน คือ กระบวนการเตรียมแบลคแอช (black ash process) และการละลาย (leaching)

## กระบวนการเตรียมแบลคแอช

ขบวนการเตรียมแบลคแอชเป็นการเผาแร่แบไรท์ (Barytes) กับถ่านโค้ก (coke) ที่อุณหภูมิสูง แร่ที่จะนำมาใช้ควรบดให้ได้ขนาดเสียก่อน โดยให้มีขนาดอย่างต่ำ 20 meshส่วนใหญ่แล้วแร่แบไรท์ทั่วไปจะมี เหล็ก ซิลิกา (silica) อลูมิเนียม แคลไซท์ (calcite)ยิบซัม (gypsm)และโดโลไมท์(dolomite) เจือปนอยู่ไม่มากก็น้อยแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิด แคลเซียมและแมกนีเซียมไม่ค่อยมีผลต่อปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงแบเรียมซัลเฟตเป็นแบเรียมซัลไฟด์เท่าใดนัก แต่ถ้าเป็นซิลิกา เหล็ก และอลูมิเนียมแล้ว ทั้ง 3 ตัวจะทำปฏิกิริยากับแบเรียมเกิดเป็นสารประกอบแบเรียมซิลิเกตเฟอร์เรต และแบเรียมคาร์บอเนตที่ละลายน้ำได้ยากแต่ละลายได้ในกรด มีผู้ทดลองพบว่าถ้ามีเหล็กออกไซด์ในแร่ 1-2เปอร์เซ็นต์แล้ว จะทำให้ปริมาณแบเรียมซัลไฟด์ลดลงจาก 90 เปอร์เซ็นต์ เป็น 76-78 เปอร์เซ็นต์ และที่สำคัญที่สุดคือ ซิลิเกตซึ่งมักพบเจือปนอยู่ในแร่เสมอ เมื่อเกิดปฏิกิริยากับแบเรียมจะ ให้สารประกอบแบเรียมเมตาซิลิเกต (barium metasilicate) ที่มีสูตรทางเคมีเป็น $BaSiO_3$

ในการเตรียมแบลคแอชให้ได้ผลดี ทำโดยผสมแร่แบไรท์กับถ่านโค้กในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วนำไปเผาในเตาเผาแบบนอน หรือในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ใช้เตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln) พร้อมทั้งเร่งความร้อนอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ อย่างสม่ำเสมอหลังจาก 1 ชั่วโมง ปฏิกิริยารีดักชันจะดำเนินไปในอัตราคงที่ หลังจาก 3 ชั่วโมงเมื่ออุณหภูมิใกล้ถึง 1150-1200 °C สังเกตได้จากส่วนผสมของแร่แบไรท์กับ ถ่านโค้ก จะ ค่อน ข้างเหนียวเล็กน้อย จึงปิดเตา ถ้าเผาต่อไปจะทำให้เกิดสารประกอบของแบเรียมที่ละลายน้ำได้ยาก เพิ่มมากขึ้น หลังจากเผาแล้วจะได้สารที่มีสีเทาหรือน้ำตาล เรียกว่า แบลคแอช ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแบเรียมซัลไฟด์และสิ่งเจือปนอื่น ๆ

สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อเผาแร่แบไรท์กับถ่านโค้กในเตาเผาเป็นปฏิกิริยารีดักชันแสดงได้ดังนี้

$$BaSO_4 + 4C = BaS + 4CO$$

หรือ $$BaSO_4 + 2C = BaS + 2CO_2$$

หรือ $$BaSO_4 + 4CO = BaS + 4CO_2$$

จากปฏิกิริยาพบว่าคาร์บอนเป็น ตัวทำ ให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbonmonoxide) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ถ่านโค้กเป็นตัวทำ ให้ เกิด ปฏิกิริยาแต่ก็สามารถใช้สิ่งอื่นแทนได้ เช่น ถ่านไม้ น้ำมันหรือ แก๊ส เป็นต้น

## การละลาย

การละลายเป็นการนำแบลคแอชที่ เตรียมได้จากขั้นตอนแรกมาละลายน้ำ จะได้สารละลายของแบเรียมซัลไฟด์ที่มีความเป็นเบสสูง ปฏิกิริยาในการละลายจะเป็นดังนี้

$$2BaS + 2H_2O = Ba(SH)_2 + Ba(OH)_2$$

Barium mercaptan

แบลคแอชที่นำออกจากเตาเผา จะมี ขนาดใหญ่ประมาณ 10-200 mesh ดังนั้นจึงควรบดให้ละเอียดเสียก่อนที่จะนำมาละลายน้ำ การบดกระทำได้ทั้งในลักษณะแห้งหรือเปียก การบดให้ละเอียดจะมีผลต่อการละลายของแบเรียมซัลไฟด์ที่มีอยู่ในแบลคแอชด้วย

แบลคแอชที่ออกจากเตาเผาจะมีอุณหภูมิ ประมาณ 800- 1000 °C ถ้าปล่อยให้เย็นในบรรยากาศธรรมดา อาจเกิดการสูญเสียของแบเรียมซัลไฟด์

เนื่องจากถูกออกซิไดส์โดยอากาศ อาจป้องกันการสูญเสียของแบเรียมซัลไฟด์นี้ได้โดยการเทแบลคแอชที่ร้อนลงในน้ำเย็นทันที แล้วนำมาบดต่อในเครื่องบด (ball mill) เป็นการใช้ความร้อนสืบเนื่องให้เป็นประโยชน์

2.2 การผสมสารละลายให้เกิดลิโทโพน

การผสมสารละลายให้เกิดลิโทโพนเป็นการนำสารละลายแบเรียมซัลไฟด์ที่เตรียมได้จากขั้นตอนแรกมาผสมกับสารละลายสังกะสีซัลเฟตที่มีความเข้มข้นเหมาะสมในอัตราส่วนที่มีจำนวนกรัมสมมูลเท่ากัน

$$ZnSO_4 + BaS = ZnS + BaSO_4$$

จากปฏิกิริยาพบว่าตะกอนสีขาวที่ได้จะมีสังกะสีซัลไฟด์เกือบ 30 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลืออีก 70 เปอร์เซ็นต์เป็นแบเรียมซัลเฟต กรองตะกอนที่ได้ล้างหลาย ๆ ครั้ง ทำให้แห้ง บด แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800-1000 °C เพื่อปรับปรุงคุณภาพของการเป็นแม่สีให้ดีขึ้น เมื่อเผาแล้วให้เทลงในน้ำเย็นทันที กรองแล้วทำให้แห้ง บดให้ได้ขนาด ก็จะได้ลิโทโพนที่มีคุณสมบัติของการเป็นแม่สีสีขาวตามต้องการ

การเตรียมลิโทโพนข้างต้นนี้จะได้ลิโทโพนที่มีปริมาณของสังกะสีซัลไฟด์ ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ถ้าต้องการเตรียมลิโทโพนที่มีปริมาณของสังกะสีซัลไฟด์มากกว่านี้ ทำได้โดยการใส่สังกะสีคลอไรด์ (zinc chloride) ลงในขั้นตอนการผสมสารละลายเพื่อให้เกิดตะกอนลิโทโพนปฏิกิริยาที่เกิดเป็นดังนี้

$$4\ BaS + ZnSO_4 + ZnCl_2 = 4\ ZnS + BaSO_4 + 3\ BaCl_2$$

จากปฏิกิริยาพบว่าสังกะสีซัลไฟด์และแบเรียมซัลเฟตจะตกตะกอนออกมาร่วมกัน ส่วนแบเรียมคลอไรด์จะละลายอยู่ในสารละลาย ลิโทโพนที่ได้นี้จะมีปริมาณของสังกะสีซัลไฟด์ผสมอยู่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์

ในระหว่างการเผาตะกอนของลิโทโพน เพื่อปรับปรุงคุณภาพนั้น จะต้องระวังไม่ให้เกิดการออกซิเดชันของสังกะสีซัลไฟด์ กลายเป็นสังกะสีซัลเฟต ทั้งนี้ทำได้โดยไม่ให้มีออกซิเจนอยู่ในเตาเผา คือ เผาแบบปิด สำหรับขนาดของตะกอนลิโทโพนที่ได้จากการผสมสารละลายนั้นจะมีขนาดเล็กมาก ประมาณ 0.05 ไมโครเมตร แต่เมื่อเผาออกมาแล้วก็จะทำให้ลิโทโพนมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 0.4 ไมโครเมตร

## 3. การทดลอง

ในการทดลองเตรียมลิโทโพนจากแร่แบไรท์ตัวอย่างและการวิเคราะห์ แบ่งการทดลองได้เป็นขั้นตอนดังนี้

3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่แบไรท์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่แบไรท์ตัวอย่างซึ่งบดละเอียดขนาด 170 mesh ของบริษัทไทยสินพัฒนาอุตสาหกรรม จำกัด กรุงเทพฯ ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน[2] และปรากฏผลดังแสดงในตารางที่ 1

3.2 การเตรียมแบลคแอชจากแร่แบไรท์ตัวอย่าง

การเตรียมแบลคแอช จากแร่แบไรท์ตัวอย่างทำได้โดยนำแร่แบไรท์ตัวอย่างของบริษัทไทยสินพัฒนาอุตสาหกรรม จำกัด กรุงเทพฯ ซึ่งบดละเอียดแล้วมีขนาดเฉลี่ย 170 mesh มาผสมกับถ่านโค้กขนาด 100, 20 และ 10 mesh ให้เข้ากันอย่างดีในอัตราส่วน แร่แบไรท์:ถ่านโค้ก 10:4 และ 10:2 แล้วนำไปเผาในเตาเผา ซึ่งเป็นเตาอบที่อุณหภูมิ 1200 °C เป็นเวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้

เย็นในเตาเผาจนอุณหภูมิลดลงถึงประมาณ 600 °C จึงนำออกจากเตาเผาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในอากาศ จะได้สารที่มีสีเทาเข้ม เรียกว่า แบลคแอช นำแบลคแอชที่เตรียมได้นี้ไปวิเคราะห์ปริมาณของแบเรียมซัลไฟด์และแบเรียมคาร์บอเนต ตามเอกสารอ้างอิงหมายเลข 3-4 ปรากฏผลดังแสดงในตารางที่ 2

3.3 การเตรียมสารละลายแบเรียมซัลไฟด์จากแบลคแอช

นำแบลคแอชที่เตรียมได้ในข้อ 3.2 ละลายด้วยน้ำร้อน(100 °C) พร้อมคนด้วยเครื่องคนเป็นเวลา 60 นาที ครั้งละ 30 มิลลิลิตร 2-3 ครั้ง กรองแยกขี้เถ้าออกจะได้สารละลายแบเรียมซัลไฟด์

3.4 การผสมเพื่อเตรียมลิโทโพน

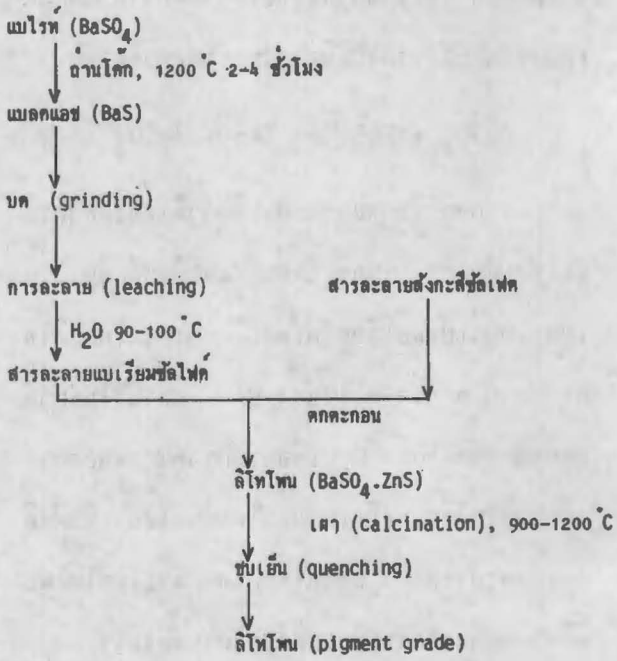
นำสารละลายแบเรียมซัลไฟด์ที่เตรียมได้ในข้อ 3.3 และสารละลายสังกะสีซัลเฟตเข้มข้น 1 โมลาร์มาผสมกันในอัตราเร็วพอประมาณ พร้อมคนตลอดเวลาโดยให้มีปริมาณของสังกะสีซัลเฟตเกินพอเล็กน้อย จนกระทั่งได้ตะกอนของลิโทโพนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ (ตะกอนลิโทโพนที่ได้มีสีขาวค่อนข้างเขียว) ตั้งทิ้งไว้สักครู่ เพื่อให้ตะกอนตกอย่างสมบูรณ์ ล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อยจนกว่าจะได้สารละลายใสไม่มีสังกะสีซัลเฟตเหลืออยู่จึงทำการกรอง นำตะกอนที่กรองได้แล้วไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 100 °C แล้วนำไปบดเพื่อเตรียมเผาในขั้นต่อไป

3.5 การเผา

ลิโทโพนที่อบแห้งแล้วนำไปเผาในเตาเผาโดยควบคุมให้มีการเพิ่มของอุณหภูมิอย่างช้า ๆ จนถึง 900-1000 °C และป้องกันการสัมผัสกับอากาศให้น้อยที่สุดพร้อมทั้งให้ความร้อนแก่ลิโทโพนอย่างทั่วถึง หลังจากเผาแล้วประมาณ 20-30 นาที นำลิโทโพนออกจากเตาเผาและเทลงน้ำเย็นทันที(quenching) ขณะที่เท คนตลอดเวลา นำไปกรองและอบไล่ความชื้นที่ 150-200 °C จะได้ลิโทโพนที่มีคุณสมบัติเป็นแม่สีเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปตามต้องการ

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแบเรียมซัลเฟตและสังกะสีซัลไฟด์ในลิโทโพน ทำได้ตามเอกสารอ้างอิงหมายเลข 2 และ 5

แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตลิโทโพน




## 4. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองเตรียมและหาภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมลิโทโพนจากแร่แบไรท์ตัวอย่างของบริษัทไทยสินพัฒนา จำกัด กรุงเทพฯ กับถ่านโค้ก ซึ่งได้จากกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม ปรากฏผลดังต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์ทาองค์ประกอบของแร่แบไรท์ตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์ทาองค์ประกอบของแร่แบไรท์ตัวอย่างที่มีขนาดโดยเฉลี่ย 170 mesh ปรากฏผลดังนี้

**ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของแร่แบไรท์ตัวอย่าง**

| สารประกอบ | เปอร์เซ็นต์ |
|---|---|
| แบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) | 77.62 |
| ซิลิกา ($SiO_2$) | 14.81 |
| เหล็กออกไซด์ ($Fe_2O_3$) | 1.02 |
| แคลเซียมออกไซด์ (CaO) | 0.09 |
| แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) | 0.31 |
| อะลูมิเนียมออกไซด์ ($Al_2O_3$) | trace |

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าแร่แบไรท์ที่นำมาใช้เตรียมแบลคแอชมีแบเรียมซัลเฟตเฉลี่ย 77.62 % ซึ่งมีปริมาณมากเพียงพอที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตลิโทโพนได้

4.2 การเตรียมและวิเคราะห์แบลคแอช

ในการเตรียมแบลคแอช ทำได้โดยการนำแร่แบไรท์ตัวอย่างซึ่งบดจนมีขนาด 170 mesh มาผสมกับถ่านโค้กให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของแร่แบไรท์ต่อถ่านโค้กและขนาดของถ่านโค้ก แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นอุณหภูมิและเวลาที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ดีที่สุด เมื่อนำแบลคแอชที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ปรากฏผลดังแสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่าในการเผาแร่แบไรท์ที่มีปริมาณแบเรียมซัลเฟต 77.62 % และซิลิกา($SiO_2$) 14.81 % กับถ่านโค้ก ขนาดและอัตราส่วนต่าง ๆ นั้น ขนาดของถ่านโค้กที่เหมาะสมซึ่งทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ของแบเรียมซัลไฟด์สูงที่สุดคือขนาด 20 mesh และอัตราส่วนของแร่แบไรท์ ต่อถ่านโค้กที่ดีที่สุด คือ 10: 4 ซึ่งให้แบลคแอชที่มีเปอร์เซ็นต์แบเรียมซัลไฟด์ถึง 75.37 % แต่ถ้าใช้อัตราส่วนของแร่แบไรท์ต่อถ่านโค้กน้อยกว่า 10:4 แล้วพบว่า ปริมาณของถ่านโค้กมีน้อยเกินไป ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ปริมาณของแบเรียมซัลไฟด์ที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อยลง นอกจากนี้แล้วยังพบว่าขนาดของถ่านโค้กที่ใช้ และปริมาณซิลิกาที่มีอยู่ในแร่แบไรท์ตัวอย่าง ยังมีผลต่อปริมาณของแบเรียมซัลไฟด์ในแบลคแอชด้วย โดยที่ขนาดของถ่านโค้กที่ใช้ถ้ามีขนาดเล็กมาก เช่น 100 mesh จะทำให้ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ และทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยาได้กับแบเรียมซัลเฟตอย่างช้า ๆ ได้แบเรียมคาร์บอเนตอยู่ในแบลคแอช

**ตารางที่ 2 แสดงผลการเตรียมแบลคแอช, ลิโทโพน จากแร่แบไรท์โดยใช้ถ่านโค้กขนาดต่าง ๆ กัน และผลการวิเคราะห์แบเรียมซัลไฟด์, แบเรียมคาร์บอเนต, แบเรียมซัลเฟต และสังกะสีซัลไฟด์**

| ขนาดของถ่านโค้ก (mesh) | อัตราส่วนแบไรท์:ถ่านโค้ก | % แบลคแอช เฉลี่ย | % แบเรียมซัลไฟด์ เฉลี่ย | % แบเรียมคาร์บอเนต เฉลี่ย | % ลิโทโพน เฉลี่ย | % แบเรียมซัลเฟต เฉลี่ย | % สังกะสีซัลไฟด์ เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 10:2 | 80.61 | 6.56 | 2.02 | 17.03 | 62.36 | 28.87 |
| | 10:4 | 59.99 | 13.03 | 4.48 | 66.86 | 62.01 | 31.18 |
| 20 | 10:2 | 81.44 | 39.92 | 8.36 | 129.98 | 63.09 | 32.37 |
| | 10:4 | 98.73 | 75.37 | 7.94 | 106.47 | 61.29 | 32.59 |
| 100 | 10:2 | 81.67 | 63.94 | 0.15 | 108.97 | 61.25 | 29.47 |
| | 10:4 | 101.66 | 64.37 | 2.34 | 105.86 | 61.44 | 29.33 |

ด้วย สำหรับซิลิกาที่มีอยู่ในแร่แบไรท์นั้น สามารถเกิดสารประกอบได้กับแบเรียม เช่นแบเรียมเมตาซิลิเกต ($BaSiO_3$)ทำให้ปริมาณของแบเรียมซัลไฟด์ในแบลคแอชลดลง

4.3 การเตรียมและวิเคราะห์ลิโทโพน

ในขั้นตอนการเตรียมลิโทโพน ต้องนำเอาสารละลายแบเรียมซัลไฟด์ที่เตรียมได้ใหม่ๆ โดยการสกัดแบลคแอชด้วยน้ำร้อนที่ 100 °C มาผสมกับสารละลายสังกะสีซัลเฟต ทั้งนี้เพราะแบเรียมซัลไฟด์สามารถถูกออกซิไดซ์ได้โดยอากาศ จากนั้นกรองตะกอนที่ได้ไปทำการเผาต่อ ก็จะได้ลิโทโพนที่มีคุณสมบัติซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแม่สีสีขาวในการเตรียมสีได้ สำหรับผลการเตรียมลิโทโพน การวิเคราะห์ลิโทโพนแสดงในตารางที่ 2

สำหรับผลการทดลองที่ได้จากการเตรียมลิโทโพนดังแสดงในตารางที่ 2 นั้น จะเห็นได้ว่าเป็นผลต่อเนื่องมาจากปริมาณของแบเรียมซัลไฟด์ที่มีอยู่ในแบลคแอช พบว่าปริมาณของลิโทโพนที่ได้มากที่สุดได้จากแบลคแอชที่เตรียมจากถ่านโค้กขนาด 20 mesh แต่ถ้าพิจารณาอัตราส่วนของแร่แบไรท์ต่อถ่านโค้กแล้วจะเห็นว่าอัตราส่วนแบไรท์:ถ่านโค้ก ที่ 10:2 จะได้ปริมาณลิโทโพนมากกว่าอัตราส่วนที่ 10:4 แม้ว่าปริมาณของแบเรียมซัลไฟด์จะมีน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากแบเรียมเมตาซิลิเกตที่มีอยู่ในแบลคแอชสามารถสลายตัวในน้ำ ทำให้ปริมาณแบเรียมที่ได้ในสารละลายแบเรียมซัลไฟด์มีมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณของลิโทโพนได้มากยิ่งขึ้น

ในการวิเคราะห์หาปริมาณแบเรียมซัลเฟตและสังกะสีซัลไฟด์ที่มีอยู่ในลิโทโพนที่เตรียมได้ พบว่ามีปริมาณของแบเรียมซัลเฟตเฉลี่ยเท่ากับ 61.94 % และมีปริมาณของสังกะสีซัลไฟด์เฉลี่ยเท่ากับ 30.65% นอกจากนี้ได้นำลิโทโพนไปวิเคราะห์เพื่อหาโครงสร้างของสังกะสีซัลไฟด์โดย x-ray diffraction พบว่าสังกะสีซัลไฟด์มีโครงสร้างเป็นแบบ wurtzite และมีความถ่วงจำเพาะโดยเฉลี่ย 4.4ซึ่งเป็นโครงสร้างของสังกะสีซัลไฟด์ที่สามารถนำไปทำเป็นแม่สีสีขาวได้ดี

## 5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเตรียมลิโทโพนจากแร่แบไรท์ พบว่าในแต่ละขั้นตอนของการเตรียมมีความสำคัญต่อผลของลิโทโพนที่เตรียมได้เป็นอย่างมาก ซึ่งพอสรุปผลเบื้องต้นในแต่ละขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้คือ

ขั้นตอนการเตรียมแบลคแอช เป็นขั้นตอนที่ต้องเตรียมแบลคแอชให้ได้ปริมาณของแบเรียมซัลไฟด์มากที่สุด ซึ่งขึ้นกับแฟคเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณ ขนาดของถ่านโค้ก อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเผา จากการทดลองพบว่าถ้าเผาแร่แบไรท์ที่มีปริมาณแบเรียมซัลเฟต 77.62 % และซิลิกา 14.81 % กับถ่านโค้ก 40 %(ขนาด 20 mesh)ที่อุณหภูมิ 1200 °C เวลา 2-4 ชั่วโมง จะให้ผลออกมาดีที่สุด โดยมีแบเรียมซัลไฟด์ในแบลคแอชถึง 75.37 %

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแบเรียมซัลไฟด์ เป็นขั้นตอนที่สกัดเอาแบเรียมซัลไฟด์ ออกจากแบลคแอชให้ได้มากที่สุด จากการทดลองพบว่าถ้าละลายแบลคแอชที่ 100 °C หลาย ๆ ครั้ง ครั้งละ 60 นาที จะทำให้ได้ปริมาณแบเรียมซัลไฟด์ละลายออกมาได้มากที่สุด

ขั้นตอนการเตรียมและการเผาลิโทโพน เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อทำให้ลิโทโพนที่ได้มีองค์ประกอบตรงตามมาตรฐานและสามารถนำไปใช้ในการทำเป็นแม่สีสีขาวได้ จากการทดลองพบว่าเมื่อผสมสารละลายแบเรียมซัลไฟด์กับสารละลายสังกะสีซัลเฟต แล้ว

ได้ตะกอนของลิโทโพนสีขาว เมื่อนำไปเผาโดยไม่ให้สัมผัสกับอากาศที่ 900-1000 °C เป็นเวลา 20-30 นาที แล้วทำให้เย็นทันทีในน้ำลิโทโพนที่ได้มีองค์ประกอบเป็นไปตามมาตรฐานคือมีปริมาณแบเรียมซัลเฟตอยู่ในช่วง 60-70 % มีสังกะสีซัลไฟด์อยู่ในช่วง 20-35 % และมีโครงสร้างของสังกะสีซัลไฟด์ในรูปของ wurtzite ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทำแม่สีสีขาวได้อย่างดี

แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองเตรียมลิโทโพนนี้ เป็นการทดลองในสเกลเล็ก ๆ และเป็นข้อมูลการทดลองขั้นต้นเท่านั้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการนำไปปรับปรุงเพื่อนำไปใช้ในสเกลใหญ่ ๆ ต่อไป

## ข้อเสนอแนะสำหรับการทดลองต่อไป

การทดลองการผลิตลิโทโพน จาก แร่ แบไรท์นี้ ได้พบกับปัญหาหลายอย่างทั้งทางด้านเครื่องมือ และขบวนการทดลอง ซึ่งควรมีการปรับปรุงต่อไปดังนี้

1. ภาชนะที่ใช้ในการเผา ควรใช้เป็นเหล็กปลอดสนิม (stainless steel) ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ซิลิกาจากภาชนะกระเบื้องมาทำปฏิกิริยากับแบเรียมในแร่แบไรท์

2. ขั้นตอนการเผาเพื่อเตรียมแบลคแอช เตาเผาที่ใช้ควรใช้เตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln) เพื่อให้สารที่เผาได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง เพราะไม่เช่นนั้นแล้วอาจมีการสูญเสียแบเรียมซัลไฟด์เพราะเกิดปฏิกิริยาไม่ทั่วถึง

3. การละลายแบลคแอช เพื่อให้ได้สารละลายแบเรียมซัลไฟด์ จะต้องป้องกันมิให้แบเรียมซัลไฟด์ในสารละลายทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ โดยการใช้สารละลายที่เตรียมได้ทันที หรือป้องกันมิให้สารละลายที่เตรียมได้สัมผัสกับอากาศ

4. สารละลายสังกะสีซัลเฟตที่ใช้ อาจจะเตรียมได้จากเศษสังกะสีทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการผลิตลง

5. แบลคแอชที่เตรียม ได้ จากการเผาควรให้สัมผัสกับอากาศน้อยที่สุด เพื่อป้องกันมิให้แบเรียมซัลไฟด์ในแบลคแอชถูกออกซิไดซ์ด้วยอากาศ

6. ขั้นตอนการผสมเพื่อเตรียมลิโทโพนระหว่างสารละลายแบเรียมซัลไฟด์ กับสารละลายสังกะสีซัลเฟต ถ้าได้ตะกอนสีขาวเหลืองจะใช้ไม่ได้ต้องเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองตะกอนที่ได้ต้องมีสีขาว

### เอกสารอ้างอิง


1. ประพิษฐ์ รังสฤษฎ์ทุล และ สายน ศังสตาลอำพน, "แบไรท์" รายงานการสำรวจธุรกิจอุตสาหกรรมเหมืองแร่ (ฟลูออไรท์) แมงกานีส แบไรท์), เอกสารวิชาการขนาดกลางประเภทโพย, พ.ศ.2521, หน้า 51-69.
2. N.H. Furman, ed., "Scott's Standard Method of Chemical Analysis",vol. 1, 6th. edition, D. Van Nostrand Co., Inc.. Princeton, N.J.,1962,p.p 139-146.
3. Truman. Kirkpatrick, The Sherwin-William Company, "Barium",In Herman F. Mark., et.al., "Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology", Vol.3, John Willey & Sons. Inc., 1978, p.p 457-479.
4. S. Shapiro and Ya. Gurvich, "Analytical Chemistry", Translated by D. Sobolev and Y. Nadler, Mir Publishers, 1975, p.p. 363-365, 532, 540.
5. A.I. Vogel, "A Textbook of Quantitative Inorganic Analysis" 4th.edition,Longman Inc., New York, 1978, p.p. 350-351, 453-454, 883.

วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ ๑๑ ฉบับที่ ๔ ต.ค. - ธ.ค. ๒๕๒๖

# สัตว์โบราณที่ยังมีชีวิตอยู่: ตอนปลาซีลาแคนท์

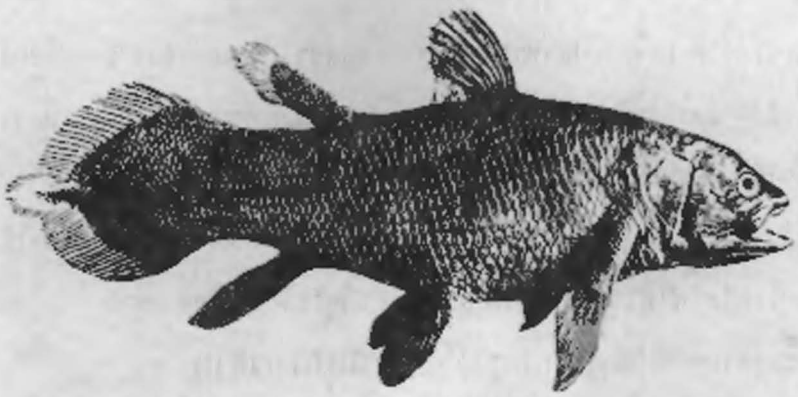
ละออศรี เสนาะเมือง*

ปลา เป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังที่ประสบความสำเร็จมากในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม ดังจะเห็นได้จากสามารถพบปลาอาศัยอยู่ได้ทุกแห่งบนโลกที่มีน้ำ เนื่องจากสามในสี่ของพื้นผิวโลกถูกปกคลุมไปด้วยน้ำ ดังนั้นมนุษย์จึงรู้จักและคุ้นเคยกับปลามาเป็นเวลาช้านานทั้งในแง่ของอาหารและเศรษฐกิจ นักสัตววิทยาเชื่อว่าปลาเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังที่เก่าแก่ที่สุดในโลก เป็นบรรพบุรุษของสัตว์มีกระดูกสันหลังอื่น ๆ ปลาที่มีชีวิตอยู่ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ปลาปากกลมหรือปลาไม่มีขากรรไกร (jawless fish) ปลากระดูกอ่อน (cartilaginous fish) และปลากระดูกแข็ง (bony fish) ในบรรดาปลาทั้งสามกลุ่มนี้ปลากระดูกแข็งเป็นพวกที่ประสบความสำเร็จในการดำรงชีวิตมากที่สุด กล่าวคือมีทั้งจำนวนชนิดและจำนวนประชากรมากที่สุด ปลากระดูกแข็งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ปลาครีบมีเนื้อ (lobe-finned fish หรือ flesh-finned fish) และปลาครีบเป็นเส้น (ray-finned fish) ซึ่งเป็นปลาที่พบแพร่หลายในปัจจุบัน (มีประมาณ 20,000 ชนิด) ถ้าเปรียบเทียบในแง่ของวิวัฒนาการ แล้วปลาครีบมีเนื้อมีวิวัฒนาการน้อยกว่าปลาครีบเป็นเส้น นักสัตววิทยาเคยคิดว่าปัจจุบันเหลือปลาครีบมีเนื้อเพียงกลุ่มเดียวคือ ปลามีปอด (lung-fish) ซึ่งมีสมาชิกที่ยังไม่สูญพันธุ์จำนวน 3 สกุล 6 ชนิด ต่อเมื่อปีคริสตศักราช 1938 ได้มีการค้นพบที่มีความสำคัญยิ่งต่อวงการวิทยาศาสตร์ของโลก คือได้มีการตรวจพบปลาครีบมีเนื้อชนิดหนึ่ง ซึ่งคาดว่าสูญพันธุ์ไปจากโลกตั้งแต่ยุคเทอร์เชียรี (Tertiary period) เมื่อประมาณ 60 ล้านปีที่ผ่านมา บริเวณชายฝั่งมหาสมุทรอินเดียของประเทศสาธารณรัฐอาฟริกาใต้ ผู้เชี่ยวชาญด้านปลาของประเทศนี้ได้ตั้งชื่อปลาประหลาดนี้ว่า ซีลาแคนท์ (coelacanth) ปลาซีลาแคนท์นี้จัดเป็นสัตว์โบราณที่ยังมีชีวิตอยู่(living fossil) เพราะมีลักษณะและรูปร่างที่แทบจะไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากบรรพบุรุษของมันเมื่อ 350 ล้านปีที่ผ่านมาเลย

## การค้นพบครั้งสำคัญ

วันที่ 22 ธันวาคม ค.ศ. 1938 เรือประมงลำหนึ่งโดยการนำของกัปตันกูเสน (Goosen) ได้ทำการลากอวนที่บริเวณชายฝั่งทะเลของเมือง East London ประเทศสาธารณรัฐอาฟริกาใต้ พบปลาประหลาดตัวหนึ่ง (รูปที่ 1) ยาว 5 ฟุต หนัก 127 ปอนด์ ที่น้ำลึก 240 ฟุต สีน้ำเงินวาว (steel blue) เกล็ดหนา ครีบมีเนื้อ กระดูกขากรรไกรแข็งแรงมาก มีชีวิตอยู่ได้หลังถูกจับประมาณ 4 ชั่วโมง กัปตันกูเสนได้นำปลาตัวนี้ไปให้นางสาวเอ็ม. คอรด์-ทีเนย์ แลตติเมอร์ (Miss M. Courtenay Lati-

*อาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 1 ปลาซีลาแคนท์ (จาก Dugan, J. 1964)

รูปที่ 2 ก.นางสาว เอ็ม คอรด์ทีเนย์ แลตติเมอร์ เจ้าหน้าที่ดูแลพิพิธภัณฑ์ท้องถิ่นของเมือง East London
ข.ภาพวาดปลาซีลาแคนท์ ของนางสาวแลตติเมอร์ (จาก Burton, M. and R, Burton, 1980)

mer; รูปที่ 2 ก.) เจ้าหน้าที่ดูแลพิพิธภัณฑ์ท้องถิ่นของเมืองนี้ เธอได้ทำการเก็บรักษาและวาดภาพคร่าว ๆ ของปลาประหลาดตัวนี้ไว้ แล้วส่งภาพวาด (รูปที่ 2 ข.) ไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านปลาที่มีชื่อเสียงของสาธารณรัฐอาฟริกาใต้ ชื่อ ศาสตราจารย์ เจ. แอล. บี. สมิธ (J.L.B. Smith) ซึ่งทำงานอยู่ที่ Rhodes University College เมือง Grahamstown เมืองนี้อยู่ห่างจากเมือง East London ไปประมาณ 400 ไมล์ เมื่อศาสตราจารย์สมิธได้รับภาพวาดเขาประหลาดใจมากถึงกับกล่าวว่า "ข่าวนี้ทำให้ข้าพเจ้าแปลกใจราวกับว่าได้เห็นไดโนเสาร์เดินอยู่ตามถนนทีเดียว" เขาคิดว่าปลาชนิดนี้ได้สูญพันธุ์ไปแล้วอย่างน้อย 60 ล้านปี นักสัตววิทยารู้จักปลาชนิดนี้จากซากดึกดำบรรพ์ (fossil) ที่พบในหินที่มีอายุเป็นล้านปีเท่านั้น เขาได้ตั้งชื่อทั่วไปของปลานี้ว่า "ซีลาแคนท์" และตั้งชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Latimeria chalumnae Smith. โดยให้เกียรติแก่นางสาวแลตติเมอร์และแม่น้ำชาลัมนา(Chalumna River) ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้กับตรงที่จับปลาได้

ศาสตราจารย์สมิธพยายามที่จะค้นหาปลาซีลาแคนท์ตัวอื่นอีก เขาคิดว่าปลาซีลาแคนท์น่าจะอาศัยอยู่บริเวณเกาะมาดาการ์ (Madagascar Island) จึงได้ประกาศและเผยแพร่ภาพปลาซีลาแคนท์พร้อมกับคำบรรยายเป็นภาษาอังกฤษ ฝรั่งเศส และโปรตุเกส เสนอให้เงินรางวัลแก่ผู้ที่จับปลาซีลาแคนท์ได้ เป็นจำนวนเงินถึง 400 ดอลลาร์ อีก 14 ปีต่อมาความหวังของศาสตราจารย์สมิธเริ่มเป็นจริง เมื่อวันที่ 20 ธันวาคม ค.ศ. 1952 ชาวประมงชื่ออาเหม็ด ฮุส-

เซ็น (Ahmed Hussein) สามารถจับปลาซีลาแคนท์ตัวที่ 2 (รูปที่ 3) ได้ ปลาตัวนี้มีความยาว 5 ฟุต หนัก 100 ปอนด์ จับได้ที่น้ำลึกประมาณ 650 ฟุต ในบริเวณใกล้กับเกาะอันจวน (Anjouan Island) ซึ่งเป็นเกาะหนึ่งในหมู่เกาะโคโมโร (Comoro Island) หมู่เกาะนี้อยู่ด้านทิศตะวันตกของเกาะมาดากัสการ์

รูปที่ 3 ศาสตราจารย์สมิธและปลาซีลาแคนท์ตัวที่ 2 ซึ่งจับได้ในปี ค.ศ. 1952 (จาก Dugan, J. 1964)

ปลาซีลาแคนท์ตัวที่ 3 และ 4 พบเมื่อวันที่ 24 กันยายน ค.ศ. 1953 และวันที่ 29 มกราคม ค.ศ. 1954 ตามลำดับ ที่หมู่เกาะโคโมโรเช่นเดียวกับตัวที่ 2 ต่อมาได้พบปลาซีลาแคนท์เรื่อยๆ เป็นจำนวน 69 ตัว ที่ความลึกตั้งแต่ 650 - 2,000 ฟุต ในช่วงเดือนกันยายนถึงกุมภาพันธ์ ตัวที่ใหญ่ที่สุดหนัก 43 ปอนด์ สันนิษฐานว่าปลาซีลาแคนท์ตัวแรกที่พบนั้นว่ายน้ำไปจากบริเวณที่มันอาศัยอยู่ตามปกติ

อย่างไรก็ตามการค้นพบครั้งนี้เป็นความรู้ใหม่ต่อวงการวิทยาศาสตร์ แต่จากการสอบถามชาวเกาะโคโมโรแล้วทราบว่า ชาวประมงบริเวณนี้รู้จักปลาซีลาแคนท์มาเป็นเวลาหลายร้อยปีหรืออาจจะถึงพันปีก็ได้ เขาเรียกชื่อปลานี้เป็นภาษาพื้นเมืองว่า คอมเบสซา (Kombessa) ชาวประมงไม่นิยมนำปลานี้มาประกอบอาหารเท่าใดนัก เนื่องจากผิวหนังของปลามีเมือกและไขมันมาก มักนำมาตากแห้งและทำปลาเค็ม สำหรับเกล็ดปลานำมาใช้แทนกระดาษทรายสำหรับปะยางรถจักรยาน

## อนุกรมวิธาน

ปลาซีลาแคนท์มีลำดับของอนุกรมวิธานดังนี้

Phylum Chordata
Subphylum Vertebrata
Class Osteichthyes
Subclass Sarcopterygii
Superorder Crossopterygii
Order Actinistia
Family Coelacanthidae
*Latimeria chalumnae* Smith.

## ลักษณะโดยทั่วไป

ปลาซีลาแคนท์เป็นปลากินเนื้อ(carnivorous fish) ขนาดใหญ่ ตัวยาวประมาณ 5 ฟุต หนักประมาณ 120 ปอนด์ อาศัยอยู่ในทะเลที่มีความลึกประมาณ 650 ฟุต บริเวณมหาสมุทรอินเดียใกล้กับหมู่เกาะโคโมโร ตัวมีสีน้ำเงินเข้ม มีกระดูกขากรรไกรที่แข็งแรงมาก ตาสามารถมองเห็นได้ดีในที่มีแสงน้อย เหนือปากมีรูจมูกสองรูแต่ไม่ทะลุเข้าสู่ปาก เพราะมีหน้าที่สำหรับดมกลิ่นเพียงอย่างเดียว ไม่ได้ช่วยในการหายใจ ขี่เหงือกหนาที่ขอบมีฟันเล็กๆ ปลาซีลาแคนท์มีลักษณะภายนอกที่แตกต่างจากปลาครีบมีเส้นดังนี้

1. **ครีบ** โคนครีบของปลาซีลาแคนท์มีกล้ามเนื้อหุ้มกระดูกซึ่งอยู่ตรงกลาง ผิวหนังด้านนอกของส่วนนี้มีเกล็ดปกคลุม ตอนปลายของครีบมีเส้น (ray) ที่เป็นกระดูกอ่อนกลวง สาเหตุนี้เองที่ทำให้

ศาสตราจารย์สมิธตั้งชื่อปลาโบราณนี้ว่า ซีลาแคนท์ ซึ่งแปลว่าหนามกลวง (hollow spine) ปลาซีลาแคนท์มีครีบอก (pectoral fin) 1 คู่ ครีบท้อง (pelvic fin) 1 คู่ ครีบหลัง (dorsal fin) 2 อัน และครีบก้น (anal fin) 1 อัน ครีบอกและครีบท้องสามารถทำหน้าที่คืบคลานบนพื้นทะเลได้คล้ายกับขาของสัตว์บก

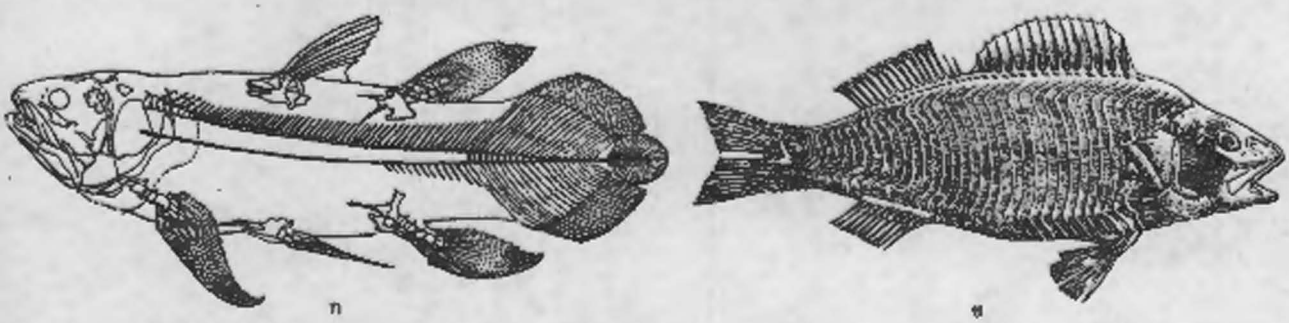
2. **หาง** หางของปลาซีลาแคนท์มีลักษณะเฉพาะไม่เหมือนกับปลาอื่น ๆ (รูปที่ 4) กล่าวคือมีส่วนของกล้ามเนื้อที่แผ่แบนออกไป ตรงปลายหางมีเส้นของกระดูกอ่อนที่กลวงเช่นเดียวกับครีบบริเวณตรงกลางของปลายหางโค้งออกมาเป็นหูเล็ก ๆ

3. **เกล็ด** เกล็ดมีขนาดใหญ่และแข็ง ที่ขอบเกล็ดมีหนามเล็ก ๆ ยื่นออกมา

เนื่องจากนักสัตววิทยารู้จักปลาซีลาแคนท์เมื่อไม่นานมานี้ ดังนั้นความรู้เกี่ยวกับลักษณะภายในและสรีรวิทยายังมีน้อยมาก ลักษณะบางอย่างจึงไม่สามารถที่จะอธิบายได้ ถึงแม้ว่าปลาซีลาแคนท์จะจัดอยู่ในพวกปลากระดูกแข็ง แต่กระดูกสันหลังส่วนใหญ่เป็นกระดูกอ่อน สมองมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความใหญ่ของหัว หัวใจแบ่งเป็น 2 ห้อง มีขนาดเกือบเท่ากัน ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับปลาครีบเป็นเส้นแล้วพบว่าหัวใจของปลาซีลาแคนท์มีวิวัฒนาการน้อยกว่ามาก กระเพาะอาหารเป็นถุงมีขนาดใหญ่ ลำไส้มีลิ้น (spiral valve) 1 อันเหมือนกับปลาฉลาม ไตแทนที่จะมี 2 อันอยู่ติดกับกระดูกสันหลังเหมือนปลาอื่น ๆ แต่กลับมีเพียงอันเดียวอยู่บริเวณช่องท้องด้านล่าง ปลาซีลาแคนท์มีถุงลม (swimbladder) ขนาดใหญ่ 1 ถุง ภายในมีไขมันบรรจุอยู่เต็ม ปลาตัวเมียจะสร้างไข่ที่มีขนาดเล็กเปลือกบาง มีจำนวนไม่มากนัก การปฏิสนธิเป็นแบบภายในตัว (internal fertilization) แต่น่าแปลกใจว่าไม่พบอวัยวะที่ทำหน้าที่ผสมพันธุ์ของตัวผู้ที่เรียกว่า clasper

## บทสรุป

ถึงแม้ว่าลักษณะส่วนใหญ่ของปลาซีลาแคนท์จะไม่แตกต่างไปจากบรรพบุรุษของมัน แต่ในแง่ที่อยู่อาศัยแล้วพบว่าบรรพบุรุษของปลาซีลาแคนท์อาศัยอยู่ในน้ำจืด ขณะที่ปลาซีลาแคนท์ที่มีชีวิตอยู่ในปัจจุบันอาศัยอยู่ในทะเลลึก ศาสตราจารย์ เจ. มิลลอต (J. Millot) แห่งสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ของมาดากัสการ์ ได้พยายามที่จะนำปลาซีลาแคนท์มาเลี้ยงไว้เพื่อทำการศึกษาอย่างละเอียด ที่น้ำลึก 840 ฟุต ปลาสามารถมีชีวิตอยู่ได้เพียง 1530 ชั่วโมง สันนิษฐานว่าการตายของปลาเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำอย่างกระทันหัน เนื่องจากอุณหภูมิที่ผิวน้ำและพื้นทะเลแตกต่างกันถึง 15° C



ก ข

รูปที่ 4 ภาพเปรียบเทียบโครงกระดูกและครีบของปลา ก. ปลาซีลาแคนท์ ข. ปลาครีบเป็นเส้น (จาก Valle,A.1972)

อย่างไรก็ตามนักสัตววิทยายังไม่สามารถหาข้อสรุปได้ ได้อย่างไร ความลึกลับนี้น่าจะต้องมีการศึกษากันว่า ปลาซีลาแคนท์สามารถมีชีวิตอยู่รอดโดยไม่สูญพันธุ์ ต่อไป

## บรรณานุกรม


Burton, M. and R, Burton. 1980. "Coelacanth", The New International Wildlife Encyclopedia. Purnell Reference Books, Toronto, 4: 481-483

Cohen, D.M. 1981. "Fishes", The New Book Of Popular Science. Grolier Incorporated, New York, 4: 300-315

Dugan, J. 1964. "The Fish That Couldn't Be" Marvels and Mysteries of Our Animal World. The Reader's Digest Assosiation, New York, p.72-74

Herald, E.S. 1967. Living Fishes Of The World. Doubleday & Company Inc. Garden City, New York, 303 pp.

Hickman, C.P. Sr; C.P.Jr. Hickman and F.M. Hickman. 1974. Integrated Principles Of Zoology. 5th ed. The C.V. mosby Company, Saint Louis, 1,025 pp.

Hotton, N. 1968. The Evidence Of Evolution. American Heritage Publishing Co. Inc; New York, 160 pp.

Mcfarland, W.N; F.H. Pough; T.J. Cade and J.B. Heiser. 1979. Vertebrate Life. Macmillan Publishing Co. Inc; New York, 875 pp.

Nicklanovich, M.D. 1973. From Cell To Philosopher. Prentice - Hall, Inc; New Jursey, 553 pp.

Ommanney, F.D. 1980. The Fishes. 2nd ed. Time - Life Books, Hong Kong, 192 pp.

Osman, T. 1979. "Coelacanth", New Encyclopedia Of Science. Purnell Reference Books, Toronto, 3: 432

Valle, A. 1972. "Transitional Forms, Living Fossils", The Illustrated Encyclopedia Of The Animal Kingdom. ed. Herbert Kondo, Grolier Enterprises,Inc; New York, 11: 10-13

# ผงซักฟอก กับปัญหาสภาวะแวดล้อม

ณัฐวุฒิ ธานี*

เราเคยตระหนักกันหรือไม่ว่า ผงซักฟอกมากมายหลายชนิดที่เราใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ถึงแม้จะมีประโยชน์นานัปประการในกระบวนการทำความสะอาด เช่น ซักเสื้อผ้า ล้างถ้วยชาม แต่จะมีปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมเป็นพิษตามมาด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเป็นพิษ (water pollution) อันจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ ถึงเวลาแล้วที่เราจะต้องหันมาสนใจ ปัญหาสภาวะแวดล้อมอันเกิดจากการใช้ผงซักฟอกอย่างจริงจัง

มนุษย์เรารู้จักใช้สบู่ในการซักล้างมาตั้งแต่ 3,000 ปีก่อนคริสตกาล โดยใช้วัตถุดิบตามธรรมชาติ เช่น ใบไม้ ยางไม้ และไขมัน เป็นส่วนประกอบ ใน ค.ศ.1930 หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 1 ยุติไม่นาน นักไขมันส่วนที่ใช้ทำสบู่ขาดแคลน ชาวเยอรมันได้พยายามสังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ทดแทนสบู่ จนกระทั่ง ค.ศ.1933 บริษัทพรอคเตอร์และแกมเบิล(Proctor and Gamble) ได้เริ่มผลิตผงซักฟอกออกจำหน่าย โดยมีส่วนผสมของอัลคีลซัลเฟต (alkyl sulfate; AS) ต่อมาบริษัทดูปองท์ (Dupont) ได้เริ่มผลิตผงซักฟอกอย่างจริงจังในระหว่างสงครามโลกครั้งที่2 ในช่วงนี้เอง สหรัฐอเมริกาได้เริ่มผลิตผงซักฟอกที่มีส่วนผสมของอัลคีลเบนซีนซัลโฟเนต (alkyl benzene sulfonate; ABS)จากน้ำมันดิบและน้ำมันดำจากถ่านหิน(coaltar) โดยมีการศึกษาความเป็นพิษและความปลอดภัยกับสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการ

ใน ค.ศ. 1944 มีรายงานการรักษาคนไข้เนื่องจากผลของ ABS ดังนั้นจึงเปลี่ยนส่วนผสมของผงซักฟอกมาเป็นโซเดียมฟอสเฟต (sodium phosphate) แทน แต่ไม่นิยมใช้เท่าใดนัก เพราะความตื่นตัวในการผลิตผงซักฟอกโดยใช้สูตรเก่า ๆ กำลังได้รับความนิยมอย่างมาก ในปี ค.ศ. 1950 ญี่ปุ่นเริ่มสั่ง ABS จากสหรัฐอเมริกาเพื่อนำมาผลิตผงซักฟอกออกจำหน่ายในประเทศ ประกอบกับในระยะนี้ทุกประเทศโดยเฉพาะญี่ปุ่นมีการขยายตัวทางอุตสาหกรรมเพื่อฟื้นฟูประเทศจากการพ่ายแพ้สงครามโลกครั้งที่ 2 มีการใช้ปิโตรเลียมและถ่านหินมาก จึงเป็นการส่งเสริมการผลิตผงซักฟอกได้อย่างดียิ่ง ในประเทศเยอรมันได้ประสบกับปัญหามากมายที่ ABS มีต่อสุขภาพของประชาชน ทั้งยังก่อให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำด้วย ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีปกติที่ใช้กันอยู่ จึงมีการคิดค้นหาส่วนผสมของผงซักฟอกขึ้นใหม่ โดยพยายามเปลี่ยนโครงสร้างของผงซักฟอก

*อาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ด้วย จากการศึกษาพบว่าผงซักฟอกแบบใหม่ที่เรียกว่า LAS (linear alkyl benzene sulfonate) สามารถลดปัญหาต่าง ๆ ได้และยังถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยวิธีธรรมชาติด้วย

## ชนิดและส่วนประกอบของผงซักฟอก

ผงซักฟอกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามอัตราการสลายตัวที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ คือ

1. **ผงซักฟอกชนิดกระด้าง (hard detergent)** เป็นผงซักฟอกที่มีอัตราการสลายตัวช้า มีส่วนประกอบสำคัญคือ ABS บางทีเรียกว่า BAS (branched alkyl benzene sulfonate) มีโครงสร้างแบบกิ่ง (branched form) ซึ่งไม่ถูกย่อยสลายโดยวิธีปกติตามธรรมชาติได้ง่าย ผงซักฟอกชนิดนี้ก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมมาก

2. **ผงซักฟอกชนิดอ่อน (soft detergent)** เป็นผงซักฟอกที่มีอัตราการสลายตัวเร็ว ส่วนประกอบสำคัญคือ LAS มีโครงสร้างเกาะกันเป็นแถว(linear form) ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยวิธีปกติตามธรรมชาติ ผงซักฟอกชนิดนี้ก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อมน้อย

ไม่ว่าจะเป็นผงซักฟอกชนิดใดก็ตาม จะมีส่วนประกอบหลักคล้าย ๆ กัน อาจจะแตกต่างกันบ้างในปริมาณและความเข้มข้น ส่วนประกอบสำคัญของผงซักฟอกมีดังนี้

ก. สารลดแรงตึงผิว (surfactant) เป็นสารประกอบทางเคมีที่ทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวของน้ำ (water surface tension) หรือสารละลายที่ทำให้คราบสกปรกต่าง ๆ ถูกขจัดออกมาในน้ำได้ดี โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมีส่วนประกอบสองส่วน คือ ส่วนที่ละลายได้ในน้ำเช่น เป็นหมู่ $-COO^-$ (polar head) และส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (hydrophobic tail) คือหมู่ R- ดังรูป

polar head hydrophobic tail

สารลดแรงตึงผิวมีหลายประเภท แต่ที่ใช้กันมากคือ ABS และ LAS

ข. สารประสาน (builder) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของฟอสเฟต มีหน้าที่ในการเสริมให้ประสิทธิภาพของการทำงานของสารลดแรงตึงผิวดียิ่งขึ้น โดยจะย่อยกระจายน้ำมัน แร่ธาตุและสิ่งสกปรกให้กระจายออกเป็นหยดเล็ก ๆ จนสามารถแขวนลอยได้ในน้ำ นอกจากนี้ยังช่วยปรับสภาพน้ำกระด้างให้กลายเป็นน้ำอ่อน สารที่นิยมใช้มากคือ โซเดียมไตรโปลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate)

ค. สารควบคุมฟอง(sud regulator) เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อทำหน้าที่ลดหรือเพิ่มฟองตามความต้องการของงานซักล้าง เช่น ซิลิเกต (silicate) ช่วยให้สิ่งสกปรกกระจายตัว ป้องกันการกลับเข้าไปจับใหม่ของสิ่งสกปรกที่ถูกขจัดออก และป้องกันการกัดกร่อนของโลหะที่ใช้เป็นภาชนะในการซักล้าง ด่าง (alkalies) ช่วยในการสะเทินความเป็นกรดของสิ่งสกปรก แปรสภาพน้ำมันและไขมันจากพืชหรือสัตว์ และรักษาความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำซักให้คงที่

ง. สารเสริม (additives) เป็นสารที่เติมเข้าไปเพื่อให้ผงซักฟอกมีประสิทธิภาพ หรือมีลักษณะน่าใช้มากขึ้น เช่น สารเพิ่มประกายนวล(optical brighteners) น้ำหอม (perfumes) สี (dyes) สารเพิ่มฟอง (foam boosters) สารลดฟอง (deformers) สารช่วยละลาย (hydrotropes) สารฟอกขาว (bleaching agents) เส็น-

ไซม์(enzymes) และสารเฉื่อย(inert fillers) เป็นต้น

ส่วนประกอบที่มีอยู่ในผงซักฟอกเหล่านี้นอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของผงซักฟอกตามสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละชนิดแล้ว ยังสามารถทำอันตรายต่อสัตว์น้ำได้โดยตรง หรือทำให้สภาพของแหล่งน้ำเสื่อมโทรมจนสัตว์น้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยเฉพาะพวกสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะกล่าวถึงผลที่มีต่อสภาวะแวดล้อมในรายละเอียดต่อไป

## ผลของผงซักฟอกต่อแหล่งน้ำ

องค์ประกอบฟอสเฟตที่มีอยู่ในผงซักฟอก ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 30 - 50 ไม่มีผลอันเฉียบพลันต่อคนและสัตว์อื่น แต่ฟอสเฟตในปริมาณนี้เป็นธาตุอาหารสำคัญของพืช สังเกตจากเมื่อมีการใช้ผงซักฟอกมากขึ้น น้ำที่ใช้ซักล้างจะถูกถ่ายเทลงในแม่น้ำ ลำคลอง และทะเลสาบ ทำให้พืชน้ำ เช่น จอก แหน สาหร่าย และพืชน้ำอื่น ๆ เจริญงอกงามอย่างรวดเร็วกว่าปกติ เมื่อพืชน้ำตายลง ตัวย่อยสลาย (decomposers) เช่น แบคทีเรีย สลายซากพืชไม่ทัน ทำให้น้ำเกิดเน่าเสีย ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ยูโทรฟิเคชั่น (eutrophication) ซึ่งมีผลต่อเนื่องตามมาคือ

1. เกิดฟองในแหล่งน้ำ
2. น้ำเน่าเสีย กลิ่นเหม็น มีผลต่อสัตว์น้ำต่อไป
3. แหล่งน้ำตื้นเขิน ขัดขวางการคมนาคม
4. แหล่งน้ำใช้ในการอุปโภคและบริโภคไม่ได้

## ผลของผงซักฟอกต่อสัตว์น้ำ

ดังที่ได้กล่าวถึงผลของผงซักฟอกต่อแหล่งน้ำแล้ว ซึ่งจะส่งผลโดยตรงมายังสัตว์น้ำต่าง ๆ ผลจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นกับปริมาณ ชนิดของผงซักฟอกและชนิดของสัตว์น้ำ ลักษณะการทำอันตรายมีหลายส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารลดแรงตึงผิวมีผลมากที่สุด นอกจากสารนี้สารอื่น ๆ ที่เป็นส่วนผสมของผงซักฟอกก็มีพิษต่อสัตว์น้ำด้วย เช่น สารที่ทำให้เสื้อผ้าดูขาวสะอาดสดใส (fluorescent whitening agents; FWA) สารที่พยายามใช้แทนโซเดียมไตรโปลีฟอสเฟต คือ ไนไตรโลไตรอาซีเตท(nitrilotriacetate; NTA) เป็นต้น

การศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษของผงซักฟอกต่อสัตว์น้ำ ศึกษากันมากที่สุดในสัตว์จำพวกปลา จากการศึกษาพิษของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่อปลาพบว่าเหงือกของปลาจะถูกทำลายทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง โดยสาร ABS จะถูกดูดซึมไว้ที่เหงือก ทำให้เกิดการคั่งค้างของเม็ดเลือดแดงมากกว่าปกติ เพราะการถ่ายเทออกซิเจนเป็นไปได้ลำบาก เนื้อเยื่อบริเวณเหงือกจะลอยตัวขึ้น การควบคุมระดับน้ำและแร่ธาตุภายในตัวปลาผิดปกติไปด้วย ส่วนปลายของต่อมรับความรู้สึก (taste bud) จะถูกทำลาย ทำให้การว่ายน้ำและการหาอาหารเสียรูปแบบเดิมไป (Bardach et al, 1965; Brown et al, 1968; Shinichi, 1975)ผงซักฟอกชนิด LAS แสดงความเป็นพิษต่อปลาในระยะแรกสูงกว่า ABS แต่ถ้าทิ้งไว้เป็นเวลานานพิษของ LAS จะค่อยๆ หมดไป

ส่วนประกอบของผงซักฟอกหลายชนิดมีสารที่ทำให้เสื้อผ้าแลดูขาวสะอาดสดใส FWA ถึงแม้ว่าปริมาณที่ใส่ลงไปจะมีเพียงไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักก็ตาม แต่สามารถตรวจพบได้ในแหล่งน้ำทิ้ง Ganz et al.(1975) ได้ศึกษาความเป็นพิษของ FWA 4 ชนิดที่มีต่อปลา blue gill พบว่า ในเนื้อปลาที่ทดลองมี FWA สะสมแต่ปลาจะกำจัดให้หมดไปภายใน

14 วันถ้านำปลานั้นไปเลี้ยงในน้ำที่สะอาด สำหรับ NTA ซึ่งเป็นสารที่ลดผลของ eutrophication ของแหล่งน้ำ ก่อให้เกิดปัญหาน้อย เพราะ NTA สามารถละลายได้ง่ายโดยขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นคาร์-บอนไดออกไซด์ Macek และ Sturn(1973) ศึกษาความเป็นพิษของ NTA ที่มีต่อปลา 3 ชนิดพบว่าระดับความเข้มข้นที่ทำให้ปลาตาย 50 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าปริมาณที่พบจริงในสภาพธรรมชาติ

ในประเทศไทยมีการทดลองไม่มากนัก เช่น ประสิทธิ์ กลิ่นภิรมย์ (2521) ศึกษาอิทธิพลของผงซักฟอก แฟ็บ บรีส เพค และรินโซ่ ที่ระดับความ-เข้มข้น 5 - 12 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ต่อหอยขม พบว่า ผงซักฟอกเหล่านี้ซึ่งมี ABS มีผลทำให้การเจริญเติบโตและการผสมพันธุ์ของหอยขมผิดปกติไป ประ-วิทย์ สุรนีรนาถ (2518) ได้ทดลองผลของ factac ซึ่งเป็นผงซักฟอกประเภทที่ใช้สำหรับผสมกับยาปราบ-ศัตรูพืชเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการซึมแทรกเข้าไปในใบพืช พบว่าสารนี้มีผลต่ออัตราการตายของปลาและสัตว์น้ำหลายชนิด

นอกจากนี้ผงซักฟอกยังมีผลต่อสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังอีกหลายชนิด เช่นพบว่าตัวอ่อนของขี้ปะขาวจะตายภายใน 10 วันที่ระดับความเข้มข้นของ ABS ขนาด 8 ppm และปริมาณของตัวอ่อนจะลดลง สำหรับกุ้งน้ำจืด (Orconectes rusticus) กุ้งฝอยน้ำจืด (Synurella Sp.) และ sowbug(Lirceus sp.) จะมีปริมาณลดลงในระดับความเข้มข้นที่ 10 ppm (Surbur and Thatcher, 1963)

**ตารางที่ 1** แสดงความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวชนิด ABS ต่อปลา

| ปลา | ความเข้มข้นที่ทำให้ปลาตาย 50% ในเวลาต่าง ๆ (LC 50) | | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|---|
| rainbow trout (Salmo gairdneri) | 12 สัปดาห์ | 12 ppm | Herbert etal, 1975 |
| silversides (Minidia menidia) | 96 ชั่วโมง | 7 ppm | Eisler, 1965 |
| mummichogs (Fundulus heteroclitus) | 96 ชั่วโมง | 22.5 ppm | Eisler, 1965 |
| mullet (Mugil cephalus) | 96 ชั่วโมง | 10 ppm | Eisler, 1965 |
| winter flounder(Pseudopleuronectes americanus) | 96 ชั่วโมง | 8.2 ppm | Eisler, 1965 |
| eel (Anguilla rostrata) | 96 ชั่วโมง | 7.5 ppm | Eisler, 1965 |
| bluegill (Lepomis macrochirus) | 30 วัน | 15.5-18.3 ppm | Lemke and Mount, 1963 |
| | 96 ชั่วโมง | 5.6 ppm | Henderson etal, 1959 |
| fathead minnow (Pimephales promeles) | 96 ชั่วโมง | 4.5 ppm | Henderson etal, 1959 |

**ตารางที่ 2** แสดงความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวชนิด LAS ต่อปลา

| ปลา | ความเข้มข้นที่ทำให้ปลาตาย 50% ในเวลาเป็นชั่วโมง (LC 50) | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|
| fathead minnow (Pimephales promelas) | 96 ชั่วโมง 4.2-4.5 ppm | Pickering and Thatcher, 1970 |
| | 44 ชั่วโมง 3.4 mg/l | Mackim etal, 1975 |
| northern pike (Esox lucius) | 44 ชั่วโมง 3.7 mg/l | Mackim etal, 1975 |
| white sucker (Catostomus commersoni) | 44 ชั่วโมง 4.0 mg/l | Mackim etal, 1975 |
| small mouth bass (Micropterus dolomieui) | 44 ชั่วโมง 3.7 mg/l | Mackim etal, 1975 |

**ตารางที่ 3** แสดงความเป็นพิษของ NTA ต่อปลา

| ปลา | ความเข้มข้นที่ทำให้ปลาตาย 50% ในเวลาเป็นชั่วโมง (LC 50) | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|
| rainbow trout | 96 ชั่วโมง 98 mg/l | Macek and Sturm, 1973 |
| fathead minnow | 96 ชั่วโมง 127 mg/l | Macek and Sturm, 1973 |
| bluegill | 96 ชั่วโมง 252 mg/l | Macek and Sturm, 1973 |

**ตารางที่ 4** แสดงผลของสาร factac ต่อสัตว์น้ำในประเทศไทย

| ปลา | ความเข้มข้นที่ทำให้อัตราการฟักไข่ของปลามีชีวิตรอด 50% | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|
| ปลากาแดง (Labeo rohita) | 2.61 ppm | ประวิทย์ สุรนีรนาถ, 2518 |
| ปลาทรงเครื่อง (Labeo bicolor) | 2.72 ppm | ประวิทย์ สุรนีรนาถ, 2518 |
| ปลายี่สกเทศ (Labeo rohita) | 3.25 ppm | ประวิทย์ สุรนีนาถ, 2518 |

ตารางที่ 5 แสดงความเป็นพิษของ factac ต่อสัตว์น้ำจืดในประเทศไทย

| สัตว์น้ำจืด | ความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์ตาย 50% ในเวลาเป็นชั่วโมง (LC 50) | | เอกสารอ้างอิง |
|---|---|---|---|
| ปลานิล (Tilapia nilotica) | 96 ชั่วโมง | 22.8 ppm | ณรรฐพล วัลลีย์ลักษณ์, 2523 |
| กุ้งฝอยน้ำจืด (Synurella sp.) | 96 ชั่วโมง | 43.4 ppm | ณรรฐพล วัลลีย์ลักษณ์, 2523 |
| ลูกน้ำยุงบ้าน (Culex quinquefasciatus) | 96 ชั่วโมง | 17.8 ppm | ณรรฐพล วัลลีย์ลักษณ์, 2523 |
| หอยขม (Vivipara sp.) | 96 ชั่วโมง | 25.9 ppm | ณรรฐพล วัลลีย์ลักษณ์, 2523 |

## พิษของผงซักฟอกต่อมนุษย์

ในประเทศไทยยังไม่มีรายงานทางวารสารการแพทย์ใด ๆ ที่กล่าวถึงพิษของผงซักฟอกต่อผู้ใช้ แต่มีรายงานบ้างจากต่างประเทศ ดังเช่น ในปี พ.ศ. 2516 จอห์น เอฟ กริฟฟิท (John F.Griffith) พบว่า ผงซักฟอก 3 ใน 31 ชนิดที่ศึกษาก่อให้เกิดปฏิกริยาแพ้ทางผิวหนัง ในปีเดียวกัน นายแพทย์ เฟย์ เอฟ อารันเดลล์ (Faye F.Arundell) รายงานว่ามีผู้ป่วยโดยมีผื่นแดงที่มือ อาการระคายเคือง และคันบริเวณหลังมือ และฝ่ามือทั้งสองมีรอยด่างขาวลามถึงข้อมือ เขาตรวจพบว่าความผิดปกติเหล่านี้เกิดจาก phenolic detergent จากการสืบประวัติของคนไข้รายนี้พบว่า ทำงานเกี่ยวกับการรักษาความสะอาดอุปกรณ์ของแผนกกายภาพบำบัดของโรงพยาบาลแห่งหนึ่ง โดยเขาใช้ phenolic detergent germicide ในการทำความสะอาดอุปกรณ์ ในปี พ.ศ.2520 Van M.Scabaugh รายงานว่าเด็กอายุต่ำกว่า 6 ขวบ จำนวน 5,473 คน ได้รับอันตรายจากสารพิษ โดยกินผงซักฟอกและสารทำความสะอาดอื่น ๆ ที่มีผงซักฟอกเป็นส่วนประกอบ เกิดเหตุการณ์ร้ายแรงในประเทศญี่ปุ่น โดยนายอิโอริชิมา(Iorishima) จาก Kyushu กินผงซักฟอกเข้าไป ด้วยเข้าใจว่าเป็นนมผงทำให้ตายไป จึงมีการสนใจในอันตรายของผงซักฟอกอย่างกว้างขวางถึงขนาดมีการอภิปรายในรัฐสภาญี่ปุ่น นายแพทย์เยชิโอะ มากิโน (Dr.Yeshio Makino) แพทย์โรคผิวหนัง รายงานว่า ระยะหลัง ๆ มีเด็กซึ่งมีอาการผิวหนังเป็นผื่นแดงอย่างรุนแรงในบริเวณที่สัมผัสกับผ้ามารับการรักษามากขึ้น เขาสันนิษฐานว่าเป็นเหตุจากการใช้ผงซักฟอก ซักผ้าอ้อม หรือเสื้อผ้าเด็ก จึงแนะนำให้มารดาเหล่านั้นเปลี่ยนมาใช้สบู่ซักผ้าแทน ปรากฏว่าเด็กกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ที่มารักษาหายเป็นผื่นแดงอย่างรวดเร็วโดยทั่วไปแล้ว ผงซักฟอกอาจเป็นอันตราจต่อสุขภาพและอวัยวะได้ 2 ทาง คือ

1. ทำความระคายเคืองต่ออวัยวะที่สัมผัสอาจจะเกิดได้ในกรณีต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1.1 ใช้ผิดประเภท เช่น ใช้สระผม ใช้ฟอกตัวแทนสบู่ ผงซักฟอกอาจเข้าตาทำให้เยื่อตาอักเสบ ผิวหนังหยาบแห้ง เพราะผงซักฟอกจะชะล้างและทำลายสารเคลือบมันของผิวหนัง และศีรษะ ซึ่งผงซักฟอกมีฤทธิ์มากกว่าสบู่หรือแชมพู

1.2 ใช้ในความเข้มข้นสูง ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผิวที่สัมผัส โดยเฉพาะผู้ที่มีพยาธิสภาพอื่นๆ อยู่ก่อนแล้ว เช่น มีบาดแผล การอักเสบ มีผื่นคันบริเวณรอยเล็บเปื่อย พยาธิสภาพเหล่านี้จะเป็นมากขึ้น เพราะผงซักฟอกที่มีความเข้มข้นสูงจะเพิ่มความระคายเคืองและการเปื่อยต่อผิวที่สัมผัสมาก

1.3 ผู้ใกล้ชิด หรือปฏิบัติงานในโรงงานผลิตผงซักฟอก มีโอกาสที่จะสูดเอาละอองผงซักฟอก ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุทางเดินหายใจได้

2. ปฏิกริยาแพ้

2.1 ละอองฝุ่นของผงซักฟอก กระตุ้นให้เกิดปฏิกริยาแพ้ในระบบหายใจ โดยมีอาการแสบจมูก เป็นหวัดเรื้อรัง หอบหืด และปวดศีรษะ

2.2 ปฏิกริยาแพ้บริเวณผิวหนัง ส่วนมากแล้วจะเกิดจากสารเสริมที่ผู้ผลิตเติมเข้าไปเพื่อให้ผงซักฟอกมีคุณสมบัติแปลกและเด่นไป

ปัจจุบันในประเทศไทย ผงซักฟอกที่ผลิตจำหน่ายเป็นชนิด hard detergent (ABS) ซึ่งย่อยสลายได้ยาก หรือไม่ถูกสลายเลยด้วยแบคทีเรียในสภาพธรรมชาติ ซึ่งจะมีปัญหากับสภาวะแวดล้อมดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แนวทางในการแก้ปัญหาผงซักฟอกที่เกิดขึ้น อาจกระทำได้ 2 ทาง คือ ทางที่หนึ่ง ใช้ระบบกำจัดที่เหมาะสม เช่น วิธีทางเคมี(chemical coagulation) หรือวิธีทางชีววิทยา(biological process) ซึ่งสามารถใช้กำจัดน้ำทิ้งที่มีผงซักฟอกได้ผลดีเป็นที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามกระบวนการกำจัดดังกล่าว ใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยคงเป็นไปได้ยาก เพราะในปัจจุบันนี้แม้แต่ระบบกำจัดขั้นต้น ชุมชนส่วนใหญ่ทุกระดับยังไม่มีการกำจัดน้ำทิ้งอย่างถูกต้อง ดังนั้นการที่จะมีระบบกำจัดที่สมบูรณ์จึงเป็นเรื่องที่เป็นไปได้ยากในอนาคตอันใกล้นี้ ทางที่สองคือ เลิกใช้ ABS โดยเปลี่ยนมาใช้ LAS ซึ่งสลายได้ง่ายแทนการกำจัดโดยวิธีทางชีววิทยาระบบ activated sludge สามารถกำจัด LAS ได้เกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนมาใช้ LAS จะต้องได้รับความร่วมมืออย่างดีจากประชาชนผู้ใช้ ที่ควรจะตระหนักถึงอันตรายจาก ABS บริษัทผู้ผลิตผงซักฟอกที่กล้าลงทุนเปลี่ยนจาก ABS เป็น LAS ซึ่งค่อนข้างมีราคาแพงและเสียค่าใช้จ่ายในการโฆษณามาก หรือแม้แต่การพิจารณาอย่างรอบคอบของรัฐบาลที่จะใช้มาตรการในการดำเนินการที่เหมาะสม เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยของประชาชนต่อไป

## เอกสารอ้างอิง


1. ณรรฐพล วัลลีย์ลักษณ์.(2523) ผลของสารพิษบางชนิดที่มีต่อสัตว์น้ำ ภาควิชากีฏวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
2. ประวิทย์ สุรนีรนาถ.(2518) "ผลของ Factac ต่ออัตราการฟักไข่ปลาสกุล Labeo 3 ชนิด" ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ, คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 24 หน้า
3. ประสิทธิ์ กลิ่นภิรมย์.(2521) "อิทธิพลของผงซักฟอกบางชนิดต่อตัวอ่อนของหอยขม" วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
4. Eisler, R.(1965) "Some effects of a synthetic detergent on estuarine fish" Trans.Amer.Fish.Soc. 94(1): 26-31.

5. Henderson, C., Q.H.Pickering, and J.M.Cohen.(1959) "The toxicity of synthetic detergents and soaps to fish." Sew.and Ind.Wastes.31: 295-306.

6. Ganz, C.R. et al.(1975) "Accumulation and elimination studies of four detergents fluorescent whitening agents in bluegill (Lepomis macrochirus)" Envron.Sci.Tech. 9: 738-744.

7. Klein, S.A. and Mc.Gauhy, P.H.(1965) "Degradation of Biological Soft Detergents by Wastewater Treatment Processes." J. Water Poll. Control. Fed. 37: 857.

8. Pickerling, Q.H., and T.O. Thatcher.(1970) "The chronic toxicity of linear alkylate sulfonate(LAS) to Pimphales promelas, Rafinesque. J.W.P.C.F. 42(2): 243-254.

9. Scabaugh.V.M., et al.(1977) "Detergent toxicity survey."Public Health Briefs. 67(4): 367-369.

10. Surber, E.W. and T.O. Thatcher.(1963) "Laboratory studies on the effects of alkyl benzene sulfonate (ABS) on aquatic invertebrates." Trans.Amer. Fish. Soc. 92(2): 152-160.

วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ ๑๑ ฉบับที่ ๔ ต.ค. - ธ.ค. ๒๕๒๖

# โฟโตเคมีเบียร์

กุลวดี รังษีวัฒนานนท์*

สารเคมีอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อได้รับความร้อนหรือได้รับแสง ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อสารที่เกี่ยวข้องดูดกลืนคลื่นหรือโฟตอน(photon)เรียกปฏิกริยาเคมีนั้นว่า ปฏิกริยาโฟโตเคมี (photochemical reaction) และวิชาที่ศึกษาปฏิกริยาเคมีเหล่านี้ว่าโฟโตเคมี (photochemistry) ปฏิกริยาดังกล่าวสามารถพบได้ในชีวิตประจำวันโดยทั่วไป ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรทของพืชและกระบวนการในการถ่ายภาพ

ก่อนที่จะกล่าวถึง โฟโตเคมีของเบียร์ (1) จะขอกล่าวถึงกระบวนการในการผลิตเบียร์ก่อน วิธีการผลิตเบียร์ชั้นเยี่ยมนั้นต้องเริ่มจากวัตถุดิบที่ดี และวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเบียร์ก็คือ ฮอพ ข้าวบาร์เลย์และน้ำ กระบวนการผลิตขั้นแรกนั้นจะนำข้าวมอลท์(ซึ่งก็คือเมล็ดข้าวบาร์เลย์ที่กำลังงอก) มาผสมกับน้ำและเทรวมกันลงในถัง เพื่อเปลี่ยนแป้งที่อยู่ในข้าวมอลท์ให้กลายเป็นน้ำตาล ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 ชม. ต่อจากนั้นก็กรองเอากากเมล็ดข้าวออก นำของเหลวที่ได้ไปต้ม และในขั้นตอนนี้ก็เติมฮอพเข้าไปด้วย ของเหลวที่ได้จะเป็นน้ำขม ๆ ที่มีน้ำตาลมอลท์ละลายอยู่ด้วย เรียกว่า wort หลังจากที่กรองโปรตีนที่ไม่ละลายออก ทำให้เย็นลง แล้วเติมยีสต์ลงไป จากนั้นก็สูบของเหลวนี้เข้าไปยังห้องพักเพื่อเข้าสู่กระบวนการหมักขั้นต้น การหมักขั้นต้นจะหมักในถังขนาดใหญ่ภายในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิเป็นพิเศษ และใช้เวลาประมาณ 10 วัน ในระหว่างนี้ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลมอลท์ให้เป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อครบกำหนดก็จะได้เบียร์อ่อน ๆ ซึ่งจะเป็นเบียร์ที่มีรสชาดเยี่ยมได้ก็ต่อเมื่อบ่มต่อไปอีก การบ่มนี้ทำโดยแช่เย็นในถังเก็บนานถึง 2 เดือน หลังจากนั้นจึงกรองเอายีสต์และโปรตีนที่ไม่ละลายออก ท้ายที่สุดก็จะได้เบียร์ซึ่งพร้อมที่จะนำบรรจุขวดได้

เบียร์ที่ได้ถ้าปล่อยทิ้งไว้ให้ถูกแสงพบว่า รสชาดและกลิ่นของเบียร์จะเสียไป ผลของแสงที่มีต่อกลิ่นและรสชาดของเบียร์นี้ เรียกว่าlight struck flavor (LSF) ซึ่งผลนี้กระทบกระเทือนต่อเศรษฐกิจอย่างมาก ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมาหลายประเทศพยายามที่จะหาสาเหตุและอธิบายการเกิด LSF ซึ่งในปี ค.ศ.1875 C. Lintner ได้กล่าวถึง LSF ครั้งแรกในหนังสือ Beer Brewing หลังจากนั้นก็มีคนพยายามที่จะศึกษาดูว่าสีของขวดที่ใส่เบียร์ว่า มีผลต่อการเกิด LSF หรือไม่ ซึ่งก็ปรากฏว่าการเกิด

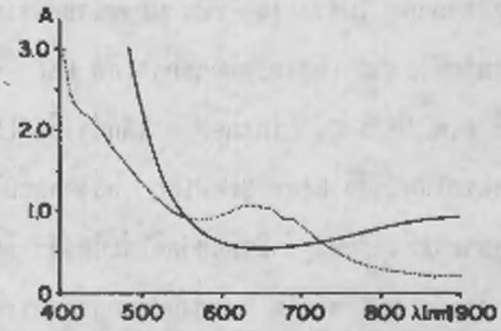
*อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

LSF นั้นขึ้นกับสีของขวดด้วย ในช่วงปี ค.ศ. 1908 I. Brand พบว่าปฏิกริยารีดอกซ์ (redox) เนื่องจากการสลายตัวของ ferrioxalate จะเกิดขึ้นได้ต้องมีแสงมาเกี่ยวข้อง ตามสมการข้างล่าง และช่วงความยาวคลื่นแสงที่ทำให้เกิดปฏิกริยานี้ก็เป็นช่วงความยาวคลื่นแสงเดียวกับที่ทำให้เกิด LSF

$$Fe(III)\ (C_2O_4)_3^{3-} \xrightarrow{h\upsilon} Fe(II) + (C_2O_4)^- + 2C_2O_4^{2-} \rightarrow \text{secondary reactions}$$

กระบวนการ secondary reaction จะไม่เกี่ยวข้องกับแสง ซึ่งปัจจุบันการติดตามการเกิด Fe(II) จะใช้ o-phenanthroline เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับFe(II) แต่ Brand ติดตามการเกิดFe(II) โดยการทำปฏิกริยากับ ferrocyanide ion ($Fe(CN_6^{3-})$) เกิดสารประกอบferrous ferrocyanide ion($Fe(CN_6)^-$) ซึ่งมีสีเฉพาะที่เรียกว่า Prussian Blue โดย Brand พบว่า ถ้าปฏิกริยาเกิดขึ้นในขวดสีเขียว Prussian Blue จะเกิดได้เร็วกว่าในขวดสีน้ำตาล ด้วยเหตุนี้ Brand จึงแนะนำให้เก็บเบียร์ไว้ในขวดสีน้ำตาลเพื่อป้องกันการเกิด LSF

ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่า ช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่แสงอุลตราไวโอเลตจนถึงแสงที่มองเห็นได้ (visible light) ที่ความยาวคลื่น 500 nm มีผลทำให้เกิด LSF ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่า



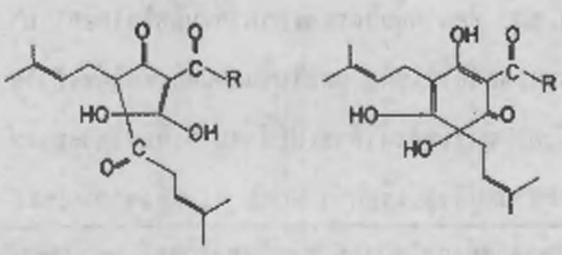

รูปที่ 1 เปรียบการวัดการดูดกลืนแสงกับช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ของขวดเบียร์ที่เป็นสีน้ำตาลเดียว(...) และสีน้ำตาล(___) เมื่อความหนาของขวด 0.3 ซม.(1)

ขวดสีเขียวจะยอมให้แสงช่วงคลื่น 400 - 500 nm ผ่าน ในขณะที่ขวดสีน้ำตาลจะดูดกลืนแสงช่วงคลื่นนี้ (คือไม่ยอมให้แสงช่วงคลื่นนี้ผ่าน) ด้วยเหตุนี้ขวดสีน้ำตาลจึงเหมาะที่จะใส่เบียร์มากกว่าขวดสีเขียว

การตรวจสอบการเกิด LSF ทำโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญในการดื่มเบียร์เป็นผู้ทดสอบ ทั้งนี้เพราะผู้เชี่ยวชาญเหล่านี้มีความรู้สึกที่ไวมากต่อกลิ่นและรสชาดของเบียร์ที่ผิดไป การตรวจสอบแบบนี้เรียกว่า organoleptic analysis และจะไม่ใช้เครื่องมือใด ๆ อย่างเช่น gas chromatography เพื่อวิเคราะห์การเกิด LSF ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในเบียร์มีสารประกอบต่าง ๆ มากมายหลายชนิด และสารที่เป็นต้นเหตุของ LSF อาจมีความเข้มข้นต่ำมากๆ นอกจากนี้จุดเริ่มแรกของการเกิด LSF ก็ยังไม่ทราบแน่นอน ถึงแม้ว่าผลิตผลบางอย่างที่ได้จากกระบวนการโฟโตเคมีนั้นสามารถที่จะวิเคราะห์หาได้ แต่สารที่เป็นต้นเหตุของการเกิด LSF นั้น ยังไม่สามารถหาได้สำเร็จ

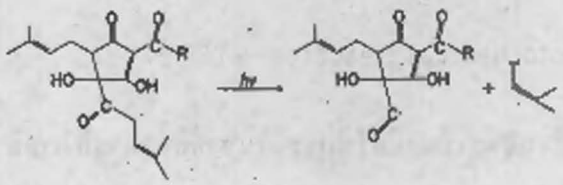
## <u>โฟโตเคมีของเบียร์</u> (Photochemistry of Beer)

การเกิด LSF นั้นเชื่อกันว่าเกี่ยวข้องกับการที่เบียร์มี iso - α - acid อยู่ สารที่สำคัญที่สุดของ iso - α - acid คือ isohumulone (R = $CH_2$-$CH(CH_3)_2$)




iso-α-acid α-acid

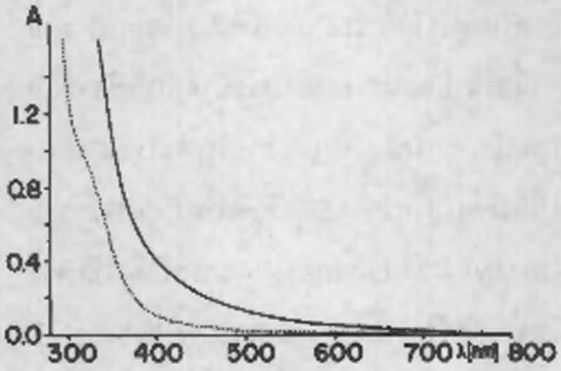
iso - α - acid เป็นสารที่ทำให้เบียร์มีรสขาดขม สารนี้เกิดขึ้นในระหว่างที่ทำการต้ม wort ในกระบวนการผลิตเบียร์ โดย α - acid (ซึ่งเป็นสารประกอบที่เป็นส่วนสำคัญในฮ็อพ) มีการจัดเรียงตัวใหม่ (rearrangement) กลายเป็น iso - α - acid ตำแหน่ง side chain ที่ไม่อิ่มตัวของ iso - α - acid มีบทบาทสำคัญในการทำให้ LSF เพิ่มขึ้น โดยที่ iso - α - acid ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมแล้ว เกิดปฏิกริยาโดย side chain ของ iso - α - acid แตกออกให้ 2-methylbutene-2-ylradical ตามสมการ




แรดิคัล (radical) ที่เกิดขึ้นก็เกิดปฏิกริยาต่อไปโดยไม่เกี่ยวข้องกับแสง เกิดเป็นสารประกอบที่เป็นสาเหตุของ LSF แต่อย่างไรก็ตามที่กล่าวมานี้สภาวะกระตุ้นของ iso - α - acid และกลไกในการแตก (cleavage) ของ side chain ก็ยังไม่เป็นที่ทราบกันอย่างแน่ชัด นอกจากนี้แม้แต่หลักฐานเกี่ยวกับการเกิดแรดิคัลก็ยังไม่ปรากฏ การป้องกันไม่ให้เกิด LSF เพิ่มขึ้นอาจจะทำได้โดยกระบวนการ hydrogenation ที่ side chain ของ iso - α - acid ด้วย sodium borohydride ($NaBH_4$) เบียร์ที่ผลิตในประเทศสหรัฐส่วนมากจะป้องกันการเกิด LSF โดยวิธีนี้ (2)

การเกิด LSF ไม่ได้มาจาก iso - α - acid เพียงอย่างเดียวแต่อาจเกิดจากสารอื่นที่มีอยู่ในเบียร์ ในปี ค.ศ.1941 ได้มีหลักฐานยืนยันว่า สารประกอบต่าง ๆ ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น cystein ก็เป็นสาเหตุทำให้มี LSF เกิดเพิ่มมากขึ้น (3) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารประกอบเหล่านี้เกิดปฏิกริยาที่ให้ผลิตผลเป็น thiol ซึ่งเป็นสารที่มีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้ยังมีคนเสนอว่า LSF ที่เพิ่มขึ้นนี้ อาจมาจาก 3-methyl-2-butene-1-thiol ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากปฏิกริยาระหว่าง 2-methylbutene-2-ylradical กับสารประกอบที่มีกำมะถันอยู่ด้วย แต่กลไกของปฏิกริยาก็ยังไม่เป็นที่ทราบกันอย่างแน่นอนอีกเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามการที่ thiol เป็นจุดเริ่มในการเกิด LSF ก็ยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ ทั้งนี้เพราะนักดื่มเบียร์ชาวเบลเยี่ยม 10 คน ได้ลงความเห็นว่ากลิ่นเบียร์ที่เกิด LSF กับกลิ่นเบียร์ที่ใส่ 3-methyl-2-butene-1-thiol ลงไปนั้นต่างกัน

ขอย้อนกลับมากล่าวถึง iso - α - acid ซึ่งเป็นสารที่พบว่าเกิดขึ้นได้ 2 stereoisomer โดย trans isomer สามารถทำให้บริสุทธิ์เป็นผลึกสีขาวที่ดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 350 nm และ isomer นี้เป็นสาเหตุให้เกิด LSF ส่วน cis isomer มีลักษณะเป็นน้ำมัน ถึงแม้ว่า iso - α - acid มีส่วนในการทำให้เกิด LSF แต่ก็ยังเป็นที่สงสัยกันว่า iso - α - acid ดูดกลืนแสงโดยตรง แล้วเป็นสาเหตุให้เกิด LSF หรือมีสารอื่นเป็นตัวดูดกลืนแสงก่อน แล้วจึงถ่ายเทพลังงานให้ iso - α - acid ซึ่ง Brand ได้พบว่าในเบียร์ dark Munich จะเกิด LSF ได้ดีกว่าเบียร์ light Pilsner ตามรูปที่ 2 จะเห็นว่าเบียร์ dark Munich จะดูดกลืนแสงที่มองเห็นได้มากกว่าเบียร์ light Pilsner




รูปที่ 2 เปรียบการวัดการดูดกลืนแสงของเบียร์ light Pilsner(....) และเบียร์ dark Munich (——) ที่ความยาวคลื่น (1)

นอนว่าสารใดเป็นจุดเริ่มต้นการเกิด LSF รวมทั้งกลไกของปฏิกริยาและสภาวะกระตุ้นของสาร นอกจากนี้ยังไม่ทราบถึงพลังงานแสงขั้นต่ำสุดที่สามารถทำให้เกิด LSF ได้ แต่อย่างไรก็ตามบทความนี้ก็ควรจะมีประโยชน์บ้างสำหรับท่านที่ชอบดื่มเบียร์และขอแนะนำว่า สำหรับเบียร์ยี่ห้อเดียวกันท่านที่ไม่ชอบดื่มเบียร์กระป๋องหรือเบียร์บรรจุในถังก็ควรจะซื้อเบียร์ที่ใส่ขวดสีน้ำตาล แต่ถ้าท่านนิยมดื่มเบียร์ยี่ห้ออื่นที่บรรจุขวดสีเขียวควรจะเก็บเบียร์นั้นไว้ในที่มืด และ

$$\text{dye} \xrightarrow{h\upsilon} \text{dye}^*$$

$$\text{dye}^* + \text{iso-}\alpha\text{-acid} \longrightarrow \text{dye} + \text{iso-}\alpha\text{-acid}^*$$

$$\text{iso-}\alpha\text{-acid}^* \longrightarrow \text{photochemical reaction} \rightarrow \text{LSF}$$

จากการดูดกลืนแสงเช่นนี้แสดงว่า LSF เกิดขึ้นได้ไม่เพียงแต่จะดูดกลืนแสง ช่วงอุลตราไวโอเลตถึงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ที่ความยาวคลื่น 500 nm ดังที่กล่าวแล้ว แต่ LSF ยังสามารถเกิดขึ้นได้ โดยอาศัยแสงที่มองเห็นได้ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 800 nm ถึง 400 nm สีที่ปรากฏในเบียร์อาจเป็นriboflavin หรือสีอื่น ๆ ซึ่งเกิดจากมอลท์ สีเหล่านี้จะดูดแสงก่อนแล้วส่งผ่านพลังงานไปยัง iso-α-acid (4,5) จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ก็ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ถึงแม้จะเป็นเบียร์ที่บรรจุในขวดสีน้ำตาลก็ตามก็ไม่ควรจะให้ถูกแสงนานเกินไป และถ้าท่านเห็นเบียร์ที่บรรจุในขวดที่ไม่มีสีก็ไม่ต้องตกใจ เพราะเบียร์ชนิดนั้นต้องใส่สารต้านแสง(light resistant) อย่างแน่นอน ส่วนท่านที่สนใจทางด้านโฟโตเคมี อาจจะผิดหวังบ้าง ทั้งนี้เพราะกลไกต่าง ๆ ของการเกิด LSF ยังหาหลักฐานที่แน่นอนจากการทดลองยังไม่ได้ แต่อย่างไรก็ตามปัญหาต่าง ๆ ก็จะปิดฉัจหายท่านอยู่

## เอกสารอ้างอิง

1. A. Vogler and H. Kunkely, J. Chem. Ed. 59, 25(1982).
2. O.A. Hougen, U.S. Patent 3.079,262; Chem. Abstr., 58 :0696a(1973).
3. Y. Obata and Y. Ishikawa, Nature, 205, 75(1965).
4. K.D. Legg, J. Chem. Ed. 50, 848(1973).
5. J. Bland, J. Chem. Ed. 53, 274(1976).

วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ ๑๑ ฉบับที่ ๔ ต.ค. - ธ.ค. ๒๕๒๖

# ต่อมพิษของคางคกบ้าน

พาณี วรรณิชิกุล*

คางคกบ้าน สัตว์ตัวเล็ก ๆ รูปร่างไม่น่าดู ผิวหนังตะปุ่มตะป่ำน่าเกลียด จนอาจเรียกได้ว่าห้าวแสนปม ผิวหนังตะปุ่มตะป่ำนี้เองที่เป็นที่สะสมต่อมพิษจำนวนมากมายไว้ด้วยกัน ถ้าท่านผู้อ่านเคยสังเกตจะเห็นว่า เวลาที่คางคกถูกจับแรง ๆ หรือถูกทำให้ตกใจ จะมีน้ำยางเหนียว ๆ สีขาวไหลออกมาจากผิวหนังทั่วร่างกาย น้ำยางดังกล่าวนี้คือสารพิษที่หลั่งออกมาจากต่อมพิษในผิวหนังนั่นเอง เรามารู้จักกับพิษและต่อมพิษในผิวหนังคางคกบ้านกันดูบ้าง

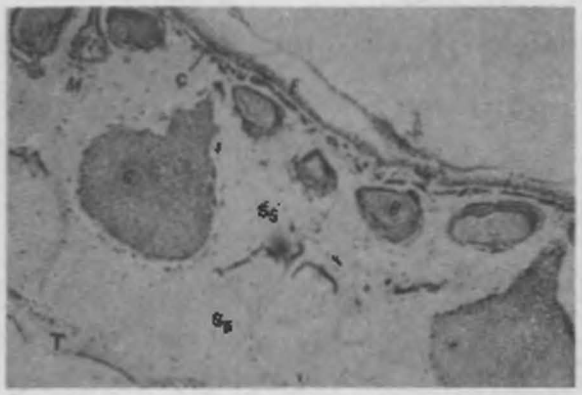
คางคก เป็นสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำชนิดหนึ่งอยู่ใน Order Anura Family Bufonidae และ Genus Bufo คางคกมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ที่พบและรู้จักกันเป็นส่วนมาก คือ คางคกบ้านซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Bufo melanostictus Schneider (Taylor, 1962) คางคกบ้านเป็นคางคกขนาดกลาง พบทั่วไปในอินเดีย พม่า จีน มาเลเซีย อินโดจีน และทุกจังหวัดของประเทศไทย ผิวหนังตามลำตัวของคางคกบ้านมีตุ่ม (wart) จำนวนมากมาย ตุ่มเหล่านี้จะมีหนามเล็ก ๆ (spine) ล้อมรอบอยู่อีกทีหนึ่ง ในบริเวณกลางหลังตุ่มเหล่านี้จะเรียงเป็นแถวขนานกันสองแถว บริเวณข้างลำตัวมีตุ่มขนาดต่าง ๆ และหนามเล็ก ๆ อีกมากมาย (รูปที่ 1) ตรงบริเวณช่วงต่อระหว่างหัวและลำตัวทั้งซ้ายและขวามีต่อมขนาดใหญ่ข้างละต่อม เรียกว่า ต่อมพาโรติด (Parotid gland, ลูกศรชี้ในรูปที่ 1) ต่อมพาโรติดนี้เองเป็นที่รวมของต่อมพิษ (poison gland) ขนาดใหญ่จำนวนมาก ๆ ไว้ด้วยกัน นอกจากนั้นยังพบต่อมพิษขนาดต่าง ๆ กระจายอยู่ทั่วไปในผิวหนัง โดยทั่วไปแล้วมักพบต่อมพิษขนาดใหญ่อยู่ในบริเวณตุ่มต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ส่วนในผิวหนังปกติจะพบต่อมพิษขนาดธรรมดา


รูปที่ 1 รูปร่างและลักษณะภายนอกของคางคกบ้าน
P = ต่อมพาโรติด

*อาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## ลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ (Histology) ของผิวหนังคางคกบ้าน

ผิวหนังคางคกบ้านมีลักษณะทั่วไปคล้ายกับผิวหนังของสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำพวกที่อยู่ในOrder Anura ด้วยกัน(พาณี 2523;Andrew & Hickman, 1974; Goin, Goin & Zug, 1978) คือ ประกอบด้วยชั้นอีพิเดอร์มิส (epidermis) ซึ่งเป็นชั้นนอก และชั้นเดอร์มิส (dermis) เป็นชั้นใน (รูปที่ 2)




รูปที่ 2 ลักษณะทางจุลกายวิภาคโดยทั่วไปของผิวหนังคางคกบ้าน(กำลังขยาย 80 x, H.E.)

B = Substantia amorpha

C = Chromatophore

E = Epidermis

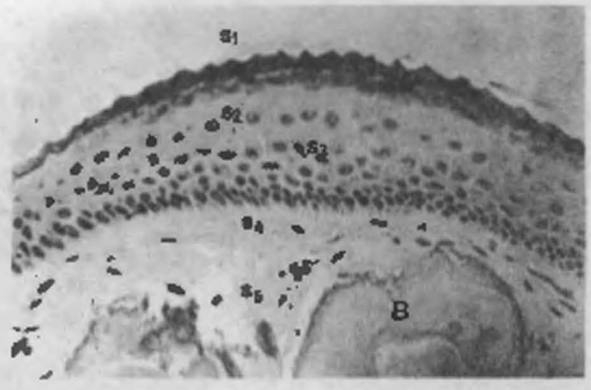
G = ต่อมพิษ M = ต่อมเมือก

$S_5$= Stratum spongiosum

$S_6$= Stratum compactum

T = Tela subcutanae

1. **ชั้นอีพิเดอร์มิส** เป็นชั้นที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอกตลอดเวลา แบ่งออกเป็น 4 ชั้นย่อย ๆ คือ stratum corneum ($S_1$) เป็นชั้นบน ถัดลงไปเป็น stratum granulosum ($S_2$) และ stratum spinosum ($S_3$) ชั้นล่างที่ติดอยู่กับชั้นเดอร์มิสคือ stratum germinativum ($S_4$) (รูปที่ 3)




รูปที่ 3 ภาพขยายผิวหนังชั้นอีพิเดอร์มิสบริเวณตุ่มนูน(กำลังขยาย 310 x, H.E.)

B = Substantia amorpha

$S_1$= Stratum corneum

$S_2$= Stratum granulosum

$S_3$= Stratum spinosum

$S_4$= Stratum germinativum

$S_5$= Stratum spongiosum

2. **ชั้นเดอร์มิส** เป็นชั้นที่มีเส้นเลือด แอ่งน้ำเหลือง เส้นประสาท ต่อมต่าง ๆ และรงควัตถุเข้ามาอยู่ ประกอบด้วยชั้นบาง ๆ 2 ชั้น ได้แก่

2.1 Stratum spongiosum ($S_5$) ชั้นนี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่รวมกันแบบหลวม ๆ (loose connective tissue) เป็นบริเวณที่อยู่ของต่อมต่าง ๆ และรงควัตถุ ซึ่งอยู่ในรูปของโครมาโตฟอร์ (chromatophore) กระจายอยู่ระหว่างช่วงต่อระหว่างชั้นอีพิเดอร์มิสและเดอร์มิส (รูปที่ 2) ในบริเวณนี้จะพบกลุ่มผลึกแคลเซียมกลุ่มใหญ่หลายกลุ่มกระจายอยู่ตลอดแนวของผิวหนัง ซึ่งจะติดสี Haematoxylin เป็นสีน้ำเงิน และถ้าหากผลึกแคลเซียมหลุดออกไปก็จะเหลือเพียงร่องรอยของกลุ่มผลึกลักษณะคล้ายสารเมือก (รูปที่ 2, 4, 5 และ 7) กลุ่มผลึกนี้ถูกเรียกว่า Substantia amorpha (Elkan, 1968)

2.2 Stratum compactum ($S_6$) ชั้นนี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่รวมกันอย่างหนาแน่น (dense connective tissue) เรียงตัวกันลักษณะคล้ายลูกคลื่น (รูปที่ 2)

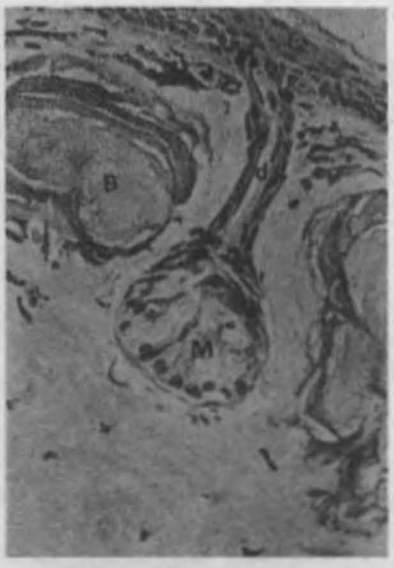
ถัดจากชั้นเดอร์มิสลงไปมีชั้นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันหลวม ๆ อยู่อีก 1 ชั้น เป็นชั้นบาง ๆ ที่นอยู่ระหว่างชั้นเดอร์มิสกับกล้ามเนื้อ เรียกว่าชั้น Tela subcutanae หรือ Subcutaneous connective tissue (Elkan, 1968) (รูปที่ 2)

## ต่อมในผิวหนังคางคกบ้าน

ต่อมที่พบในผิวหนังคางคกบ้านมี 2 ชนิด คือ ต่อมเมือก (mucous gland) และต่อมพิษ (พาณี 2523) ต่อมทั้งสองชนิดนี้จัดเป็น alveolar gland มีต้นกำเนิดมาจากชั้นอีพิเดอร์มิส แล้วเจริญลงไปอยู่ในชั้นเดอร์มิส สารที่ต่อมผลิตขึ้นมาออกสู่ภายนอกโดยทางท่อ (duct) (Bovbjerg, 1963)

**ต่อมเมือก** ประกอบด้วยเซลล์บุผิวรูปทรงกระบอกสูง (columnar cell) มีนิวเคลียสกลมอยู่ที่ฐานของเซลล์ แต่ละต่อมมีท่อเปิดออกที่อีพิเดอร์มิส ส่วนของท่อประกอบด้วยเซลล์แบน ๆ เรียงซ้อนกันสองชั้น (รูปที่ 4) ต่อมเมือกทำหน้าที่สร้างสารเมือกใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เมื่อทดสอบปฏิกิริยาทางฮีสโตเคมี (histochemistry) พบว่า สารเมือกนี้ให้ปฏิกิริยาสีแดงเข้มกับ PAS (Periodic Acid Schiff's reagent) ให้สีฟ้าอ่อนกับ Alcian blue และมีปฏิกิริยาของไขมันเล็กน้อย(พาณี 2523)

**ต่อมพิษ** สารที่ต่อมพิษสร้างออกมามีลักษณะเป็นยางเหนียว สีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม มีกลิ่นฉุนเฉียว และเป็นพิษต่อสัตว์ชนิดอื่น ปกติต่อมพิษจะมีขนาดใหญ่กว่าต่อมเมือก (รูปที่ 2) ลักษณะของสารที่สร้างขึ้นมาก็แตกต่างกัน สารที่ต่อมพิษสร้างออกมามีลักษณะ

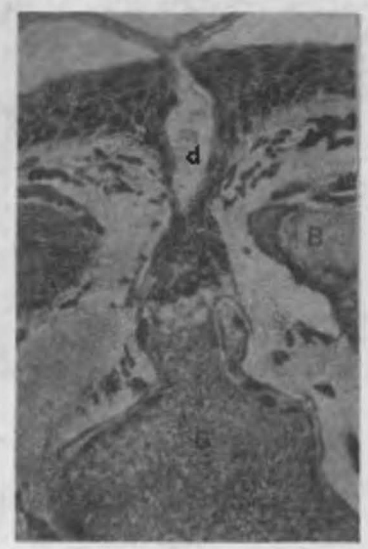



รูปที่ 4 ภาพขยายต่อมเมือกในผิวหนังแสดงเซลล์บุผิวและท่อเปิด (กำลังขยาย 310 x, H.E.)
B = Substantia amorpha
d = ท่อเปิด (duct)
E = Epidermis
M = ต่อมเมือก

เป็นเม็ด (granule) ซึ่งเมื่อย้อมด้วยสี Haematoxylin และ Eosin พบว่า เม็ดสารเหล่านี้มีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ และคุณสมบัติในการติดสีแตกต่างกันด้วย เช่น ขนาดใหญ่ติดสีม่วงแดง ขนาดเล็กติดสีน้ำเงินเข้ม เป็นต้น (รูปที่ 5 และ 6) ส่วนสารที่ต่อมเมือกสร้างออกมาไม่ได้มีลักษณะเป็นเม็ด เม็ดสารของต่อมพิษนี้มีปฏิกิริยาของ PAS เพียงเล็กน้อย แต่กลับมีปฏิกิริยาของ Alcian blue เป็นสีฟ้าเข้มและมีไขมันมากพอสมควร (พาณี 2523) สำหรับลักษณะของต่อมพิษจะขึ้นกับสภาพการทำงานของต่อม ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

ลักษณะที่ 1 เป็นลักษณะที่ต่อมมีการทำงานน้อย (hypoactive) ในลักษณะเช่นนี้ต่อมจะมีสารที่สร้างออกมาอยู่เต็มช่องกลางต่อม (lumen) ส่วนเซลล์

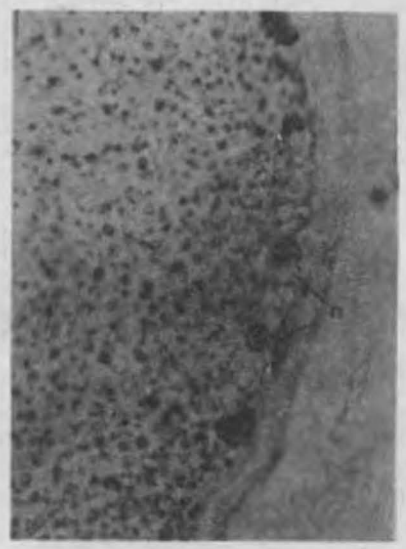
บุผิวของต่อมจะเป็นเซลล์แบน ๆ(squamous cell) และเห็นเฉพาะนิวเคลียสของเซลล์รูปร่างกลม ติดสีเข้มโผล่ออกมาเท่านั้น (รูปที่ 5 และ 6)




รูปที่ 5 ภาพขยายต่อมพิษในผิวหนังแสดงลักษณะท่อเปิดและเม็ดสารภายในต่อม (กำลังขยาย 310 x, H.E.)
B = substantia amorpha
d = ท่อเปิด
E = Epidermis
G = ต่อมพิษ

ลักษณะที่ 2 เป็นลักษณะที่ต่อมมีการทำงานมากขึ้น (active) ระยะนี้ต่อมมีการหลั่งเอาสารที่ต่อมสร้างออกจากต่อมจนเกือบหมดหรือหมดแล้ว เซลล์บุผิวของต่อมจะเป็นเซลล์รูปกระบอกทรงสูง บางเซลล์ยังคงมีนิวเคลียส บางเซลล์ไม่มีนิวเคลียส ในช่องกลางต่อมมีนิวเคลียสของเซลล์กระจายอยู่ หรือติดอยู่กับยอดเซลล์ (รูปที่ 7)

จากรายงานของ Henderson et al (1962) ซึ่งทำการศึกษาวิจัยทางเคมีเกี่ยวกับสารพิษที่ต่อมพาโรติดของคางคกป่านหลั่งออกมาพบว่า สารพิษดังกล่าวนี้ ประกอบด้วยสารพวก indolethylamine ที่มีลักษณะคล้ายกับสารพวก Serotonin ซึ่งเมื่อนำสารพิษนี้ไปทดลองฉีดเข้าไปในตัวแมว ปรากฏว่ามีผลทำให้หัวใจของแมวเต้นช้าลง และความดันเลือดเพิ่มขึ้นด้วย




รูปที่ 6 ภาพขยายลักษณะเม็ดสารที่ต่อมพิษสร้างออกมา (กำลังขยาย 870 x, H.E.)
n = นิวเคลียสของเยื่อบุผิวของต่อมพิษ


รูปที่ 7 ลักษณะต่อมพิษที่มีการหลั่งเอาสารพิษออกจากต่อมจนเกือบหมด (กำลังขยาย 310 x, H.E.)
G = ต่อมพิษ

ปัจจุบัน พบว่า สารพิษของพวกคางคก(Bufo) ที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า สารพิษคางคก (toad venom) ซึ่งส่วนมากสกัดมาจากสารที่หลั่งออกมาจากต่อมพาโรติด ประกอบด้วยเบส (base) ที่มีลักษณะทางเคมีต่างกัน 2 แบบ(Bucherl และ Buckley, 1971) ได้แก่

1. พวกที่เปลี่ยนมาจากphenylethylamine ได้แก่ Dopamine, N-methyidopamine (epinin), Norepinephrine และ epinephrine เรียกสารกลุ่มนี้ว่า Catecholamine

2. พวกที่เปลี่ยนมาจาก tryptamine ได้แก่ Serotonin หรือ 5 - Hydroxytryptamine, Bufotenin, Bufoviridine, Bufotenidine เรียกกลุ่มนี้ว่า Biogenic amine

นอกจากสารพิษดังกล่าวนี้แล้ว ยังพบสารประกอบที่เป็นพิษอื่น ๆ อีกมาก เช่น พวกโปรตีนที่มีผลทำให้เม็ดเลือดแตก พวกsteroidal alkaloid เป็นต้น สารพิษที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด มีความเป็นพิษต่อสัตว์อื่นโดยที่ไปมีผลรบกวนต่อเยื่อเมือกและเนื้อเยื่อในปาก และถ้าหากเข้าไปในร่างกายตามกระแสเลือด อาจทำให้ถึงตายได้

จะเห็นได้ว่า ผิวหนังของคางคกบ้านมีต่อมพิษที่บรรจุสารพิษกระจายอยู่ทั่วไปตลอดทั้งตัว ซึ่งถ้าหากไม่ระมัดระวังแล้ว อันตรายอย่างน้อยที่สุดที่จะเกิดจากการจับคางคกด้วยมือเปล่าก็คือ อาการปวดแสบปวดร้อนที่เกิดจากสารพิษและถึงแม้จะยังไม่มีหลักฐานยืนยันเกี่ยวกับผลของสารพิษจากต่อมพิษของคางคกบ้านที่มีต่อสรีรวิทยาของมนุษย์ แต่จากการที่ Henderson et al (1962) ได้ทดลองฉีดสารพิษดังกล่าวนี้เข้าไปในตัวแมว แล้วมีผลทำให้หัวใจแมวเต้นช้าลง ความดันเลือดเพิ่มขึ้น ทำให้น่าคิดว่าสารพิษดังกล่าวน่าจะมีผลต่อมนุษย์เช่นเดียวกันกับแมวซึ่งเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมด้วยกัน ดังนั้น เราจึงควรระมัดระวังเมื่อจำเป็นจะต้องเกี่ยวข้องกับสัตว์ชนิดนี้ รวมทั้งสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำชนิดอื่นด้วย

นอกจากจะพบต่อมพิษในผิวหนังของคางคกบ้านแล้ว ยังพบในผิวหนังของพวกกบเนื้อและอึ่งอ่าง ซึ่งเป็นอาหารอย่างหนึ่งของชาวบ้านในภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วย แต่เนื่องจากมีข้อมูลเกี่ยวกับสารพิษในต่อมพิษของสัตว์ทั้งสองชนิดนี้น้อยมาก จึงไม่อาจบอกได้ว่า สารพิษเหล่านี้มีความเป็นพิษมากหรือน้อยเท่าใด

## เอกสารอ้างอิง


1. พาณี วรรณนิธิกุล 2523, "การศึกษาสัณฐานวิทยาของผิวหนังอนูแรนบางชนิด" วิทยานิพนธ์ หลักสูตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

2. Andrew, W. and Hickman, C.P. 1974. Histology of the Vertebrates. A Comparative Text. Saint Louis : C.V. Mosby.

3. Bovbjerg, A.M. 1963. Development of the Gland of the Dermal Plicae in Rana pipiens." J. of Morpho. (113) : 231-243.

4. Bucherl, W. and Buckley, E. 1971. Venomous Animals and Their Venoms. V. II. New York : Academic Press. p. 423-519.

5. Elkan, E. 1968. "Mucopolysaccharide in the Anuran Defence Against Desiccation." J. of Zoology (155) : 19-53.

6. Goin, C.J; Goin, O.B. and Zug, G.R. 1978. Introduction to Herpetology. 3rd ed. San Francisco : Freeman.

7. Henderson, F.G., Welles, J.S. and Chen, K.K. 1962. "Parotid Secretion of Indonesian Toads." Science (136) : 775-776. 1962.

8. Taylor, E.H. 1962. "The Amphibian Fauna of Thailand." The University of Kansas Science Bulletin (43) : 265-599.

# การสร้างกล้องดาราทัศน์ด้วยตนเอง

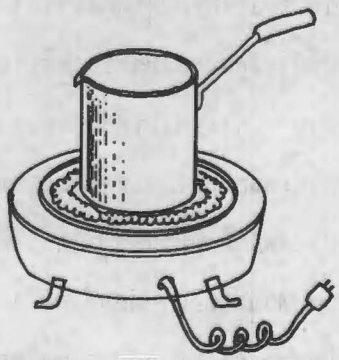
## ตอนที่ 3

สามารถ อังศุสิงห์*

(ต่อจากฉบับที่แล้ว)

1. การเตรียม Pitch - lap หลายคนอาจสงสัยว่า เราใช้กระจก 2 แผ่น ขัดกันมาตลอดมาถึงตอนนี้จะต้องทิ้งกระจกขัดเสียแล้วหรือ ขอบอกว่ากระจกขัดที่เป็นเพื่อนคู่ยากของเรามาตลอด นั้นยังคงจะเป็นประโยชน์ต่อไปและจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ไม่มีอะไรดีกว่ากระจกขัดเพื่อนคู่ยากของเราเพราะไม่ต้องไปหาซื้ออื่นใดมาเป็นฐานรอง pitch เหตุผลสำคัญประการอื่นก็คือ ถ้าบังเอิญเราขัดเงากระจกผิดพลาดไปจนไม่สามารถแก้ไขด้วยการขัดกับ pitch ได้และจำเป็นต้องขัดให้ได้ Spherical อีกกระจกขัดของเราซึ่งมีส่วนโค้งได้เหมาะสมนั้นนั่นแหละจะเป็นตัวที่ใช้ขัดและแก้ไขได้เป็นอย่างดีที่จะหาอะไรอื่นมาเทียมได้ นอกจากนี้หลังจากที่เราขัดและฉาบจนกระจกติดใส่กับกล้องเรียบร้อยแล้ว กระจกขัดอันนี้เอามาถูด้วยทินลับมีดให้แบนราบเรียบ ยังใช้เป็นกระจกขัดสำหรับขัดกระจกกล้องอันต่อไป โดยไม่ต้องไปจัดหาใหม่

pitchที่นิยมใช้ขัดเงากระจกในต่างประเทศโดยมากได้มาจากต้นสน (Spruce) เป็นยางของสนที่ขึ้นในประเทศที่มีอากาศหนาวเช่น สวีเดน นอรเวย์ ฟินแลนด์ ยางที่ได้จากสนเหล่านี้เมื่อมาทิ้งไว้แล้วจะกลายเป็นสีดำเหนียวและแข็งพอสมควร บางบริษัทจะมี pitch ขายทั้ง 2 อย่างคือ จากต้นสน และจากยางมะตอย ชนิดจากต้นสนมักจะแข็งและไม่เสียรูปง่าย ส่วนจากยางมะตอย จะ อ่อนกว่าซึ่งบางครั้งเหมาะสำหรับใช้เวลาแต่งส่วนโค้ง เพื่อ มิให้ กระจกเปลี่ยนรูป คุณสมบัติที่ดีของ pitch ก็คือ สามารถทำให้อ่อนตัวได้ง่ายโดยใช้อุณหภูมิพอสมควร นอกจากนี้มีความฝืดมากสามารถทำให้เกิดความร้อนสูง เมื่อเราขัดกับกระจก ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีในการขัดเงานี้สำคัญมากในการขัดเงา เพราะความร้อนที่เกิดขึ้น นอกจากจะทำให้ pitch สามารถอ่อนตัวและสนิทแนบเนื้อกับส่วนโค้งของกระจกที่ขัดแล้ว ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ยังช่วยทำให้กระจกหลอมตัวปิดรูเล็ก ๆ ที่ปรากฏบนผิวกระจกให้เรียบเป็นเงา ทำให้สามารถขัดกระจกได้เร็วขึ้น แต่ pitch ที่ได้กล่าวมาแล้วเมื่อถูกขัดถู เป็นเวลานานมักจะลื่น และอ่อนตัวเมื่อร้อน โดยมากมักนิยมใช้ขันสน (rosin) ซึ่งคน



การหลอม pitch โดยเตาไฟฟ้า

*ดร.พ.ท.สามารถ อังศุสิงห์ กลุ่มเภสัชกรการอุตสาหกรรม เลขที่ 40 สุขุมวิท 38 กรุงเทพ 11.

โดยมากรู้จักกันดีโดยเฉพาะนักดนตรีที่ใช้ชันสน หรือยางสนขัดถูคันชักของไวโอลินหรือซอด้วงให้มีความฝืดเพื่อจะได้ดีเป็นเพลง ชันสนนี้ปนเข้าไปในอัตราประมาณ 20-75% และเพื่อให้กระจกของท่านเป็นเงาเร็วขึ้นควรจะผสมขี้ผึ้งเข้าไปด้วยในอัตราส่วน5-15% ขี้ผึ้งนี้ถ้าหาที่เป็นของแท้ไม่ได้ให้ใช้เทียนไขซึ่งใช้จุดบูชาพระ ถ้าใช้ pitch ที่สั่งจากต่างประเทศบางครั้งเขาผสมมาเสร็จแล้ว แต่ถ้าเป็นของที่ค้างสต็อคบางครั้งพบว่าแข็งเกินไป ถ้าเอาน้ำมันสน (turpentine oil) ผสมลงไปเล็กน้อยก่อนหลอมเนื่องจาก pitch นี้มีน้ำมันระเหยอยู่มาก ถูกกับไฟอาจจะลุกติดไฟได้ เพราะฉะนั้นการใช้เตาถ่านหรือเตาที่ใช้แก๊สควรระมัดระวังสักหน่อย เพราะอาจจะทำให้เกิดอันตราย ทางที่ดีขอแนะนำให้ใช้เตาไฟฟ้าหรือหลอมในน้ำร้อนจัด ๆ และระหว่างที่กำลังหลอมนั้นควรใช้แท่งเหล็กหรือแท่งแก้วคน เพื่อให้ของที่ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยง่ายเมื่อ pitch ที่ผสมนั้นกำลังหลอมละลายอยู่

แต่ข้าพเจ้าทดลองใช้ของที่พอจะหาในประเทศจึงลองใช้ยางมะตอยที่ใช้สำหรับปูกระเบื้องยาง ตามอาคารต่าง ๆ แต่เนื่องจากยางมะตอยแบบนี้มักมีพวก volatile substance อยู่มาก แต่ข้อเสียของมะตอยหรือ Flint coat ก็คือมีจุดหลอมตัวต่ำ อุณหภูมิของบ้านเราในหน้าร้อนนั้นร้อนมากขนาดที่เรียกกันว่ายางมะตอยละลาย ดังเราจะเห็นว่าถนนบางสายมียางมะตอยละลายเหนียวติดรองเท้าขณะเดินข้ามถนน ผู้เขียนได้เคยประสบปัญหานี้มาแล้วในการขัดเงากระจก lap ที่ทำด้วยมะตอยซึ่งผสมชันสน 40% และขี้ผึ้ง 10% เมื่อทำตอนเย็นปรากฏว่าแข็งดีพอใช้ พอเก็บไว้กลางคืนยิ่งแข็งดีขึ้นอีก ตอนเช้าเอาออกมาขัดเงากระจก ได้ผลดีสามารถขัดได้โดยไม่เสียรูป แต่พอตอนบ่ายอากาศหน้าร้อนร้อนอบอ้าวมาก ปรากฏว่า lap ใช้ ๆ ไปบิดเบี้ยวต้องคอยแต่งรูปบ่อย ทำให้การขัดเสียผลเกิดความไม่สะดวก การขัดในที่ปรับอากาศจะช่วยแก้ปัญหานี้ได้เป็นอย่างดี แต่ดูออกจะเป็นการฟุ่มเฟือยไม่ขอแนะนำให้ทำ ในฤดูร้อนถ้าอากาศร้อนจัดขอแนะนำให้ลองใช้สูตร มะตอย 25% ชันสน 70% ขี้ผึ้ง 5% แข็งดีและไม่บิดเบี้ยวง่าย ผู้เขียนได้ทดลองทำส่วนผสมนี้ใช้เอง นอกจากยางมะตอยแล้ว ผู้เขียนยังได้เคยใช้ flint coat ที่ใช้พ่นห้องรถยนต์ ซึ่งก็สามารถใช้ได้แบบเดียวกับมะตอย

วิธีทำให้เอากระป๋องล้างให้เกลี้ยง และตากแดดให้แห้ง เอามะตอยหรือ flint coat ชั่งใส่ลงไปในกระป๋องสำหรับกระจก 6 นิ้ว ให้ใช้อัตราส่วนดังต่อไปนี้

| | | |
|---|---|---|
| มะตอย | 110 | กรัม |
| ชันสน | 80 | กรัม |
| ขี้ผึ้ง | 10 | กรัม |

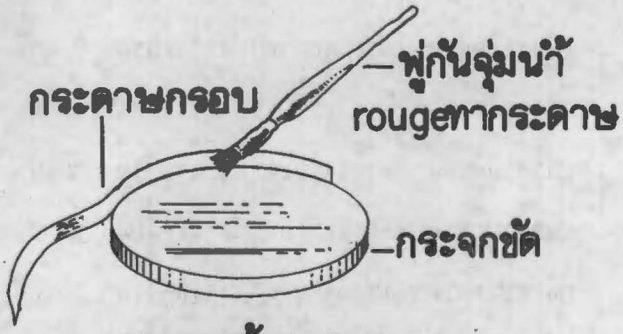
หรือถ้าต้องการให้ทนต่ออากาศร้อนให้ใช้อัตราส่วน

| | | |
|---|---|---|
| มะตอย | 70 | กรัม |
| ชันสน | 140 | กรัม |
| ขี้ผึ้ง | 10 | กรัม |

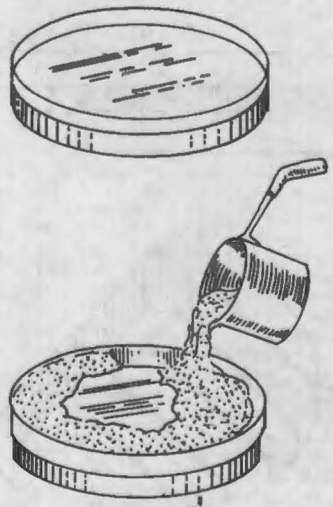
เอาชันสนทุบด้วยค้อนเบา ๆ ให้แตกเป็นก้อนเล็ก ๆ และผสมลงไป และเอาขี้ผึ้งหั่นเป็นชิ้นเล็กผสมลงไป ตั้งบนเตาไฟฟ้าหรือไฟอุ่น ๆ เมื่อเห็นว่าร้อนและเริ่มละลายพยายามคนอยู่ เสมอ จะ เห็นว่ามีฟองเกิดขึ้นในตอนต้น เนื่องจากพวกของระเหยที่อยู่ในมะตอย พยายามคนและถ้าเห็นจะล้นให้ยกกระป๋องออก แล้วตั้งไฟใหม่สลับกันไป จนกระทั่งฟองที่เกิดขึ้นหมด(ถ้าไม่ทำเวลาเหลงบนกระจกจะเกิดฟองตามผิวมาก)

เอากระจกขัดไปทำให้ร้อนโดยตากแดด หรือ

ใช้ใส่ในกะละมังแล้วค่อย ๆ ต้มให้กระจกร้อนเพื่อกันกระจกร้าวเมื่อเท pitch ขณะร้อนลงไป อีกประการหนึ่ง pitch เกาะกระจกที่ร้อน ๆ ดีกว่ากระจกเย็น ๆ (ไม่ต้องถึงเดือด) เสร็จแล้วเตรียมกระดาษให้หนาพอสมควร ทาเทียนไข หรือใช้น้ำรูจชุ่ม ๆ ทา ยกกระจกออกจากกะละมัง รีบเช็ดให้แห้งโดยเร็ว เอากระดาษที่ทาเทียนหรือทาน้ำรูจแล้วพันรอบกระจกให้สูงขอบเท่ากับความหนาของ lap ที่เราต้องการทำ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นที่วัดความหนาขณะเท pitch ด้วย




**กระดาษล้อมกระจก**



**การเท pitch ที่หลอมลงบนกระจก**

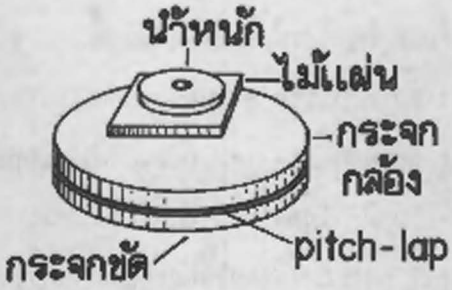
เสร็จแล้วเอา pitch ที่หลอม ดีแล้วยกลงจากเตาตั้งทิ้งไว้สักครู่พอ จะ เริ่ม ข้นให้เทลงบนแผ่นกระจก การเทให้เทบริเวณขอบ ๆ ก่อน(ดูรูป) เมื่อ pitch ท่วมขึ้นมาถึงขอบกระดาษก็หยุดเท เอาฝากระป๋องหรือฝาชีกันฝุ่นครอบ และปล่อยให้แข็งตัว (ที่ต้องระวังฝุ่น เพราะขณะที่ pitch ยังอ่อนตัวนี้ถ้าฝุ่นหรือผงปลิวมาจะเกาะติดแน่น แต่ถ้าแข็งตัวแล้ว ฝุ่นจะไม่เกาะแน่น)

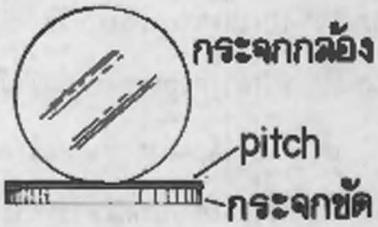
pitch ที่ผสมและเทลงบนกระจกนั้นจะต้องมีความแข็งพอสมควร ซึ่งก่อน เทลงบนกระจก อาจจะลองหยดบนกระดาษแข็ง สัก 2-3 หยด เสร็จแล้วปล่อยให้เย็น เอามือกดดูซึ่งไม่ควรจะบุ๋มมากหรือลองเอาเล็บกดดูควรจะเป็นรอยเพียงเล็กน้อย หรือจะทดลองเมื่อเท pitch ลงบนกระจกขัด และปล่อยให้เย็นเอากระจกกลับตั้งให้สันกระจกขึ้นวางบนpitch สัก 1-2 นาที ไม่ควรจะมีรอยบุ๋มเกิน 2 มม. ถ้าปรากฏว่า pitch อ่อนไปให้ผสมขันสนเพิ่มขึ้นอีก ถ้าปรากฏว่าแข็งไปให้ผสมน้ำมันเบ็นซิน หรือถ้าท่านใช้ pitch ที่ทำจากต่างประเทศให้ผสมน้ำมันสนเล็กน้อย

ถ้าเรามี lap-mat ที่ทำ มาเสร็จจากต่างประเทศจะมีความสะดวกมากในการทำร่อง โดยขณะที่เท pitch ลงบนกระจกและ pitch กำลังครึ่งอ่อนครึ่งแข็ง เอา lap-mat ที่ทำด้วยยางและมีช่องอยู่แล้วทาน้ำรูจให้ทั่วแล้วกดลงไป จากนั้นเอากระจกกลับ ซึ่งทำให้ร้อนพอสมควร โดยอุ่นในน้ำร้อน ทาน้ำรูจ แล้วนำไปกดทับลงไปทิ้งไว้ราว 1 นาที แล้วยกกระจกออกก็จะได้ pitch-lap ที่เรียบ เสร็จแล้วดึงยางออกก็จะได้ pitch-lap ที่ใช้ได้

แต่ถ้าไม่มี pitch-lap ที่ทำด้วยยางจากต่างประเทศก็ขอให้รองทำเครื่องทำร่องเอง ซึ่งอาจทำได้ง่าย ๆ โดยใช้ไม้โมกแผ่นชนิดที่มีขายตามร้านขายแบบเรียนเครื่องเขียนมาสักแผ่น เลื่อยให้เป็นแผ่นมีขนาด 1" × 9" จำนวน 2 แผ่น เอากระดาษทรายขัดให้ผิวเรียบ และตัดไม้ระแนงขนาด 1" × 1" กว้างยาวพอเหมาะและตอกตะปูปิดหัวท้าย(ดูรูป)ท่าน

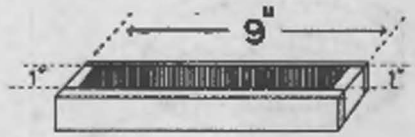
ก็จะได้ไม้ทำร่อง ก่อนใช้ให้เอาน้ำรูจขัน ๆ ทาตามผิวด้านที่จะใช้กดให้ทั่ว (ถ้าใช้แผ่นโลหะแทนไม้จะสะดวกดีไม่บิดงอภายหลัง)

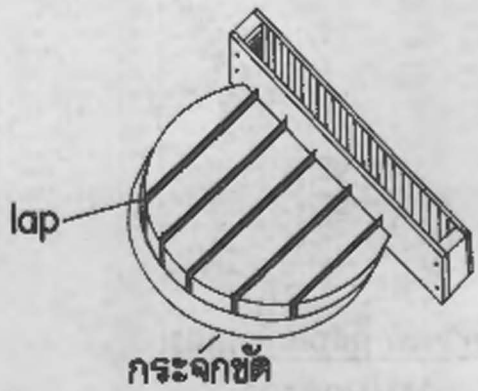



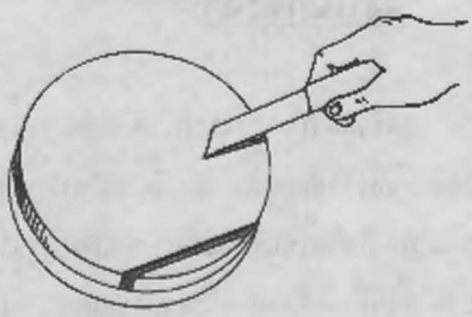




เสร็จแล้วเอา pitch ที่เทบนกระจกขัดมาลอกกระดาษข้าง ๆ ออก ถ้าปรากฏว่า แกะ ออกลำบากให้ใช้เหล็กโป๊ทาน้ำรูจค่อย ๆ แซะ เพื่อมิให้ขอบของ pitch บุ่ม ถ้าบุ่มเอามือแต่งให้ได้ระดับเดิม เอาไฟฟ้าสำหรับถ่ายรูปขนาด 200 วัตต์ ส่องให้ใกล้ pitch เพื่อให้อ่อนตัวหรืออาจทำได้โดยเอาทั้งกระจกและ pitch ที่เทไว้บนนั้นใส่น้ำ แล้วเอาไปตั้งไฟให้อุ่นจนรู้สึกว่าpitch ชักอ่อนตัวโดยเอานิ้วมือลองกดดู เอาเครื่องทำร่องที่ทำไว้กดให้เป็นร่องแล้วกดทับตามรอยเมื่อครบทางหนึ่งแล้วให้กลับมาทางตรงข้าม เราก็จะได้ตาราง สำหรับขัดกระจกแต่บางครั้งเราจะพบว่าร่องที่เราทำนั้นบิดเบี้ยว อาจจะต้องกดซ้ำอีก การแบ่งตารางนี้ถ้าจะป้องกันมิให้มีจุดอับหรือเป็นตารางเล็ก ควรหลลองแบ่งในกระดาษก่อนโดยใช้วงเวียนเขียนวงกลม 6 นิ้ว แล้วเอาเครื่องทำร่องลองทาบเขียนดูด้วยดินสอ เพื่อให้ได้แนวทาง เอากระจกที่กดร่องแล้วไปตากแดดเพื่อให้อ่อนตัวหรือทำให้อ่อนโดยน้ำอุ่นเอากระจกกล้องทาน้ำรูจและวางทับโดยไม่ต้องใช้น้ำหนักราว 1 นาที อย่าวางทับนานเกินไปจะทำให้ร่อง ที่แซะ ไว้ปิดเข้าหากันต้องแซะใหม่อีก เสร็จแล้วยกออกถ้าปรากฏว่าร่องที่กดไว้เกิดบิดเบี้ยวให้ใช้เหล็กโป๊แต่งให้ได้รูป

อีกวิธีหนึ่งคือ เอา pitch ที่เทบนกระจกขัดแล้วทำให้อ่อนตัวโดยน้ำอุ่นหรือหลอดไฟถ่ายรูป แล้วเอากระจกกล้องทำให้อุ่นทาน้ำรูจวางทับราว 1 นาที ยกออกปล่อยให้เย็น เอาเครื่องทำร่องทาบบนเขียนแนวด้วยดินสอ เอาสิ่วหรือเหล็กโป๊ทาน้ำรูจ แซะ เป็นแนวตามรอยดินสอให้แซะเป็นมุมสามเหลี่ยมมาเข้าหากัน แซะซ้ำรอยหลายๆ ทนจนสามารถดึงเอา pitch ออกมาเป็นร่องได้ (ดูรูป)



การขัดเงาควรให้ตัวห่างจากถังพอควร
(ดูลักษณะการวางมือ)

เมื่อทำ lap เรียบร้อยแล้วอย่าลืมเอาเหล็กโป๊ขลิบขอบของ lap จนมีขนาดเล็กกว่ากระจกกล้องประมาณครึ่งทุน($\frac{1}{16}$ นิ้ว) ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้กระจกกล้องขอบแบะออกเมื่อขัดไปนานๆ (จำเป็นต้องทำเสมอเมื่อขัดไปนาน ๆ)

เพื่อให้แน่ใจว่ากระจกที่จะขัดกับ lap นั้นแนบสนิท จึงควรเอากระจกวางทับบน lap เสียอีกครั้งก่อนที่จะขัดเงา ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าขอบของร่อง lap ที่แต่งนั้นขอบ ๆ ของมันไม่เผยอสูงขึ้น

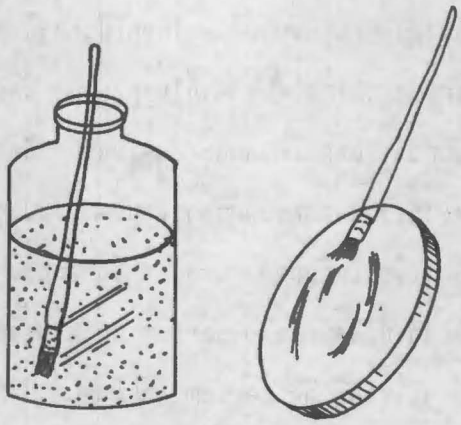
<u>การเตรียมผงสำหรับขัดเงา</u> ผงที่ใช้ขัดเงากระจกนั้นนิยมใช้กันอยู่ประมาณ 3 ชนิด

1. Cerium oxide
2. Ferric oxide (rouge)
3. Barnesite

ทั้ง 3 ชนิดนี้ล้วน เป็นตัวช่วยให้ขัดกระจกได้เงาทั้งนั้น สำหรับ ferric oxide นั้นราคาถูกมากและสามารถซื้อได้ในบ้านเราได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือสีแดงของผงนี้มักติดมือหรือภาชนะอื่น ๆ ได้ ก็ขัดเงาช้ากว่าผงอื่น ๆ แต่แน่นอนดีและให้ผลเป็นเงาดี ส่วนผง cerium oxide นั้นราคาก็ไม่แพงมาก ขัดเป็นเงาเร็วกว่า แต่ผงมีความละเอียดไม่แน่นอนก็ขัดทำให้เกิดเงาเร็วแต่ถ้าตรวจผิวด้วยเลนซ์จะ เห็นว่าผิวไม่ค่อยจะเรียบเหมือนผง rouge จึงขอแนะนำว่าการขัดเงาเบื้องต้นควรใช้ cerium แล้วตามด้วยผง rouge จะให้ผลดี ผง cerium นี้มีข้อ ดีอยู่ก็คือไม่ทำให้มือหรือภาชนะติดสี ส่วน barnesite นั้นดีแต่ราคาแพงมาก

<u>การขัดเงาเบื้องต้นด้วย cerium oxide</u>

ใช้ cerium ผสมน้ำ 1 ต่อ 5 ส่วน ใช้ผู้กันคนน้ำนี้และหากระจกและ lap ด้วยให้ทั่ว เสร็จแล้ววางกระจกบน lap และใช้มือใสกระจกไปมาเหมือนการขัดกระจก แต่พยายามให้ตัวออกห่างจากถังที่รองรับกระจกใช้กำลังไหล่พยายามเสือกกระจก ใน ทางราบ (ดูรูป) ให้พยายามขัดแบบซิกแซกระบบ 1/3 ตลอดเวลา ใช้น้ำหนักมือกดกระจกพอสมควร เมื่อครบ 10 นาทีให้หมุน lap ประมาณ 15 องศา เมื่อขัดไปจะรู้สึกฝืดขึ้นให้ พยายามขัดเพราะตอนนี้เป็นตอนที่จะทำให้เกิดความร้อนและผิวกระจกจะเป็นเงาเร็วขึ้น จนกระทั่งรู้สึกว่าฝืดมาก หนักมือจนหนไม่ไหวให้ยกกระจกขึ้นหาน้ำ cerium ใหม่พร้อมกับ หมุนกระจกไปอีก 15 องศา ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ท่านจะเห็นกระจกเริ่มเรียบและมีเงาเกิดขึ้น โดยเฉพาะตรงกลาง ๆ ก่อนเพื่อน ระหว่างขัดเงานี้จะสังเกตุได้ว่า pitch นั้นแนบสนิทกับกระจกโดยการดูลอดกระจกขณะขัดจะเห็นผิวของ lap ได้ทุกตาราง ถ้าปรากฏว่าบางอันไม่เห็นก็แสดงว่า lap ของท่านบางตอนไม่เรียบหรือบุ๋มลงไป จำเป็นต้องหยุดขัดและทำการแต่งผิวใหม่โดยใช้หลอดไฟ 250 วัตต์หรือจุ่มในน้ำร้อนจัด ๆ เอากระจกกลับหาน้ำรูจให้ทั่ววางทับ หาน้ำหนักทับทิ้งไว้



น้ำผสม cerium oxide การทำผงขัดบนกระจก

ให้เย็น แล้วขัดใหม่ ถ้าร่องและขอบ ๆ ของ lap อาจจะคดเคี้ยวและตารางของแต่ละช่องไม่เท่ากัน แต่งให้เรียบร้อยก่อนส่งมือขัดเงาทุกครั้ง เมื่อขัดไปนานพอสมควร จะสังเกตว่าผิวของกระจกเริ่มเรียบขึ้นทุกทีจนกระทั่งเหลือตรงขอบ ๆ เท่านั้น ตรงขอบๆ กระจกนี่จะเป็นความเหนื่อยครั้งสุดท้าย ค่อยขัดกระจกโดยพยายามใส่กระจกให้สั้นเข้าประมาณ 1 นิ้วหรือสั้นกว่า ให้พยายามค่อย ๆ ขัดอย่างใจเย็น

**การขัดเงาด้วยFerric oxide หรือrouge**

เป็นการขัดต่อจาก Cerium oxide เพื่อให้ผิวเรียบเป็นเงาจริง ครั้งแรกควรใช้น้ำรูจที่ข้นสักหน่อยประมาณ 15% การขัดนั้นก็เช่นเดียวกับ Cerium oxide แต่ว่าสำหรับรูจ เราสามารถขัดได้นานกว่า เมื่อขัดไปจนครบรอบแล้ว ให้เจือจางน้ำรูจลงไปเท่าตัวเหลือประมาณ 7% แล้วขัดอีกหนึ่งรอบเป็นอย่างน้อย เอากระจกขยายขนาด 10× ตรวจดูผิว ของกระจกว่ามีรอยขรุขระที่ไหนบ้าง เมื่อเห็นว่ากระจกเรียบดีแล้ว ควรเอา lap และกระจกล้างน้ำให้สะอาดและปล่อยให้แห้ง เอาน้ำรูจที่เจือจางจนเหลือประมาณ 3% ทากระจกและ ขัดเงา เป็นครั้งสุดท้าย คราวนี้ให้กดเพียงเบา ๆ หมุนไปรอบ ๆ จนทั่วกัน กระจกจะเป็นเงาทั่วกัน ใช้กระจกขยายขนาด 10× ส่องดูผิวที่ขัดเงาให้ทั่วจนแน่ใจว่าไม่มีริ้วรอย ขรุขระหรือหลุมลึก ๆ แสดงว่า กระจกพร้อมแล้วที่จะออกไปตรวจสอบส่วน (spherical curve)

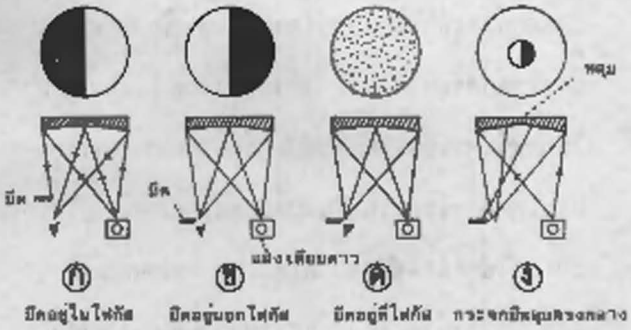
**Knife Edge Testing** การตรวจแบบนี้ประดิษฐ์ขึ้นโดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสJean Foucault สามารถตรวจส่วนโค้งของกระจกได้ละเอียดเศษส่วนของล้านของนิ้ว แม้แต่กล้องดาราทัศน์ขนาด 200 นิ้ว ก็ยังใช้เครื่องมือแบบนี้ตรวจสอบส่วนโค้ง นับว่าเป็นเครื่องมือที่ละเอียด และสามารถสร้างขึ้นได้เองโดยไม่ยากและแพง

**หลักของ Foucault test** ถ้าเราทำเครื่องมือให้มีแสงคล้ายกับแสงของดาว (artificial star light) เช่นเจาะรูเล็ก ๆ ปล่อยให้แสงผ่านรอดรูนี้ แสงที่เราเห็นจะมี ลักษณะ เช่น แสงดาว

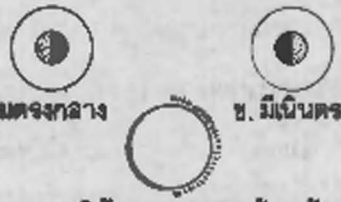
เอาแสงนี้ไปวางห่างจาก กระจก ทรงกลม (spherical mirror) เท่ากับระยะทางของรัศมีของทรงกลม (2 × ความยาวโฟกัส) แสงเทียมดาวที่ส่องไปยังกระจกจะสะท้อนกลับมายังรูของ แสงเทียมดาว ถ้าเรา เคลื่อน แสงนี้ไปทางใด ทางหนึ่งแสงสะท้อนกลับมาจากไปตกยังฝากตรงข้าม ห่างจากกึ่งกลางเท่ากับระยะทางที่เราเคลื่อน แสง เทียมดาวนั้น เนื่องจากกระจกของเราเป็นกระจกโค้ง แสง สะท้อนกลับมาจะเป็นจุดรวมแสง (focus) ฉะนั้นถ้าเราหาแผ่นโลหะที่มีข้าง ๆ แหลมคม เช่น มีดมาวางให้ตรงจุดโฟกัสพอดี ขอบมีดนั้นจะบังแสงสะท้อนนั้นหมดทำให้ไม่สามารถเห็นแสงสะท้อนนั้น(เห็นเป็นสีเทาๆ ดำๆ) แต่ถ้ากระจกโค้งมีส่วนโค้งผิดแปลกไป (non-spherical) แสงสะท้อนจะโฟกัสที่ระยะต่าง ๆ กันทำให้แสงไม่มืดมิดหมด จากหลักการอันนี้เราสามารถแปลความหมายของรูปร่างของกระจกที่ตรวจสอบได้

การวางมีดมีความสำคัญจำเป็นจะ ต้อง วาง

ตรงโฟกัส ถ้าวางมีดล้ำเข้าไปในโฟกัสภาพที่เห็นจะดำครึ่งขาวครึ่ง (ดูรูป ก.) เนื่องจากแสงสะท้อนส่วนหนึ่งถูกมีดบังไว้ ถ้าวางอยู่นอกโฟกัส ภาพที่เห็นจะขาวครึ่งดำครึ่ง (ดูรูป ข.) ถ้าวางมีดตรงจุดโฟกัสพอดี ภาพที่ได้จะ มืด หรือมีสีคล้ำ แต่ไม่มีเงา (ดูรูป ค.)ถ้าเผอิญกระจกมีหลุมตรงกรง แสงสะท้อน

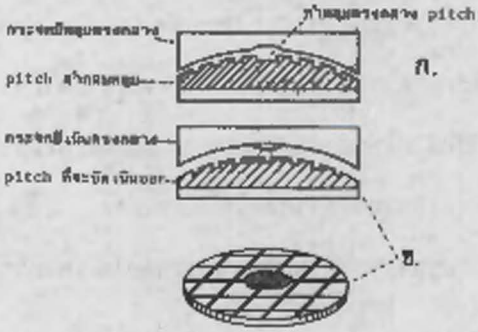



**ภาพจากการตรวจสอบโดย Foucault's test**



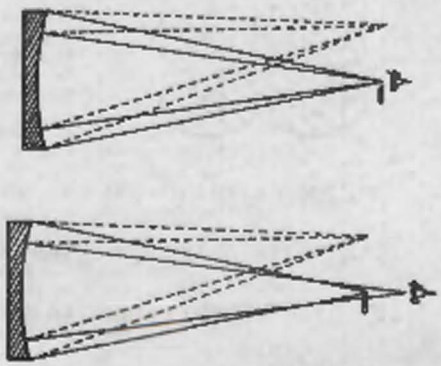
ก.มีหลุมตรงกลาง ข.มีเนินตรงกลาง

ค.ขอบโค้งแบะออกทางด้านซ้าย



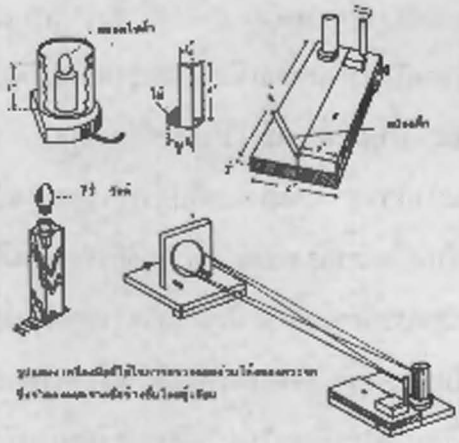

**การทำตารางละเอียดเพื่อขัดเนินออก**

ที่ได้จากบริเวณหลุมจะมีหางยาวโฟกัสสั้น ภาพที่ได้จะมีเงาครึ่งดำครึ่งขาวปรากฏเท่ากับบริเวณที่ เป็นหลุม ผู้ที่หัดทำใหม่ ๆ ควรจะพยายามทำความใจในทฤษฎีเกี่ยวกับการตรวจแบบนี้ให้เข้าใจดีเสียก่อนการตรวจก็ควรทดลองอ่านดูหลาย ๆ หนเพื่อให้แน่ใจ



**การสร้างเครื่องมือ** อุปกรณ์ที่สร้างเราสามารถหาได้ในบ้านเราทั้งสิ้น ขอให้ทดลองทำดูสิ่งของที่ต้องใช้

1. หลอดไฟ ขนาด 5-10 วัตต์
2. ที่บังคับไฟ (ใช้กระป๋องน้ำผลไม้)
3. มีด (หรือแผ่นอลูมิเนียม)
4. ที่ตั้งกระจก
5. อื่น ๆ

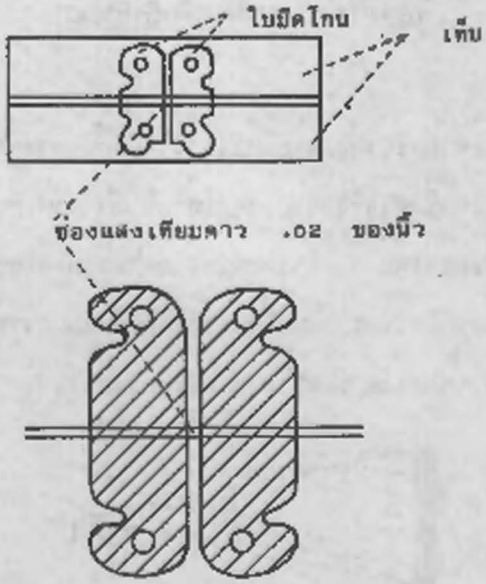


ก่อนอื่นหลอดไฟฟ้าที่ ใช้เป็นเครื่องให้แสงนั้นบางแห่งนิยมใช้หลอดขนาด 50 วัตต์ ซึ่งเป็นหลอดไฟฟ้าที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปตามบ้านเรือน เพราะหาง่ายและให้แสงสว่างมาก แต่มีข้อเสียที่ว่าถ้าเราใช้หลอดที่มีกำลังไฟสูงความร้อนที่เกิดจากหลอดก็ จะ มาก ขึ้นเป็นเงาตามตัวและบางครั้งจะทำให้เกิดอันตราย แก่ผู้ปฏิบัติได้เช่น เผลอเอาหน้าไปถูกที่บังคับแสงเข้าจะทำให้ผิวหนังพองและหลอดไฟที่แรงไฟสูงจะเกิดความ

ร้อนมากและทำให้อากาศร้อนลอยขึ้น เกิด ความ แน่น ของอากาศรอบ ๆ บริเวณที่จะตรวจนั้น ไม่เท่ากัน ทำให้ภาพที่เห็นเป็นระยิบระยับเหมือน กับ เราดูภาพภูมิประเทศตอนเที่ยงวัน ในวันที่แดดจ้าจะเห็นภาพไม่ชัด ถ้าเราใช้หลอดไฟฟ้าขนาดใหญ่เช่น หลอดขนาด 50 วัตต์ เครื่องบังคับแสงหรือกระบอกที่ หุ้มบัง แสงก็จะต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น มีดที่วางจะอยู่ห่างจากรูแสงมากเกินไปทำให้การอ่านค่าของภาพคลาดเคลื่อน ได้ ง่าย (ถ้าใช้ตรวจ spherical mirror อาจจะใช้ได้) อีกประการหนึ่งการใช้หลอดมีความแรงสูงจำเป็นต้องเจาะช่องรูแสงออกให้มีขนาดเล็กมาก ซึ่งจะมีความลำบากในการเจาะรู อาจจะต้องใช้รูขนาด .005 ของนิ้ว ขนาดของรูแสงออกนี้ขึ้นอยู่กับความสว่างของหลอดไฟฟ้าที่ใช้ และยังขึ้นอยู่กับขนาดและความยาวโฟกัสของกระจกกล้องด้วย ถ้าโฟกัสของกระจกกล้องที่จะตรวจมีความยาว 90-100 นิ้ว ความแรงของหลอดไฟฟ้าก็จะต้องเพิ่มขึ้น และรูแสงออกจะต้องเล็กลง ถ้าแสงสว่างที่ไปยังกระจกมากไป การตรวจก็จะไม่ไวพอ ถ้าแสงน้อยไปภาพที่เห็นจะไม่ชัด(วิธีที่ดีทำเสร็จแล้วลองทดสอบดูถ้าไม่ดีก็ปรับปรุงเสีย) สำหรับกระจกขนาด 6 นิ้วนี้ ขอให้ใช้หลอดไฟฟ้าที่มีแรงไฟต่ำ 5-10 วัตต์จะสะดวกดี หลอดไฟฟ้าขนาดเล็กที่นิยมใช้ประดับต้นไม้ฝรั่งจัดงานคริสต์มาสนั่นเหมาะดี มีกำลังไฟ $7\frac{1}{2}$ วัตต์ ติดตั้งบนไม้สี่เหลี่ยม เจาะรูให้สายไฟสอดได้และเจาะรูบนหัวให้โตพอดีกับ socket ของขั้วหลอดไฟ ที่ฐานใช้แผ่นเหล็กบางเจาะรูเป็นร่องให้เลื่อนไปมาได้ตามระยะที่ต้องการ เพราะบางครั้งเราอาจต้องการให้หลอดไฟอยู่ใกล้ช่องแสง แต่ถ้าจะใช้หลอดที่มีกำลังแสงสว่าง 15 วัตต์ แล้วติดขดลวดต้านทาน (variable resistant)สามารถปรับความสว่างของหลอดได้ก็ยิ่งดี เมื่อท่านอ่านภาพที่ปรากฏอาจจะปรับความสว่างจนได้ภาพที่ชัด แต่ทั้งนี้จะทำให้สิ้นเปลืองมากขึ้น

สำหรับที่บังคับแสงหรือกระบอกที่จะสวมครอบหลอดไฟ ใช้กระป๋องใส่น้ำมะเขือเทศ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว เหมาะ สมดี ราคาถูกด้วย เปิดฝาออกทั้งสองข้างลบรอยคมตรงบริเวณปากที่เปิด เจาะรูด้วยตะปูหรือสว่านให้มีขนาด 3/8 ของนิ้ว 2 รูให้อยู่ระดับเดียวกันตรงข้ามกัน (ดูรูป) รูหนึ่งเอาไว้ใช้ตั้งกระจกและมีดรวมทั้งไว้ ทาจุดโฟกัสอีก รูหนึ่งสำหรับปิดรูแสงเทียมดาว (slit)

หาไม้กลึงให้เป็นฐานกลมทำ ขอบ ขึ้น มาเล็กน้อยให้ขอบกระป๋องสวมได้พอดี ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการหมุนกระป๋องหรือที่บังคับ แสง เมื่อ หา โฟกัสได้แล้วจะต้องการตรวจด้วยมีด เจาะรูฐานด้วยสว่านเพื่อสอดสายไฟ อาจจะเลื่อยฐานไม้กลมออกเสียข้างหนึ่งเพื่อให้สามารถวางมีดได้ใกล้กับแสง (ใบ มีดไม่ควรอยู่ห่างจากศูนย์กลางของหลอดไฟ เกินกว่า 3 นิ้ว)



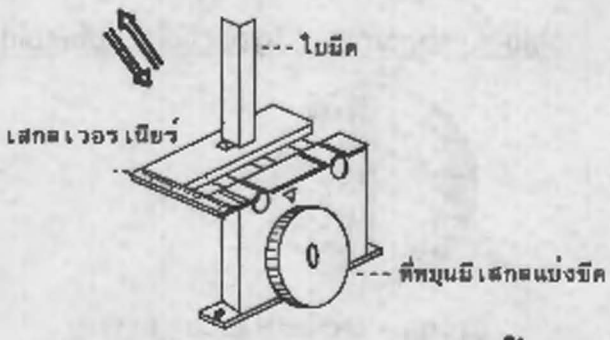

สิ่งที่สำคัญอีกอันหนึ่งก็คือ การ ทำ รู แสงเทียมดาว เราอาจทำได้โดยใช้แผ่นกระดาษอาลูมิเนียมบาง ๆ เช่น กระดาษห่อบุหรี่วางบนกระดาษแข็งหรือ

แผ่นกระจกแล้วใช้เข็มแทง พยายามแทงหลาย ๆ รู และเลือกเอาที่มีขนาด 0.02 นิ้วลงไป ท่านจะสามารถเลือกรูเข็มนี้ได้ง่าย โดยใช้กระจก หรือเลนซ์ขยายที่ใช้ส่องดูผิวกระจกที่ขัดมาแล้วแต่ตอนต้น เลือกเอารูที่กลมและมีขนาดตามต้องการ เปลี่ยนมาตราวัดนิ้วให้เป็นมิลลิเมตรเสีย เอาไม้บรรทัดวางทาบใกล้ ๆ รูท่านก็จะสามารถกะขนาดได้เป็นอย่างดี

0.02 นิ้ว = 0.5 มม.

หรือเราอาจทำได้โดยใช้ใบมีดโกนหัก ออกเป็นชิ้นเลือกเอาทางคมมาวางเข้าหากันเอาไม้บรรทัดทาบ เอาเลนซ์ขยายส่องเมื่อได้ขนาดที่ต้องการก็เอาเทปติด พยายามให้ขอบเทปทั้งสองห่างกันเท่ากับความห่างของใบมีดโกน เสร็จแล้วเอาเทปทาบตรงรูกระป๋องที่เจาะไว้ พยายามปิดเทปลงบนกระป๋องอย่างระมัดระวัง อย่าพยายามดึงมากไป เพราะเทปจะยืดออกทำให้รูขยายขึ้น เมื่อปะเทปเสร็จแล้วควรเอาเลนซ์ตรวจดูขนาดของรูให้แน่นอนอีกสักครั้งก็เป็นอันว่าเราได้แสงเทียมดาวแล้ว

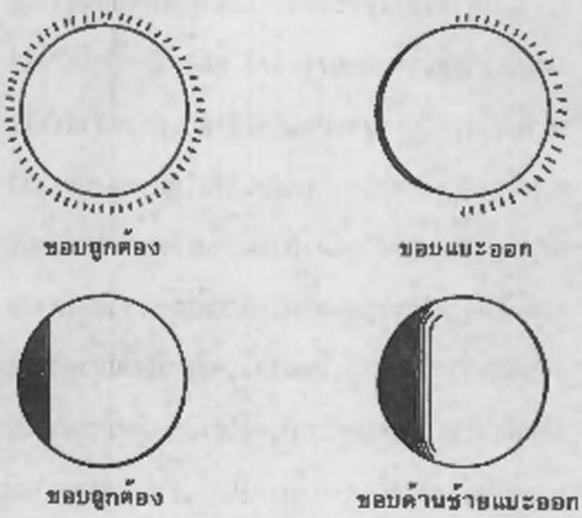
สำหรับมีดนั้นให้ใช้แผ่นอาลูมิเนียมหนาพอสมควรไม่บางจนเกินไปเพราะจะทำให้ดัดงอง่ายหรือถ้าหนาจนเกินไปจะต้องตะไบให้ตันคมซึ่งอาจทำให้สันไม่เรียบ มีดนี้ใช้ติดกับไม้สี่เหลี่ยมเพื่อกันล้ม เจาะรูใส่ตะปูเกลียวปะกับติดกับไม้ให้สามารถหมุนได้เมื่อต้องการปรับแนวตามดิ่ง




**Micrometer - knife - edge (สร้างเอง)**

ฐานรองรับใช้ไม้กระดานที่ใสเรียบแล้ว 2 แผ่นมีความหนาพอสมควร 3/4 ของนิ้ว ตัดให้ได้ขนาดตามรูป แผ่นบนเจาะรูเอาน๊อตใส่สำหรับให้สามารถหมุนไปมาได้ เพื่อสะดวกในการหามุมเวลาตรวจ ถ้ามีน๊อตตัวผู้และตัวเมียติดอยู่ข้างไม้แผ่นบนจะทำให้สามารถขยับแผ่นกระดานที่มีมีดวางอยู่ได้ง่ายและสะดวก ไหน ๆ เมื่อสร้างเครื่องมือนี้แล้วควรจะดัดแปลงให้เป็นแบบ Micrometer ซึ่งมีความจำเป็นมากสำหรับตรวจกระจก paraboloid นอกจากที่กล่าวแล้วยังจะให้ความสะดวกในการตั้งใบมีดให้อยู่ตรงจุดโฟกัสอีกด้วย สำหรับท่านที่มี vernia เช่น microvernia อาจจะติดเข้าไปกับฐานของใบมีดวัดระยะเคลื่อนที่เข้าออกได้ง่าย แต่ถ้าไม่มี vernia จะสร้างเองก็สามารถทำได้ โดยใช้น๊อตสกรูเลือกเอาชนิดที่มีเกลียวถี่สักหน่อย สมมุติว่าเกลียวของสกรูระยะห่างกัน $\frac{1}{25}$ ของนิ้ว หมายความว่า จะต้องหมุนสกรูนี้ 25 รอบ จะได้ระยะทาง 1 นิ้ว ดังนั้นค่าของ 1 รอบเท่ากับ $\frac{1}{25}$ ของนิ้ว เราติดวงกลมที่ปลายสกรูนี้ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว และตามขอบของวงกลมทำสเกลไว้ 100 ช่อง นั่นย่อมหมายว่าค่าของการหมุนบนสเกลของวงกลมเป็น $\frac{1}{100}$ ของหนึ่งรอบ หรือจะมีค่า $\frac{1}{2500}$ ของนิ้ว (0.0004 ของนิ้ว) ซึ่งสามารถใช้อ่านกระจกแบบ paraboloid ได้ดี(ดูรูป) การสร้างไม่มีความลำบากมากเกินที่ผู้ชำนาญใหม่จะทำได้ทั้งราคาที่จะสร้างก็ไม่เกิน 80 บาท นอกจากจะประหยัดเงินแล้ว ผู้สร้างได้ก็จะภาคภูมิใจ

**ปฏิบัติการ** การตรวจสอบด้วย knife-edge นี้จำเป็นต้องใช้ห้องที่ถอนข้างมืดแต่ก็ไม่จำเป็นจะต้องมืดสนิททีเดียว ผู้เขียนเคยทดลองกลางวันเพียงแต่รูดม่านไม่ให้แสงภายนอกเข้า ก็ สามารถทดลองได้ การใช้ห้องที่มีแสงสลัว ๆ หรือมีแสงสว่างเข้า




บ้างเล็กน้อยทำให้ภาพที่เกิดขึ้นดีกว่าห้อง มืด สนิท ทีเดียวเสียอีก เครื่องมือที่ใช้จะต้องหาโต๊ะวางให้มีระดับเท่ากัน ที่สำคัญก็คือ ตัวผู้ปฏิบัติควรจะมีเก้าอี้นั่งให้สบาย เพราะการตั้งเครื่องมือกินเวลานาน และการตรวจสอบจำเป็นต้องให้ตาอยู่ในบริเวณจุด โฟกัส ซึ่งเคลื่อนที่แม้แต่น้อย จะมองไม่เห็น ภาพจากแสงสะ-ท้อน ทางที่ดีควรหาที่รองคางด้วยเพราะสามารถให้ศีรษะไม่เคลื่อนที่และจะไม่รู้สึกเมื่อยคอ เมื่อ ต้อง ดู-นาน ๆ ก่อนอื่นตั้งกระจกบนที่ตั้งกระจก จัดมุมให้ตั้งฉาก และอยู่ระดับ เดียวกันกับ ใบมีด และไฟ เรารู้ความยาวโฟกัสของกระจกแล้วจากการหาโดยแสง-แดด วัดระยะทางจากตรงกลางของหน้ากระจกมายังใบมีดให้มีระยะทางเท่ากับโฟกัส หันช่องที่บังคับไฟซึ่งทำ ไว้ต่างหาก จากช่องแสงเทียมดาว ให้ส่องไปที่กระจก เอาแผ่นกระดาษสีขาวทำเป็นสกรีนรับภาพสะท้อน ถ้าปรากฏว่าภาพสะท้อนของจุดโฟกัสสูงหรือต่ำไปก็ให้หมุนสกรูที่อยู่ข้างหลังที่ตั้งกระจก จนกระทั่งภาพที่ได้อยู่ระดับเดียวกับรูแสง และอยู่ตรงที่จะวางใบมีด ขยับสกรีนและไฟไปมาจนได้โฟกัสที่แท้จริงทั้งนี้พยายามให้สกรีนและรูแสงอยู่ระดับเดียวกัน (บางคนชอบให้จุดโฟกัสตกอยู่หลังรูแสงเล็กน้อย ซึ่งสะดวกต่อการมองแต่ทั้งนี้ไม่ควรเกิน 3 นิ้ว) ทำเครื่องหมายที่สกรีนตั้งอยู่เสร็จแล้วยกเอาสกรีนออก และเอาใบมีดตั้งแทนให้ขอบด้านหนึ่งใบมีดอยู่ตรงจุดโฟกัสบน สกรีนพอดี หรือใช้กระจกฝ้ารับภาพสะท้อนเราสามารถมองด้านหลังเห็นภาพได้ดี ไม่มีกระจกฝ้าใช้กระดาษแก้วชนิดฝ้าแทนก็ได้ โดยทำกรอบด้วยกระดาษแข็ง กว้างยาว 1 × 1 นิ้ว หมุนที่บังคับไฟให้ส่องแสงเทียมดาวฉายไปที่กระจก ทดลองมองดูภาพผ่านสันของใบมีดไปที่กระจก ถ้าไม่สามารถเห็นภาพได้ให้ขยับใบมีดเล็กน้อยโดยหมุนสกรูที่ตั้งระยะทางตรงและทางข้างจนในที่สุดก็จะเห็นภาพจากกระจกเต็มที่ (ถ้าสามารถหาอะไรมาหนุนตางไว้ด้วยก็จะสะดวกขึ้นเพราะการขยับลูกตาหรือเอียงหน้าเพียงเล็กน้อยภาพจะหายไป)อ่านสเกลถ้าทำติดไว้ ถ้าไม่มีสเกลให้ใช้ดินสอขีดไว้ใต้แท่นมีด ขยับสกรูให้มีดเคลื่อนไปข้างหน้า ภาพที่จะเห็นจะเป็นภาพครึ่งดำครึ่งขาว (ดูรูป ก.) เสร็จแล้วหมุนสกรูให้มีดถอยกลับมาที่เดิม ก็จะเห็นภาพเป็นสีมัว ๆ ไม่มีเงา (ถ้ากระจกโค้งเป็นทรงกลมspherical (ดูรูป ค.) ลองหมุนสกรูให้มีดถอยหลัง ภาพที่เห็นจะเป็นครึ่งขาวครึ่งดำ (ดูรูป ข.) เป็นอันว่าเครื่องมือที่ตั้งนี้พร้อมแล้วที่จะตรวจความโค้งของกระจก

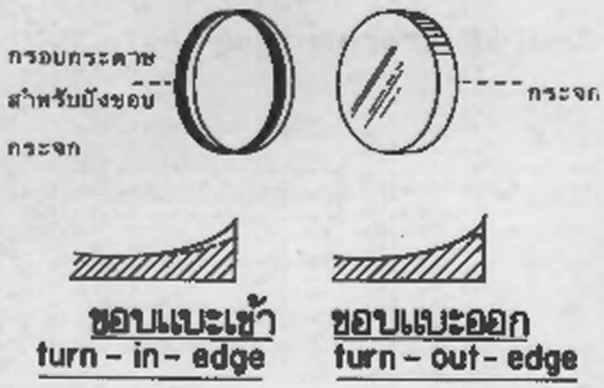
oblate spheroid hyperbola spheroid

Cream - craker - face - mirror
Dog biscuit - face - mirror

ขยับมีดไปอยู่พื้น ๆ จุดโฟกัสตกตามเดิมอ่านภาพที่เห็น ถ้าภาพที่เห็นเป็นเงาสลัว ๆ กระจายเท่ากันทั่วกระจกก็แสดงว่า กระจกนั้นมีส่วนโค้งเป็นทรงกลมทุกส่วน (perfect sphere) ซึ่งเป็นการยากมากที่ในการทดสอบครั้งแรกจะได้กระจกเป็นรูปทรงกลมโดยสมบูรณ์ โดยมากมักจะมีต้องมีการแก้ไข ถ้าเราระมัดระวังดีมาแต่ตอนต้นการแก้ไขก็จะน้อย จากการตรวจสอบถ้าปรากฏว่า มีวงกลมตรงกลาง ซีกขวาดำซีกซ้ายขาว กระจกเป็นหลุมตรงกลาง(ดูรูป) อันนี้พบบ่อยที่สุด มักจะเกิดตอนขัดเงา ถ้าตรงกลางซีกขวาขาวซีกซ้ายดำ กระจกมีเนินตรงกลาง ถ้ามีเงาดำขาวตรงขอบ แสดงว่าขอบกระจกแบะ (turned edge) ถ้าภาพที่เกิดมีทั้งเงาดำ และขาวสลับกันระเกะระกะเต็มไปหมดแสดงว่า กระจกนั้นมีทั้งหลุมและเนินระเกะระกะไปทั่วกระจก กระจกแบบนี้ใช้ไม่ได้เลย ฝรั่งเขาเรียกว่า Dog biscuit หรือคนไทยควรเรียกว่า ขนมครีมแครกเกอร์ ถ้าเป็นมากขอแนะนำให้เอาไปขัดแบบ fine gridingเสียใหม่เพราะถ้าจะแก้ไขเสียเวลามากเกินไป

การตรวจด้วย knife-edgeที่ดูยากและต้องพยายามสังเกตุให้ดีก็คือ การตรวจขอบของกระจกว่าแบะออกหรือไม่ เมื่อท่านมีความชำนาญและเข้าใจการดูหลุมและเนินของกระจกแล้ว ขอให้สังเกตตรงบริเวณขอบ ๆ จะเห็นมีแสงเป็นประกายอยู่รอบ ๆ กระจก แสงที่เกิดรอบขอบกระจกนี้เรียกว่าdiffraction ring กระจกที่มีขอบดีและส่วนโค้งถูกต้อง (spherical) เราจะเห็นแสงนี้ได้รอบ ๆ กระจก (ดูรูป) แต่ถ้าด้านใดด้านหนึ่งของขอบกระจกแบะออกเราจะเห็นเงามืดปรากฏขึ้นในบริเวณนั้น ๆ และ diffraction ring จะหายไป (ดูรูป)

อีกวิธีหนึ่งที่ใช้ตรวจขอบของกระจกคือ วิธี Ronchi test ซึ่งได้ดัดแปลงแล้ว เอามีดวางตรงกลางจุดโฟกัสแล้วเลื่อนมีดไปข้างหน้าประมาณ ๑ นิ้ว จะเห็นเงาดำครึ่งขาวครึ่ง เสร็จแล้วเลื่อนมีดไปทางซ้ายประมาณครึ่งหนึ่งของเงาดำ ถ้าเส้นขอบของเงาดำโค้งก็แสดงว่าขอบกระจกแบะ (ส่วนมากในการขัดกระจกขอบมักจะแบะออกมากกว่าแบะเข้า นอกจากกระจกขัดหรือ lap มีขนาดเล็กกว่ามาก)สำหรับขอบของกระจกกล้องนี้ถ้าแบะออกเล็กน้อยและไม่เกินส่วนโค้งของ parabola จะไม่ทำให้ภาพที่ เกิดเสียหายอะไรในการส่องดูดาว เพราะขอบกระจกชนิด parabola ก็จะต้องแบะออกเล็กน้อยตามส่วนโค้งฉนั้นอย่าได้วิตกมากไป ขอบกระจกที่แบะออกไปถ้าอยู่ในรูปของ parabola จะเป็นกระจกกล้องดูดาวที่ดีเสียยิ่งกว่าที่ขอบเป็นทรงกลมแท้ ๆ(spherical edge) แต่ถ้าท่านต้องการทำให้มันเป็นทรงกลมแท้ ก็ไม่เป็นการเสียพายเช่นกัน นอกจากขอบที่แบะออกมากเกินไป แต่ขอแนะนำถ้าไม่อยากแก้ขอบจำพวกนี้ อาจหากระดาษแข็งตัดบังขอบเสียก็ได้ เราอาจเสียเนื้อที่กระจกตรงขอบ ไป บ้าง แต่ ก็ยังมี เนื้อ ที่อื่นอยู่อีกมาก บางคนแก้โดยใช้หินลับมีดอย่างละเอียดไถทิ้ง เป็นมุม 45 องศา เหมือนกับที่เราแต่งขอบขนะที่ขัดด้วยผงขัดชนิดละเอียด (ดูรูป)



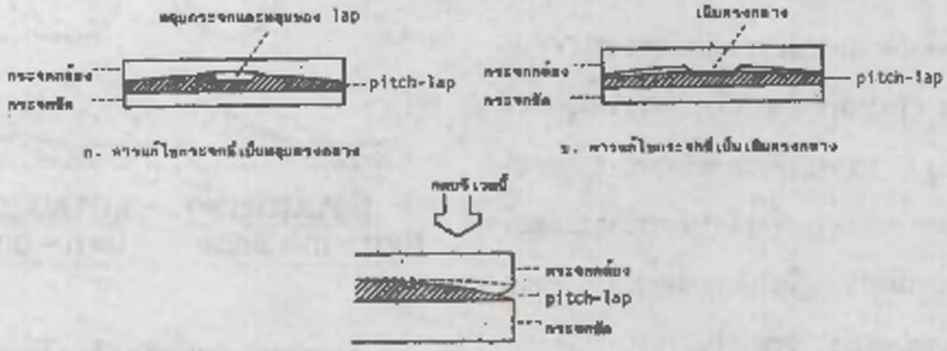

**การตรวจสอบกระจกด้วยวิธีอื่น ๆ**

กระจกที่ขัดเงาแล้วนี้สามารถ แลเห็นภาพสะท้อนได้ ดี

เราอาจจะทดลองกับแสงอาทิตย์จะ เห็นภาพ สะท้อนของดวงอาทิตย์ได้ชัดเจนหรือไม่ เท่าที่ผู้เขียนได้เคยลองมาแล้ว ใช้กระจกที่ขัดเงาแล้วนำด้านหลังของกระจกให้เป็นฝ้าโดยเอาหินลับมีดขัดไปมาจนฝ้าทั่วกันดีเพื่อกันการสะท้อนของผิวหลังกระจก (secondary reflection)(ดูการเตรียมกระจกสำหรับฉาบเงา) เสร็จแล้วเอากระจกด้านขัดเงาหันหาแสงอาทิตย์แล้วให้แสงสะท้อนไปปรากฏบนผนังหรือฝาชายคาบ้าน ให้ภาพนั้นขยายใหญ่ (นอกความยาวโฟกัส)ระยะยิ่งไกลขึ้นภาพดวงอาทิตย์จะยิ่งใหญ่ขึ้น ให้เลือกระยะให้พอเหมาะ (ลองดูและสังเกตดูหลาย ๆ หน)ที่จะสังเกตุเห็นความแตกต่างในความสว่างของภาพสะท้อน ตรงขอบจะเห็นแสงสว่างเป็นวงรอบ ๆ นั้นคือdiffraction แสงสะท้อนภายในควรจะเท่ากันหมด ถ้าปรากฏว่าไม่เท่ากันมีสองสีคือเกิดมีสีสลัวๆ ตรงกลางเกิดขึ้นและรอบ ๆ ถัดออกไปสว่างกว่ามาก แสดงว่าส่วนโค้งของกระจกยังไม่ถูกต้อง ถ้าภาพสว่างเท่ากันหรือต่างกันน้อยมากแสดงว่า กระจกนั้นใช้ได้

อีกวิธีหนึ่งให้เอากระจกที่ ขัด เงา จนดี แล้ว (แต่ยังไม่ฉาบผิว) ติดกับกล้อง และใส่กระจกเอียง (diagonal) และ eyepieceลองส่องดูภูมิประเทศไกล ๆ ท่านจะตื่นเต้นที่สามารถมองภูมิประเทศไกลๆ ได้ชัดเจนและขยายจนเหมือนมาอยู่ตรงหน้า ตอนนี้ถ้าใช้ความสังเกตดี ๆ จะเห็นว่าภาพที่เกิดนั้นชัดหรือไม่มีภาพซ้อนเนื่องจาก aberration หรือไม่ นอกจากดูภูมิประเทศเรายังสามารถส่องดูดวงจันทร์ การตรวจดูภาพดวงจันทร์จะทำให้สามารถวินิจฉัยว่ากระจกถูกต้องหรือไม่ดีกว่าส่องดูภูมิประเทศเพราะแสงในเวลากลางวันนั้นแรงมากจนอาจทำข้อบกพร่องได้ยาก ถ้าปรากฏว่าจากการส่องดูทั้งภูมิประเทศ และดวงจันทร์มีการรบกวนจากขอบ ๆ กระจกคือ diffraction ให้เอากระดาษตัดเป็นวงกลมให้เล็กกว่ากระจกเล็กน้อย มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 นิ้ว ปิดบนกระจกเพื่อปิดขอบ ภาพที่เห็นจะดีขึ้นกว่าเก่าทำให้เราสามารถสังเกตความผิดพลาดของ กระจกได้ง่าย

ผู้เขียนเคยใช้วิธีตรวจโดยเอากระจกไปฉาบผิว (silvered) ประกอบเข้ากล้อง แล้วส่องไปยังดาวเหนือ (ตั้งกล้องให้ได้มุมสะดวกแก่การกระทำ)ที่ใช้ดาวเหนือก็เพราะไม่เคลื่อนที่เหมือนดาวอื่น ทำให้สามารถตรวจสอบได้เป็นเวลานาน ๆ ดึงเอา eye-piece ออกเสีย แล้วใช้ใบมีดที่ใช้ในการตรวจสอบแบบ knife-edge testing ขยับไปมาจนได้ระยะและเหมาะจะมอง มีดไม่มีสว่างครึ่งดำครึ่งขาว (เหมือน Foulcault's test)เป็นอันว่ากระจกนั้นใช้ได้ไม่มี aberration




ก. การแก้ไขกระจกที่เป็นหลุมตรงกลาง

ข. การแก้ไขกระจกที่เป็นเนินตรงกลาง

ค. การแก้ไขขอบกระจกเพราะ

(อ่านต่อฉบับหน้า)

วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ ๑๑ ฉบับที่ ๔ ต.ค. - ธ.ค. ๒๕๒๖

# การสำรวจแหล่งแร่เศรษฐกิจบริเวณจังหวัดเลยและจังหวัดอื่นๆในภาคอีสาน

มนตรี บุญเสนอ*

**ABSTRACT**

In the northeast of Thailand, most of mineral deposits which will be economically important in near future occur in Loei Province, i.e., in Amphur Maung, Amphur Wang Sapung and Amphur Chaing Khan. Minerals found in these areas are barite, rock salts and ores of iron, copper, lead and zinc. Useful construction materials are granite, limestone and marble.

In other provinces of the northeast rock salts are distributed in Amphur Borabue, Maha Salakam Province; Amphur Kusinarai, Sakon Nakhon Province; and Amphur Bumnejnarong, Chaiya Phum Province. The rock salts comprise halite, sylvite and carnallite. Uranium is also found in the deposition of Amphur Phu Waing, Khon Kaen Province.

**บทคัดย่อ**

แหล่งแร่ส่วนใหญ่ที่คาดว่า จะมีความสำคัญทางเศรษฐกิจในอนาคตอันใกล้นี้อยู่ในจังหวัดเลย เขตอำเภอเมือง อำเภอวังสะพุง และอำเภอเชียงคาน แร่ที่พบในเขตดังกล่าวคือ แร่แบไรต์ หินเกลือ และสินแร่ของโลหะเหล็ก ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี วัสดุก่อสร้างที่พบในจังหวัดนี้ได้แก่ หินแกรนิต หินปูน และหินอ่อน

จังหวัดอื่น ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบหินเกลือที่อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม อำเภอกุสินารายณ์ จังหวัดสกลนคร และอำเภอบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิ หินเกลือนั้นประกอบด้วยแร่เฮไลต์ ซิลไวต์ และแร่คาร์นาลไลต์ ส่วนยูเรเนียมพบในแหล่งสะสมตะกอนอำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น

## 1. บทนำ

บริเวณที่คาดว่าจะเป็นบริเวณที่มีแหล่งแร่ทางเศรษฐกิจของภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้นได้แก่ บริเวณจังหวัดเลย ขอนแก่น ชัยภูมิ สกลนคร มหาสารคาม และนครราชสีมา และจากรายงานการสำรวจเบื้องต้นของกรมทรัพยากรธรณีก็ยืนยันตามนี้ ในปัจจุบันนี้ก็ได้มีการทำเหมืองบ้างแล้วที่จังหวัดสกลนครเป็นเหมืองแร่โปแตส เหมืองเกลือที่จังหวัดมหาสารคาม และนครราชสีมา นอกจากนี้ยังมีการทำเหมือง

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนตรี บุญเสนอ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

แบไรท์และแอนทราไซต์บ้างในบริเวณจังหวัดเลย

1.1 ที่ตั้งและอาณาเขต

จังหวัดเลยเป็นจังหวัดติดชายแดนจังหวัดหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยติดกับประเทศลาวคั่นไว้เพียงแม่น้ำโขง ห่างจากกรุงเทพมหานครไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือตามทางหลวงหมายเลข 1 ซึ่งจะถึงจังหวัดสระบุรี จากจังหวัดสระบุรีเข้าสู่จังหวัดเลยได้ 2 ทาง คือ

ทางที่ 1 จากจังหวัดสระบุรีมาตามทางหลวงหมายเลข 2 ถึงอำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา แล้วแยกไปตามทางหลวงหมายเลข 201 หรือจะตามทางหลวงหมายเลข 1 ผ่านเข้าจังหวัดขอนแก่นแล้วตรงไปจังหวัดเลย เป็นระยะทางประมาณ 650 กิโลเมตร

ทางที่ 2 จากจังหวัดสระบุรีไปตามทางหลวงหมายเลข 21 เข้าอำเภอหล่มเก่า แล้วไปตามทางหลวงหมายเลข 203 เข้าสู่อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย เป็นระยะทางประมาณ 500 กิโลเมตร

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

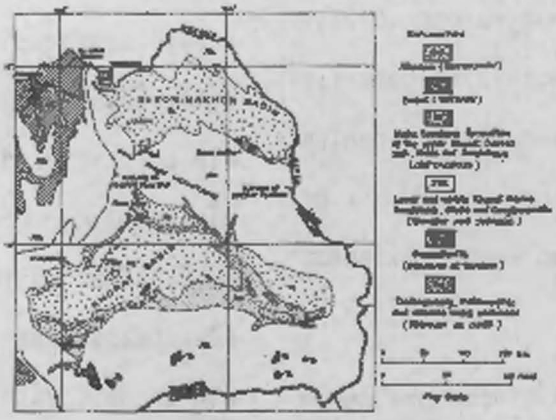
การดำเนินการวิจัย ก็เช่นเดียวกันกับการศึกษาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติแขนงอื่น ๆ คือ การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน เกี่ยวกับอายุของหิน โดยอาศัยจากงานที่กรมทรัพยากรธรณีตีพิมพ์เผยแพร่แล้ว เป็นพื้นกับทั้งอาศัยการตีความจากภาพถ่ายทางอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณที่ทำการวิจัย จากนั้นจึงทำการออกสำรวจในพื้นที่ เพื่อการเก็บตัวอย่างและสร้างแผนที่ทางธรณีวิทยา โดยใช้แผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร (1-RTSK edition)มาตราส่วน 1:50,000 ระวาง 5344III, 5344II, 5243I, 5343IV, 5343I, 5243II, 5343II, 5343II เป็นแผนที่หลัก (Base Map)

อนึ่ง ตัวอย่างหินและแร่ที่เก็บจากการสำรวจภาคสนาม ได้นำมาศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ศิลาวรรณา ตามปกติ และตัวอย่างทั้งหมดเก็บไว้ ณ ภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## 3. ผลการวิจัย

3.1 สภาพธรณีวิทยา

ที่ราบสูงโคราช ซึ่งเป็นที่ตั้งของบริเวณที่สนใจทำการวิจัยมีเนื้อที่ 170,000 ตารางกิโลเมตร์นั้น ส่วนใหญ่แล้วแบ่งออกได้เป็น 2 แอ่งสะสมตะกอน เรียกว่าแอ่งโคราช และแอ่งสกลนคร (1) แต่พื้นที่จังหวัดเลย อยู่ด้านตะวันตกเฉียงเหนือของแอ่งดังกล่าว ดังรูปที่ 1



หินที่คลุมจังหวัดเลย ที่เก่าแก่ที่สุดคือชุดตะนาวศรี มีช่วงอายุทางธรณีวิทยาระหว่างยุคซีลูเรียน จนถึงปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัส (1) หินชุดนี้ประกอบด้วยหินชนวน (Slate) หินควอร์ไซส์ (Quartzite) และหินเกรย์แวค(Grawacke) และหินทัฟฟ์ (Tuff)

เหนือหินชุดนี้ขึ้นไปเป็นหินปูน ชุดราชบุรี มีช่วงอายุทางธรณีระหว่างปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัส จนถึงยุคเพอร์เมียน ตอนบนสุดของหินชุดราชบุรีนี้มีหินกรวดมน (Conglomerate) ปิดทับอยู่ (1)

จากการสำรวจทางธรณีวิทยาพบว่า หินทั้งสองชุดที่กล่าวมานี้คดโค้งมาก โดยมีแนวหลักของการคดโค้งอยู่ในแนว 2 แนว คือ แนวเหนือใต้ และแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

จังหวัดเลย ก็เหมือนกับส่วนอื่นทั้งหมดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือมีโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เรียกว่ารอยต่อผิดวิสัย (Unconformity) คั่นระหว่างหินชุดราชบุรีด้านล่างกับหินชุดโคราชที่อยู่ตอนบน หินชุดโคราชนี้มีอายุทางธรณีวิทยา อยู่ในช่วงไทรแอสสิค จนถึงยุคครีเทเชียส และเป็นหินเนื้อทรายและหินดินดานเกือบทั้งหมด การจำแนกชั้นหินของหินชุดโคราชนี้ อาศัยลักษณะสีและเนื้อหินเป็นสำคัญ กล่าวคือ ชั้นที่เรียกว่า ชั้นพระวิหารและชั้นภูพานนั้น เป็นหินทรายหยาบและหินทรายปนกรวดมนตามลำดับ (1)

จากการสำรวจพบว่า ชั้นหินทั้งหมดที่จัดว่าเป็นชุดโคราชนั้น วางตัวอยู่ในแนวราบ หรือเอียงลงไปทางทิศตะวันออกด้วยมุมเอียงไม่เกิน 15 องศา

หินอัคนีที่พบในเขตจังหวัดเลย มีทั้งหินอัคนีแทรกซ้อน และหินอัคนีผุ มีอายุอยู่ในช่วงปลายของยุคเพอร์เมียน จนถึงต้นของยุคไทรแอสสิค (1)

หินอัคนีที่กล่าวถึงนี้ เป็นหินแกรนิต หินแกรโนไดโอไรต์ และหินอัคนีผุเนื้อละเอียดที่มีส่วนประกอบคล้ายกับหิน 2 ชนิดดังกล่าวนี้

ผลการสำรวจพบว่า การแทรกตัวของมวลหินอัคนีนี้ น่าจะมีความสัมพันธ์กับการคดโค้งของโครงสร้างของหินชุดตะนาวศรีและชุดราชบุรี โดยหินอัคนีเหล่านี้แทรกตัวขึ้นมา พร้อมกับการเกิดภูเขาในตอนปลายของมหายุคพาลีโอโซอิค

นอกจากชุดหินดังกล่าวแล้วส่วนของจังหวัดเลยที่เป็นริมฝั่งน้ำ ที่ราบชั้นบันไดหรือแอ่งต่าง ๆ จะเป็นตะกอนที่ยังไม่มีการจับตัวกลายเป็นหิน ซึ่งนับได้ว่าเป็นหน่วยทางธรณีวิทยาที่มีอายุน้อยที่สุด

3.2 **แหล่งแร่** สำหรับแหล่งแร่นั้นจะขอกล่าวถึง ทั้งที่เป็นแหล่งแร่และแหล่งที่คาดว่าจะเป็นแหล่งแร่ดังต่อไปนี้

ก. <u>แหล่งแร่แบไรต์</u> แหล่งแร่แบไรต์นี้เป็นแหล่งแร่ที่มีการทำเหมืองแร่แล้วที่ตำบลบ้านธาตุ อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ในบริเวณเทือกเขาภูหินยอง ภูสะนาว ภูน้อย พาแร่ชนิดนี้แทรกตัวตามรอยแตกและรอยเลื่อน(Fault) ซึ่งอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ มีความกว้างของสายแร่โดยเฉลี่ยประมาณ 6 เมตร ความยาวไม่จำกัด คือ ตั้งแต่ 100 เมตร ไปจนถึงหลายร้อยเมตร ช่วงยาวที่สุดเท่าที่สำรวจพบประมาณ 1500 เมตร แหล่งแร่ประเภทนี้พบว่ามีลักษณะการเกิดเป็นแบบ Hydrothermal Genesis คุณสมศักดิ์ ดัณฑชน, คุณธวัชชัย วัชราพิพัฒน์พันธ์ และคุณบรรเจิด อุดมตระกูลวงศ์ ได้ประมาณแร่สำรองไว้เท่ากับ 1.5 ล้านตัน ซึ่งคาดว่าจะสามารถดำเนินการเปิดเหมืองในบริเวณนี้ได้อีกเพียง 10-15 ปี (2) personal contact.

ข. <u>แหล่งแร่เกลือ</u> แร่เกลือนี้ได้แก่พวก

เกลือโซเดียมคลอไรด์ ซิลไวต์ และแร่คานาลไลต์ นอกจากนี้ยังมีแร่ยิปซั่ม และแอนไฮไดรท ในปัจจุบันแหล่งแร่เกลือโซเดียมคลอไรด์มีการทำเหมืองแร่ที่อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม และที่อำเภอกุสินารายณ์ จังหวัดสกลนคร ส่วนที่อำเภอบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิ ก็เป็นแหล่งที่คาดว่าจะเป็นแหล่งแร่ในอนาคต จะทำการเปิดเหมืองในเร็ว ๆ นี้ เพราะจากการสำรวจที่ผ่านมาได้ประเมินปริมาณแร่สำรองถึง 660 ล้านตัน และ 1500 ล้านตัน (Possible Reserve)

ค. <u>แหล่งแร่เหล็ก</u> แหล่งแร่เหล็กที่ค้นพบแล้วนั้น ส่วนใหญ่เป็นแหล่งที่ปริมาณของเหล็กสูงมาก คือมีธาตุเหล็ก (Iron) อยู่ถึง 59 - 68% แหล่งแร่เหล็กที่พบมีอยู่หลายแหล่งในบริเวณอำเภอเชียงคาน และอำเภอเมือง จังหวัดเลย เช่นที่แหล่งภูเหล็ก ภูยาง ภูเฮีย และภูอ่าง เป็นต้น แหล่งแร่เหล็กส่วนใหญ่มีการกำเนิดแบบแหล่งแร่แปรสัมผัส โดยมีหินอัคนีพวกแกรโนไดโอไรต์ หรือพวกแกรนิตควอซท-มอนโซไนท์ และควอซทไดโอไรต์ ดันหรือแทรกตัวเข้ามาในหินชั้นพวกหินทราย หินดินทราย หินดินดาน และหินปูน ส่วนที่เกิดเป็นสายแร่ (Vein) หรือเกิดจากการผุสลายทางเคมีของแร่เหล็กซัลไฟด์ก็มีอยู่บ้าง แต่ก็จำนวนน้อย แร่เหล็กที่พบนั้นส่วนใหญ่เป็นแร่ฮีมาไตต์ ซึ่งพบในลักษณะเป็นก้อน ๆ ขนาดก้อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6-7 เซนติเมตร ไปจนถึงเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 เมตร นอกจากนี้ ยังพบในลักษณะเหมือนชั้นดินลูกรัง โดยที่เม็ดกรวดทรายหรือเศษชิ้นส่วนของหินถูกเชื่อมประสานโดยแร่เหล็ก ดังนั้นแร่เหล็กในบริเวณจังหวัดเลยนี้ จึงไม่ค่อยแสดงคุณสมบัติในความเป็นแม่เหล็ก มีส่วนน้อยเท่านั้นที่แสดงคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก ซึ่งส่วนนั้นจะมีแร่แม็กนีไตต์ประกอบอยู่ด้วย สำหรับปริมาณสำรองในแหล่งต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

- แหล่งภูเหล็ก แหล่งนี้อยู่ห่างจากอำเภอเชียงคาน ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 1 กิโลเมตร ในบริเวณบ้านหมากปิด เป็นเขาลูกเล็ก ๆ โดด ๆ สูงประมาณ 40 เมตร ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยแร่ฮีมาไตต์ก้อนโต ๆ เกิดในบริเวณที่มีหินแกรโนไดโอไรต์แทรกตัวสัมผัสกับหินปูน ส่วนที่เรียกว่า Skarn rock อยู่ทั่วไป แหล่งนี้มีปริมาณสำรองประมาณ 400,000 ตัน

- แหล่งภูเหล็ก (บ้านธาตุ) แหล่งนี้อยู่ทางทิศตะวันตกของบ้านธาตุห่างไปประมาณ 5 กิโลเมตร เป็นเขาสูงประมาณ 125 เมตร แร่ที่พบส่วนใหญ่เป็นแร่ฮีมาไตต์

- แหล่งภูห่าน-ภูซาง แหล่งนี้อยู่ห่างจากเชียงคานไปทางทิศตะวันออก 9 กิโลเมตร เป็นภูเขา สูงประมาณ 500 เมตร แร่เหล็กที่พบอยู่กับหินทราย และหินดินดานตอนรอยสัมผัสกับหินแกรโนไดโอไรต์เป็นแร่ฮีมาไตต์ และแร่ลิโมไนต์ (Limonite) ในบริเวณนี้มีแร่ไพไรท์กระจัดกระจายอยู่ทั่วไป

- แหล่งภูยาง อยู่ห่างจากอำเภอเชียงคานมาทางทิศใต้ประมาณ 7 กิโลเมตร และห่างจากแม่น้ำโขงเพียง 4 กิโลเมตร ลักษณะเป็นเขาสูงประมาณ 600-700 เมตร ซึ่งแหล่งแร่เหล็กโผล่บริเวณเกือบยอดเขา เหนือหมู่บ้านชำทองขึ้นไปเล็กน้อย ลักษณะของแหล่งแร่นั้น เป็นแร่เหล็กฮีมาไตต์เป็นส่วนใหญ่โผล่เป็นก้อนโต ๆ และพบในลักษณะที่เป็นแผ่นหนาโดยยาวประมาณ 330 เมตร กว้างประมาณ 200 เมตร และหนาประมาณ 45 เมตร แหล่งนี้มีลักษณะ

การเกิดแบบแหล่งแร่แปรสัมผัส โดยบนยอดเขายังพบชั้นปูนวางบนสุด ส่วนตอนล่างบริเวณเชิงเขาเราจะพบทั้งที่เป็นหินแกรโนไดโอไรต์ และแอนดีไซต์ปรากฏอยู่ ส่วนตอนกลางจะพบแหล่งแร่ดังกล่าว แหล่งนี้มีปริมาณสำรองประมาณ 1.5 ล้านตัน (3)

– แหล่งภูเฮีย แหล่งนี้อยู่ห่างจากภูยางไปทางทิศตะวันออกประมาณ 5 กิโลเมตร พบแร่เหล็กแม็กนิไตต์ ซึ่งจากการสำรวจประเมินปริมาณแร่สำรองกะว่าคงประมาณ 1.05 ล้านตัน

– แหล่งภูอ่าง แหล่งนี้เป็นแหล่งที่อยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเลย มาทางทิศตะวันออกเป็นเทือกเขาสูงประมาณ 50 เมตร ยาวประมาณ 900 เมตร และกว้างประมาณ 250 เมตร พบแร่ฮีมาไตต์เป็นก้อนโต ๆ ซึ่งอาจพบแร่แม็กนีไตต์ปนอยู่ด้วย มีปริมาณสำรองประมาณ 7.6 ล้านตัน

– แหล่งภูโคก–ภูขุมทอง แหล่งนี้อยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเลย เช่นเดียวกัน โดยอยู่ทางทิศใต้ของตัวเมืองเลย และอยู่ทางทิศตะวันตกของภูล่าง เป็นเขาลูกเล็ก 2 ลูก สูงประมาณ 50 เมตร ห่างกันประมาณ 400 เมตร ในแนวเหนือ–ใต้ ภูโคกจะอยู่ทางด้านเหนือ หินที่พบบริเวณนี้คือ หินแกรโนไดโอไรต์ ซึ่งปรากฏอยู่ในตอนเหนือของภูโคก แร่เหล็กที่พบในบริเวณภูโคกนี้คือ แร่แม็กนีไตต์เป็นก้อนโต ๆ ส่วนที่ภูขุมทอง แร่เหล็กที่พบคือ แร่ฮีมาไตต์เป็นก้อนโต ๆ เช่นเดียวกัน

ง. <u>แหล่งแร่ทองแดง</u> แหล่งแร่ทองแดงนี้ได้มีการสำรวจอย่างจังในปี พ.ศ. 2506 โดยโครงการลุ่มแม่น้ำโขง ในบริเวณจังหวัดเลย ชัยภูมิ ขอนแก่น อุดรธานี และหนองคาย (4) แต่ผลปรากฏว่าแหล่งแร่ทองแดงที่น่าสนใจนั้นอยู่ในบริเวณจังหวัดเลย และคาดว่าจะเป็นแหล่งแร่ทองแดงที่ใหญ่ที่สุดเท่าที่สำรวจพบมา โดยเฉพาะในบริเวณภูหินเหล็กไฟและภูทองแดง ซึ่งเป็นแหล่งที่มีโอกาสมากที่สุดในอันที่จะพัฒนาเป็นแหล่งแร่ในเวลาอันใกล้นี้ แต่อย่างไรก็ตาม การสำรวจจะเพิ่มเติมเพื่อหาปริมาณสำรองตลอดจนคุณภาพของแร่ทองแดงยังจำเป็นมากในระยะนี้ แหล่งแร่ทองแดงทั้งสองแหล่งนี้พอจะกล่าวถึงลักษณะทางธรณีวิทยาได้ดังต่อไปนี้

– <u>แหล่งภูหินเหล็กไฟ</u> เทือกภูหินเหล็กไฟนี้ อยู่ทางทิศตะวันออกของจังหวัดเลย เป็นบริเวณที่น่าสนใจมาก เพราะเป็นบริเวณที่พบว่าเป็นบริเวณสะสมตัวของแร่ซัลไฟด์ต่าง ๆ ที่ใหญ่ที่สุดในเขต–เชียงคาน–เลย ซึ่งมีขนาดยาวประมาณ 3 กิโลเมตร กว้าง 1 กิโลเมตร ชุดหินที่พบนั้นแสดงอิทธิพลของไอน้ำร้อน (Hydrothermal alteration) ทำให้ชุดหินต่าง ๆ แปรสภาพไป บริเวณที่สะสมตัวของแร่ทองแดงอยู่บริเวณตอนเหนือใกล้กับหินทัฟฟ์ และหินไรโอไรท์ อาจจะพบในรูปของแร่มาลาไคต์ (Malachite) และแร่อาซูไรท์ (Azurite) อาจจะพบแร่สังกะสี แร่ตะกั่ว และแร่โมลิบดีนั่มอยู่บ้าง แต่ก็จำนวนน้อย นอกจากนี้อาจพบแร่ทองแดงเกิดปะปนอยู่ในเนื้อหิน (Dissemination) ซึ่งเราจะเรียกแร่ทองแดงที่อยู่ในลักษณะนี้ว่า Porphyry Copper ในบางแห่งพบเป็นสายแร่ทองแดงเล็ก ๆ ก็ได้ สำหรับปริมาณสำรองที่ประเมินได้ในช่วงการสำรวจชั้นนี้อาจมีปริมาณสำรองอยู่ประมาณ 15 ล้านตัน โดยมีทองแดงอยู่ประมาณ 1 เปอร์เซนต์

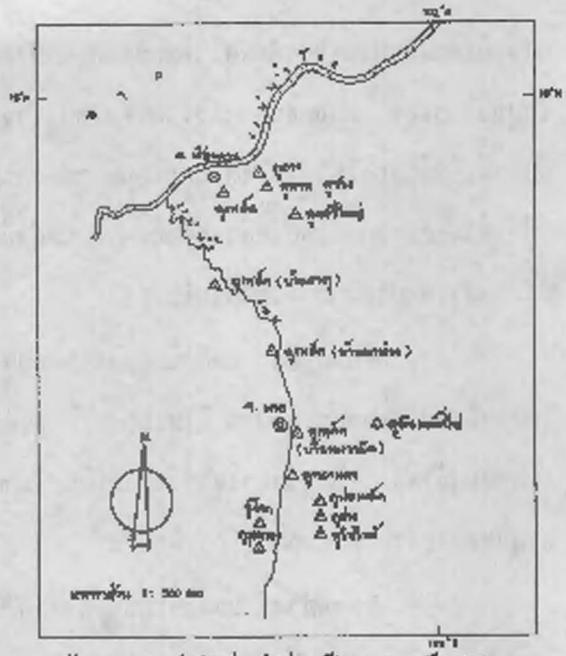
– <u>แหล่งภูทองแดง</u> อยู่ทางทิศใต้ของจังหวัดเลย ติดริมฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเลย เป็นระยะทาง 7 กิโลเมตร แร่ทองแดงที่พบนั้น มักจะมีแร่เหล็กจำพวกฮีมาไตต์และลิโมไนท์รวมอยู่ด้วย อันจะเป็นลักษณะที่บ่งชี้ว่าเป็นแหล่งแร่ทองแดงซัลไฟด์ ที่

สลายตัวเนื่องจากกระบวนการทางธรณีวิทยา จากการสำรวจได้ตีความว่าบริเวณที่มีแร่ทองแดงอยู่นั้นจะขนาดยาวประมาณ 800 เมตร กว้างประมาณ 140 เมตร และหนาประมาณ 60 เมตร โดยมีแร่ทองแดงอยู่ประมาณ 0.3 เปอร์เซนต์

ทั้งสองแหล่งนี้ได้ประเมินปริมาณสำรองไว้ประมาณ 63 ล้านตัน และมีสินแร่ทองแดงอยู่โดยเฉลี่ย 0.7%

จ. แหล่งแร่ตะกั่ว-สังกะสี แร่ประเภทนี้มักพบในหินภูเขาไฟ และในหินปูน ชุดราชบุรีและกาญจนบุรี แร่ตะกั่ว-สังกะสีที่พบในหินภูเขาไฟนั้น จะพบในบริเวณช่องว่างของสายแร่ควอซท์ และอยู่ควบคู่ไปกับแร่ซัลไฟด์อื่น ๆ ความกว้างของสายแร่ควอซท์จะประมาณ 1-200 เซนติเมตร และความยาวสุดเท่ากับ 100 เมตร แร่ซัลไฟด์ที่พบได้แก่ แร่ไพไรท์ แร่กาลีนา และแร่สฟาเรอไรท์ในสายแร่ควอซท์ มีปริมาณตะกั่วโดยเฉลี่ยประมาณ 1.2 - 3.5% ส่วนปริมาณสังกะสีโดยเฉลี่ยประมาณ 1.3 - 4.4% สำหรับแร่ที่พบในหินปูนนั้นเป็นสายแร่กาลีนากว้างประมาณ 8 ซม. บริเวณที่เป็นแหล่งแร่นี้อยู่ตามรอยสัมผัสระหว่างหินปูนชั้นหนาและหินไดโอไรท์ บริเวณที่มีการสัมผัสจะมีรูปร่างเป็นวงกลมและครอบคลุมพื้นที่ในรัศมี 1 กิโลเมตร ซึ่งอยู่ในบริเวณบ้านโคกมัน ตรงภูชุมที่ 1 (ดูแผนผังประกอบ) ส่วนบริเวณบ้านหนองหญ้าไซ อันเป็นบริเวณที่เรียกว่าภูชุมที่ 2 (ดูแผนผังประกอบ) นั้น แหล่งแร่ก็จะสะสมตัวในบริเวณรอยสัมผัสของหินปูนกับหินแกรโนไดโอไรท์ สำหรับบริเวณนี้ส่วนใหญ่แร่ไม่ปรากฏมาให้เห็น แต่อาศัยการตีความจากค่าความแตกต่าง ๆ ของข้อมูลด้านธรณีเคมีและธรณีฟิสิกส์

ฉ. แหล่งแร่ทองคำ แร่ทองคำนี้เคยพบในบริเวณบ้านเพีย และบ้านนาคินคำ ซึ่งพบในลักษณะ



ของแร่ทองคำที่ถูกน้ำพัดพามาสะสมตัวในลำธาร ในกรวดตามท้องน้ำ นอกจากนี้ยังมีการพบในบริเวณบ้านคำดวง แต่เป็นการพบร่องรอยของทองคำในตัวอย่างจากหลุมเจาะ ในปัจจุบันนี้มีการร่อนทองคำในตัวอย่างจากหลุมเจาะ ในปัจจุบันนี้มีการร่อนทองคำในบริเวณบ้านคำดวงนี้ แต่เป็นตามชายฝั่งของแม่น้ำโขง ปริมาณสำรองของแร่ทองคำนี้ไม่สามารถบอกได้ ทั้งยังไม่สามารถสำรวจพบแหล่งกำเนิดของแร่ทองคำอีกด้วย

ช. แหล่งแร่ยูเรเนียม คุณสมหมาย อินทภูติ และคณะ (5) ซึ่งได้ทำการสำรวจในรายละเอียดเกี่ยวกับการสำรวจยูเรเนียมนั้น พบว่ามีที่อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณประตูตีหมา และห้วยกระบือ อันเป็นพื้นที่อยู่ในแอ่งภูเวียง ด้านทิศตะวันตก ห่างจากอำเภอเมืองจังหวัดขอนแก่น ไปทางทิศตะวันตกประมาณ 60 กิโลเมตร มีพื้นที่ประมาณ 2 ตารางกิโลเมตร แหล่งแร่ที่พบเป็นแบบที่เกิดในหินทราย ชุดเสาขัว อันเป็นชุดหินชุดหนึ่งในชุดหินโคราช ลักษณะของแร่ที่สะสมตัวอยู่จะมีลักษณะเป็นเล็นซ์ 2 เลนซ์ มีความยาวประ-

มาณ 65 เมตร และ 35 เมตร ความกว้างเฉลี่ยประมาณ 15 – 10 เมตร และความหนาประมาณ 0.3 – 1.5 เมตร และ 0.45 – 0.6 เมตร ตามลำดับ

แร่ยูเรเนียมที่พบส่วนใหญ่คือ

Autunite $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot nH_2O$

Torbernite $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 12H_2O$

Carnotite $K_2(UO_2 / VO_4) \cdot 3H_2O$

แร่ยูเรเนียมที่พบในบริเวณดังกล่าว เป็นแร่ปฐมภูมิเนื้อละเอียดมาก มีสีน้ำตาลดำบางจุดจะเห็นลักษณะที่เรียกว่า Pitch - like Appearance สำหรับปริมาณสำรองที่แน่นอนนั้นยังไม่ทราบแน่ชัด คงต้องมีการสำรวจเพิ่มเติมมากกว่านี้มาก (7)

ช. <u>แหล่งหินแกรนิต</u> แหล่งนี้อยู่ตามเส้นทางเลย-เชียงคาน ไปทางทิศตะวันตกประมาณ 30 กิโลเมตร ด้านค่ายทหาร เนื่องจากหินแกรนิตบริเวณนี้มีเนื้อแข็งแรงและมีสีชมพู ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมของพ่อค้าที่จะนำไปทำวัสดุตกแต่ง โดยเฉพาะนำไปทำฮวงซุ้ย ปริมาณสำรองของหินแกรนิตบริเวณนี้ กระทำได้ยาก เพราะต้องมีการสำรวจเจาะประกอบกับใกล้กับบริเวณค่ายทหาร จึงทำการสำรวจได้ยาก

ฌ. <u>แหล่งหินปูน</u> หินปูนที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนี้ส่วนใหญ่ จะพบด้านทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงเหนือ ในเขตจังหวัดเลย อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น อำเภอนากลาง จังหวัดอุดรธานี ซึ่งจะกระจายอยู่หรือรองรับหินชุดโคราช หินปูนเหล่านี้เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง จึงมีการทำเหมืองหินปูนมากขึ้น ถ้าหากการก่อสร้างถนนขยายตัวมากขึ้น ปริมาณหินปูนที่จะต้องถูกนำมาใช้ก็จะสูงขึ้น ในปัจจุบันก็มีการทำเหมืองหินปูนอยู่บ้าง ซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีเหมืองหินมากขึ้น

ญ. <u>แหล่งหินอ่อน</u> หินอ่อนนี้ยังไม่ค่อยปรากฏในรายงานการสำรวจเท่าใด เพราะความจริงแหล่งหินอ่อนชุดนี้คาดว่าเป็นหินอ่อนที่แปรสภาพมาจากหินปูนในบริเวณจังหวัดเลย และเกิดเฉพาะแห่งอันเป็นบริเวณสัมผัสระหว่างหินปูนกับหินอัคนีแซกซ้อน เนื่องจากบริเวณจังหวัดเลยนี้ หินส่วนใหญ่ก่อนข้างดุ ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะบอกปริมาณสำรองของหินอ่อนดังกล่าวนี้ ซึ่งต้องอาศัยการสำรวจเจาะอย่างละเอียด อย่างไรก็ดีหินอ่อนในปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้ในงานตกแต่งของประดับต่าง ๆ ดังนั้นแนวโน้มในอนาคตก็ไม่แน่ว่าจะมีการทำเหมืองหินอ่อนก็ได้ ในปัจจุบันนี้พบหินอ่อนในบริเวณบ้านหนองบอนและบริเวณบ้านหนองคอกบัว

## 4. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการสำรวจแหล่งแร่ต่าง ๆ นี้ พอจะกล่าวได้ว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแร่ที่สามารถ หรือมีแนวโน้มที่จะพัฒนาให้เป็นแหล่งแร่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจได้ เช่น แหล่งแร่แบไรต์ แร่โซเดียมคลอไรด์ แร่ซิลไวต์ แร่คาร์นาไรต์ แร่เหล็ก แร่ทองแดง และแร่ยูเรเนียม เป็นต้น ในปัจจุบันนี้ แร่ต่าง ๆ ที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น แร่ยูเรเนียม แร่คาร์นาไรต์ และแร่ซิลไวต์ เป็นต้น เป็นแร่ที่ยังใหม่มาก สำหรับนักวิชาการของบ้านเมืองเรา เทคนิคในการสำรวจในการทำเหมืองจำเป็นต้องศึกษาอีกมาก ซึ่งในอนาคตก็คาดว่าจะสามารถนำเอาเทคโนโลยีหรือวิธีการต่าง ๆ ที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจ ในการตกแต่งแร่ เพื่อพัฒนาให้เป็นแหล่งแร่ทางเศรษฐกิจได้

อย่างไรก็ตาม การสำรวจเพิ่มเติมในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้น น่าจะกระทำอย่างยิ่ง เพราะหากมีการศึกษาเพิ่มเติมมากขึ้น เช่น การสำ-

รวจด้านธรณีฟิสิกส์ ด้านธรณีเคมี และการเจาะสำรวจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับลึก ๆ อาจจะทำให้เราค้นพบแร่ใหม่ ๆ ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ และสามารถหาปริมาณสำรองได้แม่นยำยิ่งขึ้น

นอกจากนี้รัฐบาล ควรจะมีนโยบายที่มั่นคงสนับสนุน และเอื้ออำนวยในการลงทุน เพื่อให้ความคุ้มครองและอบอุ่นใจแก่ผู้ที่จะดำเนินกิจการลงทุนทำเหมืองแร่ ตลอดจนให้หลักประกันแก่ผู้ลงทุนทำอุตสาหกรรมเหมืองแร่ มิฉะนั้นแล้ว การพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือในด้านแหล่งแร่ก็ย่อมจะเป็นไปไม่ได้

## เอกสารอ้างอิง


1. JAVANAPHET, J.C. (1969), Geological Map of Thailand, Department of Mineral Resources, Ministry of National Development.
2. สมศักดิ์ ตัณฑชน (2524), (ติดต่อส่วนตัว) เหมืองแร่แบไรต์ จังหวัดเลย
3. JACOBSON H.R. et.Al.(1969),Mineral Investigations in Northeastern, Thailand, United States Geological Surveys, Professional Paper 618,U.S. Government Printing office, Washington.
4. THAWAT JAPAKASETR (1977), Potash Investigation in Northeastern, Thailand, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand.
5. สมบูรณ์ เสกธีระ, สุธรรม แย้มนิยม, สมัย เจียมจินดารัตน์(2524), รายงานธรณีเคมี บริเวณตำบลบุฮม อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา ฉบับพิเศษที่ 4 กรมทรัพยากรธรณี
6. GOCHT W. et. al. (1981), Preliminary Report on Test Result of Samples from Uranium Prospect Phu Wiang, Khon Kaen Province, NE Thailand,Institute for Geology, Free University of Berlin, Germany.
7. สมหมาย อินทุภูมิ, สุธรรม แย้มนิยม, ฟูยศ โชติคณาพันธุ์ (2520), รายงานความก้าวหน้าในการสำรวจแร่ยูเรเนียม อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

วารสารวิทยาศาสตร์ มข. ปีที่ ๑๑ ฉบับที่ ๔ ต.ค. - ธ.ค. ๒๕๒๖

# การสำรวจหาเชื้อซัลโมเนลลาใน "ฟิเลท์ อเมริเคน"

# EXAMINATION OF SALMONELLA FROM "FILET AMERICAIN"

เสาวนิต ทองพิมพ์*

R.R. Beumer**

E.H. Kampelmacher**

## บทคัดย่อ

จากการตรวจหาเชื้อซัลโมเนลลาจาก"filet americain" 140 ตัวอย่าง โดยการนำไปทำ pre - enrichment ใน buffered peptone water ก่อน จากนั้นจึงนำไปเพาะเลี้ยงในenrichment media 2 ชนิด คือ Muller-Kauffmann's tetrathionate broth(MK) และ modified Rappaport's medium($R_{10}$) บ่มที่ 43°ซ. ปรากฏว่า ตรวจแยกเชื้อซัลโมเนลลาได้จาก 38 ตัวอย่าง คิดเป็น 27.14% ของตัวอย่างทั้งหมด

## Abstract

In the examination of 140 samples of "filet americain" for the presence of salmonellae, a preliminary pre - enrichment in buffered peptone water was made. From this medium, enrichments were made in the Muller-Kauffmann's tetrathionate broth (MK) and modified Rappaport's medium ($R_{10}$), incubated at 43°C. Thirty-eight samples were found positive for salmonellae (27.14%)

## บทนำ

"ฟิเลท์ อเมริเคน" เป็นอาหารชนิดหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายในประเทศเนเธอร์แลนด์ ปรุงขึ้นจากเนื้อวัวบดละเอียดผสมกับซีอสชนิดพิเศษสำหรับอาหารนี้ น้ำซีอสนี้ประกอบด้วย น้ำมันสลัด ไข่แดง น้ำส้มสายชู เกลือ และเครื่องเทศ บางครั้งอาจใช้เนื้อวัวบดละเอียดผสมกับน้ำเคล้าสลัด เครื่องเทศ และเกลือ เป็นต้น หลังจากปรุงเสร็จแล้วนำไปบริโภคทันทีโดยไม่ต้านความร้อนเสียก่อน ร้านค้าบางแห่งจะปรุงขายเมื่อมีลูกค้าสั่งเป็นคราวไป แต่ร้านค้าส่วนใหญ่จะปรุงสำเร็จไว้ แล้วเก็บในตู้แช่แข็งเพื่อทะยอยนำออกมาขายต่อไป ผู้บริโภคนิยมนำไปทาบนขนมปังหรือนางรายนำไปบริโภคโดยไม่ผสมอะไรอีก

เป็นที่ทราบกันดีว่า เป็นการยากที่จะตรวจหาเชื้อซัลโมเนลลาในอาหารโดยตรง เนื่องจากเชื้อซัลโมเนลลาที่พบอยู่ในอาหารนั้นมักมีจำนวนน้อย หรืออยู่ในสภาพที่บาดเจ็บจากขบวนการปรุงอาหาร ยิ่ง

* อาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**The staffs of Laboratory for Food Microbiology & Food Hygiene, Department of Food Science, Agricultural University, The Netherlands.

กว่านั้นในอาหารยังมีแบคเตรียชนิดอื่นอยู่ด้วยเป็นจำนวนมากซึ่งจะช่วยการเจริญของเชื้อซัลโมเนลลา (2) จึงได้มีผู้คิดค้นวิธีการที่ใช้ตรวจหาเชื้อซัลโมเนลลาในอาหารขึ้นมาหลายวิธี วิธีที่นิยมใช้กันอยู่วิธีหนึ่ง ได้แก่ การใช้ Muller-Kauffmann's tetrathionate broth (MK) เป็น selective enrichment medium โดยตรวจตามวิธีอ้างอิง (reference method) ของ International Organization for Standardization ISO 3565 (3) นอกจากนี้ยังได้มีรายงานถึงการใช้ modified Rappaport's medium ($R_{10}$) เป็น selective enrichment medium ว่าให้ผลดีกว่าการใช้ Muller-Kauffmann's tetrathionate broth ตามวิธีอ้างอิงของ ISO 3565 ในการตรวจเชื้อซัลโมเนลลาจากเนื้อวัวบดและไส้กรอกหมู (5,6,7) ดังนั้นในการตรวจเชื้อซัลโมเนลลาจาก "ฟิเลท์อเมริเคน" ในครั้งนี้จึงได้ใช้สองวิธีดังกล่าวนี้ในการทดลอง

## สถานที่ทำการทดลอง

การทดลองนี้ได้ทำการทดลองที่ Laboratory for Food Microbiology & Food Hygiene, Department of Food Science, Agricultural University, The Netherlands.

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อาหารเลี้ยงเชื้อและซีรัม

**Pre-enrichment medium (P-medium)**

P-medium ได้แก่ Buffered peptone water (BPW) เตรียมขึ้นตามสูตรและวิธีการของ International Organization for Standardization เลกสารฉบับที่ ISO 3565

**Muller - Kauffmann's tetrathionate broth (MK)**

MK broth เตรียมขึ้นตามสูตรและวิธีการของ ISO 3565

**Modified Rappaport's medium ($R_{10}$)**

$R_{10}$ medium เตรียมขึ้นตามสูตรที่ได้ปรับปรุงและแนะนำโดย Vassiliadis และคณะ (4) ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย 3 ชนิด ดังนี้

สารละลาย ก ประกอบด้วย

| | | |
|---|---|---|
| Tryptone (Difco) | 5 | กรัม |
| NaCl | 8 | กรัม |
| $KH_2PO_4$ | 1.6 | กรัม |
| น้ำกลั่น | 1,000 | มล. |

สารละลาย ข ประกอบด้วย

| | | |
|---|---|---|
| $MgCl_2.6H_2O$(Merck) | 400 | กรัม |
| ละลายในน้ำกลั่น | 1,000 | มล. |

สารละลาย ค ประกอบด้วย

| | | |
|---|---|---|
| Malachite green oxalate(Merck) | 0.4 | กรัม |
| ละลายในน้ำกลั่น | 1,000 | มล. |

จากนั้นผสมสารละลาย ก 1,000 มล. สารละลาย ข 100 มล. และสารละลาย ค 10 มล.เข้าด้วยกัน แล้วนำไปฆ่าเชื้อที่ 115°ซ. นาน 15 นาที $R_{10}$ medium ที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้วเก็บเข้าตู้เย็นและนำมาใช้ภายใน 1 เดือน

MK และ $R_{10}$medium จะเตรียมใส่ในขวดแก้วขวดละ 100 มล.

Brilliant green agar(BGA), Triple sugar iron agar(TSI) และ Lysine decarboxylation medium เตรียมขึ้นตามสูตร และวิธีการของ ISO 3565

**Agglutination serum**

ซีรัมที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ Agglutination Salmonella O-serum short polyvalent จาก The National Institute of Public Health ของประเทศเนเธอร์แลนด์

## วิธีการทดลอง

ซื้อ "ฟิเลท์ อเมริเคน" จากร้านขายเนื้อและซุปเปอร์มาร์เก็ตในประเทศเนเธอร์แลนด์เป็นจำนวน 140 ตัวอย่าง ทุกตัวอย่างบรรจุลงในกระติกน้ำแข็งนำกลับสู่ห้องปฏิบัติการโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

ชั่ง "ฟิเลท์ อเมริเคน" มาตัวอย่างละ 25 กรัม ผสมกับ BPW 225 มล. ให้เข้ากันดีด้วยเครื่อง stomacher เป็นเวลา 1-2 นาที นำไปบ่มที่ 37° ซ. เป็นเวลา 16-20 ชม. จากนั้นถ่ายลงสู่ขวด MK และ $R_{10}$ โดยใช้ inoculum ratios เป็น 10 : 100 และ 0.1 : 100 ตามลำดับ นำไปบ่มที่ 43° ซ. ทำการ subculture ลงบน BGA หลังจากบ่มได้ 24 และ 48 ชม.

นำจานอาหารเลี้ยงเชื้อ BGA นั้นไปบ่มที่ 37° ซ. เป็นเวลา 24 ชม. แล้วจึงนำมาตรวจดูลักษณะโคโลนีของเชื้อบักเตรีที่เจริญบน BGA นำโคโลนีของเชื้อบักเตรีที่แสดงลักษณะแบบเฉพาะของเชื้อซัลโมเนลลา ซึ่งได้แก่ โคโลนีสีแดง และอาหารเลี้ยงเชื้อบริเวณรอบ ๆ โคโลนีจะเปลี่ยนเป็นสีแดงด้วย ไปทดสอบปฏิกิริยาการเจริญใน TSI และ Lysine decarboxylation medium และทำ slide agglutination test กับ agglutination Salmonella O-serum short polyvalent จากนั้นเชื้อที่แยกได้จะถูกส่งไปจำแนก serotype ที่ The National Institute of Public Health ณ.เมือง Bilthoven ประเทศเนเธอร์แลนด์

## ผลการทดลอง

จากการตรวจเชื้อซัลโมเนลลาใน "ฟิเลท์ อเมริเคน" 140 ตัวอย่าง ปรากฏว่าตรวจพบเชื้อซัลโมเนลลาทั้งหมด 38 ตัวอย่าง(27.14%) หลังจากแยกได้เชื้อบริสุทธิ์ ทดสอบทางชีวเคมีและซีรัมวิทยาแล้วได้เชื้อทั้งหมด 39 strains, 10 serotypes ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางแสดงชนิด จำนวน และเปอร์เซนต์ของเชื้อซัลโมเนลลาที่ตรวจแยกได้จาก "ฟิเลท์ อเมริเคน" 38 ตัวอย่าง

| ชนิดของเชื้อซัลโมเนลลา | ความถี่ของการตรวจพบ | |
|---|---|---|
| | จำนวน | เปอร์เซนต์ |
| S. bredeney | 2 | 5.13 |
| S. coeln | 1 | 2.56 |
| S. derby | 1 | 2.56 |
| S. dublin | 1 | 2.56 |
| S. infantis | 2 | 5.13 |
| S. mons | 2 | 5.13 |
| S. oranienburg | 1 | 2.56 |
| S. panama | 5 | 12.82 |
| S. stanley | 3 | 7.69 |
| S. typhimurium | 21 | 53.85 |
| รวมทั้งหมด | 39 | 100 |

จากการทดลองครั้งนี้โดยใช้ MK และ $R_{10}$ เป็น selective enrichment medium พบว่าตัวอย่างที่ตรวจพบเชื้อซัลโมเนลลา 38 ตัวอย่างนั้น 26 ตัวอย่างตรวจแยกเชื้อได้จาก MK และ $R_{10}$ 6 ตัวอย่างตรวจแยกได้จาก MK แต่เพียงอย่างเดียว และอีก 6 ตัวอย่างตรวจแยกได้จาก $R_{10}$ แต่เพียง

อย่างเดียวเช่นกัน นอกจากนั้นในการตรวจเชื้อซัลโมเนลลาในครั้งนี้ พบ 1 ตัวอย่างที่ตรวจแยกเชื้อซัลโมเนลลาได้ 2 serotype คือ S. typhimurium และ S. panama นอกจากนั้นแยกได้ 1 serotype จาก 1 ตัวอย่าง

## สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการตรวจพบเชื้อซัลโมเนลลาใน "ฟีเลท์อเมริเคน" 140 ตัวอย่างพบว่ามีเชื้อซัลโมเนลลาถึง 38 ตัวอย่าง (27.14%) ซึ่งนับว่าพบในเปอร์เซนต์ที่สูง ซึ่งอาจเนื่องมาจากระยะเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงฤดูร้อน อุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อซัลโมเนลลา นอกจากนั้นถึงแม้ว่า "ฟีเลท์ อเมริเคน" จะถูกระบุว่าใช้เนื้อวัวเป็นส่วนประกอบ แต่จากการที่ Beumer และคณะได้ทำการตรวจสอบชนิดของเนื้อที่ใช้เป็นส่วนประกอบของ "ฟีเลท์ อเมริเคน" 200 ตัวอย่างพบว่า ทุกตัวอย่างมีเนื้อวัวเป็นองค์ประกอบ และ 36.5% ของตัวอย่างที่ตรวจพบว่า มีเนื้อหมูปนกับเนื้อวัว และจากการศึกษาทางจุลชีววิทยา เขาได้เสนอแนะว่าการปรุง "ฟีเลท์อเมริเคน" ควรหลีกเลี่ยงการใช้เนื้อหมูเป็นส่วนผสมด้วย เนื่องจากจะทำให้ผู้บริโภคเสี่ยงต่อการบริโภคเชื้อโรคทางเดินอาหารเข้าไปด้วยในอัตราสูง (1)

จากการตรวจหาเชื้อซัลโมเนลลาใน "ฟีเลท์อเมริเคน", 38 ตัวอย่างที่ตรวจพบเชื้อนั้น 26 ตัวอย่าง(68.42%) ตรวจแยกได้ทั้งจาก MK และ $R_{10}$, 6 ตัวอย่าง (15.79%) ตรวจแยกได้จาก MK อย่างเดียว และอีก 6 ตัวอย่าง (15.79%) ตรวจแยกได้จาก $R_{10}$ อย่างเดียว ข้อมูลที่ได้นี้เป็นแนวทางสำหรับการตรวจแยกเชื้อซัลโมเนลลาจากอาหารที่มีเนื้อเป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น แหนม ม้ำ ไส้กรอก หมูยอ หมูแฮม เบคอน เป็นต้น เพื่อประโยชน์ในการเลือกใช้ชนิดของ selective enrichment medium ในกรณีที่ต้องการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ก็เลือกใช้ MK หรือ $R_{10}$ แต่เพียงอย่างเดียว แต่ถ้าต้องการให้ได้ผลดีที่สุด ควรใช้ทั้ง MK และ$R_{10}$ ร่วมกัน

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของ The National Institute of Public Health ณ เมือง Bilthoven ประเทศเนเธอร์แลนด์ที่ได้กรุณาจำแนก serotype ของเชื้อซัลโมเนลลาที่แยกได้จากการทดลองในครั้งนี้และขอขอบคุณอาจารย์ประนอม จันทรโณทัย ที่ช่วยกรุณาอ่านและให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับผลงานการวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

1. Beumer, R.R., S.K. Taminga and E.H. Kampelmacher. 1982. Microbiological Investigation of "Filet Americain" Archiv fur Lebensmittelhygiene. 34, 35-40.

2. Edel, W. Ph.D. Thesis. 1974. Comparative studies on Salmonella isolation. Vesta-grafisch centrum-everdingen.

3. ISO 3565. 1975. International Standard ISO 3565. Meat and meat products - Detection of Salmonella (Reference method). First edition 1975-09-01: Geneva, International Organization for Standardization.

4. Vassiliadis, P., D. Trichopoulos, J. Papadakis and G.Politi. 1970. Salmonella isolation in abattoirs in Greece. J.Hyg., Camb. 68: 601.

5. Vassiliadis, P., D. Trichopoulos, E. Pateraki and N. Papaiconomou. 1978. Isolation of Salmonella from minced meat by the use of a new procedure of enrichment. Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B. 166: 81-86.

6. Vassiliadis, P., D. Trichopoulos, J. Papadakis, V. Kalapothaki, X. Zavitsanos and Ch. Serie. 1981. Salmonella isolation with Rappaport's enrichment medium of different compositions. Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B. 173: 382-389.

7. Xirouchaki, E., P. Vassiliadis, D. Trichopoulos and Ch. Mavrommati. 1982. A note on the performance of Rappaport's medium compared with Rappaport Vassiliadis's broth, in the isolation of salmonellae from meat products, after pre-enrichment. J. of Appl. Bact. 52 : 125-127.

---

# คำสั่งคณะวิทยาศาสตร์
# ที่ 59/2526

## เรื่อง ยกเลิกคำสั่งคณะวิทยาศาสตร์ที่ 56/2526 และที่ 58/2526 และแต่งตั้งคณะผู้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

ตามคำสั่งคณะวิทยาศาสตร์ที่ ๕๖/๒๕๒๖ ลงวันที่ ๑๒ ธันวาคม ๒๕๒๖ แต่งตั้งคณะผู้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์ มข. และคำสั่งที่ ๕๘/๒๕๒๖ ลงวันที่ ๑๖ ธันวาคม ๒๕๒๖ แต่งตั้งบรรณาธิการผู้ช่วยนั้น เพื่อให้การดำเนินงานเกี่ยวกับการจัดทำวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเผยแพร่ความรู้และวิทยาการใหม่ ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีเป็นไปโดยเรียบร้อยสมบูรณ์ อำนวยประโยชน์ต่อมวลสมาชิกตลอดจนผู้สนใจทั่วไป อย่างมีประสิทธิภาพและกว้างขวาง

ฉะนั้น อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๒๖ แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ.๒๕๒๑ จึงให้ยกเลิกคำสั่งคณะวิทยาศาสตร์ ดังกล่าว และแต่งตั้งให้ผู้มีนามต่อไปนี้ เป็นคณะผู้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์ มข. ดังนี้.-

| | |
|---|---|
| ที่ปรึกษาทั่วไป | คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ |
| | รองคณบดีฝ่ายบริหาร |
| | ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิจัย |
| | นายเฉลิม คิดชัย |
| ที่ปรึกษาฝ่ายวิชาการ | รองคณบดีฝ่ายวิชาการ |
| | นายสุชาติ จันทร์ทิพย์ |
| | นายขาว เหมือนวงศ์ |
| | นายภักดี ธันวารชร |
| | นางศรีสุมนตร์ สีตะธนี |
| | นายชรินทร์ พูลสมุทร |
| บรรณาธิการ | นางไฉนพร ดานวิรุฬห์ |
| บรรณาธิการผู้ช่วย | นายกิตติ อมรรักษา |
| กองบรรณาธิการ | นายไพบูลย์ มงคลอาวรชัย |
| | นางสาวทัศนีย์ อารยะตระกูลลิขิต |

| | |
|---|---|
| | นายสุวิน บุศราคำ |
| | นางอัจฉรา ธรรมถาวร |
| | นางศิริณีย์ หองสวัสดิ์วงศ์ |
| | นางรัตนา มหาชัย |
| | นางสาวลัดดา เต็มอุดม |
| | นายอำนวย มณีศรีวงศ์กูล |
| ฝ่ายจัดหาทุน | นางสาววรรณี รัมภาวัฒนา |
| ฝ่ายศิลป์และภาพ | นายกิเลน คิณเรเศรษฐ์ |
| เหรัญญิก | นางลักขณา สุขบาง |
| ฝ่ายจัดการ | นางบุญคุ้ม เหลือล้น |
| | นางบุษราภรณ์ พฤกษเทเวศ |

ให้คณะผู้จัดหาวารสารดังกล่าว มีวาระการดำรงตำแหน่ง ๑ ปี

ทั้งนี้ ตั้งแต่วันที่ ๑๒ ธันวาคม ๒๕๒๖ เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๓๐ ธันวาคม ๒๕๒๖

ทวีศักดิ์ แก้วชิม

(นายทวีศักดิ์ แก้วชิม)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

## แนะนำคณะผู้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์ มข.
## และคณะที่ปรึกษา
## 12 ธันวาคม 2526 - 11 ธันวาคม 2527

| | |
|---|---|
| **ที่ปรึกษาทั่วไป** | **ภาควิชาสังกัด** |
| อธิการบดีมหาวิทยาลัยขอนแก่น (รศ.นพ.นพดล ทองโสภิต) | ศัลยศาสตร์ |
| รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ (รศ.ดร.สมพงศ์ จันทร์โพธิ์ศรี) | เคมี |
| คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ (ผศ.ทวีศักดิ์ แก้วชิม) | ฟิสิกส์ |
| รองคณบดีฝ่ายบริหาร (ผศ.สมเกียรติ ตั้งพูลผล) | คณิตศาสตร์ |
| ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิจัย (ดร.พรพิมล สุริยจันทราทอง) | ชีววิทยา |
| ผศ.เฉลิม คิดชัย | ฟิสิกส์ |
| **ที่ปรึกษาฝ่ายวิชาการ** | |
| รองคณบดีฝ่ายวิชาการ (ดร.สุนันทา เฮงรัศมี) | เคมี |
| รศ.ดร.สุชาติ จันทร์ทิพย์ | คณิตศาสตร์ |
| ผศ.ดร.ขาว เหมือนวงศ์ | ฟิสิกส์ |
| ผศ.ดร.ภักดี ธันวารชร | ธรณีวิทยา |
| ผศ.ศรีสุมนตร์ สีตะธนี | ชีววิทยา |
| อาจารย์ชรินทร์ คูคู่สมุทร | สถิติ |
| **บรรณาธิการ** | |
| ดร.ไฉนพร ด่านวิรุหัย | เคมี |
| **บรรณาธิการผู้ช่วย** | |
| ดร.กิตติ อมรรักษา | เคมี |
| **กองบรรณาธิการ** | |
| ผศ.ไพบูลย์ มงคลถาวรชัย | ชีววิทยา |
| ผศ.อัจฉรา ธรรมถาวร | ชีววิทยา |
| อาจารย์รัตนา มหาชัย | เคมี |
| อาจารย์ลัดดา เต็มอุดม | ธรณีวิทยา |
| อาจารย์สุวิน บุศราคำ | ธรณีวิทยา |
| อาจารย์พัศนีย์ อารยะตระกูลลิขิต | คณิตศาสตร์ |
| อาจารย์อำนวย มณีศรีวงศ์กูล | สถิติ |
| อาจารย์ศิริณีย์ ทองสวัสดิ์วงศ์ | ฟิสิกส์ |
| อาจารย์วรรณี รัมภาวัฒนา (จัดหาทุน) | คณิตศาสตร์ |

# ดรรชนีเรื่อง

## ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม 2526


บทความวิทยาศาสตร์

| | | |
|---|---|---|
| สุรเดช ถาวรพิทักษ์ | การตรวจสอบรูปแบบการกระจายของประชากรปกติ | 1 |
| ณัฐวุฒิ ธานี | การควบคุมยุงลายโดยชีววิธี | 6 |
| เกรียงศักดิ์ ศรีสุข | เทคนิคการสำรวจแหล่งน้ำบาดาล | 13 |
| ประนอม จันทรโณทัย | ผักตบไทย | 21 |
| ยุทธนา จิตตะกวี | พัฒนาการของความรู้เรื่องอะตอม | 25 |
| วัชราภรณ์ เชื่อนแก้ว | ทองคำ - ทองคนโง่ | 31 |
| ละออศรี เสนาะเมือง | สัตว์โบราณที่ยังมีชีวิตอยู่ : ตอน แมงดาทะเล | 36 |

งานวิจัย

| | | |
|---|---|---|
| สุรศักดิ์ สุจริตวณิชพงศ์ | การสร้างโบรไมด์และไอโอไดด์ซิเลคทีฟ CARBON - PASTE อิเลคโตรด | 47 |

## ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน 2526

บทความวิทยาศาสตร์

| | | |
|---|---|---|
| บำรุง สมสวัสดิ์ | การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ช่วยสอนวิทยาศาสตร์ในระดับอุดมศึกษา | 61 |
| สิรินทรเทพ เต้าประยูร | ลูกแป้ง - แหล่งเก็บเชื้อจุลินทรีย์ | 79 |
| นิตยา ธีรมงคล | เทอราโตเจน : สารก่อความพิการแก่ทารกที่นักเคมีควรรู้จัก | 85 |
| พาณี วรรณนิธิกุล | ผู้หญิงกับอัลกอฮอล์ | 93 |
| วรรณี รัมภาวัฒนา | การแก้ปัญหาดายแทงทองคำด้วยคณิตศาสตร์ | 99 |
| อนันต์ ตั้งทองคำ | เทคโนโลยีของการแยกสารโดยวิธีโครมาโตกราฟฟี | 105 |
| วิวัฒน์ นิติวรนันท์ | กาซเรดอนอันตรายเบื้องต้นจากแร่ยูเรเนียม | 111 |

บทความพิเศษ

| | | |
|---|---|---|
| สามารถ อังศุสิงห์ | การสร้างกล้องดาราทัศน์ด้วยตนเอง : ตอนที่ 1 | 117 |

## ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน 2526 (ต่อ)


งานวิจัย

สุนทรี ตันสุวรรณ
สุธา ภู่สิทธิศักดิ์ — การวิเคราะห์ปริมาณแคตอิออนและแอนอิออนบางตัวในน้ำประปา 129
อรวรรณ รัมพณีนิล


## ปีที่ 11 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน 2526


บทความวิทยาศาสตร์

สายทอง อมรวิเชษฐ์ — ข้อขัดแย้งของ ZENO 137
อุบลวรรณา เงินวิจิตร — สถิติที่ใช้พารามิเตอร์กับสถิติที่ไม่ใช้พารามิเตอร์ 141
มนตรี บุญเสนอ — วิศวกรรมธรณีกับงานสร้างถนน 147
ไฉนพร ด่านวิรุฬห์ — พฤษฎีเกี่ยวกับโครงสร้างของน้ำ 153
บุญยืน กิจวิจารณ์ — เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช 161
มล.จันทรศรี อภิเมธีธำรง — ข้อคิดเกี่ยวกับความน่าจะเป็น 167
ปรีชา อมาตยกุล — ประสบการณ์เกี่ยวกับสารอันตราย 172
กิตติ อมรรักษา — วิตามินซีกับสุขภาพ 179
วิวัฒน์ ทาญวจนวงศ์ — ฟีโรโมน : วิถีทางใหม่ในการควบคุมแมลง 184
สุรินทร์ ชนาบศักดิ์ — เบอร์กินรวบ 189
เสาวนิต ทองพิมพ์ — เกลือ : สารที่ใช้ในการถนอมอาหาร 192

บทความพิเศษ

สามารถ อังศุสิงห์ — การสร้างกล้องดาราศัพท์ด้วยตนเอง : ตอนที่ 2 197

งานวิจัย

ประนอม จันทรโณทัย — การศึกษาทางอนุกรมวิธานของพรรณไม้วงศ์ Amaranthaceae ในมหาวิทยาลัยขอนแก่น 206


## ปีที่ 11 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2526


บทความวิทยาศาสตร์

วลัยรัศมี ศรีรุ่งเรือง
สุรศักดิ์ สุจริตวณิชพงศ์ — การเตรียมและการศึกษาสภาวะการเตรียมลิโทโพนจากแร่แบไรท์ 216

ปีที่ 11 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2526 (ต่อ)


| | | |
|---|---|---|
| ละออศรี เสนาะเมือง | สัตว์โบราณที่ยังมีชีวิตอยู่ : ตอนปลาซีลาแคนท์ | 224 |
| ณัฐวุฒิ ธานี | ผงซักฟอกกับปัญหาสภาวะแวดล้อม | 229 |
| กุลวดี รังษีวัฒนานนท์ | โฟโตเคมีและเบียร์ (Photochemistry and Beer) | 237 |
| พาณี วรรณนิธิกุล | ต่อมพิษของคางคกบ้าน | 241 |
| บทความพิเศษ | | |
| สามารถ อังศุสิงห์ | การสร้างกล้องดาราศาสตร์ด้วยตนเอง : ตอนที่ 3 | 247 |
| งานวิจัย | | |
| มนตรี บุญเสนอ | การสำรวจแหล่งแร่เศรษฐกิจในบริเวณจังหวัดเลย และจังหวัดอื่น ๆ ในภาคอีสาน | 259 |
| เสาวนิต ทองพิมพ์ R.R. Beumer E.H. Kampelmacher | การสำรวจหาเชื้อซัลโมเนลลาใน "ฟิเลท์ อเมริเคน" Examination of Salmonella from "filet americain" | 267 |

# ข้อแนะนำในการเขียนบทความลงวารสาร "วิทยาศาสตร์ มข."

## ประเภทของเรื่องที่จะตีพิมพ์

1. รายงานผลวิจัยและค้นคว้าหรือการสำรวจที่ยังไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสืออื่นมาก่อน

2. บทความปริทัศน์ ได้แก่งานเขียนที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากเอกสารหรือหนังสือต่าง ๆ เพื่อเผยแพร่และฟื้นฟูงานด้านวิชาการระดับต่าง ๆ

3. บทความแสดงข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในด้านวิชาการ เรื่องแปล ข่าว วิชาการย่อความจากงานวิจัยค้นคว้าหรือหนังสือใหม่ที่น่าสนใจ

## รูปแบบของการเขียนและการเตรียมต้นฉบับ

1. ชื่อเรื่อง ให้ใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษไม่ยาวเกินไป และหลีกเลี่ยงการใช้คำย่อโดยไม่จำเป็น

2. ชื่อผู้เขียน เขียนชื่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษพร้อมทั้งบอกสถานที่ทำงานให้ชัดเจน

3. เนื้อเรื่อง ใช้ได้ทั้งภาษาไทยล้วนหรือภาษาอังกฤษล้วน ถ้าใช้ภาษาไทยศัพท์ภาษาอังกฤษที่ใช้ปนกับภาษาไทยนั้น ให้พยายามแปลเป็นไทยเท่าที่จะทำได้และให้เขียนคำเดิมกำกับในวงเล็บ การทับศัพท์ภาษาอังกฤษ ตลอดทั้งการเขียนตัวสะกดการันต์ในภาษาไทยให้ใช้ตามแบบราชบัณฑิตยสถาน

4. บทความวิจัย ควรมีบทคัดย่อและแบ่งเนื้อหาของบทความเป็นบทนำ วิธีดำเนินงาน ผลการวิเคราะห์ บทสรุป และวิจารณ์

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

6. ตารางและภาพประกอบ คำบรรยายประกอบตารางหรือภาพประกอบควรจะสั้นและชัดเจน ถ้าจะเป็นภาพถ่ายให้ใช้ภาพขาว-ดำ ขนาดโปสต์การ์ด ภาพเขียนลายเส้นควรเขียนด้วยหมึกสีดำ ภาพที่เขียนต้องชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสม

7. การตรวจทานต้นฉบับ ก่อนส่งต้นฉบับ ผู้เขียนควรตรวจทานความถูกต้องชัดเจนของบทความทั้งด้านเนื้อหาและการใช้ภาษาโดยเฉพาะเมื่อมีการแสดงตาราง แผนภูมิ หรือใช้สัญลักษณ์เฉพาะมาประกอบการเขียนบทความนั้น

8. การส่งต้นฉบับ พิมพ์ต้นฉบับลงในกระดาษขาว 8 × 11 นิ้ว (โรเนียวสั้น) โดยใช้กระดาษหน้าเดียว ส่งต้นฉบับมาที่ : กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ มข.

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## เอกสารอ้างอิง

การอ้างถึงเอกสารอ้างอิงในบทความอาจทำได้ 2 แบบ ตามความนิยม คือ

I) ใส่หมายเลขเอกสารอ้างอิงไว้ในเครื่องหมายวงเล็บเช่น "จากผลงานวิจัย ของ G.A. Somorjai (1)....."

II) ใส่ชื่อผู้แต่งของเอกสารนั้นพร้อมทั้งปีที่พิมพ์ไว้ในเครื่องหมายวงเล็บเช่น "ต่อจากนั้นก็นำสไลด์ไปย้อมในสารย้อมสี Giemasa ซึ่งมี pH ประมาณ 7 (Arrighi and Hsu, 1971)....."

การจัดเรียงรายชื่อเอกสารอ้างอิงในตอนท้ายของบทความจึงอาจจัดได้ 2 แบบ คือเรียงตามลำดับหมายเลข หรือเรียงตามลำดับตัวอักษร ถ้าเรียงตามลำดับตัวอักษรให้เรียงรายชื่อผู้แต่งภาษาไทยก่อนแล้วจึงเรียงลำดับผู้แต่งที่เป็นภาษาอังกฤษ ชื่อผู้แต่งภาษาไทยให้ขึ้นต้นด้วยชื่อตัวก่อนชื่อสกุล ชื่อผู้แต่งภาษาอังกฤษให้เรียงชื่อสกุลก่อนชื่อตัว ในการอ้างถึงเอกสารอ้างอิงแต่ละชิ้นไม่ว่าจะเป็นแบบเรียงตามหมายเลขหรือเรียงตามลำดับตัวอักษรควรปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ต่อไปนี้

1) เอกสารอ้างอิงที่เป็นหนังสือควรใส่ชื่อผู้แต่ง, ชื่อหนังสือ พร้อมทั้งขีดเส้นใต้ชื่อหนังสือ,ชื่อสำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์ ครั้งที่พิมพ์, ปีที่พิมพ์ในเครื่องหมายวงเล็บ, และหน้าที่ใช้อ้างอิง เช่น

จารุพันธ์ ทองแถม ม.ล. <u>เพิร์น : การปลูกเลี้ยงและการใช้ประโยชน์</u>, โรงพิมพ์ชวนชื่น, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 1 (2523) หน้า 7 - 45.

Vogel, A.I., <u>A Text Book of Quantitative Inorganic Analysis</u>, Longmans, Green and Co. Ltd., London, 3rd edition (1961), Page 61-65.

2) เอกสารอ้างอิงที่มาจากหนังสือที่มีบรรณาธิการ ให้อ้างชื่อผู้แต่ง,ชื่อหนังสือพร้อมทั้งขีดเส้นใต้, ชื่อบรรณาธิการ, ชื่อสำนักพิมพ์, เมืองที่พิมพ์ ครั้งที่พิมพ์ ปีที่พิมพ์ในเครื่องหมายวงเล็บและหน้าที่ใช้อ้างอิง เช่น

Emsley, J., in <u>The Charackrization of Metal Surfaces</u>,Gregory, J.M., and Dawson B. E., eds., Academic Press, New York, 1st edition(1975), Page 275-302.

3) เอกสารอ้างอิงที่มาจากวารสารให้อ้างชื่อผู้แต่ง, ชื่อหัวข้อเรื่องในเครื่องหมายอัญประกาศ, ชื่อวารสารพร้อมทั้งขีดเส้นใต้, หมายเลขปีที่ (volume number) หมายเลขเล่มที่ (issue number) ในเครื่องหมายวงเล็บ, หน้าที่ใช้อ้างอิงและปีที่พิมพ์ในเครื่องหมายวงเล็บ เช่น

โชติ จิตรังษี, "การติดต่อสื่อสารด้วยสารเคมีในแมลง", <u>วิทยาศาสตร์ มข.</u>8(2), 1-12 (2523)

ในบางกรณีอาจไม่จำเป็นต้องเอ่ยถึงชื่อหัวข้อเรื่องก็ได้ เช่น

Zajone, R.B., <u>Science</u> 192 (4236), 227-235 (1976).

4) วิทยานิพนธ์ ให้อ้างชื่อผู้เขียน, หัวข้อวิทยานิพนธ์พร้อมทั้งขีดเส้นใต้, ชื่อมหาวิทยาลัย, ชื่อเมือง, และปีที่พิมพ์เช่น

Philip, O.C., Ph.D. Thesis, The Influence of Ovid-on Lucan's Bellum Civile, University of Chicago, Chicago, (1962).

อนึ่งในกรณีที่อ้างถึงชื่อผู้แต่งและชื่อปีที่พิมพ์ในบทความ อาจย้ายตำแหน่งของปีที่พิมพ์จากท้ายสุดมาไว้หลังชื่อผู้แต่ง เช่น

จารุพันธ์ ทองแถม ม.ล., 2523 เฟิร์น : การปลูกเลี้ยงและการใช้ประโยชน์, โรงพิมพ์ชวนชื่น, กรุงเทพฯ พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า 7-45

Zajone, R.B., 1976, Science, 192 (4236), 222-235.

## สิทธิของกองบรรณาธิการ

1) กองบรรณาธิการจะพิจารณาคัดเลือกและแก้ไขเรื่องหรือบทความใด ๆ เพื่อตีพิมพ์ในวารสาร ทั้งนี้เพื่อความถูกต้องเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ และมาตรฐานของวารสาร

2) กองบรรณาธิการจะไม่ส่งต้นฉบับคืน

พิมพ์ที่ : โรงพิมพ์ศิริภัณฑ์ออฟเซ็ท ซอยแก่น โทร.236141 นายอารีย์ หลวิจิตร ผู้พิมพ์โฆษณา
(ข้างทันตแพทย์อิน และนวกิจวิศวกรรม ถนนหลังเมือง)

# โรงเรียน
# ส่งเสริมคอมพิวเตอร์
# SONG SERM COMPUTER SCHOOL

**ในความควบคุมของกระทรวงศึกษาธิการ**

641–646 ถนนศรีจันทร์ อ.เมือง จ.ขอนแก่น
โทร. (043) 238888

โรงเรียนส่งเสริมคอมพิวเตอร์ อำนวยการสอนโดย อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น และเป็นสถาบันการสอนคอมพิวเตอร์ ที่มีอุปกรณ์การสอนที่ทันสมัย เพียงพอกับจำนวนนักเรียน

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสอน

**SUPERBRAIN II** *จากสหรัฐอเมริกา*

<u>อนาคตของผู้สำเร็จการศึกษาด้านคอมพิวเตอร์</u>

- เมื่อจบ COURSE I สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ได้ และสามารถเขียนโปรแกรม สั่งให้เครื่องทำงานได้อีกด้วย
- เข้าทำงานตามหน่วยงานต่าง ๆ ที่ใช้คอมพิวเตอร์ได้ทันที เช่น ธนาคาร, หน่วยงานราชการ, บริษัทที่มีระบบงานทางคอมพิวเตอร์
- ความต้องการของตลาด ผู้มีความรู้คอมพิวเตอร์ ปัจจุบันเพิ่มมากขึ้นจึงเป็นหลักประกันว่า เมื่อจบแล้วจะมีงานทำทันที

<u>หลักสูตรที่เปิดสอน</u>

**<u>COURSE I</u>** - INTRODUCTION TO MICRO-COMPUTER AND PROGRAMME FLOWCHART
- BASIC PROGRAMMING

● จบ COURSE I สามารถทำงานใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทันที ●

**<u>COURSE II</u>** - BASIC PROGRAMMING FOR SCIENCE
- BASIC PROGRAMMING FOR BUSINESS

● ศึกษาการเขียนโปรแกรมทางธุรกิจ และวิทยาศาสตร์ เพื่อเป็นนักเขียนโปรแกรม

**<u>COURSE III</u>** - CP/M OPERATING SYSTEM
- DISK OPERATING SYSTEM

● ศึกษาการใช้ CP/M และคำสั่งต่าง ๆ และศึกษาการสร้าง FILE โดยใช้ DISK

**เมื่อเรียนจบ 3 COUSE นี้ จะสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานได้จริง ทั้งทางธุรกิจและวิทยาศาสตร์**

<u>ประกาศนียบัตร</u>

เรียนจบจากโรงเรียนส่งเสริมคอมพิวเตอร์ จะได้รับใบประกาศนียบัตร กระทรวงศึกษาธิการรับรอง

<u>เวลาเรียนปกติ</u>

จันทร์–ศุกร์ 17.30–19.30 น.

เสาร์–อาทิตย์ 09.00–12.00 น., 13.00–16.00 น.

<u>หลักสูตรระยะสั้น เปิดรับสมัครทุกเดือน</u>

**● อนาคตก้าวหน้า ถ้าเรียนคอมพิวเตอร์ ●**