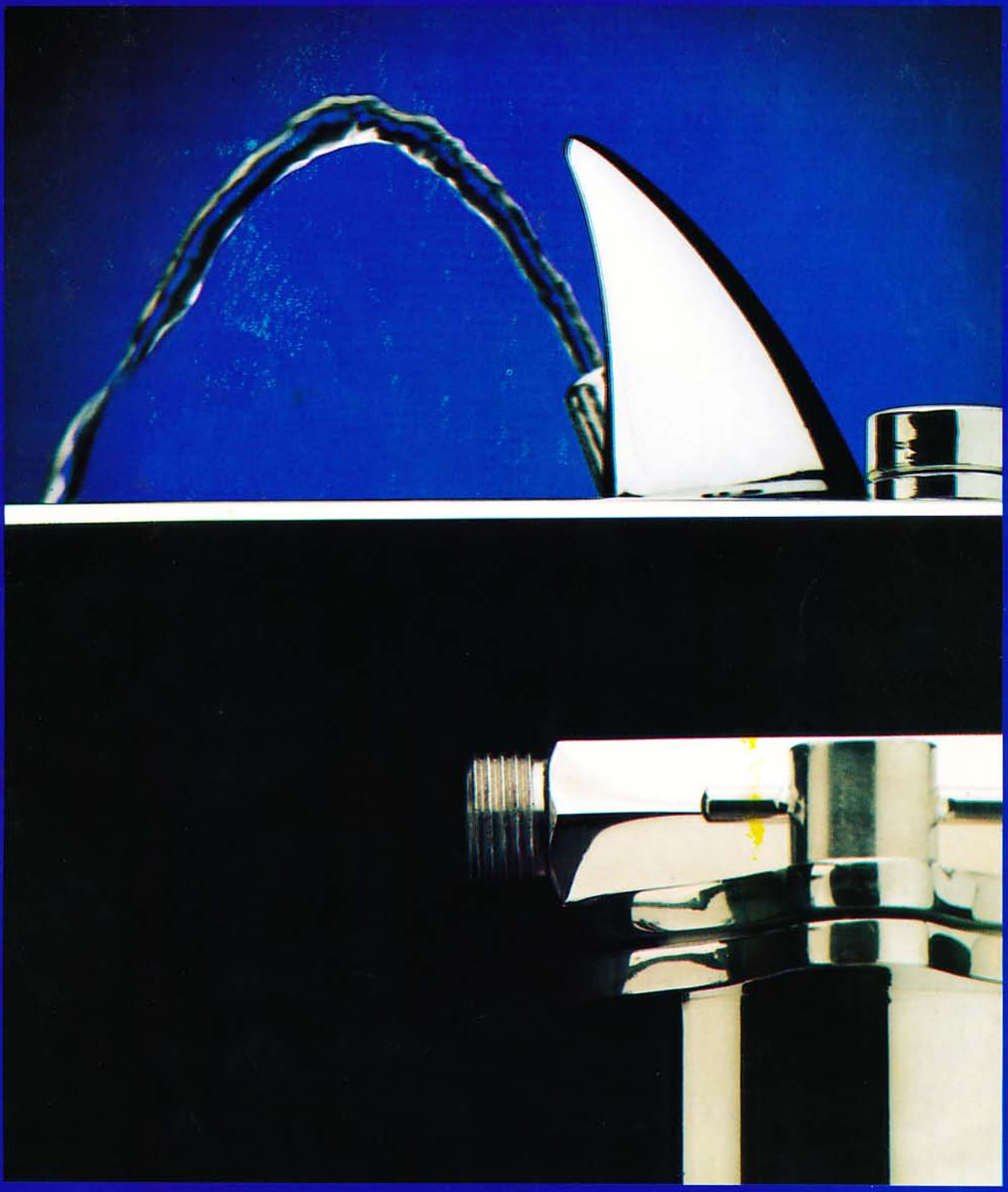
ISSN 7684-7543



วา

วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ

ปีที่ 41 ฉบับที่ 131 มกราคม 2536
วารสารรายสี่เดือน

สุขใจ ในการพัฒนา ๑

วิทยาศาสตร์ เป็นเครื่องมือในการใช้งาน ๑

สมเกียรติ ศุภวรไชยกุล


**จัดทำและเผยแพร่โดย**
**ฝ่ายเผยแพร่และประชาสัมพันธ์**
**สำนักงานเลขานุการกรม**
**กรมวิทยาศาสตร์บริการ**
**ถนนพระราม 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400**
**โทร. 2455523**


# สารบัญ


เลือกซื้อเครื่องกรองน้ำดื่มอย่างไรดี
เพ็ญพิชชา ทองมา : กองสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3

สารทดแทน CFCs ในศตวรรษที่ 21
ดร.สุทธิเวช ต.แสงจันทร์ : กองเคมี
6

เหล็กเส้นที่ใช้ในการก่อสร้าง
ประดับ สว่างศรี : กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
10

การศึกษาค่าความทรงรูปที่เหมาะสมของกระดาษอัดสำเนา
ยุทธนาพงศ์ แดงเพ็ง, ธีรชัย รัตนโรจน์มงคล
นภาวรรณ แสงบำรุง, จิระศักดิ์ ชัยสนิท : กองการวิจัย
14

การเก็บรักษาไข่และผลิตภัณฑ์จากไข่
อำนวย สุขเหมือน : กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ
21

หลักการและประโยชน์ของ GC-MS
เรืองศิลป์ จินตนาสมบัติ : กองการศึกษาเคมีปฏิบัติ
23

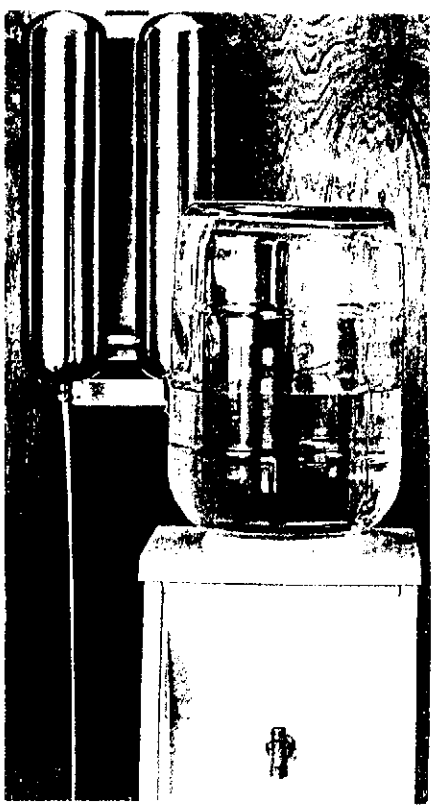
ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์
ดร.สุจินดา โชติพานิช : กองการวิจัย
25

ซีโอไลท์ (Zeolite)
สุนี ลาวัณยากุล : กองเคมี
28

เทคโนโลยีการทำแม่พิมพ์ซิลค์สกรีน
สุชาติ ปลดเปลื้อง : กองการวิจัย
31

# เลือกซื้อเครื่องกรองน้ำดื่มอย่างไรดี

*เพ็ญพิชชา ทองมา*



น้ำบริโภคเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่งต่อสุขภาพ ร่างกายของคนเรามีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 60-70 โดยน้ำหนัก เพื่อทำให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในร่างกายดำเนินไปอย่างปกติ การบริโภคน้ำที่ไม่สะอาดจึงเป็นสื่อสำคัญที่จะนำเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย เนื่องจากเป็นแหล่งของแบคทีเรีย โปรโตซัว และไวรัส ซึ่งก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้แก่ โรคระบบทางเดินอาหาร โรคท้องร่วง โรคลำไส้อักเสบ โรคไทฟอยด์ อหิวาตกโรค โรคตับอับเสบ วัณโรค ฯลฯ โรคต่าง ๆ ดังกล่าวมีสาเหตุสำคัญเกิดจากเชื้อโรคที่ปนเปื้อนมาจากแหล่งสกปรก เช่น อุจจาระของคนและสัตว์ เลือดอุ่น แม่น้ำ ลำคลอง และการปฏิบัติไม่ถูกสุขลักษณะของคนงานที่ไอ จาม แคะ แกะ หรือเกาบาดแผลที่เป็นหนองตามนิ้วมือหรือผิวหนัง ในโรงงานที่ผลิตน้ำบริโภค โดยเฉพาะโรงงานที่ใช้แรงงานคนเป็นส่วนใหญ่ และไม่มีการควบคุมคุณภาพที่ดีพอ แม้ว่าคนส่วนใหญ่จะหันไปบริโภคน้ำดื่มบรรจุขวดกันเป็นจำนวนมาก ก็ไม่อาจแน่ใจได้ว่าได้น้ำบริโภคที่มีคุณภาพดี บางครั้งยังพบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดบางยี่ห้อมีปริมาณของเชื้อโรคปะปนมามากกว่าน้ำประปาเสียอีก สำหรับผู้บริโภคที่พักในที่อยู่อาศัยนั้นมีสิทธิ์ที่จะเลือกซื้อได้จากบริษัทผู้ผลิตเฉพาะที่มีคุณภาพดี แต่ผู้บริโภคที่ใช้บริการร้านอาหารแทบจะไม่มีสิทธิ์เลือกได้เลย ทั้งนี้เนื่องจากร้านค้าดังกล่าวหลายแห่งผูกขาดเฉพาะน้ำดื่มบรรจุขวดจากผู้ผลิตบางรายที่ซื้อได้ในราคาถูก แล้วจำหน่ายในราคาเท่ากับน้ำดื่มที่มีคุณภาพมาตรฐาน โดยมิได้คำนึงถึงคุณภาพของน้ำและความปลอดภัยของผู้บริโภคแต่อย่างใด ซึ่งในกรณีนี้ผู้บริโภคจึงตกอยู่ในสภาวะจำยอมที่ต้องถูกเอาเปรียบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

การเลือกน้ำบริโภคนั้น นอกจากซื้อน้ำดื่มบรรจุขวดแล้ว ยังมีผู้บริโภคอีกกลุ่มหนึ่งที่หันมาต้มน้ำประปาเพื่อการบริโภคแทน แต่การต้มก็ไม่สามารถขจัดตะกอน สารแขวนลอย และสารประกอบคลอรีนที่ตกค้างมากับกระบวนการผลิตน้ำประปา ซึ่งสารประกอบคลอรีนนี้เป็นพิษต่อผู้ใช้น้ำ ดังนั้นการบริโภคน้ำโดยวิธีดังกล่าวจึงควรมีการกำจัดตะกอน สารประกอบคลอรีน และสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ที่ปนมากับน้ำ โดยการติดตั้งเครื่องกรองน้ำเข้ากับท่อประปาเสียก่อน

การกรองน้ำ หมายถึง การกำจัดความขุ่นของอนุภาคสิ่งสกปรกที่มีขนาดเล็กมาก อนุภาคเหล่านี้จะมีน้ำหนักเบา ซึ่งจะไปตกตะกอนในถังตะกอนในขั้นตอนการผลิตน้ำประปา การกรองน้ำมี 2 ลักษณะคือ

1. การกรองแบบติดผิวชั้นกรอง (Surface filtration) ได้แก่ การกรองโดยใช้แผ่นกรอง แท่นกรอง และใช้สารกรองชั่วคราว

1.1 การกรองโดยใช้แผ่นกรอง แผ่นกรองอาจเป็นผ้าหรือแผ่นโลหะเบา ๆ หรือแผ่นใยสังเคราะห์

1.2 การกรองแบบใช้แท่งกรองหรือไส้กรอง แท่งกรองหรือไส้กรองเป็นแท่งวัตถุที่มีรูพรุนขนาดเล็กยอมให้น้ำไหลผ่านได้ แต่อนุภาคของสิ่งสกปรกต่าง ๆ จะติดค้างอยู่ที่ผิวของแท่งกรอง แท่งกรองแบบนี้ใช้ติดที่หัวก๊อกน้ำประปา เมื่อใช้ไปสักระยะหนึ่งต้องนำออกมาล้างแล้วใช้ใหม่

1.3 การกรองแบบใช้สารกรองชั่วคราว ใช้กำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก หรืออนุภาคของน้ำมันและยังสามารถกำจัดแบคทีเรียได้ด้วย วิธีนี้เหมาะสำหรับใช้กับน้ำที่มีปริมาณไม่มากนักและต้องเป็นน้ำที่ค่อนข้างสะอาด มีสิ่งเจือปนน้อย ควรเลือกใช้วิธีนี้เมื่อต้องการน้ำที่สะอาดมาก ๆ การกรองชนิดนี้จะฉาบผิวเครื่องกรองด้วยสารไดอะโตมาเชียสเอิร์ท (diatomaceous earth) ให้มีความหนาประมาณ 3.5 มม. เมื่อกรองน้ำจนกระทั่งอุดตัน สารกรองจะหมดประสิทธิภาพ ต้องขูดออกทิ้งไป

2. การกรองแบบติดค้างในชั้นกรอง (filtration through a filter-bed) เป็นการกรองโดยให้น้ำไหลผ่านตัวกลาง (media) ที่มีรูพรุน เช่น ทราย ถ่าน กรวด หรือตัวกลางอื่น ๆ ที่มีรูปร่างเป็นเม็ด น้ำจะไหลแทรกไปตามรูพรุนของตัวกลางจนเต็ม และไหลทะลุผ่านช่องว่างของรูพรุนไปได้ โดยสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำจะติดค้างอยู่ตามช่องว่างของตัวกลาง ความสามารถในการกรองชนิดนี้ขึ้นกับขนาดของตัวกลาง และอัตราการไหลของน้ำ ถ้าน้ำไหลเร็วมากเกินไปประสิทธิภาพการกรองจะลดลง

ส่วนประกอบของเครื่องกรองน้ำ เครื่องกรองน้ำมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ตัวเครื่องและสารกรอง

**ตัวเครื่อง** ส่วนใหญ่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) นอกจากนี้อาจทำด้วยสารสังเคราะห์ เช่น โพลีโพรพิลีน (polypropylene) ภายในตัวเครื่องจะบรรจุสารกรองไว้

**สารกรอง** มีหน้าที่กำจัดความขุ่น ความกระด้าง สี กลิ่น สารแขวนลอย อิออนต่าง ๆ ฯลฯ ออกจากน้ำ ซึ่งการกรองจะมีประสิทธิภาพดีเพียงใดนั้นขึ้นกับประเภทและชนิดของสารกรอง เครื่องกรองอาจบรรจุสารกรองตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการกรอง

## เครื่องกรองแบ่งตามประเภทของการจัดเรียงสารกรอง ได้ดังนี้

**1. เครื่องกรองสารกรองชนิดเดียว** นิยมใช้ทรายเป็นสารกรอง มีการจัดเรียงโดยเม็ดเล็กเรียงอยู่ด้านบนเม็ดใหญ่เรียงอยู่ด้านล่าง ประสิทธิภาพของการกรองอยู่ที่ผิวของชั้นทรายกรองประมาณ 2-3 นิ้วเท่านั้น และเครื่องจะตันเร็ว ไม่เป็นที่นิยมใช้มากนัก

**2. เครื่องกรองสารกรองสองชนิด** สารกรองประเภทนี้นิยมใช้ทรายและถ่านแอนทราไซต์โดยจัดเรียงถ่านแอนทราไซต์อยู่ชั้นบนและทรายอยู่ชั้นล่าง (ถ่านแอนทราไซต์มีขนาด 1.0 มม. ความถ่วงจำเพาะ 1.50 ทรายมีขนาด 0.5 มม. ความถ่วงจำเพาะ 2.65) การจัดเรียงแบบนี้มีประสิทธิภาพการกรองดีกว่าแบบใช้สารกรองชนิดเดียว

**3. เครื่องกรองสารกรองหลายชนิด** สารกรองที่นิยมใช้ได้แก่ ทราย ถ่านแอนทราไซต์ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ฯลฯ ส่วนใหญ่นิยมใช้สารกรองตั้งแต่ 3 ชนิดขึ้นไป และการกรองจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า 2 ประเภทแรก ทั้งนี้การเรียงสารจะต้องเรียงจากสารเม็ดเล็กอยู่ด้านล่างและสารเม็ดใหญ่อยู่ด้านบน

## สารกรองแบ่งตามชนิดได้ดังนี้

1. **ทราย** (sand) มีหน้าที่กรองความขุ่น สิ่งสกปรก ฝุ่นละออง ตะกอนต่าง ๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ทรายที่จะนำมาใช้กรองต้องทำความสะอาดก่อนและแช่กรดเกลือเข้มข้นประมาณ 20-24 ชม. เพื่อกำจัดหินปูนที่พอกอยู่บนเม็ดทราย ความละเอียดของการกรองขึ้นกับขนาดของทราย ที่นิยมใช้จะมีขนาด 0.2-0.4 มม.

2. **ถ่านแอนทราไซต์** (anthracite coal) ใช้กรองความขุ่นและตะกอนต่าง ๆ เช่นเดียวกับทราย แต่มีข้อดีกว่าทรายคือ การกรองโดยถ่านแอนทราไซต์จะไม่มีซิลิกา (silica) หลุดรอดออกไปกับน้ำที่กรองได้ ซิลิกานี้เป็นตัวทำให้เกิดตะกอนแข็งในหม้อน้ำและล้างออกได้ยาก อุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการซิลิกาจึงนิยมใช้ถ่านแอนทราไซต์ในเครื่องกรอง

3. **ไดอะโตมาเชียส เอิร์ท** (diatomaceous earth) เป็นสารชนิดผงที่เกิดจากพวกไดอะตอม (diatom) ซึ่งเป็นซากพืชซากสัตว์ที่ตายแล้วไม่เน่าสลาย (fossil) ใช้กรองแบคทีเรีย โดยปกติจะใช้ผงกรองชนิดนี้ประมาณ 1.0-2.0 ออนซ์ ต่อพื้นที่กรอง 1 ตารางฟุต สามารถกรองน้ำได้ประมาณ 1,000 แกลลอนต่อผงกรอง 5-50 ออนซ์ และการกรองจะมีประสิทธิภาพดีต้องใช้กรองน้ำที่มีความขุ่นไม่เกิน 200 ppm.

4. **ถ่านกัมมันต์** (activated carbon) เป็นสารกรองเช่นเดียวกับถ่านแอนทราไซต์ แต่สามารถกำจัดกลิ่น สี รส และอิออนต่าง ๆ ของเหล็กและแมงกานีส โดยการดูดซับ (absorb) สารต่าง ๆ และคอลลอยด์ (colloids) ไว้ในรูพรุนจำนวนมากมายที่พื้นผิว นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ยังสามารถดูดซึมคลอรีนทั้งในรูปของคลอรีนอิสระและสารประกอบตกค้างได้อีกด้วย

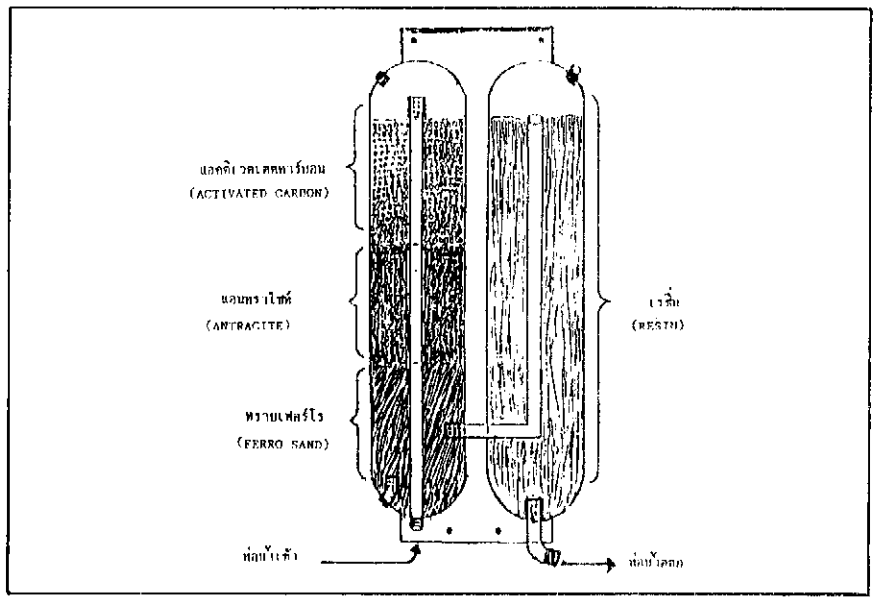
5. **สารกรองไฟเบอร์** (fibre filter) ใช้กรองความขุ่นและตะกอนในเครื่องกรองแบบใช้ความดัน ไส้กรองทำด้วยไนลอน ด้วย เซลลูโลสอะซิเตต เศษโลหะอัดตัวแน่น กระดาษ และผ้า การใช้สารกรองชนิดนี้ต้องเลือกใช้กับงานให้เหมาะสม สำหรับไส้กรองที่ทำด้วยเศษโลหะอัดตัวแน่นจะสามารถกรองน้ำกรดและน้ำด่างได้ด้วย

6. **ทรายเฟอรโร** (ferro sand) เป็นทรายชนิดพิเศษ ได้มาจาก green sand zeolite ที่ทำให้บริสุทธิ์ มีวิธีใช้เช่นเดียวกับทราย มีขนาดตั้งแต่ 16-60 เมช (mesh) สามารถกรองเหล็กแมงกานีส ไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารอินทรีย์ได้ด้วย สารกรองชนิดนี้เมื่อใช้ไปนาน ๆ จะเสื่อมสภาพ สามารถทำให้มีประสิทธิภาพเท่าเดิมโดยล้างด้วยด่างทับทิม หรือคลอรีน หรือวิธีเป่าอากาศลงในน้ำ

7. **เรซิน** (resin) เป็นสารสังเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ ใช้กำจัดอิออนต่าง ๆ ที่แตกตัวอยู่ในน้ำซึ่งเป็นสาเหตุของน้ำกระด้าง เรซินนี้เมื่อใช้ไปนาน ๆ จะหมดความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออน ต้องมีการล้างด้วยสาร

ละลายที่เหมาะสม เช่น น้ำเกลือ สำหรับระยะของการล้างขึ้นกับปริมาณการใช้ส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานตั้งแต่ 6 เดือนถึง $1\frac{1}{2}$ ปี

คุณลักษณะของเครื่องกรองที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยทั่วไป ส่วนใหญ่จะเป็นแบบท่อคู่ โดยท่อแรกจะเป็นทางน้ำเข้า บรรจุสารกรองตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ แอนทราไซต์ ทรายเฟอร์โรและสารกรองชนิดอื่น ๆ เพื่อกำจัดตะกอน สารแขวนลอย กลิ่น สี รส และคลอรีนในน้ำก่อนที่จะส่งต่อไปยังท่อที่สอง ท่อตัวที่สองนี้นิยมบรรจุพวกเรซินไว้ทั้งหมด เพื่อเป็นการกำจัดอิออนต่าง ๆ ออกจากน้ำ




## คุณภาพของน้ำจากเครื่องกรองน้ำกับการบริโภค

น้ำที่ผ่านการกรองจากเครื่องกรองแล้วเข้าเครื่องกรองมีประสิทธิภาพดีจะได้น้ำกรองที่สะอาดใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสารแขวนลอย หรือตะกอนใด ๆ เจือปน แต่ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นน้ำที่ปราศจากเชื้อโรค ดังนั้นการนำน้ำจากเครื่องกรองมาใช้ในการบริโภค จึงควรทำการต้มให้เดือดเป็นระยะเวลาประมาณ 20 นาที จึงจะสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่ปนมากับน้ำให้หมดไป

## การเลือกซื้อเครื่องกรองน้ำ

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการตัดสินใจเลือกซื้อเครื่องกรอง ได้แก่

1. จุดประสงค์ในการซื้อเครื่องกรองน้ำเพื่อการกำจัดอะไร เช่น ความขุ่น ตะกอน กลิ่น สี รส หินปูน คลอรีน เชื้อจุลินทรีย์ สนิมเหล็ก ความกระด้าง อิออนต่าง ๆ ทั้งนี้ต้องสังเกตจากน้ำที่จะนำมากรองว่ามีลักษณะเช่นใด ก็เลือกใช้สารกรองตามชนิดและความสามารถในการกรอง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

2. ปริมาณน้ำที่ต้องการกรอง หากต้องการกรองน้ำปริมาณมาก ควรเลือกเครื่องกรองที่มีขนาดใหญ่ และบรรจุสารกรองในปริมาณที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่จะกรอง แต่ถ้าต้องการกรองน้ำในปริมาณน้อย ควรเลือกใช้เครื่องกรองขนาดเล็กก็เพียงพอ และเครื่องกรองขนาดเล็กมักจะมีราคาถูกกว่าเครื่องกรองขนาดใหญ่

3. วัสดุที่ใช้ทำเป็นตัวเครื่องกรอง ควรเป็นวัสดุที่มีความทนทาน ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค จากการสำรวจพบว่าเหล็กไร้สนิม (stainless steel) ได้รับความนิยมสูงสุด ส่วนตัวเครื่องที่ทำจากวัสดุพวกพลาสติกนั้น ควรตรวจสอบก่อนว่าเป็นพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหารได้หรือไม่ หากสงสัยควรสอบถามจากบริษัทผู้จำหน่าย หรือผู้ที่มีความรู้ทางด้านนี้

4. ผู้ซื้อควรตรวจสอบว่าบริษัทผู้จำหน่ายเครื่องกรองน้ำได้รับการรับรองคุณภาพน้ำจากเครื่องกรองว่าเป็นน้ำบริโภคมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จากหน่วยงานใดหน่วยงานหนึ่งดังต่อไปนี้หรือไม่ อันได้แก่ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) องค์การอาหารและยา (อย.) กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ และกรมวิทยาศาสตร์บริการ

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในการเลือกซื้อเครื่องกรอง ควรพิจารณาในทุก ๆ ประเด็นประกอบกันและในขณะนี้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำลังเร่งดำเนินการร่างมาตรฐานของเครื่องกรองน้ำเพื่อให้เครื่องกรองน้ำที่ผลิตขึ้นมาจำหน่ายมีคุณภาพตามมาตรฐานกำหนด อันจะเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจเลือกซื้อเครื่องกรองน้ำได้ดียิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง


1. ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ เอกสารประกอบการสอน คณะวิชาเทคนิคเคมี วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ
2. เทคโนโลยี เอกสารเพื่อการเผยแพร่. "เรื่องของน้ำดื่มบรรจุขวด" มิถุนายน 2530 : 6-12
3. ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ "แบคทีเรียเกี่ยวข้องกับน้ำบริโภคอย่างไร" วารสารอุตสาหกรรมเกษตร (กันยายน-ธันวาคม 2533) : 46-49
4. ไพรัตน์ โสภโณดร "คุณภาพน้ำบริโภค" วารสารอาหารและอุตสาหกรรมเกษตร กรกฎาคม 2532 : 61-67
5. พงษ์ธร จรัญญากรณ์ "เครื่องกรองน้ำ" ทักษะ พฤศจิกายน 2535 : 66-67
6. วารุณี ปาละกูล และคณะ "การสำรวจสุขลักษณะของน้ำบริโภคบรรจุขวดที่จำหน่ายในประเทศ" วารสารของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ปีที่ 29 ฉบับที่ 1-4, 2530 : 345-351
7. วรรณวิภา ชุณหวงศ์ "น้ำดื่มน้ำใช้" นิตยสารยาสูบ กันยายน-ตุลาคม 2530 : 21-23
8. สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี "เครื่องกรองน้ำ" สคบ.สาร มิถุนายน : 6-7
9. Degremont. **Water treatment handbook.** 5th ed. New York : Halsted Press, 1979.

# สารทดแทน CFCs ในศตวรรษที่ 21

*ดร.สุทธิเวช ต.แสงจันทร์*

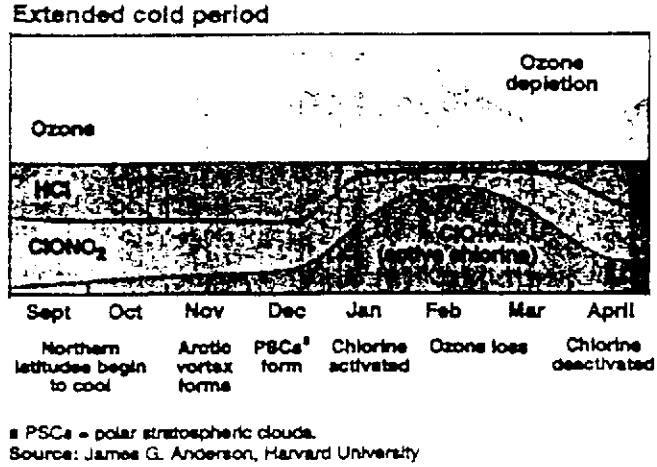
ในระยะ 60 ปีที่ผ่านมา สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนหรือที่เรียกว่า CFCs ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์มากยิ่งขึ้น มนุษย์รู้จักนำสาร CFCs มาใช้ให้เกิดประโยชน์นานัปการในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ เครื่องดับเพลิง น้ำหอมปรับอากาศ และสารฆ่าแมลง เป็นต้น ความต้องการของสาร CFCs ในตลาดโลกได้เพิ่มปริมาณมากขึ้นเป็นลำดับ ในปีพ.ศ. 2521 ปริมาณการผลิตของโลกได้เพิ่มสูงถึงแปดแสนตันต่อปี อย่างไรก็ตามแนวโน้มของการผลิตสาร CFCs กำลังลดต่ำลงในอนาคตอันใกล้นี้ ซึ่งเป็นผลจากการรณรงค์ให้เลิกใช้สารเหล่านี้ และหาสารชนิดใหม่มาทดแทนในศตวรรษข้างหน้า การใช้อย่างสิ้นเปลืองและไม่ระมัดระวังของมนุษย์ที่ผ่านมา ได้ก่อให้เกิดการสะสมตัวของสาร CFCs ในชั้นบรรยากาศสตราโตเฟีย (stratophere) อย่างต่อเนื่องและเป็นระยะเวลานาน ซึ่งให้ผลกระทบโดยตรงต่อการทำลายชั้นโอโซน (ozone depletion) ในบรรยากาศชั้นบน นอกจากนี้ยังเป็นตัวการในการเกิดภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ในบรรยากาศชั้นล่างด้วย ปรากฏการณ์เหล่านี้กลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมของโลกที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ ในขณะนี้ทั่วโลกต่างให้ความสนใจต่อมหันตภัยของสาร CFCs อย่างจริงจัง และร่วมมือกันอย่างเต็มที่ในการใช้สารชนิดนี้อย่างประหยัดและปลอดภัย เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด พร้อมกันนี้ได้พยายามค้นหาสารอื่น ๆ มาทดแทนสาร CFCs โดยเร็วที่สุด

เนื่องจากสาร CFCs เป็นสารอินทรีย์ที่มีจุดเดือดต่ำ (ดูตารางที่ 1) ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่กัดกร่อน ไม่ระเบิด ไม่เป็นพิษโดยตรงต่อสิ่งที่มีชีวิต และมีเสถียรภาพสูง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเครื่องทำความเย็น ซึ่งแต่เดิมใช้ก๊าซแอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น แต่ก๊าซแอมโมเนียมีกลิ่นฉุนแสบจมูก กัดกร่อน เป็นพิษ และเป็นสารไวไฟ จึงก่อให้เกิดอันตรายได้ง่ายในระหว่างการใช้งาน ต่อมาได้หันมานิยมใช้สาร CFCs แทน และใช้ก๊าซแอมโนเนียเฉพาะในอุตสาหกรรมบางประเภทเท่านั้น เช่น โรงงานผลิตน้ำแข็ง เป็นต้น สารทำความเย็นที่นิยมใช้ในเครื่องทำความเย็นได้แก่ CFC 11, CFC 12, HCFC 21, HCFC 22 และ CFC 115 สารแต่ละตัวจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน และให้ความเย็นในช่วงอุณหภูมิต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้สารทำความเย็นจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของความเย็นที่ต้องการ และประเภทของเครื่องมือที่ใช้

**ตารางที่ 1 ชนิดต่าง ๆ ของสาร CFCs**

| ชื่อเคมี | สูตรโมเลกุล | ชื่อเฉพาะ | จุดเดือด,°ซ |
|---|---|---|---|
| 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane | $CCl_2F$-$CClF_2$ | CFC 113 | 47.57 |
| 1,2-dichloro-1,1-difluoroethane | $CH_2Cl$-$CClF_2$ | HCFC 132 | 46.8 |
| 1,1,1-trichloro-2,2,2-trifluoroethane | $CCl_3$-$CF_3$ | CFC 113A | 45.8 |
| 1,2-dichloro-1,1,2-trifluoroethane | $CHClF$-$CClF_2$ | HCFC 123 | 28.2 |
| trichlorofluoromethane | $CCl_3F$ | CFC 11 | 23.82 |
| dichlorofluoromethane | $CHCl_2F$ | HCFC 21 | 8.92 |
| 1-chloro-2,2,2-trifluoroethane | $CH_2Cl$-$CF_3$ | HCFC 133A | 6.1 |
| 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane | $CClF_2$-$CClF_2$ | CFC 114 | 3.77 |
| 1,1-dichloro-1,2,2,2-tetrafluoroethane | $CCl_2F$-$CF_3$ | CFC 114A | 3.6 |
| chlorofluoromethane | $CH_2ClF$ | HCFC 31 | -9.1 |
| 1-chloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane | $CClF_2$-$CHF_2$ | HCFC 124 | -10.2 |
| dichlorodifluoromethane | $CCl_2F_2$ | CFC 12 | -29.79 |
| 1-chloro-1,1,2,2,2-pentafluoroethane | $CClF_2$-$CF_3$ | CFC 115 | -39.1 |
| chlorodifluoromethane | $CHClF_2$ | HCFC 22 | 40.75 |
| chlorotrifluoromethane | $CClF_3$ | CFC 13 | -81.4 |

โดยทั่วไปเครื่องปรับอากาศที่ใช้ตามบ้านเรือนและในโรงงานอุตสาหกรรม จะเลือกใช้สาร CFC 11 ซึ่งสามารถให้ความเย็นได้ต่ำถึง 5°ซ สำหรับตู้เย็นและเครื่องคอมเพรสเซอร์ จะใช้สาร CFC 12 ซึ่งให้ความเย็นได้ต่ำถึง -20°ซ แต่เครื่องแช่แข็ง (deep freezer) และอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์บางประเภทจะใช้สาร HCFC-22 ซึ่งสามารถให้ความเย็นได้ในช่วงอุณหภูมิ -20° ถึง -40°ซ ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ของสาร CFCs ก็คือ สามารถใช้เป็นสารขับแรงดันในกระป๋องสเปรย์ (aerosol propellant) เช่นเดียวกับก๊าซปิโตรเลี่ยมเหลว (liquified petroleum gas หรือ LPG) ซึ่งเป็นสารไวไฟและให้แรงดันต่ำกว่า ดังนั้นสาร CFCs จึงให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงและมีความปลอดภัยมากกว่าก๊าซ LPG นอกจากนี้สาร CFCs ยังใช้ประโยชน์ในการผลิตโฟมชนิดต่าง ๆ เช่น โฟมโพลีสไตรีน (polystyrene foam) โฟมโพลียูรีเทน (polyurethane foam) และ โฟมโพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride foam) เป็นต้น ซึ่งนิยมใช้ CFC 11 และ CFC 12 เป็นสารเป่าโฟม (blowing agent) กล่าวคือ CFCs นี้จะทำหน้าที่ช่วยเร่งการเกิดฟอง และ รูพรุนภายในเนื้อพลาสติก วัสดุที่ได้จะมีน้ำหนักเบาและมีความยืดหยุ่นสูงซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น เบาะรองนั่ง พื้นรองเท้า ภาชนะบรรจุอาหาร และโฟมกันกระแทก เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการผลิตโฟมจำเป็นต้องใช้สารเป่าโฟมเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะเกิดการรั่วไหลของสาร CFCs สู่บรรยากาศได้มากที่สุด นอกจากหน้าที่ต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วสาร CFCs บางชนิดเช่น CFC 113 และ CFC 113 A ยังสามารถใช้เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ในการกำจัดคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกในเครื่องมือไฟฟ้าและอิเล็คทรอนิกส์ต่าง ๆ รวมทั้งใช้ในอุตสาหกรรมการซักแห้ง (dry-cleaning) สำหรับขนสัตว์ หนังสัตว์ และผ้าชนิดพิเศษซึ่งไม่ทนความร้อนด้วย




รูปที่ 1 ระดับความหนาของโอโซนและส่วนประกอบอื่น ๆ ในชั้นบรรยากาศสตราโตเฟียในแถบอาร์คติก

คุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของสาร CFCs ก็คือเป็นสารไม่ติดไฟ จึงสามารถนำมาใช้เป็นน้ำยาดับเพลิงได้ (fire-extinguishing agent) แต่การลดจำนวนคลอรีนอะตอมในสาร CFCs โดยการแทนที่ด้วยโบรมีนอะตอมจะทำให้มีคุณสมบัติเหมาะสมในการดับเพลิง และเพิ่มประสิทธิภาพให้ดีขึ้น ดังนั้นสารในกลุ่มนี้จะเป็นสารประเภทโบรโมฟลูออโรคาร์บอน (BFCs) หรือเรียกว่าสารฮาลอน (halon) (ดูตารางที่ 2) ซึ่งใช้เป็นน้ำยาดับเพลิงชนิดพิเศษสำหรับวัสดุที่ติดไฟง่ายและเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ นอกจากนี้สาร BFCs บางชนิดยังสามารถใช้เป็นยาสลบ (anaesthetics) ในทางการแพทย์ เช่น 1-chloro-1-bromo-2, 2, 2 -trifluoroethane (BFC 123B1) ซึ่งมีชื่อการค้าว่าฮาโลเทน (halothane) เป็นต้น

ถึงแม้ว่าสาร CFCs จะมีคุณประโยชน์มหาศาลต่อมวลมนุษย์ดังที่กล่าวมาแล้ว แต่สาร CFCs ส่วนใหญ่เป็นก๊าซที่เสถียรภาพมากและถูกทำลายได้เพียงเล็กน้อยโดยธรรมชาติ ทำให้มันสามารถลอยขึ้นไปอยู่ในชั้นบรรยากาศสตราโตเฟียได้เป็นเวลาหลายสิบปี ซึ่งอยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 20-25 กิโลเมตร และเป็นชั้นบรรยากาศของโอโซน ชั้นโอโซนที่เกิดขึ้นนี้มีคุณสมบัติในการกรองรังสีอัลตร้าไวโอเลตไม่ให้ผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศของโลก ทำให้มนุษย์สามารถหลีกเลี่ยงภัยอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเลตได้ ซึ่งเป็นสาเหตุของมะเร็งผิวหนังและต้อในตา อย่างไรก็ตามการสะสมตัวของสาร CFCs ได้ทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ชั้นโอโซนเจือจางลงและแตกสลายเป็นก๊าซออกซิเจนลงสู่ชั้นบรรยากาศเบื้องล่าง จากการสำรวจชั้นบรรยากาศสตรา-

**ตารางที่ 2 ชนิดต่าง ๆ ของสาร BFCs**

| ชื่อเคมี | สูตรโมเลกุล | ชื่อเฉพาะ | ชื่อการค้า | จุดเดือด,°ซ |
|---|---|---|---|---|
| 1,2-dibromo-1,1,2,2-tetrafluoroethane | $CBrF_2$-$CBrF_2$ | BFC 114B2 | Halon 2402 | 47.3 |
| bromochlorodifluoromethane | $CClBrF_2$ | BFC 12B1 | Halon 1211 | -4.0 |
| bromotrifluoromethane | $CBrF_3$ | BFC 13B1 | Halon 1301 | -57.8 |

โตเฟียในบริเวณขั้วโลกเหนือและใต้ ซึ่งโดยปกติจะมีปริมาณของโอโซนมากกว่าในแถบร้อน (tropical zone) โดยองค์การนาซ่า (NASA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 ได้พบว่าระดับของโอโซนในแถบอาร์คติก (arctic Zone) และแถบแอนตาร์คติก (antarctic Zone) ได้ลดลงอย่างผิดปกติ โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวระหว่างเดือนมีนาคมและเดือนเมษายนของทุกปี ปริมาณของโอโซนในแถบอาร์คติกได้ลดลงมากที่สุด ในขณะเดียวกันได้ตรวจพบระดับของคลอรีนมอนอกไซด์แรดิคัล (chlorine monoxide radicals, ClO°) ซึ่งได้เพิ่มปริมาณสูงขึ้นและให้ค่าสูงสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม (ดูรูปที่ 1) นอกจากนี้ยังได้ตรวจพบกลุ่มก๊าซของไฮโดรเจนคลอไรด์และคลอรีนไนเตรท (chlorine nitrate) ในชั้นบรรยากาศสตราโตเฟียด้วย

สาร CFCs ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศสตราโตเฟียนี้ สามารถสลายตัวโดยรังสีอัลตร้าไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 190-210 นาโนเมตร และแตกตัวเป็นคลอรีนแรดิคัล (Chlorine radicals, Cl°) ซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญในการทำลายโอโซน โดยการทำปฏิกิริยากับโอโซนให้เกิดการสลายตัวเป็นออกซิเจนดังสมการ

$$CCl_2XF \xrightarrow{h\nu} {}^{\circ}CClXF + Cl^{\circ}$$

(X = F หรือ Cl)

$$CClF_3 \xrightarrow{h\nu} {}^{\circ}CF_3 + Cl^{\circ}$$

$$Cl^{\circ} + O_3 \longrightarrow ClO^{\circ} + O_2$$

$$ClO^{\circ} + O_3 \longrightarrow ClO_2^{\circ} + O_2$$

$$ClO_2^{\circ} + O_3 \longrightarrow ClO^{\circ} + 2\,O_2$$

ในขณะเดียวกันคลอรีนแรดิคัลบางส่วนสามารถรวมตัวกับกรดไนตริก ($HNO_3$) ซึ่งอยู่ในชั้นบรรยากาศเบื้องล่าง ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์และคลอรีนไนเตรต ($ClONO_2$) ก๊าซชนิดหลังนี้สามารถสลายตัวโดยรังสีอัลตร้าไวโอเลต ให้เป็นคลอรีนมอนอกไซด์แรดิคัลและไนโตรเจนเตตรอกไซด์ในที่สุด ดังสมการ

$$2\,Cl^{\circ} + HNO_3(g) \longrightarrow ClONO_2 + HCl$$

$$ClONO_2 + ClONO_2 \xrightarrow{h\nu} 2ClO^{\circ} + N_2O_4$$

ทำนองเดียวกัน มีการสะสมตัวของโบรมีนแรดิคัล (bromine radicals, Br°) ในชั้นบรรยากาศเบื้องบนด้วย ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของเมธิลโบรไมด์ (methyl bromide, $CH_3Br$) ที่ใช้เป็นสารรมควัน (fumigant) ในการเกษตร และของสารฮาลอน ดังสมการ

$$CH_3Br \xrightarrow{h\nu} CH_3^{\circ} + Br^{\circ}$$

$$CF_3Br \xrightarrow{h\nu} CF_3^{\circ} + Br^{\circ}$$

$$Br^{\circ} + O_3 \longrightarrow BrO^{\circ} + O_2$$

$$BrO^{\circ} + O_3 \longrightarrow Br^{\circ} + 2\,O_2$$

โบรมีนแรดิคัลที่เกิดขึ้นนี้ สามารถทำลายโอโซนได้เช่นเดียวกับคลอรีนแรดิคัล เมื่อระดับความหนาของชั้นโอโซนที่ปกคลุมโลกลดต่ำลง ทำให้รังสีอัลตร้าไวโอเลตจากแสงอาทิตย์ สามารถผ่านทะลุมาถึงพื้นผิวโลกได้มากขึ้น นอกจากรังสีอัลตร้าไวโอเลตที่เพิ่มขึ้นแล้ว นักวิทยาศาสตร์ยังเชื่อว่ารังสีแกมม่าและรังสีคอสมิคจากอวกาศ ก็สามารถผ่านทะลุลงสู่พื้นผิวโลกได้เช่นกัน ในขณะนี้ได้มีรายงานว่าอัตราการเกิดของโรคมะเร็งผิวหนังมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะคนที่ทำงานกลางแดดเป็นเวลานานๆ มีโอกาสที่จะเป็นโรคมะเร็งผิวหนังได้มากที่สุด ด้วยเหตุผลดังกล่าว ประเทศผู้ผลิตและผู้ใช้สาร CFCs ทั่วโลก จึงได้จัดประชุมพิธีสารมอนทรีออล (Montreal protocal) ที่ประเทศแคนาดา เมื่อปี พ.ศ. 2532 ที่ผ่านมา ซึ่งได้ตกลงกันและกำหนดให้มีการเลิกผลิตสาร CFCs ภายในปี พ.ศ. 2538 นี้ (ดูตารางที่ 3) แต่ยังคงอนุโลมให้ใช้สารไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอนหรือสาร HCFCs แทนไปอีกระยะหนึ่ง เนื่องจากสาร HCFCs ให้ผลกระทบต่อชั้นโอโซนน้อยกว่าสาร CFCs ดังนั้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ยังคงต้องใช้สาร CFCs อยู่เดิม จำเป็นต้องหาสารทดแทน CFCs ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการทำงานเช่นเดียวกับสาร CFCs รวมทั้งการปรับปรุงเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้สามารถใช้งานกับสารทดแทนชนิดใหม่ได้

ในปัจจุบันได้มีการวิจัยค้นพบสารทดแทน CFCs ชนิดใหม่แล้ว สารดังกล่าวเป็นสารไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) และสารฟลูออโรคาร์บอน (FCs) ซึ่งไม่มีส่วนประกอบของคลอรีนอยู่เลย (ดูตารางที่ 4) ดังนั้นสาร HFCs และสาร FCs จึงไม่เป็นสารทำลายชั้นโอโซน อย่างไรก็ตามสารเหล่านี้ยังคงมีคุณสมบัติเป็นสารเรือนกระจกเช่นเดียวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีผลทำให้โลกร้อนขึ้น แต่ให้ผลกระทบต่อโลกน้อยกว่าสาร CFCs ในขณะนี้สาร HFCs และสาร FCs ยังไม่ได้รับความสนใจจากผู้ใช้เท่าที่ควรเนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดยังคงมีราคาแพง และยังผลิตได้ไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาดโลก แต่สาร HFCs บางชนิดได้เริ่มนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภทแล้ว เช่น สาร HFC 134 A และ HFC 152 A ใช้เป็นสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น รวมทั้งใช้เป็นสารเป่าโฟมในอุตสาหกรรมการผลิตโฟม เช่นเดียวกับสาร FC C-318 ซึ่งใช้เป็นสารขับแรงดันในกระป๋องสเปรย์ การลดจำนวนของคลอรีนอะตอมโดยการแทนที่ด้วยฟลูออรีนอะตอม ทำให้จุดเดือดของสาร HFCs และสาร FCs จะต่ำกว่าของสาร CFCs ที่มี

**ตารางที่ 3 กำหนดการหยุดผลิตและเลิกใช้สาร CFCs และ HCFCs**

| สาร | หยุดผลิต | ยกเลิกการใช้ทั้งหมด |
|---|---|---|
| CFC-11, -12 | 2538 | — |
| HCFC -22 | 2553 | 2563 |
| HCFC -123 | 2563 | 2573 |
| HFC -134a | * | * |

*ที่มา JARDINE TRANE AIRCONDITIONING*

**หมายเหตุ * หมายถึง ยังไม่มีกำหนด หมายถึง เลิกใช้โดยธรรมชาติ**

จำนวนอะตอมเท่ากัน และทำให้คุณสมบัติอื่น ๆ แตกต่างกันด้วย จึงไม่สามารถใช้สาร HFCs หรือสาร FCs แทนสาร CFCs ได้โดยตรง ดังนั้นการเลือกใช้สารประเภทนี้จึงขึ้นอยู่กับลักษณะงานแต่ละประเภท เครื่องมือและอุปกรณ์บางอย่าง ซึ่งอาจจะต้องเปลี่ยนแปลงก่อนนำไปใช้งาน

134A กับสาร HCFC 123 และสาร HCFC 22 พบว่าสาร HCFC 123 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบความดันต่ำกว่าบรรยากาศ และสาร HCFC 22 จะใช้ในระบบความดันสูง ในขณะที่สาร HFC 134A จะทำงานได้ดีในระบบความดันปานกลาง โดยปกติเครื่องทำความเย็นที่ใช้ระบบความดันต่ำ จะเป็นระบบ

กาศได้บ้าง ถ้าหากมีรอยรั่วซึมแล้ว ถึงแม้ว่าองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency, EPA) แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา จะยอมรับว่าสาร HFC 134A เป็นสารที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมที่สุด และได้กำหนดการปนเปื้อนของสาร CFCs ในบรรยากาศไว้ไม่เกิน 10 ส่วนในล้านส่วน (ppm.)

**ตารางที่ 4 ชนิดต่าง ๆ ของสาร HFCs และ FCs**

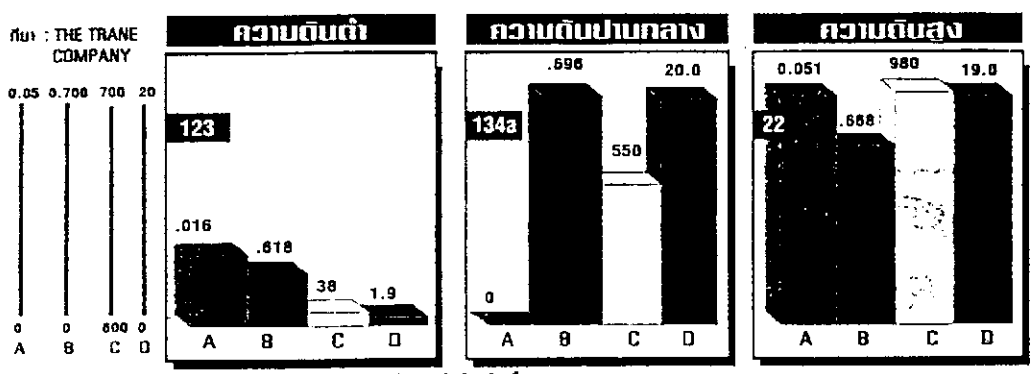
| ชื่อเคมี | สูตรโมเลกุล | ชื่อเฉพาะ | จุดเดือด,°ซ |
|---|---|---|---|
| perfluorocyclobutane | $CF_2$-$CF_2$ \| \| $CF_2$-$CF_2$ | FC C-318 | -5.85 |
| 1,1-difluoroethane | $CHF_2CH_3$ | HFC 152A | -25.8 |
| 1,1,1,2-tetrafluoroethane | $CH_2FCF_3$ | HFC 134A | -26.5 |
| perfluoropropane | $CF_3CF_2CF_3$ | FC 218 | -36.5 |
| pentafluoroethane | $CHF_2CF_3$ | HFC 125 | -48.5 |
| difluoromethane | $CH_2F_2$ | HFC 32 | -51.6 |
| perfluoroethane | $CF_3CF_3$ | FC 116 | -78.2 |
| fluoromethane | $CH_3F$ | HFC 41 | -78.3 |
| trifluoromethane | $CHF_3$ | HFC 23 | -82.16 |
| tetrafluoromethane | $CF_4$ | FC 14 | -128.06 |

สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ที่ติดตั้งในอาคารและสำนักงานทั่วไป การเลือกใช้สารทำความเย็น จำเป็นต้องพิจารณาระบบความดันภายในเครื่องทำความเย็น ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ คือ ระบบความดันต่ำ ระบบความดันปานกลาง และ ระบบความดันสูง เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของสาร HFC

ที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เนื่องจากไม่มีการรั่วไหลของน้ำยาออกสู่บรรยากาศ ในกรณีที่เกิดการรั่วซึมของท่อน้ำยา แต่บรรยากาศภายนอกจะไหลเข้าไปในเครื่องทำความเย็นแทน ในทางตรงกันข้ามเครื่องทำความเย็นที่ใช้ระบบความดันสูงและระบบความดันปานกลาง สามารถทำให้น้ำยารั่วไหลออกสู่บรรยา-

แต่สาร HFC 134A สามารถก่อให้เกิดผลเรือนกระจกต่อโลกสูงกว่าสาร HCFC 123 (ดูในรูปที่ 2) นอกจากนี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของสาร HFC 134A จะมากกว่าของสาร HCFC 123 และ HCFC 22 ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นนั่นหมายถึงเครื่องทำความเย็นที่ใช้สาร HFC 134A อาจต้องเสียค่าไฟฟ้า

รูปที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติบางประการของสาร HCFC 123, HFC 134A และ HCFC 22




หมายเหตุ : A หมายถึง การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ
B หมายถึง ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
C หมายถึง การทำให้โลกร้อนขึ้น
D หมายถึง จำนวนปีที่สารอยู่ในบรรยากาศและทำลายโอโซนก่อนสลายตัว

เพิ่มมากขึ้น ซึ่งยังคงเป็นปัญหาที่ผู้ใช้ต้องแบกภาระต่อไป อย่างไรก็ตามการตัดสินใจเลือกซื้อเครื่องทำความเย็นทั้งเครื่องปรับอากาศและตู้เย็นควรคำนึงระบบความดันที่สามารถใช้ทดแทน CFCs เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อมให้มากที่สุด ในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ Mercedes-Benz และ Ford ได้เริ่มนำเอาสาร HFC 134A มาใช้ในเครื่องปรับอากาศของรถยนต์ แทนสาร CFC 12 และ CFC 22 แล้วซึ่งจำเป็นต้องเปลี่ยนสารหล่อลื่นชนิดใหม่แทนด้วย สำหรับสาร HFCs ชนิดอื่น ๆ ก็ได้รับความสนใจจากผู้ผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่นเดียวกันและกำลังอยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัย เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้งานต่อไป

จากบทความข้างต้น คงช่วยให้ท่านทั้งหลายได้รับความกระจ่างเกี่ยวกับผลกระทบของสาร CFCs ต่อโอโซนในชั้นบรรยากาศและการใช้สาร HFCs และ FCs มาทดแทนสาร CFCs ในศตวรรษที่ 21 ซึ่งดูจะมีความเป็นไปได้มากที่สุดอยู่ในขณะนี้ แม้ว่ายังมีข้อโต้แย้งจากนักวิทยาศาสตร์และนักสิ่งแวดล้อมอีกหลายกลุ่มที่ยังไม่เชื่อแน่ว่าสารทดแทน CFCs เหล่านี้จะให้ความปลอดภัยต่อชั้นโอโซนได้นานแค่ไหนและผลกระทบอื่น ๆ ต่อโลกที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตข้างหน้า ซึ่งยังคงเป็นคำถามที่ไม่มีผู้ใดสามารถให้คำตอบได้

## เอกสารอ้างอิง


1. Kirk-Othmer, Encyclopedia of chemical technology. 3 rd ed., Vol. 10, New York, N.Y. : Wiley, 1978, p. 856-870
2. Banks, R E. ed. Organofluorine chemicals and their industrial application. Chichester : Ellis Horwood Ltd., 1979, p. 62-122
3. Arctic ozone levels predicted to decreased. Chemical & Engineering News. May 1992, p. 27-28.


# เหล็กเส้นที่ใช้ในการก่อสร้าง

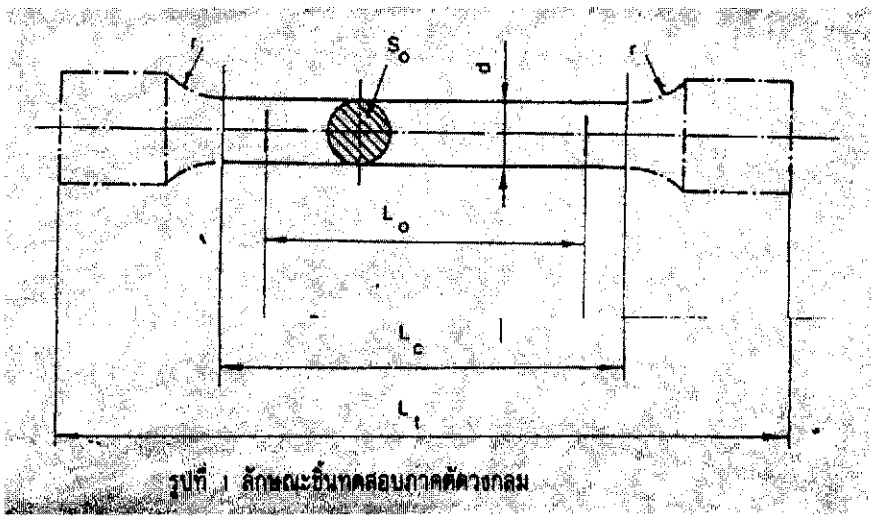

*ประดับ สว่างศรี*


ปัจจุบันประเทศไทยได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วมาก โดยเฉพาะทางด้านสิ่งก่อสร้างได้พัฒนาและเกิดขึ้นมากมายทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัด ซึ่งส่วนมากจะเป็นที่อยู่อาศัยในรูปแบบของบ้านจัดสรรและอาคารชุดซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า คอนโดมิเนียม ตลอดจนสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า และถนนทางด่วน ซึ่งสิ่งก่อสร้างดังกล่าวนี้จำเป็นต้องใช้เหล็กเส้นในการก่อสร้างเพื่อเสริมความแข็งแรงของคอนกรีตให้สามารถรับน้ำหนักได้ ถ้าเหล็กเส้นที่นำมาใช้ในการก่อสร้างมีคุณภาพไม่ดี และผู้ใช้ไม่เข้าใจหรือไม่มีความรู้ในการใช้งานของเหล็กเส้นแต่ละชนิดดีเพียงพอ จะเป็นอันตรายต่อสิ่งก่อสร้างนั้น ๆ มาก โดยเฉพาะอาคารสูงดังที่เรามักจะได้ยินข่าวอยู่เสมอว่าบ้านทรุด หรือตึกถล่ม ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการใช้เหล็กเส้นที่ไม่มีคุณภาพ และไม่ได้ขนาดนั้นเอง เป็นเหตุให้ต้องสูญเสียทรัพย์สินเงินทอง และอาจจะสูญเสียชีวิตด้วย ดังนั้นเหล็กเส้นที่ใช้ในการก่อสร้างจะต้องมีคุณภาพดีเพื่อให้สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ มีความแข็งแรงมั่นคง

ในการทดสอบคุณสมบัติทางกลของเหล็กโดยการทดสอบความต้านแรงดึงหรือความเค้นดึงสูงสุด (Tensile strength or Maximum tensile strees) จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพของเหล็กนั้นได้เป็นอย่างดี และสามารถนำผลการทดสอบที่ได้ไปคำนวณค่าทางวิศวกรรมเพื่อกำหนดเหล็กที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างนั้น ๆ ได้อีกด้วย

ในการทดสอบความต้านแรงดึงจะทดสอบในแนวดิ่งโดยค่อย ๆ เพิ่มแรงขึ้นจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน ซึ่งในการทดสอบความต้านแรงดึงจะต้องวัดค่าแรงและระยะการยืดตัวของชิ้นทดสอบตลอดเวลาที่เพิ่มแรงขึ้นเรื่อย ๆ การวัดระยะการยืดตัวของชิ้นทดสอบจะวัดในช่วงความยาวพิกัด (gauge length) ของชิ้นทดสอบ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องวัดการยืด (Extensometer) และที่เครื่องทดสอบความต้านแรงดึงจะมีชุดอุปกรณ์สำหรับเขียนกราฟในขณะทดสอบ ซึ่งกราฟที่ได้จะเป็นแรงกับระยะการยืดตัวของชิ้นทดสอบนั้น

หลักการคุณสมบัติทางกลในการทดสอบความต้านแรงดึงของเหล็กโดยทั่ว ๆ ไปจะเป็นดังนี้



รูปที่ 1 ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดวงกลม

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนขนานของชิ้นทดสอบ

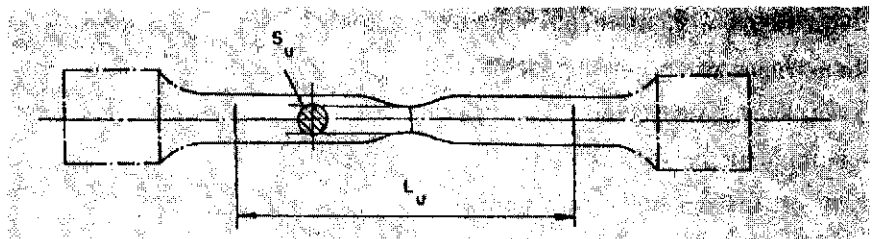
Lo คือ ความยาวพิกัด (gauge length)

Le คือ ความยาวส่วนขนาน

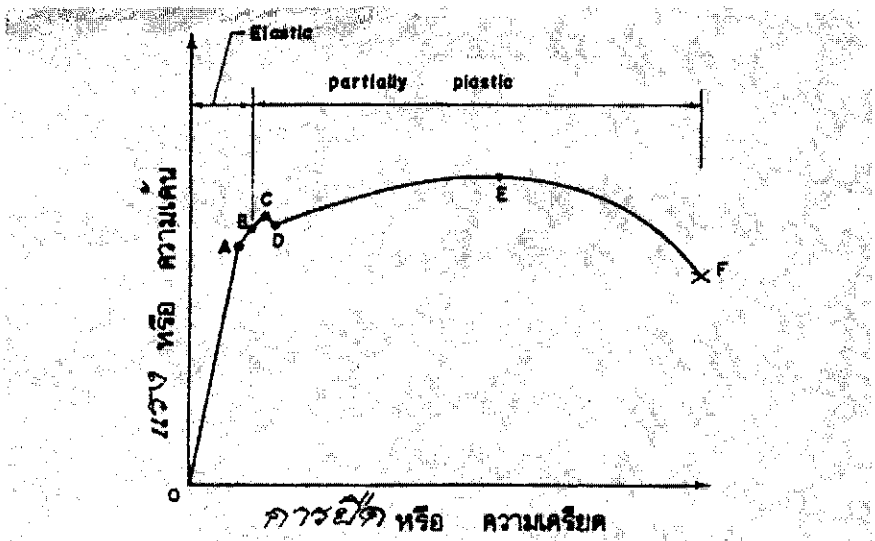
Lt คือ ความยาวรวม

SO คือ พื้นที่ภาคตัดขวางเดิมภายในความยาวพิกัด

r คือ รัศมีของบ่าชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3 ลักษณะชิ้นทดสอบภาคตัดวงกลมหลังจากขาด



รูปที่ 2 ตัวอย่างกราฟการทดสอบความต้านแรงดึงของเหล็ก

ตามกฎของฮุคกล่าวว่า วัสดุมีคุณสมบัติยืดหยุ่นและความเค้นเป็นสัดส่วนกับความเครียด

ช่วง O ถึง A กราฟจะเป็นเส้นตรงซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุค เมื่อถึงจุด A กราฟจะเริ่มเปลี่ยนแปลงคือเริ่มไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งที่จุดนี้เรียกว่า limit of proportionality

ช่วง A ถึง B เหล็กยังคงอยู่ในสภาพยืดหยุ่นในลักษณะสภาพการยืดจะหดหายไปหมดเมื่อเอาแรงออก ซึ่งเป็นจุดสุดท้ายที่เหล็กอยู่ในสภาพยืดหยุ่น และที่จุด B นี้เรียกว่า elastic limit

ช่วง B ถึง C เมื่อผ่านจุด B ไปแล้วเหล็กจะเกิดการเสียรูปอย่างถาวร (plastic deformation) เมื่อเอาแรงออกแล้วสภาพการยืดจะยังคงมีอยู่ซึ่งเรียกว่าเกิด permanent deformation หรือ permanent set และที่จุด C นี้เรียกว่าความเค้นครากบน (upper yield stress)

ช่วง C ถึง D การยืดตัวหรือความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่แรงหรือความเค้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือเกือบคงที่ และที่จุด D นี้มีชื่อเรียกว่าความเค้นครากล่าง (lower yield stress)

ช่วง D ถึง E กราฟจะโค้งและเมื่อเพิ่มแรงขึ้นจะทำให้การยืดตัวหรือความเครียดเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุด E ที่จุด E นี้เป็นแรงสูงสุด (maximum load) ที่ชิ้นทดสอบได้รับในระหว่างการดึง

ช่วง E ถึง F กราฟจะโค้งลง ซึ่งเกิดจากพื้นที่ภาคตัดของชิ้นทดสอบเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วและเกิดเป็นคอคอด (neck) ขึ้นในช่วงสั้น ๆ โดยคอคอดนี้เกิดขึ้นในขณะที่แรงลดลง และต่อมาชิ้นทดสอบก็จะขาดออกจากกันที่จุด F

ความต้านแรงดึง (tensile strength) หรือความเค้นดึงสูงสุด (maximum tensile stress) หาค่าโดยเอาแรงสูงสุดที่จุด E หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางเดิมของชิ้นทดสอบ ซึ่งค่านี้โดยทั่วไปเรียกว่า ความต้านแรงดึง

ความเค้นคราก (yield stress) มีอยู่ด้วยกันสองจุดคือความเค้นครากบนที่จุด C และความเค้นครากล่างที่จุด D ถ้าต้องการทราบความเค้นครากที่จุดใดก็เอาแรงที่จุดนั้น ๆ หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางเดิมของชิ้นทดสอบ

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะนำค่าความเค้นครากบนมาใช้

ความยืด (elongation) หาค่าโดยการเอาความยาวพิกัด (gauge length) ที่เพิ่มขึ้นหารด้วยความยาวพิกัดเดิมคูณด้วยร้อย หน่วยที่ได้จะเป็นร้อยละของการยืดตัว

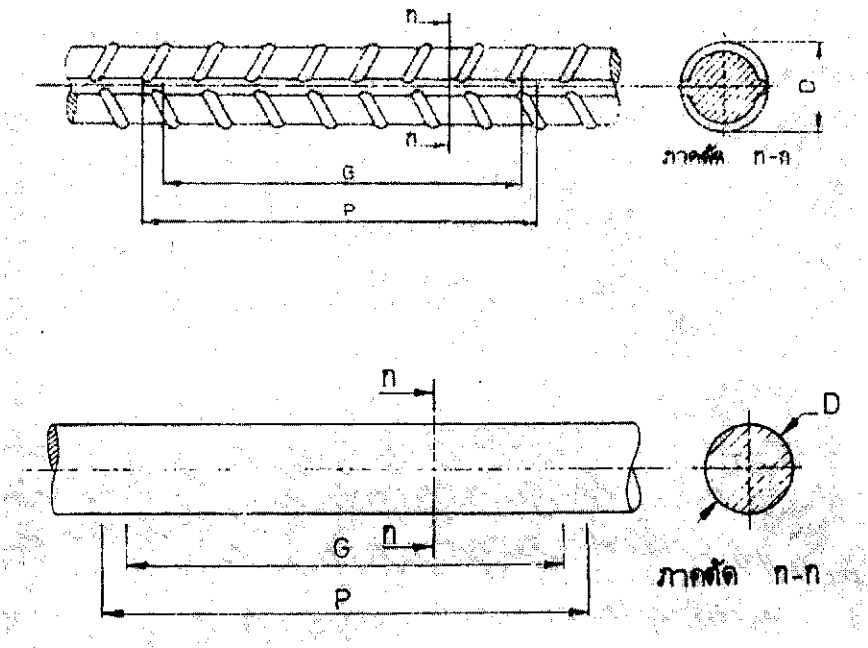
ในการทดสอบคุณสมบัติทางกลโดยการดึงของเหล็กเส้นที่ใช้ในการก่อสร้างตามมาตรฐานจะกำหนดให้ใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น โดยสภาพชิ้นทดสอบจะต้องเป็นไปตามสภาพเดิมของเหล็กเส้นสำเร็จรูปนั้น ๆ แต่ถ้ามีขนาดใหญ่มากก็อาจกลึงลดขนาดลงให้พอเหมาะที่จะใช้กับเครื่องทดสอบแรงดึงได้

เหล็กเส้นที่ใช้ในการก่อสร้างส่วนมากจะเป็นเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ดังนั้นจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะของงานในการก่อสร้างด้วย

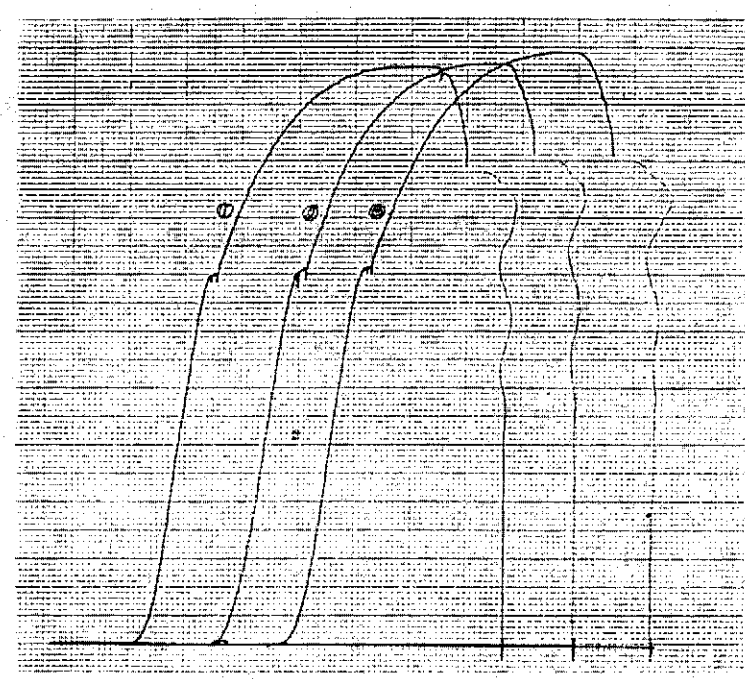
เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. เหล็กข้ออ้อย
2. เหล็กเส้นกลม
3. เหล็กรีดซ้ำ

**1. เหล็กข้ออ้อย** เป็นเหล็กเส้นกลมที่มีบั้งและอาจมีครีบที่ผิวเพื่อเสริมกำลังยึดระหว่างเหล็กเส้นกับเนื้อคอนกรีต เหล็กข้ออ้อยผลิตด้วยกรรมวิธีการรีดร้อน และมีด้วยกัน 3 ชั้นคุณภาพ คือ Sd.30,SD.40 และ SD.50 แต่ละชั้นคุณภาพจะมีประสิทธิภาพแตกต่างกัน ซึ่งตามมาตรฐานจะกำหนดค่าความต้านแรงดึงจะต้องไม่น้อยกว่าดังนี้ SD.30 49 กกร./ตร.มม., SD 40 57 กกร./ตร.มม., และ SD.50 63 กกร./ตร.มม. ค่าความต้านแรงดึงที่จุดครากจะต้องไม่น้อยกว่าดังนี้ SD.30 30 กกร./ตร.มม., SD.40 40 กกร./ตร.มม., และ SD.50 50 กกร./ตร.มม. ค่าความยืดจะต้องไม่น้อยกว่าดังนี้ SD.30 ร้อยละ 17, SD 40 ร้อยละ 15, และ SD 50 ร้อยละ 13 เหล็กข้ออ้อยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10-32 มม. ซึ่งชื่อขนาดจะระบุเป็น DB เช่น DB 10 จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. เป็นต้น และที่เหล็กข้ออ้อยทุกเส้นจะมีชื่อขนาดและชั้นคุณภาพเป็นตัวนูนบนเนื้อเหล็กเห็นได้ชัดเจน




รูปที่ 4 ชิ้นทดสอบ



รูปที่ 5 กราฟแสดงการทดสอบแรงดึงที่เครื่องทดสอบเขียน

**2. เหล็กเส้นกลม** เป็นเหล็กที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการรีดร้อนจากเหล็กแท่งเล็กหรือแท่งใหญ่ หรือเหล็กแท่งหล่อ เหล็กเส้นกลมที่ใช้เป็นเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตมีเพียงชั้นคุณภาพเดียวคือ SR.24 ซึ่งตามมาตรฐานจะกำหนดค่าความต้านแรงดึงจะต้องไม่น้อยกว่า 39 กกร./ตร.มม ความต้านแรงดึงที่จุดครากจะต้องไม่น้อยกว่า 24 กกร./ตร.มม. และความยืดจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 21 เหล็กเส้นกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6-34 มม. ซึ่งชื่อขนาดจะระบุเป็น RB เช่น RB.6 จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. เป็นต้น และที่เหล็กเส้นกลมทุกเส้นจะมีชื่อขนาดเป็นตัวนูนบนเนื้อเหล็กเห็นได้ชัดเจน

**3. เหล็กกรีดซ้ำ** เป็นเหล็กที่ทำขึ้นจากเศษเหล็ก เช่น เศษเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ หรือเหล็กที่คัดออกระหว่างทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เป็นต้น แล้วนำกรีดเป็นเส้นกลมด้วยกรรมวิธีการรีดร้อน ซึ่งจะมีชั้นคุณภาพเดียวคือ SRR.24 ตามมาตรฐานจะกำหนดค่าความต้านแรงดึงจะต้องไม่น้อยกว่า 39 กกร./ตร.มม. ความต้านแรงดึงที่จุดครากจะต้องไม่น้อยกว่า 24 กกร./ตร.มม. และความยืดจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 21 เหล็กรีดซ้ำมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 6-15 มม. โดยชื่อขนาดจะระบุเป็น R เช่น R6 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. เป็นต้น และที่เหล็กรีดซ้ำทุกเส้นจะมีชื่อขนาดเป็นตัวนูนบนเนื้อเหล็กเห็นได้ชัดเจน

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่สามารถรับแรงได้สูงได้แก่ เหล็กข้ออ้อย ส่วนเหล็กเส้นกลมและเหล็กรีดซ้ำตามมาตรฐานจะกำหนดค่าคุณสมบัติทางกลโดยการดึงที่ค่าต่ำสุดไว้เท่ากัน แต่จากการทดสอบโดยทั่ว ๆ ไปพบว่าเหล็กเส้นกลมจะมีค่าคุณสมบัติทางกลโดยการดึงสูงกว่าเหล็กรีดซ้ำ ดังนั้นในการเลือกเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตเพื่อใช้ในการก่อสร้างจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับโครงสร้าง เช่น ส่วนของโครงสร้างที่รับแรงมาก ๆ ได้แก่ เสาและคาน จะต้องเลือกเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่สามารถรับแรงได้สูงโดยเฉพาะอาคารสูงจำเป็นมาก ส่วนของสิ่งก่อสร้างที่ไม่ได้รับแรงมาก ได้แก่ พื้น ก็สามารถเลือกเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่รับแรงน้อย ๆ ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและชั้นคุณภาพของเหล็กด้วย ซึ่งผู้ใช้จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับโครงสร้างและสิ่งก่อสร้างนั้น ๆ ด้วย

ถ้าผู้ใช้ไม่มั่นใจในคุณภาพหรือขนาดของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตว่าจะเป็นไปตามที่ระบุไว้หรือไม่ก็สามารถส่งให้ห้องปฏิบัติการตรวจสอบได้ ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์บริการโดยกองฟิสิกส์และวิศวกรรมเป็นหน่วยงานของทางราชการที่ให้บริการในการตรวจสอบคุณภาพของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตให้กับหน่วยงานของทางราชการ รัฐวิสาหกิจ บริษัท ห้างร้าน และบุคคลทั่วไป ผู้สนใจสามารถติดต่อขอใช้บริการได้ทุกวันในเวลาราชการ.

---

**เทคโนโลยีการทำแม่พิมพ์ซิลค์สกรีน** (ต่อจากหน้า 34)

เล็กน้อย นำแบบมาทาบกับฟิล์มตรงด้านที่เป็นพลาสติก การวางแบบบนแผ่นฟิล์มให้วางแบบกลับจากซ้ายไปขวา ถ้าเป็นตัวหนังสือให้วางแล้วอ่านไม่ออก ให้ใช้เทปใสติดบนแผ่นฟิล์มนำไปถ่ายไฟให้แบบอยู่ระหว่างฟิล์มกับแสงสว่างแบบจะเป็นตัวกลางไม่ให้แสงผ่าน เวลาที่ใช้ในการฉายแสงนานกว่าที่ใช้กับกาวอัดสีชมพูประมาณร้อยละ 50 ถ้าใช้แสงแดดจัด ๆ ในการถ่ายเวลาประมาณ 1 นาที การนำฟิล์มออกไปถ่ายด้วยแสงแดดให้นำกระจกใส 2 แผ่น มาวางประกบกับฟิล์ม ให้แผ่นล่างปิดไว้ด้วยกระดาษดำหรือกระดาษทึบแสง แล้วนำออกไปถ่ายด้วยแสงแดด ฟิล์มแดงเมื่อถ่ายแล้วนำมาแช่ในน้ำยาที่มีส่วนผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 ส่วน น้ำอุ่น 4 ส่วน แช่ไว้ประมาณ 90 วินาที (ส่วนผสมน้ำยานี้ใช้ได้ภายใน 24 ชั่วโมง) เมื่อแช่ฟิล์มจนกระทั่งส่วนของตัวฟิล์มที่ไม่ถูกแสงหลุดออกมาหมดแล้ว นำไปล้างด้วยการฉีดน้ำเบา ๆ ให้สะอาดอีกครั้งหนึ่ง

ถ้าเป็นฟิล์มชนิดสีน้ำเงินแก่ เมื่อใช้เวลาในการถ่ายที่ถูกต้อง ฟิล์มจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินปนเทา แล้วนำไปล้างด้วยน้ำอุ่นประมาณ 40-50°ซ. เพื่อให้เนื้อฟิล์มที่ไม่ถูกแสงอ่อนตัวหลุดออก แล้วฉีดน้ำล้างเบา ๆ ให้สะอาด แล้วนำฟิล์มไปแช่น้ำเย็น (ไม่ควรต่ำกว่า 15°ซ.) ทิ้งไว้ประมาณ 10-15 วินาที เพื่อให้เนื้อฟิล์มจับแข็งขึ้น (คุณสมบัติของฟิล์มนี้เหมือนกับกาวอัดผสมน้ำยาไวแสง คือจะจับตัวแข็ง ล้างไม่ออก เมื่อถ่ายไฟนานเกินไป และจะหลุดออกหมดเมื่อถ่ายไฟเร็วเกินไป) ล้างกรอบสกรีนให้สะอาด นำฟิล์มที่ล้างแล้วแต่ยังเปียกอยู่วางบนแผ่นกระจกให้เนื้อฟิล์มหงายขึ้น วางกรอบสกรีนทับบนแผ่นฟิล์ม กดผ้าสกรีนให้แนบสนิทกับแผ่นฟิล์ม ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ รีบซับน้ำส่วนที่เกินออกให้หมดโดยเร็วด้วยกระดาษซับหรือกระดาษหนังสือพิมพ์ วางซับไว้แล้วใช้ลูกกลิ้ง ๆ ทับไปมา (ไม่ควรกดลูกกลิ้งแรง ๆ) เปลี่ยนกระดาษซับจนแห้งหมาด ๆ ปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 4-5 นาที เพื่อรอให้เนื้อฟิล์มจับตัวให้เข้าที่ นำไปเป่าด้วยลมอุ่น ๆ ถ้าลมร้อนมากเกินไปจะทำให้ฟิล์มจับตัวกับผ้าสกรีนไม่แน่นดี หรือจะเอาไปตากแดดก็ได้ เมื่อแห้งดีแล้วอุดรูรั่วตามด้วยกาวอัด เมื่อแห้งดีแล้วจึงค่อย ๆ ลอกพลาสติกด้านหลังออกทิ้งไป และพร้อมที่จะนำไปพิมพ์ได้ทันที

**การล้างแม่แบบทิ้ง** แม่แบบสกรีนทั้งชนิดกาวอัดแบบผสมและฟิล์มไวแสง เมื่อใช้งานพิมพ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ควรล้างทิ้งให้สะอาดเพื่อเก็บผ้าสกรีนไว้ใช้ใหม่อีก มีวิธีล้าง 2 วิธีคือ

**1. ล้างด้วยผงคลอรีน** มีลักษณะเป็นผงสีขาวมีกลิ่นเหม็นฉุนกัดมือและเสื้อผ้า ล้างโดยวิธีโรยผงคลอรีนบนแม่แบบที่มีน้ำเปียกเกลี่ยให้ทั่ว ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที ระวังอย่าให้แห้ง ล้างด้วยน้ำจนกาวที่ฉาบไว้หลุดออกหมด

**2. ล้างด้วยผงล้างกาวอัด** เป็นผงสีขาวคล้ายผงซักฟอก ผสมน้ำจุ่มด้วยผ้าถูที่บริเวณสกรีนทั้งสองด้าน ทิ้งไว้ 5 นาที ถูเบา ๆ ฉีดน้ำให้กาวหรือฟิล์มหลุดออกให้หมด สามารถเก็บกรอบสกรีนไว้ใช้งานอื่นได้อีก.

# การศึกษาค่าความทรงรูปที่เหมาะสมของกระดาษอัดสำเนา

*ยุทธนาพงศ์ แดงเพ็ง*
*ธีรชัย รัตนโรจน์มงคล*
*นภาวรรณ แสงบำรุง*
*จิระศักดิ์ ชัยสนิท*

## บทคัดย่อ

รายงานนี้เสนอผลการศึกษาปัญหาสภาพเดินคล่อง (runnability) ของกระดาษอัดสำเนา โดยใช้กระดาษจากแหล่งผลิตและจำหน่ายรวม 6 แหล่ง มีน้ำหนักมาตรฐานต่าง ๆ กัน ผลการทดลองชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลของค่าความทรงรูปและความเรียบของผิวกระดาษ ตลอดจนผลของการปรับความเร็วในการอัดสำเนาต่อสภาพเดินคล่องของกระดาษในการอัดสำเนางานในรูปแบบต่าง ๆ

การศึกษาทดลองพบว่ากระดาษทุกตัวอย่าง มีค่าความทรงรูปต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษพิมพ์และเขียน มอก.287-2533 แต่ส่วนใหญ่ใช้อัดสำเนาที่มีเฉพาะตัวอักษรได้ดี และกระดาษขนาด 70 กรัม/ตารางเมตรขึ้นไป และมีแนวขนานเครื่อง (machine direction) ขนานกับด้านยาวของกระดาษ สามารถใช้อัดสำเนางานที่มีภาพพื้นดำจำนวนมากได้

## คำนำ

ความทรงรูปของกระดาษ (bending stiffness) เป็นสมบัติที่สำคัญต่อการใช้งานของกระดาษหลายชนิด เช่น กระดาษพิมพ์ออฟเซต แบบป้อนเป็นแผ่น กระดาษอัดสำเนา กระดาษแข็ง และกระดาษที่ใช้ในงานบรรจุหีบห่อต่าง ๆ ในงานพิมพ์ที่ป้อนกระดาษเป็นแผ่น ความทรงรูปเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสภาพเดินคล่อง (runnability) ของเครื่องพิมพ์ ซึ่งรวมถึงเครื่องพิมพ์ออฟเซต เครื่องอัดสำเนา และเครื่องถ่ายเอกสาร ถ้ากระดาษสามารถทรงรูปได้น้อยเกินไป อาจม้วนงอติดในเครื่อง ทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองกระดาษมากกว่าปกติ

สำหรับกระดาษอัดสำเนา ปัญหากระดาษติดในเครื่องมักเกิดขึ้นเมื่อต้องพิมพ์ภาพที่มีพื้นที่สีดำต่อเนื่องขนาดใหญ่ ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากหมึกมีมาก หรือเมื่อกระดาษมีความชื้นสูง ทำให้ความทรงรูปลดลง หากผู้ปฏิบัติงานขาดประสบการณ์จะทำให้สิ้นเปลืองกระดาษมาก อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่เคยมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทรงรูปของกระดาษอัดสำเนากับปัญหาสภาพเดินคล่องของเครื่องอัดสำเนา จึงเป็นการยากที่จะบ่งชี้ว่า กระดาษอัดสำเนาควรจะมีค่าความทรงรูปมากน้อยเพียงใดจึงจะเหมาะสม

รายงานนี้ประกอบด้วยการศึกษาผลของค่าความทรงรูปที่มีต่อสภาพเดินคล่องของเครื่องอัดสำเนา โดยใช้กระดาษอัดสำเนาที่มีขนาดน้ำหนักมาตรฐานต่าง ๆ กัน จากผู้ผลิตหลายรายในประเทศและการหาสหพันธ์ระหว่างวิธีวัดค่าความทรงรูปต่าง ๆ กัน 3 วิธี ได้แก่ การวัดค่าแรงที่ใช้โค้งงอกระดาษโดยตรงด้วยเครื่อง Buchel van der Korput การวัดโมเมนต์ด้วยเครื่อง Taber และ การวัด flexural rigidity ตาม RTM 27-1981 (Paper Technology and Industry, October 1981 p 230) ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยจะเป็นแนวทางในการตรวจสอบ ควบคุมคุณภาพ และการวางข้อกำหนดความทรงรูปให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งาน

## การทดลอง

**1. กระดาษอัดสำเนา** กระดาษอัดสำเนาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยกระดาษจากโรงงานกระดาษบางปะอิน และกระดาษตราต่าง ๆ ที่รวบรวมจากท้องตลาด มีน้ำหนักมาตรฐาน ตั้งแต่ 50-80 กรัม/ตารางเมตร สำหรับกระดาษ 50 กรัม/ตารางเมตร มิได้เป็นกระดาษอัดสำเนา แต่นำมาร่วมการทดลองด้วย เพื่อเปรียบเทียบผลของความทรงรูป

**2. เครื่องอัดสำเนา** ใช้เครื่องอัดสำเนายี่ห้อ เกสเตทเนอร์ และหมึกอัดสำเนาเกสเตทเนอร์

**3. วิธีการทดลอง** เนื่องจากสภาพคล่องในการเดินกระดาษขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ

เช่นปริมาณพื้นดำในงานที่จะอัดสำเนาปริมาณหมึกพิมพ์ที่เครื่องจ่าย และความเร็วในการอัดสำเนา การทดลองนี้จึงเลือกปริมาณพื้นดำโดยกำหนดจำนวนภาพที่มีพื้นดำมาก จำนวน 2, 3 และ 4 ภาพเพื่อศึกษาเปรียบเทียบงานอัดสำเนาที่มีเฉพาะตัวอักษร และตาราง (ดูภาคผนวก รูปที่ 1-5) และเลือกความเร็วในการอัดสำเนาที่อยู่ในช่วงการทำงานปกติ 30, 50 และ 70 แผ่น/นาที

ส่วนการควบคุมปริมาณหมึก จะทดลองเดินเครื่องอัดสำเนาพร้อมกระดาษไข ปรับหมึกพิมพ์โดยตรวจพินิจความชัดเจนของภาพและตัวอักษรจนเป็นที่พอใจ แล้วจึงเริ่มทดสอบที่ความเร็วต่าง ๆ ในการอัดสำเนาจะใช้ด้าน Top side ทั้งหมด

เพื่อความสะดวกในการตัดสิน ได้กำหนดเกณฑ์พิจารณาสภาพเดินคล่อง (runnability index) ดังนี้

4 = กระดาษพุ่งตัวดี

3 = กระดาษม้วนตัวเป็นบางแผ่น ส่วนใหญ่พุ่งตัวดี

2 = กระดาษหลุดจากลูกกลิ้งพิมพ์ได้ แต่ม้วนตัวส่วนใหญ่

1 = กระดาษติดลูกกลิ้งพิมพ์

**4. การทดสอบกระดาษ** การทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน และสมบัติต่าง ๆ ของกระดาษดังที่กล่าวถึงในรายงานนี้ กระทำที่สภาวะ 27+/-1°C ; 65+/-2% RH

## สรุปผลการทดลอง

1. กระดาษอัดสำเนาที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าความทรงรูปทั้งในแนวขนานเครื่องและขวางเครื่องต่ำกว่าที่กำหนดในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษพิมพ์ และเขียน มอก. 287-2533 ทั้งสิ้น โดยที่

1.1 กระดาษขนาด 60 กรัม/ตารางเมตร ขึ้นไปที่มีแนวขนานเครื่องตามด้านยาวของกระดาษสามารถใช้อัดสำเนางานพิมพ์ที่เป็นตัวอักษรทั้งหมด และตารางได้ดี ความทรงรูปต่ำสุดที่พบมีค่าประมาณ 100 ไมโครนิวตัน.เมตร

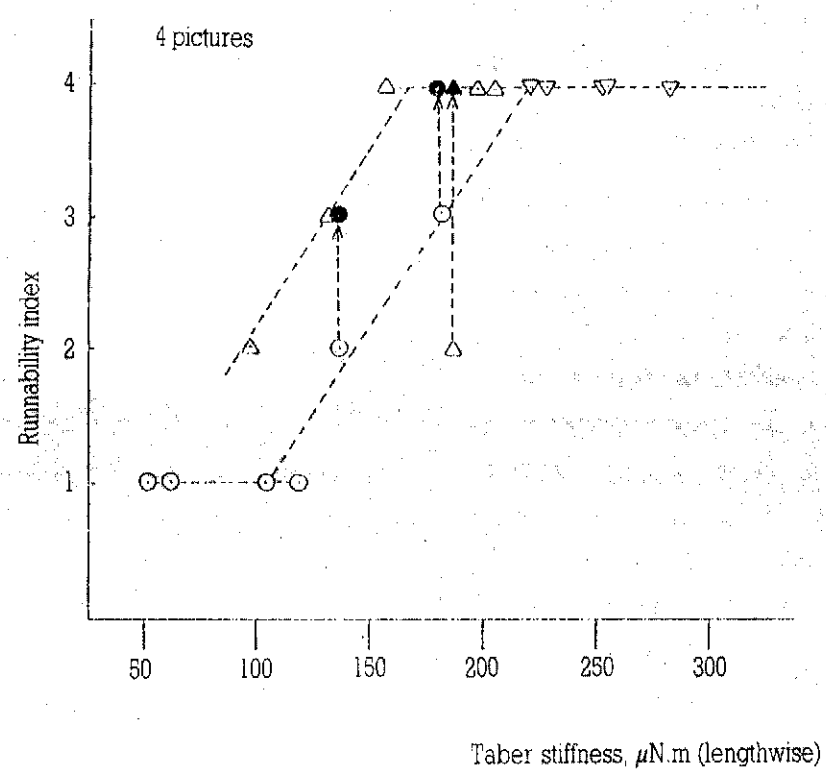



Fig. 1 The Effect of Paper Stiffness on Runnability in Duplication

symbols

⊙ 60 g/m²

△ 70 g/m²

▽ 80 g/m²

Open dot = 30 sheets/min

Filled dot = 70 sheets/min

1.2 กระดาษที่มีน้ำหนัก 70 กรัม/ตารางเมตร ขึ้นไป ใช้อัดสำเนางานพิมพ์ที่มี

ภาพพื้นดำปริมาณมากได้ดี หากปรับความเร็วในการอัดสำเนาให้เหมาะสม การเลือกวางตำแหน่งภาพที่มีพื้นดำมากไว้ด้านล่างจะลดปัญหาการม้วนตัวของกระดาษได้ดี กระดาษที่มีความทรงรูป ประมาณ 150 ไมโครนิวตัน.เมตร ขึ้นไป สามารถใช้อัดสำเนางานพิมพ์ที่มีภาพพื้นดำได้ดี

1.3 ในการอัดสำเนางานพิมพ์ที่มีภาพพื้นดำ กระดาษที่มีผิวเรียบมาก จะติดลูกกลิ้งพิมพ์แม้ว่าจะมีค่าความทรงรูปสูงมากก็ตาม

2. ในการอัดสำเนางานพิมพ์ที่มีภาพหรือตัวอักษรล้วน การใช้ความเร็วสูง จะช่วยให้กระดาษเดินได้คล่องตัวกว่าความเร็วต่ำ

3. ผลการวัดค่าความทรงรูปของกระดาษโดยเครื่อง Taber, Buchel และวิธีตาม RTM 27 1981 มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกันอย่างสูง จึงอาจใช้วิธีตาม RTM 27-1981 ซึ่งทำได้ง่ายและประหยัดในการตรวจสอบคุณภาพได้เช่นกัน

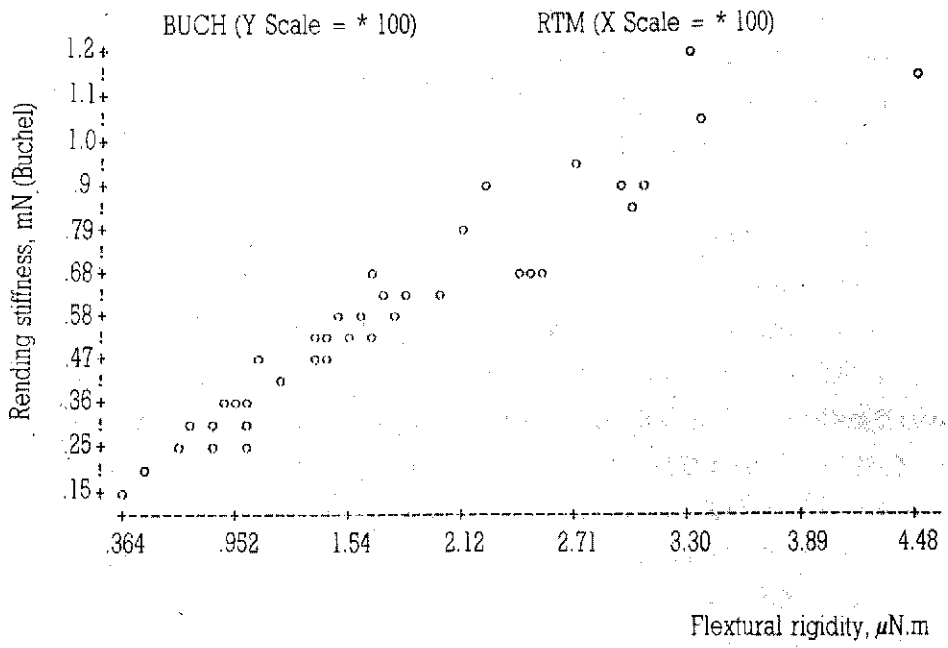



Fig. 4 Bending stiffness measurement : RTM 27 - 1981 VS Buchel

SIMPLE LINEAR MODEL

VARIABLES = RTM (IND.) AND BUCH (DEP.)

INTERCEPT = 9.842701

SLOPE = .2748784

R-SQUARE = .9087784

PEARSON'S R = .9532988

STANDARD ERROR OF ESTIMATE = 8.25935

SIGNIFICANCE OF EQUATION: F = 358.6433 WITH 1, 36 D.F.

STANDARD ERROR OF SLOPE = 1.451474E-02

CONFIDENCE INTERVAL FOR SLOPE BASED ON T-STAT. W/ 36 D.F.

.275-T (.015) < B < .275+T (.015)

ดร.ไพจิตร เอื้อทวีกุล รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (ในขณะนั้น) เป็นประธานในพิธีเปิดอาคารมาตรวิทยาและศูนย์สารนิเทศวิทยาศาสตร์ กรมวิทยาศาสตร์บริการพร้อมกันนี้ได้ชมนิทรรศการผลงานของกรมวิทยาศาสตร์ฯ ในบริเวณห้องโถงชั้นล่างของอาคารมาตรวิทยาและศูนย์-สารนิเทศวิทยาศาสตร์ (17 ก.ย. 2535)

นายพิศาล มูลศาสตรสาทร รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และนายปรีชา มุสิกุล รัฐมนตรีช่วยว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ เยี่ยมชมกิจการของกรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยมีนายรัตนะ พุ่มเล็ก อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการให้การต้อนรับ (29 ต.ค. 2535)

นายรัตนะ พุ่มเล็ก อธิบดีกรม–วิทยาศาสตร์บริการ มอบเทค–โนโลยีการผลิตวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เซรามิกเนื้อ โบนไชน่าซึ่งเป็นงานวิจัยของศูนย์วิจัยและ–พัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก – กองการวิจัย ให้แก่ห้างหุ้นส่วนจำกัด ทองประเสริฐศิลป์ชัย (19 พ.ย. 2535)

นางรวงทอง พันพาไพร รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการแถลงข่าวเรื่อง กรมวิทยาศาสตร์บริการเตือนการบริโภควุ้นเส้นและวุ้นเส้นกึ่งสำเร็จรูป แก่ผู้สื่อข่าว ณ ห้องประชุมกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ (2 ต.ค. 2535)

คณะนายทหารจากกรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ เข้าเยี่ยมชมดูงานของกรมวิทยาศาสตร์บริการ (27 พ.ย. 2535)

ดร.อนามัย สิงหะพันธุ รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ ให้การต้อนรับคณะนายทหารจากสำนักงานประสานการวิจัยและพัฒนาการทางทหาร กองทัพบก (22 ก.ย. 2535)

กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้จัดงานเลี้ยงอำลาข้าราชการ และลูกจ้างที่เกษียณอายุ ปี 2535 (14 ก.ย. 2535)

คณะนักเรียน กองวิชาเคมี โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เข้าเยี่ยมชมดูงานห้องปฏิบัติการเชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม กองเคมี และห้องสมุดกรมวิทยาศาสตร์บริการ (9 พ.ย. 2535)

กรมวิทยาศาสตร์บริการ จัดรายการสนทนาประสา วศ. ในช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2535 รวม 2 ครั้ง คือเรื่อง วิทยสโมสร และการกำจัด Fluoride Ion โดยใช้ Metallic Oxide โดยวิทยากรจากกองสนเทศ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกองเคมี

คณะนักศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง และคณะสังคมศาสตร์และมนุษย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เข้าเยี่ยมชมดูงานกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

## การฝึกอบรมทางวิชาการ

อบรมวิชาเคมีวิเคราะห์ (ภาคปฏิบัติการ) การวิเคราะห์น้ำและก๊าซ การวิเคราะห์ปุ๋ย ให้แก่ นักศึกษาเคมีปฏิบัติ นักศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล

อบรมวิชาปฏิบัติการชีวเคมีให้แก่นักศึกษาเคมีปฏิบัติ และอบรมวิธีวิเคราะห์โปรตีนในตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง ให้แก่ เจ้าหน้าที่โรงงานยาสูบ

บรรยายเชิงปฏิบัติสารนิเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้แก่ นักศึกษามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร และบรรณารักษ์จากสำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อบรมการวิเคราะห์ทดสอบยาง ให้แก่ เจ้าหน้าที่บริษัทเมืองทองมหาชัย จำกัด

อบรมการทำวัสดุก่อสร้างจากเถ้าลิกไนท์ให้แก่ เจ้าหน้าที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

## การพัฒนาบุคลากรในต่างประเทศ

1. ดร.อนามัย สิงหะพันธุ รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ ไปดูงานด้านมาตรวิทยา ด้วยทุน UNIDO/UNDP ที่ประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์
2. ดร.อนามัย สิงหะพันธุ รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์ฯ และนายสุรินทร์ อรรถกิจการค้า ข้าราชการกองฟิสิกส์และวิศวกรรม ไปร่วมปรึกษาหารือในรายละเอียดเกี่ยวกับแบบและการใช้งานของห้องสะท้อนเสียงและห้องไร้เสียงสะท้อนในโครงการมาตรวิทยาฯ ด้วยทุนของบริษัท Industrial Acoustics Company, Inc. ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. ดร.วรุณี ถิรมงคล ผู้เชี่ยวชาญพิเศษด้านวิจัยและพัฒนา ไปประชุม International Meeting on New Glass Technology ด้วยทุนกรมวิทยาศาสตร์ฯ และสถาบัน New Glass Forum ที่ประเทศญี่ปุ่น
4. นางจินตนา ลีกิจวัฒนะ ข้าราชการกองฟิสิกส์และวิศวกรรม ไปฝึกการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการวิเคราะห์ทดสอบพลาสติกด้วยเครื่อง Vicat Softening Point และ Heat Distortion Tester & Impact Tester ด้วยทุนบริษัท อินโทรเอ็นเตอร์ไพร์ส ที่ประเทศญี่ปุ่น
5. นางดรุณี วัชราเรืองวิทย์ ข้าราชการกองฟิสิกส์และวิศวกรรม ไปประชุม ISO/TC 45 และ $SC_1$ Hoses $SC_2$ $SC_3$ และ 4 ด้วยทุนกรมวิทยาศาสตร์ฯ ที่ประเทศแคนาดา
6. นางสุจินต์ ศรีคงศรี ข้าราชการกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ไปประชุมคณะกรรมการวิชาการสาขาวิธีวิเคราะห์และชักตัวอย่าง ครั้งที่ 18 ด้วยทุนกรมวิทยาศาสตร์ฯ ที่ประเทศฮังการี

# การเก็บรักษาไข่และผลิตภัณฑ์จากไข่

*อำนวย สุขเหมือน*

เป็นที่ทราบกันดีว่าไข่จัดเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน ประกอบด้วยสารอาหารที่สำคัญ เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ วิตามิน โดยเฉพาะโปรตีนของไข่นั้น เป็นโปรตีนชนิดครบถ้วน ประกอบด้วยกรดอะมิโน 18 ตัว โดยมีกรดอะมิโนชนิดจำเป็นครบทั้ง 10 ตัว ดังนั้นองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ และองค์การอนามัยโลก (FAO/WHO) จึงได้ใช้องค์ประกอบของกรดอะมิโนในไข่เป็นมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนชนิดอื่น ๆ นอกจากสารอาหารหลักดังกล่าวข้างต้นแล้ว ไข่ยังมีสารประกอบทางเคมีและชีวเคมี ที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติพิเศษเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการประกอบอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารจำนวนมาก เช่น ในไข่แดงมีสารจำพวก ลิซิโธโปรตีน (licithoprotein) ที่มีคุณสมบัติทำให้อีมัลชั่น (emulsion) คงทน จึงใช้ทำน้ำสลัด หรือในไข่ขาวยังมีสารบางตัวที่มีคุณสมบัติเกิดโฟม (foaming) คือเมื่อทำการคนหรือตีไข่ขาวแรง ๆ จะทำให้เกิดฟองเหนียวขึ้น จึงนิยมใช้ในการทำขนมและครีมแต่งหน้าขนม นอกจากนี้ไข่ขาวยังมีคุณสมบัติทำให้ขนมปังฟู (leavening power) เหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในการทำขนมปังและขนมอบกรอบชนิดต่าง ๆ เป็นต้น

คุณสมบัติทั้งทางโภชนาการและคุณสมบัติพิเศษดังกล่าวข้างต้นของไข่จะลดน้อยลงหรือหมดสภาพไปเลยนั้น ขึ้นอยู่กับการเก็บรักษาเป็นสำคัญ ดังนั้นการเก็บรักษาไข่อย่างถูกวิธีเพื่อคงสภาพความสดของไข่ไว้จนถึงขณะนำไปใช้งานจึงจำเป็นมากในขบวนการทางอุตสาหกรรมที่ต้องสำรองวัตถุดิบไว้ เพื่อให้มีวัตถุดิบเพียงพอต่อการผลิตตลอดปี การเก็บรักษาที่ถูกวิธีนั้นแบ่งได้เป็นสองแบบใหญ่ ๆ คือ การเก็บรักษาไข่ทั้งฟอง และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ของไข่ เช่น ไข่แดงผง ไข่ขาวผง หรือไข่ทั้งฟองผง เป็นต้น

**1. การเก็บรักษาไข่ทั้งฟอง**

ถ้าพิจารณาถึงคุณสมบัติของเปลือกไข่ซึ่งเปรียบเสมือนเกราะหุ้มเนื้อไข่ขาวเอาไว้แล้ว จะพบว่าเปลือกไข่มีลักษณะบอบบาง แตกง่าย การขนถ่ายจึงต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันแรงกดและแรงกระแทกได้ดี และเมื่อพิจารณาทางด้านคุณสมบัติอื่น ๆ แล้ว เปลือกไข่มีสารฉาบผิวนอก (cuticle) ที่ทำหน้าที่ดูดรูพรุนของเปลือกไข่ไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปทำลายเนื้อไข่ ในขณะเดียวกันก็ช่วยลดการสูญเสียน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากไข่ขาวและไข่แดงได้อีกด้วย

ถัดจากเปลือกไข่เข้าไปจะเป็นเนื้อไข่ขาวที่มีสารคอนอัลบูมิน (conalbumin) ที่มีคุณสมบัติในการจับธาตุเหล็กที่มีอยู่ในไข่เองหรือที่เข้ามาทางรูพรุนของเปลือกไข่ไว้จำนวนหนึ่ง จนปริมาณธาตุเหล็กไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ไข่เน่า ดังนั้นถ้าเปลือกไข่เกิดการปริแตก หรือสารฉาบผิวถูกทำลายจนรูพรุนของเปลือกไข่เปิดออก ทำให้เชื้อจุลินทรีย์และสารปนเปื้อนต่าง ๆ โดยเฉพาะธาตุเหล็ก สามารถผ่านเข้าสู่เนื้อไข่ได้แล้ว จะเป็นการเร่งให้ไข่เสื่อมสภาพความสดหรือเน่าเสีย ดังนั้นการทำความสะอาดผิวของเปลือกไข่จึงต้องใช้วิธีการที่เหมาะสม คือ ล้างด้วยน้ำผสมคลอรีนร้อยละ 0.15 หรือเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 หรือใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.35 พยายามล้างอย่างระมัดระวังไม่ให้มีการขัดถูอย่างรุนแรงจนสารฉาบผิวของเปลือกไข่ถูกทำลาย

การสูญเสียน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของไข่จะลดสภาพความสดของไข่ลงไปเป็นอย่างมาก โดยจะทำให้โพรงอากาศในไข่ใหญ่ขึ้น น้ำหนักของไข่จะลดลง การลอยตัวในน้ำจะสูงขึ้น (เนื่องจากโพรงอากาศใหญ่ขึ้นจึงทำให้ความถ่วงจำเพาะของไข่ลดลง) จากคุณลักษณะข้อหลังนี้ทำให้เราสามารถนำมาใช้ตรวจสอบความสดของไข่ได้เป็นอย่างดี (ไข่สดจะจมน้ำ ส่วนไข่เก่าจะลอยน้ำ) และถ้าพิจารณาถึงสภาพของไข่ภายหลังการตอกเอาเปลือกออกแล้ว จะพบว่าไข่สดเมื่อตอกแล้วการกระจายตัวของไข่ขาวจะแคบกว่าไข่เก่า และลักษณะของก้อนไข่แดงของไข่สดจะนูนกว่าไข่เก่า และเมื่อวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไข่สด ไข่ขาวและไข่แดง จะมีค่าอยู่ประมาณ 7.6 และ 6.0 ตามลำดับ ส่วนไข่เก่าที่มีการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์จะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ของไข่ขาวและไข่แดงสูงขึ้นเป็น 9.7 และ 6.8 ตามลำดับ

สรุปแล้วการเก็บรักษาไข่ทั้งฟองอย่างถูกวิธีสามารถทำได้ดังนี้

ก. ทำความสะอาดเปลือกไข่อย่างระมัดระวังด้วยน้ำสะอาด หรือสารผสมดังกล่าวข้างต้น

ข. เคลือบผิวนอกด้วยสารฆ่าเชื้อราเช่น octyl pyridinium chloride ความเข้มข้นร้อยละ 0.05

ค. เก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์หรือห้องเก็บที่ควบคุมสภาวะให้เหมาะสม เช่น

| อุณหภูมิองศาเซลเซียส | ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ร้อยละ |
|---|---|
| -1.5 | 1 |
| 0 | 3 |
| 20 | 10 |

โดยปรับระดับความชื้นสัมพัทธ์ของห้องให้อยู่ในช่วง 85-90

**2. การเก็บรักษาไข่ไว้ในรูปผลิตภัณฑ์ของไข่**

**2.1 ทำเป็นไข่เหลวแช่แข็ง** ไข่ 1 ฟอง โดยเฉลี่ยแล้วจะมีน้ำหนักประมาณ 50 กรัม ดังนั้นในอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ไข่เป็นวัตถุดิบจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องรวบรวมไข่จนได้ปริมาณที่ต้องการการเก็บรักษาไข่ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ก่อนการผลิตนิยมใช้วิธีการทำเป็นไข่เหลวแช่แข็ง ซึ่งสามารถคงความสดและคุณภาพของไข่ไว้ได้ โดยทำได้ 2 วิธีคือ

2.1.1 แบบแช่แข็งอย่างรวดเร็ว ทำโดยการปล่อยให้ไข่เหลวไหลเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ผ่านไปบนลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ -40 ถึง -45 องศาเซลเซียส จะได้ไข่เหลวแช่แข็งในเวลาไม่กี่วินาที

2.1.2 แบบแช่แข็งอย่างช้า ๆ วิธีนี้จำเป็นต้องเติมสารจำพวกน้ำตาล เกลือ หรือกลีเซอรีนลงไปด้วย เพื่อทำหน้าที่ stabiliser ไม่ให้น้ำแยกตัวออกมาจากเนื้อไข่ ปริมาณสารที่เติมลงไปคือ น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 1 และเกลือ ร้อยละ 0.1 เป็นต้น สารที่เติมลงไปนี้มีคุณสมบัติเป็นตัวเพิ่มแรงดันออสโมติค (osmotic pressure) ของเนื้อไข่ จึงเป็นการป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกทางหนึ่งด้วย วิธีทำคือ นำไข่เหลวที่ผสมสารข้างต้นและคนจนเข้ากันดี พ่นหรืออัดก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ ปิดฝาภาชนะให้สนิท แล้วนำไปแช่ไว้ที่อุณหภูมิ -18 ถึง -24 องศาเซลเซียส

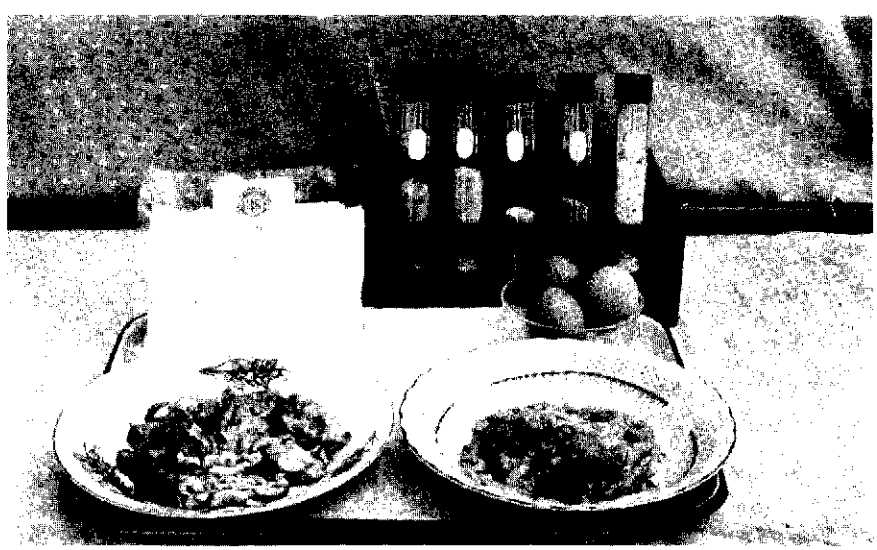
**2.2 การเก็บรักษาไว้ในรูปของผลิตภัณฑ์ไข่ผง** ผลิตภัณฑ์ไข่ผงนั้นจะเก็บไว้ได้นานกว่าการเก็บรักษาในรูปแบบของไข่เหลวแช่แข็ง และยังง่ายต่อการขนส่งและการบรรจุอีกด้วย เนื่องจากน้ำหนักเบา ใช้เนื้อที่น้อย สามารถใช้บรรจุภัณฑ์ทั่ว ๆ ไป ได้และยังไม่ต้องสร้างสภาวะพิเศษในการเก็บรักษาหรือขนส่งอีกด้วย ซึ่งไข่ผงที่นิยมผลิตนั้นจะทำเป็น 3 ชนิดด้วยกัน คือ ไข่แดงผง ไข่ขาวผง และไข่ทั้งฟองผง

ไข่ผงอาจจะผลิตจากเครื่องมือทำแห้งชนิดต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละขบวนการผลิตจะให้ผลิตภัณฑ์ไข่ผงที่มีคุณภาพแตกต่างกัน ในปัจจุบันนี้นิยมใช้เครื่องพ่นฝอยแห้งในการผลิตไข่ผงระดับอุตสาหกรรม ส่วนไข่ผงที่ผลิตได้นั้น องค์ประกอบของไข่และสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน เป็นปัจจัยสำคัญต่อระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากไข่มีโปรตีน น้ำตาลและไขมันที่เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่าย โดยมีน้ำ อุณหภูมิ และออกซิเจนเป็นตัวช่วย ทำให้สีเหลืองของไข่ (yellow carotenoid pigment) ถูกทำลายกลายเป็นสีดำ เกิดกลิ่นเหม็นหืนไม่น่ารับประทาน ดังนั้นในการแก้ปัญหาดังกล่าวเพื่อให้เก็บไข่ผงไว้ได้นาน จึงต้องควบคุมและปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับองค์ประกอบของไข่เหลวให้เหมาะสมก่อนทำเป็นไข่ผง โดยการนำไปหมักกับยีสต์ หรือเอนไซม์ทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลง เป็นการหลีกเลี่ยงและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี หรือนำไปเติมน้ำตาลเพื่อลดอัตราส่วนของน้ำให้น้อยลง รวมถึงการเก็บรักษาไข่ผงที่ผลิตได้ในภาชนะที่บรรจุที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันความชื้น ออกซิเจน และจุลินทรีย์ที่จะทำให้ไข่ผงเสียได้เร็ว

ผู้สนใจต้องการทราบรายละเอียดเพิ่มเติม โปรดติดต่อสอบถามกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการได้ทุกวันในเวลาราชการ

## เอกสารอ้างอิง


1. Lightbody, Howard D. and Fevold, Harry L. Biochemical factors influencing the shelflife of dried whole eggs and means for their control Advance in Food Research Vol. 1, page 149-195.
2. Froning, Glenn W. University of Nebraska. **Eggs** and egg products Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis Vol. 12, page 57-81
3. Romanoff, Alexis L. "Eggs" Encyclopedia of Chemical Technology Vol.5, page 465-477
4. Leo Kline, El Cerrito, Takashi F. Sugihera, Richmond and Jonh J.Muhan Pinole. Cal., Preparation of dried egg white US. Pat 3,170,804, 1965-02-23 page 1-8
5. Leo Kline, El Cerrito. Takashi F. Suginera, Richmond and John J.Muhan Pinole. Cal., Process of spray drying eggs US. Pat. 3,155,413, 1963-12-24

# หลักการและประโยชน์ของ GC - MS

*เรืองศิลป์ จินตนาสมบัติ*

## บทนำ

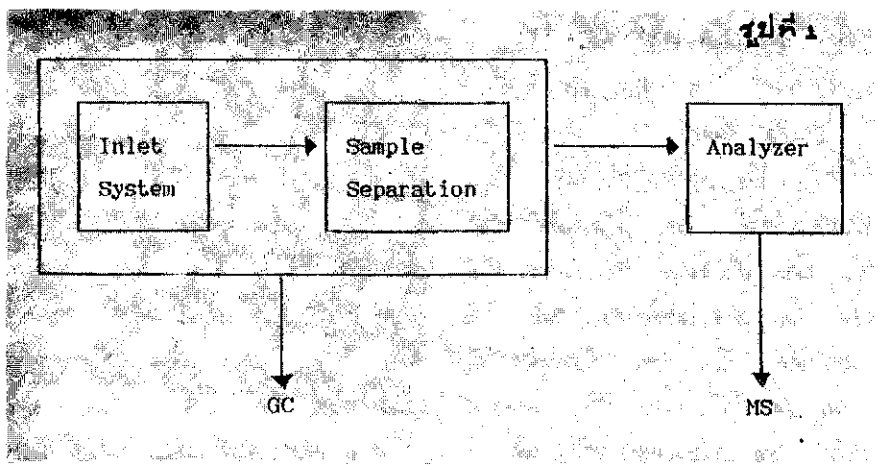
GC - MS เป็นเครื่องมือวิเคราะห์สารตัวอย่างที่นำเครื่อง Gas Chromatograph (GC) มาต่อเข้ากับเครื่อง Mass Spectrometry (MS) โดยที่ GC จะมีหน้าที่เป็นส่วนแยกตัวอย่าง แล้วนำสารตัวอย่างเข้าสู่เครื่อง MS ในส่วนของ GC นั้น จะใช้คอลัมน์เป็นแบบ capillary column และใช้ก๊าซฮีเลียม เป็นก๊าซพา (carrier gas) เท่านั้น

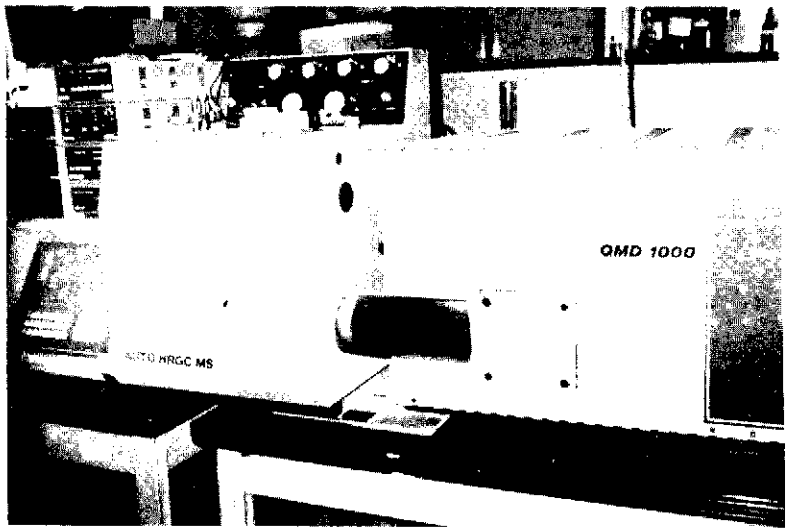
จากหลักการข้างต้น จะเห็นได้ว่า GC - MS อาศัยการทำงานของเครื่อง GC ซึ่งใช้แยกพวกก๊าซหรือสารที่ระเหยง่าย โดยอาศัยหลักการที่สารนั้นถูกดูดซับหรือแผ่กระจายไปในระหว่าง stationary phase และ mobile phase ซึ่ง stationary phase อาจจะเป็นของแข็งหรือของเหลวที่เคลือบอยู่บนของแข็งก็ได้ และ mobile phase เป็นก๊าซ สำหรับความสามารถในการวิเคราะห์ของเครื่อง GC นั้นได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์สารปริมาณน้อย ๆ ได้ ในระดับไมโครกรัมหรือน้อยกว่า ด้วยวิธีการที่ง่าย รวดเร็ว สารที่ออกจากเครื่อง GC จะเป็นสารบริสุทธิ์ในสถานะก๊าซรวมกับก๊าซพา เมื่อนำเครื่อง GC มาประกอบกับเครื่อง MS โดยเครื่อง MS จะทำหน้าที่เป็นเครื่องตรวจวัด (detector) ชนิดหนึ่งของ GC ในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและมวลโมเลกุลของสาร โดยมีหลักการที่ว่าเมื่อโมเลกุลของสารตัวอย่างในสภาวะก๊าซเข้าสู่เครื่อง MS จะถูกทำให้กลายเป็นไอออนที่มีประจุบวก แล้วแยกไอออนและส่วนที่เกิดจากการ fragmentation ของไอออนออกจากกันตามค่ามวลต่อประจุ (mass to charge ratio หรือ m/c) ของไอออนเหล่านั้น หลังจากแยกไอออนเหล่านี้แล้วก็จะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดเพื่อบันทึกข้อมูลออกมาเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง relative abundance กับ m/C เรียกว่า mass spectrum จากหลักการที่กล่าวมา เครื่อง MS สามารถใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างบริสุทธิ์ที่มีปริมาณน้อยเป็นไมโครกรัมหรือน้อยกว่า โดยสารที่นำมาวิเคราะห์จะต้องระเหยง่ายพอควร และสามารถนำ mass spectrum มาใช้ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและมวลโมเลกุลของสารได้ โดยปกติสารตัวอย่างที่จะเข้าไปสู่ส่วนผลิตไอออน (ionization chamber) ของเครื่อง MS จะต้องอยู่ในสภาพก๊าซ ดังนั้นสารที่ออกจากเครื่อง GC จะต้องผ่านบริเวณที่เชื่อมต่อ (interface) ซึ่งบริเวณนี้ ทำให้สารอยู่ในสภาวะความดัน $10^{-4}$ - $10^{-7}$ ทอร์ และสามารถแยกก๊าซพาออกไป จะเหลือเฉพาะสารตัวอย่างเท่านั้นที่ผ่านเข้าสู่เครื่อง MS

กล่าวโดยสรุป GC - MS ถูกสร้างขึ้นมาโดยที่ต้องการให้ GC มีหน้าที่หลักในการแยก (separation) สารแต่ละชนิดในสารตัวอย่างออกจากกัน ส่วน MS จะทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของสารหรือยืนยันชนิดของสารตัวอย่างนั่นเอง โดยหลักการดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ ดังรูปที่ 1

ปัจจุบันการใช้ GC - MS ในงานวิเคราะห์สารตัวอย่าง มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน เนื่องจากมีการนำคอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานทุกขั้นตอน โดยผู้ใช้เพียงแต่ศึกษาคำสั่งต่าง ๆ ที่สั่งให้เครื่องทำงาน รวมทั้งการวิเคราะห์ผลที่ได้ ก็มีโปรแกรมสำเร็จรูปที่ถูกบรรจุในคอมพิวเตอร์ไว้ โดยเฉพาะสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างของสารตัวอย่างที่เรียกว่า library searching เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของสารตัวอย่างกับโครงสร้างของสารที่ได้บรรจุข้อมูลไว้เรียบร้อยแล้ว ทำให้ GC - MS มีข้อได้เปรียบ (advantages) คือ สามารถแยกสารแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบในสารตัวอย่างและวิเคราะห์สารแต่ละชนิดได้ในเวลาเดียวกัน จากที่กล่าวมานั้น จะเห็นได้ว่า GC - MS อาศัยหลักการของ GC และ MS เข้ามาประกอบกันโดยใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมการทำงานของ GC และ MS รวมทั้งการแสดงผลของการวิเคราะห์ด้วย ดังรูปที่ 2

รูปที่ 1



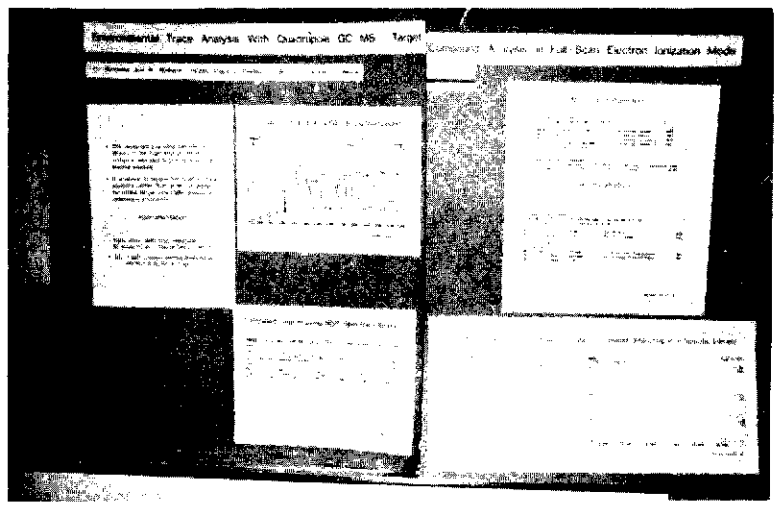



รูปที่ 2 GC - MS แบบหนึ่งที่ใช้อยู่ในประเทศเบลเยี่ยม โดยทางซ้ายในรูปจะเป็น GC ที่มีระบบฉีดสารตัวอย่างอยู่ด้านบน ส่วนทางขวามือในรูปจะเป็น MS และมีฝาครอบตรงกลางด้านล่างที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่าง GC กับ MS

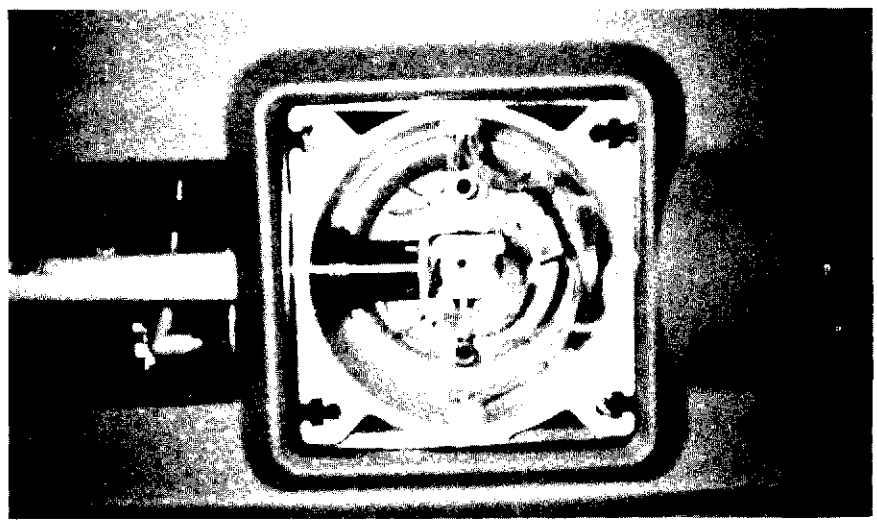
## การประยุกต์ใช้งาน

เนื่องด้วยเครื่อง GC - MS สามารถแยกพร้อมกับการวิเคราะห์ชนิดของสารได้ในเวลาเดียวกัน โดยที่ GC - MS จะมีประสิทธิภาพสูงมากในการนำมาใช้ยืนยัน (confirmation) ผลการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิธีการและเครื่องมือชนิดอื่น ๆ มาแล้ว เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วย GC - MS จะให้ผลถูกต้องถึง 99.99% และเนื่องจาก GC - MS ใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อย จึงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้าน Forensic Science เช่น ในประเทศแถบยุโรปตะวันตกและสหรัฐอเมริกาจะใช้ GC - MS ในการตรวจพิสูจน์ยาเสพติด โดยเฉพาะโคเคน เฮโรอีน และมอร์ฟีน รวมทั้งสารที่ได้จากกระบวนการ metabolites ของยา นอกจากนี้ยังใช้ในการวิเคราะห์วัตถุมีพิษ สารมีพิษชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 3

กล่าวโดยสรุปแล้ว GC - MS มักจะถูกนำไปประยุกต์ใช้เป็นประโยชน์ในงานที่เกี่ยวข้องกับกฎหมาย เนื่องจากให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องสูงมาก โดยเฉพาะผลการวิเคราะห์ที่มีผลทางอาญา ซึ่งต้องการผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องมากที่สุด รวมทั้งการวิเคราะห์และวิจัยสารที่มีองค์ประกอบซับซ้อน เพื่อที่จะหาโครงสร้างขององค์ประกอบนั้น ๆ



รูปที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์สารมีพิษที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม ด้วยเครื่อง GC - MS ชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 4 อุปกรณ์วิเคราะห์มวลแบบ Quadrupole ท่อสีขาวทางซ้ายมือในรูป เป็นท่อที่ต่อจาก GC มายัง MS

## ปัญหาและอุปสรรค

GC - MS เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีส่วนประกอบละเอียดและซับซ้อนมาก ราคาจึงค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเครื่องมือวิเคราะห์ชนิดอื่น นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์แต่ละครั้งก็สูง เพราะการใช้ก๊าซฮีเลียมที่มีความบริสุทธิ์ถึง 99.999% เป็นก๊าซพา เป็นก๊าซที่มีราคาแพง รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการดูแลบำรุงรักษาสูง และวิธีการดูแลแก้ปัญหาในการวิเคราะห์ (trouble shooting) ค่อนข้างยุ่งยากซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้เป็นอุปสรรคสำคัญ ตัวอย่างเช่นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่วิเคราะห์มวลในเครื่อง MS มีส่วนประกอบขนาดเล็กและละเอียดมาก ต้องใช้เทคนิคและวิธีการบำรุงรักษาเป็นพิเศษ ดังรูปที่ 4

ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการใช้ GC - MS คือสถานที่ตั้งและสภาพแวดล้อม เช่น ระดับอุณหภูมิ ความชื้น รวมทั้งระบบไฟฟ้า และอื่น ๆ ดังนั้นแนวความคิดในการที่จะนำ GC - MS มาใช้งานซึ่งจากที่กล่าวถึงปัญหาและอุปสรรคข้างต้นนั้น อาจจะสรุปได้ว่าความสามารถของ GC - MS ที่จะนำมาใช้นั้นมีประโยชน์ต่องานวิเคราะห์และวิจัยมากกว่าปัญหาต่าง ๆ ซึ่งสามารถแก้ไขได้

## เอกสารอ้างอิง


1. Skoog D A and West D M. **Principles of instrumental analysis**, Second Edition, Holt-saunders, Japan 1980
2. วิชัย ริ้วตระกูล การประยุกต์สเปคโตรสโคปีในเคมีอินทรีย์. นำอักษรการพิมพ์, พ.ศ. 2526
3. เพริศพิชญ์ คณาธารณา ทฤษฎีแกสโครมาโตกราฟี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2526


# ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์


*ดร.สุจินดา โชติพานิช*


ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีประโยชน์กับโลกมนุษย์เราอย่างยิ่ง นอกจากเป็นวัสดุสำคัญสำหรับการก่อสร้างแล้ว ยังใช้ในงานอื่น ๆ ได้อีกมาก ปูนซีเมนต์มีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดมีส่วนประกอบทางเคมี คุณสมบัติ ตลอดจนความเหมาะสมในการใช้งานต่างกันออกไป ชนิดที่พวกเราทุกคนรู้จักดี คือปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ เพราะถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในการก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน ที่อยู่อาศัย และถนนหนทางทั่วไป ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทำจากการเผาวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ หินปูนกับหินดินดานในเตาหมุนที่อุณหภูมิสูง เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมซิลิเคตขึ้น สารดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับน้ำและแข็งตัว ยึดติดแน่นกับสารอื่นที่ผสมเติมเข้าไป เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงทนต่อการใช้งานที่ตากแดดตากฝนตลอดเวลาได้ดี นอกจากปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แล้ว ยังมีปูนซีเมนต์อีกชนิดหนึ่งซึ่งน่าสนใจยิ่ง เพราะมีสมบัติเด่นอยู่หลายประการ เหมาะกับการใช้งานพิเศษเฉพาะด้าน ปูนซีเมนต์ดังกล่าว คือ ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์

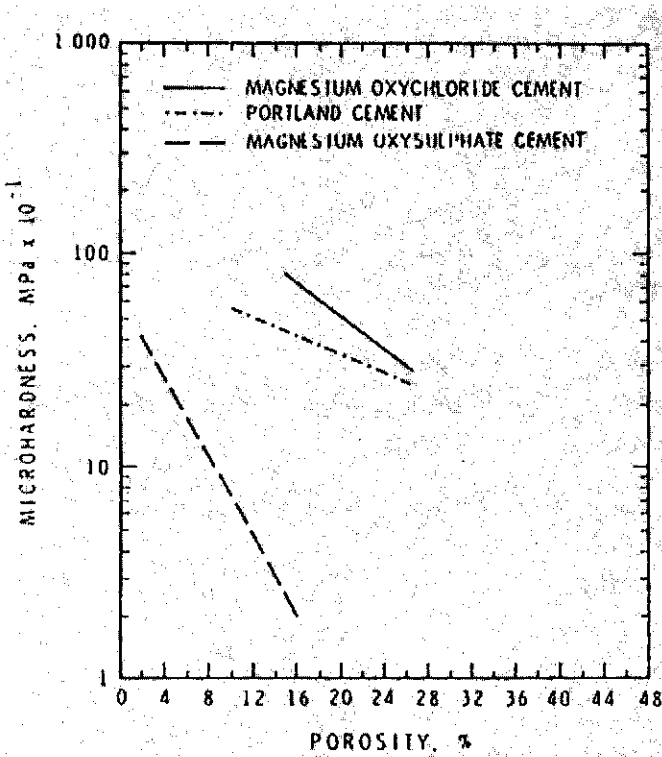
ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์มีชื่อเรียกหลายชื่อ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ซอเรล (Sorel) ปูนซีเมนต์แมกนีไซต์ ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมพลาสติก เป็นต้น ได้มีการค้นพบปูนชนิดนี้ในปี ค.ศ. 1867 โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ ซอเรล มีสมบัติดีกว่าปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์หลายประการ อาทิ ไม่จำเป็นต้องบ่มเปียก ทนไฟได้ดี มีสภาพนำความร้อนต่ำ ทนต่อการ

ขัดสี ทนต่อแรงบิดและแรงอัด นอกจากนี้ยังยึดติดกับมวลรวม (aggregate) ชนิดต่าง ๆ ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งผสมเติมเข้าไปได้ดี พัฒนาความแข็งแรงได้เร็ว มีความยืดหยุ่น น้ำหนักเบา ทนต่อไขมัน น้ำมัน และสี รวมทั้งค่อนข้างจะทนต่อด่าง สารละลายอินทรีย์ เกลือสามัญ และซัลเฟตอีกด้วย

**สูตรและปฏิกิริยาไฮเดรชัน** ปฏิกิริยาเป็นซีเมนต์ของแมกนีเซียมออกซิคลอไรด์เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างผงแมกนีเซียมออกไซด์กับสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนออกซิคลอไรด์ขึ้น โดยที่ระดับอุณหภูมิต่ำเกิดเป็น $3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ และ $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ ที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่า 100°ซ. เกิดเป็น $9Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 5H_2O$ และ $2Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 4H_2O$ สำหรับส่วนผสมที่มีปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์อยู่มากจะเกิดเฉพาะแต่สารประกอบ $3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ เท่านั้น และเมื่อถูกทิ้งไว้ในอากาศนาน ๆ ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์จะรวมตัวกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ เกิดเป็นสารประกอบแมกนีเซียมคลอโรคาร์บอเนต มีสูตรเป็น $Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 2MgCO_3 \cdot 6H_2O$ ขึ้น จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์ทำได้ไม่ยาก มีวัตถุดิบสำคัญอยู่เพียง 2 ชนิดเท่านั้น คือ ผงแมกนีเซียมออกไซด์ กับสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ ผงแมกนีเซียมออกไซด์ทำได้จากการเผาคัลไซน์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 800-1000°ซ. วัตถุดิบอื่นที่สลายตัวในแมกนีเซียมออกไซด์ก็สามารถนำมาใช้ได้ เช่น แร่โดโลไมต์ ซึ่งมีสูตร $CaMg(CO_3)_2$ เป็นต้น ทั้งนี้ต้องนำมาเผาคัลไซน์ให้อยู่ในสภาพเหมาะสมก่อน การนำปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์มาใช้งานต่าง ๆ นั้น มักจะผสมสารอื่นเข้าไปอีก เพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้งานยิ่งขึ้น สารที่นำมาผสม ได้แก่ ขี้เลื่อย ผงไม้ ผงหินอ่อน ผงหินสบู่ ซอล์ค ทราย แร่ควอรตซ์บดละเอียด เศษหินชิ้นเล็กชิ้นน้อย ก้อนกรวด แมกนีเซียมซัลเฟต และสีผง เป็นต้น

**สมบัติเชิงกล** สมบัติเชิงกลเป็นสมบัติเบื้องต้นที่กำหนดคุณภาพ และความเหมาะสมในการนำปูนซีเมนต์มาใช้งาน นักวิชาการหลายท่านได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเชิงกลของปูนซีเมนต์ พบว่า ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์มีสมบัติเชิงกลดีกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ ผลการศึกษาที่สมควรกล่าวถึงมี อาทิ การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการทนต่อแรงอัดของปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์กับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ในส่วนผสมที่มี ขี้เลื่อย สีผง ทรายหยาบ ทรายละเอียด ผสมอยู่ค่อนข้างมาก พบว่า ส่วนผสมปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์ที่มีอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์กับมวลรวม 1:14 ทนต่อแรงอัดได้สูงถึง 16 MPa ขณะที่ส่วนผสมปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทนได้เพียง 4 MPa เท่านั้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงในรูปของความแข็งจุลภาค (microhardness) ของปูนซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความพรุนปรากฏ (porosity) ใกล้เคียงกันอีกด้วย จากผลการศึกษาซึ่งแสดงในภาพ สรุปได้ว่า ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์มีโครงสร้างแข็งแรงที่สุด ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์อยู่ในระดับที่สอง ส่วนปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิซัลเฟตมีความแข็งแรงต่ำสุด

การที่ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์มีความแข็งแรงสูงนั้น น่าจะเป็นเพราะปฏิกิริยาไฮเดรชันในปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์เกิดได้กว้างและกระจายไปทั่วทุกผิวสัมผัสระหว่างอนุภาค ทำให้แรงยึดเหนี่ยวของแมกนีเซียมออกไซด์เพิ่มตามไปด้วย นอกจากนี้ จากการศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมต่อมา พบว่า ขณะที่ปูนซีเมนต์เริ่มแข็งตัว สารไฮเดรตจะตกผลึกออกมาเป็นผลึกเดี่ยวรูปเข้มบนแมกนีเซียมออกไซด์ ผลึกดังกล่าวสามารถโตอย่างรวดเร็วเข้าไปในช่องว่างระหว่างแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยอนุภาคอื่น ๆ ให้ติดกัน การที่ผลึกแต่ละอันต่างโตทะลุเข้าหากันนั้น ทำให้โครงสร้างแน่นและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น




ภาพเปรียบเทียบความแข็งจุลภาคของปูนซีเมนต์

## ประโยชน์และข้อจำกัดการใช้งาน

ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่า ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์ มีสมบัติเด่นหลายประการ อาทิ ทางด้านกล ด้านความทนไฟ การทนต่อด่าง และการยึดติดกับสารอื่นได้ดี เป็นต้น แต่ยังมีข้อเสียสำคัญอันจำกัดขอบเขตการใช้งานให้แคบลง กล่าวคือ ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์สามารถทำปฏิกิริยากับกรดและเกลือบางชนิด รวมทั้งโลหะพวกอะลูมิเนียมและเหล็กกล้าได้ ดังนั้นเมื่อนำปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์ไปใช้งาน จึงไม่ควรให้สัมผัสโดยตรงกับวัสดุที่กล่าวมาข้างต้น เพราะจะทำปฏิกิริยากัดกร่อนกัน จนเกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์ยังไม่คงตัวในน้ำ ถ้าถูกน้ำนาน ๆ ความแข็งแรงจะเสื่อมถอยลง ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์ จึงเหมาะที่จะใช้เป็นวัสดุก่อสร้างภายในอาคารมากกว่าภายนอก เช่น ใช้ทำพื้นเป็นต้น ทั้งนี้สามารถใช้ทำพื้นโรงงานอุตสาหกรรม อาคารพาณิชย์ หรือบ้านเรือน ที่อยู่อาศัยทั่วไปได้ดีและมีประโยชน์อย่างมาก ในการปรับปรุงพื้นเก่า ในการทำพื้นสำหรับปูพรมและปูไวนิล นอกจากนั้นยังนำมาใช้ทำหินเทียม ทำแผ่นกระเบื้อง ใช้ในส่วนผสมที่ต้องการให้เป็นฉนวน ทั้งนี้เพราะปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์มีสภาพนำความร้อนต่ำ หรือใช้เป็นสารยึดช่วยยึดสารอื่นในส่วนผสมให้ติดกันเมื่อเร็ว ๆ นี้มีผู้ประกอบการรายหนึ่งนำวัตถุตัวอย่างเป็นผลิตภัณฑ์หัวหินขัด ซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศ ใช้สำหรับขัดแผ่นหินอ่อนหรือหินขัดให้เรียบ มาให้กรมวิทยาศาสตร์บริการวิเคราะห์หาส่วนประกอบ จากการตรวจวิเคราะห์พบว่ามีปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์กับ ซิลิคอนคาร์ไบด์ เป็นส่วนประกอบสำคัญ ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์มีสมบัติการยึดติดกับสารอื่นดี ทนต่อการขัดสี จึงเหมาะที่จะนำมาผสมกับเม็ดซิลิคอนคาร์ไบด์ทำเป็นหัวหินขัด

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยังมีการนำมาทำเป็นอิฐทนไฟและใช้เป็นสารยึดเหนี่ยวในอิฐทนไฟเชิงด่างประเภทไม่เผา เช่น ใช้ในอิฐโครม-แมกนีไซต์ เป็นต้น ใช้ทำสีหรือทำสารเคลือบกับผนังป้องกันไฟไหม้ การเคลือบทับผนังด้วยปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์จะช่วยสกัดกั้นไฟไม่ให้ลุกลาม นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม อาคารพาณิชย์ เรือ เครื่องบิน ตลอดจนอาคารคอนโดมิเนียม และบ้านเรือน ถ้าต้องการให้มีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นรวมต่ำ ก็ทำให้มีเนื้อพรุนโดยเติมโฟมโพลียูเรเทน หรือสารเคมีอื่น ๆ ที่ช่วยให้เกิดฟองเข้าไปในส่วนผสม ถ้าต้องการเพิ่มโมดูลัสแตกร้าว และให้ทนต่อแรงดึงแรงกระแทกมากขึ้นก็เติมเส้นใยเล็ก ๆ เข้าไป

อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมใหญ่ ยังมีแนวโน้มการขยายตัวในอัตราที่สูง ความต้องการวัสดุก่อสร้างคุณภาพดี ทนทาน ให้ความปลอดภัยสูง มีราคาเหมาะสมจึงยังมีอยู่มาก ปูนซีเมนต์แมกนีเซียมออกซิคลอไรด์เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพ สนองความต้องการดังกล่าวได้ ถ้าสามารถทำให้มีความคงตัวในน้ำสูงขึ้น

## เอกสารอ้างอิง


1. Ramachandran, V S., Feldman, R F. and Beaudoin, J J., Concrete Science. London, : Heyden & Son Ltd, 1981.
2. Sereda, P J., Feldman, R F. and Ramachandran, V S., Structure Formation and Development in Hardened Cement Pastes, Sub Theme VI-I, 7-th International Congress of Cement Chemistry, Paris, 1980.
3. Harold, E. Fire-barrier Plywood US. pat. 4,661,398, 1987-04-28
4. Thompson, H. Fireproof Product Using Magnesium Oxychloride Cement, US. Pat. 3,963,849, 1976-06-15
5. William, L P. and Richard, S L. Filled Inorganic Resin Cements and Compositions and Process for Forming Them US. Pat. 4,084,982, 1978-04-18
6. Robert, S J. Process of Producing Sorel Cement US. Pat. 4,352,694, 1982-10-05

# ซีโอไลท์ (Zeolite)

*สุนี ลาวัณยากุล*

ซีโอไลท์เป็น crystalline hydrous aluminiumsilicate ของ alkali และ alkali earth metals ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม สตรอนเทียม และแบเรี่ยม ได้มีการค้นพบซีโอไลท์ครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2299 โดย Cronstedt เขาพบว่าเมื่อให้ความร้อนกับสารที่เป็นผลึกชนิดหนึ่ง เมื่อนำไปใส่ในน้ำจะให้ฟองคล้ายน้ำเดือดจึงให้ชื่อว่า Zeolite ซึ่งมาจากภาษากรีก 2 คำคือ Zeo = boil และ lite = stone

ลักษณะโครงสร้างของซีโอไลท์ ประกอบด้วยโมเลกุลที่เชื่อมต่อกันเป็น three dimentional net work ของ $SiO_4$ และ $AlO_4$ tetrahedra มีสูตรโมเลกุลดังนี้ $M_{x/n}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y]\ WH_2O$ (M เป็น alkali หรือ alkali earth แคทอิออน n เป็นวาเลนซีของแคทอิออน อัตราส่วน y/x เป็นจำนวนตัวเลขตั้งแต่ 1-5 W เป็นจำนวนโมเลกุลของน้ำ)

โครงสร้างของซีโอไลท์เป็นแบบเปิด ประกอบไปด้วย channels และ interconnected void จำนวนมาก ซึ่งมีแคทอิออน และโมเลกุลของน้ำเกาะเชื่อมอยู่ภายใน แคทอิออนนี้สามารถแลกเปลี่ยนกับแคทอิออนอื่นได้ คือมีคุณสมบัติเป็น ion exchanger เมื่อโมเลกุลของน้ำผ่านเข้ามาในช่องว่างทำให้อิออนที่อยู่ในสารละลายสามารถแลกเปลี่ยนกับอิออนที่อยู่ในโครงสร้างได้ คุณสมบัติดังกล่าวนำไปใช้ในขบวนการ water softening และ water treatment ปฏิกิริยานี้ซีโอไลท์จะแลกเปลี่ยน $Na^+$ กับ $Ca^{++}$ ที่มีอยู่ในน้ำกระด้าง ในขณะที่ปล่อยให้น้ำกระด้างไหลผ่านเม็ดของซีโอไลท์ ดังนั้นน้ำที่ผ่านออกมาจะมีปริมาณ $Na^+$ เพิ่มขึ้น ก็จะเป็นการป้องกันการเกิดตะกรันขึ้น นอกจากนี้โลหะหนักอื่น ๆ เช่น ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม ซิลเวอร์ อิออน ก็สามารถแลกเปลี่ยนได้เช่นเดียวกัน

ซีโอไลท์เมื่อได้รับความร้อน โมเลกุลของน้ำภายในช่องว่างจะหลุดออกมาและน้ำจะระเหยออกมาอย่างต่อเนื่อง โดยโครงสร้างของโมเลกุล (dehydrated structure) ไม่เปลี่ยนแปลง หรือบุบสลาย และหลังจากการ dehydration แล้ว ช่องว่างในโครงสร้างโมเลกุลสามารถถูกเติมด้วยน้ำได้เช่นเดิม ซึ่งเรียกว่า reversible dehydration

ซีโอไลท์ได้ชื่อว่าเป็น Molecular sieve เนื่องจากโมเลกุลมีช่องว่างที่สม่ำเสมอจำนวนมาก ซึ่งสามารถแสดงคุณสมบัติคล้าย sieve บนโมเลกุล มีขนาดของช่องว่างที่สม่ำเสมอ 3A - 10A ซึ่งต่างจากสารดูดซับอื่น เช่น activated carbon, activated alumina, silica gel ซึ่งไม่มีโครงสร้างเป็น crystal structure และช่องว่างระหว่างโมเลกุลไม่สม่ำเสมอ อาจมีขนาดตั้งแต่ 20A - 50A หรือ 20 - 1000A

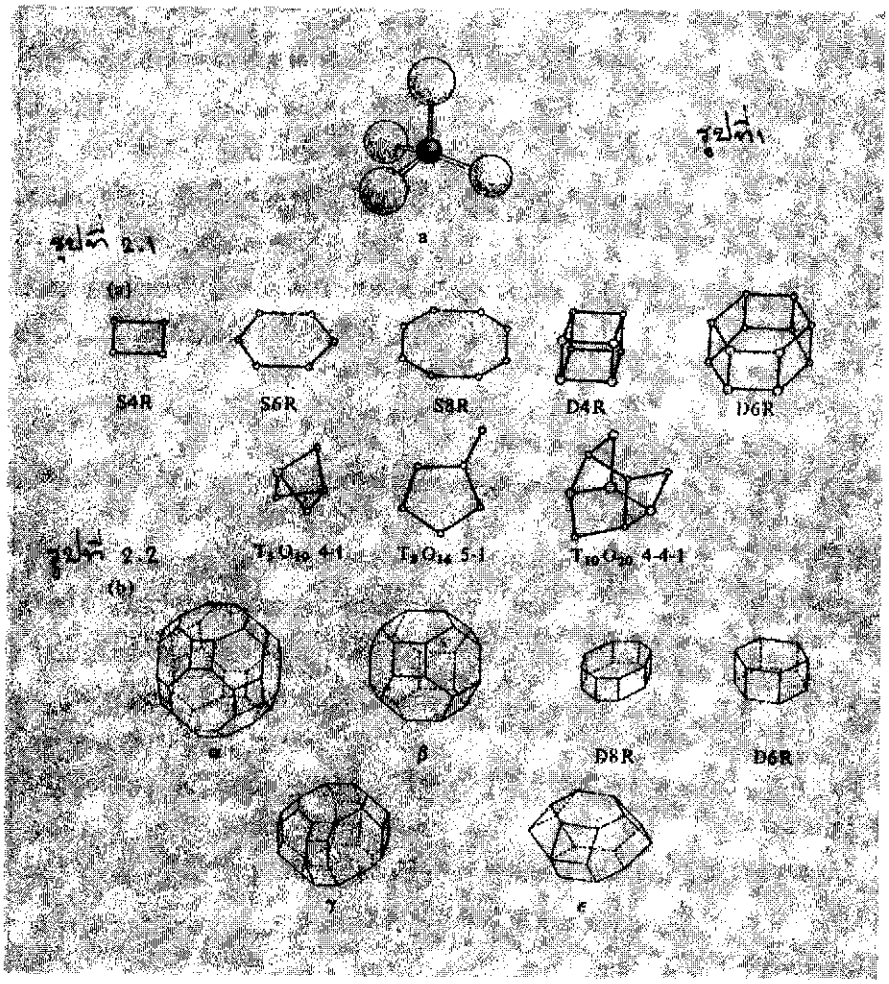
ซีโอไลท์แสดงคุณสมบัติเป็นสารดูดซับ (adsorbent) ที่ดี สามารถแยกก๊าซ และไอของผสม เช่น แอมโมเนีย ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ขบวนการ adsorption จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซีโอไลท์ และขนาดโมเลกุลของ adsorbent

## โครงสร้างของซีโอไลท์

ซีโอไลท์มีโครงสร้างพื้นฐาน (sub unit หรือ primary unit) เป็น tetrahedra ของ $SiO_4$ และ $AlO_4$ (รูปที่ 1) แต่ละ sub unit จะเชื่อมต่อกันเป็น frame work เรียกว่า secondary building unit (SBU) ในแบบต่าง ๆ เช่น single 4-ring (S4R), single 6-ring (S6R), double 4-ring (D4R), double 6-ring (D6R), complex 4-1 ($T_5O_{10}$ unit), complex 5-1 ($T_8O_{16}$ unit), complex 4-4-1 ($T_{10}O_{20}$ unit) (รูปที่ 2.1)

ในบางกรณีจะเชื่อมต่อเป็น frame work แบบ polyhydral เช่น octahedral ที่มี configuration $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\varepsilon$ (รูปที่ 2.2)

ซีโอไลท์มีทั้งที่พบตามธรรมชาติ (natural หรือ mineral zeolite) และที่สังเคราะห์ขึ้น (synthetic zeolite) แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ที่พบตามธรรมชาติมีมากกว่า 35 ชนิด ส่วนซีโอไลท์สังเคราะห์มีถึงประมาณ 100 ชนิด เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์แตกต่างกัน โครงสร้างโมเลกุลของซีโอไลท์จะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้




1. High degree of hydration
2. Low density and large void volume when dehydrated
3. Stability of crystal structure
4. Cation exchange properties
5. Uniform molecular sized channels
6. Various physical properties
7. Adsorption of gas and vapour
8. Catalytic properties

## ซีโอไลท์ธรรมชาติ (Natural zeolite)

ซีโอไลท์ธรรมชาติพบทั้งที่อยู่บนผิวโลกและใต้มหาสมุทร จะพบมากในโพรงของหินบาซอลท์ และหินภูเขาไฟ (Volcanic rock)

ซีโอไลท์ที่พบตามธรรมชาติมีอยู่ประมาณ 34 ชนิด ได้มีการให้ชื่อของซีโอไลท์ที่ค้นพบแต่ละชนิดตามคุณสมบัติ เช่น โครงสร้าง และองค์ประกอบ Stibite เป็นซีโอไลท์ที่พบครั้งแรกโดย Cronstedt ในปี พ.ศ. 2299

ซีโอไลท์ธรรมชาติเดิมนำมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง ในทางอุตสาหกรรมใช้เป็น filler ในอุตสาหกรรมกระดาษ หลังจากได้ค้นพบคุณสมบัติการเป็น molecular sieve และ ion exchanger จึงได้นำมาใช้เป็น molecular sieves adsorbent ในอุตสาหกรรมแยกก๊าซธรรมชาติ และแยกแอมโมเนียในขบวนการกำจัดน้ำเสีย เป็นต้น

ชื่อซีโอไลท์ธรรมชาติที่ได้ค้นพบ 34 ชนิด และสูตรเคมีแสดงในตารางที่ 1

## ซีโอไลท์สังเคราะห์ (Synthetic zeolite)

ซีโอไลท์สังเคราะห์เป็นซีโอไลท์ที่เตรียมขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีโดยมีการควบคุมสภาวะเพื่อให้เกิดผลึกจำนวนมากขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ได้แก่ Zeolite A, Zeolite X, Zeolite Y, Zeolite L, Zeolite F, Zeolite M เป็นต้น

สภาวะที่ใช้ในปฏิกิริยามีดังนี้

1. สารเริ่มต้น ได้แก่ Coprecipitated gel หรือ amorphous solids เช่น silica gel, metakaolin, silicic acid

2. สารที่ให้ความเป็นด่างในปฏิกิริยาซึ่งอยู่ในรูปของ alkali metal hydroxide หรือด่างแก่อื่น ๆ เช่น NaOH, LiOH, KOH, $Ca(OH)_2$, $Ba(OH)_2$ เป็นต้น การที่จะใช้สารใดขึ้นอยู่กับชนิดของซีโอไลท์ที่จะเตรียม

3. การควบคุมอุณหภูมิและความดันที่มีสภาวะอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 175°ซ. หรือ 300°ซ.

4. มีประสิทธิภาพในการทำให้อิ่มตัวสูงจนสามารถเกิดผลึกได้จำนวนมาก ซึ่งอาจใช้เวลาตั้งแต่ 2-3 ชั่วโมงจนถึงหลายวัน

ปฏิกิริยาการเตรียม zeolite crystal เป็นดังนี้

$$NaOH\,(aq) + NaAl(OH)_4(aq) + Na_2SiO_3(aq)$$
$$\downarrow \quad T_1 \cong 25°C$$
$$[Na_a(AlO_2)_b(SiO_2)_c.NaOH.H_2O]\ gel$$
$$\downarrow \quad T_2 \cong 25 - 175°C$$
$$Na_x\,[(AlO_2)_x(SiO_2)y]\,.\,mH_2O + Solution$$

(zeolite crystal)

## ประโยชน์ของซีโอไลท์

ซีโอไลท์สังเคราะห์มีประโยชน์และถูกนำมาใช้มากกว่าซีโอไลท์ธรรมชาติ เนื่องจากมีองค์ประกอบที่สม่ำเสมอ มีโครงสร้างแน่นอนและค่อนข้างบริสุทธิ์ มีสารปนเปื้อนน้อย เช่น เหล็ก ซีโอไลท์ธรรมชาติจะมีเหล็กปนเปื้อนอยู่มากกว่า ปัจจุบันซีโอไลท์มีประโยชน์และมีบทบาทในอุตสาหกรรมหลายด้านดังนี้

1. ใช้เป็นสาร Adsorbent ในการแยกและทำให้บริสุทธิ์ในขบวนการอุตสาหกรรมทางเคมี เช่น ใช้ในขบวนการ drying ของ natural gas แยก $CO_2$ และสารประกอบ sulphur จาก natural gas แยกสารที่ทำให้เกิดมลภาวะ เช่น $SO_2$, $NO_2$, แยก $O_2$ จากอากาศ เป็นต้น

2. ใช้เป็นสาร Catalyst ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้เป็น cracking catalyst

ในอุตสาหกรรมน้ำมัน ใช้เป็น catalyst ในปฏิกริยาการเปลี่ยน methanol เป็น gasoline

3. ใช้เป็น Ion exchange เช่น แยกสาร radioisotope จากกากของเสีย กำจัดแอมโมเนียในน้ำทิ้ง กำจัดสารโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว เหล็ก ปรอท แมงกานีส ใช้เป็น detergent builder เป็นต้น

เนื่องจากซีโอไลท์มีมากมายหลายชนิด และมีโครงสร้างที่แตกต่างกับซีโอไลท์แต่ละชนิดจึงมีคุณสมบัติเหมาะในการใช้งานแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อจะนำไปใช้งานในด้านใด จึงควรศึกษาคุณสมบัติให้เหมาะสมก่อน เพื่อให้สามารถใช้งานได้ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพสูงสุด

ตัวอย่างของชนิดซีโอไลท์กับการนำไปใช้งานที่เหมาะสม แสดงในตารางที่ 2

## เอกสารอ้างอิง


1. Breck, Donald W. Zeolite Molecular sieves
2. F.Ramoa Ribeiro, Zeolite : Science & Technology


ตารางที่ 1

| ซีอซีโอไลท์ | ปีค.ศ.ที่ค้นพบ | สูตรทางเคมี |
|---|---|---|
| Analcime | 1784 | $Na_{16}[(AlO_2)_{16}(SiO_2)_{32}] \cdot 16H_2O$ |
| Bikitaite | 1957 | $Li_2[(AlO_2)_2(SiO_2)_4] \cdot 2H_2O$ |
| Brewsterite | 1822 | $(Sr, Ba, Ca)_2[(AlO_2)_4(SiO_2)_{12}] \cdot 10H_2O$ |
| Chabazite | 1772 | $Ca_2[(AlO_2)_4(SiO_2)_8] \cdot 13H_2O$ |
| Clinoptilolite | 1890 | $Na_6[(AlO_2)_6(SiO_2)_{30}] \cdot 24H_2O$ |
| Dachiardite | 1905 | $Na_5[(AlO_2)_5(SiO_2)_{19}] \cdot 12H_2O$ |
| Edingtonite | 1825 | $Ba_2[(AlO_2)_4(SiO_2)_6] \cdot 8H_2O$ |
| Epistilbite | 1823 | $Ca_3[(AlO_2)_6(Sio_2)_{18}] \cdot 18H_2O$ |
| Erionite | 1890 | $(Ca, Mg, K_2, Na_2)_{4.5}[(AlO_2)_9(SiO_2)_{27}] \cdot 27H_2O$ |
| Faujasite | 1842 | $(Na_2, K_2, Ca, Mg)_{29.5}[(AlO_2)_{59}(SiO_2)_{133}] \cdot 235H_2O$ |
| Ferrierite | 1918 | $Na_{1.5}Mg_2[(AlO_2)_{5.5}(SiO_2)_{30.5}] \cdot 18H_2O$ |
| Garronite | 1962 | — |
| Gismondine | 1816 | $Ca_4[(AlO_2)_8(Sio_2)_8] \cdot 16H_2O$ |
| Gmelinite | 1807 | $Na_8[(AlO_2)_8(Sio_2)_{16}] \cdot 24H_2O$ |
| Gonnardite | 1896 | $Na_4Ca_2[(Alo_2)_8(Sio_2)_{12}] \cdot 14H_2O$ |
| Harmotome | 1775 | $Ba_2[(Alo_2)_4(SiO_2)_{12}] \cdot 12H_2O$ |
| Herschelite | 1925 | — |
| Heulandite | 1801 | — |
| Kehoeite | 1893 | — |
| Laumontite | 1785 | $Ca_4[(AlO_2)_8(SiO_2)_{46}] \cdot 16H_2O$ |
| Levynite | 1825 | $Ca_3[(AlO_2)_6(Sio_2)_{12}] \cdot 18H_2O$ |
| Mesolite | 1813 | $Na_{16}Ca_{16}[(AlO_2)_{48}(Sio_2)_{72}] \cdot 64H_2O$ |
| Mordenite | 1864 | $Na_8[(AlO_2)_8(SiO_2)_{40}] \cdot 24H_2O$ |
| Natrolite | 1758 | $Na_{16}[(AlO_2)_{16}(SiO_2)_{24}] \cdot 16H_2O$ |
| Offrenite | 1890 | $(K_2, Ca)_{2.7}[(AlO_2)_{5.4}(SiO_2)_{12.6}] \cdot 14H_2O$ |
| Paulingite | 1960 | $(K_2, Na, Ca, Ba)_{76}[(AlO_2)_{152}(SiO_2)_{520}] \cdot 700H_2O$ |
| Phillepsite | 1824 | $(K, Na)_{10}[(AlO_2)_{10}(SiO_2)_{22}] \cdot 20H_2O$ |
| Scolecite | 1801 | $Ca_6[(AlO_2)_{16}(SiO_2)_{24}] \cdot 24H_2O$ |
| Stellerite | 1909 | — |
| Stilbite | 1756 | $Ca_4[(AlO_2)_8(SiO_2)_{36}] \cdot 28H_2O$ |
| Thomsonite | 1801 | $Na_4Ca_8[(AlO_2)_{20}(SiO_2)_{20}] \cdot 24H_2O$ |
| Viseite | 1942 | — |
| Wairakite | 1955 | — |
| Yugawaralite | 1952 | $Ca_2[(AlO_2)_4(SiO_2)_{12}] \cdot 8H_2O$ |

**ตารางที่ 2**

| คุณสมบัติการใช้งาน | ชนิดของซีโอไลท์ |
|---|---|
| แยกสาร Radioisotope $Cs^{++}$, $Sr^{++}$ | Linde AW - 500 |
| | mordenite |
| | Clinoptilolite |
| แยกแอมโมเนียจากน้ำเสีย | Linde F, Linde W |
| | Clinoptilolite |
| Detergent builder | Zeolite A, Zeolite X |

# เทคโนโลยีการทำแม่พิมพ์ซิลค์สกรีน

*สุชาติ ปลดเปลื้อง*

**ความแตกต่างระหว่างผ้าสกรีนสีเหลืองและสีขาว** การทำแม่พิมพ์ที่ไม่ใช้แสงในการถ่ายทำแม่พิมพ์ อาจเลือกใช้ได้ทั้งผ้าสีเหลืองและสีขาว เพราะไม่มีผลแตกต่างกันอย่างไร แต่ถ้าใช้แสงมาช่วยการถ่ายทำแม่พิมพ์ ผ้าสีเหลืองจะให้รายละเอียดและความคมชัดของภาพได้ดีกว่าผ้าสีขาว

## เทคนิคการเลือกใช้เบอร์ผ้าสกรีนให้เหมาะสมกับงานที่จะพิมพ์

ในการเลือกใช้เบอร์ผ้าให้ถูกต้องกับงานต้องอาศัยประสบการณ์เป็นส่วนมากในการตัดสินใจ ไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัวว่าจะใช้ผ้าเบอร์อะไร ดังนั้นจึงอาจสรุปเป็นหลักในการเลือกใช้เบอร์ผ้าสรีนได้ดังนี้

### ผ้า NYBOLT และ POLYMON

1. ผ้าเบอร์ 18, 24, 36, 48, 61 และ 77 เป็นผ้าที่มีขนาดรูผ้าใหญ่ หมึกลงได้มาก ส่วนใหญ่ใช้ในแบบหรือภาพที่มีเส้นใหญ่ (หยาบ) ใช้ในการพิมพ์ผ้าเพราะมีการดูดซึมของหมึกมาก

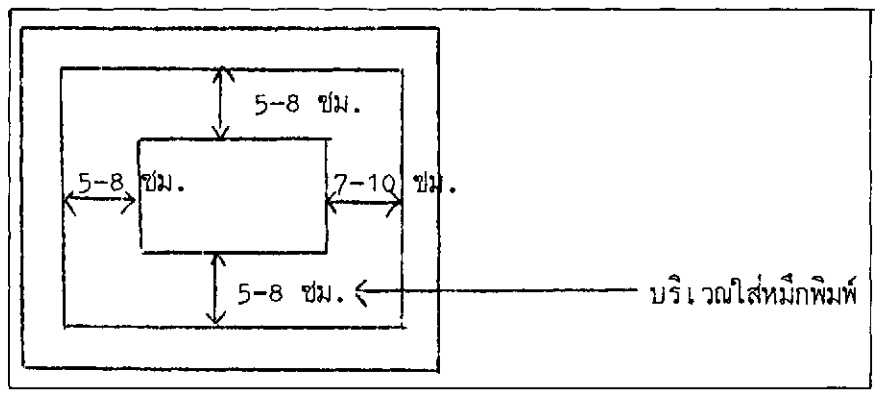
2. ผ้าเบอร์ 90, 95, 100, 110, 120 เหมาะสำหรับใช้พิมพ์กระดาษ ไม้ โลหะ พลาสติก ฯลฯ ต้องการให้ปริมาณของหมึกไหลผ่านออกมาปานกลาง ความละเอียดของเส้นที่พิมพ์หนาประมาณ 1-2 มม.

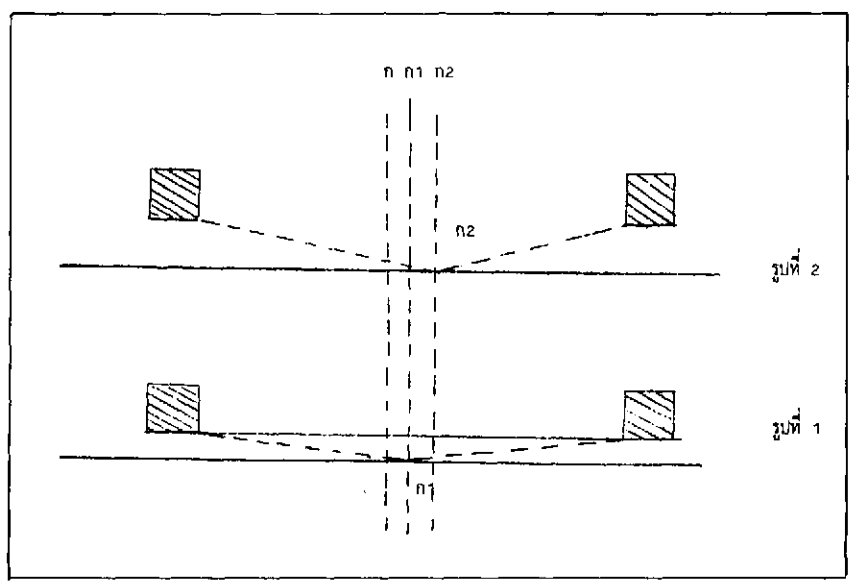
3. ผ้าเบอร์ 130, 140, 150, 165, 180, 200 เหมาะสำหรับใช้พิมพ์กระดาษ พลาสติก วงจรเซอร์กิต ฯลฯ ต้องการปริมาณของหมึกไหลผ่านผ้าออกมาน้อย ความละเอียดของเส้นที่พิมพ์หนาประมาณ 1 มม. ลงไป

4. ผ้าสกรีนที่ทำจากเส้นใยโลหะปลอดสนิม (polymon-net) ใช้สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูงมาก เพราะผ้าสกรีนชนิดนี้มีอัตราการยืดหยุ่นของเส้นใยต่ำมาก ส่วนผ้าสกรีนที่ถักด้วยเส้นใยคาร์บอนสลับกับเส้นใยไนลอนหรือโพลีเอสเตอร์ (polymon-CF) เส้นใยคาร์บอนจะช่วยทำลายประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดบนผ้าสกรีนระหว่างพิมพ์ให้หมดไป

## การขึงผ้าสกรีน

ในการขึงผ้าสกรีนมีสิ่งที่เกี่ยวข้องและควรเรียนรู้ก่อนจะขึงผ้าสกรีนคือ กรอบสกรีนและผ้าสกรีน วิธีการเลือกกรอบและผ้านั้น ต้องเลือกผ้าสกรีนที่มีเบอร์และชนิดผ้าให้เหมาะสมกับงาน กรอบไม้หรือกรอบอะลูมิเนียมที่ใช้สำหรับทำกรอบควรให้ขนาดของกรอบภายในใหญ่กว่าสิ่งพิมพ์อย่างน้อยด้านละ 5-8 ซม. สำหรับด้านหยอดสีควรให้เหลือที่อย่างน้อย 7-10 ซม. ทั้งนี้ จะทำให้การพิมพ์มีความคล่องตัวมากขึ้น และนอกเหนือจากนี้ยังจะต้องคำนึงถึงสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือ ความตึงของผ้าสกรีน ความตึงของผ้าสกรีนมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะในการพิมพ์ภาพซ้อนหลาย ๆ สี ถ้าผ้ามีความตึงไม่เท่ากัน ภาพที่เกิดขึ้นจากการพิมพ์จะคลาดเคลื่อนได้ ดังตัวอย่างจากรูปที่ 1 ขึงผ้าให้มีความตึงน้อยกว่ารูปที่ 2 เพื่อให้เกิดแรงสปริงของผ้ามากขึ้น สังเกตจากรูปที่ 1 ตำแหน่งที่ต้องการพิมพ์อยู่ที่ ก เมื่อพิมพ์แล้วจะเคลื่อนมาอยู่ที่ ก 1 และจากรูปที่ 2 จะเคลื่อนมาอยู่ที่ ก 2 ทำให้ภาพที่เกิดขึ้นเคลื่อนจากตำแหน่งที่ต้องการ มีสาเหตุจากการขึงผ้าที่มีความตึงไม่เท่ากัน




*ต่อจากฉบับที่แล้ว

## วิธีการขึงผ้าสกรีนบนกรอบไม้

การขึงผ้าสกรีน สามารถทำได้ 2 วิธีคือ การขึงด้วยมือและการขึงด้วยเครื่อง การขึงด้วยเครื่องจะมีประสิทธิภาพมากกว่า ผ้าสกรีนจะมีความตึงสม่ำเสมอทั้งกรอบ และได้กำหนดไว้อย่างแน่นอน แต่จะต้องลงทุนสูง การขึงผ้าด้วยมือมีอุปกรณ์ที่ใช้คือ คีมดึงผ้า ปากคีมทำด้วยยางเป็นร่องเพื่อกันลื่น การขึงแบบนี้ใช้ลวด (staple) ยิงผ้าสกรีนให้ติดกับกรอบ ดังนั้นจึงสามารถขึงบนกรอบไม้ได้เพียงอย่างเดียว

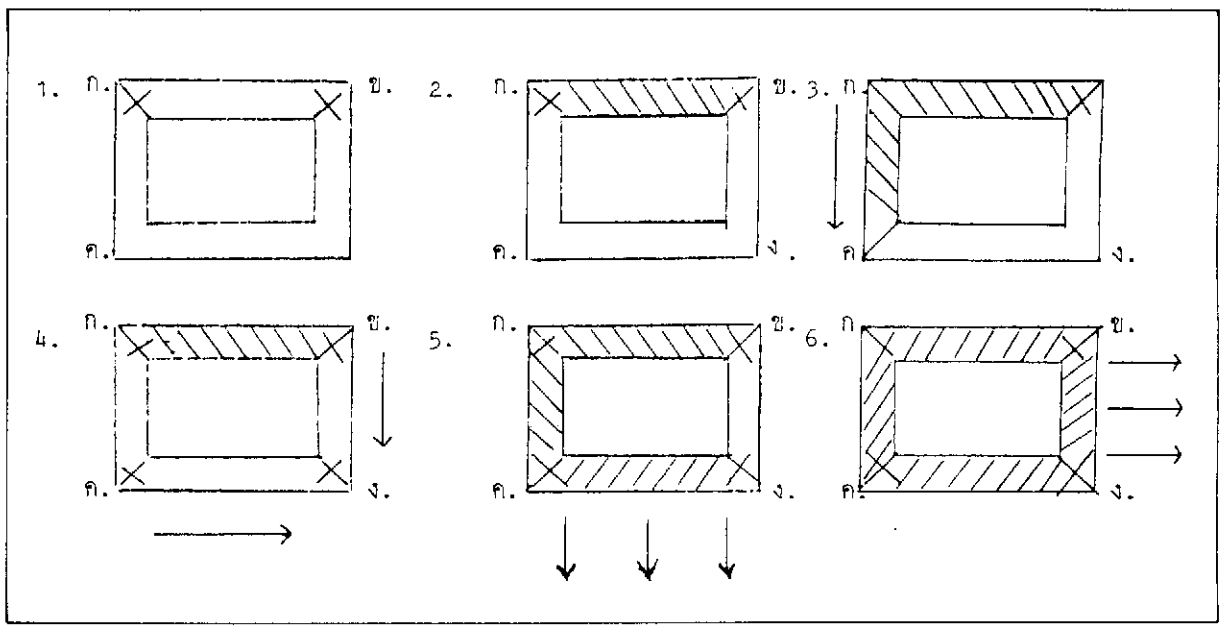
1. ตัดผ้าสกรีนให้มีขนาดใหญ่กว่ากรอบไม้ นำผ้าสกรีนชุบน้ำให้เปียก วางทาบบนกรอบไม้ใช้ปืนยิงลวด (staple) ยิงที่จุด ก. เป็นรูปกากบาท (X) ดึงผ้าจากจุด ก. ไปทาง ข. ตามแนวลูกศร (รูปที่ 1) ให้ตึง แล้วยิงที่จุด ข. เป็นรูปกากบาทเช่นกัน จากนั้นยิงไล่จากจุก ก. มายัง ข. ให้มีความถี่พอสมควร (รูปที่ 2)

2. บริเวณที่จุด ค. ดึงผ้าตามแนว กค. ยิงที่จุด ค. เหมือนจุด ก. และ ข. จากนั้นยิงไล่จากจุด ก. มายัง ค. (รูปที่ 3)

3. ที่จุด ง. ดึงผ้าจากจุด ค. มายัง ง. พร้อมกับดึงผ้าจากจุด ข. มายังจุด ง. ด้วย เมื่อได้ความตึงของผ้าที่ต้องการแล้ว ใช้ลวด (staple) ยิงที่จุด ง. เป็นรูปกากบาท (รูปที่ 4)

4. ยิงลวด staple จาก ค. มายัง ง. โดยออกแรงดึงผ้าเป็นช่วง ๆ พร้อมยิงลวด staple ไปด้วยจนถึงจุด ง.

5. การยิงลวดจากจุด ข. ไปยัง ง. ให้ใช้วิธีเดียวกับข้อ 4 (รูปที่ 6)




## ตารางที่ 2 แสดงความตึงของผ้า หน่วยเป็น นิวตัน/ซม.

| ผ้าสกรีนเบอร์ | | การยืดหดของเส้นด้าย % | ความตึง นิวตัน/ซม. (±) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | S | T | HD | |
| ไนล่อนเส้นเดี่ยว | 10 - 18 | 3 | 16 | 17 | 18 | 2N |
| | 21 - 51 | 3.5 | 15 | 16 | 17 | 2N |
| | 54 - 77 | 4 | 14 | 15 | 16 | 2N |
| | 81 - 95 | 4.5 | 12 | 13 | 14 | 2N |
| | 100 - 200 | 5.6 | 10 | 11 | 12 | 2N |
| โพลีเอสเตอร์เส้นเดี่ยว | | | | | | |
| | 10 - 18 | 1 | 20 | 21 | 22 | 2N |
| | 21 - 36 | 1 | 19 | 20 | 21 | 1N |
| | 40 - 81 | 1.5 | 17 | 18 | 19 | 1N |
| | 90 - 195 | 2 - 2.5 | 14 | 16 | 17 | 1N |

## การวัดความตึงของผ้าที่ขึงแล้ว

ความตึงของผ้าที่ขึงบนกรอบสกรีนอาจใช้เครื่องวัดความตึงของผ้าวัดได้ว่าจะตึงมากน้อยเพียงใด ตึงเท่ากันหมดทุก ๆ จุดหรือไม่ ซึ่งจะเป็นการสะดวกต่องานอย่างยิ่งถ้าหากผ้าสกรีนที่ขึงบนกรอบตึงมาก เมื่อเรานำเครื่องวัดความตึงของผ้าวางลงบนผ้านั้น ผ้าจะส่งแรงปฏิกิริยาตอบโต้ออกมาได้สูง จะแสดงให้เห็นทางเข็มหน้าปัดว่าผ้านั้นมีความตึงเท่าไร และถ้าหากผ้าที่ขึงมีความตึงน้อย (ผ้าหย่อน) เมื่อวางเครื่องมือวัดลงบนผ้า ๆ จะส่งแรงปฏิกิริยาตอบโต้ออกมาน้อยหรือไม่แสดงเลยถ้าผ้าหย่อนมาก ๆ ตารางที่ 2 เป็นตารางแสดงความตึงมาตรฐานของผ้าที่ขึงบนกรอบ

**(2) การทำแม่พิมพ์แบบง่ายไม่ใช้แสงในการทำแม่พิมพ์** เป็นการทำแม่พิมพ์ขั้นต้นโดยอาศัยการตัดฟิล์มติดทับลงบนผ้าสกรีน เป็นงานขั้นพื้นฐาน แบบไม่มีลวดลายมากนัก เพราะต้องคำนึงถึงความยากง่ายในการตัดฉลุ แม่พิมพ์ชนิดนี้ใช้ได้เฉพาะงานบางอย่างเท่านั้น ฟิล์มตัดที่ใช้กับงานนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ฟิล์มเขียวและฟิล์มน้ำ

**วิธีการทำแม่พิมพ์ซิลค์สกรีนชนิดฟิล์มเขียว** ฟิล์มเขียวเป็นฟิล์มที่ทำละลายด้วยทินเนอร์ เนื้อฟิล์มเคลือบอยู่บนแผ่นโพลีเอสเตอร์ที่ไม่ยืดหรือหดตัว ทำให้สะดวกง่ายต่อการตัดฉลุและลอกเนื้อฟิล์มออก ถ้าหากตัดหรือลอกฟิล์มออกผิดก็สามารถปิดลงไปใหม่ได้ ผิวหน้าของฟิล์มมีลักษณะด้านใช้ดินสอเขียนลวดลายได้ เนื้อฟิล์มเป็นสีเขียวโปร่งแสงจึงสะดวกต่อการลอกลายและแยกสี แม่พิมพ์ซิลค์สกรีนชนิดฟิล์มเขียวนี้สามารถใช้ได้ทั้งสีเชื้อน้ำและเชื้อน้ำมัน

**วิธีทำแม่พิมพ์** นำแผ่นฟิล์มเขียวทาบลงบนแม่แบบเท่าของจริงโดยให้ด้านเนื้อฟิล์มหงายขึ้นหรือจะลอกลายแม่แบบด้วยดินสอดำลงบนเนื้อฟิล์มเบา ๆ พอให้เห็นลายก็ได้ ใช้มีดกรีดตัดฟิล์มตามลวดลาย ระวังอย่ากดมีดให้ลึกถึงเนื้อโพลีเอสเตอร์ที่รองรับ เมื่อตัดลวดลายที่ต้องการเรียบร้อยแล้วใช้ปลายมีดค่อย ๆ งัดส่วนที่ต้องการออก ฟิล์มเป็นแบบโพสิทีฟ หรือ เนกาทีฟ นำฟิล์มที่ตัดเรียบร้อยแล้วมาวางบนพื้นกระจกหรือพื้นไม้ที่มีความเรียบ โดยหงายด้านเนื้อฟิล์มขึ้น ให้ด้านที่มีโพลีเอสเตอร์ติดอยู่กับแผ่นกระจก นำกรอบสกรีนซึ่งล้างเรียบร้อยวางทาบลงไปบนแผ่นฟิล์มเขียวอีกชั้นหนึ่ง โดยใช้กรอบสกรีนหงายขึ้น ใช้สำลีหรือเศษผ้าชุบทินเนอร์ที่มีความเข้มข้นปานกลางพอหมาด ๆ ถูไปทางเดียวให้ทั่ว ห้ามถูไปมาเพราะจะทำให้เยื่อของฟิล์มถูกทินเนอร์กัดออกมาจนบางไป หรือถ้าชุบทินเนอร์โชกมากไปแล้วถู การระเหยของทินเนอร์จะช้าลงบ้าง มีโอกาสค้างอยู่บนเยื่อนานกว่าปกติก็จะกัดขอบฟิล์มทำให้ลดความคมของเส้นหรือตามขอบของตัวอักษรลงได้ เมื่อเช็ดทินเนอร์ทั่วลายแล้ว ซับให้แห้งด้วยกระดาษซับ กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษปรู๊ฟ โดยวางกระดาษลงบนฟิล์ม แล้วใช้ลูกกลิ้ง ๆ กดลงบนกระดาษ ระวังอย่าให้ฟิล์มเขียวหักงอ เพราะจะทำให้ทินเนอร์ซึมเข้าไปไม่ถึง จะทำให้ฟิล์มไม่ติดกับผ้าสกรีน นำกรอบสกรีนที่ติดฟิล์มแล้วไปเป่าให้แห้งด้วยเครื่องเป่าลมให้แห้งสนิท แล้วลอกแผ่นโพลีเอสเตอร์ออก อุดช่องว่างต่าง ๆ ด้วยเทปกระดาษหรือใช้กาวอัดที่ผสมสารไวแสงแล้วทาให้ทั่ว นำไปตากแดดหรือฉายด้วยไฟแสงสว่าง นำไปล้างน้ำ และเป่าให้แห้ง นำไปติดขอบด้านในด้วยกระดาษกาวกันสีไหล จึงเป็นแม่พิมพ์พร้อมที่จะนำไปพิมพ์ได้ทันที

**วิธีทำแม่พิมพ์ชนิดฟิล์มน้ำ** ฟิล์มน้ำเป็นฟิล์มที่ทำละลายด้วยน้ำ เนื้อฟิล์มเคลือบอยู่บนแผ่นโพลีเอสเตอร์ใสที่ไม่ยืดหดตัว ฟิล์มจะเป็นสีม่วงอมชมพูโปร่งแสง ผิวหน้าของฟิล์มมีลักษณะด้านสามารถใช้ดินสอเขียนลวดลายได้ มีลักษณะเช่นเดียวกับฟิล์มเขียว แตกต่างกันที่ลักษณะของการใช้งานพิมพ์ที่ใช้พิมพ์เชื้อน้ำมันและเชื้อพลาสติก เท่านั้น ส่วนวิธีทำแม่พิมพ์ทำเช่นเดียวกับวิธีทำพิมพ์ฟิล์มเขียว ต่างกันที่ใช้น้ำหรือแอลกอฮอล์เจือจางเช็ดบนผิวฟิล์มเท่านั้น

**(3) การทำแม่พิมพ์ที่ใช้แสงในการทำแม่พิมพ์** จะเห็นได้ว่าทั้งวิธีฟิล์มน้ำและฟิล์มเขียวไม่มีเรื่องของการถ่ายด้วยแสง แต่การทำแม่พิมพ์วิธีกาวอัด ฟิล์มม่วง ฟิล์มคอนแท็ก ต้องใช้แสงเข้ามาช่วยในการถ่ายแม่พิมพ์ เพราะเป็นการทำแม่พิมพ์ที่สามารถเก็บรายละเอียดได้ทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นเส้นเล็กหรือใหญ่ เป็นที่นิยมแพร่หลาย ซึ่งสามารถนำไปพิมพ์ได้ทั้งสีพิมพ์เชื้อน้ำ เชื้อน้ำมัน และเชื้อพลาสติก การทำแม่พิมพ์วิธีนี้ต้องอาศัยกาวอัดเป็นสารเคมีที่ผสมน้ำยาไวแสง หรือแผ่นฟิล์มเคลือบน้ำยาไวแสง และตู้ไฟสำหรับให้แสงสว่างเวลาอัด เป็นหลักใหญ่ หรือจะใช้อัดด้วยแสงแดดก็ได้ แต่เดิมการถ่ายแม่แบบลงบนแผ่นสกรีนจะใช้วิธีถ่ายด้วยแสงแดดซึ่งเป็นแสงที่ดีที่สุด เพราะแสงแดดมีมวลของแสงที่หนาแน่นความเข้มของแสงคงที่สม่ำเสมอ แต่การใช้แสงแดดสามารถทำงานได้ในเวลาจำกัดและไม่สะดวก เพราะว่าเมื่อเวลาท้องฟ้าโปร่งก็จะไม่มีปัญหา ถ้าท้องฟ้ามีเมฆมากจะมีปัญหาในการถ่ายแบบ ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งในการถ่ายด้วยแสงแดดคือ ถ้าแสงแดดจัด ๆ จะใช้เวลาถ่ายประมาณ 45-60 วินาที

**วิธีทำแม่พิมพ์ด้วยกาวอัด** ระยะแรก ๆ กาวอัดเตรียมได้จากเจลาตินผสมกับน้ำยาไวแสง นำมาเคลือบสกรีนและถ่ายอัดสกรีน ความคมชัดของภาพหรือลวดลายไม่ค่อยดี แม่พิมพ์จะออกมาเป็นลายฟันปลา แต่ก็ยังคงใช้กันมากในอุตสาหกรรมพิมพ์ผ้า ส่วนกาวอัดที่ใช้ในปัจจุบันทำมาจากสารสังเคราะห์โพลีไวนีลแอลกอฮอล์หรือโพลีไวนิลอะซิเตทและสารเคมีชนิดอื่น เพื่อให้มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปผสมกับน้ำยาไวแสงที่บรรจุอยู่ในขวดสีชา เพื่อป้องกันแสงแดดทำลาย โดยปกติอัตราส่วนผสมของกาวอัดและน้ำยาไวแสงเท่ากับ 5 : 1 บางชนิดใช้ 10 : 1 หลังจากผสมแล้วควรให้อยู่ในที่ ๆ แสงสลัว ๆ (แสงสีแดง ส้ม เหลือง) เมื่อผสมกาวอัดกับน้ำยาไวแสงแล้วควรทิ้งไว้สัก 30-60 นาที เพื่อไล่ฟองอากาศให้หมดไป ทุกครั้งควรผสมกาวอัดให้หมดไปด้วย ถ้าทิ้งไว้ข้ามคืนกาวอัดอาจจะเสื่อมคุณภาพลงได้ กาวอัดเป็นสารเคมี เมื่อผสมกับน้ำยาไวแสงแล้วนำไปปาดบนผ้าสกรีนที่ขึงบนกรอบ แล้วนำไปเป่าให้แห้ง เมื่อนำไปถ่ายแบบลงสกรีน ส่วนที่ถูกแสงจะทำปฏิกิริยากับแสงจับตัวกันแข็ง และส่วนใดที่ไม่ถูกแสงจะไม่ทำปฏิกิริยากับแสงจะอ่อนตัวเมื่อนำไปล้างน้ำ กาวอัดที่ใช้กันมีอยู่หลายชนิด สามารถเลือกใช้ได้ตามลักษณะของงาน กาวเจลาตินเป็นกาวคุณภาพต่ำใช้ในอุตสาหกรรมพิมพ์ผ้า ส่วนการสำเร็จ เช่น กาวอัดสีชมพู กาวอัดสีฟ้าดีราโซล และกาวอัดทนน้ำ เป็นต้น มีคุณภาพปานกลาง นิยมใช้กันมากในการทำแม่พิมพ์ซิลค์สกรีน

## วิธีทำแม่พิมพ์

ผสมกาวอัดสีชมพู 5 ส่วน น้ำยาไวแสง 1 ส่วน (โดยน้ำหนัก) ถ้าเป็นกาวอัดสีฟ้าดีราโซลหรือกาวอัดทนน้ำ ผสมกาวอัด 10 ส่วน น้ำยาไวแสง 1 ส่วน (ควรผสมเท่าที่ใช้) เมื่อผสมเข้ากันดีแล้วตั้งทิ้งไว้ 30-60 นาที เพื่อให้ฟองอากาศหมดไป

นำกรอบสกรีนที่ขึงเรียบร้อยมาล้างด้วยน้ำยาขัดผ้า seriperp 101 และน้ำยาล้างไขผ้า degreaser เพื่อให้หมดคราบไขมันและสิ่งสกปรกต่าง ๆ เมื่อสะอาดดีแล้วเป่าให้แห้ง

เทกาวอัดที่ผสมแล้วลงบนสกรีนพอประมาณ ใช้ยางปาด ไม้โปรเทคเตอร์หรือรางปาด ๆ กาวอัดให้เคลือบเสมอกันทั้งสองหน้า นำกรอบสกรีนที่เคลือบกาวอัดแล้วไปเป่าให้แห้งในห้องมืด เมื่อแห้งแล้วจะถูกแสงขาวไม่ได้ ถูกได้เฉพาะแสงสีส้ม สีแดงและสีเหลืองเท่านั้น

นำแม่แบบวางลงบนกระจกของตู้ไฟติดด้วยเทปใสกันเลื่อน (ควรวางแบบเอาแบบด้านที่ต้องการหรือถ้าเป็นตัวหนังสือให้เอาด้านที่อ่านออกแนบกับผ้าสกรีน) วางครอบสกรีนทาบลงบนแบบถ่าย นำกระดาษดำหรือกระดาษทึบแสงปิดบนผ้าสกรีนบริเวณลวดลายทั้งหมด หาแผ่นไม้หรือแผ่นโฟมวางทับกระดาษและทับด้วยของหนักพอประมาณอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ผ้าสกรีนแนบกับแม่แบบ ซึ่งจะทำให้ภาพคมชัด เวลาที่ใช้ในการถ่ายขึ้นอยู่กับผู้ถ่ายจะใช้เวลาไม่เท่ากัน หากใช้เวลาถ่ายน้อยไป กาวอัดจะหลุดหมด แล้วถ้าใช้เวลาถ่ายนานเกินไป จะล้างกาวอัดไม่ออก

แสงที่ใช้ถ่ายนั้นใช้ได้หลายชนิด คือ แสงแดด แสงจากหลอดนีออน แสงจากไฟอาร์คแลมป์ แสงที่ดีควรมีความนิ่งไม่กระพริบ ช่วงคลื่นแสงควรอยู่ระหว่าง 390-450 นาโนมิเตอร์ ตู้ไฟนีออนควรมีจำนวนตั้งแต่ 10 หลอดขึ้นไป เรียงห่างกันประมาณ 5 ซม. และห่างจากกระจก 30 ซม. จะใช้หลอดสั้นหรือยาวก็ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของกรอบสกรีน

**ตารางที่ 3 แสงในการถ่าย ระยะห่างและเวลาที่ใช้ได้ผลในการถ่าย**

| แสงในการถ่าย | ระยะห่าง | เวลา (นาที) |
|---|---|---|
| หลอดนีออน 40 วัตต์ 8 หลอด | 30 | 4 |
| ไฟอาร์คแลมป์ 1200 วัตต์ | 50 | 3 |
| เมตัลเฮไลด์ 2000 วัตต์ | 120 | 2-3 |
| เมตัลเฮไลด์ 5000 วัตต์ | 120 | 40-45 วินาที |

ข้อสังเกต : ลายเส้นขนาดเล็กใช้เวลาถ่ายน้อยกว่าลายเส้นขนาดใหญ่

นำกรอบสกรีนที่ถ่ายแล้วไปล้างน้ำธรรมดา ใช้ฟองน้ำถูเบา ๆ หรือใช้หัวฉีด ๆ ที่ลวดลายทั้งสองด้าน ส่วนที่ไม่ถูกแสงจะหลุดออกมาและที่ถูกแสงจะเกาะแน่นบนผ้าสกรีน

ตรวจส่องกับแสงสว่างดูว่าลวดลายส่วนใดล้างออกไม่หมดบ้าง เมื่อไม่มีรอยอุดตันนำไปเป่าให้แห้ง ตรวจส่องดูรอยรั่วเล็ก ๆ (ตามด) อีกครั้ง ถ้ามี ให้นำเอากาวอัดที่เหลือมาอุดโดยใช้พู่กันจุ่มแล้วป้ายบนรูรั่ว เป่าให้แห้งอีกครั้ง

สกรีนที่เคลือบด้วยกาวอัดสีชมพู และกาวอัดสีฟ้าดีราโซล ใช้พิมพ์ได้เฉพาะสีพิมพ์เชื้อน้ำมันและเชื้อพลาสติกเท่านั้น ถ้าจะนำไปพิมพ์ด้วยสีพิมพ์เชื้อน้ำ ต้องเคลือบสกรีนด้วยน้ำยาเคลือบกันน้ำทั้งสองด้านด้วยสำลีจุ่มน้ำยาพอหมาดทา แล้วเป่าให้แห้งด้วยลมเย็น ห้ามตากแดดและเป่าลมร้อน

**การทำแม่พิมพ์แบบผสม**[2] เป็นการทำโดยใช้กาวอัดและฟิล์มสีม่วงมาผสมกัน ลักษณะฟิล์มม่วงเช่นเดียวกันกับฟิล์มเขียวและฟิล์มน้ำ แต่ไม่ใช่วิธีตัดฟิล์มเป็นลวดลาย วิธีนี้ใช้ตัดฟิล์มม่วงติดกับผ้าสกรีนด้วยกาวอัด แล้วนำไปถ่ายไฟทำให้ได้แบบลวดลายที่ละเอียดและคมชัด การทำแม่พิมพ์ชนิดนี้ อัตราส่วนผสมกาวอัด 5 ส่วน น้ำยาไวแสง 3 ส่วน และใช้ระยะเวลาถ่ายไฟเพิ่มขึ้นจากเดิมอีกประมาณร้อยละ 50 แม่พิมพ์แบบผสมมีวิธีทำดังนี้

ตัดฟิล์มม่วงให้ใหญ่กว่าแบบที่จะอัดเล็กน้อย นำมาวางบนกระจกโดยให้ด้านเนื้อฟิล์มหงายขึ้น ด้านที่เป็นพลาสติกติดกับกระจก นำกรอบสกรีนวางทาบบนแผ่นฟิล์ม (ที่วางอยู่บนกระจกเล็กกว่ากรอบสกรีนด้านในเล็กน้อย) ให้แนบสนิท เทกาวอัดที่ผสมน้ำยาไวแสงแล้วลงในกรอบสกรีน ใช้ยางหรือรางปาด ๆ กาวอัดให้เรียบเสมอกัน ยกกรอบสกรีนขึ้นจากกระจก แผ่นฟิล์มจะติดอยู่กับผ้าสกรีน ปาดกาวอัดให้ทั่วผ้าสกรีนทั้งสองด้าน เป่ากาวให้แห้งในห้องมืด เมื่อแห้งสนิทดีแล้วลอกเอาแผ่นพลาสติกออก (ถ้ากาวอัดไม่แห้ง เวลาลอกแผ่นพลาสติกออก เนื้อฟิล์มจะหลุดติดแผ่นพลาสติกออกมา) บนผ้าสกรีนจะเหลืออยู่แต่เนื้อฟิล์มม่วงและกาวอัดเท่านั้น นาบแบบที่จะถ่ายให้ติดกับฟิล์ม แล้วนำไปถ่ายไฟ ใช้เวลาในการถ่ายมากกว่ากาวอัดธรรมดาอีกร้อยละ 50 ถ่ายเสร็จแล้วนำไปแช่น้ำไว้ 2-3 นาที แล้วใช้น้ำฉีดค่อย ๆ ไล่ตัวแบบหรือลวดลายให้ชัดขึ้น นำกรอบสกรีนมาเป่าให้แห้ง อุดรอยรั่วตามดต่าง ๆ ด้วยกาวอัด ติดขอบสกรีนด้านในขอบไม้กับผ้าด้วยกระดาษกาว พร้อมที่จะพิมพ์ได้

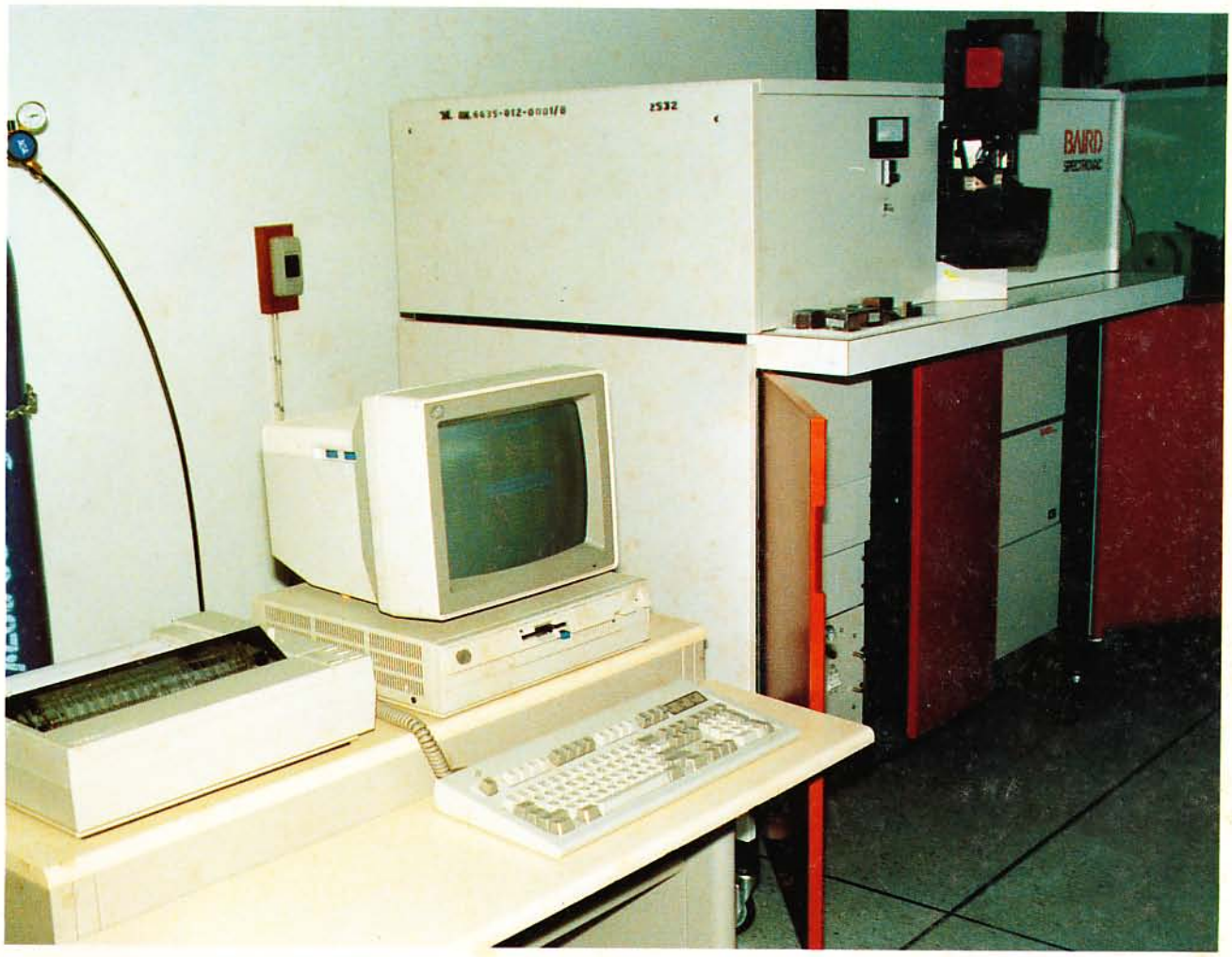
**วิธีการทำแม่พิมพ์แบบใช้ฟิล์มไวแสง**[3] ฟิล์มชนิดนี้เป็นฟิล์มไวแสง ต้องเก็บไว้ในที่มืดตลอดเวลาในห้องที่มีอุณหภูมิพอเหมาะไม่ร้อนเกินไป ฟิล์มชนิดนี้สามารถเก็บรายละเอียดหรือแบบที่มีเส้นเล็กมาก (ตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรลงไป) ได้เป็นอย่างดี เนื้อฟิล์มมีความเหนียวมากสามารถยืดหยุ่นได้ จึงเหมาะสำหรับใช้พิมพ์วัสดุผิวหน้าหยาบหรือแข็งได้ เช่น แผ่นเซอร์กิต เซรามิก บัตรตัวนูน รูปลอกหน้าปัทม์วิทยุ กระจก กระดาษ เป็นต้น ที่ต้องการมีความคมของเส้นและจำนวนฟิล์มสูงได้เป็นอย่างดี ฟิล์มแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ฟิล์มชนิดสีน้ำเงินแก่ ใช้น้ำอุ่นล้างฟิล์มและชนิดเป็นสีแดงใช้น้ำอุ่นผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ล้างฟิล์ม มีวิธีทำแม่พิมพ์ดังนี้

ตัดฟิล์มแดงในห้องมืดให้ใหญ่กว่าแบบ

(อ่านต่อหน้า 13)

2 พีรพล ม่วงจร, "ซิลค์สกรีน", กองบริการอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ 2527 หน้า 53

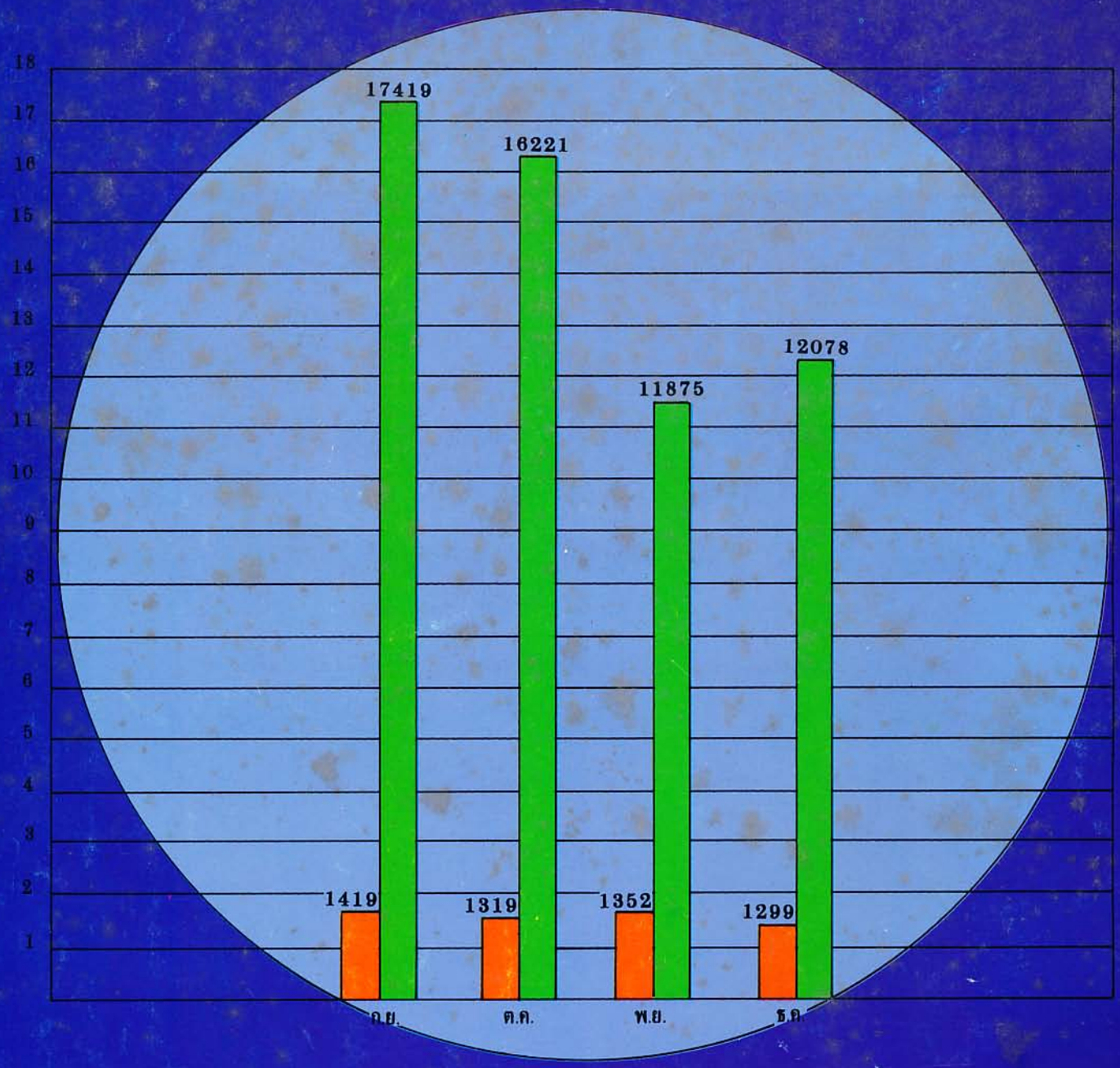
3 พีรพล ม่วงจร, Ibid. หน้า 63-64



## เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ
**(Spark Emission Spectrovac 1000 DV-4)**

หาปริมาณธาตุต่าง ๆ ในโลหะและโลหะผสมชนิดต่าง ๆ ในสภาพที่เป็นของแข็ง เช่น ตัวอย่างเหล็ก ทองแดง ทองเหลือง บรอนซ์ อะลูมิเนียม ดีบุก ตะกั่ว ตะกั่วบัดกรี เป็นต้น ช่วยให้การวิเคราะห์สะดวกและประหยัดเวลามาก

(กองเคมี)




จำนวนตัวอย่าง

จำนวนรายการ

**สถิติแสดงจำนวนตัวอย่าง**
**และรายการวิเคราะห์ทดสอบ**
**วัตถุตัวอย่าง**
**เดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม 2535**