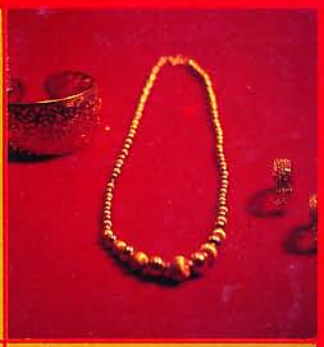
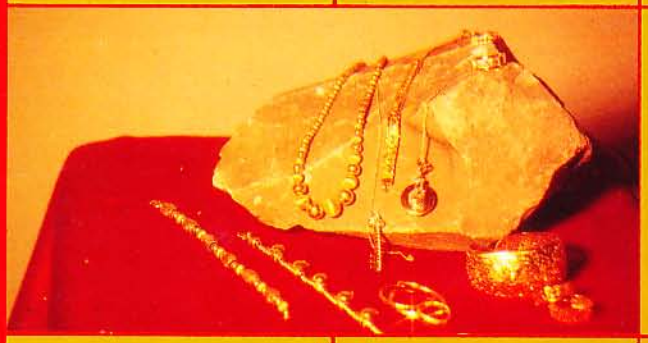
ISSN 7684 – 7543





วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ

ปีที่ 40 ฉบับที่ 128 มกราคม 2535
วารสารรายสี่เดือน

กรมวิทยาศาสตร์บริการ
จัดทำและเผยแพร่โดย
ฝ่ายเผยแพร่และประชาสัมพันธ์
สำนักงานเลขานุการกรม
ถนนพระราม 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทร. 2455523

สารบัญ

3
การวิเคราะห์ปริมาณทองในทองผสมและเครื่องทองรูปพรรณ
เรณู ตามไท กองเคมี

7
การผลิตแอลกอฮอล์จาก whey โดยยีสต์
เกรียงไกร นาคะเกศ กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

12
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมยาง
พายับ นามประเสริฐ กองฟิสิกส์และวิศวกรรม

15
บริการเอส ดี ไอ
พัชราวิไล พงษ์วิชชุลดา กองสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

17
ข่าวทั่วไปใน วศ.

21
วิจัยและพัฒนาดินขาวเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ
นวลอนงค์ ศรีพงษ์ กองการวิจัย

24
การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ไซยาไนด์จากเหมืองทอง
ชัชวลี กะลัมพะเหติ กองการศึกษาเคมีปฏิบัติ

29
สีผงเซอร์คอน : สีฟ้า
ดร.สุจินดา โชติพานิช วรรณา โฆสิตะมงคล กองการวิจัย

การวิเคราะห์ปริมาณทองในทองผสมและเครื่องทองรูปพรรณ

เรณู ตามไท

ทองคำเป็นโลหะที่มีค่าโลหะหนึ่งในตระกูล Noble metal มีความสำคัญยิ่งยวดทั้งทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม การนำทองคำมาใช้นั้นมีมาตั้งแต่สมัยโบราณ ประมาณ 3,400 ปี ก่อนคริสต์ศักราช ในสมัยนั้นความต้องการใช้ทองคำมีน้อยกว่าปริมาณทองที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ทองยังเป็นโลหะที่สามารถทำให้กลับคืนสู่สภาพเดิม (recover) ได้อีกด้วย แต่ความต้องการทองก็ยังคงมีอยู่ เพราะทองเป็นสัญลักษณ์แห่งความมั่งคั่งและความมีอำนาจ ในสมัยที่ยังไม่มีการใช้ธนบัตรและเงินตรา มนุษย์เราใช้ทองเป็นตัวกลางสำหรับแลกเปลี่ยนเพื่อซื้อขายสิ่งของต่าง ๆ ในปัจจุบันนี้ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกยังคงใช้ "ทองคำ" เป็นทรัพย์สินสำรองเงินตราระหว่างประเทศด้วย นอกจากนี้ยังได้มีการนำทองมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นอีก เช่น ทำเหรียญ เครื่องราชอิสริยาภรณ์ เครื่องทองรูปพรรณ และเครื่องประดับต่าง ๆ ในทางอุตสาหกรรมได้ผสมโลหะบางชนิดลงไปเพื่อให้เกิดความสวยงามหรือให้เหมาะสมกับการใช้งาน ปริมาณทองที่ใช้ในแต่ละวัตถุประสงค์นั้นจะแตกต่างกัน โดยเฉพาะปริมาณทองสำหรับทำเครื่องประดับและทองรูปพรรณส่วนใหญ่จะใช้ทองที่มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง

เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายควบคุมปริมาณทองในเครื่องประดับและทองรูปพรรณ และผู้ซื้อไม่อาจทราบได้ว่าเครื่องประดับหรือทองรูปพรรณที่ซื้อไปนั้นมีทองผสมอยู่เท่าใด ตรงกับปริมาณที่แจ้งไว้หรือไม่ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณทองในทองรูปพรรณ ผู้ซื้อหรือผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำส่งสิ่งของเหล่านั้นไปยังหน่วยงานที่วิเคราะห์ตรวจสอบหาปริมาณทองได้ วิธีทดสอบมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ วิธีตรวจสอบอย่างง่าย วิธีทางเคมี และการใช้เครื่องมือพิเศษ ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

ทองคำที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปโลหะทอง (native gold) มีลักษณะเป็นเม็ดกลม แบน หรือกระจายเป็นเส้นมีสีเหลือง มีแร่บางชนิดที่อาจมีทองคำปะปนอยู่เช่น Pyrite (FeS_2), Stibnite (Sb_2S_3) ฯลฯ ซึ่งอาจเป็นตัวบ่งชี้ถึงแหล่งแร่ทองคำได้ นอกจากนี้ทองคำอาจเกิดในรูปของสารประกอบรวมกับทองแดง เรียกว่า Cuproauride (Au, Cu) เกิดรวมกับเงิน เรียกว่า Electrum (Au, Ag) และในรูปของแร่ เช่น Calverite ($AuTe_4$) Sylvanite ($Au_2Ag_2Te_8$) ฯลฯ หรือที่เกิดรวมกับปรอทเรียกว่า Amalgam

ทองคำบริสุทธิ์จะมีเนื้อที่ค่อนข้างอ่อนสีเหลืองสุกใส และทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ทองคำบริสุทธิ์มีสมบัติดังนี้ ค่าความถ่วงจำเพาะ 19.3 น้ำหนักอะตอม 196.9665 หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1063° ซ. และมีจุดเดือดที่ 2966° ซ. ความแข็งตามมาตรฐานของโมห์เท่ากับ 2.5-3 จึงมีเนื้อค่อนข้างอ่อน สามารถตีแผ่เป็นแผ่นได้บางถึง 0.1 μm อย่างที่เรียกว่า "ทองคำเปลว" ดังนั้นในการทำทองรูปพรรณต่าง ๆ จึงนิยมผสมโลหะอื่น เช่น เงิน ทองแดง สังกะสี นิกเกิล ฯลฯ เพื่อทำให้เนื้อทองแข็งขึ้น มีสีสวย และเงางามมากขึ้น

ความบริสุทธิ์ของทองคำเรียกเป็นไฟน์เนส (fineness) หรือ กะรัต (carat หรือ kt) ไฟน์เนส คือปริมาณทองคำต่อ 1000 ส่วนของวัสดุนั้น เช่น fineness 959 หรือ "959 fine" จะมีค่าเท่ากับทอง 95.9 เปอร์เซ็นต์

ส่วนกะรัตนั้นเทียบจากความบริสุทธิ์ของทองคำ 990 หรือ 99 เปอร์เซนต์ขึ้นไปว่าเป็น 24 กะรัต รายละเอียดของทองประเภทต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทและสัญลักษณ์

ประเภท	ความบริสุทธิ์ (fineness) ต่ำสุด	สัญลักษณ์
990	990/1000	24 kt
954	954/1000	23 kt
916	916/1000	22 kt
750	750/1000	18 kt
585	585/1000	14 kt
375	375/1000	9 kt
333	333/1000	8 kt

หมายเหตุ ประเภทนอกเหนือจากที่กำหนดไว้ ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

น้ำหนักของทองคำมีหน่วยเป็นบาท ทอง 1 บาทหนักเท่ากับ 15.244 กรัม ทองที่นิยมทำเป็นทองรูปพรรณและเครื่องประดับนั้น มักจะผสมโลหะอื่นลงไปเพื่อให้เกิดความสวยงามและความแข็งแรง โลหะที่ผสมลงไปนั้นจะมีผลทำให้สีของทองแตกต่างกันออกไป และเรียกชนิดของทองนั้นตามสัญลักษณ์และปริมาณทองที่ผสมอยู่ เช่น ทอง 750 หรือ 18kt หมายถึง ทองที่มีปริมาณทอง 75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนที่เหลือเป็น ทองแดง เงิน และโลหะอื่น รายละเอียดของสีและส่วนผสมต่าง ๆ ของทองแดง แสดงไว้ในตารางที่ 2 ความบริสุทธิ์สูงสุดของทองในตารางที่ 2 คือ 18 kt

ตารางที่ 2 สีและส่วนประกอบทางเคมี

กะรัต (kt)	สี	ส่วนประกอบเป็นร้อยละ					
		ทอง	เงิน	ทองแดง	นิกเกิล	สังกะสี	ธาตุอื่น ๆ
18	แดง	75.0	5.0	20.0	-	-	-
	เหลือง	75.0	15.0	10.0	-	-	-
	ขาว	75.0	-	3.5	16.5	5.0	-
	ขาว	75.0	-	2.1	17.0	5.4	-
	ขาว	75.0	-	-	-	-	Pd : 25.0
14	แดง	58.3	7.5	34.2	-	-	-
	แดง	58.3	6.0	35.7	-	-	-
	แดง	58.3	5.2	36.5	-	-	-
	เหลือง	58.3	15.0	26.7	-	-	-
	เหลือง	58.3	12.5	29.2	-	-	-
	เหลือง	58.3	-	41.7	-	-	-
	เหลือง	58.3	4.9	31.6	5.2	-	-
	เหลือง	58.3	20.8	20.8	-	-	-
	เหลือง	58.3	10.4	29.1	-	2.1	-
	เหลือง	58.3	30.0	6.0	1.5	4.2	Mn : 0.1
	ขาว	58.3	-	18.1	17.6	6.0	-
	ขาว	58.3	-	16.6	16.6	8.5	-
12	แดง	50.0	7.1	42.9	-	-	-
	เหลือง	50.0	42.9	7.1	-	-	-
	ขาว	50.0	-	20.0	20.0	10.0	-
10	เหลือง	38.5	15.4	41.9	1.2	3.1	-
	เหลือง	38.5	8.8	42.1	1.6	5.8	-
9	แดง	37.5	7.5	55.0	-	-	-
	แดง	37.5	-	61.0	-	1.5	-
	แดง	37.5	5.0	57.5	-	-	-
	เหลือง	37.5	17.5	42.0	-	3.0	-
	เหลือง	37.5	11.0	51.5	-	-	-
	เหลือง	37.5	10.5	45.0	-	7.0	-
	ขาว	37.5	-	27.6	17.5	17.4	-
8	-	33.3	ไม่แน่นอน				

ทองที่มีความบริสุทธิ์เกิน 18kt จะมีสีเป็นสีทอง และมีส่วนประกอบเป็นร้อยละดังนี้

	ทอง	เงิน	ทองแดง
ทอง 90%	90	3	7
ทอง 95%	95	1	4

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าทองประเภทเดียวกัน มีปริมาณทองผสมอยู่เท่ากัน อาจมีสีแตกต่างกันได้ ดังนั้นการดูสีของทองรูปพรรณและเครื่องประดับจึงไม่อาจบอกปริมาณทองที่มีอยู่ได้

วิธีตรวจสอบอย่างง่าย ๆ นอกจากดูจากน้ำหนักเพราะทองเป็นโลหะที่หนักกว่าโลหะอื่นแล้วยังตรวจสอบได้ด้วยวิธี Touch stone วิธีนี้ใช้หาค่าโดยประมาณของทองในทองผสมและทองรูปพรรณได้ โดยขีดตัวอย่างทองที่ต้องการทราบปริมาณลงบนหินสีดำ (Black stone) แล้วเปรียบเทียบสีของรอยขีดกับสีที่เกิดจากการขีดของเข็มโลหะ Touch needle ที่ทราบส่วนผสมแล้ว เข็มโลหะนี้จะมี 3 ชุดประกอบด้วย โลหะผสมทอง-เงิน โลหะผสมทอง-ทองแดง และโลหะผสม 3 ชนิด ทอง-เงิน-ทองแดง การทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างเพียงเล็กน้อยและตัวอย่างจะยังคงสภาพเดิม โดยวิธีนี้ผู้ที่มีความชำนาญจะสามารถบอกปริมาณทองในตัวอย่างได้ใกล้เคียงความเป็นจริง

นอกจากวิธีตรวจสอบอย่างง่าย ๆ แล้ว ยังมีวิธีตรวจสอบทางเคมีที่ต้องทำลายตัวอย่าง ซึ่งมีอยู่หลายวิธี วิธีที่ดีที่สุดให้ผลถูกต้อง แม่นยำ และเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป คือวิธี Fire assay and cupellation โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างเปรียบเทียบกับทองคำมาตรฐาน วิธีนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณทองสูง แบ่งการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. การเตรียมทองคำมาตรฐานสำหรับหลอม ชั่งทองคำมาตรฐาน (99.9 เปอร์เซ็นต์) 1,000 มิลเลียม (milliems) (มิลเลียมเป็นหน่วยน้ำหนักย่อยที่ใช้กับทอง น้ำหนัก 1,000 มิลเลียมมีค่าเท่ากับ 0.5 กรัม) เติมเงินบริสุทธิ์ 2-2.5 เท่าของน้ำหนักทองคำที่ใช้ คือไม่เกิน 1.25 กรัม สำหรับทองคำมาตรฐานและเติมทองแดงบริสุทธิ์ 0.05

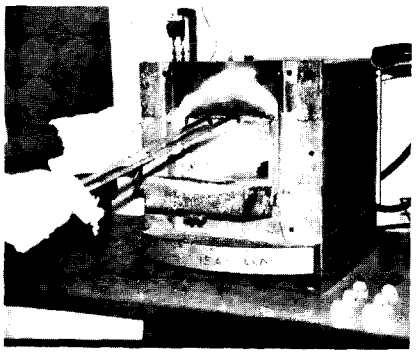
กรัม เพื่อลดจุดหลอมเหลวของทองให้ต่ำลง ใช้แผ่นตะกั่วที่มีความหนาประมาณ 0.05 มิลลิเมตร หนักประมาณ 4 กรัม ห่อเงินทองแดงและทองคำที่ชั่งไว้เข้าด้วยกัน บีบให้เป็นเม็ดกลมเล็ก ๆ เตรียมพร้อมสำหรับการหลอม

2. การเตรียมตัวอย่างสำหรับหลอม ตัวอย่างทองรูปพรรณที่จะนำมาวิเคราะห์ถ้าทราบประเภทของทองโดยประมาณแล้ว นำมาหาปริมาณเงินที่มีอยู่ในตัวอย่างนั้น โดยละลายตัวอย่างในกรดกัดทอง (HCl 3 ส่วน : HNO_3 1 ส่วน) เมื่อตัวอย่างละลายหมด ระเหยไล่กรดออกแล้วเติมน้ำ จะได้ตะกอนเงินคลอไรด์ กรองทันที อบ และชั่ง คำนวณหาปริมาณเงินในตัวอย่างนั้น

ในกรณีที่ไม่ทราบประเภทของทองให้นำตัวอย่างมาทำการหลอมเบื้องต้น (preliminary assay) โดยชั่งตัวอย่าง 2 ชุด ชุดละ 100 มิลลิกรัม ชุดที่ 1 เติมเงิน 300 มิลลิกรัม ห่อแยกชุดด้วยแผ่นตะกั่วหนักแผ่นละ 3 กรัม วางบนเบ้าหลอม นำเบ้าเข้าเตาหลอม เมื่อหลอมแล้วนำเม็ดทอง-เงินชุดที่ 1 มาบีบให้แบน ต้มในกรดไนตริกเจือจาง (9.98 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร) 15 มิลลิลิตรนาน 15 นาที ล้างกรดออกจากแผ่นทองให้หมดแล้วนำไปเผาจนแดง ชั่งน้ำหนักแผ่นทอง น้ำหนักที่ชั่งได้คือปริมาณทองคำในตัวอย่าง สำหรับชุดที่ 2 เมื่อหลอมแล้วชั่งน้ำหนักเม็ดทอง-เงิน ผลต่างระหว่างน้ำหนักที่ชั่งหลังจากการหลอมของตัวอย่างชุดที่ 1 และชุดที่ 2 คือปริมาณเงินที่ผสมอยู่ในตัวอย่าง นำมาคำนวณหาน้ำหนักเงินสำหรับเติมในตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์โดยละเอียดต่อไป

เมื่อทราบประเภทของทองและปริมาณเงินที่ต้องเติมแล้ว ชั่งตัวอย่างทอง 1,000 มิลลิเลียม และเติมเงินตามน้ำหนักที่ต้องการ ห่อด้วยแผ่นตะกั่ว บีบให้เป็นเม็ดกลมเล็ก ๆ เตรียมพร้อมสำหรับการหลอม

3. การหลอมเปิดเตาเผาไฟฟ้าปรับตั้งอุณหภูมิ 1000 ° ซ. วางห่อเม็ดตะกั่วที่เตรียมตามข้อ 1 และ 2 บนเบ้าโบนแอช (bone ash) หรือแมกนีเซีย (magnesia) เพิ่มอุณหภูมิให้ถึง 1050 ° ซ. หลอมนาน 20 ถึง 30 นาที แล้วแต่ปริมาณของตะกั่วที่ใช้ เมื่อหลอมได้ที่แล้วตะกั่วจะถูกดูดซับด้วยตัวเบ้า ส่วนที่คงเหลืออยู่คือเม็ดทองคำ-เงิน จะมีลักษณะสุกสว่าง นำมาทุบให้แบนเผาด้วยตะเกียงบุนเซนที่ 700 ° ซ. ให้อ่อนตัว แล้วรีดให้ยาวออก ให้ได้ความหนา 0.25 มิลลิเมตร ม้วนแบบทองม้วนใส่ในทิมเบิล (thimble) ที่ทำด้วยทองคำขาว (platinum) นำไปต้มในกรดไนตริกหมายเลข 1 (6.28 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร) ที่ต้มเดือดแล้ว ต้มต่ออีก 10-15 นาที นำมาล้างกรดออก แล้วต้มในกรดไนตริกหมายเลข 2 (9.98 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร) ที่ต้มเดือดแล้ว อีก 15-20 นาที นำแผ่นทองออกมาล้างให้สะอาดอบให้แห้ง แล้วเผาที่อุณหภูมิ 700 ° ซ. นาน 5 นาที ส่วนที่หลอมได้นี้จะเป็นทองคำบริสุทธิ์ คำนวณปริมาณโดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักทองคำมาตรฐาน ที่ได้จากการหลอมพร้อมกันนั้นก็จะทราบปริมาณของทองคำในตัวอย่างทองผสมหรือทองรูปพรรณนั้น



สำหรับปริมาณของแผ่นตะกั่วที่ใช้ปริมาณเงินที่เติมเพื่อให้ได้ 2-2.5 เท่าของน้ำหนักทอง ในทองประเภทต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณของแผ่นตะกั่วที่ใช้และเงินที่เติมในทองประเภทต่าง ๆ

ประเภทของทอง	น้ำหนักแผ่นตะกั่วที่ใช้ (กรัม)	ปริมาณเงินมากที่สุด (กรัม) ที่ใช้เติมในตัวอย่าง
ทองคำมาตรฐาน 99.9 เปอร์เซ็นต์	4	1.25
ทอง 95	5	1.1875
ทอง 90	5	1.125
ทอง 18 kt	6	0.9375
14 kt	6	0.7313
12 kt	7	0.625
10 kt	7	0.4813
9 kt	7	0.4687
8 kt	7	0.4163

หมายเหตุ
1. ปริมาณเงินที่แสดงได้นี้ยังมิได้หักเงินที่มีในแต่ละตัวอย่างออก
2. ถ้าตัวอย่างมีน้อยอาจใช้เพียง 500 มิลเลียม (0.25 กรัม) น้ำหนักเงินที่เติมจะลดลงตามส่วน
3. ถ้าตัวอย่างเป็นทองขาว (white gold) ที่มีนิกเกิลผสมอยู่ให้ใช้ตัวอย่าง 500 มิลเลียม

วิธี Fire assay and cupellation ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น แม้จะยุ่งยาก แต่ก็เป็นวิธีวิเคราะห์ทองปริมาณสูงที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังมีวิธีทางเคมีอื่น ๆ อีกเช่น การตกตะกอนเป็นโลหะทองด้วยสารเคมีที่เป็น reducing agent เช่น sulphur dioxide, Oxalic acid, Iron (II) sulphate และ Hydroquinone ด้วยวิธีเหล่านี้ต้องทำตัวอย่างทองให้อยู่ในรูปของสารละลาย โดยการละลายในกรดกัดทอง ปรับภาวะให้เหมาะสมสำหรับสารเคมีชนิดที่ต้องการใช้ สารเคมีนั้นจะทำให้ทองในสารละลายตกตะกอนเป็นผงโลหะทองสีเหลือง-น้ำตาล กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 เผาตะกอนและกระดาษกรองให้ไหม้ก่อน แล้วจึงเผาที่อุณหภูมิ 700 ° ซ. 1 ชม. จะได้โลหะทองบริสุทธิ์สีเหลืองสุกใส

นอกจากวิธีเคมีดังกล่าวแล้วยังมีวิธีวิเคราะห์ทองโดยใช้เครื่องมือพิเศษ เช่น X-ray diffraction, Emission Spectrometer เครื่องมือทั้ง 2 นี้สามารถวิเคราะห์ได้โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง ส่วนเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer เหมาะสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีปริมาณทองน้อย ๆ โดยต้องทำตัวอย่างให้เป็นสารละลายก่อนแล้วจึงวัดหาปริมาณทอง เทียบกับสารละลายทองมาตรฐานที่ทราบปริมาณแล้ว

กรมวิทยาศาสตร์บริการ ให้บริการการวิเคราะห์ปริมาณทองคำในตัวอย่างชนิดต่าง ๆ ทั้งทองรูปพรรณ เครื่องราชอิสริยาภรณ์ เหรียญทอง และทองผสมอื่น ๆ โดยวิธี Fire assay and cupellation และใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ผู้สนใจสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

เอกสารอ้างอิง

1. Snell, Foster Dee and Eltre, Leslie S. **Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis** vol. 14, (N.Y.) : 1971, p. 1-49
2. Hawley, Gressner G. **The Condensed Chemical Dictionary** (N.Y.) : Van Nostrand Renhold Company, 1981, p.506-507
3. **Method for determination of gold and silver in ores** Japanese Industrial Standard Committee. JIS M8111-1963 Japan : JIS, 1963. JIS M8115-1950 (Reaffirmed : 1978) Determination of gold and silver in crude bullion.
4. **Method for assaying of gold and gold alloys.** Indian Standard Committee. IS : 1418-1962 India : IS, 1962
5. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทองรูปพรรณ** สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 303-2522

การผลิตแอลกอฮอล์จาก whey ฯ (ต่อจากหน้า 11)

15 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

การผลิตแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่องในถังหมักที่มี internal settling tube เป็นองค์ประกอบโดยใช้ Standard whey permeate medium ไม่ทำให้ biomass ของยีสต์เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากอัตราส่วนความเข้มข้นของ Ca^{2+} และ K^{+} ในอาหารเลี้ยงเชื้อไม่เหมาะสม ส่วนการทดลองโดยใช้ demineralized whey permeate ที่เติม Ca^{2+} และ K^{+} ในปริมาณพอเหมาะ ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

การทดลองครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับงานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการนำเอาผลิตภัณฑ์เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์และมีค่ามากขึ้น โดยการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่เหมาะสมรวมกับกระบวนการหมักทางเทคโนโลยีชีวภาพและหาแนวทางเพื่อผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Amri, MA., R.Bonaly, B.Duteurtre, and M.Moll. Interrelation beteween Ca^{2+} and K^{+} ions in the flocculation of two Brewers yeast strains. **European Journal of Applied Microbioloy and Biotechnoloyg,** 1979, vol 7 : p.235-240
2. Helm, E., B. Nohr, and R.S.W. Thorne. **The Measurement of yeast flocculence and its significance in brewing.** Wallerstein Laboratorise Communications. 1953, vol. 16., no. 55, p.315-325
3. Love, DC. 1987. **Flocculation of kluyveromyces marxianus for the whey to ethanol fermentation.** Research project fourth year student. massey University, Palmerston North. New Zealand.

การผลิตแอลกอฮอล์จาก whey โดยยีสต์ Kluyveromyces marxianus

เกรียงไกร นาคะเกศ

การผลิตเนยแข็งเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่ง สิ่งที่เหลือจากการทำเนยแข็ง เรียกว่า "whey" ซึ่งมีองค์ประกอบคล้ายกับนม แต่มีโปรตีนน้อยกว่า เนื่องจากโปรตีนถูกแยกออกไปทำเนยแข็ง ระหว่างกระบวนการผลิต whey ซึ่งเหลือจากการผลิตเนยแข็งนี้ส่วนใหญ่นำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ แต่ถ้ามีปริมาณมากอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จาก whey จึงนับว่ามีความสำคัญ และเนื่องจาก whey มีแล็คโทสหรือน้ำตาลนมเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ การเลือกยีสต์ที่สามารถใช้น้ำตาลแล็คโทสเป็น substrate เพื่อผลิตแอลกอฮอล์จึงเป็นโครงการหนึ่งของการใช้ประโยชน์จาก whey

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อเลือกยีสต์ที่ใช้น้ำตาลแล็คโทสใน whey เป็น substrate ได้

2. เพื่อลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการหลังการหมักแอลกอฮอล์ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะเลือกยีสต์ที่ตกตะกอนได้เองเมื่อกระบวนการหมักเสร็จสิ้นลง

ยีสต์ที่ใช้ในการทดลอง

ใช้ยีสต์ Kluyveromyces marxianus สายพันธุ์ y42, y610, 102, 1496, y113, TC2, Ti และ Saccharomyces fragilis 100 ในการทดลองครั้งนี้

วิธีทดลอง

1. วิธีวัดการตกตะกอนของยีสต์

1.1 วัดความดูดกลืนแสง (absorbance measurement)

การวัด optical density หรือ OD ของตัวอย่าง เริ่มต้นวัดหลังจากเก็บตัวอย่างทันทีและหลังจากตั้งตัวอย่างไว้เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้ spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร

1.2 วัดปริมาณตะกอน (sedimentation test)

นำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตรที่มีความเข้มข้นของเซลล์เท่ากับร้อยละ 5 ของน้ำหนัก เติม acetate buffer (Helm และคณะ, 1953) 1 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันแล้วจึงนำสารละลายที่ผสมแล้วนี้ 10 มิลลิลิตรใส่ลงใน กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตรตั้งทิ้งไว้ บันทึกปริมาตรของเซลล์ที่ตกตะกอนที่ก้นของกระบอกตวง เมื่อถึงเวลา 1, 5, 10,15 และ 60 นาที

ผลการทดลอง

1. การคัดเลือกยีสต์สายพันธุ์ที่สามารถใช้แล็คโทสเป็น substrate และสามารถตกตะกอนได้เอง

ยีสต์ทุกสายพันธุ์นำไปเลี้ยงใน semi-defined lactose medium โดยวิธี shake flask ซึ่งอบเพาะเชื้อที่ 37° ซ. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ยีสต์ Kluyveromyces marxianus สายพันธุ์ y42 และ y610 สามารถตกตะกอนได้เอง ซึ่งทราบได้จากผลของการดูดกลืนแสง และวิธีวัดปริมาณตะกอน ส่วนยีสต์สายพันธุ์อื่นไม่พบการตกตะกอนโดยวิธีวัดปริมาณตะกอน สำหรับยีสต์สายพันธุ์ 102 และ 1496 พบว่ามีค่า OD ต่ำกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ทั้งสองนี้อาจจะตกตะกอนได้เองแต่ช้ามาก จึงสังเกตไม่พบโดยวิธีวัดปริมาณตะกอน

สำหรับคุณสมบัติอื่น ๆ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของยีสต์ทั้ง 8 สายพันธุ์แตกต่างกันไม่มากนักคือ อยู่ระหว่าง

4.60 ถึง 4.89 แต่ความเข้มข้นของ biomass มีความแตกต่างกันตั้งแต่ 1.40 กรัมต่อลิตรของยีสต์สายพันธุ์ TC 2 จนถึง 3.42 กรัมต่อลิตรของสายพันธุ์ 102

จากผลการทดลองข้างต้นมียีสต์ที่เลือกมาใช้ในการทดลองต่อไปคือ Kluyveromyces marxianus สายพันธุ์ y42, 102, y610 และ 1496 การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกยีสต์สายพันธุ์ที่ตกตะกอนได้ดี สำหรับวิธีทดสอบการตกตะกอน ใช้วิธีวัดปริมาณตะกอน ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 จากตารางพบว่ายีสต์ทั้ง 4 สายพันธุ์สามารถตกตะกอนได้ และพบว่าสายพันธุ์ y42 และ y610 ตกตะกอนได้ดีกว่าอีก 2 สายพันธุ์ การทดลองต่อไปจึงเลือกเอายีสต์สายพันธุ์ y42 ไปทดสอบ เนื่องจากยีสต์สายพันธ์นี้ตกตะกอนได้ดี แล้วยังได้มาจากการปรับปรุงสายพันธุ์ y610 อีกด้วย

ตารางที่ 1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของยีสต์ 8 สายพันธุ์เมื่อเลี้ยงใน semi–defined lactose medium

Strains	Y42	102	Y113	Y610	1496	TC–2	Ti	sf100
pH	4.60	4.77	4.73	4.65	4.82	4.72	4.89	4.77
DW (g/l)	2.69	3.42	2.95	3.09	2.49	1.40	2.29	2.70
Floc test (ml) ★	0.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OD_1	0.255	1.232	1.230	0.107	0.695	1.455	1.811	1.575
OD_2	0.252	0.936	1.148	0.163	0.603	1.400	1.820	1.541
Lactose (g/l)	0.11	0.12	0.12	0.14	0.12	0.14	0.14	0.14
EtOH (g/l)	10.45	7.85	8.81	7.78	10.00	8.75	8.96	5.19

DW = Dry Weight

OD_1 = OD measured immediately after taking culture

OD_2 = OD measured after leaving the culture in a cuvette for 15 minutes

★ = Measure the sediment deposit at 15 minutes after transferring to the cylinder

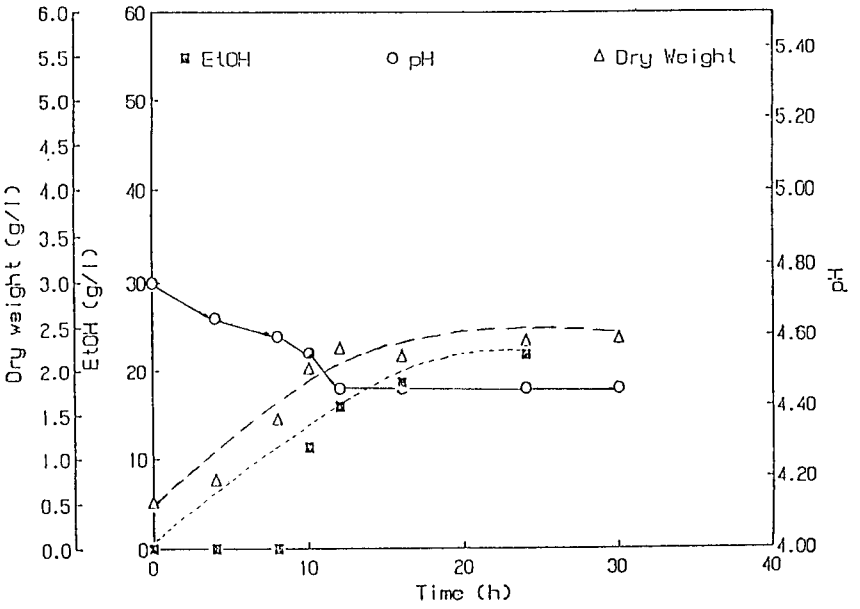
2. การหมักแบบ batch ของยีสต์สายพันธุ์ y42

จุดมุ่งหมายของการทดลองนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติในการตกตะกอน และการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์สายพันธุ์ y42 เมื่อเลี้ยงในถังหมัก (fermentor) ขนาด 2 ลิตร โดยใช้ supplemented whey permeate medium เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ

จากรูปที่ 1 พบว่าความเข้มข้นของ biomass เริ่มจาก 0.51 กรัมต่อลิตร และเพิ่มขึ้นจนถึง 2.40 กรัมต่อลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง สำหรับความเข้มข้นของเอทานอลที่ผลิตโดยยีสต์สายพันธุ์นี้สูงถึง 21.74 กรัมต่อลิตร หรือเท่ากับร้อยละ 85 ของทฤษฎี ส่วนการตกตะกอนก็พบตลอดเวลาที่ทดลอง

ตัวอย่างที่ 2 ผลการตกตะกอนของยีสต์ 4 สายพันธุ์

Floc test	Y42 (ml)	102 (ml)	Y610 (ml)	1496 (ml)
1 min	0.0	0.0	0.0	0.0
5 min	0.2	0.0	0.2	0.0
10 min	0.8	0.0	0.8	0.0
15 min	1.0	0.6	0.9	0.0
60 min	0.8	0.7	0.7	0.7

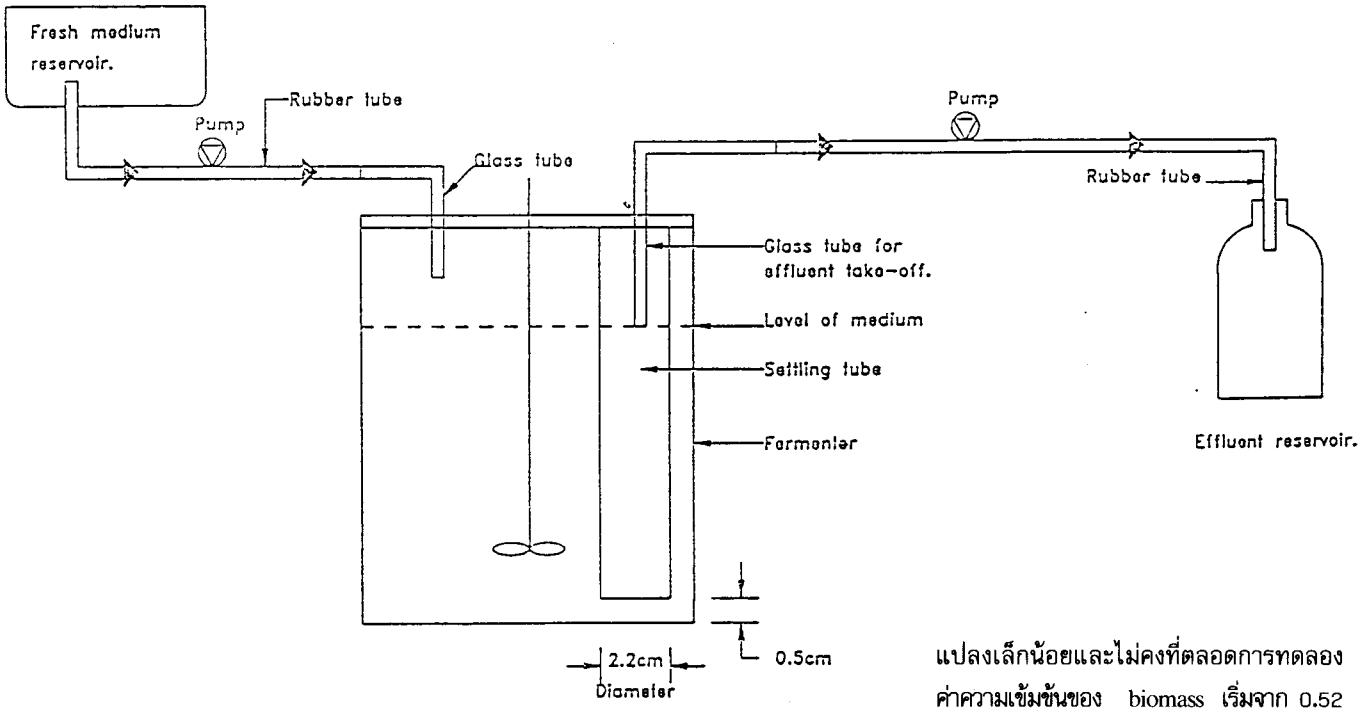


รูปที่ 1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของยีสต์ y42 เมื่อหมักแบบ batch โดยใช้ supplemented whey permeate medium เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ

3. การหมักแบบต่อเนื่องของยีสต์ y42

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการตกตะกอนและการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์สายพันธุ์ y42 โดยวิธีหมักแบบต่อเนื่องในถังหมักขนาด 2 ลิตร ซึ่งมี internal settling tube เป็นองค์ประกอบ ดังรูปที่ 2 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้คือ standard whey permeate medium ที่มีแล็คโทสอยู่ 50 กรัมต่อลิตร มีอัตราการเจือจางเท่ากับ 0.05 ต่อชั่วโมง และอัตราเร็วเท่ากับ 0.06 ลิตรต่อชั่วโมง

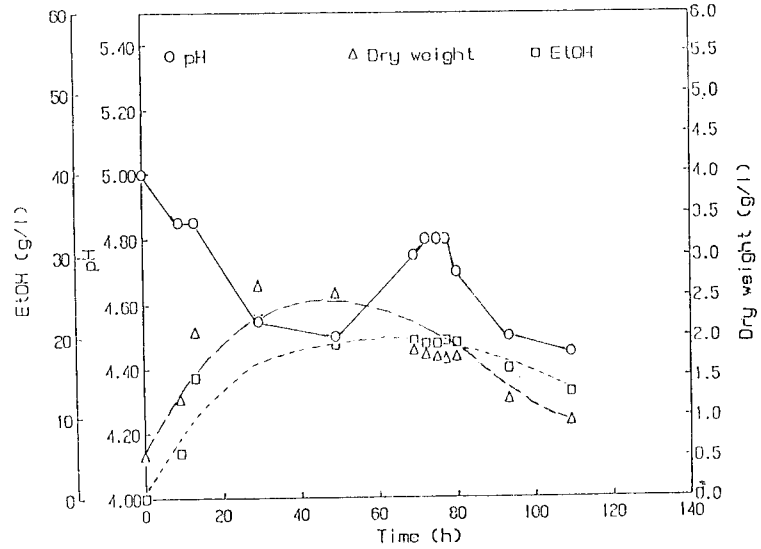
การทดลองนี้เริ่มต้นโดยการหมักแบบ batch เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วง exponential phase ของการเจริญการยีสต์ y42 จากนั้นเติมอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมใหม่ ๆ เข้าไปในถังหมักด้วยอัตราเร็ว 0.06 ลิตรต่อชั่วโมงการหมักแบบต่อเนื่องก็เริ่มขึ้น ในรูปที่ 3 pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและไม่คงที่ตลอดการทดลอง ค่าความเข้มข้นของ biomass เริ่มจาก 0.52 กรัมต่อลิตรและสูงสุดเมื่อเวลา 29 ชั่วโมง ซึ่งเท่ากับ 2.63 กรัมต่อลิตร หลังจากนั้น biomass ก็ลดลงเรื่อยจนมีค่าเท่ากับ 0.93 กรัมต่อลิตรเมื่อหมักไปแล้ว 109 ชั่วโมง ในทำนองเดียวกันความเข้มข้นของเอทานอล



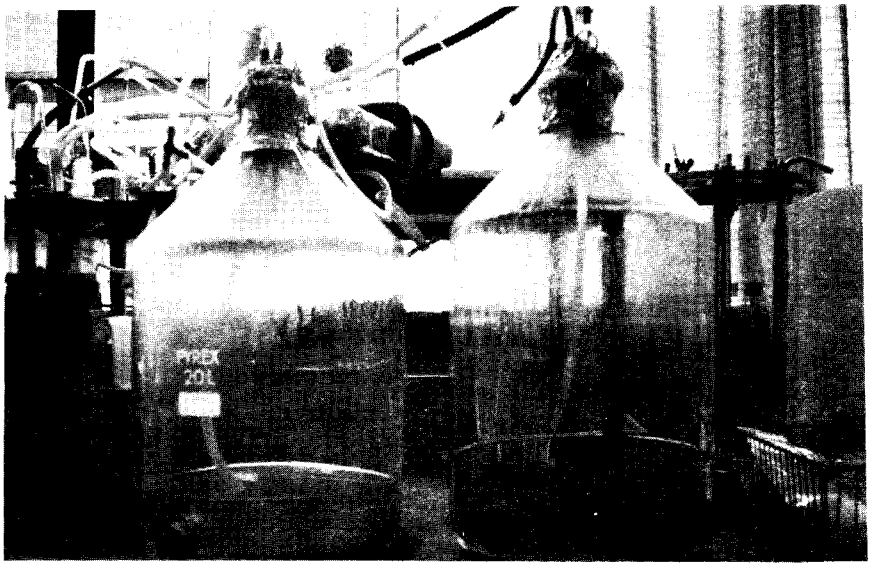
รูปที่ 2 แบบจำลอง fermentor ขนาด 2 ลิตร ซึ่งมี internal settling tube ใช้สำหรับการหมักแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่อง

สูงสุดเมื่อเวลา 29 ชั่วโมงซึ่งเท่ากับ 22.24 กรัมต่อลิตร (ร้อยละ 87 ของทฤษฎี) จากนั้นความเข้มข้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึง 13.05 กรัมต่อลิตร หลังจากเวลาผ่านไป 109 ชั่วโมง สำหรับคุณสมบัติในการตกตะกอนนี้ไม่ได้ติดตามผล

การทดลองครั้งนี้ไม่ประสบผลสำเร็จ เนื่องจากยีสต์ได้สูญเสียไประหว่างการหมักและแอลกอฮอล์ที่ได้จากการผลิตมีปริมาณน้อย สาเหตุอาจเนื่องมาจากเซลล์ยีสต์ไม่ตกตะกอนในระหว่างการทดลองและอาจถูกล้างไปพร้อมกับแอลกอฮอล์ ดังนั้นการปรับสภาวะของอาหารเลี้ยงเชื้อให้เหมาะต่อการตกตะกอนของยีสต์สายพันธุ์นี้จึงต้องศึกษาต่อไป โดยการเติม Ca^{2+} และ K^{+} ซึ่งมีรายงานว่ามีความสำคัญต่อการตกตะกอนของยีสต์บางสายพันธุ์ (Amri และคณะ, 1979 และ Love, 1987)



รูปที่ 3 คุณสมบัติต่าง ๆ ของยีสต์ y42 เมื่อหมักแบบต่อเนื่องโดยใช้ standard whey permeate medium เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ



การหมักแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่อง

4. การศึกษาอิทธิพลของ Ca^{2+} และ K^{+}ต่อการตกตะกอนของยีสต์สายพันธุ์ y42

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะหาความเข้มข้นที่เหมาะสมระหว่าง Ca^{2+} และ K^{+} ต่อการตกตะกอนของยีสต์ y42 ความเข้มข้นของ Ca^{2+} ที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 1.5, 15 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของ K^{+} ที่ใช้เท่ากับ 10,100 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

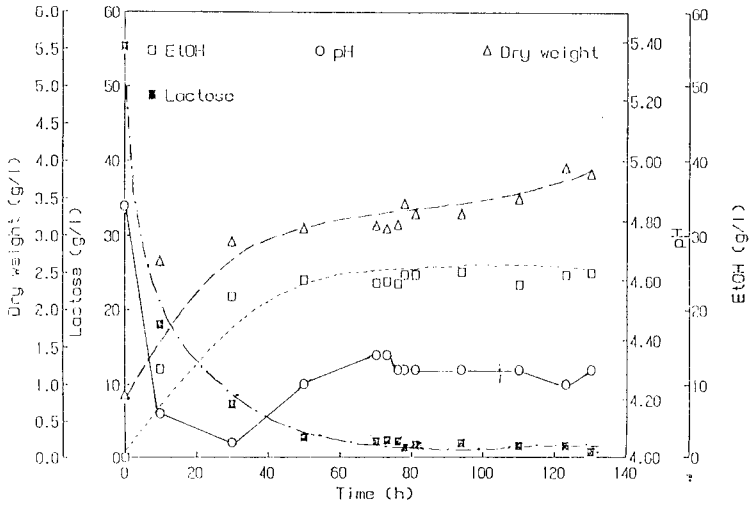
ผลการทดลองดังในตารางที่ 3 พบว่ามียีสต์นี้ตกตะกอนได้มากที่สุดเมื่อความเข้มข้นของ Ca^{2+} เท่ากับ 15 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรของ K^{+} ใน trial ที่ 4 ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้จะเป็น demineralized whey permeate medium โดยเติม Ca^{2+} และ K^{+} ในความเข้มข้นที่เหมาะสม

5. การหมักแบบต่อเนื่องของยีสต์สายพันธุ์ y42 โดยใช้ supplemented demineralized whey permeate เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจะให้มียีสต์สายพันธุ์ y42 ตกตะกอนได้ดีที่สุดและผลิตเอทานอลได้สูงสุด อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้คือ demineralized whey permeate medium ซึ่งเติม yeast extract 5 กรัมต่อลิตร Ca^{2+} 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และ K^{+} 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการควบคุมอัตราการเจือจางเท่ากับ 0.05 ต่อชั่วโมง และอัตราเร็วเท่ากับ 0.075 ลิตรต่อชั่วโมง การทดลองเริ่มต้นโดยการหมักแบบ batch เป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นอาหารเลี้ยงเชื้อก็จะถูกปล่อยเข้าไปในถังหมัก การหมักแบบต่อเนื่องก็จะเริ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการตกตะกอนของยีสต์สายพันธุ์ y42 เมื่อใช้ combination ของ Ca^{2+} และ K^+ ต่าง ๆ กันครั้งที่ 2

Trial	Ca^{2+} mg/l	K^+ mg/l	Floc test (ml) 1 min	5 min	10 min	15 min	60 min
1	1.5	10	0.0	0.0	0.4	0.8	0.8
2	1.5	100	0.0	0.0	0.3	0.6	0.6
3	1.5	1000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
4	15	10	0.0	0.6	1.0	1.0	0.8
5	15	100	0.0	0.2	0.7	0.8	0.7
6	15	1000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
7	150	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
8	150	100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
9	150	1000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1



รูปที่ 4 คุณสมบัติต่าง ๆ ของยีสต์ y42 เมื่อหมักแบบต่อเนื่อง โดยใช้ Supplemented demineralized whey permeate medium เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ

จากรูปที่ 4 พบว่า pH เริ่มต้นของอาหารเลี้ยงเชื้อเท่ากับ 4.85 และเมื่อการหมักผ่านไป pH จะอยู่ระหว่าง 4.05 - 4.40 หลังจากนั้น pH ก็จะคงที่เมื่อการหมักผ่านไป 50 ชั่วโมง และมีการเปลี่ยนแปลงของ pH เล็กน้อยซึ่งอยู่ระหว่าง 4.25 - 4.35 จนสิ้นสุดการทดลอง สำหรับค่าความเข้มข้นของ biomass เริ่มจาก 0.85 กรัมต่อลิตร และเพิ่มจนถึง 3.08 กรัมต่อลิตรเมื่อเวลาผ่านไป 50 ชั่วโมง ในช่วงแรก biomass จะคงที่ แต่ต่อมา biomass ก็เพิ่มขึ้นจนสูงถึง 3.89 กรัมต่อลิตรหลังจากการหมักผ่านไป 123 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบการตกตะกอนของยีสต์สายพันธุ์นี้ตลอดระยะเวลาทดลอง การเพิ่มขึ้นของ biomass ช่วยให้เซลล์ยีสต์ในถังหมักมีมากขึ้น เนื่องจากการตกตะกอนของเซลล์ยีสต์นั่นเอง

สำหรับการผลิตแอลกอฮอล์ในการทดลองนี้นับว่าเป็นที่น่าพอใจ ความเข้มข้นของเอทานอลอยู่ระหว่าง 23.3 - 25.0 กรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าการทดลองครั้งก่อน ๆ ผลผลิตที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.47 หรือคิดเป็นร้อยละ 92 ของทฤษฎี

สรุป

จากการศึกษาทดลองคัดเลือกยีสต์สายพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า Kluyveromyces marxianus สายพันธุ์ y42 มีคุณสมบัติเหมาะสำหรับใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์จาก whey ซึ่งการทดลองผลิตแอลกอฮอล์แบบ batch ของยีสต์ y42 โดยใช้ Supplemented whey permeate medium สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 22 กรัมต่อลิตรจากแล็คโทส 50 กรัมต่อลิตร

คุณสมบัติในการตกตะกอนของยีสต์สายพันธุ์ y42 พบได้ตลอดการทดลองถึงแม้ว่าสภาวะต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงไป การตกตะกอนพบทั้งในการทดลองแบบ shake flask แบบ batch และการหมักแบบต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบตะกอนเมื่อยีสต์เจริญในsemidefined medium ใน standard whey permeate medium ใน supplemented whey permeate medium หรือใน supplemented demineralized whey permeate medium จากผลดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ยีสต์สายพันธุ์ y42 มีคุณสมบัติในการตกตะกอนที่ดี ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่า Ca^{2+} และ K^+ ช่วยในการตกตะกอนของยีสต์สายพันธุ์ y42 สำหรับความเข้มข้นที่เหมาะสมของ Ca^{2+} และ K^+

(อ่านต่อหน้า 6)

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมยาง

(Introduction to Rubber Industry)

พายับ นามประเสริฐ

ยางแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือยางธรรมชาติ (natural rubber) และยางสังเคราะห์หรือยางเทียม (synthetic rubber)

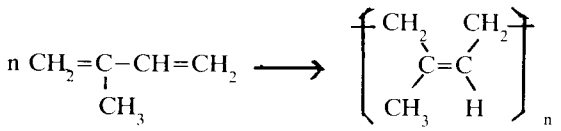
ยางธรรมชาติ (NR)[1]

ยางธรรมชาติได้มาจากต้นยางพารา (Hevea brasiliensis) ต้นยางพาราปลูกกันมากในประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซียและประเทศไทย น้ำยาง (latex) ที่ได้จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นน้ำสีขาวคล้ายน้ำนม มีองค์ประกอบดังนี้ ของแข็งทั้งหมด (total solid content) [ซึ่งรวมเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) ประมาณร้อยละ 33 ด้วย] ประมาณร้อยละ 36 สารโปรตีน (proteinous substances) ประมาณร้อยละ 1- 1.5 สารเรซิน (resinous substance) ประมาณร้อยละ 1-2.5 เถ้า(ash) น้อยกว่าร้อยละ 1 น้ำตาล (sugar) ประมาณร้อยละ 1 และน้ำประมาณร้อยละ 60

ผู้ผลิตวัตถุดิบยางออกจำหน่าย สามารถผลิตยางธรรมชาติได้หลายลักษณะ ได้แก่

1. น้ำยางข้น (concentrated latex)[2]
2. ยางแผ่นรมควัน (ribbed smoked sheet)
3. ยางผึ่งแห้ง (air dried sheet)
4. ยางเครพ (crepe rubber)
5. ยางแท่ง (block rubber)

สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ เป็น cis−1, 4−polyisoprene



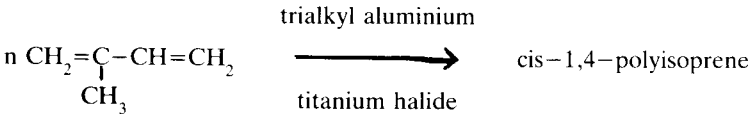
isoprene cis-1,4−polyisoprene

ยางธรรมชาติ มีคุณสมบัติทนแรงดึงและแรงฉีกได้สูง มีความยืดหยุ่นสูง การสะสมความร้อน (heat built up) น้อย ประโยชน์ใช้ทำยางรถยนต์ สายพาน ยางฟองน้ำ กาวยาง ถุงมือยาง และอื่น ๆ

ยางสังเคราะห์

ยางสังเคราะห์ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี ยางสังเคราะห์จึงมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีสูตรโครงสร้างและคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

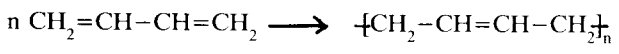
Synthetic polyisoprene (IR)



isoprene IR

เนื่องจาก IR มีสูตรโครงสร้างเหมือนกับยางธรรมชาติคือเป็น cis−1,4−polyisoprene ดังนั้น IR จึงมีคุณสมบัติ คล้ายกับยางธรรมชาติมาก ประโยชน์ในการใช้งานก็คล้ายกัน เช่น ทำยางรถยนต์ ท่อยาง หัวนมยางสำหรับเด็กและยางที่ใช้กับเครื่องจักรกลต่าง ๆ

Polybutadiene (BR)



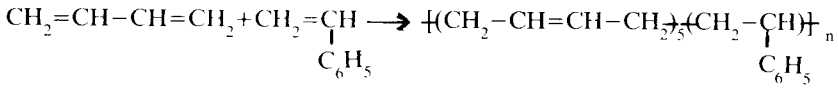
butadiene BR

[1] ASTM D1418 Standard recommended practice for rubber and rubber latices−nomenclature

[2] พายับ นามประเสริฐ, การทำน้ำยางข้นจากน้ำยางธรรมชาติ, **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ**, ฉบับที่ 125, มกราคม 2534

BR มีคุณสมบัติทนต่อการสึกกร่อนได้ดีมาก ประโยชน์ใช้ทำยางรถยนต์

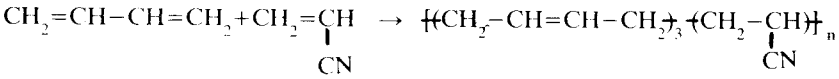
Styrene–butadiene copolymer (SBR)



butadiene styrene SBR

SBR เป็น copolymer ของ butadiene กับ styrene โดยใช้ butadiene มากกว่าร้อยละ 50 copolymer จะมีคุณสมบัติเป็นยาง แต่ถ้าใช้ styrene มากกว่าร้อยละ 50 copolymer ที่ได้จะมีคุณสมบัติเป็นพลาสติก ซึ่งใช้ทำสีพลาสติก (latex paint) SBR ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ทนต่อการสึกกร่อนได้ดี (high abrasion resistance) ประโยชน์ใช้ทำยางรถยนต์ประเภทยางรถยนต์นั่งธรรมดาและยางเรเดียล ทำสายพาน ท่อยาง ยางพื้นและส้นรองเท้า

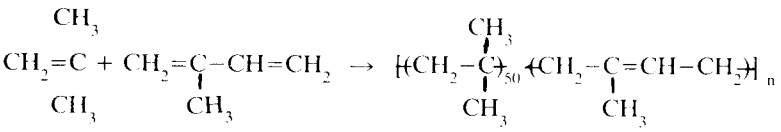
Acrylonitrile–butadiene rubber หรือ Nitrile rubber (NBR)



butadiene acrylonitrile NBR

NBR มีคุณสมบัติทนทานต่อน้ำมันและสารเคมีต่าง ๆ จึงใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนทานต่อน้ำมันและสารเคมี เช่น ชิ้นส่วนของรถยนต์ และเครื่องจักรกลต่าง ๆ อุปกรณ์การพิมพ์ อุปกรณ์ไฟฟ้า

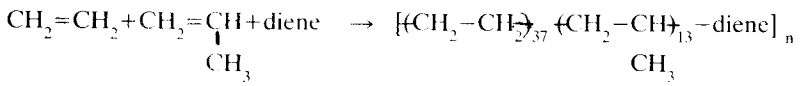
Isobutylene–isoprene copolymer หรือ Butyl rubber (IIR)



isobutylene isoprene IIR

IIR เป็น copolymer ของ isobutylene กับ isoprene ร้อยละ 2–3 เพื่อให้โครงการสร้างมีพันธะที่ไม่อิ่มตัว (double bond) ร้อยละ 2–3 ซึ่งพันธะที่ไม่อิ่มตัวนี้ทำให้ IIR สามารถเกิดการคงรูป (vulcanization) ด้วยกำมะถันได้ IIR มีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถป้องกันการซึมผ่านของอากาศได้ดี และทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ดีด้วย ประโยชน์ใช้ทำยางในรถยนต์ และผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องการความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ

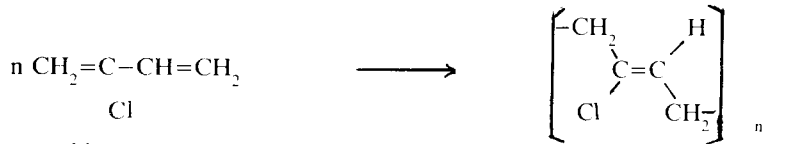
Ethylene–propylene–diene terpolymer (EPDM)



ethylene propylene EPDM

EPDM จะมีพันธะที่ไม่อิ่มตัว (double bond) อยู่ร้อยละ 2–3 จึงสามารถทำให้คงรูป (vulcanization) ด้วยกำมะถันได้ diene ที่ใช้เช่น butadiene, cyclopentadiene, dicyclopenta diene และ 1–4 hexadiene เป็นต้น EPDM มีคุณสมบัติทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ความร้อนและสารเคมีต่าง ๆ ประโยชน์ ทำท่อยางสำหรับรถยนต์ ยางขอบกระจกขอบประตูรถยนต์หุ้มสายไฟฟ้าสายเคเบิล สายพานลำเลียง

Polychloroprene หรือ Neoprene (CR)

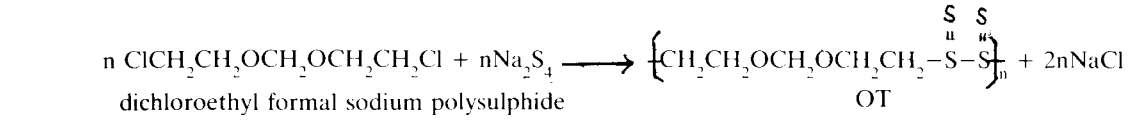


chloroprene trans–1,4–polychloroprene

(2–chloro–1,3–butadiene) CR

CR มีคุณสมบัติทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ น้ำมันและความร้อนได้ดี ประโยชน์ทำท่อยาง สายพาน หุ้มสายเคเบิล

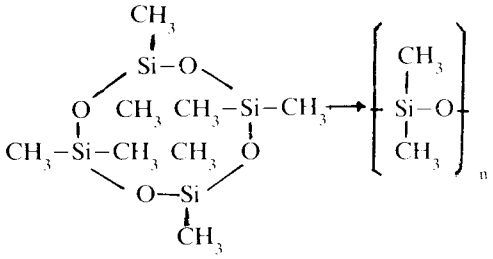
Polysulphide rubber หรือ Thiokol (OT)



dichloroethyl formal sodium polysulphide — OT

OT เตรียมได้จาก condensation polymerization ของ organic dihalide กับ alkaline polysulphide มีคุณสมบัติทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศและน้ำมันได้ดี ประโยชน์ใช้เคลือบด้านในของถังน้ำมัน ทำซีเมนต์ ทำ sealant และลูกกลิ้งสำหรับงานพิมพ์

Silicone rubber หรือ Polysiloxanes (MQ)

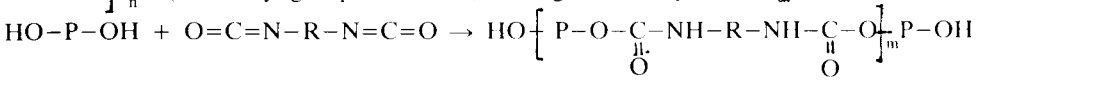


cyclic cyloxane — MQ

MQ เป็น inorganic–organic polymer มีราคาแพง มีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูงมาก ไม่ละลายในน้ำและแอลกอฮอล์ ทนสารเคมี ติดไฟยากและไม่เป็นพิษ ใช้ประโยชน์ อาทิ ทำสายพาน สำหรับลำเลียงอาหาร จุกขวดยา หัวนมสำหรับเด็ก

Urethane rubber หรือ Polyurethane (AU)

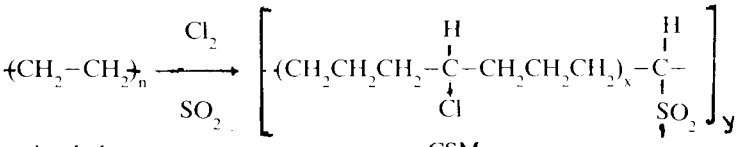
Polyurethane เตรียมจากปฏิกิริยาของ Polyglycols เช่น polyether $HO\left[R-O\right]_nH$, polyester $HO\acute{R}O\left[C-R-C-O\acute{R}O\right]_nH$ (R = alkyl group, n=10–50) กับ organic diisocyanates ปฏิกิริยาเป็นดังนี้



polyglycol diisocyanate — AU — m = 50–100

Urethane rubber มีคุณสมบัติทนต่อการสึกกร่อนได้ดี ทนความร้อน ทนตัวทำละลาย ทนออกซิเจน ทนโอโซน ประโยชน์ใช้ทำยางตัน flexible foam และ elastic fibres

Chlorosulfonated polyethylene หรือ Hypalon (CSM)



polyethylene — CSM — x = ~12, y = ~17

CSM มีคุณสมบัติทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ทนความร้อน ทนสารเคมี ทนน้ำมันและทนต่อการสึกกร่อนได้ดี ใช้ทำสายพานลำเลียง อุปกรณ์รถยนต์

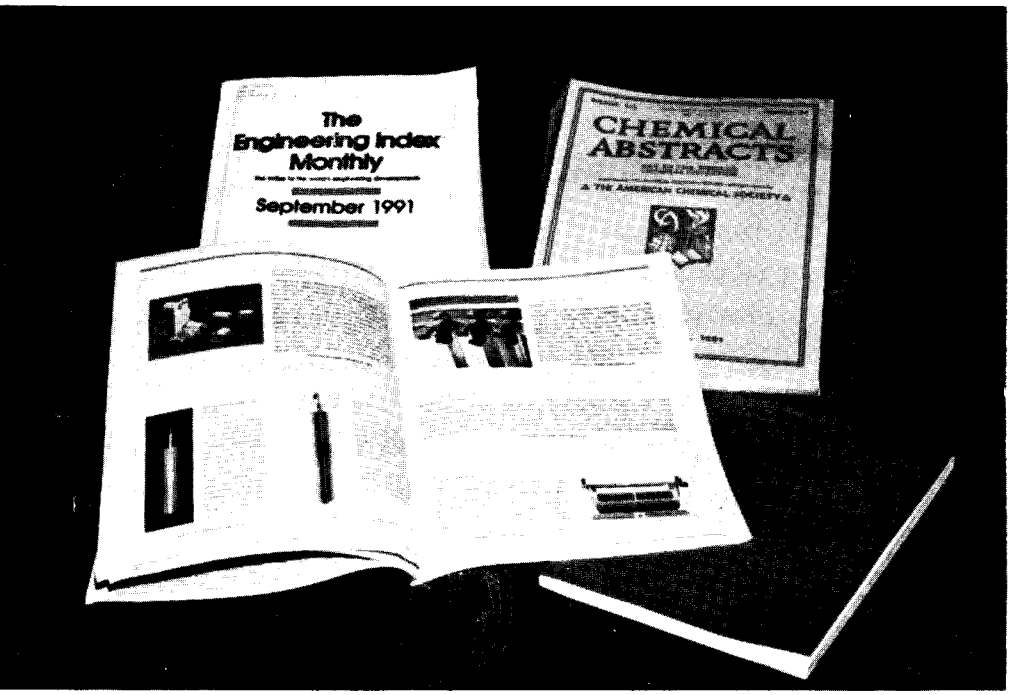
นอกเหนือจากยาง 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว คือ ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ยังมียางอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญ เช่นเดียวกัน เพราะเป็นการนำยางที่เสียแล้วกลับมาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางได้ใหม่อีก คือ reclaimed rubber การ recycle ยางเก่าจะช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมด้วย

Reclaimed rubber

เป็นยางที่ได้จากการนำยางที่เสีย ยางที่ใช้จนหมดสภาพแล้วกลับมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ โดยใช้พลังงานกล พลังงานความร้อนและกระบวนการทางเคมี ทำให้พันธะที่เชื่อมข้าม chain ของยางแตกออก ซึ่งเรียกว่า devulcanization ทำให้ยางกลับมีสภาพเหมือนกับยางดิบอีกครั้งหนึ่ง สามารถนำไปใช้ผสมในอัตราส่วนประมาณ 10–30 ส่วนต่อยางใหม่ 100 ส่วน เพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางต่อไปได้ **(อ่านต่อฉบับหน้า)**

บริการเอส ดี ไอ

พัชราวิไล พงษ์วิชชุลดา



สภาพการณ์ทางเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันนี้ มีการแข่งขันกันอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม จำเป็นต้องมีความพร้อมความสะดวกและรวดเร็วในเรื่องของข้อมูลความรู้ เทคโนโลยีใหม่ ๆ จึงจะทันต่อเหตุการณ์ สามารถต่อสู้กับคู่แข่งขันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำข้อมูล ความรู้ และเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่ได้รับนั้นไปใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการดำเนินงานตลอดจนการแก้ไขปัญหาข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินการ หากได้รับข้อมูล ความรู้ล่าช้าและไม่ทันสมัย อาจทำให้ต่อสู้กับคู่แข่งขันไม่ได้หรือขาดประสิทธิภาพในการแข่งขัน

ดังนั้นกองสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นแหล่งบริการสารนิเทศทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแหล่งหนึ่ง ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรมและผู้สนใจ จึงได้จัดให้มีบริการสารนิเทศประเภทหนึ่งเพื่อบริการผู้ใช้ คือ บริการเอส ดี ไอ

บริการเอส ดี ไอ คืออะไร

บริการเอส ดี ไอ มีชื่อเต็มว่า Selective Dissemination of Information Service เป็นบริการเผยแพร่ข่าวสารทันสมัย (current awareness) ประเภทหนึ่ง ด้วยการติดตามคัดเลือก และรวบรวมเรื่องใดเรื่องหนึ่งให้แก่บุคคลหรือกลุ่มบุคคลตามความต้องการ

บริการเอส ดี ไอ ของกองสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เริ่มให้บริการเอส ดี ไอ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะช่วยผู้ใช้บริการให้เข้าถึงสารนิเทศทันสมัยได้อย่างรวดเร็ว ตรงตามความต้องการและประหยัดเวลา ด้วยการให้บรรณารักษ์ทำหน้าที่ติดตามและคัดเลือกสารนิเทศทันสมัยจากแหล่งสารนิเทศที่มีอยู่ในกองสนเทศฯ ทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้เอกสารสิ่งพิมพ์ที่จัดหามาให้คุ้มค่ายิ่งขึ้น

บริการเอส ดี ไอ ของกองสนเทศฯ เน้นให้ผู้ขอรับบริการโดยเฉพาะผู้ที่อยู่ในภาคอุตสาหกรรมสามารถนำสารนิเทศทันสมัยไปใช้ในการปรับปรุง และพัฒนาการดำเนินงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เช่น การนำสารนิเทศเกี่ยวกับขบวนการผลิตที่ได้รับการพัฒนาจากต่างประเทศแล้ว มาปรับใช้กับขบวนการผลิตที่กำลังดำเนินการอยู่ให้ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นเรื่องของเทคนิคการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ หรือเรื่องเทคนิคการแก้ไขปัญหาในขบวนการผลิต เป็นต้น ดังนั้นในปี พ.ศ. 2534 คณะอนุกรรมการศูนย์ประสานงานนิเทศทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในโครงการระบบสารนิเทศแห่งชาติ ได้ตระหนักถึงความสำคัญและประโยชน์ของบริการเอส ดี ไอ จึงได้กำหนดให้บริการนี้อยู่ในแผนของการปฏิบัติงานในปี พ.ศ. 2534

บริการเอส ดี ไอ ของกองสนเทศฯ มีการดำเนินงาน 2 ลักษณะคือ

1. การใช้แหล่งสารนิเทศที่มีอยู่ในกองสนเทศฯ
2. การใช้บริการ CA Select

1. การใช้แหล่งสารนิเทศที่มีในกองสนเทศฯ

อาศัยองค์ประกอบหลัก 2 กลุ่มคือ บรรณารักษ์และแหล่งสารนิเทศ บรรณารักษ์เป็นผู้ทำหน้าที่แทนผู้ใช้บริการในการติดตามและคัดเลือกสารนิเทศ โดยการอ่านเรื่องราวต่าง ๆ เพื่อให้ได้เรื่องที่มีเนื้อหาวิชาตรงกับความต้องการของผู้ใช้บริการ ส่วนแหล่งสารนิเทศนั้น บรรณารักษ์เป็นผู้ที่มีความสามารถในการใช้แหล่งสารนิเทศและเข้าถึงแหล่งสารนิเทศทันทีที่ห้องสมุดได้รับ ก่อนที่จะนำไปผ่านขั้นตอนทางด้านเทคนิคของห้องสมุด ซึ่งทำให้การบริการเอส ดี ไอ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ คือ สะดวก รวดเร็ว ประหยัดเวลา และได้รับสารนิเทศตรงกับความต้องการ

แหล่งสารนิเทศที่ใช้ในการติดตามคัดเลือก ได้แก่

1) วารสารวิชาการ (ฉบับล่าสุด)

วารสารวิชาการเป็นสิ่งพิมพ์ที่จัดพิมพ์บทความ รายงาน ผลงานวิจัยใหม่ ๆ ที่มีการเปิดเผยเป็นครั้งแรก บทความเหล่านี้มีรายละเอียดที่จะทำตามและประเมินผลได้จึงเป็นบทความที่ทันสมัยทันต่อเหตุการณ์ แต่ในการที่จะติดตามและคัดเลือกบทความใหม่ ๆ จากวารสารวิชาการนั้นค่อนข้างยาก เพราะมีวารสารหลายรายชื่อหลายสาขา บรรณารักษ์ผู้ทำหน้าที่ติดตาม คัดเลือก จะต้องมีความจำดีและมีความเข้าใจในเนื้อหาวิชาการในเรื่องที่จะต้องติดตามเป็นจำนวนมากเรื่อง กองสนเทศฯ มีวารสารวิชาการประมาณ 500 รายชื่อไว้บริการ นอกจากบทความใหม่ ๆ จากวารสารวิชาการแล้ว การให้บริการเอส ดี ไอ ยังรวมถึงการให้บริการหน้าสารบาญวารสารวิชาการฉบับล่าสุดตามความต้องการอีกด้วย

2) วารสารสาระสังเขป

วารสารสาระสังเขป เป็นวารสารที่รวบรวมบทคัดย่อของบทความงานวิจัย รายงานที่ตีพิมพ์ในวารสารต่าง ๆ วารสารสาระสังเขปที่ใช้เป็นแหล่งสารนิเทศในการให้บริการเอส ดี ไอ ได้แก่ Chemical Abstracts (CA), Food Science and Technology Abstracts (FSTA), Analytical Abstracts (AA) เป็นต้น วารสารสาระสังเขปที่มีประโยชน์อย่างกว้างขวาง มีราคาแพง และใช้ยากคือ Chemical Abstracts ถ้ารู้จักวิธีใช้ CA แล้ว การใช้วารสารสาระสังเขปอื่น ๆ ก็ง่ายมาก

Chemical Abstracts เป็นวารสารสาระสังเขปที่ครอบคลุมเนื้อหากว้างขวางในสาขาเคมีและวิศวกรรมเคมี เอกสารสิ่งพิมพ์ที่นำมาทำสาระสังเขป ได้แก่ วารสารทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่จัดพิมพ์ในประเทศต่าง ๆ มากกว่า 150 ประเทศ ประมาณ 14,000 รายชื่อ รวมทั้งเอกสารสิทธิบัตรของ 27 ประเทศ และ 2 องค์การสิทธิบัตรระหว่างประเทศ และเอกสารสิ่งพิมพ์อื่น ๆ อีกเกือบทั่วโลก ทั้งนี้เป็นการจัดทำขึ้นเพื่อให้สามารถติดตามและคัดเลือกข้อมูล สารนิเทศให้สามารถนำออกมาใช้ได้อย่างสะดวกมากยิ่งขึ้น ส่วนวารสารสาระสังเขป FSTA ครอบคลุมเนื้อหาในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

นอกจากนั้นกองสนเทศฯ ยังได้รวบรวมเรื่องที่น่าสนใจจากหมวดต่าง ๆ ที่มีในวารสารสาระสังเขปซึ่งเป็นแหล่งสารนิเทศสำคัญภายในกองสนเทศฯ ไว้เพื่อให้บริการประมาณ 340 เรื่อง ได้แก่เรื่อง Extractive Metallurgy, Waste Treatment and Disposal เป็นต้น

3) สิ่งพิมพ์อื่น ๆ ที่เป็นสิ่งพิมพ์ของสารนิเทศทันสมัยและตรงกับความต้องการของผู้ใช้บริการ

2. การใช้บริการ CA Select

บริการ CA Select เป็นบริการหนึ่งของ The American Chemical Society ซึ่งเป็นสมาคมเคมีเดียวกันกับสมาคมที่จัดพิมพ์วารสารสาระสังเขป Chemical Abstracts มีกำหนดออกทุก 2 สัปดาห์ (26 ครั้ง/ปี) CA Select เป็นสิ่งพิมพ์ที่รวบรวมเฉพาะหัวเรื่องใดหัวเรื่องหนึ่งจากวารสาร CA โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการค้นหาและติดตาม ซึ่งมีรายละเอียดของบรรณานุกรมและสาระสังเขปของเรื่องนั้น ปัจจุบัน (1992) มีหัวเรื่องต่าง ๆ จัดทำไว้ให้บริการ CA Select ทั้งหมด 238 เรื่อง ได้แก่ เรื่อง Adhesives, Corrosion, Cosmetic Chemicals, Polymer, Degradation, Zeolites เป็นต้น อัตราค่าสมาชิก 195 เหรียญสหรัฐต่อปี และค่าส่งเอกสาร 32 เหรียญสหรัฐ (อาจเปลี่ยนแปลงได้ตาม The American Chemical Society) ผู้ประสงค์จะใช้บริการ CA Select กองสนเทศฯ จะดำเนินการให้

ในการดำเนินการผู้ที่ประสงค์จะขอให้บริการเอส ดี ไอ โปรดติดต่อโดยตรงด้วยตนเองเพื่อให้รายละเอียด และทำความเข้าใจกับผู้ปฏิบัติงานเพื่อประโยชน์ต่อการกำหนดหัวเรื่อง คำสำคัญ ให้ตรงหรือเกี่ยวข้องครอบคลุมเนื้อหาในเรื่องที่ต้องการมากที่สุด

ประโยชน์ที่ได้รับ

บริการเอส ดี ไอ เป็นบริการสารนิเทศที่มุ่งช่วยเหลือผู้ใช้บริการโดยทำการแทนเพื่ออำนวยความสะดวกและรวดเร็วในการได้สารนิเทศที่ต้องการ ดังนั้นประโยชน์ที่ผู้ใช้บริการจะได้รับ คือ

1. ประหยัดเวลาอันมีค่า และได้รับสารนิเทศตรงกับความต้องการอย่างรวดเร็ว
2. ได้รับข้อมูล ข่าวสารสารนิเทศที่ทันสมัย อย่างต่อเนื่อง
3. ใช้บริการสารนิเทศอย่างคุ้มค่า เพราะสามารถนำสารนิเทศที่ได้ตรงกับความต้องการมาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงาน

ในการให้บริการเอส ดี ไอ สิ่งที่สำคัญนอกเหนือจากการติดตามสารนิเทศให้ผู้ใช้บริการแล้ว ยังต้องรวมถึงการติดตามผลสะท้อนกลับจากผู้ใช้บริการด้วยว่า ได้นำสารนิเทศนั้นไปใช้ประโยชน์ตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ ทั้งนี้เพื่อประเมินผลการบริการว่ามีประสิทธิภาพเพียงใด แต่ในทางปฏิบัติผู้ใช้บริการมักจะเก็บผลที่ได้รับไว้เป็นส่วนตัว เนื่องจากเป็นเรื่องของการแข่งขันในทางธุรกิจ ดังนั้น จึงทำให้การบริการเอส ดี ไอ ไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร จึงหาแนวทางในลักษณะที่จะทำให้ผู้ใช้บริการประเมินผลว่า สารนิเทศที่ได้รับนั้นนำไปใช้กับงานที่ปฏิบัติตรงกับความต้องการคิดเป็นร้อยละเท่าใด

ระยะเวลาบริการเอส ดี ไอ

เวลาของการให้บริการเอส ดี ไอ เป็นสมาชิกรายปี

ผู้สนใจบริการเอส ดี ไอ สามารถสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมและขอใช้บริการได้โดยมาติดต่อด้วยตนเองที่ฝ่ายบริการ กองสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการในวันเวลาราชการ

นายเกษม สนิทวงศ์ ณ อยุธยา อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ มอบเงินที่ระลึกให้แก่ นายประชา ภู่โชติ ลูกจ้างประจำ กองเคมี ซึ่งเกษียณอายุปี 2534

อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นประธานในพิธีเปิดการสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง พื้นฐานการวัดมวลมาตรฐาน ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์บริการร่วมกับชมรมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทยได้จัดขึ้น ณ ห้องประชุม อาคารตั้ว ฯ

นายเกษม สนิทวงศ์ ณ อยุธยา อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ มอบเทคโนโลยีการปรับปรุงคุณภาพดินขาวเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมกระดาษ ซึ่งเป็นงานวิจัยของกองการวิจัยให้แก่ ตัวแทนบริษัท กู๊ดเอิร์ธ (ประเทศไทย) จำกัด

ผู้เชี่ยวชาญจาก Universital der Bemdeswehr Hamburz สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน เข้าพบหารือ อธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ ด้าน Metrics Standardization, Quality Control and Quality Standard Safeguard

นาง รวงทอง พันพาไพร รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ แถลงข่าวแก่สื่อมวลชน เรื่อง คุณภาพอากาศในบรรยากาศ ณ ห้องประชุมกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ

Dr.Thomas W.Brueggemeyer เจ้าหน้าที่จาก FDA เข้าพบนางรวงทอง พันพาไพร รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ เพื่อปรึกษาหารืองานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเยี่ยมชมกิจการกรมวิทยาศาสตร์บริการ

นาง รวงทอง พันพาไพร รองอธิบดีกรมวิทยาศาสตร์บริการ แถลงข่าวแก่สื่อมวลชน เรื่อง ดินขาวเพื่ออุตสาหกรรมกระดาษ ณ ห้องประชุมกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ

กรมวิทยาศาสตร์บริการได้จัดการฝึกอบรมหลักสูตรผู้บังคับบัญชาระดับ 6-7 รุ่นที่ 2 ให้แก่ข้าราชการกรมวิทยาศาสตร์บริการ ณ ห้องประชุม อาคารตั้ว ฯ

คณะอาจารย์จากคณะวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยครูเชียงราย เข้าเยี่ยมชมห้องปฏิบัติการวิจัยของกองต่าง ๆ ในกรมวิทยาศาสตร์บริการ

นางมยุรี ผ่องผุดพันธ์ ผู้อำนวยการกองสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้การต้อนรับเจ้าหน้าที่จากสถาบันผลิตและให้บริการสารนิเทศทางวิชาการเกษตร (CAB International) ประเทศอังกฤษ ซึ่งมาสำรวจข้อมูลความต้องการใช้สารนิเทศทางวิชาการเกษตร

กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้จัดการบรรยายพิเศษ สนทนาประสา วศ. ครั้งที่ 1 เรื่อง วัสดุอ้างอิงกับการประกันคุณภาพของการวิเคราะห์ทางเคมี โดย ดร.วินัย นุตมากุล ให้แก่ข้าราชการและลูกจ้างกรมวิทยาศาสตร์บริการ ณ ห้องประชุม อาคารตั้ว ฯ

อาจารย์เบ็ญจางค์ โกศิน จากสำนักพุทธธรรมปฏิบัติ ได้บรรยายและอบรมการปฏิบัติธรรมเนื่องในสัปดาห์ส่งเสริมศาสนาและจริยธรรม ให้แก่ข้าราชการและลูกจ้างกรมวิทยาศาสตร์บริการ ณ ห้องประชุม อาคารตั้ว ฯ

ข้าราชการจากสถาบันสารนิเทศด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน (ISTIC) เข้าเยี่ยมชมงานห้องสมุดกรมวิทยาศาสตร์บริการ

คณะครูอาจารย์สังกัดกรมอาชีวศึกษาจากจังหวัดต่าง ๆ เข้าเยี่ยมชมดูงานห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบทางฟิสิกส์ เคมีและจุลชีววิทยา เกี่ยวกับอาหารกระป๋อง กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

● การฝึกอบรมทางวิชาการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการจัดอบรมหลักสูตรผู้บังคับบัญชาระดับ 6-7 รุ่นที่ 2 ให้แก่ข้าราชการกรมวิทยาศาสตร์บริการ

อบรมวิชาเคมีวิเคราะห์ การวิเคราะห์น้ำ-ก๊าซ การวิเคราะห์แร่และโลหะ เคมีวิเคราะห์ทั่วไปทางเทคนิค ให้แก่นักศึกษาเคมีปฏิบัติ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อบรมวิชาการวิเคราะห์ทางเคมีด้วยเครื่องมือ Conductometer, Chromatography, GC, HPLC และ AA ให้แก่อาจารย์จากวิทยาลัยครู 23 สถาบัน ซึ่งจัดโดยสหวิทยาลัยทวาราวดี เพชรบุรี

อบรมการใช้เครื่อง HPLC และงานของกองให้แก่นักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมหาวิทยาลัยขอนแก่น

อบรมวิชาปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อม การทดสอบยางและพลาสติก ให้แก่นักศึกษาเคมีปฏิบัติและเจ้าหน้าที่บริษัทสยามซานิทารี่ฟิตติ้ง

บรรยายเชิงปฏิบัติวิชาเอกสารทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิธีการและเทคนิคการค้นคว้าหาความรู้จากเอกสารสิ่งพิมพ์ทางวิทยาศาสตร์จากคู่มือต่าง ๆ แบบเร่งรัด ให้แก่นักศึกษามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร วิทยาลัยครูเทพสตรี สหวิทยาลัยศรีอยุธยา จ.ลพบุรี

● การพัฒนาบุคลากรในต่างประเทศ

1. นางสาวรดาวรรณ ศิลปโภชากุล ข้าราชการกองสนเทศ-วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ไปสัมมนาด้านทรัพย์สินทางอุตสาหกรรมระบบสิทธิบัตร ที่ประเทศมาเลเซีย ด้วยทุนสำนักงานสิทธิบัตรยุโรป
2. นายปรีชา ธรรมนิยม ข้าราชการกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ไปประชุมคณะกรรมการวิชาการสาขาสุขลักษณะอาหาร ครั้งที่ 23 ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยทุนกรมวิทยาศาสตร์บริการ
3. นายสุรินทร์ อรรถกิจการค้า ข้าราชการกองฟิสิกส์และวิศวกรรมไปฝึกอบรมหลักสูตร Acoustic Technology ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยทุน STDB
4. นางสาวปิยนันท์ สงวนเผ่า ข้าราชการกองเคมี ไปฝึกอบรมหลักสูตรการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทาง Spectrochemical ที่ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ภายใต้โครงการความร่วมมือทางวิทยาศาสตร์และวิชาการไทย-จีน
5. นางสาวพูนทรัพย์ วิชัยพงษ์ ข้าราชการกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ไปฝึกอบรมหลักสูตร Chemicotechnical Control of Foods ที่ประเทศสาธารณรัฐเยอรมัน ด้วยทุนรัฐบาลสาธารณรัฐเยอรมัน
6. นายจุมภฏ ก้อนแก้ว ข้าราชการกองฟิสิกส์และวิศวกรรมไปประชุมเรื่อง Novel Techniques for Non-destructive Testing ที่ประเทศอังกฤษ ด้วยทุน UNIDO

การวิจัยและพัฒนาดินขาวเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ

นวลอนงค์ ศรีพงษ์

ดินขาว หรือ kaolin มีสูตรทางเคมีว่า $Al_2O_3 2SiO_2 .2H_2O$ หรือ $H_4Al_2Si_2O_9$ คุณลักษณะที่สำคัญของดินขาวคือ เป็นแร่ที่มีเนื้อละเอียดมาก ค่อนข้างขาว และทนต่อความร้อนสูง เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอะลูมินา (Al_2O_3) ส่วนน้อยเป็นซิลิกา (SiO_2) และมีออกไซด์ของเหล็กไทเทเนียม นอกจากนี้ยังมีแร่จำพวกไมก้า เช่น ไบโอไทต์ (biotite) และมัสโคไวต์ (muscovite) หรือแร่กลีบหินขาวปนอยู่ รวมทั้งแร่ควอรตซ์ (quartz) และสารอินทรีย์ (organic matters) ในปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละแหล่ง เนื่องจากแร่ดินขาวเกิดจากการผุพังทำลายด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ของแร่เฟลด์สปาร์จากหินแกรนิต พอร์ไฟรีและหินใกล้เคียงชนิดอื่นอันทำให้คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินขาวแตกต่างกันออกไปบ้างในแต่ละแหล่ง ได้แก่ ปริมาณและชนิดของแร่ ความละเอียดหรือขนาดของเม็ดดิน ความขาว ความคม ความเหนียว การขยายหรือหดตัว เมื่อได้รับความร้อนสูง ๆ ฯลฯ

ดินขาวจัดเป็นแร่อุตสาหกรรม เพราะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมกระดาษ เช่น ฟิลเลอร์และเคลือบกระดาษชนิดมันมาก ๆ ผสมปูนซีเมนต์ ผสมทำวัสดุทนไฟ ผสมทำเบ้าหลอม ผสมในโคลนเจาะ (drilling mud) ผสมทำสี ยาฆ่าแมลง ยางพลาสติกหรือพรมน้ำมัน ทำ activated clay ฟอกสีน้ำมัน เป็นต้น นอกจากนั้นทางเภสัชกรรมยังนำมาใช้ผสมทำเป็นยารักษาโรคท้องร่วงได้อีก แหล่งดินขาวพบได้ทุกภาคในประเทศไทย ที่นำขึ้นมาใช้มากคือในภาคเหนือและภาคใต้ สำหรับภาคเหนือส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกซึ่งทำกันมานานแล้ว ดินขาวจากภาคกลางและภาคใต้ เช่น ที่จังหวัดระนอง มีคุณภาพดี ใช้ทำผลิตภัณฑ์เซรามิกคุณภาพดีได้ ดินขาวที่จังหวัดนราธิวาส มีคุณภาพดีกว่าแหล่งอื่น สามารถพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและอุตสาหกรรมอื่นได้เป็นอย่างดี แต่ในขณะนี้ประเทศไทยมีการนำเข้าดินขาวเกรดกระดาษหรือแร่อื่น เช่น แร่ทัลคัม มาใช้เป็นฟิลเลอร์ในกระดาษ ทำให้ต้องเสียเงินตราของประเทศโดยไม่จำเป็น ดังนั้น กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ จึงได้ศึกษาหาแหล่งดินขาวเพื่อนำมาพัฒนาให้สามารถใช้เป็นฟิลเลอร์ในกระดาษได้ โดยดูแหล่งดินขาวที่มีคุณภาพดี สีค่อนข้างขาว ความละเอียดสูง ความคมค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ได้นำดินขาวจากแหล่งดินขาว จำนวน 2 แหล่งในจังหวัดนราธิวาส ซึ่งมีคุณภาพดังกล่าวข้างต้นมาดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพให้สามารถใช้เป็นฟิลเลอร์ในกระดาษได้

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของดินขาวทั้งสองแหล่งดังกล่าว ก่อนนำไปศึกษาวิจัยและพัฒนาคุณภาพ ดังปรากฏในตารางที่ 1

การใช้ดินขาวในกระดาษนั้น ใช้เติมลงไปในกรรมวิธีการผลิตเพื่อให้เข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเยื่อของกระดาษ ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษดีขึ้น มีความขาวเรียบ และมีความทึบแสง ทำให้ไม่เห็นตัวหนังสือหรือลายพิมพ์อื่น ๆ ในหน้าตรงข้าม โดยหมึกไม่ซึม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มน้ำหนักของกระดาษด้วย ดินขาวที่ใช้ผสมกระดาษในขั้นตอนนี้เป็นดินขาวชนิดเกรดกระดาษ (filler grade) นอกจากนี้ยังมีกระดาษที่มีความขาวเรียบและเป็นมันมาก ๆ ที่เรียกว่า กระดาษปอนด์หรือกระดาษอาร์ต กระดาษชนิดนี้จะต้องใช้ดินขาวเคลือบบนกระดาษอีกชั้นหนึ่ง ดินขาวที่ใช้ในขั้นตอนนี้เป็นดินขาวชนิด coating grade โดยจะมีความละเอียดและความขาวสูงกว่าชนิด filler grade ซึ่งไทยยังมีการสั่งนำเข้ามาจากต่างประเทศเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษปีละหลายสิบล้านบาท ดังรายละเอียดปรากฏในตารางที่ 2

ถ้าดินขาวมีแร่ควอรตซ์ (quartzg) และไมกา (mica) ปนอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูง จะทำให้มีความคมสูงเกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับดินขาวใช้ผสมทำกระดาษ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสึกหรอของเครื่องจักรผลิตกระดาษ จึงจำเป็นต้อง

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของดินขาว

รายการวิเคราะห์ทดสอบ	แหล่งที่ 1, ร้อยละ	แหล่งที่ 2, ร้อยละ
loss on ignition	13.80	14.00
moisture	1.24	1.14
Al_2O_3	40.30	40.60
SiO_2	43.30	43.40
Fe_2O_3	1.44	0.94
FiO_2	0.86	0.82
ความคม โดยวิธีวอลเลย์, มิลลิกรัม	115	123
ความขาวสว่าง (Elrepho)	72	68

ตารางที่ 2 แสดงสถิติการนำเข้า-ส่งออก ของดินขาวในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2531-2534

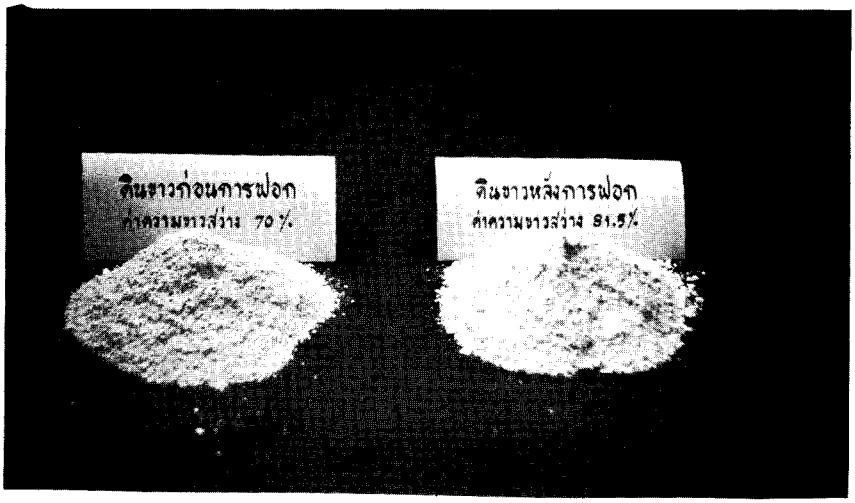
ประเภทของดินขาว	พ.ศ. 2531		พ.ศ. 2532		พ.ศ. 2533		พ.ศ. 2534 ม.ค.-มี.ค.	
	ปริมาณ (ตัน)	ราคา (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	ราคา (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	ราคา (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	ราคา (ล้านบาท)
การนำเข้า								
อุตสาหกรรมเซรามิก	8,905	24	4,788	26	12,728	45	4,348	15
อุตสาหกรรมกระดาษ	9,613	34	12,471	56	8,375	40	1,561	8
อุตสาหกรรมอื่น ๆ	8,146	47	10,450	70	11,943	79	3,474	22
การส่งออก								
อุตสาหกรรมเซรามิก	5,047	2.7	3,322	2.10	8,369	4.6	2,710	1.7
อุตสาหกรรมกระดาษ	2,100	1.1	800	0.39	-	-	-	-
อุตสาหกรรมอื่น ๆ	71	0.2	38	0.14	223	0.67	60	0.2

ที่มา : กรมศุลกากร

กำจัดควอรตซ์และไมกาออกซึ่งอาจใช้วิธีทางเคมี คือใช้สารเคมีตกตะกอนหรือวิธีผสมใช้ทั้งสารเคมีและทางกายภาพ แต่มีราคาค่อนข้างแพง หากใช้วิธีทางกายภาพจะค่อนข้างถูกกว่า แต่ต้องใช้เทคนิคสูงประกอบเนื่องจากใช้หลัก gravity ซึ่งควอรตซ์และไมกามีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับดินขาวมาก การศึกษาวิจัยได้ใช้เทคนิค 3 รูปแบบ คือ Elutriator technique, Overflow tank technique และ Hydrocyclone technique โดยเฉพาะการใช้ Hydrocyclone technique ต้องมีอย่างน้อย 2 ขนาด การปรับความดัน ความเข้มข้นของน้ำดิน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อออกของ Overflow (spigot) เหล่านี้มีอิทธิพลต่อการแยกควอรตซ์และไมกาออกจากดินขาวด้วย

สำหรับสีของดินขาวนั้นจะขาวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด หากเกิดในที่สูงเป็นเนินหรือภูเขาเตี้ย ๆ จะมีแร่ควอรตซ์ปนมากและแร่ประกอบหินอื่น ๆ ได้แก่ แร่เหล็ก แร่ทัวมาลีน แร่ไมกา ฯลฯ ปนอยู่ในรูปออกไซด์ของเหล็กและไททาเนียมทำให้สีของดินขาวไม่ขาวหากมีปริมาณสูง และความละเอียดของดินขาวค่อนข้างต่ำ ส่วนดินขาวที่เกิดในที่ราบลุ่ม น้ำท่วมถึง หากมีพวกอินทรียสาร (organic matters) ที่ผุพังเน่าเปื่อยทับถมปะปนอยู่ด้วยจะทำให้สีของดินขาวคล้ำลง แต่ดินขาวในแหล่งเหล่านี้มีความละเอียดของดินค่อนข้างสูง การศึกษาทดลองฟอกสีดินขาวจึงต้องคำนึงถึงหลักการข้างต้นประกอบเพราะกรรมวิธีฟอกสีอาจแตกต่างกัน หรืออาจต้องใช้วิธีผสมแล้วแต่กรณี เพื่อที่จะฟอกสีดินขาวให้มีความขาวสว่างเข้ามาตรฐานดินขาวที่ใช้ผลิตทำกระดาษ

กระบวนการการศึกษาวิจัยพัฒนาดินขาวนี้ ได้ดำเนินการทางกายภาพตั้งแต่การบดการแร่ง การล้างในห้องปฏิบัติการ การล้างและแยกขนาดของเม็ดดินขาวด้วยเครื่องมือแยกดินขาวซึ่งประกอบด้วย Overflow tank, Hydrocyclone, Elutriator ตะแกรงมาตรฐานขนาด 325 mesh ซึ่งรูตะแกรงมีขนาด 45 ไมครอน (1 ไมครอน 1/1000 มิลลิเมตร) การแยกเหล็กโดยเครื่องมือ Ferrofilter



การหาค่าความขาวสว่าง และศึกษาชนิดของแร่ด้วยเครื่อง X-Ray diffractometer เปรียบเทียบกับตัวอย่างดินขาวเกรดกระดาษจากต่างประเทศ สำหรับด้านเคมีนั้นได้ศึกษาทดลองฟอกสีด้วยสารเคมีหลายชนิด การตกตะกอนเอาทรายบางส่วนออกจากดินขาวโดยใช้ Flocculating agent วิเคราะห์ทดสอบทางเคมีหาส่วนประกอบและทดสอบทางกายภาพก่อนและหลังการศึกษาทดลองดังกล่าวข้างต้น

หลังจากผ่านกระบวนการฟอกสีและการคัดขนาดดินขาว ตามกระบวนการทางเคมีและกายภาพตามที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 74-2527 ดังรายละเอียดในตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าดินขาวจากนราธิวาสนั้น สามารถพัฒนาให้มีสมบัติทางกายภาพสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมดินขาวใช้ผสมทำกระดาษ จึงสมควรนำไปเผยแพร่แก่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมดินขาว เพื่อจักได้มาขอรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้ แล้วนำไปพัฒนาดินขาวที่ดำเนินการผลิตเพื่อนำไปขายแก่โรงงานอุตสาหกรรมกระดาษต่อไป ผู้สนใจติดต่อกองการวิจัยกรมวิทยาศาสตร์บริการ ในวันและเวลาราชการ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของดินขาวที่ใช้ผสมกระดาษตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 74-2529 และดินขาวที่ผ่านกรรมวิธีทางกายภาพ

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด ตามมาตรฐาน	ดินขาวจาก นราธิวาส
1	ความขาวสว่าง ร้อยละไม่น้อยกว่า	80	80-83
2	กากที่ค้างบนแร่ง 43 ไมโครเมตร ร้อยละไม่เกิน	0.2	0.14
3	ความหยาบ ละเอียดของดินขาว		
	- ขนาดใหญ่กว่า 5 ไมโครเมตร ร้อยละไม่เกิน	30	13-29
	- ขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ร้อยละไม่น้อยกว่า	50	51-68
4	ความคม โดยวิธีวอลเลย์ มิลลิกรัม ไม่เกิน	40	28
5	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	3	1

การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ไซยาไนด์จากเหมืองทอง

ชัชวลี กะลัมพะเหติ

1. บทนำ

ทองคำเป็นโลหะมีค่าที่มนุษย์เราใช้กันมาช้านานแล้ว นอกจากจะใช้เป็นเครื่องประดับ เงินตราและใช้ในทางทันตกรรมแล้ว ยังใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อีกมากมาย ในปัจจุบันทองคำนับได้ว่า เป็นโลหะมีค่าที่มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศเป็นอย่างมาก วิธีการสกัดทองคำที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดขณะนี้ จำเป็นต้องใช้สารละลายไซยาไนด์ในการสกัด ซึ่งเรียกว่า เทคนิค Cyanidation leaching ซึ่งสามารถแทนได้ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$4\ Au + 8\ NaCn + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4\ NaAu(CN)_2 + 4\ NaOH$$

เทคนิคนี้ถึงแม้จะใช้สารเคมีที่มีอันตราย แต่ประสิทธิภาพของการสกัดนั้นค่อนข้างสูง และเนื่องจากความเป็นพิษของสารเหล่านี้ จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารเหล่านี้ในระดับต่ำ ๆ จนกระทั่งถึงระดับหนึ่งในล้านส่วน (ppm) หรือแม้กระทั่งระดับหนึ่งในพันล้านส่วน (ppb) ในสิ่งแวดล้อม บทความนี้เสนอวิธีวิเคราะห์ไซยาไนด์โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟฟี ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความแม่นยำสูง และยังสามารถป้องกันสิ่งรบกวน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. แนวโน้มและรูปแบบของสารประกอบไซยาไนด์ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม

สารประกอบไซยาไนด์ที่ปล่อยออกมากับน้ำเสียในอุตสาหกรรมเหมืองทองนั้น จะสามารถคงตัวในสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่าง ๆ กัน โดยทั่วไปแล้วไซยาไนด์ไอออนในรูปอิสระนี้เกิดขึ้นน้อยมากในธรรมชาติ เนื่องด้วยโมเลกุลนี้มีคุณสมบัติที่มีอันตรกิริยา (interaction) สูง ในสิ่งแวดล้อมไซยาไนด์จะอยู่รวมกับสารประกอบอื่น ๆ หรือถูกตรึงอยู่กับโลหะในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน ความเข้มข้นของไซยาไนด์ปริมาณสูง ๆ ที่ตรวจพบในดิน และน้ำ มักเป็นผลมาจากการจัดระบบน้ำทิ้งอันไม่เหมาะสม ไซยาไนด์ไอออนในรูปอิสระมักจะทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ เช่น (1) ทำปฏิกิริยากับธาตุกำมะถันจากไพไรต์และแร่ธาตุอื่น ๆ เกิดเป็นไทโอไซยาเนต (SCN^-) (2) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ (3) ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ (4) ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ (5) ถูกออกซิไดซ์กลายเป็นไซยาเนต (CNO^-) และย่อยสลายทางเคมีกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และฟอร์เมท เป็นต้น ได้มีการค้นพบว่าธาตุต่าง ๆ รวม 28 ชนิด สามารถเกิดปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับไซยาไนด์ และเกิดสารประกอบเชิงซ้อนถึง 72 ชนิด สารประกอบของโลหะเชิงซ้อนที่สำคัญ และมักพบในน้ำทิ้งจากเหมืองทอง ได้แก่ เหล็ก ทองแดง สังกะสี นิเกิล โคบอลท์ และ แคดเมียม โลหะเหล่านี้มีค่าคงที่เสถียรภาพ (stability constant) ต่างกัน ตั้งแต่ต่ำสุด

เช่น แคดเมียม ($10^{18.9}$) ไปยังสูงสุด เช่น โคบอลท์ ($10^{64.0}$)ซึ่งค่าคงที่เสถียรภาพนั้นเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถของสารประกอบเชิงซ้อนที่จะแตกตัวให้ไซยาไนด์ไอออนอิสระ (free cyanide)

ดังนั้นโลหะเชิงซ้อนที่มีเสถียรภาพต่ำจึงเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า ส่วนสารประกอบพวกเหล็กไซยาไนด์ซึ่งมักพบมากในสิ่งแวดล้อม ก็มีค่าคงที่เสถียรภาพสูงถึง (10^{-64})

สารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ของโลหะที่ปะปนออกมากับสารละลายหางแร่หลังการสกัดทองนั้น จะสามารถคงทนอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น เสถียรภาพของสารประกอบไม่ว่าจะอยู่ในสภาพของของแข็ง หรือในสารละลายไม่ว่าในดินหรือในแม่น้ำลำคลอง ในกรณีที่เป็นสารละลาย องค์ประกอบต่าง ๆ เช่น ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนในน้ำ และการสลายตัวเนื่องจากแสงอุลตราไวโอเลต สำหรับสารประกอบเชิงซ้อนเหล็กไซยาไนด์ เป็นสารสำคัญที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เนื่องจากสารนี้มีสมบัติการสลายตัว เมื่อได้รับแสงอุลตราไวโอเลต จะสลายตัวเกิดเป็นไซยาไนด์ไอออนอิสระซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง

3. วิธีวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารประกอบไซยาไนด์

ในงานวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารประกอบไซยาไนด์นั้นมีวิธีมาตรฐานอยู่ 4 วิธี คือ

(1) Total cyanide
(2) Weak acid dissociable cyanide
(3) Cyanide amenable to chlorination
(4) Free cyanide

Total cyanide คือปริมาณไซยาไนด์ที่วัดได้ หลังจากการรีฟลักซ์ด้วยกรด สารประเภทนี้รวมถึง สารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ของเหล็ก และสารประเภท weakly acid dissociable และพวกสารประกอบเชิงซ้อนอื่น ๆ ยกเว้นทอง โคบอลท์ และพลาตินัม ซึ่งมีค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสูง

Weak acid dissociable cyanide หมายถึงสารประกอบของไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวได้ง่าย เนื่องจากสมบัติความเป็นกรดอ่อน รวมทั้งพวกไซยาไนด์ไอออน และสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะที่มีเสถียรภาพต่ำ เช่น แคดเมียม ทองแดง นิเกิล เงิน และสังกะสี เป็นต้น

Cyanide amenable to chlorination หมายถึงไซยาไนด์ที่มีความสามารถ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับคลอรีน ค่าที่วิเคราะห์นี้เป็นผลต่างของการวัดปริมาณ total cyanide ก่อนและหลังปฏิกิริยา chlorination ค่าเหล่านี้รวมไปถึงไซยาไนด์ทุกตัว รวมทั้งไทโอไซยาเนต ยกเว้นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก

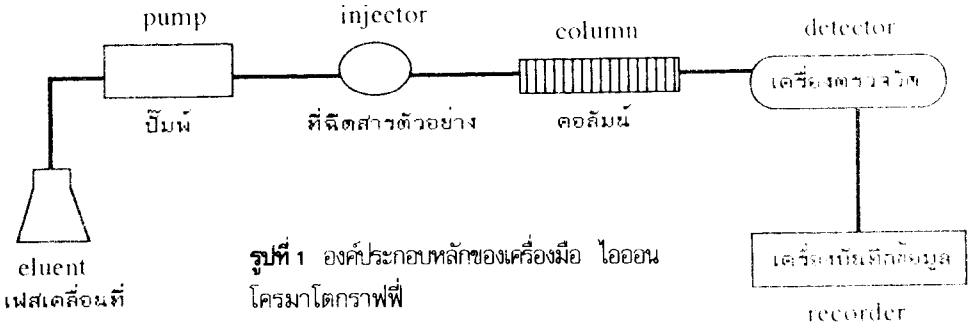
Free cyanide หมายถึง ไซยาไนด์ซึ่งอยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออน และสารประกอบไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN)

โดยทั่วไปแล้ววิธีที่นิยมมากที่สุด คือ วิธีการหา total cyanide ซึ่งใช้หลักการกลั่นด้วยกรดและเติมสารคะตะไลส์ เพื่อช่วยในการแตกสลายของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ ไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่ถูกปลดปล่อยออกหลังการกลั่นจะถูกเก็บ โดยผ่านลงไปในสารละลายอัลคาไลน์ แล้วนำสารเหล่านี้ไปวัดหาปริมาณของไซยาไนด์ไอออนอิสระโดยใช้เทคนิคที่ยอมรับกันทั่วไป เช่น ไตเตรชั่น (titration) การวัดสี (colorimetry) หรือการใช้อีเลคโทรด (ion selective electrode)

การหาปริมาณของไซยาไนด์ไอออนอิสระ (free cyanide) สามารถทำได้โดย solvent extraction หรือการผ่าน HCN ไปยังสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วเก็บไว้วิเคราะห์ในภายหลัง ส่วนปัญหาที่ตามมาในการวิเคราะห์สารประเภทนี้ก็คือ สารประกอบประเภทนี้ จะอยู่ในรูปแบบที่ไม่สามารถแยกประเภทได้อย่างเด็ดขาด เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะที่มีเสถียรภาพต่ำ ได้แก่ สังกะสี แคดเมียม และทองแดง ก็สามารถแตกตัวให้ไซยาไนด์ไอออนอิสระทำให้ค่าที่ได้มากกว่าความเป็นจริง ในทางกลับกันความแตกต่างของเสถียรภาพของสารประกอบนี้ ทำให้ประสิทธิภาพของการกลั่นแยกด้วยกรดของวิธี total cyanide ได้ค่าผิดพลาด และน้อยกว่าความเป็นจริง ขณะเดียวกันสารประเภท weak acid dissociable นั้นสามารถปลดปล่อย ไอออนของไซยาไนด์อิสระออกมา ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ total cyanide ได้ค่ามากกว่าความจริง จนกระทั่งปัจจุบันได้มีผู้พยายามค้นหาวิธีวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนแต่ละตัว โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟฟี่ ซึ่งวิธีนี้สามารถขจัดสิ่งรบกวนอื่น ๆ รวมทั้งไทโอไซยาเนต ซึ่งสามารถปลดปล่อยไซยาไนด์ไอออนอิสระออกมาเช่นกัน ดังจะอธิบายในรายละเอียดต่อไป

4. วิธีวิเคราะห์ไซยาไนด์โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟฟี่ (ion chromatography)

หลักการของเทคนิคนี้มีพื้นฐานคล้ายกับ เทคนิคลิควิดโครมาโตกราฟฟี่ทั่วไป คือ เครื่องมือพื้นฐานประกอบด้วย pump, injector, column และ detector (ดังรูปที่ 1) ต่างกันตรงที่สารที่จะแยกนั้น แทนที่จะเป็นสารประเภทไม่มีขั้ว หรือมีขั้วเล็กน้อย เช่น ยา ไวตามิน หรือสารประกอบอินทรีย์กลับเป็นสารประเภทมีประจุ นั่นคือ แอนไอออน หรือ แคทไอออน เช่น คลอไรด์ ซัลเฟต ไนไตรท์ ไนเตรท โซเดียม ลิเธียม และ แคลเซียม เป็นต้น ดังนั้นคอลัมน์สำหรับแยกสารประเภทนี้ จึงต้องเป็นคอลัมน์ที่สามารถแลกเปลี่ยนประจุได้ เช่น anion exchange และ cation exchange เป็นต้น ส่วนเครื่องตรวจวัดนั้นก็ต้องสามารถวัดความนำไฟฟ้าของไอออนเหล่านี้ได้ ความสำเร็จของเทคนิคเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับการเลือกคอลัมน์ หรือเฟสคงที่ และสารละลายที่ใช้เป็นตัวชะผ่านคอลัมน์ (หรือเฟสเคลื่อนที่)



รูปที่ 1 องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ ไอออนโครมาโตกราฟฟี่

5. เทคนิค Reversed–phase ion–pair chromatography (RP–IPC) กับการวิเคราะห์สารที่มีประจุ

เทคนิคนี้ต่างกับเทคนิคดังกล่าวข้างต้นตรงที่คอลัมน์ที่ใช้เป็นประเภทไม่มีขั้ว เช่น สารประกอบอัลคิล ซึ่งมีจำนวนคาร์บอน 18 ตัว ดังนั้นการจะแยกสารประเภทนี้ได้นั้นต้องมีการปรับสภาพของเฟสคงที่ (stationary phase) ให้มีสภาพเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุ (ion–exchanger) ชั่วคราวขณะที่เกิดการแยก โดยการเติมสารประกอบประเภทเกลือแอมมีนที่มีประจุตรงข้ามกับสารที่จะวิเคราะห์ลงไปในเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ในการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ของโลหะ ซึ่งมีสมบัติเป็นแอนไอออน จึงได้เลือกสารประกอบ tetraakylammonium ซึ่งมีประจุบวก เป็นสารที่จะเติมลงไปในเฟสเคลื่อนที่ ประจุบวกของเทตทราอัลคิลแอมโมเนียมนี้ จะไปเปลี่ยนสภาพคอลัมน์จากสภาพไม่มีขั้ว ให้มีประจุบวกเพื่อแลกเปลี่ยนกับประจุลบของสารที่ต้องการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 2

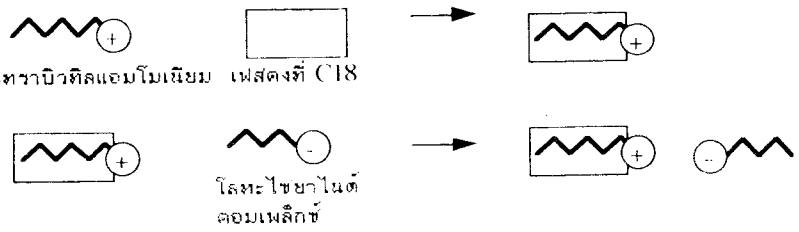
การวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์นั้นขึ้นอยู่กับ การเลือกส่วนประกอบของเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้สารแต่ละตัวถูกชะออกจากคอลัมน์โดยใช้เวลา (retention time) ต่างกัน ทั้งนี้จะมีผลให้สัญญาณที่ผ่านเครื่องตรวจวัด ปรากฏขึ้นเป็นพีค (peak) และแยกจากกันได้ ความสูงของพีคเหล่านี้ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของโลหะเชิงซ้อนแต่ละตัว เทคนิคนี้จึงเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ทางปริมาณ ส่วนประกอบของเฟสเคลื่อนที่ต้องมีการปรับให้เหมาะสม เพื่อให้สารที่ต้องการถูกชะออกจากคอลัมน์ในเวลาที่ต้องการ องค์ประกอบหลัก ๆ ของเฟสเคลื่อนที่มีดังนี้

(1) ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เมทธานอล (methanol) อะซิโตไนไตรล์ (acetonitrile) และเทตทราไฮโดรฟูราน (tetrahydrofuran)

(2) สารละลายเทตทราบิวทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (tetrabutylammonium hydroxide) ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์

(3) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ pH 8.0

พบว่าการเปลี่ยนค่า retention time ของสารประกอบไซยาไนด์เหล่านี้ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 แผนภูมิการแยกสารประกอบเชิงซ้อนโละของไซยาไนด์ โดยเทคนิค reversed–phase ion pair chromatography

ตารางที่ 1
การเปลี่ยนแปลงค่า retention time ของสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ กับความเข้มข้นของอะซิโตไนไตรล์

ไอออนของโลหะ	เปอร์เซนต์อะซิโตไนไตรล์ในเฟสเคลื่อนที่			
	20	**23**	**25**	**30**
$Cu(CN)_4^{3-}$	7.3	5.3	4.5	3.5
$Ag(CN)_2$	8.5	6.3	5.7	4.5
$Fe(CN)_6^{4-}$	15.0	10.8	9.4	5.8
$Co(CN)_6^{3-}$	21.8	15.0	8.4	4.8
$Fe(CN)_6^{3-}$	25.0	17.8	10.0	5.2
$Ni(CN)_4^{2-}$	27.9	15.9	8.9	5.4
$Au(CN)_2$	35.4	26.0	18.4	12.6
$Cr(CN)_6^{3}$	39.7	30.9	16.2	10.2
$Pd(CN)_4^{2-}$	44.8	28.8	18.0	11.2
$Pt(CN)_4^{2-}$	51.5	33.3	20.1	14.5

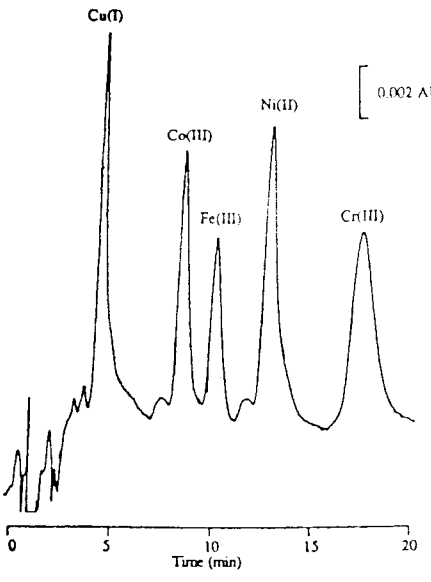
เหตุผลของการตรวจวัดสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ โดยวิธี UV–Vis spectroscopy นั้นก็เนื่องมาจาก สารเหล่านี้สามารถดูดกลืนแสงในช่วง UV ได้ ซึ่งสมบัติบางประการนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

นอกจากสมบัติในการดูดกลืนแสงแล้วนั้น ยังต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของสารประกอบเชิงซ้อนเหล่านั้นด้วย เนื่องจากกลไกของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการแยกในคอลัมน์นั้น ขึ้นอยู่กับการแลกเปลี่ยนประจุของสารประกอบเชิงซ้อนในเฟสคงที่ และในเฟสเคลื่อนที่ ยิ่งสารประกอบใดมีเสถียรภาพสูงจะสามารถเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนและปรากฏเป็นพีคขึ้น ในขณะที่สารประกอบบางตัวไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากมีเสถียรภาพต่ำ เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของสังกะสี และแคดเมียม เป็นต้น นอกจากนั้นสารประกอบเชิงซ้อนบางตัว เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของปรอท ถึงแม้จะมีเสถียรภาพสูง แต่ไม่สามารถดูดกลืนแสงได้ดีในช่วง UV ดังแสดงจากค่าสภาพดูดกลืนโมล่าร์ ในตารางที่ 2 จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ไอออนเหล่านี้ได้ ทั้งนี้รวมถึงสารประกอบของมังกานีส ซึ่งมีเสถียรภาพต่ำ และมักถูกออกซิไดซ์เป็นตะกอนของมังกานีสไดออกไซด์เมื่อละลายน้ำ จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยวิธีเหล่านี้ อย่างไรก็ตามสารประกอบเชิงซ้อนที่สำคัญหลาย ๆ ตัวที่คาดว่าจะพบในสิ่งแวดล้อม เช่น สารประกอบเชิงซ้อนของทองแดง นิเกิล เหล็ก โครเมียม และโคบอลท์นั้น สามารถวิเคราะห์ได้โดยง่ายดังแสดงในโครมาโตแกรม (รูปที่ 3) ส่วนสารประกอบของโลหะมีค่า เช่น ทอง (gold) พลาทินัม (platinum) และพาลาเดียม (palladium) ซึ่งมีเสถียรภาพสูงกว่าสารประกอบไซยาไนด์ของโลหะอื่น ๆ นั้น จะมีค่า retention time สูงกว่าโลหะเหล่านั้น การวิเคราะห์ทำได้โดยเปลี่ยนองค์ประกอบของเฟสเคลื่อนที่ โดยให้มีความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์สูงขึ้น ดังแสดงในโครมาโตแกรมในรูปที่ 4

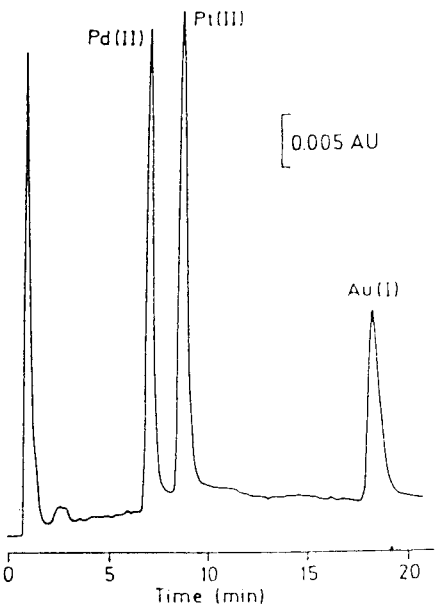
ตารางที่ 2

ค่าคงที่เสถียรภาพของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ของโลหะและข้อมูลเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงในช่วง UV

ไอออนของโลหะ	สารประกอบเชิงซ้อน	ค่าคงที่เสถียรภาพของสารประกอบ (log β)	ความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนแสง λ max (nm)	สภาพดูดกลืนโม-ล่าร์ (ε, L mol^{-1} cm^{-1})
Ag (I)	$Ag(CN)_2^-$	20.9	197	12,687
Au (I)	$Au(CN)_2^-$	37.0	204	4,694
Cu (I)	$Cu(CN)_4^{3-}$	27.9	206	21,765
Co (III)	$Co(CN)_6^{3-}$	64.0	200	25,801
Cd (II)	$Cd(CN)_4^{2-}$	18.9	190	983
Cr (III)	$Cr(CN)_6^{3-}$	35.0	191	9,551
Fe (II)	$Fe(CN)_6^{4-}$	36.9	218	22,600
Fe (III)	$Fe(CN)_6^{3-}$	43.9	216	19,302
Hg (II)	$Hg(CN)_4^{2-}$	40.6	190	4,420
Mo (IV)	$Mo(CN)_8^{4-}$	57.0	228	11,895
Mn (III)	$Mn(CN)_6^{3-}$	9.7	190	1,210
Ni (II)	$Ni(CN)_4^{2-}$	31.0	198	12,723
Pd (II)	$Pd(CN)_4^{2-}$	51.7	204	10,990
Pt (II)	$Pt(CN)_4^{2-}$	40.0	216	17,569
Zn (II)	$Zn(CN)_4^{2-}$	21.5	190	523



รูปที่ 3 โครมาโตแกรมของโลหะเชิงซ้อนของไซยาไนด์โดยเทคนิค preconcentration แยกบนคอลัมน์ Nova–Pak C18 ส่วนประกอบของเฟสเคลื่อนที่คือ เมทธานอล : เทตทราไฮโดรฟูราน : สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 10 มิลลิโมลาร์ 25:1:74 (สัดส่วนโดยปริมาตร) โดยประกอบด้วยสารละลายเทตทราบิวทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 5 มิลลิโมลาร์ ปรับ pH–8.0 ความเข้มข้นของโลหะ Cu(I) 25 ppb, Co (III) และ Fe (III) ตัวละ 10 ppb และ Ni (II) และ Cr (III) ตัวละ 50 ppb ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง 2 มิลลิลิตร ตรวจวัดโดย UV–VIS spectrophotometer ที่ 214 nm



รูปที่ 4 โครมาโตแกรมของโลหะทอง, พลาทินัม และ พาลาเดียม ไซยาไนด์ โดยเทคนิค preconcentration รายละเอียดของเทคนิคโครมาโตกราฟฟี่ เช่นเดียวกับรูปที่ 3 ยกเว้นความเข้มข้น ของสารละลายอินทรีย์ในเฟสเคลื่อนที่ คือ เมทธานอล:เทตราไฮโดรฟูราน:สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 10 มิลลิโมลาร์ 30:2:68 (สัดส่วนโดยปริมาตร) โดยประกอบด้วยสารละลายเทตราบิวทิลแอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ 5 มิลลิโมลาร์ ปรับ pH – 8.0 ความเข้มข้นของโลหะ Au (I) 50 ppb, Pd (II) และ Pt (II) 20 ppb

เทคนิคข้างต้นนี้สามารถวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ ได้ในระดับ 1 ในล้านส่วน (ppm) แต่ในทางปฏิบัติแล้วในสารละลายหางแร่หลังสกัดทอง ปริมาณของทองในรูปของ aurocyanide complex จะน้อยมากจนกระทั่งถึงระดับ 1 ในพันล้านส่วนเท่านั้น (ppb) ดังนั้นเทคนิค preconcentration หรือ การทำให้เข้มข้นขึ้นก่อนที่จะวิเคราะห์จึงเป็นสิ่งจำเป็น เทคนิคเหล่านี้เป็นขั้นตอนเพิ่มขึ้น ก่อนที่จะฉีดสารเข้าสู่คอลัมน์เพื่อทำการแยก และสามารถทำได้โดยการควบคุมของเครื่องมืออัตโนมัติ โดยไม่ต้องใช้ขั้นตอนการเตรียมทางเคมี แต่รายละเอียดยังมีได้กล่าวในที่นี้ โดยปกติแล้วเทคนิคทางโครมาโตกราฟฟี่ทั่วไป สารที่ฉีดเข้าสู่คอลัมน์จะมีปริมาณเพียง 20 ไมโครลิตร แต่ถ้าใช้เทคนิคนี้เราสามารถเพิ่มปริมาตรได้จนถึง 2-10 มิลลิลิตร ประโยชน์ของเทคนิคเหล่านี้ทำให้สามารถวิเคราะห์ สารประกอบเชิงซ้อนของทองในสารละลายหางแร่ และสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะอื่น ๆในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมได้ในปริมาณเพียงระดับ ppb ด้วยความแม่นยำสูง

บทสรุป

ปัจจุบันความตื่นตัวของสาธารณชนต่อผลกระทบของสิ่งแวดล้อมเนื่องจากอุตสาหกรรมมีสูงมาก ดังนั้นการป้องกันจึงต้องดำเนินการอย่างรัดกุมและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมเหมืองทองที่ใช้ไซยาไนด์ในการสกัดทอง การศึกษาวิจัยเพื่อลดความเข้มข้นและขจัดไซยาไนด์ตลอดจนโลหะหนักอื่น ๆ ในน้ำเสียจึงเป็นสิ่งจำเป็น บทความนี้ได้เสนอวิธีวิเคราะห์โดยเทคนิคของ โครมาโตกราฟฟี่ ซึ่งให้ผลการทดลองที่มีความแม่นยำสูง และปราศจากสิ่งรบกวน ทั้งยังสามารถลดระดับของสารที่จะวิเคราะห์ให้ต่ำจนถึงระดับ ppb โดยใช้เทคนิค preconcentration

เอกสารอ้างอิง

1. สาธิต เทอดเกียรติกุล, การสกัดทองคำจากแหล่งแร่ซำเจียง. **ข่าวสารการธรณี** ปีที่ 34 ฉบับที่ 1, หน้า 12 - 23
2. มณฑป วัลยะเพชร์ และ สาธิต เทอดเกียรติกุล, แนวทางการพัฒนาการแยกทองคำ โดย Heap leaching. **ข่าวสารการธรณี** ปีที่ 33 ฉบับที่ 8, หน้า 24 - 31
3. ชัชวลี กะลัมพะเหติ วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก มหาวิทยาลัยนิวเซาท์เวลส์ ออสเตรเลีย ปี 1991
4. Hilton, DF. and Haddad, PR., **J. Chromatogr., 1988,** vol. 361 141 – 150.
5. Huiatt, JL. et al., **Proceeding of a workshop : cyanide from mineral precessing,** Salt Lake City. (Utha): The National Science Foundation incorporation with the U.S. Bureau of mines and industry. 1982.

สีผงเซอร์คอน : สีฟ้า

สุจินดา โชติพาณิช
วรรณา โฆสิตะมงคล

โครงการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการทำสีผงเซรามิกชนิดเซอร์คอน เป็นโครงการวิจัยที่กรมวิทยาศาสตร์บริการได้จัดทำขึ้น โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการทำแม่สี สีผงเซอร์คอนที่สำคัญ 3 สี คือ สีฟ้า สีเหลือง และสีชมพู ปะการัง เหตุจูงใจที่ทำการวิจัยเรื่องนี้ และรายละเอียดการศึกษาวิจัยเทคโนโลยีการทำสีชมพูปะการัง ได้กล่าวมาแล้วในวารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการฉบับที่ 127 สำหรับฉบับนี้เป็นการศึกษาวิจัยเทคโนโลยีการทำสีฟ้า

สีผงเซอร์คอนสีฟ้า เป็นสีที่มองดูสะอาดสดใส ให้โทนสีออกเป็นสี turquoise มีส่วนผสมประกอบด้วย

ก. สารเซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2) และซิลิกา (SiO_2)เป็นวัตถุดิบหลักที่จะทำปฏิกิริยารวมตัวกันที่อุณหภูมิสูง เป็น เซอร์คอนเซอร์โคเนียมซิลิเกต ($ZrsiO_4$)

ข. สารประกอบวาเนเดียม ทำหน้าที่เป็นสารให้สี (chromophore)

ค. สารประกอบเกลือเฮไลด์ ทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่ง (mineralizer) ช่วยลดระดับอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาระหว่าง ZrO_2 กับ SiO_2 ให้ต่ำลง และช่วยให้วาเนเดียมเข้าไปแทรกในโครงสร้างเซอร์คอนได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดสีเป็นสีฟ้า

เนื่องจากอัตราส่วนผสม รวมทั้งชนิดของสารที่ให้สี สารเติมแต่ง และระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ มีผลต่อความเข้มของสีฟ้าและปฏิกิริยาการรวมตัวระหว่าง ZrO_2 และ SiO_2 เกิดเป็นสีผงเซอร์คอน จึงจำเป็นต้องศึกษาวิจัยเพื่อหาส่วนผสมและสภาวะที่เหมาะสมในการทำสีผงดังกล่าว

1. วัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา

1.1 วัตถุประสงค์ การศึกษานี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสังเคราะห์สีผงเซอร์คอนสีฟ้าและศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารให้สี (NH_4VO_3) ปริมาณสารเติมแต่ง (NaCl) และระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ต่อปฏิกิริยาการเกิดเป็นเซอร์คอนและความเข้มของสี

1.2 ขอบเขตการศึกษา

1.2.1 ส่วนผสมของสีผงที่ทำการศึกษากำหนดให้อยู่ในขอบเขตต่อไปนี้

ZrO_2 67.2%

SiO_2 32.8%

เติม

NH_4VO_3 4–6%

NaCl 8–12%

1.2.2 ระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์สีผง ระหว่าง 750 °–1050° ซ.

1.2.3 เคลือบเซรามิกที่นำสีผงไปทดลองใช้เป็นเคลือบชนิด lime–zinc อุณหภูมิ 1200° ซ.

2. วิธีการทดลอง

2.1 ส่วนผสมที่ทดลอง ส่วนผสมที่ทดลองแสดงในตารางที่ 1 ประกอบด้วยอัตราส่วน ZrO_2 : SiO_2คงที่= 1 : 1โมล ผันแปรปริมาณสารให้สี NH_4VO_3 2 ระดับ คือ 4 และ 6% ผันแปรปริมาณสารเติมแต่ง NaCl 3 ระดับ คือ 8, 10 และ 12%

2.2 การเตรียมสีผง เตรียมตัวอย่างครั้งละ 50 กรัม มีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

ก. การบดสผม นำส่วนผสมตามตารางที่ 1 ที่ชั่งเรียบร้อยแล้วมาบดแห้งให้เข้ากันด้วย เครื่องบดอัตโนมัติครกและสากทำด้วย agate ประมาณ 5 นาที

ข. การเผาสังเคราะห์ นำตัวอย่างที่บดผสมเข้ากันดีแล้ว มาเทใส่เบ้าดินเผา ปิดฝาให้เรียบร้อย เผาในเตาเผาไฟฟ้า อุณหภูมิ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมสีฟ้า

ตารางที่ 1 ส่วนผสมสีฟ้า

สัญลักษณ์	ส่วนผสม (กรัม)			
	ZrO_2	SiO_2	NH_4VO_3	NaCl
LC 8	67.2	32.8	4	8
LC 10	67.2	32.8	4	10
LC 12	67.2	32.8	4	12
HC 8	67.2	32.8	6	8
HC 10	67.2	32.8	6	10
HC 12	67.2	32.8	6	12

750°-1050° ซ. ใช้อัตราเร่ง 200° ซ./ชั่วโมง ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 1 ชั่วโมง

ค. การบดและล้าง นำสีผงที่ได้จากการเผาสังเคราะห์มาบดแห้งในเครื่องบดประมาณ 15 นาทีจะได้สีผงละเอียด จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 3 ครั้ง เพื่อกำจัดเกลือส่วนเกินที่ละลายน้ำกรองแยกผงสีออก แล้วนำไปอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 80° ซ. นำสีผงที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียดอีกครั้งด้วยเครื่องบดประมาณ 2 นาที จะได้สีผงที่พร้อมจะนำไปใช้งานและทดสอบคุณสมบัติต่อไป

2.3 การเตรียมเคลือบสี นำสีผงที่เตรียมได้มาทดลองใช้กับเคลือบเพื่อดูผลการให้สี เคลือบที่เลือกทดลองใช้คือเคลือบชนิด lime–zinc อุณหภูมิ 1200° ซ. มีส่วนผสมดังนี้

เคลือบ :	แร่ฟันม้า	35.2%
	หินปูน	13.6%
	ควอรตซ์	28.5%
	ดินขาวนราธิวาส	11.1%
	ซิงค์ออกไซด์	6.8%
	ทัลก์	4.8%
สีที่เติม :	เซอร์โคเนียมซิลิเกต	8%
	สีผงที่เตรียมขึ้น	6%

บดเปียกส่วนผสมข้างต้นในหม้อบด 8 ชั่วโมง นำมาเคลือบบนแผ่นดินเผาชนิดเนื้อเอออร์เทนแวร์ขนาด 3×3 ซม. โดยวิธีจุ่มเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1200° ซ. ใช้อัตราเร่ง 150° ซ./ชั่วโมง ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 30 นาที

วิธีการเตรียมแผ่นดินเผามีดังนี้ นำส่วนผสมประกอบด้วยดินขาวระนอง 55% ดินขาวปราจีนบุรี 10 % ควอรตซ์ 20 % แร่ฟันม้า 10 % หินปูน 5 % มาบดเปียกในหม้อบด 8 ชั่วโมง เกรอะให้แห้งหมาดนำมาอัดให้เป็นแผ่นในแบบปูนปลาสเตอร์ เผาดิบ (biscuit) ที่อุณหภูมิ 800° ซ.

2.4 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางวิทยาแร่ นำสีผงที่ผ่านการล้างให้สะอาดแล้วมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางวิทยาแร่ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ เพื่อศึกษาปฏิกิริยาการเกิดเป็นเซอร์คอนใช้คลื่นรังสี-โคบอล กระทำที่มุม 20 : 10°-60°ความเร็ว 0.05°/วินาที ความต่างศักย์ 35 กิโลวัตต์ กระแสร์ 25 มิลลิแอมแปร์ จำนวนนับเต็มสเกล 10,000 counts

2.5 การวัดสี นำตัวอย่างสีผงที่ได้จากการสังเคราะห์ และแผ่นเคลือบสีที่เตรียมจากสีผงดังกล่าวมาวัดค่าสี L, a, b ตามระบบ Hunterlab ด้วยเครื่อง Elrepho 2000 โดยที่

L เป็นค่าแสดงความขาว (+L) และความมืด (−L) ของสี

a เป็นค่าแสดงปริมาณของสีแดง (+a) และสีเขียว (−a)

b เป็นค่าแสดงปริมาณของสีเหลือง (+b) และสีฟ้า (−b)

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการทดสอบสีผง ลักษณะทั่วไปของสีผงเผาสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 750°, 850° ,950° และ 1050° ซ. ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางวิทยาแร่ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ และผลการวัดค่าสี L, a, b ตามระบบ Hunterlab ด้วยเครื่อง Elrepho 2000 แสดงในตารางที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ลักษณะทั่วไปของสีผง ที่ผันแปรปริมาณสารให้สี สารเติมแต่งและระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์

ระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ ° ซ.	ลักษณะทั่วไปของสีผง					
	LC 8	LC 10	LC 12	HC 8	HC 10	HC 12
750°	สีฟ้าอ่อน สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้าอ่อน สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้าอ่อน สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้าอ่อน สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้าอ่อน สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้าอ่อน สีสม่ำเสมอ ร่วน
850°	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน
950°	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน
1050°	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน	สีฟ้า สีสม่ำเสมอ ร่วน

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางวิทยาแร่ ของสีผง ที่ผันแปรปริมาณสารให้สี สารเติมแต่ง และระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์

ระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ ° ซ.	ส่วนประกอบทางวิทยาแร่																	
	LC 8			LC10			LC 12			HC 8			HC 10			HC 12		
	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2	$ZrSiO_4$	ZrO_2	SiO_2
750°	2.1	3.4	3.6	1.9	3.1	4.0	1.9	3.0	4.3	2.4	3.5	3.5	2.8	2.9	4.3	2.0	3.7	3.2
850°	6.9	1.2	1.7	7.1	1.5	1.9	6.5	1.0	2.3	7.3	0.9	2.0	7.0	0.9	2.1	7.3	3.6	2.7
950°	9.0	0.3	0.6	7.0	0.7	1.4	5.9	0.9	1.0	6.7	0.7	1.5	7.5	0.9	2.0	6.8	0.7	1.4
1050°	6.9	1.1	1.8	6.8	1.0	1.0	6.3	1.0	0.7	6.7	0.7	0.7	6.7	0.8	0.8	6.9	0.8	0.8

ตารางที่ 4 ผลการวัดค่าสีระบบ Hunterlab ของสีผงที่ผันแปรปริมาณสารให้สีสารเติมแต่ง และระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์

ระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ ° ซ.	ค่าสี L, a, b																	
	LC 8			LC10			LC 12			HC 8			HC 10			HC 12		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
750°	73.13	−9.11	−13.92	71.56	−9.65	−13.29	72.72	−9.43	−12.75	76.50	−8.47	−13.20	75.75	−8.39	−16.50	66.96	−10.25	−15.71
850°	65.99	−8.54	−25.64	64.17	−8.41	−26.73	64.76	−8.70	−25.47	64.10	−8.25	−25.03	64.55	−8.35	−25.01	64.30	−8.58	−23.50
950°	68.83	−8.54	−25.60	67.10	−8.25	−25.07	64.91	−8.45	−26.35	64.03	−8.04	−26.21	61.61	−7.92	−27.85	64.47	−8.10	−26.41
1050°	64.14	−8.54	−25.60	62.91	−8.61	−26.55	63.82	−8.62	−25.95	62.61	−8.53	−25.85	62.08	−8.46	−26.26	62.18	−8.49	−25.97

ตารางที่ 5 ลักษณะทั่วไปของเคลือบสีที่เตรียมจากสีผงที่ผันแปรปริมาณสารให้สี สารเติมแต่ง และระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์

ระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์สีผง ° ซ.	ลักษณะทั่วไปของเคลือบสี					
	LC 8	LC 10	LC 12	HC 8	HC 10	HC 12
750°	สีฟ้าอ่อน เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้าอ่อน เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้าอ่อน เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้าอ่อน เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้าอ่อน เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้าอ่อน เคลือบผิว เป็นมันแวว
850°	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว
950°	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว
1050°	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว	สีฟ้า เคลือบผิว เป็นมันแวว

3.2 ผลการทดสอบเคลือบสี ลักษณะทั่วไปของเคลือบสีที่เตรียมจากสีผงที่ผันแปรปริมาณสารให้สี NH_4VO_3 4 และ 6% ปริมาณสารเติมแต่ง NaCl 8, 10 และ 12% และระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ 750°-1050° ซ. แสดงในตารางที่ 5 ผลการวัดค่าสีตามระบบ Hunterlab แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวัดค่าสีระบบ Hunterlab ของเคลือบสี ที่เตรียมจากสีผงที่ผันแปรปริมาณสารให้สี สารเติมแต่ง และระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์

ระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ ° ซ.	ค่าสี L, a, b																	
	LC 8			LC 10			LC 12			HC 8			HC 10			HC 12		
สีผง ° ซ.	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
750°	73.12	−9.17	−6.66	75.26	−9.69	−5.25	73.73	−9.05	−5.93	80.09	−8.69	−3.46	75.61	−10.09	−5.73	70.50	−10.33	−10.07
850°	69.17	−10.63	−13.80	65.96	−9.92	−15.28	65.08	−10.23	−17.49	67.93	−10.41	−16.37	65.08	−10.79	−16.93	63.86	−10.22	−18.25
950°	68.65	−10.13	−16.44	68.08	−10.33	−13.48	64.86	−10.13	−16.44	67.00	−10.16	−15.94	66.52	−10.42	−16.76	66.64	−10.52	−16.00
1050°	66.99	−10.47	−16.40	65.30	−10.33	−17.28	66.70	−10.94	−16.26	65.06	−10.17	−16.97	66.24	−10.51	−16.80	65.84	−10.02	−16.90

4. สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองสังเคราะห์สีผง โดยนำสาร ZrO_2, SiO_2 NH_4VO_3, NaCl มาผสมกันตาม อัตรา ส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 1 และเผาสังเคราะห์ที่ระดับอุณหภูมิ 750°-1050° ซ. ยืนไฟที่อุณหภูมิสูงสุด 1 ชั่วโมง ปรากฏว่าได้สีเป็นสีฟ้าที่สะอาดสดใส ให้โทนสีเป็นสี turquoise เมื่อนำสีผงดังกล่าวไปใช้เป็นสีในเคลือบ (in glaze) กับเคลือบเซรามิกชนิด lime−zinc อุณหภูมิ 1200° ซ. ได้เคลือบสีเป็นสีฟ้า พร้อมกันนั้นจากการศึกษาดูผลกระทบของปริมาณสารให้สี NH_4VO_3 4-6% ปริมาณสารเติมแต่ง NaCl 8-12% และระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ 750°-1050° ซ. ต่อปฏิกิริยาการเกิดเป็นเซอร์คอน และความเข้มของสีฟ้าทั้งในสภาพที่เป็นสีผงและสีเคลือบสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

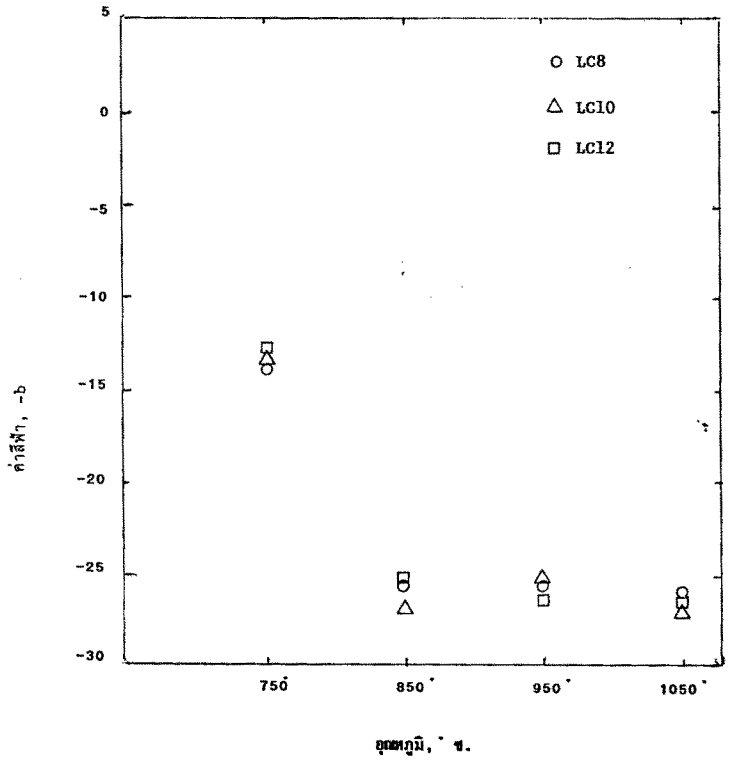
4.1 ผลกระทบของระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ จากการศึกษาพบว่าระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ในช่วง 750°-1050° ซ. มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดเป็นเซอร์คอนและความเข้มของสีอย่างเห็นได้ชัด

การเกิดเป็นเซอร์คอน ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางวิทยาแร่ของสีผงที่เผาที่ระดับอุณหภูมิ 750°-1050° ซ. ในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าที่ระดับอุณหภูมิ 750° ซ. ZrO_2 และ SiO_2 ยังทำปฏิกิริยาเกิดเป็นเซอร์คอนได้น้อยมากต้องเผาที่ระดับอุณหภูมิ 850° - 1050° ซ. จึงจะสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นเซอร์คอนได้มาก แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวยังเกิดไม่สมบูรณ์ แม้จะเผาสูงถึง 1050° ซ. ก็ยังมี ZrO_2 และ SiO_2 เหลืออยู่อีกเล็กน้อย

ความเข้มของสี จากการศึกษาดูลักษณะทั่วไปของสีผงและสีในเคลือบในตารางที่ 2 และ 5 ประกอบกับผลการวัดค่าสี L, a, b ตามระบบ Hunterlab ในตารางที่ 4 และ 6 และภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีฟ้า (−b) ของสีผงกลุ่ม LC และ HC กับระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ในภาพที่ 1 และ 2 พบว่าสีผงซึ่งเผาที่ระดับอุณหภูมิ 750° ซ. ซึ่งยังเกิดเซอร์คอนได้น้อยมากนั้นให้สีเป็นสีฟ้าอ่อน มีค่าความขาว (+L) ค่อนข้างสูง และมีค่าสีฟ้า (−b) ต่ำ ส่วนสีผงที่เผาที่ระดับอุณหภูมิ 850°-1050° ซ. ซึ่งเกิดเซอร์คอนได้มากจนเกือบจะสมบูรณ์จะให้สีเป็นสีฟ้าเข้ม ค่าความขาว (+L) จะลดลง และค่าสีฟ้า (−b) จะสูงเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นจากการศึกษาดูการเปลี่ยนแปลงค่าสีฟ้าของสีผงข้างต้นในช่วงอุณหภูมิ 850°-1050° ซ. พบว่าค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนมากนัก ดังนั้นจึงสรุปภาวะการเผาสังเคราะห์สีฟ้าที่เหมาะสมกล่าวคือให้สีฟ้าเข้มอีกทั้งประหยัดพลังงานได้ว่าควรจะประมาณที่ระดับอุณหภูมิ 850°-950° ซ.

4.2 ผลกระทบของสารให้สีและสารเติมแต่ง ความเข้มของสีฟ้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารให้สี NH_4VO_3 ที่ถูกกักอยู่ในโครงสร้างเซอร์คอน ถ้าถูกกักไว้มากจะให้สีเข้ม ถ้าถูกกักไว้น้อยจะให้สีอ่อน ทั้งนี้สารเติมแต่งซึ่งช่วยลดจุดหลอมตัวของส่วนผสมจะช่วยให้สารให้สีแทรกเข้าไปในโครงสร้างเซอร์คอนได้ง่ายขึ้น จากการศึกษาดูความเข้มของสีฟ้า (−b) และความแตกต่างของสี (ΔE) ระหว่างการใช้สารให้สี NH_4VO_3 4% กับ 6% ในส่วนผสมที่ผันแปรปริมาณสารเติมแต่ง NaCl 8−12% เผาสังเคราะห์ 750°-1050° ซ. นั้นพบว่า การใช้สารให้สี 4 หรือ 6% ให้ค่าสีฟ้า (−b) และค่าความแตกต่างของสี ($\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$) ต่างกันไม่มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนผสมที่มีสารเติมแต่ง NaCl อยู่ 12% เผา 850°-950° ซ. (LC_{12} และ HC_{12} นั้น พบว่าให้สีใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างของสี (ΔE) ประมาณ 0.5 หน่วยเท่านั้น ในการทำสีผง

ภาพที่ 1 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีฟ้า (−b) ของสีผง LC8, LC 10, LC12 กับระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์

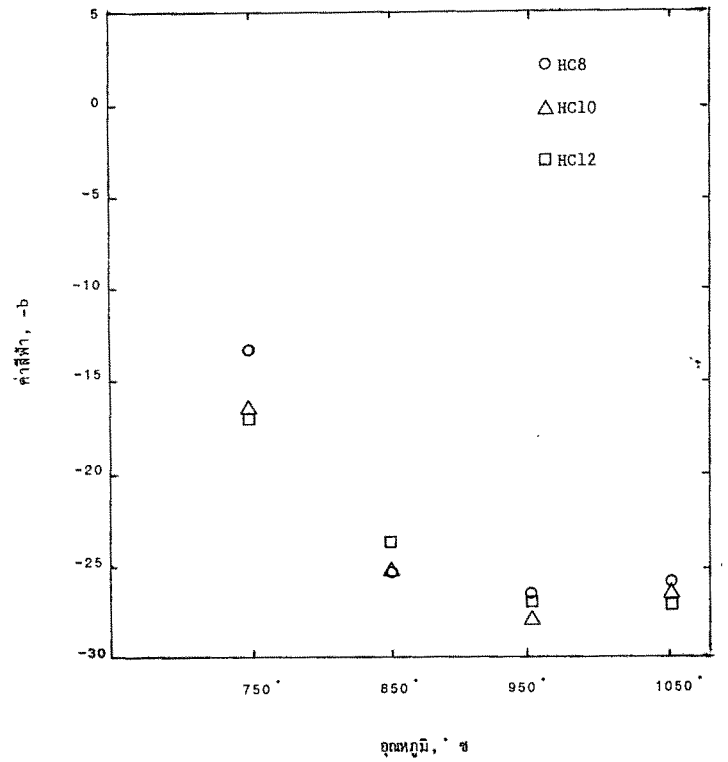


สีฟ้าจึงควรเลือกส่วนผสมที่มีปริมาณสารให้สี NH_4VO_3 4% ทั้งนี้เพราะสาร NH_4VO_3 มีราคาแพงถ้าสามารถใช้ปริมาณน้อยลงได้ก็จะทำให้ประหยัด

สรุปผล จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นชี้บ่งส่วนผสมและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับสังเคราะห์สีฟ้าได้ดังนี้

ส่วนผสม : ZrO_2 67.2
SiO_2 32.8
NH_4VO_3 4
NaCl 12
ระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์ 850°-950° ซ. ยืนไฟ 1 ชั่วโมง

กรมวิทยาศาสตร์บริการ ยินดีที่จะถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำสีผง่เซอร์คอน : สีฟ้าให้แก่ผู้สนใจโปรดติดต่อที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในวันและเวลาราชการ



ภาพที่ 2 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีฟ้า (−b) ของสีผง HC8, HC10, HC12 กับระดับอุณหภูมิเผาสังเคราะห์

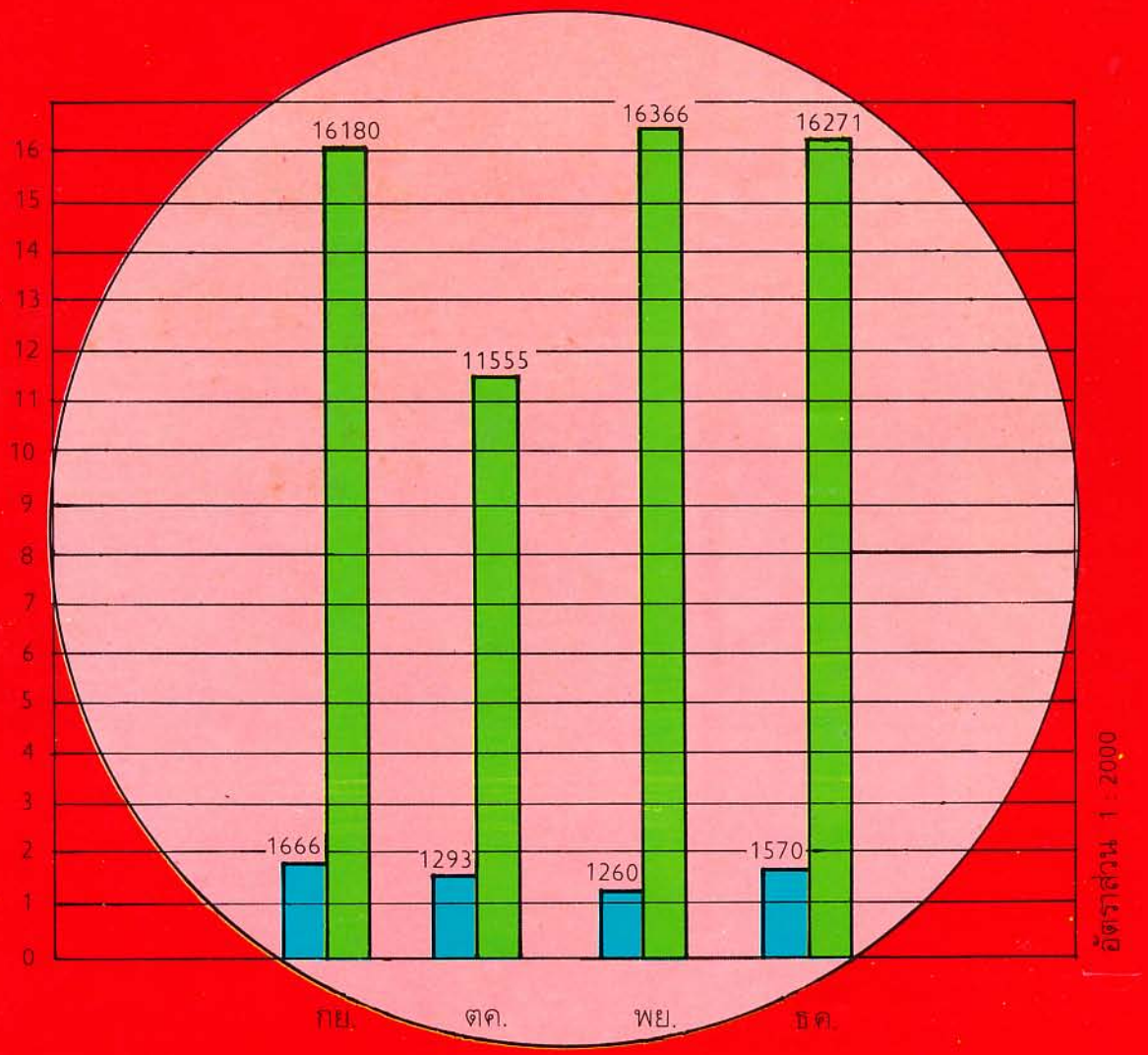
เอกสารอ้างอิง

1. Bachelor, Rw. Modern inorganic pigments. **Transactions of the British Ceramic Society.,** 1974, vol. 73, no. 8, P. 298–301.
2. Beretka, J., Bowman, RG., and Brown, T. Studies on zircon pigments for ceramic glazes. **Journal of the Australian Ceramic Society.,** 1981, vol. 17, no. 2, p. 37–43.
3. Billmeyer, **FW** , and Saltzman, M. **Principles of color technology 2 nd ed. New York : John Wiley and sons, Inc., 1981.**
4. Booth, FT. and Peel GN. The Preparation and properties of some zirconium stains, **Transactions of the British Ceramic Society.,** 1962, vol. 61, no. 7, p. 359–400.
5. Carter, R. Ceramic colors–problems past and present. **Ceramic Industries Journal.,** 1985, vol. 94, no. 1050, p.19–26.
6. Carter, R. zircon ceramic pigments. **Ceramic Engineering and Science Proceedings.,** 1987, vol. 8, no. 11–12, p. 1156–1161.
7. Cullity, BD. **Elements of X–ray Diffraction** 3 rd ed. (Mass.) Massachusetts : Addison–Wesley Publishing Company, Inc. 1967.
8. Demiray, T. ; Nath DK., and Hummel, FA, zircon–vanadium blue pigment, **Journal of the American Ceramic Society.,** 1970, vol 53, no. 1, p. 1–4.
9. Eppler, RA. Mechanism of formation of zircon–stains, **Journal of the American Ceramic Society.,** 1970, vol. 53, no. 8, p.457–462.
10. Eppler, RA, zirconia–based colors for ceramic glaze. **American Ceramic Society Bulletin.,** 1977, vol 56, no. 2, p. 213–215, 218, 224.
11. Eppler, RA. Selecting ceramic pigments. **Ceramic Engineering and Science Proceedings.,** 1987, vol 8, no. 11–12 p. 1139–1149.
12. Hibino, T.; Watanabe, O. and Mitsuake, T. Effects of V_2O_5 on the formation of zircon. **Kogyo Kagaku Zasshi.,** 1965, vol 68, no. 12, p. 2322–2327.
13. Kato, E. Studies on ceramic pigments abstracts. **Interceram.,** 1962, no. 1 p. 22–31.
14. Khan, M. and Schejbal, F. Some aspects for color measurement in ceramics. **Interceram,** 1982, NR. 1, p. 17–20.
15. Matkovich, VI. and Corbett, PM. Formation of zircon from zirconium dioxide and silicon dioxide in the presence of vanadium pentoxide. **Journal of the American Ceramic Society,** 1961, vol. 44, no. 3, p. 128–130.
16. Seabright, CA. Ceramics pigments, **U.S. 1, 441, 447** 1948–05–11.
17. Seabrigth, CA. and Draker, H.C. Ceramic stains from zirconium and vanadium oxides, **American Ceramic Society Bulletin,** 1961, vol. 40, no. 1, p. 1–4.
18. Seabright, CA. Blue pigments for ceramic ware,**U.S. 3, 025, 178** 1962–03–13.
19. Tcheichvili, L. and Weyl WA. The Synthesis of ceramics pigments in the light of modern high–temperature crystal chemistry, **The Glass Industry,** 1963, vol. 44, no. 3, p. 145–148.

กล้องถ่ายไมโครฟิล์มระบบแพลนเทรี (Planetary Camera) รุ่น Canon Canofilmer 100

ใช้ถ่ายไมโครฟิล์มจากเอกสารที่เป็นหนังสือ เอกสารขนาดใหญ่ ลงในฟิล์มขนาด 16 มม. สามารถบันทึกได้จำนวน 2,500-3,000 ภาพ ต่อ 1 ม้วนฟิล์ม และสามารถทำรหัสลงบนฟิล์มขณะที่ถ่ายได้เพื่อช่วยการค้นหาให้สะดวกรวดเร็วขึ้น

กองสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



สถิติแสดงจำนวนตัวอย่างและรายการวิเคราะห์ทดสอบวัตถุตัวอย่าง

เดือนกันยายน ถึง เดือนธันวาคม 2534