

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

รายงานการปฏิบัติงานในสถานประกอบการ
การผลิตฟรุคโตสจีรั๊ป 55 % จากแป้งมันสำปะหลัง

บริษัท เจ้าพระยาพิชไร์ จำกัด
269 หมู่ที่ 1 (กม.267) ถนนมิตรภาพ
ตำบลโคกกรวด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

โดย

นางสาวมนรินทร์ เจริญลาภ
รหัส B3650752

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชา 305 491 และ 305 492 สหกิจศึกษา 1 และ 2
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันที่ 15 ธันวาคม 2539

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาต่อเนื่อง 1-2
เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา

ตามที่ดิฉันได้ไปปฏิบัติงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่วิเคราะห์คุณภาพ ณ บริษัท
เจ้าพระยาพีชไร้ จำกัด ในวิชาสหกิจศึกษาต่อเนื่อง 1-2 และได้ทำการศึกษาโครงการผลิตน้ำ
เชื่อมฟรุคโตส 55 % จากแป้งมันสำปะหลัง ในช่วงเวลาตั้งแต่ 4 มิถุนายน ถึง 20 ธันวาคม 2539
ดิฉันขอส่งรายงานปฏิบัติการพร้อมผลการศึกษาที่ได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาตรวจรับรายงานดังกล่าว

ขอแสดงความนับถือ

(นางสาวนรินทร์ เจริญลาภ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณชล อนุกิจ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ฝึกงาน และแนะนำแนวความคิด พร้อมให้คำปรึกษาสำหรับรายงานเล่มนี้

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณเขษิน อัมวัน , คุณกึ่งกนก กนกแก้ว และคุณมนทิราลัย เจริญสิน ที่ให้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวความคิด และเอื้อเฟื้อเอกสารสำหรับค้นคว้าในรายงานเล่มนี้

ขอขอบคุณ คุณณัฐจิรา นัตรเสน ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลเกี่ยวกับองค์การของบริษัท เจ้าพระยาพิชัยไร้ จำกัด

ขอขอบคุณ พี่ ๆ ของบริษัท เจ้าพระยาพิชัยไร้ จำกัด ทุก ๆ ท่านที่ได้ช่วยเหลือ ทุก ๆ ด้าน ในโครงการสหกิจศึกษา ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ น้อง ๆ สาขาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตรที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจตลอดเวลาของรายงานเล่มนี้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่และญาติพี่น้อง ที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจในการทำรายงานตั้งแต่ต้นจนเสร็จสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

การปฏิบัติงาน ณ สถานประกอบการ บริษัท เจ้าพระยาพิษ์ไร จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง เริ่มปฏิบัติงานตั้งแต่วันที่ 4 มิถุนายน ถึง 20 ธันวาคม 2539 โดยปฏิบัติงานในตำแหน่งพนักงานควบคุมคุณภาพและงานที่ได้รับมอบหมาย คือ

1. แนะนำโรงงานและศึกษากระบวนการผลิต ตั้งแต่วันที่ 4 - 8 มิถุนายน 2539
2. การวิเคราะห์คุณภาพแป้งมันสำปะหลัง ทำการวิเคราะห์คุณภาพในวันที่ 4 มิถุนายน ถึง 20 ธันวาคม 2539
3. วิเคราะห์คุณภาพน้ำภายในโรงงาน ทำการวิเคราะห์คุณภาพเดือนละ 1 ครั้ง
4. การกรองน้ำใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยกรองน้ำใช้เดือนละ 2 ครั้ง
5. การปรับมาตรฐานเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยปรับมาตรฐานสัปดาห์ละ 2 ครั้ง
6. การศึกษาโครงการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส 55 % จากแป้งมันสำปะหลัง



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
จดหมายนำส่งรายงาน	ก
กิจกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
สารบัญ	ง - จ
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ ๑ บทนำ	
1. วัตถุประสงค์ของรายงาน	๑ - ๕
2. สถานที่ประกอบกิจการ	
2.1 ประโยชน์ของกิจการ (กรณีใดก็ได้) (ใช้ประโยชน์ใดก็ได้)	๑ - ๕
2.2 ประโยชน์ของ Co - Supervisor 2	
2.3 หน้าที่ที่ได้รับมอบหมายตาม Job Description	
และแผนปฏิบัติงาน ๓	๑ - ๕
บทที่ ๒ โครงการที่ได้รับมอบหมาย	๖ - ๓๖
2.1 การวิเคราะห์ต้นทุนและต้นทุนสำหรับแต่ละ	๖
2.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงาน	๗ - ๘
2.3 การกรองน้ำใช้ในห้องปฏิบัติการ	๙ - 11
2.4 การเปรียบเทียบราคาเครื่องวัดความหนืด (viscosity meter)	12
2.5 การศึกษาโครงการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส 55 %	
จากแป้งมันสำปะหลัง	13 -36
2.5.1 สถานะด้านการตลาดของแป้งมันสำปะหลัง	13 - 14
2.5.2 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของ	
แป้งมันสำปะหลัง	15 - 18
2.5.3 ความสำคัญของน้ำเชื่อมฟรุคโตส	19 - 22

เรื่อง	หน้า
2.5.4 คุณสมบัติของน้ำเชื่อมฟรุคโตส เปรียบเทียบกับ น้ำตาลซูโครส	23 - 26
2.5.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส	27 - 28
2.5.6 คุณสมบัติของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับ กระบวนการย่อยแป้ง	29 - 30
2.5.7 การใช้ประโยชน์ของน้ำเชื่อมฟรุคโตส	31
2.5.8 กระบวนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส	32 - 34
2.5.9 คุณภาพและวิธีตรวจสอบคุณภาพน้ำเชื่อมฟรุคโตส	35 - 36
2.5.9.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเชื่อมฟรุคโตส	35
2.5.9.2 คุณภาพและคุณลักษณะของน้ำเชื่อมฟรุคโตส	35 - 36
บทที่ 3 สรุปผลการปฏิบัติงาน	37 - 38
บทที่ 4 ข้อเสนอแนะ	39 - 40
เอกสารอ้างอิง	41 - 43
บรรณานุกรม	44 - 75

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างการจัดองค์การของบริษัท เจ้าพระยาพิชไร์ จำกัด	2
2.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องกรองน้ำ (Deionizer)	11
2.2 โครงสร้างของอะไมเลส และ อะไมโลเพคติน	18
2.3 ลักษณะของ Configuration ต่างๆ ของน้ำตาลฟรุคโตส	20
2.4 ขั้นตอนการทำงานของเอนไซม์แบบ Exoamylase	30
2.5 การผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตสจากแป้ง	34



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา	4 - 5
2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเป้งมันสำปะหลัง	7
2.2 มาตรฐานน้ำคั้น	9
2.3 มาตรฐานน้ำเสีย	9
2.4 สมบัติเชิงประการที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	16
2.5 ลักษณะการเกิดตึ้นในเรชั่นของแป้งชนิดต่าง ๆ	17
2.6 ส่วนประกอบและการใช้งานของน้ำเชื่อมฟรุคโตสความเข้มข้นสูง	21
2.7 การใช้น้ำเชื่อมฟรุคโตสทดแทนน้ำตาลทรายในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ	22
2.8 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของน้ำเชื่อมฟรุคโตสกับน้ำตาลทรายทางกายภาพ	24
2.9 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำเชื่อมฟรุคโตสและน้ำตาลทราย	25
2.10 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางโภชนาการและต่อร่างกายของ น้ำเชื่อมฟรุคโตสและน้ำตาลทราย	26
2.11 คุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง	27
2.12 ชนิดของสารเคมีและความเข้มข้น	28
2.13 คุณลักษณะทางเคมีของน้ำเชื่อมฟรุคโตส	36
2.14 ปริมาณวัตถุเจือปนและสารปนเปื้อนในน้ำเชื่อมฟรุคโตส	36

บทที่ 1

บทนำ

1.) วัตถุประสงค์ ของรายงานต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาระบบการทำงานภายในโรงงาน
2. เพื่อนำความรู้จากการศึกษาในสาขาที่เรียนมาประยุกต์ใช้และสามารถแก้ไข ปัญหาในโรงงานระหว่างโครงการสหกิจศึกษา
3. เพื่อให้ทราบวางแผนการปฏิบัติงานและโครงการที่ได้รับมอบหมายจากโครงการสหกิจศึกษา

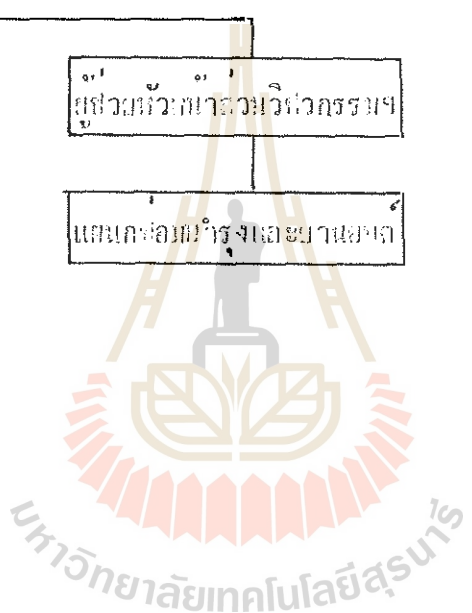
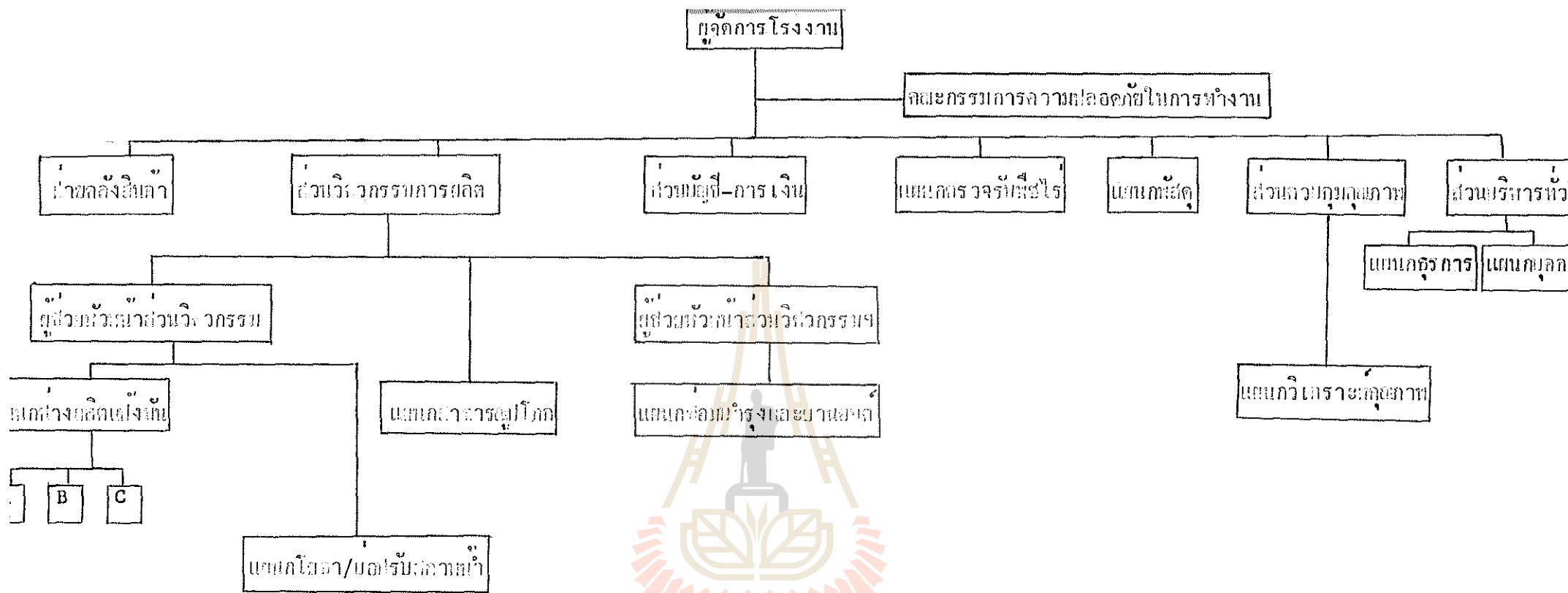
2.) สถานที่ประกอบการ

1. ประวัติของบริษัท เจ้าพระยาพีซีไรท์ จำกัด

บริษัท เจ้าพระยาพีซีไรท์ จำกัด ณ เลขที่ 269 หมู่ 1 (กบ . 267) ถนนมิตรภาพ ตำบลโคกกรวด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สถานที่ตั้งห่างจากตัวจังหวัดนครราชสีมา ประมาณ 18 กิโลเมตร

บริษัทฯ เริ่มตั้งกิจการเมื่อปี พ.ศ.2522 มีพื้นที่สำหรับประกอบธุรกิจประมาณ 400 ไร่ ธุรกิจที่เริ่มต้นเน้นการขณะเริ่มกิจการ คือ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานผลิตอัดมันเม็ด สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการนำไปเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์และบริษัทซี.พี. วาคลัง ลีนค้ำ จำกัด ให้บริการรับฝากพืชผลทางการเกษตร ปัจจุบันทางบริษัทฯ เปิดดำเนินการผลิตเฉพาะ แป้งมันสำปะหลังคือ ห้วมันสำปะหลังสด ปริมาณการใช้หัวมันสด ในปี 2538 ประมาณ 225,000 ตัน ผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ประมาณ 50,000 ตันต่อปี ทางบริษัทฯ ได้ทำการผลิตแป้งมัน สำปะหลังบรรจุขนาด 50, 500 และ 1,000 กิโลกรัม ใช้ชื่อทางการค้าว่า คราเบ็ก (Baby brand) ตลาดแป้งมันสำปะหลังมีทั้งตลาดภายในประเทศและตลาดต่างประเทศ ตลาดภายในประเทศ ได้แก่ บริษัท อายโนโมโต จำกัด สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผงชูรส บริษัท กาโอ แอสเซน เซียล จำกัด ซึ่งเป็นส่วนผสมในขนมขุและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เป็นต้น สำหรับตลาดต่างประเทศนั้น ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อินโดนีเซีย

สำหรับระบบการบริหารของบริษัทฯ ได้จัดองค์การดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างการบริหารองค์กร บริษัท เล้าระยอง จำกัด

2. ประวัติของ Co-Op Supervisor

นางชุพิน อัมวัน อายุ 30 ปี ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อ พ.ศ.2532 เริ่มปฏิบัติงานในบริษัท เจ้าพระยาพืชไร่ จำกัด ในปี 2532 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยหัวหน้าส่วนควบคุมคุณภาพ

3. หน้าที่ที่ได้รับมอบหมายตาม Job Descriptions

นางสาวมนรินทร์ เจริญถาภ รหัสประจำตัวนักศึกษา B3650752 สาขาเทคโนโลยีอาหาร สำนักเทคโนโลยีการเกษตร

ตำแหน่ง : เจ้าหน้าที่วิเคราะห์คุณภาพ

- ลักษณะงาน :
1. วิเคราะห์คุณภาพแป้งมันสำปะหลังในผลิตภัณฑ์
 2. วิเคราะห์คุณภาพน้ำภายในโรงงาน
 3. การกรองน้ำใช้ในห้องปฏิบัติการ
 4. การปรับมาตรฐานเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter)
 5. การศึกษาโครงการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส 55% จากนั้นสำปะหลัง

หน่วยงาน : ส่วนควบคุมคุณภาพ (แผนกวิเคราะห์คุณภาพ)

ดังตารางที่ 1.1 แผนปฏิบัติการงานสหกิจศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

CO-OP WORK PLAN. (4 มิถุนายน - 20 ธันวาคม)

JOB. NO. 0137

ผู้จัดทำข้อมูล : Job Supervisor

[illegible]

งานที่ปฏิบัติ	ตุลาคม				พฤศจิกายน					ธันวาคม							
	30-5	7-12	14-14	21-26	28-2	4-9	11-16	18-23	25-30	2-7	9-14	16-20					
กรองน้ำสำหรับใช้ในห้องทดลอง	*			*			*			*							
วิเคราะห์คุณภาพแป้งมัน (หา %ความชื้น, สี, พี เอช, เชื้อออก,	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
%ความหยาบ, %แป้งในกาก) ทุกชั่วโมง (ทำวันพุธ, พฤหัส, ศุกร์)																	
วิเคราะห์คุณภาพน้ำภายในโรงงาน และน้ำเสีย (ทำเดือนละ			*				*				*						
1 ครั้ง)																	
STANDARD เครื่องวัด พี เอช (ทำทุกวันเสาร์)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
ช่วยงานทดลองผลิตฟรุคโตสซีรัป 55% (ทำวันจันทร์, อังคาร)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					

ลงชื่อ Job Supervisor
 (นางยุพิน คณ.วัน.....)

วันที่ 26/7/39

บทที่ 2

โครงการที่ได้รับมอบหมาย

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพเป็งมันสำปะหลัง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์เป็งมันสำปะหลัง เพื่อเป็นมาตรฐานสินค้าให้ถูกต้อง
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์เป็งมันสำปะหลัง ใช้เป็นข้อมูลเพื่อแจ้งส่วนวิศวกรรม ฝ่ายจัดซื้อหัวมันสด สำหรับใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพเป็งมันสำปะหลังในขบวนการผลิต

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของเป็งมันสำปะหลัง

นำเป็งมันสำปะหลังทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

1. ความชื้น
ตามวิธีการวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (1980 - 14.004) รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก.1.1
2. แป้ง
ตามวิธีการวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (1980 - 14.031) รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก.1.2
3. ใย
ตามวิธีการวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (1980 - 14.006) รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก.1.3
4. ความเป็นกรด-ด่าง
ตามวิธีการวิเคราะห์ของ A.O.A.C. (1980 - 14.022) รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก.1.4
5. ความละเอียด
ตามวิธีการวิเคราะห์ของ TIS 274 - 1978 (8.8) รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก. 1.5

6. ปริมาณเชื้ออ่อน

ตามวิธีการวิเคราะห์ของ IIS 274 - 1978 (8.6) รายละเอียดการ วิเคราะห์แสดงใน ภาพผนวกก.1.6

7. ความเหนียว

ตามวิธีการวิเคราะห์ของ A.A.C.C. Method 22-11 (27 gms dry starch in 477 H₂O)

8. Acid factor

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

แป้ง ร้อยละ (ของน้ำหนักเมื่ออบแห้ง)	ไม่น้อยกว่า	85.00
ความชื้น ร้อยละ	ไม่เกิน	13.00
ความเป็นกรด-ด่าง		4.50 - 7.0
เถ้า ร้อยละ (ของน้ำหนักเมื่ออบแห้ง)	ไม่เกิน	0.20
เชื้ออ่อน	ไม่เกิน	0.20 มิลลิลิตรต่อแป้ง 50 กรัม
ความละเอียด ร้อยละ	ไม่เกิน	1.00
ความเหนียว	ไม่น้อยกว่า	700 บี.ยู. (Brabend Unit)
Acid factor	ไม่เกิน	2.50 มิลลิลิตรของ 0.1 นอร์มัลกรดไฮโดรคลอริก

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำภายในโรงงาน

น้ำใช้ภายในโรงงานของบริษัทฯ ประกอบด้วย

1. น้ำบริโภคน้ำ

2. น้ำอุปโภค ได้แก่

2.1 น้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต

2.2 น้ำใช้ทั่วไป

3. น้ำก่อนเข้าระบบบำบัดเพื่อผลิตเป็นน้ำบริโภคและอุปโภคภายในโรงงาน

4. น้ำเสีย ได้แก่

- 4.1 น้ำทิ้งจากโรงงาน ก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย
- 4.2 น้ำทิ้งบ่อเหตุทำซึ่งผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำภายในโรงงาน สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อรายงานผลแก่กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
2. เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำภายในโรงงาน สำหรับใช้ข้อมูลก่อนระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงาน
3. เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำสำหรับน้ำบริโภค อุปโภค และน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดเพื่อผลิตเป็นน้ำบริโภคและอุปโภคภายในโรงงาน

การตรวจสอบคุณภาพน้ำภายในโรงงาน

น้ำภายในโรงงานทางส่วนควบคุมคุณภาพได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1. ความเป็นกรด-ด่าง รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.2.1
2. ความกระด้าง (T-Hardness) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.2.2
3. ความเป็นด่าง (M-Alkalinity) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.2.3
4. สารแขวนลอย (Suspended solids,SS) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.2.4
5. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Dissolved Solids,IDS) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.2.5
6. ปริมาณสารทั้งหมด (Total Solids,TS) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.2.6
7. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand,BOD) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.2.7

มาตรฐานน้ำ แสดงในตารางที่ 2.2 และ 2.3 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำดื่ม

M-Alkalinity	ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
TDS	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อลิตร
TS	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร
T- Hardness	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
pH	7.0 - 8.5

ที่มา : (8)

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานน้ำเสีย

BOD ₅ ²⁰	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
SS	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
pH	5.0 - 9.0

ที่มา : (8)

2.3 การกรองน้ำใช้ในห้องปฏิบัติการ

ส่วนควบคุมคุณภาพของบริษัทฯ ใช้น้ำกรองจากเครื่องน้ำบริสุทธิ์ (Deionizer) สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ เครื่องกรองน้ำบริสุทธิ์เป็นเครื่องกรองดูดซับเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น เหล็ก แมงกานีส โซเดียมซัลเฟต ฟอสเฟต กลอรีน คาร์บอน ในไดรเจนและซัลเฟอร์ ออกากาน้ำ วัดอุณหภูมิ

เพื่อเป็นน้ำใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ

เครื่องกรองบริสุทธิ์ ประกอบด้วย

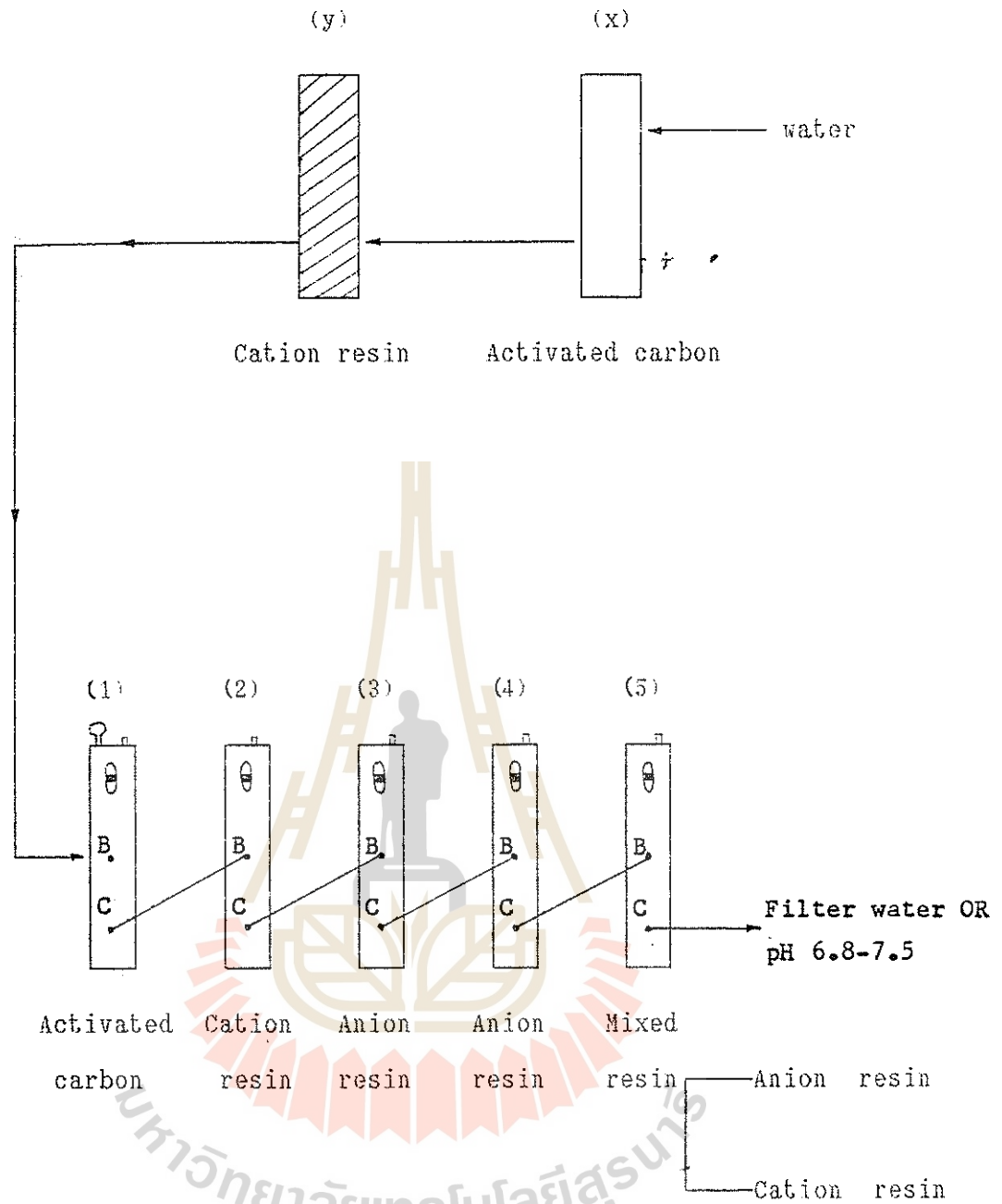
- คอลัมน์ที่ 1 คอลัมน์ที่บรรจุผงถ่าน (Activated carbon) ที่เพื่ินำที่ดูดซับและกลั่นกรองน้ำ
- คอลัมน์ที่ 2 บรรจุสารประจุบวกหรือแคทไอออน เรซิน (Cation resin) เป็นสารกรอง

คอลัมน์ที่ 3 และ คอลัมน์ที่ 4 บรรจุสารประจุลบ หรือแอนไอออน เรซิน (Anionresin)
เป็นสารกรอง

คอลัมน์ที่ 5 บรรจุสารประจุบวกและลบ (Mixed resin) ใช้ Cation resin และ Anion resin

น้ำที่ผ่านเข้าเครื่องกรองควรเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากโคลนตม และความกระด้างแรง
ดันของน้ำไม่เกิน 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังรูป 2.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องกรองน้ำจัด
เรียงคอลัมน์ทั้งหมดดังรูป เรียงลำดับคอลัมน์จากคอลัมน์ที่ 1 ถึง 5 ใช้สายยางต่อเชื่อมระหว่างท่อ
น้ำออกจาก C ด้านล่างของคอลัมน์ที่ 1 เข้ากับท่อน้ำเข้าของ B ในคอลัมน์ที่ 2 และคอลัมน์ถัดไป
ตามลำดับจนครบทั้ง 5 คอลัมน์ จากนั้นต่อสายยางจากท่อน้ำที่ผ่านการถูกสีด้วยผงถ่าน และความ
กระด้างบางส่วนจากแท่งไอออน เรซิน ในรูปนั้นคือคอลัมน์ x และคอลัมน์ y ตามลำดับ ต่อเข้ากับ
ท่อน้ำ B ของคอลัมน์ที่ 1 ดังรูปและเปิดผ่านคอลัมน์โดยการผ่านน้ำทิ้งประมาณ 5 - 10 ลิตร หรือ
ตรวจดูค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6.8 - 7.5 ทั้งนี้จะต้องตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง และ
ความกระด้างของน้ำก่อนเข้าเครื่องกรอง





รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องกรองน้ำ (Deionizer)

ที่มา : (6)

การล้างเครื่องกรอง

1. ผงถ่าน (Activated carbon) ในคอลัมน์ X ใช้ล้างทับทิม หรือโปแตสเซียมเปอร์แมง-กานีส (KMnO_4) ล้าง อัตราส่วน ดังทับทิม 1 ช้อนชาต่อ 2 ลิตรน้ำกลั่น
2. แคทไอออน เรซิน ในคอลัมน์ Y จะล้างด้วยสารละลายเกลือแกง (NaCl) อัตราส่วน 100 กรัมของเกลือแกง ต่อ 1 ลิตรน้ำกลั่น
3. ผงถ่าน ของคอลัมน์ที่ 1 จะใช้วิธีการล้างแบบย้อนกลับ (back wash)
4. แคทไอออน เรซิน ของคอลัมน์ที่ 2 ใช้แคทไอออน เรซินล้างด้วยสารละลายกรดเกลือ เตรียมสารละลายโดยใช้อัตราส่วน 200 มิลลิลิตรของกรดเกลือ 37% ต่อ 1600 มิลลิลิตรน้ำกลั่น โดยการแช่แคทไอออน เรซินประมาณ 30 นาที และระบายสารละลาย จึงทำการล้างย้อนกลับ คอลัมน์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 8.0 - 9.0
5. แอนไอออน เรซิน ของคอลัมน์ที่ 3 และ 4 ล้างคอลัมน์ด้วยสารละลายด่างของสารละลายหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งใช้อัตราส่วนเหมือนข้อ 4 และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.0 - 5.0
6. เรซินผสม (Mixed resin) ของคอลัมน์ที่ 5 จะล้างแยกเรซินระหว่างแอนไอออนเรซิน และแคทไอออน เรซิน และล้างด้วยสารละลายกรดเกลือและสารละลายด่าง ตามลำดับ

ในระหว่างกรองน้ำ การเปลี่ยนสีของสารกรองหรือเรซินภายในคอลัมน์ของเรซินผสมนั้น สารกรองสีม่วง คือ แอนไอออน เรซิน และแคทไอออน เรซิน จะมีสีเขียว ในระหว่างกรองเมื่อ สารกรองจับเกลือแร่ไว้จนประสิทธิภาพการจับเกลือแร่ของแอนไอออนเรซินลดลง จะเปลี่ยนสี จากสีม่วงเป็นสีน้ำตาล และสีเขียวของแคทไอออน เรซิน จะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ตามลำดับ (6) ซึ่งจะทำให้การเพิ่มประสิทธิภาพของสารกรองด้วยการล้างสารกรอง

2.4 การปรับมาตรฐานเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter)

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยวิธี electrometric ด้วย pH-meter เป็นการวัด potential difference ระหว่าง electrode 2 อัน ซึ่งประกอบด้วย แท่งแก้วอิเล็กโทรด (glass electrode) และ คาโลเมล อิเล็กโทรด (stand calomel electrode) การวัดด้วยวิธีนี้ทำได้สะดวกและให้ค่าที่ถูกต้อง (15,27,38)

วัตถุประสงค์

เพื่อรับมาตรฐานเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างให้แม่นยำ

การรับมาตรฐานเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

สารเคมี

- 1.สารละลายมาตรฐานบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด-ด่าง 4 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
- 2.สารละลายมาตรฐานบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด-ด่าง 7 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
- 3.สารละลายมาตรฐานบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด-ด่าง 9 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

วิธีการ

ตรวจสอบเครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่างโดยใช้สารละลายมาตรฐานบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด-ด่าง 4 และ 7 สำหรับใช้วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง สำหรับใช้วิเคราะห์คุณภาพแป้งมันสำปะหลัง หรือตรวจสอบเครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่างโดยใช้สารละลายมาตรฐานบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด-ด่าง 7 และ 9 สำหรับใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย

2.5 การศึกษาโครงการผลิตน้ำเชื้อเพลิงรูดโตส 55 % จากแป้งมันสำปะหลัง

2.5.1 สถานะด้านการตลาดของแป้งมันสำปะหลัง

สภาพทั่วไปของตลาดแป้งมันสำปะหลังในระยะเวลา 2-3 ปีที่ผ่านมา ตลาดภายในประเทศมีการขยายตัวมากกว่าเดิม เนื่องจากการขยายตัวด้านอุตสาหกรรม ซึ่งใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิต เช่น อุตสาหกรรมผงชูรส อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมขนม และอื่น ๆ ขยายกำลังการผลิต และในตลาดต่างประเทศมีปริมาณการส่งออกแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นกว่าเดิม ความต้องการใช้แป้งมันสำปะหลังสำหรับการบริโภคโดยตรง ใช้ในอุตสาหกรรมภายในประเทศประมาณปีละ 500,000 - 800,000 ตัน ปริมาณแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการส่งออก มีปริมาณสูงประมาณปีละ 700,000 - 900,000 ตัน ดังนั้นความต้องการแป้งมันสำปะหลังในแต่ละปีมีปริมาณสูงประมาณปีละ 1,300,000 - 1,700,000 ตัน

ตลาดของแป้งมันสำปะหลังแยกได้ 2 ประเภท

1. ตลาดภายในประเทศ

แป้งมันสำปะหลังสำหรับใช้เป็นส่วนผสมอาหารประมาณร้อยละ 6.86 อุตสาหกรรมทำกระดามีปริมาณการใช้คิดเป็นร้อยละ 10.30 อุตสาหกรรมสิ่งทอคิดเป็นร้อยละ 9.61 ของปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ภายในประเทศ ตามลำดับ (17) ตลาดภายในประเทศมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการค้นคว้าพัฒนาอุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ ๆ ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบขึ้นอยู่เสมอ ๆ สำหรับอุตสาหกรรมอาหารในอดีตที่ผ่านมาแป้งมันสำปะหลังถูกแปรรูปอยู่ในรูปของแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนใหญ่ บางส่วนถูกแปรรูปเป็นแป้งสาธูเท่านั้น ปัจจุบันการใช้แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งอยู่ในรูปของแป้งมันสำปะหลังและอยู่ในรูปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์ทำขนมปัง อุตสาหกรรมลูกกวาด อุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง แยม หรือ อาหารกระป๋องต่าง ๆ อุตสาหกรรมผงชูรส อุตสาหกรรมการทำอาหาร อุตสาหกรรมทำแก้ว อุตสาหกรรมกลูโคส และ อุตสาหกรรมการหมักแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ การผลิตแอลกอฮอล์และอุตสาหกรรมการทำอีสต์เป็นต้น สำหรับในอุตสาหกรรมอาหารจะนิยมใช้เพื่อ

1.1 ใช้เป็นแป้งสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในอาหารโดยตรง

1.2 ใช้เพิ่มความข้นหนืดของอาหาร เช่นในอุตสาหกรรมทำซूप การทำอาหารเด็ก การทำซอส น้ำราดอาหารและอื่น ๆ

1.3 เป็นตัวเชื่อม เช่นใช้เป็นส่วนผสมในการทำยาชนิดเค็ปซูล เม็ด และในรูปอื่น ๆ นอกจากนั้นใช้ในอุตสาหกรรมการทำสบู่ ไอศกรีม และอื่น ๆ

1.4 เป็นตัวเชื่อมหรือทำให้เกิดการเกาะกันของผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารแตกออกจากกัน เวลาทำแห้งหรือคั้นสุก เช่นใช้ในอุตสาหกรรมทำไส้กรอก และเนื้อสำเร็จรูป เป็นต้น

1.5 เป็นตัวถ่วง เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำได้ปริมาณมาก ๆ เช่นในอุตสาหกรรมทำไอศกรีม

2. ตลาดต่างประเทศ

ประเทศไทยส่งแป้งมันสำปะหลังออกจำหน่ายในตลาดต่างประเทศมานานหลายปี ตลาดส่วนใหญ่คงจำกัดไว้เพียงไม่กี่ประเทศเท่านั้น สำหรับตลาดแป้งมันสำปะหลังของไทยนั้น ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ไต้หวัน อินโดนีเซีย ชองกง สิงคโปร์ เนเธอร์แลนด์ สาธารณรัฐอิตาลี และญี่ปุ่น

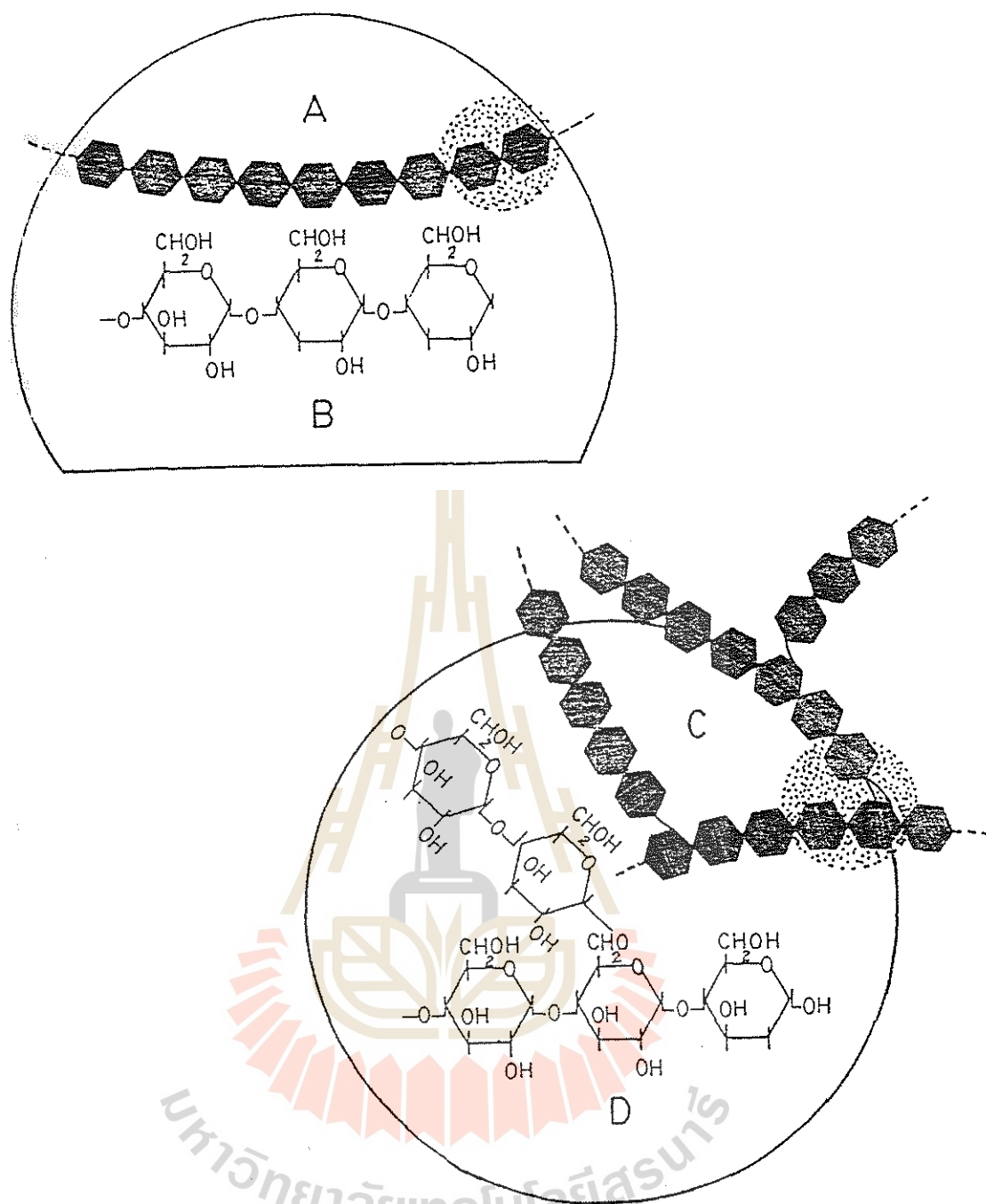
โดยเฉพาะญี่ปุ่นนำเข้าแป้งมันสำปะหลังจากไทยในปีหนึ่ง ๆ ประมาณร้อยละ 45 ของปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ส่งออกทั้งหมด

2.5.2 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

โดยทั่วไปเม็ดแป้งมันสำปะหลังจะมีขนาดตั้งแต่ 2-100 ไมครอน อาจมีรูปกลม รูปไข่และแสดงลักษณะการหักเหหรือ birefringence (11,29) ซึ่งจะเห็นเป็น Polarization crosses เมื่อตรวจเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสง Polarized เม็ดแป้งมันสำปะหลังมีรูปกลมปลายด้านหนึ่งเป็นรอยคอด จึงมีลักษณะรูปกล้วย (25) มีขนาดตั้งแต่ 5 - 35 ไมครอน (0.005 -0.035 มิลลิเมตร) เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 15 ไมครอน (22) แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นโพลีเมอร์ (polymer) ของ D-glucose แป้งประกอบด้วยอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) อะไมโลสเป็นโพลีเมอร์แบบสายตรงที่หน่วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (α -D (1-4) glucosidic) มี anhydroglucose units (AGU) ประมาณ 200-2,000 หน่วย ส่วนอะไมโลเพกทินเป็นโพลีเมอร์ที่แตกเป็นสาขามากมาย ซึ่งหน่วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (α -D (1-4) glucosidic) เป็นส่วนใหญ่และส่วนที่แตกสาขาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (α -D (1-6) glucosidic) และแต่ละสาขาประกอบด้วยหน่วยกลูโคส (AGU) ประมาณ 15 - 25 หน่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.2

สำหรับแป้งมันสำปะหลังประกอบด้วย อะไมโลสคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 17 มีน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินประกอบด้วย 210,000 และ 3×10^6 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง (7)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

- A : ภาพแสดงการเรียงตัวโมเลกุลของอะไมโลส
 B : ภาพขยายโครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส
 C : ภาพแสดงการเรียงตัวโมเลกุลของอะไมโลเพคติน
 D : ภาพขยายโครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพคติน

ที่มา : (7)

2.5.3 ความสำคัญของหน้าที่ฟรุคโตส

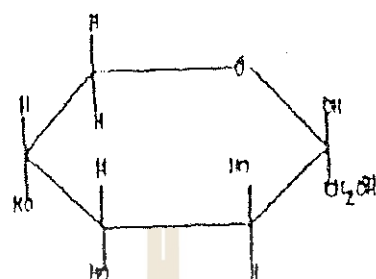
ฟรุคโตสเป็นที่รู้จักในรูปของ D-Fructose ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (mono saccharide) ชนิดที่มีคาร์บอนประกอบหกตัว (ketohexose) มีน้ำหนักโมเลกุล 180.16 และมีค่า Specific rotation เท่ากับ -92.3° ด้วย เพราะค่านี้เป็นลบ บางครั้งนิยมเรียกน้ำตาลฟรุคโตสว่าเป็น Levulose ในการจัดกลุ่มควรเรียกชื่อของ IUPAC น้ำตาลฟรุคโตสนี้จัดอยู่ในกลุ่มของ Hexulose รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของลักษณะของ Configuration ต่าง ๆ ของน้ำตาลฟรุคโตส (4)

ฟรุคโตส พบมากในผัก ผลไม้และน้ำผึ้ง เป็นน้ำตาลที่มีความหวานสูงสุดในกลุ่มน้ำ

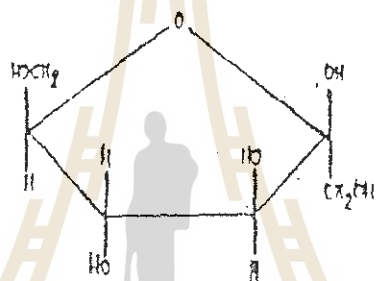
2. ไม่ตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำ สามารถเก็บได้นานในรูปน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิห้อง
3. มีความคั่นออสโมซิสสูง
4. สารละลายของฟรุคโตสมีจุดเยือกแข็งต่ำ
5. รักษาสภาพของเนื้อเยื่อของอาหารแห้งแข็งได้
6. ดูดความชื้นได้ดี
7. ร่างกายดูดซึมได้ช้ากว่า
8. สามารถเคลือบโลหะได้

ฟรุคโตสที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นของฟรุคโตสในปริมาณต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.6 (7)

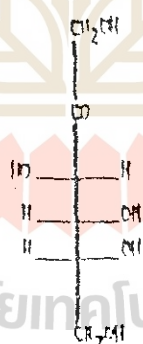
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



α -D-Fructopyranose



β -D-Fructofuranose



Keto-D-Fructose

รูปที่ 2.3 ลักษณะของ configuration ต่าง ๆ ของน้ำตาลฟรุคโตส
ที่มา : (18)

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบและการใช้งานของน้ำเชื่อมฟรุคโตสความเข้มข้นสูง

ชนิดของน้ำเชื่อมฟรุคโตส	ส่วนประกอบ	การใช้งาน
ความเข้มข้น 42%	42% ฟรุคโตส 52% เดกซ์โตรส 6% น้ำตาลอื่นๆ	ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหวาน น้ำอัดลม น้ำผลไม้ อาหารกระป๋อง ขนมปัง ขนมหวาน นมและผลิตภัณฑ์นม ไอศกรีม เป็นต้น
ความเข้มข้น 55%	55% ฟรุคโตส 42% เดกซ์โตรส 3% น้ำตาลอื่นๆ	
ความเข้มข้น 90%	90% ฟรุคโตส 9% เดกซ์โตรส 1% น้ำตาลอื่นๆ	ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารประเภท จำกัดพลังงาน อาหารสุขภาพและ อาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน

ที่มา : (7)

น้ำเชื่อมฟรุคโตสมาตรฐานได้จากการเปลี่ยนกลูโคส ประกอบด้วยน้ำเชื่อมฟรุคโตส 42% ,
กลูโคส 52 % และน้ำตาลอื่น ๆ 6% ดังในตารางที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบความเข้มข้นของน้ำเชื่อม
ฟรุคโตส 42% , 55% และ 90% คุณสมบัติของน้ำเชื่อมฟรุคโตสต้องไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และมีความดัน
ออสโมติกสูง จึงทำให้น้ำเชื่อมฟรุคโตสมีความสามารถในการต้านทานการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดี
สามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิ 30 - 35 องศาเซลเซียสได้เป็นเวลานานโดยไม่ตกผลึก (17) การใช้น้ำ
เชื่อมฟรุคโตสอาจใช้ในลักษณะน้ำเชื่อมจากแป้งโดยตรง ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร น้ำผลไม้กระป๋อง
ซอสมะเขือเทศ ขนมหวาน ขนมอบ อาหารหมักดอง เครื่องปรุงรส อาหารประเภทนม - เนย และไวน์
 เป็นต้น หรืออาจจะใช้ในลักษณะของน้ำเชื่อมผสม เช่น ผสมกับซูโครสหรือกลูโคส ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการ

ใช้งาน เช่น ในอุตสาหกรรมไวน์ จะใช้กลูโคสในขั้นแรกเพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์ แล้วเติมฟรุคโตสในระยะหลังเพื่อเพิ่มรสชาด และความหวาน จะเห็นได้ว่าน้ำเชื่อมฟรุคโตสสามารถใช้เป็นสารให้ความหวานทดแทนที่ให้คุณประโยชน์ค่อนข้างสูง ตารางที่ 2.7 จะแสดงการใช้น้ำเชื่อมฟรุคโตสเป็นสารให้ความหวานในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ (7)

ตารางที่ 2.7 การใช้น้ำเชื่อมฟรุคโตสทดแทนน้ำตาลทรายในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ

อุตสาหกรรม	ความสามารถในการใช้ทดแทนน้ำตาลของน้ำเชื่อมฟรุคโตส (%)
นมและผลิตภัณฑ์นม	25
เครื่องดื่ม	90 - 100
ขนมอบ	35
อาหารกระป๋อง	60 - 70
ขนม - ลูกกวาด	5
อาหารอื่น ๆ ที่ใช้ความหวานทั่วไป	40

ที่มา : (7)

การนำน้ำเชื่อมฟรุคโตสมาใช้ทดแทนน้ำตาลทรายมากขึ้นตามลำดับ นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา ตลาดผู้บริโภคที่ใหญ่ที่สุดคือ สหรัฐอเมริกา พบมากในตลาดเครื่องดื่มซึ่งใช้น้ำเชื่อมฟรุคโตสทดแทนการใช้น้ำตาลทรายอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว ปัจจุบันมีส่วนแบ่งการตลาดในภาคเครื่องดื่มเกือบ 100% เนื่องจากน้ำเชื่อมฟรุคโตสมีสรสชาดดีกว่า มีประโยชน์มากกว่าน้ำตาลทรายและด้านราคาก็ถูกกว่าน้ำตาลทรายด้วย สำหรับประเทศไทยนั้น ในปี 2535 มีการบริโภคน้ำตาลทรายมากกว่า 850,000 ตัน/ปี ความต้องการน้ำตาลทรายในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในปี 2534 ภายในประเทศ

คิดเป็น 40 - 45% ของกำลังการผลิต ปัจจุบันได้มีการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตสทดแทนน้ำตาลทรายภายในประเทศ เนื่องจากปัจจัยและคุณสมบัติเด่นของน้ำเชื่อมฟรุคโตส ราคาของน้ำเชื่อมฟรุคโตสสูงกว่าน้ำตาลทราย และภาวะตลาดของแป้งมันสำปะหลังคงตัวแล้ว

กระบวนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตสนั้นคือ แป้ง (Starch) แป้งมันสำปะหลังจึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบ ไม่ใช่เฉพาะราคาเท่านั้น แต่ต้องประกอบที่มีปริมาณแป้งเป็นส่วนใหญ่ประกอบด้วย อะไมโลส และอะไมโลเพคติน ทำให้ปัญหาการแยกโปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ต่าง ๆ ออกจากผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการผลิตมีน้อย (5)

2.5.4 คุณสมบัติของน้ำเชื่อมฟรุคโตสเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส

น้ำเชื่อมฟรุคโตสมีคุณสมบัติเด่นเมื่อเทียบกับน้ำตาลทราย หรือน้ำตาลซูโครส ซึ่งในตารางที่ 2.8 เป็นการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำเชื่อมฟรุคโตสและน้ำตาลทราย ได้แก่ คุณสมบัติในการดูดความชื้น ความดันออสโมซิส ความหนืด และอื่น ๆ



ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำเชื่อมฟรุคโตสกับน้ำตาลทราย
ทางกายภาพ

คุณลักษณะทางกายภาพ	น้ำเชื่อมฟรุคโตส	น้ำตาลทราย
1. ความสามารถในการ ดูดความชื้น	ดูดความชื้นได้สูง ทำให้อาหาร คงความชื้นอยู่ได้นาน	ดูดความชื้นปานกลาง
2. การคายความร้อน เมื่อละลาย	25.2 แคลอรีต่อกรัม (กลูโคส)	5.5 แคลอรีต่อกรัม น้ำตาลทราย
3. ความสามารถในการ ละลาย	ละลายได้ร้อยละ 75 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	ละลายได้ร้อยละ 66 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และร้อยละ 75 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
4. ความสามารถในการ ตกผลึก	ต่ำ	สูง
5. ความดันออสโมติก	สูง	ต่ำ
6. ความหนืด	ต่ำกว่าน้ำตาลเมื่อความเข้มข้น เท่ากัน	-
7. การใช้งาน	ไม่ต้องไปทำให้ละลาย	ต้องนำไปทำให้ละลาย
8. โครงสร้างโมเลกุล	เป็นโมโนแซ็กคาไรด์ (พวกน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว)	เป็นไดแซ็กคาไรด์ (พวกน้ำตาลโมเลกุลคู่)
9. น้ำหนักโมเลกุล	180 (เบากว่าน้ำตาลทราย)	342

น้ำเชื่อมฟรุคโตสให้ความหวานไวกว่าและวางหายไปเร็วกว่าน้ำตาลทรายในการ
 รับประทานของลิ้น ในตารางที่ 2.9 จะแสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางเคมีของน้ำเชื่อมฟรุคโตสและ
 น้ำตาลทราย ได้แก่ ความหวาน การเปรียบเทียบระดับความหวานและปฏิกิริยาเคมี

ตารางที่ 2.9 การเปรียบเทียบคุณลักษณะทางเคมีของน้ำเชื่อมฟรุคโตสและน้ำตาลทราย

คุณสมบัติเคมี	น้ำเชื่อมฟรุคโตส	น้ำตาลทราย
1. ความหวาน	ความหวานรับรู้รสหวานไวกว่า และวางหายไปเร็วกว่า ทำให้ รู้สึกว่ามีรสคั่งเมื่อมีรสหวาน มากขึ้น เมื่อมีอุณหภูมิต่ำจะมีรส หวานมากขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับสาร ให้ความหวานตัวอื่น เช่น น้ำตาล ทราย	—
2. ความหวานเปรียบ เทียบ	0.8 - 0.9	1
3. ความสามารถในการ หมัก	หมักได้โดยตรง	หมักได้ดีเมื่อใช้โคโรไลซ์ ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุล เดี่ยว
4. ปฏิกิริยาเคมี	คงทนในสภาวะความเป็นกรด ยังให้ผลต่อปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้	ถูกเปลี่ยนสภาพเพื่ออยู่ ในสภาวะที่เป็นกรด

ในตารางที่ 2.10 เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางโชนนาการและต่อร่างกายของน้ำเชื่อมฟรุคโตสและน้ำตาลทราย ได้แก่ การดูดซึมจากการย่อยของลำไส้เล็ก การเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด และการศึกษาเปรียบเทียบผลการป้องกันนิ่วระหว่างน้ำเชื่อมฟรุคโตสและน้ำตาลทราย

ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางโชนนาการและต่อร่างกายของน้ำเชื่อมฟรุคโตสและน้ำตาลทราย

คุณสมบัติทางโชนนาการ และต่อร่างกาย	น้ำเชื่อมฟรุคโตส	น้ำตาลทราย
1. การดูดซึมจากการย่อย	ดูดซึมเข้าได้โดยตรง	ดูดซึมได้หลังจากแตกตัว โดยการไฮโดรไลซ์แล้ว
2. การเพิ่มของระดับน้ำตาลใน เลือด	เพิ่มระดับน้ำตาลใน เลือดได้โดยตรง	กักผ่านขั้นตอนการ ไฮโดรไลซิสก่อน
3. การป้องกันนิ่ว	ดีกว่าน้ำตาลทราย	-

ที่มา : 17



2.5.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส

ในกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส ปัจจัยซึ่งเป็นผลต่อการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส นั้นมีปัจจัยที่เป็นผลต่อกระบวนการผลิต ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง ในตารางที่ 2.11 แสดงคุณสมบัติของ แป้งมันสำปะหลังตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ หากแป้งมันสำปะหลังไม่ได้มาตรฐานที่กำหนดไว้ จะมีผลทำให้ น้ำเชื่อมฟรุคโตสมีสี กลิ่น และรสชาติผิดปกติ นอกจากนั้นเอนไซม์ย่อยแป้ง สารเคมี ซึ่งเป็นผลต่อกระบวนการ

ตารางที่ 2.11 คุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง

Raw material	: First class refined tapioca starch
Colour	: White
Moisture	: 11.5 - 12.5%
Ash	: max 0.15% on DS
Pulp and Fibres	: less than 0.5 cm ³
pH	: 5.0 - 6.0
Acid factor	: 2.0 - 2.5
Visual specks	: only few
Gelatinized lump	: none
Microscope	: Whole and Individual starch
Distrubution dry sample	: less than granules
Mesh over 100	: 0.5%
Mesh over 140	: 0.5 - 1.0%
Odour	: neutral taste on off smell

ที่มา : (26)

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส 55% ในตารางที่ 2.12 แสดง
ชนิดของสารเคมีและความเข้มข้นของสารเคมี

ตารางที่ 2.12 ชนิดของสารเคมีและความเข้มข้นสาร

Chemical	Concentration Purity (t)
Sodium carbonate (Na_2CO_3)	98
Calcium chloride (CaCl_2)	99
Hydrochloric acid (HCL)	30 - 35
Sodium Hydroxide (NaOH)	45
Magnesium Sulphate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	99.5
Sodium hydrogen sulphite (NaHSO_3)	99
Citric acid	99
Nitric acid (HNO_3)	65

ที่มา : 26

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส 55% นอกจากคุณภาพแป้ง สารเคมี
และน้ำจะมีผลต่อกระบวนการผลิตแล้วในข้อ 5.6 นอกจากอุปกรณ์เครื่องมือในกระบวนการผลิตและวิธีการตรวจสอบคุณภาพ
ที่มีผลต่อกระบวนการผลิต

2.5.6 คุณสมบัติของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยแป้ง

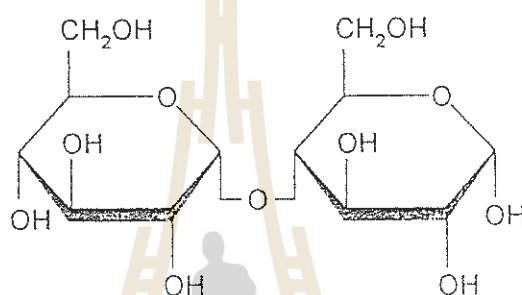
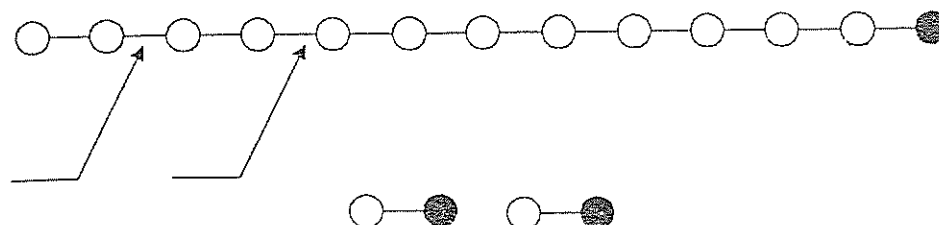
วิธีการย่อยสลายแป้งเริ่มแรกนั้นใช้กรดในการย่อย มีข้อเสียคือ น้ำเชื่อมกลูโคสและฟรุคโตสที่ได้ออกมาจะมีสีคล้ำ เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยแป้งด้วยกรดทำให้เกิดสารประกอบอย่างอื่นนอกเหนือให้กลูโคสและฟรุคโตสออกมาได้ เช่นโพลีเมอร์ และhydroxymethylfurfural เป็นต้น ปัจจุบันนิยมใช้เอนไซม์แทนการใช้กรดหรือแทนการใช้ร่วมกับกรด (5) อะไมโลไลติกเอนไซม์ (Amylolytic enzyme) เป็นกลุ่มของเอนไซม์ย่อยสลายแป้งที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารและเป็นเอนไซม์กลุ่มแรกที่น่าสนใจมาผลิตทางการค้าโดยใช้จุลินทรีย์ (7) ชนิดของเอนไซม์ย่อยแป้งแบ่งตามตำแหน่งของพันธะที่ถูกไฮโดรไลซ์ออกเป็น 3 กลุ่มคือ

1. Endoamylase

เป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยแป้ง โดยไปตัดที่พันธะ α -1,4 glucosidic ระหว่างโมเลกุลของกลูโคสบนสายตรง และจะตัดได้ทุก ๆ จุดในโมเลกุลของแป้ง เรียกว่า " ตัดแบ่งสุ่ม " (random hydrolysis) นั้นผลผลิตที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ชนิดนี้จะได้โมเลกุลของน้ำตาลหลาย ๆ ขนาด ตั้งแต่กลูโคส , มอลโตส , maltotriose , maltotetraose และน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ และ limit dextrin ซึ่งเป็นส่วนของกลูโคส 2 - 6 โมเลกุลที่ยังคงมีพันธะ α -1,6 glucosidic อยู่ (19,20,30) เอนไซม์ประเภทนี้คือ อัลฟาอะไมเลส (α -amylase) หรือ amylo 1,4 dextrinase

2. Exoamylase

เป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยแป้ง โดยไปตัดที่พันธะ α -1,4 glucosidic ระหว่างโมเลกุลของกลูโคสบนสายตรงเช่นกัน แต่จะย่อยกลูโคสเฉพาะจากปลายด้าน non-reducing ของสายที่ละ 1 หรือ 2 โมเลกุลเท่านั้น ฉะนั้นผลที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์กลุ่มนี้จะได้โมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส หรือมอลโตส และน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดใหญ่ที่เหลือจากการถูกตัดแต่ละครั้งรวมทั้ง limit dextrin (18) ผลที่ได้จะเป็นน้ำตาลมอลโตส แต่เมื่อปฏิกิริยาเข้าใกล้จุดที่เป็นกึ่งก้านหรือพันธะ α -1,6 glucosidic เอนไซม์จะหยุดกิจกรรมทำให้เหลือโมเลกุลใหญ่ ๆ ไว้มาก เอนไซม์ทั้ง endo และ exoamylase นั้นต้องการ Ca^{++} ในการรวมกิจกรรม (5,16) รูปที่ 2.4 นี้จะแสดงขั้นตอนการทำงานของโมเลกุลโดยเอนไซม์แบบ exoamylase เอนไซม์ประเภทนี้คือ β -amylase หรือ amylo 1,4 maltosidase และ Glucoamylases หรือ amylo 1,4-1,6 glucosidase



น้ำตาลมอลโตส

รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการทำงานของเอนไซม์แบบ Exoamylase
ที่มา : (5)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อัลฟาอะไมเลส เป็นเอนไซม์ที่พบในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ สามารถย่อยแป้งที่ตำแหน่ง (CC-1,4 glucosidic แบบกลุ่ม ซึ่งถ้าการย่อยไม่สมบูรณ์จะได้เดกซ์ทริน มอลโตส และกลูโคส ผสมกันแต่ถ้าสมบูรณ์ จะได้มอลโตส และกลูโคส (7)

3. กลูโคอะไมเลส (glucoamylase) หรืออะไมโลกลูโคซิเดส (amyloglucosidase) หรือ แลมด้าอะไมเลส (γ -amylase) ชื่อทางเคมีคือ L.4 glucanglu cohydrolase E.C.3.2.1.3 เป็น เอนไซม์ที่สามารถย่อยโพลีแซคคาไรด์หรือ oligosaccharide โดยย่อยตรงพันธะที่ต่อกันที่ (CC-1,4 และ (CC-1,6 glucosidic ในการย่อยนี้จะย่อยจากปลาย non-reducing เข้ามาเรื่อย ๆ ให้ผลผลิตเป็น กลูโคสทีละหน่วย แต่มีโพลีแซคคาไรด์หรือ โอลิโกแซคคาไรด์บางชนิดที่กลูโคอะไมเลสย่อยไม่ได้เลย เช่น methyl (CC-1 glucopyranoside , methyl (CC-D glucopyranoside , nigerose ,isomaltose , dextran , cellobiose ,lactose เป็นต้น และย่อยสารบางชนิดได้บ้างแต่ช้ามาก เช่น sucrose , raffinose , isomaltotetraose , panose เป็นต้น แต่กลูโคอะไมเลสสามารถย่อยมอลโตส น้ำแป้ง มอลโตรไทรโอส อะไมโดส ได้รวดเร็วมาก (7,17)

2.5.7 การใช้ประโยชน์ของน้ำเชื่อมฟรุคโตส

ปัจจุบันน้ำเชื่อมฟรุคโตสนิยมใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ขนมอบ และ ผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์นม และอื่น ๆ (17) ดังนี้

1. อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้น้ำเชื่อมฟรุคโตส ดังนี้

1.1 ทำให้ผู้บริโภครู้สึกสดชื่น เพื่อดื่มเครื่องดื่มและช่วยเพิ่มกลิ่นรสของผลไม้

1.2 สำหรับใช้ในเครื่องดื่มที่มีสภาพเป็นกรด น้ำเชื่อมนี้จะป้องกันไม่ให้เกิดรสเปรี้ยวจัด และคงความหวานไว้

1.3 น้ำเชื่อมฟรุคโตสผลิตภายใต้สภาพปลอดเชื้อ สามารถป้องกันการปนเปื้อนของ จุลินทรีย์ต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์

2. อุตสาหกรรมขนมอบ ประโยชน์ที่ได้รับ คือ

2.1 ทำให้ผิวหน้าของขนมอบมีสีน้ำตาลทองสม่ำเสมอ

2.2 ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

2.3 เพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น เพราะคงความชื้นให้นาน

2.4 เพิ่มคุณสมบัติในการพองตัวของโด (Dough)

2.5 ในผลิตภัณฑ์ประเภทครีม น้ำเชื่อมฟรุคโตสจะคงความสดได้นานขึ้น

3. อุดสาหกรรมนม ประโยชน์ที่ได้รับ คือ

3.1 ป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เพราะให้ความดันออสโมซิสสูงกว่าน้ำตาลทรายที่ความเข้มข้นเท่ากัน

3.2 เพื่อใช้ร่วมกับโปรตีนในน้ำนม จะช่วยให้น้ำนมมีกลิ่นรสดีขึ้น มีผลทำให้รสชาดสม่ำเสมอ และมีความรู้สึกผลิตภัณฑ์นั้นคงความสด

3.3 ให้ความหวานดีกว่า และมีคุณสมบัติคงความชื้นได้ดีกว่าน้ำตาลทรายเมื่อใช้ร่วมกันกับน้ำเชื่อมกลูโคส

4. อุดสาหกรรมขนมหวาน

เพิ่มความหวานในผลิตภัณฑ์พวกท็อปปิ้งชีสเค้ก ชนิตที่เป็นครีม ชนิตเป็นฟอง ใช้ร่วมกับแยมแช่หรือน้ำเชื่อมกลูโคสในกรณีฟองแตก ครีม ฟลัดจ์ (Fudges) และมาร์แมโล (Marsh mallow)

5. อุดสาหกรรมอาหารสำเร็จรูป

ในอาหารสำเร็จรูปประเภทเนื้อสัตว์ อาหารทะเล น้ำซอส และเครื่องปรุงรสผลไม้กวน ผลไม้แช่อิ่ม น้ำมะเขือเทศปรุงรสและผักดองต่าง ๆ ได้รับประโยชน์จากการใช้น้ำเชื่อมฟรุคโตส ดังนี้

5.1 รักษารสชาติ และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ให้เหมือนเดิม

5.2 ทำให้เกิดลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีความขาว และรสชาติอ่อนนุ่ม

5.3 ยืดระยะเวลาเก็บรักษาได้ เนื่องจากคุณสมบัติความออสโมซิสสูง

6. อุดสาหกรรมผลไม้กระป๋อง ประโยชน์ที่ได้รับคือ

6.1 น้ำเชื่อมฟรุคโตส มีคุณสมบัติในการซึมผ่านเข้าไปในเนื้อผลไม้ได้ไวกว่าน้ำตาลทราย หรือสารที่ให้รสหวาน และกระจายไปได้ทั่วถึงกว่าเมื่อน้ำตาลเพียงอย่างเดียว

6.2 ให้รสหวาน ดี กลิ่น และรสชาติ เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

2.5.8 กระบวนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส 55%

ในกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส 55% เป็นกระบวนการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลนั้น เกิดขึ้น 3 ขั้นตอน คือ

1. การย่อยแป้ง (Liquefaction)

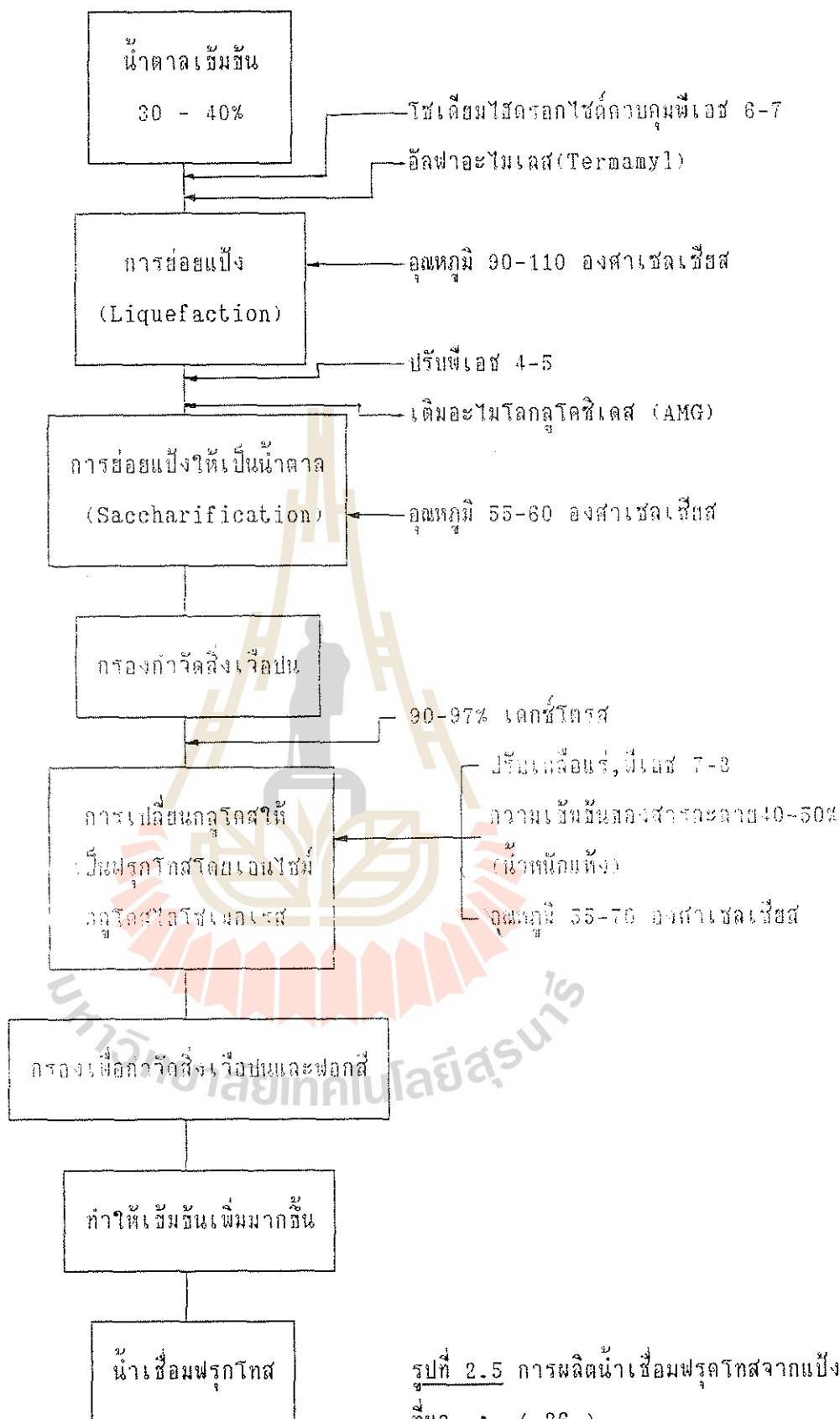
เป็นขั้นตอนที่ทำให้แป้งสุกเป็นของเหลว และ ลดความหนืดของแป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์ โดยการย่อยสลายโกลูโคสแบบซุ่ม ดังนั้นน้ำย่อยที่เหมาะสมสำหรับการทำให้แป้งเป็นของเหลวที่มีความหนืดลดลงนั้น ถือว่าเป็นการย่อยครั้งแรกของกระบวนการย่อยสลายแป้ง เพื่อทำให้แป้งถูกย่อยออกเป็นโมเลกุลขนาดเล็กมีขนาดเท่า ๆ กัน ทำให้ได้สารแชคคาไรด์สั้น ๆ มีขนาดโมเลกุลเล็กลงเป็นของเหลวที่ค่อนข้างสมบูรณ์และมีความหนืดลดลง โอกาสที่แป้งจะจับหรือแข็งตัว (Retro gradation) เป็นไปได้ต่ำ น้ำย่อยในโมเลกุลนี้คือ แอลฟาอะไมเลส หรือ *termamyl* ของบริษัท Novo Nordisk ซึ่งผลิตจากจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *Bacillus licheniformis* หรือ *B. Stearothermophilus* (31) เอนไซม์นี้ทนความร้อนได้ดีที่สุดในสภาวะ 105 องศาเซลเซียส น้ำแป้ง 30 - 40% Ds pH 6.0 - 6.5 ความเข้มข้นแคลเซียม 40 ppm นั้น น้ำแป้งที่ย่อยแล้วจะมีสีคล้ำ และค่า Dextrose Equivalent (DE) เท่ากับ 3 - 12

2. กระบวนการให้น้ำตาล (Saccharification)

เป็นขั้นตอนการย่อยมากขึ้น ได้ค่า DE สูงขึ้น น้ำแป้งเกิดรสหวานเป็นน้ำเชื่อม ทำให้ได้พวกโมโนแซคคาไรด์ ไดแซคคาไรด์ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส มอลโตส และมอลโตไตรออส ภายใต้เอนไซม์ Endoamylase เพื่อต้องการให้แป้งถูกย่อยจากภายในโมเลกุล มีน้ำที่เกิดโมเลกุลที่เหลืออยู่ต่ำลงก็จะไม่ให้เกิดการจับตัว หรือเกิดน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่สร้างความหวานขึ้น เอนไซม์ที่ใช้กับการผลิตน้ำเชื่อมชนิดนี้คือ แอลฟาอะไมเลส ที่สกัดจากเชื้อรา *Apergillus* หรือ *Rhizopus* (26) หรือเอนไซม์ชนิด Glucoamylase หรือ *Glycoamylase* (32) ของบริษัท Novo Nordisk สกัดจากเชื้อ *A. niger* โดยมีสภาวะการทำงานของเอนไซม์ที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ pH 4.20 โดยใช้ Acetate buffer

3. กระบวนการเปลี่ยนรูปน้ำตาลกลูโคสเป็นฟรุคโตส (Isomerization)

น้ำเชื่อมกลูโคสที่แยกได้แล้วนำไปผ่านชุดคอลัมน์ ซึ่งมีเอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส หรือ Sweetzyme T ของบริษัท Novo Nordisk แบบตรึงแน่น กลูโคสจะถูกเปลี่ยนไปเป็นฟรุคโตสที่สภาวะการทำงานของเอนไซม์ ดังนี้ อุณหภูมิที่เหมาะสม 60 องศาเซลเซียส pH 7.5 ถึง 8.5 ที่ 2.5 แสดงกระบวนการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส 55%



2.5.9 คุณภาพและวิธีตรวจสอบคุณภาพของน้ำเชื่อมฟรุคโตส

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเป็นข้อมูลสำหรับโครงการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส 55% ของบริษัท
2. เพื่อเรียบเรียงเนื้อหา วิธีการทดลอง สำหรับใช้ค้นคว้าเพิ่มเติมในโครงการผลิตน้ำเชื่อม 55% ของบริษัท

2.5.9.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเชื่อมฟรุคโตส

นำน้ำเชื่อมฟรุคโตสทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

1. การวัดความเข้มข้นของน้ำเชื่อมกลูโคสหรือฟรุคโตสของมอก. 56-2516 และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1011 พ.ศ. 2529 (ข้อ 7.11) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.1
2. ปริมาณของแข็งทั้งหมดของมอก. 268-2521 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.2.1
3. สมมูลเดกซ์โทรสตามวิธีของเดนเนและอีย์นอน ของมอก. 268-2521 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.2.2.
4. แก๊ซซิลเฟต ของมอก. 268-2521 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.2.3
5. ความเป็นกรด-ด่าง ของมอก. 268-2521 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.2.4
6. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ของมอก. 268-2521 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.2.5
7. อาร์เซนิก ของมอก. 268-2521 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.2.6
8. ทองแดง ของมอก. 268-2521 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.2.7
9. ตะกั่ว ของมอก. 268-2521 รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.2.8

2.5.9.2 คุณภาพและคุณลักษณะของน้ำเชื่อมฟรุคโตส

คุณภาพและคุณลักษณะของน้ำเชื่อมฟรุคโตส แสดงในตารางที่ 2.13 ซึ่งเป็นคุณลักษณะทางเคมีของน้ำเชื่อมฟรุคโตส และตารางที่ 2.14 แสดงปริมาณวัตถุเจือปน และสารปนเปื้อนในน้ำเชื่อมฟรุคโตส

ตารางที่ 2.13 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำเชื่อมฟรุคโตส

คุณสมบัติทางเคมี	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (โดยน้ำหนัก)	76.5 - 77.5
ฟรุคโตส (ไม่น้อยกว่า)	55.0 - 58.0
กลูโคส + ฟรุคโตส (โดยน้ำหนัก)	ไม่น้อยกว่า 95.0
โอลิโกแซคคาไรด์ (โดยน้ำหนัก)	น้อยกว่า 5
เถ้าซิลิเกต (โดยน้ำหนัก)	น้อยกว่า 0.05
สี , ICUMSA colour index	น้อยกว่า 200
pH	4.0 +/- 0.5
อนุมูลย์ออกซิไดซ์ (โดยน้ำหนัก)	ไม่ต่ำกว่า 20

ที่มา : (26)

ตารางที่ 2.14 ปริมาณวัตถุเจือปน และสารปนเปื้อนในน้ำเชื่อมฟรุคโตส

วัตถุเจือปนและสารปนเปื้อน	มีผลกับร่างกายต่อผู้บริโภค
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	3
อาร์เซนิก (AS)	1
ทองแดง (CU)	1.5
ตะกั่ว (Pb)	1

ที่มา : (26)

บทที่ 3

สรุปผลปฏิบัติงาน

การปฏิบัติงาน ณ สถานประกอบการ บริษัทเจ้าพระยาพืชไร่จำกัด ตั้งแต่วันที่ 4 มิถุนายน 2539 ถึงวันที่ 20 ธันวาคม 2539 ตำแหน่งพนักงานควบคุมคุณภาพ งานที่ได้รับมอบหมายคือ

1. วิเคราะห์คุณภาพแป้งมัน
2. วิเคราะห์คุณภาพน้ำภายในโรงงาน
3. การกรองน้ำใช้ในห้องปฏิบัติการ
4. การปรับมาตรฐานเครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง
5. การศึกษาโครงการผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส 55 % จากแป้งมันสำปะหลัง

ดิฉันคิดว่า งานที่ได้รับมอบหมาย เป็นงานในตำแหน่งที่มีความเหมาะสมกับตัวดิฉัน เพราะตรงตามสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารที่ได้เรียนมาโดยตรง โดยดิฉันสามารถเรียนรู้และปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพ ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ดิฉันสามารถนำความรู้และทฤษฎีต่าง ๆ ที่ได้เรียนมามาใช้ และแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นต่าง ๆ กับเพื่อนร่วมงาน เพื่อแสดงและรับทราบความคิดเห็น จดบันทึกพร้อมในการทำงานของแต่ละฝ่าย เพื่อทำการแก้ไขและร่วมกันทำงานเป็นกลุ่ม ทำให้งานแต่ละชิ้นที่มีทั้งง่ายและยากนั้นสำเร็จลงได้ เพราะความร่วมมือ

ดิฉันสามารถเรียนรู้การทำงานต่าง ๆ ได้ดี เป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง ของสถานประกอบการ เพราะได้ทำงานที่ตรงกับความรู้ และประสบการณ์ที่ได้เรียนมา และได้นำความรู้ที่เรียนมา มาใช้แก้ปัญหาที่พบในระหว่างปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้

บทที่ 4

ข้อเสนอแนะ

จากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัท เจ้าพระยาพีซี จำกัด พบปัญหาต่าง ๆ ดังนี้

4.1 ระบบการปฏิบัติงาน

1. การปฐมพยาบาล ทางโรงงานไม่ได้มีสถานพยาบาลในโรงงานหรือตู้ยาสามัญประจำบ้านไว้เป็นจุด ๆ เช่น ในห้องควบคุมคุณภาพ เป็นต้น
2. ทางโรงงานไม่มีนโยบายเรื่องความปลอดภัยในการทำงาน หรือ 5ส.
3. การแต่งกายของพนักงานบางคน แต่งกายไม่สุภาพ เช่น สวมรองเท้าแตะมาทำงาน เป็นต้น
4. ตำแหน่งบางตำแหน่งไม่มีพนักงาน หรือบางตำแหน่งมีการซ้ำซ้อนกัน

แนวทางแก้ไข

1. ควร มีสถานพยาบาลภายในโรงงาน หรืออย่างน้อยที่สุดควรมีตู้ยาสามัญประจำบ้านไว้ที่จุดใหญ่ของโรงงาน และจะต้องมียาสามัญประจำบ้านในตู้ยา
2. ควรเน้นให้พนักงานเรื่องความปลอดภัยในการทำงาน หรือ 5ส.
3. การเคร่งครัดเรื่องการแต่งกายของพนักงาน
4. สับตำแหน่งบางตำแหน่งที่ซ้ำซ้อน หรือใกล้เคียงให้อยู่ส่วนเดียวกัน

4.2 สภาพแวดล้อมของโรงงาน

1. ปัญหาเรื่องฝุ่น
2. กลิ่น
3. ความสะอาดของถนน ส่วนหย่อม
4. จุดที่ชำรุด เช่น ฝ้าเพดาน กระเบื้องในห้องน้ำ

แนวทางแก้ไข

หรือกลิ่น

1. ควรมีพนักงานทำความสะอาดถนน ส่วนหย่อมเพื่อกำจัดปัญหาเรื่องฝุ่น ความสะอาด
2. จุดที่ชำรุด ควรแจ้ง และซ่อมแซม



เอกสารอ้างอิง

1. กนกอร อินทราพิเชฐ. 2538. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาวิเคราะห์องค์ประกอบอาหาร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
2. กระทรวงอุตสาหกรรม. 2516. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมอก. 52-2516. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร.
3. กระทรวงอุตสาหกรรม. 2521. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมอก. 274-2521. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร.
4. กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2532. สารให้ความหวาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
5. กล้าณรงค์ ศรีรอด (บรรณาธิการ). 2538. รายงานการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องความรู้เบื้องต้นในการผลิตกลูโคสซีรีปจากแป้งและกากมันสำปะหลัง 25 - 26 สิงหาคม 2538 ม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลทางอาหารเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, กรุงเทพมหานคร.
6. คู่มือการใช้งานเครื่องกรองน้ำดีไอซ์ (Deionizer). 2528. ปราณีภัณฑ, กรุงเทพมหานคร.
7. วัชรพงษ์ บวรเรืองโรจน์. 2535. การผลิตน้ำเชื่อมจากพืชแป้งมันสำปะหลังในฟลูอิดเบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัย.
8. ชงชัย พรรณสวัสดิ์และอุษา วิเศษสมุน. 2535. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย.
9. ฝ่ายนโยบายและเศรษฐกิจน้ำตาล. 2535. รายงานสถานการณ์น้ำตาลประจำเดือนธันวาคม 2534. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม.
10. ฝ่ายวิชาการธนาคารกสิกรไทย. 2528. การบริโภคน้ำตาลภายในประเทศ : สรุปข่าวธุรกิจ. 17 (6) , 10 - 21.
11. มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2539. การวิเคราะห์ลักษณะของเม็ดแป้ง. (39/001) รายงานการอบรมโครงการร่วมมือและการถ่ายทอด

เทคโนโลยี สำหรับพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง (โครงการความร่วมมือไทย - เบลเยี่ยม) ณ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. สถาบันค้นคว้าพัฒนาผลทางเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรฯ กรุงเทพมหานคร.

12. มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2539. การวิเคราะห์ลักษณะของเม็ดแป้ง. (39/003)
13. มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2539. การวิเคราะห์ลักษณะของเม็ดแป้ง. (39/005)
14. รัตนา มหาชัย. 2533. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา เคมีวิเคราะห์ 3. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
15. ลักษณา รุจนะไกรภานต์และนิยา รัตนานนท์. 2533. หลักการวิเคราะห์อาหาร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
16. เอลักษณ์ จิตรถถน. 2538. เอนไซม์ย่อยแป้ง. รายงานการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่องความรู้เบื้องต้นในการผลิตกลูโคสซีรัปจากแป้งละกากมันสำปะหลัง 25 - 26 สิงหาคม 2538 ณ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. สถาบันค้นคว้าพัฒนาผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร , กรุงเทพมหานคร.
17. สมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2535. การผลิตน้ำเชื่อมฟรุคโตส 42%. สมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย , กรุงเทพมหานคร.
18. สมบุญ ศุภมณ. 2535. การผลิตฟรุคโตสซีรัปจากแป้งมันสำปะหลัง " วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต " ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
19. อรอนงค์ นิยมวิกุล. 2532. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของข้าวสาลี. โรงพิมพ์กราฟฟิคแอนด์ปรินต์ติ้งเซ็นเตอร์ , กรุงเทพมหานคร.
20. อรอนงค์ นิยมวิกุล. 2538. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแป้งและสตาร์ช คุณสมบัติทางเคมี ภายภาพ และเครื่องมือวัด รายการอบรมปฏิบัติการเรื่อง ความรู้เบื้องต้นในการผลิตกลูโคสซีรัปจากแป้งและกากมันสำปะหลัง. สถาบันค้นคว้าพัฒนาผลทางทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร.
21. Association of official Analytic Chemists (AOAC). 1980. official. Methods of Analisis of the AOAC. AOAC.

Washington , D.C.

22. Braufleht, C.A. (ed). 1953. Starch Its Sources : Production and Uses. pp.11 - 18 , Reinhold Publishing Corporation , New York.
24. Greenberg , A.E. , Trussell , R.R. , and chesceri , L.S. , 1985 Standard Method. American Public Helth Association , New York.
25. Greenwood , C.I.1979 observation on the Structure of the Starch Granule , Polysaccharides in Food. Butterworths ,London.
26. NOVO Industri A/S.1996.NOVO Enzyme for the conversion of starch Copenhagen , Denmark.
27. Pomeranz , Y. and Meloan , C.E. , 1982. Food Analysis. AVI Publishing , New York.
28. pomeranz , Y. and Meloan , C.E. , 1994. Food Analysis. Chapman and Hall , London.
29. Royal Thai Goverment and the European Economic Community. 1983. A perspective on Cassava in North East Thailand. Sipipan Obset , Thailand.
30. Swinkles , J.J.M. , 1983. Difference Between Commercial Native Starches. International Marketing and Sales , Foxhol.
31. Whistler , R.L. , BeMiller , J.N. ,andPaschall , E.F. , Starch. Academic Press , New York.

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์คุณภาพแป้งมันสำปะหลัง

1.1 ปริมาณความชื้น (A.O.A.C , 1980 - 14.004)

1. อบจานอะลูมิเนียมพร้อมด้วยฝาปิดในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 105 - 110 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที นำออกใส่เตาสุญญากาศทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปชั่ง
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแป้งประมาณ 2 กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน ใส่ในจานอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว)
3. นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่
4. นำมาทำให้เย็นในเตาสุญญากาศ ชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{100 (W_1 - W_2)}{W_1 - W}$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของจานอะลูมิเนียม

W_1 คือ น้ำหนักของจานอะลูมิเนียมและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของจานอะลูมิเนียมและตัวอย่างหลังจากอบแห้งแล้ว (กรัม)

1.2 ปริมาณแป้ง (A.O.A.C., 1980 - 14.031)

1.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างที่จะทดสอบจะต้องผ่าน sieve ขนาด 200 mesh ถ้าผ่านไม่ได้ต้องนำบด ก่อนนำไปวิเคราะห์

1.2.2 การวิเคราะห์หาโททับริโพรทอโรทีเพาเวอร์ (Total rotatory power, P)

1. ซึ่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนัก 2,500 กรัม ใส่ในขวดแก้วปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยผ่านทางกรวยแก้วซึ่งวางบนปากขวด

2. เติมน้ำกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3094 นอร์มัลจำนวน 25 มิลลิลิตรเข้าขวดแก้ว ปริมาตรนั้นให้ตัวอย่างเปียกชุ่มจนทั่วกัน

3. เติมน้ำกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.3094 นอร์มัลอีก 25 มิลลิลิตร ขวดแก้วพร้อม ทั้งกรวยลงในอ่างน้ำเดือดเข้าขวดแก้วโดยหมุนแรง ๆ อย่างสม่ำเสมอเป็นเวลานาน 3 นาที เพื่อ ป้องกันไม่ให้ตัวอย่างเกาะกันเป็นก้อน ระหว่างที่เข้าขวดแก้วจะต้องเชออยู่ในน้ำเดือด

4. แช่ขวดแก้วไว้ในอ่างน้ำเดือด เป็นเวลารวมทั้งหมด 15 นาทีพอดี น้ำในอ่างต้องมี มากพอ และเดือดอยู่ตลอดเวลาที่แช่ขวดแก้วลงไป

5. ขวดแก้วออกจากอ่างน้ำเดือดเติมน้ำเย็น 30 มิลลิลิตรลงในขวดแก้ว แล้วทำให้ เย็นทันที ถึงอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

6. เติมน้ำละลายโซเดียมฟอสเฟตทั้งสเตตหรือกรดโคคาฟอสเฟตทั้งสเตตจำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วพร้อมกับเขย่าแรง ๆ เพื่อให้ตกตะกอน

7. เติมน้ำลงในขวดแก้วให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แล้วเขย่า ให้สารละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกัน

8. นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman no.1 ที่แห้งทั้งสารละลายที่กรองได้ 25 มิลลิลิตรแรก นำสารละลายที่กรองได้ต่อไปใส่ในหลอดแก้วยาว 200 มิลลิลิตรของเครื่องโพลา रिमीเตอร์

9. อ่านค่าของโพลาไรไททอรีเพาเวอร์ (P) เป็นแองกูลาดีกรี (angular degree) ที่ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ก่อนนำสารละลายไปอ่านค่าโพลาไรไททอรีเพาเวอร์ ต้องทดสอบการ ตกตะกอนของสารละลายที่กรองได้โดยเติมน้ำละลายโซเดียมฟอสเฟตทั้งสเตต หรือกรดโคคา ฟอสเฟตทั้งสเตต 1 หยดลงในสารละลาย 2 มิลลิลิตร ทิ้งไว้นาน 3 นาที ถ้าสารละลายนั้นขุ่นต้องทำ การวิเคราะห์ใหม่ตั้งแต่ต้นโดยเพิ่มปริมาณสารละลายโซเดียมฟอสเฟตทั้งสเตต หรือ กรดโคคา ฟอสเฟตทั้งสเตตที่ใช้สำหรับตกตะกอนให้มากขึ้น

1.2.3 การวิเคราะห์หาโพลาไรไททอรีเพาเวอร์ของสารละลายในน้ำ (active Water- soluble substance) หลังจากทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกแล้ว (p')

1. ซึ่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนัก 12.500 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำกลั่นประมาณ 250 มิลลิลิตร เข้าขวดปริมาตรนั้นให้ตัวอย่างเปียกชุ่มจนทั่ว กัน ตั้งไว้ในอุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง พร้อมกับเขย่าเป็นระยะ ๆ ประมาณหกครั้ง แล้วเติมน้ำ ให้ ครบ 250 มิลลิลิตร เขย่าอีกให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

3. ตั้งทิ้งไว้ให้แป้งตกตะกอน แล้วกรองให้ได้สารละลาย ใส่ด้วยกระดาษกรอง Whatman no.42 ขนาด

4. ใช้ปิเปตดูดสารละลาย 50 มิลลิลิตร (เท่ากับตัวอย่าง 2,500-กรัม) ใส่ในขวดแก้ว ปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเจือจางร้อยละ 25 ของน้ำหนักจำนวน 2.1 มิลลิลิตรเขย่าแรง ๆ วางกรวยแก้วบนปากขวด แล้วต้มลงในอ่างน้ำเดือดเช่นเดียวกับข้อ 1 นาน 15 นาที

5. ยกขวดออกจากอ่างน้ำเดือด เติมน้ำเย็น 30 มิลลิลิตร แล้วทำให้เย็นทันที จนถึง อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

6. ทำให้สารละลายใส โดยเติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตทั้งหมด หรือกรดโคเคลาฟอสเฟตทั้งหมดเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ P

7. เติมน้ำจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เขย่าให้สารละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน กรองให้ได้สารละลายใส (ทั้งสารละลายที่กรองได้ 25 มิลลิลิตรแรก)

8. อ่านค่า P' ของสารละลายที่กรองได้ เช่นเดียวกับการอ่านค่าของ P

การคำนวณ

$$A = \frac{2000 \times (P - P') \times 100}{(\alpha)_c^2 \times 100 - M}$$

เมื่อ P คือ ค่าไรโททรีเฟอเวอร์ทั้งหมด เป็นองศาเชิงมุม

P' คือ ค่าของไรโททรีเฟอเวอร์ของสารที่ละลายในน้ำ เป็นองศาเชิงมุม

A คือ ปริมาณแป้ง เป็นร้อยละของน้ำหนักเมื่ออบแห้ง

$(\alpha)_c^2$ คือ ค่าเฉพาะของแป้ง เป็นองศาเชิงมุม (สำหรับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 184.0)

M คือ ปริมาณความชื้น เป็นร้อยละ

1.3 ปริมาณน้ำ (A.O.A.C. , 1980 - 14.006)

1. นำงานกระเบื้องเคลือบ (Crucible) ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน) ใส่ในงานกระเบื้องเคลือบ
3. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่
4. นำมาทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำ (ร้อยละของน้ำหนักเมื่ออบแห้ง)} = \frac{W_2 - W_1}{(W_2 - W)(100 - M)} \times 10^4$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักงานกระเบื้องเคลือบหลังจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่ (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักงานกระเบื้องเคลือบหลังจากเผาได้น้ำหนักคงที่และตัวอย่างก่อน

W_2 คือ น้ำหนักงานกระเบื้องเคลือบและตัวอย่างหลังจากเผาได้น้ำหนักคงที่ (กรัม)

M คือ ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

1.4 ความเป็นกรด - ด่าง (A.O.A.C., 1980 - 14.022)

1. ละลายแป้งจำนวน 25 กรัม ในน้ำกลั่นจำนวน 50 มิลลิลิตร
2. ตรวจสอบเครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้สารละลายมาตรฐานบัฟเฟอร์ที่ความเป็นกรด-ด่าง 4 และ 7
3. วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง ที่อุณหภูมิห้อง

ภาคผนวก ข.

2. การตรวจสอบคุณภาพน้ำภายในโรงงาน

2.1 ความเป็นกรด-ด่าง

วิธีการ

หลักการหาค่าพีเอชด้วย เมตรพีเอช โดยทั่ว ๆ ไป

1. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างแท่งแก้วอิเล็กโทรด และภาโสมลอิเล็กโทรดให้สะอาด ใช้กระดาษฟิชชูนิดหนึ่งเช็ดเช็ดซับน้ำให้แห้ง
2. ปรับเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ให้ได้ค่ามาตรฐานด้วยสารละลายมาตรฐานที่มีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าของน้ำทั้งตัวอย่างที่จะวัด
3. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเล็กโทรดอีกครั้ง ซับน้ำให้แห้ง
4. วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำ (ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาหาค่า ต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิของสารละลายมาตรฐานในข้อ 2)

2.2 ความกระด้าง

จุดตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวย (Erenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์เป็นกรด-ด่าง 10.0 ปริมาตร 3 - 5 มิลลิลิตรเติม EriochromBlack-T 2 - 3 หยด ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน EDTA 0.01 นอร์มัล เขย่าจนกระทั่งสีม่วงแดงเปลี่ยนสีเป็นน้ำเงิน

การคำนวณ

$$\text{Hardness (mg/l)} = \frac{A \times B \times 10^6}{C}$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรของ EDTA ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ความเข้มข้นของ EDTA (นอร์มัล)

C คือ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

2.3 ความเป็นด่าง (M-Alkalinity)

ดูดน้ำตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปถ้วยขนาด 250 มิลลิลิตร เติม Methyl orange 2-3 หยดซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วไทเทรตกับสารละลายไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล

การคำนวณ

$$M - Alkalinity (mg/l) = A \times B \times 500$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรของสารละลายไฮโดรคลอริก (มิลลิลิตร)

B คือ ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)

2.4 สารแขวนลอย (Suspended solids , SS)

ดูดน้ำตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ใส่ถ้วยกระเบื้องที่มีกระดาดกรองใยแก้ว (" What man " GF/C) ซึ่งผ่านการอบแห้งและชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด กรองน้ำตัวอย่างโดยอาศัยแรงดูดจาก Suction นำถ้วยกระเบื้องอบที่อุณหภูมิประมาณ 105 - 110 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ใส่โถดูดความชื้น (desiccator)

การคำนวณ

$$SS (mg/l) = \frac{A \times 10^6}{B}$$

B

เมื่อ A คือ ผลต่างของถ้วยกระเบื้องก่อนอบและหลังอบ (กรัม)

B คือ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

2.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total dissolved solids , TDS)

ตวงน้ำตัวอย่างประมาณ 25 มิลลิลิตร ที่กรองด้วยกระดาษกรองใยแก้วใส่ลงในจานระเหย (evaporating dish) ที่ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด ซึ่งตั้งบนเครื่องอังน้ำ (water bath) จนน้ำระเหยจนแห้ง อบที่อุณหภูมิ 105 - 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำจานระเหยใส่โถดูดความชื้น

การคำนวณ

$$TDS (mg/l) = \frac{A \times 10^6}{B}$$

เมื่อ A คือ ผลต่างของจานระเหยก่อนอบและหลังอบ (กรัม)

B คือ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

2.6 ปริมาณสารทั้งหมด (Total solids , TS)

ตวงน้ำตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ที่ไม่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้วใส่ในจานระเหย ที่ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด ซึ่งตั้งบนเครื่องอังน้ำ จนน้ำระเหยจนแห้งอบที่อุณหภูมิ 105 - 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำจานระเหยใส่โถดูดความชื้น

การคำนวณ

$$TS (mg/l) = \frac{A \times 10^6}{B}$$

เมื่อ A คือ ผลต่างของจานระเหยก่อนอบและหลังอบ (กรัม)

B คือ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

2.7 ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand , BOD)

2.7.1 การหาค่าออกซิเจนละลาย(Dissolved Oxygen, DO) และ บีโอดี(BOD)

ก๊าซออกซิเจนมีความสำคัญมากสำหรับคน สัตว์ และพืช เพราะจะใช้ในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อก่อให้เกิดพลังงาน ก๊าซออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยมาก เนื่องจากใช้ไม่ได้ทำปฏิกิริยา ทางเคมีกับน้ำ ค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำและน้ำเสียอยู่ในช่วง 14.6 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ 0 องศาเซลเซียส และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 35 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การละลายของออกซิเจนขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ทางชีวะของน้ำ

วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมี 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ Winkler Method หรือ lodometric method วิธีการที่สองได้แก่ วิธีทางไฟฟ้าเคมีโดยใช้ membrane electrode อาศัยหลักการแพร่ของโมเลกุลของออกซิเจนผ่าน membrane ส่วน lodometric method นั้นอาศัยการไตเตรท การเลือกวิธีใช้ในการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่มีอยู่และประสบการณ์

Winkler method หรือ lodometric method อาศัยหลักการที่ว่าออกซิเจนจะออกซิไดซ์ Mn^{2+} ไปเป็น Mn^{4+} ภายใต้สภาวะที่เป็นด่างและ Mn^{4+} จะออกซิไดซ์ I^- ไปเป็น I_2 อีตระภายใต้สภาวะเป็นกรด นั่นคือ ปริมาณ I_2 อีตระที่ถูกขอกออกมาจะสมมูลกับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำตอนเริ่มต้น และวัดโดยการไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต บอกผลในรูป DO พบว่า ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ถ้าในน้ำมีปริมาณของ NO_2 , Fe^{3+} จะถูกออกซิไดซ์ $I^- \rightarrow I_2$ ทำให้ค่าที่ได้สูงเกินความจริงและถ้ามีตัวลดออกซิเจน เช่น Fe^{2+} , SO_2 , S จะสามารถรีดิวซ์ $I_2 \rightarrow I^-$ ทำให้ค่าที่ได้ต่ำกว่าเป็นจริง

2.7.1.1 การหาค่าออกซิเจนละลาย (DO)

2.7.1.1.1 หลักการวิเคราะห์ออกซิเจนละลายโดยวิธีของวินเคเลอร์ (Winkler Method)

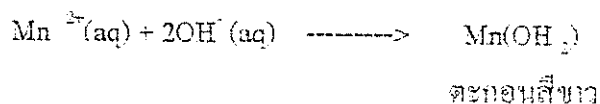
ออกซิเจนจะออกซิไดซ์ Mn^{2+} ไปเป็น Mn^{4+} ภายใต้สภาวะที่เป็นด่างนี้สามารถออกซิไดซ์ I^- ไปเป็น I_2 อีตระภายใต้สภาวะที่เป็นกรด นั่นคือ ปริมาณ I_2 อีตระที่ถูกขอกออกมาจะสมมูลกับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำตอนเริ่มต้น และวัดได้โดยการไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตและบอกผลอยู่ในรูปของ DO

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นตามขั้นตอนต่าง ๆ มีดังนี้

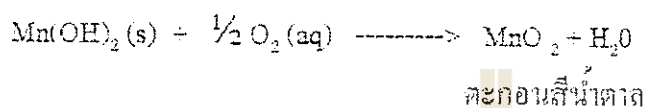
1.) เมื่อเติมแมงกานีส (I) โซลเฟต และอัลคาไล-ไฮโดรไซด์-ไฮดรอกไซด์ลงไปลงในตัวอย่างจะให้ตะกอนสีขาวของแมงกานีส (II) ไฮดรอกไซด์ $Mn(OH)_2$ ซึ่งจะถูกละลายออกซิไดซ์โดยออกซิเจนในน้ำให้ตะกอนสีน้ำตาลของแมงกานีส (IV) ออกไซด์ ในสารละลายที่เป็นด่างดัง

สมการ

เมื่อเติม MnSO_4 และ alkali-iodide ($\text{NaOH} + \text{NaI}$)



ถ้าในน้ำมีออกซิเจนอยู่จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปนี้



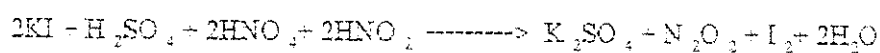
2.) เมื่อละลายตะกอนด้วยกรดซัลฟูริก แมงกานีส (IV) ออกไซด์ จะออกซิไดซ์ไปตัสเชิมไอโอไดด์ ทำให้เกิดไอโอดีน ดังสมการ



3.) หาปริมาณของไอโอดีนที่เกิดขึ้น โดยไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน



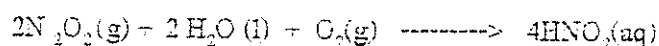
ในการนี้ที่มีไนไตรต์เป็นการแทรกสอด เพื่อให้สารละลายเป็นกรด ในข้อ 2) ไนไตรต์จะทำปฏิกิริยากับไปตัสไอโอไดด์ ให้ไอโอดีนเช่นกัน ซึ่งจะทำได้ค่าที่ได้มากกว่าความเป็นจริง



หรือ



N_2O ที่เกิดขึ้นถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายโดยออกซิเจนที่ละลายในน้ำ จะเปลี่ยนไนไตรต์อีก

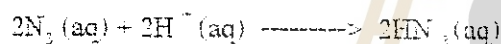


ซึ่งกรดไนตริกจะทำปฏิกิริยาแบบเดิม ทำให้เกิดไอโอไดน์ขึ้นอีก

การกำจัดสารแทรกสอดที่เป็นไนไตรต์ ทำได้โดยเติมโซเดียมเอไซด์ลงในอัลคาไลโอไซด์ไว้ตั้งแต่แรก เอไซด์จะกำจัดไนไตรต์ได้ด้วยการ



หรือ



2.7.1.1.2 เครื่องมือ

- 1.) ขวด BOD ขนาด 300 มิลลิลิตร
- 2.) Erlenmeyer flask ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 3.) Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 4.) Buret
- 5.) Pipet

2.7.1.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลาย

- 1.) ใบน้ำตัวอย่างลงในขวด BOD ขนาด 300 มิลลิลิตร
- 2.) เติมน้ำละลายแมงกานีสซัลเฟต 2 มิลลิลิตร และอัลคาไล-ไอโอไดต์-เอไซด์รีเอเจนต์ 2 มิลลิลิตรในขวด BOD ที่ใส่น้ำตัวอย่าง โดยให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวของน้ำตัวอย่าง ปิดขวดตัวอย่างระมัดระวังอย่าให้มีฟองอากาศผสมให้เข้ากัน โดยคว่ำขวดขึ้นลงอย่างน้อย

15 ครั้ง (ถ้าจำเป็นเจาะข้างขวด 3 - 4 ครั้ง เพื่อไล่ฟองอากาศ)

3.) ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนได้ปริมาณน้ำใส 1/3 ของขวด แล้วจึงผสมให้เข้ากันอีก

4.) เมื่อตั้งทิ้งไว้จนเกิดสารละลายใสข้างบนประมาณ 1/3 ของขวด แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร โดยกรดค่อย ๆ ไหลลงไปข้าง ๆ คอลัมน์ ซีดุกัมผสมให้เข้ากันโดยคว่ำขวดขึ้นลงจนกระทั่งตะกอนละลายหมด

5.) คำนวณค่าตัวอย่างจากข้อ 4.) มา 203 มิลลิลิตร เพื่อนำไปไทเตรตปริมาตร ตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับปริมาตรน้ำตัวอย่างเริ่มต้น 200 มิลลิลิตร เนื่องจากการสูญเสียตัวอย่างจากขวด โดยการแทนที่ของสารละลายเคมีที่เติมลงไปทั้งสิ้น 4 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาตรตัวอย่างจึงใช้ในการไทเตรตจึงควรเท่ากับ

$$\frac{(200 \pm 300)}{(300 - 4)} = 203 \text{ มิลลิลิตร}$$

6.) นำไปไทเตรต กับ สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัลจนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน เมื่อเติมน้ำแข็ง 1 - 2 มิลลิลิตร จะได้สีน้ำเงินเข้มไทเตรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป อ่านปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้

2.7.1.2 การวิเคราะห์ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)

2.7.1.2.1 หลักการ

ค่าบีโอดีเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงปริมาณความสกปรกของน้ำในแม่น้ำคลองน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อประโยชน์ในการออกแบบระบบกำจัดกากบวมกวมของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพของระบบนั้น ๆ

ค่าบีโอดีจะวัดปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้หมดไปในเวลา 5 วัน ใน อุณหภูมิอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส หรือเขียนทั่วไปได้ว่า BOD₅ การวิเคราะห์นี้เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ในน้ำจึงจำเป็นต้องทำให้มีเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ กล่าวคือ ไม่มีการพินด่มีอาหารเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์ เช่น ในโตรเจน ฟอสฟอรัส

2.7.1.2.2 เครื่องมือ

- 1.) ขวด BOD ขนาด 300 มิลลิลิตร
- 2.) ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (incubator) ชนิดใช้อากาศหรือน้ำซึ่งสามารถควบคุมและปรับอุณหภูมิให้อยู่โดยอัตโนมัติที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียสและป้องกันไม่ให้แสงผ่านได้
- 3.) เครื่องเป่าอากาศ

2.7.1.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณ BOD

1.) การเตรียมตัวอย่างน้ำที่จะหา

- 1.1 ตัวอย่างน้ำที่เป็นค่างหรือเป็นกรดจะต้องปรับให้เป็นกลางคือ ประมาณด้วย H_2SO_4 1 นอร์มัลหรือ $NaOH$ 1 นอร์มัลแล้วแต่กรณี
- 1.2 ตัวอย่างน้ำที่มีสารประกอบคลอรีนส่วนเหลือ โดยปกติถ้าตั้งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้ 1 - 2 ชั่วโมง คลอรีนส่วนเหลือก็จะสลายตัวไป
แต่ถ้าตัวอย่างน้ำที่ปรับให้เป็นกลาง แล้วยังมีคลอรีนส่วนเหลืออยู่มากต้องกำจัดโดยใช้โซเดียมซัลไฟท์ การหาปริมาณคร่าว ๆ ของโซเดียมซัลไฟท์ที่จะเติมทำได้โดยใช้ตัวอย่างน้ำ 100 - 1,000 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิดิก (1 + 1) หรือกรดซัลฟูริก (1 + 50) 10 มิลลิลิตร แล้วไตเตรทโซเดียมซัลไฟท์ 0.025 นอร์มัล ใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ก็จะทราบปริมาณของโซเดียมซัลไฟท์ที่จะต้องใส่ แล้วนำตัวอย่างน้ำที่กำจัดคลอรีนส่วนเกิน แล้วไปหาค่า BOD ต่อไป

1.3 ตัวอย่างน้ำที่มีโลหะหนักหรือสารเป็นพิษชนิดเฉื่อยอยู่ ต้องศึกษาและกำจัดเสียก่อน

2.) การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

- 2.1 ตวงน้ำกลั่นให้มากกว่าปริมาตรที่ต้องใช้ 1 ลิตร ใส่ลงไปในภาชนะที่สะอาด
- 2.2 เป่าอากาศที่สะอาดเพื่อเพิ่มปริมาณสารละลายออกซิเจน ให้กับน้ำเจือจางเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง
- 2.3 เติมน้ำละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และโพแทสเซียมไนเตรดละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตรลงในเจือจาง 1 ลิตร

3.) การเจือจาง

ถ้าหากน้ำตัวอย่างมีความสกปรกสูง จำเป็นจะต้องทำให้ น้ำตัวอย่างมีความสกปรกขึ้นน้ำเจือจาง การทำให้เจือจางใช้แบบ percent mixture ซึ่งเป็นแบบที่นิยม โดยตั้งกราดำ BOD โดยประมาณก่อน ซึ่งประมาณจากค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand , COD) จำนวนตัวอย่างที่ได้จาก % mixture ดังแสดงในตารางที่ 1 วิธีการนี้เรียกว่า dilution method ถ้าหากน้ำตัวอย่างมีความสกปรกน้อยไม่จำเป็นต้องทำ dilution method

ตารางที่ 1

% mixture	Range of BOD
0.01	50,000 - 70,000
0.02	10,000 - 35,000
0.05	4,000 - 14,000
0.10	2,000 - 7,000
0.20	1,000 - 3,500
0.50	400 - 1,400
1.00	200 - 700
2.00	100 - 350
5.00	40 - 140
10.00	20 - 70
20.00	10 - 35
50.00	4 - 14
100.00	0 - 7

ที่มา : (14)

นำน้ำตัวอย่างมาเท่ากับ % mixture x 10 (สมมติ ตัวอย่างที่ 1 มีค่า BOD 4 - 14 มิลลิกรัมต่อลิตร และตัวอย่างที่ 2 มีค่า BOD 10 - 35 มิลลิกรัมต่อลิตร) เจือจางด้วยน้ำกลั่น เป็น 1 ลิตร นำน้ำตัวอย่างที่เจือจางไปเป่าอากาศให้ม็อกซิเจนละลายในตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ใช้เวลาประมาณ 15 - 20 นาที)

รินน้ำตัวอย่างใส่ขวด BOD จนเต็ม 3 ขวดเจาะข้างขวดเพื่อไล่ฟองอากาศให้หมด ปิดจุกให้สนิท นำไปเก็บใน incubator ที่ 20 องศาเซลเซียส 2 ขวด (โดยเขียนมีอ็อกซิเจนและวันเดือนปีที่เก็บ) ส่วนขวดที่เหลือนำไปหา DO ทันที เมื่อทราบค่า DO ที่จุดเริ่มต้น (DO_0)

หลัง 5 วัน นำน้ำตัวอย่างที่เก็บไว้ใน incubator ที่ 20 องศาเซลเซียส มาหาค่าออกซิเจนละลาย (DO_5) ที่เหลืออยู่

2.7.1.2.5 สารเคมี

1.) สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (Manganese Sulfate Solution)

2.) อัลคาไลด์-ไอโอไดด์-เอไซด์ รีเอเจนต์ (Alkali - iodide - Azide - Reagent)

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม และโซเดียมไอโอไดด์ (NaI) 135 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 ลิตร หลังจากนั้นเติมโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ซึ่งจะต้องใช้น้ำกลั่น 40 มิลลิลิตรเสียก่อน ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น

3.) กรดซัลฟูริกเข้มข้น

4.) น้ำแป้ง (Starch - Solution)

ละลายแป้ง (Soluble - Starch) 5 กรัมในน้ำต้มประมาณ 800 มิลลิลิตร ทำให้เจือจางเป็น 1,000 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดต่อไปอีก 2 - 3 นาที ตั้งค้ำคืนไว้ แล้วรินส่วนที่ใสมาใช้ เติมกรดซาลิไซลิก (Salicylic acid) 1.25 กรัม หรือโทลูอีน (Toluene) 2 - 3 หยด เพื่อให้เก็บได้นานและป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เพื่อให้แป้งเก็บไว้ใช้ได้นานเก็บไว้ในตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส

5.) สารละลายสต็อกโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.10 นอร์มัล

ละลาย 24.32 กรัม $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ และ 0.2 กรัม Na_2CO_3 anhydrous ในน้ำกลั่นที่ต้มให้เย็น แล้วเติม 5 มิลลิลิตร คลอโรฟอร์มหรือ 1 กรัม โซเดียม

ไฮดรอกไซด์เพื่อการเก็บรักษาให้ใช้ได้ยาวนาน เจือจางให้เป็น 1 ลิตร

6.) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโอซิลเฟต 0.0250 นอร์มัล เตรียมโดยใช้ 250.00 มิลลิลิตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮโอซิลเฟต 0.10 นอร์มัล เติมน้ำกลั่นที่ต้มให้เย็นแล้วจนครบ 1 ลิตร (ให้เติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตรก่อนปรับปริมาตร)

7.) สารละลายมาตรฐานโพตัสเซียมไอโอเดต 0.0250 นอร์มัล ซึ่งโพตัสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 0.229 กรัม (อบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ละลายน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร

8.) Standardization ของ 0.0250 นอร์มัล โพแทสเซียมไฮโอซิลเฟต

ปิเปต 0.0250 นอร์มัล โพตัสเซียมไอโอเดต 25 มิลลิลิตร ใส่จวดยุทกรวย ขนาด 300 มิลลิลิตรเติม 2 กรัมโพตัสเซียมไอโอไดด์ และ 5 มิลลิลิตรของกรดซัลฟูริก : (1:5) ปิดขวดและเขย่าทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร

ไทเทรตไอโอดีน ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโอซิลเฟต 0.025 นอร์มัล เมื่อสีเหลืองของสารละลายมีสีซีดเติมน้ำเบ้ง 3 มิลลิลิตร และไทเทรตต่อจนได้สีน้ำตาล

การคำนวณ

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

เมื่อ N_1 คือ นอร์มัลของสารละลายโพแทสเซียมไฮโอซิลเฟต

N_2 คือ นอร์มัลของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโอซิลเฟตไอโอเดต

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮโอซิลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโอซิลเฟตไอโอเดต

9.) น้ำกลั่นบริสุทธิ์ คุณภาพสูง ปราศจากคลอรีน คลอรามีน อัลคาไลน์ กรด และสารอินทรีย์มีทองแดงไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร

10.) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 6

ละลาย KH_2PO_4 8.5 กรัม K_2HPO_4 21.75 กรัม $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 33.4 กรัม และ NH_4Cl 1.7 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ควรมีค่า pH 7.2

11.) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

ละลาย $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

12.) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์

ละลาย $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 36.42 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

13.) สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์

ละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.25 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

14.) สารละลายโซเดียมซิลิเฟต 0.025 แอร์มีล

ละลาย Na_2SiO_3 ที่อบแห้ง 1.575 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร สารละลายไม่คงที่ ละลายตัวได้ง่ายจึงควรเตรียมเฉพาะเวลาที่ต้องการใช้เท่านั้น

15.) สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 1 แอร์มีล

16.) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 แอร์มีล

ภาคผนวก ค.

1. การวัดความเข้มสีของน้ำเชื่อมกลูโคสหรือฟรักโทส

ดัดแปลงจากมอก. 56-2512 และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1011 พ.ศ. 2539 (ข้อ 7.11)

วิธีวัด

- 1.1 นำน้ำเชื่อมกรองผ่านกระดาษกรองวัดแมน เบอร์ 42 โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ
- 1.2 ปรับพีเอชของน้ำเชื่อมให้ได้พีเอช 7.0 ด้วย 0.1 โมลาร์ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ 0.1 โมลาร์ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก
- 1.3 นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้สเปกโตรมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวเทียบ

การคำนวณ

$$\text{ความเข้มสีของน้ำเชื่อม} = \text{ICUMSA}^* \text{ color index} = \frac{As}{bc}$$

— x 1000

เมื่อ As = ค่าการดูดกลืนแสง ที่ 420 นาโนเมตร

b = ความยาวของเซลล์ที่ใช้ (เซนติเมตร)

c = ความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

(มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

* ICUMSA = International Commission for Uniform
Methods of Sugar Analysis

2. การตรวจคุณสมบัติของน้ำเชื่อมฟรักโทส

2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มอก. 268-2521)

2.1.1 วิธีวิเคราะห์ ซึ่งก็เซลล์แก้ว 30 กรัมใส่ในถ้วย นำถ้วยพร้อมฝาปิดและแท่งแก้วสำหรับคน ใส่ในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 100 +/- 1 องศาเซลเซียส ความดันไม่เกิน 25 มิลลิเมตรของปรอท เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้ปิดเครื่องสูบล้างสูญญากาศแล้วค่อย ๆ ปล่อยอากาศแห้งจากเครื่องทำให้อากาศแห้งเข้าในตู้อบสูญญากาศ จนกระทั่งถึงระดับความดันบรรยากาศ ก่อนที่จะนำถ้วยออกจากตู้อบสูญญากาศให้วางแท่งแก้วสำหรับคนไว้ในถ้วยและปิดฝาด้วย นำไปใส่ในเคสซีเลเตอร์ กึ่งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงให้ทราบน้ำหนักแน่นอน (m_1) ซึ่งตัวอย่างประมาณ 8 ถึง 10 กรัม ให้ทราบน้ำหนักแน่นอน โดยให้ละเอียดถึง 0.001 กรัม (m_0) ในปิเกตเตอร์ที่แห้ง เติมน้ำอุ่น 10 ลูกบาศก์เมตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน แล้วถ่ายตัวอย่างทั้งหมดลงในถ้วยที่บรรจุที่เซลล์แก้ว โดยวิธีนี้ภาชนะที่ภาชนะ 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ล้าง 3 ครั้ง จนจนกระทั่งตัวอย่างและที่เซลล์แก้วเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วควมบรรจุตัวอย่าง ฝาปิดและแท่งแก้วอบในตู้อบสูญญากาศเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 +/- 1 องศาเซลเซียส ความดันไม่เกิน 25 มิลลิเมตรของปรอท ในระหว่างนี้ค่อย ๆ ปล่อยอากาศผ่านเครื่องทำให้อากาศแห้งเข้าในตู้อบสูญญากาศ

หลังจากอบครบ 5 ชั่วโมง แล้วให้ปิดเครื่องสูบล้างสูญญากาศและปล่อยให้ให้อากาศแห้ง เครื่องทำให้อากาศแห้ง เข้าในตู้อบสูญญากาศจนกระทั่งถึงระดับความดันบรรยากาศ นำถ้วยออกจากตู้อบสูญญากาศให้เย็นแล้วด้วยที่เซลล์แก้วแล้วอบเช่นเดียวกับครั้งแรกเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ก่อนนำจานออกจากตู้อบสูญญากาศให้ปิดฝาก่อน นำไปใส่ในเคสซีเลเตอร์ กึ่งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำน้ำหนัก นำไปอบในตู้อบสูญญากาศอีกครั้งเป็นเวลา 5 ชั่วโมง กึ่งให้เย็นในเคสซีเลเตอร์ แล้วจึงนำน้ำหนัก แล้วคำนวณกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ (m_2)

2.1.2 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด} = \frac{(m_2 - m_1) \times 100}{m_0}$$

ร้อยละของน้ำหนัก

m_0

เมื่อ m_0 คือ น้ำหนักตัวอย่าง เป็นกรัม

- ๓₁ คือ น้ำหนักถ้วย ฝาปิด แท่งแก้วสำหรับคนและกึ่งเซลล์แก้ว เป็นกรัม
- ๓₂ คือ น้ำหนักถ้วย ฝาปิด แท่งแก้วสำหรับคนและกึ่งเซลล์แก้ว และตัวอย่าง หลังจากทำให้แห้งแล้ว เป็นกรัม

2.2 สมมูลเดกซ์โทรสตามวิธีการของเลนและอีย์นอน (Lane and Eynon's volumetric method)

2.2.1 สารละลายที่ใช้และวิธีเตรียม

สารละลายเฟห์ลิง (Fehling's solution)

(1) สารละลาย ก. ละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 34.64 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 500 ลูกบาศก์ เซนติเมตร

(2) สารละลาย ข. ละลายโพตัสเซียมโซเดียมทาร์เตรตเตตระไฮเดรต ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 173 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 50 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 500 ลูกบาศก์ เซนติเมตร

ผสมสารละลาย ก. และ ข. เข้าด้วยกัน ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้องแล้วกรอง ๐.๑ กรัมของเมทิลีนบลูอินดิเคเตอร์ (methylene blue indicator) ละลายเฟห์ลิงโซลูชัน ๑ กรัม ในน้ำกลั่น 100 ลูกบาศก์ เซนติเมตร

2.2.2 การหาค่ามาตรฐานของสารละลายเฟห์ลิง (Standardization of Fehling's solution) เมื่อเตรียมสารละลายเฟห์ลิงแล้วให้นำมาหาค่ามาตรฐานโดยการติเตรตกับสารละลายมาตรฐานน้ำตาลเดกซ์โทรส ดังนี้

โอนเดกซ์โทรสบริสุทธิ์จำนวนหนึ่งให้แห้ง ในตู้อบสูญอากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเดกซ์โทรสนี้มา 5.00 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วถ่ายใส่ขวดตวงมาตรฐานขนาด 500 ลูกบาศก์ เซนติเมตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตรเขย่าให้เข้ากัน ใช้ปิเปตตูดสารละลายเฟห์ลิง 25.0 ลูกบาศก์ เซนติเมตร ใส่ในขวดแก้วชนิดทนความร้อน ต้มให้เดือดแล้วติเตรตกับสารละลายมาตรฐานน้ำตาลเดกซ์โทรสตามวิธีในข้อ 2.2.4 วัดปริมาตรสารละลายมาตรฐานน้ำตาลเดกซ์โทรสที่ใช้ในข้อ 2.2.2.2 (A)

2.2.3 วิธีเตรียมตัวอย่าง ให้ใช้ตัวอย่างในปริมาณที่นำมาละลายน้ำแล้วจะได้สารละลายที่มีปริมาณน้ำตาลบริสุทธิ์ซึ่งประมาณร้อยละ 1 ซึ่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักอย่างแน่นอน (m_0)

ถ่ายใส่ขวดตวงมาตรฐานขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้น้ำร้อนเป็นตัวทำลาย ทั้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

2.2.4 วิธีวิเคราะห์

2.2.4.1 วิธีวิเคราะห์แบบอินครีเมนตัล (incremental method of titration) : การวิเคราะห์แบบนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อต้องการทราบว่าควรใช้สารละลายตัวอย่างกลูโคสซีรีปประมาณกี่ลูกบาศก์เซนติเมตรในการติเตรตกับสารละลายเฟห์ลิง เพื่อจะได้ใช้เป็นแนวทางสำหรับหาปริมาตรที่แน่นอนของสารละลายตัวอย่าง ที่จะใช้ในวิธีวิเคราะห์แบบมาตรฐานต่อไป

ใช้ปิเปตดูดสารละลายเฟห์ลิง 25.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในขวดแก้วก้นแบนชนิดทนความร้อนขนาด 200 ถึง 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร บรรจุสารละลายตัวอย่างในบูเรตชนิดที่มีก้านยาวยื่นต่อออกมาเพื่อความสะดวกในการติเตรต ใช้สารละลายตัวอย่างประมาณ 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากบูเรตลงในขวดแก้วก้นแบนชนิดทนความร้อนซึ่งมีสารละลายเฟห์ลิงอยู่ เขย่าให้เข้ากันและต้มให้เดือดโดยให้ตะเกียงบนเส้น เมื่อเดือดได้ 10 ถึง 15 วินาทีแล้ว หากสารละลายเฟห์ลิงยังคงมีสีน้ำเงินอยู่ให้ใช้สารละลายตัวอย่างไปอีกครึ่งละ 5 ถึง 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำและปล่อยให้เดือดต่อ 2 ถึง 3 วินาที ถ้าสารละลายเฟห์ลิงยังคงมีสีน้ำเงินอยู่ก็ให้ทำเช่นนี้เรื่อย ๆ ไปจนกระทั่งสีน้ำเงินของสารละลายตัวอย่างครึ่งละ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือให้น้ำเงินหมดทั้งสีน้ำเงินของเมทิลินบลูหายไป ในระหว่างติเตรตจะต้องให้สารในขวดแก้วเดือด และควรเขย่าให้เข้ากันตลอดเวลา จดจำนวนลูกบาศก์เซนติเมตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ไป

2.2.4.2 วิธีวิเคราะห์แบบมาตรฐาน (standard method of titration) : วิธีนี้เกี่ยวข้องกับวิธีวิเคราะห์แบบอินครีเมนตัล แต่เนื่องจากทราบจำนวนลูกบาศก์เซนติเมตรของสารละลายตัวอย่างที่จะวิเคราะห์อยู่แล้ว ในตอนแรกสารละลายตัวอย่างที่ใส่ลงไปในขวดแก้วจะต้องให้มีปริมาณน้อยกว่าจำนวนที่ทราบค่าแล้ว ตามวิธีวิเคราะห์แบบอินครีเมนตัลประมาณ 0.5 ถึง 1.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร และหลังจากต้มให้เดือด 2 นาที หยดแล้วจึงเติมสารละลายเมทิลินบลูลงไป 3 ถึง 4 หยด ติเตรตต่อไปโดยใช้สารละลายตัวอย่างครึ่งละ 2 ถึง 3 หยด จนกระทั่งสีน้ำเงินของเมทิลินบลูหายไป การเติมแต่ละครั้งให้ห่างกันประมาณ 10 วินาที การติเตรตนี้ต้องให้เสร็จภายใน 1 นาที นับตั้งแต่เติมสารละลายเมทิลินบลู ในระหว่างติเตรตจะต้องให้สารในขวดแก้วเดือดและควรเขย่าให้เข้ากันตลอดเวลา จดจำนวนลูกบาศก์เซนติเมตรของสารละลายตัวอย่าง (V)

2.2.5 การคำนวณ

2.2.5.1 ปริมาณน้ำตลิ่งรีดิคซ์ = $500 \times A$
(คิดเป็นเดกซ์โตรส) _____
 $V \times m_o$

เมื่อ A คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐานน้ำตาลเดกซ์โทรส ที่ใช้ในการตี
 เกรดตามข้อ 2.2.2.2 เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

V คือ ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามข้อ 2.2.2.2
เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

๓. คือ น้ำหนักตัวอย่าง เป็นกรัณ

2.2.5.2 ดัชนีเดกซ์โตรัส
 $= \frac{\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็นร้อยละ}}{\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็นร้อยละ}} \times 100$

ปริมาณของเงินทั้งหมด เป็นร้อยละ

2.3 เก็บข้อมูล

2.3.1 สารละลายที่ใส่และวิธีเตรียม กรดซัลฟูริก 1:3 เตรียมโดยคั่งย ๆ เทกรดซัลฟูริกเข้มข้น (ความถ่วงจำเพาะ 1.84 ความเข้มข้นร้อยละ 96) จำนวน 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในน้ำกลั่น ลงในน้ำกลั่น 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร และผสมให้เข้า

2.3.2 วิธีวิเคราะห์ที่ 2 ซึ่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ให้กราบน้ำหนักแน่นอน (m_0) ในถ้วยที่ได้เผาที่อุณหภูมิ 525 $\pm$ 25 องศาเซลเซียส และชั่งกราบน้ำหนักแน่นอน (m_1) เติมกรดซัลฟริก 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไป นำไปเผาด้วยไฟอ่อน ๆ จนหมดควัน แล้วนำมาเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 525 $\pm$ 25 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2 ถึง 3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เข้าสีขาวหรือสีเทา นำออกมาใส่ในเคสซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่ง เปรียบตัวอย่างที่น้ำหนักครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่น้อยที่สุดถือเป็นน้ำหนักของถ้วยและได้ (m_2)

2.3.3 วิเคราะห์ผล

$$\text{เปอร์เซ็นต์เฟต} = \frac{100 (m_2 - m_1) \times 100}{m_2} \quad M$$

- เมื่อ m_0 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผาไหม้ เป็นกรัม
 m_1 คือ น้ำหนักถ้วยเปล่า เป็นกรัม
 m_2 คือ น้ำหนักถ้วยและเถ้าทั้งหมด เป็นกรัม
 M คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด เป็นร้อยละ

2.4 ความเป็นกรด-ด่าง

2.4.1 วิธีเตรียมตัวอย่าง ละลายตัวอย่างจำนวน 100 +/- 2 กรัม ในน้ำกลั่นที่ร้อนและเพิ่งต้มเดือดใหม่ ๆ จำนวน 100 +/- 2 กรัม เช่นเดียวกัน ผสมให้เข้ากันโดยทั่ว ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

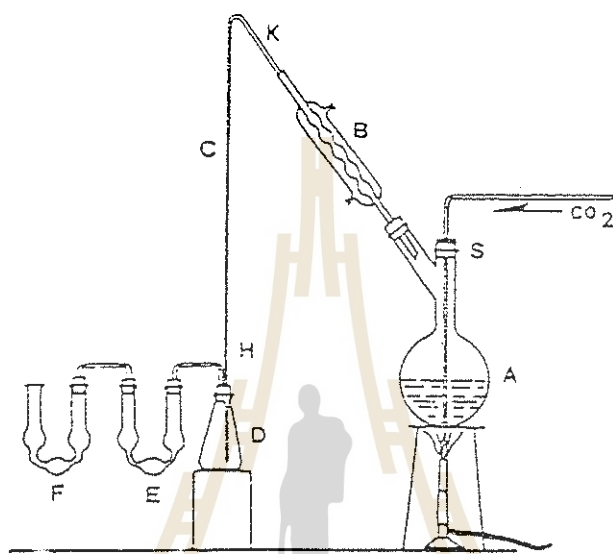
2.4.2 วิธีวิเคราะห์

2.4.2.1 การตรวจสอบเครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง ให้ตรวจสอบโดยใช้สารละลายมาตรฐานบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 4 และ 7

2.4.2.2 วิธีวัด ให้วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดความเป็นกรด-ด่าง ที่อุณหภูมิห้อง

2.5 ซีลเฟอร์ไดออกไซด์ (มอก.268-2521)

2.5.1 เครื่องมือ ใช้เครื่องมือพิเศษของโมนีเยร์-วิลเลียมส์ (Monier - Williams) ดังรูปผนวกที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยขวดแก้วกันลมขนาด 1,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร (A) ที่มีคอขวด 2 กอ กอหนึ่งต่อกับรีฟลักซ์คอนเดนเซอร์ (B) ปลายบนของคอนเดนเซอร์นี้ต่ออยู่กับหลอดแก้วยาวซึ่งตั้งอยู่ในแนวตั้ง (C) และ ต่อไปยังขวดแก้วรูปกรวยขนาด 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร (D) โดยที่ปลายของหลอดแก้วรีฟลักซ์ใช้ยาวเกือบถึงก้นขวดแก้วรูปกรวย จากขวดแก้วรูปกรวยมีหลอดแก้วต่อไปยังหลอดแก้วฟิลิโอด (Pellet) 2 หลอด (E และ F) ทุก ๆ จุดที่มีการต่อเชื่อมเครื่องมือต้องปิดอย่างสนิทโดยใช้จุกยางหรือสิ่งอื่นที่เหมาะสม



รูปแนกที่ 1 เครื่องมือทดสอบหาซิลเฟอร์ไดออกไซด์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.5.2 สารเคมี สารละลายที่ใช้และวิธีเตรียม

2.5.2.1 กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้นบริสุทธิ์ที่ปราศจากคลอรีน

2.5.2.2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ที่ปราศจากคลอรีน

2.5.2.3 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ที่ปราศจากกรด

ซัลฟูริก

เตรียมโดยเติมน้ำกลั่นลงในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เป็นกลางความเข้มข้นร้อยละ 30 จำนวน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร จนได้ปริมาตรเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.5.2.4 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2.5.2.5 สารละลายโบรมีนฟีนอล บลู อินดิเคเตอร์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ในน้ำกลั่น

2.5.3 การเตรียมตัวอย่าง ใช้ตัวอย่างอย่างน้อย 100 กรัม (m_0)

2.5.4 วิธีวิเคราะห์ แก๊สไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในขวดแก้วรูปกรวย (D) และหลอดแก้วพีลิกอตหลอดแรก (E) อย่างละ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลอดแก้วพีลิกอต หลอดที่สอง (F) บรรจุของผสมระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารละลายบารีอุมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งทำให้มีฤทธิ์เป็นกรดโดยเติมกรดไฮโดรคลอริก 2 ถึง 3 หยดลงไป วัดทั้งเครื่องมือนั่งในรูปผนวกที่ 1 เติมน้ำกลั่น 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในขวดแก้วก้นกลม (A) ขยำด้วยกรดไฮโดรคลอริก 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต้มสารละลายให้เดือดในขณะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไหลผ่านตลอดเวลาขณะที่ไม่มีอากาศเหลืออยู่ในขวดแก้ว หลังจากนั้นก๊อชวอดแก้วให้เย็นลงโดยจุ่มลงในภาชนะบรรจุน้ำ ในขณะที่ยังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไหลผ่านอยู่ เป็ดจุ (S) เติมน้ำอย่างลงในขวดแก้วอย่างรวดเร็วจนปิดจุ ต้มสารละลายให้เดือดนาน 1 ชั่วโมง โดยยังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไหลผ่านขวดแก้วอย่างช้า ๆ หลังจากนั้นปิดน้ำที่หล่อคอนเดนเซอร์ ซึ่งจะทำให้คอนเดนเซอร์และหลอดแก้วรับก๊าซร้อนขึ้น ก๊าซซิลิเฟอร์ไดออกไซด์ที่ยังค้างอยู่ในหลอดแก้วจะไหลลงสู่ขวดแก้วรูปกรวย (D) ที่จุ่มอยู่ในภาชนะบรรจุเย็น เมื่อปลายหลอดแก้วรับก๊าซด้านที่ต่ออยู่กับขวดแก้วรูปกรวยที่จุด H ร้อนขึ้น ให้ถอดหลอดแก้วรับก๊าซที่จุด K ออก ล้างหลอดแก้วรับก๊าซและหลอดแก้วพีลิกอตหลอดแรกด้วยน้ำกลั่นจำนวนเล็กน้อยลงในขวดแก้วรูปกรวย (D) ตีเตรตของเหลวที่ได้ทั้งหมดประมาณ 40 ถึง 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีโบรมีนฟีนอลบลูเป็นอินดิเคเตอร์ จดปริมาตรโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (V) (ควรใช้ไมโครบูเรต)

2.5.5 วิธีคำนวณ

$$\text{ซีลเฟอร์ไดออกไซด์ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม} = \frac{V \times 3,200}{m_o}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น
0.1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร
 m_o คือ น้ำหนักตัวอย่าง เป็นกรัม

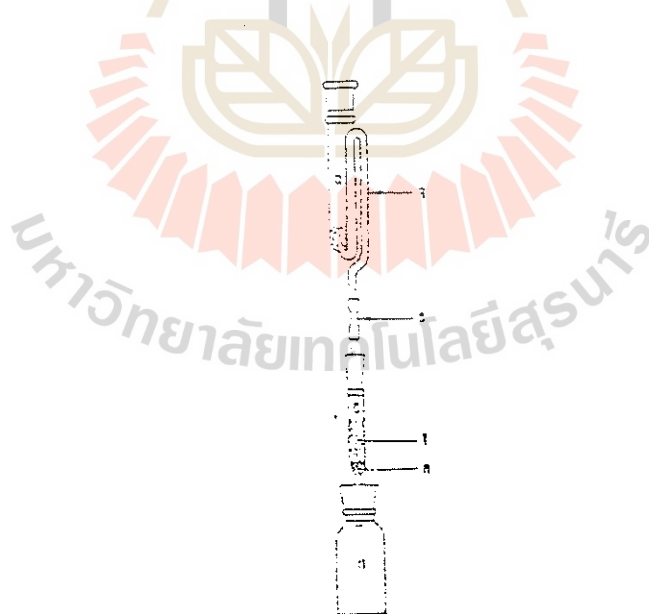
หมายเหตุ สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร จำนวน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 3.2 มิลลิกรัม ซีลเฟอร์ไดออกไซด์

2.6 อาร์เซนิก (พอก.268-2521)

2.6.1 เครื่องมือ

2.6.1.1 ภาชนะเครื่องมือดังแสดงในรูปของภาพที่ 3 คือ เครื่องมือที่ใช้

กันไว้



รูปที่ 3 เครื่องมือทดสอบหาอาร์เซนิก

- ก. คือ ขวดปากกว้างมีความจุประมาณ 60 ถึง 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ข. คือ หลอดแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 มิลลิเมตร และยาวประมาณ 60 ถึง 70 มิลลิเมตร ตอนปลายของหลอดแก้วมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 มิลลิเมตร
- ค. คือ ใยแก้ว (glass wool) และมีลูกแก้วกับอยู่
- ง. คือ กราฟอะอาดหนักประมาณ 3.5 ถึง 4 กรัม ทำให้ชุ่มโดยให้สารละลายเลอะฉีแตก
- จ. คือ หลอดแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกประมาณ 7 มิลลิเมตร และด้านในประมาณ 2 มิลลิเมตร
- ฉ. คือ หลอดแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 17 มิลลิเมตร สูงประมาณ 110 มิลลิเมตร บรรจุสารละลายไดโครมิกอาร์มาเมต และมีลูกแก้วอยู่ตอนล่าง
- ช. คือ ผาขาว

2.6.2 สารเคมี สารละลายและวิธีเตรียม

2.6.2.1 สารละลายมาตรฐานอาร์เซนิก (arsenic standard solution) ละลายอาร์เซนิกออกไซด์ (arsenic oxide) 1.32 กรัม ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 20 สองน้ำหนักต่อปริมาตรจำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร ใช้ปิเปตดูดสารละลายนี้มา 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร ใช้ปิเปตดูดสารละลายที่เตรียมไว้มา 100 ลูกบาศก์เดซิเมตร สารละลายที่เตรียมได้ครั้งสุดท้ายนี้ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีอาร์เซนิก 1 ไมโครกรัม

2.6.2.2 สารละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide solution) ละลายโพตัสเซียมไอโอไดด์ 15 กรัม ในน้ำกลั่นและเติมน้ำกลั่นจนครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เก็บสารละลายนี้ไว้ในที่มืด ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองให้เตรียมใหม่

2.6.2.3 สารละลายสแตนนัสคลอไรด์ (stannous chloride solution) ละลายสแตนนัสคลอไรด์ ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 40 กรัม ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น และเติมกรดนี้จนครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.6.2.4 โลหะสังกะสี (zinc metal) ใช้โลหะสังกะสีบริสุทธิ์ที่ไม่มีอาร์เซนิกและให้มีขนาดประมาณ 30 เมช (mesh)

2.6.2.5 สารละลายซิลเวอร์ไอโอไดด์ไดโครมิกอาร์มาเมต (silver die-

thyl dithiocarbamate) ละลายซิลเวอร์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต 0.5 กรัม ในพีรีดีน (pyridine) และเติมพีรีดีนจนครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีน้ำตาล

2.6.2.6 สารละลายอัมโมเนียมออกซาเลต (ammonium oxalate solution) ละลายอัมโมเนียมออกซาเลตโมโนไฮเดรต $[(\text{NH}_4)_2 \text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ ในน้ำกลั่น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จนอิ่มตัว ซึ่งจะใช้อัมโมเนียมออกซาเลตโมโนไฮเดรตประมาณ 15 กรัม

2.6.2.7 สารละลายเลดอะซิเตต (lead acetate solution) ละลายเลดอะซิเตตไตรไฮเดรต $[\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ 10 กรัมในน้ำกลั่นและเติมน้ำกลั่นจนครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.6.2.8 ทราช ทราชที่ใช้ต้องสะอาดซึ่งทำได้โดยบรรจุทราชประมาณ 3.5 ถึง 4 กรัม ลงในหลอดแก้ว ข ถอดหลอดแก้ว ข ออกจากเครื่องมือแล้วไปต่อเข้ากับขวดดูด (suction flask) เติมกรดกัดทอง (aqua regia) แล้วปิดเครื่องกรองดูดเอากรดกัดทองออกมาและล้างกรดนี้ให้หมดโดยใช้ น้ำกลั่น เติมสารละลายเลดอะซิเตตลงไปในทราชส้ม หากส้มมากเกินไปได้ใช้เครื่องกรองดูดสารละลายเลดอะซิเตตออก

2.6.3 วิธีเตรียมตัวอย่าง ห้างตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ทำให้กรามให้หนักแน่นอน 10.0 กรัม ใส่ลงในขวดเคดาห์ล (Kjeldahl flask) เติมน้ำกลั่น 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อละลายตัวอย่างให้หมด เติมกรดไนตริกเข้มข้น 25 ถึง 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมกรดซัลฟุริกเข้มข้น 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่อย ๆ เพิ่มความร้อนให้แก่สารละลายในขวดเคดาห์ล ถ้าสารละลายในขวดเคดาห์ลยังมีสีน้ำตาลหรือสีดำ ให้หยดกรดไนตริกเข้มข้นลงไปทีละน้อย แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 75 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายอัมโมเนียมออกซาเลตลงไป 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ความร้อนต่อไปจนกระทั่งมีควันขาวเกิดขึ้น ทั้งวิธีให้เขียนด้วยสารละลายที่ได้ลงในขวดแก้วปริมาตรให้หมดล้างด้วยน้ำกลั่นและเติมน้ำจนครบ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.6.4 วิธีวิเคราะห์ ใช้ปิเปตดูดสารละลายที่เตรียมได้ 40 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในขวด ก เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายโบรโมไซม ไอโอไดด์ 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร และสารละลายสแตนด์สตอไรด์ 8 หยด ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที ที่หลอดแก้ว จ มีสารละลายซิลเวอร์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต บรรจุอยู่ 4 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสังกะสีไป 4 กรัม แล้วต่อเครื่องมือเข้าด้วยกันดังรูปผนวกที่ 1 ตั้งเครื่องมือไว้ 30 นาที ถอดสายยาง ข ออกจากเครื่องมือ เอียงหลอดแก้ว จ ไปมาประมาณ 5 ครั้ง เพื่อให้สารละลายในหลอดผสมเข้ากันดี ถ่ายสารละลายในหลอดแก้ว จ ลงในแอมบอร์ปขึ้นเซลล์ขนาดยาว 10 มิลลิเมตร

(10 millimeter absorption cell) แล้ววัดความเข้มของสีโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ยาวคลื่น 522 นาโนเมตร

2.6.5 วิธีเปรียบเทียบสี เตรียมสารละลายอ้างอิงโดยวิธีการตามข้อ 2.6.3 และ 2.6.4 โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ลงไปในช่วงเซลล์ แต่ให้เติมสารละลายมาตรฐานอาร์เซนิกลงไปในช่วง ก จำนวน 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีปริมาณอาร์เซนิก 2 ไมโครกรัม ความเข้มของสี ที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างที่วิเคราะห์ต้องไม่มากกว่าความเข้มของสีที่เกิดจากสารละลายอ้างอิง

2.7 กองแดง

2.7.1 สารละลายและวิธีเตรียม

2.7.1.1 สารละลายอัมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น

2.7.1.2 คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) ให้กลิ่นกลอนานาใช้

2.7.1.3 สารละลายซีเตรต อีดีทีเอ (citrate EDTA) ละลายอัมโมเนียมซีเตรต 200 กรัม และ อีดีทีเอ (disodium salt of ethylenediaminetetra acetic acid) 50 กรัม ในน้ำกลั่นจนครบ 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร

2.7.1.4 สารละลายมาตรฐานทองแดง (standard copper solution)

ละลาย 0.2015 กรัม ละลายอัมโมเนียมไฮดรอกไซด์คอปเปอร์ซัลเฟต (anhydrous copper sulphate) 0.2015 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร

สารละลาย ข ให้บีบเปิดดูดสารละลาย ก 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในขวดแก้วปริมาตรขนาด 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร สารละลายนี้ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีปริมาณทองแดง 2 ไมโครกรัม ในเวลาปฏิบัติการเตรียมสารละลายนี้ใหม่ทุกครั้ง

2.7.1.5 สารละลายครีซอลเรด ลินดีเคเตอร์ (cresol red indicator) ละลายครีซอลเรด 50 มิลลิกรัม ในเอทิลแอลกอฮอล์ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 1.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.7.1.6 สารละลายคาร์บาเมต (carbamate reagent) ละลายโพ-

เติมไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (sodium diethyldithiocarbamate) 0.2 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าสารละลายนี้ไม่ใสก็ให้กรอง ในเวลาปฏิบัติการควรเตรียมสารละลายนี้ใหม่ทุกครั้ง

2.7.2 วิธีวิเคราะห์ ซึ่งตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 200 กรัม ใส่ลงในกรวยแยกขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีน้ำกลั่นอยู่ในกรวยแยกนี้ประมาณ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร เทอย่างช้าๆ ละลายหมด เติมสารละลายซีเตรต อีสทิเอ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายครีซอลเรด 2 หยด เทเข้าให้เข้ากัน ค่อย ๆ หยดสารละลายอัมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งสีของสารละลายในกรวยแยกเป็นสีม่วง เติมสารละลายอัมโมเนียมไฮดรอกไซด์นี้อีก 2 หยด เติมสารละลายคาร์บาเมต 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร เทเข้าให้เข้ากัน ใช้ปิเปตดูดคาร์บอนเตตระคลอไรด์ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในกรวยแยก เทอย่างช้าๆ ประมาณ 2 นาที โขของเหลวที่ไหลผ่านสาล้างไปเป็นหลอดแก้ว สำหรับเทียบสี

2.7.3 วิธีเปรียบเทียบสี ใช้ปิเปตดูดสารละลาย ๗ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในกรวยแยกแทนตัวอย่าง เติมน้ำกลั่นประมาณ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วดำเนินการต่อไปตามวิธีวิเคราะห์ข้อ 2 ความเข้มของสีที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างที่วิเคราะห์ต้องไม่มากกว่าความเข้มของสีที่เกิดจากใช้สารละลายมาตรฐานทองแดง

2.8 ตะกั่ว

2.8.1 สารละลายและวิธีเตรียม

2.8.1.1 กรดซัลฟูริกเข้มข้นที่มีตะกั่วไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัม ต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2.8.1.2 กรดไนตริกเข้มข้นที่มีตะกั่วไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัม ต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2.8.1.3 สารละลายกรดไนตริกเจือจาง เติมกรดไนตริกเข้มข้น 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในน้ำกลั่นที่ไม่มีตะกั่ว แล้วเติมน้ำกลั่นนี้จนครบ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.8.1.4 กรดเปอร์คลอริกที่มีเนื้อกรดร้อยละ 60 ของน้ำหนักและมีตะกั่วไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2.8.1.5 สารละลายอัมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความถ่วงจำเพาะ 0.880

2.8.1.6 สารละลายไดไทโซน (dithizone) ในคลอโรฟอร์ม (chlo roform) ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักต่อปริมาตร ละลายไดไทโซน 1 กรัม ในคลอโรฟอร์มและเติมคลอโรฟอร์มจนครบ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.8.1.7 สารละลายไดไทโซนในคลอโรฟอร์ม ร้อยละ 0.002 ของน้ำหนักต่อปริมาตร ละลายไดไทโซน 20 มิลลิกรัมในคลอโรฟอร์ม และเติมคลอโรฟอร์มจนครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.8.1.8 สารละลายแอมโมเนียมซิเตรต (ammonium citrate) ละลายแอมโมเนียมซิเตรต 62.5 กรัม ในน้ำกลั่นที่ไม่มีตะกั่ว จำนวน 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ่ายสารละลายนี้ลงในกรวยแยก (separating funnel) เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมสารละลายไดไทโซนในปริมาณพอสมควรลงไป เติมน้ำกลั่นให้ทั้งหมดเข้าด้วยกัน ไขว่ส่วนของสารละลายไดไทโซนออกทิ้งเสีย เติมน้ำกลั่นลงไปใหม่และเขย่าอีก ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งสารละลายไดไทโซนที่แยกตัวออกหลังจากเขย่าแล้วมีสีเขียว ในสารละลายไดไทโซนออกทิ้งเสีย และล้างสารละลายแอมโมเนียมซิเตรตที่เหลืออยู่ด้วยคลอโรฟอร์ม จนกระทั่งสารละลายแอมโมเนียมซิเตรตไม่มีสี

2.8.1.9 สารละลายโพตัสเชียมไซยาไนด์ (potassium cyanide) ละลายโพตัสเชียมไซยาไนด์ 10 กรัม ในน้ำกลั่นที่ไม่มีตะกั่ว แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตั้งสารละลายนี้ไว้กลางแจ้ง 2 วัน ก่อนที่จะนำไปใช้

2.8.1.10 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (standard lead solution) ละลายโพตัสเชียมอะซิเตต 0.1 กรัม ในสารละลาย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายเลดไนเตรต (lead nitrate) 0.160 กรัมในกรดไนตริก 1.0 มิลลิลิตรลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมกรดไนตริกน้ำจนครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร กรดไนตริก 1.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำกลั่นจนครบ 15.6 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในน้ำกลั่นที่ไม่มีตะกั่ว แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.8.1.11 สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีปริมาณตะกั่ว 0.001 กรัม ในสารละลาย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายสารละลายมาตรฐานตะกั่ว (ข้อ 2.8.1.10) 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในน้ำกลั่นที่ไม่มีตะกั่ว แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.8.1.12 สารละลายโบรโมไทมอลบลู (bromothymol blue) ละลายโบรโมไทมอลบลู 0.04 กรัม ในอัลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 ของน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วเติมอัลกอฮอล์จนครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.8.1.13 สารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ (hydroxylamine

hydrochloride) ละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ 20 กรัม ในน้ำกลั่นที่ไม่มีตะกั่วและเติม
น้ำกลั่นจนครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.8.1.14 สารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (sodium hexametaphosphate solution) (NaPO_3)₆ ละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 10 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิ้นให้หมดตัว แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.8.2 วิธีเตรียมสารละลายตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ให้ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม แล้วใส่ขวดแก้วชนิดทนไฟซึ่งมีความจุ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมน้ำกลั่นลงไป 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อละลายตัวอย่างให้หมด เติมนิโตรเจนไดออกไซด์เข้มข้น 3 ลูกบาศก์เซนติเมตร และกรดเปอร์คลอริก 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไป ค่อย ๆ ให้ความร้อนแก่สารละลายที่อยู่ในขวดแก้วทนไฟนี้ โดยวางขวดแก้วลงบนเตาไฟฟ้า เพื่อสารละลายในขวดกลายเปลี่ยนสีน้ำตาล เติมนิโตรเจนไดออกไซด์ลงไป 1 ถึง 2 หยด และให้ความร้อนแก่สารละลายต่อไป หากสารละลายในขวดยังมีสีน้ำตาลอยู่ก็หยดกรดไนตริกลงไปอีก ถ้าเช่นนี้เรื่อย ๆ จนกระทั่งสารละลายนั้นไม่มีสีและมีกลิ่นขาวเกิดขึ้น สารไดไนตริกก็จะใช้ทั้งหมดประมาณ 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.2.3 วิธีขึ้นเครื่อง เริ่มนำขี้เหล็กไปใส่ในสารละลายที่เจือปนไว้ซึ่งปริมาณที่ขึ้น
ประมาณ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร และตั้งสารละลายนี้จนเกิดประมาณครึ่งวินาที เมื่อละลายตะกอนที่
เกาะจะน้อยลง เติมสารละลายอีเอ็มในเนื้อขี้เหล็ก 6 ลูกบาศก์เซนติเมตร และสารละลายเฮอร์บาเมตาฟอส
เฟต 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปเรื่อยๆ ให้เข้ากัน ถ้าสารละลายนี้ไม่ใช้ให้ดื่มจนเจือจางอีก เติมน้ำ
กลั่นให้ได้ปริมาณทั้งสิ้น 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร หยดสารละลายไบโรมไทมอลบลู 2 ถึง 3 หยด และ
ใส่สารละลายอีเอ็มเนื้อไม้ตรอกใช้ได้จากบuret ลงไปในสารละลายนี้ จนกระทั่งสีของไบโรมไทมอลบลู
เป็นสีน้ำเงิน เติมสารละลาย อีเอ็มเนื้อไม้ตรอกใช้ได้จาก 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลาย
บีบีเอสเนื้อไม้ซอไนต์ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และสารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ 1 ลูกบาศก์
เซนติเมตร ถ่ายสารผสมที่ได้ทั้งหมดลงในกรวยแยก ใช้หัวกลั่นล้างแต่ให้ใช้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เติม
สารละลายไดโทโซนจากบuret ลงในกรวยแยกนี้ให้มีปริมาณมากพอที่จะสังเกตเห็นได้ในเมื่อเขย่ากรวย
แยกนี้ ส่วนของของเหลวชั้นล่างที่แยกตัวออกจะเปลี่ยนจากสีแดงอิฐเป็นสีม่วงหรือสีน้ำเงิน เขย่ากรวย
แยกประมาณ 20 วินาที หากสีของของเหลวชั้นล่างยังคงเป็นสีแดงอิฐให้เติมสารละลายไดโทโซนลงไป
อีกจนกระทั่งของของเหลวชั้นล่างเป็นสีม่วงหรือสีน้ำเงิน ถ่ายของเหลวชั้นล่างในกรวยแยกไปที่สอง หยด
คลอโรฟอร์มลงไปในกรวยแยกใบแรก 2 ถึง 3 หยด เมื่อของเหลวแยกชั้นแล้วให้คลอโรฟอร์มออกใส่ใน

กรวยแยกใบที่สอง เติมสารละลายไฮโดรไอโซน 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปในกรวยแยกใบแรก เขย่าให้เข้ากัน เมื่อของเหลวในกรวยแยกชั้นกันดีแล้ว โขยของเหลวชั้นล่างลงไปในกรวยแยกใบที่สองอีก เติมสารละลายกรดฟอสฟอริกเจือจาง 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในกรวยแยกใบที่สองและเขย่า จนกระทั่งของเหลวชั้นล่างกลั่นเป็นสีเขียว โขยของเหลวชั้นล่างออกทิ้งเสีย เติมสารละลายแอมโมเนียไฮเดรต 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายอินทรีย์ใหม่ไฮดรอนด์ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงไปในกรวยแยกใบที่สองนี้ เติมสารละลายไฮโดรไอโซนครึ่งละ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จนกระทั่งเมื่อหลังจากเขย่าแล้วให้มีไฮโดรไอโซนมากเกินไป ซึ่งจะสังเกตได้ที่ชั้นของคลอโรฟอร์มกลั่นเป็นสีม่วงแดง จดจำนวนไฮโดรไอโซนที่ใช้ของแต่ละตัวอย่างที่วิเคราะห์

2.8.4 วิธีเปรียบเทียบสี เตรียมสารละลายอ้างอิงและเติมไฮโดรไอโซนครั้งสุดท้าย แต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ลงไปด้วย ในกรณีวิเคราะห์ตัวอย่างหลายตัวอย่างและใช้ปริมาณของไฮโดรไอโซนต่างๆ กันให้ดูว่า ตัวอย่างใดใช้ไฮโดรไอโซนจำนวนน้อยที่สุด ค่าใดก็ตามที่ใช้ไฮโดรไอโซนจำนวนนี้ใส่ลงในสารละลายใหม่ที่เราเตรียมไว้ก่อนเติมไฮโดรไอโซนครั้งสุดท้าย เติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ละน้อยลงไปในกรวยแยกซึ่งมีสารละลายที่เราเก็บไว้ใหม่นี้อยู่ เขย่าจนกระทั่งสีในชั้นของคลอโรฟอร์มเท่ากับสีของชั้นคลอโรฟอร์มในตัวอย่างที่ใช้ไฮโดรไอโซนจำนวนน้อยที่สุดนั้น จดจำนวนของสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่ใช้ สำหรับตัวอย่างที่วิเคราะห์ห่ออย่างอื่น ๆ ก็ต้องใช้ไฮโดรไอโซนมากกว่านี้ก็จะเก็บสีได้โดยเติมไฮโดรไอโซนลงไป จนมีปริมาณเท่ากับปริมาณของไฮโดรไอโซนที่จะวิเคราะห์สำหรับตัวอย่างนั้น ๆ แล้วเติมสารละลายมาตรฐานตะกั่วลงไปอีกทีละน้อย เขย่าจนสีในชั้นของคลอโรฟอร์มเท่ากัน จดปริมาณของสารละลายมาตรฐานตะกั่วเอาไว้

2.8.5 วิธีคำนวณ

ปริมาณของตะกั่ว มิลลิกรัมต่อลิตรมี
$$= \frac{V \times 10}{m_0}$$

๓๐

เมื่อ V คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐานตะกั่วตามข้อ 2.8.1.11 ที่ใช้ไป เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

m_0 คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นกรัม