

รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

“การปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมาย รวมถึงแผน และ วิธีการ
ปฏิบัติงานที่จะทำให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ที่วาง
เป้าหมายไว้ จากการปฏิบัติงานสหกิจ”

“Operation that receive to assign, including plan and procedure
to achieve learning objective with expect from Co-operation”

น.ส. อรุณ ชาญจำเริญ

B3951507

น.ส. อธิชาวรรณ ราชธรรม

B3953112

น.ส. รุ่งตะวัน โกศลรัตน์

B3953761

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

14 ธันวาคม 2542

เรื่อง ขอบขออนุญาตการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ตามที่พวกข้าพเจ้า นางสาวสุทัย ซอคำเจียก,นางสาวธิดาวรรณ ชาตุรัมย์ และนางสาวรุ่งตะวัน ไทพลรัตน์ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้ไปปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ระหว่างวันที่ 31 สิงหาคม 2542 ถึงวันที่ 9 ธันวาคม 2542 ในตำแหน่งนักศึกษาฝึกงานพนักงานควบคุมคุณภาพและได้รับมอบหมายจาก Job supervisor ให้ทำรายงานการปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมาย รวมถึงแผนและวิธีการปฏิบัติงานที่จะทำใหบรรลุถึงวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ที่วางเป้าหมายไว้ จากการปฏิบัติงานสหกิจ (Operation that receive to assign, including plan and procedure to achieve learning objective with expect from Co-operation)

บัดนี้ การปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ได้สิ้นสุดลงแล้ว พวกข้าพเจ้า จึงขอส่งรายงานดังกล่าวพร้อมนี้ จำนวน 1 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

ศุภชัย ช่อคำเจียก

(นางสาวสุทัย ซอคำเจียก)

ศุภวรรณ ชาตุรัมย์

(นางสาวธิดาวรรณ ชาตุรัมย์)

รุ่งตะวัน ไทพลรัตน์

(นางสาวรุ่งตะวัน ไทพลรัตน์)

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgment)

การที่พวกข้าพเจ้าได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัทนครหลวงกลูโคส จำกัด ตั้งแต่วันที่ 31 สิงหาคม 2542 ถึงวันที่ 9 ธันวาคม 2542 ส่งผลให้พวกข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆที่มีความมากมาย สำหรับรายงานวิชาการสหกิจศึกษานี้ ข้าพเจ้าจึงได้ดัดแปลงจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่าย ดังนี้

1. คุณสุรพงษ์ สุขุมสุวรรณ ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ บริษัทนครหลวงกลูโคส จำกัด ที่เห็นความสำคัญของระบบการศึกษาแบบสหกิจศึกษา และได้ให้โอกาสที่มีคุณค่าต่อพวกข้าพเจ้า
2. คุณจิรพรพล ชนะชัยสุวรรณ ผู้จัดการส่วนควบคุมคุณภาพ บริษัทนครหลวงกลูโคส จำกัด ซึ่งเป็น Co - op Supervisor
3. คุณวาสิตา ตันพริ้งวงศ์ หัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพ บริษัทนครหลวงกลูโคส จำกัด และพนักงานควบคุมคุณภาพทุกคนที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงาน พวกข้าพเจ้าได้ขอความขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่มีส่วนสนับสนุนให้รายงานวิชาการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อภัย วัฒนาชัยก

(นางสาวอภัย ช่อจำเริญ)

ธิดารณ ชูวงศ์

(นางสาวธิดารณ ชาอูรัมย์)

รุ่งระวีห์ โกมลรัตน์

(นางสาวรุ่งระวีห์ โกมลรัตน์)

ผู้จัดทำรายงาน

ธันวาคม 2542

สารบัญเรื่อง

	หน้า
ชุดหนังสืออ้างอิง	1
กิตติกรรมประกาศ	๓
สารบัญ	๓
สารบัญย่อ	๓
สารบัญภาพ	๓
คำนำ	๓
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 องค์ประกอบของระบบงาน	2
บทที่ 3 ลักษณะงานที่ได้รับปฏิบัติ	4
• การศึกษา และการวางแผนปฏิบัติงานเพื่อจัดทำระบบควบคุมอัตโนมัติ	4
• การจัดทำเอกสาร WORK INSTRUCTION ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต	๕
• ศึกษา และตรวจสอบคุณภาพชิ้นภายในระบบ	11
- หม้อไอน้ำ	11
- น้ำ และการตรวจคุณภาพน้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ	12
- ปัญหาของหม้อไอน้ำ	22
• เทคนิคการควบคุมค่าพีชของระบบควบคุมอัตโนมัติ	27
- ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องวัด	29
- ส่วนประกอบหลักในระบบ HPLC	31
- การพิจารณาเลือกใช้ตัวทำละลาย	36
- การดูแลรักษาเครื่องมืออย่างเหมาะสม	38
- การใช้เครื่องวัด และการแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับระบบ HPLC	44
- วิธีแก้ไขปัญหาค่าพีชที่เกิดจากความผิดปกติ	46
- การแก้ไขปัญหาค่าพีชที่เกิดจากความผิดปกติ	5
บทที่ 4 สรุปผลการปฏิบัติงาน	50
เอกสารอ้างอิง	51

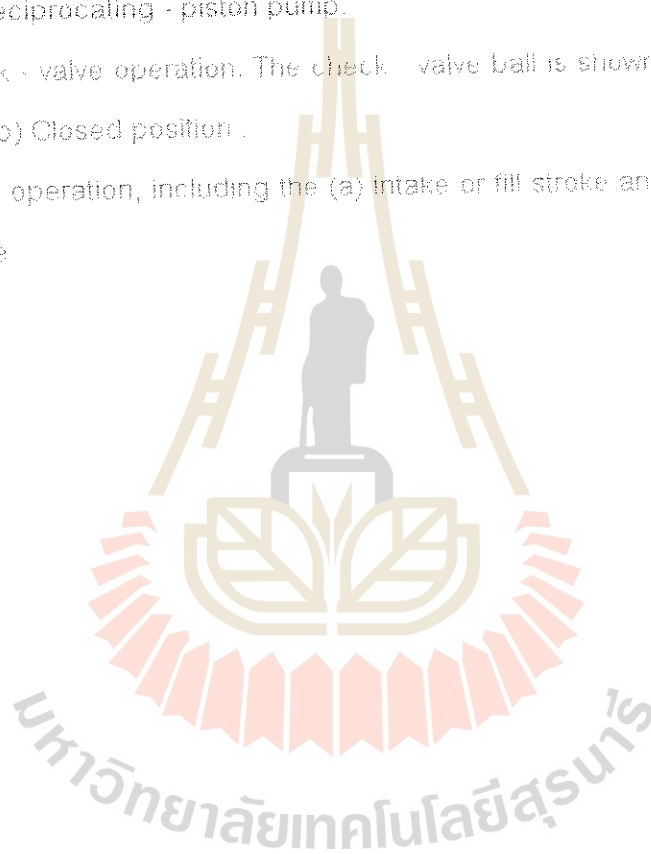
สารบัญ

ตารางที่		หน้า
1.	แสดงค่าปริมาณที่ขอมให้มิได้ และผลของสารเจือปนต่อผลไดโวน้ำ	12
2.	แสดงถึงปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจาก pump	49
3.	แสดงถึงความผิดปกติของ pump ที่มีผลต่อ chromatogram	51



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงปฏิกิริยาการเกิดคลื่น	24
2	A schematic diagram of an HPLC instrument	28
3	แสดงการไหลของตัวอย่างใน sample loop	30
4-1.	The reciprocating - piston pump.	33
4-2.	Check - valve operation. The check - valve ball is shown in (a) Open and (b) Closed position .	34
4-3	Pump operation, including the (a) intake or fill stroke and (b) delivery stroke	35



คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาสหกิจศึกษา (CO-operative Education) ทางผู้จัดทำได้เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากผลการปฏิบัติงานและเนื้อหารายละเอียดที่เกี่ยวกับหน้าที่ ในส่วนที่ได้รับมอบหมายหลังจากการขอสหกิจศึกษา ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2542 ณ บริษัท นครหลวงกุลโคส จำกัด ระหว่างวันที่ ๑1 สิงหาคม ถึง 9 ธันวาคม 2542

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อสถานประกอบการ คณาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา นักศึกษาที่มีความสนใจ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องต่อไป

นาง ช่อฉวีฉีก
(นางสาวอุทัย ช่อฉวีฉีก)

โสมภพ ทรัพย์
(นางสาวธิดาวรรณ ทรัพย์)

รุ่งตะวัน โกศลรัตน์
(นางสาวรุ่งตะวัน โกศลรัตน์)

ผู้จัดทำรายงาน

ธันวาคม 2542

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายงานสหกิจศึกษา

บทที่ 1

บทนำ

บริษัทนครหลวงกลูโคส จำกัด ตั้งอยู่ที่ 67 หมู่ 1 ซอยวัดเพียนคิด ตำบลบ้านใหม่ อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73110

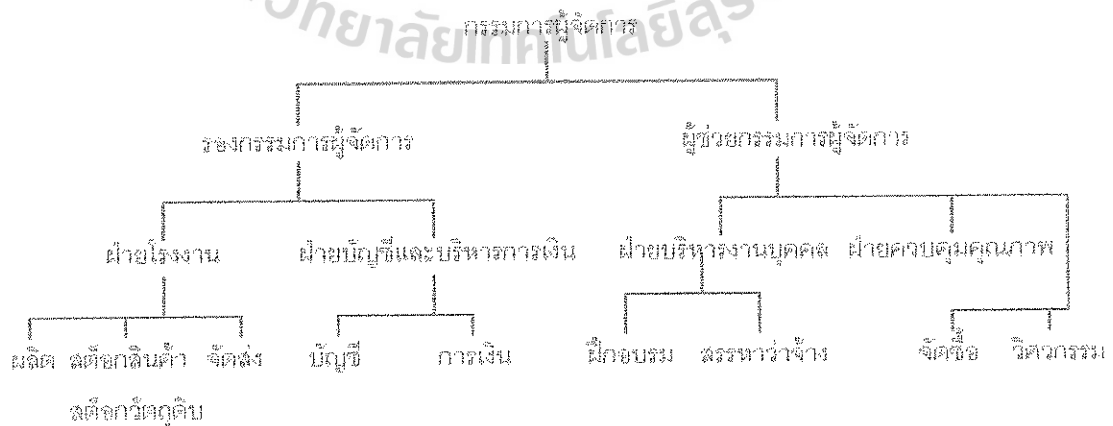
ผลิตภัณฑ์ที่ทาง บริษัทนครหลวงกลูโคส จำกัด ได้ทำการผลิตและจัดจำหน่าย คือ กลูโคส ไซรัป หรือที่เรียกว่าเบแนช

บริษัทนครหลวงกลูโคส จำกัด มีพนักงานทั้งหมดจำนวน 104 คน

นโยบายคุณภาพของบริษัท คือ

- * ประหยัด
- * สะอาด
- * คุณภาพ
- * ลดการสูญเสีย
- * พัฒนาพนักงาน

การจัดองค์กรและการบริหาร (Organization Chart)



ตำแหน่งงานที่ได้รับผลิตชอบ คือ ทำงานในส่วนควบคุมคุณภาพ

ลักษณะงานที่ได้รับผลิตชอบคือทำงานเกี่ยวกับเอกสาร ISO 9002

คุณจิรพรรณ ชนะชัยสุวรรณ เป็น CO - OP Supervisor ซึ่งดำรงตำแหน่งเป็นผู้จัดการ
ส่วนควบคุมคุณภาพ ของบริษัท นครหลวงกลูโคส จำกัด

ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน คือ 31 สิงหาคม 2542 - 9 ธันวาคม 2542



บทที่ 2

วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ (learning objective)

จากการออกสหกิจศึกษาที่ บริษัทนครหลวงกรุ๊ป จำกัด สิ่งที่ต้องการเรียนรู้ และคาดหวังว่าควรจะได้รับจากประสบการณ์การทำงาน เพื่อนำไปพัฒนาตนเอง ได้แก่

1. มีทักษะทางด้านมนุษยสัมพันธ์และการปรับตัว (Interpersonal skills / Flexibility)
2. สามารถใช้คอมพิวเตอร์ในการปฏิบัติงาน (Computer literacy)
3. ความสนใจในงาน (Interest in Job)
4. การฝึกฝนให้มีระเบียบวินัยในตัวเอง (Self - discipline)
5. มีความสามารถในการเรียนรู้และนำความรู้มาประยุกต์
(Ability to learn / apply new knowledge)
6. มีทักษะการทำงานเป็นทีม (Team working skills)
7. มีความมั่นใจในตนเอง (Self confidence)
8. มีความเป็นผู้นำ และความคิดริเริ่มในการปฏิบัติงาน (Initiative)
9. มีความรู้ความเข้าใจ จลนศาสตร์ คิดในเชิงสร้างสรรค์ (Intelligence / Creativity)
10. มีทักษะในการแก้ไขปัญหา (Problem - solving skills)
11. มีศักยภาพในการเป็นผู้นำ (Leadership potential)
12. มีวุฒิภาวะ (Maturity)
13. มีทักษะในการนำเสนอ (Presentation skills)

บทที่ 3

ลักษณะงานที่ได้ปฏิบัติ

การศึกษา และการวางแผนปฏิบัติงานเพื่อจัดทำระบบคุณภาพ ISO 9002

ISO 9000 คือ ข้อกำหนดในการบริหารงาน เพื่อสร้างความมั่นใจในคุณภาพของสินค้าหรือบริการให้กับลูกค้า (ข้อกำหนดของระบบคุณภาพ มิใช่ข้อกำหนดของสินค้า)

ข้อกำหนด ISO 9000 มีทั้งหมด 20 ข้อ ที่จะต้องนำมาปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งใบรับรองมีดังนี้

1. ความรับผิดชอบด้านการบริหาร (Management Responsibility)
2. ระบบคุณภาพ (Quality System)
3. การทบทวนข้อตกลง (Contract Review)
4. การควบคุมการออกแบบ (Design Control)
5. การควบคุมเอกสาร และข้อมูล (Document and Data Control)
6. การจัดซื้อ (Purchasing)
7. การควบคุมผลิตภัณฑ์ที่ส่งมอบโดยลูกค้า (Control of customer supplied product)
8. การชี้บ่ง และสอบกลับได้ของผลิตภัณฑ์ (Product identification and tractability)
9. การควบคุมกระบวนการ (Process Control)
10. การตรวจสอบ และทดสอบ (Inspecting and testing)
11. การควบคุมเครื่องตรวจสอบ เครื่องวัด และเครื่องทดสอบ (Control of inspection, measuring, and test equipment)
12. สถานะการตรวจสอบ และการทดสอบ (Inspection and test status)
13. การควบคุมผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (Control of non-conforming product)
14. การปฏิบัติการณ์แก้ไข (Co-ordination) และป้องกัน (Correction and Preventive action)
15. การเคลื่อนย้าย การเก็บ การบรรจุ การเก็บรักษา และส่งมอบ (Handling, Storage, Packaging, Preservation, and Delivery)

16. การควบคุมบันทึกข้อมูล (Control of Quality Records)
17. การตรวจติดตามคุณภาพภายใน (Internal Quality Audits)
18. การฝึกอบรม (Training)
19. การบริหาร (Servicing)
20. กณวิธีทางสถิติ (Statistical Techniques)

แผนการดำเนินงานจัดทำระบบคุณภาพ ISO 9000

กิจกรรม

1. ฝึกอบรม ISO 9002
2. แต่งตั้งคณะทำงาน ISO 9002
3. ทบทวนสถานะปัจจุบัน
4. จัดทำแผนปฏิบัติงาน
5. จัดทำระบบเอกสาร
6. นำระบบไปปฏิบัติ
7. ฝึกอบรมผู้ตรวจติดตามภายใน
8. ตรวจติดตามระบบคุณภาพภายใน (internal auditor)
9. ปรับปรุงแก้ไข และพัฒนาระบบ
10. ทบทวนโดยฝ่ายบริหาร
11. ขอรับรองระบบคุณภาพ

การแยกแยะกิจกรรมที่ทำอยู่ในปัจจุบัน

1. ต้องเป็นงานที่ทำอยู่จริง กำหนดขอบเขตที่รับผิดชอบ และเครื่องมือ เครื่องใช้
2. ทบทวนดูว่ากิจกรรมปัจจุบันมีความเหมาะสม และพอเพียงกับมาตรฐานคุณภาพทั่วไปหรือไม่
3. ขึ้นประเด็นที่มีความสำคัญ และมีผลต่อคุณภาพของงาน

การร่างกรรมวิธี หรือขบวนการ

1. ศึกษาให้เข้าใจถึงกิจกรรมนั้นอย่างถ่องแท้ ในรายละเอียดของงาน และจุดเชื่อมต่อและรอยต่อระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2. ใช้แผนภูมิ (Flow Chart) ช่วยเพื่อป้องกันการตกหล่น
3. คนที่เขียนควรเป็นคนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับกิจกรรมนั้น ๆ อยู่

การทบทวนร่าง Procedures

1. ทำโดยผู้ร่างร่วมกับผู้ทำงานนั้นอยู่
2. ได้บรรลุวัตถุประสงค์ แล้วหรือไม่
3. วิธีการปฏิบัติงานที่กำหนด ตรงตามที่ปฏิบัติจริงหรือไม่
4. คุณภาพงานได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่
5. มีกิจกรรมที่ซ้ำซ้อนหรือข้ามขั้นตอนหรือไม่

การจัดพิมพ์ Procedures

ให้จัดพิมพ์ในแบบที่กำหนด ในหัวข้อต่างๆ

การประกาศใช้

ให้เขียน Procedures ที่จัดพิมพ์แล้วให้กรรมการใน ISO 9000 Team หรือคณะบุคคลที่ได้รับการแต่งตั้ง ตรวจสอบและให้ความเห็นชอบ จึงเสนอกรรมการผู้จัดการลงนามอนุมัติ

เอกสารที่ต้องจัดทำ

1. ทำ Organization Chart
2. ทำ Job Description เป็นการบรรยาย ลักษณะหน้าที่และความรับผิดชอบ
3. ทำ Job Specification อธิบายถึงคุณสมบัติของคนที่จะดำรงตำแหน่งต่างๆ
4. กำหนดนโยบายคุณภาพและกำหนดการประชุมเจ้าหน้าที่กลุ่มที่รับผิดชอบในการจัดทำระบบ
5. ทำคู่มือคุณภาพ เป็นการกำหนดกติกาพื้นฐานและนโยบายการทำงานในทุกหน่วยงาน ประกอบด้วย
 - 1) นโยบายคุณภาพ
 - 2) Business Flow
 - 3) Operating Policy
6. ทำขั้นตอนการดำเนินงาน (PROCUDURES) ในแต่ละกิจกรรมของการทำการ เช่น กิจกรรมการตลาด การสั่งซื้อวัตถุดิบ การขึ้น Order เป็นมาตรฐานในการปฏิบัติ ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับระเบียบการทำงาน เช่น ใครมีหน้าที่อะไร อำนาจขอบเขต การประสานงานกับใคร

7. ทำวิธีปฏิบัติงาน (WORK INSTRUCTION,WI) คือการบอกว่าทำอย่างไร
8. ทำแบบฟอร์มการขอให้แก้ไขข้อบกพร่อง
9. ทำบัญชีรายชื่อเอกสารทุกชนิด
10. ทำบัญชีรายชื่อเครื่องมือ เครื่องจักร และวัสดุ อุปกรณ์ทุกชนิด ระบุรายละเอียดของเครื่อง
หมายเลขเครื่อง ที่ตั้ง ความถี่ของเครื่องตรวจ วิธีการตรวจ เกณฑ์การตรวจ และวิธีการแก้ไข
พร้อมทั้งเขียนวิธีการใช้ และระเบียบการในการเปิดใช้
11. ทำคู่มือราคาขายสินค้า พร้อมกับเปอร์เซ็นต์ส่วนลด เพื่อเป็นแนวทางในการขาย และเกณฑ์
ในการทบทวนข้อตกลง
12. ทำรายละเอียดข้อมูลสินค้า (Specification)
13. ทำรายละเอียดของวัตถุดิบ
14. ทำเอกสารการสั่งซื้อวัตถุดิบ (แบบฟอร์ม)
15. ทำเอกสารการรับ Order จากลูกค้า (แบบฟอร์ม)
16. ทำเอกสารการควบคุมคุณภาพในการผลิตทั้งหมดทุกกระบวนการ
17. ทำเอกสารคู่มือการตรวจสอบ วัตถุดิบ , Process, Product
18. ทำทะเบียนประวัติพนักงาน
แบบฟอร์มที่ใช้ในการบันทึกการปฏิบัติงาน เช่น ใบส่งผลงาน แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลต่างๆ
ทำเอกสารควบคุม
19. ทำข้อมูลของลูกค้า และ Supplier
20. ทำตารางการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์
21. ทำบันทึกการ Calibrate
22. ทำเกณฑ์การสอบเทียบมาตรฐาน และวิธีการ
23. ทำการสอนเทียบเครื่องมือ เครื่องจักร และวัสดุอุปกรณ์ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

การจัดทำเอกสาร WORK INSTRUCTION ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต

การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิตกลูโคสไซรัป

1. การตรวจสอบปริมาณกากอ่อน (%) เพื่อดูเปอร์เซ็นต์กากอ่อนที่มีในแป้ง
2. การตรวจสอบสีแป้งนึ่ง เพื่อทำการแบ่งเกรดของแป้งจากสีแป้งนึ่ง โดยพนักงานต้องผ่านการฝึกอบรมก่อนทำการตรวจสอบ
3. การตรวจสอบค่า pH เพื่อดูค่าความเป็นกรดต่างของแป้ง
4. การวิเคราะห์ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์

การตรวจสอบคุณภาพของ finished product

1. การวิเคราะห์ dextrose equivalent ในกลูโคสไซรัป

Dextrose Equivalent (DE) หมายถึงปริมาณร้อยละของน้ำหนักของน้ำตาลรีดิวซิง คิดเป็นเดกโตรสที่อยู่ในกลูโคสไซรัปที่แห้ง ในการผลิตกลูโคสไซรัปที่ได้จากการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น กลูโคส มอลโตส มอลโตไตรโอส และโอลิโกแซคคาไรด์ จะให้ค่า DE เป็นดัชนีบอกปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง

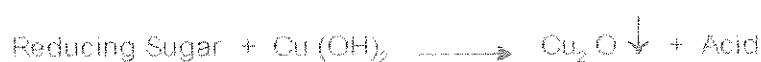
หลักการวิเคราะห์

LANE และ EYNON เป็นผู้ริเริ่มนำวิธีกรรมนี้มาใช้ โดยวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงด้วยหลักการของปฏิกิริยา REDOX ดังนี้

- 1) Copper Sulphate Pentahydrate จะทำปฏิกิริยากับ Sodium Hydroxide เกิดเป็น Cupric hydroxide ซึ่งเป็น Oxidized form



- 2) Cupric Hydroxide จะทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซิง เช่น กลูโคส มอลโตส มอลโตไตรโอส ซึ่งพบในกลูโคสไซรัป เกิดเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงของ Cuprous Oxide (ซึ่งเป็น Reduced form) และกรด ที่จุดยุติ Methylene Blue ซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนสีจากน้ำเงิน(Oxidized form) เป็นไม่มีสี (Reduced form)



ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ควรทำ 2 ซ้ำ โดยปริมาตรของสารละลายน้ำตาลที่ใช้ ไม่ควรแตกต่างกันมากกว่า 0.5 มิลลิลิตร

2. การวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ให้หลักการของ Iodometric method คือ Free Sulphur หรือ Free sulphurous acid ทำปฏิกิริยากับไอโอดีน, I_2 (น้ำแป้งเป็น indicator) ปริมาณ ที่เกินพอจากปฏิกิริยาเคมีจะทำให้ น้ำแป้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ดังปฏิกิริยา



ข้อควรระวัง

- 1) ไอโอดีนอาจทำปฏิกิริยากับสารอาหารต่างๆ ในตัวอย่าง ทำให้ค่าที่ได้สูงเกินกว่าความเป็นจริง บางครั้งจำเป็นต้องทำ blank โดยใช้ตัวอย่างที่แน่ใจว่าไม่มี SO_2 อยู่ด้วย
- 2) อาหารที่ไม่เหมาะสมกับวิธีการวิเคราะห์สีน้ำเงินของน้ำแป้งไม่เด่นชัด เช่น กะทิ และเนื้อกุ้งที่บดแล้ว AOAC แนะนำให้ทำการไตเตรตทันทีหลังจากได้ H_2SO_4



เพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำ ต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

- 1) ต้องใช้ปริมาณของตัวอย่างเท่ากันทุกครั้ง เพื่อให้ความเข้มข้นของ ion ที่ต้องการในการใช้นอกจุดยุติคงที่
- 2) ค่า pH ของตัวอย่าง ควรอยู่ระหว่าง 7-8 เพราะ Ag^+ จะตกตะกอนเป็น $AgOH$ ที่ pH สูง และ CrO_4^{2-} จะถูกเปลี่ยนไปเป็น $Cr_2O_7^{2-}$ ที่ pH ต่ำ
ปริมาณของอินดิเคเตอร์ที่ใช้ควรเท่ากันทุกครั้ง เพื่อให้ความเข้มข้นของ CrO_4^{2-} คงที่ ทุกครั้งที่วิเคราะห์ มิฉะนั้น Ag_2CrO_4 อาจเกิดเร็วหรือช้าไป
- 3) ปกติสารซัลไฟด์จะไม่ใช้กับอาหารที่เป็นแหล่งวิตามินบี 1 (Thiamine) เนื่องจาก SO_2 สามารถทำลายวิตามินบี 1 ให้เปลี่ยนเป็นสารที่ร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้
- 4) สารซัลไฟด์ในรูปสารละลายจะแตกตัวให้กรดซัลฟิวส (H_2SO_3), HSO_3^- , SO_3^{2-}
ปริมาณ ion ขึ้นกับค่าความเป็นกรดต่างของสารละลาย

5) ที่ pH ต่ำๆ ปริมาณ H_2SO_3 ซึ่งไม่แตกตัว (Undissociated form) จะมีปริมาณมาก โดย active form นี้มีความสามารถในการทำลายจุลินทรีย์สูงที่สุด

- การวิเคราะห์โดยวิธี Iodometric เป็นการหา Free sulphite
- การวิเคราะห์โดยวิธี Modified Monier Williams หรือ Rankine เป็นการหา Total sulphite

การเลือกใช้ควรพิจารณาที่ความเหมาะสมและข้อจำกัดในการตรวจวิเคราะห์นั้นๆ

3. การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด - ด่าง

ทำการวิเคราะห์ โดยใช้ pH meter

4. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในสารละลาย (Brix)

ทำการวิเคราะห์โดยใช้ Refractometer



ศึกษาและตรวจสอบคุณภาพน้ำภายในระบบ

หม้อไอน้ำ (Boiler)

บริษัทนครหลวงกลูโคส จำกัด มีการใช้หม้อไอน้ำในการผลิตไอน้ำจำนวนมาก เพื่อนำไปใช้ในการผลิตกลูโคสไซรัป คุณภาพของไอน้ำที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับหม้อไอน้ำที่ใช้ผลิตด้วย ไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ถือเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการผลิตกลูโคสไซรัป ดังนั้นจึงมีการนำเอาหม้อไอน้ำเข้าระบบ ISO 9002 ด้วย

ทางบริษัทนครหลวงกลูโคส จำกัด มีการใช้หม้อไอน้ำจำนวน 3 ตัว ซึ่งเป็นหม้อไอน้ำสำเร็จรูปแบบท่อไฟ (Fire tube package boiler) คือเป็นหม้อไอน้ำซึ่งเพิ่มพื้นที่ผิวนำความร้อน โดยสร้างเป็นท่อเล็กๆหลายๆท่อให้ก๊าซเผาไหม้ผ่านภายในตัวหม้อไอน้ำตามท่อเล็กๆเหล่านั้น การบังคับให้ก๊าซหมุนเวียนจะเป็นแบบ 3 เที้ยว มีโครงสร้างแบบง่าย ๆ จึงใช้ความดันไม่สูงนัก ประมาณ 140 ปอนด์/ตารางนิ้ว และไม่เหมาะสำหรับใช้ในการผลิตไอน้ำอุณหภูมิยิ่งยวด (superheat steam) แต่เหมาะกับการใช้ไอน้ำที่ไปเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา หม้อไอน้ำที่ทางบริษัทนครหลวงกลูโคส จำกัด ใช้ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือชนิดที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง 1 ตัว และชนิดที่ใช้ชีเลื่อยเป็นเชื้อเพลิง 2 ตัว หม้อไอน้ำทั้งสองชนิดจะมีหลักการทำงานคล้าย ๆ กัน แต่จะแตกต่างกันตรงชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ และจำนวนท่อไฟใหญ่หรือห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างกัน คือชนิดใช้น้ำมัน จะมีท่อไฟใหญ่ 1 ท่อ แต่แบบใช้ชีเลื่อยจะมีท่อไฟใหญ่ 2 ท่อ หลักการทำงานของหม้อไอน้ำสำเร็จรูปแบบท่อไฟ คือ เป็นหม้อไอน้ำที่มีลักษณะให้ก๊าซร้อน ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไหลไปตามท่อเหล็ก รอบท่อเหล็กเหล่านั้นจะมีน้ำล้อมรอบอยู่ และใช้ท่อเหล็กเป็นตัวนำความร้อนไปสู่ น้ำ ทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตกลูโคสไซรัปได้

ข้อดีและข้อเสียของหม้อไอน้ำสำเร็จรูปแบบท่อไฟ

ข้อดี

1. ประสิทธิภาพสูง
2. ราคาถูก
3. ใช้พื้นที่การติดตั้งน้อย
4. ปริมาณน้ำที่บรรจุมีมาก จึงทำให้หม้อไอน้ำแบบนี้ไม่ดับระเหิดได้ง่ายในขณะใช้งาน
5. เนื่องจากปริมาณน้ำบรรจุอยู่มากจึงเท่ากับเป็นการสะสมพลังงานไว้เป็นจำนวนมาก พลังงานจำนวนนี้จะอยู่ในรูปของความดันและอุณหภูมิ เมื่อใช้ไอน้ำไป ความดันจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ข้อเสีย

1. การรั่วซึมติดต่อกันเวลานานกว่าจะได้ความดันตรงที่ต้องการ
2. ในกรณีเกิดการระเบิดจะเป็นอันตรายมาก เพราะมีทั้งไอน้ำและน้ำร้อนจำนวนมากสะสมอยู่ภายใน
3. ไม่สามารถผลิตไอน้ำที่มีความดันสูงๆได้
4. เนื่องจากการเดินเครื่องใช้ระบบอัดไอน้ำเป็นเวลานานใหญ่ จึงเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบและดูแลรักษาระบบอัดไอน้ำนั้นอย่างใกล้ชิด

น้ำ และการตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องกำเนิดไอน้ำ (หม้อไอน้ำ) เมื่อน้ำได้รับความร้อนจะกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมได้หลายอย่าง

การนำน้ำมาใช้กับหม้อไอน้ำต้องคำนึงถึงสิ่งเจือปนในน้ำ น้ำเมื่อได้รับความร้อนจะกลายเป็นไอน้ำ สิ่งเจือปนที่เหลืออยู่จะตกค้างอยู่ในหม้อไอน้ำ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาได้ ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อความปลอดภัย และเพื่อประสิทธิภาพการใช้งานของหม้อไอน้ำ

คุณสมบัติของน้ำที่เหมาะสมกับหม้อไอน้ำ น้ำที่เติมในหม้อไอน้ำควรเป็นน้ำที่บริสุทธิ์ไม่มีสิ่งเจือปนใดๆ เลย แต่ความจริงแล้วน้ำที่มีความบริสุทธิ์ 100% ไม่มี ดังนั้นจึงมีการกำหนดปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำที่ยอมให้มีได้ ดังตาราง

ตารางที่ 1 แสดงค่าปริมาณที่ยอมให้มีได้ และผลของสิ่งเจือปนต่อหม้อไอน้ำ

สารเจือปน	ปริมาณที่ยอมให้มีได้	ผลของการเจือปนต่อหม้อไอน้ำ
ออกซิเจน	0.03 มิลลิกรัม/ลิตร	ต้นเหตุให้เกิดการผุกร่อน
คาร์บอนไดออกไซด์	3 ppm	ต้นเหตุให้เกิดการผุกร่อน
เกลือของแคลเซียมหรือ แมกนีเซียม	20 ppm	เกิดการจับเกาะของตะกอน
แอมโมเนีย	0.1 ppm	เกิดการกัดกร่อนในหม้อไอน้ำ
ซิลิกา	40 ppm	เกิดการจับเกาะของตะกอน และ การติดพาไปกับไอน้ำ
ค่าของโซเดียม	700 ppm	เกิดการแตกร้างสารประกอบ

สารเจือปน	ปริมาณที่ยอมให้มีได้	ผลของการเจือปนต่อหม้อไอน้ำ
สารที่ละลายได้ทั้งหมด	3500 ppm	1. ทำให้เกิดฟองที่ผิวน้ำ 2. ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 3. ทำให้อิอน้ำมีสิ่งติดไป
น้ำมัน	5 ppm	1. ทำให้เกิดฟองที่ผิวน้ำ 2. ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 3. ทำให้อิอน้ำมีสิ่งติดไป

ที่มา กองความปลอดภัยโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2532

หน่วยที่ใช้วัด

ปริมาณแร่ธาตุในน้ำวัดเป็น หน่วย

gpg (grains per U.S. gallon)

ppm (parts per million)

ความกระด้างของน้ำวัดเป็น หน่วย

mg/l (มิลลิกรัม/ลิตร)

ppm (parts per million)

ความเป็นกรดและด่างของน้ำวัดเป็น หน่วย

pH = 7 น้ำจะเป็นกลาง

pH > 7 น้ำจะเป็นด่าง

pH < 7 น้ำจะเป็นกรด

ความกระด้าง ความขุ่น ควรมีน้อยที่สุด

ความเป็นกรด เป็นด่าง pH ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 10-11 (วัดเมื่ออุณหภูมิของน้ำ)

ปริมาณสารที่ละลายในน้ำทั้งหมด (T.D.S.) ควรมีค่าไม่มากกว่า 3500 ppm

น้ำบาดาลเริ่มต้น , น้ำ soft , น้ำ soft ผสมน้ำ condensate รวมเป็นน้ำ feed เข้า หม้อไอน้ำ และน้ำที่จากการ blow down ของหม้อไอน้ำ จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพ ว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่

ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำจะทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Chloride , Hardness Alkalinity , Conductivity และ pH ดังนี้

1. การวิเคราะห์ปริมาณ Chloride

หลักการการวิเคราะห์

ใช้วิธีของ Mohr มีหลักการดังนี้คือ ใช้ ซิลเวอร์ไนเตรต(AgNO_3) เป็นตัวไตเตรตและใช้ K_2CrO_4 เป็นอินดิเคเตอร์ ความเข้มข้นของ AgNO_3 ที่ใช้คือ 0.0141 N โดยที่ AgNO_3 1 มิลลิลิตร จะทำปฏิกิริยากับ 0.5 มิลลิกรัมของคลอไรด์

สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต(AgNO_3) ที่ใช้จะต้อง standardize ด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ในการไตเตรต Cl^- จะทำปฏิกิริยากับ Ag^+ เกิดตะกอนสีขาวของ AgCl ดังสมการ



ในการวิเคราะห์นี้โครโมเอไดรอนจะทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์โดยจุดยุติจะให้ตะกอนสีน้ำตาลแดง ของ Ag_2CrO_4 ในขณะที่ถึงจุดยุตินั้นคลอไรด์ในน้ำจะหมดไป เพื่อหยุดซิลเวอร์ไนเตรตลงในสารละลายก็จะทำให้ Ag^+ ที่มากเกินไปทำปฏิกิริยากับ CrO_4^{2-} ทำให้เกิดตะกอนสีน้ำตาลแดง Ag_2CrO_4 ดังสมการ



ในการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ เพื่อให้ได้ผลที่แน่นอนต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

- 1) ต้องใช้ปริมาณของตัวอย่างเท่ากันทุกครั้งเพื่อให้ความเข้มข้นของไอออนที่ต้องการในการใช้บอกจุดยุติคงที่

- 2) ค่า pH ของตัวอย่างควรอยู่ระหว่าง 7-8 เพราะ Ag^+ จะตกตะกอนเป็น AgOH ที่ pH สูง และ CrO_4^{2-} จะถูกเปลี่ยนไปเป็น $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่ pH ต่ำ
- 3) ปริมาณของอินดิเคเตอร์ที่ใช้ควรเท่ากันทุกครั้งเพื่อให้ความเข้มข้นของ CrO_4^{2-} คงที่ ทุกครั้งที่วิเคราะห์ มีเช่นนั้น Ag_2CrO_4 อาจเกิดเร็วหรือช้าไป

วิธีวิเคราะห์

น้ำตัวอย่าง 100 ml

(Boiler water ใช้ 5 ml.; Feed water และ Soft water ใช้ 25ml. + น้ำกลั่นให้ได้ 100 ml.)

ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250ml.

ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 7-10

(โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4))

เติม โพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) 1 ml.

ไตเตรตด้วย 0.0141 N ซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3)

End point

(ตะกอนสีน้ำตาลแดงในสารละลายสีเหลือง)

การคำนวณปริมาณ Chloride

$$\text{Chloride (mg/l)} = (A-B) \times N \times 35450$$

โดยที่

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน AgNO_3 ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่างเป็น ml.

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน AgNO_3 ที่ใช้ในการไตเตรต Blank เป็น ml.

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน AgNO_3 เป็น Normal

V = ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้เป็น ml.

2. การวิเคราะห์ปริมาณ Hardness

ความกระด้างของน้ำเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการตกตะกอนของน้ำที่มี Calcium ion และ Magnesium ion ในทางปฏิบัติ Total Hardness จะเป็นผลบวกของความเข้มข้นของ calcium ion และ magnesium ion ซึ่งจะแสดงในรูปของ Calcium carbonate (mg/L)

โดยทั่วไปแล้วจะแบ่งความกระด้างตามประเภทของอิออนลบที่มีในน้ำดังนี้

- 1) ความกระด้างชั่วคราว (Temporary hardness หรือ Carbonate hardness) ได้แก่ น้ำที่มี CO_3^{2-} และ HCO_3^- ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของ CaSO_4 , CaCl_2 , MgSO_4 และ MgCl_2 ความกระด้างชนิดนี้สามารถกำจัดได้โดยการต้ม
- 2) ความกระด้างถาวร (Permanent hardness หรือ Non carbonate hardness) ได้แก่ น้ำที่มี SO_4^{2-} และ Cl^- ความกระด้างนี้ไม่สามารถกำจัดได้ด้วยการต้ม

ในกรณีที่ hardness มีค่าสูงกว่าผลบวกระหว่าง Carbonate และ Bicarbonate alkalinity ค่า hardness ที่เท่ากับ Total alkalinity คือ Carbonate hardness และ ค่า hardness ที่เหลือคือ non carbonate hardness

แต่ถ้าค่า hardness น้อยกว่า หรือเท่ากับผลบวกของ carbonate และ bicarbonate ค่า hardness นี้คือ carbonate hardness และ noncarbonate hardness มีค่าเท่ากับ 0

หลักการวิเคราะห์

ใช้วิธี EDTA titrimetric ในการวิเคราะห์นี้จะใช้ Eriochrome black T เป็นอินดิเคเตอร์ โดยจะใส่ Eriochrome black T ลงในน้ำกระด้างที่มี pH 10±0.1 Eriochrome black T จะทำปฏิกิริยากับอิออนของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} เกิดเป็นอิออนเชิงซ้อนสีม่วงแดงที่มีความเสถียรน้อยดังสมการ



เมื่อไตเตรตตัวอย่างโดยใช้ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) หรือเกลือของ EDTA เป็นไทแตรน EDTA จะทำปฏิกิริยากับอิออนของโลหะ เกิดเป็นอิออนเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ (Chelate soluble complex) ดังสมการ

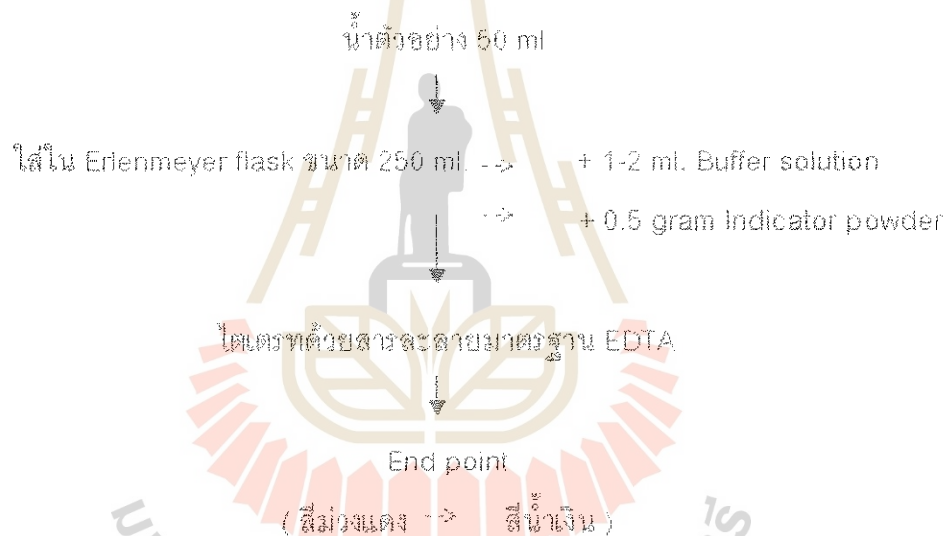


ที่จุดยุติสารละลายจะมีสีน้ำเงินเนื่อง Eriochrome black T ถูกปล่อยเป็นอิสระ โดยทั่วไปแล้วความชัดเจนของจุดยุติจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH สูงขึ้นแต่ต้องระวังไม่ให้ตกตะกอนของ CaCO_3 หรือ Mg(OH)_2

ข้อควรระวังในการไตเตรต คือ

- 1) ควรไตเตรตที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจาก Eriochrome black T จะเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง
- 2) ที่ pH 10+0.1 อาจเกิดการตกตะกอนของ CaCO_3 ดังนั้นควรใช้เวลาในการไตเตรตต่ำกว่า 5 นาที ด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้
 - เชื้อจากตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นเพื่อลดความเข้มข้นของ CaCO_3
 - ทำการไตเตรตอย่างคร่าวๆ เพื่อให้ทราบปริมาณไทเทรนต์ที่ต้องการใช้ และเมื่อต้องการไตเตรตครั้งต่อไป เติมไทเทรนต์ในปริมาณมากกว่า หรือเท่ากับ 90% ของปริมาณที่ทราบอย่างคร่าวๆ ก่อนปรับ pH

วิธีวิเคราะห์



การคำนวณปริมาณ Hardness

$$\text{Hardness (mg/l as CaCO}_3\text{)} = \frac{A \cdot M \cdot 100000}{V}$$

V

โดยที่

A = ปริมาตรของ EDTA ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง เป็น ml.

M = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน EDTA เป็น Molar

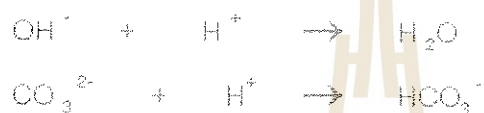
V = ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้เป็น ml.

3. การวิเคราะห์ปริมาณ Alkalinity

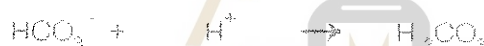
หลักการวิเคราะห์

วิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์คือไตเตรตด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้น ถ้าตัวอย่างน้ำมี pH สูงกว่า 8.3 จะต้องไตเตรต 2 ขั้นตอนโดยใช้ ฟีนอล์ฟทาเลอินและเมทิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ แต่ถ้ามี pH ต่ำกว่า 8.3 จะใช้เมทิลออเรนจ์เพียงชนิดเดียว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ

- 1) เมื่อใช้ ฟีนอล์ฟทาเลอิน เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี ค่าความเป็นด่างที่ได้ (Phenolphthalein Alkalinity) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรด และไฮดรอกไซด์และครึ่งหนึ่งของคาร์บอเนตที่มีในน้ำดังนี้

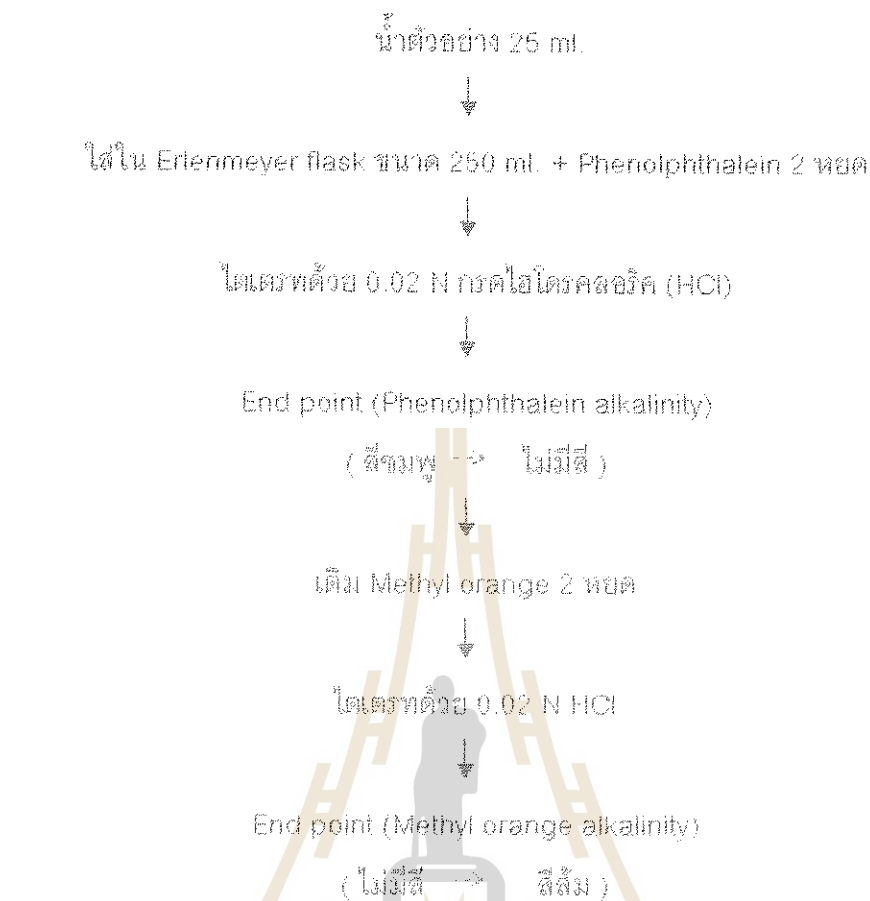


- 2) เมื่อใช้เมทิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีส้มแดงเป็นสีแดง ความเป็นด่างที่เกิดจากการเปลี่ยนไบคาร์บอเนตเป็นกรดคาร์บอนิกดังนี้



ค่าที่ได้จากการนำปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตทั้ง 2 ขั้นตอนมารวมกันคือค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) ซึ่งเป็นปริมาตรกรดที่ต้องการสำหรับไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตที่ละลายอยู่ในน้ำ

วิธีวิเคราะห์



การคำนวณปริมาณ Alkalinity

$$\text{Phenolphthalein Alkalinity} = \frac{V1 \cdot N \cdot 50000}{\text{ml sample}}$$

(mg/l as CaCO₃)

$$\text{Methyl orange Alkalinity} = \frac{V2 \cdot N \cdot 50000}{\text{ml sample}}$$

(mg/l as CaCO₃)

$$\text{Total Alkalinity} = \frac{(V1 + V2) \cdot N \cdot 50000}{\text{ml sample}}$$

โดยที่

V1 = ปริมาตรกรด HCl ที่ใช้ในการไตเตรทหา Phenolphthalein Alkalinity เป็น ml.

V2 = ปริมาตรกรด HCl ที่ใช้ในการไตเตรทหา Methyl orange Alkalinity เป็น ml.

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรด HCl เป็น Normal

4.การวิเคราะห์หาปริมาณ Conductivity

Conductivity เป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอิออนแต่ละชนิดที่อยู่ในน้ำ และอุณหภูมิของน้ำ มีหน่วยเป็นไมโครซีเมนส์ น้ำที่มีอิออนของสารต่างๆอยู่สามารถนำไฟฟ้าได้ ในสนามไฟฟ้ากระแสอิออนบวกจะเคลื่อนไปที่อิเล็กโทรดขั้วลบและอิออนลบจะเคลื่อนไปที่อิเล็กโทรดขั้วบวก กรด เบส และเกลืออิออนทรีย์เช่น HCl , Na_2CO_3 และ NaCl เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพราะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ

Conductivity ไม่ได้เป็นค่าเฉพาะอิออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมของอิออนทั้งหมดในน้ำ ค่านี้ไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่เพียงว่ามีกาเพิ่มหรือลดของอิออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น ถ้าค่า conductivity เพิ่มขึ้นก็แสดงว่าสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้นหรือถ้าค่า conductivity ลดลงก็แสดงว่าสารที่แตกตัวได้ในน้ำลดลง

หลักการของ Non Platinum-electrode type

conductivity cell ชนิดนี้ประกอบด้วย Electrode ซึ่งทำจากโลหะผสมค่าที่มีความทนทาน เช่น เหล็กไร้สนิม ใช้แพร่หลายสำหรับการวัดค่าที่ต่อเนื่อง (Continuous Monitoring) และภาคสนาม (Field)

ค่า Conductivity ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นควรทำการวัด Resistance ของสารละลายมาตรฐานและตัวอย่างที่อุณหภูมิเดียวกันแต่เนื่องจากค่า Conductivity มักรายงานผลที่ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการเปลี่ยนค่า Conductivity ของตัวอย่างที่ทำการวัดที่อุณหภูมิอื่น ในช่วง 1-30 องศาเซลเซียส มาเป็นที่ 25 องศาเซลเซียส จึงต้องหา Factor มาคูณ ซึ่ง Factor ก็ได้มาจากการใช้ 0.01 M KCL เป็นหลัก

Factor ที่มีอิทธิพลต่อค่า Conductivity

- 1) ของแข็งที่ละลายน้ำ (dissolved solid) ยิ่งสารเหล่านั้นละลายน้ำได้มากเพียงไม่กี่จะมีค่า conductivity สูง เพราะเกี่ยวกับความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิออน (Ionic Mobility)
- 2) pH ถ้าน้ำนั้นมีค่า pH มากกว่า 9 หรือน้อยกว่า 5 จะมีผลต่อค่า conductivity มาก ทั้งนี้เพราะ H^+ และ OH^- มี ionic mobility สูงกว่าอิออนตัวอื่น กล่าวคือ Ionic Mobility ของ $\text{H}^+ = 350$, $\text{OH}^- = 278$ และ $\text{Na}^+ = 20 + 60$ เป็นต้น ดังนั้นค่าที่ได้มาจาก H^+ และ OH^- ซึ่งมาจาก pH ของน้ำมากกว่าจากอิออนอื่น
- 3) อุณหภูมิ ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้น Ionic Mobility ของอิออนก็จะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ทั้งนี้เพราะสารต่างๆจะแตกตัวได้ดีที่อุณหภูมิสูงๆ จึงทำให้ค่า conductivity เพิ่มขึ้น

5. การหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เครื่องมือที่ใช้วัดค่า pH เรียกว่า pH มิเตอร์ซึ่งประกอบด้วย glass electrode ใช้ได้ผลดี มากให้ค่าแม่นยำ จนถึง ± 0.1 pH unit สี, ความขุ่น, คอลลอยด์, oxidants, reductant และสารที่มีความเค็มสูง ไม่มีผลต่อ glass electrode

ข้อดีของ pH มิเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเปรียบเทียบสี (colourimetric) คือสามารถใช้ ได้กับตัวอย่างที่ขุ่นในการใช้ electrode อุณหภูมิจะมีผลต่อการวัดเพราะการเปลี่ยนแปลงใน potential ต่อหน่วยจะแปรผันกับอุณหภูมิ แต่ไม่มีปัญหาเพราะ pH มิเตอร์ทุกเครื่องมีปุ่มเพื่อปรับ ขดระชอุณหภูมิ (temperature compensation adjustment) Sorenson เป็นผู้ตั้ง concept ของ pH ได้ให้ pH scale อยู่ในช่วง 0-14 และให้ pH =7 แทนความเป็นกลาง

$[H^+]$ มีค่ามากกว่า 10^{-7} หรือ pH ต่ำกว่า 7 สารละลายเป็นกรด

$[H^+]$ มีค่าเท่ากับ 10^{-7} หรือ pH เท่ากับ 7 สารละลายเป็นสารละลายตะกอนหรือเป็นกลาง

$[H^+]$ มีค่าน้อยกว่า 10^{-7} หรือ pH สูงกว่า 7 สารละลายเป็นเบส

ค่า $[H^+]$ ยิ่งมาก หรือสารละลายยิ่งเป็นกรดมาก pH ยิ่งต่ำ

ทำการวัด pH โดยใช้เครื่อง pH meter

สำหรับน้ำที่ผ่านเครื่อง Reverse Osmosis (RO) , Cooling และน้ำ Condensate น้ำา แป้ง ก็ต้องทำการตรวจสอบวิเคราะห์หาค่าต่างๆอย่างที่ได้กล่าวไว้เช่นเดียวกัน

จุดประสงค์ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลก็เพื่อ ตรวจสอบข้อมูล ของระบบน้ำในโรงงานว่าตรงกับบริษัทหรือไม่ และเพื่อคุ้สตราส่งของน้ำ Soft และน้ำ Condensate ให้อุตสาหกรรม เป็นน้ำ Feed ว่า คุ้มค่าการเปลี่ยนแปลงของระบบน้ำในตลอดทั้งวันนั้น มีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร

สรุป

จากการทดลองตรวจสอบคุณภาพน้ำของหม้อไอน้ำ พบว่าปริมาณ Chloride, Hardness, and Alkalinity นั้นไม่แตกต่างกับผลของบริษัทที่มาทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของระบบน้ำที่เข้าหม้อไอน้ำ ในแต่ละวัน ยังทำการสรุปไม่ได้ เนื่องจากผลที่ได้จากการตรวจสอบไม่เพียงพอที่จะทำการสรุป ต้องรอเครื่องมือที่ทำการตรวจวัดค่า Conductivity ก่อน

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำที่เข้า และน้ำที่อยู่ภายในหม้อไอน้ำ สามารถก่อให้เกิดปัญหามากมาย ซึ่งได้แก่

1. การกัดกร่อนโลหะ

น้ำที่มีคุณภาพไม่เหมาะสมสามารถกัดกร่อนโลหะนานาชนิดที่เป็นอุปกรณ์ของระบบหม้อน้ำ ระบบระบายความร้อน และระบบท่อขนส่งน้ำ ทำให้เกิดความเสียหายหรือทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดังกล่าวลดต่ำลง และในบางครั้งอาจทำให้ต้องสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์อีกด้วย

เนื่องจากการกัดกร่อนโลหะเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยเป็นขบวนการที่ทำให้โลหะกลับคืนสู่สภาวะเดิมของมัน เช่น เหล็กเกิดการผุกร่อนเป็นสนิมเหล็ก การกัดกร่อนโลหะจึงสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย และพื้ที่ที่จะเกิดขึ้นได้ทุกโอกาสจะอำนวยให้

2. ตะกอนในหม้อน้ำ

ตะกอนในหม้อน้ำเป็นผลโดยตรงจากการตกผลึกของแร่ธาตุนานาชนิดที่มีอยู่ในน้ำที่ป้อนเข้าหม้อน้ำ แร่ธาตุเหล่านี้ที่สำคัญ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และซิลิกา การป้องกันการเกิดตะกอนสามารถกระทำได้โดยการกำจัดต้นเหตุ ได้แก่ ความกระด้าง เหล็กและอื่นๆ สามารถกระทำได้โดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องทำน้ำอ่อน เครื่องกำจัดเหล็ก และถือว่าการปรับคุณภาพภายนอกหม้อน้ำ ส่วนการป้องกันตะกอนโดยมิให้ตกผลึกได้ ถือเป็นการปรับคุณภาพน้ำภายในหม้อน้ำ ซึ่งกระทำได้โดยการเติมสารหยุดตะกอนให้กับน้ำในหม้อน้ำ เพื่อให้แร่ธาตุต่างๆ อยู่ในรูปของสารละลายต่อไป

ตะกอนที่พบบ่อยที่สุดและทำความเดือดร้อนให้มากที่สุด คือ ตะกอนเหล็ก หรือลวณผลของเหล็กกับแคลเซียมและฟอสเฟตที่ใช้เติมในหม้อน้ำ ตะกอนชนิดนี้ควรเรียกว่า ตะกอน (Sludge) มากกว่า เพราะไม่ได้จับตัวกันเป็นก้อนแข็ง สาเหตุคือมีเหล็กมากเกินไปอยู่ในน้ำที่ป้อนหม้อน้ำ เหล็กจะอยู่ในรูปของเหล็กออกไซด์หรือเหล็กคาร์บอเนต ซึ่งล้วนแต่เป็นผลของปฏิกิริยากัดกร่อนที่น้ำและท่อไอน้ำต่างๆ

กลไกการเกิดตะกอน

ตะกอนสามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 สาเหตุหลักคือ

- 1) การตกตะกอนที่เกิดจากสารประกอบของความกระด้าง เช่น ตัวอย่างการตกตะกอนของ calcium hardness บนผิวถ่ายเทความร้อน



ตะกอนที่เกิด CaCO_3 จะเรียงต่อกันเป็นผลึก เกิดเป็นตะกอนที่แข็งตัวออกได้ยาก

2) การอิ่มตัวอย่างยิ่งยวด (Supersaturation) หรือการตกผลึก (Crystallization) ของแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น CaSO_4 กับ SiO_2

ตะกอนทั้ง 2 ประเภทจะคอยขัดขวางการถ่ายเทความร้อนจากเชื้อเพลิงไปสู่ น้ำในหม้อไอน้ำได้

3. ปัญหาการเกิดสนิม (Corrosion)

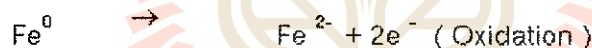
สนิมสามารถเกิดขึ้นได้ทั่วไปในระบบน้ำของหม้อไอน้ำซึ่งจะเกิดได้จากหลายสาเหตุดังนี้

- 1) เกิดจาก oxygen corrosion
- 2) Alkalinity concentration
- 3) เกิดจากการกัดกร่อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- 4) เกิดจากการกัดกร่อนของสารประเภท Chelate
- 5) เกิดจากการกัดกร่อนของสารประเภท Ammonia

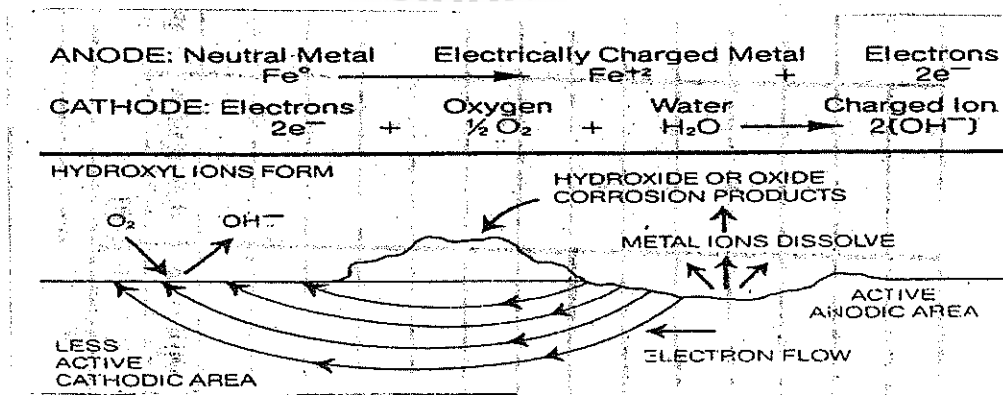
การเกิดสนิมจากออกซิเจน

โดยทั่วไป oxygen จะเป็นตัวการทำให้เกิดสนิมที่มักพบในระบบน้ำ boiler เนื่องจาก oxygen จะมีอยู่ทั้งในน้ำ และในอากาศ กลไกการเกิดสนิมประเภทนี้ จะเป็นเช่นเดียวกับการเกิดสนิมทั่วไปที่ต้องมีองค์ประกอบของ oxygen, น้ำและท่อเหล็ก ดังปฏิกิริยาข้างล่างนี้

ขั้วลบ (Anode)



ขั้วบวก (Cathode)



รูปที่ 1 แสดงปฏิกิริยาการเกิดสนิม

จากรูปที่บริเวณขั้วแอโนด (Anode) เนื้อเหล็กจะถูกกัดกร่อนไป เนื่องจากการสูญเสียอิเล็กตรอน ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วคาโทด (Cathode) ซึ่งจะมี O_2 เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) สนิมที่เกิดขึ้นจะเป็นอันตรายมากถ้าเป็นการเกิดสนิมในที่ที่เดียว จนจะฉีกเหล็กหลุดเป็นรูเรียกว่า สนิมพุม (Pitting corrosion)

4. ปัญหาที่เกิดจากสิ่งแปลกปลอมในน้ำ

นอกเหนือจากตะกอนแล้วสิ่งที่ก่อให้เกิดให้กับระบบหมุนเวียนน้ำยังมีอีกหลายอย่างเช่น ผุ่นละออง ดิน ตะไคร่น้ำ การจับตัวของสิ่งแปลกปลอมต่างๆ คั่งค้างขัดขวางทางไหลของน้ำ รบกวนต่อการถ่ายเทความร้อน ผลเสียที่เกิดขึ้นคือทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบหมุนเวียนลดลง

สิ่งแปลกปลอมในน้ำอาจจำแนกได้ตามลักษณะธรรมชาติและแหล่งกำเนิด เช่น ตะกอน ดิน และโคลนเกิดขึ้นเนื่องจากมีตะกอนแขวนลอยอยู่ในน้ำหรือการผสมตัวของผุ่นละอองในอากาศ ส่วนตะไคร่น้ำนั้นเกิดจากจุลินทรีย์ต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ หรือเดิมอยู่ในอากาศก่อน แต่เนื่องจากน้ำสัมผัสกับอากาศ จุลินทรีย์จึงเคลื่อนย้ายมาอยู่ในน้ำด้วย และทำการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว เพราะสภาวะแวดล้อมในน้ำเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตได้ดีกว่าในอากาศ

5. ปัญหาเรื่องน้ำปะทุ (Priming) และน้ำเป็นฟอง (Foam) ในหม้อน้ำ

น้ำปะทุในหม้อน้ำ หมายถึง ลักษณะการเดือดอย่างรุนแรงและผิดปกติของน้ำในหม้อน้ำที่ทำให้ระดับน้ำมีความแปรปรวนเป็นอย่างมาก เป็นเหตุให้การควบคุมหม้อน้ำเป็นไปได้ยาก และยังเป็นเหตุให้น้ำกระเด็นเป็นฝอยเข้าไปปนกับไอน้ำ ทำให้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไอน้ำลดลง

น้ำเป็นฟอง หมายถึง ลักษณะการเกิดเป็นฟองขนาดเล็กมากมายขึ้นบนผิวน้ำคล้ายกับฟองผงซักฟอกในอ่างซักผ้า ปัญหานี้รุนแรงน้อยกว่าปัญหาน้ำปะทุ แต่ก็สร้างความยุ่งยากในลักษณะเดียวกัน คือทำให้ไอน้ำสกปรก เนื่องจากฟองที่เกิดขึ้นไปปนกับไอน้ำที่

สาเหตุทำให้ไอน้ำสกปรกเนื่องจากน้ำปะทุและน้ำเป็นฟอง (และแครีโอเวอร์) มีดังนี้

- 1) หม้อน้ำมีสิ่งสกปรก เช่น น้ำมันหรือสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ
- 2) หม้อน้ำมีแร่ธาตุละลายน้ำมากเกินไป ทั้งนี้อาจเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น การระบายน้ำทิ้ง (Blowdown) ไม่เพียงพอ มีความเป็นด่างสูงเกินไป ใส่สารเคมีป้องกันสนิมหรือป้องกันตะกอนมากเกินไป

6. ปัญหาเรื่องแครีโอเวอร์ในหม้อน้ำ

carry over เป็นการทำให้ไอน้ำมีมลทินด้วยสารที่อยู่ในน้ำ เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นในหม้อน้ำได้เองจากมีการสัมผัสโดยตรงระหว่างผิวน้ำเดือดกับไอน้ำหรือไอระเหยของสารกับไอน้ำ อาจจำแนก carry over ออกเป็น 2 ประเภท คือ

6.1 แครี่โอเวอร์ที่เกิดจากละอองน้ำ (Mechanical carry over) แครี่โอเวอร์ประเภทนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการสัมผัสระหว่างละอองน้ำที่กระเด็นขึ้นมาจากผิวน้ำเดือดในหม้อน้ำกับไอน้ำ ทำให้ ละอองน้ำติดไปกับไอน้ำเข้าไปในท่อไอน้ำและท่อควบแน่น เนื่องจากละอองน้ำมีสารมลทินต่างๆละลายอยู่ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายให้กับระบบหม้อน้ำได้มาก

6.2 แครี่โอเวอร์ที่เกิดจากไอระเหยของสาร (Volatile carryover) เกิดขึ้นเฉพาะกับหม้อน้ำที่มีความดันสูงกว่า 600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว การที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าหม้อน้ำดังกล่าวทำงานที่อุณหภูมิสูงมาก จนพอเพียงที่ทำให้สารในน้ำเกิดการระเหยกลายเป็น ก๊าซ

สารที่เป็นปัญหามากได้แก่ ซิลิกา ทั้งนี้เพราะสารนี้พบได้ยากในน้ำบาดาล และเป็นสารที่ระเหยได้ก่อน ไอน้ำที่มีซิลิกาติดอยู่ด้วยจะไม่ก่อปัญหาให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ถัดจากหม้อน้ำ เช่น เครื่องรูปเปอร์สตีเตอร์และเครื่องกังหันเทอร์ไบน์ สารอย่างอื่นที่ อาจเป็นอันตรายกับน้ำได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนีย และสารเอมีน

สาเหตุของการเกิด แครี่โอเวอร์ มีดังนี้

- 1) น้ำปะทุและน้ำเป็นฟอง ดังนั้นสาเหตุของการเกิดน้ำปะทุและน้ำเป็นฟองจึงเป็นสาเหตุของแครี่โอเวอร์ ด้วย
- 2) หม้อน้ำถูกใช้งานผลิตไอน้ำมากเกินไปจนความสามารถที่ได้ออกแบบไว้
- 3) ระดับน้ำในหม้อน้ำสูงเกินไป ทำให้บริเวณเหนือน้ำซึ่งเป็นที่สะสมมีปริมาณน้อยเกินไป
- 4) การติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของระบบให้ถูกต้อง
- 5) ไม่มีการแยกน้ำที่กลั่นตัวแล้วออกจากไอน้ำในท่อทั้งหมด
- 6) มีการนำเอาไอน้ำไปใช้อย่างกะทันหันจนไม่สามารถผลิตไอน้ำได้ทัน ทำให้มีละออง น้ำหลุดออกไปด้วย

เทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography : HPLC)

HPLC เป็นเทคนิคที่ได้พัฒนาหลักการของโครมาโตกราฟีของเหลว คือ ใช้เฟสที่เคลื่อนที่ได้เป็นของเหลวผ่านเฟสที่อยู่กับที่จะเป็นของเหลว หรือของแข็งก็ได้ สิควิดโครมาโตกราฟีที่ใช้ในการแยกสารนั้น สามารถจำแนกออกได้อย่างกว้าง ๆ ตามเทคนิคของการวิเคราะห์ คือ

1. **Adsorption Chromatography (plane Chromatography)** โครมาโตกราฟีแบบแผ่น ถ้าเฟสอยู่กับที่เป็นของเหลว เรียก Liquid-Liquid Chromatography ถ้าเฟสอยู่กับที่เป็นของแข็ง เรียกว่า Liquid-Solid Chromatography หลักการของการแยกสารอาศัยการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ที่ต่างกันระหว่างสารกับตำแหน่งซึ่ง Active บนผิวของตัวดูดซับที่ให้เป็นเฟสอยู่กับที่ ตัวดูดซับอาจบรรจุอยู่ในคอลัมน์ หรือเคลือบอยู่บนเพลท หรือซึมเข้าไปในช่องของกระดาษที่มีรูพรุน โดยทั่วไปตัวดูดซับจะเป็นของแข็งที่มีรูพรุน และมีพื้นที่ผิวมาก วิธีนี้จึงเหมาะสมสำหรับการแยกสารประกอบที่มีขั้ว (Polar)

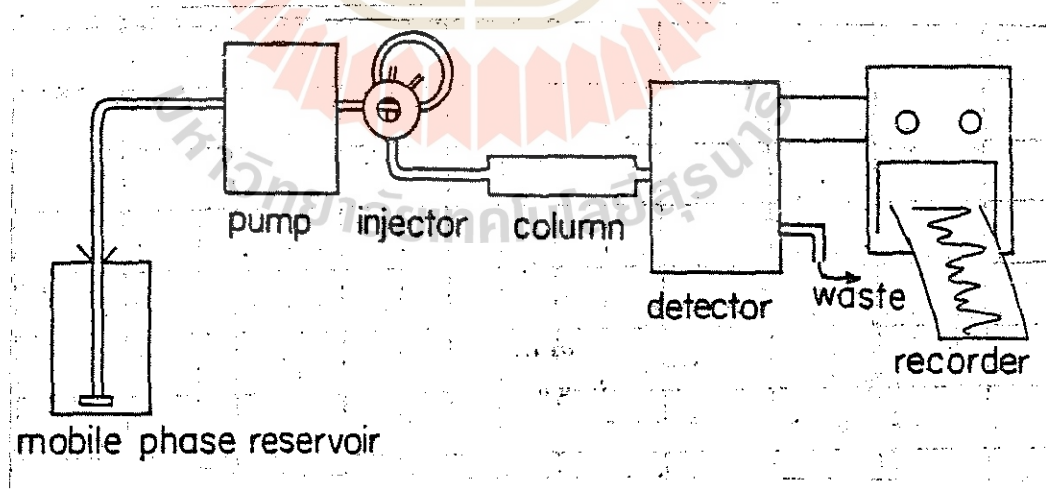
2. **Ion Exchange Chromatography** หลักการแยกสารขึ้นอยู่กับสัมพรรคภาพ (Affinity) ของไอออนในสารละลายกับไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามซึ่งอยู่ที่ผิวของเฟสอยู่กับที่ Ion Exchanger ประกอบด้วยของแข็งที่มีรูพรุน ซึ่งปกติแล้วจะเป็นพวกเรซิน ที่มี Ionic Group ยึดเหนี่ยวด้วยพันธะทางเคมี ปกติแล้วจะใช้สารละลายบัฟเฟอร์เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งประกอบด้วย Counter Ion ที่มีประจุตรงกันข้ามกับกลุ่มสาร (Group) ที่อยู่บนผิวของอนุภาคที่บรรจุอยู่ ส่วนไอออนในเฟสเคลื่อนที่ซึ่งมีประจุเหมือนกันกับไอออนที่ต้องการแยก ไอออนดังกล่าวนี้จะรวมกับ Group ที่อยู่บนผิวของเรซิน ในลักษณะที่เป็น Ion Pair เพื่อให้ประจุทั้งหมดอยู่ในสภาวะสมดุล การแข่งขันกันระหว่างไอออนในสารละลายกับ Counter Ion เพื่อเข้ายึดจับตำแหน่งที่มีประจุบนผิวของเรซิน จะมีผลทำให้เกิดการยืดเกาะขึ้น

3. **Size Exclusion Chromatography** กลไกการแยกโดยวิธีนี้จะเกี่ยวข้องกับ หลักการที่สารจะถูกเลือกให้ผ่านรูพรุนของการบรรจุ (Packing) ที่มีลักษณะเป็นร่างแห (Net Work) ภายที่สารจะถูกยึดเหนี่ยวให้อยู่ในคอลัมน์นานหรือไม่นานขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล โมเลกุลสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในรูขนาดเล็ก โมเลกุลที่มีขนาดปานกลางสามารถแพร่ผ่านรูที่อยู่ในอนุภาคได้บางส่วนเท่านั้น ส่วนโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จะถูกขัดขวางไม่ให้แพร่ผ่านรูของคอลัมน์ เพราะถูกกีดกันออกไปไหลผ่านออกมาก่อน ดังนั้น โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ได้เร็วมาก และออกจากคอลัมน์มาเป็นต้นแรก ดังนั้น size exclusion chromatography จึงถูกนำไปใช้สำหรับแยกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น Polymer และ Biopolymer ออกจากโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก

เล็ก ถ้า เฟสที่อยู่กับที่ คือ สารที่ไม่สามารถเกิดการดูดซับ, แบ่งส่วน หรือแลกเปลี่ยนไอออนแต่เป็นสารที่สามารถเกิดขบวนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารตัวอย่างเนื่องจากมีรูพรุนให้สารตัวอย่างผ่านเข้าไปได้ จะเรียกเทคนิคการวิเคราะห์นี้ว่า Exclusion Chromatography

4. Partition Chromatography (Column Chromatography) โครมาโตกราฟีแบบคอลัมน์ สามารถใช้ได้เมื่อเฟสอยู่กับที่เป็นของเหลว หรือเป็นของแข็ง การทำลิควิดโครมาโตกราฟีแบบคอลัมน์นี้ได้ถูกพัฒนาโดยใช้ความดันช่วยเพื่อทำให้การแยกดีขึ้น ทำให้เกิดเทคนิคใหม่ที่เรียกว่า HPLC หลักการ คือ โมเลกุลของสารประกอบกระจายตัวของมันเองระหว่างเฟส 2 เฟส ที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน คือ เฟสที่อยู่กับที่ กับเฟสที่เคลื่อนที่ต่างกัน เฟสที่อยู่กับที่ จะกระจายเป็นฟิล์มบาง ๆ บนผิวของ Inert Support อาจใช้อนุภาคที่เป็นของแข็งมีรูพรุนหรือไม่เป็นก็ได้ ดังนั้นเฟสทั้ง 2 เฟส จะต้องเลือกจากของเหลวที่มีสภาพขั้ว (Polarity) แตกต่างกันอย่างมากมาย ถ้าเฟสอยู่กับที่มีขั้ว (Polar) จะต้องเลือกเฟสเคลื่อนที่ที่ไม่มีขั้ว (Non-Polar)

หลักการของ HPLC ในการแยกสารอาจเป็นแบบ partition, adsorption, ion exchange และ size exclusion (gel permeation) HPLC คือ เทคนิคหนึ่งของลิควิดโครมาโตกราฟีแบบคอลัมน์ ที่สามารถแยกได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพเพราะใช้ความดันช่วย และของแข็งที่บรรจุในคอลัมน์มีขนาดเล็ก



รูปที่ 2 A schematic diagram of an HPLC instrument

ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องมือ

ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. **High pressure pump** ซึ่งจะปั๊มของเหลวจาก reservoir เข้าสู่ระบบ และอาจมีระบบที่สามารถเปลี่ยนส่วนผสมของ mobile phase ได้ตามต้องการที่เวลาต่าง ๆ คือระบบ gradient
2. **Injector /Injection loop** เป็นระบบซึ่งออกแบบเพื่อใช้ฉีดสารปริมาตรที่กำหนดได้
3. **Column** ส่วนมากทำด้วย stainless steel เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-5 มม. และมีความยาว 5-30 ซม. ใช้บรรจุ stationary phase
4. **Detector/Recorder** มีอยู่หลายแบบ ซึ่งก็มีความเหมาะสมแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้
5. **Mobile phase**

Stationary Phase

Stationary phase ของ HPLC เป็นอนุภาคของแข็งเล็ก ๆ บรรจุอยู่ภายในคอลัมน์มีรูปทรงและการอัดสารอยู่ช่วงก่อนถึงคอลัมน์ ซึ่งสารที่ต้องการจะแยกจะถูกพาเข้าคอลัมน์โดยการไหลของ mobile phase ส่วนหัววัดจะอยู่ตอนปลายของคอลัมน์ และจะให้สัญญาณทางไฟฟ้าออกมาเมื่อมีสารที่ไม่ใช่ mobile phase ผ่านออกมาจากคอลัมน์ และถูกบันทึกได้ด้วยเครื่องบันทึก

Stationary phase ที่ใช้ใน HPLC มีได้หลายลักษณะ ที่ใช้กันมากที่สุดเป็นแบบ partition HPLC ซึ่งแบ่งออกเป็น normal phase HPLC และ reverse phase HPLC

Mobile Phase Pumping System

ระบบปั๊มที่ใช้จะต้องให้ความดันสูง > 5000 psi เพื่อที่จะสามารถ pump ให้ mobile phase ไหลผ่านเข้าไปในคอลัมน์ซึ่งบรรจุด้วยอนุภาคของแข็งที่เล็กและละเอียดมากด้วยอัตราเร็วพอสมควร ความดันที่ใช้จะต้องสม่ำเสมอเพื่อให้อัตราไหลของ mobile phase คงที่ตลอด

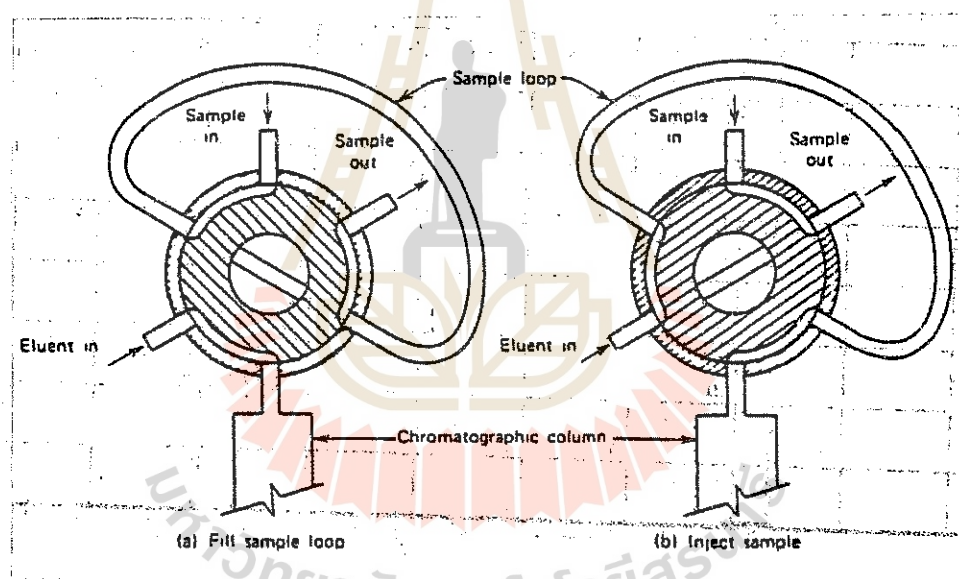
ระบบ mobile phase ที่ใช้เพื่อ elute สารผสมออกจาก stationary phase มีอยู่ 2 ระบบ คือ isocratic elution และ gradient elution ในระบบ isocratic elution จะใช้ mobile phase เดียว มีส่วนผสมเดียวตลอดการทดลอง ถ้าต้องการเปลี่ยนองค์ประกอบของ mobile phase ก็ต้องหยุดการทดลองเพื่อเปลี่ยน mobile phase reservoir ก่อน แล้วจึงเริ่มต้นการทดลองต่อไป

ส่วนในระบบ gradient elution จะมีระบบควบคุมต่างหากทำให้สามารถเปลี่ยนชนิด หรืออัตราส่วนของส่วนผสมของ mobile phase ได้ ตามต้องการโดยไม่ต้องหยุดการทดลอง ซึ่งจะทำได้ไม่เสียเวลา และทำให้ประสิทธิภาพการแยกดีขึ้นด้วย

Sample Injection

เนื่องจากความดันที่ใช้ HPLC มักจะอยู่ในช่วง 1000-6000 จึงต้องใช้ระบบการฉีดสารตัวอย่างที่ออกแบบไว้โดยเฉพาะ คือเป็นแบบ **loop injection system** ใน loop injector จะประกอบด้วยวาล์ว 2 ตำแหน่ง ซึ่งบังคับให้ mobile phase ไหลได้ใน 2 ทิศทางแตกต่างกัน ทิศทางแรกคือไหลผ่าน sample loop ซึ่งเมื่อบรรจุ sample ไว้แล้ว mobile phase จะไหลผ่าน loop นี้ พา sample เข้าสู่คอลัมน์ ส่วนอีกทิศทางหนึ่ง mobile phase จะไหลผ่านเข้าคอลัมน์ โดยไม่ผ่าน sample loop

ดังนั้น sample loop ก็จะต้องอยู่ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ ทำให้ฉีด sample เข้าไปได้โดยไม่ต้องห่วงเกี่ยวกับความดันในรูปแสดง injector loop ในขณะที่ load sample เข้า sample loop และในขณะที่ inject sample เข้าคอลัมน์ โดยที่ปริมาตรของ sample จะถูกกำหนดด้วยปริมาตรของ sample loop ที่ใช้



รูปที่ 3 แสดงการไหลของตัวอย่างใน sample loop

Detectors

Detector ที่ใช้ใน HPLC มีอยู่หลายแบบคือ UV absorbance detector, Refractive index detector, Fluorescence detector และ Conductivity detector ที่นิยมใช้กันมากคือ 2 ประเภทแรก

a. UV Absorbance Detector

มีลักษณะเช่นเดียวกับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์โดยทั่วไป เพียงแต่ cuvette ที่ใช้เป็น 'flow cell' ที่สารละลายไหลผ่านในขณะที่ทำการวัด absorbance โดยการปรับให้อ่านค่า

absorbance เป็นศูนย์เมื่อมี mobile phase ไหลผ่านแต่เพียงอย่างเดียว เมื่อมีสารซึ่งดูดกลืนแสง UV ผ่านออกมาจากคอลัมน์แล้วผ่านเข้าไปใน flow cell ก็จะได้สัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งแปรผันโดยตรงกับค่า absorbance ส่งผ่านไปยังเครื่องบันทึก ทั้งนี้ ระบบ monochromator ที่ใช้ อาจเป็นลักษณะใช้ filter ซึ่งต้องทำงานที่ค่าความยาวคลื่นคงที่ หรืออาจเป็นแบบ scan ช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการได้ แต่ทั้งนี้สารที่จะแยกจะต้องดูดกลืนแสง UV และ mobile phase ที่ใช้จะต้องไม่ดูดกลืนแสง UV ในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้จึงจะใช้ detector ชนิดนี้ได้

b. Refractive Index Detector

Refractive Index คือค่า proportionality constant ระหว่างความเร็วแสงในสุญญากาศกับความเร็วของแสงในตัวกลาง

$$c_{\text{med}} = n \times c_{\text{vac}}$$

เมื่อ n = refractive index

ใน detector ชนิดนี้ ทั้งสารที่ผ่านออกมาจากคอลัมน์และ pure mobile phase จะไหลผ่าน detector ได้ สัญญาณไฟฟ้าออกมาเนื่องจากมีความแตกต่างของ refractive index เกิดขึ้น ดังนั้น เมื่อส่วนประกอบของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์มีการเปลี่ยนแปลง ค่า refractive index ที่วัดก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย ปรากฏออกมาเป็น peak บนโครมาโตแกรม

ข้อดี ของ detector ประเภทนี้คือใช้ได้เป็นสากล เพราะสารแต่ละชนิดก็จะมีค่า refractive index เฉพาะตัว การที่สารจะมีค่า refractive index เท่ากับของ mobile phase เป็นกรณีที่เกิดได้น้อยมาก แต่ถ้าเกิดขึ้นก็จะได้ไม่ปรากฏ peak ใดๆ

ข้อเสีย ของ detector ก็คือไม่ sensitive มากนัก และอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อค่าที่วัด นอกจากนี้ยังไม่สามารถใช้ได้กับระบบ gradient elution ซึ่งส่วนประกอบของ mobile phase จะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ส่วนประกอบหลักในระบบ HPLC

1. Water 410 Differential Refractometer

เครื่อง 410 ทำงานได้ต้องมี Solvent โดยวัดค่าดัชนีหักเห (refractive indices) ระหว่าง 1.00 และ 1.75 เครื่องมีอน์สามารถวัดค่าดัชนีหักเหได้ 5×10^{-6} ถึง 5×10^{-5} refractive index units (R/U) full-scale

ลักษณะของ 410 refractometer

1. ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) และ ตัวควบคุมอุณหภูมิ (temperature controlled cell) โหลสวนทางกัน เพื่อให้การปฏิบัติการของเครื่องมีเสถียรภาพ (stable operation) ภายใต้สภาวะที่เปลี่ยนแปลง
2. การตั้งค่าศูนย์และการฟลัดด้วยอัตโนมัติ (Auto zero and auto purge) ด้วย automatic operation
3. ความดันภายในเครื่อง (Built-in pressure) ช่วยป้องกัน flow cell
4. เมื่อเครื่องขัดข้องจะบ่งสาเหตุโดยระบบอัตโนมัติ (Auto diagnostics)
5. สามารถควบคุมตัวให้ความร้อนของ column ภายนอกได้ 2 ทาง
6. มี Battery backup ที่เก็บสำรองได้กรณี detector หยุดการทำงาน (powered down) หรือ การทำงานของเครื่องขัดข้อง (power interruptions)
7. แหล่งกำเนิดแสงมีช่วงจังหวะทำงานยาวนาน (Long-life pulsed LED light source,

หลักการทำงาน

เมื่อลำแสง (beam of light) ผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปสู่ตัวอื่น จะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วการเคลื่อนที่ของแสงไม่เป็นมุมฉากกับผิวหน้า จะเกิดการโค้งงอ หรือ การหักเหของแสง

ค่าดัชนีหักเห (Refractive index, RI) เป็นความสามารถของตัวกลางที่ทำให้เกิดการหักเหของแสง (refract light)

RI คือ สัดส่วนของความเร็วของแสงในสุญญากาศ (vacuum) ต่อความเร็วของแสงในตัวกลางที่แสงผ่านเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลาง (medium) ซึ่งเป็นค่าที่ไม่มีขนาด (dimensionless integer value) แทนด้วยสัญลักษณ์ n

$$n = \frac{\text{velocity of light in a vacuum}}{\text{velocity of light in the medium}}$$

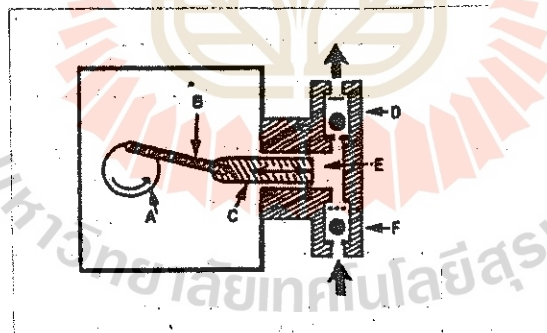
2. Water Model 510 HPLC PUMP

หน้าที่ของ pump ใน HPLC คือ เป็นตัวขับเคลื่อน mobile phase เข้าสู่ column โดยให้ความดันสูง เนื่องจากในระบบ HPLC มีความต้านทานการไหลของ mobile phase ที่ไหลผ่าน column ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กบรรจุอยู่ ความต้านทานการไหลนี้จะมากเมื่ออนุภาคใน column มีขนาดเล็กยิ่งขึ้น pump แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. mechanical pump เป็น pump ที่ควบคุมให้อัตราการไหลของ mobile phase มีค่าคงที่

2. pneumatic pump เป็น pump ที่ควบคุมให้ความดันการไหลของ mobile phase มีค่าคงที่สำหรับ pump ที่นิยมใช้จะเป็น mechanical pump แบบชักลูกสูบ (reciprocating pump) เป็น pump แบบง่าย ๆ ก้านลูกสูบของ pump จะเคลื่อนที่เข้าออกตลอดเวลาการทำงาน โดย cam และ connecting rod หมุนรอบ motor เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เข้า จะเป็นจังหวะการดัน mobile phase ให้เข้าสู่ column และเมื่อเคลื่อนที่ออกจะดึงเอา mobile phase จาก reservoir (ภาชนะที่ใส่ mobile phase) เข้าสู่ลูกสูบผ่าน check valves ซึ่งการควบคุมอัตราการไหลของ mobile phase กระทำได้โดยการปรับอัตราเร็วของการชักลูกสูบผ่านมอเตอร์ และ Computer ลักษณะเด่นของ mechanical pump แบบชักลูกสูบ (reciprocating pump)

1. มีปริมาตรภายในต่ำ ทำให้การเปลี่ยนแปลงตัว mobile phase ได้ง่าย
2. มีการส่ง mobile phase เข้าสู่ column จะอยู่ในลักษณะต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ไม่มีข้อจำกัดขนาดของภาชนะ หรือ ขวดที่ใส่ตัวทำละลาย
3. ให้อัตราการไหลของ mobile phase คงที่โดยไม่ต้องคำนึงถึง back pressure ของ column

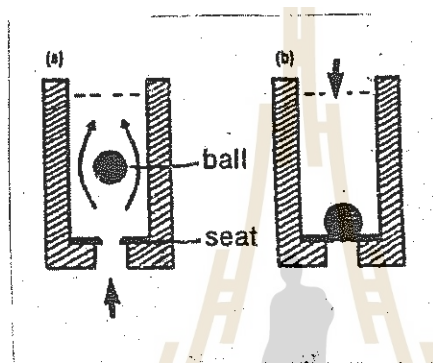


รูปที่ 4-1 The reciprocating-piston pump.

Legend : A = cam, B = connecting rod, C = piston, D = outlet check valve, E = cylinder, F = inlet check valve. (Reprinted with permission from reference 1.)

การทำงานของ pump

ในส่วนของ pump head จะมี 2 ส่วนที่เคลื่อนที่ คือ check valves และ seal-piston จากรูปที่ 4-1 จะแสดงให้เห็น check valves ที่มีโครงสร้างเป็น stainless มี ball และ seat (จะเป็นส่วนที่รองรับ ball ซึ่งจะเป็น plastic หรือ ceramic)

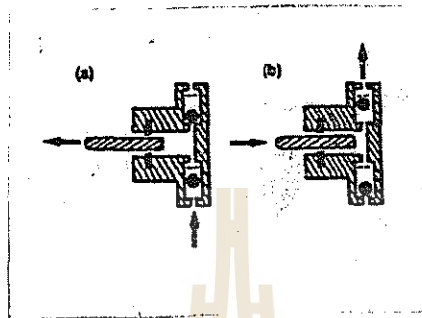


รูปที่ 4-2 Check-valve operation. The check-valve ball is shown in (a) open and (b) closed position.

(จากรูปที่ 4-2) เมื่อมีแรงดัน (pressure) จะทำให้ ball ที่อยู่ใน check valves ลอยตัวสูงขึ้นจาก seat เป็นจังหวะเปิดให้ mobile phase ไหลผ่านและเมื่อแรงดันลดลง ball จะตกลงมาที่ seat และจะเป็นการป้องกันการ leak ได้โดยที่ตำแหน่งของ ball และ seat จะต้องตกลงมาแนบกันสนิทซึ่งการตกของ ball ก็ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงของโลกด้วย สำหรับวัสดุที่ใช้ทำ ball ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน เช่น Titanium จะถูกนำมาใช้แทน Stainless steel สำหรับงาน System's biocompatibility

ในขณะที่ pump ทำงานเราจะสังเกตได้จาก piston ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่เข้าออก ตามจังหวะการทำงานของ pump เมื่อ piston เคลื่อนที่ออกจาก pump ในจังหวะดูด mobile phase จะเข้าสู่ pump และในทางกลับกัน เมื่อ piston เคลื่อนที่เข้าในจังหวะดัน mobile phase จะถูกส่ง

ผ่านเข้าไปใน column ส่วน piston จะทำด้วย sapphire, stainless steel, หรือ materials อื่น ๆ
แต่ว่า pump จะต้องไม่ไปทำปฏิกิริยากับ mobile phase แล้วไปทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาด



รูปที่ 4-3 Pump operation, including the (a) intake or fill stroke and (b) delivery stroke.

การทำงานของ piston ในรูป 4-3(a) piston จะเคลื่อนที่ออกมาจาก pump head จะทำให้แรงดันภายใน pump head ต่ำ ส่วนแรงดันจาก column ที่ต่อกับ pump จะสูงกว่าใน pump head และทำให้ ball ที่ outlet check valves จะตกมาที่ seat ไม่ให้ mobile phase ไหลผ่าน ส่วน ball ที่ inlet check valves จะยกตัวขึ้นจาก seat เพราะแรงดันของ mobile phase ที่อยู่ในภาชนะจะมีค่าที่ใกล้เคียงกับบรรยากาศหรือเท่ากับบรรยากาศซึ่งทำให้แรงดันของ mobile phase chamber ใน pump head ดัน mobile phase ไหลเข้าสู่ pump head

ในรูป 4-3(b) ในช่วงจังหวะดัน piston จะเคลื่อนที่เข้าไปใน pump head ทำให้แรงดันใน pump head สูงกว่าใน column จะทำให้ ball ที่ outlet check valves เปิดและ mobile phase จะไหลผ่านเข้าไปใน column หลักการทำงานของ pump จะเหมือนกับการทำงานของลูกสูบในเครื่องยนต์

3. Water 717 Autosampler

ลักษณะของ Waters 717 Autosampler Description

- เป็นตัวฉีดตัวอย่างเข้าไปในระบบ High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

ส่วนประกอบและระบบย่อย ๆ (Components and Subsystem)

- * Front Panel ประกอบด้วย display screen, Keypad และ function keys เป็นตัวป้อนข้อมูลเพื่อควบคุมระบบ (control system)
- * Autosampler Controller ประกอบด้วย microprocessor and memory สำหรับการควบคุมส่วนประกอบทั้งหมดของ auto sampler
- * Sample Transport System เป็นที่วาง sample vials ได้ injector
- * Fluid Pack ประกอบด้วยส่วนประกอบทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการฉีด mobile phase และดึงออกไปที่ column ทำหน้าที่ในการ purge และการทดกลับ mobile phase compression
- * Injector ทำหน้าที่ดูดตัวอย่าง (aliquot) จาก sample vial และทำการฉีดตัวอย่างเข้าไปใน mobile phase
- * Syringe ใช้ในการดูดตัวอย่างและกดฉีด mobile phase ระหว่างการทดลอง
- * Needle Wash System เป็นระบบทำความสะอาดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนกลับ (cross - contamination) ของ Sample

การพิจารณาเลือกใช้ตัวทำละลาย (Solvent considerations)

การเริ่มการทำงานของระบบดังกล่าวที่ได้ทำเป็นได้ทั้ง methanol หรือ ตัวทำละลาย อื่นหรือที่ผสมเข้ากันได้ดีกับ methanol ถ้า solvent ทั้งสองชนิดไม่สามารถผสมรวมกันได้ ให้ใช้ intermediate solvent กลัว (flush) Model 510 HPLC pump ก่อนการใช้งาน

การเลือกและการใช้ตัวทำละลาย (solvents)

1. การจัดการกับตัวทำละลาย (handling solvents) ต้องทำตาม good laboratory practices เสมอ
2. ใช้ solvent ที่สะอาดบริสุทธิ์เท่านั้น โดยทำการ pre-filter หรือการทำให้บริสุทธิ์
3. รักษา pump filters ให้สะอาด
4. ต้องแน่ใจก่อนว่า solvent สามารถผสมเข้ากันได้ก่อนการเปลี่ยนจาก solvent หนึ่งเป็น ตัวอื่น
5. หลังจากใช้ pump ต้องกำจัด buffers เสมอ และทำความสะอาดระบบด้วยน้ำที่ผ่านการต้มกลั่นแล้วล้างด้วย methanol
6. การรักษา solvent reservoir ให้มี head height เพียงพออย่างน้อย 4 นิ้ว เหนือระดับ ของ inlet manifold

7. เมื่อใดก็ตามถ้าเป็นไปได้ให้ใช้ solvent ที่มีคุณสมบัติเหมือนกันเมื่อถึงจุดเวลา gradient
8. ก่อนนำ solvent มาใช้งานควรทำการขจัด gas ที่อยู่ใน solvent ออก
9. ต้องรู้คุณสมบัติของ solvent ก่อนนำมาใช้ เช่น cyclohexane กลายเป็นของแข็ง (solidly liefs) ความดัน 3500 psi (245 bars)

คุณสมบัติของตัวทำละลาย

Clean Solvent

การเลือกใช้ Solvent มาเป็น mobile phase ควรเลือกใช้

- * Solvent ที่สะอาด เพื่อให้ได้ค่า reproducibility ที่ดี
- * ใช้ Solvent ที่ดี จะช่วยลดการ maintenance เครื่องมือได้

Solvent ที่ไม่สะอาด เป็นสาเหตุให้

- * baseline noise และ drift
- * particulate matter สามารถเกิดการอุดตัน solvent reservoir และ inlet filters

การใช้น้ำเป็น Solvent

- * เมื่อ operate ระบบด้วยน้ำ น้ำที่ใช้ต้องถูกกำจัด bacteria
- * เป็นน้ำที่ผ่านการกลั่นให้บริสุทธิ์และผ่านระบบ Norganic water purification

Clean Filters

- * หลีกเลี่ยงการดูด foreign particles เข้าไปใน pump เนื่องจากอนุภาคเหล่านี้สามารถสะสมเพิ่มที่นั่นและจะมีผลกระทบบ่อย pump operation
- * ทำความสะอาด solvent reservoir filter เมื่อเกิดการสกปรก หรืออุดตัน ควรจะทำความสะอาด หรือเปลี่ยนใหม่
- * ทำความสะอาด filter โดยนำ Filters มา sonicate ด้วย 6N nitric acid ประมาณ 5-10 นาที

Solvent ที่ผสมเข้ากันได้ดี

- * ในการเปลี่ยน solvent ให้พิจารณาว่า solvent ทั้งสองชนิดสามารถผสมเข้ากันได้หรือไม่ ถ้า Solvent ทั้งสองชนิดไม่สามารถผสมรวมกันได้ ให้ใช้ solvent ที่ผสมกันได้มาคั่นกลาง (intermediate solvent) เช่น การเปลี่ยน

Solvent จาก Chloroform มาเป็นน้ำ ให้ใช้ methanol มาคั่นกลางในการเปลี่ยน คือ เปลี่ยนจาก Chloroform มาเป็น methanol จากนั้นจึงเปลี่ยนมาเป็นน้ำ

* ถ้าใช้ solvent สองชนิดที่ต้องใช้คุณสมบัติในการทำให้ solvent ผสมกัน ให้พิจารณาผลการเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิต่อการละลายของ Solvent ในภาวใช้งานให้เลือกใช้ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้ solvent ทั้งสองชนิดสามารถผสมกันได้ดี

* ในกรณีที่ใช้ Organic Solvent ผสมกับ buffer ในน้ำ ให้พิจารณาว่าที่สัดส่วนระหว่าง Organic และ น้ำทำให้เกิดการตกตะกอนของ buffer หรือไม่

การเลือก solvent

1. มีคุณสมบัติในการละลายได้ดี
2. ค่า RI มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (significantly different RI) กว่า sample components
3. เป็น solvent ที่ทำให้เกิดเสียงไม่ดังมากนัก (Gives satisfactory baseline noise performance)
4. ให้คุณลักษณะที่มี optimum optical sensitivity

คุณภาพของตัวทำละลาย (Solvent quality)

Solvent ที่ใช้ต้องเป็น spectral grade หรือ HPLC-grade

1. ให้ผลเหมือนเดิมเมื่อทำซ้ำ (Reproducible results) นั่นคือ เพื่อให้ได้ค่า reproducibility ที่ดี
2. เป็น solvent ที่สะอาด เพื่อช่วยลดการ maintenance ของเครื่องมือได้
3. มี optical interference น้อย

Solvent ที่สกปรกหรือไม่บริสุทธิ์จะทำให้เกิด Baseline noise และ drift, เกิดการอุดตันของ column และกีดขวางทางการไหลใน fluid path

การกำจัด gas ออกจาก solvent (Solvent Degassing)

การใช้ solvent ที่ไร้อากาศ เพื่อ

1. baseline คงที่ และให้ sensitivity สูง
2. ให้ Reproducible retention times
3. การทำงานของปั๊มคงที่ (stable)

การดูแลรักษาเครื่องอย่างง่าย

Solvent

1. ก่อนนำ Solvent มาใช้งานควรทำการขจัด gas ที่อยู่ใน solvent ออกก่อนโดยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

- * การใช้ helium ในการ sparge
- * การใช้ความร้อน
- * การใช้ Sonicate
- * การทำให้สูญญากาศ

2. ในการเลือกใช้ Solvent มาเป็น mobile phase ควรเลือกใช้

- * Solvent ที่สะอาด เพื่อให้ได้ค่า reproducibility ที่ดี (RT ไม่เปลี่ยนแปลง)
- * การกรอง Solvent จะช่วยลดการ maintenance เครื่องมือได้
- * Solvent ที่ใช้จะต้องเป็น HPLC grade

3. ทำความสะอาด Solvent inlet filters เมื่อเกิดการสกปรกหรืออุดตัน หรืออาทิตยครั้งเนื่องจากมีสิ่งสกปรกมาสะสม

- * โดยนำ filters มา sonicate ด้วย 6N nitric acid ประมาณ 5-10 นาที
- * แล้งล้างด้วยน้ำให้หมดกรด แล้งล้างด้วย methanol

4. ใช้ Solvent ที่ผสมเข้ากันได้ดี

5. ในการเปลี่ยน Solvent ให้พิจารณาว่า Solvent ทั้งสองชนิดสามารถผสมกันได้ดีหรือไม่ ถ้า Solvent ทั้งสองชนิดไม่สามารถผสมรวมกันได้ ให้ใช้ Solvent ที่ผสมกันได้มาคั่นกลาง เช่น

* การเปลี่ยน Solvent จาก Chloroform มาเป็นน้ำให้ใช้ methanol มาคั่นกลางในการเปลี่ยน คือ เปลี่ยนจาก Chloroform มาเป็น methanol จากนั้นจึงเปลี่ยนมาเป็นน้ำ

6. ถ้าต้องการใช้ Solvent สองชนิดที่ต้องให้อุณหภูมิในการทำให้ Solvent ผสมกันนั้น การใช้งานให้เลือกใช้ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้ (ปรับ Temp) Solvent ทั้งสองชนิดสามารถผสมรวมกันได้ดี

7. ในกรณีที่ใช้ Organic solvent ผสมกับ buffer ในน้ำ ให้พิจารณาว่าที่สัดส่วนระหว่าง Organic และน้ำทำให้เกิดการตกตะกอนของ buffer หรือไม่

8. เมื่อมีการใช้ buffer ไม่ควรทิ้ง buffer ไว้ในระบบ ควรนำออกจากระบบ

- * โดยอาจเลือกใช้ 0.2% sodium azide ในน้ำมาไล่ buffer
- * ถ้าต้องการเก็บระบบหลังการใช้งานให้เก็บใน methanol

9. วิธีการเตรียม Solvent (Solvent)

1. Solvent ทุกชนิดต้องกรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน หรือเล็กกว่า และต้องแน่ใจว่า solvent เข้ากันได้ กับเมมเบรนที่ใช้กรอง การกรองจะทำให้ปั๊มทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถช่วยให้ใช้ Injector ได้นานขึ้น

2. ภายหลังจากการกรองภาชนะต้องปิดฝา เพื่อกันฝุ่นหรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ

3. ถ้าต้องการเตรียม Solvent ให้ได้อัตราส่วนที่แม่นยำมาก ต้องใช้วิธีการชั่งน้ำหนัก Solvent ปกติ สามารถใช้กระบอกตวง Solvent ก่อนนำมาผสมกัน

4. การแยกเครื่องแก้วเฉพาะสำหรับ HPLC อย่าให้ปะปนกับส่วนที่ใช้เตรียมตัวอย่างอื่น ๆ

5. การล้างภาชนะได้ Solvent ให้หลีกเลี่ยงการใช้ detergent ถ้าหากใช้ detergent ล้างแล้วให้ล้างด้วยน้ำสะอาดตามด้วยน้ำ Milli Q และ Methanol แล้วจึงทิ้งให้แห้ง

6. พยายามหลีกเลี่ยงการใช้ Solvent ที่เติม Stabilizer หรือ preservative

Column

1. ก่อนทำการต่อ Column ควรทำความสะอาดในส่วนของ injector ให้เรียบร้อย เช่น

1.1 ทำการ purge และ needle wash ในส่วนของ auto sampler โดย solvent ที่ใช้เป็น needle wash ชนิดเดียวกับ mobile phase หรือมี strength ที่อ่อนกว่า mobile phase

1.2 ไม่ควรเลือกใช้ buffer มาเป็น needle wash solvent

2. ก่อนทำการต่อ column ควรพิจารณาถึง

2.1 Solvent ที่นำมาใช้ว่าเหมาะสมต่อการใช้งานกับ column ไหม หรือไม่

2.2 พิจารณาว่า column ที่นำมาใช้นี้ควรหลีกเลี่ยงการใช้งานกับ solvent ประเภทใดบ้าง

2.3 ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

2.4 ควรทราบมาก่อนว่า solvent ที่อยู่ใน column ขณะนั้นเป็น solvent ไດ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดจากการผสมกันของ solvent (กรณี solvent 2 ชนิด ไม่สามารถผสมกันได้)

3. เพื่อให้คอลัมน์ มีอายุการใช้งานนานขึ้นต้องคำนึงถึง

3.1 การใช้ Inline filter

Inline filter สามารถนำมาใส่ระหว่าง pump และ injector เพื่อขจัดสิ่งที่ไม่ละลายจาก pump ไม่ให้ มาอุดตันที่ injector หรือส่วนชิ้นในระบบและอาจนำมาใส่ระหว่าง injector

กับ column เพื่อป้องกันสิ่งที่ไม่ละลายที่อาจมาจาก pump, solvent หรือ injector, sample inline filter จะถูกออกแบบให้มี dead volume น้อยที่สุด กลไกการกำจัดสิ่งไม่ละลายคือ การใช้ ตะแกรง หรือ frit ที่มีรูพรุนอยู่ในช่วง 0.45-2 ไมครอน inline filter สามารถลดทอนความสะอาด โดยเอาส่วนที่เป็นตะแกรง หรือ frit ออกแล้วนำมาล้างด้วยกรด หรือ solvent ชนิดอื่นที่เหมาะสม โดยดูจากสิ่งที่มาอุดตัน

3.2 การใช้ Guard column

guard column สามารถป้องกัน column จากสิ่งปนเปื้อน 3 ชนิด คือ

1. particle ต่าง ๆ เช่น ประเด็น, ชิ้นส่วนเล็ก ๆ ที่หลุดมาจาก pump หรือวาล์ว หรือ ส่วนของ inject โดย guard column ทำหน้าที่กัก particle ไว้ ชิ้นส่วนเล็ก ๆ ที่ไม่ละลายจะถูกกักไว้ที่ผิวของส่วน filter ของ guard column การสะสมของ particle จะทำให้ความดันของระบบสูงขึ้น

2. Guard column ทำหน้าที่กักสารที่เล็กกว่า particle แต่ขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลทั่ว ๆ ไป เช่น โปรตีนซึ่งส่วนใหญ่มาจากตัวอย่าง หรือ mobile phase กลุ่มสารนี้จะสามารถผ่าน filter ของ guard column ได้แล้วผ่านเข้าไปใน packing ซึ่งอาจถูกกักโดยขนาด หรือการจับกันทางเคมี ซึ่งจะถูกกักอยู่ในช่วง 1-2 mm แรกของ guard column bed. แล้วเป็นสาเหตุให้ความดันของระบบสูงขึ้น

3. Guard column ทำหน้าที่กักสารปนเปื้อนระดับโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งผ่านเข้าไป จับกับ packing ใน guard column ทำให้มีผลต่อการวิเคราะห์โดยที่อาจทำให้สารที่ต้องการวิเคราะห์ถูก elute ออกมาเร็วขึ้น หรืออาจทำให้ peak ที่ได้มีรูปร่างบิดเบี้ยว หรืออาจทำให้ประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ หรือการแยกเปลี่ยนไป

4. การล้างขี้ความสะอาด column การล้างทำความสะอาดควรทำหลังจากการใช้งานทุกครั้ง โดยใช้ strong solvent ที่ใช้เป็น mobile phase ล้าง และปริมาณที่ใช้ล้างไม่น้อยกว่า 10 เท่าของปริมาตร column การปรับ pH ใน solvent จะสามารถขจัดสารที่จับกับ packing ได้ดี กรณีที่ column ชูดตันมากให้ล้าง column โดยกดทิศทางของ column เนื่องจากสิ่งสกปรกมักจะสะสมที่ส่วนหัวของ column ถ้าให้ solvent จะดึงสกปรกจะใช้ระยะทางที่หลุดออกมาจาก column สั้นกว่าการล้างแบบทิศทางปกติ นอกจากนี้ที่ออกจาก column ควรต้องลงภาชนะ waste เลยไม่ควรต่อเข้า detector เนื่องจากอาจทำให้ flow cell ของ detector สกปรก

Detector

1. ในกรณีพบว่า flow cell ของ detector สกปรก ซึ่งอาจสังเกตได้จากการที่ baseline เกิดการ drift หรือ การวัดมีค่า Sensitivity ต่ำ รวมทั้งการมีค่า absorbency ใน UV ไม่คงที่ ในกรณีนี้ควรทำความสะอาด flow cell ดังนี้

- * ทำการลด flow cell และ ปิด pump แล้วนำ column ออกจากระบบ
- * ทำการต่อท่อจาก pump แล้วผ่าน mobile phase เข้า detector โดยตรง (ควรพิจารณาถึงค่า pressure limit ของ detector ด้วย)
- * นำน้ำเข้าระบบ (ในกรณีที่ Solvent ไม่ผสมรวมกับน้ำให้หา Solvent มาก่อนกลางก่อน) เพื่อไล่สิ่งสกปรกออก
- * ใช้ Cleaning Solvent เช่น 6 N nitric acid ผ่านเข้าระบบ (ควรระวังเนื่องจาก waste ที่ออกมาต้องไม่เก็บในภาชนะเดียวกับ organic solvent)
- * ใช้น้ำผ่านระบบเพื่อล้างกรดออก ประมาณ 100 ml แล้วทำการวัด pH ที่ออกมาให้มีค่าเป็นกลาง
- * นำ methanol หรือ Solvent ตัวอื่น เช่น น้ำ HPLC GRADE เข้าระบบ

2. ใน RI detector ปรากฏว่า baseline ไม่คงที่ ซึ่งสิ่งที่ส่งผลต่อ baseline มีสาเหตุมาจากความเข้มข้น หรือ ความหนาแน่นของ solvent ผสม หรือ อุณหภูมิไม่คงที่ขณะทดลอง (ถ้าใช้ HPLC GRADE WATER ก็จะไม่เป็นปัญหาเหล่านี้)

- * สาเหตุที่ทำให้ความเข้มข้นของ Solvent ผสมเปลี่ยน คือ
 - Solvent separation (demising : เกิดการแยกกันของ Solvent)
 - การผสมกันของ solvent ไม่ดีพอทำให้ solvent ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
 - การระเหยของ solvent ที่ผสมกันต่างกัน ทำให้สัดส่วนของ solvent เปลี่ยนไป
 - * อุณหภูมิไม่คงที่ขณะทดลอง
 - อุณหภูมิของ solvent ในภาชนะเปลี่ยนไป ทำให้ความเข้มข้นของอากาศ หรือ แก๊สที่ละลายใน solvent เปลี่ยนไป
 - ความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิของ refractometer กับ solvent ในภาชนะ ทำให้เกิด degassing หรือ separation (demising) ของ solvent ใน refractometer cell
 - ค่า RI เปลี่ยน เนื่องจากอุณหภูมิและความดัน
3. สาเหตุที่ทำให้ความหนาแน่นของ solvent ผสมเปลี่ยน
- flow rate เปลี่ยน
 - อุณหภูมิแวดล้อมเปลี่ยน

- backpressure เปลี่ยน
- ความสูงของท่อจาก detector ไปยังภาชนะทิ้งไม่เหมาะสม
- 4. detector บางตัว ต้องมีการ equilibrate เครื่องไว้หลายชั่วโมง
- 5. หลังการใช้งาน conductivity detector ควรปิดเครื่องทิ้งไว้ระยะหนึ่ง เพื่อให้อุณหภูมิคงที่กับค่าอุณหภูมิใหม่หลังการใช้งาน และให้มี eluent ไหลผ่านด้วยอัตราการไหล (flow rate) 0.1 ml/min

INJECTOR

การป้องกันการอุดตันของ injector

สิ่งที่สามารถทำให้ injector อุดตัน เช่น ตะกอนของเกลือ, สารที่ไม่ละลายที่อยู่ในตัวอย่าง หรือ mobile phase และชิ้นส่วนหรือเศษผงที่มาจากท่อหรือ fitting ซึ่งมีวิธีการป้องกันดังนี้

1. กรอง mobile phase และตัวอย่างทุกครั้ง
2. ติดตั้ง filter ระหว่าง pump กับ injector เพื่อป้องกันชิ้นส่วนที่หลุดมาจาก pump
3. ล้าง injector บ่อย ๆ โดยเฉพาะเมื่อจะเติกใช้น้ำหรือใช้ Solvent (mobile phase) ที่มีส่วนผสมของ buffer
4. ใช้ท่อและ fitting ที่ปราศจากชิ้นส่วนที่สามารถหลุดได้หลุดและผิวเรียบไม่ขรุขระ

Guard column

เป็น column ชนิดหนึ่ง ตั้งระหว่าง injector กับ analytical column มีหน้าที่ขจัดอนุภาคที่ไม่ต้องการพวกฝุ่นหรือสิ่งเจือปนที่อยู่ใน mobile phase และสารตัวอย่างที่ใช้ใน HPLC มีวิธีการใช้และการดูแล guard column ควรปฏิบัติดังนี้

1. ก่อนการใช้ guard column ควรเปิดให้ flow organic solvent และ mobile phase ผ่าน guard column ตามลำดับ สามารถใช้ flow rate ที่เร็วได้ก็ต่อเมื่อระบบนั้นยังไม่ได้ต่อกับ analytical column
2. ท่อที่เชื่อมต่อกับ guard column จะต้องเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.009 นิ้ว
3. guard column ใช้ได้ใน pH ระหว่าง 2-8
4. หลีกเลี่ยงสารเคมีที่มี pH 7.8 เพราะสารเคมีนี้จะไปละลาย silica และทำให้อายุการใช้งานของ column สั้นลง
5. หลีกเลี่ยงการใช้เกลือ และสารละลายอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงหรือสารที่มีความกัดกร่อนและควรจะล้าง guard column ด้วยน้ำทุกครั้งหลังการใช้งานด้วยสารจำพวกนี้

6. หลีกเลียงการฉีดสารที่ตกตะกอนเข้าไปใน column โดยตรง ควรจะเจือจาง sample และกรองก่อนการฉีดสาร

7. ควรจะใช้ solvent ที่เป็น HPLC grade

การใช้เครื่องวัดและการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบ HPLC

การแก้ไขคอลัมน์ที่มีปัญหา

ลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นกับคอลัมน์สามารถแยกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. ความดันสูง สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา คือ

- 1.1 เกิดการอุดตันบริเวณท่อ ทางเข้าของ in-line filter guard column หรือ คอลัมน์
- 1.2 เกิดการปนเปื้อนขึ้นภายใน guard column หรือ คอลัมน์
- 1.3 เกิดจากการต่อท่อ หรือ fitting ที่มีขนาดไม่ถูกต้อง
- 1.4 เกิดจากการเสื่อมสภาพของคอลัมน์

2. เมื่อมีการฉีดสารได้พีคที่มีลักษณะผิดปกติ ลักษณะของพีคที่มีความผิดปกติ เช่น

2.1 การไม่พบพีคใด ๆ อาจมีสาเหตุมาจาก

- การฉีดตัวอย่าง เช่น ฉีด ไม่ตรงกับ vial, ไม่มี vial ตัวอย่าง, ตัวอย่างมีปริมาณไม่เพียงพอ หรือ เข็มฉีดอุดตัน (ในกรณีใช้ autoinjector)

- ไม่มีการส่งผ่าน solvent หรือมีอัตราการไหลของ solvent ต่ำ

- การตั้งค่าต่าง ๆ ของ detector ไม่ถูกต้อง เช่น ค่าความไวต่อความยาวคลื่น (wavelength sensitivity)

- ปัญหาจาก detector เช่น flow cell power supply electronics

- การต่อสายสัญญาณจาก detector มายังตัวเก็บข้อมูลไม่ถูกต้อง

- ตัวอย่างเสื่อมสภาพ

2.2 การได้พีคที่เล็กกว่าที่ควรจะเป็น อาจมีสาเหตุมาจาก

- ปริมาตรที่ฉีดไม่ถูกต้อง

- ขนาดของ sample loop ไม่ถูกต้อง

- การตั้งค่าต่าง ๆ ของ detector ไม่ถูกต้อง

- การต่อสายสัญญาณจาก detector มายังตัวเก็บข้อมูลไม่ถูกต้อง

- เกิดการปนเปื้อนของ flow cell ใน detector

- detector lamp เสื่อม

- ตัวอย่างมีความหนืดมาก

2.3 การได้พีคที่มีความกว้างในช่วงต้น ๆ สาเหตุเกิดจาก

- ปริมาณที่ฉีดหรือความเข้มข้นของตัวอย่างมีมากเกินไป
- ขนาดของท่อไม่ถูกต้อง
- บางส่วนของ sample loop ไม่ถูกต้อง
- บางส่วนของ in-line filter guard column หรือ คอลัมน์เกิดการอุดตัน
- ขนาดของ sample loop ไม่ถูกต้อง
- การตั้งค่า time constant ของ detector ไม่ถูกต้อง

2.4 การได้พีคที่มีความกว้างทุกพีคสาเหตุเกิดจาก

- การปนเปื้อนของคอลัมน์หรือ guard column
- เกิดจากการเสื่อมสภาพของคอลัมน์หรือ guard column
- การใช้ตัวทำละลายที่มีความแรงกว่า mobile phase ละลายตัวอย่าง
- การใช้ชนิดหรือขนาดของคอลัมน์ไม่ถูกต้อง

2.5 การได้พีคแยกเป็นสองพีคหรือมีไหล่ สาเหตุเกิดจาก

- การอุดตันที่ guard column หรือ column
- การปนเปื้อนที่คอลัมน์ หรือ guard column
- การเสื่อมสภาพของคอลัมน์ หรือ guard column
- การฉีดตัวอย่างที่มีปริมาณ หรือความเข้มข้นมากเกินไป

2.6 การได้พีคเป็นลักษณะ fronting สาเหตุเกิดจาก

- การฉีดตัวอย่างที่มีปริมาณ หรือความเข้มข้นมากเกินไป
- การปนเปื้อนที่คอลัมน์ หรือ guard column
- การเสื่อมสภาพของ guard column

2.7 การได้พีคเป็นลักษณะมี tailing สาเหตุเกิดจาก

- การปนเปื้อนที่คอลัมน์ หรือ guard column
- การเสื่อมสภาพของคอลัมน์ หรือ guard column
- การฉีด เช่น การวิ่งของวาล์ว การอุดตันของเข็มฉีดสาร
- การอุดตันของส่วนที่ฉีดสาร
- การตั้งค่า time constant ของตัวตรวจวัดไม่ถูกต้อง

วิธีการแก้ไขปัญหาการเกิดฟีดที่มีลักษณะผิดปกติ

การได้ฟีดที่มีลักษณะผิดปกติ มักมาจากการที่คอลัมน์เกิดการปนเปื้อน หรือการเกิดการอุดตันขึ้น

วิธีที่ป้องกันสามารถกระทำได้นี้

1. ควรมีการตรวจสอบตัวอย่าง หรือ mobile phase ก่อนเข้าสู่คอลัมน์
2. ควรมีการใช้ inline filter หรือ guard column

ถ้าเกิดปัญหาในส่วนของ inline filter ให้ถอดส่วนนี้ออกมาทำความสะอาดโดยการนำไป sonicate กับ เมทานอล

ถ้าเกิดปัญหาในส่วนของ guard column ให้เปลี่ยน insert หรือ packing ใหม่

3. ถ้าปัญหาเกิดขึ้นกับคอลัมน์ให้แก้ไข ดังนี้

3.1 ให้พิจารณาดูว่ากำลังวิเคราะห์ตัวอย่างโดยอยู่ และสามารถละลายได้ในสารละลาย ให้ใช้สารละลายที่สามารถละลายตัวอย่างที่วิเคราะห์นั้นเป็นตัวชะออกจากคอลัมน์

3.2 การกดทับทิศของคอลัมน์ แต่มีข้อเสียคือ อาจทำให้เกิดที่ว่าง (void) ขึ้นในคอลัมน์ได้ และอาจมีผลต่อ packing ของคอลัมน์ต่อไปในอนาคต

3.3 กรณีที่ฟีดแตกออกเป็นสองฟีด ซึ่งเกิดจากบริเวณ frit ของคอลัมน์สกปรก แก้ไขโดยการถอด frit เพื่อไม่ให้เกิดการอุดตันของ packing ภายในคอลัมน์แล้วนำส่วนนี้ไปล้างโดย sonicate ด้วยตัวทำละลายที่สามารถชะล้างสกปรกเหล่านี้้ออกได้ แล้วจึงล้างด้วยเมทานอลอีกครั้ง จากนั้นนำกลับมาใส่ที่เดิม แล้วทดสอบคอลัมน์ด้วยการฉีดสารมาตรฐานที่เป็นกลาง เช่น acetone, benzene หรือ toluene

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับ HPLC INJECTOR

1. ปัญหาการรั่ว (Leaks) ของ injector จะเกิดได้ 3 แห่ง

1.1 ที่ needle port หรือ ส่วนด้านหน้าที่ใช้สอดเข็ม

1.2 ที่ Vent tubes

1.3 ที่ช่องว่าง (gap) ระหว่าง stator และ stator ring

สาเหตุเกิดจาก

rotor seal อีกรขาด หรือเสื่อมก่อนเวลาอันควร เกิดจากการที่มีสิ่งแปลกปลอมที่ไวละลายเข้าไปใน injector แล้วเข้าไปอุดตัน

วิธีแก้ไขปัญหา

1. ตรวจสอบท่อที่ใช้ว่าปราศจากผงและทำการ flush ให้เรียบร้อยก่อนการใช้งาน

2. ตรวจสอบตัวอย่าง และ mobile phase ทุกครั้ง
3. ติดตั้งตัวกรอง (filter) ระหว่าง pump และ injector เพื่อป้องกันไม่ให้ particles ที่อยู่ใน mobile phase หรือจากปั๊มเข้ามายัง injector ได้
4. ตั้ง injector ด้วยน้ำป้อน ๆ ถ้าใช้พวก buffer โดยเฉพาะต้องทำทุกครั้งเมื่อเลิกใช้เครื่องมือ

หมายเหตุ การวิ่งบางอย่างไม่จำเป็นต้องเปลี่ยน rotor seal เดิมต่อไป การแก้ไขอาจทำได้โดยปรับ injector โดยไม่ต้องถอดชิ้นส่วนออกมา

2. ปัญหาพีคแปลกปลอม หรือ Artifact peaks แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.1 เป็นพีคแปลกปลอมที่เกิดจากการตกค้างของการฉีดสารครั้งที่แล้ว เมื่อฉีด blank ก็จะมีเห็นโครมาโตแกรม เป็นพีคเล็ก ๆ อาจเรียกว่า carryover peak ให้ล้าง needle port (ส่วนที่เสียบเข็ม) แล้วฉีด blank ให้เหมือนกับที่เคยฉีด

2.2 พีคแปลกปลอมที่เกิดขึ้นมาโดยไม่เกี่ยวข้องกับการฉีดตัวอย่างครั้งก่อน เรียกว่า spurious peaks โดย peak พวกนี้จะมี retention time ต่างกับของตัวอย่าง ให้ทำการล้าง needle port แล้วให้ฉีด blank เข้าไปให้เหมือนกับกับการฉีดตัวอย่าง

2.3 peak มีลักษณะบิดเบี้ยว หรือ distorted peaks อาจมีลักษณะโย้หน้า โดยไม่ทางข้างหลังเกิด tailing หรือ peak แบ่งเป็น 2 ส่วน peak แบบนี้มักเกิดตอนที่ฉีดตัวอย่างเท่านั้น ขณะที่ฉีด blank มักจะไม่เห็นการที่ peak บิดเบี้ยวโย้ด้านหน้า (fronting) เกิด tailing และ peak กว้าง (broad)

ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจาก guard column

ผลของ guard column ที่มีต่อการวิเคราะห์

1. ลดค่า Resolution ของ analytical column ซึ่งหมายถึงทำให้การแยกของ peak แย้งสาเหตุอาจเกิดจาก

- pack guard column ไม่ได้
- เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ guard column มีขนาดใหญ่กว่าของ analytical column

2. เพิ่มหรือทำให้ประสิทธิภาพของ analytical column คงเดิม การที่จะกระทำให้ประสิทธิภาพของ analytical column ไม่ลดลงนั้น guard column จะต้อง

- มีวิธีการบรรจุแบบ high performance
- มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กกว่า หรือเท่ากับ analytical column
- เมื่อต่อเข้าไปแล้วไม่มีผลทำให้เกิด band broadening (peak กว้าง และ เตี้ย)

วิธีแก้ไข

1. เลือก packing ใน guard column ให้เหมือนกับใน analytical column โดยให้ bond ทางเคมีเหมือนกัน
2. เส้นผ่านศูนย์กลางภายในใน guard column ต้องไม่ใหญ่กว่า analytical column
3. ระหว่าง guard column และ analytical column ควรต่อท่อให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ ถ้าใช้การต่อแบบติดกันโดยไม่ต้องใช้ท่อเลยจะดีที่สุด
4. กรณีมีการต่อท่อระหว่าง guard column และ analytical column ให้ใช้ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในไม่เกิน 0.01 นิ้ว
5. ได้เปลี่ยน guard column อันใหม่ในช่วงระยะเวลาเท่ากัน หรือจำนวนครั้งที่อัดเท่า ๆ กันเราจะเปลี่ยน guard column ใหม่เมื่อ guard column มีผลทำให้ประสิทธิภาพการแยกแ่ลง หรือความดันของระบบสูงขึ้น (เช่นสูงขึ้นประมาณ 20%)

หมายเหตุ การฉีด blank คือ การฉีด mobile phase ที่มีปริมาณเท่ากับตัวอย่างเข้าไป mobile phase ที่ฉีดเข้าไปควรมีองค์ประกอบ หรือเป็นชนิดเดียวกับส่วนที่ sample ถูกเข้าไป

ตารางที่ 2 แสดงถึงปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจาก PUMP

อาการที่ปรากฏ	สาเหตุ	การแก้ไข
1. pump ไม่ทำงาน (พัดลมไม่ทำงาน)	1. ไม่ให้เสียบปลั๊ก 2. fuse ขาด	1. ตรวจสอบปลั๊กและดูว่าที่ปลั๊กทั้งสองของสายไฟต่ออย่างถูกต้องหรือไม่ 2. เปลี่ยน fuse
2. pump ไม่ทำงาน (พัดลมทำงาน)	1. plunger หัก 2. indicator rod งอ 3. motor driver board เสีย	1. เปลี่ยน plunger 2. เปลี่ยน indicator rod 3. เปลี่ยน motor driver board ใหม่
3. ไม่มีการ pump ของ mobile phase จาก outlet	1. มีช่องว่างใน pump head 2. inlet/outlet check valves สกปรก 3. pressure limit ตั้งไว้ไม่เหมาะสม (high pressure limit หรือ low pressure limit ตั้งไว้สูงกว่า pressure จากการทำงานจริง) 4. pressure transducer ผิดปกติ (อ่านค่าผิด)	1. ตรวจสอบว่าปัญหาอาจมาจาก - ภาชนะบรรจุ mobile phase อยู่ในระดับเดียวกับ pump head หรือต่ำกว่าหรือไม่ ถ้าต่ำกว่าให้ยกภาชนะบรรจุ mobile phase ให้สูงกว่าระดับ pump head - pump inlet tubing มีการหัก งอ ถ้าใช่ให้เปลี่ยน pump inlet tubing - ถ้าจัด แก๊สใน mobile phase ไม่หมดให้นำไปกำจัดแก๊สใหม่ - solvent reservoir inlet-filter สกปรก ให้นำมา sonicate ด้วย 6 N HNO ₃ แล้วล้างด้วยน้ำและ methanol จนแน่ใจว่าสะอาด - solvent มีการระเหยมากใน pump head 2. flow ตั้งโดยใช้ cleaning solvent (1:1:MeOH : H ₂ O + liquid detergent) 3. ตั้งค่า pressure limit ใหม่ 4. ลดค่า flow rate ให้เท่ากับ 0 จากนั้นปรับ pressure transducer ให้เท่ากับ 0 ถ้ายังเกิดปัญหาให้ติดต่อแผนบริการ

อาการที่ปรากฏ	สาเหตุ	การแก้ไข
	5. มีตัวทำละลายที่ไม่ผสมกันใน pump head	5. purge ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมซึ่งใน intermediate ระหว่างตัวทำละลาย 2 ตัว ที่ไม่ผสมกัน
4. flow rate ผิดปกติ	1. check valves สกปรก หรืออุดตัน 5. มีก๊าซใน mobile phase	1. ให้นำ check valves มาล้างด้วย 6 N HNO ₃ โดยใส่ในเบ็กเกอร์แล้วนำไป sonicate หลังจากนั้นเปลี่ยนเป็นน้ำ แล้วตามด้วย MeOH 2. ทำความสะอาดเช่นเดียวกับ check valves หรือ ถอดเปลี่ยน filter ใหม่ 3. กำจัดแก๊สใน mobile phase ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี - sonicate - spurge ด้วย Helium - filter
5. pressure สูงเกินกว่าปกติ	1. มีการเปลี่ยนแปลงใน column 2. transducer เมื่อยังไม่มีการ flow มีค่ามากกว่า 0 3. สารละลายใน pump ไม่สามารถละลายเข้าด้วยกันได้	1. ให้นำ column มาล้างด้วยน้ำ แล้วตามด้วย MeOH หรือ solvent ที่แรงขึ้น เปลี่ยน column ใหม่ 2. ให้ adjust zero ที่ transducer ใหม่ให้มีค่าเป็น 0 3. ให้หาจุดกลางที่สามารถละลายได้ทั้ง 2 solvent
6. pressure สูงกว่าปกติ	1. pump head ทั้ง 2 pump ไม่ทำงาน 2. transducer zero ทั่ว scale	1. ให้ทำการ priming pump โดยการดูด solvent จาก draw off valve แล้ว push เข้าไปใน pump head 2. ให้ adjust zero ใหม่
7. pressure จออ่านค่าเป็น 0 เสมอ	1. pressure meter เสีย	1. เปลี่ยน pressure meter ใหม่
8. มีการรั่วที่ pump head	1. plunger seals ฉีกขาด 2. pump head หลวม 3. compression screw บน pump head หลวม 4. inlet/outlet check valves หลวม	1. เปลี่ยน plunger seals 2. ขัน pump head ให้แน่นขึ้นเล็กน้อย 3. ขัน screw ให้แน่นขึ้นอีกเล็กน้อย 4. ขันให้แน่นขึ้น

การที่ pump ทำงานผิดปกติไม่ใช่จะมีปัญหาต่อการทำงานของ pump เท่านั้น แต่ยังมีผลต่อ chromatogram

ตารางที่ 3 แสดงถึงความผิดปกติของ pump ที่มีผลต่อ chromatogram

อาการที่ปรากฏ	สาเหตุ	การแก้ไข
พบความผิดปกติบน chromatogram ที่ได้ 1. baseline drift หรือ baseline noise	1. flow rate ไม่คงที่ 2. มีฟองอากาศอยู่ใน pump 3. plunger seals ล้า ทรุดโทรม 4. filler อุดตัน 5. check valves ตกรั่ว 6. pump not primed	1. ตรวจสอบ flow rate 2. pushไล่ฟองอากาศใน pump โดยทำการ priming pump 3. เปลี่ยน plunger seals 4. ล้างหรือถอดเปลี่ยน filler 5. ล้าง check valves 6. prime the pump
2. missing peak	- pump หยุดการทำงาน	- เปิด-ปิด pump ใหม่
3. variable retention time	- มี air อยู่ที่ pump หรือ flow rate ไม่ถูก 조정	- ไล่ air ออกจาก pump และทำการแก้ใน mobile phase

การแก้ปัญหาทางประการเกี่ยวกับระบบ HPLC

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบ HPLC จำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ปัญหาที่เกิดจากการใช้งานไม่ถูกต้อง
2. ปัญหาที่เกิดจากตัวเครื่องระบบเอง

ลักษณะบางประการมีดังต่อไปนี้

1. pump มี Air Bubbles ซึ่งมีลักษณะเป็น Pulse ขึ้น ๆ ลง ๆ กัน หากสังเกตได้จาก pressure gauge ซึ่งแสดงค่า pressure นั้นจะไม่นิ่ง เหนือที่บอก pressure จะแกว่งไปมา

วิธีแก้ไข

ลด flow rate ลงเป็น 0 ml/min และนำ solvent ที่ใช้นั้นไป degas 15-20 นาทีหรืออาจจะเติบใหม่ แต่ต้อง degas ก่อนนำมาใช้ บางระบบอาจมี Helium sparging ให้ sparge 100 ml/min ประมาณ 20 นาที จากนั้นให้นำมา prime pump ใหม่ และไล่ Air bubbles ใน pump Head จากนั้นต่อระบบเหมือนเดิม

2. ลักษณะที่มีटकค้างอยู่ใน Injector ทั้ง ๆ ที่ไม่ได้ Inject อะไรเพิ่มเติมเข้าไปอีก เพียงแต่สวิตช์มาที่ Inject position ก็ปรากฏเป็นฟีดขึ้นมาและเมื่อทำลักษณะดังกล่าวซ้ำ ฟีดจะมีลักษณะเล็กลงเรื่อย ๆ ลักษณะเช่นนี้ เป็นลักษณะของสารที่टकค้างอยู่ใน Inject สาเหตุนี้เกิดจากการฉีดตัวอย่างครั่งก่อนค้างอยู่ที่ท่อ vent เบอร์ 6 ตัวอย่างนี้ถูกไซฟอนกลับเข้ามาใน loop ก่อนการฉีดครั้งต่อไป เหตุการณ์แบบนี้เกิดจากการปรับระดับท่อ vent ไม่ถูกต้องทำให้เกิดไซฟอนขึ้นขณะที่สวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง load และไม่ได้เขียนเข็มอัด

การแก้ไข

1. ปรับระดับท่อ vent ให้อยู่ระดับเดียวกับ needle port เพื่อป้องกันทวนไซฟอนกลับมาที่ loop
2. การชะล้าง ให้ใช้วิธีแบบหัดเกลียวต่อกับ needle mobile phase ไหลออกที่ท่อ vent เบอร์ 5 โดยไม่ผ่านเข้า loop การทำแบบนี้จะเป็นการทำความสะอาด needle port ทุกส่วนรวมทั้ง guide ท่อและ needle seal ตัว needle port cleaner จะเป็นส่วนที่ seal กับด้านหน้าของ guide การถอดเข็มแล้วฉีด mobile phase เข้าไปจะไม่ช่วยล้างส่วนนี้ ดังนั้นควรใช้ needle guide เท่านั้น แต่ถ้าไม่มีให้ใช้เข็มอัดแบบที่เป็นหัวฉีดแบบที่เป็นหัวเกลียว (lure lock)

วิธีแก้ไข

1. ให้เช็ค voltage ว่าคงที่หรือไม่หาจของความช่วยเหลือ จาก service
2. ตรวจสอบสัญญาณถูกต้องหรือไม่
3. มีสาย ground หรือไม่

บทที่ 4

สรุปผลการปฏิบัติงาน

จากผลการปฏิบัติงานพบว่าสามารถทำหน้าหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายด้านเจ้าสูล่วงบหวัดบุตร ประสงค์ตามที่ Co-op- supervisor ตั้งใจไว้ เนื่องจากงานที่ได้รับมอบหมายทุกอย่างอื่น ได้ปฏิบัติเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด ได้ผลสรุปเป็นที่น่าพอใจและสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากงานอื่นๆ รวมถึงการนำประสบการณ์จากความผิดพลาดมาแก้ไขปรับปรุงเพื่อใช้กับงานใหม่ได้ดียิ่งขึ้น ความสำเร็จจากการปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายในครั้งนี้ส่วนหนึ่งมาจากการให้คำปรึกษาของ Co-op supervisor หัวหน้างานในส่วนของห้องปฏิบัติการ ผู้จัดการส่วนผลิตและหัวหน้าในส่วนผลิตหลายๆ ท่าน

ข้อเสนอแนะเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานครั้งนี้ ได้แก่

1. เมื่อพบปัญหาจากการปฏิบัติงานต้องรีบแจ้งแก่ผู้มอบหมายงานและขอคำปรึกษาจาก Co-op supervisor เพื่อสามารถแก้ไขปัญหาล่วงหน้าและป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานครั้งต่อไป
2. ในการทำงานที่ได้รับมอบหมายทุกชิ้น จะต้องมีการวางแผนการปฏิบัติงานเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่เกิดการ耽งงและความซ้ำซ้อนของงาน นอกจากนั้นการทำงานจะต้องให้เสร็จสิ้นเป็นงานๆ ไม่ควรเิดดกลับไปกลับมา เพราะการปฏิบัติดังที่กล่าวมานั้นจะทำให้งานที่ได้รับมอบหมายมีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร
3. การออกสททกิจในครั้งนี้มีนักศึกษา 3 คน ดังนั้นสิ่งสำคัญคือต้องมีการแบ่งงานหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายอย่างชัดเจนและมีการประสานงานกันอย่างมีแผนเพื่อให้งานมีคุณภาพ จะต้องมีการปรึกษา Co-op supervisor เพื่อให้การแบ่งงานมีความเหมาะสม
4. ในการปฏิบัติงานต้องคิดอยู่เสมอว่าข้อมูลของงานทุกชิ้นมีส่วนเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติจริงในระดับอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงต้องมีความระมัดระวังในการปฏิบัติงานและการประเมินผลที่ได้

จากการศึกษาลักษณะการประกอบธุรกิจการผลิตกลูโคสไซรัป ของบริษัท นครหลวงกลูโคส จำกัด และลักษณะงานที่ได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติแล้ว สิ่งที่ได้เรียนรู้จากประสบการณ์การทำงานในบริษัท นครหลวงกลูโคส จำกัด สามารถนำมาช่วยพัฒนาตนเองได้ ดังนี้

1. ทักษะทางด้านมนุษยสัมพันธ์และการปรับตัว (Interpersonal skills / Flexibility)

จากการปฏิบัติงานในสถานประกอบการจริง จะต้องร่วมงานกับผู้คนหลายๆคนซึ่งมีอุปนิสัยต่างกัน ทำให้พวกเขารู้จักปรับตัวตนเองให้เข้ากับเพื่อน ๆ และพี่ ๆ ที่ทำงานได้

2. ความสามารถใช้ computer ในการปฏิบัติงาน (Computer literacy)

ในการปฏิบัติงานบางครั้งต้องใช้ความรู้ความสามารถทางด้าน computer ที่ได้เรียนมาช่วยในการทำงาน เช่น Excel ในการสร้างกราฟสร้างตาราง เป็นต้น

3. ความสนใจในงาน (Interest in Job)

ทักษะในด้านนี้ได้เกิดขึ้น เมื่อทางบริษัทได้มอบหมายงานให้พวกเขารู้จักได้รับผิดชอบ ทำให้เกิดความสนใจในงานที่ได้รับมอบหมาย เพราะว่าเป็นสิ่งแปลกใหม่ แตกต่างจากทฤษฎีที่มีอยู่ในตำราเรียน และนี่เป็นการปฏิบัติงานในบริษัทที่พัฒนาการตัดสินใจออกจำหน่ายให้แก่ลูกค้าจริง ๆ

4. การฝึกฝนให้มีระเบียบวินัยในตนเอง (Self - discipline)

จากการออกสหกิจศึกษาที่บริษัท นครหลวงโกกลูโคส จำกัด จะต้องปฏิบัติตัวให้ถูกต้องตามกฎระเบียบของบริษัท เช่น ต้องทำงานตามเวลาที่บริษัทกำหนด หรือแต่งกายให้เรียบร้อยในเวลาทำงาน เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ได้ฝึกฝนให้เกิดระเบียบวินัยในตนเอง

5. ความสามารถในการเรียนรู้ และนำความรู้ใหม่มาประยุกต์ (Ability to learn/apply new knowledge)

เนื่องจากการปฏิบัติงานในสถานประกอบการจริง หลักในการปฏิบัติ เพื่อการมีขีดระดับอุตสาหกรรมแตกต่างจากข้อมูลทางทฤษฎี ดังนั้น จึงได้มีการนำความรู้หลาย ๆ อย่างมาประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถใช้ในการภาคอุตสาหกรรม สิ่งหนึ่งที่ได้นับ คือการเรียนรู้ข้อมูลในระดับอุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับข้อมูลทางทฤษฎี อีกทั้ง การลงมือปฏิบัติจริง จึงทำให้มีความเข้าใจทั้งทฤษฎีและทางปฏิบัติควบคู่กันไป

6. ทักษะการทำงานเป็นทีม (Team working skills)

ในส่วนของหน้าที่ ที่รับผิดชอบ ที่เกี่ยวข้องกับฝ่ายผลิต มีการจัดทำแผนงานที่เกี่ยวข้องกับหลาย ๆ ฝ่าย และเป็นงานที่ต้องร่วมมือกันทำเป็นหมู่คณะ ดังนั้นจึงทำให้สามารถปรับตัว และเข้าใจการทำงานเป็นระบบหลายคนได้ดีขึ้น มีการร่วมมือกันแก้ไขปัญหา และเสนอความคิดเห็น เพื่อให้ได้แนวคิดที่ดีที่สุด ในส่วนของห้องแล็บวิจัย และควบคุมคุณภาพ การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบไปจนถึงผลิตภัณฑ์ จะต้องร่วมมือช่วยเหลือกันเพื่อทำการทดลองและวิเคราะห์ให้ได้ผลตามเวลาที่กำหนด จึงทำให้เข้าใจถึงการแบ่งงานหน้าที่รับผิดชอบอย่างเป็นระบบสามารถทำงานร่วมกันให้เสร็จรวดเร็วทันเวลาและมีประสิทธิภาพ

7. ความมั่นใจในตนเอง (Self confidence)

หลายๆครั้งในการปฏิบัติงาน หน้าที่ที่ได้รับมอบหมายให้ทำ จะต้องคิดออกแบบและทำการปฏิบัติด้วยตนเอง จึงทำให้มีการศึกษาหาความรู้และค้นคว้า ข้อมูลที่ได้ต้องแน่ใจว่าถูกต้องน่าเชื่อถือ สามารถนำมาใช้ได้จริงในระดับอุตสาหกรรม จากเหตุการณ์ที่ทำให้ต้องช่วยตัวเองและตัดสินใจด้วยตัวเอง ทำให้มีความมั่นใจในตนเอง นอกจากนั้นเมื่อปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายจนเสร็จสิ้น จะต้องมีการนำเสนอและอธิบายผลที่ได้ จึงทำให้มีความมั่นใจในการตัดสินใจในการนำเสนอมากขึ้น

8. ความเป็นผู้นำ และความคิดริเริ่มก่อนในการปฏิบัติ (Initiative)

การปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางเทคนิค และความรู้ทางวิชาการใหม่ที่ต้องนำมาใช้ ทำให้มีความคิดริเริ่มก่อนและนำความคิดไปเสนอต่อ Supervisor เพื่อให้เกิดความมั่นใจและแน่ใจในการนำไปปฏิบัติงานจริง

9. มีความรู้ความเข้าใจ อฉลาด คิดในเชิงสร้างสรรค์ (Intelligence / Creativity)

จากการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจการปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจำลองการปฏิบัติจากระดับอุตสาหกรรมและการศึกษา ทำความเข้าใจในระดับอุตสาหกรรมทำให้มีความเข้าใจมากขึ้น ประกอบกับการได้นำความรู้จากทฤษฎีที่ได้เรียนมา ทำให้สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ได้เป็นอย่างดีตลอดทั้งในการผลิตระดับอุตสาหกรรม มีการพัฒนาเพื่อปรับปรุงให้ดีขึ้นตลอดเวลาไม่หยุดนิ่ง จึงทำให้ได้นำความรู้มาใช้ในการทดลองปฏิบัติตลอดเวลา ทำให้มีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น ทั้งภาคทฤษฎีและการปฏิบัติจริงในระดับอุตสาหกรรม

10. ทักษะในการแก้ไขปัญหา (Problem - solving skills)

เนื่องจากการปฏิบัติงานที่ต้องช่วยเหลือตนเองอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้มีทักษะในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน และการอยู่ร่วมกับผู้อื่นในสังคม ได้แก่ เพื่อนร่วมงาน และพนักงาน มีหลายปัญหาถ้าเกินความสามารถในการแก้ไข ก็ปรึกษา Supervisor ทำให้การตัดสินใจเพื่อแก้ปัญหาดีขึ้น

11. ศักยภาพในการเป็นผู้นำ (Leadership potential)

หน้าที่ที่ได้รับมอบหมายจะเกี่ยวข้องกับการจัดทำเอกสาร ISO 9000 และทำภาพทดลองในส่วนควบคุมคุณภาพ จึงทำให้คุณสมบัติข้อนี้ไม่สามารถนำมาให้ได้เท่าที่ควร

12. วุฒิภาวะ (Maturity)

ได้มาจากการที่ต้องช่วยเหลือตนเอง ตัดสินใจด้วยตนเองและการแก้ปัญหาด้วยตนเองในหลายๆเรื่อง จึงทำให้มีวุฒิภาวะเพียงพอในการตัดสินใจเรื่องงาน แต่บางเรื่องจะต้องได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญอย่างใกล้ชิด

13: ทักษะในการนำเสนอ (Presentation skills)

มาจากการที่นำเสนอและแสดงความคิดเห็นจากผลการทำงานทดลอง และการปฏิบัติงานแต่ละส่วนที่ได้รับมอบหมาย ทำให้ได้รับทักษะในการนำเสนอจากการออกผลงานกิจได้อย่างดี



เอกสารอ้างอิง

- กรณีการวิเคราะห์สิ่งที่มีไขมัน น้ำไขมัน และการวิเคราะห์. 119 - 126.
- ธงชัย พชรณสวัสดิ์, อุษา วิเศษสุนทร. 2535. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2
- บริษัท สหวิทย์ แอสโซซิเอต จำกัด. 2540. คู่มือสัมมนาเบื้องต้น HPLC. เขตบางพลัด กรุงเทพฯ
- ฝ่ายหมักน้ำและถังมีความดัน. 2532. คู่มือควบคุมหมักไอน้ำ. กองควบคุมปลอดภัยโรงงาน, กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- American Public Health Assoc. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters. 18 th edition.
- Pomeranz Y., Meloan C.E. 1977. Food Analysis: Theory and Practice. AVI Publishing Company Inc. Connecticut.
- Ronald S. Kirk., Ronald Sawyer. 1991. Pearson's Composition and Analysis of Foods. Longman Scientific & Technical. Singapore.