คู่มือ
แนวทางตรวจสอบคุณภาพ
ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางเคมี

สุภาน้อย ทรัพย์สินเสริม
กองตรวจสอบคุณภาพสินค้าประมง
กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

เอกสารวิชาการฉบับที่ 8/2562

สารบาญ

	หน้า
บทที่ 1: บทนำ	1
บทที่ 2: การออกแบบและโครงสร้างพื้นฐานสำหรับห้องปฏิบัติการ	3
บทที่ 3: วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือและเครื่องแก้วต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับห้องปฏิบัติการ	11
บทที่ 4: สารละลาย และหลักการเตรียมสารละลายสำหรับห้องปฏิบัติการ	30
บทที่ 5: การทวนสอบ สอบเทียบและการบำรุงรักษาเครื่องมือ	38
บทที่ 6: การประกันคุณภาพการวิเคราะห์สำหรับห้องปฏิบัติการ	49
บทที่ 7: การตรวจวิเคราะห์คุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ	68
บทที่ 8: มาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ	87
เอกสารอ้างอิง	90

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตัวอย่างคุณสมบัติของสารเคมี	7
2	เปรียบเทียบความผิดพลาดของขวดวัดปริมาตรเกรด A และเกรด B	36
3	เปรียบเทียบความผิดพลาดของปิเปตที่ใช้วัดปริมาตรเกรด A และเกรด B	37
4	ค่าการยอมรับสูงสุด สำหรับ relative ion intensity	43
5	เกณฑ์พิจารณาการทดสอบความเหมาะสมของระบบ	46
6	เกณฑ์ยอมรับ % Recovery อ้างอิงตาม Codex, 2010	53
7	เกณฑ์ยอมรับ % Recovery สำหรับสารเดี่ยว อ้างอิงตาม A.O.A.C, 2002	53
8	เกณฑ์ยอมรับ % Recovery สำหรับสารผสม อ้างอิงตาม A.O.A.C, 2002	53
9	แสดงตัวหารที่ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของการวัดและระดับความเชื่อมั่น	64

สารบาญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การจัดทำห้องแบบ Modular Laboratory Design	3
2	กล่องสัญญาณเตือนภัย	5
3	ถังดับเพลิงชนิดผลเคมีแห้งและถังดับเพลิงชนิด BF2000	5
4	ผังก้างปลาเพื่อพิจารณาแหล่งที่มาของความไม่แน่นอน	63

บทที่ 1

บทนำ

กรมประมงเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยของสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทุกห่วงโซ่การผลิต ตั้งแต่ระดับฟาร์มเลี้ยงจนกระทั่งถึงการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรม และอีกหน้าที่หนึ่งเป็น Competent Authority ของกลุ่มสหภาพยุโรป และมีหน้าที่กำกับดูแล และดำเนินการตรวจสอบสารตกค้าง สารปนเปื้อน สารชีวพิษ และเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคในวัตถุดิบสัตว์น้ำเพื่อการตรวจติดตามและควบคุมภายใต้แผนการดำเนินงานของกรมประมง ดังนั้นห้องปฏิบัติการทดสอบของกรมประมงจึงต้องมีการพัฒนาศักยภาพการตรวจวิเคราะห์ให้สอดคล้องตามหลักมาตรฐานสากล เพื่อการยอมรับในผลการตรวจสอบ เพื่อป้องกันและควบคุมมิให้เกษตรกรมีการใช้สารตกค้าง หรือสารเร่งการเจริญเติบโตต่าง ๆที่ผิดกฎหมายและเกิดการตกค้างในอนาคต

ความเชื่อมั่นในการรายงานผลการทดสอบเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งทุกห้องปฏิบัติการต้องดำเนินการสร้างความเชื่อมั่นและควบคุมคุณภาพห้องปฏิบัติการให้มีความถูกต้อง และแม่นยำ การบริหารจัดการอย่างเป็นระบบโดยมีความมุ่งมั่นในการที่จะควบคุมคุณภาพให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล โดยปัจจุบันห้องปฏิบัติการที่เป็นที่ยอมรับทั่วไปต้องได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 หรือจะต้องปฏิบัติตามหลักปฏิบัติที่ดีสำหรับห้องปฏิบัติการ (Good Laboratory Practice; GLP) โดยการปฏิบัติตามมาตรฐานดังกล่าวจะช่วยให้ห้องปฏิบัติการเป็นที่ยอมรับในผลการวิเคราะห์ บุคลากร รวมถึงภาพรวมของหน่วยงานในระดับนานาชาติได้ นอกจากนี้ยังมีส่วนในการขจัดปัญหาทางวิชาการในการกีดกันทางการค้า ก่อให้เกิดความมั่นใจในคุณภาพ ความปลอดภัย และมาตรฐานของสินค้าสัตว์น้ำนั้น ๆ ตามมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปประเมินการแก้ไขข้อบกพร่องในการผลิตได้ทันท่วงที

ตั้งแต่ปี 2546 ห้องปฏิบัติการกรมประมงที่ปฏิบัติหน้าที่ควบคุมตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำส่งออกดำเนินการพัฒนาห้องปฏิบัติการเพื่อมุ่งสู่ห้องปฏิบัติการคุณภาพ ISO/IEC 17025:2005 สร้างการยอมรับในระบบควบคุมตรวจสอบ และได้รับการรับรองห้องปฏิบัติการภายใต้ระบบดังกล่าวจากสำนักมาตรฐานห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ที่เป็นหน่วยงานรับรองระดับประเทศ (Accreditation Body ; AB) ในปี 2548 เป็นต้นมา และในปี 2551 กรมประมงได้มีนโยบายในการพัฒนาบุคลากรผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการและสนับสนุนการปฏิบัติงานตามมาตรฐานสากลเพิ่มเติม ซึ่งประกอบด้วยห้องปฏิบัติการกองวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง และกองวิจัยและพัฒนาประมงทะเล ที่เข้าร่วมโครงการจำนวนทั้งสิ้น 8 แห่ง โดยได้อนุมัติงบประมาณสำหรับการฝึกอบรมความรู้พื้นฐานที่จำเป็นแก่บุคลากรห้องปฏิบัติการ เพื่อพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ ความเข้าใจในระบบเป็นการเตรียมตัวและปรับเปลี่ยนการดำเนินการด้านห้องปฏิบัติการ และสามารถนำไปปฏิบัติใช้ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด และหลังจากปี 2551 เป็นต้นมา ห้องปฏิบัติการที่ปฏิบัติหน้าที่ควบคุมตรวจสอบ กำกับดูแลคุณภาพวัตถุดิบสัตว์น้ำ เช่นกองวิจัยและพัฒนาสุขภาพสัตว์น้ำ กองวิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์น้ำ และกองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ ได้พัฒนาห้องปฏิบัติการสู่มาตรฐานสากลเพิ่มเติม เพื่อสร้างการยอมรับและเชื่อมั่นในระบบตรวจสอบ โดยกรมประมงได้สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง

จนกระทั่งห้องปฏิบัติการที่ได้รับการพัฒนาได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2005 อย่างต่อเนื่องเป็นลำดับ

แม้ว่ามาตรฐาน ISO/IEC17025:2005 ซึ่งเป็นข้อกำหนดทั่วไปที่ว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบไม่ได้ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานบังคับ แต่ถ้าห้องปฏิบัติการใดมีการปฏิบัติงานที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ก็จะสร้างความน่าเชื่อถือในผลการทดสอบในระดับสากล ห้องปฏิบัติการควรเริ่มต้นดำเนินการตั้งแต่การวางแผนการทำงาน การบริหารจัดการ การจัดสรรงบประมาณ และการอบรมบุคลากร เป็นต้น เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาห้องปฏิบัติการต่อไป

คู่มือที่จัดทำนี้ ใช้สำหรับเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานของห้องปฏิบัติการกรมประมงและสามารถถ่ายทอดสู่ห้องปฏิบัติการทดสอบอื่น เพื่อการพัฒนาห้องปฏิบัติการสู่มาตรฐานสากลภายใต้ระบบควบคุมคุณภาพที่สามารถสอบกลับได้ โดยบุคลากรมีความรู้ ความเข้าใจในระบบควบคุมตรวจสอบ รวมทั้งการควบคุมคุณภาพการทดสอบ เพื่อใช้ในการปฏิบัติงานประจำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือนี้สามารถส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาคุณภาพห้องปฏิบัติการ และผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ประโยชน์หรือประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สุภาน้อย ทรัพย์สินเสริม
ผู้จัดทำ
พฤษภาคม 2562

บทที่ 2
การออกแบบและโครงสร้างพื้นฐานสำหรับห้องปฏิบัติการ

การออกแบบและจัดผังห้องปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการสามารถแบ่งพื้นที่การใช้งานออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ

1) พื้นที่สำหรับการปฏิบัติการหรือพื้นที่ทำการทดสอบ ได้แก่ห้องเตรียมตัวอย่าง ห้องสกัดตัวอย่าง ห้องเตรียมสารละลายมาตรฐาน เป็นต้น

2) พื้นที่สำหรับเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ห้องเครื่องชั่ง ห้องเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้ทดสอบ เป็นต้น

3) พื้นที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ห้องเก็บวัสดุอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ห้องเย็น ห้องเก็บถังแก๊ส ห้องเก็บสารเคมี ห้องล้างเครื่องแก้ว เป็นต้น

4) พื้นที่สำหรับปฏิบัติงานด้านเอกสารและบริหาร ได้แก่ งานธุรการ งานบันทึกข้อมูล และบริเวณจัดเก็บเอกสาร เป็นต้น

การจัดรูปแบบของห้องปฏิบัติการ

โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ Modular Laboratory Design และ Open Laboratory Design ซึ่งห้องปฏิบัติการสามารถพิจารณาจัดรูปแบบให้เหมาะสมกับห้องปฏิบัติการแต่ละแห่ง (จุฬา และวงศ์ วรุตม์,2557)

1. **Modular Laboratory Design** มีลักษณะแบ่งเป็นห้องย่อยๆ ตามลักษณะและประเภทงาน โดยมีโถงทางเดินกลาง กั้นห้องต่างๆออกเป็นสองฝั่ง ฝาผนังกั้นแต่ละห้องอาจใช้ฝาผนังถาวรหรือชนิดถอดได้ ในแต่ละห้องมีบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยโต๊ะปฏิบัติการอยู่ชิดด้านหนึ่ง ผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนมีพื้นที่ส่วนตัวของตัวเองไม่รบกวนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานคนอื่นๆ

ภาพที่ 1 การจัดทำห้องแบบ Modular Laboratory Design

2. **Open Laboratory Design** เป็นรูปแบบที่ไม่มีการแบ่งเป็นห้องย่อย ๆ ส่วนมากจะแบ่งออกเป็นเขตขึ้นกับอันตรายและความเสี่ยงในการปฏิบัติงาน อาจมี 2-3 เขต เช่น เขตปลอดภัยและ เขตปฏิบัติการวิเคราะห์ เป็นต้น การจัดห้องปฏิบัติการในรูปแบบนี้จะทาให้รู้สึกว่าห้องมีขนาดใหญ่และมีผู้ร่วมงานค่อนข้างมาก และสามารถใช้เครื่องมือร่วมกันได้ รวมทั้งขยายพื้นที่ห้องปฏิบัติการได้สะดวกกว่ารูปแบบที่ 1

โครงสร้างหลักของห้องปฏิบัติการ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ,2558 และกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560)

1. ทางเข้า-ออก หากมีผู้ปฏิบัติงานค่อนข้างมาก ควรกำหนดและจัดระเบียบการเข้าออก ควรแยกกันระหว่างประตูเข้า-และประตูออก อาจจัดพื้นที่สาหรับผู้มาติดต่อที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้อง โดยประตูควรจะปิดไว้ตลอดเวลาในขณะปฏิบัติงาน อาจจัดหน่วยรักษาความปลอดภัยเพื่อดูแลการเข้า-ออก มีการแลกบัตรก่อนเข้าไปติดต่อในส่วนของห้องปฏิบัติการ หรืออาจใช้ระบบการเข้า-ออกโดยระบบคีย์การ์ด

2. ทางหนีไฟ การกำหนดประตูหนีไฟ โดยขึ้นกับสถานที่ตั้ง ขนาดของอาคาร จำนวนผู้ปฏิบัติงาน ในแต่ละชั้นควรมีทางหนีไฟอย่างน้อยสองทางที่แยกกัน หากเป็นห้องปฏิบัติการที่ตั้งอยู่ในอาคารที่มีมากกว่า 2 ชั้น ประตูห้องปฏิบัติการ ต้องสามารถเปิดไปสู่โถงทางเดินกลางได้ และสามารถนำไปยังประตูหนีไฟได้ทันที ประตูหนีไฟควรทำจากวัสดุทนไฟ หรือเป็นโลหะที่ทนไฟได้ดีและควรปิดอยู่เสมอ และควรแสดงสัญลักษณ์บริเวณประตูหนีไฟว่า “ทางออก” หรือ “exit”

3. พื้นห้องปฏิบัติการ ต้องสามารถรองรับเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีน้าหนักมากได้หลายชนิด ควรผลิตมาจากวัสดุที่แข็งแรง ทนทานต่อสารเคมีที่เป็นกรดและด่างได้ดี พื้นผิวต้องไม่ลื่น สามารถทำความสะอาดได้ง่ายโดยทั่วไปมักเป็นพื้นคอนกรีตหรือพื้นหินขัดที่ปูทับด้วยแผ่นยางประเภท poly vinyl อีกชั้น สามารถลดอุบัติเหตุได้

4. ความสว่าง ควรมีแสงสว่างเพียงพอสำหรับการปฏิบัติงาน เพื่อป้องกันความผิดพลาดและอุบัติเหตุจากการปฏิบัติงาน ความสว่างที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการคือ 300-500 lux แต่อย่างไรก็ตามปริมาณแสงสว่างก็ขึ้นอยู่กับประเภทห้องต่าง ๆ เช่น ห้องเก็บของอาจไม่ต้องมีแสงสว่างมากเท่ากับห้องปฏิบัติการ เพราะสารเคมีบางอย่างอาจห้ามโดนแสง เป็นต้น

5. ระบบถ่ายเทอากาศที่ดี ห้องปฏิบัติการควรติดตั้งระบบ Local Exhaust Ventilation (LEV) เพื่อลดอันตรายจากสารเคมีและเชื้อจุลชีพต่าง ๆ เช่น พัดลมดูดอากาศ ตู้ดูดควัน ตู้ชีวนิรภัยที่มีแผ่นกรอง HEPA ในการดักจุลชีพตลอดจนติดตั้งระบบดูดอากาศเสียจากภายในออกสู่ภายนอกเพื่อป้องกันการหมุนเวียนอากาศเสียภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งระบบการถ่ายเทอากาศที่ดีจะช่วยลดระดับของไอหรือควันจากสารเคมี รวมทั้งลดระดับการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ

6. อุณหภูมิและความชื้น ห้องปฏิบัติการควรมีอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส เพื่อให้อุณหภูมิที่เหมาะสมแก่ผู้ปฏิบัติงานและเป็นการรักษาเครื่องมือ

7. ระบบสาธารณูปโภค ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบน้ำประปา ไฟฟ้า แก๊ส และระบบสื่อสาร ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในห้องปฏิบัติการ จึงควรมีการวางแผนผังให้เหมาะสม เจ้าหน้าที่ทุกคนควรทราบตำแหน่งที่ตั้งและวิธีการในการเปิด-ปิดวาวล์น้ำ แก๊ส และแผงควบคุมวงจรไฟฟ้า เพื่อสามารถเปิด-ปิดได้ทันทีในกรณีเหตุฉุกเฉิน

8. ระบบเตือนภัย ต้องมีการติดตั้งระบบเตือนภัยคู่กับถังดับเพลิงในห้องปฏิบัติการ โดยระบบเตือนภัยที่ดีต้องส่งเสียงดังได้ทั่วอาคาร

ภาพที่ 2 กล่องสัญญาณเตือนภัย

9. อุปกรณ์ดับเพลิง ในห้องปฏิบัติการประกอบไปด้วย ชุดท่อประปาดับเพลิง (fire hose) และถังดับเพลิง ทั้งสองชนิดควรเก็บไว้ในตู้ที่มองเห็นได้ชัดเจนและไม่ควรล็อคตู้ โดยสายท่อประปาต้องมีความยาวอย่างน้อย 100 ฟุต ส่วนถังดับเพลิงมีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับต้นกำเนิดของเพลิงนั้น ๆ ถังดับเพลิงชนิดผงเคมีแห้ง บรรจุในถังสีแดง ภายในบรรจุผงเคมีแห้งและก๊าซไนโตรเจน ลักษณะน้ำยาที่ฉีดออกมามีลักษณะเป็นฝุ่นละอองดับเพลิงได้ทุกชนิด เช่น เพลิงที่เกิดจากไม้ กระดาษ สิ่งทอ ยาง น้ำมัน ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ส่วนถังดับเพลิงชนิด BF2000 บรรจุในถังสีเขียว น้ำยาเป็นสารเหลวระเหยชนิด BF 2000 ซึ่งน้ำยาชนิดนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถดับเพลิงได้ทุกชนิด ไม่เกิดปฏิกิริยากับโลหะ ไม่ทิ้งคราบสกปรก จึงเป็นถังดับเพลิงที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 3 ถังดับเพลิงชนิดผงเคมีแห้ง และถังดับเพลิงชนิด BF2000

10. เครื่องล้างตา (eye wash) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องมีในห้องปฏิบัติการ ควรติดตั้งบริเวณภายในห้องปฏิบัติการ และไม่ควรมีสิ่งกีดขวางใด ๆ

11. ฝักบัวฉุกเฉิน (deluge shower) ควรติดตั้งในบริเวณเดียวกันกับเครื่องล้างตา ฝักบัวควรสูงจากพื้นประมาณ 7-8 ฟุต ห่างจากกำแพงอย่างน้อย 25 นิ้ว การเปิดฝักบัวอาจใช้ตัวผลัก (paddle) หรือใช้การดึงโซ่

12. ตู้ดูดควัน (chemical fume hood) เป็นสิ่งที่จำเป็นมากในห้องปฏิบัติการ ตู้ดูดควันส่วนใหญ่ติดตั้งเข้ากับระบบระบายอากาศของตัวอาคาร ตู้ดูดควันส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยพัดลมดูดอากาศในท่อดูดอากาศเสีย และควรติดตั้งตู้ดูดควันไว้บริเวณด้านในสุดของห้องและต้องห่างจากประตู หน้าต่างหรือทางเดิน เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของอากาศบริเวณประตูหน้าต่างซึ่งอาจรบกวนระบบไหลเวียนอากาศของตู้ดูดควันได้ และขณะเตรียมสารเคมีในตู้ดูดควัน ควรสวมถุงมือ แว่นตานิรภัย และเสื้อคลุม และไม่ควรใช้ตู้ดูดควันเป็นที่เก็บสารเคมีทุกชนิด

13. ตู้เก็บสารเคมี วัสดุที่ใช้ทำตู้ส่วนใหญ่คือโลหะชนิด epoxy-coated steel และพลาสติกชนิด polyethylene แต่ส่วนใหญ่มักนิยมกลุ่ม epoxy-coated steel เพราะทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี หากต้องเก็บสารเคมีประเภทไวไฟ ตู้เก็บอาจทำด้วย epoxyขcoated steel ซึ่งมีผนังหนาสองชั้นบุด้วยฉนวนกันไฟ

14. โต๊ะปฏิบัติการ มีทั้งชนิดติดตั้งถาวรและชนิดเคลื่อนย้ายได้ ความสูงมาตรฐานของโต๊ะประมาณ 29-30 นิ้ว (หากนั่งทำงาน) และ 36-37 นิ้ว (หากยืนทำงาน) ผลิตจากวัสดุที่คงทนต่อความร้อน ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และทำความสะอาดง่าย โดยที่นิยมส่วนมากจะทำจากไม้เนื้อแข็ง หินขัด ปูนซีเมนต์ และปูทับพื้นโต๊ะด้วยแผ่น Formica แผ่นโลหะ หรือ แผ่นพลาสติกชนิดพิเศษ พื้นโต๊ะต้องเรียบไร้รอยต่อเพื่อป้องกันการสะสมของสารพิษและเชื้อโรค

คุณสมบัติของสารเคมี

คุณสมบัติของสารเคมีสามารถแบ่งได้ตามผลกระทบ เป็น 4 ประเภทหลัก ดังนี้

1. ความเสี่ยงจากไฟไหม้หรือระเบิด
2. อันตรายต่อสุขภาพ
3. มลพิษต่อสิ่งแวดล้อม
4. ทำลายวัสดุสิ่งของ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างคุณสมบัติของสารเคมี

ผล	คุณสมบัติ	ตัวอย่างสาร
ความเสี่ยงจากไฟไหม้หรือระเบิด	วัตถุระเบิด	ดินระเบิด
	สารไวไฟ	Isopropanol
	สารออกซิไดส์	Potassium permanganate
	สารเปอร์ออกไซด์อินทรีย์	Dibenzoyl peroxide
อันตรายต่อสุขภาพ	สารพิษ	Dimethyl sulphate
	สารที่เป็นอันตราย	Disodium disulphate
	สารกัดกร่อน	Sulfuric acid
	สารระคายเคือง	3,7-Dichrochinolin-8-carbon acid
	สารก่อมะเร็ง	2,3-Dintrotoluol
	สารก่อกลายพันธุ์	2,3-Dintrotoluol
	สารที่เป็นพิษหรือมีผลต่อระบบสืบพันธุ์	2,3-Dintrotoluol
เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม	สารที่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม	Ethyl-2-cyclohexylpropionate
ทำลายวัสดุสิ่งของ	สารกัดกร่อน	Hydrofluoric acid

ระบบการป้องกันอันตรายจากสารเคมี

แนวปฏิบัติสำหรับการทำงานกับสารเคมี

1. ควรจัดเรียงสารเคมีให้เป็นระเบียบมิดชิด ตามหลักการการจัดเรียงแบบ compatible ทั้งนี้ ข้อแนะนำเบื้องต้นในการจัดเก็บสารเคมี

1.1 ห้ามวางขวดสารเคมีบนพื้นห้อง และห้ามวางขวดสารเคมีบนชั้นบนสุดของชั้นวาง

1.2 ชั้นวางสารเคมีต้องมีที่กั้นเพื่อป้องกันสารเคมีตกหล่น และยึดติดกับฝาผนัง และต้องวางให้ห่างจากแหล่งที่มีความร้อน

1.3 ห้ามเก็บสารกลุ่ม oxidizer รวมกับกลุ่ม reducer และห้ามเก็บสารประเภทกรดรวมกับสารประเภทด่าง และควรแยกสารกลุ่มกรดไนตริก (HNO_3) ออกจากกรดอื่น ๆ

1.4 สารเคมีที่มีพิษร้ายแรงมาก ต้องเก็บในตู้ที่ปิดกุญแจมิดชิด

1.5 สารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดีต้องให้ห่างจากบริเวณที่อับชื้น

2. จัดทำบัญชีสารเคมี มีการจดบันทึกวันที่รับสาร วันหมดอายุ บริษัทที่ผลิตตำแหน่งที่เก็บสาร พร้อมทั้งเขียนรายละเอียดลงบนขวดสารเคมีทุกครั้ง

3. จัดทำ Material Safety Data Sheet ของสารเคมีแต่ละชนิดและเก็บไว้เป็นหมวดหมู่

4. แยกเก็บขยะสารเคมีเป็นแต่ละชนิด ป้องกันการปนเปื้อนของสารที่เข้ากันไม่ได้ และจำกัดบริเวณที่ใช้ทิ้งขยะสารเคมี

5. ถุงขยะสารเคมี ควรมีการติดป้ายหรือฉลาก พร้อมระบุชนิดของขยะ

การเก็บรักษาสารเคมี

โดยทั่วไปสารเคมีและตัวอย่างในห้องปฏิบัติการควรเก็บไว้ในที่เย็นและแห้ง ไม่ควรเก็บสารเคมีไว้ในห้องปฏิบัติการเป็นจำนวนมาก แต่ควรเก็บไว้ในที่เก็บต่างหาก สารเคมีที่ไวไฟและระเบิดง่าย ควรเก็บแยกจากสารเคมีอื่น ๆ สารเคมีต่อไปนี้ ควรเก็บในที่เย็น เช่น

- ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น อะซีโตน (acetone) เพนเทน (pentane) ไดเอธิลอีเทอร์ (diethyl ether) เฮกเซน (hexane) และปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether)
- แก๊สไวไฟ สารเคมีที่มีสัญญลักษณ์ที่แสดงถึงอันตรายควรเก็บไว้ในห้องที่ใส่กุญแจ หรือในตู้เก็บสารเคมี สารอันตรายเหล่านั้น ได้แก่ ไซยาไนด์ (cyanides) ปรอทและสารประกอบของปรอท สารหนู และสารประกอบของสารหนู สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (pesticides)
- สารเคมีที่ปล่อยควันที่กัดกร่อนจะต้องเก็บไว้ในที่ที่มีการระบายอากาศได้ดี เช่น กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) กรดไนตริก (nitric acid) กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) แอมโมเนียมเหลว (aqueous ammonia)

ระบบการจัดการสารเคมีเบื้องต้น

1. สารที่เป็นของแข็ง เมื่อสารเคมีที่เป็นของแข็งหก/หล่นพื้น ควรใช้แปรงกวาดมารวมกันใส่ในช้อนตัก หรือกระดาษแข็งก่อน แล้วจึงนำไปใส่ในภาชนะ
2. สารละลายที่เป็นกรด เมื่อกรดหกจะต้องรีบทำให้เจือจางด้วยน้ำก่อนแล้วโรย โซดาแอส หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต หรือเทสารละลายด่าง เพื่อทำให้กรดเป็นกลางต่อจากนั้นจึงล้างด้วยน้ำให้สะอาด โดยมีข้อควรระวังเมื่อเทน้ำลงบนกรดเข้มข้นที่หก เช่น กรดกำมะถันเข้มข้น จะมีความร้อนเกิดขึ้นมาก และกรดอาจกระเด็นออกมาจึงควรค่อย ๆ เทน้ำลงไปมาก ๆ เพื่อให้กรดเจือจางและความร้อนที่เกิดขึ้นรวมทั้งการกระเด็นจะน้อยลง
3. สารละลายที่เป็นด่าง เมื่อสารเคมีที่เป็นด่างหกจะต้องเทน้ำลงไปเพื่อลดความเข้มข้นของด่างแล้วเช็ดให้แห้ง โดยใช้ไม้ที่มีปุยผูกที่ปลายสำหรับซับน้ำบนพื้น พยายามอย่าให้กระเด็นขณะเช็ด เนื่องจาก สารละลายด่างจะทำให้พื้นลื่น เมื่อล้างด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้งแล้วยังไม่หายควรใช้ทรายโรยบริเวณ ที่ด่างหกแล้วเก็บกวาดทรายออกไป
4. สารที่ระเหยง่าย เมื่อสารเคมีที่ระเหยง่ายหกจะระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว บางชนิดติดไฟได้ง่าย บางชนิดเป็น อันตรายต่อผิวหนังและปอด ให้รีบนำผ้าแห้งมาซับบริเวณที่สารเคมีหกทันทีและควรสวมใส่ผ้าปิดจมูกและสวมถุงมือขณะทำความสะอาด
5.สารที่เป็นน้ำมัน สารพวกนี้เช็ดออกได้โดยใช้น้ำมาก ๆ เมื่อเช็ดออกแล้วพื้นบริเวณที่สารหกจะลื่น จึงต้องล้างด้วยผงซักฟอกอีกครั้งหนึ่ง
6. สารปรอท เนื่องจากสารปรอท ไม่ว่าจะอยู่ในรูปใด เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งสิ้น เพราะทำอันตรายต่อ ระบบประสาท เช่น มึนงง ความจำเสื่อม ถ้าได้รับเข้าไปมาก ๆ อาจทำให้แขนขาพิการหรือถึงตายได้ ดังนั้นการทดลองใดที่เกี่ยวข้องกับสารปรอทต้อง ใช้ความระมัดระวังให้มาก ในกรณีที่สารปรอทหกวิธีการที่ถูกต้องควรปฏิบัติดังนี้

6.1 กวาดสารปรอทมากองรวมกัน

6.2 เก็บสารปรอทโดยใช้เครื่องดูด

6.3 ถ้าพื้นที่สารปรอทหกมีรอยแตกหรือรอยร้าว จะมีสารปรอทเข้าไปอยู่ข้างในจึงไม่สามารถเก็บปรอทโดยใช้เครื่องดูดดังกล่าวได้ ควรปิดรอยแตกหรือรอยร้าวนั้นด้วยขี้ผึ้งทาพื้นหนา ๆ เพื่อกันระเหยของปรอทหรืออาจใช้ผงกำมะถันพรมลงไป ปรอทจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบซัลไฟด์ แล้วเก็บกวาดอีกครั้งหนึ่ง

ระบบการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการ

ของเสียและขยะจากการปฏิบัติการเป็นปัจจัยเสี่ยงอีกอย่างหนึ่งที่ต้องมีการจัดการอย่างเป็นระบบ เพื่อป้องกันมิให้สารเคมี รั่วไหลและแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกห้องปฏิบัติการ โดยการดำเนินงานเกี่ยวกับของเสียและขยะ ประกอบด้วย

- การคัดแยกประเภทของของเสีย
- การรวบรวมและจัดเก็บของเสีย
- การบำบัดและกำจัดของเสีย

ระบบการคัดแยกประเภทของของเสีย

การคัดแยกของเสียจากห้องปฏิบัติการ นอกจากจะทำให้การกำจัดทำได้ง่ายและปลอดภัยยิ่งขึ้นแล้ว ยังลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียอีกด้วย ซึ่งในทางปฏิบัติไม่มีวิธีการกำจัดของเสียแบบใดแบบหนึ่งที่เหมาะสมกับของเสียทุกประเภท ดังนั้น การคัดแยกของเสียจึงทำให้สามารถเลือกใช้วิธีที่เหมาะสม ตามประเภทของของเสียควรแยก ของเสียทั่วไป ของเสียที่เป็นอันตรายและไม่เป็นอันตรายออกจากกัน คุณสมบัติความเป็นอันตรายหลักของสารที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับต้นๆ ได้แก่ คุณสมบัติการติดไฟ การระเบิด และการออกซิไดซ์ คุณสมบัติรองของ สารที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ความเป็นพิษ การกัดกร่อน ของเสียติดเชื้อ ของเสียกัมมันตรังสี เป็นต้น โดยต้องมีการศึกษาข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีแต่ละประเภทก่อน ของเสียที่เกิดขึ้นจากห้องปฏิบัติการต่าง ๆ

จำแนกประเภทและระดับความเป็นอันตราย ได้ดังนี้

1. ของเสียประเภทที่ไม่เป็นอันตราย (Non-Hazardous Waste Stream)

1.1 ของเสียทั่วไป เช่น ถุงพลาสติก กระดาษชั่งสาร กระดาษทิชชู กระดาษที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการ วัสดุที่ทำจากพลาสติก และวัสดุที่ไม่เป็นอันตราย เป็นต้น

1.2 พลาสติกที่รีไซเคิลได้ (Recyclable Plastic Product) ได้แก่ขวดพลาสติกสำหรับใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ หลอดฉีดยาพลาสติก และขวดพลาสติกสำหรับใส่สารเคมีที่ไม่มีอันตราย เป็นต้น

1.3 ขวดแก้วที่มีการปนเปื้อน (Glass) ได้แก่ขวดแก้วสำหรับเก็บตัวอย่าง ขวดแก้วสำหรับใส่สารเคมี ที่เตรียมภายในห้องปฏิบัติการ และขวดใส่สารเคมีที่ไม่มีอันตราย เป็นต้น

1.4 ของเสียที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว (Autoclaved Wastes) ได้แก่ของเสียที่เกิดจากการทดสอบทาง จุลชีววิทยา

2. ของเสียประเภทที่เป็นอันตราย (Hazardous Waste Stream) ส่วนใหญ่จะเป็นของเสียอันตรายที่เป็นของเหลวหรือของแข็ง โดยจัดกลุ่มได้ดังนี้

2.1 กลุ่มไซยาไนด์
2.2 กลุ่มปรอท
2.3 กลุ่มสารอินทรีย์
2.4 กลุ่มออกซิแดนซ์
2.5 กลุ่มโลหะ
2.6 กลุ่มกรด-เบส
2.7 ของเสียกลุ่มพิเศษ ได้แก่ ของเสียติดเชื้อจุลินทรีย์ ของเสียกัมมันตรังสี หรือของเสียที่เป็นสารพิษ อื่น ๆ ที่ไม่เข้าข่ายของเสียประเภทใดประเภทหนึ่ง แต่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ เป็นต้น

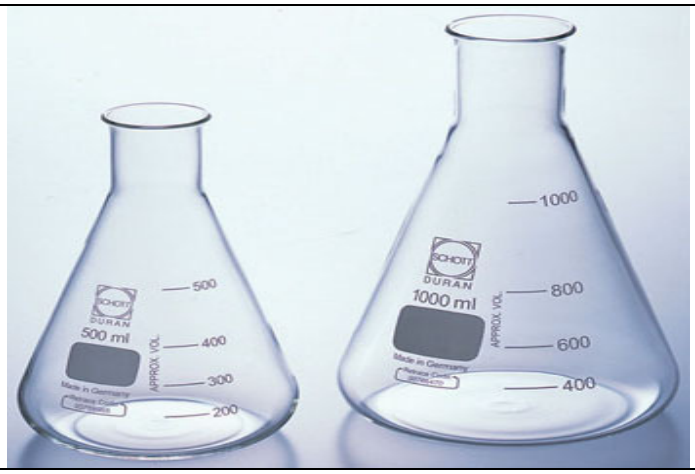
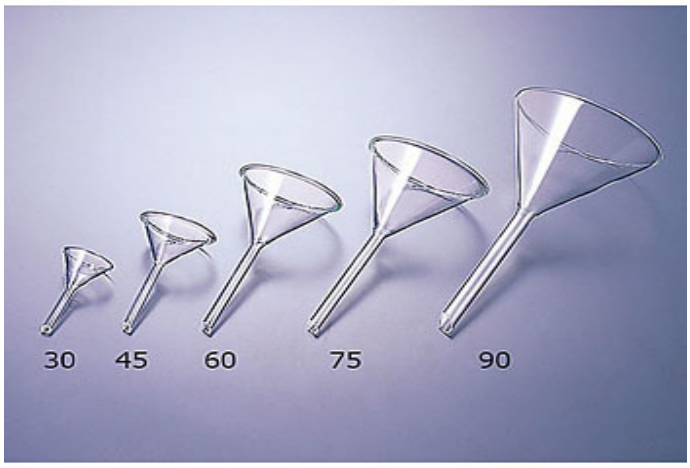
บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือและเครื่องแก้วต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับห้องปฏิบัติการ

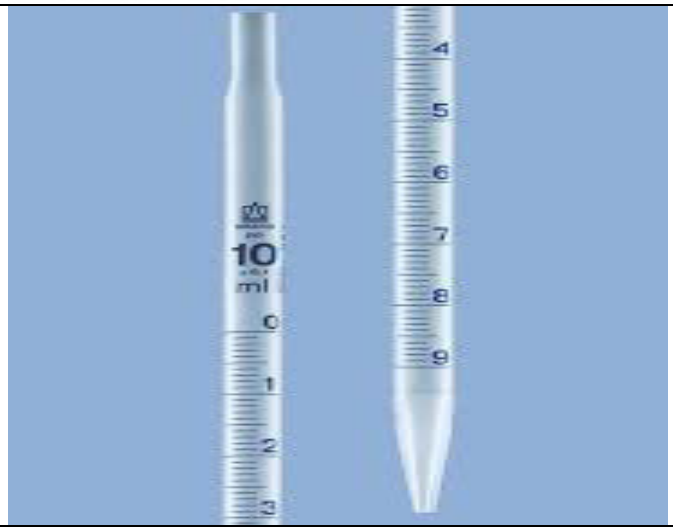
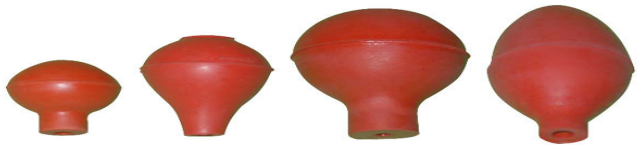
1. วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องแก้วพื้นฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

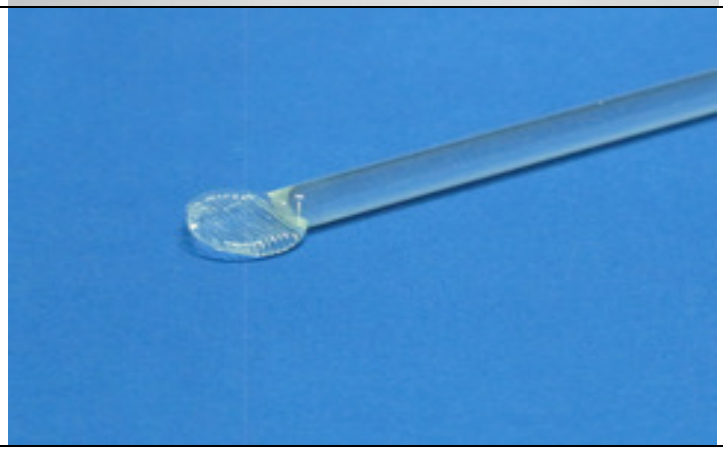
รายการ	
บีกเกอร์ (beaker) : เป็นภาชนะบรรจุสารละลาย/สารเคมี ใช้เป็นภาชนะในการชั่ง เตรียมละลายและตวงสารที่มีคุณสมบัติกัดกร่อนพลาสติก และไม่ต้องการปริมาตรที่แน่นอน	
บิวเรตต์ (Burette) : ใช้บรรจุสารละลายสำหรับการไทเทรต เพื่อหาความเข้มข้นของสารที่สนใจ	
ที่ยึดจับบิวเรตต์ (Burette clamp): ใช้ยึดบิวเรตต์เข้ากับ stand	

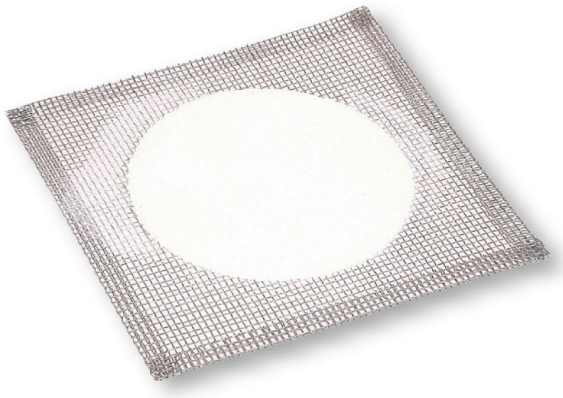
รายการ	
หลอดหยดสาร (Dropper): ใช้ในการหยดสารละลายในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์	
กระบอกตวง (Cylinder): ใช้ในการตวงสารละลายสำหรับงานวิเคราะห์ต่างๆ	
ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask): ใช้ในการเตรียมสารละลายซึ่งต้องการปริมาตรและความเข้มข้นที่แน่นอน	

รายการ	
ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask): ใช้ใส่สารละลายเพื่อไทเทรต	
กรวยแก้ว (Glass funnel): ใช้ในการกรองสาร เทสาร ในห้องปฏิบัติการ	
กระจกนาฬิกา (Watch glass): ใช้ปิดปากบีกเกอร์หรือภาชนะอื่นในห้องปฏิบัติการ ใช้วางกระดาษลิตมัสขณะทดสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลาย	

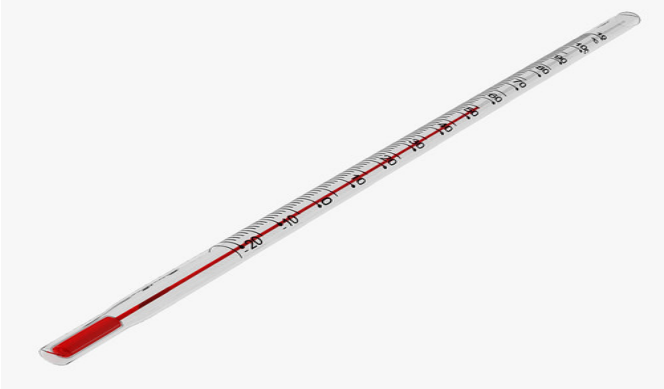
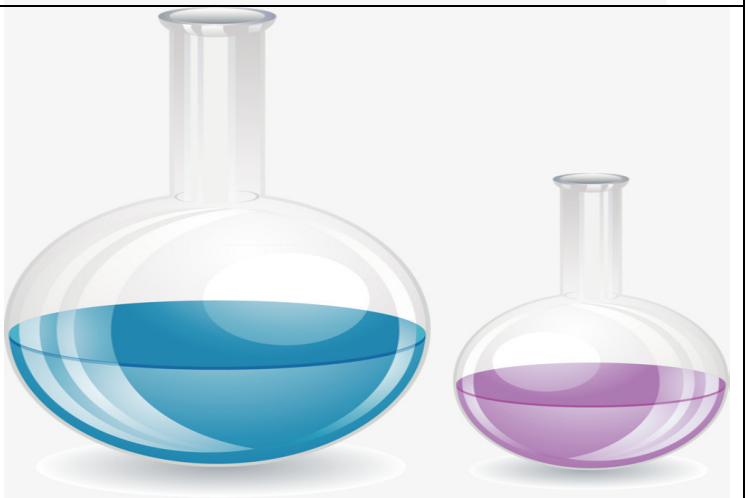
รายการ	
หลอดทดลอง (Test tube) : ใช้ใส่สารละลายเพื่อทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ	
ที่วางหลอดทดลอง (Test tube rack):ใช้วางหลอดทดลอง ในห้องปฏิบัติการ	
ขาตั้ง (Stand): ใช้เป็นฐานเพื่อยึดเครื่องแก้ว ในห้องปฏิบัติการ	

รายการ	
ปิเปตต์ปริมาตรเดียว (Volumetric pipette) : ใช้ในการดูดสารละลายที่ต้องการปริมาตรที่แน่นอน (ปิเปตต์ได้เพียงปริมาตรเดียว)	
ปิเปตต์หลายปริมาตร (Graduated pipette): ใช้ในการดูดสารละลายที่ต้องการปริมาตรที่แน่นอน ได้หลายปริมาตร (ปิเปตต์ได้หลายปริมาตร)	
ลูกยางดูด (pipette bulb): ใช้ในการดูดสารละลาย โดยใช้กับปิเปตต์	

รายการ	
ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash bottle): ใช้ใส่น้ำกลั่นเพื่อใช้ในการทดลองและเตรียมสารละลาย	
แท่งแก้วคนสาร (Glass rod):ใช้ในการคนสารละลาย	
ถ้วยครูซิเบิล (Crucible) : ใช้ในการเผาสารละลายตัวอย่างที่ต้องผ่านความร้อนสูง	

รายการ	
ตะเกียงบุนเสน หรือ ตะเกียงแก๊ส (Bunsen burner): ใช้ในการจุดแก๊สหุงต้มเพื่อเผาหรือต้มสารละลาย	
สามขา (Tripod stand) : ใช้เป็นขาตั้งสำหรับวางอุปกรณ์เพื่อเผาหรือต้มด้วยตะเกียงบุนเสนหรือตะเกียงแอลกอฮอล์	
แผ่นกระจายความร้อน (Wire gauze) : ใช้กระจายความร้อนและวางอุปกรณ์ที่ใช้ต้มหรือเผาด้วยตะเกียงบุนเสนหรือตะเกียงแอลกอฮอล์	

รายการ	
พาสเจอร์ปิเปต (Pasture Pipette): ใช้สำหรับดูดจ่ายสารเคมี มีทั้งชนิดแก้วและพลาสติก	
ช้อนตักสาร (Spatula) : ใช้สำหรับตักสารเคมี ตัวอย่าง โดยมีทั้งชนิดอะลูมิเนียมและพลาสติก	
ถุงมือยาง (Rubber glove) : ใช้สำหรับป้องกันการสัมผัสสารเคมี และตัวอย่าง	

รายการ	
เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer): ใช้วัดระดับความร้อน /ความเย็น เมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัว และหดตัวเมื่อคายความร้อน ของเหลวที่ใช้บรรจุในกระเปาะแก้วของเทอร์โมมิเตอร์ คือปรอท หรือแอลกอฮอล์	
ขวดกลั่นสาร (Distillation Flask) : ใช้ในการกลั่นลำดับส่วนอย่างง่าย โดยไม่ต้องใช้คอลัมน์ สามารถใช้ร่วมกับคอนเดนเซอร์ และจุกคอร์ก หรือจุกยางดำเจาะรู เพื่อเชื่อมต่อเครื่องแก้วแต่ละชิ้น	
โถดูดความชื้น (Desiccator) : ใช้สำหรับเก็บรักษาสารเคมีที่ต้องการควบคุมความชื้น	

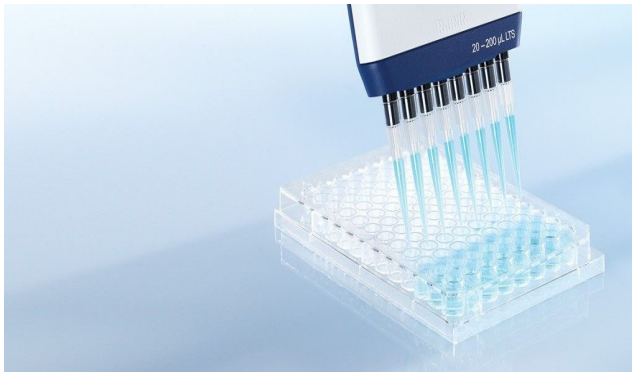
2. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเคมี

รายการ	
เครื่องชั่ง (Balance): เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่มีใช้ในห้องปฏิบัติการ ใช้สำหรับชั่งสารเคมี ตัวอย่างทดสอบหรือสิ่งที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ ซึ่งเครื่องชั่งที่ใช้งานทั่วไปมีตั้งแต่ 1, 2, 3 ,4, 5 ตำแหน่ง	
เครื่องควบคุมความชื้น (Dehumidifier): ใช้ในการควบคุมความชื้นของห้อง ช่วยป้องกันการเปลี่ยนสภาพของสารเคมี วัสดุ และควบคุมสภาวะแวดล้อมในห้องทดสอบ ให้เป็นไปตามเกณฑ์ของการทดสอบ	
เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) : ใช้หาค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย / สารละลายตัวอย่าง	

รายการ	
เครื่อง Thermo couple (Thermo couple): เป็นหัววัดอุณหภูมิ ซึ่งตัวมีหลากหลายชนิด หลากหลายแบบ ขึ้นอยู่กับความต้องการนำไปใช้ในลักษณะของการวัดที่แตกต่างต่างกันออกไป	
Micro pipette: เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับถ่ายเทของเหลวตามปริมาตรที่ต้องการอย่างละเอียดที่มีปริมาตรน้อย ๆ	
เครื่องจ่ายสารเคมี (Dispenser) : ใช้สำหรับถ่ายสารเคมีเหลว ออกจากขวดเก็บสาร	

รายการ	
ตู้อบลมร้อน (Hot air oven): ใช้สำหรับการอบวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้แห้ง ใช้รักษาอุณหภูมิของปฏิกิริยาในการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการบางชนิดให้คงที่ ใช้อบฆ่าทำลายเชื้อโรค ใช้อบเพาะเชื้อจุลชีพ	
เตาเผาความร้อนสูง (Muffle furnace): เป็นเตาเผาที่ให้ความร้อนสูง ใช้ในงานที่ต้องการให้ตัวอย่างเป็นผงขี้เถ้า โดยเตาเผานี้จะมีฉนวนทนความร้อนหุ้มอยู่โดยรอบเพื่อไม่ให้ความร้อนออกมาภายนอกและคงความร้อนได้สูงและนาน ใช้เผาตัวอย่างที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์	
อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) : ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิสารละลายให้คงที่ และสามารถใช้อุ่นสารละลาย สารเคมี สารละลายตัวอย่าง	

รายการ	
เครื่องกวนสาร (Hot plate stirrer): เป็นอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการที่มีพลังสนามแม่เหล็กหมุนที่จะทำให้เกิดแถบกวน ใช้สำหรับเตรียมสารละลาย	
เตาหลุม (Heating Mantle): ใช้สำหรับให้ความร้อนในการเตรียมสารละลาย สารละลายตัวอย่าง	
เครื่องปั่นผสมสาร (Homogenizer) : เครื่องมือที่ใช้ในการทำให้สารละลายตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์	

รายการ	
เครื่องผสมสาร (Vortex Mixer): ใช้ในการผสมสารละลาย สามารถปรับความเร็วรอบการผสมได้	
เครื่องดูดจ่ายสารแบบหลายช่อง (Multi-channel pipette): ใช้สำหรับถ่ายเทของเหลวตามปริมาตรที่ต้องการที่มีปริมาตรน้อย ๆ และดูดจ่ายสารได้รวดเร็วขึ้น	
เครื่องเขย่าสารละลายแบบแนวตั้ง (Shaker): ใช้สำหรับผสมสารละลาย สามารถปรับความเร็วรอบการเขย่าได้	

รายการ	
ตู้เก็บสารเคมี (Chemical storage): ใช้สำหรับเก็บสารเคมีเพื่อจัดแยกประเภทสารที่ใช้ และเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน	
ตู้แช่แข็ง (Freezer): ใช้สำหรับเก็บรักษาสภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ โดยต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิการเก็บรักษาได้ต่ำกว่า – 18 องศาเซลเซียส	
ตู้แช่เย็น (Refrigerator): ใช้สำหรับเก็บรักษาสารละลายที่ใช้ในการทดสอบ โดยต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิการเก็บรักษาได้ในช่วง 2-8 องศาเซลเซียส	

รายการ	
ตู้ดูดความชื้น (Desiccator): ใช้สำหรับเก็บสารเคมีที่ต้องการควบคุมความชื้น	
ตู้ดูดควัน (Fume Hood): ใช้สำหรับดูดไอกรดและสารเคมีในการปฏิบัติการวิเคราะห์ที่มีการใช้สารเคมี	
เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (Centrifuge): เป็นเครื่องมือใช้แยกตัวอย่างของเหลวออกจากของแข็ง ซึ่งมีทั้งระบบควบคุมอุณหภูมิ และไม่มีระบบควบคุมอุณหภูมิ และสามารใช้งานกับหลอดทดลองได้หลากหลายขนาด	

รายการ	
เครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography): เป็นเทคนิคการแยกองค์ประกอบของสารผสมโดยอาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละองค์ประกอบของสารผสมบนเฟสคงที่ (Stationary phase) ภายใต้การพาของเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase)	
เครื่อง LC-MSMS (Liquid Chromatography/Mass spectrometer/Mass spectrometer): เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยที่สารตัวอย่างเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว และส่วน Mass spectrometer ทำหน้าที่เป็นตัววิเคราะห์สารจากการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของสาร	
เครื่อง AAs (Atomic Absorption Spectrometer): ใช้วิเคราะห์โลหะหนัก เป็นเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม ประกอบด้วยหลอดกำเนิดแสง พร้อมตัวแยกแสง และตัวขยายสัญญาณและแสดงผล	

รายการ	
เครื่อง Spectrophotometer: เป็นการวัดความเข้มแสงเทียบกับสารละลายมาตรฐาน อาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วงUltra violet (UV) และVisible (VIS)	
เครื่อง Fluorometer: เป็นเครื่องมือสำหรับวัดการเรืองแสงของสารละลาย	
เครื่อง Water activity: เป็นเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ที่ใช้เป็นดัชนีบ่งบอกอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ	

รายการ	
เครื่องวัด Moisture: เป็นเครื่องวิเคราะห์ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหาร	
เครื่อง ELISA Reader: เป็นเครื่องอ่านค่าไมโครเพลท โดยหลักการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	
เครื่องกลั่นโปรตีน: เทคนิคทำให้สารประกอบไนโตรเจนเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอ คือ แอมโมเนีย หลังจากนั้นจึงใช้เทคนิคของการไทเทรตวิเคราะห์หาปริมาณของแอมโมเนียซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบแอมโมเนีย	

บทที่ 4

สารละลาย และหลักการเตรียมสารละลายสำหรับห้องปฏิบัติการ

สารละลาย (Solution) คือ สารเนื้อเดียวที่มีสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมารวมกัน ประกอบด้วยตัวทำละลายและตัวถูกละลาย ถ้าตัวถูกละลายและตัวทำละลายมีสถานะเดียวกัน สารละลายที่มีปริมาณมากกว่าเป็นตัวทำละลาย แต่ถ้าสารทั้งสองมีสถานะแตกต่างกันสารที่มีสถานะเดียวกันกับสารละลาย เป็นตัวทำละลาย

หน่วยของสารละลาย เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณของตัวละลายที่ละลายอยู่ในตัวทำละลายหรือในสารละลายนั้น วัดในรูปความเข้มข้นปริมาณตัวถูกละลายต่อปริมาณสารละลาย (ยกเว้นหน่วยโมลต่อกิโลกรัม) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,2551)

1. ร้อยละ

1.1 ร้อยละโดยมวล (มวล/มวล) คือ ปริมาณมวลของตัวถูกละลายในมวลของสารละลาย 100 หน่วยมวล

สูตร ร้อยละโดยมวล = $\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลของสารละลาย}} \times 100$

1.2 ร้อยละโดยปริมาตร (ปริมาตร/ปริมาตร) คือ ปริมาตรของตัวถูกละลายในสารละลายปริมาตร 100 หน่วยปริมาตร นิยมใช้กับสารละลายที่เป็นของเหลว เช่น สารละลายแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร หมายความว่าสารละลายนี้ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรจะมีแอลกอฮอล์ละลายอยู่ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สูตร ร้อยละโดยปริมาตร = $\frac{\text{ปริมาตรของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \times 100$

1.3 ร้อยละมวลต่อปริมาตร คือ ปริมาณของตัวถูกละลายในปริมาตรของสารละลาย 100 หน่วยปริมาตร โดยทั่วไปถ้ามวลของตัวถูกละลายมีหน่วยเป็นกรัม ปริมาตรของสารละลายจะมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร และถ้ามวลของตัวถูกละลายมีหน่วยเป็นกิโลกรัม ปริมาตรของสารละลายจะมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เดซิเมตรหรือลิตร หน่วยมวลและหน่วยปริมาตรต้องให้สอดคล้องกันด้วย

สูตร ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร = $\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \times 100$

2. ส่วนในล้านส่วน (parts per million; ppm) เป็นหน่วยที่บอกปริมาณตัวละลายเป็นมวลหรือปริมาตรที่ละลายในสารละลาย 1 ล้านหน่วย และ 1 พันล้านหน่วย เช่น แหล่งน้ำแห่งหนึ่งมีสารตะกั่วปนเปื้อน 0.1 ppm หมายความว่า น้ำในแหล่งน้ำนั้น 1 ล้านกรัมมีตะกั่วละลายอยู่ 0.1 กรัม หรือในเนื้อปลามีสารปรอท

ปนเปื้อนอยู่ 1 ppb หมายความว่า ในเนื้อปลานั้น 1 พันล้านกรัมมีสารปรอทปนเปื้อนอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นในหน่วยนี้เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

สูตร

ppm (มวล) = (มวลของตัวละลาย / มวลของสารละลาย) x 10^6

ppm (ปริมาตร) = (ปริมาตรของตัวละลาย / ปริมาตรของสารละลาย) x 10^6

ในกรณีที่สารละลายเจือจางมาก มวลของตัวละลายมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับมวลของตัวทำละลาย ทำให้มวลของสารละลายมีค่าใกล้เคียงกับมวลของตัวทำละลายจนถือว่าเท่ากัน จึงเขียนความสัมพันธ์ ได้ว่า

ppm (มวล) = (มวลของตัวละลาย / มวลของตัวทำละลาย) x 10^6

หน่วย ppm เป็นหน่วยความเข้มข้นของสารละลายที่เจือจางมาก ๆ หรืออาจใช้แสดงปริมาณของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในสารเคมีที่บริสุทธิ์ต่าง ๆ เช่น สารละลายโพแทสเซียมไนเตรตเข้มข้น 2 ppm หมายความว่ามีโพแทสเซียมไนเตรตเป็นตัวละลาย 2 ส่วน (กรัม) ละลายอยู่ในสารละลาย 1 ล้านส่วน (กรัม) หรือ 106 กรัม

$$\text{ส่วนในล้านส่วน (ppm)} = \frac{\text{มวลของตัวละลาย (g)}}{\text{มวลของสารละลาย (g)}} \times 10^6$$

ในกรณีที่สารละลายเจือจางมากๆ มวลของสารละลายมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลของตัวทำละลาย ทำให้มวลของสารละลายมีค่าใกล้เคียงกันมากกับมวลของตัวทำละลายจนถือว่าเท่ากันได้

3. ส่วนในพันล้านส่วน (parts per billion; ppb) เป็นหน่วยที่บอกปริมาณตัวละลายเป็นมวลหรือปริมาตรที่ละลายในสารละลาย 1 พันล้านหน่วย เช่น ในเนื้อปลามีสารปรอทปนเปื้อนอยู่ 1 ppb หมายความว่า ในเนื้อปลานั้น 1 พันล้านกรัมมีสารปรอทปนเปื้อนอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นในหน่วยนี้เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

สูตร

ppb (มวล) = (มวลของตัวละลาย / มวลของสารละลาย) x 10^9

ppb (ปริมาตร) = ปริมาตรของตัวละลาย / ปริมาตรของสารละลาย x 10^9

ในกรณีที่สารละลายเจือจางมาก มวลของตัวละลายมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับมวลของตัวทำละลาย ทำให้มวลของสารละลายมีค่าใกล้เคียงกับมวลของตัวทำละลายจนถือว่าเท่ากัน จึงเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

ppb (มวล) = (มวลของตัวละลาย / มวลของตัวทำละลาย) x 10^9

<u>ตัวอย่าง</u> น้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำแห่งหนึ่ง ผลวิเคราะห์พบว่ามีสารตะกั่วปนเปื้อนอยู่ร้อยละ 2×10^{-4} โดยมวล

ก. คำนวณหาความเข้มข้นในหน่วย ppm

จากสูตร ppm (มวล) = (มวลของตัวละลาย / มวลของสารละลาย) x 10^{6}
มวลของตัวละลาย = 2×10^{-4}
มวลของสารละลาย = 100
แทนค่า ppm (มวล) = $(2 \times 10^{-4} / 100) \times 10^{6} = 2$

ข. คำนวณหาความเข้มข้นในหน่วย ppb

จากสูตร ppb (มวล) = (มวลของตัวละลาย / มวลของสารละลาย) x 10^{9}
มวลของตัวละลาย = 2×10^{-4}
มวลของสารละลาย = 100
แทนค่า ppb (มวล) = $(2 \times 10^{-4} / 100) \times 10^{9} = 2{,}000$

4. โมลาริตี หรือโมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร (mol/dm^3 หรือ mol/l) เป็นหน่วยที่บอกจำนวนโมลของตัว ถูกละลายในสารละลาย 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร หน่วยความเข้มข้นเป็นโมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตรอาจเรียกย่อได้เป็นโมลาร์ (Molar) ใช้สัญลักษณ์ M

$$\text{mol/dm}^3 \text{ (Molar)} = \frac{\text{โมลของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตร (dm}^3\text{) ของสารละลาย}}$$

5. โมลาริตี หรือ โมลต่อกิโลกรัม (mol/kg) เป็นหน่วยที่บอกจำนวนโมลของตัวถูกละลายที่ละลายในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัม จึงมีหน่วยเป็น mol/kg หรือเรียกว่า โมแลล (Molal) ใช้สัญลักษณ์ m

6. เศษส่วนโมล (Mole fractions) คือ สัดส่วนจำนวนโมลของสารองค์ประกอบหนึ่งต่อจำนวนโมลรวม ของสารทุกชนิดในสารละลาย ใช้สัญลักษณ์ X เช่น สารละลายชนิดหนึ่งประกอบด้วยสาร A a mol, B b mol และ C c mol จะได้เศษส่วนโมลของสาร A, B และ C ดังนี้

เศษส่วนโมลของสาร A (X_A) = a / (a + b + c)
เศษส่วนโมลของสาร B (X_B) = b / (a + b + c)
เศษส่วนโมลของสาร C (X_C) = c / (a + b + c)
ผลรวมของเศษส่วนโมลของสารองค์ประกอบทั้งหมดคือ XA + XB + XC มีค่าเท่ากับ 1 และเมื่อนำค่าเศษส่วนโมลของแต่ละสารมาคูณด้วยร้อย จะได้ความเข้มข้นในหน่วยร้อยละโดยมวลของสารนั้น
ร้อยละโดยมวลของสาร A = เศษส่วนโมลของสาร A * 100

ร้อยละโดยมวลของสาร B = เศษส่วนโมลของสาร B * 100
ร้อยละโดยมวลของสาร C = เศษส่วนโมลของสาร C * 100

หลักการเตรียมสารละลาย

ในการเตรียมสารละลายต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นตามที่ต้องการสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1. การเตรียมสารละลายจากสารบริสุทธิ์
2. การเตรียมสารละลายจากสารละลายเข้มข้น

1. การเตรียมสารละลายจากสารบริสุทธิ์ ทำได้โดยละลายสารบริสุทธิ์ตามปริมาณที่ต้องการในตัวทำละลายปริมาณเล็กน้อยแล้วปรับปริมาตรของสารละลายให้ได้ตามที่ต้องการเตรียม ถ้าต้องการเตรียมเป็นหน่วยโมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร มีลำดับขั้นในการเตรียมดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณหาปริมาณตัวละลายเป็นกรัม ตามที่ต้องการ

ขั้นที่ 2 ชั่งสารตามจำนวนที่ต้องการ ซึ่งคำนวณได้ตามขั้นที่ 1 (ถ้าเป็นของแข็ง) แต่ถ้าเป็นของเหลวอาจคำนวณหาปริมาตรแล้วใช้วิธีตวงปริมาตรก็ได้ ในการชั่งสารต้องใช้เครื่องชั่งอย่างละเอียด คือ อาจจะต้องใช้เครื่องชั่งที่ชั่งสารได้ถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ของกรัม หรือใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า

ขั้นที่ 3 นำสารที่ชั่งได้ เทใส่ขวดวัดปริมาตรซึ่งมีขนาดเท่ากับปริมาตรของสารละลายที่ต้องการเตรียม เติมน้ำกลั่นในปริมาตรเพียงพอที่ละลายสารหมด หรือก่อนเทสารเติมน้ำกลั่นจำนวนหนึ่งซึ่งพอที่จะละลายสารหมดแต่น้อยกว่าปริมาตรของสารละลายลงไปก่อน เขย่าให้สารละลายหมดแล้วเติมน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตร ปิดจุกเขย่าให้ผสมเป็นเนื้อเดียว ก็จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นและปริมาตรตามที่ต้องการ

ขั้นที่ 4 เก็บสารละลายที่ได้ใส่ขวดที่เหมาะสม ปิดฝาขวดและปิดฉลากบอกชื่อสาร สูตรของสาร ความเข้มข้น และวันที่เตรียมสาร

หมายเหตุ ถ้าตัวถูกละลายเป็นของเหลวให้ชั่งหรือตวงปริมาตรตามที่ต้องการ เทใส่ขวดวัดปริมาตรใช้น้ำกลั่นล้างภาชนะที่ใส่ตัวละลาย หลาย ๆ ครั้ง เทใส่ขวดวัดปริมาตร แล้วเติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตรก็จะได้สารละลายตามที่ต้องการ

<u>ตัวอย่างการเตรียม</u> การเตรียมสารละลายโดยการละลายในน้ำ เช่น เมื่อต้องการเตรียมสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 ปริมาตร 500 cm^3 มีวิธีการ ดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณหามวลของ NaCl ในสารละลาย 500 cm^3

สารละลาย NaCl 1000 cm^3 มีเนื้อ NaCl = 0.1 mol
สารละลาย NaCl 500 cm^3 มีเนื้อ NaCl = (0.1 x 500) / 1000
= 0.05 mol

หามวลของ NaCl 0.05 mol

สูตร จำนวนโมล = มวลสาร / มวลโมเลกุล

NaCl มีมวลมวลโมเลกุล = 23 + 35.5 = 58.5

ดังนั้น มวลสาร = 0.05 X 58.5 = 2.925 g

ดังนั้น จะต้องใช้ NaCl = 2.925 g

ขั้นที่ 2 ชั่ง NaCl ให้ได้ 2.925 g โดยใช้เครื่องชั่งที่ชั่งได้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

ขั้นที่ 3 เติมน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 cm^3 ปริมาตรหนึ่งซึ่งน้อยกว่า 500 cm^3 แต่สามารถละลาย NaCl 2.925 g ได้หมด แล้วเท NaCl 2.925 g ลงในขวดวัดปริมาตรหรือเท NaCl ลงในขวดวัดปริมาตรก่อนแล้วเติมน้ำกลั่นในจำนวนที่ละลาย NaCl 2.925 g ได้หมด เขย่าให้ NaCl ละลายจนหมดแล้วเติมน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตร ปิดจุดเขย่าก็จะได้สารละลายตามที่ต้องการ

ขั้นที่ 4 ถ่ายสารละลาย NaCl ที่เตรียมเสร็จแล้วใส่ขวดที่เหมาะสม ปิดฝาขวด และปิดฉลากบอกชื่อสาร สูตรของสาร ความเข้มข้นของสารละลาย และวันที่เตรียม

2. การเตรียมสารละลายจากสารละลายเข้มข้น เป็นการเตรียมสารละลายโดยใช้สารละลายเดิมซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่าสารละลายที่จะเตรียม มาเติมน้ำให้เจือจางลงจนมีความเข้มข้นตามที่ต้องการ ในการทำให้สารละลายเข้มข้นเจือจางลงนั้น ความเข้มข้นของสารละลายจะถูกต้องเพียงใด ขึ้นอยู่กับการวัดปริมาตร อุปกรณ์ที่นิยมใช้วัดปริมาตรของสารละลายเดิม คือ ปิเปต หรือกระบอกตวง ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาตรของสารละลายใหม่ คือ ขวดวัดปริมาตร อุปกรณ์วัดปริมาตรจะใช้ขนาดใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาตรของสารละลาย คือ จะต้องเลือกใช้ปิเปตหรือกระบอกตวง และขวดวัดปริมาตรที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของสารละลาย การเตรียมสารละลายโดยวิธีนี้มีลำดับขั้นการเตรียมดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณหาปริมาตรของสารละลายเดิมที่จะใช้

โดยใช้สูตร $M_1V_1 = M_2V_2$

กำหนดให้ M_1 = เป็นความเข้มข้นสารละลายก่อนเจือจาง

V_1 = เป็นปริมาตรสารละลายก่อนเจือจาง

M_2 = เป็นความเข้มข้นสารละลายหลังเจือจาง

V_2 = เป็นปริมาตรสารละลายหลังเจือจาง

<u>ตัวอย่างการเตรียม</u> มีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1.0 mol/dm^3 แต่ต้องการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 mol/dm^3 ปริมาตร 500 cm^3 ทำได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณหาปริมาตรของสารละลายเดิมที่จะต้องใช้

วิธี**ทำ** จากสูตร $M_1V_1 = M_2V_2$

M_1 = 1.0 mol/dm^3

V_1 = ?

M_2 = 0.1 mol/dm^3

V_2 = 500 cm^3

แทนค่า $V_1 = (0.1\ mol/dm^3 \times 500\ cm^3) / 1.0\ mol/dm^3$

$V_1 = 50\ cm^3$

ดังนั้น จะต้องใช้สารละลายเดิม = $50\ cm^3$

ขั้นที่ 2 ใช้ปิเปตหรือกระบอกตวง ตวงสารละลาย NaOH 1.0 mol/dm^3 ปริมาตร $50\ cm^3$ แล้วถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด $500\ cm^3$

ขั้นที่ 3 เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร $500\ cm^3$ เขย่าก็จะได้สารละลาย NaOH 0.1 mol/dm^3 ปริมาตร $500\ cm^3$ ตามที่ต้องการ

ขั้นที่ 4 เก็บสารละลายไว้ในขวดที่เตรียมไว้ ปิดฝาขวด และปิดฉลากบอกชื่อสาร สูตรของสาร ความเข้มข้นของสารละลาย และวันที่เตรียม

เกรดของสารเคมี

สารเคมีถือเป็นหัวใจสำคัญในการวิเคราะห์น้ำที่ผู้ใช้จำเป็นต้องเลือกใช้ให้ตรงกับงานที่ต้องการจะวิเคราะห์เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความถูกต้องมากที่สุด อีกทั้งยังเป็นการประหยัดงบประมาณอีกด้วย ปัจจุบันสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำมีอยู่หลายเกรดด้วยกัน แต่ที่รู้จักกันทั่วไปมีดังนี้

1. Technical grade สารเคมีเกรดนี้จะไม่ใช้สำหรับห้องปฏิบัติการ เนื่องจากมีสารเจือปนอยู่เป็นจำนวนมาก แต่จะใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต
2. Practical grade สารเคมีเกรดนี้จะมีสารเจือปนอยู่น้อยกว่า Technical grade
3. Reagent grade สารเคมีเกรดนี้ถูกกำหนดโดย American Chemical Society (ACS) เป็นสารเคมีที่ได้ในงานทั่วไป สารเคมีเกรดรีเอเจนต์เป็นสารเคมีที่ห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ใช้กันมากที่สุด
4. Special purpose reagent chemical grade เป็นสารเคมีที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้งานพิเศษ เช่น HPLC grade, Pesticide grade ซึ่งสารเคมีจะระบุความบริสุทธิ์อย่างต่ำไว้

นอกจากนี้ยังมีเกรดมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard grade) ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีความบริสุทธิ์สูง สารเคมีเกรดนี้นิยมใช้เป็นสารมาตรฐาน เกรดของสารเคมีชนิดนี้ถูกกำหนดโดย National Institute of Standard and Technology (NIST)

เครื่องแก้วที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย

เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีระดับคุณภาพ 2 เกรดคือ เกรดA และ เกรด B โดยเกรด A มีความถูกต้องมากที่สุด ดังนั้นผู้วิเคราะห์จึงต้องเลือกใช้เครื่องแก้วให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยทั่วไปเครื่องแก้วเกรด A ใช้เตรียมสารละลายมาตรฐาน ส่วนเครื่องแก้วเกรด B ใช้สำหรับงานทั่ว ๆ ไปของห้องปฏิบัติการ

เครื่องแก้วทั่วไปที่ใช้สำหรับห้องปฏิบัติการ ได้แก่ Volumetric flask บีคเกอร์ กระบวกตวง ปิเปต ขวดวัดปริมาตร บิวเรต เป็นต้น ในการนี้เครื่องแก้วที่ใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานและวิเคราะห์ตัวอย่าง ผู้ใช้งานต้องอ่านปริมาตรให้ถูกต้องและเหมาะสม ซึ่งการอ่านปริมาตรที่เหมาะสมคือจะต้องให้สายตาอยู่ในระดับ

เดียวกันกับจุดต่ำสุดของส่วนโค้งเว้า ส่วนโค้งเว้านี้เกิดจากแรงดูดผิวระหว่างผิวแก้วกับของเหลว ในการนี้ตำแหน่งของระดับสายตาในการอ่านปริมาตรมีความสำคัญต่อค่าที่ได้จากการอ่านปริมาตรมาก กล่าวคือ

- ถ้าระดับสายตาอยู่เหนือส่วนโค้งเว้าต่ำสุดของของเหลว ปริมาตรที่อ่านได้จะมากกว่าปริมาตรจริง
- ถ้าระดับสายตาอยู่ในระดับเดียวกับส่วนโค้งเว้าต่ำสุดของของเหลว ปริมาตรที่อ่านได้จะมีค่าถูกต้อง
- ถ้าระดับสายตาอยู่ต่ำกว่าส่วนโค้งเว้าต่ำสุดของของเหลว ปริมาตรที่อ่านได้จะน้อยกว่าปริมาตรจริง

ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) มีหลากหลายขนาด ตั้งแต่ 1 มิลลิลิตร จนถึงขนาด 2 ลิตร ที่คอขวดวัดปริมาตรจะมีขีดหรือรอยแสดงสัญลักษณ์ขอกปริมาตรบรรจุ ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานจากสารเคมีที่เป็นของแข็งต้องชั่งสารเคมีด้วยเครื่องชั่งละเอียดไม่น้อยกว่า 4 หรือ 5 ตำแหน่ง ละลายด้วยตัวทำละลายในปริมาตรน้อย ๆ ในบีคเกอร์ก่อนถ่ายสารละลายสู่ขวดวัดปริมาตร จากนั้นชะด้วยตัวทำละลายและเทตัวทำละลายสู่ขวดวัดปริมาตร ทำเช่นนี้ หลาย ๆ ครั้ง จากนั้นจึงเติมตัวทำละลายจนถึงระดับขีดที่บอก ปิดจุกขวดแล้วพลิกคว่ำพลิกหงายประมาณ 8-10 ครั้ง จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

ขวดวัดปริมาตรที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ เช่นเดียวกันมี 2 เกรดคุณภาพ คือเกรด A และเกรด B ซึ่งมีความผิดพลาดของทั้ง 2 เกรด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบความผิดพลาดของขวดวัดปริมาตรเกรด A และเกรด B

ความจุ (ml)	ความผิดพลาด (± ml)		ความจุ (ml)	ความผิดพลาด (± ml)	
	เกรด A	เกรด B		เกรด A	เกรด B
5	0.02	0.04	200	0.10	0.20
10	0.02	0.04	250	0.12	0.24
25	0.03	0.06	500	0.20	0.40
50	0.05	0.10	1000	0.30	0.60
100	0.08	0.16	2000	0.50	1.00

ที่มา: Shugar, G. J. and J. A. Dean. 1989

ปิเปต (Pipette) คือเครื่องแก้วที่ใช้ในการวัดปริมาตร ใช้ถ่ายเทของเหลวหรือสารละลาย ซึ่งโดยทั่วไปปิเปตมีหลากหลายขนาด ตั้งแต่ 1 มิลลิลิตร จนถึง 100 มิลลิลิตร ทั้งนี้ปิเปตที่ใช้มี 2 ชนิดคือ ชนิดที่ใช้วัดปริมาตร (Volumetric pipette หรือ Transfer pipette) และชนิดที่ใช้ถ่ายเทของเหลว (Graduate pipette หรือ Measuring pipette)

ปิเปตที่ใช้วัดปริมาตรทั่วไปเรียกว่าปิเปตแบบกระเปาะ มีขีดบอกระดับความจุไว้และบอกระดับอุณหภูมิ ซึ่งปิเปตชนิดนี้ถูกออกแบบให้ถ่ายเทสารตามปริมาตรที่กำหนดไว้ที่ปิเปตนั้น จัดเป็นปิเปตที่ให้ความถูกต้องสูง ซึ่งปิเปตที่ใช้มี 2 เกรดเช่นกันคือเกรด A และเกรด B โดยปิเปตเกรด A ใช้เตรียมสารละลายมาตรฐาน ทั้งนี้ ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบความผิดพลาดของปิเปตที่ใช้วัดปริมาตร เกรด A และเกรด B

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบความผิดพลาดของปิเปตที่ใช้วัดปริมาตรเกรด A และเกรด B

ความจุ (ml)	ความผิดพลาด (± ml)	
	เกรด A	เกรด B
0.5	0.006	0.012
1	0.006	0.012
2	0.006	0.012
3	0.01	0.02
4	0.01	0.02
5	0.01	0.02
10	0.02	0.04
15	0.03	0.06
20	0.03	0.06
25	0.03	0.06
50	0.05	0.10
100	0.08	0.16

ที่มา: Shugar, G. J. and J. A. Dean. 1989

ในการใช้ปิเปตทั้ง Graduate pipette และ Volumetric pipette จะต้องเช็ดปลายปิเปตให้แห้งหลังจากดูสารละลายตามปริมาตรมาแล้ว เพื่อป้องกันความผิดพลาดหากจะนำไปใช้ดูดสารอื่นต่อ และการใช้ทุกครั้งจะต้องดูดของเหลวหรือสารละลายโดยใช้ลูกยาง ห้ามใช้ปากดูดปิเปตเด็ดขาด เพราะอาจทำให้เกิดอันตรายได้ นอกจากนี้ยังมีปิเปตอีกชนิดที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ Autometric pipette ซึ่งเหมาะกับงานประจำที่มีตัวอย่างจำนวนมาก ใช้จ่ายแค่เปลี่ยน Tip เท่านั้น

บทที่ 5

การทวนสอบ สอบเทียบและการบำรุงรักษาเครื่องมือ

วัตถุประสงค์ของการสอบเทียบ (Calibration) ในระบบคุณภาพ เพื่อยืนยันความเป็นไปตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต และตามมาตรฐานระบบคุณภาพ

องค์ประกอบของการสอบเทียบ แบ่งเป็น มาตรฐาน การตรวจสอบย้อนกลับ วิธีปฏิบัติ ผู้ปฏิบัติและสภาวะแวดล้อมในการสอบเทียบ

แนวทางการทวนสอบและสอบเทียบเครื่องมือหลักในห้องปฏิบัติการ

เครื่องชั่ง (Electronic Balance)

เลือกชุดตุ้มน้ำหนักที่ครอบคลุมช่วงน้ำหนักที่ใช้งานประจำ ชุดตุ้มน้ำหนักควรมีค่าความไม่แน่นอนน้อยกว่าค่าความละเอียดของเครื่องชั่งที่จะทำการสอบเทียบ สอบเทียบโดยการชั่งตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ที่ช่วงน้ำหนักต่าง ๆ จุดละ 10 ซ้ำ ค่าที่อ่านได้จะนำไปคำนวณเป็นค่าแก้ของค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง

ค่าที่ถูกต้อง = ค่าที่อ่านได้+ค่าแก้

(ค่าที่ระบุบนตุ้มน้ำหนัก+ค่าแก้ไขตุ้มน้ำหนักมาตรฐานในใบ Certificate = ค่าที่อ่านได้+ค่าแก้)

การวางน้ำหนักไม่กลางจาน จะแบ่งจานชั่งออกเป็น 5 ส่วน คือ บริเวณตรงกลาง และบริเวณรอบๆ อีก 4 ส่วนตรงมุมจาน ค่าที่ได้แต่ละตำแหน่งจะนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ชั่งกลางจาน ดูค่าที่ผิดพลาดสูงสุด = ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดจากการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน คือ ชิ้นวัตถุที่ทำขึ้นให้มีน้ำหนักตามขนาดต่าง ๆ โดยจะมีขนาดที่กำหนดหรือค่าที่ระบุเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม เช่น 1 กิโลกรัม 100 กรัม 50 มิลลิกรัม เป็นต้น

คุณลักษณะของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

1. มีมวลคงที่ในขอบเขตที่กำหนด (มีค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้)
2. มีรูปทรง และขนาดตามที่กำหนด (รูปทรงเดียวกันทั้งชุด)
3. ทำจากโลหะไม่เป็นสนิม และไม่เป็นสารแม่เหล็ก
4. ผิวเรียบ เพื่อทำความสะอาดง่าย และไม่เป็นที่กักเก็บฝุ่น
5. ลักษณะแข็ง ไม่เป็นรอยง่าย
6. ความหนาแน่นของวัสดุเป็นไปตามมาตรฐาน OIML (The Organization International De Mecrology Legale)

วิธีบำรุงรักษาตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

1. ไม่สัมผัสตุ้มน้ำหนักมาตรฐานด้วยมือเปล่า ต้องใช้ปากคีบ หนังชามัวร์ หรือถุงมือผ้า
2. ไม่วางตุ้มน้ำหนักมาตรฐานโดยตรงกับพื้นโต๊ะ ต้องวางใกล้เครื่องชั่งบนกระดาษที่สะอาด หรือผ้าที่ไม่ทิ้งเส้นใยเกาะที่ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน
3. สอบเทียบตุ้มน้ำหนักมาตรฐานตามกำหนดเวลา
4. ทำความสะอาดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานตามสมควร หรือก่อนและหลังใช้งานทุกครั้ง

วิธีการทวนสอบการทำงานของเครื่องชั่งประจำวัน (การทำ Daily Check เครื่องชั่ง)

1. เตรียมเครื่องชั่งให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน โดยการ อุ่นเครื่อง (warm), ปรับตั้ง และ Preloaded เครื่องชั่ง ตามลำดับ

2. นำชิ้นน้ำหนักมาตรฐาน มาชั่งน้ำหนัก บันทึกข้อมูลที่ได้ลงในแบบบันทึกข้อมูลสำหรับควบคุมการใช้งาน เครื่องชั่งประจำวัน

3. นำข้อมูลการชั่งที่ได้มา Plot ลงบนแผนภูมิควบคุม (Control Chart)

4. ควรทำ Daily Check ทุกครั้ง ก่อนใช้งานเครื่องปกติ เพื่อยืนยันค่าน้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องชั่งว่ายังอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

วิธีการทวนสอบการทำงานเครื่องชั่ง โดยวิธี One Point Check (NATA, 1995)

1. เตรียมเครื่องชั่งให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน โดยการ อุ่นเครื่อง (warm), ปรับตั้ง และ Preloaded เครื่องชั่ง ตามลำดับ
2. นำชิ้นตุ้มน้ำหนักมาตรฐานบันทึกเป็นสัญลักษณ์ M
3. Tare เครื่องชั่งให้เป็นศูนย์ และบันทึกน้ำหนักตุ้มน้ำหนักเป็นสัญลักษณ์ z1
4. หลังจากนั้นนำตุ้มน้ำหนักมาชั่ง บันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้ โดยบันทึกเป็นสัญลักษณ์ m1
5. ยกตุ้มน้ำหนักออกแล้ววางตุ้มน้ำหนักใหม่อีกครั้ง โดยไม่ต้อง Tare เครื่องชั่ง และบันทึกน้ำหนักเป็นสัญลักษณ์ m2
6. ยกตุ้มน้ำหนักออก อ่านค่าที่แสดงได้โดยไม่ต้อง Tare เครื่องชั่ง และบันทึกน้ำหนักเป็นสัญลักษณ์ z2
7. คำนวณ Scale value จากสูตร

   $$\text{Scale value} = \frac{C1 + C2}{2}$$

   โดย $C1 = M - (m1 - z1)$

   $C2 = M - (m2 - z2)$

   ทั้งนี้ ค่า Scale value ที่เปลี่ยนแปลงจากการทำครั้งก่อนจะต้องไม่สูงกว่า 3 เท่าของค่า SD ของการสอบเทียบครั้งล่าสุด
8. ความถี่ในการทวนสอบกำหนด เดือนละครั้ง

วิธีทวนสอบการทำงานเครื่องชั่ง โดยวิธี Repeatability Check

1. เตรียมเครื่องชั่งให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน โดยการ อุ่นเครื่อง (warm), ปรับตั้ง และ Preloaded เครื่องชั่ง ตามลำดับ
2. นำชิ้นตุ้มน้ำหนักมาตรฐานบันทึกเป็นสัญลักษณ์ M
3. Tare เครื่องชั่งให้เป็นศูนย์ และบันทึกน้ำหนักตุ้มน้ำหนักเป็นสัญลักษณ์ z1
4. หลังจากนั้นนำตุ้มน้ำหนักมาชั่ง บันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้ โดยบันทึกเป็นสัญลักษณ์ m1
5. ยกตุ้มน้ำหนักออกแล้วอ่านค่า โดยไม่ต้อง Tare เครื่องชั่ง และทำการบันทึกเป็นสัญลักษณ์ z2
6. วางตุ้มน้ำหนักใหม่อีกครั้ง และบันทึกน้ำหนักเป็นสัญลักษณ์ m2
7. ทำการชั่งตุ้มน้ำหนักต่อเนื่องจนครบ 10 ซ้ำ
8. คำนวณค่า SD โดยเกณฑ์ในการตัดสินคือ ค่า SD ที่ได้ต้องไม่มากกว่า 2 เท่าของค่า SD ที่ได้จากการสอบเทียบครั้งล่าสุด
9. ความถี่ในการทวนสอบ กำหนดทุก 6 เดือน

พีเอชมิเตอร์ (pH meter) เป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิก ใช้วัดค่าพีเอชหรือค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลาย โดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ probe หรือ อิเล็กโทรด และ เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า (meter) อิเล็คโทรดที่พบได้ในห้องปฏิบัติการส่วนมากแล้วจะเป็นชนิด glass electrode ที่เชื่อมต่อกับเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าแล้วเปลี่ยนการแสดงผลเป็นค่าพีเอช

การทวนสอบเครื่องวัดพีเอชมิเตอร์

การทวนสอบ Junction Potential (ทำการทวนสอบทุกสัปดาห์)

1. นำบัฟเฟอร์ pH 7 ปริมาตร 1 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร
2. นำไปวัดด้วยเครื่อง pH Meter โดยต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 20 – 26 องศาเซลเซียส
3. บันทึกค่าที่ได้ โดยค่า pH ที่ได้ต้องอยู่ในช่วง 0.2 ± 0.05 units

การทวนสอบ Slope Response (ทำการทวนสอบทุกเดือน) (NATA, 1995)

1. นำอิเล็คโทรดจุ่มในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4 และเลือกปุ่ม mV (Millivolts) เพื่อทำการวัด พร้อมบันทึกค่าที่อ่านได้

2. นำอิเล็คโทรดจุ่มในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7 และเลือกปุ่ม mV (Millivolts) เพื่อทำการวัด พร้อมบันทึกค่าที่อ่านได้

3. คำนวณค่า Percent slope ดังนี้

$$\text{Percent slope} = \frac{(mV_7 - mV_4) \times 100}{\Delta \text{ pH} \times S}$$

โดย mV_7 = ค่า electrode potential สำหรับสารละลายบัฟเฟอร์ pH 7

mV_4 = ค่า electrode potential สำหรับสารละลายบัฟเฟอร์ pH 4

Δ pH = ค่าความแตกต่างระหว่าง สารละลายบัฟเฟอร์ pH 7 และ สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4

S = ค่า theoretical value สำหรับหาความชัน (Slope) ของ glass electrode

โดยที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสมีค่า = 58.167 mV unit

โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีค่า = 59.157 mV unit

4. บันทึกค่าที่ได้ลงในแบบฟอร์ม และค่า slope response ต้องอยู่ระหว่าง 95 – 102 %

เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ ข้อมูลการทวนสอบเครื่องฯที่จะกล่าวถึงในลำดับต่อไป ใช้เป็นการทวนสอบเครื่องเบื้องต้นสำหรับห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะประกอบด้วยหลากหลายแนวทางการทวนสอบ ดังนี้

การทวนสอบเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer

1. Wavelength accuracy/ repeatability ตรวจสอบความแม่นของความยาวคลื่นที่อ่านได้จากเครื่องว่าเบี่ยงเบนจากความยาวคลื่นจริงเท่าใด ทั้งนี้สารมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ Wavelength accuracy ที่นิยมใช้ คือ 1) Deuterium lamp – emission lines ที่ 486.0, 656.1 nm 2) Mercury lamp – emission lines ที่ 253.7, 302.25, 313.6,334.15,365.48, 404.66, 435.83, 546.07, 576.96, 579.07 nm 3) Holmium oxide solution (quartz) glass filter (4% Ho_2O_3 in 10% perchloric acid) ที่ 241.15, 278.7,287.1,361.5, 416.3, 450.8, 485.8 nm และ 4) Holmium oxide (quartz) glass filter ที่ 241.5, 279.4, 287.5, 360.9, 418.4, 453.2 nm

2. Photometric accuracy/repeatability โดยการใช้สารละลาย Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) ความเข้มข้น 0.06 g/l in 0.005M H_2SO_4 วัดค่า Absorbance (Abs)ของสารละลายดังกล่าวที่ความยาวคลื่น 235.0, 257.0, 313.0 และ 350.0 nm ทำซ้ำ10 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย Abs. และค่าเบี่ยงเบน

คำนวณค่า A (1%,1cm)

$$A\ (1\%,1cm) = \frac{Ax \times D}{W}$$

เมื่อ Ax = ค่า Absorbance เฉลี่ยจากการวัด10 ครั้ง

W = น้ำหนักของ $K_2Cr_2O_7$ ที่นำมาเตรียมเป็นสารละลาย (g)

D = dilution factor

เกณฑ์การประเมินสมรรถนะของวิธีทดสอบและข้อกำหนดอื่น ๆ สำหรับตรวจวัดมวลสารของโมเลกุลด้วยเทคนิค Mass spectrometry

การตรวจวัดมวลโมเลกุลของสารด้วยเทคนิค Mass spectrometry

Mass Spectrometry (MS) คือเทคนิคการวิเคราะห์ ที่ใช้เพื่อตรวจสอบว่าสารตัวอย่างนั้นมีเลข มวล (mass number) เป็นเท่าไร เพื่อสามารถทำนายได้ว่า สารนั้นประกอบด้วยองค์ประกอบชนิดใดบ้าง และมีปริมาณเท่าไร โดยอ่านค่าจากสเปกตรัม วิธีนี้จัดเป็นเทคนิคขั้นสูง ค่า Sensitivity ในการวิเคราะห์สูง สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบเจาะจงและแบบทั่วไป ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ (บุรินทร์ และสุทธิศักดิ์, 2550)

ขั้นตอนการทำงานของ MS ที่สำคัญมีดังนี้

1. Inlet เครื่อง MS มีหน้าที่ในการรับสารละลายตัวอย่างที่เป็นไอผ่านเข้ามาในส่วนนี้ เพื่อเดินทางต่อไปยังส่วน Ion source
2. Ion source ทำหน้าที่ Ionize ให้โมเลกุลของสารละลายตัวอย่างกลายเป็นประจุไฟฟ้าบวก โดยใช้ขดลวดความร้อน จากนั้นประจุบวกจะเคลื่อนไปสู่ Chamber ผ่านช่องซึ่งมีสานามไฟฟ้าที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกัน และถูกเร่งจนมีพลังงานจลน์ระดับหนึ่ง
3. Mass analyzer ส่วนนี้จะมีไอออนบวกในสถานะแก๊ส ที่ถูกหักเหโดยสนามแม่เหล็ก โดยไอออนที่มีมวลต่างกันจะหักเหในทิศทางต่างกัน ไอออนที่มีมวลน้อยจะหักเหมากกว่าไอออนที่มีมวลมาก
4. Detector เป็นส่วนตรวจวัดสัญญาณที่ใช้วัดค่าและแปลงสัญญาณไอออนที่เข้าสู่ Detector เป็นสเปคตรัม
5. Data system เป็นระบบประมวลผลซึ่งเป็นส่วนสุดท้ายของการทำงานของ MS

การตรวจวัดมวลสารหรือน้ำหนักประจุของโมเลกุลสารด้วยเทคนิค Mass spectrometry นั้นควรดำเนินการด้วยเครื่องตรวจวัดมวล (Mass Spectrometer) ที่มีประสิทธิภาพสูง มีความสามารถในการบันทึกการกวาดวัดมวลประจุได้หลายแบบ ด้วยอัตราความเร็วสูง เช่น การบันทึก full mass spectra (full scans) หรือ Selected Ion Monitoring (SIM) รวมทั้งเทคนิค MS-MS เช่น Selected Reaction Monitoring (SRM) หรือเทคนิค MS หรือ MS-MS อื่น ๆ ที่ เหมาะสม ร่วมกับการแตกตัวของประจุ (ไอออน) ที่เหมาะสม

Full scan: เมื่อใช้เครื่องตรวจวัดมวลของประจุด้วยเทคนิค MS การบันทึกแบบ full scan spectra ในการตรวจวัดปริมาณสาร การตรวจเจาะจงประจุ/ไอออน ของโมเลกุล เพื่อใช้ในการวินิจฉัย หรือระบุชนิดสาร (diagnostic ions หรือ identifier ions) ได้แก่ ลักษณะการเกิด adducts เฉพาะของประจุ, (characteristic adducts ของ molecular ion), ลักษณะเฉพาะของประจุที่แตกตัว (characteristic fragment ions) และ isotope ions ที่สามารถตรวจวัดได้ทั้งหมด โดยเกณฑ์ ของค่าความเข้มสัมพัทธ์ (relative intensity) ต้องมากกว่า 10% ในช่วงอ้างอิงของ spectrum ของสารมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบ

SIM: เมื่อใช้เทคนิค MS แบบการแตกส่วนของโมเลกุล (fragmentography) ในการตรวจวัดปริมาณสารน้ำหนัก (ประจุ) โมเลกุลของสาร (molecular ion) ควรเป็นไอออนแบบหนึ่งที่ใช้ในการวินิจฉัย (ได้แก่ ลักษณะการเกิด adducts เฉพาะของประจุ, (characteristic adducts ของ molecular ion), ลักษณะเฉพาะของประจุที่แตกตัว (characteristic fragment ions) และ isotope ions) ประจุ/ไอออนที่ใช้ในการวินิจฉัยไม่ควรเกิดจากส่วนเดียวกันของโมเลกุลสาร และ อัตราส่วนของ สัญญาณพีคของแต่ละไอออนที่ใช้ในการวินิจฉัยต่อสัญญาณรบกวน (signal-to-noise ratio) ควร ≥ 3:1

Full scan และ SIM: ค่าความเข้มสัมพัทธ์ (relative intensity) ของไอออนที่ตรวจพบเทียบกับความเข้มของไอออนหรือ transition ที่สูงที่สุด (คิดเป็น 100 %) และค่าความเข้มสัมพัทธ์ ควรสอดคล้องเมื่อเทียบกับค่าความเข้มสัมพัทธ์ของสารมาตรฐานที่ในรูปสารละลายมาตรฐาน หรือ จากตัวอย่างเติมสารที่ระดับความเข้มข้นที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ ภายใต้สภาวะ/เงื่อนไขการ ตรวจวัดเดียวกัน และค่า relative intensity ควรอยู่ในช่วงเกณฑ์การยอมรับได้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าการยอมรับสูงสุด สำหรับ relative ion intensity

Relative intensity เมื่อเทียบกับพีคที่มีความเข้มสูงสุด (คิดเป็น 100%)	CI-GC-MS, GC-MS, LC-MS, LC-MS^n
> 50 %	± 20 %
> 20 - 50 %	± 25 %
> 10 - 20 %	± 30 %
≤ 10 %	± 50 %

ที่มา: Commission Decision 2002/657/EC

การแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโตรกราฟี

สำหรับเทคนิค LC-MS การแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโตรกราฟี ควรดำเนินการโดยใช้คอลัมน์ HPLC ที่เหมาะสม เกณฑ์ช่วงเวลาที่สารออก (Retention time, Rt) เร็วสุดที่ยอมรับได้คือไม่น้อยกว่า 2 เท่าของเวลา (Rt) ที่พีคของ void volume ของคอลัมน์ออก เช่นถ้าพบพีคของ void volume ของคอลัมน์ที่ 0.5 นาที พีคของสารที่ต้องการตรวจ ควรตรวจพบที่เวลา 1 นาทีขึ้นไปจึงจะแสดงการแยกพีคของ void volume ที่เหมาะสม และเวลาสารที่สนใจออกต้องเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับสารละลายมาตรฐาน โดยคิดเทียบกับ อัตราส่วนของ Rt ของสารมาตรฐานกับเวลา Rt ของสาร internal standard เป็นเวลาที่สารออกสัมพัทธ์ (relative retention time; RRT) โดย Rt ของสารที่สนใจควรอยู่ในช่วง RRT ± 2.5%

เครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography) (ไทยไภษัชยนิพนธ์,2553)

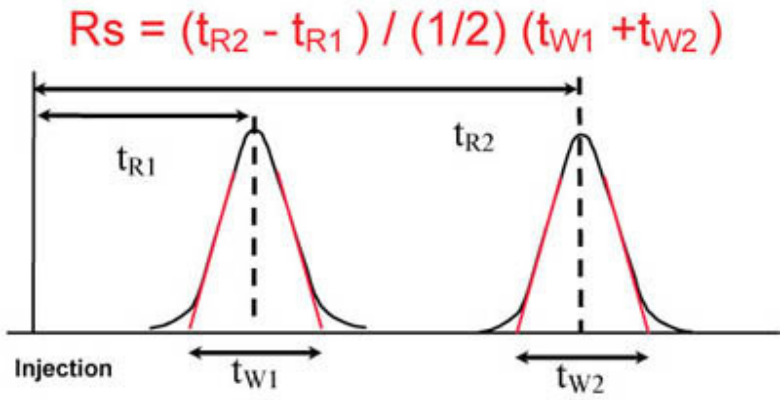
HPLC เป็นเครื่องมือใช้สำหรับแยกสารประกอบที่สนใจที่ผสมอยู่ในตัวอย่าง โดยกระบวนการแยกสารประกอบที่สนใจ จะเกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส คือเฟสอยู่กับที่ (stationary phase) หรือเรียกว่า คอลัมน์ (column) กับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งจะถูกแยกออกมาในเวลาที่ต่างกัน สารผสมที่อยู่ในตัวอย่างสามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้นกับเฟสที่เคลื่อนที่ หรือเฟสอยู่กับที่ โดยสารประกอบที่สามารถเข้ากันได้ดี กับเฟสเคลื่อนที่ สารนั้นก็จะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับเฟสเคลื่อนที่ หรือเข้ากันได้ดีกับเฟสอยู่กับที่ก็จะถูกแยกออกมาทีหลัง โดยสารที่ถูกแยกออกมาได้นี้จะถูกตรวจวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจวัดสัญญาณ (detector) และสัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีค ซึ่งจะเรียกว่าโครมาโตแกรม(chromatogram)

1. Mobile phase / Solvent: หรือตัวทำละลายที่ใช้ในการชะหรือแยกตัวอย่าง เป็นเฟสเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นของเหลว ทำหน้าที่ในการนำสารตัวอย่างและตัวทำละลายเข้าสู่ stationary phase เพื่อให้เกิดกระบวนการแยกภายในคอลัมน์
2. Degasser: ทำหน้าที่กำจัดฟองอากาศ อากาศที่มีอยู่ใน mobile phase เพื่อไม่ให้ฟองอากาศเข้าสู่ column และ detector
3. Pump: ทำหน้าที่ดึงตัวทำละลาย (mobile phase) เข้าสู่ระบบ HPLC เนื่องจากในการแยกสารผสมในเทคนิค HPLC จะอาศัยหลักการไหลของเฟสเคลื่อนที่ผ่านเฟสอยู่กับที่ ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก จึงทำให้เกิดความต้านทานการไหล ระบบปั๊มจึงมีความสำคัญมากในการที่จะทำให้เกิดความดันสูงเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านทาน
4. Injector และ Autosampler: ทำหน้าที่ในการฉีดสารตัวอย่างเข้าระบบ HPLC
5. Column: มีลักษณะเป็นของแข็งหรือเจล เป็นเฟสอยู่กับที่ ทำหน้าที่ให้เกิดกระบวนการแยกของสารที่สนใจ โดยการบวนการแยกเกิดขึ้นระหว่าง mobile phase กับ stationary phase
6. Detector: คือ ตัวตรวจวัดสัญญาณ ทำหน้าที่ในการตรวจวัดสัญญาณของสารที่สนใจที่ได้จากกระบวนการแยก มีหลายชนิดด้วยกัน การเลือกใช้ขึ้นกับตัวอย่างที่สนใจว่าสามารถตอบสนองกับ Detector ชนิดไหนได้ดี

การตรวจสอบเครื่องมือโดยใช้หลักการ System- suitability (M. D. Rockville, 2009)

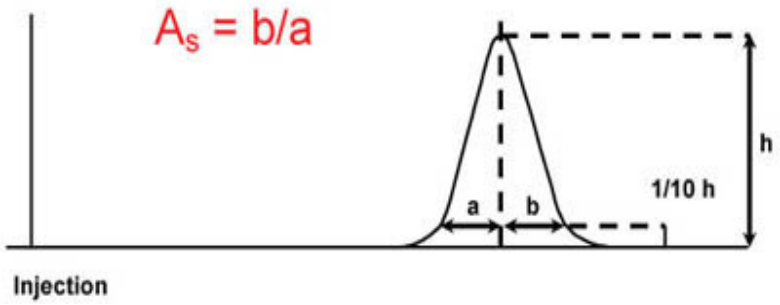
คือการฉีดสารผสมที่ต้องการแยก เป็นหลักการตรวจสอบสภาพเครื่องที่ใช้ทั่วไปในงานวิเคราะห์เทคนิค HPLC ต้องทำทุกวันก่อนการวิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบระบบว่ามีความเหมาะสมในการวิเคราะห์หรือไม่ ทั้งนี้ ประกอบด้วยสิ่งที่ต้องการวัด ดังนี้

1. Resolution เป็นการตรวจสอบความสามารถหรือประสิทธิภาพการแยกของคอลัมน์ระหว่างสารละลาย 2 ชนิดออกจากกัน โดยค่า Rs factor > 1.5 แสดงว่าสารละลาย 2 ชนิดแยกออกจากกันได้ดีมาก หากค่า Rs = 1 แสดงว่าสารละลายแยกออกจากกันได้ดี แต่ถ้า Rs < 1 แสดงว่าสารละลายแยกจากกันไม่ดี

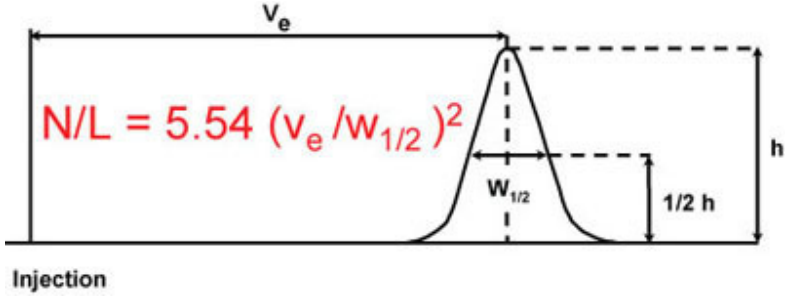


2. Repeatability เป็นการตรวจสอบโดยฉีดสารละลายเดียวกันซ้ำๆ โดยปกติฉีดซ้ำ 6 ครั้ง เพื่อคำนวณความแม่น แต่กรณีที่ฉีดซ้ำน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 ซ้ำ จะถือว่าความแม่นที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับ

3. Peak shape หรือ Asymmetry factor เป็นการศึกษาพีคที่มี tailing ซึ่งมีผลต่อการทำปริมาณวิเคราะห์ โดยเฉพาะเมื่อสารตัวอย่างมีความเข้มข้นต่ำๆ ส่วนความสมมาตรของพีคสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดอายุการใช้งานคอลัมน์ โดยขึ้นกับคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของคอลัมน์ และของ sample matrix ทั้งนี้ การวัดความสมมาตรของพีค หากมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าพีคมีความสมมาตรอย่างสมบูรณ์ สามารถคำนวณได้ดังนี้



4. Plate count เป็นสิ่งที่ใช้สำหรับพัฒนาวิธีวิเคราะห์ เพื่อทราบประสิทธิภาพของคอลัมน์ว่าถึงเวลาที่จะต้องเปลี่ยนคอลัมน์ที่ใช้งานหรือไม่



5. Retention time ซึ่งมีแนวโน้มแตกต่างขึ้นกับสาร Mobile phase ที่เตรียมในแต่ละครั้ง ความแตกต่างของคอลัมน์ที่ใช้งาน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

6. Signal-to-Noise ratio (S/N) เป็นการตรวจสอบสารที่วิเคราะห์มีปริมาณน้อย ๆ หรือความเข้มข้นต่ำ ๆ โดยจะสัมพันธ์กับการหาค่า LOD

เกณฑ์การพิจารณาการทดสอบความเหมาะสมของระบบ

โดยทั่วไปยึดตามหลักการ USP 31 และคู่มือ CDER “Reviewer Guidance: Validation of Chromatographic Method” แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์พิจารณาการทดสอบความเหมาะสมของระบบ

หัวข้อทดสอบ	USP31	CDER 1994
Resolution	> 1.5	> 2
Tailing factor	≤ 2.0	≤ 2.0
Number of Theoretical Plates	> 700	> 2000
RSD	≤ 2% (n = 5) > 2% (n=6)	≤ 1% (n = 5)

เครื่องAtomic Absorption Spectrometer (AAS) (ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์, 2544) ประกอบด้วย 5 ส่วน ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง (light source) โดยทั่วไปเป็นหลอดแบบ hollow cathode lamp (HCL) และ electrodeless discharge lamp (EDL) ซึ่งหลอดชนิด HCL ในหลอด(lamp) จะบรรจุ buffer ของแก๊สเฉื่อย (inert gas) เช่น แก๊สอาร์กอน(Ar) หรือ นีออน(Ne) และมีการเคลือบเกลือของธาตุโลหะที่จะวิเคราะห์ไว้ที่ขั้ว cathode ของ lamp โดยจะมีการให้ศักดิ์ไฟฟ้า(apply voltage) ให้แก่ขั้ว cathode เกิดการ ionization ของ inert gas ไปชนกับเกลือของธาตุโลหะที่เคลือบไว้ ทำให้ธาตุโลหะหลุดออกจากขั้ว cathode แล้วไปชนกับ inert gas ทำให้ธาตุโลหะเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น(ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น(exited state) แต่ไม่เสถียร จึงปล่อยพลังงานออกมาเป็นพลังงานแสงที่ความยาวคลื่นจำเพาะกับธาตุแต่ละธาตุ

2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ (atomizer หรือ atomization process) การทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้น ต้องมีการดูดกลืนพลังงานความร้อนเข้าไป และกระบวนการที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระนั้นเรียกว่า Atomization process ซึ่ง Atomization process ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ Flame Atomization, Electrothermal atomization หรือ Graphite furnace หรือ flameless atomization, Hydride Generation Technique และ Cold Vapor Technique โดยมีรายละเอียดของแต่ละเทคนิคดังนี้

2.1 Flame Atomizationใช้พลังงานความร้อนจากเปลวไฟทำให้เกิด atomization process แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่

2.1.1 Nebulization เป็นกระบวนการเปลี่ยนของเหลวให้เป็นละอองฝอยเล็กๆ (mist หรือ aerosol) ด้วยส่วนของเครื่องที่เรียกว่า nebulizer โดยเครื่องจะดูดสารละลายเข้าไปเพื่อพ่นให้สารละลายไปชนกับ glass bead เพื่อให้เกิดเป็นละอองฝอย

2.1.2 Droplet precipitation เป็นกระบวนการที่ละอองเล็กบางส่วน รวมกันเป็นหยดสารละลาย ไม่สามารถลอยอยู่ในอากาศได้จึงตกลงมาแล้วออกไปทางท่อน้ำทิ้ง (drain)

2.1.3 Mixing เป็นกระบวนการที่ mist หรือ aerosol ผสมกับแก๊สเชื้อเพลิง(fuel) และออกซิเดนท์แก๊ส (oxidant gas) เกิดใน spray chamber ของ nebulizer

2.1.4 De-solvation เป็นกระบวนการที่ตัวทำละลายที่อยู่ใน mist หรือ aerosol ถูกกำจัดออกไปทำให้เป็นอนุภาคเล็กๆ ของสารประกอบ

2.1.5 Compound decomposition เป็นกระวนการที่เกิดขึ้นในเปลวไฟ โดยพลังงานความร้อนจากเปลวไฟทำให้สารประกอบเกิดการแตกตัวเป็นเป็นออกไซด์ เป็น โมเลกุลและเป็นอะตอมอิสระ

2.2 Electrothermal atomizationหรือ Graphite furnace หรือ flameless atomization ใช้พลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้าทำให้เกิด atomization process แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

2.2.1 Drying stage เป็นการค่อยๆ ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง เพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป โดยปกติใช้อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 100°C)

2.2.2 Ashing stage เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนสูงขึ้น (อาจถึง 1,500 °C) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยเลกุลของสารเหล่านั้นจะแตกตัวออกไปเหลือแต่สารอนินทรีย์ที่เสถียรเท่า นั้น โดยทั่วไปอยู่ในรูปของโลหะออกไซด์

2.2.3 Atomization stage เป็นขั้นตอนที่สารที่เหลืออยู่ถูกเผาที่อุณหภูมิสูง (อาจถึง 3,000 °C) เพื่อให้สลายเกิดเป็นอะตอมอิสระ

2.3 Hydride Generation Technique เนื่องจากธาตุบางชนิดจะเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิค Flame Atomization และ Electrothermal atomization ไม่ได้ จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมกับออกซิเจน ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านั้นกลายเป็นสารที่เป็นไอได้ง่ายๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการ reduce ให้เป็น hydride แล้วให้ hydride นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจนจะทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Bi, Se, Pb, Sb, Sn และ Te

2.4 Cold Vapor Technique จัดเป็นวิธี flameless atomization แบบ Vapor Generation ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่เปลี่ยนเป็นไอได้ง่าย ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์ปรอท โดยใช้การ reduction ของสารประกอบปรอท

3. Monochromator ใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ (wavelength selector)

4. Detector ของ AAS เป็นชนิด Photo Multiplier Tube (PMT)

5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล

การบำรุงรักษาเครื่อง AAs

1. ติดตั้งเครื่องมือในสถานที่มีการสะเทือนน้อย ปราศจากไอสารเคมี ความชื้น
2. ติดตั้งตู้ดูดควันเหนือเตาเผา และมีพัดลมระบายอากาศออกจากห้องเพื่อความปลอดภัยผู้ปฏิบัติงาน
3. หลังการใช้งานสักระยะหนึ่ง ควรทำความสะอาดภายในเตาเผาโดยถอดองค์ประกอบออกมาทำความสะอาด และทำความสะอาดร่องบริเวณหัวเผา
4. ตรวจสอบความไวในการวิเคราะห์เป็นระยะ ๆ โดยใช้สารละลายมาตรฐานที่ทราบค่า เพื่อตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องมือ
5. ควรเปลี่ยนแท่งกราไฟท์เมื่อครบอายุการใช้งาน เนื่องจากการสึกกร่อนทำให้อุณหภูมิของกราไฟท์ลดลง และทำให้ความไวในการวิเคราะห์ลดลงด้วย
6. ตรวจดูระดับน้ำในถังระบาย ซึ่งควรมีน้ำสูงพอที่จะปิดปลายท่อระบายที่ต่อออกมาจากตัวเผา
7. ทำความสะอาดหรือเปลี่ยนตัวกรองที่ต่อกับท่อส่งแก๊สเชื้อเพลิงและท่อส่งแก๊สช่วยเผาไหม้เป็นระยะ ๆ

การใช้งานอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

1. เลือกตำแหน่งวางเครื่องให้เหมาะสมต่อการใช้งาน ควรมีระยะห่างจากผนัง อย่างน้อย 20 เซนติเมตร
2. เลือกใช้แรงดันไฟฟ้าให้ถูกต้อง ใช้เต้าเสียบให้เหมาะสมเพียงพอต่อความต้องการกระแสไฟฟ้าของเครื่อง และควรเป็นชนิดที่มีการต่อสายดิน เพื่อป้องกันไฟฟ้าดูด
3. ในกรณีที่ใช้น้ำเป็น Media ควรใช้น้ำกลั่น หรือน้ำกรอง เท่านั้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกรัน
4. การเติมน้ำ (Media) ในอ่าง ควรเติมน้ำมีระดับต่ำกว่าขอบอ่าง ประมาณ 5 เซนติเมตร
5. ควรหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีประเภทที่มีฤทธิ์เข้มข้นสัมผัสกับเครื่องโดยทางตรง เพื่อยืดอายุการใช้งานที่ยาวนานลดการสึกหรอ การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับตัวเครื่อง

วิธีบำรุงรักษาอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

1. เปลี่ยนถ่ายน้ำในอ่าง เมื่อสังเกตเห็นความสกปรกของน้ำในอ่าง หรืออย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง
2. การทำความสะอาด ควรเช็ดทำความสะอาดที่ขดลวดทำความร้อนและอ่างให้สะอาด และแห้ง โดยไม่ควรใช้ของมีคมหรือกระดาษทรายขัดถูอุปกรณ์ไฟฟ้า (Heater) และอ่าง
3. สารเคมีที่นำมาใช้ภายในอ่างที่อาจทำปฏิกิริยากับอุปกรณ์ไฟฟ้าและตัวอ่าง และส่งผลให้เกิดความเสียหาย เมื่อใช้งานเสร็จ ให้รีบทำความสะอาด
4. ตรวจสอบระดับน้ำในอ่างก่อนการใช้งานทุกครั้ง
5. ควร Drain น้ำทิ้งและทำความสะอาดทุกครั้ง เมื่อหยุดการใช้งานหลาย ๆ วัน

บทที่ 6

การประกันคุณภาพการวิเคราะห์สำหรับห้องปฏิบัติการ

การประกันคุณภาพตัวอย่างที่รับเข้าสู่ห้องปฏิบัติการ

การชักตัวอย่างเป็นวิธีการ เพื่อเลือกส่วนของผลิตภัณฑ์มาทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติ และนำส่วนที่เลือกไว้ซึ่งเรียกว่าตัวอย่างไปวิเคราะห์เพื่อเป็นตัวแทนของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์นั้น ความเสี่ยงที่เกิดจากแผนการชักตัวอย่างไม่เหมาะสม คือได้ข้อมูลที่ทำให้การตัดสินใจยอมรับสินค้ารุ่นนั้นไม่ได้มาตรฐาน หรืออาจถูกปฏิเสธรุ่นของสินค้านั้นๆ ทั้งที่สินค้าอาจมีคุณภาพดี และอาจเกิดข้อผิดพลาดในการลงทุนปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์หรือการจัดซื้อวัตถุดิบ ซึ่งจะเห็นได้ว่า การชักตัวอย่างเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการตรวจวิเคราะห์ การปรับปรุงวิธีการชักตัวอย่างให้มีความเหมาะสม จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากผลการวิเคราะห์นั้นๆ ได้อย่างมั่นใจยิ่งขึ้น

การชักตัวอย่างต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการตรวจวิเคราะห์ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดวิธีการชักตัวอย่าง เช่น ต้องการตรวจหาสารตกค้างจากการใช้ยาปฏิชีวนะในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ต้องการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนักในสัตว์น้ำ เป็นต้น ซึ่งแผนการสุ่มตัวอย่างต้องกำหนดให้สอดคล้องตามข้อกำหนดกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ แบ่งได้เป็น 4 ชนิด ตามแผนการชักตัวอย่าง ได้แก่

1. Representative sample เป็นตัวอย่างซึ่งมีลักษณะเฉพาะของประชากรในสมบัติที่ต้องวิเคราะห์ โดยการเลือกตัวอย่างที่เป็นตัวแทนที่เหมาะสม ต้องพิจารณาถึงสภาวะของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งแบ่งเป็น 4 สภาวะ ดังนี้

1.1 ความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous)

1.2 ความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous)

1.3 องค์ประกอบของสินค้า/วัสดุที่ต้องการวิเคราะห์ไม่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งที่อยู่และเวลา (Static system)

1.4 องค์ประกอบของสินค้า/วัสดุที่ต้องการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งที่อยู่ ระยะเวลา (Dynamic condition) ทำให้ไม่สามารถใช้แผนชักตัวอย่างโดยวิธีการทางสถิติแบบเดิมได้ เช่นตัวอย่างน้ำ สภาพดิน เป็นต้น

2. Selective sample เป็นตัวอย่างที่ได้จากแผนการชักตัวอย่างที่แยกสินค้า/วัสดุที่มีสมบัติบางอย่างออก และเลือกเฉพาะส่วนที่มีสมบัติที่เกี่ยวข้อง อาจเรียกว่า Direct หรือ Focused sampling มักใช้เพื่อวัตถุประสงค์ชี้บ่งการปนเปื้อนเฉพาะกรณี

3. Random sampling เป็นตัวอย่างที่เลือกออกมาโดยกระบวนการสุ่ม ซึ่งสามารถขจัดความลำเอียงได้ และใช้ในการแปลผลทางสถิติจากข้อมูลผลวิเคราะห์ได้ การสุ่มตัวอย่างทำให้ทุกส่วนของประชาการ มีโอกาสในการถูกคัดเลือกออกมาเท่า ๆ กัน การสุ่มแบบนี้ มี 3 ลักษณะ คือ

3.1 Simple random sampling ตัวอย่างมีโอกาสถูกเลือกเท่า ๆ กัน

3.2 Stratified random sampling ประชากรจะถูกแบ่งเป็นส่วน ๆ ตามลักษณะที่กำหนด จากนั้นจึงใช้การสุ่มเลือกจากแต่ละส่วน

3.3 Systematic sampling ตัวอย่างจะถูกเลือกแบบ Simple random sampling ส่วนตัวอย่างต่อ ๆ ไปจะถูกเลือกเป็นลำดับตามระบบที่กำหนด เช่นเลือกทุกลำดับที่ 5 และ 10 เป็นต้น

4. Composite sample เป็นตัวอย่างที่เกิดจากการรวมส่วนที่เลือกจากประชากรในเวลาเดียวกัน จำนวน 2 ส่วนหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน มักใช้ในการสำรวจด้านอาหาร

ดังนั้น การชักตัวอย่างเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ทางเคมีที่ตรงตามความต้องการ จำเป็นต้องอาศัยความรู้ด้านเคมีพื้นฐานที่ดี ทั้งความรู้เชิงปริมาณ เชิงคุณภาพ และโครงสร้างของตัวอย่างที่จะวิเคราะห์

สิ่งที่ควรตรวจสอบตัวอย่างวิเคราะห์ก่อนที่จะรับเข้าห้องปฏิบัติการ

1. ตรวจสอบบรรจุภัณฑ์ที่ใส่ตัวอย่างควรอยู่ในสภาพที่เหมาะสม ไม่ฉีกขาด หากเป็นตัวอย่างกระป๋องต้องไม่บุบ ไม่เป็นสนิม ไม่มีรอยเปิด
2. ตรวจสอบรายละเอียดตัวอย่างบนบรรจุภัณฑ์ที่ต้องชัดเจน และมีสภาพตัวอย่างที่ไม่เน่าหรือเปลี่ยนสภาพ เหมาะสมสำหรับการตรวจวิเคราะห์
3. ปริมาณตัวอย่างวิเคราะห์ไม่น้อยกว่า 300 – 500 กรัม หรือตามวิธีวิเคราะห์ที่กำหนดไว้
4. ชนิดของภาชนะที่ใช้เก็บตัวอย่างควรมีระบบป้องกันน้ำ และเหมาะสมตามสภาพตัวอย่างที่จะวิเคราะห์
5. มีการควบคุมอุณหภูมิที่เก็บรักษาตัวอย่างตลอดระยะเวลาวิเคราะห์ และบันทึกการเก็บรักษา
6. ผู้เตรียมตัวอย่างควรให้ความสำคัญต่อตัวอย่างที่เตรียม โดยต้องปั่นตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน
7. หากพบความผิดปกติของสภาพตัวอย่าง ควรแจ้งผู้ทำหน้าที่ควบคุมทราบ เพื่อดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องอย่างทันท่วงที

การประกันคุณภาพผลการทดสอบสำหรับห้องปฏิบัติการ

การประกันคุณภาพผลการทดสอบ คือ แผนและการดำเนินการอย่างมีระบบที่จำเป็นให้ได้มาซึ่งความเชื่อมั่นที่เพียงพอว่าการบริการเป็นไปตามข้อกำหนดด้านคุณภาพ และตามข้อกำหนดของ ISO/IEC17025 ซึ่งกำหนดเรื่องการประกันคุณภาพ ผลการทดสอบ/สอบเทียบ โดยมีองค์ประกอบของการประกันคุณภาพการทดสอบประกอบไปด้วย การควบคุมคุณภาพ (Quality Control: QC) และการประเมินคุณภาพ (Quality Assessment: QA) ซึ่งมีความสำคัญในแง่ของความแม่นและความเที่ยงของผลการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับทางด้านกฎหมาย การดำเนินคดี อ้างอิง ฟ้องร้อง เป็นต้น

การควบคุมคุณภาพ หมายถึง การดำเนินการและกิจกรรมทางวิชาการ ที่นำมาใช้เพื่อให้ตรงตามข้อกำหนดด้านคุณภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ การควบคุมคุณภาพภายนอก (External Quality Control) เช่น การเข้าร่วมโปรแกรมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ โดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ และการควบคุมคุณภาพภายใน (Internal Quality Control) ซึ่งจะอธิบายในลำดับต่อไป

การควบคุมคุณภาพภายใน (Internal Quality Control) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการตรวจสอบการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างของห้องปฏิบัติการ เพื่อควบคุมคุณภาพผลการวิเคราะห์ เฝ้าระวังการทดสอบ การถ่ายโอนข้อมูล การสุ่มตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง ตลอดจนการรายงานผลการวิเคราะห์ และรักษาไว้ซึ่งคุณภาพผลการวิเคราะห์ และปรับปรุงการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้ได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือ ตลอดจนการให้บริการที่มีประสิทธิภาพที่ดีตลอดเวลา ซึ่งแผนควบคุมคุณภาพในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยแนวทางดังต่อไปนี้ และห้องปฏิบัติการสามารถเลือกใช้เป็นแนวทางควบคุมคุณภาพภายในได้ตามความเหมาะสมของแต่ละห้องปฏิบัติการ

1. การทดสอบแบลงค์ของสารเคมี (Reagent Blank) เป็นการประเมินการปนเปื้อนที่อาจจะเกิดขึ้นจากสารเคมี และตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารเคมีที่ใช้ และการทดสอบแบลงค์ของวิธีวิเคราะห์ (Method Blank) เป็นการตรวจสอบการปนเปื้อนที่อาจจะเกิดขึ้น ระหว่างการเตรียมตัวอย่าง

โดยการทดสอบ reagent blank หรือ method blank จะเตรียมพร้อมกับตัวอย่าง โดยไม่มีตัวอย่าง ดำเนินการเมื่อเริ่มการทดสอบ และคั่นระหว่างการทดสอบหรือตามความเหมาะสม ทั้งนี้ผลการทดสอบแบลงค์ ไม่ควรพบสารที่ต้องการทดสอบ หรือรบกวนได้ในระดับที่ไม่รบกวนผลทดสอบตัวอย่าง หากพบสารในแบลงค์ในระดับที่มีผลกระทบต่อการทดสอบ ต้องหาสาเหตุ แก้ไข และทดสอบใหม่ทั้งหมด

2. การทดสอบสารมาตรฐาน (Calibration Standard) เป็นการยืนยันความถูกต้องกราฟมาตรฐาน โดยการเตรียมสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น และวัดสารมาตรฐานหลังจากทำกราฟมาตรฐานแล้ว

ทำการสร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้ Standard 3 – 5 ความเข้มข้น หรือมากกว่า เพื่อพิสูจน์ความเป็นเส้นตรง linear range โดยดูจากค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) หรือสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) จากค่า r หรือ R^2 โดยทั่วไปเกณฑ์การยอมรับ : r = 0.995, R^2 = 0.990

3. ทำการวิเคราะห์สารมาตรฐานที่ได้รับการรับรอง (Certified Reference Materials; CRM)

Certified Reference Materials เป็นวัสดุหรือสารอ้างอิงมาตรฐานที่ได้รับการรับรอง โดยการดำเนินการที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ มีใบรับรอง และสามารถสอบกลับ (traceability) ไปยังมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Standard, SI unit) ได้ การวิเคราะห์ CRM เพื่อเป็นการทวนสอบให้มั่นใจว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างควบคุมต่าง ๆ มีความถูกต้อง จึงควรวิเคราะห์ CRM อย่างต่อเนื่อง โดยเลือก CRM ที่มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับตัวอย่าง เกณฑ์ยอมรับ : ± 10 % ของค่าจริง (true value) หรือใช้ t – test หรือพิจารณาจาก % ความถูกต้อง

$$\text{คำนวณได้จากสูตร \% ความถูกต้อง} = \frac{\text{ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์}}{\text{ค่าจริง}} \times 100$$

4. การวิเคราะห์ซ้ำ (Duplicates) เป็นการประเมินความแม่นยำของการวิเคราะห์ โดยทำซ้ำในทุกๆ 10% หรือตามความถี่ที่เหมาะสม

เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างสองซ้ำ ในแต่ละชุดตัวอย่าง (Batch) ซึ่งเป็นการตรวจสอบความเที่ยงตรง โดยเกณฑ์ยอมรับของ % ความแตกต่างสัมพัทธ์ (% Relative Percent Difference, RPD) ซึ่งหลักการคำนวณประกอบด้วย

ก. กรณีวิเคราะห์ 2 ซ้ำ RPD (%) = $\frac{\text{(ผลต่างของการทดสอบ 2 ครั้ง)}}{\text{ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง}} \times 100$

ข. กรณีวิเคราะห์ 3 ซ้ำขึ้นไป RSD (%) = $\frac{\text{(SD)}}{\text{ค่าเฉลี่ยจากทุกซ้ำ}} \times 100$

5. การวิเคราะห์การคืนกลับของสาร (% Recovery) เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีองค์ประกอบที่ซับซ้อน (Matrix effect) โดยทดสอบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตลอดช่วงใช้งาน และต้องทำอย่างน้อยทุก 10% หรือตามความถี่ที่เหมาะสม

คือการเติมสารมาตรฐานความเข้มข้นสูงๆ แต่ปริมาณน้อยๆ ลงในตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบ analyte recovery หรือตรวจสอบผลการรบกวนจาก matrix ของตัวอย่าง โดยสารมาตรฐานที่นำมา spiked ควรมาจากคนละแหล่งกับที่ใช้เตรียม calibration curve (ถ้าทำได้) และความเข้มข้นของ spiked sample ควรอยู่ในช่วงเดียวกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ทั้งนี้ผู้วิเคราะห์ ควรแนใจว่าสิ่งที่เติมลงไปมีคุณสมบัติทางเคมี เหมือนตัวอย่างและรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับ ตัวอย่าง

หลักการคือ เติมสารที่ทดสอบซึ่งทราบปริมาณลงในตัวอย่าง (spiked sample) ทดสอบตัวอย่างและคำนวณค่าคืนกลับ ในรูป % Recovery

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{\text{(ความเข้มข้นของ spiked sample – ความเข้มข้นของตัวอย่างเริ่มต้น)}}{\text{ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไป}} \times 100$$

ผู้วิเคราะห์ทดสอบสามารถทำการวิเคราะห์ matrix spiked sample โดยใช้ความเข้มข้นประมาณ 10 เท่าของขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีทดสอบ หรือเท่ากับความเข้มข้นที่จุดกึ่งกลางของความเข้มข้นของช่วงการทดสอบ (working range) หรือตามข้อมูลของการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ (method validation) ทั้งนี้ เกณฑ์ยอมรับ % Recovery สามารถอ้างอิงได้จากข้อมูลการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ หรือจากแหล่งอ้างอิงต่างๆ ที่ยอมรับในระดับสากล ทั้งจาก A.O.A.C. , Codex เป็นต้น

ตารางที่ 6 เกณฑ์ยอมรับ % Recovery อ้างอิงตาม Codex, 2010

ความเข้มข้น	อัตราส่วน	หน่วย	% Recovery
100	1	100 % (100g/100 g)	98 - 102
≥ 10	10^{-1}	≥ 10 % (10 g/100 g)	98 - 102
≥ 1	10^{-2}	≥ 1 % (1 g/100 g)	97 - 103
≥ 0.1	10^{-3}	≥ 0.1 % (1 mg/g)	95 - 105
0.01	10^{-4}	100 mg/kg	90 - 107
0.001	10^{-5}	10 mg/kg	80 - 110
0.0001	10^{-6}	1 mg/kg	80 - 110
0.00001	10^{-7}	100 ug/kg	80 - 110
0.000001	10^{-8}	10 ug/kg	60 - 115
0.0000001	10^{-9}	1 ug/kg	40 - 120

ตารางที่ 7 เกณฑ์ยอมรับ % Recovery สำหรับสารเดี่ยว อ้างอิงตาม A.O.A.C, 2002

ความเข้มข้น	% Recovery
100 %	98 – 101 %
10 %	95 – 102 %
1 %	92 – 105 %
0.1 %	90 – 108 %
0.01 %	85 – 110 %
10 ug/g	80 – 115 %
1 ug/g	75 – 120 %
10 ug/kg	70 – 125 %

ตารางที่ 8 เกณฑ์ยอมรับ % Recovery สำหรับสารผสม อ้างอิงตาม A.O.A.C, 2002

ความเข้มข้น	% Recovery
≤ 1 -10 ug/kg	50-120 %
>1 – 10 ug/kg	60-120 %
>10-100 ug/kg	70-120 %
>100 ug/kg	70-110 %

6. การทดสอบผลลบควบคุม (Negative control) เป็นการทดสอบตัวอย่างโดยในแต่ละชุดการทดสอบ ต้องมีตัวอย่างควบคุมเพื่อคัดกรอง ได้แก่ “ตัวอย่างควบคุมผลลบ” คือใช้ตัวอย่าง/เนื้อเยื่อปลอดสาร (blank matrix) ซึ่งเป็นตัวอย่างที่เคยตรวจสอบและแสดงผลลบ

7. การเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างนักวิเคราะห์ภายในหน่วยงาน ใช้ในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบผลระหว่างผู้ทดสอบ 2 คนขึ้นไป ทดสอบตัวอย่างเดียวกัน โดยอาจเป็นตัวอย่างที่เคยทดสอบแล้วและมีผลการทดสอบเดิม ทั้งนี้ กรณีทราบค่าจริงหรือมีผลการทดสอบเดิม เปรียบเทียบค่าทดสอบของผู้ทดสอบแต่ละคนกับค่าจริง หรือกับผลการทดสอบเดิม โดยใช้สถิติ t-test แบบ one tail หรือสถิติอื่นที่เหมาะสม

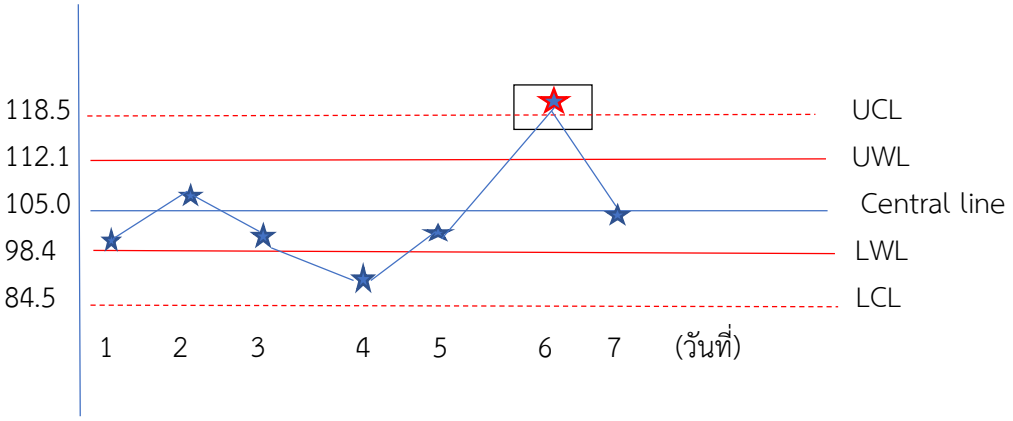
นอกจากนี้ เพื่อควบคุมการวิเคราะห์ให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีเสถียรภาพในขอบเขตที่ยอมรับได้ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอีกแนวทางหนึ่ง คือการทำแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ซึ่งแผนภูมิควบคุม เป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการควบคุมความผันแปรของกระบวนการในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้มั่นใจว่า ทุกๆ กระบวนการวิเคราะห์อยู่ในความควบคุม และสามารถดำเนินการซ้ำๆ กันได้โดยให้ผลอยู่ในช่วงที่ต้องการ นั่นหมายถึงกระบวนการยังมีความสามารถหรือยังใช้ได้ถูกต้องอยู่นั่นเอง และสืบเนื่องจากการจัดทำระบบประกันคุณภาพห้องปฏิบัติการ ISO/IEC17025 ห้องปฏิบัติการจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำแผนภูมิควบคุม ในกระบวนการต่างๆ เพื่อเฝ้าระวัง และตรวจสอบระบบการควบคุมคุณภาพดังกล่าวของห้องปฏิบัติการให้มีประสิทธิภาพอยู่สม่ำเสมอ

หลักการทำแผนภูมิควบคุม (Control chart) มีหลากหลายแนวทางขึ้นอยู่กับห้องปฏิบัติเลือกใช้ตามความเหมาะสม ทั้งนี้แผนภูมิควบคุมมี 2 ชนิดคือ X-Charts ใช้ค่าเฉลี่ยในการสร้างกราฟ เพื่อดูระบบว่ามีความผิดปกติของการวิเคราะห์หรือไม่ และ Range-charts, R หรือ r % ใช้ค่า % RSD ในการสร้างกราฟ เพื่อดูความแม่นยำในการทำซ้ำ ทั้งนี้ คู่มือนี้ขอเสนอหลักการทำแผนภูมิควบคุมแบบ X-charts ที่ห้องปฏิบัติการส่วนมากใช้ โดยหลักการทำแผนภูมิควบคุมเริ่มจากเก็บข้อมูลจากการวิเคราะห์ ไม่น้อยกว่า 20 ค่าที่เป็นอิสระต่อกัน (20วันหรือมากกว่า) และตรวจสอบ outlier ของข้อมูลด้วย Grubb’s Test ถ้ามีให้ตัดค่านั้นออก แล้วคำนวนใหม่จนกว่าจะได้ 20 ค่าที่ไม่มี outlier พร้อมหาค่า $\pm$ SD, $\pm$ 2SD และ $\pm$ 3SD หลังจากนั้นสร้างแผนภูมิควบคุมโดยประกอบด้วยข้อมูล ดังนี้

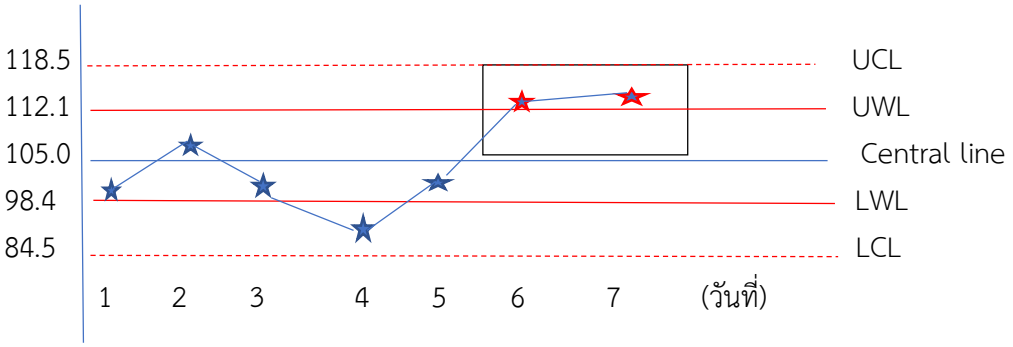
- Central line หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ ($\bar{x}$)
- Upper/Lower warning limit หมายถึง $\bar{x} \pm 2SD$ เป็นค่าเตือน แสดงว่าผลการวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนใกล้ถึง limit แล้ว
- Upper/Lower control limit หรือ action limit คือ $\bar{x} \pm 3SD$ เป็นค่า limit หากค่าที่ได้เกินค่านี้ต้องหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อน

เกณฑ์ในการควบคุม Control chart (Dux, J.P., 1991)

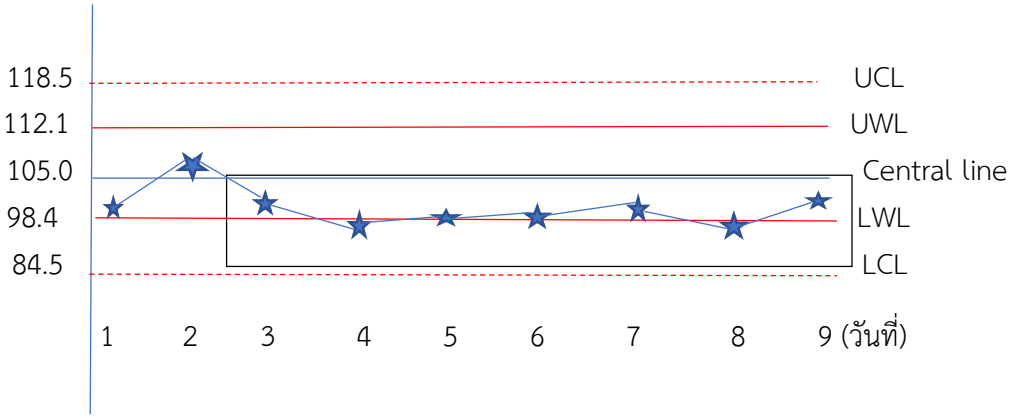
1. เมื่อมีค่าเกิน Control limit (CL) ทั้งด้านบนและด้านล่าง (UCL, LCL)



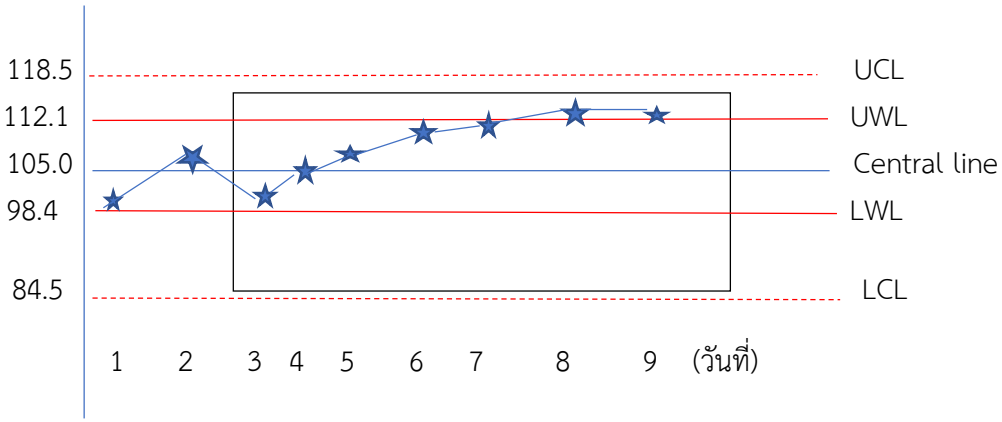
2 เมื่อมีค่าเกิน Warning limit (WL) 2 ค่าติดกัน ทั้งด้านบนและด้านล่าง (UWL, LWL)



3. เมื่อมีค่าสูงหรือต่ำกว่า Central limit ติดกัน 7 ค่าขึ้นไป ทั้งด้านบนและด้านล่าง



4. เมื่อค่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงติดกันตั้งแต่ 7 ค่าขึ้นไป ทั้งด้านบนและด้านล่าง



อนึ่งหากค่าที่ได้มีแนวโน้มดังแผนภูมิควบคุมที่ 1 – 4 ดังกล่าวข้างต้น ห้องปฏิบัติการจะต้องเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ใหม่ พร้อมทำการสร้างแผนภูมิควบคุมใหม่

การควบคุมคุณภาพภายนอก (External Quality Control)

เป็นการควบคุมคุณภาพผลการวิเคราะห์จากภายนอกเพื่อให้เกิดความมั่นใจในผลการวิเคราะห์ โดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งของการประกันคุณภาพสำหรับห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้หน่วยงานที่รับผิดชอบที่เป็นผู้จัดโปรแกรมทดสอบความชำนาญ (PT provider) ทำการแจกจ่ายตัวอย่างให้กับห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ ซึ่งทำให้ห้องปฏิบัติการมีเครื่องมือที่เป็นรูปธรรมในการตรวจประเมินและแสดงถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ ถือได้ว่ามีความสำคัญต่อห้องปฏิบัติการสำหรับจัดทำระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025

การประกันคุณภาพผลการทดสอบภายนอก ได้แก่

1.การร่วม Inter Laboratory Comparison คือ การประเมินความสามารถและการประเมินผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการสองห้องปฏิบัติการหรือมากกว่า ในการวัดตัวอย่างเดียวกัน ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้แล้ว

2. การเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญห้องปฏิบัติการ (Proficiency Testing; PT) คือการเข้าร่วมการทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการจากหน่วยงานที่ให้บริการทดสอบความชำนาญ โดยห้องปฏิบัติการต้องดำเนินการทดสอบในเวลาเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน ซึ่งตัวอย่างดังกล่าวจะต้องมีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความเสถียรตลอดช่วงเวลาของการดำเนินกิจกรรม การประเมินค่า ทั้งนี้การประเมินผลการทดสอบ อาศัยเกณฑ์ Z-score ดังนี้

ถ้า $|Z| < 2$ แสดงว่าผลการทดสอบนั้นยอมรับได้ (Satisfactory)
ถ้า $|Z| < 3$ แสดงว่าผลการทดสอบนั้นน่าสงสัย (Questionable)
ถ้า $|Z| > 3$ แสดงว่าผลการทดสอบนั้นยอมรับไม่ได้ (Unsatisfactory)

นอกจากนี้ ห้องปฏิบัติการสามารถดำเนินการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างนักวิเคราะห์ภายในหน่วยงานได้ ใช้ในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบผลระหว่างผู้ทดสอบ 2 คนขึ้นไป ทดสอบตัวอย่างเดียวกัน โดยอาจเป็นตัวอย่างที่เคยทดสอบแล้วและมีผลการทดสอบเดิม ทั้งนี้ กรณีทราบค่าจริงหรือมีผลการทดสอบเดิม เปรียบเทียบค่าทดสอบของผู้ทดสอบแต่ละคนกับค่าจริง หรือกับผลการทดสอบเดิม โดยใช้สถิติ t-test แบบ one tail หรือสถิติอื่นที่เหมาะสม

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี (Method Validation)

เป็นกระบวนการยืนยันความถูกต้องและความเหมาะสมของวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นหรือวิธีที่นำมาใช้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยทราบถึงเงื่อนไข ข้อจำกัดของวิธีนั้นๆ การทวนสอบวิธี (Method Verification) เป็นการทวนสอบเพื่อประกันว่าวิธีการวิเคราะห์มาตรฐานหรือวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการมีความถูกต้องแม่นยำ เป็นไปตามคุณสมบัติของวิธีนั้นๆ

นิยามศัพท์คำว่า “การตรวจสอบความใช้ได้ (Validation)” ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2005 หมายถึง การยืนยันโดยการตรวจสอบและจัดทำหลักฐานที่เป็นรูปธรรม เพื่อแสดงว่าข้อกำหนดพิเศษต่าง ๆ สำหรับการใช้ตามที่ตั้งใจไว้โดยเฉพาะ สามารถบรรลุผลได้ครบถ้วน

ประเภทของการทดสอบ แบ่งประเภทได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

1. จำแนกตามลักษณะวิธีทดสอบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทย่อย ดังนี้

1.1 Defining method หรือ Empirical method หมายถึงวิธีทดสอบที่ผลการทดสอบขึ้นอยู่กับวิธีการที่กำหนดในวิธีทดสอบนั้น และผลทดสอบสามารถสอบกลับได้ไปยังวิธีการทดสอบที่ใช้ ดังนั้น วิธีทดสอบนี้ห้ามดัดแปลงวิธี ต้องทำตามวิธีที่กำหนด เช่นการทดสอบหาความชื้นในตัวอย่าง เป็นต้น

1.2 Non- defining method หรือ Rational method หมายถึงวิธีทดสอบที่ผลการทดสอบไม่ขึ้นกับวิธีการที่กำหนดในวิธีทดสอบนั้น การใช้วิธีที่แตกต่างกัน จะให้ผลการทดสอบที่ไม่แตกต่างกัน และผลการทดสอบนี้สามารถสอบกลับได้ถึงหน่วยระบบสากล (SI unit)

2. จำแนกตามปริมาณธาตุที่ทดสอบ แบ่งประเภทได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

2.1 Impurity : Low concentration หมายถึงการทดสอบธาตุปริมาณต่ำ การทดสอบประเภทนี้ห้องปฏิบัติการต้องหาขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ) โดยมีหลักฐานเป็นรูปธรรมที่แสดงปริมาณต่ำสุดที่แสดงความถูกต้อง แม่นยำ เป็นที่ยอมรับ

2.2 Limit test หมายถึงการทดสอบธาตุปริมาณต่ำมาก ๆ ซึ่งอาจมี หรือไม่มีธาตุนั้นในตัวอย่างก็ได้ การรายงานผลคือ ตรวจพบหรือไม่พบ การทดสอบประเภทนี้ต้องหาค่าขีดจำกัดในการตรวจพบ (Limit of Detection; LOD)

2.3 Major components: High concentration หมายถึงการทดสอบธาตุที่มีปริมาณความเข้มข้นสูงในตัวอย่าง ซึ่งห้องปฏิบัติการต้องตรวจสอบว่าความเข้มข้นที่สามารถทดสอบได้อยู่ระหว่างเท่าไร การทดสอบประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องหาค่า LOD, LOQ

วิธีทดสอบที่ต้องตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี

1. วิธีทดสอบที่ไม่ใช่วิธีมาตรฐาน (Non-standard method) เป็นวิธีที่ยังไม่ได้รับการยอมรับทั่วไป เช่นวิธีที่ห้องปฏิบัติการพัฒนาเอง หรือวิธีที่ห้องปฏิบัติการปรับเปลี่ยนหรือดัดแปลงจากวิธีมาตรฐานเช่น เปลี่ยนสารเคมีที่ใช้ หรือเปลี่ยนสภาวะทดสอบ เป็นต้น เมื่อห้องปฏิบัติการนำมาใช้ จะต้องตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี เพื่อให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

2. วิธีทดสอบที่ใช้นอกขอบเขตวิธีมาตรฐาน หากห้องปฏิบัติการ

3. เมื่อตัวชี้บ่งการควบคุมคุณภาพของห้องปฏิบัติการ แสดงค่าให้เห็นว่าวิธีทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม

4. มีการนำไปใช้ต่างห้องปฏิบัติการ หรือต่างเครื่องมือวิเคราะห์

5. เมื่อต้องแสดงให้เห็นว่าวิธี 2 วิธีไม่แตกต่างกัน

หมายเหตุ: กรณีที่ห้องปฏิบัติการใช้วิธีทดสอบมาตรฐาน ห้องปฏิบัติการต้องมีข้อมูลยืนยันว่าผลการทดสอบที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำ เป็นไปตามที่กำหนดในวิธีมาตรฐานหรือไม่ ทั้งนี้ ข้อมูลที่ใช้ยืนยันจะพิจารณาตามความเหมาะสมในแต่ละวิธีการทดสอบ โดยสรุปคือ ห้องปฏิบัติการสามารถยืนยันผลโดยการ Verified วิธีทดสอบ และไม่ต้องจัดทำรายงานแบบฉบับเต็ม (Full validation)

ข้อควรปฏิบัติก่อนเริ่มการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี

1. ผู้ตรวจสอบต้องมีความรู้ ความเข้าใจ และประสบการณ์ในงานนั้นเป็นอย่างดี และมีความรู้พื้นฐานทางสถิติที่ใช้ในการประเมินผล

2. เครื่องมือจะต้องได้รับการสอบเทียบ หรือทวนสอบ เพื่อแสดงว่าสามารถให้ค่าความถูกต้องแม่นยำ ก่อนที่จะเริ่มตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี

3. เตรียมงบประมาณในการดำเนินการให้พร้อมสำหรับดำเนินการได้ครบถ้วนตามวัตถุประสงค์

4. วัสดุที่ใช้ต้องมีความคงตัว เป็นเนื้อเดียวกัน มีเนื้อสารใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ทดสอบประจำและมีปริมาณเพียงพอ ซึ่งผู้ตรวจสอบต้องเตรียมตัวอย่างควบคุม (Control sample) ให้เพียงพอสำหรับใช้งาน

5. สารเคมีที่ใช้ควรเป็น Analytical reagent grade หรือ Standard reagent grade ตามความเหมาะสมของแต่ละวิธี

6. เตรียมจัดหา CRM ไว้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy) ของวิธี ในกรณีที่วิธีวิเคราะห์นั้นสามารถใช้ CRM ในการตรวจวิเคราะห์ได้

7. มีการวางแผนการดำเนินการอย่างเหมาะสม รวมทั้งเตรียมความพร้อมของบุคลการผู้ปฏิบัติงาน

แนวทางการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีตาม EURACHEM Guide, 2014

1. การหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearity) เป็นการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงหรือช่วงความเป็นเส้นตรง เป็นคุณลักษณะเฉพาะของวิธีทดสอบที่แสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นสัดส่วนโดยตรง ระหว่างปริมาณที่ทราบค่ากับปริมาณจากการวัด จำเป็นต้องมีการตรวจสอบสำหรับวิธีที่มีช่วงการทดสอบหรือช่วงการใช้งานที่กว้าง การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงทำได้ 2 แนวทางคือ

1.1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของเครื่องมือ เป็นการแสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงระหว่างสัญญาณจากเครื่องมือวัด (Response) และความเข้มข้นของสารในช่วงของการใช้งานโดยใช้กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) โดยตามทฤษฎีแล้วความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกับสัญญาณจากเครื่องมือเป็นเส้นตรง ในการหาปริมาณความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของเครื่องมือเกี่ยวข้องกับสภาพไว และบางกรณีเกี่ยวข้องกับ Matrix effect ด้วย

1.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นวิธีทดสอบ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารมาตรฐานที่วัดกับปริมาณที่วัดได้ทดสอบโดยวัสดุอ้างอิงรับรองหรือวัสดุอ้างอิงที่มีเนื้อสารเดียวกันหรือใกล้เคียงกับตัวอย่าง ความสัมพันธ์เชิงเส้นไม่ใช้คุณสมบัติเชิงปริมาณ หากการตรวจสอบพบว่าความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง อาจสามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้สมการอื่น หรือกำหนดช่วงให้แคบลงที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ดำเนินการได้โดย Fortified/Spiked sample ในช่วงที่ต้องการทดสอบ ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ อย่างน้อย 3 ความเข้มข้น (ทั้งนี้ขอเสนอให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ความเข้มข้น) ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า response (แกน Y) กับความเข้มข้นของ Fortified/Spiked sample (แกน X) ซึ่งเกณฑ์การพิจารณา : พิจารณาช่วงที่เป็นเส้นตรง โดยกราฟ regression ค่า R^2 ต้องมากกว่า หรือเท่ากับ 0.990 (หรือ r ต้องมากกว่า หรือเท่ากับ 0.995) ซึ่งแสดงว่ามีความเป็นเส้นตรงในช่วงทดสอบ

2. การหาเข้มข้นที่ทดสอบหรือช่วงการใช้งาน (Range) เป็นช่วงความเข้มข้นที่ทดสอบหรือช่วงการใช้งาน หมายถึงขอบข่ายของการทดสอบหรือช่วงใช้งานหรือช่วงความเข้มข้นที่วิธีนั้น ๆ ใช้ทดสอบได้ โดยมีความถูกต้องและความแม่นยำ โดยห้องปฏิบัติการต้องดำเนินการตรวจสอบอย่างน้อย 3 ความเข้มข้น คือความเข้มข้นต่ำ กลาง สูง ให้ครอบคลุมช่วงการใช้งาน หรือแล้วแต่ความเหมาะสมของแต่ละห้องปฏิบัติการ

การตรวจสอบช่วงการใช้งาน ดำเนินการได้โดย Fortified/Spiked sample ในช่วงที่ต้องการทดสอบ ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ อย่างน้อย 3 ความเข้มข้น (ทั้งนี้ขอเสนอให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ความเข้มข้น) ความเข้มข้นละ 1 ซ้ำ และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า response (แกน Y) กับความเข้มข้นของ Fortified/ Spiked sample (แกน X) ซึ่งเกณฑ์การพิจารณา : พิจารณาช่วงที่เป็นเส้นตรง โดยกราฟ regression ค่า R^2 ต้องมากกว่า หรือเท่ากับ 0.990 (หรือ r ต้องมากกว่า หรือเท่ากับ 0.995) ซึ่งแสดงว่ามีความเป็นเส้นตรงในช่วงทดสอบ

3. ความแม่น (Accuracy) เป็นคุณลักษณะที่ชี้ว่าผลการทดสอบมีค่าใกล้ค่าจริงหรือค่าอ้างอิงหรือค่าที่ยอมรับ เนื่องจากในทางปฏิบัติยากที่จะทราบค่าจริง จึงใช้วิธีเปรียบเทียบกับค่าที่ยอมรับแทนเป็นคุณลักษณะที่แสดงถึงความสอดคล้องกับค่าจริง การตรวจสอบความแม่นของวิธีทดสอบ ทำได้ 2 แบบ ดังนี้

3.1 การเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าที่ยอมรับ (Reference value) ทำได้ 2 วิธี คือทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุอ้างอิง (Reference Material; RM) และ/หรือวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Material; CRM) และอีกวิธีหนึ่งโดยการทดสอบตัวอย่างกับวิธีอื่นที่อ้างอิงได้ เช่น Reference Method หรือ Standard Method และทำการเปรียบเทียบผลโดยใช้หลักการทางสถิติ

3.2 การตรวจสอบค่าคืนกลับ (Recovery) ใช้ในกรณีที่ไม่มีวัสดุอ้างอิง การตรวจสอบแบบนี้เป็นการเติมธาตุที่ทดสอบ ซึ่งเป็นสารมาตรฐานและรู้ค่าความเข้มข้นที่แน่นอน ปริมาณน้อย เติมลงในตัวอย่าง (Spiked or Fortified sample) แล้วทำการทดสอบและคำนวณค่า % Recovery

การตรวจสอบความแม่น ดำเนินการได้ 2 กรณี คือ กรณีมี CRM ดำเนินการวัด CRM จำนวน 10 ซ้ำ และเปรียบเทียบผลกับใบรับรอง (Certificate of Analysis) เพื่อคำนวณค่า % recovery และกรณีไม่มี CRM โดยการทดสอบ Fortified/ Spiked sample ของสารที่สนใจที่ความเข้มข้นในช่วง working range อย่างน้อย 3 ระดับ (สูง กลาง ต่ำ) โดยวัดความเข้มข้นละ 10 ซ้ำ ซึ่งเกณฑ์การพิจารณา : หาค่า %recovery อ้างอิงตามข้อกำหนดของ AOAC และ/หรือ Codex หรือตามความเหมาะสม

4. ความเที่ยง (Precision) เป็นคุณลักษณะที่แสดงความสามารถในการทดสอบตัวอย่างซ้ำหลายครั้งแล้วให้ผลใกล้เคียงกัน มักแสดงในรูปค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; s) หรือค่าความแปรปรวน (Variance; s^2) หรือสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation; CV) หรือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; RSD) ซึ่งเกี่ยวกับการความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error) คำที่จะแสดงค่าความเที่ยงในวิธีทดสอบต่าง ๆ มักใช้คำว่า Repeatability หรือ Reproducibility) อย่างไรก็ตาม ความเที่ยงไม่ได้บอกถึงความถูกต้องของผลการทดสอบ แต่ชี้ให้เห็นว่าการทดสอบมีความสม่ำเสมอ เที่ยงตรงในระดับใดเมื่อมีการทดสอบซ้ำ โดยทั่วไปการตรวจสอบความเที่ยงใช้สภาวะ (Condition) 3 สภาวะ คือ

4.1 Repeatability condition เป็นสภาวะการทดสอบที่ทำในสภาวะเดิมทั้งหมด ได้แก่ ตัวอย่าง เครื่องมือ สารเคมี วิธีทดสอบ ผู้ทดสอบ และห้องปฏิบัติการเดียวกัน ทดสอบซ้ำในช่วงเวลาสั้นที่สุดเท่าที่ทำได้

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบสภาวะแบบนี้ ชี้ให้เห็นคุณลักษณะวิธีได้ แต่ไม่สามารถใช้ควบคุมสภาวะการทดสอบระยะยาวได้

4.2 Intermediate precision condition เป็นสภาวะการทดสอบทำในสถานที่เดิม ทดสอบในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจทำให้สภาวะการทดสอบอื่น ๆ เปลี่ยนด้วย เช่น เปลี่ยนผู้ทดสอบ เพื่อให้ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นในสภาวะการทำงานจริง ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ควบคุมคุณภาพการทดสอบในระยะยาวของห้องปฏิบัติการได้

4.3 Reproducibility condition เป็นสภาวะการวัดตัวอย่างเดิม แต่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะบางประการ เช่นเปลี่ยนผู้ทดสอบ และใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการที่ต่างกัน การตรวจสอบด้วยสภาวะนี้ไม่จำเป็นสำหรับห้องปฏิบัติการเดี่ยว แต่ใช้ในกรณี ที่ต้องการให้วิธีทดสอบเป็นวิธีมาตรฐานสามารถใช้กับห้องปฏิบัติการทั่วไป ความเที่ยงที่ได้จึงเป็นตัวแทนของวิธีทดสอบ

การตรวจสอบความเที่ยง ดำเนินการได้โดยใช้ค่าจากการหาความแม่น มาหาค่า SD และ % RSD ในแต่ละซ้ำ ซึ่งเกณฑ์การพิจารณา : HORRAT ต้อง ≤ 2

5. ขีดจำกัดในการตรวจพบ (Limit od Detection; LOD) หมายถึงปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ แต่ไม่สามารถแสดงปริมาณได้อย่างมีความถูกต้องหรือความแม่นยำ เป็นค่าที่ต่างจากค่าศูนย์และมีค่ามากกว่าความไม่แน่นอนของวิธีทดสอบ คุณลักษณะข้อนี้จำเป็นต้องจัดทำในกรณีที่วัดสารปริมาณน้อยมาก ๆ และมีรายงานว่าตรวจไม่พบในตัวอย่าง

ค่า LOD ของวิธีทดสอบนี้ มีความแตกต่างจากค่าสัญญาณต่ำสุดของเครื่องมือทดสอบที่ใช้ Signal to the noise ratio (S/N) ในการชี้บ่งคุณลักษณะเครื่องมือ แต่การหาค่า LOD ของวิธีทดสอบต้องทำตามขั้นตอนวิธีทดสอบทั้งหมด ซึ่งโดยทั่วไปค่า LOD มีค่าประมาณ 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารละลายแบลงค์ของตัวอย่างทดสอบนั้น

การตรวจสอบ LOD ดำเนินการโดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือกรณีที่ Control sample หรือ Sample blank ไม่มีค่า จากการวัดอย่างน้อย 10 ซ้ำ ใช้การคำนวณค่าความเข้มข้นของ SD โดยใช้สูตร LOD = 3SD และกรณีที่ Control sample หรือ Sample blank มีค่าจากการวัดอย่างน้อย 10 ซ้ำ หรือจากการ Fortified หรือ Spiked sample สารที่สนใจที่ระดับต่ำสุดที่ยอมรับได้ เช่น ที่ระดับต่ำสุดของความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน จำนวน 10 ซ้ำ และคำนวณค่า SD โดยใช้สูตร LOD = $\bar{x}$ + 3SD ซึ่งเกณฑ์การพิจารณา : ค่า LOD ที่ได้ต้องมีค่า Signal to noise (S/N) มากกว่า 3 ของตัวอย่างทั้ง 10 ซ้ำ

6. ขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ) หมายถึงปริมาณความเข้มข้นของสารที่ทดสอบ ซึ่งสามารถหาปริมาณได้โดยมีความแม่นและความเที่ยงที่ยอมรับได้ สามารถแสดงค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบได้ ดังนั้น LOQ จึงเป็นคุณสมบัติของวิธีที่แสดงความสามารถของวิธีในการรายงานผลที่ความเข้มข้นต่ำสุดที่ความแม่น ความเที่ยง และความไม่แน่นอนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ โดยทั่วไป LOQ จะมีค่าเป็น 3 เท่าของ LOD หรือประมาณ 10 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่บางกรณี LOQ อาจมากกว่าหรือน้อยกว่า 10 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็ได้ขึ้นอยู่กับแต่ละเทคนิคการทดสอบ และการนำผลการตรวจสอบความแม่นมาพิจารณาปรับตามความเหมาะสม

การตรวจสอบ LOQ ดำเนินการโดยทำการ Fortified หรือ Spiked sample สารที่สนใจที่ระดับต่ำสุดตามค่าความเข้มข้นจากการ Predicted LOQ (ที่ LOQ = 10 SD กรณี sample blank หรือ Control

sample ไม่มีค่า หรือที่ LOQ = $\bar{x}$ + 10 SD กรณี sample blank หรือ Control sample มีค่า) จำนวน 10 ซ้ำ และคำนวณค่าจากการวัดตัวอย่าง 10 ซ้ำนั้น โดยเกณฑ์การพิจารณา: ค่า % Recovery ต้องอยู่ในช่วงเกณฑ์ยอมรับโดยอ้างอิงตามข้อกำหนดของ AOAC และ/หรือ Codex หรือตามความเหมาะสม และค่า HORRAT ต้อง ≤ 2

7. ความจำเพาะเจาะจง (Selectivity หรือ Specificity) เป็นความสามารถของวิธีวิเคราะห์ที่สามารถตรวจวิเคราะห์สารที่ต้องการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง และสามารถตรวจแยกเฉพาะเจาะจงสำหรับสารที่สนใจออกจากสารประกอบอื่นในตัวอย่าง ภายใต้สภาวะการทดลองที่ระบุไว้ ซึ่งหากวิธีทดสอบสามารถทดสอบได้โดยไม่มีการรบกวนจากสารเจือปนทุกระดับ แสดงว่าวิธีนั้นมีความจำเพาะสูง

การตรวจสอบความจำเพาะเจาะจง ดำเนินการโดยการทดสอบ Sample blank หรือ Control sample จำนวน 1 ซ้ำ และ fortified หรือ Spiked sample ที่ความเข้มข้นระดับหนึ่ง ซึ่งอยู่ภายใน Range จำนวน 1 ซ้ำ และเปรียบเทียบกับ spectrum ของสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน ซึ่งเกณฑ์การพิจารณา: พิจารณาสัญญาณ peak ที่เกิดขึ้น ซึ่ง Chromatogram ที่ได้จะไม่มีสัญญาณ peak ของ sample blank และสัญญาณ peak ของ fortified sample เมื่อเทียบกับ Library spectrum ของสารมาตรฐาน พบว่าให้สัญญาณ peak ที่เหมือนกัน ซึ่งแสดงว่า สามารถแยก peak ของสารที่สนใจได้

8. ความทนและความคงทนของวิธี (Ruggedness & Robustness) เป็นคุณลักษณะที่แสดงความสามารถของวิธีที่ผลการทดสอบจะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะเพียงเล็กน้อยจากสภาวะปกติ ได้แก่การเปลี่ยนอุณหภูมิ เปลี่ยนความเป็นกรด-ด่าง เปลี่ยนระยะเวลาดำเนินการบางขั้นตอน เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายในการย่อยตัวอย่าง ฯลฯ ทั้งนี้ การตรวจสอบความทนและความคงทนของวิธี ห้องปฏิบัติการต้องใช้ประสบการณ์และสามารถควบคุมตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการทดสอบได้

แนวทางการประมาณค่าความไม่แน่นอนในการทดสอบสำหรับห้องปฏิบัติการ (EURACHEM / CITAC Guide CG 4, 2012)

ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of Measurement) หมายถึงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับผลของการวัดซึ่งบอกลักษณะการกระจายของค่าของสิ่งที่ถูกวัดอย่างสมเหตุสมผล ซึ่งจะอ้างอิงตามหลักการของ Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) และ EURACHEM/CITAC Guide CG4 Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement (QUAM) โดยประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

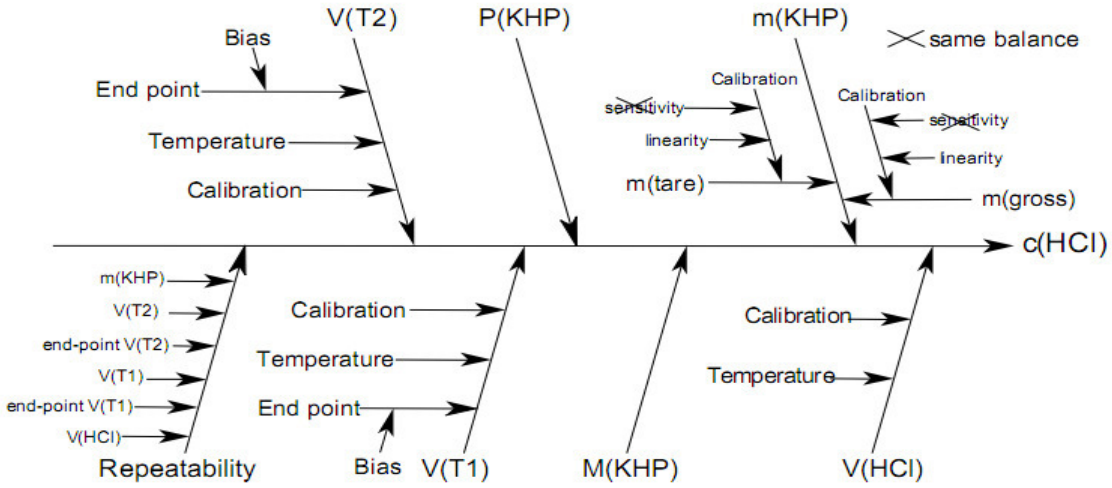
1. ระบุรายละเอียดของการวิเคราะห์

ในขั้นตอนนี้จะจัดทำเป็นผังขั้นตอนตั้งแต่การชั่งตัวอย่าง การสกัดตัวอย่าง การวิเคราะห์ คำนวณผลวิเคราะห์ และการรายงานผลการวิเคราะห์ เพื่อให้เห็นภาพรวมการวิเคราะห์ทั้งหมด

2. บ่งชี้และวิเคราะห์แหล่งที่มาของความไม่แน่นอน

ในขั้นตอนนี้ จะต้องจัดทำเป็นแผนผังก้างปลาเพื่อบ่งบอกแหล่งที่มาของความไม่แน่นอน ซึ่งต้องจัดกลุ่มและพิจารณาองค์ประกอบของความไม่แน่นอน ทั้งนี้ การหาที่มาของแหล่งความไม่แน่นอนของการวัด (identify uncertainty source) โดยพิจารณาจากแหล่งความไม่แน่นอน ในสูตรการคำนวณ ให้ครอบคลุมทุกแหล่ง เช่น เครื่องมือ อุปกรณ์ ความบริสุทธิ์ของสาร สภาวะของการวัด แล้วจัดทำแผนภูมิก้างปลา จากสูตร

(cause and effect diagram) โดยเขียนให้ผลลัพธ์เป็นแกน ส่วน parameters ต่าง ๆ ในสูตรเป็นก้างปลาหลัก และหาแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องในแต่ละก้างปลาหลัก ว่ามีอะไรบ้างแยกออกเป็นก้างปลาย่อย ดังตัวอย่างในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผังก้างปลาเพื่อพิจารณาแหล่งที่มาของความไม่แน่นอน

ทั้งนี้ การหาค่าความไม่แน่นอนของแต่ละแหล่ง (quantify uncertainty components) โดยหาค่าความไม่แน่นอนของแต่ละก้างปลาย่อยในก้างปลาหลัก รวมค่าความไม่แน่นอนรวมของแต่ละก้างปลาหลัก และแปลงค่าความไม่แน่นอนในก้างปลาย่อยในแต่ละองค์ประกอบให้เป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (standard uncertainty) และเปลี่ยนค่า standard uncertainty เป็น relative standard uncertainty

การแปลงค่าความไม่แน่นอนแต่ละแหล่งเป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน โดยนำค่าความไม่แน่นอนที่ได้หารด้วยตัวหาร (divisor; d) ซึ่งขึ้นอยู่กับแบบของการกระจายตัว (distribution) และค่าความเชื่อมั่น (confidential) ของการวัด ตัวหารมีค่าต่างๆ ดังตารางด้านล่าง ทั้งนี้ กรณีไม่ระบุความเชื่อมั่น และไม่ทราบรูปแบบการกระจายตัว ให้ถือเป็นกระจายตัวแบบสี่เหลี่ยม คือทุกค่ามีโอกาสเกิดได้เท่ากันตลอดช่วง หารด้วยตัวที่มีค่าใหญ่ คือ $\sqrt{3}$

ตารางที่ 9 แสดงตัวหารที่ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของการวัดและระดับความเชื่อมั่น

แหล่งของความไม่แน่นอน	ระดับความเชื่อมั่น, % distribution	ตัวหาร (divisor)
การสอบเทียบเครื่องมือและอุปกรณ์ทั่วไป	ระบุความเชื่อมั่นที่ 99	3
การตรวจสอบเครื่องมือ (performance test)	ระบุความเชื่อมั่นที่ 95	2
การสอบเทียบเครื่องมือและอุปกรณ์ทั่วไป ความบริสุทธิ์ของสารมาตรฐานที่ระบุเป็นช่วง ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิ ความไม่แน่นอนจากสเกลเครื่องมือวัดทั่วไป (resolution) และ tolerance ของเครื่องแก้ว	ไม่ระบุระดับความเชื่อมั่นให้ถือเป็นกระจายตัวแบบสี่เหลี่ยม คือทุกค่ามีโอกาสเกิดได้เท่ากันตลอดช่วง	$\sqrt{3}$
resolution ของเครื่องแก้ว	กระจายตัวแบบสามเหลี่ยม	$\sqrt{6}$
การวัด / ทดสอบซ้ำเพื่อหาความเที่ยง การตรวจสอบเครื่องมือ (performance test)	ไม่ระบุระดับความเชื่อมั่น	1

3. หาปริมาณของแต่ละส่วนประกอบของความไม่แน่นอน ดำเนินการโดย

3.1 หาค่าความไม่แน่นอนของความเข้มข้นของสารที่มาจาก Linear least square calibration: U (C_0)

$$U(C_0) = \frac{S}{B_1}\sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(C_0 - \overline{C})^2}{S_{xx}}}$$

โดยที่

$$\sqrt{\frac{\sum_{J=1}^{n_S} [A_j - (B_0 + B_1 \times C_j)]^2}{n-2}}$$

$$S_{xx} = \sum_{J=1}^{n} (C_j - \overline{C})^2$$

เมื่อ A_j = ค่า Intensity ที่วัดได้ในลำดับที่ j ของความเข้มข้นสารมาตรฐานในลำดับที่ C_i

B_0 = Intercept

B_1 = Slope

C_i = ความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายมาตรฐานที่เตรียม

C_j = ความเข้มข้นของแคดเมียมในสารละลายมาตรฐานที่กำหนดใน calibration curve

n = จำนวนของการวัดในการทำ calibration curve

p = จำนวนของการวัดในการหาค่าตัวอย่าง Unknown

C_0 = ค่าความเข้มข้นของตัวอย่าง Unknown คำนวณจาก Calibration curve (mg/l)

i = ตัวเลขแสดงลำดับที่ของสารละลายมาตรฐาน

j = ตัวเลขแสดงลำดับที่ของค่าที่วัดเพื่อให้ได้ calibration curve ที่ลำดับ i

3.2 ความไม่แน่นอนที่เกิดจากความบริสุทธิ์ (Purity) ของสารมาตรฐานและการทำ Dilution มีการคำนวณ ดังตัวอย่าง

ความบริสุทธิ์ (Purity) เช่น Stock standard XXX มีค่า 1000 $\pm$ 5 mg/l ซึ่งใบรับรองดังกล่าวมิได้ระบุระดับความเชื่อมั่น จึงคิดการกระจายแบบ Rectangular ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนของ Stock standard XXX หรือค่า U_{cstock} = 5 / $\sqrt{3}$ = YYY mg/l และหาค่า Relative standard uncertainty RSU $_{cstock}$ = YYY / 1000

3.3 ความไม่แน่นอนจากการการเจือจาง (Dilution) สารละลายตัวอย่าง โดยพิจารณาค่าความไม่แน่นอนที่บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์และเครื่องมือระบุไว้หรือจากการสอบเทียบประจำปีจากใบรับรอง เช่น Uncertainty = $\pm a$

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนใหม่ (U_x) คำนวณได้ดังนี้

1) ในกรณีที่ระบุความเชื่อมั่นที่ 95 % $U_x = a/2$

2) ในกรณีทั่ว ๆ ไปซึ่งไม่ระบุความเชื่อมั่น $U_x = a/\sqrt{3}$

3) ในกรณีเครื่องแก้วซึ่งไม่ระบุความเชื่อมั่น $U_x = a/\sqrt{6}$

หากกรณีเครื่องมือวิเคราะห์ ถ้าไม่ได้ทำการสอบเทียบให้ใช้ค่า SD (standard deviation) จากการทำซ้ำ ให้ค่าความไม่แน่นอน $U_x = SD$

ทั้งนี้ ผู้วิเคราะห์จะต้องพิจารณาค่า Tolerance และค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงของห้องปฏิบัติการ โดยค่า Tolerance ได้จาก Specification ของเครื่องมือ และนำข้อมูลนี้ใช้ในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนต่อไป

ความไม่แน่นอนจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเมื่ออุณหภูมิห้องเปลี่ยนแปลงไป

1) กรณีสารละลายที่ใช้เป็นน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของปริมาตร = 2.1 x 10^{-4} มิลลิลิตรต่อองศาเซลเซียส เช่น ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะได้ว่า

มีค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการขยายตัว = 2.1 x 10^{-4} x 4 x 100 = 0.084 มิลลิลิตร

ความไม่แน่นอน $U_x = \frac{0.084}{\sqrt{3}} = 0.05$ มิลลิลิตร

2) กรณีเป็นสารอินทรีย์ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของปริมาตร = 1 x 10^{-3} มิลลิลิตร / องศาเซลเซียส

3.4 ความไม่แน่นอนจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเครื่องแก้วตามอุณหภูมิ

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเครื่องแก้ว borosilicate class A ตามอุณหภูมิ = 1.0×10^{-5} มิลลิลิตรต่อองศาเซลเซียส เช่น ขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร และ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จะได้ว่า

มีค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการขยายตัวของเครื่องแก้ว = $1.0 \times 10^{-5} \times 4 \times 100$ = 0.004 มิลลิลิตร

ความไม่แน่นอน $U_x = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.0023$ มิลลิลิตร

หลังจากที่แปลงค่าความไม่แน่นอนจากแหล่งต่าง ๆ ให้เป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานแล้ว จึงรวมค่าความไม่แน่นอนในรูปของความแปรปรวน (Variances, S^2) โดย

$$Ux = \sqrt{Ux_1^2 + Ux_2^2 + ... + Ux_n^2}$$

3.5 ความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบเครื่องแก้ว

ความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบ เช่น ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 ± 0.1 มิลลิลิตร

ก) ถ้าบอกระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

$$U_x = \frac{a}{k} = \frac{0.1}{2} = 0.05 \text{ มิลลิลิตร}$$

ข) ถ้าไม่ได้บอกระดับความเชื่อมั่นให้เป็นคิดการกระจายแบบสามเหลี่ยม

$$U_x = \frac{a}{\sqrt{6}} = \frac{0.1}{\sqrt{6}} = 0.04 \text{ มิลลิลิตร}$$

3.6 ความไม่แน่นอนจากการทำซ้ำของการปรับปริมาตร

ความไม่แน่นอนจากการเติมถึงขีดบอกปริมาตรและการถ่ายเทสารละลาย เช่น ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากการเติมน้ำถึงขีดบอกปริมาตรและทำการชั่งน้ำหนักจำนวน 10 ครั้ง (ทำซ้ำ) มีค่า $SD = 0.02$ มิลลิลิตร ให้ค่าความไม่แน่นอน $U_x = SD = 0.02$ มิลลิลิตร

3.7 ความไม่แน่นอนการทดสอบ precision โดยใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์

U_x (system suitability) = SD ของการทำ system suitability / $\sqrt{n}$

หน่วยเป็น ความเข้มข้นในตัวอย่าง เช่น μg/g

n คือ จำนวนซ้ำขึ้นอยู่กับห้องปฏิบัติการ

3.8 ความไม่แน่นอนจากการชั่งน้ำหนัก standard ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

3.8.1 ความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบเครื่องชั่ง

ในกรณีที่ระบุความเชื่อมั่นที่ 95 % จากการสอบเทียบจะมีใบรับรองระบุค่าความไม่แน่นอน เช่น Uncertainty = $\pm a$

$U_x = a/2$ (ในการชั่งที่มีการคิด tare และ gross จะคิด U_x 2 ครั้ง (ถ้าไม่ใช้ tare คิด U_x 1 ครั้ง)

3.8.2 ความไม่แน่นอนจากการชั่งน้ำหนัก standard ซ้ำ ๆ

การชั่งน้ำหนักสารมาตรฐาน มีการชั่ง เพื่อทำการทวนซ้ำ จากการทดสอบซ้ำ (repeatability) แสดงในรูปความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (standard deviation of mean : SD) จะได้ค่าความไม่แน่นอน

$$U_x = SD$$

4. คำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Combined standard uncertainty)

นำค่าความไม่แน่นอนตามตัวอย่างที่กล่าวในข้อ 3 นำค่ามาคำนวณหาความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม แต่เนื่องจากความไม่แน่นอนแต่ละแหล่งมีหน่วยวัดต่างกัน จะต้องทำให้แต่ละความไม่แน่นอนไม่มีหน่วยวัด จากสูตร RSU ดังนี้

RSU = Relative Standard Uncertainty = U_x / x

โดยที่ U_x = standard uncertainty

X = ค่าคงที่ของแหล่งความไม่นอนที่ต้องการวัด

จากนั้นใช้ สูตร U_C ดังนี้

สูตร $U_c = C\sqrt{RSU_1^2 + ... + RSU_n^2}$

โดยที่ C ในสูตรนี้ หมายถึง ความเข้มข้นเฉลี่ยของการทดสอบในตัวอย่าง (ไม่ใช่ความเข้มข้นจาก calibration curve)

5. คำนวณค่าความไม่แน่นอนขยาย(expanded uncertainty, U_E)

การหาค่าความไม่แน่นอนขยาย (U_E) โดยการนำ U_C มากำหนดระดับความเชื่อมั่น ทำได้โดยการใช้ค่า coverage factor โดยที่ k ดูจากระดับความเชื่อมั่น 95 % (ค่า k = 2)

สูตร $U_E = k U_C$

6. รายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัด (กรณีลูกค้าร้องขอ)

เมื่อคำนวณได้ U_E ให้รายงานผลในรูป X ± U หน่วย , ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ค่า k = 2)

โดยที่ หน่วยเป็น ความเข้มข้นในตัวอย่าง เช่น μg/g นอกจากนี้ จำนวนเลขนัยสำคัญของค่าความไม่แน่นอนต้องไม่เกิน 2 ตำแหน่ง และปัดค่าผลการทดสอบ (X) ให้เท่ากับทศนิยมตำแหน่งสุดท้ายของค่าความไม่แน่นอน (U)

บทที่ 7

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ มีจุดมุ่งหมายเพื่อควบคุมตรวจสอบคุณภาพให้มีความปลอดภัย ไม่พบการตกค้างหรือปนเปื้อนของสารเคมี ยาปฏิชีวนะ จนทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค รวมทั้งเป็นการเฝ้าระวังคุณภาพและความปลอดภัยตลอดห่วงโซ่อาหาร ในบทนี้ จะกล่าวถึงความสำคัญของการตรวจวิเคราะห์สารแต่ละชนิด เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้ทราบถึงเหตุผลความสำคัญในการตรวจวิเคราะห์ รวมทั้งรับทราบข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจวิเคราะห์ที่สำคัญ

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ แบ่งเป็น 5 รายการวิเคราะห์หลัก ดังนี้

1. การตรวจวิเคราะห์ยาปฏิชีวนะและสารตกค้าง ถือได้ว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมคุณภาพ เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค ยาตกค้างที่ปนเปื้อนในธรรมชาติมีปริมาณน้อยมาก ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะไม่ส่งผลโดยตรงต่อร่างกายมนุษย์ แต่ปัญหาที่สำคัญ คือ ยาตกค้างมีผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศนั้น และสามารถส่งผลกระทบกลับมายังมนุษย์ได้เนื่องจากยาที่ถูกกำจัดยังคงมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา กระบวนการสะสมของยาในร่างกายของสิ่งมีชีวิต (bioaccumulation) โดยเฉพาะสัตว์น้ำเพื่อการบริโภค เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา ที่ได้รับหรือสัมผัสกับยาปฏิชีวนะเป็นปัญหาทางการแพทย์ที่มีสาเหตุมาจากยาตกค้างในแหล่งน้ำ การรับประทานอาหารที่ปรุงจากสัตว์น้ำเหล่านี้ทำให้มนุษย์ได้รับยาที่ไม่พึงประสงค์ได้ และสุดท้ายจะเกิดปัญหาการดื้อต่อยาปฏิชีวนะ

ยาปฏิชีวนะที่มีการใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีหลากหลายประเภท ซึ่งมีการแบ่งประเภทยา เป็น 2 ประเภทหลัก คือ ยาที่ไม่อนุญาตให้ใช้ ถือได้ว่าเป็นยาที่ห้ามมีการตรวจพบสารตกค้าง (Zero tolerance) และยาที่อนุญาตให้ใช้ในการเพาะเลี้ยง แต่ต้องมีสารตกค้างไม่เกินปริมาณสูงสุดที่กำหนด (Maximum Residues Limit; MRL) และมีระยะหยุดยา (Withdrawal period)

1.1 ยาที่อนุญาตให้ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ที่มีการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกรมประมง แบ่งได้เป็น 6 ชนิด ดังนี้

1.1.1 ยากลุ่ม Quinolones

1.1.1.1 Oxolinic acid

ข้อมูลทั่วไป: เป็นยาปฏิชีวนะในกลุ่มควิโนโลน (Quinolone) จัดอยู่ในกลุ่มตำรับยาเดี่ยว 244 ตำรับยาตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา แต่จากข้อมูลในปัจจุบันนี้ พบว่ายานี้จัดเป็นยาควบคุมพิเศษ และไม่มีทะเบียนยานี้แล้วตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องยาควบคุมพิเศษ ฉบับที่ 50 (มกราคม 2562) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ ออกฤทธิ์ได้ในขอบเขตกว้าง สารนี้มีลักษณะเป็นกรดอ่อน ละลายได้ดีในไขมัน และดูดซึมดีในระบบทางเดินอาหาร และถูกขับออกทางปัสสาวะ ยากลุ่มนี้ค่อนข้างปลอดภัย ไม่ค่อยทำให้เกิดอาการเป็นพิษ แต่อาจมีผลข้างเคียงต่อระบบประสาทส่วนกลาง มีสูตรโมเลกุล $C_{13}H_{11}NO_5$ น้ำหนักโมเลกุล 261.23 g/mol และสามารถออกฤทธิ์ต่อแบคทีเรีย

คล้ายคลึงกับสาร Nalidixic acid แต่มีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย Enterobacteriaceae ได้สูงกว่า

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer) และ LC-MS/MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer)

1.1.1.2 Flumequine

ข้อมูลทั่วไป: เป็นยารุ่นแรกของยาปฏิชีวนะในกลุ่มควิโนโลนที่สังเคราะห์ขึ้นมา ใช้รักษาการติดเชื้อแบคทีเรียแกรมลบในทางเดินปัสสาวะและทางเดินอาหาร มีลักษณะเป็นผงหรือผลึกสีขาว ดูดซึมได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ในร่างกายสัตว์ เป็นสารก่อมะเร็ง และเกิดการบวมของเซลล์ตับ/พิษต่อระบบสืบพันธุ์และตัวอ่อน Flumequine มีสูตรโมเลกุล $C_{14}H_{12}FNO_3$ และน้ำหนักโมเลกุล 261.248 g/mol

1.1.2 Tetracycline group (Tetracycline, Chlortetracycline, Oxytetracycline)

ข้อมูลทั่วไป: เป็นยาปฏิชีวนะที่จัดอยู่ในกลุ่มตำรับยาเดี่ยว 244 ตำรับยาตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา มีสูตรโมเลกุล $C_{22}H_{24}N_2O_9$ และน้ำหนักโมเลกุล 460.434 g/mol มีสูตรโครงสร้างหลักเป็นวงแหวนมีลักษณะเป็นผลึกสีเหลือง และละลายน้ำได้จำกัดที่มี pH เท่ากับ 7 ยากลุ่มนี้ มีฤทธิ์สูงสุดที่ pH ระหว่าง 5.5-6 ภายใต้อุณหภูมิและ pH ที่ไม่เหมาะสม ยากลุ่มเตตราซัยคลินจะเกิดการสลายตัวโดยการเกิดทั้ง degradation และ rearrangement ของสูตรโครงสร้างทำให้ไม่มีฤทธิ์ในการรักษาโรค โดยเฉพาะอย่างยิ่งยาคลอเตตราซัยคลินจะเกิดการสลายตัวได้เร็วที่สุด จะเปลี่ยนเป็นไอโซคลอเตตราซัยคลินทันทีที่ pH 7.5 คุณสมบัติอีกข้อหนึ่งของ กลุ่มยาเตตราซัยคลินก็คือ สามารถที่จะรวมตัวกับอิออนของพวกไดวาเลนท์และไตรวาเลนท์ เป็นสารประกอบ ที่ไม่ละลายน้ำ เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่ายานี้ออกฤทธิ์อย่างกว้างขวางครอบคลุมเชื้อแบคทีเรีย ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ เชื้อ anaerobicbacteria, rickettsiae, chlamydiae, Mycoplasma, spiro-chetes และ protozoa

ยาในกลุ่มเตตราซัยคลินที่นิยมใช้ในสัตว์น้ำเท่าที่มีรายงาน มี 3 ตัว คือ คลอเตตราซัยคลิน ออกซีเตตราซัยคลิน และเตตราซัยคลิน นิยมให้ยาทางปากไม่ว่าจะผสม อาหารหรือป้อนยาให้กินโดยตรง ยาจะมีการดูดซึมหลังจากที่ยาผ่านเข้าไปในกระเพาะอาหารและลำไส้ หลังจากดูดซึมแล้วบางส่วนของยาจะเกิดเมตาบอลิซึม ออกซีเตตราซัยคลินที่ผสมในอาหารไม่ว่าจะเป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูป หรืออาหารสด พบว่า ประมาณ 20-30% ของยาที่ผสมในอาหารเท่านั้นที่สัตว์น้ำจะได้รับเข้าไป ส่วนที่เหลือของยาบางส่วนก็อาจละลายน้ำและรวมตัวกับสารต่างๆ รวมทั้งตะกอนดินในน้ำบริเวณที่มีการเลี้ยงปลา ซึ่งอาจมีผลต่อเชื้อแบคทีเรียที่มีอยู่ตามธรรมชาติในบริเวณดังกล่าว ซึ่งอาจทำให้เชื้อเหล่านี้ดื้อยาและได้มีการศึกษาผลของแสงที่มี ต่อการสลายตัวของยา จากการศึกษาพบว่าทั้งอุณหภูมิและแสงสว่างมีผลต่อการสลายตัวของยาออกซีเตตราซัยคลินในน้ำทะเล นอกจากนี้ยากลุ่มนี้กำหนดระยะเวลาหยุดยาที่ 21 วันสำหรับปลาและกุ้ง

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer), LC-MS/MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer) และเทคนิค ELISA

1.1.3 Fluoroquinolones group

ข้อมูลทั่วไป:เป็นกลุ่มยาที่พัฒนามาจากยากลุ่มควิโนโลน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลชีพเพิ่มมากขึ้น ยากลุ่มนี้ไม่ได้แยกจากเชื้อรา แต่ได้มาจากการสังเคราะห์ ออกฤทธิ์ดีต่อเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมลบมากกว่าแกรมบวก ยาตัวแรกในกลุ่มนี้คือ นาลิดิซิค แอซิด ตัวอย่างยากลุ่มฟลูออโรควิโนโลนที่ได้รับการพัฒนา เช่น ยานอร์ฟล็อกซาซิน , เอ็นโรฟล็อกซาซิน , ไซโปรฟล็อกซาซิน ฯลฯ

ยา Enrofloxacin เป็นยาปฏิชีวนะที่จัดอยู่ในกลุ่มตำรับยาเดี่ยว 244 ตำรับ ตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา มีการดูดซับดี หลังจากผสมให้สัตว์กิน จากสูตรโครงสร้างมีการพัฒนาเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพการออกฤทธิ์ให้กว้างขึ้นทั้งต่อเชื้อแกรมบวกและแกรมลบ เป็นผลึกสีเหลืองอ่อน นอกจากจะมีการเติม Piperazine ring แล้วยังมีการเพิ่มหมู่เอทธิล (ethyl) เข้าที่ Piperazine ring ทำให้ Enrofloxacin มีคุณสมบัติเป็น lipophilic มากขึ้น คือ สามารถละลายได้ดีในไขมันของร่างกาย ยาจะสามารถเคลื่อนตัวผ่านชั้น lipoprotein ของ Cell Membranes ได้ง่ายและรวดเร็วจากนั้นตัวยาจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดและแพร่กระจายไปยังเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ มีสูตรโมเลกุล $C_{19}H_{22}FN_3O_3$ และน้ำหนักโมเลกุล 359.4 g/mol และมีการกำหนดระยะเวลาหยุดยาของปลาที่ 21 วัน

ยา Sarafloxacin เป็นยาปฏิชีวนะที่จัดอยู่ในกลุ่มตำรับยาเดี่ยว 244 ตำรับ ตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา อีกทั้งเป็นยาปฏิชีวนะในกลุ่ม Fluoroquinolone ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของ DNA gyrase ซึ่งช่วยในการรักษาและควบคุมการติดเชื้อแบคทีเรียในสัตว์ปีกที่เกิดจากเชื้อ Escherichia coli และ *Salmonella spp* มีสูตรโมเลกุล $C_{20}H_{18}ClF_2N_3O_3$ และน้ำหนักโมเลกุล 421.825 g/mol และมีการกำหนดระยะเวลาหยุดยาของปลาและกุ้งที่ 5 วัน

ยา Norfloxacin เป็นยาที่ห้ามใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีการพัฒนาจากยา Nalidixic acid โดยการเพิ่มฟลูออรีน (F) และเพิ่ม Piperazine ring ทำให้ประสิทธิภาพของยานี้สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียได้กว้างขึ้น ทั้งแกรมลบและแกรมบวกซึ่งจากเดิมที่ Nalidixic acid มีฤทธิ์จำกัดเพียงแบคทีเรียแกรมลบเท่านั้น นอกจากนี้การเพิ่ม Piperazine ring ทำให้สามารถออกฤทธิ์ทำลายแบคทีเรียที่เป็นพิษ เช่น ซูโดโมแนส และวิบริโอได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยานี้สามารถกระจายตัวไปยังเนื้อเยื่อส่วนต่างๆได้ดี สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยถือได้ว่า ยา Norfloxacin เป็นยาตัวแรกๆในกลุ่มฟลูออโรควิโนโลนที่นำมาใช้ในการรักษาโรคติดเชื้อในสัตว์น้ำและใช้แก้ปัญหาในพื้นที่ที่มีคนพบการดื้อยา

ยาในกลุ่มนี้ ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้แก่ Enrofloxacin, Ciprofloxacin, Difloxacin, Sarafloxacin, Norfloxacin, และ Danofloxacin

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography) , LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer) , LC-MS/ MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer) และเทคนิค ELISA

1.1.4 Sulfonamides group

ข้อมูลทั่วไป: ยากลุ่มซัลฟาออกฤทธิ์กว้างต่อแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวกและแกรมลบ โดยการยับยั้งการเจริญเติบโตและการขยายตัวของแบคทีเรีย โดยจะไปขัดขวางการสร้างเมทาบอไลท์ที่สำคัญ ของแบคทีเรีย โดยฤทธิ์ยาซัลฟาจะยังไม่เกิดในทันทีหลังรับยา การขยายตัวของแบคทีเรียยังคงเกิดขึ้นขณะหนึ่ง ก่อนที่ยาจะออกฤทธิ์ กรณีที่สัตว์น้ำมีอาการป่วยอย่างเรื้อรังจะสังเกตได้ว่า การใช้ยาซัลฟารักษาจะไม่ค่อยได้ผลดี

เท่าที่ควร เนื่องจากยาซัลฟาออกฤทธิ์เพียงไปยังยั้งการเจริญและขยายตัวของแบคทีเรียเท่านั้น ดังนั้น ยาซัลฟาจึงให้ผลรักษาไม่ดีในสัตว์น้ำที่มีการติดเชื้ออย่างเรื้อรัง จึงเหมาะสมที่ใช้ในการป้องกันและรักษา โรคในสัตว์น้ำในระยะเริ่มต้นที่ยังไม่มีอาการเรื้อรัง

ยา Sulfadimethoxine และ Ormetoprim มีชื่อทางการค้าว่า โรเมต-30 จัดอยู่ในกลุ่มตำรับยาผสม 28 ตำรับ ตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำได้น้อยมาก ออกฤทธิ์ต่อจุลชีพโดยยับยั้งการเจริญและการแบ่งตัว ซึ่งมีรายงานว่าใช้ยาโรเมต-30 ผสมในอาหารให้กุ้งกุลาดำจะสามารถลดอัตราการตายเนื่องจากเชื้อวิบริโอได้ Sulfadimethoxine มีสูตรโมเลกุล $C_{12}H_{14}N_4O_4S$ และน้ำหนักโมเลกุล 310.33 g/mol และOrmetoprimมีสูตรโมเลกุล C14H18N4O2 และน้ำหนักโมเลกุล 274.323 g/mol โดยการใช้ยาในปัจจุบันมักแนะนำให้ใช้เป็น 2 กรณี คือ 1) ใช้ในการรักษาโรคติดเชื้อใน ระบบทางเดินอาหาร เช่น โรคลำไส้ โรคขี้ขาว โรคขี้ขาดตอน และ 2) ใช้ในการป้องกันโรคติดเชื้อแบคทีเรียในกุ้งอายุ 20, 40 และ 60 วัน และมีการกำหนดระยะหยุดยาสำหรับปลาและกุ้ง โดยกำหนดที่ 42 วัน

ยา Sulfadimethoxine sodium และ Trimethoprim จัดอยู่ในกลุ่มตำรับยาผสม 28 ตำรับ ตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาเช่นกัน ใช้ร่วมกันป้องกันโรคติดเชื้อและช่วยขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ Dihydrofolate reductase ที่เปลี่ยน Dihydrofolate เป็น Tetrahydrofolate ของกระบวนการสร้าง Purines นอกจากนี้ยังมีความสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมบวกและ แกรมลบ Sulfadimethoxine มีสูตรโมเลกุล $C_{12}H_{14}N_4O_4S$ และน้ำหนักโมเลกุล 310.33 g/mol และTrimethoprim มีสูตรโมเลกุล $C_{14}H_{18}N_4O_3$ และน้ำหนักโมเลกุล 290.318 g/mol และมีการกำหนดระยะหยุดยาสำหรับปลาและกุ้ง โดยกำหนดที่ 21 วัน นอกจากนี้ ยา Sulfamonomethoxine และ Trimethoprim จัดอยู่ในกลุ่มตำรับยาผสม 28 ตำรับ ตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา รักษาการติดเชื้อจุลชีพในระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาท ระบบทางเดินอาหารและระบบทางเดินปัสสาวะ Sulfamonomethoxine มีสูตรโมเลกุล $C_{11}H_{12}N_4O_3S$ และน้ำหนักโมเลกุล 280.30 g/mol และTrimethoprim มีสูตรโมเลกุล $C_{14}H_{18}N_4O_3$ และน้ำหนักโมเลกุล 290.318 g/mol ทั้งนี้ ไม่มีการกำหนดระยะหยุดยาไว้

ยาในกลุ่มนี้ ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้แก่ Sulfadimethoxine, Sulfamethazine, Sulfadiazine, Sulfathiazole, Sulfamonomethoxine และ Sulfamerezine และได้เพิ่มเติมการตรวจวิเคราะห์ยาชนิด Trimetroprim และ Ormetroprim

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer), LC-MS/ MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer) และเทคนิค ELISA

1.1.5 Beta lactam group (Chamber FH., 2005)

ข้อมูลทั่วไป: ยากลุ่มนี้จะมีฤทธิ์ต่อต้านเชื้อแบคทีเรียได้หลายชนิด จะออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโตและตายลงในที่สุด จึงเป็นเหตุผลของฤทธิ์ในการรักษาตามสรรพคุณ

ยากลุ่ม Penicillin และอนุพันธุ์ (derivatives) เป็นยาในกลุ่มนี้ออกฤทธิ์โดยการขัดขวางการสร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรียโดยเฉพาะแบคทีเรียแกรมบวกทำให้ผนังเซลล์แบคทีเรียอ่อนแอและถูกทำลาย ยา กลุ่มนี้ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย เช่น Ampicillin, Amoxicillin, Cloxacillin ทั้งนี้ Ampicillin และ Amoxicillin มีฤทธิ์

ต้านเชื้อ *Enterococcus faecalis* ได้ดีกว่า Penicillin โดย Amoxicillin เป็นยาที่จัดอยู่ในกลุ่มตำรับยาเดี่ยว 244 ตำรับ ตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้กว้างขวางทั้งชนิดแกรมบวกและแกรมลบ ลักษณะเป็นผงสีขาวหรือสีขาวนวล ใช้รักษาโรคติดเชื้อของระบบอวัยวะ เช่นทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร ทางเดินปัสสาวะ ผิวหนัง และหู Amoxicillin แตกต่างจาก Ampicillin ตรงที่มีหมู่ hydroxyl ที่ phenyl ring (มักผลิตออกมาในรูป trihydrate) จึงดูดซึมได้ดีกว่าเมื่อให้ยาโดยการกิน มีสูตรโมเลกุล $C_{16}H_{19}N_3O_5S$ และน้ำหนักโมเลกุล 365.4 g/mol และมีการกำหนดระยะเวลาหยุดยาของปลาที่ 20 วัน

นอกจากนี้ยาอีกกลุ่มหนึ่งคือ Cephalosporin เป็นยาในกลุ่ม Beta lactam เช่นกัน นิยมแบ่งยากลุ่มนี้ออกเป็นรุ่นตามขอบเขตการออกฤทธิ์ต้านเชื้อ แต่มีข้อจำกัดคือ ขอบเขตการต้านเชื้อแบคทีเรียของยาแต่ละรุ่นซ้อนกันอยู่บ้าง ยากลุ่ม cephalosporin นี้เป็นยากึ่งสังเคราะห์ที่มีโครงสร้างทางเคมีประกอบด้วย 4-membered b-lactam ring เช่นเดียวกับกลุ่ม Penicillin ใช้รักษาโรคติดเชื้อในระบบต่างๆ ของร่างกายอย่างกว้างขวาง ทั้งรุนแรงและไม่รุนแรง ยากลุ่มนี้จำแนกเป็น 4 รุ่น ตามฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยรุ่นที่ 1 จะออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก รวมทั้ง *S. aureus* ได้ดี รุ่นที่ 2 ต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมลบได้ดีกว่ารุ่นที่ 1 ที่มีใช้ขณะนี้ คือ cefuroxime และ cefoxitin และมีฤทธิ์ต้านเชื้อ anaerobes ได้ด้วย จึงเหมาะที่จะใช้รักษาการติดเชื้อในช่องท้อง แต่จุดอ่อนของ cefoxitin คือทนต่อ Beta-lactamase ไม่ดี และชักนำให้เชื้อดื้อยาได้บ่อย จึงไม่เป็นที่นิยมใช้ และไม่ควรใช้ติดต่อกันเป็นเวลานาน ส่วนรุ่นที่ 3 แบ่งเป็นกลุ่ม ที่ต้านเชื้อแกรมบวกได้ดี และรุ่นที่ 4 ซึ่งเป็น anti-pseudomonal cephalosporin ที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อแกรมบวกได้ด้วย

ทั้งนี้ ยากลุ่ม Cephalosporin จัดเป็นยาควบคุมพิเศษ และไม่มีทะเบียนยานี้แล้วตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องยาควบคุมพิเศษ ฉบับที่ 50 (มกราคม 2562)

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography) , LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer) , LC-MS/ MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer)

1.1.6 Aminoglycoside group (Gilbert DN, 2005)

ข้อมูลทั่วไป: ยากลุ่มนี้ เริ่มมีบทบาทสำคัญในการรักษาโรคติดเชื้อตั้งแต่ปี ค.ศ. 1944 ที่มีการค้นพบยา streptomycin ซึ่งเป็นยาชนิดแรกของยาในกลุ่มนี้ ผลิตได้จากเชื้อ *Streptomyces griseus* หลังจากนั้นได้มีการค้นพบหรือสังเคราะห์ยาในกลุ่มนี้ได้อีกหลายชนิด ส่วนใหญ่ใช้ในการรักษาโรคติดเชื้อที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ โครงสร้างทางเคมีพื้นฐานของยาในกลุ่มนี้ ทุกชนิดคือ aminocyclitol มีโครงสร้างเป็นวงแหวนรูป 6 เหลี่ยมประกอบด้วย amino และ hydroxyl groups ทั้งนี้ ยากลุ่มนี้จะมีความเป็นประจุบวกสูง (strongly cationic) ละลายน้ำได้ดีแต่ไม่ค่อยละลายในไขมัน ออกฤทธิ์ได้ดีในภาวะที่เป็นด่างมากกว่าภาวะที่เป็นกรด

ยากลุ่ม aminoglycosides แบ่งออกได้ 5 กลุ่มตามโครงสร้างทางเคมีของยา ได้แก่

1. Streptomycin มียา streptomycin เพียงชนิดเดียวอยู่ในกลุ่มนี้
2. Kanamycin ยาที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ยา kanamycin A, kanamycin B, amikacin, tobramycin, dibekacin และ arbekacin
3. Gentamicin ยาที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ยา gentamicin, sisomicin, netilmicin และ isepamicin
4. Neomycin ยาที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ ยา neomycin และ paromomycin

5. Spectinomycin มียา spectinomycin เพียงชนิดเดียวอยู่ในกลุ่มนี้

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer), LC-MS/ MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer)

1.2 ยาที่ไม่อนุญาตให้ใช้ในสัตว์น้ำ ที่มีการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการกรมประมง แบ่งได้เป็น 7 ชนิด ดังนี้

1.2.1 Nitrofurans (metabolites)

ข้อมูลทั่วไป: ยากลุ่มไนโตรฟิวแรนส์คือยาปฏิชีวนะที่สังเคราะห์ขึ้น นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการรักษาโรคติดเชื้อภายในลำไส้และโรคติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะของสัตว์จำพวกแพะ แกะ สุกร โค กระบือ เป็ด ไก่ และกุ้ง สูตรโครงสร้างของสารกลุ่มนี้ประกอบไปด้วยวงแหวนฟูแรนเกาะด้วยไนโตรกรุ๊ป เรียกว่า 5-Nitrofuraldehyde มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ละลายน้ำได้เล็กน้อย ยากลุ่มนี้ที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ฟูราโซลิโดน (Furazolidone) ฟูรัลทาโดน (Furaltadone) ไนโตรฟูราโซน(Nitrofurazone) และไนโตรฟูรานโทอิน (Nitrofurantoin) แต่จากผลการศึกษาพบว่ายากลุ่มนี้มีแนวโน้มเป็นสารก่อมะเร็งและทำให้เกิดการกลายพันธุ์ในสัตว์ถ้าได้รับการบริโภคในระยะเวลานาน จึงถูกห้ามใช้กับสัตว์ที่เลี้ยงไว้เพื่อเป็นอาหารในหลายประเทศ เช่น อเมริกา ออสเตรีย แคนาดา ญี่ปุ่น สิงคโปร์ บังคลาเทศ และกลุ่มสหภาพยุโรป

ยากลุ่มไนโตรฟิวแรนส์ในรูปยาตั้งต้น (parent drugs) จะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็วในสัตว์กลายเป็น metabolites เป็นยาที่มีอายุสั้นเมื่อแพร่กระจายสู่ร่างกายสัตว์ในเวลาไม่กี่ชั่วโมงจะจับตัวตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ เรียกว่า tissue-bound metabolites หรือ protein-bound metabolites ซึ่งจะมีความคงตัวกว่า parent drugs และจะตกค้างในเนื้อเยื่อของสัตว์ได้นานหลายสัปดาห์ ดังนั้นการตรวจวิเคราะห์ยากลุ่มไนโตรฟิวแรนส์จึงอาศัยพื้นฐานการตรวจวัด metabolites ของ parent drugs ซึ่ง metabolites ของ ฟูราโซลิโดน ฟูรัลทาโดน ไนโตรฟูราโซนและไนโตรฟูรานโทอิน คือ 3-amino-2-oxazolididone (AOZ), 3-amino-5-morpholinomethyl-2-oxazolidinone (AMOZ), 1-aminohydantoin (AHD) และ Semicarbazide (SEM) ตามลำดับ

เนื่องจากไนโตรฟิวแรนส์ เป็นยาที่ไม่อนุญาตให้ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นจึงได้มีประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์ เงื่อนไข และวิธีการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนสารเคมีบางชนิดในอาหาร พ.ศ.2549 โดยกำหนดว่าจะต้องใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์และห้องปฏิบัติการที่มีความสามารถในการตรวจพบปริมาณสารปนเปื้อนได้อย่างน้อยต่ำถึงระดับ 0.30 ppb สำหรับยา AOZ และ AMOZ และยา AHD และ SEM ที่ระดับ 1.00 ppb และต้องพบปริมาณสารปนเปื้อนน้อยกว่าปริมาณที่กำหนดดังกล่าว

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer), LC-MS/ MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer) และเทคนิค ELISA

1.2.2 Chloramphenicol

ข้อมูลทั่วไป: เป็นยาปฏิชีวนะที่ได้จากการผลิตของ streptomyces venezuelae ค้นพบในปี 1947 จากตัวอย่างของดินที่ได้จากประเทศเวเนซูเอล่า ออกฤทธิ์อย่างกว้างขวางต่อแบคทีเรียทั้งพวกแกรมบวกและแกรมลบ สารนี้มีสูตรโครงสร้างทางเคมีที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และสามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี เป็นสารที่ไม่มีสี และไม่ค่อยละลายในน้ำ นอกจากนี้มีสูตรโมเลกุล $C_{11}H_{12}Cl_2N_2O_5$ และน้ำหนักโมเลกุล 323.132 g/mol

คลอแรมฟินิคอลจะแพร่กระจายเข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรียและจะข้าไปจับกับไรโบโซม 50S ของแบคทีเรียทำให้ไปขัดขวางการจับกันระหว่างไรโบโซม 50S และ tRNA ปฏิกิริยาระหว่างเอ็นไซม์ peptidyl transferase กับกรดอะมิโนจาก tRNA จึงไม่เกิดขึ้นเป็นผลทำให้ไม่มีการสังเคราะห์

อวัยวะเป้าหมายที่มีความเสี่ยงต่อการใช้ยาคลอแรมฟินิคอลคือไขกระดูกโดยมีผลต่อระบบการผลิตเม็ดเลือด 2 ประการคือทำให้จำนวนเซลล์หรือองค์ประกอบในเลือดลดลง (pancytopenia) และการตอบสนองของร่างกาย (idiosynerasy) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในเลือด กลไกความเป็นพิษของคลอแรมฟินิคอลต่อไขกระดูกยังไม่เป็นที่ชัดเจน ในรายของผู้ป่วยที่รอดชีวิตจากผลกระทบของคลอแรมฟินิคอลต่อการเปลี่ยนแปลงในไขกระดูกนี้จะมีอัตราเสี่ยงสูงต่อการเป็นมะเร็งเม็ดเลือดขาว (leukemia) จากผลการศึกษาพบว่าการลดลงของจำนวนเซลล์ที่ผลิตเม็ดเลือดในไขกระดูกขึ้นอยู่กับปริมาณของยาคลอแรมฟินิคอลที่ใช้ ในขณะที่การตอบสนองของร่างกายอันเนื่องมาจากการลดลงของจำนวนเซลล์ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญในเลือดไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณยาคลอแรมฟินิคอลที่ใช้แต่มีแนวโน้มว่าจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่มีการใช้ยาคลอแรมฟินิคอลติดต่อกันเป็นเวลานาน นอกจากนี้คลอแรมฟินิคอลยังมีผลต่อเม็ดเลือดแดง ทำให้เม็ดเลือดแดงมีการพัฒนาอย่างไม่สมบูรณ์ เป็นผลให้เม็ดเลือดแดงในกระแสเลือดต่ำกว่าปกติ ผลกระทบของคลอแรมฟินิคอลต่อเม็ดเลือดแดงจะแปรผันตามปริมาณของคลอแรมฟินิคอลที่ใช้

เนื่องจากคลอแรมฟินิคอลเป็นยาที่ไม่อนุญาตให้ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นจึงได้มีประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์ เงื่อนไข และวิธีการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนสารเคมีบางชนิดในอาหาร พ.ศ.2549 โดยกำหนดว่าจะต้องใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์และห้องปฏิบัติการที่มีความสามารถในการตรวจพบปริมาณสารปนเปื้อนได้อย่างน้อยต่ำถึงระดับ 0.30 ppb และต้องพบปริมาณสารปนเปื้อนน้อยกว่าปริมาณที่กำหนดดังกล่าว

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer), LC-MS/ MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer) และเทคนิค ELISA

1.2.3 Malachite green & Leuco-malachite green & Crystal violet & Leuco-crystal violet

ข้อมูลทั่วไป: ยานี้จัดอยู่ในกลุ่มสีย้อม (Dyed) มีฤทธิ์ในการต้านจุลชีพ ยังยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคออกฤทธิ์ ฆ่าเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวก และแกรมลบ แต่มีผลต่อแบคทีเรียแกรมบวกมากกว่าแกรมลบ ซึ่งออกฤทธิ์โดยไปรวมกับองค์ประกอบภายในเซลล์ได้เป็นคอมเพล็กซ์ที่ไม่แตกตัว ซึ่งทำให้ขัดขวางขบวนการทางชีววิทยาที่สำคัญๆ ในหลายๆประเทศได้พยายามจำกัดการใช้มาลาไคท์กรีนในสัตว์น้ำ เนื่องจากพบว่า มาลาไคท์กรีนเป็นเคมีภัณฑ์ที่มีพิษสูง มีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็งและมีผลต่อโครโมโซมของเซล แต่ในบางประเทศใช้

เพื่อรักษาโรคติดเชื้อที่เกิดจากโปรโตซัวในสัตว์น้ำ โดยแนะนำให้ใช้ในขนาด 0.1-0.5 mg. ต่อน้ำ 1 ลิตร และมีการนำมาใช้ร่วมกับ Formalin ในการรักษาโรคจุดขาว นอกจากนี้อนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะในปลาสวยงามเท่านั้น

สารนี้อยู่ในกลุ่มสีย้อมมีชื่อทางเคมีคือ 4-R (dimethylamine)-pheny- benzylidene)-2, 5-cyclohexa-dinelylidine dimethylammonium chloride มีสูตรโมเลกุล Malachite green $C_{23}H_{25}N_2Cl$ และ Leuco-Malachite green $C_{23}H_{26}N_2$ ทั้งนี้น้ำหนักโมเลกุลของ Malachite green 365 g/mol และ Leuco-Malachite green 330.47 g/mol

นำมาใช้เพื่อป้องกันหรือรักษาโรคที่เกิดจากเชื้อรา และปรสิตเซลล์เดียว โดยทั่วไปจะใช้กันในโรงเพาะฟักในประเทศเขตที่มีอุณหภูมิค่อนข้างเย็น สำหรับในประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อน จึงไม่ค่อยนิยมใช้ อีกทั้งราคาของยาในกลุ่มนี้มีราคาแพง ยาในกลุ่มนี้มีช่วงเวลาการสลายตัว ซึ่งหากนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยง ก็สามารถควบคุมช่วงเวลาการสลายตัวของยาให้หมดไป ก่อนจับปลาขายสู่ท้องตลาด ความเป็นพิษที่รุนแรงทำให้การใช้ Malachite green จำกัดอยู่ในโรงเพาะฟักเท่านั้น และ เกษตรกรบางส่วน ก็เปลี่ยนมาใช้สารป้องกันเชื้อรากลุ่มอื่นแทน เช่น ไตรฟูราลิน เป็นต้น สำหรับข้อมูลความเป็นพิษพบว่าเป็นสารที่ก่อให้เกิดกลายพันธุ์ (Mutagenic) โดยทำให้ไข่ของปลาที่แช่ด้วยสารชนิดนี้ มีการพัฒนาไปเป็นตัวอ่อนอย่างไม่สมบูรณ์ รวมทั้งเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic) ในสัตว์ทดลอง มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูงมาก โดยพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 1-2 ppm ก็จะทำให้ปลาน้ำจืดตายได้ในเวลา 1 ชั่วโมง เช่นเดียวกับในกุ้งทะเล

เนื่องจาก Malachite green และ Leuco-malachite green เป็นสารที่ไม่อนุญาตให้ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นจึงได้มีประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์ เงื่อนไข และวิธีการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนสารเคมีบางชนิดในอาหาร พ.ศ.2549 โดยกำหนดว่าจะต้องใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์และห้องปฏิบัติการที่มีความสามารถในการตรวจพบปริมาณสารปนเปื้อนได้อย่างน้อยต่ำถึงระดับ 2.0 ppb และต้องพบปริมาณสารปนเปื้อนน้อยกว่าปริมาณที่กำหนดดังกล่าว

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer), LC-MS/ MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer) และเทคนิค ELISA

1.2.4 Nitroimidazole group

ข้อมูลทั่วไป: เป็นยาต้านจุลชีพและสารเร่งการเจริญเติบโต ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ ซึ่งข้อมูลทางวิชาการระบุว่ายากลุ่มนี้เป็นสารก่อมะเร็ง หรือมีแนวโน้มก่อมะเร็ง จึงมีการห้ามใช้ในสัตว์ที่เลี้ยงเพื่อการบริโภค และมีมาตรการควบคุมการนำเข้าและติดตามการใช้สารกลุ่มนี้อย่างเข้มงวด เนื่องจากยากลุ่มนี้เป็นยาที่ไม่อนุญาตให้ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นจึงได้มีประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์ เงื่อนไข และวิธีการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนสารเคมีบางชนิดในอาหาร พ.ศ.2549 โดยกำหนดว่าอาหารทุกชนิดต้องตรวจไม่พบปริมาณยากลุ่มนี้ปนเปื้อนในอาหาร

Nitroimidazole ถูกนำมาใช้เป็นยาปฏิชีวนะสำหรับต่อต้านเชื้อโปรโตซัว รวมถึงเชื้อแบคทีเรีย ทั้งนี้ ยากลุ่มนี้มีกลไกการออกฤทธิ์ โดยยาจะต้านเชื้อโรคที่ตอบสนองกับยานี้ โดยก่อให้เกิดความเสียหายต่อสารพันธุกรรมหรือสารดีเอ็นเอ (DNA) ในเชื้อโรคเหล่านั้น ส่งผลให้เชื้อโรคเหล่านั้นหยุดการเจริญเติบโต หมด

ความสามารถของการแพร่พันธุ์ และตายลง ยากลุ่มนี้สามารถก่อให้เกิดผลข้างเคียงต่อระบบอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายได้ เช่นผลต่อระบบประสาท ผลต่อระบบทางเดินอาหารผลต่อระบบหายใจ เป็นต้น

ยาในกลุ่มนี้ ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้แก่ Dimetridazole, Metronidazole, Ronidazole, Ipronidazole, Hydroxy-Metronidazole, Hydroxy-Ipronidazole และ 2-Hydroxymethy-1-methy-5- Nitroimidazole

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer), LC-MS/ MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer)

1.2.5 Toltrazuril

ข้อมูลทั่วไป: Totrazuril เป็นกลุ่มยาที่ใช้ในการฆ่าโปรโตซัวในระบบทางเดินอาหาร ได้ผลดีกับโปรโตซัวในกลุ่ม Coccidia ยาชนิดนี้ เป็นที่นิยมใช้ในสัตว์บกอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ สำหรับประเทศไทยได้ขึ้นทะเบียนยาชนิดนี้เพื่อใช้ในสัตว์บกและสัตว์น้ำ โดยที่ Totrazuril มีสูตรโมเลกุล $C_{18}H_{14}F_3N_3O_4S$ และน้ำหนักโมเลกุล 425.38 g/mol ทั้งนี้มีการกำหนดระยะหยุดยาสำหรับปลาและกุ้ง ที่ 21 วัน

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer), LC-MS/ MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer)

1.2.6 Avermectin group

ข้อมูลทั่วไป: เป็นยาที่มีฤทธิ์ต้าน parasite ลักษณะเป็นผงผลึกสีขาวสีเหลืองอ่อน สามารถละลายได้ง่ายใน ethyl acetate, acetone, chloroform แต่ละลายเล็กน้อยในเมทานอล, เอทานอล ยาในกลุ่มนี้ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้แก่ Eprinomectin, Moxidectin, Emamectin, Abamectin, Doramectin และ Ivermectin

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer), LC-MS/ MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer)

1.2.7 Stilbense group & Steroid group

ข้อมูลทั่วไป: เป็นฮอร์โมนเพศ (Sex hormone) ที่ใช้กระตุ้นการเจริญเติบโตในสัตว์น้ำ เช่น Growth hormones, Thyroid hormones, Sex steroid ซึ่งการใช้ฮอร์โมนประเภท Steroid เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตเป็นเวลานานหรือใช้ Dose ที่สูง อาจมีผลกระทบข้างเคียงต่อระบบสืบพันธุ์ การติดเชื้อ ผลต่อเนื้อเยื่อตับและไตผิดปกติ เป็นต้น ทั้งนี้ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ปี 2545 กำหนดให้ยาชนิดนี้ต้องขออนุญาตนำเข้ามาในราชอาณาจักร และห้ามนำเข้าเว้นแต่ได้รับอนุญาต และตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี 2545 ได้กำหนดเป็นรายชื่อยาและสารเคมีต้องห้าม ยาในกลุ่ม Stilbense ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้แก่ Diethylstilbestrol, Hexestrol และ Dienestrol และยาในกลุ่ม Steroid ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้แก่ methyl testosterone, Testosterone, b Estradiol, a Estradiol และ Nortestosterone

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันคือเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer), LC-MS/ MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer/Mass spectrometer) และ GC/MS (Gas Chromatography-Mass spectrometer)

2. การตรวจวิเคราะห์วัตถุเจือปนอาหาร ถือได้ว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมคุณภาพ เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารมีการนำวัตถุเจือปนอาหารมาใช้อย่างกว้างขวาง ซึ่งวัตถุเจือปนอาหาร หมายความว่า วัตถุที่ตามปกติมิได้ใช้เป็นอาหารหรือส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ไม่ว่าวัตถุนั้นจะมีคุณค่าทางอาหารหรือไม่ก็ตาม แต่ใช้เจือปนในอาหารเพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีการผลิต การแต่งสีอาหาร การปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร การบรรจุ การเก็บรักษาหรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือมาตรฐานหรือลักษณะอาหาร (ศิวาพร,2535)

ในการนี้ ประเทศผู้นำเข้าต่าง ๆ จึงให้ความสนใจและเพื่อคุ้มครองความปลอดภัยของผู้บริโภคในประเทศ จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานวัตถุเจือปนอาหารไว้หลากหลาย ในส่วนของสินค้าประมงมีการควบคุมตรวจสอบวัตถุเจือปนอาหาร เพื่อควบคุมคุณภาพความปลอดภัยของสินค้าประมงก่อนการส่งออก ดังต่อไปนี้

2.1 สารเบนโซอิก แอซิด และซอร์บิก แอซิด

ข้อมูลทั่วไป: กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอต เป็นวัตถุกันเสียที่มีประวัติการใช้มานานตั้งแต่ปี 2487 โดยใช้ทดแทนการใช้กรดซาลิซิลิก กรดนี้มีลักษณะเป็นผงผลึกหรือเป็นเกล็ดสีขาว น้ำหนักโมเลกุล 121.11 มีจุดหลอมเหลว 122 องศาเซลเซียส และจุดเดือด 249 องศาเซลเซียส มีความสามารถละลายน้ำได้น้อยมาก แต่ละลายดีขึ้นในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และน้ำมัน กรดนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.5-4.0 เหมาะสำหรับใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรดสูงเช่นเครื่องดื่มชนิดต่างๆ น้ำหวาน น้ำผลไม้ แยม ผักดอง ผลไม้ดอง เป็นต้น มีประสิทธิภาพยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ซึ่งมีผลต่อผนังเซลล์และเอนไซม์ของจุลินทรีย์ที่ทำให้ผิดปกติ ส่วนกรดซอร์บิกและเกลือ ยับยั้งการเจริญเติบโตของราและยีสต์ และที่นิยมใช้มักอยู่ในรูปเกลือโซเดียมและโพแทสเซียมซอร์เบต

กรดเบนโซอิก และซอร์บิก นิยมใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร ช่วยยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้ ทั้งนี้ อันตรายจากการได้รับกรดนี้ มีการศึกษาความเป็นพิษในระดับปานกลาง ถ้าได้รับปริมาณน้อยไม่ทำให้เกิดการสะสมในร่างการ เนื่องจากร่างกายมีกลไกในการขจัดกรดนี้ออกจากร่างกาย แต่ถ้าได้รับปริมาณสูงอาจทำให้เกิดการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของตับและไตลดลง เป็นต้น

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer)

2.2 กรดเอทิลีนไดอามีนเตตราอะซีติก (Ethylene diamine tetra acetic acid) (EDTA)

ข้อมูลทั่วไป: EDTA เป็นสารเคมีที่ใช้ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและการแพทย์ เป็นสารเคมีไร้สี สามารถละลายน้ำได้ ใช้ในการขจัดคราบหินปูน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการแยกไอออนโลหะเช่น Ca^{2+} และ Fe^{3+} นอกจากนี้ EDTA ยังเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารจำพวกเกลือหลายประเภท ถนอมสีและกลิ่นรสของอาหาร กระป๋องให้คงสภาพเดิม ป้องกันการเกิดผลึกแก้ว (Struvite crystal) ในอาหารกระป๋อง

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer)

2.3 สาร Sulfur dioxide (SO_2)

ข้อมูลทั่วไป: ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ใช้ในการฟอกสี และยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีของอาหาร เกลือซัลไฟต์ที่ใช้ในอาหาร ได้แก่ โซเดียมไบซัลไฟต์ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมซัลไฟต์ โพแทสเซียมไบซัลไฟต์ โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ โพแทสเซียมซัลไฟต์ เป็นต้น สารกลุ่มซัลไฟต์เมื่อถูกความร้อนจะสลายให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และจะเป็นก๊าซได้ดีที่สภาวะเป็นกรด

Sulfur dioxide (SO_2) ถูกใช้เป็นสารออกซิไดซ์ รีดิวซ์หรือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ การผลิตกรดซัลฟูริก สารป้องกันการเน่าเสีย การรมควัน และสารฟอกขาว

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ ที่นิยมคือ Modified Rankine's method

2.4 สารฟอสเฟต ในรูป P_2O_5

ข้อมูลทั่วไป: สารประกอบฟอสเฟตพบได้ทั่วไปในร่างกายมนุษย์ โดยสารอินทรีย์ฟอสเฟตพบมากในสิ่งมีชีวิตในรูปเอสเตอร์ (Ester) ของกรดฟอสฟอริก และอีกชนิดคือสารอนินทรีย์ฟอสเฟต พบทั่วไปตามธรรมชาติเช่นเป็นธาตุที่หมุนเวียนในระบบนิเวศ ผ่านกระบวนการต่าง ๆของสิ่งมีชีวิต สารอนินทรีย์ฟอสเฟตที่พบในอาหารอุดมด้วยโปรตีนโดยสารนี้มีคุณสมบัติรักษาคุณภาพเนื้อสัตว์ ช่วยเพิ่มความสามารถอุ้มน้ำของเนื้อ ช่วยให้เนื้อมีคุณภาพทางเนื้อสัมผัสและประสาทสัมผัสที่ดีขึ้น จึงมีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการแปรรูปสัตว์น้ำ

คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของฟอสเฟตคือช่วยยืดอายุการเก็บรักษาโดยลด Freezer burn ซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำบริเวณผิวหน้าของอาหาร ลดการสูญเสียน้ำภายหลังการทำละลาย (thaw drip losses) ยับยั้งการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ป้องกันการเกิดผลึกแก้ว (Struvite crystal) ในอาหารกระป๋อง มีการใช้ในการทำปุ๋ยและผงชักฟอก สารประกอบฟอสเฟตที่ใช้ในอาหารทะเลส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกโพลีฟอสเฟต ซึ่งมีหลายชนิด เช่น Sodium acid pyrophosphate, Tetrasodium pyrophosphate, Soduim tripolyphosphate และ Sodium hexametaphosphate

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ Spectrophotometer และ Ion Chromatography (IC)

2.5 Ethoxyquine

ข้อมูลทั่วไป: เป็นสารช่วยป้องกันการหืน (Rancidification) หรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) ของไขมัน จัดอยู่ในกลุ่ม quinolone ใช้เป็นสารกันบูดในอาหาร (E324) ในอาหารสัตว์เลี้ยงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเหม็นหืน และจัดว่าเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มสารกำจัดศัตรูพืช (Pesticide) นอกจากนี้ Ethoxyquin ยังเป็นที่นิยมใช้เป็นเครื่องเทศ ที่จะป้องกันการสูญเสียสี เนื่องจากการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ของสีธรรมชาติชนิด carotenoid รวมทั้งใช้เป็นสาร Antioxidant ในอาหารปลา นอกจากนี้สาร Ethoxyquin มีรายงานแสดงความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเพียงเล็กน้อย และจากข้อมูลการศึกษาพบว่า หากสัตว์น้ำได้รับสาร Ethoxyquin นานกว่า 24 ชั่วโมงจะสามารถย่อยสลายหรือลดปริมาณสารนี้ในสัตว์น้ำลงได้ สาร Ethoxyquin เป็น

สารที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมสัตว์เลี้ยงและปลา เนื่องจากเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการเป็นสาร Antioxidant สูงและราคาที่จำหน่ายค่อนข้างถูก

ประเทศญี่ปุ่นกำหนดค่ามาตรฐานสาร Ethoxyquin ในสินค้ากลุ่ม Crustacean 0.20 ppm ส่วนสินค้ากลุ่ม Salmoniformes เช่น Salmon และ Trout สินค้ากลุ่ม Anguilliformes เช่นปลาไหล สินค้ากลุ่ม Perciformes เช่นปลาทูน่าโบนิโต แมคเคอเรล และปลากลุ่มทูน่า รวมทั้งปลาชนิดอื่นๆ ได้กำหนดค่า MRL ที่ระดับ 1.00 ppm

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer)

2.6 BHT (Butylated hydroxytoluene) และ BHA (Butylated hydroxyanisole)

ข้อมูลทั่วไป: เป็นสารประกอบฟีนอล (phenolic compound) ที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ใช้เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ป้องกันการหืน (rancidity) ของไขมันและน้ำมันจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation)

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ HPLC (High Performance Liquid Chromatography), LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer)

3. การตรวจวิเคราะห์สารปนเปื้อน ถือได้ว่ามีความสำคัญและต้องมีการควบคุมคุณภาพ เพื่อความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค โดยการตรวจสอบสารที่ปนเปื้อนในอาหารจะช่วยให้ทราบชนิดและปริมาณสารปนเปื้อน ซึ่งเป็นการบ่งบอกคุณภาพของวัตถุดิบที่นำเข้าสู่อุตสาหกรรมแปรรูป ทั้งนี้ประเทศผู้นำเข้าต่าง ได้กำหนดมาตรฐานสารปนเปื้อนเพื่อเป็นการคุ้มครองความปลอดภัยของผู้บริโภคในประเทศ ดังต่อไปนี้

3.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่า ขึ้นไป ซึ่งโลหะหนักบางชนิดมีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น แมงกานีส (Mn), เหล็ก (Fe), ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) เป็นต้น แต่โลหะหนักบางชนิดมีความเป็นพิษต่อร่างกาย เช่น ปรอท (Hg), ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) นอกจากนี้สารหนู (As) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มธาตุกึ่งโลหะ (Metalloid) แต่สารหนูมีความเป็นพิษต่อร่างกาย จึงมักจะถูกรวมอยู่ในกลุ่มโลหะหนักที่มีความเป็นพิษด้วย โลหะหนักเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติ โดยอาจมาจากการทำเหมืองแร่ โรงงานผลิตสารเคมี โรงงานผลิตไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหิน การทำแบตเตอรี่ การใช้ปุ๋ยและยากำจัดศัตรูพืชในการเกษตรกรรม แล้วจะถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและบรรยากาศ หากไม่มีการบริหารจัดการกากของเสียที่ดี จะทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักเหล่านี้ในสิ่งแวดล้อมและเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ ในบทความนี้ จะขอสรุปเกี่ยวกับโลหะหนัก 3 ชนิดที่มีความเป็นพิษและกำหนดเป็นมาตรฐานในการควบคุมสินค้าประมงของประเทศผู้นำเข้าต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง

3.1.1 แคดเมียม

ข้อมูลทั่วไป: แคดเมียม เป็นโลหะหนัก (heavy metal) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถปนเปื้อนกับสิ่งแวดล้อมและตกค้างในอาหาร เป็นอันตรายในอาหาร (food hazard) ประเภทอันตรายทางเคมี (chemical hazard) การได้รับแคดเมียมจำนวนมากอาจทำให้เกิดพิษฉับพลันได้ พิษเฉียบพลันส่วนใหญ่เกิดจากการหายใจเอา

ฝุ่นหรือไอระเหยแคดเมียม ทั้งนี้ เกณฑ์มาตรฐานปลอดภัยที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก กำหนดไว้ว่าคนปกติไม่ควรได้รับแคดเมียมเกินสัปดาห์ละ 0.40-0.50 มิลลิกรัม

อาหารที่มักมีการปนเปื้อนสารแคดเมียมได้แก่ ข้าว ผัก ผลไม้ อาหารทะเลต่าง ๆ เช่นปลาหมึก และหอย ซึ่งระดับความเข้มข้นของสารแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกายขึ้นอยู่กับระดับปริมาณสารแคดเมียมที่สะสมในอากาศแหล่งน้ำและแหล่งดินที่ปลูกพืชผลทางเกษตร เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมในระบบทางเดินอาหารแล้วลำเลียงไปตามกระแสเลือดพร้อมกับเม็ดเลือดแดงและจะจับกับโปรตีนที่ชื่อว่า Metallothionein สร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อนส่งไปที่ไต ทำให้เกิดโรคพิษเรื้อรังที่ไต

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ โดย Atomic absorption spectrometer (AAs), ICP (Inductively Coupled Plasma) และ ICP-MS (Inductively Coupled Plasma- Mass spectrometry)

3.1.2 ตะกั่ว

ข้อมูลทั่วไป: ปัจจุบันอุตสาหกรรมหลายประเภทมีการใช้ตะกั่วเป็นวัตถุดิบเป็นจำนวนมาก เช่น ใช้สังเคราะห์สารเตตะเอทิลเลด (tetraethyllead, TEL Pb (C2H5)4) ในเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทน (octane number) เมื่อมีการออกซิไดซ์จะได้ PbO ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ได้โลหะตะกั่วออกสู่สภาวะแวดล้อม ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางอาหาร ทางการหายใจ และทางผิวหนัง เมื่อสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ส่วนใหญ่จะจับยึดอยู่กับเม็ดเลือดแดงจะไปลดการสร้าง heme ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเม็ดเลือดแดงโดยไปยับยั้งเอ็นไซม์ที่เกี่ยวกับการสร้าง heme นอกจากนี้ตะกั่วยังมีผลต่อตับ หัวใจและเส้นเลือด ภาวะเจริญพันธุ์ โครโมโซม และเป็นก่อให้เกิดโรคมะเร็ง และความพิการแต่กำเนิดอีกด้วย ทั้งนี้ ปริมาณตะกั่วที่พบมากในสินค้าประมงเช่นหอย และปลา เป็นต้น

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ โดย Atomic absorption spectrometer (AAs), ICP (Inductively Coupled Plasma) และ ICP-MS (Inductively Coupled Plasma- Mass spectrometry)

3.1.3 ปรอท

ข้อมูลทั่วไป: เป็นโลหะหนักที่ของเหลวระเหยเป็นไอได้ง่ายในภาวะปกติ ปรอทพบมากในแหล่งที่มีการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง โลหะ โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ ในอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารประกอบของปรอท นอกจากนี้ยังใช้ในวงการแพทย์ เช่นเป็นสารอุดฟัน ไอปรอทที่เข้าสู่ร่างกาย จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตทันที และกระจายไปยังสมองและส่วนอื่น ๆ ของร่างกายได้รวดเร็ว การได้รับสารปรอทสะสมเป็นเวลานานจะทำให้มีอาการมือ และใบหน้าเกิดอาการบวมและเจ็บ บางคนอาจเกิดอาการเหน็บชาบางส่วนจนเป็นอัมพาต ทั้งนี้ ปริมาณปรอทในรูป Total mercury ที่พบมากในสินค้าประมงเช่นปลาบางชนิดเช่นปลาทูน่า ปลาฉลาม เป็นต้น

สารประกอบปรอทอินทรีย์ เป็นรูปแบบของปรอทที่ถูกเมทิลเลท และมีความเป็นพิษมากที่สุด ได้แก่สารประกอบ Alkyl mercury เช่น Methyl mercury, Dimethyl mercury และ Ethyl mercury ซึ่ง Methyl mercury มีความเป็นพิษสูงมาก เนื่องจากละลายได้ดีในไขมันจึงสะสมในร่างกายได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อเยื่อสมอง

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ Mercury analyzer, Atomic absorption spectrometer (AAs), ICP (Inductively Coupled Plasma) และ ICP-MS (Inductively Coupled Plasma- Mass spectrometry)

3.4 สาร 3- MCPD (3-monochloropropane-1,2 diol / 3 – chloro -1, 2-propanediol)

ข้อมูลทั่วไป: 3-MCPD เป็นสารปนเปื้อนกลุ่ม Chloropropanols เกิดจากกระบวนการผลิตที่ใช้วิธีย่อยสลายโปรตีนของพืชและสัตว์ เช่น ถั่ว เหลือง ข้าวสาร ข้าวสาลี ถั่วลิสง ปลากะตัก โดยใช้กรดเกลือ (HCl) ที่มีความเข้มข้นสูง เกิดกระบวนการคลอริเนชั่นของน้ำมันและ ไขมันที่เป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ในตัวพืชและสัตว์ ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ปรุงรสที่ได้จากการย่อยโปรตีนที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบ Acid hydrolysis

ในการผลิตซอสปรุงรส ส่วนใหญ่จะมีการผลิต 2 วิธี คือ 1. ผลิตโดยใช้วิธีการหมักแบบดั้งเดิม ให้มีการย่อยสลายโดยธรรมชาติ ซึ่งซอสจะมีรสชาติดี 2. ใช้ไฮโดรไลซ์โปรตีนด้วยกรด (Acid hydrolysis) ซึ่งซอสจะมีรสชาติด้อยกว่าวิธีแรก ซึ่งวิธีที่ 2 จะทำให้ได้สาร 3 – MCPD ปนเปื้อนในซอสได้

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ GC (Gas Chromatography) และ GC-MS (Gas Chromatography-Mass spectrometer)

3.5 สาร Dioxins (Polychlorinated dibenzo-para-dioxins: PCDDs) และสาร PCBs (Polychlorinated biphenyls) (กรมควบคุมมลพิษ,2551)

ข้อมูลทั่วไป: พีซีบี (PCBs) หรือ โพลีคลอริเนตไบฟีนิล (polychlorinated biphenyls) คือ สารอินทรีย์ที่มีคลอรีนเป็นส่วนประกอบหลักสารกลุ่มนี้มีประมาณ 209 ชนิด โดยแตกต่างกันที่จำนวนอะตอมและตำแหน่งของคลอรีนที่เติมเข้าไปในวงแหวนของไบฟีนิล (biphenyl) พีซีบี เป็นมีลักษณะเหลวและหนืดคล้ายน้ำมันแร่ ละลายในน้ำน้อยแต่ละลายได้ดีในไขมัน สามารถทนความร้อนได้สูงและมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

Dioxin เป็นชื่อทั่วไปที่ใช้เรียกกลุ่มสาร chlorinated dioxin หรือ furan เช่น polychlorinated dibenzodioxins (PCDDs) PCDDs เป็นสมาชิกของกลุ่มสารอินทรีย์ที่มีฮาโลเจน ประกอบอยู่ด้วย (halogen เช่น คลอรีน และโบรมีน) และพบว่าสามารถสะสมในมนุษย์และสัตว์ได้ เนื่องจากการละลายในไขมันที่ดีของมัน และอาจเป็นสารก่อให้เกิดความพิการตั้งแต่กำเนิด การกลายพันธุ์ และสารก่อมะเร็งในมนุษย์ด้วยเช่นกัน เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ หรือ by product ของกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับ Chlorine มี 75 ชนิด ส่วน Furans คือสารที่คล้ายคลึง dioxins มีชื่อเต็มว่า Polychlorinated dibenzo furans: PCDFs มี 135 ชนิด และ Dioxin-like PCBs คือสารที่คล้ายคลึง dioxins มี 209 ชนิด

ไดออกซินสามารถตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานานและผ่านห่วงโซ่อาหารมาถึงคนได้การได้รับสารนี้จึงมิได้มาจากทางผิวหนังหรือการสูดดมเท่านั้น การบริโภคอาหาร จึงเป็นอีกทางหนึ่งที่จะได้รับสารนี้เช่นกัน จากการที่ไดออกซินละลายได้ในไขมันอย่างดี ดังนั้นแหล่งอาหารกลุ่มเสี่ยงที่พบมาก คือในไขมันของเนื้อสัตว์ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ปลา (ทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม) หอย หมู ไก่ ไข่ นม เนย และช็อกโกแลต

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ LC-HRS (Liquid Chromatography- High Resolution)

3.6 สาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH)

ข้อมูลทั่วไป: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวง เบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็นเส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่ม มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจนและ คาร์บอน สาร PAHs ที่ประกอบด้วยวงเบนซิน ไม่เกิน 6 วง จัดอยู่ในกลุ่มขนาดเล็ก หากประกอบด้วยวงเบนซินมากกว่า 6 วงขึ้นไป จัดอยู่ในกลุ่มขนาดใหญ่ คุณสมบัติโดยทั่วไป PAHs เป็นสารประกอบที่มีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูง ความดันไอต่ำ และละลายน้ำได้เล็กน้อย สามารถละลายได้ดีในไขมัน มีความไวต่อแสง และทนต่อความร้อน

การปนเปื้อน PAHs ในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เช่น ไขมันที่มีอยู่ในสัตว์น้ำ ส่วนผสมของน้ำมัน ที่ใช้ในอาหาร และไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่น ๆ หรือเกิดจากกระบวนการผลิตอาหาร เช่น การรมควัน การท่าให้ แห้ง การปิ้ง ย่าง หรือทอด จากการใช้วัสดุเชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ วิธีการให้ความร้อนที่อาหารสัมผัสกับ เปลวไฟโดยตรง วิธีการรมควันเป็นแบบดั้งเดิมคือแหล่งกำเนิดควันจะอยู่ด้านล่างของเตารมควัน และอาหารจะ ถูกวางอยู่ด้านบน หรือแบบใหม่ที่นิยมใช้ในโรงงานอาหารปัจจุบันโดยออกแบบแหล่งกำเนิดควันให้แยกออกจากตู้รมควัน ท่าให้สามารถควบคุมกระบวนการเกิดควันได้ดีกว่า หรือวิธีการท่าให้แห้ง โดยวิธีการให้ความร้อน โดยทางตรงหรือทางอ้อม กระบวนการควบคุมการเกิดควัน ระยะห่างระหว่างอาหารและแหล่งให้ความร้อน ตำแหน่งที่วางอาหาร ปริมาณไขมันในอาหาร อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิต และความสะอาดของอุปกรณ์ที่ ใช้ในกระบวนการผลิต สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนของ PAHs ในผลิตภัณฑ์ได้แตกต่างกัน

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ GC (Gas Chromatography) และ GC-MS (Gas Chromatography - Mass spectrometer) และ LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer)

4. การตรวจวิเคราะห์สารชีวพิษ ถือได้ว่าเป็นหนึ่งรายการวิเคราะห์ที่ต้องควบคุมตรวจสอบอย่างเข้มงวด ทั้งนี้ กรมประมงมีการเฝ้าระวังการตรวจพบสารชีวพิษ สารปนเปื้อน เชื้อจุลินทรีย์ในแหล่งเลี้ยงหอยสองฝา เพื่อเป็นการควบคุมเฝ้าระวังปัญหาการตรวจพบจากแหล่งเลี้ยง ในส่วนของสินค้าประมงส่งออก กรมประมงมีการสุ่มตรวจวัตถุดิบหอยสองฝาที่ใช้ในการแปรรูปส่งออก เพื่อควบคุมคุณภาพความปลอดภัยให้สอดคล้องตามมาตรฐานประเทศผู้นำเข้าต่าง ๆ ผู้เขียนขอสรุปรายการสารชีวพิษหลักๆ ที่มีความสำคัญและกำหนดเป็นมาตรฐานสำหรับประเทศผู้นำเข้าต่าง ๆ

สารชีวพิษชนิด PSP, ASP และ DSP เป็นสารชีวพิษที่เกิดในแพลงก์ตอนชนิด *Gonyaulax catanella* และ*Gonyaulax tamarensis* ซึ่งเป็นอาหารของหอยสองฝาโดยจะดูดซึมสารพิษนี้จากแพลงก์ตอนสะสมไว้ในตัวเมื่อรับประทานหอยที่มีสารชีวพิษชนิด PSP จะออกฤทธิ์กับระบบประสาทหลังบริโภคประมาณ 30 นาที โดยจะมีอาการชาที่ปาก กล้ามเนื้อเกิดอัมพาต หากได้รับปริมาณมากจะเสียชีวิตภายใน 12 ชั่วโมง เนื่องจากระบบหายใจขัดข้อง การรักษามักใช้วิธีให้ผู้ป่วยอาเจียนหรือล้างกระเพาะด้วยผงถ่านเพื่อดูดซับสารพิษออกให้มากที่สุด รวมทั้งใช้เครื่องช่วยหายใจ

4.1 สาร ASP (Amnesic Shellfish Poison)

ข้อมูลทั่วไป: เกิดผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหาร กล่าวคือมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสียและปวดท้อง นอกจากนี้ยังแสดงอาการทางระบบประสาท ทำให้เกิดความจำเสื่อมชั่วขณะ รู้สึกสับสน หายใจลำบากและหมดสติในที่สุด

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer) เทคนิค Mouse Bioassay เทคนิค Receptor Binding Assay (RBA) และการทดสอบโดยใช้ชุดทดสอบ (Test kit)

4.2 สาร DSP (Diarrheic Shellfish Poison)

ข้อมูลทั่วไป: พิษท้องร่วงจากแพลงก์ตอนพืชเกิดจากการบริโภคหอยสองฝา เช่น หอยแมลงภู่ หอยแครง หรือหอยนางรม ที่กรองเอาแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต ในสกุล *Dinophysis* ได้แก่ *D. fortii* พบในประเทศ ญี่ปุ่น และ *D. acuta* พบในประเทศสวีเดน และในสกุล *Prorocentrum* เป็นอาหาร

อาการของการได้รับพิษโดยทั่วไป คือ ท้องร่วง อาเจียน ส่วนสารที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดพิษ คือ กรดโอคาดาอิก (okadaic acid) ซึ่งเป็นสารพิษที่ละลายในไขมัน และทนความร้อนได้ดีจึงไม่สามารถทำลายพิษด้วยการหุงต้มได้

นอกจากนี้ **สารชีวพิษอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งพบได้ในหอยสองฝาคือกลุ่ม lipophilic toxins ได้แก่ Pectenotoxins (PTX); Yessotoxins (YTX) และ Azaspiracids (AZA)** สารพิษเหล่านี้มักพบได้ในหอยเช่นกัน

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer) เทคนิค Mouse Bioassay เทคนิค Receptor Binding Assay (RBA) และการทดสอบโดยใช้ชุดทดสอบ (Test kit)

4.3 สาร PSP (Paralytic Shellfish Poison)

ข้อมูลทั่วไป: เกิดจากการบริโภคหอยสองฝา เช่น หอยแมลงภู่ หอยแครง และหอยนางรม ที่กรองแพลงก์ตอนพืชที่ผลิตสารพิษที่เป็นอาหาร แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุของพิษอัมพาต ได้แก่ แพลงก์ตอนในสกุล *Alexandrium* ได้แก่ *A. catenella* พบบ่อยตามชายฝั่งตะวันตกของอเมริกา (ฝั่งแปซิฟิก) และ *A. tamarensis* พบตามฝั่งตะวันออกของแคนาดา และอเมริกา (ฝั่งแอตแลนติก) ทั้ง 2 ชนิด เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดพิษในประเทศดังกล่าว และประเทศญี่ปุ่น ส่วนแพลงก์ตอนในสกุล *Pyrodinium* ได้แก่ *P. phoneus* พบในเกาะบอร์เนียว และปาปัวนิวกินี และ *P. phoneus* พบในฝั่งทะเลของประเทศเนเธอร์แลนด์ การเกิดพิษอัมพาตจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี

สารที่เป็นสาเหตุของการเกิดพิษต่อระบบประสาทนี้จะอยู่ในกลุ่ม Saxitoxin (STX), Neosaxitoxin (NeoSTX) และ Gonyautoxin (GTX) สารพิษนี้ละลายได้ในน้ำ และมีคุณสมบัติที่สำคัญคือสามารถทนต่อความร้อนที่ใช้ในการปรุงอาหารได้ จึงไม่สามารถทำลายสารพิษโดยการหุงต้มได้ สารพิษเหล่านี้จะเป็นตัวยับยั้งการส่งผ่านโซเดียมอิออนในระบบประสาท และกล้ามเนื้อ ผู้ที่ได้รับสารพิษจะมีอาการชาบริเวณปาก ลิ้น และปลายนิ้ว ซึ่งอาจเกิดขึ้นภายใน 2-3 นาที ภายหลังการบริโภค ต่อจากนั้นอาการรุนแรงที่จะตามมาคือ หายใจลำบาก กล้ามเนื้อเป็นอัมพาต โดยจะมีอาการรุนแรงขึ้นตามลำดับ และอาจถึงแก่เสียชีวิตเนื่องจากการล้มเหลวของระบบหายใจ หรือเนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจไม่ทำงาน

สารชีวพิษ ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้แก่ ASP, PSP, DSP, PTX, YTX และ AZA

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ LC-MS (Liquid Chromatography-Mass spectrometer) **เทคนิค** Mouse Bioassay **เทคนิค** Receptor Binding Assay (RBA) **และการทดสอบโดยใช้ชุดทดสอบ** (Test kit)

5. การตรวจวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ ถือเป็นอีกรายการตรวจวิเคราะห์หนึ่งที่มีความสำคัญและจำเป็น โดยเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของวัตถุดิบสัตว์น้ำที่รับเข้าโรงงานแปรรูป และบ่งบอกถึงกระบวนการระยะเวลาการแปรรูป การตรวจวิเคราะห์คุณภาพความสดสำหรับสัตว์น้ำที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่

5.1 Histamine & Putrescine & Cadaverine (อำพรรณ, 2557)

ข้อมูลทั่วไป: ไบโอจินิกเอมีน (biogenic amines) เป็นสารประกอบที่มีธาตุไฮโดรเจนในองค์ประกอบของแอมโมเนียแทนที่ด้วยหมู่อัลคิลหรืออัลลิล (alkyl or aryl groups) สารประกอบกลุ่มนี้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น พิวตริซีน (putrescine) คาดาเวอรีน (cadaverine) แอคมาทีน (agmatine) สเปอร์มีน

(spermine) และสเปอร์มิดีน (spermidine) เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นอะลิฟาติก (aliphatic structure) ขณะที่ไทรามีน (tyramine) และฟีนิลเอทิลเอมีน (phenylethylamine) เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้าง เป็นอะโรมาติก (aromatic structure) โครงสร้างที่เป็นเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic structure) ได้แก่ ฮีสตามีน (histamine) และทริปตามีน (tryptamine)

ไบโอจินิกเอมีนเป็นสารประกอบที่พบได้ทั่วไปในเซลล์ที่มีชีวิต พบได้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เช่น ปลาและ ผลิตภัณฑ์จากปลา ไวน์ เนยแข็ง ผลิตภัณฑ์จากนม เบียร์ เนื้อ และผัก ไบโอจินิกเอมีนเกิดขึ้นในระหว่างการเน่าเสียของอาหาร โดยจุลินทรีย์จะสร้างเอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลส (decarboxylase) ย่อยสลายกรดอะมิโนอิสระในอาหาร เหล่านั้นจนได้เป็นไบโอจินิกเอมีน ฮีสตามีนเกิดจากแบคทีเรียที่สร้างฮีสติดีนดีคาร์บอกซิเลส (histidine decarboxylase) ย่อยสลายกรดอะมิโนฮีสติดีน (histidine) ที่มีอยู่มากในโปรตีนเนื้อปลา ให้เปลี่ยนเป็นฮีสตามีน หรือ เรียกว่าสคอมโบรทอกซิน (Scombrotoxin)

ความเป็นพิษของไบโอจินิกเอมีนสัมพันธ์กับการ ได้รับประทานปลาในตระกูลสคอมบรอยด์ (Family Scombroid) เช่น ปลาทูน่า ปลาโบนิโต และปลาโอ เป็นต้น ปลาเหล่านี้เป็นอาหารทะเลที่ทำให้ผู้บริโภคส่วนใหญ่ ได้รับสารฮีสตามีน ความเป็นพิษพบทั้งในผู้ป่วยที่บริโภค ปลาสด และปลาที่ประกอบอาหารแล้ว การรับประทาน สารประกอบไบโอจินิกเอมีนที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหาร จะเป็นผลให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษจากฮีสตามีนและไทรามีน โรคอาหารเป็นพิษจากฮีสตามีน หรือจากสารพิษสคอมบรอยด์ (Scombroid poisoning) จึงได้มีความสำคัญต่อการเกิดโรคอาหารเป็นพิษ

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ Fluorometer, LC (Liquid Chromatography) และการทดสอบโดยใช้ชุดทดสอบ (Test kit)

5.2 TVBN (Total Volatile Base Nitrogen)

ข้อมูลทั่วไป: การสลายตัวของสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด (TVB-N) จัดเป็นดัชนีคุณภาพทางเคมีค่าหนึ่งที่ใช้วัดความสดของปลา โดยทำการตรวจวัดปริมาณแอมโมเนีย เอมีน ไตรเมทิลเอมีน (TMA), ไดเมทิลเอมีน (DMA) และสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจน โดยปริมาณ TVB-N ที่เกิดขึ้น มีความสัมพันธ์กับคุณภาพทางประสาทสัมผัส, คุณลักษณะปรากฏของเนื้อปลาและการเจริญและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์รวมถึงปริมาณ TMA ด้วย

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ ใช้การไตเตรท

6. การตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

6.1 ความชื้น (Moisture)

ข้อมูลทั่วไป: เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร ปริมาณความชื้นนิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์มี 2 รูปแบบคือ 1. ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ 2. ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ อาจบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ จำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g H_2O/ g solid)

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ การวัดความชื้นโดยตรง (direct method) เป็นการวัดปริมาณที่มีอยู่ในอาหารโดยตรง สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การแยกเอาน้ำออกด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การอบแห้งทำให้น้ำ

ระเหยออกไป การกลั่นแยกเอาน้ำออกจากอาหาร หรือการใช้วิธีการทางเคมี โดยการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำ เป็นต้น โดยทั่วไปนิยมใช้การอบแห้งผ่าน Hot air oven

6.2 ค่า Water activity (Aw)

ข้อมูลทั่วไป: Aw เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่า Water Activity เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ เราสามารถใช้ค่า Water Activity ในการประเมินว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดเป็นหรือไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเสีย ตลอดจนใช้ในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ค่า Water Activity ที่จำกัด โดยเราจะทำให้อาหารมีค่า Water Activity ต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า Water Activity ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า Water Activity ต่ำกว่า 0.7

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ เครื่อง Water activity

6.3 % Salt

ข้อมูลทั่วไป: salting เป็นวิธีการถนอมอาหาร (food preservation) โดยการหมักด้วยเกลือแกง (sodium chloride) และอาจร่วมกับการใช้เกลือโซเดียม และ โพแทสเซียม ไนไทรต์ (nitrite) หรือ ไนเทรต (nitrate) โดยเกลือ คือ สารให้ความเค็มอาจจะเกิดจากสารอะไรได้หลายอย่างแต่เกลือที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำหรือที่ใช้ในการประกอบอาหารของมนุษย์นั้นคือ เกลือแกง ชื่อนี้หมายรวมถึงเกลือจากทุกแหล่งที่มีส่วนประกอบเป็นโซเดียม (Na) และคลอไรด์ (Cl) เช่นที่มาจาก น้ำทะเล หรือเกลือสินเธาว์

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์เทคนิค ไตเตรท

6.4 Total Nitrogen

ข้อมูลทั่วไป: ไนโตรเจนเป็นธาตุสำคัญธาตุหนึ่งของสิ่งมีชีวิต เป็นองค์ประกอบในสารประกอบอินทรีย์มากมายหลายชนิด เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก ยูเรีย เป็นต้น การทราบปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งในตัวอย่างของผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบสำหรับการผลิต เช่น อาหารสัตว์ ปุ๋ย ดิน อาหาร ส่วนต่าง ๆของพืช สามารถใช้บ่งบอกคุณภาพของตัวอย่างนั้น ๆ ในทางชีวเคมีการทราบปริมาณไนโตรเจนสามารถคำนวณกลับเพื่อบ่งบอกปริมาณโปรตีนในตัวอย่างนั้น ๆ

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ ที่นิยมกันแพร่หลาย คือ วิธีเคลดาห์ล (Kjeldahl method)

6.5 Specific gravity

ข้อมูลทั่วไป: Specific gravity เป็นอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่น (density) ของวัตถุต่อความหนาแน่นของน้ำ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วย และเป็นสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 วัตถุที่มีความถ่วงจำเพาะ มากกว่าน้ำ (>1) จะจมน้ำ ส่วนวัตถุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 หรือน้อยกว่าน้ำ จะลอยน้ำได้ ทั้งนี้มาตรฐานน้ำปลากำหนดปริมาณความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.2

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์: Hydrometer

6.6 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ข้อมูลทั่วไป: ใช้เพื่อบอกระดับความมากน้อยของความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย จุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียและก่อให้เกิดโรคมีความสามารถในการเจริญในอาหารที่มีค่า pH ในแต่ละช่วงต่างกัน

เทคนิคการตรวจวิเคราะห์ ใช้เครื่อง pH meter และ Colorimetric method โดยสังเกตการเปลี่ยนสี

บทที่ 8

มาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

ในการควบคุมสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำของกรมประมง ประกอบด้วยมาตรฐานหลายส่วนที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ กรมประมงดำเนินการควบคุมคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. การควบคุมคุณภาพสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงในแหล่งเลี้ยงเพื่อการรับรองระบบมาตรฐาน GAP และ CoC และตรวจติดตามการตกค้างของยาและสารตกค้างในแหล่งเลี้ยงต่าง ๆ (Monitoring program) เป็นระบบควบคุมที่ครอบคลุมในทุกพื้นที่ ซึ่งประกอบด้วย

1.1 การควบคุมและตรวจติดตามฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามมาตรฐาน GAP และ CoC

มีการกำหนดแผนการสุ่มตัวอย่างสัตว์น้ำระหว่างการเพาะเลี้ยง ปัจจัยการผลิต อาหารสัตว์ จากฟาร์มเพื่อเฝ้าระวังการตกค้างและการใช้ยาที่ไม่ถูกกฎหมายและไม่มีการขึ้นทะเบียนอย่างถูกต้อง ทั้งนี้ การควบคุมและตรวจติดตามฟาร์มเพาะเลี้ยง มีการกำหนดชนิดยาและสารตกค้างที่อนุญาตและไม่อนุญาตให้ใช้ ดังนี้

1.1.1 ยาและสารตกค้างที่กำหนดแผนการสุ่มเก็บตัวอย่าง อย่างน้อย 2 ชนิดยา/ฟาร์ม โดยกลุ่มยาที่เฝ้าระวัง ได้แก่

1.1.1.1 ยา Oxolinic acid

1.1.1.2 ยากลุ่ม Tetracycline (Oxytetracycline, Chlortetracycline, Tetracycline)

1.1.1.3 ยา Chloramphenicol

1.1.1.4 ยา Nitrofuran (metabolites)

1.1.1.5 สาร Malachite green & Leuco-malachite green

1.1.1.6 ยากลุ่ม Fluoroquinolones

1.2 การควบคุมและตรวจติดตามคุณภาพสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงตามแผนควบคุมสารตกค้าง (Residues Monitoring Program; RMP) ทั้งนี้ ภายใต้ RMP ประกอบด้วยคณะกรรมการจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของกรมประมงในการควบคุม กำหนดแผน-มาตรการ และขับเคลื่อนการปฏิบัติงานให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อคุณภาพและความปลอดภัยของสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยง โดยยาและสารเคมีที่ต้องควบคุมภายใต้ RMP แบ่งเป็น 6 กลุ่มหลัก ๆ ตามข้อกำหนด COUNCIL DIRECTIVE 96/23/EC (29 เม.ย. 2539) ดังนี้

1.2.1 กลุ่ม A เป็นยาและสารเคมีที่ห้ามใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ประกอบด้วย

1.2.1.1 กลุ่ม A1 (Stilbenes)

1.2.1.2 กลุ่ม A3 (Synthetic Steroids)

1.2.1.3 กลุ่ม A6 (Nitrofurans, Chloramphenicol, Nitroimidazoles)

1.2.2 กลุ่ม B เป็นยาและสารเคมีที่อนุญาตให้ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ประกอบด้วย

1.2.2.1 กลุ่ม B1 (Antibacterial Substances; Tetracycline group, Fluoroquinolone group, Sulphonamide group, Amoxicillin)

1.2.2.2 กลุ่ม B2a (Anthelmintics) เช่น กลุ่ม Avermectins

1.2.2.3 กลุ่ม B2 b (Anticoccidial) เช่น Toltrazuril

1.2.3 กลุ่ม B3 a (Organochlorine & PCBs)

1.2.4 กลุ่ม B3 c (Chemical Elements) เช่นแคดเมียม ตะกั่ว และปรอท

1.2.5 กลุ่ม B3 e (Dyes) เช่น Malachite green & Leuco-malachite green, Crystal violet & Leuco-crystal violet

นอกจากข้อกำหนดยาและสารเคมีดังกล่าวข้างต้นแล้ว ตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข ได้กำหนดชนิดยาต้านจุลชีพที่ใช้สำหรับสัตว์น้ำที่ได้รับการขึ้นทะเบียนตำรับยาเดี่ยว จากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (สำนักอาหาร,2555) ได้แก่

1. Enrofloxacin
2. Sarafloxacin
3. Oxolinic acid
4. Oxytetracycline
5. Amoxicillin
6. Toltrazuril
7. Sulfamonomethoxine sodium

สำหรับตำรับยาผสม มีตัวยาสำคัญผสม 5 ชนิด ได้แก่

1. Sulfadimethoxine sodium & Ormethoprim
2. Sulfadimethoxine sodium &Trimethoprim
3. Sulfamonomethoxine & Trimethoprim
4. Sulfadiazine & Trimethoprim
5. Sulfadimidine & Trimethoprim

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 303 พ.ศ.2550 (2550) เรื่องอาหารที่มียาสัตว์ตกค้าง ได้มีข้อกำหนดปริมาณสูงสุดที่ยอมให้ยาสัตว์ตกค้างในสินค้าอาหาร (Maximum Residue Limit, MRL) ในสัตว์น้ำ ดังนี้

1. Tetracycline group (Oxytetracycline, Chlortetracycline, Tetracycline) สำหรับปลาและกุ้งกุลาดำ
2. Deltamethrin สำหรับปลาแซลมอน
3. Flumequine สำหรับปลาเทราท์

2. การควบคุมคุณภาพสัตว์น้ำนำเข้า เป็นการควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยสินค้าสัตว์น้ำที่นำเข้าสู่ราชอาณาจักรไทย โดยกำหนดรายการวิเคราะห์ที่ต้องควบคุม และค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ดังนี้

2.1 การควบคุมยาและสารตกค้างที่ไม่อนุญาตให้พบในอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 299 พ.ศ.2549 (2549) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อนสารเคมีบางชนิด (ฉบับที่ 2) ควบคุมยาและสารเคมี 6 ชนิดได้แก่

2.1.1 คลอแรมฟินิคอลและเกลือของสารนี้

2.1.2 ไนโตรฟิวราโซนและเกลือของสารนี้

2.1.3 ไนโตรฟิวแรนโทอินและเกลือของสารนี้

2.1.4 ฟูราโซลิโดนและเกลือของสารนี้

2.1.5 ฟิวแรลทาโดนและเกลือของสารนี้

2.1.6 มาลาไคท์ กรีนและกลือของสารนี้

ทั้งนี้ ตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์ เงื่อนไข และวิธีการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนสารเคมีบางชนิดในอาหาร พ.ศ.2549 (2549) ได้กำหนดให้การตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนสารเคมีบางชนิดในอาหาร จะต้องใช้วิธีการตรวจวิเคราะห์ และห้องปฏิบัติการที่มีความสามารถในการตรวจพบปริมาณสารปนเปื้อนได้ อย่างน้อยต่ำถึงระดับที่กำหนดตามตารางแนบท้ายประกาศนี้ โดยระบุค่าไว้ ดังนี้

1. คลอแรมฟินิคอลและเกลือของสารนี้ กำหนดค่า 0.3 ไมโครกรัม/กิโลกรัม
2. กลุ่มไนโตรฟิวแรนส์ ชนิด 3-Amino-2-oxazolidinone (AOZ) และ 5-Methylmorpholino-3-amino-2-oxazolidinone (AMOZ) กำหนดค่า 0.3 ไมโครกรัม/กิโลกรัม
3. กลุ่มไนโตรฟิวแรนส์ ชนิด Aminohydantoin (AHD) และ Semicarbazide (SEM) กำหนดค่า 1.00 ไมโครกรัม/กิโลกรัม
4. มาลาไคท์ กรีนและกลือของสารนี้ กำหนดค่า 2.00 ไมโครกรัม/กิโลกรัม

2.2 การควบคุมสารปนเปื้อนในอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ. 2529 (2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน โดยควบคุมโลหะหนักชนิดปรอทและตะกั่วปนเปื้อนในอาหาร และประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง กำหนดปริมาณการปนเปื้อนสูงสุดของแคดเมียมในอาหารบางชนิด ในราชกิจจานุเบกษา วันที่ 30 สิงหาคม 2561 (2561) ดังนี้

2.2.1 ปรอท กำหนดค่า 0.5 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับอาหารทะเล และไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับอาหารอื่น

2.2.2 ตะกั่ว กำหนดค่า 1 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

2.2.3 แคดเมียม กำหนดค่าในสัตว์น้ำจำพวกหมึกชนิดปลาหมึกกระดอง ปลาหมึกสาย ปลาหมึกกล้วย ที่ระดับ 2 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และสัตว์น้ำจำพวกหอยสองฝาและหอยฝาเดียวชนิดหอยกาบตลับ หอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยหวาน ที่ระดับ 2 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และปลาน้ำจืดและปลาทะเล กำหนดค่าที่ระดับ 1 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม รวมทั้งสาหร่าย กำหนดค่าที่ระดับ 2 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

2.3 การควบคุมคุณภาพความสดของสัตว์น้ำนำเข้า ตามมาตรฐาน Codex STAN 94-1981 (1981) กำหนดปริมาณสารฮีสตามีนที่บ่งบอกคุณภาพความสดที่ระดับ 10 มิลลิกรัม/100 กรัม

2.4 การควบคุมสารชีวพิษ (Marine Biotoxins) สัตว์น้ำจำพวกหอยสองฝา Codex STAN 292-2008 (2008) กำหนดปริมาณสารชีวพิษชนิด

2.4.1 Saxitoxin (STX) group ≤0.8 milligrams (2HCL) of saxitoxin equivalent

2.4.2 Okadaic acid (OA) group ≤0.16 milligrams of okadaic equivalent

2.4.3 Domoic acid (DA) group ≤20 milligrams domoic acid

2.4.4 Azaspiracid (AZP) group ≤0.16 milligrams

3. การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำสำหรับการส่งออก เป็นการควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยสินค้าสัตว์น้ำที่เตรียมส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศ โดยข้อกำหนดมาตรฐานอ้างอิงตามประเทศผู้นำเข้าเป็นหลัก โดยสามารถค้นข้อมูลมาตรฐานได้ทางเว็บไซต์ https://www.fisheries.go.th/quality/standard.php ทั้งนี้รายการวิเคราะห์ที่ควบคุมเฝ้าระวัง ประกอบด้วย

3.1 การควบคุมยาปฏิชีวนะและสารตกค้าง เช่นไนโตรฟิวแรส์ (เมตาโบไลท์) มาลาไคท์ กรีนและเกลือของสารนี้ คลอแรมฟินิคอลและเกลือของสารนี้ ยากลุ่ม Tetracycline ยากลุ่ม Fluoroquinolones และยากลุ่ม Sulfonamides

3.2 การควบคุมวัตถุเจือปนอาหาร เช่น Benzoic acid & Sorbic acid, Phosphate, Sulfur dioxide และ EDTA

3.3 การควบคุมสารปนเปื้อนในอาหาร เช่น โลหะหนัก (ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว) และ 3 - MCPD

3.4 การควบคุมคุณภาพความสด เช่น ฮีสตามีน และ TVB-N

3.5 การควบคุมสารชีวพิษในอาหาร เช่น สารชีวพิษ (PSP, ASP, DSP, PTX, YTX, AZA)

3.6 การควบคุมคุณภาพทางเคมี เช่น Salt, Total nitrogen, pH, Aw, Moisture, Specific gravity

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.2551. คู่มือแนวทางการจัดการสารพีซีบี.81 หน้า.

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 2560. คู่มือมาตรฐานความปลอดภัยห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางการแพทย์และสาธารณสุข. 209 หน้า.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2558. คู่มือปฏิบัติด้านความปลอดภัยห้องปฏิบัติการกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 110 หน้า.

กองควบคุมยา. 2550. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

จุฬาลักษณ์ บางเหลือ และวงศ์วรุตม์ บุญญานุโกมล. 2557. คู่มือความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ. มหาวิทยาลัยมหิดล. 40 หน้า.

ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์.2544. เครื่องมือวิทยาศาสตร์. คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 369 หน้า.

ไทยไภษัชยนิพนธ์. 2553. ฉบับการศึกษาต่อเนื่องทางเภสัชศาสตร์. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 213 หน้า.

บุรินทร์ อรุณโรจน์ และ สุทธิศักดิ์ ณัฏฐกุล. 2550.การบำรุงรักษา MASS SPECTROMETER ตอนที่ 1 หลักการของเครื่อง. โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 4 หน้า

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 50. 2562. เรื่องยาควบคุมพิเศษ.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98. 2529. เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 299. 2549. เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีการปนเปื้อนสารเคมีบางชนิด (ฉบับที่ 2)

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 303. 2550. เรื่องอาหารที่มียาสัตว์ตกค้าง

ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.2561. เรื่องกำหนดปริมาณการปนเปื้อนสูงสุดของแคดเมียมในอาหารบางชนิด

ศิวาพร ศิวเวชช. 2535. วัตถุเจือปนอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร. คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 328 หน้า.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2551. หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติมเคมี เล่ม 2 .

อำพรรณ ชัยกุลเสรีวัฒน์.2557. การลดปริมาณฮีสตามีนในปลาและผลิตภัณฑ์ปลาโดยจุลินทรีย์. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2556- พฤษภาคม 2557. 8 หน้า

AOAC.2002. Guidelines for Single Laboratory Validation of Chemical Methods for Dietary Supplements and Botanicals.38 pages.

Center for Drug Evaluation and Research (CDER).1994. Reviewer Guidance for Validation of Chromatographic Method.33 page.

Chamber FH. 2005. Other beta-lactam antibiotics. In: Mandell GL, Bennett JE, Dolin R, eds. Principles and Practice of Infectious Diseases 6th ed. Philadelphia: Elsevier Churchill Livingstone. 311-318.

CODEX. 2010. PROCEDURAL MANUAL CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Joint FAO/WHO Food Standards Programme. Nineteenth edition. 192 pages.

Codex STAN 94-1981. 1981. Standard for canned sardines and sardine-type products.

Codex STAN 292-2008. 2008. Standard for live bivalve molluscs and to raw bivalve molluscs.

Commission Decision 2002/657/EC. 2002. Implementing Council Directive 96/23/EC concerning the performance of analytical methods and the interpretation of results. 29 page.

Dux, J.P. 1991. Handbook of quality assurance for the analytical chemistry laboratory . 2nd edition. Van Nostrand Reinhold, New York; Chapman and Hall, London; Thomas Nelson Australia, Melbourne.

EU Council Directive 96/23/EC. 1996. On measures to monitor certain substances and residues thereof in live animals and animal products and repealing Directives 85/358/EEC and 86/469/EEC and Decisions 89/187/EEC and 91/664/EEC

EURACHEM / CITAC Guide CG 4. 2012. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. Third edition. 141 pages.

EURACHEM Guide.2014. The Fitness for Purpose of Analytical Methods. A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics. Second edition. 70 pages.

Gilbert DN. 2005. Aminoglycosides. In: Mandell GL, Bennett JE, Dolin R, eds. Principles and Practice of Infectious Diseases 6th ed. Philadelphia: Elsevier Churchill Livingstone.328-356.

M. D. Rockville. 2009. General Tests. Chapter 621 – Chromatography System Suitability. United States Pharmacopeial Convention (USP), USP 31.

National Association of Testing Authorities, Australia (NATA). Laboratory Balance checks. CAN 004 379 748. 1995. Technical Note 13.

National Association of Testing Authorities, Australia (NATA). Laboratory pH Meters- Calibration and Electrode Performance checks. CAN 004 379 748. 1995. Technical Note 21.

Shugar, G. J. and J. A. Dean. 1989. The Chemist's Ready Reference Handbook. McGraw-Hill, Inc., New York. 1-31 p.