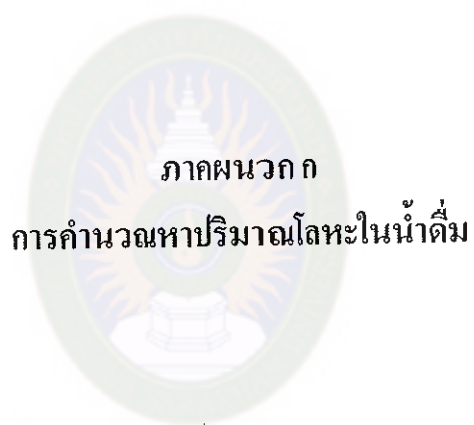




ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

การกำหนดหาปริมาณโลหะในน้ำดื่ม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณแคดเมียม โดยเครื่อง
กราฟิ์เฟอ์นอะตอมมิคแอนะลิสซิงสเปกโทรโฟโตเมตริ์

ปริมาณแคดเมียมที่อ่านได้จากตัวอย่างน้ำดื่ม ดังตารางที่ 4.3

วิธีการคำนวณ

วิธีการคำนวณ

นำตัวอย่างน้ำดื่มมา	=	25	mL
ความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน	=	3.145	μg/L
ปริมาตรที่ปรับก่อนนำไปวัด	=	100	ml
จากสารละลาย 1000 ml มีแคดเมียมอยู่	=	3.145	μg
ถ้าสารละลาย 100 ml จะมีแคดเมียมอยู่	=	$\frac{3.145 \times 100}{1000}$	μg
	=	0.3145	μg
จากตัวอย่างน้ำดื่ม 25 mL มีแคดเมียมอยู่	=	0.3145	μg
ถ้าน้ำดื่ม 1,000 mL มีแคดเมียมอยู่	=	$\frac{0.3145 \times 1,000}{25}$	μg
	=	30.6	μg/L

ตัวอย่างอื่นๆ ก็คิดในทำนองเดียวกัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณตะกั่วโดยเครื่องโวลแทมเมตรี
ปริมาณตะกั่วที่อ่านได้จากตัวอย่างน้ำดื่ม ดังตารางที่ 4.4

วิธีการคำนวณ

นำตัวอย่างน้ำดื่มมา	=	25	mL
ความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน	=	3.145	$\mu\text{g/L}$
ปริมาตรที่ปรับก่อนนำไปวัด	=	100	ml
จากสารละลาย 1000 ml มีตะกั่วอยู่	=	3.145	μg
ถ้าสารละลาย 100 ml จะมีตะกั่วอยู่	=	$\frac{3.145 \times 100}{1000}$	
	=	0.3145	μg
จากตัวอย่างน้ำดื่ม 25 mL มีตะกั่วอยู่	=	0.3145	μg
ถ้าน้ำดื่ม 1,000 mL มีตะกั่วอยู่	=	$\frac{0.3145 \times 1,000}{25}$	
	=	30.60	$\mu\text{g/L}$

ตัวอย่างอื่นๆ ก็คิดในการทำงานเดียวกัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณแคดเมียมโดยเครื่องโวลเทมเมตรี
ปริมาณแคดเมียมที่อ่านได้จากตัวอย่างน้ำดื่ม ดังตารางที่ 4.4

วิธีการคำนวณ

วิธีการคำนวณ

นำตัวอย่างน้ำดื่มมา	=	25	mL
ความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน	=	3.145	$\mu\text{g/L}$
ปริมาตรที่ปรับก่อนนำไปวัด	=	100	ml
จากสารละลาย 1000 ml มีแคดเมียมอยู่	=	3.145	μg
ถ้าสารละลาย 100 ml จะมีแคดเมียมอยู่	=	$\frac{3.145 \times 100}{1000}$	μg
	=	0.3145	μg
จากตัวอย่างน้ำดื่ม 25 mL มีแคดเมียมอยู่	=	0.3145	μg
ถ้าน้ำดื่ม 1,000 mL มีแคดเมียมอยู่	=	$\frac{0.3145 \times 1,000}{25}$	μg
	=	30.6	$\mu\text{g/L}$

ตัวอย่างอื่นๆ ก็คิดในการทำงานเดียวกัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข
ประกาศกระทรวงสาธารณสุข
ฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529)
เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และ มาตรา 6(3) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 80(พ.ศ. 2527) เรื่องกำหนดมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ลงวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2527

ข้อ 2 ให้อาหารที่มีสารปนเปื้อนที่ผลิตเพื่อจำหน่าย นำเข้าเพื่อจำหน่ายหรือที่จำหน่ายเป็นอาหารที่กำหนดมาตรฐาน

ข้อ 3 สารปนเปื้อน หมายความว่า สารที่ปนเปื้อนกับอาหาร ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต กรรมวิธีการผลิต โรงงานหรือสถานที่ผลิต การดูแลรักษา การบรรจุ การขนส่ง หรือ การเก็บรักษา หรือเกิดเนื่องจากการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อม

ข้อ 4 อาหารที่มีสารปนเปื้อนต้องมีมาตรฐาน โดยตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(1) โลหะ

(ก) ดีบุก 250 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ข) สังกะสี 100 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ค) ทองแดง 20 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ง) ตะกั่ว 1 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เว้นแต่อาหารที่มี

สารตะกั่วปนเปื้อนตามธรรมชาติในปริมาณสูงให้มีไว้ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

(จ) สารหนู 2 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(ฉ)ปรอท 0.5 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับอาหารทะเล และไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สำหรับอาหารอื่น

(ช) แคดเมียมมีได้ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(2) อะฟลาท็อกซิน 20 ไมโครกรัม ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

(3) สารปนเปื้อนอื่น ๆ ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงาน

อาหารและยา

ข้อ 5 ประกาศฉบับนี้มิให้ใช้บังคับแก่อาหารที่ผลิตเพื่อจำหน่าย นำเข้าเพื่อจำหน่าย หรือที่จำหน่าย ที่ได้มีประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้เป็นอาหารควบคุมเฉพาะ หรืออาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน และในประกาศกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดปริมาณของสารปนเปื้อนไว้โดยเฉพาะหรือกำหนดไว้เป็นอย่างอื่นแล้ว

ประกาศฉบับนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 21 มกราคม 2529

มารุต บุญนาค

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(คัดจากราชการงานุเบกษา เล่มที่ 103 ตอนที่ 23 ฉบับพิเศษ ลงวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2529)

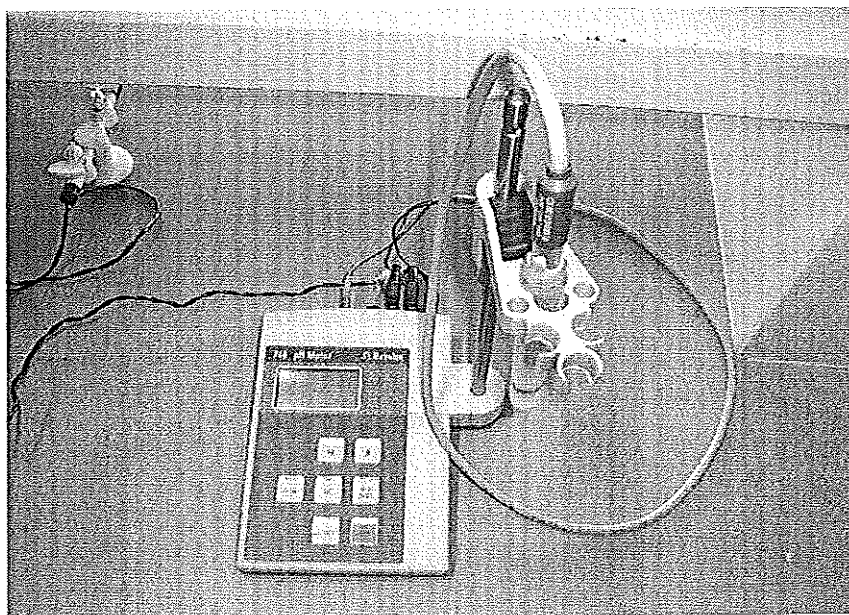


มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

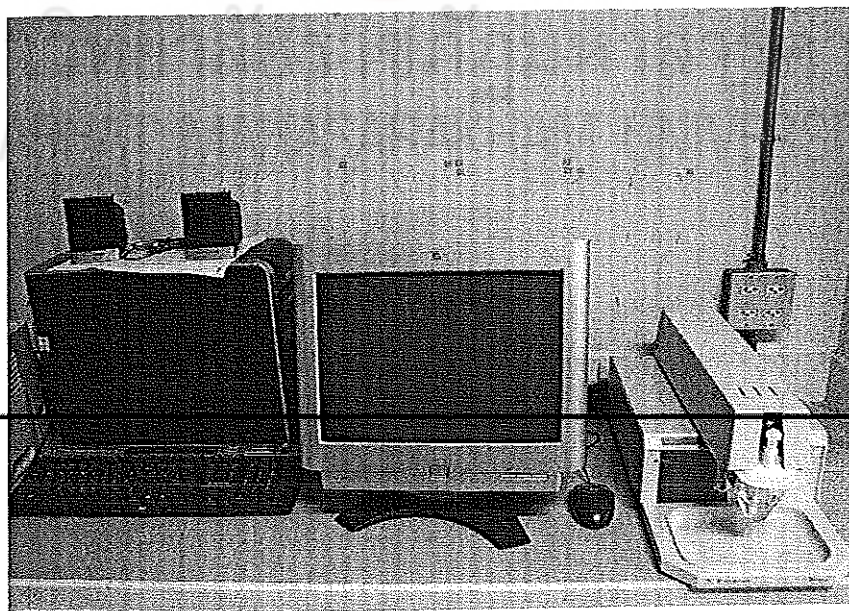
ภาคผนวก ก
รูปเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย



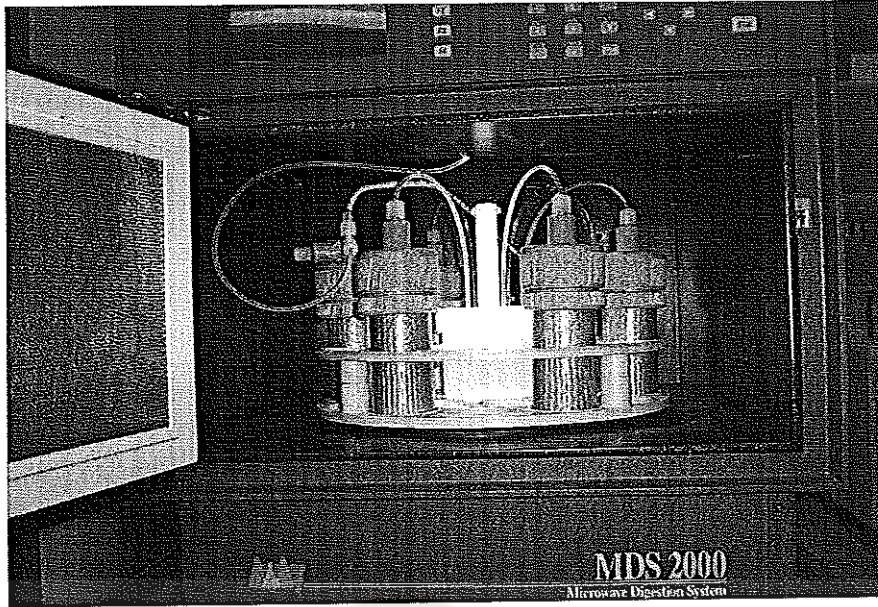
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



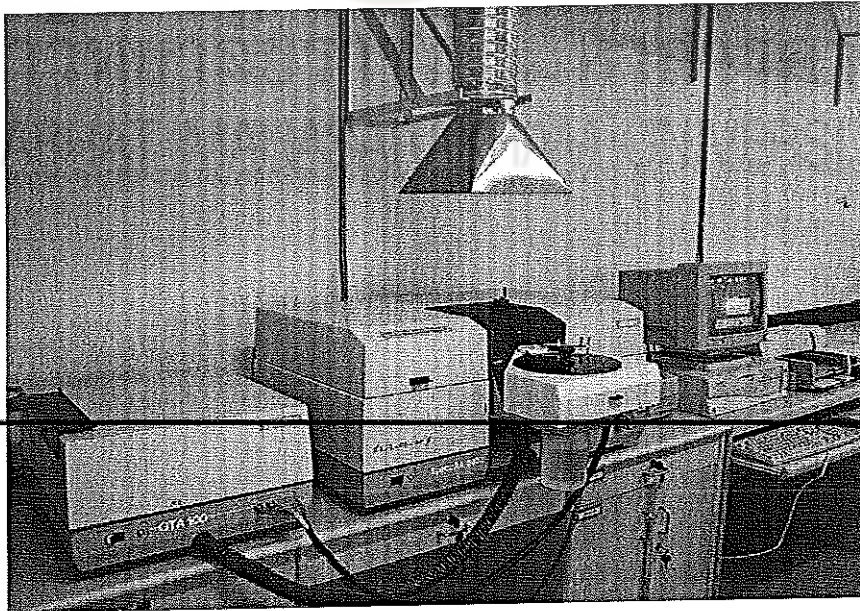
รูปที่ ค - 1 เครื่องวัดพีเอช



รูปที่ ค - 2 เครื่องโวลแทมมิเตอร์



รูปที่ ค-3 เครื่องไมโครเวฟ



รูปที่ ค-4 เครื่องกราฟต์เฟอร์เนชอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์



ภาคผนวก ง
มาตรฐานคุณภาพน้ำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไปเล่ม 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537 (ภาคผนวก ฉ) โดยได้อธิบายความหมายและแบ่งประเภทแหล่งน้ำผิวดินไว้ ดังนี้

แหล่งน้ำผิวดิน หมายถึง แม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำและแหล่งน้ำสายธารอื่นๆ ที่อยู่ภายในผืนแผ่นดิน ซึ่งหมายความรวมถึงแหล่งน้ำสาธารณะที่อยู่ภายในผืนแผ่นดินบนเกาะด้วยแต่ไม่รวมถึงน้ำบาดาล และในกรณีที่แหล่งน้ำนั้นอยู่ติดทะเลให้หมายความถึงแหล่งน้ำที่อยู่ในปากน้ำหรือปากทะเลด้วย (คู่มือการติดตามตรวจสอบและประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจืดผิวดิน กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

1 การแบ่งประเภทแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภทที่ 1 ได้แก่แหล่งน้ำคุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- (1) การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน
- (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐานการอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 ได้แก่แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- (1) การอุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
- (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ
- (3) การประมง
- (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3 ได้แก่แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- (1) การอุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
- (2) การเกษตร

ประเภทที่ 4 ได้แก่แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

(2) การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

2/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำ ประเภทที่ 1 ตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

ธ	เป็นไปตามธรรมชาติ
ธ'	อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติ เกิน 30 °C
*	น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO ₃ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
**	น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO ₃ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
° ๗	องศาเซลเซียส
P20	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทลที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบ
อย่างต่อเนือง	
P80	ค่าเปอร์เซ็นต์ไทลที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบ
อย่างต่อเนือง	
MPN	เอ็ม.พี.เอ็น. หรือ Most Probable Number
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
มล.	มิลลิลิตร

มาตรา 32 (1) แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 บัญญัติให้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มีอำนาจประกาศในราชกิจจานุเบกษา กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแม่น้ำลำคลอง หนองบึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และแหล่งน้ำสาธารณะอื่นๆ ที่อยู่ในพื้นแผ่นดิน

มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำเป็นมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมชนิดหนึ่งมีวัตถุประสงค์

1. เพื่อควบคุมและรักษาคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ และมีความ

ปลอดภัยสูงต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

2. เพื่ออนุรักษ์ทรัพยากร และสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติของงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษได้นำเสนอมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ 2 ฉบับ คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งต่อคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่ง ฯพลฯ นายกรัฐมนตรี ในฐานะประธานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้ลงนามเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2537

หลักการสำคัญในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ ได้แก่ การกำหนดค่ามาตรฐานเพื่อรักษาคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ การจัดแบ่งลักษณะการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำ และการกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ตารางที่ ก-1 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ลำดับ	คุณภาพน้ำ	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
				ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท
				ท 1	ท 2	ท 3	ท 4	ท 5
1	สี กลิ่นและรส (Colour, Odor and Taste)		-	ท	ท'	ท'	ท'	-
2	อุณหภูมิ (Temperature)		°ซ	ท	ท'	ท'	ท'	-
3	ความเป็นกรด-เบส (pH)	P 20	-	ท	5.0-9.0	5.0-9.0	5.0-9.0	-
4	ออกซิเจนละลาย (DO) ^{2'}		มก./ล.	ท	6.0	4.0	2.0	-
5	บีโอดี (BOD)	P 80	มก./ล.	ท	1.5	2.0	4.0	-
6	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	P 80	MPN/100 ml)	ท	5,000	20,000	-	-

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ลำดับ	คุณภาพน้ำ	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
				ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท
				1	2	3	4	5
7	แบคทีเรียกลุ่มฟีคัล โคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	P 80	MPN/100 มล.(MPN/100 ml)	๖	1,000	4,000	-	-
8	ไนเตรต (NO ₃)	P 80	มก./ล.	๖	5.0	5.0	5.0	-
9	ไนโตรเจน		"	๖	0.5	0.5	0.5	-
10	แอมโมเนีย		"					
11	(NH ₃) ในหน่วย		"	๖	0.005	0.005	0.005	-
12	ไนโตรเจน		"	๖	0.1	0.1	0.1	-
13	ฟีนอล (Phenols)		"	๖	0.1	0.1	0.1	-
14	ทองแดง (Cu)		"	๖	1.0	1.0	1.0	-
15	นิกเกิล (Ni)		"	๖	1.0	1.0	1.0	-
16	แมงกานีส (Mn)		"	๖	0.005*	0.005*	0.005*	-
	สังกะสี (Zn)		"	๖	0.05**	0.05**	0.05**	-
	แคดเมียม (Cd)		"					
17	โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr hexavalent)		"	๖	0.05	0.05	0.05	-
18	ตะกั่ว (Pb)		"	๖	0.005	0.005	0.005	-
19	ปรอททั้งหมด (Total Hg)		"	๖	0.002	0.002	0.002	-
20	สารหนู (As)		"	๖	0.01	0.01	0.01	-
21	ไซยาไนด์ (Cyanide)		เบคเคอเรล/ล.	๖	0.1	0.1	0.1	-
	กัมมันตภาพรังสี							

(Radioactivity) - ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) - ค่ารังสีเบตา (Beta)		”	ธ	1.0	1.0	1.0	-
---	--	---	---	-----	-----	-----	---

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ลำดับ	คุณภาพน้ำ	ค่า ทาง สถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามการแบ่ง ประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
				ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท
				1	2	3	4	5
22	สารฆ่าศัตรูพืช และสัตว์ชนิด ที่ มีคลอรีน ทั้งหมด (Total Organ chloride Patricides)		มก./ล.	ธ	0.05	0.05	0.05	-
23	ดีดีที (DDT)		ไมโคร กรัม/ล.	ธ	1.00	1.00	1.00	-
24	บีเอชซีชนิด แอลฟา (Alpha- BHC)		”	ธ	1.00	1.00	1.00	-
25	ดีลด์ริน (Dieldrin)		”	ธ	0.1	0.1	0.1	-
26	อัลดริน (Aldrin)		”	ธ	0.1	0.1	0.1	-
27	เฮปตาคลอร์และ เฮปตาคลอร์อี		”	ธ	0.2	0.2	0.2	-

	ปอกไซค์ (Heptachlor & Heptachlor epoxide)						
28	เอนดริน (Endrin)		”	ธ	ไม่สามารถตรวจพบได้ตาม วิธีการตรวจสอบที่กำหนด	-	

2. มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท

มาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (พ.ศ. 2534)
ออกตาม พรบ. อาหาร พ.ศ. 2522

รายการ	เกณฑ์ที่กำหนด (acceptable concentration)
1. คุณลักษณะทางกายภาพ - สี (Colour), Pt-Co unit - รส (Taste) - กลิ่น (Odour) - ความขุ่น (Turbidity), NTU - ความเป็นกรด-ด่าง (pH rang)	20 ไม่เป็นที่รังเกียจ ไม่เป็นที่รังเกียจ 5 6.5 - 8.5
2. คุณลักษณะทางเคมี (mg/l) - ปริมาณสารทั้งหมด (Total solid) - เหล็ก (Fe) - แมงกานีส (Mn) - ทองแดง (Cu)	500 0.3 0.05 1.0
- สังกะสี (Zn) - ความกระด้าง (Hardness) as CaCo ₃ - แคลเซียม (Ca) - แมกนีเซียม (Mg) - ซัลเฟต (SO ₄) - คลอไรด์ (Cl)	5.0 100 75 50 250 250

- ความขุ่น (Turbidity), NTU	- ความ	5	20
เป็นกรด-ด่าง (pH rang)		6.5 - 8.5	ไม่เกิน 9.2
2. คุณลักษณะทางเคมี (mg/l)			
- ปริมาณสารทั้งหมด (Total solid)		500	1,500
- เหล็ก (Fe)		0.5	1.0
- แมงกานีส (Mn)		0.3	0.5
- ทองแดง (Cu)		0.1	1.5
- สังกะสี (Zn)		5.0	1.5
- ความกระด้าง (Hardness) as CaCO ₃		300	500
- แคลเซียม (Ca)		75	200
- แมกนีเซียม (Mg)		50	150
- ซัลเฟต (SO ₄)		200	250
- คลอไรด์ (Cl)		250	600
- ฟลูออไรด์ (F)		0.7	1.0
- ไนเตรต (NO ₃) as NO ₃		45	45
3. คุณลักษณะทางด้านสารเป็นพิษ(mg/l)			
- ปรอท (Hg)		0.001	-
- ตะกั่ว (Pb)		0.05	-

รายการ	เกณฑ์ที่กำหนดสูงสุด (maximum acceptable concentration)	เกณฑ์ที่อนุโลมให้ สูงสุด (maximum allowable concentration)
- อาร์เซนิก (As)	0.05	-
- เซเลเนียม (Se)	0.01	-
- โครเมียม (Cr hexavalent)	0.05	-
- แคดเมียม (Cd)	0.01	-
4. คุณลักษณะทางจุลชีววิทยา		
- Standard plate count	500	-
- MPN	น้อยกว่า 2.2	-
- E.coli	ไม่มี	-

ภาคผนวก จ
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. หลักการทั่วไปของเทคนิคกราฟไฟต์เฟอร์เนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เทคนิคกราฟไฟต์เฟอร์เนซอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry) เป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่างๆ ได้อย่างกว้างขวางเป็นวิธีที่มีความแม่นยำและถูกต้องสูง โดยจะอาศัยคุณสมบัติการดูดกลืนคลื่นแสง ที่เกิดจากการที่สารละลายตัวอย่างถูกส่งลงไปในเตาเผาไฟฟ้า (Furnace) ซึ่งในการทำให้เกิดอะตอมอิสระมี 3 ขั้นตอน

ขั้นที่ 1 ทำให้สารละลายตัวอย่างแห้ง (drying stage) เป็นขั้นที่กำจัดน้ำออกจากสารละลายตัวอย่างที่อยู่ในเตา ใช้อุณหภูมิที่ 98°C

ขั้นที่ 2 เเผาเป็นขี้เถ้า (ashing stage) เป็นขั้นที่ให้ความร้อนสูงที่ 1200°C เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ออกจากตัวอย่าง

ขั้นที่ 3 ผลิตอะตอม (atomization stage) ขั้นนี้อุณหภูมิอยู่ที่ 2100°C เป็นขั้นการผลิตอะตอมอิสระภายในขอบเขตของพื้นที่ที่จำกัด

การทำงานของเตาไฟฟ้า จะมีการควบคุมอุณหภูมิของแต่ละขั้นโดยเครื่อง temperature programmer มีหลักการง่าย ๆ คือ เมื่อผ่าน voltage เข้าไปในเตา จะทำให้อุณหภูมิของเตาเผาไฟฟ้าสูงขึ้น อุณหภูมิจะเปลี่ยนไปตาม voltage ที่ใช้ ขณะที่เตาร้อนจัดจะต้องผ่านแก๊สเฉื่อย เช่น อาร์กอน (Ar) เข้าไปแผ่ปกคลุมเตาไว้ไม่ให้เกิดไฟลุกไหม้เนื่องจากการเกิด oxidation นอกจากนี้ อาร์กอน (Ar) ยังช่วยจำกัดไอของสารต่างๆ ที่แพร่ออกจากเตาไฟฟ้านั้น

2. หลักการทั่วไปของเทคนิคโวลแทมเมทรี

วิธีโวลแทมเมทรี เป็นวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า ที่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับศักย์ (current – voltage) โดยการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่วัสดุขนาดเล็ก ขณะที่ปราศจากการคนสารละลาย ทำให้สารละลายที่สนใจ ซึ่งประกอบด้วยสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือรีดักชัน เกิดปฏิกิริยาขึ้นที่ขั้วทำงานขนาดเล็กได้ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย และถูกนำมาพล็อตเทียบกับศักย์ที่ให้เข้าไป จะได้กราฟที่เรียกว่า โวลแทมโอมแกรม

ในประมาณปี ค.ศ. 1920 ก่อนที่วิธีโวลแทมเมทรี จะได้รับความนิยมกันอย่างกว้างขวาง นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Jaroslav Heyrovsky ได้ค้นพบวิธีการวิเคราะห์ที่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับศักย์ไฟฟ้าเช่นกัน แต่มีชื่อเรียกว่า โพลาลอกราฟี เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้ขั้วทำงานขนาดเล็กเป็นชนิด ขั้วปรอทหยด (dropping mercury electrode) เมื่อนำกระแสที่เพิ่มขึ้นมาพล็อตเทียบกับความต่างศักย์ที่ให้เข้าไปจะได้กราฟที่เรียกว่า โพลารแกรม

2.1 หลักการทั่วไปของสตริปปีงโวลแทมเมตรี

สตริปปีงโวลแทมเมตรี เป็นการวิเคราะห์สารที่สนใจ ซึ่งอยู่ในสารละลายเจือจาง โดยสารที่สนใจจะต้องสามารถเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิสเข้าไปเกาะที่ขั้วทำงานซึ่งอาจจะเป็น ขั้วของแข็งที่อยู่นิ่ง (Stationary electrode) , ขั้วของแข็งที่หมุนได้ (Rotating electrode) หรือขั้วโลหะปรอทที่แขวนอยู่ (Hanging mercury drop electrode , HMDE) ทำให้ความเข้มข้นรอบๆขั้วทำงานมีความเข้มข้นสูงขึ้นในขณะที่มีการคนสารละลายซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่า Concentration step หรือ preconcentration step แล้วทำให้สารนั้นกลับมามีอยู่ในสารละลายเดิมอีกครั้ง ในขั้นตอน Stripping step ขณะสารละลายนิ่งปราศจากการคนพร้อมกับวัดกระแสที่เกิดขึ้น ขณะที่เปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าแล้วบันทึกโวลแทมโมแกรม แบบ DPASV หรือ DCASV ในลักษณะพีค ซึ่ง peak current (i_p) ที่ได้นี้จะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารนั้นในสารละลายเดิมในขั้นตอน Stripping step นี้ ถ้าเปลี่ยนไปในทิศทางแอนอดิก (ศักย์เป็นบวกมากขึ้น) จะเรียกว่า แอนอดิก สตริปปีงโวลแทมเมตรี (Anodic Stripping Voltammetry , ASV) ถ้าเปลี่ยนไปในทิศทางแคโทดิก (ศักย์ไฟฟ้าเป็นลบมากขึ้น) จะเรียกว่า แคโทดิก สตริปปีงโวลแทมเมตรี (Cathodic Stripping Voltammetry , CSV)

เทคนิค ASV เป็นเทคนิคซึ่งมี sensitivity ที่สูงมาก เนื่องจากถ้าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมสามารถใช้วิเคราะห์สารละลายไอออนที่มีความเข้มข้นเจือจาง ตั้งแต่ 10^{-6} - 10^{-9} โมลาร์ได้และจะให้ค่า detection limit ที่ประมาณ 10^{-10} โมลาร์ ซึ่งเป็นช่วงความเข้มข้นที่ DC และพัลส์โพลารोगราฟีแบบธรรมดา ไม่สามารถกระทำได้และสามารถใช้ได้กับการวิเคราะห์ไอออนโลหะชนิดต่างๆ เช่น Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} ฯลฯ ถ้าขั้วทำงานเป็นขั้วปรอทหุดแบบแขวนอยู่กับที่ จะเรียกวินิจฉัยวิเคราะห์นี้ว่าแอนอดิกสตริปปีงโพลารोगราฟี (Anodic Stripping Polarography , ASP) แต่ถ้าใช้ขั้วที่เป็นของแข็งขนาดเล็ก เช่น ขั้วกลาสซีคาร์บอน (glassy carbon electrode) เป็นต้น จะเรียกว่า แอนอดิกสตริปปีงโวลแทมเมตรี (Anodic Stripping Voltammetry , ASV) ส่วนขั้นตอน ในการวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนเช่นเดียวกับเทคนิคสตริปปีง (Stripping techniques) ดังที่ได้กล่าวมา สำหรับค่า i_p ที่สามารถนำมาหาความเข้มข้นของสารละลายที่นำมาวิเคราะห์

ในการทดลองวัดค่าศักย์ไฟฟ้าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือรีดักชัน เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ทั้งทางคุณภาพ (qualitative analysis) และปริมาณวิเคราะห์ (quantitative analysis) ต้องขึ้นอยู่กับไอออนที่ไวต่อขั้วที่มีอยู่ในสารละลาย ซึ่งประเภทของขั้วที่ใช้ในการวิเคราะห์ สำหรับเทคนิคเคมีไฟฟ้าจะประกอบไปด้วย 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ชนิด 2 ขั้ว และชนิด 3 ขั้ว ขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลาย และวิธีการทดลอง

ชนิด 2 ขั้วประกอบด้วย

- 1) ขั้วชี้บอก (indicator electrode) หรือ ขั้วทำงาน (working electrode) เช่น

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วยเป็นบัฟเฟอร์ยังช่วยรักษา pH ของสารละลาย หรืออาจช่วยกำจัดสารสอดแทรกเมื่อเลือกใช้สารอิเล็กโทรไลต์ช่วยที่เกิดสารเชิงซ้อนกับสิ่งเจือปนได้ บางครั้งสารอิเล็กโทรไลต์ช่วยยังมีส่วนในการหาสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วย

5) ระบบกำจัดออกซิเจน

แก๊สออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลาย สามารถถูกรีดิวซ์เกิดปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนให้โพลารแกรม 2 คลื่น ที่ $E_{1/2} = -0.05$ โวลต์ และ -0.9 โวลต์ เมื่อเทียบกับ SCE และทำให้กระแสไหลในวงจรเพิ่มมากขึ้น และพบว่าถ้ามีแก๊สออกซิเจนละลายอยู่ในสารละลายประมาณ 0.004 โมลาร์ เป็นสาเหตุทำให้กระแสเพิ่มขึ้นประมาณ 5 ไมโครแอมแปร์ คลื่นทั้งสองนี้จะรบกวนโพลารแกรมของสารตัวอย่าง ดังนั้นจึงต้องกำจัดออกซิเจนในสารละลายออกโดยใช้แก๊สเฉื่อยผ่านลงในสารละลายตัวอย่างนานประมาณ 5 – 10 นาที เมื่อทำการวิเคราะห์ก็หยุดผ่านแก๊ส คุณสมบัติของแก๊สเฉื่อยที่ใช้ ต้องไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารตัวอย่าง และไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับขั้วไฟฟ้าหยดปรอท ตัวอย่างแก๊สเฉื่อยที่ใช้ได้แก่ แก๊สไนโตรเจน แก๊สไฮโดรเจน ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ใช้เฉพาะสารละลายที่เป็นกรด แก๊สที่นิยมใช้มากคือแก๊สไนโตรเจน