

การวิเคราะห์หาธาตุบางชนิดในน้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภคในจังหวัดชลบุรี
โดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน

ปริญญานิพนธ์

ของ

รัตนา สันเมือง

๑๓ ม.ค. ๒๕๒๔

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุรยวิท ๒๓ พระโขนง กรุงเทพฯ ๑๑ โทร ๓๙๒๑๕๗๕, ๓๙๑๕๐๕๘

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

กุมภาพันธ์ ๒๕๒๓

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การวิเคราะห์หาธาตุบางชนิดในน้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภคในจังหวัดชลบุรี
โดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน

บทคัดย่อ

ของ

รัตนา สนั่นเมือง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
18 กุมภาพันธ์ 2523

การวิเคราะห์หาธาตุบางชนิดในน้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภคในจังหวัดชลบุรี โดยวิธี
นิวตรอนแอคติเวชัน

จุดมุ่งหมายของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อหาปริมาณแมงกานีส และธาตุอื่น ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ
ที่ใช้อุปโภคและบริโภค โดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน ซึ่งเป็นวิธีที่มีความละเอียดสูง สามารถ
วิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อย ๆ ได้จากการวิเคราะห์น้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภคจำนวน 100
ตัวอย่าง พบว่าสามารถหาปริมาณแมงกานีสได้สูงสุดในน้ำบ่อ ร้านอาหารในตลาดเมืองพัทยา
อำเภอบางละมุง ประมาณ 12.4425 ± 0.66171 ppm. และปริมาณน้อยที่สุดพบในน้ำฝน
บริเวณโรงเรียนโคกท่าเจริญ อำเภอพานทอง ประมาณ 0.00925 ± 0.00317 ppm.

DETERMINATION OF SOME TRACE ELEMENTS IN FRESH WATER OF CHON BURI
BY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS

AN ABSTRACT

BY

RATANA SANUNMUANG

Present in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree
at Srinakharinwirot University
18 February 1980

Determination of Some Trace Elements in Fresh Water of Chon Buri
by Neutron Activation Analysis

One hundred samples of fresh water from several sources in Chon Buri were analysed quantitatively for Mn and qualitatively for Al As Ca Cl Cu Fe I Mg and Zn by Neutron Activation Analysis. The quantity of Mn was found to range between 12.4425 ± 0.66171 ppm. and 0.00925 ± 0.00317 ppm.

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิติได้พิจารณาปัญหานี้จนบัดนี้แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
ของมหาวิทยาลัยกรีนทรูไวโรนได้

Thom	จอห์นสัน	ประธาน
ว.เจ.เจ.	ว.เจ.เจ.	กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์เรื่องนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาในการให้คำแนะนำและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์จินตารมย์ ชวเจริญพันธ์ และผู้เชี่ยวชาญศาสตราจารย์สมเกียรติ กรีทอง จึงขอกราบขอพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอขอบคุณ คร.กรรติกา ศิริเสนา ผู้อำนวยการกองเคมี และขอขอบคุณ อาจารย์สิรินาถ ม่วงน้อยเจริญ คุณอนิรุท ศรีสุขสวัสดิ์ คุณสุรพงษ์ พิมพ์จันทร์ ข้าราชการ ในสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติทุกท่าน ตลอดจนเจ้าหน้าที่สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดชลบุรี สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด โรงพยาบาลชลบุรี และโรงพยาบาลสมเด็จพระศรีราช ที่ให้ความอนุเคราะห์แนะนำความรู้ต่าง ๆ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ยงยศ แยมพวง ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือในคานต่าง ๆ ทั้งยังเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยที่ตลอดมา และขอขอบคุณคณาจารย์แห่งภาควิชาเคมี สมาชิกชมรม คนตรีไทย มศว บางแสน ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการวิจัยครั้งนี้

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน

รักษา สนั่นเมือง

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	5
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	5
ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	6
คำจำกัดความและนิยามศัพท์เฉพาะ	6
2 ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า	8
ทฤษฎี	8
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า	15
3 เครื่องมือและวิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	26
กลุ่มตัวอย่าง	26
เครื่องมือ	26
หลักการทำงานของ Ge (Li) detector	26
ขั้นตอนในการวิจัย	30
วิธีดำเนินการทดลอง	30
4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการวิจัย	41
การวิเคราะห์ข้อมูล	41
ผลการวิจัย	41

บทที่	หน้า
5 บทย่อ สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	61
บทย่อ	61
สรุปผลการวิจัย	62
ข้อค้นพบที่เกิดจากการวิจัย	63
อภิปรายผลการวิจัย	64
ขอควรระวังและเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	๘๖

บัญชีการวาง

การวาง

หน้า

1	เปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสในผู้ป่วยที่เป็นโรคนี้กับผู้ป่วยที่เป็นทั้งโรคนี้ และโรค Manganese Poisoning	3
2	การวิเคราะห์ดินในที่ก่อนจากส่วนต่าง ๆ ของประเทศ	4
3	ปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ Multielement NAA	18
4	ความเข้มข้นของอะเซติก แอนติโมนี และสังกะสีในน้ำธรรมชาติจากนิวเม็กซิโกภาคเหนือ	21
5	ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ Destructive NAA	24
6	คุณสมบัติของธาตุที่ศึกษา	35
7	คุณสมบัติของไอโซโทปของธาตุที่ศึกษา	36
8	สารเคมีที่ทำให้น้ำไม่เหมาะสมจะใช้เป็นน้ำดื่มตามมาตรฐานน้ำดื่มซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก	37
9	ปริมาณแมงกานีสในน้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภค	41
10	ธาตุที่พบในน้ำแต่ละประเภท	44
11	จำนวนผู้ป่วยเป็นโรคของรวงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 - 2522	66

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 Ge (Li) detector ประกอบ กับ Multichannal pulse height analyzer	29
2 Calibration curve	46
3 สเปกตรัมของ Mn-56	47
4 สเปกตรัมของ I-128	47
5. สเปกตรัมของ Cl-38	48
6 สเปกตรัมของ Cu-64	49
7 สเปกตรัมของ Mg-27	50
8 สเปกตรัมของ Ca-49	51
9 สเปกตรัมของ Al-28	52
10 สเปกตรัมของ As-76	53
11 สเปกตรัมของ Fe-59	54
12 สเปกตรัมของ Zn-65	55
13 สเปกตรัมของธาตุในน้ำตัวอย่างที่มีครึ่งชีวิตสั้น	56
14 สเปกตรัมของธาตุที่มีครึ่งชีวิตปานกลางในน้ำตัวอย่างซึ่งยังไม่ผ่าน HAP	57
15 สเปกตรัมของธาตุที่มีครึ่งชีวิตปานกลางในน้ำตัวอย่างซึ่งผ่าน HAP	58
16 สเปกตรัมของธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวในน้ำตัวอย่าง	59
17 สเปกตรัมของธาตุ Mn - 56 ในน้ำตัวอย่างโดยวิธีตกตะกอน	60

บทนำ

ภูมิหลัง

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการดำรงชีวิต ทั้งด้านอุปโภคและบริโภคตามอาคาร บ้านเรือน โรงเรียน หรือโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมทำแป้งมัน ฯลฯ ล้วนใช้น้ำทั้งสิ้น น้ำที่ใช้ในปัจจุบันนี้ได้มาจากหลายแหล่ง เช่น แม่น้ำ อ่างเก็บน้ำ น้ำบาดาล น้ำฝน เป็นต้น บางแห่งจะผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ ให้เป็นน้ำประปา บางแห่งก็ไม่สามารถที่จะทำได้ ดังนั้นน้ำที่นำมาอุปโภคและบริโภคจึงเป็นน้ำธรรมชาติ ซึ่งบางครั้งจะไม่ค่อยสะอาดและปลอดภัยนักโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำดื่ม เพราะจากการที่สายน้ำผ่านสิ่งต่าง ๆ ก็จะมีการชะเอาสิ่งเหล่านั้นรวมทั้งแร่ธาตุบางชนิดปนมากับน้ำด้วย น้ำที่ได้จากที่ใดนั้นก็เช่นเดียวกัน แม่น้ำฝนก็อาจรวมเอาฝุ่นละอองของธาตุบางชนิดที่ฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศลงมากด้วย ดังนั้นเมื่อนำน้ำมาอุปโภคและบริโภค อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคบางอย่างได้ ถ้าแร่ธาตุที่ปนอยู่ในน้ำบางชนิดมีมากเกินไป

ธาตุบางอย่างเช่นเหล็กและแมงกานีสจะมีอยู่ในผิวน้ำ และน้ำบาดาลในรูปของสารละลาย และในรูปตะกอน (น้ำทิพย์ รัตพันธุ์ 2520 : 218 - 228) น้ำประปาที่มีเหล็กเกิน 0.3 ส่วนต่อล้านส่วน (ppm.) จะแลเห็นตะกอนสีน้ำตาลเข้มลอยอยู่ ถ้ามีเหล็กและแมงกานีสในปริมาณสูงกว่า 0.3 และ 0.1 ส่วนต่อล้านส่วนคาบค้ำกับนอกจากจะทำให้รสขมเล็กน้อยเป็นสาเหตุทำให้รสชาตของเครื่องดื่มด้อยลงแล้ว ยังทำให้เกิดรอยด่างสีเหลืองแดงหรือน้ำตาลเข้มบนผ้าขาวและเครื่องสุขภัณฑ์ด้วย ซึ่งองค์การอนามัยโลก (WHO. 1971) ได้กำหนดมาตรฐานน้ำดื่มที่มีปริมาณเหล็กไม่เกิน 0.3 ส่วนในล้านส่วน และปริมาณแมงกานีสไม่เกิน 0.1 ส่วนในล้านส่วน

คนเราสามารถหายใจเอาฝุ่น ผง หรือควันของแมงกานีสเข้าสู่ร่างกายได้ นอกเหนือจากการกิน (วิฑูร อัครโน 2520 : 245) อันตรายเกิดแก่ผู้ทำงานในโรงงานได้ เช่น โรงงานถ่านไฟฉาย โรงงานหลอมเหล็กกล้า เป็นต้น ส่วนอาการ

แสดงอาการผิดปกติทางจิตและประสาทไทดนั กว่งเหงาหาวนอนเวลากลางวัน กล้ามเนื้อ
แข็งเกร็ง มือเท้าสั่น อารมณ์เปลี่ยน ท่าเดินผิดปกติยกเท้าสูง ออกเดินแล้วยังหยุดไม่
ค่อยได้ อารมณ์คุมคุมรำไรราย เสีียงเปลี่ยน ฝุ่นผงแมงกานีสที่ฟุ้งกระจายในอากาศตกลงสู่
น้ำบนพื้นดินได้ ดังนั้นเมื่อนำมาบริโภคนจึงเป็นอันตรายได้

น้ำที่มีปริมาณแมงกานีสมากอาจทำให้เกิดโรค Manganese Poisoning ได้
(อนงค์ นิลอุบล 1970 : 6) จากการวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสในร่างกายมนุษย์
ซึ่งสำนักงานประมาตเพื่อสันติร่วมกับโรงพยาบาลศิริราช ได้ทำการศึกษา พบว่าแมงกานีส
ที่เข้าไปสะสมในร่างกาย จะทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย ปวดเมื่อย เบื่ออาหาร บางราย
ที่เป็นมากก็แสดงอาการของโรคแปลก ๆ มีอาการชักเกร็ง และเป็นลม

ปริมาณของแมงกานีสที่มีในร่างกายผู้ป่วยที่เป็นโรคนี้ว่ กับผู้ป่วยที่เป็นทั้งโรคนี้ว่
และโรค Manganese Poisoning มีดังตาราง

ตาราง 1 เปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสในผู้ป่วยที่เป็นโรคนี้ว กับผู้ป่วยที่เป็นทั้งโรคนี้ว
และโรค Manganese Poisoning

แมงกานีสจากของเหลวต่าง ๆ ในร่างกาย ผู้ป่วยที่เป็นโรคนี้ว				แมงกานีสจากของเหลวต่าง ๆ ในร่างกาย ผู้ป่วยที่เป็นโรคนี้ว และโรค Manganese Poisoning			
ตัวอย่าง ก่อนนี้ว	โลหิต mg/100ml	ปัสสาวะ mg/100ml	น้ำไขสันหลัง mg/100ml	ตัวอย่าง ก่อนนี้ว	โลหิต mg/100ml	ปัสสาวะ mg/100ml	น้ำไขสันหลัง mg/100ml
1	0.0022	0.0008	0.0012	1	0.0097	0.0017	0.0105
2	0.0076	0.0003	0.0005	2	0.0016	0.0260	0.0077
3	0.0055	0.0007	0.0008	3	0.0067	0.0048	0.0016
4	0.0034	0.007	0.0006	4	0.0059	0.0075	0.0095
5	0.0070	0.0007	0.0004	5	0.0022	0.0045	0.0045
6	0.0024	0.0006	0.0010	6	0.0051	0.0007	0.0019
7	0.0043	0.0001	0.0008	7	0.0040	0.0005	0.0040
8	0.0069	0.0006	0.0004	8	0.0053	0.0012	0.0015
9	0.0016	0.0007	0.0006	9	0.0057	0.0005	0.0084

ส่วนการวิจัยธาตุในดินโดยวิธีนำครอนแอคติเวชัน (อนงค์ นิลอุบล 1963 : 7)
พบว่าดินตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์นั้นมีธาตุต่าง ๆ ดังตาราง

ตาราง 2 การวิเคราะห์ดินในที่ดอนจากส่วนต่าง ๆ ของประเทศ (ค่าเฉลี่ยจากการตรวจสอบสองครั้ง)

ดินที่รวบรวมจาก ที่ต่าง ๆ	บริเวณจังหวัด	Non-destructive NAA			ใช้ NAA แล้วแยกด้วย วิธี Radiochemical	
		Al mg/g ของดิน	Mn mg/g ของดิน	Na mg/g ของดิน	Cu μg/g ของดิน	Zn μg/g ของดิน
บ้านแพน	เชียงใหม่	24.31	1.512	4.36	13.28	48.12
ชัยนาท	ชัยนาท	16.30	0.758	2.86	14.21	47.56
รังสิต	ปทุมธานี	19.38	0.247	3.00	19.70	28.84
สุพรรณบุรี	สุพรรณบุรี	58.06	0.485	4.77	17.26	61.03
ขอนแก่น	ขอนแก่น	6.79	0.066	0.26	1.63	2.66
บางเขน	พระนคร	79.01	0.345	3.72	16.43	33.63
พิษณุโลก	พิษณุโลก	10.04	1.483	0.59	13.45	51.01
ควนคุก	พัทลุง	64.31	1.370	0.44	0.93	4.90

แสดงให้เห็นว่าในดินมีธาตุกัลเลียมหลายชนิด และธาตุเหล่านี้อาจจะละลายหรือเป็นส่วนหนึ่งของน้ำใต้ดิน เช่น น้ำบาดาล น้ำบ่อ ที่นำมาใช้อุปโภคและบริโภคก็ได้ ซึ่งถ้าหากธาตุเหล่านี้มีมากพอในน้ำอาจมีผลต่อสุขภาพของคนได้

นอกจากนี้จากการศึกษาเกี่ยวกับโรคคอพอก (Goiter) ในรัสเซีย (Ryasanov. 1978 : 276) พบว่าพื้นที่บริเวณที่เกิดโรคคอพอกสูง คือบริเวณที่มีความเข้มข้นของแมงกานีสเป็นจำนวนมาก และมีความเข้มข้นของเหล็กต่ำ โดยการเกิดโรคคอพอกจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วน Sr/Mo , Mn/Cu และ Mn/Fe เพิ่มขึ้น โรคคอพอกนี้จะลดลงเมื่ออัตราส่วนของ Sr/I , Fe/I , Mo/I และ Cu/I เพิ่มขึ้น

เนื่องจากชลบุรีเป็นจังหวัดใหญ่มีโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท แหล่งทองเที่ยว สถานที่ศึกษา ฯลฯ เป็นจำนวนมาก ทำให้ชลบุรีมีการใช้น้ำสำหรับอุปโภคและบริโภคมาก ปกติน้ำประปามักจะไม่เพียงพอ ชุมชนจึงมีการใช้น้ำบอ น้ำบาดาลควย และการศึกษาโดยวิธีนิวตรอนแอคทีเวชัน (Neutron Activation Analysis : NAA) เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการหาธาตุโลหะปริมาณน้อยในน้ำตัวอย่าง (Lo and Yeh. 1977 : 1146 - 1148) โดยมีความเที่ยงตรงและความละเอียดสูง สามารถหาธาตุที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ ได้ (Salbu and Pappas. 1975 : 1011 - 1016) จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาธาตุบางชนิดในน้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภคของจังหวัดนี้ โดยวิธีนิวตรอนแอคทีเวชันอะนาไลซิส

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อวิเคราะห์หาธาตุ อลูมิเนียม อะลูมิเนียม แคลเซียม คอปเปอร์ เหล็ก ไอโอดีน แมงกานีส สังกะสี ทองแดง แมกนีเซียม ในน้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภค
2. เพื่อวิเคราะห์หาและเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสในน้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภคแต่ละประเภท
3. หาความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งน้ำใช้กับผู้ป่วยที่มารับการรักษาที่โรงพยาบาล จังหวัดชลบุรี

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. เมื่อทราบว่าธาตุใดบางในน้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภค จะเป็นประโยชน์ต่อชุมชนในการปรับปรุงระบบน้ำที่ไว้ให้ใช้ขึ้น โดยความร่วมมือจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการแพทย์โดยเฉพาะสมมุติฐานของการเกิดโรค Manganese Poisoning
3. เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมหลักบางประเภทของจังหวัดชลบุรี เช่น การผลิตแป้งมันสำปะหลัง การทำสัปรดกระป๋อง การทำน้ำตาลทราย ฯลฯ ทำให้ผู้ประกอบการ

ทราบถึงสาเหตุที่ต้องปรับปรุงคุณภาพของน้ำให้ดีขึ้น จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการฟอกสีลงได้

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1. ศึกษาทางด้านการคุณภาพวิเคราะห์สำหรับธาตุต่อไปนี้ อลูมิเนียม อะซิติก แคลเซียม คลอรีน เหล็ก ไอโอดีน แมงกานีส สังกะสี ทองแดง แมกนีเซียม ในน้ำที่ใช้อุปโภค-บริโภค ในจังหวัดชลบุรีเท่านั้น
2. ศึกษาทางด้านการปริมาณวิเคราะห์เฉพาะแมงกานีสเท่านั้น
3. การศึกษาทางด้านการคุณภาพวิเคราะห์ใช้วิธี Non-destructive NAA.
ด้านการปริมาณวิเคราะห์ใช้วิธี Destructive NAA.
4. ศึกษาโดยการเลือกตัวอย่าง 100 ตัวอย่างจากแหล่งน้ำต่าง ๆ ที่มีผู้อยู่บริโภคและบริโภคเป็นจำนวนมาก เช่น โรงเรียน วิทยาลัย มหาวิทยาลัย ตลาด ฯลฯ รวมทั้งแหล่งผลิตค้าย น้ำตัวอย่างที่ใช้ มี
 - 4.1 น้ำฝน
 - 4.2 น้ำบอ
 - 4.3 น้ำบาดาล
 - 4.4 น้ำประปา

คำจำกัดความและนิยามศัพท์เฉพาะ

1. การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอกติเวชัน (Neutron Activation Analysis; NAA) หมายถึง การยิง (bombard) อนุภาคนิวตรอนเข้าไปในนิวเคลียสของธาตุ และเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุนั้น (nuclear reaction) อะตอมของธาตุนั้นจะเปลี่ยนเป็นไอโซโทปของธาตุเดิมหรือธาตุใหม่ โดยจะกลายเป็นไอโซโทปชนิดมีรังสี (radio isotope) เมื่อวัดความแรงของรังสีเทียบกับสารมาตรฐานก็จะทราบปริมาณของธาตุในสารเดิม

2. Destructive NAA. หมายถึง วิธีวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในสารตัวอย่างโดย นำสารมาตรฐานและสารตัวอย่างอาบรังสีนิวตรอนแล้วอาศัยวิธีทางเคมี (chemical separation) แยกเอาสารกัมมันตภาพรังสีที่ต้องการหรือไม่ต้องการออกมา แล้วแกว่าแบบไหนจะสะดวกกว่ากัน แล้วนำเอาธาตุกัมมันตรังสีที่ต้องการซึ่งไม่มีสาร รังสีชนิดอื่นเจือปนไปวัดหาก็มีมันตภาพรังสี

3. Non - destructive NAA. หมายถึง วิธีวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง โดยนำสารมาตรฐานและสารตัวอย่างอาบรังสีนิวตรอน แล้วนำมาวัดรังสีโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการทางเคมี

4. สารมาตรฐาน หมายถึง สารซึ่งนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบกับมันตภาพรังสีของสารนั้นกับกัมมันตภาพรังสีของสารตัวอย่าง

5. Ge (Li) - detector หมายถึง หัววัดกัมมันตภาพรังสีซึ่งใช้ผลึกเยอรมันเนียม และแอคติเวตด้วยลิเทียม (Lithium, Li) เป็นหัววัดรังสีที่ใช้ประกอบกับ multichannel pulse height analyzer (PHA)

6. ไอโซโทปกัมมันตรังสี หมายถึง ไอโซโทปที่ไม่อยู่ตัวของธาตุ จะสลายตัวแผ่รังสี อัลฟา เบตา หรือแกมมาออกมาจากนิวเคลียส

7. ppm (part per million) เป็นหน่วยเปรียบเทียบปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง ปริมาณธาตุหนึ่ง ppm หมายถึง ธาตุนั้นหนึ่งในล้านในสารตัวอย่าง ล้านส่วน

8. Calibration หมายถึง การหาปริมาณหรือชนิดของธาตุที่ต้องการโดยนำไปเปรียบเทียบกับธาตุมาตรฐาน ซึ่งทราบทั้งชนิดและปริมาณที่แน่นอนแล้ว ในทางนิวเคลียร์ จะใช้การเปรียบเทียบปริมาณของรังสี และระดับพลังงานที่เกิดขึ้นจากธาตุเหล่านั้น

9. Half - life หมายถึง ระยะเวลาซึ่งธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวให้กัมมันตรังสีหรืออนุภาคอื่น ๆ ออกมาจนเหลือปริมาณรังสีเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณรังสีเดิม หรือเหลือจำนวนอะตอมเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนอะตอมเดิม

ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า

ทฤษฎีการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน

หลักการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันก็คือ (กฤษฎา กรุกทอง 2517 : 13) เมื่อไอโซโทปเสถียร (stable isotope) ถูกแอคติเวต (activate) ด้วยอนุภาคนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู จะมีการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์เกิดขึ้นในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุ เรียกว่า Nuclear Transformation (Lyon and William. 1964 : 1 - 3) ไอโซโทปเสถียรจะแปรสภาพเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioactive isotope) ของธาตุเดิมหรือไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุใหม่ก็ได้ ไอโซโทปกัมมันตรังสีแต่ละชนิดจะแผ่รังสี (radiate) ให้อิทธิพลภาพรังสี (radioactivity) ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัวออกมา (Willard. 1965 : 784) และจากการศึกษากัมมันตภาพรังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะวิเคราะห์หาอะตอมของธาตุเดิม (parent isotope) ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างเริ่มต้นได้ทั้งคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์

สำหรับการเกิดเรติโอไอโซโทปของธาตุใดนั้นขึ้นอยู่กับสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

1. จำนวนธาตุเดิมในตัวอย่างที่นำไปอาบรังสีรวมทั้งปริมาณที่มีอยู่ในธรรมชาติ (natural isotopic abundance)
2. คุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของธาตุนั้นและความสามารถในการจับนิวตรอน
3. ระยะเวลาที่อาบรังสี
4. นิวตรอนฟลักซ์ (neutron flux)

อัตราการผลิตไอโซโทปกัมมันตรังสี (Rate of radioisotope production)

ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูมีเทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutron) เคลื่อนที่กระจายอยู่ในลักษณะ random motion เมื่อนำสารตัวอย่างเข้าอาบรังสีเทอร์มัลนิวตรอนจะเกิดไอโซโทปกัมมันตรังสี ซึ่งไอโซโทปนี้จะสลายตัวให้รังสีแกมมา (γ) และอัตราการผลิตไอโซโทป

กัมมันตรังสีจะเป็นไปตามสมการนี้

$$\frac{dN^*}{dt} = P - \lambda N^* \quad \dots (1)$$

เมื่อ P แทน อัตราการเกิดไอโซโทปกัมมันตรังสี
 $\frac{dN^*}{dt}$ แทน อัตราการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี
 λ แทน ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant)
 N^* แทน จำนวนอะตอมของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ผลิตได้

เมื่อนำสารตัวอย่างไปอาบรังสีนิวตรอน โอกาสที่นิวตรอนหนึ่งอนุภาคจะชนและเกิดปฏิกิริยากับนิวเคลียสของธาตุในสารตัวอย่าง ซึ่งหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาต่อหนึ่งนิวตรอน} &= \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดของนิวเคลียสในเป้า}}{\text{พื้นที่ทั้งหมดของเป้า}} \\ &= \frac{N\sigma}{a} \end{aligned}$$

เมื่อ N แทน จำนวนนิวเคลียสทั้งหมดในเป้า
 σ แทน cross section สำหรับ thermal neutron activation
 เป็น barn ($1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$)

ถ้า ϕ เป็นจำนวนนิวตรอนที่ชนเป้าในแนวตั้งฉากต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อวินาที
 จำนวนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต่อวินาที $= \frac{N\sigma}{a} \times \phi a$
 ฉะนั้น อัตราการผลิตไอโซโทปกัมมันตรังสี $= N\sigma\phi \quad \dots (2)$

$$\text{และ } N = \frac{N_0 W K}{A t \cdot w t.} \quad \dots (3)$$

เมื่อ N_0 แทน Avogadro's number
 W แทน น้ำหนักของธาตุเป็นกรัม

K แทน fractional isotopic abundance
 At.wt. แทน น้ำหนักอะตอมของธาตุนั้น ๆ

ถ้าหากนำสารตัวอย่างไปอาบรังสีเป็นเวลา t_1 โดยค่า P ในสมการ (1) ไม่เปลี่ยนแปลง เราสามารถใช้ integrating - factor method หาค่า $N_{t_1}^*$ จากสมการ (1) ได้ดังนี้

$$\frac{dN_{t_1}^*}{dt} = P - \lambda N_{t_1}^* \quad \dots (4)$$

คูณสมการ (4) ด้วย $e^{\lambda t_1}$ จะได้

$$\begin{aligned} e^{\lambda t_1} \cdot \frac{dN_{t_1}^*}{dt} &= P e^{\lambda t_1} - \lambda N_{t_1}^* e^{\lambda t_1} \\ e^{\lambda t_1} \frac{dN_{t_1}^*}{dt} + \lambda N_{t_1}^* e^{\lambda t_1} &= P e^{\lambda t_1} \\ \frac{d}{dt} (N_{t_1}^* e^{\lambda t_1}) &= P e^{\lambda t_1} \\ \int d(N_{t_1}^* e^{\lambda t_1}) &= \int P e^{\lambda t_1} dt \\ N_{t_1}^* e^{\lambda t_1} &= P e^{\lambda t_1} + C \\ N_{t_1}^* &= \frac{P}{\lambda} + C e^{-\lambda t_1} \quad \dots (5) \end{aligned}$$

เมื่อ $t_1 = 0$ จะได้ $C = \frac{-P}{\lambda}$

แทนค่า C ในสมการ (5) ได้

$$N_{t_1}^* = \frac{P}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_1}) \quad \dots (6)$$

$$N_{t_1}^* = P(1 - e^{-\lambda t_1}) \quad \dots (7)$$

ในทางปฏิบัติเราต้องการทราบปริมาณกัมมันตรังสีที่ $N_{t_1}^*$ ปลอยออกมาต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งให้ค่าเท่ากับ A_{t_1}

และเมื่อแทนสมการ (2) กับ (3) ในสมการ (7) จะได้

$$A_{t_1} = \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ WK} \phi (1 - e^{-\lambda t_1})}{A_{t.wt.}} \quad \dots (8)$$

เมื่อ $T_{\frac{1}{2}}$ แทน ครึ่งอายุของธาตุ

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}}$$

จากสมการ (8) เราสามารถหาค่า activity ตามต้องการได้ เมื่อ $1 - e^{-\lambda t_1}$ เป็น saturation factor

และถ้า $t_1 \gg T_{\frac{1}{2}}$ แล้วค่า saturation factor จะเข้าใกล้ 1

ฉะนั้น เวลาที่อัตราการผลิตและอัตราการสลายตัวของอะตอมกัมมันตรังสีมีค่าเท่ากัน (saturation time) ค่า activity ของไอโซโทปกัมมันตรังสีจะมีค่าสูงสุดตามสมการ

$$A = N\phi \quad \dots (9)$$

เมื่อถึงอนาคตเป็นเวลา T อะตอมกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจะสลายตัวเป็น factor ของ $e^{-\lambda T}$ ฉะนั้นเขียนสมการใหม่เป็น

$$A_{t_1} = \frac{K\phi (1 - e^{-\lambda t_1}) (e^{-\lambda T}) \times 6.02 \times 10^{23}}{M}$$

M เป็นน้ำหนักของอะตอมของธาตุนั้น

ดังนั้น ปริมาณของธาตุสามารถคำนวณได้จาก

$$W = \frac{MA_{t_1} e^{\lambda T}}{\phi K_6 (1 - e^{-\lambda t_1}) 6.02 \times 10^{23}}$$

ในการปฏิบัติจริง ๆ ได้นำเอาสารมาตรฐานที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว เข้ามาบรรจุใส่พร้อมสารตัวอย่าง ดังนั้น สูตรที่ใช้จึงเป็น

$$\frac{\text{น้ำหนักของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักของธาตุในสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของธาตุในสารมาตรฐาน}}$$

ฉะนั้นเราจึงสามารถคำนวณหาปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างได้

อัตราการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี (Rate of radioisotope decay)

เมื่อธาตุกัมมันตรังสีเกิดขึ้นจะเริ่มมีการสลายตัวด้วยทันที รัทเธอร์ฟอร์ด และ ซอดดี้ (ศักราช ทรพพันธ์ 2511 : 935) ได้ศึกษาปรากฏการณ์การสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสีพบว่า จำนวนการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสีต่อหน่วยเวลาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอะตอมที่มีอยู่ในขณะนั้น ดังนั้น อัตราการสลายตัวจึงลดลงอยู่ตลอดเวลา เพราะปริมาณของนิวเคลียสกัมมันตรังสีลดลงอยู่เรื่อย ๆ อันเนื่องมาจากการสลายตัว จนกระทั่งกลายเป็นไอโซโทปชนิดเสถียร (stable isotope) रेकीไอโซโทปแต่ละชนิดใช้เวลาในการสลายตัวไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติประจำตัวของธาตุไอโซโทปที่เรียกว่าครึ่งชีวิต (half - life) การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีในทาง kinetic ถือว่าเป็น first - order process

ถ้าจำนวนอะตอม ΔN สลายตัวในระยะเวลา Δt และ N เป็นอะตอมที่ยังเหลืออยู่ จะได้ว่า

$$-\frac{\Delta N}{\Delta t} \propto N$$

$$\text{ฉะนั้น } \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N \quad \text{เมื่อ } \lambda \text{ เป็น decay constant}$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \text{Activity ของไอโซโทปกัมมันตรังสี}$$

จากวิธีทางแคลคูลัส เมื่อ $t \rightarrow 0$ เราจะได้

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \dots (1)$$

ถ้าจำนวนของอะตอมที่ขณะกึ่งต้นทศสอง = N_0

เราอาจหาค่า N คือ จำนวนของอะตอมที่เหลือเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ t ได้จากการ integrate สมการ (1) นั่นคือ

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = - \int_{t_0}^t dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad \dots (2)$$

$$\text{หรือ } N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots (3)$$

จากสมการ (2) เปลี่ยนจาก log ฐาน e เป็น log ฐาน 10 จะได้

$$2.303 \log \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad \dots (4)$$

$$\log N = \log N_0 \frac{-\lambda t}{2.303} \quad \dots (5)$$

จากสมการ (4) ถ้า t เท่ากับ ครึ่งอายุเป็น $T_{\frac{1}{2}}$
 N เท่ากับ $\frac{N_0}{2}$ เราจะได้

$$2.303 \log \frac{1}{2} = -\lambda t_{\frac{1}{2}}$$

$$\text{หรือ } t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda} \quad \dots (6)$$

สมการ (5) เป็นสมการเส้นตรง เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log N$ (ส่วนมากจะใช้แทนเป็นปริมาณกัมมันตภาพรังสี) และเวลา t โดยให้ $\log N$ เป็นแกน Y t เป็นแกน X จะได้กราฟเส้นตรงโดยมี $\log N_0$ เป็น intercept บนแกน Y และมี

$$\text{slope} = -\frac{\lambda}{2.303}$$

เมื่อเราต้องการหา $T_{1/2}$ ของไอโซโทปต่าง ๆ หาได้โดยการเขียนกราฟกึ่งกลางและหาช่วงเวลาที่ลดปริมาณกัมมันตรังสีลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณที่มีอยู่ ที่เวลาใดก็ได้ สำหรับการติดตามครึ่งอายุของธาตุที่มีครึ่งอายุนาน ๆ ถ้าหาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง activity กับ zero time ต้องใช้เวลามาก ควรใช้การวัด activity ในสองช่วงเวลาที่ห่างกันพอสมควร แล้วคำนวณหาจากสูตร

$$T_{1/2} = \frac{0.693 t_e}{2.303 \log \frac{A_{t_1}}{A_{t_2}}} \quad \dots (7)$$

เมื่อ $T_{1/2}$ แทน half - life ของ radio - isotope นั้น
 0.693 แทน ค่าคงที่
 t_e แทน เวลาระหว่างช่วงการวัดกัมมันตภาพรังสี
 A_{t_1} แทน activity ของการวัดเมื่อ zero time = t_1
 A_{t_2} แทน activity ของการวัดเมื่อ zero time = t_2

สมการ (3) สามารถเขียนในรูป activity ของอะตอมกัมมันตรังสีได้ดังนี้

$$A = A_0 e^{\frac{-0.693 t}{T_{1/2}}} \quad \dots (8)$$

เมื่อเรานำสารตัวอย่างออกจากการฉายรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแล้ว ในบางกรณีเราอาจต้องปล่อยให้อะตอมกัมมันตรังสีสลายตัวชั่วระยะหนึ่ง เพื่อขจัดการแผ่รังสีกลับ (over - shadow) ของอะตอมกัมมันตรังสีที่เราไม่ต้องการ ดังนั้น ถ้าฉายรังสีเป็นเวลา t_1 และทิ้งไว้ให้สลายตัวเป็นเวลา t_2 ก่อนทำการวัดรังสีค่า activity ที่ได้คือ

$$\text{Activity} = \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ WK} \cancel{60} (1 - e^{\frac{-0.693 t_1}{T_{1/2}}}) e^{\frac{-0.693 t_2}{T_{1/2}}}}{\text{At. wt.}}$$

จากการวัดค่า activity เมื่อแทนค่า $K, \phi, T_{1/2}, \text{At. wt.}, t_1, t_2$ แล้วก็จะสามารถหาปริมาณของธาตุ (W) ได้

ระยะเวลาในการฉายรังสี (Irradiation exposure time)

ระยะเวลาที่ใช้ในการฉายรังสี (Corliss. 1963 : 6) ขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

1. ภาควิชา (sensitivity) ที่เราต้องการ
2. Nuclear cross section ของธาตุที่นำเข้ามาฉายรังสี
3. ครึ่งอายุ (half life) ของไอโซโทปกับมันตรังสีที่เกิดขึ้น
4. Neutron flux ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู
5. Nuclear properties คุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์
6. คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารตัวอย่าง
7. ปริมาณของสารตัวอย่างที่ใช้

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในต่างประเทศ

บลานชาร์ด เลดดิคอตต์ และมอลล์เลอร์ (Blanchard, Leddicotte and Moeller. 1959 : 511 - 516) ชาวอเมริกันได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับธาตุที่มีในน้ำดื่มของเมืองชิคาโก สหรัฐอเมริกา โดยใช้การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน ผลจากการทดลองปรากฏว่า พบธาตุหลายชนิดในน้ำดื่ม เช่น As Ba Br Cl I K Ru Mg Mn Na Al Zn และ Sr ในปริมาณต่าง ๆ ธาตุเหล่านี้บางธาตุก็มีประโยชน์ บางธาตุก็มีโทษต่อร่างกายมนุษย์ในการศึกษานี้ใช้วิธี Destructive NAA. เขาได้แบ่งสารตัวอย่างที่จะศึกษาออกเป็นหกกลุ่มในแต่ละกลุ่มนำไปฉายรังสี แล้วนำไปวิเคราะห์กับมันตรังสีด้วยเครื่องวัด Gamma scintillation spectrometry นอกจากนี้เขายังได้วิเคราะห์หาปริมาณของธาตุเหล่านี้คือ As Ba Br I Mg และ Zn แล้วนำผลการวิเคราะห์นี้ไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์แบบอื่น ๆ พบว่า การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันให้ผลดีในการค้นคว้ากว่าวิธีอื่น

ต่อมา เบต เวลวาร์ต และสโตคลี่ (Bate, Wellwart and Stokely. 1962 : 64) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสจำนวนน้อยในน้ำ โดยวิธี Destructive NAA. ซึ่งเกี่ยวข้องกับ Mn^{55} (n, γ) Mn^{56} ในการศึกษารังสีนี้ เขาได้ใช้ตัวอย่างน้ำโดยการแปรปรมาตรตั้งแต่ 10 ถึง 100 มิลลิลิตร และนำสารตัวอย่างแต่ละอันมาอบรังสีเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วจึงใช้การแยกโดยวิธีทางเคมี แยกสารโพแทสเซียม จากนั้นนำไปวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่องวัดรังสีแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ (Gamma spectrometer) ปรากฏว่า พบธาตุแมงกานีสในน้ำตัวอย่างประมาณ 10^{-3} ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ($\mu g/ml$) นอกจากนี้เขาได้วิเคราะห์หาแมงกานีสในน้ำประปา (tap water) และในน้ำกลั่นโดยวิธีเดียวกัน ปรากฏว่าในน้ำประปาพบ 2 ตัวอย่าง มีน้อยกว่า 10^{-3} ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และอีก 2 ตัวอย่างมี 10^{-3} ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนน้ำกลั่น 8 ตัวอย่าง พบปริมาณแมงกานีสเฉลี่ยเท่ากับ 12.63×10^{-3} ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีนี้ใช้วิเคราะห์หาแมงกานีสในน้ำตัวอย่างได้ดี ฉะนั้น จึงนิยมใช้วิเคราะห์หาธาตุต่าง ๆ ในน้ำ

ซูรินเดอร์ และคนอื่น ๆ (Surinder and others. 1971 : 2414 - 2423) ทำการวิเคราะห์หาธาตุในน้ำตัวอย่างในสหรัฐอเมริกา ณ มลรัฐวอชิงตัน โดยวิธี Non Destructive NAA. โดยเก็บตัวอย่างน้ำและทำการทดลองที่มหาวิทยาลัยวอชิงตัน โดยใช้ TRIGA research reactor ที่กำลัง 1 เมกะวัตต์ (Megawatt) และใช้เทอร์มอลนิวตรอนฟลักซ์ระหว่าง 5×10^{12} - 1.6×10^{13} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที พวกสารที่มีครึ่งอายุสั้น (short half-life) ใช้เวลาอบรังสี 5 นาที สารที่มีครึ่งอายุปานกลาง (medium half-life) ใช้เวลาอบรังสี 1 ชั่วโมง และสัคโคโซเดียม (Sodium) ออกโดยใช้ไฮเดรตเตทราแอนติโมนีเพนตะออกไซด์ (Hydrated antimony pentaoxide; HAP) ส่วนพวกที่มีครึ่งอายุยาว (long half-life) ใช้เวลาอบรังสี 8 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ เพื่อให้ธาตุที่มีครึ่งอายุสั้น ๆ สลายตัว (decay) ทำการวัดปริมาณรังสีด้วย Ge (Li) Gamma-ray spectrometer system ผลปรากฏว่า พบธาตุที่มีปริมาณน้อยประมาณ 21 ธาตุ ทั้งนี้ (ปริมาณเป็น ppb.)

K (1,000 - 100,000)	Na (1,000 - 100,000)	Fe (90 - 1,080)
Mn (11 - 1,000)	Cu (1.7 - 10)	Cr (1.6 - 12)
Co (0.2 - 1.0)	Sc (0.03 - 0.05)	Zn (12 - 125)
Sr (70 - 120)	Br (21 - 30)	Sb (0.31 - 1.2)
U (1.6 - 18)	Au (0.08 - 0.16)	Ba (16 - 150)
Cs (0 - 0.1)	Hg (1.1 - 5.3)	Cl (20 - 300)
Al (0.1 - 1.0)	Th (0 - 0.1)	Rb (4.15 - 35.0)

ส่วน ฟุจินากา และคนอื่น ๆ (Fuginaga and others. 1973 : 301 - 311) ทำการวิเคราะห์หาไอออนของโลหะที่มีปริมาณน้อย (trace metal ions) V, Al, Cu, Mo, Zn และ U ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติโดยวิธี Destructive NAA. แล้วใช้การแยกโดยวิธีทางเคมี หลังจากอาบรังสีนาน 10 นาที วัดปริมาณรังสีด้วย NaI-detector ผลปรากฏดังนี้ (ปริมาณเป็นไมโครกรัมต่อลิตร)

น้ำใต้ดิน	; Al (3.14)	V (1.26)	Cu (2120)
(Underground water)	Zn (28.6)	Mo (1.9)	U (0.22)
น้ำในทะเลสาบ	; Al (6.90)	V (0.12)	Cu (2.86)
(Lake water)	Zn (23.8)	Mo (ไม่พบ)	U (0.18)
น้ำทะเล	; Al (8.26)	V (1.08)	Cu (1.12)
(Sea water)	Zn (42.2)	Mo (11.5)	U (3.50)

ซอลบู และ พัพเพาส์ (Salbu and Pappas. 1975 : 1011 - 1016) ได้ทำการวิเคราะห์น้ำจืดด้วยวิธี Multielement NAA โดยใช้ Ge (Li) Gamma Spectrometry เขานำน้ำจำนวน 11 ตัวอย่างจากแม่น้ำนอร์วีเจียน (Norwegian river) ตัวอย่างละ 5 มิลลิลิตร เขอาบรังสีที่นิวตรอนความเข้ม 1.5×10^{13} และ 1.4×10^{13} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ในเวลาต่างกัน โดยใช้ JEEP - II D₂O moderated reactor (Kjeller, Norway) วัดรังสีด้วย Ge (Li) detector พร้อมกับ Nord-1, 12K Computer ผลปรากฏว่า พบธาตุต่าง ๆ ในน้ำจืด ตัวอย่างดังนี้

ตาราง 3 แสดงปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Multielement NAA

ธาตุ (element)	Detection Limit $m_D, \mu\text{g/l}^b$	Determination Limit $M_Q, \mu\text{g/l}^b$	Determination Limit $n_Q, \mu\text{g/l}^c$
Ag ^a	0.009	0.06	0.08
Al	0.2	0.8	1.1
As	0.06	0.22	0.16
Au	0.0004	0.0016	0.002
Ba	1.8	8.9	5.7
Br	0.05	0.17	0.19
Ca	4.6	32.2	36.8
Cd	0.18	0.62	0.50
Ce	0.01	0.04	0.06
Cl	0.7	3.1	4.6
Co	0.007	0.05	0.04
Cr	0.12	0.52	0.40
Cs ^a	0.006	0.033	0.028
Cu	1.2	4.4	4.1
Dy	0.0003	0.017	0.010
Eu ^a	0.001	0.005	0.003
Fe	7.8	51.1	38.6
Ga	0.18	0.58	0.50
Hf	0.006	0.03	0.04
Hg	0.01	0.08	0.06
I	0.05	0.20	0.18

ตาราง 3 (ต่อ)

ธาตุ (element)	Detection Limit $m_D, \mu\text{g/l}^b$	Determination Limit $m_Q, \mu\text{g/l}^b$	Determination Limit $n_Q, \mu\text{g/l}^c$
K	22	56	6
La	0.007	0.03	0.05
Mg	14.6	45.3	50.9
Mn	0.07	0.48	0.60
Mo	0.2	0.6	0.4
Na	0.2	0.8	1.1
Rb	0.2	1.6	0.9
Sb	0.02	0.18	0.14
Sc	0.0008	0.005	0.004
Se	0.13	0.58	0.34
Sm	0.007	0.022	0.017
Sr	1.4	6.8	8.9
Tl	2.0	7.1	6.1
Th	0.002	0.012	0.020
U	0.11	0.36	0.23
V	0.01	0.04	0.05
W	0.03	0.15'	0.12
Yb	0.05	0.16	0.10
Zn	0.6	4.6	3.1

a = Decay time of six months.

b = Based on definitions given by Currie

c = Based on the GAMANL program criterion

นอกจากนี้ Nakasa และ Ohno (Nakasa and Ohno. 1976 : 74 - 75) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่มีอยู่น้อยในน้ำธรรมชาติโดยวิธี Non - destructive NAA. โดยนำตัวอย่างเข้าอบรังสีในเวลาต่างกัน ที่นิวตรอนความเข้ม 1×10^{17} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที แล้ววัดปริมาณรังสีด้วย $3" \times 3"$ NaI (Tl) scintillation counter ต่อกับ 400 Channel pulse height analyzer ผลปรากฏว่าพบธาตุต่าง ๆ ดังนี้ (ปริมาณไมโครกรัมต่อลิตร)

Na (500 - 1,500)	Fe (0.3 - 0.9)	Sc (0.005 - 0.02)
Zn (20 - 50)	Sr (100 - 1,400)	Sb (0.1 - 1.2)
Cs (0.1 - 1.4)		

ต่อมา เออร์เนสต์ และ เจมส์ (Ernest and Jame. 1976 : 2220 - 2222) ได้ทำการศึกษาปริมาณอะเซนิค หังส เทน และแอนติโมนีในน้ำธรรมชาติ โดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชัน และ Inorganic ion exchange โดยนำตัวอย่างจากนิวเม็กซิโกภาคเหนือ (Northern New Mexico) เข้าอบรังสีโดยใช้ Los Alamos Omega West Reactor ที่นิวตรอนความเข้ม 1×10^{13} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที นาน 5 นาที แล้วทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง จึงวัดรังสีด้วย Ge (Li) γ - ray detector ต่อกับ 4096 - Channel pulse - height analyzer ผลการศึกษาพบธาตุดังนี้

ตาราง 4 ความเข้มข้นของอะเซนิค แอนติโมนี และสังกะสี ในน้ำธรรมชาติจากนิคมแม่กลอง
 ภาคเหนือ (ปริมาณเป็น ppb.)

ตัวอย่างที่	อะเซนิค		แอนติโมนี	สังกะสี
	วิเคราะห์วิธี นิโครนและปิเวชั่น	วิเคราะห์วิธี อะตอมมิคแอบซอร์ปชัน		
1	196 $\pm$ 8	165 $\pm$ 7	ND ^a	52 $\pm$ 3
2	165 $\pm$ 8	155 $\pm$ 7	ND	52 $\pm$ 3
3	177 $\pm$ 9	162 $\pm$ 7	ND	52 $\pm$ 3
4	170 $\pm$ 8	164 $\pm$ 7	ND	50 $\pm$ 4
5	167 $\pm$ 5	163 $\pm$ 7	ND	50 $\pm$ 2
6	63 $\pm$ 4	63 $\pm$ 3	0.06 $\pm$ 0.01	21 $\pm$ 1
7	38 $\pm$ 3	36 $\pm$ 1	0.05 $\pm$ 0.01	13 $\pm$ 1
8	37 $\pm$ 3	36 $\pm$ 1	0.04 $\pm$ 0.01	13 $\pm$ 1
9	38 $\pm$ 3	37 $\pm$ 2	0.04 $\pm$ 0.01	14 $\pm$ 1
10	61 $\pm$ 4	62 $\pm$ 3	0.05 $\pm$ 0.01	20 $\pm$ 1
11	3.3 $\pm$ 0.5	3.1 $\pm$ 0.5	0.03	1.2 $\pm$ 0.1
12	3.0 $\pm$ 0.5	3.3 $\pm$ 0.5	0.03	0.9 $\pm$ 0.05
13	3.6 $\pm$ 0.5	4.1 $\pm$ 0.5	0.03	1.4 $\pm$ 0.1
14	3.1 $\pm$ 0.5	3.2 $\pm$ 0.5	0.03	1.2 $\pm$ 0.1
15	4.1 $\pm$ 0.5	4.0 $\pm$ 0.5	0.03	1.6 $\pm$ 0.2
16	192 $\pm$ 19	180 $\pm$ 15	ND	54 $\pm$ 3
17	22 $\pm$ 2	25 $\pm$ 2	0.22 $\pm$ 0.05	1.5 $\pm$ 0.2
18	91 $\pm$ 9	91 $\pm$ 3	ND	26 $\pm$ 2
19	95 $\pm$ 9	89 $\pm$ 3	ND	29 $\pm$ 2

ตาราง 4 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	อะเซนิค		แอนติโมนี	ทั้งสแกน
	วิเคราะห์ด้วยวิธี นิวตรอนแอคติเวชัน	วิเคราะห์ด้วยวิธี อะตอมมิกแอบซอร์ปชัน		
20	91 $\pm$ 9	93 $\pm$ 3	0.21 $\pm$ 0.05	27 $\pm$ 1
21	52 $\pm$ 3	51 $\pm$ 3	0.06 $\pm$ 0.01	16 $\pm$ 1
22	39 $\pm$ 2	45 $\pm$ 8	0.06 $\pm$ 0.02	0.65 $\pm$ 0.03
23	9.8 $\pm$ 0.9	11 $\pm$ 3	0.50 $\pm$ 0.07	1.6 $\pm$ 0.2
24	20.0 $\pm$ 2	22 $\pm$ 2	0.94 $\pm$ 0.08	3.4 $\pm$ 0.2
25	2.6 $\pm$ 0.3	2.4 $\pm$ 0.4	1.1 $\pm$ 0.1	0.37 $\pm$ 0.03
26	4.2 $\pm$ 0.4	4.5 $\pm$ 0.4	0.19 $\pm$ 0.05	0.42 $\pm$ 0.03
27	0.60 $\pm$ 0.06	0.55 $\pm$ 0.05	0.48 $\pm$ 0.05	0.23 $\pm$ 0.02

a = Not detected due to As interference

โล เวล และ เยห์ (Lo, Wel and Yeh. 1977 : 1146) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณปรอท ทอง และทองแดงในน้ำทะเลที่ฟรักทอนเซนเทรต (preconcentration) ด้วยตะกั่วไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Lead diethyldithio carbamate, Pb (DDC)₂) ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน โดยนำน้ำทะเลตัวอย่างจากบริเวณช่องแคบไต้หวัน บริเวณ 24° 51' เหนือ และ 120° 54' ตะวันออก มาฟรักทอนเซนเทรตด้วยตะกั่วไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (เพื่อป้องกันการถูกรบกวนด้วยรังสีของโซเดียม โพรมีท โปแตสเซียม และฟอสฟอรัส แล้วเขย่าบับรังสีพร้อมก๊าซสารมาตรฐานในหลอด (pneumatic tube) ของ Tsing Hua Open Poll Reactor ที่นิวตรอนความเข้ม 2×10^{12} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที แล้ววัดรังสีด้วย Ge (Li) detector คอยับ 4096 - Channel

pulse height analyzer วิเคราะห์หาค่าย Hewlett Packard 2116 C Computer
Programme ผลปรากฏว่าพบธาตุทั้งสามดังนี้

ปรอท 0.102 ± 0.012 ppb.

ทอง 0.072 ± 0.010 ppb.

ทองแดง 2.34 ± 0.09 ppb.

ในประเทศไทย

วิมล ตันตนาตระกูล (วิมล ตันตนาตระกูล 2513 : 76) ได้ทำการศึกษาการ
เปรียบเทียบวิธีทางเคมีและวิธีทางนิวเคลียร์ ในการวิเคราะห์ธาตุบางชนิดในน้ำประปา เพื่อ
การสอนวิชาวิทยาศาสตร์ โดยหาปริมาณธาตุในน้ำประปาจากแหล่งน้ำตัวอย่างสองแห่ง
ผลปรากฏว่า วิธีทางนิวเคลียร์แบบ Destructive NAA ได้ปริมาณธาตุทองแดงและ
แมงกานีสสูงกว่าวิธีทางเคมีแบบแอบซอร์ปชันเมตรี (Absorptionmetry) อย่างเด่นชัด และ
ปริมาณที่ได้นี้ (ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Destructive NAA) มีดังนี้

ตาราง 5 แสดงปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Destructive NAA

ธาตุ	ปริมาณธาตุ (กรัมต่อมิลลิลิตร)
โซเดียม (S_1)	7.633236 ± 0.126688
โซเดียม (S_2)	6.665538 ± 0.143830
อลูมิเนียม (S_1)	0.262596 ± 0.003186
อลูมิเนียม (S_2)	0.238083 ± 0.002735
ทองแดง (S_1)	0.004049 ± 0.000087
ทองแดง (S_2)	0.005324 ± 0.000066
แมงกานีส (S_1)	0.002232 ± 0.000013
แมงกานีส (S_2)	0.001125 ± 0.000009

หมายเหตุ S_1 = ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำที่ทำการประปาสามเสน กรุงเทพฯ

S_2 = ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำบ้านเลขที่ 499/1 ถนนสุขุมวิท

อำเภอสุริยวงษ์ กรุงเทพฯ

ในปี พ.ศ. 2515 จินคาร์มย์ คิสวัณน์ (จินคาร์มย์ คิสวัณน์ 2515 : 37 - 51) ได้ทำการหาธาตุปริมาณน้อยในน้ำประปาที่ผ่านกระบวนการกรองแล้ว มิลลิลิตร เข้าอาบรังสีนิวตรอนในท่อนิวมาติก เป็นเวลานาน 30 นาที แล้ววัดรังสีด้วยเครื่องวัดรังสี (Multichannel analyzer 128 channel) นับจำนวนช่อง (channel) ของยอดที่ได้อาบน้ำแล้วติดตามครึ่งอายุ โดยศึกษาเฉพาะธาตุแมงกานีสและโซเดียม เท่านั้น ผลการศึกษาปรากฏว่าพบปริมาณเฉลี่ยของแมงกานีสในน้ำที่ผ่านกระบวนการกรอง 0.01292 ± 0.000198 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และประมาณของโซเดียมเฉลี่ยในน้ำที่ผ่านกระบวนการกรองจริง 3.1110 ± 0.0567 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร.

วิบูล ลีนนุพันธ์ (Vibul Leenanupan. 1975 : 50) ได้ทำการศึกษาการกระจายของธาตุปริมาณน้อยตามลำแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างโดยวิธีนิวตรอนแอคทีวชัน โดย

ทำการวิเคราะห์แบบนิวตรอนกอลแอคติเวชัน (Instrumental NAA) หาปริมาณของธาตุ Al Sr Cu Mn Cr Sb Se Br Fe และ Ca จากน้ำ 40 ตัวอย่าง เขาได้แบ่งธาตุเหล่านี้ ออกเป็นสามกลุ่มตามระยะเวลาของการอาบรังสี กลุ่มที่ใช้ระยะเวลาในการอาบรังสีนานต้องเพิ่มความเข้มข้นโดยการลดปริมาตร ผลปรากฏว่า พบปริมาณธาตุทั้งกล่าวพอสมควร (ปริมาณเป็น ppb.)

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการในการศึกษาคนควา

กลุ่มตัวอย่าง

การสุ่มครั้งนี้โดยเลือกเก็บตัวอย่างน้ำ จำนวน 100 ตัวอย่าง ในเขตจังหวัด
ชลบุรี รวมเจ็ดอำเภอ คือ

1. อำเภอเมือง
2. อำเภอศรีราชา
3. อำเภอบางละมุง
4. อำเภอสัตหีบ
5. อำเภอบ้านบึง
6. อำเภอพนัสนิคม
7. อำเภอพานทอง

โดยแบ่งเป็นสี่ประเภท ๆ ละ 25 ตัวอย่าง คือ

1. นาประปา
2. นาฝน
3. นาบ่อ
4. นาบาดาล

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย - 1 (ปปรว - 1 M.1)
2. Ge (Li) detector ร่วมกับ 1024 - multichannel spectrometer

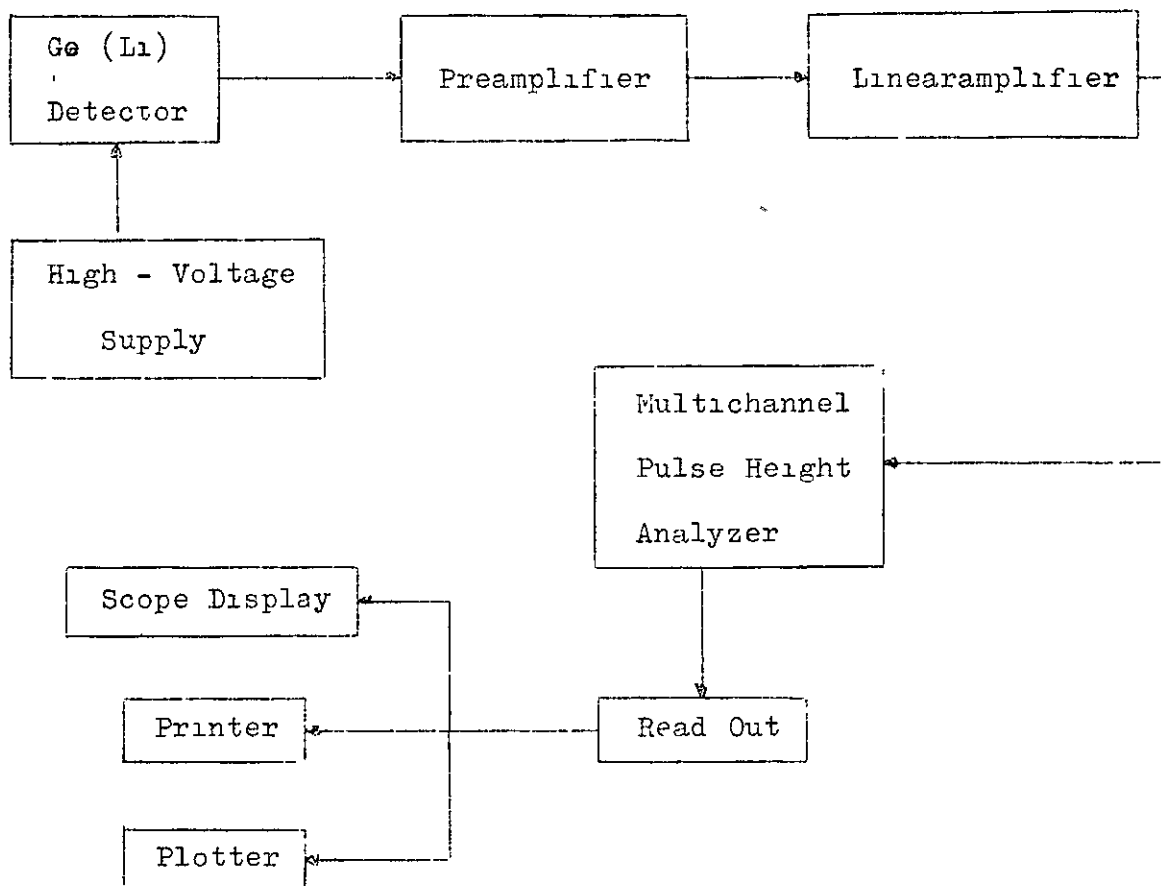
หลักการทำงานของ Ge (Li) detector มีดังนี้

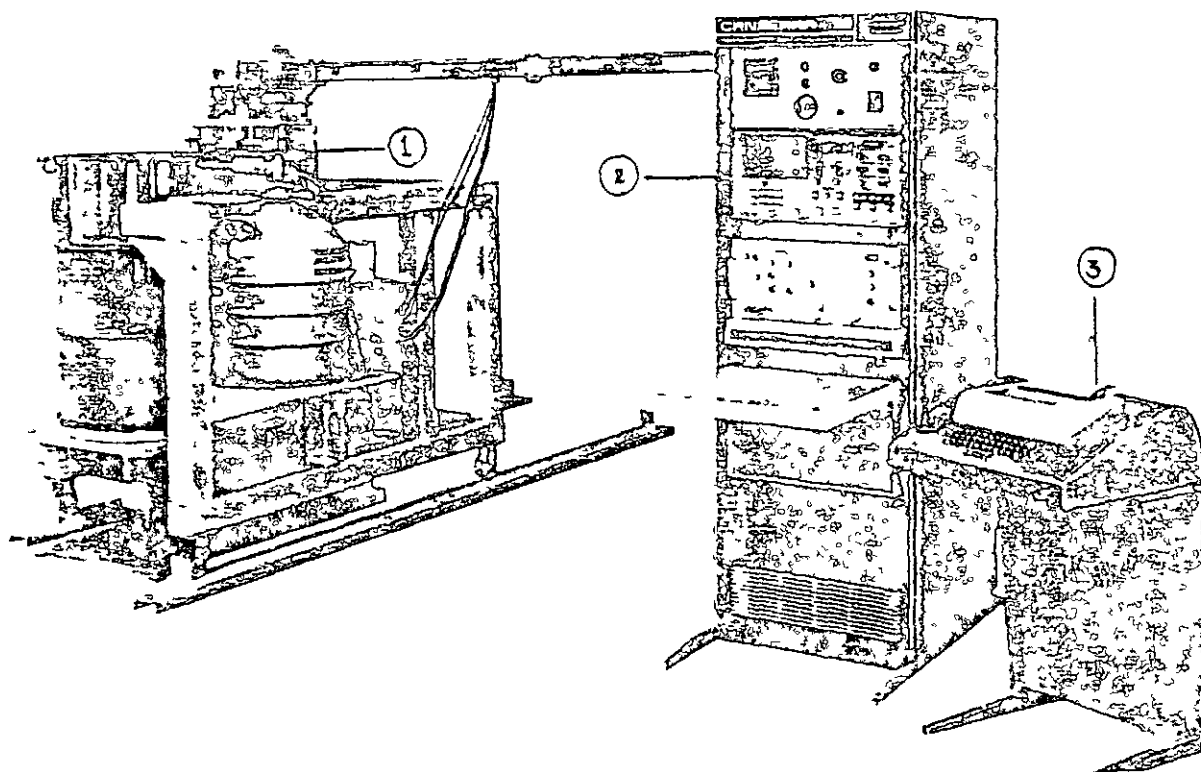
เมื่อรังสีแกมมาตกกระทบบนตัวรังสีที่ห่อด้วยลิเทียมแล้วแอคติเวตด้วยเยอรมัน

เนียม (Li - activated Ge) จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไอออไนเซชัน (Ionization) ซึ่งทำให้ผลิตไฟฟ้าได้คือ เมื่ออิเล็กตรอนกลับสู่ระดับเดิม จะปลดปล่อยพลังงานแสงออกมา แสงนี้จะถูกสะท้อนไปตกบนโฟโตแคโทด (photocathode) จะเกิดผลของโฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric effect) ให้โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) ออกมา ซึ่งเมื่อผ่านไดโนด (dynode) เกิดเป็นขบวนการ multiplication ขึ้นในหลอดโฟโตมัลติไฟเออร์ (photomultiplier tube) ส่วนโฟโตอิเล็กตรอนจะทวีขึ้น เกิดเป็น voltage pulse ซึ่งจะถูกขยายใน preamplifier และ linear amplifier สำหรับ bias amplifier จะปรับรูปร่างของสัญญาณให้เหมาะสม แล้วสัญญาณถูกส่งเข้า Analog - to - Digital Converter (ADC)

วงจร ADC จะเปลี่ยน electric pulse ให้เป็นจำนวนนับ (count) แล้วสัญญาณจะถูกส่งไปยังทีก์ใน Pulse Height Analyzer (PHA) ซึ่งเป็นสมองอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์จะพิมพ์จำนวนนับออกมาจาก PHA โดยอัตโนมัติ

โครงสร้างของ Ge (Li) - detector รวมกับ 1024 multichannel - spectrometer





ภาพประกอบ 1. แสดง Ge(Li) detector ประกอบกับ Multichannel pulse height analyzer .

1. Ge(Li) detector
2. Multichannel pulse height analyzer
3. Teletype printer

ขั้นตอนในการวิจัย

1. นำน้ำตัวอย่างบรรจุใส่ขวดโพลีเอทิลีน (polyethylene) ตามปริมาณที่ต้องการ

2. นำน้ำตัวอย่างเข้าอานรังสีโดยแยกกลุ่มตามครึ่งอายุ

3. วิเคราะห์น้ำตัวอย่างทางคาน

3.1 คุณภาพวิเคราะห์ที่ใช้วิธี Non - destructive NAA ด้วยหัววัด Ge(Li) Detector

3.2 ปริมาณวิเคราะห์ (เฉพาะแมงกานีส) ใช้วิธี Destructive NAA ด้วยหัววัด Ge (Li) detector

4. หาข้อมูลเกี่ยวกับผู้ป่วยที่เป็นโรคท้องร่วง และไม่สามารถวินิจฉัยแน่นอนลงไปไควว่า เนื่องจากสาเหตุอะไร แต่เชื่อว่ามีสาเหตุสำคัญจากการติดเชื้อหรือได้รับสารแปลกปลอมเข้าไป พร้อมกับอาหารหรือน้ำดื่ม โดยขอสถิติจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดชลบุรี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 - 2522

5. วิเคราะห์ข้อมูลและแปลผลข้อมูล

6. เสนอผลการวิเคราะห์และแปลผลข้อมูลโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างธาตุที่พบในน้ำกับผู้ป่วยจากสถิติที่ได้รับจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดชลบุรี

วิธีดำเนินการทดลอง

การเตรียมสารมาตรฐาน

สารมาตรฐานของธาตุต่าง ๆ ที่ศึกษานั้นเตรียมได้โดยให้ความเข้มข้นของธาตุเท่ากับปริมาณที่จุลโมลิมีได้ในน้ำดื่มขององค์กรอนามัยโลกทุกสารมาตรฐาน ยกเว้นสารมาตรฐานของอลูมิเนียม และไอโอดีนเท่านั้น ที่เตรียมโดยให้ความเข้มข้นของธาตุเป็นปริมาณ detection limit ของเครื่องวัดคือ 0.005 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การเก็บรักษาน้ำตัวอย่าง

นำตัวอย่างแต่ละแห่งประมาณ 1 ลิตร นำไปแยกเก็บไว้โดยบรรจุขวดโพลีเอทิลีน (ซึ่งก่อนใช้จะแช่กรดไฮโดรคลอริก 10 เปอร์เซ็นต์ไว้สองวัน โดยแช่ถึงคอขวด แล้วเทออกจากนั้นจึงแช่กรดไนตริก 10 เปอร์เซ็นต์อีกสองวัน จึงเทออกล้างด้วยน้ำและน้ำกลั่นให้สะอาด) แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้น 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) ต่อน้ำ 1 ลิตร เพื่อป้องกันการสูญเสียธาตุที่มีปริมาณน้อยโดยการดูดซับที่ผนังและอนุภาคอื่น ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างนั้น เมื่อใช้จึงควรคว่ำปิเปตต์อีกที

การกำจัดโซเดียม (Sodium) ออกจากน้ำตัวอย่าง

น้ำมักมีโซเดียมปนอยู่ ซึ่งเมื่อนำไปอาบรังสีแล้วสเปกตรัม (spectrum) ของโซเดียมจะไปบังสเปกตรัมของธาตุอื่น ๆ ที่ต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดออกจากสารตัวอย่างเสียก่อน (Girardi and Sabbioni. 1968 : 169 - 178)

1. การเตรียมไฮเดรตเตทแอนติโมนีเพนตะออกไซด์

1.1 ไฮเดรตเตทแอนติโมนีเพนตะออกไซด์ เตรียมได้โดยค่อย ๆ เติมแอนติโมนีเพนตะคลอไรด์ (Antimony pentachloride, SbCl_5) ลงในน้ำกลั่นพร้อม ๆ กับคนอย่างรวดเร็วจนเกิดตะกอนสีขาว ซึ่งได้จากการไฮโดรไลซ์ (hydrolysed) ของแอนติโมนีเพนตะคลอไรด์

1.2 กรองตะกอนโดยการดูดแว่น้ำออก (water suction)

1.3 ล้างตะกอนที่เหลือด้วยน้ำกลั่น 2 - 3 ครั้ง

1.4 เอาตะกอนใส่ภาชนะ (muffle) แล้วทำให้แห้งที่ 270°C . นาน 5 ชั่วโมง จนได้ตะกอนเป็นผง จากนั้นจึงนำไปผ่านตะแกรงร่อน

2. การกำจัดโซเดียมออกโดยใช้ไฮเดรตเตทแอนติโมนีเพนตะออกไซด์

2.1 แอคติเวตสต็อกโซลูชัน (Activated stock solution) ของโซเดียมสามารถเตรียมได้โดยนำสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) (ซึ่งมีโซเดียม 100 ไมโครกรัมใน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร) เข้าอาบรังสีนาน 10 นาที

2.2 สตอกโซลูชัน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 โมลาร์ แล้วเทไฮดรอตเทคแอนติโมนีเพนตะออกไซด์ลงไป 200 มิลลิกรัม คนให้เข้ากันนานประมาณ 1 นาที

2.3 กรองไฮดรอตเทคแอนติโมนีเพนตะออกไซด์ออก แล้วล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8 โมลาร์ 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.4 นำน้ำที่กรองแล้วเข้าวัดกัมมันตภาพรังสีของโซเดียม

2.5 ทดลองเช่นเดียวกันแต่เปลี่ยนเวลาโดยคนให้เข้ากันนาน 2, 3, 4, 6, 8 และ 10 นาที แล้ววัดกัมมันตภาพรังสี จะพบว่าไม่ปรากฏกัมมันตภาพรังสีของโซเดียมในสารละลายที่กรองได้เลย ซึ่งไฮดรอตเทคแอนติโมนีเพนตะออกไซด์ 200 มิลลิกรัม สามารถคอกโซเดียมออกได้อย่างน้อย 100 ไมโครกรัม จากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8 โมลาร์ โดยการคนนาน 1 นาที

การวิเคราะห์แบบ Non - destructive NAA

เพื่อหาธาตุชนิดต่าง ๆ ในน้ำตัวอย่าง มีวิธีการดังนี้

1. การทำ calibration curve
2. เตรียมสารตัวอย่างเพื่ออาบรังสี
3. นำสารตัวอย่างเข้าอาบรังสี
4. การวัดรังสีด้วย Ge (Li) detector
5. การศึกษาธาตุแต่ละตัว
6. การเปรียบเทียบ photopeak energy และครึ่งอายุของธาตุ

วิเคราะห์จากตารางนิวไคลด์ (nuclides)

ส่วนระยะเวลาในการอาบรังสีของธาตุแต่ละชนิดนั้น ได้จากการศึกษาครึ่งอายุของธาตุแต่ละชนิด แล้วนำมาจัดเป็นหมวดหมู่ระยะเวลาที่อาบรังสีได้ดังนี้

กลุ่ม 1 Short Irradiation

1. นำน้ำแต่ละตัวอย่างบรรจุในขวดโพลีเอทิลีน ขนาด 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดปากขวดด้วยความร้อน (heat - sealing)

2. นำขวดดังกล่าวเข้าอบรังสีนิวตรอน (โดยใส่ใน rabbit ในห้องนิวมาติก ที่มีนิวตรอนฟลักซ์ 3×10^{10} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที เป็นเวลานาน 5 นาที

3. หลังจากอบรังสีแล้วทิ้งไว้นาน 2 นาที จากนั้นจึงวัดกัมมันตภาพรังสีเวลานับ 60 นาที

ธาตุในกลุ่มนี้ได้แก่ Al Mg Cl Ca I

กลุ่ม 2 Intermediate Irradiation

1. นำตัวอย่างบรรจุลงในขวดโพลิเอทิลีน ขนาด 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วปิดปากขวดด้วยความร้อน

2. นำขวดเข้าอบรังสีในห้องนิวมาติกนาน 30 นาที

3. หลังจากนั้นทิ้งไว้นาน 3 - 4 ชั่วโมงเพื่อให้ธาตุที่มีครึ่งอายุสั้น ๆ สลายตัวไปก่อน

4. นำสารตัวอย่างใส่ conical flask แล้วเติมน้ำให้มีปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วจึงเขย่ากับไฮดรอกไซด์โมโนเพนตะออกไซด์ 200 มิลลิกรัม

5. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง แล้วล้างไฮดรอกไซด์แอนติโมนีเพนตะออกไซด์ออกด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นประมาณ 2-3 หยด

6. รวมสารละลายที่กรองกับสารละลายที่ถูกล้างแล้วทำให้เป็น 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร บรรจุลงในขวดโพลิเอทิลีน

7. นำไปวัดกัมมันตภาพรังสี เวลานับ 300 วินาที

8. นำข้อมูลจากการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีมาเขียนกราฟระหว่างจำนวนช่องกับจำนวนนับต่อวินาที ตามแนวแกน X และ Y ตามลำดับ

9. เปรียบเทียบ photopeak energy และหาครึ่งอายุของธาตุที่ศึกษาจากตารางนิวไคลด์

ธาตุในกลุ่มนี้ได้แก่ As Cu

กลุ่ม 5 Long Irradiation

กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่เกิดรังสีได้ยากเนื่องจากวิธีอายุยวท ดังนั้น ในช่วงเวลาในการอบรังสีจึงมีระยะเวลานาน

1. นำน้ำตัวอย่าง 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร มาทำให้แห้งด้วยการระเหยบน infrared lamp
2. นำตะกอนที่ได้ไปละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1 - 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. แ้วบรรจุลงในขวดโพลีเอทิลีนโดยล้างภาชนะที่มีตะกอนด้วยน้ำกลั่นให้สารละลายที่ได้ทั้งหมดมีปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. ปิดปากขวดด้วยความร้อน แลวนำไปใส่ในกระป๋องอลูมิเนียม
5. จากนั้นนำเข้าอบรังสีนาน 18 ชั่วโมง ในห้อง Wet I.P. ที่มีนิวตรอนฟลักซ์ 6×10^{11} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
6. แล้วยังไว้นาน 20 วัน จึงเอาออกมาจากกระป๋องอลูมิเนียม
7. นำไปวิเคราะห์โดยวัดกัมมันตภาพรังสีเวลานับ 1,000 วินาที ในแต่ละตัวอย่าง

ธาตุในกลุ่มนี้ไ้แก่ Zn และ Fe

การศึกษาคุณสมบัติของธาตุแต่ละตัว

การศึกษาคุณสมบัติของธาตุแต่ละตัวที่ให้รังสีแกมมามีดังนี้

ตาราง 6 แสดงคุณสมบัติของธาตุที่ศึกษา

ธาตุ คุณสมบัติ	ไอโซโทป ในธรรมชาติ	isotopic abundance (%)	cross section (barn)	ไอโซโทป ที่เกิดขึ้น	ครึ่งชีวิต
Mn	Mn-55	100	13.3±0.2	Mn-56	2.57 hr.
Al	Al-27	100	0.240	Al-28	2.30 m.
Cl	Cl-37	24.47	0.433	Cl-38	37.30 m.
I	I-127	100	6.200	I-128	25.00 m.
Mg	Mg-26	11.01	0.038	Mg-27	9.46 m.
As	As-75	100	4.300	As-76	26.50 hr.
Ca	Ca-48	0.19	1.100	Ca-49	8.72 m.
Zn	Zn-64	48.89	0.780	Zn-65	245 d.
Cu	Cu-63	69.17	4.500	Cu-64	12.90 hr.
Fe	Fe-58	0.31	1.150	Fe-59	45 d.

ตาราง 7 แสดงคุณสมบัติของไอโซโทปของธาตุที่ศึกษา

ไอโซโทป	พลังงาน (MeV.)	intensity (%)	ไอโซโทป	พลังงาน (MeV.)	intensity (%)
Mn-56	0.8466	99.00	I-128	0.4428	17.50
	1.8112	30.00		0.0274	2.60
	2.1126	15.50		0.5266	1.68
	2.5230	1.50		0.0272	1.30
	2.6575	0.70		0.0310	0.70
Al-28	1.7788	100.00	As-76	0.9695	0.43
	1.2678	pair peak		1.1399	0.014
	0.7568	pair peak		0.5591	44.60
Cl-38	2.1675	44.00		0.6571	6.40
	1.6424	32.80		1.2162	3.70
	1.6565	pair peak		1.2130	1.80
	1.1455	pair peak		0.5544	1.60
Ca-49	3.0844	91.70	Mg-27	0.8437	72.00
	4.0719	7.00		1.0144	28.00
	1.4089	0.62		0.1708	0.70
	2.3723	0.45	Cu-64	0.5110	37.00
Fe-59	1.0992	56.00		0.0075	14.00
	1.2915	44.00	Zn-65	1.3457	0.48
	0.1922	2.80		1.1155	49.80
	1.4818	0.056		0.5110	3.10

ตาราง 8 สารเคมีที่ทำให้น้ำไม่เหมาะสมจะใช้เป็นน้ำดื่มตามมาตรฐานน้ำดื่มที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก

สารเคมี	ปริมาณซึ่งเป็นมาตรฐานที่ยอมรับให้มีได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณที่อนุญาตให้มีได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
แมงกานีส	0.1	0.5
อะลูมิเนียม *	0.05	0.05
เหล็ก	0.3	1.0
ทองแดง	1.0	1.5
สังกะสี	5.0	15.0
แคลเซียม	75.0	200.0
แมกนีเซียม	200.0	250.0
คลอไรด์	200.0	400.0
ไอโอดีน **	—	—
อะลูมิเนียม **	—	—

* จัดอยู่ในสารที่เป็นพิษสำหรับน้ำบริโภค

** ไม่มีการกำหนดไว้

การวิเคราะห์แบบ Destructive NAA

เพื่อหาปริมาณแมงกานีสในน้ำตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน
สารละลายมาตรฐานแมงกานีส (standard manganese solution) ได้
จากแมงกานีสคลอไรด์ (Manganese chloride, $MnCl_2$) ทำให้เป็นสารละลาย
ด้วยน้ำให้มีความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

1. นำสารละลายมาตรฐานแมงกานีส และสารตัวอย่างแยกบรรจุลงในขวด
โพลีเอทิลีน ขวดละประมาณ 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดปากขวดด้วยความร้อน

2. นำขวดคังกลาวใส่รวมกันใน rabbit แล้วนำ rabbit นี้ไปอาบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ประมาณ 30 นาที

3. แลวนำขวดเหล่านี้ไปแยกตะกอนของสารโคบอลต์ด้วยวิธีการทางเคมี ดังนี้

3.1 แยกสารตัวอย่าง อย่างละ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเติมสารละลายลงในบีกเกอร์ ซึ่งได้แก่

3.1.1 สารละลายตัวพาแมงกานีส (carrier manganese solution) (ชนิด 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) จำนวน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.1.2 กรดไนตริกเข้มข้น จำนวน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2 แสงสารละลายมาตรฐานแมงกานีส จำนวน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วเติม

3.2.1 สารละลายตัวพาแมงกานีส (ชนิด 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) จำนวน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2.2 กรดไนตริกเข้มข้น จำนวน 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3 นำบีกเกอร์ในข้อ 3.1 และ 3.2 ไปตั้งไฟให้ระเหยจนใกล้จะแห้งแล้วเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide, H_2O_2) ประมาณ 1 หยด

3.4 เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตั้งไฟจนใกล้จะแห้งแล้วเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ประมาณ 1 หยด ปฏิบัติตามข้อเดียวกันจนครบสามครั้ง

3.5 เติมโปแตสเซียมคลอเรต (Potassium chlorate, $KClO_3$) ประมาณ 1 กรัม แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นอีกประมาณ 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตั้งไฟจนเห็นตะกอนสีขาวตาลจึงนำไปกรองโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 (ซึ่งร่อนน้ำหนักรวมทั้งภาชนะที่รองรับกระดาษกรอง) จะได้ตะกอนสีขาวตาลของแมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese dioxide, MnO_2)

3.6 นำตะกอนแมงกานีสไดออกไซด์เหล่านี้ไปล้างด้วยน้ำร้อน จำนวน 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ประมาณสามครั้ง แล้วล้างด้วยแอลกอฮอล์ (alcohol) 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ประมาณสามครั้ง จากนั้นจึงล้างด้วยอีเทอร์ (ether) 2 - 3 หยด สุดท้ายจะได้ตะกอนแมงกานีส (MnO_2) ของสารมาตรฐานแมงกานีสของสารตัวอย่าง

3.7 นำตะกอนแอมกานีสจากข้อ 3.6 ไปวัดกับมันตาฟรังสี โดยใช้

Multi-channel analyzer

4. กำหนดหาปริมาณของธาตุแอมกานีสในน้ำที่ใช้อุปโภค-บริโภค โดยนำตะกอนของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างไปชั่ง แล้วนำไปคำนวณโดยเปรียบเทียบ chemical yield 100%

การคำนวณหาปริมาณแอมกานีส

แอมกานีส 54.94 กรัมมาจากแอมกานีสไดออกไซด์ = 86.94 กรัม
 สารตัวพาแอมกานีส X กรัมมาจากแอมกานีสไดออกไซด์ = $\frac{86.94}{54.94} \times X$ กรัม
 = a กรัม

จากค่าทางทฤษฎี (theoretical value)

แอมกานีส a กรัมมี yield = 100 เปอร์เซ็นต์

ตะกอนแอมกานีสที่ชั่งได้ y กรัมมี yield = $\frac{100 \times y}{a}$ เปอร์เซ็นต์

∴ ตะกอนแอมกานีสที่ชั่งได้มี yield = b เปอร์เซ็นต์

counts/minutes ที่ b เปอร์เซ็นต์วัดได้ = Z cpm.

counts/minutes ที่ 100 เปอร์เซ็นต์วัดได้ = $\frac{100 \times Z}{b}$ cpm.

= c cpm.

จากนั้นนำ counts/minutes c cpm. (ที่ 100 เปอร์เซ็นต์) ของสาร

มาตรฐานและสารตัวอย่างแอมกานีสไปคำนวณจากสมการ จะได้ปริมาณของแอมกานีสในน้ำที่ใช้อุปโภค-บริโภค ดังนี้

สมการ

$$\frac{\text{น้ำหนักของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักของธาตุในสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{ปริมาณกับมันตาฟรังสีในสารตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณกับมันตาฟรังสีในสารมาตรฐาน}}$$

สูตรทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูล

$$\text{การบวก } (A \pm a) + (B \pm b) = (A + B) \pm \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\text{การลบ } (A \pm a) - (B \pm b) = (A - B) \pm \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\text{การคูณ } (A \pm a) \times (B \pm b) = (AB) \pm (AB) \sqrt{a^2/A^2 + b^2/B^2}$$

$$\text{การหาร } (A \pm a) \div (B \pm b) = (A/B) \pm (A/B) \sqrt{a^2/A^2 + b^2/B^2}$$

เมื่อ A, B = วรรณนับ

a, b = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแยกประเภทดังนี้

1. วิธี Destructive NAA ใช้วิเคราะห์หาปริมาณแองกานีส
2. วิธี Non - destructive NAA ใช้วิเคราะห์หาธาตุ อลูมิเนียม แคลเซียม คลอรีน ไอโอดีน อะลูมิเนียม ทองแดง เหล็ก แมกนีเซียม และสังกะสี

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแองกานีสปรากฏผลดังนี้

ตาราง 9 แสดงปริมาณแองกานีสในน้ำที่ใช้ปลูกและบริโภค

ตัวอย่างน้ำ	ปริมาณแองกานีสที่พบ (ppm)	ตัวอย่างน้ำ	ปริมาณแองกานีสที่พบ (ppm)
1	0.01270 ± 0.00297	12	0.22430 ± 0.01568
2	0.08637 ± 0.01076	13*	0.52270 ± 0.03135
3*	0.68751 ± 0.04852	14	0.09879 ± 0.01016
4	0.09100 ± 0.01146	15	0.16238 ± 0.01585
5	0.23189 ± 0.13055	16*	1.08683 ± 0.05049
6	0.39404 ± 0.01223	17	0.06074 ± 0.00674
7	0.48540 ± 0.03619	18*	0.73553 ± 0.03774
8*	12.4425 ± 0.66171	19	0.01910 ± 0.00457
9	0.32817 ± 0.02091	20	0.09700 ± 0.01041
10	0.07706 ± 0.01046	21	0.332071 ± 0.04944
11	0.04375 ± 0.00647	22*	1.0696 ± 0.39664

ตาราง 9 ต่อ

ตัวอย่างน้ำ	ปริมาณแมงกานีสที่พบ (ppm)	ตัวอย่างน้ำ	ปริมาณแมงกานีสที่พบ (ppm)
23	0.46206 ± 0.02375	45*	2.47266 ± 0.10296
24	0.17301 ± 0.01442	46	0.07808 ± 0.01205
25	0.07167 ± 0.00916	47*	2.62364 ± 0.10591
26	0.02889 ± 0.00600	48	0.07112 ± 0.00791
27	0.09940 ± 0.00318	49	0.06993 ± 0.01013
28	0.09205 ± 0.00970	50	0.15835 ± 0.01640
29	0.08327 ± 0.00933	51*	0.59185 ± 0.02759
30	— $\pm$ —	52	0.08908 ± 0.00989
31	0.02392 ± 0.00518	53	0.08899 ± 0.01167
32	0.05234 ± 0.00720	54	0.43446 ± 0.04260
33	0.04094 ± 0.00674	55	0.07666 ± 0.00994
34	0.20429 ± 0.01537	56	0.04260 ± 0.00628
35*	0.98455 ± 0.04554	57	0.03059 ± 0.00604
36	0.04236 ± 0.00605	58*	5.67415 ± 0.21747
37	0.03274 ± 0.00586	59	0.09478 ± 0.00960
38	0.07890 ± 0.00824	60*	3.48982 ± 0.14132
39*	5.36334 ± 0.20874	61	0.05245 ± 0.00770
40	0.02931 ± 0.00472	62	0.03059 ± 0.00613
41*	3.48842 ± 0.15785	63*	11.6519 ± 0.44098
42	0.04535 ± 0.00633	64	0.03945 ± 0.00668
43	0.19872 ± 0.01422	65	0.08107 ± 0.00933
44	0.04873 ± 0.00771	66	0.08926 ± 0.01068

ตาราง 9 กอ

ตัวอย่างน้ำ	ปริมาณแมงกานีสที่พบ (ppm)	ตัวอย่างน้ำ	ปริมาณแมงกานีสที่พบ (ppm)
67*	2.90086 $\pm$ 0.12016	84	0.14071 $\pm$ 0.01184
68	0.38086 $\pm$ 0.02190	85*	1.04952 $\pm$ 0.10403
69	0.40765 $\pm$ 0.04232	86	0.05188 $\pm$ 0.00728
70	0.01673 $\pm$ 0.00752	87	0.01697 $\pm$ 0.00401
71	0.04897 $\pm$ 0.00704	88*	1.13960 $\pm$ 0.08907
72	0.07294 $\pm$ 0.00932	89	0.41372 $\pm$ 0.02399
73	0.04253 $\pm$ 0.00657	90	0.17936 $\pm$ 0.01691
74	0.25304 $\pm$ 0.02746	91	0.05750 $\pm$ 0.00847
75*	1.87611 $\pm$ 0.10994	92	0.00925 $\pm$ 0.00317
76*	5.49189 $\pm$ 0.32678	93	0.04309 $\pm$ 0.01971
77*	2.29443 $\pm$ 0.12766	94*	5.55145 $\pm$ 0.20230
78	0.47111 $\pm$ 0.04450	95	0.21932 $\pm$ 0.02826
79*	1.97638 $\pm$ 0.08657	96	0.25356 $\pm$ 0.03144
80	0.04624 $\pm$ 0.00541	97	0.051133 $\pm$ 0.00754
81*	0.88491 $\pm$ 0.03878	98*	9.8252 $\pm$ 0.56417
82	0.01733 $\pm$ 0.00314	99	0.05814 $\pm$ 0.00689
83*	3.46161 $\pm$ 0.13801	100	0.04555 $\pm$ 0.00367

* ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณแมงกานีสเกินระดับมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก

2. การวิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ ทางด้านคุณภาพผลปรากฏดังนี้

ตาราง 10 แสดงธาตุที่พบในน้ำแต่ละประเภท

ประเภทจักษุการมีชีวิต	ประเภทน้ำ ธาตุ	น้ำประปา	น้ำบอ	น้ำบาดาล	น้ำฝน
กลุ่มที่มีครึ่งชีวิตสั้น	แคลเซียม	/	-	-	✓
	อลูมิเนียม	✓	✓	✓	✓
	คลอรีน	✓	✓	✓	✓
	ไอโอดีน	-	-	-	-
	แมกนีเซียม	-	-	-	-
กลุ่มที่มีครึ่งชีวิตปานกลาง	อะซิติก	-	-	-	-
	ทองแดง	✓	✓	✓	✓
กลุ่มที่มีครึ่งชีวิตยาว	เหล็ก	✓	✓	✓	✓
	สังกะสี	✓	✓	✓	✓

2.1 ธาตุที่พบอยู่ในกลุ่มที่มีครึ่งชีวิตสั้น ได้แก่ แคลเซียม อลูมิเนียม คลอรีน ไอโอดีน และแมกนีเซียม

ผลการวิเคราะห์น้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภคทั้งสี่ประเภทปรากฏว่าน้ำบอส่วนใหญ่จะพบธาตุโซเดียม คลอรีน แมกนีเซียม และอลูมิเนียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำบอที่บริเวณโรงเรือนวัดปลัดศรีวนานุสรณ์ อำเภอพนมสนธิ์ จะพบปริมาณของอลูมิเนียมสูงกว่า 5×10^{-3} ppm

สำหรับน้ำบาดาลนั้นส่วนใหญ่จะพบธาตุโซเดียม คลอรีน แมกนีเซียม และอลูมิเนียมเช่นกันแต่ระดับของธาตุต่าง ๆ เหล่านี้แตกต่างกันในบางแห่ง บางแห่งจะมีคลอรีนเป็นส่วนใหญ่แทบทุกแห่งก็จะมีอลูมิเนียมเป็นส่วนมาก ส่วนว่าฝนนั้นธาตุที่พบได้แก่ โซเดียม คลอรีน แมกนีเซียม แคลเซียมเป็นบางแห่ง และอลูมิเนียม ซึ่งระดับที่พบจะน้อยกว่าในน้ำอื่น ๆ

สำหรับน้ำประปานั้นก็จะพบเห็นได้ยากกับน้ำฝน แต่แคลเซียมจะพบน้อยมาก และพบเป็นบางแห่งเท่านั้น ส่วนธาตุไอโอดีนและแมกนีเซียมนั้นไม่ปรากฏว่าพบอยู่ในน้ำที่ใช้อุปโภคและบริโภค ดังกล่าวทั้งสี่ประเภท

2.2 ธาตุที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีครึ่งชีวิตปานกลาง ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง และอะเซนิก

ผลการวิเคราะห์ธาตุทั้งสามในน้ำทั้งสี่ประเภทนี้ปรากฏว่า น้ำบ่อส่วนใหญ่จะพบธาตุแมงกานีส โซเดียม และคลอรีน บางแห่งจะพบธาตุทองแดง แต่่น้อยมาก บางแห่งจะไม่พบธาตุเหล่านี้เลยก็มี ส่วนน้ำบาดาลนั้นจะพบธาตุ เช่นเดียวกันคือ แมงกานีส ทองแดง (พบในบางแห่งแต่่น้อยมาก) โซเดียม และคลอรีน บางที่จะไม่พบธาตุใดเลยเช่นกัน

สำหรับน้ำประปานั้นส่วนใหญ่แล้วจะไม่ปรากฏว่าพบธาตุดังกล่าว มีบางแห่งเท่านั้นที่พบแมงกานีส โซเดียม และทองแดง แต่่น้อยมาก เช่นเดียวกันกับน้ำฝนจะไม่ค่อยปรากฏว่าพบธาตุดังกล่าว มีน้อยแห่งเท่านั้นที่พบทองแดงและแมงกานีส ส่วนธาตุอะเซนิกนั้นไม่พบในน้ำที่วิเคราะห์ทั้งสี่ประเภท

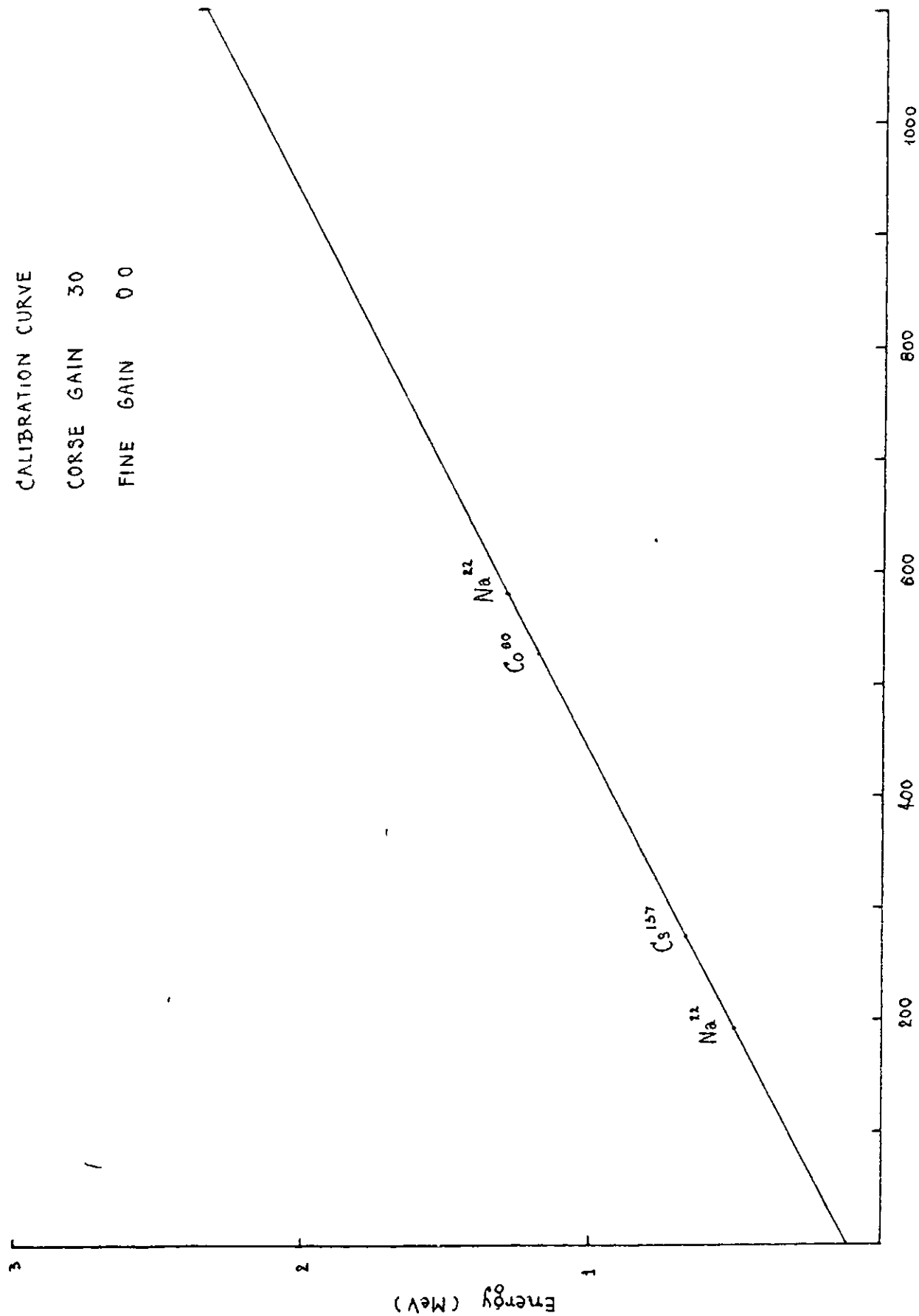
2.3 ธาตุที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีครึ่งชีวิตยาว ได้แก่ เหล็ก และสังกะสี

ผลการวิเคราะห์ธาตุทั้งสองในน้ำสี่ประเภทนี้ปรากฏว่า น้ำฝนส่วนใหญ่จะพบสังกะสี ส่วนเหล็กนั้นพบแต่่น้อย บางที่จะไม่พบทั้งสังกะสีและเหล็กเลย น้ำบ่อส่วนใหญ่จะพบสังกะสี เหล็ก แต่ในบางที่จะไม่พบเหล็กเลย บางที่จะพบธาตุเซอร์โคเนียม (Sr - 85) ด้วยคือน้ำบ่อบริเวณโรงเรียนพานทอง อำเภอพานทอง พบว่ามีเซอร์โคเนียมปริมาณน้อยมาก

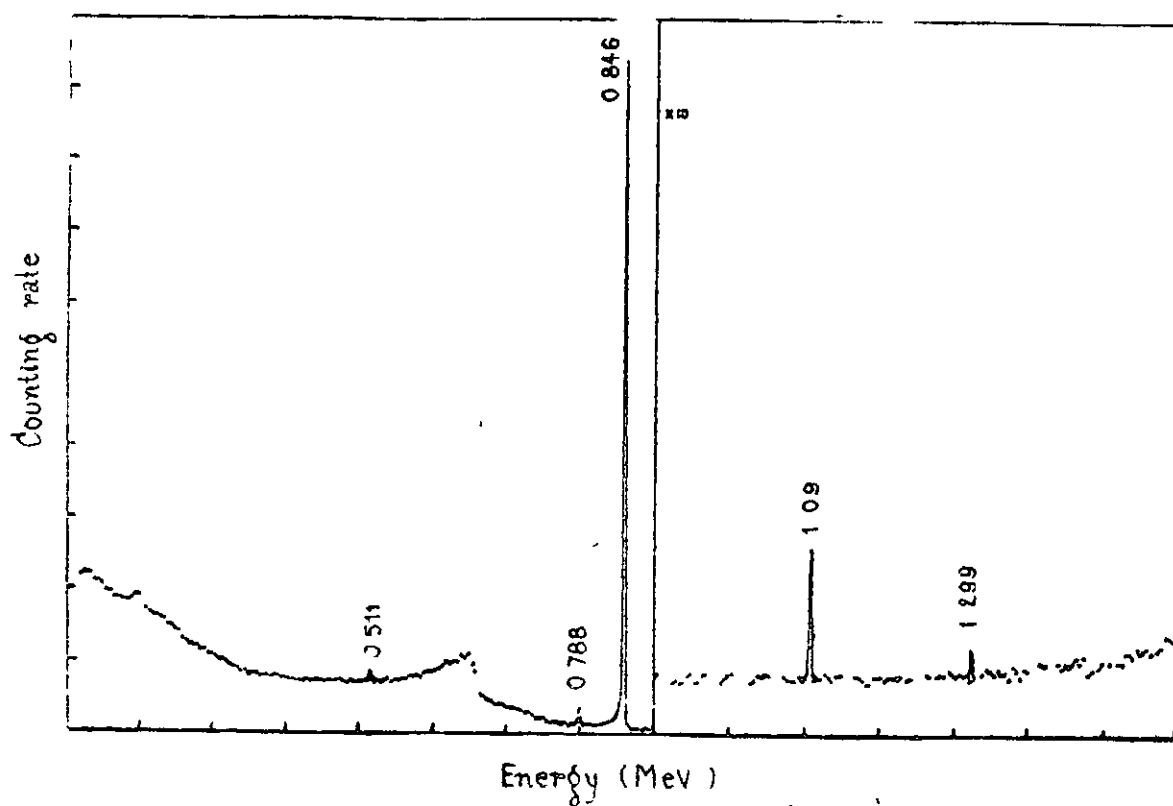
สำหรับน้ำประปาส่วนใหญ่พบสังกะสี เหล็กไม่บ่อยพบแต่ในบางแห่งที่พบก็จะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น น้ำบาดาลส่วนใหญ่จะพบทั้งสังกะสี และเหล็ก

น้ำทุกแห่งที่วิเคราะห์นั้นจะพบธาตุแอนติโมนี (ยกเว้นน้ำฝน) และโปแตสเซียมปนอยู่ด้วย

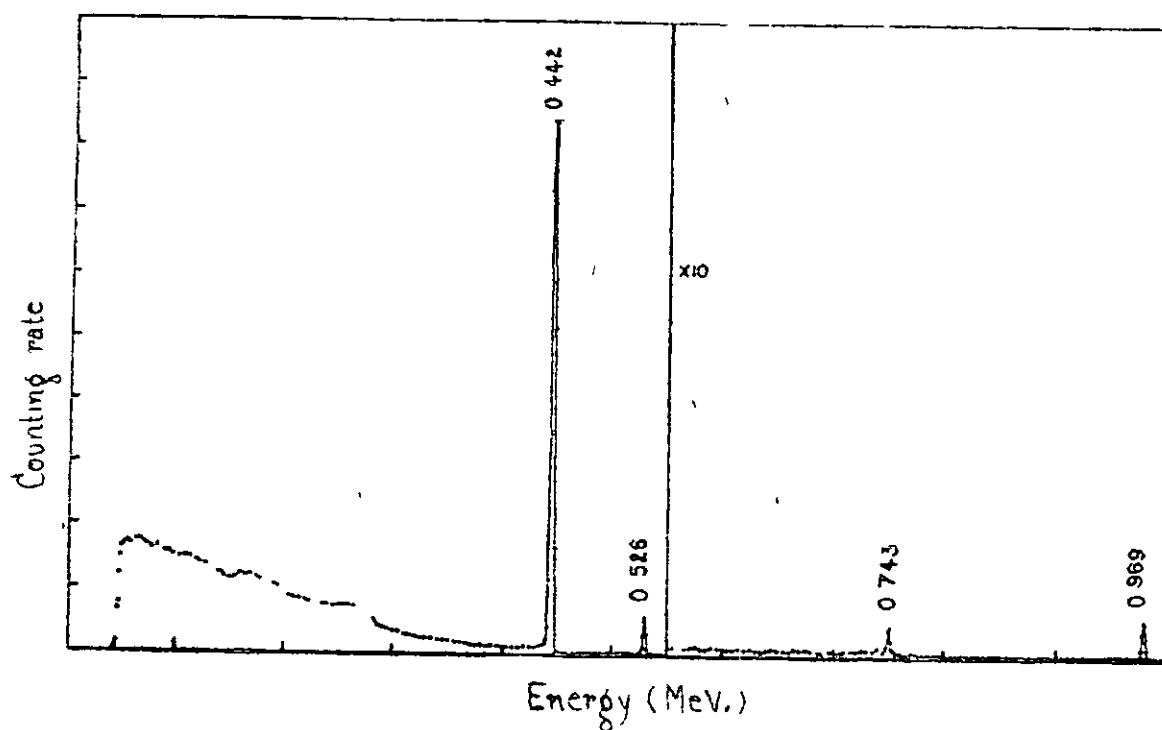
CALIBRATION CURVE
 CORSE GAIN 30
 FINE GAIN 00



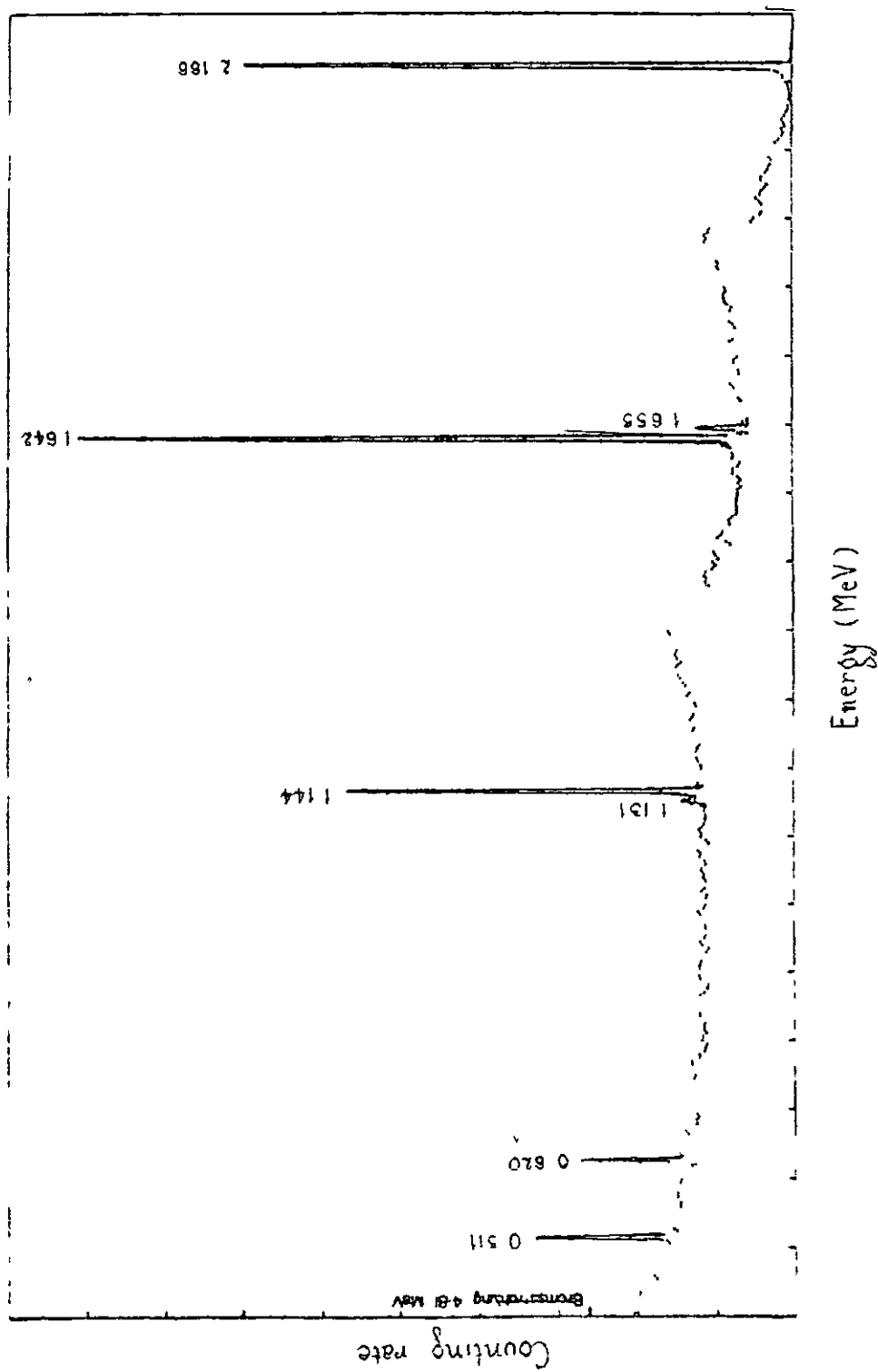
ภาพประกอบ 2 แสดง CALIBRATION CURVE



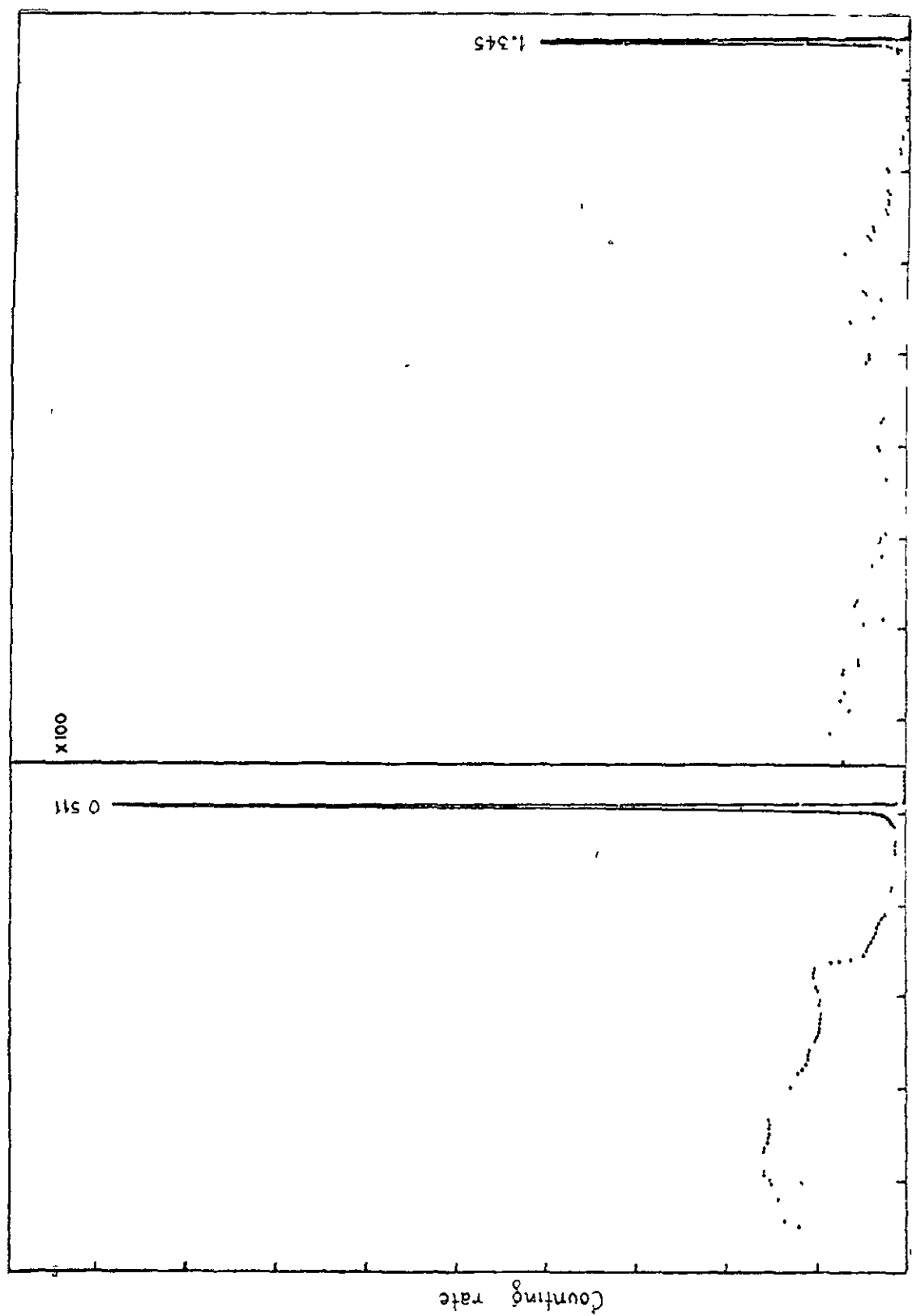
ภาพประกอบ 3 แล่งสเปกตรัมของ Mn-56 คำนวณ 2.56 นาที



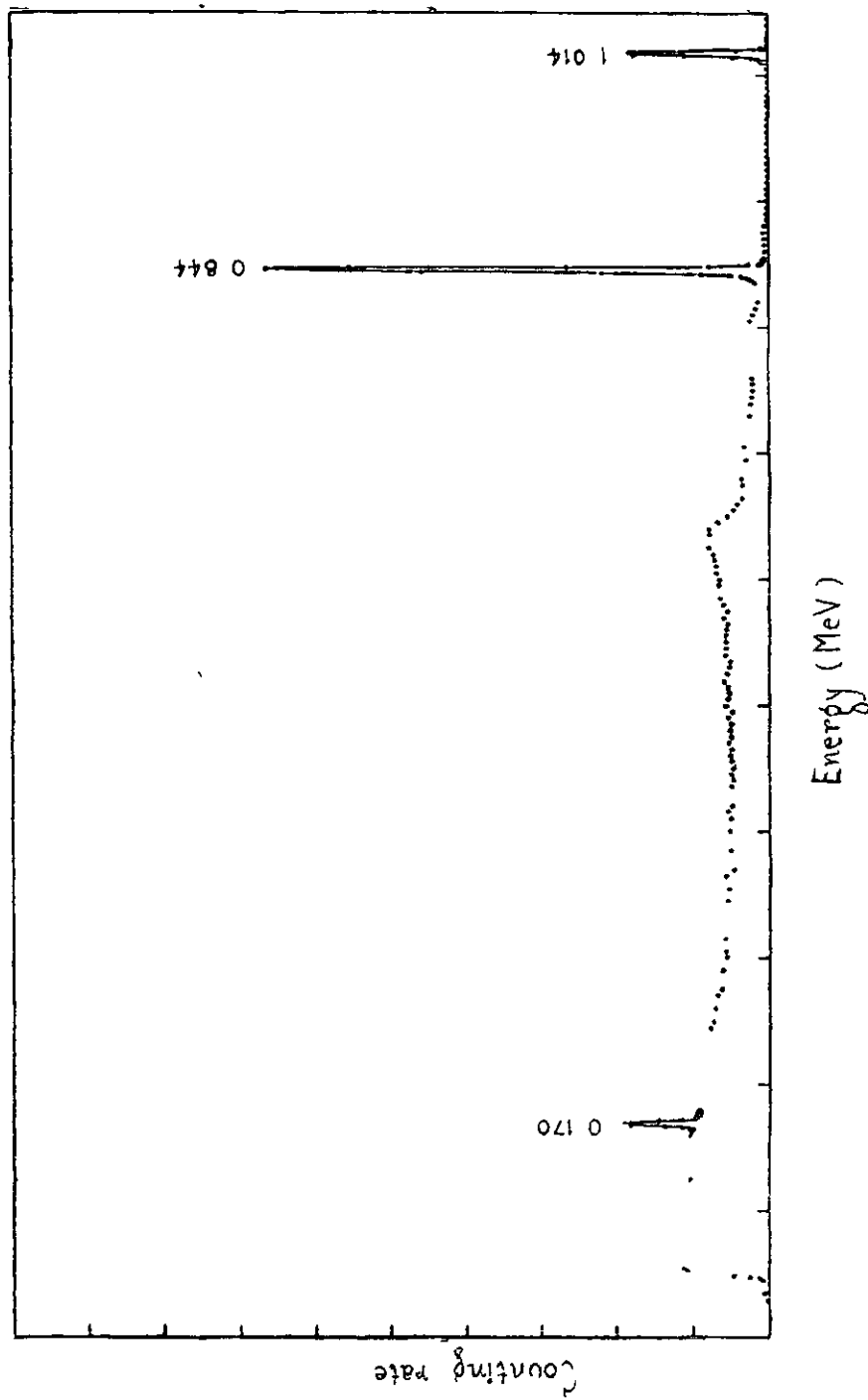
ภาพประกอบ 4 แล่งสเปกตรัมของ I-128 คำนวณ 25.0 นาที



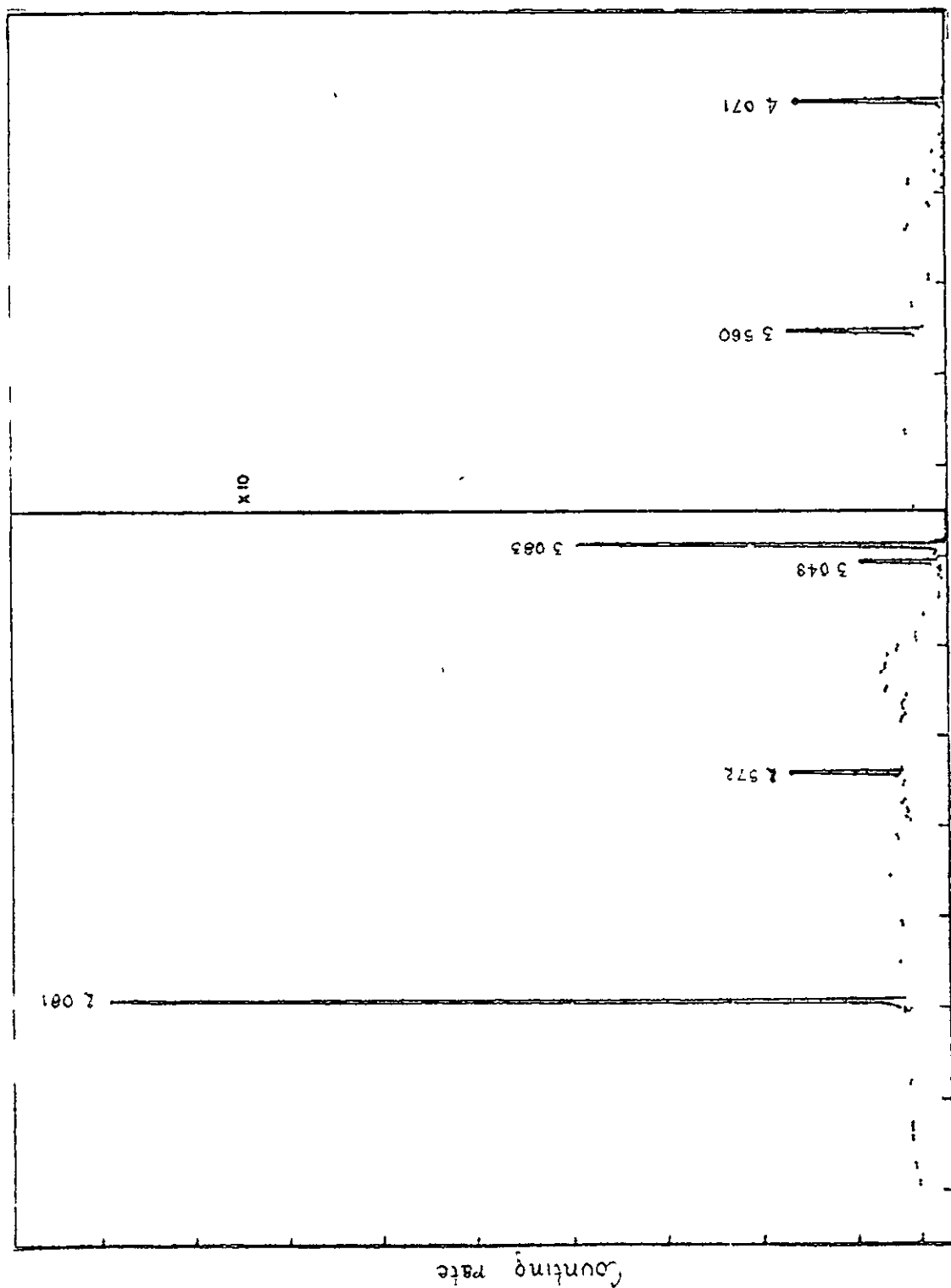
ภาพประกอบ 5 แสดงสเปกตรัมของ ^{138}Cs ความถี่ 37.3 MHz



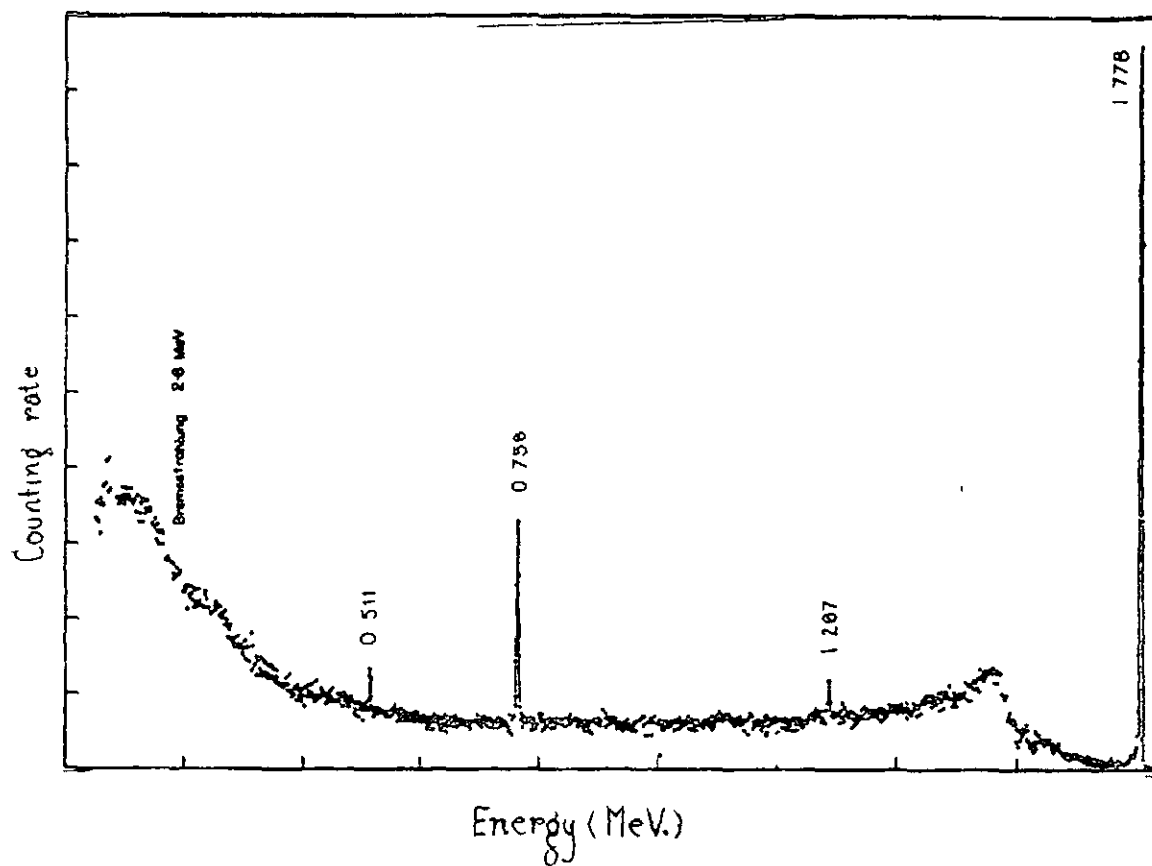
ภาพประกอบ 6 แสดงผลสเปกตรัม (U-235) ที่วัดได้ 12.6 นาที



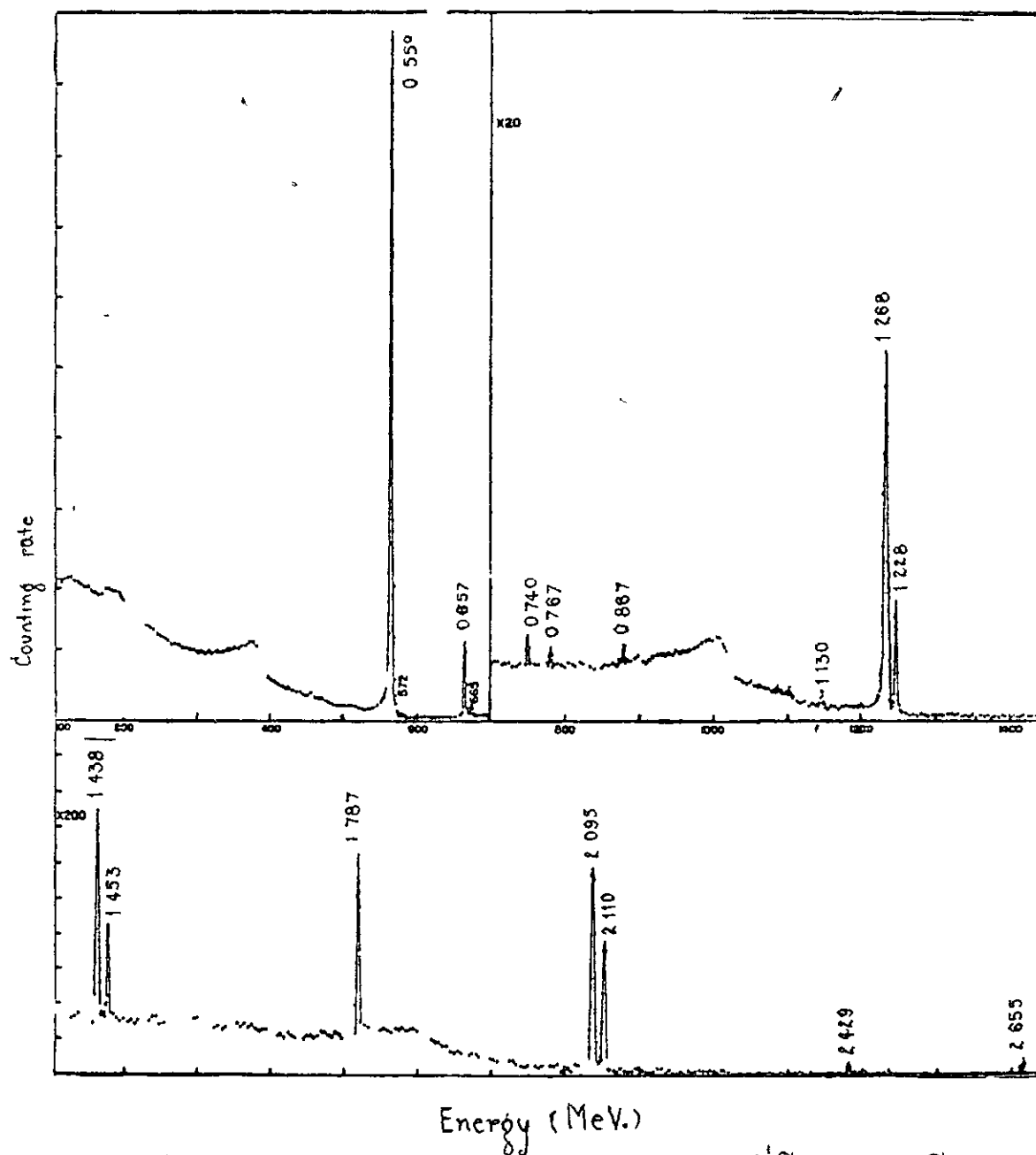
ภาพประกอบ ๗. แสดงสเปกตรัมของ Mg-27 ที่วัดที่ 9.45 นาที



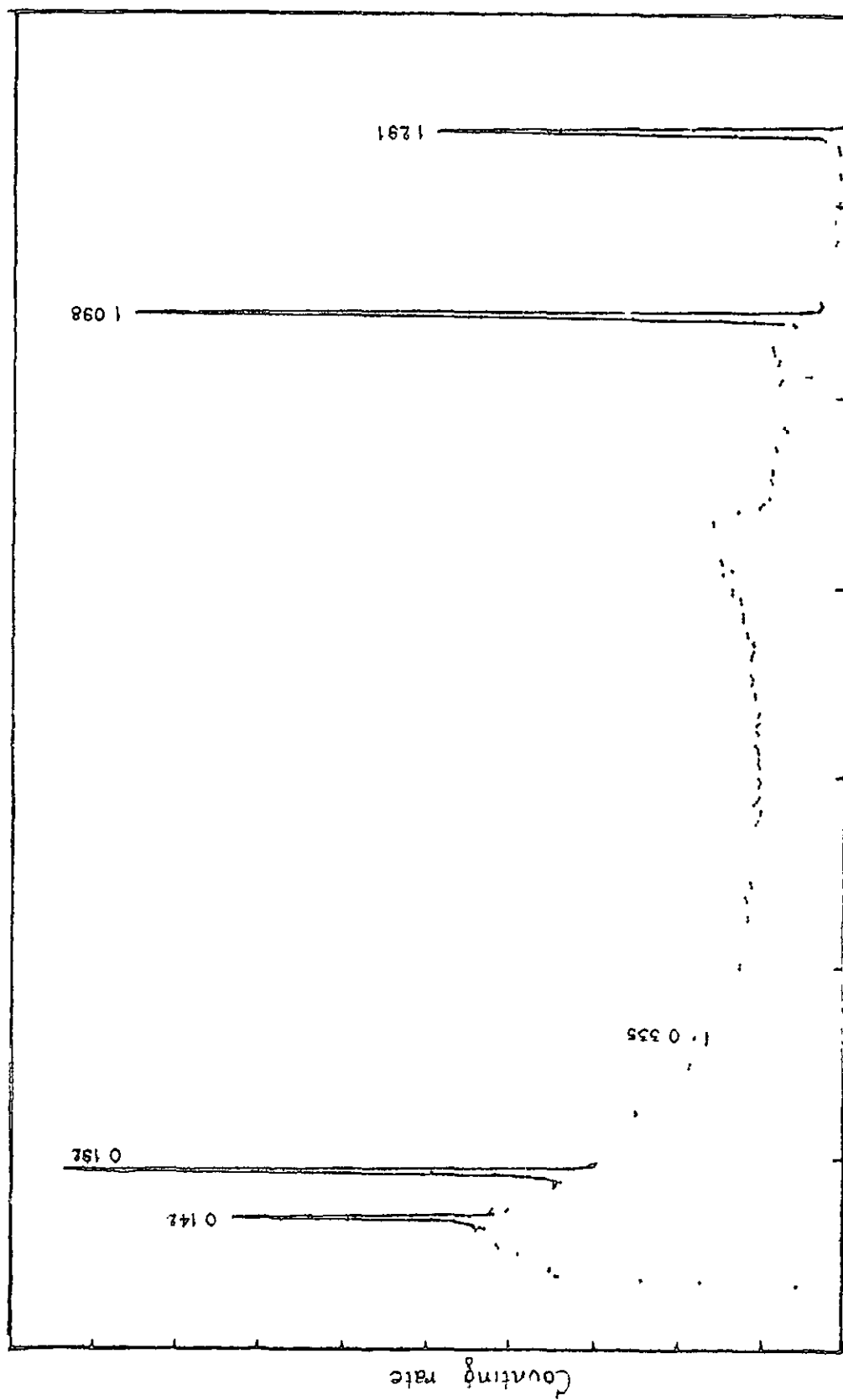
ภาพประกอบ 8 แสดงสเปกตรัมของ Ca-49 ที่วัดได้ 88 นาที



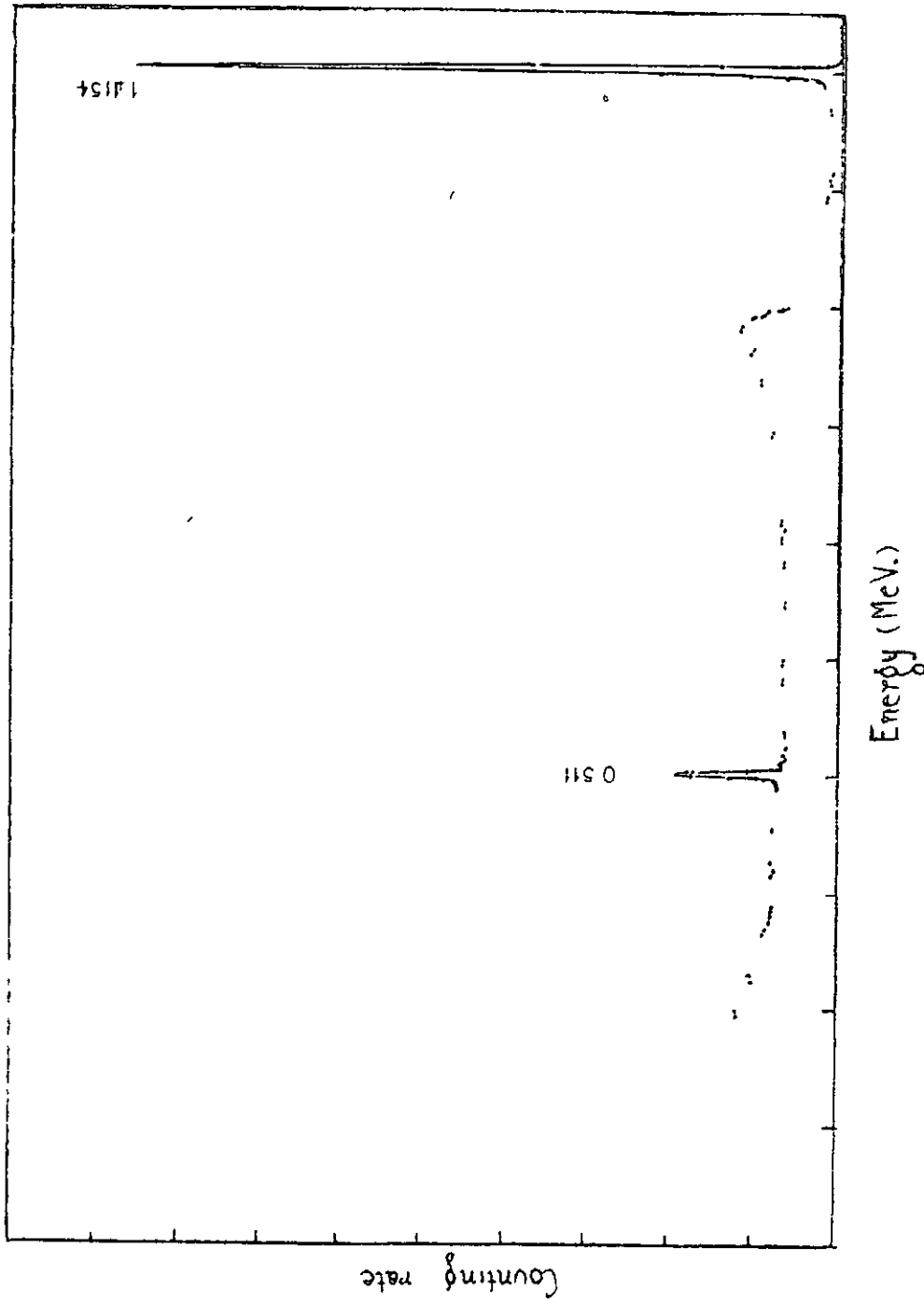
ภาพประกอบ 9 เล็กมัลเพกตรัมของ Al-28 ที่วัด 2.27 นาที



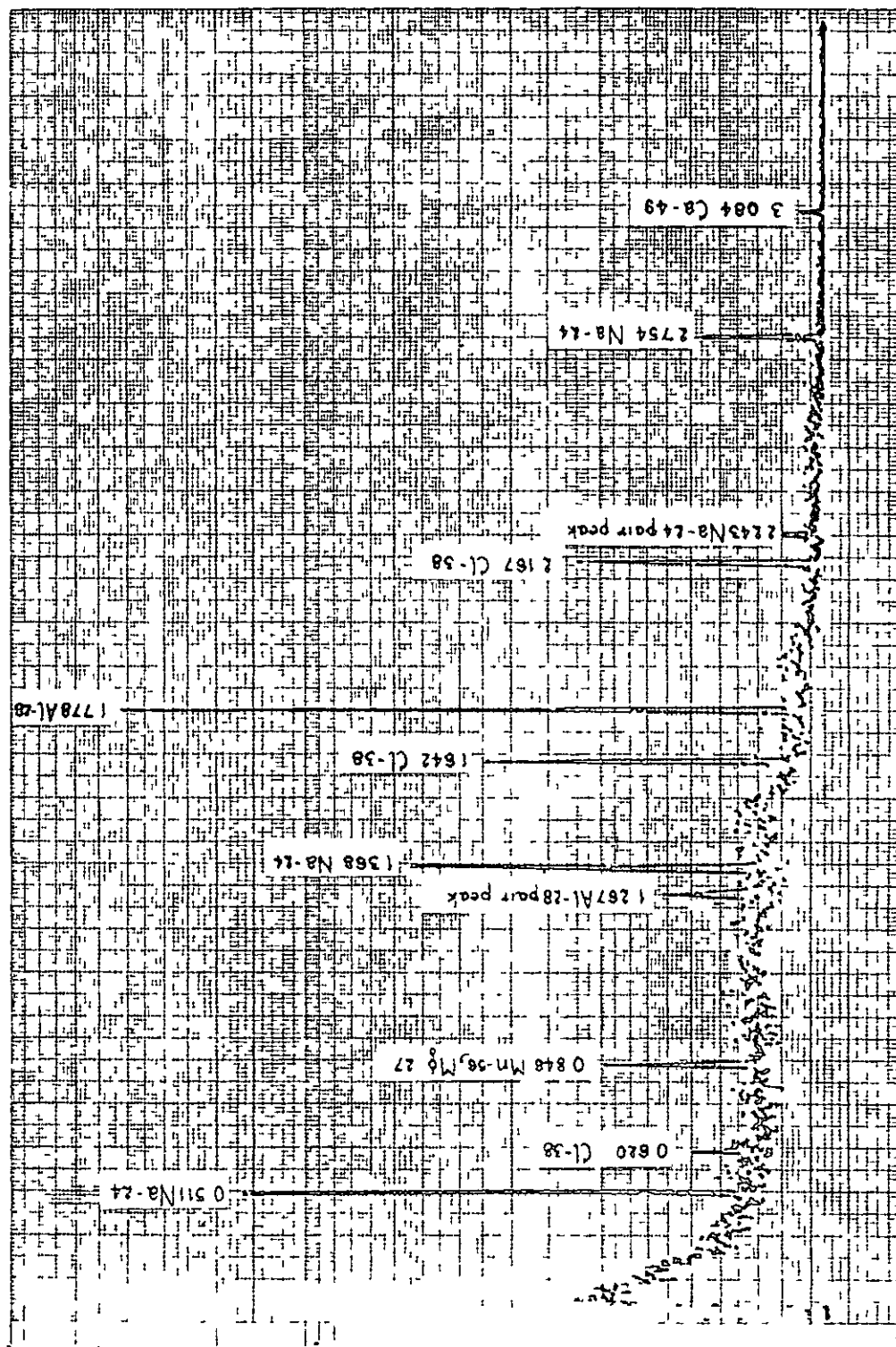
ภาพระกคพ 10 :แสดงสเปกตรัมพลง As-76 กิ่งพืค 26.3 พวทื



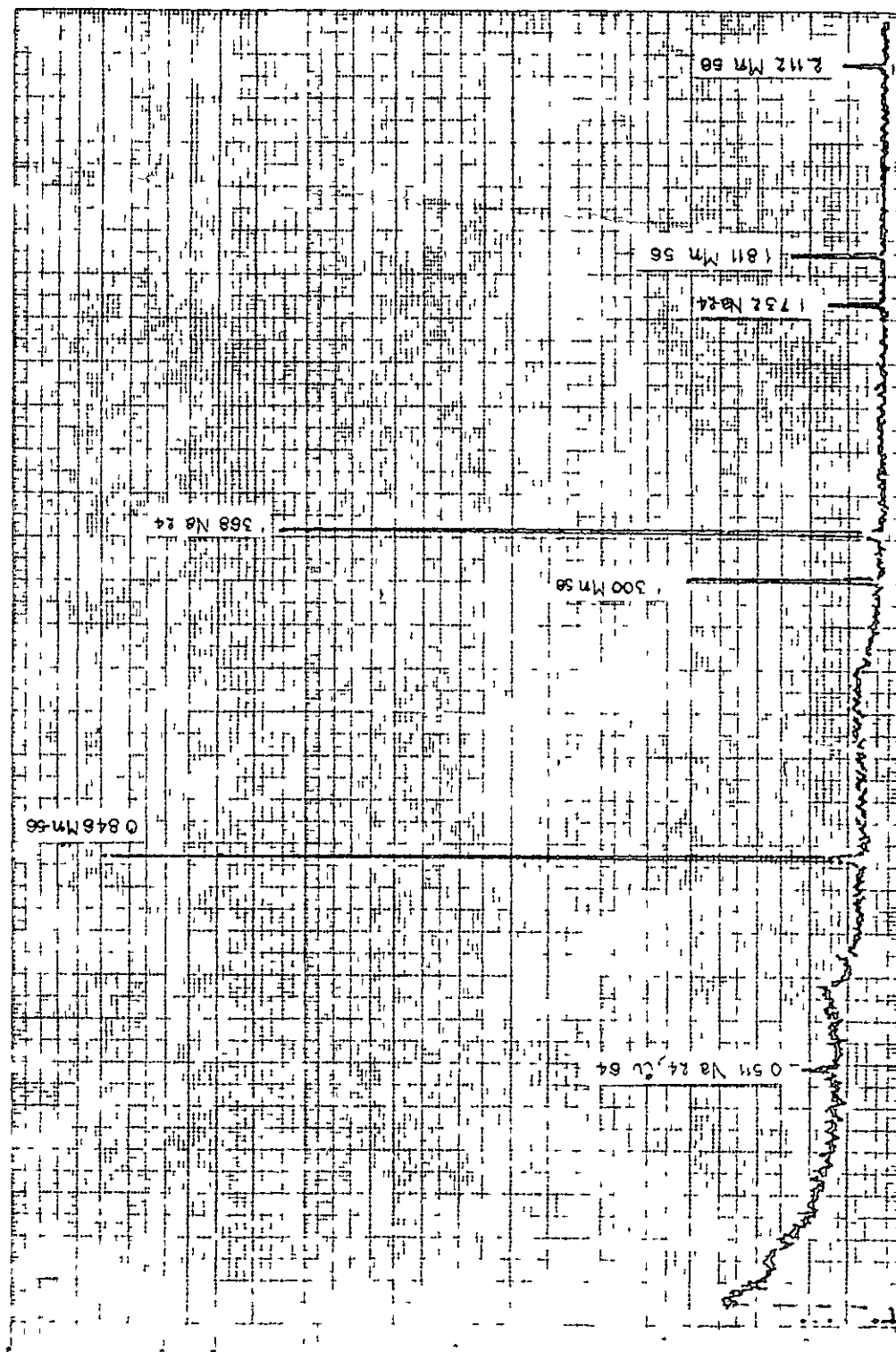
ภาพปรากฏ 11 แสดงสเปกตรัมของ Fe-59 คำนวณ 45.1 นาที



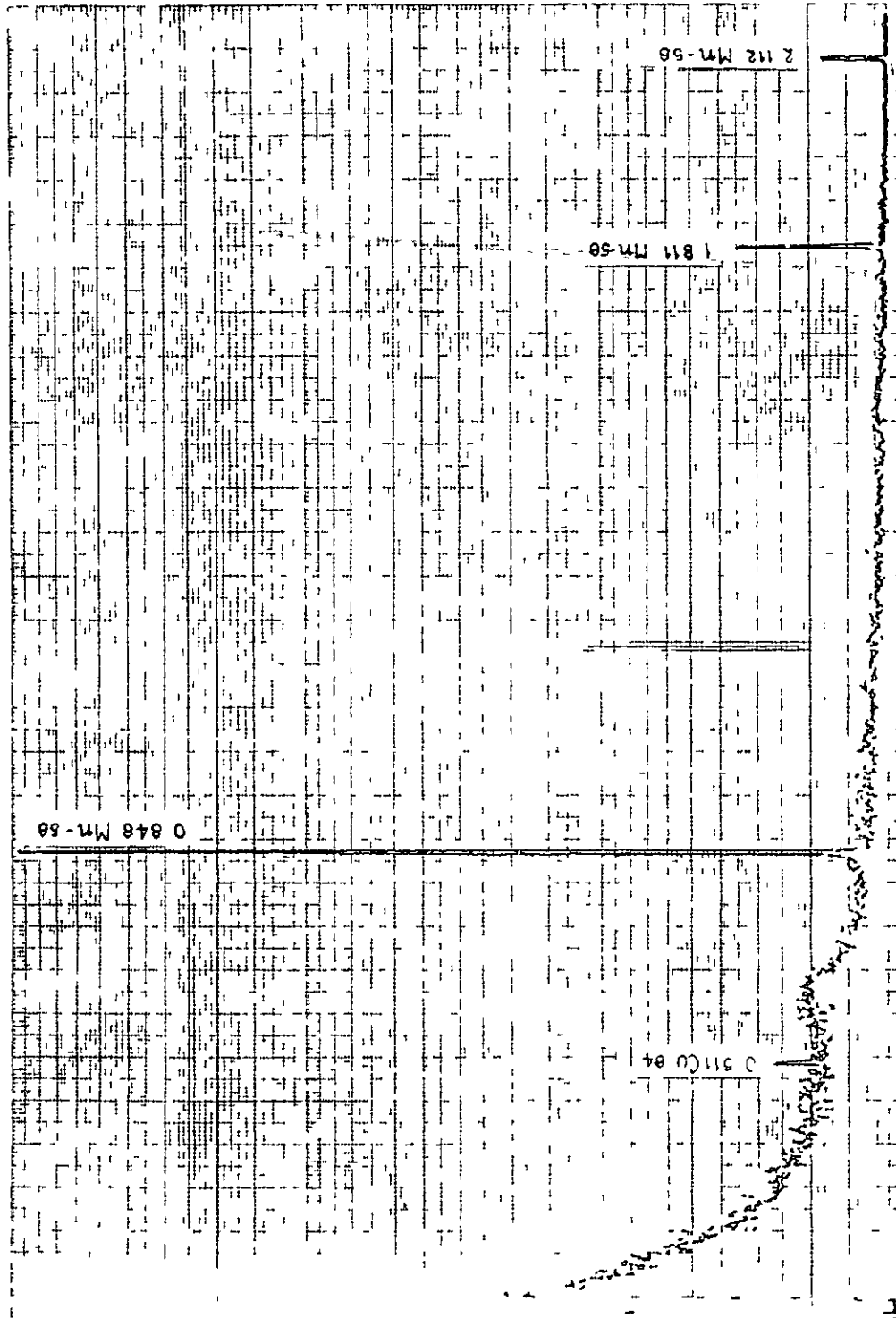
ภาพเลขกล 12 แสดงสเปกตรัมของ Zn-65 สุ่ม 245 นาที



ภาพประกอบ 13 แสดงผลสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ของตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำร้อน



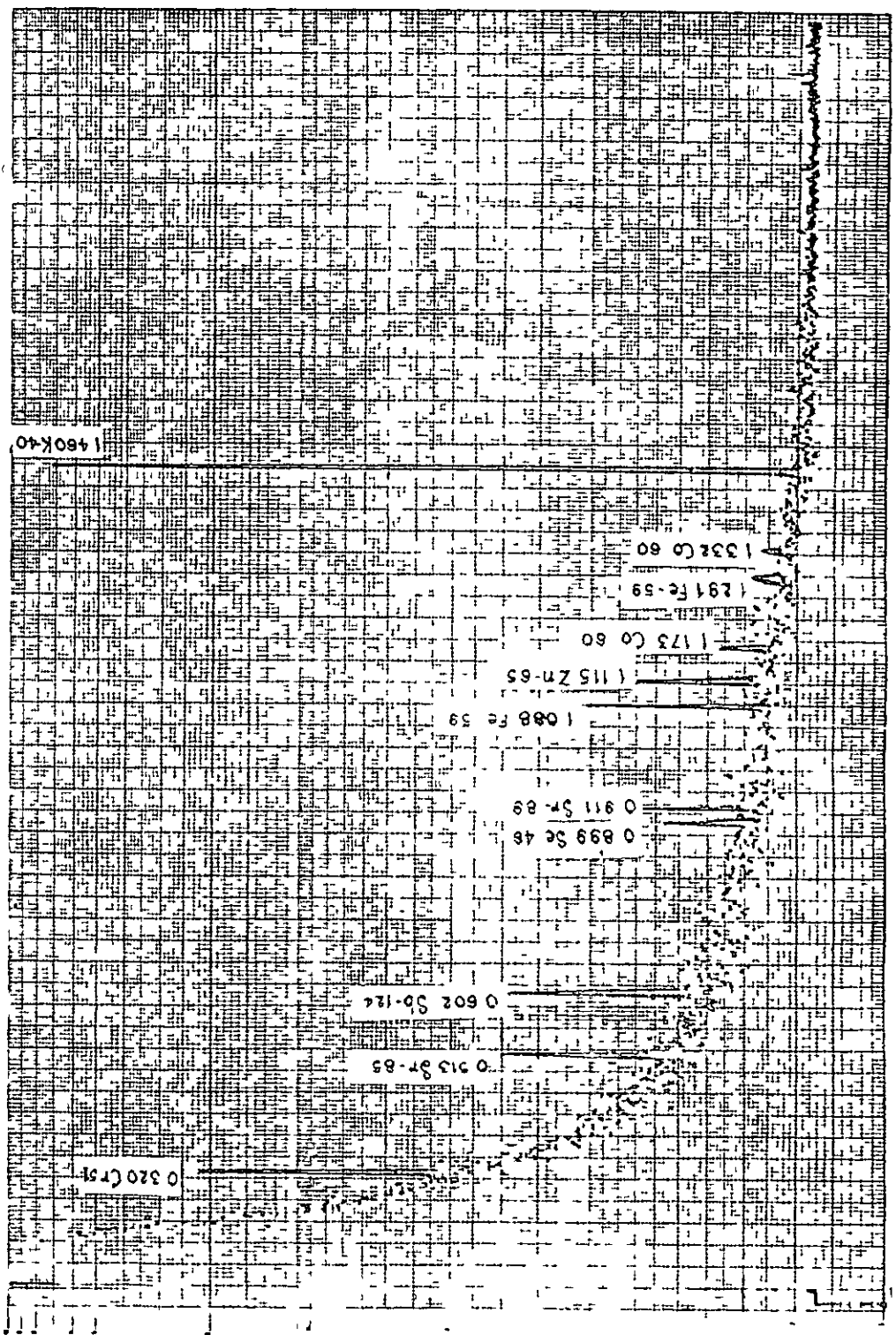
ภาพระกอม 14. แสดงพื้นที่ของที่ดินทั้งหมดที่นำมาแปลงให้เท่ากับพื้นที่ HAP



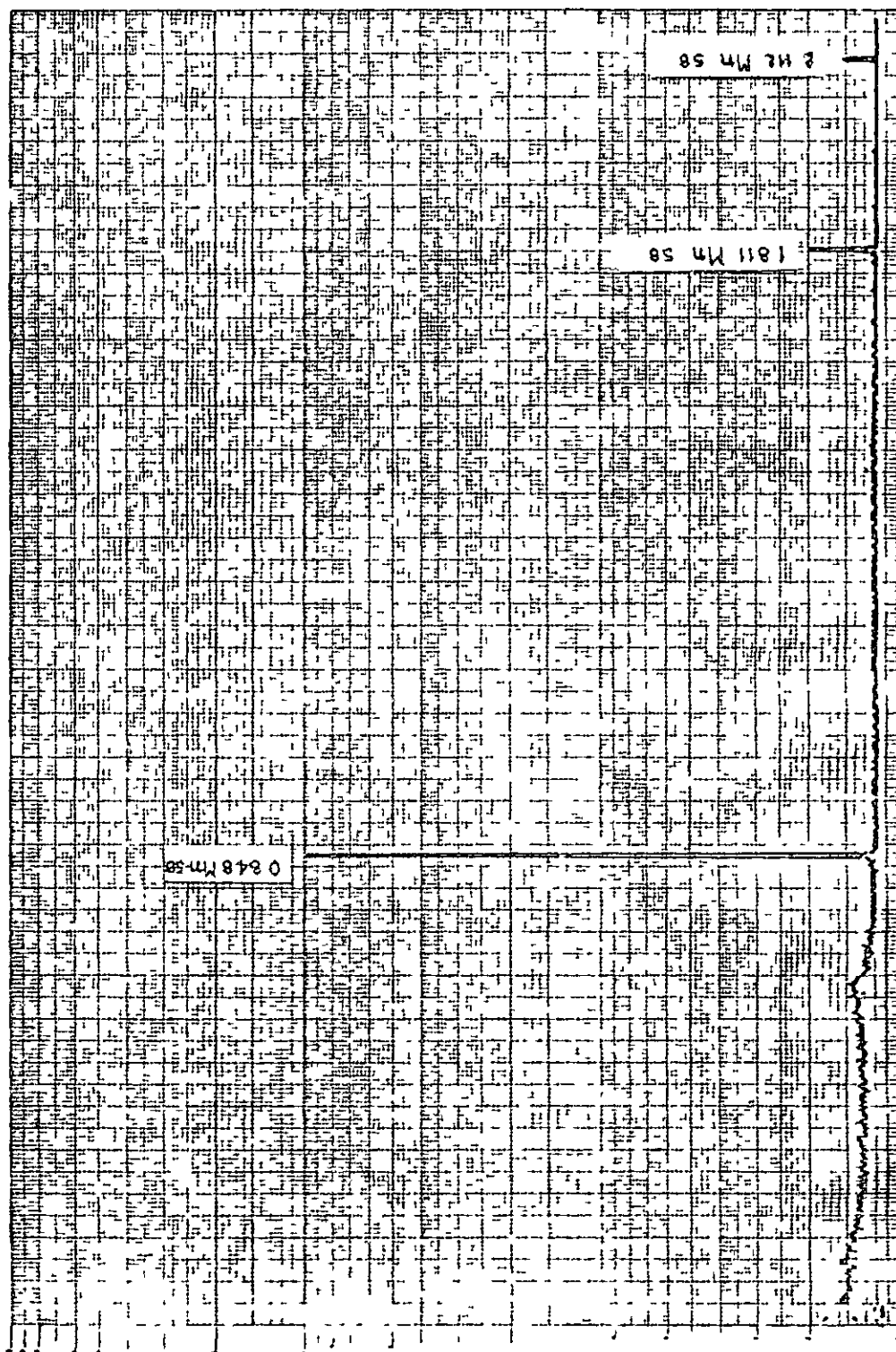
ภาพประกอบ 15 แผนที่แสดงพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล

แผนที่แสดงพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล

HAP



ภาพระบภาพ 16 แสดงสเปกตรัมของธาตุที่มีอยู่ในตะกอนดิน



ภาพระกม 17. แสดงเส้นเขตของ Mm-56 ในเขตมณฑลพิษณุโลก

บทย่อ สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

บทย่อ

ความมุ่งหมายในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายดังนี้

1. เพื่อวิเคราะห์หาธาตุ อลูมิเนียม อะเซตินิก แคลเซียม คลอรีน เหล็ก ไอโอดีน แมงกานีส สังกะสี ทองแดง แมกนีเซียม ในน้ำที่ ใช้อุปโภคและบริโภค
2. เพื่อวิเคราะห์หาและเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสในน้ำที่ ใช้อุปโภคและบริโภคแต่ละประเภท
3. หาความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งน้ำใช้กับผู้ป่วยที่มาับการรักษาที่โรงพยาบาล ชลบุรี

สารตัวอย่าง

สารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้เป็นน้ำที่ ใช้อุปโภคและบริโภคในบริเวณ จังหวัดชลบุรี จำนวน 100 ตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย - 1 /ปรับปรุงครั้งที่ 1 ของ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ เป็นแหล่งกำเนิดนิวตรอน และวัดแกมมาสเปกตรัมด้วย หัววัด Ge (Li) ประกอบกับเครื่อง Multichannel pulse height analyzer ขนาด 1024 ช่อง, เครื่องร่างรูป (plotter) และเครื่องพิมพ์ (printer)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เตรียมนำตัวอย่างโดยบรรจุลงในขวดโพลีเอทิลีนปริมาณ 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดฝาและฉีกฉวยความรอน
2. นำสารตัวอย่างไปอบรังสี โดยแยกประเภทดังนี้
 - 2.1 พวกที่มีครึ่งชีวิตสั้นใช้เวลา 5 นาทีในห้องนิวมาติก แล้วพักไว้ 2 นาทีจึงวัดรังสีด้วย Ge (Li) detector เป็นเวลานาน 60 วินาที
 - 2.2 พวกที่มีครึ่งชีวิตปานกลางใช้เวลา 30 นาทีในห้องนิวมาติก แล้วพักไว้
3. ชั่วโมง จึงเอาโซเดียมออกโดยใช้ HAP จากนั้นนำไปวัดรังสีเป็นเวลานาน 300 วินาที
 - 2.3 พวกที่มีครึ่งชีวิตยาวใช้เวลา 18 ชั่วโมงในห้อง Wet I.P. แล้วพักไว้ประมาณ 20 วัน จึงเอาออกจากกระป๋องอลูมิเนียมมาวัดรังสีเป็นเวลานาน 1,000 วินาที
 - 2.4 แมงกานีสใช้เวลา 30 นาทีในห้องนิวมาติก แล้วจึงนำมาแยกธาตุแมงกานีสออกโดยการตกตะกอน และวัดรังสีเป็นเวลานาน 180 วินาที
3. คำนวณหาปริมาณของแมงกานีสโดยเทียบกับสารมาตรฐานแมงกานีสที่รู้ปริมาณแน่นอน
4. การหาธาตุอื่น ๆ โดยการเทียบพลังงานกับ calibration curve

สรุปผลการวิจัย

1. ปริมาณแมงกานีสที่พบในปริมาณสูงสุด ได้แก่ น้ำบอ ที่ร้านอาหารในตลาดเมืองพัทยา อำเภอบางละมุง ซึ่งพบประมาณ 12.4425 ± 0.66171 ppm.
2. ปริมาณแมงกานีสที่พบในปริมาณน้อยที่สุด ได้แก่ น้ำฝน ที่บริเวณโรงเรียนวัดโคกท่าเจริญ อำเภอฟานทอง ซึ่งพบประมาณ 0.00925 ± 0.00317 ppm.
3. ธาตุที่พบในน้ำทั้งสี่ประเภทคือ

น้ำบอ ;	อลูมิเนียม	ทองแดง	เหล็ก
	กลอรีน		สังกะสี

น้ำประปา ;	อลูมิเนียม	ทองแดง	เหล็ก
	กลอรีน	แคลเซียม	สังกะสี
น้ำฝน ,	อลูมิเนียม	ทองแดง	เหล็ก
	กลอรีน		สังกะสี
	แคลเซียม		
น้ำบาดาล ,	อลูมิเนียม	ทองแดง	เหล็ก
	กลอรีน		สังกะสี

ชนิดผิดพลาดที่เกิดจากการวิจัย

1. ความผิดพลาดที่เกิดจาก Flux distribution ของนิวตรอนไม่คงที่ทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองผิดพลาด จึงต้องใช้สารมาตรฐานที่รู้ปริมาณแน่นอนแล้วเข้าอาบนิวตรอนพร้อมกับตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบทุกครั้งที่ทำทำการทดลอง
2. ความผิดพลาดที่เกิดจากการตกตะกอนแมงกานีสซึ่งปฏิกิริยาอาจไม่สมบูรณ์จึงต้องใช้สารมาตรฐานที่รู้ปริมาณแน่นอนเป็นตัวเปรียบเทียบในการแก้เปอร์เซ็นต์ของตะกอนที่โค (percent yield)
3. ความผิดพลาดเกิดจากการซึ่งซึ่งจัดเป็น personal error จะมีค่าความผิดพลาดได้ประมาณ $\pm 5\%$
4. ความผิดพลาดเกิดจาก Long life radioisotope บริเวณใกล้ ๆ หัววัดทำให้ background ไม่คงที่จึงต้องลบ background ในสเปกตรัมของสารตัวอย่างทุกครั้งที่ทำการวัด
5. ความผิดพลาดที่เกิดจากปฏิกิริยาแทรกซ้อนของธาตุอื่น ๆ ที่สลายตัวให้นิวตรอนเช่นกันซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ ธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้น ๆ แก้ไขได้โดยการปล่อยให้สลายตัวไปก่อนที่จะทำการวัด

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยครั้งนี้ปรากฏว่า

1. การวิเคราะห์ธาตุแมงกานีสปริมาณน้อยในน้ำด้วยวิธี Destructive NAA

นั้นสามารถพบแมงกานีสในปริมาณที่เป็นส่วนในล้านส่วน เช่นเดียวกับการศึกษาของ

เบต, เวลวาร์ท และสโตคลี่ (Bate, Wellwart and Stokely. 1962 : 64)

ซึ่งปริมาณที่พบและจัดอยู่ในระดับต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกนั้นมีอยู่

ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมด และที่มีระดับเกินกว่ามาตรฐานน้ำดื่มก็จะมี

อยู่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (เกินกว่าปริมาณที่ยอมรับได้คือ 0.1 ppm.)

ซึ่งส่วนใหญ่จะมีอยู่ในน้ำบ่อตามอำเภอต่าง ๆ ทุกอำเภอ สำหรับน้ำประปา น้ำฝน และน้ำบาดาลจะมีอยู่บางแคว้นน้อยกว่าน้ำบ่อ

ส่วนปริมาณที่พบเกินกว่าระดับมาตรฐานของน้ำดื่มที่อนุโลมให้มีได้คือ 0.5

ppm. นั้นมีประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างทั้งหมดซึ่งเป็นค่าที่ไม่มากนัก แต่บางตัวอย่าง

ที่มีปริมาณแมงกานีสสูงมากได้แก่ น้ำบ่อซึ่งเก็บตัวอย่างจากร้านอาหารในตลาดเมืองพัทยา

อำเภอบางละมุง โดยนำที่นำมาใช้อุปโภคและบริโภคนี้ซื้อจากรถบริการน้ำจืดอีกต่อหนึ่ง

ซึ่งมีปริมาณแมงกานีสสูงถึง 12.4425 ± 0.66171 ppm. และอีกบริเวณหนึ่งที่มีปริมาณ

แมงกานีสในน้ำสูงเหมือนกันได้แก่ น้ำบ่อของประชาชนที่ตำบลบ้านเรือนใกล้ ๆ อุตะเขา

อำเภอสัตหีบ ลักษณะน้ำที่ได้นี้มาจะขุ่นเล็กน้อย แมงกานีสที่พบสูงถึง 11.6519 ± 0.44098

ppm. ส่วนน้ำบริเวณอื่น ๆ ที่เป็นตัวอย่างจะมีปริมาณแมงกานีสสูงแต่ไม่มากนัก

ตัวอย่างใดก็ตามในร่างกายของคนเราจะมีแร่ธาตุหลายชนิด เช่น

แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซัลเฟอร์ โซเดียม คลอรีน แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง

ไอโอดีน รวมทั้งแมงกานีสด้วย (เสนา อิศรสุขศรี 2505 : 28) ซึ่งจะปรากฏว่า

สำหรับผู้ใหญ่จะมีแมงกานีสในร่างกายประมาณ 10 - 20 มิลลิกรัม (Wohl and

Goodhart. 1968 : 392) และปริมาณนี้จะคงที่ตลอดชีวิต ซึ่งจากขบวนการดูดซึมที่พบว่า

แมงกานีสเกือบไม่มีการดูดซึมทางลำไส้เลย

จากการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบสูงสุดของแมงกานีสในน้ำแต่ละประเภทนั้น
ปรากฏว่า

น้ำบอ (ตัวอย่างจากอำเภอบางละมุง) มีปริมาณแมงกานีส 12.4425 ± 0.66171 ppm.

น้ำบากล (ตัวอย่างจากอำเภอบางละมุง) มีปริมาณแมงกานีส 0.52270 ± 0.03135 ppm.

น้ำฝน (ตัวอย่างจากอำเภอศรีราชา) มีปริมาณแมงกานีส 1.08883 ± 0.05049 ppm.

น้ำประปา (ตัวอย่างจากอำเภอสัตหีบ) มีปริมาณแมงกานีส 3.48982 ± 0.14132 ppm.

ปริมาณแมงกานีสที่พบนี้อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ตามฤดูกาล จากการ
วิเคราะห์ครั้งนี้ จะพบปริมาณแมงกานีสสูง อาจเนื่องมาจากช่วงระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง
เป็นฤดูแล้ง (เก็บตัวอย่างเดือนตุลาคม 2522) ปริมาณน้ำตามท้องทาง ๆ จึงน้อย ทำให้
ความเข้มข้นของธาตุที่มีอยู่ในน้ำสูงกว่าปกติ ดังนั้นปริมาณแมงกานีสที่พบจึงอยู่ในระดับสูง
พอสมควร

2. จากการวิเคราะห์ธาตุโดยวิธี Non - destructive NAA นั้นปรากฏว่า
พบธาตุต่าง ๆ ดังนี้

โซเดียม แมงกานีส แอนติโมนี คลอรีน

ทองแดง เซอร์โคเนียม อลูมิเนียม สังกะสี

ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของซูรินเดอร์ และคนอื่นๆ

(Surinder and others. 1971 : 2414 - 2423) ซึ่งได้ทำการทดลองด้วยวิธี

Non - destructive NAA และสารที่มีครึ่งชีวิตปานกลางสัปดาห์โซเดียมออกโดยโซ

ไฮโดรเจนแอนติโมนีเพนตะออกไทด์เช่นกัน แล้ววัดรังสีด้วย Ge (Li) Spectrometer

system แสดงว่าธาตุต่าง ๆ ดังกล่าวนี้อยู่ในน้ำโดยทั่วไป แต่เป็นปริมาณน้อย และวิธี

วิเคราะห์แบบนี้ตรวจวัดได้เฉพาะธาตุที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อยในน้ำด้วย

จากการวิเคราะห์ธาตุที่พบนั้นพวกที่จัดอยู่ในกลุ่มครึ่งชีวิตสั้น ๆ ปรากฏว่า

ระดับที่พบไม่เกินระดับมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก ส่วนธาตุที่จัดอยู่ในกลุ่มครึ่ง

ชีวิตปานกลางนั้นน้ำดื่มที่ประเทศจะพบธาตุทองแดงไม่เกินระดับมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การ

อนามัยโลก และธาตุที่จัดอยู่ในกลุ่มครึ่งชีวิตยาวนั้น น้ำดื่มที่ประเทศส่วนใหญ่จะพบสังกะสี

เกินระดับมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก แต่ไม่มากนัก เหล็กในน้ำฝนบางแห่งพบเกินระดับมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก แต่่น้อยมาก สำหรับน้ำบอ, น้ำบาดาล และน้ำประปานั้นเหล็กที่พบจะอยู่ในระดับมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกทั้งสิ้น แต่การวิเคราะห์ครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์หาคุณภาพจึงไม่สามารถบอกปริมาณได้แน่นอนลงไป

3. การหาความสัมพันธ์ระหว่างผู้ป่วยที่เป็นโรคทองรวงกับธาตุต่าง ๆ ที่พบในน้ำดื่มซึ่งจำนวนผู้ป่วยตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2520 - 2522 มีดังนี้

ตาราง 11 แสดงจำนวนผู้ป่วยเป็นโรคทองรวงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 - 2522

อำเภอ	จำนวนผู้ป่วยเป็นโรคทองรวง (%)	ปี พ.ศ.2520	ปี พ.ศ.2521	ปี พ.ศ.2522
เมือง		0.1210	0.1219	0.1031
ศรีราชา		0.0063	0.0119	0.0098
พานทอง		0.0260	0.0346	0.0847
บางละมุง		0.0140	0.0369	0.0473
บ้านบึง		0.0720	0.0799	0.1064
สัตหีบ		0.0012	0.0019	0.0024
พนัสนิคม		0.0469	0.0851	0.0951

หมายเหตุ : จำนวนผู้ป่วยเกิดเป็นร้อยละ (โดยประมาณ) ของจำนวนประชากรทั้งจังหวัด

จากการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ในน้ำ ที่โซลูบโกลและบริโกลนั้น ธาตุที่จัดว่าเป็นพิษและมีผลต่อร่างกายได้แก่ ธาตุอะเซนิค ถ้าได้รับปริมาณมาก ๆ จะถึงตายทันที แคลาได้รับในปริมาณน้อย ๆ จะเก็บสะสมในร่างกาย ขับถ่ายออกมาน้อย เมื่อสะสมมาก ๆ จะทำให้เกิดเป็นโรคพิษอะเซนิค ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดคือ

1. ชนิดพืชน้ำจืด ส่วนใหญ่เกิดจากการกินยาฆ่าแมลง มีอาการกดแ่ง คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเดินอย่างรุนแรง อุจจาระมีลักษณะคล้ายคนเป็นอหิวาตกโรค อาการต่อมาคือ ผู้ป่วยจะชูก้นติดลงอย่างรวดเร็ว แรงดันเลือดลดลง ปัสสาวะเป็นไขขาว ตัวเย็นปากเมื่อยตามมือและเท้า ปวดศีรษะและอ่อนเพลีย

2. ชนิดเรื้อรัง-ส่วนใหญ่เกิดแก่ผู้รับประทานยาไทย ยาจีน และผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับยาฆ่าแมลง อาการที่ปรากฏคือ อ่อนเพลีย ปวดท้อง ท้องเดิน และผูกสลับกัน ปัสสาวะมีไขขาว เปลือกตาลางขาวม ผอมลง และมีจุดสีเกิดขึ้นตามผิวหนัง

ส่วนธาตุอื่น ๆ ที่มีรายงานปรากฏว่าเป็นโรคเข้าไปมากแล้วจะเป็นผลแก่ร่างกาย นอกเหนือจากธาตุเมงกานีสแล้วได้แก่ ธาตุทองแดง ซึ่งเป็นธาตุที่มีปริมาณน้อยในร่างกายของมนุษย์ แต่มีความจำเป็นต่อร่างกายมาก ร่างกายขาดไม่ได้ ถ้าขาดจะทำให้เกิดโรค Wilson's disease ซึ่งเป็นโรคที่เกี่ยวกับต่อมใต้สมอง (pituitary gland) เป็นอาการผิดปกติเกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของทองแดงในร่างกายถูกรบกวน (ออก ฤกษ์การ 2516 : 33 - 42) ทำให้เกิดอาการมวน ตัวเหลือง ตับโต ผลทำให้ทองแดงในเลือดลดน้อยลงในทางตรงกันข้าม ถ้าทองแดงเข้าร่างกายมากเกินไปจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ ท้องเดิน ปวดท้อง ตัวเหลือง ทั้งนี้เพราะทองแดงเป็นโลหะที่ทำปฏิกิริยาได้ดีกับสารที่มีหมู่ซัลไฟด์ (-SH) ซึ่งน้ำย่อยหลายชนิดในร่างกายมีหมู่ ซัลไฟด์อยู่ด้วย ถ้าทองแดงไปจับกับหมู่ซัลไฟด์ในน้ำย่อย น้ำย่อยก็จะหมดประสิทธิภาพทันที (วิจิตร คงนวล 2516 : 733 - 737)

จากการวิเคราะห์ธาตุในน้ำจึงกล่าวปรากฏว่าบางแห่งพบธาตุทองแดง แต่ไม่มากนัก ซึ่งไม่เกินระดับมาตรฐานของมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก และไม่ปรากฏว่าพบอะเซตินิกในน้ำดังกล่าวเลย ทั้งนี้ว่าเป็นการคั่งเนื่องจากพิษของอะเซตินิกนั้นรุนแรงมาก จากการรายงานของผู้ป่วยที่เป็นโรคทองแดงนั้นไม่ว่าจะเป็นผลมาจากธาตุที่อยู่ในน้ำที่บริโภคและอุปโภค เนื่องจากพบธาตุเหล่านี้ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานของมาตรฐานน้ำดื่ม แต่สาเหตุสำคัญของผู้ป่วยอาจจะเนื่องมาจากสาเหตุอื่นก็ได้

ขอควรระวังและขอเสนอแนะ

1. ในการทดลองก่อนแมงกานีสควรให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมากที่สุดเพราะจะมีผลต่อน้ำหนักตะกอนที่ได้

2. การใช้หอนิวมาติกพร้อมกันทั้ง 2 หอนในการวิเคราะห์แมงกานีสนั้นควรใช้สารมาตรฐานแมงกานีสเปรียบเทียบด้วยทั้ง 2 หอน เนื่องจากนิวตรอนฟลักซ์ไม่เท่ากัน

3. การกำจัดสเปกตรัมของธาตุที่รบกวน อาจปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยใช้ตะกั่วโคเอทริลโคไทโอคาร์บาเมทแทนไฮเดรทเททแอนด์โมโนเพนตะคอกไซค์ เนื่องจากสามารถกำจัดได้ทั้งโซเดียม โมรเมิน โปแตสเซียม และฟอสฟอรัส

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กฤษดา กรุทอง การวิเคราะห์ธาตุบางชนิดในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์โดยวิธี NON-DESTRUCTIVE NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS ปรินฎานิพนธ์ กศ.ม. วิทยาลัย
 วิชาการศึกษา ประสานมิตร 2517, 76 หน้า อัครสาเนา
- จินตารมย์ กิสิวัฒน์ "การหาธาตุปริมาณน้อยในน้ำที่ผ่านขบวนการกรองของสำนักงาน พปส. ด้วยวิธีนิวตรอนแอคติเวชันอะนาไลซิส" เอกสารสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
 หน้า 37 - 50, 1972.
- น้ำทิพย์ รัตพันธุ์ "เหล็กและแมงกานีสในน้ำประปา" รายงานการสัมมนาทางวิชาการสถาบัน
 วิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เรื่องปัญหาผลกระทบของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม
 ในประเทศไทย หน้า 218 - 228, 2521
- วิจิตร คงพูล "ความสำคัญของทองแดงในร่างกาย" วิทยาศาสตร์ 11 : 733 - 737
 กุมภาพันธ์ 2516
- วิฑูร อติณโณ "อาการแพ้พิษโลหะหนักที่พบได้บ่อยในปัจจุบัน" รายงานการสัมมนาทางวิชาการสถาบัน
 วิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เรื่องปัญหาผลกระทบของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม
 ในประเทศไทย หน้า 245 - 247, 2521
- วิมล คันธนาตระกูล การเปรียบเทียบวิธีทางเคมีและวิธีทางนิวเคลียร์ในการวิเคราะห์ธาตุบางชนิด
 ในน้ำประปา เพื่อการสอนวิทยาศาสตร์ ปรินฎานิพนธ์ กศ.ม. วิทยาลัยวิชาการศึกษา
 ประสานมิตร 2513, 76 หน้า อัครสาเนา
- ศลักษณ์ ทรรพพันธ์ "เคมีรังสีประยุกต์" วิทยาศาสตร์ 11 : 935 กุมภาพันธ์ 2521
- สุนัน เสถียรยานนท์ การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นพิษในน้ำที่ส่วนบนในคลองแสนแสบ โดยวิธีนิวตรอน
 แอคติเวชัน ปรินฎานิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 2518,
 105 อัครสาเนา
- เสนอ อินทรสุขศรี อาหารและสุขภาพ : สัมมนาทาง ท.ท.ท. ของ 4 รวม 12 ตอน ระหว่าง
 ปี พ.ศ. 2506 โรงพิมพ์ไทยพิทยา พระนคร 2507, 96 หน้า

อนงค์ นิลอุบล "การวิเคราะห์แบบแอคทีเวชัน" เอกสารสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ
หน้า 6, 1970

ออก กฤษดากร "วิทยาศาสตร์หัตถกรรม" วิทยาศาสตร์ 10 : 33 - 42 มกราคม 2516

Anong Nilubol, M.L. "Soil Analysis by Neutron Activation Method,"
Chemistry Division, Office of the Atomic Energy for Peace.
1963. 7 p.

Bate, L.C., Y. Wellwart and J.P. Stokely. "A Rapid Chemical
Separation for Radiomanganese," OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY.
Operated by Union Carbide Corporation for the U.S. Atomic Energy
Commission, ORNL - TM - 438, 64 : 6, December, 1962.

Blanchard, R.L., G.W. Seddicotte and D.W. Moeller. "Neutron
Activation Analysis of Drinking Water," Second United Nations,
International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy.
28 : 511 - 516, 1958.

Coyne, Robert V. and Jame A. Collins. "Loss of Mercury from
Water During Storage," Analytical Chemistry. 44 : 1039 - 1096,
June, 1972.

Corliss, William R. Neutron Activation Analysis. USAEC, Tennessee,
1963. 27 p.

Ernest, Gladney S. and Owens, W. James. "Determination of Arsenic,
Tungsten and Antimony in Natural Waters by Neutron Activation
and Inorganic Ion Exchange," Analytical Chemistry. 48 : 2220 -
2222, December, 1976.

Fujinaga, T. and others. "Radioactivation Analysis of Aluminium,
Vanadium, Copper, Molybdenum, Zinc and Uranium in Natural Water
Sample Using Organic Coprecipitants," Journal of Radioanalytical
Chemistry. 13(2) : 301 - 311, February, 1973.

Girardi, F. and E. Sabbioni. "Selective Removal of Radiosodium
from Neutron - Activated Materials by Retention on Hydrated
Antimony Pentoxide," Journal of Radioanalytical Chemistry.
1 : 169 - 178, May, 1968.

Lyon, William S. Jr. Guide to Activation Analysis. New York,
D. Van Nostrand Co., Inc., 1964. 340 p.

Lo, J.M., J.C. Wei and S.J. Yeh. "Preconcentration of Mercury,
Gold and Copper in Seawater with Lead Diethyldithiocarbamate
for Neutron Activation Analysis," Analytical Chemistry.
49 : 1146 - 1148, July, 1977.

Nakasa, H. and H. Ohno. "Application of Thermal - Neutron Activation Analysis of Detection of Trace Elements in the Air, Snow and Natural Water," Abstracts of Papers. The 8th Japan Conference on Radioisotopes, 13(16) : 74 - 75, November, 1967.

Ryazanov, I.A. "Relation between Endemic Goiter in the Population of the Tartar ASSR and the Trace Element Composition of the Drinking Water," Chemical Abstracts. 88 : 276, 1978.

Salbu, Elliv Steennes. and Pappas. "Multielement Neutron Activation Analysis of Fresh Water Using Ge (Li) Gamma Spectrometry," Analytical Chemistry. 47 : 1011 - 1016, June, 1975.

Surinder, Bhagat K. and others. "Trace Element Analysis of Environmental Samples by Neutron Activation Method," Journal Water Pollution Control. Washington D.C., 43(12) : 2414 - 2423, 1971.

Vibul Leenanupan. A STUDY ON THE DISTRIBUTION OF TRACE ELEMENTS ALONG THE LOWER CHAO PHRAYA RIVER BY NEUTRON ACTIVATION. A Thesis for Degree of Master of Engineering Department of Nuclear Technology Graduate School Chulalongkorn University, 1975. 50 p.

Willard, H.H. Instrumental Method of Analysis. Van Nostrand, 1965. 784 p.

Wohl, Michael G. and Robert S. Goodhart. Modern Nutrition in Health and Disease. Philadelphia, Lea and Febiger, 1968. 1240 p.