

การเปรียบเทียบวิธีทางเคมีและวิธีทางนิวเคลียร์  
ในการวิเคราะห์ธาตุบางชนิดในน้ำประปา เพื่อการสอนวิชาวิทยาศาสตร์

ปริญญาณิพนธ์

ของ

วิมล คันทนาตระกูล

THE LIBRARY  
COLLEGE OF EDUCATION  
BANGKOK, THAILAND

เสนอต่อวิทยาลัยวิชาการศึกษา  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาการศึกษามหามัธยมศึกษา

13 มีนาคม 2513

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิติได้พิจารณาปริญญาบัตรฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับ  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต ของวิทยาลัยวิชาการศึกษาได้

พินิติ รัตนวงษ์ ประธาน

อิมดา-เปลว กรรมการ

ธีระชาติ วัฒนศิริ กรรมการ

สุทธวี ทรัพย์ กรรมการ

13 มีนาคม 2513

## ประกาศคุณประการ

การที่มากันกว่าครึ่งที่สำเร็จไต่ด้วยดี เนื่องจากผู้เขียนได้รับคำแนะนำและ  
ความช่วยเหลือจากอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน คือ ศาสตราจารย์ ดร.พิทักษ์ รัชผลเดช  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนทรี พริยกิจ อาจารย์ ม.ล. อนงค์ นิลอุบล และอาจารย์ประยงค์  
พงษ์ทองเจริญ ผู้เขียนกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นอกจากนี้ผู้เขียนกราบขอบพระคุณ เจาหนาที่ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ  
สำนักนายกรัฐมนตรื และเจาหนาท่อกองเกมี่ กระทรวงอุตสาหกรรม ที่ได้กรุณาให้ความ  
ร่วมมือและอำนวยความสะดวกอย่างยิ่งในการทดลองของผู้เขียนไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จเป็นรูปเล่มขึ้นได้เพราะได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง  
จากคุณนิเวศน์ ชรรมรัักษ์ สำนักงานทดสอบ วิทยาลัยวิชาการศึกษา ประสานมิตร ผู้เขียน  
ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

วิมล คันทนาตระกูล

## สารบัญ

บทที่	หน้า
1. บทนำ	1
คำนำ	1
ความมุ่งหมายในการศึกษาครั้งนี้	2
ความสำคัญของการศึกษานี้	3
ขอบเขตของการศึกษานี้	3
คำจำกัดความและศัพท์เฉพาะ	4
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้	5
2. ทฤษฎี	11
ทฤษฎีในการวิเคราะห์แบบแยกตัวแปร	11
ทฤษฎีการถดถอย	18
3. เครื่องมือและวิธีดำเนินการ	22
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	22
กลุ่มตัวอย่าง	25
การวิเคราะห์หน้าประปาด้วยวิธีทางเคมี	25
การวิเคราะห์หน้าประปาด้วยวิธีทางนิวเคลียร์	33
4. วิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง	41
อภิปรายผลการทดลอง	47
5. บทขอสรุปและขอเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	59

## บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1. ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในชั้นของก้อนนิ่ว	9
2. เปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสในคนปกติและผู้ป่วย	10
3. ปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่พบในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร โดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางเคมี พร้อมควยค่ากำหนดของความคลาดเคลื่อน	48
4. ปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่พบในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร โดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางนิวเคลียร์ พร้อมควยค่ากำหนดของความคลาดเคลื่อน	49

## บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1. การศึกษาโซเดียมในน้ำประปาจากแหล่งผลิต	41
2. การศึกษาโซเดียมในน้ำประปาจากแหล่งใช้	42
3. การศึกษาอะลูมิเนียมในน้ำประปาจากแหล่งผลิต	43
4. การศึกษาอะลูมิเนียมในน้ำประปาจากแหล่งใช้	44
5. การศึกษาทองแดงในน้ำประปาจากแหล่งผลิต	45
6. การศึกษาทองแดงในน้ำประปาจากแหล่งใช้	46
7. การศึกษาแอมโมเนียในน้ำประปาจากแหล่งผลิตและแหล่งใช้	47
ก. Calibration curve of Aluminium	
ข. Calibration curve of Copper	
ค. Calibration curve of Manganese	

คำนำ

"การวิเคราะห์" เป็นวิธีการหนึ่งทางวิทยาศาสตร์ที่ช่วยให้วิทยาการในสาขาวิชาการต่าง ๆ เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ซึ่งดำเนินไปได้อย่างรวดเร็วนั้น มี "การวิเคราะห์" เป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยส่งเสริมการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ มิใช่จะริเริ่มมีขึ้นในสมัยปัจจุบันนี้ ความจริงแล้วได้เริ่มมีการวิเคราะห์ตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 5-6 ในสมัยนั้นเป็นสมัยที่เรียกว่า การเล่นแร่แปรธาตุ หรือ รสายนเวทย์ (alchemy) ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์อย่างหยาบ โดยอาศัยระบบประสาทที่มีอยู่ช่วยวิเคราะห์ เป็นคนว่า เริ่มจากการคลำหรือสัมผัสด้วยมือ คูสี ถ้ายังไม่รู้ว่า เป็นอะไร ก็คม เขยาฟังเสียง และลิ้นชิมและมองอย่างพิถีพิถันวิเคราะห์ วิธีการดังกล่าวจึงมักไม่ค่อยถูกต้อง ต่อมาการใช้สารเคมี ใช้ความร้อน ฯลฯ ช่วย และจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้เกิดสีหรือกลิ่นใหม่ ๆ เกิดขึ้น ซึ่งจะช่วยให้รู้ถึงคุณสมบัติหรือกลิ่นนั้นว่าเป็นธาตุอะไร ต่อมาในปี ค.ศ. 1493 Theophrastus B. Paracelus ชาวสวิสซึ่งเป็นคนแรกที่คิดแปลงวิชาเคมีในสมัยเล่นแร่แปรธาตุให้เป็นการวิเคราะห์ที่แท้จริง โดยเปลี่ยนแปลงแนวการวิเคราะห์ที่มีหลักเกณฑ์ไม่ถูกต้องในสมัยนั้น ให้เข้าสู่วิธีการที่มีหลักเกณฑ์ถูกต้อง

เมื่อวิทยาการทางวิทยาศาสตร์สาขาต่าง ๆ พัฒนาขึ้น นักวิทยาศาสตร์สามารถที่จะเลือกการวิเคราะห์ได้มากวิธีขึ้น ได้มีการนำเอาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ค้นพบใหม่ ๆ มาช่วยในการวิเคราะห์ ปรากฏว่าความสะดวกในงานวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ส่วนหนึ่งสืบเนื่องมาจากการนำความรู้แขนงวิชาฟิสิกส์ เช่น ความร้อน แสง เสียง มาช่วย ตัวอย่างเช่น ถ้าทำให้วัตถุร้อนจัดวัตถุจะเปล่งแสง ถ้าใช้แท่งแก้วปริซึมแยกแสงนี้ออกเป็นสเปกตรัม จากสเปกตรัมจะบอกได้ทันทีว่าวัตถุนั้นเป็นธาตุอะไร ต่อมาวิทยาการก้าวหน้า

มาถึงการใช้รังสีเอกซ์ อุลตราไวโอเล็ต อินฟราเรด และคลื่นวิทยุไมโครเวฟมาช่วยในการวิเคราะห์ธาตุ ในปัจจุบันนี้วิทยาการใหม่ ๆ ทางวิทยาศาสตร์มีส่วนช่วยให้การวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์กระทำได้ง่ายขึ้น สะดวกขึ้น รวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น สิ่งสำคัญอันเริ่มจากการวิเคราะห์ ก็คือการเลือกวิธีการที่เหมาะสมมาใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากนำประปาที่ประชาชนในจังหวัดพระนครใช้บริโภคในทุกวันนี้ เป็นที่สนใจกันมากในวงการแพทย์ ว่ามีปริมาณธาตุบางชนิดอันเป็นคุณหรือโทษต่อร่างกายมากน้อยเพียงไร ผู้เขียนจึงได้ใช้นำประปาในจังหวัดพระนครเป็นสารตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ 2 แบบคือ วิธีทางเคมี และวิธีทางนิวเคลียร์ เพื่อเปรียบเทียบผลในการวิเคราะห์ 2 วิธีนั้น

การศึกษารั้วนี้ ผู้เขียนหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะและต่อครูวิทยาศาสตร์ นอกจากนั้นก็อาจเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจในการวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อยในสารต่าง ๆ

#### ความมุ่งหมายในการศึกษาครั้งนี้

1. เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุบางชนิด ในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร โดยใช้วิธีทางเคมี ที่เรียกว่า Spectrophotometric method

2. เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุบางชนิด ในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร โดยใช้วิธีทางนิวเคลียร์ ที่เรียกว่า Neutron Activation ซึ่งมีกรรมวิธีประเภท

Instrumentation Neutron Activation Analysis และ Destructive Neutron Activation Analysis

3. เพื่อเปรียบเทียบผลในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุบางชนิดในน้ำประปากด้วยวิธีทางเคมี และวิธีทางนิวเคลียร์

4. เพื่อเสนอแนะหลักสูตรและการเตรียมการให้มีการสอน Nuclear Science เบื้องต้นในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายของประเทศไทย

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

- 1. ผลของการศึกษาค้นคว้านี้ จะเป็นแนวทางให้ครูวิทยาศาสตร์ของสถาบันการศึกษา ใ้ครูถึงผลการเปรียบเทียบในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ ด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางนิวเคลียร์
- 2. เทคนิคและวิธีการในการทดลองที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าและทดลองในเรื่องนี้ สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ วิชาฟิสิกส์ และวิชาเคมีในระดับประกาศนียบัตรวิชาการศึกษาและระดับปริญญาในวิทยาลัยวิชาการศึกษาได้
- 3. ผลของการศึกษาค้นคว้านี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการแพทย์โดยเฉพาะเกี่ยวกับสมุฏฐานของการเกิดเป็นโรค เช่น การอักเสบจากกอนนีว โรคพิษยู โรค Manganese Poisoning

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

การศึกษาค้นคว้านี้ มีขอบเขตดังนี้

- 1. ศึกษาเฉพาะน้ำประปาในจังหวัดพระนคร โดยการสุ่มตัวอย่างน้ำประปา 2 แห่งคือ
  - 1.1 น้ำประปาจากแหล่งผลิต ที่การประปาสามเสน ถนนพระราม 6 อำเภอคูสิต
  - 1.2 น้ำประปาจากแหล่งใช้ ที่บ้านเลขที่ 499/1 ถนนสุขุโขทัย อำเภอคูสิต
- 2. ศึกษาเฉพาะธาตุ โซเดียม อะลูมิเนียม ทองแดงและแมงกานีส
- 3. เครื่องวัดที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์
  - 3.1 การวิเคราะห์ทางเคมี ใช้วิธีการ Spectrophometric Method ซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัด Absorptiometer และ Flame Photometer
  - 3.2 การวิเคราะห์ทางนิวเคลียร์ ใช้วิธีการ Neutron Activation ซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัด Multichannel Pulsc-Height Analyzer
- 4. ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ ทำการวิเคราะห์ในด้านปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis)

## คำจำกัดความและศัพท์เฉพาะ

การวิเคราะห์ทางเคมี หมายถึง การวิเคราะห์ด้วยวิธีการและเทคนิคทางเคมี  
ที่เรียกว่า Spectrophotometric method

Spectrophotometric method <sup>1</sup> หมายถึง การศึกษาทั้งคุณภาพและปริมาณ  
ของธาตุในสารตัวอย่าง โดยการสังเกตคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของธาตุต่าง ๆ ในสาร  
ตัวอย่าง

Absorptiometer หมายถึง เครื่องมือสำหรับหาปริมาณธาตุ โดยการวัดความเข้ม  
ในการดูดกลืนแสงสีเดียวของสาร

Flame Photometer หมายถึง เครื่องมือสำหรับหาปริมาณธาตุ โดยการวัด  
ความเข้มของเปลวของสารนั้น

การวิเคราะห์ทางนิวเคลียร์ หมายถึง การทำให้อะตอมของธาตุต่าง ๆ เปลี่ยน  
เป็นธาตุกัมมันตรังสี (radioisotopes) โดยการอาบควยรังสีที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์  
นิวเคลียร์ แล้ววิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีที่ออกจากธาตุนั้น

Instrumentation Neutron Activation Analysis <sup>2</sup> หมายถึง วิธี  
วิเคราะห์หาปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง โดยการนำสารมาตรฐานและสารตัวอย่างเข้าอาบ  
รังสีนิวตรอน แล้วนำไปวัดกัมมันตภาพรังสี

Destructive Neutron Activation Analysis <sup>3</sup> หมายถึง วิธีวิเคราะห์  
หาปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง โดยนำสารมาตรฐานและสารตัวอย่างเข้าอาบรังสีนิวตรอน  
แล้วใช้วิธีทางเรดิโอเคมีเพื่อแยกธาตุกัมมันตรังสีที่ต้องการให้บริสุทธิ์ และนำไปวัดกัมมันตภาพ  
รังสี

<sup>1</sup> Honig, Jurgen M., and others, The Van Nostrand Chemist's Dictionary pp 654.

<sup>2</sup> United States Atomic Energy Commission, Guide to Activation Analysis pp. 127-133.

<sup>3</sup> United States Atomic Energy Commission op. cit. pp. 133-141.

Multi-channel pulse-height analyzer หมายถึง เครื่องมือสำหรับหา  
คุณภาพและปริมาณของธาตุ โดยการวัดกัมมันตภาพรังสีของธาตุกัมมันตรังสีหลายตัว  
ออกมา

ธาตุบางชนิด หมายถึง โซเดียม อะลูมิเนียม ทองแดงและแมงกานีส  
สารมาตรฐาน หมายถึง สารละลายซึ่งนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบกับกัมมันตภาพรังสี  
ของสารละลายนั้น กับกัมมันตภาพรังสีของสารตัวอย่าง

### เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคนควา

เมื่อปี ค.ศ. 1936 G. Hevesy และ H. Levi<sup>4</sup> นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน  
ได้ริเริ่มงานคนควาเกี่ยวกับการวิเคราะห์แบบ Neutron Activation ขึ้นเป็นครั้งแรก  
ต่อมาในปี ค.ศ. 1938 G.T. Seaborg และ J.J. Livingood ได้เผยแพร่ผลงาน  
การวิเคราะห์แบบ Activation เป็นครั้งแรกในสหรัฐอเมริกา หลังจากนั้น  
นักวิทยาศาสตร์หลายคนได้ทำการวิเคราะห์แบบ Neutron Activation เช่น G.E. Boyd  
D.N. Hume R.T. Overman H. Clark และใน ค.ศ. 1949 G.E. Boyd ก็ได้  
จัดพิมพ์ผลงานของเขาเพื่อเผยแพร่ และได้มีการอภิปรายถึงวิธีวิเคราะห์แบบ Neutron  
Activation อย่างกว้างขวางทำให้มีผู้สนใจในการวิเคราะห์แบบนี้กันมาก

ผลงานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์แบบ Neutron Activation ที่ทำการทดลอง  
ในต่างประเทศ พอสรุปได้ดังนี้

ในปี ค.ศ. 1959 R.L. Blanchard G.W. Leddicotte และ  
D.W. Moeller<sup>5</sup> ชาวอเมริกันได้ศึกษาเกี่ยวกับธาตุที่มีในน้ำคั้นของเมืองชิคาโก  
สหรัฐอเมริกา โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Neutron Activation ผลการทดลอง

<sup>4</sup> United States Atomic Energy Commission, op. cit pp. 133-141.

<sup>5</sup> United States Atomic Energy Commission, op. cit. pp. v

ปรากฏว่า พบธาตุหลายชนิดในน้ำเค็ม เช่น สารหนู แบริียม โบรมีน กลอรีน ไอโอดีน โปแตสเซียม รูบิเดียม สตรอนเตียม แมกนีเซียม แมงกานีส โซเดียม อะลูมิเนียม และสังกะสีในปริมาณต่าง ๆ ธาตุเหล่านี้บางธาตุก็มีประโยชน์ บางธาตุก็มีโทษต่อร่างกายมนุษย์ ในการศึกษานี้ใช้วิธี Destructive Neutron Activation Analysis เขาได้แบ่งสารตัวอย่างที่จะศึกษาออกเป็น 6 กลุ่ม ในแต่ละกลุ่มนำไปอบรังสี แล้วนำไปวิเคราะห์หามันตกภาพรังสีด้วยเครื่องวัด Gamma scintillation spectrometry นอกจากนี้ เขายังได้วิเคราะห์หาปริมาณของธาตุเหล่านี้คือ สารหนู แบริียม โบรมีน ไอโอดีน แมกนีเซียมและสังกะสี แล้วนำผลการวิเคราะห์นี้ไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์แบบอื่น ๆ พบว่าการวิเคราะห์แบบ Neutron Activation ให้ผลดีในการค้นคว้า

ในปี ค.ศ. 1965 Donald F. Schutz และ Karl K. Turekian<sup>6</sup> แห่งมหาวิทยาลัยเยล ได้ทำการวิเคราะห์แบบ Neutron Activation เพื่อหาปริมาณธาตุที่มีอยู่น้อย (Trace elements) ในน้ำทะเล ธาตุที่มีปริมาณน้อยที่ศึกษาครั้งนี้มี 18 ธาตุ ผลการทดลองพบว่า เมื่อนำน้ำซึ่งเป็นสารตัวอย่างไปอบรังสีนิวตรอนในเวลาไม่นานนัก แล้วนำมาวิเคราะห์หามันตกภาพรังสี ปรากฏว่าพบธาตุเหล่านี้คือ รูบิเดียม ซีเซียม แบริียม ทอง ซีลีเนียม เงิน โคบอลต์และนิกเกิล และหลังจากการอบรังสีนิวตรอนเป็นเวลานานถึง 150 ชั่วโมงโดยใช่ flux ขนาด  $(2 - 6) \times 10^{13}$  neutrons/cm<sup>2</sup>.Sec ได้พบธาตุเหล่านี้คือ ปรอท สังกะสี นิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก แบริียม เงิน

ในปี ค.ศ. 1967 Ove T. Høgdahl Sigurd Melson และ Vaughan T. Bowen<sup>7</sup> ได้ทำการวิเคราะห์แบบ Neutron Activation เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณ

<sup>6</sup> Schutz, Donald F., and Turekian, Karl K., "Geographical and vertical distribution of several trace elements in sea water using neutron activation analysis" Chemical Abstracts, 62 : 15901.

<sup>7</sup> Høgdahl, Ove T., and others "Neutron Activation Analysis of Lanthanide Elements in Sea Water" Trace Inorganic in Water, pp. 308.

ของธาตุพวก แลนทาไนด์ (Lanthanide) ในน้ำที่ไค้มาจากมหาสมุทรแอตแลนติกเหนือ ผลการทดลองพบว่า มีธาตุอยู่หลายและสามารถหาปริมาณของธาตุซึ่งมีน้อย ไค้ละเอียดถึง จุทศนิยมตำแหน่งที่สองของ ไมโครกรัมต่อลิตร

E.F. McFARREN และ R.J. Lishka <sup>8</sup> ไค้ทำการทดลอง เพื่อประเมินผล เกี่ยวกับ วิธีการวิเคราะห์ที่ไค้ใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยวิเคราะห์หาปริมาณสารอนินทรีย์ ในน้ำดื่ม ผลการทดลองพบว่า

วิธีวิเคราะห์โดยการดูดกลืนแสงของอะตอมของธาตุ ให้ผลดีในการวิเคราะห์ ทองแดง เหล็ก

วิธีวิเคราะห์โดยการไทเปอร์ซัลเฟต ไปเร่งปฏิกิริยาของสารประกอบแมงกานีส ให้กลายเป็น เปอร์แมงกาเนต วิธีนี้ให้ผลดีในการวิเคราะห์ แมงกานีส

ในต่างประเทศไค้มีการวิเคราะห์น้ำดื่มด้วยวิธีทางเคมี ผลการวิเคราะห์พอสรุปไค้ ดังนี้

ในปี ค.ศ. 1940 C.P. van Dijk <sup>9</sup> ไค้ทำการทดลองหาปริมาณทองแดง สังกะสีและตะกั่วในน้ำดื่ม โดยใช้วิธี Titration Photometry และ Colorimetry ผลการทดลองปรากฏว่า สามารถหาปริมาณของธาตุดังกล่าวไค้

ในปี ค.ศ. 1941 N.V. Veselovski <sup>10</sup> ชาวรัสเซีย ไค้ทำการทดลองหา ปริมาณไอเดียมในน้ำดื่มด้วยวิธี Volumetric analysis โดยเขาไค้ดัดแปลงการทดลอง ของเขานาจากวิธีทดลองของ Dobbins และ Byrd ผลการทดลองพบว่า สามารถหา ปริมาณไอเดียมที่มีปริมาณน้อยในน้ำดื่มไค้ละเอียดถึงทศนิยมของมิลลิกรัม

<sup>8</sup> McFARREN, E.F., and Lishka, R.J., "Evaluation of Laboratory Methods for the Analysis of Inorganic in Water" Trace Inorganic in Water, pp. 259.

<sup>9</sup> Dijk, C.P. van, "The determination of Cu, Zn, Pb in drinking water" Chemical Abstracts, 36 · 6711.

<sup>10</sup> Veselovski, N.V., "Volumetric determination of Na by the zinc urange method according to Dobbins and Byrd" Chemical Abstracts, 37 4029.

ในปี ค.ศ. 1961 Luigi Olivari และ Roberto Benassi<sup>11</sup> ชาวอิตาลี ได้ทำการทดลองหาปริมาณ โซเดียม โปแตสเซียม ในน้ำดื่ม โดยใช้ เครื่องวัด Flame photometer ผลการทดลองปรากฏว่า สามารถหาปริมาณโปแตสเซียม ในน้ำได้ และโดยการใช้เครื่องวัด H-O flame พร้อมควย ของเล็ก ๆ ขนาด 0.7 มิลลิเมตร จะสามารถหาปริมาณโปแตสเซียมได้ละเอียดยิ่งขึ้น และใช้การทดลองแบบ เดียวกัน สำหรับหาปริมาณของโซเดียม

๑ - ในปี ค.ศ. 1965 Edward C Mallory<sup>12</sup> ชาวอเมริกัน ได้ทำการทดลอง หาธาตุที่มีปริมาณน้อย ๆ ในน้ำ โดยวิธีการตกตะกอน ผลการทดลองปรากฏว่า สามารถ หาปริมาณของธาตุเหล่านี้ได้คือ อะลูมิเนียม พลวง สารหนู เบอริเลียม บิสมัท แกลเลียม โครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว แคนทานัม สังกะสี และ เซอโคเนียม กรดกำมะถันจากก้อนนี้<sup>13</sup> ผลจากการวิเคราะห์ก้อนนี้จากโรงพยาบาลเชียงใหม่ โรงพยาบาลขอนแก่น และโรงพยาบาลหญิง ซึ่งสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติได้วิเคราะห์ พบว่าธาตุที่มีประจําในก้อนนี้คือ โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียมและฟอสฟอรัส การวิเคราะห์ก้อนนี้ มีปริมาณธาตุดังนี้

<sup>11</sup> Olivari, Luigi, and Benassi, Roberto, "Determination of Na, K in drinking water by Flame Photometry" Chemical Abstracts, 55 - 6739.

<sup>12</sup> Mallory, Edward C., "A Thiocetamide - Precipitation Procedure for Determining Trace Element in Water" Trace Inorganic in Water, pp. 281.

<sup>13</sup> อังกิ นิลอุบล, บ.ค., "การวิเคราะห์แบบแยกทีละขั้น" เอกสารสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ หน้า 6.

ตาราง 1. ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในชั้นของกอนนีว

ชั้นของกอนนีว	แมงกานีส (mg /g.)	แคลเซียม (mg./g.)	ฟอสฟอรัส (mg /g.)	โซเดียม (mg, /g )
ชั้นใน	3.14	31.30	752.0	5.375
ชั้นกลาง	1.335	50.89	13.7	4.945
ชั้นนอก	0.76	261.405	4.90	2.345

โรคพิษยู จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์พบว่า ธาตุที่มีปริมาณน้อยในน้ำดื่ม บางธาตุมีความสำคัญมากในการต่อต้านโรคพิษยู เช่น ฟลูออรีน วาเนเดียม โมลิบดีนัม และแมงกานีส ธาตุเหล่านี้ถ้ามีปริมาณน้อยในน้ำดื่มและอาหารจะช่วยต้านทานการยูของฟัน ได้เป็นอย่างมาก แต่ตรงกันข้าม ซิลิเนียมในน้ำดื่มกลับจะช่วยให้พิษยูเร็วขึ้น

โรค Manganese Poisoning <sup>14</sup> จากการวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสในร่างกายมนุษย์ ซึ่งสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติร่วมกับโรงพยาบาลศิริราชได้ร่วมกันทำการศึกษา พบว่า แมงกานีสที่เข้าไปสะสมในร่างกายจะทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย ปวดเมื่อย เบื่ออาหาร บางรายที่เป็นมากก็ส่งแงอาการของโรคแปลก ๆ มีอาการซีดเขียวจะเป็นลม ปริมาณของแมงกานีสที่มีในร่างกายคนปกติ และในร่างกายผู้ป่วยด้วยโรค Manganese Poisoning <sup>15</sup> มีดังนี้

✓ 14 อนงก์ นิลอุบล, ม.ล., "การวิเคราะห์โลหะที่เป็นพิษด้วยรังสี" วิทยาศาสตร์ 6 : 67.

<sup>15</sup> Nilubol, Anong, M.L., and others "Manganese Toxication in the Human Body Determination by Activation Analysis " Journal of Nuclear Medicine, pp. 178-180.

ตาราง 2. เปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสในคนปกติและผู้ป่วย

แมงกานีสจากของเหลวต่าง ๆ ในร่างกายคนปกติ				แมงกานีสจากของเหลวต่าง ๆ ในร่างกายผู้ป่วย ควายโรค Manganese Poisoning			
ตัวอย่าง ก่อนนี้	โลหิต mg/100ml	ปัสสาวะ mg/100ml	น้ำไขสันหลัง mg/100ml	ตัวอย่าง ก่อนนี้	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	0.0007	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

ทฤษฎีในการวิเคราะห์แบบ แอกทิเวชัน (Theory of Activation Analysis)

ในการวิเคราะห์แบบ Activation<sup>16</sup> อาศัยการเปลี่ยนไอโซโทปถาวร (Stable isotopes) ให้เป็นธาตุกัมมันตรังสี (Radioisotope) โดยการยิง (bombardment) นิวตรอนหรืออนุภาคอื่น ๆ (ซึ่งได้จากเครื่องปฏิกรณ์ เครื่องเร่งอนุภาค หรือแหล่งกำเนิด) เข้าไปในนิวเคลียสของธาตุ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสของธาตุนั้นโดยอะตอมของธาตุจะแปรสภาพเป็นธาตุกัมมันตรังสี ของธาตุเดิม หรือบางที่อาจเปลี่ยนไปเป็นธาตุกัมมันตรังสี ของธาตุใหม่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคที่ยิงเข้าไป ธาตุกัมมันตรังสี ที่เกิดขึ้นส่วนมากจะเป็นธาตุกัมมันตรังสี ที่มีกัมมันตภาพรังสี (radioactivity) ถ้าสามารถนำ ธาตุกัมมันตรังสี ที่เกิดขึ้นใหม่นี้มาวิเคราะห์หาปริมาณกัมมันตภาพรังสี หา Energy peak ของรังสี จะทำให้ทราบชนิดของธาตุและปริมาณของธาตุนั้นได้

สำหรับอนุภาคที่ใช้เป็นตัวยิงเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุนั้นมีหลายชนิด เช่น อนุภาคนิวตรอน อนุภาคโปรตอน อนุภาคอัลฟา และรังสีแกมมา ส่วนมากนักวิทยาศาสตร์นิยมให้อนุภาคนิวตรอนเป็นตัวยิง เพราะอนุภาคต่าง ๆ ผลิตรังสีด้วยกรรมวิธีต่างกัน และอนุภาคเหล่านั้นเมื่อยิงเข้าไปในอะตอมของธาตุ ต้องเร่งอนุภาคให้มีความเร็วเพียงพอ จึงจะผ่านเข้าไปในนิวเคลียสได้ แต่เมื่อใช้นิวตรอนเป็นตัวยิง ไม่จำเป็นต้องเร่งให้เคลื่อนที่เร็ว เพราะเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุไฟฟ้า สามารถเคลื่อนที่เข้าไปถึงนิวเคลียสได้ง่ายกว่าอนุภาคอื่น

เมื่อยิงอนุภาคเข้าไปในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุแล้ว ย่อมเกิดปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียส ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีหลายแบบซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคที่ใช้ยิง

<sup>16</sup> Bowen, H.J.M., and Gibbons, D., op.cit. pp. 5.

$$\frac{dB}{dt} = A\lambda_A - B\lambda_B \quad (1)$$

เมื่อ B คือ จำนวนอะตอมกัมมันตรังสีที่ผลิต  
 $A\lambda_A$  คือ activity ของ A  
 $B\lambda_B$  คือ activity ของ B  
 A คือ จำนวนอะตอมกัมมันตรังสีที่สลายตัว  
 ในเวลา t จำนวนอะตอมของ A คือ

$$A = A_0 e^{-\lambda_A t} \quad (2)$$

สมการ (2) แทนในสมการ (1) จะได้

$$\frac{dB}{dt} = A_0 \lambda_A e^{-\lambda_A t} - B\lambda_B \quad (3)$$

สมการ (3) มี solution ดังนี้

$$B = A_0 \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) \quad (4)$$

เนื่องจากการผลิต<sup>19</sup> มีค่าน้อย แต่จำนวน  $A_0$  มีค่ามาก  
 โดยวิธีคณิตศาสตร์จะได้อ่า  $A_0 \lambda_A$  มีค่าแน่นอน (Finite) ดังนั้น  $\lambda_A$  มีค่า  
 ใกล้เคียง  $A_0$  มีค่าใกล้เคียงอนันต์ (Infinite)

$$B = A_0 \frac{\lambda_A}{\lambda_B} (1 - e^{-\lambda_B t}) \quad (5)$$

<sup>18</sup> Evans, Robley D., The Atomic Nucleus, pp. 477.

<sup>19</sup> Evans, Robley D., op.cit. pp. 484.

สมการ (5) อาจเขียนใหม่ได้เป็น <sup>20</sup>

$$N = \frac{P}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (6)$$

เมื่อ  $N$  คือ จำนวนอะตอมกัมมันตรังสี (radioactive atoms) เมื่อเวลา  $t$   
 $P$  คือ อัตราการผลิตนิวเคลียสกัมมันตรังสี (radioactive nuclei) ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $A_0 \lambda_A$   
 $\lambda$  คือ ค่าคงที่ แทน  $\lambda_p = 0.693/\text{Half-life}$  ของธาตุ  
 ดังนั้น อัตราการสลายตัวของอะตอมกัมมันตรังสี เมื่อเวลาใด ๆ แทนได้ด้วย

สมการ

$$K = \lambda N = P (1 - e^{-\lambda t})$$

$$\therefore K = P (1 - e^{-\lambda t}) \quad (7)$$

### อัตราของการผลิต (Rate of Production)

ภายในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มี Thermal neutron เกิดขึ้นที่ระจัดกระจาย  
 อยู่ทั่วไป <sup>21</sup> ทิศทางการเคลื่อนที่ของนิวตรอนเป็นแบบ random motion โดยอาศัย  
 ความรู้เรื่อง Scattering mean free path ซึ่งแทนระยะทางเฉลี่ยที่นิวตรอน  
 เคลื่อนที่ก่อนจะไปชนกับอะตอม และจากความรู้เรื่อง Absorbtion mean free path  
 ซึ่งแทนระยะทางเฉลี่ยของนิวตรอนก่อนที่นิวตรอนจะถูกดูดกลืน เราจะสามารถหาสมการอัตรา  
 การถูกดูดกลืนของนิวตรอน/ลูบาศก์เซนติเมตรใน 1 วินาที ได้ดังนี้

<sup>20</sup> Bowen, H.J.M., and Gibbons, D., op.cit. pp. 7.

<sup>21</sup> Litter, D.J., and Raffle, J.F., An Introduction to Reactor Physics, pp. 54.

$$\frac{\rho V}{l_a} = \rho V C$$

เมื่อ  $\rho$  คือ จำนวนนิวตรอน/ลูกบาศก์เซนติเมตร

$V$  คือ ความเร็วของนิวตรอน

$l_a$  คือ ระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ยของนิวตรอนก่อนถูกดูดกลืน

$C$  คือ ค่าคงที่  $DN_0 \zeta_a$

เมื่อ  $D$  คือความหนาแน่นของธาตุ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

$N_0$  คือจำนวนอะตอม/มวลของธาตุ

$\zeta_a$  คือ absorption cross-section ของธาตุ

ถ้ารวมความเร็วของนิวตรอนทุก ๆ ค่าแล้ว จะได้อัตราการดูดกลืนนิวตรอน/ลูกบาศก์เซนติเมตรเป็น  $\int \rho v C dv$

∴ อัตราการดูดกลืนของนิวตรอนทั้งหมด/ลูกบาศก์เซนติเมตร คือ

$$DN_0 \int \rho v \zeta_a dv = DN_0 \zeta_a \int \rho v dv \quad (8)$$

เมื่อ  $\zeta_a$  คือ  $\int \rho v \zeta_a dv / \int \rho v dv$

เนื่องจากอัตราการดูดกลืนนิวตรอนทั้งหมด/ปริมาตร คืออัตราการผลิต ดังนั้นจากสมการ (8) อาจเขียนใหม่ได้เป็น

$$P = f \zeta N_1 \quad (9)$$

- เมื่อ  $P$  คือ จำนวนอะตอมกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น/วินาที  
 $f$  คือ Neutron flux  
 $\sigma$  คือ activation cross - section (ตารางเซนติเมตร)  
 $* N_1$  คือ จำนวนอะตอมก่อนอาบรังสี

โดยการแทนค่าสมการ (9) ในสมการ (7)

$$A = f \sigma \frac{W \phi}{M} (1 - e^{-\lambda t}) \times (6.02 \times 10^{23}) \quad (10)$$

- เมื่อ  $A$  คือ activity  
 $M$  คือ น้ำหนักอะตอมของธาตุที่ศึกษา  
 $W$  คือ น้ำหนักของธาตุที่ศึกษา  
 $\phi$  คือ abundance ของไอโซโทปของธาตุที่ศึกษา  
 $6.02 \times 10^{23}$  คือ Avogadro's number

โดยทั่วไปจะเริ่มศึกษา activity ได้ภายหลังจากบึงอนุภาคเป็นเวลา  $T$  อะตอมกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจะสลายตัวเป็น factor ของ  $e^{-\lambda T/2}$   
 สมการ (10) อาจเขียนใหม่ได้เป็น

$$A = f \sigma \frac{W \phi}{M} (1 - e^{-\lambda t}) (e^{-\lambda T/2}) \times 6.02 \times 10^{23}$$

ดังนั้นปริมาณของธาตุคำนวณได้จากสมการ <sup>22</sup>

$$W = \frac{MA e^{\lambda T/2}}{f \sigma (1 - e^{-\lambda t}) \times 6.02 \times 10^{23}}$$

$$* N_1 = \frac{W \phi}{M} \times \text{Avogadro's number} = \frac{W \phi}{M} \times (6.02 \times 10^{23})$$

<sup>22</sup> Bowen, H.J.M., and Gibbons, D., Radioactivation Analysis, pp. 10 - 9.

เมื่อ	W	คือ	น้ำหนักของธาตุที่ศึกษา (หน่วยน้ำหนัก)
	M	คือ	น้ำหนักอะตอมของธาตุที่ศึกษา
	A	คือ	ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของธาตุที่ศึกษา (หน่วยนับ/หน่วยเวลา)
	f	คือ	Neutron flux
	$\sigma$	คือ	activation cross-section ของธาตุในสารตัวอย่าง
	$\phi$	คือ	abundance ของไอโซโทปของธาตุในสารตัวอย่าง
	$\lambda$	คือ	ค่าคงที่ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของไอโซโทป = $0.693/T_{1/2}$
	$T_{1/2}$	คือ	Half-life ของธาตุกัมมันตรังสี (หน่วยเวลา)
	t	คือ	เวลาที่ใช้ในการอาบรังสีนิวตรอน (หน่วยเวลา)
	$6.02 \times 10^{23}$	คือ	Avogadro's number

แต่ในทางปฏิบัติ น้ำหนักของสารมาตรฐานเป็นปริมาณที่รู้ ฉะนั้นจึงหาปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างใด โดยการเปรียบเทียบระหว่างสารมาตรฐานและสารตัวอย่างซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\text{น้ำหนักของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักของสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของสารมาตรฐาน}}$$

### อัตราการสลายตัว (Rate of Decay)

เมื่อธาตุกัมมันตรังสีเริ่มเกิดขึ้น ก็จะเริ่มมีการสลายตัวควยทันที Rutherford <sup>23</sup> " ได้แสดงว่า การให้รังสีออกนั้นเป็นขบวนการที่ไม่มีกฎเกณฑ์ (random process) " การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีเป็นการสลายตัวแบบ exponential

<sup>23</sup> ศุภลักษณ์ ทรรพนันท์ "เคมีรังสีประยุกต์" วิทยาศาสตร์, 11 : 935, 2511

ซึ่งขึ้นอยู่กับไอโซโทปของธาตุแต่ละชนิด ธาตุกัมมันตรังสีแต่ละชนิดใช้เวลาในการสลายตัว เพื่อกลายเป็นไอโซโทปถาวร (stable isotope) ไม่เท่ากัน ช่วงเวลาที่ใช้ในการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีเรียกว่า Half-life (สัญลักษณ์ซึ่งใช้แทนคือ  $T_{1/2}$ ) ซึ่งเป็นคุณลักษณะประจำตัวของธาตุกัมมันตรังสีชนิดนั้น ๆ จากคุณลักษณะการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีต่าง ๆ นั้น เขียนเป็นสมการได้ดังนี้<sup>24</sup>

$$A_t = A_0 \left[ e^{-\frac{0.693 \times t}{T_{1/2}}} \right]$$

- เมื่อ  $A_t$  คือ ปริมาณอะตอมกัมมันตรังสี ในเวลา  $t$   
 $A_0$  คือ ปริมาณอะตอมกัมมันตรังสี เมื่อเริ่มเกิดขึ้น  
 $T_{1/2}$  คือ Half-life ของธาตุที่ศึกษา  
 $t$  คือ เวลาที่นับจากเวลาเริ่มเกิดการสลายตัว

#### ทฤษฎีการดูดกลืน (Theory of Absorption)

เมื่อแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่กระจายผ่านสารหรือวัตถุใด ๆ แสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบางส่วนอาจถูกสารนั้นดูดกลืน<sup>25</sup> กฎแรกที่อธิบายเกี่ยวกับการดูดกลืนได้แก่ Lambert's Law โดยสมมติให้ความเข้มของรังสีของแสงที่ ตกกระทบเป็น  $P$  เมื่อแสงเดินทางผ่านพื้นที่ของวัตถุที่ดูดกลืน (ซึ่งทำหน้าที่เป็นฉากกัน) ความเข้มของรังสีของแสงที่ผ่านฉากกันซึ่งอยู่ในระยะไกลจะมีค่าน้อยลง โดยอาศัยวิธีการทางคณิตศาสตร์จะได้ ความเข้มของรังสีของแสงที่สูญหายไป ต่อการดูดกลืนของวัตถุที่เพิ่มขึ้น (มีสัญลักษณ์  $dx$ ) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของรังสีของแสงที่ตกกระทบกับฉากกัน

<sup>24</sup> United States Atomic Energy Commission, op.cit., pp. 2-3.

<sup>25</sup> Brown, Glenn H., and Sallee, Eugene M., Quantitative Chemistry, pp. 393-395

$$\therefore \frac{-dP}{db} \propto P$$

$$\frac{-dP}{db} = K_1 P \quad (1)$$

เมื่อ  $K_1$  คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับ

1. ความยาวคลื่นของการแผ่กระจาย
2. ธรรมชาติของสาร
3. เงื่อนไขอื่น ๆ ในการทดลอง

จากสมการ (1) จะได้  $\frac{-dP}{P} = K_1 db$  (2)

จากสมการ (2) โดย Integration จะได้

$$-\log P = K_1 b + C \quad (3)$$

สมมติให้  $P_0$  เป็นความเข้มของรังสีของแสงที่ตกกระทบบนพื้นที่ต่อวินาที  
 ดังนั้น  $b$  ย่อมมีค่าเป็นศูนย์

$$\therefore C = -\log F_0$$

และ  $\log \frac{P}{P_0} = -K_1 b$  (4)

จากสมการ (4) เขียนในรูป exponential จะได้

$$P = P_0 10^{-K_1 b} \quad (5)$$

สมการ (5) นี้เรียกว่า Lambert's law

เริ่มแรก Bouguer ได้เขียนขึ้นเป็นสมการในปี ค.ศ. 1729 และต่อมา Lambert ได้ปรับปรุงใหม่ในปี ค.ศ. 1768 แต่สมการนี้ไม่อาจจะนำไปใช้กับวัตถุที่เป็นเนื้อสม (Homogeneous materials)

ต่อมาในปี ค.ศ. 1852 Beer ได้เสนอกฎข้อที่สองของการดูดกลืน กฎนี้มีความสัมพันธ์กับความเข้มของรังสีของแสงและความหนาแน่นของสารตัวอย่างในระยะทางที่กำหนด การสูญเสียความเข้มของรังสีของแสงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของรังสีของแสงที่ตกกระทบ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$-\frac{dP}{dC} = K_2 P \quad (6)$$

ในทำนองเดียวกันจะได้  $\log \frac{P}{P_0} = -K_2 C \quad (7)$

กฎทั้งสอง อาจเขียนรวมกันในเทอมของตัวคงที่ใดดังนี้

$$\log \frac{P}{P_0} = -abc \quad (8)$$

- เมื่อ
- a คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการทดลอง เป็นค่าแทนการดูดกลืนของวัตถุ ซึ่งเรียกว่า absorptivity
  - b คือ ความหนาของ Absorption cell (หน่วยเซนติเมตร)
  - c คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (หน่วยกรัม/ลิตร)

การรวมกฎทั้งสองนี้ จึงเรียกกฏที่รวมนี้ว่า Beer-Bouguer-Lambert law ซึ่งนิยมเรียกกันสั้น ๆ ว่า Beer's law

เพื่อความสะดวกในการใช้กฎการดูดกลืนนี้ จึงได้เพิ่มเติมบางเทอมเข้าในสมการ

$$A = -\log T = -\log \frac{P}{P_0} = abc \quad (9)$$

- เมื่อ T คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีของแสงที่ตกกระทบและความเข้มของรังสีของแสงที่ผ่าน เรียกว่า Transmittance มีค่าดังนี้

$$T = \frac{P}{P_0}$$

A คือ การดูดกลืน (absorbance) ซึ่งกำหนดในรูป  
ค่าลบของ logarithm ของ Transmittance

## บทที่ 3

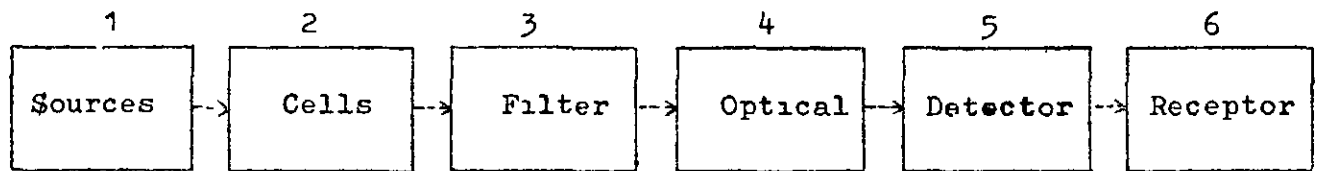
## เครื่องมือและวิธีการ

เครื่องมือ

การวิเคราะห์ทางเคมี โดยวิธีการ Spectrophometric method  
ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องมือต่อไปนี้

## Absorptiometer

การทดลองครั้งนี้ใช้ Absorptiometer เพื่อหาปริมาณอะลูมิเนียม ทองแดงและแมงกานีส ส่วนประกอบของเครื่องมือ มีดังนี้



1. Radiant Energy Sources ทำหน้าที่ผลิตลำแสงให้ตกกระทบกับ cells แสงที่ผลิตเป็นแสงที่มองเห็นควายตา รวมทั้งแสงในช่วงไกล ๆ infrared และ ultraviolet

2. Cells ลำแสงจาก Radiant Energy Sources จะมาตกกระทบ cells ซึ่งเป็นลักษณะสำหรับบรรจุยาที่จะวัดหาปริมาณธาตุต่าง ๆ

3. Filter ลำแสงที่ผ่าน cells จะมาตอมายัง filter ซึ่งจะทำหน้าที่กับแสงที่ไม่ต้องการออกไป จะปล่อยให้แสงเคียวที่ต้องการผ่านไปเท่านั้น

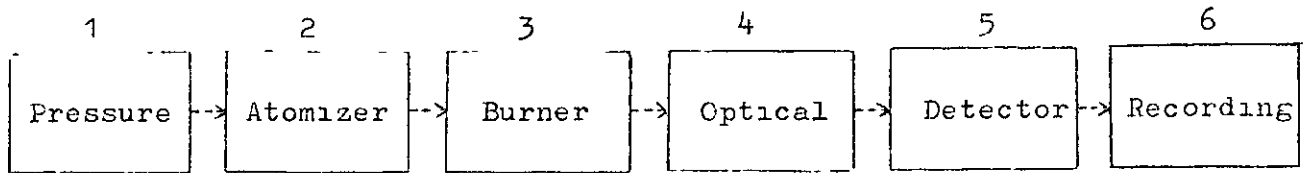
4. Optical System ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงที่ผ่าน filter ให้เป็นแสงขนาน เพื่อให้แสงขนานตรงไปยัง Dector

5. Detector เมื่อแสงขนานจาก Optical System มาถึง Barrier-layer cell ซึ่งเป็น detector จะเริ่ม detect

6. Receptor ทำหน้าที่บันทึกการทำงานของ detector โดยจะมี meter บันทึกผลออกมาเป็นกายน แสงกล

## Flame Photometer

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ Flame Photometer เพื่อหาปริมาณโซเดียม ส่วนประกอบ  
ของเครื่องมือ มีดังนี้



1. Pressure regulators and flow meters for the fuel gases เป็นส่วนที่ปล่อยก๊าซ (ซึ่งใช้ในการเผาไหม้) และปรับความดันให้เหมาะสม (ความดันที่ 10 ปอนด์/ตารางนิ้ว) เพื่อให้ก๊าซสม่ำเสมอตลอดเวลาการทดลอง

2. Atomizer ทำหน้าที่พ่นของเหลวที่ต้องการศึกษาให้เป็นฝอย ๆ เพื่อให้เข้าไปสู่เปลวไฟ ก๊าซอัตราสม่ำเสมอและแน่นอน

3. Burner ทำหน้าที่เผาไหม้ของเหลวที่ถูกพ่นแล้วจาก Atomizer โดยการระเบิดของก๊าซซึ่งล้อมรอบอยู่

4. The Optical System ทำหน้าที่รวมแสงจากเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ แล้วทำให้เปลวไฟเป็นแสงสีเดียว (สีส้ม) และ focus แสงสีเดียวให้ตกบนผิวของ Detector

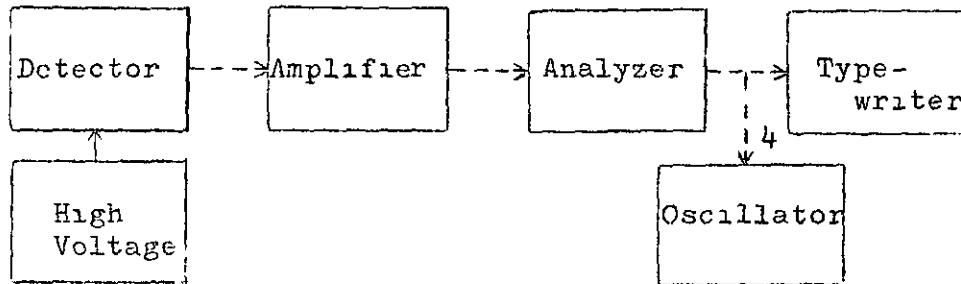
5. Photosensitive Detector ทำหน้าที่กั้นพลังงานแสงที่ไม่ต้องการออกไป ในส่วนนี้ barrier-layer cell จะเป็น detector

6. Recording the output of the detector ทำหน้าที่บันทึกผลจากการทำงานของ detector สำหรับในการทดลองนี้คือ Galvanometer ซึ่งจะบันทึกผลออกมาเป็นคาบจน เสก

การวิเคราะห์ทางนิวเคลียร์ โดยวิธีการ Neutron Activation ประกอบด้วย  
เครื่องมือ ดังนี้

### Multichannel pulse-height analyzer

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ Multichannel pulse-height analyzer เพื่อหา  
ปริมาณโซเดียม อะลูมิเนียม ทองแดงและแมงกานีส ส่วนประกอบของเครื่องมือดังนี้



1. Detector เมื่อรังสีจากสารกัมมันตรังสีมาชน detector แล้ว detector  
ก็จะรับ signal นี้ แล้วส่งต่อไปยัง Amplifier

2. Amplifier ทำหน้าที่ขยาย signal จาก detector ให้เพิ่มขึ้นและ  
ขณะเดียวกันก็จะเปลี่ยนเป็น linear ด้วย แล้วส่งต่อไปยัง analyzer

3. Analyzer ทำหน้าที่ วิเคราะห์กัมมันตภาพรังสี ซึ่งขยายแล้วจาก  
Amplifier

4. Oscillator ทำหน้าที่บันทึกการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีของ Analyzer  
โดยปรากฏออกมาเป็นรูป Curve ต่าง ๆ ตามชนิดของ Energy peak

5. Typewriter ทำหน้าที่บันทึกผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีจาก Analyzer  
โดยปรากฏออกมาเป็นตัวเลขต่าง ๆ

### วิธีดำเนินการ

ในการศึกษาครั้งนี้ ใ้แบ่งขั้นตอนของการศึกษาดออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การเลือกนำประปาเพื่อใช้ในการศึกษา
2. การวิเคราะห์หน้าประปาคด้วยวิธีทางเคมี
3. การวิเคราะห์หน้าประปาคด้วยวิธีทางนิวเคลียร์

## 1. การเลือกตัวอย่างน้ำประปาที่ใช้ในการศึกษา

น้ำประปาที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ได้เลือกศึกษาน้ำประปาในจังหวัด ระนอง โดยการสุ่มตัวอย่างจากแหล่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.1 น้ำประปาจากแหล่งผลิต ที่การประปาสามเสน ถนนพระราม 6 อำเภอคูสิด เก็บน้ำประปาเพื่อเป็นกลุ่มตัวอย่าง เมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2512

กำหนดให้น้ำประปาจากที่ทำการประปา สามเสน มีสัญลักษณ์เป็น  $S_1$

1.2 น้ำประปาจากแหล่งใช้ ที่บ้านเลขที่ 499/1 ถนนสุโขทัย อำเภอคูสิด เก็บน้ำประปาเพื่อเป็นกลุ่มตัวอย่าง เมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2512

กำหนดให้น้ำประปาจากบ้านเลขที่ 499/1 มีสัญลักษณ์เป็น  $S_2$

## 2. การวิเคราะห์น้ำประปาวัยวิธีทางเคมี

มีวิธีทดลองดังต่อไปนี้

### 2.1 การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณโซเดียม (Na) โดยใช้ Flame Photometer

มีกรรมวิธีในการทดลองตามลำดับขั้น ดังนี้

ขั้นที่ 1 เตรียมสารมาตรฐานโซเดียมชนิด 10 part/million (ppm) โดยทำ Sodium chloride (Na Cl) ไปทำให้แห้ง ชั่ง Na Cl จำนวน 2.5418 กรัม ทำให้ปริมาตรเป็น 1,000 c.c. ซึ่งเท่ากับ 1,000 ppm Na (1 c.c. = 1 ppm Na)

ขั้นที่ 2 จัดเครื่องดูดอากาศ (Air-pump) ให้ความดันอยู่ที่ 10 ปอนด์/ตารางนิ้ว จุดกาช adjust zero โดยเติมน้ำกลั่นลงในกรวยจนเต็ม แล้วหมุนเข็มของ Galvanometer ให้ตรงเลขศูนย์ เมื่อน้ำกลั่นในกรวยถูกเผาไหม้จนหมดจึงเติมสารมาตรฐาน Na ชนิด 10 ppm จนเต็ม แล้วปรับ ที่หมุน Na-Ca ของ Flame Photometer (Model DB-5 Baird-Atomic) ให้ตรง 10 ppm ในสเกลของ Galvanometer ซึ่งเมื่อสารมาตรฐาน Na ถูกเผาไหม้จนหมด เริ่มจะกลั้มมายังเลขศูนย์พอดี

ขั้นที่ 3 เติมตัวอย่างน้ำประปา  $S_1$  ลงในกรวยจนเต็ม อ่านค่าบนสเกลของ

Galvanometer ในขณะที่ตัวอย่างน้ำประปา  $S_1$  เติมกรวย ทดลองเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้นบนเสกสของตัวอย่างน้ำประปา  $S_1 = 6.535$  นั่นคือปริมาณโซเดียมของตัวอย่างน้ำประปา  $S_1 = 6.535 \text{ ppm} = 6.535 \text{ microgram/c.c. } (\mu\text{g./c.c.})$

ขั้นที่ 4 ฉางกรวยจนน้ำกลั่น โดยเติมน้ำกลั่นลงในกรวยให้เต็มรอนน้ำกลั่นในกรวยให้ จนเข็มของเสกสกลับมายังเลขศูนย์พอดี แสดงว่ากรวยสะอาดแล้ว

ขั้นที่ 5 เติบตัวอย่างน้ำประปา  $S_2$  ลงในกรวยจนเต็ม ปฏิบัติในทำนองเดียวกันกับ ตัวอย่างน้ำประปา  $S_1$  ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้นบนเสกสของตัวอย่างน้ำประปา  $S_2 = 7.533$  นั่นคือปริมาณโซเดียมของตัวอย่างน้ำประปา  $S_2 = 7.533 \text{ ppm} = 7.533 \mu\text{g./c.c.}$

## 2.2 การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณอะลูมิเนียม (Al) โดยใช้ Absorptiometer

มีกรรมวิธีในการทดลองตามลำดับขั้นดังนี้

ขั้นที่ 1 แบ่งตัวอย่างน้ำประปา  $S_1$  และ  $S_2$  อย่างละ 50 c.c. (ซึ่งได้จากการระเหยน้ำประปาจำนวน 500 c.c. จนเหลือ 50 c.c.) ลงใน beaker เติม 5 N. H Cl (Hydrochloric acid) จำนวน 1 c.c. ตั้งไฟให้รอนประมาณ 10 นาที

ขั้นที่ 2 ติงนำยาจากขั้นที่ 1 ให้เย็นลงเท่าอุณหภูมิจองห้องทดลอง เติบ p - Nitrophenol (ชนิด 1 % ในน้ำกลั่น) จำนวน 1 หยด แล้วเติม 1 N.  $\text{NH}_4\text{OH}$

(Ammonium hydroxide) จนกระทั่งน้ำยาเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในเวลาเดียวกันก็เติม Hydrochloric acid conc. ประมาณ 2 - 3 หยด เติม Thioglycollic acid  $\text{CH}_2(\text{SH})\text{COOH}$  (ชนิด 2 % โดยปริมาตร) และเติม aluminium reagent \* จำนวน 12 c.c.

ขั้นที่ 3 เติมน้ำกลั่นลงในน้ำยาจากขั้นที่ 2 จนมีปริมาตรเป็น 95 c.c. แล้วนำไปแช่ในน้ำร้อนประมาณ 10 นาที

ขั้นที่ 4 นำน้ำยาจากขั้นที่ 3 ไปทำให้เย็นลง แล้วเติมน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตรเป็น 100 c.c.

ขั้นที่ 5 นำน้ำยาจากขั้นที่ 4 ไปเข้าเครื่อง Absorptiometer (Model B. Evans Electro Selenium) โดยแยกบรรจุน้ำยาและน้ำกลั่นลงใน cell ขนาด 20 mm. adjust เครื่องโดยใช้ filter 605 นำ cell น้ำยาและน้ำกลั่นลงในช่องวัด เลื่อน cell น้ำกลั่นให้ตรงของแสง ปรับเข็มของสเกลให้ตรงศูนย์ แล้วเลื่อน cell น้ำยาให้ตรงของแสง รอจนเข็มหยุดนิ่งจึงอ่านค่าบนสเกล เลื่อน cell น้ำกลั่นให้ตรงของ

\* The Institution of Water Engineers, Approved Methods for the Physical and Chemical examination of water, pp. 54-55.

Aluminium reagent คือน้ำยา ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ -

ก. ละลาย Aluminon  $[\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})\text{COO.NH}_4]_2 \cdot \text{C} \cdot \text{C} \text{H}_3(\text{COO.NH}_4) \cdot \text{O}$  จำนวน 0.25 กรัมในน้ำกลั่นจำนวน 250 c.c.

ข. เติม Gum acacia 5 กรัมแล้ววนให้ละลาย เติม ammonium acetate ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) จำนวน 87 กรัม เติมสารละลาย Hydrochloric (1 : 1 โดยปริมาตร) จำนวน 126 c.c. แล้วทำน้ำยาให้มีปริมาตรเป็น 500 c.c.

ค. นำน้ำยา จากข้อ ข. ไปกรองโดยวิธี Suction น้ำยาที่ได้คือ Aluminium reagent

แสง adjust zero แล้วเลื่อน cell นำยาให้ตรงของแสงอีกที อ่านคาบนสเกล (scale reading) ปฏิบัติเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

ขั้นที่ 6 นำค่าที่อ่านได้จากสเกลของน้ำยา  $S_1$  และ  $S_2$  ไปอ่านค่าจาก Calibration curve of Al <sup>ก)</sup> แล้วคำนวณหาค่าปริมาณอะลูมิเนียม ดังนี้

ค่าที่อ่านจากสเกล ( $S_1$ )	=	49	
ค่าที่อ่านได้จากสเกล 49	=	4.9	c.c. ของกราฟ
∴ 1 c.c. ของสารมาตรฐาน	=	0.025	milligram (mg.) Al
4.9 c.c. ของสารมาตรฐาน	=	0.1225	mg. Al
ในตัวอย่างน้ำประปา 500 c.c. มี	=	0.1225	mg. Al
∴ ตัวอย่างน้ำประปา 1000 c.c. มี	=	0.2450	ppm.
	=	0.2450	<u>Mg./c.c. Ans</u>

ค่าที่อ่านจากสเกล ( $S_2$ )	=	45.0	
ค่าที่อ่านได้จากสเกล 45.0	=	4.3	c.c. ของกราฟ

<sup>ก)</sup> The Institution of Water Engineers, op. cit. pp. 52.

Calibration curve of Al มีวิธีการเตรียมดังนี้ - ละลาย Ammonium alum  $[Al_2(SO_4)_3(NH_4)_2 \cdot 24H_2O]$  จำนวน 0.420 กรัมใน Hydrochloric acid conc. จำนวน 10 c.c. แล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 1,000 c.c. (1 c.c. = 0.025 mg Al) นำน้ำยา 1 c.c. ไปเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 c.c. นำไปเข้าเครื่อง Absorptiometer อ่านค่าจากสเกล เติมน้ำยาจำนวนต่าง ๆ แล้วปฏิบัติในทำนองเดียวกัน นำค่าที่อ่านได้ไปเขียนกราฟ (กราฟแสดงในภาคผนวก 1)

1 c.c. ของสารมาตรฐาน	=	0.025	mg.	Al
4.3 c.c. ของสารมาตรฐาน	=	0.1075	mg.	Al
ในตัวอย่างน้ำประปา 500 c.c. มี	=	0.1075	mg.	Al
ตัวอย่างน้ำประปา 1000 c.c. มี	=	0.2150	ppm	
	=	0.2150	$\mu\text{g}/\text{c.c.}$	<u>Ans</u>

### 2.3 การวิเคราะห์เพื่อปริมาณทองแดง (Cu) โดยใช้ Absorptiometer

ซึ่งมีกรรมวิธีในการทดลองตามลำดับขั้นดังนี้

ขั้นที่ 1 แบ่งตัวอย่างน้ำประปา  $S_1$  และ  $S_2$  จำนวน 200 c.c. ทำให้ระเหยเหลือปริมาตรประมาณ 50 c.c. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วเติมน้ำกลั่นใหม่ปริมาตรเป็น 100 c.c.

ขั้นที่ 2 เติมน้ำยาต่อไปนี้ลงในผลจากขั้นที่ 1

ก. Tartaric acid (ชนิด 7.5 กรัมใน 50 c.c. ของน้ำกลั่น)

จำนวน 4 c.c.

ข. สารละลาย Gum acacia หนัก 0.5 กรัมในน้ำร้อน

ค. สารละลาย Ammonia hydroxide (ชนิด 10 c.c.  $\text{NH}_4\text{OH conc.}$

ในน้ำกลั่น 100 c.c.) จำนวน 20 c.c.

ง. สารละลาย Sodium diethythiscarboante (ชนิด 0.1 กรัมในน้ำกลั่น 100 c.c.) จำนวน 20 c.c. ถ้ามีทองแดงจะได้น้ำสีเหลือง

ขั้นที่ 3 นำน้ำยาจากขั้นที่ 2 ไปเข้าเครื่อง Absorptiometer โดยแยกบรรจุ  
น้ำยา  $S_1$  และ  $S_2$  น้ำกลั่น ลงใน cell ขนาด 100 mm ใช้ filter  
602 นำ cell น้ำกลั่นและ cell น้ำยา  $S_1$  ใส่ลงในช่องวัด

ขั้นที่ 4 เลื่อน cell น้ำกลั่นให้ตรงของแสง ปรับเข็มของสเกลให้ตรงศูนย์ แล้วเลื่อน cell น้ำยา  $S_1$  ให้ตรงของแสง รอจนเข็มหยุดนิ่งจึงอ่านค่าบนสเกล ปฏิบัติเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าบนสเกลของ  $S_1$

ขั้นที่ 5 สำหรับน้ำยา  $S_2$  ปฏิบัติเช่นเดียวกับน้ำยา  $S_1$

ขั้นที่ 6 นำผลจากการอ่านค่าบนสเกลของน้ำยา  $S_1$  และ  $S_2$  ไปอ่านค่าจาก

Calibration curve of Cu <sup>7</sup> แล้วคำนวณหาปริมาณทองแดง ดังนี้

ค่าที่อ่านจากสเกล ( $S_1$ )	=	2.0		
ค่าที่อ่านจากสเกล 2.0	=	0.2	c.c.	ของกราฟ
∴ 1 c.c. ของสารมาตรฐาน	=	0.002	mg.	Cu
0.2 c.c. ของสารมาตรฐาน	=	0.0004	mg.	Cu
ในตัวอย่างน้ำประปา 200 c.c. มี	=	0.0004	mg.	Cu
∴ ตัวอย่างน้ำประปา 1000 c.c. มี	=	0.0020	ppm	
	=	0.0020	$\mu\text{g.}/\text{c.c.}$	<u>Ans</u>

<sup>7</sup>The Institution of Water Engineers, op. cit. pp 57.

Calibration curve of Cu มีวิธีการเตรียมดังนี้ .- ละลาย Copper sulphate ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) จำนวน 0.393 กรัมในน้ำกลั่น เล็กน้อยเติม sulphuric acid (ชนิด 10 %) จำนวน 5 c.c. แล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 1,000 c.c. ค่ายน้ำกลั่น ละลาย 10 c.c. ของน้ำยานี้เป็น 100 c.c. (1 c.c. = 0.01 mg. Cu) นำน้ำยา 1 c.c. ไปเติมน้ำกลั่น จนมีปริมาตรเป็น 100 c.c. นำไปเข้าเครื่อง Absorptiometer อ่านค่าจากสเกล เติมน้ำยาจำนวนต่าง ๆ แล้วปฏิบัติในทำนองเดียวกัน นำค่าที่อ่านได้ไปเขียนกราฟ (กราฟแสดงในภาคผนวก 1)

ค่าที่อ่านจากเดก้า	(S <sub>2</sub> )	= 2.5	
ค่าที่อ่านจากสเกล	2.5	= 0.5	c.c. ของกราฟ
∴ 1 c.c. ของสารมาตรฐาน		= 0.002	mg. Cu
0.5 c.c. ของสารมาตรฐาน		= 0.0010	mg. Cu
ในตัวอย่างนำประปา 200 c.c. มี		= 0.0010	mg. Cu
∴ ตัวอย่างนำประปา 1000 c.c. มี		= 0.0050	ppm
		= 0.0050	<u>μg./c.c.</u> <u>Ans</u>

2.4 การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณแมงกานีส (Mn) โดยใช้ Absorptiometer

มีกรรมวิธีในการทดลอง ตามลำดับดังนี้

ขั้นที่ 1 แบ่งตัวอย่างนำประปา S<sub>1</sub> และ S<sub>2</sub> อย่างละ 1,000 c.c. (ซึ่งได้จากการระเหยน้ำประปา 5,000 c.c. จนเหลือเพียง 1,000 c.c.) ลงใน beaker ขนาด 250 c.c. ตั้งไฟให้ระเหยเหลือปริมาตร 100 c.c.

ขั้นที่ 2 เติม Sodium carbonate (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) จำนวน 1 กรัมลงในแต่ละ beaker จากขั้นที่ 1 ตั้งบน water bath จนแห้ง

ขั้นที่ 3 ละลายตะกอนจากขั้นที่ 2 ด้วยน้ำกลั่น กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แลาล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนประมาณ 15 c.c.

ขั้นที่ 4 ละลายตะกอนจากขั้นที่ 3 ด้วย 1 : 1 Nitric acid conc. (HNO<sub>3</sub>) แล้วตั้งไฟจนแห้ง

ขั้นที่ 5 เติมน้ำกลั่นประมาณ 3 c.c. 1 c.c. ของ 1:1HNO<sub>3</sub> และ Silver nitrate (เจือจาง 0.2 %) จำนวน 3 c.c. ตั้งไฟให้ร้อน

ขั้นที่ 6 นำน้ำยาจากขั้นที่ 5 ไปกรอง ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนแล้วนำน้ำยาที่กรองได้ไปตั้งไฟให้เดือด

ขั้นที่ 7 เติม  $(\text{NH}_4)_2 \text{S}_2\text{O}_8$  ประมาณ 1 กรัมในน้ำยา จากขั้นที่ 6 แล้วตั้งไฟจน  $(\text{NH}_4)_2 \text{S}_2\text{O}_8$  ละลายหมด จะได้น้ำยาสีชมพู

ขั้นที่ 8 นำยาจากขั้นที่ 7 ไปเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 c.c. แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

ขั้นที่ 9 นำน้ำยาจากขั้นที่ 8 ไปเข้าเครื่อง Absorptiometer โดยแยกบรรจุน้ำยาและน้ำกลั่น ลงใน cell ขนาด 100 mm ใช้ filter 604 ใส่ cell น้ำกลั่นและน้ำยา  $S_1$  ลงในช่องวัด เลื่อน cell น้ำกลั่นให้ตรงของแสงปรับเข็มของสเกลให้ตรงศูนย์ แล้วเลื่อน cell น้ำยา  $S_1$  ให้ตรงของแสง รอดจนเข็มหยุดนิ่งจึงอ่านค่าบนสเกล

ขั้นที่ 10 เลื่อน cell น้ำกลั่นให้ตรงของแสง ปรับเข็มของสเกลแล้วเลื่อน cell น้ำยา  $S_1$  ให้ตรงของแสง อ่านค่าบนสเกล ปฏิบัติในทำนองเดียวกันหลาย ๆ ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยในการอ่านค่าบนสเกลของน้ำยา  $S_1$

ขั้นที่ 11 สำหรับน้ำยา  $S_2$  ก็ปฏิบัติเช่นเดียวกับน้ำยา  $S_1$

ขั้นที่ 12 นำผลจากการอ่านค่าบนสเกล ของน้ำยา  $S_1$  และ  $S_2$  ไปอ่านค่าจาก Calibration curve of Mn<sup>VI</sup> แล้วคำนวณหาค่าปริมาณแมงกานีส ดังนี้

<sup>VI</sup> The Institution of Water Engineers, *op. cit.* pp. 59.

Calibration curve of Mn มีวิธีการเตรียมดังนี้ :- ละลาย Potassium permanganate ( $\text{K.MnO}_4$ ) จำนวน 0.2877 กรัมในน้ำกลั่น 100 c.c. และเติม Sulphuric Acid (1-3) จำนวน 1 c.c. ในขณะเดียวกันเติม Sulphur dioxide ทันที ตั้งไฟให้เดือด ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 1,000 c.c. (1 c.c. = 0.01 mg. Mn) นำน้ำยา 1 c.c. ไปเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 c.c. นำไปเข้าเครื่อง Absorptiometer อ่านค่าจากสเกล เติมน้ำยาจำนวนต่าง ๆ แล้วปฏิบัติในทำนองเดียวกัน นำค่าที่อ่านได้ไปเขียนกราฟ (กราฟแสดงในภาคผนวก 1)

ค่าที่อ่านจากสเกล	( $S_1$ )	=	3.0	
ค่าที่อ่านจากสเกล	3.0	=	0.09	c.c. ของกราฟ
∴ 1 c.c. ของสารมาตรฐาน		=	0.1	mg. Mn
0.09 c.c. ของสารมาตรฐาน		=	0.009	mg. Mn
ในตัวอย่างน้ำประปา 5000 c.c. มี		=	0.009	mg. Mn
ตัวอย่างน้ำประปา 1000 c.c. มี		=	0.00180	ppm
ค่าที่อ่านจากสเกล	( $S_2$ )	=	1.5	$\mu\text{g./c.c.}$ <u>Ans</u>
ค่าที่อ่านจากสเกล	1.5	=	0.045	c.c. ของกราฟ
∴ 1 c.c. ของสารมาตรฐาน		=	0.1	mg. Mn
0.045 c.c. ของสารมาตรฐาน		=	0.0045	mg. Mn
ในตัวอย่างน้ำประปา 5000 c.c. มี		=	0.0045	mg. Mn
∴ ตัวอย่างน้ำประปา 1000 c.c. มี		=	0.0009	ppm
		=	0.0009	$\mu\text{g./c.c.}$ <u>Ans</u>

### 3. การวิเคราะห์น้ำประปาด้วยวิธีทาง นิวเคลียร์

นำสารตัวอย่าง  $S_1$  และ  $S_2$  อย่างละ 1,000 c.c. ไปทำให้เข้มข้น โดยการต้มให้เหลือเพียง 100 c.c. แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Neutron Activation ซึ่งประกอบด้วยกรรมวิธี 2 วิธีคือ

3.1 การวิเคราะห์แบบ Instrumentation Neutron Activation เพื่อหาปริมาณอะลูมิเนียมและโซเดียมโดยการศึกษาร่วมกับสารมาตรฐาน สารมาตรฐานอะลูมิเนียมได้จาก Aluminium Ammonium Sulphate (Ammonium Alum) ซึ่งมีสูตร  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  ทำเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 14.20 Mg./c.c.

สารมาตรฐานโซเดียม ไคจาก Sodium Carbonate Anhydrous  
 ซึ่งมีสูตร  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ทำเป็นสารละลายมีความเข้มข้น 178.42  $\mu\text{g./c.c.}$   
 3.1.1 การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณธาตุอะลูมิเนียม มีกรรมวิธีตามลำดับขั้น  
 ดังนี้

ขั้นที่ 1 นำสารมาตรฐานอะลูมิเนียม สารตัวอย่าง  $S_1$  และ  $S_2$  แยก  
 บรรจุลงในขวดพลาสติก ขวดละ 3 c.c. แล้วปิดปากขวดให้สนิทด้วยความร้อน ( Heat  
 sealing )

ขั้นที่ 2 นำขวดซึ่งบรรจุสารมาตรฐานอะลูมิเนียม สารตัวอย่าง  $S_1$  และ  $S_2$   
 จากขั้นที่ 1 ใส่รวมกันในภาชนะบรรจุ ซึ่งเรียกว่า Rabbit เพื่อนำไปฉายรังสีนิวตรอน

ขั้นที่ 3 นำ Rabbit นี้ไปฉายรังสีนิวตรอน ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ซึ่งมีกำลัง  
 1 Megawatt เป็นเวลา 10 วินาที

ขั้นที่ 4 หลังจากฉายรังสีนิวตรอนครบ 10 วินาทีแล้ว นำสารมาตรฐานอะลูมิเนียม  
 สารตัวอย่าง  $S_1$  และ  $S_2$  ไปวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีโดยใช้เครื่องวัด Multichannel  
 pulse-height analyzer (ชนิด 128 channels Model No. 110 Nuclear  
 data ) โดยตั้ง Gain ที่ 90 Zero level ที่ 7 High power supply  
 ที่ 950 กิโลโวลต์ เวลาค้น 1 นาที

ขั้นที่ 5 นำข้อมูลที่ได้ออกจากการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีมาเขียนกราฟระหว่าง  
 จำนวนพลังงาน (channels) เวลาค้น/นาที (counts/minutes) ตามแนวแกน X  
 และแกน Y ตามลำดับ

ขั้นที่ 6 กำหนดหาปริมาณวิเคราะห์ของธาตุอะลูมิเนียมในน้ำประปาโดยใช้สมการ  
 เหล่านี้

$$\text{อัตราการสลายตัว} \quad A_t = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\text{ปริมาณธาตุ} \quad \frac{\text{นำหนักของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{นำหนักของสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของสารตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของสารมาตรฐาน}}$$

3.1.2 การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณธาตุโซเดียม มีกรรมวิธีตามลำดับขั้นดังนี้

ขั้นที่ 1 นำสารมาตรฐานโซเดียม สารตัวอย่าง  $S_1$  และ  $S_2$  แยกบรรจุลงในขวดพลาสติกขนาดประมาณ 1.5 c.c. แล้วปิดปากขวดให้สนิทด้วยความร้อน (Heat sealing)

ขั้นที่ 2 นำขวดซึ่งบรรจุสารมาตรฐานโซเดียม สารตัวอย่าง  $S_1$  และ  $S_2$  ใส่รวมกันใน Rabbit

ขั้นที่ 3 นำ Rabbit นี้ ไปอบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ซึ่งมีกำลังงาน 1 Megawatt เป็นเวลา 1 นาที

ขั้นที่ 4 หลังจากอบรังสีนิวตรอนครบ 1 นาทีแล้ว นำสารมาตรฐานโซเดียม สารตัวอย่าง  $S_1$  และ  $S_2$  ไปเปลี่ยนขวดบรรจุใหม่ โดยแยกบรรจุในขวดพลาสติกขนาด 1 c.c. แล้วนำไปวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีโดยใช้ Multichannel pulse-height analyzer ตั้ง gain ที่ 90 zero level ที่ 7 High power supply ที่ 950 กิโลโวลต์ เวลาค้น 1 นาที

ขั้นที่ 5 นำข้อมูลที่ได้ออกจากการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีเขียนกราฟระหว่างจำนวนพลังงาน กับจำนวนนับ/นาที ตามแนวแกน X และแกน Y ตามลำดับ

ขั้นที่ 6 เปรียบเทียบยอดพลังงาน (Energy peak) ของสารมาตรฐานโซเดียม กับสารมาตรฐาน  $S_1$  และ  $S_2$

ขั้นที่ 7 การคำนวณหาปริมาณวิเคราะห์ของธาตุโซเดียม โดยเหตุที่ Half-life ของธาตุโซเดียมมีระยะยาวถึง 15 ชั่วโมง อัตราการสลายตัวที่ต่างกันเพียงเล็กน้อย ไม่มีผลต่อการหาปริมาณธาตุโซเดียม เพราะฉะนั้นจึงไม่ต้องหาอัตราการสลายตัว ดังนั้นการคำนวณหาปริมาณโซเดียม

ปริมาณธาตุ  $\frac{\text{น้ำหนักของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักของสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของสารตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของสารมาตรฐาน}}$

3.2 การวิเคราะห์แบบ Destructive Neutron Activation เพื่อหาปริมาณของธาตุแมงกานีสและธาตุทองแดง (ทำรวมกันไปในกรรมวิธีเดียวกัน) โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

สารมาตรฐานแมงกานีส ได้จาก Manganese Chloride ซึ่งมีสูตร  $Mn Cl_2$  ทำให้เป็นสารละลายมีความเข้มข้น  $10 \mu g./c.c.$

สารมาตรฐานทองแดง ได้จาก Copper Chloride ซึ่งมีสูตร  $Cu Cl_2$  ทำให้เป็นสารละลายมีความเข้มข้น  $10 \mu g./c.c.$

การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณธาตุแมงกานีสและธาตุทองแดงมีกรรมวิธีตามลำดับขั้นดังนี้

ก. นำสารมาตรฐานแมงกานีสและทองแดง พร้อมกวยสารตัวอย่าง  $S_1$  และ  $S_2$  แยกบรรจุลงในขวดพลาสติกขวดละประมาณ 3 c.c. แล้วปิดปากขวดให้สนิทด้วยความร้อน (Heat sealing)

ข. นำขวดเหล่านี้ใส่รวมกันใน Rabbit นำ Rabbit นี้ไปอาบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ซึ่งมีกำลังงาน 1 Megawatt เป็นเวลา 30 นาที

ค. หลังจากอาบรังสีนิวตรอนครบ 30 นาทีแล้ว นำขวดเหล่านี้ไปดำเนินการตามกรรมวิธีทางเรดิโอเคมี (Radiochemical separation) เพื่อแยกตะกอน มีกรรมวิธีตามลำดับขั้นดังนี้

ขั้นที่ 1 แยกสารตัวอย่าง  $S_1$  และ  $S_2$  อย่างละ 1 c.c. ใส่ใน beaker ขนาด 250 c.c. แล้วเติมสารละลายลงในแต่ละ beaker สารละลาย (เป็นไอโซโทปถาวร Stable isotope ชนิดเดียวกันกับธาตุที่ศึกษา) ได้แก่

carrier แมงกานีส (ชนิด 10 mg./c.c.) จำนวน 1 c.c.

carrier ทองแดง (ชนิด 10 mg./c.c.) จำนวน 1 c.c.

carrier เหล็ก (ชนิด 20 mg./c.c.) จำนวน 0.5 c.c.

Nitric acid conc. ( $HNO_3$ ) จำนวน 30 c.c.

ขั้นที่ 2 แยกสารมาตรฐานแมงกานีส จำนวน 1 c.c. ใส่ใน beaker ขนาด 250 c.c. แล้วเติมสารละลายลงใน beaker สารละลาย ได้แก่

carrier แมงกานีส (ชนิด 10 mg./c.c.) จำนวน 1 c.c.

Nitric acid conc. จำนวน 30 c.c.

ขั้นที่ 3 นำ beaker ตามขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 ตั้งไฟให้ระเหยจนใกล้งวด

แล้วเติม Hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) ประมาณ 1 หยด

ขั้นที่ 4 เติม Nitric acid conc. จำนวน 30 c.c. ตั้งไฟจนใกล้งวด

แล้วเติม Hydrogen peroxide ประมาณ 1 หยด ปฏิบัติทำนองเดียวกันจนครบ

3 ครั้ง

ขั้นที่ 5 เติม Potassium Chloride ( $KClO_3$ ) ประมาณ 1 กรัมและเติม Nitric acid conc. อีกประมาณ 30 c.c. ตั้งไฟจนกระทั่งเห็นตะกอนสีน้ำตาล จึงนำไปกรองโดยใช้ filter paper (ซึ่งรูดน้ำหนัก พร้อมทั้งที่รองกระดาษ) ได้ตะกอนสีน้ำตาล Manganese dioxide ( $MnO_2$ )

ขั้นที่ 6 นำตะกอน ( $MnO_2$ ) เหล่านี้ไปล้างด้วยน้ำร้อนจำนวน 50 c.c. ประมาณ 3 ครั้ง ล้างด้วยแอลกอฮอล์จำนวน 5 c.c. ประมาณ 3 ครั้ง แล้วล้างด้วยอีเทอร์จำนวน 2-3 หยด ผลที่สุดจะได้ตะกอนแมงกานีส ( $MnO_2$ ) ของสารมาตรฐานแมงกานีสของสารตัวอย่าง  $S_1$  และ  $S_2$

ขั้นที่ 7 นำตะกอนแมงกานีส ( $MnO_2$ ) จากขั้นที่ 6 ไปวัดกัมมันตภาพรังสีโดยใช้ Multichannel pulse-height analyzer ตั้ง Gain ที่ 90 Zero level ที่ 7 High power supply 950 กิโลโวลต์ เวลานับ 1 นาที

ขั้นที่ 8 นำน้ำยาที่กรองแล้วจากการตกตะกอนแมงกานีส ( $MnO_2$ ) ของสารตัวอย่างและ  $S_2$  ตั้งไฟประมาณ 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติม Ammonium hydroxide ( $NH_4OH$  ชนิด 27%) จนกระทั่งปรากฏตะกอนเหล็ก ( $Fe(OH)_3$ ) กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 เพื่อแยกตะกอนเหล็กออกไป

ขั้นที่ 9 นำน้ำยาที่กรองแล้วในขั้นที่ 8 ตั้งไฟประมาณ 5 นาที แยกสารมาตรฐานทองแดง 1 c.c. ลงใน beaker แล้วเติม carrier ทองแดง (ชนิด 10 mg./c.c.) ลงใน beaker นำน้ำยาทั้งสอง beaker นี้ไป adjust pH 7 การ adjust pH นี้ใช้ Ammonium hydroxide (ชนิด 27%) หรือ 6N. HCl เติมลง

ขั้นที่ 10 นำน้ำยาจากขั้นที่ 9 ทำให้เป็น 0.25 N. HCl โดยเติม 6 N. HCl

จำนวน 1 c.c. แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 24 c.c.

สำหรับการทำน้ำยาให้เป็น 0.25 N.H Cl ใช้หลักเกณฑ์คำนวณ ดังนี้

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

เมื่อ  $N_1$  คือ normality ของน้ำยาที่ศึกษา = 0.25 normal

$V_1$  คือ ปริมาตรของน้ำยา

$N_2$  คือ normality ของ H Cl = 6 normal

$V_2$  คือ ปริมาตรของ H Cl = 1 c.c.

ซึ่งปรากฏว่า  $V_1 = 24$  c.c. ดังนั้นจึงเติมน้ำกลั่นในน้ำยาจนมี

ปริมาตรเป็น 24 c.c.

ขั้นที่ 11 เติม Sodiumdisulfite ( $\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_5$ ) ประมาณ 2 กรัมลงในน้ำยา  
ที่ได้ออกจากขั้นที่ 10 แล้วตั้งไฟจน Sodiumdisulfite ละลายหมด จึงเติม Ammonium  
thiocyanate ( $\text{NH}_4 \text{S C N}$  ชนิด 5 %) จำนวนประมาณ 3 - 5 c.c. ตั้งไฟจนร้อนจัด  
นำไปกรองควยกระดาษกรองเบอร์ 42 จะได้อะกอนสีขาว  $\text{Cu} (\text{C N S})_2$  ของสารมาตรฐาน  
ทองแดงของสารตัวอย่าง  $S_1$  และ  $S_2$

ขั้นที่ 12 ล้างตะกอนนี้ เช่นเดียวกับขั้นที่ 6

ขั้นที่ 13 นำผลจากขั้นที่ 12 ไปวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีโดยใช้ Multichannel  
pulse-height analyzer โดยตั้ง Gain ที่ 90 Zero level ที่ 7 High power  
supply ที่ 950 กิโลโวลต์ เวลานั้น 1 นาที

ง. นำข้อมูลที่ได้อจากการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสีมาเขียนกราฟระหว่าง  
จำนวนพลังงาน กับจำนวนนับ/นาที ตามแนวแกน X และแกน Y ตามลำดับ

จ. กำหนดหาปริมาณ มาตรฐานแกมมาและทองแดงในน้ำประปาโดย นำตะกอน  
ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างไปตั้งเฉวนำไปกำหนดโดยเทียบ Chemical Yield  
100 % การคำนวณหาปริมาณแกมมา มีดังนี้

Mn 54.94 gm มาจาก (Mn O<sub>2</sub>) มี molecular weight = 86.94 gm  
 carrier แฉงกานีส(Mn Cl<sub>2</sub>) จำนวน x gm molecular weight =  $\frac{86.94 \times x}{54.94}$  gm  
 = A gm

ตาม theoretical value Mn A gm มี Yield = 100 %  
 ตะกอนแฉงกานีสที่ซังไค (Mn O<sub>2</sub>) y gm มี Yield =  $\frac{100 \times y}{A}$  %

∴ ตะกอนแฉงกานีสที่ซังไคมี Yield = B %  
 counts/minutes ที่ B % วัดไค = z cpm  
 counts/minutes ที่ 100 % gm =  $\frac{100 \times z}{B}$  cpm  
 = C cpm

แลวนำ counts/minutes C cpm (ที่ 100 %) ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง  
 แฉงกานีสไปคำนวณ จากสมการจะไคปริมาณของแฉงกานีสในน้ำประปา

สมการ  $\frac{\text{น้ำหนักของธาตุในสารตัวอย่าง} \times \text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีในสารตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักของสารมาตรฐาน} \times \text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีในสารมาตรฐาน}}$

การดาปริมาณทองแดง มีดังนี้

Cu 63.54 gm มาจาก (Cu CNS) มี molecular weight = 121.54 gm  
 carrier ทองแดง (Cu Cl<sub>2</sub>) จำนวน x gm มาจากตะกอน-  
 -ทองแดง (Cu C N S) มี molecular weight =  $\frac{121.54 \times x}{63.54}$  gm  
 = A gm

ตาม Theoretical value Cu A gm มี Yield = 100 %  
 ตะกอนทองแดงที่ซังไค (Cu C N S) y gm มี Yield =  $\frac{100 \times y}{A}$  %

∴ ตะกอนทองแดงที่ซังไคมี Yield = B %  
 counts/minutes ที่ 100 % วัดไค = z cpm  
 ∴ counts/minutes ที่ 100 % gm =  $\frac{z \times 100}{B}$  cpm  
 = C cpm

แวลูนำ counts/minutes C cpm (ที่ 100 %) ของสารมาตรฐานทองแดงและสาร  
ตัวอย่าง ไปคำนวณจากสมการ

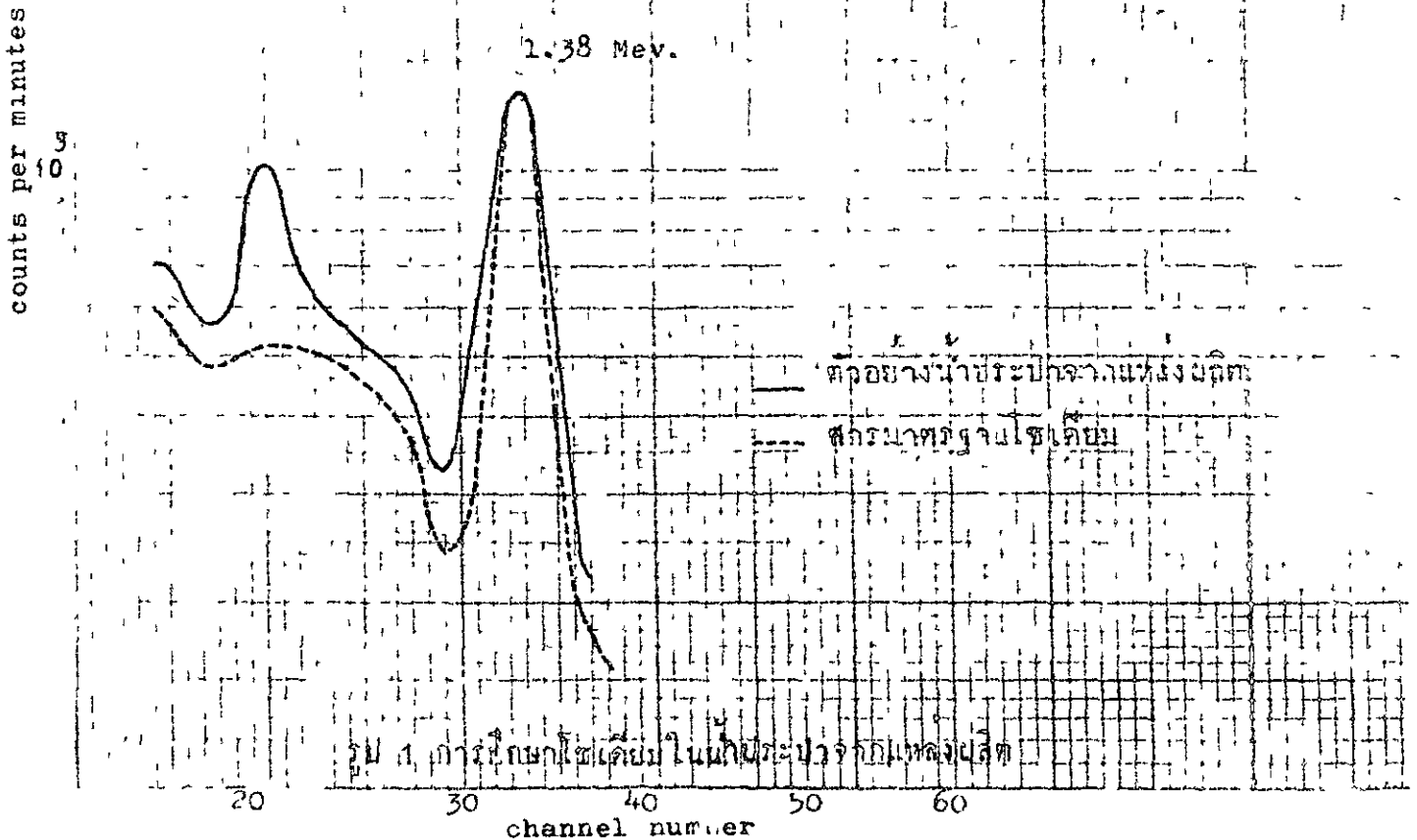
$$\frac{\text{นำหนักของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{นำหนักของสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีในสารตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณกัมมันตภาพรังสีในสารมาตรฐาน}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง

ผลจากการวิเคราะห์ทวิวิธีทางนิวเคลียร์ เพื่อหาปริมาณโซเดียม อะลูมิเนียม ทองแดงและแมงกานีส นำข้อมูลไปเขียนกราฟ ปรากฏดังแสดงในรูปดังนี้

128 channels  
Gain 90  
Zero level 7  
High power 950 kilovolts

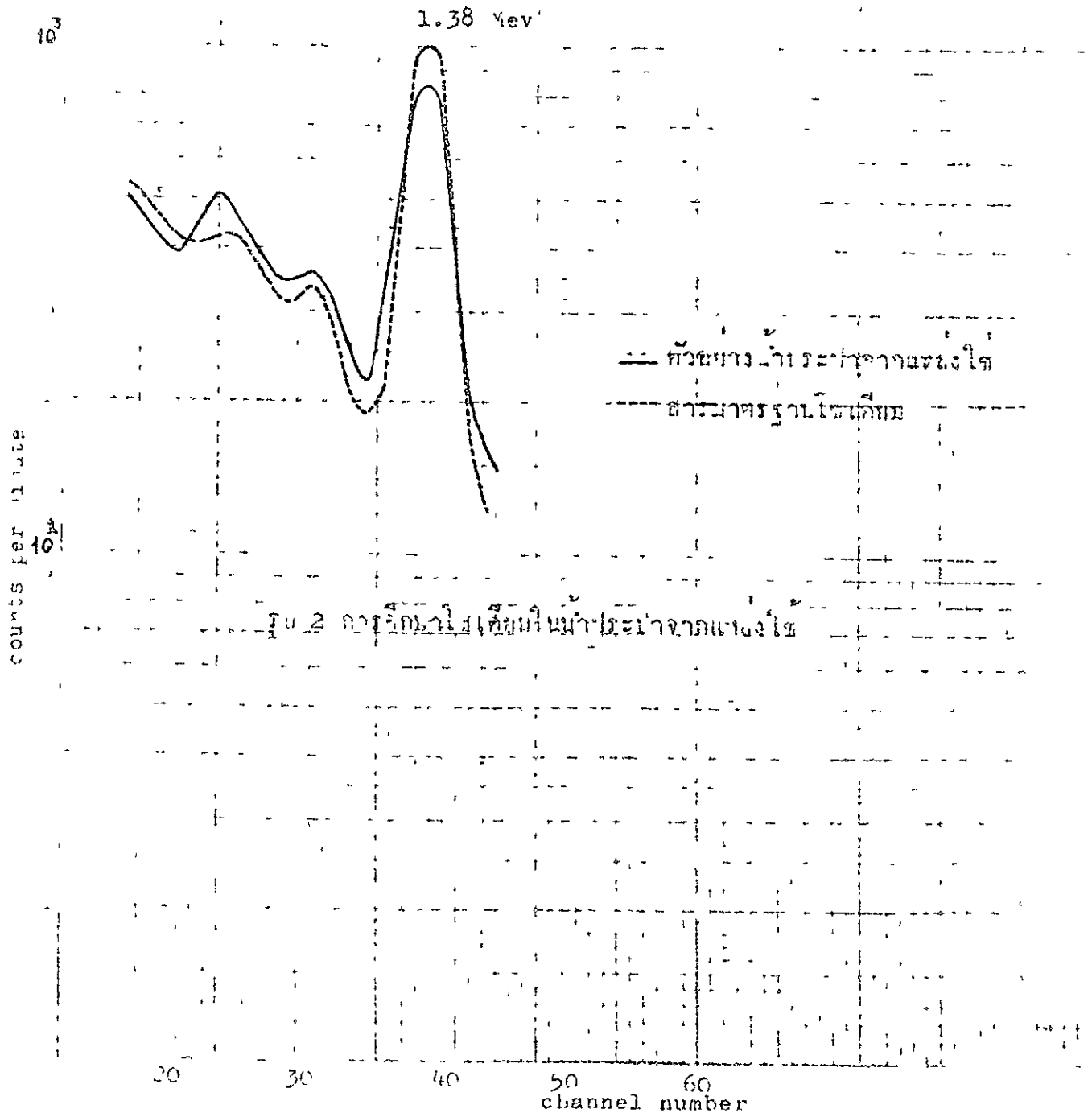
Reactor flux  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>/Sec.  
 - ฮามริงส์นิวตรอน 1 นาที  
 - เวลาส่งสัญญาณ 120 127 นาที  
 - ตัวอย่างนำประปา 3 c.c.  
 - สารมาตรฐาน 1 c.c.



รูป 1 การวิเคราะห์โซเดียมในน้ำประปาจากแหล่งผลิต

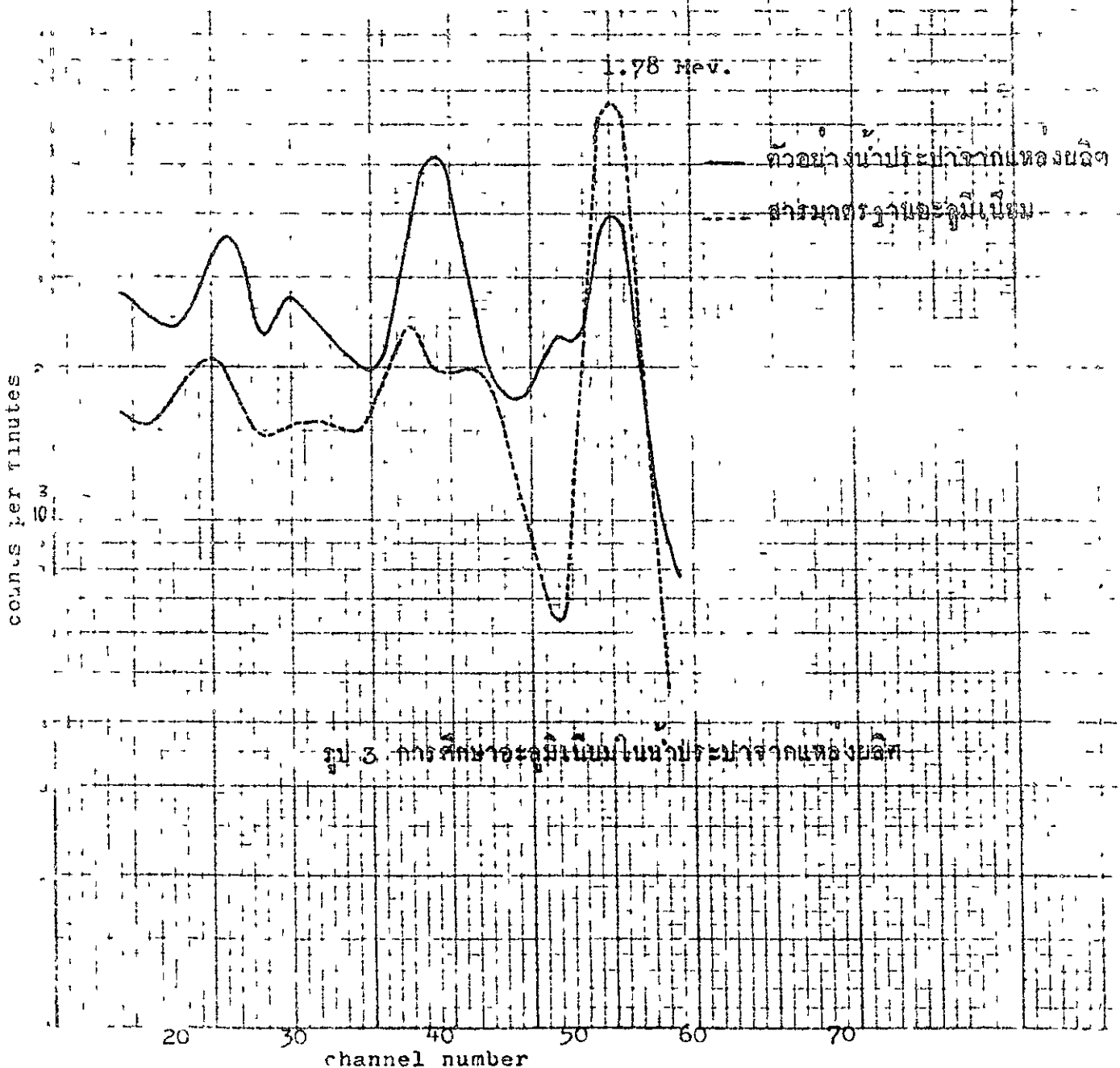
128 channels  
 Gain 90  
 Zero level 10  
 High power 950 kilovolts

Reactor flux  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>/sec.  
 อวรังสีนิวตรอน 30 นาที  
 เวลาสูญเสียตัว 148, 156 นาที  
 ตัวอย่างนำประปราย 100 c.c.  
 สารมาตรฐาน 1 c.c.



128 channels  
 Gain 90  
 Zero level 7  
 High power 950 kilovolts

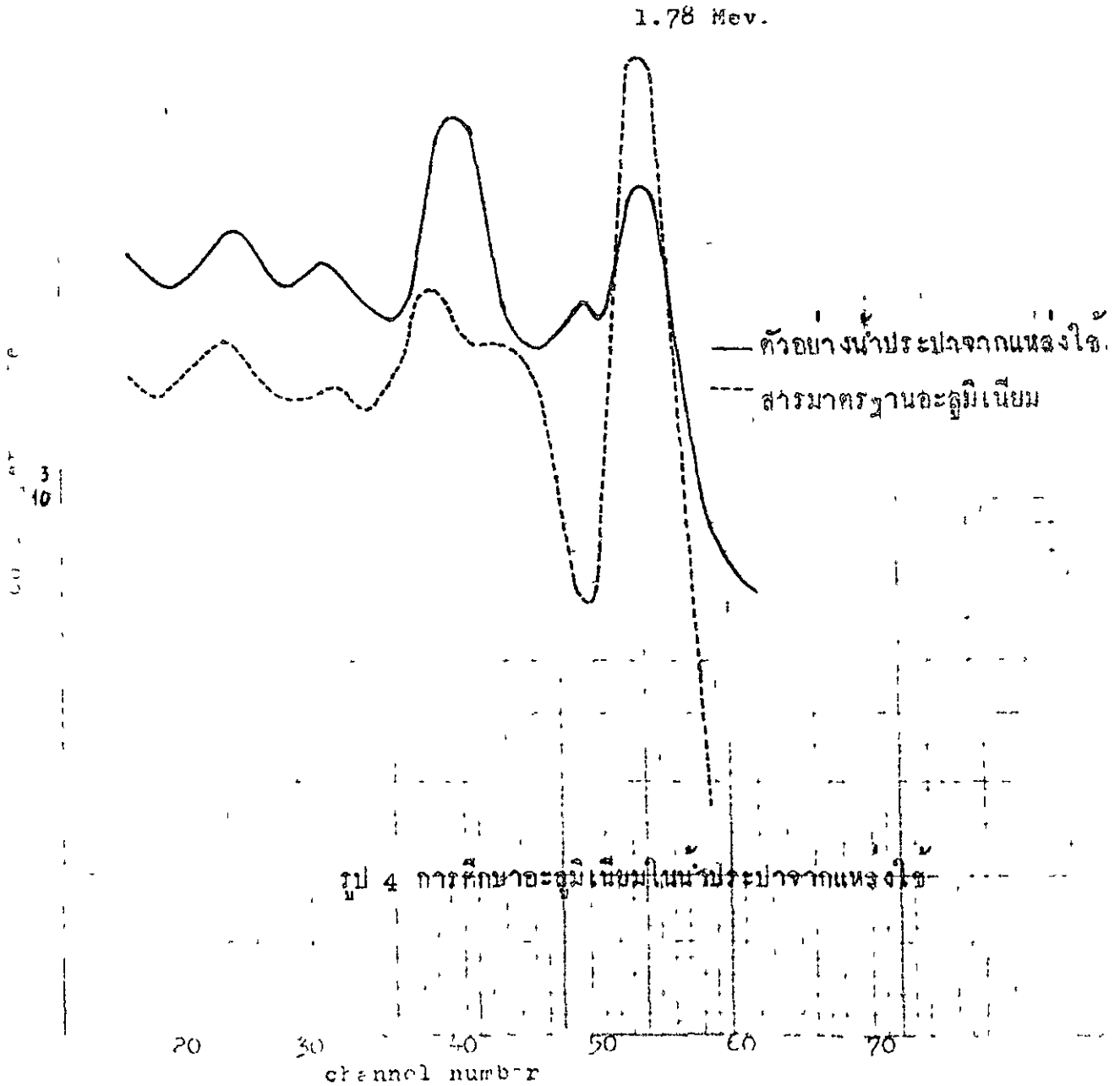
Reactor flux  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>/sec.  
 อาบรังสีนิวตรอน 10 วินาที  
 เวลาสุญญากาศ 0.56 3.20 นาที  
 ตัวอย่างนำประปา 3 c.c.  
 สารมาตรฐาน 3 c.c.



รูป 3. การศึกษาอะลูมิเนียมในน้ำประปาจากห้องผลิต

128 channels  
 Gain 90  
 Zero level 7  
 High Power 950 kilovolts

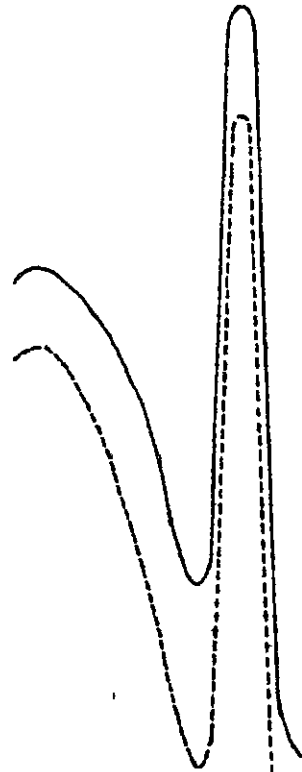
Reactor flux  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>/Sec.  
 อารรังสีนิวตรอน 10 วินาที  
 เวลาสลายตัว 0.56 3.43 นาที  
 ตัวอย่างน้ำประปา 3 cc  
 สารมาตรฐาน 3 cc



128 channels  
 Gain 90  
 Zero level 10  
 High-power 950 kilovolts

Reactor Flux  $10^{-3}$  n/cm<sup>2</sup>/Sec.  
 ลอยรังสีนิวตรอน 30 นาที  
 เวลาสลูบตัว 115 126 นาที  
 ตัวอย่างน้ำประปา 100 c.c.  
 สารมาตรฐาน 1 c.c.

1.04 Mev.



— ตัวอย่างน้ำประปาจากแหล่งผลิต  
 - - - สารมาตรฐานทองแดง

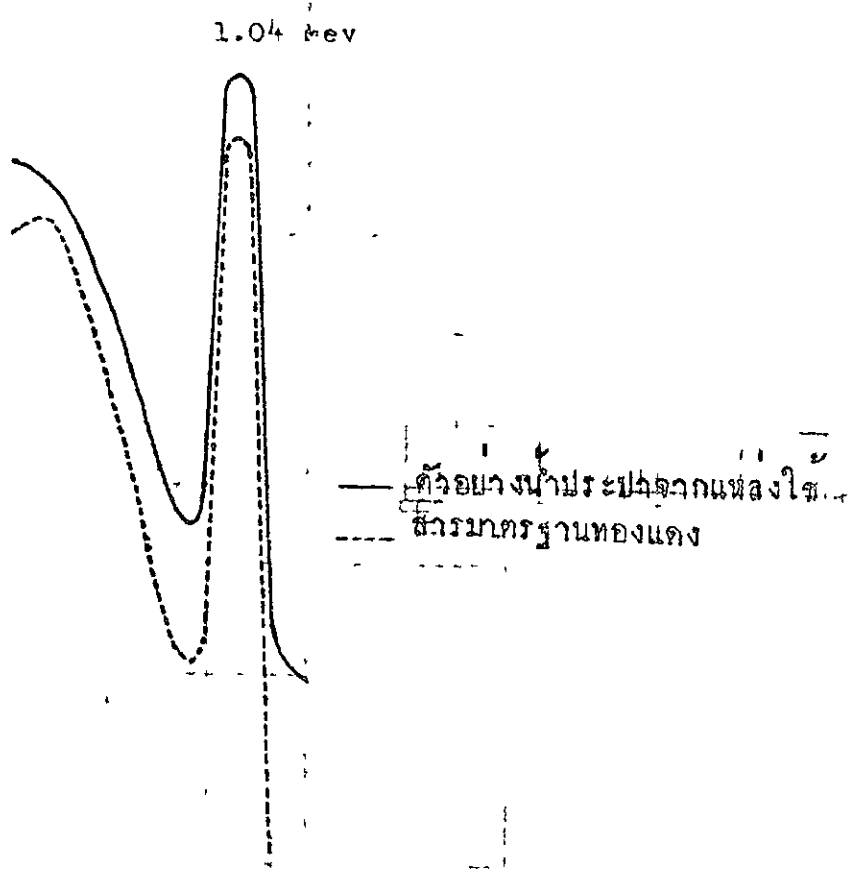
รูป 5 การศึกษาทองแดงในน้ำประปาจากแหล่งผลิต

20 30 40  
 channel number

128 channels  
 Gain 90  
 Zero level 10  
 High power 950 kilovolts

Reactor flux  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>/Sec.  
 อารรังสีนิวตรอน 30 นาที  
 เวลาละลายตัว 148 156 นาที  
 ตัวอย่างน้ำประปา 100 c.c.  
 สารมาตรฐาน 1 c.c.

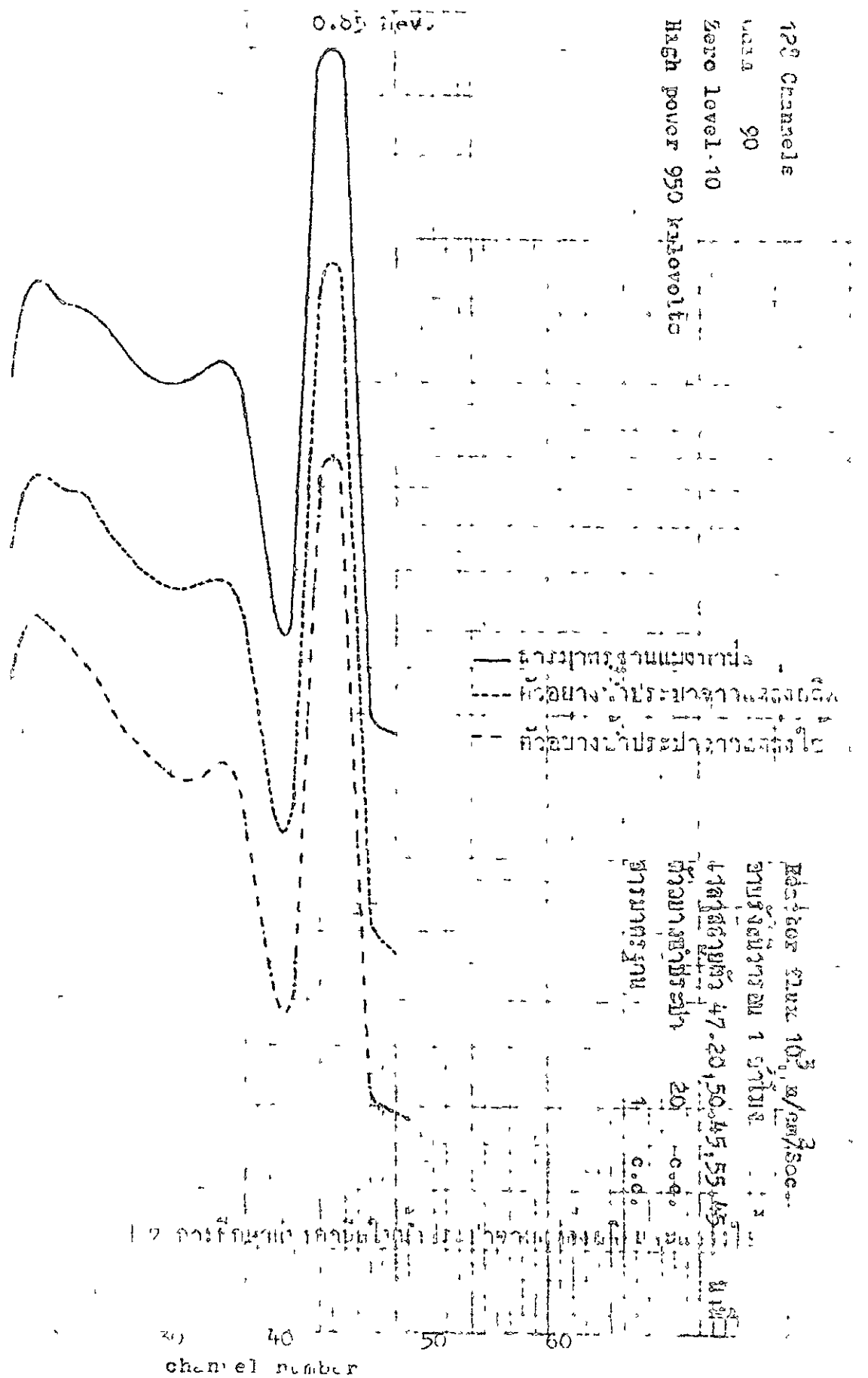
3  
 10



รูป 6 การศึกษาทองแดงในน้ำประปาจากแหล่งใต้

10 20 30 40  
 channel number

120 Channels  
 Gain 90  
 Zero level .10  
 High power 950 kilovolts



การวัดปริมาณแก๊สคาร์บอน  
 การวัดปริมาณแก๊สออกซิเจน

Detector gain  $10^3$  v/cm/50cc  
 ความไวการวัด 1 ไมครอน  
 เวลาวัด 47-20, 50-45, 55-45 ไมครอน  
 ความยาวคลื่น 20-0.09 ไมครอน  
 ความดัน 4 c.c.d.

channel number  
 20 40 50 60

ตาราง 3. ปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่พบในไม้ประป่าในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาวิเคราะห์ทางนิวเคลียร์  
พร้อมด้วยค่าความคลาดเคลื่อน (Estimated errors)

ธาตุ	พลังงาน (energy peak)		Correct yield		A = A <sub>0</sub> e <sup>-λt</sup>		ปริมาณธาตุ (%g./c.c.)
	ค่ามาตรฐาน (cpm)	ตัวอย่างนำประ (cpm) ป่า	ค่ามาตรฐาน (cpm)	ตัวอย่างนำประ (cpm) ป่า	ค่ามาตรฐาน (cpm)	ตัวอย่างนำประ (cpm) ป่า	
โซเดียม (S <sub>1</sub> )	3750.0	3629.5±60.24	-	-	-	-	7.633236±0.126688
โซเดียม (S <sub>2</sub> )	553.0	2168.5±46.56	-	-	-	-	6.665538±0.143830
อะลูมิเนียม (S <sub>1</sub> )	17272.5	6743.5±82.11	-	-	36202.4	-	0.262596±0.003186
อะลูมิเนียม (S <sub>2</sub> )	26894.0	7544.0±86.85	-	-	44676.8	-	0.238083±0.002735
ทองแดง (S <sub>1</sub> )	22907.0	33620.0	21284.0	34477.9±185.68	-	-	0.004049±0.000087
ทองแดง (S <sub>2</sub> )	26029.0	31416.0	24025.0	25581.0±159.94	-	-	0.005324±0.000066
แมงกานีส (S <sub>1</sub> )	123050.0	33693.0	121291.2	26546.6	122510.6	27354.9±165.39	0.002232±0.000013
แมงกานีส (S <sub>2</sub> )	123050.0	17113.0	121291.2	13784.1±117.40	122510.6	-	0.001125±0.000009

จากการวิเคราะห์ห้วงวัยนิวเคลียร์ เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณโดยตลอด ดังแสดงในตาราง 3.

จากการวิเคราะห์ทางเคมี เมื่อนำข้อมูลไปคำนวณจาก Calibration curve โดยแสดงดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4. ปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่มีในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร โดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางเคมี พร้อมควยค่าคำนวณของความคลาดเคลื่อน (Estimated errors)

ธาตุ	ตัวอย่างน้ำประปา	Calibration curve	ปริมาณธาตุ (ppm = $\mu\text{g./c.c.}$ )
โซเดียม ( $s_1$ )	$7.533 \pm 0.137$	-	$7.533 \pm 0.137$
โคเดียม ( $s_2$ )	$6.535 \pm 0.132$	-	$6.535 \pm 0.132$
อะลูมิเนียม( $s_1$ )	49.0	4.9	$0.24500 \pm 0.003215$
อะลูมิเนียม( $s_2$ )	45.0	4.3	$0.21500 \pm 0.005875$
ทองแดง ( $s_1$ )	2.0	0.2	$0.00200 \pm 0.000110$
ทองแดง ( $s_2$ )	2.5	0.5	$0.00500 \pm 0.000225$
แมงกานีส ( $s_1$ )	3.0	0.09	$0.00180 \pm 0.000150$
แมงกานีส ( $s_2$ )	1.5	0.045	$0.00090 \pm 0.000064$

จากตาราง 3 และตาราง 4 จะเห็นว่า การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณโซเดียม และอะลูมิเนียมในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร ด้วยวิธีการทางเคมีแบบ Flame Photometry และ Absorptiometry กับวิธีการทางนิวเคลียร์แบบ Instrumentation Neutron Activation Analysis ได้ปริมาณธาตุใกล้เคียงกัน พอจะสรุปได้ว่า สำหรับโซเดียม และอะลูมิเนียม การวิเคราะห์ทั้งสองวิธีโดยผลในการวิเคราะห์ใกล้เคียงกัน

สำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณทองแดงและแมงกานีสในน้ำประปา ด้วยวิธีการทางนิวเคลียร์แบบ Destructive Neutron Activation Analysis ได้ปริมาณธาตุสูงกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมีแบบ Absorptiometry พอจะสรุปได้ว่า สำหรับทองแดงและแมงกานีส การวิเคราะห์ทั้งสองวิธีโดยผลในการวิเคราะห์แตกต่างกัน

### อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลอง ปรากฏว่าการวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมและอะลูมิเนียมในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร ด้วยวิธีการทางเคมีแบบ Flame Photometry และ Absorptiometry กับวิธีการทางนิวเคลียร์แบบ Instrumentation Neutron Activation Analysis โดยผลในการวิเคราะห์ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะในการหาปริมาณโซเดียมแบบ Flame Photometry นั้น ได้กระทำกับตัวอย่างน้ำประปาโดยตรงและไม่ต้องมีกรรมวิธีในการตกตะกอนจึงไม่มี error ในการเก็บตะกอน และในการหาปริมาณอะลูมิเนียมแบบ Absorptiometry ก็ไม่มีกรรมวิธีในการตกตะกอนเช่นเดียวกัน และในการศึกษาอะลูมิเนียมครั้งนี้ ได้ใช้ Aluminon เป็น Aluminium reagent ซึ่งเป็นน้ำยาที่ใช้โดยผลในการหาปริมาณอะลูมิเนียมที่มีอยู่น้อย และสำหรับวิธีการแบบ Instrumentation Neutron Activation Analysis นั้น ก็ได้กระทำกับตัวอย่างน้ำประปาโดยตรงทีเดียว

แต่สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงและแมงกานีสในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร ปรากฏว่าวิธีการทางนิวเคลียร์แบบ Destructive Neutron Activation Analysis ได้ปริมาณธาตุทองแดงและแมงกานีสสูงกว่าวิธีการทางเคมีแบบ Absorptiometry อย่างเด่นชัด ทั้งนี้เพราะในการหาปริมาณทองแดงและแมงกานีส ด้วยวิธีการแบบ Destructive Neutron Activation Analysis ถึงแม้จะมีกรรมวิธีในการตกตะกอนก็ตาม แต่โดยการ

ใช้วิธี Correct Yield ทำให้สามารถหาปริมาณกับน้ำหนักภาพรังสีจากตะกอนที่แท้จริงได้ และในการหาปริมาณทองแดงและแมงกานีสด้วยวิธีการแบบ Absorptiometry ซึ่งหาปริมาณธาตุใดก็ตาม อาจมี error เนื่องจากสาเหตุโดยเฉพาะในการเก็บตะกอน ซึ่งอาจจะผิดพลาดตามช่องเล็ก ๆ ของกระดามกรองได้ และสาเหตุจากการซั่งสารเพื่อเตรียมน้ำยา

จากผลดังกล่าว จึงเป็นข้อเปรียบเทียบที่เห็นได้อย่างชัดเจนว่า การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่มีอยู่ในน้ำประปาในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ด้วยวิธีการทางนิวเคลียร์ได้ผลถูกต้อง แม่นวนกว่าวิธีการทางเคมี ไม่ว่าจะเป็นการหาปริมาณ ไอเดียม อะลูมิเนียม ทองแดงและแมงกานีส

บทขอ สรุปผล และขอเสนอแนะ

การทดลองครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบผล ในการวิเคราะห์เพื่อหา ปริมาณโซเดียม อะลูมิเนียม ทองแดงและแมงกานีสในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร ด้วยวิธีการทางเคมีและวิธีการทางนิวเคลียร์

ตัวอย่างน้ำประปาในจังหวัดพระนคร ที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ครั้งนี้ได้จาก ที่ทำการประปาสามเสน ถนนพระราม 6 อำเภอคูสิต ซึ่งเป็นแหล่งผลิต และที่บ้าน เลขที่ 499/1 ถนนสุขุทัย อำเภอคูสิต ซึ่งเป็นแหล่งใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. เครื่องมือทางเคมี ได้แก่ Flame Photometer และ Absorptiometer
2. เครื่องมือทางนิวเคลียร์ ได้แก่ Multichannel pulse-height analyzer

กรรมวิธีในการวิเคราะห์ครั้งนี้ มีดังนี้

1. กรรมวิธีทางเคมี ได้แก่  
Flame Photometry เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียม  
Absorptiometry เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียม  
ทองแดงและแมงกานีส
2. กรรมวิธีทางนิวเคลียร์ ได้แก่  
Instrumentation Neutron Activation Analysis เพื่อ  
วิเคราะห์หาปริมาณ โซเดียมและอะลูมิเนียม  
Destructive Neutron Activation analysis เพื่อ  
วิเคราะห์หาปริมาณ ทองแดงและแมงกานีส

นำข้อมูลจากการทดลองมาคำนวณ ปรากฏว่าได้ผลในการวิเคราะห์ ดังนี้

1. การวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมและอะลูมิเนียม ในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร ด้วยวิธีการทางเคมี แบบ Flame Photometry และ Absorptiometry กับวิธีการทางนิวเคลียร์แบบ Instrumentation Neutron Activation Analysis ได้ผลในการวิเคราะห์ใกล้เคียงกัน

2. การวิเคราะห์หาปริมาณทองแดงและแมงกานีส ในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร ด้วยวิธีการทางเคมีแบบ Absorptiometry กับวิธีการทางนิวเคลียร์แบบ Destructive Neutron Activation Analysis ได้ผลในการวิเคราะห์แตกต่างกัน

ขอเสนอแนะ

จากการเปรียบเทียบผลในการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางนิวเคลียร์ เพื่อหาปริมาณธาตุในน้ำประปาในจังหวัดพระนคร แสดงว่าการวิเคราะห์ทางนิวเคลียร์ได้ผลถูกต้องกว่าการวิเคราะห์ทางเคมี จึงควรที่จะได้นำวิธีการทางนิวเคลียร์มาใช้ในยุคของการใช้พลังงานปรมาณู ที่กำลังเจริญรุดหน้าอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันนี้ หลายประเทศก็ได้เปิดสอนวิชาแขนงใหม่ให้แก่ักเรียนบางแล้ว ผู้เขียนจึงมีความเห็นว่า ควรที่จะได้จัดให้มีการสอนวิชา Nuclear Science เบื้องต้นเพิ่มขึ้นในหลักสูตรวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายของประเทศไทยบ้าง เพื่อไม่ให้เป็นการล้าหลังประเทศอื่น พร้อมกันนี้ผู้เขียนขอเสนอแนะหลักสูตรวิชา Nuclear Science สำหรับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายและการเตรียมการเพื่อให้มีการสอนวิชา \* Nuclear Science ดังต่อไปนี้

1. หลักสูตรวิชา Nuclear Science มีเนื้อหาวิชาดังนี้

1. ประวัติความเป็นมา

1.1 การใช้พลังงานของมนุษย์

1.2 การกัมพอะตอม

---

\* หลักสูตรนี้ ผู้เขียนได้ใช้ ข้อเสนอแนะของคณะกรรมการ UNESCO และข้อเสนอแนะของศาสตราจารย์ พิมล กลกิจ เป็นข้ออ้างอิงประกอบการพิจารณา ดังแสดงในภาคผนวก 3.

## 2. ทฤษฎีอะตอม

2.1 แนวความคิดเกี่ยวกับรูปร่างและขนาดของอะตอม

2.2 ส่วนประกอบของอนุภาค : โปรตอน นิวตรอน อิเล็กตรอน

เมซอน

## 3. ไอโซโทป (Isotopes)

เกี่ยวกับส่วนประกอบของนิวเคลียส : โปรตอน นิวตรอน

## 4. กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)

4.1 ขรรษชาติ และการผลิตกัมมันตภาพรังสี

4.2 กัมมันตรังสีนิวเคลียร์

4.2.1 Alpha emission

4.2.2 Beta emission

4.2.3 Gamma emission

4.2.4 Neutron emission

## 5. การวัดและหน่วยในการวัดกัมมันตภาพรังสี

5.1 Cloud chamber

5.2 Ionization chamber

5.3 Geiger counter

5.4 อัตราการสลายตัว Half-life Curie Rutherford,

## 6. ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Nuclear reaction)

6.1 ปฏิกิริยาการแตกตัว (Fission reaction)

6.2 ปฏิกิริยาการรวมตัว (Fussion reaction)

## 7. การใช้พลังงานนิวเคลียร์ ในทางสันติ

7.1 ทางการแพทย์ อุตสาหกรรม เกษตรกรรม ฯลฯ

7.2 แหล่งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานอื่น ๆ

หมายเหตุ . สำหรับหลักสูตรแผนกวิทยาศาสตร์ (Science major) ควรเน้นหนัก  
ในค่านิยมปฏิบัติ ทฤษฎีและการคำนวณ และ หลักสูตรแผนกศิลป์และ

แผนกศิลป์ทั่วไป (Non-science major) ควรเน้นหนักในคำบรรยาย อภิปรายและ การพัฒนาการใหม่ ๆ เพิ่มเติม

2. ผู้สอน ในขณะที่ยังไม่มี การเพิ่มเติมหลักสูตรวิชา Nuclear Science ตามที่เสนอแนะก็ควรจะได้ดำเนินการเป็นการเตรียมการล่วงหน้าโดยจัดครูสอนใหม่ที่มีความ สามารถที่จะสอนวิชานี้ได้ ควรกำหนดแผนการการผลิตครู และการอบรมครูประจำการขึ้น เพื่อพร้อมแล้วจะได้เปิดสอนวิชานี้อ่างกว้างขวางทั่วประเทศต่อไป

สำหรับสถาบันการศึกษาที่ผลิตครูต่าง ๆ ควรจะได้ผลิตครูวิทยาศาสตร์ ในระดับปริญญาตรีใหม่ที่มีความสามารถที่จะสอนวิชา Nuclear Science ในระดับมัธยมศึกษา ตอนปลายได้

3. คณะกรรมการ คณะกรรมการที่ดำเนินการในเรื่องนี้ควรประกอบด้วยผู้ที่มีความรู้ ความสามารถทาง Science Education และทาง Nuclear Science เพื่อพิจารณา หลักสูตรกำหนดนโยบาย กำหนดเป้าหมายและระยะเวลาดำเนินการ ตลอดจนวางแผนงาน ต่าง ๆ สำหรับการเปิดสอนวิชา Nuclear Science ให้พร้อมเพรียงรวมทั้งแผนงานการ อบรมครูประจำการ การผลิตตำราเรียน การจัดหาอุปกรณ์และอื่น ๆ ทั้งนี้ควรจะได้กระทำ เป็นการด่วน

หลักสูตร ตำราเรียนและวิธีสอนต่าง ๆ ที่คณะกรรมการได้จัดทำขึ้นนั้น ควรจะได้มีการทดลองทดสอบและประเมินผลจนเป็นที่พอใจเพื่อประสิทธิภาพในการเรียนการสอน

4. การสอนปัจจุบัน ในระหว่างที่ยังไม่มีการสอนวิชา Nuclear Science ครูวิทยาศาสตร์ซึ่งได้มีความรู้ใหม่ ๆ ทางนิวเคลียร์ควรได้ทำการสอนแทรกหรือเสริมในการ สอนวิชาฟิสิกส์ เคมีและวิทยาศาสตร์ทั่วไป เพื่อให้นักเรียนได้มีความเข้าใจในวิชานี้เป็นพื้นฐาน

บรรณานุกรม

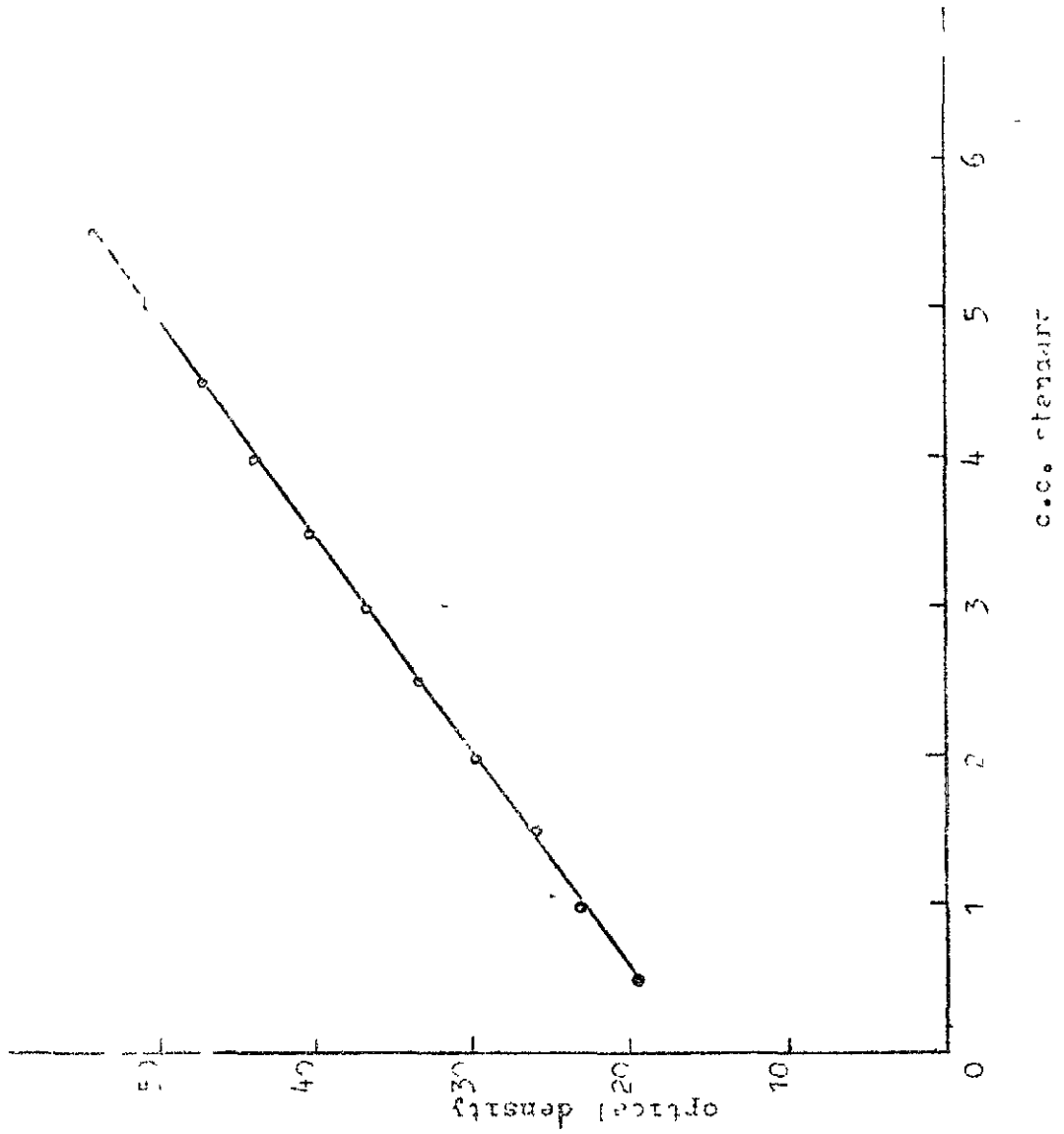
## บรรณานุกรม

- พิมพ์ กลกิจ "ประโยชน์จากการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในทางสันติ เพื่อสอนในโรงเรียนมัธยม" วิทยาศาสตร์ 1 : 10-14 มกราคม 2505
- อนงค์ นิลอุบล, ม.ล., "การวิเคราะห์แบบแยกตัวเวกซ์" เอกสารสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (โรเนียว) 10 หน้า.
- อนงค์ นิลอุบล, ม.ล., "การวิเคราะห์โลหะที่เป็นพิษด้วยรังสี" วิทยาศาสตร์ 6 : 67 มิถุนายน 2507.
- Bowen, H.J.M., and Gibbons, D., Radioactivation Analysis, Oxford At The Clarendon Press, London, 1963, 295 pp.
- Brown, Glenn H., and Sallee, Eugene H., Quantitative Chemistry, Prentice-Hall Inc. Englewood cliff, New Jersey, 1964, 661 pp.
- Dijk, C.P. van, "The determination of Cu, Zn, Pb in drinking water" Chemical Abstracts, 36 6711, February, 1942.
- Evan, Robley D., The Atomic Nucleus, McGRAW-HILL BOOK, New York, 1955, 972 pp.
- Honig, Jurgen M., and others, The Van Nostrand Chemist's Dictionary, Van Nostrand, New York, 1953, 761 pp.
- International Atomic Energy, Nuclear Science Teaching I A E A, 94 : 15-16, 1968.
- Litter, D.J., and Raffle J.F., An Introduction to Reactor Physics, McGRAW-HILL BOOK, New York, 1955, 196 pp.

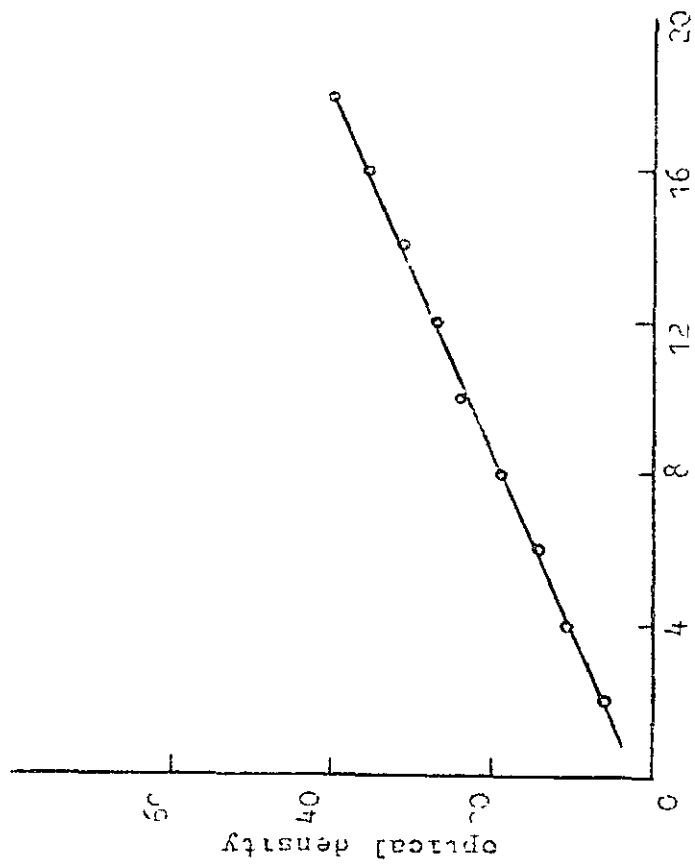
- Nilubol, Anong, M.L., and others "Manganese Toxication in the Human Body Determination by Activation Analysis" Journal of Nuclear Medicine 4 . 178-179, May, 1968.
- Olivari, Luigi, and Benassi, Roberto, "Determination of Na, K in drinking water by Flame Photometry" Chemical Abstracts, 55 . 6739, April, 1961.
- Robert F. Gould, editor, Trace Inorganic in Water, American Chemical Society, Washing, D.C. 1968, 396 pp.
- Schutz, Donald F., and Turekian, Karl K., "Geographical and vertical distribution of several trace elements in sea water using neutron activation analysis" Chemical Abstracts, 62 15901, June, 1965.
- The Institution of Water Engineers, Approved Methods for the Physical and Chemical examination of water, W. Heffer and Sons Ltd., Cambridge, 1960. 74 pp.
- United States Atomic Energy Commission, Guide to Activation Analysis, D. Van Nostrand Company, Inc., New Jersey, 1964, 186 pp.
- Veselovakii, N.V., "Volumetric determination of Na by the Zinc Urano method according to Dobbins and Byrd" Chemical Abstracts, 37 . 4029, June, 1943.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

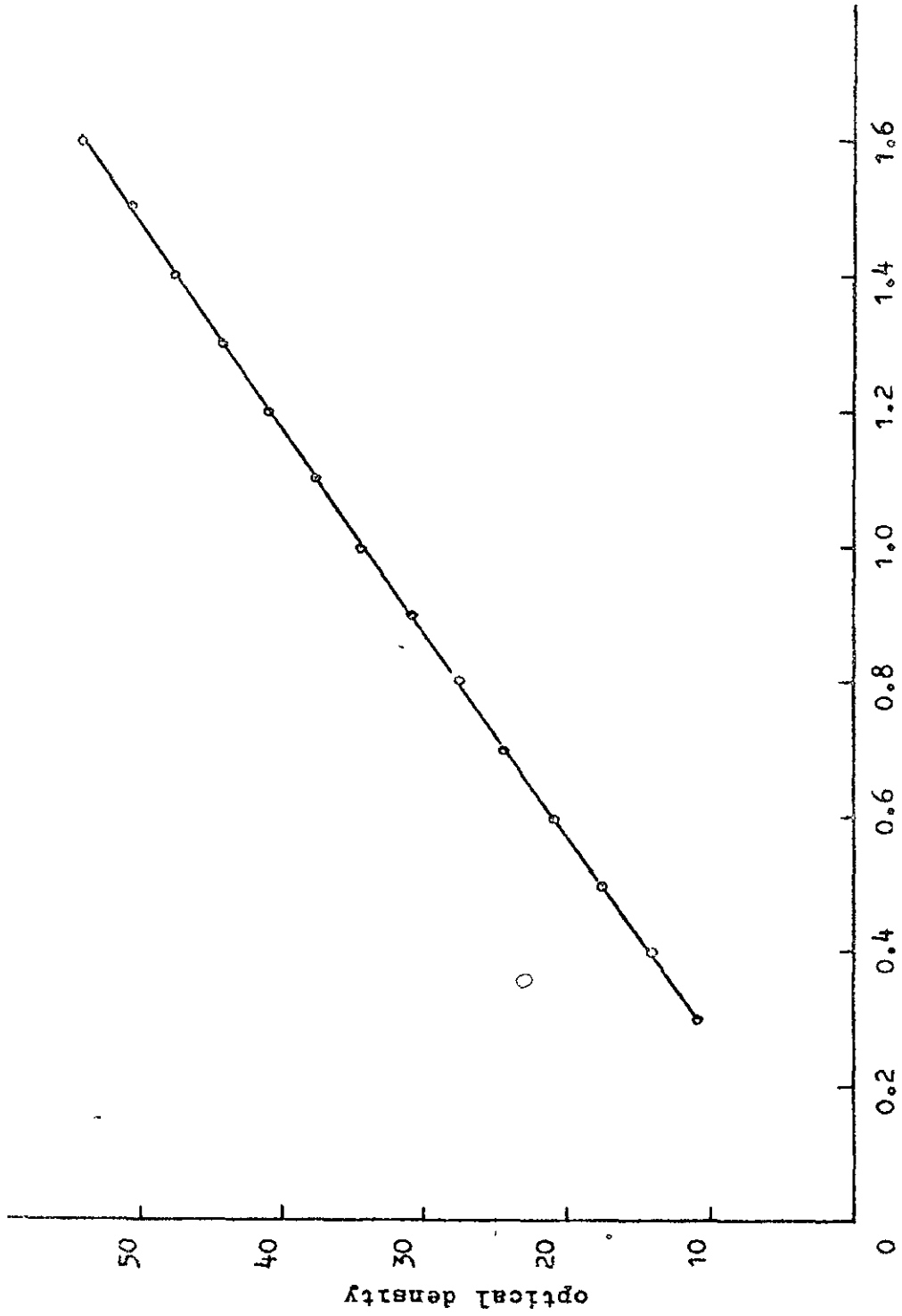


รูป 1 Calibration curve of Aluminum



0.6. standard

Fig 2 Calibration curve of Copier



c.c. standard

Fig 3 calibration curve of Manganese

ภาคผนวก 2  
จากการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา โคบอลต์กัมมันต์

128 channels

Gain 90

zero level 7

High power 950 kilovolts

สารมาตรฐานโซเดียม ( $\text{Na}^{24}$ )

จำนวน 1 c.c.

เริ่มวัดกัมมันตภาพรังสีที่นาที 127

040000	000000	000000	000000	000000	000256	002648	001932
001268	001028	000827	000801	000795	000750	000596	000635
000589	000555	000483	000504	000482	000512	000517	000501
000485	000472	000466	000510	000478	000508	000506	000417
000372	000275	000240	000242	000365	000751	001366	001362
000869	000405	000220	000166	000157	000148	000156	000176

ตัวอย่างนำประปา S1

จำนวน 3 c.c.

เริ่มวัดกัมมันตภาพรังสีที่นาที 120

040000	000000	000000	000000	000000	000225	002923	002221
001550	001171	001064	000990	000998	000924	000776	000768
000700	000682	000590	000570	000569	000626	000906	001014
000768	000560	000524	000581	000543	000534	000508	000439
000435	000325	000329	000410	000576	000924	001302	001367
000788	000415	000286	000217	000223	000245	000349	000396

วาระรังสีนิวตรอน 1 นาที

เวลานับ 4 นาที

เวลาสลายตัว 120 127 นาที

1.8 channels  
 Gain 90  
 Zero level 7  
 High power 950 kilovolts  
 สารนาทิกาย โปแตสเซียม ( $\text{Na}^{24}$ )  
 จำนวน 1 c.c.  
 เริ่มวัดกัมมันตภาพรังสีที่นาที 130

อาบรังสีนิวตรอน 1 นาที  
 เวลานั้น 4 นาที  
 เวลาสลายตัว 1.0 1.7 นาที

040000	000000	000000	000000	000000	000163	002327	001727
001110	000844	000681	000655	000604	000590	000517	000494
000527	000519	000439	000409	000388	000426	000381	000401
000374	000397	000326	000362	000312	000351	000313	000351
000265	000214	000190	000192	000249	000509	000914	001000
000641	000308	000170	000134	000107	000114	000107	000127

ตัวอย่างน้ำประปา  $\text{S}_2$

จำนวน 100 c.c.

เริ่มวัดกัมมันตภาพรังสีที่นาที 137

040000	000000	000000	000000	000000	000195	002391	001786
001177	000921	000752	000689	000670	000626	000588	000513
000513	000441	000435	000403	000399	000415	000501	000509
000424	000403	000391	000362	000341	000384	000359	000354
000288	000241	000220	000254	000362	000576	000834	000798
000555	000298	000211	000171	000145	000172	000197	000200

128 channels

gain 90

Zero level 7

high power 950 kilovolts

สารจากฐาน อะลูมิเนียม ( $Al^{28}$ )

จำนวน 3 c.c.

เริ่มวัดกัมมันตภาพรังสีที่นาที 3.45

010000	000000	000000	000000	000000	000154	004718	004258
003121	002516	002307	002088	002253	002418	001895	001747
001635	001573	001560	001553	001740	001826	001703	002094
001941	001571	001485	001446	001558	001577	001560	001461
001515	001490	001495	001674	001949	002294	002400	002096
001956	001969	001961	001967	001819	001601	001181	000861
000690	000627	001099	002820	005230	006530	005313	002762
001054	000354	000129	000081	000079	000101	000107	000129

ตัวอย่างน้ำประปา  $S_1$ 

จำนวน 3 c.c.

เริ่มวัดกัมมันตภาพรังสีที่นาที 0.56

010000	000000	000002	000001	000004	000201	007791	006710
004840	003967	003671	003515	003744	004019	003281	002697
002777	002712	002574	002439	002445	002476	002778	003562
003622	002781	002464	002319	002561	002712	002551	002395
002418	002192	002146	001944	002160	002661	003379	004641
005077	004002	002715	001984	001803	001712	001698	001921
002112	002287	002218	002567	003372	003968	003392	002232
001297	000918	000741	000670	000577	000622	000695	000957

อามรังสีนิวตรอน

10

นาที

เวลานับ

1

นาที

เวลาสลายตัว

0.56 3.43 นาที

128 channels  
 Gain 90  
 Zero level 7  
 High power 950 kilovolts  
 สารมากรฐาน 0.1 มิลลิเมตร ( $Al^{28}$ )  
 จำนวน 3  
 เริ่มวัดกัมมันตภาพรังสีที่ 3.20

อานรังสีนิวตรอน 10 วินาที  
 เวลานั้น 1 นาที  
 เวลาสลายตัว 0.36 - 0.20 นาที

010000	000000	000000	000000	000000	000102	004613	004220
003087	002433	002246	002084	002287	002431	001957	001755
001724	001659	001530	001571	001704	001803	001732	001995
001990	001642	001543	001580	001565	001514	001597	001615
001497	001461	001550	001665	001776	002323	002411	002315
002023	001886	001945	001922	001871	001749	001325	001022
000724	000620	000889	002412	004851	006731	005978	003527
001418	000452	000168	000116	000092	000077	000079	000100

ตัวอย่างนำประปา  $S_2$

จำนวน 3 c.c.  
 เริ่มวัดกัมมันตภาพรังสีที่ 0.36

010000	000003	000006	000009	000016	000324	014424	007309
005391	004342	004040	003767	003947	004456	005501	003083
002890	002826	002688	002560	002590	002678	002854	003167
003260	002874	002607	002610	002604	002645	002765	002566
002456	002429	002231	002137	002187	002625	003363	004522
005363	004644	003084	002255	001927	001849	001903	001951
002183	002323	002136	002363	003141	003858	003593	002615
001505	001041	000843	000746	000706	000660	000740	000927

128 channels  
 Gain 90  
 Zero level 10  
 high Power 950 kilovolts  
 ศา. ภาวงานทองแดง (Cu<sup>64</sup>)  
 จำนวน . . . c.c.  
 เครื่องวัดกัมมันตภาพรังสีที่หน้าที่ 148

อาบรังสีนิวตรอน 30 นาที  
 เวลานั้น 4 นาที  
 เวลาสลายตัว 148,156 นาที

040000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000110
002012	005126	005093	005331	004975	004438	003895	003277
002932	002376	001636	001369	001153	001864	008593	012416
003432	000546	000401	000435	000388	000343	000300	000297

ตัวอย่าง ภาวปรอท S<sub>1</sub>  
 จำนวน 3 . . . c.c.  
 เครื่องวัดกัมมันตภาพรังสีที่หน้าที่ 156

040000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000130
003122	006743	007100	006944	006872	006432	005876	005218
004837	004012	002985	002487	002262	003203	012655	018046
006224	001392	001256	001219	001060	001123	001121	001077

128 channels  
 Gain 90  
 Zero level 10  
 High power 950 kilovolts

จำนวนสี 30 นาที  
 เวลาค้น 10 นาที  
 เวลาถ่ายตัว 115 128 นาที

การฉายรังสีของแกง (Cu<sup>64</sup>)  
 ปริมาณ 0.5 c.c.  
 เริ่มวัดกับบันทึกภาพรังสีที่นาที 118

010000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000211
003387	009942	010248	010352	009386	007932	007094	005650
004744	003720	002780	002430	002098	003021	011158	014174
003970	001049	000909	000832	000790	000645	000620	000595

ตัวอย่างน้ำประปา S<sub>2</sub>  
 ปริมาณ 100 c.c.  
 เริ่มวัดกับบันทึกภาพรังสีที่นาที 115

010000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000446
005036	012855	012138	012031	011169	009838	008869	007883
006622	005340	004298	003677	003415	004703	014788	017731
005840	002408	002227	001988	001964	001988	001837	001819

128 channels  
 Gain 90  
 Zero level 10

จำนวนนิวตรอน 1 นาที  
 เวลานั้น 1 นาที  
 เวลาฉายกัม 47.20 50.45 55.45

High power 950 kilovolts  
 ตรวจจับด้วยแม่เหล็ก (Mn<sup>56</sup>)

จำนวน 20 c.c.  
 เริ่มวัดกัมมันตภาพรังสีที่ 50.45 นาที

010000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
005916	014255	015727	014476	014057	014250	014170	013229
012335	011425	016940	010152	100950	009996	010002	010159
000025	011100	101390	008430	005373	003706	002859	004095
013548	041717	050333	022846	004997	001969	001851	001860

ตัวอย่างน้ำประปา S<sub>1</sub>

จำนวน 20 c.c.  
 เริ่มวัดกัมมันตภาพรังสีที่ 55.45 นาที

001000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
002217	005081	00622	005726	005865	005655	005609	005124
004775	004213	004031	003793	003788	003624	003692	003782
005690	003764	003676	002958	001925	001286	001115	001493
005367	013355	017809	007507	001652	000715	000700	000650

ตัวอย่างน้ำประปา S<sub>2</sub>

จำนวน 20 c.c.  
 เริ่มวัดกัมมันตภาพรังสีที่ 47.20

000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000	000000
001110	002748	003122	002899	002759	002624	002509	002340
002052	001860	001647	001584	001572	001517	001425	001528
001485	001566	001497	001223	000792	000563	000460	000630
002511	006517	006864	002626	000606	000307	000523	000257

### ภาคผนวก 3

#### <sup>24</sup> NUCLEAR SCIENCE TEACHING

report of a panel  
on nuclear science teaching  
jointly convened by the IAEA and UNESCO  
and held in Bangkok, 15-23 July 1968  
suggested topics for inclusion at the  
16- to 18-year age level

#### 1. Atoms

Production and properties of cathode ray, charge and charge/mass ratio; positive rays, structure of atom based on proton, neutron, and electron.

#### 2. Molecules and ions

Chemical bonding and its relevance to electronic configuration.

#### 3. Conservation laws (energy, mass, momentum)

Introduce  $E=mc^2$  (derivation unnecessary). Conservation laws are to be treated at qualitative level only (to be used later in the discussion of fission, fusion, etc.).

---

<sup>24</sup> International Atomic Energy Agency, Nuclear Science Teaching, pp. 13-14.

#### 4. Atomic nuclei and isotopes

This is to solve the nature and properties of the nucleus. It leads to the concept of isotopes and  ${}^A_ZX$  nomenclature. Isotope effect with special reference to deuterium.

$$\frac{1000 \times 10 \text{ } \mu\text{g}}{1000 \text{ } e\text{e}} = \frac{10^4 \times 10^6}{10^3} = 10^7 \text{ } 0.01 \text{ g}$$

#### 5. Radioactivity

Include discussion on proton-to-neutron ratio; stable and unstable nuclei; modes of decay, random nature of disintegration, decay, half-life, dating. Properties of radiation, including range, ionization, penetration, magnetic deflection and scattering may also be discussed.

Radioactivity and its wide application in medicine, industry and agriculture.

Experiments on detection methods such as radiography, diffusion cloud chamber, spinthariscopes, spark counter and GM tube may be performed. There are also experiments and/or demonstrations in half-life measurement, differential absorption of alpha, beta and gamma rays, backscattering of beta particles, magnetic deflection of electrons, inverse square law and the statistics of counting.

#### 6. New elements

Brief details of the chemistry and separation of the 'new' elements. It is suggested that this topic be introduced in the discussion of nuclear reactions and the extension of the periodic table.

## 7. Nuclear reactions

Binding energy in relation to fusion (relevance to solar energy) and fission (relevance to reactors and explosives). Chain reaction can be demonstrated by a mousetrap analogue. Elementary principles of isotope production accelerators and reactors are to be included.

## 8. Tracers and their application

There are many appropriate experiments or demonstrations for this topic. Examples are autoradiography, level gauging, thickness gauging, backscatter gauging, exchange reaction, solubility product, solvent extraction, ion exchange and paper chromatography.

Whenever possible, the experiments and demonstrations should be directly related to the fundamental principles of the subject being taught, for example, and exchange reaction should be related to the study of chemical equilibria.

25<sup>v</sup> ข้อเสนอแนะโครงการเรื่องของหนังสือประโยชน์การใช้พลังงานนิวเคลียร์  
ในทางสันติสำหรับโรงเรียนมัธยม

PROPOSED PLAN OF STUDY

TEACHING OF PEACEFUL UTILISATION OF NUCLEAR  
ENERGY IN SECONDARY SCHOOLS

1. Historical review

1.1 Energy in the service of man. Search for fuels.

1.2 Discovery of Atom and Nucleus.

1.3 Atomic energy. Contributions of scientists of many nations.

2. Sources

2.1 Atomic theory

2.11 Ideas concerning the shape and size of the atom. Matter-  
molecules-atoms-nuclei.

2.12 Ideas concerning nucleons and other sub-atomic particles.

**Basic particles :**

Protons, neutrons, electrons, mesons.

2.13 Energy states in the nucleus.

2.14 Isotopes.

2.2 Uranium and new sources

2.21 Uranium ores. Extraction. Separation.

2.22 Uranium isotopes. Separation.

2.23 Transuranium elements

## 2.3 Nuclear fission

2.31 Nuclear binding energy. Packing loss. Amount of energy liberated in changing matter to energy.

2.32 Basic reactions in nuclear fission

2.33 Nuclear "bullets". Alpha particles, protons, neutrons.

2.34 Fission chain reaction.

2.341 Basic chain reaction

2.342 Controlled reaction. Nuclear reactors.

2.343 Uncontrolled chain reactions.

## 3. Radioactivity

3.1 Natural and artificial radioactivity. Radium and use in medicine.

3.2 Nuclear radiations.

3.21 Alpha emissions

3.22 Beta emissions

3.23 Gamma emissions

3.24 Neutron emissions

3.3 Detection and measurements. Instruments

3.31 Representative observations cloud chamber tracks, etc.

3.32 Ionization effects. Geiger counter. Ionization chamber, etc.

3.33 Disintegration rate. Half-life. Curie. Microcurie. Rutherford.

- 3.34 Ionization effect units : Roentgen, rep, rem, "n" units.
- 3.4 Lethal effects of radiations
- 3.5 The count rate meter. Circuit. Operation.
- 3.6 Laboratory procedures in handling radioisotopes. Use in the laboratory.
- 3.7 Radioisotopes and Demonstration experiments in schools.
- 4. Peaceful utilizations of nuclear energy
  - 4.1 Tracers
    - 4.11 In medicine
    - 4.12 In industry
    - 4.13 In agriculture
    - 4.14 In biological research
    - 4.15 Photosynthesis
  - 4.2 As a source of electricity
  - 4.3 As a source of motive power