

การวิเคราะห์ธาตุแมงกานีสและสังกะสีในอาหารไทยโดยวิธีทางวิเคราะห์

ปริญญาโท

ของ

ชุมพล พันสุวรรณ

THE LIBRARY
COLLEGE OF EDUCATION
BANGKOK, THAILAND

เสนอต่อวิทยาลัยวิชาการศึกษา
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษาบัณฑิต

๑๑ มีนาคม ๒๕๑๔

การวิเคราะห์ธาตุแมงกานีสและสังกะสีในอาหารไทยโดยวิธีทางนิวเคลียร์

บทคัดย่อปริิฎฐานิพนธ์

ของ

ชุมพล พันธ์สุวรรณ

เสนอต่อวิทยาลัยวิชาการศึกษา
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

๑๑ มีนาคม ๒๕๑๔

การวิเคราะห์ธาตุแมงกานีสและสังกะสีในอาหารไทย โดยวิธีทางนิวเคลียร์

การศึกษาก่อนหน้านี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้วิธีวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน ในการหาปริมาณธาตุแมงกานีสและสังกะสีในอาหารไทยบางประเภท ซึ่งสัมพันธ์อย่างจาก ตลาดในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ 512 Channel analyzer computer พร้อมทวี่หัวตรวจจับ Na I (Tl) ขนาด ๓" x ๓" ผลการศึกษานี้วิเคราะห์ ปรากฏว่า ปริมาณสังกะสีโดยเฉลี่ยในสารตัวอย่างประเภทเนื้อสัตว์สูงกว่าในสารตัวอย่าง ประเภทผักและผลไม้ ยกเว้นผักโขม จากการวิเคราะห์ตรวจหา ไม่พบปริมาณแมงกานีส ในสารตัวอย่างประเภทเนื้อ.

THE DETERMINATION OF MANGANESE AND
ZINC CONTENTS IN THAI FOOD BY
NUCLEAR ANALYSIS

ABSTRACT

BY

CHUMPON PATTANASUWAN

Presented in Partial Fulfilment of the Requirement
for the Master of Education Degree
at the College of Education
March 11, 1971

THE DETERMINATION OF MANGANESE AND
ZINC CONTENTS IN THAI FOOD BY
NUCLEAR ANALYSIS

The method of neutron activation analysis had been used for the determination of manganese and zinc contents in some Thai food which were sampled from markets in Bangkok. The apparatus used for radioactivity measurement was the 512 channel analyzer computer with a 3" x 3" Na I (Tl) crystal detector. The results showed that the zinc contents of meat samples were generally higher than those of vegetable and fruit samples, except for the case of spinach where the reverse was true. From the analysis, no trace of manganese was found in meat samples.

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัว นิสิตได้พิจารณาปัญหานี้จนบัดนี้แล้ว
เห็นสมควรรับ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักฐานการที่ถามหาบันทึก
ของวิทยาลัยวิชาการศึกษาได้.

เลขาฯ ว.อ.ก.

ประธาน

ศาสตราจารย์ ดร. วิฑูรย์

กรรมการ

ศาสตราจารย์ ดร. วิฑูรย์

กรรมการ

๑๑ มีนาคม ๒๕๑๔

ประกาศคุณูปการ

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในการให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ยิ่ง และความช่วยเหลือจากอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมทรง วิสกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา อาจารย์ณงนุช จันทนาคม และ อาจารย์สมบูรณ์ วัฒนแก้ว กรรมการที่ปรึกษา ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

นอกจากนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ไพโรจน์ อินทศิริสวัสดิ์ และ เจ้าหน้าที่ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ |ที่ได้กรุณาให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกอย่างดียิ่งในการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเป็นรูปเล่มขึ้นได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก คุณนิรมล ไกรคุณาศัย ผู้เขียนขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย.

ชุมพล พัฒนสุวรรณ

บทที่	สารบัญ	หน้า
๑	บทนำ	๑
	คำนำ	๑
	ความมุ่งหมายในการศึกษาค้นคว้า	๔
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	๔
	ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	๔
	คำจำกัดความและคำศัพท์เฉพาะ	๕
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้า	๕
๒	ทฤษฎี	๘
	ทฤษฎีการวิเคราะห์แบบแอดดิเวชัน	๘
๓	เครื่องมือและวิธีดำเนินการ	๑๘
	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	๑๘
	วิธีดำเนินการทดลอง	๒๐
๔	วิเคราะห์ข้อมูลและผลของการทดลอง	๒๕
	อภิปรายผลการทดลอง	๓๑
๕	บทย่อ สรุป และข้อเสนอแนะ	๓๓
	บรรณานุกรม	๓๗

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
๑. เปอร์เซ็นต์ของ dried content และ ashed content	๒๑
๒. คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางนิวเคลียร์ของธาตุที่จะทำการวิเคราะห์	๒๔
๓. แสดงปริมาณธาตุแมงกานีสในสารตัวอย่าง	๒๕
๔. แสดงปริมาณธาตุสังกะสีในสารตัวอย่าง	๓๐

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
๑ การวิเคราะห์ธาตุแมงกานีสในเนื้อไก่	๒๒
๒ การวิเคราะห์ธาตุแมงกานีสในคอกกุ่มข้าว	๒๓
๓ การวิเคราะห์ธาตุสังกะสีในพริกขี้หนู	๒๔

บทที่ ๑

บทนำ

คำนำ

ก่อนการค้นพบธาตุกัมมันตรังสีประดิษฐ์ (artificial radioactivity) ใน ค.ศ. ๑๙๓๓ โดยสองสามีภรรยา Frederic และ Irene Curie - Joliot การศึกษา วิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีการต่าง ๆ กันเช่น Gravimetric, Colorimetric, Spectrographic และ Mass spectroscopy เป็นต้น วิธีวิเคราะห์เหล่านี้พบว่าจะไม่ได้อัตราค่าที่เราวิเคราะห์ มีปริมาณน้อยกว่า 10^{15} อะตอม (Lenihan and Thomson, 1965 : 6) นอกจากนั้น วิธีการวิเคราะห์บางวิธียังทำให้สารที่นำมาวิเคราะห์สมบัติเปลี่ยนไปอีกด้วย นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษากันว่าวิธีการใหม่ ๆ เพื่อขจัดปัญหาดังกล่าว

George Hevesy ซึ่งทำงานอยู่ในสถาบันฟิสิกส์แห่งมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ภายใต้ การควบคุมของ Lord Rutherford ได้พบวิธีการวิเคราะห์แบบใหม่ขึ้นเมื่อ Rutherford ได้แยก Radium - D ออกจากตะกั่วกัมมันตรังสี เขาได้ใช้วิธีการหลายอย่างแต่ไม่ประสบผล สำเร็จ ในที่สุดจึงเกิดความคิดขึ้นว่า ถ้าใช้ Radium - D เป็น Tracer แล้วจะสามารถหา ปริมาณของ Radium - D ได้ (Lot, 1959 : 19) ต่อมาในปี ค.ศ. ๑๙๓๖ Hevesy กับ H. Levi ได้กระดมยิง (bombard) ธาตุ yttrium ที่ไม่บริสุทธิ์ด้วยนิวตรอนเพื่อหาปริมาณ ธาตุ dysprosium โดยใช้ radium beryllium neutron source (Lambie, 1963: 17) การทดลองนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการวิเคราะห์โดยวิธีทางนิวเคลียร์

วิธีการที่ Hevesy ได้ริเริ่มขึ้นนี้เรียกว่า การวิเคราะห์แบบแอคติเวชัน (activation analysis) และที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ การใช้นิวตรอนเป็นตัวระดมยิง จึงมีชื่อเรียกว่า การ วิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน (neutron activation analysis : NAA) ส่วนดีของการ วิเคราะห์แบบนี้ก็คือ สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยสารตัวอย่างไม่ต้องถูกทำลายไป และมีความไว (sensitivity) สูง ฉะนั้นแล้วถ้าวิธีการวิเคราะห์แบบนี้สามารถตรวจหาธาตุ

ซึ่งมีปริมาณเพียง ๑๐^๕ อะตอม (Lenihan and Thomson, 19๐5 : 7) หรือขนาด ๑๐^{-๒๖} กรัมได้ (ศัลกัม วรรณันท์, ๒๕๐๗ : ๓๖๐) ส่วนขดเสียบก็ถือ ทำการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ ไม่ได้และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์รากาแพงมาก (อนงค์ นิลอุบล, ม.ล., ๒๕๐๘ : ๗๗๕)

หลังจากสงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมา การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันเริ่มขยายขอบเขตกว้างขวางออกไป เพราะเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ซึ่งเป็นต้นกำเนิดนิวตรอนมีใช้กันแพร่หลายมากขึ้น นอกจากนี้ยังได้มีการประดิษฐ์ต้นกำเนิดนิวตรอนขนาดเล็ก ซึ่งรากาถูกกว่าเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มาก มีชื่อเรียกว่า neutron howitzers จึงทำให้การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น วิเคราะห์หาธาตุาเนเคียมในน้ำมันที่จะนำไปกลั่นในกิจการน้ำมัน วิเคราะห์หาสารฆ่าศัตรูพืชที่ตกค้างอยู่บนพืชผักในการเกษตร วิเคราะห์หาสารที่ปะปนอยู่ในซิลิกอนเคมีคอนดักเตอร์ ในด้านอิเล็กทรอนิกส์ วิเคราะห์หาสารต่าง ๆ ที่ปนอยู่ในโลหะในทางโลหวิทยา วิเคราะห์หาหินปูนที่ตกค้างอยู่ในทางอาชีววิทยา วิเคราะห์หาแร่ธาตุต่าง ๆ ในทางธรณีวิทยา และวิเคราะห์การติดตามธาตุโลหะในระบบ Metabolism ในทางการแพทย์ เป็นต้น

สำหรับในประเทศไทย ได้ทำการติดตั้งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยเครื่องแรกขึ้น ณ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ถนนศรีวิชัย อำเภอบางเขน จังหวัดพระนคร เสร็จเรียบร้อยเมื่อวันที่ ๓๐ กันยายน พ.ศ. ๒๕๐๕ (สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ, ๒๕๐๖ : ๕) การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันจึงได้ถูกนำมาศึกษากันทั่วและทดลอง ในปัจจุบันการศึกษากันทั่วเกี่ยวกับการวิเคราะห์แบบนี้กำลังขยายวงกว้างออกไปเพื่อใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด ผู้เขียนเห็นว่าควรจะได้มีการนำการวิเคราะห์แบบนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางคานโภชนาการบาง เพื่อเพิ่มพูนความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับองค์ประกอบทางอาหารของพืชผลพื้นเมืองของไทย นอกจากนั้นเทคนิคและวิธีการทดลองที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัยวิธีการวิเคราะห์แบบนี้ต่อไปอีกด้วย

ในร่างกายของคนเรามีแร่ธาตุหลายชนิด เช่น Ca, P, K, S, Na, Cl, Mg, Fe, Mn, Cu, I และที่มีอยู่เป็นส่วน้อย กัด Co, Zn, Si และ F (เสนอ อินทรสุขศรี, น.พ., ๒๕๐๗ : ๒๔) ธาตุที่เราสนใจในที่นี้ ก็คือ Mn และ Zn ปรากฏว่าสำหรับผู้ใหญ่จะมี Mn

ประมาณ ๑๐ - ๒๐ มิลลิกรัม (Wohl and Goodhart, 1968:392) และปริมาณนี้จะคงที่ตลอดชีวิต ส่วน Zn จะมีประมาณ ๒ - ๓ กรัมและส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณเนื้อเยื่อที่นิ่มนวล โดยเฉพาะที่ iris, retina และ choroid (Wohl and Goodhart, 1968:387)

โดยเฉลี่ยแล้วคนเราบริโภคน้ำ Zn ประมาณ ๑๐ - ๑๕ มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งจะมีเพียง ๑ - ๒ มิลลิกรัมเท่านั้นที่ถูกดูดซึมเข้าไป (Wohl and Goodhart, 1968:387) แต่ขบวนการดูดซึมของลำไส้ยังไม่มีเป็นที่ทราบกันแน่ชัด สำหรับ Mn นั้นพบว่าเกือบไม่มีการดูดซึมทางลำไส้เลย

จากการก่อกวนความสมดุลอันเกิดจากการขาด Mn หรือการบริโภค Mn มากเกินไปในสัตว์ เช่น หนู ลูกลูก กระต่าย สุนัข วัว แกะและม้า พบว่ามีผลเสียต่อสัตว์เหล่านั้นแต่ไม่ร้ายแรงมากนัก (American Medical Association, 1943:154-161) สำหรับในคนเราพบว่า Mn มีประโยชน์ในการสร้างเม็ดเลือด (เสนอ อินทรสุทธิ, น.พ., ๒๕๐๗ : ๒๘) ถ้าบริโภคมากเกินไปจะสะสมเพิ่มปริมาณอยู่ในตับ (Wohl and Goodhart, 1968:392) จากรายงานผลการวิจัยในประเทศไทยพบว่า Mn ที่เข้าไปสะสมในร่างกายคนเราทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย ปวดเมื่อย และเบื่ออาหารบางกรณีที่เป็นมากก็อาจมีอาการของโรคแปลก ๆ มีอาการชักเขียวหรือเป็นลม (อนันต์ นิลอุบล, ม.ด., ๒๕๐๗ : ๒๗)

สำหรับ Zn นั้นจากการทดลองกับสัตว์ คือ หนู พบว่าการขาด Zn มีผลต่อระบบบางอย่างในการย่อยอาหาร (American Medical Association, 1943:167) สำหรับคนพบว่าถ้าบริโภค Zn เข้าไปมากจะเกิดอาการรู้สึกไม่สบายคลื่นไส้และอาเจียร ในปัจจุบันยังไม่ทราบปริมาณ Zn ที่ร่างกายคนเราต้องการ (American Medical Association, 1943:169)

จากการศึกษากันกว้าง ๆ นี้จะเห็นได้ว่า การศึกษาทดลองเกี่ยวกับร่างกายของคนเรายังมีน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าเราไม่ทราบปริมาณ Mn และ Zn ที่เราบริโภคเข้าไปเป็นตัวเลขที่แน่นอน จึงทำให้ไม่อาจสรุปผลของ Mn และ Zn ต่อร่างกายของคนเราได้แจ่มชัดนัก ซึ่งการศึกษาดังเรื่องเหล่านี้ในอนาคตอาจทำให้เราทราบได้ว่า Mn และ Zn มีผลอย่างไร ต่อส่วนไหน ระบบอะไร ละเอียดถูกต้องยิ่งขึ้น

ความมุ่งหมายในการศึกษากันกั่ว

การศึกษานี้มีมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุแมงกานีสและธาตุสังกะสีในอาหารไทยบางประเภทซึ่งยังไม่มีมีการวิเคราะห์มาก่อน

ความสำคัญของการศึกษากันกั่ว

๑. ผลของการศึกษากันกั่วนี้ จะทำให้ได้รายละเอียดของประกอบของอาหารเพิ่มเติมจากรายการวิเคราะห์อาหารที่คณะกรรมการโภชนาการแห่งชาติได้ทำไว้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อประชาชนทั่วไปในการเลือกบริโภคอาหารให้ได้ปริมาณแร่ธาตุตามที่ร่างกายต้องการ

๒. เทคนิคและวิธีการที่ได้จากการศึกษากันกั่วและทดลองในเรื่องนี้สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชานิวเคลียร์ฟิสิกส์ในระดับปริญญาในวิทยาลัยวิชาการศึกษาหรือสถานศึกษาอื่น ๆ ได้

ขอบเขตของการศึกษากันกั่ว

การศึกษากันกั่วนี้มีขอบเขตดังนี้

๑. ศึกษาเฉพาะ เนื้อสัตว์โคแก่ เนื้อวัว เนื้อไก่ เนื้อหมู และเนื้อปลาช่อน ผลไม้ไผ่ กล้วย ส้มเขียวหวาน แห้วจีน แตงโมและสับปะรด ผักโคกแก่ มะละกอดิบ ผักโขม คอกกูดขวยและพริกขี้หนู

๒. ศึกษาเฉพาะธาตุแมงกานีสและธาตุสังกะสี

๓. เครื่องวัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ non - destructive neutron activation ซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัด multichannel pulse height analyzer

๔. ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ ทำการวิเคราะห์ในด้านปริมาณวิเคราะห์

กำจัดกากความและศัพทเฉพาะ

การวิเคราะห์โดยวิธีทางนิวเคลียร์ หมายถึง การทำให้อะตอมของธาตุเปลี่ยนเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioisotope) โดยการอาบด้วยรังสี (irradiation) จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (nuclear reactor) แล้ววิเคราะห์กัมมันตภาพรังสี (radioactivity) ที่ออกมา

การวิเคราะห์แบบ non - destructive neutron activation หมายถึง การนำสารตัวอย่างมาอาบรังสีนิวตรอนเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ (transmutation) เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุเดิม เมื่อวัดกัมมันตภาพรังสีที่ส่งออกมาแล้วทำการวิเคราะห์หาธาตุและปริมาณของธาตุนั้นในสารตัวอย่างได้

multichannel pulse height analyzer หมายถึง เครื่องมือวัดกัมมันตภาพรังสีของไอโซโทปกัมมันตรังสี

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษากันว่า

รายงานผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันในสารอินทรีย์นั้น มีทั้งที่ทำการวิจัยในประเทศไทยและในต่างประเทศดังจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

Y.Y. Lee นักวิทยาศาสตร์ชาวเกาหลีและ A. Travesi นักวิทยาศาสตร์ชาวสเปน ได้ร่วมกันทำการวิเคราะห์หาธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในข้าวและหาปริมาณของธาตุเหล่านั้นโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบ non - destructive neutron activation และ rapid chemical separation techniques (Lee and Travesi, 1969:23 - 34) โดยนำข้าวมาล้างด้วยน้ำกลั่นและ acetone อย่างรวดเร็ว เมื่อล้างจนแห้งแล้วจึงนำมาอบในเตาอบที่ ๑๐๕°C เป็นเวลา ๔๔ ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำข้าวอาบรังสีใน JEN - I Reactor ของบราซิลเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน แล้วนำมาวัดกัมมันตภาพรังสีด้วย SA 400 multichannel pulse height analyzer ผลปรากฏว่าพบธาตุในข้าว ๑๔ ธาตุ มีอยู่ ๕ ธาตุที่สามารถหาได้จาก

non-destructive techniques ภายหลังการอบรังสีเป็นเวลา ๓๐ วินาที ส่วนอีก
๔ ธาตุหาได้โดยวิธีเดียวกันแต่ใช้ระยะเวลาการอบรังสี ๑๖ ชั่วโมง การหาธาตุอื่น ๆ นอกจากนี้
ใช้กระบวนการ rapid chemical separation ภายหลังการอบรังสี ๑๖ ชั่วโมง ปริมาณ
ของ ๖ ธาตุสำคัญที่พบในน้ำมันดังนี้

น้ำมันซึ่งเอาเปลือกออกแล้ว		น้ำมันเปลือก	
Mn	6 - 13 p.p.m.	99 - 45 p.p.m.	
Cu	1 - 3 p.p.m.	2 - 4 p.p.m.	
Na	7 - 15 p.p.m.	11 - 14 p.p.m.	
K	1300 - 1800 p.p.m.	3000 - 4800 p.p.m.	
Cl	410 - 2600 p.p.m.	230 - 920 p.p.m.	
Br	0.2 - 92 p.p.m.	0.8 - 0.9 p.p.m.	

Francis Michael Kerr แห่งมหาวิทยาลัยออตตาวาได้ทำการศึกษาธาตุต่าง ๆ
ที่มีอยู่ในเส้นผมคน โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน (Kerr, 1964:1 - 74) โดย
ใช้เส้นผม ๔๐ ตัวอย่างซึ่งเลือกจากเส้นผมของหญิงอายุ ๒๕ ปี เป็นจำนวน ๑๒๓ ตัวอย่าง
สารตัวอย่างนี้ถูกนำเข้าอบรังสีนิวตรอนซึ่งมีความเข้ม 10^{12} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กันเพื่อหาไอโซโทปของธาตุที่มี half life สั้นยาวต่างกัน หลังจากนั้น
ก็นำมาเข้าเครื่องวัดกัมมันตรังสี ผลปรากฏว่าธาตุที่มีอยู่ในเส้นผมคนได้แก่ As, Cu, Zn, Fe,
Si, Na, V, Au, Co, Mg, Mo, Se, Cl, Br, I, Hg, Ge, Cn และ Mn Kerr ได้เสนอแนะ
ควยว่าวิธีวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันที่ใช้นี้เป็นวิธีที่ดีเหมาะสำหรับการวิเคราะห์เส้นผมเพียง
เส้นเดียวแม้ว่าผลการทดลองที่ได้ยังไม่เป็นที่พอใจของเขาก็ตาม

M. Simkova และ M. Krivanek นักวิทยาศาสตร์ชาวเชโกสโลวาเกียได้ทำการ
วิเคราะห์หา Cr ในเส้นผมคน (Simkova and Krivanek, 1969:229 - 233) โดยการ
นำเส้นผมซึ่งขยให้แห้งแล้วไปอบรังสีนิวตรอนความเข้ม 10^{12} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตร
ต่อวินาทีเป็นเวลา ๔ สัปดาห์แล้วนำมาแยกธาตุด้วยวิธีทางเคมี หลังจากนั้นนำมาเข้าเครื่องวัดรังสี

ผลปรากฏว่าปริมาณ Cr ในเลือดคนไข้มีอยู่ระหว่าง ๑.๐๓×๑๐^{-๒} ถึง ๕.๒×๑๐^{-๒} p.p.m.

T.E.F. Carr และ Alice Sutton ได้ศึกษา Sr และ Ba ขนาด Submicrogram (~ 20 ng) ใน plasma ของมนุษย์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน (International Atomic Energy Agency, 1967:445 - 454) Carr และ Sutton นำสารตัวอย่างมาอบให้แห้งแล้วนำไปอบรังสีนิวตรอนความเข้ม ๑.๔×๑๐^{๑๒} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาทีเป็นเวลา ๓ ชั่วโมง หลังจากทิ้งไว้ประมาณ ๑ ชั่วโมงจึงนำมาแยกธาตุด้วยวิธีทางเคมีแล้วนำไปเข้าเครื่องวัดรังสี ปรากฏว่าปริมาณของ Sr ใน plasma ของมนุษย์ไม่ขึ้นอยู่กับการควบคุมของร่างกายเหมือนกับ Ca แต่มีค่าคงที่ภายใต้การบริโภคอาหารตามปกติ

/ S. Giovannotti, Q. Maggiore และ R. Malvano ได้ศึกษาธาตุ As, Au, Cu, Hg, Mo, Sb และ Zn ใน plasma ของคนปกติและคนป่วยด้วยโรค Chronic uraemia โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน (International Atomic Energy Agency, 1967:511 - 515) เขาหัดสารตัวอย่างด้วยแผ่นอลูมิเนียมบริสุทธิ์บาง ๆ แล้วนำไปอบรังสีนิวตรอนความเข้ม ๓×๑๐^{๑๓} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาทีใน RS 1 pool reactor ระยะเวลาที่ใช้ในการอบรังสีคือ ๒๔ ชั่วโมง และ ๒๐ ชั่วโมง ส่วนระยะเวลาที่ปล่อยให้ไอโซโทปบางตัวสลายไปก็ ๕๐ ชั่วโมง และ ๑๕ วัน เขาใช้วิธีการแยกธาตุทางเคมีเข้าช่วยในการวิเคราะห์ หลังจากนั้นนำมาวัดกับมันทราฟรังส์ด้วย 200 - channel pulse height analyzer ซึ่งมี $๓" \times ๓"$ Well type Na I (Tl) crystal เป็นหัววัด ผลปรากฏว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณ As ในคนป่วยและคนปกติ

W.J. Van Kooten, J.W.H. Mali, J.J.M. de Goeiz และ J.P.W. Houtman ได้ทำการศึกษาก่อนปริมาณโครเมียมในผิวหนังปกติกับผู้ป่วยด้วยโรค eczema โดยวิธีการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน (International Atomic Energy Agency, 1967:567 - 572) เขานำสารตัวอย่างไปอบที่ ๑๑๐°C เป็นเวลา ๕๐ ชั่วโมง แล้วนำไปอบรังสีนิวตรอนความเข้ม $๓ - ๕ \times ๑๐^{๑๓}$ นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาทีเป็นเวลา ๘ - ๑๐ วัน หลังจากทิ้งให้สลายตัวเป็นเวลา ๒ อาทิตย์แล้วจึงนำมาแยกธาตุด้วยวิธีทางเคมี เมื่อทำการวัดกับมันทราฟรังส์

แล้วผลปรากฏว่า ปริมาณโคโรเนียมในผิวหนังคนปกติและคนป่วยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

✓การรณการณต์ ชาณโรกคานต์ นักรวทยาศารศตรปรระจาสำนักรงานพล้งงานปรมาณูเพือสันติ
ประเทไทย ได้ใช้วิธีวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอกติเวชันในการวิเคราะห์ Mn, Cu, Zn, Fe
และ Mo ในโลหิตของสัตว์ (Darakarnt Charniroksarnt, 1969: 1 - 5) โดยการ
นำสารตัวอย่างมาอบรังสีนิวตรอนความเข้ม 10^{13} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาทีเป็น
เวลา ๓๐ นาทีสำหรับการวิเคราะห์ Mn, Cu, และ Zn เป็นเวลา ๗ ชั่วโมง สำหรับ Fe
และเป็นเวลา ๒๐ ชั่วโมง สำหรับ Mo หลังจากใช้วิธีการทางเคมีแยกธาตุแล้วก็นำเข้าเครื่องวัด
กัมมันตภาพรังสี ผลปรากฏว่าใน ๑ กรัมของสารตัวอย่างประกอบด้วย Mn - $0.3786 \pm$
 $0.0019 \mu\text{g}$, Cu - $1.4146 \pm 0.0025 \mu\text{g}$, Zn - $16.5713 \pm 0.0607 \mu\text{g}$
Fe - $2.7025 \pm 0.0446 \text{ mg}$ และ Mo - $0.0305 \pm 0.0013 \mu\text{g}$

จากรายงานการวิจัยเหล่านี้จะเห็นได้ว่า เทคนิคของการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอกติเวชัน
นั้นสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ในสารตัวอย่างทางชีววิทยา (biological sample)
ได้ ไม่ว่าจะเป็นแบบ destructive หรือแบบ non - destructive ซึ่งขึ้นอยู่กับ
จำนวนของธาตุที่มีอยู่ ธาตุที่เข้าไปปะปนและชนิดของสารตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์ธาตุ
ปริมาณน้อยในอาหารไทยนั้นยังไม่มีกรวิจัยมากจนโดยเฉพาะการวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิคแบบ
นิวตรอนแอกติเวชัน

ทฤษฎีการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน (NAA Theory)

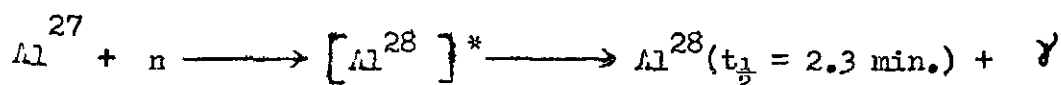
วิธีการวิเคราะห์แบบแอคติเวชันอาศัยหลักการเบื้องต้นจาก Radioactive tracer techniques (Lapp and Andrews, 1954 : 474) ซึ่งใช้การติดตามตำแหน่งที่อยู่และวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีของสารกัมมันตรังสีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ทำให้ทราบถึงขบวนการต่าง ๆ ในการใช้แร่ธาตุของพืชสัตว์และคนได้ เช่น การศึกษาว่าพืชชนิดหนึ่งต้องการแร่ธาตุอย่างไพบปริมาณมากน้อยเพียงใด เป็นต้น

ในการวิเคราะห์แบบแอคติเวชันนี้มีหลักการอยู่ว่า เมื่อสารชนิดหนึ่ง (Lonihan and Thomson, 1965 : 41) ถูกนำไปอาบรังสี (irradiated or activated) ของอนุภาคนิวเคลียร์ซึ่งได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เครื่องเร่งอนุภาค (accelerator) หรือแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ที่เหมาะสม อะตอมในสารนั้นบางอะตอมจะกระทบ (interact) กับอนุภาคที่พุ่งเข้ามา (bombarding particle) และเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียร์ กลายเป็นไอโซโทปของธาตุเดิมหรือไอโซโทปของธาตุอื่นก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอนุภาคที่พุ่งเข้ามา ส่วนมากไอโซโทปที่เกิดขึ้นจะเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี ถ้าแต่ละไอโซโทปกัมมันตรังสีสามารถแยกออกจากกันได้ เราสามารถหาปริมาณอะตอมของธาตุเดิม (parent isotope) ในสารนั้นจากปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่วัดได้ ผลสำเร็จของการวิเคราะห์แบบแอคติเวชันนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เลือกใช้

อะตอมของธาตุในสารธรรมดาทั่วไปเป็นไอโซโทปถาวร (stable isotope) ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ (nuclear transformation) โดยปฏิกิริยาหลายแบบ เช่น (n, γ) , (n, α) , (n, p) , $(n, 2n)$, (p, n) , (p, γ) , (d, p) , (d, n) , (d, α) , (α, n) , (α, p) และ $(n, \text{fission})$ ในการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันนั้นเราใช้นิวตรอนเป็นอนุภาคนิวเคลียร์ ปฏิกิริยา (n, α) และ (n, p)

จะตองใช่นิวตรอนที่มีพลังงานสูงกว่า thermal neutron ซึ่งมีพลังงานประมาณ ๐.๐๒๕ eV. thermal neutron เหมาะสมที่จะใช้ในปฏิกิริยา (n, γ) ปฏิกิริยานี้ไม่ทำให้ Atomic number ของธาตุนั้นเปลี่ยนไป คือ ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นยังคงเป็นไอโซโทปของธาตุเดิม ปฏิกิริยา (n, γ) จึงเป็นที่นิยมใช้มากกว่า

ในการศึกษาวิเคราะห์ครั้งนี้ ผู้เขียนเลือกใช้ปฏิกิริยา (n, γ) ซึ่งมีหลักการดังนี้ นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุไฟฟ้าจึงมีโอกาสที่จะวิ่งชนและเกิดปฏิกิริยากับนิวเคลียสของธาตุที่เป็นเป้า (target element) ใ้มากกว่าอนุภาคอื่นที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งจะถูกกันโดย Coulomb barrier และกลุ่มอิเล็กตรอนรอบ ๆ นิวเคลียส เมื่อนิวตรอนถูกยิงเข้าไปชนนิวเคลียส นิวเคลียสจะจับ (Capture) นิวตรอนไว้ทำให้ตัวมันกลายเป็น Compound nucleus ซึ่งมีพลังงานสูงขึ้นและอยู่ใน excited state compound nucleus จะอยู่ใน excited state ชั่วระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 10^{-12} - 10^{-10} วินาที (Price, 1958 : 28) แล้วก็จะปลดปล่อยพลังงานส่วนที่เกินออกมาในรูปของ α - particle, proton หรือ γ - radiation โอกาสที่นิวตรอนจะวิ่งชนนิวเคลียสได้ขึ้นอยู่กับ Cross section ซึ่งมีหน่วยเป็น barn (10^{-28} ซม.^๒) โดยทั่วไปแล้วค่า Cross section จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเร็วของนิวตรอนลดลง (Livesey, 1966 : 359) ดังนั้นปฏิกิริยานิวเคลียร์จะมีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด ถ้าใช้ thermal neutron (slow neutron) -- เป็นตัวยิง ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์มี thermal neutron ระดับพลังงาน ๐.๐๒๕ eV. มากที่สุด (อนงค์ นิลอุบล, ม.ล., โรเนียง) ถ้านำ Al^{27} ไปอาบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ปฏิกิริยาจะเกิดดังนี้



ซึ่งอาจเขียนสั้น ๆ ได้ดังนี้ $Al^{27} (n, \gamma) Al^{28}$

เมื่อนิวเคลียสถูก thermal neutron (ความเร็วเฉลี่ย ๒,๒๐๐ เมตร/วินาที) ชนจะมีพลังงานเพิ่มขึ้นประมาณ 8 MeV. (Chase and Rabinowitz, 1962 : 154) พลังงานส่วนเกินนี้จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูป γ - radiation โดยการวัดระดับพลังงานและปริมาณของ

γ - radiation นี้ เราสามารถหาปริมาณและชนิดของธาตุในสารนั้นได้

เทคนิคในการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันมี ๒ แบบ คือ

๑. การวิเคราะห์แบบไม่อาศัยวิธีทางเคมี (non - destructive NAA)

คือ การนำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเข้าอาบรังสีนิวตรอนพร้อมกันแล้วนำมาวัดรังสีเปรียบเทียบกัน

๒. การวิเคราะห์แบบอาศัยวิธีทางเคมี (Destructive NAA) สารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์นั้นบางที่เป็นส่วนผสมของธาตุหลายอย่าง มีเคมีแตกต่างๆ อาจมีการรบกวนซึ่งกันและกันได้ โดยเฉพาะที่มี peak energy ใกล้เคียงกันไม่สามารถจำแนกได้ง่าย ดังนั้นจำเป็นต้องอาศัยวิธีทางเคมี เช่น การตกตะกอน, การสกัด, การกลั่นและการแยกด้วย ion exchange resin เป็นต้น เมื่อแยกไอโซโทปกับมันตรังสีได้บริสุทธิ์แล้วจึงทำการวัดรังสี

ในการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันมีเงื่อนไขที่จำเป็นดังนี้ (Lenihan and Thomson, 1965 : 45)

๑. ธาตุในสารที่จะวิเคราะห์จะต้องมีค่า neutron interaction cross section ที่เหมาะสม

๒. แต่ละธาตุที่จะวิเคราะห์ต้องเกิดไอโซโทปกับมันตรังสีซึ่งสลายตัวให้ γ - rays เมื่อถูก activate ด้วยนิวตรอน

๓. ไอโซโทปกับมันตรังสีที่เกิดขึ้นต้องมีอายุครึ่งชีวิต (half life) ไม่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป

๔. ธาตุที่จะวิเคราะห์ในสารนั้นต้องมีปริมาณมากพอ

๕. ลักษณะทางนิวเคลียร์ของธาตุในขณะที่ยังไม่เป็นธาตุกับมันตรังสีและผลที่เกิดขึ้นจาก activation เป็นสิ่งที่ต้องทราบล่วงหน้า

อัตราการผลิตไอโซโทปกับมันตรังสี (Rate of radioisotope production)

เมื่อนำสารที่จะวิเคราะห์ไปอาบรังสี thermal neutron จะเกิดไอโซโทปกับมันตรังสีขึ้น ในขณะเดียวกันไอโซโทปกับมันตรังสีที่เกิดขึ้นจะสลายตัวให้ γ - rays ออกมา

ทั้งนี้อัตราการผลิตไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ได้ (Lapp and Andrews, 1954 : 353 - 354)

จะเป็นไปตามสมการ

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

เมื่อ p = อัตราการเกิดไอโซโทปกัมมันตรังสี

N^* = อัตราการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี

λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant)

N^* = จำนวนอะตอมของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ผลิตได้

ถ้าสารตัวอย่างถูกอาบรังสีเป็นระยะเวลา t_1 โดยที่ค่า p ไม่เปลี่ยนแปลง เราอาจใช้ integrating - factor method หาค่า $N_{t_1}^*$ จากสมการ (1) ได้ดังนี้

$$\frac{d N_{t_1}^*}{dt} = P - \lambda N_{t_1}^* \quad (2)$$

คูณสมการ (2) ด้วย $e^{\lambda t_1}$ จะได้

$$e^{\lambda t_1} \frac{d N_{t_1}^*}{dt} = P e^{\lambda t_1} - \lambda N_{t_1}^* \circ \lambda t_1$$

$$e^{-\lambda t_1} \frac{d N_{t_1}^*}{dt} + \lambda N_{t_1}^* e^{\lambda t_1} = P e^{\lambda t_1} \quad /$$

$$\frac{d}{dt} (N_{t_1}^* e^{\lambda t_1}) = P e^{\lambda t_1} \quad /$$

$$\int d(N_{t_1}^* e^{\lambda t_1}) = \int P e^{\lambda t_1} dt \quad /$$

$$N_{t_1}^* \circ \lambda t_1 = \frac{P e^{\lambda t_1}}{\lambda} + C \quad /$$

$$N_{t_1}^* = \frac{P}{\lambda} + C e^{-\lambda t_1} \quad (3)$$

เมื่อ $t_1 = 0$, เราจะได้ว่า

$$C = - \frac{P}{\lambda}$$

แทนค่า c ในสมการ (3) เราจะได้

$$N_{t_1}^* = \frac{P}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_1}) \quad (4)$$

ในทางปฏิบัติเราต้องการทราบปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ $N_{t_1}^*$ ปลดปล่อยออกมาต่อหนึ่งหน่วยเวลาซึ่งสมมุติให้มีค่า Λ_{t_1}

จากสมการ (4)

$$\begin{aligned} N_{t_1}^* \lambda &= P (1 - e^{-\lambda t_1}) \\ \Lambda_{t_1} &= P (1 - e^{-\lambda t_1}) \end{aligned} \quad (5)$$

สิ่งที่เราต้องการทราบต่อไปก็คือ P ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

เมื่อนำสารตัวอย่างไปอาบรังสีนิวตรอน โอกาสที่นิวตรอนหนึ่งอนุภาคจะชนและเกิดปฏิกิริยากับนิวเคลียสของธาตุในสารตัวอย่างหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาต่อหนึ่งนิวตรอน} &= \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดของนิวเคลียสในเป้า}}{\text{พื้นที่ทั้งหมดของเป้า}} \\ &= \frac{\text{nuclear target area}}{\text{total target area}} \end{aligned}$$

$$\text{โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาต่อหนึ่งนิวตรอน} = \frac{N \sigma}{a}$$

เมื่อ N = จำนวนนิวเคลียสทั้งหมดในเป้า

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

ถ้า ϕ เป็นจำนวนนิวตรอนที่ชนเป้าในแนวตั้งฉากต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อวินาที (irradiation flux, neutron/cm²/sec) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{จำนวนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต่อวินาที} &= \frac{N \sigma}{a} \times \phi a \\ \therefore \text{อัตราการเกิดไอโซโทปกัมมันตรังสี} &= N \sigma \phi \end{aligned} \quad (6)$$

จำนวนอะตอมหรือนิวเคลียสทั้งหมดที่ถูกนำไปอาบรังสีสามารถ (Lyon, Jr., 1964:9)
หาได้จาก

$$N = \frac{N_0 w k}{\text{At. Wt.}} \quad (7)$$

เมื่อ N_0 = Avogadro's number = $6.0247 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$

w = น้ำหนักของธาตุเป็นกรัม

k = fractional isotopic abundance

At. Wt. = น้ำหนักอะตอมของธาตุนั้น (Atomic Weight)

แทนสมการ (6) และ (7) ในสมการ (5) จะได้

$$\begin{aligned} A_{t_1} &= \frac{N_0 w k}{\text{At. Wt.}} (1 - e^{-\lambda t_1}) \\ A_{t_1} &= \frac{6.02 \times 10^{23} w k}{\text{At. Wt.}} (1 - e^{-\frac{0.693 t_1}{T_{1/2}}}) \end{aligned} \quad (8)$$

เมื่อ $\lambda = 0.693 / T_{1/2}$

$T_{1/2}$ = ระยะเวลาที่สารกัมมันตรังสีสลายตัวเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม (half life)

จากสมการ (8) จะเห็นได้ว่า เราสามารถเปลี่ยนระยะเวลาการอาบรังสีเพื่อให้ได้ค่า Activity ตามที่ต้องการได้ เทอม $(1 - e^{-\lambda t_1})$ เรียกว่า Saturation factor (Lyon, Jr., 1964 : 8) ถ้าระยะเวลาในการอาบรังสี $t_1 \gg T_{1/2}$ แล้วค่า Saturation factor จะเข้าใกล้ 1 ดังนั้นที่ Saturation time (เวลาที่อัตราการผลิตและอัตราการสลายตัวของอะตอมกัมมันตรังสีมีค่าเท่ากัน) ค่า Activity ของไอโซโทปกัมมันตรังสีจะมีค่าสูงสุด ตามสมการ

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

อัตราการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี (Rate of radioisotope decay)

จากการทดลองทำให้เราทราบว่า ในการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี จำนวนการสลายตัวต่อหนึ่งหน่วยเวลาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอะตอมกัมมันตรังสีในขณะนั้น (Lapp, and Andrews, 1954 : 78) ถ้าจำนวนอะตอม ΔN สลายตัวในระยะเวลา Δt เราจะได้ว่า

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

$$\therefore \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N \quad (10)$$

เมื่อ λ = decay constant (disintegration constant)

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

โดยอาศัยวิธีการทางแคลคูลัส เมื่อ $t \rightarrow 0$ เราจะได้

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

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

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (11)$$

เมื่อ N = จำนวนอะตอมกัมมันตรังสีที่มีอยู่ภายหลังจากระยะเวลา t ✓

N_0 = จำนวนอะตอมกัมมันตรังสีเมื่อเริ่มสลายตัว

e = Napierian - logarithm base = 2.7182 ---

ถ้าภายหลังระยะเวลา t จำนวนอะตอมกัมมันตรังสีที่เหลืออยู่เท่ากับ $\frac{N_0}{2}$ ระยะเวลา t นี้ เรียกว่า ระยะเวลาครึ่งชีวิต (half life) เขียนแทนด้วย $T_{\frac{1}{2}}$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda T_{\frac{1}{2}}$$

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

จากสมการ (11) สามารถเขียนในรูป Activity ของอะตอมกัมมันตรังสีได้ดังนี้

$$A = A_0 e^{-\frac{0.693 t}{T_{\frac{1}{2}}}} \quad (12)$$

เมื่อเรานำสารตัวอย่างออกจากการอาบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์แล้ว ในบางกรณีเราอาจต้องปล่อยให้อะตอมกัมมันตรังสีสลายตัวชั่วระยะหนึ่ง เพื่อจัดการแผ่รังสีกลบ (overshadow) ของอะตอมกัมมันตรังสีที่เราไม่ต้องการ ดังนั้นถ้าเราอาบรังสีเป็นเวลา t_1 และทิ้งไว้ให้สลายตัวเป็นเวลา t_2 ก่อนทำการวัดรังสี ค่า Activity ที่ได้ คือ

$$\text{Activity} = \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ wk } \sigma \phi}{\text{At. Wt.}} \left(1 - e^{-\frac{0.693 t_1}{T_{\frac{1}{2}}}}\right) e^{-\frac{0.693 t_2}{T_{\frac{1}{2}}}} \quad (13)$$

จากการวัดค่า Activity แทนค่า $k, \sigma, \phi, T_{\frac{1}{2}}, \text{At. Wt.}, e, t_1$ และ t_2 แล้ว เราจะสามารถทราบปริมาณของธาตุ (w) ได้

ในทางปฏิบัตินิยมใช้ Comparator technique (Lyon, Jr., 1964:10) คือการ
 อารรังสีสารตัวอย่างพร้อมกับสารมาตรฐาน (Standard) เพื่อจัดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น
 ในการอารรังสี เช่น ค่า neutron flux ไม่คงที่ เป็นต้น

ถ้า w = น้ำหนักของสารตัวอย่าง

w_s = น้ำหนักของสารมาตรฐาน

Λ = Activity ของสารตัวอย่าง

Λ_s = Activity ของสารมาตรฐาน

แทนในสมการ (13) และเปรียบเทียบกันจะได้

$$\frac{w}{w_s} = \frac{\Lambda}{\Lambda_s} \quad (14)$$

ดังนั้นถ้าวัดปริมาณกัมมันตรังสีในสารตัวอย่าง, ปริมาณกัมมันตรังสีในสารมาตรฐานและ
 ชั่งน้ำหนักของสารมาตรฐาน เราก็สามารถคำนวณหาปริมาณธาตุในสารตัวอย่างได้

การเลือกสารมาตรฐานควรพิจารณาในสิ่งต่อไปนี้

๑. สารมาตรฐานควรบริสุทธิ์ไม่มีสิ่งอื่นปะปน
๒. สารมาตรฐานควรมีธาตุที่สามารถ activate ได้เพียงธาตุเดียว
๓. สารมาตรฐานควรละลายได้ง่ายในตัวทำละลาย
๔. สารมาตรฐานควรสามารถชั่งได้โดยง่าย

ระยะเวลาในการอารรังสี (Irradiation exposure time)

ระยะเวลาที่ใช้ในการอารรังสี (Corliss, 1963:6) ขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

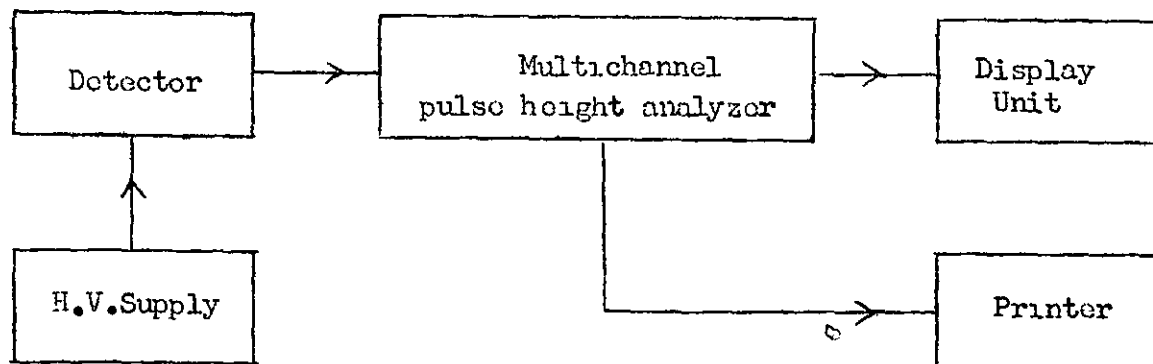
๑. ค่าความไว (sensitivity) ที่เราต้องการ
๒. nuclear cross section ของธาตุที่นำเข้าอารรังสี
๓. อายุครึ่งชีวิต (half life) ของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น

เครื่องมือและวิธีดำเนินการ

เครื่องมือ

การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชันครั้งนี้ประกอบด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้

๑. หัววัดรังสีแกมมา แบบ scintillation detector ของ Harshaw ประกอบด้วย Na I(Tl) Crystal ขนาด ๓" X ๓" กับหลอด Photomultiplier
๒. Power supply, model 312 A ของ Biard Atomic เป็นต้นกำเนิด high voltage สำหรับหัววัดรังสี ในการทดลองครั้งนี้ปรับใช้ 920 V.
๓. 512 Channol Analyzer - Computer, Series one - thirty ของ Nuclear Data
๔. Display unit ประกอบด้วย Oscilloscope, type RM 503 ของ Tektronik
๕. Printer ประกอบด้วยเครื่องพิมพ์คีย์ภาษาอังกฤษของ IBM

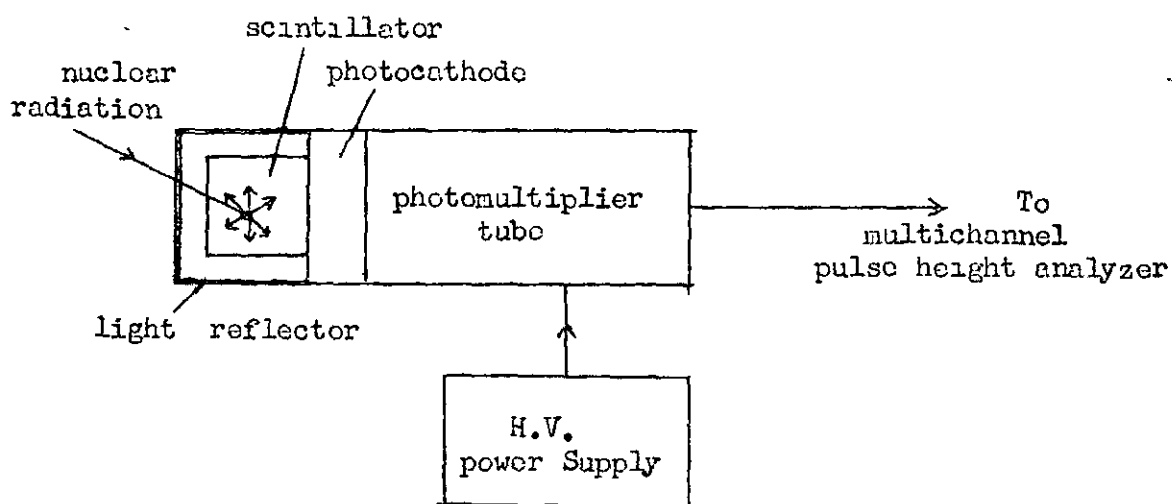


ทฤษฎีการทำงานของเครื่องมือโดยย่อมีดังนี้

๑. เมื่อรังสีแกมมาจากไอโซโทปกัมมันตรังสีที่นำไปวัดผ่านเข้าไปในหัววัดรังสี

จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ photoelectric effect, Compton effect และ pair production ขึ้นภายในผลึก NaI (Tl) พลังงานของรังสีแกมมาที่ผ่านเข้าไป (primary photon energy) จะกลายเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน พลังงานส่วนที่เหลือจะเปลี่ยนเป็น secondary photon พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนจะถูกเปลี่ยนเป็นแสงเมื่ออิเล็กตรอนกลับสู่สภาพเดิม (ground state) แสงทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสีแกมมาที่ผ่านเข้าไป (Price, 1958 : 201)

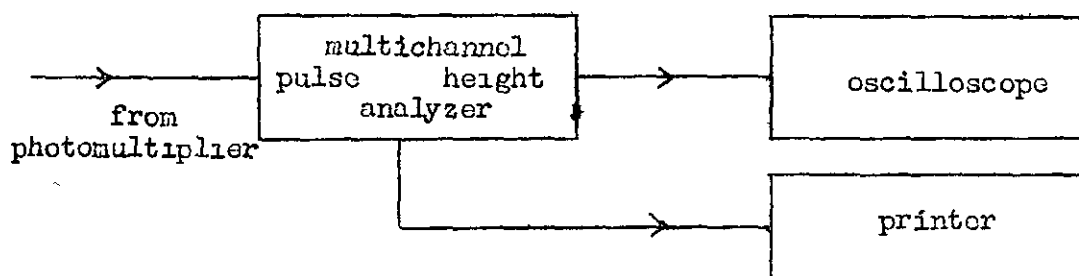
๒. แสงที่เกิดใน scintillator นี้จะถูกสะท้อนโดย light reflector (แผ่นอลูมิเนียมซึ่งหุ้มผลึก NaI) และผ่านเข้าไปตกกระทบบน photocathode ของหลอด photomultiplier photoelectrons ซึ่งหลุดออกจาก photocathode จะ



ถูกทวีคูณเพิ่มขึ้นหลายเท่าโดยขบวนการของ photomultiplier tube. current pulse ที่โกระทำให้เกิด voltage pulse ที่ input ของ multichannel pulse height analyzer

๓. Multichannel pulse height analyzer ประกอบด้วยส่วนที่เป็น สมอ่งอิเล็กตรอนิกส์ซึ่งสามารถเก็บจำนวนนับของสัญญาณได้ สมอ่งอิเล็กตรอนิกส์แต่ละตัวเรียกว่า Channel แต่ละ Channel จะทำหน้าที่เก็บจำนวนนับของสัญญาณในช่วงหนึ่ง ๆ ไว้

ตัวอย่างเช่น สัญญาณที่ถูกขยายให้มีขนาด ๐ - ๑๐๐ V. ถ้าถูกส่งไปยัง multichannel analyzer ที่มี ๑๐๐ channel สัญญาณที่มีขนาดตั้งแต่ ๐ - ๑ V. จะถูกส่งไปยัง channel ที่หนึ่ง สัญญาณที่มีขนาดตั้งแต่ ๑ - ๒ V. จะถูกส่งไปยัง channel ที่สอง เช่นนี้เรื่อย ๆ ไป จนถึงขนาดตั้งแต่ ๙๙ - ๑๐๐ V. จะถูกส่งไปเก็บไว้ที่ channel ๑๐๐ ทั้งหมดนี้จะทำงานพร้อม ๆ กัน ในการนำจำนวนนับออกจากสมองอิเล็กทรอนิกส์ อาจให้พิมพ์ออกมาโดยอัตโนมัติหรืออาจให้แสดงเป็น spectrum ได้โดยบนจอของ oscilloscope ก็ได้ (สมพงษ์ ฉัตรภรณ์, โรเนียว : ๑๓)



วิธีดำเนินการ

ในการทดลองครั้งนี้ ได้แบ่งวิธีดำเนินการออกเป็น ๔ ขั้นตอน ดังนี้

๑. การเตรียมสารตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์
๒. การนำสารตัวอย่างเข้าอบรังสี
๓. การวัดกัมมันตภาพรังสี
๔. การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัด

๑. การเตรียมสารตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

สารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้เลือกศึกษาเฉพาะ

- ๑.๑ เนื้อสัตว์ ได้แก่ เนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ และเนื้อปลาช่อน
- ๑.๒ ผัก ได้แก่ ดอกกุยช่าย พริกขี้หนู มะละกอดิบและผักโขม

๑.๓ ผลไม้ ไม้ไผ่ สับปะรด แตงโม ส้มเขียวหวานและแห้วจีน

โดยการสุ่มตัวอย่างจากแหล่งต่าง ๆ ในจังหวัดพระนคร คือ ตลาดสะพานควาย ตลาดสามย่านและตลาดพระโขนง ระหว่างเดือน ธันวาคม ๒๕๑๓ ถึงเดือน มกราคม ๒๕๑๔ นำสารตัวอย่างมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น ชั่งน้ำหนักสดเฉพาะส่วนที่บริโภค แล้วนำเข้าอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ ๒๕๐ °C เมื่อแห้งแล้วแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งชั่งน้ำหนักแห้ง (dried weight) อีกส่วนหนึ่งนำไปทำ ash ในเตาอบอุณหภูมิ ๓๕๐ °C หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักของ ash ที่ได้ (ashed weight) เพอร์เซ็นต์ของ dried content และ ashed content เมื่อเทียบกับน้ำหนักสดมีดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตาราง ๑ เพอร์เซ็นต์ของ dried content และ ashed content

	สารตัวอย่าง	% dried content	% ashed content
๑.	เนื้อวุ้น	๑๕.๑๘	๐.๖๘
๒.	เนื้อหนม	๒๒.๕๑	๐.๘๕
๓.	เนื้อไก่	๑๖.๑๕	๑.๐๕
๔.	เนื้อปลาช่อน	๑๑.๕๓	๑.๑๗
๕.	คอกกุ่มขาบ	๑.๓๘	๑.๐๔
๖.	พริกยักษ์	๔.๐๐	๐.๗๑
๗.	มะละกอคืบ	๓.๒๒	๐.๗๐
๘.	ผักโสม	๕.๗๐	๑.๘๕
๙.	สับปะรด	๗.๐๘	๐.๓๕
๑๐.	แตงโม	๔.๑๘	๐.๒๘
๑๑.	ส้มเขียวหวาน	๖.๒๔	๑.๘๓
๑๒.	แห้วจีน	๑.๘๑	๑.๔๐

นำสารตัวอย่างทั้ง ashed และ dried มาซึ่งแล้วบรรจุขวด polyethylene ขวดละประมาณ ๑ กรัม ซึ่ง ZnO บรรจุขวดประมาณ ๐.๑ กรัมเพื่อใช้เป็น Standard ในการเปรียบเทียบ บรรจุขวดสารตัวอย่างลงในท่อออลูมิเนียมโดยให้ Standard อยู่ตอนหัว ท่อกลางและตอนท้ายของท่อ หลังจากนั้นห่อด้วย aluminum foil อีกชั้นหนึ่ง

สำหรับสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์หา Mn ก็ซึ่งบรรจุขวดละประมาณ ๐.๕ - ๑ กรัม ส่วน Standard Mn ใช้สารละลายของ Mn ซึ่งมีปริมาณ Mn ขวดละ ๐.๐๔๔๔ มิลลิกรัม บรรจุขวดสารตัวอย่างและ Standard Mn ใน rabbit เพื่อนำไปยังเข้า อานรังสีด้วยระบบ Pneumatic

๒. การนำสารตัวอย่างเข้าอานรังสี

นำสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์หา Zn ซึ่งบรรจุไว้ในท่อออลูมิเนียมสอดเข้าไปอานรังสี ทาง Beam tube 2" ของ TRR - 1 ระยะเวลาที่ใช้ในการอานรังสีครั้งนี้ประมาณ ๓ สัปดาห์

สำหรับสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์หา Mn ซึ่งบรรจุใน rabbit ถูกลำดับไปยังเข้า อานรังสีด้วยระบบ Pneumatic ใช้ระยะเวลาการอานรังสีประมาณ ๕ วินาที

ค่า neutron flux โดยเฉลี่ยประมาณ 6×10^{12} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตร ต่อวินาที (สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ, ๒๕๐๕ : ๒๗)

๓. การวัดกัมมันตภาพรังสี

ในการวิเคราะห์หา Zn หลังจากนำสารตัวอย่างออกมาและทิ้งไว้ให้ decay เป็น เวลาประมาณ ๓ สัปดาห์ จึงนำมาวัดรังสีแกมมาด้วย multichannel pulse height analyzer ซึ่งปรับ Energy zero position ที่ 280, Internal amplifier fine gain ที่ 1000 และ Internal amplifier coarse gain ที่ ๒ ทำ การวัดที่ระยะห่างจากหัววัดประมาณ ๖ ซม.

สำหรับการวิเคราะห์ Mn เมื่ออบรังสีแล้วปล่อยทิ้งไว้ประมาณ ๓ ชั่วโมง
จึงนำมาวัดรังสีแกมมา

จำนวนนับต่อวินาที (counts / sec.) ในแต่ละ channel จะถูกพิมพ์ออกมา
โดยเครื่องพิมพ์ IBM

๔. การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัด

นำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาเขียนกราฟระหว่างจำนวนนับต่อวินาทีและ channel
number เปรียบเทียบ peak ของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานโดยใช้ Calibration
curve ในการตรวจสอบ แล้วคำนวณหาปริมาณธาตุในสารตัวอย่างโดยใช้สูตร

$$\frac{\text{น.น.ของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{น.น.ของสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{กัมมันตรังสีของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{กัมมันตรังสีของสารมาตรฐาน}}$$

น้ำหนักของธาตุที่คำนวณได้นี้เป็นปริมาณที่มีอยู่ใน dried content และ ashed
content ดังนั้นเพื่อจะได้ทราบปริมาณธาตุค่อน้ำหนักสดของสารตัวอย่างจึงต้องเปลี่ยน dried
content และ ashed content ให้เป็นน้ำหนักสดโดยอาศัยตาราง ๑ และใช้สูตร

$$\text{ปริมาณธาตุ (เป็น p.p.m.)} = \frac{W_{std} \times C_{pm_s} \times P \times 10^4}{W_s \times C_{pm_{std}}}$$

เมื่อ W_{std} = น้ำหนักของสารมาตรฐาน (Standard weight)

W_s = น้ำหนักของสารตัวอย่าง (Sample weight)

$C_{pm_{std}}$ = จำนวนนับต่อวินาทีของสารมาตรฐาน

C_{pm_s} = จำนวนนับต่อวินาทีของสารตัวอย่าง

P = เปอร์เซนต์ของธาตุในสารตัวอย่างหรือสารตัวอย่างแห้งซึ่งหาได้จาก

$$P = \frac{\text{น้ำหนักธาตุ (หรือแห้ง)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างสด}}$$

ตาราง ๒. คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางนิวเคลียร์ของธาตุที่จะทำการวิเคราะห์

คุณสมบัติ	แมงกานีส	สังกะสี
เลขอะตอม (Atomic number)	๒๕	๓๐
น้ำหนักอะตอม (Atomic weight)	๕๕.๘๓๘	๖๕.๓๗
จุดเดือด (Boiling point, °C)	๒๑๕๐	๙๐๖
จุดหลอมเหลว (Melting point, °C)	๑๒๔๕	๔๑๙.๕
ความหนาแน่น (Density, gm/ml)	๗.๔๓	๗.๑๔
ไอโซโทปในธรรมชาติ (Natural isotope)	Mn - ๕๕	Zn - ๖๔
Isotopic abundance (%)	๑๐๐	๔๘.๘๙
Cross section (barns)*	๑๓.๓ ± ๐.๒	๐.๔๔ ± ๐.๐๕
ไอโซโทปที่เกิดขึ้น (Daughter product)	Mn - ๕๖	Zn - ๖๕
อายุครึ่งชีวิต (Half-life)*	๒.๕๗๖ hr.	๒๔๕ d.
พลังงานของรังสีแกมมาที่ส่งออกมา (Gamma energy, MeV.)	๐.๘๔๕, ๑.๘๑, ๒.๑๑, ...	๑.๑๒

* (Overman, and Clark, 1960:456)

การวิเคราะห์หอยมูและผลการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการวัดกัมมันตภาพรังสีมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับสารตัวอย่าง ทั้ง dried และ ashed กับสารมาตรฐาน เพื่อตรวจหาว่ามีธาตุแมงกานีส และ ธาตุสังกะสีในสารตัวอย่างหรือไม่ โดยการพิจารณาจาก peak energy ถ้าปรากฏ peak ชัดเจนและอยู่ใน channel เกือบกันกับ peak ของสารมาตรฐาน แสดงว่า มีธาตุ นั้นอยู่จริง แต่ทั้งนี้จะต้องแน่ใจว่าเป็น peak ของธาตุที่เราต้องการหาโดยตรวจสอบ กับ Calibration curve และตรวจสอบ half-life

ตัวอย่างกราฟแสดงการวิเคราะห์ธาตุแมงกานีสและธาตุสังกะสี ปรากฏดังแสดง ในรูป ๑ - ๓ จากรูป ๑ จะเห็นได้ว่าไม่พบธาตุแมงกานีสในสารตัวอย่าง สำหรับรูป ๒ และรูป ๓ แสดงให้เห็นชัดเจนว่ามีธาตุแมงกานีสและสังกะสีในสารตัวอย่าง

หลังจากนำข้อมูลที่ได้จากการวัดกัมมันตภาพรังสีมาเขียนกราฟ เพื่อตรวจสอบว่ามีธาตุ แมงกานีสและธาตุสังกะสีหรือไม่แล้ว จึงหา Total count rate ของสารตัวอย่าง และสารมาตรฐาน เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณธาตุโดยวิธีสูตร

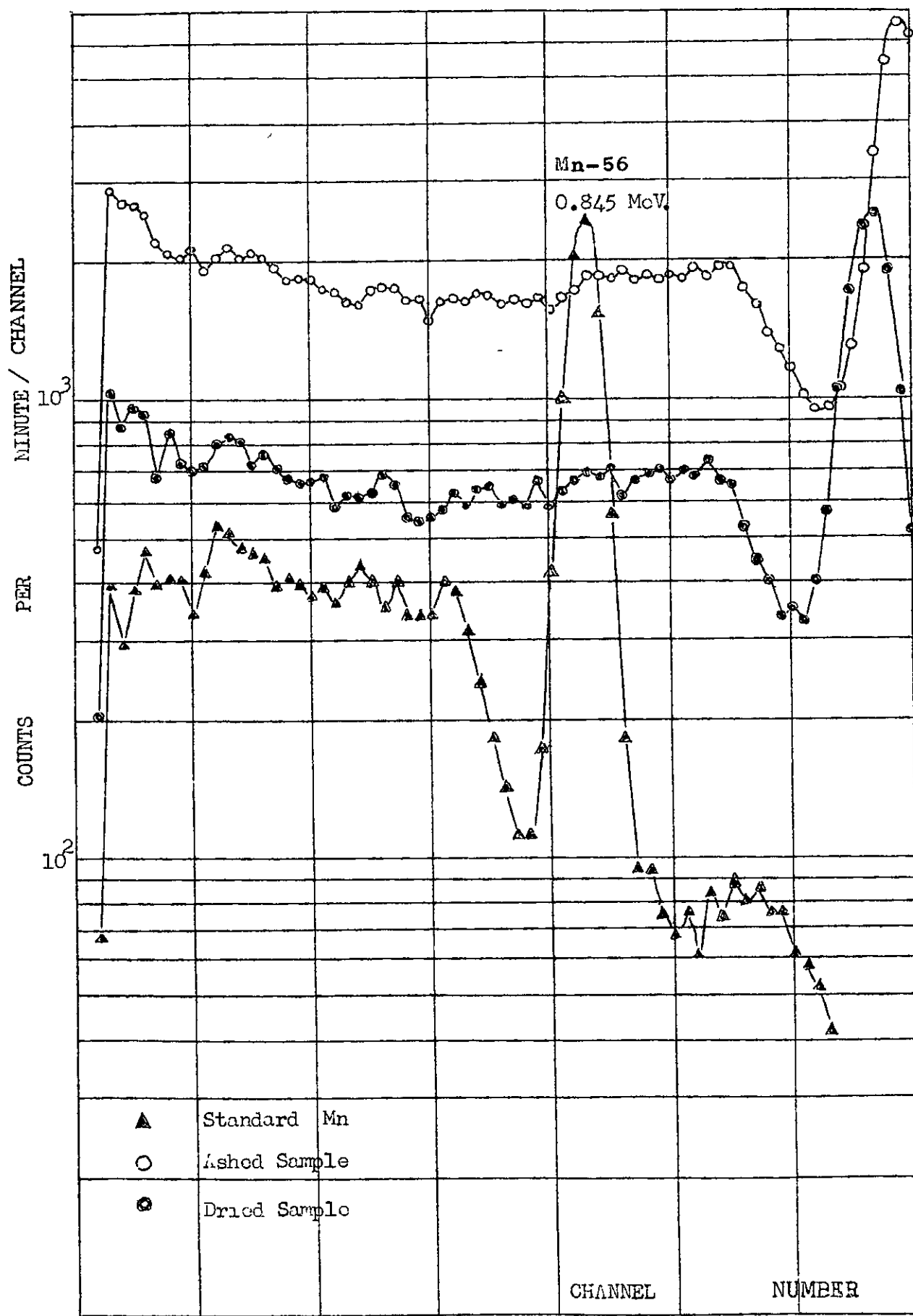
$$\text{ปริมาณธาตุ (p.p.m.)} = \frac{W_{st} \times CR_s \times P \times 10^4}{W_s \times CR_{st}}$$

เมื่อ CR_s = Total count rate ของสารตัวอย่าง

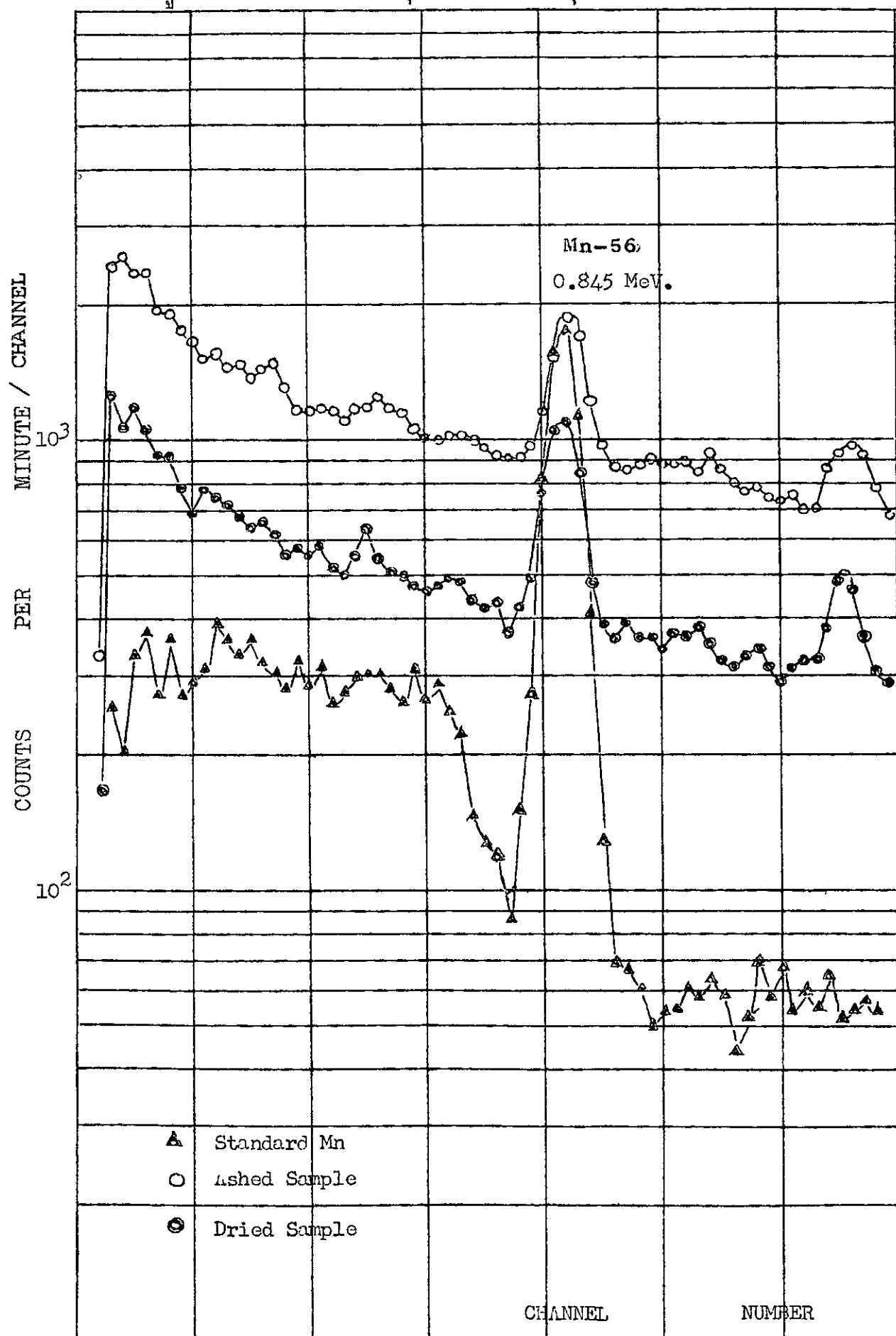
CR_{st} = Total count rate ของสารมาตรฐาน

Total count rate ที่นำมาเปรียบเทียบกับนี้หาได้จากพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ photo peak ของแต่ละธาตุ

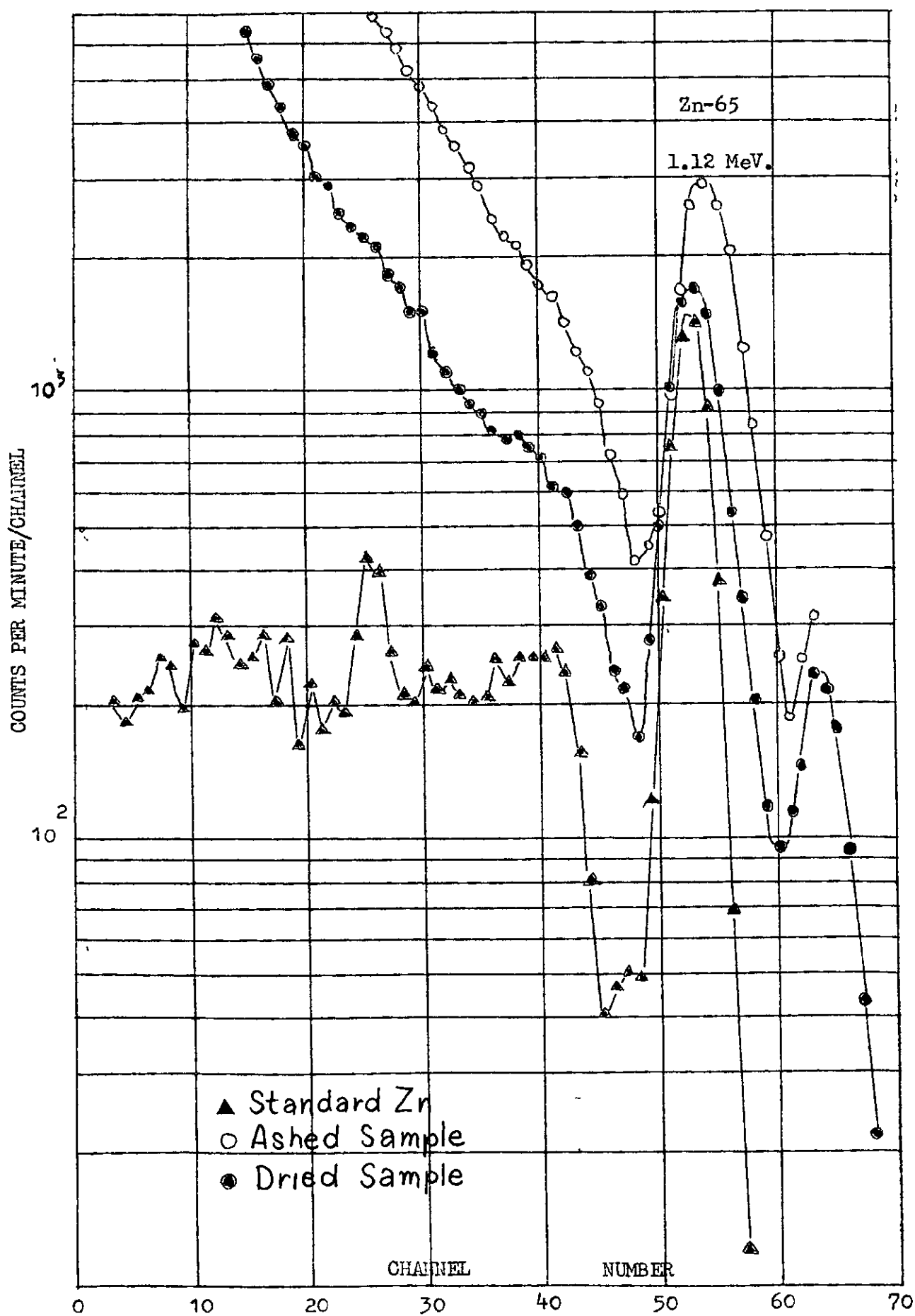
รูป ๑ การวิเคราะห์หาปริมาณกานีสในเนื้อไก่



รูป ๒ การวิเคราะห์ธาตุแมงกานีสในออกกฤษช่าย



รูป ๓ การวิเคราะห์ธาตุสังกะสีในพริกขี้หนู.



๖ ๖

ผลการตรวจทดลอง

ผลจากการกำหนดหาปริมาณธาตุแมงกานีส และสังกะสีในสารตัวอย่าง ปรากฏดัง
แสดงในตาราง ๓ - ๔ ตามลำดับ

ตาราง ๓. แสดงปริมาณธาตุแมงกานีสในสารตัวอย่าง

สารตัวอย่าง		ปริมาณแมงกานีส (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด)	
		สารตัวอย่าง Ashed	สารตัวอย่าง Dried
๑	เนื้อวัว	ตรวจหาไม่พบ	ตรวจหาไม่พบ
๒	เนื้อหมู	ตรวจหาไม่พบ	ตรวจหาไม่พบ
๓	เนื้อไก่	ตรวจหาไม่พบ	ตรวจหาไม่พบ
๔	เนื้อปลาธอน	ตรวจหาไม่พบ	ตรวจหาไม่พบ
๕	คอกกฤษสาบ	๓.๕๕	๒.๕๕
๖	มะละกอกบิ	๒.๓๘	๒.๖๕
๗	พริกขี้หนู	๓.๓๑	๓.๓๗
๘	ผักโขม	๑๒.๓๘	๙.๙๒
๙	สับปะรด	๕.๑๘	๔.๐๘
๑๐	แตงโม	๑.๕๒	๑.๒๕
๑๑	แห้วจีน	๖.๕๔	๑.๐๘
๑๒	ส้มเขียวหวาน	๒.๐๕	๑.๑๕

ตาราง ๔. แสดงปริมาณธาตุสังกะสีในสารตัวอย่าง

สารตัวอย่าง	ปริมาณสังกะสี (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด)	
	สารตัวอย่าง Ashed	สารตัวอย่าง Dried
๑ ไข่แมว	๓๐.๘๕	๔๕.๒๓
๒ ไข่แมงมุม	๑๕.๖๖	๓๓.๙๓
๓ ไข่ไก่	๒๕.๔๕	๔๗.๕๔
๔ ไข่ปลาช่อน	๕.๑๙	๖.๔๕
๕ ดอกกุยช่าย	๘.๖๙	๙.๗๓
๖ มะละกอกบิ	๔.๓๐	๕.๕
๗ พริกขี้หนู	๖.๙๘	๗.๖๘
๘ ผักโสม	๑๐๗.๑๐	๑๑๓.๘๒
๙ สับปะรด	๓.๖๙	๔.๕๑
๑๐ แอปเปิ้ล	๓.๗๗	๒.๙๓
๑๑ แหวจัน	๙.๐๙	๒.๐๙
๑๒ ส้มเขียวหวาน	๗.๒๙	๑๐.๖๖

อภิปรายผลการทดลอง

จากตาราง ๓. จะเห็นได้ว่า ปริมาณแมงกานีสที่วิเคราะห์ได้จากสารตัวอย่าง Ashed และสารตัวอย่าง Dried มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสนั้น สามารถใช้สารตัวอย่าง Ashed หรือ Dried ได้โดยที่ผลการวิเคราะห์ไม่ต่างกันนัก เป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณแมงกานีสในผักโขมมีมากเป็นอันดับหนึ่ง เมื่อเทียบกับสารตัวอย่างอื่น และที่มีปริมาณแมงกานีสรองลงมา ก็คือ แห้วจีน สับปะรด พริกขี้หนู กอกกุ่มขี้หนู มะละกอดิบ และส้มเขียวหวาน ตามลำดับ

ปริมาณธาตุแมงกานีสที่ตรวจพบในสารตัวอย่างเหล่านี้ เชื่อได้ว่าไม่ได้มาจากการเปื้อน (contamination) ในกระบวนการเตรียมสารตัวอย่าง เพราะไม่ปรากฏว่า ตรวจพบแมงกานีสในสารตัวอย่างประเภทเนื้อสัตว์เลย ปริมาณธาตุแมงกานีสที่วิเคราะห์ได้นี้ เป็นปริมาณที่อยู่ในสารตัวอย่างส่วนที่นำมาใช้บริโภคเท่านั้น คือ มะละกอดิบ (เอาผิวเปลือกและเมล็ดข้างในออก) ผักโขม (เอารากออก) พริกขี้หนู (เอาเมล็ดและไส้ในออก) สับปะรด (เอาเปลือกออก) แห้วจีน (เอาเปลือกออก) แตงโมและส้มเขียวหวาน (เอาเปลือกและเมล็ดออก)

สำหรับสารตัวอย่างประเภทเนื้อสัตว์นั้น ที่วิเคราะห์ไม่พบธาตุแมงกานีส อาจเป็นเพราะ ปริมาณแมงกานีสที่มีอยู่น้อย เมื่อเทียบกับปริมาณโซเดียม จึงถูกโซเดียมกลบ (overshadow) ทำให้สังเกตไม่พบ เนื่องจากมี peak energy ใกล้เคียงกัน และ half-life ของโซเดียมสั้นกว่า (Na-24 , $T_{1/2} = 15 \text{ hr.}$, Gamma energy = 2.75, 1.37, - - - MeV.)

จากตาราง ๔. จะเห็นได้ว่าปริมาณสังกะสีที่วิเคราะห์ได้จากสารตัวอย่าง Ashed และสารตัวอย่าง Dried มีค่าใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะสารตัวอย่างประเภทผักและผลไม้ สำหรับสารตัวอย่างประเภทเนื้อสัตว์ ปริมาณสังกะสีที่วิเคราะห์ได้จากสารตัวอย่าง Ashed และสารตัวอย่าง Dried ซึ่งต่างกันบ้างนั้น อาจเนื่องมาจากการเตรียมสารตัวอย่าง เพราะในการเตรียมสารตัวอย่าง Ashed ของสารตัวอย่างประเภทเนื้อนั้น

ใช้เวลาในการทำ ash นานกว่าสารตัวอย่างประเภทผัก ผลไม้ ดังนั้นอาจมีสังกะสีบางส่วนระเหยไป เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณสังกะสีในผักโขมมีมากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมา ก็คือ เนื้อวัว เนื้อไก่ เนื้อหมู เนื้อปลาช่อน แห้วจีน กอกก้วยช่าย ส้มเขียวหวาน พริกไทย มะระกอกขี้ สับปะรด และแตงโม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณสังกะสีในเนื้อสัตว์นั้น มีมากกว่าในผัก ผลไม้

บทที่ ๕

บทย่อ สรุปผล และขอเสนอแนะ

การทดลองครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อ วิเคราะห์หาปริมาณแอมกานีสและสังกะสี
ในอาหารไทย โดยวิธีการทางนิวเคลียร์

สารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ เนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ เนื้อปลาช่อน
คอกกุ่มขาย มะละกอดิบ พริกขี้หนู ผักโสม สับปะรด แดงโม แห้วจีน และส้มเขียวหวาน
โดยสุ่มตัวอย่างจากตลาดสะพานขาว ตลาดพระโขนง และตลาดสามย่าน จังหวัดพระนคร

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ multichannel pulse height analyzer

ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ non-destructive neutron
activation analysis

เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ ปรากฏว่าได้ผลในการวิเคราะห์
ดังนี้

สารตัวอย่าง	ปริมาณสังกะสี (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด)	ปริมาณแอมกานีส (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด)
๑ เนื้อวัว	๓๔.๒๒	ไม่พบ
๒ เนื้อหมู	๒๒.๔๐	ไม่พบ
๓ เนื้อไก่	๓๖.๕๐	ไม่พบ
๔ เนื้อปลาช่อน	๔.๐๒	ไม่พบ
๕ คอกกุ่มขาย	๔.๒๑	๓.๒๔
๖ มะละกอดิบ	๔.๔๔	๒.๕๑
๗ พริกขี้หนู	๗.๓๓	๓.๗๔
๘ ผักโสม	๑๑๐.๘๖	๑๑.๑๓

สารตัวอย่าง	ปริมาณสังกะสี (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด)	ปริมาณแมงกานีส (ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักสด)
๕ สับปะระ	๘.๘	๘.๖๓
๑๐ แอปเปิ้ล	๓.๓๕	๑.๓๕
๑๑ แอปเปิ้ล	๕.๕๕	๓.๘๑
๑๒ ส้มเขียวหวาน	๘.๘๕	๑.๖๐

ข้อเสนอแนะ

จากประสบการณ์ในก้นขวดทดลอง และจากผลการวิเคราะห์ครั้งนี้ ผู้เขียนจึง
เสนอแนะดังต่อไปนี้

- เกี่ยวกับเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุในสารตัวอย่างทางชีววิทยา
ถ้ามีระยะเวลาในการวิเคราะห์สั้น อาจใช้สารตัวอย่าง Dried ได้โดย
ที่ผลการวิเคราะห์ไม่แตกต่างกับการวิเคราะห์โดยใช้สารตัวอย่าง Ashed ซึ่งต้องใช้เวลา
ในการเตรียมมากกว่า
- เกี่ยวกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์แบบแยกทีละชิ้น
 - ความผิดพลาดในขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่าง
สารตัวอย่างควรจะสะอาด เหนียว เป็นฉีกก็ไม่ควรมีดิน โคลน หรือสารเคมี
ที่เป็นปุ๋ยหรือสารเคมีอื่น ๆ ใดๆ อยู่ในขณะตัดหรือบดสารตัวอย่าง จะต้องไม่มีฝุ่นละออง
หรือสารอื่น ๆ ติดรวมไปกับสารตัวอย่าง การตัดเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตควรใช้มีดซิลิกา (Silica)
หรือมีดพลาสติก เมื่อว่าสารตัวอย่างมาเผาหรืออบให้แห้งก่อนการฉายรังสี ธาตุบางธาตุอาจ
ระเหยไปติดอยู่ในหลอดแก้วของภาชนะ จึงควรมีฝาปิดภาชนะที่ใส่ ในการนำสารตัวอย่างไปฉายรังสี

จะคงบรรจุนาขณะเล็ก ๆ ซึ่งมักเป็นวัสดุพลาสติก หรืออโลหะนิยมน ภาชนะเหล่านี้ไมไ่จะมีผิวที่สะอาดอย่างสมบูรณ์ จึงอาจมีสารอื่นปะปนไปกับสารตัวอย่างได้ ซึ่งจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวิธีการทำความสะอาดภาชนะเหล่านั้น สารมาตรฐานที่จะอวรังสีพร้อมกับสารตัวอย่างควรบรรจุนาขณะแบบเดียวกัน เพราะความหนาของภาชนะที่ต่างกันจะทำให้ flux ของนิวตรอนที่ผ่านเข้าไปต่างกัน วัสดุภาชนะ ๐.๒ ม.ม. จะทำให้ flux ลดลงประมาณ ๘% แต่อโลหะนิยมน ๒ ม.ม. เตะจะไม่เปลี่ยนแปลงค่า flux เลย (Lenihan and Thomson, 1965 : 12)

๒.๒ ความผิดพลาดเนื่องจาก flux distribution

ถ้าความผิดพลาดนี้อาจลดลงได้ โดยลดขนาดของสารตัวอย่าง (แต่ถ้าเล็กเกินไปจะเพิ่มความผิดพลาดเนื่องจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และความไม่บริสุทธิ์ (inhomogeneity and contamination) ของสารตัวอย่าง) หรือไม่ก่อบสารตัวอย่างอื่น ๆ หรือสารมาตรฐาน ณ ตำแหน่งเดิมทุกประการ การอวรังสี ณ ที่เดียวกันแต่เวลาต่างกัน ถ้า flux เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ก็ใช้ได้

๒.๓ ความผิดพลาดเนื่องจาก self-shielding ของสารตัวอย่าง

สำหรับธาตุที่มีค่า neutron absorption cross-section มาก ๆ flux ของ neutron ที่กึ่งกลางสารตัวอย่างอาจมีค่าน้อยกว่าที่บริเวณผิวนอก ในกรณีนี้ที่สารมาตรฐานมีขนาดและรูปร่างไม่เหมือนกับสารตัวอย่าง แต่มีความเข้มข้น (concentration) และการกระจายของธาตุเหมือนกัน ถ้า flux ที่เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยไม่ทำให้ผลการเปรียบเทียบผิดพลาดไป การวัดสารตัวอย่างขนาดเล็ก ๆ จะลดความผิดพลาดนี้ แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานแสดงว่าความผิดพลาดนี้เกิดขึ้นกับสารตัวอย่างทางชีววิทยา ส่วนในสารมาตรฐานนั้นจะมีความผิดพลาดเนื่องจาก self shielding ถ้ามีปริมาณมากกว่า

๐ มิลลิกรัม (Lenihan and Thomson, 1965 : 12)

๒.๔ ความผิดพลาดเนื่องจาก long-lived radioisotopes ที่ตกค้าง
อยู่ในภาชนะในทางทดลอง

การเตรียมสารตัวอย่าง การชั่งน้ำหนัก การบรรจุสารตัวอย่าง
จะค่อนข้างระมัดระวังการเปราะเปื้อนเนื่องจากเหตุนี้ และหลังการทดลองทุกครั้งส่วนที่เป็นกาก
กัมมันตภาพรังสี จะต้องนำไปทิ้งในถังขจัดกากกัมมันตรังสี มิฉะนั้นอาจจะไปเปราะเปื้อนการ
ทดลองอื่น ๆ ได้

๒.๕ ความผิดพลาดเนื่องจากเครื่องมือวัดและการคำนวณ
เรื่องนี้หลีกเลี่ยงได้ยาก แต่อาจทำให้น้อยลงได้ โดยการใช

Computer ช่วย

๒.๖ ความผิดพลาดเนื่องจากปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์อื่น ๆ มารบกวน
ในสารตัวอย่างที่มีธาตุซึ่งมีค่าของ fast neutron cross-section สูง
อาจทำให้เกิดปฏิกิริยา (n, p) หรือ (n, α) ได้ เพราะภายใน reactor
มี fast neutron อยู่ส่วนหนึ่ง แต่ความผิดพลาดเนื่องจากการรบกวนของปฏิกิริยาทาง
นิวเคลียร์อื่นนี้ ไม่ค่อยพบในการทดลองทางชีววิทยา (IAEA, 1969 : 92)

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

พลังงานปรมาณูเพื่อสันติ, สำนักงาน, พลังงานปรมาณูเพื่อสันติในประเทศไทย ฉบับที่ ๓
พ.ศ. ๒๕๕, ๘๗ หน้า.

สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ฉบับที่ ๔ พ.ศ. ๒๕๐๖.

ศัลักษณ์ ทรรพนันท์ "ประโยชน์ของกัมมันตรังสีในด้านการวิเคราะห์" วิทยาศาสตร์
๕ : ๓๕๔ - ๓๖๓, ๒๕๐๗.

เสนอ อินทรสุกรี, น.พ., อาหารและสุขภาพ : สัมมนาทาง ท.พ.ท. ของ ๔
รวม ๑๒ คน ระหว่างปี พ.ศ. ๒๕๐๖ น.ส.จ. โรงพิมพ์ไทยพัฒนา
พระนคร ๒๕๐๗.

อนงค์ นิลอุบล, ม.ล., การวิเคราะห์แบบเอกติเวชัน เอกสารสำนักงานพลังงานปรมาณู
เพื่อสันติ (โรเนียว) ๘ หน้า.
"การใช้รังสีวิเคราะห์ของ" วิทยาศาสตร์ ๑๐ : ๓๗๗ - ๓๘๑, ๒๕๐๘.

อนุกรรมการสาขาวิเคราะห์ห้วย ผลการวิเคราะห์คุณภาพอาหารไทย คณะกรรมการ
โภชนาการแห่งชาติ

American Medical Association, Handbook of Nutrition, Chicago,
1943, 586 pp.

Darakarnt Chamniroksarnt, Determination of Mn, Cu, Zn, Fe and
Mo in Animal Blood Sample by Neutron Activation Analysis,
Office of the Atomic Energy for Peace, Bangkok, 1969, 5 pp.

Chase, Grafton D., and Rabinowitz, Joseph L., Principles of Radioisotope
Methodology, Burges Publishing Co., Minnesota, 1962, 372 pp.

Corliss, William R., Neutron Activation Analysis, USAE, Tennessee,
1963, 27 pp.

- International Atomic Energy Agency, Nuclear Activation Techniques in the Life Sciences, Vienna, 1967, 709 pp.
- Kerr, Francis Michael, The Detection and Measurement of Trace Elements in Human Hair Using Neutron Activation, (Thesis), University of Ottawa, 1964, 74 pp.
- Lambie, D.A., Techniques for the Use of Radioisotope in Analysis, E and F.N. Spon Ltd., London, 1963, 135 pp.
- Lapp, Ralph E., and Andrews, Howard L., Nuclear Radiation Physics, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1954, 532 pp.
- Lenihan, J.M.A., and Thomson, S.J., Activation Analysis, Academic Press, London, 1965, 211 pp.
- Livesey, Derek L., Atomic and Nuclear Physics, Blaisdell Publishing Co., Massachusettes, 1966, 525 pp.
- Lot, Fernand, Radioisotopes in Service of Man, UNESCO, 1959, 82 pp.
- Lyon, Jr., William S., Guide to Activation Analysis, D. Vannostrand Co., Inc., New York, 1964, 186 pp.
- Oldenberg, Otto, Introduction to Atomic and Nuclear Physics, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1961, 379 pp.
- Overman, Ralph T., and Clark, Herbert M., Radioisotope Techniques, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1960, 476 pp.
- ✓ Price, William J., Nuclear Radiation Detection, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1958, 382 pp.
- Wohl, Michael G., and Goodhart, Robert S., Modern Nutrition in Health and Disease, Lea & Febiger, Philadelphia, 1968, 1240 pp.

ประวัติย่อของผู้เขียน

ผู้เขียนเกิดวันที่ ๑๕ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๔๘๘ ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมปีที่ ๖ จากจังหวัดประจวบคีรีขันธ์เมื่อ พ.ศ. ๒๕๐๔ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากวิทยาลัยวิชาการศึกษา ประสานมิตร พระนครเมื่อ พ.ศ. ๒๕๑๑ ได้รับปริญญากการศึกษามัธยมศึกษา (วิชาเอก ฟิสิกส์ – วิชาโท คณิตศาสตร์)

หลังจากนั้นได้ทำการสอน ณ โรงเรียนวัฒนสุขศึกษา อำเภอบรรพพพิสัย จังหวัดนครสวรรค์เป็นเวลา ๑ ปี

ผู้เขียนได้เข้ามาศึกษาต่อในระดับปริญญาโททางการศึกษา สาขาอุดมศึกษาและการฝึกหัดครู (วิชาสามัญ ฟิสิกส์) ณ วิทยาลัยวิชาการศึกษา ประสานมิตรเมื่อเดือนมิถุนายน พ.ศ. ๒๕๑๒