

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

สารหนู (Arsenic) สัญลักษณ์ As เป็นธาตุที่ 33 ในตารางธาตุ มีน้ำหนักอะตอม 74.9216 สารหนูในรูปเสถียรมีสี่เท่า เพราะมากใสเหมือนผลึกเป็นของแข็งกึ่งโลหะ มีจุดหลอมตัว 817 °ซ. ที่ 28 บรรยากาศ และระเหิดที่ 613 °ซ. มีน้ำหนักพิกัด (specific gravity) 5.73 เทียบกับน้ำ สารประกอบของสารหนูมีหลายรูป หลายสี แต่รูปที่สามัญที่สุดจะมีสี่เท่า

สารหนูในธรรมชาติพบปะปนอยู่ในสินแร่หลายชนิด สินแร่ที่สำคัญมี รีเอลการ์ (realgar, As_2S_2) ออร์พิเมนต์ (orpiment, As_2S_3) อาร์ซีโนไลต์ (arsenolite, As_2O_3) มิสพิคเกิล (mispickel, FeS_2 และ $FeAs_2$) และอาร์ซีโนไฟไรต์ (arsenopyrites, $FeAs_2$) เป็นต้น โดยพบในประเทศคานาดา สวีเดน และรัฐแอซโซไนในสหพันธสาธารณรัฐเยอรมัน (browning, 1969) นอกจากนั้นยังพบเป็นสารเจือปน (impurity) อยู่ในสินแร่ของโลหะซัลไฟด์ควาย (Pauling, 1953) และยังพบเป็นธาตุปริมาณน้อย (trace element) ปะปนอยู่ในดิน (10-500 ส่วนในล้านส่วน, Browning, 1969) ผุ่นละออง (0.25-5 ส่วนในล้านส่วน, Smyth, 1956) เส้นผม (0.03-25 ส่วนในล้านส่วน, Berg, et al., 1968) อาหารต่าง ๆ (0.01-1.1 ส่วนในล้านส่วน Stewart และ Stollman, 1960) เป็นต้น

สารหนูและสารประกอบของสารหนูที่มีโซอย่างกว้างขวาง กล่าวคือ ในอดีตใช้สารหนูผสมทำสีของกระจกชนิดฝายันง สีสำหรับใช้พิมพ์ผ้า สำหรับปัจจุบันนิยมใช้เพื่อผลิตยาฆ่าแมลง ยากำจัดวัชพืช ยาฆ่าเชื้อรา และตัวยาในการถนอมคุณภาพไม้ นอกจากนั้นยังนิยมใช้ในอุตสาหกรรมทำแก้ว เพื่อทำให้เกิดสีบรอนซ์ (bronzing) หรือเป็นตัวฟอกสี รวมถึงการผลิตแก้วโอปอล (opal glass)

และสีเคลือบต่างๆในอุตสาหกรรมโลหะผสมนิยมเติมลงไปเป็นปริมาณร้อยละ 0.3-0.5 เพื่อเพิ่มความแข็งและความคงทนต่อความร้อน สารหนูจะมีประโยชน์มากยิ่งขึ้น ถ้ามีความบริสุทธิ์สูง โดยนำไปเป็นสารโด๊ป (doping agent) ในสารกึ่งตัวนำ เช่น ทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

สารประกอบของสารหนูที่มีอันตรายมาก คือ สารหนูไฮไดรด์ (AsH_3) สารหนูออกไซด์ (As_2O_3) สารหนูคลอไรด์ ($AsCl_3$) สารประกอบอาร์เซไนท์ (arsenite) และสารประกอบอาเซเนต (arsenate) ส่วนสารหนูซัลไฟด์ (As_2S_3) นั้น มีอันตรายน้อยกว่า เมื่อสารหนูเข้าสู่ร่างกายจะแพร่กระจายไปตามอวัยวะต่างๆ เช่น ปอด ตับ ไต ม้าม ไขกระดูก กล้ามเนื้อ สมอง กระดูกสันหลัง ส่วนใหญ่จะไปสะสมอยู่ที่เส้นผม และเล็บ ร่างกายจะขับถ่ายสารหนูออกมาทางปัสสาวะ แต่ในร่างกายได้รับสารหนูปริมาณหนึ่งอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้เกิดอาการของผิวหนังเป็นแผล พุพอง หนอง และทำอันตรายต่อระบบหายใจ

เนื่องจากสารหนูที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมและในสารตัวอย่างต่าง ๆ ตามธรรมชาติมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก และสารหนูที่ทำให้สิ่งแวดล้อมสกปรก สืบเนื่องจากยาปราบศัตรูพืช และ/หรือสิ่งปลูกจากโรงงานอุตสาหกรรมมีปริมาณน้อยเช่นกัน ประกอบทั้งปริมาณสารหนูที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ และสัตว์มีปริมาณน้อยด้วย ฉะนั้น การจะแสดงให้เห็นระดับปริมาณที่แตกต่างระหว่างสารหนูที่มีอยู่ปกติในธรรมชาติ และสารหนูที่เกิดจากการเปื้อน (contamination) หรือปริมาณที่อาจทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์หรือสัตว์ จำเป็นต้องใช้กรรมวิธีวิเคราะห์ที่มีความไว (sensitivity) และความแม่นยำ (precision) สูง โดยที่กรรมวิธีวิเคราะห์นิวตรอนแอคติเวชันเป็นวิธีวิเคราะห์ชนิดหนึ่งที่มีความไวสูง (Bowen และ Gibbons, 1963, Lenihan และ Thomson, 1965) ประกอบทั้งสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พ.ส.) มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการศึกษาวิจัยอยู่พร้อม เช่น เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1 (ป.ว.-1) ซึ่งเป็นเครื่องกำเนิดนิวตรอนชนิดหนึ่งและเครื่องมือนับรังสีชนิดต่าง ๆ อยู่พร้อม นอกจากนั้นยังมีรายงานว่า มีการนำเข้าของยาปราบศัตรูพืชที่เป็นสารประกอบของสารหนู อาทิ เช่น โซเดียม อาเซไนท์

(sodium arsenite), Tanalith (สารผสมของ sodium fluoride, sodium chromate, disodium arsenate และ Dinitrophenol, Paris Green หรือ White Ant Powder (Copper aceto-arsenite), Calcure (สารผสมของ copper oxide, copper sulphate, sodium dichromate และ arsenic pentoxide), MSMA หรือ Daconate (monosodium methanearsonate), DMA-6 (disodium methanearsonate) เป็นต้น แต่ที่พิษร้ายแรงที่สุดคือ โซเดียมอาเซไนท์ ซึ่งส่งเข้าประเทศในปี พ.ศ. 2516, 2517 และ 2518 เป็นปริมาณ 169,950, 124,500 และ 60,000 กิโลกรัม ตามลำดับ* ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ยาปราบศัตรูพืชที่ผสมด้วยสารประกอบของสารหนูเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ประกอบทั้งข้อมูลของสิ่งที่หลงเหลือ (residue) จากยาปราบศัตรูพืชที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบ และค่าระดับมูลฐาน (baseline level) ของสารหนูในสารตัวอย่างต่าง ๆ ยังไม่เคยมีผู้ใคร่รายงานไว้ก่อนในประเทศ และเนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักที่สำคัญที่สุดของประชากรในชาติ รวมทั้งเป็นสินค้าออกที่สำคัญของประเทศด้วย ฉะนั้น จึงสมควรที่จะศึกษาวิเคราะห์ถึงปริมาณของสารหนูในข้าวพันธุ์ต่าง ๆ จากแหล่งต่าง ๆ ทั่วประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิจัยวิธีวิเคราะห์ปริมาณสารหนูโดยเทคนิคของนิวตรอนแอคทีเวชัน

1.2.2 ใ้วิธีที่พัฒนาและทดสอบความเชื่อถือได้ (reliability test) ของกรรมวิธีวิเคราะห์จาก 1.2.1 วิเคราะห์ปริมาณสารหนูในข้าวเหนียวและข้าวเจ้าพันธุ์ต่าง ๆ จากแปลงทดลองทั่วประเทศ

* บัญชีรายชื่อการส่งเข้าของกองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 พัฒนาการวิธีวิเคราะห์สารหนูแบบนิวตรอนแอกติเวชัน โดยอาศัยการกลั่นเพื่อแยกสารหนูให้เป็นสารประกอบที่บริสุทธิ์

1.3.2 วิเคราะห์ปริมาณสารหนูในข้าว ซึ่งประกอบด้วยข้าวขาวและข้าวกล้องของชาวเจ้าและชาวเหนียว จำนวน 23 พันธุ์ จากแปลงทดลองพันธุ์ข้าว 21 แห่งทุกภาคทั่วประเทศ

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยนี้

1.4.1 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวินิจฉัยว่าข้าวมีสิ่งตกค้างจากยากำจัดศัตรูพืชที่มีสารหนูเป็นองค์ประกอบหรือไม่

1.4.2 ข้อมูลที่ได้รับจากการวิจัยนี้ สามารถนำมาใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อประเมินค่าระดับมาตรฐานของสารหนูในข้าวภายในประเทศ ซึ่งค่านี้อยู่ไม่เคยมีผู้ใครรายงานไว้ก่อน

1.4.3 เทคนิคการวิเคราะห์ที่พัฒนาแล้ว สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์สารหนูในสารตัวอย่างทั่ว ๆ ไปได้ ซึ่งนับว่ามีประโยชน์มากต่อการศึกษาวิจัยในแขนงวิชาอื่น ๆ

1.4.4 ประโยชน์ในทางเศรษฐกิจที่มองเห็นได้อย่างเด่นชัดคือ สามารถนำเทคนิคการวิเคราะห์นี้มาบริการให้แก่อุตสาหกรรมส่งออกประเภทอาหาร และผลิตภัณฑ์ทางเกษตร เพื่อตรวจสอบให้มั่นใจก่อนว่า สินค้าก่อนนำบรรจุทุกลงเรือ นั้น มีสิ่งตกค้างจากยากำจัดศัตรูพืชของสารหนูหลงเหลืออยู่มากกว่าเกณฑ์ของประเทศที่ส่งสินค้านั้นกำหนดไว้หรือไม่ ทั้งนี้เพื่อมิให้สิ้นเปลืองเวลา เงินทอง รวมทั้งเสียชื่อเสียงของประเทศในกรณีที่ประเทศดังกล่าวไม่ยอมรับสินค้านั้น ๆ ด้วย

1.5 การสำรวจงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กระทำมาแล้ว

1.5.1 ประโยชน์ของสารประกอบของสารหนู

ในปี ค.ศ. 1868 Hodges รายงานไว้ว่าแถบบริเวณตะวันตกของสหรัฐอเมริกา เช่น ในรัฐโคโลราโด มีการใช้ Paris Green เพื่อป้องกันตัวแมลงที่ทำลายมันฝรั่งและตัวหนอนซึ่งเกาะกินใบของต้นแอปเปิล

Boos และ Werby (1935) กล่าวถึงประโยชน์ของสารประกอบของสารหนูว่า อาจใช้เป็นยาเบื่อหนู ยาปราบศัตรูพืช ไซ้เป็นสีผงผสมในกระดาษคัลดาณัง ผสมเป็นสีทาบ้านและสีย้อมผ้า ในปี 1944 Hunter สรุปว่ามีการใช้สารหนูในรูปของโคกบรีซ (coke breeze) ผสมกับปูนเพื่อใช้ทาบ้าน และตะกั่วอาเซเนต (lead arsenate) เป็นยากำจัดศัตรูพืชด้วย

Browning (1969) รายงานไว้ว่าสารประกอบของสารหนูเป็นที่รู้จักกันดีในทางอายุรเวท โดยนำไปผสมไซ้เป็นยา เพื่อใช้รักษาแผลมีหนอง แผลพุพอง และฝีต่าง ๆ เช่น ในรูปของอินทรียสาร ไซ้สารละลายของฟาวเลอร์ (Fowler's solution) ซึ่งเป็นสารละลายเจือจางที่เป็นกลางของอาร์เซนิกไตรออกไซด์ เพื่อรักษาโรคผิวหนัง และอาการของโรคโลหิตจางบางชนิด หรือในรูปของอินทรียสาร เช่น อาร์สเฟนามีน (arsphenamine) นีโออาร์สเฟนามีน (nearsphenamine) และ มาฟาร์เซน (mapharsen) ซึ่งใช้รักษาโรคซิฟิลิส และไซ้ผสมเป็นยาปฏิชีวนะ เช่น ทรีโพนีมาโทส (treponematoses) และ ไทรพาโนโซเมีย (trypanosomias) เป็นต้น

1.5.2 การเปราะเปื้อนของสารหนู และสารประกอบของสารหนูในสิ่งแวดล้อม

Hamilton (1929) รายงานว่า จากการที่ใช้สารหนูผสมในสีกระดาษคัลดาณัง เป็นผลทำให้เกิดสารพิษขึ้นเฉพาะภายในบ้าน สืบเนื่องจากการรวมตัวเกิดเป็นสารประกอบสารหนูไดเมทิลอาร์ซีน (dimethylarsine) ซึ่งระเหิดได้ ในปี 1935 Boos และ Werby ได้แสดงให้เห็นถึงช่วงปริมาณของสารหนูใน

ผักและผลไม้ต่าง ๆ ว่ามีค่าประมาณ 0.1-0.7 ไมโครกรัมต่อกรัม แต่ถ้าใช้ยาฆ่าแมลงกับผักและผลไม้เหล่านั้นแล้ว ค่าสารหนูจะมีค่าสูงกว่านี้มาก

ในปี 1944 Hunter รายงานไว้ว่าการใช้ตะกั่วอาร์เซเนต เป็นยากำจัดศัตรูพืชนั้นก่อให้เกิดอันตรายขึ้นแก่ทั้งผู้ใส่และต้นไม้ด้วย อย่างไรก็ตามอันตรายที่ได้รับจากพิษของตะกั่วพบว่ามีความมากกว่าสารหนู ยกเว้นในกรณีที่ได้รับสารหนูอย่างรุนแรงในระยะเวลาดสั้น

McCaughy (1945) ได้ตรวจพบไว้ในโรงงานหนึ่งซึ่งผลิตยาอาร์พีนามีน มีปริมาณสารหนูในอากาศถึง 0.2 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร และพบสารหนูในปัสสาวะของคณงานที่ปฏิบัติงานในโรงงานนั้นถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ Morris (1967) รายงานไว้ว่าได้ตรวจพบการเปราะเปื้อนของสารหนูในรูปของอาร์ซีน (arsine) ในโรงงานสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ ซึ่งใช้กรดซัลฟูริก และกรดไนตริก ที่มีสารหนูเป็นมลทินเจือปนอยู่ นอกจากนี้ Morris ยังตรวจพบสารหนูสะสมอยู่ในอาหารทะเล เช่น กุ้ง ปลา ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการใช้ยาฆ่าแมลง กำจัดเชื้อราในผักและผลไม้เป็นต้น

ในปี 1971 Goulding รายงานว่าในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้สารประกอบอินทรีย์ของสารหนูอย่างกว้างขวางในการทำฟาร์มปศุสัตว์ กล่าวคือใช้สารหนูผสมกับอาหาร เพื่อเป็นตัวเร่งการเจริญเติบโต ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสะสมสารพิษในอาหาร และในสิ่งแวดล้อมขึ้น

1.5.3 ความเป็นพิษของสารประกอบของสารหนู

ความจริงแล้วธาตุสารหนูไม่มีพิษ และสามารถได้รับประทานได้ คนที่อาศัยอยู่แถบเชิงเขาบริเวทเทือกเขาแอลป์ (Alps) ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เชื่อกันว่าธาตุบริเวทที่เกิควตามธรรมชาติในปริมาณ 1-2 กรัม จะช่วยเพิ่มพลังงาน และความอดทนต่อการปีนขึ้นที่สูง ๆ ได้ และนอกจากนั้นยังช่วยทำให้เจริญอาหารอีกด้วย (Schroeder และ Balassa, 1966)

ความเป็นพิษของสารประกอบของสารหนูมีมากและจะพบอยู่เสมอ
ในคนงานที่ปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ หรือผลิตสารประกอบของสารหนู
Wamper รายงานไว้ในปี 1943 ว่า พิษจากสารหนูนั้นมาจากสารหนูออกไซด์
(As₂O₃) เป็นส่วนใหญ่ และจะมีผลกระทบกระเทือนต่อระบบย่อยอาหาร Hunter
(1944) ได้รายงานสอดคล้องกันว่า นอกจากสารหนูออกไซด์แล้ว ถ้าได้
รับฝุ่นละอองที่มีสารประกอบอินทรีย์ของสารหนูอยู่เสมอ จะทำให้เกิดอันตรายต่อ
ผิวหนัง และเยื่อเมือก (mucous membrane) โดยเกิดเป็นแผลมีหนอง พุพอง
และผื่นกลางจมูกเป็นรูป

ปัญหาสำคัญที่กำลังถกเถียงกันมากและยังหาข้อสรุปเพื่อยุติไม่ได้
คือ สารหนูเป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งหรือไม่ ในเรื่องนี้ในปี 1948 Hill
และคณะ รายงานไว้ว่าจากการสำรวจคนงานชาวอังกฤษ ที่ทำงานในโรงงาน
อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารหนู ปรากฏว่า พบอาการของมะเร็งทั้งที่ปากและ
ภายในระบบหายใจของคนงานเหล่านั้น แต่ Snegireff และ Lombard (1951)
ซึ่งทำการวิจัยคล้ายกันในประเทศอเมริกา รายงานชี้ชัดกันว่า จากการสำรวจคนงานที่
ทำงานเกี่ยวกับถลุงแร่และเสียชีวิตด้วยมะเร็ง ไม่ปรากฏว่าพบปริมาณสารหนูผิด
ปกติในร่างกายแต่อย่างใด

สารประกอบอินทรีย์ของสารหนูส่วนใหญ่มีพิษอย่างร้ายแรง อาทิ
เช่น ลีวีไซต์ (Lewisite, $\text{CHCl}=\text{CH}-\text{AsCl}_2$) ซึ่งเป็นกาซพิษชนิดหนึ่ง ใช้ในการ
ทำสงครามที่สามารถทำให้เกิดการไหม้เกรียมของผิวหนังและมีอำนาจทำลายอย่าง
รุนแรงต่อเนื้อเยื่อทั้งภายในและภายนอกร่างกาย ไดเฟนิลคลอโรอาร์ซีน
(diphenylchloroarsine) ไดเฟนิลอะมีนคลอโรอาร์ซีน (diphenyl-
aminechloroarsine) และไดเฟนิลไซยาโนอาร์ซีน (diphenylcyanoarsine)
สารประกอบสามตัวหลังนี้ จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อผิวหนัง ถ้าสัมผัส และ
เพียงแต่ได้รับในปริมาณเล็กน้อยก็อาจทำให้เกิดการอาเจียรได้ สารประกอบของ
อาร์เซนิกไตรคลอไรด์ เหลว เป็นอีกชนิดหนึ่งที่สามารถทำอันตรายอย่างรุนแรงต่อเนื้อ
เยื่อและทำให้เกิดการไหม้เกรียม รวมทั้งมีพิษอย่างรุนแรงเมื่อสัมผัสกับผิวหนัง
(Elkins, 1959)



Tjaij และ Aziz(1971) รายงานว่ามีการเปื้อนของสารหนูในข้าวของโรงเรียนเด็กชาวอินโดนีเซีย 2 แห่ง ปรากฏว่าภายหลังจากที่รับประทานข้าวนั้นประมาณ 1-2 ชั่วโมง คนจำนวน 109 คน เกิดอาการผิดปกติขึ้น กล่าวคือ มีอาการปวดท้องอย่างรุนแรง คลื่นเหียนอาเจียร และปวดศีรษะ ต่อมา มีอาการท้องร่วง เกิดขึ้นในคนส่วนมาก และตรวจพบสารหนูในปัสสาวะของคนบางคน ด้วย อย่างไรก็ตามอาการของโรคหายไปภายใน 2-3 วัน ซึ่งอาจสรุปได้ว่าปริมาณสารหนูที่ได้รับมีค่าน้อยกว่าปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ ซึ่งมีค่าประมาณ 120 มิลลิกรัม สำหรับผู้ใหญ่ที่มีน้ำหนักตัวปกติ

1.5.4 กรรมวิธีวิเคราะห์ปริมาณสารหนู

1.5.4.1 วิธีวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคทีเวชัน โดยใช้เฉพาะเครื่องมือรังสี (Instrumental neutron activation analysis)

การวิเคราะห์สารหนูโดยวิธีนี้ไม่สู้จะมีผู้นิยมใช้มากนัก ทั้งนี้เพราะค่าของครึ่งชีวิต (half-life) ของสารหนู (26.4 ชั่วโมง) และค่าของพลังงานแกมมาที่ปลดปล่อยออกมา (0.56 Mev, 0.657 Mev และ 1.22 Mev) อยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม ประกอบกับมีเรดิโอไอโซโทปอื่น ๆ ที่มีค่าครึ่งชีวิต และ/หรือ พลังงานแกมมา ที่ปลดปล่อยออกมา มีค่าใกล้เคียงกัน เช่น โบรมีน-82 พลวง-122 ทองแดง-64 แมงกานีส-56 โซเดียม-24 ฯลฯ ฉะนั้น การวิเคราะห์โดยอาศัยเฉพาะเครื่องมือจึงมีความไว ไม่สู้จะดีนัก อย่างไรก็ตาม เทคนิคการวิเคราะห์นี้ถูกนำมาใช้เช่นกัน แต่เป็นการวิเคราะห์ในสารตัวอย่างที่ไม่สู้จะมีสิ่งรบกวนมากนัก อาทิ เช่น Guinn และ Wagner (1960) รายงานไว้ว่า สามารถวิเคราะห์สารหนูที่มีเจือปนในกรดกัมมะถันซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กได้ โดยนำกรดกัมมะถันประมาณ 10 กรัมไปอาบรังสีที่มีความเข้มของนิวตรอน 10^7 นิวตรอน/ตร.ซม./วินาที เป็นเวลานานประมาณ 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เรดิโอไอโซโทปที่มีครึ่งชีวิตสั้น ๆ สลายตัวไปบ้าง แล้วจึงนำมานับปริมาณรังสีด้วยตัววัดรังสีชนิด NaI(Tl) แบบหลอด ขนาด 12 ซม. การวิเคราะห์นี้สามารถวิเคราะห์

สารหนูที่ต่ำสุดถึง 5 ส่วนในล้านส่วน (part per million, ppm) และมีความถูกต้องในการวิเคราะห์ ± 5 ส่วนในล้านส่วน

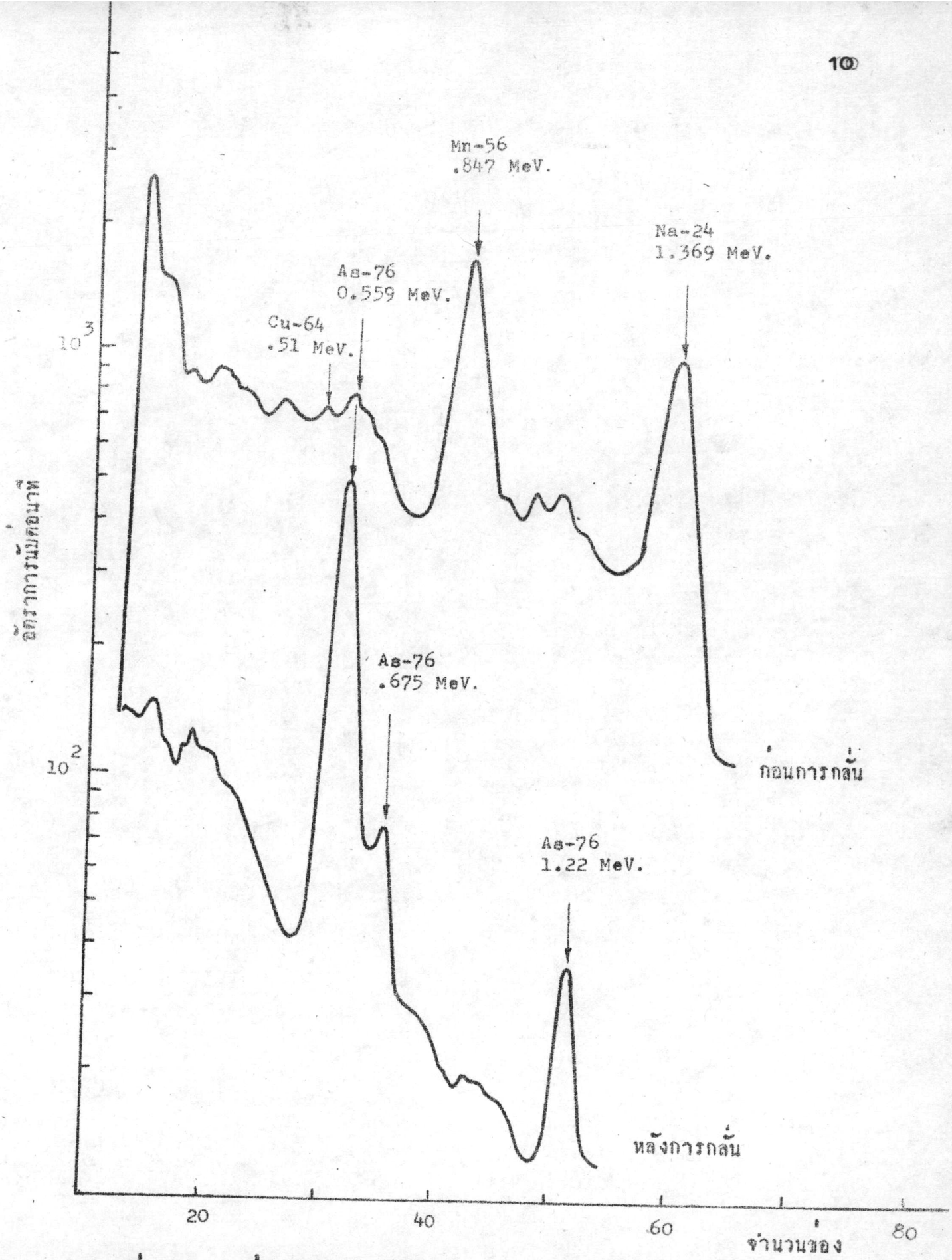
ในปี 1963 Adams และ Hoste ได้วิเคราะห์ปริมาณสารหนู และพลวงซึ่งเป็นสิ่งเจือปนในโลหะตะกั่ว ในกรณีนี้การวิเคราะห์สารหนูกระทำไม่ลำบาก เนื่องจากคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของตะกั่วไม่เอื้ออำนวยที่จะทำให้เกิดการรบกวนขึ้นได้ และถึงแม้พลังงานแกมมาที่ปลดปล่อยของสารหนู-76 และพลวง-122 จะใกล้เคียงกัน แต่สามารถใช้วิธีคำนวณอย่างง่าย ๆ แก้ปัญหานี้ได้

William และคณะ ในปี 1969 สามารถวิเคราะห์ธาตุจำนวน 15 ธาตุ โดยนำสารตัวอย่างเข้าอบรังสีนิวตรอนที่มีความเข้ม 10^{13} นิวตรอน/ตร.ซม./วินาที และนำไปนับปริมาณรังสีด้วยหัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำชนิด Ge(Li) ในการนี้สามารถวิเคราะห์สารหนูได้ภายหลังจากอบรังสีแล้ว 48 ชั่วโมง William ได้รายงานผลถึงปริมาณของสารหนูที่วิเคราะห์ได้ในข้าว ข้าวบาร์เลย์ ลูกเกต ถั่ว มีค่าน้อยกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อกรัม และในแอปเปิล และลูกแพร์ มีค่า 18 ± 6 และ 46 ± 6 นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในกรณีเช่นนี้ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารหนูต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพียง 0.1 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งนับว่าไม่สูงจะดีนัก

1.5.4.2 วิธีวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอกติเวชัน โดยผ่านการแยกทางเคมี (Destructive neutron activation analysis)

เพื่อให้การวิเคราะห์สารหนูที่ค่าละเอียดมากยิ่งขึ้น และลดข้อผิดพลาดจากการรบกวนของเรดิโอไอโซโทปที่มีพลังงานแกมมาที่ปลดปล่อยใกล้เคียงกับสารหนู-76 นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่จึงนิยมใช้กรรมวิธีวิเคราะห์ทางเคมีเข้าช่วย เพื่อแยกสารหนู-76 ออกมาให้บริสุทธิ์ หรือเก็บบริสุทธิ์หลังจากอบรังสีนิวตรอนแล้ว* กรรมวิธีวิเคราะห์ดังกล่าวมีผู้ศึกษาไว้หลายวิธี อาทิ เช่น

* ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แกมมาสเปกตรัมของสารหนูหลังการอบรังสีนิวตรอน จากเครื่องมือ multichannel 128 ของ ทอกัมกับหัวตรวจจับ NaI(Tl)

ในปี 1952 Smales และ Pate ได้ศึกษาวิเคราะห์สารหนูปริมาณน้อยในสารตัวอย่างทางชีววิทยา เช่น ในนม เล็บ ปัสสาวะ เลือด และในอวัยวะภายในปากของคนด้วยเทคนิคของนิวตรอนแอคติเวชันผ่านกรรมวิธีทางเคมีแยกสารหนูออกมา และไม่จำเป็นต้องมี reagent blank โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความไวของวิธีวิเคราะห์สูงกว่าวิธีก่อน ๆ ที่เคยใช้ประมาณ 100 เท่า กล่าวคือ สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารหนูได้ต่ำสุดถึง 0.0001 ไมโครกรัม ซึ่งมีปริมาณน้อยมากจนกระทั่งสามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างเลือด หรือปัสสาวะของคนเพียงหยดเดียวได้

Hamilton (1959) กล่าวว่า การวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอคติเวชัน เป็นวิธีที่รวดเร็วและแน่นอนสำหรับการวิเคราะห์สารหนู ปริมาณน้อยในสารตัวอย่างทางชีววิทยา วิธีวิเคราะห์ของ Hamilton คือละลายสารตัวอย่างที่อบรังสีแล้วด้วยกรดซัลฟูริกและกรดไนตริกเข้มข้น นำสารละลายที่ได้มาแยกสารหนูด้วยวิธีของกุตไซท์ (Gutzzeit) หลังจากนั้นจึงนำสารหนูที่แยกได้มานับปริมาณรังสีเบต้าด้วยเครื่องวัดชนิดไกเกอร์ (Geiger tube) โดยเทคนิคดังกล่าวนี้ Hamilton สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารหนูในเส้นผมของคนหนักเพียง 0.5 มิลลิกรัมได้ และสามารถวิเคราะห์ได้ถึง 100 ตัวอย่างโดยใช้คน 2 คนในเวลา 2 วัน

Christell และ Sjöstrand (1962) พัฒนาวิธีวิเคราะห์ ซึ่งง่ายและรวดเร็วสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูจากทุกส่วนของสารตัวอย่างทางชีววิทยาด้วยวิธีนิวตรอนแอคติเวชันโดยอาศัยการกลั่นและการตกตะกอนเท่านั้น และนำตะกอนของสารหนู-76 ที่ได้นับปริมาณรังสีแกมมา หรือเบต้าด้วยเครื่องวัดรังสีแกมมาหรือเครื่องวัดรังสีเบตา ความไวของการวิเคราะห์นี้ขึ้นอยู่กับเทคนิคของการวัดปริมาณรังสี แต่จะมีค่าระหว่าง 0.01-0.0001 ไมโครกรัม และความเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าไม่เกินร้อยละ ± 6 Christell และ Sjöstrand ได้ใช้วิธีนี้วิเคราะห์ปริมาณสารหนูจากศพของกษัตริย์สวีเดนที่ 14 (Erik XIV) แห่งสวีเดน ซึ่งสิ้นพระชนม์ในปี ค.ศ. 1577 และสงสัยว่าถูกกล่อมปลงพระชนม์ด้วยการ-

วางยาพิษ ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าพบปริมาณสารหนูสูงกว่าปกติ เมื่อเทียบกับค่าปกติที่มีผู้รายงานไว้ แต่ไม่อาจสรุปได้ว่าเป็นการวางยาพิษหรือไม่ ต่อมาในปี 1964 Christell ศึกษาปรับปรุงเรื่องเทคนิคการละลายและการกลั่นในแต่ละสภาวะ พบว่าสารหนูจะถูกกลั่นออกมาระหว่างอุณหภูมิ 100° ซ. - 110° ซ. และจะถูกกลั่นออกมาอย่างสมบูรณ์ (ร้อยละ 100) ที่อุณหภูมิประมาณ 120° ซ. เมื่อนำสิ่งที่ถูกกลั่นได้ไปนับปริมาณรังสีแกมมาของสารหนู-76 ด้วยเครื่องมือนับรังสีซึ่งต่อกับหัววัดรังสีแบบ NaI(Tl) ขนาด 3" x 3" Christell สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารหนูได้ 0.001 - 0.0001 ไมโครกรัมในสารตัวอย่างหนัก 1 กรัม

ในปี 1967 Grimanis และ Soutiotis วิเคราะห์ตรวจสอบปริมาณสารหนูในทองแดงและทองเหลือง โดยการนำสารตัวอย่างที่ผ่านการอบรังสีนิวตรอนแล้วมาละลายในกรดเปอร์คลอริกที่ร้อน โดยมีสารหนูตัวพา (carrier) อยู่ด้วย สกัดสารหนูออกจากสารละลายนั้นด้วยเบนซีน (benzene) และนำไปนับปริมาณรังสีด้วยเครื่องนับรังสีแบบหลายช่อง (multichannel analyzer) ผลการตรวจสอบปรากฏว่ามีปริมาณสารหนูอยู่ในทองแดงและทองเหลืองในช่วง 1 ถึง 50 ส่วน ในล้านส่วน การวิเคราะห์นี้ใช้เวลาน้อยกว่า 15 นาที ต่อหนึ่งสารตัวอย่าง

Hadjistelios และ Grimanis (1968) ศึกษาพัฒนาวิธีวิเคราะห์สารหนูโดยอาศัยเทคนิคการสกัดและไอออนเอ็กซ์เชนจ์ โครมาโตกราฟี (ion-exchange chromatography) กล่าวคือ นำสารตัวอย่างทางชีววิทยามาอบรังสีนิวตรอน และละลายสารตัวอย่างด้วยกรดซัลฟูริกและกรดไนตริกเข้มข้น ต้มสารละลายจนหมดควันขาวของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ แล้วจึงนำมาสกัดด้วยเบนซีน นำสารละลายที่สกัดได้ผานลงในคอลัมน์ ซึ่งบรรจุเรซินชนิด Dowex 1 X8 ด้วยเทคนิคนี้จะแยกสารหนูออกมาอย่างบริสุทธิ์

Fausto และ Celia (1969) ศึกษาถึงอิทธิพลของแปดเทอร์ต่าง ๆ ในการวิเคราะห์สารหนู โดยอาศัยเทคนิคของกุกไซท์ คือ เทคนิคการละลายสารตัวอย่าง เวลาของการเกิดปฏิกิริยา ปริมาณของเหล็กไอออน ปริมาณของสแตนนัสไอออน การรบกวนจากฟลวง และทองแดงในสารตัวอย่าง เพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์ให้มีความไวเพิ่มขึ้น

ในปี 1969 เซนกัน Fer และ Fourcy รายงานถึงการตรวจ สอบปริมาณของสารหนูและโบรมีน ซึ่งเป็นสิ่งตกค้างจากยากำจัดศัตรูพืชที่หลงเหลืออยู่บน/ในพืชผักและผลไม้ด้วยเทคนิคของนิวตรอนแอคทีเวชัน โดยอาศัยกรรมวิธีการกลั่นเข้าช่วย ด้วยวิธีนี้สามารถตรวจวิเคราะห์โบรมีนและสารหนูได้ในสารตัวอย่างเดียวกัน จากการกลั่นเพียงครั้งเดียว และสามารถแยกโบรมีน และสารหนูออกไครอยละ 100 โดยมีความไวของการวิเคราะห์ของโบรมีนและสารหนูเท่ากับ 0.0025 และ 0.005 ไมโครกรัม ตามลำดับ

Yoshiaki และคณะ (1970) รายงานถึงการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูใน นุหรี โดยการนำนุหรีที่อาบรังสีนิวตรอนแล้วละลายด้วยสารละลายผสมของกรดซัลฟูริก และกรดไนตริกเข้มข้น กลั่นสารละลายผสมและตกตะกอนสารหนูที่กลั่นออกมาได้ในรูปของสารหนูซัลไฟด์ กรรมวิธีนี้มีเคมีคัลยิลด์ (chemical yield) รอยละ 80 และมีความไว 0.08 ไมโครกรัม

นอกจากวิธีนิวตรอนแอคทีเวชันดังกล่าวแล้ว เทคนิคการวิเคราะห์ทาง เคมีรังสีอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจมาวิเคราะห์สารหนูได้เช่นกันคือ เทคนิคของซับสโตย ลีไอเมตริกไอโซโทปไคลดชัน (substoichiometric isotope dilution) โดยในปี 1969 Alphonso และคณะ ได้รายงานถึงเทคนิคการวิเคราะห์ โดยใช้สารหนู-74 เป็นสารติดตาม (tracer) จากการทดสอบวิธีวิเคราะห์พบว่า มีค่า reproducibility ใกล้เคียงรอยละ 100