บทที่ 4

วิธีการดำเนินงานและผลการวัดปริมาณแอนติโมนีและแบเรียมในเขม่าดินปืน

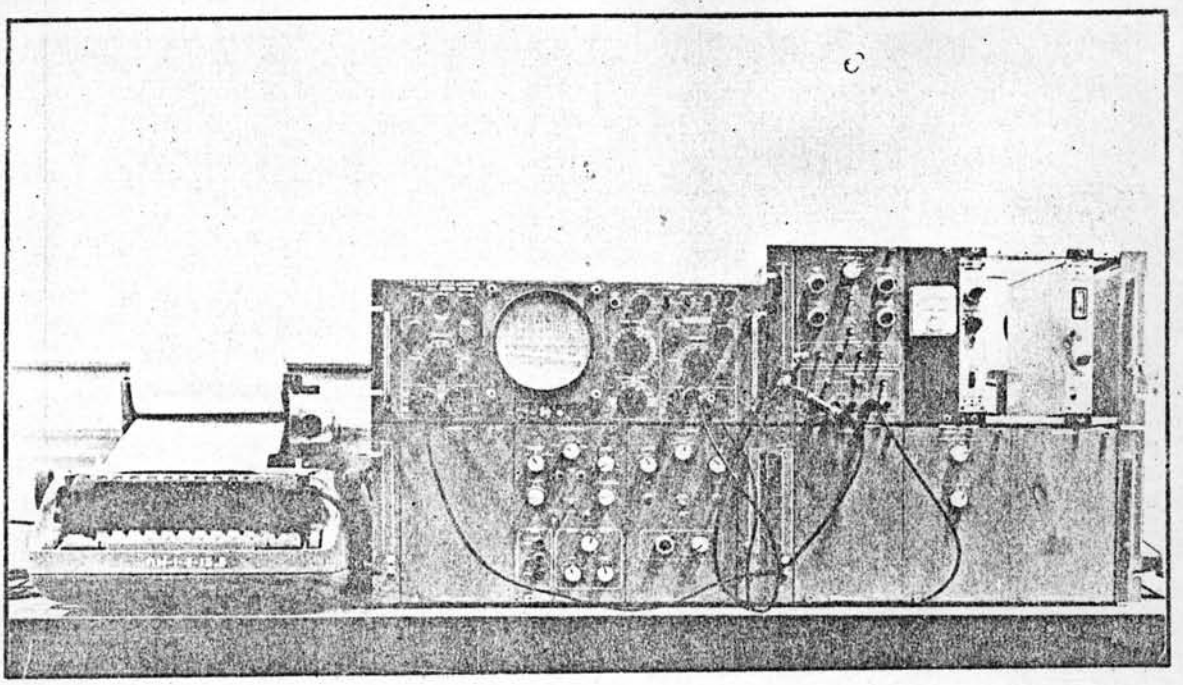
4.1 อุปกรณ์และเครื่องใช้ในการดำเนินงาน

4.1.1 สารประกอบเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างจากมือ ใช้สารละลาย 4% เซลลูโลส อะซีเตท (Cellulose Acetate, A.R. Grade) ในอะซีโตน (Acetone, A.R. Grade) บรรจุในขวดโพลีเอทธีลีน (Polyethylene Wash Bottle) ซึ่งใช้สำหรับพ่นสารละลายเซลลูโลส อะซีเตท ลงบนมือที่จะทำการเก็บตัวอย่าง และใช้แผ่นอะลูมิเนียม (Aluminium Foil) ห่อสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน (Standard) เพื่อนำไปอาบรังสีนิวตรอน

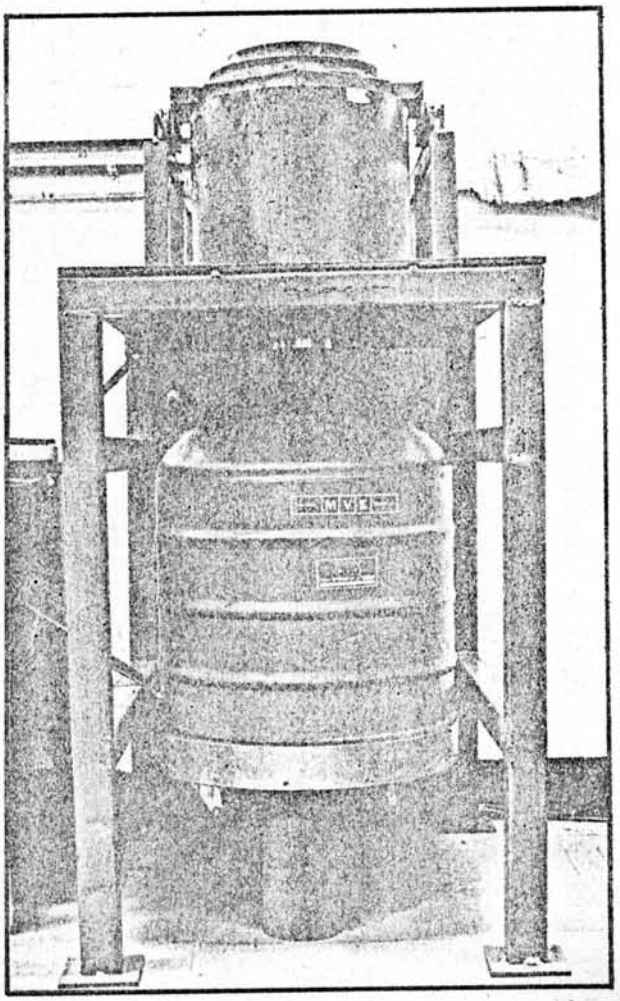
4.1.2 อาวุธปืนและกระสุนปืน ใช้ปืนพกออโตเมติค ขนาด .38 (ซุปเปอร์) ยี่ห้อ "โคลท์" และกระสุนปืนออโตเมติค ขนาด .38 (ซุปเปอร์) ยี่ห้อ "เรมิงตัน" น้ำหนักของลูกกระสุนปืน 130 เกรน ทำการยิงในห้องทดลองที่ปิดมิดชิดไม่มีลมพัด

4.1.3 Ge(Li) Detector ในการศึกษาทดลองนี้ใช้หัววัดรังสี Ge(Li) ของ Ortec ขนาด 26 ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นแบบ Cylinder Coaxial มีค่า FWHM = 2.2 Kev ที่ 1.33 Mev ของ Co-60 หัววัดมีท่อนำความเย็นลงในถังบรรจุไนโตรเจนเหลว 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร หัววัดรังสีแกมม่านี้ ได้ออกแบบและประกอบติดตั้งอยู่ในเครื่องกำบังรังสี ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณรังสีจากภายนอกรอบๆหัววัด โดยชั้นแรกใช้เหล็กหนา 15 เซนติเมตร เป็นรูปทรงกระบอก ชั้นที่สองเป็นตะกั่วหนา $\frac{1}{2}$ เซนติเมตร ชั้นที่สามเป็นแผ่นทองแดงและแคดเมียมบุไว้ข้างใน เพื่อกั้นรังสีเอ็กซ์ (X-ray) อันเกิดจากการที่รังสีแกมม่าชนกับตะกั่ว

หัววัดรังสี Ge(Li) ต่อวงจรเข้ากับเครื่อง Multichannel Analyzer ของ Nuclear Data (Model 2200) ขนาด 1024 ช่อง ซึ่งให้ผลการวัดรังสีแกมม่า เป็นสเปคตรัม ปรากฏให้เห็นบนจอภาพ (Oscilloscope) และให้ผลเป็นจำนวนที่นับได้ต่อหน่วยเวลา โดยการบันทึกลงด้วยเครื่องพิมพ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดรังสีแสดงในรูปที่ 4-1 และหัววัด Ge(Li) พร้อมทั้งเครื่องกำบังรังสี แสดงในรูปที่ 4-2



รูปที่. 4–1 แสดง เครื่องวัดรังสี Multichannel Analyzer พร้อมทั้ง Oscilloscope และเครื่องพิมพ์



รูปที่ 4-2 แสดงหัววัด Ge(Li) อยู่ในเครื่องกำบังรังสี

4.2 การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเก็บจากมือของบุคคลอาชีพต่างๆ จำนวน 7 คน ซึ่งทั้ง 7 คน ไม่เคยยิงปืนมาก่อน ดังรายละเอียดต่อไปนี้ คือ

ก). ในขั้นแรก ทำการเก็บตัวอย่างจากมือทั้ง 2 ข้าง ของบุคคลทั้ง 7 ซึ่งบุคคลดังกล่าว ไม่เคยยิงปืนมาก่อนอย่างน้อยเป็นเวลา 1 เดือน ทั้งนี้เพื่อใช้ในการศึกษาหาปริมาณของแอนติโมนีก่อน การยิงปืน คนละ 5 ครั้ง โดยทำการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง ห่างกันอย่างน้อย 5-7 วัน

ข). ทำการเก็บตัวอย่างจากมือทั้ง 2 ข้าง ของบุคคลดังกล่าว หลังจากที่ยิงปืน 1 นัด (ยิงเสร็จเก็บตัวอย่างทันที) เพื่อใช้ในการศึกษาหาปริมาณของแอนติโมนีหลังยิงปืน คนละ 5 ครั้ง และเว้นระยะการเก็บตัวอย่างเหมือนกับในขั้นแรก

ค). ทำการเก็บตัวอย่างจากมือทั้ง 2 ข้าง ของบุคคลคนหนึ่ง โดยให้ทดลองยิงอาวุธปืนมากกว่า 1 นัด และเก็บตัวอย่างทันที และทำการเก็บตัวอย่างหลังจากที่ได้ยิงปืนมาแล้ว เป็นเวลาต่างๆ กันด้วย ตลอดจนทดลองเก็บตัวอย่างจากการยิงปืนพกชนิดอื่นๆด้วย เพื่อศึกษาว่าปริมาณของแอนติโมนีจะแตกต่างกับที่ศึกษามาแล้วหรือไม่

4.3 การเตรียมตัวอย่างและสารมาตรฐานของแอนติโมนีและแบเรียมเพื่อการอาบรังสี

การเตรียมตัวอย่างกระทำโดย พ่นสารละลายเซลลูโลสอะซีเตท ในอะซีโตน ลงบนมือทั้ง 2 ข้าง บริเวณนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ (ทั้งด้านฝ่ามือและหลังมือ) และบริเวณปลายนิ้วกลาง เฉพาะด้านหลังนิ้วให้ทั่ว ทิ้งไว้สักครู่แล้วพ่นซ้ำอีกครั้ง ทิ้งไว้ประมาณ 3-5 นาที เซลลูโลสอะซีเตทจะแห้งเป็นแผ่นเกาะติดบนมือ แล้วจึงลอกเอาออก โดยผู้ลอกใช้ปากคีบ(Forceps) ค่อยๆลอกเอาออก และอย่าใช้มือจับแผ่นเซลลูโลสอะซีเตทที่ลอกออกมา เพราะจะทำให้เกิดเปรอะเปื้อน (Contaminate)แอนติโมนีจากมือที่จับได้ เพื่อที่จะให้การลอกเอาแผ่นเซลลูโลสอะซีเตท ออกจากมือได้โดยง่าย ให้ผู้ที่ถูกเก็บตัวอย่างกำมือแล้วคลายออกพร้อมทั้งขยายนิ้วไปมา เซลลูโลสอะซีเตทที่แห้งเกาะติดอยู่บนมือก็จะหลุดออกจากมือได้ง่ายขึ้น ห่อเซลลูโลสอะซีเตท ที่ลอกออกจากมือด้วยแผ่นอะลูมิเนียมที่ทำความสะอาดด้วยอะซีโตน โดยห่อให้มีขนาดเล็กพอที่จะบรรจุลงในกระป๋องอะลูมิเนียมสำหรับอาบรังสีได้ สารละลายมาตรฐานของแอนติโมนีที่ใช้ เตรียมจากผงแอนติโมนี(Antimony Powder) ชนิดที่มีความบริสุทธิ์สูง

(Spec. Pure) โดยละลายในกรดดินประสิวเข้มข้น (conc. HNO_3) จำนวนเล็กน้อย แล้วผสมน้ำกลั่น (Tri-distrilled water) ให้มีปริมาณของแอนติโมนี 1 ไมโครกรัม ต่อสารละลาย 1 มิลลิลิตร ในการเตรียมสารมาตรฐาน พ่นสารละลายเซลลูโลสอะซีเตทลงบนแผ่นอะลูมิเนียมที่ทำความสะอาดด้วยอะซีโตนแล้ว โดยให้มีความหนาและน้ำหนักเท่าๆกับที่พ่นบนมือ ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วหยดสารละลายมาตรฐานลงไป 1 มิลลิลิตร นำไประเหยด้วยหลอดไฟอินฟาเรด (Infrared Lamp) จนสารละลายมาตรฐานแห้งติดอยู่บนแผ่นเซลลูโลสอะซีเตท ม้วนแล้วห่อด้วยแผ่นอะลูมิเนียม ให้มีขนาดของห่อเท่ากับห่อสารตัวอย่างที่ลอกจากมือ ซึ่งเป็นการทำให้ทราบปริมาณที่แน่นอนของแอนติโมนี ใช้เป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบกับแอนติโมนี ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างที่ลอกจากมือ

เนื่องจากแบเรียม-139 ที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีครึ่งชีวิตสั้นกว่าแอนติโมนี-122 มาก จึงไม่จำเป็นต้องอาบรังสีนาน ในการทดลองนี้ได้แยกทำการวิเคราะห์ปริมาณแบเรียมต่างหาก โดยเก็บตัวอย่างจากมือแบบเดียวกัน แต่บรรจุสารตัวอย่างลงในซองโพลีเอทีลีน แล้วผนึกปิดซองด้วยความร้อนแทนที่จะห่อด้วยแผ่นอะลูมิเนียมอย่างตอนแรก สารละลายมาตรฐานของแบเรียมที่ใช้ ได้จากการละลายแบเรียมไนเตรท (Barium Nitrate, $Ba(NO_3)_2$) ชนิดที่มีความบริสุทธิ์สูง ในน้ำกลั่น ให้มีปริมาณความเข้มข้นของแบเรียม 1 ไมโครกรัม ต่อสารละลาย 1 มิลลิลิตร การเตรียมสารมาตรฐานแบเรียม ก็ทำเช่นเดียวกันกับการเตรียมสารมาตรฐานแอนติโมนี แล้วบรรจุลงในซองโพลีเอทีลีนเช่นเดียวกับสารตัวอย่าง วัสดุที่ใช้ และการเตรียมตัวอย่างเพื่ออาบรังสีนิวตรอนแสดงในรูปที่ 4-3 (ก) และ (ข)

4.4 การอาบรังสีนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

สำหรับการหาปริมาณแอนติโมนีในสารตัวอย่าง นำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานที่ห่อด้วยแผ่นอะลูมิเนียมเรียบร้อยแล้ว บรรจุลงในกระป๋องอะลูมิเนียมสำหรับอาบรังสี ครั้งหนึ่งจะบรรจุสารตัวอย่างได้ 3 อัน และสารมาตรฐาน 3 อัน โดยจัดเรียงสลับที่กันและวางเรียงชั้นเดียว ผูกกระป๋องด้วยลวดอะลูมิเนียม ยาวประมาณ 50 เซนติเมตร แล้วผูกต่อด้วยเชือกไนลอน (Fishing Line) หย่อนลงในท่ออาบรังสี (Access Element) ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู T.R.R.1 ท่ออาบรังสีนี้อยู่ในบริเวณตอนกลางของแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งมีนิวตรอนฟลักส์ (Neutron Flux) ประมาณ 10^{12} นิวตรอน ต่อ ตารางเซนติเมตร ต่อ วินาที มีชื่อว่า M.A.3 ใช้เวลาในการอาบรังสีสารตัวอย่าง และสารมาตรฐานแต่ละชุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

รูปที่ 4-3 วัสดุทดลองที่ใช้และการเตรียมตัวอย่างเพื่ออาบรังสีนิวตรอน

(ก)

1. เซลลูโลสอะซีเตท
2. ขวดโพลีเอทีลีนบรรจุสารละลายเซลลูโลสอะซีเตท
3. แผ่นอะลูมิเนียม
4. กระป๋องอะลูมิเนียมสำหรับอาบรังสีในท่อ M.A.3
5. กระบอกโพลีเอทีลีนสำหรับอาบรังสีในท่อ M.A.3

(ข)

6. การพ่นสารละลายเซลลูโลสอะซีเตทบนมือ
7. การลอกแผ่นเซลลูโลสอะซีเตทที่แห้งออกจากมือ
8. และ 9. หอสารตัวอย่างที่ลอกจากมือเพื่อนำไปอาบรังสี หาปริมาณแอนติโมนีและแบเรียม ตามลำดับ

สำหรับการหาปริมาณแบเรียมนั้น นำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานที่บรรจุในซองโพลีเอทธีลีน และผนึกปิดซองด้วยความร้อนแล้ว บรรจุลงในกระบอกโพลีเอทธีลีนสำหรับอาบรังสี โดยบรรจุสารตัวอย่าง 4 อัน สารมาตรฐาน 2 อัน รวมเป็น 6 อัน แบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นหนึ่งๆมีสารตัวอย่าง 2 อัน และสารมาตรฐาน 1 อัน แล้วนำไปอาบรังสีในท่อ M.A.3 เป็นเวลา $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง

การที่ต้องใช้กระป๋องอะลูมิเนียมในการอาบรังสีเวลาวิเคราะห์แอนติโมนีนั้น เนื่องจากภายในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูมีความร้อนสูง การอาบรังสีกระบอกโพลีเอทธีลีนนานกว่า $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง อาจทำให้เกิดการหลอมเหลวได้

4.5 การวัดปริมาณแอนติโมนีและแบเรียม

สำหรับการวัดปริมาณแอนติโมนี สารตัวอย่างและสารมาตรฐานหลังจากอาบรังสีนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแล้ว ปล่อยทิ้งไว้ให้สลายตัวเป็นเวลา 5-7 วัน ทั้งนี้เพื่อให้ธาตุอื่นๆ ที่มีอายุสั้นๆ ซึ่งอาจมาจากมือ หรือมาจากเซลลูโลสอะซีเตทสลายตัวหมดไป แล้วนำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานมาแกะห่อออกถ่ายลงในขวดโพลีเอทธีลีน(Polyethylene Vial) และใช้แว่นกระดาษแข็งที่ตัดมามีขนาดโตพอดีกับขวด ห่อด้วยกระดาษแก้ว (Cellophane) อีกชั้นหนึ่ง กดลงไปในขวด เพื่อปรับให้สารตัวอย่างและสารมาตรฐานในขวดมีความสูงเท่าๆกัน เพื่อเป็นการทำให้สารตัวอย่างและสารมาตรฐานมีตำแหน่งในการวัดรังสีเท่ากันทุกครั้ง แล้วจึงนำไปวัดรังสีแกมม่าของแอนติโมนี-122 ต่อไป โดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธีแยกทางเคมี เป็นวิธีที่เรียกว่า Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) ในการวัดใช้หัววัด Ge(Li) กับเครื่อง Multi-channel Analyzer(1024 Channels) โดยการปรับเครื่องวัดรังสีให้พอเหมาะ เพื่อที่จะวัดในช่วงที่มี Peak ของแอนติโมนีเกิดขึ้นบนจอภาพ จากการใช้สารมาตรฐานแอนติโมนีวัดรังสีก่อน โดยการจัดให้

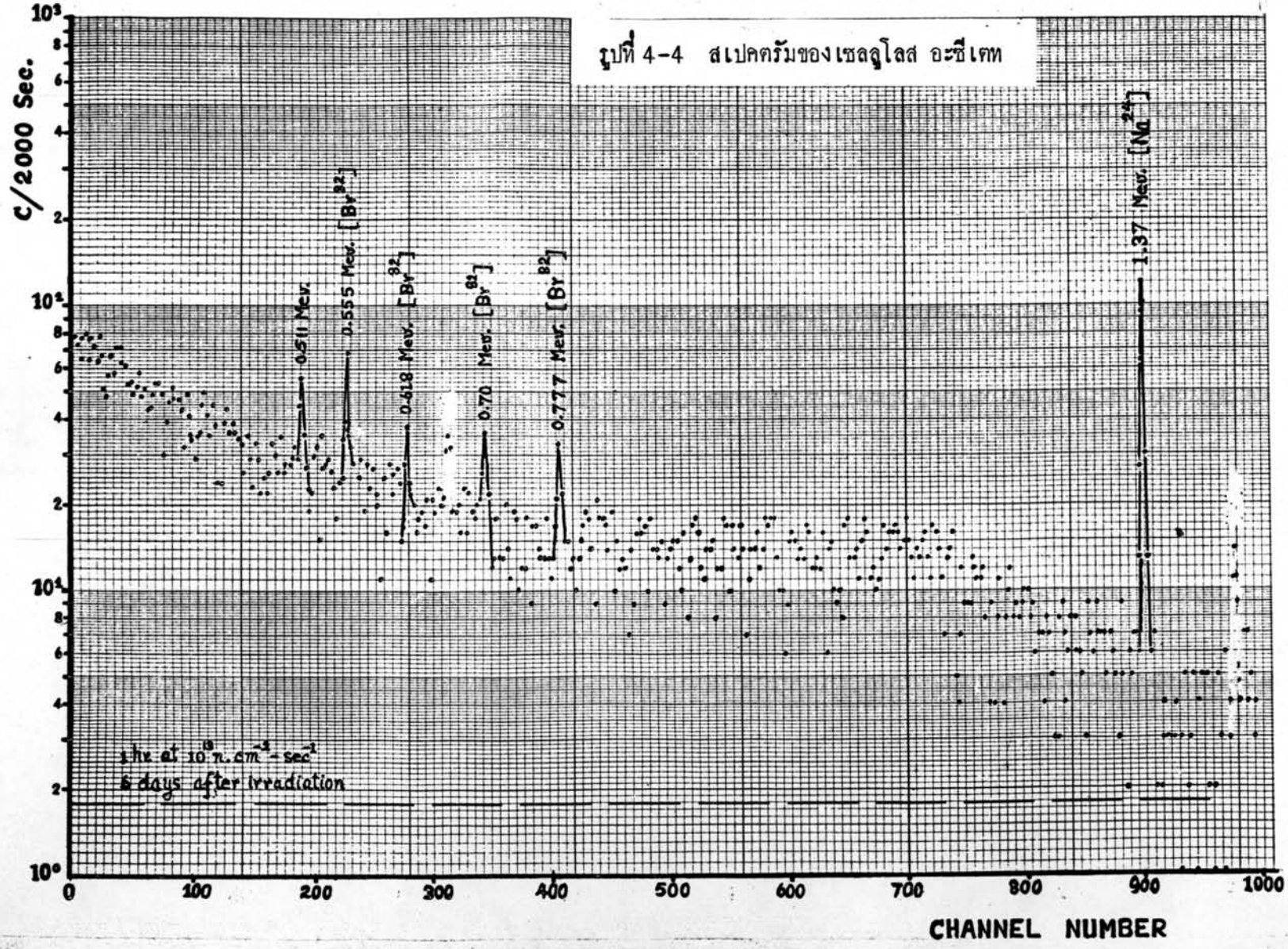
Conversion Gain	=	2048
Coarse Gain	=	20
Fine Gain	=	0.8
Upper Level Discriminator	=	10.0

Lower Level Discriminator	=	0.2
Fine Zero Adjustment	=	10.0
Digital Zero Shift	=	0

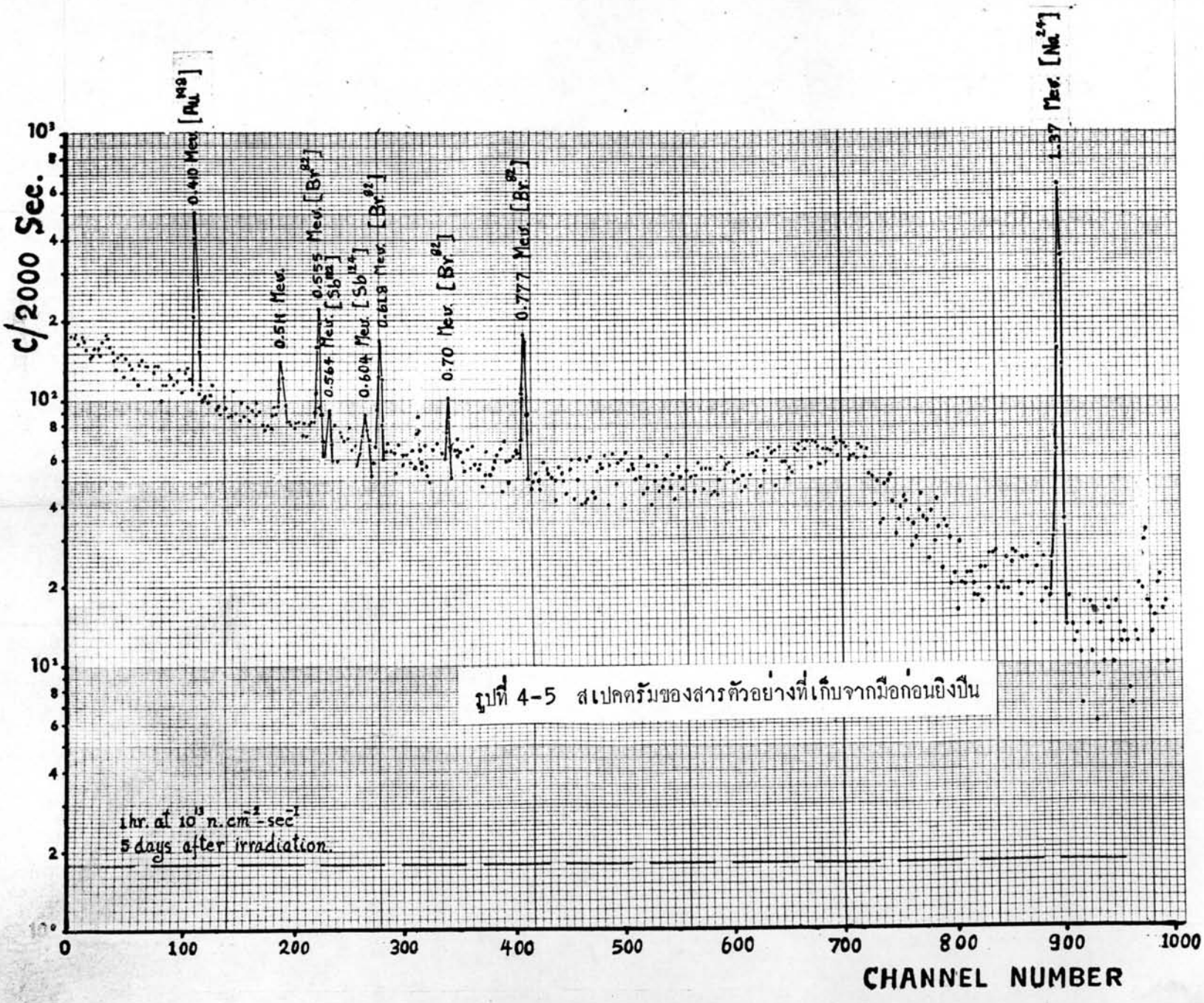
เวลาวัดรังสีวางสารตัวอย่างและสารมาตรฐานติดกับหัววัด Ge(Li) โดยวางในตำแหน่งเดียวกันทุกครั้ง คือใส่ลงในกระบอก P.V.C. ที่มีขนาดพอดีกับขวดโพลีเอทธีลีนที่ใส่สารตัวอย่างและสารมาตรฐาน และกระบอก P.V.C. ที่ใช้นี้จะติดตั้งไว้ตรงกลางหัววัด Ge(Li) พอดี ทั้งนี้เพื่อที่จะรักษาให้ ตำแหน่งในการวางสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน ในการวัดรังสีทุกครั้งเท่ากันหมด และใช้เวลาในการวัดรังสีตัวอย่างละ 1000 วินาที

รูปที่ 4-4 ถึง 4-7 แสดงตัวอย่างสเปคตรัมของ เซลลูโลสอะซีเตทที่ใช้ ของสารตัวอย่างที่เก็บจากมือทั้งก่อนและหลังยิงปืน และจากสารมาตรฐานแอนติโมนี ตามลำดับ

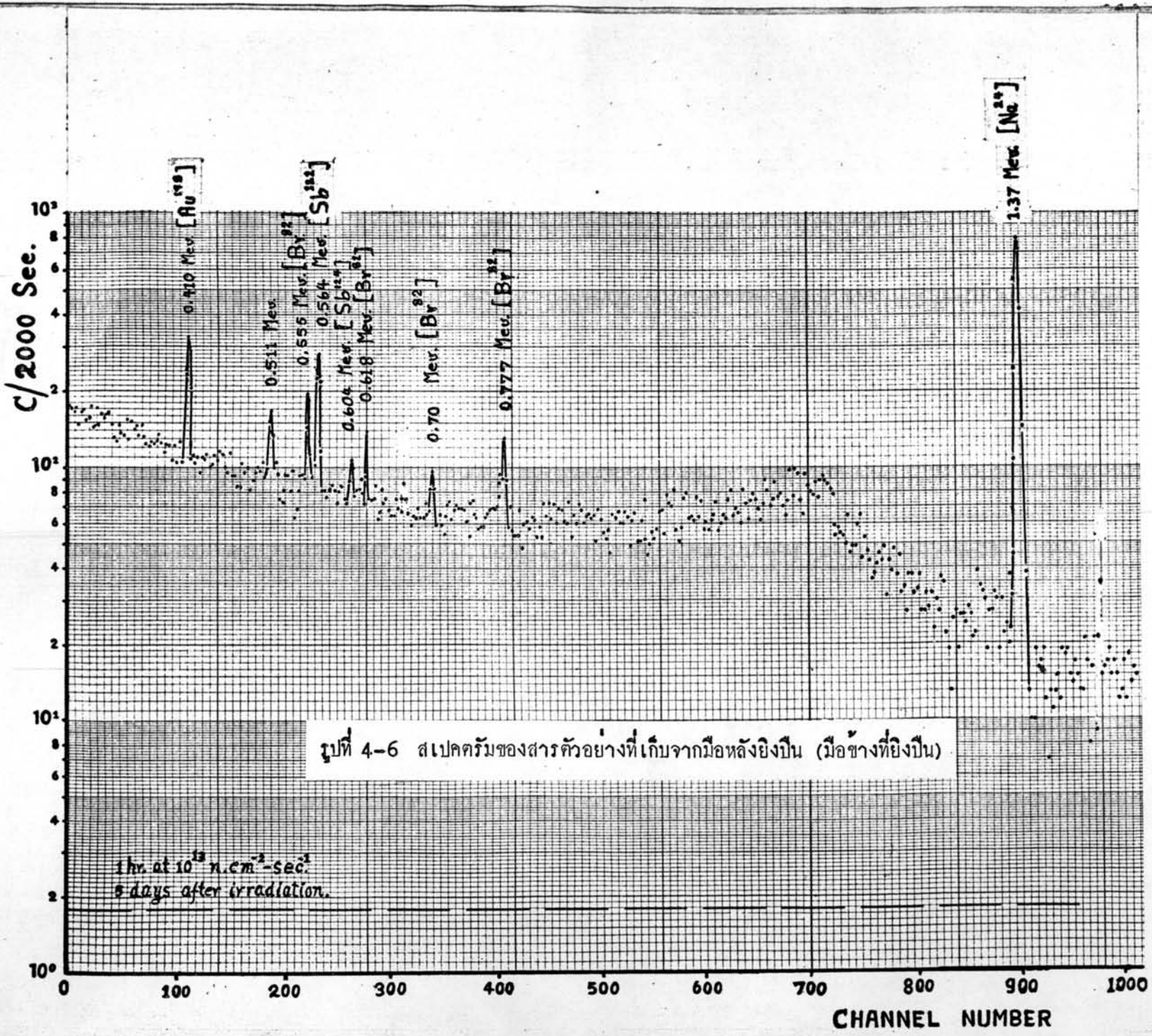
สำหรับการวัดปริมาณแบเรียม สารตัวอย่างและสารมาตรฐานเมื่ออาบรังสีแล้ว รีบนำไปถ่ายออกจากซองโพลีเอทธีลีน ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องทนไฟ (Procelain Basin) แล้วนำไปเผา เพื่อทำลายเซลลูโลสอะซีเตท ในเตาอบโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 400°C เป็นเวลา ½ ชั่วโมง นำออกจากเตาอบทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 10 นาที แล้วจึงนำไปทำการแยกทางเคมี เพื่อที่จะแยกเอาเฉพาะแบเรียมออกมา โดยการละลายสิ่งที่เหลือจากการเผา(Residue) ด้วยกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 1 โมลา(1 M. HCl) ประมาณ 5 มิลลิลิตร เมื่อละลายหมดแล้วเทสารละลายลงในถ้วยแก้ว(Beaker) ขนาดจุ 250 มิลลิลิตร และล้างถ้วยกระเบื้องด้วยน้ำกลั่น (ประมาณ 10-15 มิลลิลิตร) เทลงในถ้วยแก้ว และเติม Ba-Carrier 1 มิลลิลิตร สารละลาย Carrier นี้ได้จากการละลาย แบเรียมคาร์บอเนต (Barium Carbonate, $BaCO_3$) ในน้ำกลั่น มีความเข้มข้นของแบเรียม 10 มิลลิกรัม ต่อ สารละลาย 1 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดกำมะถันประสิวเข้มข้น (conc. H_2SO_4) 1 มิลลิลิตร จะได้ตะกอนสีขาวของแบเรียมซัลเฟต (Barium Sulphate, $BaSO_4$) กรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว โดยใช้เครื่องปั๊มลม (Air Pump) ช่วยในการกรอง และล้างตะกอนให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น นำตะกอนแบเรียมซัลเฟตที่กรองได้ไปวัดรังสีแกมม่า โดยวางกระดาษกรองที่มีตะกอนแบเรียมซัลเฟตในจานอะลูมิเนียม (Aluminium Panchet) ด้วยเครื่องวัดรังสีเครื่องเดียวที่ใช้วัดแอนติโมนี โดยจัดให้



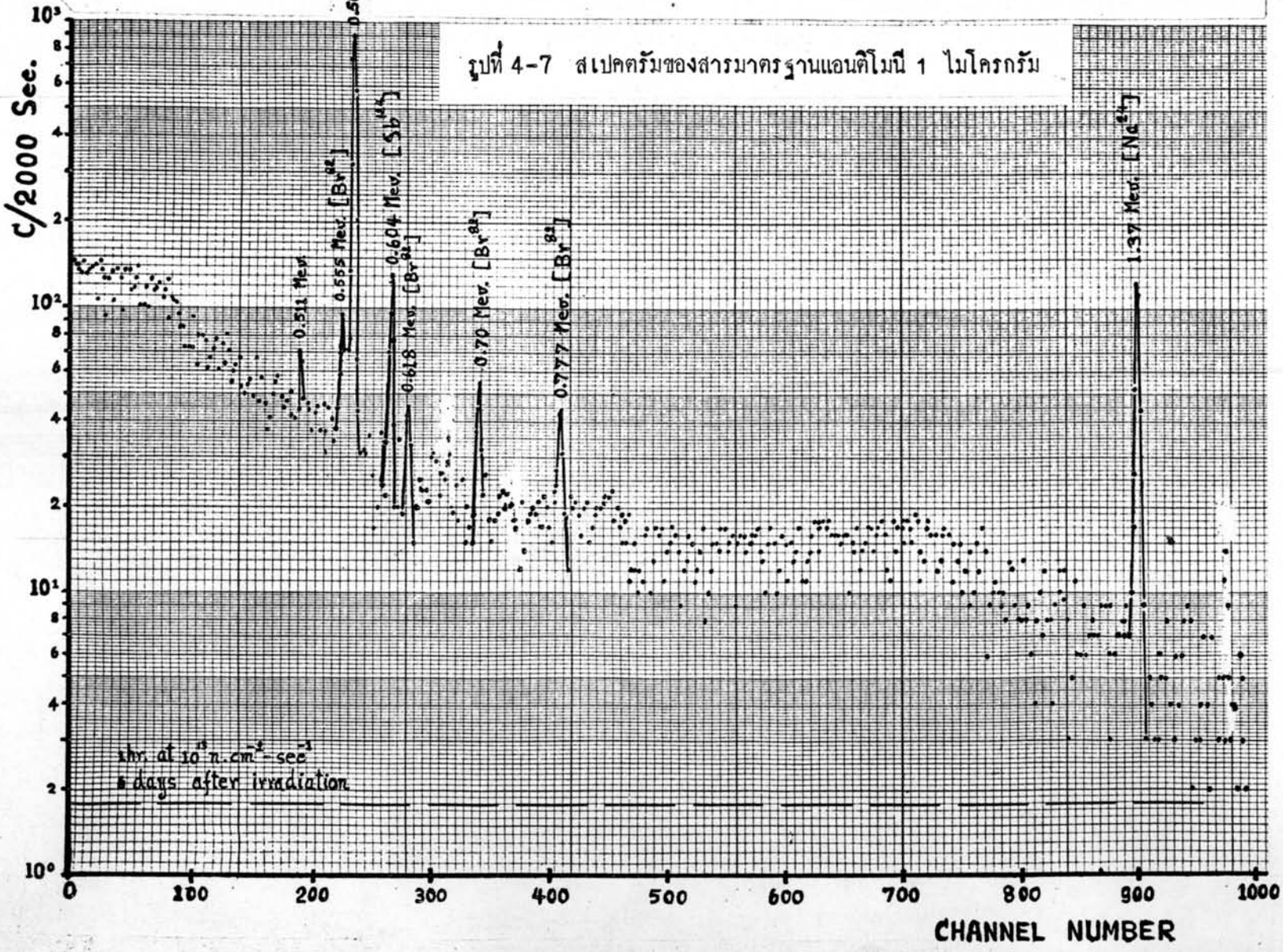
รูปที่ 4-4 สเปคตรัมของเซลลูโลส อะซีเตท



รูปที่ 4-5 สเปคตรัมของสารตัวอย่างที่เก็บจากมือก่อนยิงปืน



รูปที่ 4-6 สเปคตรัมของสารตัวอย่างที่เก็บจากมือหลังยิงปืน (มือข้างที่ยิงปืน)



รูปที่ 4-7 สเปคตรัมของสารมาตรฐานแอนติโมนี 1 ไมโครกรัม

Conversion Gain	=	1024
Coarse Gain	=	50
Fine Gain	=	1.5

ส่วนค่าอื่นคงเดิมเหมือนกับตอนที่วัดแอนติโมนี ทุกครั้งที่วัดรังสีวางสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน ติดกับหัววัด Ge(Li) และรักษาให้ตำแหน่งในการวางสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน ในการวัดเท่ากันทุกครั้ง ใช้เวลาในการวัดรังสีตัวอย่างละ 800 วินาที

เมื่อวัดรังสีของตะกอนแบเรียมซัลเฟตเสร็จแล้ว นำตะกอนไปอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักของตะกอน เพื่อที่จะใช้คำนวณหาน้ำหนักของแบเรียม ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างแต่ละอันต่อไป

4.6 การตรวจสอบชาตุที่พบในเซลลูโลสอะซีเตทที่ใช้ และบนมือที่เก็บตัวอย่าง

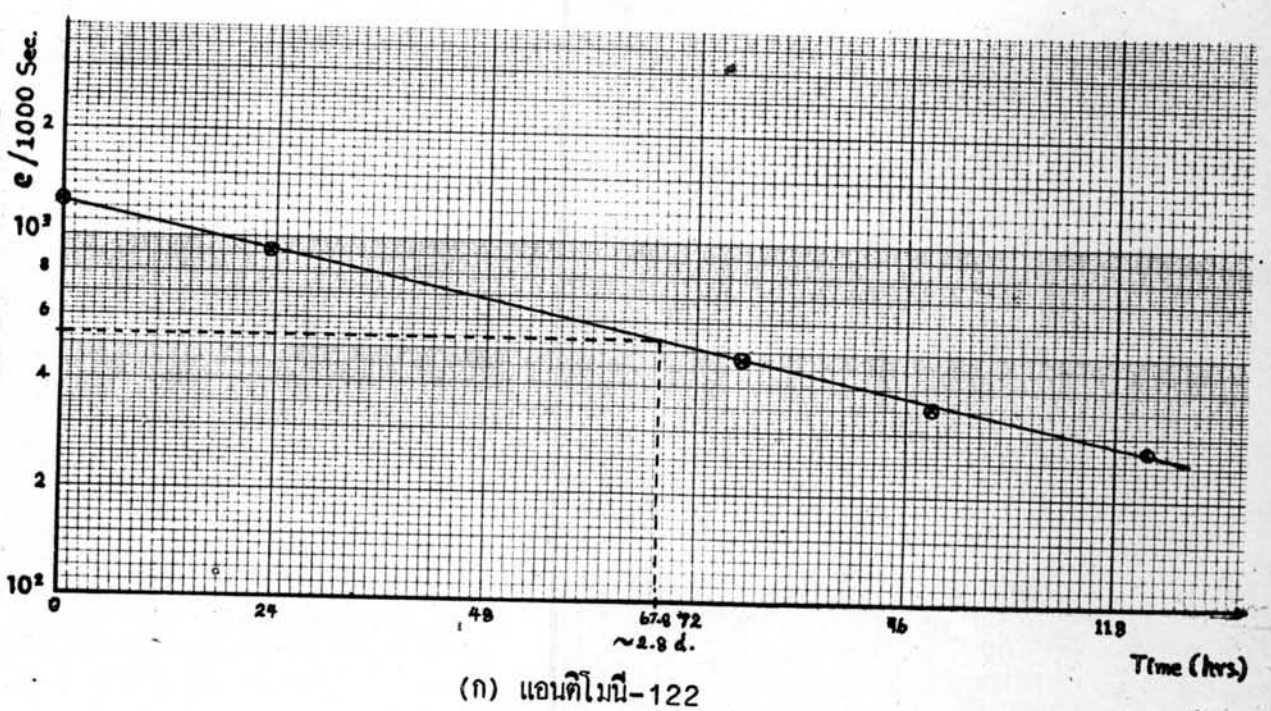
การวินิจฉัย Peak ในสเปคตรัมต่างๆ ว่าเป็นของชาตุใดนั้น ได้กระทำโดยการตรวจสอบพลังงานของแต่ละ Peak จาก Calibration Curve และติดตามอายุครึ่งชีวิตของ Peak นั้นๆ เทียบกับของชาตุจริงๆ รูปที่ 4-8 (ก) และ (ข) แสดงตัวอย่างการติดตามอายุครึ่งชีวิตของ Peak ที่ 0.564 Mev และ 0.165 Mev จากสารตัวอย่างที่เก็บจากมือภายหลังยิงปืน อายุครึ่งชีวิตที่ได้ ใกล้เคียงกับของ แอนติโมนี-122 และแบเรียม-139 เป็นการยืนยันว่า Peak ที่ 0.564 Mev เป็นของแอนติโมนี-122 และPeak ที่ 0.165 Mev เป็นของแบเรียม-139 จริง

4.7 การคำนวณปริมาณของแอนติโมนีและแบเรียม

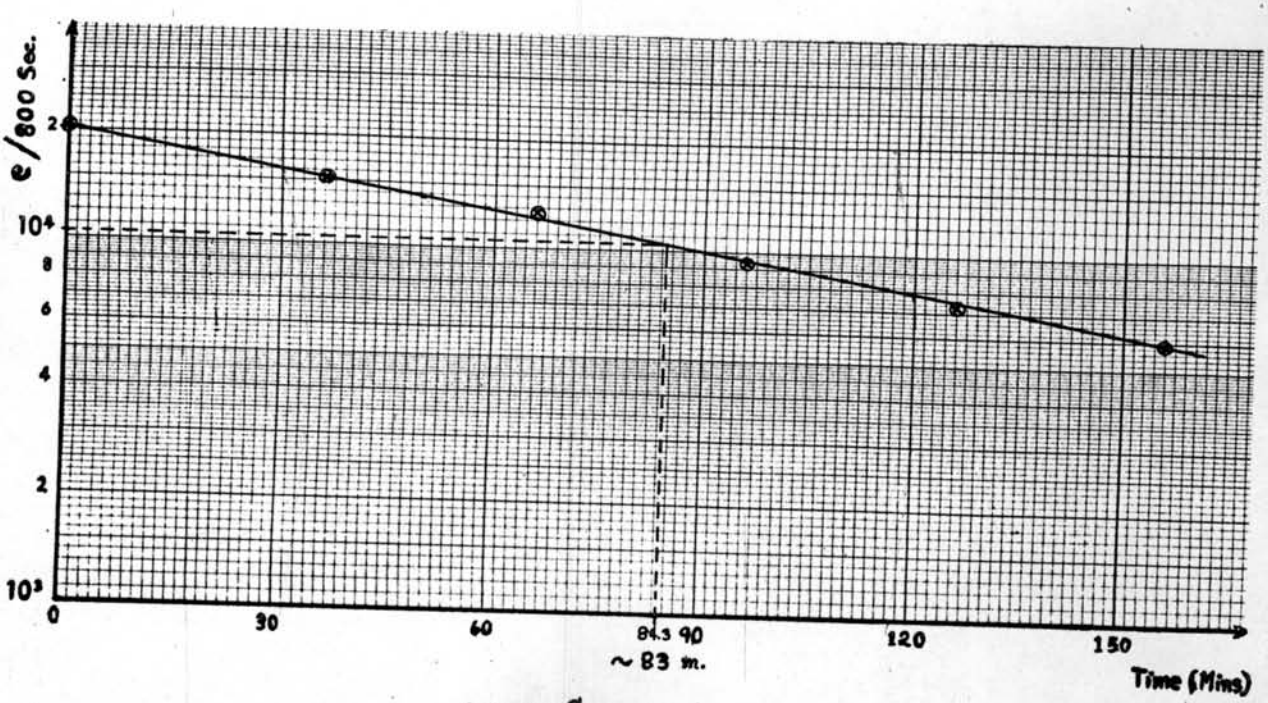
ปริมาณแอนติโมนีและแบเรียมในสารตัวอย่าง คำนวณได้จากการเปรียบเทียบ base area ของ Peak ของสารตัวอย่างกับของสารมาตรฐานที่นำไปอาบรังสีนิวตรอนคู่กัน สำหรับ base area ของ Peak นั้น คำนวณได้จากสมการที่ (3.3)

การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, σ_a) ของการทดลองแต่ละครั้ง คิดจากการผันแปรที่เกิดจากการวัดรังสีเพียงอย่างเดียว ดังสมการ

รูปที่ 4-8 การติดตามอายุครึ่งชีวิตของธาตุในสารตัวอย่างที่เก็บจากมือหลังยิงปืน



(ก) แอนติโมนี-122



(ข) แบเรียม -139

$$\text{net count rate} = a - b \pm \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}$$

ในเมื่อ a = total count rate (รวม background)

b = total count rate ของ background

σ_a = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ a

$= \sqrt{a}$

σ_b = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ b

$= \sqrt{b}$

ในการทดลองนี้ใช้สารมาตรฐานแอนติโมนีและแบเรียม มีปริมาณอย่างละ 1 ไมโครกรัม สูตรทั่วไปในการคำนวณหาปริมาณของแอนติโมนีและแบเรียม ในสารตัวอย่าง คือ

$$\text{ปริมาณของธาตุในสารตัวอย่าง (หน่วยน้ำหนัก)} = \left[\frac{\text{net count rate ของสารตัวอย่าง}}{\text{net count rate ของสารมาตรฐาน}}\right] \times \text{น้ำหนักของสารมาตรฐานที่ใช้} \quad (4.1)$$

จากสมการที่ (4.1) จะต้องคิดคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วย โดยคิดจากสูตร

$$\frac{A \pm \sigma_1}{B \pm \sigma_2} = \frac{A}{B} \pm \frac{1}{B^2}\sqrt{B^2\sigma_1^2 + A^2\sigma_2^2}$$

ในการคำนวณหาปริมาณของแอนติโมนี ไม่ต้องแก้เวลาการสลายตัว (Decay Time) ของแอนติโมนีในสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานในชุดเดียวกัน เพราะช่วงเวลาที่วัดรังสีของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานแต่ละครั้งห่างกันประมาณ 18-20 นาที เท่านั้น ถือว่าเป็นเวลาที่ใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับอายุครึ่งชีวิตของแอนติโมนี-122 คือ 2.8 วัน

แต่ในการคำนวณหาปริมาณของแบเรียม จะต้องแก้เวลาการสลายตัว ของแบเรียมในสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานในชุดเดียวกัน ทั้งนี้เพราะช่วงเวลาที่วัดรังสีของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานแต่ละครั้งห่างกันประมาณ 20-22 นาที ซึ่งถือได้ว่าห่างกันมาก เมื่อเทียบกับค่าครึ่งชีวิตของแบเรียม -139 คือ 83 นาที ดังนั้นในเวลาที่เริ่มทำการวัดรังสีของแบเรียม ในสารตัวอย่างและสารมาตรฐานแต่ละครั้ง จะต้องจดเวลาที่แน่นอนไว้ เพื่อนำมาใช้คำนวณแก้เวลาการสลายตัว จากสูตร

$$A_0 = A_t e^{\lambda t}$$

เมื่อ A_0 = ความแรงของรังสีที่เวลาเริ่มต้น

A_t = ความแรงของรังสีที่วัดได้ที่เวลาใดๆ t

t = ช่วงเวลาที่สารรังสีสลายตัว

ค่า A_t เป็นค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดรังสี t เป็นระยะห่างระหว่างเวลาที่ทำการวัดรังสีสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน

เนื่องจากว่าการหาธาตุแบเรียมในการวิจัยนี้ กระทำโดยใช้วิธีแยกทางเคมี ซึ่งการแยกทางเคมีไม่สามารถที่จะได้ตะกอนของแบเรียมทั้งหมดออกมา คือจะมีส่วนที่หายไปบ้าง อันเนื่องมาจากการตกตะกอนไม่หมด และบางส่วนก็หายไปในการกรอง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการคำนวณหาตะกอนส่วนที่หายไป ซึ่งเรียกกันว่าเป็นการคำนวณ Yield ของตะกอนที่แยกได้ โดยคิดจากข้อที่ว่าปริมาณของแบเรียมกัมมันตรังสี(Active) ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างมีน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณของแบเรียม (Inactive) ที่เติมลงไป 10 มิลลิกรัม แต่ในการตกตะกอนแบเรียมนั้น ถือว่าแบเรียมที่มีอยู่ทั้งหมด (Active และ Inactive) ตกตะกอนลงมาในอัตราส่วนเดียวกัน ตามสมการเคมี

$$BaCO_3 + \text{conc. } H_2SO_4 \longrightarrow \downarrow BaSO_4 + H_2O + CO_2$$

จะได้ว่าตะกอน $BaSO_4$ หนัก 233.43 มิลลิกรัม มี Ba อยู่ 137.36 มิลลิกรัม ดังนั้นถ้าคิดว่า $BaCO_3$ ที่เติมลงไป มีเนื้อ Ba อยู่ 10 มิลลิกรัม ตกตะกอนหมดจะได้ตะกอน $BaSO_4$ หนัก 16.994 มิลลิกรัม ซึ่งคิดเป็น 100% Yield จากตะกอนของแบเรียมในสารตัวอย่างและสารมาตรฐานที่แยกได้ เมื่อวัดรังสีเสร็จก็นำไปอบให้แห้งสนิท แล้วจึงชั่งน้ำหนัก เนื่องจากว่าได้ชั่งน้ำหนักของกระดาษกรองที่ใช้แต่ละอันไว้ก่อนแล้ว จึงทราบน้ำหนักของตะกอนที่กรองได้แน่นอน เมื่อหักเอาน้ำหนักของกระดาษกรองออก น้ำหนักของตะกอนที่ชั่งได้จะน้อยกว่า 16.994 มิลลิกรัม เมื่อคำนวณหาความแรงของรังสี ทั้งในสารตัวอย่างและสารมาตรฐานแบเรียม โดยการแก้เวลาการสลายตัว และคิดที่ 100% Yield ได้แล้ว จึงนำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณของแบเรียมในสารตัวอย่าง ตามสมการที่ (4-1) ต่อไป

จากการตรวจสอบพบว่า ในเซลลูโลสอะซีเตทที่ใช้มีแบเรียมอยู่ด้วย ดังนั้นจึงได้ทำการหาปริมาณของแบเรียม ในเซลลูโลสอะซีเตทหลายๆครั้ง เพื่อทราบปริมาณแบเรียมที่แน่นอนในเซลลูโลสอะซีเตท ในการคำนวณหาปริมาณของแบเรียมในสารตัวอย่าง ได้คิดหักปริมาณแบเรียมที่มีอยู่ในเซลลูโลสอะซีเตทที่ใช้ออก โดยคิดจากน้ำหนักของเซลลูโลสอะซีเตทที่ใช้ในแต่ละตัวอย่างนั้น ฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทราบน้ำหนักของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานแต่ละอันด้วย เพื่อที่จะคิดคำนวณหักเอาปริมาณของแบเรียมที่มีอยู่ในเซลลูโลสอะซีเตทออก

ผลการคำนวณหาปริมาณของแอนติโมนี ก่อนและหลังการยิงปืน 1 นัด และเก็บตัวอย่างทันที ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-1 ถึง 4-7 ปริมาณแอนติโมนี หลังยิงปืนหลายนัดและเก็บตัวอย่างทันที แสดงในตารางที่ 4-8 ปริมาณแอนติโมนีหลังยิงปืน 2 นัด เก็บตัวอย่างในเวลาต่างๆกัน แสดงในตารางที่ 4-9 ปริมาณแอนติโมนี หลังยิงปืนพกชนิดต่างๆ 1 นัด เก็บตัวอย่างทันที แสดงในตารางที่ 4-10 ส่วนปริมาณของแบเรียมในเซลลูโลสอะซีเตทที่ใช้ 1 กรัม แสดงในตารางที่ 4-11 ปริมาณแบเรียมบนมือก่อนและหลังการยิงปืน 1 นัด เก็บตัวอย่างทันที หักปริมาณของแบเรียมที่มีอยู่ในเซลลูโลสอะซีเตทออกแล้วตามน้ำหนักของตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 4-12 ตัวเลขที่วงเล็บไว้เป็นน้ำหนักของเซลลูโลสอะซีเตท ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองแต่ละครั้ง คิดจากค่าผันแปรของการนับ (Counting Statistics) สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Mean) จากผลการทดลอง 5 ครั้ง ของแต่ละบุคคล เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1 ของผลการทดลองทั้ง 5

รูปที่ 4-9 แผนภูมิแท่ง (Histogram) แสดงปริมาณแอนติโมนีบนมือทั้ง 2 ข้างก่อนการยิงปืน รูปที่ 4-10 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณแอนติโมนีบนมือขวาหลังยิงปืน 1 นัด เก็บตัวอย่างทันที

ตารางที่ 4-1

ผลการวัดปริมาณแอนดีโมนีบนมือ ของบุคคลที่ 1 (นักการซาย)

ครั้งที่	ก่อนยิงปืน (ไมโครกรัม)		หลังยิงปืน 1 นัด (ไมโครกรัม)		อัตราส่วน หลังยิง : ก่อนยิง	
	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย
1	0.051 ± 0.017 (0.310)	0.055 ± 0.030 (0.286)	0.500 ± 0.032 (0.389)	0.186 ± 0.026 (0.419)	-	-
2	0.052 ± 0.023 (0.465)	0.044 ± 0.015 (0.535)	0.168 ± 0.027 (0.474)	(เสีย)	-	-
3	0.064 ± 0.015 (0.506)	0.053 ± 0.014 (0.380)	0.179 ± 0.029 (0.491)	0.053 ± 0.022 (0.456)	-	-
4	0.030 ± 0.012 (0.464)	0.021 ± 0.013 (0.521)	0.244 ± 0.030 (0.482)	0.130 ± 0.022 (0.445)	-	-
5	0.018 ± 0.009 (0.410)	0.031 ± 0.013 (0.568)	0.314 ± 0.023 (0.475)	0.074 ± 0.036 (0.561)	-	-
เฉลี่ย	0.043 ± 0.019	0.041 ± 0.015	0.281 ± 0.136	0.111 ± 0.059	6.5	2.7

(.....) น้ำหนักของเซลลูโลสอะซีเตท เป็น กรัม

ตารางที่ 4-2

ผลการวัดปริมาณแอนดีโมนีบนมือ ของบุคคลที่ 2 (นักศึกษาชาย)

ครั้งที่	ก่อนยิงปืน (ไมโครกรัม)		หลังยิงปืน 1 นัด (ไมโครกรัม)		อัตราส่วน หลังยิง : ก่อนยิง	
	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย
1	0.024 ± 0.013 (0.357)	0.038 ± 0.014 (0.388)	0.440 ± 0.063 0.392)	0.083 ± 0.036 (0.361)	-	-
2	0.045 ± 0.019 (0.399)	0.080 ± 0.021 (0.317)	0.348 ± 0.036 (0.520)	0.135 ± 0.026 (0.655)	-	-
3	0.063 ± 0.018 (0.456)	0.026 ± 0.019 (0.356)	0.424 ± 0.049 (0.574)	0.069 ± 0.029 (0.520)	-	-
4	0.037 ± 0.017 (0.458)	0.041 ± 0.018 (0.422)	0.345 ± 0.037 (0.538)	0.175 ± 0.025 (0.488)	-	-
5	0.030 ± 0.013 (0.483)	0.037 ± 0.019 (0.463)	0.268 ± 0.039 (0.495)	0.202 ± 0.038 (0.500)	-	-
เฉลี่ย	0.042 ± 0.015	0.044 ± 0.021	0.365 ± 0.069	0.133 ± 0.057	8.7	3.0

ตารางที่ 4–3

ผลการวัดปริมาณแอนดิโมนีบนมือ ของบุคคลที่ 3 (นักศึกษาหญิง)

ครั้งที่	ก่อนยิงปืน (ไมโครกรัม)		หลังยิงปืน 1 นัด (ไมโครกรัม)		อัตราส่วน หลังยิง : ก่อนยิง	
	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย
1	0.071 ± 0.022 (0.391)	0.052 ± 0.020 (0.401)	0.408 ± 0.019 (0.498)	0.088 ± 0.015 (0.482)	–	–
2	0.075 ± 0.020 (0.404)	0.065 ± 0.018 (0.411)	0.412 ± 0.064 (0.468)	0.185 ± 0.049 (0.509)	–	–
3	0.035 ± 0.012 (0.415)	0.039 ± 0.015 (0.388)	0.438 ± 0.066 (0.501)	0.120 ± 0.056 (0.564)	–	–
4	0.054 ± 0.028 (0.416)	0.052 ± 0.027 (0.494)	0.439 ± 0.044 (0.587)	0.182 ± 0.034 (0.482)	–	–
5	0.028 ± 0.016 (0.564)	0.011 ± 0.008 (0.543)	0.240 ± 0.040 (0.498)	0.025 ± 0.015 (0.460)	–	–
เฉลี่ย	0.053 ± 0.021	0.044 ± 0.021	0.387 ± 0.084	0.120 ± 0.067	7.3	2.7

ตารางที่ 4-4

ผลการวัดปริมาณแอนดิโมนีบนมือ ของบุคคลที่ 4 (เสมียนเซมิคีดหญิง)

ครั้งที่	ก่อนยิงปืน (ไมโครกรัม)		หลังยิงปืน 1 นัด (ไมโครกรัม)		อัตราส่วน หลังยิง: ก่อนยิง	
	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย
1	0.045 ± 0.016 (0.312)	0.057 ± 0.023 (0.325)	0.399 ± 0.041 (0.427)	0.129 ± 0.030 (0.341)	–	–
2	0.023 ± 0.014 (0.459)	0.029 ± 0.015 (0.514)	0.475 ± 0.044 (0.449)	0.079 ± 0.037 (0.475)	–	–
3	0.019 ± 0.007 (0.444)	0.037 ± 0.018 (0.523)	0.425 ± 0.056 (0.515)	0.117 ± 0.040 (0.482)	–	–
4	0.032 ± 0.018 (0.578)	0.056 ± 0.020 (0.590)	0.189 ± 0.018 (0.531)	0.295 ± 0.034 (0.494)	–	–
5	0.023 ± 0.015 (0.451)	0.033 ± 0.015 (0.439)	0.339 ± 0.077 (0.489)	0.218 ± 0.072 (0.437)	–	–
เฉลี่ย	0.028 ± 0.010	0.042 ± 0.013	0.365 ± 0.110	0.168 ± 0.086	13.0	4.0

ตารางที่ 4–5

ผลการวัดปริมาณแอนดิโมนีบนมือ ของบุคคลที่ 5 (พนักงานขายยา)

ครั้งที่	ก่อนยิงปืน (ไมโครกรัม)		หลังยิงปืน 1 นัด (ไมโครกรัม)		อัตราส่วน หลังยิง : ก่อนยิง	
	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย
1	0.029 ± 0.008 (0.346)	0.014 ± 0.006 (0.319)	0.617 ± 0.040 (0.436)	0.106 ± 0.018 (0.424)	–	–
2	0.046 ± 0.034 (0.591)	0.030 ± 0.007 (0.600)	0.392 ± 0.047 (0.547)	0.204 ± 0.025 (0.514)	–	–
3	0.021 ± 0.009 (0.460)	0.019 ± 0.009 (0.497)	0.303 ± 0.035 (0.476)	0.208 ± 0.034 (0.455)	–	–
4	0.051 ± 0.015 (0.420)	0.037 ± 0.015 (0.509)	0.359 ± 0.032 (0.545)	0.225 ± 0.028 (0.534)	–	–
5	0.019 ± 0.008 (0.536)	0.023 ± 0.011 (0.540)	0.263 ± 0.031 (0.528)	0.163 ± 0.024 (0.562)	–	–
เฉลี่ย	0.033 ± 0.015	0.025 ± 0.009	0.387 ± 0.138	0.181 ± 0.048	11.7	7.2

ตารางที่ 4–6

ผลการวัดปริมาณแอนดีโมนีบนมือ ของบุคคลที่ 6 (เกษตรกรชาย สูบบุหรี่)

ครั้งที่	ก่อนยิงปืน (ไมโครกรัม)		หลังยิงปืน 1 นัด (ไมโครกรัม)		อัตราส่วน หลังยิง : ก่อนยิง	
	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย
1	(เสีย)	0.079 ± 0.046 (0.611)	0.612 ± 0.040 (0.531)	0.192 ± 0.028 (0.481)	–	–
2	0.037 ± 0.027 (0.407)	0.049 ± 0.006 (0.348)	0.421 ± 0.053 (0.503)	0.204 ± 0.026 (0.493)	–	–
3	0.039 ± 0.026 (0.582)	0.048 ± 0.029 (0.577)	0.454 ± 0.034 (0.500)	0.129 ± 0.028 (0.537)	–	–
4	0.069 ± 0.022 (0.471)	0.085 ± 0.019 (0.591)	0.196 ± 0.033 (0.522)	0.086 ± 0.054 (0.586)	–	–
5	0.026 ± 0.014 (0.543)	0.031 ± 0.014 (0.524)	0.452 ± 0.073 (0.554)	0.258 ± 0.067 (0.563)	–	–
เฉลี่ย	0.043 ± 0.018	0.058 ± 0.023	0.427 ± 0.149	0.174 ± 0.067	9.9	3.0

ตารางที่ 4–7

ผลการวัดปริมาณแอนติโมนีบนมือ ของบุคคลที่ 7 (นักศึกษาชาย)

ครั้งที่	ก่อนยิงปืน (ไมโครกรัม)		หลังยิงปืน 1 นัด (ไมโครกรัม)		อัตราส่วน หลังยิง : ก่อนยิง	
	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย
1	0.025 ± 0.013 (0.479)	0.025 ± 0.017 (0.565)	0.650 ± 0.066 (0.536)	0.074 ± 0.038 (0.638)	–	–
2	0.025 ± 0.016 (0.423)	0.012 ± 0.006 (0.521)	0.354 ± 0.035 (0.542)	0.079 ± 0.019 (0.499)	–	–
3	0.066 ± 0.022 (0.502)	0.028 ± 0.014 (0.479)	0.260 ± 0.051 (0.614)	0.180 ± 0.043 (0.526)	–	–
4	0.046 ± 0.012 (0.543)	0.017 ± 0.010 (0.562)	0.465 ± 0.041 (0.588)	0.234 ± 0.050 (0.568)	–	–
5	0.013 ± 0.007 (0.486)	0.048 ± 0.018 (0.506)	0.701 ± 0.050 (0.584)	0.053 ± 0.023 (0.603)	–	–
เฉลี่ย	0.035 ± 0.029	0.026 ± 0.014	0.486 ± 0.188	0.124 ± 0.078	13.9	4.8

ตารางที่ 4-8

ปริมาณแอนติโมนีบนมือหลังยิงปืนหลายนัด และเก็บตัวอย่างทันที

จำนวนนัดที่ยิง	ปริมาณแอนติโมนี(ไมโครกรัม)	
	มือขวา	มือซ้าย
2	0.393 ± 0.033 (0.425)	0.241 ± 0.030 (0.465)
3	0.614 ± 0.035 (0.390)	0.583 ± 0.040 (0.390)
5	0.411 ± 0.032 (0.389)	0.135 ± 0.023 (0.332)

ตารางที่ 4-9

ปริมาณแอนติโมนีบนมือหลังยิงปืน 2 นัด เก็บตัวอย่างในเวลาต่างๆกัน

เก็บตัวอย่างหลังยิงปืน	ปริมาณแอนติโมนี(ไมโครกรัม)	
	มือขวา	มือซ้าย
ทันที	0.393 ± 0.033 (0.425)	0.241 ± 0.030 (0.465)
6 ชั่วโมง	0.300 ± 0.033 (0.612)	0.079 ± 0.033 (0.551)
1 วัน	0.184 ± 0.036 (0.426)	0.033 ± 0.018 (0.441)
	0.147 ± 0.026 (0.642)	0.076 ± 0.024 (0.498)
	0.139 ± 0.033 (0.571)	0.203 ± 0.034 (0.496)
2 วัน	0.054 ± 0.018 (0.701)	0.050 ± 0.018 (0.599)
	0.034 ± 0.025 (0.646)	0.062 ± 0.025 (0.639)
	0.098 ± 0.019 (0.537)	0.112 ± 0.019 (0.481)

ตารางที่ 4–10

ปริมาณแอนติโมนีบนมือหลังยิงปืนพกชนิดต่างๆ 1 นัด เก็บตัวอย่างทันที

ชนิดของอาวุธปืน	ปริมาณแอนติโมนี (ไมโครกรัม)	
	มือขวา	มือซ้าย
รีวอลเวอร์ขนาด .22 (LR)	0.244 ± 0.027 (0.572)	0.061 ± 0.027 (0.476)
รีวอลเวอร์ขนาด .38 (พิเศษ)	0.272 ± 0.024 (0.656)	0.146 ± 0.028 (0.660)
ออโตเมติคขนาด .45	0.200 ± 0.032 (0.697)	0.132 ± 0.024 (0.709)

ตารางที่ 4–11

ปริมาณแบเรียมในเซลลูโลสอะซีเตทที่ใช้ 1 กรัม

ครั้งที่	แบเรียม (ไมโครกรัม)
1	0.761 ± 0.077
2	0.819 ± 0.083
3	0.550 ± 0.126
4	0.684 ± 0.122
5	0.725 ± 0.126
เฉลี่ย	0.708 ± 0.101

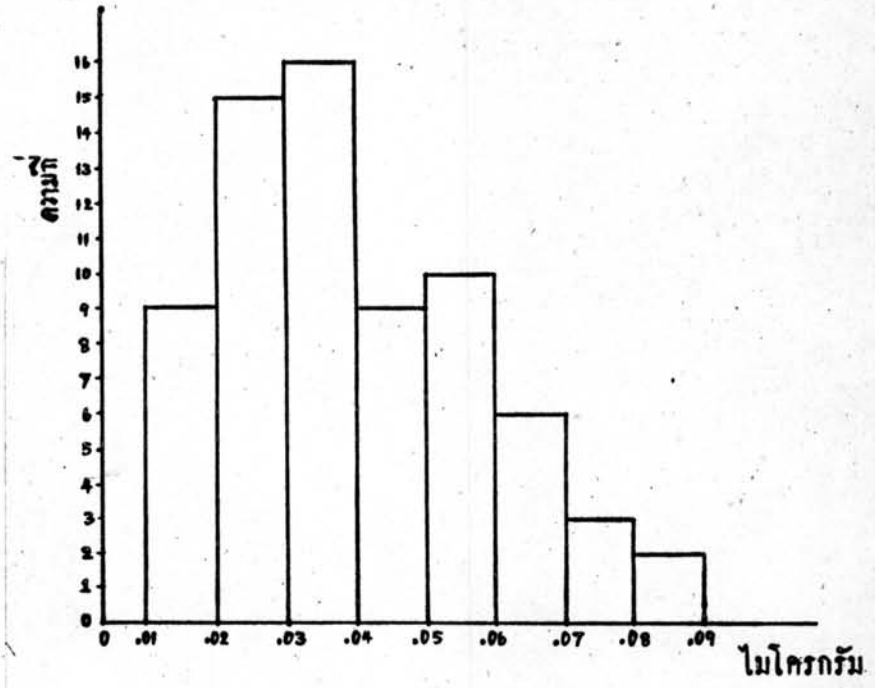
ตารางที่ 4-12

ผลการวัดปริมาณแบเรียมบนมือก่อนและหลังการยิงปืน (คิดหักปริมาณแบเรียมในเซลลูโลสอะซีเตท 0.708 ± 0.101 $\mu g/g$ ออกแล้ว)

ครั้งที่	ก่อนยิงปืน (ไมโครกรัม)		หลังยิงปืน 1 นัด (ไมโครกรัม)		อัตราส่วน หลังยิง : ก่อนยิง	
	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย	มือขวา	มือซ้าย
1	0.529 ± 0.068 (0.513)	0.635 ± 0.084 (0.486)	6.486 ± 0.307 (0.498)	2.755 ± 0.164 (0.438)	-	-
2	1.755 ± 0.131 (0.490)	1.549 ± 0.147 (0.492)	6.689 ± 0.382 (0.630)	1.558 ± 0.162 (0.545)	-	-
3	1.448 ± 0.114 (0.570)	1.455 ± 0.116 (0.423)	1.342 ± 0.032 (0.637)	0.421 ± 0.016 (0.629)	-	-
4	0.689 ± 0.159 (0.554)	0.200 ± 0.177 (0.468)	1.191 ± 0.078 (0.513)	0.941 ± 0.099 (0.473)	-	-
5	0.543 ± 0.021 (0.546)	0.561 ± 0.024 (0.575)	4.752 ± 0.217 (0.746)	1.142 ± 0.010 (0.676)	-	-
เฉลี่ย	0.993 ± 0.569	0.880 ± 0.592	4.092 ± 2.687	1.363 ± 0.879	4.1	1.5

รูปที่ 4-9

แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณแอนติโมนีบนมือทั้ง 2 ข้าง ก่อนการยิงปืน



รูปที่ 4-10

แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณแอนติโมนีบนมือขวาหลังยิงปืน 1 นัด เก็บตัวอย่างทันที