

111. 064 15

4 4560

33

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณโปแตสเซียมด้วยการวัดรังสีแกมมาจับพลังจากการอาบนิวตรอน

ปริญญาานิพนธ์

ของ

มาโนชญ์ เฮงวัฒนะ

30 เม.ย. 2541

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์

มีนาคม 2541

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรีย์ แขวงโสภา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรุณีย์ อินทสร)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรีย์ แขวงโสภา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรุณีย์ อินทสร)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(จิตปราณี วีระพงษ์)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิตปราณี วีระพงษ์)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ณสรณ์ ผลโภค)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

วันที่ 13 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2541

ประกาศขอบคุณประการ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความสามารถจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรีย์ แขวงโสภา และรองศาสตราจารย์ อรุณีย์ อินทศร ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไข ตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ณสรรงค์ ผลโภค และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิตปราณี วีระพงษ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขปริญญาโทฉบับนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์พงษ์แก้ว อุดมสมุทรหิรัญ ที่กรุณาให้คำแนะนำในด้านคอมพิวเตอร์

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ และ พี่ ๆ นิสิตปริญญาโท เอกฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตรทุกท่านที่เป็นกำลังใจในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา และมารดา ซึ่งเป็นผู้ที่ได้ให้โอกาสในทุก ๆ ด้านแก่ผู้วิจัย ทำให้งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

มานิชญ์ เสงฆ์วัฒนะ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
จุดมุ่งหมายของงานวิจัย.....	2
ความสำคัญของงานวิจัย.....	3
2 ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย.....	4
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
3 วัสดุ อุปกรณ์และขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	23
วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	23
ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	30
4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
5 สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ.....	73
สรุปและอภิปรายผลงานวิจัย.....	73
ข้อเสนอแนะ.....	74
บรรณานุกรม.....	75
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	78

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ค่าพลังงานรังสีแกมมาฉับพลันจากปฏิกิริยา $K^{39} (n, \gamma) K^{40}$	9
2 ผลการวัดโปแตสเซียมคาร์บอเนต ที่วางห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอนที่ระยะต่าง ๆ และค่า อัตราส่วนระหว่างจำนวนนับสุทธิกายใต้พีคกับจำนวนนับภูมิหลัง.....	33
3 ผลการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแบ่งให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่ สารตัวอย่าง ใช้เวลาวัดนาน 20000 วินาที.....	34
4 ผลการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแบ่งลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรง ใช้เวลาในวัดนาน 20000 วินาที.....	34
5 ผลการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแบ่งให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่ สารตัวอย่าง ใช้เวลาวัดนาน 40000 วินาที.....	35
6 ผลการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแบ่งลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรง ใช้เวลาในวัดนาน 40000 วินาที.....	35
7 การเปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของการวัดที่ได้จากการคำนวณทั้งสามวิธี.....	69
8 ผลการตรวจสอบความแม่นยำของเส้นเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้น โดยใช้โปแตสเซียมได ไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็นสารทดสอบ.....	72

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 การเกิดรังสีแกมมาจذبพลัง.....	7
2 พลังงานของรังสีแกมมาจذبพลังในปฏิกิริยา $B^{10} (n, \alpha) Li^7$	8
3 ระบบการนับรวม.....	11
4 ระบบการนับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดียว.....	12
5 ระบบการนับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง.....	13
6 เส้นปรับเทียบพลังงาน.....	14
7 จำนวนนับและหมายเลขช่อง.....	15
8 รายละเอียดของต้นกำเนิดนิวตรอน Am-Be ขนาด 5 คูรี.....	24
9 ลักษณะของที่ยึดต้นกำเนิดนิวตรอน.....	24
10 ลักษณะของอินพุทก่อนเข้าภาคขยายหลัก และเอาต์พุทที่เกิดขึ้น.....	26
11 แผนผังการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง.....	27
12 ลักษณะที่วางภาชนะใส่สารตัวอย่าง.....	29
13 การจัดชุดทดลอง.....	30
14-21 สเปกตรัมรังสีแกมมาจذبพลังของโปแตสเซียม และเส้นปรับเทียบมาตรฐานที่ได้จากการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งในภาชนะให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง ให้เวลาวัดนาน 20000 วินาที.....	37-44
22-29 สเปกตรัมรังสีแกมมาจذبพลังของโปแตสเซียม และเส้นปรับเทียบมาตรฐานที่ได้จากการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรงให้เวลาวัดนาน 20000 วินาที.....	45-52
30-37 สเปกตรัมรังสีแกมมาจذبพลังของโปแตสเซียม และเส้นปรับเทียบมาตรฐานที่ได้จากการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งในภาชนะให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง ให้เวลาวัดนาน 40000 วินาที.....	53-60
38-45 สเปกตรัมรังสีแกมมาจذبพลังของโปแตสเซียม และเส้นปรับเทียบมาตรฐานที่ได้จากการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรงให้เวลาวัดนาน 40000 วินาที.....	61-68

บทที่ 1

บทนำ

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในปัจจุบัน มีความจำเป็นอย่างมาก เพราะเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของสินค้านอกเหนือจากการตรวจสอบด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การตรวจสอบคุณภาพของปุ๋ยมี่ปริมาณของธาตุต่าง ๆ ที่เป็นธาตุอาหารหลักและอาหารรองของพืชเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ เป็นต้น นอกจากนี้การวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ยังมีบทบาทในด้านการบำบัดโรคด้วย เช่น การตรวจปริมาณโปแตสเซียมในเลือด มีมากน้อยเพียงใดเพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรค เป็นต้น ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณธาตุทำได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ที่ใช้วิธีทางเคมี เช่น แมสสเปกโทรเมตรี (Mass Spectrometry) อุลตราไวโอเลตสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet Spectroscopy) เป็นต้น แต่วิธีทางเคมีส่วนใหญ่จะสามารถทำได้เฉพาะวิเคราะห์ธาตุที่เป็นส่วนประกอบในสารตัวอย่างเท่านั้น ไม่สามารถบอกปริมาณของธาตุที่อยู่ในสารตัวอย่างนั้นได้ และการวิเคราะห์แต่ละครั้งใช้เวลานาน สารตัวอย่างไม่สามารถนำกลับมาวิเคราะห์ซ้ำได้อีก นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดเรื่องลักษณะทางกายภาพของสารตัวอย่าง เช่น ต้องอยู่ในรูปของสารละลาย และเป็นพวกสารอนินทรีย์ เป็นต้น

การวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีทางนิวเคลียร์ เป็นวิธีหนึ่งที่น่ามาใช้ในการวิเคราะห์ธาตุเป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง เรียกว่า วิธีวิเคราะห์สารด้วยการอาบนิวตรอนของธาตุในสารตัวอย่าง (Instrumental Neutron Activation Analysis , INAA) ทำโดยนำสารตัวอย่างไปอาบนิวตรอน ธาตุในสารตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์กับนิวตรอนแล้วกลายเป็นธาตุใหม่ที่เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ปล่อยออกมาจากธาตุกัมมันตรังสีจะถูกวัดด้วยเครื่องมือวัดทางนิวเคลียร์เพื่อวิเคราะห์ต่อไป วิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถวิเคราะห์ธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่างได้ และสามารถวิเคราะห์ธาตุที่เป็นพวกสารอนินทรีย์บางตัวได้ เช่น Al , Fe , Cl และ Cd เป็นต้น ถึงแม้ว่าจะมีข้อดีที่วิธีทางเคมีบางวิธีแต่ก็ยังมีข้อเสียคือ ไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ธาตุบางธาตุที่มีเวลาของการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีที่ยาวนานมาก ๆ เช่น K^{39} เมื่อนำไปอาบนิวตรอนจะได้ K^{40} ซึ่งสลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน 1.46 MeV ด้วยค่าครึ่งชีวิตที่ยาวนานประมาณ 1.28×10^9 ปี เป็นต้น และการวิเคราะห์ในแต่ละครั้งอาจจะมีการตกค้างของสารกัมมันตรังสีสูงถึงแวลลอมซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้นักฟิสิกส์นิวเคลียร์พยายามปรับปรุงเทคนิควิธีการวิเคราะห์ที่ทำให้มีการตกค้างของสารรังสีในธรรมชาติให้น้อยที่สุด

วิธีวิเคราะห์ธาตุทางนิวเคลียร์อีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ และเป็นที่ยอมรับในขณะนี้ เป็นวิธีการวิเคราะห์ธาตุด้วยการวัดรังสีแกมมาจับพลังจากการอาบนิวตรอน วิธีนี้ถูกค้นพบ ในปี ค. ศ. 1934 โดย ลี (Lea . 1934 : 24) ลี พบว่าขณะที่ทำการอาบนิวตรอนให้กับสารตัวอย่าง ธาตุบางธาตุที่อยู่ในสารตัวอย่างนั้นจะทำปฏิกิริยากับนิวตรอนและให้รังสีแกมมาเกือบทันทีที่เกิดปฏิกิริยา เรียกรังสีแกมมาที่เกิด

ขึ้นนี้ว่า รังสีแกมมาจับพลัน (Prompt Gamma-ray) เขาได้ทำการทดลองวิเคราะห์ธาตุไฮโดรเจนที่อยู่ในพาราฟิน โดยการนำพาราฟินแข็งไปอบนิวตรอนแล้ววัดรังสีแกมมาจับพลันที่มาจากกำบังนิวตรอนของไฮโดรเจน ผลปรากฏว่าสามารถวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนในพาราฟินได้ วิธีที่ใช้นี้มีชื่อเรียกว่า วิธีวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาจับพลันจากการอบนิวตรอน (Prompt Gamma-ray Neutron Activation Analysis , PGNAA) จากการทดลองของลึกลายเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้นักฟิสิกส์นิวเคลียร์เริ่มศึกษาวิธีนี้อย่างจริงจัง

ต่อมานักฟิสิกส์นิวเคลียร์อีกหลายท่านได้ศึกษาวิจัยวิธีวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาจับพลันจากการอบนิวตรอนในงานหลาย ๆ ด้าน ทำให้สรุปถึงข้อดีของวิธีนี้ได้ดังนี้คือ

1. สารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์มีลักษณะเป็นได้ทั้งของแข็ง และสารละลาย
2. การวิเคราะห์ไม่มีการทำลายสารตัวอย่าง สามารถนำสารตัวอย่างกลับมาใช้ได้ใหม่
3. สามารถวัดรังสีแกมมาจับพลันจากธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ได้ทันที
4. วิเคราะห์ธาตุบางธาตุที่ทำได้ยากโดยเทคนิควิธีอื่น เช่น H , B , C , N , O , P เป็นต้น
5. มีปฏิกิริยาตกค้างเนื่องจากมีสารกัมมันตรังสีสู่สิ่งแวดล้อมน้อยมาก หรือไม่มีเลย
6. ไปประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ ได้ เช่น ทางการแพทย์ ทางการเกษตร และทางอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรม

จากข้อดีที่กล่าวมาทำให้วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารด้วยการวัดรังสีแกมมาจับพลันจากการอบนิวตรอนน่าสนใจที่จะนำมาทำการศึกษาวิจัย และจากการสำรวจงานวิจัยในประเทศไทยพบว่ยังไม่มีผู้ใดทดลองวัดปริมาณโปแตสเซียมด้วยวิธีนี้ ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณโปแตสเซียมด้วยวิธีดังกล่าว โดยใช้อุปกรณ์การวัดที่ภาควิชาฟิสิกส์เพื่อเป็นแนวทางการประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นต่อไปในอนาคต

จุดมุ่งหมายของงานวิจัย

ศึกษาเทคนิควิธีวิเคราะห์ปริมาณสารด้วยการวัดรังสีแกมมาจับพลันจากการอบนิวตรอนและทดลองวัดปริมาณโปแตสเซียมในสารตัวอย่างโดยใช้อุปกรณ์การทดลองที่ภาควิชาฟิสิกส์ เตรียมสารมาตรฐานด้วยวิธีผสมสารตัวอย่างกับผงแป้งในภาชนะให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่างและวิธีผสมสารตัวอย่างกับผงแป้งลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรง ผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ความ เป็นเนื้อเดียวของสารตัวอย่างและคำนวณหาค่าขีดจำกัดของการวัด (Detection limit) ของโปแตสเซียมของระบบการวัดที่ใช้ในการทดลองนี้

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาเทคนิควิธีวิเคราะห์ปริมาณโปแตสเซียมในสารตัวอย่างที่เตรียมขึ้นโดยบรรจุสารตัวอย่างลงในขวดจันเต็มจะได้สารตัวอย่างมีมวลประมาณ 80 กรัม ด้วยการวัดรังสีแกมมาจับพลังจากการอาบนิวตรอน โดยการเตรียมสารตัวอย่าง 2 วิธีคือ

- 1.1. ผสมสารตัวอย่างกับผงแป้งในภาชนะให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง
- 1.2. ผสมสารตัวอย่างกับผงแป้งลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรง

2. ใช้โปแตสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เป็นสารตัวอย่าง นำไปอาบนิวตรอนจากต้นกำเนิด Am-Be ขนาด 5 คูรี ซึ่งให้นิวตรอนออกมา 1.1×10^7 นิวตรอน / วินาที พลังงานนิวตรอนโดยเฉลี่ย 4.46 MeV

3. วัดสเปกตรัมรังสีแกมมาจับพลังที่พลังงาน 770 keV ของโปแตสเซียม โดยใช้หัววัดรังสีแกมมา HPGe ประกอบกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นำมาสร้างเส้นปรับเทียบมาตรฐาน (Calibration curve)

4. ใช้โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) เป็นสารทดสอบความแม่นยำของเส้นปรับเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้นจากการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยวิธีทั้งสอง

ความสำคัญของงานวิจัย

1. ทราบเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณโปแตสเซียมด้วยวิธีวัดรังสีแกมมาจับพลังจากการอาบนิวตรอน

2. ทราบประสิทธิภาพของชุดการวัดที่ประกอบจากอุปกรณ์ที่มีอยู่ของภาควิชาฟิสิกส์ว่าสามารถใช้หาปริมาณโปแตสเซียมในสารประกอบต่าง ๆ ได้ดีเพียงใด

3. ได้ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอน กับตำแหน่งที่วางสารตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการทดลองวิเคราะห์ปริมาณของธาตุโปแตสเซียมด้วยวิธีการวัดรังสีแกมมาจับพลังจากการอาบนิวตรอน

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

ทฤษฎีที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ

1. ประเภทของปฏิกิริยานิวเคลียร์
2. การวิเคราะห์สารโดยวิธีทางนิวเคลียร์
3. การเกิดรังสีแกมมาจับปล้น
4. ปฏิกิริยาระหว่างรังสีแกมมากับสสาร
5. ระบบการนับรังสี
6. การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับสารรังสีสุทธิ
7. การจัดระบบการทดลองสำหรับการวัดรังสีแกมมาจับปล้น
8. การวัดรังสีแกมมาจับปล้น
9. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง
10. การหาขีดจำกัดของการวัด

1. ประเภทของปฏิกิริยานิวเคลียร์

ปฏิกิริยานิวเคลียร์แบ่งตามความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคที่เข้าชนกับนิวเคลียสเป้า (Target nucleus) ได้ดังนี้คือ

1. ปฏิกิริยาการกระเจิง (Scattering) คือการที่อนุภาควิ่งเข้าชนนิวเคลียสเป้าแล้วนิวเคลียสเป้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นธาตุใหม่ โดยที่อนุภาคที่เข้าชนยังเป็นอนุภาคชนิดเดิม แต่มีทิศทางเปลี่ยนไป พลังงานรวมของระบบอาจมีการเปลี่ยนแปลง หรือไม่เปลี่ยนแปลงก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าจะเป็นการกระเจิงแบบใด

1.1. การกระเจิงแบบยืดหยุ่น (Elastic scattering)

เป็นการกระเจิงที่เกิดจากการชนกันระหว่างอนุภาคกับนิวเคลียสเป้าที่ให้พลังงานจลน์รวมของระบบก่อนชน และหลังชนมีค่าเท่ากัน นิวเคลียสเป้าที่ถูกชนโดยอนุภาคไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ทิศทางของอนุภาคที่เข้าชนเป้าเปลี่ยนไป เช่นปฏิกิริยา $Mg^{26} (p, p) Mg^{26}$ เป็นต้น

1.2. การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic scattering)

เป็นการกระเจิงที่เกิดจากการชนกันระหว่างอนุภาคกับนิวเคลียสเป้าที่พลังงานจลน์รวมของระบบก่อนชน และหลังชนมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากนิวเคลียสเป้าที่ถูกชนอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น เช่นปฏิกิริยา $Sn^{120} (\alpha, \alpha') Sn^{120*}$ เป็นต้น

2. ปฏิกิริยาการแปรรูป (Transmutation) คือการที่อนุภาควิ่งเข้าชนนิวเคลียสเป้าแล้วทำให้นิวเคลียสเป้าเปลี่ยนแปลงไปเป็นธาตุใหม่พร้อมกับให้อนุภาคต่างชนิดออกมา แบ่งปฏิกิริยาการแปรรูปตามลักษณะการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้คือ

2.1. การจับแบบเรดิเอทีฟ (Radiative capture)

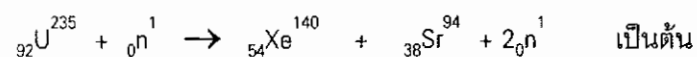
เป็นปฏิกิริยาที่นิวตรอนหรือโปรตอนที่มีพลังงานต่ำ ถูกจับด้วยนิวเคลียสเป้า แล้วกลายเป็นนิวเคลียสเชิงประกอบ (Compound nucleus) ซึ่งสลายตัวมาสู่สถานะพื้นฐานโดยการคายรังสีแกมมาออกมา เช่นปฏิกิริยา $Cd^{113} (n, \gamma) Cd^{114}$, $Mg^{26} (p, \gamma) Al^{27}$ เป็นต้น

2.2. การสลายตัวโดยโฟตอน (Photodisintegration)

เป็นปฏิกิริยาที่นิวเคลียสเป้าดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่าพลังงานการแยกตัว (Separation energy) ของ p , n หรือ α ภายในนิวเคลียส ทำให้เกิดปฏิกิริยา (γ, p) , (γ, n) หรือ (γ, α) เช่นปฏิกิริยา $Al^{27} (\gamma, p) Mg^{26}$ เป็นต้น

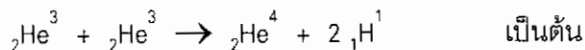
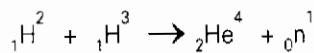
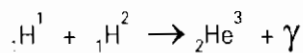
2.3. การแตกตัวแบบฟิชชัน (Fission)

เป็นปฏิกิริยาที่นิวเคลียสเป้าเป็นธาตุหนักถูกชนด้วยนิวตรอนหรืออนุภาคบางชนิด ทำให้นิวเคลียสเป้าแตกตัวออก พร้อมกับสลายตัวให้อนุภาคต่าง ๆ ออกมา เช่นปฏิกิริยา



2.4. การรวมตัวของนิวเคลียสของธาตุเบา (Fusion)

เป็นปฏิกิริยาที่นิวเคลียสของธาตุเบา ๆ รวมตัวกันเข้าเป็นนิวเคลียสของธาตุที่หนักขึ้นแล้วให้พลังงานออกมา เช่นปฏิกิริยา

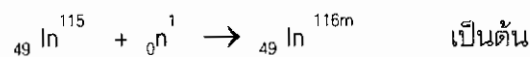


2. วิธีวิเคราะห์สารทางนิวเคลียร์

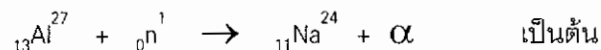
จากความรู้ของปฏิกิริยานิวเคลียร์ดังกล่าวข้างต้น ถ้านำสารที่ต้องการวิเคราะห์ไปอบนิวตรอน ทำให้สารที่ต้องการวิเคราะห์เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียส เกิดเป็นสารกัมมันตรังสีแล้วสลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงานต่าง ๆ กัน ที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวออกมาสามารถจะตรวจสอบและวัดรังสีแกมมาได้ ทำให้สามารถบอกได้ว่า เป็นอะตอมของธาตุใด ซึ่งเรียกว่า การวิเคราะห์เชิงกัมมันตภาพรังสี (Activation Analysis)

วิธีวิเคราะห์สารด้วยการอบนิวตรอน (Neutron Activation Analysis) สามารถแยกย่อยได้หลายวิธี ตามความแตกต่างของพลังงานนิวตรอนที่ใช้ในการอบสารตัวอย่าง หรือเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ เช่น

1. วิธีวิเคราะห์สารด้วยการอบนิวตรอนเทอร์มัล (Instrumental Thermal- neutron Activation Analysis) ตัวอย่างปฏิกิริยา เช่น

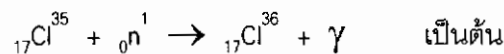


2. วิธีวิเคราะห์สารด้วยการอบนิวตรอนพลังงานสูง (Instrumental Fast- neutron Activation Analysis) ตัวอย่างของปฏิกิริยานี้ เช่น



3. วิธีวิเคราะห์ที่มีการแยกสารตัวอย่างทางเคมี (Radiochemical Neutron Activation Analysis) จะใช้วิธีนี้เมื่อวิธี INAA ไม่สามารถตรวจวัดธาตุนั้นได้ หรือวัดได้ไม่ดีในสารที่มีธาตุต่าง ๆ ประกอบอยู่หลายธาตุ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ Ga^{71} ที่ปะปนอยู่ในกระป๋องอะลูมิเนียมทำโดยการสกัด Ga ออกจากอะลูมิเนียมก่อนโดยใช้ไอโซโพรพิลอีเธอร์ (Isopropylether) หลังจากนั้นนำ Ga ที่สกัดออกมาได้ไปอบนิวตรอนจะได้ Ga^{72} ซึ่งเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแกมมาพลังงาน 834 keV ออกมาเป็นต้น

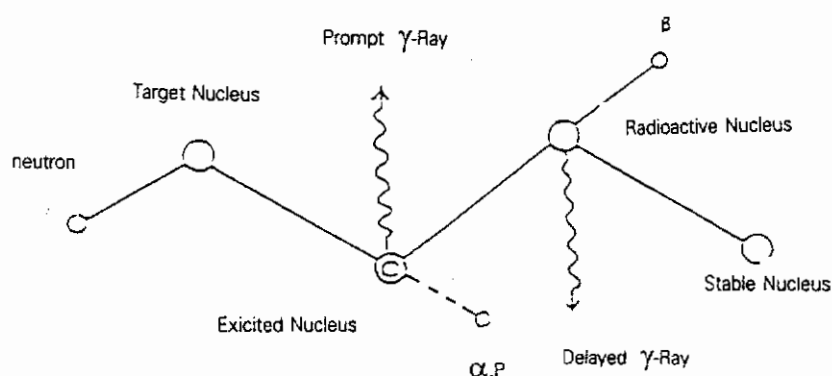
4. วิธีวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาจับปล้นจากการอาบนิวตรอน (Prompt Gamma - ray Neutron Activation Analysis) ตัวอย่างของปฏิกิริยา เช่น



ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

3. การเกิดรังสีแกมมาจับปล้น

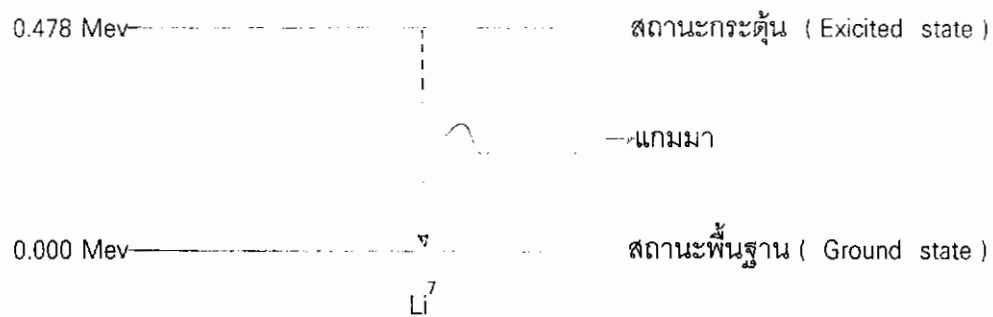
เมื่อนิวตรอนถูกจับด้วยนิวเคลียสของธาตุในสารประกอบใด ๆ จะทำให้เกิดนิวเคลียสเชิงประกอบ ซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้น (Excited state) และปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมาเกือบจะทันทีที่เกิดปฏิกิริยา จึงเรียกรังสีแกมมาที่เกิดขึ้นมานี้ว่า รังสีแกมมาจับปล้น ส่วนใหญ่จะมีเวลาของการสลายตัวอยู่ในช่วง 10^{-16} ถึง 10^{-14} วินาที ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยา $\text{Fe}^{56} (n, \gamma) \text{Fe}^{57}$ ซึ่งรังสีแกมมาจับปล้นที่ออกมาจากปฏิกิริยานี้มีพลังงานหลายค่า แต่ที่เด่นมากคือที่พลังงาน 7.646 กับ 7.632 MeV เป็นต้น นิวไคลด์ใหม่ที่เกิดขึ้นอาจจะเป็นไอโซโทปเสถียรหรือไอโซโทปกัมมันตรังสีก็ได้ ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงการเกิดรังสีแกมมาจับปล้น (Yonezawa, C. and Hoshi, M . 1991)

ตัวอย่างปฏิกิริยาอีกแบบหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุโดยการวัดรังสีแกมมาจับปล้น ได้แก่ ปฏิกิริยา $\text{B}^{10} (n, \alpha) \text{Li}^7$ เกิดเมื่อโบรอนทำปฏิกิริยากับนิวตรอนเทอร์มัล (Thermal neutron) จะได้อนุภาคอัลฟา กับนิวไคลด์ลิเทียมซึ่งอยู่ในสถานะกระตุ้น ดังนั้นนิวไคลด์ลิเทียมจะปลดปล่อยรังสี

แกมมาออกมาอย่างรวดเร็วภายในเวลา 73×10^{-15} วินาที (73 femto second) เพื่อเปลี่ยนจากสถานะกระตุ้น ลงมาสู่สถานะพื้นฐาน (Ground state) ด้วยพลังงาน 0.478 Mev ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 พลังงานของรังสีแกมมาจับพจน์ในปฏิกิริยา $B^{10} (n, \alpha) Li^7$

โปแตสเซียม เป็นธาตุหนึ่งที่เราสามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้โดยวิธีวัดรังสีแกมมาจับพจน์ เมื่อโปแตสเซียม-39 ทำปฏิกิริยากับนิวตรอนเทอร์มัล เกิดปฏิกิริยา $K^{39} (n, \gamma) K^{40}$ ซึ่งให้รังสีแกมมาจับพจน์ที่มีพลังงานหลายค่า ดังแสดงไว้ในตาราง 1 นอกจากนี้นิวไคลด์โปแตสเซียม-40 ที่เกิดขึ้นเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน 1.46 MeV ด้วยค่าครึ่งชีวิตที่ยาวมากประมาณ 1.28×10^9 ปี ทำให้ไม่สะดวกต่อการวิเคราะห์โปแตสเซียมด้วยวิธี INAA

ตาราง 1 แสดงค่าพลังงานรังสีแกมมาจับพลังงานจากปฏิกิริยา $K^{39}(n, \gamma)K^{40}$ บางส่วน
 (Duffey . 1970 : 152.) , (Senftle . 1971 : 430)

ธาตุ	ค่าภาคตัดขวาง (σ , barn)	มวลอะตอม (A , amu)	พลังงาน (MeV)	ความเข้มรังสีแกมมา (I,photon/100 neutrons)	ความไว (σ/A) (sensitivity)
K	2.10	39.102	0.572	01.26	0.068
			0.771	31.23	1.680
			1.159	05.89	0.316
			1.957	02.15	0.115
			2.073	10.26	0.551
			3.547	04.26	0.229
			4.062	01.17	0.063
			5.174	02.49	0.134
			5.380	07.30	0.393
			5.730	01.62	0.088
6.999	02.05	0.110			
7.769	04.54	0.245			

4. อันตรกิริยาของรังสีแกมมา กับสสาร

สามารถแบ่งอันตรกิริยาที่รังสีแกมมากระทำต่อสสารได้เป็น 3 แบบคือ

1. Photoelectric effect อันตรกิริยานี้เกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมมาพลังงานต่ำ ชนกับอะตอมของตัวกลาง แล้วถ่ายทอดพลังงานทั้งหมด ให้แก่อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมด้วยพลังงานจลน์ E_k ดังสมการ

$$E_k = h\nu - W$$

โดยที่ E_k คือ พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากอะตอม
 $h\nu$ คือ พลังงานของรังสีแกมมาที่ชนกับอะตอมของตัวกลาง
 W คือ พลังงานที่ใช้ไปเพื่อให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร

อันตรกิริยาแบบนี้จะเกิดขึ้นได้พลังงานของรังสีแกมมาต้องมากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอม เมื่ออิเล็กตรอนหลุดออกมา จะทำให้เกิดช่องว่างในวงโคจร อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นถัดไปจะเข้ามาแทนที่ทำให้เกิด รังสีเอ็กซ์ ออกมา ปฏิกริยาแบบนี้จะเกิดมากกับตัวกลางที่เป็นธาตุหนัก $Z > 50$

2. Compton scattering อันตรกิริยานี้เกิดเมื่อรังสีแกมมาชนกับอะตอมของตัวกลางแล้วเสียพลังงานส่วนหนึ่งแก่อิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานใหม่ ($h\nu'$) ที่ลดลงจากเดิม และกระเจิงไปในทิศทางที่ต่างจากตอนแรก ส่วนอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานจลน์จากรังสีแกมมา ก็จะหลุดออกจากวงโคจร ด้วยพลังงานจลน์ตามสมการ

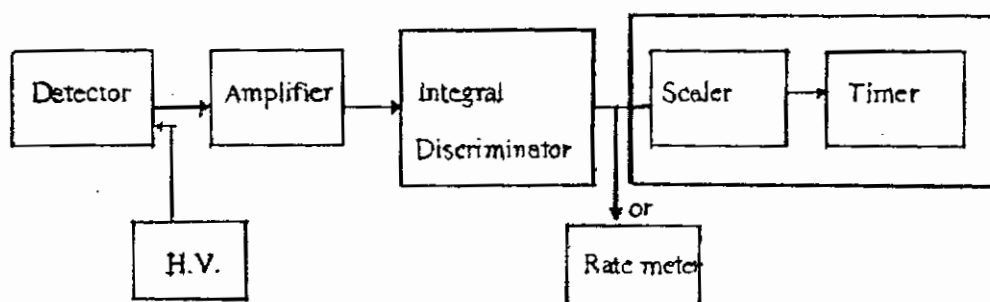
$$E_k = h(\nu - \nu') - W$$

3. Pair production อันตรกิริยานี้เกิดเมื่อรังสีแกมมาพลังงานมากกว่า 1.02 MeV วิ่งผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในนิวเคลียส จะสลายตัวกลายเป็นอนุภาคใหม่ 2 ตัวออกมา คือ อิเล็กตรอน และโพสิตรอน อิเล็กตรอนจะไปก่อให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนแบบทุติยภูมิในสารต่อไป ส่วนโพสิตรอนจะไปรวมกับอิเล็กตรอนอิสระได้โฟตอนพลังงาน 0.511 MeV 2 ตัว วิ่งออกมาในทิศตรงข้ามกัน

5. ระบบการนับรังสี (Counting System)

ระบบการนับรังสีที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไป อาจแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1. ระบบการนับรวม เป็นระบบการนับที่ต้องการทราบเพียงแต่ว่ามีรังสีอยู่หรือไม่ มีปริมาณมากน้อยเพียงใดโดยไม่คำนึงถึงชนิดและพลังงานของรังสีที่วัดอยู่ สำหรับชนิดของรังสีและช่วงพลังงานที่วัดได้ขึ้นอยู่กับชนิดของหัววัดที่นำมาใช้งาน ตัวอย่างของระบบนี้ที่เห็นกันอยู่ทั่วไปคือ survey meter ที่นำมาใช้ตรวจวัดรังสีในห้องปฏิบัติการ ลักษณะของระบบการนับแบบนี้ได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แสดงระบบการนับรวม

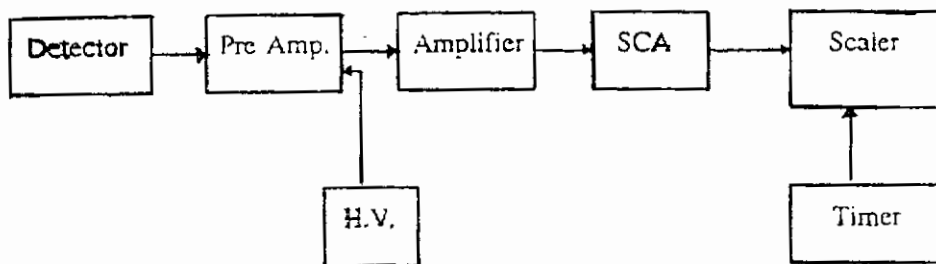
2. ระบบการนับแยกพลังงาน สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบย่อยคือ

2.1. ระบบการนับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียว (SCA) ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังภาพประกอบ 4

เมื่อรังสีแกมมาเข้าทำอันตรกิริยากับหัววัดชนิดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) ทำให้เกิด คู่อิเล็กตรอน - โฮลอิสระ ในผลึกสารกึ่งตัวนำ โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด n และโฮลจะเคลื่อนที่ไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด p ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าตรงรอยต่อ p-n นี้

คู่อิเล็กตรอน - โฮลอิสระที่เกิดขึ้น จะถูกรวบรวมด้วยภาคขยายส่วนหน้า และถูกเปลี่ยนให้เป็นพัลส์ที่มีขนาดต่าง ๆ กัน ซึ่งขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมา ที่เข้าทำอันตรกิริยากับหัววัด หลังจากนั้นพัลส์จะถูกปรับแต่งรูปร่าง และขยายให้มีแอมพลิจูดที่เหมาะสมด้วยภาคขยายหลัก และขนาด

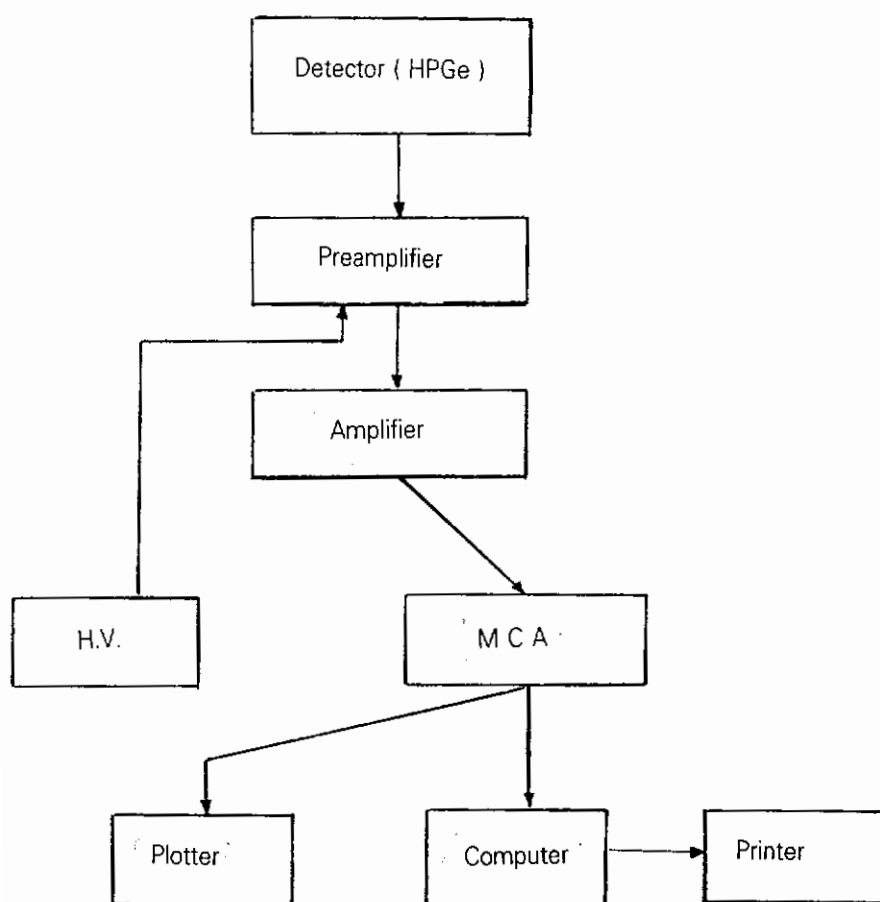
ของแอมพลิฟายด์ของพัลส์จะถูกวิเคราะห์ด้วยวงจรถิศจริมิเนเตอร์และวงจรแอนติโคอินซิเดนซ์ (Anticoincidence) ซึ่งอยู่ในเครื่อง SCA สัญญาณที่ออกมาจาก SCA จะเป็นสัญญาณแบบลอจิก (Logic) สัญญาณนี้จะถูกนำเข้าสู่เครื่องนับเพื่อทำการนับสัญญาณแล้วแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข



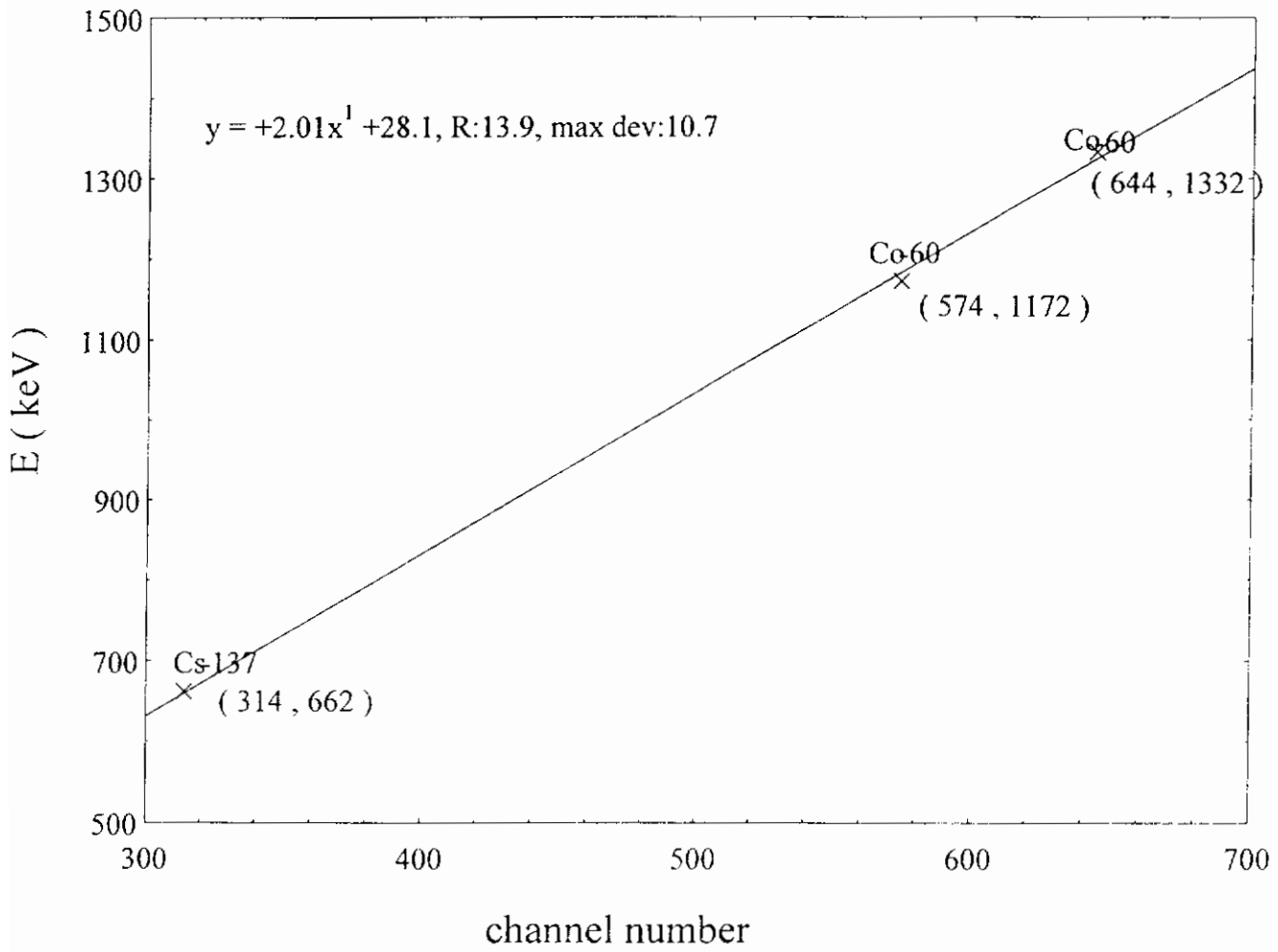
ภาพประกอบ 4 แสดงระบบการนับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดียว

2.2. ระบบการนับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (MCA) ระบบการนับนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังภาพประกอบ 5 มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับระบบการนับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียว แต่จะสะดวกกว่าเพราะการวิเคราะห์พัลส์ที่มาจากภาคขยายหลักจะทำแบบอัตโนมัติในเครื่อง MCA สัญญาณที่ผ่านการวิเคราะห์มาแล้วจะถูกแสดงผลบนจอภาพ โดยที่แกนนอนจะแสดงตำแหน่งของหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลมีชื่อเรียกว่าหมายเลขช่อง หรือ channel number ส่วนแนวตั้งจะแทนข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่งความจำนั้น ๆ มีชื่อเรียกว่า อัตราการนับ (Count rate)

ระบบในการนับแยกพลังงาน จำเป็นต้องมีการปรับเทียบค่าของพลังงานก่อนเพื่อที่จะทราบว่าที่หมายเลขช่องใดมีค่าพลังงานเท่ากับเท่าไร วิธีการปรับเทียบทำได้โดยนำสารมาตรฐานที่รู้ค่าพลังงานที่แน่นอนอย่างน้อย 2 ค่ามาทำการวัดสเปกตรัมหาตำแหน่งของยอดพีค แล้วนำค่าพลังงานของสารมาตรฐานและหมายเลขช่องของตำแหน่งที่เป็นยอดพีคที่ได้มาเขียนกราฟจะได้กราฟเส้นตรง ดังภาพประกอบ 6



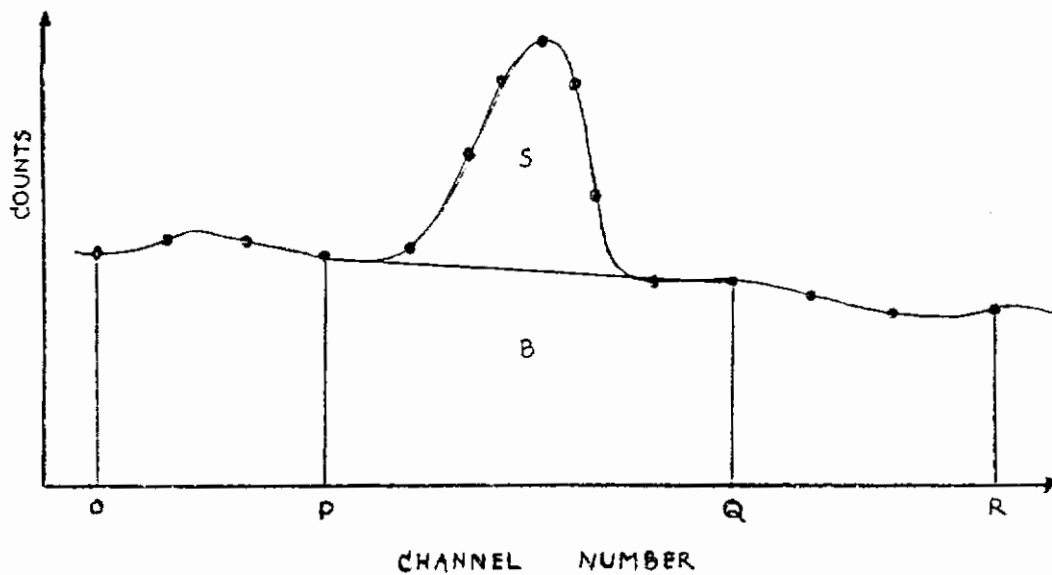
ภาพประกอบ 5 แสดงระบบการนับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง



ภาพประกอบ 6 แสดงเส้นปรับเทียบพลังงาน

6. การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับสุทธิต

สำหรับปริมาณของรังสีที่วิ่งเข้าชนหัววัด หาได้จากพื้นที่สุทธิใต้พีค (S) ซึ่งคำนวณได้ดังนี้



ภาพประกอบ 7 แสดงจำนวนนับ และหมายเลขช่อง

พิจารณาจากภาพประกอบ 7 จะได้ว่า

$$T = S + B \dots \dots \dots (6.1)$$

- เมื่อ S คือจำนวนนับสุทธิภายใต้พีค มีหน่วยเป็น จำนวนนับ ต่อ เวลา
 T คือจำนวนนับทั้งหมดภายใต้พีค มีหน่วยเป็น จำนวนนับ ต่อ เวลา
 หากจากผลรวมของจำนวนนับในหมายเลขช่องตั้งแต่ P ถึง Q ดังภาพประกอบ 7
 B คือจำนวนนับของภูมิหลังภายใต้พีค มีหน่วยเป็น จำนวนนับ ต่อ เวลา
 หาได้จากสมการ

$$B = \frac{m}{n} (B_L + B_R) \dots \dots \dots (6.2)$$

โดยที่

- m คือจำนวนของหมายเลขช่องตั้งแต่ P ถึง Q เช่น ในภาพประกอบ 7 จะมี m เท่ากับ 9 ช่อง
- n คือจำนวนของหมายเลขช่องตั้งแต่ O ถึง P และ Q ถึง R ซึ่งจำนวนของหมายเลขช่องระหว่าง O ถึง P และ Q ถึง R ต้องมีจำนวนเท่ากัน
- B_L คือผลรวมของจำนวนนับภูมิหลังของหมายเลขช่อง O จนถึงช่อง P
- B_R คือผลรวมของจำนวนนับภูมิหลังของหมายเลขช่อง Q จนถึง R

การวัดสารรังสีทางนิวเคลียร์ จำนวนนับสุทธิของสารรังสีได้จากจำนวนนับของสารรังสีทั้งหมดลบด้วยจำนวนนับของภูมิหลัง ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับจำนวนนับสุทธิตามหลักทางสถิติมีค่าดังสมการ

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_B^2} \dots \dots \dots (6.3)$$

โดยที่ σ_T คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับสารรังสีทั้งหมด

σ_B คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับภูมิหลัง

ค่า m และ n ในสมการ (6.2) เป็นจำนวนหมายเลขช่องซึ่งเป็นค่าคงที่

$$\text{ดังนั้น} \quad \sigma_B = \frac{m}{n} \sqrt{B_L + B_R} \dots \dots \dots (6.4)$$

และจากสมการ (6.2) จะได้ว่า $B_L + B_R = \frac{n}{m} B$ แทนในสมการ (6.4)

$$\sigma_B = \frac{m}{n} \sqrt{\frac{n}{m} B}$$

$$\sigma_B = \sqrt{B \frac{m}{n}}$$

$$\sigma_B^2 = \frac{m}{n} B$$

นำค่า σ_B^2 ที่ได้แทนในสมการ (6.3) จะได้ว่า

$$\sigma_s = \sqrt{T + \frac{m}{n} B}$$

และแทนค่า T ตามสมการ (6.1) จะได้ว่า

$$\sigma_s = \sqrt{S + B + \frac{m}{n} B}$$

เพราะฉะนั้น

$$\sigma_s = \sqrt{S + B(1 + \frac{m}{n})} \dots\dots\dots(6.6.)$$

ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับสารรังสีสุทธิ

7. การจัดระบบการทดลองสำหรับการวัดรังสีแกมมาจับปล้น

การวัดรังสีแกมมาจับปล้นที่เกิดขึ้นสามารถนำมาวิเคราะห์ธาตุที่สนใจ ในสารตัวอย่างได้โดยที่การวัดรังสีแกมมาจับปล้นจะต้องวัดขณะที่สารตัวอย่างกำลังอบนิวตรอน ดังนั้นการจัดระบบการทดลองสำหรับการวัดรังสีแกมมาจับปล้นจึงจำเป็นต้องจัดให้ห้วัดสามารถวัดรังสีแกมมาที่เกิดขึ้นได้ทันทีซึ่งสามารถจัดระบบการทดลองได้ 2 แบบ ตามลักษณะการวาง ต้นกำเนิดนิวตรอน หัววัดรังสีแกมมาและสารตัวอย่าง คือ

7.1. เป้าหรือสารตัวอย่างวางใกล้ต้นกำเนิดนิวตรอนแต่ไกลหัววัด(Internal target geometry) ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือ ตำแหน่งสารตัวอย่างจะได้รับฟลักซ์นิวตรอนสูงโอกาสที่เกิดรังสีแกมมาจับปล้นก็มาก แต่โอกาสที่จะวัดรังสีแกมมาจับปล้นของหัววัดไม่ตึ้นัก เพราะอยู่ไกล

7.2. เป้าหรือสารตัวอย่างวางห่างต้นกำเนิดนิวตรอนแต่อยู่ใกล้หัววัด (External target geometry) ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือหัววัดมีโอกาสที่จะวัดรังสีแกมมาจับปล้นได้มาก แต่สารตัวอย่างจะได้รับฟลักซ์นิวตรอนต่ำโอกาสที่เกิดรังสีแกมมาจับปล้นก็น้อย

8. การวัดรังสีแกมมาจับปล้น

เมื่อวัดรังสีแกมมาจับปล้นด้วยหัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำ จำนวนนับของรังสีแกมมาจับปล้นภายใต้โฟโตพีค (Photopeak) ที่สนใจเป็นไปตามสมการ

$$C = IN\sigma\phi\epsilon T \dots\dots\dots (8.1)$$

- เมื่อ
- C คือจำนวนนับของรังสีแกมมาจับปล้นภายใต้โฟโตพีคที่สนใจ
 - I คือจำนวนรังสีแกมมาจับปล้นที่พลังงานที่สนใจที่ออกมาต่อการจับนิวตรอน 1 ครั้งในแต่ละปฏิกิริยา
 - E คือประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแกมมาที่พลังงานของรังสีแกมมาที่สนใจ
 - N คือจำนวนอะตอมของสารตัวอย่าง
 - ϕ คือฟลักซ์นิวตรอน ($n.cm^{-2}.s^{-1}$)
 - σ คือภาคตัดขวางการจับกุมนิวตรอนของปฏิกิริยานิวเคลียร์นั้น (barns)
 - T เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการวัดสารตัวอย่าง

9. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่สนใจในสารตัวอย่างสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

9.1 วิธีสัมบูรณ์ (Absolute method) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาในสารตัวอย่าง กับจำนวนนับของรังสีแกมมาจับปล้นภายใต้โฟโตพีคที่สนใจที่วัดได้ดังสมการ

$$C/ITE = N\sigma\phi \dots\dots\dots (9.1)$$

และจากสมการ (9.1) สามารถหาปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างได้จาก

$$N = C / (I T \sigma \phi \epsilon) \dots\dots\dots (9.2)$$

เนื่องจาก N มีหน่วยเป็นจำนวนอะตอม ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยกรัมได้ดังนี้คือ

$$M = \frac{N \times A}{N_A}$$

โดยที่ M คือมวลของสารตัวอย่างมีหน่วยเป็นกรัม

N คือจำนวนอะตอมของสารตัวอย่าง

N_A คือเลขอะโวกาโดร (Avogadro number) มีค่าเท่ากับ 6.0225×10^{23} อะตอม

A คือมวลอะตอมของธาตุที่สนใจในสารตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกรัม

9.2.วิธีการเปรียบเทียบ (Comparative method) ทำโดยการเปรียบเทียบปริมาณธาตุของสารตัวอย่างกับปริมาณธาตุของสารมาตรฐานซึ่งทราบปริมาณธาตุที่แน่นอน สามารถเขียนสมการสำหรับการคำนวณปริมาณธาตุของสารตัวอย่างด้วยการเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุของสารมาตรฐานได้ดังนี้

$$X = S \frac{M_S C_X}{M_X C_S} \dots\dots\dots(9.3)$$

เมื่อ	X	คือปริมาณที่ต้องการทราบของธาตุที่สนใจในสารตัวอย่าง (% หรือ ppm)
	S	คือปริมาณของธาตุที่สนใจในสารมาตรฐาน (% หรือ ppm)
	M_S	คือมวลของสารมาตรฐาน (g)
	M_X	คือมวลของสารตัวอย่าง (g)
	C_S	คือจำนวนนับของธาตุที่สนใจที่วัดได้จากสารมาตรฐาน (counts / sec)
	C_X	คือจำนวนนับของธาตุที่สนใจที่วัดได้จากสารตัวอย่าง (counts / sec)

10. การหาขีดจำกัดของการวัด (Detection Limit)

ขีดจำกัดของการวัด ในที่นี้หมายถึงค่าปริมาณสารหรือธาตุที่น้อยที่สุดที่ระบบการวัดสามารถวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่นระดับหนึ่ง มีหน่วยเป็น % , ppm หรือจำนวนนับ

การหาค่าขีดจำกัดของการวัดอาจหาได้หลายวิธีทั้งโดยการกำหนดค่าและการคำนวณ(Currie. 1968 : 586-593) ในที่นี้จะหาค่าขีดจำกัดของการวัด (L_D) 3 วิธีด้วยกันคือ

1.กำหนดค่าขีดจำกัดของการวัด เท่ากับสองเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับสุทธิ (σ_s)

$$L_D = 2\sigma_s \dots\dots\dots(10.1)$$

2.การกำหนดค่าขีดจำกัดของการวัด เท่ากับสองเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับ
ภูมิหลัง (σ_B) $L_D = 2\sigma_B$ (10.2)

3.คำนวณจากสมการ

$$L_D = k^2 + 2L_C \text{(10.3.)}$$

เมื่อ L_D คือค่าขีดจำกัดของการวัดที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

k คือค่าคงที่เท่ากับ 1.645

L_C คือ Decision limit ซึ่งมีค่าเท่ากับ $k\sigma$

σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับสุทธิภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดว่า σ เป็นค่า
คงที่ไม่ขึ้นกับจำนวนนับสุทธิ

จาก
$$\sigma_s^2 = \sigma_T^2 + \sigma_B^2$$

ถ้าประมาณว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่ขึ้นกับจำนวนนับสุทธิอาจเขียนได้ว่า

$$\sigma^2 = 2\sigma_B^2$$

$$\sigma = 1.414\sigma_B$$

แทนค่า k และ L_C ลงในสมการ (10.3.) จะได้

$$L_D = 2.71 + 4.65\sigma_B \text{(10.4.)}$$

ค่า L_D ที่ได้จากวิธีทั้งสามนี้มีหน่วยเป็น จำนวนนับต่อเวลา ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้เป็น
หน่วยอื่น ๆ ได้ เช่น % , gm หรือ ppm เป็นต้น สำหรับในงานวิจัยนี้จะเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วย
เปอร์เซ็นต์ ทำได้โดยนำค่า L_D ต่อมวล 1 กรัม มาเทียบสัดส่วนกับค่าความชื้นของเส้นปรับเทียบมาตร
ฐานที่สร้างขึ้น ซึ่งค่าความชื้นมีหน่วยเป็น จำนวนนับ / เวลา / กรัม / เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเทียบ
สัดส่วนกันแล้วค่า L_D ที่ได้จะมีหน่วยเป็น %

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไอเซนฮาวร์ และมอร์ริสัน (Isenhour and Morrison. 1966 : 162) ร่วมกันสร้างชุดเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิธีวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาฉบับพลันโดยเฉพาะ จากชุดเครื่องมือนี้สามารถวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ได้ถึง 51 ธาตุ ตัวอย่างเช่น B , C , P , Al และ Ag เป็นต้น

โคมาร์ (Comar. 1969 : 344) ได้นำวิธีวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาฉบับพลันไปวิเคราะห์สารตัวอย่างทางชีวภาพ เช่น เลือด กระดูก และเส้นผม ปรากฏว่าสามารถวิเคราะห์ธาตุ H , B , Cl , Na , S และ P ที่ประกอบอยู่ในสารตัวอย่างเหล่านี้ได้

ฟายเลย์ แอนเดอร์สัน ไชลเลอร์และกอร์ดอน (Failey , Anderson , Zoller and Gordon . 1979 : 2209) ทำการวิเคราะห์ธาตุในสารตัวอย่างพวก ถ่านหิน และสารมาตรฐานของ NBS ด้วยวิธีวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาฉบับพลันจากการอาบนิวตรอน (PGNA) ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาจากการอาบนิวตรอน (INAA) โดยมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ใช้สำหรับงานวิจัยของ NBS กำลัง 10 เมกะวัตต์ เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน ใช้หัววัด Ge (li) เป็นเครื่องวัดรังสีแกมมา การทำงานร่วมกันสองวิธีนี้ สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ 21 ธาตุในสารตัวอย่าง ซึ่งธาตุที่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธี INAA ได้คือ Na , Mg , Al , S , Cl , K , Ca , Ti , Mn , Fe , Nd และ Sm ส่วนธาตุที่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธี PGNA ได้คือ H , B , C , N , Na , Mg , Al , Si , P , Cl , K , Ca , Ti , V , Mn , Fe , Cd , Nd , Sm และ Gd ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่าง ๆ ของงานวิจัยนี้สามารถวิเคราะห์ปริมาณธาตุได้ต่ำสุดในช่วง 3.1×10^{-5} - 37 มิลลิกรัมต่อกรัม

แฮสสัน แกนท์เนอร์ เมนคา รุฟ คูณและโมสตาฟา (Hassan , Gantner , Mainka , Ruf , Kuhnes and Mostafa 1982) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโบรอน คลอรีน และฟอสฟอรัส ในสารประกอบที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมการทำแก้ว และอุตสาหกรรมการทำน้ำดื่ม ด้วยวิธีวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาฉบับพลันจากการอาบนิวตรอน (PGNA) ใช้หัววัด Ge (Li) เป็นเครื่องวัดรังสีแกมมา มี Cf^{252} เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน ปริมาณธาตุโบรอน คลอรีน และฟอสฟอรัส ที่วิเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้ นำไปเปรียบเทียบกับค่าทางกระทรวงอุตสาหกรรม ปรากฏว่าได้ผลที่สอดคล้องกัน สาร 54 มาตรฐานที่ใช้สร้างเส้นเทียบมาตรฐาน (Calibration curve) เพื่อหาปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง คือ โบรอนคาร์ไบด์ (B_4C) ผสมกับทรายบริสุทธิ์ แคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$) ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปริมาณธาตุได้ต่ำสุดในช่วง 0.005 - 30 % โดยน้ำหนัก

มาทซึโมโต และอาอิซาวา (Matsumoto and Aizawa, 1990 : 897) ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโบรอนในสารทางชีวภาพ เพื่อประโยชน์ในการรักษาโรคมะเร็งด้วยการวัดรังสีแกมมาจําบพลังานจากการอาบนิวตรอน (PGNAA) ใช้หัววัด Ge (Li) เป็นเครื่องวัดรังสีแกมมา มีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ TRIGA - 2 กำลัง 100 กิโลวัตต์ เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน สารทางชีวภาพที่ใช้เป็นสารตัวอย่างได้แก่ เนื้ออก เนื้อเยื่ออ่อน เลือดและเนื้อเยื่อเจริญ นำมาหาปริมาณธาตุโบรอนด้วยการเปรียบเทียบกับกราฟที่สร้างมาโดยการวัดสารมาตรฐานด้วยวิธี PGNAA สารมาตรฐานที่ใช้คือ ไฮโดรเจนโบรเมตผสมกับน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้นของโบรอนเท่ากับ 2 - 20 ppm โดยปริมาตร ปริมาตรที่ใช้มีค่า 0.1 , 0.3 , 0.64 และ 1 cm³ ความสามารถในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโบรอนต่ำสุดของงานวิจัยนี้อยู่ในช่วง 2.5 - 46 ppm โดยปริมาตร

วันชัย ธรรมวานิช ชาญชัย อัครวินิจกุลชัย ปรีวรุต เสียงสนั่น และสมพร จงศ์คำ (วันชัย ธรรมวานิช และคนอื่น ๆ . 2535 : 192 - 206) ได้ทำการวิเคราะห์ธาตุโบรอนในสารมาตรฐานที่เป็นสารละลาย และเป็นผงโดยวิธีวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาจําบพลังานจากการอาบนิวตรอนเปรียบเทียบกับวิธีการดูคลื่นรังสีนิวตรอนโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน Pu²³⁹ - Be กัมมันตภาพรังสี 300 มิลลิวินาที ผลการทดลองพบว่าลักษณะทางกายภาพของสารมาตรฐานที่นำมาวัดไม่มีผลต่อการวัดและวิธีวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาจําบพลังานจากการอาบนิวตรอนจะมีความไวในการวิเคราะห์โบรอนได้ดีกว่า พร้อมทั้งมีความสามารถวิเคราะห์ปริมาณโบรอนได้ต่ำสุดถึงร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ได้ทำการประยุกต์วิธีการดังกล่าวในการหาความเป็นเนื้อเดียวในสารผสม คาร์บอน โบรอน และซิลิกอนคาร์ไบด์ ได้ทดลองวิเคราะห์ผงซีกฟอกพบว่าปริมาณโบรอนร้อยละ 0.24 โดยน้ำหนัก

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

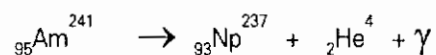
วัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ในงานวิจัย มีดังนี้คือ

1. ต้นกำเนิดนิวตรอน Am-Be ความแรง 5 คูรี
2. หัววัดรังสีแกมมาแบบ HPGe
3. เครื่องมือวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา
4. ชุดระบบกำบังรังสี
5. ผงแป้ง
6. โปแตสเซียมคาร์บอเนต ใช้เป็นสารตัวอย่าง
7. โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ใช้เป็นสารทดสอบ

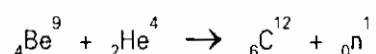
ซึ่งวัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ต้นกำเนิดนิวตรอน (Source)

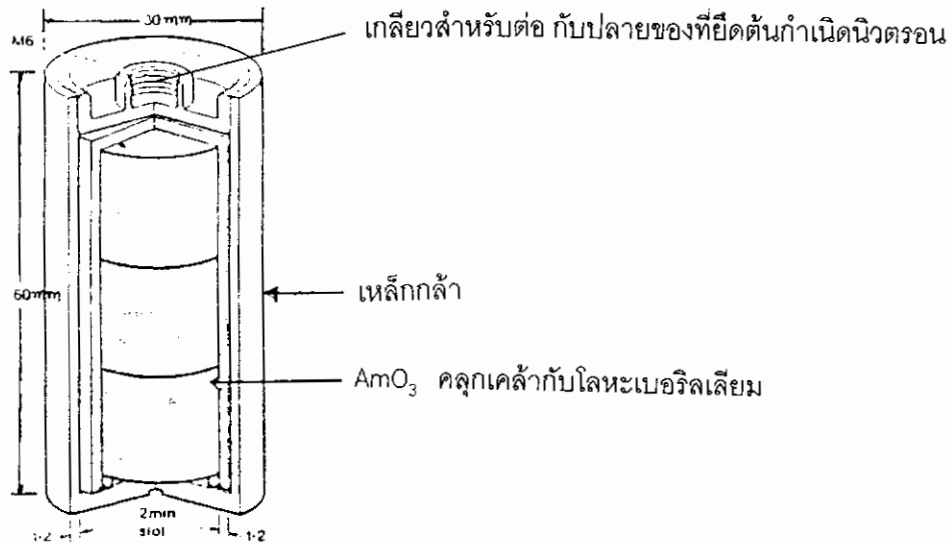
ต้นกำเนิด Am-Be มีความแรง 5 คูรี เป็นต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทปแกมมันตรังสี (Radioisotope) ให้นิวตรอนออกมา 1.1×10^7 นิวตรอน / วินาที โดย Am^{241} เป็นธาตุแกมมันตรังสี สลายตัวให้อนุภาคอัลฟาตั้งสมการ



อนุภาคอัลฟาที่ได้จากการสลายตัวของ Am^{241} จะเข้าทำปฏิกิริยากับ Be^9 ให้นิวตรอนที่มีพลังงานโดยเฉลี่ย 4.46 MeV ตามสมการ

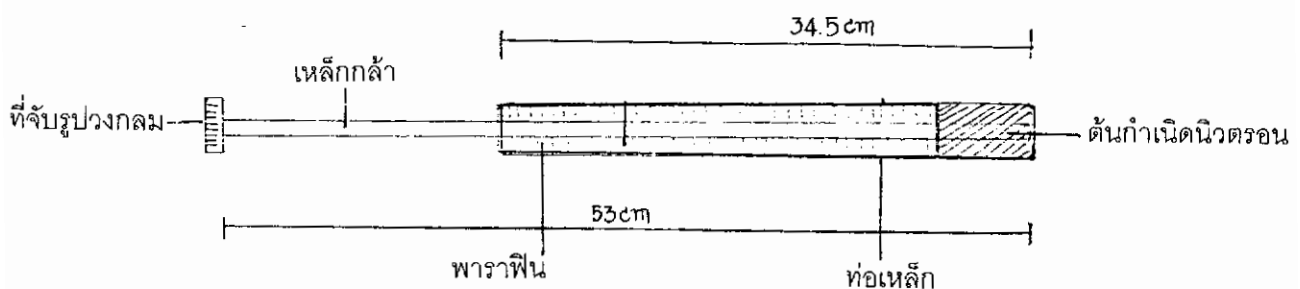


ต้นกำเนิดนิวตรอน Am-Be มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ภายในเป็นสารประกอบ AmO_3 คลุกเคล้ากับโลหะเบอริลเลียม แล้วห่อหุ้มด้วยเหล็กกล้าหนา 2.4 มิลลิเมตร ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 รายละเอียดของต้นกำเนิดนิวตรอน Am-Be ขนาด 5 คูรี (Lorch . 1972 : 64)

จากภาพประกอบ 8 บริเวณด้านบนของเหล็กกล้าที่ห่อหุ้มสารกัมมันตรังสี มีเกลียวสำหรับต่อกับปลายของที่ยึดต้นกำเนิดนิวตรอน (Source holder) ที่มีลักษณะเป็นเกลียวเข้าคู่กันได้ ที่ยึดต้นกำเนิดนิวตรอนประกอบด้วย ท่อเหล็กกลวงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ตรงกลางท่อเป็นแท่งเหล็กกล้า เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.81 เซนติเมตร ยาว 47 เซนติเมตร ตรงปลายด้านหนึ่งเป็นเกลียวสำหรับยึดต้นกำเนิดนิวตรอน ปลายอีกด้านหนึ่งทำเป็นที่จับรูปวงกลม ภายในท่อเหล็กบรรจุพาราฟินไว้เต็มเพื่อป้องกันอันตรายจากนิวตรอน ในขณะที่ทำการย้ายต้นกำเนิดมายังชุดกำบังรังสี มีลักษณะตามภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 แสดงลักษณะของที่ยึดต้นกำเนิดนิวตรอน

2. หัววัดรังสีแกมมาแบบ HPGe

เป็นหัววัดรังสีแกมมาชนิดสารกึ่งตัวนำแบบขนาน ขนาด 84.4 ลูกบาศก์เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 46.5 มิลลิเมตร ความยาว 52 มิลลิเมตร มีกำลังแยกพลังงาน (Resolution) ของ Co^{60} ที่พลังงาน 1.33 MeV เท่ากับ 2.0 keV หัววัดแบบนี้ทำขึ้นโดยนำแท่งผลึกเจอร์มาเนียมชนิดพี ที่มีคุณภาพสูงมาก เชื่อมกับลิเทียมชนิดเอ็น เป็นผลึกเดียวกัน ทำให้เกิดเป็นรอยต่อพี - เอ็น (p-n junction) หลังจากนั้นก็ให้ศักย์ไฟฟ้าแบบกลับ ทำให้สนามไฟฟ้าบริเวณรอยต่อมีค่าสูงมาก ๆ เพื่อให้อะตอมของลิเทียมจากส่วนนอกของผลึกเคลื่อนที่ (Drift) ผ่านเข้าไปที่ผลึกเจอร์มาเนียมชนิดพี ซึ่งอยู่แกนกลางได้ ทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างอิเล็กตรอนอิสระของลิเทียม กับโฮลอิสระของเจอร์มาเนียม ซึ่งทำให้เกิดบริเวณที่ไม่เป็นตัวนำขึ้น เรียกว่า Intrinsic Region ซึ่งเป็นส่วนที่มีความไวต่อรังสีตกกระทบ เมื่อรังสีแกมมาเข้ามากระทบหัววัดจะทำให้บริเวณนี้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลอิสระขึ้น อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปยังลิเทียมที่เป็นชนิดเอ็น ซึ่งต่อกับขั้วบวก ส่วนโฮลจะเคลื่อนที่ไปยังเจอร์มาเนียมที่เป็นชนิดพี ซึ่งต่อกับขั้วลบ ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นบริเวณรอยต่อนี้ ซึ่งส่งต่อไปยังเครื่องขยาย ขนาดของสัญญาณแบบพัลส์ที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนคู่อิเล็กตรอนและโฮลอิสระ ดังนั้นพลังงานของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัดจึงเป็นสัดส่วนกับขนาดของพัลส์ที่เกิดขึ้น

แต่หัววัดแบบนี้เวลาใช้งานต้องแช่อยู่ที่อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว (-196°C) เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความร้อน หัววัดหุ้มด้วยแผ่นลิเทียมเพื่อป้องกันนิวตรอน และรอบ ๆ หัววัดยังมีแท่งตะกั่ววางไว้โดยรอบอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันรังสีแกมมาจากภายนอกไม่ให้เข้าไปในหัววัด

3. เครื่องมือวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา ประกอบด้วย

1. แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง (Canberra 4261A)

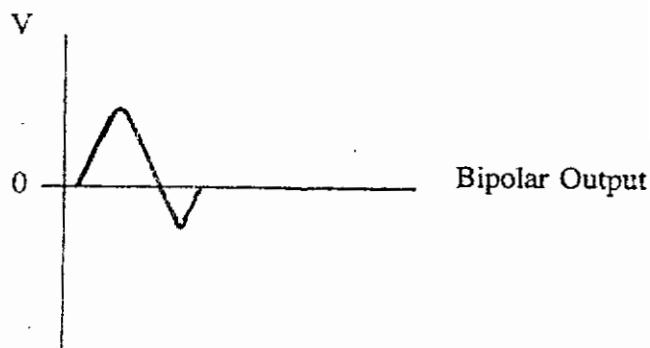
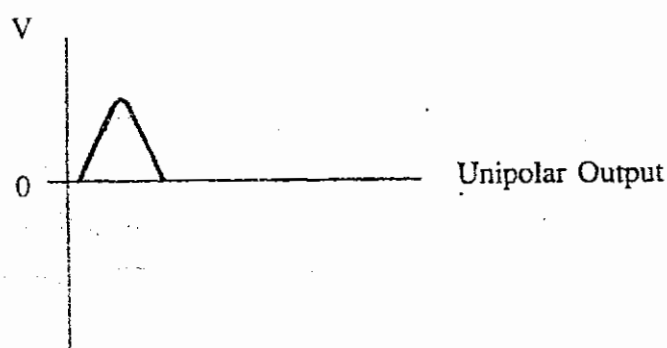
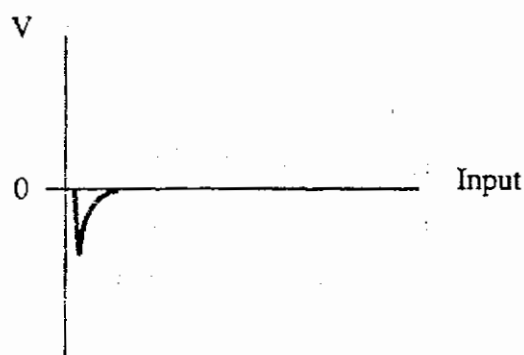
ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ 0 - 5000 โวลต์ ให้กระแสไฟฟ้าในช่วง 0 - 100 ไมโครแอมแปร์ และมีเสถียรภาพในการรักษาศักดาไฟฟ้าทางเอาต์พุตให้คงที่ โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม หรือการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าในสาย 220 โวลต์

2. ภาคขยายส่วนหน้า (Canberra J110)

ทำหน้าที่รวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดรังสี แล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแบบพัลส์ (Pulse) ที่มีขนาดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประจุ

3. ภาคขยายหลัก (Canberra J225)

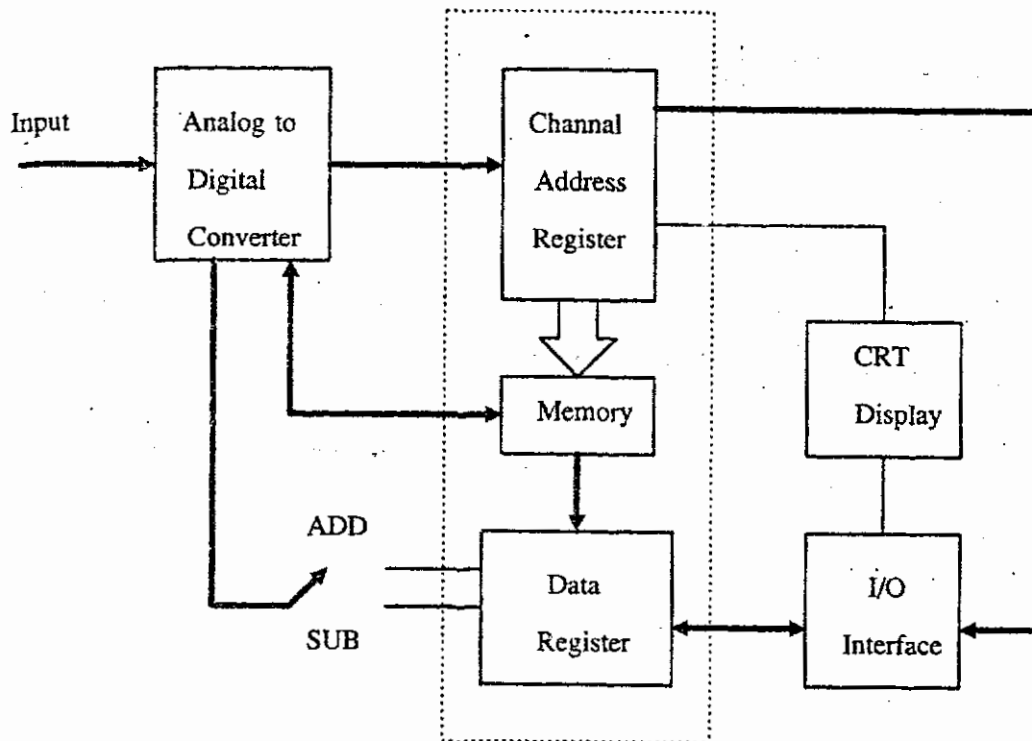
เป็นส่วนที่รับสัญญาณจากภาคขยายส่วนหน้า แล้วนำมาปรับแต่งรูปของสัญญาณพร้อมกับขยายขนาดของสัญญาณให้เหมาะสมกับการนำไปวิเคราะห์ความสูง การขยายขนาดของสัญญาณสามารถทำได้โดยการปรับขยายด้วยค่าหยาบ ๆ (Coarse gain) เป็นขั้น ๆ แต่ละขั้นมีการปรับขยายค่าละเอียด (Fine gain) เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของความสูงของสัญญาณเป็นแบบเชิงเส้น ต่อเนื่องกันเอาท์พุทที่ได้จากภาคขยายหลักจะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ Unipolar และ Bipolar ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 11 รูปร่างของสัญญาณทั้งสองนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการปรับค่า Shaping time constant



ภาพประกอบ 10 แสดงลักษณะของอินพุทก่อนเข้าภาคขยายหลัก และเอาท์พุทที่เกิดขึ้น

4. เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Canberra Series 35 PLUS)

เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บข้อมูลจำนวนนับของอนุภาคที่ระดับพลังงานต่าง ๆ ซึ่งวิ่งเข้ามากระทบหัววัดได้อย่างอัตโนมัติ ส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่องได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง

เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่อินพุทของ Analog to Digital Converter หรือ ADC ความสูงของสัญญาณจะถูกตรวจจับด้วยวงจรภายใน และถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งจะเป็นตัวระบุตำแหน่ง (Address) การเก็บข้อมูลในหน่วยความจำ สัญญาณนี้จะถูกส่งต่อไปยัง Channel address register ซึ่งจะทำหน้าที่เลือกตำแหน่งในหน่วยความจำ เพื่อให้ภาคบันทึกข้อมูล (Data register) ทำการบันทึกจำนวนครั้งของสัญญาณที่เกิดขึ้นครั้งละ 1 หน่วยนับ ข้อมูลที่มีอยู่ในหน่วยความจำจะถูกส่งออกไปแสดงผลบนจอภาพตลอดเวลาที่เครื่องทำงานอยู่ เมื่อเครื่องหยุดทำงานข้อมูลจะส่งออกไปแสดงผลบนเครื่องพิมพ์หรืออุปกรณ์อื่น ผ่านทาง I/O interface

ในช่วงเวลาที่เครื่องทำงาน ตั้งแต่รับสัญญาณเปลี่ยนความสูงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จนกระทั่งเก็บข้อมูล ถ้ามีสัญญาณใหม่เข้ามาที่อินพุทในช่วงเวลานี้ เครื่องจะไม่ยอมรับสัญญาณนั้น เครื่องจะยอมรับสัญญาณเข้ามาใหม่ก็ต่อเมื่อ การบันทึกข้อมูลของสัญญาณก่อนหน้านั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว

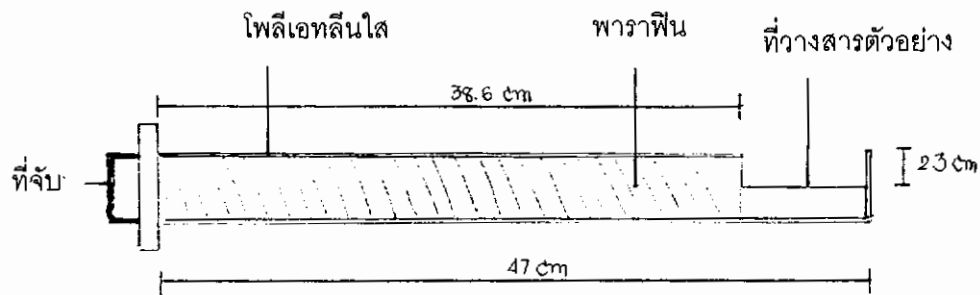
5. เครื่องคอมพิวเตอร์ (COMPAQ PROLINEA 4 / 33S)

ใช้สำหรับแสดงผลของข้อมูลที่ส่งจากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่องผ่านมาทาง I / O interface ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีคำสั่งเหมือนกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง สามารถใช้บันทึกข้อมูลแทนเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่องได้ ข้อมูลที่บันทึกได้จะถูกเก็บไว้ในแผ่นดิสก์ และสามารถเรียกมาแสดงที่ จอภาพของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณได้

4. ชุดระบบกำบังรังสี

ประกอบด้วยถังโลหะสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 90×90×90 ลูกบาศก์เซนติเมตร มุมฐานล่างทั้งสี่มีล้อติดอยู่เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ภายในหล่อด้วย พาราฟินผสมกับ B_2O_3 5 % บริเวณตรงกลางด้านบน ด้านหน้า และด้านหลังถัง มีรูทะลุเข้าไปภายในถังโลหะ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เซนติเมตร 7.6 เซนติเมตร และ 5.4 เซนติเมตร ตามลำดับ รูทั้งสามจะพบกันบริเวณช่องว่างที่อยู่ตรงกลางภายในถังพอดี รูด้านบนเจาะไว้สำหรับใส่ท่อสแตนเลสเพื่อไว้ใส่ต้นกำเนิดนิวตรอน รูด้านหน้าเจาะไว้เพื่อให้รังสีแกมมา ที่เกิดมาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์เข้าสู่หัววัดที่วางอยู่บริเวณปลายรูได้ รูด้านหลังนี้เจาะไว้สำหรับใส่สารตัวอย่าง นำสารตัวอย่างที่ต้องการวัดสอดเข้าไปภายใน เพื่ออานิวตรอนจากต้นกำเนิดได้สะดวกและปลอดภัย ดังภาพประกอบ 13

ภาชนะที่ใส่สารตัวอย่างเป็นท่อโพลีเอทิลีนใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.4 เซนติเมตร ยาว 47 เซนติเมตร ปลายด้านหนึ่งเป็นที่จับทำด้วยโลหะ อีกด้านหนึ่งทำเป็นที่วางภาชนะใส่สารตัวอย่าง ภายในท่อหล่อด้วยพาราฟิน มีลักษณะดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แสดงลักษณะที่วางภาชนะใส่สารตัวอย่าง

5. ผงแป้ง

ใช้เป็นส่วนผสมกับสารตัวอย่าง เพื่อให้สารตัวอย่างมีความเข้มข้นของโปแตสเซียมหลาย ๆ ค่าและใช้สำหรับวัดค่ากัมมันต์ มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ ซึ่งไม่มีผลต่อการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาจับพลังงานของ โปแตสเซียมที่มาจากปฏิกิริยา $K^{39} (n, \gamma) K^{40}$

6. โปแตสเซียมคาร์บอเนต

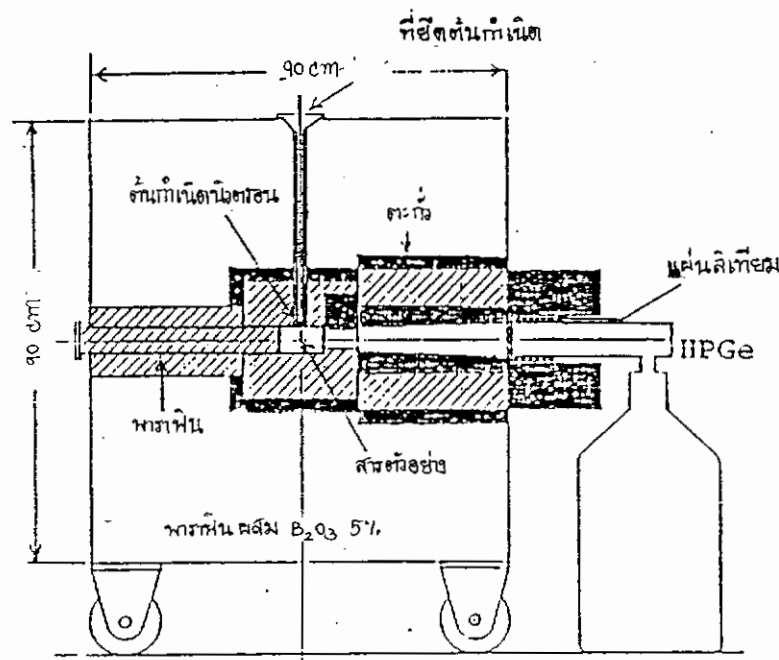
ใช้เป็นสารตัวอย่าง มีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด มีสูตรโมเลกุล K_2CO_3 ซึ่งมีโปแตสเซียมคิดเป็นปริมาณ 56.58 %

7. โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต

ใช้เป็นสารทดสอบความแม่นยำของเส้นปรับเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้น มีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด มีสูตรโมเลกุล KH_2PO_4 ซึ่งมีโปแตสเซียมคิดเป็นปริมาณ 28.73 %

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. เตรียมชุดทดลองสำหรับวัดรังสีแกมมาจับปล้น โดยใช้อุปกรณ์ที่ภาควิชาฟิสิกส์ จัดอุปกรณ์เป็นแบบ internal target geometry คือวางสารตัวอย่างใกล้ต้นกำเนิดนิวตรอน แต่ไกลหัววัดรังสีตั้งในภาพประกอบ 13 ให้ระยะห่างระหว่างสารตัวอย่างกับหัววัดรังสีมีค่าคงที่ ทำการทดลองวัดรังสีแกมมาจับปล้น เมื่อต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ห่างจากสารตัวอย่างเป็นระยะต่าง ๆ กัน เพื่อเลือกระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนและสารตัวอย่างที่ให้ค่าจำนวนนับสุทธิของพื้นที่ได้พอดี ต่อจำนวนนับภูมิหลังมีค่ามากที่สุด (Optimum condition)



ภาพประกอบ 13 แสดงการจัดชุดการทดลอง

2. การเตรียมสารตัวอย่าง

สารตัวอย่างในที่นี้ คือ สารมาตรฐานที่ได้จากสารประกอบโปแตสเซียมคาร์บอเนต ผสมกับผงแป้ง ให้มีปริมาณของโปแตสเซียมต่าง ๆ กัน มวลของสารตัวอย่างประมาณ 80 กรัม ทำการผสมสารตัวอย่าง 2 วิธี คือ

2.1. ผสมโปแตสเซียมคาร์บอเนตกับผงแป้ง ในภาชนะให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง โดยมีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 0 % , 21.038 % , 27.922 % , 35.195 % , 42.780 % และ 49.950 %

2.2. ผสมโปแตสเซียมคาร์บอเนตกับผงแป้งลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรง โดยมีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 0 % , 21.281 % , 28.063 % , 35.355 % , 42.420 % , และ 56.580 %

3. ทำการทดลองและสร้างเส้นเทียบมาตรฐาน (Calibration curve) เพื่อใช้หาปริมาณของโปแตสเซียมที่ต้องการวิเคราะห์ในสารตัวอย่าง ขั้นตอนของการทดลอง คือ

3.1. วัดสเปกตรัมรังสีแกมมาจับพลังงานของสารตัวอย่าง ที่ได้จากการเตรียมในข้อ 2.1. และ 2.2. ใช้เวลาในการวัดแต่ละสารตัวอย่าง 20000 วินาที และ 40000 วินาที

3.2. นำข้อมูลพื้นฐานที่ได้ มาวิเคราะห์หาสเปกตรัมรังสีแกมมาจับพลังงานที่มีพลังงาน 770 KeV ที่ได้จากปฏิกิริยา $K^{39} (n, \gamma) K^{40}$ เมื่อวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาจับพลังงานของโปแตสเซียมได้แล้ว นำมาคำนวณหาค่าจำนวนนับสุทธิภายใต้พีค นำค่าที่คำนวณได้จากแต่ละสารตัวอย่าง มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับสุทธิกับปริมาณโปแตสเซียมในสารตัวอย่าง ได้เส้นเทียบมาตรฐานของสารตัวอย่าง 4 เส้น คือ

- จากการเตรียมสารตัวอย่างในข้อ 2.1. ใช้เวลาในการวัด 20000 วินาที
- จากการเตรียมสารตัวอย่างในข้อ 2.1. ใช้เวลาในการวัด 40000 วินาที
- จากการเตรียมสารตัวอย่างในข้อ 2.2. ใช้เวลาในการวัด 20000 วินาที
- จากการเตรียมสารตัวอย่างในข้อ 2.2. ใช้เวลาในการวัด 40000 วินาที

4. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองโดยพิจารณาเส้นเทียบมาตรฐานที่ได้ คือทำการเปรียบเทียบเส้นเทียบมาตรฐานจากการวัดในเวลาเท่ากัน แต่วิธีที่ใช้ในการเตรียมสารตัวอย่างต่างกัน เพื่อให้ทราบว่าวิธีที่ใช้ในการเตรียมสารตัวอย่างมีผลต่อการวัดอย่างไร และทำการเปรียบเทียบเส้นเทียบมาตรฐานจากการวัดในเวลาต่างกัน แต่วิธีที่ใช้ในการเตรียมสารตัวอย่างเหมือนกันเพื่อให้ทราบว่าเวลาที่ใช้ในการวัดมีผลต่อค่าขีดจำกัดของการวัดอย่างไร

5. คำนวณหาค่าขีดจำกัดของการวัด จากสมการดังต่อไปนี้คือ

$$1. L_D = 2\sigma_S$$

$$2. L_D = 2\sigma_B$$

$$3. L_D = 2.71 + 4.65\sigma_B$$

โดย σ_S คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับสารรังสีสุทธิ

σ_B คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับภูมิหลัง

6. ทดสอบการใช้เส้นเทียบมาตรฐาน โดยใช้โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็นสารตัวอย่างในการหาปริมาณโปแตสเซียม โดยเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากเส้นเทียบมาตรฐานกับปริมาณโปแตสเซียมจริงในสารโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การหา Optimum condition

วัดรังสีแกมมาจับพลังของสารตัวอย่างโปแตสเซียมคาร์บอเนต ที่มีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 56.58 % วางห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอนที่ระยะต่าง ๆ และคำนวณค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนนับสุทธิภายใต้พีคกับจำนวนนับของภูมิหลัง จะได้ผลดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงผลการวัดโปแตสเซียมคาร์บอเนต ที่วางห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอนที่ระยะต่าง ๆ และค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนนับสุทธิภายใต้พีคกับจำนวนนับของภูมิหลัง

ระยะห่างระหว่าง ระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอน กับสารตัวอย่าง K_2CO_3 (cm)	จำนวนนับของภูมิหลัง (B , counts / 40000 s)	จำนวนนับสุทธิภายใต้พีค (S , counts / 40000 s)	อัตราส่วน S / B
5.36	121,168	19,536 \pm 431.44	0.16
6.70	98,227	18,519 \pm 391.89	0.19
8.34	77,858	16,213 \pm 351.10	0.21
9.98	68,834	14,066 \pm 329.72	0.20

จากผลการทดลอง จะได้ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอน Am-Be กับสารตัวอย่าง K_2CO_3 ที่เหมาะสมคือ 8.34 เซนติเมตร เพราะมีค่า S / B มากที่สุดดังตารางข้างบน

2. ผลการวัดสารตัวอย่าง แสดงดังตาราง 3 - 6

ตาราง 3 แสดงผลการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแบ่งในภาชนะให้เข้ากันดีแล้ว
บรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง ใช้เวลาในการวัดนาน 20,000 วินาที

มวลของสารตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณของโปแตสเซียม ในสารตัวอย่าง (%)	จำนวนนับทั้งหมด (counts / 20000 s)	จำนวนนับสุทธิภายใต้พีค (counts / 20,000 s / g)
79.72	00.00	67045	00.00
80.81	21.04	71393	41.27 ± 4.430
79.49	27.92	72924	65.22 ± 4.529
80.59	35.19	73563	62.45 ± 4.479
80.09	42.78	74217	72.54 ± 4.519
80.62	49.95	75827	90.35 ± 4.527

ตาราง 4 แสดงผลการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแบ่งลงในขวดใส่สารตัวอย่าง
โดยตรง ใช้เวลาในการวัดนาน 20,000 วินาที

มวลของสารตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณของโปแตสเซียม ในสารตัวอย่าง (%)	จำนวนนับทั้งหมด (counts / 20000 s)	จำนวนนับสุทธิภายใต้พีค (counts / 20,000 s / g)
79.72	00.00	65728	00.00
80.43	21.28	69988	41.53 ± 4.401
81.18	28.06	71593	45.93 ± 4.409
81.03	35.34	73465	61.77 ± 4.455
80.84	42.42	74949	80.91 ± 4.490
79.48	56.58	76589	102.15 ± 4.605

ตาราง 5 แสดง ผลการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งในภาชนะให้เข้ากันดี แล้ว
บรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง ใช้เวลาในการวัดนาน 40,000 วินาที

มวลของสารตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณของโปแตสเซียม ในสารตัวอย่าง (%)	จำนวนนับทั้งหมด (counts / 40000 s)	จำนวนนับสุทธิภายใต้พีค (counts / 40,000 s / g)
79.72	00.00	133060	00.00
80.81	21.04	142240	75.11 \pm 6.262
79.49	27.92	144104	103.65 \pm 6.378
80.59	35.19	146297	131.28 \pm 6.315
80.09	42.78	148775	163.37 \pm 6.393
80.62	49.95	151138	178.58 \pm 6.388

ตาราง 6 แสดงผลผลการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งลงในขวดใส่สารตัวอย่าง
โดยตรง ใช้เวลาวัดนาน 40,000 วินาที

มวลของสารตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณของโปแตสเซียม ในสารตัวอย่าง (%)	จำนวนนับทั้งหมด (counts / 40000 s)	จำนวนนับสุทธิภายใต้พีค (counts / 40,000 s / g)
79.72	00.00	133670	00.00
80.44	21.28	140122	56.43 \pm 6.253
81.18	28.06	143499	97.59 \pm 6.233
81.03	35.34	147006	134.91 \pm 6.293
80.84	42.42	149710	168.51 \pm 6.346
79.48	56.58	153767	217.97 \pm 6.505

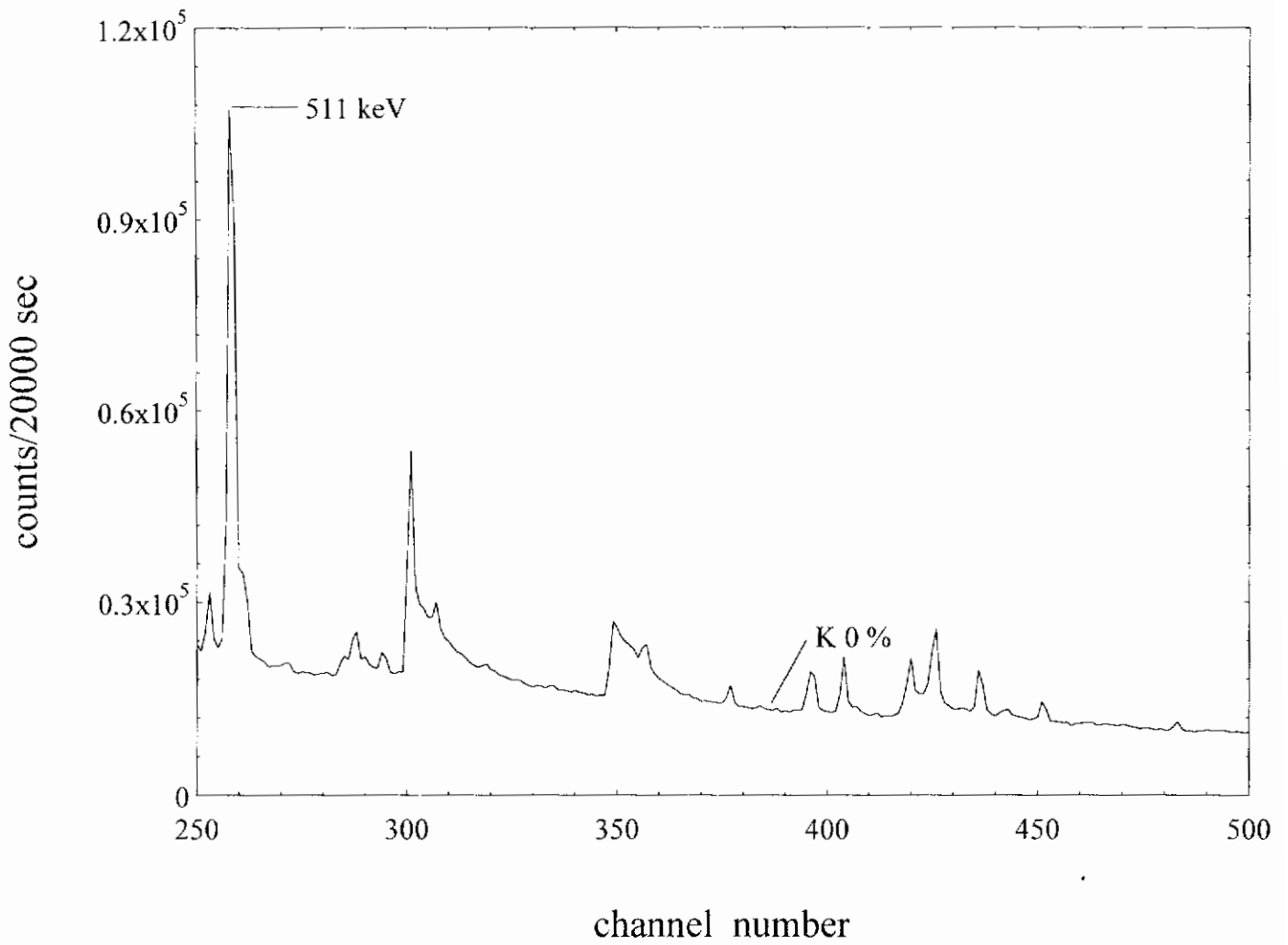
3.สเปกตรัมรังสีแกมมาฉบับพลันของโปแตสเซียม พลังงาน 770 keV และเส้นปรับเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้น

3.1.จากการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งในภาชนะให้เข้ากันดี แล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง ใช้เวลาวัดนาน 20000 วินาที แสดงดังภาพประกอบ 14 - 21

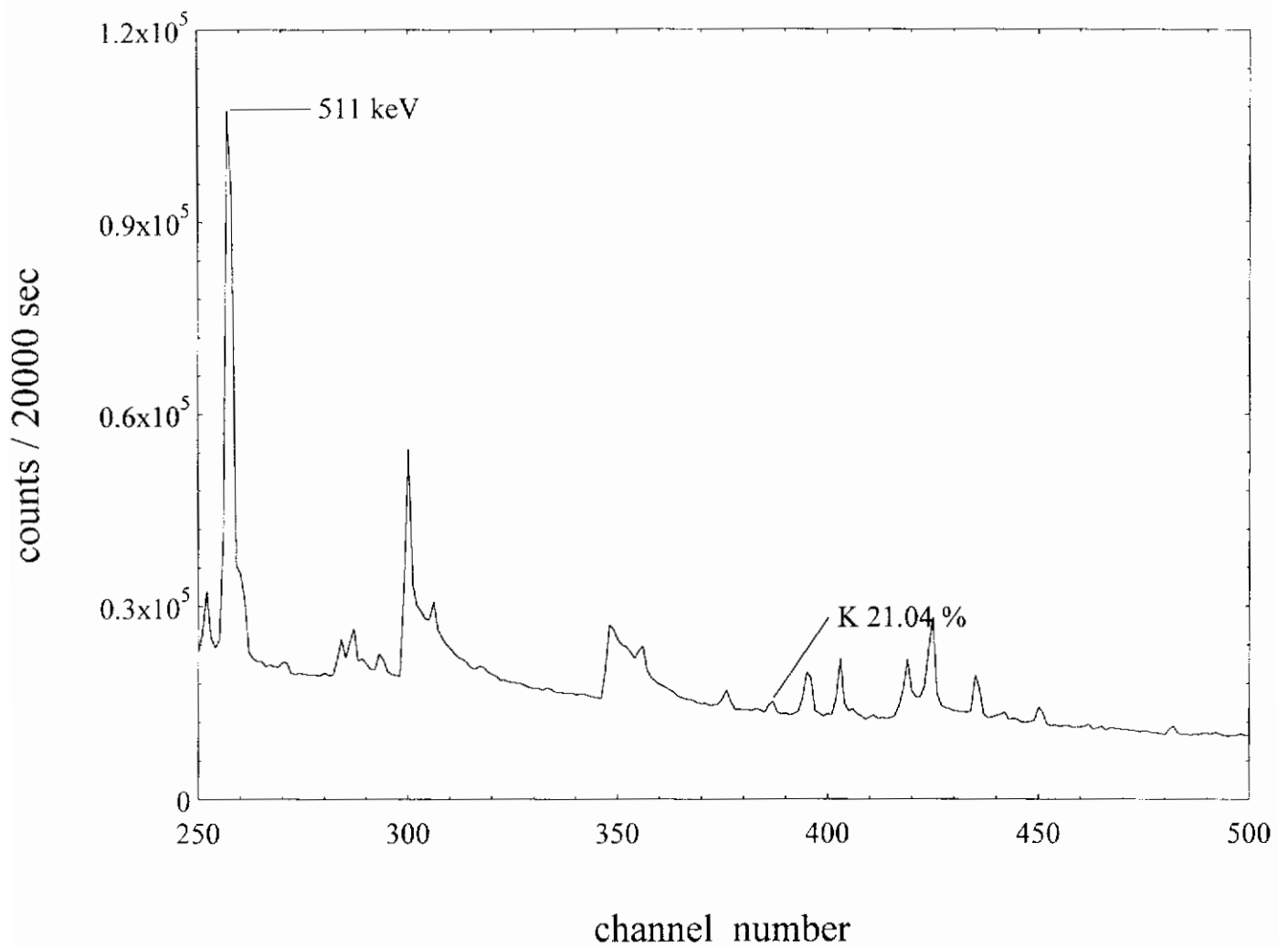
3.2.จากการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งลงในขวดใส่สารตัวอย่าง โดยตรงใช้เวลาวัดนาน 20000 วินาที แสดงดังภาพประกอบ 22 - 29

3.3.จากการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งในภาชนะให้เข้ากันดี แล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง ใช้เวลาวัดนาน 40000 วินาที แสดงดังภาพประกอบ 30 - 37

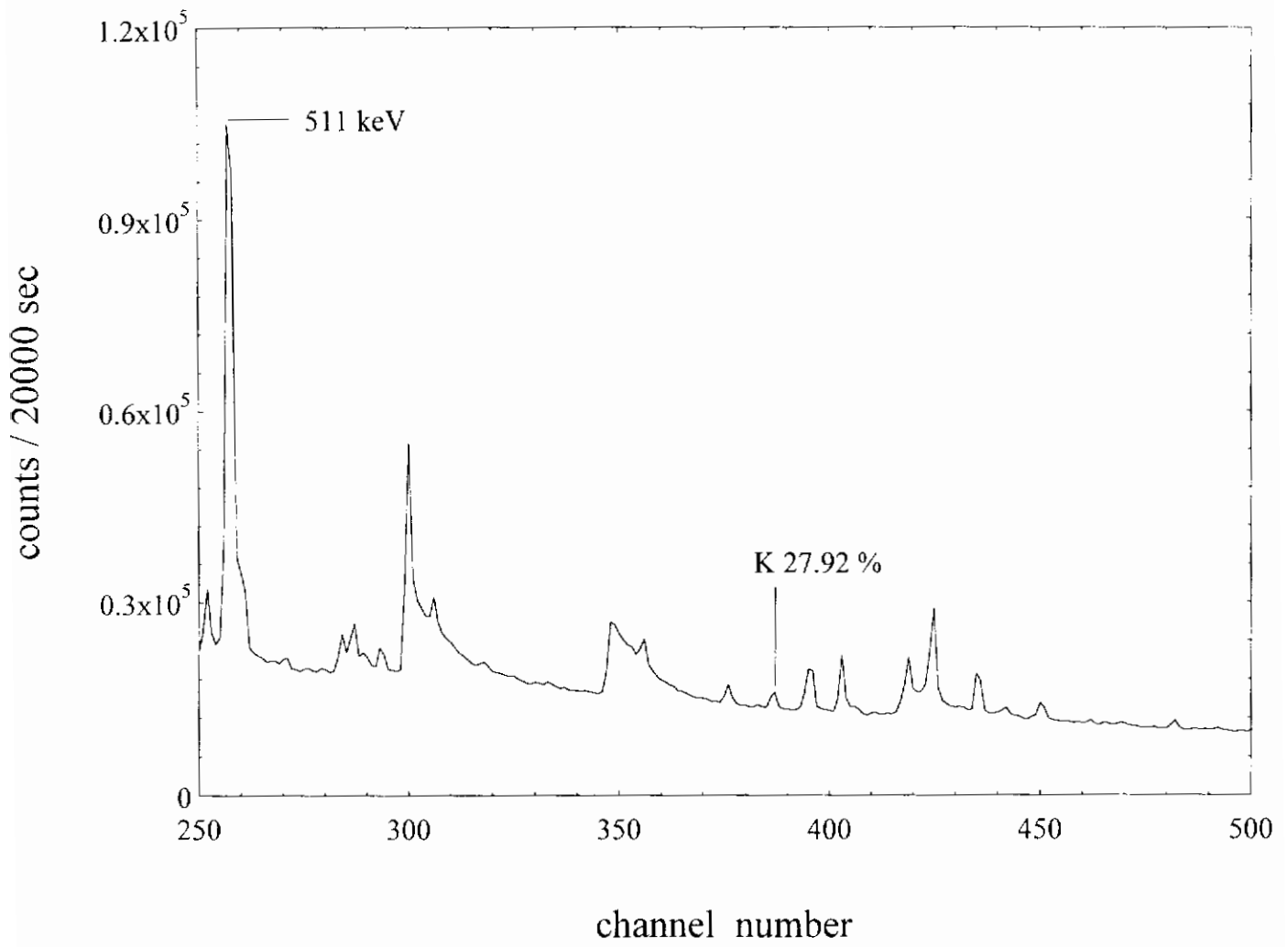
3.4.จากการวัดสารตัวอย่างที่เตรียมโดยการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งลงในขวดใส่สารตัวอย่าง โดยตรงใช้เวลาวัดนาน 40000 วินาที แสดงดังภาพประกอบ 40 - 45



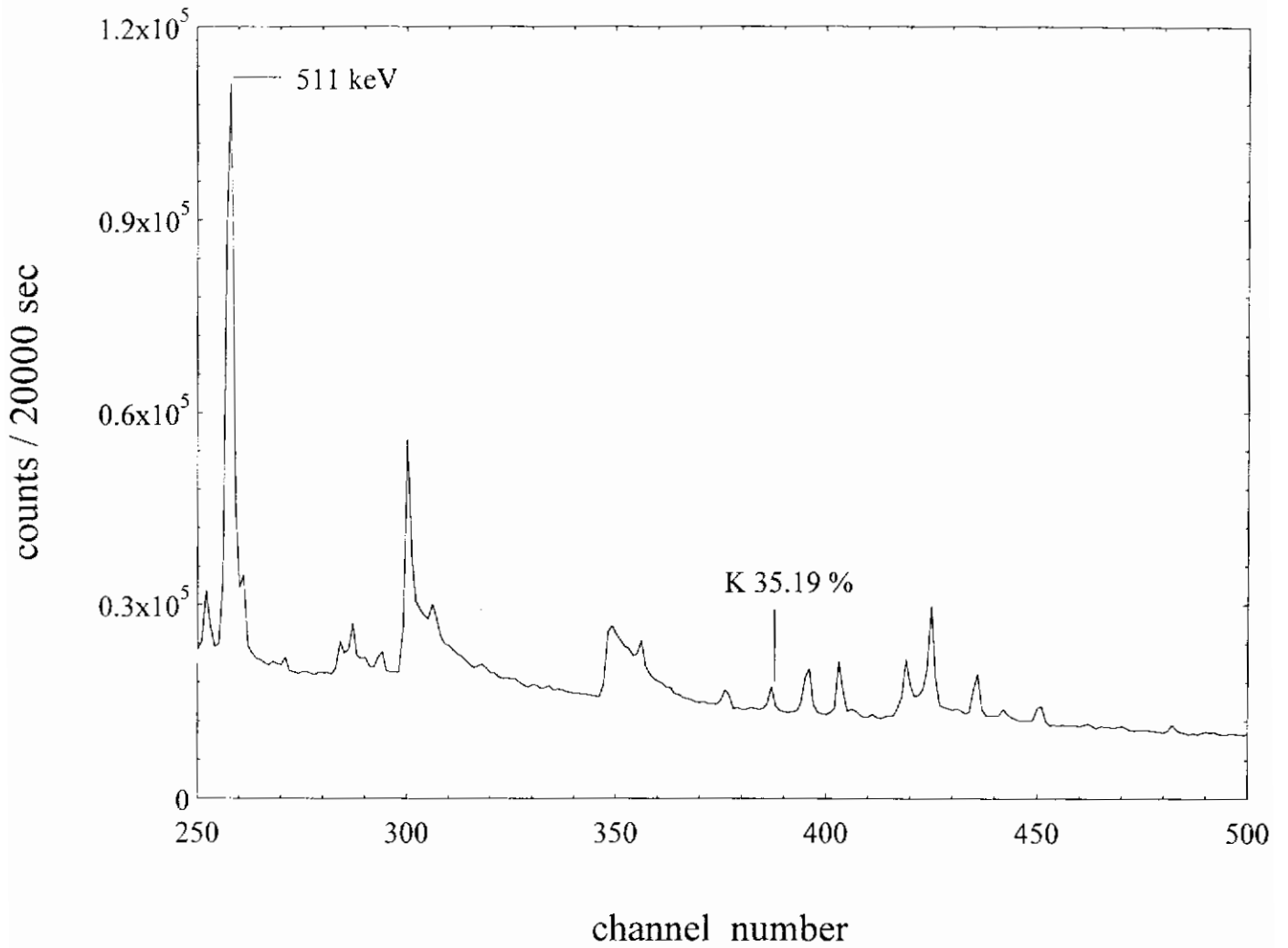
ภาพประกอบ 14 แสดงสเปกตรัมที่เกิดจากการวัดผงแป้ง



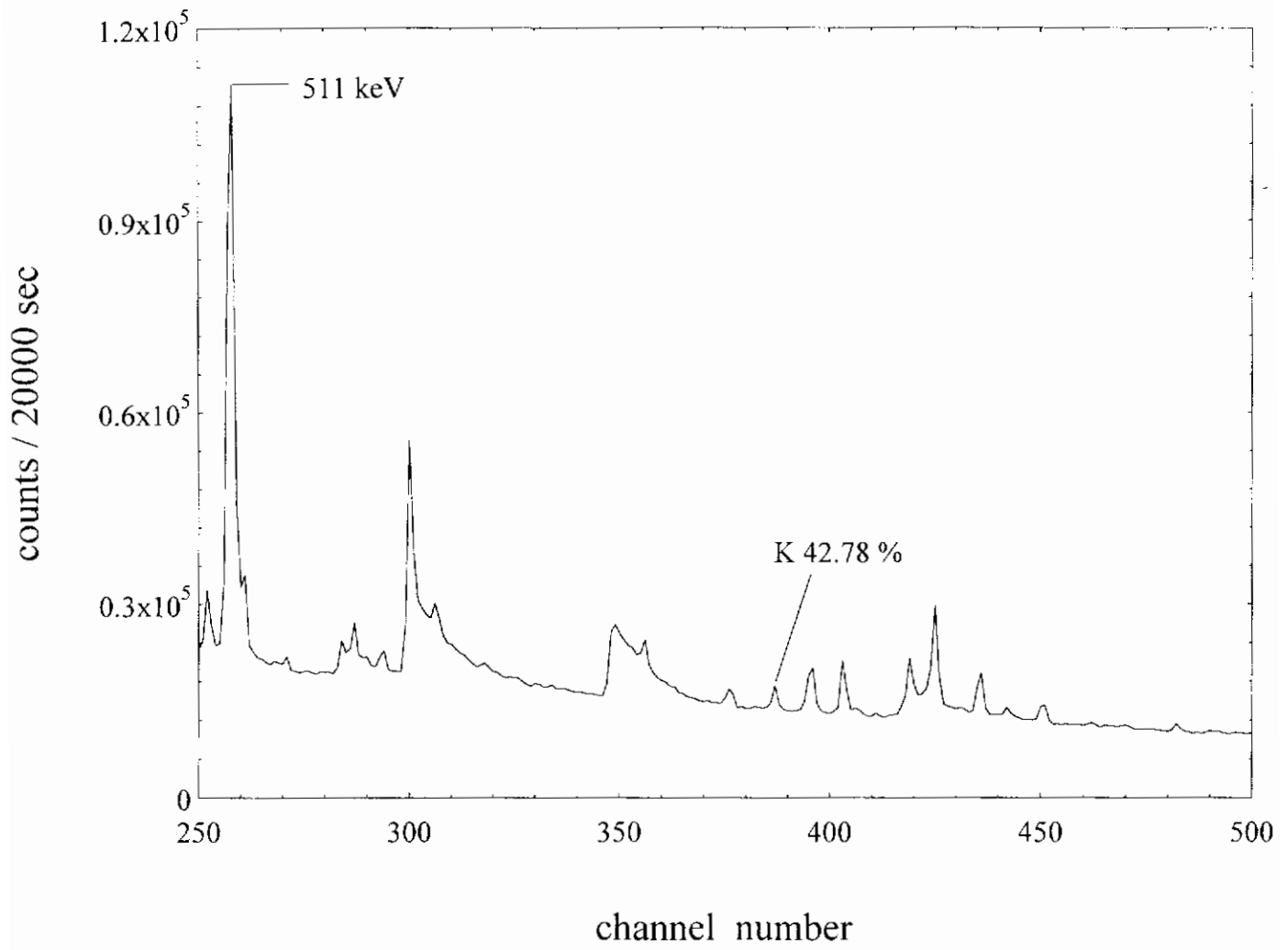
ภาพประกอบ 15 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 21.04 %



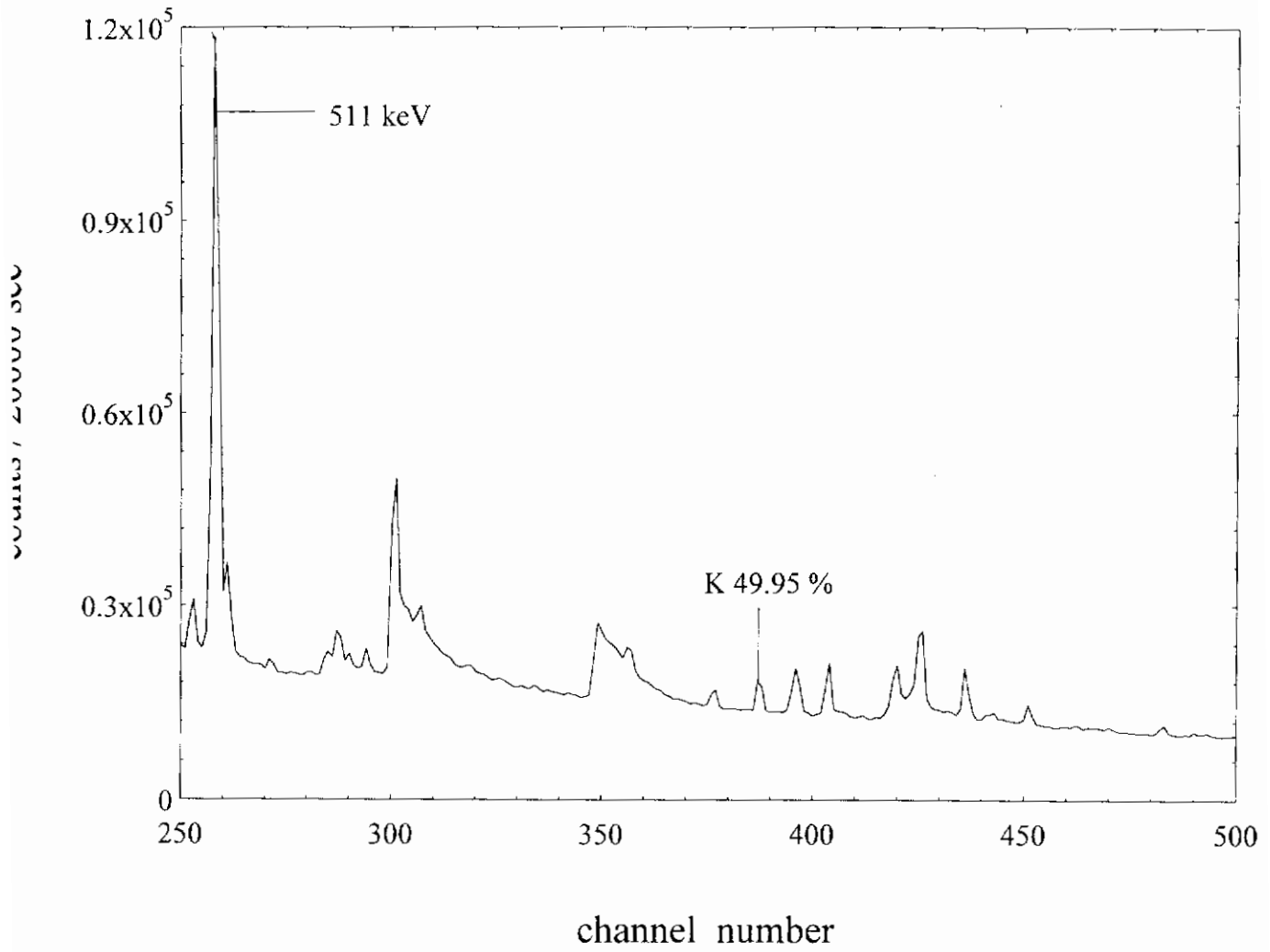
ภาพประกอบ 16 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณของโปแตสเซียมเท่ากับ 27.92%



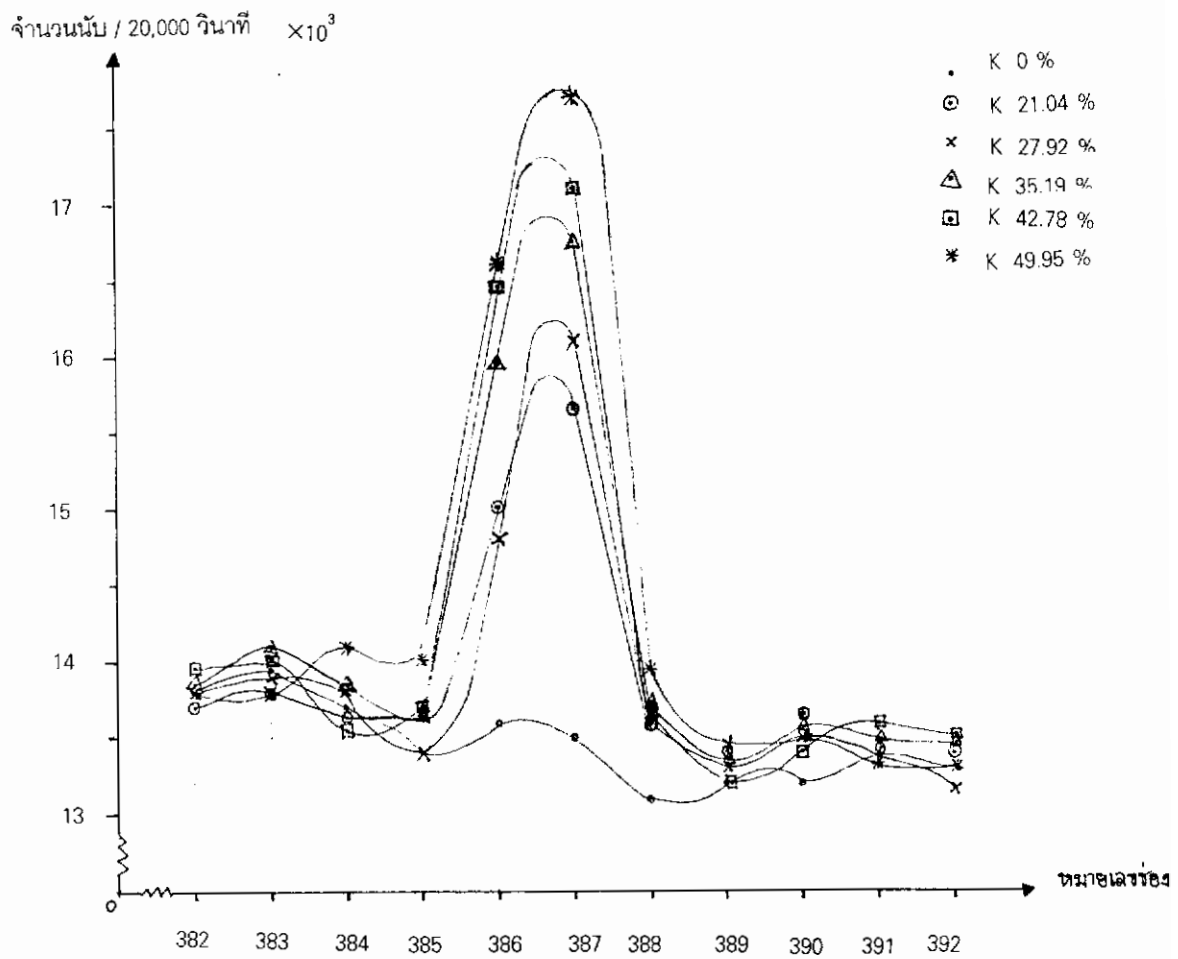
ภาพประกอบ 17 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณของโปแตสเซียมเท่ากับ 35.19%



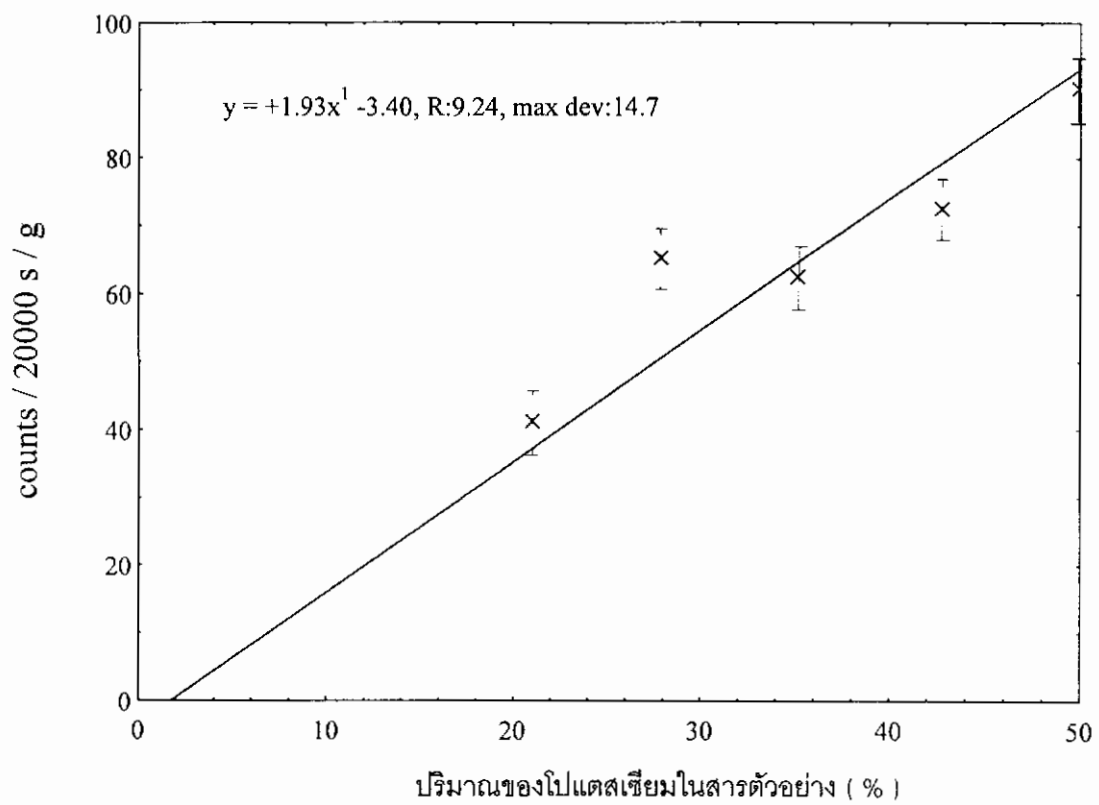
ภาพประกอบ 18 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณของโปแตสเซียมเท่ากับ 42.78%



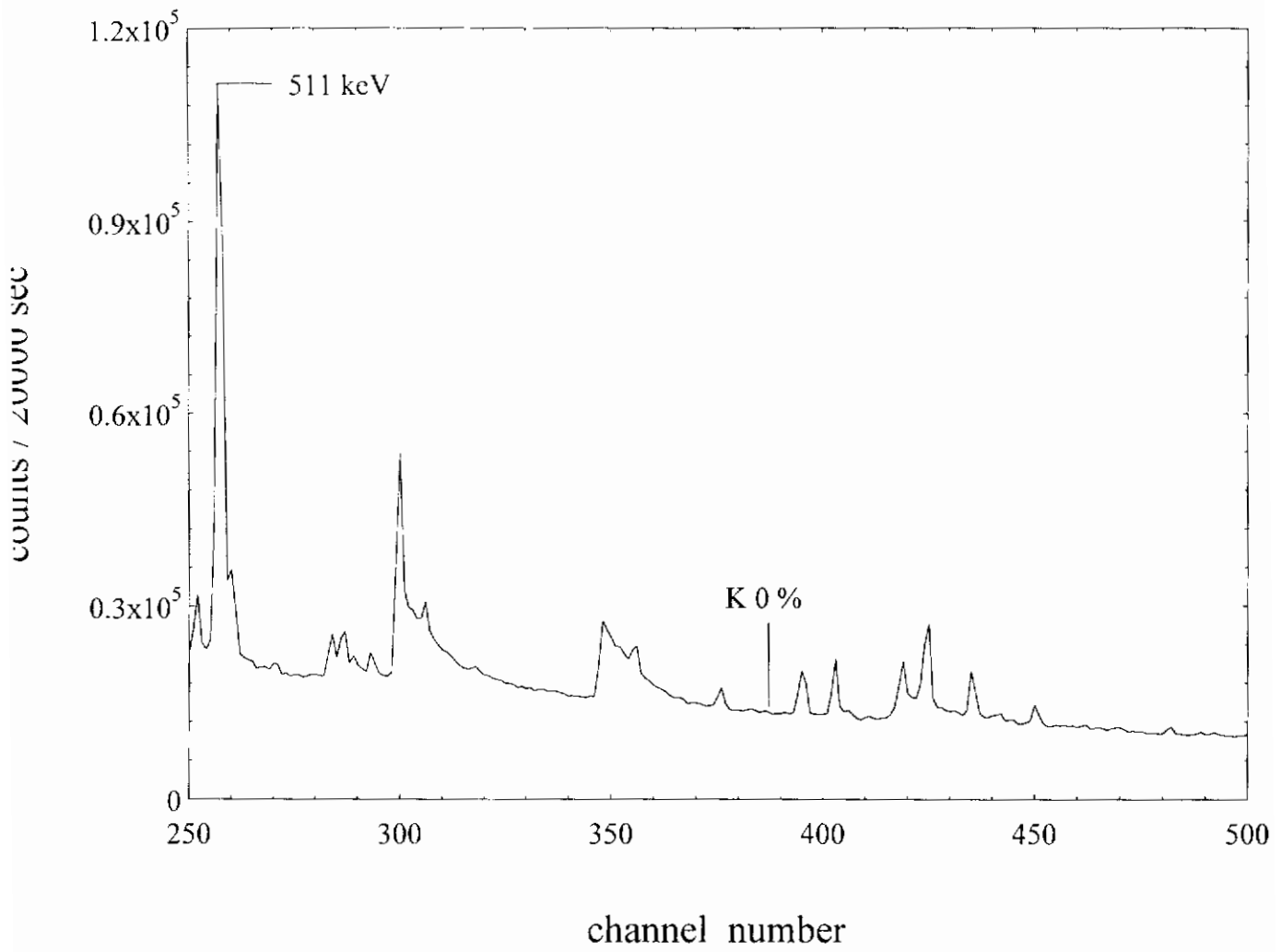
ภาพประกอบ 19 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณของโปแตสเซียมเท่ากับ 49.95%



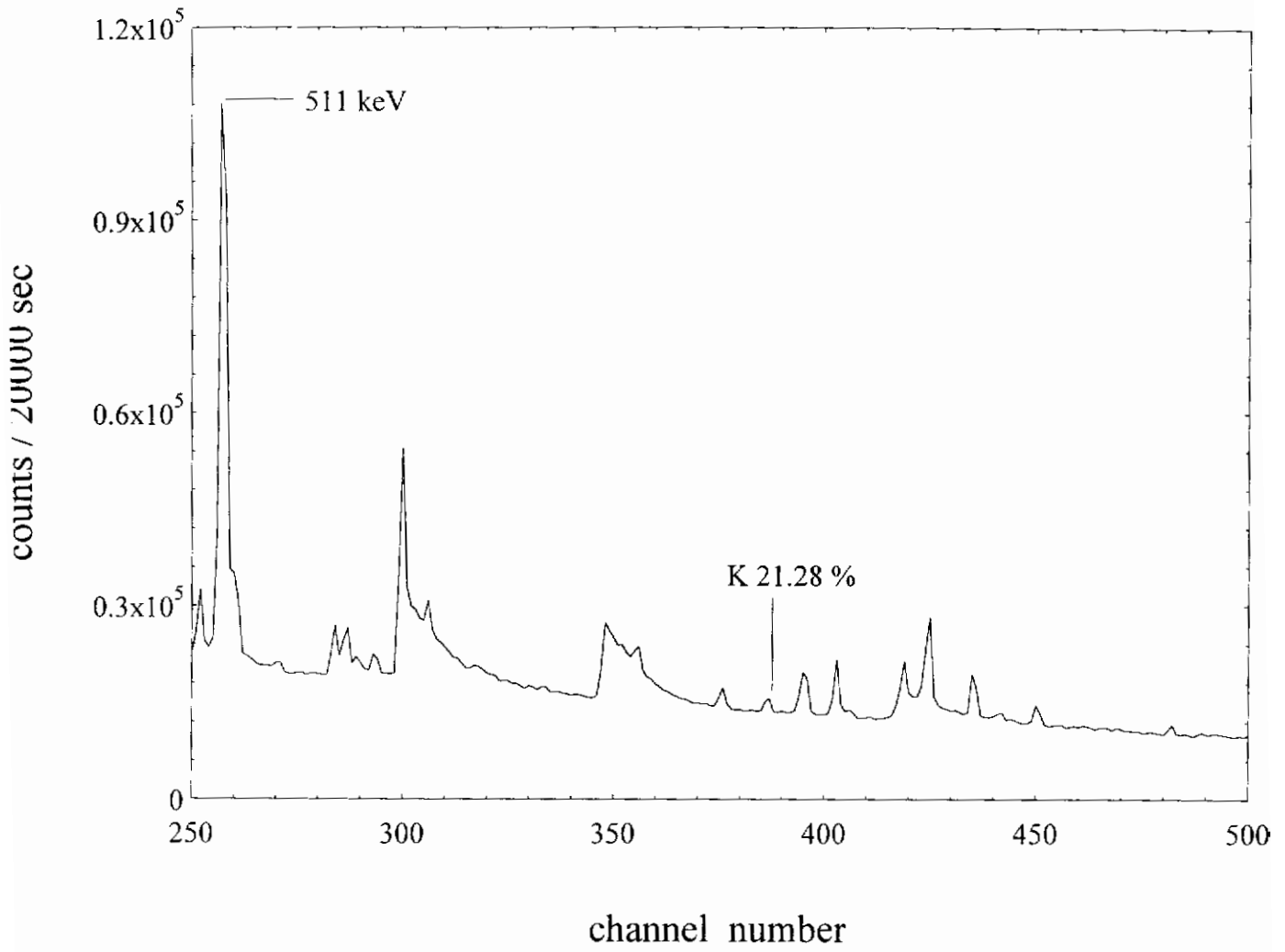
ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงจำนวนนับได้พีคของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมต่าง ๆ กัน สารตัวอย่างเตรียมจาก K_2CO_3 ผสมกับผงแป้งในภาชนะให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง ใช้เวลาในการวัดนาน 20000 วินาที



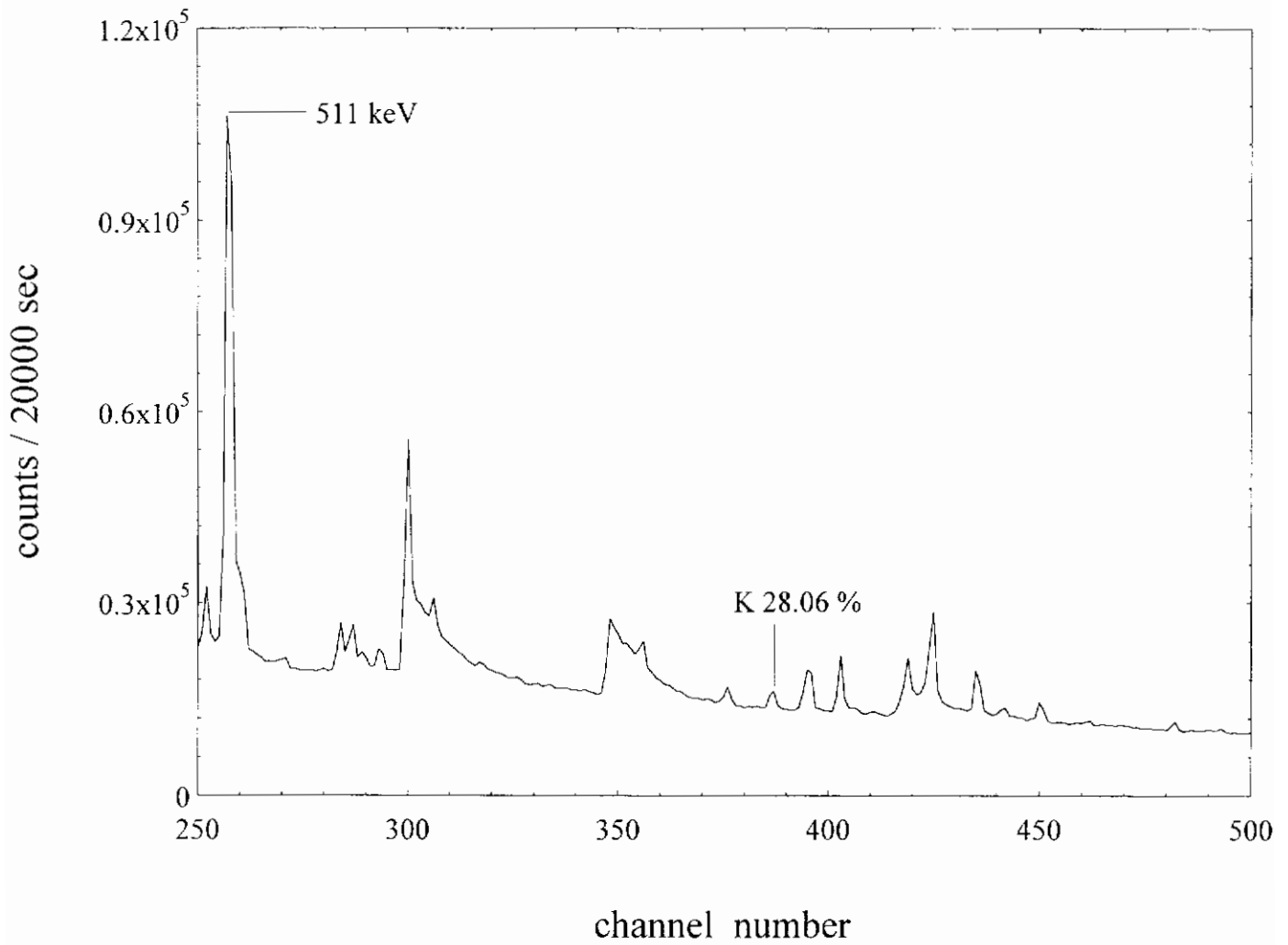
ภาพประกอบ 21 แสดงเส้นปรับเทียบมาตรฐานของการวัดสารตัวอย่างโดยวิธีผสมให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง ใช้เวลาวัดนาน 20000 วินาที



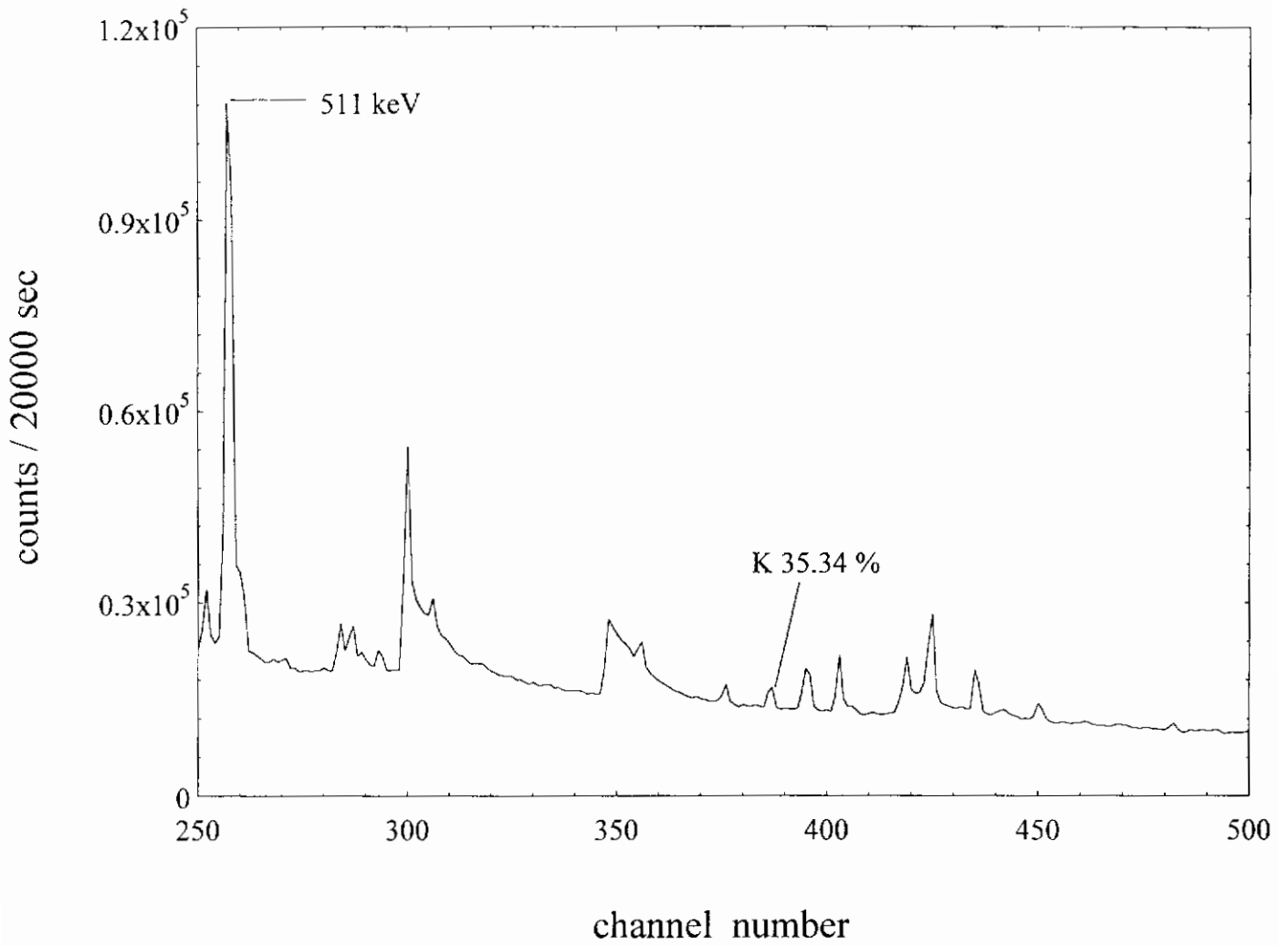
ภาพประกอบ 22 แสดงสเปกตรัมที่เกิดจากการวัดผงแป้ง



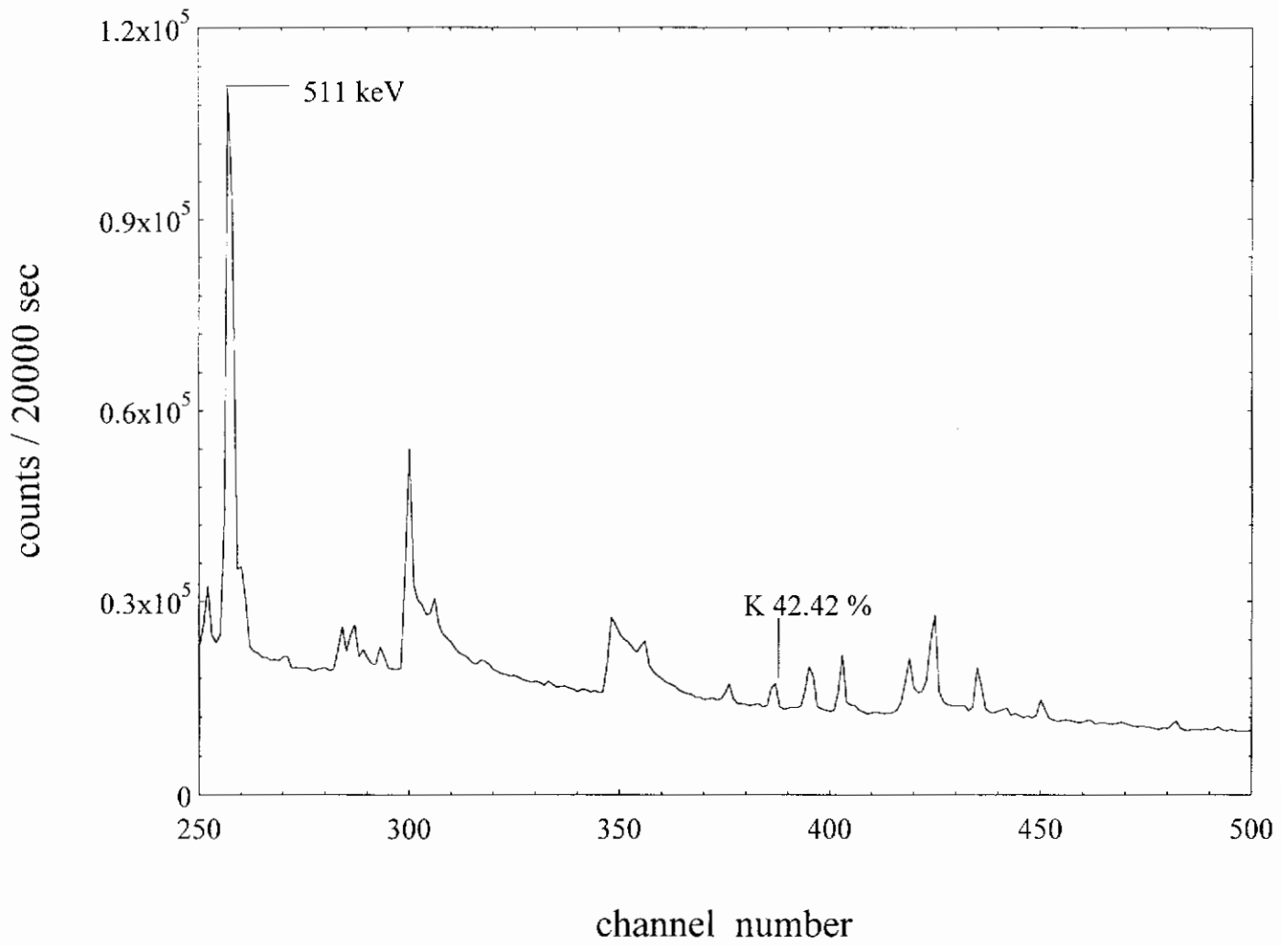
ภาพประกอบ 23 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณของโปแตสเซียมเท่ากับ 21.28%



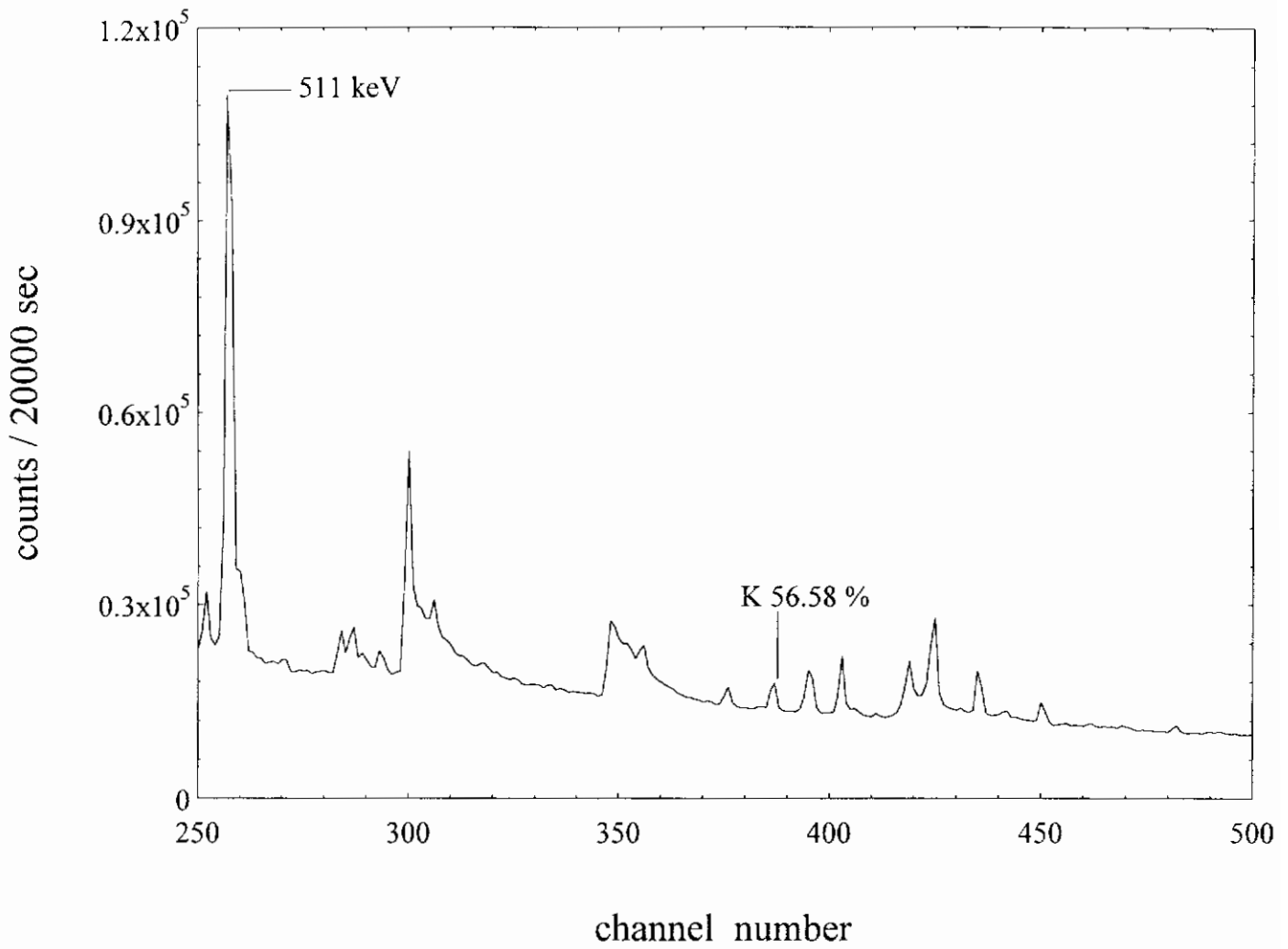
ภาพประกอบ 24 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณของโปแตสเซียมเท่ากับ 28.06%



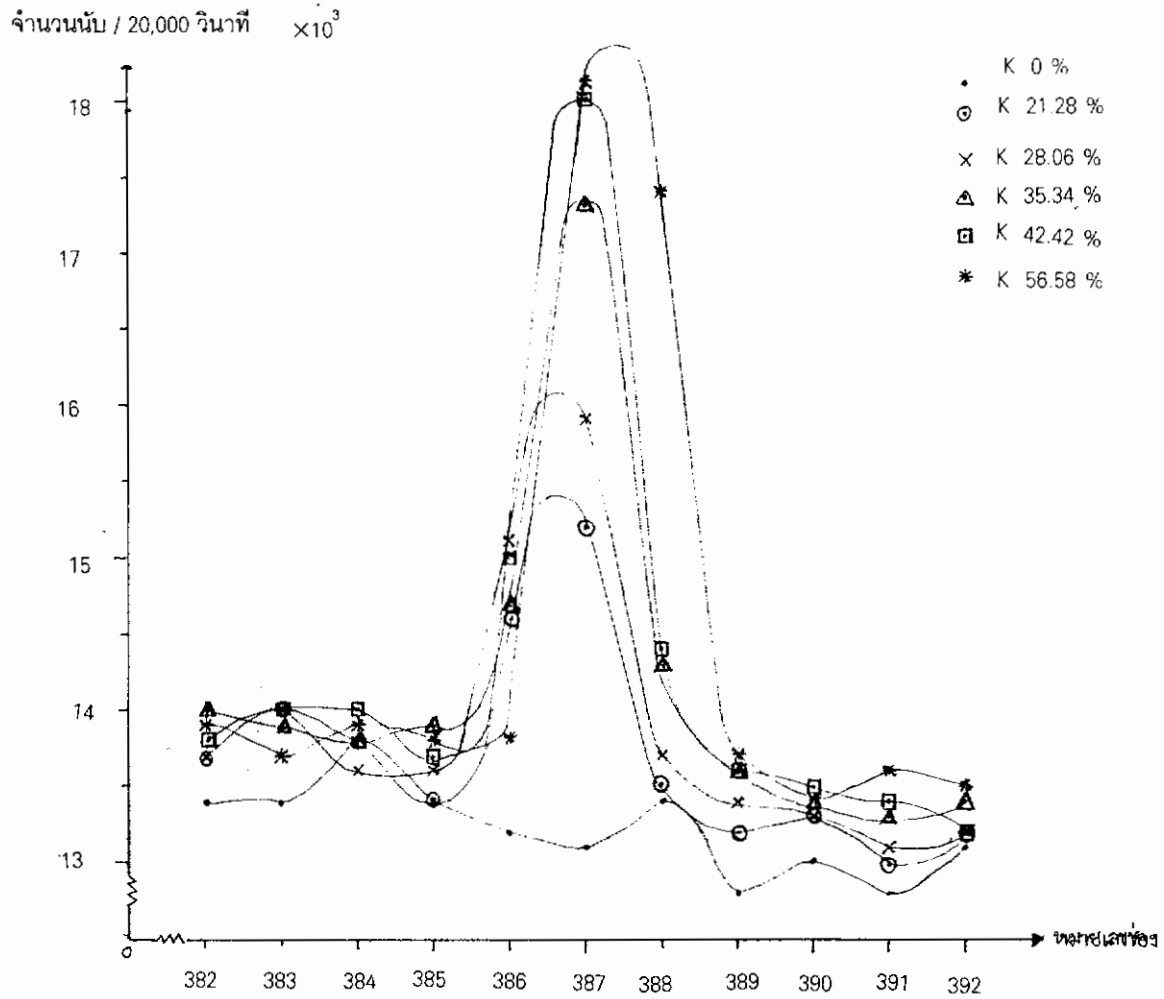
ภาพประกอบ 25 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณของโปแตสเซียมเท่ากับ 35.34%



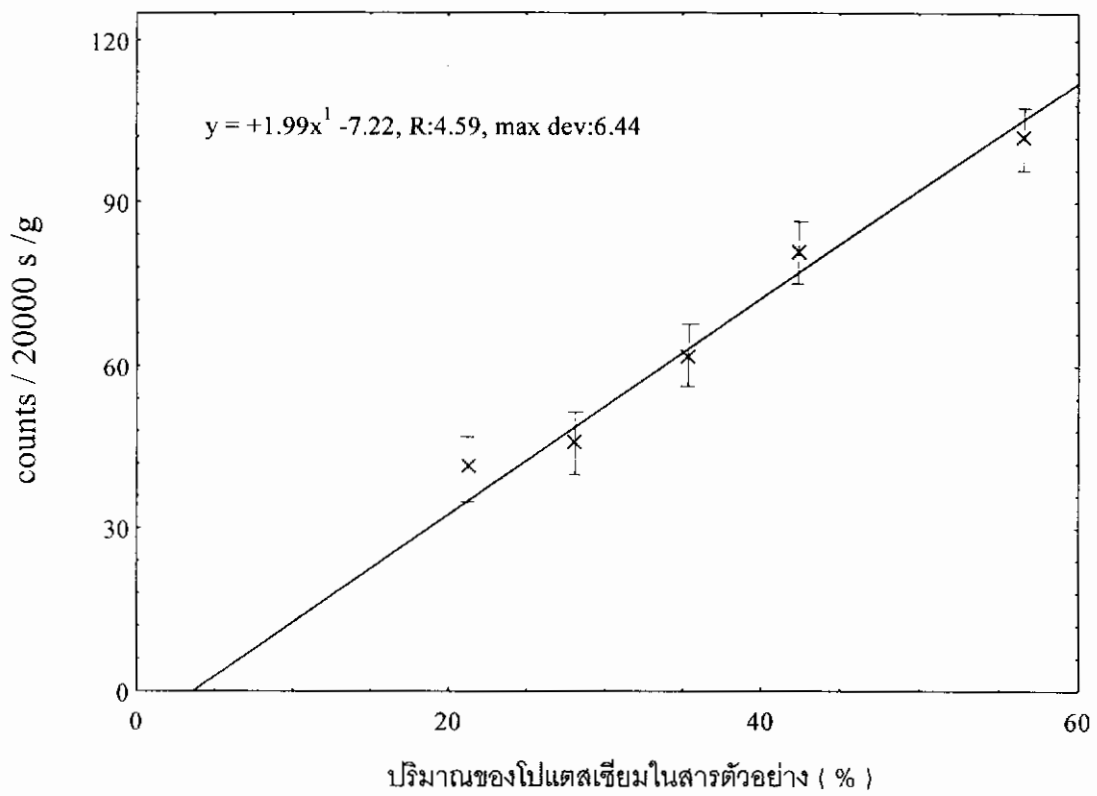
ภาพประกอบ 26 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณของโปแตสเซียมเท่ากับ 42.42%



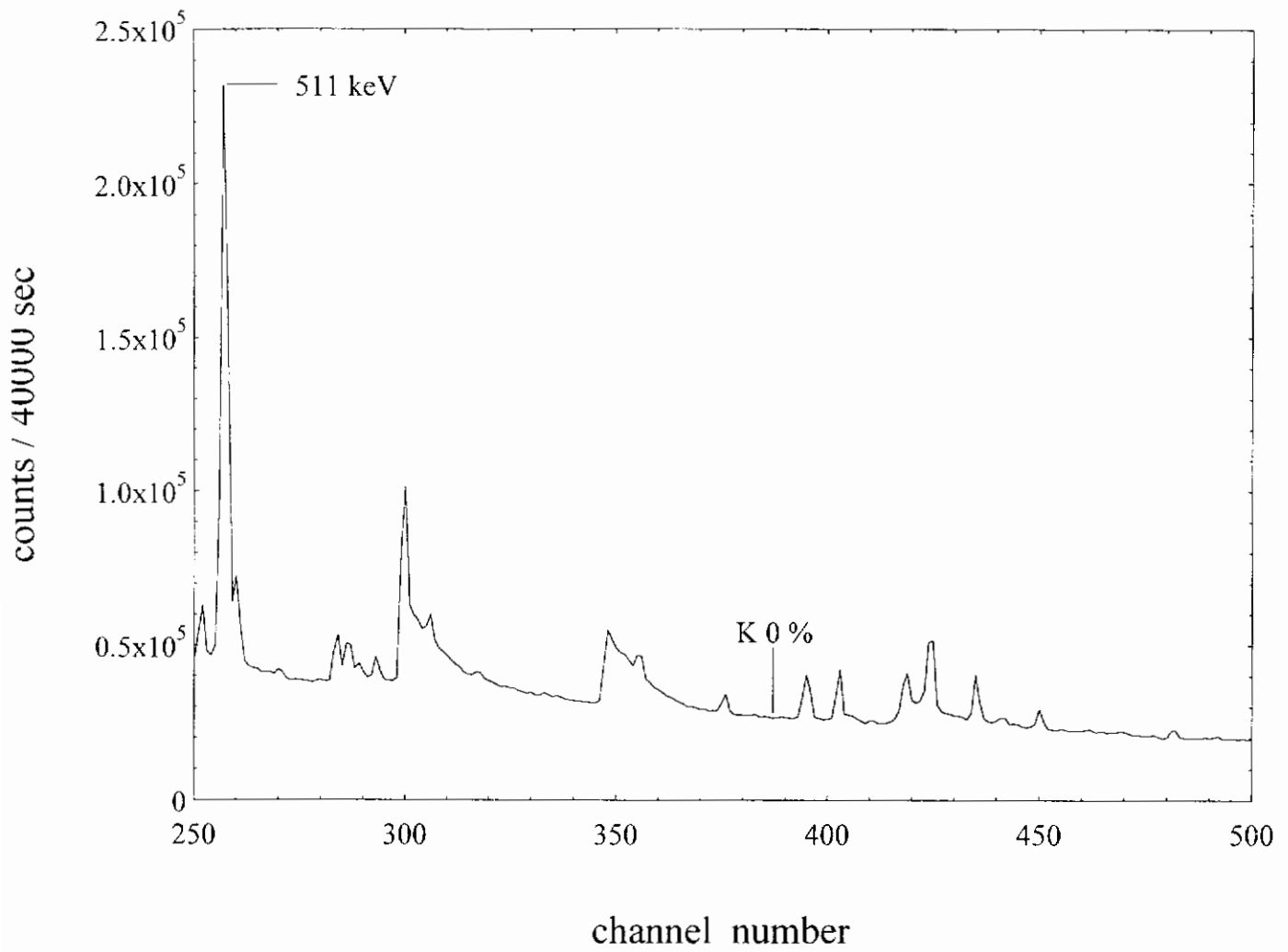
ภาพประกอบ 27 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณของโปแตสเซียมเท่ากับ 56.58%



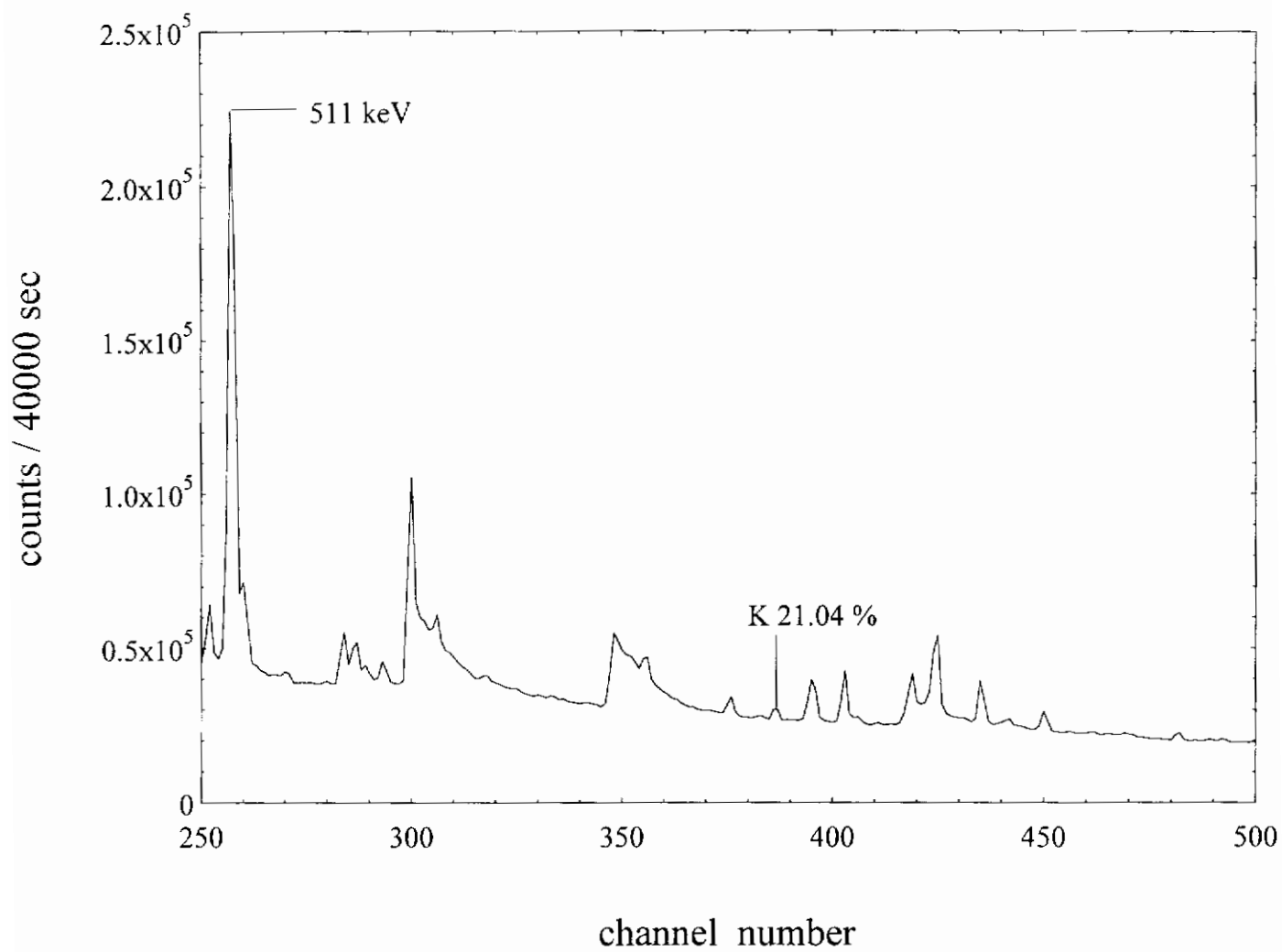
ภาพประกอบ 28 กราฟแสดงจำนวนนับได้พีคของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมต่าง ๆ กัน สารตัวอย่างเตรียมจาก K_2CO_3 ผสมกับผงแบ่งในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรง ใช้เวลาวัดนาน 20000 วินาที



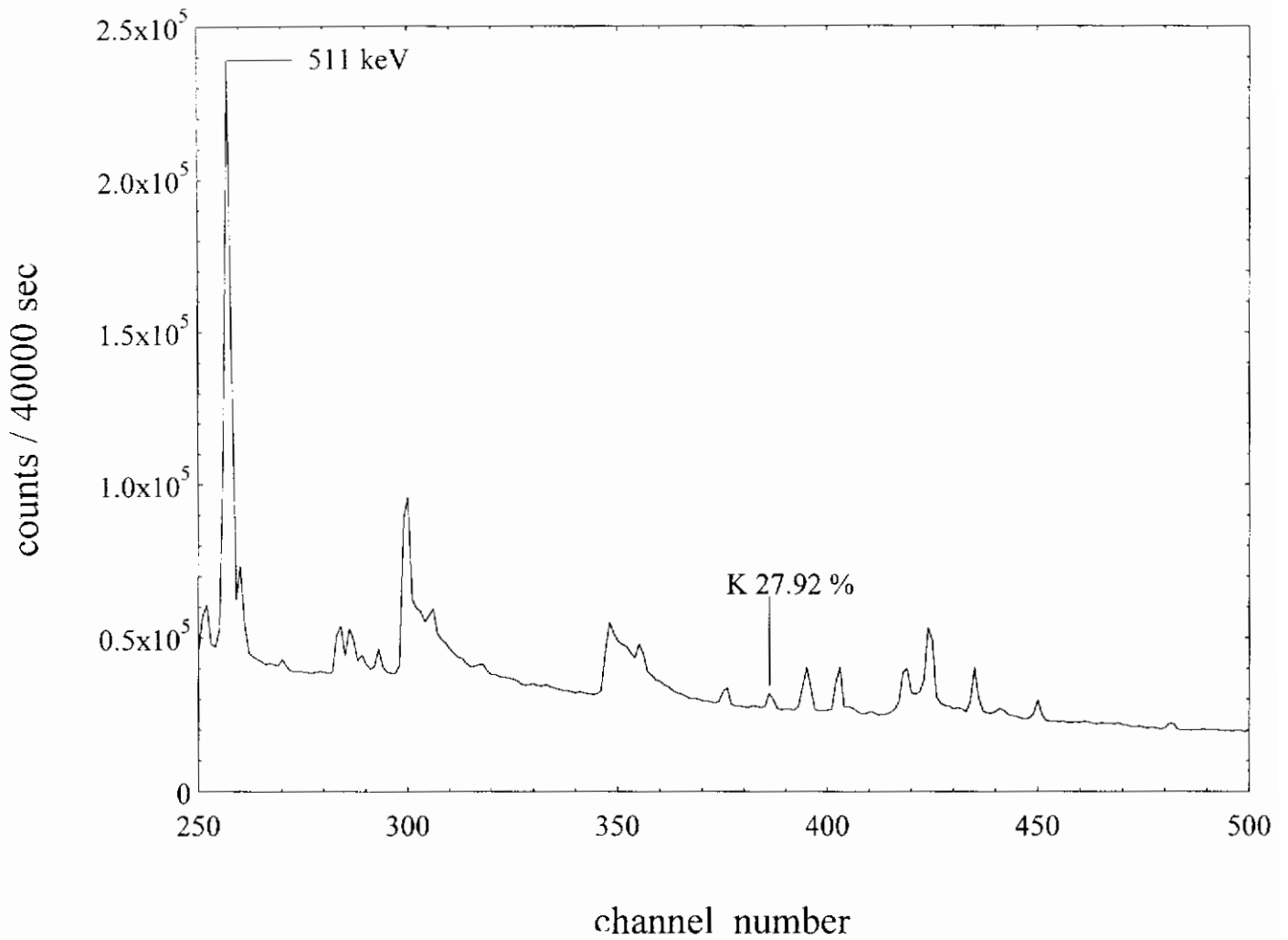
ภาพประกอบ 29 แสดงเส้นปรับเทียบมาตรฐานของการวัดสารตัวอย่างโดยวิธีผสมสารตัวอย่างลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรง ใช้เวลาวัดนาน 20,000 วินาที



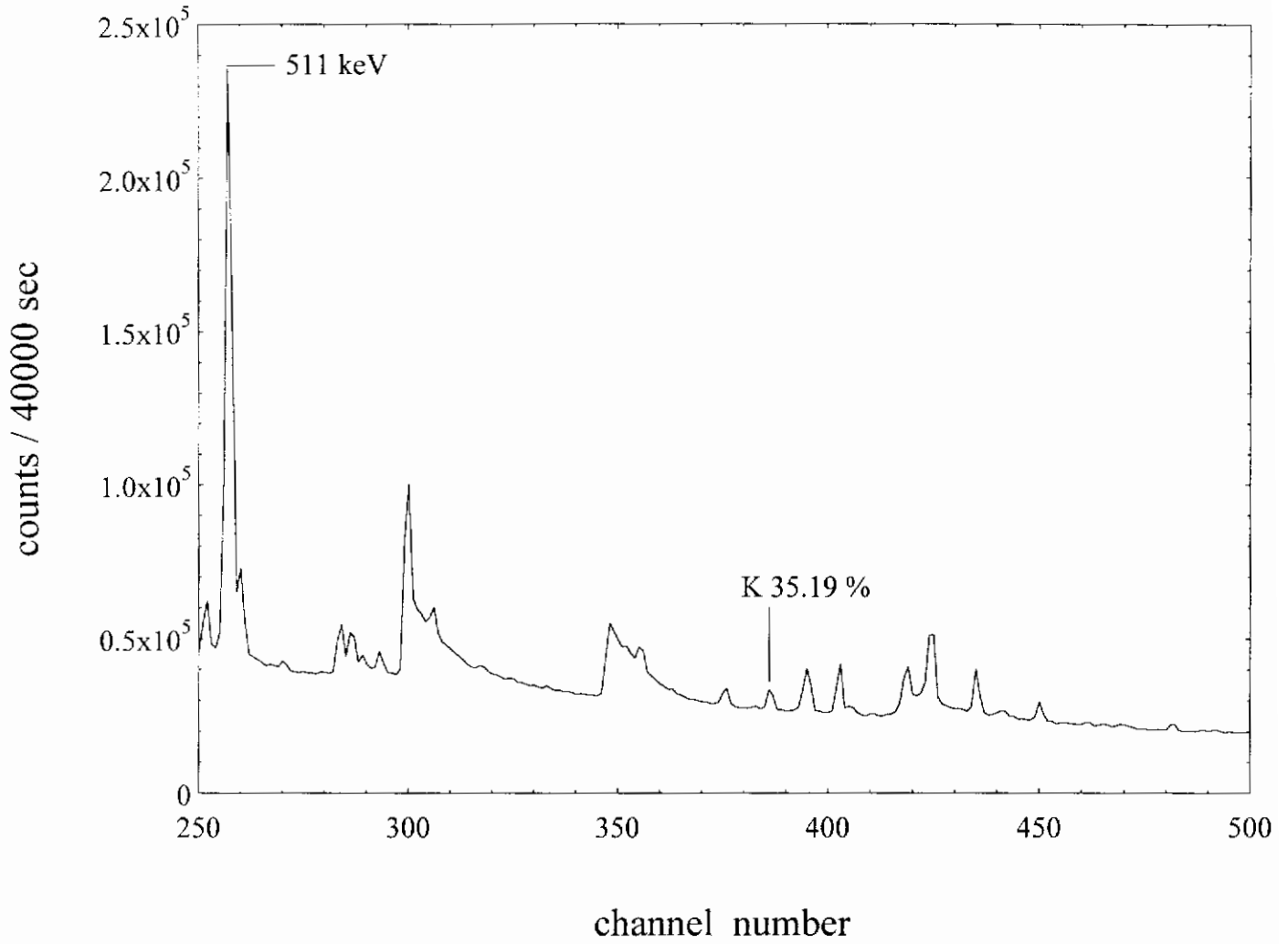
ภาพประกอบ 30 แสดงสเปกตรัมที่เกิดจากการวัดผงแป้ง



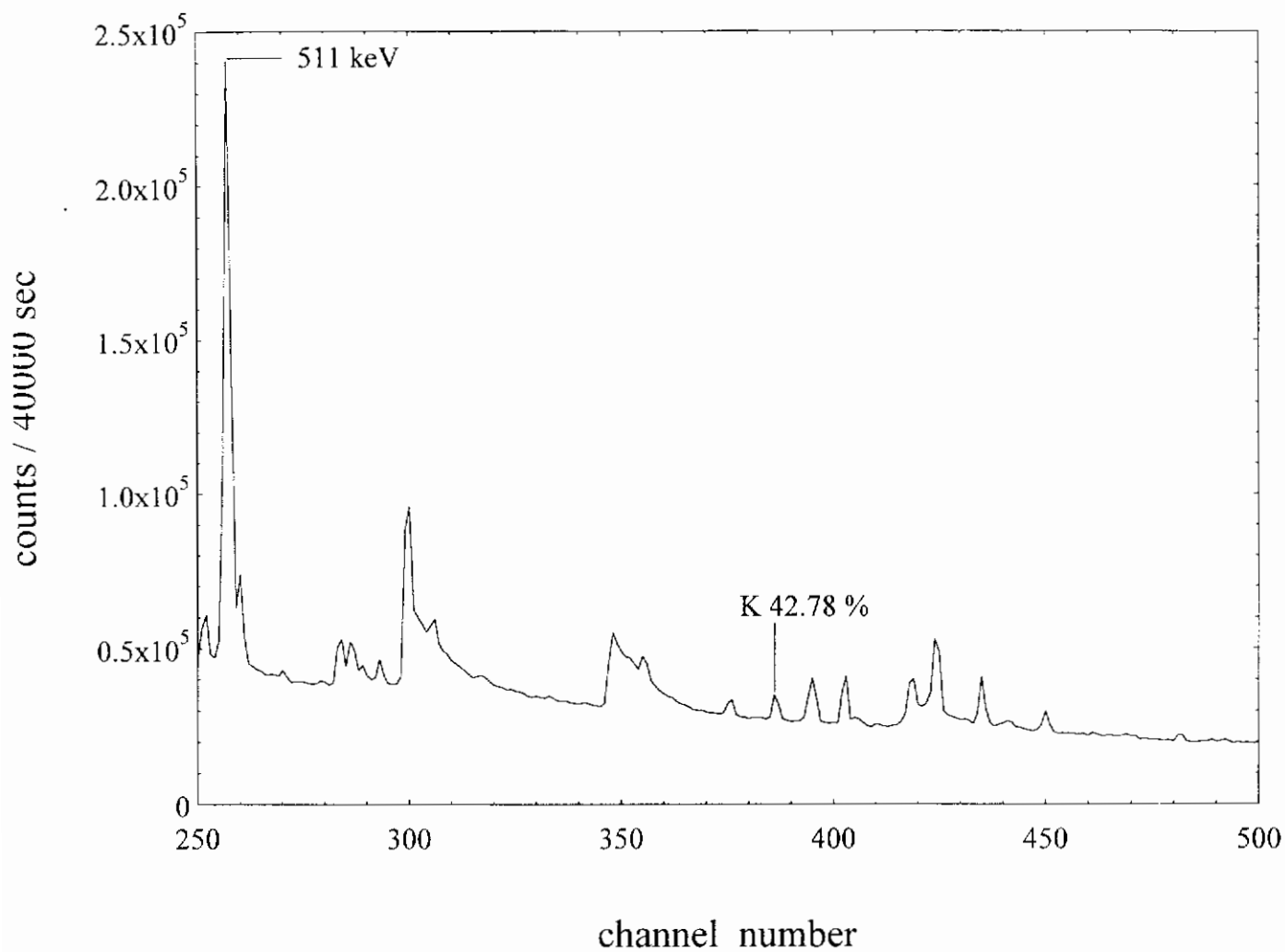
ภาพประกอบ 31 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 21.04 %



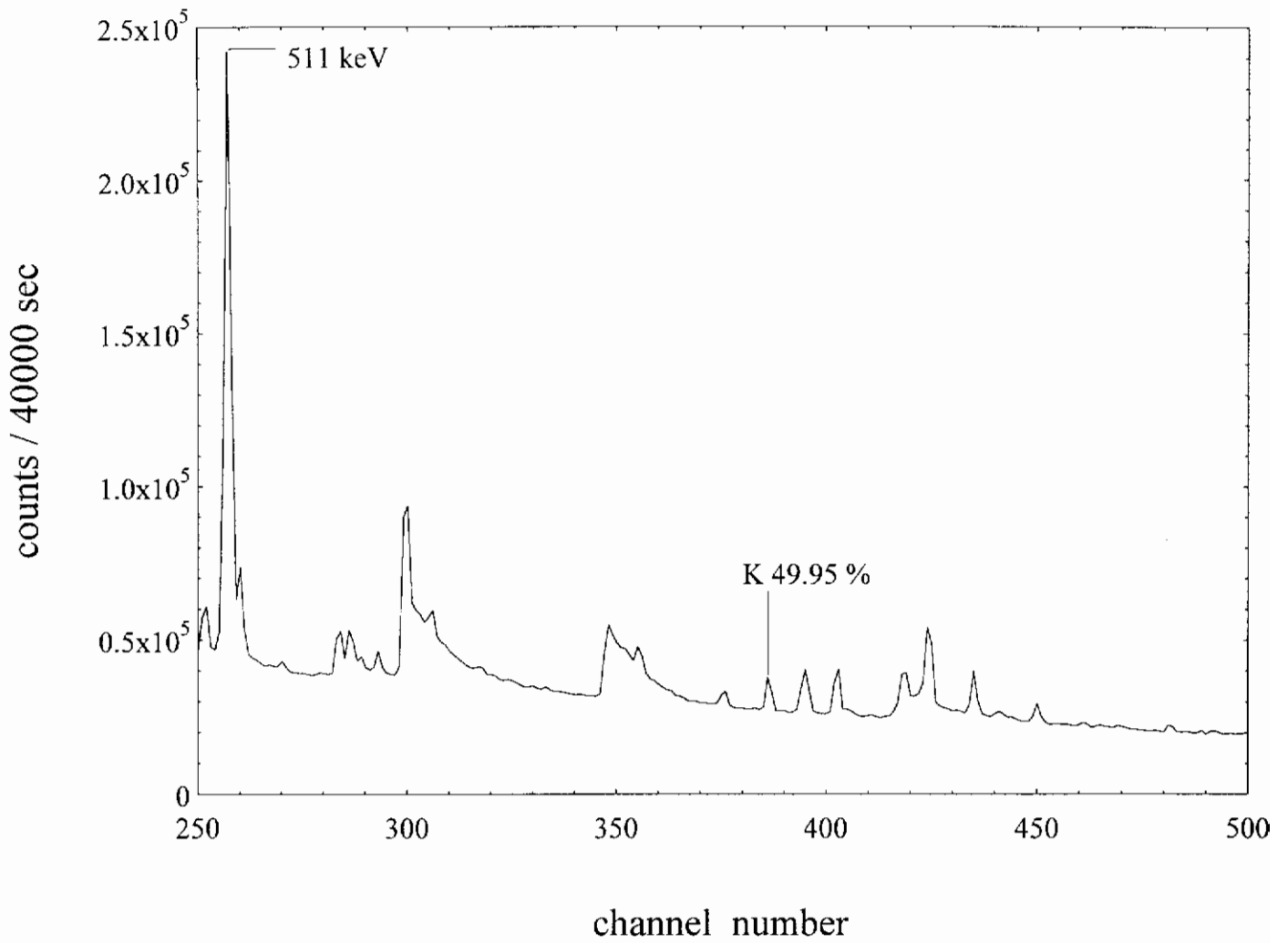
ภาพประกอบ 32 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 27.92 %



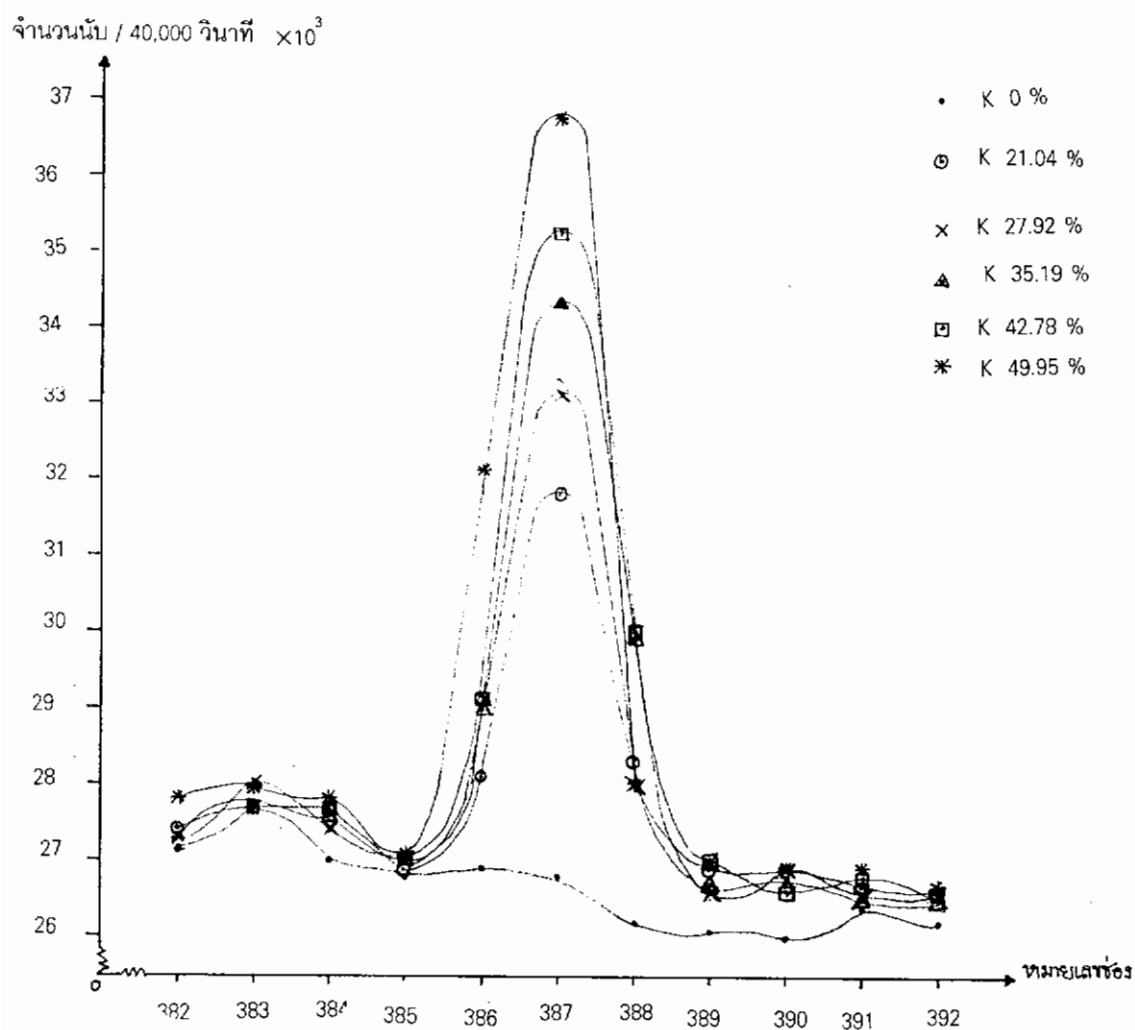
ภาพประกอบ 33 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 35.19 %



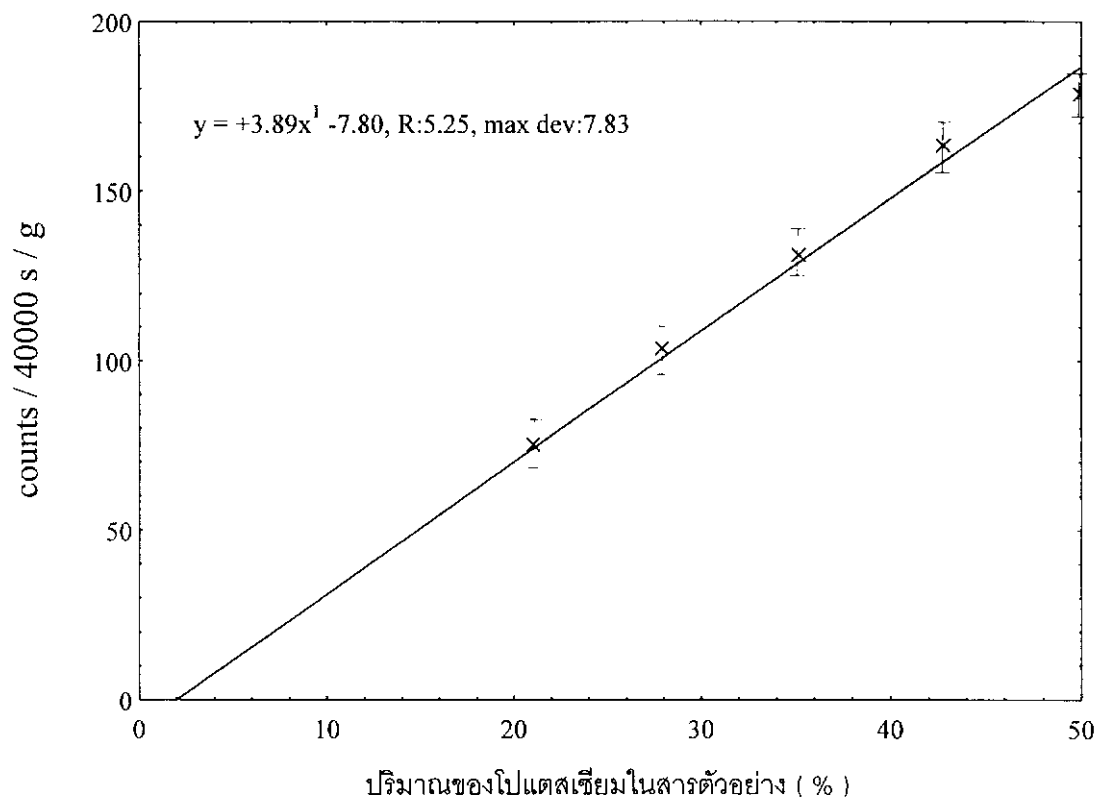
ภาพประกอบ 34 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 42.78 %



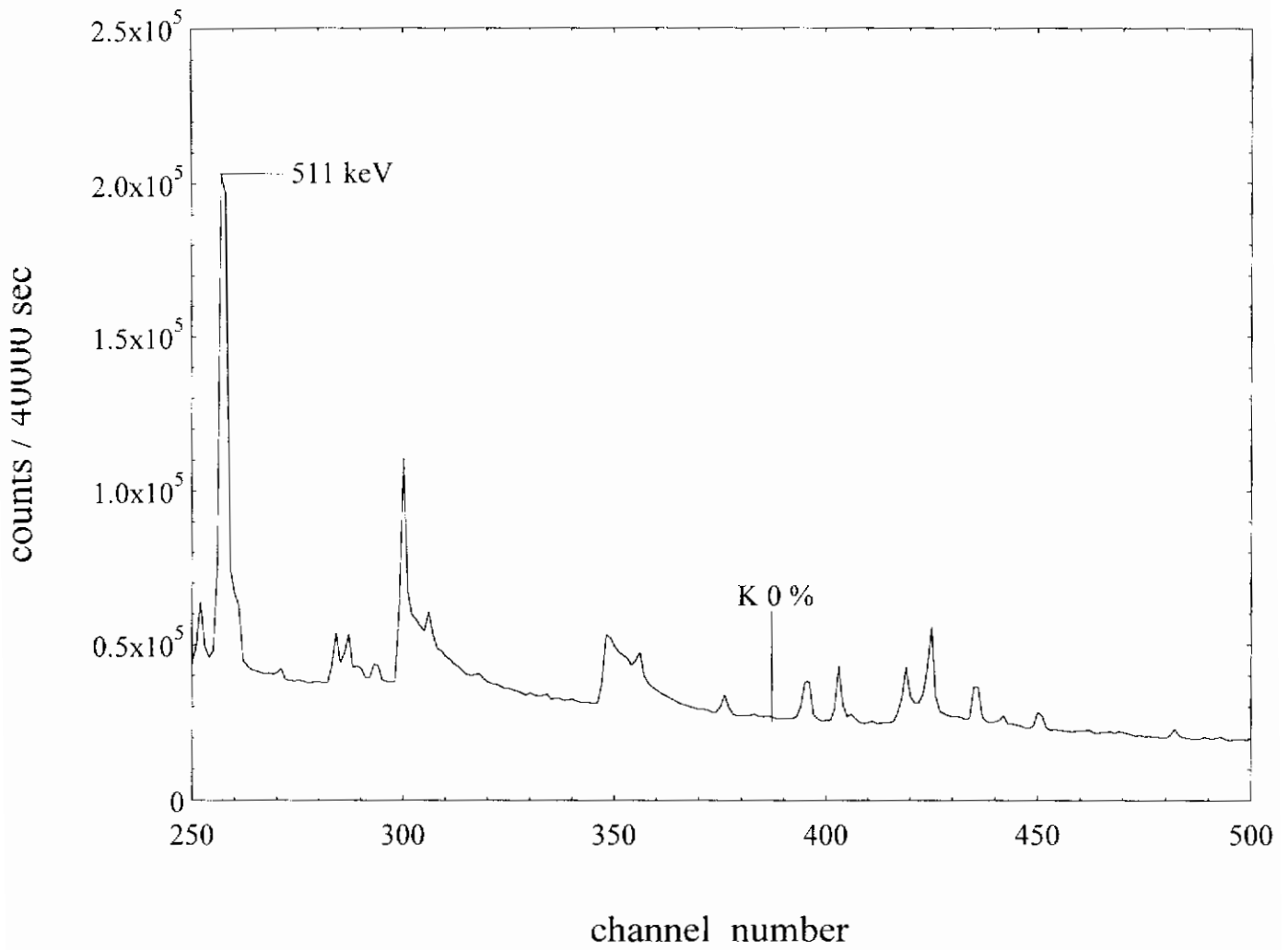
ภาพประกอบ 35 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 49.95 %



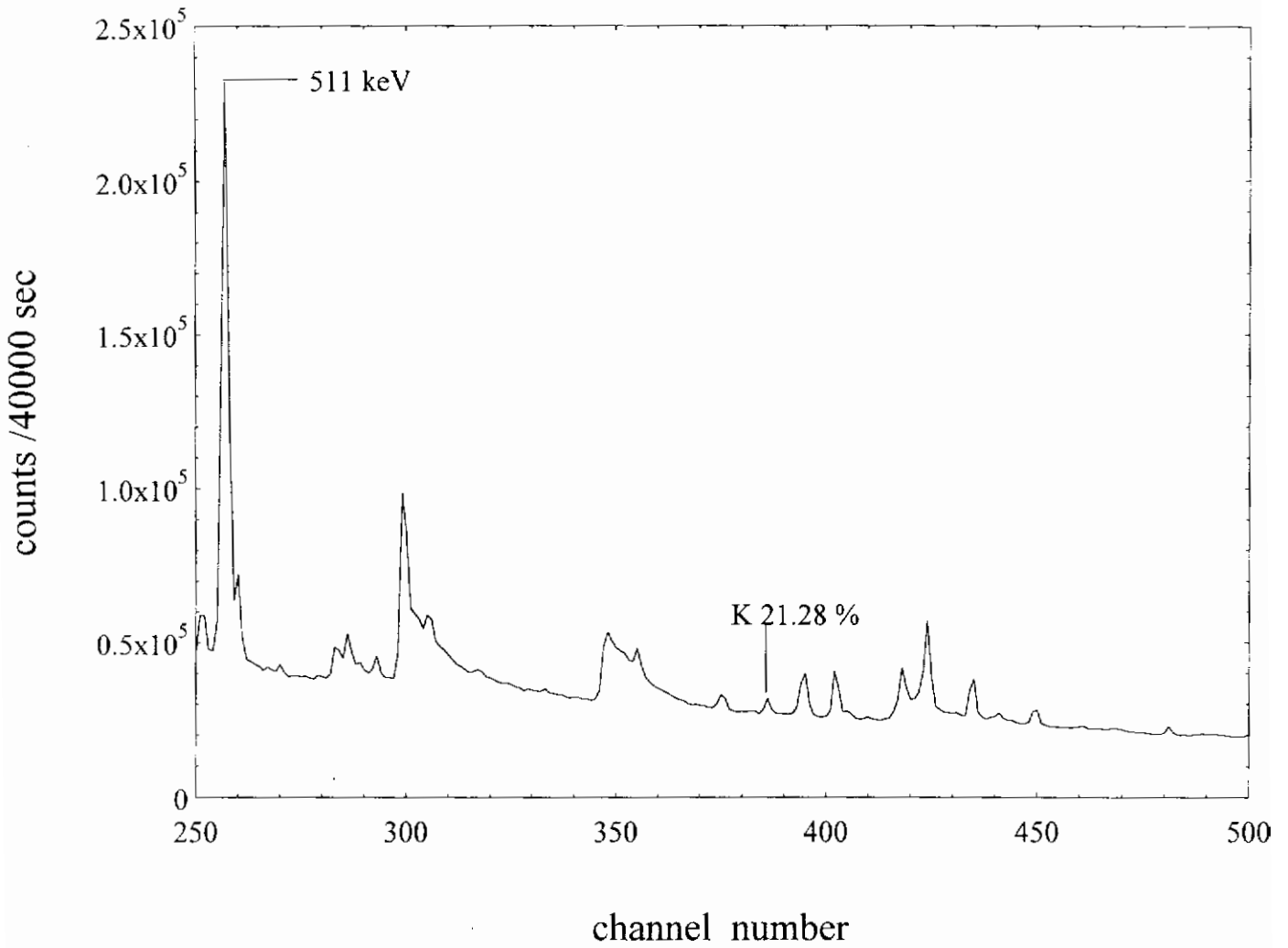
ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงจำนวนนับได้ฟิคของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมต่าง ๆ กัน สารตัวอย่างเตรียมจาก K_2CO_3 ผสมกับผงแป้งในภาชนะให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง ใช้เวลาวัดนาน 40000 วินาที



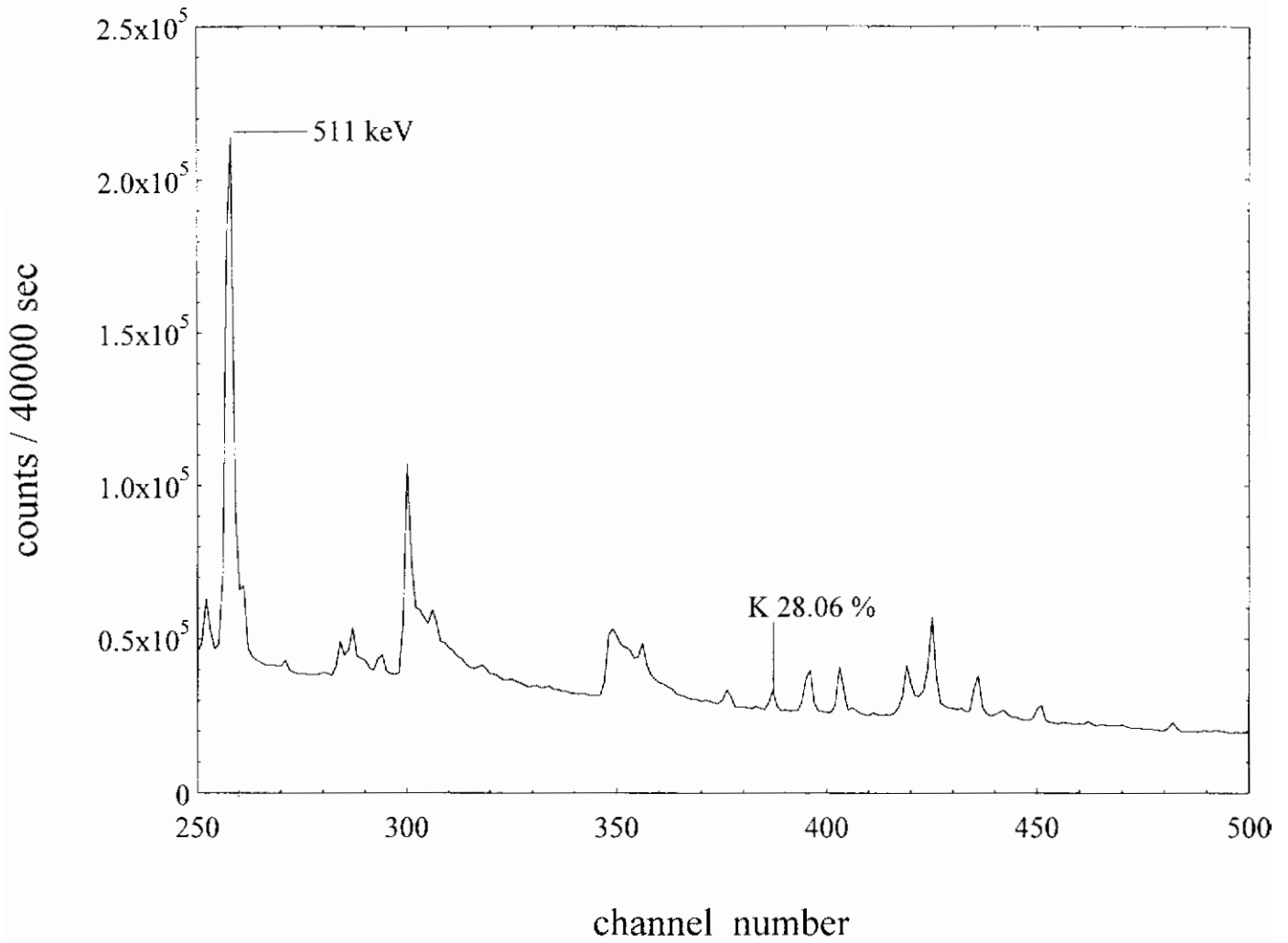
ภาพประกอบ 37 แสดงเส้นปรับเทียบมาตรฐานที่ได้จากการวัดสารตัวอย่างโดยวิธีผสมสารตัวอย่างให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง ใช้เวลาวัดนาน 40,000 วินาที



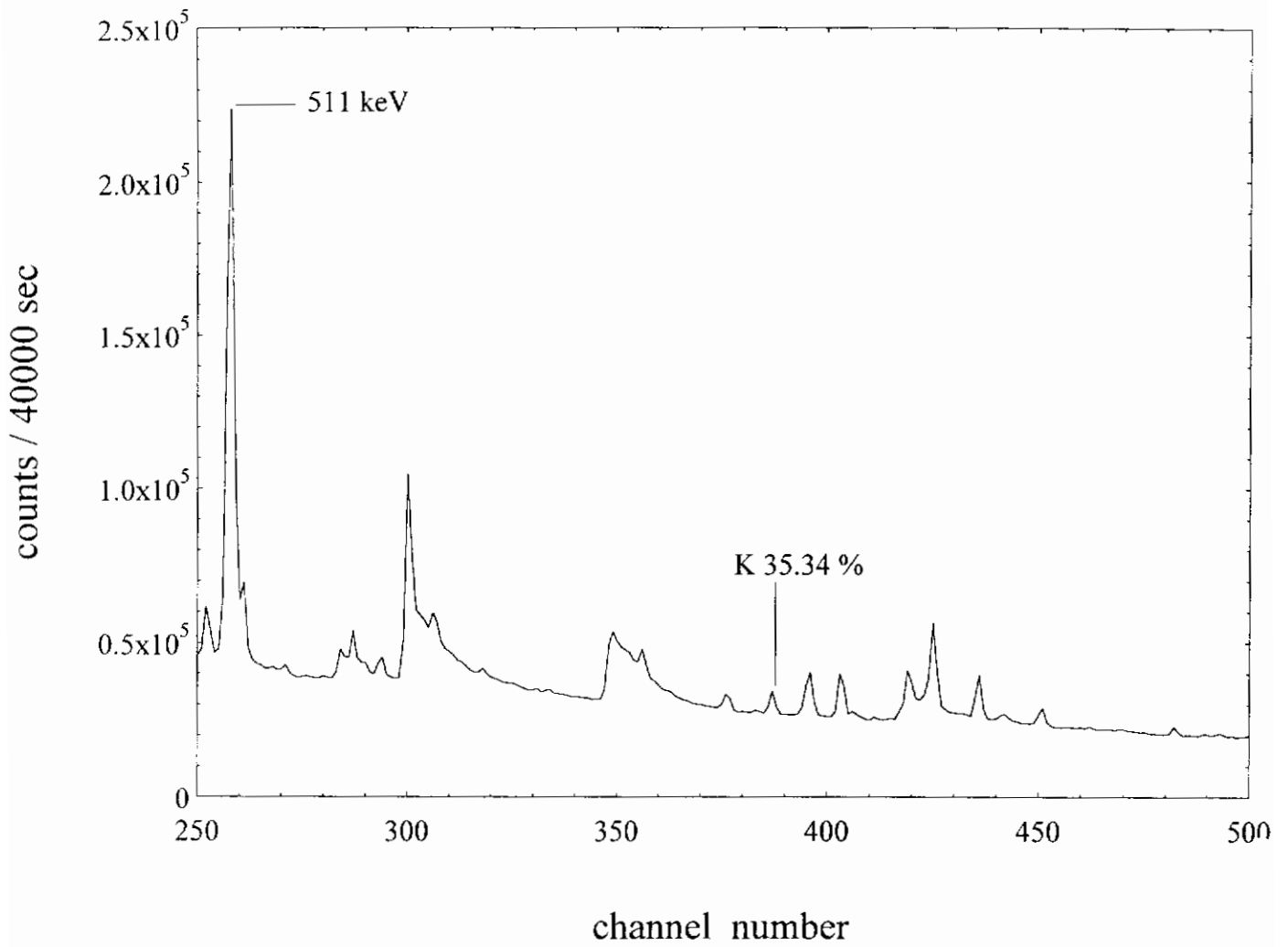
ภาพประกอบ 38 แสดงสเปกตรัมที่เกิดจากการวัดผงแป้ง



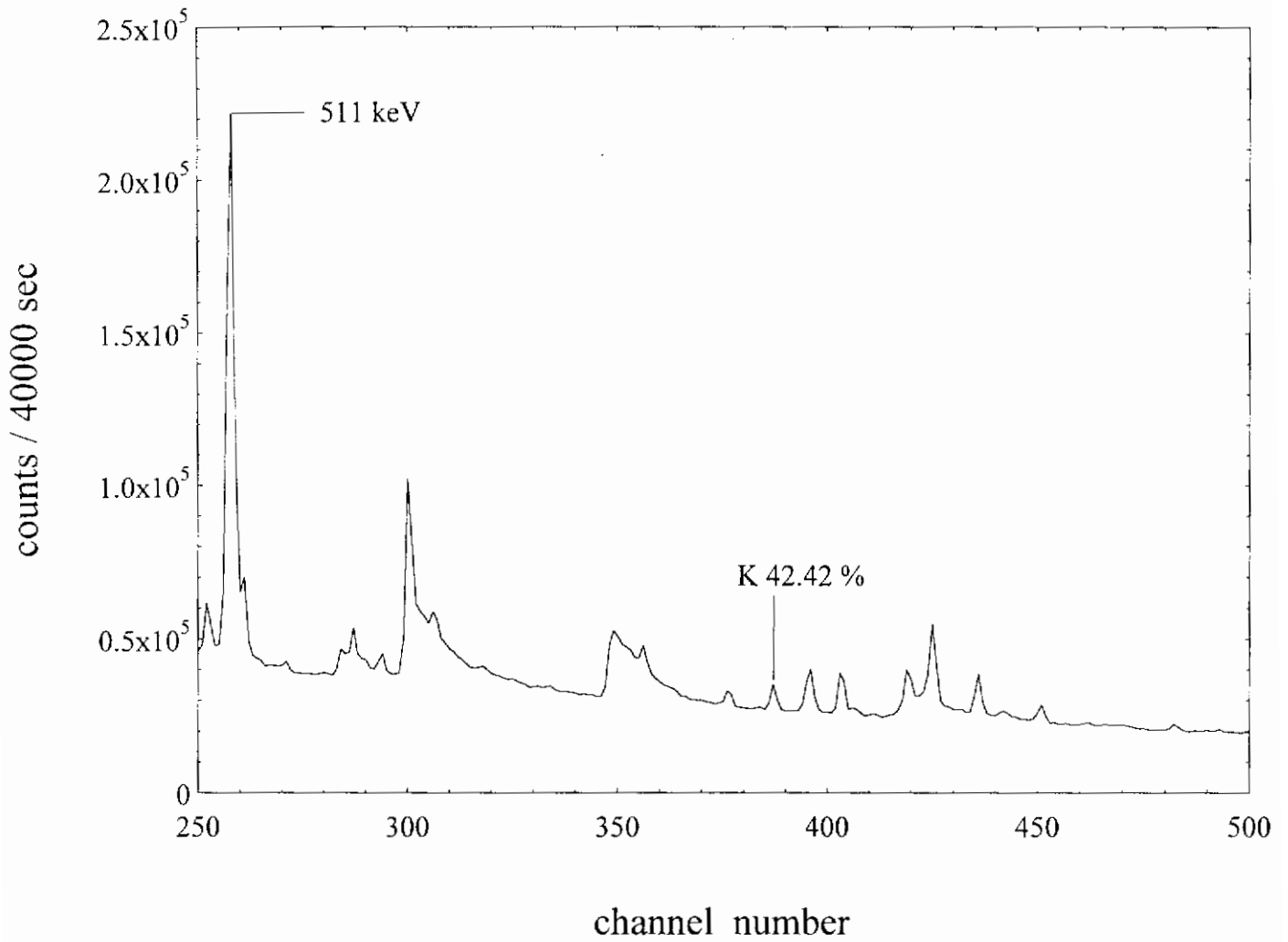
ภาพประกอบ 39 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาตรไปตสเชื่อมเท่ากับ 21.28 %



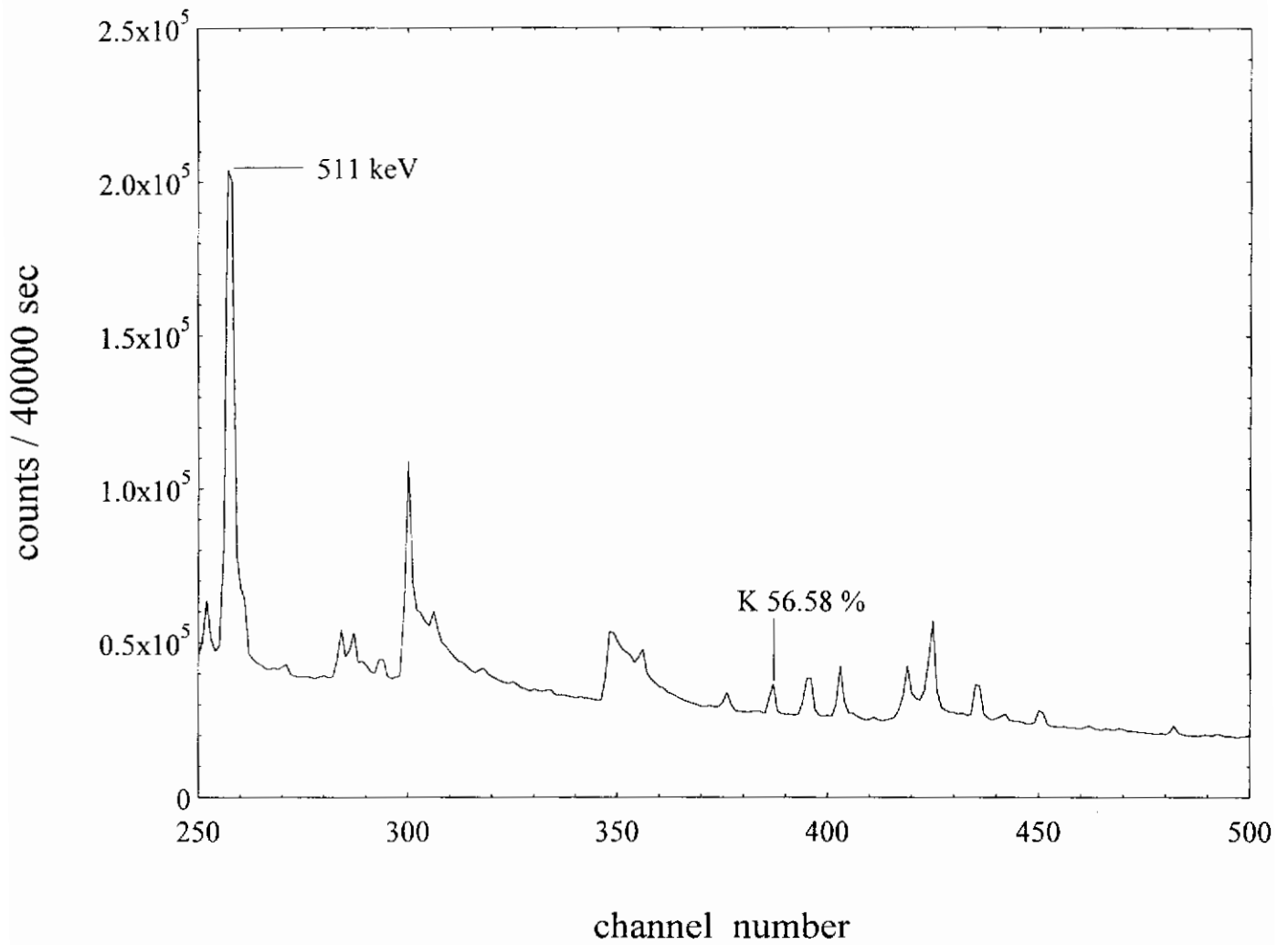
ภาพประกอบ 40 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 28.06 %



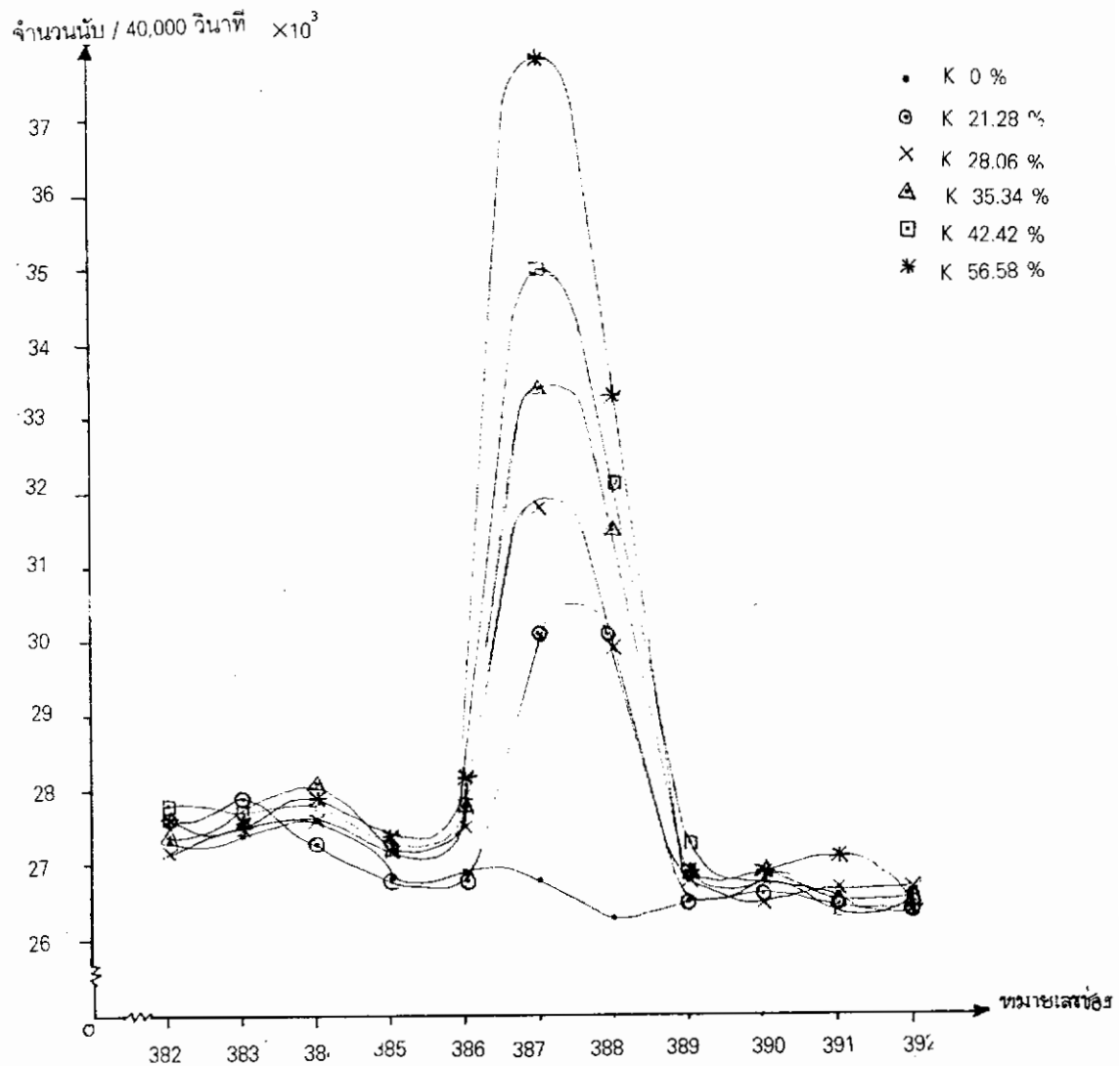
ภาพประกอบ 41 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 35.34 %



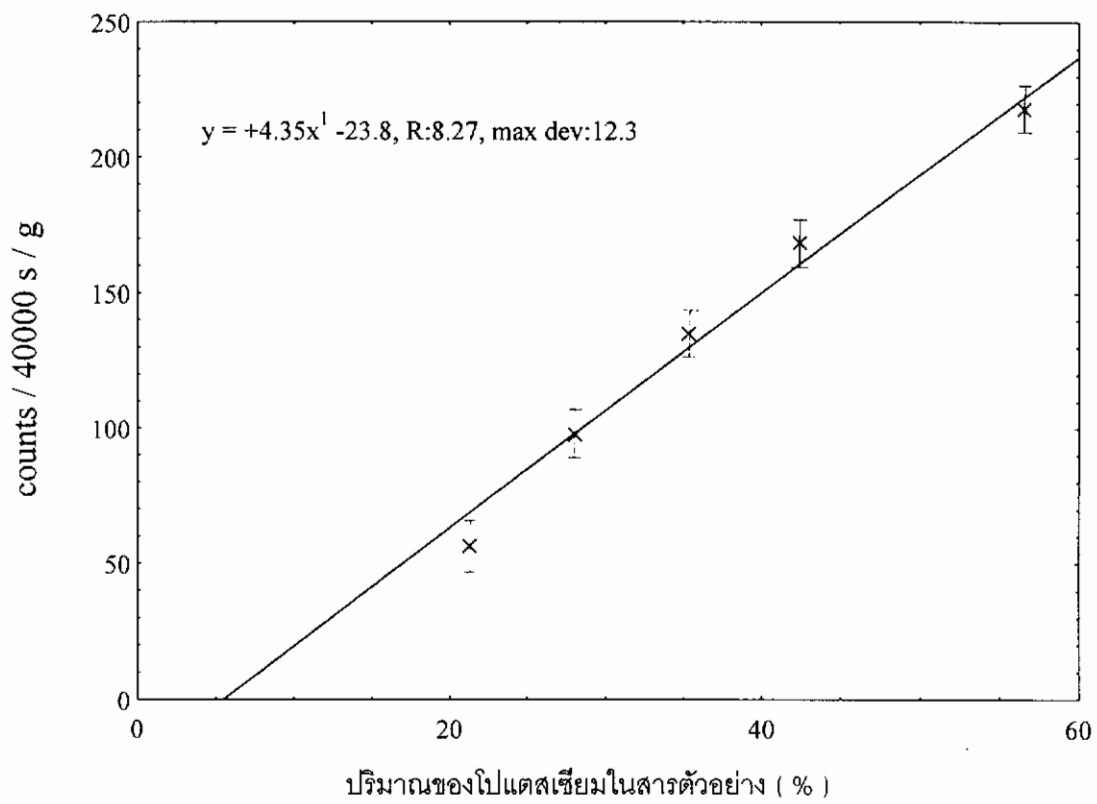
ภาพประกอบ 42 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 42.42 %



ภาพประกอบ 43 แสดงสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 56.58 %



ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงจำนวนนับได้พีคของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโปแตสเซียมต่าง ๆ กัน สารตัวอย่างเตรียมจาก K_2CO_3 ผสมกับผงแป้งลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรงใช้เวลาในการวัดนาน 40000 วินาที



ภาพประกอบ 45 แสดงเส้นปรับเทียบมาตรฐานจากการวัดสารตัวอย่างโดยวิธีผสมสารตัวอย่างในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรง ใช้เวลาวัดนาน 40,000 วินาที

4. ผลการคำนวณค่าขีดจำกัดของการวัด

ค่าขีดจำกัดของการวัดที่คำนวณได้จาก 3 วิธีที่กล่าวมาในข้างต้น แสดงดังตารางที่ 7

ตาราง 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของการวัดที่ได้จากการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งสามวิธี

เวลาที่ใช้ในการวัด (วินาที)	วิธีเตรียมสารตัวอย่าง	ขีดจำกัดของการวัด (%)		
		L_{D1}	L_{D2}	L_{D3}
20000	แบบที่ 1*	4.69	3.09	7.21
	แบบที่ 2*	4.63	2.97	6.93
40000	แบบที่ 1*	3.29	2.15	5.02
	แบบที่ 2*	2.99	1.94	4.51

แบบที่ 1* คือการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งในภาชนะใส่สารตัวอย่างให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง

แบบที่ 2* คือการผสม K_2CO_3 กับผงแป้งลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรง

L_{D1} คือค่าขีดจำกัดของการวัดที่คำนวณจาก $L_D = 2\sigma_s$

L_{D2} คือค่าขีดจำกัดของการวัดที่คำนวณจาก $L_D = 2\sigma_B$

L_{D3} คือค่าขีดจำกัดของการวัดที่คำนวณจากสมการ $L_D = 2.71 + 4.65\sigma_B$

ตัวอย่างการคำนวณค่าขีดจำกัดของการวัด

1. ค่าขีดจำกัดของการวัดที่แสดงในตารางที่ 7 เลือกกรณีที่มีค่าขีดจำกัดของการวัดเท่ากับ 4.69 % เป็นตัวอย่างในการแสดงวิธีการคำนวณค่าขีดจำกัดของการวัดเท่ากับสองเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับสุทธิ

$$L_D = 2\sigma_s \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\text{เมื่อ } \sigma_s = \sqrt{S + B(1 + \frac{m}{n})} \dots\dots\dots(4.2)$$

โดยที่ S คือจำนวนนับสุทธิภายใต้พีคที่สนใจมีค่าเท่ากับ 7284 c / 20000 s

B คือจำนวนนับภูมิหลังภายใต้พีคมีค่าเท่ากับ 68543 c / 20000 s

m คือจำนวนช่องภายใต้พีคของรังสีแกมมา ที่พลังงาน 770 keV
มีค่าเท่ากับ 5 ช่อง

n คือจำนวนช่องที่ใช้หาค่าจำนวนนับภูมิหลังเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 6 ช่อง

นำค่า S , B , m และ n แทนในสมการ (4.2) จะได้ว่า

$$\sigma_s = \sqrt{132946} \quad \text{นำค่านี้แทนในสมการ (4.1)}$$

$$L_D = 2\sqrt{132946}$$

$$L_D = 730 \quad \text{c / 20000 s}$$

สารตัวอย่างที่ใช้มีมวล 80.62 กรัม ถ้าคิดเทียบจำนวนนับต่อมวล 1 กรัม ค่า L_D จะเท่ากับ 9.05 c / 20000 s / g ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการให้ค่า L_D ที่ได้มีหน่วยเป็น % จึงนำค่า L_D ที่ได้มาทำการเทียบสัดส่วนกับค่าความชันของเส้นปรับเทียบมาตรฐานตามภาพประกอบ 21 มีค่าเท่ากับ 1.93 c / 20000 s / g / % เมื่อทำการเทียบสัดส่วนกันแล้วค่า L_D ที่ได้มีค่าเท่ากับ 4.69 %

2. กรณีที่ค่าขีดจำกัดของการวัดเท่ากับ 3.09 % เป็นตัวอย่างในการแสดงวิธีการคำนวณค่าขีดจำกัดของการวัดเท่ากับสองเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับภูมิหลัง

$$L_D = 2\sigma_B \quad \dots\dots\dots(4.3)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \sigma_B = \sqrt{B} \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

B คือค่าจำนวนนับภูมิหลังที่ได้จากการวัดแบ่งเพียงอย่างเดียว โดยคำนวณจากสมการ

$$B = \frac{m}{n}(B_L + B_R) \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

โดยที่ $m = 5$, $n = 6$

B_L คือผลรวมของจำนวนนับภูมิหลังของหมายเลขช่องด้านซ้ายที่ใช้หาค่าจำนวนนับภูมิหลังเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $41545 \text{ c} / 20000 \text{ s}$

B_R คือผลรวมของจำนวนนับภูมิหลังของหมายเลขช่องด้านขวาที่ใช้หาค่าจำนวนนับภูมิหลังเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $39927 \text{ c} / 20000 \text{ s}$

นำค่า m , n , B_L และ B_R แทนในสมการ (4.5) จะได้

$$\sigma_B = 238 \text{ c} / 20000 \text{ s} \text{ แทนในสมการ (4.3)}$$

ดังนั้น $L_D = 476 \text{ c} / 20000 \text{ s}$

สารตัวอย่างที่ใช้มีมวล 79.72 กรัม ถ้าคิดจำนวนนับเทียบมวล 1 กรัม ค่า L_D จึงมีค่าเท่ากับ $5.97 \text{ c} / 20000 \text{ s} / \text{g}$ เปลี่ยนหน่วย L_D ให้เป็น % โดยการเทียบสัดส่วนกับค่าความชื้นของเส้นปรับเทียบมาตรฐานตามภาพประกอบ 21 มีค่าเท่ากับ $1.93 \text{ c} / 20000 \text{ s} / \text{g} / \%$ เมื่อทำการเทียบสัดส่วนกันแล้วค่า L_D ที่ได้มีค่าเท่ากับ 3.09 %

3. เลือกกรณีที่มีค่าขีดจำกัดของการวัดเท่ากับ 7.21 % เป็นตัวอย่างในการแสดงวิธีคำนวณค่าขีดจำกัดของการวัดที่คำนวณจากสมการ

$$L_D = 2.71 + 4.65\sigma_B \dots\dots\dots(4.6)$$

ค่าของ σ_B เป็นค่าเดียวกันกับในข้อ 2 คือเท่ากับ 238 c / 20000 s แทนในสมการ (4.6) จะได้

$$L_D = 1109 \text{ c} / 20000 \text{ s}$$

สารตัวอย่างที่ใช้มีมวลโดยเฉลี่ย 79.72 กรัม ถ้าคิดจำนวนนับเทียบมวล 1 กรัม ค่า L_D จึงมีค่าเท่ากับ 13.91 c / 20000 s / g และการเทียบสัดส่วนแบบเดียวกับข้อ 1 และ ข้อ 2 ที่กล่าวมาแล้ว จะได้ค่า L_D เท่ากับ 7.21 %

5. ผลการทดลองเพื่อตรวจสอบเส้นเทียบมาตรฐานของมวลของโปแตสเซียม ด้วยการให้ KH_2PO_4 ที่มีปริมาณของโปแตสเซียมเท่ากับ 28.731 % แสดงดังตาราง 8

ตาราง 8 แสดงผลการตรวจสอบความแม่นยำของเส้นเทียบมาตรฐานทั้งสี่เส้น โดยใช้ โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็นสารทดสอบ

มวลของ KH_2PO_4 (กรัม)	เวลาที่ใช้ในการวัด (วินาที)	ปริมาณของโปแตสเซียม ที่อ่านได้จากเส้นเทียบมาตรฐาน (%)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
82.28	20000	22.30 [*]	22.38
		23.54 ^{**}	18.06
	40000	28.12 ^{***}	02.12
		28.82 ^{****}	00.31

* หมายถึงเส้นเทียบมาตรฐานตามภาพประกอบ 21

** หมายถึงเส้นเทียบมาตรฐานตามภาพประกอบ 29

*** หมายถึงเส้นเทียบมาตรฐานตามภาพประกอบ 37

**** หมายถึงเส้นเทียบมาตรฐานตามภาพประกอบ 45

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเทคนิควิธีวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาจับพลังจากการอาบนิวตรอน โดยใช้เครื่องมือของภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร ได้ข้อสรุปดังนี้คือ

1. วิธีที่ใช้ในการเตรียมสารตัวอย่างไม่มีผลต่อเทคนิควิธีวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาจับพลังจากการอาบนิวตรอน เพราะการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะขึ้นกับปริมาณธาตุที่สนใจในสารตัวอย่าง โดยไม่ขึ้นกับลักษณะการกระจายของธาตุที่สนใจในสารตัวอย่าง

2. ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีเตรียมสารตัวอย่างสองวิธีคือ วิธีผสมผงแบ่งกับ K_2CO_3 ลงในภาชนะให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง กับวิธีผสมผงแบ่งกับ K_2CO_3 ลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรง วิธีแรกมีข้อดีคือสารตัวอย่างที่ได้จะมีการกระจายของปริมาณโปแตสเซียมดีกว่าวิธีหลัง มีข้อเสียคือ อาจมีการสูญหายของปริมาณโปแตสเซียมในสารตัวอย่างเนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายภาชนะ ส่วนวิธีเตรียมสารตัวอย่างกรณีหลังมีข้อดีคือ มีการสูญหายของปริมาณโปแตสเซียมในสารตัวอย่างน้อยกว่า หรือไม่มีเลย มีข้อเสียคือ สารตัวอย่างที่ได้จะมีการกระจายของปริมาณโปแตสเซียมไม่ดีเท่ากับวิธีแรก ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าวิธีเตรียมสารตัวอย่างโดยวิธีผสมผงแบ่งกับ K_2CO_3 ลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรง มีความคลาดเคลื่อนในการบอกปริมาณโปแตสเซียมในสารทดสอบ KH_2PO_4 น้อยกว่า วิธีผสมผงแบ่งกับ K_2CO_3 ลงในภาชนะให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง ที่เป็นเช่นนี้เพราะวิธีแรกอาจมีการสูญหายของปริมาณโปแตสเซียมขณะทำการถ่ายภาชนะ ในงานวิจัยนี้วิธีเตรียมสารตัวอย่างโดยวิธีผสมผงแบ่งกับ K_2CO_3 ลงในขวดใส่สารตัวอย่างโดยตรงจึงน่าจะดีกว่า วิธีผสมผงแบ่งกับ K_2CO_3 ลงในภาชนะให้เข้ากันดีแล้วบรรจุลงในขวดใส่สารตัวอย่าง

3. สามารถวิเคราะห์ปริมาณโปแตสเซียมในสารตัวอย่างได้น้อยที่สุดเท่ากับ 7.07 % และ 4.77 % สำหรับการวัดสารตัวอย่างนาน 20,000 วินาที และ 40,000 วินาที ตามลำดับ

4. สามารถวิเคราะห์ปริมาณโปแตสเซียมในสารทดสอบได้ และมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 10 %

อภิปรายผลการทดลอง

การหา Optimum condition จนได้ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการวางต้นกำเนิดนิวตรอน ห่างจากสารตัวอย่างในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 8.34 เซนติเมตร นั้นอาจไม่ใช่ตำแหน่งเหมาะสมที่แท้จริง

เพราะการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนกับสารตัวอย่างจากระยะนี้ไปที่ระยะ 9.98 เซนติเมตร ห่างกัน 1.64 เซนติเมตร ซึ่งมากเกินไปจึงทำให้จำนวนนับสุทธิภายใต้พีคที่แตกต่างกัน ประมาณ 13 % ซึ่งระยะเหมาะสมที่แท้จริงอาจเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งต้นกำเนิดนิวตรอนกับสารตัวอย่างที่ระยะ 8.34 เซนติเมตร ไประยะที่น้อยกว่า 9.98 เซนติเมตรก็ได้ แต่ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถลดตำแหน่งให้น้อยกว่านี้ได้ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือในการเปลี่ยนตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนกับสารตัวอย่างของภาควิชาฟิสิกส์

จากการทดสอบความแม่นยำของเทคนิควิธีนี้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงเพียงเล็กน้อยประมาณ 3 % สำหรับสารตัวอย่างที่ใช้เวลาวัดนาน 40,000 วินาที ส่วนสารตัวอย่างที่ใช้เวลาวัดนาน 20,000 วินาที จะมีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก และค่าความคลาดเคลื่อนที่มีค่ามากที่สุดคือ 22.3 % ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดในงานวิจัยนี้น่าจะมีสาเหตุมาจาก สารทดสอบ KH_2PO_4 เป็นสารที่ดูดความชื้นได้ง่าย ขณะที่เตรียม สารทดสอบอาจดูดความชื้นในห้องปฏิบัติการเข้าไป จึงทำให้ปริมาณของโปแตสเซียมในสารทดสอบที่เตรียมมีค่าน้อยกว่าที่คำนวณได้จากสูตรโมเลกุล

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเทคนิควิธีวิเคราะห์โปแตสเซียมด้วยการวัดรังสีแกมมาจับปล้นจากการอาบนิวตรอน โดยใช้เครื่องมือของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ทำให้ได้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิเคราะห์สารที่ใช้เทคนิควิธีนี้คือ

1. เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณสารด้วยวิธีนี้มีความยุ่งยากมากในการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาจับปล้นที่เร้าสนใจ เนื่องจากในภูมิภาคหลังมีสเปกตรัมรังสีแกมมาของธาตุอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาจับปล้นของโปแตสเซียมในงานวิจัยนี้ ได้ใช้ Analytical sensitivities and energies of thermal neutron capture gamma rays (Senftle , Moore and Leep 1971 : 425-459) ช่วยในการวิเคราะห์

2. ในงานวิจัยนี้ใช้ Am-Be ความแรง 5 คูรี เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน ซึ่งมีความเข้มของฟลักซ์นิวตรอนประมาณ $10^4 \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ที่ตำแหน่งสารตัวอย่างห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอน 8.34 เซนติเมตร ซึ่งค่อนข้างต่ำทำให้ผลการทดลองไม่ใคร่แน่นอน การวิเคราะห์ธาตุที่ให้รังสีแกมมาจับปล้นที่พลังงานอื่น ๆ เช่น P , N , Pb ก็ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เพราะมีความเข้มของฟลักซ์นิวตรอนน้อยเกินไป นอกจากนี้ยังไม่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาจับปล้นที่พลังงานในช่วง 3-4 MeV เพราะในช่วงนี้มีการเกิด Doppler broadened ของ C^{12} ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Be กับอนุภาคอัลฟา ทำให้ค่าภูมิภาคหลังในช่วงพลังงานนี้สูงมาก

3. ในการวัดสารตัวอย่างควรวัดใช้เวลาวัดที่ค่อนข้างนานมาก ๆ สำหรับต้นกำเนิดนิวตรอนที่มีความเข้มของฟลักซ์นิวตรอนน้อย ๆ ดังผลที่ได้ในงานวิจัยนี้พบว่าใช้เวลาวัดนาน 40,000 วินาที มีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโปแตสเซียมในสารตัวอย่างมากกว่าที่ใช้เวลาวัดนาน 20,000 วินาที เพราะความคลาดเคลื่อนในการวัดสารทดสอบน้อยกว่า

นอกจากข้อเสนอแนะในข้างต้นแล้วสิ่งที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์สารด้วยเทคนิควิธีนี้อีกประการหนึ่งคือ เทคนิคการลดภูมิหลัง ดังจะเห็นได้จากสเปกตรัมที่ได้ในงานวิจัยนี้ยังมีพีคที่เล็กเมื่อเทียบกับพีคที่ข้างเคียง ซึ่งเทคนิคการลดภูมิหลังของสเปกตรัมมีหลายวิธีด้วยกันซึ่งผู้ทำจะศึกษาถึงวิธีที่ลดภูมิหลังเพื่อประโยชน์ในการทำงานครั้งต่อไป โดยคาดหวังว่าการวิเคราะห์สเปกตรัมของโปแตสเซียมก็น่าจะได้ผลดียิ่งขึ้น

จากข้อเสนอแนะในข้างต้นได้จากผลที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้เท่านั้น ดังนั้นข้อเสนอแนะนี้จึงเป็นแนวทางเพียงบางส่วนของเทคนิควิธีการวิเคราะห์สารด้วยการวัดรังสีแกมมาฉบับพลันจากการอาบนิวตรอน ซึ่งผู้วิจัยหวังว่าข้อเสนอแนะในข้างต้นที่กล่าวมาคงจะเป็นประโยชน์สำหรับท่านผู้อ่านที่สนใจจะศึกษาเทคนิควิธีนี้ในการวิเคราะห์สารอื่น ๆ ต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- วันชัย ธรรมวานิช และคนอื่น ๆ . การประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ครั้งที่ 4.
กรุงเทพฯ ฯ : สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ, 2535.
- ศัลักษณ์ ทรรพนันท์. เคมีนิวเคลียร์. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.
- Biersack, J.P. and others. Nuclear Instruments and Methods. 149 : 93 ; 1978.
- Comar, D. and others. The use of neutron-capture gamma radiation for the analysis of biological samples," Nuclear Applications. 6 : 344-351 ; 1969.
- Currie, A. Lloyd. "Limits for Qualitative Detection and Quantitative Determination," Analytical Chemistry. 40(3):586-593;1968.
- Duffey, D. and El-kady, A. "Analytical Sensitivities and Energies of Thermal Neutron-Capture Gamma Rays," Nuclear Instruments and Methods. 80 : 149-171 ; 1970.
- El-Sherif, A. and others. "Activation Analysis of Gallium Using Solvent Extraction," Radiochimica Acta. 13 : 181-184 ; 1967.
- Failey, M.P. and others. "Neutron-Capture Prompt Gamma-Ray Activation Analysis for Multielement Determination in Complex Sample," Analytical Chemistry. 51(13) : 2209-2221 ; 1979.
- Hassan, A.M. and others. Analytical Applications of Neutron Capture Gamma-Ray Spectroscopy. Egypt : Atomic Energy Post Office Cairo, 1982.
- Isenhour, T.L. and G.H, Morrison. "Modulation Technique for Neutron Capture Gamma Ray Measurements in Activation Analysis," Analytical Chemistry. 38 (2) : 162-167 ; 1966.
- Kaplan, Irving. Nuclear Physics. 2nd ed. New Delhi : Rekha Printers Pvt. Ltd., 1962
- Knoll, Glenn F. Radiation Detection and Measurement. New York : John Wiley&Sons, 1979.
- Lea, D.E. Nature. 133 : 24 ; 1934.
- Lyons, Louis. Statistics for nuclear and particle physicists. Great Britain : University Press, 1986.
- Matsumoto, Tetsuo and Aizawa, Otohiko. Appl.Radiat.Isot. 41 : 897-903;1990.
- Matthews, IAN P. and H.D, Moore. and D.B, Leep. Nuclear Instruments and Methods. 93 :

425-459 ; 1971.

Mittelman, Phillip S. and Robert A, Liedtke. "Gamma Rays from Thermal-Neutron Capture," Nucleonics. 13(5) : 50-51 ; May 1955.

Ondov, J.M. and others. "Elemental Concentrations in the National Bureau of Standards Environmental Coal and Fly Ash Standard Reference Materials," Analytical Chemistry. 47(7) : 1102-1109 ; 1975.

Patil, SH. Elements of Modern Physics. Bombay : Tata Mcgraw-Hill, 1984.

Peisach, M. Journal of Radioanalytical Chemistry. 61 : 243-271 ; 1981.

Price, William J. Nuclear Radiation Detection. 2nd ed. New York : Mc Graw-Hill Book Company, 1964

Senftle, F.E. and H.D., Moore. and D.B, Leep. "Analytical Sensitivities and Energies of Thermal Neutron Capture Gamma Ray 2," Nuclear Instruments and Methods. 93 : 425-459; 1971.

Yonezawa, Chusiro, and Michio, Hoshi. JAERI-M 91-087. 28 : 1991.

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นายมานิชญ์ ชื่อสกุล เสงวัฒมนะ
เกิดวันที่ 16 เดือน มกราคม พุทธศักราช 2515
สถานที่เกิด อำเภอเมือง จังหวัด นครปฐม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 135 / 291 ซ.เรวดี ถ. ติวานนท์ ต. ตลาดขวัญ อ. เมือง
จ. นนทบุรี 11000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2533 มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนวิมุตยารามพิทยากร
จังหวัดกรุงเทพฯ ฯ

พ.ศ. 2537 กศ.บ วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

พ.ศ. 2541 วท.ม. (วิชาเอกฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณโปแตสเซียมด้วยการวัดรังสีแกมมาฉบับพลันจากการอบนิวตรอน

บทคัดย่อ
ของ
มาโนชญ์ เสงี่ยมณะ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์
มีนาคม 2541

การศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณโปแตสเซียม โดยอาศัยเทคนิควิธีการวัดรังสีแกมมาฉบับพลันจากการอาบนิวตรอนด้วยชุดทดลองที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ชุดทดลองประกอบด้วย Am-Be ความแรง 5 คูรี เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน หัววัด HPGe ปริมาตร 84.4 ลบ.ซม. ต่อกับเครื่องวิเคราะห์หลายช่อง series 35 plus ของแคนเบอร์รา หุ้มหัววัดด้วยแผ่นลิเทียม (Li) เพื่อป้องกันอันตรายจากนิวตรอน สารมาตรฐานที่ใช้สร้างเส้นเปรียบเทียบมาตรฐานเตรียมจาก K_2CO_3 ชนิดผง ผสมกับแป้งให้ได้ปริมาณโปแตสเซียม ต่าง ๆ กันตั้งแต่ 21 , 28 , 35 , 43 , 50 , และ 57% มวลของแต่ละสารมาตรฐานประมาณ 80 กรัม วัดรังสีแกมมาฉบับพลันพลังงาน 770 keV จากปฏิกิริยา $K^{39} (n, \gamma) K^{40}$ นาน 20000 และ 40000 วินาที จากการทดลองได้ค่าขีดจำกัดของการวัดโปแตสเซียมเท่ากับ 7.07 % และ 4.77 % เมื่อใช้เวลาวัดนาน 20,000 และ 40,000 วินาที ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทดลองวิเคราะห์ปริมาณโปแตสเซียมในสารตัวอย่างโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) โดยใช้เส้นเปรียบเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้น ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อน 10 %

A PROMPT GAMMA-RAY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS FOR
QUANTITATIVE POTASSIUM DETERMINATION.

AN ABSTRACT

BY

MANOCH HENGWATTANA

Presented in partial fulfillment of the requirements for the
Master of Science degree in Physics
at Srinakharinwirot University

March 1998

Prompt Gamma-rays Neutron Activation Analysis Technique for K determination was studied using a prompt gamma - rays facility at the department of Physics , Srinakharinwirote University. The facility consists of a 5 Ci Am-Be neutron source, and a 84.4 cm³ HPGe detector , which is surrounded by Li sheets to prevent detector damage caused by neutron , coupled with Canberra series 35 plus multichannel analyzer. The standard samples with K concentrations at 21 , 28 , 35 , 43 ,50 and 57 % were made by mixing K₂CO₃ with starch. Each sample is approximately 80 gm. The intensity of 770 keV lines of prompt gamma - rays emitted from $K^{39}(n, \gamma)K^{40}$ reaction were measured for 20,000 and 40,000 seconds and the calibration curves are obtained. Detection limits calculated from $2.71 + 4.65\sigma_b$ are 7.07 % for 20,000 seconds and 4.77 % for 40,000 seconds. The K concentration of KH₂PO₄ has been determined by using the calibration curves. The average result has 10 % error.