

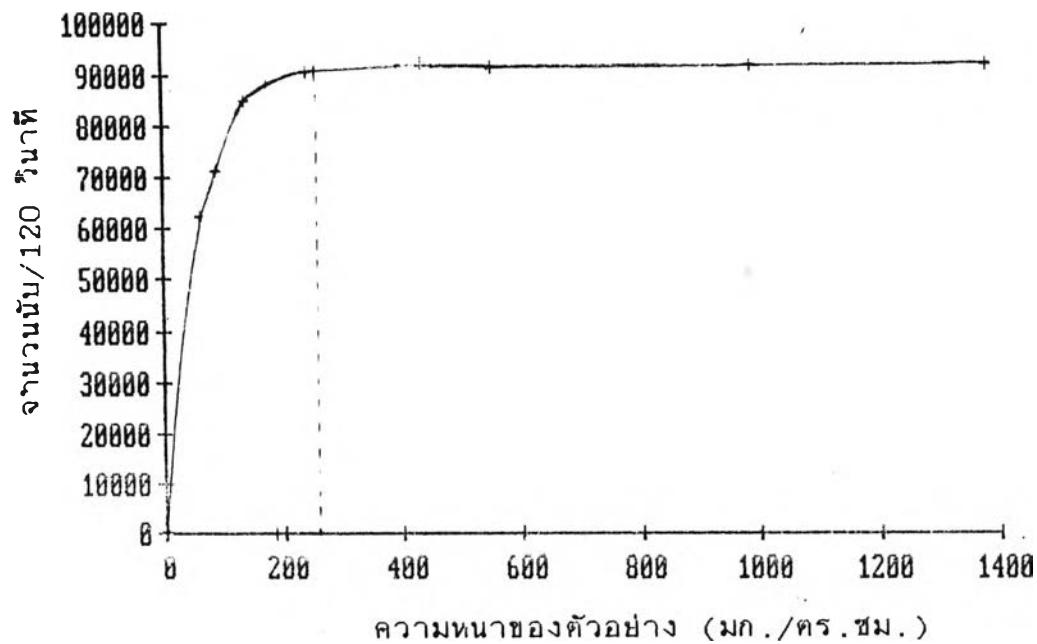
ผลการวิจัย

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับกับความหนาของอลูมิเนียม

จากการใช้อะลูมิเนียมความหนาอยู่ในช่วง 0 ถึง 1379.8 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นตัวอย่างในการวัดการกระเจิงกลับของรังสีเบตา พบว่าในช่วงความหนาประมาณ 0 ถึง 180 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อความหนาประมาณ 250 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป จะได้ความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับค่อนข้างคงที่ แสดงว่าตัวอย่างที่มีความหนาประมาณ 250 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป ความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับจะอิ่มตัว (Saturate) ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 4.1 และกราฟในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของรังสีเบตากระเจิงกลับกับความหนาของอะลูมิเนียม

| ความหนาของอะลูมิเนียม (มก./ตร.ซม.) | ความชื้นของรังสีเบตากระเจิงกลับ (จำนวนนับต่อ 120 วินาที) |
|---------------------------------------|---|
| 0 | 0 |
| 61.5 | 62112 |
| 89.5 | 71006 |
| 137.0 | 84675 |
| 240.0 | 90451 |
| 394.3 | 91538 |
| 434.1 | 91860 |
| 551.4 | 91156 |
| 985.5 | 91456 |
| 1379.8 | 91440 |



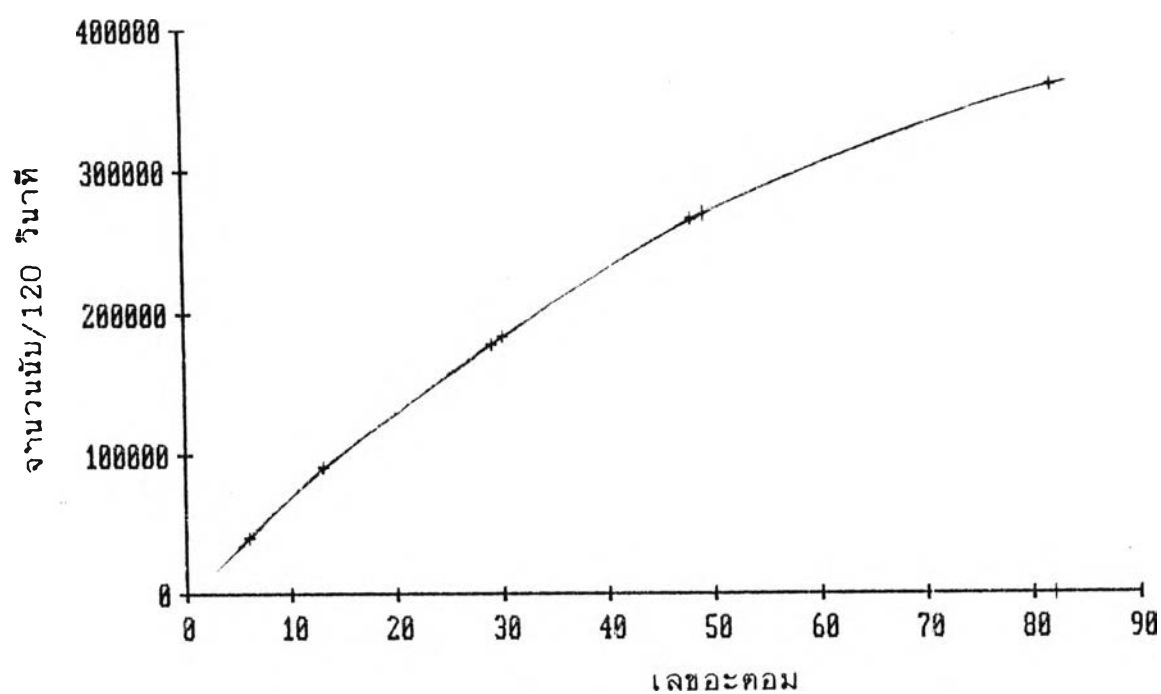
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับ
กับความหนาของอะลูมิเนียม

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับกับเลขอะตอมของธาตุต่างๆ

จากการใช้ธาตุ 6 ชนิด ที่มีเลขอะตอมอยู่ในช่วง 6 (คาร์บอน) ถึง 82 (ตะกั่ว) และความหนาประมาณ 250 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป เป็นตัวอย่างในการกระเจิงกลับของรังสีเบตา พบว่าความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับเพิ่มขึ้นตามเลขอะตอมของธาตุ ดังในตารางที่ 4.2 และกราฟรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับกับเลขอะตอม
ของธาตุต่าง ๆ

| เลขอะตอม | ธาตุและสัญลักษณ์ | ความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับ (จำนวนนับต่อ 120 วินาที) |
|----------|------------------|---|
| 6 | คาร์บอน, C | 40000 |
| 13 | อะลูมิเนียม, Al | 91021 |
| 29 | ทองแดง, Cu | 177404 |
| 30 | สังกะสี, Zn | 182732 |
| 48 | แคดเมียม, Cd | 266054 |
| 82 | ตะกั่ว, Pb | 359464 |



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับกับเลขอะตอมของธาตุต่าง ๆ

4.3 ผลการหาพิสัยสูงสุดและพลังงานสูงสุดของรังสีเบตาที่กระเจิงกลับจากตะกั่วและดีบุก

จำนวนนับรังสีจากตะกั่วมีค่าสูงกว่าจากดีบุกโดยตลอด ดังผลการวิจัยในตารางที่ 4.3 และกราฟในรูปที่ 4.3 ซึ่งจากกราฟสามารถหาพิสัยสูงสุด(maximum range)ของรังสีเบตาที่กระเจิงกลับจากตะกั่วและดีบุกได้เท่ากับ 700 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 625 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งคิดเป็นพลังงานสูงสุดเท่ากับ 1.543 Mev และ 1.397 MeV ตามลำดับผลการวิจัยชิ้นนี้เป็น การยืนยันว่าพลังงานสูงสุดของรังสีเบตาที่กระเจิงกลับมีค่าลดลงตามเลขอะตอมของตัวอย่างตามที่กล่าวไว้ และถ้ามีการเลือกนักรังสีเบตาในช่วงพลังงานที่เหมาะสม หรือใช้แผ่นกรองรังสีที่เหมาะสม จะสามารถเพิ่มความไวในการใช้ประโยชน์เทคนิครังสีเบตาที่กระเจิงกลับได้ จากการพิจารณาอัตราส่วนระหว่างจำนวนนับรังสีของตะกั่วต่อดีบุก เห็นได้ว่าอัตราส่วนจำนวนนับรังสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความหนาของแผ่นกรองรังสี กล่าวคือ เมื่อจากความหนาประมาณ 1.4 ไปเป็น 2.1 จนถึงความหนาประมาณ 551.4 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นมีค่าลดลงเหลือประมาณ 1.9 ซึ่งแสดงว่าถ้าใช้ความหนาของแผ่นกรองรังสีที่เหมาะสม จะได้อัตราส่วนจำนวนรังสีของตะกั่วต่อดีบุกมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเท่ากับว่าความไวในการหาปริมาณตะกั่วและดีบุกให้กับเทคนิคนี้มีค่าสูงขึ้น

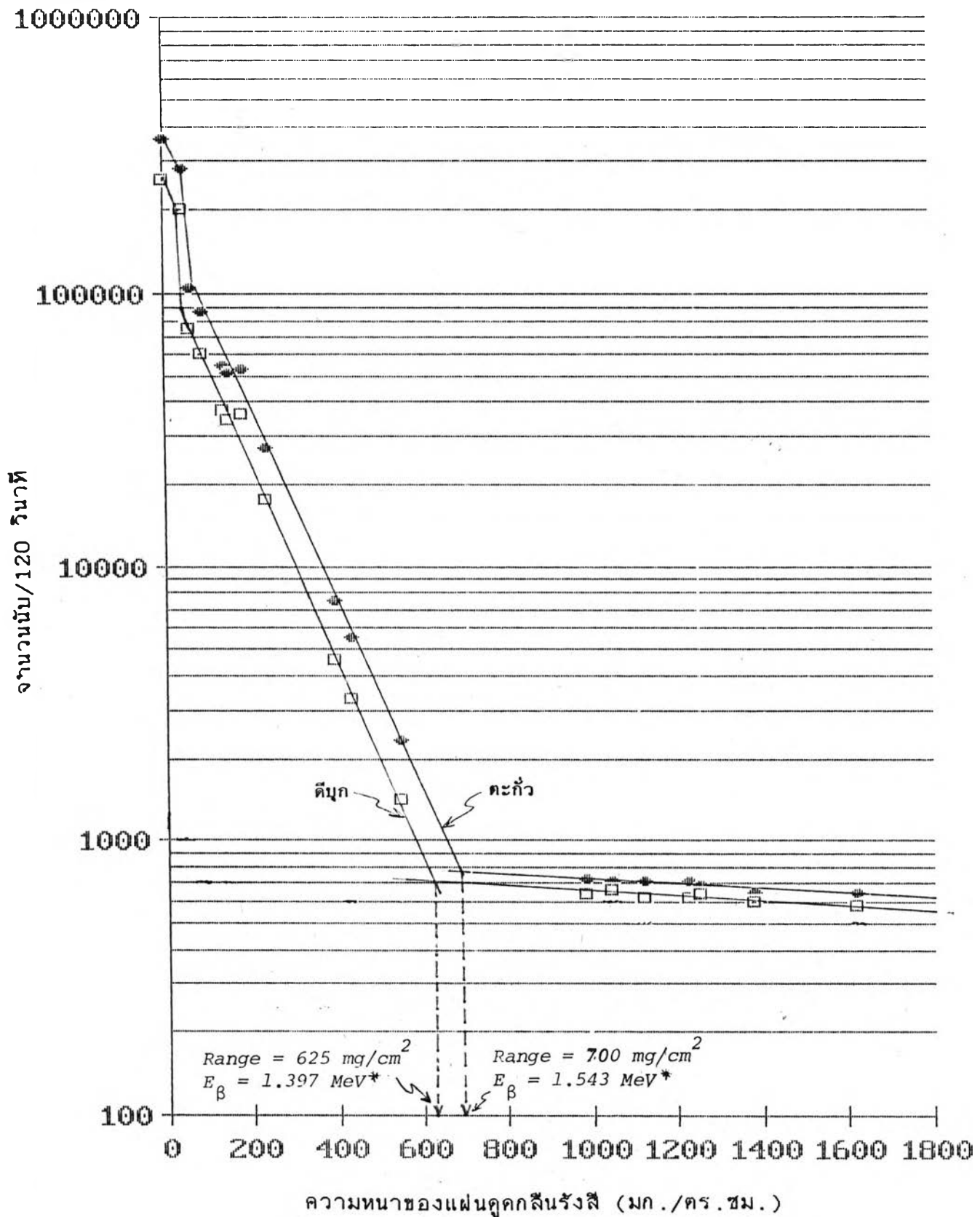
อย่างไรก็ตามอัตราส่วนนับรังสีสำหรับกรณีที่ใช้แผ่นกรองรังสีหนาๆ อาจมีความแปรปรวนมาก เพราะจำนวนนับรังสีมีค่าน้อย จึงต้องทำการวัดรังสีนานขึ้นสำหรับข้อมูลจำนวนนับรังสีที่ได้เมื่อใช้แผ่นกรองรังสีหนากว่าพิสัยของรังสีเบตา (ในที่นี้คือ ความหนาตั้งแต่ 985.5 มิลลิกรัม เท่ากับ 2 จำนวนนับรังสีในช่วงนี้ น่าจะมาจากเบรมส์สตราห์ลิ่งที่เกิดจากตะกั่ว และดีบุก โดยที่ตะกั่วมีเลขอะตอมสูงกว่าดีบุกจึงทำให้เกิดเบรมส์สตราห์ลิ่งได้มากกว่า

ตารางที่ 4.3 ความเข้มรังสีเบตากระเจิงกลับจากดีบุก ตะกั่ว เพื่อใช้แผ่นกรองรังสี
ความหนาต่าง ๆ

| ความหนาของอะลูมิเนียม (มก./ตร.ซม.) | ความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับ* (จำนวนนับต่อ 120 วินาที) | | | ** อัตราส่วน จำนวนนับรังสี ตะกั่ว/ดีบุก |
|---------------------------------------|--|--------|-----------|--|
| | ตะกั่ว | ดีบุก | แบคกราวด์ | |
| 0 | 358366 | 257123 | 1213 | 1.396 |
| 46.5 | 282548 | 202095 | 1006 | 1.400 |
| 61.5 | 105705 | 74715 | 724 | 1.419 |
| 89.5 | 86627 | 60270 | 710 | 1.443 |
| 137.0 | 54954 | 37248 | 687 | 1.484 |
| 151.0 | 51254 | 34469 | 668 | 1.497 |
| 183.5 | 52673 | 35774 | 674 | 1.481 |
| 240.0 | 27484 | 17713 | 636 | 1.572 |
| 394.3 | 7572 | 4600 | 630 | 1.749 |
| 434.1 | 5585 | 3300 | 611 | 1.850 |
| 551.4 | 2338 | 1406 | 618 | 2.183 |
| 985.5 | 724 | 643 | 564 | 2.025 |
| 1047.0 | 721 | 659 | 591 | 1.912 |
| 1123.0 | 718 | 622 | 536 | 2.116 |
| 1126.0 | 710 | 616 | 529 | 2.080 |
| 1256.0 | 693 | 636 | 525 | 1.514 |
| 1380.0 | 652 | 600 | 539 | 1.850 |
| 1619.8 | 644 | 575 | 499 | 1.908 |

* แก้ coincidence loss แล้ว แต่ยังไม่หักแบคกราวด์

** คำนวณเมื่อหักแบคกราวด์แล้ว



รูปที่ 4.3 การหาพิสัยสูงสุดและพลังงานสูงสุดของรังสีเบตาจากตะกั่วและดีบุก

* E_β คำนวณได้จากสมการ (2.9)

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับกับส่วนผสมของโลหะผสมตะกั่ว-ดีบุก เมื่อใช้แผ่นกรองรังสีความหนาต่างๆ กัน

จากการวัดความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับจากตัวอย่างโลหะผสมตะกั่ว-ดีบุก ที่มีส่วนผสมต่าง ๆ กัน ทั้งที่ใช้และไม่ใช้แผ่นกรองรังสีวางไว้หน้าหัววัดรังสี พบว่า ความเข้มรังสีเบตากระเจิงกลับเพิ่มขึ้นตามปริมาณตะกั่ว เมื่อใช้แผ่นกรองรังสีความหนาเพิ่มขึ้น ความชันของกราฟมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 กราฟในรูปที่ 4.4

อย่างไรก็ตามในการใช้ความหนาของแผ่นกรองรังสีมาก มีผลทำให้อัตรานับรังสีลดลง และอัตราส่วนระหว่างจำนวนนับรังสีต่อแบค-กราวด์นั้นลดลงไปด้วย ทำให้ต้องใช้เวลานับรังสีนานขึ้น

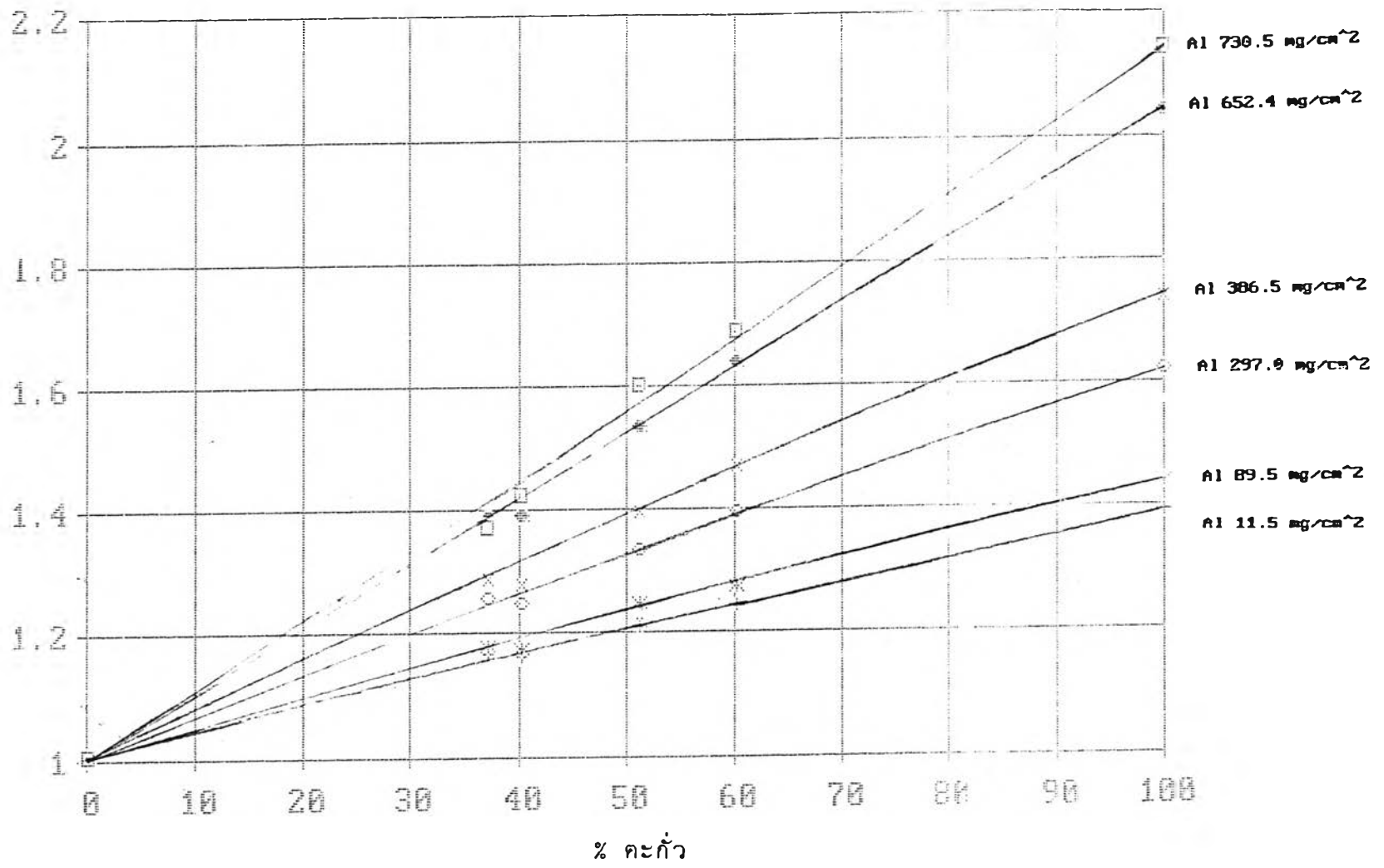
ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับกับส่วนผสมตะกั่ว-ดีบุก
เมื่อใช้แผ่นกรองรังสีความหนาต่าง ๆ กัน

| ความหนาของ อะลูมิเนียม (มก./ตร.ซม.) | เวลา (วินาที) | ความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับ | | | | | |
|---|------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | ร้อยละของดีบุกและตะกั่ว (%Sn/%Pb) | | | | | |
| | | 99.9/0 | 63/37 | 60/40 | 49/51 | 40/60 | 0.01/99.99 |
| 0 | 60 | 129111 (1.0000) | 148913 (1.1534) | 148631 (1.1512) | 156660 (1.2134) | 160353 (1.2420) | 178343 (1.3813) |
| 11.5 | 60 | 102771 (1.0000) | 119398 (1.1618) | 119224 (1.1601) | 12378 (1.2044) | 127677 (1.2423) | 142501 (1.3866) |
| 89.5 | 120 | 62574 (1.0000) | 73586 (1.1760) | 73194 (1.1697) | 78001 (1.2465) | 79526 (1.2710) | 89790 (1.4349) |
| 297.0 | 420 | 40383 (1.0000) | 50565 (1.2521) | 50225 (1.2447) | 53841 (1.3332) | 56202 (1.3917) | 65235 (1.6154) |
| 386.5 | 800 | 36951 (1.0000) | 47389 (1.2825) | 47160 (1.2763) | 51370 (1.3902) | 54160 (1.4657) | 64011 (1.7323) |
| 540.0 | 3000 | 24556 (1.0000) | 33646 (1.3702) | 33890 (1.3801) | 37356 (1.5213) | 39971 (1.6278) | 49134 (2.0009) |
| 652.4 | 4800 | 16092 (1.0000) | 22280 (1.3845) | 22334 (1.3879) | 24602 (1.5289) | 26296 (1.6341) | 32791 (2.0377) |
| 730.5 | 5400 | 9366 (1.0000) | 12790 (1.3656) | 13288 (1.4187) | 14941 (1.5952) | 15739 (1.6805) | 20018 (2.1373) |

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บใต้จำนวนนับรังสี คือ อัตราส่วนจำนวนนับรังสีของโลหะผสมต่อจำนวนนับรังสีของดีบุก(99.9% Sn)

อัตราค่าจ้างงานบริษัทสีทองทะเลผสม

ค่าจ้างบริษัทสีทองทะเลผสม



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกับส่วนผสมตะกั่ว-ดีบุก เมื่อใช้แผ่นกรองรังสีความหนาต่างๆกัน

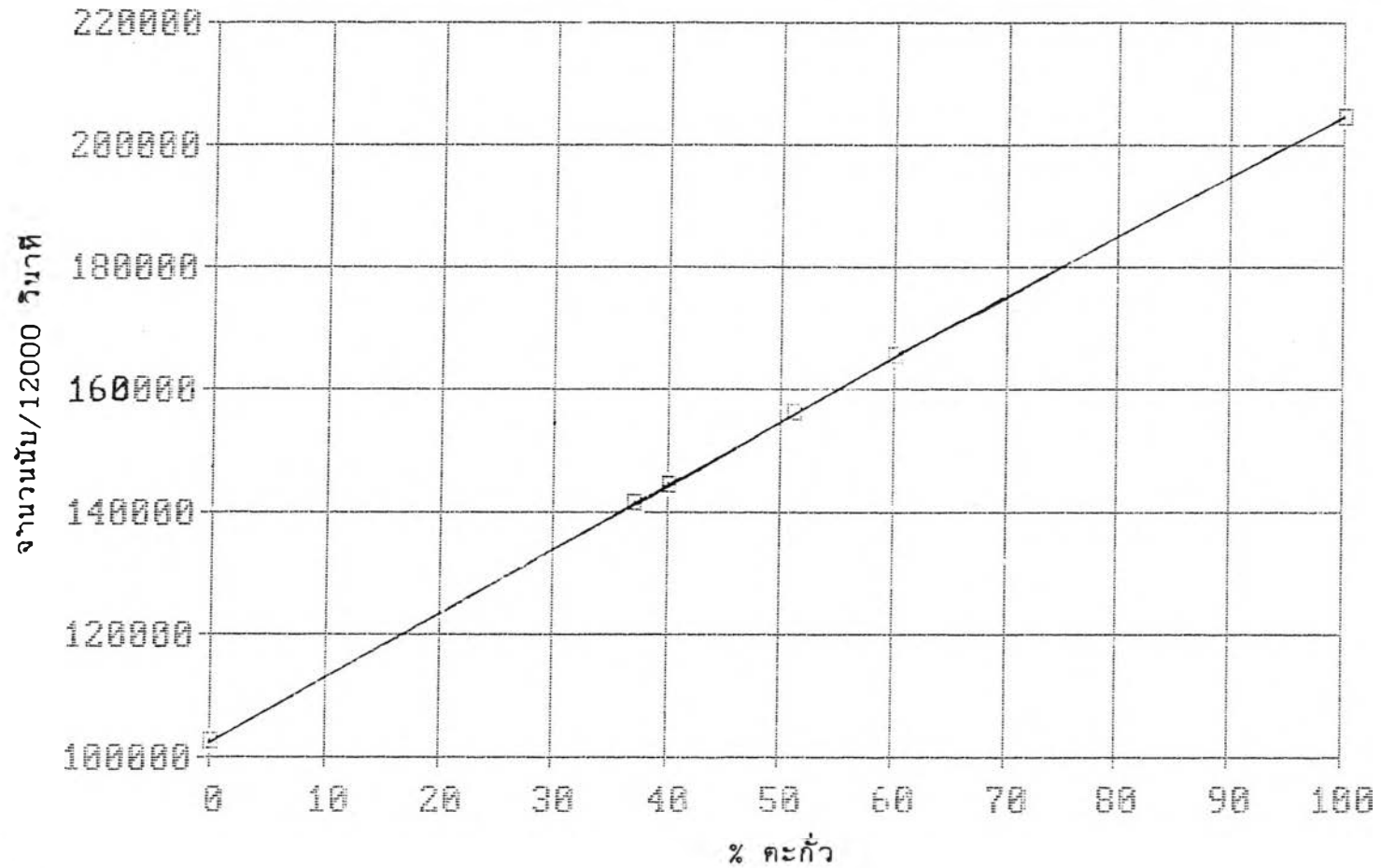
4.5 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับกับส่วนผสมของ ตะกั่ว-ดีบุกเมื่อใช้แผ่นกรองรังสีความหนาประมาณ 540 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

จากผลการวิจัยในหัวข้อ 4.4 เกี่ยวกับการใช้แผ่นกรองรังสี ในหัวข้อนี้ได้เลือกใช้แผ่นกรองรังสีที่มีความหนา 540 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในการสร้างกราฟเปรียบเทียบสำหรับการหาปริมาณตะกั่วและดีบุก ของโลหะผสมตะกั่ว-ดีบุก เนื่องจากต้องใช้เวลานับรังสีไม่นานนัก คือ 3000 วินาที และได้ความชันของกราฟสูงพอ อ่างไรก็ตามเพื่อให้ได้จำนวนนับรังสีมากพอที่จะแยกความแตกต่างในช่วงราว 1% ของตะกั่วหรือดีบุกได้ และเพื่อให้ผลการนับรังสีเที่ยงตรง จึงทำการนับรังสีนาน 12000 วินาที(เท่ากับ 3 ชั่วโมง 20 นาที) ผลการวิจัยพบว่า จำนวนนับรังสีมีความเที่ยงตรงสูงมาก และมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณตะกั่วในส่วนผสมโลหะผสมตะกั่ว-ดีบุก ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และกราฟในรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับกับส่วนผสมของตะกั่ว-ดีบุก
เมื่อใช้แผ่นกรองรังสีความหนาประมาณ 540 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

| ส่วนผสมดีบุก-ตะกั่ว (%Sn/% Pb) | ความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับ (จำนวนนับต่อ 12000 วินาที) | อัตราส่วนจำนวนนับรังสี ของโลหะผสมต่อดีบุก |
|-----------------------------------|---|--|
| 99.9/0 | 101998 | 1.00000 |
| 63/37 | 140879 | 1.38119 |
| 60/40 | 143811 | 1.40993 |
| 49/51 | 155285 | 1.52243 |
| 40/60 | 164647 | 1.61422 |
| 0.01/99.99 | 203938 | 1.99943 |

$$Y = 101950.53459 + 1072.13640 X - 0.51700 X^2; R^2 = 0.99998$$



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของรังสีเบตากระเจิงกลับกับส่วนผสมตะกั่ว-คูป เพื่อใช้แผ่นกรองรังสีความหนาประมาณ 540 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4.6 ผลการหาปริมาณโลหะตะกั่ว - ดีบุกในตัวอย่างชุด A โดยวิธีการระเหิดกลับของรังสีเบตา
เทียบกับวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ และวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชัน

ผลการทดลองการหาปริมาณตะกั่วและดีบุกโดยวิธีการระเหิดกลับของรังสีเบตากับตัวอย่างชุด A 6 ตัวอย่าง จากโรงงานผลิต พบว่า ได้ผลวิเคราะห์ใกล้เคียงกับวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ และวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชัน ดังแสดงในตารางที่ 4.6 แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าผลวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์เกือบทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าอีกสองวิธี โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอย่าง 2A ได้ปริมาณตะกั่วต่ำไปเกือบ 3%

ตารางที่ 4.6 ปริมาณโลหะผสมตะกั่ว-ดีบุก ในตัวอย่างชุด A ซึ่งหาโดยวิธีการระเหิดกลับของรังสีเบตาวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ และวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชัน

| ตัวอย่าง | วิธีการระเหิดกลับของรังสีเบตา | | | วิธีการเรืองรังสีเอกซ์ | | วิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชัน** |
|----------|-------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------|-----------------|------------------------------|
| | จำนวนนับต่อ 12000 วินาที | ตะกั่ว (% Pb) | ดีบุก ⁺ (% Sn) | ตะกั่ว (% Pb) | ดีบุก (% Sn) | ดีบุก ⁺ (% Sn) |
| 1A | 101448 | 0.47 | 99.53 | 0.23 | 98.24 | 99.919 |
| 2A | 140849 | 36.94 | 63.06 | 39.18 | 60.3 | 63.0 |
| 3A | 142487 | 38.53 | 61.48 | 39.72 | 59.51 | 60.0 |
| 4A | 153329 | 49.08 | 50.92 | 48.02 | 50.33 | 50.0 |
| 5A | 164169 | 59.75 | 40.25 | 58.0 | 41.68 | 40.0 |
| 6A | 203563 | 59.56 | 0.45 | 97.49 | 0 | 0.03 |

* = วิเคราะห์ด้วย XRF Spectrometer ที่ใช้หัววัดรังสี HPGe ที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

** = ข้อมูลจากโรงงานผลิตโลหะผสมตะกั่ว-ดีบุก

+ = หาจาก 100% - % Pb

4.7 ผลการหาปริมาณโลหะตะกั่ว – ดีบุกในตัวอย่างชุด B โดยวิธีการกระเจิงกลับของรังสีเบตา
เทียบกับวิธีการเรืองรังสีเอกซ์และวิธีหาคความถ่วงจำเพาะ

จากการทดลองหาปริมาณตะกั่วและดีบุกในตัวอย่างชุด B จำนวน 16 ตัวอย่างที่ได้จากการ
สุ่มเพื่อการตรวจสอบตามปกติในกระบวนการผลิต เพื่อหาปริมาณโลหะโดยวิธีหาคความถ่วงจำเพาะ
พบว่าส่วนใหญ่ใกล้เคียงกันทั้งสามวิธี ดังแสดงในตารางที่ 4.7 แต่บางตัวอย่างวิธีหาคความถ่วงจำเพาะ
ได้ค่าน้อยกว่าอีกสองวิธี

ตารางที่ 4.7 ปริมาณโลหะผสมตะกั่ว-ดีบุก ในตัวอย่างชุด B ซึ่งหาโดยวิธีการระเหิดกลับของ
รังสีเบตา วิธีการเรืองรังสีเอกซ์ และวิธีหาความถ่วงจำเพาะ

| ตัวอย่าง | วิธีการระเหิดกลับของรังสีเบตา | | | วิธีการเรืองรังสีเอกซ์ * | | วิธีหาความถ่วงจำเพาะ ** |
|----------|-------------------------------|------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| | จำนวนนับต่อ 12000 วินาที | ตะกั่ว (% Pb) | ดีบุก ⁺ (% Sn) | ตะกั่ว (% Pb) | ดีบุก (% Sn) | ดีบุก (% Sn) |
| 1B | 134066 | 30.40 | 69.60 | 3.87 | 66.27 | 69.9 |
| 2B | 144006 | 40.0 | 60.0 | 41.66 | 58.03 | 63.8 |
| 3B | 140879 | 36.97 | 63.03 | 38.06 | 61.01 | 62.7 |
| 4B | 141913 | 37.97 | 62.03 | 38.23 | 60.2 | 62.6 |
| 5B | 143976 | 39.97 | 60.03 | 39.54 | 58.1 | 60.7 |
| 6B | 147978 | 43.86 | 56.14 | 43.18 | 55.74 | 60.5 |
| 7B | 145552 | 41.50 | 58.50 | 41.7 | 56.16 | 60.1 |
| 8B | 146860 | 42.77 | 57.23 | 43.53 | 54.84 | 60.0 |
| 9B | 145577 | 41.52 | 58.48 | 41.34 | 56.6 | 59.9 |
| 10B | 147379 | 43.28 | 56.73 | 44.05 | 55.43 | 59.8 |
| 11B | 148079 | 43.96 | 56.04 | 44.85 | 54.22 | 59.6 |
| 12B | 148750 | 44.61 | 55.39 | 44.04 | 53.89 | 59.5 |
| 13B | 147500 | 43.39 | 56.61 | 43.32 | 56.01 | 59.4 |
| 14B | 144371 | 40.35 | 59.65 | 41.81 | 55.97 | 59.3 |
| 15B | 173544 | 69.08 | 30.92 | 65.61 | 34.15 | 31.5 |
| 16B | 174012 | 69.55 | 30.46 | 68.68 | 32.91 | 31.4 |

* = วิเคราะห์ด้วย XRF Spectrometer ที่ใช้หัววัดรังสี HPGe ที่ภาควิชานิวเคลียร์
เทคโนโลยี

** = ข้อมูลจากโรงงานผลิต

+ = หาจก 100 % - %Pb

4.8 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับกับส่วนผสมของทองเหลือง จากการนับรังสีเบตากระเจิงกลับจากตัวอย่างทองเหลืองที่มีส่วนผสมต่าง ๆ กัน 4 ตัวอย่าง พบว่าจำนวนนับรังสีแตกต่างกันไม่มากนัก ถึงแม้ว่าส่วนผสมจะแตกต่างกันมากดังผลการวิจัยในตารางที่ 4.8 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการนำเทคนิคนี้ไปใช้ประโยชน์ในการหาปริมาณธาตุในทองเหลืองมีความไวไม่พอที่จะ แยกความแตกต่างของปริมาณธาตุในช่วงน้อยๆ ได้ จากการคำนวณโดย Tittle's formular ได้ อัตราส่วนของจำนวนนับรังสีของสังกะสี ($Z = 30$) ต่อทองแดง ($Z = 29$) ตามตารางที่ 2.3 เท่ากับ $0.527633 / 0.515675 = 1.023$ เท่านั้น

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเบตากระเจิงกลับกับส่วนผสมของทองเหลือง

| ปริมาณส่วนผสม (%Cu/%Zn) | ความเข้มของรังสีเบตากระเจิงกลับ (จำนวนนับต่อ 240 วินาที) | อัตราส่วนจำนวนนับรังสี ของสังกะสีต่อทองแดง |
|----------------------------|---|---|
| 95.06/4.94 | 353945 | 1.00000 |
| 70.06/30.0 | 356059 | 1.00597 |
| 60.56/39.5 | 356337 | 1.00676 |
| 2.75/97.25 | 364207 | 1.02899 |