

บทที่ 4

ผล และการอภิปรายผล

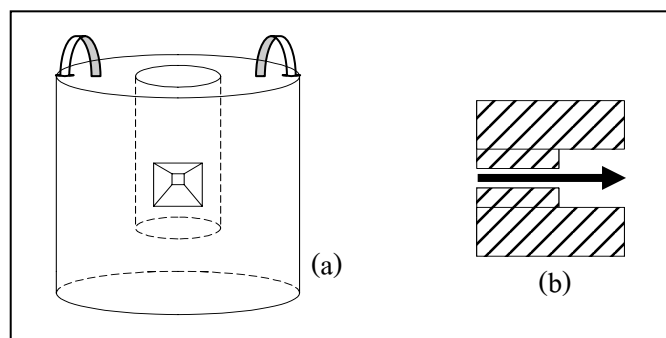
4.1 ผลการออกแบบชุดกำบังรังสี ชุดท่อบีบรังสี ชุดแทนวางตัวอย่าง และตัวกำหนดตำแหน่งของหัววัดในการวัดรังสีแกมมาที่มุมกระเจิงต่างๆ

4.1.1 โครงสร้างของชุดกำบังรังสี และชุดท่อบีบรังสี

จากการศึกษาในหัวข้อ 3.2.1 ทำให้ทราบถึงความหนาที่เหมาะสมของตะกั่วในการทำชุดกำบังรังสีว่าควรมีค่าประมาณ 7 cm โดยโครงสร้างของชุดกำบังรังสีจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 ทำขึ้นจากตะกั่วเป็นทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 21 cm สูง 20 cm มีช่องว่างภายในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.4 cm เพื่อใช้บรรจุลูกปืน จานรอง และส่วนที่ 2 ซึ่งจานรองดังกล่าวจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนที่ 2 นั่นคือ 7 cm โดยความหนาของจานรองรวมลูกปืนคือ 1 cm สำหรับขอบ และฐานของส่วนที่ 1 มีความหนาเท่ากับ 6.8 และ 7 cm ตามลำดับ

ในส่วนที่ 1 จะมีช่องเปิดเพื่อใช้เป็นทางเดินของรังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 ขนาดเท่ากับ 1 cm x 1 cm ยาว 3.8 cm และมีขนาดขยายขึ้นเป็น 3 cm x 3 cm ยาว 3 cm เพื่อใช้เป็นจุดต่อกับชุดท่อบีบรังสี โดยช่องเปิดดังกล่าวจะอยู่สูงจากฐานของส่วนที่ 1 ขึ้นมา 8.5 cm

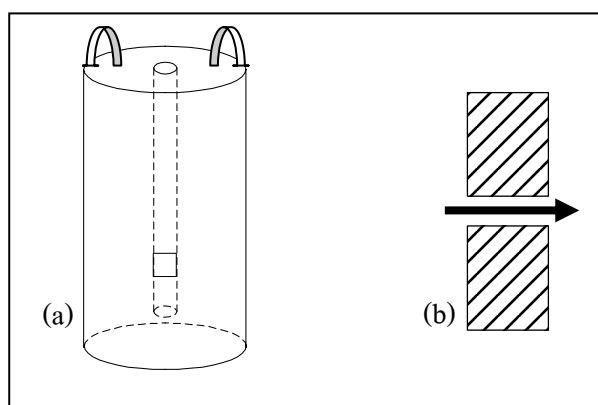


ภาพประกอบที่ 4.1 (a) ลักษณะของส่วนที่ 1

(b) ภาพตัดขวางของช่องทางเดินของรังสีแกมมา

ส่วนที่ 2 ทำขึ้นจากตะกั่วเป็นทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 cm สูง 12 cm มีช่องว่างภายในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 cm เพื่อใช้บรรจุส่วนที่ 3 โดยในส่วนที่ 2 จะมีฐาน และขอบหนา 0.5 และ 2.9 cm ตามลำดับ

สำหรับช่องเปิดซึ่งเป็นทางเดินของรังสีแกมมาจะมีขนาดเท่ากับ 1 cm x 1 cm และอยู่สูงขึ้นมาจากฐาน 1.5 cm โดยช่องดังกล่าวจะอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกันกับช่องเปิดของส่วนที่ 1 เมื่อต้องการใช้งาน แต่ถ้าไม่ต้องการใช้งานก็สามารถหมุนช่องเปิดในส่วนที่ 2 ไปยังตำแหน่งอื่นเพื่อปิดทางเดินของรังสีแกมมาได้ โดยอาศัยลูกปืน และจานรอง ที่อยู่ในส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นตัวที่คอยรองรับส่วนที่ 2 อยู่คอยช่วยในการหมุน

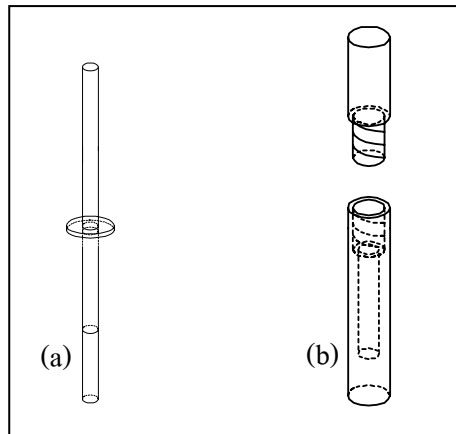


ภาพประกอบที่ 4.2 (a) ลักษณะของส่วนที่ 2

(b) ภาพตัดขวางของช่องทางเดินของรังสีแกมมา

ส่วนที่ 3 ทำขึ้นจากเหล็กไร้สนิม (Stainless steel) เป็นทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm ยาว 24 cm เพื่อใช้บรรจุแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม - 137 ชนิดแท่ง โดยมีจานเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 cm หนา 0.5 cm อยู่ที่ตำแหน่ง 11.5 cm จากฐาน เพื่อใช้เป็นตัวยึดส่วนที่ 3 เข้ากับส่วนที่ 2

สำหรับส่วนที่ 3 ใช้บรรจุแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม - 137 ชนิดแท่ง จะอยู่บริเวณฐานของส่วนที่ 3 ซึ่งมีลักษณะเป็นกล่องทรงกระบอกฝาเกลียวเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm สูง 4.5 cm และมีฐานหนา 1 cm โดยในส่วนนี้จะมีช่องเปิดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 cm เพื่อใช้บรรจุแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม - 137 ชนิดแท่ง ดังนั้นความหนาของขอบรวมทั้งเกลียวซึ่งเป็นเกลียวในจะหนาเท่ากับ 0.25 cm โดยเกลียวดังกล่าวจะมีความยาวเท่ากับ 1 cm สำหรับส่วนที่ 3 ส่วนบนซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ต่อกับทรงกระบอกฝาเกลียวหรือส่วนที่ 3 ส่วนล่างจะมีลักษณะเป็นเกลียวแบบเกลียวนอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 cm ยาว 1 cm



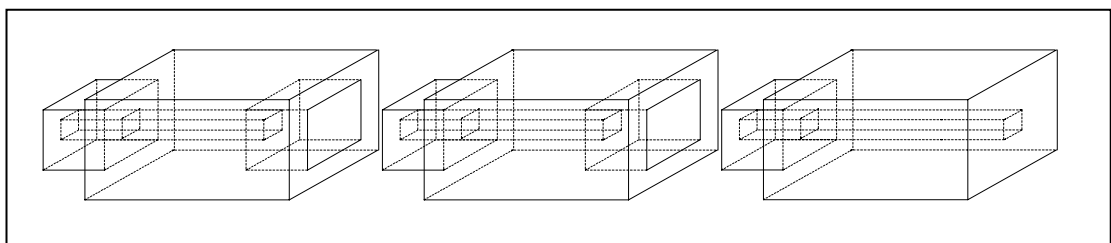
ภาพประกอบที่ 4.3 (a) ลักษณะของส่วนที่ 3

(b) ลักษณะของส่วนที่ 3 ที่ใช้บรรจุแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา

ซีเซียม - 137 ชนิดแท่ง

ชุดท่อบีบรังสี คือ ส่วนที่ใช้เป็นช่องทางเดินของรังสีแกมมาที่ต่อออกมาจากช่องเปิดของชุดกำบังรังสีในส่วนที่ 1 โดยความยาวของช่องทางเดินรังสีจะมีค่าเท่ากับ 30 cm ซึ่งเกิดจากการประกอบท่อบีบรังสีจำนวน 3 ชั้น เข้าด้วยกัน โดยท่อบีบรังสีแต่ละชั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหลักซึ่งมีขนาด 5 cm x 5 cm x 10 cm และส่วนข้อต่อซึ่งมีขนาด 3 cm x 3 cm x 3 cm ดังนั้นความยาวรวมของท่อบีบรังสีแต่ละชั้นจะมีค่าเท่ากับ 13 cm

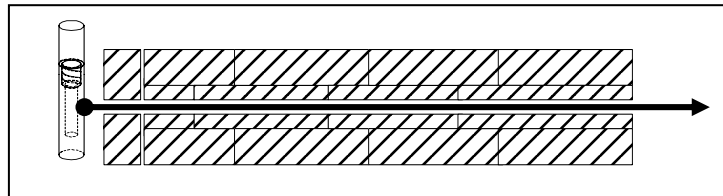
สำหรับชั้นส่วนที่เป็นส่วนปลายสุดของท่อบีบรังสีจะมีลักษณะที่แตกต่างจากส่วนกลางหรือ 2 ชั้นแรกตรงที่ไม่มีช่องสำหรับต่อกับท่อบีบรังสีชั้นถัดไป แต่จะมีช่องเปิดเพื่อฉายรังสีแกมมาไปยังเป้าหมาย โดยช่องเปิดดังกล่าวจะมีอยู่ด้วยกัน 4 ขนาด คือ 0.3 cm x 0.3 cm, 0.5 cm x 0.5 cm, 0.7 cm x 0.7 cm และ 1 cm x 1 cm ดังนั้นชุดท่อบีบรังสีจะมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 6 ชั้น โดยแบ่งเป็นทางเดินตอนกลาง และตอนปลายจำนวน 2 และ 4 ชั้น ตามลำดับ



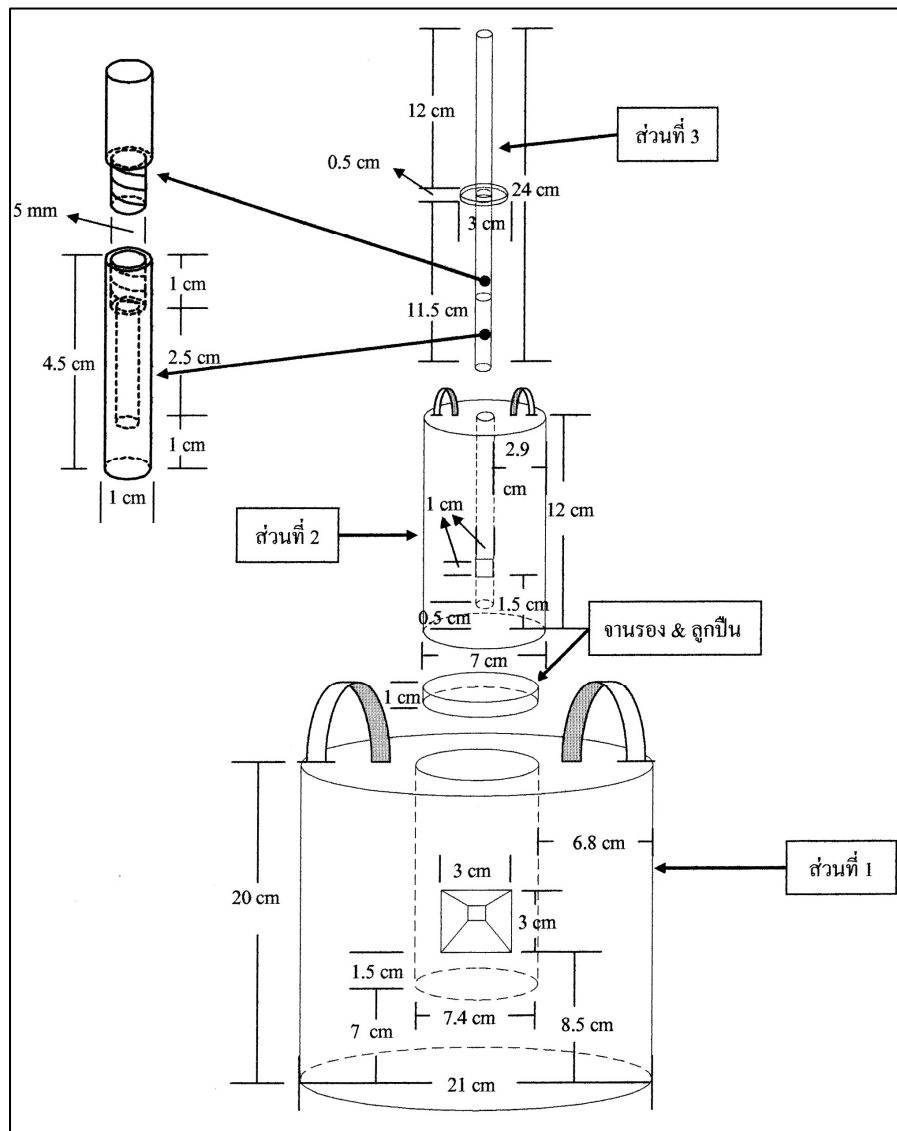
ภาพประกอบที่ 4.4 ลักษณะการต่อชุดท่อบีบรังสีทั้ง 3 ชั้นเข้าด้วยกัน

โดยชั้นที่ 3 เป็นช่องเปิดขนาด 1 cm x 1 cm

โดยช่องเปิดภายในของท่อพีวีซี 2 ชั้นแรกมีขนาด 1 cm x 1 cm สำหรับในส่วนของชั้นที่ 3 หรือชั้นสุดท้ายช่องเปิดภายในของท่อพีวีซีจะมีขนาดเท่ากับขนาดของช่องเปิดปลายสุดของท่อพีวีซีชิ้นนั้นๆ



ภาพประกอบที่ 4.5 ช่องทางเดินของรังสีแกมมาทั้งหมด

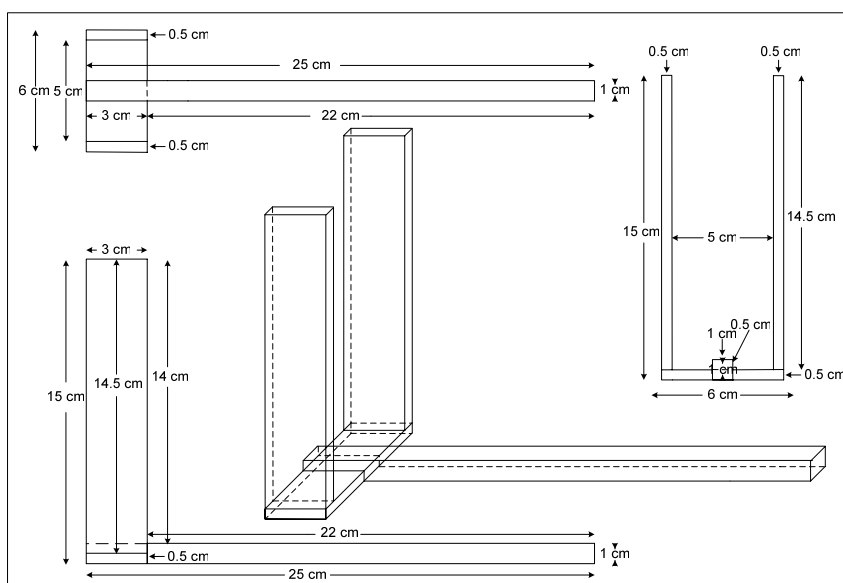


ภาพประกอบที่ 4.6 การประกอบชุดกำบังรังสี

4.1.2 โครงสร้างของชุดแท่นวางตัวอย่าง และตัวกำหนดตำแหน่งของหัววัดรังสี

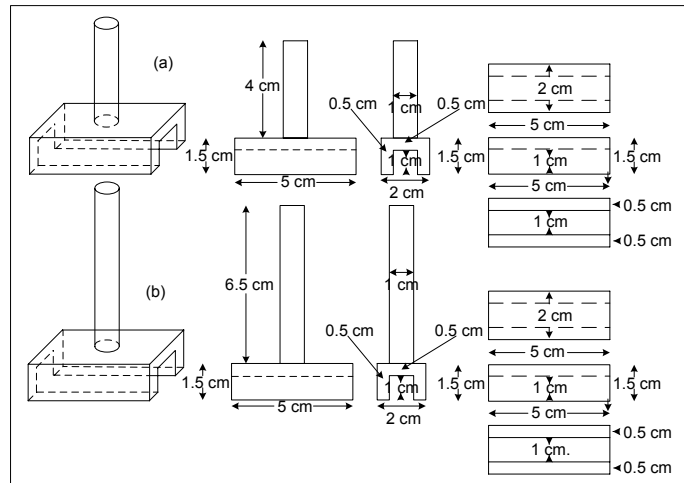
เพื่อเป็นมาตรฐานในการจัดวางตัวอย่าง และหัววัดในการทดลองจึงได้ออกแบบชุดแท่นวางตัวอย่าง และตัวกำหนดตำแหน่งของหัววัดโดยแบ่งโครงสร้างออกเป็น 7 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 โครงหลัก จะมีลักษณะเป็นโครงโลหะรูปตัวยูแขนยาว 15 cm ฐานกว้าง 6 cm ซึ่งทำขึ้นจากแผ่นโลหะขนาด 0.5 cm x 3 cm โดยแขนของส่วนที่ 1 จะใช้ในการยึดกับชุดท่อบีบรังสี ซึ่งสุดท้ายที่ต่ออยู่กับชุดกำบังรังสีเพื่อกำหนดทิศทางที่แน่นอนของลำรังสีที่จะเดินทางไปยังเป้า และในส่วนของฐานจะประกอบด้วยแท่งโลหะขนาด 1 cm x 25 cm x 1cm ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางของฐานเพื่อใช้ในการกำหนดระยะห่างจากปลายของชุดทางเดินรังสีซึ่งสุดท้ายกับเป้า โดยแท่งโลหะดังกล่าวจะมีการบากตำแหน่งเพื่อกำหนดความยาวทุกๆ 1 cm



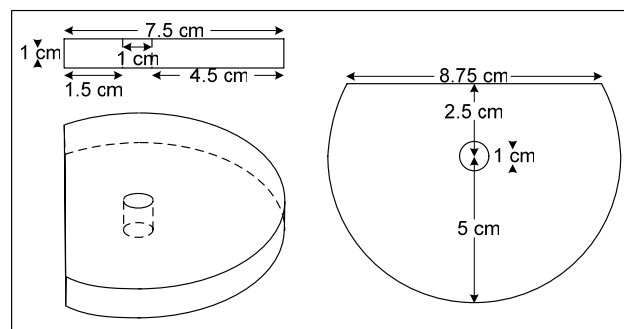
ภาพประกอบที่ 4.7 โครงหลักของชุดแท่นวางตัวอย่าง และตัวกำหนดตำแหน่งของหัววัด

ส่วนที่ 2 ฐานปรับระดับความสูงของตัวอย่าง ประกอบด้วยแท่งโลหะขนาด 2 cm x 5 cm x 1.5 cm โดยแท่งโลหะดังกล่าวจะถูกเจาะร่องขนาด 1 cm x 1 cm เพื่อใช้สวมกับแท่งโลหะกำหนดระยะห่างในส่วนที่ 1 และในส่วนนี้จะต่อกับแกนทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm ยาว 6.5 cm โดยด้านปลายของทรงกระบอกจะทำเป็นเกลียวนอกยาว 3 cm เพื่อใช้ต่อกับส่วนที่ 4



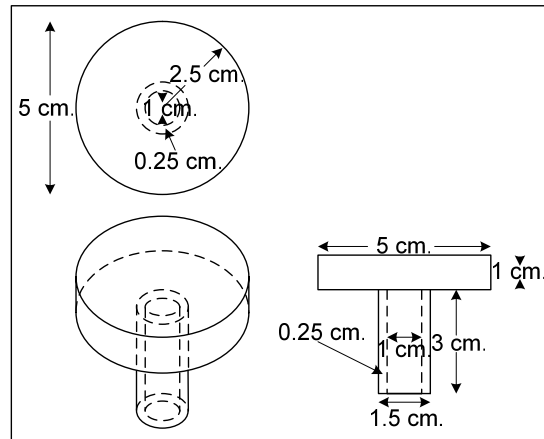
ภาพประกอบที่ 4.8 (a) ฐานปรับระดับความสูงของตัวอย่าง
(b) ฐานปรับระดับความสูงของหัววัด

ส่วนที่ 3 ฐานกำหนดมุม มีลักษณะเป็นวงแหวนหนา 1 cm โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและภายในยาว 10 cm และ 1 cm ตามลำดับ สำหรับผิวหน้าของส่วนที่ 3 จะถูกบากเพื่อกำหนดมุมทุกๆ 5 องศา โดยส่วนนี้จะถูกสวมเข้ากับแกนทรงกระบอกของส่วนที่ 2 เพื่อใช้ในการกำหนดมุมของหัววัด และเพื่อความสะดวกในกรณีที่ต้องเลื่อนส่วนที่ 2 ให้เข้าไปชิดกับส่วนที่ 1 ที่ระยะ 2.5 cm จากศูนย์กลางของทรงกระบอกจะถูกปาดออกไปด้านหนึ่งดังภาพประกอบที่ 4.9



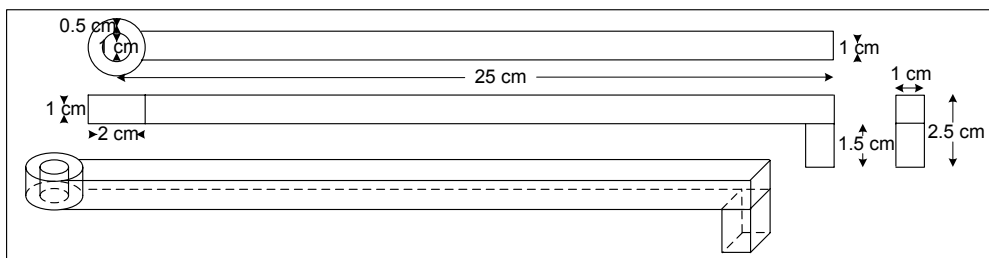
ภาพประกอบที่ 4.9 ฐานกำหนดมุม

ส่วนที่ 4 แท่นวางตัวอย่าง มีลักษณะเป็นทรงกระบอก 2 ขนาดต่อกัน โดยส่วนที่ใช้รองรับตัวอย่างจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm หนา 1 cm สำหรับทรงกระบอกส่วนที่ 2 จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 cm ยาว 3 cm และมีเกลียวในหนา 0.25 cm ซึ่งส่วนนี้จะใช้ต่อกับแกนทรงกระบอกของส่วนที่ 2



ภาพประกอบที่ 4.10 แทนวางตัวอย่าง

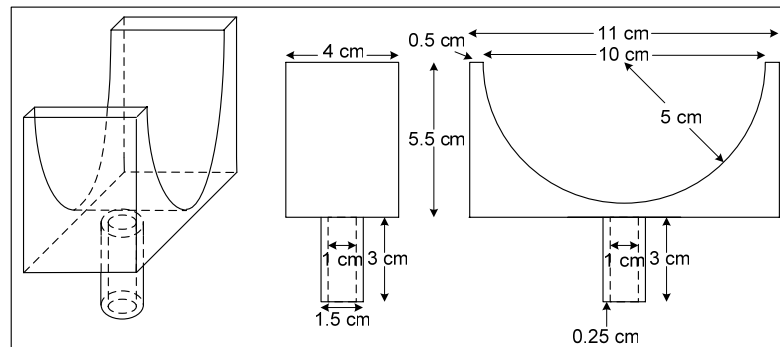
ส่วนที่ 5 แท่งโลหะกำหนดระยะห่างของหัววัด มีลักษณะเป็นแท่งโลหะขนาด 1 cm x 25 cm x 1 cm ซึ่งแท่งโลหะดังกล่าวจะมีการบากทุกๆ 1 cm เช่นเดียวกับส่วนที่ 1 เพื่อใช้ในการกำหนดระยะห่างระหว่างเป้ากับหัววัด โดยปลายของแท่งโลหะด้านหนึ่งจะต่อฐานขนาด 1 cm x 1 cm x 1.5 cm เพื่อให้ส่วนนี้จัดตัวอยู่ในแนวระดับ สำหรับปลายอีกด้านหนึ่งจะทำเป็นวงแหวนหนา 1 cm มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก และภายในเท่ากับ 2 cm และ 1 cm ตามลำดับ เพื่อใช้ในการสวมเข้ากับส่วนที่ 2 โดยส่วนที่ 5 จะเป็นส่วนที่ใช้รองรับส่วนที่ 3 อีกชั้นหนึ่งดังภาพประกอบที่ 4.13



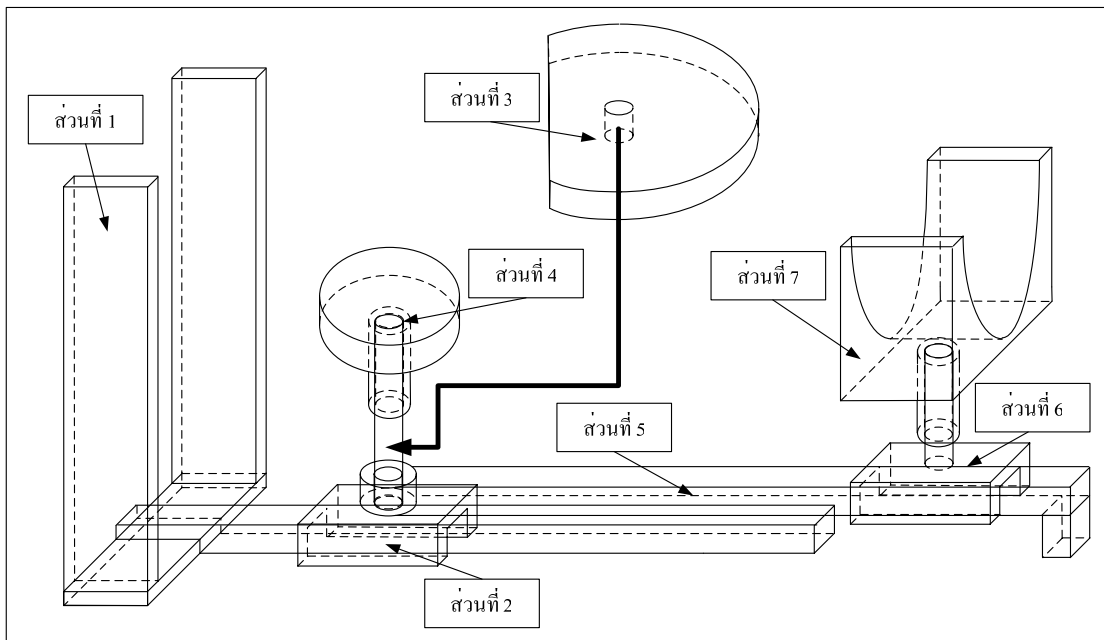
ภาพประกอบที่ 4.11 แท่งโลหะกำหนดระยะห่างของหัววัด

ส่วนที่ 6 ฐานปรับระดับความสูงของหัววัด มีลักษณะเช่นเดียวกับส่วนที่ 2 แต่มีแกนโลหะที่สั้นกว่าคือ ยาวเพียง 4 cm โดยในส่วนนี้จะใช้เพื่อต่อกับแกนทรงกระบอกของส่วนที่ 7

ส่วนที่ 7 แท่นวางหัววัด มีลักษณะเป็นแท่งโลหะขนาด 4 cm x 11 cm x 5.5 cm ถูกเจาะเป็นร่องทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm ผ่าครึ่งดังภาพประกอบที่ 4.12 เพื่อใช้วางหัววัด โดยในส่วนนี้จะมีข้อต่อทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1.5 cm ยาว 3 cm ซึ่งเป็นข้อต่อชนิดเกลียวในหนา 0.25 cm เพื่อใช้ต่อกับแกนทรงกระบอกในส่วนที่ 6



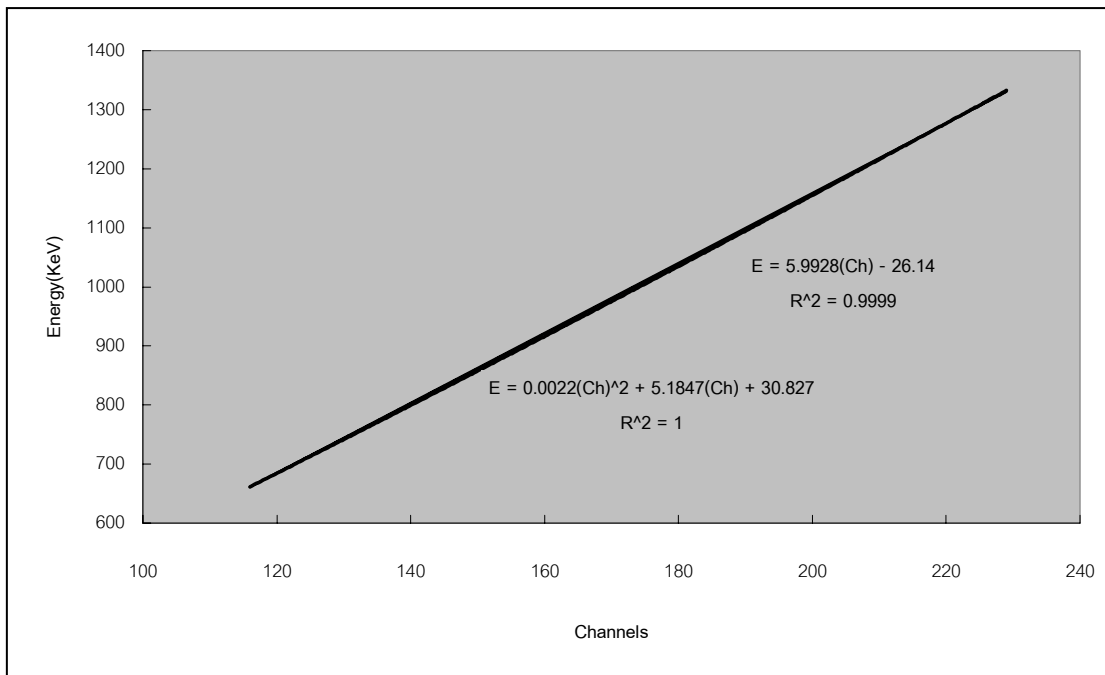
ภาพประกอบที่ 4.12 แทนวางหัววัด



ภาพประกอบที่ 4.13 การประกอบชุดแทนวางตัวอย่าง และตัวกำหนดตำแหน่งของหัววัด

4.2 ผลการเปรียบเทียบช่องพลังงานของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง

เนื่องจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม - 137 ให้รังสีแกมมาพลังงาน 661.6 keV และ โคบอลต์ - 60 ให้รังสีแกมมา 2 พลังงานคือ 1173.2 และ 1332.5 keV โดยที่รังสีแกมมาทั้ง 3 พลังงานจะปรากฏเป็นพีคหลักตรงกับหมายเลขช่องที่ 116, 203 และ 229 ของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่องตามลำดับ เมื่อนำค่าพลังงาน และหมายเลขช่องดังกล่าวมาเขียนกราฟจะได้ดังภาพประกอบที่ 4.14



ภาพประกอบที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน (E) และหมายเลขช่อง (Ch) ของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง

จากภาพประกอบที่ 4.14 สามารถหาสมการเส้นตรงแทนความสัมพันธ์ของพลังงาน (E) และหมายเลขช่อง (Ch) ได้ดังนี้

$$E(\text{keV}) = 5.9228(\text{Ch}) - 26.14 \quad (4.1)$$

แต่เนื่องจากหัววัด NaI(Tl) จะตอบสนองต่อรังสีแกมมาที่พลังงานต่ำกว่า 400 keV แบบไม่เป็นเชิงเส้นดังนั้นสมการแทนความสัมพันธ์ในช่วงพลังงานดังกล่าวจะอยู่ในรูปโพลีโนเมียลคือ

$$E(\text{keV}) = 0.0022(\text{Ch})^2 + 5.1847(\text{Ch}) + 30.827 \quad (4.2)$$

และจากสมการของคอมป์ตัน

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (4.3)$$

สามารถหาความสัมพันธ์ของค่าพลังงานที่มูมกระเจิงต่างๆ ของรังสีแกมมา กับหมายเลขช่องของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่องได้จากสมการ (4.1), (4.2) และ (4.3) ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 หมายเลขช่องของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่องที่ตรงกับค่าพลังงานของมูมกระเจิงต่างๆ

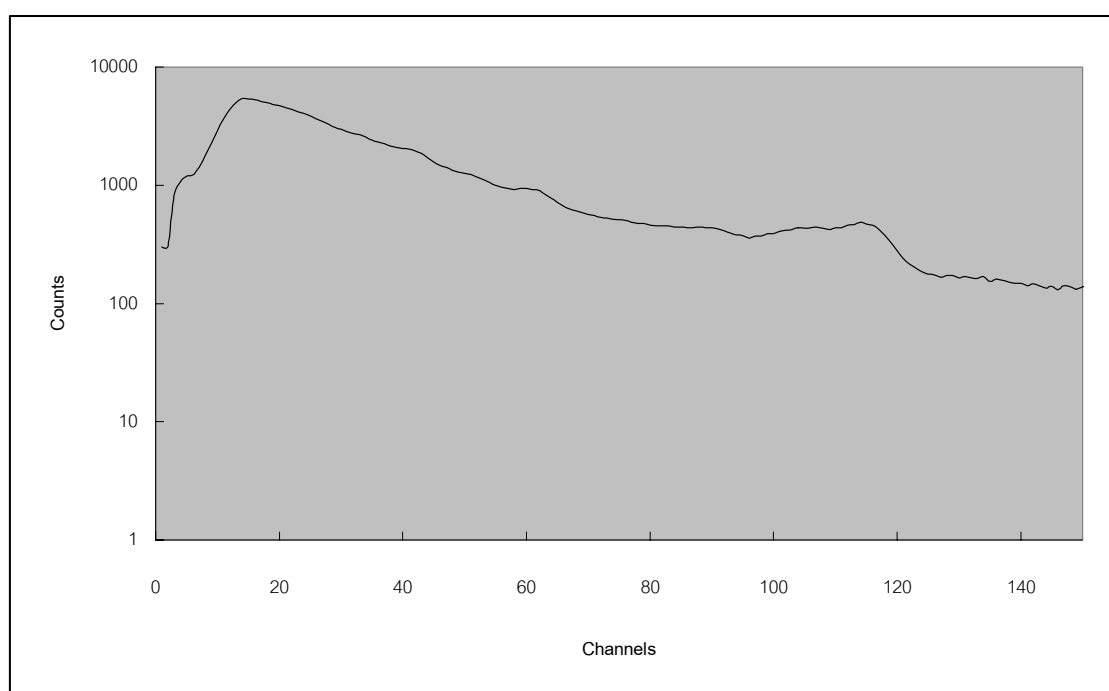
| มูม (องศา) | มูม (Rad) | พลังงาน (keV) | หมายเลขช่อง (เชิงเส้น) | หมายเลขช่อง (โพลีโนเมียล) |
|---------------|--------------|------------------|---------------------------|------------------------------|
| 0 | 0.00000 | 661.60 | 116 | 116 |
| 5 | 0.08727 | 658.35 | 115 | 115 |
| 10 | 0.17453 | 648.84 | 114 | 114 |
| 15 | 0.26180 | 633.64 | 111 | 111 |
| 20 | 0.34907 | 613.68 | 108 | 108 |
| 25 | 0.43633 | 590.02 | 104 | 103 |
| 30 | 0.52360 | 563.79 | 100 | 99 |
| 35 | 0.61087 | 536.06 | 95 | 94 |
| 40 | 0.69813 | 507.77 | 90 | 89 |
| 45 | 0.78540 | 479.67 | 85 | 84 |
| 50 | 0.87266 | 452.36 | 81 | 79 |
| 55 | 0.95993 | 426.24 | 76 | 74 |
| 60 | 1.04720 | 401.59 | 72 | 69 |
| 65 | 1.13446 | 378.56 | 68 | 65 |
| 70 | 1.22173 | 357.23 | 65 | 61 |
| 75 | 1.30900 | 337.59 | 61 | 58 |
| 80 | 1.39626 | 319.61 | 58 | 54 |
| 85 | 1.48353 | 303.20 | 56 | 51 |
| 90 | 1.57080 | 288.29 | 53 | 49 |

จากตารางที่ 4.1 จะทำให้ทราบถึงพลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิงในมูมต่างๆ ว่าตรงกับหมายเลขช่องใดของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง แต่อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาถึงขนาดของหัววัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางค่อนข้างใหญ่คือ 7.5 cm ซึ่งเป็นไปได้ที่การจัดวางหัววัดอาจมีความ

คลาดเคลื่อนจากมุมกระเจิงที่ต้องการจะวัดจริง และนอกจากนั้นในการวัดรังสีแกมมาในมุมกระเจิงใดๆ ก็อาจจะมียังรังสีแกมมาในมุมอื่นๆ ปะปนเข้ามาด้วย โดยรายละเอียดในส่วนนี้จะขอกล่าวถึงในภายหลัง

4.3 ผลการหาค่ารังสีกัมมันต์

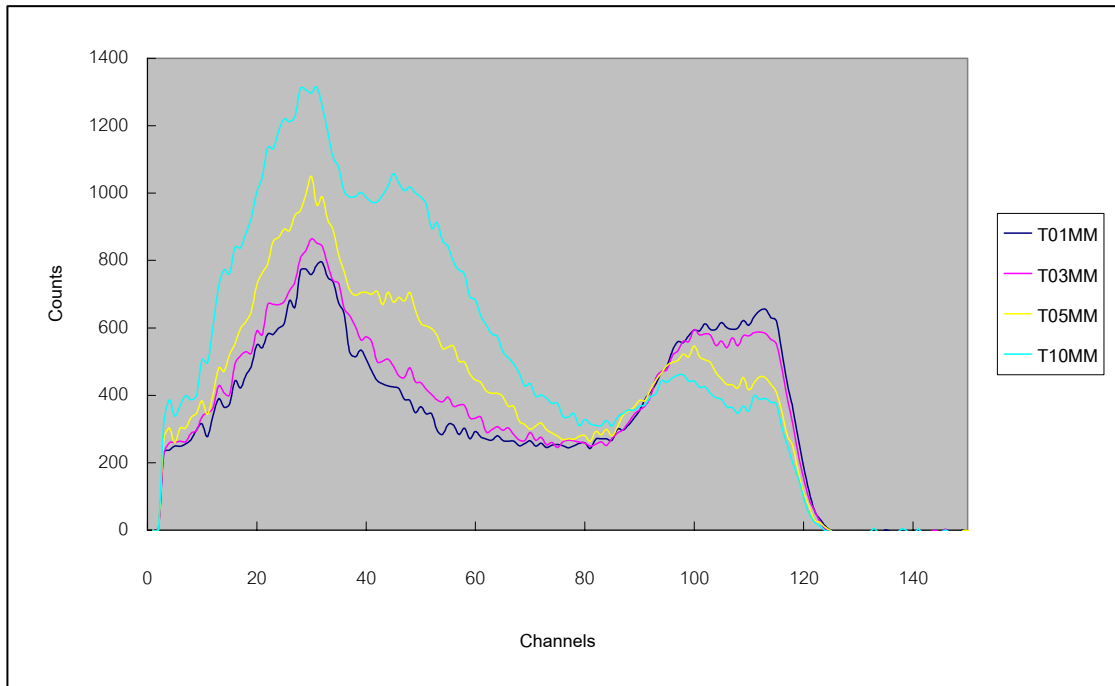
จากการทำการทดลองตามหัวข้อ 3.2.3 ทำให้สามารถหาค่ารังสีกัมมันต์ได้ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.15



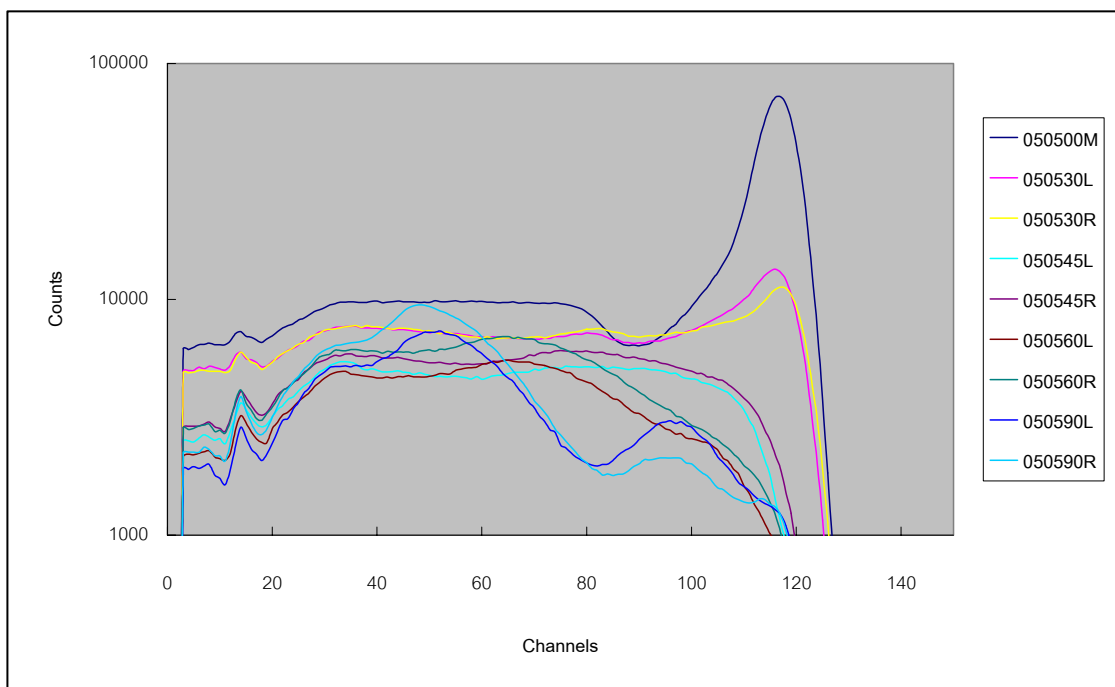
ภาพประกอบที่ 4.15 จำนวนนับของรังสีกัมมันต์ที่หมายเลขช่องต่างๆ
ของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่องในกราฟแกมมา

4.4 ผลการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการจัดวางระบบวัดรังสีแกมมา

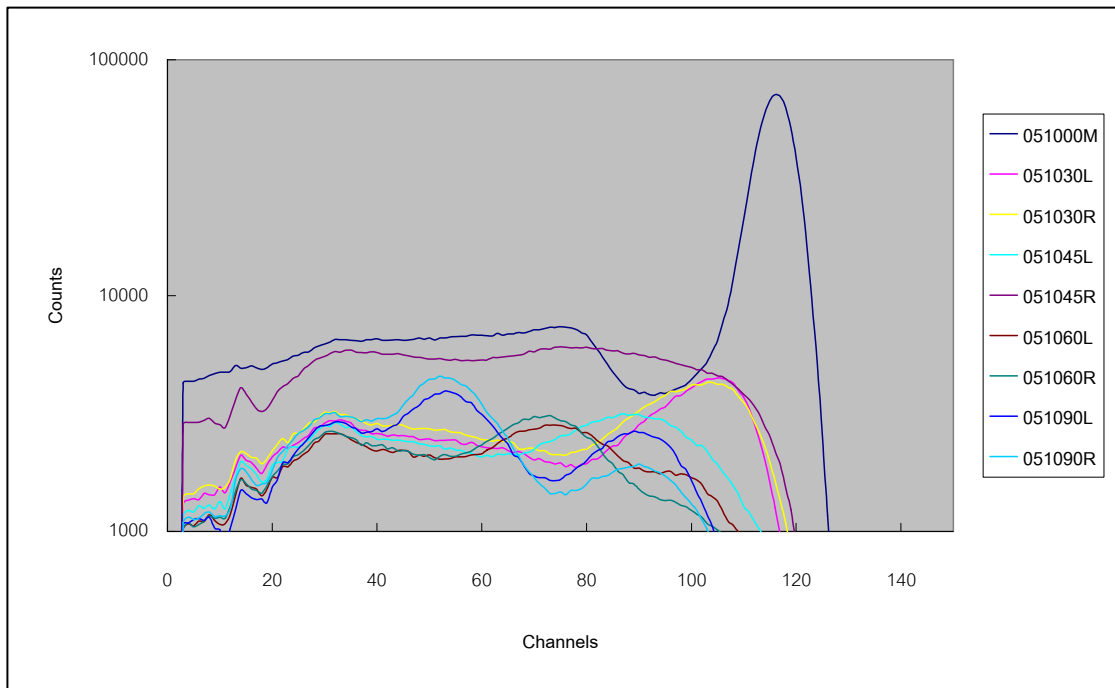
เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.2.4 มาห้กลับกับค่ารังสีกัมมันต์ และเขียนกราฟจะได้กราฟดังภาพประกอบที่ 4.16 ถึง 4.20



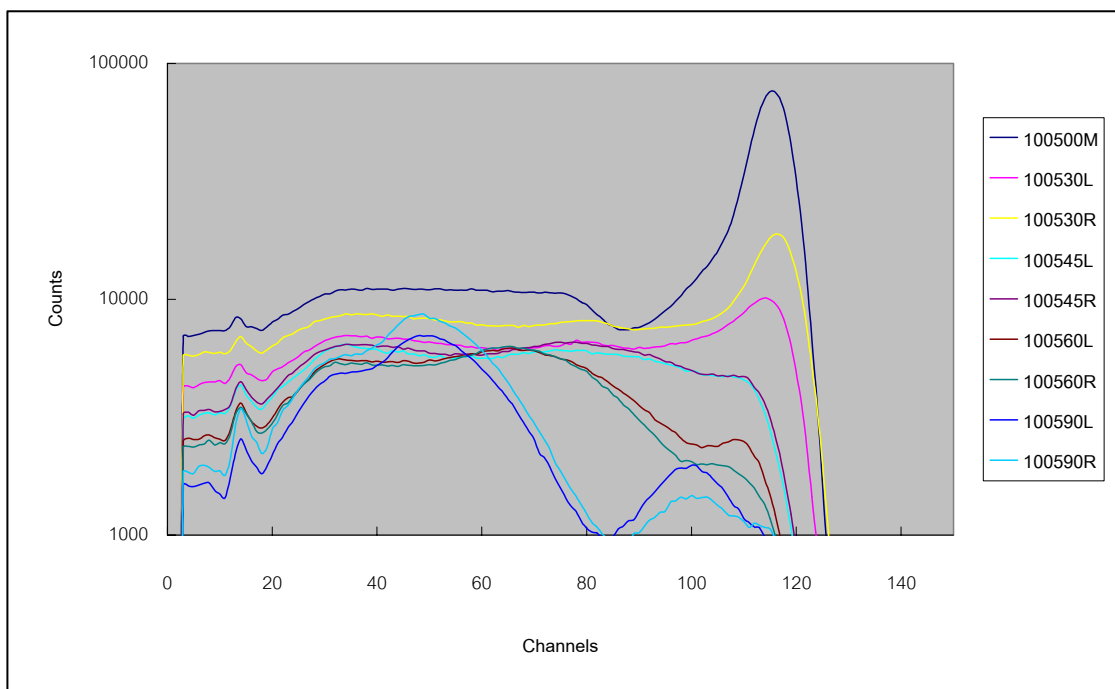
ภาพประกอบที่ 4.16 เส้นกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับสุทธิเฉลี่ยที่กระเจิงในมุม 90 องศาของเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดขนาดต่างๆ โดยระยะห่างระหว่างปลายของชุดท่อบีบรังสีกับเป้า และเป้ากับหัววัดเท่ากับ 5 cm



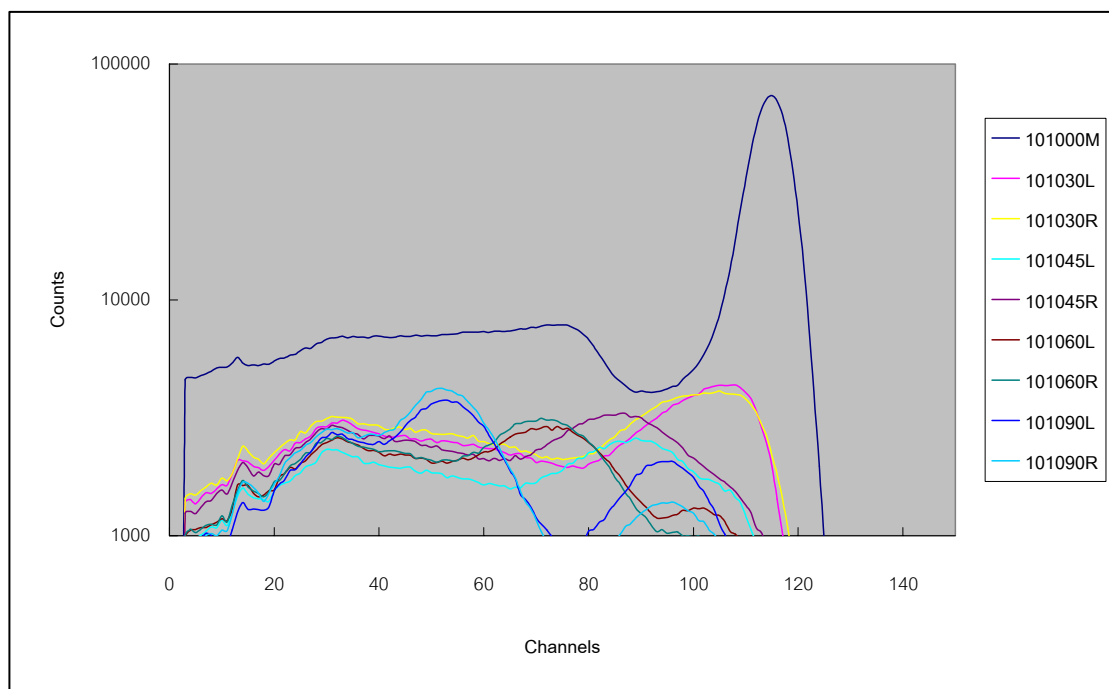
ภาพประกอบที่ 4.17 เส้นกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับสุทธิเฉลี่ยที่กระเจิงในมุมต่างๆ โดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดเท่ากับ 10 mm และระยะห่างระหว่างปลายของชุดท่อบีบรังสีกับเป้า และเป้ากับหัววัดเท่ากับ 5 cm



ภาพประกอบที่ 4.18 เส้นกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับสุทธีเฉลี่ยที่กระเจิงในมุมต่างๆ โดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดเท่ากับ 10 mm และระยะห่างระหว่างปลายของชุดท่อบีบรั้งสี่กับเป้าเท่ากับ 5 cm และเป้ากับหัววัดเท่ากับ 10 cm



ภาพประกอบที่ 4.19 เส้นกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับสุทธีเฉลี่ยที่กระเจิงในมุมต่างๆ โดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดเท่ากับ 10 mm และระยะห่างระหว่างปลายของชุดท่อบีบรั้งสี่กับเป้าเท่ากับ 10 cm และเป้ากับหัววัดเท่ากับ 5 cm



ภาพประกอบที่ 4.20 เส้นกราฟเปรียบเทียบจำนวนนับสุทธีเฉลี่ยที่กระเจิงในมุมต่างๆ โดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดเท่ากับ 10 mm และระยะห่างระหว่างปลายของชุดท่อบีบรังสีกับเป้า และเป้ากับหัววัดเท่ากับ 10 cm

จากภาพประกอบที่ 4.16 จะเห็นได้ว่ายิ่งขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดมีค่ามาก จำนวนนับสุทธีเฉลี่ยของรังสีแกมมาที่กระเจิงออกมาจากเป้าจะมีค่าที่มากขึ้นตามไปด้วย

จากภาพประกอบที่ 4.17 ถึง 4.20 พบว่าจำนวนนับสุทธีเฉลี่ยของรังสีแกมมามีค่ามากขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างปลายของท่อบีบรังสีกับตัวอย่าง และตัวอย่างกับหัววัดมีค่าน้อยลง โดยมุมกระเจิงที่ 0 องศา ของทุกระยะห่างระหว่างปลายของท่อบีบรังสีกับตัวอย่าง และตัวอย่างกับหัววัดมีค่าจำนวนนับสุทธีเฉลี่ยของพีคหลักสูงที่สุด แต่เนื่องจากการวัดรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ ผลไม้ โดยธรรมชาติของผลไม้ถึงแม้ว่าจะเป็นชนิด และพันธุ์เดียวกันก็มีความหนาแน่นที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสด และความสมบูรณ์ของผลไม้ผลนั้นๆ ดังนั้นการวัดรังสีแกมมาที่กระเจิงจากมุม 0 องศา จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลไม้

ที่มุมกระเจิง 30 องศา ก็ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลไม้เช่นกัน เพราะตำแหน่งของพีคหลักที่ปรากฏซ้อนทับกับพีคหลักของมุมกระเจิง 0 องศา เปรียบได้กับการวัดรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านออกมาจากตัวอย่างนั่นเอง ซึ่งการซ้อนทับดังกล่าวเกิดขึ้นจากการที่เส้นผ่าศูนย์กลางของหัววัดมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทำให้หัววัดรับรังสีแกมมาจากมุมกระเจิงอื่นๆ ปน

เข้ามาด้วย โดยรังสีแกมมาที่อาจปนเข้าสู่หัววัดจะอยู่ในช่วงมุมกระเจิง ± 37 องศา สำหรับระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับหัววัดเท่ากับ 5 cm (เกิดจากการหาค่า \tan^{-1} ของรัศมีของหัววัดซึ่งเท่ากับ 3.75 cmหารด้วยระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับหัววัด) และ ± 21 องศา สำหรับระยะห่าง 10 cm

สำหรับมุมกระเจิง 45, 60 และ 90 องศา พิคหลักที่ปรากฏก่อนข้างแยกตัวออกจากกันอย่างชัดเจน โดยพิกหลักของมุมกระเจิง 90 องศา มีจำนวนนับสุทธิเฉลี่ยที่สูงที่สุดจึงเหมาะสมที่จะใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลไม้

ดังนั้นในการทดลองต่อไป จะเลือกใช้ขนาดของช่องเปิดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุดคือ 10 mm โดยใช้ชุดท่อบีบรังสีเพียงชิ้นเดียว สำหรับมุมกระเจิงที่เลือกใช้คือ 90 องศา และระยะห่างระหว่างปลายของชุดท่อบีบรังสีกับเป้า และเป้ากับหัววัดจะมีค่าเท่ากันเท่ากับ 5 cm

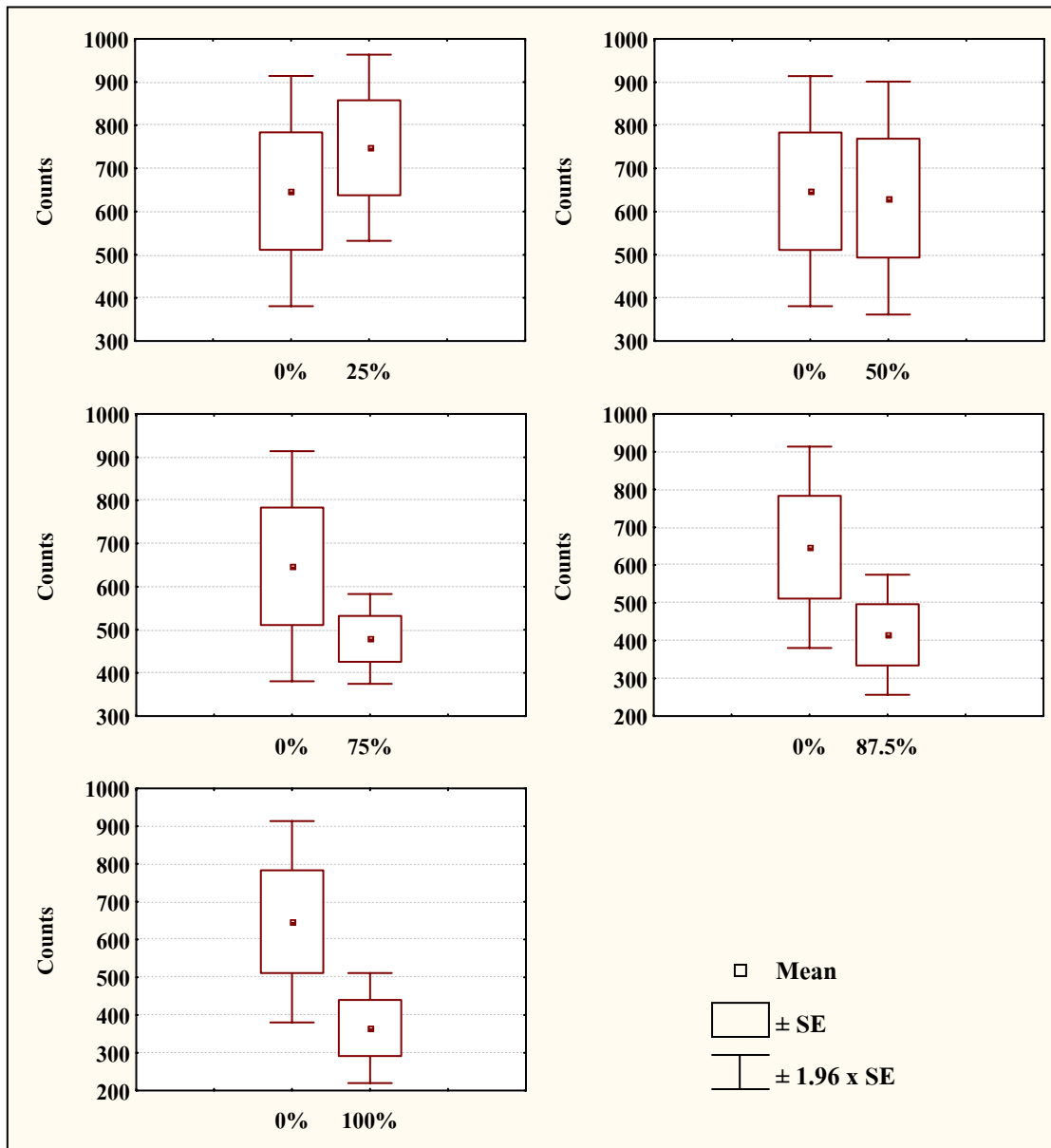
4.5 ผลการหาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคการกระเจิงแบบคอมป์ตันของรังสีแกมมาในการตรวจสอบคุณภาพผลไม้

ข้อมูลการทดสอบทางสถิติแบบทีของแบบจำลองที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.2.5 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ จ.1 ในภาคผนวก จ โดยผลต่างของอัตรานับสุทธิเฉลี่ยของรังสีแกมมาที่กระเจิงจากแบบจำลองที่มีปริมาณความฟามต่างๆ แสดงได้ดังนี้

- ผลต่างของอัตรานับสุทธิเฉลี่ยของปริมาณความฟาม 0 % เท่ากับ 129 ± 54 cpm
- ผลต่างของอัตรานับสุทธิเฉลี่ยของปริมาณความฟาม 25 % เท่ากับ 150 ± 88 cpm
- ผลต่างของอัตรานับสุทธิเฉลี่ยของปริมาณความฟาม 50 % เท่ากับ 126 ± 123 cpm
- ผลต่างของอัตรานับสุทธิเฉลี่ยของปริมาณความฟาม 75 % เท่ากับ 96 ± 47 cpm
- ผลต่างของอัตรานับสุทธิเฉลี่ยของปริมาณความฟาม 87.5 % เท่ากับ 83 ± 46 cpm
- ผลต่างของอัตรานับสุทธิเฉลี่ยของปริมาณความฟาม 100 % เท่ากับ 73 ± 36 cpm

สำหรับระดับความเชื่อมั่นในความแตกต่างกันของผลต่างของอัตรานับสุทธิเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองที่มีปริมาณความฟามต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของการตรวจสอบคุณภาพมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณความฟามมีค่ามากขึ้น จึงเป็นไปได้ที่จะใช้เทคนิคการกระเจิงแบบคอมป์ตันของรังสีแกมมาในการตรวจสอบคุณภาพผลไม้ โดยมีข้อสังเกตที่น่าสนใจอยู่ประการหนึ่งคือ ในกรณีที่มีปริมาณความฟามมีค่าเท่ากับ 50 % ระดับความเชื่อมั่นเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อดีมีค่าเพียง 4 % ที่เป็นดังนี้อาจเกิดจากรูปแบบของแบบจำลองที่แบ่งครึ่งลูกเป็นเนื้อดี และอีกครึ่งลูกเป็นเนื้อฟาม ดังนั้นเมื่อทำการวัดรังสีแกมมาที่กระเจิงจากแบบจำลองที่เนื้อดี หรือเนื้อฟาม

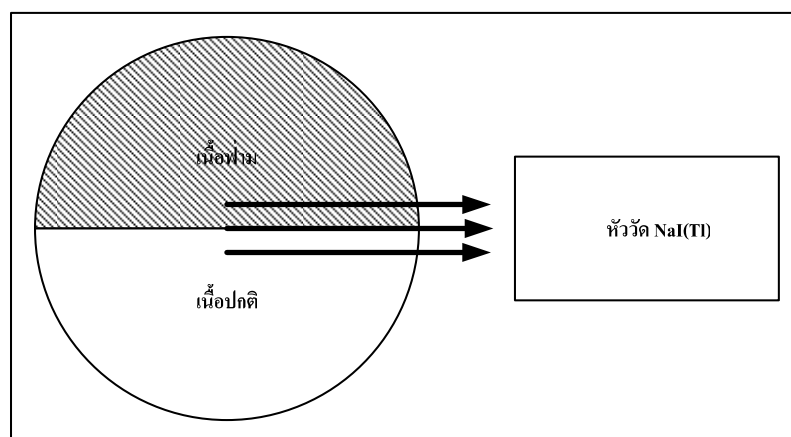
เป็นตัวกลางชนิดเดียวกันในการเดินทางของรังสีแกมมาไปยังหัววัด จะได้ผลต่างของจำนวนนับสุทธิเฉลี่ยมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก



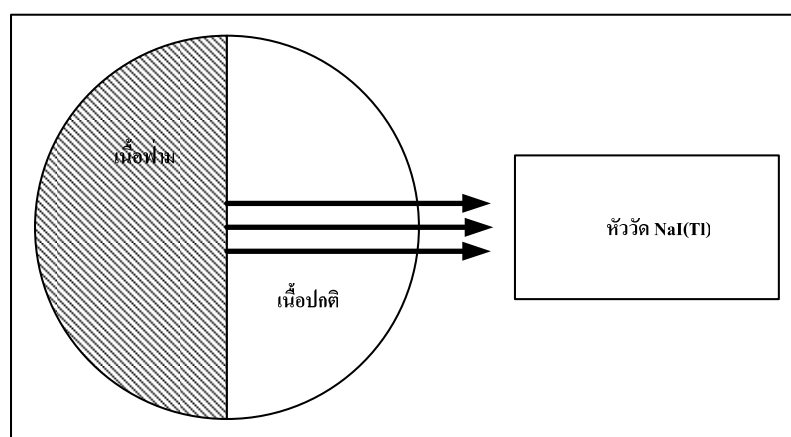
ภาพประกอบที่ 4.21 กราฟแบบบล็อกเปรียบเทียบอัตรานับสุทธิเฉลี่ยของแบบจำลองผลส้มที่ปริมาณความฟ้ามต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ระดับความเชื่อมั่นในความแตกต่างของผลต่างของอัตรานับสุทธิเฉลี่ยของรังสีแกมมา ระหว่างปริมาณความฟ้ามต่างๆ ของแบบจำลองผลส้ม

| ความฟ้าม | 0 % | 25 % | 50 % | 75 % | 87.5 % | 100 % |
|----------|------|------|------|------|--------|-------|
| 0 % | | 33 % | 4 % | 78 % | 85 % | 92 % |
| 25 % | 33 % | | 47 % | 97 % | 94 % | 94 % |
| 50 % | 4 % | 47 % | | 69 % | 65 % | 69 % |
| 75 % | 78 % | 97 % | 69 % | | 47 % | 71 % |
| 87.5 % | 85 % | 94 % | 65 % | 47 % | | 33 % |
| 100 % | 92 % | 94 % | 69 % | 71 % | 33 % | |



ภาพประกอบที่ 4.22 การวัดรังสีแกมมาที่กระเจิงออกมาจากแบบจำลองผลส้มที่มีปริมาณ ความฟ้าม 50 % โดยจัดให้แบบจำลองผลส้มอยู่ในตำแหน่งที่ 2

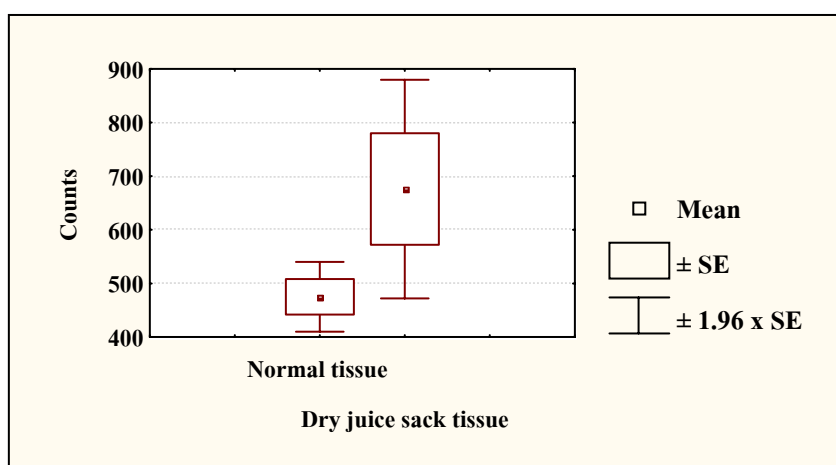


ภาพประกอบที่ 4.23 การวัดรังสีแกมมาที่กระเจิงออกมาจากแบบจำลองผลส้มที่มีปริมาณ ความฟ้าม 50 % โดยจัดให้แบบจำลองผลส้มอยู่ในตำแหน่งที่ 3

4.6 ผลการศึกษา และหาความแตกต่างของรังสีแกมมาที่กระเจิงจากเนื้อเยื่อที่แตกต่างกันของผลไม้ สามารถแบ่งพิจารณาตามชนิดของผลไม้ได้ดังนี้

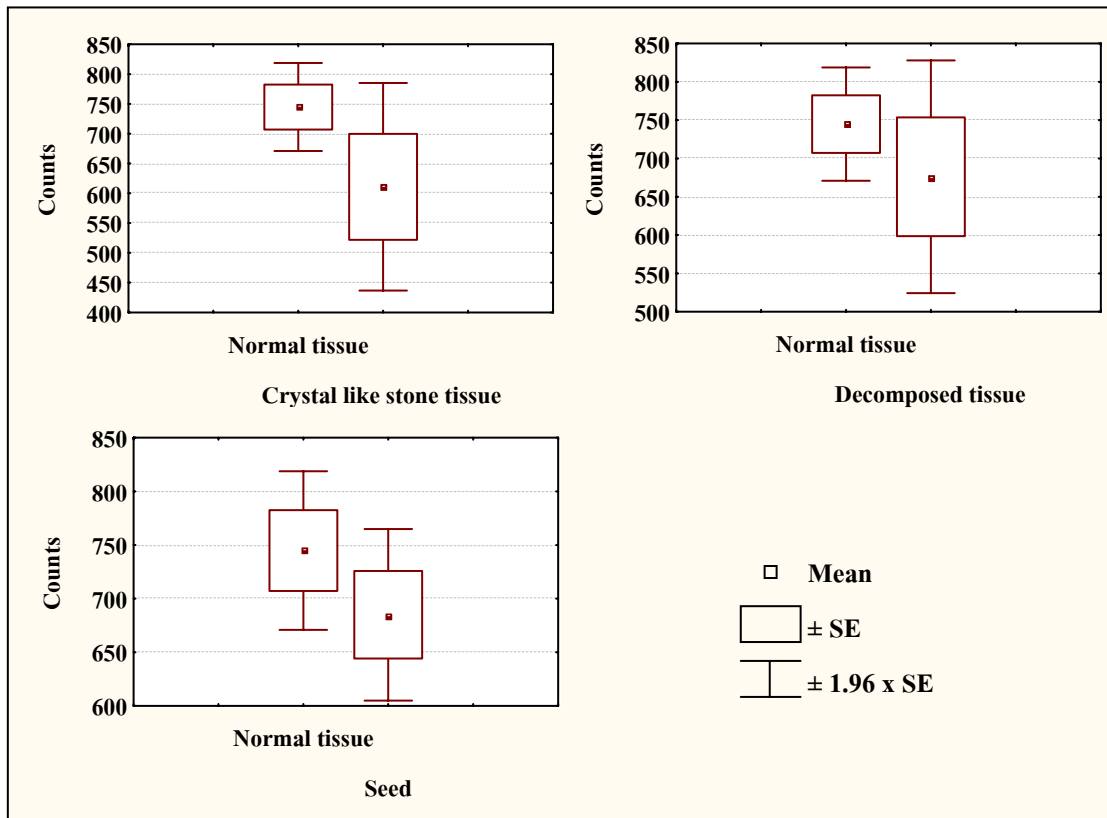
- ส้ม แบ่งเนื้อเยื่อออกเป็น 2 ประเภท คือ เนื้อปกติ และเนื้อฟาม ซึ่งเนื้อปกติจะมีความหนาแน่นมากกว่าเนื้อฟาม ดังนั้นรังสีแกมมาที่กระเจิงจากเนื้อปกติจะมีค่ามากกว่าเนื้อฟาม โดยผลต่างของจำนวนนับสุทธินเฉลี่ยของรังสีแกมมาที่กระเจิงจากตำแหน่งใดๆ จะมีค่าที่แตกต่างกัน สำหรับรังสีแกมมาที่กระเจิงจากเนื้อเยื่อชนิดเดียวกัน และต่างชนิดกัน นั่นคือ ถ้าเนื้อเยื่อทั้ง 2 ข้างเป็นชนิดเดียวกันผลต่างของจำนวนนับสุทธินเฉลี่ยของรังสีแกมมาที่กระเจิงออกมาจะมีค่าน้อยกว่าเนื้อเยื่อต่างชนิดกัน

จากข้อมูลการทดสอบทางสถิติแบบทีซึ่งแสดงในตารางที่ จ.2 ในภาคผนวก จ พบว่าผลต่างของอัตรานับสุทธินเฉลี่ยของเนื้อเยื่อที่เป็นปกติ และฟามมีค่าเท่ากับ 95 ± 76 cpm และ 135 ± 110 cpm ตามลำดับ โดยผลต่างของอัตรานับสุทธินเฉลี่ยดังกล่าวมีความแตกต่างกันในระดับความเชื่อมั่น 98 % ดังนั้นวิธีการตรวจสอบคุณภาพผลส้มแบบไม่ทำลายด้วยวิธีการนี้สามารถนำไปใช้ได้จริง



ภาพประกอบที่ 4.24 กราฟแบบบ็อกเปรียบเทียบอัตรานับสุทธินเฉลี่ยของเนื้อปกติ และเนื้อฟามของผลส้ม

- มังคุด แบ่งเนื้อเยื่อออกเป็น 4 ประเภท คือ เนื้อปกติ เนื้อแก้วยางไหล เนื้อเน่า และเมล็ดใหญ่ ซึ่งจากข้อมูลการทดสอบทางสถิติแบบทีในตารางที่ จ.3 ในภาคผนวก จ ผลต่างของอัตรานับสุทธินเฉลี่ยของเนื้อเยื่อแต่ละประเภทจะมีค่าเท่ากับ 143 ± 58 cpm, 137 ± 64 cpm, 160 ± 84 cpm และ 165 ± 76 cpm ตามลำดับ โดยระดับความเชื่อมั่นในความแตกต่างกันของผลต่างของอัตรานับสุทธินเฉลี่ยของเนื้อเยื่อแต่ละประเภทแสดงได้ดังตาราง 4.3



ภาพประกอบที่ 4.25 กราฟแบบบ็อกเปรียบเทียบอัตรานับสุทธิต่อหน่วยของเนื้อปกติ เมล็ดใหญ่ เนื้อแก้วยางไหล และเนื้อเน่าของผลมังคุด

ตารางที่ 4.3 ระดับความเชื่อมั่นในความแตกต่างของผลต่างของอัตรานับสุทธิต่อหน่วยของรังสีแกมมา ระหว่างเนื้อเยื่อประเภทต่างๆ ของผลมังคุด

| ประเภทเนื้อเยื่อ | เนื้อปกติ | เมล็ดใหญ่ | เนื้อแก้วยางไหล | เนื้อเน่า |
|------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|
| เนื้อปกติ | | 38 % | 53 % | 70 % |
| เมล็ดใหญ่ | 38 % | | 70 % | 83 % |
| เนื้อแก้วยางไหล | 53 % | 70 % | | 12 % |
| เนื้อเน่า | 70 % | 83 % | 12 % | |

เนื่องจากจุดประสงค์หลักในการตรวจสอบคุณภาพผลมังคุดคือ การตัดแยกเนื้อแก้วยางไหลออกจากเนื้อปกติ โดยเนื้อปกติจะมีความหนาแน่นที่น้อยกว่าเนื้อแก้วยางไหล เมื่อพิจารณาในแง่ของความหนาแน่นที่แตกต่างกันของเนื้อเยื่อทั้ง 2 ประเภท วิธีการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายวิธีนี้น่าจะใช้ได้กับผลมังคุดเช่นเดียวกับผลส้ม แต่จากตารางที่ 4.3 ระดับความเชื่อมั่น

ของความแตกต่างกันของผลต่างของอัตรานับสุทธิต่อของเนื้อเยื่อทั้ง 2 ประเภท มีค่าเพียง 53 % ดังนั้นวิธีการตรวจสอบคุณภาพผลมังคุดแบบไม่ทำลายด้วยวิธีการนี้ไม่สามารถนำไปใช้ได้

สำหรับปัญหาที่พบในการตรวจสอบคุณภาพผลมังคุดคือ การที่มังคุดมีจุดที่ขั้วจึงจัดรูปแบบในการทดลองด้วยการหั่นขั้วของมังคุดขึ้นด้านบน ซึ่งการจัดรูปแบบดังกล่าวจะมีปัญหาเกี่ยวกับความสมมาตรของการกระเจิงของรังสีแกมมาที่เนื้อเยื่อภายใน นอกจากนั้นการจัดเรียงตัวของกลีบเนื้อภายในผลมังคุดเองไม่สมมาตร และแต่ละกลีบมีขนาดไม่เท่ากัน จึงมีความยากลำบากที่จะจับคู่ลักษณะของเนื้อเยื่อที่ทราบจากการผ่าพิสูจน์กับข้อมูลผลต่างของจำนวนนับสุทธิต่อของรังสีแกมมาที่กระเจิงออกมาจากตัวอย่าง

นอกจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นลักษณะเนื้อเยื่อชนิด เนื้อแก้วยางไหล มักพบพร้อมกันกับเมล็ดใหญ่ ซึ่งเนื้อเยื่อทั้งประเภท 2 มีความแตกต่างกันในระดับความเชื่อมั่น 70 % จึงเป็นการยากที่จะระบุได้ว่าผลมังคุดลูกนั้นๆ มีเนื้อเยื่อชนิดเนื้อแก้วยางไหลหรือเมล็ดใหญ่

และผลมังคุดที่มีการเก็บเกี่ยวมาแล้วเป็นเวลานานเปลือกจะมีความแข็งมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียน้ำของผลมังคุด ซึ่งการที่เปลือกมีความแข็งมากขึ้นดังกล่าวทำให้รังสีแกมมาที่กระทบกับผิวหรือเปลือกของผลมังคุดมีการกระเจิงที่ผิวมากกว่าปกติทำให้ยากที่จะใช้การตรวจสอบด้วยเทคนิคการกระเจิงรังสีแกมมาในการตรวจสอบคุณภาพผลมังคุด