คู่มือปฏิบัติงาน

เรื่อง

การหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง (TL และ OSL)

จัดทำโดย

นางสุภาพ วุฒิพันธุ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

คู่มือปฏิบัติงาน

เรื่อง

การหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง (TL และ OSL)

จัดทำโดย

นางสุภาพ วุฒิพันธุ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

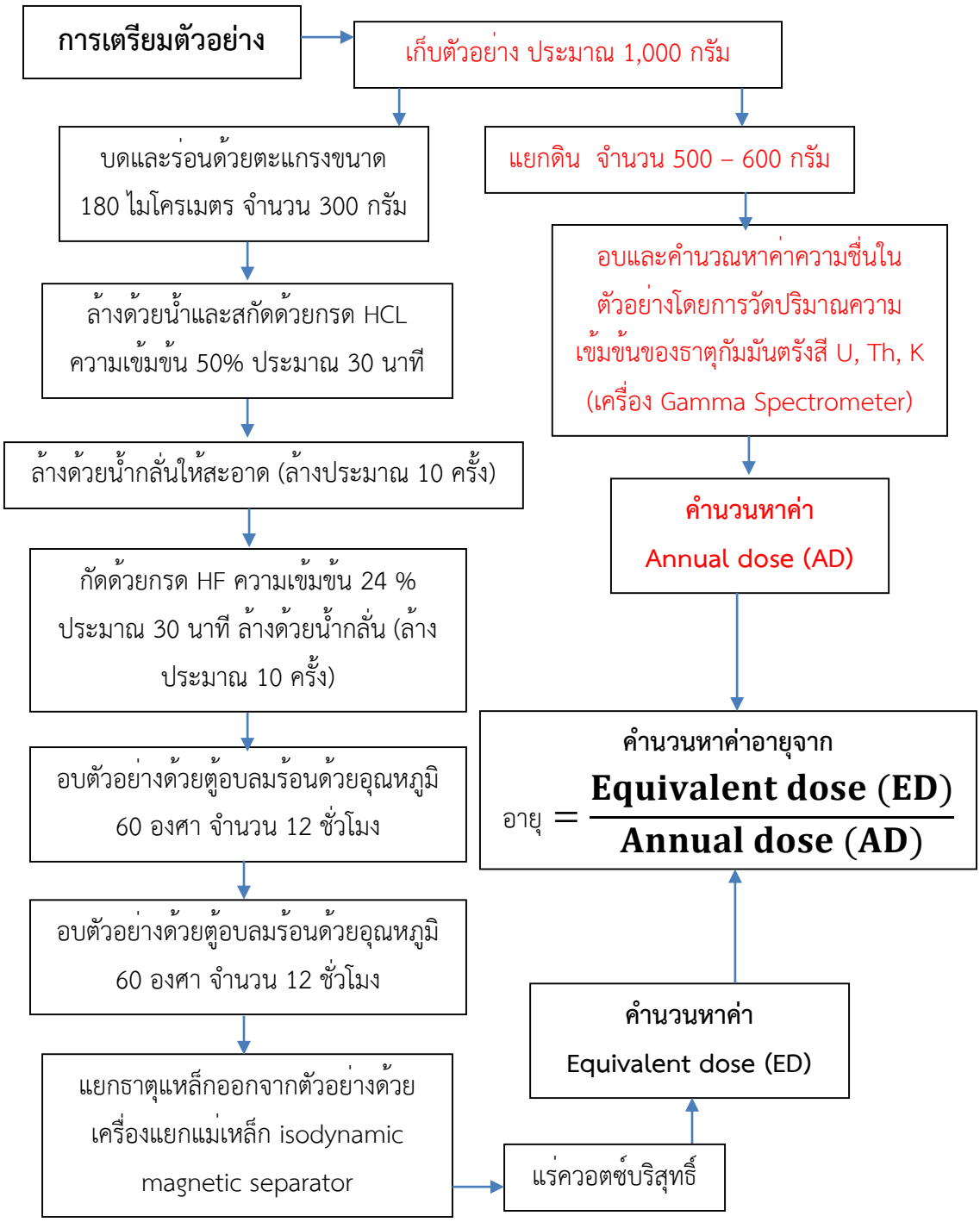
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีสิน นาวารัตน์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วันที่ มีนาคม 2569

การหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง (TL และ OSL)



ทฤษฎีและการประยุกต์เพื่อหาอายุ

แสงและการเปล่งแสง

แสง (light) คือ การแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็น (visible light) หรืออาจรวมถึงช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ แสงอินฟราเรด (infrared, IR) ถึงแสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet, UV) โดยคุณสมบัติพื้นฐานของแสง ได้แก่ 1) ความเข้มของแสงหรือแอมพลิจูดของคลื่น แสดงอยู่ในรูปความสว่างของแสง และ 2) ความถี่ (หรือความยาวคลื่น แสดงอยู่ในรูปสีของแสง) ฯลฯ เปล่งแสง

การเปล่งแสง (luminescence) หมายถึง การที่วัตถุหรือสิ่งมีชีวิตใด ๆ สามารถปลดปล่อยแสงออกมา อันเนื่องมาจากได้รับการกระตุ้นด้วยปัจจัยกระตุ้นแบบต่าง ๆ เช่น การกระตุ้นทางเคมี ความร้อน หรือแม้กระทั่งการกระตุ้นด้วยแสง ซึ่งในธรรมชาติไม่เฉพาะแร่ธาตุหรือวัตถุต่าง ๆ เท่านั้นที่สามารถแสดงพฤติกรรมการเปล่งแสงได้ สิ่งมีชีวิตหลายชนิดก็สามารถเปล่งแสงได้เช่นกัน เช่น หิงห้อย ปลาบางชนิด พืช โดยปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้จำแนกการเปล่งแสงแบ่งออกได้หลายชนิด ตามชนิดของตัวกระตุ้นหรือตามกลไกการเปล่งแสง

1) แบ่งโดยใช้ตัวกระตุ้นให้เกิดการเปล่งแสงเป็นเกณฑ์

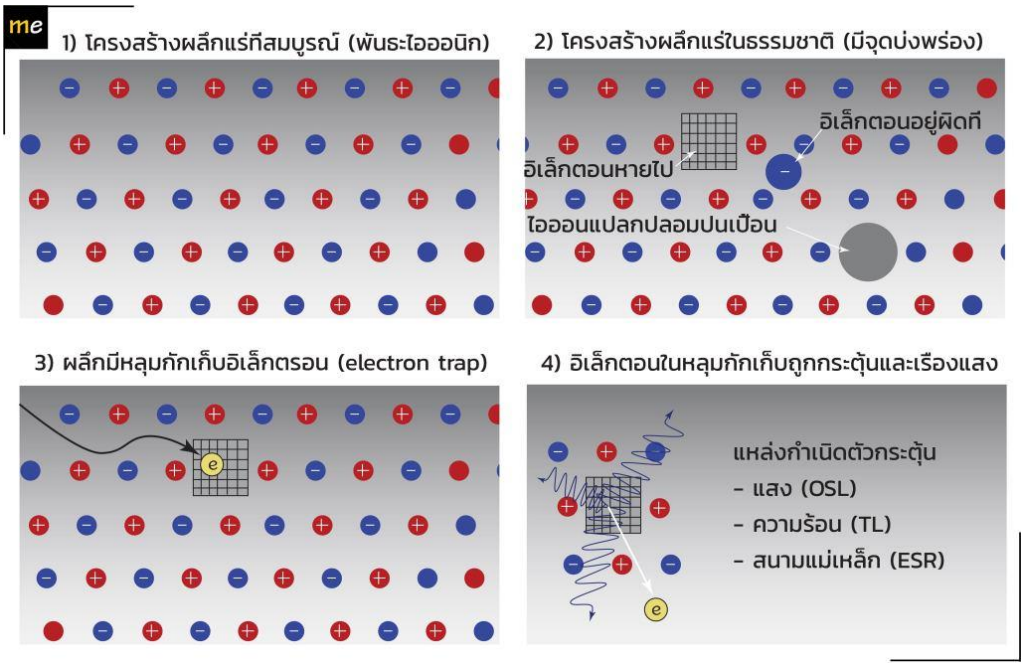
- ☐ **ไพโซลูมิเนสเซนต์ (piezoluminescence)** คือ การเปล่งแสงที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยความดัน
- ☐ **เรดิโอลูมิเนสเซนต์ (radioluminescence)** คือ การเปล่งแสงที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยอนุภาคพลังงานสูงหรือกัมมันตภาพรังสีจากธาตุกัมมันตรังสี เช่น ยูเรเนียม ทอเรียม หรือ โปแตสเซียม เป็นต้น
- ☐ **เคมีลูมิเนสเซนต์ (chemiluminescence)** คือ การเปล่งแสงที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาทางเคมีทั้งจากในสสารต่างๆ หรือในสิ่งมีชีวิต
- ☐ **อิเล็กโตรลูมิเนสเซนต์ (Electroluminescence)** คือ การเปล่งแสงที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยการปลดปล่อยของประจุ
- ☐ **ไตรโบลูมิเนสเซนต์ (triboluminescence)** คือ การเปล่งแสงที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยการขัดสี ของผลึกซึ่งทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้นจากการขัดสี
- ☐ **โซโนลูมิเนสเซนต์ (sonoluminescence)** คือ การเปล่งแสงที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยคลื่นเสียง
- ☐ **คาโทโดลูมิเนสเซนต์ (cathodololuminescence)** คือ การเปล่งแสงที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยอนุภาคเบตาหรืออิเล็กตรอน ในสภาวะแวดล้อมแบบสุญญากาศ โดยทั่วไปมักใช้ในงานศึกษาวิจัยด้านธรณีวิทยาเกี่ยวกับแร่วิทยา โดยเฉพาะการศึกษาองค์ประกอบของโดโลไมต์
- ☐ **โฟโต้ลูมิเนสเซนต์ (photoluminescence)** คือ การเปล่งแสงที่เกิดจากวิธี OSL เช่น แสง UV
- ☐ **เทอร์โมลูมิเนสเซนต์ (thermoluminecence)** คือ การเปล่งแสงที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยความร้อน

2) แบ่งโดยใช้กลไกการเปล่งแสงเป็นเกณฑ์

- **ฟลูออเรสเซนต์ (fluorescence)** คือ การเปล่งแสงที่เกิดจากอิเล็กตรอนที่อยู่ใน **ระดับพลังงานพื้นฐาน (ground state)** ถูกกระตุ้น ทำให้อิเล็กตรอนกระโดดขึ้นไปถึง **ระดับพลังงานกระตุ้น (excited state)** จากนั้นอิเล็กตรอนพยายามลดพลังงานกลับคืนสู่สภาวะพื้นฐานตามเดิมเพื่อให้ตัวอิเล็กตรอนเองอยู่ในสภาวะเสถียร จึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปการเปล่งแสง
- **โฟโต้เรสเซนต์ (phosphorescence)** คือ การเปล่งแสงที่เกิดขึ้นจากอิเล็กตรอนที่อยู่ใน **ระดับพลังงานกระตุ้นกึ่งเสถียร (meta state)** ถูกกระตุ้นไปยัง **ระดับพลังงานกระตุ้น (excited state)** และพยายามลดพลังงานกลับมาที่ระดับพลังงานพื้นฐาน (ground state) ซึ่งเป็นระดับพลังงานที่เสถียรและปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของการเปล่งแสงเช่นกัน

หลักการเปล่งแสงของแร่

การเปล่งแสงของแร่ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็ง เป็นแบบ **โฟโต้เรสเซนต์ (phosphorescence)** อธิบายได้ในรูปของระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและการกักเก็บอิเล็กตรอน ซึ่งในทางทฤษฎี ผลึกแร่ที่สมบูรณ์จะประกอบด้วยโครงข่ายผลึกของประจุลบและประจุบวกที่ยึดเหนี่ยวกันอยู่อย่างสมดุล (รูป 1) อย่างไรก็ตาม ผลึกแร่ในธรรมชาติ โดยเฉพาะแร่ประกอบหิน โดยส่วนใหญ่มีความบกพร่องเนื่องจากหลายกรณี (รูป 2) เช่น การแทนที่โดยประจุของธาตุมลทินหรือการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของลาวากลายเป็นหิน ซึ่งความบกพร่องดังกล่าวได้แก่ ประจุลบหายไปจากตำแหน่งที่ควรอยู่หรือประจุลบแทรกอยู่ระหว่างกลางโครงข่ายผลึก เป็นต้น ทำให้โครงข่ายผลึกของแร่มีตำแหน่งของประจุลบบางตำแหน่งไม่พบประจุลบ ซึ่งในตำแหน่งดังกล่าวจะประพฤติตัวเป็น **หลุมกักเก็บอิเล็กตรอน (electron trap)** ซึ่งอยู่ใน **ระดับพลังงานกระตุ้นกึ่งเสถียร (meta state)** และเป็นจุดดึงดูดอิเล็กตรอนอื่น ๆ ที่กระจายตัวอยู่บริเวณรอบข้างให้เข้ามาฝังตัว

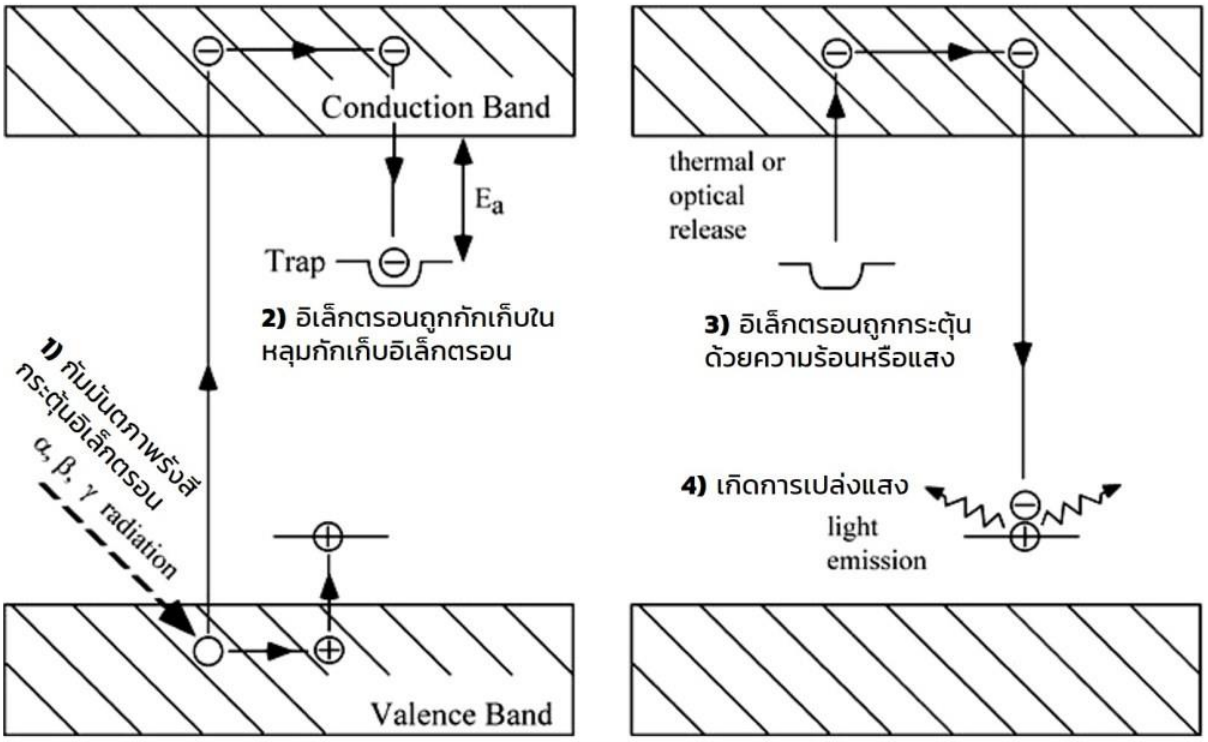


แบบจำลองกลไกการเปล่งแสงของแร่

จากนั้นเมื่อแร่ได้รับการกระตุ้นจากพลังงานจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบ เช่น พลังงานจากการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น ธาตุยูเรเนียม ทอเรียม และธาตุโปแตสเซียม อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นและเข้าไปฝังอยู่ในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน ซึ่งเมื่อแร่ถูกกระตุ้นอีกครั้งด้วยพลังงานรูปแบบต่าง ๆ เช่น ความร้อนหรือแสง (รูป 4) อิเล็กตรอนที่อยู่ในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนสามารถหลุดออกมาจากหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนและเปล่งแสง

มุมมองระดับพลังงานของการเปล่งแสง

นอกจากการอธิบายหลักการการเปล่งแสงโดยใช้แบบจำลองอย่างง่ายตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น การเปล่งแสงของแร่สามารถอธิบายด้วยทฤษฎีระดับพลังงานของอิเล็กตรอน ได้ดังนี้



รูปจำลองแสดงระดับพลังงานในระหว่างกระบวนต่างๆ ของการเปล่งแสง

ที่มา : https://www.mitrearth.org/15-13-1-luminescence-dating-ep1-theory-and-application/

1. **ผลึกแร่ไม่สมบูรณ์ (defected mineral)** จะประกอบไปด้วย **หลุมกักเก็บอิเล็กตรอน (electron trap)** และ ศูนย์กลางการเปล่งแสง (luminescence centers) (หมายเลข 2 และ 4 ของรูปด้านบน) ซึ่งหลุมกักเก็บนี้จะมีระดับพลังงานอยู่ใน ระดับพลังงานพื้นฐาน (ground state หรือ valence band) ซึ่งเป็นชั้นที่มีความเสถียรสูง และ ระดับพลังงานกระตุ้น (excited state หรือ conduction band) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เสถียร

2. **ขั้นการแผ่รังสี (irradiation)** เกิดจากอิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากตัวแปรต่างๆ เช่น การแผ่กัมมันตภาพรังสีจากธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นขึ้นไปในสถานะกระตุ้นและเกิดการกักเก็บอิเล็กตรอนไว้ในหลุมกักเก็บ
3. **ขั้นการกักเก็บ (storage)** โดยที่ระดับความลึกของหลุมกักเก็บนั้นต้องมีพลังงานมากกว่าหรือลึกเพียพอสำหรับการกักเก็บอิเล็กตรอน ซึ่งจำนวนของอิเล็กตรอนในหลุมกักเก็บมีความสัมพันธ์กับอายุของตัวอย่าง ส่วนการเล็ดลอดของอิเล็กตรอนออกจากหลุมกักเก็บในช่วงเวลาการกักเก็บนั้นเกิดขึ้นน้อยมากจึงไม่นำมาพิจารณา
4. **ขั้นการกระตุ้น (activation)** โดยเมื่อมีการกระตุ้นด้วยพลังงานในรูปแบบต่างๆ อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นและหลุดออกจากหลุมกักเก็บ ซึ่งหลังจากอิเล็กตรอนถูกขับไล่ออกมา จะเกิดกระบวนการรวมตัวใหม่ (recombination) ที่บริเวณศูนย์กลางการเปล่งแสง (luminescence center) และมีการเปล่งแสงเกิดขึ้น

ดังนั้น หากนักวิทยาศาสตร์สามารถวัดจำนวนอิเล็กตรอนที่ฝังตัวอยู่ในหลุมกักเก็บได้ และสามรถการประเมินอัตราการแผ่รังสีต่อปี ของสิ่งแวดล้อมรอบข้าง ที่เป็นตัวกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเข้าไปเติมเต็มในหลุมกักเก็บได้ ก็สามารถหาอายุของตัวอย่างหรือวัตถุนั้นๆ ได้ จากสมการความสัมพันธ์ของการหาอายุด้วยวิธี TL คือ

อายุวัตถุ = Equivalent Dose/Annual Dose หรือ ED/AD

กำหนดให้

- **Paleodose หรือ Equivalent Dose (PE หรือ ED)** คือ ค่าจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นให้ไปอยู่ในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน อันเนื่องมาจากการกระตุ้นจากการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีในบริเวณรอบข้าง มีหน่วยเป็น **เกรย์ (Gy)**
- **Annual dose (AD)** คือ อัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในบริเวณรอบข้าง ซึ่งธาตุกัมมันตรังสีที่สำคัญ ได้แก่ ยูเรเนียม (U) ทอเรียม (Th) และ โปแตสเซียม (K) รวมทั้งรังสีคอสมิก (cosmic ray) จากชั้นบรรยากาศ ซึ่งมีผลแค่เล็กน้อยเท่านั้น โดย AD มีหน่วยเป็น **เกรย์ต่อปี (Gy/year)**

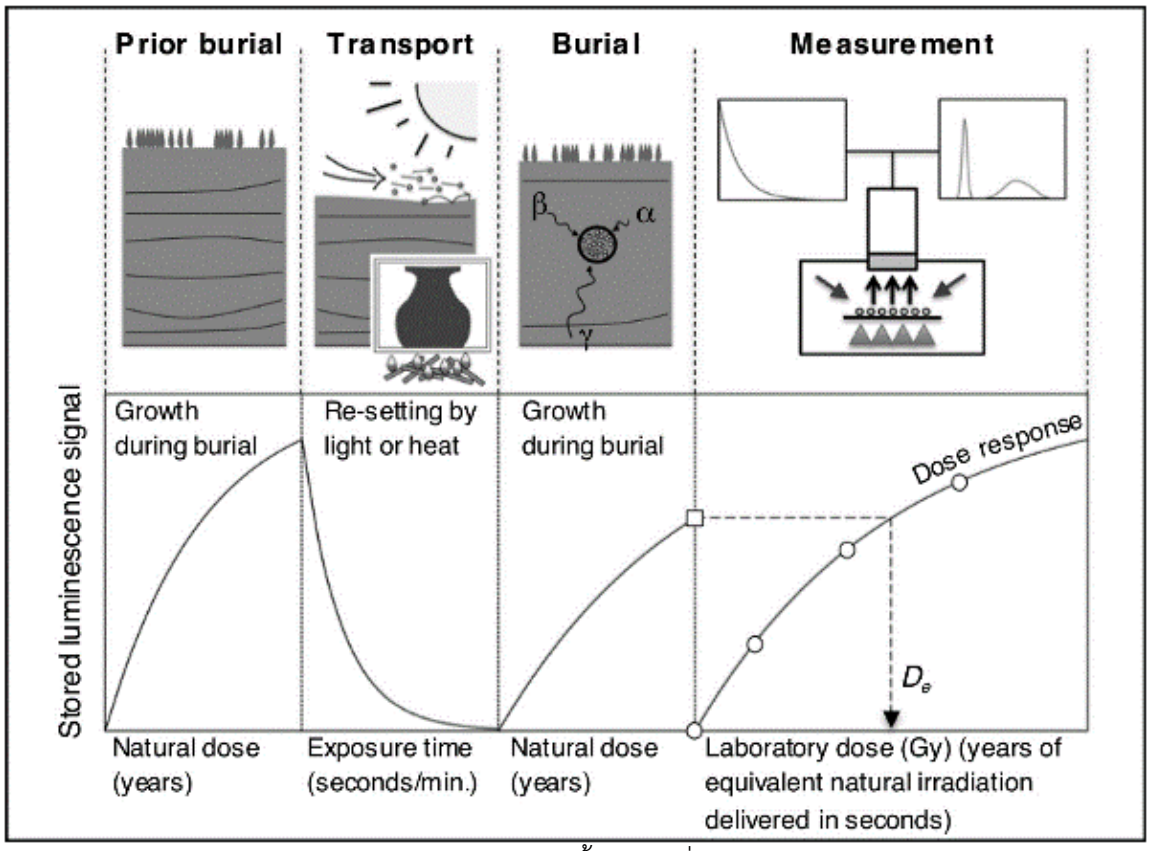
โดยผลจากการการประเมินรของสองค่านี้และนำไปใส่ตามสมการ จะทำให้ได้ผลลัพธ์ในหน่วยปี และเป็นอายุนับตั้งแต่แร่นั้นได้รับความร้อนครั้งล่าสุดทำให้ลบล้างสัญญาณจนหมด (ในกรณีวัตถุหรือตัวอย่างถูกเผาหรือได้รับความร้อนมา) หรือ เป็นอายุนับตั้งแต่ตะกอนสะสมตัวครั้งสุดท้ายจนถึงปัจจุบัน ในกรณีที่ตะกอนนั้นผ่านกระบวนการพัดพา (transportation) และถูกอาบแดดมา

ปัจจุบันเทคนิคที่นักวิทยาศาสตร์ได้คิดค้นขึ้นมาเพื่อตรวจวัดการเปล่งแสงและหาอายุแร่หรือหิน ที่นิยมใช้มีอยู่ 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) การกระตุ้นตัวอย่างแร่ด้วยความร้อนและตรวจวัดการเปล่งแสง เรียกว่า **การ**

หาอายุด้วยวิธีการเปล่งแสง (Thermoluminescence, TL dating) และ 2) การกระตุ้นการเปล่งแสงด้วยแสงช่วงความถี่เฉพาะ เรียกว่า **การหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (Optically Stimulated Luminescence, OSL dating)**

1. การกำหนดอายุด้วยวิธีเปล่งแสงความร้อน (Thermoluminescence Dating หรือ TL) อาศัยหลักการที่ว่าภายในผลึกของแร่จะมีโครงสร้างที่คอยดักจับอิเล็กตรอน (Electron Trap) ที่ถูกกระตุ้นจากการแผ่รังสีของสิ่งแวดล้อม แต่เมื่ออิเล็กตรอนที่ถูกดักจับได้รับพลังงานความร้อนที่มากเพียงพอก็จะหลุดออกและปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้น การวัดปริมาณรังสีบรรพกาล (Paleodose หรือ Equivalent Dose) จึงสามารถทำได้โดยการให้ความร้อนแก่วัตถุเพื่อกระตุ้นอิเล็กตรอนให้ปลดปล่อยพลังงานออกมาแล้ววัดปริมาณของแสงด้วยหัววัดสัญญาณแสง (Photo-detector) ทำการขยายสัญญาณแล้วหาความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีบรรพกาลกับปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้จากเครื่องตรวจวัดการเปล่งแสงความร้อน (Thermoluminescence Detector) อีกตัวแปรที่ต้องทราบก็คือ อัตราการแผ่รังสีต่อปี (Annual Dose) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของธาตุยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมในสิ่งแวดล้อมแล้วให้รังสีแอลฟา เบตา และแกมมา จากนั้นจึงกำหนดอายุของโบราณวัตถุด้วยการนำรังสีบรรพกาลมาหารด้วยอัตราการแผ่รังสีต่อปี

2. การกำหนดอายุด้วยวิธีกระตุ้นเชิงแสง (Optically Stimulated Luminescence Dating หรือ OSL) มีหลักการคล้ายคลึงกับ TL กล่าวคือภายในโครงสร้างของผลึกแร่ที่ไม่ถูกสัมผัสด้วยความร้อนและแสงมาเป็นเวลานานจะมีจำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้นตามลำดับเวลา เมื่อนำตัวอย่างของโบราณวัตถุไปกระตุ้นด้วยแสงที่มีพลังงานและความยาวคลื่นที่เหมาะสม อิเล็กตรอนที่ถูกกักเก็บเอาไว้ก็จะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถคำนวณหาอายุได้ด้วยหลักการเดียวกับ TL

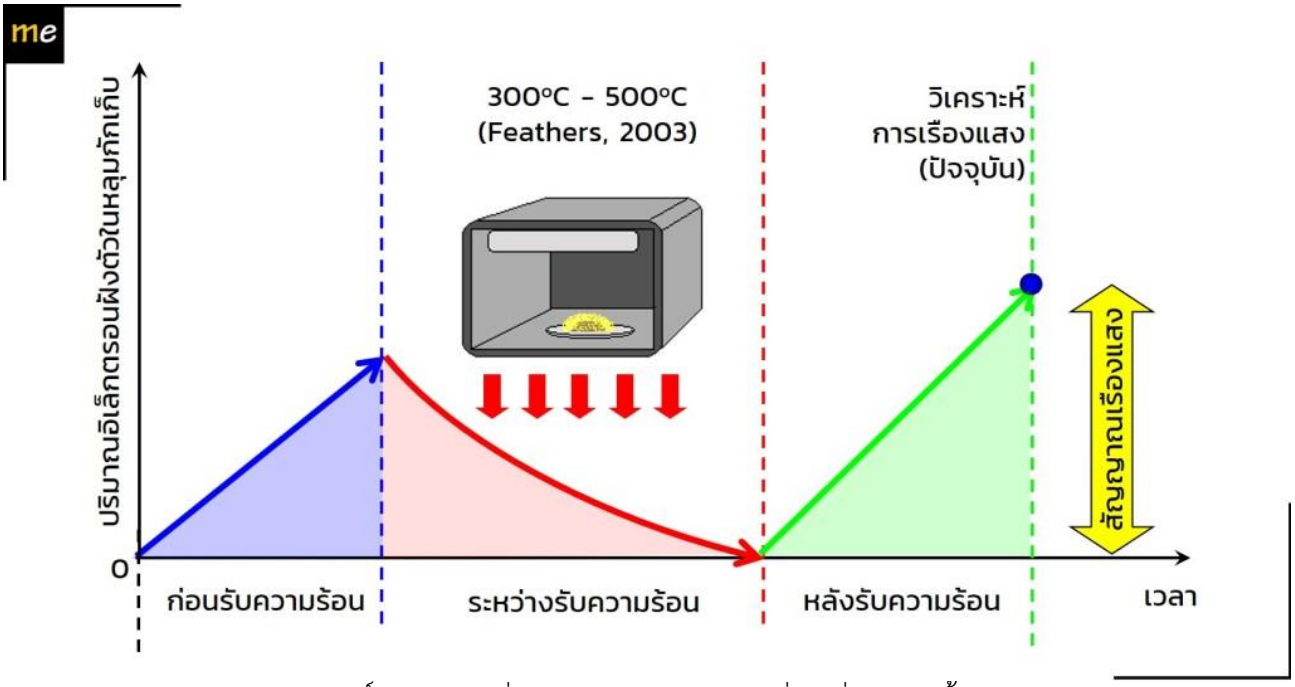


การกำหนดอายุด้วยวิธีเปล่งแสง

ที่มา : https://www.thaiphysoc.org/article/351/

ประยุกต์หาอายุวัสดุที่เคยผ่านความร้อนมา

การประยุกต์หลักการเปล่งแสงกับการหาอายุแร่และหิน เช่น หินอัคนีหรือหินแปร เริ่มต้นจากแร่เดิมนั้นมีการสะสมอิเล็กตรอนอยู่ตลอดเวลาด้วยอัตราที่คงที่ ตามอัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ ซึ่งหากแร่ได้รับความร้อนประมาณ 300-500 องศาเซลเซียส (Feathers, 2002) เช่น ลาวาที่กลายเป็นหินอัคนี หินเดิมที่ถูกแปรสภาพด้วยความดันและอุณหภูมิสูง แร่เดิมซึ่งเคยมีอิเล็กตรอนสะสมตัวอยู่จะถูกขับออกจากหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนจนหมด จากนั้นแร่จึงเริ่มต้นสะสมอิเล็กตรอนใหม่อีกครั้ง จนถึงวันที่นำตัวอย่างมาตรวจวัดจำนวนอิเล็กตรอนด้วยการตรวจวัดการเปล่งแสง จำนวนอิเล็กตรอนที่ได้จึงเทียบเคียงได้กับจำนวนอิเล็กตรอนที่สะสมตัว ตั้งแต่แร่นั้นได้รับความร้อนครั้งสุดท้ายจนถึงวันที่นำตัวอย่างแร่หรือหินนั้นมาตรวจวัดการเปล่งแสง

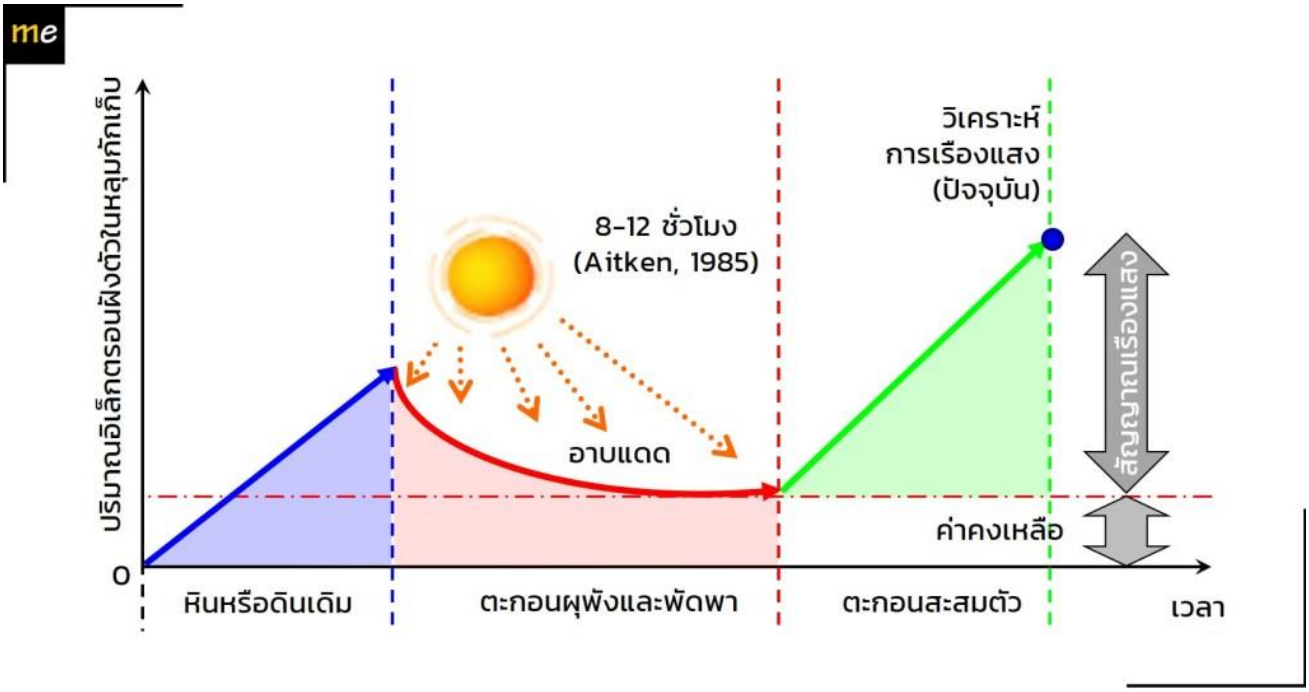


การประยุกต์หลักการเปล่งแสงกับการหาอายุวัสดุที่เคยผ่านความร้อน

ประยุกต์หาอายุการสะสมตัวของตะกอน

ส่วนในกรณีการหาอายุการสะสมตัวของตะกอน จะมีข้อแตกต่างเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการหาอายุแร่หรือวัตถุที่ได้รับความร้อน โดยกระบวนการเริ่มต้นจากหินหรือตะกอนเดิมมีการสะสมตัวของอิเล็กตรอนจนกระทั่งหินหรือตะกอนเหล่านั้นถูกปัจจัยทางธรณีวิทยาต่าง ๆ เช่น น้ำ ลม ฯลฯ กัดกร่อนและเกิดการผุพัง (weathering) เป็นเม็ดตะกอน

จากนั้นตะกอนเกิดการพัดพา (transportation) จากแหล่งกำเนิดตะกอนลงสู่แหล่งสะสมตะกอน ซึ่งในระหว่างช่วงเวลาของการพัดพา อิเล็กตรอนจะถูกผลักออกจากหลุมกักเก็บเนื่องจากเม็ดตะกอนสัมผัสกับแสงอาทิตย์ และเริ่มต้นสะสมจำนวนอิเล็กตรอนใหม่อีกครั้ง โดยมีเม็ดตะกอนชั้นบนที่ปิดทับเป็นตัวป้องกันแสงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างตะกอนมาวิเคราะห์การเปล่งแสง จำนวนอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในผลึกแร่ของตะกอนจึงเทียบเคียงได้กับจำนวนอิเล็กตรอนที่สะสมตัวตั้งแต่แร่หรือตะกอนเม็ดนั้นสะสมตัวในครั้งสุดท้ายจนถึงวันที่นำตัวอย่างแร่หรือหินนั้นมาตรวจวัดการเปล่งแสง



การประยุกต์หลักการเปล่งแสงกับการหาอายุการสะสมตัวของตะกอน

ที่มา : https://www.mitrearth.org/15-13-1-luminescence-dating-ep1-theory-and-application/

การวิเคราะห์หาค่า AD (Annual Dose)

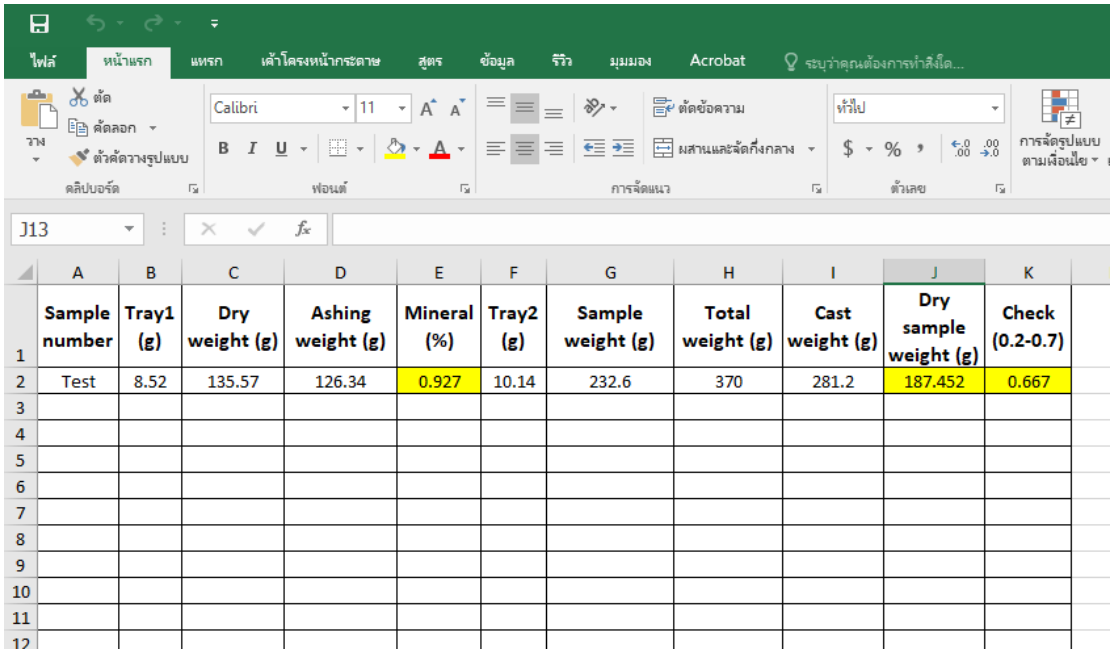
ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gamma Spectrometer

1. นำภาชนะเซรามิค ทนความร้อน 500 องศาเซลเซียส (ดังรูป) ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนัก (g)

2. ใส่ตัวอย่างในภาชนะเซรามิค อบที่อุณหภูมิ ≈80°C จำนวน 12 ชั่วโมง

3. นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้ง (Dry weight) และบันทึกค่าน้ำหนัก(g)
4. นำตัวอย่างไปอบในเตาเผา อบที่อุณหภูมิ ≈450°C จำนวน 12 ชั่วโมง

5. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เผา (Ashing weight) และบันทึกค่าน้ำหนัก(g)
6. กรอกข้อมูล และคำนวณอัตราส่วนแร่ธาตุในตัวอย่าง (%mineral) **((ash weight-tray1)/(dry weight-tray1))=...%



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Sample number	Tray1 (g)	Dry weight (g)	Ashing weight (g)	Mineral (%)	Tray2 (g)	Sample weight (g)	Total weight (g)	Cast weight (g)	Dry sample weight (g)	Check (0.2-0.7)
2	Test	8.52	135.57	126.34	0.927	10.14	232.6	370	281.2	187.452	0.667
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											

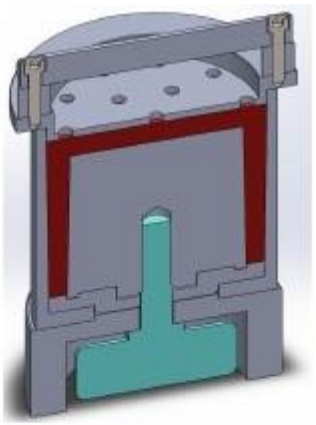
7. บดตัวอย่างขนาด ≈100-200 um

8. ชั่งถาด2 (Tray2) พร้อมแท่งคน และบันทึกค่าน้ำหนัก(g)

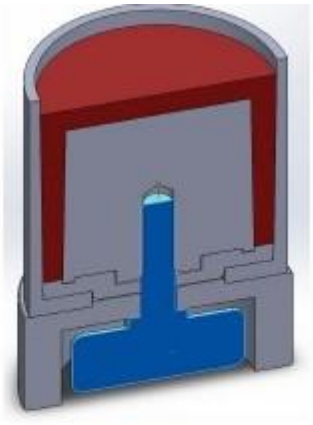
9. ใส่ตัวอย่างบด (Sample weight) ที่เตรียมไว้ และบันทึกค่าน้ำหนัก(g)
10. วางถาด2 (Tray2) บน Hot plate ที่อุณหภูมิ ≈80°C
11. เติม Wax ที่ละลายแล้ว ≈100g (@80°C) และใช้ไม้คนผสม
12. เติม Wax เพิ่มและผสมให้เพียงพอกับแม่พิมพ์

13. ชั่งน้ำหนักรวม (Total weight) และบันทึกค่าน้ำหนัก(g)

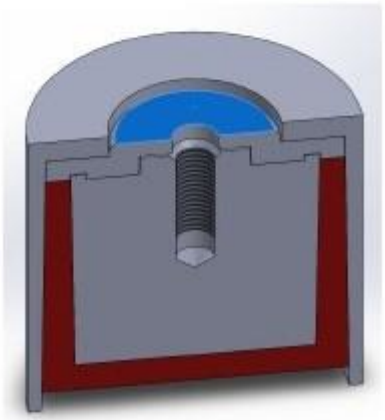
14. เท Wax ลงแม่พิมพ์ และใส่ตัวอย่างลงไปให้มากที่สุด
15. เทจนถึงขอบแม่พิมพ์ ≈5 mm
16. ปิดฝาและกดให้แน่น
17. ปล่อยให้เย็นตัวลง >2 ชั่วโมง
18. ถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Demolding)



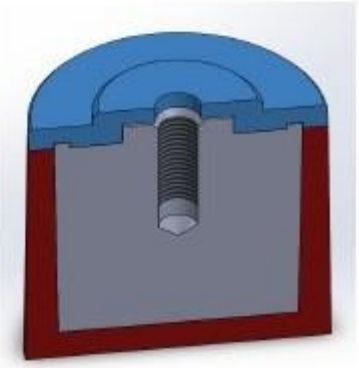
รูปที่ 1 นำตัวอย่างออกจากด้านบนของฝา



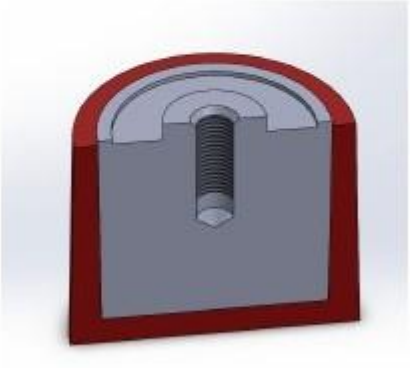
รูปที่ 2 ถอดฝาออก



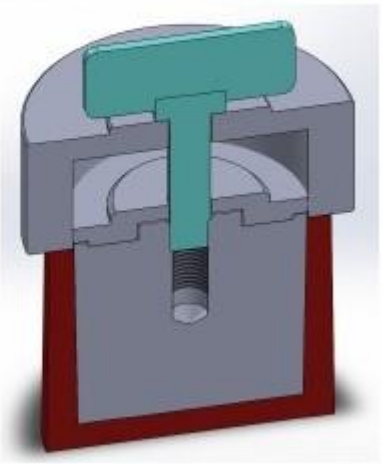
รูปที่ 3 พลิกแม่พิมพ์คว่ำลง



รูปที่ 4. ดันด้วยขี้ผึ้งออกจากกระบอกแม่พิมพ์



รูปที่ 5 ถอดแผ่นรองด้านในออก

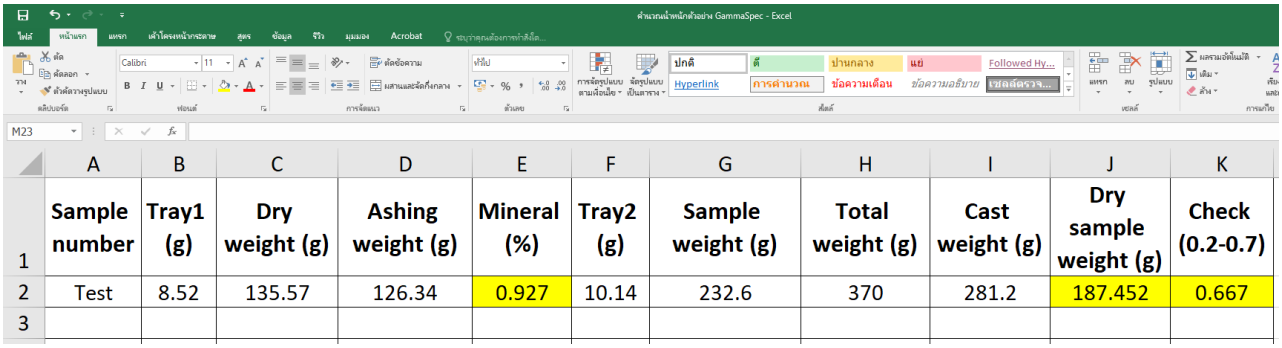


รูปที่ 6 การกำหนดค่าก่อนดันด้วยแว็กซ์

19. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง (Cast weight) และบันทึกค่าน้ำหนัก(g)

20. กรอกข้อมูล เพื่อคำนวณค่า Dry sample ในถ้วยหล่อ (น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่างที่มีในถ้วยหล่อ)

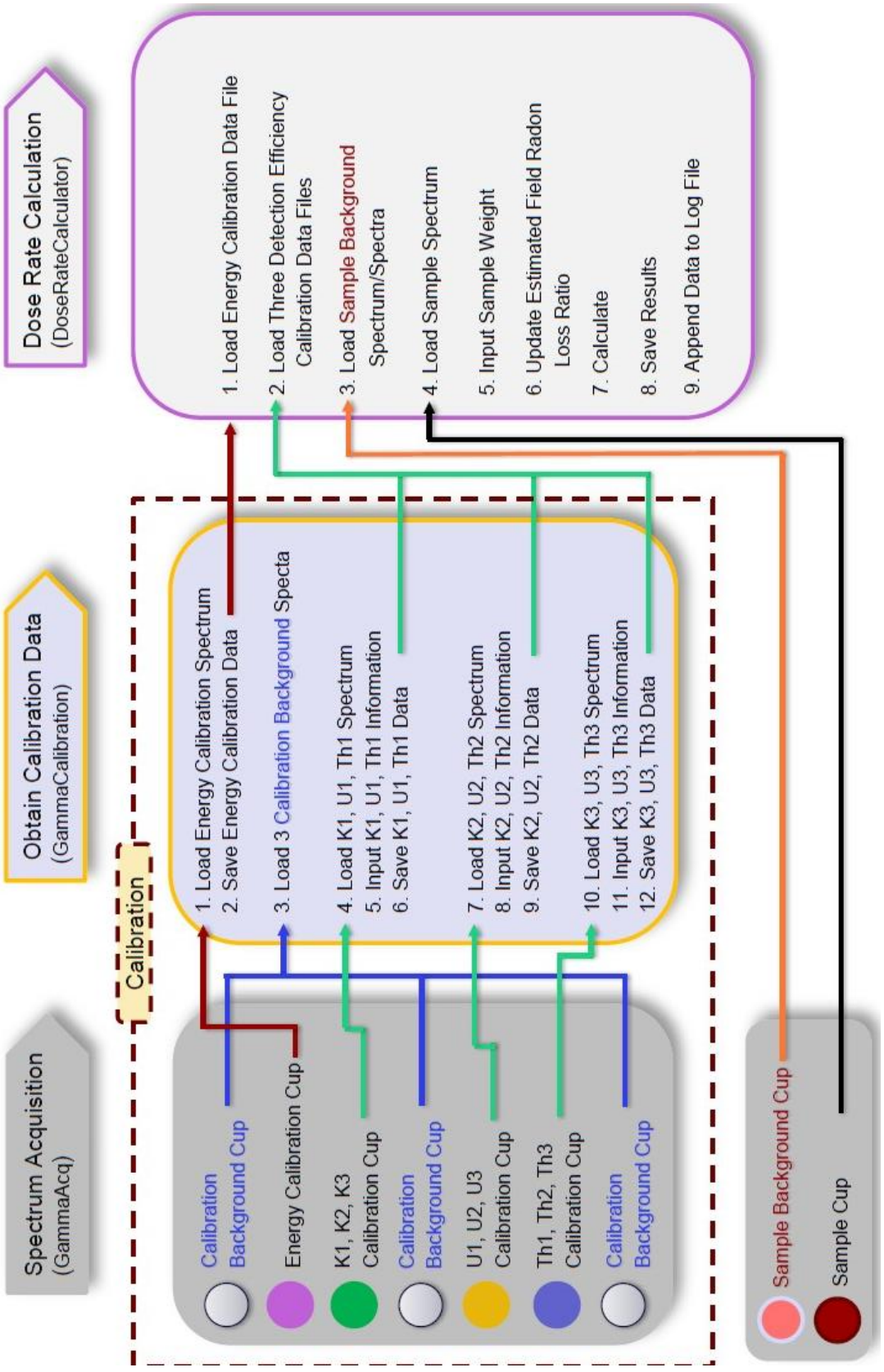
**[(Sample weight-Tray2)/(Total weight-Tray2)]x(Cast weight/%mineral) = ...g



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	**Sample number**	**Tray1 (g)**	**Dry weight (g)**	**Ashing weight (g)**	**Mineral (%)**	**Tray2 (g)**	**Sample weight (g)**	**Total weight (g)**	**Cast weight (g)**	**Dry sample weight (g)**	**Check (0.2-0.7)**
2	Test	8.52	135.57	126.34	0.927	10.14	232.6	370	281.2	187.452	0.667
3											

การวิเคราะห์หาค่า Annual Dose (AD) ด้วยเครื่อง Gamma Spectrometer

แผนผังแสดงวิธีการวิเคราะห์หาค่า Annual Dose (AD) ด้วยเครื่อง Gamma Spectrometer



การใช้งานโปรแกรมสำหรับการวัดค่าปริมาณสารรังสีในตัวอย่าง

การวิเคราะห์ หาค่า AD (Annual Dose) ต้องใช้โปรแกรมสำหรับการคำนวณ 3 โปรแกรม คือ โปรแกรม GammaAcq, โปรแกรม Gamma Calibration และ โปรแกรม DoseRateCalculator

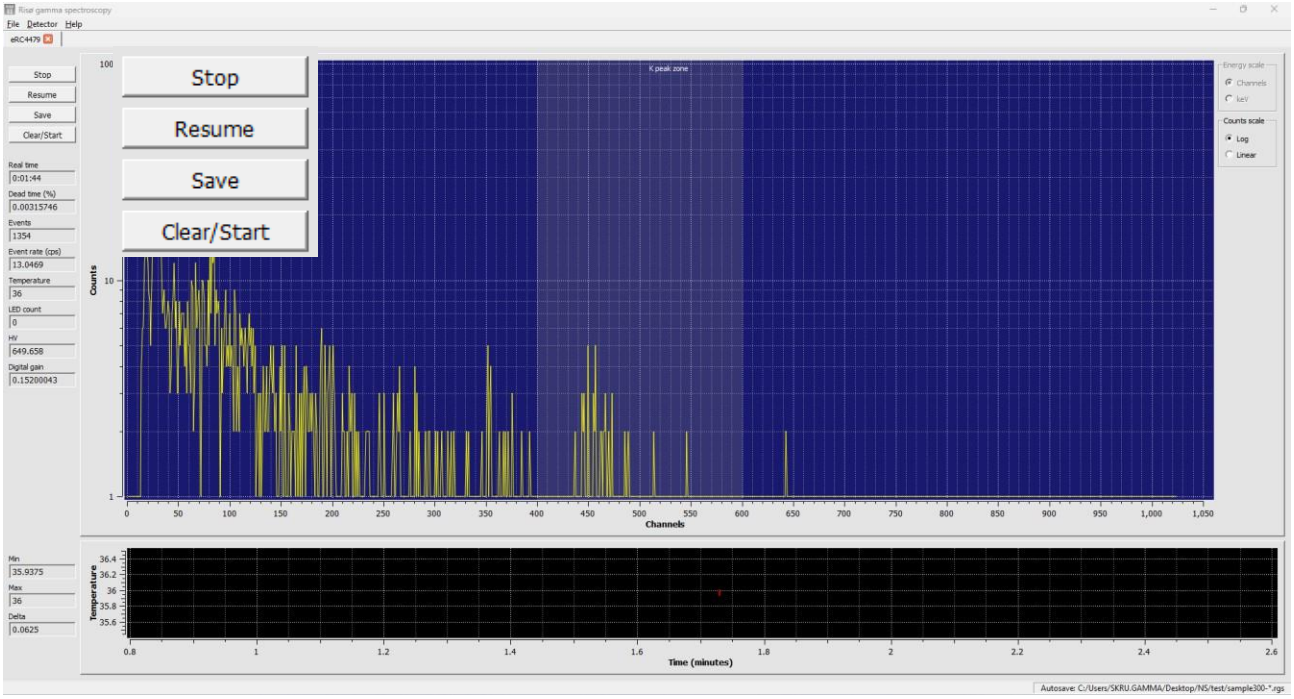
1. โปรแกรม GammaAcq สำหรับการวัดค่าปริมาณสารรังสีในตัวอย่าง

1.1 เปิดโปรแกรม GammaAcq

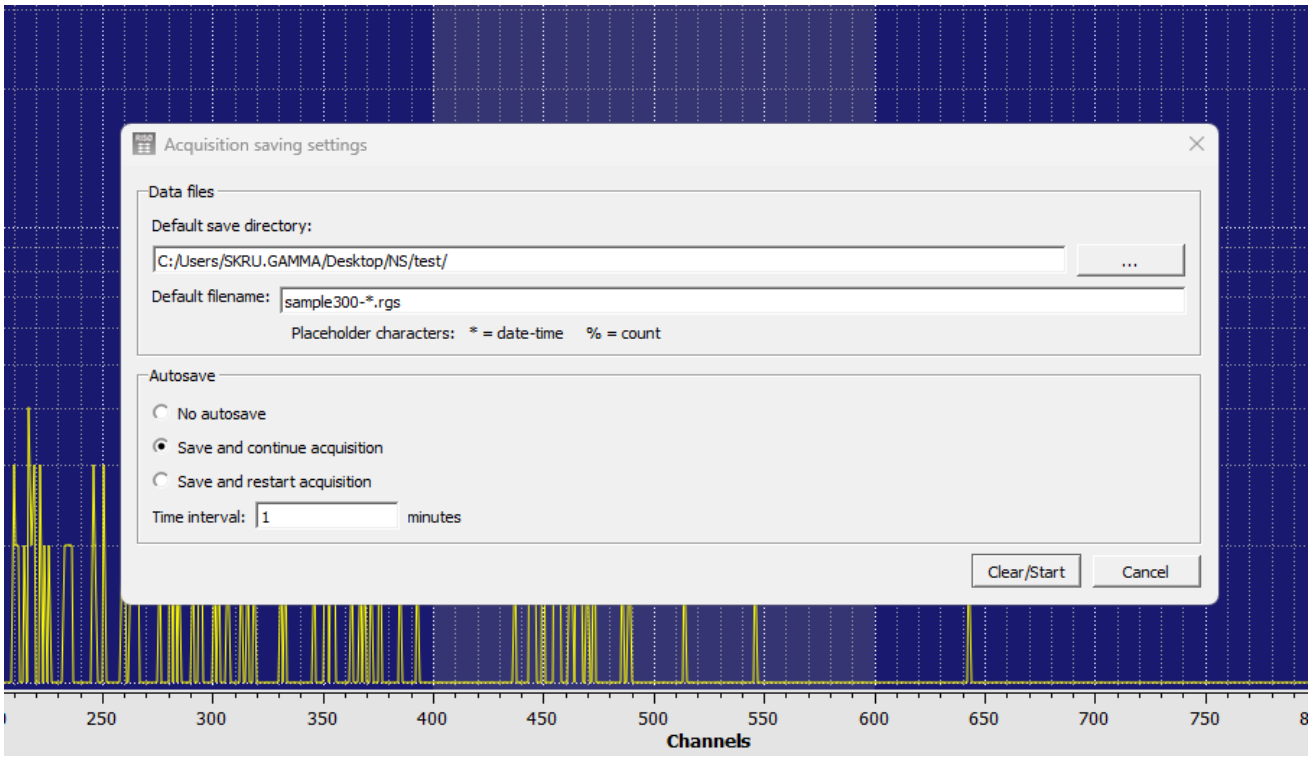
1.2 นำ Calibration standards ชื่อ KUTh mix Energy Calibration – Cup number ZF135 ใส่ไปที่หัววัด

KUTh mix Energy Calibration	ZF135	27-Feb-2021	^{40}K	906.1	±0.1*	355.33	533.01
			^{238}U	106.7	±0.21**		
			^{232}Th	106.6	±1***		

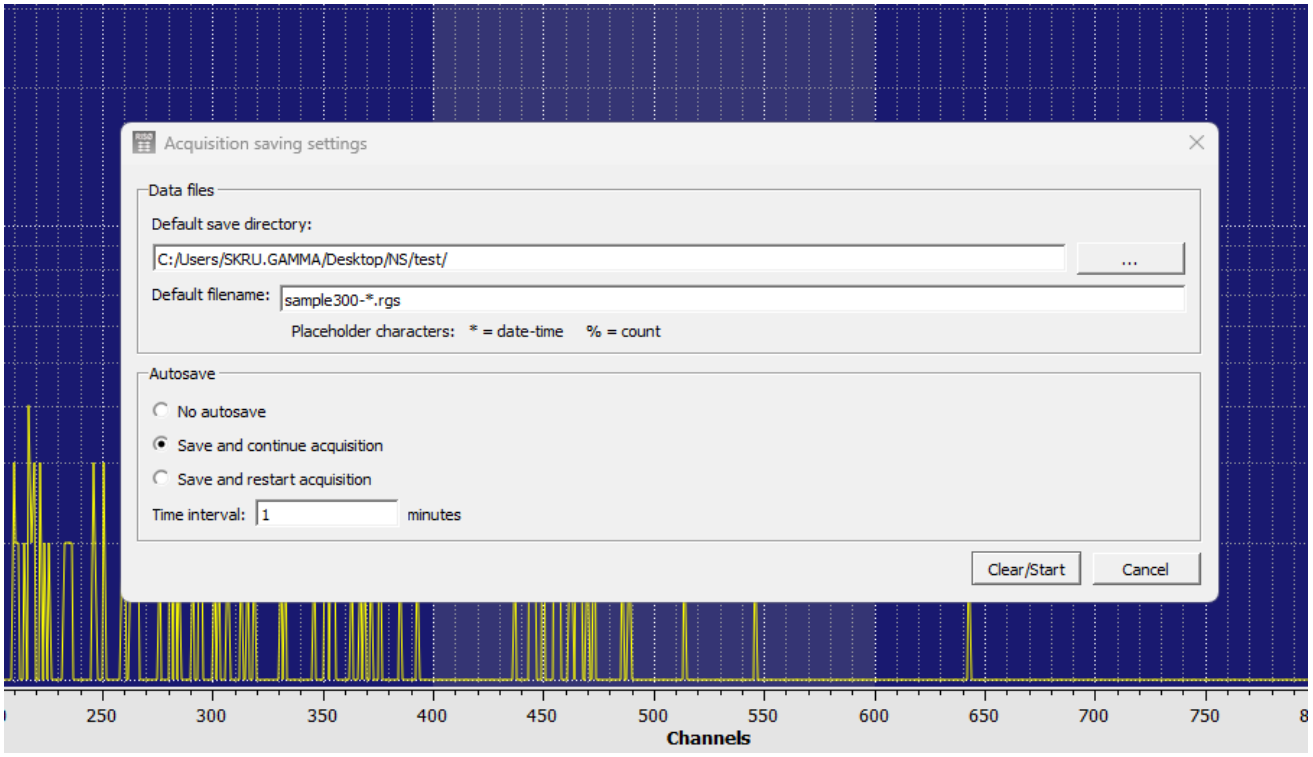
1.3 คลิ๊ก “Clear/Start”



1.4 เลือก Folder ที่จะบันทึกไฟล์ โดยกดสัญลักษณ์ “...”



1.5 ตั้งชื่อไฟล์ “ZF135-*.rgs” เลือกวิธีกการบันทึกไฟล์ และตั้งเวลาในการวัด



1.6 รอให้เครื่อง Gamma Spectrometer วัดจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ และทำการวัดซ้ำกับ Calibration standards ทุกตัวดังนี้

KUTh mix Energy Calibration – Cup number ZF135 โดยตั้งชื่อไฟล์ว่า “ZF135-*.rgs”

Calibration background – Cup number ZS020 โดยตั้งชื่อไฟล์ว่า “ZS020-*.rgs”

K40 – Cup number ZF160 โดยตั้งชื่อไฟล์ว่า “ZF160-*.rgs”

K40 – Cup number ZF166 โดยตั้งชื่อไฟล์ว่า “ZF166-*.rgs”

K40 – Cup number ZF175 โดยตั้งชื่อไฟล์ว่า “ZF175-*.rgs”

U238 – Cup number ZF142 โดยตั้งชื่อไฟล์ว่า “ZF142-*.rgs”

U238 – Cup number ZF151 โดยตั้งชื่อไฟล์ว่า “ZF151-*.rgs”

U238 – Cup number ZF156 โดยตั้งชื่อไฟล์ว่า “ZF156-*.rgs”

Th232 – Cup number ZF121 โดยตั้งชื่อไฟล์ว่า “ZF121-*.rgs”

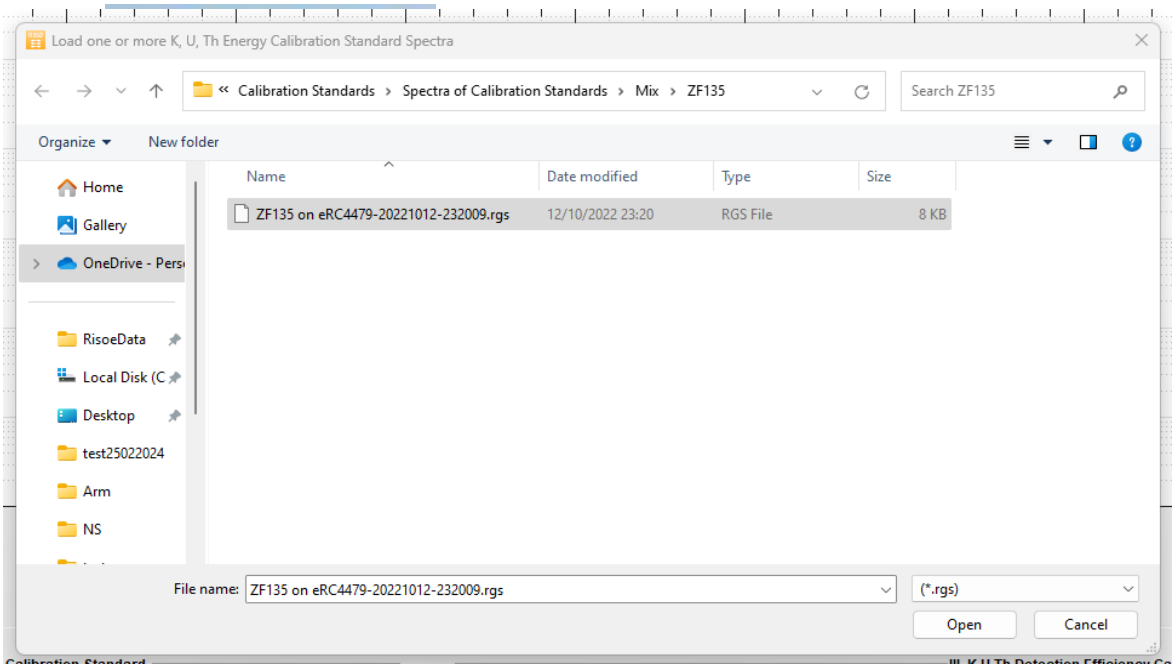
Th232 – Cup number ZF125 โดยตั้งชื่อไฟล์ว่า “ZF125-*.rgs”

Th232 – Cup number ZF128 โดยตั้งชื่อไฟล์ว่า “ZF128-*.rgs”

2. Calibration Standards Specification

Calibration Standard	Cup Cast No.	Cast Date	Activity in Cup (Bq)		Activity Uncertainty from Source Material (%)	Sample Weight in Cup (g)	Cup Total Weight (g)
^{40}K	ZF160	04-Mar-2021	3194		±0.1*	354.89	532.34
	ZF166	04-Mar-2021	3283			364.81	547.21
	ZF175	04-Mar-2021	3264			362.63	543.94
^{238}U	ZF142	02-Mar-2021	906.7		±0.21**	360.04	540.06
	ZF151	02-Mar-2021	910.3			361.41	542.12
	ZF156	02-Mar-2021	907.9			360.50	540.75
^{232}Th	ZF121	26-Feb-2021	278.2		±1***	355.08	532.62
	ZF125	26-Feb-2021	286.5			365.59	543.38
	ZF128	26-Feb-2021	288.4			368.07	552.10
KUTh mix Energy Calibration	ZF135	27-Feb-2021	^{40}K	906.1	±0.1*	355.33	533.01
			^{238}U	106.7	±0.21**		
			^{232}Th	106.6	±1***		
Calibration background	ZS020	08-Mar-2021	~ 0		~ 0	130.16	390
Pure wax sample background	ZY020	08-Mar-2021	0		0	0	311

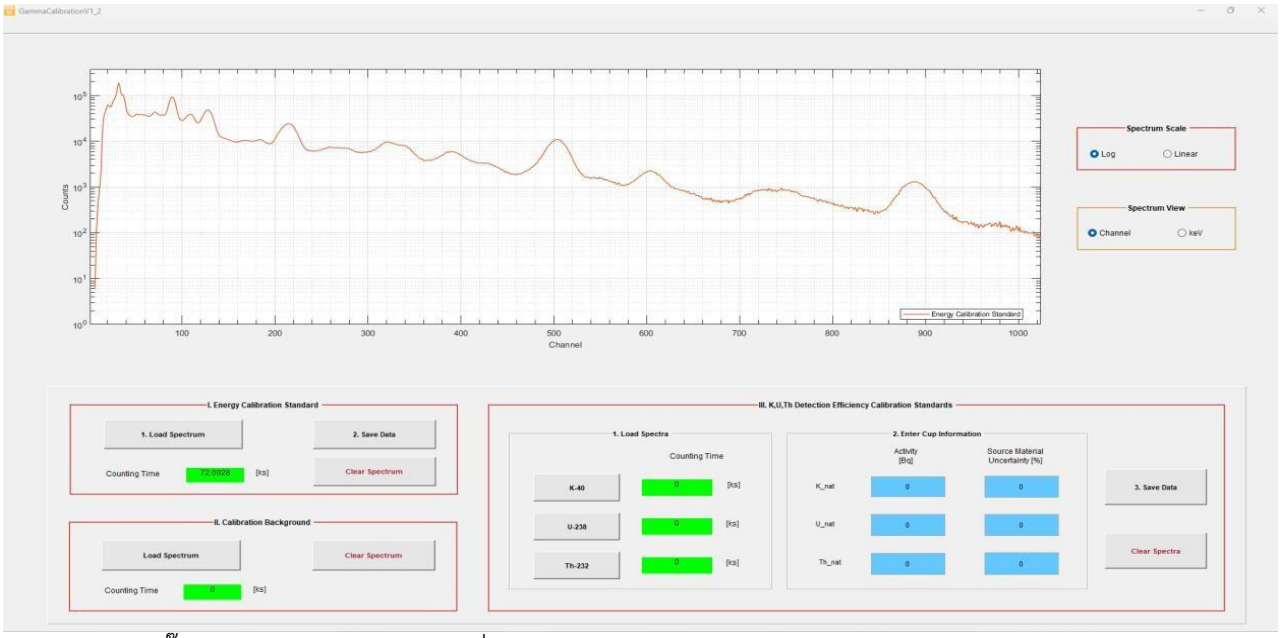
2. เปิดโปรแกรม Gamma Calibration เพื่อทำการ Calibration เครื่อง Gamma Spectrometer



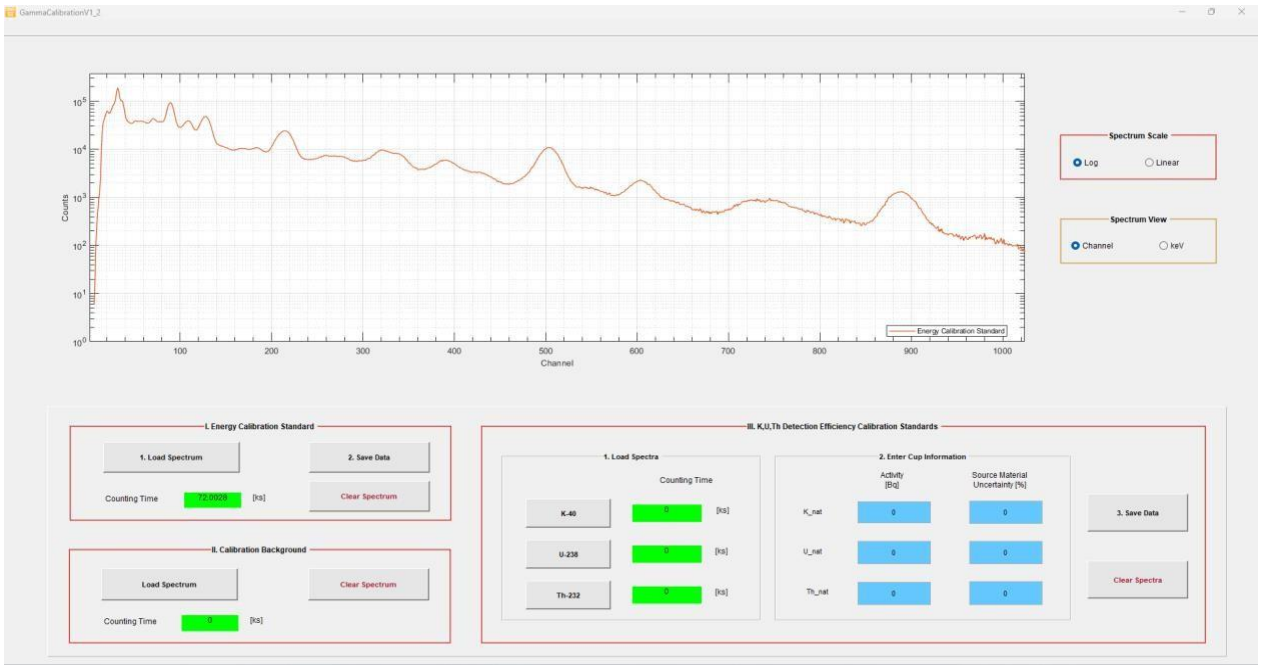
2.1 คลิ๊ก “1.Load Spectrum” เลือกไฟล์ “ZF135-*.rgs” กด open

2.2 คลิ๊ก “2.Save Data”

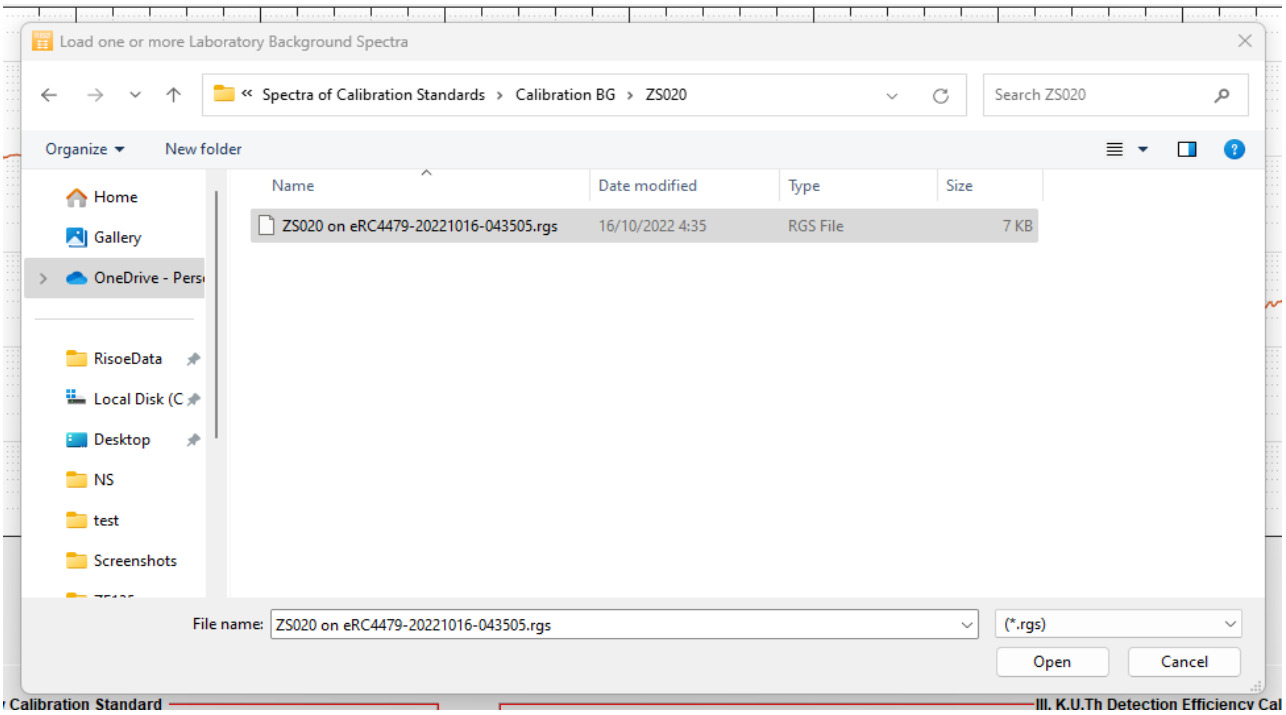
2.3 เลือก Folder ที่จะบันทึก ตั้งชื่อไฟล์ว่า “Energy Cal.xlsx”



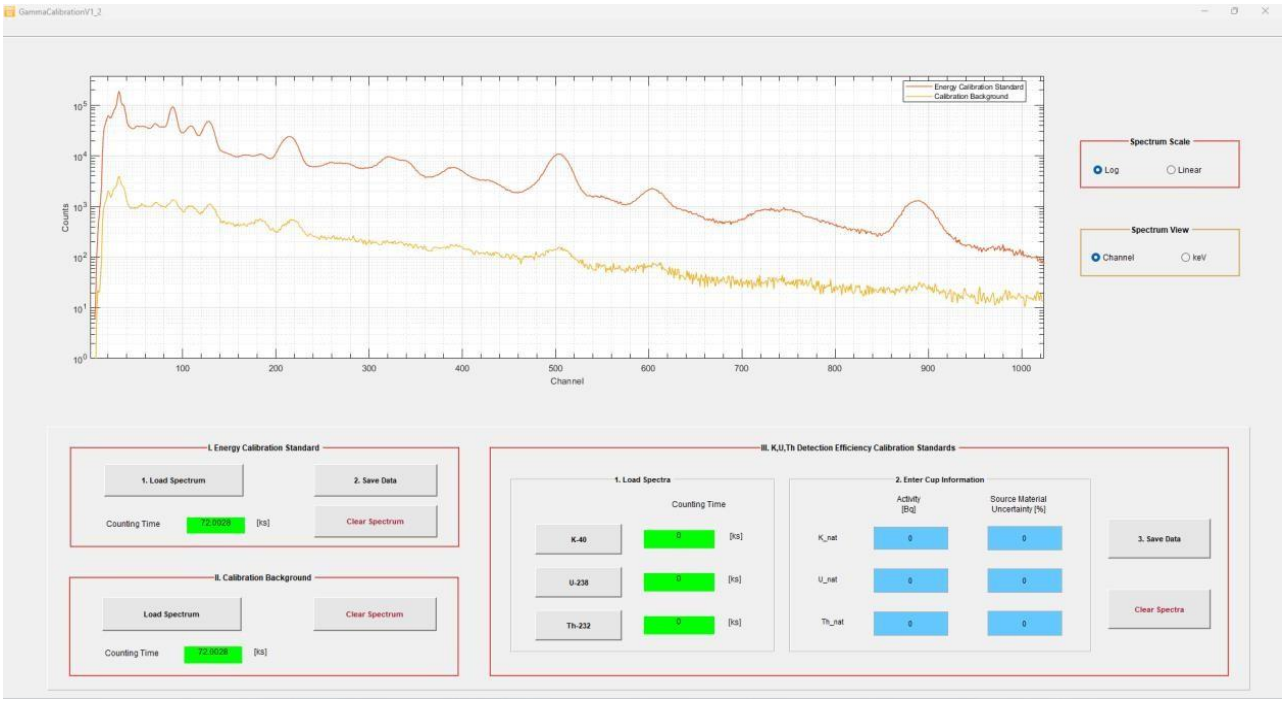
2.4 คลิ๊ก “Load Spectrum” ในช่อง Calibration Background



2.5 เลือกไฟล์ “ZS020-*.rgs” กด open



2.6 โปรแกรมแสดง Spectrum ของ Energy Calibration Standards และ Calibration

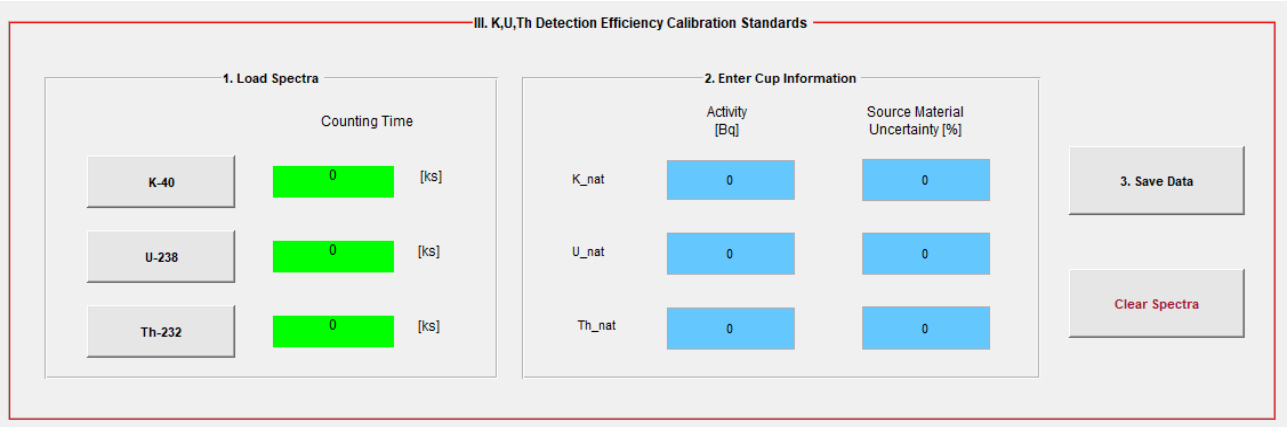


Background

2.7 ทำการเลือกไฟล์และบันทึกไฟล์สำหรับ K, U, Th Detection Efficiency Calibration Standards โดยทำ 3 ครั้ง ดังนี้

กลุ่มที่ 1

- คลิ๊ก “K-40” เลือกไฟล์ “ZF160-*.rgs” และกรอกข้อมูล K_nat: Activity = 3194 Bq, Source Material Uncertainty 0.1 %
- คลิ๊ก “U-238” เลือกไฟล์ “ZF142-*.rgs” และกรอกข้อมูล U_nat: Activity = 906.7 Bq, Source Material Uncertainty 0.21 %
- คลิ๊ก “Th-232” เลือกไฟล์ “ZF121-*.rgs” และกรอกข้อมูล Th_nat: Activity = 278.2 Bq, Source Material Uncertainty 1.0 %
- คลิ๊ก “Save Data” ตั้งชื่อไฟล์ “KUTh CAL 1.xlsx”



กลุ่มที่ 2

- คลิ๊ก “Clear Spectra”
- คลิ๊ก “K-40” เลือกไฟล์ “ZF166-*.rgs” และกรอกข้อมูล K_nat: Activity = 3283 Bq, Source Material Uncertainty 0.1 %
- คลิ๊ก “U-238” เลือกไฟล์ “ZF151-*.rgs” และกรอกข้อมูล U_nat: Activity = 910.3 Bq, Source Material Uncertainty 0.21 %
- คลิ๊ก “Th-232” เลือกไฟล์ “ZF125-*.rgs” และกรอกข้อมูล Th_nat: Activity = 286.5 Bq, Source Material Uncertainty 1.0 %
- คลิ๊ก “Save Data” ตั้งชื่อไฟล์ “KUTh CAL 2.xlsx”

กลุ่มที่ 3

- คลิ๊ก “Clear Spectra”
- คลิ๊ก “K-40” เลือกไฟล์ “ZF175-*.rgs” และกรอกข้อมูล K_nat: Activity = 3264 Bq,

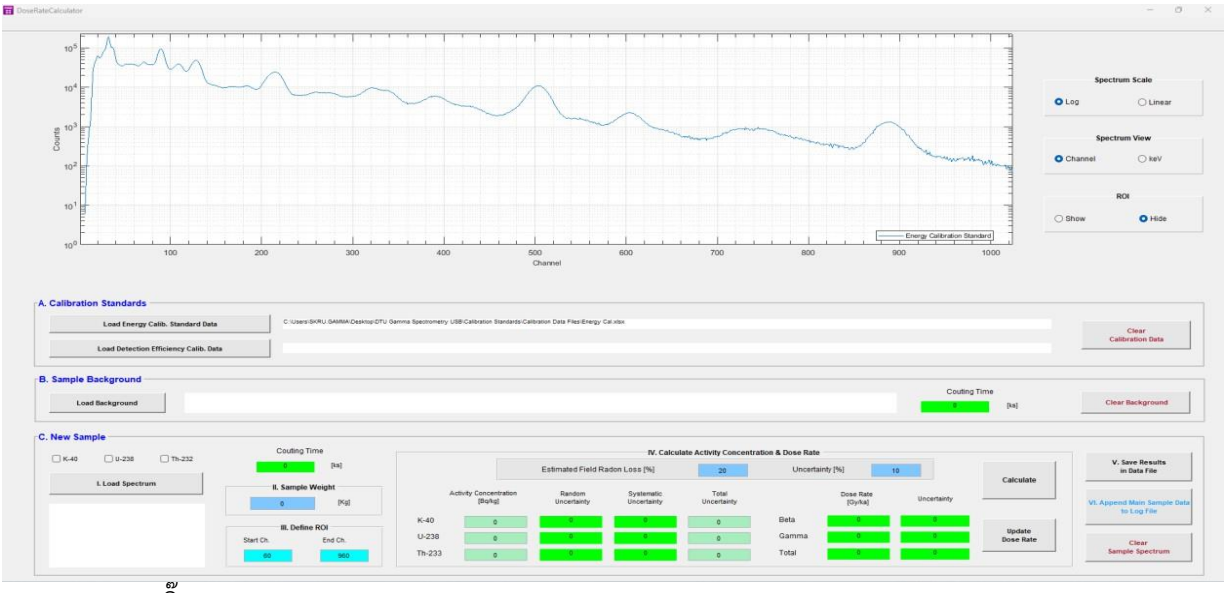
Source Material Uncertainty 0.1 %

- คลิ๊ก “U-238” เลือกไฟล์ “ZF156-*.rgs” และกรอกข้อมูล U_nat: Activity = 907.9 Bq, Source Material Uncertainty 0.21 %
- คลิ๊ก “Th-232” เลือกไฟล์ “ZF128-*.rgs” และกรอกข้อมูล Th_nat: Activity = 288.4 Bq, Source Material Uncertainty 1.0 %
- คลิ๊ก “Save Data” ตั้งชื่อไฟล์ “KUTh CAL 3.xlsx”

3. เปิดโปรแกรม DoseRateCalculator

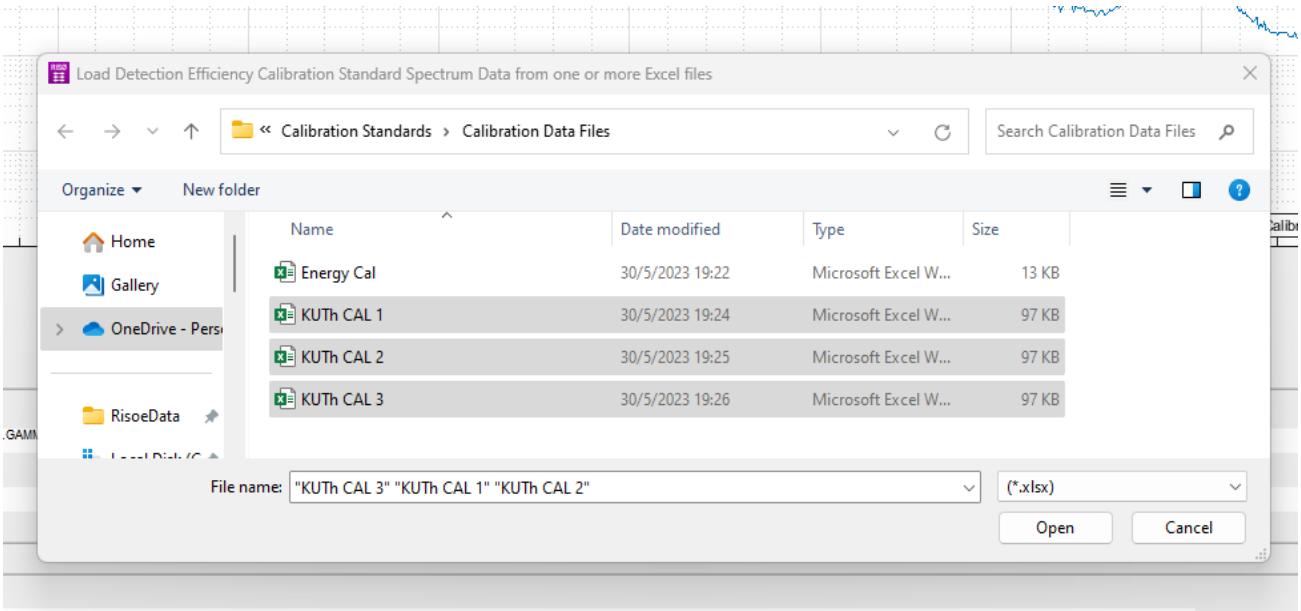
3.1 คลิ๊ก “Load Energy Calib. Standards Data”

3.2 เลือกไฟล์ “Energy Cal.slxs” กด “Open” โปรแกรมแสดง Spectrum ของ Energy Calibration Standard

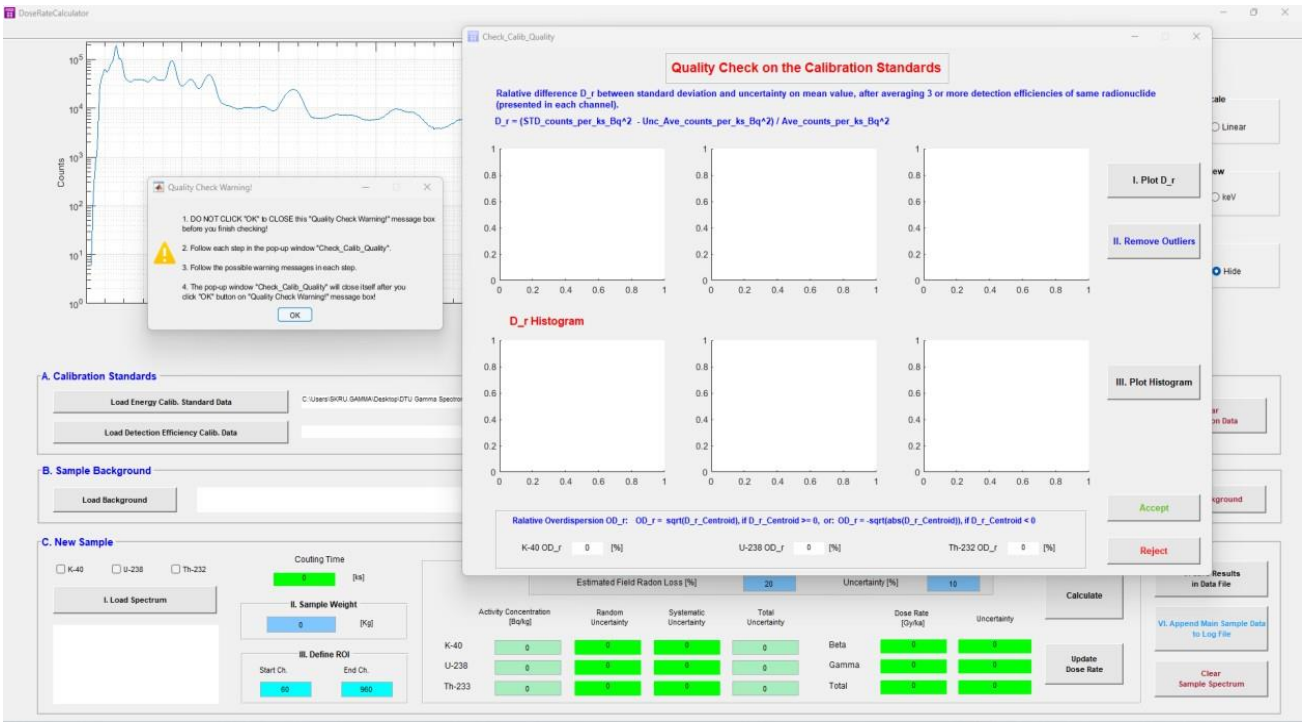


3.3 คลิ๊ก “Load Detection Efficiency Calb. Data”

3.4 เลือกไฟล์ “KUTh Cal 1.slxs”, “KUTh Cal 2.slxs”, “KUTh Cal 3.slxs” กด “Open”



3.5 หน้าจอจะปรากฏหน้าต่าง “Check_Calb_Quality” โดยกด I.Plot D_r, II.Remove Outline, III.Plot Histogram ตามลำดับ

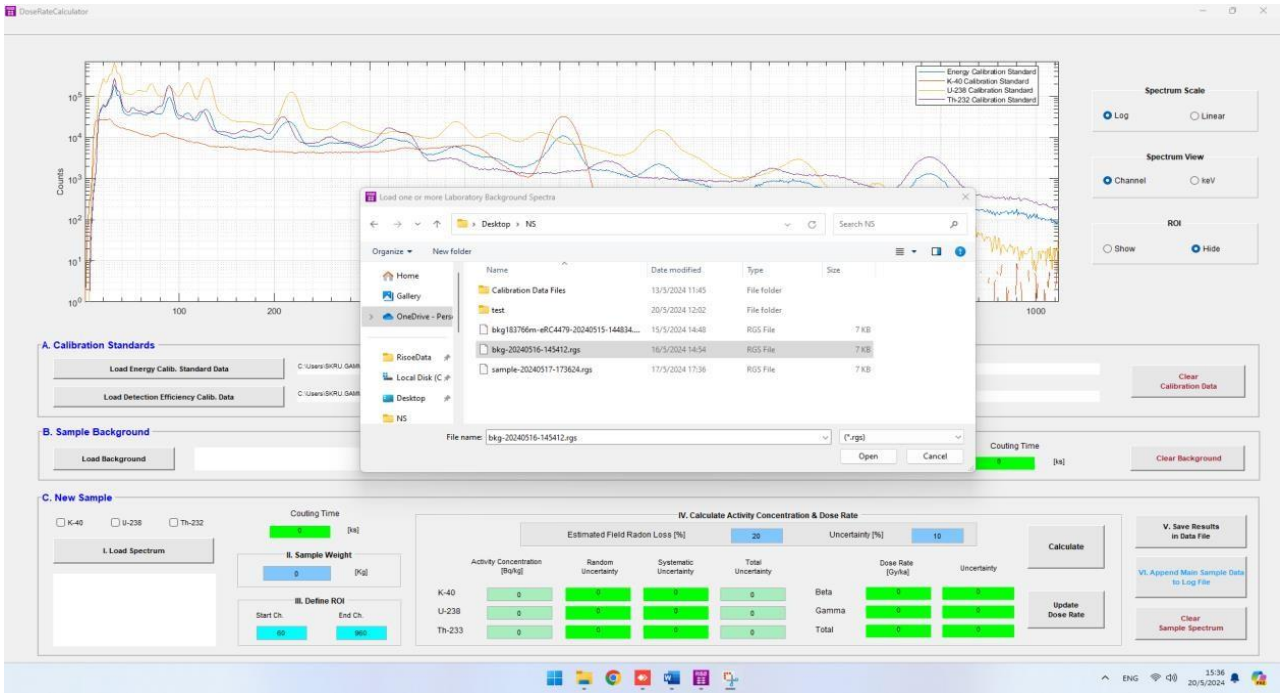


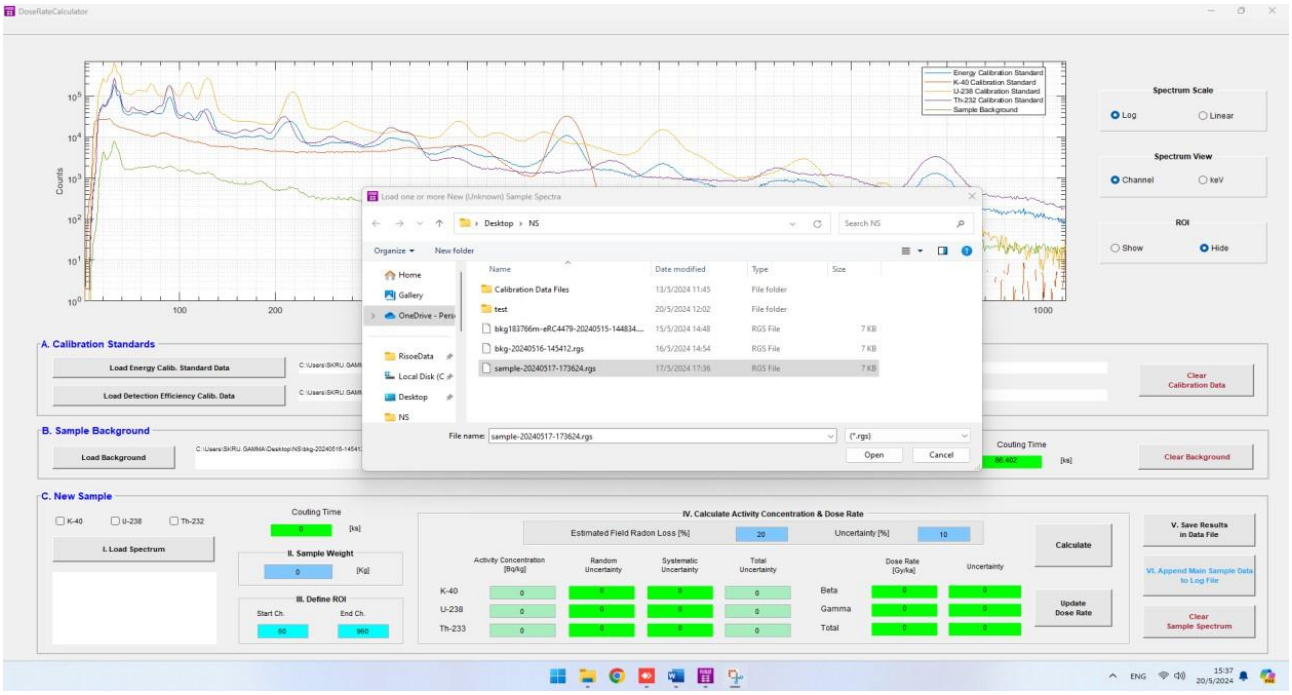
3.6 กด “Accept”

3.7 กด “OK” 2 ครั้ง ตามลำดับ

3.8 คลิ๊ก “Load Background” เลือกไฟล์ Background ที่วัดไว้ (นามสกุลไฟล์ .grs)

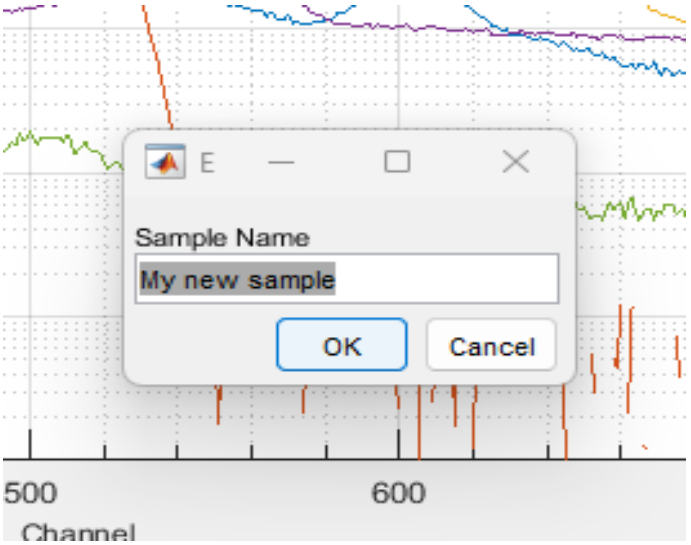
3.9 คลิ๊ก “Load Spectrum” เลือกไฟล์ Spectrum ที่วัดไว้ (นามสกุลไฟล์ .grs)




DoseRateCalculator
Energy Calibration Standard
K-40 Calibration Standard
U-238 Calibration Standard
Th-232 Calibration Standard
Sample Background
Counts
Channel
Spectrum Scale
Log
Linear
Spectrum View
Channel
keV
ROI
Show
Hide
Load one or more New (Unknown) Sample Spectra
Desktop › NS
Search NS
Organize
New folder
Home
Gallery
OneDrive - Pers
RisoeData
Local Disk (C
Desktop
NS
Name
Date modified
Type
Size
Calibration Data Files
13/3/2024 11:45
File folder
test
20/5/2024 12:02
File folder
bkg183766m-eRC4479-20240515-144834....
15/5/2024 14:48
RGS File
7 KB
bkg-20240516-145412.rgs
16/5/2024 14:54
RGS File
7 KB
sample-20240517-173624.rgs
17/5/2024 17:36
RGS File
7 KB
File name: sample-20240517-173624.rgs
(*.rgs)
Open
Cancel
A. Calibration Standards
Load Energy Calib. Standard Data
Load Detection Efficiency Calib. Data
Clear Calibration Data
B. Sample Background
Load Background
Couting Time
96.402
[ks]
Clear Background
C. New Sample
K-40
U-238
Th-232
I. Load Spectrum
Couting Time
[ks]
II. Sample Weight
[Kg]
III. Define ROI
Start Ch.
End Ch.
60
960
IV. Calculate Activity Concentration & Dose Rate
Estimated Field Radon Loss [%]
20
Uncertainty [%]
10
Activity Concentration [Bq/kg]
Random Uncertainty
Systematic Uncertainty
Total Uncertainty
Dose Rate [Gy/ka]
Uncertainty
K-40
U-238
Th-233
Beta
Gamma
Total
Calculate
Update Dose Rate
V. Save Results in Data File
VI. Append Main Sample Data to Log File
Clear Sample Spectrum
ENG
15:37
20/5/2024

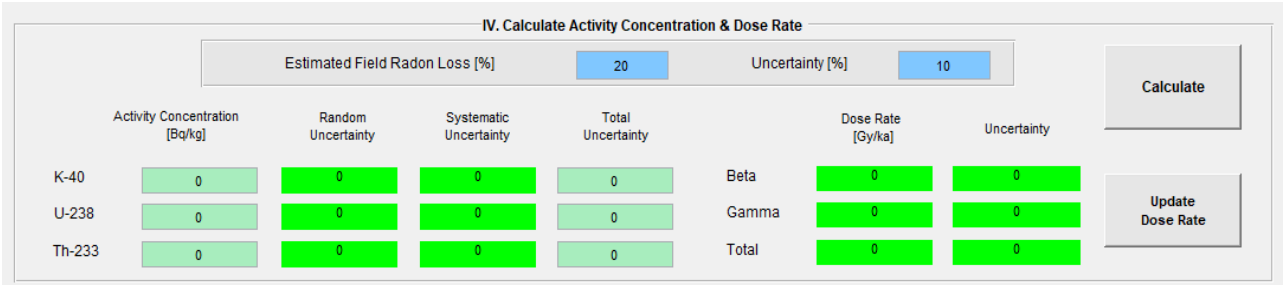
DoseRateCalculator
Energy Calibration Standard
K-40 Calibration Standard
U-238 Calibration Standard
Th-232 Calibration Standard
Sample Background
Counts
Channel
Spectrum Scale
Log
Linear
Spectrum View
Channel
keV
ROI
Show
Hide
A. Calibration Standards
Load Energy Calib. Standard Data
C:\Users\SKRU.GAMMA\Desktop\DTU Gamma Spectrometry USB\Calibration Standards\Calibration Data Files\Energy Cal.xlsx
Load Detection Efficiency Calib. Data
C:\Users\SKRU.GAMMA\Desktop\DTU Gamma Spectrometry USB\Calibration Standards\Calibration Data Files\
Clear Calibration Data
B. Sample Background
Load Background
C:\Users\SKRU.GAMMA\Desktop\NS\bkg-20240516-145412.rgs
Couting Time
96.402
[ks]
Clear Background
C. New Sample
K-40
U-238
Th-232
I. Load Spectrum
Couting Time
[ks]
II. Sample Weight
[Kg]
III. Define ROI
Start Ch.
End Ch.
60
960
IV. Calculate Activity Concentration & Dose Rate
Estimated Field Radon Loss [%]
20
Uncertainty [%]
10
Activity Concentration [Bq/kg]
Random Uncertainty
Systematic Uncertainty
Total Uncertainty
Dose Rate [Gy/ka]
Uncertainty
K-40
U-238
Th-233
Beta
Gamma
Total
Calculate
Update Dose Rate
V. Save Results in Data File
VI. Append Main Sample Data to Log File
Clear Sample Spectrum

3.10 ตั้งชื่อตัวอย่าง



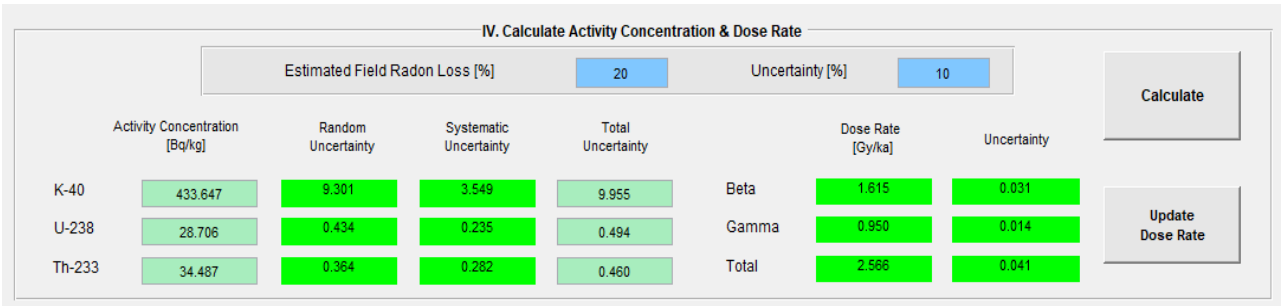
3.11 ใส่น้ำหนักตัวอย่างในหน่วย kg

3.12 ใส่ค่า Estimated Field Radon Loss [%] และ Uncertainty [%]

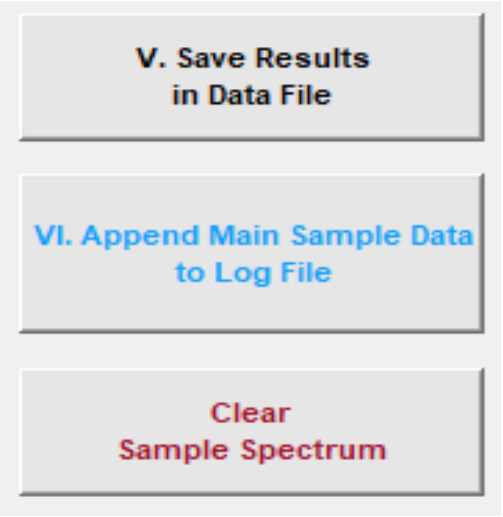


3.13 กด Calculate

3.14 เมื่อโปรแกรมทำการ Calculate เสร็จ จะแสดงข้อมูลผลการวัด

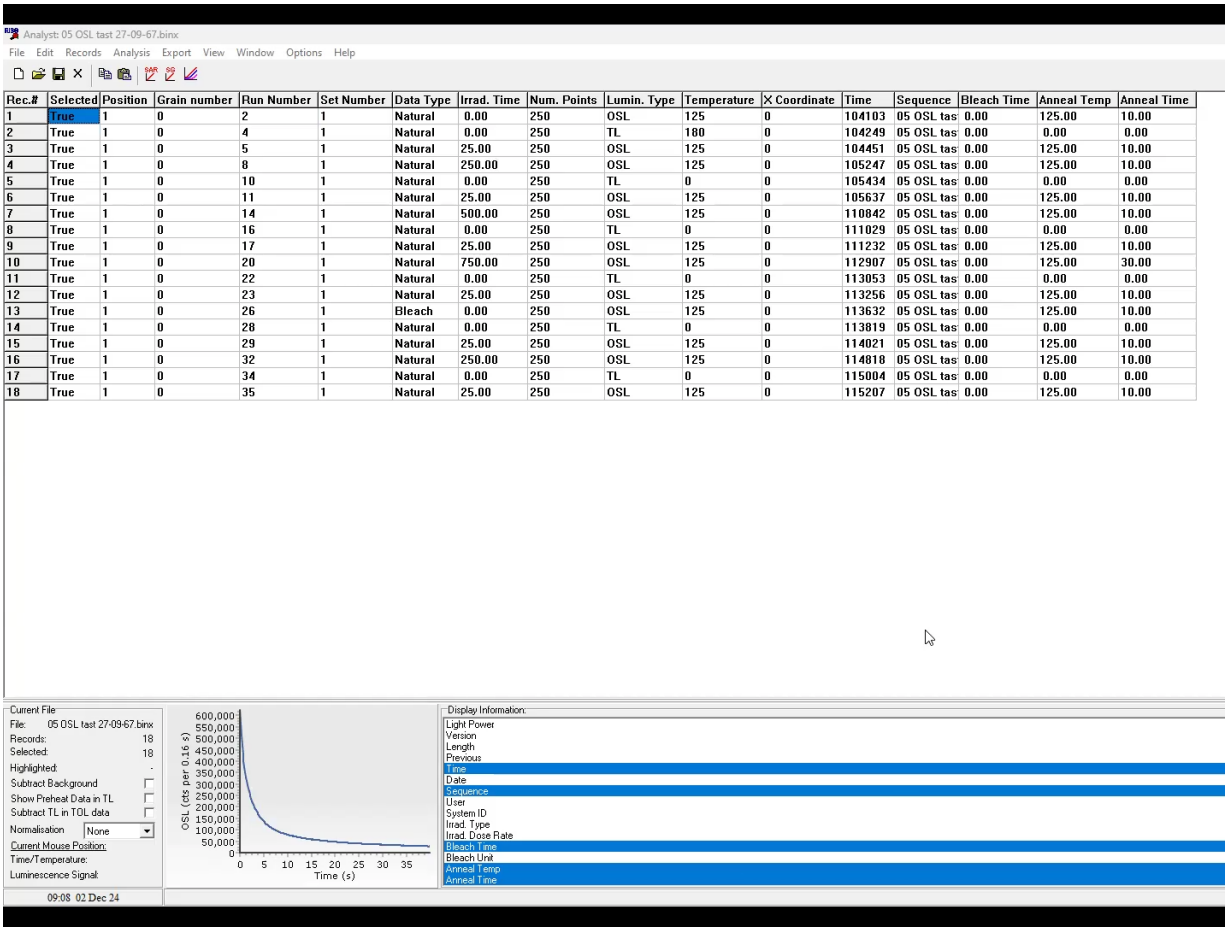


3.15 กดบันทึกไฟล์



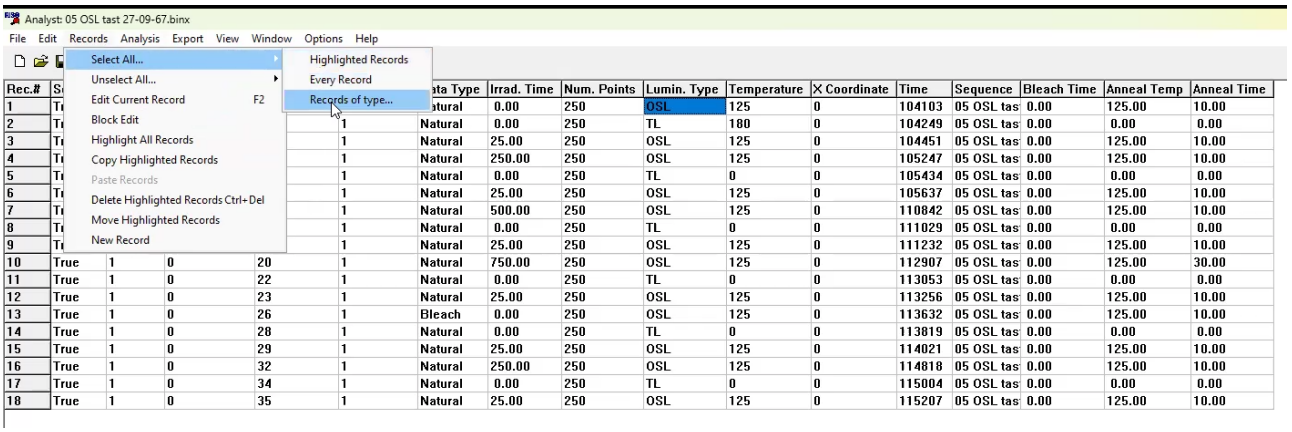
การวิเคราะห์หาค่า Paleodose หรือ Equivalent Dose (PE หรือ ED)
เมื่อดำเนินการวิเคราะห์โดยโปรแกรมแบบเสร็จสิ้น

เปิดโปรแกรม **RISO Analyst** จะปรากฏค่าที่ได้จากการวัด



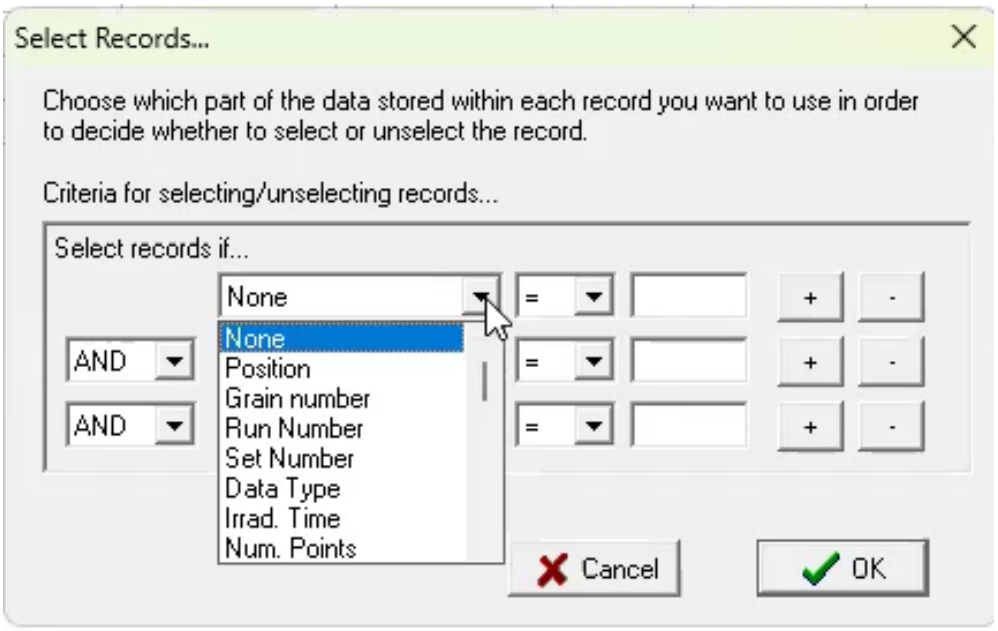
Rec.#	Selected	Position	Grain number	Run Number	Set Number	Data Type	Irrad. Time	Num. Points	Lumin. Type	Temperature	X Coordinate	Time	Sequence	Bleach Time	Anneal Temp	Anneal Time
1	True	1	0	2	1	Natural	0.00	250	OSL	125	0	104103	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
2	True	1	0	4	1	Natural	0.00	250	TL	180	0	104249	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
3	True	1	0	5	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	104451	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
4	True	1	0	8	1	Natural	250.00	250	OSL	125	0	105247	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
5	True	1	0	10	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	105434	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
6	True	1	0	11	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	105637	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
7	True	1	0	14	1	Natural	500.00	250	OSL	125	0	110842	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
8	True	1	0	16	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	111029	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
9	True	1	0	17	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	111232	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
10	True	1	0	20	1	Natural	750.00	250	OSL	125	0	112907	05 OSL tas	0.00	125.00	30.00
11	True	1	0	22	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	113053	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
12	True	1	0	23	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	113256	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
13	True	1	0	26	1	Bleach	0.00	250	OSL	125	0	113632	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
14	True	1	0	28	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	113819	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
15	True	1	0	29	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	114021	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
16	True	1	0	32	1	Natural	250.00	250	OSL	125	0	114818	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
17	True	1	0	34	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	115004	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
18	True	1	0	35	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	115207	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00

คลิกที่ Records เลือก Select All... เลือก Records of Type

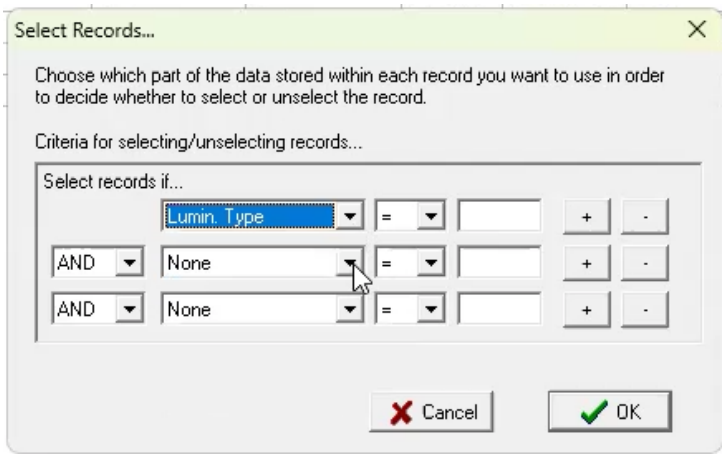


Rec.#	S					Data Type	Irrad. Time	Num. Points	Lumin. Type	Temperature	X Coordinate	Time	Sequence	Bleach Time	Anneal Temp	Anneal Time
1	Tr					Natural	0.00	250	OSL	125	0	104103	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
2	Tr				1	Natural	0.00	250	TL	180	0	104249	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
3	Tr				1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	104451	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
4	Tr				1	Natural	250.00	250	OSL	125	0	105247	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
5	Tr				1	Natural	0.00	250	TL	0	0	105434	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
6	Tr				1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	105637	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
7	Tr				1	Natural	500.00	250	OSL	125	0	110842	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
8	Tr				1	Natural	0.00	250	TL	0	0	111029	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
9	Tr				1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	111232	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
10	True	1	0	20	1	Natural	750.00	250	OSL	125	0	112907	05 OSL tas	0.00	125.00	30.00
11	True	1	0	22	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	113053	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
12	True	1	0	23	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	113256	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
13	True	1	0	26	1	Bleach	0.00	250	OSL	125	0	113632	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
14	True	1	0	28	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	113819	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
15	True	1	0	29	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	114021	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
16	True	1	0	32	1	Natural	250.00	250	OSL	125	0	114818	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
17	True	1	0	34	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	115004	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
18	True	1	0	35	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	115207	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00

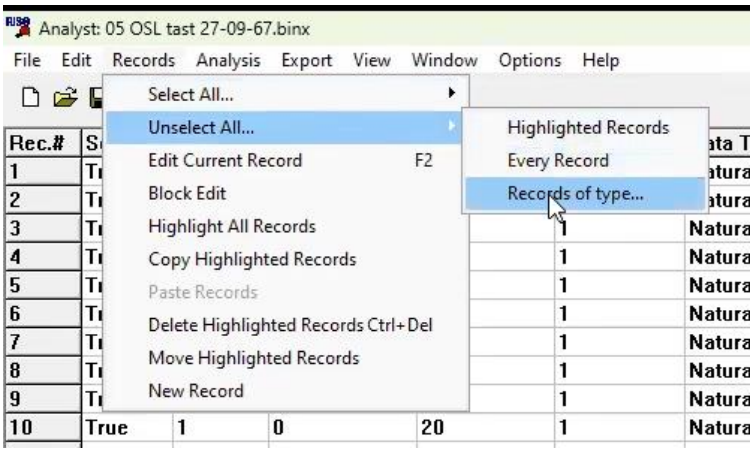
จะปรากฏหน้าต่าง Select records ดังรูป



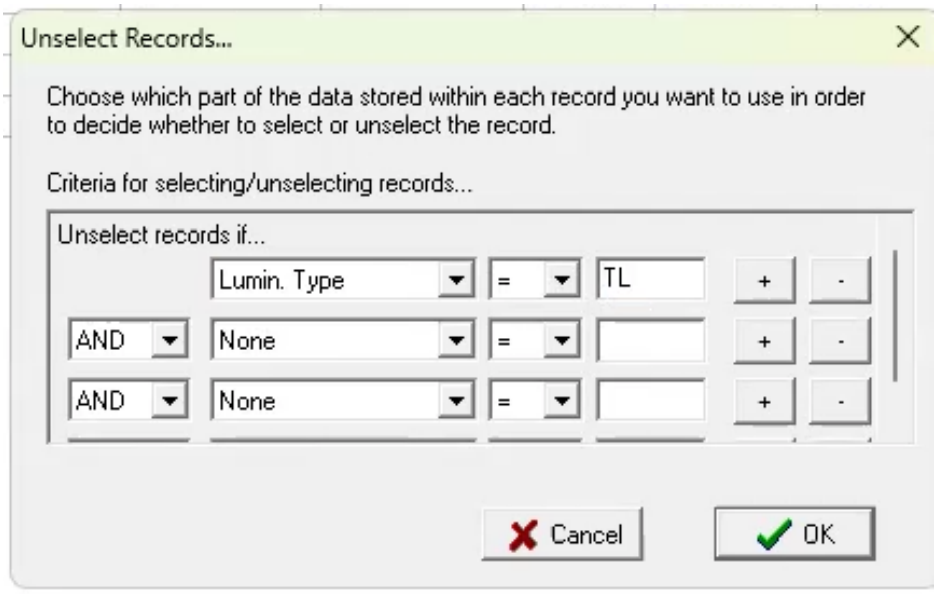
คลิกที่ Select records if และเลือก Limin. Type = OSL คลิก OK ดังรูป



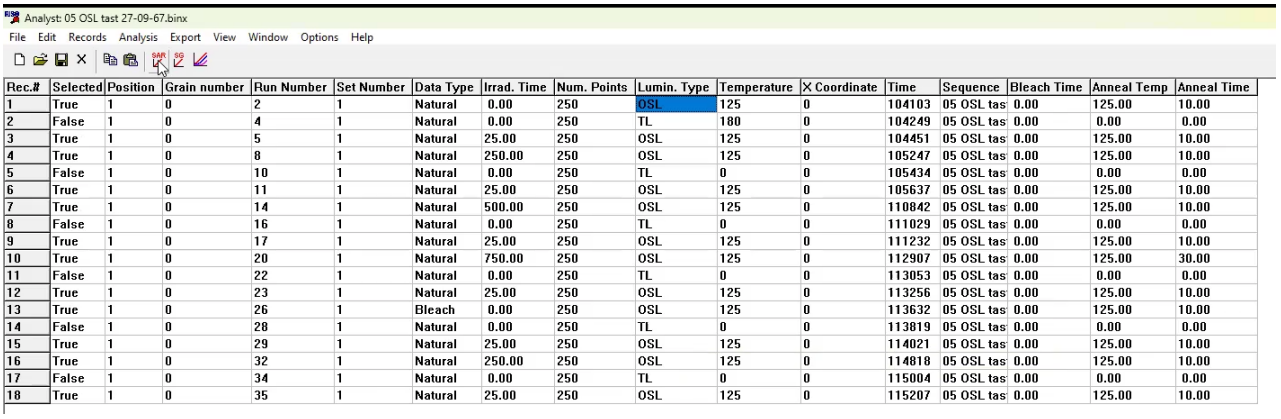
และคลิกที่ Records เลือก Unselect All... เลือก Records of Type



จะปรากฏหน้าต่าง Unselect Records..... เปลี่ยนค่า Unselect records if และเลือก Limin. Type = TL คลิก OK ดังรูป



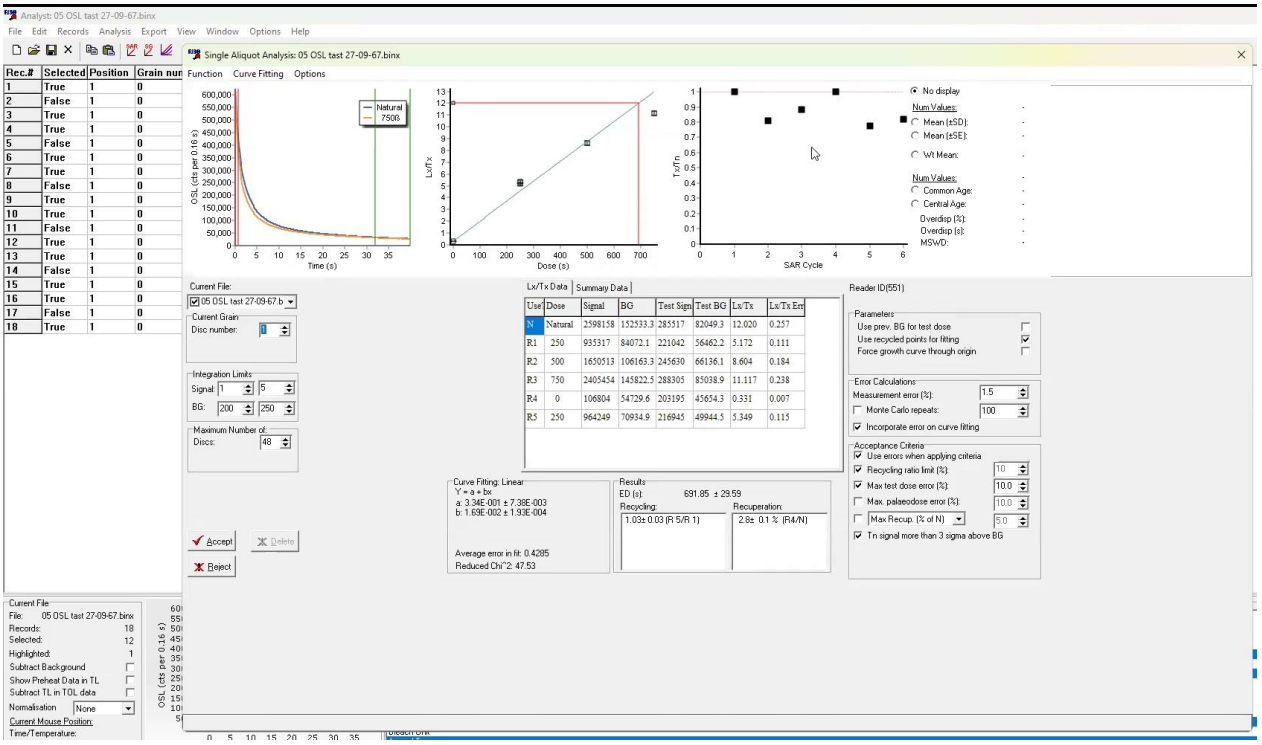
โปรแกรมจะแสดงผลเป็น

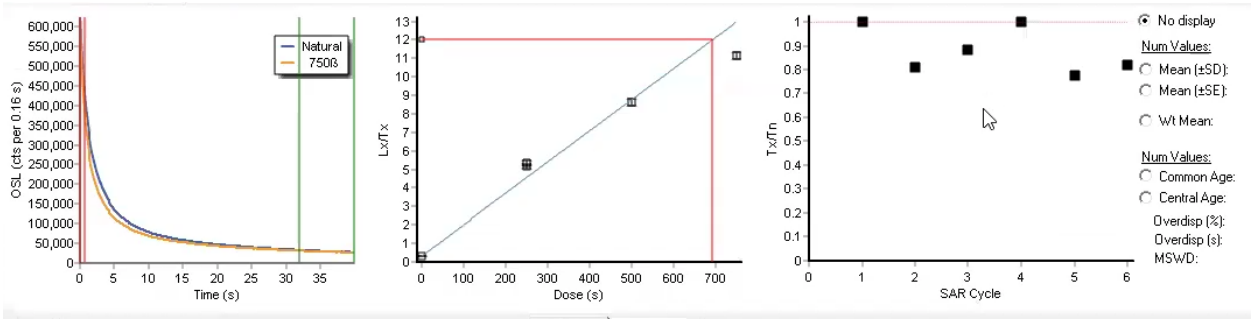


Rec.#	Selected	Position	Grain number	Run Number	Set Number	Data Type	Irrad. Time	Num. Points	Lumin. Type	Temperature	X Coordinate	Time	Sequence	Bleach Time	Anneal Temp	Anneal Time
1	True	1	0	2	1	Natural	0.00	250	OSL	125	0	104103	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
2	False	1	0	4	1	Natural	0.00	250	TL	180	0	104249	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
3	True	1	0	5	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	104451	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
4	True	1	0	8	1	Natural	250.00	250	OSL	125	0	105247	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
5	False	1	0	10	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	105434	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
6	True	1	0	11	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	105637	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
7	True	1	0	14	1	Natural	500.00	250	OSL	125	0	110842	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
8	False	1	0	16	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	111029	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
9	True	1	0	17	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	111232	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
10	True	1	0	20	1	Natural	750.00	250	OSL	125	0	112907	05 OSL tas	0.00	125.00	30.00
11	False	1	0	22	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	113053	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
12	True	1	0	23	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	113256	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
13	True	1	0	26	1	Bleach	0.00	250	OSL	125	0	113632	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
14	False	1	0	28	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	113819	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
15	True	1	0	29	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	114021	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
16	True	1	0	32	1	Natural	250.00	250	OSL	125	0	114818	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00
17	False	1	0	34	1	Natural	0.00	250	TL	0	0	115004	05 OSL tas	0.00	0.00	0.00
18	True	1	0	35	1	Natural	25.00	250	OSL	125	0	115207	05 OSL tas	0.00	125.00	10.00

คลิก ครั้งที่ 1 SAR

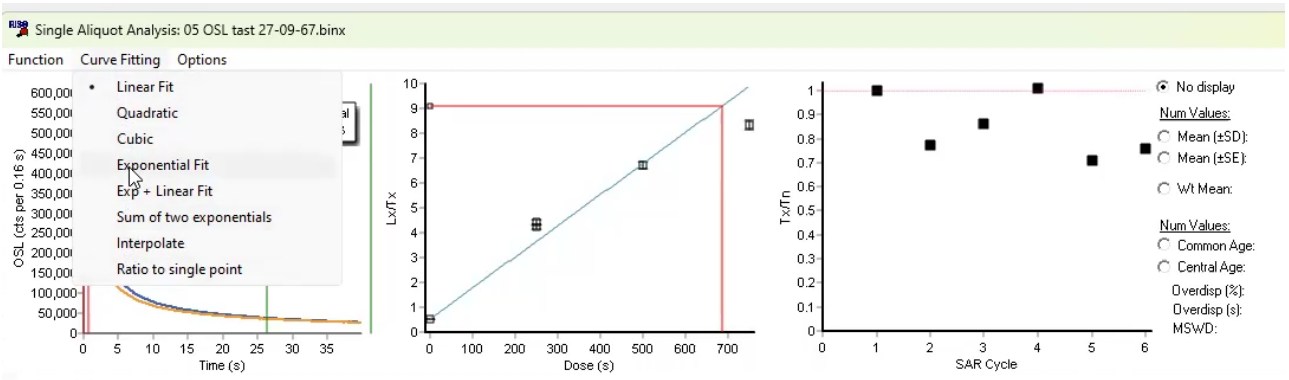
จะปรากฏหน้าจอ RISO Single Aliquot Analysis ดังรูป



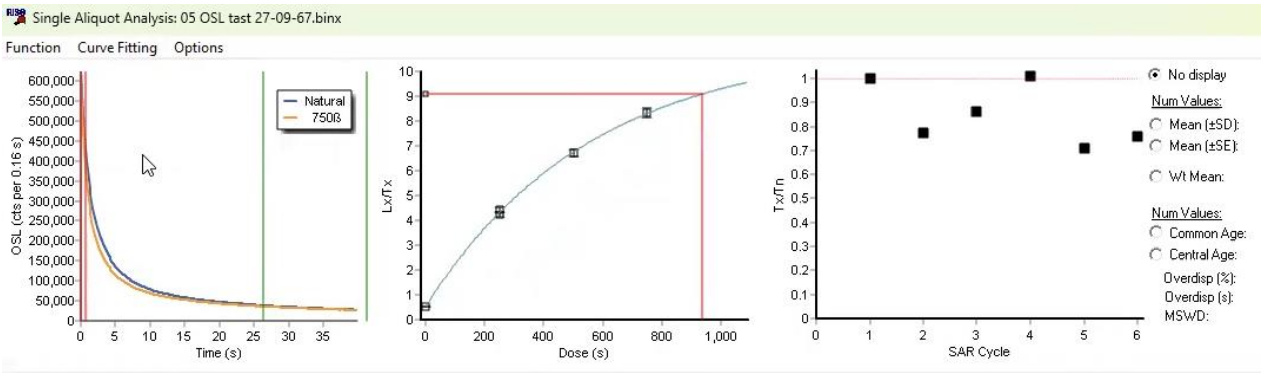


กราฟ OSL Decay Curve กราฟ ED (โกรท)

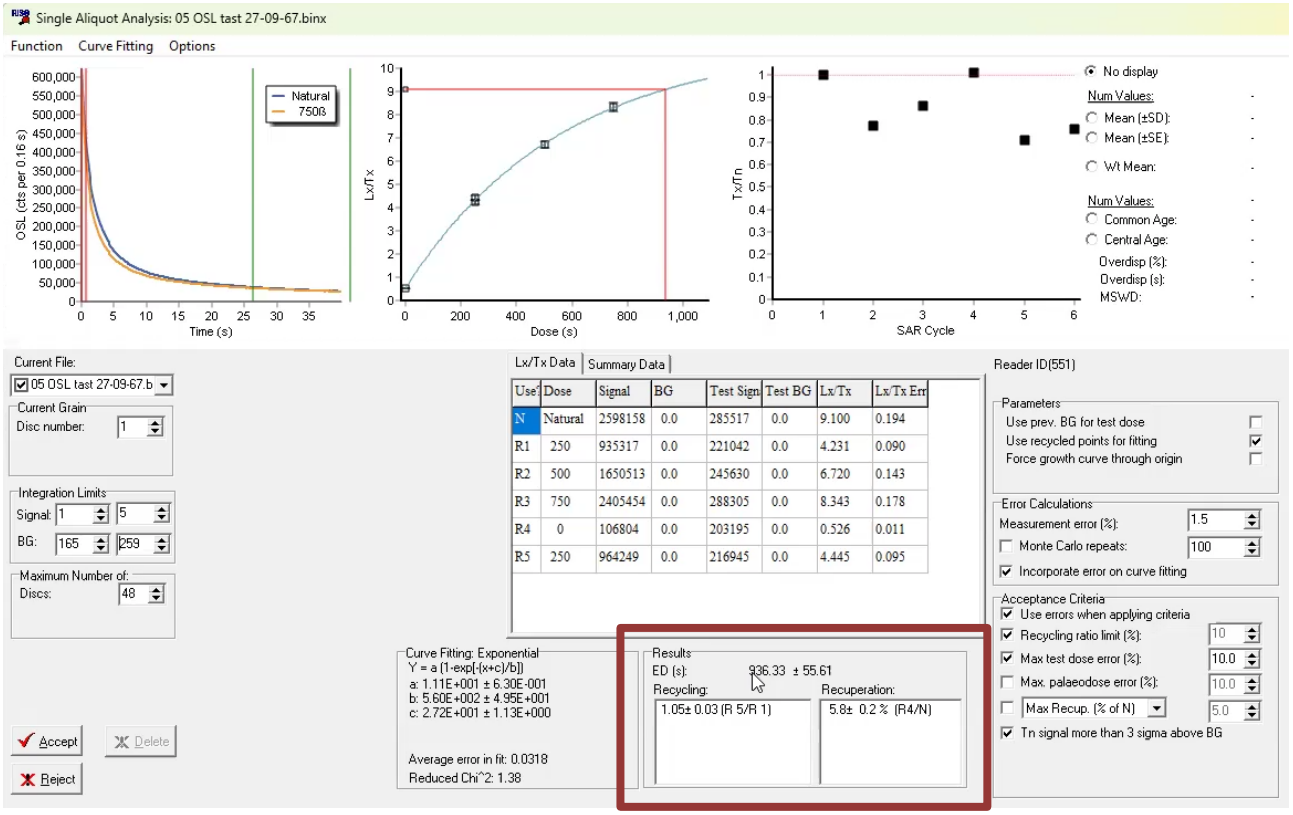
เมื่อได้กราฟ DE เป็นเส้นตรงต้องทำให้กราฟเป็นเส้นโค้งรูปทรงระฆังคว่ำ ดำเนินการได้โดย คลิกที่ Curve Fit (รูปแบบของกราฟ) เลือก Exponential Fit ดังรูป



จะแสดงผลตามรูป

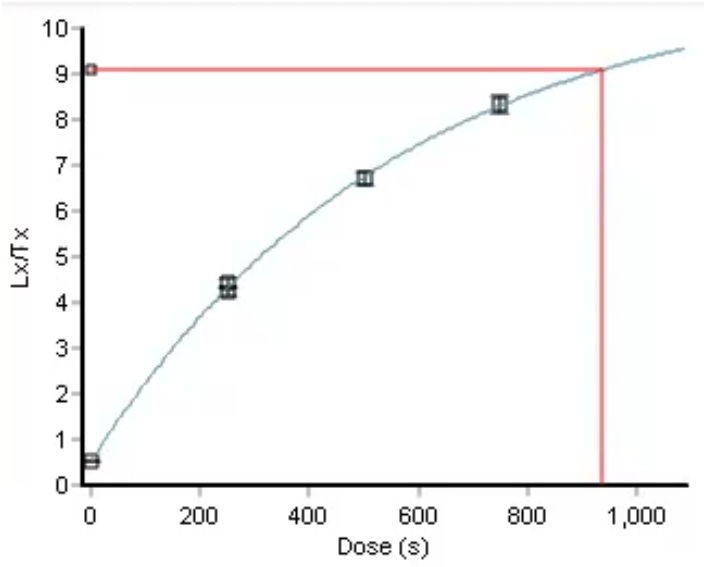


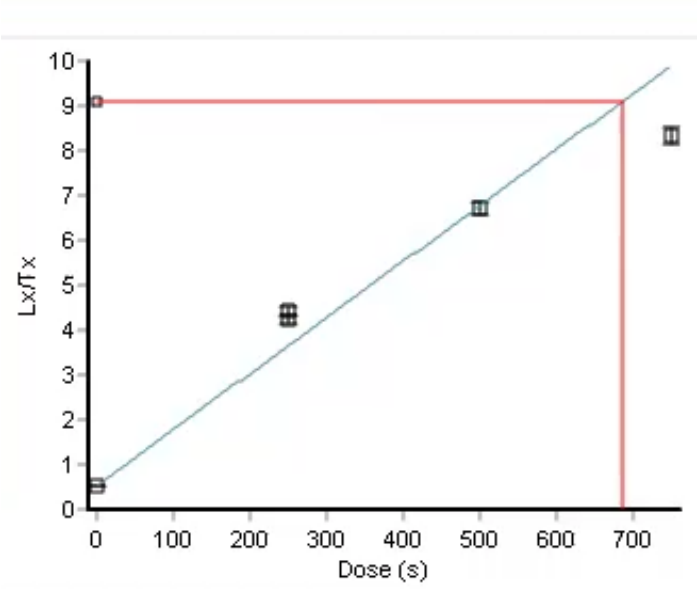
ผลการวิเคราะห์จะแสงผลค่า ED ดังรูป



ซึ่งค่าที่แสดงหน่วยจะเป็นวินาที (s) ต้องนำผลไปคำนวณว่า วินาที มีค่ากี่เกรย์ 1

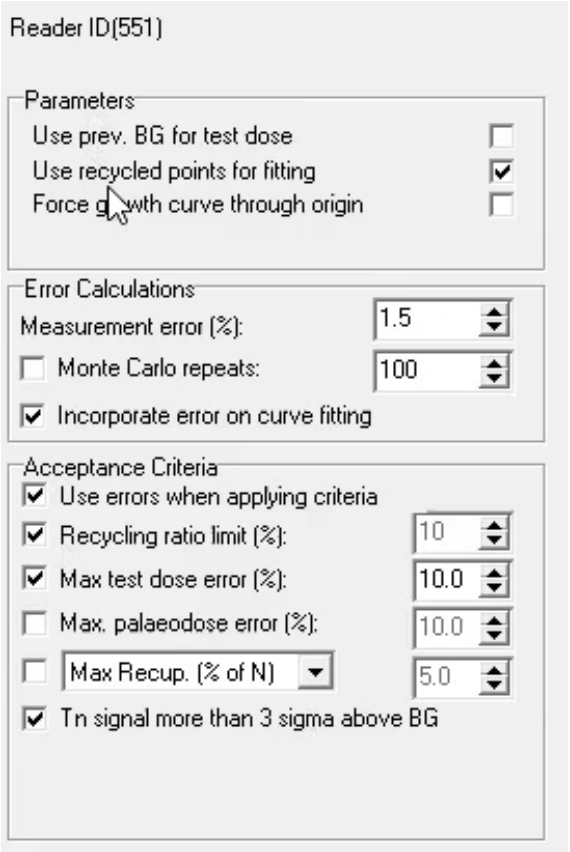
ข้อสังเกต จุด ที่ได้ต้องมีเส้นแดงอยู่ระหว่าง R_1, R_2, R_3 ดังรูป (กรฟเส้นตรง) 2



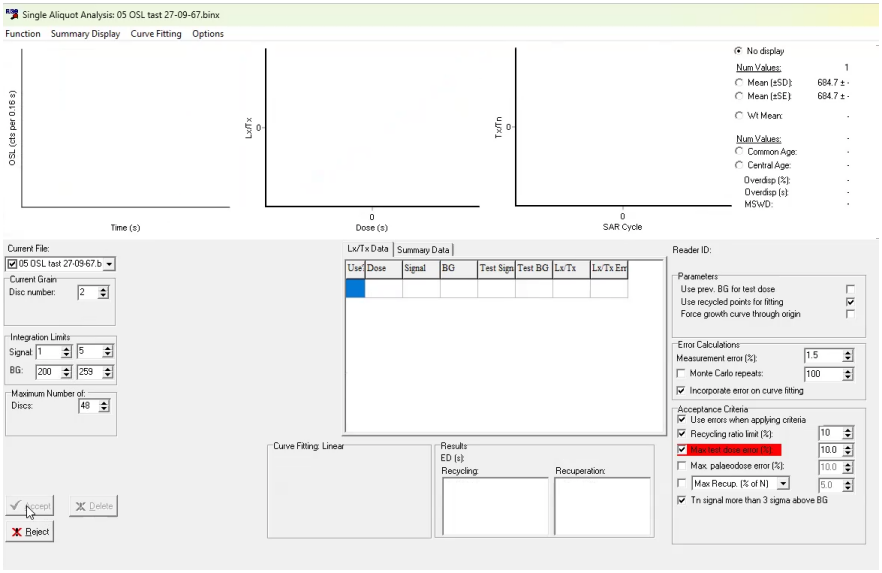


ถ้ามีตัวอย่างที่มีค่า Error เยอะๆ สามารถลบจุดที่ Error เยอะๆ ออกไปได้ ซึ่งการลบจุดในกราฟ คลิก ครั้ง ที่ 2R ที่ต้องการลบ

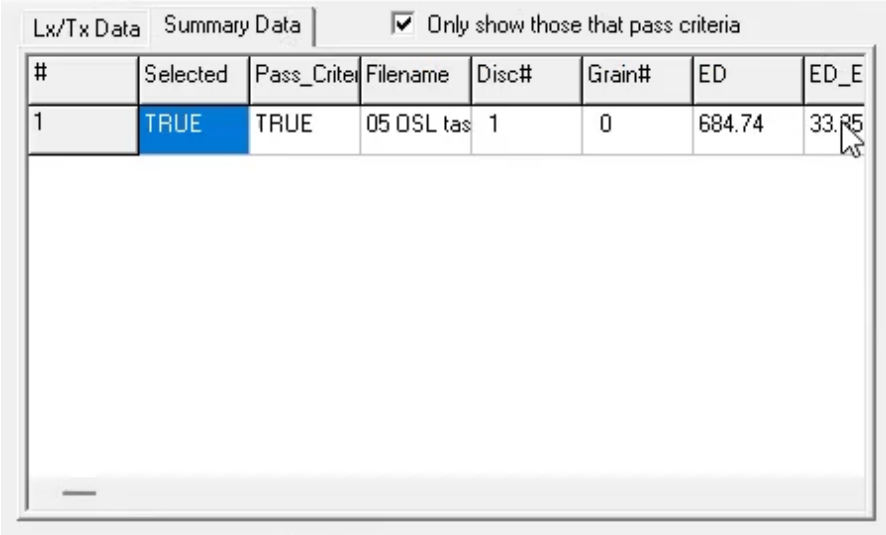
การวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างต้องทำหลายซ้ำ 1



เมื่อตั้งค่าทุกอย่างแล้วให้กด Accept

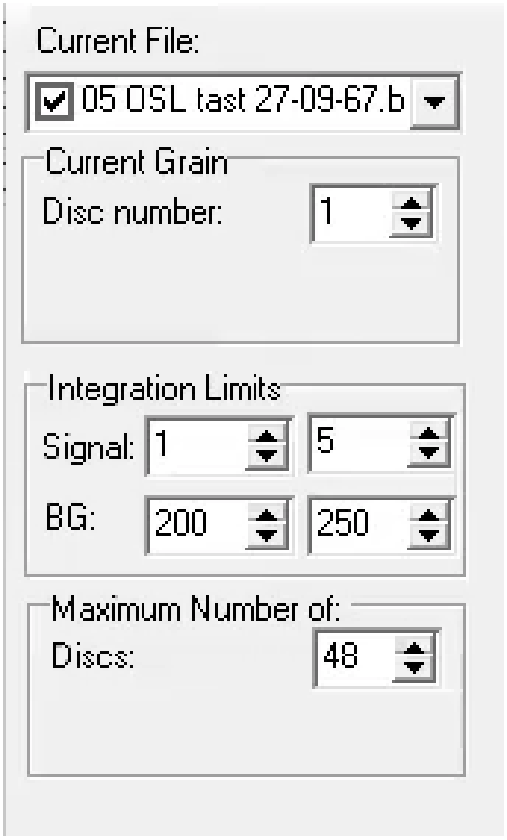


เมื่อเลือกค่าหมดทุกตัวแล้วให้ดำเนินการ



Current File คือ แสดงสถานะไฟล์ปัจจุบันที่ทำการวิเคราะห์

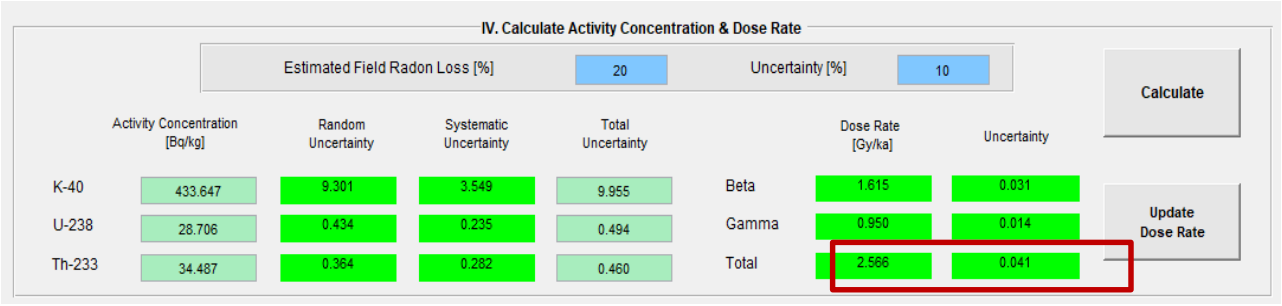
Integration Limits คือ การกำหนด เลือก วินาทีแรก 16 วินาทีแรกเป็นตัวแทนของกราฟ หรือ 5

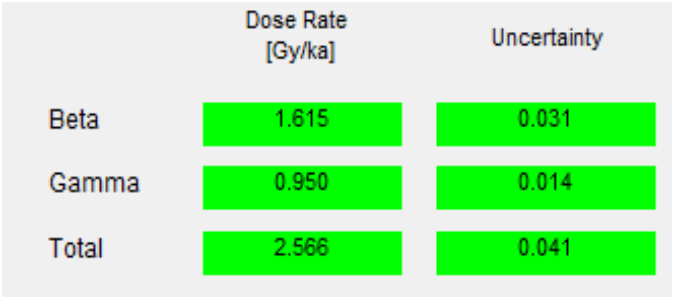


ถ้าใส่ตัวอย่าง เมื่อวิเคราะห์เสร็จสิ้นจำสามารถอ่านค่าการวิเคราะห์ 1 ในช่องที่ 48-1 หลุม ให้ใส่คำสั่ง 48

การวิเคราะห์เพื่อหาค่าอายุจากผลการวิเคราะห์

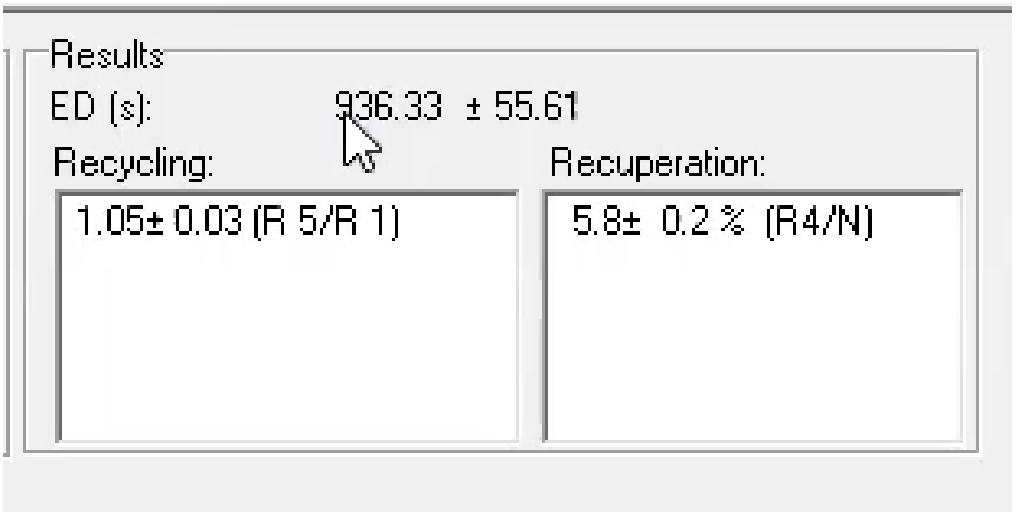
1. ค่าที่ได้จากเครื่อง Gamma Spectrometer (AD)



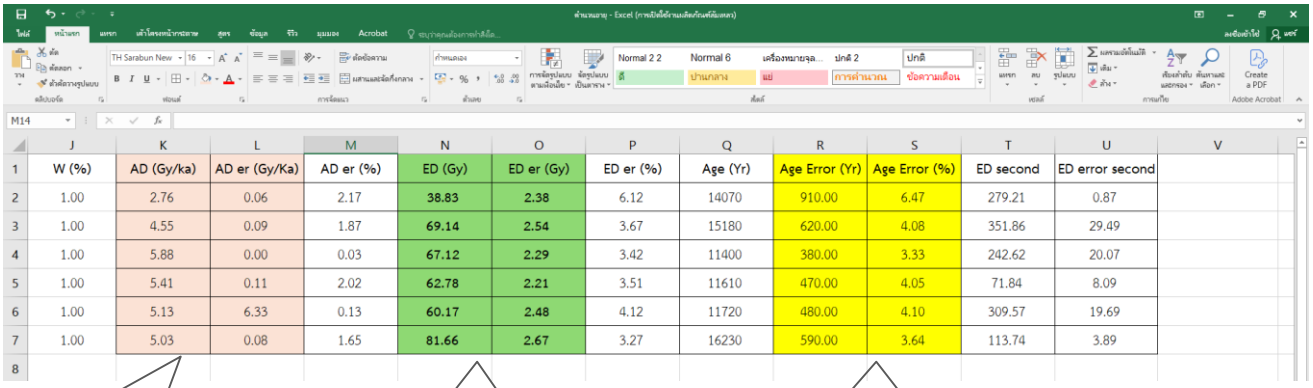


ค่าที่นำไปในการคำนวณ

2. ค่าที่ได้จากเครื่องอ่าน Risø TL/OSL (ED)



นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาแทนค่าในสูตรการคำนวณโดยใช้ Excel ดังนี้



	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	W (%)	AD (Gy/ka)	AD er (Gy/Ka)	AD er (%)	ED (Gy)	ED er (Gy)	ED er (%)	Age (Yr)	Age Error (Yr)	Age Error (%)	ED second	ED error second	
2	1.00	2.76	0.06	2.17	38.83	2.38	6.12	14070	910.00	6.47	279.21	0.87	
3	1.00	4.55	0.09	1.87	69.14	2.54	3.67	15180	620.00	4.08	351.86	29.49	
4	1.00	5.88	0.00	0.03	67.12	2.29	3.42	11400	380.00	3.33	242.62	20.07	
5	1.00	5.41	0.11	2.02	62.78	2.21	3.51	11610	470.00	4.05	71.84	8.09	
6	1.00	5.13	6.33	0.13	60.17	2.48	4.12	11720	480.00	4.10	309.57	19.69	
7	1.00	5.03	0.08	1.65	81.66	2.67	3.27	16230	590.00	3.64	113.74	3.89	
8													

ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Gamma Spectrometer

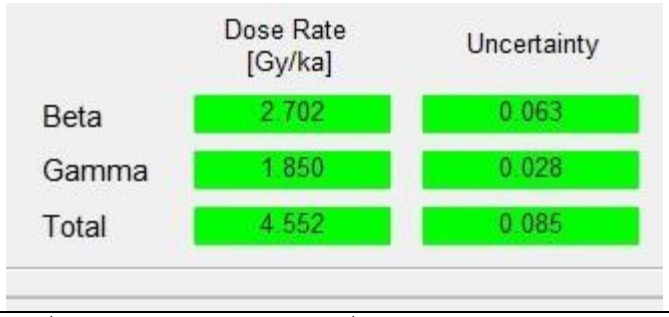
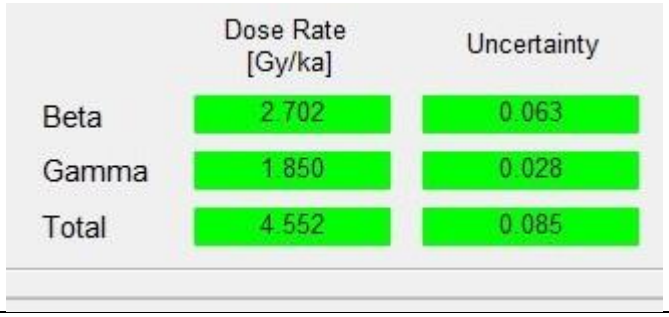
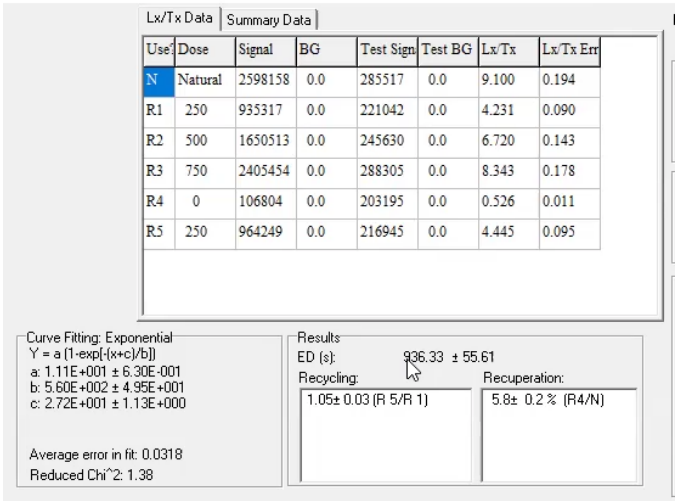
ค่าที่วัดได้จากเครื่อง Risø TL/OSL (ED)

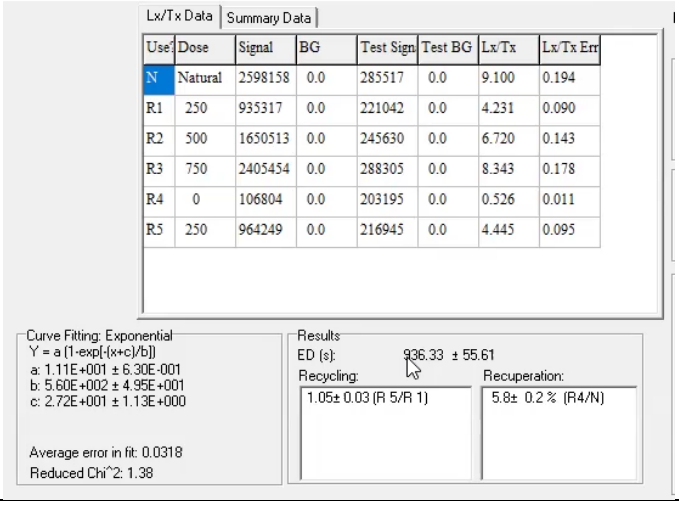
ค่าอายุที่ได้จาการคำนวน

ดังนั้นอายุที่ได้ คือ

Sample No.	AD (Gy/ka)	AD er (Gy/Ka)	AD er (%)	ED (Gy)	ED er (Gy)	ED er (%)	Age (Yr)	Age Error (Yr)	Age Error (%)
T300	2.76	0.06	2.17	38.83	2.38	6.12	14070.00	910	6.47
T390	4.55	0.09	1.87	69.14	2.54	3.67	15180.00	620	4.08
W100	5.88	0.00	0.03	67.12	2.29	3.42	11400.00	380	3.33
W200	5.41	0.11	2.02	62.78	2.21	3.51	11610.00	470	4.05
W300	5.13	6.33	0.13	60.17	2.48	4.12	11720.00	480	4.10
W400	5.03	0.08	1.65	81.66	2.67	3.27	16230.00	590	3.64

ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการคำนวณหาอายุ

AD (Gy/ka) **K**	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากเครื่อง Gamma Spectro -Total - Dose Rate (Gy/ka) 
AD er (Gy/Ka) **L**	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากเครื่อง Gamma Spectro -Total - Unceryainty 
AD er (%) **M**	=(AD er (Gy/Ka)/ AD (Gy/ka))*100
ED (Gy) **N**	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากเครื่อง TL/OSL ถ้า ค่า ให้นำค่าทุก 24 ตัวอย่างมีจำนวน 1 ค่ามาบวกกันแล้วหารด้วยจำนวนค่าที่วัดได้ 

ED er (Gy) **O**	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากเครื่อง TL/OSLเป็นค่าความผิดพลาดของการวัด ถ้า 1 ค่า ให้นำค่าทุกค่ามาบวกกันแล้วหารด้วยจำนวนค่าที่วัดได้ 24 ตัวอย่างมีจำนวน  Lx/Tx Data | Summary Data Use? Dose Signal BG Test Sign. Test BG Lx/Tx Lx/Tx Err N Natural 2598158 0.0 285517 0.0 9.100 0.194 R1 250 935317 0.0 221042 0.0 4.231 0.090 R2 500 1650513 0.0 245630 0.0 6.720 0.143 R3 750 2405454 0.0 288305 0.0 8.343 0.178 R4 0 106804 0.0 203195 0.0 0.526 0.011 R5 250 964249 0.0 216945 0.0 4.445 0.095 Curve Fitting: Exponential Y = a (1-exp[-(x+c)/b]) a: 1.11E+001 ± 6.30E-001 b: 5.60E+002 ± 4.95E+001 c: 2.72E+001 ± 1.13E+000 Average error in fit: 0.0318 Reduced Chi^2: 1.38 Results ED (s): 936.33 ± 55.61 Recycling: 1.05± 0.03 (R 5/R 1) Recuperation: 5.8± 0.2 % (R4/N)
ED er (%) **P**	=(ED er (Gy)/ ED (Gy))*100
Age (Yr) **Q**	=TRUNC((**ED (Gy)/ AD (Gy/ka)**)*1000,-(1
Age Error (Yr) **R**	**=**TRUNC(Q2*SQRT((**AD er (%)**/100)^2+(**ED er (%)**/100)^2),-1**)**
Age Error (%) **S**	=(R2/Q2)*100