

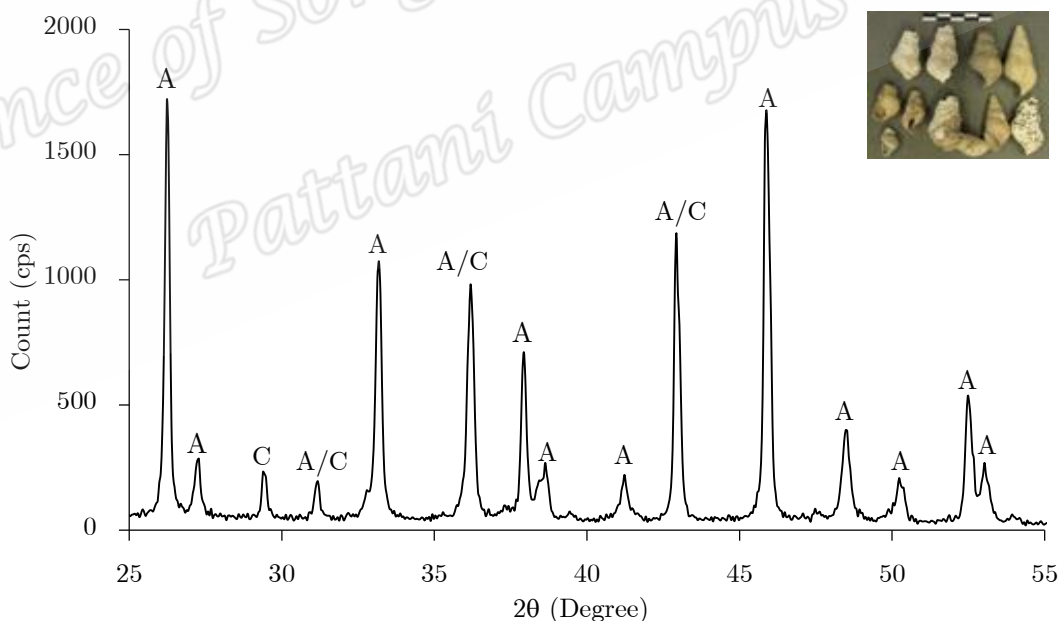
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาผลการตอบสนองต่อรังสีของผลึกตัวอย่างซากหอยน้ำจืดและดินเผาไฟ จากแหล่งโบราณคดีถ้ำเขาหวานจังหวัดสตูล นำไปสู่การกำหนดอายุแบบสัมบูรณ์ด้วยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ซึ่งเป็นการวัดแสงที่ผลึกปลดปล่อยออกมาเมื่อผลึกถูกเผาจนร้อน ในบทนี้ จะกล่าวถึงผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน

จากการศึกษาโครงสร้างผลึกตัวอย่างซากหอยน้ำจืด โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน พบว่า โครงสร้างผลึกของตัวอย่างซากหอยน้ำจืดเป็นทั้งผลึกอราโกไนท์-แคลไซต์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 สำหรับผลึกอราโกไนท์ระบบผลึกมีรูปแบบเป็น ออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) ส่วนแคลไซต์ระบบผลึกมีรูปแบบเป็น รอมโบฮีดรัล (Rhombohedral) รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.8

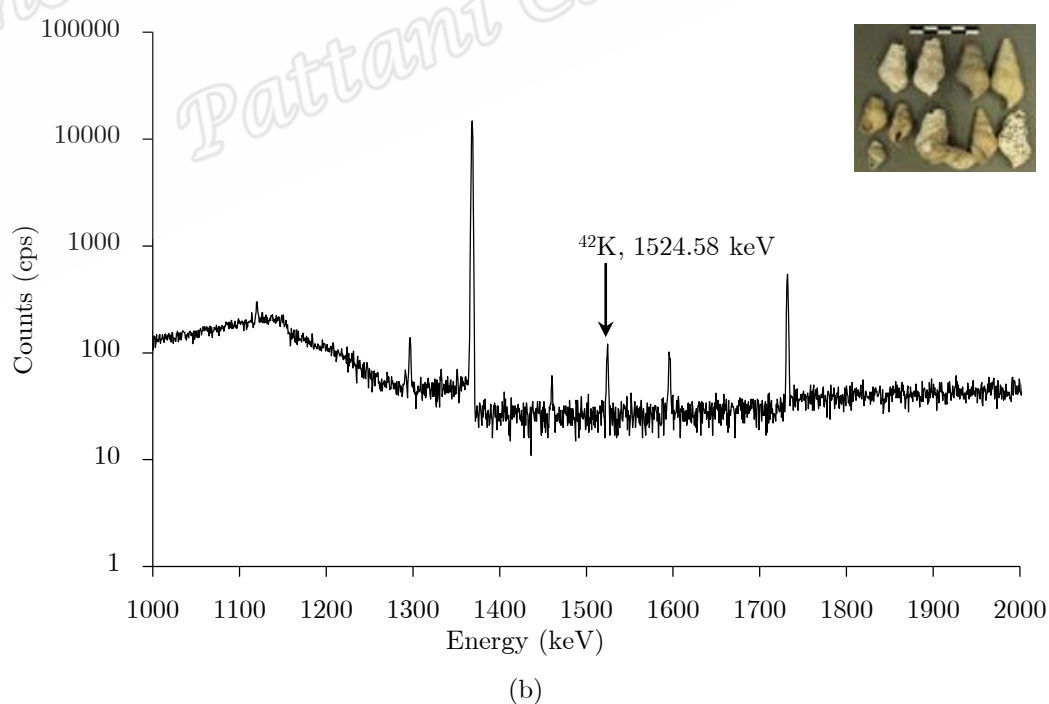
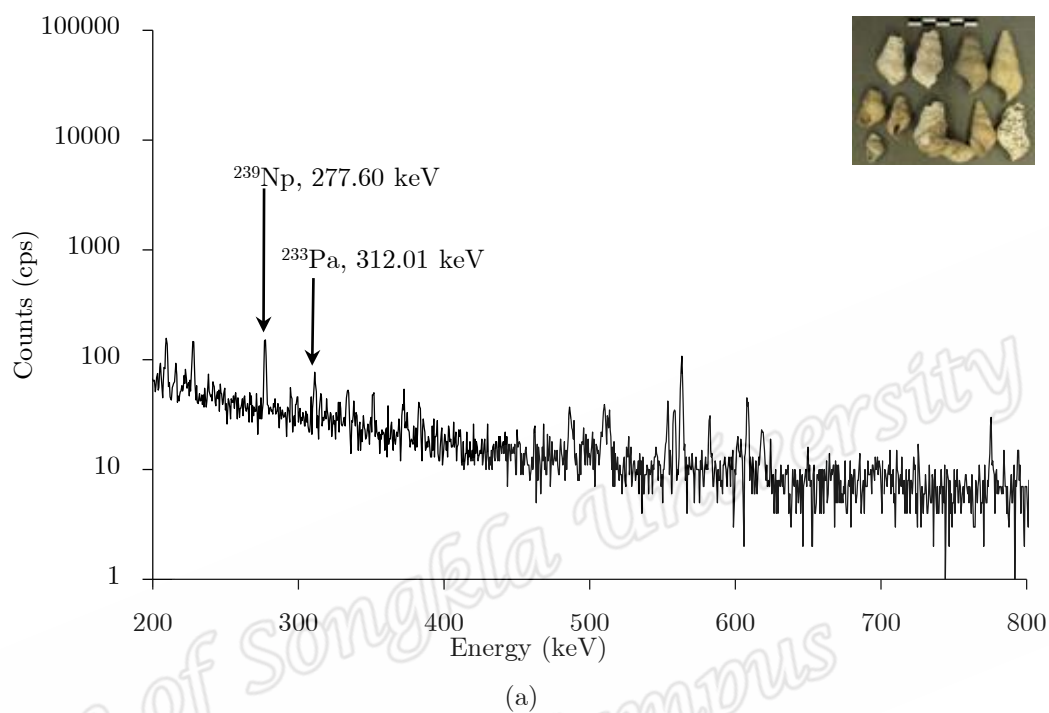


รูปที่ 4.1 โครงสร้างผลึกอราโกไนท์-แคลไซต์ในตัวอย่างซากหอยน้ำจืด (Aragonite, A; Calcite, C)

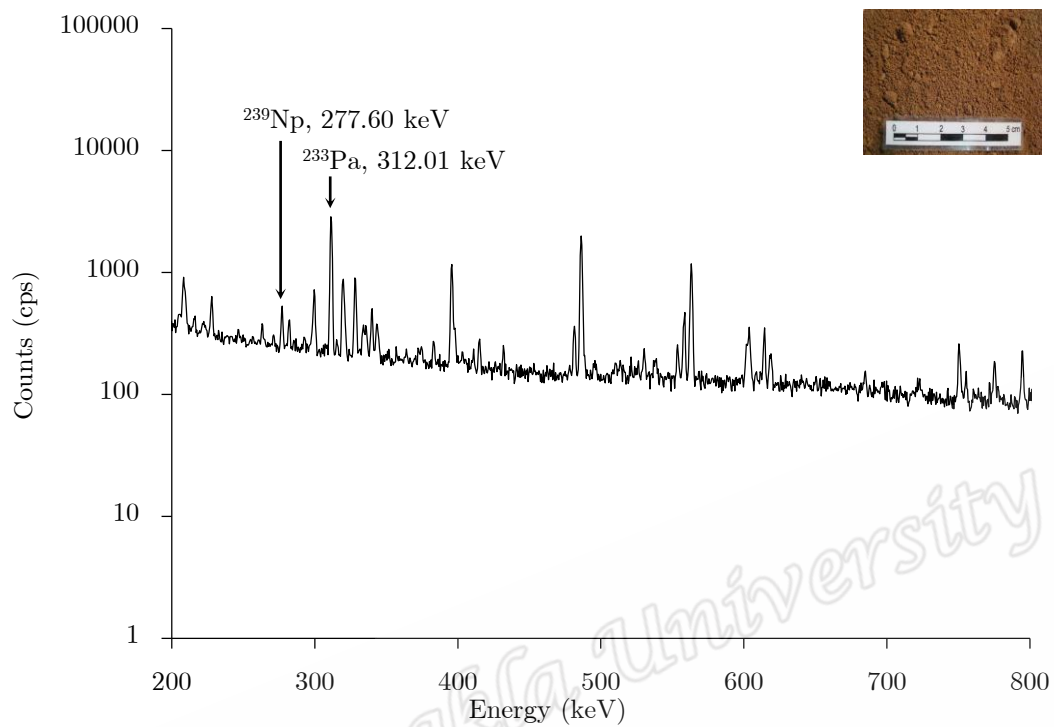
#### 4.2 ผลการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสียูเรเนียม ทอเรียมและโพแทสเซียมในตัวอย่าง

จากการนำตัวอย่างซากหอยน้ำจืดและสิ่งแวดล้อมรอบซากหอยน้ำจืด บดจนละเอียด สม่่าเสมอขนาดน้อยกว่า  $90 \mu\text{m}$  ทำการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของธาตุยูเรเนียม ( $^{238}\text{U}$ )

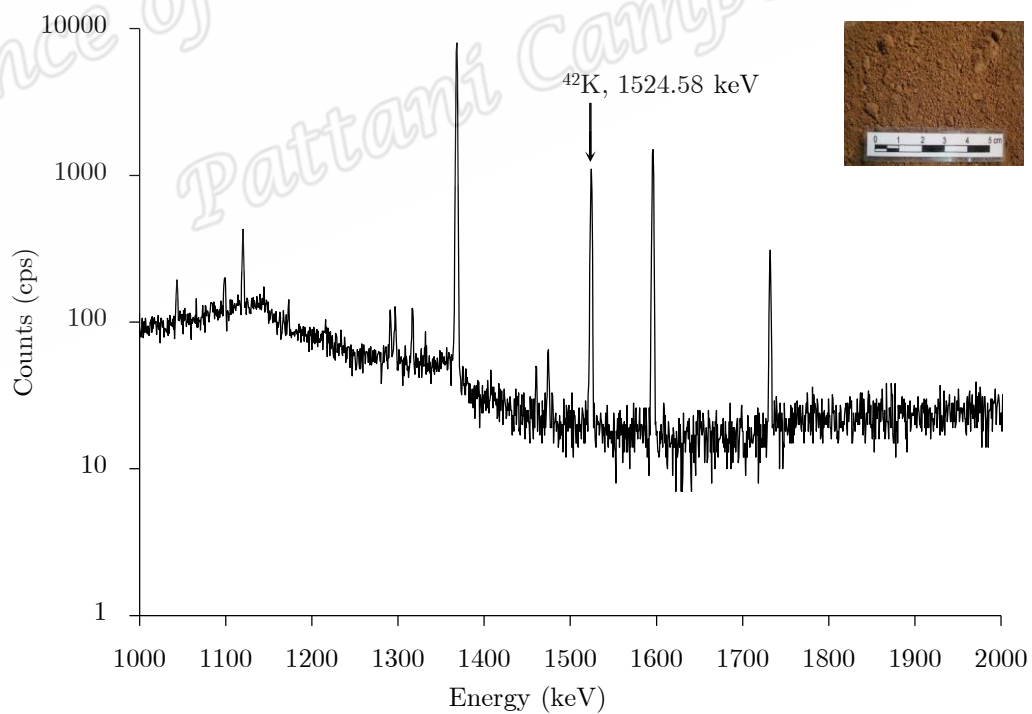
ทอเรียม ( $^{232}\text{Th}$ ) และโพแทสเซียม ( $^{40}\text{K}$ ) โดยการอบนิวตรอนแบบชุดครึ่งชีวิตยาวและ  
 วัสดุรังสีแกมมาของตัวอย่างซากหอยน้ำจืด (รูปที่ 4.2) และสิ่งแวดล้อมรอบซากหอยน้ำจืด (รูปที่ 4.3)  
 เป็นเวลา 10 m ด้วยหัววัดเจอร์มานเนียมบริสุทธิ์สูง ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมรังสีแกมมาของซากเปลือกหอยน้ำจืดหอย (a) ยูเรเนียมและทอเรียม  
 (b) โพแทสเซียม



(a)



(b)

รูปที่ 4.3 สเปกตรัมรังสีแกมมาของธาตุยูเรเนียมและทอเรียมในสิ่งแวดล้อมรอบซากหอยน้ำจืด  
 (a) ยูเรเนียมและทอเรียม (b) โพแทสเซียม

### 4.3 ผลการวัดปริมาณธาตุกัมมันตรังสีจากการวิเคราะห์โดยการอาบนิวตรอน

นำสเปกตรัมของตัวอย่างซากหอยน้ำจืด สิ่งแวดล้อมรอบซากหอยน้ำจืดและตัวอย่างดินเผาไฟ ดังรูปที่ 4.2 – 4.3 มาวิเคราะห์ความแรงของรังสีแกมมาที่สลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี  $^{239}\text{Np}$ ,  $^{233}\text{Pa}$  และ  $^{42}\text{K}$  ที่พลังงาน 277.60, 312.01 และ 1524.58 keV ตามลำดับ เพื่อคำนวณหาปริมาณธาตุยูเรเนียม ( $^{238}\text{U}$ ) ทอเรียม ( $^{232}\text{Th}$ ) และโพแทสเซียม ( $^{40}\text{K}$ ) โดยใช้หลักการเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีแกมมาของตัวอย่างกับสารอ้างอิงมาตรฐาน ซึ่งทราบปริมาณความเข้มข้นของธาตุที่สนใจแน่นอน ได้ผลการวิจัยตามตาราง 4.1 – 4.2

ตารางที่ 4.1 ปริมาณยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมในซากหอยน้ำจืด

ตัวอย่าง (ความลึก, cm)	$^{238}\text{U}$ (ppm)	$^{232}\text{Th}$ (ppm)	$^{40}\text{K}$ (%)
SH1 (70 – 80)	$1.70 \pm 0.66$	$3.27 \pm 0.46$	$0.22 \pm 0.01$
SH2 (70 – 80)	$0.96 \pm 0.16$	$3.15 \pm 0.28$	$1.73 \pm 0.15$
SH3 (70 – 80)	$1.04 \pm 0.44$	$2.09 \pm 0.68$	$0.10 \pm 0.01$
SH4 (70 – 80)	$0.92 \pm 0.23$	$3.01 \pm 0.25$	$0.11 \pm 0.01$
SH5 (80 – 90)	$0.93 \pm 0.14$	$3.02 \pm 0.08$	$0.12 \pm 0.05$
SH6 (80 – 90)	$0.61 \pm 0.18$	$1.98 \pm 0.40$	$0.10 \pm 0.01$
SH7 (90 – 100)	$1.03 \pm 0.16$	$2.62 \pm 0.40$	$0.12 \pm 0.01$

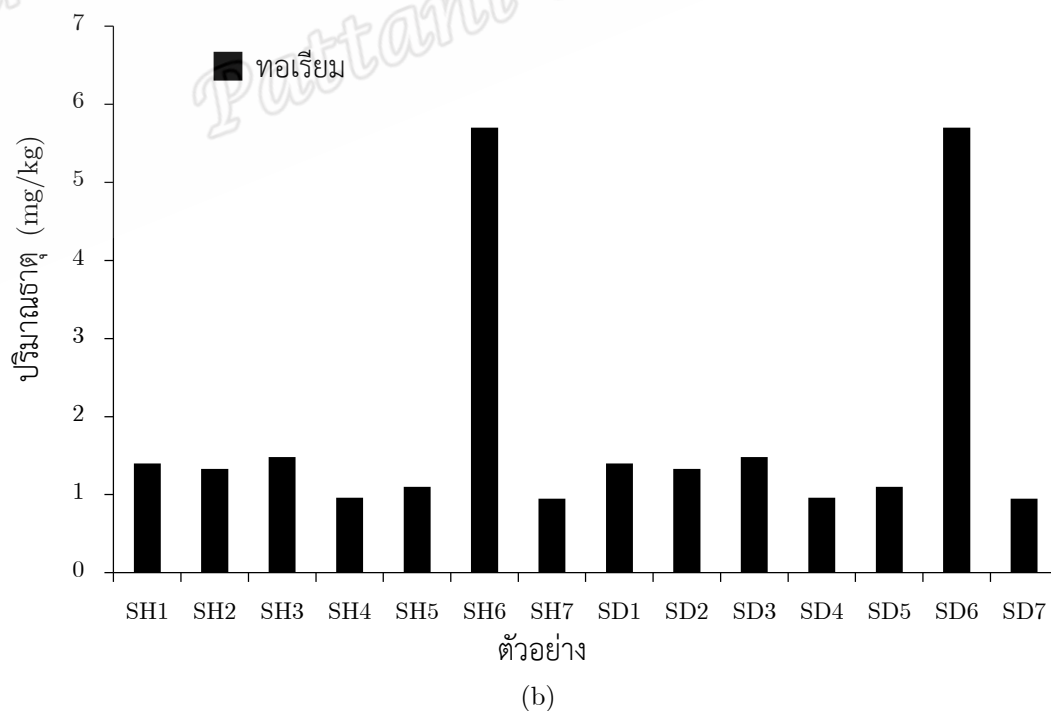
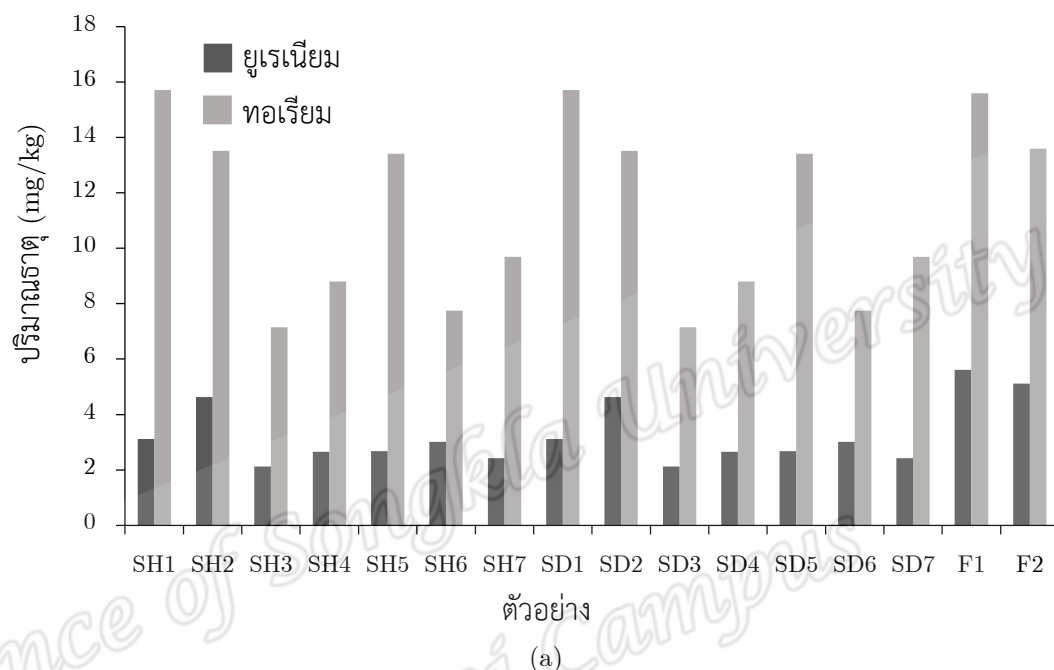
ตารางที่ 4.2 ปริมาณยูเรเนียม ทอเรียม ในสิ่งแวดล้อมรอบซากหอยน้ำจืด

ตัวอย่าง (ความลึก, cm)	$^{238}\text{U}$ (ppm)	$^{232}\text{Th}$ (ppm)	$^{40}\text{K}$ (%)
SD1 (70 – 80)	$3.11 \pm 2.82$	$15.72 \pm 0.98$	$1.40 \pm 0.01$
SD2 (70 – 80)	$4.63 \pm 0.37$	$13.52 \pm 1.03$	$1.33 \pm 0.01$
SD3 (70 – 80)	$2.13 \pm 0.70$	$7.15 \pm 1.98$	$1.48 \pm 0.01$
SD4 (70 – 80)	$2.65 \pm 0.70$	$8.80 \pm 1.19$	$0.96 \pm 0.01$
SD5 (80 – 90)	$2.67 \pm 2.41$	$13.41 \pm 0.34$	$1.10 \pm 0.03$
SD6 (80 – 90)	$3.02 \pm 1.13$	$7.75 \pm 0.76$	$5.70 \pm 0.01$
SD7 (90 – 100)	$2.42 \pm 1.22$	$9.69 \pm 1.34$	$0.95 \pm 0.04$

สำหรับปริมาณยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมของตัวอย่างดินเผาไฟ ได้นำข้อมูลมาจากรายงานการดำเนินงานในโครงการวิจัยการตั้งถิ่นฐานและการดำรงชีวิตของชุมชนสมัยก่อนประวัติศาสตร์และแรกเริ่มประวัติศาสตร์ในเขตจังหวัดสงขลา และสตูลระยะที่ 2 ซึ่งภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการวิเคราะห์แล้วมาใช้ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมในดินเผาไฟ

ตัวอย่าง (ความลึก cm)	$^{238}\text{U}$ (ppm)	$^{232}\text{Th}$ (ppm)	$^{40}\text{K}$ (%)
F1 (100 – 110)	5.61	15.60	ND
F2 (150 – 160)	5.12	13.60	ND



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง (a) ปริมาณยูเรเนียมและทอเรียม (b) โพแทสเซียมกับตัวอย่าง

#### 4.4 ผลการคำนวณปริมาณรังสีต่อปี (Annual dose หรือ Dose rate, D)

##### 4.4.1 ปริมาณรังสีต่อปีสำหรับตัวอย่างซากหอยน้ำจืด

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสียูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมจากการอาบนิวตรอนของตัวอย่างซากหอยน้ำจืด นำไปคำนวณค่า Internal Dose Rate ( $D_{in}$ ) และตัวอย่างสิ่งแวดล้อมรอบซากหอยน้ำจืดนำไปคำนวณค่า External Dose Rate ( $D_{ex}$ ) นำไปสู่การคำนวณหาปริมาณรังสีต่อปี (Annual dose, D) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 – 4.6

ตารางที่ 4.4 ค่า Internal Dose Rate ในตัวอย่างซากหอยน้ำจืด

ตัวอย่าง (ความลึก cm)	$D'_\alpha$ (mGy/a)	$D'_\beta$ (mGy/a)	$D_{in}$ (mGy/a)
SH1 (70 – 80)	0.070	0.482	$0.485 \pm 0.118$
SH2 (70 – 80)	0.049	1.397	$1.400 \pm 0.261$
SH3 (70 – 80)	0.043	0.274	$0.276 \pm 0.030$
SH4 (70 – 80)	0.047	0.289	$0.291 \pm 0.040$
SH5 (80 – 90)	0.047	0.298	$0.300 \pm 0.020$
SH6 (80 – 90)	0.031	0.209	$0.211 \pm 0.024$
SH7 (90 – 100)	0.047	0.299	$0.301 \pm 0.065$

ตารางที่ 4.5 ค่า External Dose Rate ในสิ่งแวดล้อมรอบซากหอยน้ำจืด

ตัวอย่าง (ความลึก cm)	$D'_\beta$ (mGy/a)	$D'_\gamma$ (mGy/a)	$D_{cos}$ (mGy/a)	$D_{Ex}$ (mGy/a)
SD1 (70 – 80)	1.828	1.428	0.170	$3.425 \pm 0.518$
SD2 (70 – 80)	1.936	1.468	0.170	$3.574 \pm 0.555$
SD3 (70 – 80)	1.504	0.898	0.170	$2.573 \pm 0.221$
SD4 (70 – 80)	1.272	0.935	0.170	$2.377 \pm 0.095$
SD5 (80 – 90)	1.497	1.200	0.168	$2.866 \pm 0.193$
SD6 (80 – 90)	4.509	1.884	0.168	$6.561 \pm 0.915$
SD7 (90 – 100)	1.257	0.953	0.165	$2.375 \pm 0.180$

ตารางที่ 4.6 ปริมาณรังสีต่อปีสำหรับตัวอย่างซากหอยน้ำจืด

ตัวอย่าง (ความลึก cm)	$D_{In}$ (mGy/a)	$D_{Ex}$ (mGy/a)	D (mGy/a)
SH1 (70 – 80)	$0.485 \pm 0.118$	$3.425 \pm 0.518$	$3.911 \pm 1.041$
SH2 (70 – 80)	$1.400 \pm 0.261$	$3.574 \pm 0.555$	$4.974 \pm 1.202$
SH3 (70 – 80)	$0.276 \pm 0.030$	$2.573 \pm 0.221$	$2.849 \pm 0.436$
SH4 (70 – 80)	$0.291 \pm 0.040$	$2.377 \pm 0.095$	$2.668 \pm 0.202$
SH5 (80 – 90)	$0.300 \pm 0.020$	$2.866 \pm 0.193$	$3.166 \pm 0.381$
SH6 (80 – 90)	$0.211 \pm 0.024$	$6.561 \pm 0.915$	$6.772 \pm 1.794$
SH7 (90 – 100)	$0.301 \pm 0.065$	$2.375 \pm 0.180$	$2.676 \pm 0.376$

#### 4.4.2 ปริมาณรังสีต่อปีสำหรับตัวอย่างดินเผาไฟ

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสียูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียมจากการอบนิวตรอนของตัวอย่างดินเผาไฟ นำไปสู่การคำนวณหาปริมาณรังสีต่อปีได้ดังตารางที่ 4.7

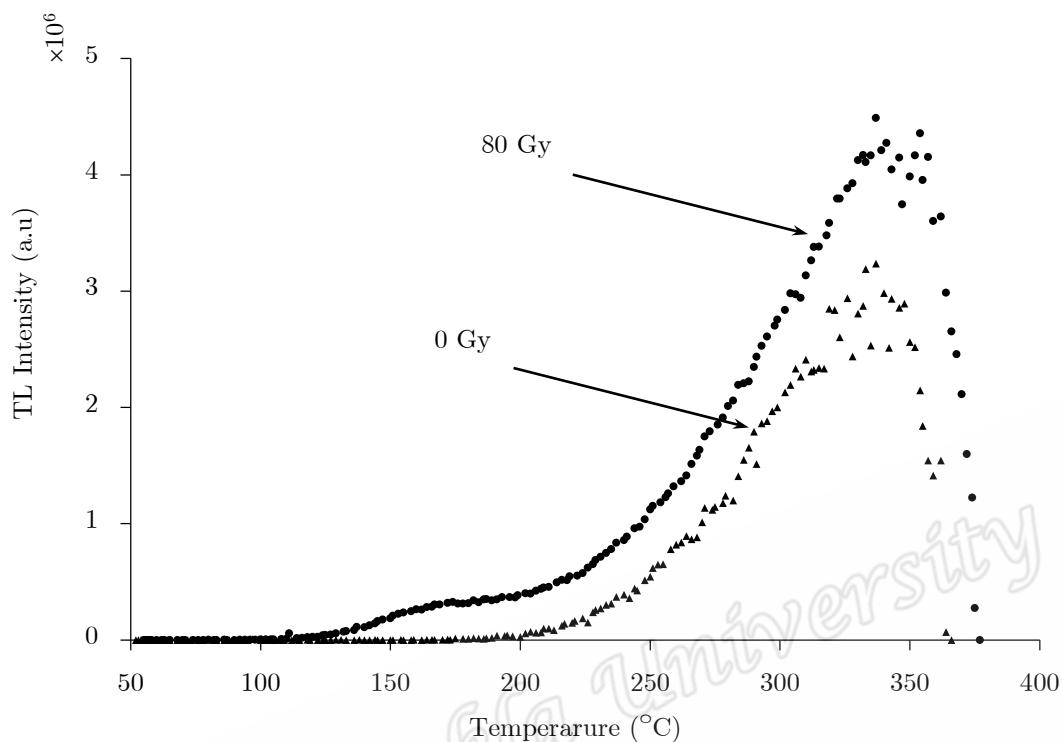
ตารางที่ 4.7 ปริมาณรังสีต่อปีสำหรับตัวอย่างดินเผาไฟ

ตัวอย่าง (ความลึก, cm)	$D'_\alpha$ (mGy/a)	$D'_\beta$ (mGy/a)	$D'_\gamma$ (mGy/a)	$D_{cos}$ (mGy/a)	D (mGy/a)
F1 (100 – 110)	0.247	1.231	1.412	0.161	$2.841 \pm 0.00$
F2 (150 – 160)	0.215	1.229	1.410	0.148	$2.820 \pm 0.00$

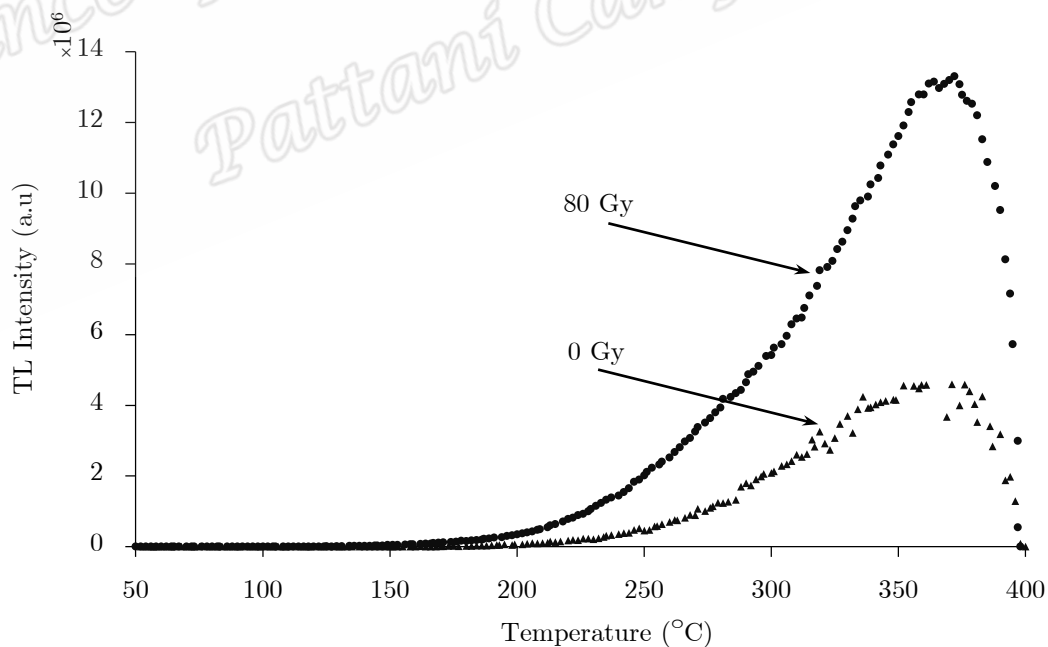
#### 4.5 ผลการตอบสนองต่อการรับรังสีของตัวอย่างที่ระดับความลึกต่างกัน

##### 4.5.1 ตัวอย่างซากหอยน้ำจืด

ผลการตอบสนองต่อรังสีของผลึกอราโกไนท์-แคลไซต์ในตัวอย่างซากหอยน้ำจืดชนิดเดียวกัน ที่ระดับความลึกต่างกัน เมื่อนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (TL intensity) กับอุณหภูมิ (Temperature) ได้ผลการทดลองดังนี้

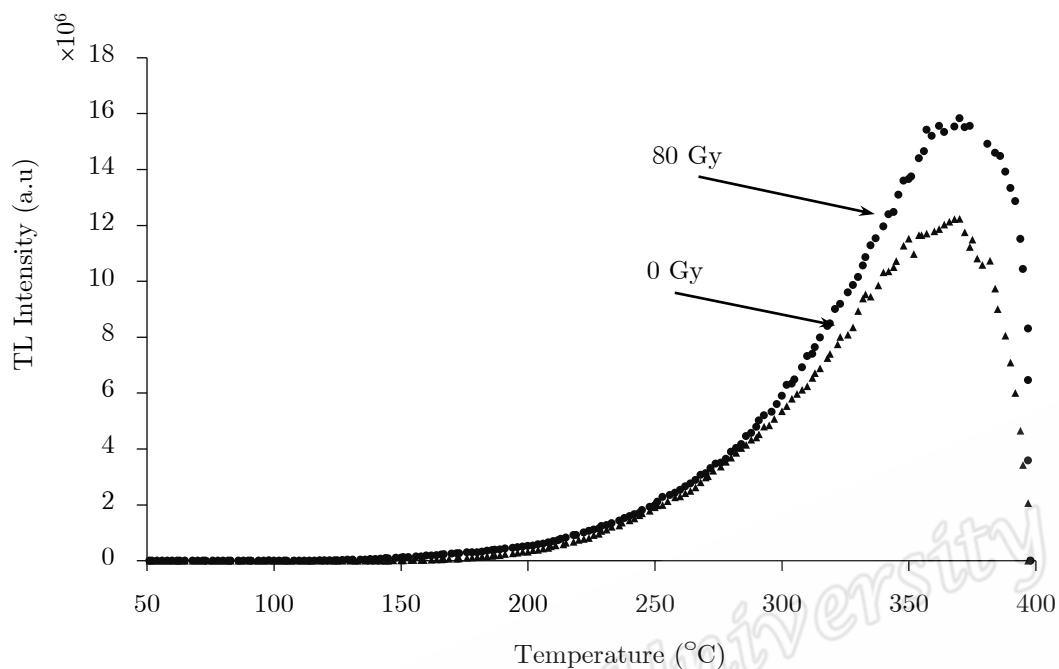


รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการตอบสนองต่อรังสีของผลึกอราโกไนท์-แคลไซต์ในตัวอย่างซากหอยน้ำจืดความลึก 70 – 80 cm ที่ปริมาณรังสี 0 Gy และ 80 Gy



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบการตอบสนองต่อรังสีของผลึกอราโกไนท์-แคลไซต์ในตัวอย่างซากหอยน้ำจืดความลึก 80 – 90 cm ที่ปริมาณรังสี 0 Gy และ 80 Gy



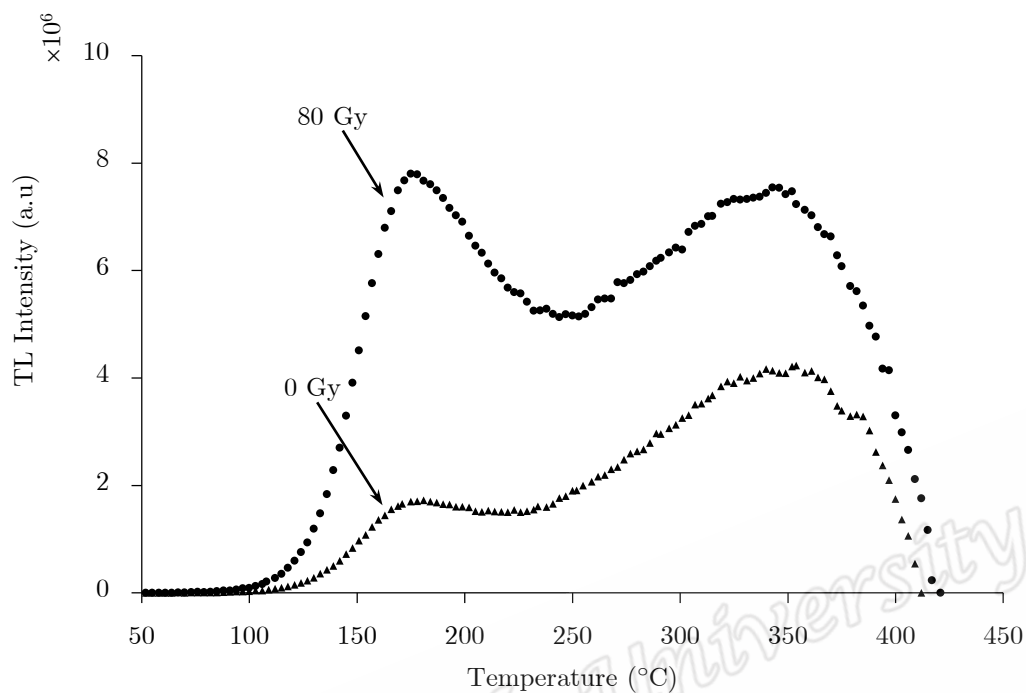


**รูปที่ 4.7** เปรียบเทียบการตอบสนองต่อรังสีของผลึกอราโกไนท์-แคลไซต์ในตัวอย่างซากหอยน้ำจืดความลึก 90 – 100 cm ที่ปริมาณรังสี 0 Gy และ 80 Gy

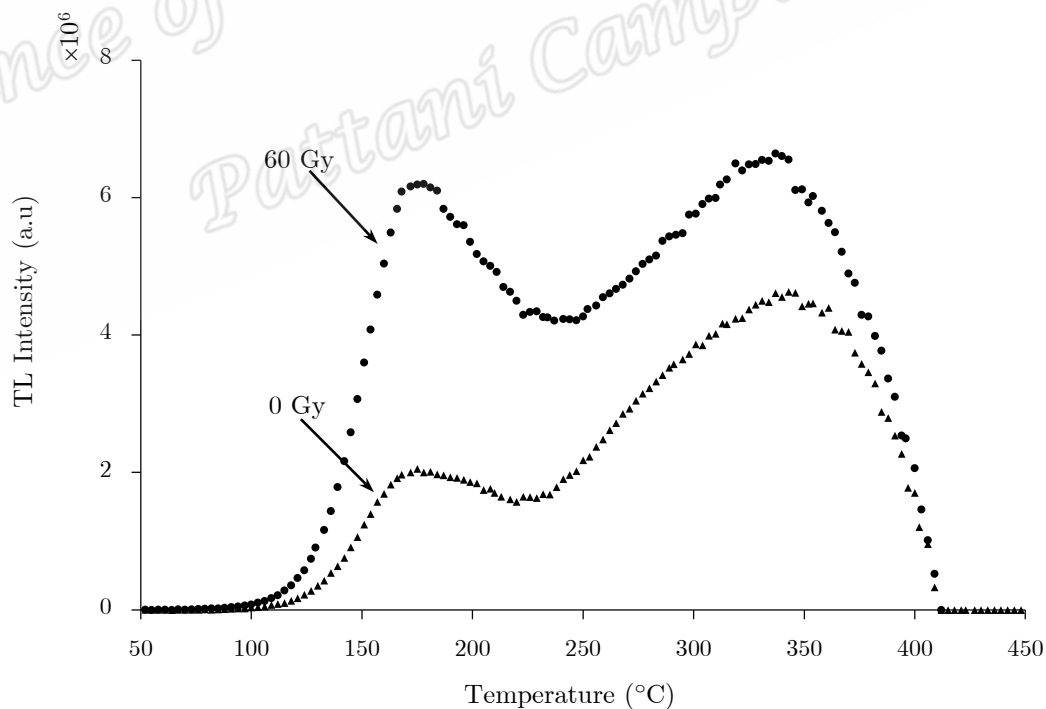
จากผลการทดลองรูปที่ 4.5 – 4.7 พบว่า ผลึกอราโกไนท์-แคลไซต์ในตัวอย่างซากหอยน้ำจืดจากระดับความลึกต่างกัน 3 ระดับคือ ระดับ 70 – 80 cm, 80 – 90 cm และ 90 – 100 cm มีการตอบสนองต่อรังสีได้ดีต่างกันที่อุณหภูมิ 340  $^{\circ}\text{C}$ , 370  $^{\circ}\text{C}$ , 375  $^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ สอดคล้องกับอุณหภูมิการตอบสนองในช่วง 200 – 400  $^{\circ}\text{C}$  ของผลึกอราโกไนท์-แคลไซต์ของเปลือกหอยในงานวิจัยของ Ziegelmann *et al.* (1999) และ Ijaz *et al.* (2008)

#### 4.5.2 ตัวอย่างดินเผาไฟ

ผลการตอบสนองต่อรังสีของผลึกควอตซ์ในตัวอย่างดินเผาไฟชนิดเดียวกันที่ระดับความลึกต่างกัน เมื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (TL intensity) กับอุณหภูมิ (Temperature) ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบการตอบสนองต่อรังสีของผลึกควอทซ์ในตัวอย่างดินเผาไฟ ความลึก 100 – 110 cm ที่ระดับโดสรังสี 0 Gy และ 80 Gy



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบการตอบสนองต่อรังสีของผลึกควอทซ์ในตัวอย่างดินเผาไฟ ความลึก 150 – 160 cm ที่ระดับโดสรังสี 0 Gy และ 60 Gy

ผลดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่า ควอทซ์ในตัวอย่างดินเผาไฟ ที่ระดับความลึกต่างกัน 2 ระดับ คือ 100 – 110 cm และระดับ 140 – 150 cm มีการตอบสนองต่อรังสีได้ดีที่สุดสองอุณหภูมิคือ 175 °C และ 340 °C ซึ่งต่างจากตัวอย่างซากหอยน้ำจืด พบว่า อุณหภูมิดังกล่าวสอดคล้องการตอบสนองของ ผลึกควอทซ์ในงานวิจัยของ Abdel-Wahab *et al.* (1996), Ekdal *et al.* (2012) และสอดคล้องกับ อุณหภูมิการตอบสนองของตะกอนดินในงานวิจัยของ Fattahi (2009)

จากผลการตอบสนองที่ระดับความลึกต่างกันสามารถสรุปผลอุณหภูมิการตอบสนองได้ดัง ตารางที่ 4.8 เห็นว่ามีตำแหน่งการตอบสนองที่อุณหภูมิได้ดีต่างกันและพบว่าสัญญาณ TL Intensity ของการตอบสนองที่วัดได้ด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ของตัวอย่างซากหอยน้ำจืดและดินเผาไฟจะแปรผันตรงกับปริมาณอิเล็กตรอนอิสระ เมื่อตัวอย่างได้ผ่านการรับรังสีจากสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานานก็จะส่งผลให้มีปริมาณอิเล็กตรอนมากขึ้นตามระยะเวลาที่สะสมไว้ ความเข้มแสงของการตอบสนองที่วัดได้ด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์จะมากขึ้นไปด้วย และพบว่าผลการตอบสนองของสัญญาณสามารถ จำแนกประเภทโครงสร้างผลึกได้อย่างชัดเจน

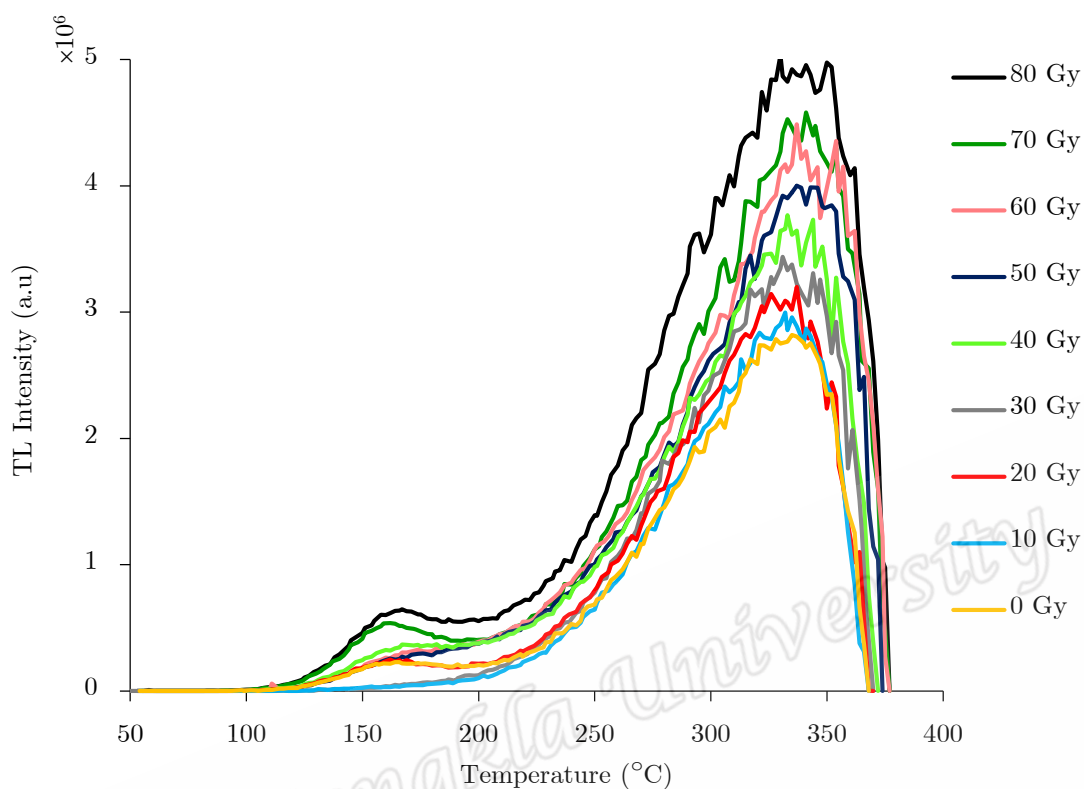
**ตารางที่ 4.8** โครงสร้างผลึกและการตอบสนองต่อรังสีของซากหอยน้ำจืดและดินเผาไฟที่ ระดับความลึกต่าง ๆ กัน

โครงสร้างผลึก	ความลึก (cm)	อุณหภูมิตอบสนอง (°C)
อราโกไนท์-แคลไซต์	70 – 80	340
อราโกไนท์-แคลไซต์	80 – 90	370
อราโกไนท์-แคลไซต์	90 – 100	375
ควอทซ์	100 – 110	175 และ 340
ควอทซ์	150 – 160	175 และ 340

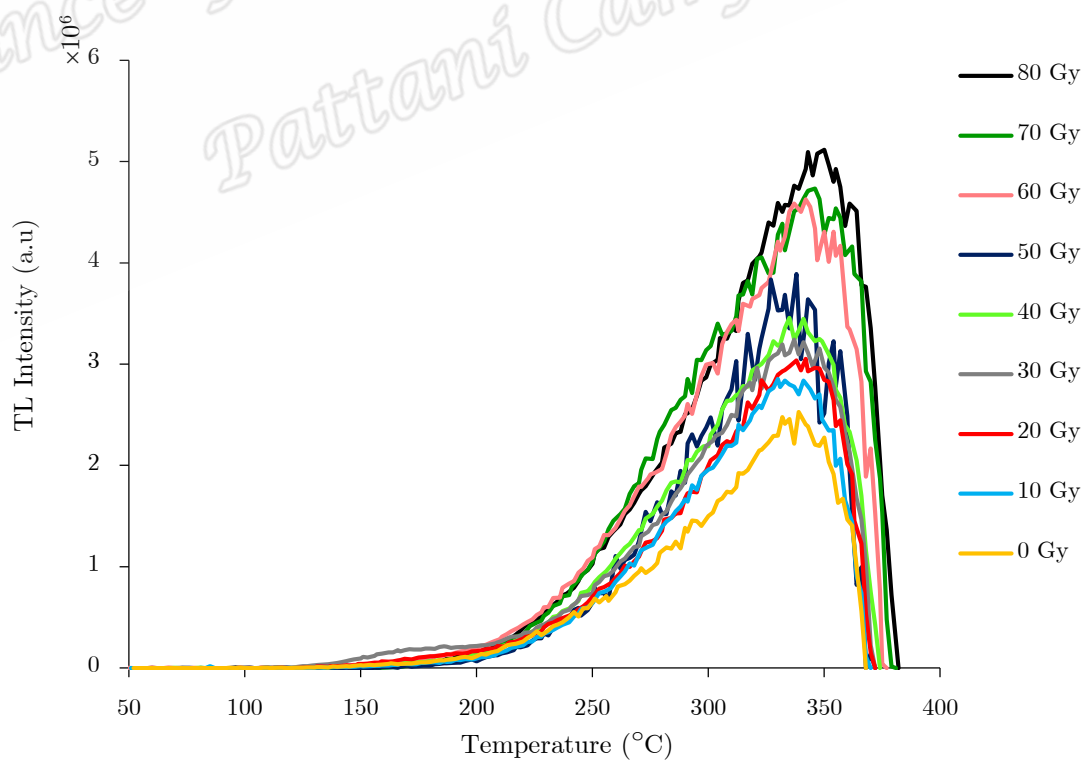
#### 4.6 ผลการตอบสนองต่อการรับรังสีของสัญญาณ TL Intensity ในตัวอย่างต่างชนิดกัน

##### 4.6.1 การตอบสนองของสัญญาณ TL Intensity ของซากหอยน้ำจืด

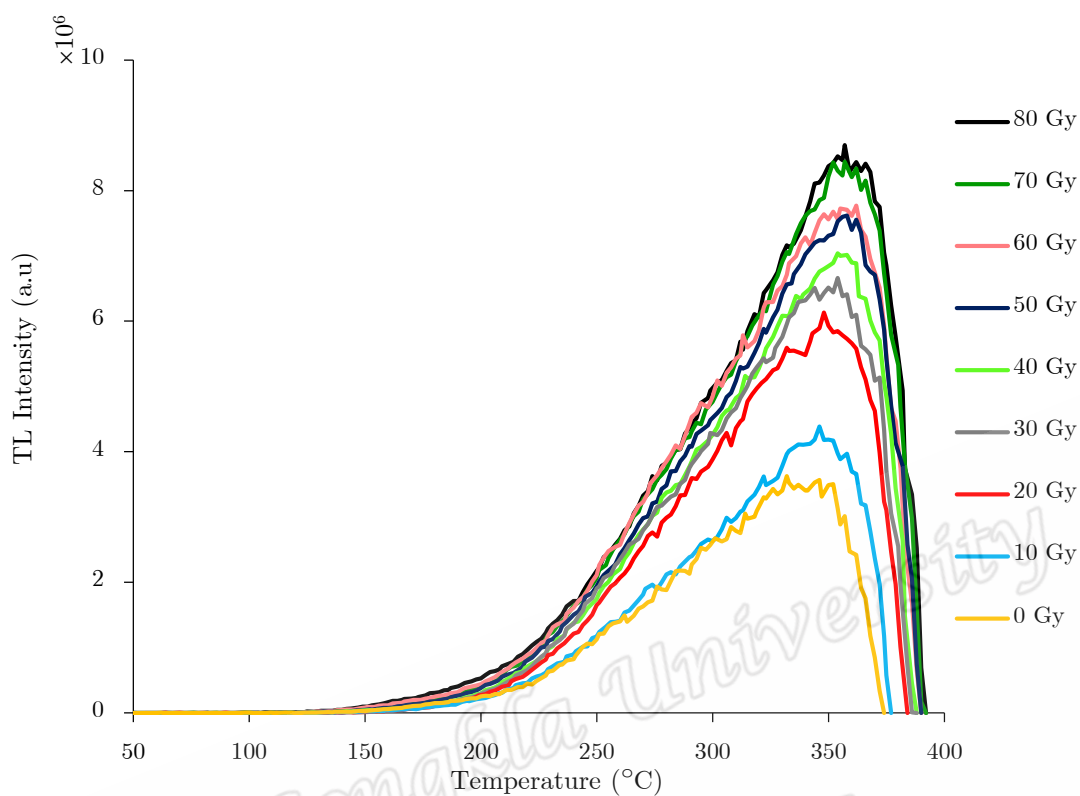
ตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาแบบ Additive Dose จะนำไปวิเคราะห์ ค่า TL Intensity ด้วยเครื่องอ่านเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ผลการวัดสัญญาณ TL Intensity ที่ระดับ ความลึกแตกต่างกันของซากหอยน้ำจืด ได้ผลการทดลองดังนี้



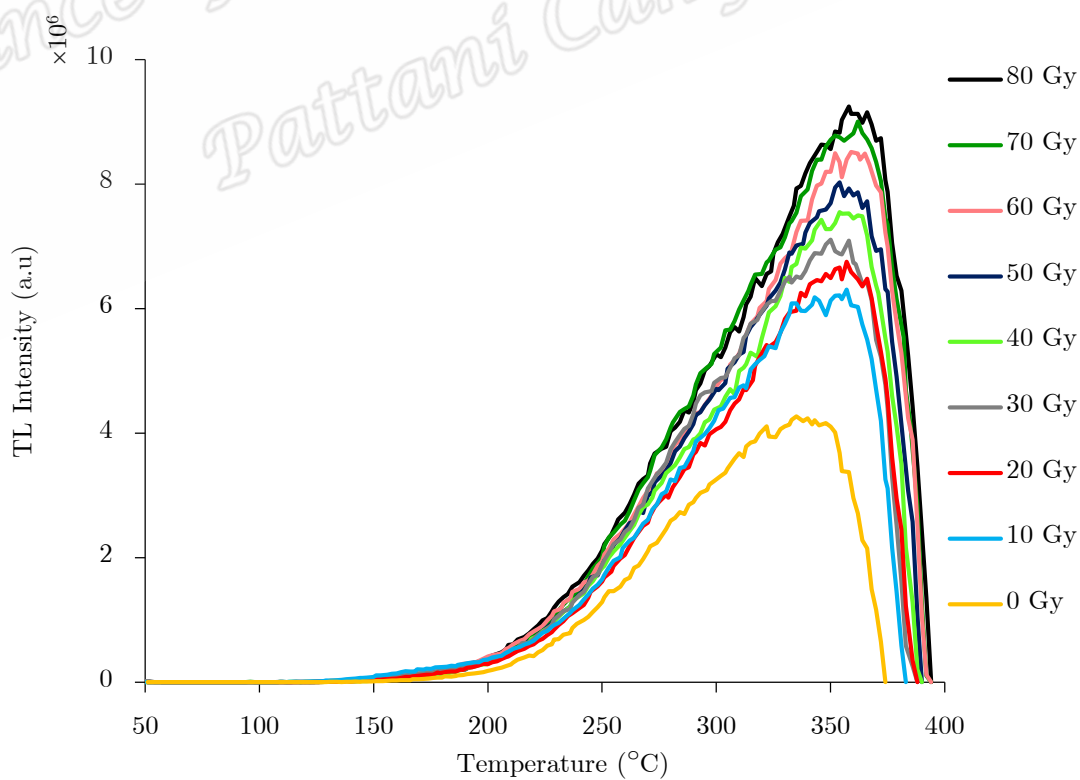
รูปที่ 4.10 โกลว์เคิร์ฟของ TL Intensity เมื่อได้รับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ในตัวอย่าง SH1



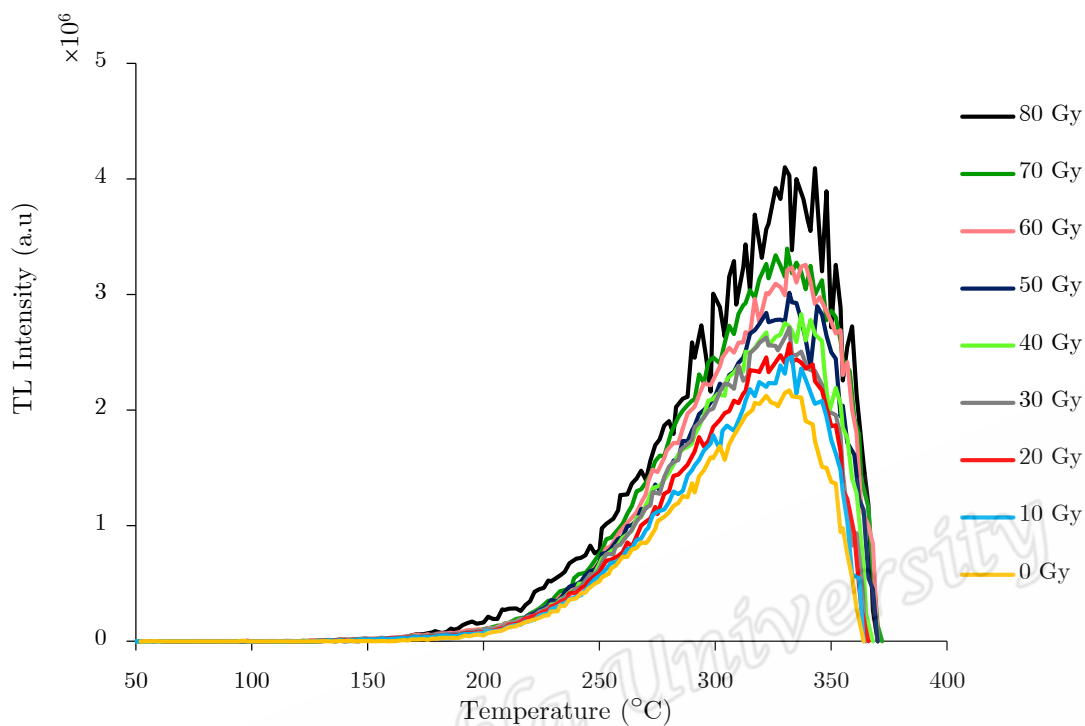
รูปที่ 4.11 โกลว์เคิร์ฟของ TL Intensity เมื่อได้รับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ในตัวอย่าง SH2



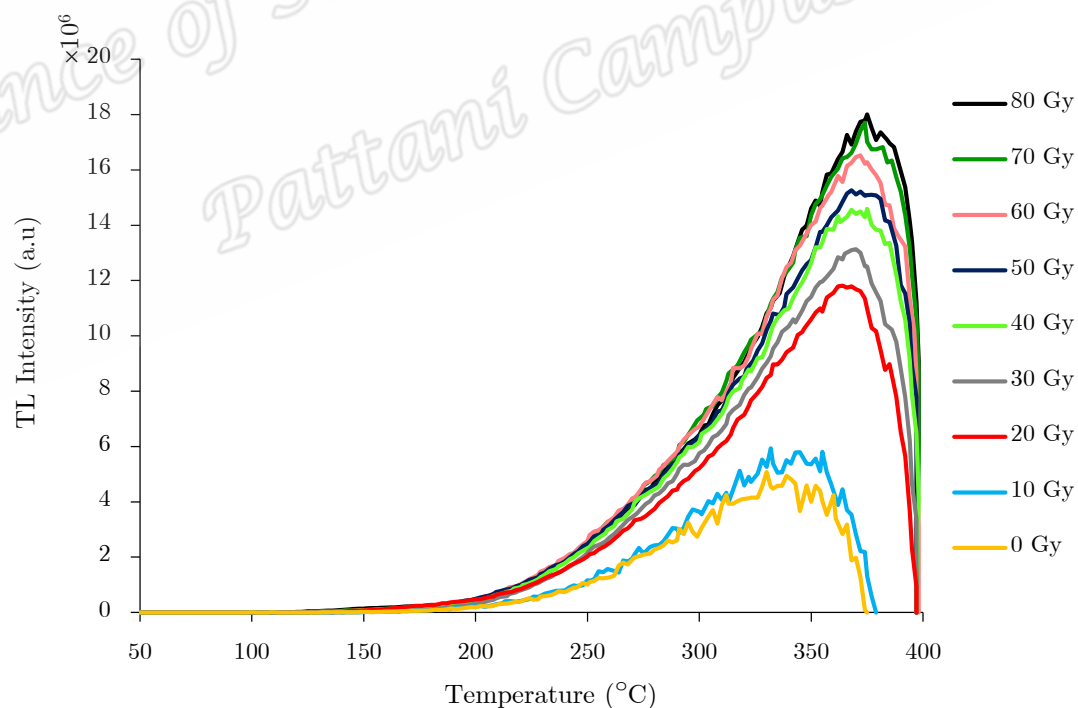
รูปที่ 4.12 โกลว์เคิร์ฟของ TL Intensity เมื่อได้รับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ในตัวอย่าง SH3



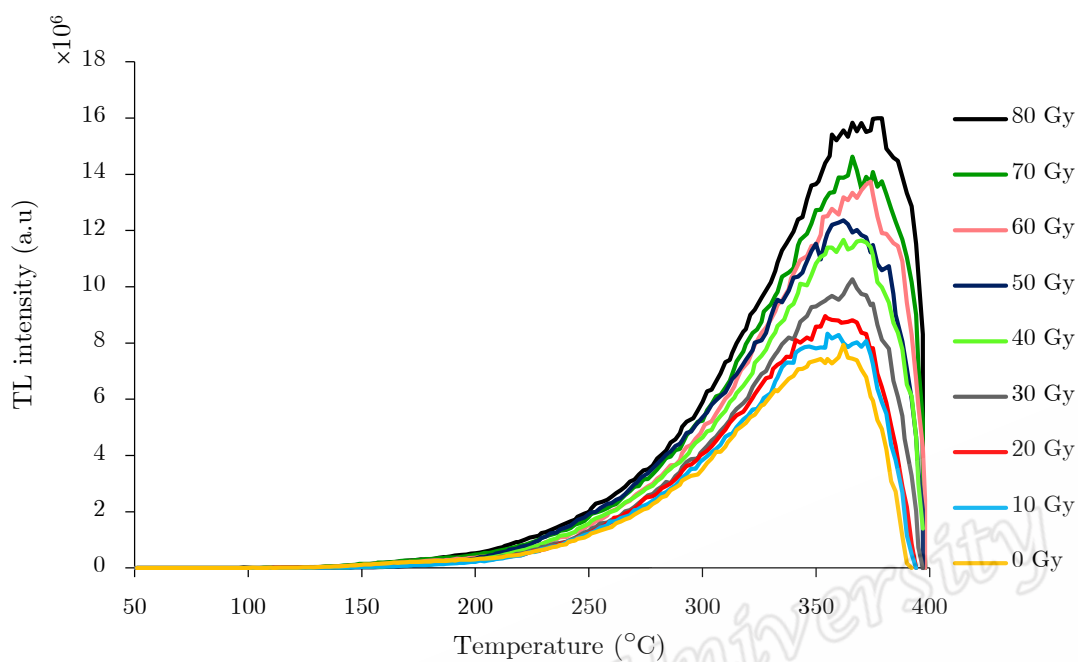
รูปที่ 4.13 โกลว์เคิร์ฟของ TL Intensity เมื่อได้รับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ในตัวอย่าง SH4



รูปที่ 4.14 โกลว์เคิร์ฟของ TL Intensity เมื่อได้รับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ในตัวอย่าง SH5



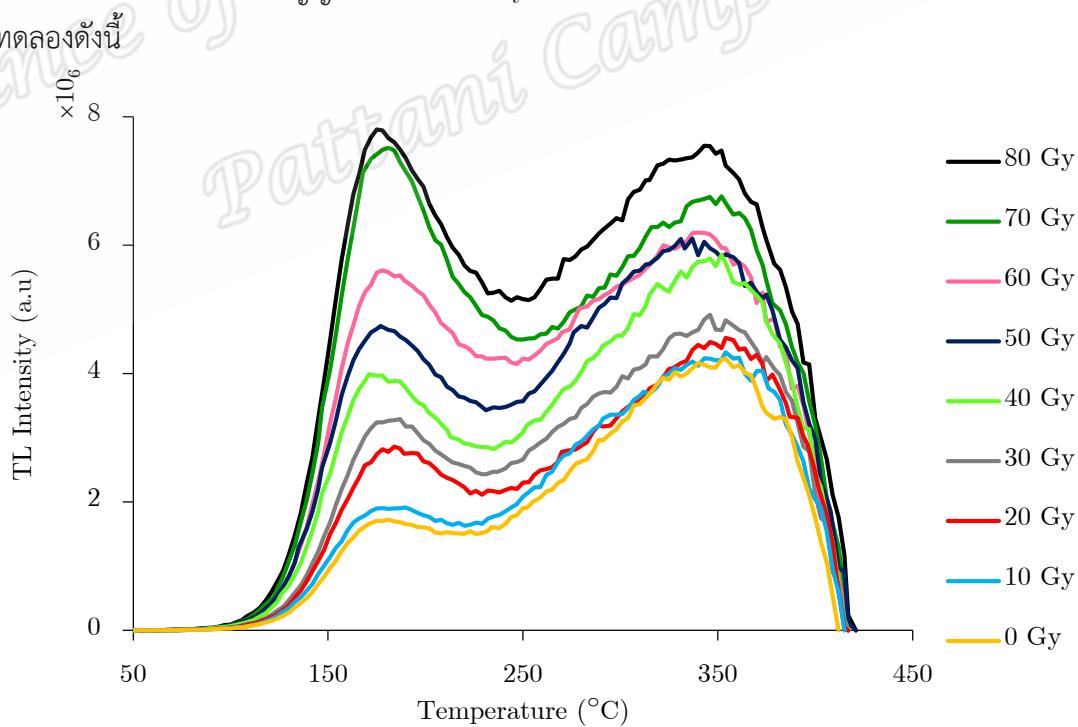
รูปที่ 4.15 โกลว์เคิร์ฟของ TL Intensity เมื่อได้รับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ในตัวอย่าง SH6



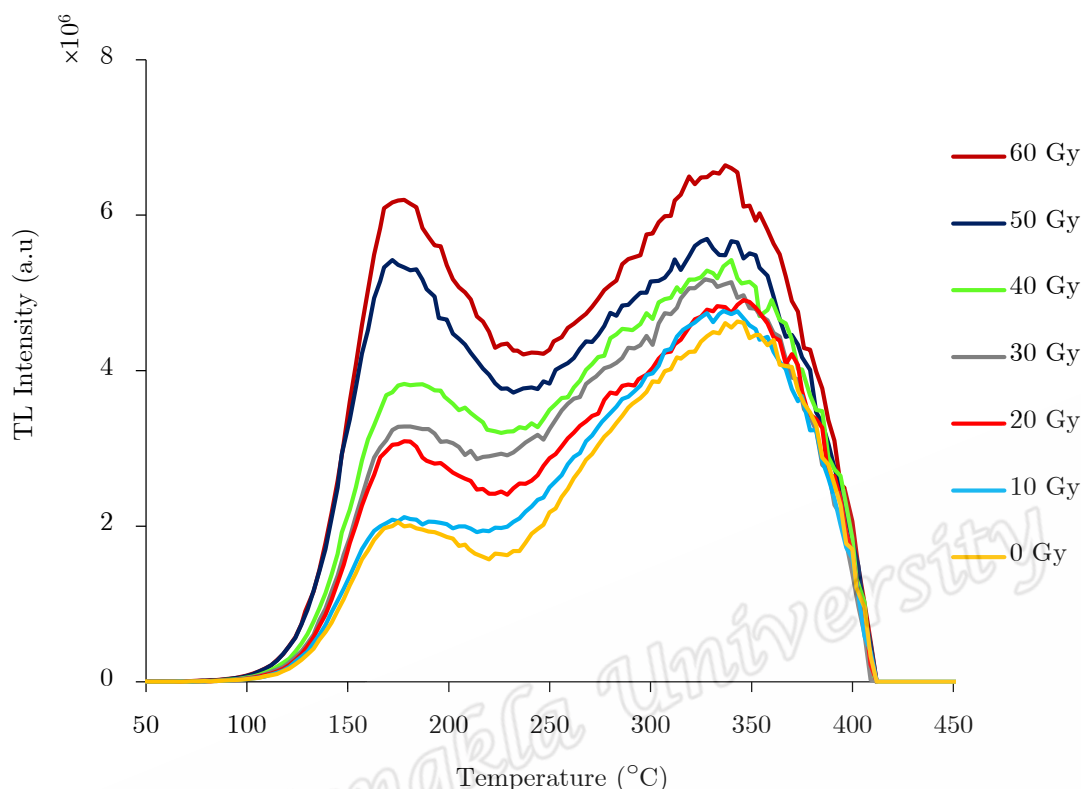
รูปที่ 4.16 โกลว์เคิร์ฟของ TL Intensity เมื่อได้รับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ในตัวอย่าง SH7

#### 4.6.2 การตอบสนองของสัญญาณ TL Intensity ของดินเผาไฟ

ผลการวัดสัญญาณ TL Intensity ที่ระดับความลึกแตกต่างกันของดินเผาไฟ ได้ผลการ



รูปที่ 4.17 โกลว์เคิร์ฟของ TL Intensity เมื่อได้รับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ในตัวอย่าง F1



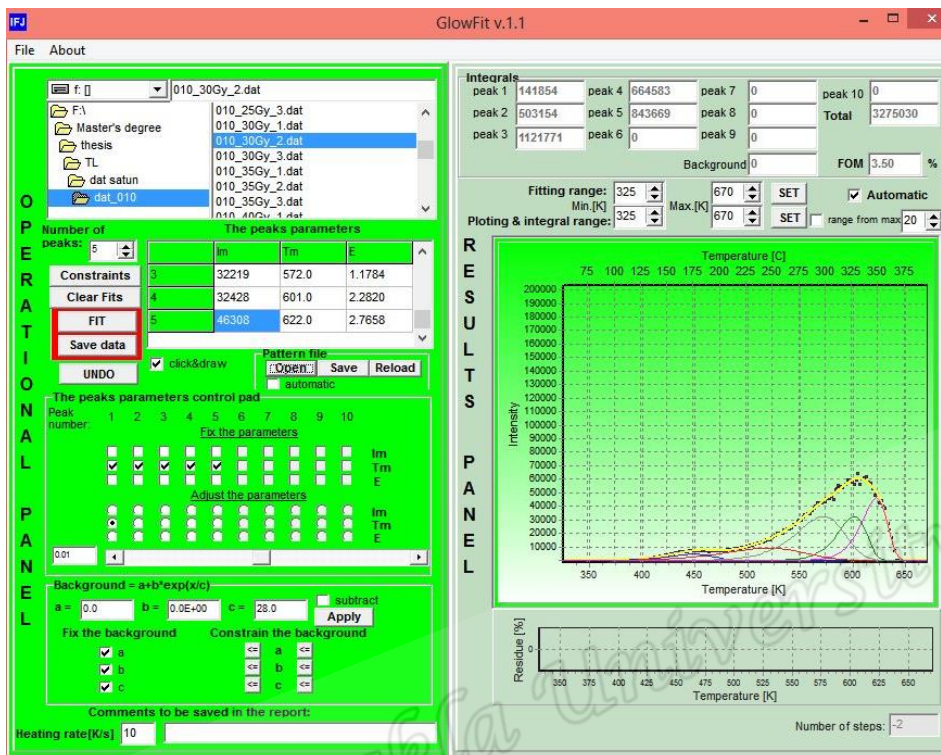
รูปที่ 4.18 โกลว์เคิร์ฟของ TL Intensity เมื่อได้รับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ในตัวอย่าง F2

จากการศึกษาผลการตอบสนองต่อรังสีเพื่อวัด TL Intensity ของตัวอย่างที่รับรังสีจากธรรมชาติและตัวอย่างที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาแบบ Additive Dose ด้วยเครื่องอ่านเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอุณหภูมิการตอบสนอง ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ที่เรียกว่าโกลว์เคิร์ฟดังรูปที่ 4.10 – 4.18 พบว่า ความเข้มแสงของการตอบสนองที่วัดได้จะแปรผันตรงกับปริมาณอิเล็กตรอนอิสระ ตัวอย่างที่ผ่านการรับโดสรังสีที่ระดับมากขึ้นส่งผลให้มีปริมาณอิเล็กตรอนมากขึ้นตามไปด้วย

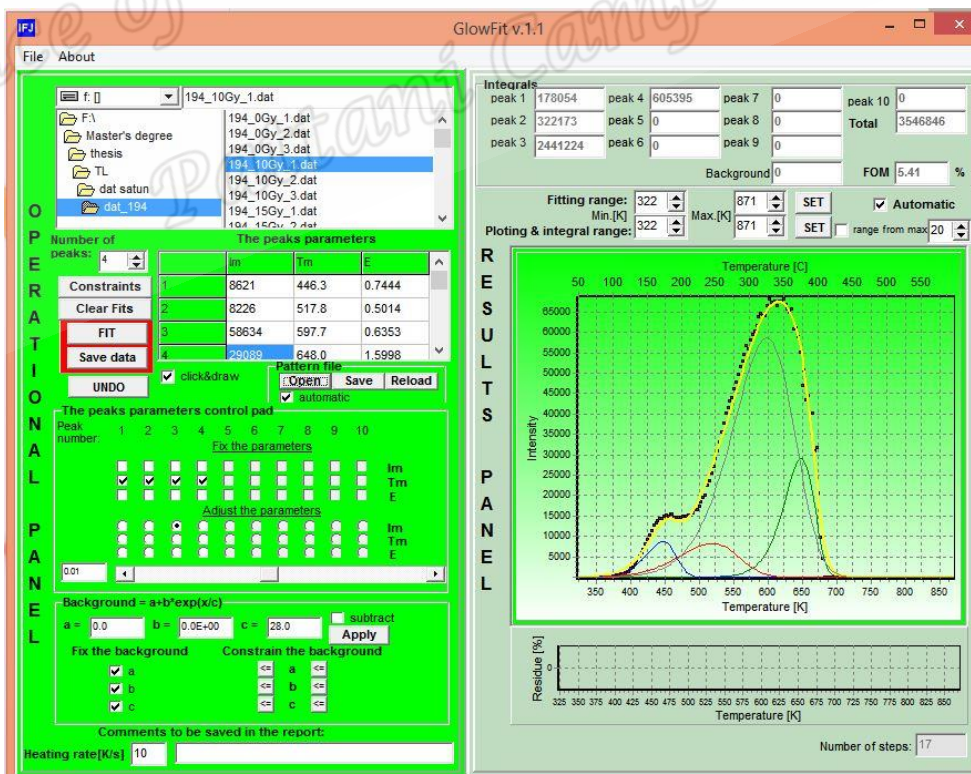
#### 4.6.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมโกลว์ฟิต

เมื่อนำค่า TL Intensity หารด้วยน้ำหนักตัวอย่างจะได้ค่า TL Intensity ในหน่วย Arbitrary Unit (a.u) เข้าโปรแกรมโกลว์ฟิต พบว่า สเปกตรัมที่ปรากฏประกอบไปด้วยสเปกตรัมที่แต่ละอุณหภูมิเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสัญญาณการตอบสนองของตัวอย่างซากหอยน้ำจืดสอดคล้องไปด้วย 5 อุณหภูมิ คือ 175 °C, 250 °C, 300 °C, 325 °C, 350 °C ดังรูปที่ 4.19 สำหรับตัวอย่างดินเผาไฟสอดคล้องไปด้วย 4 อุณหภูมิ คือ 175 °C, 250 °C, 325 °C และ 375 °C ดังรูปที่ 4.20 ในงานวิจัยนี้เลือก TL Intensity ที่อุณหภูมิการตอบสนอง 325 °C เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวมีความเสถียรมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่น ๆ ดังกล่าว เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ Accumulated Dose ในแต่ละตัวอย่าง





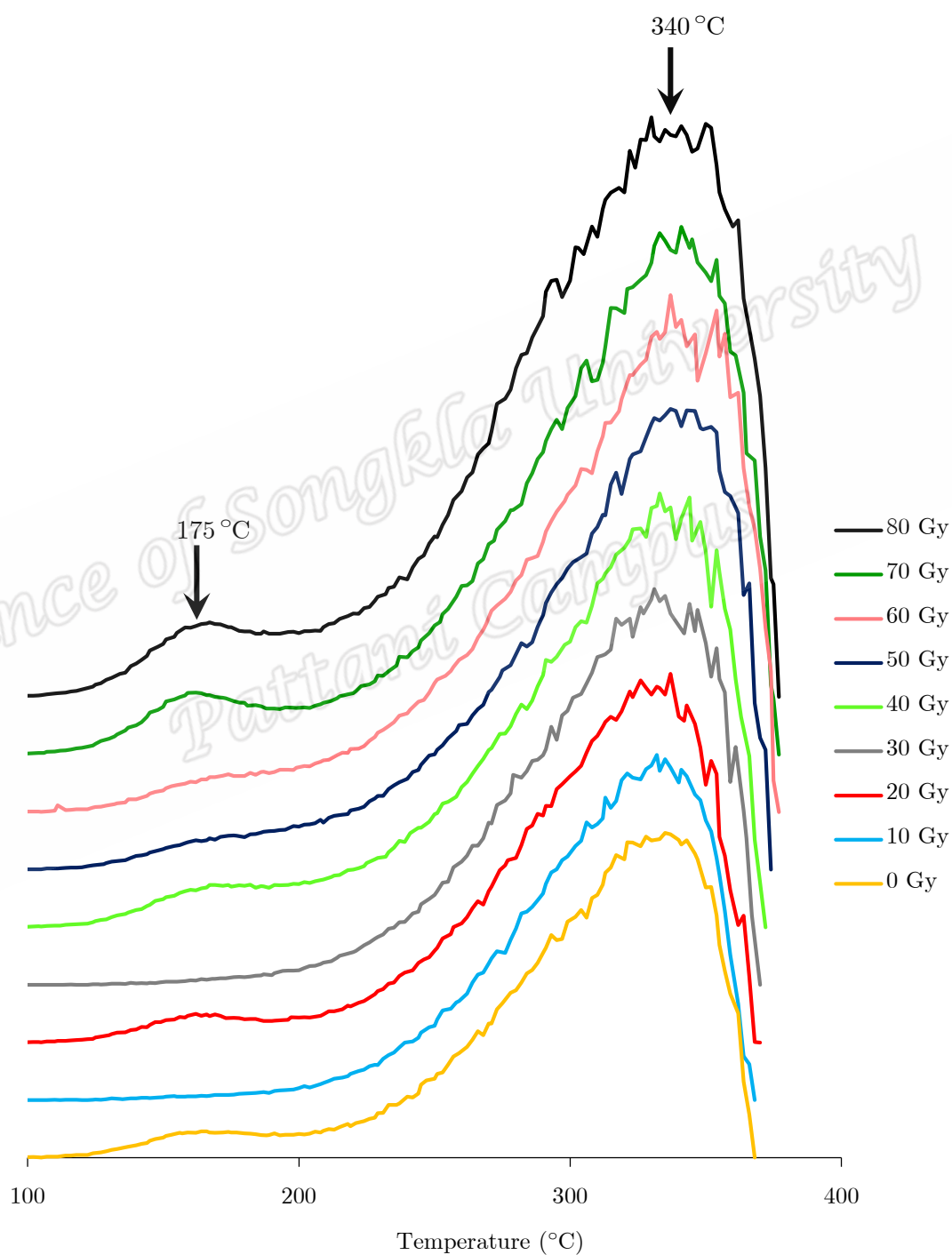
รูปที่ 4.19 สเปกตรัมที่ปรากฏในส่วนแสดงผลของโกลว์เคิร์ฟ ซึ่งมีสเปกตรัมที่แต่ละอุณหภูมิเป็นส่วนประกอบของตัวอย่างซากหอยน้ำจืด



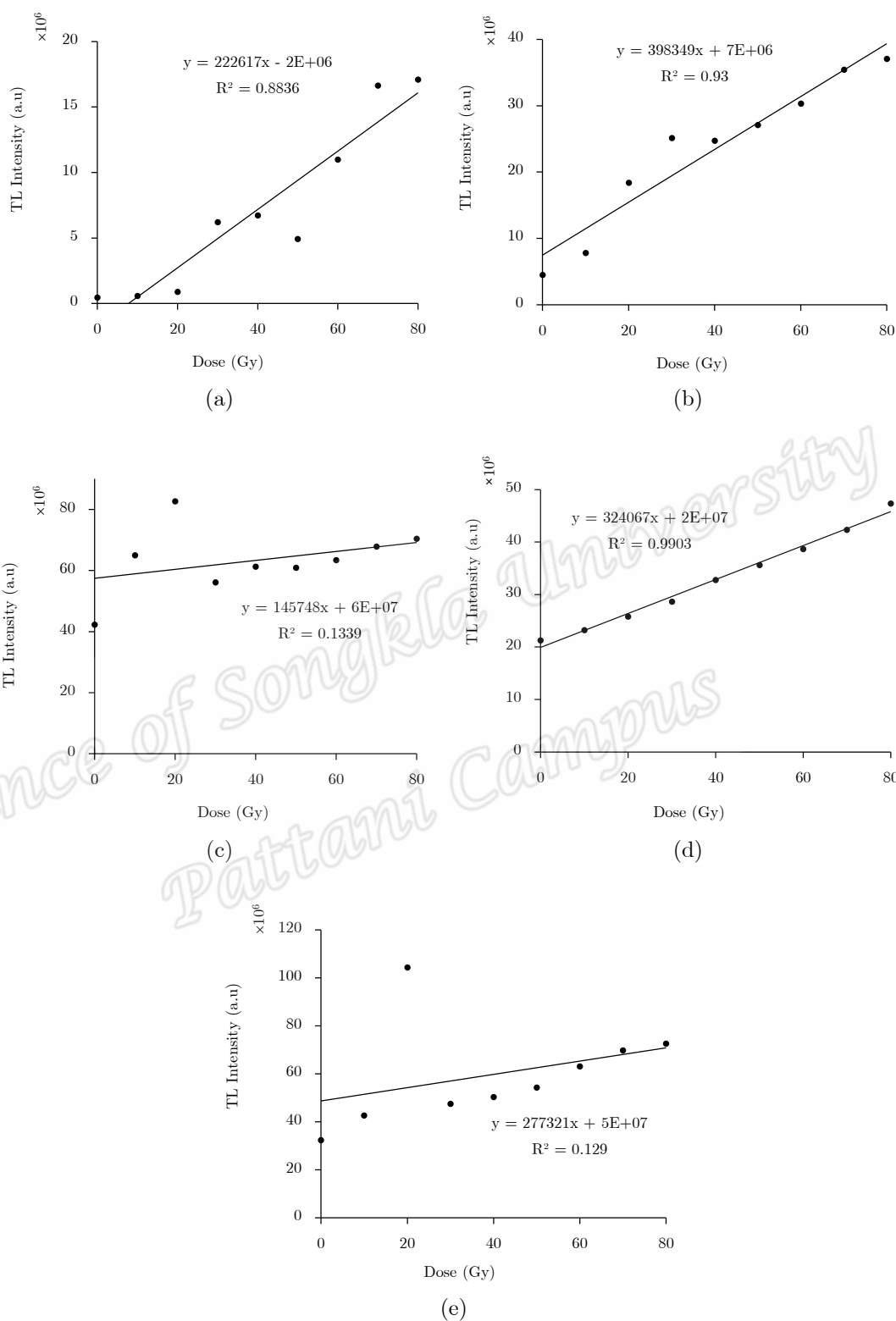
รูปที่ 4.20 สเปกตรัมที่ปรากฏในส่วนแสดงผลของโกลว์เคิร์ฟ ซึ่งมีสเปกตรัมที่แต่ละอุณหภูมิเป็นส่วนประกอบของตัวอย่างดินเผาไฟ

#### 4.7 กราฟเปรียบเทียบมาตรฐาน (Calibration curve)

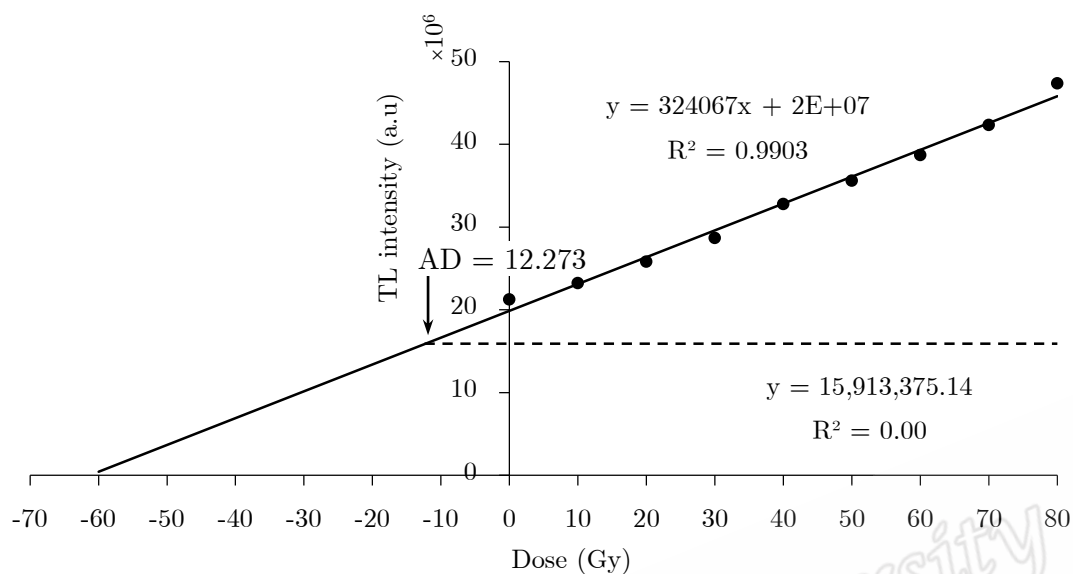
เมื่อนำค่า TL intensity (a.u) ที่แต่ละอุณหภูมิ ซึ่งอ่านได้จากโปรแกรมโกลว์ฟิต เพื่อสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.21 การตอบสนองต่อการรับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ของตัวอย่าง SH1



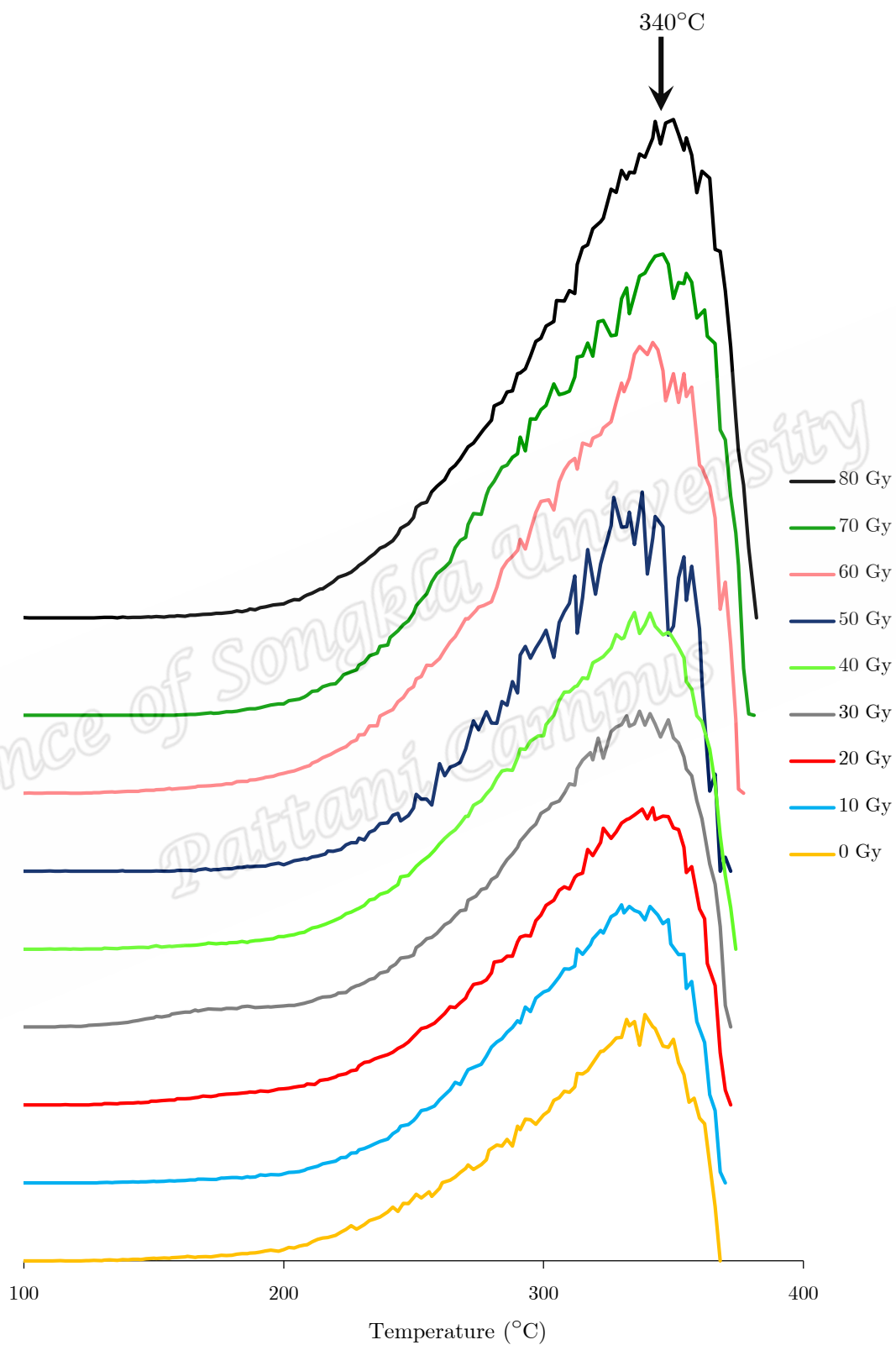
รูปที่ 4.22 ค่า TL Intensity (a.u) ที่แต่ละอุณหภูมิการตอบสนองของตัวอย่าง SH1 เมื่อ (a) 175 °C (b) 250 °C (c) 300 °C (d) 325 °C (e) 350 °C



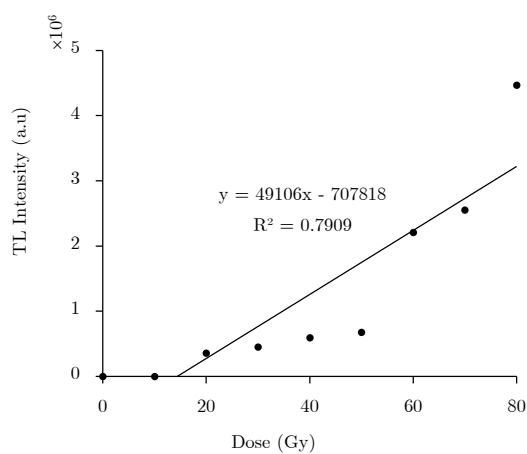
รูปที่ 4.23 ค่า AD ของตัวอย่าง SH1 ที่อุณหภูมิ 325 °C

ตารางที่ 4.9 ค่า TL Intensity ในตัวอย่าง SH1 ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับโดสต่าง ๆ

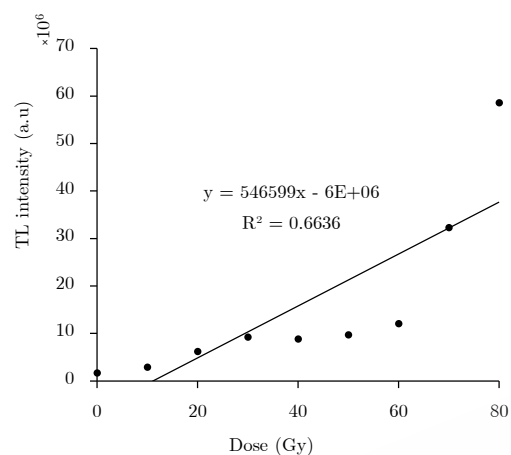
Dose (Gy)	TL Intensity (A.U)				
	175 °C	250 °C	300 °C	325 °C	350 °C
0	460813	4510041	42267073	21251199	32447608
10	596150	7833400	64963600	23216087	42797800
20	898875	18424750	82643750	25802600	104475000
30	6209317	25157700	56088550	28658875	47603399
40	6729250	24737379	61280896	32793400	50485775
50	4925913	27141561	60940178	35591150	54401635
60	10992105	30334498	63393349	38683697	63203206
70	16642297	35457464	67849394	42334950	69863134
80	17092919	37093445	70377273	47348556	72683110



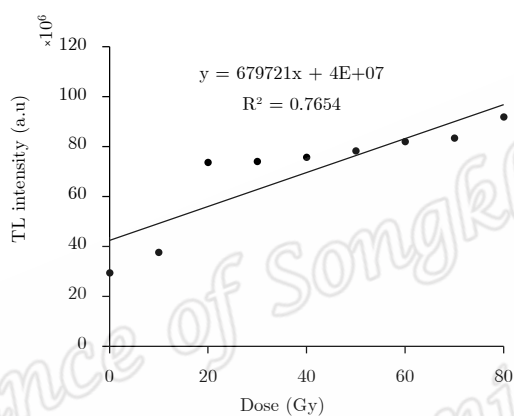
รูปที่ 4.24 การตอบสนองต่อการรับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ของตัวอย่าง SH2



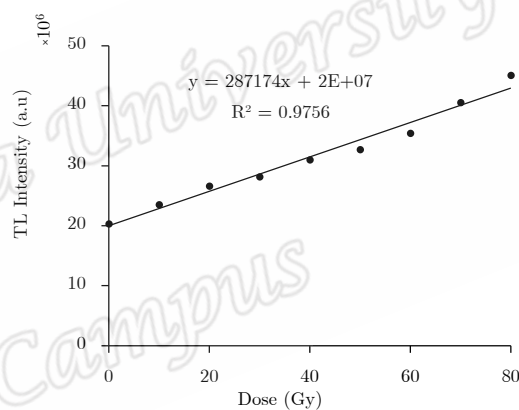
(a)



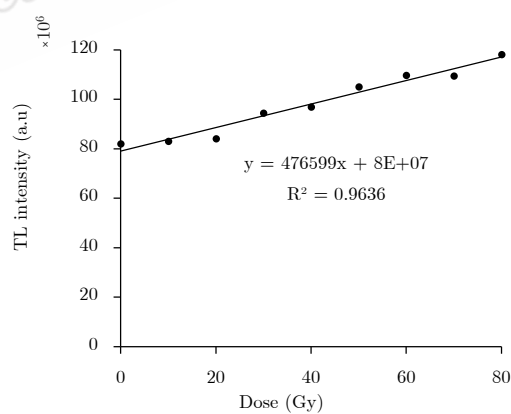
(b)



(c)

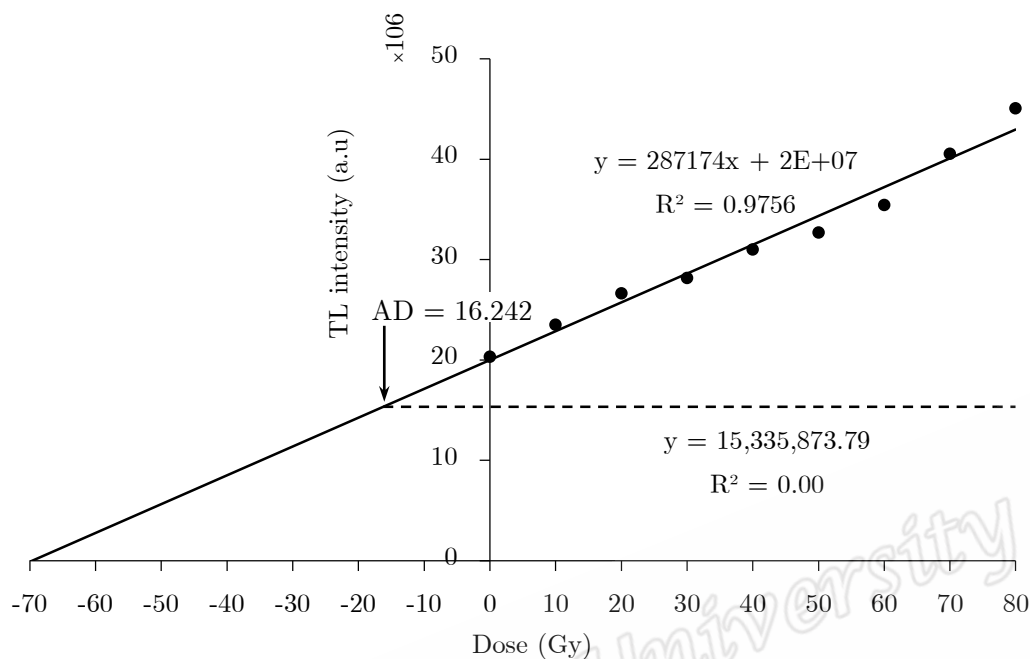


(d)



(e)

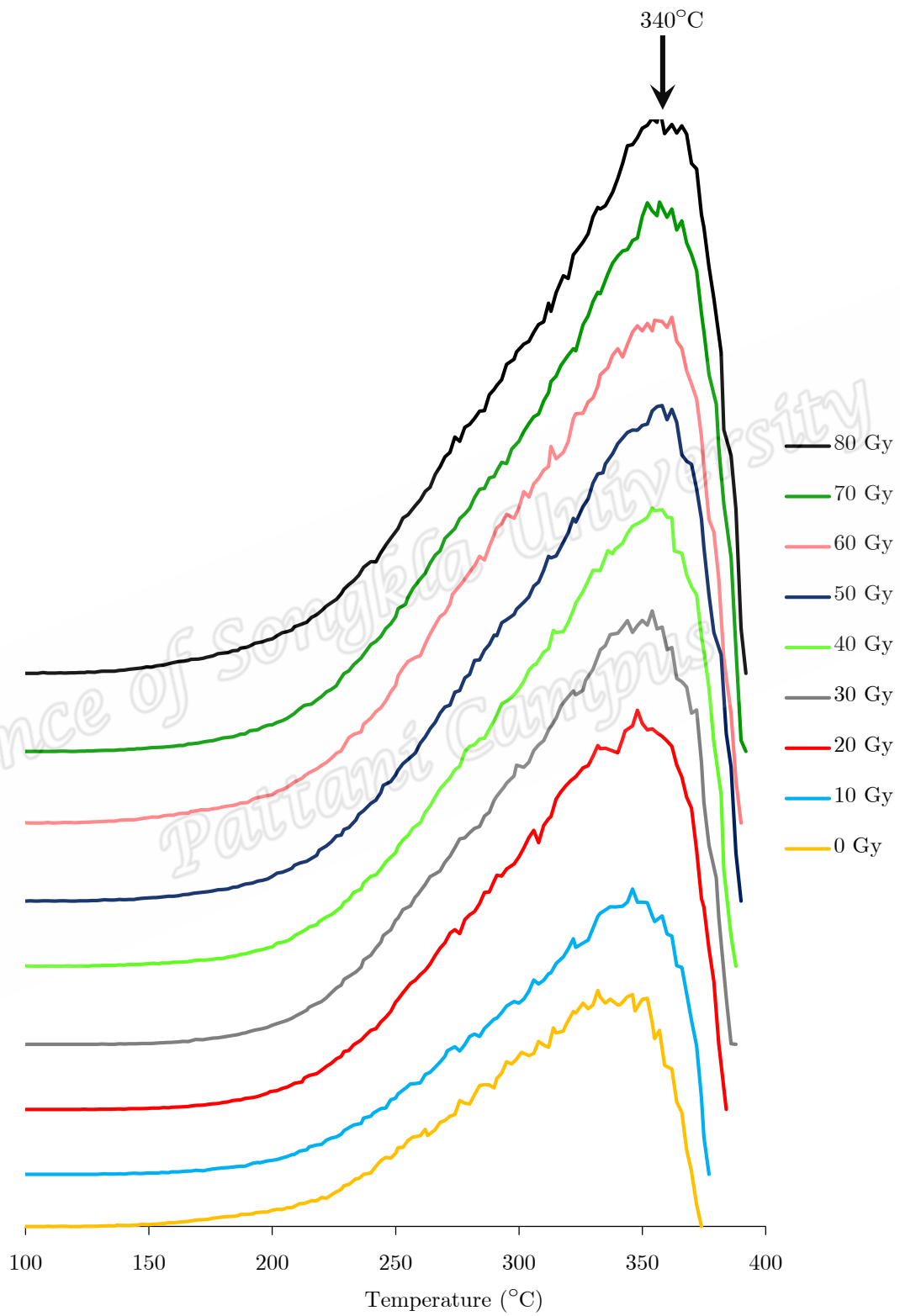
รูปที่ 4.25 ค่า TL Intensity (a.u) ที่แต่ละอุณหภูมิการตอบสนองของตัวอย่าง SH2 เมื่อ (a) 17.5 °C (b) 250 °C (c) 300 °C (d) 325 °C (e) 350 °C



รูปที่ 4.26 ค่า AD ของตัวอย่าง SH2 ที่อุณหภูมิ 325 °C

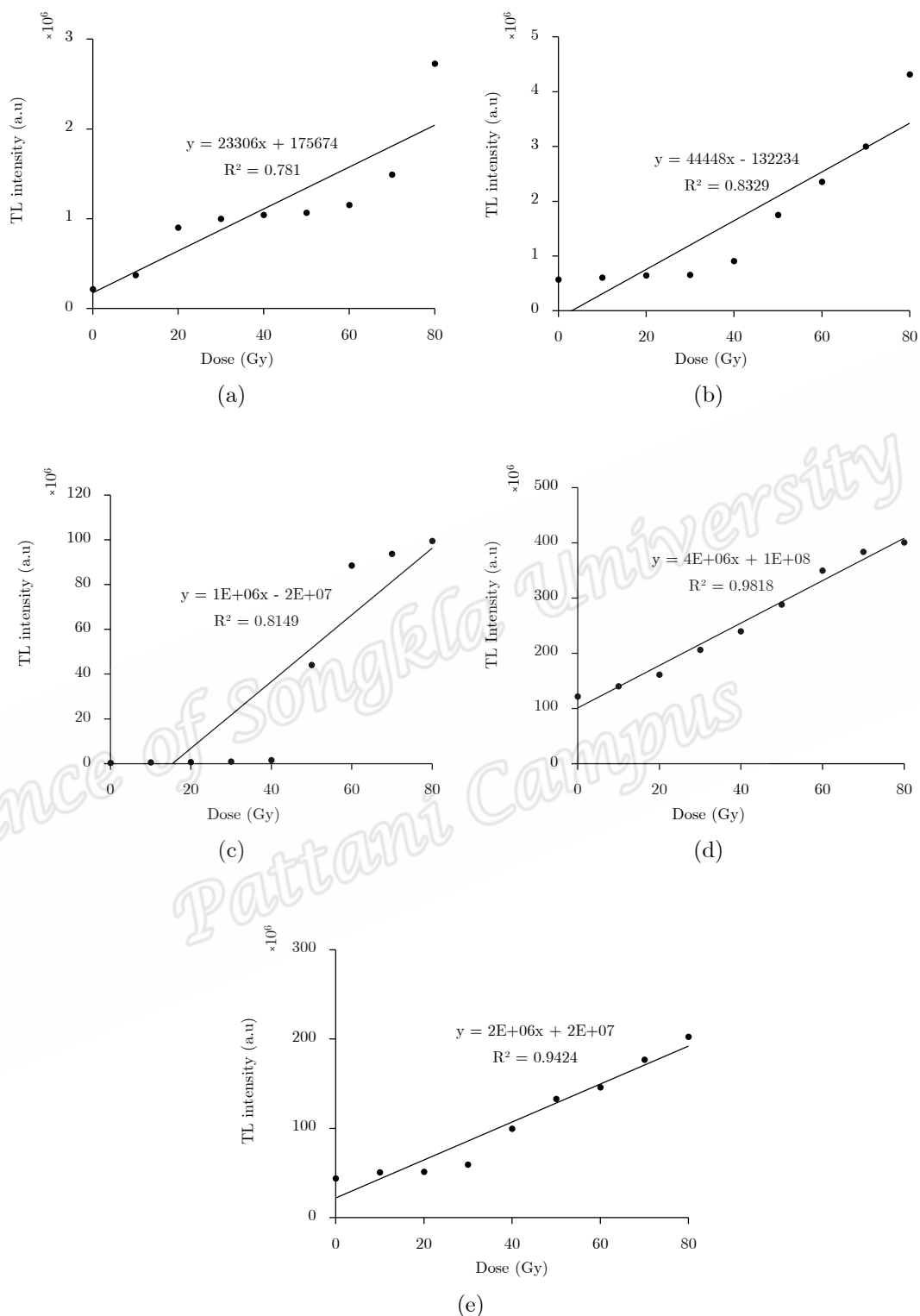
ตารางที่ 4.10 ค่า TL Intensity ในตัวอย่าง SH2 ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับโดสต่าง ๆ

Dose (Gy)	TL Intensity (a.u)				
	175 °C	250 °C	300 °C	325 °C	350 °C
0	49	1695933	29471980	20312558	82030478
10	410	2946200	37713091	23518712	83032615
20	356550	6265400	73742100	26619297	84096315
30	448941	9255174	74032850	28171077	94475920
40	593949	8883922	75744872	31011800	96923365
50	676498	9773364	78299663	32692024	105115850
60	2210195	12077250	82079450	35428069	109735455
70	2554786	32349024	83466269	40549463	109456651
80	4466479	58598134	91879897	45081012	118222786

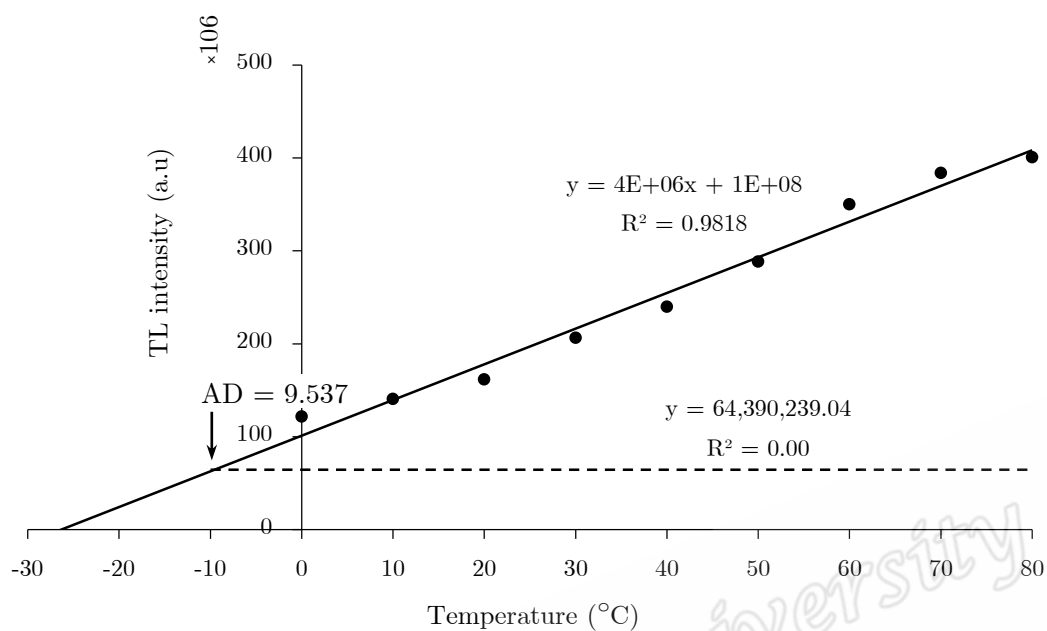


รูปที่ 4.27 การตอบสนองต่อการรับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ของตัวอย่าง SH3





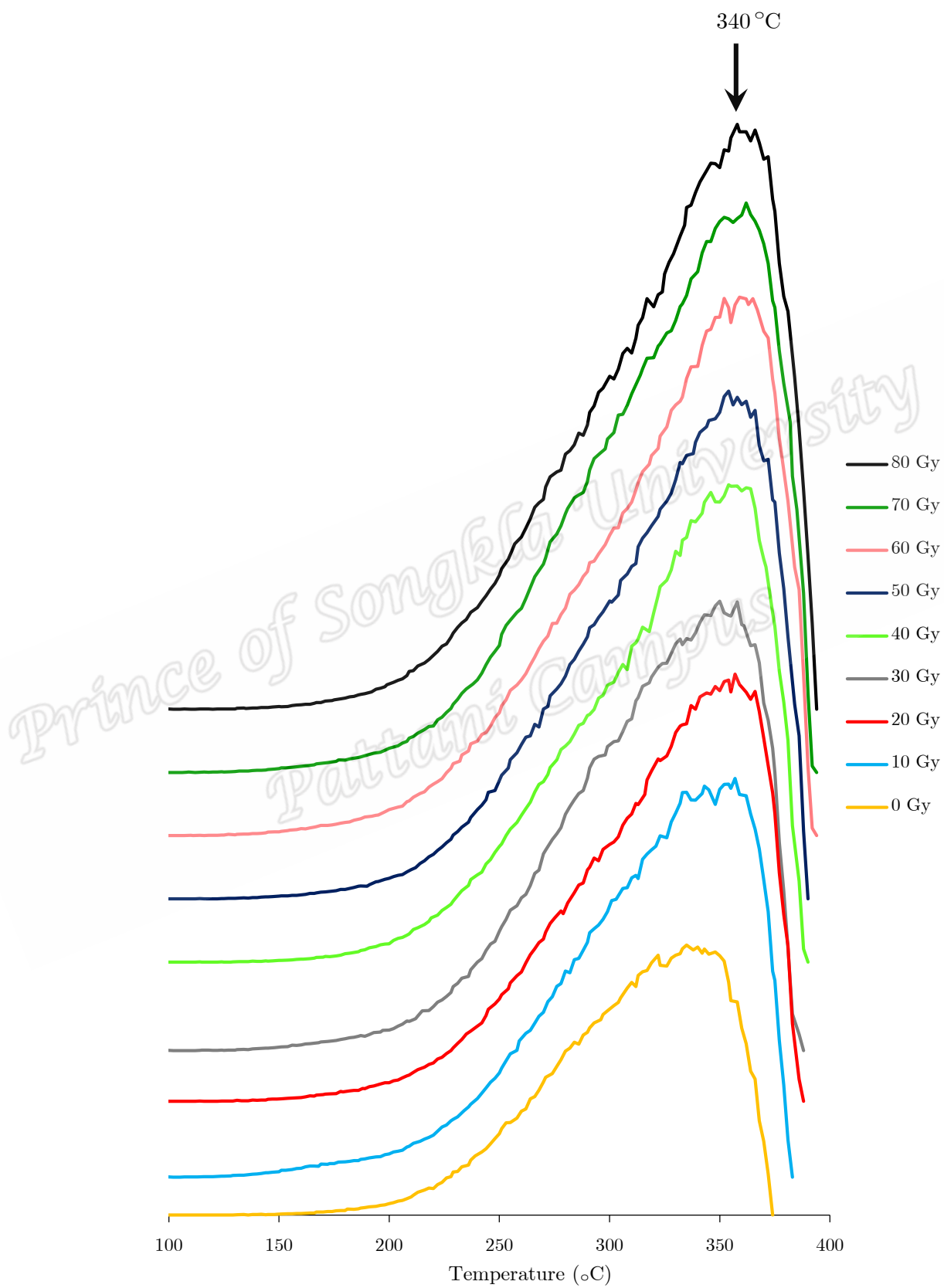
รูปที่ 4.28 ค่า TL Intensity (a.u) ที่แต่ละอุณหภูมิการตอบสนองของตัวอย่าง SH3 เมื่อ (a) 175 °C (b) 250 °C (c) 300 °C (d) 325 °C (e) 350 °C



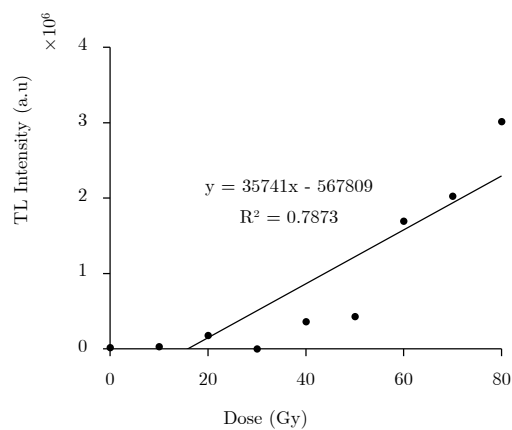
รูปที่ 4.29 ค่า AD ของตัวอย่าง SH3 ที่อุณหภูมิ 325 °C

ตารางที่ 4.11 ค่า TL Intensity ในตัวอย่าง SH3 ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับโดสต่าง ๆ

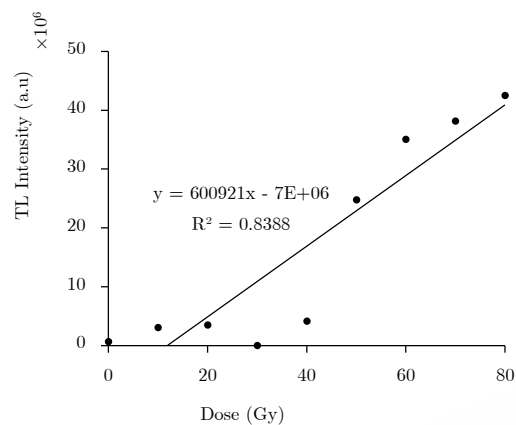
Dose (Gy)	TL Intensity (a.u)				
	175 °C	250 °C	300 °C	325 °C	350 °C
0	213836	572536	345962	121760985	44110597
10	373423	604126	634179	140432488	50847699
20	902392	648289	659852	161554903	51531200
30	998383	657114	923500	206249268	59367192
40	1042100	906755	1539118	239693422	99469690
50	1067612	1751244	44083951	288517885	133058548
60	1153029	2354729	88557129	350013399	145825214
70	1492696	3001208	93628738	384039327	176874275
80	2727585	4315171	99460746	400776439	202510435



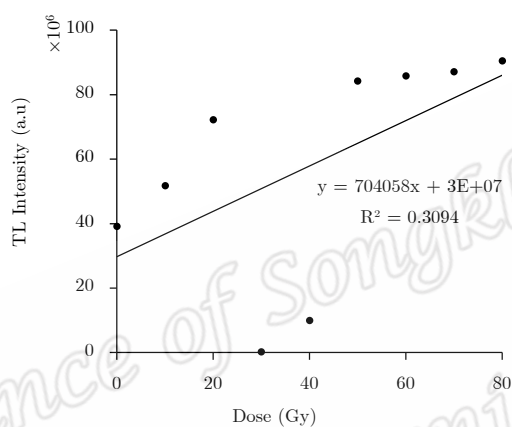
รูปที่ 4.30 การตอบสนองต่อการรับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ของตัวอย่าง SH4



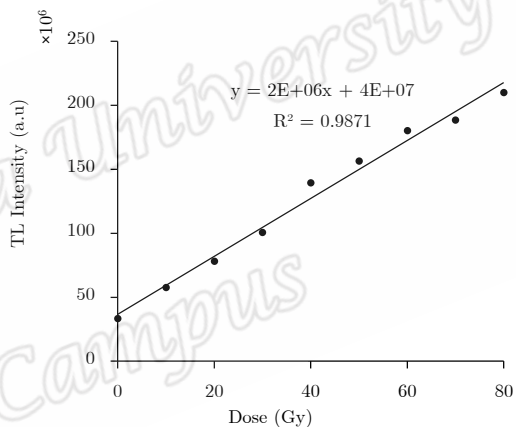
(a)



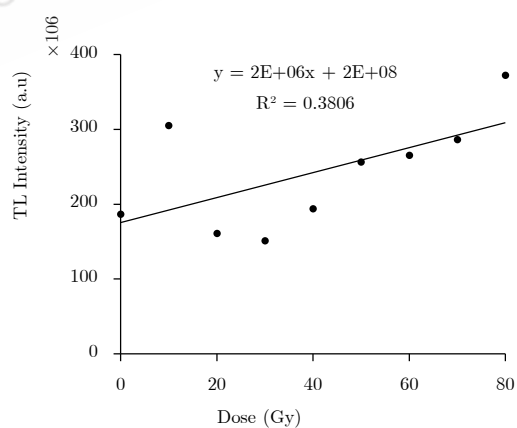
(b)



(c)

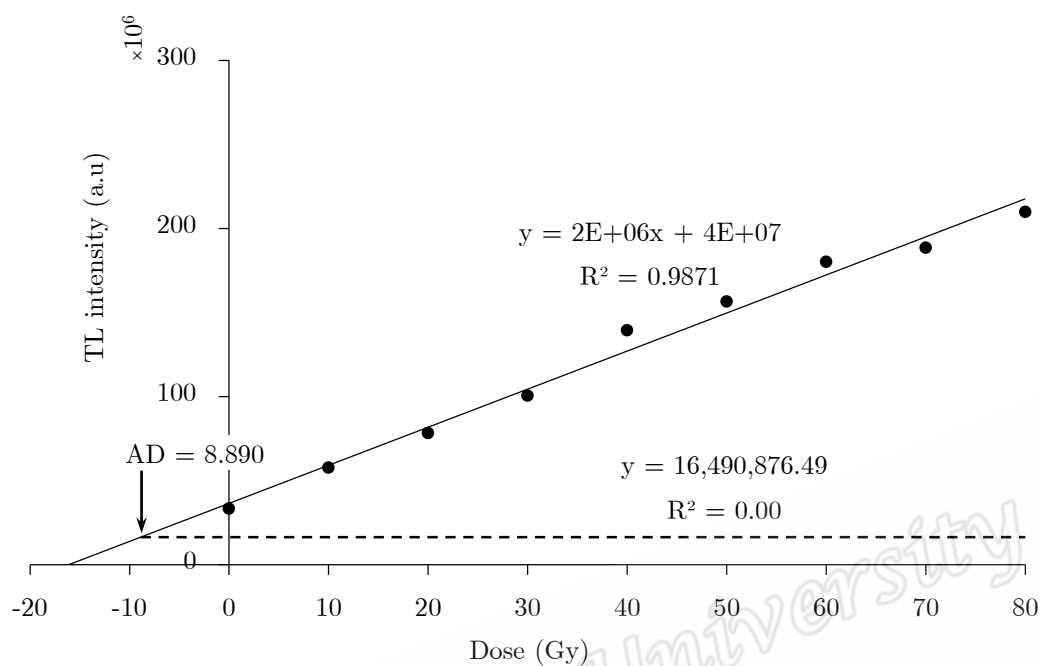


(d)



(e)

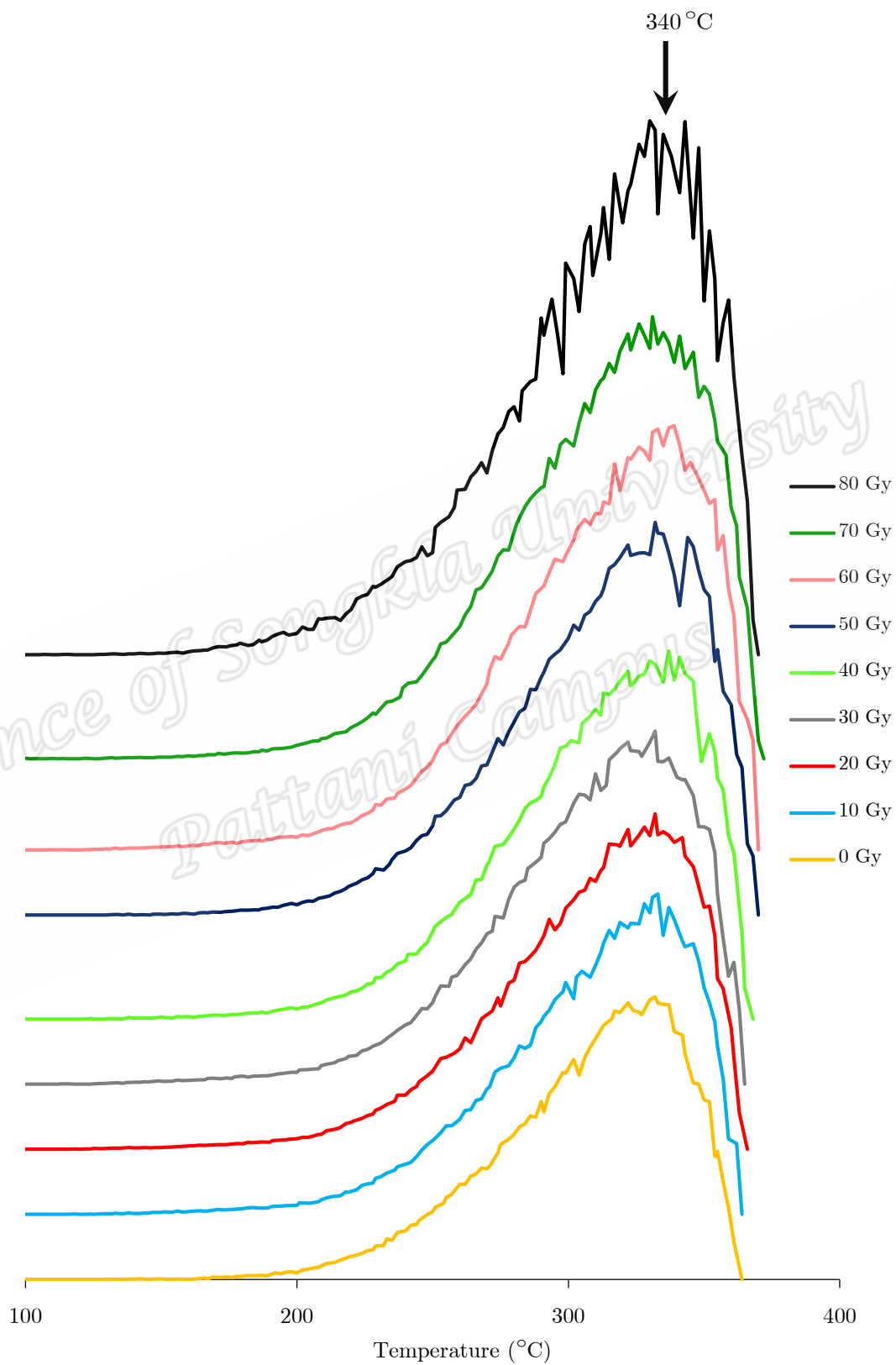
รูปที่ 4.31 ค่า TL Intensity (a.u.) ที่แต่ละอุณหภูมิการตอบสนองของตัวอย่าง SH4 เมื่อ (a) 175 °C (b) 250 °C (c) 300 °C (d) 325 °C (e) 350 °C



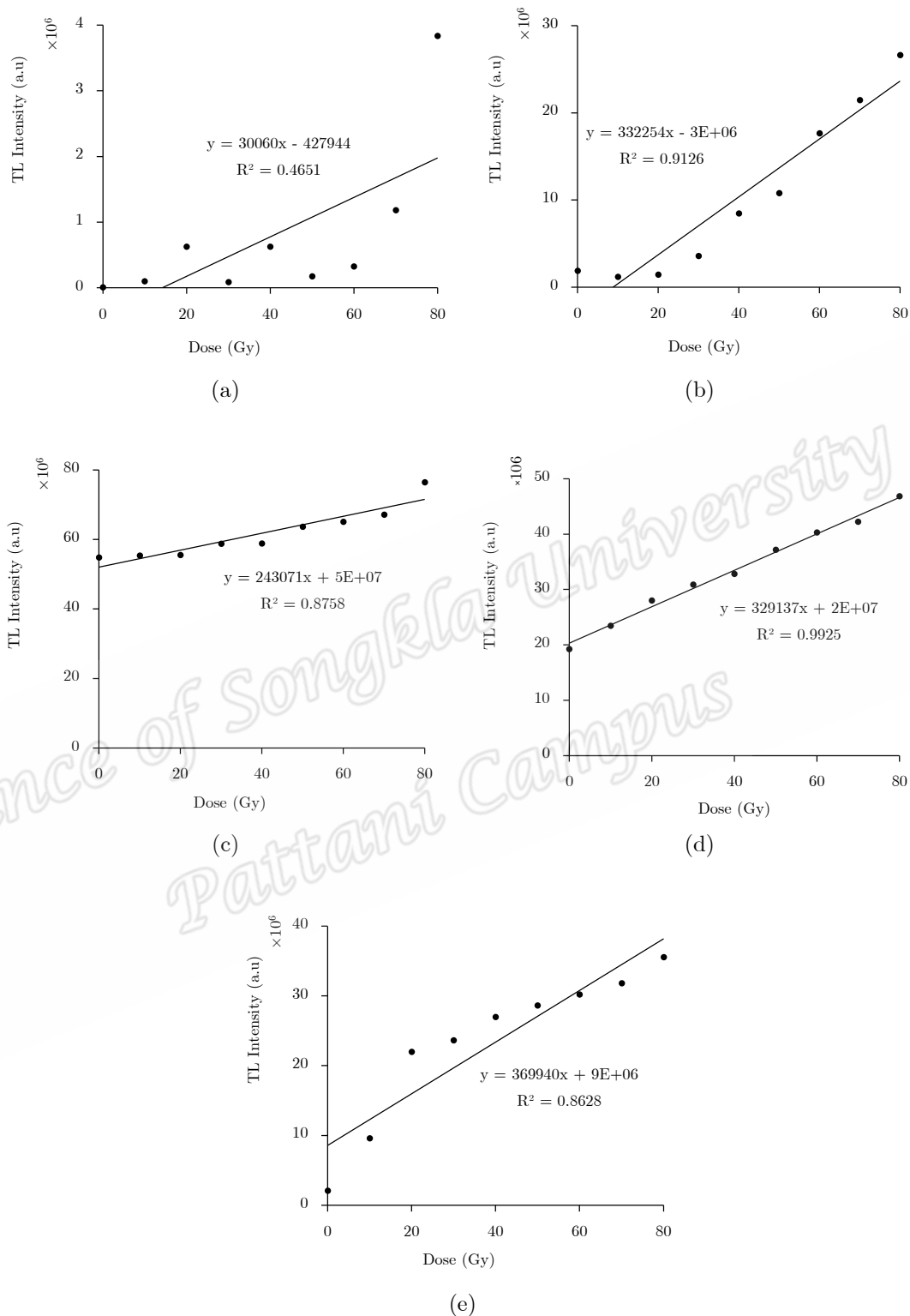
รูปที่ 4.32 ค่า AD ของตัวอย่าง SH4 ที่อุณหภูมิ 325 °C

ตารางที่ 4.12 ค่า TL Intensity ในตัวอย่าง SH4 ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับโดสต่าง ๆ

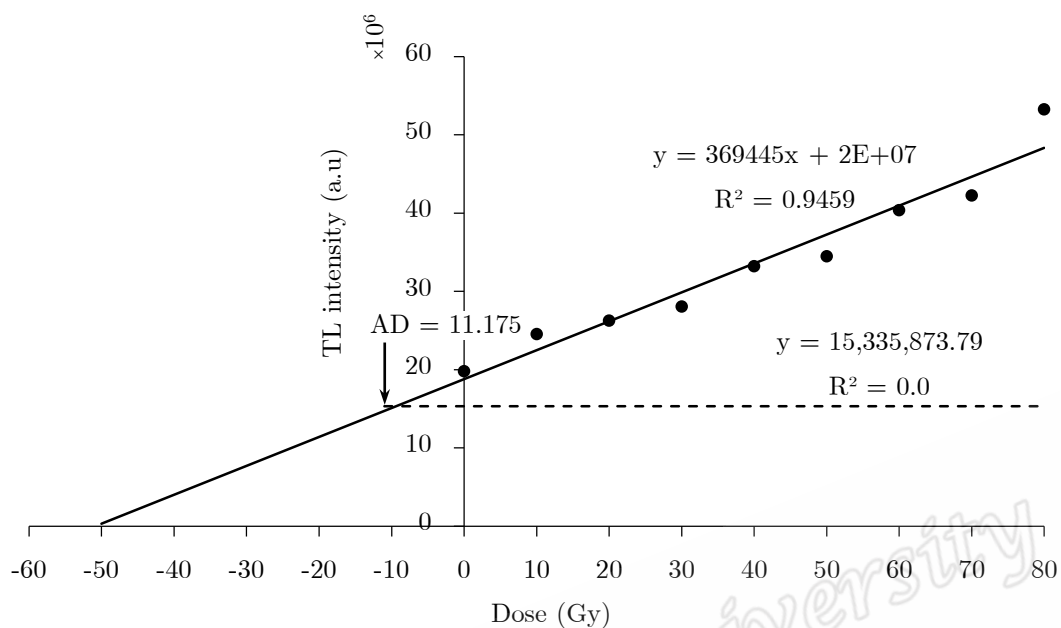
Dose (Gy)	TL Intensity (a.u)				
	175 °C	250 °C	300 °C	325 °C	350 °C
0	15600	703902	39191100	33360050	187008927
10	32000	3083250	51809366	57685465	305333368
20	178134	3524146	72231250	78297253	161392010
30	437	1165	191699	100671900	151575146
40	362947	4183932	9948571	139503773	194249726
50	430485	24790790	84215371	156569612	256843100
60	1695667	35116800	85815050	180214300	265565417
70	2027159	38182289	87145672	188566741	286691411
80	3014142	42524030	90499710	209932608	372790239



รูปที่ 4.33 การตอบสนองต่อการรับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ของตัวอย่าง SH5



รูปที่ 4.34 ค่า TL Intensity (a.u) ที่แต่ละอุณหภูมิการตอบสนองของตัวอย่าง SH5 เมื่อ (a) 175 °C (b) 250 °C (c) 300 °C (d) 325 °C (e) 350 °C

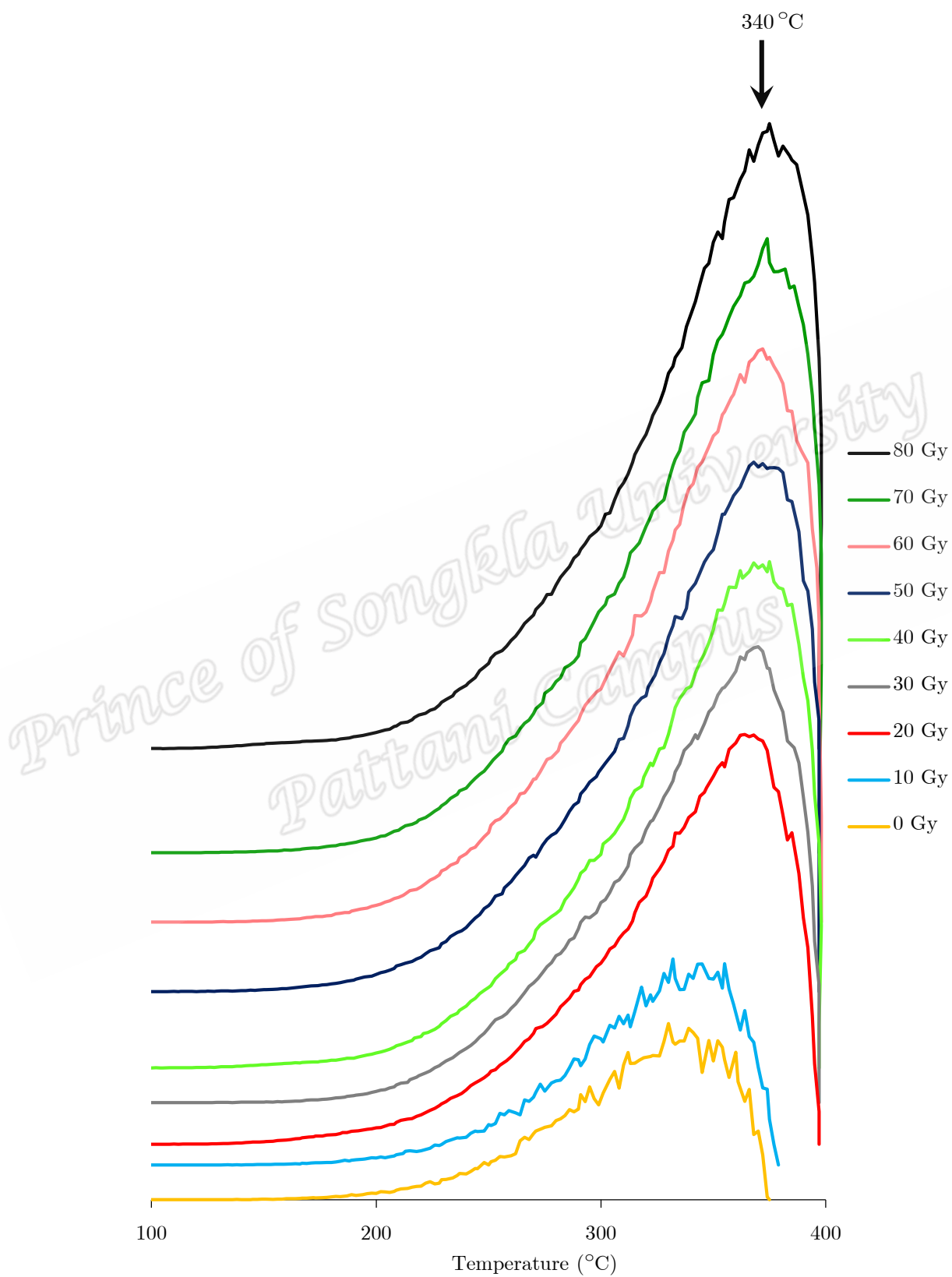


รูปที่ 4.35 ค่า AD ของตัวอย่าง SH5 ที่อุณหภูมิ 325 °C

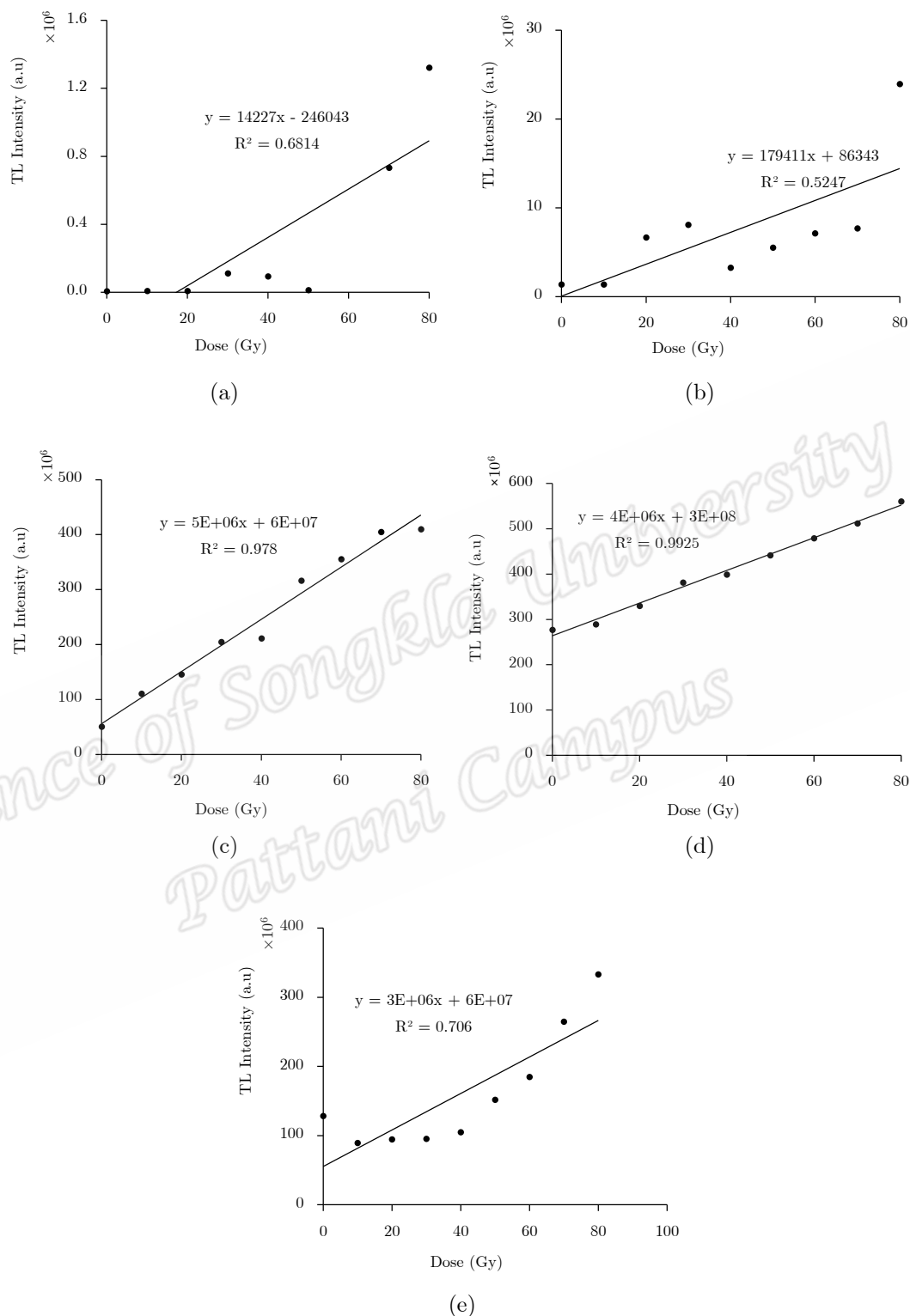
ตารางที่ 4.13 ค่า TL Intensity ในตัวอย่าง SH5 ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับโดสต่าง ๆ

Dose (Gy)	TL Intensity (a.u)				
	175 °C	250 °C	300 °C	325 °C	350 °C
0	8708	1881053	54874850	19263039	2087703
10	100415	1207273	55393301	23501005	9583349
20	627500	1436908	55551889	28033828	21996147
30	87150	3594018	58774015	30909087	23619487
40	628043	8459400	58853014	32828469	26963650
50	176690	10779800	63709130	37221029	28603800
60	323200	17665900	65152871	40341450	30196507
70	1182297	21462300	67168038	42239408	31826750
80	3836034	26616986	76470239	46848050	35549850

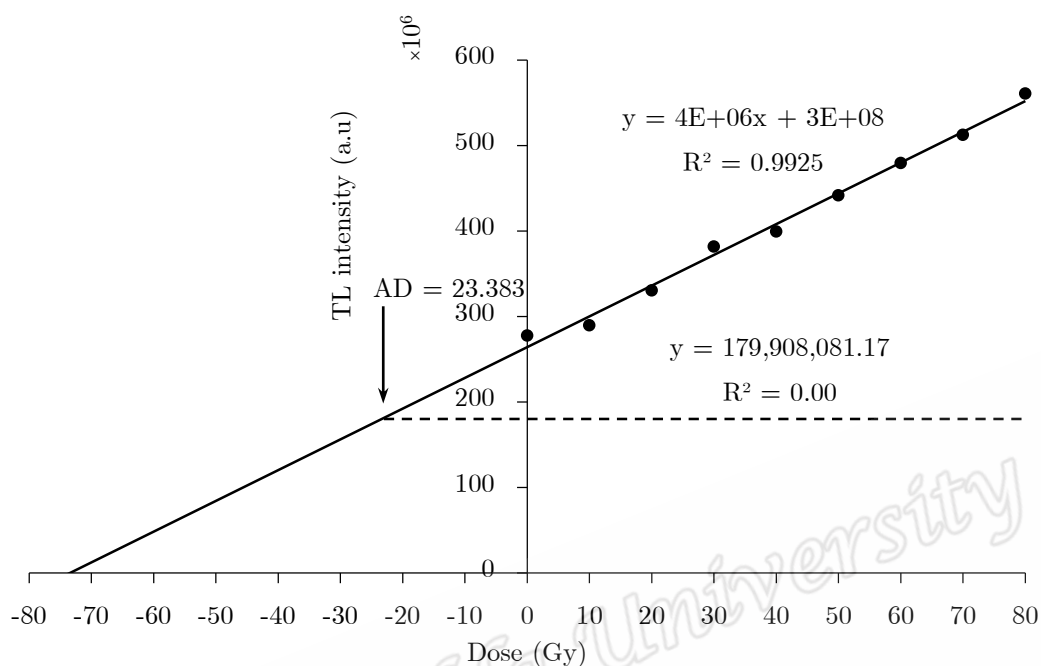




รูปที่ 4.36 การตอบสนองต่อการรับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ของตัวอย่าง SH6



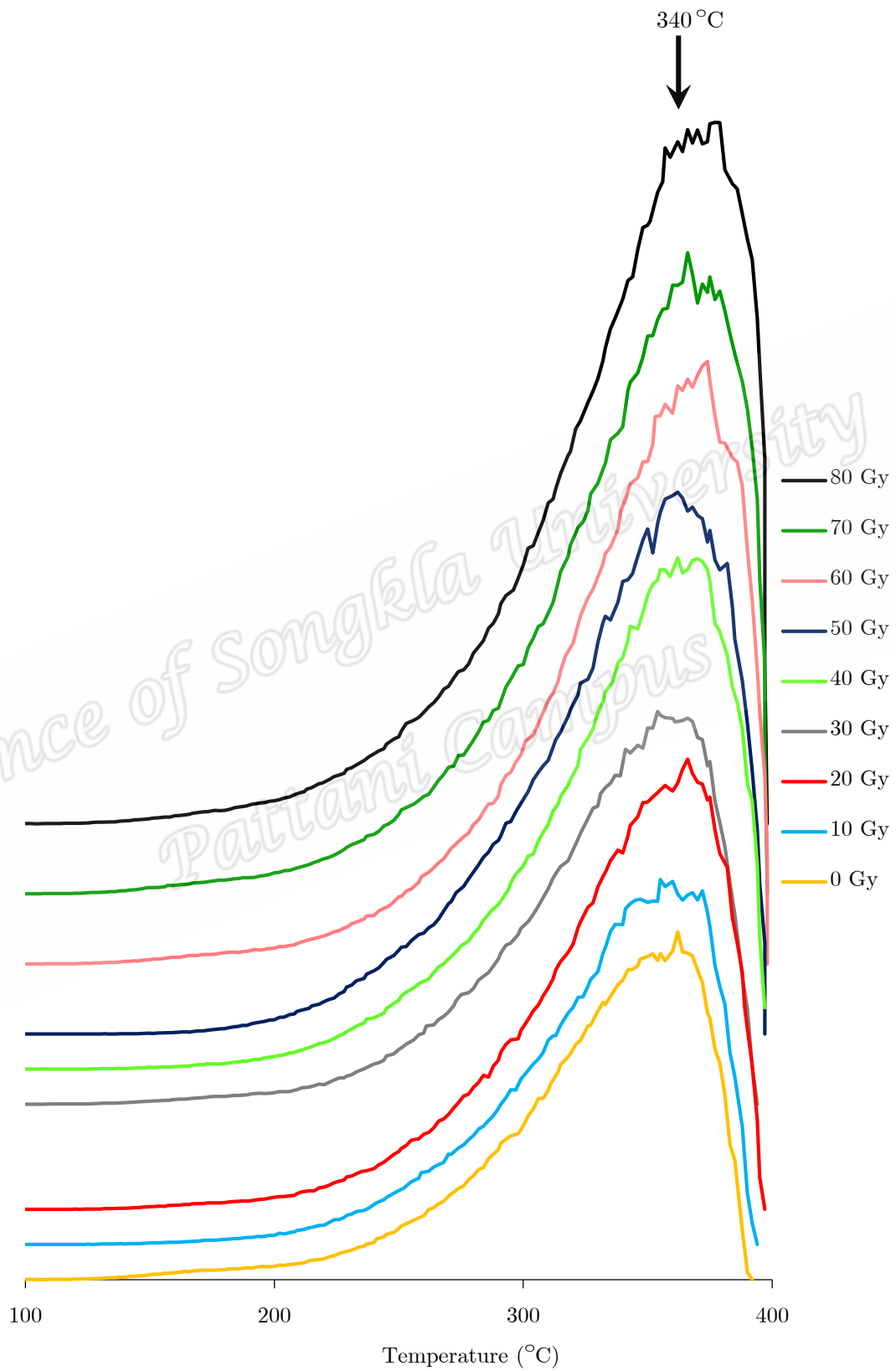
รูปที่ 4.37 ค่า TL Intensity (a.u) ที่แต่ละอุณหภูมิการตอบสนองของตัวอย่าง SH6 เมื่อ (a) 175 °C (b) 250 °C (c) 300 °C (d) 325 °C (e) 350 °C



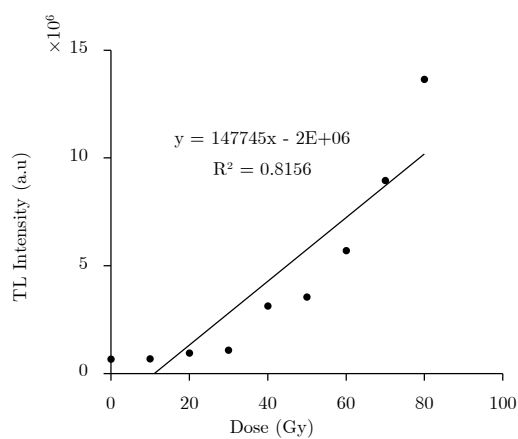
รูปที่ 4.38 ค่า AD ของตัวอย่าง SH6 ที่อุณหภูมิ 325°C

ตารางที่ 4.14 ค่า TL Intensity ในตัวอย่าง SH6 ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับโดสต่าง ๆ

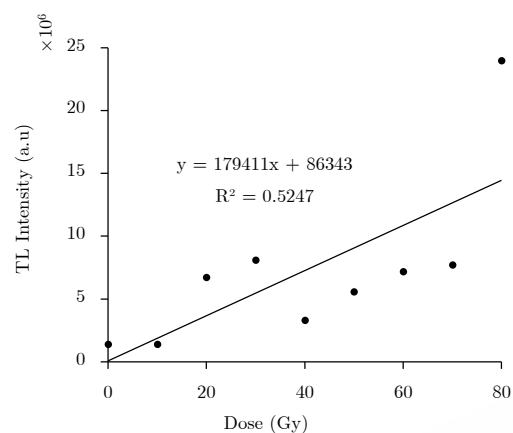
Dose (Gy)	TL Intensity (a.u)				
	175 °C	250 °C	300 °C	325 °C	350 °C
0	6863	2508230	157671250	277433750	88268373
10	8756	2546535	180463168	289375311	92506950
20	9015	6576373	198782836	330274314	97986378
30	111953	7525598	180463168	381798317	96438408
40	94080	13414358	273694257	399440237	104725387
50	12731	0	293224925	441605970	109564484
60	0	13414358	321799330	479382050	107190942
70	733614	16299977	356011436	512263350	106110151
80	1322829	32460199	362748529	560605237	114338377



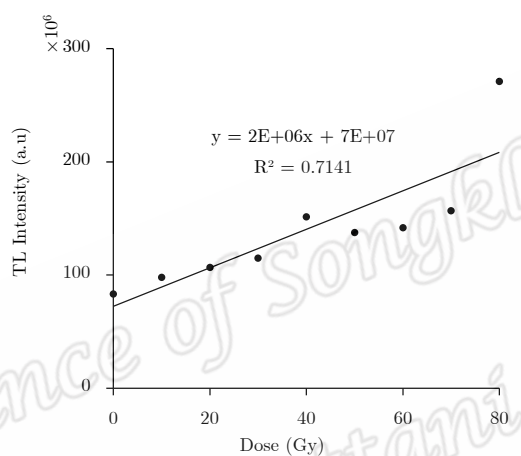
รูปที่ 4.39 การตอบสนองต่อการรับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ของตัวอย่าง SH7



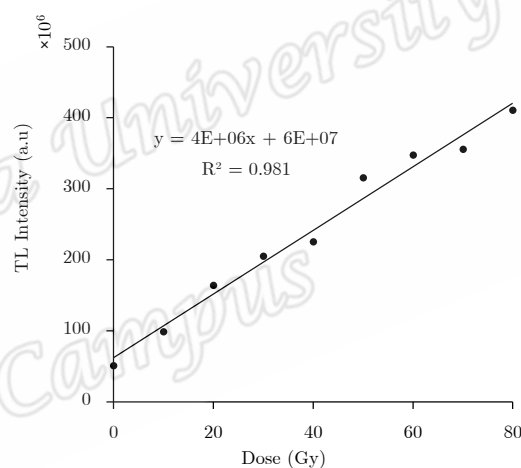
(a)



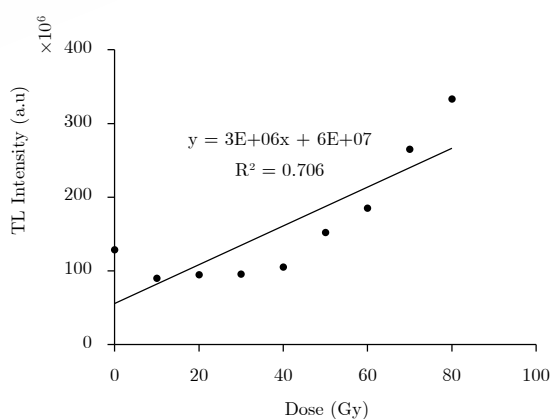
(b)



(c)

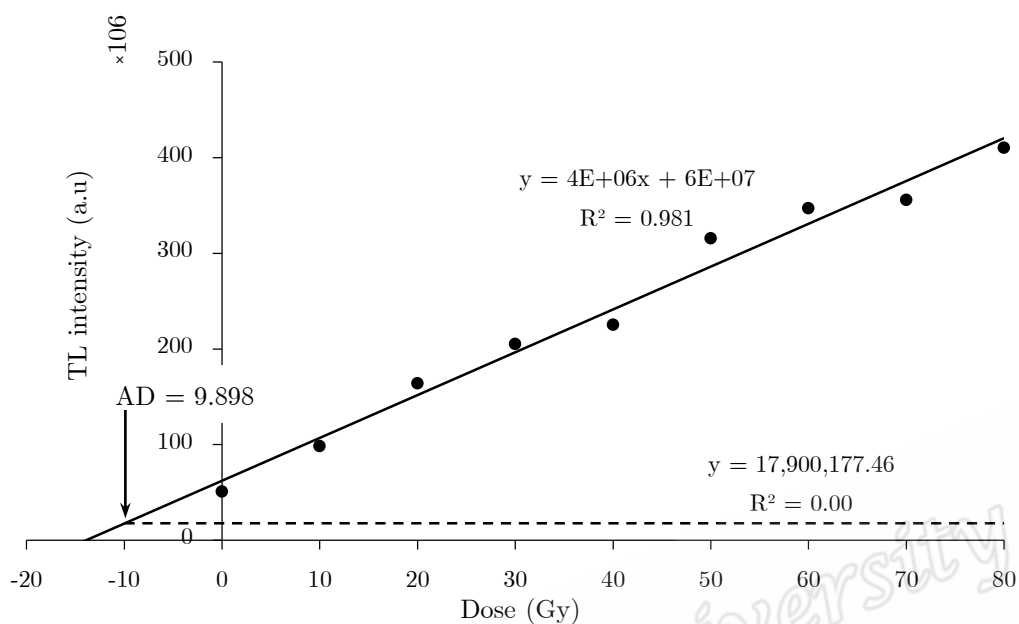


(d)



(e)

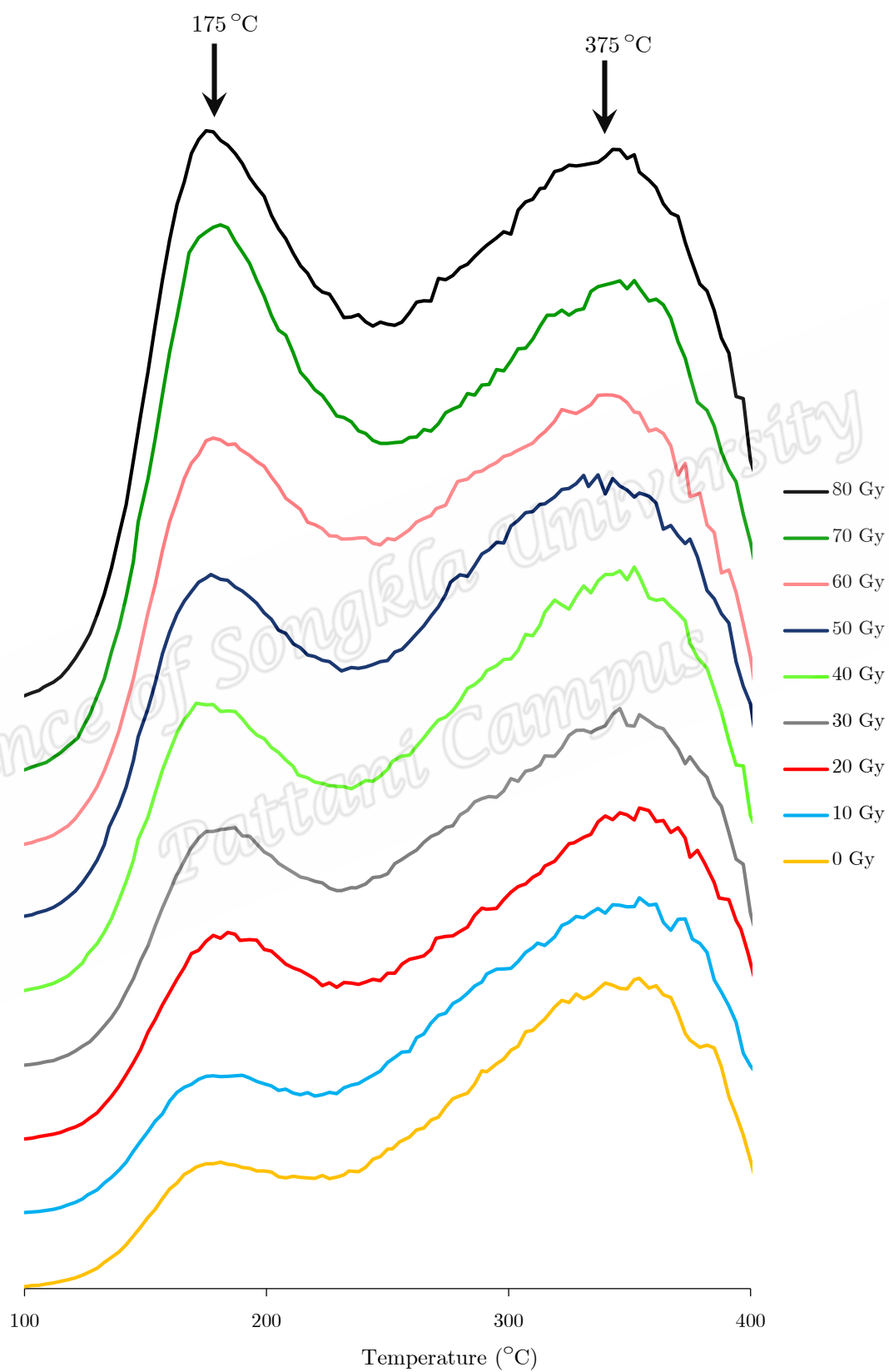
รูปที่ 4.40 ค่า TL Intensity (a.u) ที่แต่ละอุณหภูมิการตอบสนองของ SH7  
เมื่อ (a) 175 °C (b) 250 °C (c) 325 °C (d) 375 °C



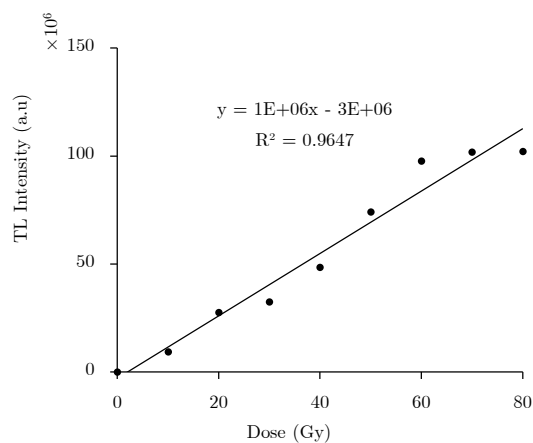
รูปที่ 4.41 ค่า AD ของตัวอย่าง SH7 ที่อุณหภูมิ 325 °C

ตารางที่ 4.15 ค่า TL Intensity ในตัวอย่าง SH7 ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับโดสต่าง ๆ

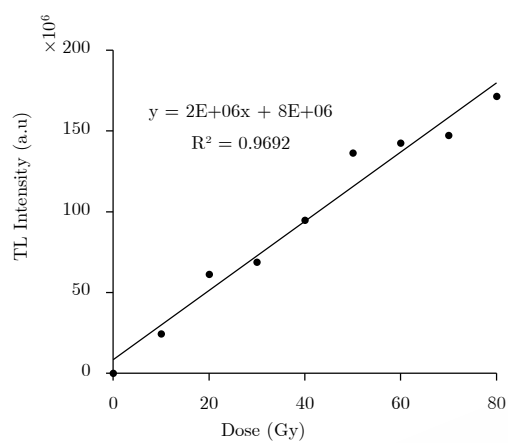
Dose (Gy)	TL Intensity (a.u)				
	175 °C	250 °C	300 °C	325 °C	350 °C
0	687214	1391340	83524433	50781340	128499652
10	693735	1406039	98128606	98342584	89762679
20	958390	6715561	106864709	164024163	94759153
30	1102786	8111095	115009310	205108245	95651739
40	3145248	3306500	151652555	225117179	105046070
50	3557961	5570133	137842794	315604663	151969853
60	5712958	7172967	142083990	347201337	185196552
70	8964585	7709223	157000542	355666938	265012233
80	13654750	23982100	271183750	410293850	333267150



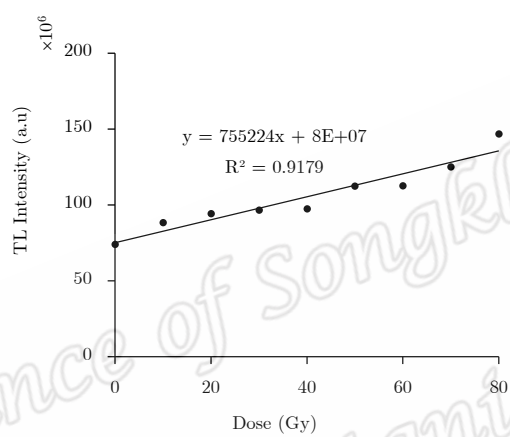
รูปที่ 4.42 การตอบสนองต่อการรับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ของตัวอย่าง F1



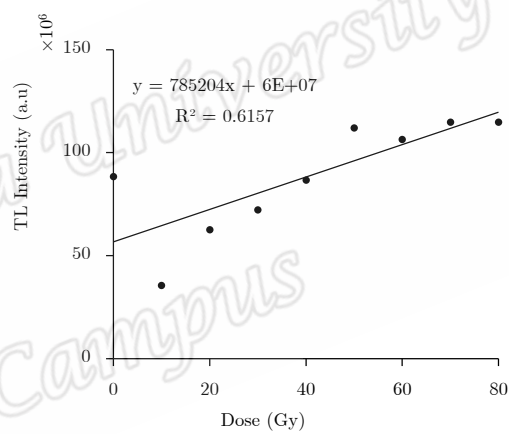
(a)



(b)



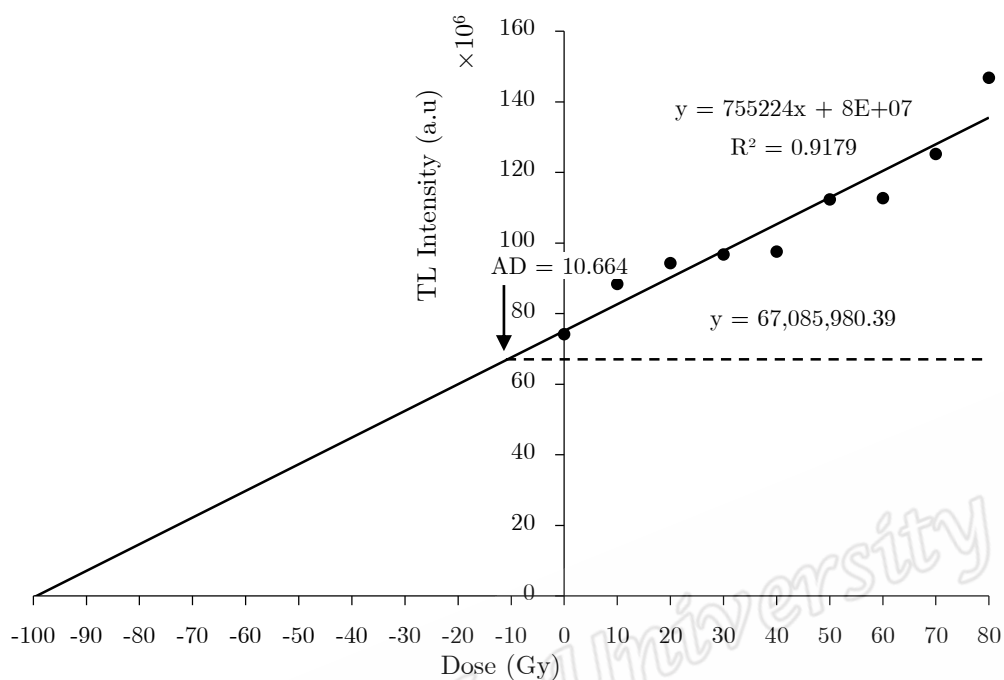
(c)



(d)

รูปที่ 4.43 ค่า TL Intensity (a.u) ที่แต่ละอุณหภูมิการตอบสนองของตัวอย่าง F1 เมื่อ (a) 175 °C (b) 250 °C (c) 325 °C (d) 375 °C

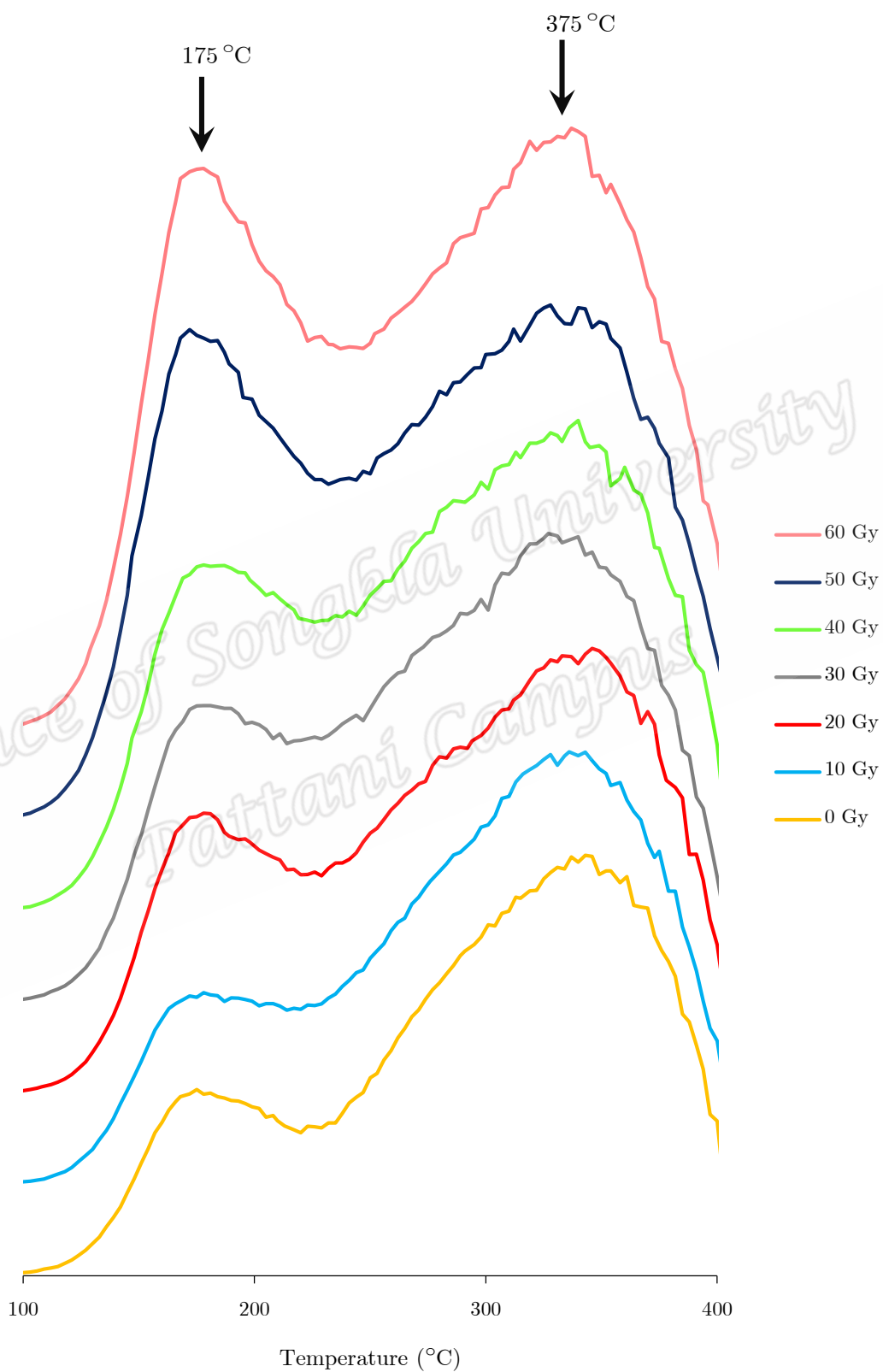




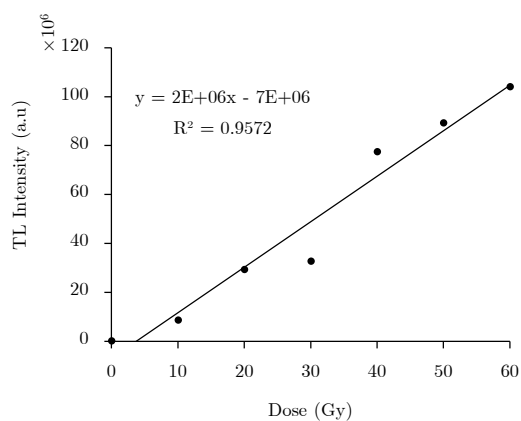
รูปที่ 4.44 ค่า AD ของตัวอย่าง F1 ที่อุณหภูมิ 325 °C

ตารางที่ 4.16 ค่า TL Intensity ในตัวอย่าง F1 ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับโดสต่าง ๆ

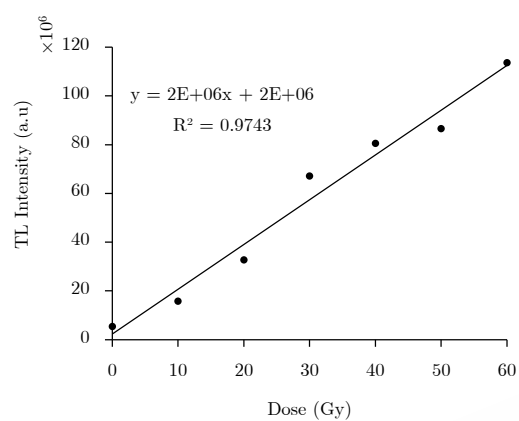
Dose (Gy)	TL Intensity (a.u)			
	175 °C	250 °C	325 °C	375 °C
0	4704	25744	74174236	88467897
10	9285479	24432824	88415196	35534176
20	27560368	61263897	94278128	62571919
30	32453297	68771120	96727921	72312680
40	48520882	94728301	97545637	86669265
50	74202922	136463801	112360637	112012682
60	97641181	142525060	112684660	106441125
70	101862022	147327249	125187510	114873501
80	102146535	171568383	146767147	114884350



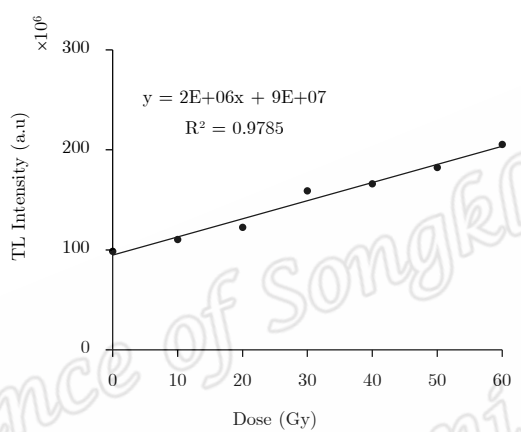
รูปที่ 4.45 การตอบสนองต่อการรับรังสีที่ระดับโดสต่าง ๆ ของตัวอย่าง F2



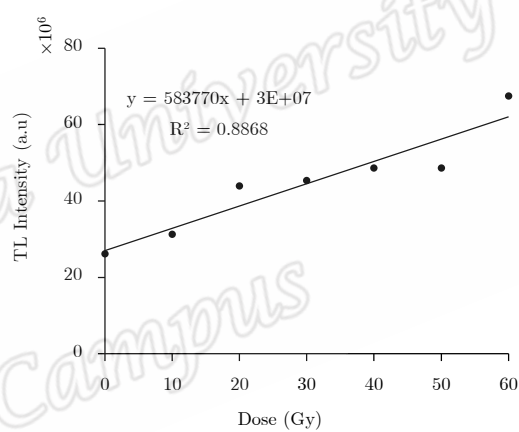
(a)



(b)

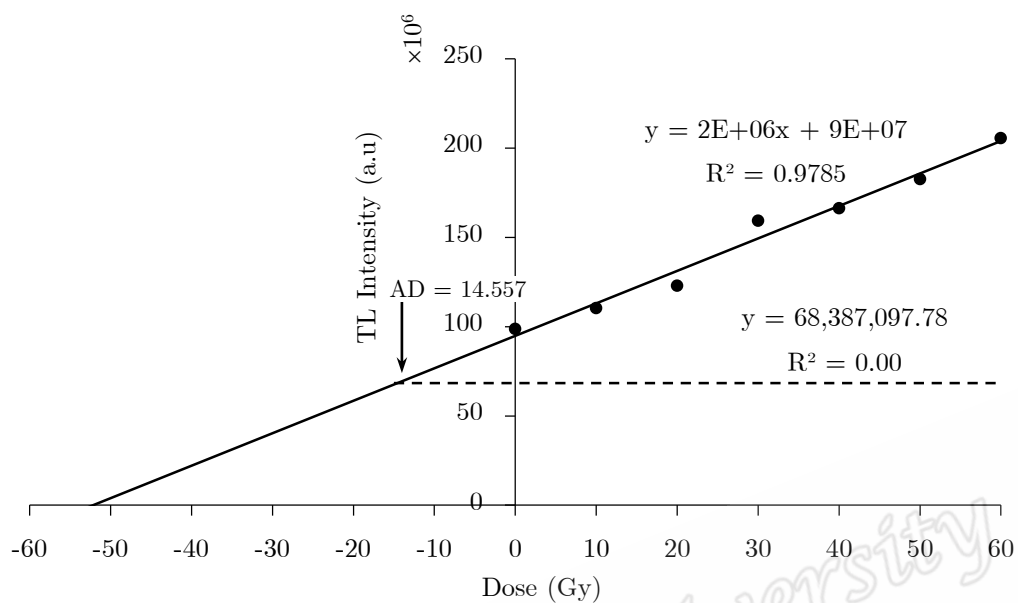


(c)



(d)

รูปที่ 4.46 ค่า TL Intensity (a.u) ที่แต่ละอุณหภูมิการตอบสนองของตัวอย่าง F2 เมื่อ (a) 175 °C (b) 250 °C (c) 325 °C (d) 375 °C



รูปที่ 4.47 ค่า AD ของตัวอย่าง F2 ที่อุณหภูมิ 325 °C

ตารางที่ 4.17 ค่า TL Intensity ในตัวอย่าง F2 ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ระดับโดสต่าง ๆ

Dose (Gy)	TL Intensity (a.u)			
	175 °C	250 °C	325 °C	375 °C
0	188806	5463366	98586070	26142487
10	8728137	15792794	110337761	31254131
20	29387252	32808164	122768634	43970196
30	32763825	67156250	159182780	45346949
40	77613119	80641592	166270198	48633600
50	89310746	86608177	182540594	48633600
60	104106238	113693248	205448155	67486900

#### 4.8 ผลการกำหนดอายุซากหอยน้ำจืดและดินเผาไฟ บริเวณแหล่งโบราณคดีถ้ำเขาหอน จังหวัดสตูล ด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณรังสีสะสมด้วยเทคนิคเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ และปริมาณรังสีต่อปี จากปริมาณยูเรเนียม ทอเรียม และโพแทสเซียม ของตัวอย่างซากหอยน้ำจืดและดินเผาไฟ โดยการอบนิวตรอน เมื่อนำไปคำนวณหาอายุตามสมการที่ (2.45) ได้ผลอายุตามตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 อายุของซากหอยน้ำจืดและดินเผาไฟ บริเวณแหล่งโบราณคดีถ้ำเขาหอน

ตัวอย่าง (ความลึก, cm)	TL Intensity Residual (a.u)	D (mGy/a)	AD (Gy)	อายุ (a)
SH1 (70 – 80)	1.59E+07	3.911 ± 1.041	12.273 ± 0.688	3,138 ± 854
SH2 (70 – 80)	1.53E+07	4.974 ± 1.202	16.242 ± 1.344	3,265 ± 834
SH3 (70 – 80)	6.44E+07	2.849 ± 0.436	9.537 ± 1.123	3,348 ± 647
SH4 (70 – 80)	1.65E+07	2.668 ± 0.202	8.890 ± 1.038	3,332 ± 464
SH5 (80 – 90)	1.74E+07	3.166 ± 0.381	11.175 ± 0.548	3,530 ± 459
SH6 (80 – 90)	1.80E+08	6.772 ± 1.794	23.383 ± 1.031	3,453 ± 927
SH7 (90 – 100)	1.79E+07	2.676 ± 0.376	9.898 ± 1.467	3,698 ± 755
F1 (100 – 110)	6.71E+07	2.841 ± 0.000	10.664 ± 1.312	3,754 ± 462
F2 (150 – 160)	6.84E+07	2.820 ± 0.000	14.557 ± 1.028	5,162 ± 365