

การประเมินอันตรายทางความร้อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่ำ  
โดยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

Evaluation Thermal Hazard of Low Concentration Hydrogen Peroxide  
by Differential Scanning Calorimetry

สุนทรทิพย์ เพ็งโฉม<sup>1</sup> ไม่นาย สุขแสงธรรม<sup>2</sup> ศิริศาสตร์ เอื้อใจ<sup>3</sup> และ โกวิท ปิยะมั่งคลา<sup>4</sup>

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800<sup>1,2,3,4</sup>

E-mail: kowit.p@sci.kmutnb.ac.th<sup>4</sup>

### บทคัดย่อ

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเคมี สลายตัวเมื่อถูกความร้อน มีความไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอินทรีย์และกรดเข้มข้น จึงมักเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดไฟไหม้และระเบิดอย่างรุนแรง ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอันตรายทางความร้อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 10 โดยปริมาตร ด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียสต่อเวลาที่ผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยปริมาตร มีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวทางความร้อนเท่ากับ 95.6, 98.1 และ 101.0 องศาเซลเซียสตามลำดับ และที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวทางความร้อนเท่ากับ 86.2, 90.2 และ 93.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงสลายตัวได้ง่ายกว่าความเข้มข้นต่ำ อุณหภูมิแอดเดียบาติกที่เพิ่มสูงขึ้นจากการสลายตัวมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยต่อการใช้งาน การเก็บรักษาและการขนส่งอย่างปลอดภัย การได้รับรู้

ข้อมูลอันตรายทางความร้อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงถือเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก

### Abstract

Hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) has been widely used in the chemical industry. It was decomposed by heating. Agility to react chemically of hydrogen peroxide was organic compounds or concentrated acids. It was often a major cause fire and explosion severely. In this research, thermal hazard of hydrogen peroxide at concentrations 6 and 10 %v/v were studied by differential scanning calorimetry (DSC). The various tests were conducted by heating rates at 6, 8 and 10 °C/min. The test results showed that hydrogen peroxide concentration of 6% v/v, the onset temperatures were 95.6, 92.1 and 101.0 °C, respectively. At the concentration of 10% v/v, the onset temperatures were 86.2, 90.2 and 93.5 °C, respectively. The experiments showed that high concentration of hydrogen peroxide

decomposed easier than low concentration. Increasing adiabatic temperature from decomposition was still relatively low. To know data, the thermal hazards for hydrogen peroxide were necessary to use, to store and to transport safety.

## 1. บทนำ

สารเคมีทุกชนิดจัดเป็นวัตถุอันตราย (Hazardous material) ซึ่งมีความเป็นอันตรายแตกต่างกัน พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ได้มีการจัดแบ่งวัตถุอันตรายออกเป็น 10 ประเภท ดังต่อไปนี้ วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์และวัตถุเปอร์ออกไซด์ วัตถุมีพิษ วัตถุที่ทำให้เกิดโรค วัตถุกำมันตรังสี วัตถุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม วัตถุกัดกร่อน วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง และวัตถุอย่างอื่นไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์หรือสิ่งแวดล้อม [1]

วัตถุออกซิไดซ์ (Oxidizing substances) หมายถึงวัตถุที่สามารถให้ออกซิเจนออกมาโดยที่วัตถุนั้นไม่จำเป็นต้องเกิดการเผาไหม้ หรือเป็นวัตถุที่ทำให้เกิดขบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) มีผลทำให้วัตถุออกซิไดซ์เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้และการระเบิดอย่างรุนแรง เมื่อมีวัตถุอันตรายชนิดอื่นวางไว้ใกล้เคียง [2] ตัวอย่างวัตถุออกซิไดซ์ได้แก่แอมโมเนียมไนเตรต (Ammonium nitrate,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) แคลเซียมคลอเรต (Calcium chlorate,  $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$ ) โพแทสเซียมไดโครเมท (Potassium dichromate,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) เบน

โซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide,  $\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_4$ ) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide,  $\text{H}_2\text{O}_2$ )

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีสถานะเป็นของเหลวใส มีจุดเดือดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส มีหมู่ฟังก์ชันเป็น  $-\text{O}-\text{O}-$  ซึ่งสลายตัวได้ง่าย เป็นสารออกซิไดซ์อย่างรุนแรง (Strong oxidizing agent) [3] โดยทั่วไปไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 20 เมื่อสัมผัสกับวัตถุที่เผาไหม้ได้ (Combustible material) อาจทำให้เกิดไฟลุกไหม้หรือระเบิดได้ การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดน้ำออกซิเจนและความร้อน [4] การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อาจมีสาเหตุจากการที่มีโลหะจำพวกเหล็ก ทองแดง โคโรเมียม หรือฝุ่นผงของวัตถุที่เผาไหม้ได้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นำมาใช้เป็นสารฟอกขาวในอุตสาหกรรมเส้นใย อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นสารออกซิไดซ์สารตั้งต้นของการผลิตพอลิเมอร์ในอุตสาหกรรมพลาสติก เป็นสารกำจัดกลิ่น ลดความเป็นพิษ ควบคุมปริมาณตะกอนแบคทีเรียในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย [5]

ในขั้นต้นแนวทางในการพิจารณาความเป็นอันตรายทางความร้อนของวัตถุอันตรายประกอบด้วย การพิจารณามูลค่าฟังก์ชันของวัตถุอันตรายที่เป็นวัตถุระเบิด วัตถุอันตรายที่เข้ากันไม่ได้ ใช้จัดเก็บวัตถุอันตรายให้เกิดความปลอดภัย สมดุลออกซิเจน (Oxygen balance) ใช้เป็นดัชนีการปล่อยปริมาณออกซิเจนออกมาจากวัตถุอันตราย โปรแกรม CHETAH ใช้ประเมินความร้อนที่เกิดการสลายตัวของวัตถุอันตรายออกมาปริมาณมากที่สุด ซึ่งสามารถใช้

ประเมินวัตุอันตรายนิตเดียว หรือการเกิดปฏิกิริยาเคมีของวัตุอันตราย [6]

ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์เป็นเครื่องมือวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเคมีสำหรับผลิตพลาสติก นอกจากนี้อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมอาหารและยา ก็มีการใช้งานดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์อย่างแพร่หลาย [7] ข้อมูลที่ได้จากดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ที่มีการนำไปใช้งานโดยทั่วไปประกอบด้วย อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature) อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature,  $T_g$ ) เป็นต้น ในขณะที่ข้อมูลทางด้านความปลอดภัยของวัตุอันตรายก็สามารถวิเคราะห์จากดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ได้เช่นกัน [8] ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว (Onset temperature,  $T_o$ ) อุณหภูมิสูงสุดของการสลายตัว (Maximum temperature,  $T_p$ ) อุณหภูมิสุดท้ายของการสลายตัว (End temperature,  $T_e$ ) ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (Enthalpy change,  $\Delta H$ )

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะศึกษาอันตรายทางความร้อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความเป็นอันตรายค่อนข้างสูง ข้อมูลที่ได้จากการทดลองด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ นำมาอธิบายพลังงานกระตุ้น (Activation energy,  $E_a$ ) และความมีเสถียรภาพทางความร้อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 สารเคมี

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร เกรดวิเคราะห์ ผลิตจากบริษัท Merck นำมาใช้ในการประเมินอันตรายทางความร้อน

### 2.2 การทดลอง

นำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 10 โดยปริมาตร ปริมาณ 5 มิลลิกรัม ใส่ลงใน crucible ชนิด ความดันปานกลาง (Medium crucible pressure) ปิดฝาให้สนิทด้วยชุดอัด crucible จากนั้นนำไปเข้าเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (บริษัท Mettler Toledo รุ่น DSC 1 ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์) โดยใช้โปรแกรม STARe สำหรับดำเนินการทดลอง โดยตั้งสภาวะการทดลองจากอุณหภูมิ 25-125 องศาเซลเซียส เปลี่ยนแปลงอัตราการให้ความร้อนเป็น 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากนั้นประมวลผลหาอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว อุณหภูมิสูงสุดของการสลายตัว และการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

### 3.1 ผลความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

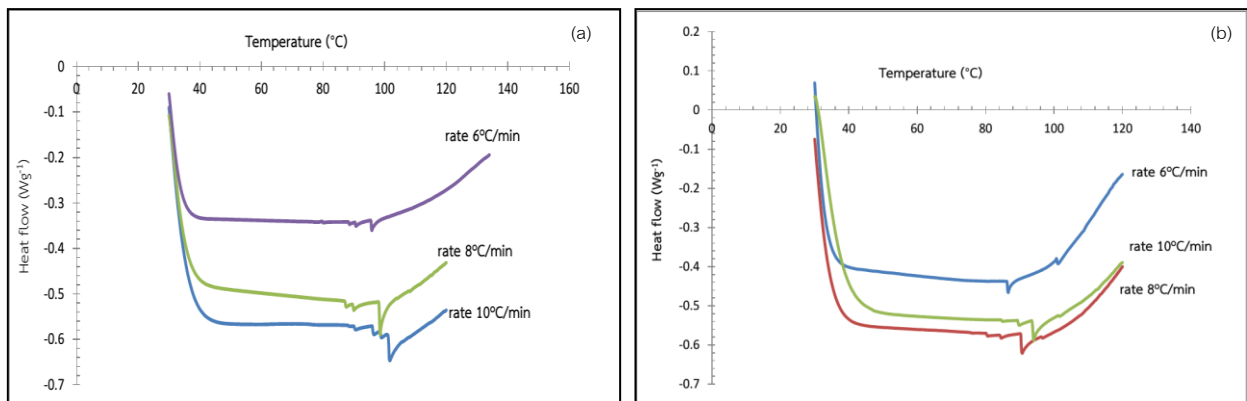
การสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยปริมาตร ภายใต้อัตราการให้ความร้อนที่ 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 1 (a) ผลการทดลองพบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวเท่ากับ 95.6, 98.1 และ 101.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีอุณหภูมิสูงสุดของการสลายตัวเท่ากับ 95.8, 98.5 และ 101.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่การ

เปลี่ยนแปลงเอนทาลปีมีค่าเท่ากับ -64.2, -1.0 และ -0.5 จูลต่อกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ผลการศึกษากการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ที่อัตราการให้ความร้อนที่ 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียสต่ออนาที ดังแสดงในรูปที่ 1 (b) จากผลการทดลองพบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวเท่ากับ 86.2, 90.2 และ 93.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิสูงสุดของการสลายตัวเท่ากับ 86.6, 90.6 และ 94.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีมีค่าเท่ากับ -0.7, -0.9 และ -0.1 จูลต่อกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 งานวิจัยของ Chi และคณะ [9] รายงานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดย

น้ำหนัก มีอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว อุณหภูมิสูงสุดของการสลายตัวเท่ากับ 70 และ 75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีมีค่าเท่ากับ -270 จูลต่อกรัม

เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นพีคการสลายตัวได้ชัดเจน ดังนั้นจึงนำอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งพีคการดูดความร้อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาประเมินอันตรายทางความร้อน แทนพีคการคายความร้อน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการประเมินอันตรายทางความร้อนแทนพีคการคายความร้อนได้ โดยศึกษาหาค่าพลังงานกระตุ้น ความรุนแรงของการสลายตัว และโอกาสในการเกิดระเบิดทางความร้อน



รูปที่ 1 DSC เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น % v/v: (a) 6 และ (b) 10

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางความร้อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

Concentration of H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (% v/v)	Heating rate (°C min <sup>-1</sup> )	T <sub>0</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>E</sub> (°C)	ΔH (J g <sup>-1</sup> )	E <sub>a</sub> (kJ mol <sup>-1</sup> )
6	6	95.6	95.8	96.5	-64.2	95.7
	8	98.1	98.5	100.9	-1.0	
	10	101.0	101.6	104.2	-0.5	
10	6	86.2	86.6	88.2	-0.7	71.9
	8	90.2	90.6	93.8	-0.9	
	10	93.5	94.0	95.3	-0.1	

### 3.2 การหาพลังงานกระตุ้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จากข้อมูลในตารางที่ 1 สามารถคำนวณพลังงานกระตุ้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 10 โดยปริมาตร ได้จากสมการที่ (1) ดังนี้ [10]

$$\log \beta = \log \frac{A E_a}{R\alpha} - 2.315 - \frac{0.4567 E_a}{RT} \quad (1)$$

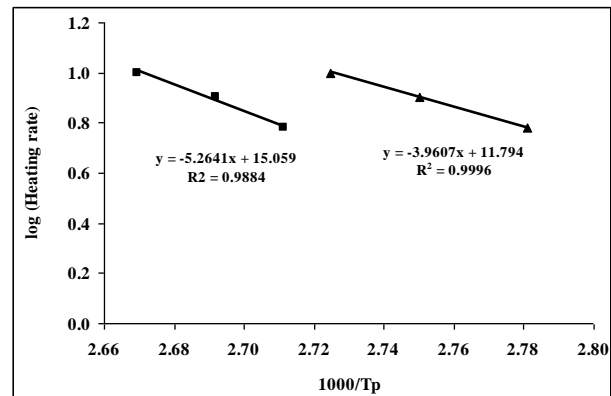
ซึ่งค่าความชันสามารถหาได้จากการพล็อตกราฟจากความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log \beta$  กับ  $1000/T$  ดังนั้นพลังงานกระตุ้นของการสลายตัว สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$-0.4567 \frac{E_a}{R} = \text{Slope} \quad (2)$$

เมื่อ  $\beta$  หมายถึงอัตราการให้ความร้อน (องศาเซลเซียสต่อนาที)  $E_a$  หมายถึงพลังงานกระตุ้น (กิโลจูลต่อโมล)  $A$  หมายถึง Pre-exponential factor (วินาที)  $R$  หมายถึงค่าคงที่แก๊ส (8.3 จูลต่อโมลเคลวิน) และ  $\alpha$  หมายถึงค่าคงที่ (ต่อเคลวิน-วินาที)

ผลการศึกษาพลังงานกระตุ้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 10 โดยปริมาตร ที่อัตราการให้ความร้อนที่ 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log \beta$  กับ  $1000/T_p$  ได้ความชันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 10 โดยปริมาตรมีค่าเท่ากับ -5.2641 และ -3.9607 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 นำมาคำนวณพลังงานกระตุ้นการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 10 โดยปริมาตร ได้เท่ากับ

95.7 และ 71.9 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 อธิบายได้ว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยปริมาตร เกิดปฏิกิริยาได้ยากกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log \beta$  กับ  $1000/T_p$  ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น % v/v: ■ 6 และ ▲ 10

### 3.3 การประเมินความรุนแรงและโอกาสการระเบิดทางความร้อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นภายใต้สภาวะแอดเดียแบติกเขียนได้ดังสมการที่ (3) และเวลาสูงสุดของการระเบิดทางความร้อนภายใต้สภาวะแอดเดียแบติก (Time to maximum rate adiabatic ( $TMR_{ad}$ )) เพื่อใช้ประเมินการเกิดปฏิกิริยาในสถานการณ์ฉุกเฉินที่อาจเกิดขึ้นในอุตสาหกรรมเคมีจากการทำปฏิกิริยาทางความร้อนเขียนได้ดังสมการที่ (4) [11]

$$\Delta T_{ad} = \frac{-\Delta H}{C_p} \quad (3)$$

$$TMR_{ad} = \frac{C_p R T_o^2}{q_o E_a} \quad (4)$$

เมื่อ  $\Delta T_{ad}$  หมายถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นภายใต้สภาวะแอดีบาติก (เคลวิน)  $\Delta H$  หมายถึงการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (จุลต่อโมล)  $C_p$  หมายถึงความจุความร้อนเฉลี่ยของสารผลิตภัณฑ์ผสม (จุลต่อโมล-เคลวิน)  $c_0$  หมายถึงกำลังทางความร้อนจำเพาะของปฏิกิริยาการสลายตัว (วัตต์ต่อกิโลกรัม) และ  $T_0$  หมายถึงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว (เคลวิน)

ค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นภายใต้สภาวะแอดีบาติก บ่งบอกถึงความรุนแรง (Impact) ของการสลายตัว ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นภายใต้สภาวะแอดีบาติก ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยปริมาตร ที่อัตราการให้ความร้อน 6, 8 และ 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 15.7, 0.2 และ 0.1 เคลวิน ตามลำดับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นภายใต้สภาวะแอดีบาติกเท่ากับ 0.2, 0.2 และ 0.1 เคลวิน ตามลำดับ

ในขณะที่เวลาสูงสุดของการระเบิดทางความร้อนภายใต้สภาวะแอดีบาติก บ่งบอกถึงโอกาส (Probability) ในการเกิดของปฏิกิริยาที่ไม่สามารถควบคุมได้ แสดงในตารางที่ 2 พบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยปริมาตร มีเวลาสูงสุดของการระเบิดทางความร้อนภายใต้สภาวะแอดีบาติกเท่ากับ 144, 99 และ 89 วินาที ตามลำดับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ

ละ 10 โดยปริมาตร มีเวลาสูงสุดของการระเบิดทางความร้อนภายใต้สภาวะแอดีบาติกเท่ากับ 135, 106 และ 114 วินาที ตามลำดับ

จากข้อมูลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 10 โดยปริมาตร ไม่ได้มีความเสี่ยงต่อความรุนแรงของการสลายตัวทางความร้อน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอะเดียบาติกของปฏิกิริยาการสลายตัวยังมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นดังกล่าว ไม่มีความสามารถที่จะเป็นอันตรายทางความร้อนได้ ดังนั้นการประเมินโอกาสการระเบิดทางความร้อน จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาถึงเวลาสูงสุดของการระเบิดทางความร้อนภายใต้สภาวะแอดีบาติก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นภายใต้สภาวะแอดีบาติกน้อยกว่า 50 เคลวิน [4]

เป็นที่ทราบกันดีว่าการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความว่องไวต่อสิ่งเจือปนและอุณหภูมิ หากได้รับความร้อนหรือติดไฟจะให้ออกซิเจนที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการติดไฟ ทำให้เกิดการเผาไหม้ของสารอื่นที่อยู่ใกล้เคียง แม้จะอยู่ในที่ซึ่งไม่มีออกซิเจนก็ตาม และในกรณีวางไว้บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง อาจทำให้ภาชนะที่บรรจุเกิดการระเบิดได้ ดังนั้นการเก็บรักษาควรเป็นไปด้วยความระมัดระวังและแยกเก็บให้ห่างจากสารเคมีที่ไม่สามารถเข้ากันได้ เช่นกรดเบส และเกลือของโลหะ ตลอดจนตัวทำละลายอินทรีย์

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณ  $q$ ,  $TMR_{ad}$  และ  $\Delta T_{ad}$  ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

Heating Rate ( $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ )	Concentration $\text{H}_2\text{O}_2$ 6% v/v			Concentration $\text{H}_2\text{O}_2$ 10% v/v		
	$q$ ( $\text{W kg}^{-1}$ )	$\Delta T_{ad}$ (K)	$TMR_{ad}$ (s)	$q$ ( $\text{W kg}^{-1}$ )	$\Delta T_{ad}$ (K)	$TMR_{ad}$ (s)
6	-354.2	15.7	144	-437.	0.1	135
8	-520.5	0.2	99	-572.1	0.2	106
10	-590.1	0.1	89	-537.7	0.1	114

#### 4. สรุปผลการทดลอง

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร สามารถสลายตัวได้ง่ายกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยปริมาตร เนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของการสลายตัวเกิดได้เร็วกว่า ค่าพลังงานกระตุ้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 10 โดยปริมาตรมีค่าเท่ากับ 95.7 และ 71.9 กิโลจูลต่อโมล ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่ำมีการเกิดปฏิกิริยาได้ยากกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 6 และ 10 โดยปริมาตร มีความเสี่ยงในการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่รุนแรง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะเดี่ยบาติคของปฏิกิริยาการสลายตัวยังมีค่าค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าไฮโดรเจนที่มีความเข้มข้นต่ำจะไม่มีความเป็นอันตรายที่รุนแรง แต่การใช้งานและการเก็บรักษาควรเป็นไปด้วยความระมัดระวัง เพราะสารนี้ยังมีสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงและยังมีฤทธิ์กัดกร่อน หากได้รับการสัมผัสแม้ในปริมาณที่เล็กน้อยก็ทำให้เกิดการระคายเคือง หรือแสบผิวหนังได้

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (มจพ.) เลขที่สัญญา 5941102

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 109 ตอนที่ 39, “พระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535”. 6 เมษายน พ.ศ. 2535, หน้า 21-22.
- [2] Liu SH, Shu CM, Hou HY. “Applications of thermal hazard analyses on process safety assessments”. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2015. 33: p. 59-69.
- [3] Na Z, Xinming Q. “International symposium on safety science and technology influence of organic acid on thermal hazard of hydrogen peroxide”. Procedia Engineering, 2012. 45: p. 526–532.
- [4] Eissen M, Zogg A, Hungerbuhler K. “The runaway scenario in the assessment of thermal safety: simple experimental access by means of the catalytic decomposition of  $\text{H}_2\text{O}_2$ ”. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2003. 16: p. 289–296.

- [5] Chen KY, Lin CM, Shu CM, Kao CS. "An evaluation on thermokinetic parameters for hydrogen peroxide at various concentrations by dsc". *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2006. 85: p. 87–89.
- [6] Saraf SR, Rogers WJ, Mannan MS. "Prediction of reactive hazards based on molecular structure". *Journal of Hazardous Materials*, 2003. 98: p. 15–19.
- [7] Sivapirakasam SP, Mohamed MN, Surianarayanan M, Sridhar V. "Evaluation of thermal hazards and thermo-kinetic parameters of a matchhead composition by DSC and ARC". *Thermochimica Acta*, 2013. 557: p. 13–19.
- [8] Eto I, Akiyoshi M, Matsunaga T, Miyake A, Ogawa T. "Influence of heavy metal ion on the thermal explosion of hydrogen peroxide". *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2006, 85: p. 623–627.
- [9] Chi JH, Wu SH, Charpentier JC, I YP, Shu CM. "Thermal hazard accident investigation of hydrogen peroxide mixing with propanone employing calorimetric approaches", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2012. 25: p. 142-147.
- [10] Ahmad MB, Gharayebi Y, Salit MS, Hussein MZ, Ebrahimiasl S and Dehzangi A. "Preparation, characterization and thermal degradation of polyimide (4-APS/BTDA)/SiO<sub>2</sub> composite films". *International Journal of Molecular Sciences*, 2012. 13: p. 4860-4872.
- [11] Eissen M, Zogg A, Hungerbuhler K. "The runaway scenario in the assessment of thermal safety: Simple experimental access by means of the catalytic decomposition of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2003. 16: p. 289-296.