

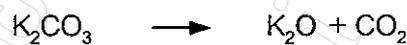
## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ความต้านทานของชุดสารตัวอย่างสามารถบ่งชี้ได้ถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในชุดสารตัวอย่างได้ โดยสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ช่วงคือ

1. ความต้านทานที่ลดลง ในช่วงอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส โดยมีการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ซึ่งมาจากชุดสารตัวอย่างที่มีองค์ประกอบของโปตัสเซียมคาร์บอเนต ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) โดยมีสมการเป็น



2. ความต้านทานที่ลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงอุณหภูมิประมาณ 400 - 700 องศาเซลเซียส โดยพบว่ามี การคายความร้อนและการหดตัวของชุดสารตัวอย่าง โดยค่าความต้านทานที่ลดลงต่ำสุดในช่วงนี้ สัมพันธ์กับการที่ชุดสารตัวอย่างมีการหดตัวขนาดเล็กสุด หลังจากนั้นชุดสารตัวอย่าง จะเริ่มขยายตัวและเริ่มมีการหลอมรวมกัน ซึ่งสามารถประมาณได้ว่าชุดสารตัวอย่างเริ่มหลอมรวมกัน ณ อุณหภูมิที่มีความต้านทานต่ำสุดในช่วงนี้

3. ความต้านทานที่ลดลงและเพิ่มขึ้น เข้าไปมาในช่วงอุณหภูมิประมาณ 700 - 1100 องศาเซลเซียส โดยพบว่าชุดสารตัวอย่างกำลังหลอมรวมกัน ซึ่งถ้ามีการหลอมฟูของสารตัวอย่างแล้ว ค่าความต้านทานจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

องค์ประกอบของชุดสารตัวอย่างจะมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิที่เริ่มมีการหลอมรวมกัน และลักษณะ สีของกลาสที่ได้ โดยชุดสารตัวอย่างที่มีการเติมโปตัสเซียมไดออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) จากปริมาณของโปตัสเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ หรือเลดออกไซด์ ( $\text{PbO}$ ) มาก จะมีจุดเริ่มหลอมที่อุณหภูมิต่ำกว่าชุดสารตัวอย่างที่มีโปตัสเซียมไดออกไซด์น้อย เนื่องจากทั้งโปตัสเซียมไดออกไซด์และเลดออกไซด์ เป็นตัวเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเครือข่าย เมื่อมีการเพิ่มจำนวนตัวเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเครือข่าย จะทำให้จำนวนพันธะระหว่าง ออกซิเจนกับซิลิกอน ที่เชื่อมระหว่างโพลีอีตรอน

ลดลง ส่งผลให้ช่วยลดความยาวของลูกโซ่ ซึ่งทำให้พันธะเคมีของโครงสร้างเครือข่ายอ่อนลง กลาสจึงมีจุดหลอมเหลวต่ำ

สำหรับความต้านทานของ เลด ซิลิเกต กลาสซึ่งมีองค์ประกอบในอัตราส่วนต่างกันพบว่า กลาสที่มีโปตัสเซียมไอออน เป็นองค์ประกอบในความเข้มข้นสูงจะมีความต้านทานและพลังงานกระตุ้นต่ำกว่ากลาสที่มีโปตัสเซียมไอออน เป็นองค์ประกอบความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากมีคู่ของแคทไอออน - ไฮลามาก จึงทำให้แคทไอออนสามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย ต้องการพลังงานกระตุ้นเพียงเล็กน้อยก็สามารถเคลื่อนที่เพื่อนำไฟฟ้าได้ แต่สำหรับกลาสที่มีองค์ประกอบของเลดไอออนในความเข้มข้นสูง ต้องการพลังงานกระตุ้นมากในการเคลื่อนที่ของแคทไอออน เนื่องจากขนาดของเลดไอออนจะไปบดบังไฮล ทำให้แคทไอออนกระโดดไปยังไฮลได้ยากขึ้น ส่งผลให้เคลื่อนที่ได้ยาก ต้องใช้พลังงานกระตุ้นมากเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่

สำหรับกลาสที่มีอัตราการเย็นตัวของภาวะของเหลวต่างกัน โดยมีองค์ประกอบในอัตราส่วนเดียวกัน พบว่า กลาสที่มีอัตราการเย็นตัวช้ากว่าจะมีความต้านทานและพลังงานกระตุ้นสูงกว่ากลาสที่มีอัตราการเย็นตัวเร็ว เนื่องจากกลาสที่มีอัตราการเย็นตัวช้า จะมีการจัดเรียงตัวของไอออนได้ดีกว่า จึงมีโครงสร้างแน่น ส่งผลให้แคทไอออนอิสระเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น จึงต้องการพลังงานกระตุ้นมาก เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของแคทไอออน

## 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ความต้านทานของชุดสารตัวอย่างที่เปลี่ยนไปกับอุณหภูมิ สามารถประมาณ จุดเริ่มหลอมของชุดสารตัวอย่างได้ แต่ยังไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจน เนื่องจากความละเอียดของเครื่องแสดงอุณหภูมิ ซึ่งละเอียดเพียง 20 องศาเซลเซียสและขึ้นอยู่กับอัตราการขึ้นอุณหภูมิของเตาซึ่งถ้าขึ้นอุณหภูมิต่างรวดเร็วแล้ว จะทำให้ชุดสารตัวอย่างคายความร้อน หดตัวขนาดเล็กที่สุดและความต้านทานต่ำสุดที่อุณหภูมิสูงกว่าความเป็นจริง ส่งผลให้การประมาณจุดเริ่มหลอมเหลวผิดพลาดได้

2. การพิจารณาจากความต้านทานของชุดสารตัวอย่างที่เปลี่ยนไปกับอุณหภูมิ ยังไม่สามารถบอกได้ถึงเวลาที่สารตัวอย่างหลอมเข้าเป็นเนื้อเดียว ซึ่งจากการทดลองโดยทำการวัดความต้านทานตลอดการทดลอง จนกระทั่งปิดเตาพบว่า ความต้านทานหลังจากเริ่มมีการหลอม จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลง ตลอดเวลา ซึ่งยังไม่สามารถระบุความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของชุดสารตัวอย่างได้ ซึ่งต้องศึกษาต่อไป

3. ในช่วงอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสที่ความต้านทานลดต่ำลง พบว่าเป็นการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ จากผลการทดลองสำหรับกลาสที่มีองค์ประกอบของโปตัสเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนต่างกัน พบว่ามีอุณหภูมิที่ความต้านทานต่ำสุดในช่วงนี้ต่างกันด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่มีความต้านทานลดต่ำ ควรจะเป็น 140 องศาเซลเซียสเท่ากัน เนื่องจากเป็นการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ แต่จะมีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกันตามปริมาณของโปตัสเซียมคาร์บอเนต ซึ่งอาจเกิดจากข้อผิดพลาดในการวัดหรือการขึ้นอุณหภูมิเตา

4. สำหรับกลาส H ซึ่งไม่มีองค์ประกอบของโปตัสเซียมคาร์บอเนต พบว่ามีการนำไฟฟ้าเกิดขึ้น ซึ่งไม่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่ของโปตัสเซียมไอออน และต้องใช้พลังงานกระตุ้นถึง 1.19 eV ซึ่งมีสมมติฐานหลายประการว่าอาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของ

- เลดไอออนที่เป็นอิสระไม่มีพันธะเคมีใดๆและไม่ได้เข้าไปอยู่ในโครงสร้างเครือข่ายของซิลิกา ซึ่งต้องใช้พลังงานกระตุ้นสูง เนื่องจากขนาดของเลดไอออน
- ออกซิเจนไอออนที่มีพันธะเดี่ยว แต่ต้องใช้พลังงานกระตุ้นสูงมาก เนื่องจากต้องใช้พลังงานในการสลายพันธะก่อน
- อิเล็กตรอนจากเลดไอออน ซึ่งอาจเกิดได้เนื่องจากเลดไอออนจัดอยู่ในพวกโลหะทรานซิชันที่มีอิเล็กตรอนชั้นนอกหลายตัว

- ไอออนของสารเจือปน จากถ้วยเซรามิกส์

การนำไฟฟ้าของกลาส H เกิดจากสาเหตุใดนั้น ไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจน ต้องศึกษากันอย่างละเอียดอีกครั้ง และสำหรับชุดสารตัวอย่างอื่นอาจมีการนำไฟฟ้าจากสมมติฐานข้างต้นด้วย แต่เมื่อเทียบกับการนำไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของแคทไอออนอิสระแล้ว ถือว่าน้อยมาก

5. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ้วยเซรามิกส์ และกลาส A ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) 45.5 % เลดออกไซด์ ( $\text{PbO}$ ) 38.5 % และโปตัสเซียมคาร์บอเนต ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) 16 % โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence: XRF) มีผลดังนี้

ตัวอย่าง	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{MnO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$
ถ้วยเซรามิกส์	71.49	21.42	1.42	0.19	0.04	0.66	0.35	3.59	0.83
กลาส A	91.18	1.19	0.11	0	0	0	0	7.18	0.35

หมายเหตุ : การวิเคราะห์นี้ ไม่สามารถวิเคราะห์เลดออกไซด์ ( $\text{PbO}$ ) ได้ เนื่องจากไม่มีสารอ้างอิง

จากผลการวิเคราะห์พบว่า มีสารเจือปนจากถ้วยเซรามิกส์เข้าไปในกลาส A ด้วย เช่น ไตรอลูมิเนียมไดออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ไตรไอรอนไดออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) และโซเดียมไดออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) ซึ่งอาจส่งผลต่อการนำไฟฟ้าของกลาสได้

6. สำหรับกลาสที่มีองค์ประกอบของโปตัสเซียมคาร์บอเนตในปริมาณมาก ทำให้มีจำนวนแคทไอออนซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเครือข่ายความเข้มชั้นสูง เมื่อตรวจดูด้วยกล้องที่มีกำลังขยายสูง พบว่ากลาสเริ่มมีการฟอร์มกันเป็นผลึก เป็นบริเวณเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งผลสอดคล้องกับทฤษฎี

7. การวัดความต้านทานของชุดสารตัวอย่าง ต้องทำขณะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าเข้าเตาเผา หรือมีน้อยมาก เนื่องจากกระแสไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามไฟฟ้า ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อการวัดความต้านทานของชุดสารตัวอย่าง ทำให้เข็มของอิลคโตรมิเตอร์อยู่ที่ศูนย์ตลอด จึงไม่สามารถอ่านค่าได้

8. การวัดความต้านทานของชุดสารตัวอย่าง ในบางครั้งจะวัดความต้านทานได้เป็นค่าลบและจะเกิดในช่วงขณะ ซึ่งยังไม่ทราบถึงสาเหตุ คงต้องศึกษาต่อไป

9. ขณะที่ให้ความร้อนกับกลาส เพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้น เมื่อให้ความต่างศักย์ตก

คล่อมกลาส (applied d.c voltage) เพื่อจะวัดความต่างศักย์ที่ผ่านตัวต้านทานที่ทราบค่า แล้วคำนวณหาความต้านทานของกลาส (เป็นการคำนวณหาความต้านทาน ไม่ได้วัดโดยตรงโดยใช้ อิเล็กโทรมิเตอร์) พบว่า เมื่อเอาความต่างศักย์ออก แล้ววัดค่าความต่างศักย์ตกคล่อมกลาส พบว่ายังมีค่าอยู่ ต้องใช้เวลาชั่วขณะ ความต่างศักย์จึงค่อยๆ ลดลงจนเป็นศูนย์ โดยกลาสขณะให้ความร้อนมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุ ซึ่งต้องศึกษากันไป

10. เมื่อนำค่าความต้านทานของกลาสมาเขียนกราฟระหว่างความต้านทานกับส่วนกลับของอุณหภูมิ พบว่าในช่วงอุณหภูมิสูงขึ้นกราฟจะไม่เป็นเส้นตรงโดยตลอดแต่จะมีการเพิ่มความต้านทานโดยกราฟจะโค้งขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากการนำไฟฟ้าจากการโพลาไรเซชัน

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การให้ความร้อนกับกลาส และวัดความต้านทาน เพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้น ต้องให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิสูงสุดก่อนที่กลาสจะเริ่มมีการหลอมเหลว เพื่อจะได้เห็นแนวโน้มของกลาสชัดเจนและสามารถหาความชันได้ดีขึ้น ส่งผลให้ได้ค่าพลังงานกระตุ้นที่น่าเชื่อถือ
2. อัตราการขึ้นอุณหภูมิของเตา ต้องค่อยๆขึ้น สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ใช้อัตรา 5 องศาเซลเซียส/นาที่ โดยเฉลี่ยเพราะมีผลต่อการวัดความต้านทาน และอายุการใช้งานของเตา
3. ชุดสารตัวอย่างที่หลอมตัวและปล่อยให้เย็นจนเป็นกลาสแล้วควรจะวัดความต้านทานเพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้นโดยทันทีเลย ไม่ควรทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องหลายวัน เพราะผิวหน้าของกลาสจะดูดความชื้นจากบรรยากาศ ทำให้แคทไอออนที่อยู่ใกล้ผิวเคลื่อนที่ออกไป โดยมีการสับเปลี่ยนกับไฮโดรเจนไอออน (ที่มาจากความชื้น) และฟอร์มกันเป็นชั้นของของเหลวที่บางสามารถนำไฟฟ้าได้ ทำให้การวัดความต้านทานผิดพลาดไป โดยในช่วงแรก จะมีความต้านทานต่ำกว่าความเป็นจริง