



วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 เวลาที่ใช้ในการเคลือบ

จากการเคลือบวัตถุทั้ง 6 ตัวอย่างมีขนาดและรูปร่างแสดงในตารางที่ 4.1 ที่สภาวะพลาสมาไดซ์เบดต่าง ๆ ผลจากการวัดอุณหภูมิวัตถุ 2 ตำแหน่ง คือที่บริเวณภายในวัตถุ และที่ผิวภายนอกวัตถุ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทั้งสองตำแหน่งของทุกการทดลองให้ผลในการทำงานคล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1

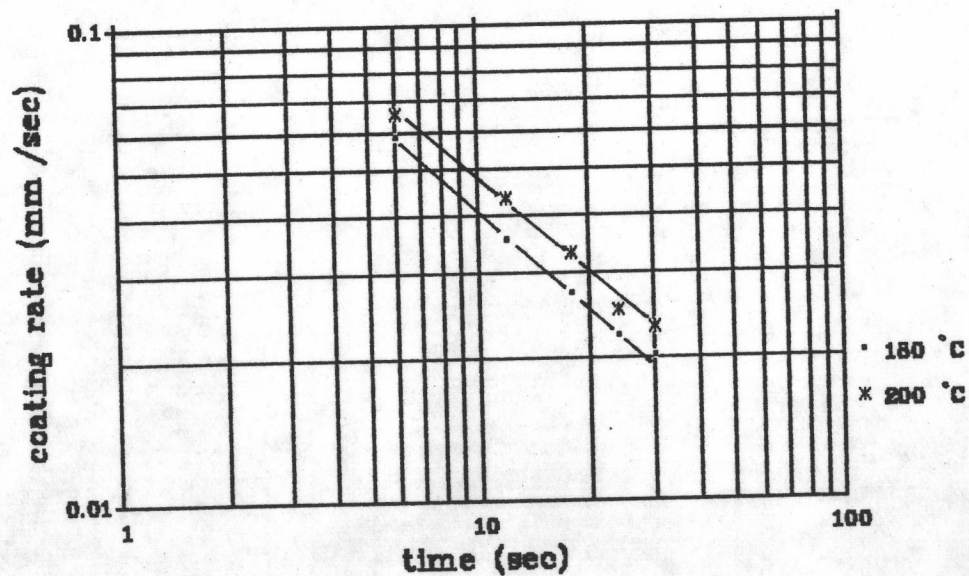
เมื่อเริ่มจุ่มวัตถุที่ร้อนลงในพลาสมาไดซ์เบด อุณหภูมิภายในวัตถุค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ขณะที่อุณหภูมิที่ผิวภายนอกวัตถุลดลงเร็วกว่าจากเวลาที่เริ่มจุ่ม ( $t = 0$ ) จนถึงเวลาสิ้นสุดการเคลือบ ณ จุดที่  $t = t$  เนื่องจากช่วงเวลาวัตถุอยู่ในเบดนี้ เม็ดพลาสติกภายในเบดมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพาจากผิววัตถุสู่เบด (เม็ดพลาสติก) พลาสติกที่เคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ วัตถุจะเข้ามาเกาะที่ผิววัตถุที่ร้อน แล้วหลอมละลายเกิดเป็นฟิล์มเคลือบวัตถุ หลังจากเคลือบแล้วนำวัตถุขึ้นจากเบด อุณหภูมิที่ผิววัตถุค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาให้กับเบด ช่วงนี้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการนำจากผิวภายในวัตถุสู่ผิวภายนอกวัตถุ เนื่องจากอุณหภูมิภายในวัตถุยังสูงอยู่ ความร้อนจำนวนนี้จะทำให้พลาสติกที่เกาะอยู่บนผิวหลอมละลายอย่างสม่ำเสมอ กล่าวคือ ผิวพลาสติกจะเรียบและเป็นมันวาว

จากการทดลองเมื่อเพิ่มเวลาในการเคลือบวัตถุจาก 6-30 วินาที มีผลทำให้ฟิล์มที่เคลือบได้หนาขึ้น จากรูปที่ 4.2-4.21 ความหนาที่เพิ่มขึ้นนี้มีแนวโน้มเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากขณะทำการเคลือบ พลังงานความร้อนภายในเนื้อโลหะลดลงจนเนื้อโลหะมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมตัวของพลาสติก ดังนั้นพลาสติกที่เคลือบมากกระทบผิววัตถุในช่วงเวลานี้จะไม่สามารถเข้าเกาะวัตถุได้อีก ดังนั้นความหนาของฟิล์มที่เคลือบบนวัตถุนั้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับเวลาที่ใช้เคลือบ ดังรูปที่ 4.2-4.21 ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ในเชิงคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

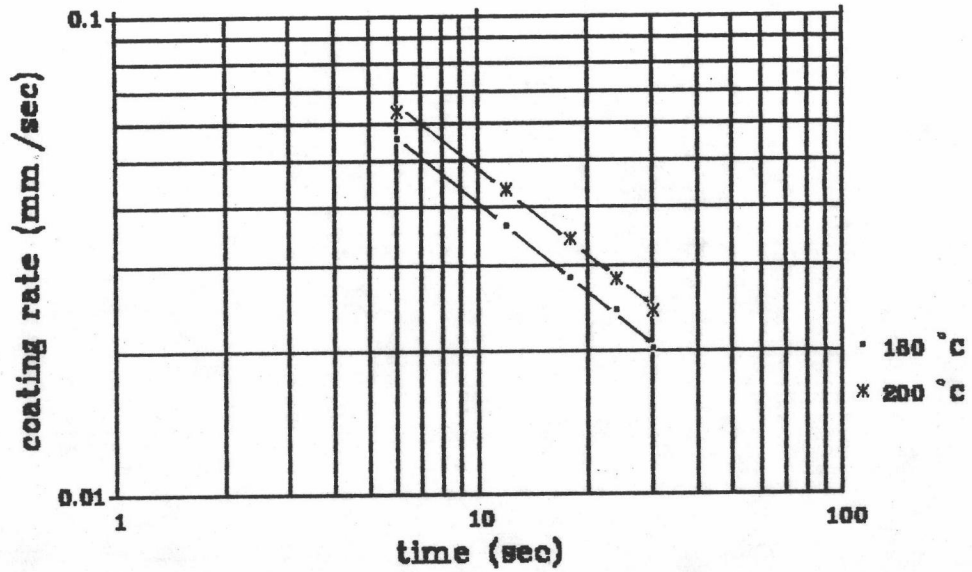
$$D = f_n(t) \quad \text{-----} \quad (5.1)$$

เมื่อ D คือ ความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้  
t คือ เวลาที่ใช้เคลือบ

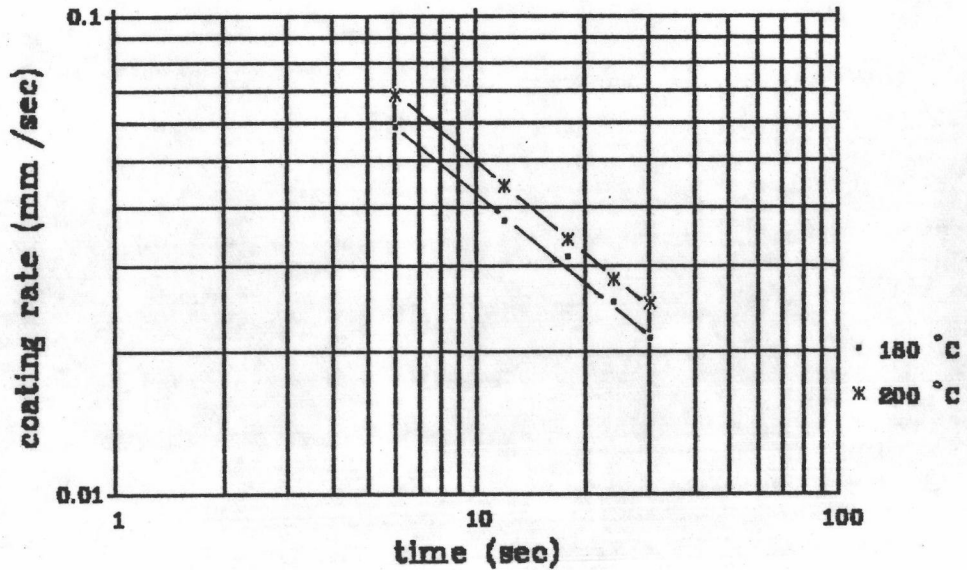
ถ้าพิจารณาในรูปของอัตราการเคลือบ (coating rate) ความหนาของฟิล์มต่อเวลาที่ใช้เคลือบแสดงดังรูปที่ 5.1 5.2 และ 5.3 พบว่า อัตราการเคลือบอยู่ในรูปของฟังก์ชันยกกำลัง (power function) กับเวลาที่ใช้เคลือบ เพราะได้แสดงในกราฟ log-log ได้เส้นกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบ และเวลาเป็นเส้นตรงมีความชันเฉลี่ยประมาณ  $-0.634$  ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Gaynor และผู้ร่วมงาน (13) โดยที่อัตราการเคลือบจะลดลง เมื่อใช้เวลาในการเคลือบมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิกายในของวัตถุลดลงเรื่อยๆ ขณะทำการเคลือบ ทำให้อัตราการเข้าเกาะของพลาสติกน้อยลง



รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบ กับเวลาที่ใช้เคลือบของโลหะทรงกลมตัวอย่างที่ 2 อุณหภูมิเริ่มต้น 180 200 °ซ อุณหภูมิเบต 30 °ซ ความเร็วอากาศ 5.0 ซม./วินาที



รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบ กับเวลาที่ใช้เคลือบ ของโลหะทรงกระบอกตัวอย่างที่ 4 อุณหภูมิเริ่มต้น 180 200 °ซ อุณหภูมิเบด 30 °ซ ความเร็วอากาศ 5.0 ซม./วินาที



รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบ กับเวลาที่ใช้เคลือบ ของโลหะทรงสี่เหลี่ยมตัวอย่างที่ 6 อุณหภูมิเริ่มต้น 180 200 °ซ อุณหภูมิเบด 30 °ซ ความเร็วอากาศ 5.0 ซม./วินาที

## 5.2 ความเร็วอากาศ

อากาศที่ผ่านเข้าไปในเบตนั้น ทำหน้าที่ช่วยพยุงเบตให้เกิดการเคลื่อนที่มีพฤติกรรมเสมือนของไหล (fluidization) จึงทำให้สามารถจุ่มวัตถุที่ต้องการเคลือบลงไปเบตได้โดยไม่เกิดแรงต้านทาน และมีเม็ดพลาสติกภายในเบตนั้นเคลื่อนที่มาสัมผัสกับผิววัตถุได้ทุกส่วน ทำให้ผิวที่เคลือบได้สม่ำเสมอตลอดทั่ววัตถุ ฉะนั้นความเร็วอากาศที่ทำให้เบตเกิดสภาวะฟลูอิดเซชันจึงมีผลต่อการเคลือบวัตถุด้วย จากการทดลองใช้ความเร็วอากาศในช่วง 5.0-7.5 ซม./วินาที ผลที่ได้แสดงไว้ในรูป 4.2 4.3 และ 4.4 ซึ่งพบว่า เมื่อความเร็วอากาศสูงขึ้น ความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้หนาขึ้น

เนื่องจากความเร็วอากาศมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุสู่บรรยากาศ โดยการถ่ายเทความร้อนของวัตถุ แสดงในรูปของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน แสดงอยู่ในเทอมของนัสเซิลท์ (Nusselt) ดังนี้ (21)  $Nu = hd/k$  มีสมการความสัมพันธ์กับตัวแปรต่าง ๆ มากมาย ซึ่งสรุปได้ว่า

$$Nu = fn(Re, Pr) \quad \text{————— (5.2)}$$

โดยที่ค่าของ Pr (Prandtl) เป็นค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของของไหลที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ มีค่าเท่ากับ  $C_p \mu / k$  ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก ดังนั้นค่าของนัสเซิลท์ (Nu) หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในฟลูอิดเซชันเบต จึงแปรผันโดยตรงต่อค่าเรโนลด์ (Re) ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วอากาศเป็น  $\rho dv/\mu$  การถ่ายเทความร้อนจากวัตถุสู่เบตจึงเกิดได้ดี เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศภายในเบต ดังรูปที่ 4.22 4.23 และ 4.24 ฉะนั้นเม็ดพลาสติกมีโอกาสเข้าไปชนผิววัตถุและติดมากขึ้น จึงมีผลทำให้ฟิล์มที่เคลือบได้หนาขึ้น ดังนั้นความหนาของแผ่นฟิล์มที่เคลือบผิววัตถุ ถ้าจะแสดงในรูปของความสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วอากาศ ก็สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$D = fn(v) \quad \text{————— (5.3)}$$

เมื่อ  $v$  คือ ความเร็วอากาศ



### 5.3 อุณหภูมิ เริ่มต้นของวัตถุที่จะใช้เคลือบ

เมื่อดพลาสติกที่เคลื่อนที่อยู่ในฟลูอิดไดซ์เบตนั้นมีโอกาสที่จะเปลี่ยนแปลงได้ทุกขณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่อยู่รอบตัวของเมื่อดพลาสติก ซึ่งถ้ามีวัตถุชนิดหนึ่งจุ่มลงในเบตเมื่อดพลาสติกที่อยู่ใกล้บริเวณจะเคลื่อนที่มาชน และถ้าวัตถุนั้นมีพลังงานความร้อนก็จะถ่ายเทให้กับเมื่อดพลาสติกจนเมื่อดพลาสติกละลายเกาะติดบนผิว วัตถุที่จุ่มลงในเบตนั้นมีอุณหภูมิสูง ๆ อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างวัตถุและเมื่อดพลาสติกย่อมเกิดขึ้นได้รวดเร็วและมีปริมาณมาก ดังนั้นจึงได้เคลือบวัตถุทั้ง 6 ตัวอย่าง ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 180 190 และ 200 °ซ จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิสูง มีผลทำให้ฟิล์มที่เคลือบได้หนาขึ้น เมื่อใช้เวลาในการเคลือบเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4.5-4.10 สำหรับวัตถุตัวอย่างที่ 1 ขณะที่ปรับอุณหภูมิของวัตถุจาก 180 190 และ 200 °ซ ใช้เวลาในการเคลือบ 12 วินาที ได้ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 0.39 เป็น 0.42 และ 0.47 มิลลิเมตร ตามลำดับ เป็นต้น ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการทดลองของ Gaynor และผู้ร่วมงาน (13) Lee (14) ทุกประการ ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อจุ่มวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงลงในเบตจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากผิววัตถุออกสู่บริเวณรอบ ๆ มีผลทำให้พลาสติกที่อยู่รอบ ๆ วัตถุที่จุ่มขณะนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเบตส่วนอื่นที่อยู่ถัดออกไป เมื่อดพลาสติกเคลื่อนมากระทบวัตถุจึงทำให้หลอมเกาะวัตถุได้ดี และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิวัตถุสูงขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิวัตถุกับเบตต่างกันมาก ดังนั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุสู่เบตยิ่งมีมากขึ้น ทำให้อัตราการหลอมตัวของเมื่อดพลาสติกเพิ่มสูงขึ้น (22) พิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากขึ้น ที่สภาวะเดียวกัน ดังรูปที่ 4.25-4.30 เช่นวัตถุตัวอย่างที่ 1 ใช้เวลาในการเคลือบ 12 วินาที อุณหภูมิ 180 190 และ 200 °ซ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มจาก  $1.75 \times 10^{-2}$  เป็น  $1.80 \times 10^{-2}$  และ  $1.83 \times 10^{-2}$  แคลอรี/วินาที ซม.<sup>2</sup>°ซ ตามลำดับ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kharchenko และ Makhorin (23) ที่ศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากผนังที่ร้อนสู่เบต พบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของผนังที่เพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าความหนาของฟิล์มที่เคลือบผิววัตถุมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิเริ่มต้น ดังแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$D = f_n(T_v) \quad \text{-----} \quad (5.4)$$

เมื่อ  $T_v$  คือ อุณหภูมิ เริ่มต้นของวัตถุ

#### 5.4 อากาศร้อนในเบต

แนวทางที่จะทำให้การเคลือบด้วยพลาสติกนี้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น กล่าวคือ ใช้เวลาเคลือบสั้น และได้ผิวที่เคลือบมีความสม่ำเสมอและเรียบเป็นมัน ตัวแปรที่สำคัญอีกตัวแปรหนึ่ง คือ อุณหภูมิของอากาศร้อนในเบต กล่าวคือ ถ้าเราใช้อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ป้อนเข้าสู่ฟลูอิดิซ์เบต มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับจุดหลอมละลายของเม็ดพลาสติก โลหะที่จะนำมาเคลือบผิวใช้พลังงานความร้อนเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลายและเกาะอยู่บนผิววัตถุนั้นได้อย่างรวดเร็ว ครั้นถ้าเราจุ่มวัตถุร้อนไว้นาน ๆ ย่อมจะได้ฟิล์มของการเคลือบหนาเพิ่มขึ้น และมีความสม่ำเสมอ

งานวิจัยจึงได้ทดลองปรับอุณหภูมิของอากาศในเบตเพิ่มจาก  $30-50^{\circ}\text{C}$  ปรากฏว่า ความหนาของพลาสติกที่เคลือบบนผิววัตถุร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศในเบตดังเช่น ความหนาของพลาสติกที่เคลือบผิวทรงกลมตัวอย่างที่ 1 เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 9.68 และ 5.88 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศจาก  $30^{\circ}\text{C}$  เป็น  $40^{\circ}\text{C}$  และ  $40^{\circ}\text{C}$  เป็น  $50^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยใช้เวลาเคลือบ 6 วินาทีเท่ากัน เป็นต้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ van den Hoeven (24) ทุกประการ ความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นได้เพราะ ถ้าพลังงานความร้อนที่วัตถุขึ้นเดี่ยวกันถ่ายเทให้กับเม็ดพลาสติกเท่ากัน เม็ดพลาสติกที่มีอุณหภูมิภายในเม็ดสูง ย่อมจะหลอมละลายติดบนผิววัตถุได้เร็วกว่าและพบว่าความสัมพันธ์ของความหนาของฟิล์มพลาสติกที่เคลือบบนวัตถุนั้นเป็นความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิของอากาศร้อน ดังในรูป 4.11 4.12 4.13 4.14 4.15 และ 4.16 จึงสรุปได้ว่า

$$D = f_n(T_b) \quad \text{-----} \quad (5.5)$$

เมื่อ  $T_b$  คือ อุณหภูมิอากาศร้อนในเบต

บางครั้งเราเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนจนใกล้จุดหลอมตัวของพลาสติกกลับพบว่า การเคลือบไม่มีความสม่ำเสมอ อาจเนื่องมาจากเม็ดพลาสติกเริ่มอ่อนตัว ทำให้รูปทรงของเม็ดพลาสติกเปลี่ยนไป การเคลื่อนที่ของเม็ดพลาสติกภายในเบตบางครั้งมีการเกาะติดกันระหว่างเม็ดหรือเกาะติดผนังของเครื่องปฏิกรณ์

### 5.5 ขนาดวัตถุ

จากการทดลองในหัวข้อ 5.4 ได้พบว่า วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้พลาสติกในบริเวณรอบ ๆ วัตถุหลอมละลายแล้วเกาะติดบนผิววัตถุได้รวดเร็วและเรียบสม่ำเสมอ การทดลองในครั้งนี้ได้ทดลองใช้วัตถุที่มีขนาดและปริมาณความร้อนต่าง ๆ เพื่อศึกษาอัตราการเคลือบและลักษณะการเกาะติดของเม็ดพลาสติก ตัวอย่างวัตถุที่ใช้มีอยู่ 3 รูปแบบ แบบละ 2 ขนาด ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.1 ผลจากการเคลือบวัตถุทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า เมื่อค่าความจุความร้อนของวัตถุทรงกลมเพิ่มขึ้นร้อยละ 27.56 ได้ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.45 และ 7.69 ที่สภาวะการทดลอง 6 วินาที และ 12 วินาที ตามลำดับเป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.17 จากการเพิ่มค่าความจุความร้อนของวัตถุทรงกระบอกร้อยละ 10.38 พบว่า ที่สภาวะการทดลอง 6 วินาที และ 12 วินาที ได้ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.13 และ 4.88 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และเมื่อเพิ่มค่าความจุความร้อนของวัตถุทรงสี่เหลี่ยมร้อยละ 20.47 ได้ความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.06 และ 10 ที่สภาวะการทดลอง 6 วินาที และ 12 วินาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.19

ทั้งนี้ พิจารณาค่าความจุความร้อนในรูปของค่าคงที่วัตถุ (article constant) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากอัตราส่วนของมวลวัตถุต่อพื้นที่ผิววัตถุคูณกับค่าความจุความร้อนของวัตถุ มีหน่วยเป็นแคลอรี/ซม.<sup>2</sup>.°ซ เป็นค่าที่แสดงถึงความจุความร้อนทั้งหมดของวัตถุ (total thermal capacity) (24, 25) จากการทดลองพบว่า วัตถุที่มีค่าคงที่วัตถุมากกว่า จะเคลือบได้ฟิล์มหนากว่าวัตถุที่มีค่าคงที่วัตถุน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อวัตถุนั้นมีค่าคงที่วัตถุมากขึ้น จึงมีปริมาณมวลต่อพื้นที่ผิวมากกว่า วัตถุนั้นมีพลังงานความร้อนภายในวัตถุมากกว่าในปริมาณต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ทำกันการถ่ายเทความร้อนจึงเกิดได้ดี ทำให้พลาสติกที่เคลื่อนที่ภายในเบตเข้ามาหลอมเกาะที่ผิววัตถุได้มากขึ้น ความหนาของฟิล์มจึงเพิ่มขึ้น (24)

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าคงที่วัตถุ 6 ตัวอย่าง

รูปทรง	ตัวอย่าง	มวลวัตถุ(กรัม) (m)	พื้นที่ผิววัตถุ(ซม <sup>2</sup> ) (A)	ค่าคงที่วัตถุ(แคลอรี/ซม. <sup>2</sup> .°ซ) $C_v = mc_p/A$
ทรงกลม	1	68.0	19.63	0.3810
	2	124.9	28.27	0.4860
ทรงกระบอก	3	115.8	33.38	0.3816
	4	162.4	42.41	0.4212
ทรงสี่เหลี่ยม	5	153.9	42.00	0.4031
	6	238.4	54.00	0.4856

### 5.6 รูปทรงวัตถุ

จากการศึกษาผลของขนาดวัตถุพบว่า ขนาดของวัตถุมีผลต่อความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้ดังกล่าวมาแล้ว ทั้งนี้เมื่อวัตถุอันมีรูปทรงเดียวกัน เนื่องจากค่าความจุความร้อนที่ต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาวัตถุต่างรูปทรงกันมีค่าความจุความร้อนเท่ากัน ระหว่างวัตถุทรงกลมตัวอย่างที่ 1 กับวัตถุทรงกระบอกตัวอย่างที่ 3 มีค่าคงที่วัตถุใกล้เคียงกันคือ 0.381 แคลอรี/ซม.<sup>2</sup>.°ซ ดังตารางที่ 5.1 จากความหนาของฟิล์มที่ได้พบว่าวัตถุตัวอย่างที่ 3 เคลือบได้ฟิล์มหนากว่าวัตถุตัวอย่างที่ 1 ที่สภาวะเดียวกัน ดังแสดงในรูป 4.20 จะเห็นว่าเมื่อวัตถุมีค่าความจุความร้อนเท่ากันแล้ว สิ่งที่น่าจะมีผลต่อการเคลือบควรเป็นปริมาณพื้นที่ผิวที่ต่างกัน ซึ่งพบว่า วัตถุตัวอย่างที่ 3 มีพื้นที่ผิวมากกว่าตัวอย่างที่ 1 ร้อยละ 70.05 ผลการเคลือบได้ฟิล์มหนาขึ้นร้อยละ 4.76 และ 5.88 ที่สภาวะ 12 วินาที และ 18 วินาที ตามลำดับ เป็นต้น

ทำนองเดียวกัน วัตถุทรงกลมตัวอย่าง 2 กับวัตถุทรงสี่เหลี่ยมตัวอย่าง 6 มีค่าคงที่วัตถุใกล้เคียงกัน คือ 0.486 แคลอรี/ซม.<sup>2</sup>.°ซ แต่วัตถุทรงสี่เหลี่ยมตัวอย่าง 6 มีพื้นที่ผิวมากกว่าวัตถุทรงกลมตัวอย่าง 2 ร้อยละ 91.02% จากการทดลองพบว่าที่สภาวะเดียวกัน วัตถุตัวอย่าง 6



เคลือบได้ฟิล์มหนากว่าวัตถุตัวอย่าง 2 ร้อยละ 13.46 และ 16.36 ที่สภาวะ 18 วินาที และ 24 วินาที ตามลำดับ เป็นต้น ดังแสดงในรูป 4.21 ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อวัตถุนั้นมีปริมาณพื้นที่ผิวมาก อัตราการถ่ายเทความร้อนออกสู่เบตภายนอกจึงเกิดได้มาก โอกาสที่พลาสติกที่เคลือบตัวอยู่บริเวณรอบ ๆ วัตถุจะเคลือบมากกระทบผิววัตถุจึงมีมากขึ้น เมื่อใช้เวลาในการเคลือบเท่ากันจึงทำให้เคลือบได้ฟิล์มหนากว่ากรณีที่วัตถุนี้มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยกว่า

### 5.7 สมการที่ใช้คำนวณความหนาของฟิล์มระหว่างการเคลือบ

จากการทดลองเคลือบผิววัตถุทรงกลม ทรงกระบอก และทรงสี่เหลี่ยม รวม 6 ตัวอย่าง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ที่สภาวะต่าง ๆ ดังนี้ อุณหภูมิเริ่มต้น 180-200 °C อุณหภูมิอากาศในเบต 30-50 °C ความเร็วอากาศ 5.0-7.5 ซม./วินาที เวลาที่ใช้เคลือบ 6-30 วินาที สามารถสรุปได้ว่าความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

$$D = fn(t) \quad \text{————— (5.1)}$$

$$D = fn(v) \quad \text{————— (5.3)}$$

$$D = fn(T_v) \quad \text{————— (5.4)}$$

$$D = fn(T_b) \quad \text{————— (5.5)}$$

$$D = fn(C_v) \quad \text{————— (5.6)}$$

เนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นวัตถุ ( $T_v$ ) ต้องมากกว่าจุดหลอมตัวของพลาสติก ( $T_m$ ) และอุณหภูมิอากาศในเบตต้องต่ำกว่าจุดหลอมตัวของพลาสติก เมื่อนำค่าจุดหลอมตัวของพลาสติกมาพิจารณาจัดรวมเป็นเทอมใหม่ได้ดังนี้  $\frac{T_v - T_m}{T_m - T_b}$  จากสมการ (5.4) (5.5) และ (5.6) จะได้ว่า

$$D = fn \left[ C_v \left( \frac{T_v - T_m}{T_m - T_b} \right) \right] \quad \text{————— (5.7)}$$

$$D = fn \left[ t, v, C_v \left( \frac{T_v - T_m}{T_m - T_b} \right) \right] \quad \text{————— (5.8)}$$

เมื่อนำตัวแปรต่าง ๆ มาพิจารณา สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้กับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในรูปแบบการเส้นตรงได้ดังนี้

$$D_c = b_1 t + b_2 v + b_3 C_v \left[ \frac{T_v - T_m}{T_m - T_b} \right] \quad (5.9)$$

เมื่อ  $D_c$  คือ ความหนาของฟิล์มที่ได้จากการคำนวณ  $b_1$ ,  $b_2$  และ  $b_3$  เป็นค่าคงที่ซึ่งสามารถหาได้จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงซ้อน (multiple regression) โดยการทำการถดถอย (26) ดังมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค สามารถสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

$$b_1 = C_{01} y_1 + C_{11} x_{11} y_1 + C_{21} x_{21} y_1 + \dots + C_{k1} x_{k1} y_1$$

$$b_2 = C_{02} y_1 + C_{12} x_{11} y_1 + C_{22} x_{21} y_1 + \dots + C_{k2} x_{k1} y_1$$

$$b_3 = C_{03} y_1 + C_{13} x_{11} y_1 + C_{23} x_{21} y_1 + \dots + C_{k3} x_{k1} y_1$$

$$\text{ได้ค่า } b_1 = 0.0126$$

$$b_2 = 0.0244$$

$$b_3 = 0.3555$$

แทนค่า  $b_1$   $b_2$   $b_3$  ในสมการ (5.9) ได้ว่า

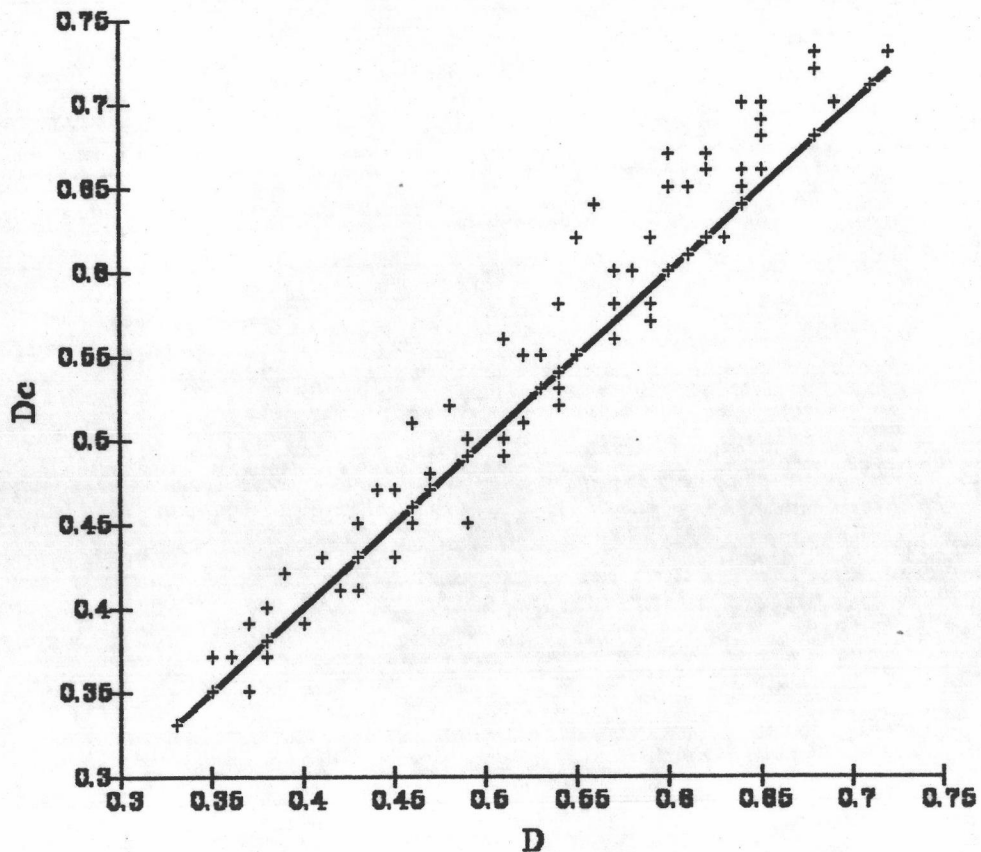
$$D_c = 0.0126 t + 0.0244 v + 0.3555 C_v \left[ \frac{T_v - T_m}{T_m - T_b} \right] \quad (5.10)$$

สมการที่ (5.10) เป็นสมการที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยแบบเชิงซ้อนที่สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อนำไปประมาณค่าความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้ ผลการวิเคราะห์สมการที่ได้มีค่ากำลังสองน้อยที่สุด ( $r^2$ ) เท่ากับ 0.9385 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวแปรตาม สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ (27) ในที่นี้ตัวแปรตามคือ ความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้ ( $D_c$ ) ตัวแปรอิสระ คือ อุณหภูมิเริ่มต้น ( $T_v$ ) อุณหภูมิอากาศในเบด ( $T_b$ ) รูปทรงและขนาดวัตถุที่นำมาเคลือบ ( $mc_p/A$ ;  $C_v$ ) ความเร็วอากาศ ( $v$ ) เวลาที่ใช้เคลือบ ( $t$ )

จากสมการที่ได้นี้มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) เท่ากับ 0.0284 ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้วัดการกระจายค่าตัวแปรตาม ในที่นี้คือ ความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้ รอบเส้นถดถอย ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานต่ำ ค่าที่คำนวณได้จะมีความแม่นยำมากขึ้น เมื่อนำสมการที่ 5.10 คำนวณหาความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้ของโลหะ 3 รูปทรง ได้ผลดังนี้

### 5.7.1 โลหะทรงกลม

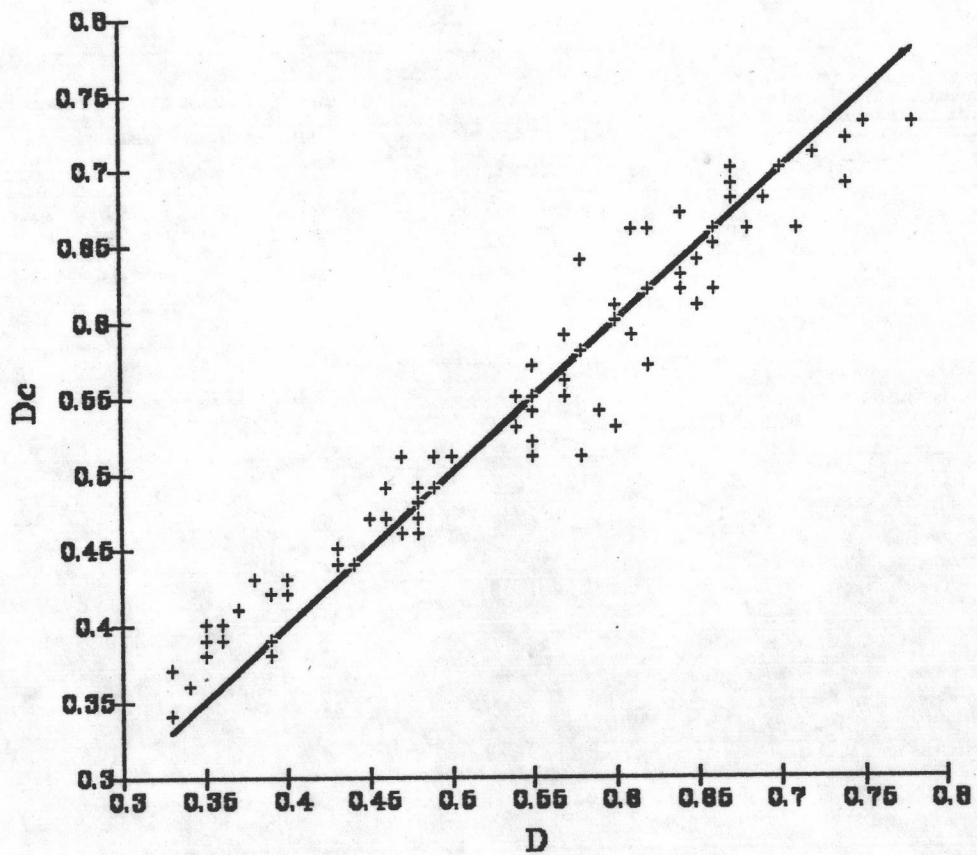
ความหนาของฟิล์มที่ได้จากการคำนวณของโลหะทรงกลมตัวอย่างที่ 1 และ ตัวอย่างที่ 2 มีร้อยละความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยจากความหนาของฟิล์มที่ได้จากการทดลอง 4.21 แสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มที่ได้จากการคำนวณของโลหะทรงกลมตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2

### 5.7.2 โลหะทรงกระบอก

ความหนาของฟิล์มที่ได้จากการคำนวณของโลหะทรงกระบอกตัวอย่างที่ 3 และตัวอย่างที่ 4 มีร้อยละความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยจากความหนาของฟิล์มที่ได้จากการทดลอง 4.22 แสดงดังรูปที่ 5.5

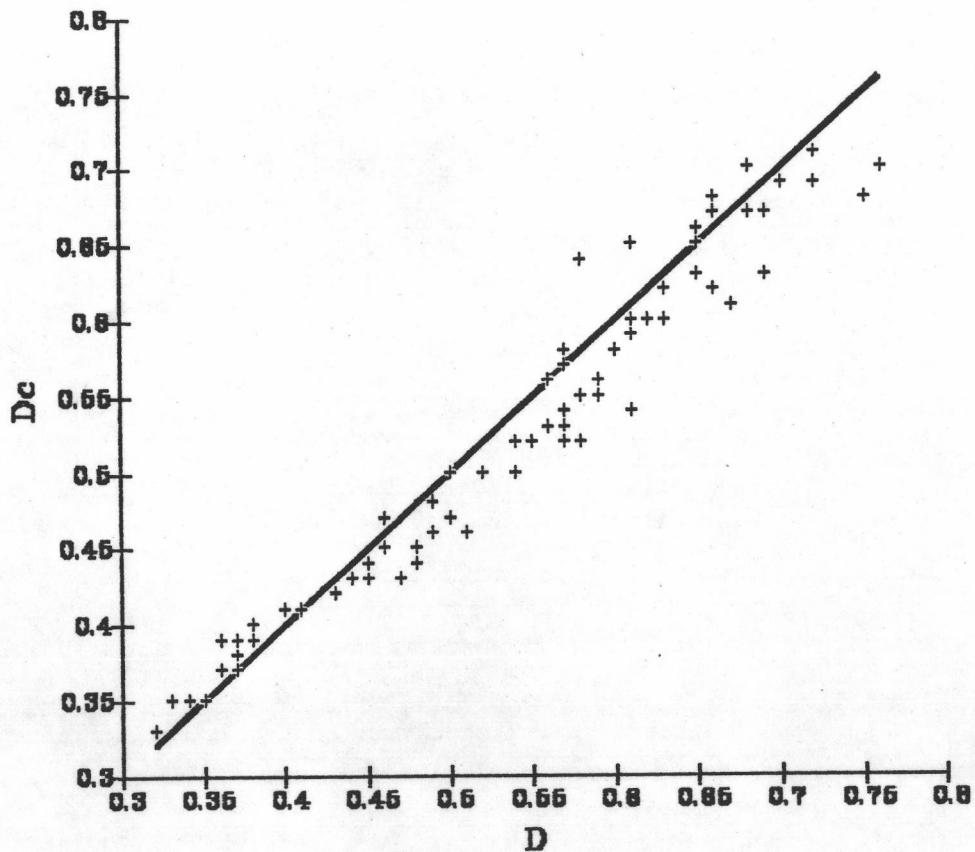


รูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มที่ได้จากการคำนวณของโลหะทรงกระบอกตัวอย่างที่ 3 และตัวอย่างที่ 4



### 5.7.3 โลหะทรงสี่เหลี่ยม

ความหนาของฟิล์มที่ได้จากการคำนวณของโลหะทรงสี่เหลี่ยมตัวอย่างที่ 5 และตัวอย่างที่ 6 มีร้อยละความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยจากความหนาของฟิล์มที่ได้จากการทดลอง 4.41 แสดงดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มที่ได้จากการคำนวณของโลหะทรงสี่เหลี่ยมตัวอย่างที่ 5 และตัวอย่างที่ 6