

การเคลือบผิวด้วยโพลีเอทิลีนผงโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

FLUIDIZED BED COATING WITH POLYETHYLENE POWDER

กรรณิการ์ ทรงคำ
KANNIKAR SANGKAM

สุนีย์ เจาอรัม
SUNEE NGAOARAM

อหุรักษ์ ปิติรักษ์สกุล
ANURAK PITIRAKSAKUL

ดวงเพ็ญ ศรีบัวงาม
DUANGPEN SRIBUANGAM

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
*Chemical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi,
Bangkok, Thailand*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่อง เพื่อการศึกษาการเคลือบเหล็กเหนียวด้วยผงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ในถังเบดรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. สูง 65 ซม. โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิเบดคงที่ 30°C ความเร็วอากาศ 0.0371 เมตร/วินาที เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่อความหนาฟิล์มพลาสติก ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการเคลือบ, อุณหภูมิเริ่มต้นขึ้นงาน $140 - 220^{\circ}\text{C}$ รูปทรงชิ้นงานประกอบด้วย ทรงกลม, ทรงกระบอก, ทรงสี่เหลี่ยม และอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรชิ้นงาน จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นขึ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความหนาของฟิล์มพลาสติกเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรชิ้นงานลดลง มีผลทำให้ค่าความหนาของฟิล์มพลาสติกเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรชิ้นงานลดลง มีผลทำให้ค่าความหนาฟิล์มพลาสติกเปลี่ยนแปลง โดยค่าความหนาของฟิล์มพลาสติกลดลงสำหรับชิ้นงานทรงกลม และค่าความหนาฟิล์มเพิ่มขึ้นสำหรับชิ้นงานทรงกระบอกและทรงสี่เหลี่ยม นอกจากนี้ยังพบว่า ความหนาฟิล์มพลาสติกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาแรกของการเคลือบผิวและเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อเวลาผ่านไปจนมีค่าคงที่ เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาฟิล์มพลาสติกที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณจากสมการทางคณิตศาสตร์ พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองเนื่องจากสมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ

ABSTRACT

The present work applies the fluidized bed coating technique on mild steel specimen of different shapes e.g. spherical, cylindrical and rectangular shape. The experiments are done in stainless steel cylindrical column with 25 cm. in diameter and 65 cm. in height, filled with a low density polyethylene. The bed temperature is kept at 30° C, velocity of fluidizing gas .0371 m/sec. Parameters that affect the coated film thickness are coating time, initial specimen shape. The result shows that as the initial specimen temperature increases, the coated film thickness increases. When surface-volume ratio of specimen decreases, the film thickness decreases for spherical shape and increase for cylindrical and rectangular shapes. In addition, the film thickness calculated from equation obtained heat balance is higher from than the film thickness from experiment due to assumptions made to simplify the calculation.

บทนำ

โลหะที่นำมาใช้งานในสภาวะธรรมชาติจะเกิดการกัดกร่อน โดยทำปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีกับสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนสภาพเป็นออกไซด์ ซึ่งการกัดกร่อนจะรุนแรงขึ้นเมื่อถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่อุณหภูมิ, ความชื้น และความเป็นกรดและด่างสูง การเคลือบโลหะด้วยโพลีเมอร์ จึงเริ่มเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรม การเคลือบฟิล์มโพลีเมอร์โดยไม่อาศัยตัวทำละลายที่นิยมคือ การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งสามารถเคลือบผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี กรรมวิธีง่ายไม่ซับซ้อน และได้ความหนาของฟิล์มสม่ำเสมอ

การศึกษาและวิจัยการเคลือบผิวด้วยพลาสติกผงโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เริ่มเมื่อปี ค.ศ. 1960 โดย Gaynor (1) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา-อุณหภูมิ-ความหนาฟิล์มพลาสติก พบว่าเวลาคงที่อัตราการเคลือบผิวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิเริ่มต้นขึ้นงาน และที่อุณหภูมิเริ่มต้นขึ้นงานคงที่ค่าความหนาฟิล์มพลาสติกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาเริ่มต้นของการเคลือบผิว และจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น Borsh (2) ทำการ

ทดลองการเคลือบผิวด้วยไวไนลโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด พบว่า ถ้าต้องการค่าความหนาฟิล์มพลาสติกคงที่ค่าหนึ่ง การเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาณของขึ้นงาน หรือการลดความจุความร้อนจะต้องเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นขึ้นงานของการเคลือบให้สูงขึ้น ต่อมา Pettigrew (3) และ Landock (4) พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนาของฟิล์มพลาสติกคือ เวลาที่ขึ้นงานอยู่ในเบด สมบัติทางความร้อนและทางกายภาพของขึ้นงาน, พลาสติกเรซิน และฟลูอิดไดซ์เบด ตามลำดับ และมีการพัฒนากรรมวิธีการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และเหมาะกับการผลิตในอุตสาหกรรม โดย Richart (5)

Elmas (6) ได้ศึกษากลไกของกระบวนการเคลือบผิวและพัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของอัตราการเคลือบผิว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรได้แก่ อุณหภูมิขึ้นงานและเบด, อัตราการไหลของก๊าซ, เวลาที่ขึ้นงานอยู่ในเบดและความร้อนของการหลอมละลายของพลาสติกเรซิน เพื่อคำนวณค่าความหนาฟิล์มพลาสติกที่สภาวะต่าง ๆ

งานวิจัยที่จะกล่าวถึงในที่นี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากการศึกษาของวรรณวิมล (8) เพื่อศึกษาถึงผลของ

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้แก่ เวลาที่ใช้ในการเคลือบ, อุณหภูมิเริ่มต้นชิ้นงาน, รูปทรงชิ้นงาน และอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรชิ้นงาน และเปรียบเทียบค่าความหนาของฟิล์มที่ได้จากการทดลองกับความหนาที่คำนวณได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาโดย Elmas (6)

กลไกการเคลือบผิวโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

ถ้าพิจารณาชิ้นงานถูกทำให้ร้อนมีอุณหภูมิเริ่มต้น T_v ซึ่งมีค่าสูงกว่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกเรซิน, T_m จุ่มในฟลูอิดไดซ์เบดที่มีอุณหภูมิ T_b อนุภาคพลาสติกจะสัมผัสกับชิ้นงานที่มีอุณหภูมิเกิดการหลอมละลายฟอร์มเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติก พิจารณาจากการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติ $x = X(t)$ ไปยังเบด การเคลือบผิวจะสิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิที่ผิวแผ่นฟิล์มสัมผัสกับเบดมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลายของพลาสติกเรซิน

สมการสมดุลความร้อนที่ผิวฟิล์มพลาสติกสัมผัสเบด

$$-k = h_i (T_i(t) - T_b) + \{ \rho C_p (T_i(t) - T_b) + \rho \Delta H \} \frac{dX(t)}{dt} \quad (1)$$

โดยที่ $T_v(t)$ คืออุณหภูมิที่ผิวชิ้นงาน และ $T_i(t)$ คืออุณหภูมิที่ผิวฟิล์มพลาสติกสัมผัสเบด

สมการที่ (1) แสดงถึงความร้อนที่ถ่ายเทออกจากฟิล์มพลาสติกจะเท่ากับผลรวมระหว่างการถ่ายเทความร้อนออกจากผิวฟิล์มพลาสติกไปยังเบดด้วยการพาความร้อน ความร้อนที่อนุภาคพลาสติกสะสมเพื่อใช้ในการฟอร์มฟิล์มพลาสติก และความร้อนที่ใช้หลอมละลายพลาสติกเรซิน เมื่อผิวแผ่นฟิล์มพลาสติกมีอุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิหลอมละลายของพลาสติกเรซิน สมการที่ (1) จะได้

$$-kt = h_i ((T_m - T_b) + \{ \rho C_p (T_m - T_b) + \rho \Delta H \} \frac{dX(t)}{dt}) \quad (2)$$

การสูญเสียความร้อนจากผิวชิ้นงานที่เวลา $t = 0$ ถึง $t = t$ ทำสมดุลความร้อนได้

$$(\rho C_p V)_v T_v(t) = -h_t A (T_v(t) - T_m) \quad (3)$$

h_t คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวงาน อินทิเกรตสมการ (3) ได้

$$\frac{T_v - T_b}{T_{vb} - T_b} = \frac{\exp \{ -h_t t \}}{C_v} \quad (4)$$

เมื่อ $C_v = (C_p V)_v / A_v$

โดยที่ผิวชิ้นงาน ($x = 0$) มีอุณหภูมิเท่ากับ T_{vp}

สำหรับกลไกการเคลือบผิวอย่างง่ายเมื่อพิจารณาชิ้นงานที่ต้องการเคลือบถูกจุ่มลงในฟลูอิดไดซ์เบดสม่ำเสมอ โดยที่ชิ้นงานที่อุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดชิ้นงานและมีค่าสัมประสิทธิ์ การแพร่ความร้อนสูงกว่าเบดมากที่เวลาการเคลือบผิวนั้น ๆ

กรณีชิ้นงานรูปทรงใด ๆ (ในที่นี้จะใช้กับชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยม)

$$\frac{D}{D_\alpha} = (2 \langle k \rangle t / C_v D)^{1/2} \quad (5)$$

เมื่อ $D/D_\alpha < 0.2$ หรือ $(2 \langle k \rangle t / C_v D)^{1/2} < 0.2$

$$\text{โดยที่ } D = \frac{C_v (T_{vo} - T_m)}{\langle \rho \rangle \Delta H} \quad (6)$$

$\langle k \rangle$ = ค่าการนำความร้อน (วัตต์/ม.² ข)

a = ค่าการแพร่ความร้อน (ม²/วินาที)

Δh = ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย (จูล/กก)

D = ความหนาของฟิล์ม

กรณีขึ้นงานรูปทรงกระบอก

$$t = \frac{\rho C_p R_p^2}{4k} \{1 - [1 - 2]n \frac{R}{R_p}\} \left\{ \frac{R}{R_p} \right\}^2 \quad (7)$$

$$D = R - R_p$$

กรณีขึ้นงานรูปทรงกลม

$$\frac{D}{(at)^{1/2}} - \frac{D}{R_o} \left(\frac{C_p (T_m - T_b)}{\Delta H} \right)^{1/2} = \left(\frac{C_p (T_m - T_b)}{\Delta H} \right)^{1/2} \quad (8)$$

การทดลอง

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

1.1.1 เตาอบขึ้นงานขนาด 4.5 x 4.5 x 4.5 ลูกบาศก์นิ้ว ขดลวดความร้อนขนาด 2.2 กิโลวัตต์ ซึ่งมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 0-600° ซ ชนิด on-off Controller

1.1.2 ฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งประกอบด้วยเครื่องกรองอากาศ, วาล์วและเครื่องวัดอัตราการไหล, เซ็ควาล์วเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของอากาศเข้าสู่เครื่องวัดอัตราการไหล, เครื่องให้ความร้อนแก่อากาศ

และตัวถังฟลูอิดไดซ์เบดประกอบด้วยสองส่วน ส่วนบนเป็นทรงกระบอก สร้างด้วยแผ่นสแตนเลสหนา 3 มม. มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ซม. สูง 40 ซม. ส่วนล่างเป็นกรวยมีปลายขยายสูง 10 ซม. ต่อเข้ากับท่อสแตนเลสเบอร์ 304 ขนาด 1/2 นิ้ว ระหว่างส่วนทั้งสองของเบดจะมีแผ่นกระจายลม 2 แผ่นกันอยู่ แผ่นกระจายลมทั้งสองห่างกัน 15 ซม. แผ่นล่างเป็นตัวกระจายลมแบบ bubble cap

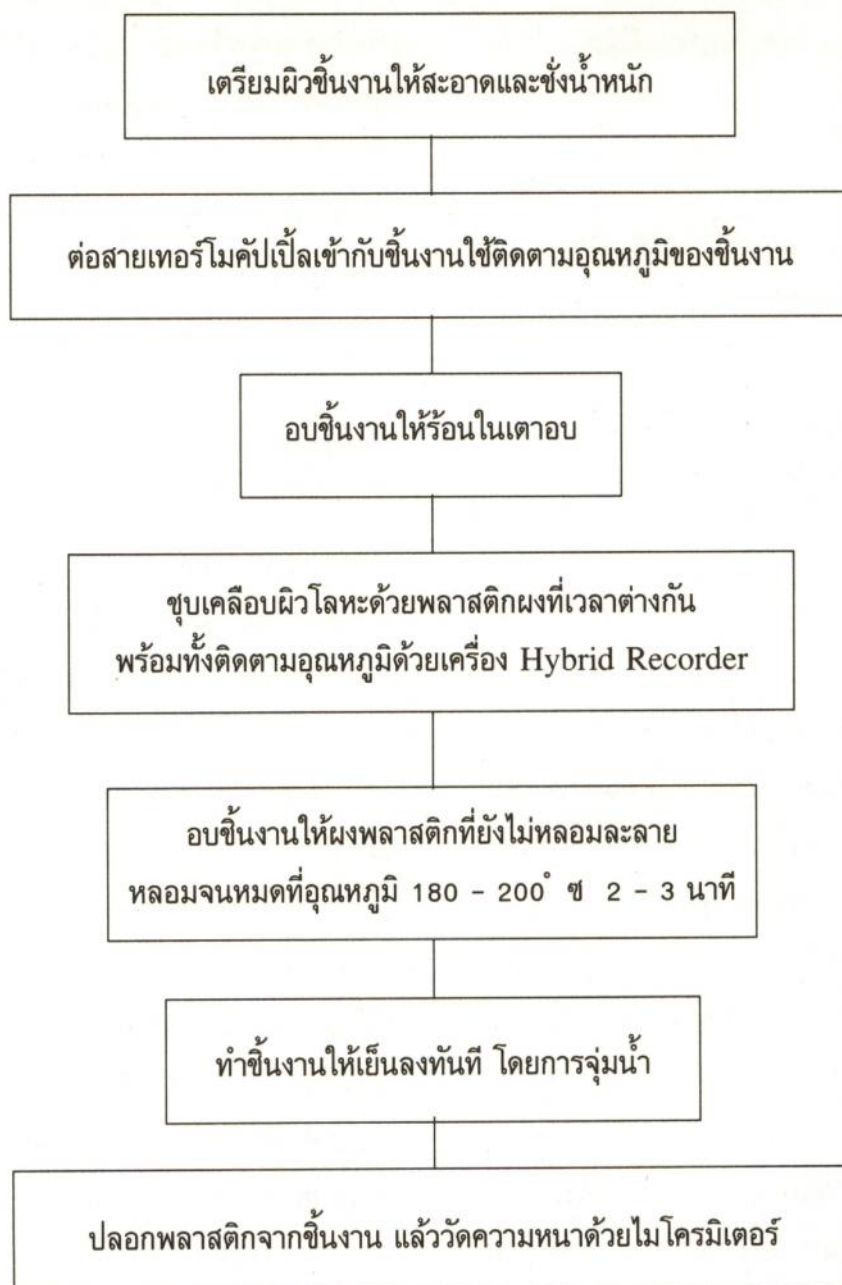
1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1.2.1 เครื่อง DTA 1700 System High Temperature Differential Thermal Analyzer ซึ่งใช้หาจุดหลอมละลาย และความร้อนในการหลอมละลาย

1.2.2 Hybrid recorder ซึ่งใช้วัดอุณหภูมิและเวลา

2. วัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิว คือโพลีเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำผลิตโดยบริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมี-คัลไทย ซึ่งมี melt flow index 20 กรัม/10 นาที, ความหนาแน่นที่ 25° ซ 0.916 กรัม/ลบ.ซม., tensile strength at break 8.7 นิวตัน/ตร.มม., tensile strength at yield 600 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิเริ่มอ่อนตัว 80° ซ และขนาดอนุภาคเฉลี่ย 300 ไมครอน

3. การดำเนินการทดลอง มีขั้นตอนดังแผนภาพรูปที่ 1



รูปที่ 1 สรุปกรรมวิธีการเคลือบโลหะด้วยพลาสติกผก

ผลการทดลอง

1. คุณสมบัติของพลาสติก

1.1 อุณหภูมิและความร้อนหลอมละลายของสารเคลือบผิว

อุณหภูมิและความร้อนหลอมละลายได้จากการทดลองด้วยเครื่อง DTA 1700 System ได้

อุณหภูมิหลอมละลายของโพลีเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ = 108°C

ความร้อนหลอมละลายของโพลีเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ = 4.464×10^4 จูล/กก.

1.2 ความเร็วต่ำสุด, สัดส่วนช่องว่าง และความหนาแน่นของฟลูอิดไดซ์เบด

สรุปผลการทดลองในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนช่องว่างและความหนาแน่นของฟลูอิดไดซ์เบด

อัตราการไหล ของอากาศ ฟุต/วินาที	ความเร็วอากาศ อากาศ เมตร/วินาที	ความสูง ของเบด เมตร	สัดส่วนช่องว่าง ของเบด	ความหนาแน่นเฉลี่ย ของเบด กก./ม. ³
2.75	26.43	0.2200	0.677	296.66
3.85	37.01	0.2343	0.698	277.45

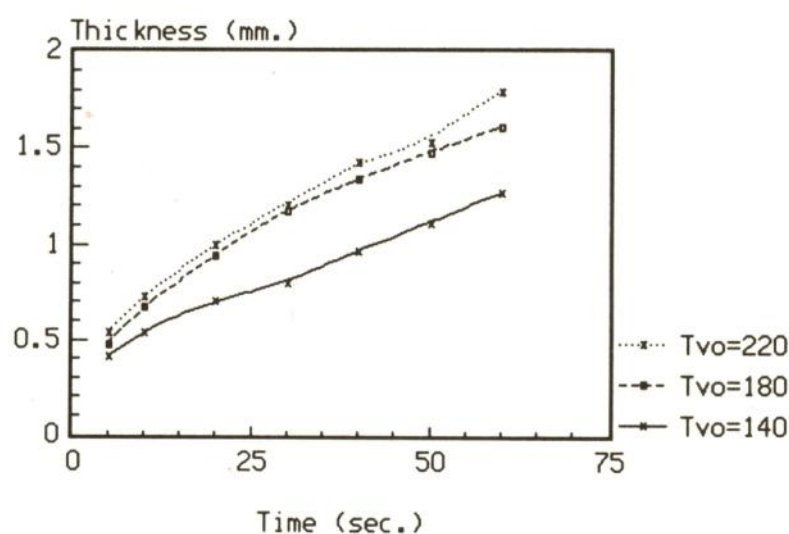
ดังนั้นในการทดลองเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วอากาศต่อค่าความหนาฟิล์มพลาสติกจึงเลือกใช้ความเร็วอากาศเท่ากับ 1.4 เท่าของความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไดเซชัน และมีสัดส่วนช่องว่างและความหนาแน่นของเบดดังตารางที่ 1 พบว่าความหนาแน่นของเบดจะลดลงเมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการกระจายตัวของอนุภาคในเบดมากขึ้น

2. ผลของการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อ

ความหนาของพลาสติก

2.1 อุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นงาน

ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มต้นชิ้นงานโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิเริ่มต้น 140, 180 และ 220 °C ผลการทดลองแสดงในกราฟรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นชิ้นงานสูงขึ้น ความหนาชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นในเวลารอบการเคลือบผิวเท่ากัน ซึ่งให้ผลเหมือนกันทั้ง 3 รูปทรง ในที่นี้จะแสดงผลเฉพาะรูปทรงกระบอก



รูปที่ 2 อิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นงานทรงกระบอกต่อค่าความหนาของฟิล์มพลาสติก

2.2 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของชิ้นงาน
ศึกษาโดยใช้รูปทรง 3 รูปทรงได้แก่ ทรงกลม

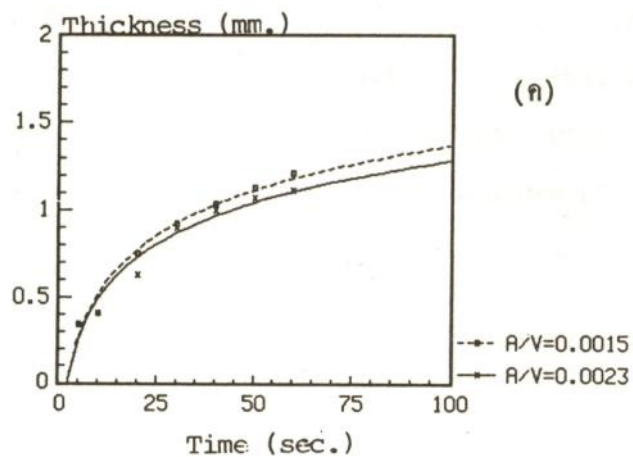
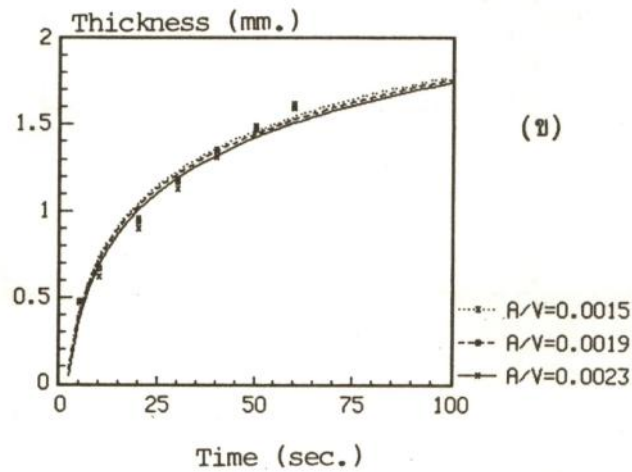
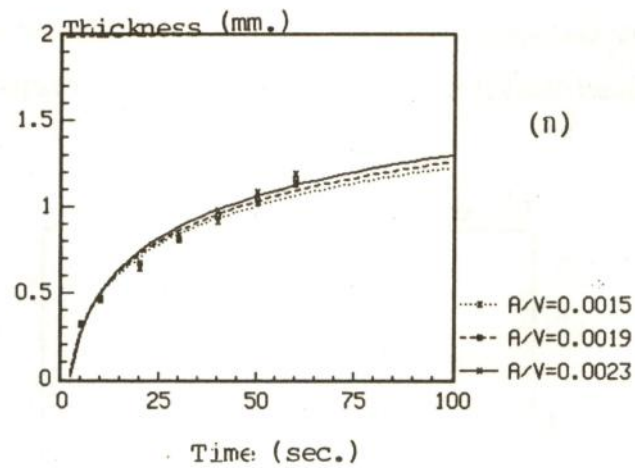
ทรงกระบอก และทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีอัตราส่วน
พื้นที่ผิวต่อปริมาตร (m^{-1}) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของชิ้นงาน

รูปทรง	อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (m^{-1})		
	1	2	3
ทรงกลม	1.575×10^{-3}	1.890×10^{-3}	2.362×10^{-3}
ทรงกระบอก	1.570×10^{-3}	1.928×10^{-3}	2.289×10^{-3}
ทรงสี่เหลี่ยม	1.570×10^{-3}	1.928×10^{-3}	2.314×10^{-3}

จากผลการทดลองแสดงในรูปที่ 3 ซึ่ง
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาฟิล์มพลาสติก
กับเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อ
ปริมาตรชิ้นงานของทรงกระบอก และทรงสี่เหลี่ยม
ผืนผ้า พบว่า ถ้าลดอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร
ชิ้นงานแล้ว ความหนาของฟิล์มพลาสติกจะเพิ่มขึ้นที่

เวลาเท่ากัน สำหรับทรงกลมให้ผลแตกต่าง ทั้งนี้เนื่อง
จากที่ผิวของทรงกลมเป็นผิวซุบโครเมียมซึ่งเป็น
ฉนวน พื้นที่สัมผัสจะมากหรือน้อย การถ่ายเทความ
ร้อนสู่สิ่งแวดล้อมจะมีค่าใกล้เคียงกัน ชิ้นงานที่ปริมาตร
มากกว่า จุดความร้อนได้มากกว่า จะให้ค่าความหนาที่
สูงกว่า



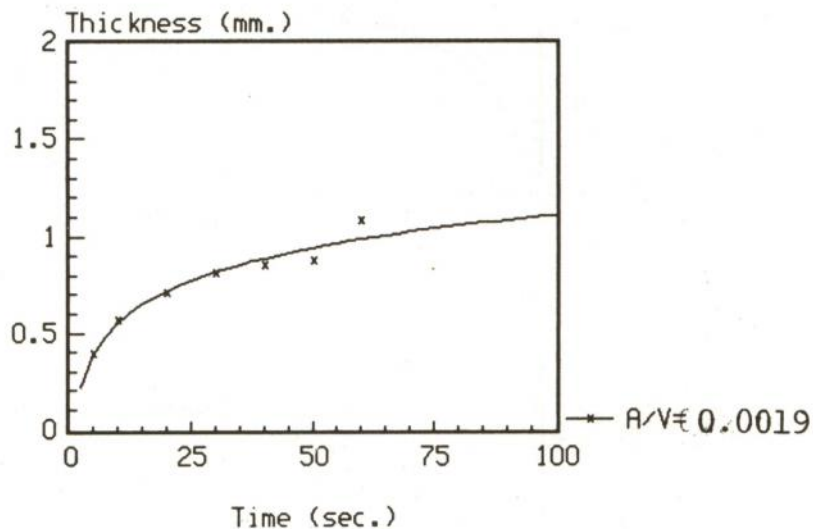
รูปที่ 3 อิทธิพลของอัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตรของชิ้นงาน ต่อค่าความหนาของฟิล์มพลาสติก
โดยที่

- ก. ชิ้นงานทรงกลม
- ข. ชิ้นงานทรงกระบอก
- ค. ชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยม

2.3 เวลาที่ใช้ในเบด

ค่าความหนาฟิล์มพลาสติกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้น ๆ ของการเคลือบผิวและความหนาจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนมีแนวโน้มเข้าใกล้ค่าคงที่เมื่อ

เวลามีค่าเพิ่มขึ้นจนในที่สุดค่าความหนาของฟิล์มพลาสติกมีค่าคงที่ การเคลือบจะสิ้นสุดลง เมื่ออุณหภูมิของฟิล์มพลาสติกลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมละลายของพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 4

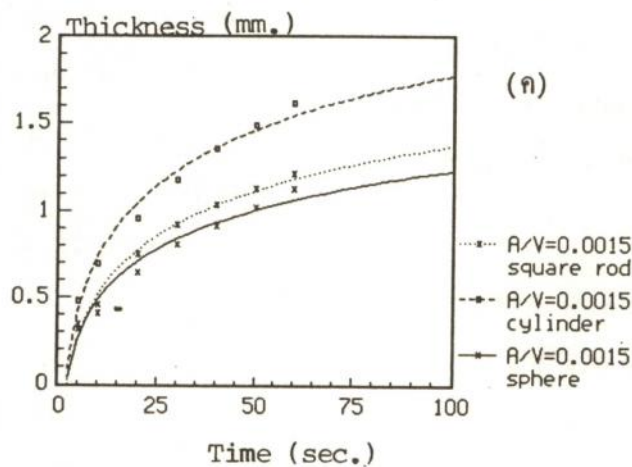
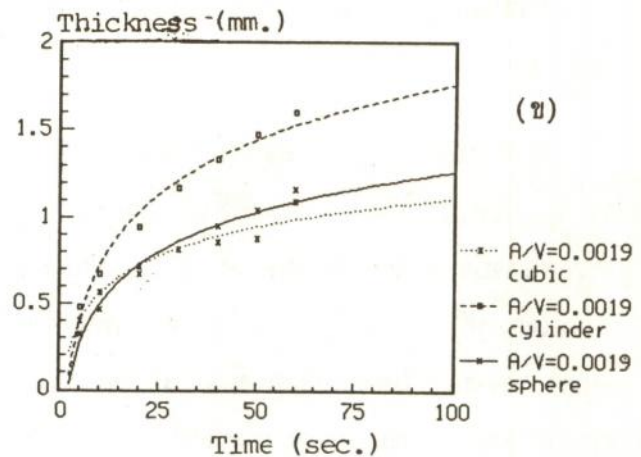
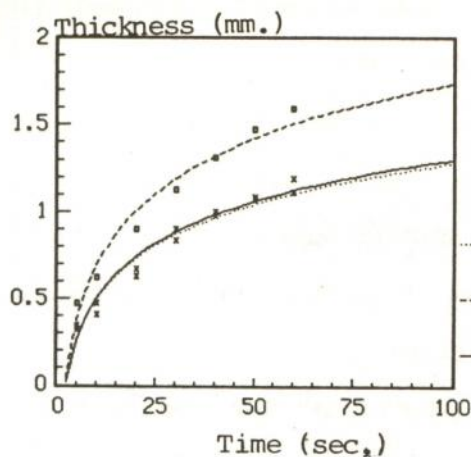


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าความหนาของฟิล์มพลาสติกของชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยม

2.4 รูปทรงชิ้นงาน

ศึกษาอิทธิพลของรูปทรงชิ้นงาน โดยเปรียบเทียบระหว่างรูปทรงต่างกันเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเท่ากัน จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเท่ากัน ชิ้นงานรูปทรงกระบอกให้ความหนาฟิล์มพลาสติกสูงที่สุด รองลงมาเป็นทรงกลมและ

ทรงสี่เหลี่ยมตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานรูปทรงกระบอกมีค่าการนำความร้อนสูงที่สุด การแพร่ความร้อนก็สูงด้วย มีผลให้เวลาการเคลือบเท่ากันชิ้นงานทรงกระบอกมีอัตราการถ่ายเทความร้อนจากชิ้นงานสู่เบดสูง พลาสติกหลอมละลายเคลือบที่ผิวได้ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 อิทธิพลของรูปทรงต่อค่าความหนาของฟิล์มพลาสติก

- โดยที่ ก. อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของชิ้นงาน = $2.32 \times 1000^{-3} \text{ m}^{-1}$
 ข. อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของชิ้นงาน = $1.92 \times 1000^{-3} \text{ m}^{-1}$
 ค. อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของชิ้นงาน = $1.57 \times 1000^{-3} \text{ m}^{-1}$

3. การเปรียบเทียบค่าความหนาฟิล์มพลาสติก
 ที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง

การคำนวณค่าความหนาฟิล์มพลาสติก สำหรับ
 ชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยมใช้สมการที่ (5), ทรงกระบอกใช้
 สมการที่ (7) และทรงกลมใช้สมการที่ (8) เนื่องจาก
 ค่าการนำความร้อนของชิ้นงานหาได้ 2 วิธีจากข้อมูล
 การทดลองและจากค่าคุณสมบัติทางความร้อนของ
 พลาสติกและอากาศ ด้วยสมการ (9) และ (10) ตาม
 ลำดับ

$$h_i = [(k^2/at)]^{1/2} \quad (9)$$

$$\langle k \rangle_x / k_p = 0.12 U_x d_x / a_x + \langle k \rangle_x / k_p \quad (10)$$

โดยที่

k_x = ค่าการนำความร้อนของอากาศ

= .026 วัตต์ต่อเมตร °ซ

u_x = 37.01 เมตรต่อวินาที

d_s = 300×10^{-6} เมตร

$a_x = k_x / c_p = 9.3728 \times 10^{-5} \text{ (ม}^2\text{/วินาที)}$

$\langle k \rangle_p = 0.052 \text{ วัตต์/ม}^2\text{ซ}$

ซึ่งสามารถคำนวณ $\langle k \rangle = 0.05231$ วัตต์/เมตร-°ซ

ค่าความหนาของฟิล์มพลาสติกที่คำนวณได้จากค่า k วิธีแรก ให้ค่าความหนาฟิล์มพลาสติกสูงกว่าการทดลองประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าความหนาที่ได้จากค่า k วิธีที่ 2 จะให้ค่าความหนาฟิล์มสูงกว่าการทดลองโดยขึ้นงานทรงกลมให้ค่าความหนาสูงกว่าการทดลองประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ทรงกระบอก 10 เปอร์เซ็นต์ และทรงสี่เหลี่ยมประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยมนั้น เนื่องจากยังไม่สามารถหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมมารองรับได้จึงใช้สมการการเคลือบผิวทั่วไป ซึ่งพบว่าไม่อาจใช้สมการดังกล่าวทำนายได้

สาเหตุที่ทำให้ความหนาฟิล์มพลาสติกจากการคำนวณสูงกว่าค่าจากการทดลองอาจเนื่องมาจาก

1. อุณหภูมิชิ้นงานมีค่าคงที่ สมมติฐานข้อนี้ใช้ได้ดีในกรณีการเคลือบผิวมีระยะเวลาสั้น ๆ หรือชิ้นงานมีความจุความร้อนสูง
2. สมมติฐานที่ว่าอุณหภูมิของฟิล์มพลาสติกมีค่าเท่ากับอุณหภูมิหลอมละลายของพลาสติก
3. การคลาดเคลื่อนในการคำนวณ

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่อความหนาของฟิล์มพลาสติก โดยเน้นศึกษาอิทธิพลของรูปทรงชิ้นงาน, ค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรชิ้นงานและอุณหภูมิเริ่มต้นชิ้นงาน โดยมีการคำนวณค่าความหนาฟิล์มพลาสติกจากสมการคณิตศาสตร์ เพื่อหาสมการที่เหมาะสมในการใช้ทำนายค่าความหนาฟิล์มพลาสติก จากการศึกษาพอสรุปได้ดังนี้

- 1) การเคลือบผิวด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

สามารถเคลือบผิวโลหะได้ความหนาของฟิล์มพลาสติกมีความสม่ำเสมอ

2) การเคลือบผิวชิ้นงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรดังนี้

2.1 อุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นงาน เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นชิ้นงานสูงขึ้น ความหนาของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นในเวลากการเคลือบผิวเท่ากัน

2.2 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของชิ้นงาน เมื่อลดอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรชิ้นงานแล้ว ความหนาฟิล์มพลาสติกจะเพิ่มขึ้นที่เวลาเท่ากันสำหรับชิ้นงานทรงกระบอกและทรงสี่เหลี่ยมสำหรับทรงกลมให้ผลแตกต่างทั้งนี้เนื่องจากผิวทรงกลมเป็นผิวขุบโครเมียมซึ่งเป็นฉนวน พื้นที่สัมผัสจะมากหรือน้อย การถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมมีค่าใกล้เคียงกัน ชิ้นงานที่มีปริมาตรมากกว่าจะความร้อนได้มากกว่าจะให้ค่าความหนาฟิล์มสูงกว่า

2.3 เวลาที่ใช้ในเบด ความหนาฟิล์มพลาสติกที่ได้จากการเคลือบผิวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงเวลาแรกของการเคลือบผิว และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อเวลามีค่ามากขึ้นจนมีค่าคงที่เมื่ออุณหภูมิที่ฟิล์มพลาสติกมีค่าต่ำกว่าจุดหลอมละลายของพลาสติก

2.4 รูปทรงชิ้นงาน ที่อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเท่ากัน ชิ้นงานรูปทรงกระบอกให้ความหนาฟิล์มพลาสติกสูงที่สุด รองลงมาเป็นทรงกลมและทรงสี่เหลี่ยมตามลำดับ

3) การคำนวณค่าความหนาฟิล์มพลาสติกจากสมการทางคณิตศาสตร์จะมีค่าสูงกว่าค่าความหนาจากผลการทดลองที่สภาวะเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากสมมติฐานที่ตั้งขึ้น เพื่อความสะดวกในการคำนวณ

หนังสืออ้างอิง

1. Gaynor J., 1960, 'Fluidized Bed Coating', Chemical Engineering Progress,

- Vol.56, No.7 pp 75-78.
2. Borsh, R.J., 1960, 'Fluidized Bed Coating with Vinyl', Modern Plastics, Vol.11, No.37, pp 124-128.
 3. Pettigrew, C.K. 1966(a), 'Fluidized Bed Coating - Part I', Modern Plastic, Vol.43, No.12, pp. 111-120.
 4. Landrock, A.H., 1967, 'Fluidized Bed Coating with Plastics', Chemical Engineering Progress, Vol.63, No.2, pp. 67-74.
 5. Richart, Douglas S., 1968, 'A Report on the Fluidized Bed Coating System Part-2 Plastics for coating and their selection', Plastic Design & rocessing, Vol.2, No.7, pp. 17-21
 6. Elmas, M, 1970, 'The Theory of Fluidized Bed Coating' Chemical Engineering Journal, Vol.1, No.1, pp. 217-231
 7. กรรณิการ์ ทรงคำ, สุนีย์ เจอรำม, 2534, การเคลือบผิวด้วยพลาสติกผงโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมเคมี, กรุงเทพฯ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หน้า 1-81
 8. วรวิมล อารยะปราณี, 2533, การเคลือบผิวด้วยพลาสติก ผงโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, กรุงเทพฯ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 1-82