

# การวิเคราะห์เชิงสถิติ

## ผลการทดสอบการไหลของเคลือบเซรามิกหลอม

### โดยการวิเคราะห์ไหลบนระนาบเอียง

● ลดา พันธุ์สุขุมธนา วรณมา ต. แสงจันทร์ และสายจิต ดาวสุโย

#### บทคัดย่อ

การทดสอบระยะไหลบนระนาบเอียงของเคลือบหลอม (Inclined Flow Plane Test) คือการประเมินความหนืดของเคลือบหลอม โดยการวัดระยะไหลของเคลือบที่หลอมบนพื้นลาดเอียงหลังเผา เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพของเคลือบในกระบวนการผลิต แต่การทดสอบนี้ไม่ปรากฏวิธีทดสอบเป็นมาตรฐาน อีกทั้งการทดสอบนี้มีความหลากหลายในด้านรูปแบบของอุปกรณ์ทดสอบปริมาณตัวอย่างและองศาลาดเอียงที่ใช้ในการทดสอบ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ โดยทดสอบเคลือบสองชนิดที่มีความหนืดที่  $950^{\circ}\text{C}$   $10^{4.987}\text{Pa s}$  และ  $10^{5.247}\text{Pa s}$  ปริมาณตัวอย่างที่ 2 5 10 กรัม และองศาลาดเอียงในการทดสอบที่  $45^{\circ}\text{C}$  และ  $60^{\circ}\text{C}$  ได้นำข้อมูลระยะไหลที่ได้จากการทดลองมาประมวลและวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติคือ Grubbs's Test F-test และ T-test ผลการวิจัยพบว่า ระยะไหลขึ้นกับน้ำหนักตัวอย่างและองศาลาดเอียงในการทดสอบ เมื่อน้ำหนักตัวอย่างและองศาลาดเอียงเพิ่มขึ้น ระยะไหลเพิ่มขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของระยะไหลไม่คงที่ขึ้นกับความหนืดของเคลือบ แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณตัวอย่างและองศาลาดเอียงในการทดสอบเพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ** ; เซรามิก เคลือบ การไหลของเคลือบหลอม ความหนืด

#### Statistical Analysis on Inclined Flow Plane Test of Ceramic Glaze

Lada Punsukumtana, Wanna T. Saengchantara, and Saijit Daosuko

Department of Science Service, Ministry of Science and Technology, Bangkok, Thailand

#### Abstract

Inclined Flow Plane Test is a method of measuring the flowing length of molten ceramic glaze after fired. It is done to evaluate the melt fluidity of glazes in the ceramic industry to maintaining consistency, duplicating and understanding a glaze. However, there is no standard method for this test. They are varied in designs and procedures of testing such as sample weight and test declined angle. The paper investigated the factors as glaze's viscosity, sample weight, and test declined angle, that could affect on the Inclined Flow Plane Test result. Two glazes with the viscosity  $10^{4.987}\text{Pa s}$  and  $10^{5.247}\text{Pa s}$  at  $950^{\circ}\text{C}$  were used. Samples weight of 2, 5, and 10 gram and declined angle of  $45^{\circ}\text{C}$  and  $60^{\circ}\text{C}$  were varied in the test. The test results were evaluated through statistical analysis as Grubbs's Test, F-test, และ T-test. It was found that flowing length increased when the sample's weight and declined angle increased. The coefficient of variance of the test was depended on the glaze viscosity. An increasing in the sample weight and

test declined angle tended to decrease the coefficient of variance of testing on the high viscosity glaze.

**Keyword:** Ceramic Glaze Inclined Flow Plane Test Viscosity

## 1. บทนำ

สมบัติของเคลือบที่ผู้ประกอบการส่วนใหญ่มักใช้ในการพัฒนาสูตรเคลือบ หรือควบคุมกระบวนการผลิต นอกจากสีและลักษณะพื้นผิวแล้ว ได้แก่ การขยายตัวเมื่อร้อนและความหนืด การพัฒนาสูตรเคลือบนิยมใช้วิธีการคำนวณสูตรและแปรเปลี่ยนอัตราส่วนขององค์ประกอบทางเคมี แล้วจึงทดลองเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ การทดสอบการขยายตัวเมื่อร้อนใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ Dilatometer ส่วนความหนืดใช้วิธีเปรียบเทียบระยะการไหลของเคลือบหลังเผาโดยวิธี Inclined Flow Plane Test ดำเนินการ โดยการนำเคลือบมาวางในเบ้าของอุปกรณ์ทดสอบการไหลซึ่งมีพื้นลาดเอียง เผาที่อุณหภูมิสูง เคลือบจะหลอมเป็นแก้ว และไหลออกจากเบ้าเป็นทางยาว วัดระยะไหลของเคลือบหลังเผาเปรียบเทียบระยะไหลกับเคลือบมาตรฐาน เพื่อควบคุมเคลือบในกระบวนการผลิต

อย่างไรก็ตามไม่ปรากฏวิธี Inclined Flow Plane Test ที่เป็นมาตรฐาน โรงงานเซรามิกจะใช้อุปกรณ์ทดสอบการไหลของเคลือบที่แตกต่างกัน ขนาด รูปแบบ และวิธีทดสอบ เช่น น้ำหนักของตัวอย่างเคลือบและองศาลาดเอียงที่ใช้ในการทดสอบ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ โดยได้ดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบการไหล สำหรับ Inclined Flow Plane Test ที่สามารถแปรเปลี่ยนปริมาณตัวอย่างเคลือบและองศาลาดเอียงในการทดสอบ และศึกษาระยะไหลของเคลือบโดยการแปรเปลี่ยนปัจจัยความหนืด ของเคลือบ น้ำหนักของเคลือบ และองศาลาดเอียงในการทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทดสอบ และความแปรปรวนที่เกิดจากการทดสอบนี้ รวมถึงให้ทราบข้อจำกัดของการใช้ข้อมูลจากการทดสอบนี้

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 อุปกรณ์การทดลอง

การเตรียมวัสดุอุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดลอง ได้แก่ การเตรียมอุปกรณ์ทดสอบการไหลและการเตรียม เคลือบในการเตรียมอุปกรณ์ทดสอบการไหล ได้ออกแบบอุปกรณ์ ทดสอบการไหล จัดทำแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์สำหรับใช้ในการขึ้นรูปด้วยการ

หล่อหน้าดิน น้ำดินที่ใช้ คือ ดินสโตนแวร์สำหรับหล่อ (เกรด PAA ของ Compound clay Co.Ltd.) เผาอุปกรณ์ทดสอบที่ 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 1 เนื้อดินมีสมบัติการหดตัวหลังเผาร้อยละ 6.9% ที่ 800°C และร้อยละ 13.5% ที่ 1200°C และเตรียมแท่นสำหรับวางอุปกรณ์ทดสอบการไหลโดยการตัดอิฐเบาทนไฟ (เกรด ARI C-2 ของ Asia Refractory Industry) เป็นมุม 45°C และ 60°C

สำหรับเคลือบที่ใช้ในการทดลอง มี 2 สูตรคือ Gla และ W31 ดังตารางที่ 1 เคลือบทั้งสองมีสมบัติ การสุกตัวที่อุณหภูมิ 1100 และ 1190°C ตามลำดับ จากการคำนวณโดย GlassCal2005 (บจก. แลมดำนิว) พบว่า สมบัติความหนืดที่ 950°C มีค่า  $10^{4.987}$  Pa s และ  $10^{5.247}$  Pa s ตามลำดับ เตรียมเคลือบโดยการชั่งเคลือบปริมาณ 2 กิโลกรัม บดในหม้อบด ในอัตราส่วนเคลือบแห้งต่อน้ำ 1:1 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำเคลือบที่บดแล้วมาทิ้ง ให้ตกตะกอนและอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100°C จนน้ำหนักคงที่ขึ้นรูปเคลือบ โดยการชั่งเคลือบที่บดและ อบแห้งแล้วในปริมาณที่ต้องการในถุงพลาสติก เติมน้ำพอให้ปั้นได้ ปั้นในถุงพลาสติกเป็นเม็ดกลม ทิ้งให้แห้งสนิท

### 2.2 วิธีการทดลอง

วิธีการทดสอบการไหลของเคลือบหลอมทำ โดยการนำเคลือบที่ปั้นเป็นก้อนกลมใส่ในเบ้าที่วาง ตัวอย่างของอุปกรณ์ทดสอบการไหล นำอุปกรณ์ทดสอบการไหลวางบนอิฐที่เตรียมไว้ นำตัวอย่างเข้าเผาในเตาไฟฟ้า ได้ทดลองแปรเปลี่ยนปัจจัยการทดลอง คือ น้ำหนักเคลือบที่ 2.5 และ 10 กรัม และมุมของฐานรองอุปกรณ์ฯ ที่มุม 45°C และ 60°C ได้ทดลองกับเคลือบตัวอย่างละ 10 ชิ้น ตารางการเผาใช้อัตรา 2.6-2.8°C/นาที ยืนไฟที่อุณหภูมิสุกตัวของเคลือบที่ 30 นาที ตรวจสอบอุณหภูมิที่เผาโดยใช้ Thermal ring ประเมินผลการทดสอบโดยใช้เวอร์เนียร์วัดระยะการไหลหลังเผารหัสตัวอย่างและปัจจัยที่แปรเปลี่ยนในการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

### 2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลระยะไหลหลังเผาทั้งหมดมาหาค่าทางสถิติ คือ ค่าต่ำสุด (Min) ค่าสูงสุด (Max) ค่ามัธยฐาน (Median) ค่าที่ตำแหน่ง 1<sup>st</sup> quartile และ 3<sup>rd</sup> quartile แสดงผลโดย Box Plot เพื่อที่จะแสดงเปรียบเทียบค่าทางสถิติของข้อมูลแต่ละชุด รวมถึงแสดงลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลแต่ละชุด ได้นำข้อมูลที่นำมาประมวลโดยการคำนวณหา Outlier โดยวิธี Grubbs's Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละชุดมีการตรวจสอบทางสถิติเพื่อหาความสำคัญของค่าที่แตกต่างกันระหว่าง



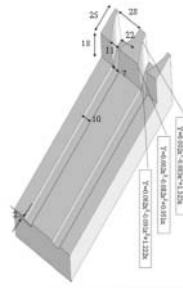
ชุดข้อมูล โดยให้นำข้อมูลมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of variance, CV) CV เป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายตัวของข้อมูลเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลตั้งแต่สองชุดขึ้นไปที่มีหน่วยวัดต่างกันได้ สำหรับการพิจารณา ความแตกต่างของความแปรปรวนของแต่ละชุดข้อมูลใช้ F-test โดยเปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้กับค่า  $F_{critical}$  หากค่า F มากกว่า  $F_{critical}$  แสดงว่ามีความแตกต่างของค่าความแปรปรวนของข้อมูลเป็นนัยสำคัญ และเปรียบเทียบระยะไหลของตัวอย่างด้วย t - test โดยเปรียบเทียบค่า t ที่คำนวณ ได้กับค่า  $t_{critical}$  หากค่า t ที่คำนวณได้มากกว่า  $t_{critical}$  แสดงว่าระยะไหลมีความแตกต่างกันเป็นนัยสำคัญ สูตรที่ใช้ในการคำนวณโดยให้  $\bar{x}$  คือค่าเฉลี่ย S คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้แก่

$$\text{Grubbs's Test : } T_{exp} = \frac{(x_n - \bar{x})}{s}$$

$$\text{Coefficient of variance: } CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$$

$$\text{F test } F = \frac{s_1^2}{s_2^2} > 1$$

ภาพที่ 1 แสดงต้นแบบก่อนเผาอุปกรณ์ทดสอบการไหลที่ใช้ในการทดลอง (หน่วย มม.)



ภาพที่ 2 ระยะไหลของเคลือบในการทดลอง



ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของเคลือบ W31 และ Gla และสมบัติจากการคำนวณ

รหัส/ส่วนผสม	Gla	W31
แร่ฟันม้า <sup>#1</sup>	28	35.2
หินปูน <sup>#2</sup>	20	13.6
ควอร์ตซ์ <sup>#2</sup>	32	28.5
ทัลคัม <sup>#2</sup>	-	4.8
ดินขาวราอิวัส <sup>#3</sup>	15	11.1
ซิงก์ออกไซด์ <sup>#4</sup>	5	6.8
ฟริต (PN5520) <sup>#2</sup>	30	-
อุณหภูมิการเผา (°C)	1100	1190
การขยายตัวเมื่อร้อน(x10 <sup>-6</sup> °C)	6.86	5.83
ความหนืด 950°C (Pa s)	10 <sup>4.987</sup>	10 <sup>5.247</sup>

<sup>#1</sup> Industrial Mineral Development Ltd., <sup>#2</sup> Cernic International Co. Ltd.,

<sup>#3</sup> Clays & Minerals (Thailand) Co., Ltd. <sup>#4</sup> Utid Chemical Industries Co., Ltd.,

ตารางที่ 2 แสดงรหัสตัวอย่างและปัจจัยที่แปรเปลี่ยนในการทดลอง

องศาที่ใช้ในการทดสอบ	2 กรัม		5 กรัม		10 กรัม	
	Gla	W31	Gla	W31	Gla	W31
45°	G-45-2g	W-45-2g	G-45-5g	W-45-5g	G-45-10g	W-45-10g
60°	G-60-2g	W-60-2g	G-60-5g	W-60-5g	G-60-10g	W-60-10g

### 3. ผลและวิจารณ์การทดลอง

#### 3.1 การกระจายและการเบี่ยงเบนของข้อมูลโดย

##### Box Plot

ผลการทดลองระยะไหล โดยการแปรเปลี่ยนตัวอย่าง เคลื่อนน้ำหนักตัวอย่าง และองศาลาดเอียง แสดงดังตารางที่ 3 และ 4 ได้แสดง ค่าต่ำสุด (Min) ค่าสูงสุด (Max) ค่ามัธยฐาน (Median) ค่าที่ตำแหน่ง 1<sup>st</sup> quartile และ 3<sup>rd</sup> quartile ของ เคลือบ Gla และ W31 โดย Box Plot ดังภาพที่ 3 และ 4 ตามลำดับรูปแสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละชุด มีการกระจายตัวแบบ normal distribution เป็นส่วนใหญ่ ยกเว้น ข้อมูลของ G-45-10g และ W-45-10g นั้น มีการกระจายตัวในลักษณะ เบี่ยงเบนไปทางขวาอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเนื่องจากปริมาณของเคลือบ ไม่เหมาะสมกับการทดสอบที่มุม 45 องศา เมื่อเปรียบเทียบองศาของการทดสอบของชุดข้อมูลทั้งหมดพบว่า การทดสอบที่มุม 60 องศา นั้น มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอและมีการเบี่ยงเบนจากจุดศูนย์กลางน้อยกว่าการทดสอบที่ 45 องศา เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของชุดข้อมูลระหว่างเคลือบทั้งสองพบว่า เคลือบ Gla ซึ่งเป็นเคลือบที่มีความหนืดต่ำให้ข้อมูลที่มีการกระจายตัวที่แคบกว่า และมีค่าเบี่ยงเบนจากจุดศูนย์กลางต่ำกว่าค่าที่ได้จากชุดของเคลือบ W31 ซึ่งเป็นเคลือบที่มีความหนืดสูง

#### 3.2 สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนและ F-test (two tailed)

ผลของการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของการทดสอบที่ใช้องศาการทดสอบ 40°C และ 60°C ของเคลือบ

Gla และ W31 ที่ปริมาณตัวอย่าง 2.5 และ 10 กรัม ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงดังตารางที่ 5 และ 6 ภาพที่ 5 และ 6 พบว่า การทดสอบเคลือบ Gla มีค่า F น้อยกว่า  $F_{critical}$  แสดงว่า สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของการทดสอบไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับการทดสอบเคลือบ W31 ที่ตัวอย่างปริมาณ 2 และ 5 กรัม ค่า F น้อยกว่า  $F_{critical}$  แต่การเปรียบเทียบที่องศาการทดสอบ 45° และ 60° ของการทดสอบเคลือบ W31 ที่ตัวอย่างปริมาณ 10 กรัม พบว่าค่า F มากกว่า  $F_{critical}$  แสดงว่า สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของการทดสอบแตกต่างกันเป็นนัยสำคัญ ดังนั้น การทดสอบ Inclined Flow Plane Test ที่ใช้ปริมาณตัวอย่างที่ 10 กรัม องศา ลาดเอียงที่ 60° ในการทดสอบเคลือบ W31 ซึ่งเป็นเคลือบที่มีความหนืดสูง ทำให้ความแปรปรวนของการทดสอบลดลงได้ แต่ในการทดสอบเคลือบที่มีความหนืดต่ำ การเพิ่มปริมาณตัวอย่างหรือองศาลาดเอียงไม่ส่งผลต่อความแปรปรวนในการทดสอบ

#### 3.3 T-test (two tailed)

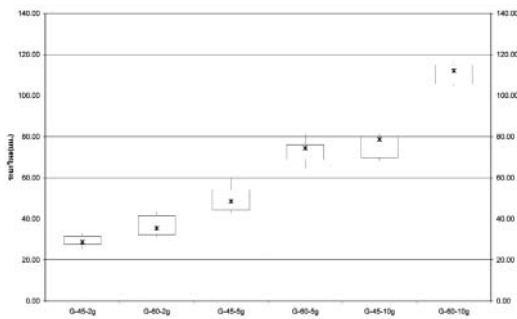
ค่า t - test P two tail และ t Critical two-tail ของ การทดสอบเคลือบ Gla และ W31 ที่ปริมาณตัวอย่าง 2.5 และ 10 กรัม องศาการทดสอบ 45°C และ 60°C แสดงดังตารางที่ 7 และ ภาพที่ 7 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าค่า t ของทุกตัวอย่างมากกว่า  $t_{critical}$  แสดงว่า การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวอย่างและองศาการทดสอบมีผลต่อระยะไหลที่ได้จากการทดสอบ เป็นนัยสำคัญ โดยน้ำหนักตัวอย่างเพิ่มขึ้นระยะไหลเพิ่มขึ้น และเมื่อองศาการวางเพิ่มขึ้นระยะไหลเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 แสดงระยะไหลของการทดลองแปรเปลี่ยนน้ำหนัก องศาลาดเอียง ของเคลือบ Gla (มม.)

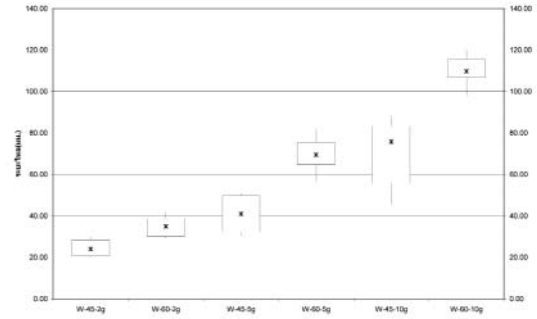
ตัวอย่าง	G-45-2g	G-60-2g	G-45-5g	G-60-5g	G-45-10g	G-60-10g
1	25.44	31.43	42.78	64.59	68.08	94.62
2	27.27	31.68	43.87	68.42	68.23	104.86
3	27.78	32.93	44.61	69.26	71.52	105.52
4	28.38	34.63	46.75	73.90	77.23	105.84
5	28.74	35.07	48.13	74.20	78.56	111.46
6	28.74	35.76	49.00	74.70	78.71	112.13
7	28.80	40.18	51.49	75.49	78.83	114.74
8	31.46	41.37	52.18	75.71	79.25	114.82
9	31.53	41.98	56.06	76.71	80.73	115.22
10	33.16	43.50	59.77	81.28	81.30	115.71

ตารางที่ 4 แสดงระยะไหลของการทดลองแปรเปลี่ยนน้ำหนัก องศาเฉลี่ย ของเคลือบ W31 (มม.)

ตัวอย่าง	W-45-2g	W-60-2g	W-45-5g	W-60-5g	W-45-10g	W-60-10g
1	20.21	29.17	30.59	56.18	45.31	98.08
2	20.63	30.21	31.53	60.59	51.03	106.41
3	20.66	30.22	32.74	68.78	60.79	107.05
4	21.18	30.64	35.11	69.24	65.82	109.28
5	23.94	33.38	40.03	69.53	74.74	109.51
6	24.12	36.43	41.98	69.53	76.86	110.00
7	24.85	37.50	42.47	70.98	82.45	113.70
8	28.16	37.78	49.68	74.19	82.94	115.47
9	28.77	39.63	49.90	76.75	83.52	115.61
10	29.71	41.88	50.73	81.64	88.10	120.07



ภาพที่ 3 แสดง Box Plot ของข้อมูลระยะไหลของเคลือบ Gla



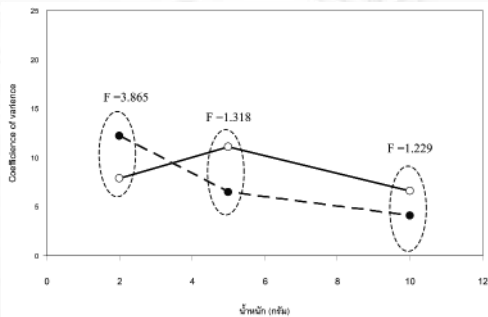
ภาพที่ 4 แสดง Box Plot ของข้อมูลระยะไหลของเคลือบ W31

ตารางที่ 5 แสดงสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของข้อมูลระยะไหลของเคลือบ Gla และ W31

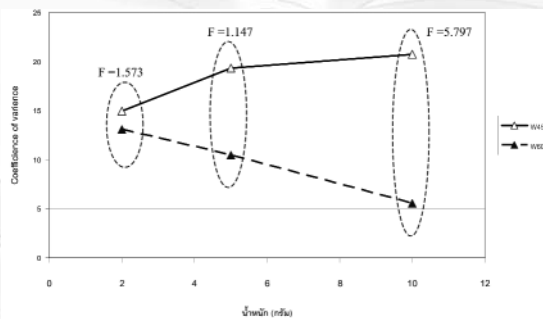
G-A-2g	G-45-2g	G-60-2g	G-45-5g	G-60-5g	G-45-10g	G-60-10g
29.864	7.870	12.230	11.075	6.498	6.587	4.077
W-A-2g	W-45-g	W-60-g	W-45-5g	W-60-5g	W-45-10g	W-60-10g
22.778	14.931	13.079	19.340	10.482	20.743	5.547

ตารางที่ 6 แสดง F-test ของข้อมูลระยะไหลของเคลือบ Gla และ W31

เคลือบ	F			F <sub>critical</sub>
	2 กรัม	5 กรัม	10 กรัม	
Gla ที่ 45 และ 60 องศา	3.865 (n=10,10)	1.318 (n=10,10)	1.229 (n=10,9)	4.026 (n=10,10)
W31 ที่ 45 และ 60 องศา	1.573 (n=10,10)	1.147 (n=10,10)	5.797 (n=10,10)	4.357 (n=10,9)



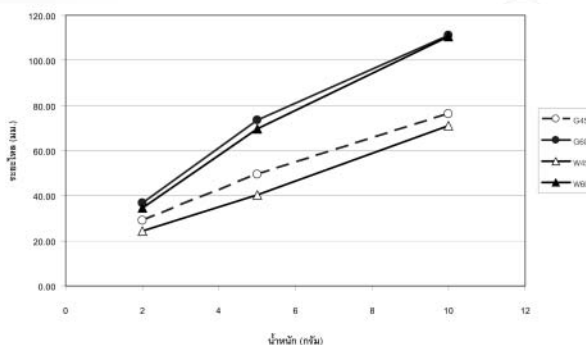
ภาพที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนและค่า F ของระยะไหลของเคลือบGla



ภาพที่ 6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนและค่า F ของระยะไหลของเคลือบW31

ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดย t - test

ตัวอย่าง	t	P	t <sub>critical</sub>	ผล
G-45-2g+G-60-2g	4.8298	0.0001	2.1009	แตกต่าง
G-45-5g+G-60-5g	10.4306	4.6502E-09	2.1009	แตกต่าง
G-45-10g+G-60-10g	15.8334	1.3089E-11	2.1098	แตกต่าง
G-45-2g+G-45-5g	10.8279	2.5908E-07	2.1009	แตกต่าง
G-45-5g+G-45-10g	11.3947	1.1556E-09	2.1009	แตกต่าง
G-60-2g+G-60-5g	17.6212	8.4690E-13	2.1009	แตกต่าง
G-60-5g+G-60-10g	13.7984	5.1677E-11	2.1009	แตกต่าง
W-45-2g+W-60-2g	5.7018	2.0875E-05	2.1009	แตกต่าง
W-45-5g+W-60-5g	8.6404	8.0472E-08	2.1009	แตกต่าง
W-45-10g+W-60-10g	7.7880	3.5846E-07	2.1009	แตกต่าง
W-45-2g+W-45-5g	5.9602	1.2223E-05	2.1009	แตกต่าง
W-45-5g+W-45-10g	5.8069	1.6778E-05	2.1009	แตกต่าง
W-60-2g+W-60-5g	12.8857	1.5905E-10	2.1009	แตกต่าง
W-60-5g+W-60-10g	13.5159	7.26927E-11	2.1009	แตกต่าง



ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะไหลและน้ำหนักของตัวอย่างของเคลือบ Gla และ W31

ความสัมพันธ์ของอัตราไหล (Q) ของของเหลวบนพื้นราบเอียงที่มีหน้ากว้างของของเหลวที่ไหล (W) ความหนาแน่นของของเหลว (ρ) แรงดึงดูดโลก (g) ความหนืด (μ) และความหนาของของไหล (δ) แสดงได้ด้วยสมการดังนี้

$$Q = \frac{W\rho g \sin\theta}{3\mu} \delta^3$$

สมการนี้มีสมมุติฐานที่ของเหลวมีสมบัติ Newtonian มีความหนา และสมบัติการไหลคงที่ (steady flow) และแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลแปรตามค่ามุมของพื้นลาดเอียง ขนาดพื้นราบ และความหนาซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณของเหลว แต่แปรผกผันกับค่าความหนืดของของเหลว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยที่นำหน้ากตัวอย่างและองศาการทดสอบมีผลต่อระยะไหล โดยนำหน้ากตัวอย่างเพิ่มขึ้นระยะไหลเพิ่มขึ้น และเมื่อองศาการวางเพิ่มขึ้นระยะไหลเพิ่มขึ้น

#### 4. สรุป

การประมวลข้อมูลด้วยสถิติของผลการทดสอบ Inclined Flow Plane Test ในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าความหนืดของเคลือบปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ หรือองศาลาดเอียงที่ใช้

ในการทดสอบ มีผลต่อค่าระยะไหลที่ได้จากการทดสอบ อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับอุปกรณ์ Inclined Flow Plane Test ในการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าระยะไหลเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณตัวอย่างและองศาลาดเอียงในการทดสอบเพิ่มขึ้น และผลการทดสอบมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนไม่คงที่ขึ้นกับความหนืดของเคลือบ โดยผลการทดสอบของเคลือบที่มีความหนืดต่ำ (ที่ 950°C 10<sup>4.987</sup>Pa s) มีค่าคงที่ ขณะที่เคลือบที่มีความหนืดสูง (ที่ 950°C 10<sup>5.247</sup>Pa s) ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณตัวอย่างและองศาลาดเอียงในการทดสอบเพิ่มขึ้น (10 กรัม และ 60°C ตามลำดับ) ดังนั้นการใช้ Inclined Flow Plane Test เปรียบเทียบความหนืดของเคลือบที่มีสมบัติแตกต่างกันต้องคำนึงถึงปัจจัยดังที่กล่าวข้างต้นด้วย

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.พจมาน ทำจิ้น และคุณอุมาพร สุขมวง ที่ได้ให้คำปรึกษาในการใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูล ดร.กนิษฐ์ ตะปะสา และดร.ปาชาณ กุลวานิช ที่ให้ความอนุเคราะห์ 3D drawing และขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนเงินลงทุนในการวิจัยของโครงการนี้

## เอกสารอ้างอิง

- Digitalfire Reference database. Digitalfire test procedure database. [Online] [cite dated 25 June 2552] Available from Internet:[http://digitalfire.com/4sight/tests/ceramic\\_test\\_glaze\\_melt\\_flow.html](http://digitalfire.com/4sight/tests/ceramic_test_glaze_melt_flow.html)
- The Institution of Index of /ceramic/course\_link. [Online] [cite dated 25 June 2552] Available from Internet: [http://eng.sut.ac.th/ceramic/course\\_link/](http://eng.sut.ac.th/ceramic/course_link/)
- Schaschke, Carl. **Fluid mechanics: worked examples for engineers**. The Institution of Chemical Engineers. 7<sup>th</sup> ed. London : The Institution of Chemical Engineers, page 79-81, ISBN 0852954980
- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. สถานศึกษาเคมีปฏิบัติ. **เอกสารฝึกอบรมหลักสูตร สถิติที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทดสอบ**. กรุงเทพมหานคร: กรม, วันที่ 15-16 สิงหาคม 2549.