

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมิน  
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8 ว

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ  
ตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือต่ำ  
ด้วยเครื่องสปาร์กอิมิตชันสเปกโตรมิเตอร์

โดย

นางวรรณภา ตันยีนยงค์

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

กลุ่มกำกับดูแลมาตรฐานห้องปฏิบัติการ

สำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมิน  
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8 ว

เลขหมู่	กศ ๗๕
	๒๐ ๑
เลขทะเบียน	1๕303
วันที่	1๗ / ๙-๑ / ๕๖

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ  
ตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือต่ำ  
ด้วยเครื่องสปาร์กอมิสชันสเปกโทรมิเตอร์

โดย

นางวรรณภา ตันยีนยงค์

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ด้วยอภินันทนาการ จาก
.....๑๕.....

กลุ่มกำกับดูแลมาตรฐานห้องปฏิบัติการ

สำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

## บทคัดย่อ

จากการศึกษาตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี (Method validation) การทดสอบหาปริมาณธาตุคาร์บอน (C) ซิลิคอน (Si) แมงกานีส (Mn) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) ในตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือต่ำโดยเครื่องสปาร์กอีมิสชันสเปกโตรมิเตอร์ (Spark emission spectrometer) ซึ่งตามมาตรฐานวิธีทดสอบ ASTM E 415-99a ระบุว่าความเหมาะสมของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบควรมีความหนาอยู่ระหว่าง 10 ถึง 38 มิลลิเมตร จึงจะได้ผลการทดสอบที่มีความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) เทียบเท่าวิธีมาตรฐาน แต่เนื่องจากตัวอย่างที่กลุ่มงานฯได้รับเพื่อบริการ การวิเคราะห์ทดสอบ ส่วนใหญ่มีความหนาน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร จึงได้มีการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบตัวอย่างที่มีความหนาน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร โดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบของตัวอย่างที่มีความหนาขนาด 20 10 6 4 และ 2 มิลลิเมตร แล้วใช้วิธีทางสถิติประเมินผลการทดสอบ เมื่อใช้วิธีทดสอบแบบอโนวา (Anova test) ตรวจสอบความแม่นยำของผลการทดสอบพบว่าความแม่นยำของตัวอย่างทดสอบทั้ง 5 ขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เมื่อพิจารณาร้อยละการซ้ำสัมพัทธ์ (% Relative repeatability) โดยการเปรียบเทียบกับตารางที่ 3 : Statistical Information ใน ASTM E 415-99a พบว่าไม่แตกต่างกันเพราะอยู่ในช่วงที่กำหนด นอกจากนี้ยังได้ทดสอบวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified reference material) : SS-CRM 458/1 แล้วประเมินผลการทดสอบเทียบกับค่าจากใบรับรองโดยใช้สถิติแบบที พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และยังพบว่าผลการทดสอบวัสดุอ้างอิงรับรองในช่วงการยอมรับของใบรับรองอีกด้วย จึงสรุปได้ว่าการทดสอบตัวอย่างที่มีขนาดความหนาต่ำกว่า 10 มิลลิเมตรสามารถใช้วิธีนี้ทดสอบได้จนถึงตัวอย่างที่มีขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญตาราง	iv
สารบัญรูป	v
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 คำนำ	1
1.2 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษาทดลอง	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
1.6 ระยะเวลาดำเนินการ	3
1.7 ขั้นตอนการดำเนินการ	3
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	4
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	
3.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ ตัวอย่างควบคุม วัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรอง	9
3.2 เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์	9
3.3 วิธีทดสอบ	9
3.4 วิธีดำเนินการ	10
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	17
บทที่ 5 วิจารณ์	21
บทที่ 6 สรุป	23
กิตติกรรมประกาศ	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก	
ภาคผนวก 1 : ชุดวัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง และกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ	26
ภาคผนวก 2 : ข้อมูลดิบการทดสอบวัสดุอ้างอิงรับรอง ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างทดสอบ	36
ภาคผนวก 3 : ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ	41

ภาคผนวก 4 : ผลการตรวจสอบความเที่ยงของวิธีทดสอบธาตุคาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัสและกำมะถันในการทดสอบตัวอย่างที่มี ความหนาขนาดต่างๆ	54
ภาคผนวก 5 : ผลการทดสอบปริมาณคาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส และกำมะถันในวัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 เมื่อทำการ ทดสอบตัวอย่างที่มีความหนาขนาดต่างๆ	59
ภาคผนวก 6 : ใบรับรองของวัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1	64

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 TABLE 4 Critical Values for Determination Occurrence of Drift from	13
2 ช่วงรับรองของวัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1	16
3 ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทำซ้ำและการทำซ้ำสัมพัทธ์ เมื่อทดสอบ ตัวอย่างที่มีความหนา 20 มิลลิเมตร	17
4 ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทำซ้ำและการทำซ้ำสัมพัทธ์ เมื่อทดสอบ ตัวอย่างที่มีความหนา 10 มิลลิเมตรชุด	18
5 ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทำซ้ำและการทำซ้ำสัมพัทธ์ เมื่อทดสอบ ตัวอย่างที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร	18
6 ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทำซ้ำและการทำซ้ำสัมพัทธ์ เมื่อทดสอบ ตัวอย่างที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร	19
7 ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทำซ้ำและการทำซ้ำสัมพัทธ์ เมื่อทดสอบ ตัวอย่างที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร	19
8 ผลการประเมินความเที่ยงของการทดสอบตัวอย่างที่มีขนาดความหนาต่างกัน ทดสอบ ในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้ one-way ANOVA	20
9 ชุดวัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรองของโลหะเหล็กที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานของคาร์บอน (C)	26
10 ชุดวัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรองของโลหะเหล็กที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานของซิลิคอน (Si)	28
11 ชุดวัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรองของโลหะเหล็กที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานของ แมงกานีส (Mn)	30
12 ชุดวัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรองของโลหะเหล็กที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานของ ฟอสฟอรัส (P)	32
13 ชุดวัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรองของโลหะเหล็กที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานของ กำมะถัน (S)	34

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	แสดงแผนภาพของแหล่งผลิตประกาย	7
2	กราฟมาตรฐานของธาตุคาร์บอน (C)	27
3	กราฟมาตรฐานของธาตุซิลิคอน (Si)	29
4	กราฟมาตรฐานของธาตุแมงกานีส (Mn)	31
5	กราฟมาตรฐานของธาตุฟอสฟอรัส (P)	33
6	กราฟมาตรฐานของธาตุกำมะถัน (S)	35

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 คำนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยได้พัฒนาขึ้นมาก เนื่องจากเหล็กมีประโยชน์ในการใช้งานอย่างกว้างขวาง อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้ามีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ เพราะเหล็กเป็นโลหะพื้นฐานสำหรับอุตสาหกรรมชนิดต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมโครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง การผลิตรถ เฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ ซึ่งการนำเหล็กและเหล็กกล้ามาใช้ให้เหมาะสมกับงานนั้นๆ จำเป็นต้องทราบส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของเหล็ก เช่น คาร์บอน ซิลิกอน ฟอสฟอรัส แมงกานีส กำมะถัน เพราะธาตุเหล่านี้ทำให้คุณสมบัติของเหล็กเปลี่ยนไป ดังนั้นการวิเคราะห์เพื่อหาส่วนประกอบทางเคมีของเหล็ก ว่าเป็นไปตามความต้องการในการใช้งานหรือไม่ จึงเป็นสิ่งสำคัญ

#### 1.2 ความเป็นมาของปัญหา

สำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์ต่างๆ การเลือกวิธีทดสอบที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญที่ห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องคำนึงถึง และต้องมีหลักเกณฑ์ในการเลือกวิธีทดสอบที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่มีความแม่นยำและความเที่ยง ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งโดยทั่วไปถ้าเป็นไปได้ ห้องปฏิบัติการควรเลือกใช้วิธีทดสอบตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานระดับระหว่างประเทศ ระดับภูมิภาค หรือระดับประเทศ หรือเอกสารสิ่งตีพิมพ์ขององค์กรทางวิชาการที่มีชื่อเสียง และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป หรือเอกสาร วารสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้วิธีอื่นๆ นอกจากนี้ เช่น วิธีที่ห้องปฏิบัติการคิดค้นขึ้นเอง (Laboratory developed method) วิธีที่ไม่ใช่มาตรฐาน (Non-standard method) หรือวิธีมาตรฐานที่ถูกนำมาใช้นอกขอบข่ายที่กำหนด หรือดัดแปลงเพิ่มเติมบางส่วน แตกต่างจากวิธีที่เป็นมาตรฐาน วิธีทดสอบเหล่านี้ก็อาจนำมาใช้ได้ ถ้าหากได้มีการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีการทดสอบ (method validation) นั้นๆ แล้ว<sup>1</sup> เพื่อยืนยันว่าวิธีทดสอบนั้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้ตามความต้องการก่อนการดำเนินการทดสอบใดๆ ตามวิธีทดสอบนั้นๆ

ในส่วนของ การทดสอบผลิตภัณฑ์ประเภทโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือต่ำ เช่น เหล็กเส้นกลม เหล็กข้ออ้อย เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน ฯลฯ มาตรฐานดังกล่าวทั้งหมดระบุวิธีวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยให้ใช้วิธีวิเคราะห์ทางเคมีโดยทั่วไป หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า การเลือกใช้วิธีวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีตามมาตรฐานวิธีทดสอบ ASTM E 415-99a : Standard Test Method for Optical Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel<sup>4</sup> วิธีการทดสอบดังกล่าวระบุขอบข่าย (scope) ของวิธีการทดสอบว่าสามารถใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือต่ำได้พร้อมๆ กันถึง 20 ธาตุ ใช้วิเคราะห์ได้ทั้งตัวอย่างจากผลิตภัณฑ์ หรือ



ตัวอย่างวิเคราะห์จากเป้าที่ใช้เตาหลอมแบบต่างๆ แต่มีข้อจำกัดคือขนาดความหนาของชิ้นทดสอบควรมีขนาดอยู่ระหว่าง 10 ถึง 38 มิลลิเมตร ข้อจำกัดนี้เป็นข้อแนะนำความเหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างชิ้นทดสอบ ให้เหมาะสมกับสภาวะการทดสอบเพื่อให้ผลการทดสอบมีความแม่นยำและความเที่ยงเป็นไปตามมาตรฐาน ดังนั้นการนำวิธีทดสอบหาส่วนประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM E 415-99a มาประยุกต์ใช้ทดสอบผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดความหนาน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร จึงจำเป็นต้องตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่ปรับใช้นอกขอบข่ายว่าภายใต้สภาวะการทดสอบ เครื่องมือ บุคลากรผู้ทำการทดสอบ และการควบคุมคุณภาพการทดสอบของห้องปฏิบัติการ วิธีการที่ปรับใช้ดังกล่าวยังให้ผลทดสอบที่มีความแม่นยำและความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่อย่างไร

### 1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือต่ำ ที่มีขนาดความหนาของชิ้นทดสอบต่ำกว่า 10 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานวิธีทดสอบ ASTM E 415-99a

### 1.4 ขอบเขตของการศึกษาทดลอง

- 1.4.1 ใช้ตรวจสอบยืนยันความใช้ได้ของวิธีทดสอบ เพื่อหาส่วนประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM E 415-99a เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ทดสอบกับผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือต่ำ ที่มีขนาดความหนาของชิ้นทดสอบต่ำกว่าขอบข่ายที่กำหนดในมาตรฐาน (ต่ำกว่า 10 มิลลิเมตร)
- 1.4.2 ศึกษาส่วนประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือต่ำ จำนวน 5 ธาตุ ได้แก่ ธาตุคาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัสและกำมะถัน ของตัวอย่างที่มีขนาดความหนา 20 10 6.4 และ 2 มิลลิเมตร

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 ได้วิธีทดสอบของผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาต่ำกว่า 10 มิลลิเมตร
- 1.5.2 นำวิธีตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี เพื่อใช้ในขั้นตอนการขยายขอบข่ายการรับรองความสามารถของห้องปฏิบัติการ ให้ได้ตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025
- 1.5.3 เพื่อตรวจสอบประเมินความสามารถของห้องปฏิบัติการในการประยุกต์ใช้ วิธีการทดสอบนอกขอบข่ายที่กำหนดในมาตรฐานได้อย่างเหมาะสมถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ
- 1.5.4 เพื่อสร้างความมั่นใจในความเหมาะสมของวิธีทดสอบที่เลือกนำมาใช้

- 1.5.5 เพื่อใช้เป็นเอกสารยืนยันขั้นตอนหลักวิชาการที่สามารถสร้างความเชื่อมั่นในผลการทดสอบแก่ผู้ขอใช้บริการทดสอบ และเป็นที่ยอมรับทั่วไปตามหลักสากล
- 1.5.6 เพื่อเป็นแนวทางในการทดสอบความใช้ได้ของวิธี สำหรับการทดสอบโลหะประเภทอื่นๆ ด้วยเครื่องสปาร์กอิมิตชันสเปกโตรมิเตอร์

#### 1.6 ระยะเวลาดำเนินการ

การศึกษาทดสอบนี้ใช้เวลาในการดำเนินการตั้งแต่ ตุลาคม 2544 – กันยายน 2545

#### 1.7 ขั้นตอนการดำเนินการ

- 1.7.1 การคัดเลือกตัวอย่างทดสอบ
- 1.7.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบเพื่อดำเนินการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน
- 1.7.3 การคำนวณและการวิเคราะห์ผลทดสอบ
- 1.7.4 หาค่าความเที่ยงในการทดสอบ
  - 1.7.5 หาค่าความแม่นยำในการทดสอบ
- 1.7.6 ประเมินผลความใช้ได้ของวิธี
- 1.7.7 นำไปประยุกต์ใช้

## บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

### การผลิตเหล็กและเหล็กกล้า<sup>1</sup>

เหล็กส่วนใหญ่ผลิตจากแร่เหล็กโดยการหลอม ในเตาหลอมเหล็กที่ใช้ลมเป่า (blast furnaces) ภายในเตาหลอมจะใช้ถ่านคาร์บอนเป็นตัวรีดิวซ์ โดยคาร์บอนจะรวมตัวกับออกซิเจนจากลมที่เป่าเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งทำหน้าที่รีดิวซ์เหล็กจากแร่เหล็กซึ่งส่วนใหญ่คือเหล็กออกไซด์ ( $Fe_2O_3$ ) ให้เป็นเหล็กถลุง (Pig iron) ในกระบวนการนี้ต้องใส่เชื้อถลุง หรือ Flux อาจเป็นหินปูนหรือปูนขาวหรือเชื้อถลุงอื่นๆ ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อทำหน้าที่รวมตัวกับสารเจือปนต่างๆเป็นตะกรัน (slag) เหลวแยกออกจากเนื้อเหล็ก หลังจากนั้นเหล็กถลุงในสภาพของของเหลวจากเตาหลอมจะถูกถ่ายลงในเตาผลิตเหล็กกล้า (steelmaking furnace)

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตเหล็กกล้าอาจเป็นวิธีพ่นอากาศหรือออกซิเจน หรือใช้เตาไฟฟ้าหรือเรียกว่าเตาอาร์ก (electric arc) แบบใดแบบหนึ่ง ในกระบวนการนี้เหล็กถลุงและเศษเหล็ก (steel scrap) มากกว่า 30% จะถูกหลอมเหลวในเตาหลอมโดยมีออกซิเจน และฟลักซ์เป็นตัวช่วย ปริมาณคาร์บอนและสารเจือปนอื่นๆ จะรวมตัวกับฟลักซ์เป็นตะกรัน แยกออกจากเนื้อเหล็ก ทำให้ได้เหล็กที่มีคุณภาพดีขึ้น

จากนั้นเหล็กกล้าที่หลอมเหลวจากเตา จะถูกหล่อในแม่พิมพ์แบบนิ่งอยู่กับที่ (stationary molds) หรือหล่อเป็นแท่งแบบอย่างต่อเนื่อง และ ถูกตัดเป็นระยะๆ ในปัจจุบันนี้เหล็กกล้าประมาณ 63% ที่ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นแบบหล่ออย่างต่อเนื่องและคาดว่าปริมาณจะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต หลังจากที่หล่อแล้ว แท่งเหล็กเหล่านี้ จะถูกให้ความร้อนและถูกรีดร้อนขณะร้อนเพื่อเป็นเหล็กประเภทต่างๆ เช่น เหล็กแผ่น เหล็กแท่งกลม ลวด เหล็กรูปหน้าตัดตัว I หรือราง เป็นต้น

ในฐานะที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ เป็นหน่วยงานกลางทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้บริการการวิเคราะห์แห่งหนึ่ง จึงมีผู้ส่งตัวอย่างเหล็กกล้ามาวิเคราะห์เป็นประจำ เพื่อหาปริมาณธาตุคาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัสและกำมะถัน ซึ่งตัวอย่างเหล่านี้ส่งมาจากหน่วยงานราชการและภาคเอกชน โดยข้อมูลเหล่านี้ใช้ประโยชน์ทางการค้า การขึ้นทะเบียนขอการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือเพื่อเป็นข้อมูลแสดงคุณภาพระดับการใช้งานของเหล็ก

คงได้กล่าวแล้วว่าการทดสอบหาส่วนประกอบทางเคมีในตัวอย่างเหล็กและเหล็กกล้า จำเป็นต้องวิเคราะห์หาธาตุประกอบหลัก 5 ธาตุคือ คาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัสและกำมะถัน ซึ่งธาตุเหล่านี้มีความสำคัญต่อคุณสมบัติของเหล็กดังนี้

### คาร์บอน

เหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำจะมีความแข็งน้อย แต่มีความเหนียวและความแข็งแรงมาก เหล็กกล้าเหล่านี้มักถูกใช้ทำแผ่น เพื่อใช้ในการขึ้นรูปทำกันชนและตัวถังรถยนต์ แต่เมื่อปริมาณของคาร์บอนเพิ่มขึ้น เหล็กกล้าจะมีความแข็งและความแข็งแรงขึ้นแต่มีความเหนียวและความแข็งแรงลดลง เหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนปานกลาง มักถูกใช้ทำเป็นเพลลาและเกียร์ เป็นต้น ส่วนเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนสูงนำไปทำสปริง ใบมีด เป็นต้น

### แมงกานีส

เป็นส่วนประกอบของเหล็กกล้าชนิดหนึ่ง เป็นตัวเพิ่มความแข็งให้แก่เหล็ก แต่น้อยกว่าธาตุคาร์บอน ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีอยู่ และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณคาร์บอน คุณสมบัติพิเศษที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ สามารถลดอัตราการเย็นตัวในระยะเวลาวิกฤต แมงกานีสเป็นตัวไล่ออกซิเจนที่ว่องไว และมีแนวโน้มในการแยกตัวในเบ้าหลอมน้อยกว่าธาตุอื่นๆ ทำให้คุณภาพผิวของเหล็กกล้าดีขึ้น เพราะจะไปทำปฏิกิริยากับกำมะถันในเนื้อเหล็ก ป้องกันไม่ให้กำมะถันทำปฏิกิริยากับเหล็กเกิดเป็นเหล็กซัลไฟด์ (iron sulphide) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแตกร้าวและฉีกขาด ขณะทำการรีดเหล็กกล้า

### ฟอสฟอรัส

โดยทั่วไปจัดเป็นสารปนเปื้อนในเหล็กกล้า ยกเว้นในกรณีที่ใช้ทำเครื่องจักร เพราะเป็นตัวป้องกันการเกิดสนิม ช่วยเพิ่มคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อน รวมตัวกับคาร์บอนได้ยาก เป็นตัวเพิ่มความแข็งเช่นเดียวกับแมงกานีสและคาร์บอน ฟอสฟอรัสจะไปลดความอ่อนตัวขณะหลอมเหลวของเหล็กกล้าในสถานะการทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว และลดความเหนียวด้วย

### กำมะถัน

กำมะถันในเหล็กกล้าอยู่ในรูปของเหล็กซัลไฟด์ มีหน้าที่เป็นตัวทำให้จุดหลอมเหลวต่ำ เพราะและลดความแข็งแรง ความเหนียว และความสามารถในการเชื่อม นอกจากนี้กำมะถันยังไปทำลายผิวหน้าของชิ้นงานทำให้ไม่เรียบ

### ซิลิคอน

เป็นธาตุที่สำคัญตัวหนึ่งที่ใช้ลดออกซิเจน (deoxidizer) ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า เป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดความแข็ง

การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือต่ำ ปัจจุบันทดสอบโดยเครื่องสปาร์กอิมิตชันสเปกโตรมิเตอร์

## หลักการของอิมิตชันสเปกโทรสโกปี (Emission Spectroscopy) <sup>2</sup>

อิมิตชันสเปกโทรสโกปี เป็นวิธีวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการ ทำให้สารที่วิเคราะห์เปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (Ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (Excited state) ด้วยกระบวนการที่เหมาะสม เมื่ออะตอมที่ถูกกระตุ้นกลับสู่สถานะพื้น จะมีการเปล่งแสง หรือรังสี หรือสเปกตรัมออกมา คือ เกิดอะตอมอิมิตชัน (Atomic Emission) ซึ่งอยู่ในช่วงของยูวี-วิสิเบิล และมีลักษณะเฉพาะตัว สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ได้

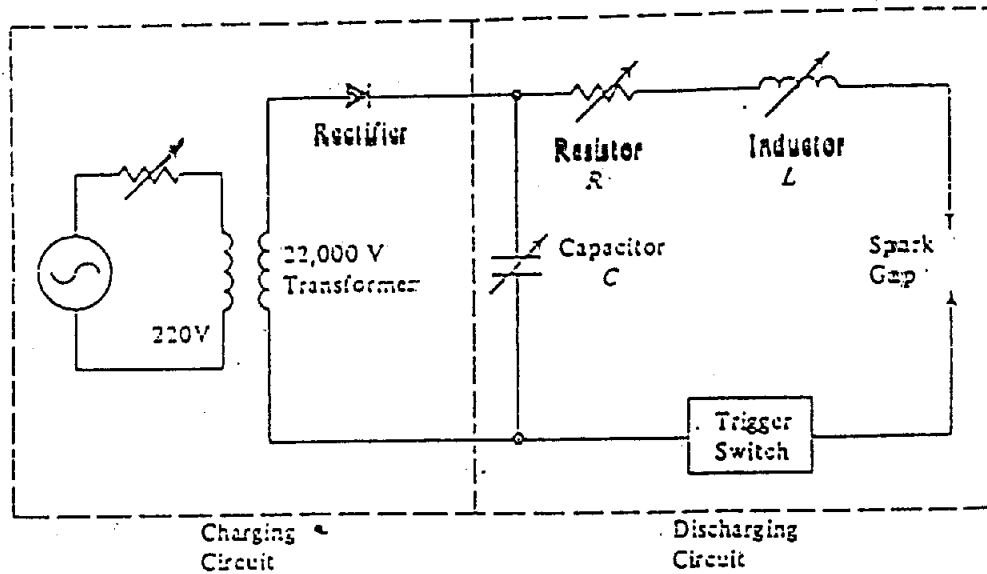
เครื่องสเปกโตรอิมิตชันสเปกโทรมิเตอร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ

1. ส่วนที่ทำให้ธาตุดูดกลืนเป็นอะตอมอิสระ (Atomizer)
2. โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator) ซึ่งใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นของแสงที่ต้องการ คือ เกรตติง (Grating)
3. ดีเทกเตอร์ (Detector) คือ หลอดโฟโตมัลติไพเออร์ (Photomultiplier tube)
4. เครื่องประมวลผลและอ่านผล (Data system and read out unit)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีสเปกโตรอิมิตชันสเปกโทรมิเตอร์

1. ทำสารตัวอย่างให้เป็นอะตอม (Atomization) แล้วอะตอมนั้นจะถูกกระตุ้นและคายพลังงานในรูปแบบของการเปล่งแสง กระบวนการทั้งสองนี้จะเกิดติดต่อกัน
2. แสงที่มีลักษณะเฉพาะจะเปล่งออกมาเป็นสเปกตรัม ซึ่งแยกออกจากกันด้วยระบบการแยกที่เหมาะสม ความเข้มของแสงจะถูกวัดด้วยระบบวัด (Detection system) ซึ่งเป็นสเปกโตรมิเตอร์
3. ความเข้มของแสงที่วัดได้ นำไปเปรียบเทียบกับความเข้มของแสงจากโลหะมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้นของธาตุในสารตัวอย่าง ถ้าใช้อุณหภูมิสูงในการกระตุ้น ความเข้มของแสงยิ่งมากขึ้น แต่การเกิดไอออนในเซชันก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และทำให้สเปกตรัมที่ได้มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น ดังนั้น สเปกโตรมิเตอร์ควรจะต้องมีประสิทธิภาพในการแยกแสงสูง (high resolution)

แหล่งของการกระตุ้นที่ทำให้เกิดอะตอมนั้น การกระตุ้นด้วยประกายหรือสปาร์ก (Spark discharge) คือการเกิดของมันเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานาน โดยทั่วไป สปาร์กเกิดจากการปล่อยประจุของตัวเก็บประจุ (Capacitor) ในระหว่างขั้วไฟฟ้าซึ่งมีขั้วหนึ่งใส่สารตัวอย่าง กับอีกขั้วหนึ่งซึ่งเรียกว่าแคโทดอิเล็กโทรด (Counter electrode) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพของแหล่งผลิตประกาย

ซึ่งเป็นแผนภาพแสดงแหล่งผลิตประกายที่ใช้กันทั่วไป ตัวเก็บประจุมีขนาด 5 ถึง 100 nf จะถูกประจุ (charge) ให้มีศักย์ ขนาด 1 ถึง 30 kv แล้วปล่อยประจุด้วยทริกเกอร์ สวิตช์ (trigger switch) ก็จะเกิดสปาร์กขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองประมาณ 2 - 30 ครั้งต่อไซเคิล (Cycle) หรือ 120 ถึง 1,800 ครั้งต่อวินาที สปาร์กจะได้ผลดีในช่วงของเวลา 10 ถึง 100  $\mu$ s ความร้อนที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าจะต้องพยายามให้เกิดขึ้นน้อย โดยทำให้เย็นขณะเกิดสปาร์ก เวลาที่ต้องใช้เพื่อให้ได้สเปคตรัมจะใช้เวลาประมาณ 10 วินาที โดยทั่วไปสปาร์กจะได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำสูง

#### หลักการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี

การตรวจสอบยืนยันความใช้ได้ของวิธีทดสอบทำได้โดยใช้เทคนิคต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมเพียงพอที่จะประเมินความเหมาะสมของการใช้ได้ของวิธีนั้นๆ เทคนิคที่ใช้ได้แก่

- การใช้มาตรฐานอ้างอิง หรือวัสดุอ้างอิงในการตรวจสอบ
- การใช้วิธีเปรียบเทียบผลที่ได้ กับวิธีอื่นๆที่เป็นมาตรฐาน
- การเปรียบเทียบผลทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ
- การประเมินค่าความไม่แน่นอนของผลการทดสอบตามหลักสถิติ

ในส่วนของการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่องวิธีสปาร์กอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ ตามวิธีทดสอบ ASTM E 415-99a ขอบข่ายของวิธีทดสอบนี้ครอบคลุมการวิเคราะห์ชิ้นทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือมีขนาดใหญ่พอที่จะป้อนเปิดของแท่นสปาร์กของเครื่อง เพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซอาร์กอน และระบุให้ความหนาของชิ้นทดสอบควรอยู่ระหว่าง 10 ถึง 38 มิลลิเมตร เพื่อให้เหมาะสมกับสถานะที่กำหนดอาจใช้เครื่องช่วยเตรียมตัวอย่างชิ้นทดสอบ หรืออาจใช้วิธีการปรับสถานะในการทดสอบให้เหมาะสมกับการทำอิมิสชัน เช่น สถานะการกระตุ้น ความถี่ของการอ่านผล เป็นต้น

ความหนาบางของชิ้นทดสอบ มีผลต่อการทดสอบหาส่วนประกอบทางเคมีในวัสดุตัวอย่าง หากชิ้นทดสอบมีขนาดบางเกินไป พลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นภายใต้สถานะที่กำหนด อาจสปาร์กชิ้นงานจนทะลุ และทำให้วงจรของแท่นสปาร์กของเครื่องมือเสียหายหรือให้ผลการทดสอบที่ใช้ไม่ได้ หรืออีกกรณีหนึ่งแม้การปรับลดพลังงานของแหล่งกระตุ้นลง ก็อาจทำให้การสปาร์กอะตอมของธาตุต่างๆ เกิดได้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดได้ นอกจากนี้พลังงานจากการสปาร์กขึ้นตัวอย่างบางส่วนหนึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อน แผ่กระจายไปโดยรอบทุกส่วนของชิ้นงานที่ทำการทดสอบ หากชิ้นงานมีขนาดเล็กและบางจนเกินไป จะทำให้ชิ้นงานเกิดความร้อนจัดจนไม่เหมาะที่จะทดสอบซ้ำได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสถานะในการทดสอบแตกต่างกันมากจากเมื่อตอนเริ่มต้นการทดสอบครั้งแรก

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 เลือกใช้เทคนิค การยืนยันความใช้ได้ของวิธีทดสอบตามมาตรฐานโดยไม่ปรับแต่งสถานะในการทดสอบ จากวิธีมาตรฐานแต่อย่างใด วัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบยืนยันว่าภายใต้สถานะที่กำหนดตามมาตรฐานปกติ เครื่องมือของกลุ่มงานฯ สามารถดำเนินการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่มีขนาดบางที่สุด 2 มิลลิเมตรได้ โดยมีความแม่นยำและความเที่ยงเป็นไปตามมาตรฐาน โดยการทดสอบวัสดุอ้างอิงรับรอง ในการยืนยันความแม่นยำของวิธีทดสอบ และใช้วิธีการทดสอบซ้ำหลายๆ ครั้ง (replicate test) กับตัวอย่างทดสอบและตัวอย่างควบคุม (control sample) เพื่อประเมินค่าความเที่ยงในการทดสอบ จากค่าความแม่นยำในการทดสอบตัวอย่างและค่าความเที่ยงที่ประเมินได้ สามารถนำมาประเมินความใช้ได้ของวิธีการทดสอบ เพื่อที่จะนำไปใช้ทดสอบกับชิ้นงานทดสอบที่มีความหนาน้อยกว่าขอบข่ายที่มาตรฐานกำหนดไว้

### บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

#### 3.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ ตัวอย่างควบคุม วัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรอง

- 3.1.1 นำโลหะเหล็กอ้างอิงรับรองขนาด 25 มิลลิเมตร โลหะเหล็กอ้างอิงและตัวอย่างควบคุม มาขัดผิวหน้าให้เรียบด้วยเครื่องขัด โดยใช้ผ้าทรายสายพานที่มีความละเอียด 80 grit
- 3.1.2 เตรียมตัวอย่างทดสอบซึ่งมีความหนา 30 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 มิลลิเมตร ตัวอย่างทดสอบต้องมีผิวหน้าเรียบ ไม่มีรูพรุนและมีความเป็นเนื้อเดียวกัน นำตัวอย่างทดสอบมาขัดผิวหน้าให้เรียบด้วยเครื่องขัด โดยใช้ผ้าทรายสายพานที่มีความละเอียด 80 grit

#### 3.2 เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์

- 3.2.1 เครื่องสปาร์กอิมิตชันสเปกโทรมิเตอร์ รุ่น 1000 DV-4 ยี่ห้อ Baird ประเทศสหรัฐอเมริกาและอุปกรณ์ประกอบ
- 3.2.2 เครื่องขัดและอุปกรณ์ประกอบ
- 3.2.3 โลหะเหล็กอ้างอิงรับรอง
- 3.2.4 โลหะเหล็กอ้างอิง
- 3.2.5 โลหะเหล็กมาตรฐานซึ่งใช้เป็นตัวอย่างควบคุม
- 3.2.6 ก๊าซอาร์กอน ชนิดความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.999

#### 3.3 วิธีทดสอบ<sup>5,7</sup>

ขณะทำการทดสอบ ภายในห้องทดสอบมีการควบคุมสภาวะแวดล้อม โดยให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง  $22 \pm 2.8$  °C และความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกินร้อยละ 60

- 3.3.1 เปิดสวิชท์ทุกส่วนของเครื่องมือและอุ่นเครื่องอย่างน้อย 4 ชั่วโมง
- 3.3.2 โพรไฟล์หลอดปรอท (Profile mercury lamp) เป็นการปรับลำแสงให้ตรงช่องรับแสงโดยปรับสลิตขาเข้า (entrance slit) เพื่อให้สลิตขาออก (exit slit) ได้รับความเข้มแสงจากหลอดปรอทสูงสุด
- 3.3.3 ทำสแตนด์การด์ไคเซชัน (standardization) ด้วยก้อนโลหะเหล็กอ้างอิงรับรองหมายเลข NIST 1766, NIST 1767, SS-CRM 401/1, SS-CRM 405/1, SS-CRM 407/1, SS-CRM 408/1, SS-CRM 453/1 และ SS-CRM 458/1 โดยวางก้อนโลหะลงบนฐานรองรับภายในเครื่องปล่อยกระแสไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นอะตอมของธาตุที่อยู่ในก้อนโลหะ อะตอมจะปล่อยพลัง



ออกมาในรูปของพลังงานแสง เครื่องจะตรวจจับพลังงานแสงที่ถูกปล่อยออกมาด้วย หลอดโฟโตมัลติไฟเออร์ และเปลี่ยนพลังงานไปเป็นค่าทางไฟฟ้า ที่สามารถอ่านค่าออกมา เป็นตัวเลขที่แสดงความเข้มแสง (intensity) ซึ่งจะแปรตามปริมาณธาตุที่มีอยู่

การทำสแตนด์การ์ดโคเซชัน หมายถึงขบวนการที่ใช้ทวนสอบหรือปรับการตอบสนองของ เครื่องมือ โดยการสปาร์กสแตนด์การ์ดแคนด์ (standardant) เพื่อหาค่าแฟคเตอร์ (factor) ไปคูณกับค่า ความเข้มแสง ที่อ่านได้ในวันที่ทำการทดสอบ เพื่อปรับความเอียง (slope) ของกราฟที่ได้ให้เท่ากับ ความเอียงของกราฟมาตรฐานที่ถูกสร้างไว้ในโปรแกรมการวิเคราะห์แล้ว

3.3.4 ทดสอบตัวอย่าง ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องสปาร์กอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์อยู่ในรูป เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้เกิดจากการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงกับกราฟมาตรฐานที่ถูกสร้าง ไว้แล้วในเครื่อง

รายละเอียดของชุดวัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรอง ที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ และรูปของกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ ดังแสดงในภาคผนวก 1

### 3.4 วิธีดำเนินการ

3.4.1 การคัดเลือกตัวอย่างทดสอบที่ผ่านการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน

เลือกตัวอย่างทดสอบจำนวน 10 ตัวอย่าง ใช้เป็นตัวแทนของตัวอย่างในการทดสอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลในการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ

3.4.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ และดำเนินการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน

3.4.2.1 นำตัวอย่างทดสอบทั้ง 10 ตัวอย่าง กลิ้งให้ความหนาของแต่ละทดสอบเหลือ 20 มิลลิเมตร แล้วนำไปขัดผิวหน้าด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายสายพาน (ขนาดความ ละเอียด 80 grit)

3.4.2.2 ดำเนินการทดสอบตามวิธีทดสอบ โดยทดสอบชิ้นงานต่างๆดังนี้

- 1) วัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 เพื่อเป็นการทวนสอบความแม่นยำสำหรับการทดสอบ
- 2) ตัวอย่างควบคุมโดยใช้โลหะเหล็กมาตรฐาน C Fe 2/3 เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของ เครื่องมือ
- 3) ตัวอย่างทดสอบ

โดยจัดลำดับการทดสอบดังนี้ วัสดุอ้างอิงรับรอง ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างทดสอบ 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างทดสอบ 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างทดสอบ 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างทดสอบ 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างควบคุม และวัสดุอ้างอิงรับรอง

3.4.2.3 กลึงตัวอย่างทดสอบให้ความหนาเหลือ 10 มิลลิเมตร และนำไปขัดผิวหน้าด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายสายพานทุกชิ้น สำหรับวัสดุอ้างอิงรับรองและตัวอย่างควบคุมนำไปขัดผิวหน้าด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายสายพานเช่นเดียวกัน แล้วทดสอบทดสอบทั้งหมดโดยจัดลำดับการทดสอบตามข้อ 2.4.4.2

3.4.2.4 ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.2 โดยกลึงตัวอย่างทดสอบให้ความหนาเหลือ 6 มิลลิเมตร

3.4.2.5 ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.2 โดยกลึงตัวอย่างทดสอบให้ความหนาเหลือ 4 มิลลิเมตร

3.4.2.6 ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.2 โดยกลึงตัวอย่างทดสอบให้ความหนาเหลือ 2 มิลลิเมตร

ข้อมูลดิบการทดสอบวัสดุอ้างอิงรับรอง ตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างทดสอบ แสดงในภาคผนวก 2

### 3.4.3 วิธีการคำนวณและวิเคราะห์ผลทดสอบ

#### 3.4.3.1 การคำนวณหาค่าการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ

เพื่อตรวจสอบว่าขณะทำการทดสอบแต่ละช่วงเวลา เครื่องมือมีการเบี่ยงเบน (Drift) ไปอย่างไรหรือไม่ เนื่องจากเครื่องมือทดสอบต่างๆ หลังจากผ่านการสอบเทียบ (Calibrate) หรือตรวจสอบสมรรถนะ (Performance check) หรือการทวนสอบ (Verification) จะเกิดความเบี่ยงเบน เนื่องจากปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อสภาวะการทำงานของเครื่องมือต่างๆในแต่ละวันหรือแม้แต่ภายในวันเดียวกัน ปัจจัยต่างๆเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น กระแสไฟฟ้า ฯลฯ ดังนั้นในแต่ละวันเมื่อจะเริ่มใช้งานเครื่องมือ จึงจำเป็นต้องปรับเครื่องให้มีสภาวะใกล้เคียงกับที่เริ่มต้นทำการสอบเทียบ หรือตรวจสอบสมรรถนะ หรือการทวนสอบก่อน หรือทำการตรวจสอบแล้วปรับสภาพตามความเหมาะสม โดยการใช้ตัวอย่างควบคุม ทำการตรวจสอบแล้วประเมินความเหมาะสม ถ้าเครื่องมือมีการเบี่ยงเบนไปจะต้องหาค่าแก้ไข (Drift Factor) แล้วนำไปแก้ค่าผลการทดสอบก่อนนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ

#### 1) วิธีการคำนวณหาค่าการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ

(ก) นำผลการทดสอบปริมาณธาตุ คาร์บอน ฟอสฟอรัส กำมะถัน แมงกานีส และซิลิคอน ของตัวอย่างควบคุม No. C Fe 2/3 ที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย  $\Sigma\Delta^2$  และ  $\Sigma d^2$  โดย

$\Delta$  = ผลต่างระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ 2 ครั้งติดกัน ของก้อน No. C Fe 2/3 สำหรับ  
ธาตุแต่ละธาตุ เช่น  $\Delta_1 = C_1 - C_2$   $\Delta_2 = C_2 - C_3$

เมื่อ  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_6$  คือผลการทดสอบปริมาณธาตุต่างๆที่ได้จากการทดสอบตัวอย่าง  
ควบคุม No. C Fe 2/3 ครั้งที่ 1 2 3 .....6 ตามลำดับ

$d$  = ผลต่างระหว่างค่าที่ทดสอบได้แต่ละค่ากับค่าเฉลี่ยสำหรับธาตุแต่ละธาตุ เช่น  
 $d_1 = \text{ค่าAverage} - C_1$

(ข) หาค่าความแปรปรวน (Variance) ในการทดสอบธาตุต่างๆแต่ละธาตุเป็น  $S_1^2$  และ  $S_2^2$  ดังนี้

$$S_1^2 = \Sigma \Delta^2 / (n - 1)$$

$$S_2^2 = \Sigma d^2 / (n - 1)$$

โดยที่  $\Delta$  และ  $d$  เหมือนที่กล่าวข้างต้น และ  $n$  คือ จำนวนครั้งที่ทดสอบตัวอย่างควบคุม No.  
C Fe 2/3 (ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 6)

(ค) คำนวณหาอัตราส่วนระหว่าง  $S_1^2 / S_2^2$  แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนวิกฤต  
ในตารางที่ 4 ของ ASTM E 826 - 85 (Reapproved 1996) โดยเทียบจากจำนวนครั้งที่ทดสอบตัวอย่าง  
ควบคุม ( $n$ ) เป็นเกณฑ์ซึ่งจากตารางดังกล่าว ถ้า  $n = 6$  อัตราส่วนวิกฤตของ  $S_1^2 / S_2^2 = 0.89$

(ง) สรุปผลว่าเครื่องมือทดสอบมีการเบี่ยงเบนหรือไม่ เพื่อนำผลการทดสอบของตัวอย่างควบคุม  
ไปใช้ต่อไป โดย

- ถ้าอัตราส่วนระหว่าง  $S_1^2 / S_2^2$  มีค่ามากกว่าค่าที่อ่านได้จากค่าในตารางที่ 4 ใน ASTM E  
826 -96 (มากกว่า 0.89 ถ้า  $n = 6$ ) แสดงว่าเครื่องมือทดสอบไม่มีการเบี่ยงเบน สามารถ  
นำผลการทดสอบขึ้นทดสอบไปวิเคราะห์ข้อมูลได้เลย
- ถ้าอัตราส่วนระหว่าง  $S_1^2 / S_2^2$  มีค่าน้อยกว่าค่าที่อ่านได้จากค่าในตารางที่ 4 ใน ASTM E  
826 (น้อยกว่า 0.89 ถ้า  $n = 6$ ) แสดงว่าเครื่องมือทดสอบมีการเบี่ยงเบนระหว่างการ  
ทดสอบขึ้นตัวอย่างต้องคำนวณค่าแก้ แล้วนำไปแก้ไขผลการทดสอบขึ้นตัวอย่าง ก่อน  
นำผลทดสอบไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 TABLE : Critical Values for Determining Occurrence of Drift from  $S_1^2 / S_2^2$  Ratio<sup>3</sup>

Number of Measurements on Control Reference Material, n	Ratio
4	0.78
5	0.82
6	0.89
7	0.94
8	0.98
9	1.02
10	1.06
11	1.10
12	1.13
15	1.21

2) วิธีการคำนวณค่าแก้ (Calculation of Drift Factor) ที่เกิดจากการเบี่ยงเบนของเครื่องมือ

เนื่องจากเครื่องมือทดสอบ ถ้ามีการเบี่ยงเบนจะทำให้ผลการทดสอบที่ได้มีการเบี่ยงเบนไปด้วยตามสภาพของเครื่องมือทดสอบ ดังนั้นก่อนการนำผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือทดสอบที่มีการเบี่ยงเบนไปใช้ต้องแก้ไขผลการทดสอบเสียก่อน

การเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบแต่ละช่วงการทดสอบมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นการคำนวณค่าแก้ไขผลทดสอบจึงต้องคำนวณตามช่วงเวลาการทดสอบ และนำผลการคำนวณที่ได้ไปแก้ผลทดสอบในช่วงเวลานั้นๆ

วิธีคำนวณค่า Drift Factors (F)

$$F_1 = C_1 + C_2 / 2C_1$$

$$F_2 = C_2 + C_3 / 2C_1$$

$$F_3 = C_3 + C_4 / 2C_1$$

$$F_4 = C_4 + C_5 / 2C_1$$

$$F_5 = C_5 + C_6 / 2C_1$$

จากนั้นนำค่าแก้ (F) ไปใช้แก้ไขผลทดสอบต่างๆ โดยนำค่าแก้ไปหารค่าผลทดสอบที่ได้จากเครื่อง ตามช่วงควบคุมการทดสอบที่สมนัยกันได้แก่

$F_1$  ใช้แก้ค่าผลทดสอบของชั้นตัวอย่างทดสอบชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2

$F_2$  ใช้แก้ค่าผลทดสอบของชั้นตัวอย่างทดสอบชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4

$F_3$  ใช้แก้ค่าผลทดสอบของชั้นตัวอย่างทดสอบชั้นที่ 5 และชั้นที่ 6

$F_4$  ใช้แก้ค่าผลทดสอบของชั้นตัวอย่างทดสอบชั้นที่ 7 และชั้นที่ 8

$F_5$  ใช้แก้ค่าผลทดสอบของชั้นตัวอย่างทดสอบชั้นที่ 9 และชั้นที่ 10

การคำนวณหาค่าการเบี่ยงเบนของเครื่องมือ จะคำนวณทุกช่วงของการทดสอบชั้นตัวอย่างทดสอบ

#### 3.4.3.2 การคำนวณเพื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบ

นำผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้ผ่านการแก้ค่าการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบแล้ว (ถ้ามี) ของธาตุต่างๆแต่ละธาตุมาคำนวณค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

##### 1) ค่าความเที่ยงในการทดสอบ

( ก ) คำนวณค่าการทำซ้ำ (Repeatability) <sup>8</sup> โดยการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) จากสูตร

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}{n-1}}$$

เมื่อ  $X$  = ค่าผลการทดสอบแต่ละครั้ง

$\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ  $n$  ครั้ง

$n$  = จำนวนครั้งที่ทำการทดสอบ

$$\text{Repeatability} = SD \times 2.83$$

( ข ) คำนวณค่าการทำซ้ำสัมพัทธ์ (Relative Repeatability) จากสูตร

$$\% \text{ Relative repeatability} = \frac{\text{Repeatability} \times 100}{\bar{X}}$$

$\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ

## 2) ค่าความแม่นยำในการทดสอบ

คำนวณค่าความแม่นยำของผลการทดสอบ ณ สภาวะการทดสอบของเครื่องมือของห้องปฏิบัติการ โดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบวัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 กับค่าที่ได้จากใบรับรองโดยใช้ t - test ที่คำนวณโดย

$$t = \frac{|\bar{x} - \mu| \sqrt{n}}{s}$$

เมื่อ	$\bar{x}$	=	ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง (%)
	$\mu$	=	ค่าที่ได้จากใบรับรอง (%)
	n	=	จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7
	s	=	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)

### 3.4.4 วิธีการประเมินผลความใช้ได้ของวิธีทดสอบ

#### 3.4.4.1 การประเมินค่าความเที่ยงในการทดสอบ

1) นำผลการทดสอบส่วนประกอบทางเคมีของธาตุคาร์บอน ฟอสฟอรัส กำมะถัน แมงกานีสและซิลิกอน ของแต่ละตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดความหนาเท่าๆกันมาเฉลี่ยกัน ( $\bar{X}$ ) แล้วคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) การทำซ้ำ (Repeatability) และเปอร์เซ็นต์การทำซ้ำสัมพัทธ์ (%Relative repeatability) ตามข้อ 3.4.3.2 จากนั้นนำค่าการทำซ้ำและเปอร์เซ็นต์การทำซ้ำสัมพัทธ์ในการทดสอบธาตุแต่ละธาตุที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ Statistical Information ตามตารางที่ 3 ในมาตรฐานวิธีทดสอบ ASTM E 415-99a หากอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกันถือว่าวิธีทดสอบมีค่าความเที่ยงเป็นไปตามมาตรฐานวิธีทดสอบ ASTM E 415-99a

2) นำผลการทดสอบส่วนประกอบทางเคมีของธาตุคาร์บอน ฟอสฟอรัส กำมะถัน แมงกานีสและซิลิกอน ของแต่ละตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดความหนาต่างกัน ทดสอบในแต่ละช่วงเวลา นำข้อมูลมาประเมินผลโดยใช้ one-way ANOVA

#### 3.4.4.2 การประมาณค่าความแม่นยำในการทดสอบ

1) ใช้วิธีประเมินจากผลการทดสอบก้อนโลหะเหล็กอ้างอิงรับรอง No. SS- CRM 458/1 ตามข้อ 3.4.3.2(2) ซึ่งใช้ทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลด้วยทุกครั้งที่มีการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างทดสอบแต่ละขนาดความหนา โดยหาความแตกต่างของค่าที่ทดสอบกับค่าจากใบรับรองของวัสดุอ้างอิงรับรองด้วยการทดสอบแบบที่

2) ใช้วิธีเปรียบเทียบผลการทดสอบโลหะเหล็กอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 กับช่วงรับรองของแต่ละธาตุจากใบรับรอง

ตารางที่ 2 ช่วงรับรองของวัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1

ธาตุ	ช่วงรับรอง , %	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
คาร์บอน	0.235	0.259
ซิลิคอน	0.50	0.58
แมงกานีส	0.47	0.51
ฟอสฟอรัส	0.028	0.036
กำมะถัน	0.029	0.037

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

#### 4.1 ค่าการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift)

จากการคำนวณค่าความแปรปรวน ( $S_1^2$ ,  $S_2^2$ ) ในการทดสอบธาตุต่างๆ ของตัวอย่างควบคุมทุกช่วงเวลาของการทดสอบขึ้นตัวอย่างทดสอบ ปรากฏว่าผลของอัตราส่วนระหว่าง  $S_1^2/S_2^2$  ของผลทดสอบทุกธาตุ มีค่ามากกว่าอัตราส่วนวิกฤตตามตารางที่ 4 ของ ASTM E 826 – 96 เมื่อ  $n=6$  ซึ่งมีค่า 0.89 ทุกช่วงเวลาของการทดสอบ ดังนั้นจากการตรวจสอบจึงสรุปว่าเครื่องมือทดสอบไม่มีการเบี่ยงเบนสำหรับการทดสอบธาตุคาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัสและกำมะถัน ในการทดสอบขึ้นตัวอย่างทดสอบ ที่ขนาดความหนาต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลาการทดสอบและไม่จำเป็นต้องมีค่าแก้ไขใดๆ กับผลการทดสอบแต่ละธาตุ ในแต่ละชุดการทดสอบ ผลการทดสอบค่าการเบี่ยงเบนของเครื่องมือแสดงไว้ในภาคผนวก 3

#### 4.2 ผลการประเมินความใช้ได้ของวิธีทดสอบ

##### 4.2.1 การหาค่าความเที่ยงในการทดสอบ

4.2.1.1 ผลการทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก 4 แสดงการหาค่าความเที่ยงโดยการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าการทำซ้ำและค่าเปอร์เซ็นต์การทำซ้ำสัมพัทธ์ ของแต่ละธาตุทุกช่วงของการทดสอบและแต่ละขนาดของความหนาที่ต่างกัน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับ Statistical Information ในตารางที่ 3 ของ ASTM E 415-99a ผล ปรากฏว่าค่าการทำซ้ำและค่าเปอร์เซ็นต์การทำซ้ำสัมพัทธ์ น้อยกว่าค่าในตาราง ซึ่งแสดงว่าการหาค่าความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) การทำซ้ำ (Repeatability) และการทำซ้ำสัมพัทธ์ (Relative Repeatability) เมื่อทดสอบขึ้นตัวอย่างที่มีความหนา 20 มิลลิเมตร

Element	Experiment			ASTM E 415-99 a	
	Standard deviation	Repeatability	Relative Repeatability, %	Repeatability	Relative Repeatability, %
Carbon	0.0029	0.0082	5.47	0.025	16.67
Silicon	0.0032	0.0092	3.73	0.015	3.84
Manganese	0.0050	0.0140	2.72	0.023	4.11
Phosphorus	0.0004	0.0011	19.05	0.003	24.2
Sulphur	0.0014	0.0039	20.44	0.005	28.9



ตารางที่ 4 ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) การทำซ้ำ (Repeatability) และการทำซ้ำสัมพัทธ์ (Relative Repeatability) เมื่อทดสอบชิ้นตัวอย่างที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร

Element	Experiment			ASTM E 415-99 a	
	Standard deviation	Repeatability	Relative Repeatability,%	Repeatability	Relative Repeatability,%
Carbon	0.0028	0.0080	5.35	0.025	16.67
Silicon	0.0017	0.0047	1.92	0.015	3.84
Manganese	0.0043	0.0122	2.36	0.023	4.11
Phosphorus	0.0003	0.0007	13.30	0.003	24.2
Sulphur	0.0014	0.0040	19.83	0.005	28.9

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) การทำซ้ำ (Repeatability) และการทำซ้ำสัมพัทธ์ (Relative Repeatability) เมื่อทดสอบชิ้นตัวอย่างที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร

Element	Experiment			ASTM E 415-99 a	
	Standard deviation	Repeatability	Relative Repeatability,%	Repeatability	Relative Repeatability,%
C a r b o n	0.0028	0.0079	5.24	0.025	16.67
Silicon	0.0025	0.0072	2.95	0.015	3.84
Manganese	0.0039	0.0111	2.16	0.023	4.11
Phosphorus	0.0003	0.0007	13.54	0.003	24.2
Sulphur	0.0016	0.0045	23.36	0.005	28.9

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) การทำซ้ำ (Repeatability) และการทำซ้ำสัมพัทธ์ (Relative Repeatability) เมื่อทดสอบชิ้นตัวอย่างที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร

Element	Experiment			ASTM E 415-99 a	
	Standard deviation	Repeatability	Relative Repeatability, %	Repeatability	Relative Repeatability, %
C a r b o n	0.0029	0.0083	5.60	0.025	16.67
Silicon	0.0026	0.0074	3.00	0.015	3.84
Manganese	0.0046	0.0131	2.55	0.023	4.11
Phosphorus	0.0002	0.0007	12.49	0.003	24.2
Sulphur	0.0013	0.0037	20.06	0.005	28.9

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) การทำซ้ำ (Repeatability) และการทำซ้ำสัมพัทธ์ (Relative Repeatability) เมื่อทดสอบชิ้นตัวอย่างที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร

Element	Experiment			ASTM E 415-99 a	
	Standard deviation	Repeatability	Relative Repeatability, %	Repeatability	Relative Repeatability, %
Carbon	0.0028	0.0080	5.30	0.025	16.67
Silicon	0.0026	0.0074	3.02	0.015	3.84
Manganese	0.0042	0.0119	2.32	0.023	4.11
Phosphorus	0.0002	0.0007	12.06	0.003	24.2
Sulphur	0.0018	0.0051	25.52	0.005	28.9

4.2.1.2 ผลการหาค่าความเที่ยงโดยการนำข้อมูลของการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดความหนาต่างกัน ทดสอบในแต่ละช่วงเวลา นำมาประเมินผลโดยใช้ one - way ANOVA พบว่าผลการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 8 ผลการประเมินความเที่ยงของการทดสอบซ้ำตัวอย่างที่มีขนาดความหนาต่างกัน  
ทดสอบในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้ one-way ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Carbon, %	Between groups	8.313E-05	4	2.078E-05	2.543	.052
	Within groups	3.677E-04	45	8.172E-06		
	Total	4.508E-04	49			
Silicon, %	Between groups	5.811E-05	4	1.453E-05	2.183	.086
	Within groups	2.995E-04	45	6.655E-06		
	Total	3.576E-04	49			
Manganese, %	Between groups	1.988E-04	4	4.969E-05	2.540	.053
	Within groups	8.804E-04	45	1.956E-05		
	Total	1.079E-03	49			
Phosphorus, %	Between groups	6.212E-07	4	1.553E-07	1.923	.123
	Within groups	3.634E-06	45	8.076E-08		
	Total	4.255E-06	49			
Sulphur, %	Between groups	2.330E-05	4	5.824E-06	2.564	.051
	Within groups	1.022E-04	45	2.272E-06		
	Total	1.255E-04	49			

พบว่าค่า Sig. ของการทดสอบมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้ง 5 ธาตุ ซึ่งแสดงว่าผลการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 4.2.2 การหาค่าความแม่นยำในการทดสอบ

4.2.2.1 ผลการทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก 5 แสดงการหาค่าความแม่นยำของผลการทดสอบ โดยการทดสอบโลหะเหล็กอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 ผลการทดสอบของธาตุต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ระบุในใบรับรองของ SS-CRM 458/1 โดยใช้ T-test พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าการทดสอบภายใต้สภาวะการทดสอบและการทำงานของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ มีความเหมาะสม

4.2.2.2 ผลการทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก 5 แสดงค่าความแม่นยำโดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบโลหะเหล็กอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 กับช่วงค่ารับรองของแต่ละธาตุจากใบรับรอง พบว่าผลการทดสอบอยู่ในช่วงการยอมรับของใบรับรองทุกช่วงเวลาการทดสอบ ข้อมูลของใบรับรองตามภาคผนวก 6

## บทที่ 5

### วิจารณ์

#### 5.1 การเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ

คงได้กล่าวแล้วว่าเครื่องมือต่างๆ อาจเกิดการเบี่ยงเบนขณะทดสอบ เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทดสอบเปลี่ยนไป เช่น อุณหภูมิ ความชื้น กระแสไฟฟ้า จึงต้องมีการตรวจสอบว่าเครื่องสปาร์กอิมิตชันสเปกโทรมิเตอร์ มีการเบี่ยงเบนหรือไม่ขณะทำการทดสอบขึ้นตัวอย่างทดสอบในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยใช้ตัวอย่างควบคุม: โลหะเหล็กมาตรฐาน C Fe 2/3 เป็นตัวเปรียบเทียบผลการทดสอบแต่ละธาตุ แล้วคำนวณโดยใช้สูตรการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวน (Variance) ในการทดสอบธาตุคาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัสและกำมะถัน โดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนของความแปรปรวนกับค่าอัตราส่วนวิกฤตตามตารางที่ 4 ของ ASTM E 826 - 96 ถ้าปรากฏว่ามีการเบี่ยงเบน จะต้องคำนวณหาค่าแก้เพื่อหาผลการทดสอบที่แท้จริง แล้วจึงนำผลทดสอบไปดำเนินการต่อ

จากผลของการหาค่าการเบี่ยงเบนของเครื่องสปาร์กอิมิตชันสเปกโทรมิเตอร์ ปรากฏว่าเครื่องมือไม่มีการเบี่ยงเบนขณะทำการทดสอบในช่วงเวลาต่างกัน

#### 5.2 ผลการหาความเที่ยงของวิธีทดสอบ

ความเที่ยงหมายถึงความใกล้เคียงกันของผลการทดสอบตัวอย่างที่ทำการทดสอบซ้ำหลายๆ ครั้ง โดยทั่วไปจะแสดงด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (% RSD) แต่สำหรับ ASTM E 415-99a แสดงด้วยค่าการทำซ้ำ และเปอร์เซ็นต์การทำซ้ำสัมพัทธ์สัมพัทธ์ สามารถทำได้โดยการทดสอบขึ้นตัวอย่างทดสอบจำนวน 10 ชิ้น ที่ผ่านการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ซึ่งถือเสมือนตัวอย่างเดียวกัน โดยทำการทดสอบความเที่ยงตามขนาดความหนาของชิ้นตัวอย่างทดสอบแต่ละชุด นำผลการทดสอบที่ได้ในแต่ละชุดของชิ้นตัวอย่างทดสอบไปเปรียบเทียบกับตาราง ใน ASTM E 415-99a ซึ่งพบว่าค่าการทำซ้ำ และเปอร์เซ็นต์การทำซ้ำสัมพัทธ์สัมพัทธ์ น้อยกว่าค่าในตารางทุกธาตุ แสดงว่ามีความเที่ยงในการทดสอบทุกธาตุ

นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูลของการทดสอบขึ้นตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดความหนาต่างกัน และทดสอบในแต่ละช่วงเวลา นำมาประเมินผลโดยใช้ one - way ANOVA พบว่าผลการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 5.3 ผลการหาความแม่นยำของวิธี

การหาค่าความแม่นยำ เป็นการบอกถึงความใกล้เคียงระหว่างค่าที่ทดสอบได้กับค่าที่แท้จริงในการทดสอบ วิธีการหาค่าความแม่นยำของแต่ละขั้นตอนการทดสอบโดยใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 เป็นตัวเปรียบเทียบโดยการทดสอบวัสดุอ้างอิงรับรองควบคู่กันไปกับการทดสอบขึ้นตัวอย่าง

ทดสอบทุกชุดของตัวอย่างตามขนาดความหนาซึ่งไม่เท่ากัน แล้วสรุปความแม่นยำจากผลการทดสอบวัสดุอ้างอิงรับรองโดยใช้สถิติ T-test ประเมินผล พบว่าผลการทดสอบของธาตุต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากใบรับรองโดย T-test พบว่า  $t$ -ค่ารวม น้อยกว่า  $t$ -ตาราง ทุกข้อมูล แสดงว่าวิธีทดสอบวิธีนี้ให้ค่าความแม่นยำของธาตุต่างๆ ทั้ง 5 ธาตุไม่แตกต่างจากค่าจากใบรับรองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรืออาจสรุปค่าความแม่นยำได้โดยดูผลการทดสอบของวัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 ด้วยการเปรียบเทียบกับช่วงของค่าที่ยอมรับจากใบรับรองของวัสดุอ้างอิงรับรองนั้นก็ได้

วิธีการตรวจสอบดังกล่าวมาทั้งหมดนี้ เป็นวิธีการประเมินความใช้ได้ของวิธีทดสอบส่วนประกอบทางเคมี ในผลิตภัณฑ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือต่ำตามมาตรฐานวิธีทดสอบ ASTM E415-99a ที่ดัดแปลงนำไปใช้ทดสอบนอกขอบข่ายความหนาของชิ้นทดสอบที่กำหนดตามมาตรฐาน (มาตรฐานกำหนดให้ความหนาของชิ้นทดสอบควรอยู่ระหว่าง 10 ถึง 38 มิลลิเมตร)

การประยุกต์ใช้ดังกล่าวนี้มีความจำเป็นและเป็นประโยชน์อย่างมาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประเภทเหล็กโครงสร้างรูปพรรณต่างๆ เช่น เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อนและเหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดเย็น ได้ถูกประกาศให้ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน และต้องตรวจสอบการผลิตและนำเข้าสินค้าต่างๆเหล่านี้ ซึ่งมีตัวอย่างต้องทดสอบเป็นจำนวนมาก ข้อมูลทดสอบที่มีความแม่นยำและความเที่ยงจึงมีความจำเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ประเภทเหล็กโครงสร้างรูปพรรณต่างๆเหล่านี้ ส่วนใหญ่ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปจะมีขนาดความหนาดำกว่า 10 มิลลิเมตรเกือบทั้งสิ้น ทำให้ต้องประยุกต์ใช้วิธีตามมาตรฐานมาทดสอบ การทำการตรวจสอบยืนยันความใช้ได้ของวิธีการจึงเป็นการสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ขอใช้บริการทดสอบ และใช้เป็นเอกสารอ้างอิงในการตรวจสอบยืนยันกรณีมีข้อปัญหาเกี่ยวกับความเหมาะสมใช้ได้ของวิธี นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับการทดสอบผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าอื่นๆ เช่น เหล็กกล้าที่ใช้ทำอุปกรณ์เครื่องมือ ซึ่งส่วนใหญ่มีขนาดความหนาดำกว่า 10 มิลลิเมตรได้อีกด้วย

## บทที่ 6

### สรุป

จากผลการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ ภายใต้สภาวะการทดสอบ เครื่องมือ ผู้ทำการทดสอบ และการควบคุมคุณภาพการทดสอบของห้องปฏิบัติการ วิธีการทดสอบส่วนประกอบทางเคมีตาม ASTM E415-99a สรุปได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้ทดสอบกับชิ้นทดสอบที่มีความหนาดำสุด 2 มิลลิเมตรได้ โดยมีค่าความแม่นยำและความเที่ยง อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานวิธีทดสอบ ASTM E415-99a ซึ่งเป็นการตรวจสอบเพื่อยืนยันว่าวิธีดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ทดสอบกับผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าเจือต่ำชนิดต่างๆ ที่มีความหนาดำกว่า 10 มิลลิเมตรได้โดยได้ผลการทดสอบที่มีความแม่นยำและความเที่ยงเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณส่องแสง เลี้ยวชวลิต ผู้อำนวยการโครงการเคมี คุณสุจินต์ ศรีคงศรี ผู้อำนวยการสำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ คุณเกษม พิฤทธิบุรณะ หัวหน้ากลุ่มกำกับดูแลมาตรฐานห้องปฏิบัติการ คุณเรณู ตามไท ผู้ได้รับมอบหมายให้ควบคุมดูแลห้องปฏิบัติการวิเคราะห์แร่ โลหะและสารปริมาณน้อย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขผลงานฉบับนี้ และขอบคุณผู้ร่วมงานทุกท่าน ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ทำให้ผลงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

1. แม้น อมรสิทธิ์ และ สมชัย อัครทิวา. วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. 2540
2. แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์. 2534.
3. American Society for Testing and Materials. Standard Practice for Testing Homogeneity of Materials for Development of Reference Materials. In Annual book of ASTM standard E 826-85 (Reapproved 1996) : Analytical Chemistry for Metals, Ores, and Related Materials. West Conshohocken, PA : ASTM, 1996
4. American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Optical Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel. In Annual book of ASTM standard E 415-99a : Analytical Chemistry for Metals, Ores, and Related Materials. West Conshohocken, PA : ASTM, 1999
5. Baird Arc / Spark Software Manual. Division of Thermo Instruments Systems. Baird Thermo Jarrell Ash Corporation, 1995
6. Miller, J.C. and Miller, J.N. Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry. 4<sup>th</sup> ed. London : Pearson Education Limited, 2000
7. Spectrochemical Equipment division, Baird Corporation. Spectrovac (Model DV-4) Direct Reading Optical Emission Spectrometer. Baird Corporation. Massachusetts. 1984
8. The International Organization for Standardization. Precision of test methods Determination of repeatability and reproducibility by inter – laboratory tests. ISO 5725. 1981
9. The International Organization for Standardization / The International Electrotechnical commission. General Requirements for the Competence of Testing and calibration Laboratories. ISO/IEC 17025. 1999



# ภาคผนวก

ชุดวัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง และกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ

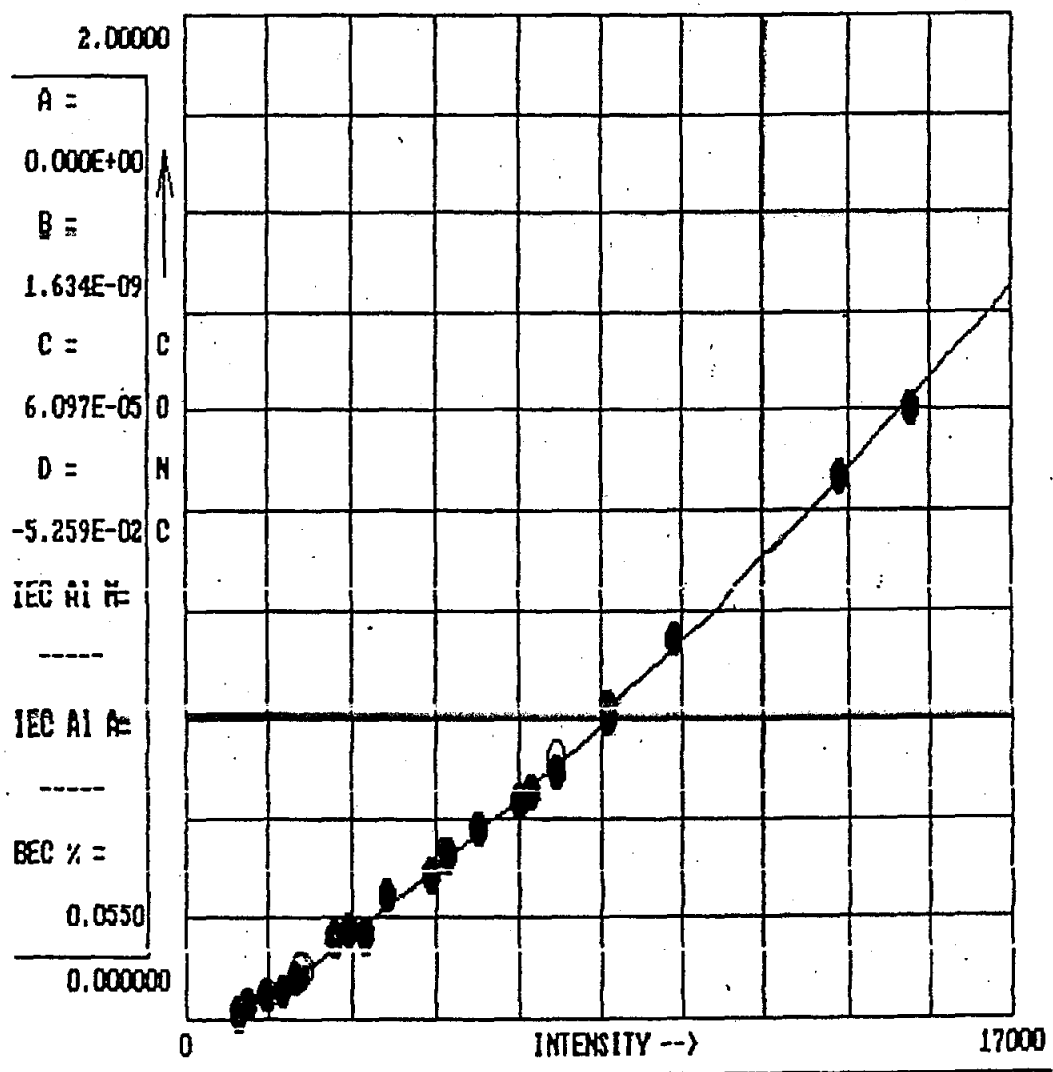
F4-Print CURVE CALCULATION IN CURVE FILE : C&LO\_ST  
 Element : C Wavelength : 1930.

Sample	shape	wf	int	real	calc	diff	% diff
NIST1766	1	80	1048	0.0150	0.0145	0.0005	3.4254
SS405	1	38	1267	0.0320	0.0289	0.0031	9.5510
SS451_1	1	24	1642	0.0510	0.0541	-0.0031	-6.0035
NIST1767	1	23	1706	0.0520	0.0584	-0.0064	-12.3693
SS456_1	1	12	2383	0.1010	0.1050	-0.0040	-3.9241
<b>SS453_1</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>3036</b>	<b>0.1600</b>	<b>0.1512</b>	<b>0.0088</b>	<b>5.5274</b>
SS406	1	7	3304	0.1730	0.1704	0.0026	1.4906
SS458_1	1	5	4107	0.2470	0.2296	0.0174	7.0539
SS408	1	4	5002	0.2890	0.2977	-0.0087	-3.0168
SS452_1	1	4	5356	0.3230	0.3254	-0.0024	-0.7399
SS457_1	1	4	5263	0.3240	0.3181	0.0059	1.8280
SS454_1	1	3	5984	0.3760	0.3753	0.0007	0.1956
SS410	1	3	6793	0.4280	0.4412	-0.0132	-3.0867
SS460_1	1	3	7054	0.4520	0.4630	-0.0110	-2.4271
SS407	1	2	7585	0.4900	0.5078	-0.0178	-3.6225
SS459_1	1	2	7559	0.5230	0.5055	0.0175	3.3501
SS455_1	1	2	8649	0.5980	0.6000	-0.0020	-0.3301
SS404	1	2	10013	0.7400	0.7231	0.0169	2.2849
SS401	1	1	13409	1.0600	1.0536	0.0064	0.6072
SS402	1	1	14896	1.2000	1.2089	-0.0089	-0.7457
<b>% Average difference</b>				<b>0.0079</b>	<b>%</b>		

ตารางที่ 9 ชุดวัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรองของโลหะเหล็กที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานของธาตุคาร์บอน (C)

ชุดวัดคู่อ้างอิง วัดคู่อ้างอิงรับรอง และกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ

CURVE PLOT FOR ELEMENT C 1930. / Fe#R 2714. IN CURVE SET CALO\_ST  
Int. : 8500 Degree : 2 Matrix correction : NO  
Conc. : 1.0033 Ave diff : 0.00928 % Act pnts: 22 (Curve in : %



รูปที่ 2 กราฟมาตรฐานของธาตุคาร์บอน (C)

ชุดวัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง และกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ

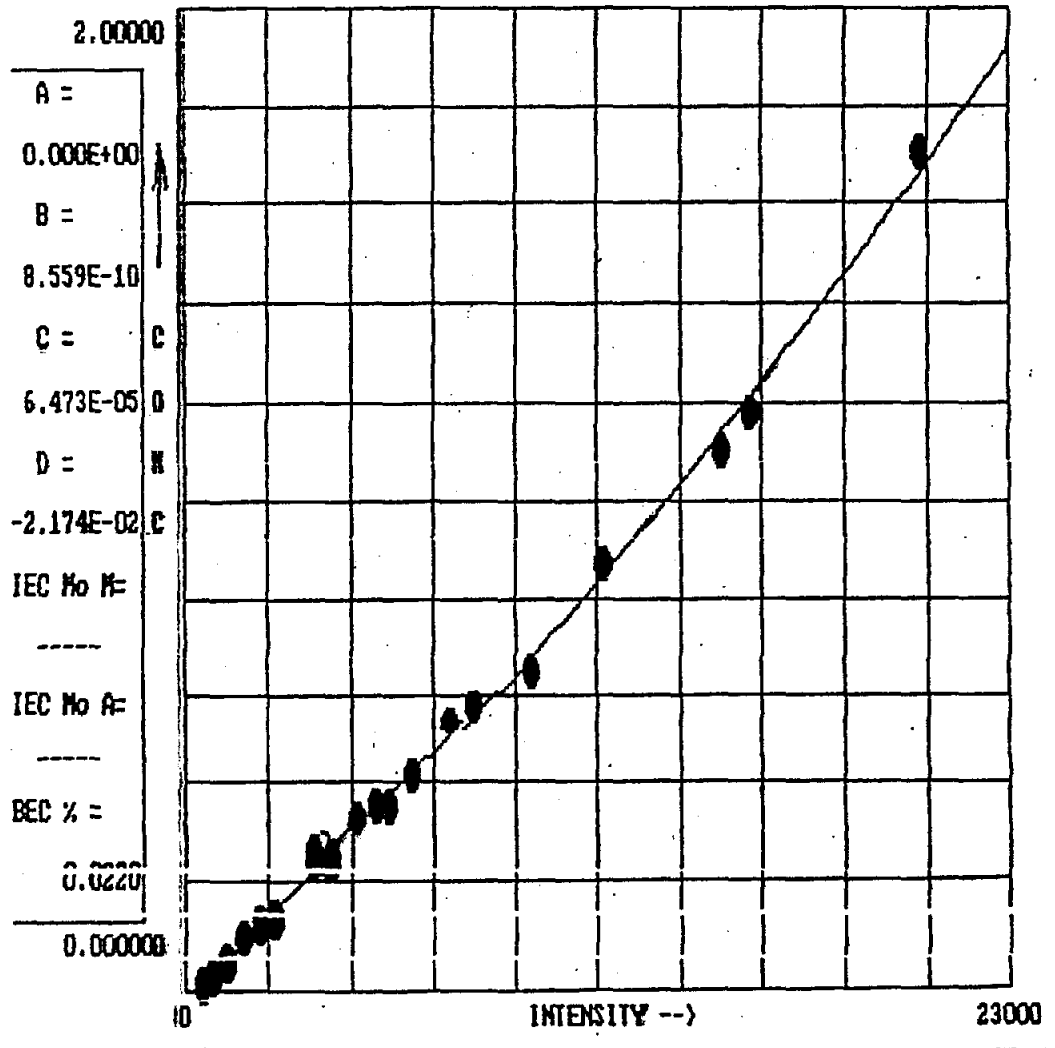
F4-Print CURVE CALCULATION IN CURVE FILE : C&LO\_ST  
 Element : Si Wavelength : 2881

Sample	shape	wf	int	real	calc	diff	% diff
NIST1766	1	171	491	0.0100	0.0102	-0.0002	-2.4551
NIST1767	1	66	754	0.0260	0.0276	-0.0016	-6.0886
SS452_1	1	31	1162	0.0550	0.0546	0.0004	0.7325
SS460_1	1	17	1631	0.0980	0.0861	0.0119	12.1031
SS451_1	1	15	2077	0.1160	0.1164	-0.0004	-0.3260
SS402	1	13	2469	0.1300	0.1433	-0.0133	-10.2242
SS408	1	7	3978	0.2370	0.2493	-0.0123	-5.1749
SS456_1	1	7	3532	0.2400	0.2176	0.0224	9.3407
SS455_1	1	7	3828	0.2500	0.2386	0.0114	4.5665
SS454_1	1	6	4702	0.3100	0.3015	0.0085	2.7285
SS453_1	1	5	5267	0.3400	0.3429	-0.0029	-0.8607
<b>SS406</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5612</b>	<b>0.3420</b>	<b>0.3684</b>	<b>-0.0264</b>	<b>-7.7330</b>
SS401	1	4	6289	0.4100	0.4192	-0.0092	-2.2383
SS458_1	1	3	7381	0.5400	0.5026	0.0374	6.9229
SS459_1	1	3	8042	0.5800	0.5542	0.0258	4.4549
SS407	1	3	9667	0.6600	0.6840	-0.0240	-3.6295
SS404	1	2	11693	0.8700	0.8521	0.0179	2.0561
SS410	1	2	14939	1.1000	1.1363	-0.0363	-3.2965
SS409	1	1	15789	1.1800	1.2136	-0.0336	-2.8482
SS405	1	1	20500	1.7100	1.6648	0.0452	2.6425
%				Average difference =			
				0.0170 %			

ตารางที่ 10 ชุดวัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรองของโลหะเหล็กที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานของธาตุซิลิกอน (Si)

ชุดวัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง และกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ

CURVE PLOT FOR ELEMENT Si 2881 / FeXR 2714. IN CURVE SET CALD\_ST  
Int. : 11500 Degree : 2 Matrix correction : NO  
Conc. : 1.0033 Ave diff : 0.01705 % Act pts: 20 Curve in : %



รูปที่ 3 กราฟมาตรฐานของธาตุซิลิคอน (Si)

ชุดวัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง และกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ

F4-Print CURVE CALCULATION IN CURVE FILE : C&LO\_ST  
 Element : Mn Wavelength = 2933

Sample	shape	wf	int	real	calc	diff	% diff
CRM_097_	1	216	235	0.0064	0.0066	-0.0002	-3.0834
NIST1767	1	63	421	0.0220	0.0221	-0.0001	-0.4598
NIST1766	1	21	913	0.0670	0.0636	0.0034	5.1271
SS402	1	9	2078	0.1600	0.1651	-0.0051	-3.2058
SS407	1	7	2425	0.1950	0.1964	-0.0014	-0.7225
SS457_1	1	5	3383	0.3000	0.2848	0.0152	5.0812
SS404	1	4	3667	0.3100	0.3116	-0.0016	-0.5071
SS455_1	1	3	4487	0.4000	0.3906	0.0094	2.3452
SS410	1	3	5002	0.4190	0.4415	-0.0225	-5.3679
SS406	1	3	5160	0.4470	0.4572	-0.0102	-2.2897
SS458_1	1	3	5289	0.4900	0.4702	0.0198	4.0469
SS408	1	2	6403	0.5570	0.5846	-0.0276	-4.9494
SS409	1	2	6353	0.5590	0.5793	-0.0203	-3.6334
SS451_1	1	2	6751	0.6200	0.6212	-0.0012	-0.1934
SS460_1	1	2	6935	0.6700	0.6408	0.0292	4.3630
SS454_1	1	2	8354	0.8000	0.7955	0.0045	0.5628
SS401	1	2	8839	0.8500	0.8500	-0.0000	-0.0006
SS459_1	1	1	9799	0.9700	0.9605	0.0095	0.9810
SS405	1	1	12567	1.2800	1.2971	-0.0171	-1.3382
SS452_1	1	1	12601	1.3000	1.3013	-0.0013	-0.1033
SS453_1	1	1	13114	1.3800	1.3668	0.0132	0.9532
%				Average difference =			
				0.0101 %			

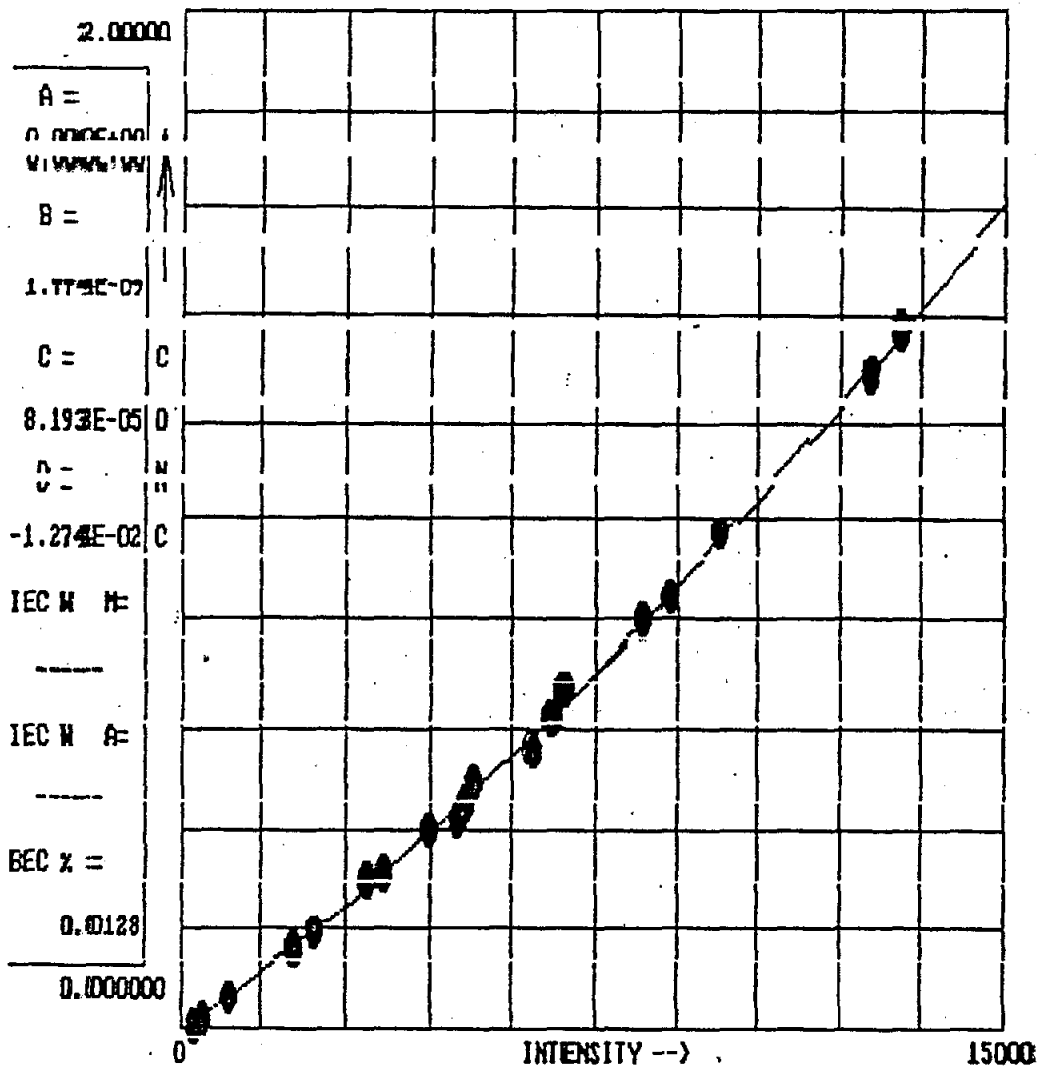
ตารางที่ 11 ชุดวัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรองของโลหะเหล็กที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานของธาตุแมงกานีส (Mn)

ชุดวัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง และกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ

CURVE PLOT FOR ELEMENT Mn 2933 / Fe 2714. IN CURVE SET C&LO\_ST

Int. : 7500 Degree : 2 Matrix correction : NO

Conc. : 1.0033 Ave diff : 0.01014 % Act pnts: 21 Curve in : %



รูปที่ 4 กราฟมาตรฐานของธาตุแมงกานีส (Mn)

ชุดวัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง และกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ

F4-Print CURVE CALCULATION IN CURVE FILE : C&LO\_ST  
 Element : P Wavelength : 1782.

Sample	shape	wf	int	real	calc	diff	% diff
NIST1766	1	62	1764	0.0012	0.0011	0.0001	10.7634
CRM_097	1	46	1795	0.0016	0.0015	0.0001	5.8978
NIST1767	1	24	1945	0.0031	0.0036	-0.0005	-17.4990
SS451_1	1	8	2262	0.0090	0.0081	0.0009	10.0086
SS457_1	1	7	2424	0.0100	0.0103	-0.0003	-3.4198
SS402	1	7	2611	0.0110	0.0129	-0.0019	-17.4836
SS405	1	4	2975	0.0180	0.0179	0.0001	0.7979
SS456_1	1	4	2861	0.0180	0.0163	0.0017	9.3061
SS458_1	1	2	3932	0.0320	0.0304	0.0016	5.0027
SS452_1	1	2	4247	0.0350	0.0344	0.0006	1.7364
SS407	1	2	4852	0.0380	0.0419	-0.0039	-10.1506
SS460_1	1	2	4923	0.0430	0.0427	0.0003	0.6599
SS453_1	1	2	4953	0.0440	0.0431	0.0009	2.0889
SS455_1	1	1	5602	0.0520	0.0508	0.0012	2.3941
SS459_1	1	1	5814	0.0540	0.0532	0.0008	1.4875
SS408	1	1	6337	0.0560	0.0591	-0.0031	-5.5170
SS404	1	1	6067	0.0570	0.0561	0.0009	1.6141
SS454_1	1	1	6153	0.0610	0.0570	0.0040	6.4862
SS410	1	1	7832	0.0740	0.0749	-0.0009	-1.2138
%				Average difference = 0.0013 %			

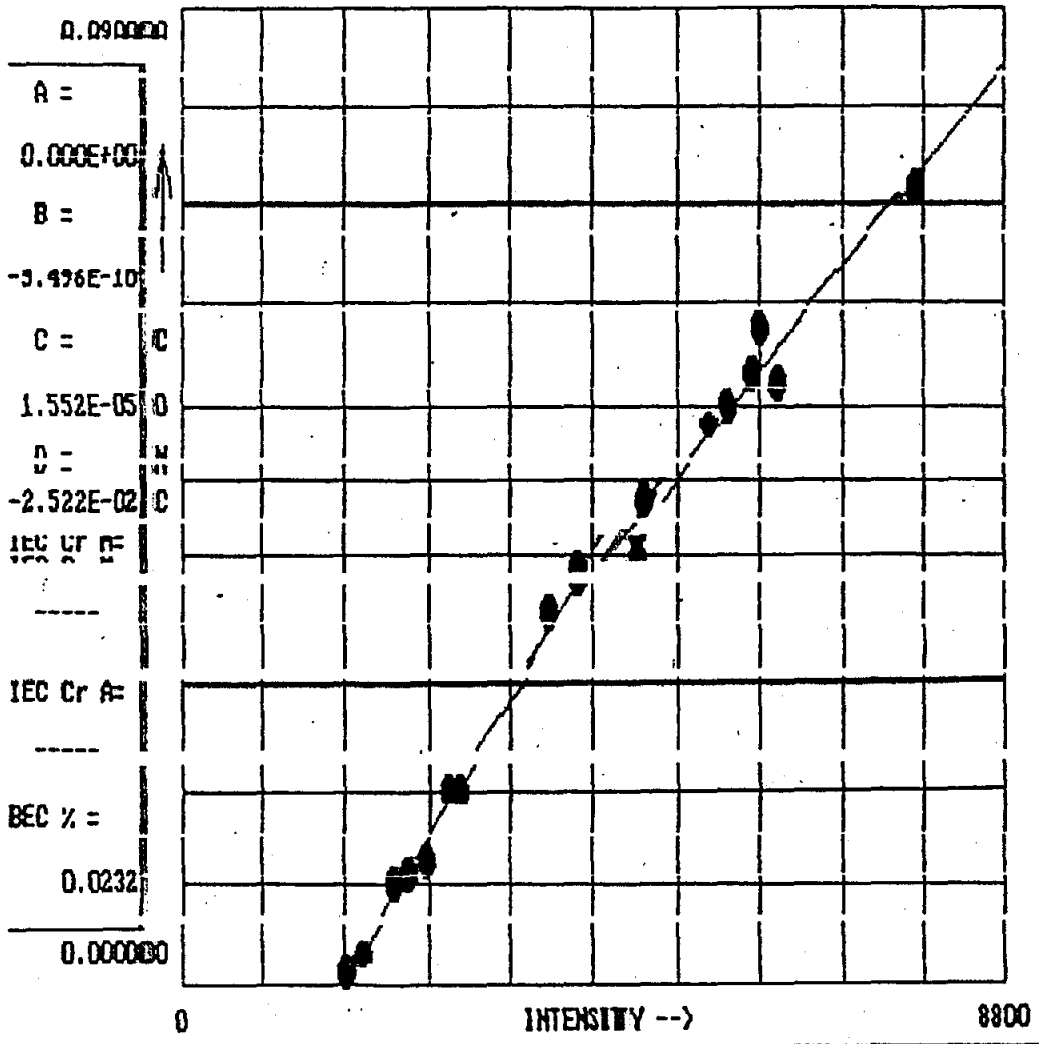
ตารางที่ 12 ชุดวัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรองของโลหะหนักที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานของธาตุฟอสฟอรัส (P)



ชุดวัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง และกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ

CURVE PLOT FOR ELEMENT P 1782. / Fe\* 27114. IN CURVE SET C&LO\_ST

Int. : 4400 Degree : 2 Matrix correction : NO  
Conc. : 0.0451 Ave diff : 0.00126 % Act pnts: 19 Curve in : %



รูปที่ 5 กราฟมาตรฐานของธาตุฟอสฟอรัส (P)

ชุดวัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง และกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ

F4-Print CURVE CALCULATION IN CURVE FILE : C&LO\_ST  
 Element : S Wavelength : 1807

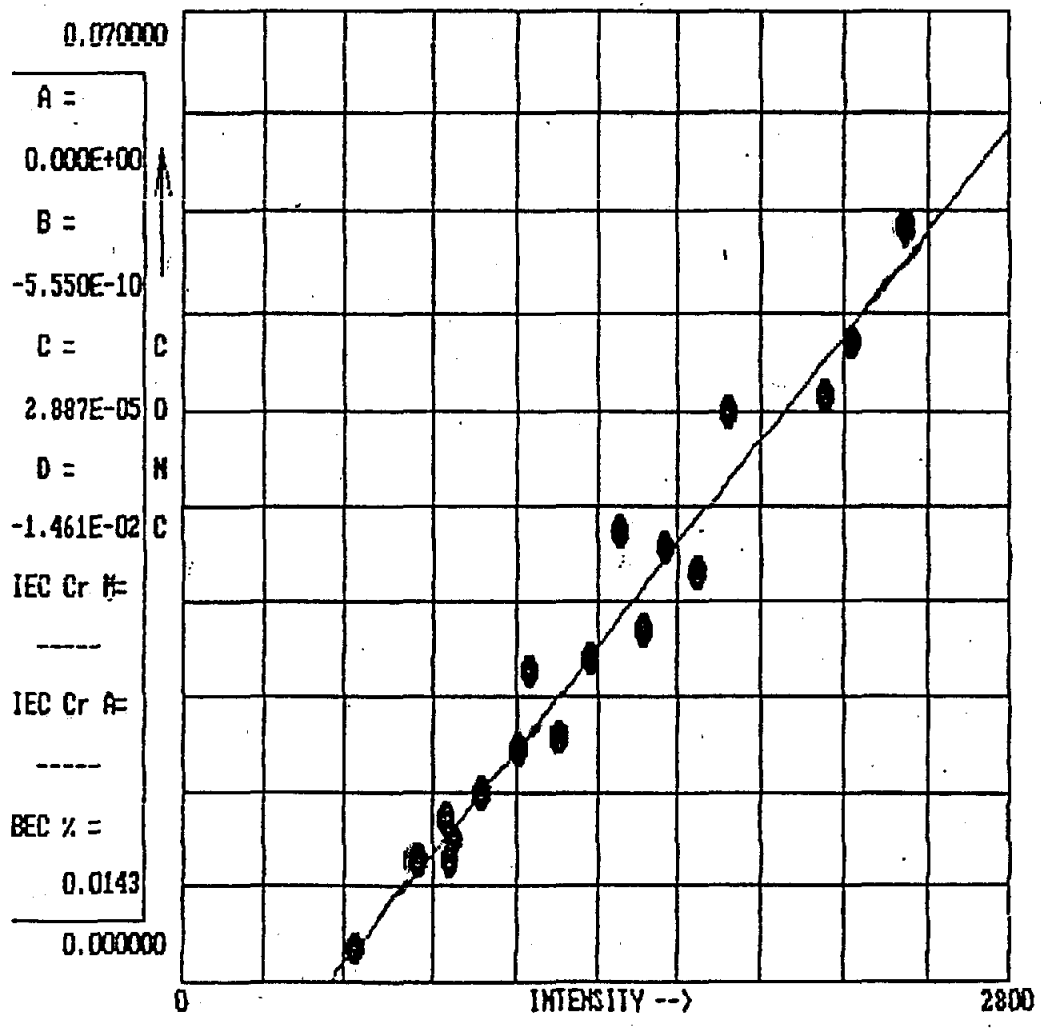
Sample	shape	wf	int	real	calc	diff	% diff
NIST1766	1	23	598	0.0024	0.0025	-0.0001	-2.3157
NIST1767	1	6	794	0.0090	0.0080	0.0010	11.4314
SS401	1	6	899	0.0090	0.0109	-0.0019	-21.1158
SS407	1	5	915	0.0105	0.0114	-0.0009	-8.1478
SS460_1	1	5	888	0.0120	0.0106	0.0014	11.6478
SS451_1	1	4	1008	0.0140	0.0139	0.0001	0.4472
SS452_1	1	3	1124	0.0170	0.0172	-0.0002	-0.9415
SS409	1	3	1264	0.0179	0.0210	-0.0031	-17.3279
<b>SS456_1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1165</b>	<b>0.0230</b>	<b>0.0183</b>	<b>0.0047</b>	<b>20.5234</b>
SS404	1	2	1374	0.0240	0.0240	-0.0000	-0.0314
SS453_1	1	2	1556	0.0260	0.0290	-0.0030	-11.4575
SS408	1	2	1744	0.0300	0.0341	-0.0041	-13.5839
SS402	1	2	1633	0.0320	0.0311	0.0009	2.9336
SS458_1	1	2	1477	0.0330	0.0268	0.0062	18.6856
SS457_1	1	1	1847	0.0420	0.0368	0.0052	12.3371
SS406	1	1	2179	0.0430	0.0457	-0.0027	-6.2004
SS454_1	1	1	2271	0.0470	0.0481	-0.0011	-2.3670
SS455_1	1	1	2442	0.0550	0.0526	0.0024	4.3657
% Average difference =				0.0022	%		

ตารางที่ 13 ชุดวัสดุอ้างอิงและวัสดุอ้างอิงรับรองของโลหะหนักที่ใช้สร้างกราฟมาตรฐานของธาตุกำมะถัน (S)

ชุดวัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง และกราฟมาตรฐานของแต่ละธาตุ

CURVE PLOT FOR ELEMENT S 1807 / Fe\* $\lambda$  2714. IN CURVE SET CALD\_ST

Int. : 1400 Degree : 2 Matrix correction : NO  
Conc. : 0.0351 Ave diff : 0.00216 % Act pnts: 18 Curve in : %



รูปที่ 6 กราฟมาตรฐานของธาตุกำมะถัน (S)

## - ภาคผนวก 2 -

ข้อมูลดิบการทดสอบวัสดุข้างรับแรง (SS-CRM 458/1) ตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3) และขึ้นตัวอย่างทดสอบที่มีความหนา 20 มม.

ชั้นทดสอบ	คาร์บอน (C), %			ซิลิคอน (Si), %			แมงกานีส (Mn), %			ฟอสฟอรัส (P), %			กำมะถัน (S), %							
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย				
SS CRM 458/1	0.2392	0.2447	0.2416	0.2418	0.5133	0.5321	0.5152	0.5202	0.4751	0.4915	0.4814	0.4827	0.0305	0.0339	0.0323	0.0322	0.0331	0.0320	0.0312	0.0321
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.3692	0.3642	0.3599	0.3644	0.4589	0.4612	0.4599	0.4600	0.5844	0.5869	0.5911	0.5875	0.0427	0.0435	0.0432	0.0431	0.0146	0.0142	0.0145	0.0142
021	0.1485	0.1511	0.1478	0.1491	0.2461	0.2423	0.2505	0.2463	0.5215	0.5149	0.5245	0.5203	0.0061	0.0060	0.0056	0.0059	0.0215	0.0200	0.0188	0.0201
022	0.1478	0.1493	0.1523	0.1498	0.2441	0.2451	0.2302	0.2398	0.5156	0.5209	0.5233	0.5199	0.0060	0.0064	0.0059	0.0061	0.0204	0.0184	0.0188	0.0192
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.3548	0.3654	0.3670	0.3624	0.4562	0.4600	0.4635	0.4599	0.5862	0.5901	0.5899	0.5887	0.0436	0.0441	0.0445	0.0441	0.0143	0.0144	0.0146	0.0144
040	0.1544	0.1547	0.1512	0.1534	0.2538	0.2402	0.2500	0.2480	0.5075	0.5181	0.5116	0.5124	0.0058	0.0062	0.0064	0.0061	0.0190	0.0176	0.0174	0.0180
049	0.1486	0.1525	0.1465	0.1492	0.2396	0.2433	0.2521	0.2450	0.5140	0.5143	0.5170	0.5151	0.0063	0.0059	0.0064	0.0062	0.0210	0.0184	0.0173	0.0189
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.3556	0.3658	0.3680	0.3631	0.4612	0.4599	0.4621	0.4611	0.5840	0.5911	0.5859	0.5870	0.0429	0.0431	0.0442	0.0434	0.0141	0.0146	0.0143	0.0143
053	0.1539	0.1546	0.1520	0.1535	0.2367	0.2520	0.2448	0.2445	0.5065	0.5124	0.5190	0.5126	0.0053	0.0056	0.0057	0.0055	0.0178	0.0182	0.0187	0.0182
060	0.1509	0.1508	0.1478	0.1498	0.2487	0.2501	0.2446	0.2478	0.5062	0.5141	0.5164	0.5122	0.0051	0.0057	0.0048	0.0052	0.0176	0.0181	0.0173	0.0177
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.3616	0.3641	0.3590	0.3616	0.4568	0.4598	0.4622	0.4696	0.5917	0.5868	0.5900	0.5895	0.0440	0.0438	0.0445	0.0441	0.0140	0.0145	0.0148	0.0144
061	0.1486	0.1426	0.1415	0.1442	0.2453	0.2531	0.2426	0.2470	0.5109	0.5429	0.5267	0.5268	0.0051	0.0052	0.0054	0.0052	0.0222	0.0209	0.0217	0.0216
068	0.1520	0.1501	0.1514	0.1512	0.2499	0.2554	0.2381	0.2478	0.5097	0.5094	0.5128	0.5106	0.0055	0.0059	0.0063	0.0059	0.0170	0.0173	0.0172	0.0172
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.3610	0.3582	0.3600	0.3597	0.4652	0.4631	0.4597	0.4627	0.5890	0.5911	0.5845	0.5882	0.0429	0.0440	0.0439	0.0436	0.0146	0.0143	0.0145	0.0145
070	0.1459	0.1545	0.1551	0.1518	0.2498	0.2428	0.2514	0.2480	0.5124	0.5100	0.5234	0.5153	0.0062	0.0048	0.0049	0.0053	0.0172	0.0186	0.0175	0.0178
131	0.1551	0.1533	0.1539	0.1541	0.2427	0.2365	0.2396	0.2396	0.5136	0.5192	0.5201	0.5176	0.0054	0.0058	0.0063	0.0058	0.0181	0.0215	0.0198	0.0198
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.3601	0.3622	0.3654	0.3626	0.4620	0.4647	0.4601	0.4623	0.5869	0.5905	0.5900	0.5891	0.0439	0.0445	0.0426	0.0437	0.0145	0.0410	0.0147	0.0144
SS CRM 458/1	0.2485	0.2384	0.2463	0.2444	0.5346	0.5210	0.5255	0.5270	0.4885	0.4853	0.4899	0.4879	0.0333	0.0317	0.0325	0.0325	0.0338	0.0314	0.0312	0.0321

## - ภาคผนวก 2 -

ข้อมูลดิบการทดสอบวัดดัชนีการรับแรง (SS-CRM 458/1) ตัวอย่างความคม (C Fe 2/3) และชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีความหนา 10 มม.

ชั้นทดสอบ	คาร์บอน (C), %			ซิลิคอน (Si), %			แมงกานีส (Mn), %			ฟอสฟอรัส (P), %			กำมะถัน (S), %				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
SS CRM 458/1	0.2395	0.2447	0.2416	0.2419	0.5133	0.5321	0.5152	0.5202	0.4751	0.4915	0.4814	0.4827	0.0310	0.0329	0.0316	0.0318	0.0336
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.3542	0.3586	0.3610	0.3579	0.4613	0.4591	0.4588	0.4597	0.5922	0.5875	0.5839	0.5879	0.0433	0.0437	0.0425	0.0432	0.0138
021	0.1488	0.1528	0.1503	0.1506	0.2399	0.2436	0.2500	0.2445	0.5210	0.5308	0.5304	0.5274	0.0059	0.0057	0.0064	0.0060	0.0217
022	0.1461	0.1466	0.1513	0.1480	0.2438	0.2385	0.2485	0.2436	0.5172	0.5225	0.5182	0.5193	0.0052	0.0045	0.0053	0.0050	0.0164
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.3518	0.3601	0.3598	0.3572	0.4620	0.4593	0.4610	0.4608	0.5948	0.5883	0.5779	0.5870	0.0433	0.0448	0.0448	0.0443	0.0141
040	0.1476	0.1502	0.1483	0.1487	0.2476	0.2516	0.2349	0.2447	0.5186	0.5246	0.5194	0.5209	0.0057	0.0057	0.0054	0.0056	0.0187
049	0.1455	0.1477	0.1385	0.1439	0.2489	0.2506	0.2388	0.2461	0.5198	0.5172	0.5236	0.5202	0.0056	0.0060	0.0053	0.0056	0.0175
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.3520	0.3620	0.3602	0.3581	0.4546	0.4541	0.4605	0.4564	0.5986	0.5899	0.5855	0.5913	0.0431	0.0441	0.0442	0.0438	0.0135
053	0.1473	0.1449	0.1499	0.1474	0.2435	0.2465	0.2399	0.2433	0.5196	0.5130	0.5151	0.5159	0.0056	0.0054	0.0056	0.0055	0.0207
060	0.1531	0.1458	0.1437	0.1475	0.2488	0.2443	0.2509	0.2480	0.5119	0.5183	0.5028	0.5110	0.0055	0.0051	0.0054	0.0053	0.0183
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.3527	0.3499	0.3600	0.3542	0.4595	0.4508	0.4628	0.4597	0.5952	0.5885	0.5824	0.5887	0.0432	0.0442	0.0410	0.0428	0.0132
061	0.1497	0.1495	0.1505	0.1499	0.2444	0.2443	0.2416	0.2430	0.5068	0.5225	0.5219	0.5171	0.0059	0.0054	0.0052	0.0055	0.0197
068	0.1501	0.1556	0.1590	0.1549	0.2448	0.2500	0.2345	0.2431	0.5174	0.5200	0.5216	0.5197	0.0056	0.0058	0.0057	0.0057	0.0205
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.3491	0.3611	0.3599	0.3567	0.4623	0.4551	0.4625	0.4600	0.5896	0.5933	0.5906	0.5912	0.0436	0.0439	0.0440	0.0438	0.0145
070	0.1475	0.1471	0.1534	0.1493	0.2389	0.2494	0.2407	0.2430	0.5102	0.5164	0.5225	0.5164	0.0052	0.0057	0.0053	0.0054	0.0216
131	0.1480	0.1472	0.1486	0.1479	0.2507	0.2400	0.2386	0.2431	0.5132	0.5171	0.5160	0.5154	0.0054	0.0058	0.0052	0.0055	0.0192
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.3610	0.3487	0.3519	0.3539	0.4554	0.4533	0.4616	0.4568	0.5877	0.5906	0.5920	0.5901	0.0438	0.0439	0.0442	0.0440	0.0138
SS CRM 458/1	0.2499	0.2358	0.2415	0.2424	0.5222	0.5146	0.5301	0.5223	0.4835	0.4926	0.4987	0.4916	0.0331	0.0315	0.0324	0.0323	0.0310

## - ภาคผนวก 2 -

ข้อมูลดิบผลการทดสอบบัดด่างเชิงรับรอง (SS-CRM 458/1) ตัวอย่างความคม (C Fe 2/3) และชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีความหนา 6 มม.

ชั้นทดสอบ	คาร์บอน (C), %			ซิลิคอน (Si), %			แมงกานีส (Mn), %			ฟอสฟอรัส (P), %			กำมะถัน (S), %									
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย						
SS CRM 458/1	0.2466	0.2395	0.2369	0.2410	0.5360	0.5193	0.5176	0.5243	0.4896	0.4891	0.4797	0.4861	0.0320	0.0329	0.0336	0.0328	0.0332	0.0335	0.0328	0.0332	0.0332	
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.3595	0.3608	0.3536	0.3580	0.4389	0.4552	0.4528	0.4556	0.5857	0.5869	0.5878	0.5868	0.0447	0.0440	0.0445	0.0444	0.0136	0.0145	0.0145	0.0144	0.0141	0.0141
021	0.1526	0.1495	0.1469	0.1497	0.2418	0.2476	0.2525	0.2473	0.5173	0.5010	0.5205	0.5129	0.0056	0.0053	0.0060	0.0056	0.0177	0.0164	0.0164	0.0164	0.0184	0.0175
022	0.1524	0.1502	0.1465	0.1497	0.2451	0.2399	0.2374	0.2408	0.5156	0.5049	0.4960	0.5055	0.0058	0.0052	0.0054	0.0055	0.0204	0.0226	0.0226	0.0204	0.0197	0.0209
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.3627	0.3515	0.3578	0.3573	0.4562	0.4570	0.4655	0.4596	0.5895	0.5844	0.5851	0.5863	0.0446	0.0455	0.0442	0.0448	0.0148	0.0142	0.0142	0.0448	0.0145	0.0145
040	0.1505	0.1551	0.1499	0.1518	0.2432	0.2404	0.2394	0.2410	0.5097	0.5136	0.5156	0.5130	0.0054	0.0059	0.0053	0.0055	0.0169	0.0175	0.0175	0.0055	0.0193	0.0179
049	0.1479	0.1503	0.1511	0.1498	0.2409	0.2420	0.2500	0.2443	0.5167	0.5177	0.5093	0.5146	0.0052	0.0058	0.0057	0.0056	0.0178	0.0167	0.0167	0.0056	0.0162	0.0169
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.3644	0.3548	0.3599	0.3597	0.4622	0.4549	0.4479	0.4550	0.5840	0.5762	0.5886	0.5829	0.0451	0.0461	0.0446	0.0453	0.0148	0.0143	0.0143	0.0453	0.0139	0.0143
053	0.1526	0.1551	0.1499	0.1525	0.2448	0.2399	0.2428	0.2425	0.5049	0.5211	0.5160	0.5140	0.0056	0.0070	0.0054	0.0061	0.0185	0.0203	0.0203	0.0061	0.0184	0.0191
060	0.1541	0.1495	0.1535	0.1524	0.2394	0.2405	0.2431	0.2410	0.5097	0.5103	0.5176	0.5125	0.0052	0.0044	0.0054	0.0050	0.0188	0.0201	0.0201	0.0050	0.0195	0.0195
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.3664	0.3599	0.3523	0.3595	0.4591	0.4520	0.4555	0.4555	0.5917	0.5856	0.5871	0.5881	0.0448	0.0455	0.0445	0.0449	0.0135	0.0145	0.0145	0.0449	0.0138	0.0140
061	0.1495	0.1405	0.1456	0.1452	0.2419	0.2404	0.2449	0.2424	0.5176	0.5171	0.099	0.5149	0.0058	0.0056	0.0052	0.0055	0.0190	0.0225	0.0225	0.0055	0.0242	0.0219
068	0.1547	0.1495	0.1512	0.1518	0.2396	0.2368	0.2400	0.2388	0.5106	0.5146	0.5123	0.5125	0.0053	0.0059	0.0054	0.0055	0.0186	0.0185	0.0185	0.0055	0.0211	0.0194
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.3612	0.3499	0.3567	0.3559	0.4525	0.4467	0.4651	0.4548	0.5990	0.5767	0.5907	0.5888	0.0446	0.0443	0.0440	0.0443	0.0151	0.0148	0.0148	0.0443	0.0142	0.0147
070	0.1533	0.1503	0.1647	0.1561	0.2399	0.2510	0.2456	0.2455	0.5160	0.5123	0.5093	0.5125	0.0058	0.0052	0.0056	0.0055	0.0231	0.0201	0.0201	0.0055	0.0195	0.0209
131	0.1551	0.1495	0.1502	0.1516	0.2428	0.2491	0.2395	0.2438	0.5276	0.5183	0.5192	0.5217	0.0051	0.0056	0.0056	0.0054	0.0187	0.0210	0.0210	0.0054	0.0186	0.0194
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.3611	0.3535	0.3549	0.3565	0.4632	0.4512	0.4544	0.4563	0.5916	0.5908	0.5820	0.5881	0.0444	0.0439	0.0445	0.0443	0.0148	0.0145	0.0145	0.0443	0.0135	0.0143
SS CRM 458/1	0.2421	0.2399	0.2456	0.2425	0.5369	0.5112	0.5122	0.5201	0.4845	0.4796	0.4935	0.4859	0.0308	0.0320	0.0330	0.0319	0.0303	0.0325	0.0325	0.0319	0.0336	0.0321

## - ภาคผนวก 2 -

ข้อมูลดิบผลการทดสอบวัสดุอ้างอิงรับรอง (SS-CRM 458/1) ตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3) และชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีความหนา 4 มม.

ชั้นทดสอบ	คาร์บอน (C), %			ซิลิคอน (Si), %			แมงกานีส (Mn), %			ฟอสฟอรัส (P), %			กำมะถัน (S), %							
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย				
SS CRM 458/1	0.2426	0.2516	0.2504	0.2482	0.5201	0.5343	0.5274	0.5273	0.4849	0.4949	0.4902	0.4900	0.0321	0.0335	0.0309	0.0322	0.0332	0.0315	0.0309	0.0319
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.3624	0.3567	0.3728	0.3640	0.4548	0.4679	0.4598	0.4608	0.5933	0.5812	0.5799	0.5848	0.0440	0.0463	0.0458	0.0454	0.0140	0.0146	0.0134	0.0140
021	0.1541	0.1519	0.1489	0.1516	0.2443	0.2421	0.2495	0.2453	0.5143	0.5058	0.5168	0.5123	0.0057	0.0053	0.0052	0.0054	0.0190	0.0194	0.0189	0.0191
022	0.1502	0.1490	0.1490	0.1494	0.2359	0.2439	0.2489	0.2429	0.5207	0.5119	0.5198	0.5175	0.0054	0.0052	0.0056	0.0054	0.0161	0.0175	0.0174	0.0170
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.3660	0.3546	0.3499	0.3568	0.4550	0.4600	0.4612	0.4587	0.5885	0.5858	0.5901	0.5881	0.0465	0.0448	0.0452	0.0455	0.0140	0.0143	0.0135	0.0139
040	0.1478	0.1496	0.1425	0.1466	0.2457	0.2514	0.2484	0.2485	0.5138	0.5290	0.5214	0.5214	0.0053	0.0065	0.0059	0.0059	0.0177	0.0169	0.0167	0.0171
049	0.1451	0.1465	0.1419	0.1445	0.2434	0.2494	0.2428	0.2452	0.5073	0.5169	0.5047	0.5096	0.0053	0.0056	0.0054	0.0054	0.0192	0.0167	0.0175	0.0178
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.3589	0.3602	0.3467	0.3553	0.4544	0.4548	0.4639	0.4577	0.5873	0.5879	0.5911	0.5888	0.0461	0.0450	0.0455	0.0455	0.0131	0.0141	0.0136	0.0136
053	0.1473	0.1487	0.1442	0.1467	0.2398	0.2433	0.2381	0.2404	0.5125	0.5123	0.5087	0.5112	0.0053	0.0055	0.0054	0.0054	0.0175	0.0187	0.0191	0.0184
060	0.1547	0.1590	0.1498	0.1545	0.2445	0.2488	0.2429	0.2454	0.5105	0.5156	0.5105	0.5122	0.0054	0.0052	0.0057	0.0054	0.0221	0.0192	0.0232	0.0215
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.3692	0.3598	0.3499	0.3596	0.4551	0.4610	0.4625	0.4595	0.5897	0.5860	0.5908	0.5888	0.0455	0.0459	0.0465	0.0460	0.0146	0.0141	0.0135	0.0141
061	0.1461	0.1459	0.1487	0.1469	0.2467	0.2483	0.2505	0.2485	0.5153	0.5144	0.5220	0.5172	0.0052	0.0054	0.0055	0.0054	0.0179	0.0204	0.0187	0.0190
068	0.1460	0.1433	0.1523	0.1472	0.2487	0.2407	0.2513	0.2469	0.5131	0.5082	0.5202	0.5138	0.0053	0.0055	0.0057	0.0055	0.0186	0.0171	0.0168	0.0175
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.3556	0.3610	0.3596	0.3587	0.4555	0.4608	0.4556	0.4573	0.5828	0.5883	0.5899	0.5870	0.0443	0.0455	0.0458	0.0452	0.0132	0.0135	0.0139	0.0135
070	0.1474	0.1433	0.1516	0.1474	0.2464	0.2471	0.2517	0.2484	0.5103	0.5103	0.5164	0.5123	0.0052	0.0056	0.0053	0.0054	0.0185	0.0179	0.0183	0.0182
131	0.1472	0.1467	0.1456	0.1465	0.2487	0.2404	0.2465	0.2452	0.5108	0.4930	0.5106	0.5048	0.0042	0.0051	0.0054	0.0049	0.0200	0.0171	0.0188	0.0186
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.3548	0.3625	0.3512	0.3562	0.4565	0.4589	0.4659	0.4604	0.5935	0.5874	0.5866	0.5892	0.0447	0.0451	0.0460	0.0453	0.0143	0.0146	0.0137	0.0142
SS CRM 458/1	0.2387	0.2406	0.2460	0.2418	0.5348	0.5242	0.5432	0.5341	0.4870	0.4836	0.4899	0.4868	0.0339	0.0321	0.0319	0.0326	0.0326	0.0334	0.0310	0.0323

## - ภาคผนวก 2 -

ข้อมูลตีพิมพ์การทดสอบวัสดุอ้างอิงรับรอง (SS-CRM 458/1) ตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3) และชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีความหนา 2 มม.

ชั้นทดสอบ	คาร์บอน (C), %				ซิลิคอน (Si), %				แมงกานีส (Mn), %				ฟอสฟอรัส (P), %				กำมะถัน (S), %			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
SS CRM 458/1	0.2465	0.2385	0.2411	0.2420	0.5389	0.5236	0.5149	0.5258	0.4864	0.4925	0.4899	0.4896	0.0302	0.0348	0.0322	0.0324	0.0313	0.0326	0.0331	0.0323
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.3613	0.3605	0.3528	0.3582	0.4515	0.4600	0.4658	0.4591	0.5865	0.5915	0.5816	0.5865	0.0427	0.0434	0.0449	0.0437	0.0135	0.0142	0.0140	0.0139
021	0.1542	0.1523	0.1491	0.1519	0.2443	0.2507	0.2457	0.2469	0.5074	0.5209	0.5196	0.5160	0.0056	0.0061	0.0054	0.0057	0.0225	0.0231	0.0219	0.0225
022	0.1548	0.1528	0.1465	0.1514	0.2495	0.2463	0.2416	0.2458	0.5227	0.5121	0.5032	0.5127	0.0063	0.0068	0.0055	0.0062	0.0185	0.0219	0.0221	0.0208
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.3576	0.3658	0.3488	0.3574	0.4658	0.4558	0.4600	0.4605	0.5910	0.5866	0.5902	0.5893	0.0439	0.0422	0.0451	0.0437	0.0137	0.0145	0.0140	0.0141
040	0.1512	0.1523	0.1468	0.1501	0.2421	0.2461	0.2450	0.2444	0.5206	0.5123	0.5062	0.5130	0.0055	0.0052	0.0049	0.0052	0.0239	0.0221	0.0206	0.0222
049	0.1551	0.1520	0.1597	0.1556	0.2525	0.2433	0.2458	0.2472	0.5305	0.5096	0.5217	0.5206	0.0052	0.0056	0.0060	0.0056	0.0186	0.0201	0.0192	0.0193
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.3557	0.3641	0.3701	0.3633	0.4610	0.4499	0.4599	0.4569	0.5799	0.5920	0.5846	0.5855	0.0437	0.0448	0.0459	0.0448	0.0139	0.0146	0.0141	0.0142
053	0.1504	0.1474	0.1513	0.1497	0.2519	0.2463	0.2494	0.2492	0.5184	0.5105	0.5166	0.5152	0.0061	0.0052	0.0054	0.0056	0.0160	0.0172	0.0184	0.0172
060	0.1549	0.1531	0.1522	0.1534	0.2466	0.2395	0.2411	0.2424	0.5111	0.5142	0.5123	0.5125	0.0063	0.0052	0.0055	0.0057	0.0213	0.0207	0.0209	0.0210
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.3582	0.3635	0.3498	0.3572	0.4701	0.4458	0.4622	0.4594	0.5815	0.5908	0.5866	0.5863	0.0442	0.0432	0.0453	0.0442	0.0140	0.0136	0.0137	0.0138
061	0.1556	0.1526	0.1513	0.1532	0.2472	0.2482	0.2363	0.2439	0.5126	0.5178	0.5143	0.5149	0.0055	0.0056	0.0060	0.0057	0.0215	0.0204	0.0232	0.0217
068	0.1525	0.1508	0.1517	0.1517	0.2396	0.2387	0.2432	0.2405	0.5116	0.5035	0.4973	0.5042	0.0052	0.0061	0.0058	0.0057	0.0173	0.0185	0.0182	0.0180
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.3560	0.3563	0.3616	0.3580	0.4555	0.4688	0.4499	0.4581	0.5866	0.5899	0.5822	0.5862	0.0445	0.0431	0.0443	0.0440	0.0145	0.0141	0.0139	0.0142
070	0.1518	0.1484	0.1554	0.1519	0.2427	0.2506	0.2498	0.2477	0.5094	0.5221	0.5181	0.5165	0.0052	0.0061	0.0054	0.0056	0.0203	0.0182	0.0176	0.0187
131	0.1492	0.1415	0.1440	0.1449	0.2455	0.2476	0.2419	0.2450	0.5121	0.5125	0.5121	0.5122	0.0053	0.0060	0.0054	0.0056	0.0185	0.0206	0.0199	0.0197
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.3448	0.3555	0.3599	0.3534	0.4603	0.4588	0.4512	0.4568	0.5846	0.5815	0.5898	0.5853	0.0435	0.0442	0.0450	0.0442	0.0139	0.0144	0.0140	0.0141
SS CRM 458/1	0.2411	0.2398	0.2466	0.2425	0.5293	0.5041	0.5155	0.5163	0.4754	0.4925	0.4856	0.4845	0.0336	0.0334	0.0324	0.0331	0.0314	0.0335	0.0309	0.0319



## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 20 มม. ของธาตุคาร์บอน (C) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% C	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.3644			-0.0021	4.41E-06
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.3624	0.0020	4.00E-06	-0.0001	1.00E-08
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.3631	-0.0007	4.90E-07	-0.0008	6.40E-07
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.3616	0.0015	2.25E-06	0.0007	4.90E-07
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.3597	0.0019	3.61E-06	0.0026	6.76E-06
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.3626	-0.0029	8.41E-06	-0.0003	9.00E-08

$$\text{Average} = 0.3623$$

$$\sum \Delta^2 = 1.88\text{E-}05$$

$$S_1^2 = 3.75\text{E-}06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 1.5129$$

$$\sum \delta^2 = 1.24\text{E-}05$$

$$S_2^2 = 2.48\text{E-}06$$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 10 มม. ของธาตุคาร์บอน (C) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% C	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.3579			-0.0016	2.45E-06
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.3572	0.0007	4.90E-07	-0.0009	7.51E-07
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.3581	-0.0009	8.10E-07	-0.0018	3.12E-06
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.3542	0.0039	1.52E-05	0.0021	4.55E-06
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.3567	-0.0025	6.25E-06	-0.0004	1.34E-07
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.3539	0.0028	7.84E-06	0.0024	5.92E-06

$$\text{Average} = 0.3563$$

$$\sum \Delta^2 = 3.06\text{E-}05$$

$$S_1^2 = 6.12\text{E-}06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 1.8071$$

$$\sum \delta^2 = 1.69\text{E-}05$$

$$S_2^2 = 3.39\text{E-}06$$

( $S_1^2 / S_2^2$  Ratio จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ n เท่ากับ 6 = 0.89)

## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 6 มม. ของธาตุคาร์บอน (C) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% C	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.3580			-0.0002	3.36E-08
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.3573	0.0007	4.90E-07	0.0005	2.67E-07
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.3597	-0.0024	5.76E-06	-0.0019	3.55E-06
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.3595	0.0002	4.00E-08	-0.0017	2.83E-06
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.3559	0.0036	1.30E-05	0.0019	3.67E-06
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.3565	-0.0006	3.60E-07	0.0013	1.73E-06

$$\text{Average} = 0.3578$$

$$\sum \Delta^2 = 1.96E-05$$

$$S_1^2 = 3.92E-06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 1.6222$$

$$\sum \delta^2 = 1.21E-05$$

$$S_2^2 = 2.42E-06$$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 4 มม. ของธาตุคาร์บอน (C) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% C	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.3640			-0.0056	3.10E-05
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.3568	0.0072	5.18E-05	0.0016	2.67E-06
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.3553	0.0015	2.25E-06	0.0031	9.82E-06
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.3596	-0.0043	1.85E-05	-0.0012	1.36E-06
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.3587	0.0009	8.10E-07	-0.0003	7.11E-08
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.3562	0.0025	6.25E-06	0.0022	4.99E-06

$$\text{Average} = 0.3584$$

$$\sum \Delta^2 = 7.96E-05$$

$$S_1^2 = 1.59E-05$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 1.5962$$

$$\sum \delta^2 = 4.99E-05$$

$$S_2^2 = 9.98E-06$$

( $S_1^2 / S_2^2$  Ratio จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ  $n$  เท่ากับ 6 = 0.89)

## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 2 มม.ของธาตุคาร์บอน (C) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% C	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.3582			-0.0003	8.03E-08
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.3574	0.0008	6.40E-07	0.0005	2.67E-07
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.3633	-0.0059	3.48E-05	-0.0054	2.90E-05
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.3572	0.0061	3.72E-05	0.0007	5.14E-07
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.358	-0.0008	6.40E-07	-0.0001	6.94E-09
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.3534	0.0046	2.12E-05	0.0045	2.04E-05

$$\text{Average} = 0.3579$$

$$\sum \Delta^2 = 9.45\text{E-}05$$

$$S_1^2 = 1.89\text{E-}05$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 1.8799$$

$$\sum \delta^2 = 5.02\text{E-}05$$

$$S_2^2 = 1.00\text{E-}05$$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 20 มม.ของธาตุซิลิคอน (Si) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% Si	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.4600			0.0009	8.71E-07
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.4599	0.0001	1.00E-08	0.0010	1.07E-06
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.4611	-0.0012	1.44E-06	-0.0002	2.78E-08
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.4596	0.0015	2.25E-06	0.0013	1.78E-06
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.4627	-0.0031	9.61E-06	-0.0018	3.12E-06
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.4623	0.0004	1.60E-07	-0.0014	1.87E-06

$$\text{Average} = 0.4609$$

$$\sum \Delta^2 = 1.35\text{E-}05$$

$$S_1^2 = 2.69\text{E-}06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 1.5424$$

$$\sum \delta^2 = 8.73\text{E-}06$$

$$S_2^2 = 1.75\text{E-}06$$

(  $S_1^2 / S_2^2$  Ratio จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ n เท่ากับ 6 = 0.89 )

- ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 10 มม. ของธาตุซิลิคอน (Si) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% Si	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.4597			-0.0008	6.40E-07
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.4608	-0.0011	1.21E-06	-0.0019	3.61E-06
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.4564	0.0044	1.94E-05	0.0025	6.25E-06
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.4597	-0.0033	1.09E-05	-0.0008	6.40E-07
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.4600	-0.0003	9.00E-08	-0.0011	1.21E-06
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.4568	0.0032	1.02E-05	0.0021	4.41E-06

Average = 0.4589

$$\sum \Delta^2 = 4.18E-05$$

$$\sum \delta^2 = 1.68E-05$$

$$S_1^2 = 8.36E-06$$

$$S_2^2 = 3.35E-06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 2.4934$$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 6 มม. ของธาตุซิลิคอน (Si) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% Si	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.4556			0.0005	2.84E-07
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.4596	-0.0040	1.60E-05	-0.0035	1.20E-05
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.4550	0.0046	2.12E-05	0.0011	1.28E-06
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.4555	-0.0005	2.50E-07	0.0006	4.01E-07
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.4548	0.0007	4.90E-07	0.0013	1.78E-06
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.4563	-0.0015	2.25E-06	-0.0002	2.78E-08

Average = 0.4561

$$\sum \Delta^2 = 4.02E-05$$

$$\sum \delta^2 = 1.58E-05$$

$$S_1^2 = 8.03E-06$$

$$S_2^2 = 3.16E-06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 2.5422$$

( $S_1^2 / S_2^2$  Ratio จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ n เท่ากับ 6 = 0.89)

## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 4 มม. ของธาตุซิลิคอน (Si) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% Si	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.4608			-0.0017	3.00E-06
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.4587	0.0021	4.41E-06	0.0004	1.34E-07
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.4577	0.0010	1.00E-06	0.0014	1.87E-06
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.4595	-0.0018	3.24E-06	-0.0004	1.88E-07
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.4573	0.0022	4.84E-06	0.0018	3.12E-06
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.4604	-0.0031	9.61E-06	-0.0013	1.78E-06

$$\text{Average} = 0.4591$$

$$\sum \Delta^2 = 2.31E-05$$

$$S_1^2 = 4.62E-06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 2.2886$$

$$\sum \delta^2 = 1.01E-05$$

$$S_2^2 = 2.02E-06$$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 2 มม. ของธาตุซิลิคอน (Si) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% Si	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.4591			-0.0006	4.01E-07
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.4605	-0.0014	1.96E-06	-0.0020	4.13E-06
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.4569	0.0036	1.30E-05	0.0016	2.45E-06
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.4594	-0.0025	6.25E-06	-0.0009	8.71E-07
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.4581	0.0013	1.69E-06	0.0004	1.34E-07
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.4568	0.0013	1.69E-06	0.0017	2.78E-06

$$\text{Average} = 0.4585$$

$$\sum \Delta^2 = 2.46E-05$$

$$S_1^2 = 4.91E-06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 2.2788$$

$$\sum \delta^2 = 1.08E-05$$

$$S_2^2 = 2.15E-06$$

( $S_1^2 / S_2^2$  Ratio" จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ  $n$  เท่ากับ 6 = 0.89 )

## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 20 มม. ของธาตุแมงกานีส (Mn) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% Mn	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.5875			0.0008	6.94E-07
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.5887	-0.0012	1.44E-06	-0.0004	1.34E-07
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.5870	0.0017	2.89E-06	0.0013	1.78E-06
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.5895	-0.0025	6.25E-06	-0.0012	1.36E-06
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.5882	0.0013	1.69E-06	0.0001	1.78E-08
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.5891	-0.0009	8.10E-07	-0.0008	5.88E-07

$$\text{Average} = 0.5883$$

$$\sum \Delta^2 = 1.31\text{E-}05$$

$$S_1^2 = 2.62\text{E-}06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 2.8601$$

$$\sum \delta^2 = 4.57\text{E-}06$$

$$S_2^2 = 9.15\text{E-}07$$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 10 มม. ของธาตุแมงกานีส (Mn) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% Mn	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.5879			0.0015	2.15E-06
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.5870	0.0009	8.10E-07	0.0024	5.60E-06
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.5913	-0.0043	1.85E-05	-0.0019	3.74E-06
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.5887	0.0026	6.76E-06	0.0007	4.44E-07
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.5912	-0.0025	6.25E-06	-0.0018	3.36E-06
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.5901	0.0011	1.21E-06	-0.0007	5.38E-07

$$\text{Average} = 0.5894$$

$$\sum \Delta^2 = 3.35\text{E-}05$$

$$S_1^2 = 6.70\text{E-}06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 2.1171$$

$$\sum \delta^2 = 1.58\text{E-}05$$

$$S_2^2 = 3.17\text{E-}06$$

( $S_1^2 / S_2^2$  Ratio<sup>a</sup> จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ n เท่ากับ 6 = 0.89)

## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 6 มม. ของธาตุแมงกานีส (Mn) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% Mn	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.5868			0.0000	1.11E-09
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.5863	0.0005	2.50E-07	0.0005	2.84E-07
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.5829	0.0034	1.16E-05	0.0039	1.55E-05
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.5881	-0.0052	2.70E-05	-0.0013	1.60E-06
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.5888	-0.0007	4.90E-07	-0.0020	3.87E-06
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.5881	0.0007	4.90E-07	-0.0013	1.60E-06

$$\text{Average} = 0.5868$$

$$\sum \Delta^2 = 3.98E-05$$

$$S_1^2 = 7.97E-06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 1.7444$$

$$\sum \delta^2 = 2.28E-05$$

$$S_2^2 = 4.57E-06$$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 4 มม. ของธาตุแมงกานีส (Mn) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% Mn	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.5848			0.0030	8.90E-06
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.5881	-0.0033	1.09E-05	-0.0003	1.00E-07
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.5888	-0.0007	4.90E-07	-0.0010	1.03E-06
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.5888	0.0000	0.00E+00	-0.0010	1.03E-06
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.5870	0.0018	3.24E-06	0.0008	6.14E-07
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.5892	-0.0022	4.84E-06	-0.0014	2.01E-06

$$\text{Average} = 0.5878$$

$$\sum \Delta^2 = 1.95E-05$$

$$S_1^2 = 3.89E-06$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 1.4216$$

$$\sum \delta^2 = 1.37E-05$$

$$S_2^2 = 2.74E-06$$

( $S_1^2 / S_2^2$  Ratio จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ n เท่ากับ 6 = 0.89)

## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 2 มม. ของธาตุแมงกานีส (Mn) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% Mn	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.5865			0.0000	2.78E-10
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.5893	-0.0028	7.84E-06	-0.0028	7.75E-06
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.5855	0.0038	1.44E-05	0.0010	1.03E-06
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.5863	-0.0008	6.40E-07	0.0002	4.69E-08
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.5862	0.0001	1.00E-08	0.0003	1.00E-07
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.5853	0.0009	8.10E-07	0.0012	1.48E-06

Average = 0.5865

$\sum \Delta^2 = 2.37E-05$

$\sum \delta^2 = 1.04E-05$

$S_1^2 = 4.75E-06$

$S_2^2 = 2.08E-06$

$S_1^2 / S_2^2 = 2.2809$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 20 มม. ของธาตุฟอสฟอรัส (P) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% P	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.0431			0.0006	3.21E-07
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.0441	-0.0010	1.00E-06	-0.0004	1.88E-07
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.0434	0.0007	4.90E-07	0.0003	7.11E-08
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.0441	-0.0007	4.90E-07	-0.0004	1.88E-07
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.0436	0.0005	2.50E-07	0.0001	4.44E-09
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.0437	-0.0001	1.00E-08	0.0000	1.11E-09

Average = 0.0437

$\sum \Delta^2 = 2.24E-06$

$\sum \delta^2 = 7.73E-07$

$S_1^2 = 4.48E-07$

$S_2^2 = 1.55E-07$

$S_1^2 / S_2^2 = 2.8966$

( $S_1^2 / S_2^2$  Ratio<sup>a</sup> จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ n เท่ากับ 6 = 0.89 )



## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 10 มม. ของธาตุฟอสฟอรัส (P) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% P	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.0432			0.0004	2.02E-07
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.0443	-0.0011	1.21E-06	-0.0006	4.22E-07
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.0438	0.0005	2.50E-07	-0.0001	2.25E-08
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.0428	0.0010	1.00E-06	0.0009	7.23E-07
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.0438	-0.0010	1.00E-06	-0.0001	2.25E-08
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.0440	-0.0002	4.00E-08	-0.0003	1.22E-07

$$\text{Average} = 0.0437$$

$$\sum \Delta^2 = 3.50E-06$$

$$S_1^2 = 7.00E-07$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 2.3102$$

$$\sum \delta^2 = 1.52E-06$$

$$S_2^2 = 3.03E-07$$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 6 มม. ของธาตุฟอสฟอรัส (P) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% P	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.0444			0.0003	7.11E-08
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.0448	-0.0004	1.60E-07	-0.0001	1.78E-08
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.0453	-0.0005	2.50E-07	-0.0006	4.01E-07
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.0449	0.0004	1.60E-07	-0.0002	5.44E-08
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.0443	0.0006	3.60E-07	0.0004	1.34E-07
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.0443	0.0000	0.00E+00	0.0004	1.34E-07

$$\text{Average} = 0.0447$$

$$\sum \Delta^2 = 9.30E-07$$

$$S_1^2 = 1.86E-07$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 1.1434$$

$$\sum \delta^2 = 8.13E-07$$

$$S_2^2 = 1.63E-07$$

( $S_1^2 / S_2^2$  Ratio<sup>a</sup> จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ n เท่ากับ 6 = 0.89 )

## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 4 มม. ของธาตุฟอสฟอรัส (P) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% P	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.0454			0.0001	6.94E-09
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.0455	-0.0001	1.00E-08	0.0000	2.78E-10
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.0455	0.0000	0.00E+00	0.0000	2.78E-10
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.0460	-0.0005	2.50E-07	-0.0005	2.67E-07
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.0452	0.0008	6.40E-07	0.0003	8.03E-08
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.0453	-0.0001	1.00E-08	0.0002	3.36E-08

$$\text{Average} = 0.0455$$

$$\sum \Delta^2 = 9.10\text{E-}07$$

$$S_1^2 = 1.82\text{E-}07$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 2.3433$$

$$\sum \delta^2 = 3.88\text{E-}07$$

$$S_2^2 = 7.77\text{E-}08$$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 2 มม. ของธาตุฟอสฟอรัส (P) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% P	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.0437			0.0004	1.60E-07
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.0437	0.0000	0.00E+00	0.0004	1.60E-07
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.0448	-0.0011	1.21E-06	-0.0007	4.90E-07
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.0442	0.0006	3.60E-07	-0.0001	1.00E-08
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.0440	0.0002	4.00E-08	0.0001	1.00E-08
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.0442	-0.0002	4.00E-08	-0.0001	1.00E-08

$$\text{Average} = 0.0441$$

$$\sum \Delta^2 = 1.65\text{E-}06$$

$$S_1^2 = 3.30\text{E-}07$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 1.9643$$

$$\sum \delta^2 = 8.40\text{E-}07$$

$$S_2^2 = 1.68\text{E-}07$$

( $S_1^2 / S_2^2$  Ratio<sup>a</sup> จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ n เท่ากับ 6 = 0.89)

## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 20 มม. ของธาตุกำมะถัน (S) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% S	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.0142			0.0002	2.78E-08
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.0144	-0.0002	4.00E-08	0.0000	1.11E-09
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.0143	0.0001	1.00E-08	0.0001	4.44E-09
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.0144	-0.0001	1.00E-08	0.0000	1.11E-09
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.0145	-0.0001	1.00E-08	-0.0001	1.78E-08
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.0144	0.0001	1.00E-08	0.0000	1.11E-09

$$\text{Average} = 0.0144$$

$$\sum \Delta^2 = 8.00E-08$$

$$S_1^2 = 1.60E-08$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 1.5000$$

$$\sum \delta^2 = 5.33E-08$$

$$S_2^2 = 1.07E-08$$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 10 มม. ของธาตุกำมะถัน (S) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% S	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.0139			-0.0003	8.03E-08
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.0135	0.0004	1.60E-07	0.0001	1.36E-08
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.0136	-0.0001	1.00E-08	0.0000	2.78E-10
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.0134	0.0002	4.00E-08	0.0002	4.69E-08
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.0140	-0.0006	3.60E-07	-0.0004	1.47E-07
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.0133	0.0007	4.90E-07	0.0003	1.00E-07

$$\text{Average} = 0.0136$$

$$\sum \Delta^2 = 1.06E-06$$

$$S_1^2 = 2.12E-07$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 2.7296$$

$$\sum \delta^2 = 3.88E-07$$

$$S_2^2 = 7.77E-08$$

( $S_1^2 / S_2^2$  Ratio จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ n เท่ากับ 6 = 0.89 )

## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 6 มม. ของธาตุกำมะถัน (S) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% S	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.0141			0.0002	4.69E-08
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.0145	-0.0004	1.60E-07	-0.0002	3.36E-08
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.0143	0.0002	4.00E-08	0.0000	2.78E-10
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.0140	0.0003	9.00E-08	0.0003	1.00E-07
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.0147	-0.0007	4.90E-07	-0.0004	1.47E-07
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.0143	0.0004	1.60E-07	0.0000	2.78E-10

$$\text{Average} = 0.0143$$

$$\sum \Delta^2 = 9.40\text{E-}07$$

$$S_1^2 = 1.88\text{E-}07$$

$$S_1^2/S_2^2 = 2.8629$$

$$\sum \delta^2 = 3.28\text{E-}07$$

$$S_2^2 = 6.57\text{E-}08$$

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 4 มม. ของธาตุกำมะถัน (S) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% S	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.0140			-0.0001	1.36E-08
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.0139	0.0001	1.00E-08	0.0000	2.78E-10
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.0136	0.0003	9.00E-08	0.0003	8.03E-08
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.0141	-0.0005	2.50E-07	-0.0002	4.69E-08
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.0135	0.0006	3.60E-07	0.0004	1.47E-07
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.0142	-0.0007	4.90E-07	-0.0003	1.00E-07

$$\text{Average} = 0.0139$$

$$\sum \Delta^2 = 1.20\text{E-}06$$

$$S_1^2 = 2.40\text{E-}07$$

$$S_1^2/S_2^2 = 3.0901$$

$$\sum \delta^2 = 3.88\text{E-}07$$

$$S_2^2 = 7.77\text{E-}08$$

( $S_1^2/S_2^2$  Ratio จากตารางที่ 4 ของ ASTM E 826-99 เมื่อ n เท่ากับ 6 = 0.89)

## - ภาคผนวก 3 -

ผลการตรวจสอบการเบี่ยงเบนของเครื่องมือทดสอบ (Instrument Drift) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่  
ความหนา 2 มม.ของธาตุกำมะถัน (S) ในตัวอย่างควบคุม (C Fe 2/3)

Sample	% S	$\Delta$	$\Delta^2$	$\delta$	$\delta^2$
C <sub>1</sub> Fe 2/3	0.0139			0.0002	2.25E-08
C <sub>2</sub> Fe 2/3	0.0141	-0.0002	4.00E-08	0.0000	2.50E-09
C <sub>3</sub> Fe 2/3	0.0142	-0.0001	1.00E-08	-0.0002	2.25E-08
C <sub>4</sub> Fe 2/3	0.0138	0.0004	1.60E-07	0.0003	6.25E-08
C <sub>5</sub> Fe 2/3	0.0142	-0.0004	1.60E-07	-0.0002	2.25E-08
C <sub>6</sub> Fe 2/3	0.0141	0.0001	1.00E-08	0.0000	2.50E-09

$$\text{Average} = 0.0141$$

$$\sum \Delta^2 = 3.80\text{E-}07$$

$$S_1^2 = 7.60\text{E-}08$$

$$S_1^2 / S_2^2 = 2.8148$$

$$\sum \delta^2 = 1.35\text{E-}07$$

$$S_2^2 = 2.70\text{E-}08$$

## - ภาคผนวก 4 -

ผลการตรวจสอบความเที่ยงของธาตุคาร์บอน (C) ในการทดสอบชั้นตัวอย่างทดสอบที่มีความหนาขนาดต่างๆ

ชั้นทดสอบ	% คาร์บอน (C)				
	ขนาด 20 มม.	ขนาด 10 มม.	ขนาด 6 มม.	ขนาด 4 มม.	ขนาด 2 มม.
021	0.1491	0.1506	0.1497	0.1516	0.1519
022	0.1498	0.1480	0.1497	0.1494	0.1514
040	0.1534	0.1487	0.1518	0.1466	0.1501
049	0.1492	0.1439	0.1498	0.1445	0.1556
053	0.1535	0.1474	0.1525	0.1467	0.1497
060	0.1498	0.1475	0.1524	0.1545	0.1534
061	0.1442	0.1499	0.1452	0.1469	0.1532
068	0.1512	0.1549	0.1518	0.1472	0.1517
070	0.1518	0.1493	0.1561	0.1474	0.1519
131	0.1541	0.1479	0.1516	0.1465	0.1449
Mean	0.1506	0.1488	0.1511	0.1481	0.1514
SD	0.0029	0.0028	0.0028	0.0029	0.0028
Repeatability	0.0082	0.0080	0.0079	0.0083	0.0080
%Repeatability	5.47	5.35	5.24	5.60	5.30

## - ภาคผนวก 4 -

ผลการตรวจสอบความเที่ยงของธาตุซิลิคอน (Si) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีความหนาขนาดต่างๆ

ชิ้นทดสอบ	% ซิลิคอน (Si)				
	ขนาด 20 มม.	ขนาด 10 มม.	ขนาด 6 มม.	ขนาด 4 มม.	ขนาด 2 มม.
021	0.2463	0.2445	0.2473	0.24153	0.2469
022	0.2398	0.2436	0.2408	0.2429	0.2458
040	0.2480	0.2447	0.2410	0.2485	0.2444
049	0.2450	0.2461	0.2443	0.2452	0.2472
053	0.2445	0.2433	0.2425	0.2404	0.2492
060	0.2478	0.2480	0.2410	0.2454	0.2424
061	0.2470	0.2430	0.2424	0.2485	0.2439
068	0.2478	0.2431	0.2388	0.2469	0.2405
070	0.2480	0.2430	0.2455	0.2484	0.2477
131	0.2396	0.2431	0.2438	0.2452	0.2450
Mean	0.2454	0.2442	0.2427	0.2457	0.2453
SD	0.0032	0.0017	0.0025	0.0026	0.0026
Repeatability	0.0092	0.0047	0.0072	0.0074	0.0074
%Repeatability	3.73	1.92	2.95	3.00	3.02

## - ภาคผนวก 4 -

ผลการตรวจสอบความเที่ยงของธาตุแมงกานีส (Mn) ในการทดสอบซ้ำตัวอย่างทดสอบที่มีความหนาขนาดต่างๆ

ชั้นทดสอบ	% แมงกานีส (Mn)				
	ขนาด 20 มม.	ขนาด 10 มม.	ขนาด 6 มม.	ขนาด 4 มม.	ขนาด 2 มม.
021	0.5203	0.5274	0.5129	0.5123	0.5160
022	0.5199	0.5193	0.5055	0.5175	0.5127
040	0.5124	0.5209	0.5130	0.5214	0.5130
049	0.5151	0.5202	0.5146	0.5096	0.5206
053	0.5126	0.5159	0.5140	0.5112	0.5152
060	0.5122	0.5110	0.5125	0.5122	0.5125
061	0.5268	0.5171	0.5149	0.5172	0.5149
068	0.5106	0.5197	0.5125	0.5138	0.5042
070	0.5153	0.5164	0.5125	0.5123	0.5165
131	0.5176	0.5154	0.5217	0.5048	0.5122
Mean	0.5163	0.5183	0.5134	0.5132	0.5138
SD	0.0050	0.0043	0.0039	0.0046	0.0042
Repeatability	0.0140	0.0122	0.0111	0.0131	0.0119
%Repeatability	2.72	2.36	2.16	2.55	2.32



## - ภาคผนวก 4 -

ผลการตรวจสอบความเที่ยงของธาตุฟอสฟอรัส (P) ในการทดสอบซ้ำตัวอย่างทดสอบที่มีความหนาขนาดต่างๆ

ชั้นทดสอบ	% ฟอสฟอรัส (P)				
	ขนาด 20 มม.	ขนาด 10 มม.	ขนาด 6 มม.	ขนาด 4 มม.	ขนาด 2 มม.
021	0.0059	0.0060	0.0056	0.0054	0.0057
022	0.0061	0.0050	0.0055	0.0054	0.0062
040	0.0061	0.0056	0.0055	0.0059	0.0052
049	0.0062	0.0056	0.0056	0.0054	0.0056
053	0.0055	0.0055	0.0061	0.0054	0.0056
060	0.0052	0.0053	0.0050	0.0054	0.0057
061	0.0052	0.0055	0.0055	0.0054	0.0057
068	0.0059	0.0057	0.0055	0.0055	0.0057
070	0.0053	0.0054	0.0055	0.0054	0.0056
131	0.0058	0.0055	0.0054	0.0049	0.0056
Mean	0.0057	0.0055	0.0055	0.0054	0.0057
SD	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002
Repeatability	0.0011	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
%Repeatability	19.05	13.30	13.54	12.49	12.06

## - ภาคผนวก 4 -

ผลการตรวจสอบความเที่ยงของธาตุกำมะถัน (S) ในการทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบที่มีความหนาขนาดต่างๆ

ชิ้นทดสอบ	% กำมะถัน (S)				
	ขนาด 20 มม.	ขนาด 10 มม.	ขนาด 6 มม.	ขนาด 4 มม.	ขนาด 2 มม.
021	0.0201	0.0208	0.0175	0.0191	0.0225
022	0.0192	0.0180	0.0209	0.0170	0.0208
040	0.0180	0.0197	0.0179	0.0171	0.0222
049	0.0189	0.0188	0.0169	0.0178	0.0193
053	0.0182	0.0222	0.0191	0.0184	0.0172
060	0.0177	0.0186	0.0195	0.0215	0.0210
061	0.0216	0.0205	0.0219	0.0190	0.0217
068	0.0172	0.0217	0.0194	0.0175	0.0180
070	0.0178	0.0214	0.0209	0.0182	0.0187
131	0.0198	0.0198	0.0194	0.0186	0.0197
Mean	0.0188	0.0202	0.0193	0.0184	0.0201
SD	0.0014	0.0014	0.0016	0.0013	0.0018
Repeatability	0.0039	0.0040	0.0045	0.0037	0.0051
%Repeatability	20.11	19.83	23.36	20.06	25.52

## - ภาคผนวก 5 -

ผลการทดสอบปริมาณคาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส และกำมะถันในวัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 เมื่อทำการทดสอบชิ้นตัวอย่างหนา 20 มิลลิเมตร

ธาตุ	ผลการทดสอบ (%)					ค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าจกัปรรับรอง, %	ช่วงรับรอง, %	T <sub>คำนวณ</sub>
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย					
คาร์บอน: ครั้งที่ 1	0.2392	0.2447	0.2416	0.2418	0.0022	0.247	0.235-0.259	-3.97	
ครั้งที่ 2	0.2485	0.2384	0.2463	0.2444	0.0043	0.247	0.235-0.259	-1.04	
ซิลิคอน: ครั้งที่ 1	0.5133	0.5321	0.5152	0.5202	0.0104	0.54	0.50-0.58	-3.31	
ครั้งที่ 2	0.5346	0.5210	0.5255	0.5270	0.0069	0.54	0.50-0.58	-3.24	
แมงกานีส: ครั้งที่ 1	0.4751	0.4915	0.4814	0.4827	0.0083	0.49	0.47-0.51	-1.54	
ครั้งที่ 2	0.4885	0.4853	0.4899	0.4879	0.0024	0.49	0.47-0.51	-1.54	
ฟอสฟอรัส: ครั้งที่ 1	0.0305	0.0339	0.0323	0.0322	0.0017	0.032	0.028-0.036	0.24	
ครั้งที่ 2	0.0333	0.0317	0.0325	0.0325	0.0008	0.032	0.028-0.036	1.08	
กำมะถัน: ครั้งที่ 1	0.0331	0.0320	0.0312	0.0321	0.0010	0.033	0.029-0.037	-1.63	
ครั้งที่ 2	0.0338	0.0314	0.0312	0.0321	0.0014	0.033	0.029-0.037	-1.04	

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณจากการทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

ค่า  $t_{วิกฤต}$  = 4.30 (n = 3) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## - ภาคผนวก 5 -

ผลการทดสอบปริมาณคาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส และกำมะถันในวัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 เพื่อทำการทดสอบรับตัวอย่างหนา 10 มิลลิเมตร

ธาตุ	ผลการทดสอบ (%)					ค่าจากใบรับรอง, %	ช่วงรับรอง, %	T <sub>กำหนด</sub>
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
คาร์บอน: ครั้งที่ 1	0.2395	0.2447	0.2416	0.2419	0.0021	0.247	0.235-0.259	-4.11
ครั้งที่ 2	0.2499	0.2358	0.2415	0.2424	0.0058	0.247	0.235-0.259	-1.38
ซิลิคอน: ครั้งที่ 1	0.5133	0.5321	0.5152	0.5202	0.0104	0.54	0.50-0.58	-3.31
ครั้งที่ 2	0.5222	0.5146	0.5301	0.5223	0.0078	0.54	0.50-0.58	-3.96
แมงกานีส: ครั้งที่ 1	0.4751	0.4915	0.4814	0.4827	0.0083	0.49	0.47-0.51	-1.54
ครั้งที่ 2	0.4835	0.4926	0.4987	0.4916	0.0077	0.49	0.47-0.51	0.36
ฟอสฟอรัส: ครั้งที่ 1	0.0310	0.0329	0.0316	0.0318	0.0010	0.032	0.028-0.036	-0.30
ครั้งที่ 2	0.0331	0.0315	0.0324	0.0323	0.0008	0.032	0.028-0.036	0.72
กำมะถัน: ครั้งที่ 1	0.0336	0.0324	0.0316	0.0325	0.0010	0.033	0.029-0.037	-0.80
ครั้งที่ 2	0.0310	0.0332	0.0325	0.0322	0.0011	0.033	0.029-0.037	-1.18

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณจากการทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

ค่า<sub>รากตาราง</sub> = 4.30 (n = 3) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## - ภาคผนวก 5 -

ผลการทดสอบปริมาณคาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส และกำมะถันในวัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 เมื่อทำการทดสอบด้วยตัวอย่างหนา 6 มิลลิเมตร

ธาตุ	ผลการทดสอบ (%)						ค่าจากใบรับรอง, %	ช่วงรับรอง, %	T <sub>กำหนด</sub>
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
คาร์บอน : ครั้งที่ 1	0.2466	0.2395	0.2369	0.2410	0.0041	0.247	0.235-0.259	-2.53	
ครั้งที่ 2	0.2421	0.2399	0.2456	0.2425	0.0024	0.247	0.235-0.259	-3.30	
ซิลิคอน : ครั้งที่ 1	0.5360	0.5193	0.5176	0.5243	0.0102	0.54	0.50-0.58	-2.67	
ครั้งที่ 2	0.5369	0.5112	0.5122	0.5201	0.0146	0.54	0.50-0.58	-2.37	
แมงกานีส : ครั้งที่ 1	0.4896	0.4891	0.4797	0.4861	0.0056	0.49	0.47-0.51	-1.20	
ครั้งที่ 2	0.4845	0.4796	0.4935	0.4859	0.0070	0.49	0.47-0.51	-1.02	
ฟอสฟอรัส : ครั้งที่ 1	0.0320	0.0329	0.0336	0.0328	0.0008	0.032	0.028-0.036	1.80	
ครั้งที่ 2	0.0308	0.0320	0.0330	0.0319	0.0011	0.032	0.028-0.036	-0.10	
กำมะถัน : ครั้งที่ 1	0.00332	0.00335	0.00328	0.00332	0.0004	0.033	0.029-0.037	0.82	
ครั้งที่ 2	0.00303	0.00325	0.00336	0.00321	0.0017	0.033	0.029-0.037	-0.89	

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณจากการทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

ค่า  $t_{\text{กำหนด}}$  = 4.30 (n = 3) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## - ภาคผนวก 5 -

ผลการทดสอบปริมาณคาร์บอน ซิติคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส และกำมะถันในวัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 เมื่อทำการทดสอบด้วยอย่างหนา 4 มิลลิเมตร

ธาตุ	ผลการทดสอบ (%)						ค่าจากใบรับรอง, %	ช่วงรับรอง, %	T <sub>คำนวณ</sub>
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
คาร์บอน : ครั้งที่ 1	0.2426	0.2516	0.2504	0.2482	0.0040	0.247	0.235-0.259	0.52	
ครั้งที่ 2	0.2387	0.2406	0.2460	0.2418	0.0031	0.247	0.235-0.259	-2.93	
ซิติคอน : ครั้งที่ 1	0.5201	0.5343	0.5274	0.5273	0.0071	0.54	0.50-0.58	-3.11	
ครั้งที่ 2	0.5348	0.5242	0.5432	0.5341	0.0095	0.54	0.50-0.58	-1.08	
แมงกานีส : ครั้งที่ 1	0.4849	0.4949	0.4902	0.4900	0.005	0.49	0.47-0.51	0.00	
ครั้งที่ 2	0.4870	0.4836	0.4899	0.4868	0.0032	0.49	0.47-0.51	-1.74	
ฟอสฟอรัส : ครั้งที่ 1	0.0321	0.0335	0.0309	0.0322	0.0013	0.032	0.028-0.036	0.22	
ครั้งที่ 2	0.0339	0.0321	0.0319	0.0326	0.0011	0.032	0.028-0.036	1.00	
กำมะถัน : ครั้งที่ 1	0.0332	0.0315	0.0309	0.0319	0.0012	0.033	0.029-0.037	-1.65	
ครั้งที่ 2	0.0326	0.0334	0.0310	0.0323	0.0012	0.033	0.029-0.037	-0.94	

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณจากการทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

ค่า  $T_{ภาคผนวก} = 4.30$  ( $n = 3$ ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## - ภาคผนวก 5 -

ผลการทดสอบปริมาณคาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส และกำมะถันในวัสดุอ้างอิงรับรอง SS-CRM 458/1 เมื่อทำการทดสอบขึ้นตัวอย่างหนา 2 มิลลิเมตร

ธาตุ	ผลการทดสอบ ( % )						ค่าจากใบรับรอง, %	ช่วงรับรอง, %	T <sub>คำนวณ</sub>
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
คาร์บอน : ครั้งที่ 1	0.2465	0.2385	0.2411	0.2420	0.0033	0.247	0.235-0.259	-2.58	
ครั้งที่ 2	0.2411	0.2398	0.2466	0.2425	0.0030	0.247	0.235-0.259	-2.64	
ซิลิคอน : ครั้งที่ 1	0.5389	0.5236	0.5149	0.5258	0.0122	0.54	0.50-0.58	-2.02	
ครั้งที่ 2	0.5293	0.5041	0.5155	0.5163	0.0126	0.54	0.50-0.58	-3.25	
แมงกานีส : ครั้งที่ 1	0.4864	0.4925	0.4899	0.4896	0.0031	0.49	0.47-0.51	-0.226	
ครั้งที่ 2	0.4754	0.4925	0.4856	0.4845	0.0086	0.49	0.47-0.51	-1.107	
ฟอสฟอรัส : ครั้งที่ 1	0.0302	0.0348	0.0322	0.0324	0.0023	0.032	0.028-0.036	0.30	
ครั้งที่ 2	0.0336	0.0334	0.0324	0.0331	0.0006	0.032	0.028-0.036	3.05	
กำมะถัน : ครั้งที่ 1	0.0313	0.0326	0.0331	0.0323	0.0009	0.033	0.029-0.037	-1.24	
ครั้งที่ 2	0.0314	0.0335	0.0309	0.0319	0.0014	0.033	0.029-0.037	-1.34	

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณจากการทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

ค่า  $t_{\text{วิกฤต}}$  = 4.30 ( n = 3 ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %