

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7 ว

เรื่องที่ 2

การทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการทดสอบด้านเคมี :
การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีในตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ
(low alloy steel)

โดย

นางสาวปัทมา นพรัตน์
นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

ร่วมด้วย : 1. นางสาวเรณู ตามไท นักวิทยาศาสตร์ 7 ว
2. นางสาวนිරะนารถ แจ้งทอง นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

กลุ่มฝึกอบรมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2546

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7 ว

เรื่องที่ 2

การทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการทดสอบด้านเคมี :
การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีในตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ
(low alloy steel)

เลขหมู่	๑๗ พ๗
	๑๑ 4
เลขทะเบียน	12310
วันที่	14 / ๑๑ / ๕๕

โดย

นางสาวปัทมา นพรัตน์
นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

ร่วมด้วย : 1. นางสาวเรณู ตามไท นักวิทยาศาสตร์ 7 ว
2. นางสาวนිරะนารถ แจ้งทอง นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ด้วยอภิหนักนาการ จาก

กลุ่มฝึกอบรมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
สำนักพัฒนาศักยภาพนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2546

บทคัดย่อ

การทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีหนึ่งในการตรวจสอบความสามารถในการวิเคราะห์ทดสอบ/สอบเทียบของห้องปฏิบัติการ กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 กองเคมีกรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้เล็งเห็นความสำคัญของการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ จึงได้จัดทำโปรแกรมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการด้านเคมีโดยใช้การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทดสอบของห้องปฏิบัติการ เรื่องการเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีในตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ (low alloy steel) ในรายการทดสอบธาตุ 10 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส กำมะถัน ทองแดง โครเมียม นิกเกิล โมลิบดีนัม และอะลูมิเนียม ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (spark emission spectrometer) ตัวอย่างทดสอบที่นำมาใช้ต้องมีการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity test) โดยการสุ่มตัวอย่างมาร้อยละ 10 ของตัวอย่างทั้งหมด โดยใช้ตารางเลขสุ่ม แล้วทดสอบหาปริมาณธาตุทั้ง 10 ชนิด ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ จากนั้นประเมินผลความเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้วิธีทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ก่อนส่งให้ห้องปฏิบัติการ ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการมีทั้งหมด 25 ห้องปฏิบัติการ จำนวน 44 ตัวอย่าง เป็นหน่วยงานภาครัฐ 8 ห้องปฏิบัติการ และภาคเอกชน 17 ห้องปฏิบัติการ การประเมินผลการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการเลือกใช้สถิติแบบโรบัสต์ (robust statistic procedure) พบว่าผลการทดสอบทั้งหมด 411 รายการ มีค่า between laboratory Z-score, ZBi อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ น่าสงสัย และไม่น่าพอใจ จำนวน 345 36 และ 30 รายการ ตามลำดับ และมีค่า within laboratory Z-score, ZWi อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ น่าสงสัย และไม่น่าพอใจ จำนวน 340 36 และ 35 รายการ ตามลำดับ พบว่ามีเพียง 12 ห้องปฏิบัติการเท่านั้น ที่ผ่านการประเมินครบทั้ง 10 รายการทดสอบ และอีก 4 ห้องปฏิบัติการที่ผ่านการประเมิน 9 รายการทดสอบ ส่วนห้องปฏิบัติการที่เหลือผ่านการประเมินน้อยกว่า 8 รายการทดสอบ.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญตาราง	iv
สารบัญรูป	vi
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 ปัญหาและที่มาของการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษาทดลอง	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
1.6 ระยะเวลาดำเนินการ	4
1.7 ขั้นตอนการดำเนินการ	4
บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ	5
2.1 ตัวอย่างทดสอบ	5
2.2 วัสดุ อุปกรณ์	5
2.3 สารเคมี	5
2.4 วิธีดำเนินการ	6
บทที่ 3 ผลการดำเนินงาน	17
บทที่ 4 วิจัยกรณีผล	49
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	54
กิตติกรรมประกาศ	57
เอกสารอ้างอิง	58

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
ภาคผนวก		60
ภาคผนวก 1.	รายชื่อผู้เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการการทดสอบด้านเคมี การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีในตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ	61
ภาคผนวก 2.	ตารางเลขสุ่ม	62
ภาคผนวก 3.	ตาราง F-test แบบทางเดียว	63
ภาคผนวก 4.	ตาราง F-test แบบสองทาง	64
ภาคผนวก 5.	ตาราง t-test	65
ภาคผนวก 6.	รายละเอียดคำแนะนำในการปฏิบัติการทดสอบ	66
ภาคผนวก 7.	ใบรายงานผลการทดสอบ	67
ภาคผนวก 8.	ข้อมูลดิบในการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน	68

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.	แสดงการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของการทดสอบตัวอย่าง h ตัวอย่าง n ละ n ครั้ง	8
ตารางที่ 2.	แสดงการคำนวณผลรวมของความแปรปรวนยกกำลังสอง และองศาอิสระของความแปรปรวนระหว่างประชากร และภายในประชากรเดียวกัน	9
ตารางที่ 3.	คำอธิบายความหมายของการสรุปสถิติแบบโรบัสต์	16
ตารางที่ 4.	ผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่องสปาร์กอิมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ ในรายการทดสอบธาตุทั้ง 10 ชนิด	17
ตารางที่ 5.	ผลการเปรียบเทียบค่าการวิเคราะห์ซ้ำของผลการทดสอบคุณด้วย 2.83 กับค่าการวิเคราะห์ซ้ำจากวิธีทดสอบมาตรฐาน	18
ตารางที่ 6.	ผลการทดสอบของธาตุคาร์บอน	19
ตารางที่ 7.	สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุคาร์บอน	20
ตารางที่ 8.	ผลการทดสอบของธาตุซิลิคอน	22
ตารางที่ 9.	สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุซิลิคอน	23
ตารางที่ 10.	ผลการทดสอบของธาตุแมงกานีส	25
ตารางที่ 11.	สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุแมงกานีส	26
ตารางที่ 12.	ผลการทดสอบของธาตุฟอสฟอรัส	28
ตารางที่ 13.	สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุฟอสฟอรัส	29
ตารางที่ 14.	ผลการทดสอบของธาตุกำมะถัน	31
ตารางที่ 15.	สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุกำมะถัน	32
ตารางที่ 16.	ผลการทดสอบของธาตุทองแดง	34
ตารางที่ 17.	สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุทองแดง	35
ตารางที่ 18.	ผลการทดสอบของธาตุโครเมียม	37
ตารางที่ 19.	สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุโครเมียม	38

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 20.	ผลการทดสอบของธาตุникเกิด	40
ตารางที่ 21.	สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุникเกิด	41
ตารางที่ 22.	ผลการทดสอบของธาตุโมลิบดีนัม	43
ตารางที่ 23.	สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุโมลิบดีนัม	44
ตารางที่ 24.	ผลการทดสอบของธาตุอะลูมิเนียม	46
ตารางที่ 25.	สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุอะลูมิเนียม	47
ตารางที่ 26.	แสดงจำนวนผลการทดสอบความชำนาญจำแนกตามค่า Z-score	50
ตารางที่ 27.	แสดงจำนวนห้องปฏิบัติการที่ผลการทดสอบความชำนาญให้ค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ	51
ตารางที่ 28.	หมายเลขชี้บ่งตัวอย่างและจำนวนห้องปฏิบัติการที่ผลการทดสอบความชำนาญให้ค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ไม่น่าพอใจ	52

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.	Between laboratory Z-score ของธาตุคาร์บอน	21
รูปที่ 2.	Within laboratory Z-score ของธาตุคาร์บอน	21
รูปที่ 3.	Between laboratory Z-score ของธาตุซิลิคอน	24
รูปที่ 4.	Within laboratory Z-score ของธาตุซิลิคอน	24
รูปที่ 5.	Between laboratory Z-score ของธาตุแมงกานีส	27
รูปที่ 6.	Within laboratory Z-score ของธาตุแมงกานีส	27
รูปที่ 7.	Between laboratory Z-score ของธาตุฟอสฟอรัส	30
รูปที่ 8.	Within laboratory Z-score ของธาตุฟอสฟอรัส	30
รูปที่ 9.	Between laboratory Z-score ของธาตุกำมะถัน	33
รูปที่ 10.	Within laboratory Z-score ของธาตุกำมะถัน	33
รูปที่ 11.	Between laboratory Z-score ของธาตุทองแดง	36
รูปที่ 12.	Within laboratory Z-score ของธาตุทองแดง	36
รูปที่ 13.	Between laboratory Z-score ของธาตุโครเมียม	39
รูปที่ 14.	Within laboratory Z-score ของธาตุโครเมียม	39
รูปที่ 15.	Between laboratory Z-score ของธาตุนิกเกิล	42
รูปที่ 16.	Within laboratory Z-score ของธาตุนิกเกิล	42
รูปที่ 17.	Between laboratory Z-score ของธาตุโมลิบดีนัม	45
รูปที่ 18.	Within laboratory Z-score ของธาตุโมลิบดีนัม	45
รูปที่ 19.	Between laboratory Z-score ของธาตุอะลูมิเนียม	48
รูปที่ 20.	Within laboratory Z-score ของธาตุอะลูมิเนียม	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

การทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีหนึ่งในการตรวจสอบความสามารถในการวิเคราะห์ทดสอบ/สอบเทียบของห้องปฏิบัติการ จัดเป็นการควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์ทดสอบ/สอบเทียบจากภายนอก (external quality control) ที่ใช้ตรวจสอบสมรรถนะของห้องปฏิบัติการ และเฝ้าดูสมรรถนะอย่างต่อเนื่องสำหรับการวิเคราะห์ทดสอบ/สอบเทียบที่กำหนด ทำให้ห้องปฏิบัติการเกิดความมั่นใจในผลการวิเคราะห์ทดสอบ เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ทดสอบที่น่าเชื่อถือ และยอมรับซึ่งกันและกัน⁽¹⁾ ทั้งในระดับชาติและระดับสากล สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาบุคลากรและวิธีการดำเนินงานห้องปฏิบัติการของตนให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

องค์กรระดับประเทศได้เล็งเห็นความสำคัญของการทดสอบความชำนาญ จึงได้จัดทำมาตรฐานการจัด และการเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ ไว้หลายมาตรฐาน ได้แก่

1. ISO/IEC Guide 43-1 part 1 : Development and operation of proficiency testing schemes⁽²⁾ เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการทดสอบความชำนาญโดยใช้การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทดสอบ

2. ISO/IEC Guide 43-2 part 2 : Selection and use of proficiency testing schemes by laboratory⁽³⁾ เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการเลือกและการใช้โปรแกรมการทดสอบความชำนาญ

3. ILAC-G 13 : 2000 Guideline for the requirements for the competence of providers for proficiency testing schemes⁽⁴⁾ เป็นข้อกำหนดสำหรับความสามารถของผู้จัดทำกรทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการการทดสอบความชำนาญ

4. ISO/IEC 17025 : 1999⁽⁵⁾ เป็นข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบ/สอบเทียบ ข้อ 5.9 การประกันคุณภาพผลการทดสอบ และการสอบเทียบ (assuring the quality of test and calibration results) ห้องปฏิบัติการต้องมีขั้นตอนการดำเนินการในการควบคุมคุณภาพ เพื่อ

เผื่อระวังความเข้าใจได้ของการทดสอบและสอบเทียบที่ดำเนินการ โดยใช้การเข้าร่วมในการเปรียบเทียบผล ระหว่างห้องปฏิบัติการ หรือโปรแกรมการทดสอบความชำนาญ (ข้อ 5.9 b)

5. ISO/IEC Guide 58⁽⁶⁾ เป็นข้อกำหนดทั่วไปสำหรับหน่วยรับรองความสามารถของ ห้องปฏิบัติการทดสอบ/สอบเทียบ ข้อ 6.8 ห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองต้องเข้าร่วมโปรแกรมการทดสอบ ความชำนาญ หรือการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการตามข้อกำหนดของหน่วยรับรอง โดยสมรรถนะของห้องปฏิบัติก็ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของหน่วยรับรอง

6. APLAC MR 001⁽⁷⁾ เป็นวิธีการสร้างและรักษาข้อตกลงร่วมกับ APLAC ข้อ 3.3 การเข้าร่วม โปรแกรมการทดสอบความชำนาญ

- ห้องปฏิบัติการที่จะขอการรับรองต้องเข้าร่วมโปรแกรมการทดสอบความชำนาญก่อนการรับรอง
- ห้องปฏิบัติการต้องเข้าร่วมโปรแกรมการทดสอบความชำนาญอย่างน้อย 4 ปี/ครั้ง

ตาม ISO/IEC Guide 43-1 : 1997⁽²⁾ การทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ สามารถทำได้ หลายรูปแบบ ได้แก่ แผนการเปรียบเทียบการวัด (measurement comparison schemes) แผนการ เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ (interlaboratory testing schemes) แผนการ ทดสอบแบบแบ่งแยกตัวอย่าง (split-sample testing schemes) แผนการใช้เชิงคุณภาพ (quality schemes) แผนการแบบรู้ค่า (known-value schemes) แผนการแบบกระบวนการย่อย (partial-process schemes) ในที่นี้จะขอล่าวเฉพาะ แผนการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ เท่านั้น

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ หมายถึง การจัดการ การ ดำเนินการ และการประเมินผลการวิเคราะห์ทดสอบของห้องปฏิบัติการตั้งแต่ 2 ห้องปฏิบัติการขึ้นไป เพื่อ ตรวจสอบความสามารถในการวิเคราะห์ทดสอบของห้องปฏิบัติการ โดยต้องใช้ตัวอย่างเดียวกัน หรือ ตัวอย่างที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความเสถียร⁽²⁾

1.2 ปัญหาและที่มาของการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ

การทดสอบความชำนาญ เป็นการควบคุมคุณภาพแบบหนึ่ง (ตามข้อกำหนด ISO/IEC 17025 ข้อ 5.9) ในกรณีที่ไม่สามารถหาสารอ้างอิงมาตรฐาน หรือสารอ้างอิงมาตรฐานรับรองได้ ห้องปฏิบัติการอาจใช้

ค่าจากผลการทดสอบความชำนาญมาเป็นค่ามาตรฐาน เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง (accuracy) ของผลการวิเคราะห์ทดสอบของห้องปฏิบัติการเอง

ตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ (low - alloy steel) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานบังคับหลายประเภท เช่น มอก. 24-2536 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย มอก. 20-2543 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กเส้นกลม มอก.1228-2537 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น มอก.1227-2539 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน เป็นต้น ซึ่งตามมาตรฐานของแต่ละผลิตภัณฑ์ กำหนดให้ต้องวิเคราะห์ทดสอบส่วนประกอบทางเคมี เพื่อตรวจสอบว่าเป็นไปตามมาตรฐานนั้นหรือไม่

กลุ่มงานอินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในฐานะหน่วยงานกลางของรัฐที่มีความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างโลหะ ได้เล็งเห็นความสำคัญของการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ จึงได้จัดทำโปรแกรมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการด้านเคมี เรื่องการเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีในตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำขึ้น เพื่อให้ห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐ และเอกชน ได้เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการนี้ เพราะปัจจุบันการเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญกับต่างประเทศมีค่าใช้จ่ายสูง

1.3 วัตถุประสงค์

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำระหว่างห้องปฏิบัติการ 25 ห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์สปาร์กเอมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ (spark emission spectrometer)

1.4 ขอบเขตของการศึกษาทดลอง

1.4.1 เปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีในตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ ในรายการทดสอบธาตุ 10 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส กำมะถัน ทองแดง โครเมียม นิกเกิล โมลิบดีนัม และอะลูมิเนียม ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์สปาร์กเอมิสชันสเปกโทรมิเตอร์

1.4.2 ทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity test) ของตัวอย่างทดสอบก่อนส่งไปห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมทดสอบความชำนาญ

ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการนี้ มีทั้งหมด 25 ห้องปฏิบัติการ เป็นภาครัฐ 8 ห้องปฏิบัติการ และภาคเอกชน 17 ห้องปฏิบัติการ รายชื่อผู้เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในภาคผนวก 1

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์ทดสอบจากภายนอก ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ สามารถแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ร่วมกันหาสาเหตุ แก้ปัญหา และหาทางป้องกันในกรณีที่เกิดการวิเคราะห์ทดสอบ ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

1.5.2 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาบุคลากรของห้องปฏิบัติการให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.5.3 บุคลากรได้รับความรู้ ทักษะ และประสบการณ์ในการจัดทำารทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการรับรองระบบงานห้องปฏิบัติการทดสอบทางเคมีได้

1.5.4 ผลการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการที่ได้สามารถนำไปจัดทำดัชนีความสามารถห้องปฏิบัติการ

1.6 ระยะเวลาดำเนินการ

ตุลาคม 2544 – ตุลาคม 2545

1.7 ขั้นตอนการดำเนินการ

1.7.1 ศึกษาเอกสารอ้างอิง

1.7.2 จัดหาและเตรียมตัวอย่าง

1.7.3 ทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรของตัวอย่าง

1.7.4 รวบรวมห้องปฏิบัติการที่จะเชิญเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ

1.7.5 แจกตัวอย่างแก่ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการพร้อม

ใบรายงานผล

1.7.7 รวบรวม และประเมินผลทางสถิติ

1.7.8 สรุปผล

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

2.1 ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เหล็กก่อสร้างสยาม จำกัด ตัวอย่างมีลักษณะเป็นเหล็กเส้นกลมตันยาวประมาณ 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร จำนวน 6 เส้น นำตัวอย่างมาตัดเป็นชิ้น สูงประมาณชิ้นละ 3 เซนติเมตร แล้วตอกหมายเลขซึ่งบ่งตัวอย่าง เป็นตัวเลข 3 หลักตั้งแต่ 001 ถึง 147

2.2 วัสดุ อุปกรณ์

2.2.1 วัสดุ

2.2.1.1 ก้อนโลหะอ้างอิงมาตรฐานรับรอง (certified reference material) เหล็กกล้าและ เหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ หมายเลข NIST 1766, NIST 1767, SS-CRM 401/1, SS-CRM 408/2, SS-CRM 405/1, SS-CRM 407/2, SS-CRM 453/1 และ SS-CRM 458/1 บริษัท Bureau of Analysed Samples, Ltd. ประเทศอังกฤษ

2.2.1.2 กล่องพลาสติกใสสำหรับบรรจุตัวอย่างทดสอบ

2.2.2 อุปกรณ์

2.2.2.1 เครื่องสปาร์กอิมิสชันสเปกโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Baird รุ่น Spectrovac DV 4 ประเทศ สหรัฐอเมริกา

2.2.2.2 เครื่องขัดโลหะ ยี่ห้อ Induction motor รุ่น BDS-69 ประเทศไต้หวัน

2.2.2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (temperature & humidity recorder) ยี่ห้อ Data logger รุ่น DT 600 ประเทศออสเตรเลีย

2.2.2.4 ตู้เก็บสารไฟฟ้า (electronic dry cabinet) ยี่ห้อ Weifo รุ่น DRY-125S ประเทศไต้หวัน สำหรับเก็บสารมาตรฐาน

2.2.2.5 ตู้เก็บสารไฟฟ้า ยี่ห้อ Weifo รุ่น DRY- 70T ประเทศไต้หวัน สำหรับเก็บตัวอย่างทดสอบ

2.2.2.6 เครื่องดูดความชื้น (dehumidifier) ยี่ห้อ GE รุ่น AHNB 16 WAM ประเทศไทย

2.3 สารเคมี

2.3.1 ก๊าซอาร์กอน ความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.997 ยี่ห้อ TIG ประเทศไทย

2.4 วิธีดำเนินการ

2.4.1 การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน⁽¹⁾

2.4.1.1 สุ่มตัวอย่างโดยใช้ตารางเลขสุ่ม (ภาคผนวก 2) ได้ตัวอย่างหมายเลข 045, 122, 135, 031, 098, 105, 073, 034, 007, 015, 012, 077, 141, 003, และ 064

2.4.1.2 วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องสปาร์กอิมิตชันสเปกโทรมิเตอร์

- ชัดผิวหน้าตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ และก้อนโลหะอ้างอิงมาตรฐานรับรองด้วยเครื่องขัดโลหะ ถ้ายังไม่ได้วิเคราะห์ทันที ต้องเก็บตัวอย่างไว้ในตู้เก็บสารไฟฟ้า
- เปิดสวิตช์ทุกส่วนของเครื่องมือ อุณหภูมิเป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง และควบคุมให้ห้องทดลองมีสภาวะที่อุณหภูมิ 22 ± 2.8 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกินร้อยละ 60 โดยตรวจสอบค่าอุณหภูมิและความชื้นจากเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น ถ้าความชื้นเกินเกณฑ์ที่กำหนดเปิดเครื่องดูดความชื้น ถ้าอุณหภูมิเกินเกณฑ์กำหนดปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ
- ปรับ mercury lamp เพื่อปรับลำแสงตรงกับช่องแสง
- สอบเทียบมาตรฐาน (standardization) โดยใช้ก้อนโลหะอ้างอิงมาตรฐานรับรองหมายเลข NIST 1766, NIST 1767, SS-CRM 401/1, SS-CRM 408/2, SS-CRM 405/1, SS-CRM 407/2, SS-CRM 453/1 และ SS-CRM 458/1 ซึ่งวางบนฐานรองรับภายในเครื่อง จากนั้นปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปเพื่อกระตุ้นอะตอมของธาตุที่อยู่ในก้อนโลหะ อะตอมจะปล่อย (emit) พลังงานออกมาในรูปของพลังงานแสง เครื่องจะตรวจจับพลังงานแสงที่ถูกปล่อยออกมานี้ด้วยหลอดโฟโตมัลติไฟเออร์ (photomultiplier tube) และเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นค่าทางไฟฟ้าที่สามารถอ่านค่าได้เป็นตัวเลข ซึ่งค่าความเข้มของแสง (intensity) จะขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุที่มีอยู่ในก้อนโลหะ ค่าที่ได้เป็นแฟกเตอร์ (factor) ที่นำไปคูณกับค่าความเข้มของแสง เพื่อปรับความเอียง (slope) ของกราฟที่ได้ ให้เท่ากับความเอียงของกราฟมาตรฐานที่สร้างไว้ในโปรแกรมการวิเคราะห์
- วิเคราะห์ตัวอย่างซ้ำ ตัวอย่างละ 3 ครั้ง เพื่อคำนวณความเข้มข้นของแต่ละธาตุ ซึ่งแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

2.4.1.3 ประเมินผลความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างทดสอบ

วิธีการประเมินผลความเป็นเนื้อเดียวกันสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. ใช้วิธีทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance หรือ ANOVA)

แบบทางเดียว (one – way ANOVA)

2. โดยการเปรียบเทียบกับค่าการวิเคราะห์ซ้ำ (repeatability) จากวิธีทดสอบมาตรฐาน

ในการประเมินผลความเป็นเนื้อเดียวกันจะต้องใช้วิธีทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ทำการประเมินผลก่อน⁽⁶⁾ ถ้าผลการประเมินพบว่าตัวอย่างทดสอบไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นหรือระดับนัยสำคัญที่กำหนด จึงจะทำการประเมินโดยการเปรียบเทียบกับค่าการวิเคราะห์ซ้ำจากวิธีทดสอบมาตรฐาน เพื่อตรวจสอบว่าตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่ รายละเอียดของวิธีการประเมินผลความเป็นเนื้อเดียวกันของทั้ง 2 วิธี มีดังนี้

(1) การประเมินผลความเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้วิธีทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว⁽⁹⁾

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นวิธีการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไปโดยทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว

ในการประเมินทางสถิติจะมีการตั้งสมมติฐาน 2 สมมติฐาน คือ สมมติฐานหลัก และสมมติฐานรอง โดยมีการกำหนดระดับความเชื่อมั่น หรือระดับนัยสำคัญ แล้วตรวจสอบสมมติฐานนั้นสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน สมมติฐานในการทดสอบจะเป็น

$$\text{สมมติฐานหลัก } H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$$

หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของประชากรทุกกลุ่มมีค่าเท่ากัน

$$\text{สมมติฐานรอง } H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อย 1 คู่ เมื่อ } i \neq j; i, j = 1, 2, 3, \dots$$

หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรอย่างน้อย 1 คู่ ที่มีค่าแตกต่างกัน

หลักเกณฑ์สำคัญที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ การแยกความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลนั้นแตกต่างกัน ดังนี้

1. ความแปรปรวนภายในประชากรเดียวกัน (within sample variation)
2. ความแปรปรวนระหว่างประชากร (between sample variation)

ดังนั้น ค่าความแปรปรวนทั้งหมด (total variation) มีค่าเท่ากับ ค่าความแปรปรวนภายในประชากรเดียวกันรวมกับค่าความแปรปรวนระหว่างประชากร

ถ้าความแปรปรวนระหว่างประชากรมีค่ามากเมื่อเทียบกับความแปรปรวนภายในประชากรเดียวกัน แสดงว่าความแตกต่างระหว่างประชากรมีมากกว่าความแตกต่างในประชากรเดียวกัน ในกรณีนี้จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก หรือยอมรับสมมติฐานรอง ซึ่งจะสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของประชากรอย่างน้อย 2 ประชากร ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรคู่ใด แต่ถ้าความแปรปรวนในประชากรเดียวกันมีค่ามากกว่าความแปรปรวนระหว่างประชากร สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรที่ต้องการทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด หรือเป็นการยอมรับสมมติฐานหลักนั่นเอง

วิธีคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. ตัวอย่างทดสอบ h ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างทำการทดสอบทั้งหมด n ครั้ง กำหนดให้ X_{ij} เป็นผลการทดสอบครั้งที่ j ในตัวอย่างที่ i คำนวณค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบของแต่ละตัวอย่าง \bar{X}_i แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ย \bar{X} ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. แสดงการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของการทดสอบตัวอย่าง h ตัวอย่าง n ครั้ง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น				ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้น
1	X_{11}	X_{12}	X_{1j}	X_{1n}	\bar{X}_1
2	X_{21}	X_{22}	X_{2j}	X_{2n}	\bar{X}_2
...
i	X_{i1}	X_{i2}	X_{ij}	X_{in}	\bar{X}_i
...
h	X_{h1}	X_{h2}	X_{hj}	X_{hn}	\bar{X}_h
				Overall mean =	\bar{X}

2. จำนวนผลรวมของความแปรปรวนยกกำลังสอง (sum of squares) และองศาอิสระ (degree of freedom) ของความแปรปรวนระหว่างประชากร และภายในประชากรเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2. แสดงการคำนวณผลรวมของความแปรปรวนยกกำลังสอง และ องศาอิสระของความแปรปรวนระหว่างประชากร และภายในประชากรเดียวกัน

แหล่งความแปรปรวน (source of variation)	ผลรวมความแปรปรวนกำลังสอง (sum of squares)	องศาอิสระ (degrees of freedom)
Between sample	$n \sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$	$h - 1$
Within sample	$\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$h(n-1)$
Total	$\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x})^2$	$hn-1$

จากตารางที่ 2 การประมาณค่าความแปรปรวนระหว่างประชากร (between sample estimate of σ^2) ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความแปรปรวนระหว่างประชากร (mean square of between groups, MST,) สามารถคำนวณได้การนำผลรวมกำลังสองของความแปรปรวนระหว่างประชากรหารด้วยค่าองศาอิสระ ดังสมการที่ (1)

$$\text{between sample estimate of } \sigma^2 = n \sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 / (h - 1) \quad (1)$$

ในทำนองเดียวกันการประมาณค่าความแปรปรวนภายในประชากรเดียวกัน (within sample estimate of σ^2) ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความแปรปรวนภายในประชากรเดียวกัน (mean square of within groups, MSE) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$\text{within sample estimate of } \sigma^2 = \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 / h(n - 1) \quad (2)$$

3. จำนวนสถิติทดสอบความแปรปรวนจาก

$$F_{\text{คำนวณ}} = \frac{\text{MST}_r}{\text{MSE}} \quad (3)$$

นำค่า $F_{\text{คำนวณ}}$ เปรียบเทียบกับค่า $F_{\text{จากตาราง}}$ โดยใช้ F-test แบบทางเดียว (ภาคผนวก 3) ค่าองศาอิสระเท่ากับ $h-1$ และ $h(n-1)$ ตามลำดับ

ถ้าค่า $F_{\text{คำนวณ}}$ มีค่าน้อยกว่า $F_{\text{จากตาราง}}$ จะยอมรับสมมติฐานหลัก คือค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรที่ทดสอบไม่แตกต่างกัน หรือแสดงว่าตัวอย่างทดสอบมีความเป็นเนื้อเดียวกันในรายการทดสอบนั้น อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด แต่ถ้า $F_{\text{คำนวณ}}$ มีค่ามากกว่า $F_{\text{จากตาราง}}$ จะยอมรับสมมติฐานรอง คือมีค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรที่ทดสอบอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน หรือแสดงว่าตัวอย่างทดสอบไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด นอกจากนี้ ยังอาจพิจารณาจากระดับนัยสำคัญ (significance level, sig.) ได้อีกด้วย ซึ่งถ้าค่านัยสำคัญที่คำนวณได้มากกว่าค่านัยสำคัญที่กำหนด แสดงว่าตัวอย่างทดสอบมีความเป็นเนื้อเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนด

ในการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการนี้ ใช้โปรแกรมการประเมินผลทางสถิติ SPSS for windows มาช่วยในการประเมินผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเลือกใช้ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือระดับนัยสำคัญ 0.05 เป็นเกณฑ์กำหนด

(2) การประเมินผลความเป็นเนื้อเดียวกันโดยการเปรียบเทียบกับค่าการวิเคราะห์ซ้ำจากวิธีทดสอบมาตรฐาน⁽¹⁰⁾

เมื่อทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้วิธีทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวแล้ว พบว่าตัวอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นหรือระดับนัยสำคัญที่กำหนด จะทำการประเมินผลความเป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้งโดยการเปรียบเทียบกับค่าการวิเคราะห์ซ้ำของผลการทดสอบกับค่าการวิเคราะห์ซ้ำของวิธีทดสอบมาตรฐาน ซึ่งในที่นี้คือ ASTM E415-99 a⁽¹¹⁾ โดยการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดสอบ ในแต่ละรายการทดสอบแล้วคูณด้วย 2.83⁽¹²⁾ ค่าที่คำนวณได้นำไปเปรียบเทียบกับค่าการวิเคราะห์ซ้ำจากวิธีทดสอบมาตรฐาน ถ้าค่าที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าจากวิธีทดสอบมาตรฐาน จะถือว่าตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

2.4.2 การทดสอบความเสถียรของตัวอย่างทดสอบ⁽¹⁾

การทดสอบความเสถียร เป็นการประกันว่าตัวอย่างทดสอบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่ใช้ทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ การทดสอบความเสถียรของตัวอย่างทดสอบ ทำได้โดยทดสอบตัวอย่างที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา t จำนวน 5 ตัวอย่าง แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยของการทดสอบนี้ ซึ่งจะ

เรียกว่า ผลการทดสอบความเสถียร (\bar{X}_2) เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยจากผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (\bar{X}_1) โดยใช้สถิติ t-test⁽⁹⁾ หรือการหาความเสถียรของตัวอย่างทดสอบ โดยการเปรียบเทียบค่าของสิ่งที่ต้องการทดสอบในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน⁽¹³⁾

2.4.2.1 การทดสอบความเสถียรโดยใช้สถิติ t-test เป็นการทดสอบสมมติฐานที่ว่าค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม คือ ผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน กับผลการทดสอบความเสถียร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด ซึ่งต้องทำการตรวจสอบความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 กลุ่มก่อนว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้ F-test

ถ้าให้ n_1 และ n_2 เป็นขนาดตัวอย่างของผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน และผลการทดสอบความเสถียร ตามลำดับ

s_1^2 และ s_2^2 เป็นค่าความแปรปรวนของผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน และผลการทดสอบความเสถียร ตามลำดับ

\bar{X}_1 และ \bar{X}_2 เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน และผลการทดสอบความเสถียร ตามลำดับ

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \text{ องศาอิสระเท่ากับ } n_1 - 1 \text{ และ } n_2 - 1 \text{ ตามลำดับ}$$

$$\text{หรือ } F = \frac{s_2^2}{s_1^2} \text{ องศาอิสระเท่ากับ } n_2 - 1 \text{ และ } n_1 - 1 \text{ ตามลำดับ}$$

กำหนดให้ ค่า F ต้องมีค่า ≥ 1 เสมอ เปรียบเทียบ $F_{\text{คำนวณ}}$ กับ $F_{\text{จากตาราง}}$ แบบสองทาง (ภาคผนวก 4)

(1) ถ้า $F_{\text{คำนวณ}}$ มีค่าน้อยกว่า $F_{\text{จากตาราง}}$ แสดงว่าความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร โดยใช้ t-test ดังนี้

- คำนวณ pooled estimate of standard deviation

$$s_{\text{pooled}}^2 = \frac{\{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2\}}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

• คำนวณ t จากสูตร

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{s_{\text{pooled}} \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$$

องศาอิสระ = $(n_1 + n_2 - 2)$

(2) ถ้า $F_{\text{คำนวณ}}$ มีค่ามากกว่า $F_{\text{จากตาราง}}$ แสดงว่าความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร โดยใช้ t-test ดังนี้

• คำนวณ t จากสูตร

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2}}$$

• คำนวณค่าองศาอิสระ

$$df = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{(s_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}}$$

ถ้าค่าองศาอิสระที่คำนวณได้เป็นเลขทศนิยม ให้ปัดเศษทิ้งเป็นเลขจำนวนเต็ม

จากข้อ 2.4.2.1(1) และ 2.4.2.1(2) ถ้า $t_{\text{คำนวณ}}$ มีค่าน้อยกว่า $t_{\text{จากตาราง}}$ แบบสองทาง (ภาคผนวก 5) แสดงว่าค่าเฉลี่ยจากประชากรทั้ง 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด นั่นคือตัวอย่างทดสอบมีความเสถียร

2.4.2.2 การหาค่าความเสถียรโดยใช้การเปรียบเทียบค่าของสิ่งที่ต้องการทดสอบ ในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยคำนวณอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยจากผลการทดสอบความเสถียร ณ เวลาต่าง ๆ (X_1) กับค่าเฉลี่ยจากผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันหรือที่เริ่ม (X_0) ดังนี้

$$R_1 = \frac{X_1}{X_0}$$

เมื่อ R_t (relative variation) คือ อัตราส่วนของค่าเฉลี่ยที่ระยะเวลา t ซึ่งต้องมีค่าใกล้ 1 จึงจะแสดงว่าตัวอย่างทดสอบมีความเสถียร⁽¹³⁾

2.4.3 ผลการทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการ

แต่ละห้องปฏิบัติการได้รับตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ ที่มีลักษณะเป็นแท่งโลหะเหล็กทรงกระบอกตัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร สูงประมาณ 3 เซนติเมตร มีหมายเลขซึ่งบังตัวอย่างเป็นตัวเลข 3 หลัก อยู่ด้านข้างของตัวอย่าง บรรจุในกล่องพลาสติกใสมีฝาปิด จำนวน 1 ตัวอย่าง ต่อผู้เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ 1 ท่าน รายละเอียดคำแนะนำในการปฏิบัติการทดสอบ ดังแสดงในภาคผนวก 6 หลังจากที่ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ ได้รับแจกตัวอย่างแล้ว จะทำการทดสอบตัวอย่างแล้วส่งใบรายงานผลการทดสอบ ดังแสดงในภาคผนวก 7 โดยรายงานผลการทดสอบที่ทำซ้ำ 2 ครั้ง ตามจำนวนเทคนิคที่กำหนด ผู้จัดทำโปรแกรมการทดสอบความชำนาญฯ ได้พิจารณาข้อมูลเบื้องต้น หากพบความผิดปกติจะติดต่อกลับไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อยืนยันข้อมูล

2.4.4 การประเมินผลการทดสอบความชำนาญ⁽¹⁴⁾

การเปรียบเทียบผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ เลือกใช้ใช้วิธีทางสถิติแบบโรบัสต์ (robust statistic procedure) ซึ่งใช้ค่ามัธยฐาน (median) และ normalised interquartile (normalised IQR) มาคำนวณหาค่า robust Z-score เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่มีผลกระทบจากค่าที่เกินเกณฑ์ยอมรับ (outlier or extreme results) ที่อยู่ในชุดข้อมูลที่นำมาประเมินซึ่งมีหลักการดังต่อไปนี้

ถ้าให้ผลการทดสอบซ้ำ 2 ซ้ำ ของห้องปฏิบัติการ i มีค่าเป็น A_i และ B_i ตามลำดับ

ให้ Z_{Bi} เป็น Z-score ของห้องปฏิบัติการที่ได้จากการประเมินผลระหว่างห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ

$$Z_{Bi} = (S_i - X) / Y$$

เมื่อ	Z_{Bi}	=	Between laboratory Z-score
	S_i	=	Standardised sum
		=	$(A_i + B_i) / \sqrt{2}$
	X	=	มัธยฐานของ standardised sum
	Y	=	Normalised IQR of standardised sum

ส่วน Z_{Wi} เป็น Z-score ของห้องปฏิบัติการที่ได้จากการประเมินผลการทำซ้ำของห้องปฏิบัติการเดียวกัน

$$Z_{Wi} = (D_i - V) / W$$

เมื่อ	Z_{Wi}	=	Within laboratory Z-score
	D_i	=	Standardised difference
		=	$(A_i - B_i) / \sqrt{2}$ ถ้า มัธยฐานของ $(A_i) >$ มัธยฐานของ (B_i)
		=	$(B_i - A_i) / \sqrt{2}$ ถ้า มัธยฐานของ $(B_i) >$ มัธยฐานของ (A_i)
	V	=	Median of standardised difference
	W	=	Normalised IQR of standardised difference

เกณฑ์กำหนดของค่า Z-score

$ Z \leq 2$	Satisfactory result (น่าพอใจ)
$2 < Z < 3$	Questionable result (น่าสงสัย)
$ Z \geq 3$	Unsatisfactory result (ไม่น่าพอใจ)

2.4.4.1 ขั้นตอนการหาค่า Z-score ทำได้ดังนี้

(1) การหาค่ามัธยฐาน ทำได้โดยเรียงข้อมูลจากน้อยไปหามาก

ในกรณีที่จำนวนข้อมูลเป็นเลขคี่ ค่ามัธยฐานจะเป็นค่าที่อยู่ตำแหน่งตรงกลางของข้อมูล

ในกรณีที่จำนวนข้อมูลเป็นเลขคู่ ค่ามัธยฐานจะเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล 2 ข้อมูล ที่อยู่

ตำแหน่งตรงกลางของข้อมูล

(2) การคำนวณ normalised IQR ของ standardised sum (Y) หรือ standardised difference(W)

- เรียงข้อมูลของ S_i หรือ D_i จากน้อยไปหามาก
- หาดำแหน่งของ quartile ที่ 1 และ 3 (Q₁, Q₃) จาก

$$Q_r = \frac{r(N+1)}{4}$$

เมื่อ r คือ ตำแหน่งของ quartile (1,2,3,4)

N คือ จำนวนข้อมูล

Q_r คือ ตำแหน่งของ quartile ที่ r

- อ่านหรือคำนวณข้อมูลตามตำแหน่ง Q_r ที่คำนวณได้
- หาค่า interquartile range และ normalised IQR ของ standardised sum

หรือ standardised difference ได้ดังนี้

$$\text{IQR} = Q_3 - Q_1$$

$$\text{normalised IQR} = 0.7413 \times \text{IQR}$$

2.4.4.2 การรายงานผลการประเมิน รายงานในรูปแบบ ZWi และ ZBi ในรูปตารางผลการทดสอบ กราฟ และการสรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ในแต่ละรายการทดสอบ ซึ่งความหมายของการสรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3. คำอธิบายความหมายของการสรุปสถิติแบบโรบัสต์

รายการ	คำอธิบาย
No. of results	จำนวนผลการวิเคราะห์ทดสอบในรายการทดสอบนั้น
Median	ค่ากลางของกลุ่มที่เรียกว่ามัธยฐาน
Normalised IQR	ผลคูณของค่าอินเตอร์ควอไทล์ กับ 0.7413
Robust CV	ค่าเป็นร้อยละของผลหารของ normalised IQR กับค่ามัธยฐาน
Minimum	ค่าน้อยที่สุดของกลุ่ม
Maximum	ค่ามากที่สุดของกลุ่ม
Range	ผลต่างระหว่างค่ามากที่สุดกับค่าน้อยที่สุด

หมายเหตุ 0.7413 เป็นค่าที่คำนวณจาก standard normal distribution ซึ่งเมื่อค่า mean เป็น 0 ค่า standard deviation (SD) เท่ากับ 1 ค่า IQR ของการกระจายข้อมูลแบบปกติ จะเป็น [-0.6745, +0.6745] ซึ่งจะแคบกว่า $\pm 1SD$ ดังนั้นการปรับค่า IQR ให้เป็น $\pm 1SD$ จึงต้องหารด้วย 1.3490 หรือคูณด้วย 0.7413

บทที่ 3

ผลการดำเนินงาน

3.1 การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน

3.1.1 การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่องสปาร์กอีมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ ในรายการทดสอบธาตุ 10 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส กำมะถัน ทองแดง โคโรเนียม นิกเกิล โมลิบดีนัม และอะลูมิเนียม ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4. ผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องสปาร์กอีมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ ในรายการทดสอบธาตุทั้ง 10 ชนิด

ANOVA

Element	Source of variation	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F	Significance level
Carbon,%	Between groups	2.903E-04	14	2.074E-05	3.304	.003
	Within groups	1.883E-04	30	6.276E-06		
	Total	4.786E-04	44			
Silicon,%	Between groups	1.465E-04	14	1.047E-05	1.492	.174
	Within groups	2.104E-04	30	7.014E-06		
	Total	3.569E-04	44			
Manganese,%	Between groups	4.766E-04	14	3.404E-05	1.688	.112
	Within groups	6.049E-04	30	2.016E-05		
	Total	1.082E-03	44			
Phosphorus,%	Between groups	5.355E-06	14	3.825E-07	1.954	.061
	Within groups	5.873E-06	30	1.958E-07		
	Total	1.123E-05	44			
Sulphur,%	Between groups	1.415E-05	14	1.010E-06	1.622	.130
	Within groups	1.869E-05	30	6.231E-07		
	Total	3.284E-05	44			
Copper,%	Between groups	1.601E-04	14	1.144E-05	1.331	.247
	Within groups	2.578E-04	30	8.594E-06		
	Total	4.179E-04	44			
Chromium,%	Between groups	2.221E-02	14	1.586E-03	.981	.494
	Within groups	4.850E-02	30	1.617E-03		
	Total	7.071E-02	44			
Nickel,%	Between groups	2.133E-05	14	1.524E-06	1.612	.133
	Within groups	2.836E-05	30	9.453E-07		
	Total	4.969E-05	44			
Molybdenum,%	Between groups	1.735E-06	14	1.239E-07	1.089	.405
	Within groups	3.413E-06	30	1.138E-07		
	Total	5.148E-06	44			
Aluminium,%	Between groups	5.394E-05	14	3.853E-06	3.136	.004
	Within groups	3.686E-05	30	1.229E-06		
	Total	9.080E-05	44			

หมายเหตุ : ข้อมูลดิบในการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่องสปาร์กอีมิสชันสเปกโทรมิเตอร์ ดังแสดงในภาคผนวก 8

3.1.2 การประเมินผลความเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องสปาร์กอิมิตชันสเปกโทรมิเตอร์ ในรายการทดสอบคาร์บอน และอะลูมิเนียม โดยเปรียบเทียบกับค่าการวิเคราะห์ซ้ำจากวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM E415-99 a แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5. ผลการเปรียบเทียบค่าการวิเคราะห์ซ้ำของผลการทดสอบด้วย 2.83 กับค่าการวิเคราะห์ซ้ำจากวิธีทดสอบมาตรฐาน

ธาตุ	SD	Observed repeatability (SD X 2.83)	ASTM E415-99a repeatability (R_1)
คาร์บอน	0.0033	0.0093	0.025
อะลูมิเนียม	0.0014	0.0040	0.005

หมายเหตุ : ข้อมูลดิบในการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่องสปาร์กอิมิตชันสเปกโทรมิเตอร์ ดังแสดงในภาคผนวก 8

3.2 การทดสอบความเสถียร

เนื่องจากตัวอย่างทดสอบ เป็นตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำซึ่งเป็นโลหะที่มีความเสถียร ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทดสอบความเสถียร

3.3 ผลการทดสอบ และการประเมินผลการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ

ผลการทดสอบ และการประเมินผลการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ รวมทั้งการสรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุทั้ง 10 ชนิด แสดงในตารางที่ 6 – 25 และรูปที่ 1 – 20

ตารางที่ 6. ผลการทดสอบของธาตุคาร์บอน

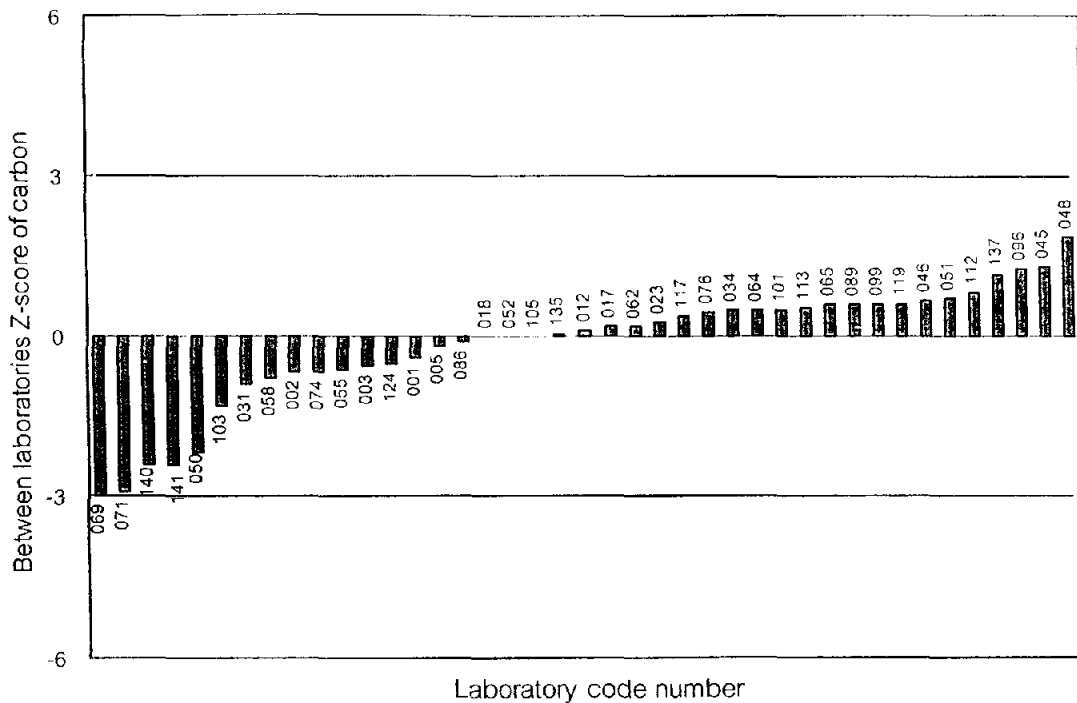
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
1	I1 0102 / 001	0.144	0.146	0.2051	0.0014	-0.59	1.41
2	I1 0102 / 002	0.141	0.142	0.2001	0.0007	-0.85	0.71
3	I1 0102 / 003	0.143	0.143	0.2022	0.0000	-0.74	0.00
4	I1 0102 / 005	0.147	0.150	0.2100	0.0021	-0.33	2.12
5	I1 0102 / 012	0.153	0.153	0.2164	0.0000	0.00	0.00
6	I1 0102 / 017	0.154	0.154	0.2178	0.0000	0.07	0.00
7	I1 0102 / 018	0.151	0.152	0.2143	0.0007	-0.11	0.71
8	I1 0102 / 023	0.156	0.154	0.2192	-0.0014	0.15	-1.41
9	I1 0102 / 031	0.140	0.136	0.1952	-0.0028	-1.11	-2.83
10	I1 0102 / 034	0.158	0.159	0.2242	0.0007	0.40	0.71
11	I1 0102 / 045	0.170	0.171	0.2411	0.0007	1.29	0.71
12	I1 0102 / 046	0.163	0.159	0.2277	-0.0028	0.59	-2.83
13	I1 0102 / 048	0.179	0.178	0.2524	-0.0007	1.88	-0.71
14	I1 0102 / 050	0.119	0.120	0.1690	0.0007	-2.47	0.71
15	I1 0102 / 051	0.161	0.162	0.2284	0.0007	0.62	0.71
16	I1 0102 / 052	0.151	0.152	0.2143	0.0007	-0.11	0.71
17	I1 0102 / 055	0.142	0.142	0.2008	0.0000	-0.81	0.00
18	I1 0102 / 058	0.140	0.140	0.1980	0.0000	-0.96	0.00
19	I1 0102 / 062	0.153	0.155	0.2178	0.0014	0.07	1.41
20	I1 0102 / 064	0.159	0.158	0.2242	-0.0007	0.40	-0.71
21	I1 0102 / 065	0.160	0.160	0.2263	0.0000	0.51	0.00
22	I1 0102 / 069	0.107	0.109	0.1527	0.0014	-3.32	1.41
23	I1 0102 / 071	0.110	0.109	0.1549	-0.0007	-3.21	-0.71
24	I1 0102 / 074	0.142	0.141	0.2001	-0.0007	-0.85	-0.71
25	I1 0102 / 076	0.157	0.159	0.2234	0.0014	0.37	1.41
26	I1 0102 / 086	0.151	0.148	0.2114	-0.0021	-0.26	-2.12
27	I1 0102 / 089	0.160	0.160	0.2263	0.0000	0.51	0.00
28	I1 0102 / 096	0.170	0.170	0.2404	0.0000	1.25	0.00
29	I1 0102 / 099	0.164	0.156	0.2263	-0.0057	0.51	-5.66

ตารางที่ 6. (ต่อ)

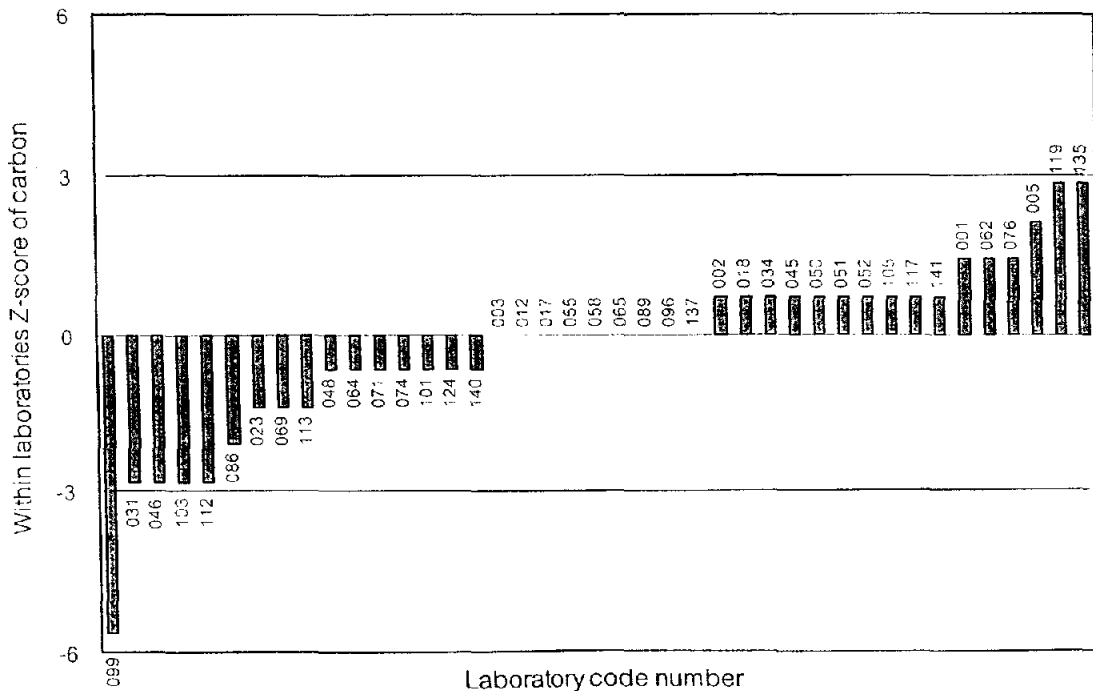
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
30	I1 0102 / 101	0.159	0.158	0.2242	-0.0007	0.40	-0.71
31	I1 0102 / 103	0.134	0.130	0.1867	-0.0028	-1.55	-2.83
32	I1 0102 / 105	0.151	0.152	0.2143	0.0007	-0.11	0.71
33	I1 0102 / 112	0.165	0.161	0.2305	-0.0028	0.74	-2.83
34	I1 0102 / 113	0.160	0.158	0.2249	-0.0014	0.44	-1.41
35	I1 0102 / 117	0.156	0.157	0.2213	0.0007	0.26	0.71
36	I1 0102 / 119	0.158	0.162	0.2263	0.0028	0.51	2.83
37	I1 0102 / 124	0.144	0.143	0.2029	-0.0007	-0.70	-0.71
38	I1 0102 / 135	0.150	0.154	0.2150	0.0028	-0.07	2.83
39	I1 0102 / 137	0.168	0.168	0.2376	0.0000	1.10	0.00
40	I1 0102 / 140	0.117	0.116	0.1648	-0.0007	-2.69	-0.71
41	I1 0102 / 141	0.116	0.117	0.1648	0.0007	-2.69	0.71

ตารางที่ 7. สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุคาร์บอน

รายการ	Raw data	Standardised sum	Standardised difference
No. of results	82	41	41
Median	0.1530	0.2164	0.0000
Normalised IQR	0.0128	0.0192	0.0010
Robust CV,%	8.4	8.9	∞
Minimum	0.107	0.1527	-0.0057
Maximum	0.179	0.2524	0.0028
Range of data	0.072	0.0997	0.0085



รูปที่ 1. Between laboratories Z-score ของธาตุคาร์บอน



รูปที่ 2. Within laboratories Z-score ของธาตุคาร์บอน

ตารางที่ 8. ผลการทดสอบของธาตุซิลิคอน

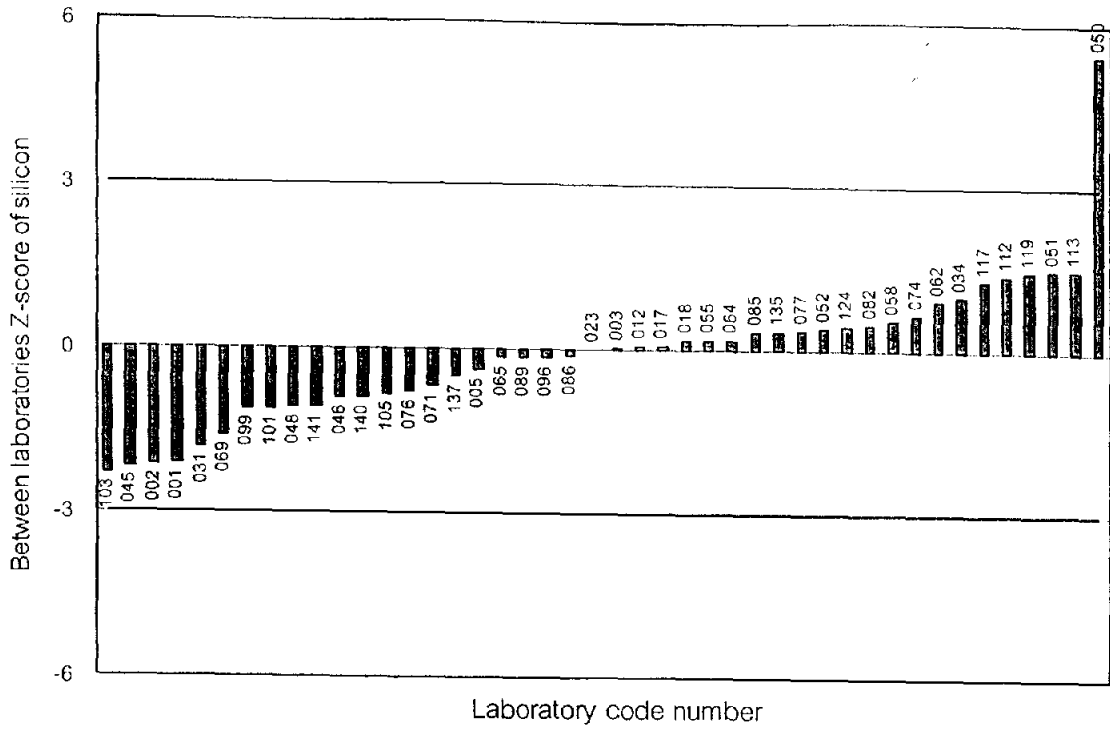
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
1	I1 0102 / 001	0.213	0.209	0.2984	0.0028	-2.11	1.35
2	I1 0102 / 002	0.208	0.212	0.2970	-0.0028	-2.17	-1.35
3	I1 0102 / 003	0.244	0.242	0.3437	0.0014	0.02	0.67
4	I1 0102 / 005	0.236	0.238	0.3352	-0.0014	-0.38	-0.67
5	I1 0102 / 012	0.244	0.243	0.3444	0.0007	0.05	0.34
6	I1 0102 / 017	0.243	0.244	0.3444	-0.0007	0.05	-0.34
7	I1 0102 / 018	0.245	0.245	0.3465	0.0000	0.15	0.00
8	I1 0102 / 023	0.243	0.242	0.3429	0.0007	-0.02	0.34
9	I1 0102 / 031	0.215	0.215	0.3041	0.0000	-1.84	0.00
10	I1 0102 / 034	0.256	0.259	0.3642	-0.0021	0.98	-1.01
11	I1 0102 / 045	0.209	0.210	0.2963	-0.0007	-2.21	-0.34
12	I1 0102 / 046	0.225	0.233	0.3239	-0.0057	-0.91	-2.69
13	I1 0102 / 048	0.230	0.223	0.3203	0.0049	-1.08	2.36
14	I1 0102 / 050	0.330	0.319	0.4589	0.0078	5.43	3.70
15	I1 0102 / 051	0.266	0.264	0.3748	0.0014	1.48	0.67
16	I1 0102 / 052	0.247	0.250	0.3514	-0.0021	0.38	-1.01
17	I1 0102 / 055	0.244	0.246	0.3465	-0.0014	0.15	-0.67
18	I1 0102 / 058	0.250	0.252	0.3550	-0.0014	0.55	-0.67
19	I1 0102 / 062	0.256	0.257	0.3627	-0.0007	0.91	-0.34
20	I1 0102 / 064	0.240	0.250	0.3465	-0.0071	0.15	-3.37
21	I1 0102 / 065	0.240	0.240	0.3394	0.0000	-0.18	0.00
22	I1 0102 / 069	0.234	0.203	0.3090	0.0219	-1.61	10.44
23	I1 0102 / 071	0.234	0.231	0.3288	0.0021	-0.68	1.01
24	I1 0102 / 074	0.252	0.253	0.3571	-0.0007	0.65	-0.34
25	I1 0102 / 076	0.230	0.232	0.3267	-0.0014	-0.78	-0.67
26	I1 0102 / 077	0.248	0.248	0.3507	0.0000	0.35	0.00
27	I1 0102 / 082	0.250	0.249	0.3528	0.0007	0.45	0.34
28	I1 0102 / 085	0.248	0.247	0.3500	0.0007	0.32	0.34
29	I1 0102 / 086	0.242	0.240	0.3408	0.0014	-0.12	0.67
30	I1 0102 / 089	0.240	0.240	0.3394	0.0000	-0.18	0.00

ตารางที่ 8. (ต่อ)

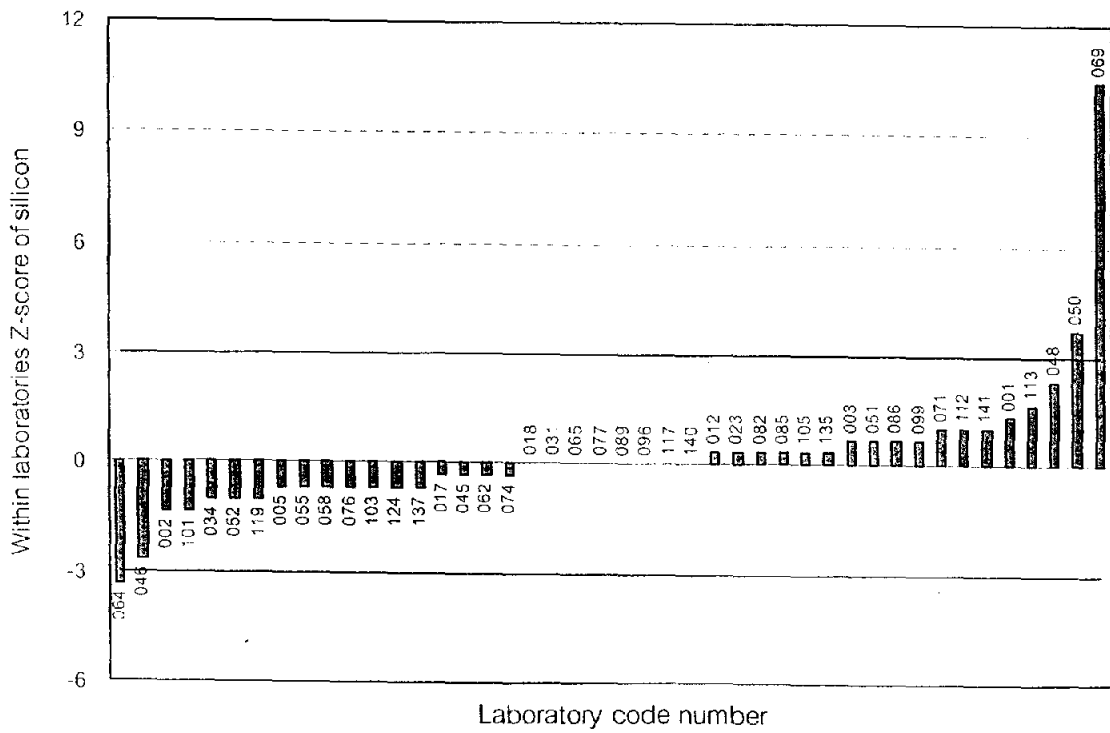
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
31	11 0102 / 096	0.240	0.240	0.3394	0.0000	-0.18	0.00
32	11 0102 / 099	0.227	0.225	0.3196	0.0014	-1.11	0.67
33	11 0102 / 101	0.224	0.228	0.3196	-0.0028	-1.11	-1.35
34	11 0102 / 103	0.207	0.209	0.2942	-0.0014	-2.31	-0.67
35	11 0102 / 105	0.231	0.230	0.3260	0.0007	-0.81	0.34
36	11 0102 / 112	0.265	0.262	0.3726	0.0021	1.38	1.01
37	11 0102 / 113	0.268	0.263	0.3755	0.0035	1.51	1.68
38	11 0102 / 117	0.262	0.262	0.3705	0.0000	1.28	0.00
39	11 0102 / 119	0.263	0.266	0.3741	-0.0021	1.44	-1.01
40	11 0102 / 124	0.248	0.250	0.3521	-0.0014	0.41	-0.67
41	11 0102 / 135	0.248	0.247	0.3500	0.0007	0.32	0.34
42	11 0102 / 137	0.234	0.236	0.3323	-0.0014	-0.51	-0.67
43	11 0102 / 140	0.229	0.229	0.3239	0.0000	-0.91	0.00
44	11 0102 / 141	0.228	0.225	0.3203	0.0021	-1.08	1.01

ตารางที่ 9. สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุซิลิคอน

รายการ	Raw data	Standardised sum	Standardised difference
No. of results	88	44	44
Median	0.2420	0.3433	0.0000
Normalised IQR	0.0148	0.0213	0.0021
Robust CV,%	6.1	6.2	∞
Minimum	0.203	0.2942	-0.0071
Maximum	0.330	0.4589	0.0219
Range of data	0.127	0.1647	0.0290



รูปที่ 3. Between laboratories Z-score ของธาตุซิลิคอน



รูปที่ 4. Within laboratories Z-score ของธาตุซิลิคอน

ตารางที่ 10. ผลการทดสอบของธาตุแมงกานีส

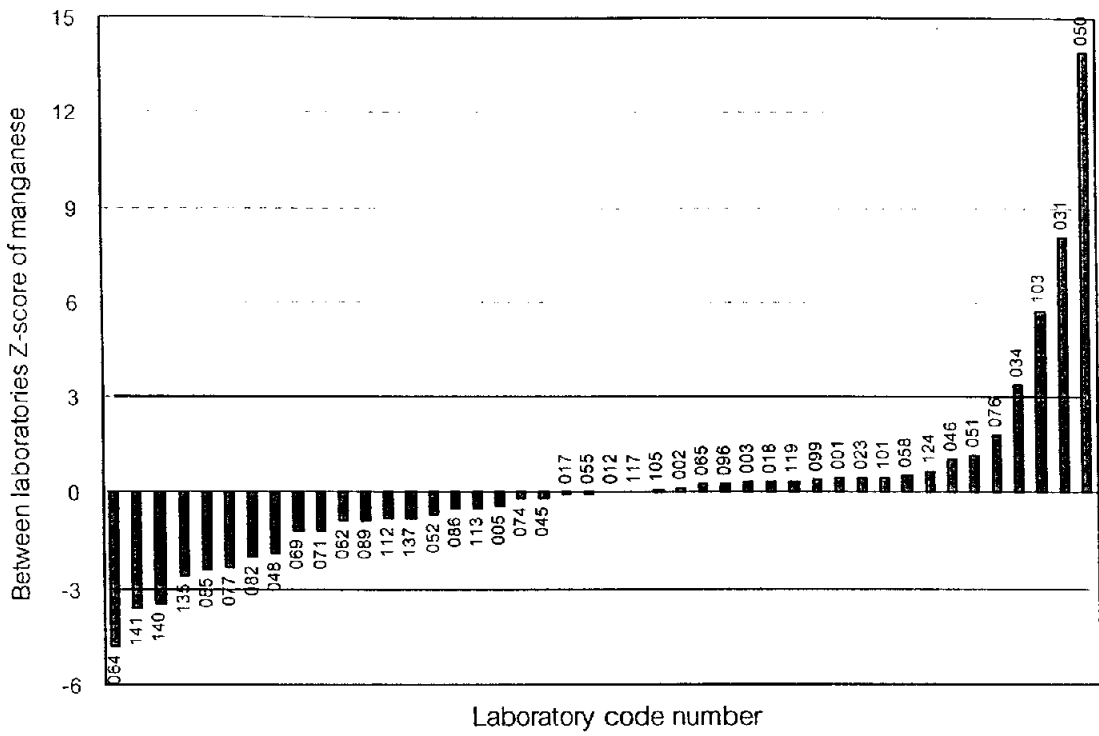
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
1	11 0102 / 001	0.514	0.510	0.7241	-0.0028	0.48	-1.23
2	11 0102 / 002	0.507	0.511	0.7198	0.0028	0.15	1.23
3	11 0102 / 003	0.510	0.511	0.7220	0.0007	0.31	0.31
4	11 0102 / 005	0.504	0.504	0.7128	0.0000	-0.42	0.00
5	11 0102 / 012	0.509	0.507	0.7184	-0.0014	0.03	-0.61
6	11 0102 / 017	0.507	0.508	0.7177	0.0007	-0.02	0.31
7	11 0102 / 018	0.511	0.510	0.7220	-0.0007	0.31	-0.31
8	11 0102 / 023	0.512	0.512	0.7241	0.0000	0.48	0.00
9	11 0102 / 031	0.578	0.582	0.8202	0.0028	8.11	1.23
10	11 0102 / 034	0.535	0.541	0.7608	0.0042	3.40	1.84
11	11 0102 / 045	0.504	0.509	0.7163	0.0035	-0.13	1.54
12	11 0102 / 046	0.511	0.523	0.7311	0.0085	1.04	3.69
13	11 0102 / 048	0.492	0.490	0.6944	-0.0014	-1.87	-0.61
14	11 0102 / 050	0.637	0.626	0.8931	-0.0078	13.89	-3.38
15	11 0102 / 051	0.517	0.519	0.7326	0.0014	1.16	0.61
16	11 0102 / 052	0.499	0.505	0.7099	0.0042	-0.64	1.84
17	11 0102 / 055	0.507	0.508	0.7177	0.0007	-0.02	0.31
18	11 0102 / 058	0.513	0.512	0.7248	-0.0007	0.54	-0.31
19	11 0102 / 062	0.500	0.500	0.7071	0.0000	-0.86	0.00
20	11 0102 / 064	0.460	0.470	0.6576	0.0071	-4.79	3.07
21	11 0102 / 065	0.510	0.510	0.7212	0.0000	0.26	0.00
22	11 0102 / 069	0.499	0.495	0.7029	-0.0028	-1.20	-1.23
23	11 0102 / 071	0.498	0.496	0.7029	-0.0014	-1.20	-0.61
24	11 0102 / 074	0.508	0.504	0.7156	-0.0028	-0.19	-1.23
25	11 0102 / 076	0.523	0.525	0.7410	0.0014	1.83	0.61
26	11 0102 / 077	0.487	0.487	0.6887	0.0000	-2.32	0.00
27	11 0102 / 082	0.490	0.490	0.6930	0.0000	-1.99	0.00
28	11 0102 / 085	0.487	0.486	0.6880	-0.0007	-2.38	-0.31
29	11 0102 / 086	0.504	0.503	0.7121	-0.0007	-0.47	-0.31
30	11 0102 / 089	0.500	0.500	0.7071	0.0000	-0.86	0.00

ตารางที่ 10. (ต่อ)

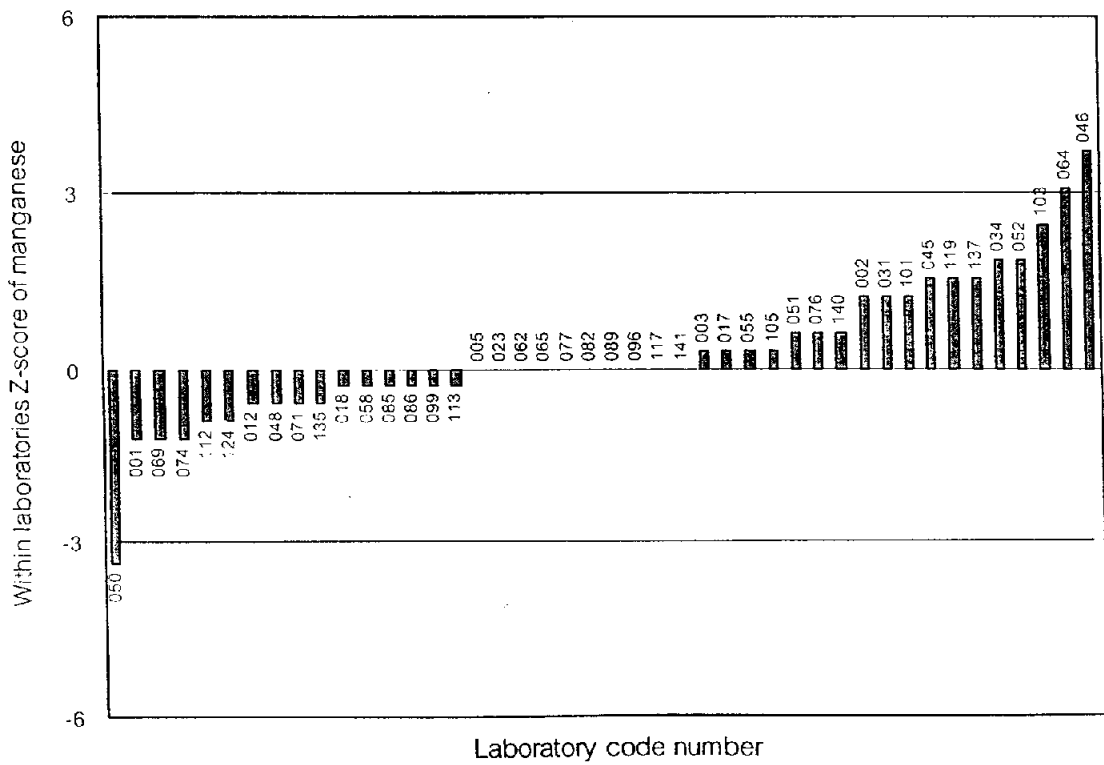
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
31	I1 0102 / 096	0.510	0.510	0.7212	0.0000	0.26	0.00
32	I1 0102 / 099	0.512	0.511	0.7234	-0.0007	0.43	-0.31
33	I1 0102 / 101	0.510	0.514	0.7241	0.0028	0.48	1.23
34	I1 0102 / 103	0.555	0.563	0.7905	0.0057	5.76	2.46
35	I1 0102 / 105	0.508	0.509	0.7191	0.0007	0.09	0.31
36	I1 0102 / 112	0.502	0.499	0.7078	-0.0021	-0.81	-0.92
37	I1 0102 / 113	0.504	0.503	0.7121	-0.0007	-0.47	-0.31
38	I1 0102 / 117	0.508	0.508	0.7184	0.0000	0.03	0.00
39	I1 0102 / 119	0.508	0.513	0.7220	0.0035	0.31	1.54
40	I1 0102 / 124	0.515	0.512	0.7262	-0.0021	0.65	-0.92
41	I1 0102 / 135	0.486	0.484	0.6859	-0.0014	-2.55	-0.61
42	I1 0102 / 137	0.498	0.503	0.7078	0.0035	-0.81	1.54
43	I1 0102 / 140	0.476	0.478	0.6746	0.0014	-3.45	0.61
44	I1 0102 / 141	0.476	0.476	0.6732	0.0000	-3.56	0.00

ตารางที่ 11. สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุแมงกานีส

รายการ	Raw data	Standardised sum	Standardised difference
No. of results	88	44	44
Median	0.5080	0.7180	0.0000
Normalised IQR	0.0096	0.0126	0.0023
Robust CV,%	1.9	1.8	∞
Minimum	0.460	0.6576	-0.0078
Maximum	0.637	0.8931	0.0085
Range of data	0.177	0.2355	0.0163



รูปที่ 5. Between laboratories Z-score ของธาตุแมงกานีส



รูปที่ 6. Within laboratories Z-score ของธาตุแมงกานีส

ตารางที่ 12. ผลการทดสอบของธาตุฟอสฟอรัส

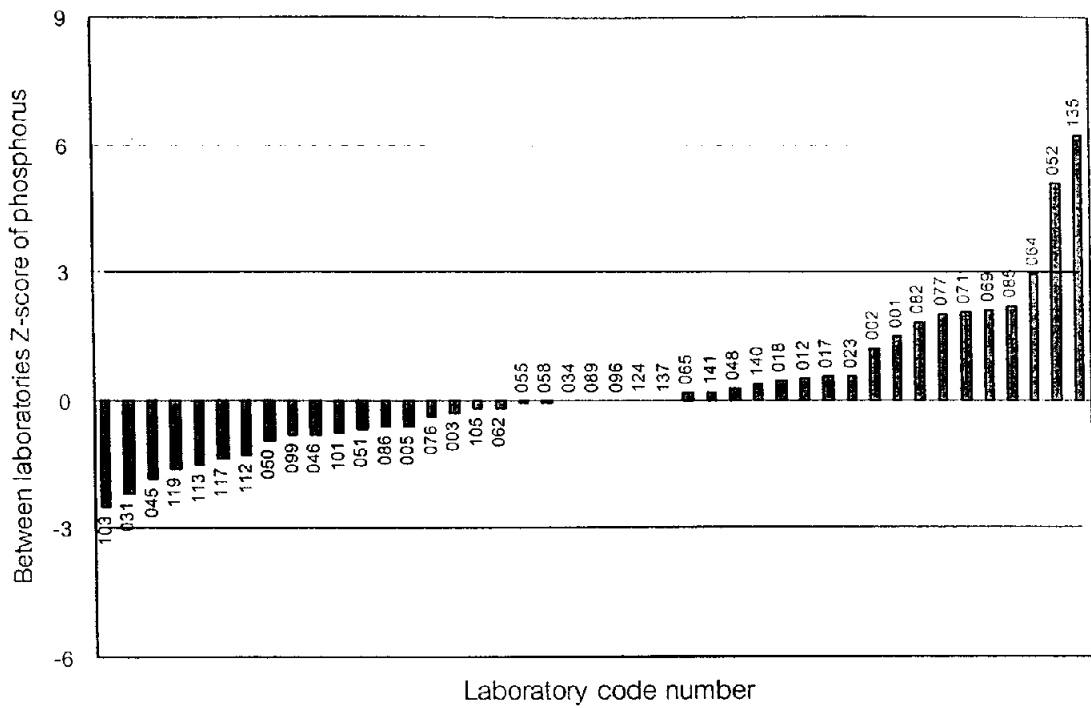
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
1	I1 0102 / 001	0.0114	0.0107	0.01563	0.00049	1.50	4.95
2	I1 0102 / 002	0.0101	0.0105	0.01457	-0.00028	1.22	-2.83
3	I1 0102 / 003	0.0061	0.0064	0.00884	-0.00021	-0.28	-2.12
4	I1 0102 / 005	0.0052	0.0055	0.00757	-0.00021	-0.61	-2.12
5	I1 0102 / 012	0.0084	0.0084	0.01188	0.00000	0.52	0.00
6	I1 0102 / 017	0.0085	0.0085	0.01202	0.00000	0.55	0.00
7	I1 0102 / 018	0.0083	0.0083	0.01174	0.00000	0.48	0.00
8	I1 0102 / 023	0.0086	0.0085	0.01209	0.00007	0.57	0.71
9	I1 0102 / 031	0.0009	0.0013	0.00156	-0.00028	-2.18	-2.83
10	I1 0102 / 034	0.0068	0.0072	0.00990	-0.00028	0.00	-2.83
11	I1 0102 / 045	0.0030	0.0010	0.00283	0.00141	-1.85	14.14
12	I1 0102 / 046	0.0048	0.0048	0.00679	0.00000	-0.81	0.00
13	I1 0102 / 048	0.0077	0.0078	0.01096	-0.00007	0.28	-0.71
14	I1 0102 / 050	0.0044	0.0045	0.00629	-0.00007	-0.94	-0.71
15	I1 0102 / 051	0.0052	0.0052	0.00735	0.00000	-0.66	0.00
16	I1 0102 / 052	0.0210	0.0205	0.02934	0.00035	5.08	3.54
17	I1 0102 / 055	0.0069	0.0067	0.00962	0.00014	-0.07	1.41
18	I1 0102 / 058	0.0067	0.0069	0.00962	-0.00014	-0.07	-1.41
19	I1 0102 / 062	0.0065	0.0065	0.00919	0.00000	-0.18	0.00
20	I1 0102 / 064	0.0160	0.0140	0.02121	0.00141	2.95	14.14
21	I1 0102 / 065	0.0080	0.0070	0.01061	0.00071	0.18	7.07
22	I1 0102 / 069	0.0126	0.0128	0.01796	-0.00014	2.10	-1.41
23	I1 0102 / 071	0.0126	0.0125	0.01775	0.00007	2.05	0.71
24	I1 0102 / 076	0.0059	0.0059	0.00834	0.00000	-0.41	0.00
25	I1 0102 / 077	0.0130	0.0120	0.01768	0.00071	2.03	7.07
26	I1 0102 / 082	0.0120	0.0120	0.01697	0.00000	1.85	0.00
27	I1 0102 / 085	0.0130	0.0130	0.01838	0.00000	2.22	0.00
28	I1 0102 / 086	0.0053	0.0053	0.00750	0.00000	-0.63	0.00
29	I1 0102 / 089	0.0070	0.0070	0.00990	0.00000	0.00	0.00
30	I1 0102 / 096	0.0070	0.0070	0.00990	0.00000	0.00	0.00

ตารางที่ 12. (ต่อ)

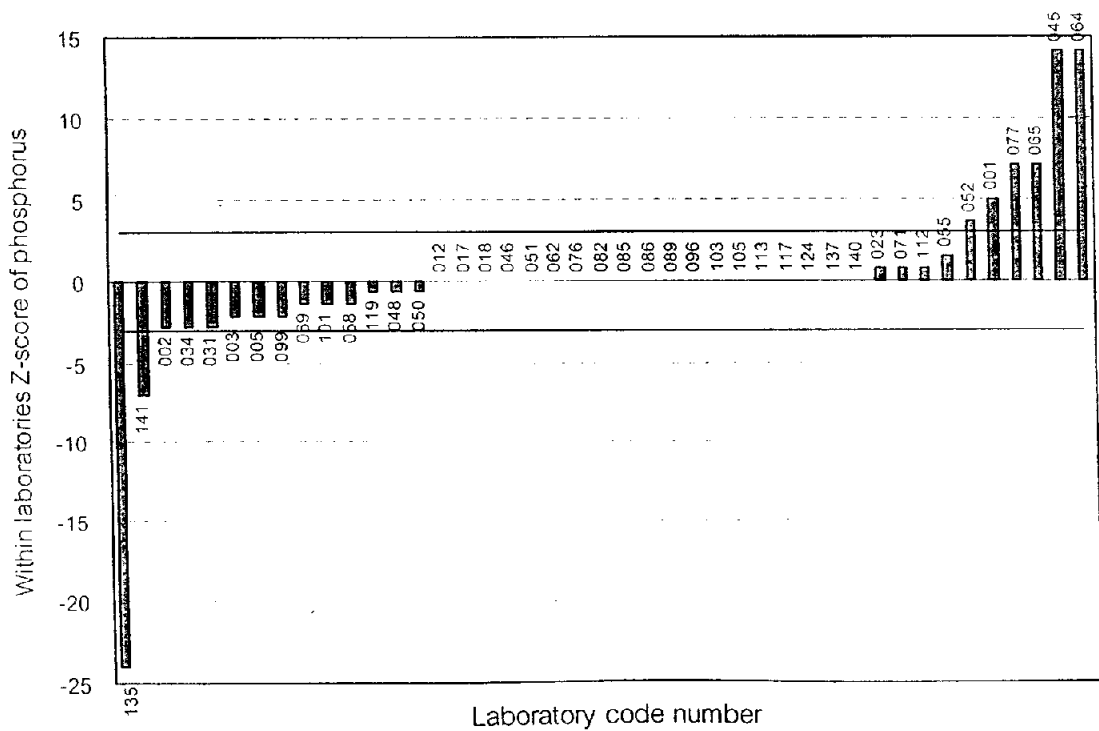
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
31	I1 0102 / 099	0.0046	0.0049	0.00672	-0.00021	-0.83	-2.12
32	I1 0102 / 101	0.0048	0.0050	0.00693	-0.00014	-0.78	-1.41
33	I1 0102 / 103	0.0002	0.0002	0.00028	0.00000	-2.51	0.00
34	I1 0102 / 105	0.0064	0.0064	0.00905	0.00000	-0.22	0.00
35	I1 0102 / 112	0.0036	0.0035	0.00502	0.00007	-1.27	0.71
36	I1 0102 / 113	0.0029	0.0029	0.00410	0.00000	-1.51	0.00
37	I1 0102 / 117	0.0033	0.0033	0.00467	0.00000	-1.37	0.00
38	I1 0102 / 119	0.0026	0.0027	0.00375	-0.00007	-1.61	-0.71
39	I1 0102 / 124	0.0070	0.0070	0.00990	0.00000	0.00	0.00
40	I1 0102 / 135	0.0222	0.0256	0.03380	-0.00240	6.24	-24.04
41	I1 0102 / 137	0.0070	0.0070	0.00990	0.00000	0.00	0.00
42	I1 0102 / 140	0.0080	0.0080	0.01131	0.00000	0.37	0.00
43	I1 0102 / 141	0.0070	0.0080	0.01061	-0.00071	0.18	-7.07

ตารางที่ 13. สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุฟอสฟอรัส

รายการ	Raw data	Standardised sum	Standardised difference
No. of results	86	43	43
Median	0.0070	0.00990	0.00000
Normalised IQR	0.0026	0.00383	0.00010
Robust CV,%	37.6	38.7	∞
Minimum	0.0002	0.00028	-0.00240
Maximum	0.0256	0.03380	0.00141
Range of data	0.0254	0.03352	0.00381



รูปที่ 7. Between laboratories Z-score ของธาตุฟอสฟอรัส



รูปที่ 8. Within laboratories Z-score ของธาตุฟอสฟอรัส

ตารางที่ 14. ผลการทดสอบของธาตุกำมะถัน

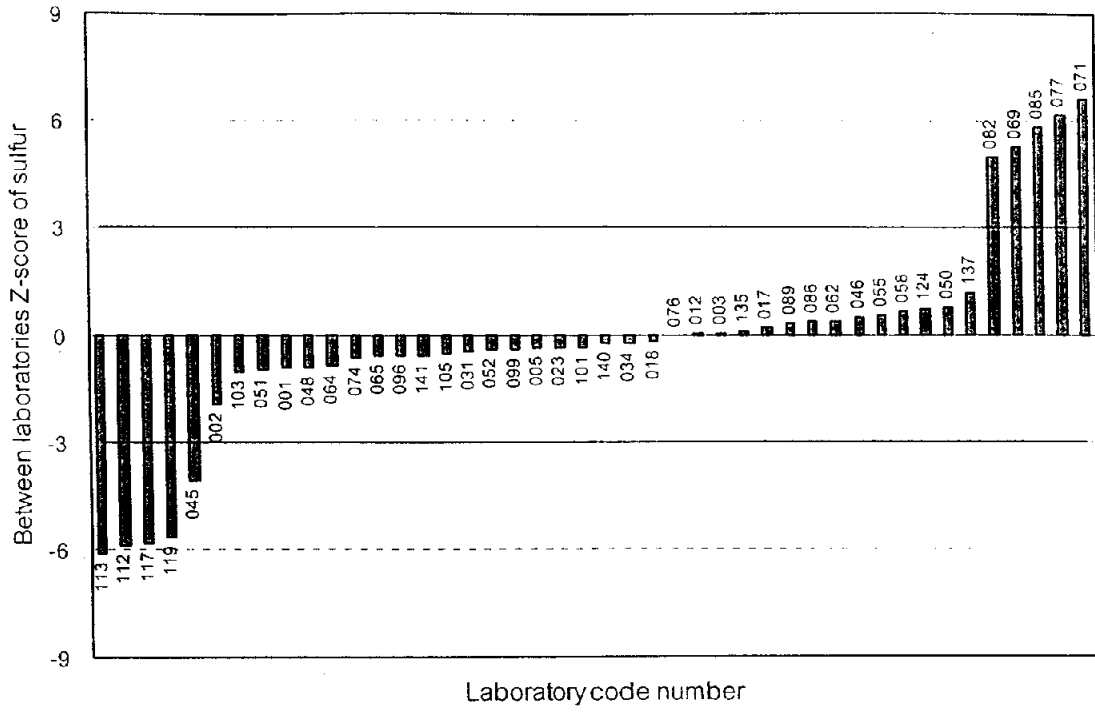
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
1	I1 0102 / 001	0.0163	0.0164	0.02312	0.00007	-0.67	0.17
2	I1 0102 / 002	0.0144	0.0148	0.02065	0.00028	-1.75	0.67
3	I1 0102 / 003	0.0182	0.0179	0.02553	-0.00021	0.39	-0.51
4	I1 0102 / 005	0.0162	0.0184	0.02447	0.00156	-0.08	3.70
5	I1 0102 / 012	0.0177	0.0183	0.02546	0.00042	0.36	1.01
6	I1 0102 / 017	0.0184	0.0182	0.02588	-0.00014	0.54	-0.34
7	I1 0102 / 018	0.0179	0.0173	0.02489	-0.00042	0.11	-1.01
8	I1 0102 / 023	0.0175	0.0172	0.02454	-0.00021	-0.05	-0.51
9	I1 0102 / 031	0.0170	0.0173	0.02425	0.00021	-0.17	0.51
10	I1 0102 / 034	0.0172	0.0179	0.02482	0.00049	0.08	1.18
11	I1 0102 / 045	0.0110	0.0110	0.01556	0.00000	-3.98	0.00
12	I1 0102 / 046	0.0185	0.0191	0.02659	0.00042	0.85	1.01
13	I1 0102 / 048	0.0165	0.0162	0.02312	-0.00021	-0.67	-0.51
14	I1 0102 / 050	0.0199	0.0186	0.02722	-0.00092	1.13	-2.19
15	I1 0102 / 051	0.0160	0.0166	0.02305	0.00042	-0.70	1.01
16	I1 0102 / 052	0.0172	0.0173	0.02440	0.00007	-0.11	0.17
17	I1 0102 / 055	0.0191	0.0186	0.02666	-0.00035	0.89	-0.84
18	I1 0102 / 058	0.0192	0.0190	0.02701	-0.00014	1.04	-0.34
19	I1 0102 / 062	0.0185	0.0188	0.02638	0.00021	0.76	0.51
20	I1 0102 / 064	0.0150	0.0180	0.02333	0.00212	-0.57	5.05
21	I1 0102 / 065	0.0170	0.0170	0.02404	0.00000	-0.26	0.00
22	I1 0102 / 069	0.0269	0.0272	0.03825	0.00021	5.97	0.51
23	I1 0102 / 071	0.0316	0.0270	0.04144	-0.00325	7.37	-7.74
24	I1 0102 / 074	0.0170	0.0167	0.02383	-0.00021	-0.36	-0.51
25	I1 0102 / 076	0.0181	0.0178	0.02539	-0.00021	0.33	-0.51
26	I1 0102 / 077	0.0290	0.0280	0.04031	-0.00071	6.87	-1.68
27	I1 0102 / 082	0.0270	0.0260	0.03748	-0.00071	5.63	-1.68
28	I1 0102 / 085	0.0280	0.0280	0.03960	0.00000	6.56	0.00
29	I1 0102 / 086	0.0193	0.0179	0.02630	-0.00099	0.73	-2.36

ตารางที่ 14. (ต่อ)

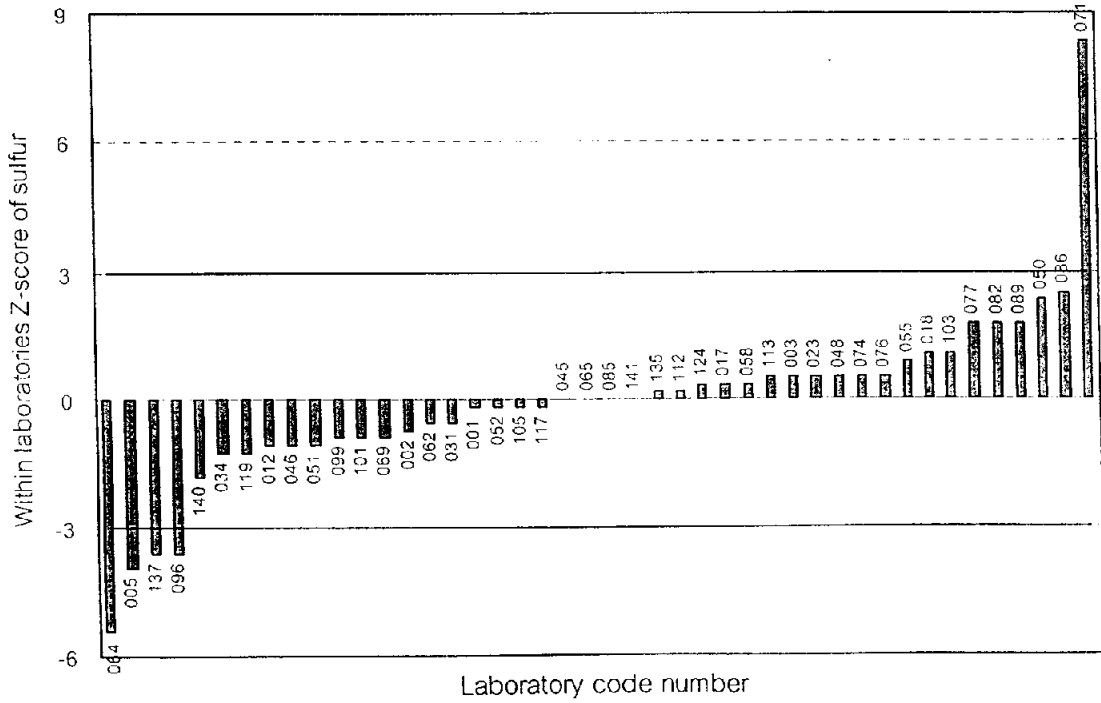
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
30	I1 0102 / 089	0.0190	0.0180	0.02616	-0.00071	0.67	-1.68
31	I1 0102 / 096	0.0160	0.0180	0.02404	0.00141	-0.26	3.37
32	I1 0102 / 099	0.0170	0.0175	0.02440	0.00035	-0.11	0.84
33	I1 0102 / 101	0.0171	0.0176	0.02454	0.00035	-0.05	0.84
34	I1 0102 / 103	0.0165	0.0159	0.02291	-0.00042	-0.76	-1.01
35	I1 0102 / 105	0.0170	0.0171	0.02411	0.00007	-0.23	0.17
36	I1 0102 / 112	0.0079	0.0078	0.01110	-0.00007	-5.94	-0.17
37	I1 0102 / 113	0.0076	0.0073	0.01054	-0.00021	-6.19	-0.51
38	I1 0102 / 117	0.0079	0.0080	0.01124	0.00007	-5.88	0.17
39	I1 0102 / 119	0.0079	0.0086	0.01167	0.00049	-5.69	1.18
40	I1 0102 / 124	0.0193	0.0191	0.02715	-0.00014	1.10	-0.34
41	I1 0102 / 135	0.0182	0.0181	0.02567	-0.00007	0.45	-0.17
42	I1 0102 / 137	0.0190	0.0210	0.02828	0.00141	1.60	3.37
43	I1 0102 / 140	0.0170	0.0180	0.02475	0.00071	0.05	1.68
44	I1 0102 / 141	0.0170	0.0170	0.02404	0.00000	-0.26	0.00

ตารางที่ 15. สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุกำมะถัน

รายการ	Raw data	Standardised sum	Standardised difference
No. of results	88	44	44
Median	0.01765	0.02464	0.00000
Normalised IQR	0.00165	0.00228	0.00042
Robust CV,%	9.4	9.3	∞
Minimum	0.0073	0.01054	-0.00325
Maximum	0.0316	0.04144	0.00212
Range of data	0.0243	0.03090	0.00537



รูปที่ 9. Between laboratories Z-score ของธาตุกำมะถัน



รูปที่ 10. Within laboratories Z-score ของธาตุกำมะถัน

ตารางที่ 16. ผลการทดสอบของธาตุทองแดง

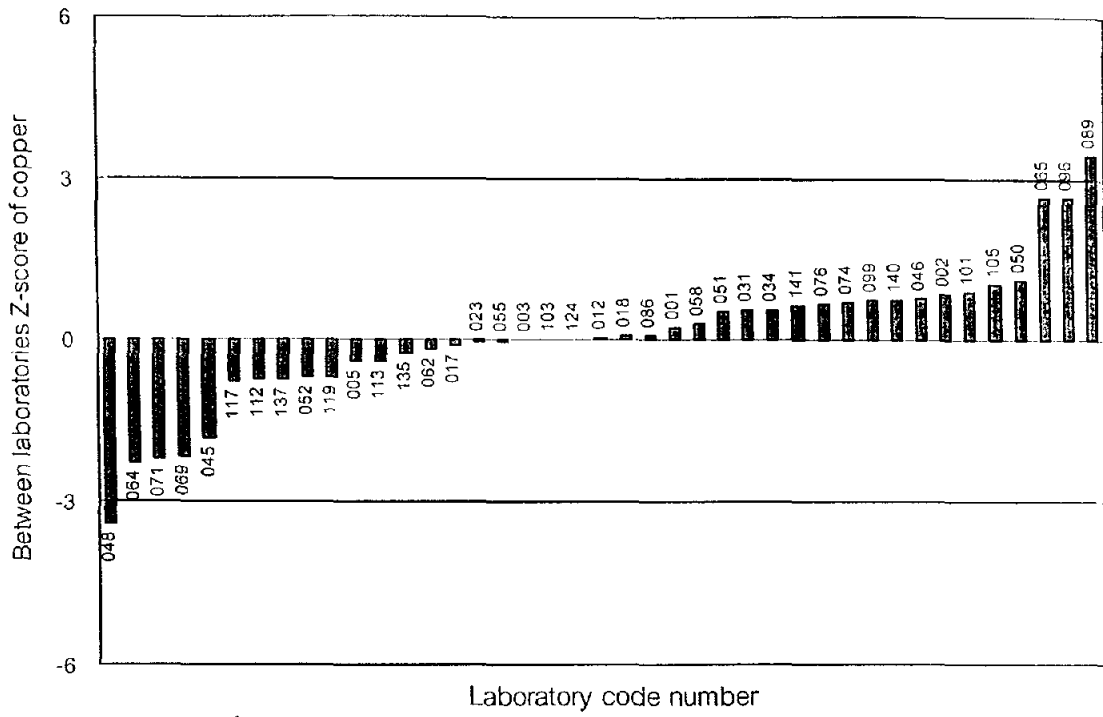
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
1	I1 0102 / 001	0.180	0.180	0.2546	0.0000	0.16	0.00
2	I1 0102 / 002	0.187	0.188	0.2652	-0.0007	0.77	-0.44
3	I1 0102 / 003	0.178	0.176	0.2503	0.0014	-0.08	0.88
4	I1 0102 / 005	0.170	0.174	0.2432	-0.0028	-0.48	-1.77
5	I1 0102 / 012	0.177	0.178	0.2510	-0.0007	-0.04	-0.44
6	I1 0102 / 017	0.176	0.175	0.2482	0.0007	-0.20	0.44
7	I1 0102 / 018	0.178	0.178	0.2517	0.0000	0.00	0.00
8	I1 0102 / 023	0.176	0.177	0.2496	-0.0007	-0.12	-0.44
9	I1 0102 / 031	0.182	0.186	0.2602	-0.0028	0.48	-1.77
10	I1 0102 / 034	0.184	0.184	0.2602	0.0000	0.48	0.00
11	I1 0102 / 045	0.155	0.153	0.2178	0.0014	-1.93	0.88
12	I1 0102 / 046	0.186	0.188	0.2645	-0.0014	0.72	-0.88
13	I1 0102 / 048	0.136	0.133	0.1902	0.0021	-3.49	1.33
14	I1 0102 / 050	0.193	0.189	0.2701	0.0028	1.05	1.77
15	I1 0102 / 051	0.184	0.183	0.2595	0.0007	0.44	0.44
16	I1 0102 / 052	0.167	0.169	0.2376	-0.0014	-0.80	-0.88
17	I1 0102 / 055	0.176	0.177	0.2496	-0.0007	-0.12	-0.44
18	I1 0102 / 058	0.179	0.182	0.2553	-0.0021	0.20	-1.33
19	I1 0102 / 062	0.175	0.174	0.2468	0.0007	-0.28	0.44
20	I1 0102 / 064	0.147	0.150	0.2100	-0.0021	-2.37	-1.33
21	I1 0102 / 065	0.210	0.210	0.2970	0.0000	2.57	0.00
22	I1 0102 / 069	0.151	0.149	0.2121	0.0014	-2.25	0.88
23	I1 0102 / 071	0.151	0.148	0.2114	0.0021	-2.29	1.33
24	I1 0102 / 074	0.191	0.181	0.2630	0.0071	0.64	4.42
25	I1 0102 / 076	0.186	0.185	0.2623	0.0007	0.60	0.44
26	I1 0102 / 086	0.177	0.179	0.2517	-0.0014	0.00	-0.88
27	I1 0102 / 089	0.220	0.220	0.3111	0.0000	3.38	0.00
28	I1 0102 / 096	0.210	0.210	0.2970	0.0000	2.57	0.00
29	I1 0102 / 099	0.185	0.188	0.2638	-0.0021	0.68	-1.33
30	I1 0102 / 101	0.187	0.189	0.2659	-0.0014	0.81	-0.88

ตารางที่ 16. (ต่อ)

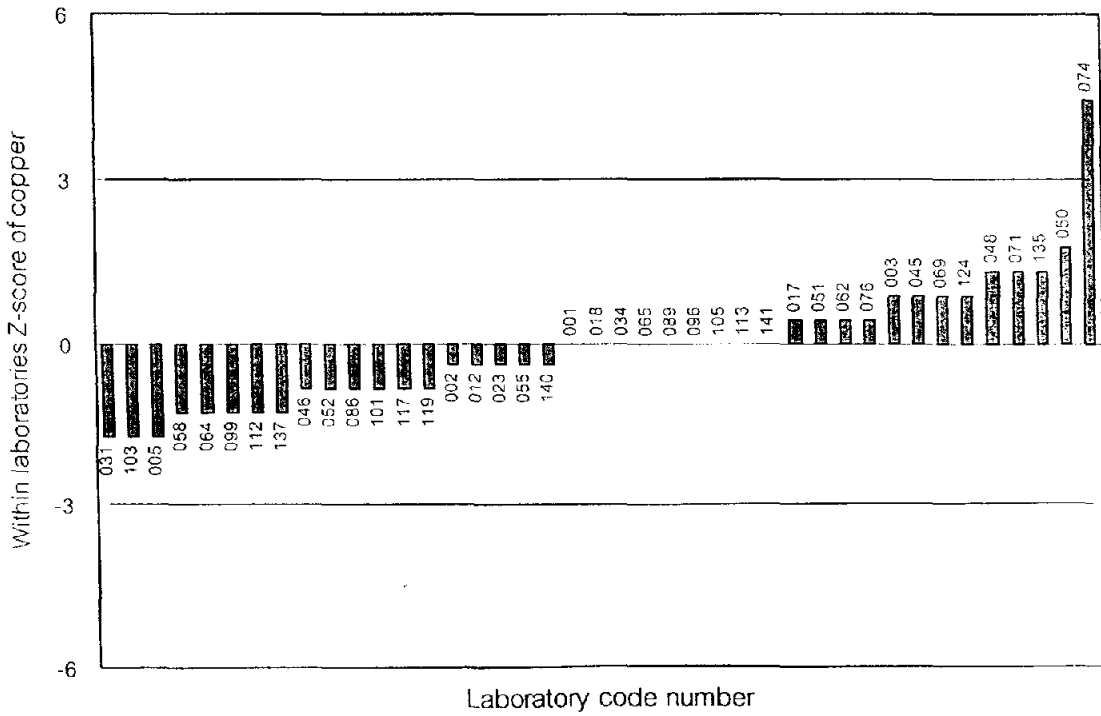
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
31	I1 0102 / 103	0.175	0.179	0.2503	-0.0028	-0.08	-1.77
32	I1 0102 / 105	0.190	0.190	0.2687	0.0000	0.97	0.00
33	I1 0102 / 112	0.166	0.169	0.2369	-0.0021	-0.84	-1.33
34	I1 0102 / 113	0.172	0.172	0.2432	0.0000	-0.48	0.00
35	I1 0102 / 117	0.166	0.168	0.2362	-0.0014	-0.88	-0.88
36	I1 0102 / 119	0.167	0.169	0.2376	-0.0014	-0.80	-0.88
37	I1 0102 / 124	0.178	0.176	0.2503	0.0014	-0.08	0.88
38	I1 0102 / 135	0.175	0.172	0.2454	0.0021	-0.36	1.33
39	I1 0102 / 137	0.166	0.169	0.2369	-0.0021	-0.84	-1.33
40	I1 0102 / 140	0.186	0.187	0.2638	-0.0007	0.68	-0.44
41	I1 0102 / 141	0.185	0.185	0.2616	0.0000	0.56	0.00

ตารางที่ 17. สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุทองแดง

รายการ	Raw data	Standardised sum	Standardised difference
No. of results	82	41	41
Median	0.1780	0.2517	0.0000
Normalised IQR	0.0120	0.0176	0.0016
Robust CV,%	6.7	7.0	∞
Minimum	0.133	0.1902	-0.0028
Maximum	0.220	0.3111	0.0071
Range of data	0.0870	0.1209	0.0099



รูปที่ 11. Between laboratories Z-score ของธาตุทองแดง



รูปที่ 12. Within laboratories Z-score ของธาตุทองแดง

ตารางที่ 18. ผลการทดสอบของธาตุโครเมียม

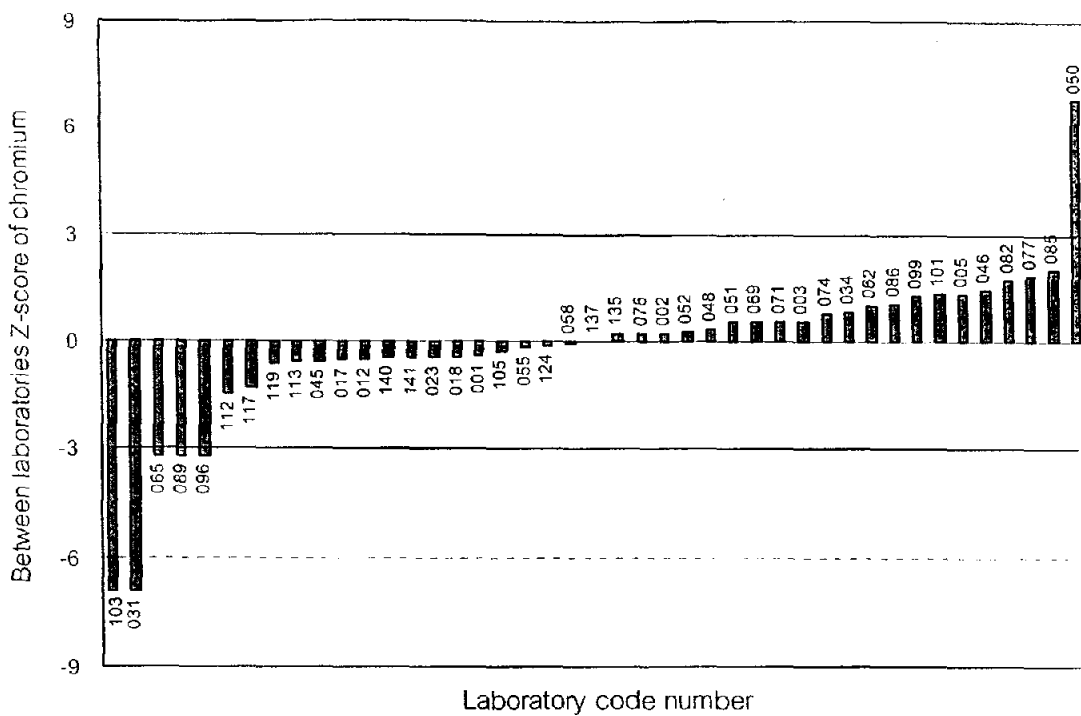
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
1	I1 0102 / 001	0.0355	0.0352	0.04999	-0.00021	-0.40	-0.68
2	I1 0102 / 002	0.0385	0.0389	0.05473	0.00028	0.22	0.91
3	I1 0102 / 003	0.0405	0.0408	0.05749	0.00021	0.58	0.68
4	I1 0102 / 005	0.0437	0.0461	0.06350	0.00170	1.37	5.47
5	I1 0102 / 012	0.0349	0.0348	0.04929	-0.00007	-0.49	-0.23
6	I1 0102 / 017	0.0348	0.0348	0.04921	0.00000	-0.50	0.00
7	I1 0102 / 018	0.0353	0.0350	0.04971	-0.00021	-0.43	-0.68
8	I1 0102 / 023	0.0351	0.0350	0.04957	-0.00007	-0.45	-0.23
9	I1 0102 / 031	0.0000	0.0003	0.00021	0.00021	-6.90	0.68
10	I1 0102 / 034	0.0419	0.0423	0.05954	0.00028	0.85	0.91
11	I1 0102 / 045	0.0350	0.0340	0.04879	-0.00071	-0.55	-2.28
12	I1 0102 / 046	0.0449	0.0461	0.06435	0.00085	1.48	2.74
13	I1 0102 / 048	0.0395	0.0392	0.05565	-0.00021	0.34	-0.68
14	I1 0102 / 050	0.0744	0.0741	0.10501	-0.00021	6.79	-0.68
15	I1 0102 / 051	0.0403	0.0405	0.05713	0.00014	0.54	0.46
16	I1 0102 / 052	0.0388	0.0391	0.05508	0.00021	0.27	0.68
17	I1 0102 / 055	0.0365	0.0368	0.05183	0.00021	-0.16	0.68
18	I1 0102 / 058	0.0371	0.0373	0.05261	0.00014	-0.05	0.46
19	I1 0102 / 062	0.0430	0.0430	0.06081	0.00000	1.02	0.00
20	I1 0102 / 065	0.0200	0.0200	0.02828	0.00000	-3.23	0.00
21	I1 0102 / 069	0.0410	0.0400	0.05728	-0.00071	0.55	-2.28
22	I1 0102 / 071	0.0410	0.0400	0.05728	-0.00071	0.55	-2.28
23	I1 0102 / 074	0.0403	0.0434	0.05918	0.00219	0.80	7.07
24	I1 0102 / 076	0.0386	0.0387	0.05466	0.00007	0.21	0.23
25	I1 0102 / 077	0.0530	0.0420	0.06718	-0.00778	1.85	25.09
26	I1 0102 / 082	0.0500	0.0440	0.06647	-0.00424	1.75	-13.69
27	I1 0102 / 085	0.0560	0.0410	0.06859	-0.01061	2.03	-34.21
28	I1 0102 / 086	0.0433	0.0431	0.06109	-0.00014	1.05	-0.46
29	I1 0102 / 089	0.0200	0.0200	0.02828	0.00000	-3.23	0.00
30	I1 0102 / 096	0.0200	0.0200	0.02828	0.00000	-3.23	0.00

ตารางที่ 18. (ต่อ)

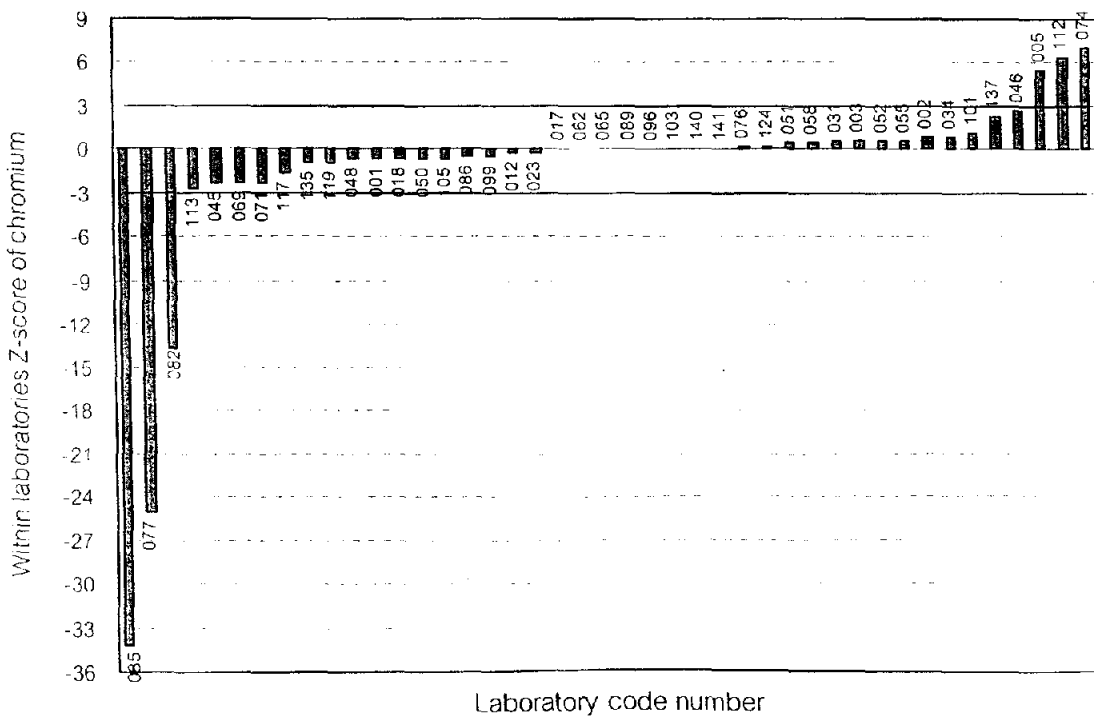
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
31	I1 0102 / 099	0.0447	0.0445	0.06307	-0.00014	1.31	-0.46
32	I1 0102 / 101	0.0445	0.0450	0.06329	0.00035	1.34	1.14
33	I1 0102 / 103	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000	-6.92	0.00
34	I1 0102 / 105	0.0360	0.0357	0.05070	-0.00021	-0.30	-0.68
35	I1 0102 / 112	0.0283	0.0311	0.04200	0.00198	-1.44	6.39
36	I1 0102 / 113	0.0350	0.0338	0.04865	-0.00085	-0.57	-2.74
37	I1 0102 / 117	0.0308	0.0301	0.04306	-0.00049	-1.30	-1.60
38	I1 0102 / 119	0.0343	0.0339	0.04822	-0.00028	-0.63	-0.91
39	I1 0102 / 124	0.0368	0.0369	0.05211	0.00007	-0.12	0.23
40	I1 0102 / 135	0.0388	0.0384	0.05459	-0.00028	0.20	-0.91
41	I1 0102 / 137	0.0370	0.0380	0.05303	0.00071	0.00	2.28
42	I1 0102 / 140	0.035	0.0350	0.04950	0.00000	-0.46	0.00
43	I1 0102 / 141	0.035	0.0350	0.04950	0.00000	-0.46	0.00

ตารางที่ 19. สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุโครเมียม

รายการ	Raw data	Standardised sum	Standardised difference
No. of results	86	43	43
Median	0.03765	0.05303	0.00000
Normalised IQR	0.00522	0.00766	0.00031
Robust CV,%	13.9	14.4	∞
Minimum	0.0000	0.00000	-0.01061
Maximum	0.0744	0.10501	0.00219
Range of data	0.0744	0.10501	0.01280



รูปที่ 13. Between laboratories Z-score ของธาตุโครเมียม



รูปที่ 14. Within laboratories Z-score ของธาตุโครเมียม

ตารางที่ 20. ผลการทดสอบของธาตุ निकเกิด

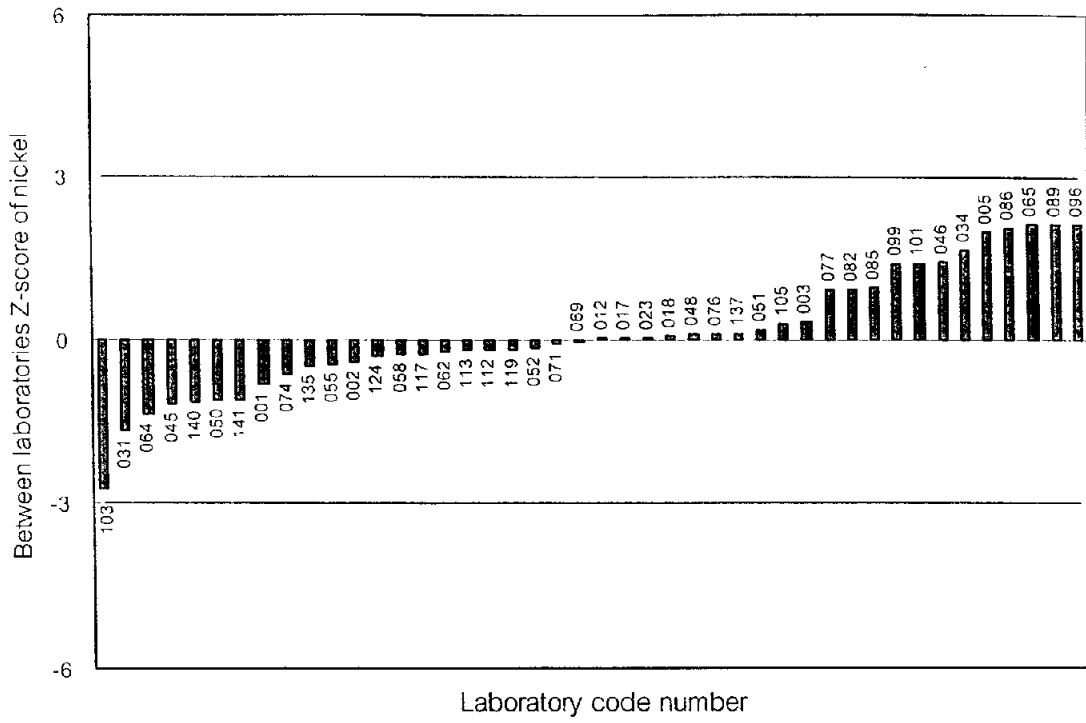
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
1	I1 0102 / 001	0.067	0.066	0.0940	0.0007	-0.82	1.41
2	I1 0102 / 002	0.072	0.073	0.1025	-0.0007	-0.41	-1.41
3	I1 0102 / 003	0.084	0.083	0.1181	0.0007	0.34	1.41
4	I1 0102 / 005	0.107	0.109	0.1527	-0.0014	2.01	-2.83
5	I1 0102 / 012	0.079	0.079	0.1117	0.0000	0.03	0.00
6	I1 0102 / 017	0.079	0.079	0.1117	0.0000	0.03	0.00
7	I1 0102 / 018	0.079	0.080	0.1124	-0.0007	0.07	-1.41
8	I1 0102 / 023	0.079	0.079	0.1117	0.0000	0.03	0.00
9	I1 0102 / 031	0.053	0.055	0.0764	-0.0014	-1.67	-2.83
10	I1 0102 / 034	0.103	0.103	0.1457	0.0000	1.67	0.00
11	I1 0102 / 045	0.062	0.060	0.0863	0.0014	-1.19	2.83
12	I1 0102 / 046	0.099	0.100	0.1407	-0.0007	1.43	-1.41
13	I1 0102 / 048	0.080	0.080	0.1131	0.0000	0.10	0.00
14	I1 0102 / 050	0.063	0.061	0.0877	0.0014	-1.12	2.83
15	I1 0102 / 051	0.081	0.081	0.1146	0.0000	0.17	0.00
16	I1 0102 / 052	0.076	0.077	0.1082	-0.0007	-0.14	-1.41
17	I1 0102 / 055	0.071	0.073	0.1018	-0.0014	-0.44	-2.83
18	I1 0102 / 058	0.074	0.075	0.1054	-0.0007	-0.27	-1.41
19	I1 0102 / 062	0.075	0.075	0.1061	0.0000	-0.24	0.00
20	I1 0102 / 064	0.055	0.062	0.0827	-0.0049	-1.36	-9.90
21	I1 0102 / 065	0.110	0.110	0.1556	0.0000	2.14	0.00
22	I1 0102 / 069	0.078	0.078	0.1103	0.0000	-0.03	0.00
23	I1 0102 / 071	0.078	0.077	0.1096	0.0007	-0.07	1.41
24	I1 0102 / 074	0.069	0.070	0.0983	-0.0007	-0.61	-1.41
25	I1 0102 / 076	0.080	0.080	0.1131	0.0000	0.10	0.00
26	I1 0102 / 077	0.092	0.092	0.1301	0.0000	0.92	0.00
27	I1 0102 / 082	0.092	0.092	0.1301	0.0000	0.92	0.00
28	I1 0102 / 085	0.093	0.092	0.1308	0.0007	0.95	1.41
29	I1 0102 / 086	0.108	0.110	0.1541	-0.0014	2.07	-2.83
30	I1 0102 / 089	0.110	0.110	0.1556	0.0000	2.14	0.00

ตารางที่ 20. (ต่อ)

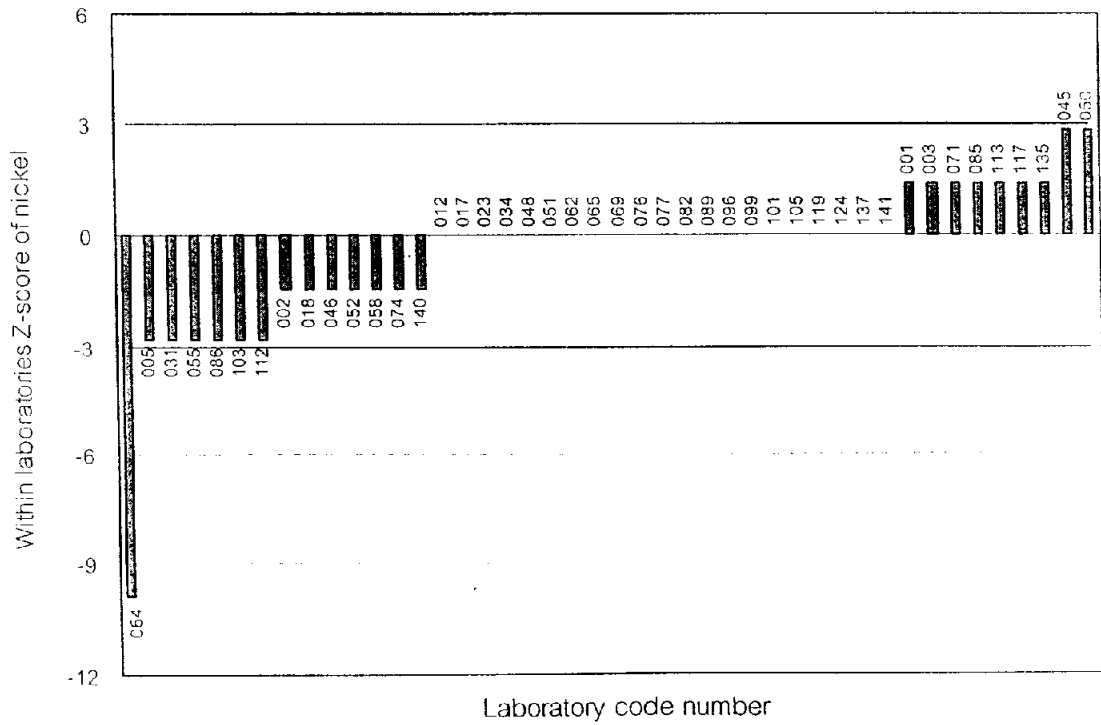
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
31	I1 0102 / 096	0.110	0.110	0.1556	0.0000	2.14	0.00
32	I1 0102 / 099	0.099	0.099	0.1400	0.0000	1.39	0.00
33	I1 0102 / 101	0.099	0.099	0.1400	0.0000	1.39	0.00
34	I1 0102 / 103	0.037	0.039	0.0537	-0.0014	-2.75	-2.83
35	I1 0102 / 105	0.083	0.083	0.1174	0.0000	0.31	0.00
36	I1 0102 / 112	0.075	0.077	0.1075	-0.0014	-0.17	-2.83
37	I1 0102 / 113	0.076	0.075	0.1068	0.0007	-0.20	1.41
38	I1 0102 / 117	0.075	0.074	0.1054	0.0007	-0.27	1.41
39	I1 0102 / 119	0.076	0.076	0.1075	0.0000	-0.17	0.00
40	I1 0102 / 124	0.074	0.074	0.1047	0.0000	-0.31	0.00
41	I1 0102 / 135	0.072	0.071	0.1011	0.0007	-0.48	1.41
42	I1 0102 / 137	0.080	0.080	0.1131	0.0000	0.10	0.00
43	I1 0102 / 140	0.061	0.062	0.0870	-0.0007	-1.16	-1.41
44	I1 0102 / 141	0.062	0.062	0.0877	0.0000	-1.12	0.00

ตารางที่ 21. สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุ निकเกิล

รายการ	Raw data	Standardised sum	Standardised difference
No. of results	88	44	44
Median	0.0785	0.1110	0.0000
Normalised IQR	0.0147	0.0208	0.0005
Robust CV,%	18.7	18.7	∞
Minimum	0.037	0.0537	-0.0049
Maximum	0.110	0.1556	0.0014
Range of data	0.073	0.1019	0.0063



รูปที่ 15. Between laboratories Z-score ของธาตุนิกเกิล



รูปที่ 16. Within laboratories Z-score ของธาตุนิกเกิล

ตารางที่ 22. ผลการทดสอบของธาตุโมลิบดีนัม

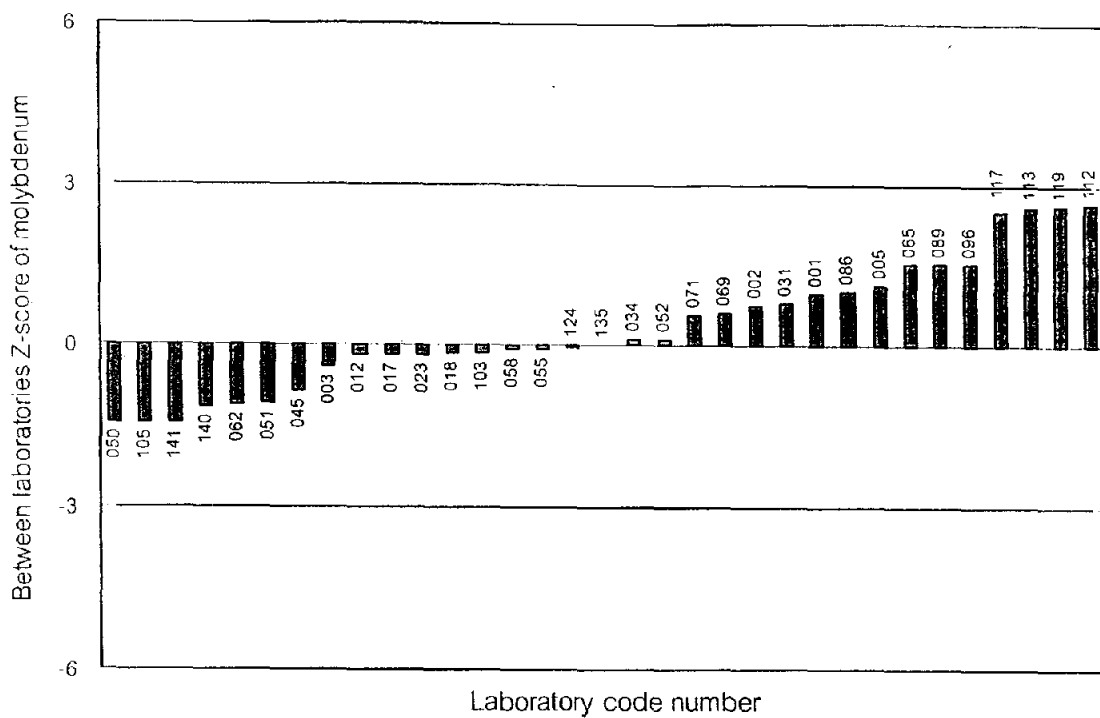
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
1	I1 0102 / 001	0.0165	0.0163	0.02319	-0.00014	0.98	-0.61
2	I1 0102 / 002	0.0147	0.0150	0.02100	0.00021	0.75	0.92
3	I1 0102 / 003	0.0071	0.0070	0.00997	-0.00007	-0.40	-0.31
4	I1 0102 / 005	0.0171	0.0174	0.02440	0.00021	1.11	0.92
5	I1 0102 / 012	0.0087	0.0082	0.01195	-0.00035	-0.19	-1.54
6	I1 0102 / 017	0.0085	0.0086	0.01209	0.00007	-0.18	0.31
7	I1 0102 / 018	0.0086	0.0087	0.01223	0.00007	-0.16	0.31
8	I1 0102 / 023	0.0086	0.0086	0.01216	0.00000	-0.17	0.00
9	I1 0102 / 031	0.0150	0.0153	0.02143	0.00021	0.80	0.92
10	I1 0102 / 034	0.0103	0.0106	0.01478	0.00021	0.10	0.92
11	I1 0102 / 045	0.0040	0.0040	0.00566	0.00000	-0.85	0.00
12	I1 0102 / 050	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000	-1.44	0.00
13	I1 0102 / 051	0.0024	0.0024	0.00339	0.00000	-1.08	0.00
14	I1 0102 / 052	0.0103	0.0106	0.01478	0.00021	0.10	0.92
15	I1 0102 / 055	0.0092	0.0095	0.01322	0.00021	-0.06	0.92
16	I1 0102 / 058	0.0094	0.0091	0.01308	-0.00021	-0.07	-0.92
17	I1 0102 / 062	0.0022	0.0022	0.00311	0.00000	-1.11	0.00
18	I1 0102 / 065	0.0200	0.0200	0.02828	0.00000	1.51	0.00
19	I1 0102 / 069	0.0138	0.0136	0.01937	-0.00014	0.58	-0.61
20	I1 0102 / 071	0.0139	0.0132	0.01916	-0.00049	0.56	-2.15
21	I1 0102 / 086	0.0167	0.0164	0.02341	-0.00021	1.00	-0.92
22	I1 0102 / 089	0.0200	0.0200	0.02828	0.00000	1.51	0.00
23	I1 0102 / 096	0.0200	0.0200	0.02828	0.00000	1.51	0.00
24	I1 0102 / 103	0.0083	0.0091	0.01230	0.00057	-0.15	2.46
25	I1 0102 / 105	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000	-1.44	0.00
26	I1 0102 / 112	0.0272	0.0283	0.03924	0.00078	2.65	3.38
27	I1 0102 / 113	0.0272	0.0270	0.03833	-0.00014	2.56	-0.61
28	I1 0102 / 117	0.0269	0.0266	0.03783	-0.00021	2.51	-0.92
29	I1 0102 / 119	0.0274	0.0277	0.03896	0.00021	2.62	0.92
30	I1 0102 / 124	0.0094	0.0095	0.01336	0.00007	-0.04	0.31

ตารางที่ 22. (ต่อ)

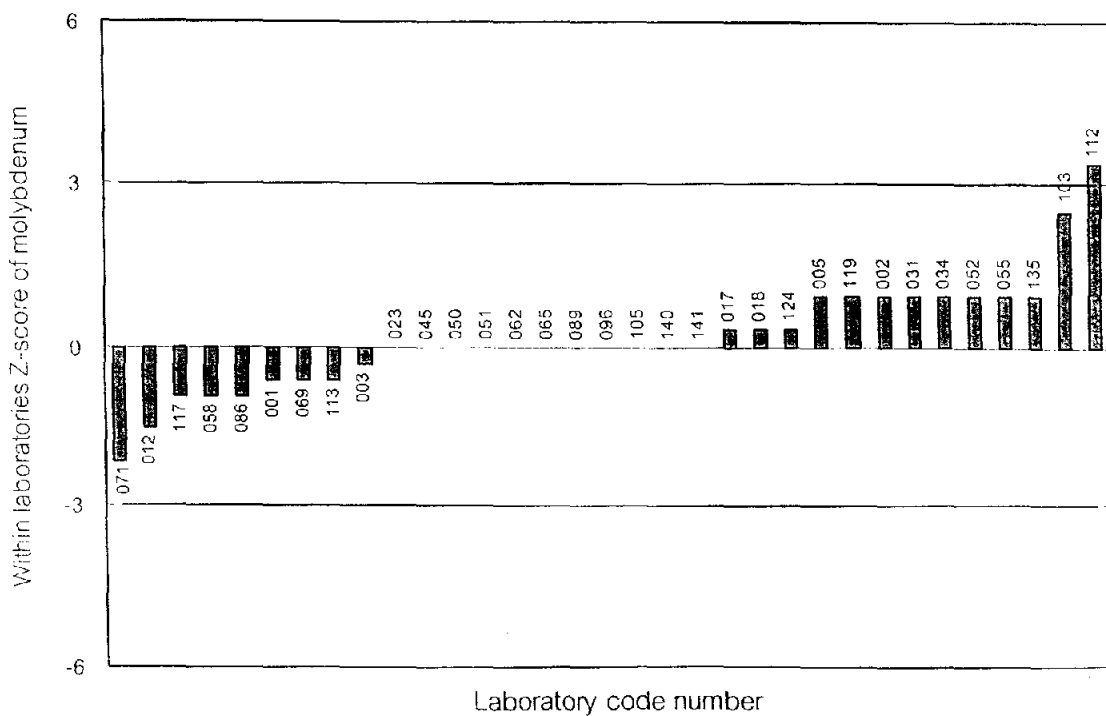
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
31	I1 0102 / 135	0.0096	0.0099	0.01379	0.00021	0.00	0.92
32	I1 0102 / 140	0.0020	0.0020	0.00283	0.00000	-1.14	0.00
33	I1 0102 / 141	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000	-1.44	0.00

ตารางที่ 23. สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุโมลิบดีนัม

รายการ	Raw data	Standardised sum	Standardised difference
No. of results	66	33	33
Median	0.00975	0.01379	0.00000
Normalised IQR	0.00658	0.00959	0.00023
Robust CV,%	67.5	69.5	∞
Minimum	0.0000	0.00000	-0.00049
Maximum	0.0283	0.15556	0.00078
Range of data	0.0283	0.15556	0.00127



รูปที่ 17. Between laboratories Z-score ของธาตุโมลิบดัม



รูปที่ 18. Within laboratories Z-score ของธาตุโมลิบดัม

ตารางที่ 24. ผลการทดสอบของธาตุอะลูมิเนียม

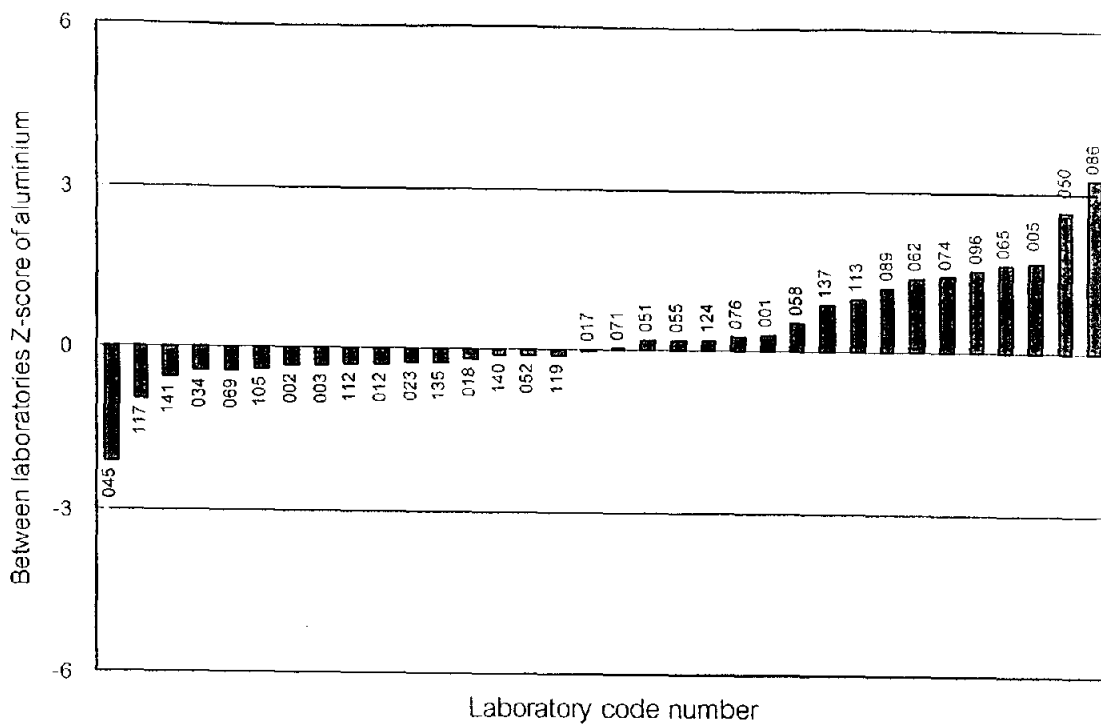
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
1	I1 0102 / 001	0.0108	0.0111	0.01549	0.00021	0.31	0.27
2	I1 0102 / 002	0.0081	0.0079	0.01131	-0.00014	-0.35	-0.18
3	I1 0102 / 003	0.0084	0.0076	0.01131	-0.00057	-0.35	-0.72
4	I1 0102 / 005	0.0144	0.0197	0.02411	0.00375	1.66	4.74
5	I1 0102 / 012	0.0084	0.0080	0.01160	-0.00028	-0.31	-0.36
6	I1 0102 / 017	0.0088	0.0100	0.01329	0.00085	-0.04	1.07
7	I1 0102 / 018	0.0089	0.0086	0.01237	-0.00021	-0.18	-0.27
8	I1 0102 / 023	0.0089	0.0080	0.01195	-0.00064	-0.25	-0.81
9	I1 0102 / 034	0.0070	0.0080	0.01061	0.00071	-0.46	0.90
10	I1 0102 / 045	0.0000	0.0000	0.00000	0.00000	-2.13	0.00
11	I1 0102 / 050	0.0214	0.0216	0.03041	0.00014	2.65	0.18
12	I1 0102 / 051	0.0099	0.0110	0.01478	0.00078	0.19	0.98
13	I1 0102 / 052	0.0098	0.0084	0.01287	-0.00099	-0.11	-1.25
14	I1 0102 / 055	0.0106	0.0103	0.01478	-0.00021	0.19	-0.27
15	I1 0102 / 058	0.0117	0.0122	0.01690	0.00035	0.53	0.45
16	I1 0102 / 062	0.0158	0.0157	0.02227	-0.00007	1.37	-0.09
17	I1 0102 / 065	0.0180	0.0160	0.02404	-0.00141	1.65	-1.79
18	I1 0102 / 069	0.0070	0.0081	0.01068	0.00078	-0.45	0.98
19	I1 0102 / 071	0.0123	0.0072	0.01379	-0.00361	0.04	-4.56
20	I1 0102 / 074	0.0195	0.0124	0.02256	-0.00502	1.42	-6.36
21	I1 0102 / 076	0.0107	0.0109	0.01527	0.00014	0.27	0.18
22	I1 0102 / 086	0.0265	0.0219	0.03422	-0.00325	3.25	-4.12
23	I1 0102 / 089	0.0150	0.0150	0.02121	0.00000	1.21	0.00
24	I1 0102 / 096	0.0160	0.0170	0.02333	0.00071	1.54	0.90
25	I1 0102 / 105	0.0078	0.0076	0.01089	-0.00014	-0.42	-0.18
26	I1 0102 / 112	0.0059	0.0104	0.01153	0.00318	-0.32	4.03
27	I1 0102 / 113	0.0187	0.0091	0.01966	-0.00679	0.96	-8.59
28	I1 0102 / 117	0.0044	0.0061	0.00742	0.00120	-0.96	1.52
29	I1 0102 / 119	0.0075	0.0107	0.01287	0.00226	-0.11	2.86
30	I1 0102 / 124	0.0103	0.0106	0.01478	0.00021	0.19	0.27

ตารางที่ 24. (ต่อ)

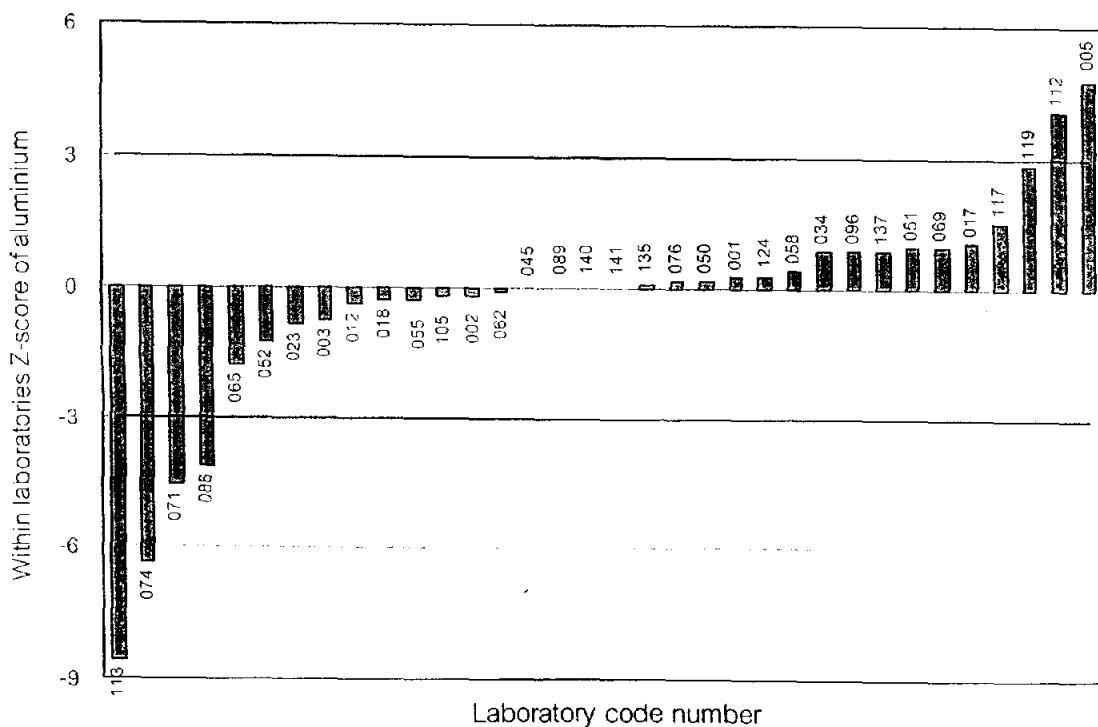
Number	Code number	Ai	Bi	Si	Di	ZBi	ZWi
31	I1 0102 / 135	0.0084	0.0085	0.01195	0.00007	-0.25	0.09
32	I1 0102 / 137	0.0130	0.0140	0.01909	0.00071	0.87	0.90
33	I1 0102 / 140	0.0090	0.0090	0.01273	0.00000	-0.13	0.00
34	I1 0102 / 141	0.0070	0.0070	0.00990	0.00000	-0.57	0.00

ตารางที่ 25. สรุปข้อมูลสถิติโรบัสต์ของธาตุอะลูมิเนียม

รายการ	Raw data	Standardised sum	Standardised difference
No. of results	68	34	34
Median	0.00995	0.01354	0.00000
Normalised IQR	0.00426	0.00635	0.00079
Robust CV,%	42.8	46.9	∞
Minimum	0	0.00000	-0.00679
Maximum	0.0265	0.03422	0.00375
Range of data	0.0265	0.03422	0.01054



รูปที่ 19. Between laboratories Z-score ของธาตุอะลูมิเนียม



รูปที่ 20. Within laboratories Z-score ของธาตุอะลูมิเนียม

บทที่ 4

วิจารณ์ผล

4.1 การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ โดยการสุ่มตัวอย่างมาร้อยละ 10 ของตัวอย่างทั้งหมด ได้ตัวอย่างจำนวน 15 ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องสปาร์กอิมิตชันสเปกโทรมิเตอร์ ในรายการทดสอบธาตุ 10 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส กำมะถัน ทองแดง โครเมียม นิกเกิล โมลิบดีนัม และอะลูมิเนียม ในการประเมินผลความเป็นเนื้อเดียวกัน จะต้องใช้วิธีทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวก่อน โดยเลือกใช้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากตารางที่ 4 พบว่าค่านัยสำคัญที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 0.05 ทุกรายการทดสอบ ยกเว้นรายการคาร์บอนและอะลูมิเนียม แสดงว่าจากการประเมินผลโดยใช้วิธีทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ตัวอย่างมีความเป็นเนื้อเดียวกันในรายการซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส กำมะถัน ทองแดง โครเมียม นิกเกิล และโมลิบดีนัม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.2 สำหรับการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่างทดสอบ ในรายการทดสอบคาร์บอนและอะลูมิเนียม โดยใช้วิธีทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าตัวอย่างไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันทางสถิตินั้น เนื่องจากค่านัยสำคัญที่คำนวณได้เป็น 0.003 และ 0.004 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 จึงทำการประเมินผลความเป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้งโดยการเปรียบเทียบค่าการวิเคราะห์ซ้ำของผลการทดสอบกับค่าการวิเคราะห์ซ้ำจากวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM E415-99a ซึ่งพบว่าค่าการวิเคราะห์ซ้ำของผลการทดสอบที่คำนวณได้แล้วเปรียบเทียบกับค่าการวิเคราะห์ซ้ำจากวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM E415-99a มีค่าน้อยกว่าค่าการวิเคราะห์ซ้ำจากวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM E415-99a ดังแสดงในตารางที่ 5 แสดงว่าตัวอย่างทดสอบมีความเป็นเนื้อเดียวกันในรายการทดสอบคาร์บอน และอะลูมิเนียม

จากข้อ 4.1 และ 4.2 สรุปได้ว่าตัวอย่างทดสอบมีความเป็นเนื้อเดียวกันในทุกรายการทดสอบ

4.3 เนื่องจากตัวอย่างทดสอบเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำที่มีความเสถียร ยกเว้นอาจเป็นสนิมได้ ถ้าเก็บตัวอย่างไว้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตามก่อนทำการวิเคราะห์ทดสอบด้วยเครื่อง

สปาร์กอิมีสชันสเปกโทรมิเตอร์ จะต้องขีดผิวหน้าของตัวอย่างก่อนทุกครั้ง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทดสอบความเสถียรของตัวอย่างทดสอบนี้

4.4 ห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญทั้งหมด 25 ห้องปฏิบัติการ จำนวน 44 ตัวอย่าง เนื่องจากบางห้องปฏิบัติการมีผู้วิเคราะห์ทดสอบมากกว่า 1 ท่าน ผลการทดสอบความชำนาญสามารถจำแนกตามค่า Z-score ได้ดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26. แสดงจำนวนผลการทดสอบความชำนาญจำแนกตามค่า Z-score

ธาตุ	จำนวนผลการทดสอบ						
	จำนวนรายการ	ZBi			ZWi		
		$ Z \leq 2$	$3 < Z < 2$	$ Z \geq 3$	$ Z \leq 2$	$3 < Z < 2$	$ Z \geq 3$
คาร์บอน	41	36	4	1	32	8	1
ซิลิคอน	44	39	4	1	39	2	3
แมงกานีส	44	34	3	7	40	1	3
ฟอสฟอรัส	43	34	7	2	29	6	8
กำมะถัน	44	34	0	10	37	2	5
ทองแดง	41	34	5	2	40	0	1
โครเมียม	43	36	1	6	31	6	6
นิกเกิล	44	38	6	0	35	8	1
โมลิบดีนัม	33	29	4	0	30	2	1
อะลูมิเนียม	34	31	2	1	27	1	6
รวม	411	345	36	30	340	36	35

ผลการประเมินของห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีค่า $|ZBi|$ และ $|ZWi|$ อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

4.5 ผลการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการที่ให้ค่า Z-score น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ดังแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 27. แสดงจำนวนห้องปฏิบัติการที่ผลการทดสอบความชำนาญให้ค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

ธาตุ	จำนวนห้องปฏิบัติการ			ร้อยละของห้องปฏิบัติการ ที่มีเกณฑ์ที่น่าพอใจ (คิดจากค่า ZBi)
	ห้องปฏิบัติการ ทั้งหมด	$ Z \leq 2$		
		ZBi	ZWi	
คาร์บอน	24	21	21	87.5
ซิลิคอน	25	22	22	88.0
แมงกานีส	25	19	23	76.0
ฟอสฟอรัส	24	19	18	79.2
กำมะถัน	25	21	21	84.0
ทองแดง	24	20	23	83.3
โครเมียม	24	21	19	87.5
นิกเกิล	25	23	20	92.0
โมลิบดีนัม	18	17	17	94.4
อะลูมิเนียม	20	18	17	90.0

เนื่องจากบางห้องปฏิบัติการไม่สามารถทำการวิเคราะห์ทดสอบธาตุได้ทั้ง 10 ชนิด ดังนั้นในการเปรียบเทียบจำนวนห้องปฏิบัติการที่ผลการทดสอบความชำนาญให้ค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ จึงจำเป็นต้องคำนวณในรูปของร้อยละของห้องปฏิบัติการที่มีเกณฑ์ที่น่าพอใจในรายการทดสอบนั้น ๆ โดยคิดจากค่า ZBi พบว่าร้อยละของห้องปฏิบัติการที่มีเกณฑ์ที่น่าพอใจอยู่ในช่วง 90.0 - 100.0 คือรายการทดสอบนิกเกิล โมลิบดีนัม และอะลูมิเนียม ส่วนร้อยละของห้องปฏิบัติการที่มีเกณฑ์ที่น่าพอใจอยู่ในช่วง 80.0 - 89.9 คือรายการทดสอบคาร์บอน ซิลิคอน กำมะถัน ทองแดง และโครเมียม ส่วนร้อยละของห้องปฏิบัติการที่มีเกณฑ์ที่น่าพอใจอยู่ในช่วง 70.0 - 79.9 คือรายการทดสอบแมงกานีส และฟอสฟอรัส

จากการประเมินผลการทดสอบความชำนาญพบว่า มีห้องปฏิบัติการเพียง 12 ห้องปฏิบัติการ เท่านั้นที่ผลการประเมินการทดสอบความชำนาญในทุกรายการทดสอบมีค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และอีก 4 2 5 1 และ 1 ห้องปฏิบัติการ มีผลการประเมินการทดสอบความชำนาญใน 9 8 7 6 และ 5 รายการทดสอบ ตามลำดับ มีค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

4.6 ผลการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการที่ให้ค่า Z-score เท่ากับหรือมากกว่า 3 ดังแสดงในตารางที่ 28

ตารางที่ 28. หมายเลขซีบ่งตัวอย่างและจำนวนห้องปฏิบัติการที่ผลการทดสอบความชำนาญให้ค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

ธาตุ	$ Z \geq 3$		
	จำนวน ห้องปฏิบัติการ	Code number (I1 0102/หมายเลขซีบ่งตัวอย่าง)	
		/ZBi/	/ZWii/
คาร์บอน	1	069	099
ซิลิคอน	2	050	050, 064, 069
แมงกานีส	5	034, 031, 050, 064, 103, 140, 141	046, 050, 064
ฟอสฟอรัส	4	052, 135	001, 045, 052, 064, 065, 077, 135, 141
กำมะถัน	4	045, 069, 071, 077, 082, 085, 112, 113, 117, 119	005, 064, 071, 096, 137
ทองแดง	2	048, 089	074
โคบอลต์	3	031, 050, 065, 089, 096, 103	005, 074, 077, 082, 085, 112
นิกเกิล	1	-	064
โมลิบดีนัม	1	-	112
อะลูมิเนียม	2	086	005, 071, 074, 086, 112, 113

จากผลการประเมินการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ พบว่ามีจำนวนห้องปฏิบัติการที่อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่น่าพอใจมากที่สุดคือ 5 ห้องปฏิบัติการ ซึ่งไม่ผ่านรายการทดสอบแมงกานีส มี 4 ห้องปฏิบัติการ ที่ไม่ผ่านรายการทดสอบฟอสฟอรัส และกำมะถัน สำหรับรายการทดสอบโครเมียม มี 3 ห้องปฏิบัติการ และรายการทดสอบซิลิคอน ทองแดง และอะลูมิเนียม มี 2 ห้องปฏิบัติการ ส่วนรายการทดสอบนิกเกิล และโมลิบดีนัม มีเพียง 1 ห้องปฏิบัติการเท่านั้นที่อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่น่าพอใจ ผลการทดสอบดังกล่าวนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากขีดความสามารถของเครื่องตรวจวัดที่แตกต่างกัน และการทวนสอบอาจไม่อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับความเข้มข้นของตัวอย่างทดสอบทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากจำนวนห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญทั้งหมด 25 ห้องปฏิบัติการ จำนวน 44 ตัวอย่าง เป็นภาครัฐ 8 ห้องปฏิบัติการ และภาคเอกชน 17 ห้องปฏิบัติการ การประเมินผลการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการเลือกใช้สถิติแบบโรบัสต์ พบว่าผลการทดสอบทั้งหมด 411 รายการ มีค่า ZBi อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ น่าสงสัย และไม่น่าพอใจ จำนวน 345 36 และ 30 รายการ ตามลำดับ และมีค่า ZWi อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ น่าสงสัย และไม่น่าพอใจ จำนวน 340 36 และ 35 รายการ ตามลำดับ จากตารางที่ 27 ในรายการทดสอบธาตุทั้ง 10 ชนิด จะเห็นได้ว่าห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีค่า ZBi และ ZWi อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แต่มีเพียง 12 ห้องปฏิบัติการเท่านั้นที่ผลการประเมินการทดสอบความชำนาญในทุกรายการทดสอบมีค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และอีก 4 2 5 1 และ 1 ห้องปฏิบัติการ มีผลการประเมินการทดสอบความชำนาญใน 9 8 7 6 และ 5 รายการทดสอบ ตามลำดับ มีค่า Z-score อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

ห้องปฏิบัติที่มีค่า $|Z| > 3$ ซึ่งตัวอย่างทดสอบที่ได้รับมีหมายเลขซึ่งบ่งตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 28 จะต้องสอบสวนหาสาเหตุ และจัดให้มีขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไข ส่วนห้องปฏิบัติที่มีค่า $2 < |Z| < 3$ ซึ่งเป็นผลการทดสอบที่อยู่ในเกณฑ์น่าสงสัย ห้องปฏิบัติการเหล่านี้ควรจะทบทวนวิธีทดสอบใหม่ และห้องปฏิบัติที่มีผลการทดสอบทุกค่าให้ผลที่แสดงถึงความสามารถเป็นที่น่าพอใจไม่ได้หมายความว่าห้องปฏิบัติานั้นเป็นห้องปฏิบัติที่ดี แต่เป้าหมายที่ต้องการคือการคงความสามารถในระดับที่น่าพอใจนี้ไว้ หรืออีกนัยหนึ่งห้องปฏิบัติที่มีผลการทดสอบไม่ดีก็ไม่ได้หมายความว่าห้องปฏิบัติที่ต่ำกว่ามาตรฐาน แต่ควรนำผลที่ได้จากการเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการมาศึกษาและแก้ไขปรับปรุงเพื่อที่จะไม่ให้เกิดซ้ำอีก

ข้อเสนอแนะและแนวทางปฏิบัติ เพื่อให้ผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

1. เครื่องมือต้องได้รับการสอบเทียบ (calibrate) ทวนสอบ (verify) หรือตรวจสอบสมรรถนะ (performance check) และมีการบำรุงรักษาที่เหมาะสมอย่างสม่ำเสมอ
2. สภาวะแวดล้อมในการวิเคราะห์ทดสอบ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ต้องมีการควบคุมให้เหมาะสมตามข้อแนะนำของคู่มือการใช้เครื่อง
3. ชิ้นงานทดสอบ (specimens) ซึ่งได้แก่ คาลิเบรนต์ (calibrants) ตัวสแตนด์ดาร์ดแดนซ์ (standardants) ตัวทวนสอบกราฟมาตรฐาน (verifiers) ตัวอย่างควบคุม (quality control sample) และตัวอย่างทดสอบ ต้องมีการขีดฉีวชิ้นงานก่อนการวิเคราะห์ทดสอบตามหลักวิชาการ นอกจากนี้ยังต้องมีการเก็บรักษาที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการเกิดสนิม
4. เลือกใช้วัสดุอ้างอิงมาตรฐาน หรือวัสดุอ้างอิงมาตรฐานรับรองที่มี matrix เหมือนกับ matrix ของตัวอย่าง ในการสร้างกราฟมาตรฐาน
5. การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์ทดสอบ
 - 5.1 มีการทวนสอบกราฟมาตรฐานหลังการสแตนด์ดาร์ดได้ โดยใช้วัสดุอ้างอิงมาตรฐาน หรือ วัสดุอ้างอิงมาตรฐานรับรอง
 - 5.2 มีการใช้ตัวอย่างควบคุม ซึ่งได้แก่ วัสดุอ้างอิง วัสดุอ้างอิงรับรอง หรือตัวอย่างที่ทราบองค์ประกอบ (QC checked sample) เพื่อควบคุมความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างไปแล้วทุก ๆ ร้อยละ 10 ของตัวอย่างทดสอบ
6. ผู้วิเคราะห์ทดสอบต้องมีความชำนาญ
7. การเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญฯ ให้ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพ ห้องปฏิบัติการต้องทดสอบตัวอย่างทดสอบอย่างไม่มีอคติ (bias) และต้องไม่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลผลการทดสอบซึ่งกันและกันก่อนส่งผลการทดสอบให้ผู้จัดการทดสอบความชำนาญฯ

ประโยชน์ที่ห้องปฏิบัติการได้รับจากการเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ

1. ห้องปฏิบัติการและผู้ให้บริการเกิดความมั่นใจในความสามารถของห้องปฏิบัติการและเชื่อมั่นในความถูกต้องของผลการทดสอบ
2. เกิดการยอมรับซึ่งกันและกันในการทดสอบของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ
3. ทำให้ห้องปฏิบัติการปรับปรุงและพัฒนาความสามารถของห้องปฏิบัติการให้ดีขึ้น
4. เป็นการประกันคุณภาพวิธีหนึ่งของผลิตภัณฑ์ส่งออก ให้เป็นไปตามกฎระเบียบข้อบังคับหรือข้อตกลงระหว่างประเทศ ลดกำแพงการค้าทางการค้า
5. ลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการวิเคราะห์ซ้ำ
6. เกิดความร่วมมือ การประสานงานของห้องปฏิบัติการในสาขาเดียวกัน
7. ลดการเสียเงินตราต่างประเทศในการเข้าร่วมโปรแกรมการทดสอบความชำนาญกับต่างประเทศ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัท เหล็กก่อสร้างสยาม จำกัด ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างทดสอบสำหรับการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ และขอขอบคุณฝ่ายบริหารทางช่าง กongsang กรมวิทยาศาสตร์บริการ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตัดตัวอย่างทดสอบ คุณส่องแสง เลี้ยวชวลิต ผู้อำนวยการโครงการเคมี คุณสุจินต์ ศรีคงศรี ผู้อำนวยการสำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ คุณเกษม พิฤทธิบุรณะ หัวหน้ากลุ่มกำกับดูแลมาตรฐานห้องปฏิบัติการ คุณวรรณภา ตันยีนยงค์ และเจ้าหน้าที่ในงานวิเคราะห์ทดสอบ ด้านแร่ โลหะ และสารปริมาณน้อย ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการดำเนินงาน ขอขอบคุณ คุณศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับเรื่องสถิติ คุณมนตรี สีมั่น ที่ได้ช่วยกรอกข้อมูลผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

1. ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข และกานดา โกมลวัฒน์ชัย. วิธีทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรของตัวอย่าง. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. พฤษภาคม, 254, ฉบับที่ 159, หน้า 32-35.
2. The International Organization for Standardization/The International Electrotechnical Commission. Proficiency testing by interlaboratory comparison part 1 : development and operation of proficiency testing schemes. ISO/IEC Guide 43-1. 1997
3. The International Organization for Standardization/The International Electrotechnical Commission. Proficiency testing by interlaboratory comparison part 2 : selection and use of proficiency testing schemes by laboratory. ISO/IEC Guide 43-2. 1997
4. International Laboratory Accreditation Bodies. Guideline for the requirements for the competence of providers for proficiency testing schemes. ILAC-G 13. 2000
5. The International Organization for Standardization/The International Electrotechnical Commission. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISO/IEC 17025. 1999.
6. The International Organization for Standardization/The International Electrochemical Commission. General requirements for calibration and testing laboratories accreditation. ISO/IEC Guide 58. 1993.
7. Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation. Procedures for establishing and maintaining mutual recognition. APLAC MR 001. 2000.
8. ประภาศรี ภูวเสถียร และครวชิต จุดประสงค์. เทคนิคการเตรียมตัวอย่างสำหรับกิจกรรมการทดสอบความชำนาญ : Homogeneity and stability testing of the test materials. 21 สิงหาคม 2546; กรมวิทยาศาสตร์บริการ : อาคารสถานศึกษาเคมีปฏิบัติ. หน้า 1-2.
9. Miller, J.C. and Miller, J.N. Statistics and chemometrics for analytical chemistry. 4th ed. London : Peason Education, 2000. p. 44 - 48, 58 - 64.

10. I.I.S. Interlaboratory studies protocol for the organization, statistics and evaluation. August. 1998.
11. 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 : metals test method and analytical procedures. West Conshohocken, PA.: ASTM, 1999, p 95-103.
12. The International Organization for Standardization/The International Electrotechnical Commission. Precision of test methods - determination of repeatability by inter - laboratory tests. ISO 5725. 1981.
13. รัชดา เหมปฐวี และจิรสา กรงกรด. เสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. มกราคม, 2546, ฉบับที่ 161, หน้า 21-24.
14. ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข และกานดา โกมลวัฒน์ชัย. การจัดการกับข้อมูลการทดสอบความชำนาญด้วยวิธีทางสถิติ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. มกราคม, 2546, ฉบับที่ 161, หน้า 29-33.

ภาคผนวก

รายชื่อผู้เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการการทดสอบด้านเคมี
การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีในตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ

ลำดับที่	หน่วยงาน	โทรศัพท์	โทรสาร
1	กองควบคุมคุณภาพ กรมอุทกหารเรือ	0-2475-4052	0-2475-4030
2	บริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด (มหาชน)	0-2754-4617-65	0-2384-2316
3	บริษัท ไทยน็อคซ์ สตีล จำกัด	0-3863-6125-32	0-3863-6072
4	บริษัท นวโลหะไทย จำกัด	0-3628-8539	0-3628-8259
5	บริษัท นิตिकासตีง จำกัด	0-2323-1022-5	0-2323-9640
6	บริษัท แม็ค ส. เจริญกิจ จำกัด	0-3482-4168-70	0-3482-4168
7	บริษัท มากอดโต จำกัด	0-3637-9015-7	0-3633-7063
8	บริษัท ยาวาด้า (ประเทศไทย) จำกัด	0-2421-3191	0-2421-1912
9	บริษัท โรงงานเหล็กกรุงเทพ จำกัด	0-2462-5201-2	0-2463-4032
10	บริษัท สมบูรณ์หล่อเหล็กเหนียวอุตสาหกรรม จำกัด	0-2312-5318-28	0-2312-5338
11	บริษัท สยามนิสสันคาสตีง จำกัด	0-3834-5528	0-3834-5537
12	บริษัท สยามยูไนเต็ดสตีล (1995) จำกัด	0-3868-5155	0-3868-7291
13	บริษัท สยามสตรีปมิลล์ จำกัด (มหาชน)	0-3886-9323 ต่อ 313	0-3886-9323 ต่อ 134
14	บริษัท เหล็กก่อสร้างสยาม จำกัด	0-3868-3968	0-3868-3969
15	บริษัท เหล็กบูรพาอุตสาหกรรม จำกัด	0-3889-7154-6	0-3889-7157
16	บริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด	0-3868-3723 ต่อ 463	0-3868-3241
17	บริษัท อุตสาหกรรมเหล็กกล้าไทย จำกัด (มหาชน)	0-3889-0420-7	0-3889-0429
18	บริษัท แอลพีเอ็น เหล็กแผ่น จำกัด	0-2815-6400-9	0-2815-6427
19	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	0-4422-4481-5	0-4422-4165
20	ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	0-2218-8030-2	0-2254-0211
21	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ	0-2644-8150-4 ต่อ 353	0-2644-8077
22	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	0-2470-8843	0-2427-8050
23	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	0-2913-2500 ต่อ 8213	0-2587-0029
24	สถาบันยานยนต์	0-2324-0710-9	0-2323-9598
25	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง ประเทศไทย	0-2323-1672	0-2323-9165

ตารางเลขสุ่ม

Supplemental Course for Studies in Surveys and Censuses

Table of Random Numbers*

1 0 8 9	8 7 1 9	2 2 7 2	1 3 5 9	3 3 2 8	0 0 1 4	6 7 7 3	1 2 7 8	2 7 6 1	3 5 5 0
9 3 8 5	7 9 0 2	5 0 3 4	6 7 2 3	3 8 3 5	6 9 7 8	7 0 8 4	3 9 9 2	5 8 5 7	2 3 7 7
6 9 3 4	8 6 6 0	0 3 1 1	2 9 7 9	0 0 9 5	2 6 4 7	8 2 9 9	5 1 6 3	0 0 7 3	7 7 8 8
0 0 5 2	1 0 0 7	4 8 6 6	6 4 9 7	4 1 3 8	8 1 4 4	0 2 9 4	2 9 0 6	0 3 1 6	4 8 1 0
5 7 3 6	9 2 4 9	3 0 6 2	7 6 0 4	8 1 3 7	4 5 7 5	2 2 4 5	6 3 0 9	1 6 0 1	3 5 8 0
1 9 0 1	5 9 8 8	2 6 3 3	8 6 0 5	2 0 6 4	0 7 3 6	3 0 4 6	0 6 1 2	9 6 6 3	3 6 6 3
5 3 7 2	6 2 1 2	9 6 7 5	0 2 8 6	6 8 2 5	7 8 8 3	5 7 7 8	2 6 8 0	1 2 2 7	5 1 8 5
4 0 5 7	0 7 6 2	6 4 6 9	2 7 3 5	5 0 8 2	3 8 5 2	7 4 5 7	5 7 2 9	8 4 3 6	6 4 7 8
5 4 8 4	0 7 7 0	7 2 2 2	4 9 1 2	0 0 6 2	0 6 0 9	9 2 9 1	4 0 5 6	5 0 3 4	8 3 5 9
0 1 2 5	8 5 9 2	3 7 2 9	7 8 5 8	5 1 5 3	7 2 0 0	1 3 0 8	9 6 3 8	0 3 4 5	9 2 9 3
5 5 8 7	2 6 9 8	2 7 8 4	0 4 5 8	0 1 2 2	4 7 2 1	3 9 6 3	2 9 1 6	3 7 6 3	0 4 5 8
7 9 6 3	1 9 3 7	6 0 0 2	4 4 9 0	5 4 9 4	2 6 1 7	6 8 1 8	7 1 2 0	8 4 9 5	2 6 9 2
8 8 9 4	0 5 4 6	6 7 7 1	8 4 0 1	1 3 5 9	9 9 3 5	8 5 9 4	7 5 1 3	8 3 0 3	0 6 4 9
9 0 9 0	2 9 7 2	0 9 3 2	3 9 0 7	6 0 7 7	7 3 7 4	0 9 9 2	8 9 5 1	6 7 2 3	8 7 4 8
7 9 8 6	0 1 3 2	8 6 8 3	8 5 6 8	2 3 7 4	4 2 1 5	3 5 7 4	4 1 7 7	8 4 9 5	6 6 6 2
2 6 7 6	6 1 2 3	4 3 5 2	3 1 9 5	8 5 0 5	2 5 9 9	6 5 2 6	2 2 0 0	2 2 6 9	3 8 6 4
1 7 2 7	5 3 6 3	5 3 1 9	9 6 1 0	4 5 5 6	0 7 6 0	8 2 4 3	7 4 0 6	7 2 2 2	0 6 7 5
4 7 1 0	7 8 9 2	3 2 5 8	2 5 0 4	0 4 4 3	8 0 4 2	1 7 1 2	0 5 8 8	3 9 0 7	8 1 6 6
7 6 5 4	5 8 2 0	1 4 2 8	1 6 5 7	7 1 5 2	7 3 2 9	4 2 2 9	7 7 9 9	9 5 5 1	6 4 5 3
1 4 9 9	2 9 0 8	6 1 9 3	8 3 0 9	4 6 9 9	5 5 7 2	7 5 9 0	9 3 6 9	6 8 4 7	4 5 2 3
0 0 1 2	8 5 2 0	9 5 3 5	3 8 2 0	0 0 6 0	4 4 5 6	0 7 0 1	6 7 2 3	1 0 5 5	5 0 0 4
4 1 1 7	6 7 9 7	4 4 2 7	6 9 1 9	7 0 2 6	2 6 4 3	3 5 8 6	9 6 9 7	2 8 1 1	6 4 7 9
4 0 6 9	0 2 2 8	6 2 1 5	3 0 9 8	4 9 3 8	1 8 2 3	6 8 8 6	9 3 1 3	2 7 0 9	7 6 1 3
0 5 8 1	5 8 2 6	2 2 1 2	2 6 6 8	2 8 2 4	0 7 6 4	0 7 2 9	0 9 0 5	3 8 0 2	9 6 3 6
1 5 5 5	9 9 1 0	4 0 8 2	0 0 3 7	9 6 9 1	0 2 3 5	3 5 2 5	5 2 1 4	4 5 3 3	0 1 5 3
7 3 8 4	6 2 1 7	3 4 3 8	9 0 9 4	5 7 5 2	9 5 2 6	7 2 7 6	1 8 3 6	7 5 9 1	7 9 7 6
4 7 8 6	4 0 9 4	5 6 4 6	8 8 9 3	5 0 1 5	8 7 5 3	0 8 7 5	4 5 3 1	9 5 8 2	9 2 4 3
7 8 7 2	5 2 2 8	3 2 4 2	8 4 4 6	3 3 2 2	4 6 1 2	4 5 2 2	0 5 8 5	0 3 6 7	2 3 5 2
2 2 9 7	3 0 8 4	8 9 6 9	8 0 8 7	1 4 3 1	3 0 5 0	8 6 0 1	4 1 1 1	2 0 3 4	5 2 8 9
0 8 5 8	9 1 5 2	8 6 4 1	9 6 7 8	0 4 4 7	1 3 3 0	1 2 8 5	4 9 3 3	5 5 4 5	8 4 0 5
9 9 9 6	2 9 1 9	6 0 8 6	0 7 7 9	8 3 5 7	2 5 1 9	5 9 4 1	7 8 9 5	9 3 8 1	4 0 5 6
4 7 0 3	2 5 3 7	5 3 8 1	1 3 5 6	6 9 4 9	1 4 8 8	0 9 8 8	0 3 6 9	4 2 0 8	0 4 1 3
7 3 1 1	4 1 1 0	5 0 1 7	3 6 3 3	5 5 6 5	8 5 0 7	3 9 7 3	0 4 7 7	9 1 6 7	5 6 1 2
0 0 1 6	6 3 8 0	3 0 7 1	5 7 5 8	4 8 6 7	9 9 7 5	8 7 0 4	1 4 6 8	4 8 8 4	1 8 7 0
3 8 1 8	4 6 0 7	3 9 9 6	8 5 3 5	3 5 0 3	0 6 2 3	2 4 8 5	2 5 9 5	9 5 4 5	1 0 3 5
0 7 4 7	5 4 5 4	9 2 6 0	1 4 1 6	2 1 7 1	0 5 2 5	6 0 1 6	9 4 3 0	2 2 5 3	2 1 7 6
2 9 2 8	6 8 7 7	2 5 7 0	4 0 4 9	2 0 7 3	1 2 2 0	0 5 9 3	4 6 9 0	1 3 4 2	8 6 6 4
2 9 6 2	3 2 1 8	7 9 8 5	8 6 5 9	2 7 6 7	2 8 1 8	5 9 8 1	9 1 6 2	5 4 9 8	0 1 8 4
1 5 6 0	3 0 0 4	0 8 8 3	2 3 3 9	1 3 6 3	4 2 1 9	0 1 8 9	4 4 5 3	2 3 6 4	0 9 0 0
0 8 0 6	1 9 7 0	4 1 3 0	7 9 9 8	1 7 3 0	5 2 4 3	4 2 1 2	0 6 2 1	8 4 3 9	9 8 9 8

* From Tracts for Computers, No. XV, Random Sampling Numbers, arranged by I.E.C. Tippett. Cambridge University Press, London, 1927.

ตาราง F-test แบบทางเดียว

Table A.3 Critical values of F for a one-tailed test ($P = 0.05$)

v_2	v_1												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45
3	10.13	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.786	8.745	8.703	8.660
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.912	5.858	5.803
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.678	4.619	4.558
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.000	3.938	3.874
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.575	3.511	3.445
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.687	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.284	3.218	3.150
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.073	3.006	2.936
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.913	2.845	2.774
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.788	2.719	2.646
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.687	2.617	2.544
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.604	2.533	2.459
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.534	2.463	2.388
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.475	2.403	2.328
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.425	2.352	2.276
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.381	2.308	2.230
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.342	2.269	2.191
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.308	2.234	2.155
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.278	2.203	2.124

v_1 = number of degrees of freedom of the numerator and v_2 = number of degrees of freedom of the denominator.

ตาราง F-test แบบสองหาง

Table A.4 Critical values of F for a two-tailed test ($P = 0.05$)

v_2	v_1												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
1	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3	968.6	976.7	984.9	993.1
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17
4	12.22	10.65	9.979	9.605	9.364	9.197	9.074	8.980	8.905	8.844	8.751	8.657	8.560
5	10.01	8.434	7.764	7.388	7.146	6.978	6.853	6.757	6.681	6.619	6.525	6.428	6.329
6	8.813	7.260	6.599	6.227	5.988	5.820	5.695	5.600	5.523	5.461	5.366	5.269	5.168
7	8.073	6.542	5.890	5.523	5.285	5.119	4.995	4.899	4.823	4.761	4.666	4.568	4.467
8	7.571	6.059	5.416	5.053	4.817	4.652	4.529	4.433	4.357	4.295	4.200	4.101	3.999
9	7.209	5.715	5.078	4.718	4.484	4.320	4.197	4.102	4.026	3.964	3.868	3.769	3.667
10	6.937	5.456	4.826	4.468	4.236	4.072	3.950	3.855	3.779	3.717	3.621	3.522	3.419
11	6.724	5.256	4.630	4.275	4.044	3.881	3.759	3.664	3.588	3.526	3.430	3.330	3.226
12	6.554	5.096	4.474	4.121	3.891	3.728	3.607	3.512	3.436	3.374	3.277	3.177	3.073
13	6.414	4.965	4.347	3.996	3.767	3.604	3.483	3.388	3.312	3.250	3.153	3.053	2.948
14	6.298	4.857	4.242	3.892	3.663	3.501	3.380	3.285	3.209	3.147	3.050	2.949	2.844
15	6.200	4.765	4.153	3.804	3.576	3.415	3.293	3.199	3.123	3.060	2.963	2.862	2.756
16	6.115	4.687	4.077	3.729	3.502	3.341	3.219	3.125	3.049	2.986	2.889	2.788	2.681
17	6.042	4.619	4.011	3.665	3.438	3.277	3.156	3.061	2.985	2.922	2.825	2.723	2.616
18	5.978	4.560	3.954	3.608	3.382	3.221	3.100	3.005	2.929	2.866	2.769	2.667	2.559
19	5.922	4.508	3.903	3.559	3.333	3.172	3.051	2.956	2.880	2.817	2.720	2.617	2.509
20	5.871	4.461	3.859	3.515	3.289	3.128	3.007	2.913	2.837	2.774	2.676	2.573	2.464

v_1 = number of degrees of freedom of the numerator and v_2 = number of degrees of freedom of the denominator.

ตาราง t-test

Table A.2 The t-distribution

Value of t for a confidence interval of	90%	95%	98%	99%
Critical value of t for P values of number of degrees of freedom	0.10	0.05	0.02	0.01
1	6.31	12.71	31.82	63.66
2	2.92	4.30	6.96	9.92
3	2.35	3.18	4.54	5.84
4	2.13	2.78	3.75	4.60
5	2.02	2.57	3.36	4.03
6	1.94	2.45	3.14	3.71
7	1.89	2.36	3.00	3.50
8	1.86	2.31	2.90	3.36
9	1.83	2.26	2.82	3.25
10	1.81	2.23	2.76	3.17
12	1.78	2.18	2.68	3.05
14	1.76	2.14	2.62	2.98
16	1.75	2.12	2.58	2.92
18	1.73	2.10	2.55	2.88
20	1.72	2.09	2.53	2.85
30	1.70	2.04	2.46	2.75
50	1.68	2.01	2.40	2.68
∞	1.64	1.96	2.33	2.58

The critical values of |t| are appropriate for a two-tailed test. For a one-tailed test the value is taken from the column for twice the desired P-value, e.g. for a one-tailed test, $P = 0.05$, 5 degrees of freedom, the critical value is read from the $P = 0.10$ column and is equal to 2.02.

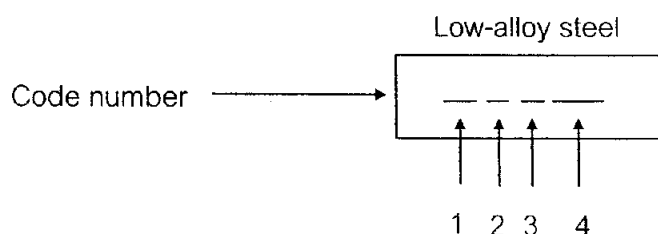
การทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการทดสอบด้านเคมี
การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีในตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ

รายละเอียดคำแนะนำในการปฏิบัติการทดสอบ

วัตถุประสงค์ : เป็นการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการทดสอบด้านเคมี ในการหาส่วนประกอบทางเคมีในตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เข้าร่วมโครงการฯ นอกจากนี้จะทำให้เกิดความมั่นใจในผลการทดสอบแล้ว ยังสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาห้องปฏิบัติการและบุคลากรของตนให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และยังเป็นการควบคุมคุณภาพของการวิเคราะห์จากภายนอกอีกด้วย

เพื่อให้ผลการทดสอบบรรลุวัตถุประสงค์ จึงใคร่ขอชี้แจงรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1. ห้องปฏิบัติการของท่านจะได้รับตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ จำนวน 1 ตัวอย่าง ต่อผู้เข้าร่วมการทดสอบความชำนาญ 1 ท่าน
2. ตัวอย่างมีลักษณะเป็นแท่งโลหะเหล็กทรงกระบอกตัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร สูงประมาณ 3 เซนติเมตร มีหมายเลขชี้บ่งเป็นตัวเลข 3 หลักอยู่ด้านข้างของตัวอย่าง บรรจุในกล่องพลาสติกใส มีฝาปิดและข้างกล่องจะมีฉลากระบุดังนี้



ส่วนที่ 1 หมายถึง กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 (inorganic chemistry subdivision 1, I1)

ส่วนที่ 2 หมายถึง ครั้งที่ดำเนินการ

ส่วนที่ 3 หมายถึง ปีที่ดำเนินการ

ส่วนที่ 4 หมายถึง หมายเลขชี้บ่งตัวอย่าง

3. ให้รายงานผลการทดสอบ 2 ค่า ต่อ 1 ตัวอย่าง และจะต้องเป็นวิธีทดสอบเดียวกัน ผู้ทดสอบคนเดียวกัน ภายในระยะเวลาใกล้เคียงกัน โดยใช้เครื่องมือเครื่องเดียวกัน

4. ผลการทดสอบให้ออกในใบรายงานผลการทดสอบ โดยใช้ code number ที่ให้ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าผลการทดสอบของแต่ละห้องปฏิบัติการจะถูกรักษาไว้เป็นความลับ

5. การรายงานผลการทดสอบให้รายงานตามจำนวนทศนิยมที่ระบุไว้

6. ใบรายงานผลการทดสอบกรุณาส่งถึงกลุ่มงานฯ ภายในวันพุธที่ 31 กรกฎาคม 2545

การทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการทดสอบด้านเคมี
การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีในตัวอย่างเหล็กกล้าคาร์บอนเจือต่ำ

ใบรายงานผลการทดสอบ

Code number

ธาตุที่วิเคราะห์	ผลการทดสอบ (%)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
Carbon (0.001%)		
Silicon (0.001%)		
Manganese (0.001%)		
Phosphorus (0.0001%)		
Sulfur (0.0001%)		
Copper (0.001%)		
Chromium (0.0001%)		
Nickel (0.001%)		
Molybdenum (0.0001%)		
Aluminium (0.0001%)		

ลงชื่อผู้วิเคราะห์

(.....)

ตำแหน่ง

หน่วยงาน

วันที่

โปรดส่งใบรายงานผลการทดสอบถึง กลุ่มงานอนินทรีย์เคมีวิเคราะห์ 1 กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ หรือที่
โทรสาร 0-2248-0290 ภายในวันพุธที่ 31 กรกฎาคม 2545

ติดต่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่นางสาวนิระนารด แจ้ทอง โทรศัพท์ 0-2201-7347-9

e-mail address : neenart@mail.dss.go.th

ข้อมูลดิบในการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน

Code number	ครั้งที่ทดสอบ	คาร์บอน, %	ซิลิคอน, %	แมงกานีส, %	ฟอสฟอรัส, %	กำมะถัน, %
045	1	0.1599	0.2394	0.5173	0.0081	0.0203
	2	0.1611	0.2382	0.5106	0.0072	0.0185
	3	0.1576	0.2405	0.5156	0.0079	0.0195
122	1	0.1526	0.2349	0.5010	0.0068	0.0184
	2	0.1524	0.2418	0.5156	0.0075	0.0203
	3	0.1514	0.2448	0.5138	0.0078	0.0219
135	1	0.1593	0.2451	0.5205	0.0071	0.0188
	2	0.1536	0.2398	0.5097	0.0067	0.0187
	3	0.1566	0.2476	0.5236	0.0077	0.0206
031	1	0.1561	0.2400	0.5136	0.0068	0.0188
	2	0.1542	0.2421	0.5183	0.0075	0.0197
	3	0.1558	0.2419	0.5146	0.0079	0.0209
098	1	0.1522	0.2420	0.5186	0.0074	0.0191
	2	0.1553	0.2430	0.5197	0.0079	0.0205
	3	0.1479	0.2347	0.5061	0.0075	0.0202
105	1	0.1533	0.2394	0.5127	0.0072	0.0190
	2	0.1505	0.2338	0.5049	0.0072	0.0190
	3	0.1503	0.2364	0.5055	0.0075	0.0197
073	1	0.1541	0.2396	0.5103	0.0064	0.0187
	2	0.1547	0.2405	0.5158	0.0076	0.0197
	3	0.1503	0.2427	0.5167	0.0073	0.0186
034	1	0.1535	0.2408	0.5176	0.0078	0.0186
	2	0.1551	0.2380	0.5139	0.0081	0.0193
	3	0.1542	0.2454	0.5211	0.0080	0.0196
007	1	0.1581	0.2417	0.5171	0.0074	0.0185
	2	0.1495	0.2419	0.5146	0.0068	0.0187
	3	0.1518	0.2412	0.5160	0.0069	0.0187
015	1	0.1543	0.2398	0.5124	0.0068	0.0184
	2	0.1554	0.2404	0.5172	0.0074	0.0185
	3	0.1511	0.2432	0.5200	0.0074	0.0182
012	1	0.1539	0.2410	0.5123	0.0069	0.0196
	2	0.1552	0.2450	0.5214	0.0079	0.0203
	3	0.1532	0.2419	0.5206	0.0084	0.0206
077	1	0.1599	0.2442	0.5208	0.0079	0.0209
	2	0.1534	0.2419	0.5184	0.0079	0.0205
	3	0.1560	0.2429	0.5235	0.0086	0.0197
141	1	0.1602	0.2386	0.5146	0.0074	0.0191
	2	0.1615	0.2397	0.5157	0.0081	0.0198
	3	0.1590	0.2419	0.5177	0.0082	0.0198
003	1	0.1526	0.2374	0.5116	0.0082	0.0198
	2	0.1542	0.2396	0.5117	0.0079	0.0187
	3	0.1549	0.2382	0.5093	0.0076	0.0184
064	1	0.1606	0.2405	0.5169	0.0079	0.0190
	2	0.1519	0.2405	0.5112	0.0075	0.0188
	3	0.1563	0.2434	0.5183	0.0082	0.0201
SD		0.00330	0.00285	0.00496	0.00051	0.00086

ข้อมูลดิบในการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน

Code number	ครั้งที่ทดสอบ	ทองแดง, %	โครเมียม, %	นิกเกิล, %	โมลิบดีนัม, %	อะลูมิเนียม, %
045	1	0.1688	0.0392	0.0720	0.0121	0.0178
	2	0.1701	0.0381	0.0721	0.0114	0.0132
	3	0.1721	0.0386	0.0727	0.0118	0.0151
122	1	0.1657	0.0367	0.0702	0.0108	0.0146
	2	0.1741	0.0381	0.0733	0.0117	0.0154
	3	0.1764	0.0381	0.0734	0.0119	0.0175
135	1	0.1732	0.0381	0.0736	0.0120	0.0124
	2	0.1726	0.0371	0.0720	0.0116	0.0147
	3	0.1760	0.0386	0.0748	0.0125	0.0139
031	1	0.1683	0.0377	0.0716	0.0118	0.0129
	2	0.1734	0.0379	0.0728	0.0119	0.0127
	3	0.1752	0.0378	0.0722	0.0119	0.0127
098	1	0.1707	0.0381	0.0727	0.0122	0.0128
	2	0.1713	0.0383	0.0728	0.0123	0.0136
	3	0.1675	0.0372	0.0709	0.0116	0.0125
105	1	0.1698	0.0376	0.0713	0.0118	0.0125
	2	0.1644	0.3069	0.0700	0.0110	0.0130
	3	0.1665	0.0368	0.0706	0.0115	0.0142
073	1	0.1674	0.0372	0.0708	0.0116	0.0131
	2	0.1697	0.0379	0.0718	0.0120	0.0125
	3	0.1731	0.0381	0.0738	0.0122	0.0121
034	1	0.1702	0.0380	0.0723	0.0117	0.0141
	2	0.1684	0.0377	0.0707	0.0116	0.0122
	3	0.1753	0.0387	0.0731	0.0124	0.0133
007	1	0.1705	0.0382	0.0724	0.0120	0.0118
	2	0.1725	0.0377	0.0729	0.0116	0.0131
	3	0.1720	0.0379	0.0732	0.0115	0.0119
015	1	0.1694	0.0376	0.0720	0.0116	0.0119
	2	0.1704	0.0381	0.0723	0.0121	0.0119
	3	0.1739	0.0382	0.0735	0.0119	0.0126
012	1	0.1697	0.0376	0.0724	0.0116	0.0141
	2	0.1756	0.0384	0.0740	0.0123	0.0165
	3	0.1743	0.0386	0.0734	0.0122	0.0136
077	1	0.1717	0.0384	0.0729	0.0119	0.0167
	2	0.1716	0.0381	0.0728	0.0121	0.0140
	3	0.1777	0.0387	0.0734	0.0121	0.0134
141	1	0.1672	0.0379	0.0714	0.0115	0.0125
	2	0.1685	0.0383	0.0717	0.0119	0.0129
	3	0.1697	0.0383	0.0717	0.0120	0.0131
003	1	0.1675	0.0383	0.0712	0.0118	0.0136
	2	0.1693	0.0381	0.0719	0.0117	0.0127
	3	0.1706	0.0379	0.0717	0.0114	0.0126
064	1	0.1689	0.0384	0.0717	0.0118	0.0124
	2	0.1687	0.0377	0.0714	0.0114	0.0140
	3	0.1751	0.0383	0.0735	0.0116	0.0132
SD		0.00308	0.04009	0.00106	0.00034	0.00144