สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ง
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
รายการตาราง		ญ
รายการรูปประกอบ		ฏ
บทที่		
1. บทนำ		**1**
1.1	ที่มาและความสำคัญ	1
1.2	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3	ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	2
2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง		**4**
2.1	ความร้อนและอุณหภูมิ	4
2.1.1	ความร้อน	4
2.1.2	อุณหภูมิ	5
2.1.3	ปริมาณความร้อนของวัตถุ	6
2.2	การถ่ายโอนพลังงานความร้อน	9
2.2.1	การนำความร้อน	9
2.2.2	การพาความร้อน	10
2.2.3	การแผ่รังสีความร้อน	11
2.3	การขยายตัวทางความร้อนของของแข็ง	12
2.3.1	การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อน	13
2.3.2	การขยายตัวเชิงพื้นที่เนื่องจากความร้อน	14
2.3.3	การขยายตัวเชิงปริมาตรเนื่องจากความร้อน	15

	2.4	เทคนิคและการทดลองที่เกี่ยวกับหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของโลหะ	16
	2.4.1	ชุดการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อนของโลหะโดยใช้เกจวัดความยาว	16
	2.4.2	เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน	19
	2.4.3	ชุดการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อนของโลหะโดยใช้จุดสัมผัสไฟฟ้า	20
	2.4.4	การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะโดยสมบัติการสะท้อนของแสง	21
	2.4.5	การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะโดยใช้สลิตเดี่ยว	23
	2.5	การเลี้ยวเบนของแสงผ่านช่องสลิตเดี่ยว	24
	2.6	สมบัติของโลหะที่นำมาศึกษา	29
	2.6.1	ทองแดง	29
	2.6.2	อะลูมิเนียม	33
	2.6.3	สแตนเลส	36
3.	**การดำเนินการวิจัย**		**40**
	3.1	การออกแบบชุดการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของโลหะจากเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์	41
	3.2	การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของโลหะจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสง	43
4.	**ผลการทดลอง**		**47**
	4.1	ชุดการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของโลหะจากเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์	47
	4.2	ผลการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของโลหะจากเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์	51
5.	**สรุปผลการทดลอง**		**56**
	5.1	สรุปผลการทดลอง	56
	5.2	ข้อเสนอแนะ	57

เอกสารอ้างอิง **58**

ภาคผนวก **60**

ก ระยะห่างระหว่างแถบมืดของรูปแบบการเลี้ยวเบนแสงที่อุณหภูมิต่างๆ ของแท่งโลหะตัวอย่าง 60

ประวัติผู้วิจัย **63**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1	ความจุความร้อนจำเพาะของสาร	7
2.2	ค่าความร้อนแผงจำเพาะของสาร	8
2.3	ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อนของโลหะชนิดต่างๆ	13
2.4	สมบัติทางกายภาพของทองแดง รหัส copper UNS C11000	32
2.5	สมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียม (aluminum 6063)	35
2.6	สมบัติทางกายภาพของสแตนเลส (stainless steel 314)	39
4.1	ตารางแสดงค่า T, y และ $\frac{1}{y}$ ของโลหะอะลูมิเนียม	52
4.2	ตารางแสดงค่า T, y และ $\frac{1}{y}$ ของโลหะทองแดง	52
4.3	ตารางแสดงค่า T, y และ $\frac{1}{y}$ ของโลหะสแตนเลส	53
4.4	ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของโลหะที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบค่าอ้างอิง	55
ก.1	ระยะห่างระหว่างแถบมืดใดๆ ของรูปแบบการเลี้ยวเบนแสงที่ปรากฏบนฉากเมื่ออุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียม รหัส 6063 มีค่าตั้งแต่ 30 – 79 °C	61
ก.2	ระยะห่างระหว่างแถบมืดใดๆ ของรูปแบบการเลี้ยวเบนแสงที่ปรากฏบนฉากเมื่ออุณหภูมิของแท่งทองแดง UNS C11000 มีค่าตั้งแต่ 29 – 81 °C	62
ก.3	ระยะห่างระหว่างแถบมืดใดๆ ของรูปแบบการเลี้ยวเบนแสงที่ปรากฏบนฉากเมื่ออุณหภูมิของแท่งสแตนเลส รหัส 314 มีค่าตั้งแต่ 29 – 81 °C	62

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	การถ่ายเทความร้อนในสภาพคงตัวเนื่องจากการนำความร้อนในแท่งวัตถุที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งแท่ง	9
2.2	การถ่ายโอนพลังงานความร้อน	11
2.3	รูปแบบการขยายตัวทางความร้อนเชิงเส้น พื้นที่ และปริมาตรของโลหะตามลำดับ	12
2.4	ชุดการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อนของโลหะโดยใช้เกจวัดความยาว (PHYWE)	17
2.5	ชุดเครื่องมือหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อนของโลหะโดยใช้เกจวัดความยาว (Lambda)	17
2.6	เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะ (NETZSCH)	19
2.7	ตัวอย่างชุดทดลองการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะโดยใช้จุดสัมผัสไฟฟ้า	20
2.8	ชุดทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะโดยสมบัติการสะท้อนของแสง	21
2.9	ชุดทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของโลหะโดยใช้สลิตเดี่ยว	23
2.10	การเคลื่อนที่ของอนุภาคผ่านช่องแคบ	24
2.11	การเลี้ยวเบนของคลื่น	25
2.12	การเลี้ยวเบนของแสงผ่านวัตถุทึบแสง	25
2.13	แบบอย่างการเลี้ยวเบนเฟรานโฮเฟอร์	27
2.14	รังสีขนานจากช่องเล็กยาวเดียวไปสู่ตำแหน่ง P	28
2.15	ทองแดงหลอมเหลวที่ได้จากการถลุงทองแดง	30
2.16	การทำให้ทองแดงบริสุทธิ์มากขึ้น ด้วยอิเล็กโตรไลซิส	31
2.17	การผลิตอะลูมิเนียมจากอิเล็กโตรไลซิส Hall process	34
3.1	แสดงแบบจำลองการติดตั้งชุดการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของโลหะจากเทคนิคเลี้ยวเบนแสงเลเซอร์	40
3.2	แสดงชุดจับยึดแท่งโลหะตัวอย่าง	41
3.3	แสดงระบบให้ความร้อนกับแท่งโลหะตัวอย่าง	42

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.4	แสดงแท่งโลหะตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย	43
3.5	แสดงตำแหน่งของแถบมืดสำหรับการเลี้ยวเบนแสงผ่าน single slit ที่มีความกว้าง d	44
3.6	ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์จากการทดลอง	45
3.7	แสดงการขีดระยะห่างระหว่างริ้วมืดของแผนภาพการเลี้ยวเบนที่เกิดบนฉาก	45
4.1	ส่วนประกอบของชุดจับยึดแท่งโลหะ (ก) ชุดจับยึดใบมีดโกนทั้ง 2 ใบ (ข) ห่วงจับยึดท่อทรงกระบอก (ค) แท่นวางและเสาเหล็ก และ (ง) ท่อพีวีซีทรงกระบอก	48
4.2	การติดตั้งชุดจับยึดแท่งโลหะ (ก) ชุดจับยึดแท่งโลหะและใบมีดโกน และ (ข) การติดตั้งใบมีดโกนทั้ง 2 ใบ	48
4.3	ชุดระบบให้ความร้อน	49
4.4	การติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและสลิตเดี่ยว (ก) สลิตเดี่ยว (ข) เลเซอร์ He-Ne และ (ค) แหล่งกำเนิดแสงและสลิตเดี่ยว	50
4.5	ชุดการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของโลหะจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสง	50
4.6	แผนภาพการเลี้ยวเบนแสงกับระยะห่างของสลิตเดี่ยวที่ได้จากการทดลอง	51
4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\frac{1}{y}(\mathrm{m}^{-1})$ กับ $T\,(^{\circ}\mathrm{C})$ ของอะลูมิเนียม รหัส 6063 ที่ได้จากการทดลอง	53
4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\frac{1}{y}(\mathrm{m}^{-1})$ กับ $T\,(^{\circ}\mathrm{C})$ ของทองแดง รหัส UNS C11000 ที่ได้จากการทดลอง	54
4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\frac{1}{y}(\mathrm{m}^{-1})$ กับ $T\,(^{\circ}\mathrm{C})$ ของสแตนเลส รหัส 314 ที่ได้จากการทดลอง	54
5.1	การนำชุดทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของโลหะจากเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ใช้ในการเรียนการสอน	57
ก.1	แสดงการวัดตำแหน่งระยะห่างระหว่างแถบมืดใดๆ ของรูปแบบการเลี้ยวเบนแสงที่ปรากฏบนฉาก	61