สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องมือวัดค่าการนำความร้อนของอาหาร

(Food Thermal Conductivity Device)

T097005

นางสาวจันทร์ทิพย์ ทุมวงศ์
นายเทพพิทักษ์ วรสิทธิ์
นางสาวมณีรัตน์ ศรีชมภู

ปพ.
จ262ค
2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....97005.....
วัน,เดือน,ปี.....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

เครื่องมือวัดค่าการนำความร้อนของอาหาร

(Food Thermal Conductivity Device)

โดย

นางสาวจันทร์ทิพย์ ทุมวงศ์ รหัส 40044490

นายเทพพิทักษ์ วรสิทธิ์ รหัส 40044493

นางสาวมณีรัตน์ ศรีชมภู รหัส 40044496

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 16/3/11 **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

(ผ.ศ.ดร.ชัยยุทธ)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....

( )

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จันทร์ทิพย์ ทุมวงศ์ เทพพิทักษ์ วรสิทธิ์ และมณีรัตน์ ศรีชมภู.2544 : เครื่องมือวัดค่าการนำความร้อนของอาหาร(Food Thermal Conductivity Device).ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์สนธิสุข ธีระชัยชยุติ , 50 หน้า

การออกแบบเครื่องมือวัดค่าการนำความร้อนของอาหาร มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือวัดค่าการนำความร้อนของอาหารที่มีประสิทธิภาพและราคาถูก โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องที่ออกแบบประกอบด้วย เครื่องทำความร้อน (Heater) เทอร์โมคัปเปิล ภาชนะบรรจุ แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ เครื่องมือวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ประกอบไว้ในโครงสร้างเดียวกัน เพื่อสะดวกในการใช้งาน ตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการทดลองได้แก่ มันฝรั่งบด แครอทบด หมูบด ไข่ไก่ ไข่ขาว ไข่แดง เกลือ น้ำตาลทราย แป้งสาลี แป้งข้าวโพด ซอสมะเขือเทศ ซอสพริก นมสดพาสเจอร์ไรส์และน้ำกลั่น

การทดลองพบว่าเครื่องมือที่ออกแบบสามารถวัดค่าการนำความร้อนของกลุ่มอาหารที่มีลักษณะเป็นกึ่งแข็งกึ่งเหลว ได้มีประสิทธิภาพที่สุด โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$k = (4.07 \times 10^{-2}) / \Delta e$$

ซึ่งจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm$ 5 % ส่วนกลุ่มอาหารอื่น ได้แก่ ที่เป็นของเหลวหรือที่เป็นของแข็ง (ลักษณะผงหรือเกล็ด) ผลการวัดยังมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่มาก

จันทร์ทิพย์ ทุมวงศ์ .....
เทพพิทักษ์ วรสิทธิ์ .....
มณีรัตน์ ศรีชมภู .....
ลายมือชื่อนักศึกษา

..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

16/3/44 .....
วัน / เดือน / ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่อง “ เครื่องมือวัดค่าการนำความร้อนของอาหาร” ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สนธิสุข ธีระชัยชยุติ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ซึ่งมีส่วนเป็นอย่างมากในการทำปัญหาพิเศษเรื่องนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีและขอขอบคุณ ผศ.ดร.รุจิรา ตาปราบ และอาจารย์ประมวล ศรีกาหลง ที่ช่วยให้คำแนะนำในการออกแบบเครื่องมือ และกรุณามาเป็นกรรมการการสอบปัญหาพิเศษนี้ ทั้งนี้ที่ขาดเสียไม่ได้ก็คือ พี่แดง พี่โก้ น้องจอ เซียง เอท ที่อำนวยความสะดวกในการสร้างเครื่องมือ และทุกๆคนที่มีส่วนทำให้ปัญหาพิเศษนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

จันทร์ทิพย์ ทุมวงศ์
เทพพิทักษ์ วรสิทธิ์
มณีรัตน์ ศรีชมภู
มีนาคม 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. หลักการและทฤษฎี	2
2.1 การนำความร้อน	2
2.2 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k)	2
2.3 การคำนวณค่าการนำความร้อน	4
2.4 ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity)	4
2.5 เทอร์โมคัปเปิล(Thermocouple)	5
3. อุปกรณ์ ตัวอย่างอาหาร และการทดลอง	10
3.1 ส่วนประกอบของเครื่องมือ	10
3.2 ตัวอย่างอาหารและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	15
3.3 หลักการทำงานของเครื่องมือ	15
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	16
3.5 การคำนวณจากการทดลอง	17
4. ผลการทดลอง	23
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในการศึกษาขั้นต่อไป	25
5.1 สรุปผลการทดลอง	25
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	25
5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาขั้นต่อไป	26
เอกสารอ้างอิง	27
ภาคผนวก	28
ภาคผนวก ก	29
ภาคผนวก ข	44
ประวัติผู้เขียน	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.	แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการนำความร้อนของสารต่างๆ โดยการเปรียบเทียบค่า k ของสาร	3
2.	แสดงการเปรียบเทียบค่า k ที่ได้จากการทดลอง และค่า k จากทฤษฎี ของอาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งของเหลว	23
3.	แสดงการเปรียบเทียบค่า k ที่ได้จากการทดลอง และค่า k จากทฤษฎี ของอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลว	23
4.	แสดงการเปรียบเทียบค่า k ที่ได้จากการทดลอง และค่า k จากทฤษฎี ของอาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง(ผง)	24
5.	แสดงการเปรียบเทียบค่า k ที่ได้จากการทดลอง และค่า k จากทฤษฎี ของอาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง(เกล็ด)	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
1. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของมันฝรั่งบด	29
2. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของหมูบด	30
3. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแครอทบด	31
4. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของน้ำตาลทรายขาว	32
5. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแป้งสาลี	34
6. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของไข่ไก่	35
7. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของไข่ขาว	36
8. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเกลือ	37
9. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของซอสพริก	39
10. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของไข่แดง	40
11. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแป้งข้าวโพด	41
12. แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของกากสับปะรด	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.	แสดงจุดเชื่อมปลายของเทอร์โมคัปเปิล	6
6.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับผลต่างอุณหภูมิ	6
7.	แสดงการต่อเทอร์โมคัปเปิลกับโวลต์มิเตอร์	8
4	แสดงเครื่องกำเนิดความร้อน (Heater)	10
5.	แสดงเทอร์โมคัปเปิล type K	11
6	แสดงภาชนะบรรจุ (อะคริลิค)	11
7.	แสดงแอมมิเตอร์	12
8.	แสดงโวลต์มิเตอร์	12
9.	แสดงเครื่องมือวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า	13
10.	แสดงอุปกรณ์หรี่ไฟ 220 โวลต์	13
11.	แสดงสวิตซ์ไฟและสายไฟ	14
12.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับผลต่างอุณหภูมิ	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพภาคผนวกที่	หน้า
1. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของหมูบด	44
2. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของมันฝรั่งบด	44
3. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของแครอทบด	45
4. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของแป้งสาลี	45
5. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของน้ำตาลทรายขาว	46
6. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของแป้งข้าวโพด	46
7. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของเกลือ	47
8. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของกากสับปะรด	47
9. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของซอสพริก	48
10. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของไข่ไก่	48
11. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของไข่ขาว	49
12. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของไข่แดง	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในกระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อน หรือความเย็น เช่น การอบแห้ง การแช่แข็ง รวมถึงการฆ่าเชื้อต้องอาศัยหลักการในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาของอาหารระหว่างกระบวนการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบสมบัติทางความร้อนของอาหาร ซึ่งการนำความร้อนเป็นสมบัติทางความร้อนของอาหาร โดยที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกันหรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกันแต่มีอุณหภูมิต่างกันซึ่งในการนำความร้อนความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของอาหารโดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่

ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของความร้อนในอาหารนั้นจำเป็นต้องทราบค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของอาหาร ซึ่งขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร อุณหภูมิ และโครงสร้างทางกายภาพของอาหารแต่ละชนิด

ค่าการนำความร้อนสามารถหาได้จากการทดลอง ซึ่งได้มีการทดลองและหาค่าการนำความร้อนของอาหารบางชนิดไว้แล้ว โดยใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น ซึ่งมีประสิทธิภาพดีและราคาสูง

ดังนั้นจากหลักการนำความร้อนและเหตุผลดังกล่าว ในปัญหาพิเศษนี้จึงได้มีการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อวัดค่าการนำความร้อนของอาหาร โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง การประหยัดค่าใช้จ่ายและศึกษาค่าการนำความร้อนของอาหารต่างๆที่ยังไม่มีการหาค่าการนำความร้อนหรือไม่มีในตารางมาตรฐาน เพื่อเป็นแนวทาง เป็นพื้นฐานในการพัฒนาออกแบบอุปกรณ์และศึกษาค่าการนำความร้อนของอาหารต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

หลักการเบื้องต้นของการนำความร้อน

ในกระบวนการแปรรูปอาหาร ความสามารถในการนำความร้อนของอาหารเป็นสิ่งที่สำคัญมาก โดยเฉพาะในขั้นตอนการฆ่าเชื้อในอาหารโดยการพาสเจอร์ไรส์ หรือสเตอริไรส์ หรือการฆ่าเชื้อในอาหารกระป๋อง เป็นต้น

2.1 การนำความร้อน

การนำความร้อนเป็นวิธีการถ่ายเทความร้อนที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ภายในตัวกลางเดียวกันหรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกันแต่มีอุณหภูมิต่างกัน ซึ่งความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสารโดยที่โมเลกุลของสารไม่เคลื่อนที่ โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิและพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายเทความร้อน ดังสมการของ Fourier's Law ดังนี้

$$Q = -k A (\Delta T / d x)$$

เมื่อ	Q	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน	(W/m, J/s)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของการถ่ายเทความร้อน	(m^2)
	ΔT	คือ	ความแตกต่างของอุณหภูมิ	(K, °C)
	d x	คือ	ระยะห่างของการนำความร้อนของอาหาร	(m)
	k	คือ	สัมประสิทธิ์หรือค่าการนำความร้อน	(W/m K, W/m °C)

2.2 ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k)

เราจะวัดความสามารถในการนำความร้อนของอาหารด้วยปริมาณที่เรียกว่า ค่าการนำความร้อน(Thermal Conductivity)หรือใช้ตัวย่อว่า k ซึ่งมีหน่วยเป็น W / m K หรือ W/m °C

ค่าการนำความร้อนมีค่าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร โครงสร้างของอาหาร สถานะของอาหาร(ของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ)อุณหภูมิและความดันของสาร สารที่มีความสามารถในการนำความร้อนสูงเช่น โลหะ ส่วนสารที่มีความสามารถในการนำความร้อนต่ำ เช่น สารจำพวกอโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่าการนำความร้อน (k) จึงเป็นคุณสมบัติประจำตัวของอาหารที่สำคัญมากในการที่จะศึกษาถึงการเคลื่อนที่ของความร้อนในอาหารนั้นซึ่งเราสามารถเปรียบเทียบความสามารถในการนำความร้อนของสารต่างๆโดยการเปรียบเทียบค่า k ของสารเหล่านั้นจาก ตารางตัวอย่างที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการนำความร้อนของสารต่างๆโดยการเปรียบ เทียบค่า k ของสาร

สาร	ค่าการนำความร้อน , k (W/m°C)
โลหะ:	
เงิน (บริสุทธิ์)	410
ทองแดง (บริสุทธิ์)	385
อลูมิเนียม (บริสุทธิ์)	202
เหล็ก (บริสุทธิ์)	73
เหล็กกล้าคาร์บอน(บริสุทธิ์)	43
ตะกั่ว (บริสุทธิ์)	35
อโลหะ :	
หินเขี้ยวหนุมาน (Quartz)	41.6
หินทราย (Sandstone)	1.83
แก้ว , หน้าต่าง	0.78
ขี้เลื่อย(Sawdust)	0.059
ใยแก้ว (Glass Wool)	0.038
ของเหลว :	
ปรอท	8.21
น้ำ	0.556
แอมโมเนีย	0.54
น้ำมันหล่อลื่น, SAE 50	0.147
ฟรีออน 12 (CCl_2F_2)	0.073
ก๊าซ :	
ไฮโดรเจน	0.175
ฮีเลียม	0.141
อากาศ	0.024
ไอน้ำอิ่มตัว	0.0206
คาร์บอนไดออกไซด์	0.146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การคำนวณค่าการนำความร้อน

เมื่อมีความแตกต่างของระดับอุณหภูมิในวัตถุใดๆ จะต้องมีการถ่ายเทพลังงานจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ เราเรียกการถ่ายเทพลังงานนี้ว่า การนำความร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ดังสมการของ Fourier's Law

$$Q = -kA(\Delta T / \Delta x) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน

$\Delta T / \Delta x$ คือ ความชันของอุณหภูมิในทิศทางการไหลของความร้อน

k คือ ค่าการนำความร้อนของวัตถุ ส่วนของเครื่องหมายลบที่ใส่เข้าไป ในสมการก็เพื่อให้เป็นไปตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งกล่าวว่า ความร้อนจะต้องไหลไปตามสเกลของอุณหภูมิจากจุด ที่สูงไปยังที่ต่ำกว่า

จากสมการ (1) k จะมีหน่วยเป็น วัตต์ ต่อ ตารางเมตร ต่อ องศาเซลเซียส ในระบบของหน่วยซึ่งความร้อนที่ไหลมีหน่วยเป็นวัตต์

จากการทดลองในปัญหาพิเศษนี้ จะคำนวณหาค่า การนำความร้อน (k) โดยอาศัยค่าพลังงานความร้อนจากสมการ

$$q = m C_p \Delta T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

จากสมการ (1) ค่า q มีหน่วยเป็นวัตต์ หรือ จูล ต่อวินาที

ดังนั้นสามารถโยงสมการ (2) เท่ากับสมการ (1) ดังนี้

$$q / s = m Cp \Delta T/s = Q \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (KJ/s)$$

2.4 ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity)

ความจุความร้อน คือ อัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ไหลเข้าสู่ระบบกับอุณหภูมิของระบบที่เพิ่มขึ้น

ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity) คือค่าความจุความร้อนต่อปริมาณเนื้อสาร 1 หน่วย เช่น 1 กิโลกรัม หรือ ความร้อนจำเพาะ คือ ปริมาณของความร้อนต่อหน่วยมวลซึ่งทำให้สารนั้นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหนึ่งองศา ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C = dq / dT \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (J / kg*K)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนิยามของความร้อนจำเพาะ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังต่อไปนี้

1. เมื่อปริมาตรของระบบคงที่ (C_v)
2. เมื่อความดันของระบบคงที่ (C_p)

สำหรับความร้อนจำเพาะของสารที่เป็นของแข็งหรือของเหลวจะไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของความดันและปริมาตรจำเพาะของสารนั้น ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า $C_v \approx C_p \approx C$ เนื่องจากโดยทั่วไปของเหลวมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ ดังนั้นในทางปฏิบัติ จึงมักใช้เพียงค่าเดียวในทั้ง 2 สภาวะเงื่อนไขข้างต้น

2.5 เทอร์โมคัปเปิล(Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิลนับเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่แพร่หลายมากที่สุดอย่างหนึ่ง ทั้งในงานวิจัยและในวงการอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพราะเป็นวิธีการวัดที่ง่าย ราคาถูก ใช้ได้กับช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ไม่มีผลของ self-heating และผู้ใช้ยังสามารถทำหัววัดได้จากลวดเทอร์โมคัปเปิลที่มีจำหน่ายทั่วไป ขนาดของเส้นลวดไม่มีผลต่ออุณหภูมิที่วัดได้ แต่ลวดเส้นใหญ่จะทนทานต่อการกัดกร่อนและการกระทบกระแทกได้ดี ในขณะที่ลวดเส้นเล็กจะวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเร็วๆได้ดี เพราะตัวมันเองมีมวลน้อย

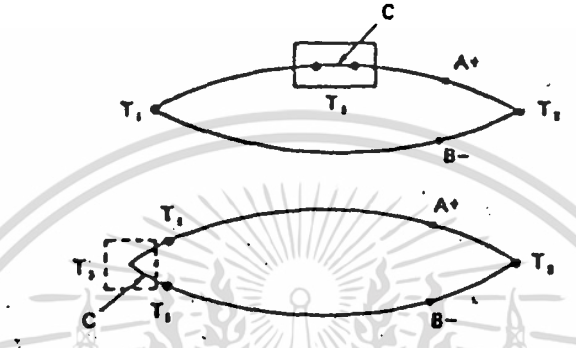
กฎพื้นฐานของเทอร์โมคัปเปิล มีอยู่ 3 ประการ คือ

1. **กฎของโลหะเหมือนกัน (Law of homogeneous metals)** กล่าวได้ว่าจะไม่มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในวงจรที่ประกอบด้วยโลหะชนิดเดียวกันตลอด ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆของวงจรจะไม่เท่ากัน
2. **กฎของโลหะระหว่างกลาง (Law of intermediate metals)** กล่าวว่า ในวงจรที่มีโลหะต่างชนิดกันแต่อยู่ที่อุณหภูมิเดียวกันตลอด ผลบวกของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับศูนย์
3. **กฎของอุณหภูมิระหว่างกลาง (Law of intermediate temperature)** กล่าวว่า ถ้าโลหะต่างชนิดกันคู่หนึ่ง มีความต่างศักย์เท่ากับ E_1 เมื่อปลายทั้งสองมีอุณหภูมิ T_2 และ T_3 โลหะคู่นี้จะมีความต่างศักย์เท่ากับ $E_1 + E_2$ เมื่อปลายทั้งสองมีอุณหภูมิ T_1 และ T_3

หมายเหตุ ก. จากกฎข้อที่ 1 แสดงว่าเทอร์โมคัปเปิลจะต้องประกอบด้วยโลหะอย่างน้อย 2 ชนิดเสมอ แต่ในความเป็นจริงแล้ว ถึงแม้ลวดชนิดเดียวกัน แต่ปลายอยู่ที่อุณหภูมิต่างกัน ก็อาจเกิดความต่างศักย์ขึ้นได้เล็กน้อยเพราะส่วนผสมของโลหะที่เป็นลวดนั้นอาจไม่สม่ำเสมอ

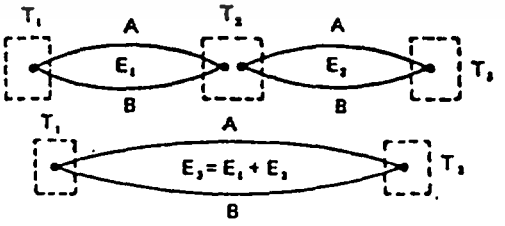
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. จากกฎข้อที่ 2 ทำให้สามารถเชื่อมหัวเทอร์โมคัปเปิลเข้าด้วยกัน โดยมีสารอื่นอยู่ระหว่างกลางได้ เช่นตะกั่วบัดกรี ลวดเชื่อม ฯลฯ ตราบใดที่หัววัดนั้นอยู่ที่อุณหภูมิเดียว ดังในรูปที่ 1 ปลายด้านซ้ายคือหัววัดซึ่งมีสาร C อยู่ระหว่างกลางสาร A และ B แต่ทั้ง A และ B มีอุณหภูมิเท่ากัน สาร C จึงไม่มีผลใดๆต่อความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 1 แสดงจุดเชื่อมปลายของเทอร์โมคัปเปิล

ค. จากกฎข้อ 3 ทำให้สามารถเปลี่ยนอุณหภูมิอ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิลได้ดังในรูปที่ 2 เทอร์โมคัปเปิลที่เดิมมีอุณหภูมิอ้างอิงอยู่ที่ T_2 จะเปลี่ยนไปใช้อุณหภูมิ T_3 ได้ โดยที่ความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไป ก็คือผลบวกของความต่างศักย์ระหว่างอุณหภูมิ T_1 กับ T_3 ดังนั้นถ้าทราบอุณหภูมิ T_2 และความต่างศักย์ E_2 ก็จะหาอุณหภูมิ T_1 และความต่างศักย์ E_1 ได้ ผลข้อนี้ทำให้สามารถใช้ลวดต่อ(extension wire) จากสายลวดเทอร์โมคัปเปิลออกไปยาวๆได้



ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับผลต่างอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล

โดยหลักการแล้ว ลวด 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันย่อมใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลได้เสมอ ดังนั้นชนิดของเทอร์โมคัปเปิลจึงมีได้ไม่จำกัดแต่จะมีปัญหาหลายอย่าง เช่น เรื่องเสถียรภาพ (stability) ของศักย์ที่เกิดขึ้น การสอบเทียบ(calibration) เพื่อจะแปลงอุณหภูมิที่ถูกต้อง ความแตกต่างในเนื้อโลหะระหว่างลวดแต่ละขด และความคงทนในการใช้งานในการใช้งานในสภาพต่างๆ ในปัจจุบันจึงมีเทอร์โมคัปเปิลใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายเพียง 7 ชนิด คือ

Type B (0-1820°ซ) : แพลตินัม + 30%โรเดียม(+) กับ แพลตินัม +6% โรเดียม(+)

Type E (-270-1000°ซ) : นิเกิล + 10%โครเมียม(+) กับ คอนสแตนแตน(+)

Type Y (-210-1200°ซ) : เหล็ก(+) กับ คอนสแตนแตน(-)

Type K (-270-1372°ซ) : นิเกิล + 10%โครเมียม(+) กับ นิเกิล +5% อลูมิเนียมซิลิคอน(-)

Type R (-50-1767°ซ) : แพลตินัม + 13%โครเมียม(+) กับ แพลตินัม(-)

Type S (-50-1767°ซ) : แพลตินัม + 10%โรเดียม(+) กับ แพลตินัม(-)

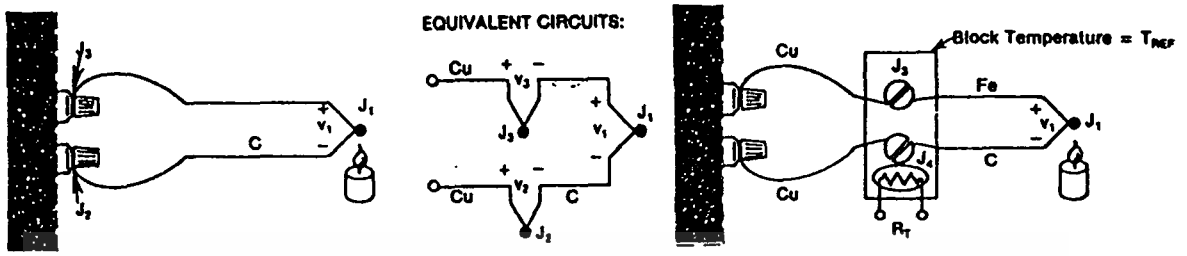
Type T (-270-400°ซ) : ทองแดง(+) กับ คอนสแตนแตน(-)

(หมายเหตุ : คอนสแตนแตนเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับนิเกิล ส่วนผสมไม่มีสูตรที่แน่นอนขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต)

การต่อวงจรเทอร์โมคัปเปิล

เมื่อเราต้องการวัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น เราย่อมจะต้องต่อลวด A และ B เข้ากับโวลต์มิเตอร์ ดังในรูปที่ 3 เทอร์โมคัปเปิลในที่นี้คือเหล็ก(Fe) กับโลหะผสมคอนสแตนแตน (constantan-C) แต่ในการต่อวงจรนี้จะเกิดจุดต่อ(junction) ขึ้นอีก 2 จุด คือที่ J_2 และ J_3 ซึ่งเป็นจุดต่อสายของโวลต์มิเตอร์ ดังนั้นจะเกิดหัววัดเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอีก 2 แห่ง คือระหว่างสายลวดเหล็ก (Fe)กับสายไฟของโวลต์มิเตอร์ ซึ่งปกติเป็นทองแดง(Cu) และระหว่างโลหะผสมคอนสแตนแตน (C)กับสายไฟทองแดง ดังนั้นจะเกิดจุดวัดขึ้นใหม่ ดังในรูปที่ 3 ข.ค่าที่โวลต์มิเตอร์จะอ่านได้จึงจะเป็น $V_1+V_2+V_3$ มิใช่ V_1 ที่เราต้องการทราบ และเราจะทราบ V_1 ได้ก็ต่อเมื่อทราบ V_2 และ V_3 ก่อนเท่านั้น กล่าวคือจะต้องสามารถวัดอุณหภูมิที่จุดต่อสายของโวลต์มิเตอร์ได้โดยวิธีอื่นอย่างอิสระ เช่นการใช้ RTD หรือโดยการจุ่มทั้ง J_2 และ J_3 ลงในจุดน้ำแข็ง ซึ่งทราบอุณหภูมิแน่นอนว่าเท่ากับ 0 °C ดังรูปที่ 3 ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 3 แสดงการต่อเทอร์โมคัปเปิลกับโวลต์มิเตอร์

ในเครื่องวัดอุณหภูมิแบบหลายจุด(multi-channel temperature recorder) หรือเก็บเครื่องเก็บข้อมูล(data logger) ซึ่งสามารถต่อเข้ากับเทอร์โทคัปเปิลได้หลายคู่ ก็ใช้หลักการเดียวกันนี้ โดยมีจุดอุณหภูมิอ้างอิง(reference temperature) ทำด้วยวัตถุที่นำความร้อนได้ดีแต่ไม่นำไฟฟ้า ทำหน้าที่แทนจุดน้ำแข็งสำหรับเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมด ค่าของความต่างศักย์สำหรับเทอร์โมคัปเปิลแต่ละคู่จะถูกอ่านด้วยโวลต์มิเตอร์และแปลงเป็นอุณหภูมิโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์คำนวณศักย์ของอุณหภูมิอ้างอิงก่อน วิธีการนี้เรียกว่า Software compensation คือใช้โปรแกรมคำนวณค่าอุณหภูมิ

สายวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลเป็นหัววัดที่วัดอุณหภูมิได้ช่วงกว้างมาก ทนทานต่อการใช้งานหนัก สามารถเชื่อมหรือยึดติดกับพื้นผิวที่จะต้องการวัดอุณหภูมิได้โดยตรง สามารถทำขึ้นเองได้ในสถานที่ และราคาถูกกว่า RTD มาก ดังนั้นจึงมักจะใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นหัววัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ของเทอร์โมคัปเปิลกับอุณหภูมิ โดยปกติความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่อ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิลกับอุณหภูมิที่จุดวัดจะไม่เป็นเส้นตรง แต่อาจถือได้ว่าเป็นเส้นตรงเฉพาะช่วงแคบๆ

การวัดความต่างศักย์ ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในลวดเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยมาก และอยู่ในระดับมิลลิโวลต์ (mV) หากจะวัดให้ได้ถูกต้องพอสมควรเครื่องโวลต์มิเตอร์ที่ใช้ก็จะต้องมีความละเอียดอยู่ในระดับไมโครโวลต์ (เช่น DMM ชนิด 4 1/2 หรือ 5 1/2 หลัก)และจะต้องมีสัญญาณรบกวน (noise) ต่ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวัง

1. การใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิในสภาพที่มีสนามแม่เหล็ก หรือมีรังสีนิวเคลียร์ จะทำให้เกิดความผิดพลาดได้หลายสิบเปอร์เซ็นต์ อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติของลวดเทอร์โมคัปเปิล
2. ลวดที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิลอาจทนอุณหภูมิได้สูง แต่ฉนวนหุ้มลวดนั้นอาจทนไม่ได้ ดังนั้นจึงควรเลือกและตรวจสอบชนิดของฉนวนหุ้มให้ถูกต้องกับสภาพการใช้งานด้วย
3. ความเที่ยงตรงของลวดเทอร์โมคัปเปิลอาจเสื่อมลงตามเวลา อันเนื่องมาจากการซึมของก๊าซและสารอื่นเข้าไปในเนื้อโลหะ และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในทำให้คุณสมบัติของลวดเปลี่ยนไปดังนั้นจึงควรมีการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ
4. หากต้องการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิ(ΔT)ที่มีค่าน้อย ควรใช้ลวดเทอร์โมคัปเปิลที่มาจากขดเดียวกัน ทั้งนี้เพราะส่วนผสมของลวดต่างขดอาจผิดกันได้ ซึ่งจะทำให้ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์ ตัวอย่างอาหาร และการทดลอง

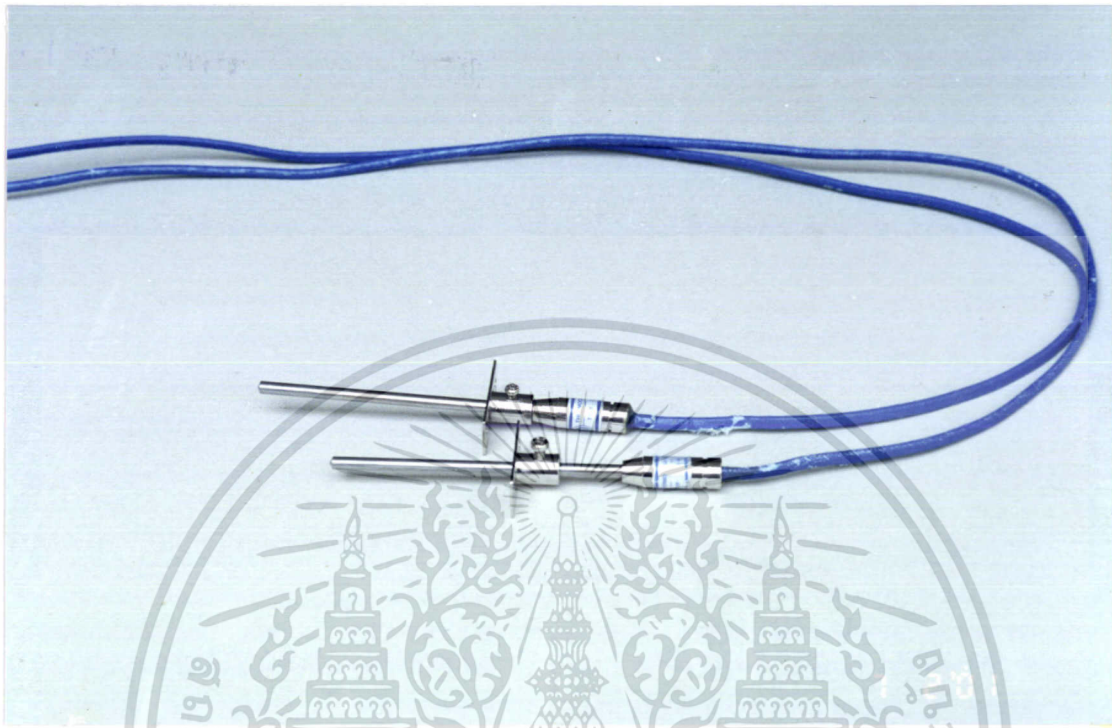
3.1 ส่วนประกอบของเครื่องมือ

1. เครื่องกำเนิดความร้อน(Heater)ขนาด 450 วัตต์

ภาพที่ 4 แสดงเครื่องกำเนิดความร้อน (heater)

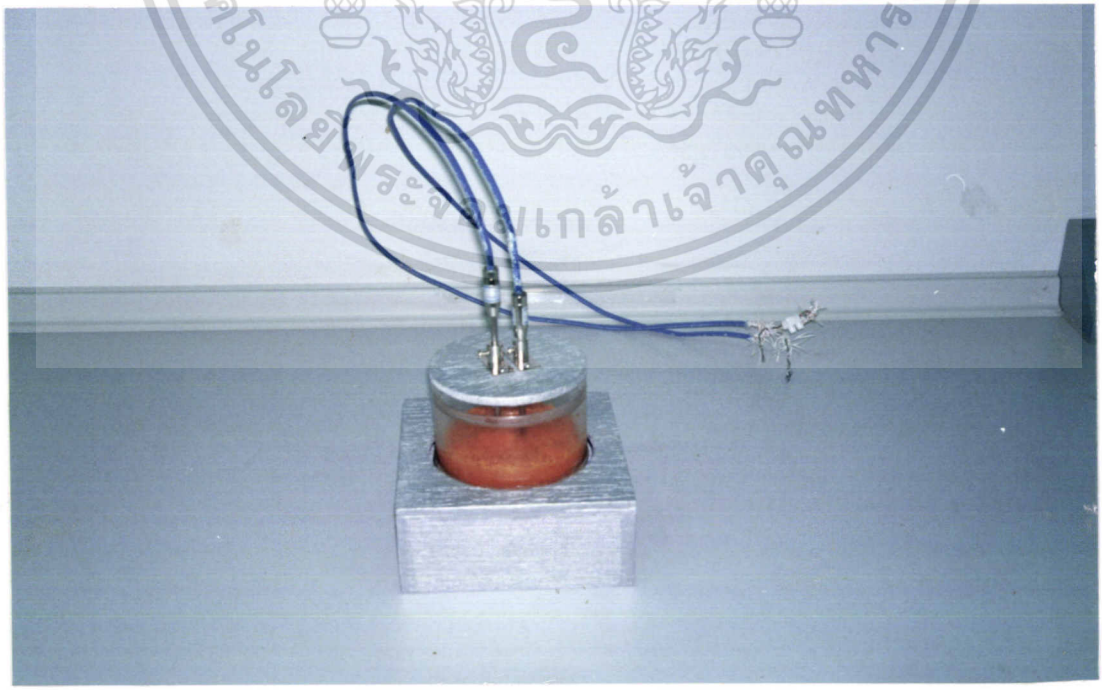
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เทอร์โมคัปเปิล type K 2 อัน (-270-1372°ซ) : นิเกิล + 10%โครเมียม(+) กับ นิเกิล +5% อลูมิเนียมซิลิคอน(-)



ภาพที่ 5 แสดงเทอร์โมคัปเปิล type K

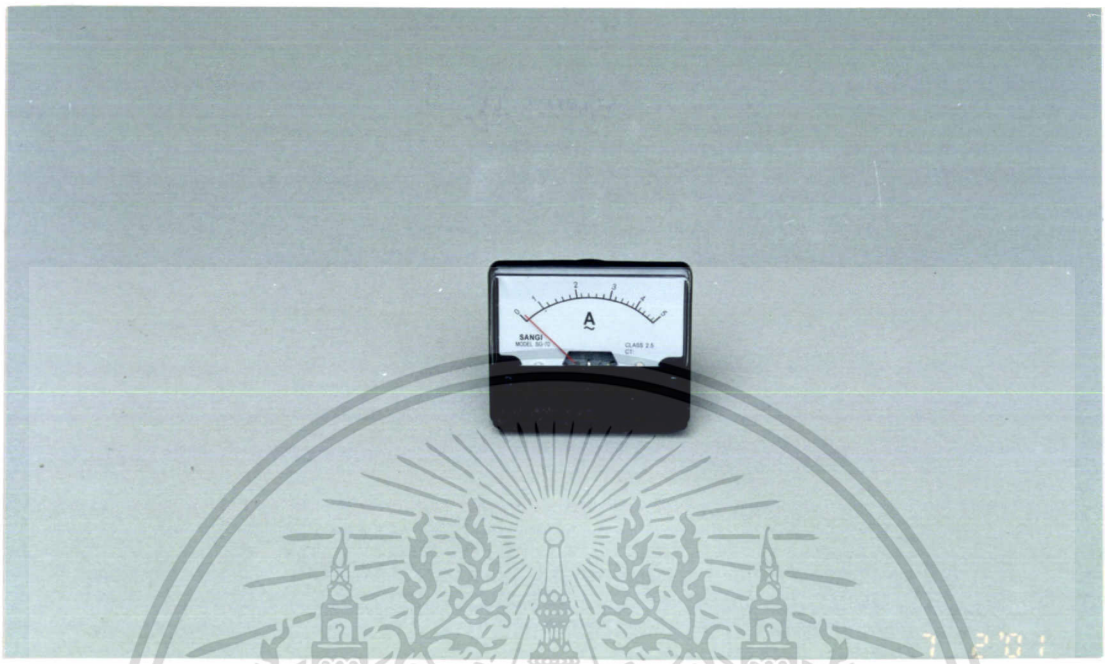
3. ภาชนะบรรจุ (อะครีลิค)



ภาพที่ 6 แสดงภาชนะบรรจุ (อะครีลิค)

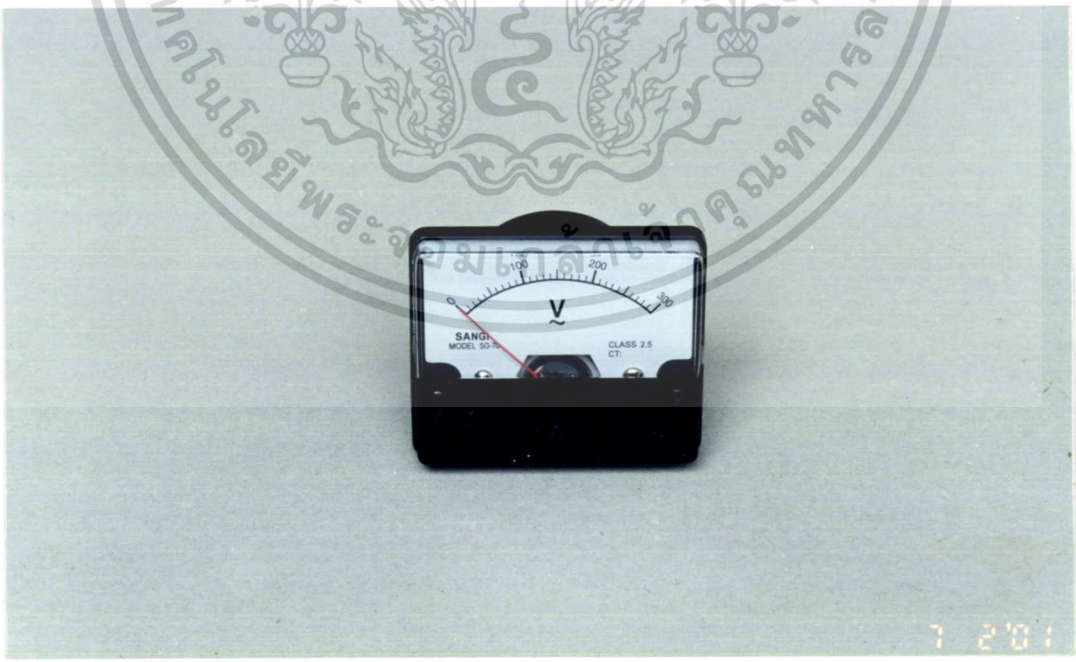
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แอมมิเตอร์



ภาพที่ 7 แสดงแอมมิเตอร์

5. โวลต์มิเตอร์



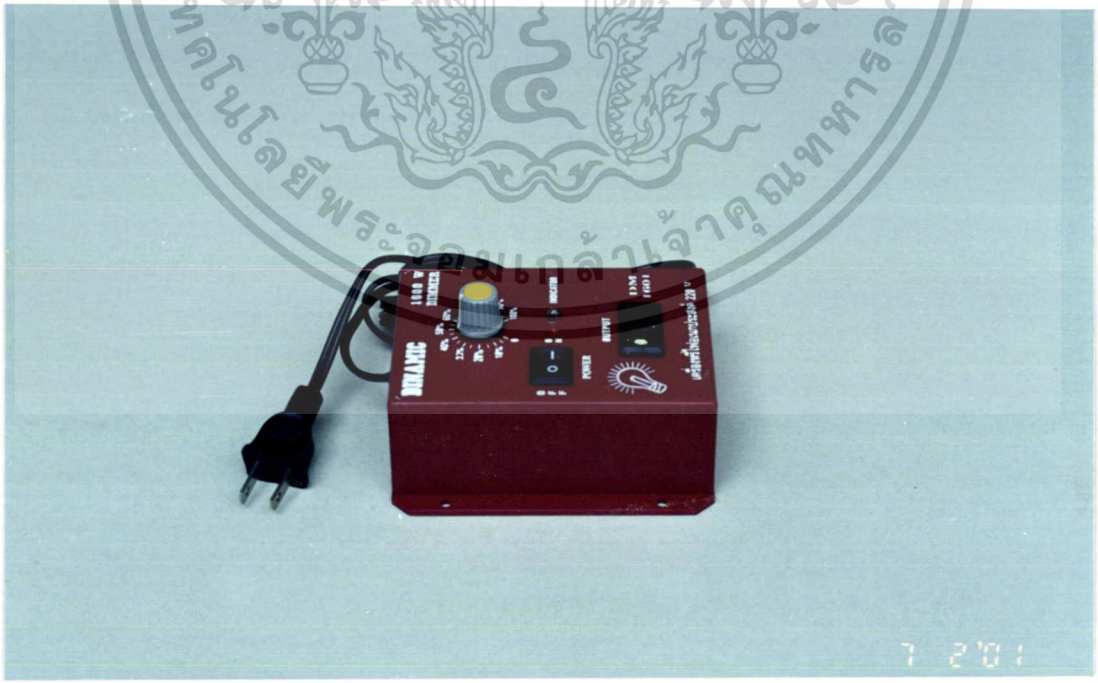
ภาพที่ 8 แสดงโวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เครื่องมือวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า

ภาพที่ 9 แสดงเครื่องมือวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า

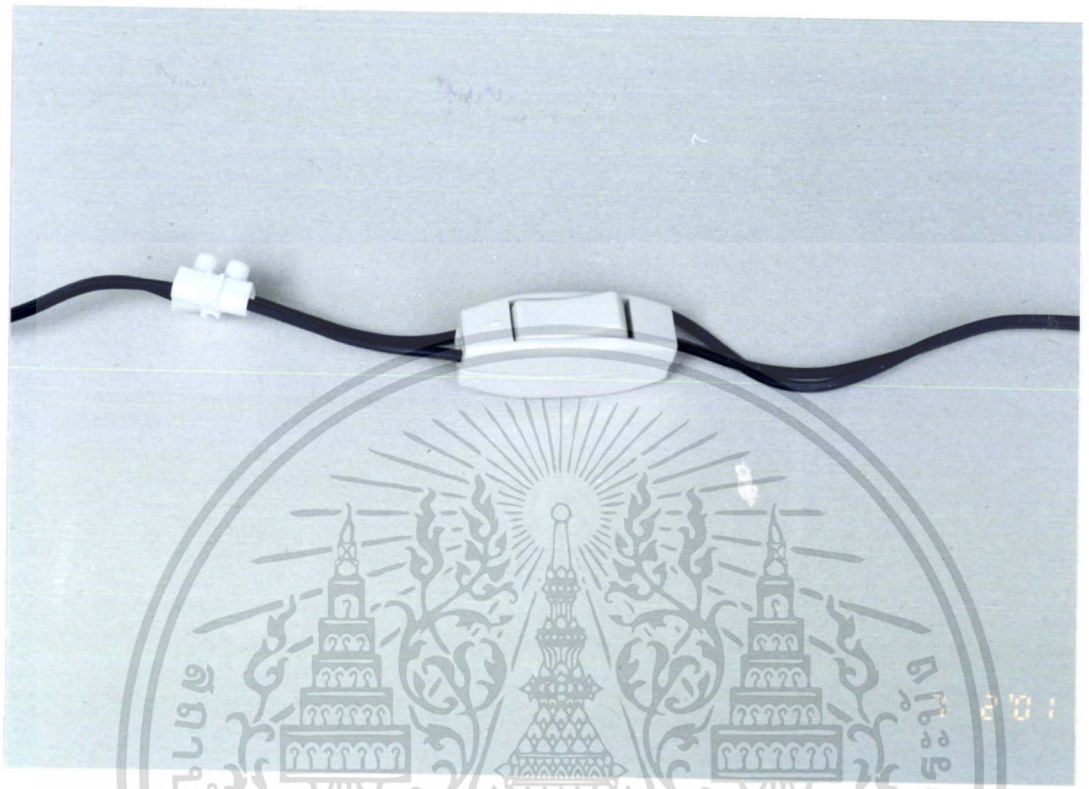
7. อุปกรณ์หรี่ไฟ 220 โวลต์



ภาพที่ 10 แสดงอุปกรณ์หรี่ไฟ 220 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. สวิตส์ไฟ และสายไฟ



ภาพที่ 11 แสดงสวิตส์ไฟ และสายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ตัวอย่างอาหารและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างอาหาร

แครอทบด	หมูบด
มันฝรั่งบด	ซอสพริก
ไข่ไก่	น้ำกลั่น
น้ำตาลทราย	นมพาสเจอร์ไรส์
แป้งสาลี	ไข่ขาว
แป้งข้าวโพด	ไข่แดง
เกลือ	กากสับปะรด

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร
2. แท่งแก้วคนสาร
3. กระบอกตวง 1000 มิลลิลิตร
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก (ความละเอียด 0.001)

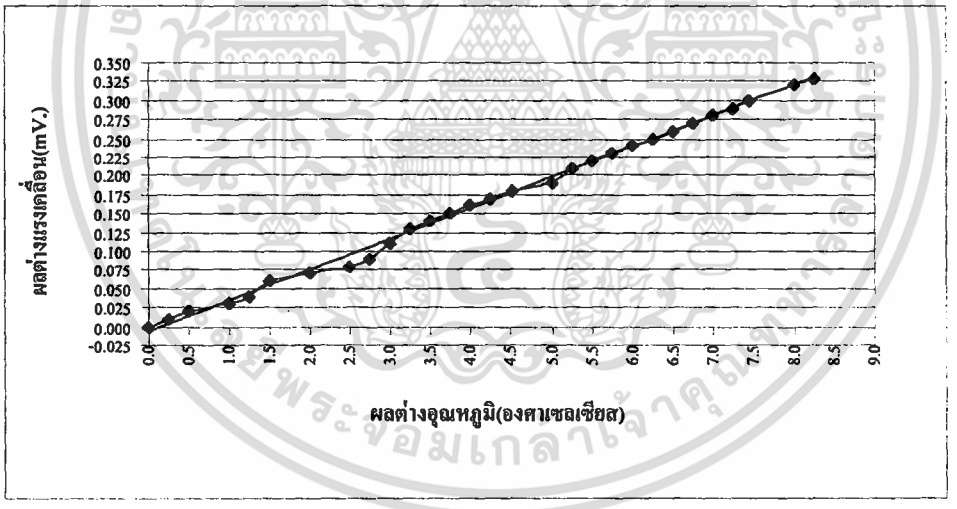
3.3 หลักการทำงานของเครื่องมือ

เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ เครื่องกำเนิดความร้อน(Heater) ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นของอาหาร จากข้างล่างขึ้นข้างบน ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 จุด โดยที่ระยะห่างระหว่าง 2 จุด เป็นตำแหน่งของจุดปลายของเทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ซึ่งกำหนดให้ห่างกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร(Δx) โดยความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 จุดนี้จะถูกแปลงให้เป็นผลต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้าบนเครื่องวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งจะอ่านค่าออกมามีหน่วยเป็น มิลลิโวลต์ (mV) แล้วนำค่ามิลลิโวลต์ที่อ่านได้ไปแปลงให้เป็นค่าผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT)อีกครั้ง เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าการนำความร้อน(k) ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

1. วัดปริมาตรของตัวอย่างอาหาร 250 มิลลิลิตร
2. บรรจุตัวอย่างอาหารลงในเครื่องมือวัดค่า k
3. ปิดฝาซึ่งมีเทอร์โมคัปเปิลยึดติดอยู่ตรงกลาง โดยให้ปลายทั้งสองข้างของเทอร์โมคัปเปิลจุ่มลงไปในตัวอย่างอาหาร
4. รอให้อุณหภูมิของตัวอย่างอาหารทั้งหมดเท่ากัน โดยสังเกตจากความแตกต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้า(Δe)ของปลายเทอร์โมคัปเปิลทั้งสอง จะมีค่าเท่ากันที่ 0.00 mV
5. เปิดสวิตซ์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าเครื่องวัด แล้วทำการบันทึกค่า mV ตามเวลาที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละตัวอย่างอาหาร แล้วปิดสวิตซ์
6. นำผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า(Δe) ที่ได้ไปแปลงให้เป็นค่าผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) โดยดูจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับผลต่างของอุณหภูมิ ดังนี้



กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับผลต่างของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการคำนวณ

สูตร $Q = kA\Delta T / \Delta x$

$\therefore \quad k = Q\Delta x / A\Delta T$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อน (J / s)

A = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ (K)

Δx = ระยะห่างของการนำความร้อนของอาหาร (m)

ค่าปริมาณความร้อน(Q) หาได้จาก

$Q = q / t = mc_p\Delta T / t$

เมื่อ q = ค่าความร้อน (J)

m = มวลของสาร (Kg)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ (K)

t = เวลา (s)

3.5 การคำนวณจากการทดลอง

ตัวอย่างอาหาร

1. อาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลว : มันฝรั่งบด

ตอนที่ 1 คำนวณหาค่า Correcting Factor (C.F.) ที่เวลา 90 วินาที

ค่า mV ที่วัดได้ = 0.08 mV

ค่า ΔT ที่อ่านได้จากกราฟ = 2.1 °C

สูตร $k = Q\Delta x / A\Delta T$

แทนค่า $Q = 40.08$ (J / s)

$\Delta x = 2 \times 10^{-2}$ (m)

$A = 75.43 \times 10^{-4}$ (m^2)

$\Delta T = 2.1$ °C

จะได้ $k = (40.08)(2 \times 10^{-2}) / (75.43 \times 10^{-4})(2.1)$

$k = 50.6$ w/m °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

97005

ค่า k จากทฤษฎี = 0.51 w/m °C

ดังนั้น ค่า C.F. = 0.51/ 50.06

= 1.0079×10^{-2}

สรุปสมการที่ใช้ในการคำนวณ

k = $(4.038 \times 1.0079 \times 10^{-2}) / \Delta e$

k = $(4.07 \times 10^{-2}) / \Delta e$ .....สมการ 1

ตอนที่ 2 ทดสอบสมการ

ตัวอย่างอาหาร : แครอทบด

ค่า k จากทฤษฎี = 0.66 mV

ค่า Δe ที่เวลา 90 วินาที อ่านได้ 0.06 mV

แทนค่าในสมการ 1 จะได้ k = 0.68 w/m °C

ตัวอย่างอาหาร : หมูบด

ค่า k จากทฤษฎี = 0.46 mV

ค่า Δe ที่เวลา 90 วินาที อ่านได้ 0.09 mV

แทนค่าในสมการ 1 จะได้ k = 0.45 w/m °C

ตอนที่ 3 คำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ของค่า k จากการทดลอง

ตัวอย่างอาหาร : แครอทบด = $\{(0.68 - 0.66) / 0.66\} \times 100$

= 3.03 %

ตัวอย่างอาหาร : หมูบด = $\{(0.45 - 0.46) / 0.46\} \times 100$

= 2.17 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลว : ไข่ไก่ทั้งฟอง

ตอนที่ 1 คำนวณหาค่า Correcting Factor (C.F.) ที่เวลา 74 วินาที

ค่า mV ที่วัดได้ = 0.04 mV

ค่า ΔT ที่อ่านได้จากกราฟ = 1.05 °C

สูตร $k = Q\Delta x / A\Delta T$

แทนค่า $Q = 40.08$ (J / s)

$\Delta x = 2 \times 10^{-2}$ (m)

$A = 75.43 \times 10^{-4}$ (m^2)

$\Delta T = 1.05$ °C

จะได้ $k = (40.08)(2 \times 10^{-2}) / (75.43 \times 10^{-4})(1.05)$

$k = 101.2$ w/m °C

ค่า k จากทฤษฎี = 0.96 w/m °C

ดังนั้น ค่า C.F. = 0.96/ 101.2

$= 0.9486 \times 10^{-2}$

สรุปสมการที่ใช้ในการคำนวณ

$k = (4.038 \times 0.9486 \times 10^{-2}) / \Delta e$

$k = (3.830 \times 10^{-2}) / \Delta e$ .....สมการ 2

ตอนที่ 2 ทดสอบสมการ

ตัวอย่างอาหาร : ไข่ขาว

ค่า k จากทฤษฎี = 0.55 mV

ค่า Δe ที่เวลา 74 วินาที อ่านได้ 0.05 mV

แทนค่าในสมการ 2 จะได้ k = 0.766 w/m °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างอาหาร : ไข่แดง

ค่า k จากทฤษฎี = 0.42 mV

ค่า Δe ที่เวลา 74 วินาที อ่านได้ 0.01 mV

แทนค่าในสมการ 2 จะได้ k = 3.83 w/m °C

ตัวอย่างอาหาร : ซอสพริก

ค่า k จากทฤษฎี ไม่มี

ค่า Δe ที่เวลา 74 วินาที อ่านได้ 0.06 mV

แทนค่าในสมการ 2 จะได้ k = 0.64 w/m °C

<u>ตอนที่ 3</u> คำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ของค่า k จากการทดลอง

ตัวอย่างอาหาร : ไข่ขาว = $\{(0.766 - 0.55) / 0.55\} \times 100$

= 39.27 %

ตัวอย่างอาหาร : หมูบด = $\{(3.83 - 0.42) / 0.42\} \times 100$

= 811.9 %

3. อาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง

3.1) ของแข็งที่มีลักษณะเป็นผง : แป้งสาลี

<u>ตอนที่ 1</u> คำนวณหาค่า Correcting Factor (C.F.) ที่เวลา 124 วินาที

ค่า mV ที่วัดได้ = 0.07 mV

ค่า ΔT ที่อ่านได้จากกราฟ = 1.84 °C

สูตร $k = Q\Delta x / A\Delta T$

แทนค่า $Q = 40.08$ (J / s)

$\Delta x = 2 \times 10^{-2}$ (m)

$A = 75.43 \times 10^{-4}$ (m^2)

$\Delta T = 1.84$ °C

จะได้ $k = (40.08)(2 \times 10^{-2}) / (75.43 \times 10^{-4})(1.84)$

$k = 57.76$ w/m °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17497

ค่า k จากทฤษฎี = 0.45 w/m °C

ดังนั้น ค่า C.F. = 0.45/ 57.76

= 0.7790×10^{-2}

สรุปสมการที่ใช้ในการคำนวณ

k = $(4.038 \times 0.7790 \times 10^{-2}) / \Delta e$

k = $(3.150 \times 10^{-2}) / \Delta e$ .....สมการ 3

ตอนที่ 2 ทดสอบสมการ

ตัวอย่างอาหาร : แป้งข้าวโพด

ค่า k จากทฤษฎี ไม่มี

ค่า Δe ที่เวลา 124 วินาที อ่านได้ 0.40 mV

แทนค่าในสมการ 3 จะได้ k = 0.08 w/m °C

ตอนที่ 3 คำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ของค่า k จากการทดลอง

เนื่องจากแป้งข้าวโพดไม่มีค่า k ตามทฤษฎี จึงไม่สามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้

3.2) อาหารแข็งที่มีลักษณะเป็นเกล็ด : น้ำตาลทรายขาว

ตอนที่ 1 คำนวณหาค่า Correcting Factor (C.F.) ที่เวลา 202 วินาที

ค่า mV ที่วัดได้ = 0.18 mV

ค่า ΔT ที่อ่านได้จากกราฟ = 4.74 °C

สูตร $k = Q\Delta x / A\Delta T$

แทนค่า $Q = 40.08$ (J / s)

$\Delta x = 2 \times 10^{-2}$ (m)

$A = 75.43 \times 10^{-4}$ (m^2)

$\Delta T = 4.74$ °C

จะได้ $k = (40.08)(2 \times 10^{-2}) / (75.43 \times 10^{-4})(4.74)$

k = 22.42 w/m °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

ค่า k จากทฤษฎี = 0.22 w/m °C

ดังนั้น ค่า C.F. = 0.22/ 22.42

$= 0.9813 \times 10^{-2}$

สรุปสมการที่ใช้ในการคำนวณ

$k = (4.038 \times 0.9813 \times 10^{-2}) / \Delta e$

$k = (3.960 \times 10^{-2}) / \Delta e$ .....สมการ 4

ตอนที่ 2 ทดสอบสมการ

ตัวอย่างอาหาร : เกลือ

ค่า k จากทฤษฎี = 7.00 w/m °C

ค่า Δe ที่เวลา 202 วินาที อ่านได้ 1.16 mV

แทนค่าในสมการ 4 จะได้ k = 0.03 w/m °C

ตอนที่ 3 คำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ของค่า k จากการทดลอง

ตัวอย่างอาหาร : เกลือ $= \{(7.00 - 0.03) / 7.00\} \times 100$

$= 99.57$ %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่า k ที่ได้จากการทดลองและค่า k จากทฤษฎี ของอาหารที่มีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว ที่ เวลา 90 วินาที Correcting Factor (C.F.) = 1.0079×10^{-2}

ตัวอย่างอาหาร	อุณหภูมิ (°C)	ค่า k จากการทดลอง	ค่า k จากทฤษฎี	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
มันฝรั่งบด	27	0.51	0.51	0.00
แครอท	27	0.68	0.68	3.03
หมูบด	2	0.45	0.46	2.17

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่า k ที่ได้จากการทดลองและค่า k จากทฤษฎีของอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลว ที่ เวลา 74 วินาที Correcting Factor (C.F.) = 0.9486×10^{-2}

ตัวอย่างอาหาร	อุณหภูมิ (°C)	ค่า k จากการทดลอง	ค่า k จากทฤษฎี	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
ไข่ไก่	27	0.96	0.96	0.00
ไข่ขาว	27	0.77	0.55	39.27
ไข่แดง	27	3.83	0.42	811.90
ซอสพริก	27	0.64	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่า k ที่ได้จากการทดลองและค่า k จากทฤษฎีของอาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง (ผง) ที่ เวลา 124 วินาที Correcting Factor (C.F.) = 0.7790×10^{-2}

ตัวอย่างอาหาร	อุณหภูมิ (°C)	ค่า k จากการทดลอง	ค่า k จากทฤษฎี	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
แป้งสาลี	27	0.45	0.45	0.00
แป้งข้าวโพด	27	0.08	-	-

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่า k ที่ได้จากการทดลองและค่า k จากทฤษฎีของอาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง (เกล็ด) ที่ เวลา 202 วินาที Correcting Factor (C.F.) = 0.9813×10^{-2}

ตัวอย่างอาหาร	อุณหภูมิ (°C)	ค่า k จากการทดลอง	ค่า k จากทฤษฎี	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
น้ำตาลทราย	27	0.22	0.22	0.00
เกลือ	0	0.03	7.00	99.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองสามารถแบ่งกลุ่มอาหารออกเป็น 3 กลุ่ม และกำหนดวิธีการใช้เครื่องได้ดังนี้

1. อาหารเหลว : ไข่ไก่ทั้งฟอง ไข่ขาว ไข่แดง ซอสพริก
   ในการหาค่าการนำความร้อน จะใช้เวลาในการให้ความร้อน 74 วินาที
2. อาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลว : แครอทบด มันฝรั่งบด หมูบด
   ในการหาค่าการนำความร้อน จะใช้เวลาในการให้ความร้อน 90 วินาที
3. อาหารแข็งที่มีลักษณะเป็นผงและเกล็ด
   - ลักษณะเป็นผง : แป้งสาลี แป้งข้าวโพด
     ในการหาค่าการนำความร้อน จะใช้เวลาในการให้ความร้อน 124 วินาที
   - ลักษณะเป็นเกล็ด : น้ำตาลทราย เกลือ
     ในการหาค่าการนำความร้อน จะใช้เวลาในการให้ความร้อน 202 วินาที

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบค่า k จากการทดลองกับ ค่า k จากทฤษฎี พบว่า ของเหลวและของแข็งมีความคลาดเคลื่อนสูงมาก จึงไม่สามารถใช้กับเครื่องมือวัดค่าการนำความร้อนเครื่องนี้ได้ดังนั้นเครื่องมือวัดค่าการนำความร้อนในปัญหาพิเศษนี้จึงเหมาะที่จะใช้วัดอาหารที่มีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งของเหลวเท่านั้น

สรุปสูตรในการคำนวณหาค่า k ของอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลวชนิดต่างๆที่เวลา 90 วินาที ได้ดังนี้

$$\text{สูตร} \quad k = (4.07 \times 10^{-2}) / \Delta e$$

เมื่อ	k	คือ	ค่าการนำความร้อนของอาหาร	(W/m °C)
	Δe	คือ	ค่าผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้	(mV)

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าอาหารที่เป็นของเหลว(ไข่ไก่ ไข่ขาว ไข่แดง ซอสพริก ซอสมะเขือเทศ นมพาสเจอร์ไรส์และน้ำกลั่น) ไม่สามารถสรุปได้คาดว่าน่าจะเกิดจากการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพา (Convection) และของแข็ง(เกลือ น้ำตาลทราย แป้งสาลี และแป้งข้าวโพด) ไม่สามารถสรุปได้คาดว่าน่าจะเกิดจากความเป็นรูพรุน(Porality)ของตัวอย่างอาหารแต่ละชนิดไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะต่อการศึกษาในขั้นต่อไป

ในการพัฒนาออกแบบเครื่องมือ เพื่อใช้งานสำหรับอาหารประเภทของเหลวควรจะ

1. ลดขนาดภาชนะที่บรรจุอาหาร เนื่องจากในการทดลองหาค่า k ของตัวอย่างอาหารเหลวที่มีความหนืดน้อยจะเกิดการไหลวนขึ้น (Convection) ภายในเครื่องที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่
2. ควรใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการประมวลผลการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลการทดลองและเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการทดลอง
3. ควรใช้ตัวอย่างอาหารให้มากกว่านี้ในการทดลองเครื่อง เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการคำนวณค่าการนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จิราวัลย์ พีระสะ .2540 หลักเบื้องต้นของกระบวนการส่งผ่านมวลความร้อนและโมเมนตัม , หน้า 161. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต

ปิยะวัติ บุญ-หลง.2537 .การถ่ายเทความร้อน 2 , หน้า 177-186. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง(แปลและเรียบเรียง) . ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์ "การถ่ายเทความร้อน" Mc Graw – Hill . 4-6

พงษ์เจต พรหมวงศ์.2534. ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มนตรี พิรุณเกษตร.2536. อุณหพลศาสตร์ 1, หน้า 162-164. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิค, พิมพ์ครั้งที่ 2

วีระ จันทร์วัฒนะ.2526. การถ่ายเทความร้อน, หน้า 2–8 . คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สมโภชน์ อิ่มเอิบ.2527. เทคโนโลยีความร้อน , หน้า 54-57

สมศรี จงรุ่งเรือง.2542. ระเบียบวิธีวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (1): 22-25

สุนันท์ ศรัณยนิตย์.2538. การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) .คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี., (1-13)-(1-16)

Adrian Bejan J.A. Jones .1948. Professor of Mechanical Engineering. Heat Transfer. Duke University.(Printed in Singapore)

D. Poulikakos.1994. Conduction Heat Transfer, Mechanical Engineering Department. University of Illinois at Chicago: Prentice-Hall International , Inc.

Deny,S., and Hendrickx,M.E. 1999. "Measurement of the Thermal Conductivity of Food at High Pressure." Journal of Food Science. 64(4): 707-713

Kirk D. Hagen .,1999. HEAT TRANSFER WITH APPLICATIONS., Weber State University

Vedat S. Arpaci.1999.Introduction to Heat Transfer. Library of Congress Cataloging-in Publication Data : 579-589 . Prentice-Hall International , Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของมันฝรั่งบด

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.01	0.01	0.01	0.01
36	0.01	0.01	0.01	0.01
39	0.01	0.01	0.01	0.01
42	0.01	0.01	0.01	0.01
45	0.01	0.01	0.01	0.01
48	0.01	0.01	0.01	0.01
51	0.01	0.02	0.01	0.01
54	0.01	0.02	0.01	0.01
57	0.02	0.02	0.02	0.02
60	0.02	0.03	0.02	0.02
63	0.03	0.03	0.02	0.03
66	0.03	0.04	0.02	0.03
69	0.04	0.04	0.03	0.04
72	0.04	0.05	0.03	0.04
75	0.05	0.05	0.04	0.05
78	0.05	0.06	0.05	0.05
81	0.06	0.06	0.05	0.06
84	0.06	0.07	0.06	0.06
87	0.07	0.08	0.07	0.07
90	0.08	0.08	0.07	0.08

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
93	0.09	0.10	0.08	0.09
96	0.09	0.10	0.08	0.09
99	0.10	0.11	0.09	0.10
102	0.11	0.12	0.10	0.11
105	0.12	0.12	0.10	0.11
108	0.14	0.13	0.11	0.13
111	0.15	0.14	0.12	0.14
114	0.15	0.14	0.13	0.14
117	0.16	0.16	0.14	0.15
120	0.17	0.17	0.15	0.16
123	0.18	0.18	0.17	0.18
126	0.18	0.19	0.18	0.18
129	0.21	0.19	0.18	0.19
132	0.22	0.20	0.19	0.20
135	0.23	0.22	0.20	0.22
138	0.24	0.23	0.21	0.23
141	0.26	0.24	0.22	0.24
144	0.28	0.25	0.24	0.26
147	0.29	0.27	0.25	0.27
150	0.32	0.29	0.26	0.29
153	0.34	0.30	0.28	0.31
156	0.39	0.33	0.29	0.34
159	0.45	0.35	0.30	0.37
162	0.54	0.38	0.31	0.41
165	0.61	0.42	0.33	0.45
168	0.70	0.46	0.34	0.50
171	0.81	0.51	0.37	0.56
174	0.95	0.57	0.40	0.64
177	1.10	0.64	0.45	0.73
180	1.27	0.70	0.50	0.82
183	1.45	0.78	0.57	0.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของหมูบด

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	เฉลี่ย
0	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00
42	0.00	0.01	0.01
45	0.00	0.01	0.01
48	0.00	0.01	0.01
51	0.01	0.01	0.01
54	0.01	0.02	0.02
57	0.01	0.02	0.02
60	0.03	0.02	0.03
63	0.03	0.02	0.03
66	0.03	0.02	0.03
69	0.04	0.03	0.04
72	0.05	0.03	0.04
75	0.06	0.03	0.05
78	0.07	0.04	0.06
81	0.07	0.05	0.06
84	0.08	0.05	0.07
87	0.09	0.06	0.08
90	0.10	0.07	0.09

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	เฉลี่ย
93	0.11	0.08	0.10
96	0.12	0.08	0.10
99	0.13	0.09	0.11
102	0.14	0.10	0.12
105	0.14	0.11	0.13
108	0.18	0.12	0.15
111	0.18	0.13	0.16
114	0.18	0.14	0.16
117	0.19	0.14	0.17
120	0.21	0.16	0.19
123	0.22	0.17	0.20
126	0.23	0.18	0.21
129	0.25	0.20	0.23
132	0.27	0.21	0.24
135	0.29	0.22	0.26
138	0.32	0.24	0.28
141	0.33	0.25	0.29
144	0.35	0.25	0.30
147	0.38	0.28	0.33
150	0.41	0.29	0.35
153	0.42	0.32	0.37
156	0.49	0.34	0.42
159	0.50	0.35	0.43
162	0.52	0.38	0.45
165	0.53	0.39	0.46
168	0.55	0.42	0.49
171	0.59	0.43	0.51
174	0.61	0.46	0.54
177	0.65	0.48	0.57
180	0.66	0.50	0.58
183	0.70	0.53	0.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแครอทบด

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.01	0.01	0.00	0.01
27	0.01	0.01	0.00	0.01
30	0.01	0.01	0.00	0.01
33	0.01	0.01	0.00	0.01
36	0.01	0.01	0.00	0.01
39	0.01	0.01	0.00	0.01
42	0.01	0.01	0.00	0.01
45	0.01	0.01	0.00	0.01
48	0.01	0.01	0.00	0.01
51	0.01	0.02	0.00	0.01
54	0.02	0.02	0.00	0.01
57	0.02	0.02	0.00	0.01
60	0.02	0.02	0.00	0.01
63	0.03	0.02	0.00	0.02
66	0.03	0.03	0.00	0.02
69	0.03	0.03	0.00	0.02
72	0.03	0.03	0.01	0.02
75	0.04	0.03	0.01	0.03
78	0.05	0.04	0.02	0.04

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
81	0.05	0.05	0.02	0.04
84	0.07	0.05	0.03	0.05
87	0.07	0.05	0.03	0.05
90	0.07	0.06	0.04	0.06
93	0.08	0.07	0.05	0.07
96	0.10	0.07	0.05	0.07
99	0.10	0.08	0.05	0.08
102	0.11	0.08	0.06	0.08
105	0.12	0.08	0.07	0.09
108	0.13	0.10	0.07	0.10
111	0.15	0.10	0.08	0.11
114	0.16	0.11	0.10	0.12
117	0.16	0.11	0.10	0.12
120	0.18	0.12	0.12	0.14
123	0.19	0.13	0.13	0.15
126	0.21	0.14	0.13	0.16
129	0.22	0.16	0.15	0.18
132	0.24	0.17	0.15	0.19
135	0.26	0.19	0.16	0.20
138	0.28	0.20	0.17	0.22
141	0.30	0.21	0.18	0.23
144	0.32	0.22	0.21	0.25
147	0.35	0.22	0.22	0.26
150	0.37	0.24	0.23	0.28
153	0.39	0.25	0.25	0.30
156	0.42	0.27	0.26	0.32
159	0.49	0.28	0.33	0.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของน้ำตาลทรายขาว

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00
42	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00
48	0.00	0.00	0.00	0.00
51	0.00	0.00	0.00	0.00
54	0.00	0.00	0.00	0.00
57	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00
63	0.00	0.00	0.00	0.00
66	0.00	0.00	0.00	0.00
69	0.00	0.00	0.00	0.00
72	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00
78	0.01	0.00	0.00	0.00

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
81	0.01	0.00	0.00	0.00
84	0.01	0.00	0.00	0.00
87	0.01	0.00	0.00	0.00
90	0.02	0.00	0.00	0.01
93	0.02	0.01	0.01	0.01
96	0.03	0.01	0.01	0.02
99	0.03	0.01	0.01	0.02
102	0.03	0.01	0.01	0.02
105	0.03	0.02	0.02	0.02
108	0.03	0.02	0.02	0.02
111	0.04	0.02	0.02	0.03
114	0.04	0.03	0.03	0.03
117	0.05	0.03	0.03	0.04
120	0.05	0.04	0.04	0.04
123	0.05	0.04	0.04	0.04
126	0.07	0.04	0.05	0.05
129	0.07	0.04	0.05	0.05
132	0.07	0.05	0.05	0.06
135	0.08	0.05	0.05	0.06
138	0.08	0.05	0.06	0.06
141	0.09	0.06	0.06	0.07
144	0.09	0.06	0.07	0.07
147	0.10	0.06	0.07	0.08
150	0.11	0.08	0.08	0.09
153	0.11	0.08	0.08	0.09
156	0.12	0.08	0.08	0.09
159	0.12	0.09	0.08	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของน้ำตาลทรายขาว(ต่อ)

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
162	0.13	0.09	0.09	0.10
165	0.13	0.09	0.10	0.11
168	0.14	0.10	0.10	0.11
171	0.15	0.11	0.10	0.12
174	0.16	0.11	0.11	0.13
177	0.16	0.12	0.12	0.13
180	0.17	0.12	0.12	0.14
183	0.18	0.12	0.12	0.14

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
186	0.19	0.12	0.15	0.15
189	0.19	0.14	0.15	0.16
192	0.20	0.14	0.15	0.16
195	0.21	0.15	0.16	0.17
198	0.21	0.16	0.16	0.18
201	0.22	0.16	0.16	0.18
204	0.23	0.17	0.18	0.19
207	0.24	0.18	0.18	0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 5 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแป้งสาลี

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00
42	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00
48	0.00	0.00	0.00	0.00
51	0.00	0.00	0.00	0.00
54	0.00	0.00	0.00	0.00
57	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00
63	0.00	0.00	0.00	0.00
66	0.00	0.00	0.00	0.00
69	0.01	0.00	0.00	0.00
72	0.01	0.00	0.00	0.00
75	0.01	0.00	0.00	0.00

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
78	0.01	0.00	0.00	0.00
81	0.01	0.01	0.00	0.01
84	0.02	0.01	0.00	0.01
87	0.02	0.01	0.00	0.01
90	0.02	0.01	0.00	0.01
93	0.04	0.01	0.01	0.02
96	0.04	0.02	0.01	0.02
99	0.04	0.03	0.01	0.03
102	0.05	0.03	0.02	0.03
105	0.05	0.03	0.02	0.03
108	0.06	0.04	0.02	0.04
111	0.06	0.04	0.02	0.04
114	0.07	0.05	0.03	0.05
117	0.09	0.05	0.04	0.06
120	0.09	0.06	0.05	0.07
123	0.10	0.06	0.05	0.07
126	0.11	0.08	0.06	0.08
129	0.13	0.09	0.07	0.10
132	0.15	0.09	0.07	0.10
135	0.16	0.09	0.08	0.11
138	0.17	0.10	0.08	0.12
141	0.19	0.12	0.10	0.14
144	0.20	0.13	0.11	0.15
147	0.22	0.14	0.12	0.16
150	0.24	0.16	0.13	0.18
153	0.25	0.17	0.13	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 6 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของไข่ไก่

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00
42	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00
48	0.00	0.00	0.00	0.00
51	0.00	0.00	0.00	0.00

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
54	0.00	0.00	0.00	0.00
57	0.00	0.01	0.01	0.01
60	0.01	0.01	0.02	0.01
63	0.03	0.02	0.02	0.02
66	0.04	0.03	0.02	0.03
69	0.04	0.05	0.02	0.04
72	0.04	0.05	0.02	0.04
75	0.05	0.05	0.02	0.04
78	0.05	0.05	0.02	0.04
81	0.05	0.05	0.02	0.04
84	0.07	0.02	0.03	0.04
87	0.09	0.01	0.04	0.05
90	0.10		0.06	0.08
93	0.11		0.08	0.10
96	0.14		0.11	0.13
99	0.16		0.12	0.14
102	0.19		0.13	0.16
105	0.20		0.11	0.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 7 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของไข่ขาว

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.01	0.00	0.00	0.00
15	0.01	0.00	0.00	0.00
18	0.02	0.00	0.00	0.01
21	0.01	0.00	0.00	0.00
24	0.01	0.00	0.00	0.00
27	0.01	0.00	0.01	0.01
30	0.01	0.01	0.00	0.01
33	0.01	0.01	0.01	0.01
36	0.01	0.01	0.01	0.01
39	0.01	0.01	0.00	0.01
42	0.01	0.01	0.01	0.01
45	0.01	0.01	0.01	0.01

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
48	0.01	0.01	0.01	0.01
51	0.01	0.01	0.01	0.01
54	0.01	0.01	0.02	0.01
57	0.01	0.01	0.02	0.01
60	0.02	0.01	0.02	0.02
63	0.04	0.01	0.01	0.02
66	0.07	0.01	0.01	0.03
69	0.10	0.01	0.02	0.04
72	0.11	0.01	0.02	0.05
75	0.11	0.01	0.01	0.04
78	0.11	0.01	0.02	0.05
81	0.11	0.02	0.03	0.05
84	0.10	0.03	0.04	0.06
87	0.11	0.04	0.04	0.06
90	0.11	0.04	0.05	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 8 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเกลือ

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.01	0.00	0.00
33	0.00	0.01	0.00	0.00
36	0.00	0.01	0.00	0.00
39	0.00	0.02	0.01	0.01
42	0.00	0.03	0.01	0.01
45	0.01	0.03	0.02	0.02
48	0.02	0.04	0.03	0.03
51	0.03	0.06	0.03	0.04
54	0.04	0.07	0.04	0.05
57	0.05	0.07	0.05	0.06
60	0.06	0.09	0.06	0.07
63	0.07	0.10	0.07	0.08
66	0.08	0.11	0.07	0.09
69	0.09	0.13	0.09	0.10
72	0.10	0.15	0.11	0.12
75	0.12	0.16	0.12	0.13
78	0.14	0.18	0.13	0.15
81	0.16	0.19	0.15	0.17
84	0.17	0.22	0.16	0.18
87	0.20	0.24	0.19	0.21
90	0.21	0.26	0.19	0.22

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
93	0.23	0.29	0.22	0.25
96	0.25	0.31	0.24	0.27
99	0.27	0.33	0.26	0.29
102	0.28	0.35	0.28	0.30
105	0.31	0.38	0.29	0.33
108	0.34	0.41	0.31	0.35
111	0.37	0.42	0.34	0.38
114	0.39	0.45	0.37	0.40
117	0.42	0.47	0.39	0.43
120	0.44	0.50	0.41	0.45
123	0.46	0.52	0.44	0.47
126	0.49	0.55	0.46	0.50
129	0.51	0.58	0.48	0.52
132	0.53	0.60	0.51	0.55
135	0.56	0.63	0.54	0.58
138	0.59	0.68	0.56	0.61
141	0.61	0.69	0.58	0.63
144	0.63	0.71	0.61	0.65
147	0.66	0.75	0.64	0.68
150	0.69	0.78	0.66	0.71
153	0.71	0.80	0.70	0.74
156	0.75	0.83	0.72	0.77
159	0.77	0.86	0.76	0.80
162	0.80	0.89	0.78	0.82
165	0.82	0.91	0.80	0.84
168	0.85	0.94	0.83	0.87
171	0.88	0.97	0.86	0.90
174	0.90	1.02	0.89	0.94
177	0.93	1.05	0.92	0.97
180	0.96	1.08	0.95	1.00
183	0.99	1.10	0.97	1.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 8 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเกลือ(ต่อ)

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
186	1.01	1.12	1.00	1.04
189	1.04	1.15	1.04	1.08
192	1.07	1.17	1.05	1.10
195	1.09	1.19	1.07	1.12
198	1.12	1.20	1.09	1.14
201	1.15	1.20	1.13	1.16
204	1.17		1.15	1.16
207	1.20		1.18	1.19
210	1.23		1.20	1.22

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)			แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
213	1.26		1.23	1.25
216	1.28		1.25	1.27
219	1.31		1.27	1.29
222	1.33		1.30	1.32
225	1.36		1.32	1.34
228	1.39		1.35	1.37
231	1.41		1.38	1.40
234	1.44		1.39	1.42
237	1.46		1.41	1.44

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 9 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของซอสพริก

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)				แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
36	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
39	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
42	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01
45	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01
48	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01
51	0.01	0.00	0.02	0.03	0.02
54	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02
57	0.02	0.01	0.03	0.04	0.03
60	0.02	0.02	0.04	0.05	0.03
63	0.03	0.02	0.05	0.05	0.04
66	0.03	0.03	0.05	0.06	0.04

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)				แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	
69	0.04	0.03	0.06	0.06	0.05
72	0.05	0.04	0.07	0.07	0.06
75	0.05	0.04	0.08	0.08	0.06
78	0.06	0.05	0.09	0.09	0.07
81	0.07	0.06	0.10	0.10	0.08
84	0.07	0.07	0.11	0.11	0.09
87	0.09	0.07	0.12	0.15	0.11
90	0.09	0.09	0.15	0.23	0.14
93	0.10	0.10	0.19	0.33	0.18
96	0.11	0.11	0.24	0.41	0.22
99	0.12	0.12	0.33	0.53	0.28
102	0.13	0.12	0.51	0.65	0.35
105	0.14	0.13	0.80	0.95	0.51
108	0.15	0.14	0.97	1.27	0.63
111	0.16	0.16	1.10	1.40	0.71
114	0.17	0.16	1.17	1.50	0.75
117	0.17	0.18	1.20	1.57	0.78
120	0.19	0.19	1.24	1.77	0.85
123	0.19	0.20	1.32	1.92	0.91
126	0.21	0.21	1.50	1.94	0.97
129	0.22	0.21	1.66	1.95	1.01
132	0.23	0.21	1.75	1.95	1.04
135	0.25	0.23	1.80	2.04	1.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 10 แสดงผลการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของไข่แดง

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)	เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)	เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)
0	0.00	87	0.02	174	0.21
3	0.00	90	0.02	177	0.23
6	0.00	93	0.03	180	0.23
9	0.00	96	0.03	183	0.24
12	0.00	99	0.04	186	0.26
15	0.00	102	0.04	189	0.28
18	0.00	105	0.04	192	0.30
21	0.00	108	0.05	195	0.31
24	0.00	111	0.05	198	0.32
27	0.00	114	0.05	201	0.33
30	0.00	117	0.05	204	0.36
33	0.00	120	0.06	207	0.38
36	0.00	123	0.06	210	0.40
39	0.00	126	0.07	213	0.42
42	0.00	129	0.08	216	0.44
45	0.00	132	0.08	219	0.47
48	0.00	135	0.09	222	0.50
51	0.00	138	0.10	225	0.52
54	0.00	141	0.10	228	0.54
57	0.00	144	0.11	231	0.57
60	0.00	147	0.13	234	0.61
63	0.00	150	0.13	237	0.63
66	0.00	153	0.13	240	0.66
69	0.01	156	0.15	243	0.69
72	0.01	159	0.15	246	0.71
75	0.01	162	0.17	249	0.75
78	0.02	165	0.17	252	0.78
81	0.02	168	0.19	255	0.82
84	0.02	171	0.19	258	0.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 11 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแป้งข้าวโพด

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
0	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00
12	0.01	0.00	0.01
15	0.02	0.00	0.01
18	0.02	0.00	0.01
21	0.04	0.00	0.02
24	0.04	0.00	0.02
27	0.04	0.01	0.03
30	0.05	0.01	0.03
33	0.07	0.02	0.05
36	0.07	0.02	0.05
39	0.09	0.03	0.06
42	0.10	0.03	0.07
45	0.11	0.04	0.08
48	0.12	0.05	0.09
51	0.13	0.06	0.10
54	0.14	0.06	0.10
57	0.15	0.06	0.11
60	0.17	0.07	0.12
63	0.19	0.07	0.13
66	0.19	0.08	0.14
69	0.21	0.10	0.16
72	0.22	0.10	0.16
75	0.23	0.10	0.17

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
78	0.26	0.12	0.19
81	0.27	0.13	0.20
84	0.29	0.14	0.22
87	0.30	0.14	0.22
90	0.32	0.16	0.24
93	0.33	0.17	0.25
96	0.35	0.18	0.27
99	0.37	0.19	0.28
102	0.39	0.20	0.30
105	0.40	0.21	0.31
108	0.42	0.22	0.32
111	0.45	0.24	0.35
114	0.46	0.25	0.36
117	0.48	0.26	0.37
120	0.50	0.27	0.39
123	0.51	0.29	0.40
126	0.54	0.30	0.42
129	0.55	0.32	0.44
132	0.58	0.33	0.46
135	0.59	0.35	0.47
138	0.62	0.36	0.49
141	0.64	0.38	0.51
144	0.66	0.39	0.53
147	0.68	0.41	0.55
150	0.71	0.42	0.57
153	0.73	0.44	0.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 12 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของกากสับปะรด

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
0	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00
39	0.01	0.00	0.01
42	0.01	0.00	0.01
45	0.01	0.00	0.01
48	0.01	0.00	0.01
51	0.01	0.00	0.01
54	0.01	0.01	0.01
57	0.01	0.01	0.01
60	0.01	0.01	0.01
63	0.01	0.01	0.01
66	0.01	0.02	0.02
69	0.01	0.02	0.02
72	0.01	0.02	0.02
75	0.01	0.03	0.02
78	0.02	0.03	0.03
81	0.02	0.04	0.03
84	0.02	0.05	0.04
87	0.03	0.05	0.04
90	0.03	0.06	0.05

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
93	0.04	0.07	0.06
96	0.04	0.08	0.06
99	0.04	0.09	0.07
102	0.06	0.10	0.08
105	0.06	0.12	0.09
108	0.07	0.13	0.10
111	0.07	0.15	0.11
114	0.08	0.16	0.12
117	0.11	0.18	0.15
120	0.11	0.20	0.16
123	0.12	0.22	0.17
126	0.13	0.24	0.19
129	0.15	0.26	0.21
132	0.16	0.27	0.22
135	0.17	0.30	0.24
138	0.19	0.33	0.26
141	0.20	0.34	0.27
144	0.22	0.37	0.30
147	0.23	0.40	0.32
150	0.25	0.43	0.34
153	0.27	0.44	0.36
156	0.29	0.47	0.38
159	0.31	0.50	0.41
162	0.33	0.52	0.43
165	0.35	0.55	0.45
168	0.38	0.57	0.48
171	0.40	0.60	0.50
174	0.41	0.62	0.52
177	0.44	0.65	0.55
180	0.46	0.68	0.57
183	0.48	0.71	0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 12 แสดงผลการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของกากสับปะรด(ต่อ)

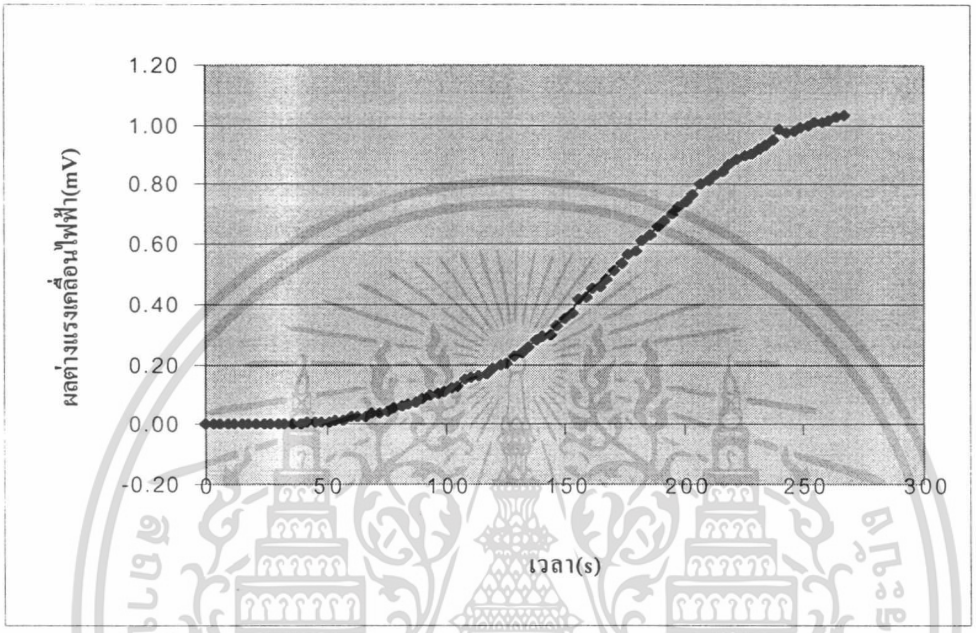
เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
186	0.50	0.73	0.62
189	0.53	0.77	0.65
192	0.56	0.80	0.68
195	0.58	0.83	0.71
198	0.61	0.85	0.73
201	0.63	0.88	0.76
204	0.65	0.90	0.78
207	0.67	0.94	0.81
210	0.70	0.96	0.83
213	0.72	0.99	0.86

เวลา(s)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	
216	0.75	1.02	0.89
219	0.77	1.05	0.91
222	0.80	1.07	0.94
225	0.82	1.10	0.96
228	0.85	1.12	0.99
231	0.89	1.15	1.02
234	0.91	1.17	1.04
237	0.95	1.20	1.08
240	0.99	1.23	1.11

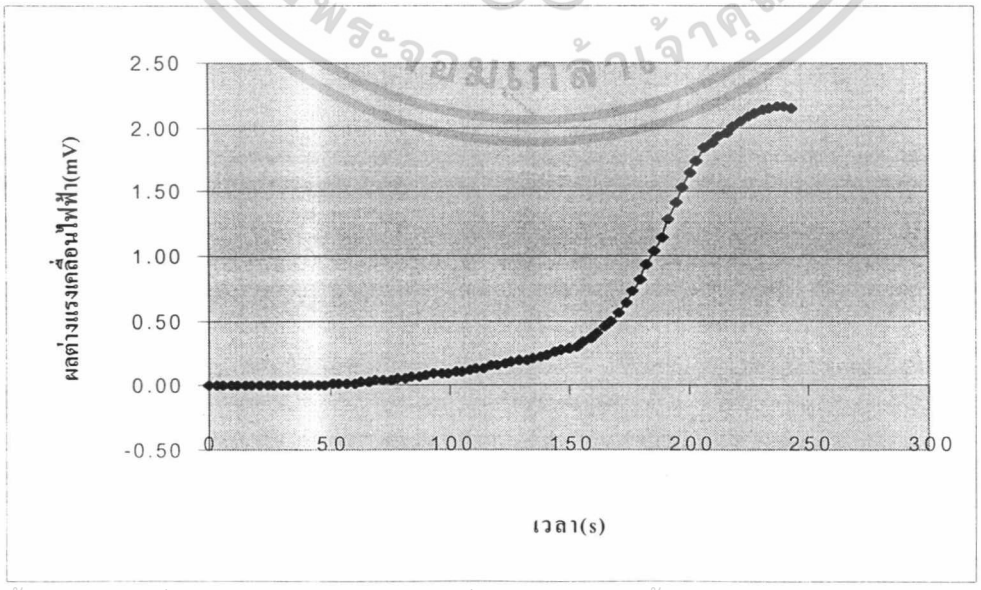
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ภาพภาคผนวกที่ 1. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของหมูบด

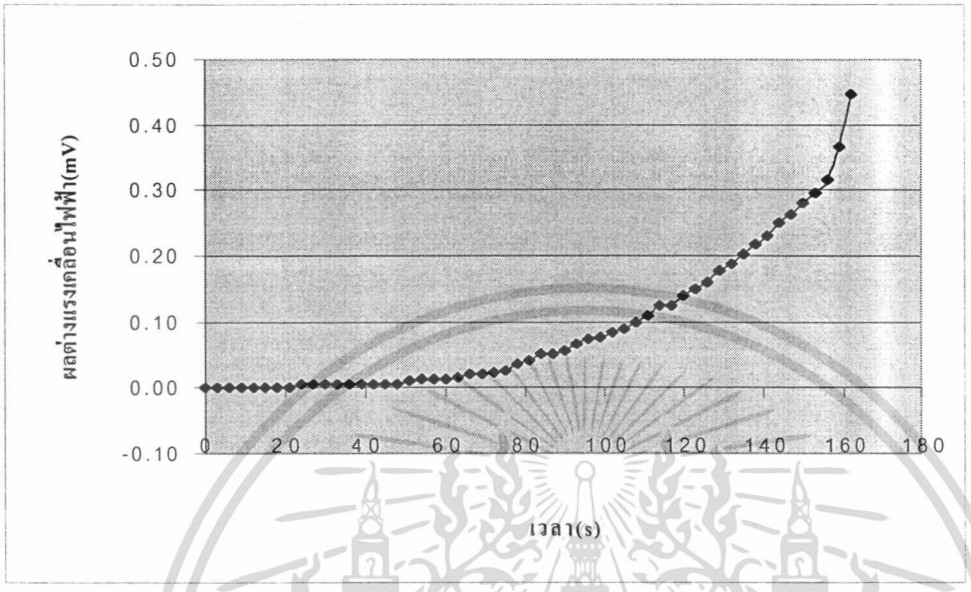


ภาพภาคผนวกที่ 2. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของมันฝรั่งบด

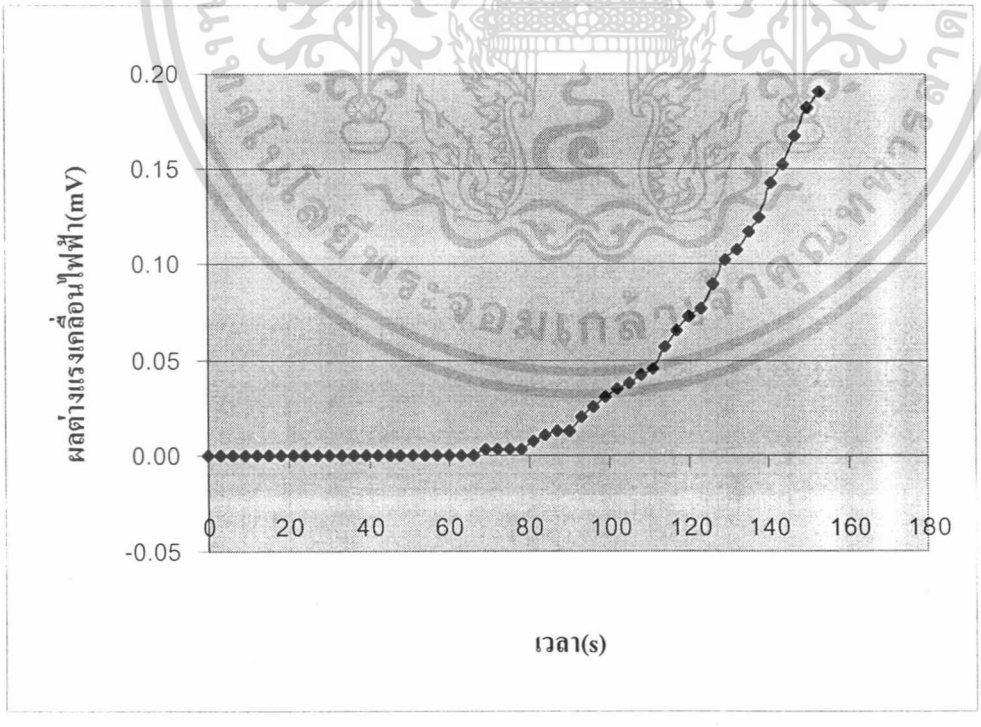


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพภาคผนวกที่ 3. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของแครอทบด

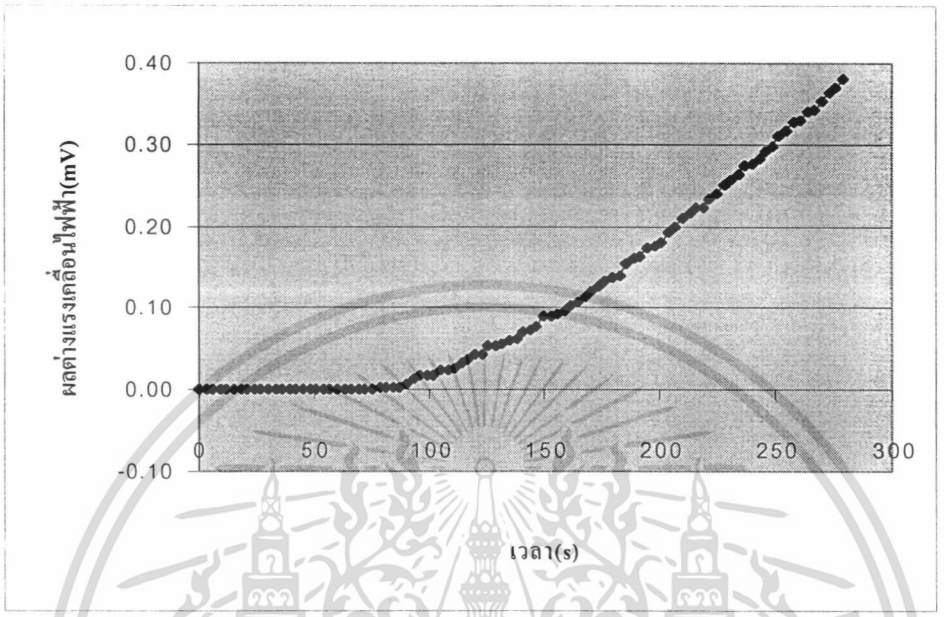


ภาพภาคผนวกที่ 4. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของแป้งสาลี

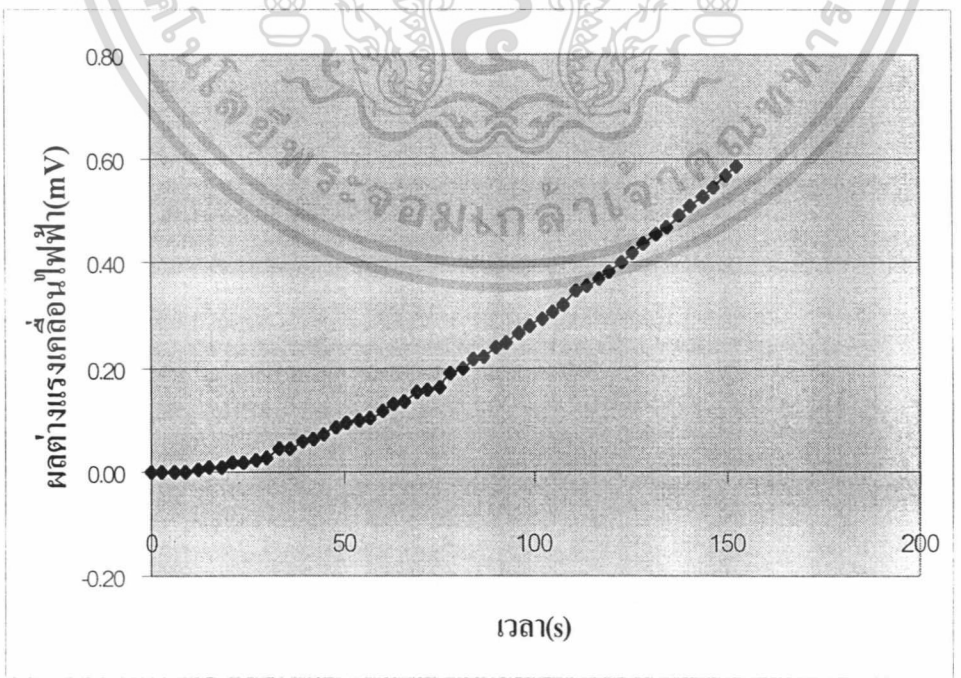


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพภาคผนวกที่ 5. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของน้ำตาลทรายขาว

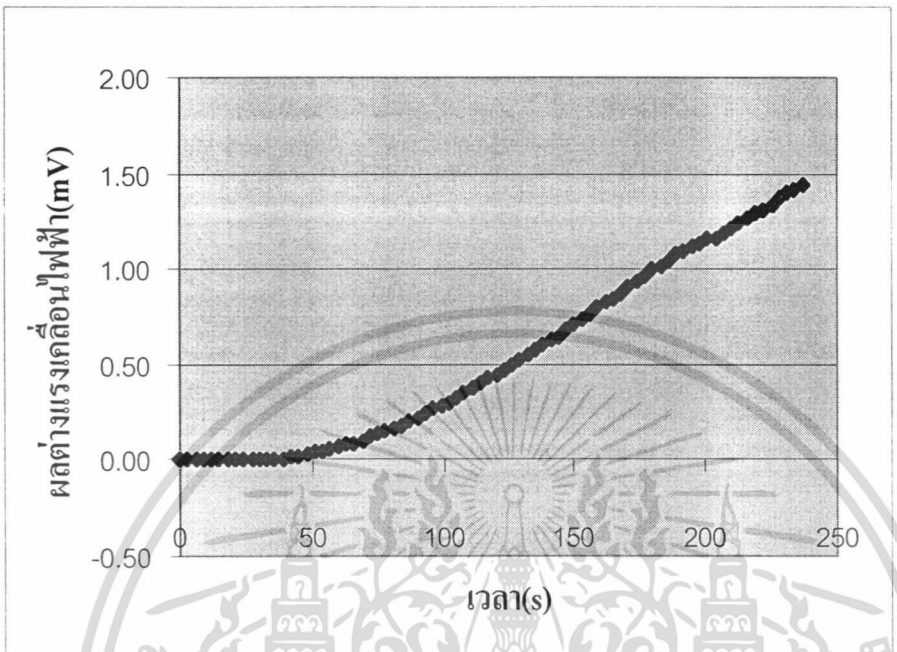


ภาพภาคผนวกที่ 6. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของแป้งข้าวโพด

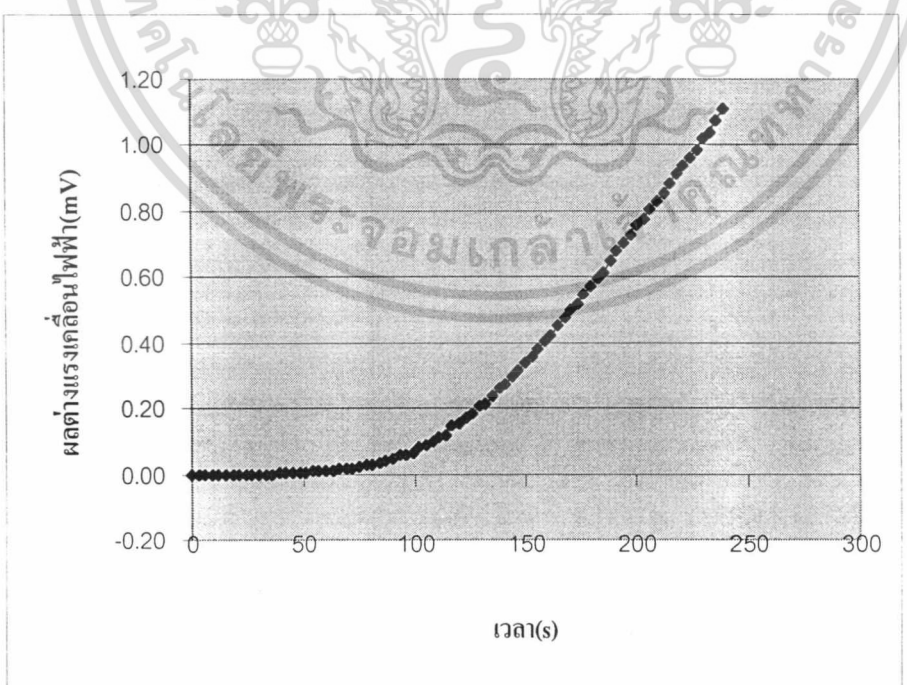


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพภาคผนวกที่ 7. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของเกลือ

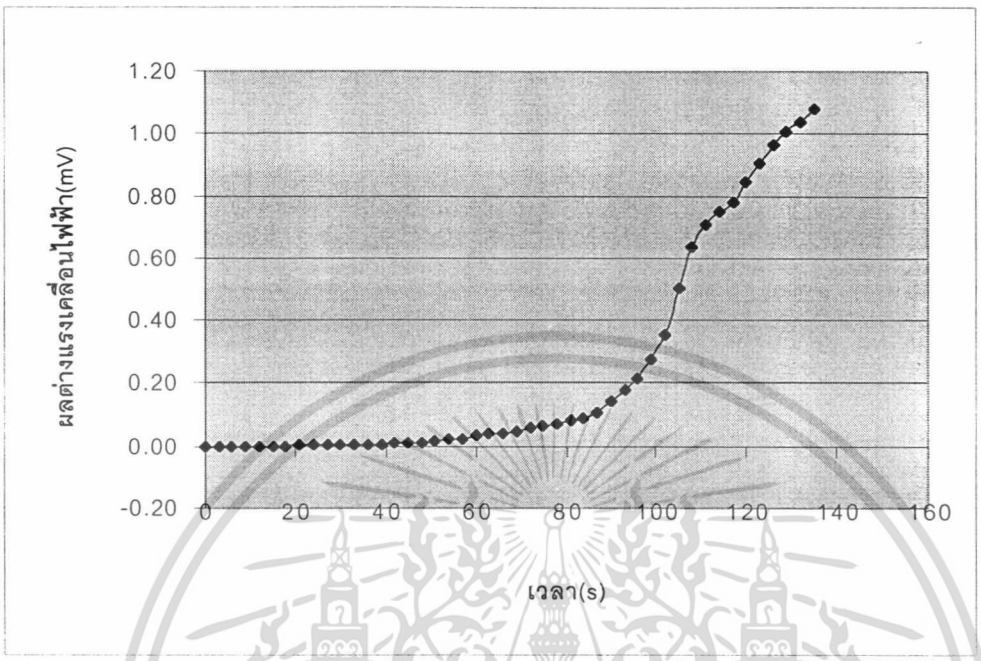


ภาพภาคผนวกที่ 8. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของกากสับปะรด

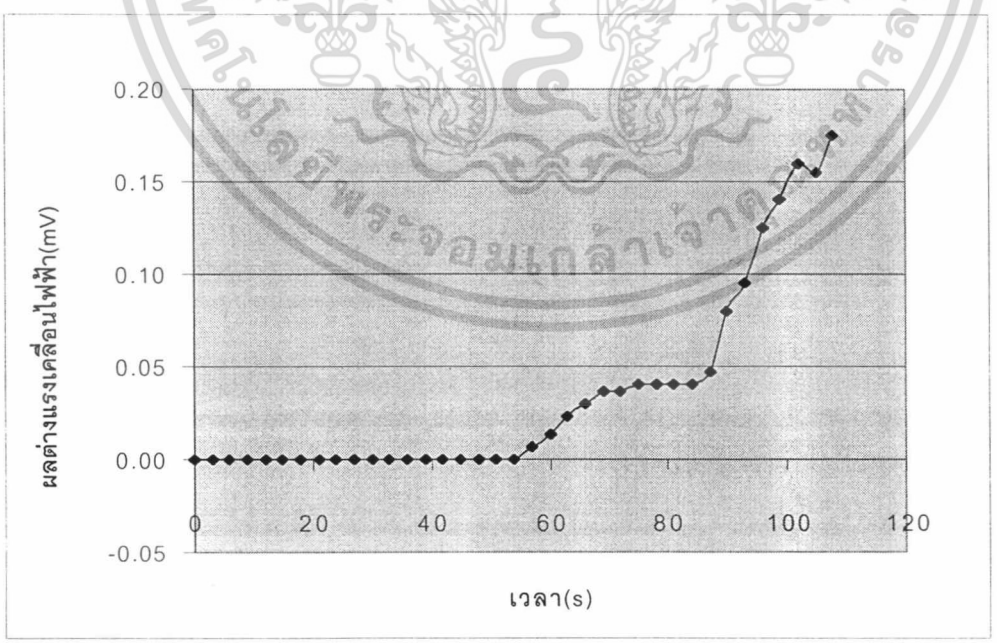


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพภาคผนวกที่ 9. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของซอสพริก

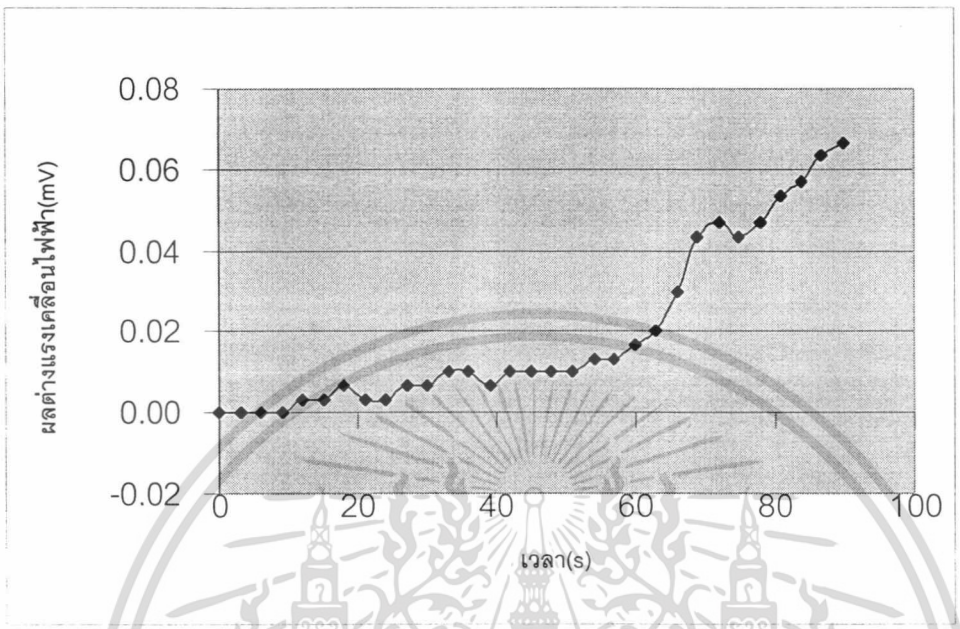


ภาพภาคผนวกที่ 10. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของไข่ไก่

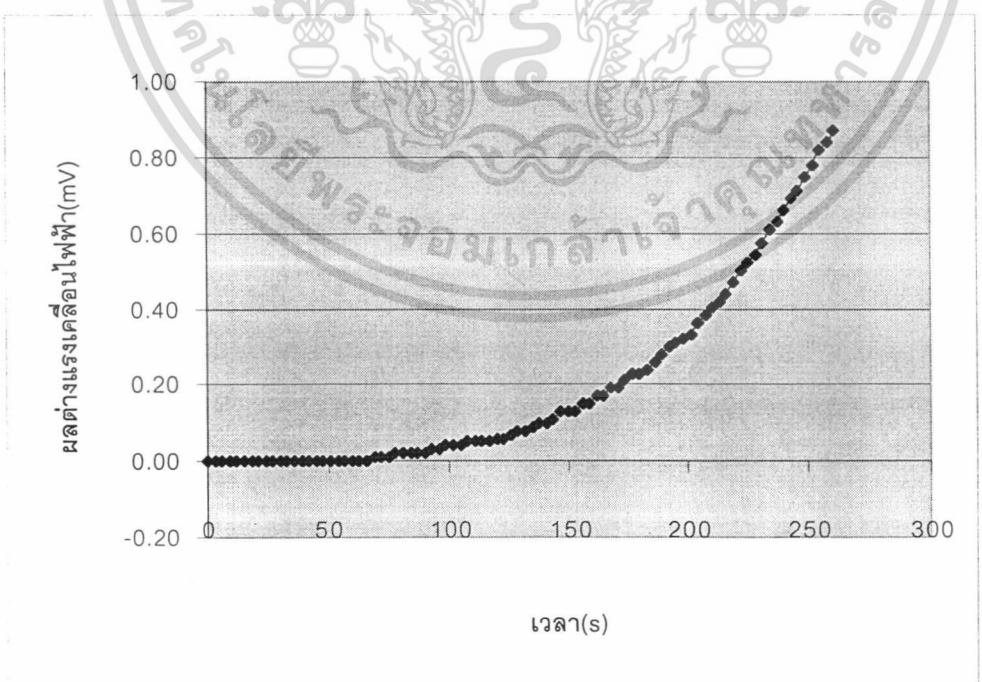


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพภาคผนวกที่ 11. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของไข่ขาว



ภาพภาคผนวกที่ 12. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับเวลาของไข่แดง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจันทร์ทิพย์ ทุมวงศ์ เกิดวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2521 ภูมิลำเนาอยู่ที่ จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจะมะมหาราช จังหวัดอุบลราชธานี เมื่อปีพุทธศักราช 2540

นายเทพพิทักษ์ วรสิทธิ์ เกิดวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2522 ภูมิลำเนาอยู่ที่ จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพรตพิทยพยัต จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อปีพุทธศักราช 2540

นางสาวมณีรัตน์ ศรีชมภู เกิดวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2522 ภูมิลำเนาอยู่ที่ จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเซนต์โยเซฟ บางนา จังหวัดสมุทรปราการ เมื่อปีพุทธศักราช 2540

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้