

เซ็นเซอร์วัดแรงกดจากสารประกอบคาร์บอนนาโนทิวป์และแบคทีเรียเซลลูโลส

Carbon Nanotubes/Bacterial Cellulose composite force sensor



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เซ็นเซอร์วัดแรงกดจากสารประกอบคาร์บอนนาโนทิวป์และแบคทีเรียเซลลูโลส

Carbon Nanotubes/Bacterial Cellulose composite force sensor



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เซ็นเซอร์วัดแรงกดจากสารประกอบคาร์บอนนาโนทิวป์และแบคทีเรียเซลลูโลส

Carbon Nanotubes/Bacterial Cellulose composite force sensor

ผู้จัดทำ

นาย ชนทีพย์ ศรีตะ

รหัสประจำตัว 60010183

นาย นิตินงค์ เผ่าภูรี

รหัสประจำตัว 60010537

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



.....
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. รังสรรค์ เมืองเหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริยญาานิพนธ์	เซ็นเซอร์วัดแรงกดจากสารประกอบคาร์บอนนาโนทิวป์และแบคทีเรียเซลลูโลส	
นักศึกษา	นาย ชนทิพย์ ศรีตะ	รหัสนักศึกษา 60010183
	นาย นิติงศ์ เผ่าภูรี	รหัสประจำตัว 60010537
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2563	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริยญาานิพนธ์	ผศ.ดร. รังสรรค์ เมืองเหลือ	

บทคัดย่อ

ปริยญาานิพนธ์นำเสนอ การสร้างเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่สร้างจากเซลลูโลสแบคทีเรียที่เจือด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ทั้งหมดสามระดับ คือ 0.45 กรัม 0.50 กรัม และ 0.55 กรัม และทำการเคลือบด้วยโพลีไดเมทิลไซโลเซน (PDMS) เพื่อกันความชื้น และทำการทดสอบโดยการให้แรงกดทับแก่ตัวเซ็นเซอร์ที่ 100 นิวตัน 200 นิวตัน และ 300 นิวตัน โดยสลับแรงกดและปล่อยอย่างละ 10 วินาที โดยทำทั้งหมดเป็นเวลา 1 นาที และวัดความต้านทานไฟฟ้าในขณะนั้น ซึ่งได้ผลว่าเมื่อเซ็นเซอร์ได้รับแรงกดทับ ค่าความต้านทานจะมีค่าที่ลดลงจากค่าปกติที่ไม่ได้รับแรงกด และ ยิ่งแรงกดที่มากขึ้นก็จะส่งผลให้ความต้านทานมีค่าลดลงไปมากขึ้นเช่นกัน โดยผลจากเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ต่างกัน ก็ให้ระดับความเปลี่ยนแปลงของความต้านทานที่ต่างกัน ที่ความเข้มข้น 0.55 กรัม จะได้ผลที่เซ็นเซอร์มีความต้านทานน้อยที่สุด และที่ความเข้มข้น 0.50 กรัม จะมีการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานที่มากที่สุดโดยเทียบจากความต้านทานขณะที่ไม่ได้รับแรงกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis Title Carbon Nanotubes/Bacterial Cellulose composite force sensor

Student Mr. Chanathip Sritha Student ID 60010183
Mr.Nitipong Powpooree Student ID : 60010537

Degree Bachelor of Engineering

Program Electronics Engineering

Year 2020

Thesis Advisor Asst. Prof. Rangson Muanghlua

Abstract

This Thesis presents the construction of a pressure sensor made of Bacterial Cellulose doped with carbon nanotubes with three carbon nanotubes concentrations of 0.45 g, 0.50 g and 0.55 g, and coated with a polydimethylxylosane (PDMS).) to prevent moisture. The test was performed by applying the pressure to the sensor at 100 N, 200 N and 300 N, alternating the pressure and releasing it for 10 seconds, all done for 1 minute and measuring the resistance. Result has shown that the resistance is reduced from the normal value without pressure, and the greater the pressure, the lower the resistance is. As a result of sensors with different carbon nanotubes concentrations gives different levels of resistance to change. At a concentration of 0.55 g, the result is that the sensor has the least resistance. And at a concentration of 0.50 g, the change in resistance was the greatest relative to the non-stressed resistance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use **||** only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการจัดการทำปริญญานิพนธ์ “ เซ็นเซอร์วัดแรงกดจากสารประกอบคาร์บอนนาโน ทิวป์และแบคทีเรียเซลลูโลส ” ผู้เขียนขอขอบพระคุณ “ ผศ.ดร. รังสรรค์ เมืองเหลือ ” ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้แนวทาง ข้อมูลทางด้านวิชาการ และข้อคิดทางการปฏิบัติ ตั้งแต่เริ่มต้นทำปริญญานิพนธ์ จนกระทั่งปริญญานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์และขอบคุณ “ โบว์ และ ไอซ์ ” ทำให้การทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอบคุณ นาย ไชยเดช เดชอนันต์ , นาย นิติพงศ์ เผ่าสุรี , นาย ปรีดี เจริญพรหรรษา ที่ให้คำแนะนำ ขณะทำปริญญานิพนธ์ขึ้นนี้ และยังคงคอยอำนวยความสะดวกเรื่องอุปกรณ์ในการทำงาน และเทคนิคต่างๆ



ชนทิพย์ ศรีตะ

นิติพงศ์ เผ่าสุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
บทที่ 2	3
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 หลักการทำงานของอุปกรณ์ TENG.....	4
2.1.1 รูปแบบการสัมผัสแบบตั้งฉาก (Vertical contact-separation mode).....	4
2.1.2 รูปแบบการสัมผัสแบบเลื่อนในแนวระนาบ (Relative - sliding mode).....	5
2.1.3 รูปแบบการสัมผัสแบบอิเล็กโทรดเดี่ยว (Single electrode mode).....	6
2.1.4 รูปแบบการสัมผัสแบบอิสระ (Free standing mode).....	7
2.2 วัสดุชีวภาพ (Biomaterial).....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2	แบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial Cellulose).....	12
2.3	กราฟีน (Graphene).....	14
2.3.1	กราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide; GO).....	15
2.3.2	ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube : CNT).....	15
2.3.3	หมึกกราฟีน (Graphene ink : GI).....	17
บทที่ 3	18
วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1	อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	18
3.2	การสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลส.....	18
3.2.1	สารเคมี.....	18
3.2.2	ขั้นตอนการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลส.....	19
3.3	ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตของแบคทีเรียเซลลูโลสกับสารประกอบท่อนาโนคาร์บอน.....	19
3.4	ขั้นตอนการประกอบเป็นเซ็นเซอร์วัดแรงกด.....	20
3.4.1	สร้างแม่แบบของตัวเซ็นเซอร์.....	20
3.4.2	ขั้นตอนการสร้างตัวเซ็นเซอร์วัดแรงกด.....	21
3.5	วิธีการทดสอบเซ็นเซอร์วัดแรงกด.....	22
บทที่ 4	23
ผลการทดลอง	23
4.1	ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าขณะได้รับแรงกดของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.45 กรัม.....	23
4.1.1	ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.45 กรัม.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเส้นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.45 กรัม	24
4.1.3 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเส้นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.45 กรัม	25
4.2 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าขณะได้รับแรงกดของเส้นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.50 กรัม	26
4.2.1 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเส้นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.50 กรัม	26
4.2.2 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเส้นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.50 กรัม	27
4.2.3 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเส้นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.50 กรัม	28
4.3 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าขณะได้รับแรงกดของเส้นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.55 กรัม	29
4.3.1 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเส้นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.55 กรัม	29
4.3.2 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเส้นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.55 กรัม	30
4.3.3 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเส้นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.55 กรัม	31
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง	32
4.4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเส้นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 100 นิวตัน	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 200 นิวตัน.....	33
4.4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 300 นิวตัน.....	34
4.4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่โดปด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ทั้ง 3 ความเข้มข้น โดยวิเคราะห์จากค่า Sensitivity ขณะที่ได้รับแรงกด 100 นิวตัน.....	35
4.4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่โดปด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ทั้ง 3 ความเข้มข้น โดยวิเคราะห์จากค่า Sensitivity ขณะที่ได้รับแรงกด 200 นิวตัน.....	36
4.4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่โดปด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ทั้ง 3 ความเข้มข้น โดยวิเคราะห์จากค่า Sensitivity ขณะที่ได้รับแรงกด 300 นิวตัน.....	37
บทที่ 5	38
สรุปผลการทดลอง.....	38
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	38
บรรณานุกรม.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สรุปหลักการทำงานและการประยุกต์ใช้งานของอุปกรณ์ TENG ทั้ง 4 รูปแบบ ดัดแปลงจาก.....	9
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและสมบัติต่างๆระหว่างเซลล์โอสที่ได้จากพืชกับแบคทีเรียเซลล์โอส	14
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนระหว่างจำนวนกรัมของท่อนาโนคาร์บอน ต่อ 2 กรัมของแบคทีเรียเซลล์โอส ในการสร้างฟิล์มคอมโพสิต.....	20
ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนระหว่าง แบคทีเรียเซลล์โอส กับ CNT.....	21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบการสัมผัสแบบตั้งฉาก (Vertical contact-separation mode) ดัดแปลงจาก	4
รูปที่ 2.2 กลไกการทำงานของอุปกรณ์ TENG ในรูปแบบเลื่อนในแนวระนาบ ดัดแปลงจาก	5
รูปที่ 2.3 กลไกการทำงานของอุปกรณ์ TENG ในรูปแบบการสัมผัสแบบอิเล็กทรอนิกส์เดี่ยว ดัดแปลงจาก	6
รูปที่ 2.4 กลไกการทำงานของอุปกรณ์ TENG ในรูปแบบการสัมผัสแบบอิสระ ดัดแปลงมาจาก	7
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างอนุกรมโทรโบอิเล็กทรอนิกส์ของวัสดุแต่ละชนิด ดัดแปลงมาจาก	10
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส (Cellulose)	11
รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของแบคทีเรียเซลลูโลส	12
รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบเส้นใยระหว่างเซลลูโลสจากพืชและแบคทีเรียเซลลูโลส (ก) ภาพถ่ายจาก	
จุลทรรศน์จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของเซลลูโลส (ข) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์	
จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของเซลลูโลส	12
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกราฟีนออกไซด์	15
รูปที่ 2.7 โครงสร้างคาร์บอนนาโนทิวบ์	17
รูปที่ 2.7 การสังเคราะห์หมึกกราฟีน	18
รูปที่ 3.1 วิธีการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลส	19
รูปที่ 3.2 วิธีการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตของแบคทีเรียเซลลูโลสกับท่อนาโนคาร์บอน	19
รูปที่ 3.3 ตัวแม่แบบเซ็นเซอร์	20
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการสร้างเซ็นเซอร์วัดแรงดัน	21
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการวัดแรงกดของเซ็นเซอร์	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.45 กรัม	23
รูปที่ 4.2 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.45 กรัม	24
รูปที่ 4.3 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.45 กรัม	25
รูปที่ 4.4 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.50 กรัม	26
รูปที่ 4.5 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.50 กรัม	27
รูปที่ 4.6 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.50 กรัม	28
รูปที่ 4.7 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.55 กรัม	29
รูปที่ 4.8 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.55 กรัม	30
รูปที่ 4.9 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.55 กรัม	31
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงดันทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 100 นิวตัน	32
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงดันทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 200 นิวตัน	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณี่ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ในประโยชน์ด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงดันทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 300 นิวตัน.....	34
รูปที่ 4.13 กราฟ Sensitivity ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดโดยให้แรงกด 100 นิวตัน.....	36
รูปที่ 4.13 กราฟ Sensitivity ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดโดยให้แรงกด 100 นิวตัน.....	37
รูปที่ 4.13 กราฟ Sensitivity ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดโดยให้แรงกด 100 นิวตัน.....	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทสำคัญทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและวิศวกรรมมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเตรียมวัสดุระดับนาโนหรือการเตรียมอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กลงจนอยู่ในระดับโมเลกุล ซึ่งวัสดุชนิดหนึ่งที่เป็นที่สนใจอย่างมากในปัจจุบันก็คือคาร์บอนนาโนทิวป์ ซึ่งถูกค้นพบครั้งแรกในปี 1991 โดยนักวิจัยของบริษัท เอ็นอีซี (NEC) ในห้องทดลองที่เมืองซึคุบา (TSUKUBA) ประเทศญี่ปุ่น ชื่อ ซุมิโอะ อิจิมา (SUMIO IJIMA) โดยการใช้ High resolution Transmission electron microscope (HRTEM) ตรวจสอบเขม่าสีดำที่ได้จากการเตรียม ฟูลเลอร์รีนส์ จากการบวนการยิงด้วยอิเล็กตรอน (electron arc discharge) ซึ่งคาร์บอนนาโนทิวป์ที่พบครั้งแรกคือ คาร์บอนนาโนทิวป์ชนิดผนังหลายชั้น จากนั้นในปี ค.ศ 1993 ซุมิโอะ อิจิมา (SUMIO IJIMA) และนักวิจัยของบริษัท ไอบีเอ็ม (IBM) ชื่อ ดอน เบทูน (DON BETHUNE) ได้นำเสนอรายงานวิจัยว่าสามารถสร้างคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังชั้นเดียวได้ โดยการเติมโลหะตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณเล็กน้อยในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวป์ เพื่อป้องกันการม้วนตัวด้วยตัวเองของแผ่นแกรไฟต์ และป้องกันการเกิดเป็น ฟูลเลอร์รีนส์ขนาดเล็ก การค้นพบของ ซุมิโอะ อิจิมา (SUMIO IJIMA) เป็นจุดเริ่มต้นทำให้นักวิทยาศาสตร์เริ่มมีการศึกษาของคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ และโครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวป์ ที่จะนำคาร์บอนนาโนทิวป์ไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆเพิ่มขึ้น

วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric materials) สำหรับเก็บเกี่ยวพลังงานกล ในปี ค.ศ. 2012 ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานเชิงกลขนาดเล็กไตรโบอิเล็กทริก (Triboelectric Nanogenerator; TENG) โดยศาสตราจารย์ Zhong lin wang และคณะ หลักการทำงานของอุปกรณ์นี้เป็นไปตามปรากฏการณ์ไตรโบอิเล็กทริก (Triboelectricity) ที่เกิดจากพื้นฐานของปรากฏการณ์ไฟฟ้าสถิต คือการนำวัสดุสองชนิดที่มีค่าความเป็นประจุที่แตกต่างกันมาสัมผัสหรือเสียดสี ทำให้พื้นผิวของวัสดุเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้า และเหนี่ยวนำให้ฝั่งตรงข้ามวัสดุเกิดขั้วไฟฟ้าขึ้นส่งผลให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าระหว่างสองวัสดุเมื่อตอเข้ากับโหลดทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น แต่เนื่องจากวัสดุเพียงสองชนิดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ห้ามเผยแพร่ไปใช้โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สัมผัสกันแล้วอาจเกิดการรวมกันของประจุที่ขั้วอิเล็กโทรดทำให้ประจุที่เกิดการสูญหายไปบางส่วนค่าการส่งออกไฟฟ้าจึงลดลง

Pressure sensor หรือ เซ็นเซอร์วัดความดัน เป็นอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดความดันหรือวัดน้ำหนักได้ แปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งการที่จะทำให้เซ็นเซอร์วัดความดันนี้สามารถนำไปใช้งานได้ในหลายแขนงการใช้งาน ได้มากขึ้น คือการเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาสำหรับเซ็นเซอร์วัดความดันที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้นเนื่องจากการใช้งานเฉพาะ ของมันในงานต่าง ๆ อาทิเช่น touch screens , การวินิจฉัยทางการแพทย์, smart robotics และ microsurgery เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันมีความก้าวหน้าอย่างมากในการออกแบบเซ็นเซอร์ที่มีลักษณะเหมือนผิวหนังมน เซ็นเซอร์ที่ใช้หลักความต้านทานความเค้นประจุ piezoelectric ซึ่งในหลักการเหล่านี้ เซ็นเซอร์จำพวกความต้านทานได้ถูกนำมาใช้เป็นอย่างมาก เนื่องจาก หากนำไปเทียบกับ pressure sensor ประเภทอื่นแล้วแบบ หลักการความต้านทาน จะมีกลไก การผลิต และการวัดที่ง่ายกว่า อีกทั้งยังมีการวิจัยและการนำไปประยุกต์ที่กว้างขวางกว่า

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1. เรียนรู้วิธีการสร้างเซ็นเซอร์วัดความดันที่ประยุกต์ใช้กับ Bacterial Cellulose
- 1.2.2 เพื่อประยุกต์นำคุณสมบัติของคาร์บอนนาโนทิวบ์มาใช้กับเซ็นเซอร์วัดแรงดัน
- 1.2.3 ศึกษาผลกระทบของความดันที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานในเซ็นเซอร์

1.3 สมมติฐานการศึกษา

สร้างเซ็นเซอร์วัดแรงดันจากคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่สามารถแบ่งช่วงของระดับแรงดันที่ให้ในการวัดได้อย่าง ชัดเจน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

โครงการนี้จัดทำเพื่อศึกษาและพัฒนาเซ็นเซอร์วัดแรงดันจากคาร์บอนนาโนทิวบ์ เพื่อให้มี

ความสามารถใน การแบ่งระดับของแรงดัน โดยใช้หลักการของความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทดลอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ในการค้า ศึกษาในลักษณะ โครงสร้างที่ใช้ Bacterial Cellulose เป็นตัวขึ้นรูปให้กับคาร์บอนนาโนทิวบ์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดที่เผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งพลังงานที่นำมาใช้ส่วนใหญ่มักอยู่ในรูปแบบเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน พลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป หรือพลังงานสิ้นเปลือง ดังนั้นจึงได้มองหาแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ได้แก่ พลังงานงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล และพลังงานกลที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์ หรือพลังงานเชิงกลในรูปแบบอื่น ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้ตลอดเวลา มาแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า ในปัจจุบันมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์แปลงเป็นกระแสไฟฟ้า นั่นคือ โซลาร์เซลล์ อย่างแพร่หลาย แต่ก็ยังมีข้อจำกัด คือ การเก็บเกี่ยวพลังงานแสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแสง จึงไม่สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้ตลอดเวลา ประกอบกับโครงสร้างอุปกรณ์มักมีขนาดใหญ่ จึงเป็นข้อด้อยสำคัญในการประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยัดหยุ่นแบบสวมใส่ได้ ในปี ค.ศ. 2012 ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดเล็กโทรโบอิเล็กทริก (Triboelectric Nanogenerator; TENG) โดยศาสตราจารย์ Zhong lin wang และคณะ ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยการสร้างให้มีวัสดุสองชนิดที่มีค่าความเป็นประจุที่แตกต่างกันมาสัมผัสหรือเสียดสีกัน จากปรากฏการณ์การเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิตจะสามารถทำให้อุปกรณ์ TENG สามารถผลิตไฟฟ้าได้ วัสดุที่ถูกนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ TENG มักเป็นวัสดุที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งยังมีความยืดหยุ่นต่ำ การเลือกใช้วัสดุที่สังเคราะห์ได้ตามธรรมชาติ ดังเช่น เซลลูโลส (Cellulose) เป็นวัสดุสัมผัสหลัก จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ นอกจากนั้นอุปกรณ์ TENG มักจะผลิตแรงดันไฟฟ้าได้มาก (มากกว่า 100 V) ในขณะที่กระแสไฟฟ้าได้ค่อนข้างน้อย (ระดับ μA) จึงยังไม่เพียงพอต่อการใช้งานเชิงปฏิบัติ มีความพยายามในการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ TENG หลากหลายแบบ แต่วิธีการเพิ่มขึ้นคั่นกลางระหว่างชั้นเสียดสีหลักกับขั้วอิเล็กโทรดด้านล่าง ถือว่าเป็นวิธีการแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่สามารถช่วยลดความซับซ้อนเชิงโครงสร้าง ทั้งยังสามารถปรับปรุงความหนาแน่นประจุไฟฟ้าบนพื้นผิว และช่วยลดระยะเวลาในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ TENG โดยสร้างชั้นคั่นกลางระหว่างชั้นสัมผัสหลักกับอิเล็กโทรด และเลือกใช้วัสดุสัมผัสหลักเป็นแบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial Cellulose) และมีการปรับปรุงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มแบคทีเรียเซลลูโลสโดยการเจือด้วยวัสดุนาโนฟังก์ชันนอลชนิดต่าง ๆ

2.1 หลักการทำงานของอุปกรณ์ TENG

อุปกรณ์ TENG สามารถแปลงพลังงานเชิงกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยปรากฏการณ์โทรโบอิเล็กทริก (Triboelectric Effect) คือ การนำวัสดุพิเศษสองชนิดที่มีค่าการถ่ายเทประจุที่แตกต่างกันมาสัมผัสหรือเสียดสีกันด้วยแรงเชิงกล ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุเกิดขึ้นที่พื้นผิวของวัสดุทั้งสองชนิด และเกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าสถิต ซึ่งประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นสามารถเคลื่อนที่ผ่านขั้วอิเล็กโทรดไปยังโหนดภายนอก เกิดเป็นสัญญาณทางไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีรูปแบบการทำงานที่เป็นไปได้ทั้งหมด 4 รูปแบบ ดังนี้

2.1.1 รูปแบบการสัมผัสแบบตั้งฉาก (Vertical contact-separation mode)

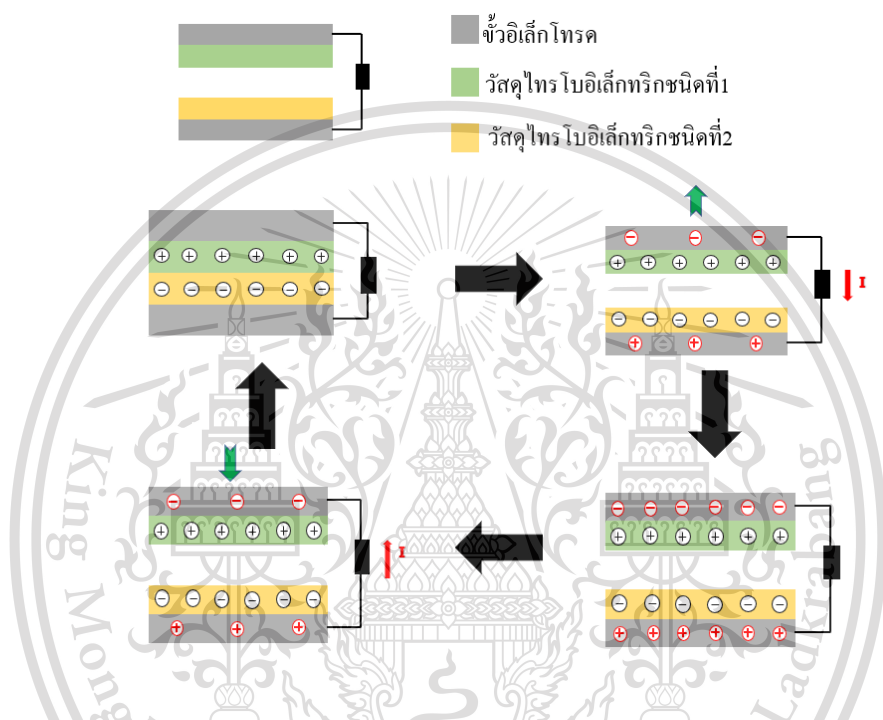
รูปแบบการสัมผัสแบบตั้งฉากเป็นรูปแบบพื้นฐานที่ออกแบบง่าย และถูกนำมาใช้งานมากที่สุด ในอุปกรณ์ TENG โดยมักจะถูกประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ตามโครงสร้างนั้นจะมีการนำวัสดุโทรโบอิเล็กทริกสองชนิด ที่มีความสามารถในการถ่ายเทประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน นำมาวางขนานกัน โดยเว้นช่องว่างไว้บริเวณส่วนกลางของโครงสร้าง วัสดุสัมผัสทั้งสองชนิดต้องมีการฉาบขั้วอิเล็กโทรดบนผิวและมีสายไฟเพื่อส่งผ่านประจุไฟฟ้าสู่โหนดภายนอก ดังรูปที่ 2.1.1 เมื่อให้แรงเชิงกลในแนวตั้งฉากกับวัสดุทั้งสองชนิด วัสดุโทรโบอิเล็กทริกจะสัมผัสกัน เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบนพื้นผิว วัสดุโทรโบอิเล็กทริกที่มีแนวโน้มให้ประจุบวก จะส่งผ่านประจุบวกไปยังพื้นผิวสัมผัสของอีกวัสดุหนึ่ง ทำให้พื้นผิวของวัสดุเกิดประจุลบขึ้น ส่วนวัสดุอีกชนิดจะเกิดประจุไฟฟ้าตรงกันข้าม เมื่อคายแรงเชิงกลออก จะเกิดช่องว่างระหว่างสองวัสดุส่งผลให้เกิดความต่างศักย์และสนามไฟฟ้า เนื่องจากแต่ละวัสดุมีประจุไฟฟ้าคงตัวบนพื้นผิว จึงเกิดความไม่สมดุลของประจุขึ้น เพื่อรักษาความสมดุลทางประจุไฟฟ้า วัสดุที่มีประจุลบบนพื้นผิวจึงเหนี่ยวนำประจุบวกผ่านโหนดภายนอก ทำให้บนอิเล็กโทรดมีประจุบวกเกิดขึ้น โดยมีปริมาณประจุเหนี่ยวนำเท่ากับจำนวนประจุสะสมบนพื้นผิว ในกรณีนี้เราจะสามารถตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหนดได้ เมื่อวัสดุทั้งสองเคลื่อนที่เข้าใกล้กันอีกครั้ง ประจุไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เหนี่ยวนำจะไหลกลับมาสู่ตำแหน่งเดิม ทำให้เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางตรงกันข้าม เมื่อป้อนแรงกด เป็นลักษณะวงรอบ (Cycle) อุปกรณ์ TENG จะสามารถผลิตสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับได้



รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบการสัมผัสแบบตั้งฉาก (Vertical contact-separation mode) ดัดแปลงจาก [4]

2.1.2 รูปแบบการสัมผัสแบบเลื่อนในแนวระนาบ (Relative - sliding mode)

รูปแบบการสัมผัสแบบเลื่อนในแนวระนาบมีโครงสร้างอุปกรณ์ที่คล้ายกับรูปแบบการสัมผัสแบบตั้งฉาก โดยนำวัสดุไตรโบอิเล็กทริกสองชนิดที่ค่าการถ่ายเทประจุที่แตกต่างกันวางขนานกัน แต่มีความแตกต่างกันตรงที่วัสดุทั้งสองชนิดจะเกิดการสัมผัสเสียดสีกันในแนวระนาบ ดังรูปที่ 2.2 เมื่อให้แรงเชิงกลในแนวระนาบวัสดุทั้งสองชนิดจะเกิดการเลื่อน การเลื่อนนี้ทำให้เกิดระยะห่างระหว่างพื้นผิวสัมผัสกับไม่สัมผัส การแลกเปลี่ยนประจุของวัสดุไตรโบอิเล็กทริกทำให้เกิดประจุไฟฟ้าบนพื้นผิว เช่นเดียวกับอุปกรณ์ TENG ที่มีการทำงานตามรูปแบบการสัมผัสแบบตั้งฉาก ระยะห่างการเลื่อนที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดความ

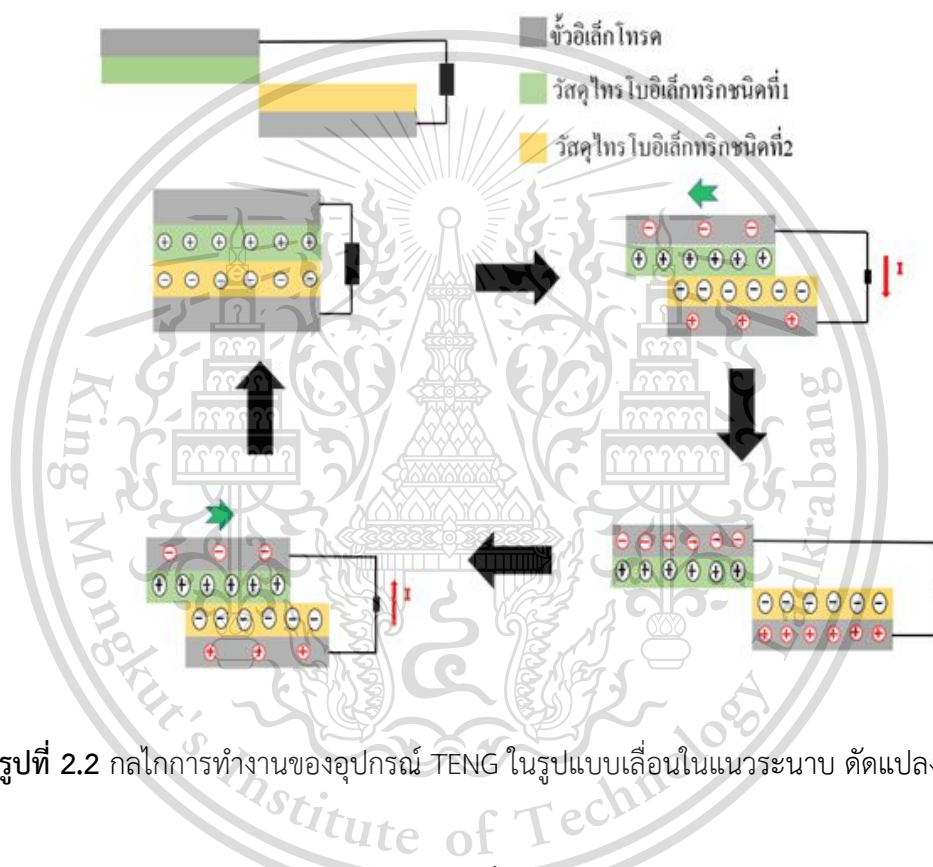
ต่างศักย์และสนามไฟฟ้า ความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าจะทำให้วัสดุที่มีพื้นผิวเป็นประจุลบเหนี่ยวนำประจุบวกผ่านโพลีไฟฟ้าภายนอกมาสะสมบนขั้วอิเล็กโทรด ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เมื่อวัสดุเลื่อนผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น มิได้อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในทิศทางตรงกันข้าม ประจุไฟฟ้าจะไหลกลับผ่านโพลภายนอก กระแสไฟฟ้าไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้าม จะสามารถตรวจจับได้ เมื่อป้อนแรงในแนวระนาบในลักษณะวงรอบ อุปกรณ์ TENG จะผลิต สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับได้ อุปกรณ์ TENG ที่ทำงานตามรูปแบบนี้ มักถูกประยุกต์ใช้เก็บเกี่ยวพลังงาน ตามธรรมชาติ ดังเช่น พลังงานลม และพลังงานน้ำ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 กลไกการทำงานของอุปกรณ์ TENG ในรูปแบบเลื่อนในแนวระนาบ ดัดแปลงจาก

2.1.3 รูปแบบการสัมผัสแบบอิเล็กโทรดเดี่ยว (Single electrode mode)

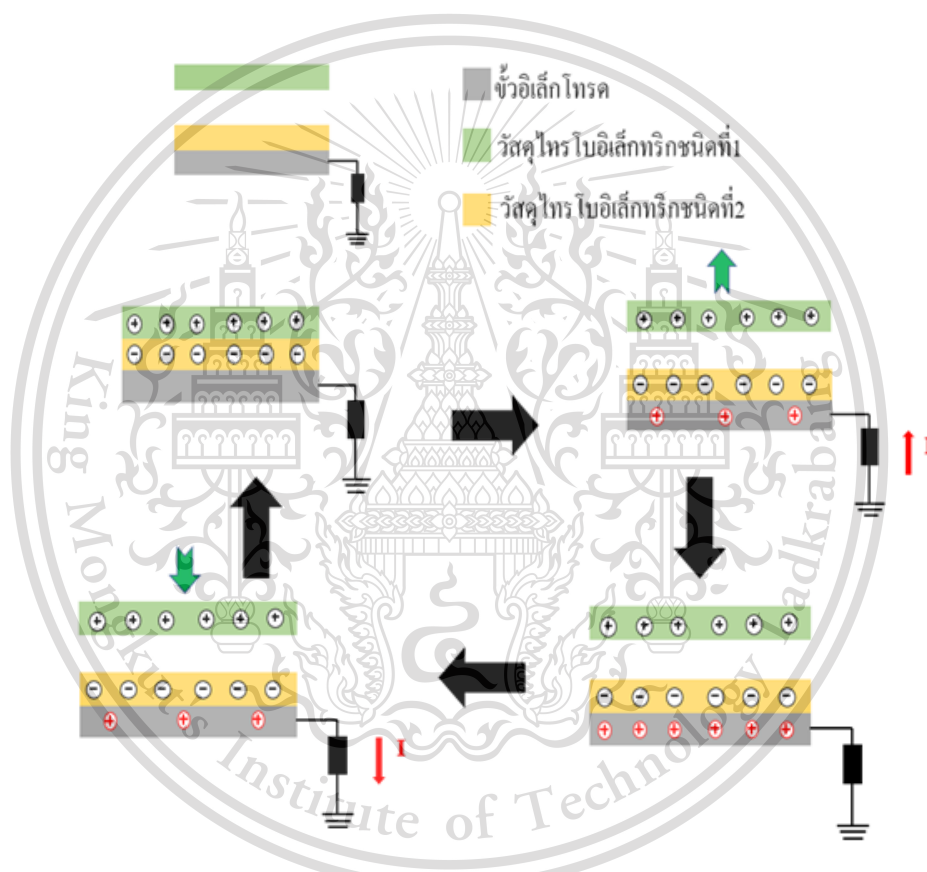
รูปแบบการสัมผัสแบบอิเล็กโทรดเดี่ยว เป็นรูปแบบที่ทำให้อุปกรณ์ TENG มีโครงสร้างที่ง่ายที่สุด ซึ่งมีหลักการทำงานโดยมีวัสดุทริโบอิเล็กทริกหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ มาสัมผัสกับวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่อยู่กับที่ที่มีการเชื่อมต่อกับขั้วอิเล็กโทรดและต่อสายไฟสู่อโพลไฟฟ้าภายนอก เมื่อวัสดุทั้งสองชนิดเกิดการสัมผัสกันเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าที่พื้นผิวของวัสดุทั้งสอง เมื่อวัสดุทั้งสองแยกออกจากกันจะเกิดความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.3 ถ้าวัสดุทริโบอิเล็กทริกที่อยู่กับที่ เกิดประจุสะสมบน

เอกสารนี้เป็นพื้นผิวเป็นประจุลบ จะเกิดการเหนี่ยวนำประจุบวกผ่านโพลภายนอก โดยผ่านกราวด์ (Ground) ทำให้การค่า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เมื่อวัสดุทั้งสองเคลื่อนที่สัมผัสกันอีกครั้ง จะเกิดประจุไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้าม เช่นเดียวกับหลักการการทำงานของอุปกรณ์ TENG ที่มีรูปแบบสัมผัสแบบตั้งฉาก ซึ่งปกติแล้วอุปกรณ์ TENG ที่ทำงานตามรูปแบบนี้ มักถูกประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์หน้าจอสัมผัส (Touch Screen) โดยวัสดุโพรโบอิเล็กทริกที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระมักจะเป็นนิ้วมือหรือผิวหนัง ส่วนวัสดุอีกชนิดมักจะเป็นวัสดุโพลีเมอร์หรือกระจก



รูปที่ 2.3 กลไกการทำงานของอุปกรณ์ TENG ในรูปแบบการสัมผัสแบบอิเล็กโทรดเดี่ยว

2.1.4 รูปแบบการสัมผัสแบบอิสระ (Free standing mode)

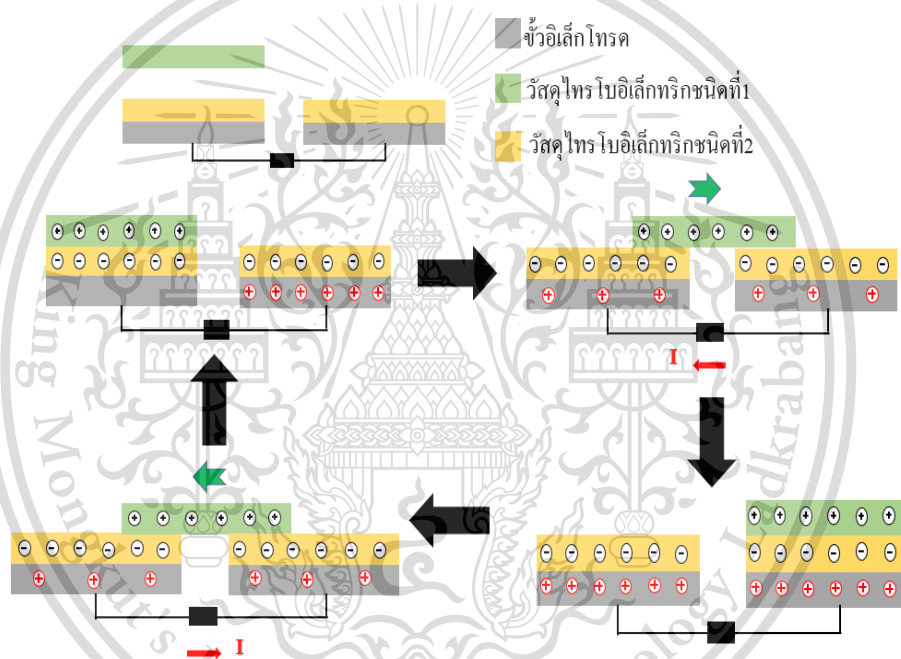
รูปแบบการสัมผัสแบบอิสระ เป็นรูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ TENG ที่เกิดจากการผสมกันระหว่างรูปแบบสัมผัสแบบตั้งฉากและการสัมผัสแบบเลื่อนในแนวระนาบ รูปแบบนี้เป็นรูปแบบที่สามารถ

ผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุด และมักถูกนำไปประยุกต์ใช้เกี่ยวกับพลังงานตามธรรมชาติ โดยประกอบด้วยวัสดุโพรโบอิเล็กทริกสองชนิดที่มีความสามารถในการถ่ายเทประจุที่แตกต่างกัน มาวางในแนวตั้งฉาก ซึ่งต้องมีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วัสดุไพโรอิเล็กทริกด้านหนึ่งทำหน้าที่เป็นฐานและมีโครงสร้างเดียวกันมาวางขนานแยกกัน พร้อมกับเชื่อมต่อกับโหลดไฟฟ้าภายนอกอีกด้วย ตามรูปที่ 2.4 เมื่อให้แรงเฉือนวัสดุไพโรอิเล็กทริกด้านบนจะเลื่อนผ่านไปยังวัสดุที่เป็นฐานชั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าที่พื้นผิวของวัสดุที่เป็นฐาน ทำให้เกิดความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากวัสดุฐานชั้นที่ 1 และ 2 มีการสะสมประจุไฟฟ้าบนพื้นผิวไม่พร้อมกัน จึงทำให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไป-มาระหว่างขั้วอิเล็กโทรดของวัสดุฐานทั้งสองชั้น ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าขึ้น



รูปที่ 2.4 กลไกการทำงานของอุปกรณ์ TENG ในรูปแบบการสัมผัสแบบอิสระ

จากรูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ TENG ทั้ง 4 รูปแบบ เราสามารถสรุปจุดเด่นและจุดด้อย รวมถึงตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในเชิงปฏิบัติได้ ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

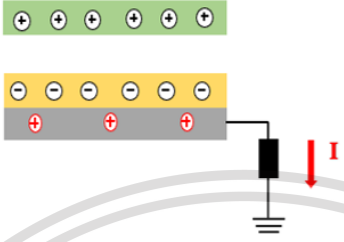
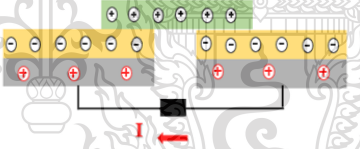
ตารางที่ 2.1 สรุปหลักการทำงานและการประยุกต์ใช้งานของอุปกรณ์ TENG ทั้ง 4 รูปแบบ ดัดแปลงจาก [5]

รูปแบบการทำงาน	โครงสร้าง	จุดเด่น จุดด้อย และการประยุกต์ใช้งาน
รูปแบบการสัมผัสแบบตั้งฉาก		<p>จุดเด่น : 1) มีโครงสร้างที่เรียบง่ายและแข็งแรงสูง 2) มีความหนาแน่นของพลังงานสูงช่วงหนึ่ง 3) ง่ายต่อการสร้างแบบจำลองโครงสร้างและวิเคราะห์</p> <p>จุดด้อย : โครงสร้างของอุปกรณ์ไม่มีความหลากหลาย</p> <p>การประยุกต์ใช้งาน : การเก็บเกี่ยวพลังงาน : พิมพ์ลายนิ้วมือ การสั่นของเครื่องยนต์ การเคลื่อนไหวของมนุษย์ ระบบชีวการแพทย์ อุปกรณ์ตรวจจับแม่เหล็ก</p>
รูปแบบการสัมผัสแบบเลื่อนในแนวระนาบ		<p>จุดเด่น : 1) สร้างประจุโวลโตรีบิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการสัมผัสโดยตรง 2) ง่ายต่อการออกแบบ TENGs ให้มีประสิทธิภาพสูง</p> <p>จุดด้อย : เมื่อใช้งานที่ความถี่สูง อาจทำให้เกิดการสึกกร่อนและความแข็งแรงของอุปกรณ์ลดลง</p> <p>การประยุกต์ใช้งาน : การเก็บเกี่ยวพลังงาน : พลังงานลม , พลังน้ำ , แบบหมุนพลังงานจลน์ การตรวจจับ: เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<p>รูปแบบการ สัมผัสแบบ อิเล็กโทรดเดี่ยว</p>		<p>จุดเด่น : ใช้ขั้วอิเล็กโทรดเพียงด้านเดียว ช่วยลดข้อจำกัดของระบบ ความซับซ้อนและเพิ่มความยืดหยุ่นของอุปกรณ์</p> <p>จุดด้อย : ถ้าไอออนอิเล็กตรอนได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากผลของไฟฟ้าสถิตต่ำ</p> <p>การประยุกต์ใช้งาน : การเก็บเกี่ยวพลังงาน : การไหลของอากาศ การหมุนของล้อรถยนต์ และสามารถเป็นเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมกับการสัมผัสและตรวจจับความเร็ว</p>
<p>รูปแบบการ สัมผัสแบบอิสระ</p>		<p>จุดเด่น : ไม่มีการสัมผัสทางกายภาพโดยตรงระหว่างวัสดุทั้งสอง ซึ่งจะทำให้วัสดุไม่เกิดรอยและความร้อน และมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงมาก</p> <p>จุดด้อย : ช่องว่างเล็ก ๆ ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองอาจทำให้เกิดการคายประจุไฟฟ้าอย่างรุนแรงและนำไปสู่การสลายตัวของประจุในอากาศ</p> <p>การประยุกต์ใช้งาน : การเก็บเกี่ยวพลังงาน : การสันสะเทือน การทำงานของเมาส์คอมพิวเตอร์ การเดินของมนุษย์</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 วัสดุชีวภาพ (Biomaterial)

วัสดุชีวภาพ คือ วัสดุที่นำมาใช้กับระบบชีวภาพของสิ่งมีชีวิตทั้งระบบหรือบางส่วน แต่ต้องมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) โดยไม่เกิดปฏิกิริยาที่เป็นพิษกับร่างกายมนุษย์ และไม่ทำลายเนื้อเยื่อในอวัยวะ ซึ่งวัสดุชีวภาพอาจได้มาจากการสังเคราะห์ไปไม่ว่าจะเป็น โลหะ เซรามิกส์ พอลิเมอร์ วัสดุผสม หรือสารกึ่งตัวนำ หรือมาจากธรรมชาติ เช่น อัลจินेट (Alginate) ฮีพาริน (Heparin) ไคโตซาน (Chitosan) คอลลาเจน (Collagen) เจลาติน (Gelatin) ไหม (Silk) เซลลูโลส (Cellulose) ในปัจจุบันหนึ่งในวัสดุชีวภาพที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากคือ แบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial cellulose) ซึ่งเกิดจากแบคทีเรียชนิดหนึ่งที่สามารถผลิตเซลลูโลสได้ ในปัจจุบันได้มีการนำแบคทีเรียเซลลูโลสไปใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ และนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและคุณสมบัติให้ดีขึ้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุชีวภาพจากแบคทีเรียเซลลูโลสมาใช้เป็นส่วนประกอบของเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานเชิงกลขนาดเล็กไทรโบอิเล็กทริก เพื่อใช้สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่สามารถสวมใส่ตามร่างกายและมีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง ทำให้สามารถอาศัยแรงเชิงกลจากการเคลื่อนไหวของร่างกาย เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก เมื่อหมดอายุการใช้งานสามารถกำจัดได้ง่าย เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (eco-friendly) ซึ่งช่วยลดมลภาวะขยะอิเล็กทรอนิกส์ (Waste from Electronic Equipment) ที่เกิดขึ้นมากมายในปัจจุบัน

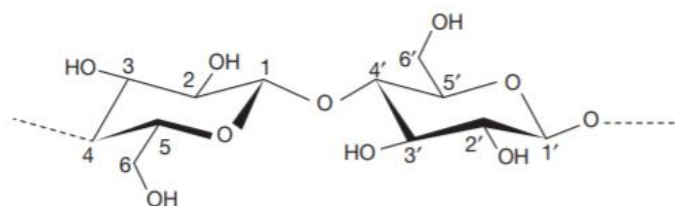
2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่พบมากที่สุดในโลก คิดเป็นประมาณ 1.5×10^{12} ตัน ทั่วโลก โดยพบเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในผนังเซลล์พืชทั่ว ๆ ไป ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ที่ตำแหน่งเบต้า-1,4 (1,4- β -linkage) ที่ต่อกันเป็นสายโซ่ยาวประมาณ 1,250-12,500 โมเลกุล ดังแสดงในรูป 2.3 นอกจากนี้เซลลูโลสยังสังเคราะห์ได้จากจุลินทรีย์ ประเภทต่างๆ เช่น สาหร่าย เชื้อรา และสร้างจากแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Acetobacter Xylinum*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส (Cellulose)

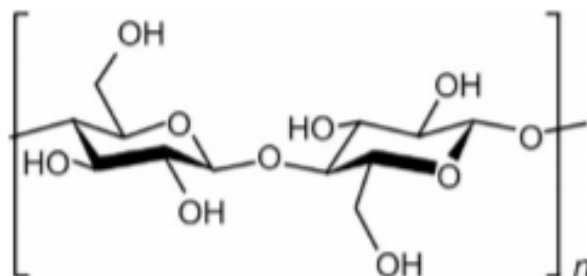
2.2.2 แบคทีเรียเซลลูโลส (Bacterial Cellulose)

เซลลูโลสที่ได้จากพืชส่วนใหญ่จะมีพอลิแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ ปนเปื้อนมาด้วย เช่น ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส จึงเปลี่ยนมาใช้แบคทีเรียเซลลูโลส เช่น เซลลูโลสจากแบคทีเรียสายพันธุ์อะซิโตเบคเตอร์ไซลินัม (Acetobacter Xylinum) ซึ่งผลิตจากการหมักน้ำมะพร้าวผ่านกระบวนการทำให้แข็งตัวจนกลายเป็นเซลลูโลส โดยใช้แบคทีเรียชนิดนี้ได้ผลผลิต คือ วุ้นมะพร้าว (NATA de coco) ดังนั้นแบคทีเรียเซลลูโลสจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งโครงสร้างพอลิเมอร์ประกอบด้วยกลูโคสชนิดเดียวดังแสดง เซลลูโลสที่สร้างจากแบคทีเรียมีสมบัติเฉพาะ คือ เส้นใยมีขนาดเล็กกว่าเซลลูโลสจากพืชถึง 100 เท่า ความสามารถในการอุ้มน้ำสูง เส้นใยมีลักษณะใส และเส้นใยทนต่อแรงดึง อีกทั้งยังมีค่าความเป็นผลึกสูงกว่าเซลลูโลสจากพืชมากกว่า 80 – 90 % และมีการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันที่สูงกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โครงสร้างของแบคทีเรียเซลลูโลสมีโครงสร้างที่เหมือนกับเซลลูโลสจากพืช ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ดังนั้นแบคทีเรียเซลลูโลสถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ทางด้านการแพทย์และเทคโนโลยีชีวภาพ เพราะเป็นวัสดุชีวภาพ สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ความเป็นพิษต่ำ

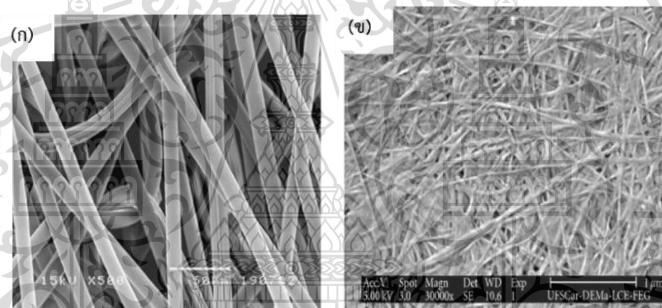
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของแบคทีเรียเซลลูโลส



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบเส้นใยระหว่างเซลลูโลสจากพืชและแบคทีเรียเซลลูโลส (ก) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของเซลลูโลส (ข) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงพื้นผิวของเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างและสมบัติต่างๆระหว่างเซลลูโลสที่ได้จากพืชกับแบบที่เรียเซลลูโลส

ลักษณะโครงสร้าง/สมบัติของเส้นใยเซลลูโลส	เซลลูโลสจากพืช	เซลลูโลสจากแบคทีเรีย
1. ความบริสุทธิ์	พอลิเมอร์ประกอบด้วยสารอื่นๆ เช่น ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส	พอลิเมอร์มีความบริสุทธิ์มากกว่า ประกอบด้วยเซลลูโลสชนิดเดียว
2. การจัดเรียงตัวของโครงสร้างเส้นใย	โครงสร้างมีกิ่งสาขา ไม่เป็นระเบียบ	การจัดเรียงตัวของเส้นใยเป็นระเบียบ
3. ขนาดของเส้นใย	ขนาดเส้นใยมีขนาดใหญ่	ขนาดเส้นใยเล็กกว่าเส้นใยของพืช 100 เท่า
4. สีของเส้นใย	เส้นใยมีสีขาวค่อนข้างยาว	เส้นใยมีลักษณะใส
5. ความแข็งแรงของเส้นใยเซลลูโลส	เส้นใยทนต่อแรงดึงต่ำ	เส้นใยทนต่อแรงดึงสูง มีความแข็งแรง
6. ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยเซลลูโลส	ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ (ค่า water holding capacity อยู่ในช่วงระหว่าง 10 -20 เท่าของน้ำหนักแห้งเซลลูโลส)	ความสามารถในการอุ้มน้ำสูง (ค่า water holding capacity อยู่ในช่วงระหว่าง 60-700 เท่าของน้ำหนักแห้งเซลลูโลส)

2.3 กราฟีน (Graphene)

กราฟีน คือ วัสดุที่เป็นส่วนหนึ่งของแกรไฟต์ มีการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนในรูปแบบโครงสร้างหกเหลี่ยม (Hexagonal) และเรียงตัวกันเพียงชั้นเดียว โดยคุณสมบัติของกราฟีนมีความบาง โปร่งใสและนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากกราฟีนมีราคาแพงและผลิตได้ยากจึงมีความพยายามในการค้นหาวีธีที่มีประสิทธิภาพ แต่ราคาไม่แพงในการสร้างและใช้คุณสมบัติของกราฟีนหรือวัสดุที่เกี่ยวข้อง

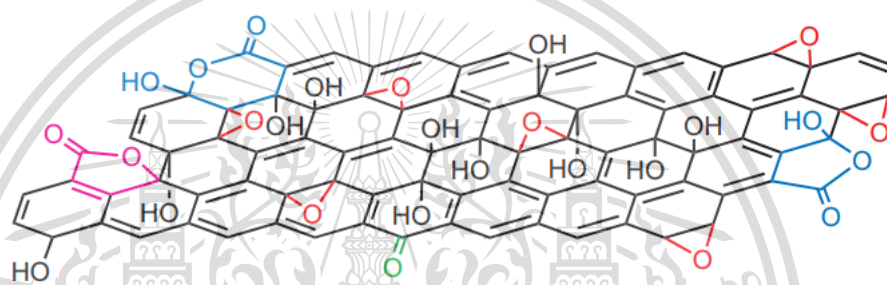
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.1 กราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide; GO)

กราฟีนออกไซด์เริ่มจากการออกซิไดซ์กราฟไฟต์เพื่อให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่ไปกั้นระหว่างชั้นของแกรไฟต์ให้ห่างออกจากกัน (exfoliation) ทำให้แต่ละชั้นของแกรไฟต์กว้างขึ้นและลดแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างชั้นหากแกรไฟต์ออกไซด์ถูกระตุ้นด้วยแรงเพียงชนิดเดียวเช่นด้วยการใช้คลื่นความถี่สูง (Sonication) ก็สามารถหลุดลอกออกเป็น “กราฟีนออกไซด์” (Graphene oxide) มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ละลายได้ดีในน้ำ แต่ไม่นำไฟฟ้า



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของกราฟีนออกไซด์

2.3.2 ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube : CNT)

ท่อนาโนคาร์บอน คือ วัสดุที่มีรูปทรงเป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร ผนังท่ออาจมีเพียงแค่ชั้นเดียว (Single-walled) หรือหลายชั้น (Multi-walled) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งประกอบขึ้นจากอะตอมของธาตุคาร์บอนเพียงธาตุเดียว มีสมบัติที่นำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ทำเส้นใยเสริมความแข็งแรงในวัสดุคอมโพสิต ทำอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มกำลังไฟและอายุการใช้งานในแบตเตอรี่ และตัวเก็บประจุ เป็นต้น ท่อนาโนคาร์บอนมีโครงสร้างและสมบัติหลากหลายซึ่งขึ้นกับวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์ซึ่งมีการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนนั้นมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียต่างกัน ทั้งในด้านของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว ปริมาณ คุณภาพ และความบริสุทธิ์ของท่อนาโนคาร์บอนที่ได้ โดยทั่วไปแล้วอาจแบ่งออกเป็น 3 วิธีหลักๆ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1) การตกเคลือบด้วยไอเคมี (Chemical vapor deposition : CVD)

โดยการผ่านไอหรือแก๊สของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งใช้ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน เช่น มีเทน (CH_4) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) อะเซทิลีน (C_2H_2) และเอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) เป็นต้น เข้าไปในเตาเผาที่มีอุณหภูมิประมาณตั้งแต่ 600-1200 °C ซึ่งต้องมีอนุภาคนาโนของโลหะคะตะลิสต์อยู่บริเวณนั้น ทำให้โมเลกุลของแก๊สให้แตกตัว (Decomposed) ออกเป็นอะตอมของคาร์บอน โดยการควบคุมอุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลของแก๊ส สัดส่วนอะตอมของธาตุ C:O:H ในระบบ การคุมขนาดของอนุภาคคะตะลิสต์ และระยะเวลาในการสังเคราะห์สามารถกำหนดขนาด ความยาว ทิศทางการเติบโต และตำแหน่งที่ต้องการปลูกของท่อนาโนคาร์บอนได้ แต่อาจมีข้อเสียที่ปริมาณความไร้ระเบียบของโครงสร้างสูง ทำให้ท่อที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีนี้มักเป็นท่อโค้งงอ

2) อาร์คดิสชาร์จ (Arc-discharge)

โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 20-200 แอมแปร์ ที่ความต่างศักย์ประมาณ 20-40 โวลต์ ตกคร่อมแท่งแกรไฟต์สองแท่งที่วางจ่อใกล้ๆกัน โดยให้ระยะห่างระหว่างปลายแท่งประมาณ 1-3 มิลลิเมตร ภายใต้บรรยากาศแก๊สเฉื่อย เช่น ฮีเลียม หรือ อาร์กอน ที่ความดันต่ำระหว่าง 100-500 Torr จนทำให้เกิดเป็นสถานะพลาสมา และมีอุณหภูมิสูงบริเวณระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ส่งผลให้แท่งแกรไฟต์ระเหยกกลายเป็นไอแล้วมีการควบแน่นกลายเป็นท่อนาโนคาร์บอน บริเวณปลายแท่งแกรไฟต์ที่ต่อกับขั้วลบ (Cathode) การควบคุมขนาดหรือจำนวนชั้นของท่อนาโนคาร์บอน สามารถทำได้โดยการควบคุมความดัน อุณหภูมิ และการเติมผงโลหะคะตะลิสต์ปริมาณเล็กน้อย เช่น เหล็ก นิกเกิล หรือโคบอลต์ อยางใดอย่างหนึ่ง หรือผสมกันลงในแท่งแกรไฟต์ที่ต่อกับขั้วบวก (Anode)

3) ระเหยด้วยเลเซอร์ (Laser vaporization)

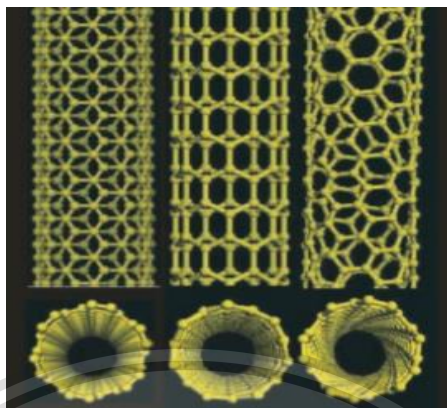
โดยวิธีนี้จะใช้พัลส์แสงเลเซอร์ที่มีความเข้มแสงสูงยิงไปยังเป้าซึ่งเป็นแกรไฟต์ผสมกับผงโลหะคะตะลิสต์ ภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อยที่ความดันต่ำประมาณ 500 Torr และอุณหภูมิ 1200 °C เทคนิคนี้คล้ายกับวิธีอาร์คดิสชาร์จ ซึ่งจะได้ปริมาณและคุณภาพของท่อนาโนคาร์บอนดีกว่า แต่มีข้อเสียที่ จำเป็นต้องใช้

แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์กำลังสูงและมีราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

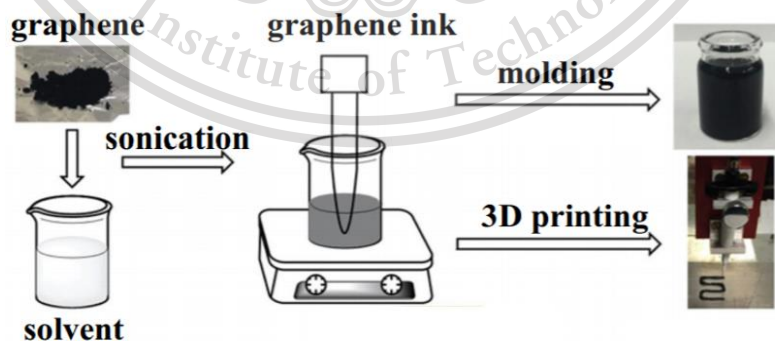
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.7 โครงสร้างคาร์บอนนาโนทิวบ์

2.3.3 หมึกกราฟีน (Graphene ink : GI)

หมึกกราฟีนทำได้จากการสังเคราะห์กราฟีนด้วยเทคนิคเคมีไฟฟ้า ลอกเอาแผ่นกราฟีนออกจากขั้วกราไฟต์ และผสมเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์นำไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ภายใตหมึกนำกราฟีนนี้มีโมเลกุลของคาร์บอนที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้า จึงทำให้มีคุณสมบัติใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า เพื่อสร้างการเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในองค์กรอีกหน่วยงานหนึ่ง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.8 การสังเคราะห์หมึกกราฟีน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ปีกเกอร์ขนาด 3000 ml (Beaker)
2. ปีกเกอร์ขนาด 150 ml (Beaker)
3. หลอดทดลองขนาด 25 ml (Test tube)
4. กระบอกตวงขนาด 100 ml (Cylinder)
5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
6. เครื่องปั่น
7. เครื่องให้ความร้อน (Hotplate)
8. อุปกรณ์จับยึด (Stand and Clamp)
9. หลอดหยด (Dropper)
10. ชุดกรองลดความดัน (Vacuum Filtration Buchner Set)
11. ปีกเกอร์ขนาด 250 ml (Beaker)
12. ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 ml (Volumetric Flask)
13. แท่งแม่เหล็กสำหรับกวนสารขนาด 3 cm. (Magnetic bar)

3.2 การสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลส

3.2.1 สารเคมี

1. วุ้นมะพร้าว ยี่ห้อ ตราไบเฟิร์น
2. น้ำกลั่น (Distilled water)
3. สารละลายเบนดิคต์ (Benedict's test) บริษัท ไช เทรดเดอร์ จำกัด

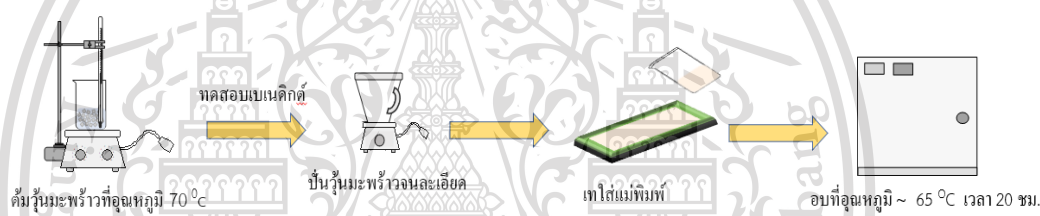
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลส

นำวุ้นมะพร้าวมาล้างด้วยน้ำสะอาด 3-4 รอบ จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 30 นาทีโดย (รูปที่ 3.1) เปลี่ยนน้ำที่ต้มทุกๆ 30 นาที ทำซ้ำจำนวน 22 รอบ เมื่อครบแล้วจึงนำไปทดสอบน้ำตาลโดยใช้สารละลายเบเนดิกต์ ซึ่งทำการทดสอบดังนี้ นำน้ำที่ต้มวุ้นมะพร้าวใส่หลอดทดลองจำนวน 3 หลอด จากนั้นหยดสารละลายเบเนดิกต์ลง 3 หยด นำไปต้มในน้ำร้อนสังเกตสีของสารละลายต้องไม่เปลี่ยนสีเป็นสีแดงอิฐหรือส้มแดง จากนั้นนำวุ้นมะพร้าวไปปั่นจนละเอียด เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีน้ำตาลเหลืออยู่ในโครงสร้างจึงต้องนำไปทดสอบเบเนดิกต์อีกครั้งเมื่อพบว่าสารละลายไม่เปลี่ยนสี จึงนำไปสร้างฟิล์มโดยการนำสารละลายแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้หลังจากการปั่นจำนวน 300 มิลลิลิตร เทใส่แม่พิมพ์ขนาด 17.5x22 เซนติเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 65 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง



รูปที่ 3.1 วิธีการสังเคราะห์แบคทีเรียเซลลูโลส

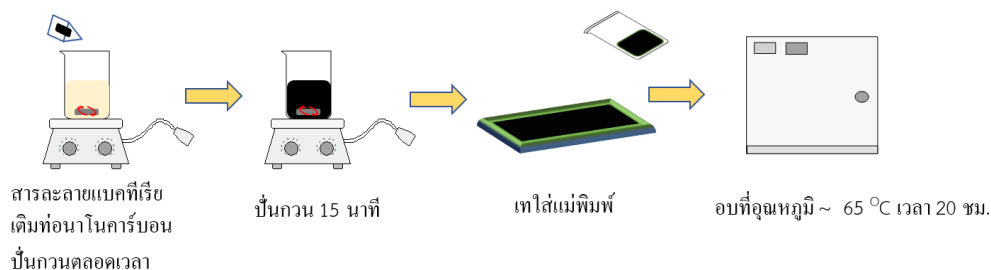
3.3 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตของแบคทีเรียเซลลูโลสกับสารประกอบท่อนานคาร์บอน

นำสารละลายแบคทีเรียเซลลูโลสที่เตรียมได้มาปั่นจนพร้อมเติมท่อนานคาร์บอนนาโนทิวป์ จะได้สารละลายที่มีสีดำเนื้อเดียวกันปั่นจนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสารละลายมาเทใส่แม่พิมพ์ หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 20 ชม. จะได้แผ่นฟิล์มของแบคทีเรียเซลลูโลสที่เจือด้วยท่อนานคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2 วิธีการเตรียมฟิล์มคอมโพสิตของแบคทีเรียเซลลูโลสกับท่อนาโนคาร์บอน

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนระหว่างจำนวนกรัมของท่อนาโนคาร์บอน ต่อ 2 กรัมของแบคทีเรียเซลลูโลส ในการสร้างฟิล์มคอมโพสิต

กรัม (แบคทีเรียเซลลูโลส)	กรัม (ท่อนาโนคาร์บอน)
0.35	0.45
0.30	0.50
0.25	0.55

3.4 ขั้นตอนการประกอบเป็นเซ็นเซอร์วัดแรงกด

3.4.1 สร้างแม่แบบของตัวเซ็นเซอร์

สร้างแม่แบบโดยใช้อะคริลิกมาประกบกันโดยให้มีพื้นที่ขนาดความกว้าง 2.5 เซนติเมตร และมีความยาว 2.5 เซนติเมตร โดยให้เป็นพื้นที่ของตัวเซ็นเซอร์ และมีความหนาที่ 5 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.3)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องยกย่องเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

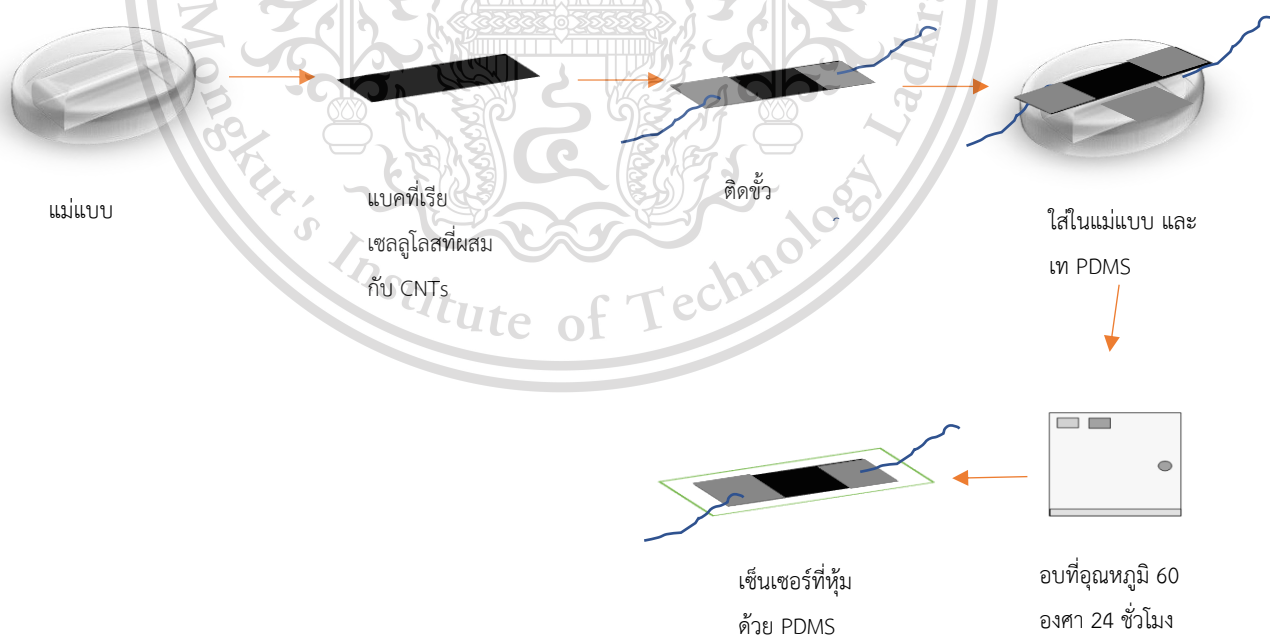
รูปที่ 3.3 ตัวแม่แบบเซ็นเซอร์

3.4.2 ขั้นตอนการสร้างตัวเซ็นเซอร์วัดแรงกด

นำแบคทีเรียเซลลูโลสที่โดบด้วย CNTs แล้วมาตัดให้ได้ขนาดตามแม่แบบ และติดขั้วโดยใช้ อะลูมิเนียมเทป ผสม PDMS และตัวละลายในอัตราส่วน 10 : 1 และขนจนวนเนื้อสารเป็นเนื้อเดียวกัน และ นำแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสที่ตัดมาแล้วมาใส่ในตัวแม่แบบ และนำ PDMS ที่ผสมตัวละลายไว้แล้ว เทลงใน แม่แบบจนเต็ม และ นำไปอบที่ อุณหภูมิ 60 องศา เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นเมื่อครบเวลานำแม่พิมพ์ออกจากเตาอบ และนำ PDMS ออกจากแม่พิมพ์ โดยสร้างเซ็นเซอร์ทั้งหมด 3 แบบ ตามแบคทีเรียเซลลูโลสที่มีทั้งหมด 3 ความเข้มข้นของ CNTs (รูปที่ 3.4)

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนระหว่าง แบคทีเรียเซลลูโลส กับ CNTs

ปริมาณของแบคทีเรียเซลลูโลส (g)	ความเข้มข้นของ CNTs (g)
0.35	0.45
0.30	0.50
0.25	0.55



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการสร้างเซ็นเซอร์วัดแรงดัน

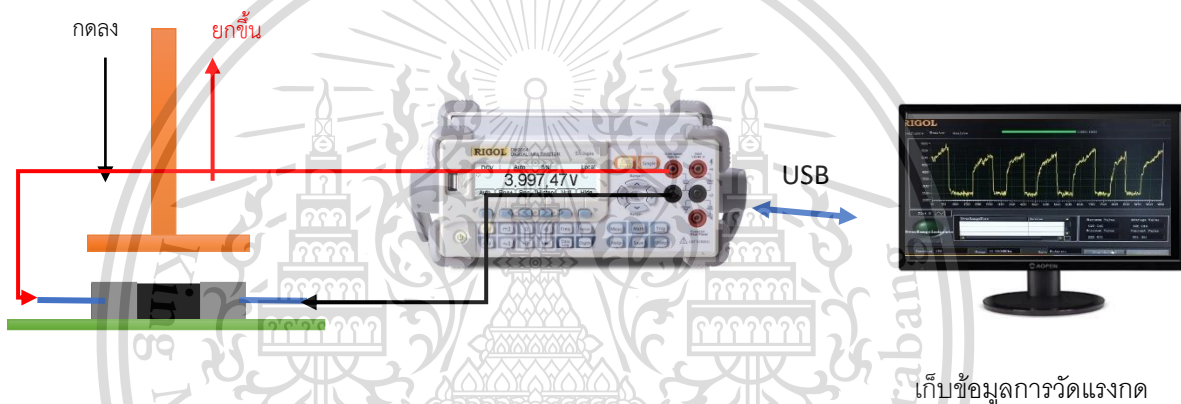
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 วิธีการทดสอบเซ็นเซอร์วัดแรงกด

ในการที่จะทดสอบเซ็นเซอร์วัดแรงกดนั้นเราจะให้แรงกดทับที่ตัวเซ็นเซอร์ที่ 100 นิวตัน 200 นิวตัน และ 300 นิวตัน โดยเราจะกดเครื่องให้แรงกด 10 วินาที และยกเครื่องให้แรงกดขึ้น 10 วินาที สลับกันไปเป็นเวลา 60 วินาที และวัดความต้านทานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะการให้แรงกดและการยกเครื่องให้แรงกดขึ้น โดยจะเปรียบเทียบความเร็วในการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 แบบจาก 3 ความเข้มข้นของ CNTs (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการวัดแรงกดของเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

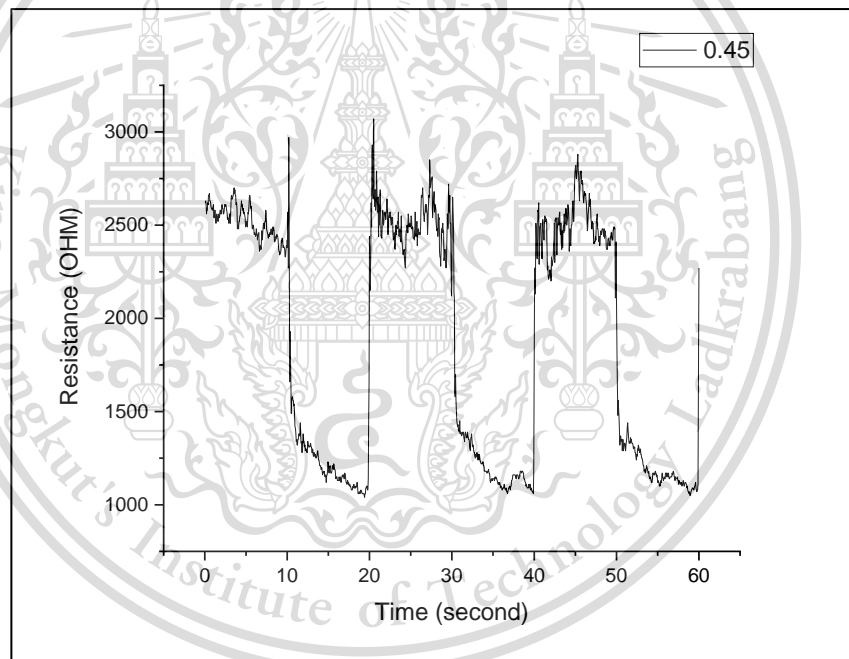
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าขณะได้รับแรงกดของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มชั้นของ CNTs ที่ 0.45 กรัม

4.1.1 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มชั้นของ CNTs ที่ 0.45 กรัม



รูปที่ 4.1 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.45 กรัม

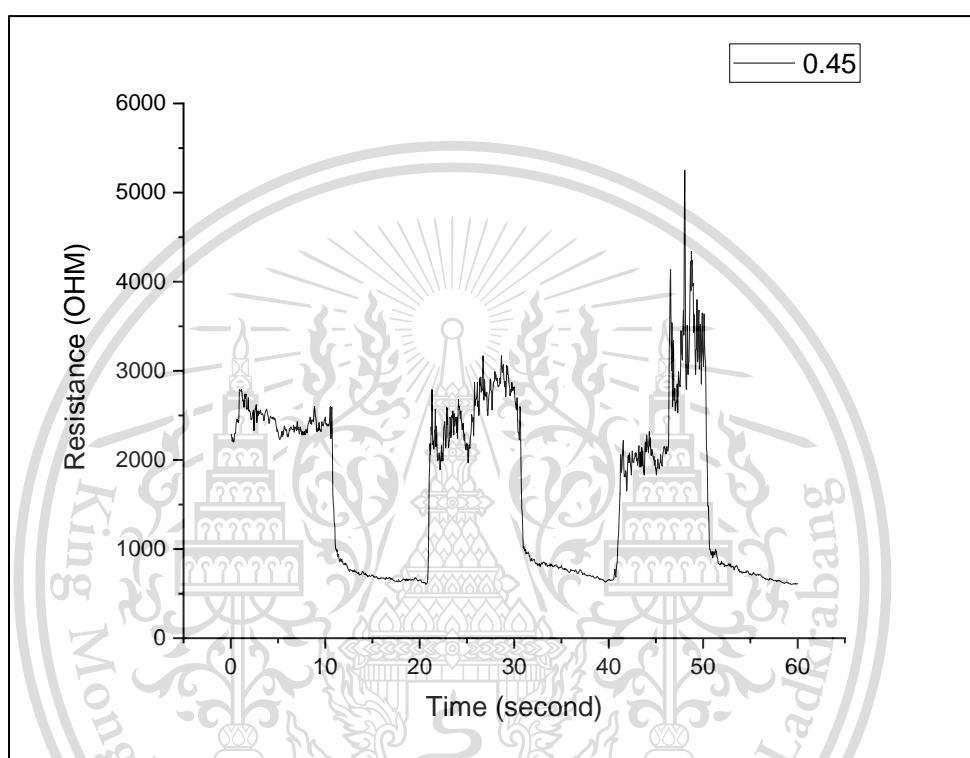
จากการทดลองให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยจะให้แรงกด 100 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที และ ยกเครื่องให้แรงกดขึ้น 10 วินาที สลับกันเป็นเวลาทั้งหมด 1 นาที จากกราฟ (รูปที่ 4.1) จะสังเกตได้ว่าช่วงที่ความต้านทานมีค่าลดลงจะเป็นช่วงที่ให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยในสภาวะปกติจะมีความต้านทานในช่วง 2,300 – 2,700 โอห์ม และช่วงที่ได้รับแรงกดจะมีความต้านทานในช่วง 1,100 – 1,300 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.45 กรัม



รูปที่ 4.2 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.45 กรัม

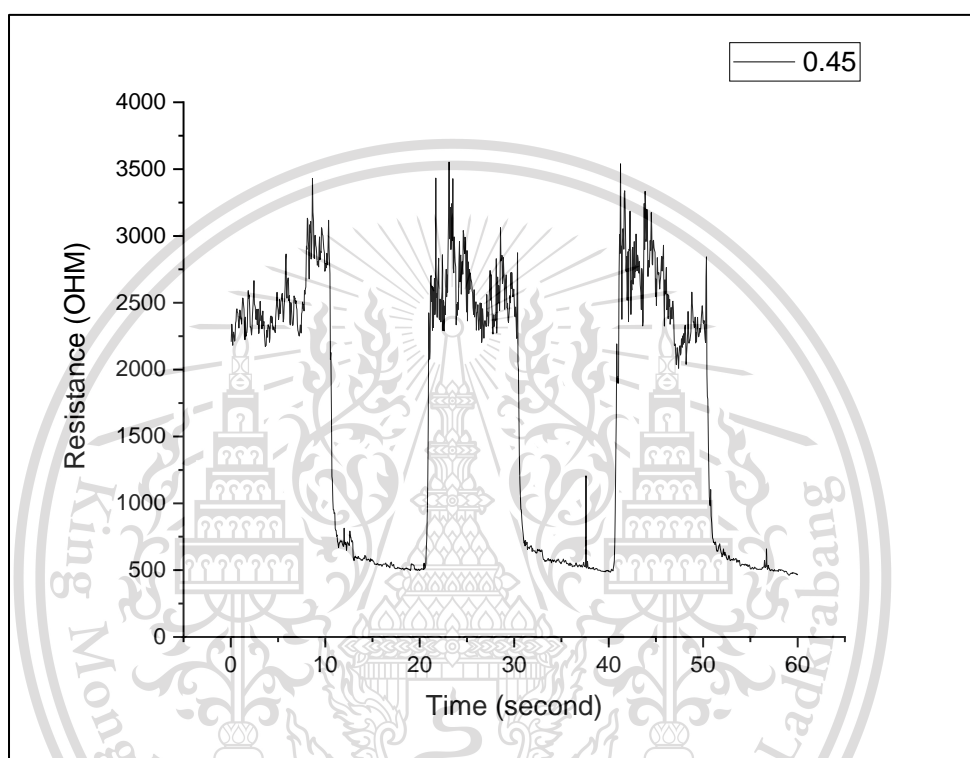
จากการทดลองให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยจะให้แรงกด 200 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที และยกเครื่องให้แรงกดขึ้น 10 วินาที สลับกันเป็นเวลาทั้งหมด 60 วินาที จากกราฟ (รูปที่ 4.2) จะสังเกตได้ว่า ช่วงที่ความต้านทานมีค่าลดลงจะเป็นช่วงที่ให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยในสภาวะปกติจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 2,300 – 3,000 โอห์ม และช่วงที่ได้รับแรงกดจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 500 – 750 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.3 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.45 กรัม



รูปที่ 4.3 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.45 กรัม

จากการทดลองให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยจะให้แรงกด 300 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที และยกเครื่องให้แรงกดขึ้น 10 วินาที สลับกันเป็นเวลาทั้งหมด 60 วินาที จากกราฟ (รูปที่ 4.3) จะสังเกตได้ว่า ช่วงที่ความต้านทานมีค่าลดลงจะเป็นช่วงที่ให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยในสภาวะปกติจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 2,500 – 3,500 โอห์ม และช่วงที่ได้รับแรงกดจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 500 – 600 โอห์ม

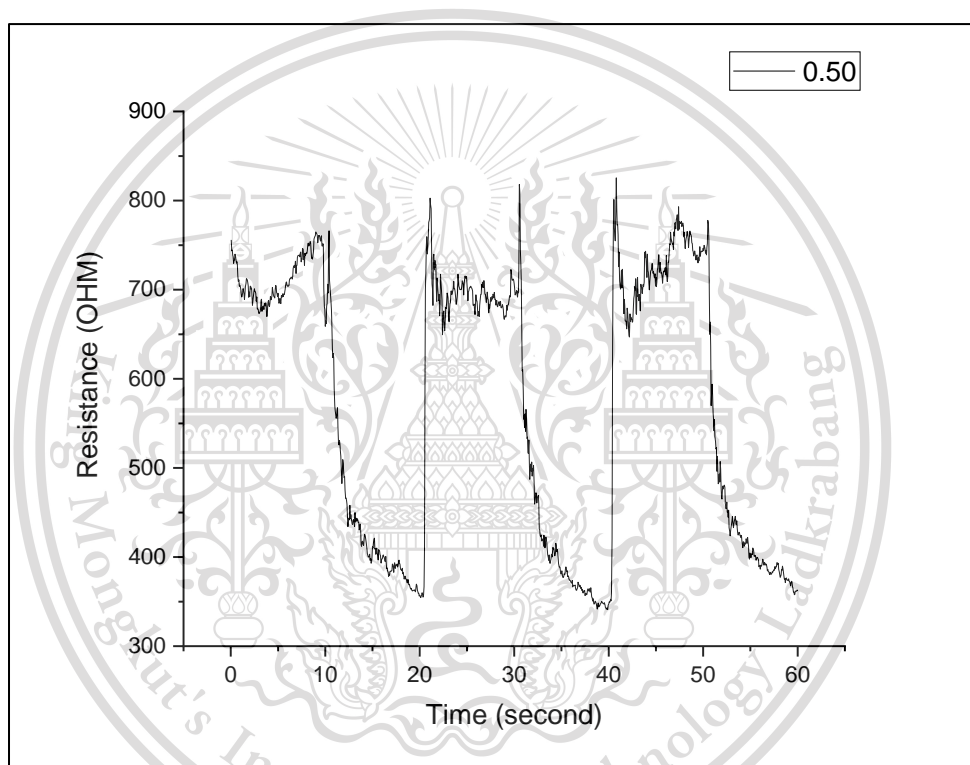
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าขณะได้รับแรงกดของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.50 กรัม

4.2.1 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.50 กรัม



รูปที่ 4.4 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.50 กรัม

จากการทดลองให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยจะให้แรงกด 100 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที กักยกล้อเครื่องให้แรงกดขึ้น 10 วินาที สลับกันเป็นเวลาทั้งหมด 60 วินาที จากกราฟ (รูปที่ 4.4) จะสังเกตได้ว่าช่วงที่ความต้านทานมีค่าลดลงจะเป็นช่วงที่ให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยในสภาวะปกติจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 650 – 750 โอห์ม และช่วงที่ได้รับแรงกดจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 350 – 400 โอห์ม

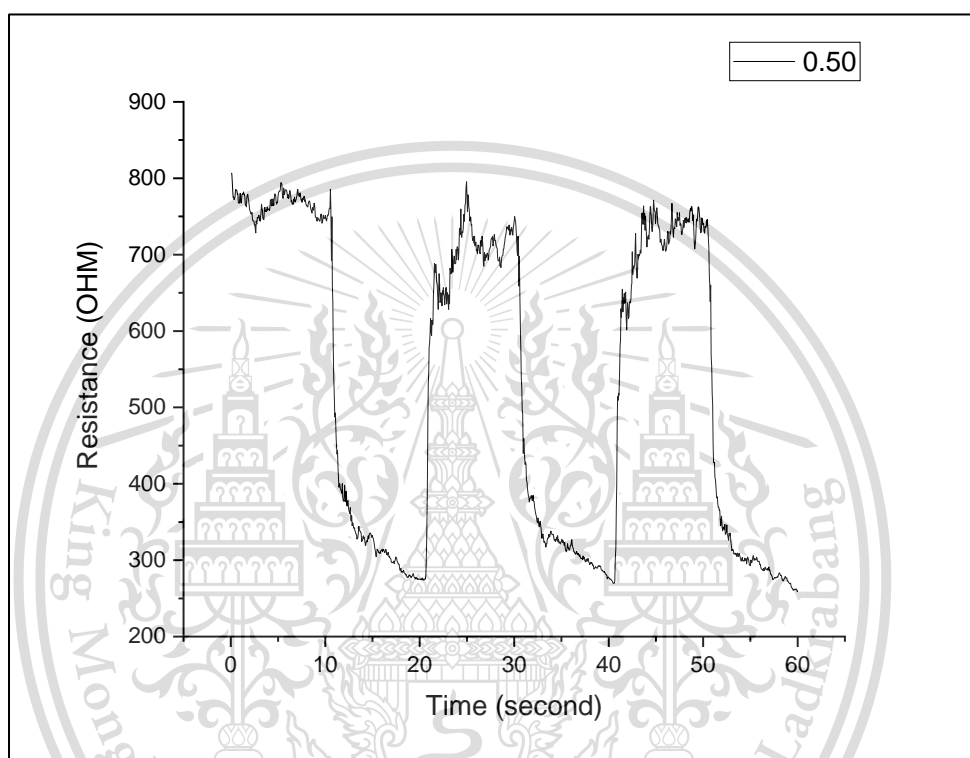
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.50 กรัม



รูปที่ 4.5 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.50 กรัม

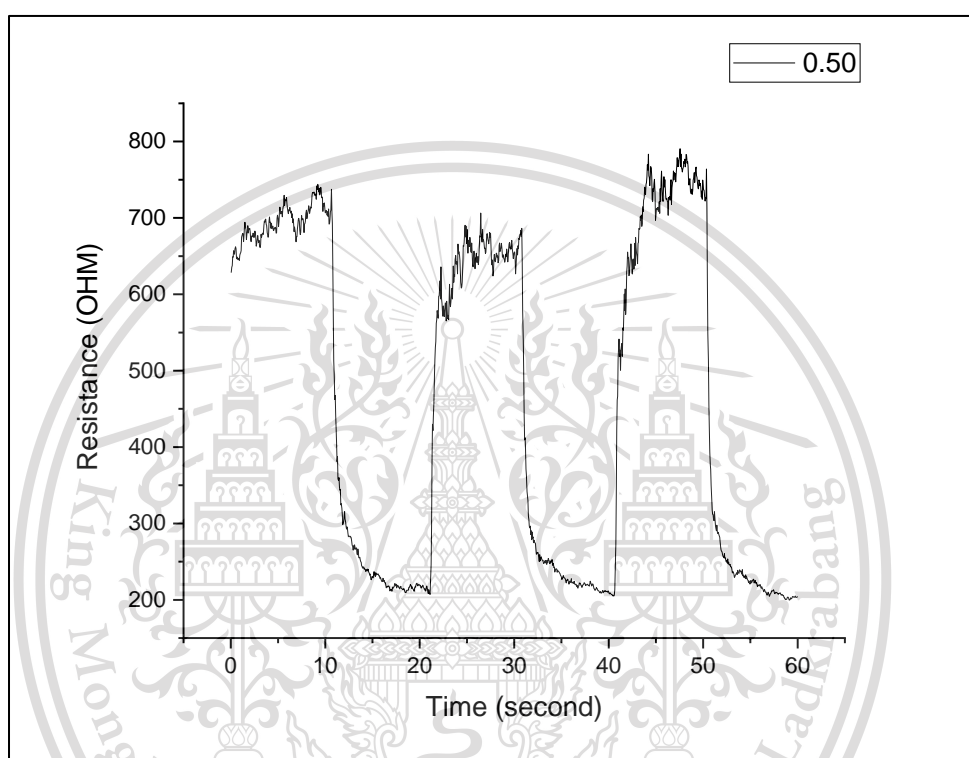
จากการทดลองให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยจะให้แรงกด 200 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที และยกเครื่องให้แรงกดขึ้น 10 วินาที สลับกันเป็นเวลาทั้งหมด 60 วินาที จากกราฟ (รูปที่ 4.5) จะสังเกตได้ว่า ช่วงที่ความต้านทานมีค่าลดลงจะเป็นช่วงที่ให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยในสภาวะปกติจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 650 – 750 โอห์ม และช่วงที่ได้รับแรงกดจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 350 – 400 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.3 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.50 กรัม



รูปที่ 4.6 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.50 กรัม

จากการทดลองให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยจะให้แรงกด 300 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที และยกเครื่องให้แรงกดขึ้น 10 วินาที สลับกันเป็นเวลาทั้งหมด 60 วินาที จากกราฟ (รูปที่ 4.6) จะสังเกตได้ว่า ช่วงที่ความต้านทานมีค่าลดลงจะเป็นช่วงที่ให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยในสภาวะปกติจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 650 – 750 โอห์ม และช่วงที่ได้รับแรงกดจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 200 – 300 โอห์ม

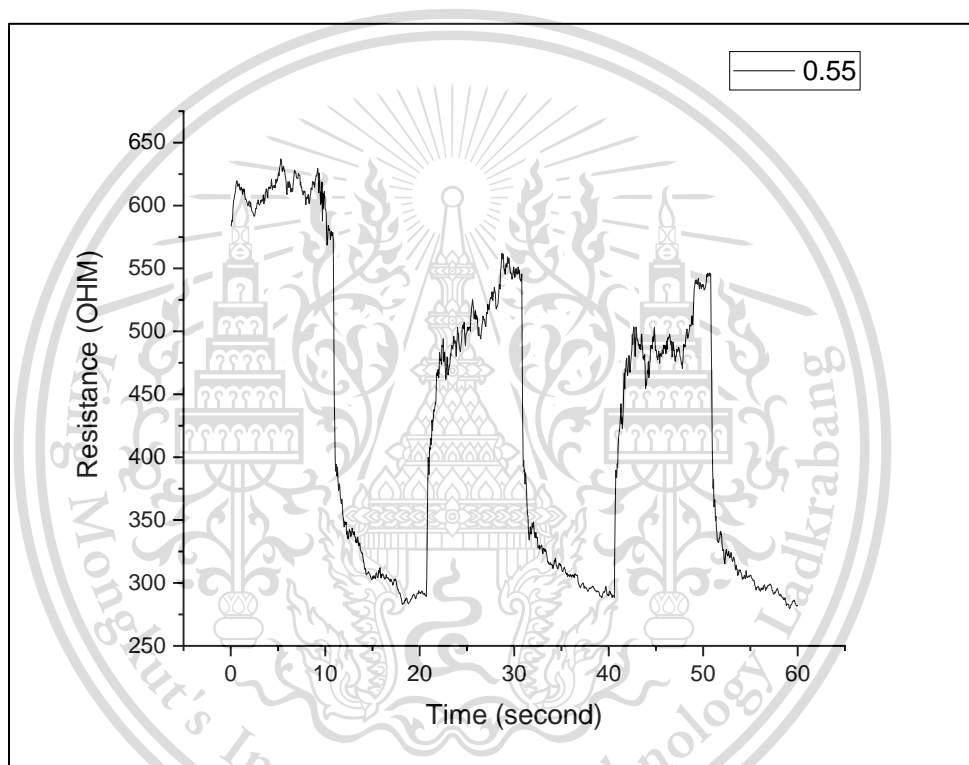
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าขณะได้รับแรงกดของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.55 กรัม

4.3.1 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.55 กรัม



รูปที่ 4.7 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 100 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.55 กรัม

จากการทดลองให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยจะให้แรงกด 100 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที และยกเครื่องให้แรงกดขึ้น 10 วินาที สลับกันเป็นเวลาทั้งหมด 60 วินาที จากกราฟ (รูปที่ 4.7) จะสังเกตได้ว่า ช่วงที่ความต้านทานมีค่าลดลงจะเป็นช่วงที่ให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยในสภาวะปกติจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 650 – 750 โอห์ม และช่วงที่ได้รับแรงกดจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 275 – 300 โอห์ม

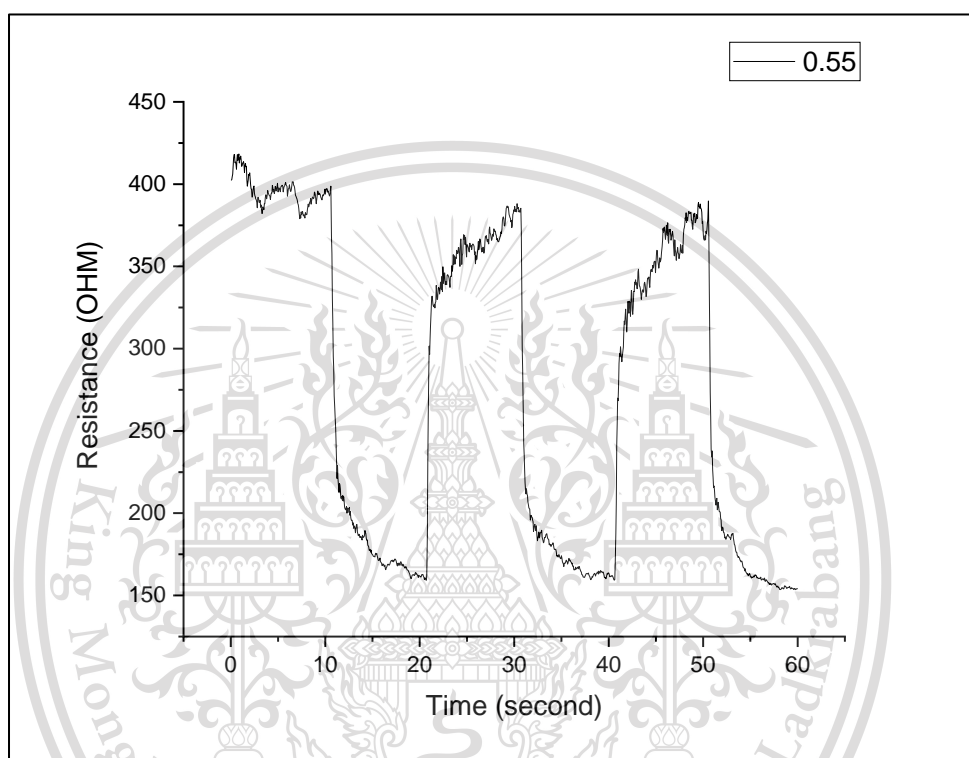
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.2 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.55 กรัม



รูปที่ 4.8 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 200 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.55 กรัม

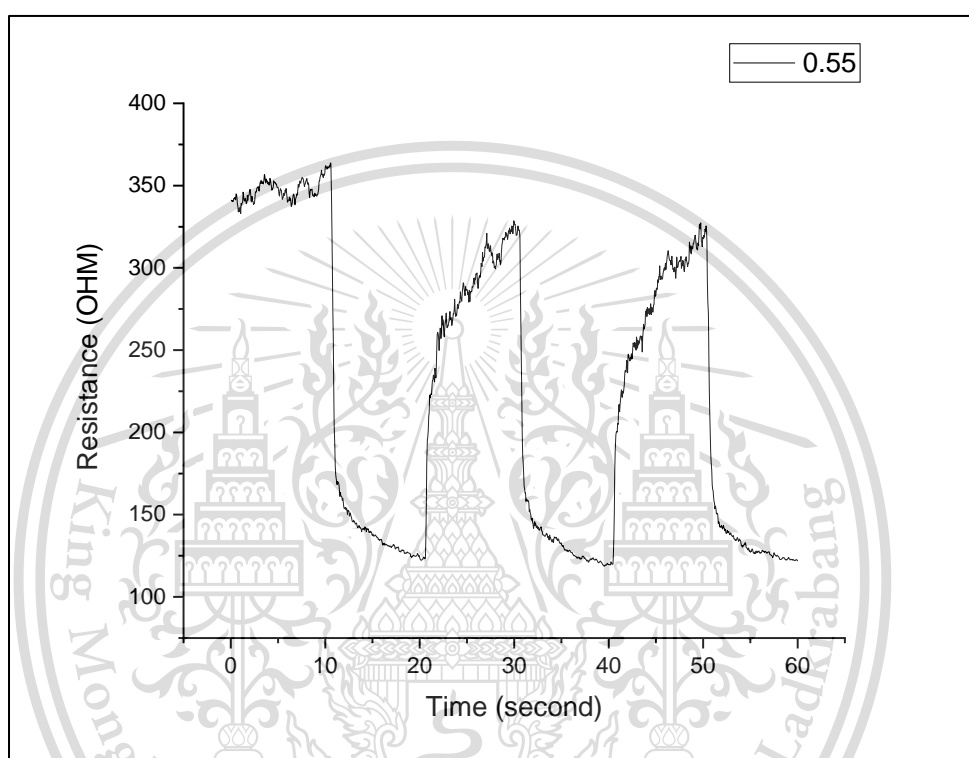
จากการทดลองให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยจะให้แรงกด 200 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที และยกเครื่องให้แรงกดขึ้น 10 วินาที สลับกันเป็นเวลาทั้งหมด 60 วินาที จากกราฟ (รูปที่ 4.8) จะสังเกตได้ว่า ช่วงที่ความต้านทานมีค่าลดลงจะเป็นช่วงที่ให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยในสภาวะปกติจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 350 – 400 โอห์ม และช่วงที่ได้รับแรงกดจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 160 – 200 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.3 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าจากการให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่มีความเข้มข้นของ CNTs ที่ 0.55 กรัม



รูปที่ 4.9 กราฟผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าให้แรงกดที่ 300 นิวตัน ของเซ็นเซอร์ที่มี CNTs 0.55 กรัม

จากการทดลองให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยจะให้แรงกด 300 นิวตัน เป็นเวลา 10 วินาที และยกเครื่องให้แรงกดขึ้น 10 วินาที สลับกันเป็นเวลาทั้งหมด 60 วินาที จากกราฟ (รูปที่ 4.9) จะสังเกตได้ว่า ช่วงที่ความต้านทานมีค่าลดลงจะเป็นช่วงที่ให้แรงกดแก่เซ็นเซอร์ โดยในสภาวะปกติจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 250 – 325 โอห์ม และช่วงที่ได้รับแรงกดจะมีความต้านทานอยู่ในช่วง 125 – 150 โอห์ม

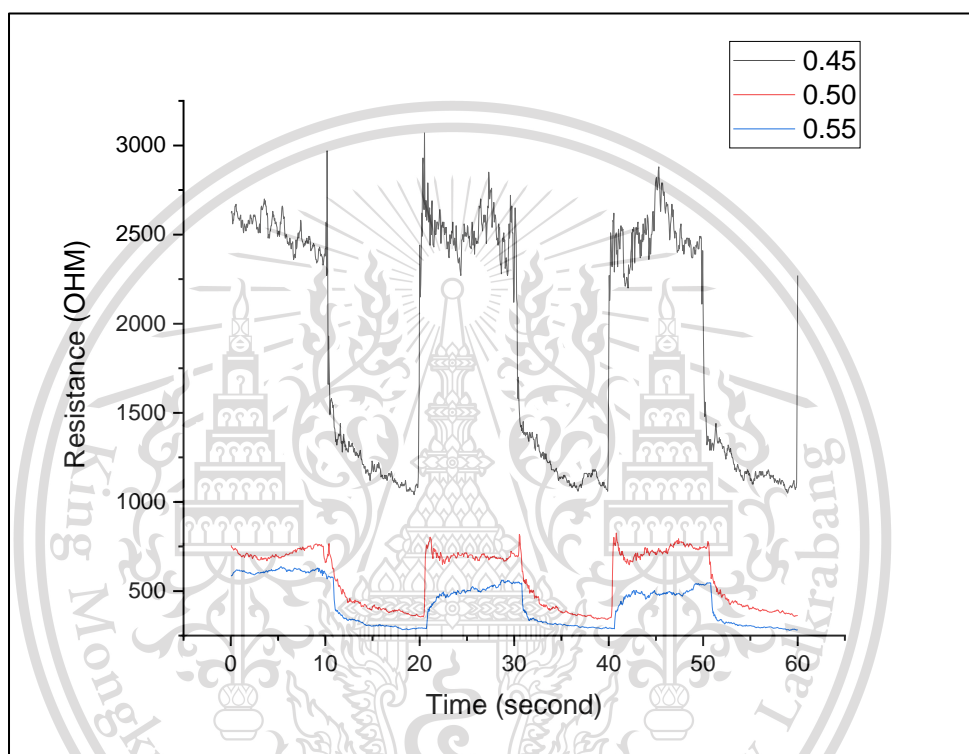
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 100 นิวตัน



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 100 นิวตัน

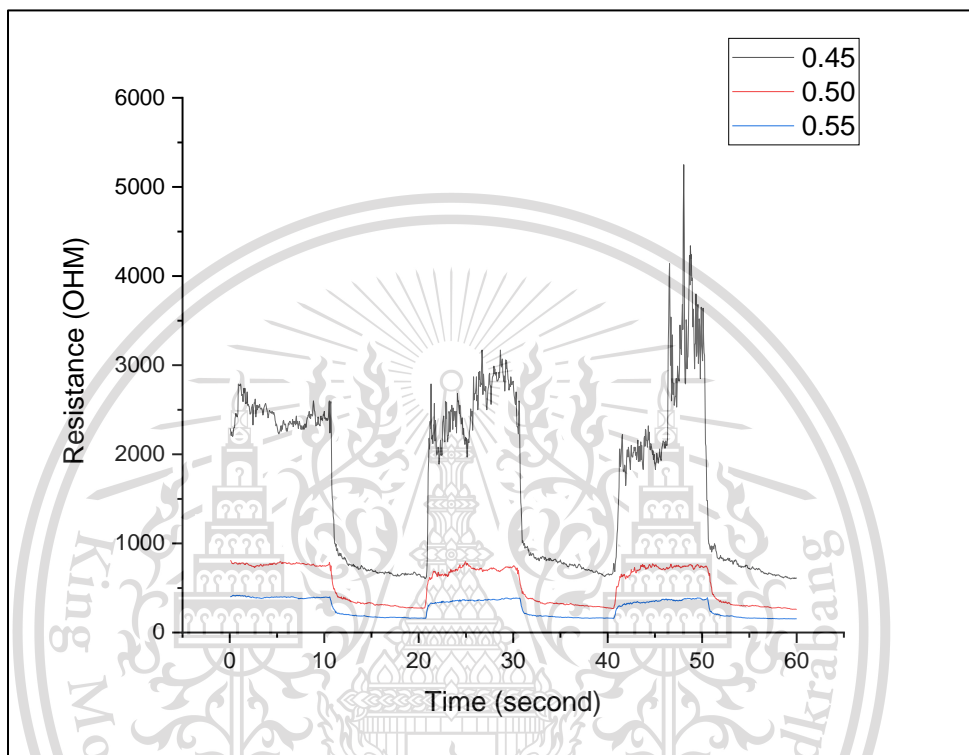
จากการเปรียบเทียบช่วงของความต้านทานของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 ความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ขณะที่ได้รับแรงกดที่ 100 นิวตัน (รูปที่ 4.10) จะเห็นได้ว่าเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นที่ 0.45 กรัม นั้นมีช่วงความต้านทานมากที่สุด อีกทั้งขณะที่ได้รับแรงกดจะมีการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานมากกว่าเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้น 0.50 กรัม และ 0.55 กรัม โดยที่ความเข้มข้นที่ 0.50 กรัม และ 0.55 กรัม จะมีความต้านทานน้อยแต่ช่วงขณะที่ได้รับแรงกดเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้น 0.50 กรัม และ 0.55 กรัม มีความต้านทานใกล้เคียงกันโดยเฉพาะในช่วงที่ยกเครื่องให้แรงกดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 200 นิวตัน



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 200 นิวตัน

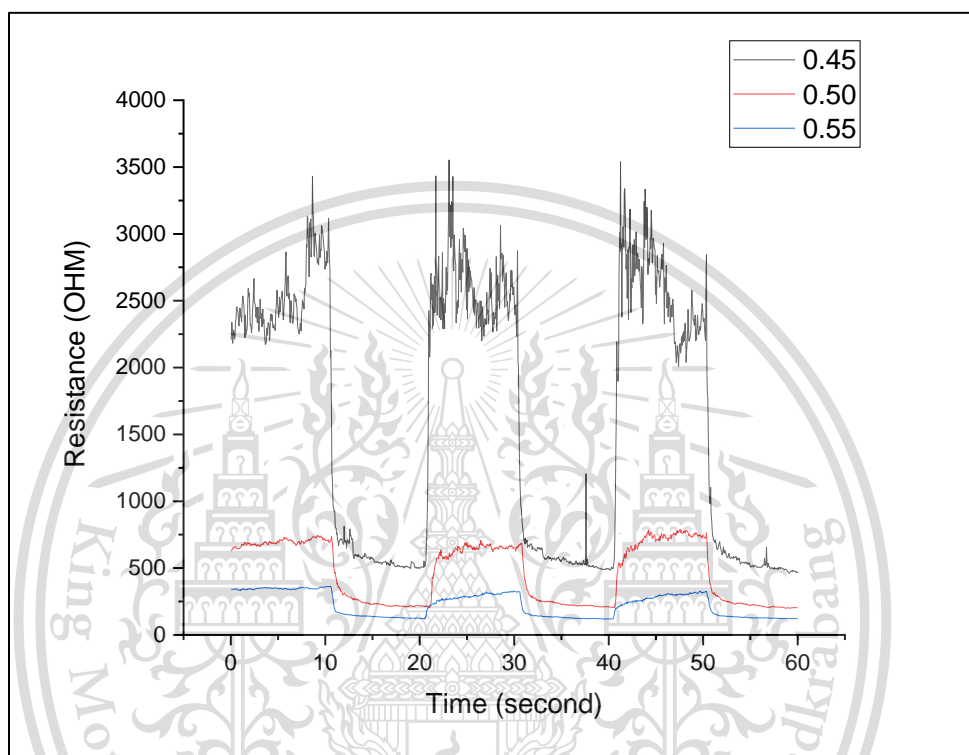
จากการเปรียบเทียบช่วงของความต้านทานของเซ็นเซอร์วัดแรงดันทั้ง 3 ความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ขณะที่ได้รับแรงกดที่ 200 นิวตัน (รูปที่ 4.11) จะเห็นได้ว่า เซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นที่ 0.45 กรัม นั้นมีช่วงความต้านทานสูง อีกทั้งขณะที่ได้รับแรงกดจะมีการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานมากที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับสภาพปกติของเซ็นเซอร์ที่ความเข้มข้น 0.50 กรัม โดยที่ความเข้มข้นที่ 0.50 กรัม และ 0.55 กรัม จะมีความต้านทานน้อยลงมาตามลำดับแต่ช่วงขณะที่ได้รับแรงกดจะมีความต้านทานที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันในช่วงที่ยกเครื่องให้แรงกดขึ้น ซึ่งความต้านทานของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 แบบจะน้อยกว่าเซ็นเซอร์ขณะที่ได้รับแรงกด 100 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 300 นิวตัน



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 ความเข้มข้น ขณะที่ได้รับแรงกด 300 นิวตัน

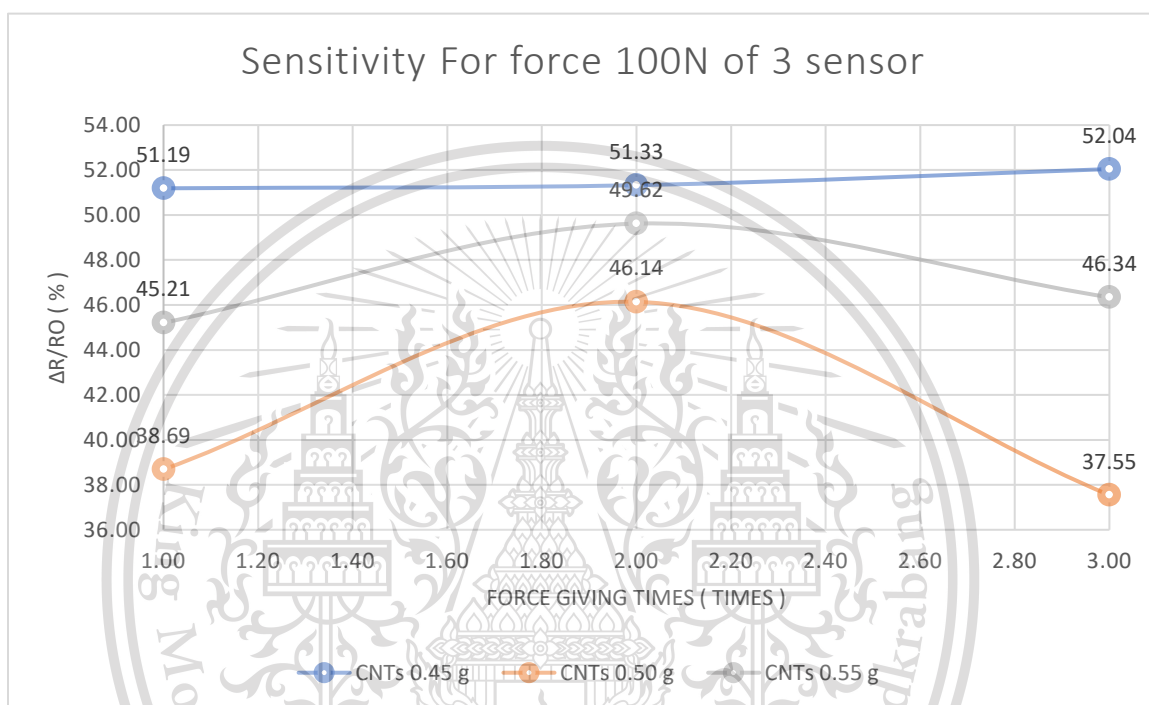
จากการเปรียบเทียบช่วงของความต้านทานของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 ความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวบ์ขณะที่ได้รับแรงกดที่ 300 นิวตัน (รูปที่ 4.12) จะเห็นได้ว่า ตัวที่มีความเข้มข้นที่ 0.45 กรัม นั้นมีช่วงความต้านทานสูง อีกทั้งขณะที่ได้รับแรงกดจะมีการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานมากที่สุดและมีค่าน้อยกว่าสภาพปกติของเซ็นเซอร์ที่ความเข้มข้น 0.50 กรัม โดยที่ความเข้มข้นที่ 0.50 กรัม และ 0.55 กรัม จะมีความต้านทานน้อยลงตามลำดับแต่ในช่วงที่ได้รับแรงกดจะมีความต้านทานใกล้เคียงกันและในช่วงที่ยกเครื่องให้แรงกดขึ้น ซึ่งความต้านทานของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 แบบจะน้อยกว่าเซ็นเซอร์ ขณะที่ได้รับแรงกดที่ 100 นิวตัน และ 200 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่โดไปด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ทั้ง 3 ความเข้มข้น โดยวิเคราะห์จากค่า Sensitivity ขณะให้แรงกด 100 นิวตัน



รูปที่ 4.13 กราฟ Sensitivity ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดโดยให้แรงกด 100 นิวตัน

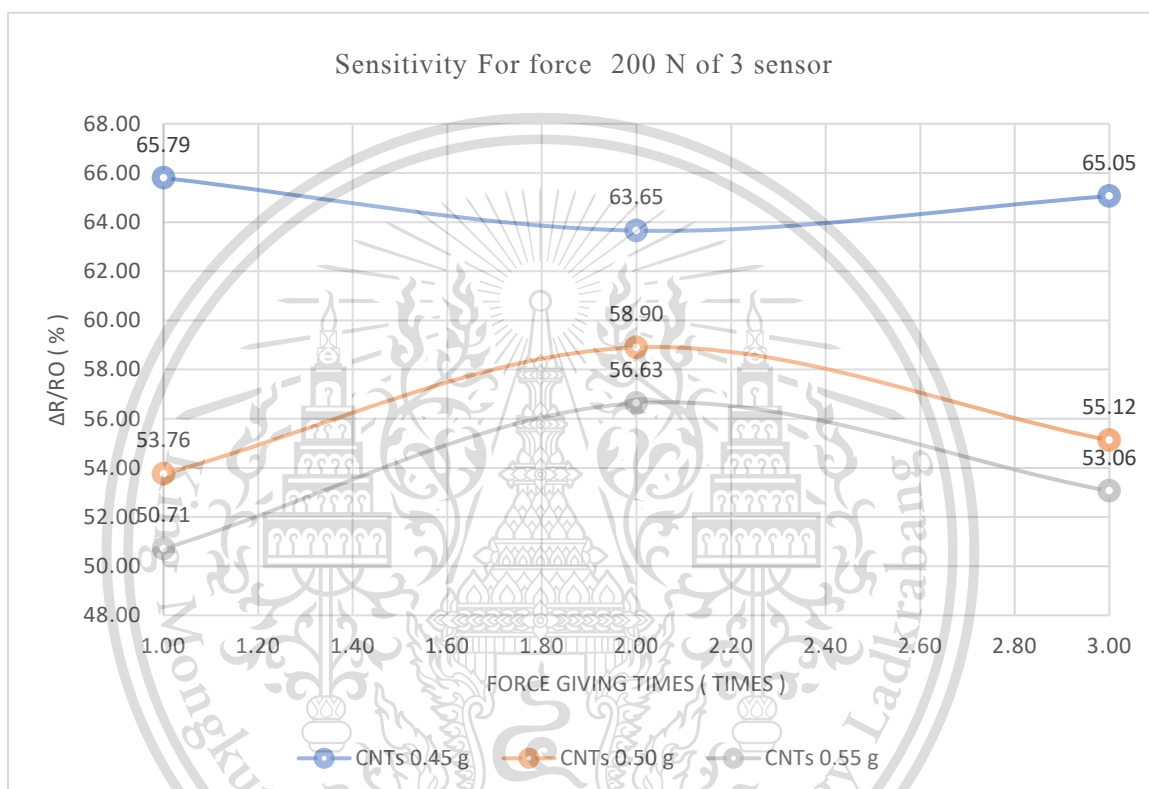
จากการวิเคราะห์ค่า Sensitivity จากค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 แบบ ขณะที่ได้รับแรงกด 100 นิวตัน โดยเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ 0.45 กรัม มีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงกดครั้งที่ 1 อยู่ที่ 51.19 % และแรงกดครั้งที่ 2 อยู่ที่ 51.33 % และแรงกดครั้งที่ 3 อยู่ที่ 52.04 % และเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ 0.50 กรัม มีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงกดครั้งที่ 1 อยู่ที่ 45.21 % และแรงกดครั้งที่ 2 อยู่ที่ 46.62 % และแรงกดครั้งที่ 3 อยู่ที่ 46.34 % และ เซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ 0.55 กรัม มีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงกดครั้งที่ 1 อยู่ที่ 38.69 % และแรงกดครั้งที่ 2 อยู่ที่ 46.14 % และแรงกดครั้งที่ 3 อยู่ที่ 37.55 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่โดไปด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ทั้ง 3 ความเข้มข้น โดยวิเคราะห์จากค่า Sensitivity ขณะให้แรงกด 200 นิวตัน

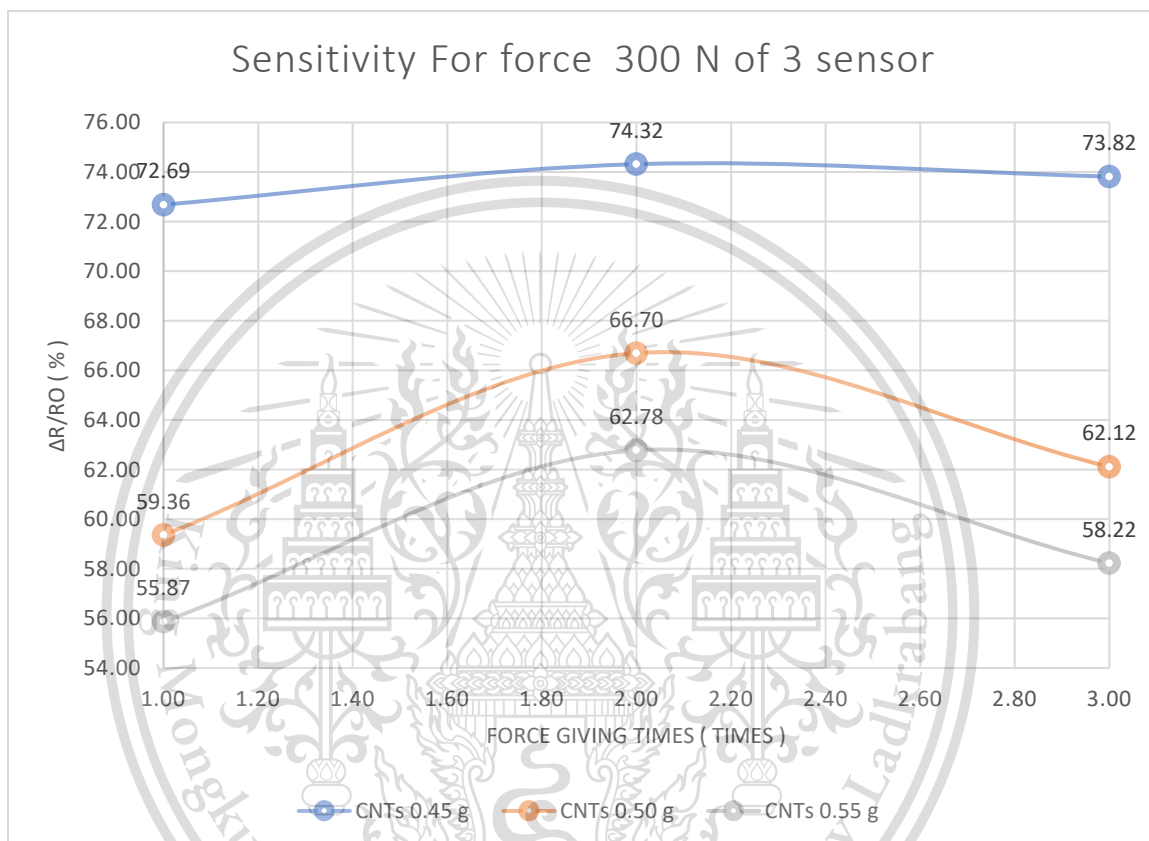


รูปที่ 4.14 กราฟ Sensitivity ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดโดยให้แรงกด 200 นิวตัน

จากการวิเคราะห์ค่า Sensitivity จากค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 แบบ ขณะที่ได้รับแรงกด 200 นิวตัน โดยเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ 0.45 กรัม มีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงกดครั้งที่ 1 อยู่ที่ 65.79 % และแรงกดครั้งที่ 2 อยู่ที่ 63.65 % และแรงกดครั้งที่ 3 อยู่ที่ 65.05 % และเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ 0.50 กรัม มีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงกดครั้งที่ 1 อยู่ที่ 53.76 % และแรงกดครั้งที่ 2 อยู่ที่ 58.90 % และแรงกดครั้งที่ 3 อยู่ที่ 55.12 %

และเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ 0.55 กรัม มีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงกดครั้งที่ 1 อยู่ที่ 50.71 % และแรงกดครั้งที่ 2 อยู่ที่ 56.63 % และแรงกดครั้งที่ 3 อยู่ที่ 53.06 %

4.4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของเซ็นเซอร์วัดแรงกดที่โดไปด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ทั้ง 3 ความเข้มข้น โดยวิเคราะห์จากค่า Sensitivity ขณะที่ให้แรงกด 300 นิวตัน



รูปที่ 4.15 กราฟ Sensitivity ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดโดยให้แรงกด 300 นิวตัน

จากการวิเคราะห์ค่า Sensitivity จากค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 แบบ ขณะที่ได้รับแรงกด 300 นิวตัน โดยเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ 0.45 กรัม มีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงกดครั้งที่ 1 อยู่ที่ 72.69 % และแรงกดครั้งที่ 2 อยู่ที่ 74.32 % และแรงกดครั้งที่ 3 อยู่ที่ 73.82 % และเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ 0.50 กรัม มีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงกดครั้งที่ 1 อยู่ที่ 59.36 % และแรงกดครั้งที่ 2 อยู่ที่ 66.70 % และแรงกดครั้งที่ 3 อยู่ที่ 62.12 % และเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ 0.55 กรัม มีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงกดครั้งที่ 1

อยู่ที่ 55.87 % และแรงกดครั้งที่ 2 อยู่ที่ 62.78 % และแรงกดครั้งที่ 3 อยู่ที่ 58.22 % ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสร้างเซ็นเซอร์วัดแรงกดจากแบคทีเรียเซลลูโลสที่เจือด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ โดยการใช้วุ้นมะพร้าวเพื่อใช้เซลลูโลสจากแบคทีเรียสายพันธุ์อะซิโตเบคเตอร์ ไฮลินัม ในการสร้างเป็นแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลส (รูปที่ 3.1) แล้วนำไปเจือด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ทั้ง 3 ระดับที่ความเข้มข้น 0.45 กรัม 0.50 กรัม และ 0.55 กรัม (รูปที่ 3.2) ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถทำแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสที่นำไฟฟ้าได้ดีที่สุด แล้วนำไปติดขั้วโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมยึดขั้วให้ติดกับแผ่นแบคทีเรียเซลลูโลสที่เจือด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ (รูปที่ 3.4) และเคลือบด้วยโพลีไดเมทิลไซโลเซน(PDMS) เพื่อกันความชื้นแก่ตัวเซ็นเซอร์ (รูปที่ 3.4) แล้วจึงนำไปทดสอบด้วยเครื่องให้แรงกด ด้วยการให้แรงกดที่ 100 นิวตัน 200 นิวตัน และ 300 นิวตัน สลับกับยกเครื่องให้แรงกดขึ้น อย่างละ 10 วินาที จนครบเวลา 60 วินาที (รูปที่ 3.5) โดยผลที่ได้ของเซ็นเซอร์วัดแรงกดทั้ง 3 แบบคือ ที่ความเข้มข้นที่โดปด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ 0.45 กรัม 0.50 กรัม และ 0.55 กรัม เมื่อได้รับแรงกดค่าความต้านทานจะลดลงจากระดับปกติที่เมื่อเทียบกับค่าความต้านทานขณะที่ยังไม่ได้รับแรงกด (รูปที่ 4.1) (รูปที่ 4.4) (รูปที่ 4.7) และเมื่อเพิ่มแรงกดที่มากขึ้นความต้านทานก็จะลดลงจนคงที่จนกว่าจะยกเครื่องให้แรงกดขึ้น (รูปที่ 4.2) (รูปที่ 4.5) (รูปที่ 4.8) โดยจากที่ทดลองให้แรงกดกับเซ็นเซอร์ทั้ง 3 แบบที่แต่ละแบบมีความเข้มข้นต่างกันพบว่าค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ความเข้มข้น มีลักษณะเป็นไปในทางเดียวกัน แต่เมื่อสังเกตค่าความต้านทานจะพบว่ายิ่งให้แรงกดมากค่าความต้านทานจะเสถียรมาก (รูปที่ 4.3) (รูปที่ 4.6) (รูปที่ 4.7) แต่เมื่อให้แรงกดที่น้อยค่าความต้านทานจะแกว่ง (รูปที่ 4.1) (รูปที่ 4.4) (รูปที่ 4.7) เป็นเพราะเมื่อคาร์บอนนาโนทิวป์ที่อยู่ภายในเมื่อได้รับแรงกดจากภายนอกทำให้ลักษณะการคงตัวของคาร์บอนนาโนทิวป์เปลี่ยนไปในลักษณะเข้าหากันมากขึ้นทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงจากสมการ $R = \frac{l \cdot \rho}{A}$ ละเมื่อนำเซ็นเซอร์วัดแรงกด 3 แบบมาเปรียบเทียบกัน (รูปที่ 4.10) (รูปที่ 4.11) (รูปที่ 4.12) ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ที่ใช้ความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ 0.45 กรัม จะมีค่าความต้านทานมากที่สุดทั้งในขณะที่ยังไม่ได้ให้แรงกดและในขณะที่ได้รับแรงกด เมื่อให้แรงกดกับเซ็นเซอร์ที่ใช้ความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ที่

เอกสารนี้เป็น 0.45 กรัม จะพบว่าค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงมากที่สุดขณะให้แรงกด และเมื่อยกเครื่องให้แรงกดขึ้น ค่าการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความต้านทานกลับมาอยู่ในช่วงก่อนที่จะได้รับแรงกด แต่เมื่อเพิ่มแรงกดค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้น และยกเครื่องให้แรงกดขึ้นค่าความต้านทานจะกลับมาอยู่ในช่วงก่อนให้แรงกด จึงสรุปได้ว่า เซ็นเซอร์ที่ใช้ความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ 0.45 กรัม มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานดีที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] Ahmmed, M.S. and N. Huda, An open-source CFD model for computing thermal effect in the context of laser-induced semiconductor processing in photovoltaic applications. *Journal of Computational Science*, 2019. 34: p. 55-65.
- [2] Xie, X., et al., Intermediate layer for enhanced triboelectric nanogenerator. *Nano Energy*, 2021. 79: p. 105439.
- [3] Wang, Y., Y. Yang, and Z.L. Wang, Triboelectric nanogenerators as flexible power sources. *npj Flexible Electronics*, 2017. 1(1): p. 10.
- [4] Wang, J., et al., Small-Scale Energy Harvesting from Environment by Triboelectric Nanogenerators. 2019.
- [5] Ding, W., et al., Human-Machine Interfacing Enabled by Triboelectric Nanogenerators and Tribotronics. *Advanced Materials Technologies*, 2018. 4: p. 1800487.
- [6] Kim, Y., et al., Effect of the relative permittivity of oxides on the performance of triboelectric nanogenerators. *RSC Adv.*, 2017. 7: p. 49368-49373.
- [7] Klemm, D., et al., Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Angewandte Chemie (International ed. in English)*, 2005. 44: p. 3358-93.
- [8] Klemm, D., et al., Bacterial synthesized cellulose — artificial blood vessels for microsurgery. *Progress in Polymer Science*, 2001. 26(9): p. 1561-1603.
- [9] Manoukian, O., et al., Biomaterials for Tissue Engineering and Regenerative Medicine. 2018.
- [10] Saibuatong, O.-a. and M. Phisalaphong, Novo aloe vera–bacterial cellulose composite film from biosynthesis. *Carbohydrate Polymers*, 2010. 79(2): p. 455-460.
- [11] Shi, Z., et al., In situ nano-assembly of bacterial cellulose–polyaniline composites. *RSC Advances*, 2012. 2: p. 1040.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [12] Aramwit, P., 1 - Introduction to biomaterials for wound healing, in Wound Healing Biomaterials, M.S. Ågren, Editor. 2016, Woodhead Publishing. p. 3-38.
- [13] Esa, F., S.M. Tasirin, and N.A. Rahman, Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2014. 2: p. 113-119.
- [14] Homes, C., et al., Optical Response of High-Dielectric-Constant Perovskite-Related Oxide. Science (New York, N.Y.), 2001. 293: p. 673-6.
- [15] Fukuoka, H., T. Isami, and S. Yamanaka, Crystal Structure of a Layered Perovskite Niobate $\text{KCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$. Journal of Solid State Chemistry, 2000. 151(1): p. 40-45.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Plagiarism Checking Report

Created on May 28, 2021 at 15:31 PM

Submission Information

ID	SUBMISSION DATE	SUBMITTED BY	ORGANIZATION	FILENAME	STATUS	SIMILARITY INDEX
2090564	May 28, 2021 at 15:31 PM	rangson.mu@kmitl.ac.th	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	Full_Report_EL6326.docx	Completed	0.55 %

Match Overview

NO.	TITLE	AUTHOR(S)	SOURCE	SIMILARITY INDEX
1	no metadata	no metadata	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	0.45 %
2	Delayed sowing of rice bean into upland rice, การขอลงวันปลูกถั่วแดงที่ปลูกแซมข้าวไร่	Pantollana, Elena R	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	0.11 %

5/28/2021

อักษรวิสุทธิ์

Match Details

TEXT FROM SUBMITTED DOCUMENT

..... | บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
 กิตติกรรมประกาศ.....จ\\
 ก สารบัญ.....ช\\
 III
 สารบัญ.....

..... IV สารบัญ
 ตาราง.....
 V สารบัญรูป VI บทที่ 1 1 บทนำ 1 1 ที่มาและ
 ความสำคัญของปัญหา 1 2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2 1-3 สมมติฐาน

TEXT FROM SOURCE DOCUMENT(S)

กิตติกรรมประกาศ.....จ\\
 ก สารบัญ.....ช\\
 ก สารบัญตาราง

ช\ n สารบัญ\ n หน้า\ n กิตติกรรมประกาศ\ n บทคัดย่อภาษาไทย\ n
 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ\ n สารบัญตาราง\ n บทที่ 1 บทนำ 1 \ n ความเป็น
 มาและความสำคัญของปัญหา 1 \ n วัตถุประสงค์การศึกษา 6 \ n
 สมมติฐานการศึกษา 6 \ n นิยามศัพท์ 7 \ n บทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.