การศึกษาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกโดยใช้ตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนานด้วยวิธีการอย่างง่าย

Study of dielectric constant by using a parallel plate capacitor with a simple method

กิตติพศ โกนสันเทียะ[1]
จิตรา เกตุแก้ว[2]
[1]นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

การทดลองหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกโดยใช้ตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนานที่สร้างขึ้นอย่างง่ายและใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดค่าความจุไฟฟ้า การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบการทดลองหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของกระดาษที่สามารถหาได้ด้วยวิธีอย่างง่าย ซึ่งโดยปกติแล้วต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนและมีต้นทุนสูง ในการทดลองครั้งนี้จึงมีการใช้วัสดุไดอิเล็กตริกชนิดเดียวกันแต่มีความหนาแตกต่างกัน แทนการใช้วัสดุไดอิเล็กตริกซ้อนกันเพื่อเพิ่มความหนา มีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้แผ่นตัวนำแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม จากการทดลองสามารถนำวิธีการสร้างตัวเก็บประจุอย่างง่ายนี้นำมาใช้กับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาในห้องเรียนเพื่อทำให้นักเรียนเข้าใจถึงโครงสร้างและหลักการของตัวเก็บประจุได้

คำสำคัญ ตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนาน, ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก, ความจุไฟฟ้า

Abstract

The experiment of finding the dielectric constant by using parallel plate that was easy made and using multimeter to measure capacitance. The objective of the study was to find the electric constant of the material that can be easily found. Normally, the experiment always use complicated and expensive equipment. In this experiment use the same dielectric material, but different thickness instead using piled dielectric material. There are comparison of the results from using circle and square conductor plate. This experiment indicated that this simple method can be applied to students in the secondary level in the classroom to help students understand the structure and principles of capacitors.

Keywords parallel plate capacitors, dielectric constant, capacitance

บทนำ

ตัวเก็บประจุเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บประจุและสามารถคายประจุได้ นิยมนำมาประกอบในวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป โดยหลักการของตัวเก็บประจุอย่างง่ายคือมีแผ่นตัวนำ 2 แผ่นวางขนานกัน จะต้องมีการใส่ประจุจำนวนเท่ากันแก่ตัวนำทั้งสองแผ่น ซึ่งทำได้โดยการต่อตัวนำที่ยังไม่มีการใส่ประจุเข้ากับ

ขั้วของแบตเตอรี่ โดยด้านหนึ่งต่อเข้ากับขั้วบวกและอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับขั้วลบ แบตเตอรี่จะทำหน้าที่โอนย้ายประจุ (อิเล็กตรอน) จากตัวนำหนึ่งไปยังตัวนำหนึ่งจนกระทั่งค่าความต่างศักย์ระหว่างตัวนำทั้งสองมีค่าเท่ากับความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่ โดยสามารถหาค่าความจุไฟฟ้าได้จากสมการ

$$C = \frac{\kappa \varepsilon_0 A}{d} \quad (1)$$

โดยที่ κ หมายถึงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ

หากต้องการทำให้ค่าความจุไฟฟ้า C มีค่ามากจะต้องเลือกสารที่มี κ ค่าสูง นอกจากนี้ ควรเลือกสารไดอิเล็กทริกที่มีลักษณะบางและมีพื้นที่ใหญ่ ค่าไดอิเล็กตริกของวัสดุที่พบได้ทั่วไปเช่น อากาศ น้ำมัน และน้ำ จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1, 4.5, และ 80 ตามลำดับ

จากสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนานนอกจากจะขึ้นอยู่กับวัสดุไดอิเล็กตริกและยังขึ้นกับขนาดของพื้นที่ของแผ่นตัวนำและความหนาของแผ่นไดอิเล็กตริก ถ้าเรานำใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวมาคำนวณหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่เราไม่ทราบค่าซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\kappa = \frac{Cd}{\varepsilon_0 A} \quad (2)$$

จากการศึกษางานวิจัยของ T. T. Grove และคณะ ซึ่งมีการศึกษาการหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกโดยการใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดค่าความจุไฟฟ้า ในการทดลองมีการใช้วัสดุตัวนำ 3 ชนิด แผ่นฟอยล์ อลูมิเนียม (ผิวไม่เรียบมีลักษณะเป็นตาราง) และอลูมิเนียมฟอยล์ เป็นวัสดุตัวนำและใช้วัสดุอะคริลิคบางเป็นวัสดุไดอิเล็กตริก จากนั้นใช้การทดลองโดยเพิ่มความหนาของไดอิเล็กตริกโดยการซ้อนวัสดุไดอิเล็กตริกเป็นชั้นๆ จากผลการทดลองพบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอันเกิดมาจาก 2 กรณีคือ แผ่นวัสดุตัวนำที่มีความไม่ราบเรียบและอากาศเป็นตัวแปรสำคัญในการทำให้ผลการทดลองที่ได้มีผลคลาดเคลื่อนเมื่อแผ่นตัวนำมีความไม่ราบเรียบอากาศจะเข้าไปแทรกเป็นชั้นระหว่างแผ่นตัวนำและวัสดุไดอิเล็กตริกและเมื่อนำวัสดุไดอิเล็กตริก มาวางซ้อนกันเป็นชั้นจะมีอากาศเข้าไปแทรกเปรียบเสมือนการต่อตัวเก็บประจุแบบอนุกรมและงานวิจัยของ Shiree Burt และคณะที่ศึกษาเกี่ยวกับ fringe field ของตัวเก็บประจุแบบคู่ขนาน ได้ทำการทดลองโดยการวัดค่าความจุไฟฟ้าเมื่อระยะห่างของแผ่นตัวนำเพิ่มมากขึ้น ปรากฏว่าเมื่อระยะของไดอิเล็กตริกเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าความจุไฟฟ้าอันเนื่องมากจาก fringe field ซึ่งถ้าระยะห่างของแผ่นตัวนำมีค่าน้อยมาก fringe field แทบจะไม่มีผลต่อค่าความจุไฟฟ้าเลย

ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในการหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัตถุต่างๆ จะต้องใช้อุปกรณ์ที่อยู่ในห้องปฏิบัติการเช่นอุปกรณ์การทดลองของ PHYWE ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีราคาแพงและมีอันตรายสูงเนื่องจากต้องใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด 10 kV ซึ่งเป็นไปได้ยากในการที่จะนำไปใช้ในการบวนการจัดการเรียนการสอนอย่างไรก็ตามผู้ทดลองคิดว่าชุดการทดลองนี้เป็นชุดการทดลองการหาค่าคงที่ของตัวเก็บประจุอย่างง่ายสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนโดยนักเรียนสามารถทำการทดลองได้ด้วยตนเองเนื่องจากมีการใช้วัสดุที่สามารถหาได้โดยทั่วไปและมีราคาไม่สูง

ดังนั้นจากข้อมูลที่ผู้ทดลองได้ศึกษาในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้ทดลองจึงได้ทำการออกแบบการทดลองโดยการใช้วัสดุตัวนำคืออลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ และใช้วัสดุไดอิเล็กตริกเป็นกระดาษซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายและมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกอยู่ที่ประมาณ 1.5 – 3.5 โดยเราจะไม่สามารถทราบค่าที่แน่นอนของค่าไดอิเล็กตริกเนื่องจากค่าไดอิเล็กตริกขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น คุณภาพของกระดาษ วัสดุที่นำมาใช้

ทำกระดาษ ความชื้น หรืออุณหภูมิ และทำการทดลองโดยเพิ่มความหนาของกระดาษตามแกรมของกระดาษที่เป็นชนิดและยี่ห้อเดียวกันจากนั้นใช้น้ำหนักในการกดทับเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีอากาศแทรกอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำและวัสดุไดอิเล็กตริก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของกระดาษโดยใช้ตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนานที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการอย่างง่าย

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของกระดาษที่มีความหนาตั้งแต่ 80, 120, 180 และ 230 แกรม และใช้วัสดุตัวนำคือ อลูมิเนียมแผ่นเรียบเบอร์ 16 หนา 0.15 มิลลิเมตร และควบคุมชนิดของกระดาษโดยใช้กระดาษยี่ห้อ ONE ที่มีขนาดแกรมของกระดาษที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ระเบียบวิธีวิจัย

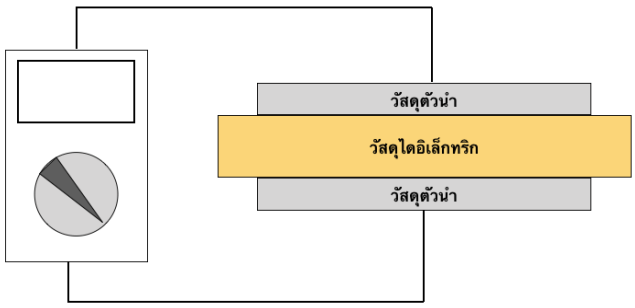
การทำวิจัยในครั้งนี้ เป็นการทำวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เพื่อหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริก โดยใช้ตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนานที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการอย่างง่าย

2. ขั้นตอนการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นโดยการออกแบบชุดการทดลองโดยสร้างตัวเก็บประจุอย่างง่าย ซึ่งใช้วัสดุตัวนำคือแผ่นอลูมิเนียมและใช้วัสดุไดอิเล็กตริกคือกระดาษในการสร้างชุดการทดลอง เพื่อทำการทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าความจุไฟฟ้าและพื้นที่ เมื่อเปลี่ยนลักษณะพื้นที่ของแผ่นตัวนำ (วงกลม, สี่เหลี่ยม) จากนั้นทำการทดลองหาค่าความจุไฟฟ้าและส่วนกลับของความหนาของวัสดุไดอิเล็กตริก และนำผลการทดลองทั้งสองส่วนมาเปรียบเทียบกัน

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการทดลองหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของแผ่นตัวนำแบบคู่ขนานมีอุปกรณ์ คือ แผ่นอลูมิเนียมแผ่นเรียบเบอร์ 16 หนา 0.15 มิลลิเมตร กระดาษ A4 ความหนา (80, 120, 180, 230 แกรม) อะคริลิคหนา 15 มิลลิเมตร มวลสำหรับกดแผ่นตัวนำ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ดังรูป



รูปที่ 1 : รูปแสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

การทดลองที่ 1 เป็นการทดลองศึกษาขนาดของพื้นที่ที่ส่งผลต่อค่าความจุไฟฟ้า โดยเลือกใช้วัสดุไดอิเล็กตริกคือกระดาษความหนา 180 แกรม เปลี่ยนขนาดพื้นที่ของแผ่นตัวนำและใช้ตัวนำที่มีรูปร่างสองแบบได้แก่ แบบวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 เซนติเมตร และแบบสี่เหลี่ยมพื้นที่ 25, 36, 49, 64, 81, 100, 121, 144, 169, 196, 225 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำมัลติมิเตอร์วัดค่าความจุไฟฟ้าและเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและขนาดพื้นที่ของแผ่นตัวนำ นำค่าความชันศึกษาความหนาของแผ่นกระดาษที่ส่งผลต่อค่าความจุไฟฟ้า

$$\text{ความชัน } = \frac{C}{A} = \kappa \frac{\varepsilon_0}{d} \quad (3)$$

การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองโดยใช้วัสดุไดอิเล็กตริกกระดาษความหนาแตกต่างกันตั้งแต่ 80, 120, 180, 230 แกรม โดยใช้ขนาดพื้นที่ของแผ่นตัวนำคงที่ 49 ตารางเซนติเมตรสำหรับแผ่นตัวนำสี่เหลี่ยมและ 38.48 ตารางเซนติเมตร สำหรับแผ่นตัวนำวงกลม จากนั้นนำมัลติมิเตอร์วัดค่าความจุไฟฟ้าและเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและส่วนกลับความหนาของแผ่นไดอิเล็กตริก สามารถหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกได้จากสมการ

$$\text{ความชัน} = \mathrm{Cd} = \kappa\varepsilon_0 \mathrm{A} \quad (4)$$

ผลการวิจัย

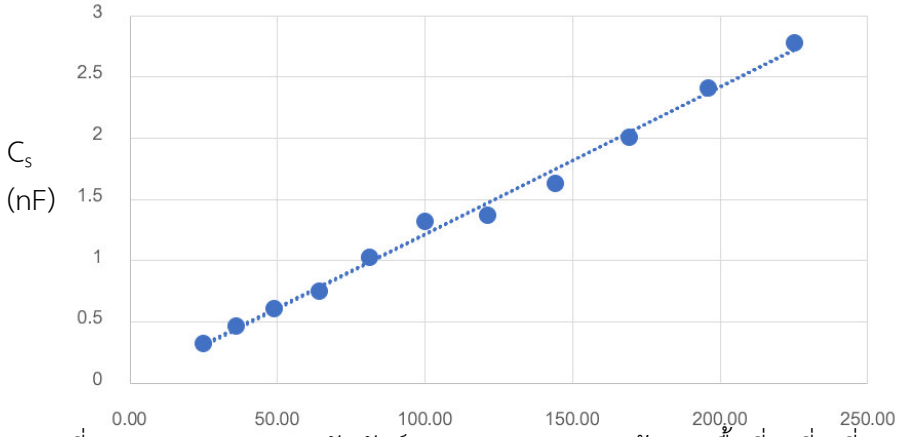
จากการทดลองหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุ โดยวัสดุที่ใช้ในการหาค่าในการทดลองคือกระดาษยี่ห้อ ONE ซึ่งเป็นกระดาษชนิดเดียวกันแตกต่างกันที่ขนาดของแกรมกระดาษที่ใช้ในการทดลอง โดยในการทดลองถ้าใช้วัสดุไดอิเล็กตริก คือ กระดาษที่เป็นประเภทเดียวกันเมื่อเป็นกระดาษประเภทเดียวกันก็ควรที่จะมีค่าไดอิเล็กตริกที่เท่ากัน โดยในการทดลองแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ตอนดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 เปลี่ยนขนาดพื้นที่ของแผ่นตัวนำโดยใช้วัสดุไดอิเล็กทริกคือ กระดาษและใช้รูปทรงของแผ่นตัวนำคือสี่เหลี่ยม (A_s) และวงกลม (A_c) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

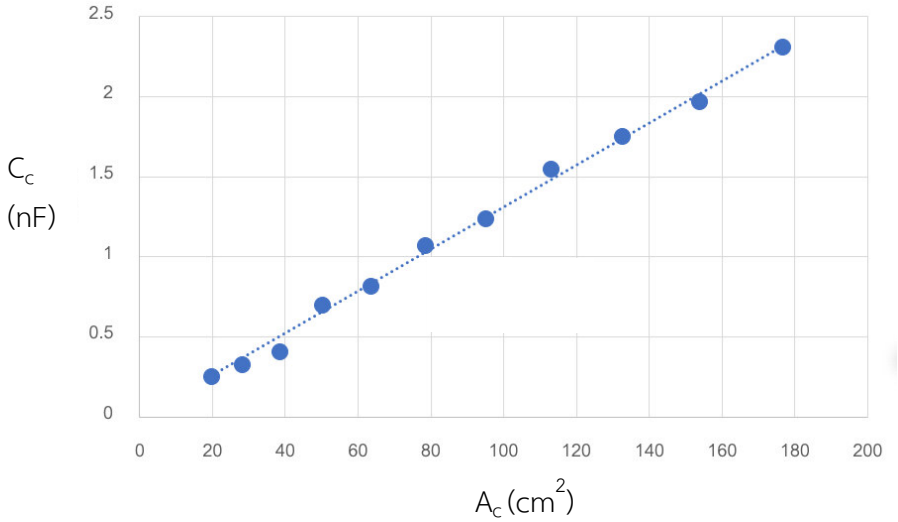
ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าความจุไฟฟ้าของแผ่นตัวนำสี่เหลี่ยม (C_s) และวงกลม (C_c) ที่ขนาดพื้นที่ตัวนำที่แตกต่างกัน

พื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส		พื้นที่รูปสี่เหลี่ยมวงกลม	
A_s (cm^2)	C_s (nF)	A_c (cm^2)	C_c (nF)
25	0.33	19.63	0.25
36	0.47	28.27	0.33
49	0.61	38.48	0.41
64	0.75	50.27	0.70
81	1.03	63.62	0.82
100	1.32	78.54	1.07
121	1.37	95.03	1.24
144	1.63	113.10	1.55
169	2.01	132.73	1.75
196	2.41	153.94	1.97
225	2.78	176.71	2.31

เมื่อนำค่าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและพื้นที่จะได้ความสัมพันธ์ดังกราฟ



รูปที่ 2 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระห ฟฟ้าและพื้นที่รูปสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความจุไฟฟ้าและพื้นที่รูปวงกลม

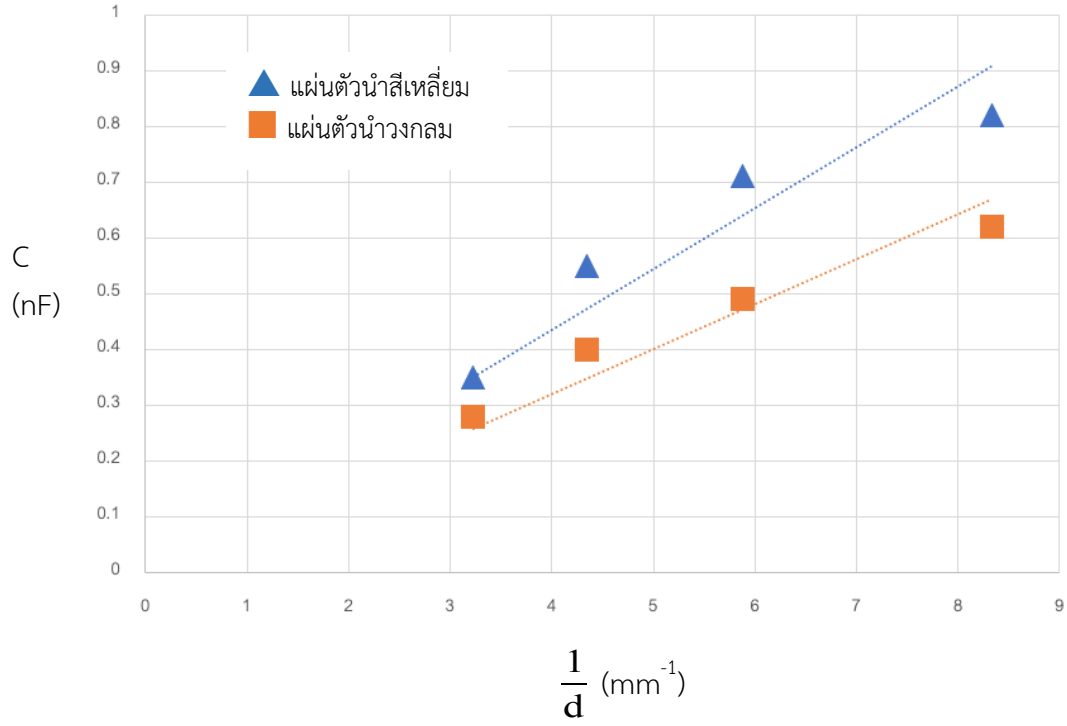
จากรูปที่ 2 และ 3 จะได้ความชันของกราฟคือ 1×10^{-7} มีค่าเท่ากัน เมื่อนำค่าความชันของกราฟแทนลงใน สมการที่ 3 เพื่อหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะได้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกคือ 2.37 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงจากสารอ้างอิงต่างๆ ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง 1.5 – 3.5

การทดลองที่ 2 เปลี่ยนความหนาของกระดาษเป็น 80, 120, 180, 230 แกรม และใช้แผ่นตัวนำ 2 แบบคือแบบสี่เหลี่ยม (49 ตารางเซนติเมตร) และแบบวงกลม (38.48 ตารางเซนติเมตร) โดยให้พื้นที่คงที่ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าความจุไฟฟ้าของแผ่นตัวนำสี่เหลี่ยม (C_{psl}) และวงกลม (C_{pcl}) ที่ความหนาของแผ่นไดอิเล็กตริกที่แตกต่างกัน

แกรมของกระดาษ	d (mm)	C_s (nF)	C_c (nF)
80	0.12	0.82	0.62
120	0.17	0.71	0.49
180	0.23	0.55	0.40
230	0.31	0.35	0.28

เมื่อนำค่าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและส่วนกลับของความหนาของวัสดุไดอิเล็กตริกจะได้ความสัมพันธ์ดังกราฟ



รูปที่ 4 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับ $\frac{1}{d}$

จากรูปที่ 4 จะได้ความชันของกราฟคือ 1×10^{-13} สำหรับแผ่นตัวนำสี่เหลี่ยมและ 8×10^{-14} สำหรับแผ่นตัวนำแบบวงกลม เมื่อนำค่าความชันของกราฟแทนลงในสมการที่ 4 เพื่อหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะได้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกคือ 2.30 และ 2.37 ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งอยู่ในช่วง 1.5 – 3 จะเห็นได้ว่าจากกราฟค่าความจุไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่อความหนาของกระดาษเพิ่มขึ้นเป็นไปตามทฤษฎี

อภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าผลการวิจัยในตอนที่ 1 และ 2 ให้ค่าคงที่ไดอิเล็กที่มีค่าใกล้เคียงกันเป็นไปตามทฤษฎี ซึ่งเราสามารถควบคุมคุณภาพและชนิดของกระดาษเพื่อให้มีความแม่นยำในการวัดค่า ในกรณีนี้

เราได้ใช้น้ำหนักกดทับที่แผ่นอะคริลิคเพื่อที่จะไล่อากาศที่แทรกระหว่างแผ่นตัวนำและวัสดุไดอิเล็กตริกและในการทดลองเราใช้วัสดุไดอิเล็กตริกที่มีความบางและมีลักษณะเรียบเมื่อใช้ความดันกดทับไปบนตัวเก็บประจุแบบคู่ขนานก็จะสามารถไล่อากาศได้ จากนั้นเราจึงใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดค่าความจุไฟฟ้า เมื่อนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและพื้นที่ กับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้าและส่วนกลับของความหนาของวัสดุไดอิเล็กตริก นำค่าความชันของกราฟที่ได้แทนลงในสมการทำให้ได้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเฉลี่ยอยู่ที่ 2.34 จากผลที่ได้จะเห็นได้ว่าค่าความจุไฟฟ้าที่สามารถวัดมาได้เป็นไปตามทฤษฎีซึ่งเป็นการง่ายที่จะให้นักเรียนนำค่าความจุไฟฟ้าเมื่อพื้นที่ของแผ่นตัวนำที่เปลี่ยนแปลงไปและค่าความจุไฟฟ้าเมื่อความหนาของวัสดุไดอิเล็กตริกที่เปลี่ยนแปลงไปที่ได้จากการทำการทดลองมาวิเคราะห์ผลและเป็นการสะดวกในการจัดการเรียนการสอนเพราะวัสดุอุปกรณ์สามารถหาได้ง่ายและมีความประหยัด แต่จากการทดลองนี้เรายังไม่ทราบค่าคงที่ของวัสดุไดอิเล็กตริกที่แท้จริงของกระดาษที่เรานำมาใช้ในการทดลอง จากผลการทดลองที่ได้นี้สิ่งที่ต้องควบคุมคือชนิดของกระดาษและระมัดระวังการเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ของแผ่นตัวนำซึ่งอาจส่งผลต่อประจุไฟฟ้าบริเวณแผ่นตัวนำ

ข้อเสนอแนะ

1. ชุดการทดลองการหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกโดยใช้ตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนานเป็นชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นอย่างง่ายและมีความประหยัดเหมาะแก่การนำไปใช้สอนในห้องเรียนเพื่อให้นักเรียนหรือนักศึกษาได้ลงมือทำและเกิดกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง
2. สามารถเปลี่ยนชนิดของวัสดุไดอิเล็กตริกเพื่อที่จะหาค่าคงที่ไดอิเล็กตริก โดยเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายๆ เช่น แผ่นพลาสติก แผ่นอะคริลิค แต่วัสดุที่นำมาใช้ต้องมีลักษณะแผ่นบาง

เอกสารอ้างอิง

กรกฎ วัฒนวิเชียร. (2550). **วัสดุทางวิศวกรรมไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณและสุปาณี ลิ้มสุวรรณ. (2547). **ไฟฟ้าและแม่เหล็ก** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เลี่ยงเชียง.

มณฑล หอมกลิ่นเทียน. (2547). **การสร้างและศึกษาตัวเก็บประจุขนาด 10 pF ชนิดฟิวส์ซิลิกาเป็นสารไดอิเล็กทริกเพื่อใช้เป็นมาตรฐานทุติยภูมิ**. ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Engineering ToolBox, (2010). **Relative Permittivity - the Dielectric Constant**. สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 15, 2561, จาก https://www.engineeringtoolbox.com/relative-permittivity-d_1660.html.

Harrop, P.J. (1972). **Dielectrics**. London : Butterworths.

Physics Resourcesdatabase. **Permittivity and Dieletric Constants**. สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 15, 2561, จาก http://www.physics.usyd.edu.au/teach_res/db/d0006c.htm.

Shiree Burt, Nathan Finney, JackYoung. **Fringe Field of Parallel Plate Capacitor**. Department of Engineering and Physics Santa Rosa Junior College.

T. T. Grove, M. F. Masters, and R. E. Miers. (2004). **Determining dielectric constants using a parallel plate capacitor**. American Association of Physics Teacher. 73(1), 52-56.