# บทที่ 4

# ผลและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการทดสอบระบบเลเซอร์ไนโตรเจนที่สร้างขึ้น ผลของการแปรค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้า ตลอดจนการคำนวณประสิทธิภาพทางแสงที่ได้

## 4.1 ผลการทดสอบระบบไนโตรเจนเลเซอร์

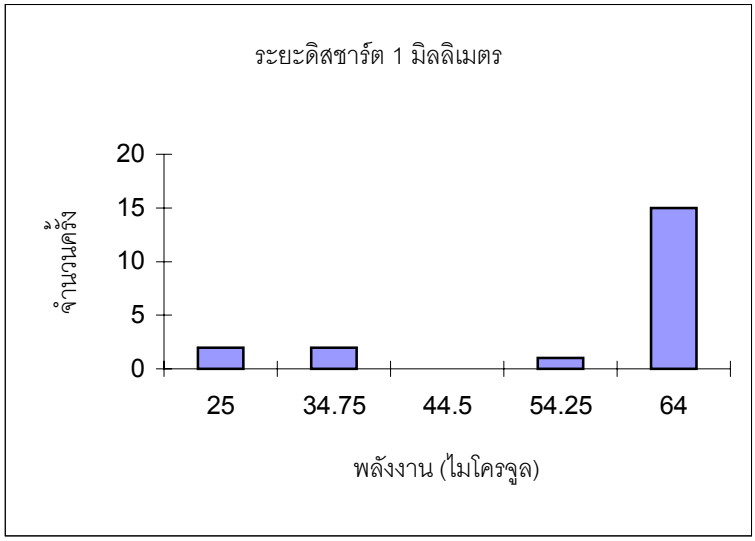
ในการทำงานของเลเซอร์ไนโตรเจน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำให้เกิดการดิสชาร์ตคร่อมช่องเลเซอร์คือให้ตัวเก็บประจุ $C_1$คายประจุเพื่อกระตุ้นก๊าซไนโตรเจน ในตอนเริ่มต้นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดิสชาร์ตคร่อมช่องเลเซอร์ก็คือ ระยะห่างของสปาร์คแกปและแรงดันไฟฟ้า โดยถ้าระยะห่างของสปาร์คแกปใกล้กันมากเกินไป ก๊าซไนโตรเจนจะได้รับพลังงานน้อยมาก เนื่องจากแรงดันที่เก็บในตัวเก็บประจุ $C_1$ มีค่าน้อยเกินไป แต่ถ้าระยะห่างของสปาร์คแกปมากเกินไป ก็ไม่สามารถเกิดการดิสชาร์ตคร่อมช่องเลเซอร์ได้เช่นกัน เนื่องจากแรงดันคร่อมสปาร์คแกปไม่เพียงพอ ที่จะทำให้วงจรปิดได้ ซึ่งจากการทดลองนี้กำหนดให้ระยะแกป$d_2$:$d_1$ เป็น 4:2 มิลลิเมตร โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 11-14 กิโลโวลท์ ถึงจะทำให้เกิดการดิสชาร์ตคร่อมช่องเลเซอร์ เมื่อทราบถึงระยะของสปาร์คแกปและแรงดันที่ทำให้เกิดการคายประจุข้ามช่องเลเซอร์ ก็ปล่อยก๊าซไนโตรเจนสู่ช่องเลเซอร์ การทดสอบไนโตรเจนเลเซอร์สามารถสังเกตได้ทางกายภาพคือ การใช้กระดาษสีขาวมารับแสง สิ่งที่เกิดขึ้นคือจะเห็นเป็นจุดสีม่วงน้ำเงิน ที่ระยะห่างจากช่องเลเซอร์ประมาณ 10 เซนติเมตร ดังภาพประกอบที่ 52 ถ้าระยะใกล้กว่านี้ความเข้มจะลดลงและจุดก็จะใหญ่ขึ้น เนื่องจากลำแสงมีความบานเพราะไม่ได้อาศัยระบบกระจกมาช่วย ส่วนภาพถ่ายขณะเกิดดิสชาร์ตแสดงในภาพประกอบที่ 53

ระบบเลเซอร์ไนโตรเจนเป็นระบบที่มีการทำงานแบบพัลส์ อาศัยวงจรพัลส์แรงสูงกระตุ้นสปาร์คแกปให้ทำงานแล้วเกิดการคายประจุผ่านก๊าซไนโตรเจน ด้วยเหตุนี้เองทำให้ค่าพลังงานที่ออกมาของเลเซอร์มีค่าไม่เท่ากันทุกครั้ง เพราะการปล่อยประจุจากตัวเก็บประจุไม่เท่ากันทุกครั้งและการปลดปล่อยของแสงเลเซอร์ชนิดนี้เป็นแบบสุ่ม( random distribytion )ทำให้การวัดพลังงานจะต้องวัดแบบเฉลี่ย ในการทดลองนี้จะทำการวัด 20 ครั้ง แล้วได้นำเสนอเป็นฮิทโทรแกรมที่แรงดันต่าง ๆ เพื่อให้เห็นภาพรวมว่าพลังงานอยู่ในช่วงใดมากน้อยแค่ไหน

ภาพประกอบที่ 52 แสดงภาพถ่ายเมื่อเมื่อใช้กระดาษขาวรับแสง

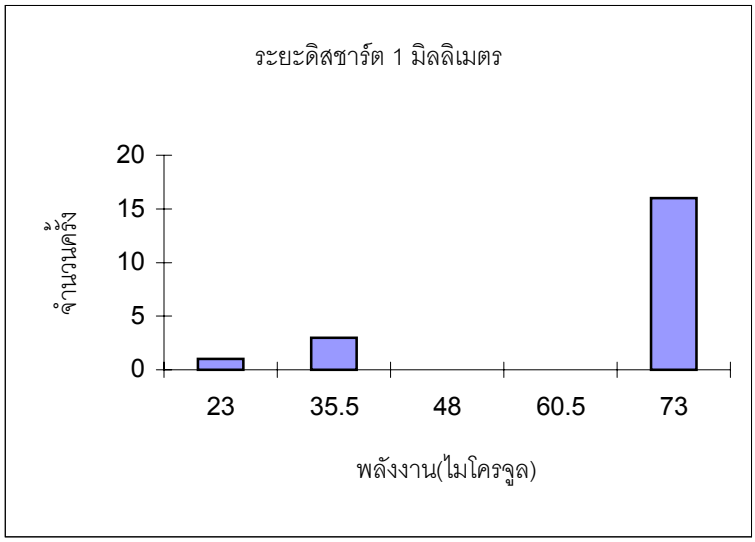
ภาพประกอบที่ 53 แสดงภาพถ่ายด้านบนของช่องเลเซอร์ขณะดิสชาร์ต

## 4.2 ผลการทดสอบการวัดค่าพลังงานที่ค่าแรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ



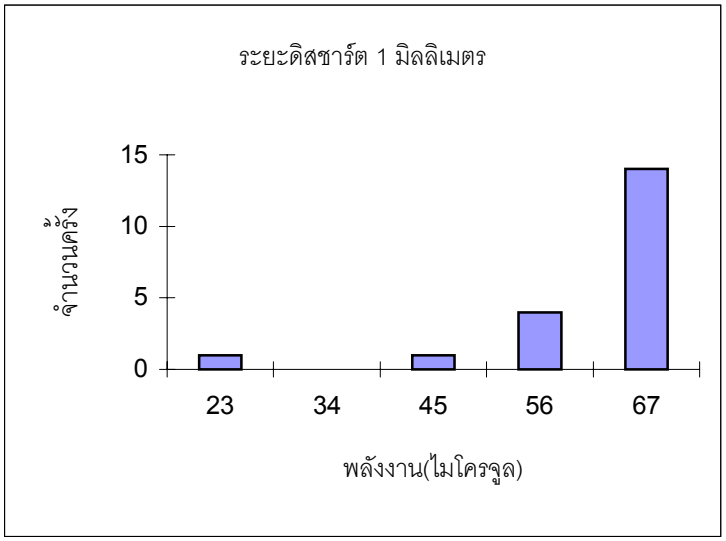

ภาพประกอบที่ 54 แสดงฮิทโทรแกรมของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 6 กิโลโวลท์

พลังงานเฉลี่ย = 52.90 ± 13.48 ไมโครจูล



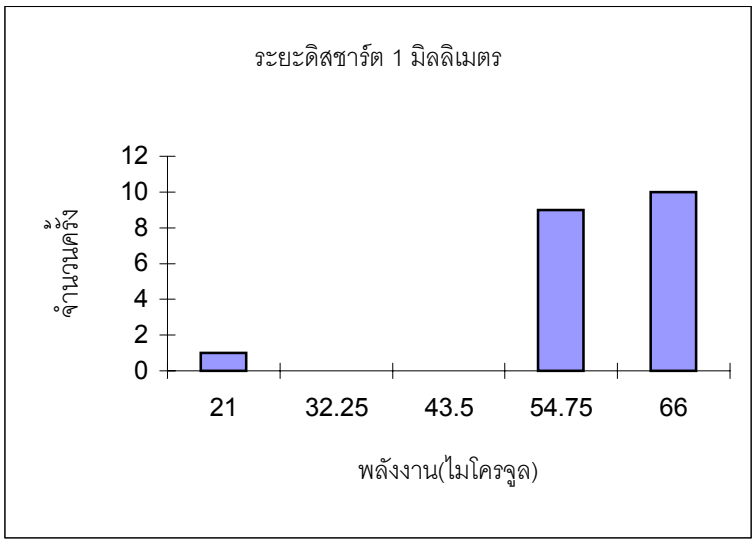

ภาพประกอบที่ 55 แสดงฮิทโทรแกรมของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 8 กิโลโวลท์

พลังงานเฉลี่ย = 58.95 ± 17.06 ไมโครจูล



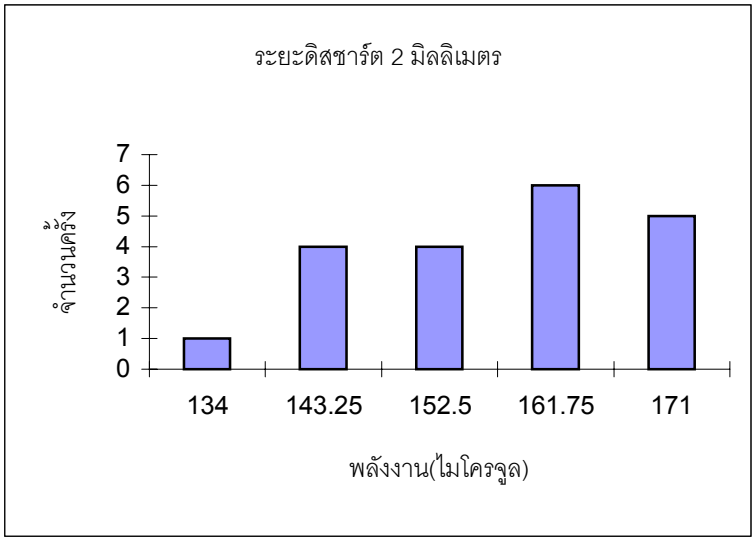

ภาพประกอบที่ 56 แสดงฮิทโทรแกรมของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 10 กิโลโวลท์

พลังงานเฉลี่ย = 56.45 ± 9.46 ไมโครจูล

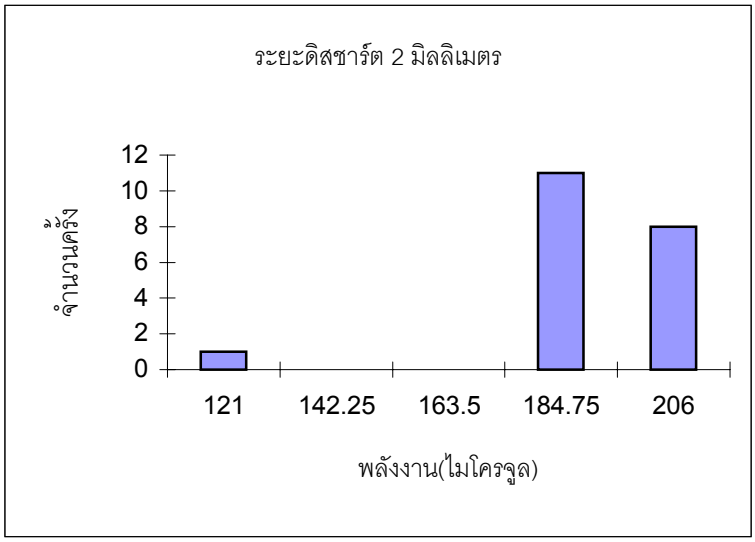



ภาพประกอบที่ 57 แสดงฮิทโทรแกรมของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 12 กิโลโวลท์

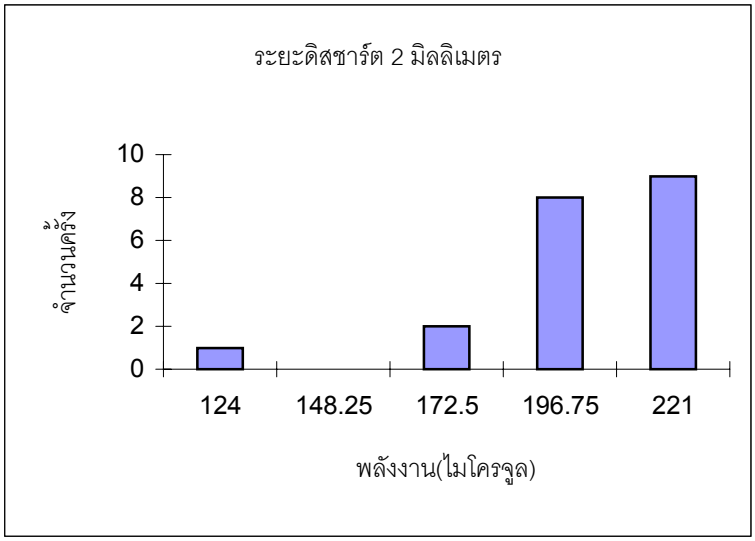
พลังงานเฉลี่ย = 53.40 ± 9.53 ไมโครจูล



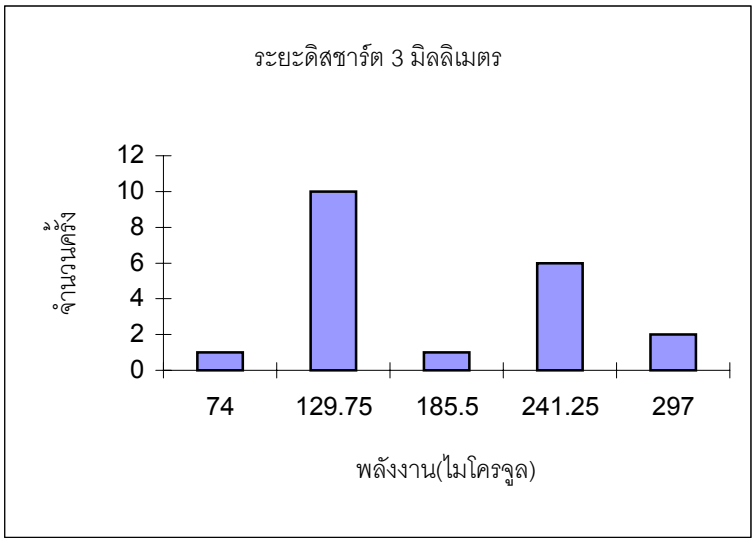

ภาพประกอบที่ 58 แสดงฮิทโทรแกรมของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 10 กิโลโวลท์
พลังงานเฉลี่ย =153.25 ± 10.28 ไมโครจูล



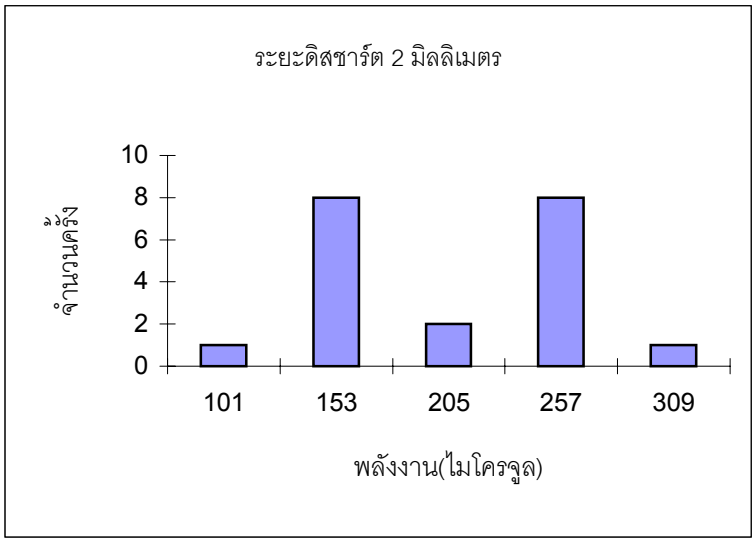

ภาพประกอบที่ 59 แสดงฮิทโทรแกรมของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 12 กิโลโวลท์
พลังงานเฉลี่ย = 178.80 ± 16.30 ไมโครจูล



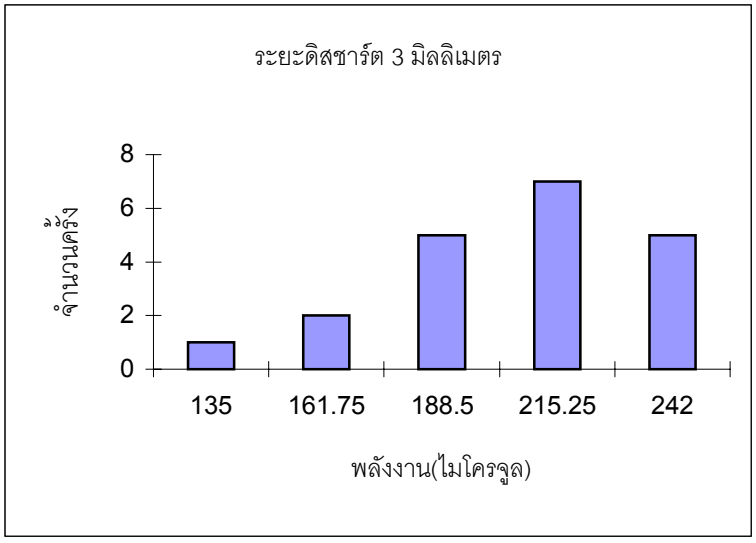

ภาพประกอบที่ 60 แสดงฮิทโทรแกรมของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 14 กิโลโวลท์
พลังงานเฉลี่ย =190.50 ± 20.38 ไมโครจูล




ภาพประกอบที่ 61 แสดงฮิทโทรแกรมของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 10 กิโลโวลท์
พลังงานเฉลี่ย =155.65 ± 72.95 ไมโครจูล

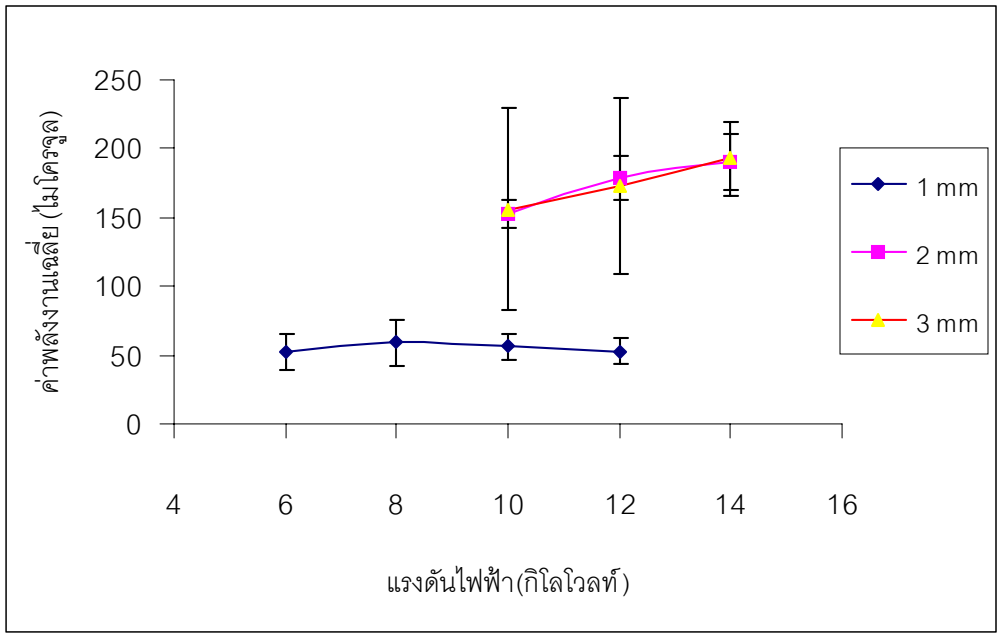



ภาพประกอบที่ 62 แสดงฮิทโทรแกรมของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 12 กิโลโวลท์
พลังงานเฉลี่ย =173.75 ± 63.98 ไมโครจูล




ภาพประกอบที่ 63 แสดงฮิทโทรแกรมของพลังงานที่แรงดันไฟฟ้า 14 กิโลโวลท์
พลังงานเฉลี่ย =193.00 ± 27.20 ไมโครจูล

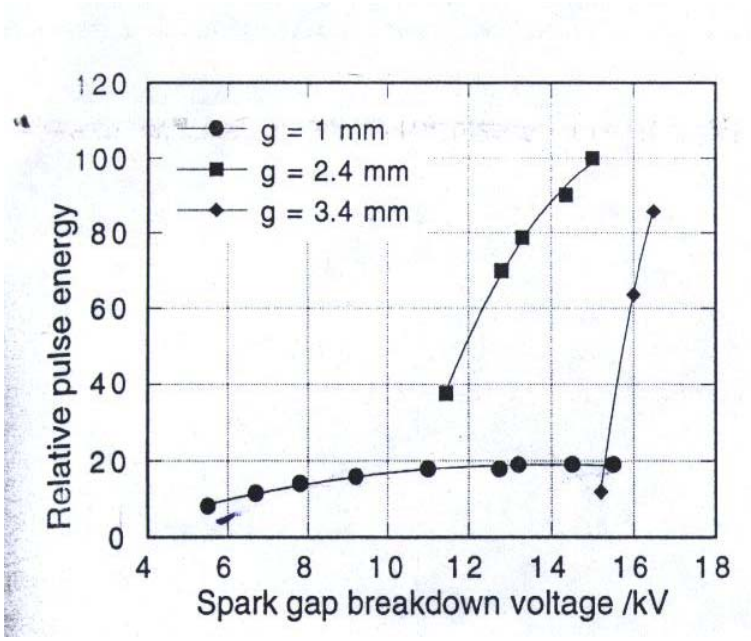
จากภาพประกอบที่ 54-63 เมื่อพิจารณาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน( $S.D$) ของค่าพลังงานเฉลี่ย($E_{ave}$) พบว่ามีค่าไม่เท่ากัน เมื่อนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของพลังงานเฉลี่ยนี้มาคิดเป็นเปอร์เซ็นของส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานจาก $\%S.D = \frac{S.D}{E_{ave}} \times 100\%$ จะได้ว่าที่ระยะ 2 มิลลิเมตรมีค่า $\%S.D$ น้อยกว่า ที่ระยะ 1 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่า $\%S.D$ นี้จะบอกถึงค่าความเสถียรภาพของพลังงานเฉลี่ย ในที่นี้ที่ระยะ 2 มิลลิเมตรจะมีความเสถียรภาพของพลังงานมากกว่าที่ระยะ1 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ




ภาพประกอบที่ 64 แสดงกราฟของพลังงานเฉลี่ยเมื่อเพิ่มแรงดันในช่วง 6-14 กิโลโวลท์

จากภาพประกอบที่ 64 เมื่อพิจารณาแนวโน้มของพลังงานเฉลี่ยเมื่อแปรค่าแรงดันไฟฟ้าที่ระยะห่างของขั้วไฟฟ้า 1,2 และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นพลังงานเฉลี่ยก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ที่ระยะ 2 และ 3 มิลลิเมตรมีค่าพลังงานสูงขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดันสูงขึ้นในช่วง10-14 กิโลโวลท์ โดยพลังงานสูงสุดเป็น191และ193 ไมโครจูลตามลำดับและให้ค่าพลังงานเฉลี่ยสูงกว่าที่ระยะ1 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตาม ที่ระยะ 1 มิลลิเมตรให้พลังงานเฉลี่ยมากที่สุดที่แรงดัน 8 กิโลโวลท์ ดังนั้นในการเลือกระยะดิสชาร์ตจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะต้องมีการพิจารณาเพราะระยะดิสชาร์ตจะไปสัมพันธ์กับค่าอัตราส่วนระหว่างสนามไฟฟ้าต่อความดัน(E/P) โดยถ้าค่า(E/P) สูงเกินไปจะทำให้

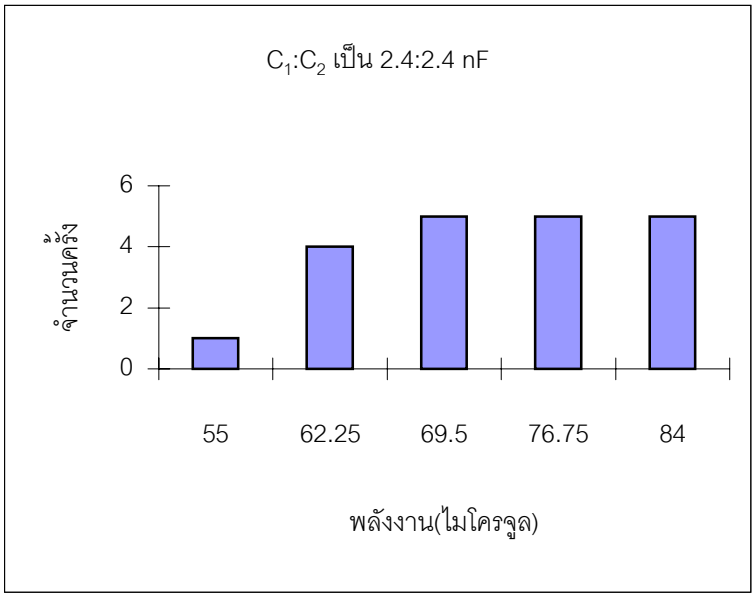
กระตุ้นเกินชั้นระดับพลังงานของไนโตรเจน หรือถ้าต่ำเกินไปก็อาจทำให้ไม่เพียงพอต่อการกระตุ้นโมเลกุลไนโตรเจน (Rodrigues,1992) จากการทดลองคำนวณค่าอัตราส่วนระหว่างสนามไฟฟ้าต่อความดัน (E/P)ที่ระยะ 2 มิลลิเมตร เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า 10,12 และ14 กิโลโวลท์ ได้ค่า (E/P) เป็น 66,79 และ92 โวลท์ต่อเซนติเมตรทอร์ร ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับ Ernest E คือ 66-132 โวลท์ต่อเซนติเมตรทอร์ร (Ernest E,1977 ) และพบว่าถ้าระยะห่างน้อยเกินไปเช่น 1 มิลลิเมตรก็จะส่งผลให้ค่าพลังงานที่ได้น้อย ส่วนที่ระยะ 2 และ 3 มิลลิเมตรให้ค่าพลังงานใกล้เคียงกัน ในที่นี้จะเลือกระยะ 2 มิลลิเมตรเป็นเงื่อนไขในการศึกษา เพราะยิ่งระยะห่างมากขึ้นจะต้องเพิ่มแรงดันมากขึ้นทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและอันตรายต่อระบบโดยรวม ที่จะต้องทำงานภายใต้สภาวะความเค้นสูง เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในภาพประกอบที่ 65 พบว่าค่าพลังงานที่ได้อยู่ในช่วงไมโครจูลเหมือนกันและมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยที่ระยะดิสชาร์ต 1 มิลลิเมตร ได้ค่าพลังงานมากที่สุด 59 ไมโครจูล ซึ่งมากกว่าประมาณ 40 ไมโครจูล ส่วนที่ระยะ 2 และ 3 มิลลิเมตร พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน




ภาพประกอบที่ 65 แสดงค่าพลังงานที่ได้เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (ที่มา : Rodrigues, 1992)

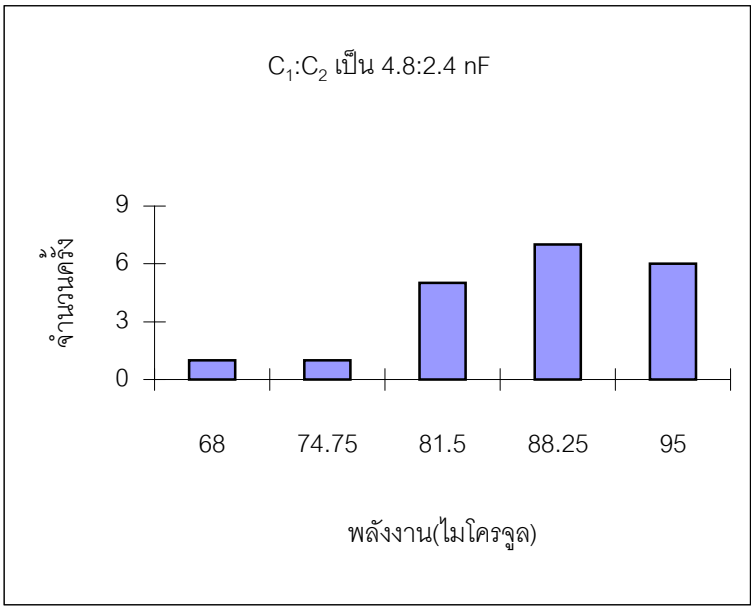
หลังจากที่เลือกระยะดิสชาร์ตที่เหมาะสมได้แล้วคือ 2 มิลลิเมตร จึงทำการทดลองต่อในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์อัตราส่วนของตัวเก็บประจุกับค่าพลังงานของเลเซอร์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

## 4.3 ผลการทดสอบการวัดค่าพลังงานที่อัตราส่วนของตัวเก็บประจุ $C_1$ และ $C_2$



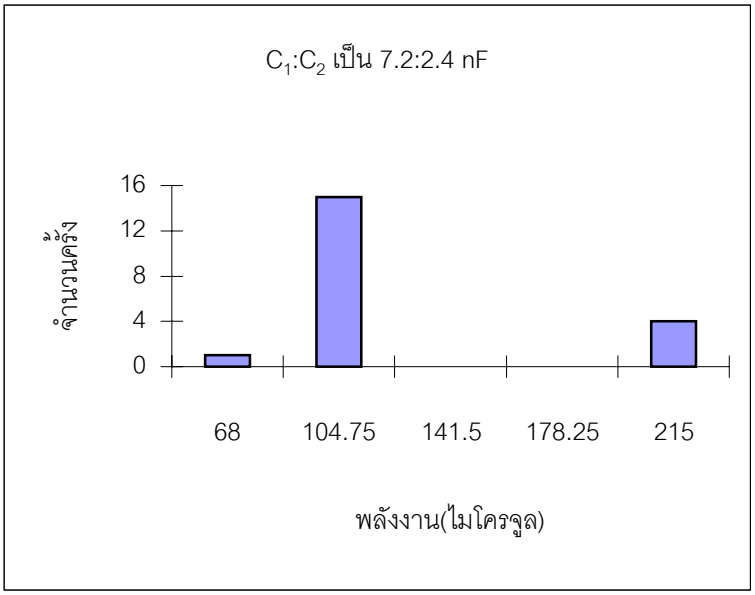

ภาพประกอบที่ 66 แสดงฮิทโทรแกรมพลังงานที่อัตราส่วนตัวเก็บประจุเป็น 1 ต่อ 1

พลังงานเฉลี่ย = 69.50 ± 7.73 ไมโครจูล



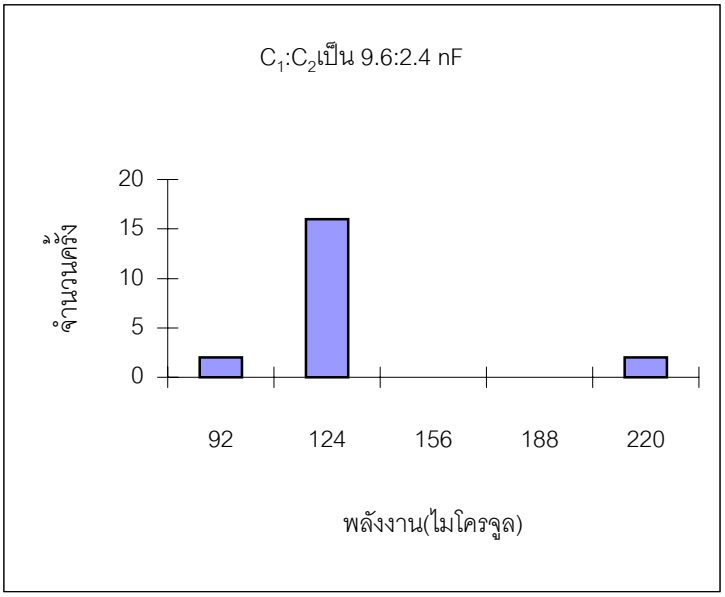

ภาพประกอบที่ 67 แสดงฮิทโทรแกรมพลังงานที่อัตราส่วนตัวเก็บประจุเป็น 2 ต่อ 1

พลังงานเฉลี่ย = 83.55 ± 8.03 ไมโครจูล




ภาพประกอบที่ 68 แสดงฮิทโทรแกรมพลังงานที่อัตราส่วนตัวเก็บประจุเป็น 3 ต่อ 1

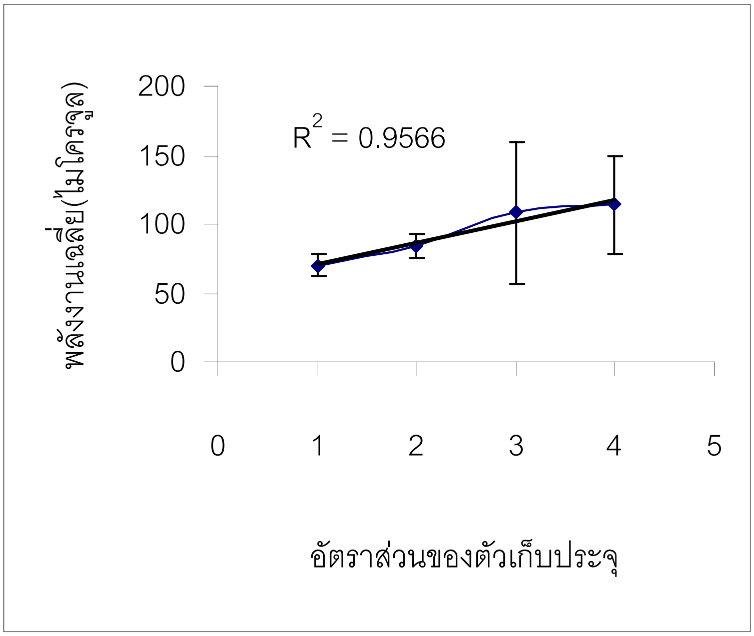
พลังงานเฉลี่ย =108.00 ± 51.76 ไมโครจูล




ภาพประกอบที่ 69 แสดงฮิทโทรแกรมพลังงานที่อัตราส่วนตัวเก็บประจุเป็น 4 ต่อ 1

พลังงานเฉลี่ย =114.00 ± 35.18 ไมโครจูล

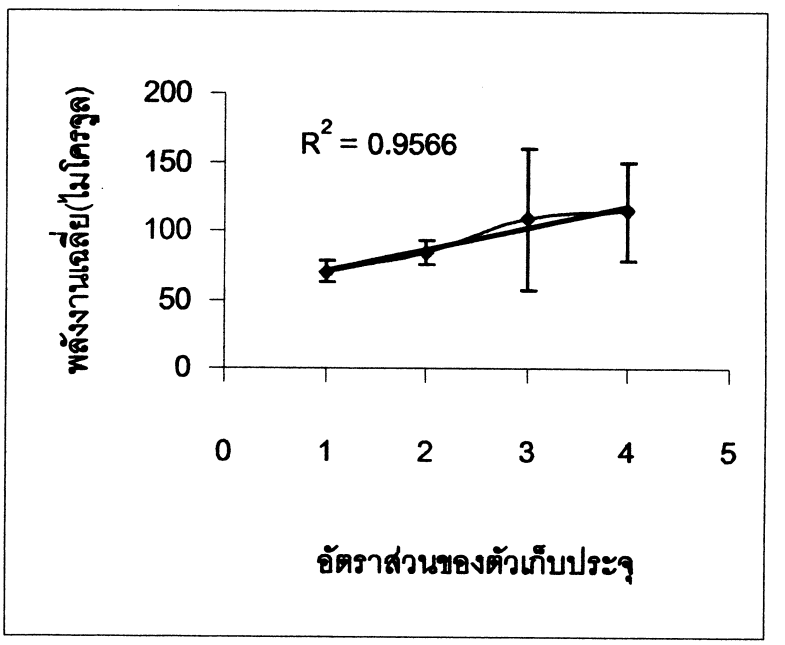
จากภาพประกอบที่ 66-69 ที่อัตราส่วนตัวเก็บประจุ 1:1 และ 2:1 มีค่า *%S.D* น้อยกว่าที่อัตราส่วน 3:1 และ 4:1 แสดงว่าที่อัตราส่วนตัวเก็บประจุ 1:1 และ 2:1 มีความเสถียรภาพกว่าที่อัตราส่วน 3:1 และ 4:1




[illegible] 70 [illegible]

จากภาพประกอบที่ 70 เมื่อพิจารณาเส้นแนวโน้มของอัตราส่วนของตัวเก็บประจุพบว่าเมื่ออัตราส่วนของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพลังงานงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยเส้นแนวโน้มมีค่า $R^2$ =0.956 สาเหตุที่ทำให้ค่าพลังงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเนื่องมาจาก พลังงานที่กักเก็บในตัวเก็บประจุมากขึ้น (Rodrigues, 1993, Hariri A,1989) ในทางปฏิบัติถ้าเพิ่มอัตราส่วนตัวเก็บประจุให้มากขึ้นหรือในที่นี้คือค่าความจุเพิ่มขึ้นจะต้องให้เวลาในการเก็บประจุ (Charg)นานกว่าเดิมและการคายประจุ (discharg) จะช้ากว่าด้วย เนื่องจากเวลาในการคายประจุขึ้นกับค่าผลคูณระหว่างค่าความจุและความต้านทาน ซึ่งจะทำให้ได้เวลาที่ไม่เหมาะสมในการดิสชาร์ตเพื่อให้เกิดเลเซอร์

จากภาพประกอบที่ 66-69 ที่อัตราส่วนตัวเก็บประจุ 1:1 และ 2:1 มีค่า %*S.D* น้อยกว่าที่อัตราส่วน 3:1 และ 4:1 แสดงว่าที่อัตราส่วนตัวเก็บประจุ 1:1 และ 2:1 มีความเสถียรภาพกว่าที่อัตราส่วน 3:1 และ 4:1



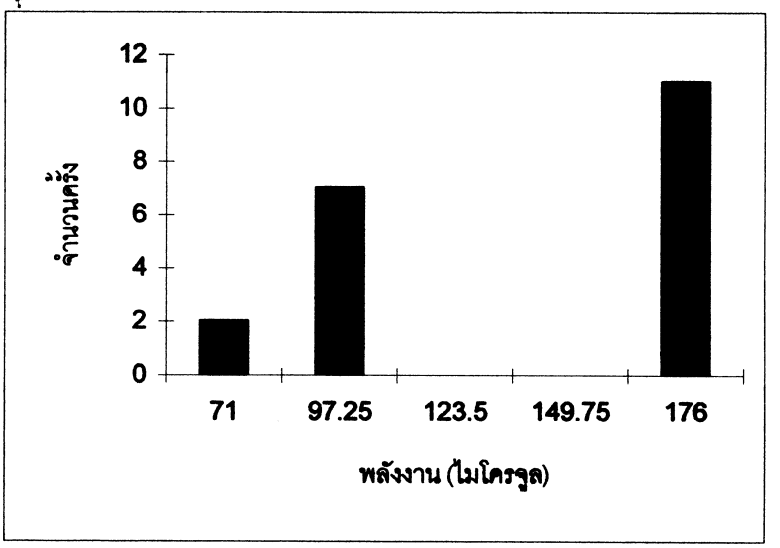

ภาพประกอบที่ 70 แสดงกราฟของพลังงานเฉลี่ยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของตัวเก็บประจุ

จากภาพประกอบที่ 70 เมื่อพิจารณาเส้นแนวโน้มของอัตราส่วนของตัวเก็บประจุพบว่าเมื่ออัตราส่วนของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพลังงานงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยเส้นแนวโน้มมีค่า $R^2$ =0.956 สาเหตุที่ทำให้ค่าพลังงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเนื่องมาจาก พลังงานที่กักเก็บในตัวเก็บประจุมากขึ้น (Rodrigues, 1993, Hariri A,1989) ในทางปฏิบัติถ้าเพิ่มอัตราส่วนตัวเก็บประจุให้มากขึ้นหรือในที่นี้คือค่าความจุเพิ่มขึ้นจะต้องให้เวลาในการเก็บประจุ (Charg)นานกว่าเดิมและการคายประจุ( discharg) จะช้ากว่าด้วย เนื่องจากเวลาในการคายประจุขึ้นกับค่าผลคูณระหว่างค่าความจุและความต้านทาน ซึ่งจะทำให้ได้เวลาที่ไม่เหมาะสมในการดิสชาร์ตเพื่อให้เกิดเลเซอร์

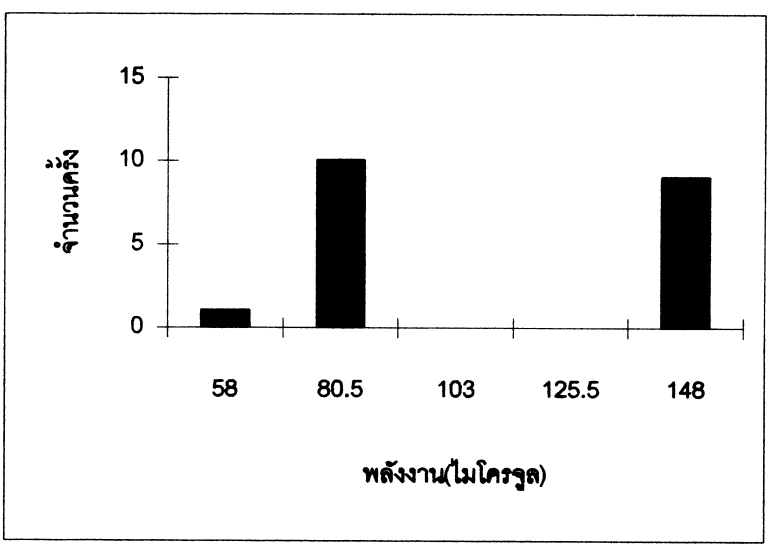
ลำดับการทดลองต่อไปก็คือเมื่อใช้ระยะดิสชาร์ตของช่องเลเซอร์เท่ากับ 2 มิลลิเมตร และเลือกอัตราส่วนตัวเก็บประจุเป็น 4 ต่อ 1 แล้วจะใช้เป็นเงื่อนไขในการศึกษาอัตราการไหลของก๊าซที่มีผลต่อพลังงานเฉลี่ยของเลเซอร์ต่อไป

**4.3 ผลการทดสอบการวัดพลังงานเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน**

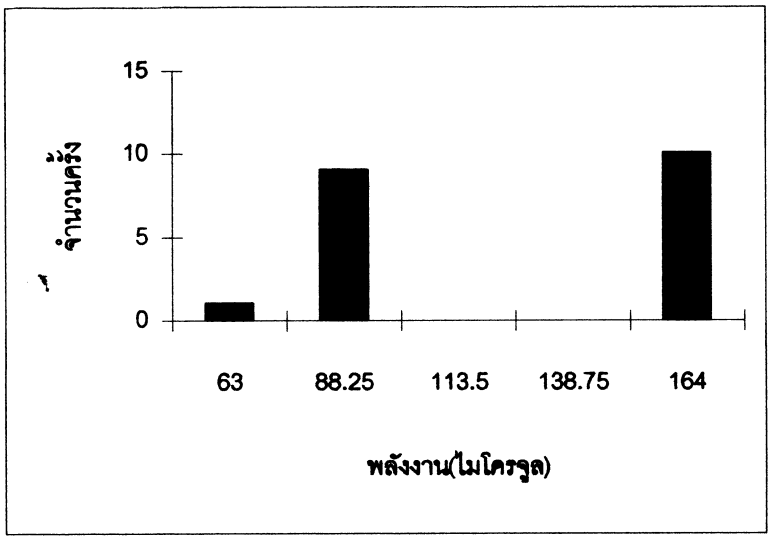
ทดลองที่อัตราการไหลตั้งแต่ 1-5 ลิตร /นาที แล้วดูค่าพลังงานเฉลี่ยมากที่สุด โดยใช้เงื่อนไขระยะดิสชาร์ต 2 มิลลิเมตร อัตราส่วนของตัวเก็บประจุ เป็น 4:1 แรงดันไฟฟ้า12 กิโลโวลท์ ผลการทดลองดังแสดงในภาพประกอบที่ 71-75 คำนวณ %*S.D* ได้ในช่วง 31.42-40.69 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าพลังงานที่อัตราการไหลต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน



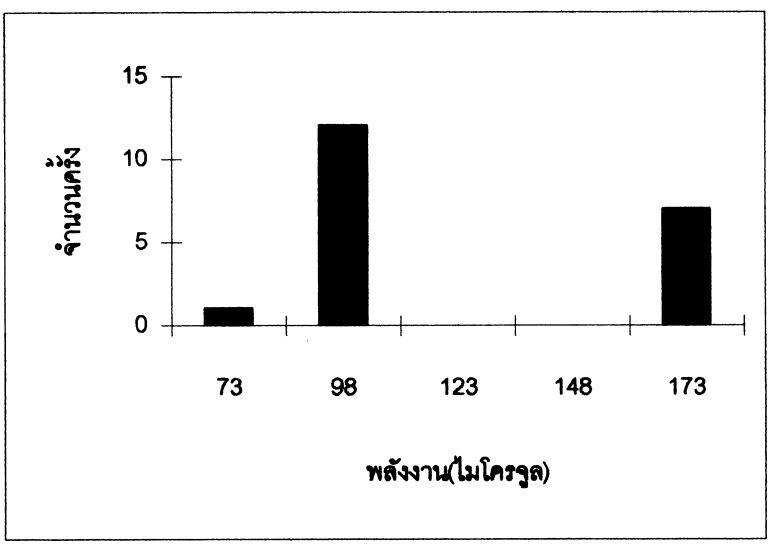

ภาพประกอบที่ 71 แสดงฮิทโทรแกรมแสดงค่าพลังงานเฉลี่ยที่อัตราการไหล 1 ลิตร/นาที
พลังงานเฉลี่ย =129.95 ± 48.10 ไมโครจูล



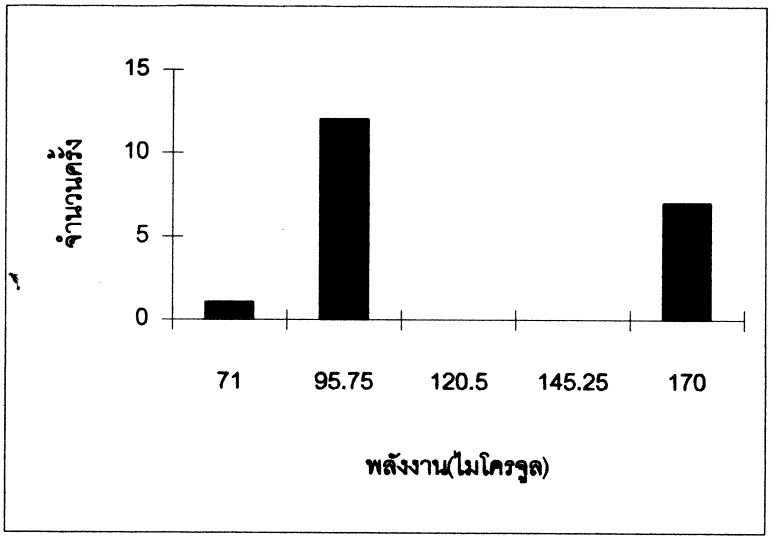

ภาพประกอบที่ 72 แสดงฮิทโทรแกรมแสดงค่าพลังงานเฉลี่ยที่อัตราการไหล 2 ลิตร/นาที
พลังงานเฉลี่ย = 96.6 ± 39.31 ไมโครจูล



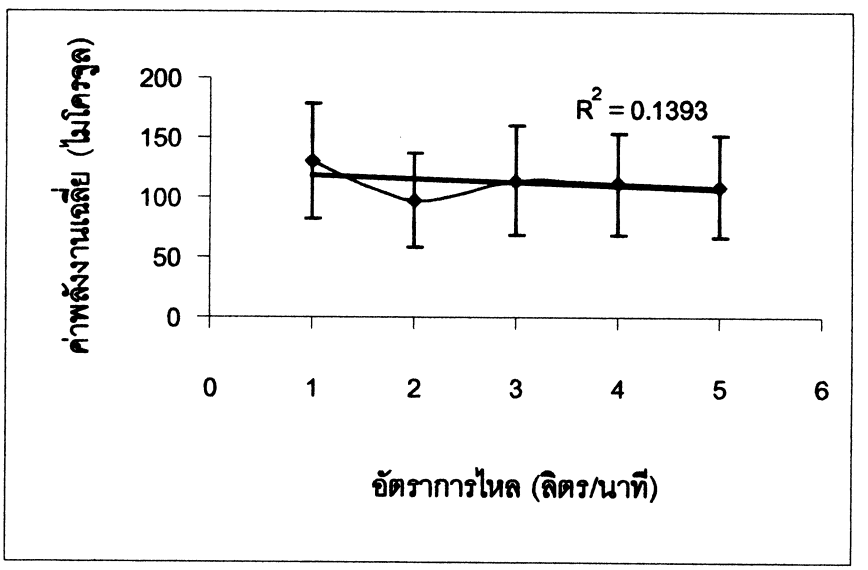

**ภาพประกอบที่ 73 แสดงฮิทโทรแกรมแสดงค่าพลังงานเฉลี่ยที่อัตราการไหล 3 ลิตร/นาที**
**พลังงานเฉลี่ย =114.25± 45.33 ไมโครจูล**




**ภาพประกอบที่ 74 แสดงฮิทโทรแกรมแสดงค่าพลังงานเฉลี่ยที่อัตราการไหล 4 ลิตร/นาที**
**พลังงานเฉลี่ย =111.2± 43.04 ไมโครจูล**




ภาพประกอบที่ 75 แสดงฮิทโทรแกรมแสดงค่าพลังงานเฉลี่ยที่อัตราการไหล 5 ลิตร/นาที
พลังงานเฉลี่ย =109.25 ± 43.02 ไมโครจูล




ภาพประกอบที่ 76 แสดงกราฟของพลังงานเฉลี่ยเมื่อแปรค่าอัตราการไหล 1-5 ลิตร/นาที

จากภาพประกอบที่ 76 ที่อัตราการไหล 1 ลิตรให้ค่าพลังงานเฉลี่ยเป็น 130 ไมโครจูล และลดลงที่อัตราการไหล 2 ลิตร/นาที และที่อัตราการไหล 3 ลิตร ค่าพลังงานเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก คือ 5 ไมโครจูล แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของการเพิ่มอัตราการการไหลของก๊าซแทบจะไม่มีผลต่อค่าพลังงานเฉลี่ยมากนัก แค่อัตราการไหล 1ลิตรก็เพียงพอแล้ว (Ernest E,1977) เนื่องจากระบบเลเซอร์ไนโตรเจนได้ใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลาง โดยทั่วไปในบรรยากาศก็มีก๊าซชนิดนี้อยู่

ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นองค์ประกอบมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีก๊าซชนิดอื่น เช่น ออกซิเจน และความชื้นจากไอน้ำปะปนอยู่ อย่างไรก็ตามระบบเลเซอร์ไนโตรเจนไม่ต้องการก๊าซชนิดอื่น ในทางปฏิบัติจึงจะต้องมีการปล่อยก๊าซไนโตรเจนในอัตราการไหลสูงก่อน เพื่อทำการไล่ก๊าซชนิดอื่นออก

**4.5 การคำนวณประสิทธิภาพทางแสง (Optical efficiency )**

จากข้อมูลค่าพลังงานเฉลี่ยในภาพประกอบที่ 64 และ 70 สามารถนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพทางแสงได้

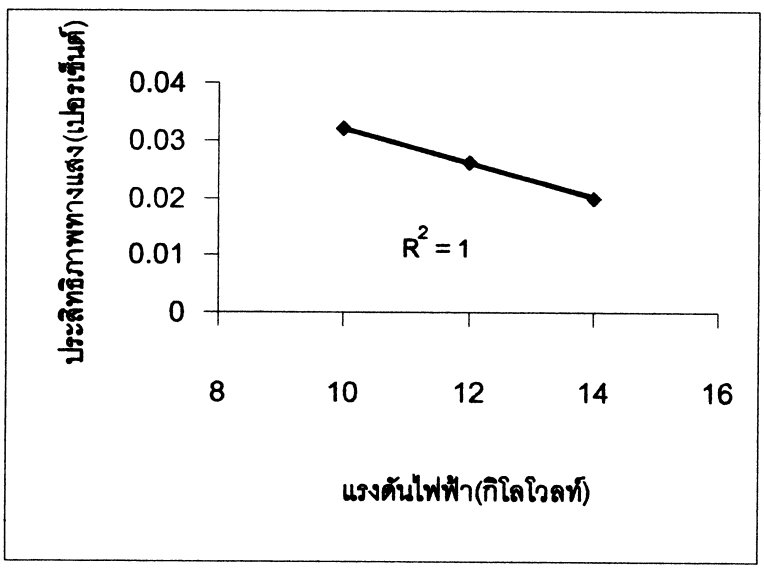
$$\text{โดย ประสิทธิภาพทางแสง} = \frac{\text{พลังงานของแสงเลเซอร์}}{\text{พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ}} \times 100\%$$

ในที่นี้

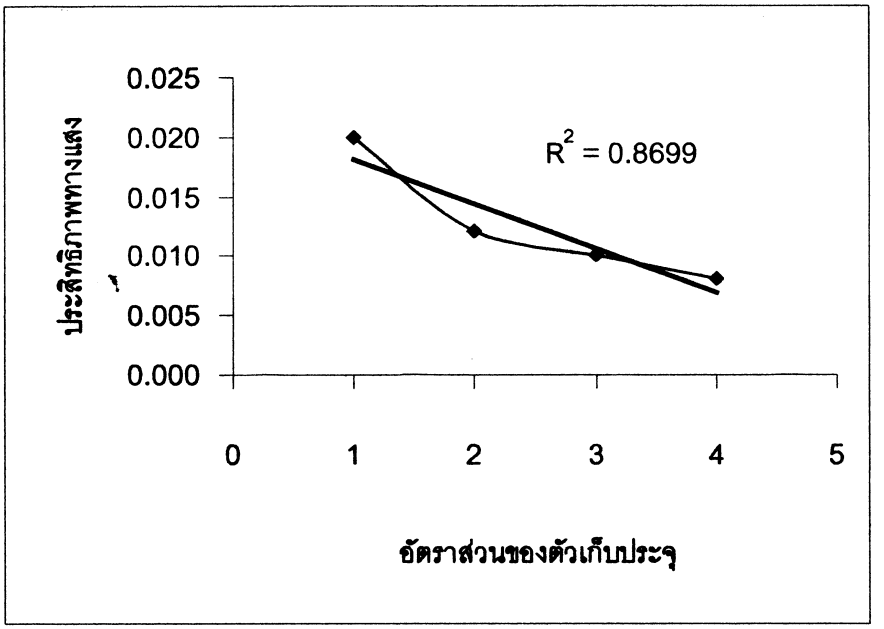
$$\text{พลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ} = \frac{1}{2}CV^2 \quad (\text{Frank B.A,1976})$$

พลังงานของแสงเลเซอร์คือพลังงานที่ได้จากการวัดด้วยหัววัดไพโรอิเล็กตริก

คำนวณค่าประสิทธิภาพทางแสงเมื่อแปรค่าแรงดันไฟฟ้าและอัตราส่วนของตัวเก็บประจุได้ดังภาพประกอบที่ 77 และ 78




ภาพประกอบที่ 77 แสดงค่าประสิทธิภาพทางแสงเมื่อแปรแรงดันไฟฟ้า




ภาพประกอบที่ 78 แสดงค่าประสิทธิภาพทางแสงเมื่อแปรอัตราส่วนของตัวเก็บประจุ

เมื่อพิจารณาจากเส้นแนวโน้มโดยแปรค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าอัตราส่วนตัวเก็บประจุ ประสิทธิภาพทางแสงมีค่าลดลงในช่วง 0.032-0.020 เปอร์เซ็นต์ และ 0.020-0.008 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพทางแสงมากที่สุด 0.032 เปอร์เซ็นต์นี้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Hariri(Hariri, 1989) ซึ่งแสดงค่าประสิทธิภาพทางแสงได้เป็น 0.02 เปอร์เซ็นต์ สามารถดูข้อมูลได้ในภาคผนวก ค