

การศึกษานอกระบบวิเคราะห์สเปกตรัมของเสียงที่เกิดจากหลอดไฟแอลอีดีเปล่งแสงของไฟถนน  
STUDY AND ANALYSIS THE EFFECT OF HARMONICS NOISE  
IN LED STREET LIGHT

เดชาวิมล	เพชรานนท์
ณัฐพงษ์	ศรีวารินทร์
ณัฐพงษ์	สุวนันท์
พรพรรณทิพย์	บุญพรใจดี

ปริญญาโท เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์บัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

การศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากหลอดไดโอดเปล่งแสงของไฟถนน  
STUDY AND ANALYSIS THE EFFECT OF HARMONICS NOISE  
IN LED STREET LIGHT

โดย

ณัฐนนท์	เพชรานนท์
ณัฐพงศ์	ศรียาวิรัตน์
ณัฐพงษ์	พูนนิกร
ทรงศนันท์	บุญยโชติมา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

STUDY AND ANALYSIS THE EFFECT OF HARMONICS NOISE  
IN LED STREET LIGHT

NUTTANON	BEJРАНANDA
NUTTAPHONG	SRIWAREERAT
NUTTAPHONG	PHOONNIKORN
THADSANUN	BOONYACHOTIMA

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2013

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากหลอดไดโอดเปล่งของไฟถนน  
STUDY AND ANALYSIS THE EFFECT OF HARMONICS NOISE  
IN LED STREET LIGHT

โดย

นาย ณ์ฐนนท์ เพชรานนท์  
นาย ณ์ฐพงศ์ ศรีวาริรัตน์  
นาย ณ์ฐพงษ์ พูนนิกร  
นาย ทรรคนันท์ บุญโชติมา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.อรรถพล      เจ้าพิทักษ์กุล  
ผศ.ดร.ชัยยันต์      เจตนาเสน

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากโหลดไดโอดเปล่งแสงของไฟถนน

ผู้จัดทำ

1. นาย ณัฐนนท์ เพชรานนท์
2. นาย ณัฐพงศ์ ศรีวาริรัตน์
3. นาย ณัฐพงษ์ พูนนิกร
4. นาย ทรรศนันท์ บุญยโชติมา

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผศ.ดร.อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน )

## การศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากหลอดไดโอดเปล่งแสงของไฟถนน

นาย อนุรักษ์ เพชรานนท์  
นาย อนุรักษ์ ศรีวาริรัตน์  
นาย อนุรักษ์ พูนนิกร  
นาย ทรรคนันท์ บุญโชติมา  
ผศ.ดร. อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2556

### บทคัดย่อ

เนื่องด้วยในปัจจุบันได้มีการเริ่มใช้เทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) มาใช้ทดแทนการใช้งานหลอดโซเดียมแรงดันสูง (HPS) ในระบบส่องสว่างไฟถนน เพราะประสิทธิภาพที่สูงกว่าทั้งในด้านการให้แสงสว่าง การประหยัดพลังงาน อายุการใช้งาน รวมไปถึงคุณสมบัติทางแสง แต่เนื่องจากการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในการทำงาน จึงจำเป็นต้องติดตั้งชุดขับหลอด (Driver) ที่เป็นอุปกรณ์สวิตซิ่ง ซึ่งอาจก่อให้เกิดฮาร์มอนิกרבกวนในระบบเนื่องจากอุปกรณ์สวิตซิ่งได้ ด้วยเหตุนี้หลอดไดโอดเปล่งแสงจึงเป็นอุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบได้

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษา และวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงทดแทนหลอดโซเดียมความดันสูงในระบบส่องสว่างไฟถนน รวมถึงได้ออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสง เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นให้น้อยลง และเป็นการลดค่าใช้จ่ายแก่ผู้บริโภคโดยการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงร่วมกับวงจรกรองที่ออกแบบไว้ให้มีประสิทธิภาพการทำงานทัดเทียมกับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีคุณภาพดีแต่มีราคาสูงกว่า

# STUDY AND ANALYSIS THE EFFECT OF HARMONICS NOISE IN LED STREET LIGHT

Mr.Nuttanon      Bejrananda  
Mr.Nuttaphong    Sriwareerat  
Mr.Nuttaphong    Phoonnikorn  
Mr.Thadsanun     Boonyachotima  
Asst.Prof.Dr.Atthapol Ngaopitakkul    Supervisor  
Asst.Prof.Dr.Chaiyan Jettanasen        Supervisor  
Year 2013

## ABSTRACT

Nowadays, the trend of using Power LEDs for street lighting instead of High pressure sodium vapor lamps is increasing because LEDs have many advantages comparing to HPS, such as more efficiency, more energy saving, more lifetime than HPS and better optical characteristics. Since LED lamps operate with DC current. Therefore, switched mode electronic driver must be employed. The LEDs driver is switching device which can causes the harmonics able to disturb to the system. Hence, the LEDs are the devices that act as electromagnetic interference (EMI) source, and can cause harmonics and EMI problems to the power system.

The purpose of this thesis is to study and analyze electrical harmonics from using LEDs instead of HPS for street lighting and also design a low-pass filter to eliminate or reduce the disturbance caused by the LEDs driver. The main purpose of the designed filter is to be used with unstandardized LEDs street light to increase its performance to be equivalent as the high grade LEDs street light, which is generally much more expensive; this will reduce the cost of users.

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาที่ ผศ.ดร. อรรถพล เ่งพิทักษ์กุล และ ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้คอยให้คำแนะนำในการทำโครงการ ตลอดจนให้คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับปัญหาต่างๆ ที่ประสบในระหว่างการทำโครงการ รวมถึงอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาที่ได้คอยให้คำแนะนำและประสิทธิประสาทความรู้ให้กับคณะผู้จัดทำในครั้งนี้ ถ้าปราศจากอาจารย์ที่ปรึกษา และท่านอาจารย์ทุกคนในภาควิชา โครงการนี้คงไม่อาจสำเร็จลุล่วงได้

นอกจากนั้น ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ แสงสี เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้อุปกรณ์เครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ได้คอยให้คำแนะนำเกี่ยวกับธุรการทางการเงินของโครงการ

ท้ายที่สุดนี้ ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนญาติผู้ใหญ่ที่คอยให้คำปรึกษาตลอดมา

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	9
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	9
1.4 ขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในโครงการ	9
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	10
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	12
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	13
2.1 ความแตกต่างเกี่ยวหลอดโซเดียมความดันสูงและหลอดไดโอดเปล่งแสง	13
2.2 หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED)	15
2.2.1 ลักษณะของหลอดไดโอดเปล่งแสง	16
2.3 ฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า (Harmonics In Power System)	17
2.3.1 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม	20
2.3.2 แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก (Harmonic Source)	20
2.3.3 ผลกระทบจากปัญหาฮาร์มอนิกต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า	21
2.4 ตัวกรองฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า	23
บทที่ 3 การจำลองคุณลักษณะทางแสง	26
3.1 ลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟถนน	26
3.1.1 โคมโซเดียมความดันสูง	26
3.1.2 โคมไดโอดเปล่งแสง	27

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การจำลองคุณลักษณะทางแสง (ต่อ)	
3.2 ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมบนสภาพแวดล้อมของถนนที่แตกต่างกัน	27
3.2.1 การติดตั้งแบบฝังเดี่ยว 2 ช่องทาง	27
3.2.2 การติดตั้งแบบฝังคู่ถนน 4 ช่องทาง	30
3.2.3 การติดตั้งบนเกาะกลางถนน 4 ช่องทาง	33
3.2.4 การติดตั้งบนเกาะกลางถนนและติดตั้งฝังตรงข้ามถนน 6 ช่องทาง	36
บทที่ 4 การออกแบบการทดลองทางฮาร์โมนิก	42
4.1 การศึกษาผลของฮาร์โมนิกที่เกิดจากชุดขับเคลื่อนไฟถนน	42
4.2 การคำนวณและออกแบบวงจรกรองความถี่	45
4.2.1 การจำลองชุดขับเคลื่อนไดโอดเปล่งแสงจากโปรแกรม Pspice Schematics	45
4.2.2 การคำนวณค่าอุปกรณ์สำหรับวงจรกรองฮาร์โมนิก	46
4.2.2.1 วงจรกรองฮาร์โมนิกกรณีใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	46
4.2.2.2 วงจรกรองฮาร์โมนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3	47
4.2.2.3 วงจรกรองฮาร์โมนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5	49
บทที่ 5 การออกแบบและสร้างวงจรต้นแบบ	51
5.1 การสร้างวงจรต้นแบบ	51
5.1.1 กรณีใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	52
5.1.2 กรณีวงจรกรองฮาร์โมนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 3	55
5.1.3 กรณีวงจรกรองฮาร์โมนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5	58
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	65
ภาคผนวก ก บทความวิชาการ	66
ภาคผนวก ข ประกาศกรมทางหลวงชนบท	71
ประวัติผู้เขียน	75

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กราฟแสดงการใช้พลังงานในอดีตและแนวโน้มความต้องการในอนาคตในกรณีปกติ	1
1.2	ประสิทธิภาพของหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อเทียบกับหลอดไฟแต่ละชนิด	2
1.3	การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีจากหลอดโซเดียมความดันสูงเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง	3
1.4	เปรียบเทียบแสงจากไฟถนนด้วยหลอดชนิดต่างๆ	5
1.5	วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง	7
1.6	รูปคลื่นกระแสของหลอดไดโอดเปล่งแสงจากการใส่วงจรกรองแต่ละชนิด	7
1.7	ผลทดสอบของหลอดไฟยี่ห้อ ฟิลลิป ขนาด 4 วัตต์, 5 วัตต์ และ 7 วัตต์	8
1.8	รูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของหลอดไฟ ยี่ห้อ ออสแรม ขนาด 4 วัตต์, 6 วัตต์, 8 วัตต์ และ 10 วัตต์	9
2.1	กราฟแสดงแนวโน้มยอดการขายไดโอดเปล่งแสงทั่วโลก	15
2.2	ตัวอย่างหลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนน และชุดขับหลอด (Driver)	16
2.3	ฮาร์มอนิกที่ความถี่ลำดับต่างๆ	17
2.4	สัญญาณคลื่นไซน์ที่เกิดจากความถี่หลักมูลและฮาร์มอนิกลำดับต่างๆ	17
2.5	กราฟสัญญาณคลื่นไซน์เมื่อเกิดฮาร์มอนิกส์ สมการที่ 1	18
2.6	กราฟสัญญาณคลื่นไซน์เมื่อเกิดฮาร์มอนิกส์ สมการที่ 2	19
2.7	การไหลของกระแสฮาร์มอนิกส์แบบพาสซีฟ	24
2.8	การไหลของกระแสฮาร์มอนิกส์แบบแอกทีฟ	24
2.9	การไหลของกระแสฮาร์มอนิกส์ไฮบริดฟิลเตอร์	25
3.1	กราฟไอโซแคนเดลาของหลอดโซเดียมความดันสูง	26
3.2	กราฟไอโซแคนเดลาของหลอดไดโอดเปล่งแสง	27
3.3	การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบฝังเดียว บนถนน 2 ช่องทาง	28
3.4	การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดโซเดียมความดันสูงแบบฝังเดียว บนถนน 2 ช่องทาง	28
3.5	การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบฝังเดียว บนถนน 2 ช่องทาง	29

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบฝังเดียว บนถนน 2 ช่องทาง	29
3.7 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบฝังคู่ บนถนน 4 ช่องทาง	30
3.8 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดโซเดียมความดันสูงแบบฝังคู่ บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านขวา	30
3.9 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดโซเดียมความดันสูงแบบฝังคู่ บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านซ้าย	31
3.10 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบฝังคู่ บนถนน 4 ช่องทาง	31
3.11 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบฝังคู่ บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านขวา	32
3.12 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบฝังคู่ บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านซ้าย	32
3.13 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบเกาะกลาง บนถนน 4 ช่องทาง	33
3.14 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบเกาะกลาง บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านขวา	34
3.15 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบเกาะกลาง บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านซ้าย	34
3.16 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเกาะกลาง บนถนน 4 ช่องทาง	35
3.17 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเกาะกลาง บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านซ้าย	35
3.18 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเกาะกลาง บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านขวา	36
3.19 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบติดตั้งบนเกาะกลาง และติดตั้งฝังตรงข้าม ถนน 6 ช่องทาง	37
3.20 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบติดตั้ง บนเกาะกลางและติดตั้งฝังตรงข้าม ถนน 6 ช่องทางทางด้านขวา	37

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบติดตั้งบนเกาะกลางและติดตั้งฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทางทางด้านซ้าย	38
3.22 การติดตั้งหลอดไฟถนนแบบการติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงติดตั้งบนเกาะกลาง และติดตั้งฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทาง	39
3.23 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบติดตั้งบนเกาะกลางและติดตั้งฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทางทางด้านขวา	39
3.24 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบติดตั้งบนเกาะกลางและติดตั้งฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทางทางด้านซ้าย	40
4.1 หลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 100 วัตต์ ที่ใช้ในการทดลอง	42
4.2 รูปคลื่นของชุดขับหลอดที่ใช้ร่วมกับหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง	43
4.3 สเปคตรัมความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากชุดขับหลอด	44
4.4 แบบจำลองวงจรสมมูลชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง	45
4.5 กราฟกระแสขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง	46
4.6 แบบจำลองวงจรสมมูลชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	47
4.7 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขาเข้าเมื่อใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	47
4.8 แบบจำลองวงจรสมมูลชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3	48
4.9 กราฟกระแสไฟฟ้าขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3	48
4.10 แบบจำลองวงจรสมมูลชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5	49
4.11 กราฟกระแสไฟฟ้าขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5	50
5.1 วงจรกรองฮาร์มอนิกชุดต้นแบบ	51
5.2 การใช้งานวงจรกรองฮาร์มอนิกตัวต้นแบบร่วมกับหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง	52
5.3 ส่วนของตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย ขนาด 0.310 เฮนรี	52
5.4 กระแสขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง ที่ใช้งานร่วมกับหลอดไฟถนนขนาด 110 วัตต์ หลังใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	53
5.5 สเปคตรัมกระแสฮาร์มอนิกขาเข้า หลังใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	54

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.6	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังใส่ตัวเหนียวนำด้านแหล่งจ่าย กับมาตรฐานไออีซี 1000-3-2	54
5.7	ส่วนของวงจรรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 3	55
5.8	กระแสขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง ที่ใช้งานร่วมกับหลอดไฟถนน ขนาด 110 วัตต์ หลังใส่ ใส่วงจรรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 3	55
5.9	สเปคตรัมกระแสฮาร์มอนิกหลังใส่วงจรรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3	56
5.10	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังใส่วงจรรอง กับมาตรฐานไออีซี 1000-3-2	57
5.11	ส่วนของวงจรรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5	58
5.12	กระแสขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง ที่ใช้งานร่วมกับหลอดไฟถนน ขนาด 110 วัตต์ หลังใส่ ใส่วงจรรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5	58
5.13	สเปคตรัมกระแสฮาร์มอนิกหลังใส่วงจรรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5	59
5.14	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังใส่วงจรรอง กับมาตรฐานไออีซี 1000-3-2	60
6.1	วงจรรองฮาร์มอนิกที่ใช้งาน	61

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีหลอดไฟแต่ละชนิด	6
1.2	กระแสนาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจากหลอดไดโอดเปล่งแสงแต่ละชนิด	8
1.3	แผนการดำเนินโครงการ	10
2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดโซเดียมความดันสูงและหลอดไดโอดเปล่งแสง	14
3.1	เปรียบเทียบการติดตั้งไฟถนน ประเภทหลอดโซเดียมความดันสูง(HPS) 250 วัตต์และหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs) 110 วัตต์	40
3.2	เปรียบเทียบความสม่ำเสมอของความสว่างระหว่างหลอดโซเดียมความดันสูง (HPS) 250 วัตต์และหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs) 110 วัตต์	41
4.1	ผลการตรวจวัดค่าของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้งานร่วมกับตัวขับหลอด	43
4.2	ค่าจำกัดกระแสนาร์มอนิกสำหรับอุปกรณ์กลุ่มซี	44
4.3	ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอด	45
5.1	รายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง	51
5.2	ผลการตรวจวัดค่าของหลอดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง	53
5.3	ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกของหลอดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	54
5.4	ผลการตรวจวัดค่าของหลอดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง	56
5.5	ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกของหลอดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 3	57
5.6	ผลการตรวจวัดค่าของหลอดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง	59
5.7	ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกของหลอดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5	60
6.1	ผลวิเคราะห์ด้านความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกจากหลอดไดโอดเปล่งแสง	62

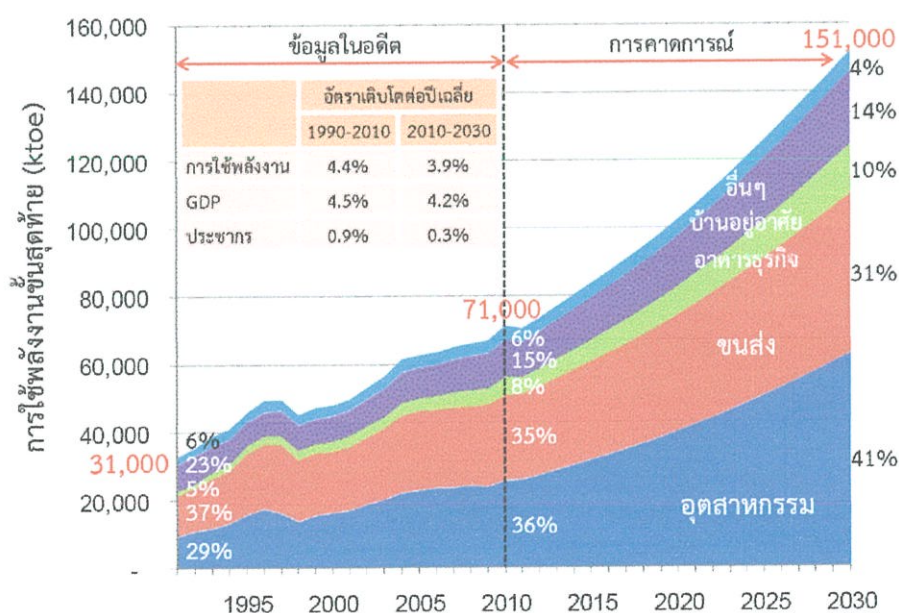
## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2533-2553) การใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 4.4 อีกทั้งปริมาณการใช้ไฟฟ้ายังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและอาคารธุรกิจ โดยหากในระยะ 20 ปีข้างหน้า ไม่มีมาตรการอนุรักษ์ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือปรับโครงสร้างอุตสาหกรรมและระบบขนส่งที่มีนัยสำคัญ ความต้องการพลังงานในกรณีปกติจะเพิ่มขึ้นจาก 71,000 ktoe (พัตตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ) ต่อปีในปัจจุบันเป็น 151,000 ktoe หรือประมาณ 2.1 เท่าของปัจจุบัน หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.9 ต่อปี ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.1 ตามข้อตกลงระหว่างผู้นำประเทศของกลุ่มเอเปคเมื่อปี พ.ศ. 2550 ที่นครซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ได้มีการตั้งเป้าหมายให้มีการอนุรักษ์พลังงานเพื่อความมั่นคงด้านพลังงานของภูมิภาค และเพื่อการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยการลด "ความเข้มข้นการใช้พลังงาน" หรือปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP) ลงร้อยละ 25 ภายในปี พ.ศ. 2573 นั่นคือ ในปีดังกล่าวการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในภาพรวมของประเทศไทยจะต้องไม่เกิน 121,000 ktoe หรือต้องต่ำกว่าร้อยละ 20 ของความต้องการในกรณีปกติ

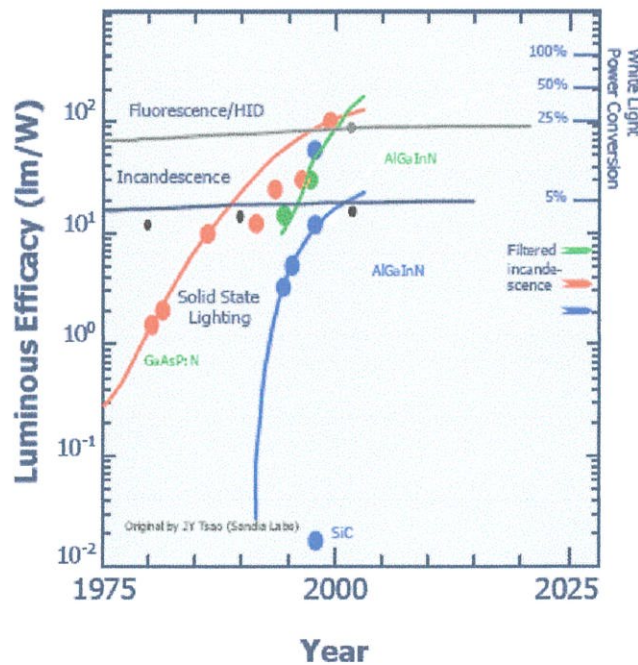
#### การใช้พลังงานในอดีตและแนวโน้มความต้องการในอนาคตกรณี BAU



รูปที่ 1.1 กราฟแสดงการใช้พลังงานในอดีตและแนวโน้มความต้องการในอนาคตในกรณีปกติ [1]

จากรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าอัตราการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญ ประกอบกับข้อตกลงของกลุ่มประเทศเอเปค จึงเป็นสาเหตุหลักในการรณรงค์ลดการใช้พลังงานหรือใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในระบบแสงสว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงได้ถูกใช้อย่างแพร่หลาย ลักษณะที่เด่นของหลอดไดโอดเปล่งแสงคือมีสเปกตรัมที่ไม่มีรังสียูวีและรังสีอินฟราเรดปนอยู่ในลำแสงซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการใช้งานของหน้าจอโฆษณา จนเมื่อไม่กี่ปีมานี้ หลอดไดโอดเปล่งแสงได้ถูกนำมาใช้แทนที่หลอดฟลูออโรสโคปในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความสว่างและประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดเผาไส้หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งหลอดไดโอดเปล่งแสงได้เริ่มมีการแทนที่หลอดเผาไส้ในหลายๆ การใช้งาน โดยเฉพาะงานที่ต้องการความทนทาน, ความกะทัดรัด และการให้ทิศทางที่ถูกต้อง เช่น ไฟจราจร, ระบบอัตโนมัติ, หน้าจอแสดงผลและแสงสว่างในสถานที่ที่แสดงสถาปัตยกรรม รวมถึงมีการเพิ่มประสิทธิภาพของการมองเห็นอีกมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองโดยใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 150 ลูเมน/วัตต์ สำหรับแหล่งกำเนิดแสงสีขาว โดยผลการทดลองพบว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงมีประสิทธิภาพมากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ถึง 2 เท่าและ 10 เท่าสำหรับหลอดเผาไส้ ดังนั้นจึงเป็นการประหยัดเมื่อใช้ในระบบส่องสว่างขนาดใหญ่ [2]



รูปที่ 1.2 ประสิทธิภาพของหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อเทียบกับหลอดไฟแต่ละชนิด

เนื่องจากในหลายประเทศทั่วโลกได้เริ่มมีการพัฒนาระบบไฟถนนโดยการเปลี่ยนการใช้งานจากหลอดชนิดโซเดียมความดันสูงมาเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสงแทน และมีแนวโน้มในการหันมาให้ความสนใจในเรื่องหลอดไดโอดเปล่งแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [3] จึงได้มีการวิจัยและการศึกษา

ในประเด็นที่เกี่ยวข้องมากมายในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ได้แก่ ด้านการใช้พลังงาน, ด้านคุณภาพทางแสงเปรียบเทียบกับระบบแบบเดิม และด้านสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน

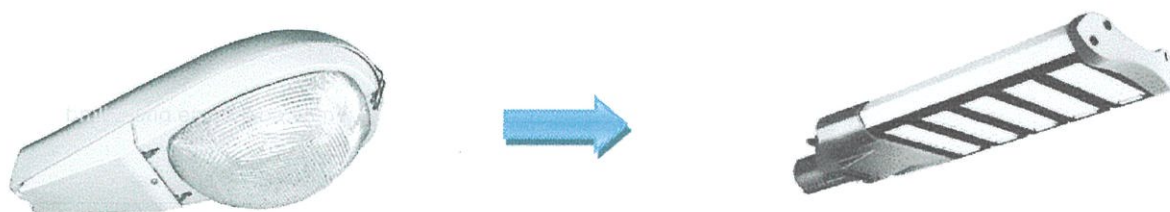
ในด้านการใช้พลังงานได้มีการศึกษาและทดลองติดตั้งเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงาน และประสิทธิภาพการทำงานระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดโซเดียมความดันสูง และหลอดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ [4] รวมไปถึงจุดคุ้มทุนในการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง [5] เนื่องจากหลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนนนั้นมีราคาสูง แต่ก็สามารถประหยัดพลังงานได้สูงมากเช่นเดียวกัน และรูปแบบในการติดตั้งเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงสำหรับไฟถนนเข้ากับระบบไฟฟ้าเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง [6] ซึ่งในประเทศอังกฤษที่ได้ทำการวิจัยไว้เป็นแนวทางในการศึกษาเบื้องต้น

ในด้านคุณสมบัติทางแสงในการใช้งานเปรียบเทียบกับระบบแบบเก่าที่ใช้หลอดโซเดียมความดันสูง [7] ในเรื่องของแสงที่หลอดไดโอดเปล่งแสงให้ออกมาเป็นโทนสีที่ดูแล้วสบายตากว่าหลอดโซเดียมความดันสูง เนื่องจากเป็นแสงโทนสีขาวและยังมีความสว่างต่อพื้นที่ใช้งานที่สูงกว่า อีกทั้งยังมีงานวิจัยถึงประโยชน์ทางแสงในการใช้งานหลังการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง ตัวอย่างเช่น อิทธิพลของไฟถนนต่อการก่ออาชญากรรมในต่างประเทศ [8] จะพบว่าเมื่อเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแล้วอัตราการเกิดอาชญากรรมหรืออุบัติเหตุต่างๆ มีการลดลง เนื่องจากความสว่างและโทนสีของแสงมีผลต่อการรับรู้ของผู้ขับขี่ยานพาหนะ เป็นต้น

ตามแผนการอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573) ของกระทรวงพลังงาน ซึ่งมีความหมาย 2 ประการ คือ (1) การประหยัดหรือการลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น และ (2) การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยหมายถึงการทำงานที่ได้ผลลัพธ์เท่าปกติแต่ใช้พลังงานน้อยกว่าปกติ ไม่ว่าจะเป็นการส่องสว่าง การทำความเย็น การขนส่ง หรือการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลในกระบวนการผลิต โดยที่การอนุรักษ์พลังงานมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงาน การลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน การลดต้นทุนการผลิตและบริการ ตลอดจนการลดการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อันเนื่องมาจากการผลิตไฟฟ้าเพื่อตอบสนองต่อความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทุกวัน ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อลดการใช้พลังงานจึงมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อระบบส่องสว่างนั้นคิดเป็นกว่า 20% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั่วโลก จึงทำให้รัฐบาลของหลายๆ ประเทศทั่วโลกได้ทำการส่งเสริมให้หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพต่ำ [9] และในปัจจุบันเทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสงมีการพัฒนาก้าวหน้าขึ้นเรื่อยๆ ได้เริ่มมีการนำหลอดไดโอดเปล่งแสงมาใช้งานทดแทนการใช้งานหลอดโซเดียมความดันสูง (HPS) ซึ่งนอกจากจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแล้ว อายุการใช้งาน คุณสมบัติทางแสง รวมไปถึงการประหยัดพลังงานที่มีมากกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงแบบเก่าซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่า [10] โดยจะเห็นได้ว่า

ผู้ว่าการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้เปิดตัวโครงการเปลี่ยนหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ตามแนวถนนทั่วบริเวณเขื่อนศรีนครินทร์ เพื่อนำร่องเป็นต้นแบบในการอนุรักษ์พลังงาน และแสดงออกถึงความเป็นผู้นำด้านการอนุรักษ์พลังงานและการพัฒนาด้านพลังงาน โดยพร้อมให้ทุกเขื่อนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ไปดำเนินการศึกษาและทดลองติดตั้งหลอดพร้อมหลอดไฟถนนชนิดไดโอดเปล่งแสง ที่บริเวณเขื่อนศรีนครินทร์ โดยใช้งบประมาณจำนวน 1,500,000 บาท พร้อมทำพิธีเปิด เมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2555 ในงาน “เทศกาลความรัก ณ สันเขื่อนศรีนครินทร์”



รูปที่ 1.3 การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีจากหลอดโซเดียมความดันสูงเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง

โครงการเปลี่ยนหลอดไดโอดเปล่งแสง เกิดจากการที่กระทรวงพลังงานมีนโยบายให้ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งดำเนินการโดยผู้อำนวยการด้านการใช้ไฟฟ้าได้ทำการศึกษาออกแบบ และจัดซื้อหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง จำนวน 107 ชุด ด้วยวิธีสอบราคา โดยมีผู้เสนอราคาต่ำสุดชุดละ 14,000 บาท ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ PHILIPS รุ่น BRP 361 LED51/CW/55W พร้อมทำการทดลองติดตั้งใช้งานที่เขื่อนศรีนครินทร์ 3 จุด ได้แก่ บริเวณถนนแนวสันเขื่อน, บริเวณบ้านพักชิตชล และบริเวณสะพานเจ้าเพชร 1 ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าจากเดิม 61,460.16 kWh/ปี เมื่อเปลี่ยนเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง แล้วจะใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 7,820.93 kWh/ปี โดยจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 53,639.23 kWh/ปี และช่วยให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยประหยัดค่าไฟฟ้าได้เป็นเงินกว่า 160,917.69 บาท/ปี อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 29.53 ตัน/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนภายใน 2 ปี 9 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของผู้ว่าการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย คือ การส่งเสริมด้านการอนุรักษ์พลังงาน และการพัฒนาเทคโนโลยี โดยพร้อมมอบหมายให้ทุกเขื่อนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย นำไปติดตั้งใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงต่อไป

โดยระบบส่องสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยให้รัฐบาลลดการใช้ไฟในระบบแสงสว่าง พื้นที่หลักๆ ที่มีการใช้แสงสว่างคือไฟภายนอกอาคาร โดยเฉพาะในท้องถนนและทางเดินซึ่งหลอดไดโอดเปล่งแสงได้รับการพิจารณาว่าเป็นแหล่งให้กำเนิดแสงที่ดีที่สุด ณ ปัจจุบัน ดังนั้นหลอดไดโอดเปล่งแสงจึงถูกใช้อย่างแพร่หลาย อาทิเช่น ใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงในหน้าจอโฆษณาขนาดใหญ่ สัญญาณไฟจราจรและด้านอื่นๆ โดยมีลักษณะเด่นหลายข้อ เช่น มีประสิทธิภาพสูง

มีความน่าเชื่อถือ มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีสีให้เลือกมากและกินพลังงานไฟฟ้าต่ำ [11] นอกจากนี้ยังมีโครงการนำร่องโดยการไฟฟ้านครหลวง [12] โดยได้จัดทำโครงการวิจัย และทดลองติดตั้งไฟสาธารณะด้วยหลอดไดโอดเปล่งแสง ในเขตกรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2556 ที่ผ่านมานี้ ซึ่งนอกจากจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าแล้ว ยังสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนได้ในระดับหนึ่ง นายวรวิฑูฒิ พรพรรณนันท รองผู้อำนวยการการไฟฟ้านครหลวง ได้เปิดเผยว่า จากการทดลองติดตั้งหลอดไฟฟ้สาธารณะ ชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 140 วัตต์ แทนหลอดชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ จากการใช้งานแบบเดิม หรือคิดเป็น 740 kWh ต่อปีต่อหลอด และยังมีอายุการใช้งานยาวนานถึง 50,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 10 ปี เมื่อคิดที่การใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งนอกจากจะช่วยประหยัดพลังงานแล้ว ยังช่วยให้แสงสีขาวเสมือนจริง ซึ่งเพิ่มความชัดเจนในการมองเห็น ทำให้สามารถขับขี่ยานพาหนะได้อย่างปลอดภัย โดยขณะนี้ทางการไฟฟ้านครหลวงได้ติดตั้งหลอดไฟฟ้สาธารณะชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงดังกล่าวที่ ถนนพหลุรัต-ถนนตรีเพชร-ถนนจักรเพชร ซอยชิดลม และถนนเทศบาลสาย 1 (ใกล้โรงเรียนช่างตาครูสคอนแวนท์) ในแผนที่จะติดตั้งเพิ่มเติมที่ถนนเยาวราชตลอดทั้งสายภายในปีนี้ต่อไป



รูปที่ 1.4 เปรียบเทียบแสงจากไฟถนนด้วยหลอดชนิดต่างๆ

ในประเทศไทยได้มีการให้ความสนใจในเทคโนโลยีทางด้านหลอดไดโอดเปล่งแสงมากขึ้น ตัวอย่างเช่น หลอดไฟถนนอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์ [13] ซึ่งเป็นการนำหลอดไดโอดเปล่งแสงในรูปแบบไฟถนนมาใช้ร่วมกับชุดพลังงานแสงอาทิตย์ และการศึกษาสมรรถนะการออกแบบส่องสว่างโดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง [14] ซึ่งนำเสนอการพัฒนาในการออกแบบระบบส่องสว่างโดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง ทำการเปรียบเทียบข้อได้เปรียบของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงกำลังสูงกับหลอดไฟชนิดอื่น มีการเปรียบเทียบคุณภาพไฟฟ้าโดยการทดลองใช้วงจรขับที่มีแหล่งจ่ายไฟที่แตกต่างกัน มีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยมีการพิจารณาในหลายด้าน ได้แก่ ค่าความผิดพลาดฮาร์มอนิกกรรม, ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น และประสิทธิภาพการทำงาน

จากการที่มีแนวโน้มในการเปลี่ยนการใช้งานจากหลอดโซเดียมความดันสูงมาเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของหลอดโซเดียมความดันสูงที่ค่อนข้างต่ำ

มีกำลังสูญเสียสูง อายุการใช้งานสั้น และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่สูงกว่า อีกทั้งในเรื่องคุณสมบัติทางแสงในการใช้งานเป็นไฟถนนนั้น จะพบว่าหลอดโซเดียมความดันสูงให้แสงในโทนสีที่ไม่ค่อยเหมาะสม เมื่อเทียบกับแสงโทนสีขาวที่ได้จากหลอดไดโอดเปล่งแสงในเรื่องของการรับรู้หรือมองเห็นสิ่งกีดขวางสำหรับผู้ขับขี่ยานพาหนะบนท้องถนนในตอนกลางคืน จึงควรทำการเปลี่ยนมาใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงแทน เพื่อเป็นการประหยัดไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายต่างๆในระยะยาว และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างแก่ไฟถนน แต่เนื่องจากหลอดไดโอดเปล่งแสงใช้งานไฟฟ้ากระแสตรง จึงจำเป็นต้องติดตั้งชุดขับหลอดที่เป็นอุปกรณ์สวิตซิ่ง ทำให้เกิดฮาร์มอนิกรบกวนระบบ โครงการนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพทางแสงสว่างและความประหยัดพลังงาน รวมถึงออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนจากการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบไฟถนนสำหรับเสาสูง 9 เมตร ซึ่งยังไม่ได้มีการวิจัยและศึกษาในประเด็นนี้เกิดขึ้นในประเทศไทย

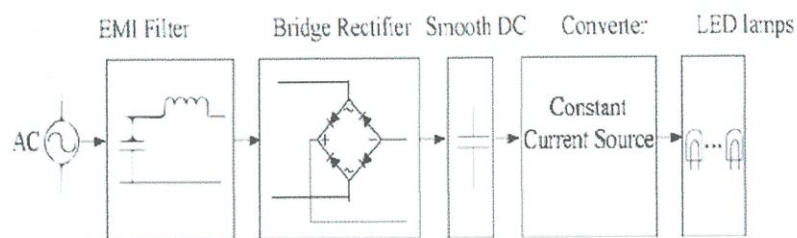
การที่จะลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานและนำพาสภาพแวดล้อมในยามกลางคืนให้ดีขึ้นด้วยหลอดไฟถนนไดโอดเปล่งแสง นั้นได้มีการทำเข้าใจกันเป็นอย่างดีแล้ว แต่อย่างไรก็ตาม มีชุมชนเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ได้รับผลดีจากการปรับเปลี่ยนไฟถนนของตนมาเป็นเทคโนโลยีของไดโอดเปล่งแสง เพราะก่อนที่จะมีการใช้การอย่างแพร่หลายในระบบได้นั้นต้องมีการแสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบทั้งในด้านราคาและประสิทธิภาพเสียก่อน ซึ่งประสิทธิภาพดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีหลอดไฟแต่ละชนิด [15]

Street Light Technology	Percent Market Share <sup>1</sup>	Typical Source Efficacy (lumens per Watt)	Typical Luminaire Efficiency	Typical Net Efficacy <sup>2</sup> (lumens per Watt)
High-pressure sodium	59%	70 – 150	45%	32 – 68
Low-pressure sodium	10%	68 – 177	25%	17 – 44
Mercury vapor	20%	34 – 58	30%	10 – 17
Metal halide	5%	61 – 85	35 – 40%	21 – 34
Compact fluorescent	2%	50 – 70	60%	30 – 42
Incandescent	4%	10 – 17	60%	6 – 10
Induction	0%	60 – 80	60 – 80%	36 – 64
HE ceramic MH	0%	95 – 120	60 – 80%	57 – 96
LED	0%	60 – 100	60 – 90%	36 – 90

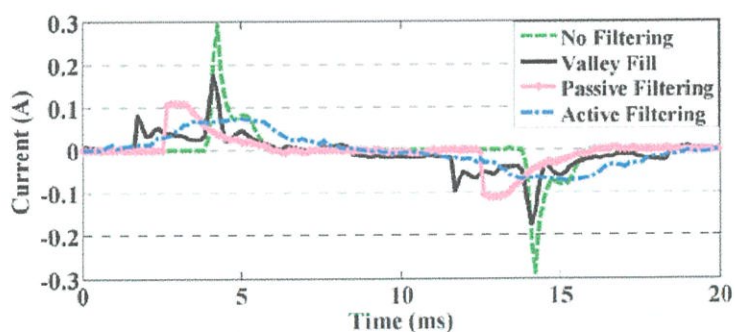
Source: Clinton Climate Initiative, 2010

หลอดไดโอดเปล่งแสงต้องการแหล่งจ่ายกระแสคงที่จากไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ แต่ต้องมีการใช้งานร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ [16] จึงจำเป็นที่จะต้องทำการแปลงแรงดันและคงไว้ซึ่งกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่คงที่ เพื่อจ่ายให้กับหลอดไดโอดเปล่งแสง วงจรบัส(Buck) วงจรบูส(Boost), และวงจรแปลงเรโซแนนซ์ต่างๆ ได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายสำหรับจ่ายไฟให้กับหลอดไดโอดเปล่งแสง



รูปที่ 1.5 วงจรบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ของหลอดไดโอดเปล่งแสง

จากรูปที่ 1.9 เป็นบัลลาสต์กำลังไฟฟ้าต่ำของหลอดไดโอดเปล่งแสง มีการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220-240 โวลต์ ที่ความถี่ 50/60 เฮิร์ตซ์ ในส่วนของ อิเอ็มไอฟิลเตอร์ มีไว้เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนจากการสวิตชิง มีตัวเก็บประจุเพื่อให้กระแสไฟฟ้ามีความเรียบ ก่อนที่จะเข้าสู่ส่วนของการคงที่กระแส ดีซี-ดีซี เมื่อหลอดมีพิกัดกำลังต่ำๆ เรื่องของการฉีดสัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกนั้น ไม่มีความเข้มงวดมากนัก ดังนั้นค่าของตัวประกอบกำลังอาจจะถูกพบและไม่ถูกพบในหลอดไดโอดเปล่งแสงกำลังไฟฟ้าต่ำ อย่างไรก็ตามการที่จะลดซึ่งผลของฮาร์มอนิกและปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังสามารถทำได้ด้วยการใช้ วงจรกรองแบบพาสซีฟ, วงจรกรองแบบแอคทีฟ



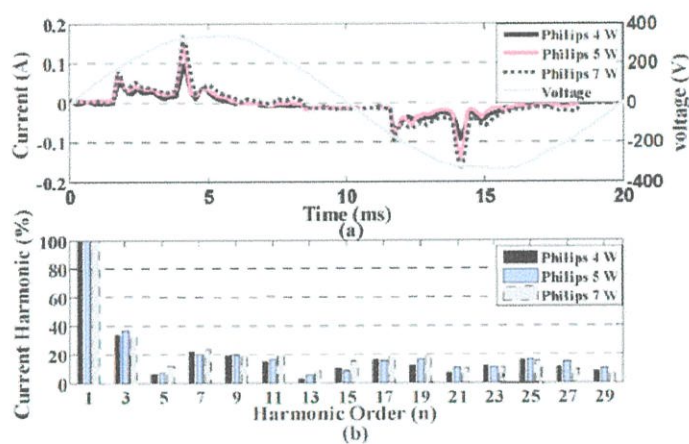
รูปที่ 1.6 รูปคลื่นกระแสของหลอดไดโอดเปล่งแสงจากการใส่วงจรกรองแต่ละชนิด

จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อที่จะดูค่ากระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจากหลอดไฟที่ระดับการกินไฟต่างๆ กัน จากผู้ผลิตเดียวกัน โดยมีการใช้หลอดไฟจาก ฟิลลิป (Phillip) ขนาด 4 วัตต์, 5 วัตต์ และ 7 วัตต์ และจากออสแรม (Osram) ขนาด 4 วัตต์, 6 วัตต์, 8 วัตต์ และ 10 วัตต์

ซึ่งผลของรูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 1.7(a) จากรูปที่ 1.7(a) จะเห็นว่ารูปคลื่นกระแสที่กำลังไฟฟ้าของหลอดต่างๆ กัน มีพฤติกรรมที่เหมือนกัน เพียงแต่มีขนาดของกระแสที่เพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้น

ตารางที่ 1.2 แสดงกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจากหลอดไดโอดเปล่งแสงแต่ละชนิด

Tested Lamp	Harmonic (%)					
	Fund	3rd	5th	7th	9th	THD <sub>1</sub>
Philips 4 W	100	34.61	6.28	22.27	18.94	63.05
Philips 5 W	100	36.92	7.16	19.81	19.39	63.83
Philips 7 W	100	32.34	11.6	23.4	19.03	64.23
Osram 4 W	100	89.24	70.65	51.19	38.57	173.9
Osram 6 W	100	91.96	77.05	58.51	41.01	174.3
Osram 8 W	100	22.25	15.04	2.34	9.73	30.94
Osram 10 W	100	32.12	4.68	2.67	6.45	34.78
Evenzo 3 W	100	90.7	77.34	58.89	45.32	164.35
Bright 5 W	100	86.65	75.92	61.75	48.87	167.2
Cash 7 W	100	91.23	74.81	56.41	41.06	168.2
Toshiba 5.5 W	100	73.4	45.4	35.62	31.38	106.3

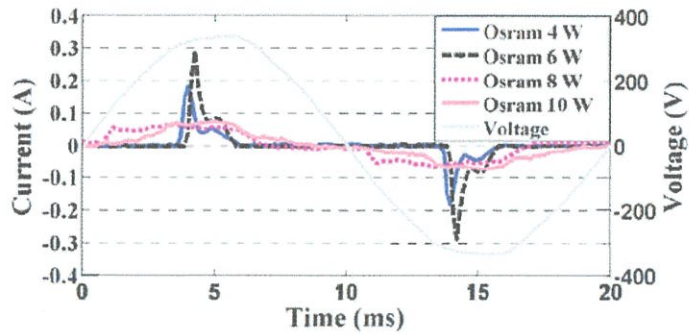


รูปที่ 1.7 ผลทดสอบของหลอดไฟยี่ห้อ ฟิลลิป ขนาด 4 วัตต์, 5 วัตต์ และ 7 วัตต์

(a) รูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้า

(b) สเปกตรัมฮาร์มอนิก

แต่ในรูปที่ 1.8 จะเห็นว่ารูปคลื่นกระแสมีความแตกต่างจากยี่ห้อ ฟิลลิป และค่า THD<sub>1</sub> จากตารางนั้นมีค่ามากกว่าสำหรับหลอด 4 วัตต์ และ 6 วัตต์ เนื่องจากหลอดขนาด 8 วัตต์ และ 10 วัตต์ มีการใช้บัลลาสต์คนละชนิดกันจึงมีรูปคลื่นของกระแสใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มากกว่า



รูปที่ 1.8 รูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าของหลอดไฟ ยี่ห้อ ออสแรม ขนาด 4 วัตต์, 6 วัตต์, 8 วัตต์ และ 10 วัตต์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงทดแทนหลอดโซเดียมความดันสูง
2. เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน และใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. ศึกษาและออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกเพื่อช่วยลดฮาร์มอนิกที่รบกวนที่เกิดขึ้นจากชุดขับหลอดในการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง
4. ใช้งานวงจรกรองฮาร์มอนิกที่ออกแบบเพื่อใช้งานกับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีราคาไม่สูง แทนการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีราคาสูงเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษาประสิทธิภาพการส่องสว่างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
2. ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากตัวขับหลอดในการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสง
3. ศึกษาและออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกเพื่อให้สัญญาณความถี่เกินฮาร์มอนิกดังกล่าว สอดคล้องกับที่มาตรฐานกำหนด

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ทำการทดสอบชุดหลอดเปรียบเทียบค่าที่เกิดขึ้นจากการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแต่ละยี่ห้อ
3. เปรียบเทียบความแตกต่างในการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดโซเดียมความดันสูง
4. นำผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้มาทำการวิเคราะห์และทำการศึกษารวมฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น เพื่อทำการออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้น
5. เปรียบเทียบความแตกต่างของราคากระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงคุณภาพสูงที่มีราคาแพง กับหลอดไดโอดเปล่งแสงคุณภาพต่ำที่ใช้งานร่วมกับวงจรกรองฮาร์มอนิกที่ออกแบบ

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.3 แผนการดำเนินงาน

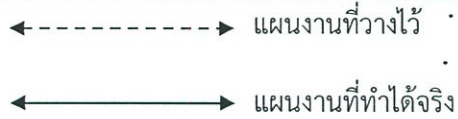
การดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงานโครงการ																			
	2556				2556				2556				2556				2556			
	ม.ย.				ก.ค.				ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1).ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ ปฏิญานิพนธ์ และวางแผน การดำเนินงาน																				
2).จัดเตรียมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง กับปฏิญานิพนธ์																				
3).ศึกษาและวิเคราะห์ หลอด ไดโอดเปล่งแสงเปรียบเทียบกับ หลอดโซเดียมความดันสูง ใน ด้านคุณภาพทางแสงและ ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า																				

←-----→ แผนงานที่วางไว้

←————→ แผนงานที่ทำได้จริง

ตารางที่ 1.3 (ต่อ) แผนการดำเนินโครงการ

การดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินโครงการ																															
	2556				2556				2556				2556				2557				2557				2557							
	ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
4).ศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกที่เกิดจากชุดขับเคลื่อนมอเตอร์																																
5).จัดทำวงจรถอดรหัสสัญญาณเพื่อกรองฮาร์มอนิกที่เกิดจากชุดขับเคลื่อนมอเตอร์																																
6).จัดทำรูปเล่มรายงาน																																



## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถแบ่งประโยชน์ออกได้เป็น 2 ประเด็นหลัก ได้แก่

1. ประโยชน์ทางด้านพลังงาน
  - หลอดไดโอดเปล่งแสงมีประสิทธิภาพในการทำงานดีขึ้น
  - ระบบไฟฟ้าที่เปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้น
  - มีความคุ้มค่าในระยะยาวมากกว่าการใช้งานหลอดโซเดียมความดันสูง
2. ประโยชน์ทางด้านงานวิจัย
  - มีความรู้ความเข้าใจในการวัดค่าฮาร์โมนิกหรือสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสง
  - ทราบถึงผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสง และคุณลักษณะของสัญญาณฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น
  - ปรับสัญญาณฮาร์โมนิกรบกวนที่เกิดขึ้นจากการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงให้มีความผิดเพี้ยนลดลงและสอดคล้องกับมาตรฐานได้
  - สามารถนำผลการวิจัยไปต่อยอดใช้งานจริงได้ภายในประเทศไทย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปฏิญญาพนธ์นี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกที่เกิดจากชุดขับเคลื่อนของหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อใช้งานแทนหลอดโซเดียมความดันสูง โดยทฤษฎีที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นเพียงทฤษฎีของหลอดไดโอดเปล่งแสงเท่านั้น

#### 2.1 ความแตกต่างเกี่ยวกับหลอดโซเดียมความดันสูงและหลอดไดโอดเปล่งแสง

ปัจจุบันหลอดไฟที่ใช้ในระบบการส่องสว่างไฟถนนที่สามารถพบเห็นได้นั้น ส่วนใหญ่จะเป็นหลอดโซเดียมความดันสูง ซึ่งได้มีการเริ่มใช้งานมานานแล้ว แต่ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีของหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงขึ้นจนสามารถนำมาใช้งานเป็นหลอดไฟสำหรับไฟถนนได้แล้ว

หลอดโซเดียมความดันสูง (HPS ย่อมาจาก High Pressure Sodium) เป็นหลอดไฟที่ได้รับความนิยมในการใช้งานในระบบแสงสว่างนอกอาคาร โดยจะสามารถพบเห็นการใช้งานเป็นไฟถนนได้ทั่วไปในปัจจุบัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับหลอดไดโอดเปล่งแสงแล้ว จะพบว่า มีข้อดีที่เหนือกว่า คือ ราคาถูก และมีเทคโนโลยีการผลิตไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียอยู่หลายประการ ได้แก่

1. มีค่าประสิทธิภาพการให้แสงสว่างต่ำ โดยมีค่าประมาณ 70 – 90 ลูเมน/วัตต์ ในขณะที่ปัจจุบันหลอดไดโอดเปล่งแสงมีค่าประมาณ 120 ลูเมน/วัตต์ ขึ้นไป
2. ดัชนีความถูกต้องของสีต่ำ ปกติจะมีค่าน้อยกว่า 23 ในขณะที่หลอดไดโอดเปล่งแสงปกติจะมีค่าดัชนีสูงถึง 75 ในหลอดที่คุณภาพสูงๆ อาจมีค่าดัชนีสูงถึง 90
3. ช่วงอุณหภูมิของสีมีค่าต่ำกว่า คือ อยู่ที่ประมาณ 2,500 K ในขณะที่หลอดไดโอดเปล่งแสงมีช่วงอุณหภูมิของสีที่กว้างกว่า คือ 2,600 K ถึง 10,000 K
4. อายุการใช้งานต่ำ ประมาณ 5,000 – 20,000 ชั่วโมง ส่วนหลอดไดโอดเปล่งแสงมีอายุการใช้งานที่ประมาณ 50,000 – 100,000 ชั่วโมง
5. ในการทำงานจะก่อให้เกิดความร้อนสูง เนื่องจากใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่าในการจุดไส้หลอดให้เกิดแสงสว่าง จึงก่อให้เกิดกำลังสูญเสียที่สูงกว่า

จากข้อเสียที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะเห็นได้ว่าหลอดโซเดียมความดันสูงนั้นมีข้อเสียที่มากกว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงมาก โดยสามารถดูความแตกต่างเปรียบเทียบระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดโซเดียมความดันสูงเพิ่มเติมได้จาก ตารางที่ 2.1 ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างในด้านต่างๆ ของหลอดทั้งสองชนิดเอาไว้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดโซเดียมความดันสูงและหลอดไดโอดเปล่งแสง

คุณสมบัติ	หลอดโซเดียมความดันสูง	หลอดไดโอดเปล่งแสงชนิดไฟถนน
ประสิทธิภาพความสว่าง	แย่มาก	ดีมาก
ประสิทธิภาพการกระจายแสง	แย่มาก	ดีมาก
ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า	เกิดการลัดวงจรง่าย	ปลอดภัยสูง
อายุการใช้งาน	ค่อนข้างสั้น (5,000 ชม.)	ยาวนาน (>50,000 ชม.)
ย่านแรงดันไฟฟ้าใช้งาน	แคบ ( $\pm 7\%$ )	กว้าง ( $\pm 20\%$ )
Power Consumption	ค่อนข้างสูง	ค่อนข้างต่ำ
ความเร็วในการจุดติดหลอด	ค่อนข้างช้า (อาจมากกว่า 10 นาที)	รวดเร็ว (ประมาณ 2 วินาที)
รูปแบบไฟฟ้าที่ใช้	กระแสสลับ	กระแสตรง
ประสิทธิภาพด้านการมองเห็น	ต่ำ	สูง
ดัชนีความถูกต้องของสี	น้อยกว่า 50	สูงกว่า 75
อุณหภูมิของสี	ค่อนข้างต่ำ (ออกโทนสีเหลืองอำพัน)	มีความเหมาะสมสูง (ดูสบายตา)
แสงจ้า	มีความเข้มสูงทำให้ระคายเคืองตา	ไม่ก่อให้เกิดแสงจ้าที่เป็นอันตราย
มลภาวะทางแสง	มีมลภาวะสูง	ไม่มีมลภาวะ
ความร้อน	สูงกว่า 300 °C	ต่ำกว่า 60 °C
ความทนทานต่อการกระแทก	ค่อนข้างเปราะ	ใช้วัสดุที่ทนทาน
ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	มีสารตะกั่ว ฯลฯ	ไม่มีสารพิษ
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	สูง	ค่อนข้างต่ำ
รูปร่างผลิตภัณฑ์	มีขนาดใหญ่ เทอะทะ	มีขนาดเล็ก
น้ำหนักผลิตภัณฑ์	หนัก	เบา
ประสิทธิผลในการใช้ต้นทุน	ต่ำ	สูง
ประสิทธิภาพการทำงานโดยรวม	แย่มาก	ดีเยี่ยม

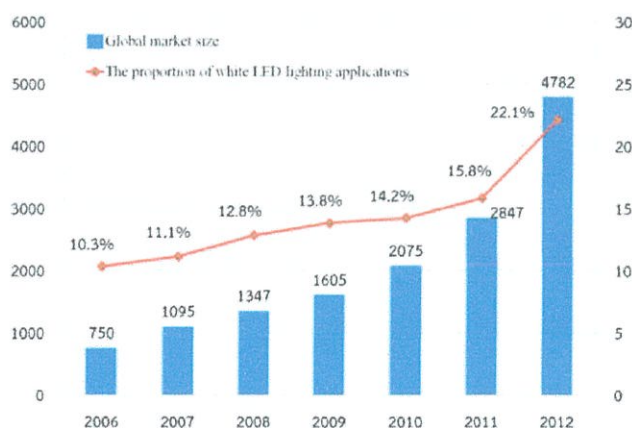
จากตารางที่ 2.1 เป็นการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างในด้านต่างๆ ของหลอดแต่ละชนิดเอาไว้คร่าวๆ เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาคุณสมบัติทั่วไปของหลอดแต่ละชนิด

จะพบว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนนนั้น มีข้อได้เปรียบเหนือกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงหลายประการ จึงสามารถสรุปได้ว่ามีความคุ้มค่าในการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนนแทนหลอดโซเดียมความดันสูงหลายด้าน ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพการทำงาน อายุการใช้งาน คุณภาพทางแสง และการประหยัดพลังงาน

## 2.2 หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) [17]

หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED ย่อมาจาก Light Emitting Diodes) เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถเปล่งแสงสว่างเมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านตัวมันที่ระดับหนึ่ง แสงที่เกิดขึ้นเป็นการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำภายในตัวหลอดไดโอดเปล่งแสง ที่ได้มีการใส่สารเจือปนเข้าไปเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการนำไฟฟ้า การทำให้แสงเกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของหลอดไดโอดเปล่งแสงผ่านสารกึ่งตัวนำ จะเรียกปรากฏการณ์นั้นว่า อิเล็กโทรลูมิเนสเซนส์ (Electroluminescence) ซึ่งแตกต่างจากหลอดไฟทั่วไป ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าในการจุดไส้หลอดเพื่อให้เกิดแสงสว่าง เป็นเหตุให้ตัวหลอดนั้นเกิดความร้อนเมื่อใช้งาน ไม่ว่าจะเป็หลอดแบบไส้ หลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดนีออน ในขณะที่หลอดไดโอดเปล่งแสงจะใช้กระแสไฟฟ้าต่ำกว่าในการให้กำเนิดแสงสว่าง และเกิดความร้อนขึ้นต่ำกว่าด้วยเช่นกัน อีกทั้งหลอดไดโอดเปล่งแสงยังสามารถเปล่งแสงได้หลากสี ขึ้นอยู่กับการใช้อัตราส่วนของสารกึ่งตัวนำเมื่อทำการผลิตหลอดไดโอดเปล่งแสง ปัจจุบันผลิตได้ทุกสีและยังสามารถผลิตแสงชนิดพิเศษรวมถึงอินฟราเรด (Infrared) ที่ตาคนมองไม่เห็นได้อีกด้วย และยังป้องกันการกระแทกได้ดีกว่า เพราะเป็นวัสดุแข็งอายุการใช้งานจึงนานกว่า

ปัจจุบันหลอดไดโอดเปล่งแสงมีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างสูงถึง 120 ลูเมน/วัตต์ ซึ่งสูงกว่าหลอดไฟแบบขดลวดทั่วไป อีกทั้งแสงสว่างของหลอดทั่วไปจะกระจายออกไปทุกทิศทาง ทำให้แสงกระจายโดยสูญเสียไปเป็นจำนวนมาก [18] ขณะที่แสงสว่างของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงนั้นจะส่องไปเฉพาะจุดด้านหน้าเท่านั้น ดังนั้นประสิทธิภาพของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงจึงนับว่ามีมากกว่าในเรื่องของความประหยัดไฟที่ปริมาณแสงสว่างเท่ากัน ยิ่งไปกว่านั้นเทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสง ก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีแนวโน้มว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงในการให้แสงสว่างทดแทนการใช้หลอดสูญญากาศเพิ่มสูงขึ้น จากรูปที่ 2.2 เป็นกราฟแสดงแนวโน้มยอดขายการขายไดโอดเปล่งแสงทั่วโลกอ้างอิงจากผลสำรวจของบริษัทโกลบอลอินฟอร์เมชัน (Global Information, Inc.) ซึ่งเป็นบริษัททางการตลาดที่โด่งดังในสหรัฐอเมริกา [19]



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงแนวโน้มยอดขายการขายไดโอดเปล่งแสงทั่วโลก

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าตั้งแต่ปี 2006 จนถึงปี 2012 เปอร์เซนต์ของสัดส่วนในการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสง รวมถึงขนาดตลาดในการซื้อขายหลอดไดโอดเปล่งแสงทั่วโลกนั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงแสดงให้เห็นว่าความนิยมในการใช้งานหลอดชนิดนี้ รวมถึงการลงทุนกำลังปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยการจำลองเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางแสงจะกล่าวถึงในบทถัดไป

### 2.2.1 ลักษณะของหลอดไดโอดเปล่งแสง

ความปลอดภัยจากการใช้หลอดไฟไดโอดเปล่งแสงไฟถนน ทำให้แสงสว่างที่ได้จากการใช้งานไม่ก่อให้เกิดอันตรายจากรังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเลต สารปรอท และไม่เกิดการกระพริบของแสง ซึ่งเป็นอันตรายต่อสายตา และจากการที่หลอดไดโอดเปล่งแสงปล่อยความร้อนออกมาน้อยมาก ทำให้เกิดการสูญเสียลดลง จึงทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น อีกทั้งอายุการใช้งานของหลอดไดโอดเปล่งแสง จะมีค่าอยู่ในช่วง 50,000 – 100,000 ชั่วโมง ในแง่ของความเสื่อมสภาพของแสง จะพบว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงนั้น มีการเสื่อมสภาพเพียงประมาณ 1 – 10% หลังจากใช้งานไปถึง 10,000 ชั่วโมง และ เสื่อมสภาพเพียง 30% หลังจากใช้งานไป 50,000 ชั่วโมง ซึ่งหากมีการใช้งานหลอดทุกวันเป็นเวลาจนถึงวันละ 8 ชั่วโมง ระยะเวลา 50,000 ชั่วโมง จะคิดเป็นเวลาถึง 15 ปี อีกทั้งคุณสมบัติทางแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสง เช่น ในด้านดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index : CRI) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสีที่แท้จริงของวัตถุที่มีความถูกต้องสูงกว่าหลอดโซเดียมความดันสูง ซึ่งปกติมีค่าดัชนีความถูกต้องน้อยกว่า 23 แต่โดยปกติแล้วหลอดไดโอดเปล่งแสงจะมีค่าดัชนีสูงถึง 75 และในหลอดไดโอดเปล่งแสง ที่มีคุณภาพสูงนั้นอาจมีค่าสูงถึง 90 ด้านอุณหภูมิของสี หลอดไดโอดเปล่งแสง จะมีช่วงอุณหภูมิของสีที่กว้างกว่า คือ อยู่ในย่าน 2,600 K ถึง 10,000 K ขึ้นอยู่กับลักษณะความต้องการในการใช้งานหลอด ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงนั้นมีคุณภาพและประสิทธิภาพที่เหนือกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงอย่างเห็นได้ชัด เพียงแต่ในด้านราคาหลอดไดโอดเปล่งแสงจะยังคงมีราคาที่สูงกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงอยู่

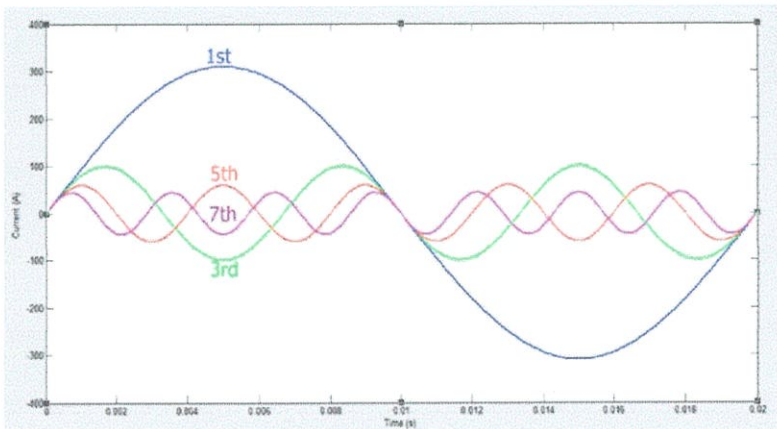
เนื่องจากหลอดไดโอดเปล่งแสงนั้น ต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในการทำงาน จึงต้องมีชุดขับหลอด (Driver) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สวิตซิ่ง (Switching Device) ติดตั้งควบคู่ด้วยในการใช้งาน [20] ซึ่งอุปกรณ์สวิตซิ่งนี้จะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนแก่ระบบไฟฟ้า ได้แก่ กระแสฮาร์มอนิก และสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากการสวิตซิ่งของชุดขับหลอด โดยจะขอกกล่าวถึงเนื้อหาเกี่ยวกับฮาร์มอนิก รวมไปถึงมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานในระบบส่องสว่างในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างหลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนน และชุดขับหลอด (Driver)

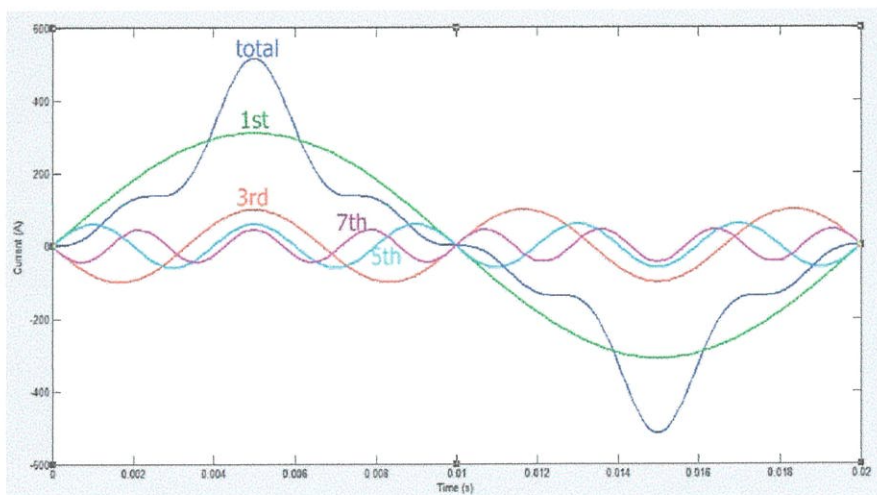
### 2.3 ฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้า (Harmonics in Power System)

ฮาร์โมนิก (Harmonics) คือ ส่วนประกอบในรูปสัญญาณไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency ในระบบไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์) เช่น ฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 มีค่าความถี่เป็น 150 เฮิร์ตซ์ และฮาร์โมนิกลำดับที่ 5 มีค่าความถี่เป็น 250 เฮิร์ตซ์ เป็นต้น ดังแสดงไว้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ฮาร์โมนิกที่ความถี่ลำดับต่างๆ

ผลของฮาร์โมนิกเมื่อรวมกันกับสัญญาณไซน์ที่ความถี่หลักมูลทั้งทางขนาด (Amplitude) และมุมเฟส (Phase Angle) จะทำให้สัญญาณไซน์รวม (total) ที่เกิดขึ้นนั้นมีขนาดเปลี่ยนไปและมีรูปร่างสัญญาณที่ผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณคลื่นไซน์ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สัญญาณคลื่นไซน์ที่เกิดจากความถี่หลักมูลและฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ

ในทางคณิตศาสตร์สามารถใช้อนุกรมฟูเรียร์อธิบายคุณลักษณะของฮาร์มอนิกได้ โดยสัญญาณหรือฟังก์ชัน ที่เป็นคาบใดๆ สามารถกระจายให้อยู่ในรูปผลรวมของฟังก์ชันตรีโกณมิติที่มีความถี่ต่างๆ เป็นฟังก์ชันคาบเวลาที่เขียนแทนด้วย  $f(t)$  ดังสมการที่ (2.1) ถึง (2.4)

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega_0 t) \quad (2.1)$$

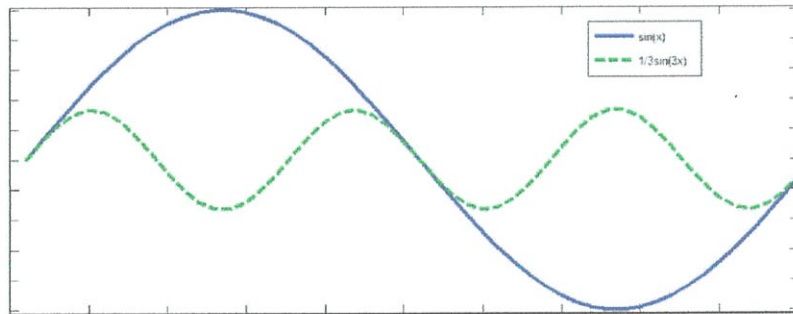
$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T}^T f(t) dt \quad (2.2)$$

$$a_n = \frac{1}{T} \int_{-T}^T f(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad (2.3)$$

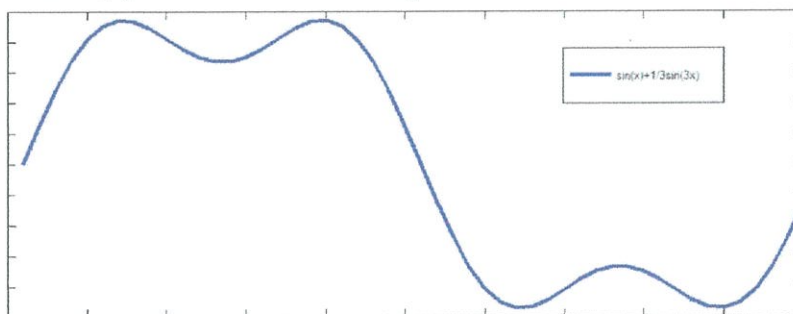
$$b_n = \frac{1}{T} \int_{-T}^T f(t) \sin(n\omega_0 t) dt \quad (2.4)$$

เมื่อ  $T$  คือ 1 คาบของสัญญาณและ  $n$  คือ เลขจำนวนเต็มบวก ในกรณีที่  $n = 0$  นั้น จะเป็นความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency) หรือกรณีที่  $n$  มีค่ามากกว่าศูนย์เราเรียกความถี่นี้ว่าฮาร์มอนิกลำดับที่  $n$  ซึ่งเป็นได้ทั้งลำดับคู่และคี่ และจากรูปที่ 2.5 ก. และรูป 2.5 ข. แสดงถึงความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการรวมสัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่หลักมูลกับคลื่นไซน์ที่เป็นฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ดังรูปที่ 2.5 ก. และรูป 2.5 ข. ตามลำดับ

$$f(t) = \sin(x) + \frac{1}{3} \sin(3x)$$



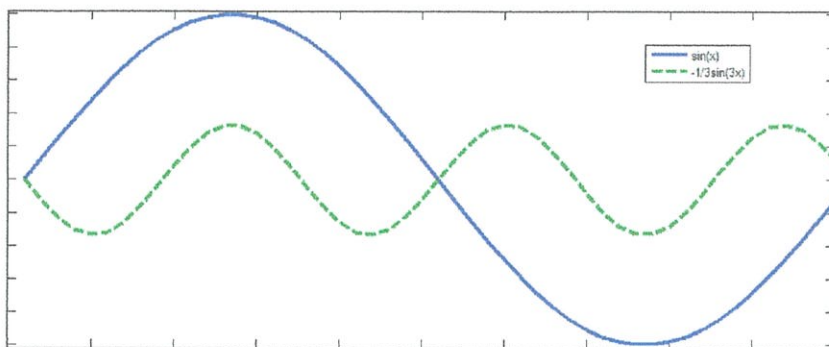
ก) สัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่หลักมูลกับคลื่นไซน์ที่เป็นฮาร์มอนิก



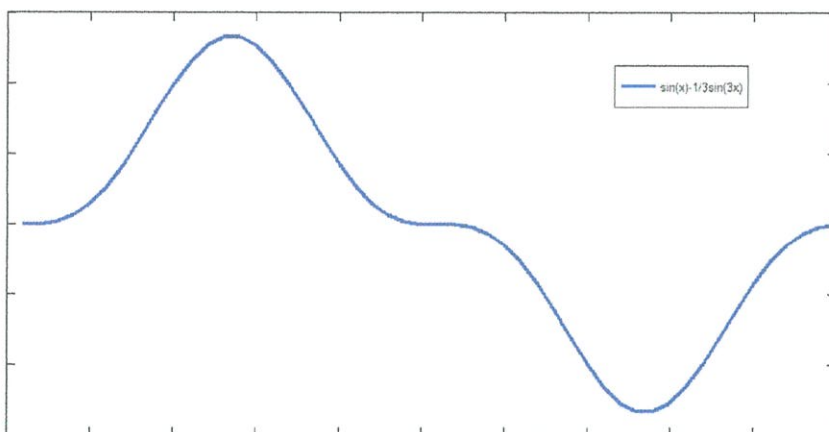
ข) ผลรวมสัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่หลักมูลกับคลื่นไซน์ที่เป็นฮาร์มอนิก  
รูปที่ 2.5 กราฟสัญญาณคลื่นไซน์เมื่อเกิดฮาร์มอนิก

รูปที่ 2.5 แสดงการรวมกันของสัญญาณไซน์ที่ความถี่หลักมูลกับสัญญาณฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 ซึ่งมีความถี่ของสัญญาณเป็น 3 เท่าของสัญญาณไซน์ที่ความถี่หลักมูลซึ่งมีค่า 50 เฮิร์ตซ์ นั่นคือสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 150 เฮิร์ตซ์

$$f(t) = \sin(x) - \frac{1}{3}\sin(3x)$$



ก) สัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่หลักมูลกับคลื่นไซน์ที่เป็นฮาร์มอนิก



ข) ผลรวมสัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่หลักมูลกับคลื่นไซน์ที่เป็นฮาร์มอนิก

### รูปที่ 2.6 กราฟสัญญาณคลื่นไซน์เมื่อเกิดฮาร์มอนิก

จากรูปที่ 2.5 และ 2.6 จะเห็นได้ว่าสัญญาณไซน์ที่ความถี่หลักมูล จะได้รับผลกระทบจากสัญญาณฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบ โดยจะทำให้สัญญาณที่ความถี่หลักมูลมีรูปคลื่นผิดเพี้ยนจากสัญญาณไซน์เดิม ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาด หรือประสิทธิภาพลดลง

### 2.3.1 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion)

จากมาตรฐานไออีซี (IEC) และไออีอีอี (IEEE) ใช้ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิก: เปอร์เซนต์ ทีเอชดี (%THD: Total Harmonic Distortion) เป็นค่าบอกระดับความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิก โดยเทียบจากอัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของส่วนประกอบฮาร์มอนิกกับค่าของส่วนประกอบความถี่หลักมูลเป็นร้อยละ ซึ่งจะแยกออกเป็นค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม และค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม

ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic current Distortion: THD<sub>i</sub>)

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2(rms)}}{I_1(rms)} \quad (2.5)$$

ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic voltage Distortion: THD<sub>v</sub>)

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2(rms)}}{V_1(rms)} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $V_{h(rms)}$  : ค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h  
 $I_{h(rms)}$  : ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h  
 $V_{1(rms)}$  : ค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันที่ความถี่หลักมูล  
 $I_{1(rms)}$  : ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสที่ความถี่หลักมูล

### 2.3.2 แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก (Harmonic Source)

แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกนั้นโดยภาวะปกติแล้ว ทางกรไฟฟ้าจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เป็นรูปสัญญาณคลื่นไซน์ให้กับโหลดประเภทต่างๆ ของผู้ใช้ไฟฟ้า แต่ในกรณีที่ในระบบไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายมีโหลดประเภทที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Load) ซึ่งโหลดดังกล่าวจะเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก โดยกระแสฮาร์มอนิกเหล่านั้นจะไหลเข้าสู่ระบบของผู้ใช้ไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าข้างเคียง โดยที่ผลของกระแสฮาร์มอนิกจะทำให้แรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าเกิดการผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ ค่าความเพี้ยนของแรงดันจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของระบบและขนาดของกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่ต่างๆ ผลของกระแสฮาร์มอนิกดังกล่าวนี้ จะไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้าใกล้เคียง และอาจไปรบกวนการทำงาน หรือสร้างความเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นๆ และอุปกรณ์ในระบบของการไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบว่ามีโหลดที่อยู่ในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านั้น มีโหลดที่เป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิกหรือไม่ และโหลดประเภทใดเป็นโหลดที่เป็นแหล่งจ่ายฮาร์มอนิก เพื่อที่จะได้ทำความเข้าใจก่อนที่จะทำการแก้ไขและป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากฮาร์มอนิกต่อไป โดยจะสามารถทำการแบ่งแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกตามคุณลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ได้ ดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีทั่วไปในบ้านพัก สำนักงาน ส่วนใหญ่เป็นชนิด 1 เฟส ได้แก่
  - อุปกรณ์ที่ใช้จ่ายกำลังแบบสวิตชิ่ง (SMPS) และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast)
2. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม
  - อุปกรณ์เรียงกระแสกำลังไฟฟ้า (Power Rectifier)
  - เครื่องแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบสถิตย์ (Static Power Converter: SPC)
  - อุปกรณ์จำพวกพีแอลซี (Programmable Logic Controller: PLC)
  - ชุดขับเคลื่อนแบบปรับความเร็วได้ (Adjustable Speed Drive: ASD)
3. อุปกรณ์ที่มีการทำงานประเภทอาร์ค
  - เตาหลอมแบบอาร์ค (Arc Furnace)
  - เตาหลอมแบบเหนี่ยวนำ (Induction Furnace)
  - เครื่องเชื่อมแบบอาร์ค/แบบสปอต (Arc Welding / Spot Welding)
4. อุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากการอิ่มตัวของแกนเหล็กทางแม่เหล็กไฟฟ้า
  - หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)
  - เครื่องกลไฟฟ้า (Electrical Machine)

ซึ่งผลกระทบของฮาร์มอนิกที่มีต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้านั้น จะก่อให้เกิดปัญหาต่ออุปกรณ์ คือ ทำให้อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดด้วยผลของค่าแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกที่มีขนาดและรูปลักษณ์สัญญาณไซน์ผิดเพี้ยนไป อีกทั้งยังทำให้อุปกรณ์ในระบบมีอายุการใช้งานน้อยลงหรือเกิดการชำรุดเสียหาย เนื่องจากมีค่าของแรงดันหรือกระแสที่เป็นรากที่สองของผลบวกกำลังสอง (Rms) สูงขึ้นเนื่องจากมีค่าฮาร์มอนิกเกิดขึ้น หรือมีการขยายของแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากฮาร์มอนิกรีโซแนนซ์

### 2.3.3 ผลกระทบจากปัญหาฮาร์มอนิกต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

ปัญหาฮาร์มอนิกที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าดังนี้ คือ

1. ผลของฮาร์มอนิกเรโซแนนซ์เกิดขึ้นในกรณีที่มีความถี่เรโซแนนซ์ของระบบไปตรงกับความถี่ฮาร์มอนิกทำให้เกิดการขยายขนาดของแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก เป็นผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายเนื่องจากได้รับกระแสและแรงดันเกินพิกัด
2. ผลของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลอยู่ในระบบจำหน่ายและสายส่ง ทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในสายมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพ การส่งจ่ายลดลง เนื่องจากกระแสฮาร์มอนิกทำให้ค่ารากที่สองเฉลี่ย (Rms) ของกระแสและความต้านทานของสายสูงขึ้น

3. ผลของกระแสฮาร์มอนิก Triplen (ลำดับที่ 3, 6, 9, ...) จัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับเป็นศูนย์ (Zero-Sequence) ในระบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์มอนิกกลุ่มนี้จะรวมกันไหลอยู่ในสายนิวตรอน อาจทำให้สายนิวตรอนหรือหม้อแปลงเสียหายได้หากไม่มีการออกแบบรองรับไว้
4. ผลของกระแสฮาร์มอนิกทำให้กำลังสูญเสียขณะมีโหลดและกำลังสูญเสียสเตรย์ฟลักซ์ (Stray Flux Loss) ของหม้อแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพในการรับโหลดของหม้อแปลงลดลงไป (derating) ผลของแรงดันฮาร์มอนิกทำให้เกิดกำลังสูญเสียกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) และกำลังสูญเสียฮิสเทอรีซิส (Hysteresis -Loss) เพิ่มขึ้น
5. ผลของกระแสฮาร์มอนิกทำให้เกิดความร้อนและความเครียดไดอิเล็กตริก (Dielectric Stress) กับตัวเก็บประจุและอาจทำให้ฟิวส์ของตัวคาปาซิเตอร์ขาดง่ายกว่าการใช้งานปกติ ผลของแรงดันฮาร์มอนิกทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในคาปาซิเตอร์ และผลจากภาวะเรโซแนนซ์ที่ตัวคาปาซิเตอร์ทำให้เกิดขยายกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกขนาดใหญ่ตั้งนั้น เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานของคาปาซิเตอร์สามารถทนต่อค่ากระแสและแรงดันฮาร์มอนิก คาปาซิเตอร์ที่ออกแบบสร้างจากผู้ผลิตได้กำหนดตามมาตรฐาน มาตรฐานไออีอีอี (IEEE Std.) 18-1992
6. ผลของกระแสฮาร์มอนิกทำให้เกิดความร้อนในตัวฟิวส์เพิ่มขึ้น ทำให้คุณลักษณะเวลา-กระแส (Time-Current Characteristic) ของฟิวส์เปลี่ยนไป กรณีที่มีฟอลต์ระดับต่ำเกิดขึ้นฟิวส์จะขาดก่อนในเวลาที่กำหนด หรือในกรณีที่ฟิวส์ขาดโดยไม่ทราบสาเหตุจะเป็นเหตุมาจากฮาร์มอนิกในกรณีที่เกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้เช่นกัน
7. ผลของฮาร์มอนิกทำให้การทำงานของรีเลย์ผิดพลาดซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการทำงานของชนิดรีเลย์ การทำงานของรีเลย์ชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ขึ้นอยู่กับค่ากระแสและแรงดันค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสอง (Rms) ส่วนการทำงานของรีเลย์ชนิดดิจิทัล ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันยอดคลื่น (Crest Voltage) จากการ Sampling และตรวจค่า Zero Crossing ค่ากระแสหรือแรงดันที่ศูนย์ ที่ทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาด ดังนี้
  - ทำให้รีเลย์มีการทำงานช้าลง หรือทำงานด้วยค่าเริ่ม (Pickup Values) ที่สูง โดยปกติรีเลย์จะทำงานอย่างรวดเร็วและทำงานด้วยค่าเริ่มต่ำๆ ส่วนในกรณีที่มิกระแสฮาร์มอนิกมากพออาจทำให้กราวด์รีเลย์ทำงานผิดพลาด (False Trip)
  - ทำให้รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay) ทำงานผิดพลาด ด้วยผลของกระแสฮาร์มอนิกที่ทำให้ฮิมพิแดนซ์เพิ่มขึ้นต่างจากค่าที่ทำการตั้งไว้ที่ความถี่หลักมูล
  - ทำให้รีเลย์สถิตแบบความถี่ต่ำ (Static Underfrequency Relay) มีความไวกว่าปกติ อาจทำให้เกิดการทริปผิดพลาดหรือทำให้รีเลย์กระแสและแรงดันเกิน (Overcurrent and Overvoltage Relay) ทำงานผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ตั้งไว้
  - ทำให้ความเร็วการทำงานของรีเลย์ชนิดผลต่าง (Differential Relay) ทำงานช้าลง

8. ผลของกระแสฮาร์มอนิกมีผลกระทบต่อความสามารถในการตัดกระแส (Current Interruption Capacity) ของอุปกรณ์สวิตช์เกียร์ คือทำให้ขนาดของอัตราค่ากระแสเทียบกับเวลา (di/dt) มีค่าสูงในขณะที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์ เป็นผลทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถตัดกระแสไฟฟ้าได้เมื่อมีฮาร์มอนิก ซึ่งปัญหานี้จะเกิดกับอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ตัดกระแสได้เช่นกัน
9. ผลของฮาร์มอนิกทำให้มิเตอร์วัดค่าไฟฟ้า (Watt - Hour Meter) ซึ่งเป็นมิเตอร์ประเภทจานเหนี่ยวนำ (Induction Disk) เกิดการวัดค่าผิดพลาดได้ ซึ่งโดยปกติแล้ว การปรับแต่งมิเตอร์จะทำการปรับแต่งที่ความถี่หลักมูล
10. ผลของฮาร์มอนิกต่อเครื่องจักรไฟฟ้า ทำให้กำลังสูญเสียเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้เครื่องจักรร้อนกว่าปกติ ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเกิดปรากฏการณ์คือค็อกกิ้ง (Cogging) คือไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ได้ จากการที่ความเร็วมอเตอร์ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส และทำให้เกิดการออสซิลเลตทางกลของเครื่องจักรไฟฟ้า ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและแรงบิดของเครื่องจักร
11. ผลของฮาร์มอนิกทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) ในระบบสื่อสารเช่นในระบบโทรศัพท์

#### 2.4 ตัวกรองฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า

การแก้ไขปัญหาความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสและแรงดันหรือปัญหาฮาร์มอนิกโดยทั่วไปทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ฮาร์มอนิกฟิลเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ในการกรองกระแสฮาร์มอนิกที่ต้องการกำจัด ซึ่งติดตั้งโดยการขนานเข้าไปในระบบโดยทั่วไปแล้วฮาร์มอนิกฟิลเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

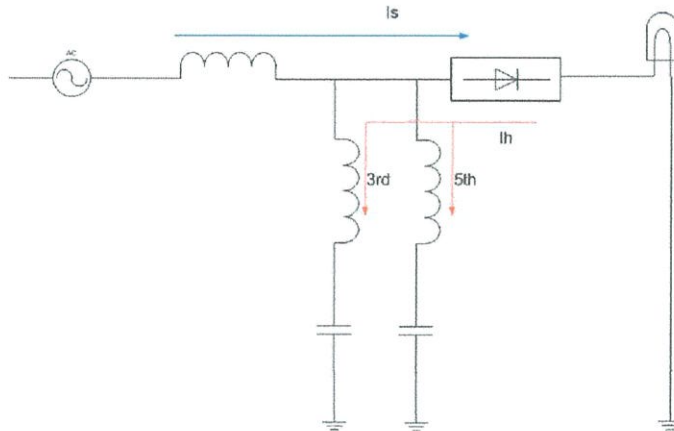
พาสซีฟฟิลเตอร์ (Passive Filter) เป็นชุดวงจรที่ใช้อุปกรณ์ชนิดพาสซีฟอันได้แก่ ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุซึ่งโดยทั่วไปจะใช้วงจรอนุกรมของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ การออกแบบทำได้โดยออกแบบอุปกรณ์ที่ความถี่ที่ต้องการกรองออก ข้อดีคือมีต้นทุนในการติดตั้งไม่สูงนัก ข้อเสียคือกรองได้เฉพาะฮาร์มอนิกส์ลำดับที่ต้องการ ชุดกรองมีขนาดใหญ่ และมีความยุ่งยากในการใช้งาน สำหรับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงทำงานโดยอาศัยการปรับความถี่เพื่อให้ค่ารีแอกแตนซ์ของตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับรีแอกแตนซ์ของตัวเก็บประจุ การทำงานของตัวกรองกระแสฮาร์มอนิกจะใช้ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำมาต่อเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมเพื่อให้ตัวกรองมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่สุด

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

จากสมการจะเห็นว่า  $Z_f$  จะมีค่าต่ำที่สุด เมื่อค่าความถี่  $f$  เป็น  $f_n$

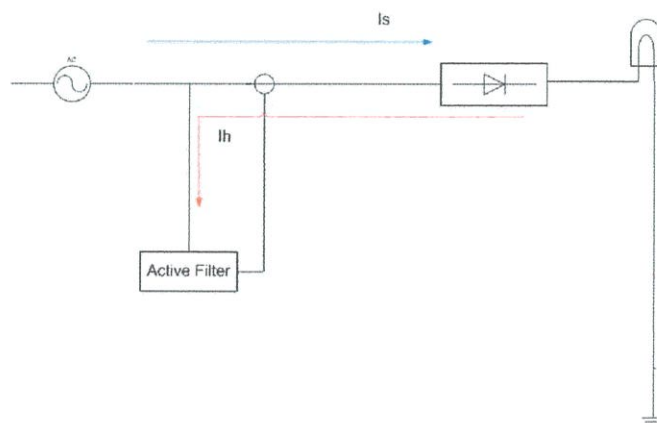
ตัวกรองกระแสฮาร์โมนิกมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1. ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวกรองกระแสฮาร์โมนิก ที่ต่อขนานกับระบบไฟฟ้าควรมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ ในย่านความถี่ของกระแสฮาร์โมนิกในย่านที่จะกรองออก
2. ค่าความกว้างของแถบการกรองกระแสฮาร์โมนิกควรมีความกว้างของแถบพอสมควม



รูปที่ 2.7 การไหลของกระแสฮาร์โมนิกแบบพาสซีฟ

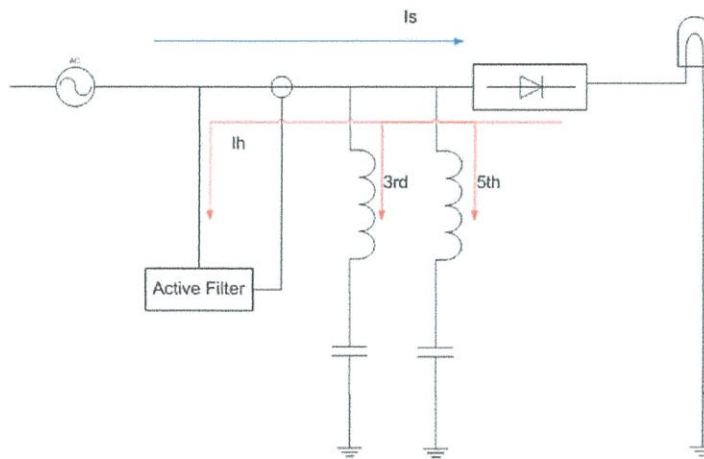
การนำวงจรกรองกระแสฮาร์โมนิกมากรองกระแสฮาร์โมนิกที่เกิดจากการใช้งานชุดขับเคลื่อนไดโอดเปล่งแสงจะแบ่งอุปกรณ์ออกเป็นสองส่วน คือส่วนแรกจะเป็นตัวเหนี่ยวนำอนุกรมที่ต่ออนุกรมกับด้านเข้าของวงจรกรอง ซึ่งจะทำหน้าที่เพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ประสิทธิผลของแหล่งจ่ายของโหลดไฟฟ้า ทำให้ลดค่าฮาร์โมนิกของกระแสไฟฟ้า (THD<sub>i</sub>) ลงได้ อีกทั้งจะทำหน้าที่ป้องกันโหลดเกินพิกัดในวงจรกรองอีกด้วย ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าอินดักแตนซ์ให้กับแหล่งจ่าย ส่วนที่สองเป็นส่วนของวงจรกรองกระแสฮาร์โมนิก จะทำหน้าที่ปรับค่าอิมพีแดนซ์ให้ต่ำลงเพื่อกรองเอากระแสฮาร์โมนิกลำดับต่างๆ ออก



รูปที่ 2.8 การไหลของกระแสฮาร์โมนิกส์แบบแอกทีฟ

แอกทีฟฟิลเตอร์ (Active Filter) เป็นชุดวงจรที่ใช้อุปกรณ์ชนิดแอกทีฟ (สวิตซ์กึ่งตัวนำ) ร่วมกับอุปกรณ์ชนิดพาสซีฟอันได้แก่ ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ อาศัยเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยการใช้การตรวจจับกระแสเข้ามาควบคุมแบบลูปปิด การใช้อุปกรณ์ชนิดนี้ทำให้สามารถรองความถี่ได้ทุกความถี่ที่ต้องการ รูปคลื่นสัญญาณกระแสที่ได้จะมีความเป็นสัญญาณรูปไซน์เกือบสมบูรณ์อีกทั้งยังมีค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่ง แต่มีต้นทุนที่สูง

ไฮบริดฟิลเตอร์ (Hybrid Filter) เป็นชุดวงจรที่ใช้การทำงานร่วมกันของพาสซีฟและแอกทีฟ ซึ่งเป็นการรวมข้อดีของอุปกรณ์ทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันโดยพาสซีฟฟิลเตอร์จะทำหน้าที่ในการกรองกระแสฮาร์มอนิกอันดับต่ำๆออก โดยมีแอกทีฟฟิลเตอร์รองความถี่อื่นๆออก ดังนั้นการใช้ฟิลเตอร์ชนิดนี้ก็จะให้ผลใกล้เคียงแอกทีฟฟิลเตอร์เช่นเดียวกัน ซึ่งจะมีต้นทุนที่ถูกลงกว่า



รูปที่ 2.9 การไหลของกระแสฮาร์มอนิกไฮบริดฟิลเตอร์

## บทที่ 3

### การจำลองคุณลักษณะทางแสง

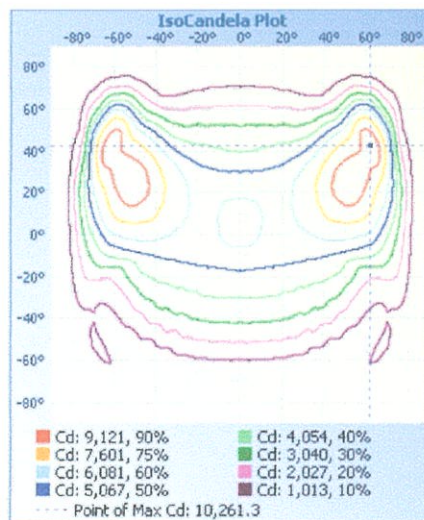
ในบทที่ 3 นี้ ได้ทำการจำลองเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางแสงระหว่างหลอดโซเดียมความดันสูง (HPS) 250 วัตต์ และหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs) 110 วัตต์ โดยใช้โปรแกรมโฟโตเมตริก (Photometric) และโปรแกรมไดอะลักซ์ (Dialux) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองลักษณะการกระจายแสงของดวงหลอดและคุณภาพทางแสงที่เกิดขึ้นจากการกำหนดสภาพแวดล้อมและปัจจัยต่างๆ คือ ความกว้างของถนน จำนวนช่องทางเดินรถ ความสูงของเสาไฟถนน และลักษณะการกระจายแสงของดวงหลอดไฟที่ใช้ เป็นต้น

#### 3.1 ลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟถนน

การจำลองลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟถนนนี้ ได้ใช้โปรแกรมโฟโตเมตริกซ์ เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายแสงของโคมไฟทั้ง 2 ชนิด คือ โคมของหลอดโซเดียมความดันสูง และโคมของหลอดไดโอดเปล่งแสง

##### 3.1.1 โคมหลอดโซเดียมความดันสูง

โคมของหลอดโซเดียมความดันสูงที่ใช้ในการจำลองเป็นโคมยี่ห้อ ฟิลลิป (Philips) รุ่น 612HDV AC และใช้หลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 วัตต์ พบว่าโคมมีลักษณะการกระจายแสงเป็นดังรูปที่ 3.1

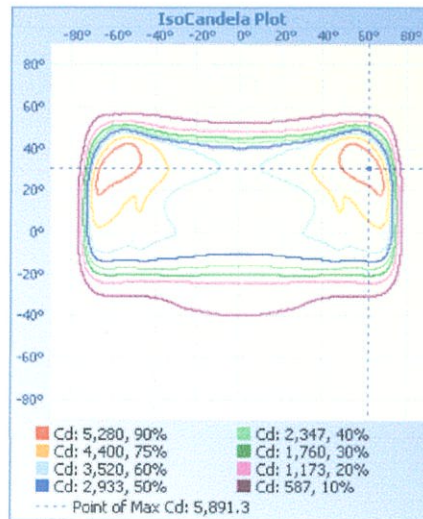


รูปที่ 3.1 แสดงกราฟไอโซแคนเดลาของหลอดโซเดียมความดันสูง

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าลักษณะการกระจายแสงของโคมที่มุม 20 องศา จนถึงช่วงมุม 60 องศา มีความไม่สม่ำเสมอสูงและกระจายเป็นวงกว้าง ซึ่งจะทำให้เกิดพื้นที่มืดในระหว่างระหว่างเสาไฟถนนต้นถัดไป และเกิดแกลร์ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ขับขี่

### 3.1.2 โคมหลอดไดโอดเปล่งแสง

โคมของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้ในการจำลองเป็นหลอดยี่ห้อ ฟิลลิป (Philips) รุ่น BGP340 และใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 110 วัตต์ พบว่ามีลักษณะการกระจายแสงของดวงหลอดดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 แสดงกราฟไอโซแคนเดลาของหลอดไดโอดเปล่งแสง

จากรูปที่ 3.2 ลักษณะการกระจายแสงของโคมมีความสม่ำเสมอมากกว่าโคมชนิดโซเดียมความดันสูง จึงทำให้ในการใช้งานมีความสม่ำเสมอของแสงที่ดีกว่าจึงไม่เกิดพื้นที่มืดระหว่างเสาไฟต้นถัดไป และเนื่องจากการกระจายแสงที่ไม่เป็นวงกว้างมากนัก จึงทำให้ไม่เกิดแกลร์

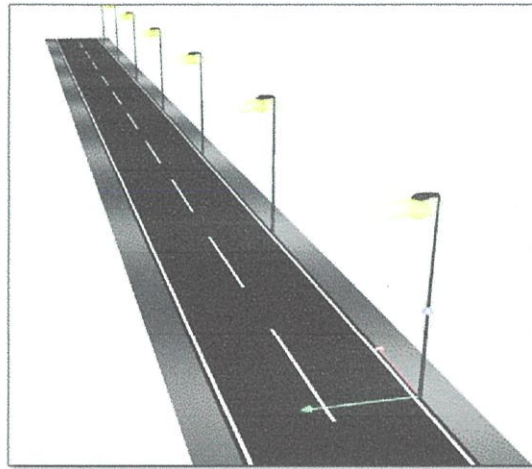
### 3.2 ลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมบนสภาพแวดล้อมของถนนที่แตกต่างกัน

ในการจำลองลักษณะการกระจายแสงของดวงโคมบนสภาพแวดล้อมของถนนที่แตกต่างกันนั้น ผู้ทดลองได้ใช้โปรแกรมโตเอสลักซ์ ในการจำลองสภาพถนนเพื่อดูลักษณะการกระจายแสงของดวงหลอดทั้ง 2 ประเภท คือ โคมของหลอดโซเดียมความดันสูง และโคมของหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยแบ่งการจำลองสภาพถนนได้เป็น 4 กรณี ดังนี้

#### 3.2.1 การติดตั้งแบบฝั่งเดียว ถนน 2 ช่องทาง

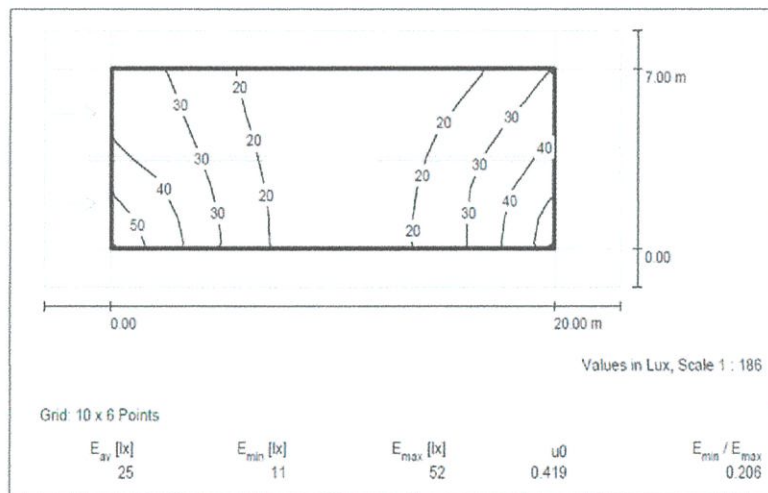
การติดตั้งหลอดไฟถนนได้อ้างอิงมาตรฐานจากกรมทางหลวงและสภาวิศวกร โดยให้ช่องทางเดินรถมีความกว้างช่องทางละ 3.5 เมตร ทางเดินเท้ากว้าง 1.5 เมตร เสาไฟมีความสูง 9 เมตร และระยะห่างระหว่างเสามีค่า 20 เมตร [21] ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 21.5 ลักซ์ [22] ซึ่งสามารถแบ่งกรณีการติดตั้งได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดโซเดียมความดันสูง (HPS)



รูปที่ 3.3 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบฝั่งเดียวบนถนน 2 ช่องทาง

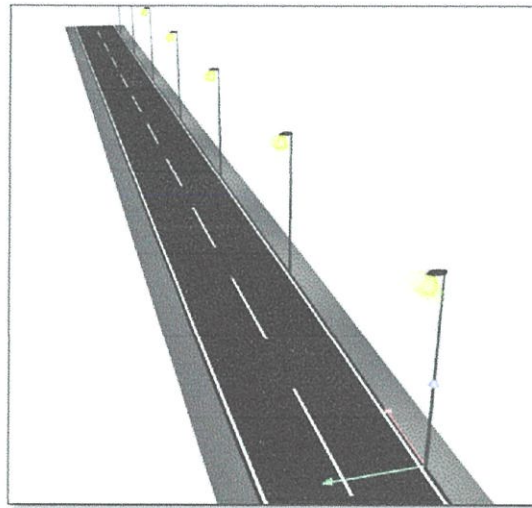
รูปที่ 3.3 เป็นการติดตั้งเสาไฟถนนฝั่งเดียวบนถนนที่มีความกว้าง 2 ช่องทางเดินรถ โดยกำหนดให้เสาไฟถนนอยู่ติดกับริมขอบถนน



รูปที่ 3.4 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดโซเดียมความดันสูงแบบฝั่งเดียวบนถนน 2 ช่องทาง

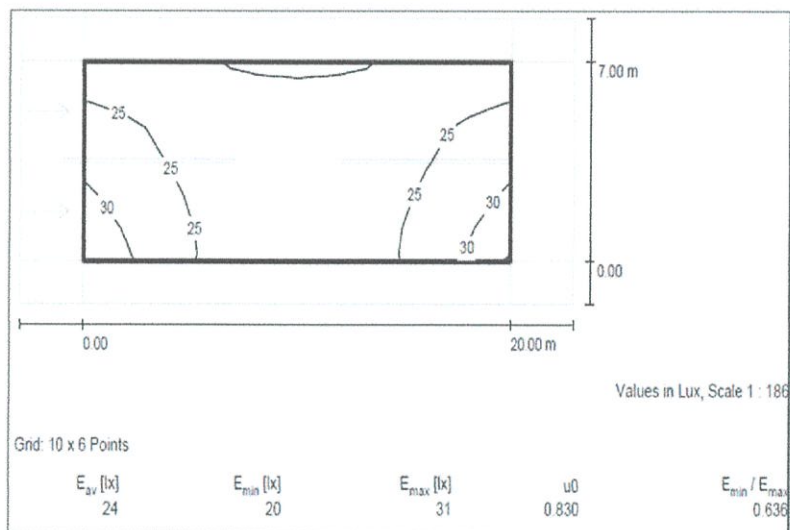
จากรูปที่ 3.4 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดโซเดียมความดันสูงที่ติดตั้งแบบฝั่งเดียว ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ( $E_{av}$ ) มีค่า 25 ลักซ์ ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 21.5 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของแสง ( $E_{min}/E_{max}$ ) มีค่า 0.206 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.17

กรณีที่ 2 ติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs)



รูปที่ 3.5 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบฝั่งเดียวบนถนน 2 ช่องทาง

รูปที่ 3.5 เป็นการติดตั้งเสาไฟถนนฝั่งเดียวบนถนนความกว้าง 2 ช่องทางเดินรถ โดยให้เสาไฟถนนอยู่ติดกับริมขอบถนน



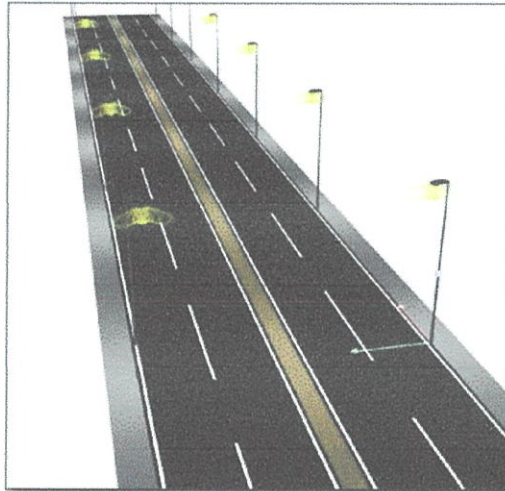
รูปที่ 3.6 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบฝั่งเดียวบนถนน 2 ช่องทาง

จากรูปที่ 3.6 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งแบบฝั่งเดียว ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ( $E_{av}$ ) มีค่า 24 ลักซ์ ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 21.5 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของแสง ( $E_{min}/E_{max}$ ) มีค่า 0.636 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.17 จะเห็นได้ว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงให้ความสม่ำเสมอของแสงที่ดีกว่าและมีเส้นการกระจายแสงที่ครอบคลุมทั้งพื้นที่ถนนที่ทำการสังเกต

### 3.2.2 การติดตั้งแบบฝังคู่ ถนน 4 ช่องทาง

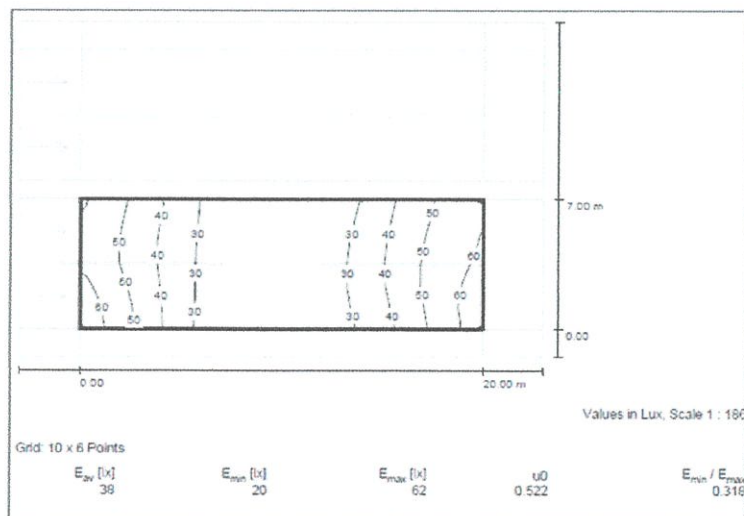
การติดตั้งหลอดไฟถนนได้อ้างอิงมาตรฐานจากกรมทางหลวงและสภาวิศวกร โดยให้ช่องทางเดินรถมีความกว้างช่องทางละ 3.5 เมตร ทางเดินเท้ากว้าง 1.5 เมตร เสาไฟมีความสูง 9 เมตร เก้าะกลางกว้าง 1 เมตร และระยะห่างระหว่างเสามีค่า 20 เมตร ซึ่งสามารถแบ่งกรณีการติดตั้งได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูง (HPS)



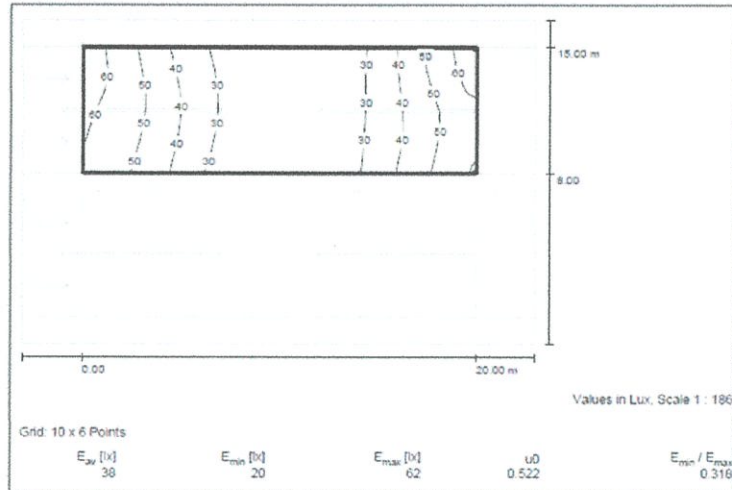
รูปที่ 3.7 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบฝังคู่บนถนน 4 ช่องทาง

รูปที่ 3.7 เป็นการติดตั้งเสาไฟถนนฝังคู่บนถนนความกว้าง 4 ช่องทางเดินรถ และมีเก้าะกลาง โดยให้เสาไฟถนนอยู่ติดกับริมขอบถนน



รูปที่ 3.8 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดโซเดียมความดันสูงแบบฝังคู่บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านขวา

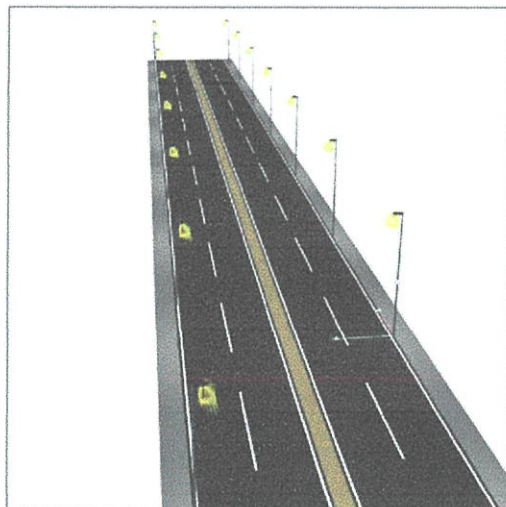
จากรูปที่ 3.8 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดโซเดียม ความดันสูงที่ติดตั้งแบบคู่ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ( $E_{av}$ ) มีค่า 38 ลักซ์ ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 21.5 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของแสง ( $E_{min}/E_{max}$ ) มีค่า 0.318 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.17



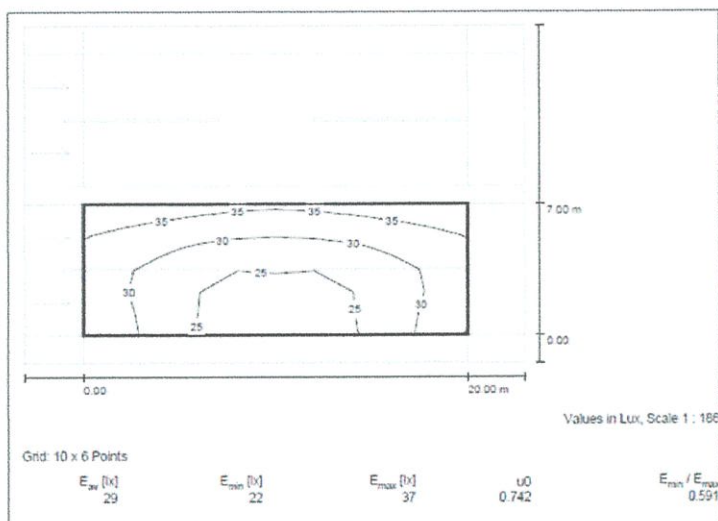
รูปที่ 3.9 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดโซเดียมความดันสูงแบบฝั่งคู่ บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านซ้าย

จากรูปที่ 3.9 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดโซเดียม ความดันสูงที่ติดตั้งแบบฝั่งคู่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งเสาไฟถนนในลักษณะแบบนี้ จะให้ค่าความเข้มแสงที่เท่ากันทั้งถนนด้านซ้ายและด้านขวา ทั้งยังให้ความสม่ำเสมอทางแสงที่เท่ากันอีกด้วย

กรณีที่ 2 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs)

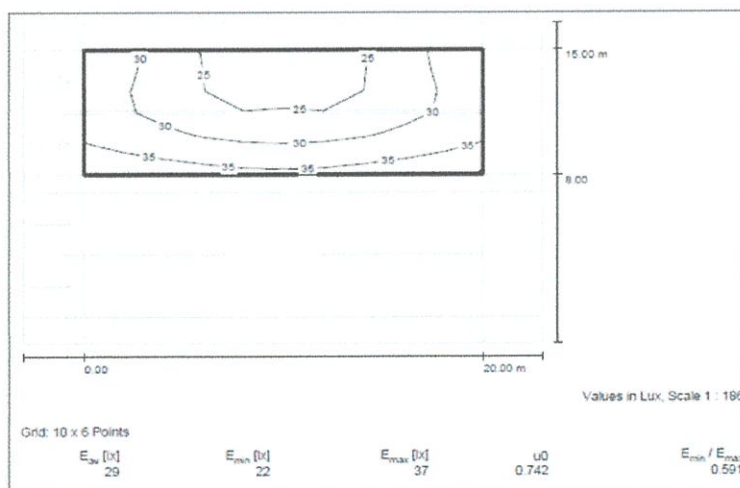


รูปที่ 3.10 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบฝั่งคู่บนถนน 4 ช่องทาง



รูปที่ 3.11 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบฝังคู่ บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านขวา

จากรูปที่ 3.11 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งแบบคู่ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ( $E_{av}$ ) มีค่า 29 ลักซ์ ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 21.5 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของแสง ( $E_{min}/E_{max}$ ) มีค่า 0.591 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.17



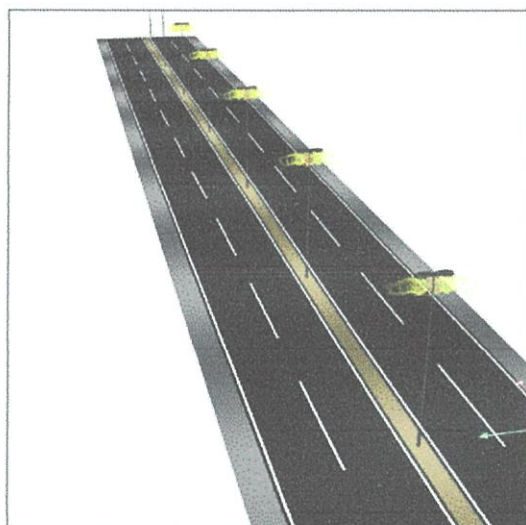
รูปที่ 3.12 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบฝังคู่ บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านซ้าย

จากรูปที่ 3.12 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งแบบฝังคู่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งเสาไฟถนนในลักษณะแบบนี้ จะให้ค่าความเข้มแสงที่เท่ากันทั้งถนนด้านซ้ายและด้านขวา ทั้งยังให้ความสม่ำเสมอทางแสงที่เท่ากันอีกด้วย และจะเห็นได้ว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงให้ความสม่ำเสมอทางแสงที่ดีกว่าหลอดโซเดียมความดันสูง

### 3.2.3 การติดตั้งบนเกาะกลาง ถนน 4 ช่องทาง

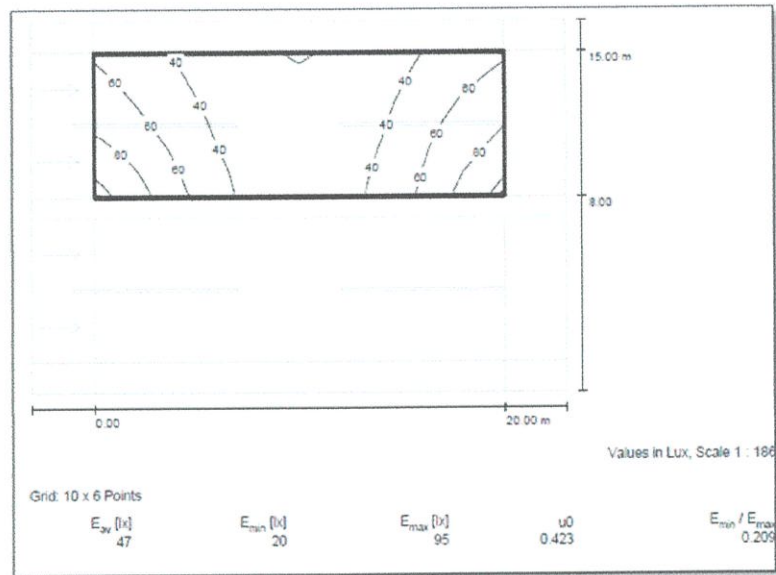
การติดตั้งหลอดไฟถนนได้อ้างอิงมาตรฐานจากกรมทางหลวงและสภาวิศวกร โดยให้ช่องทางเดินรถกว้างช่องทางละ 3.5 เมตร ทางเดินเท้ากว้าง 1.5 เมตร เสาไฟฟ้ามีความสูง 9 เมตร เกาะกลางกว้าง 1 เมตรและระยะห่างระหว่างเสามีค่า 20 เมตร ซึ่งสามารถแบ่งกรณีการติดตั้งออกได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูง (HPS)



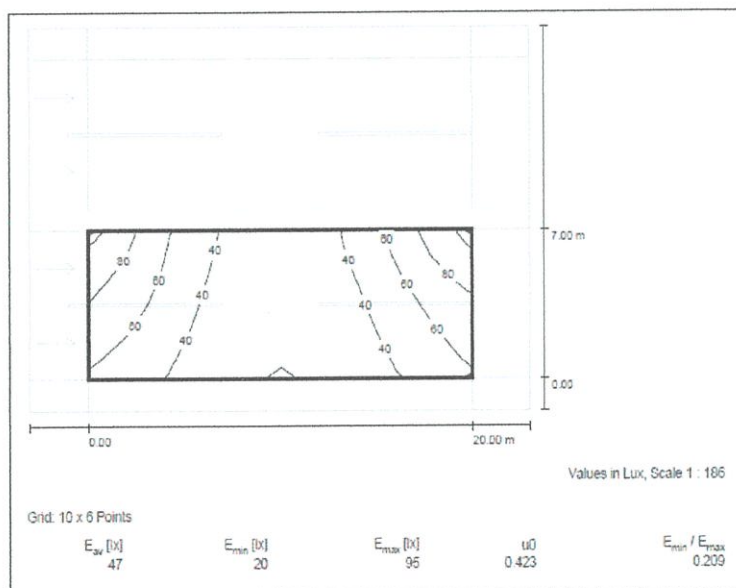
รูปที่ 3.13 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบเกาะกลางบนถนน 4 ช่องทาง

รูปที่ 3.13 เป็นการติดตั้งเสาไฟถนนฝั่งคูบนถนนความกว้าง 4 ช่องทางเดินรถและมีเกาะกลาง โดยติดตั้งเสาไฟถนนอยู่บริเวณเกาะกลางถนน



รูปที่ 3.14 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบเกาะกลาง  
บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านขวา

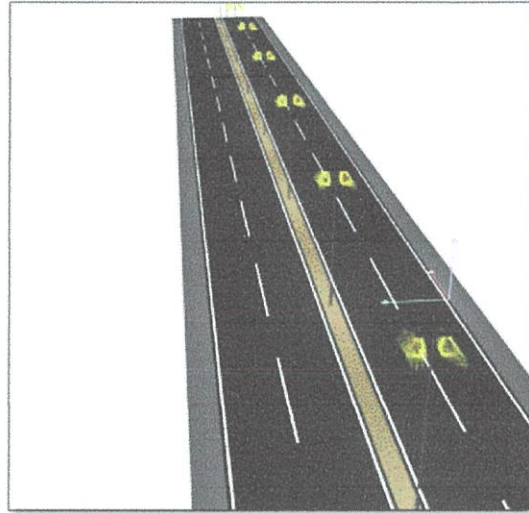
จากรูปที่ 3.14 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดโซเดียมความดันสูงที่ติดตั้งบริเวณเกาะกลาง ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ( $E_{av}$ ) มีค่า 47 ลักซ์ ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 21.5 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของแสง ( $E_{min}/E_{max}$ ) มีค่า 0.209 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.17



รูปที่ 3.15 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบเกาะกลาง  
บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านซ้าย

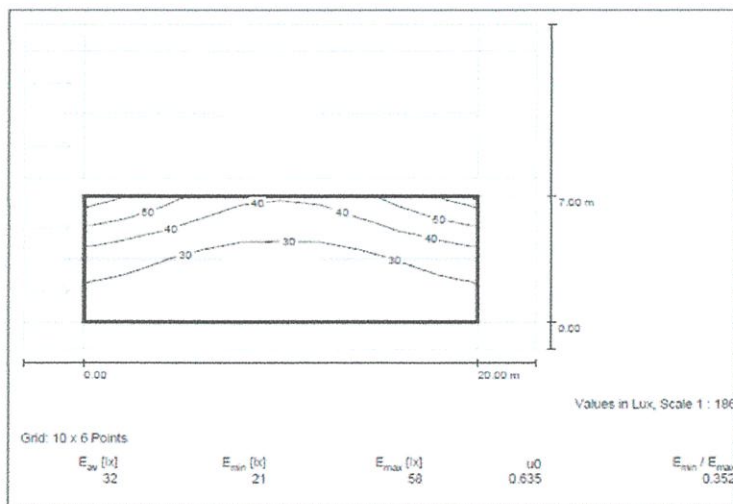
จากรูปที่ 3.15 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดโซเดียม ความดันสูงที่ติดตั้งบริเวณเกาะกลาง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งเสาไฟถนนในลักษณะแบบนี้ จะให้ค่าความเข้มแสงที่มากกว่าการติดตั้งใน 2 กรณีที่ได้กล่าวมาข้างต้นและค่าความเข้มแสงมีค่าเท่ากันทั้ง ถนนด้านซ้ายและด้านขวา ทั้งยังให้ความสม่ำเสมอทางแสงที่เท่ากันอีกด้วย

กรณีที่ 2 ติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs)



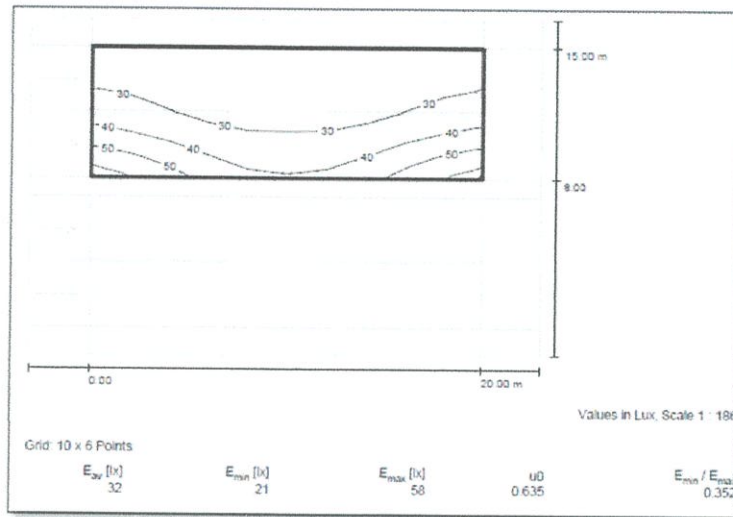
รูปที่ 3.16 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเกาะกลาง บนถนน 4 ช่องทาง

รูปที่ 3.16 เป็นการติดตั้งเสาไฟถนนฝั่งคู่บนถนนความกว้าง 4 ช่องทางเดินรถและมีเกาะกลาง โดยติดตั้งเสาไฟถนนอยู่บริเวณเกาะกลาง



รูปที่ 3.17 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเกาะกลาง บนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านซ้าย

จากรูปที่ 3.17 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งบริเวณเกาะกลาง ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ( $E_{av}$ ) มีค่า 32 ลักซ์ ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 21.5 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของแสง ( $E_{min}/E_{max}$ ) มีค่า 0.352 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.17



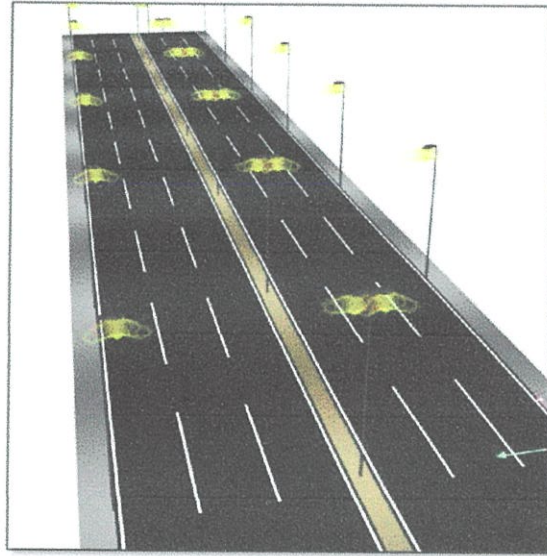
รูปที่ 3.18 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบเกาะกลางบนถนน 4 ช่องทาง ทางด้านขวา

จากรูปที่ 3.18 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งบนเกาะกลาง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งเสาไฟถนนในลักษณะแบบนี้ จะให้ค่าความเข้มแสงที่มากกว่าการติดตั้งใน 2 กรณีที่ได้กล่าวมาข้างต้นและค่าความเข้มแสงมีค่าเท่ากันทั้งถนนด้านซ้ายและด้านขวา ทั้งยังให้ความสม่ำเสมอทางแสงที่เท่ากันอีกด้วย แต่ความเข้มแสงจะลดลงตามระยะห่างระหว่างดวงหลอดจนถึงทางเดินเท้า จะเห็นได้ว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงได้ความสม่ำเสมอทางแสงที่ดีกว่าหลอดโซเดียมความดันสูง

### 3.2.4 การติดตั้งบนเกาะกลางและติดตั้งฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทาง

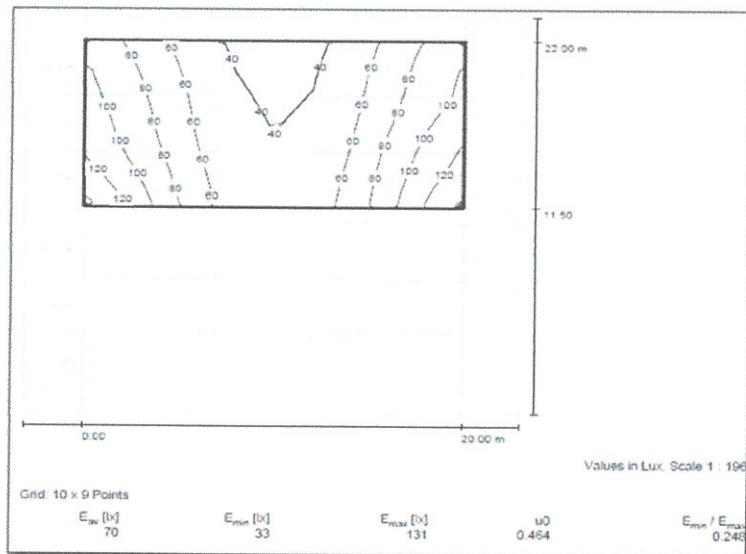
การติดตั้งหลอดไฟถนนได้อ้างอิงมาตรฐานจากกรมทางหลวงและสภาวิศวกร โดยให้ช่องทางเดินรถกว้างช่องทางละ 3.5 เมตร ทางเดินเท้ากว้าง 1.5 เมตร เสาไฟฟ้ามีความสูง 9 เมตร เกาะกลางกว้าง 1 เมตรและระยะห่างระหว่างเสามีค่า 20 เมตร ซึ่งสามารถแบ่งกรณีการติดตั้งออกได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูง (HPS)



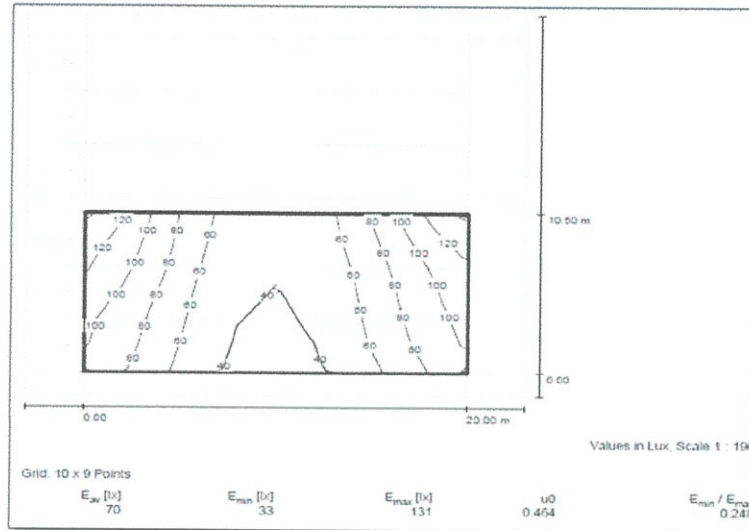
รูปที่ 3.19 การติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบติดตั้งบนเกาะกลาง และติดตั้งฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทาง

รูปที่ 3.19 เป็นการติดตั้งเสาไฟถนนฝั่งคู่และบริเวณเกาะกลางบนถนน โดยที่ถนนมีความกว้างเท่ากับ 6 ช่องทางเดินรถ



รูปที่ 3.20 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบติดตั้งบนเกาะกลางและติดตั้งฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทางทางด้านขวา

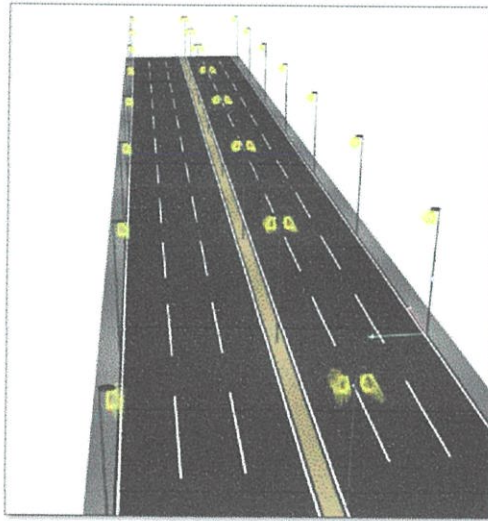
จากรูปที่ 3.20 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดโซเดียมความดันสูงที่ติดตั้งเสาไฟถนนฝั่งคู่และบริเวณเกาะกลางซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ( $E_{av}$ ) มีค่า 70 ลักซ์ ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 21.5 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของแสง ( $E_{min}/E_{max}$ ) มีค่า 0.248 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.17



รูปที่ 3.21 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดโซเดียมความดันสูงแบบติดตั้งบนเกาะกลางและติดตั้งฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทางทางด้านซ้าย

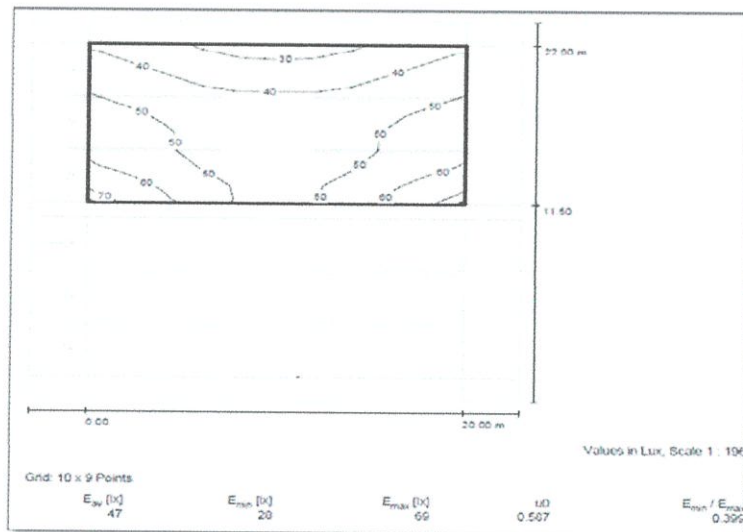
จากรูปที่ 3.21 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดโซเดียมความดันสูงที่ติดตั้งบนเกาะกลางและติดตั้งฝั่งตรงข้าม ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งเสาไฟถนนในลักษณะแบบนี้ จะให้ค่าความเข้มแสงที่มากกว่าการติดตั้งใน 3 กรณีที่ได้กล่าวมาข้างต้นและค่าความเข้มแสงมีค่าเท่ากันทั้งถนนด้านซ้ายและด้านขวา อีกทั้งยังให้ความสม่ำเสมอทางแสงที่เท่ากัน

กรณีที่ 2 ติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs)



รูปที่ 3.22 การติดตั้งหลอดไฟถนนแบบการติดตั้งหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสง ติดตั้งบนเกาะกลาง และติดตั้งฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทาง

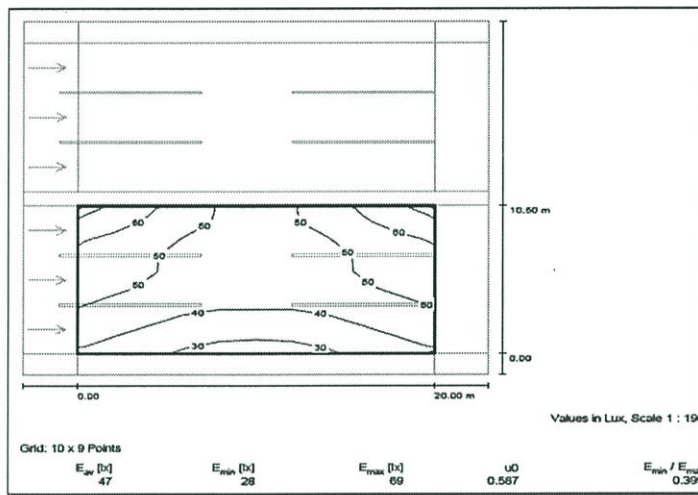
รูปที่ 3.22 เป็นการติดตั้งเสาไฟถนนฝั่งคู่ และบริเวณเกาะกลางบนถนนที่มีความกว้างเท่ากับ 6 ช่องทางเดินรถ



รูปที่ 3.23 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบติดตั้งบนเกาะกลาง และติดตั้งฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทางทางด้านขวา

จากรูปที่ 3.23 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งเสาไฟถนนฝั่งคู่และบริเวณเกาะกลาง จะเห็นว่ามีค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ( $E_{av}$ )

มีค่า 47 ลักซ์ ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 21.5 ลักซ์ และค่าความสม่ำเสมอของแสง ( $E_{min}/E_{max}$ ) มีค่า 0.39 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.17



รูปที่ 3.24 การกระจายแสงของหลอดไฟถนนชนิดหลอดไดโอดเปล่งแสงแบบติดตั้งบนเกาะกลาง และติดตั้งฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทางทางด้านซ้าย

จากรูปที่ 3.24 เป็นการแสดงถึงเส้นการกระจายแสง (Isolines) ของหลอด ไดโอดเปล่งแสงที่ติดตั้งบนเกาะกลางและฝั่งตรงข้าม ซึ่งจะเห็นได้ว่าการติดตั้งเสาไฟถนนในลักษณะ แบบนี้ จะให้ค่าความเข้มแสงที่มากกว่าการติดตั้งใน 3 กรณีที่ได้กล่าวมาข้างต้นและค่าความเข้มแสงมี ค่าเท่ากันทั้งถนนด้านซ้ายและด้านขวา ทั้งยังให้ความสม่ำเสมอทางแสงที่เท่ากันอีกด้วย จะเห็นได้ว่า หลอดไดโอดเปล่งแสงได้ความสม่ำเสมอทางแสงที่ดีกว่าหลอดโซเดียมความดันสูง

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบการติดตั้งไฟถนน ประเภทหลอดโซเดียมความดันสูง (HPS) 250 วัตต์และ หลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs) 110 วัตต์

ชนิด การติดตั้ง	ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย	หลอดโซเดียม ความดันสูง	หลอดไดโอด เปล่งแสง	ค่ามาตรฐาน
1). ติดตั้งแบบฝั่งเดียว ถนน 2 ช่องทาง		25	24	21.5
2). ติดตั้งแบบฝั่งคู่ ถนน 4 ช่องทาง		38	29	21.5
3). ติดตั้งบนเกาะกลาง ถนน 4 ช่องทาง		47	32	21.5
4). ติดตั้งบนเกาะกลางและฝั่งตรงข้าม ถนน 6 ช่องทาง		70	47	21.5

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบความสม่ำเสมอของความสว่าง ระหว่างหลอดโซเดียมความดันสูง (HPS) 250 วัตต์และหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs) 110 วัตต์

ชนิด การติดตั้ง	ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย			ความสม่ำเสมอของความสว่าง ( $E_{min}/E_{max}$ )			ความสม่ำเสมอทั้งหมด (overall uniformity: $U_0$ )		
	HPS	LED	มาตรฐาน	HPS	LED	มาตรฐาน	HPS	LED	มาตรฐาน
1). ติดตั้งแบบฝังเดี่ยว ถนน 2 ช่องทาง	0.206	0.636	0.17	0.419	0.830	0.4			
2). ติดตั้งแบบฝังคู่ ถนน 4 ช่องทาง	0.318	0.591	0.17	0.522	0.742	0.4			
3). ติดตั้งบนเกาะกลาง ถนน 4 ช่องทาง	0.209	0.352	0.17	0.423	0.635	0.4			
4). ติดตั้งบนเกาะกลางและฝังตรงข้าม ถนน 6 ช่องทาง	0.248	0.399	0.17	0.464	0.587	0.4			

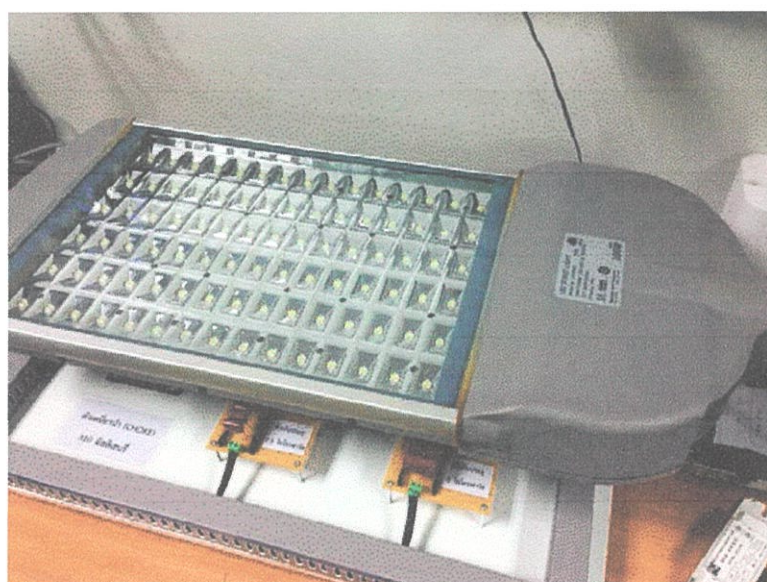
จากตารางการเปรียบเทียบการติดตั้งไฟถนนทั้งสองตาราง ระหว่างหลอดโซเดียมความดันสูง (HPS) 250 วัตต์และหลอดไดโอดเปล่งแสง (LEDs) 110 วัตต์ สามารถสรุปได้ว่า ในลักษณะถนนและการจัดวางตำแหน่งเสาที่แตกต่างกันดังตัวอย่างที่แสดงไว้ข้างต้น พบว่าการกระจายแสงของหลอดไฟโซเดียมความดันสูงและหลอดไดโอดเปล่งแสง มีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่หลอดไดโอดเปล่งแสงมีการกระจายของแสงที่สม่ำเสมอกว่า และในปริมาณความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกัน หลอดไดโอดเปล่งแสงมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงมากกว่า 100 วัตต์ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการที่ต้องการลดการใช้พลังงาน เพื่อลดการผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ข้อเสียของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่เกิดขึ้นคือ ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า จึงจำเป็นที่จะต้องทำการกรองสัญญาณรบกวนออกด้วยวงจรกรองความถี่ เพื่อที่จะลดสัญญาณรบกวนออกจากระบบไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพมากขึ้น

## บทที่ 4

### การออกแบบการทดลองทางฮาร์มอนิก

#### 4.1 การศึกษาผลของฮาร์มอนิกที่เกิดจากชุดขับหลอดไฟถนน

ในการทดลองได้ใช้ชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาดกำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ มีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 5 แอมป์แอมป์ โดยการทดลองครั้งนี้ได้ทำการต่อชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเข้ากับหลอดไดโอดเปล่งแสงโดยตรงเพื่อทำการศึกษาถึงผลของฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจากชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ทำให้คุณภาพกำลังไฟฟาลดลงเนื่องจากการสวิตซ์ที่มีความถี่สูงในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำมาจ่ายให้แก่หลอดไดโอดเปล่งแสงตามค่าพิกัดที่ระบุไว้ของหลอด

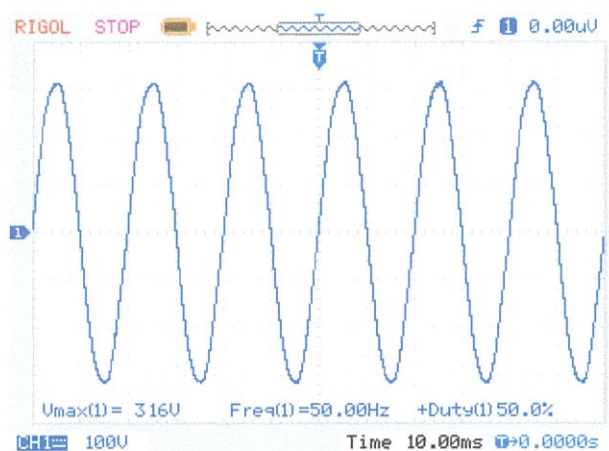


รูปที่ 4.1 หลอดไดโอดเปล่งแสงขนาด 100 วัตต์ ที่ใช้ในการทดลอง

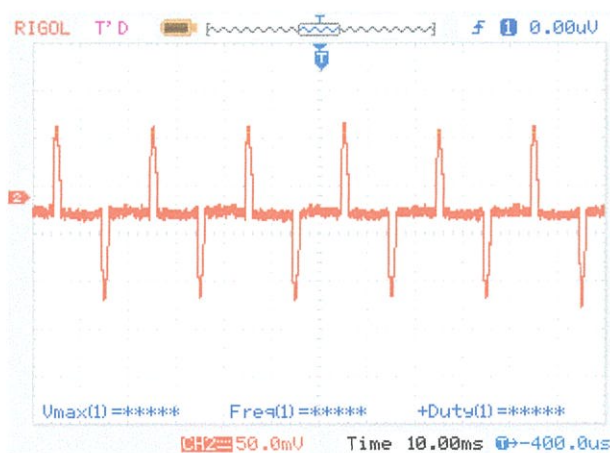
หลังจากทำการทดลองโดยการต่อชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเข้ากับหลอดไดโอดเปล่งแสงและทำการบันทึกค่าที่เกี่ยวข้องของทางกำลังไฟฟ้าต่างๆ รวมถึงบันทึกรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสำหรับระบบทดสอบที่ติดตั้งชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงโดยไม่มีการติดตั้งวงจรกรองฮาร์มอนิก จะพบว่ามีการทดลองที่ได้ ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดค่าของหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้งานร่วมกับตัวขับหลอด

ข้อมูลที่วัดค่า	Power (W)	Apparent Power (VA)	Reactive Power (Var)	PF	DPF	%THD <sub>v</sub>	V <sub>rms</sub> (V)	%THD <sub>i</sub>	I <sub>rms</sub> (A)
หลอด ไดโอดเปล่งแสง	30	55	47	0.54	0.99	2.1	223.9	146.1	0.313
หลอดโซเดียม ความดันสูง	300	370	216	0.82	0.83	2.1	225.3	18.5	0.255



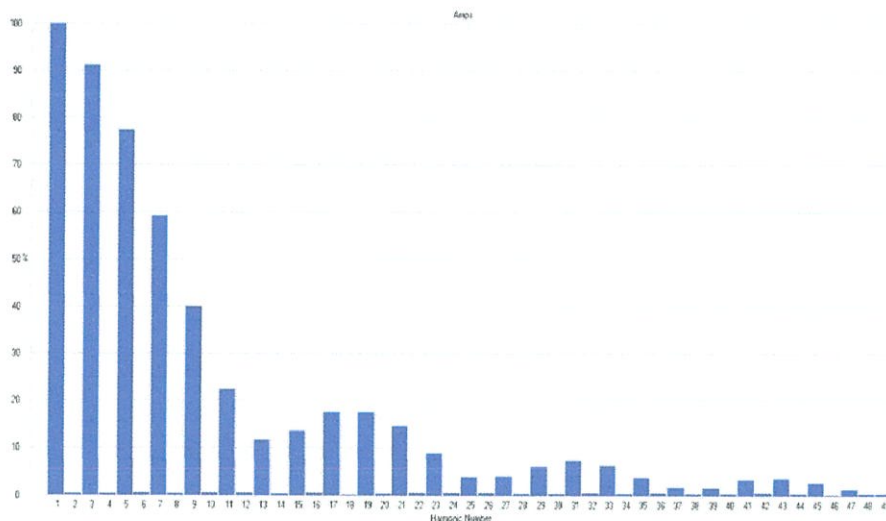
(a) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า



(b) รูปคลื่นกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 4.2 รูปคลื่นของชุดขับหลอดที่ใช้ร่วมกับหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง

เมื่อทำการบันทึกค่าพร้อมทั้งบันทึกกราฟแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองแล้ว จึงได้ทำการบันทึกค่าสเปกตรัมความถี่ของกระแสฮาร์มอนิกขาเข้าของชุดทดลอง ได้ค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกขาเข้า ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดจากชุดขับหลอด

จากรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาที่สเปกตรัมความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจากชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง พบว่ามีค่าความผิดเพี้ยนสูงเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบตามมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ส่องสว่างในมาตรฐาน IEC 1000-3-2 คลาสซี ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าจำกัดกระแสฮาร์มอนิกสำหรับอุปกรณ์กลุ่มซี

ลำดับฮาร์มอนิก (n)	ค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงสุดที่ยอมรับได้ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกระแสความถี่หลักมูล
2	2
3	$30 \cdot \lambda$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (เฉพาะลำดับคี่เท่านั้น)	3

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจวัดฮาร์โมนิกของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอด

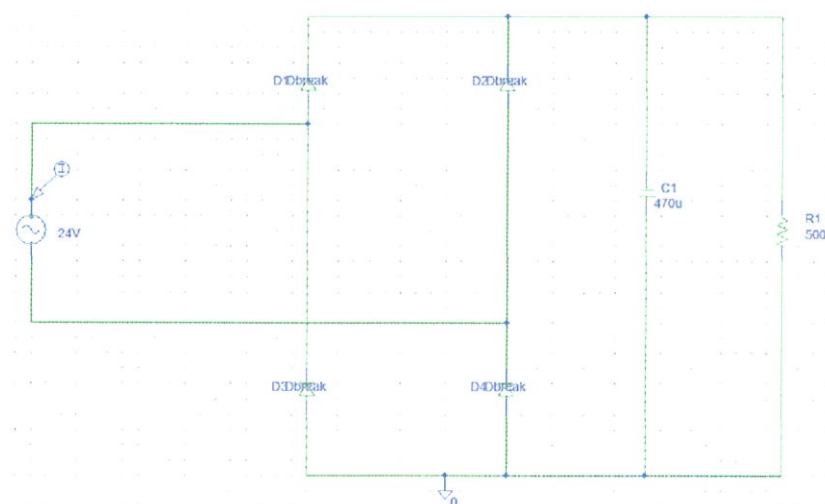
ลำดับฮาร์โมนิก	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
%THD <sub>i</sub>	100	91	77.2	59.2	40.9	23.2	19.9	13.1	17	17.5	14.7

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่าค่าขนาดความผิดเพี้ยนของกระแสฮาร์โมนิกในแต่ละลำดับมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) คลาสซี ซึ่งเป็นอุปกรณ์ส่องสว่าง รวมทั้งอุปกรณ์หรือแสง ในทุกลำดับ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องทำการลดปริมาณกระแสฮาร์โมนิกขาเข้า เพื่อให้ค่ากระแสฮาร์โมนิกอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมตามที่มาตรฐานกำหนด โดยในการลดค่าฮาร์โมนิกจะทำการศึกษาและออกแบบวงจรกรองความถี่ฮาร์โมนิกแบบพาสซีฟ

#### 4.2 การคำนวณและออกแบบวงจรกรองความถี่

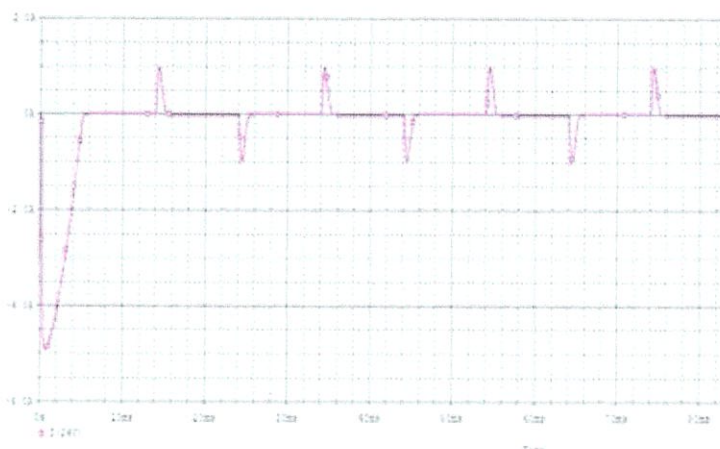
หลังจากทำการศึกษาค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกแล้ว ในขั้นตอนต่อมาได้ทำการศึกษาถึงรูปแบบวงจรกรองความถี่ฮาร์โมนิกชนิดต่างๆ และในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนหรือฮาร์โมนิกนั้นต้องทราบถึงพฤติกรรมของ ชุดขับหลอดของไดโอดเปล่งแสงเสียก่อน เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างวงจรต้นแบบของชุดขับหลอดของไดโอดเปล่งแสง ในที่นี้จะจำลองโดยใช้โปรแกรม Pspice Schematics แล้วจึงทำการคำนวณค่าของอุปกรณ์ที่จะใช้สร้างชุดทดลอง

##### 4.2.1 การจำลองชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงจากโปรแกรม Pspice Schematics



รูปที่ 4.4 แบบจำลองวงจรสมมูลชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง

จากรูปวงจรข้างต้นมีการใช้แรงดันแหล่งจ่ายเท่ากับ 24 โวลต์ ตัวเก็บประจุเท่ากับ 470 ไมโครฟารัด จำลองวงจรด้วยโหลดความต้านทานเท่ากับ 500 โอห์ม จะได้กราฟกระแสขาเข้าของวงจรดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 กราฟกระแสขาเข้าของชุดขับโหลดไดโอดเปล่งแสง

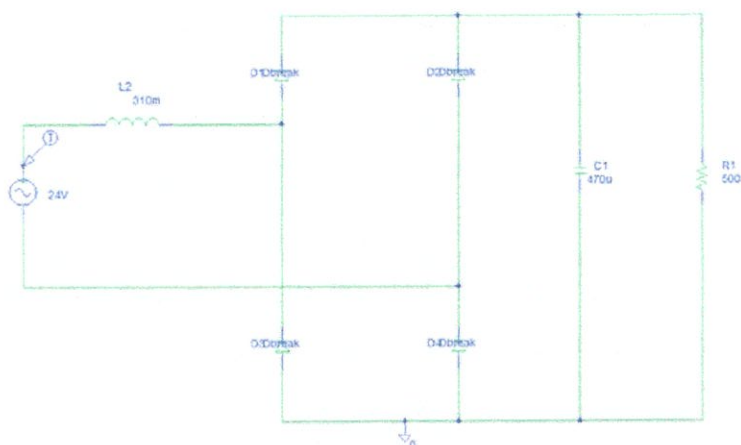
จะเห็นว่ากราฟกระแสไฟฟ้าขาเข้าจากการจำลองมีลักษณะพฤติกรรมเหมือนกับกราฟกระแสไฟฟ้าขาเข้าจากชุดขับโหลดไดโอดเปล่งแสงที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.2.2 การคำนวณค่าอุปกรณ์สำหรับวงจรกรองฮาร์มอนิก

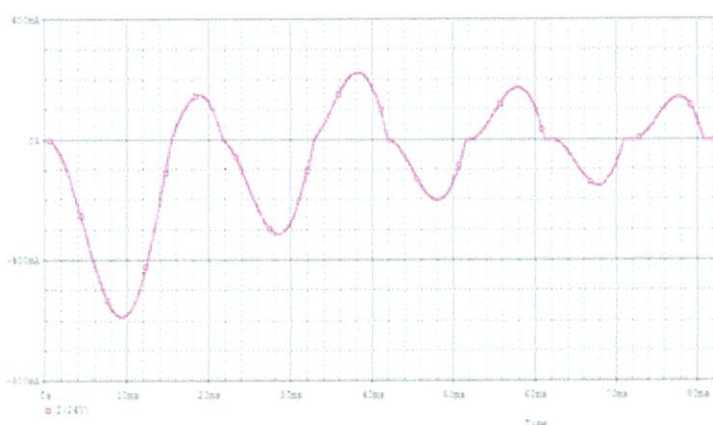
เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้มีอยู่ภายในระบบไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องกรองสัญญาณรบกวนนั้นทิ้งไป ซึ่งสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากชุดขับโหลดไดโอดเปล่งแสงนั้นไม่ผ่านมาตรฐานไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) คลาสซี จึงได้ทำการจำลองสร้างวงจรกรองฮาร์มอนิกโดยแบ่งการจำลองวงจรกรองฮาร์มอนิกออกเป็น 3 กรณี คือ

##### 4.2.2.1 วงจรกรองฮาร์มอนิกกรณีใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย (AC-side Inductor Filter)

แนวคิดในการออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย คือ การนำเส้นลวดทองแดงอบน้ำยาเคลือบฉนวนพันเป็นคอยล์ เพื่อใช้ในการกรองกระแสหรือการเชื่อมวงจรต่างๆ ในการทดลองนี้เลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวกรองกระแสไฟฟ้า คือ ใช้สำหรับลดขนาดของกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นให้น้อยลงไป และกำจัดแรงดันไฟฟ้ากระแสเพื่่อมกระแสสลับที่ตำแหน่งขาออกของวงจรเรียงกระแส โดยค่าตัวเหนี่ยวนำที่ใช้มีค่า 0.310 เฮนรี่ จากการจำลองด้วยโปรแกรม Pspice ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 แบบจำลองวงจรสมมูลชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง เมื่อใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย



รูปที่ 4.7 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขาเข้าเมื่อใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย

รูปที่ 4.6 แสดงรูปวงจรสมมูลในการจำลองเพื่อทดสอบการใช้งานตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายเพื่อการกรองกระแสฮาร์มอนิก และรูปที่ 4.7 แสดงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อติดตั้งตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายที่ได้จากการจำลอง

#### 4.2.2.2 วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 (Single-tuned 3<sup>rd</sup> order)

แนวคิดในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 กำหนดให้มีจุดตัดความถี่ ( $f_c$ ) ที่สัญญาณรบกวนลำดับที่ 3 ซึ่งมีความถี่อยู่ที่ 150 เฮิร์ตซ์ โดยมีการกำหนดขนาดตัวเก็บประจุที่มีขายตามท้องตลาดเท่ากับ 2.3 ไมโครฟารัด เพื่อเป็นแนวทางในการหาขนาดของตัวเหนี่ยวนำต่อไป

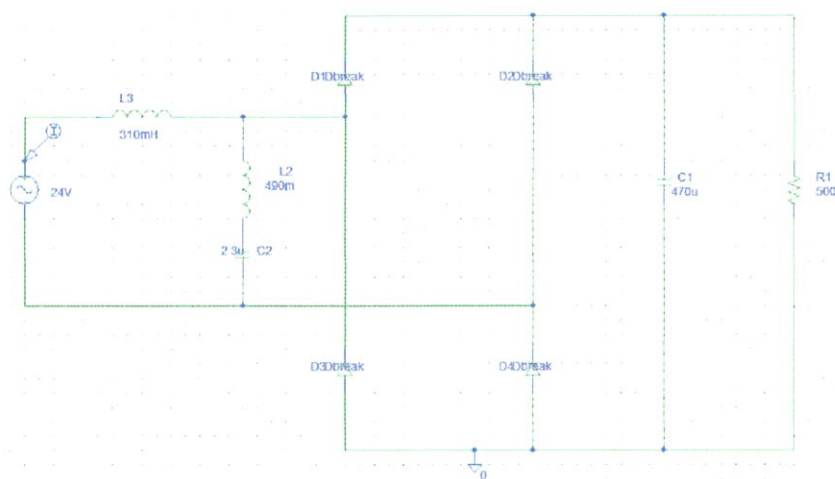
$$\text{จาก} \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.1)$$

แทนค่า  $f = 150 \text{ Hz}$ ,  $C = 2.3 \text{ uF}$  ลงในสมการที่ (4.1) เพื่อหาค่าตัวเหนี่ยวนำ ( $L$ )

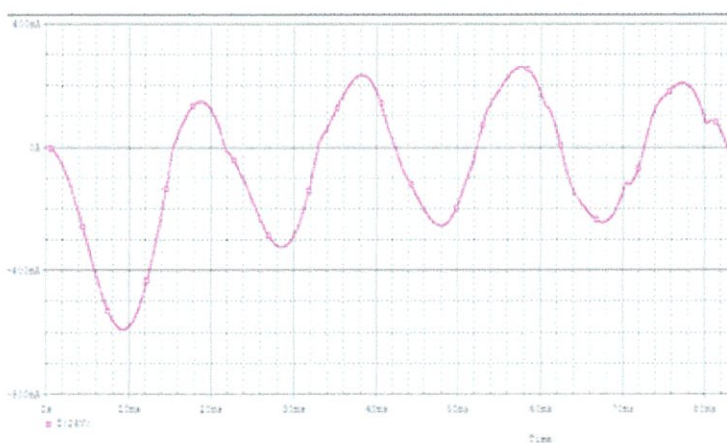
$$\text{จะได้} \quad 150 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L} \times 2.3 \times 10^{-6}}$$

$$L = 0.489 \text{ เฮนรี่}$$

นำค่าตัวเก็บประจุขนาด 2.3 ไมโครฟารัด และตัวเหนี่ยวนำขนาด 0.489 เฮนรี่ ที่ได้มาจำลองวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนโดยมีการใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายขนาด 0.310 เฮนรี่



รูปที่ 4.8 แบบจำลองวงจรสมมูลชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง  
เมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3



รูปที่ 4.9 กราฟกระแสไฟฟ้าขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง  
เมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3

รูปที่ 4.8 แสดงรูปวงจรสมมูลในการจำลองเพื่อทดสอบการใช้วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 เพื่อการกรองกระแสฮาร์มอนิก และรูปที่ 4.9 แสดงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อติดตั้งวงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 ที่ได้จากการจำลอง

4.2.2.3 วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5 (Single-tuned 5<sup>th</sup> order)

แนวคิดในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5 กำหนดให้มีจุดตัดความถี่ ( $f_c$ ) ที่สัญญาณรบกวนลำดับที่ 5 ซึ่งมีความถี่อยู่ที่ 250 เฮิร์ตซ์ โดยมีการกำหนดขนาดตัวเก็บประจุที่มีขายตามท้องตลาดเท่ากับ 3 ไมโครฟารัด เพื่อเป็นแนวทางในการหาขนาดของตัวเหนี่ยวนำต่อไป

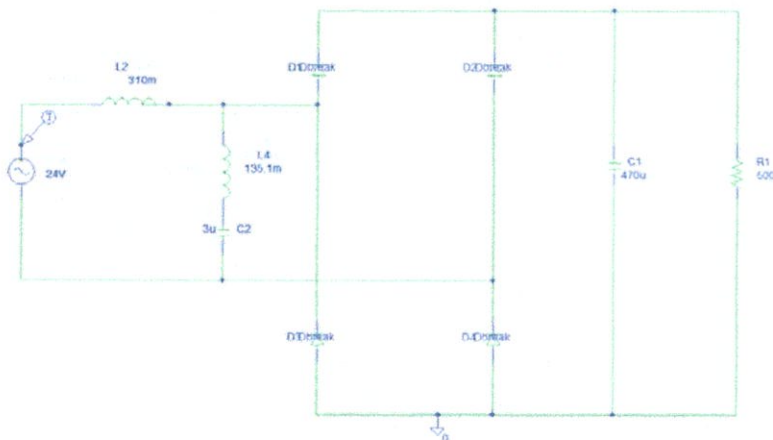
จาก 
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{4.2}$$

แทนค่า  $f = 250 \text{ Hz}$ ,  $C = 3 \text{ uF}$  ลงในสมการที่ (4.2) เพื่อหาค่าตัวเหนี่ยวนำ ( $L$ )

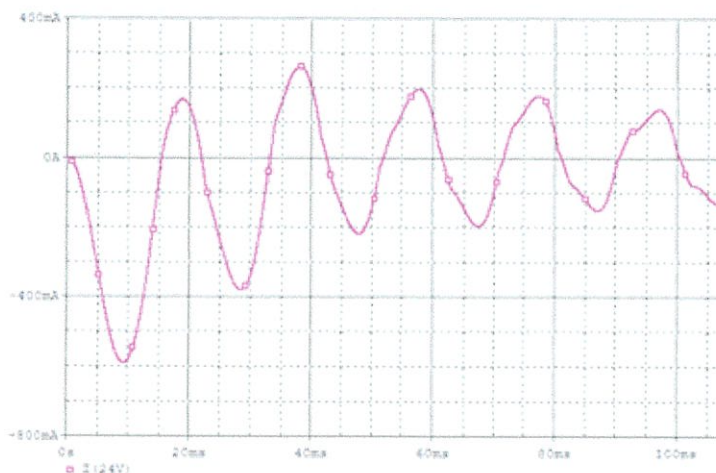
จะได้ 
$$250 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times 3 \times 10^{-6}}}$$

$$L = 0.1351 \text{ เฮนรี่}$$

นำค่าตัวเก็บประจุขนาด 3 ไมโครฟารัด และตัวเหนี่ยวนำขนาด 0.1351 เฮนรี่ จำลองวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนโดยมีการใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายขนาด 0.310 เฮนรี่



รูปที่ 4.10 แบบจำลองวงจรสมมูลชุดขับโหลดไดโอดเปล่งแสง เมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5



**รูปที่ 4.11** กราฟกระแสขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง  
เมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5

รูปที่ 4.10 แสดงรูปวงจรมูลในการจำลองเพื่อทดสอบการใช้วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 เพื่อการกรองกระแสฮาร์มอนิก และรูปที่ 4.11 แสดงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อติดตั้งวงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 ที่ได้จากการจำลอง

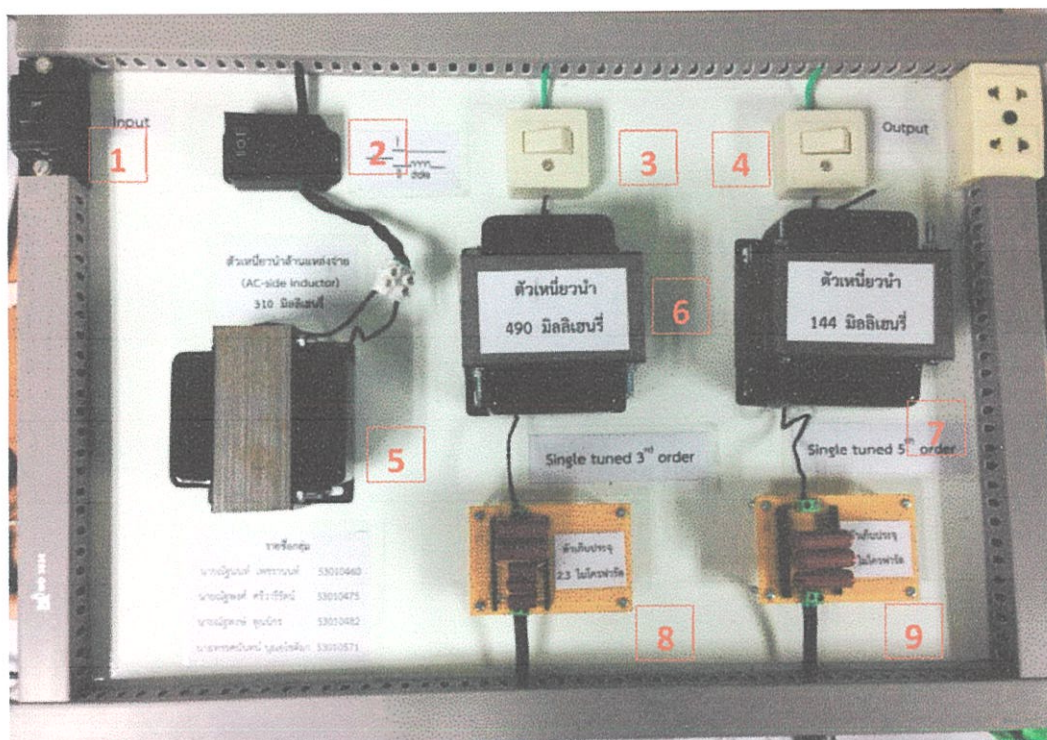
เมื่อได้ทำการจำลองเพื่อศึกษาแนวโน้มที่จะสร้างชุดทดลองเพื่อกรองสัญญาณฮาร์มอนิกแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างวงจรต้นแบบขึ้นมาใช้ทดสอบจริง เพื่อพิสูจน์ว่าผลการศึกษานี้สามารถที่จะนำมาใช้งานจริงได้หรือไม่ โดยวงจรกรองฮาร์มอนิกที่จะทำการสร้างขึ้นมานั้น จะเป็นวงจรต้นแบบ โดยจัดทำขึ้นให้สามารถทำการทดลองได้ทั้งหมด 3 กรณี ดังที่ได้จำลองจากโปรแกรม Pspice ซึ่งจะถูกล่ามถึงในบทต่อไป

## บทที่ 5

### การออกแบบและสร้างวงจรต้นแบบ

#### 5.1 การสร้างวงจรต้นแบบ

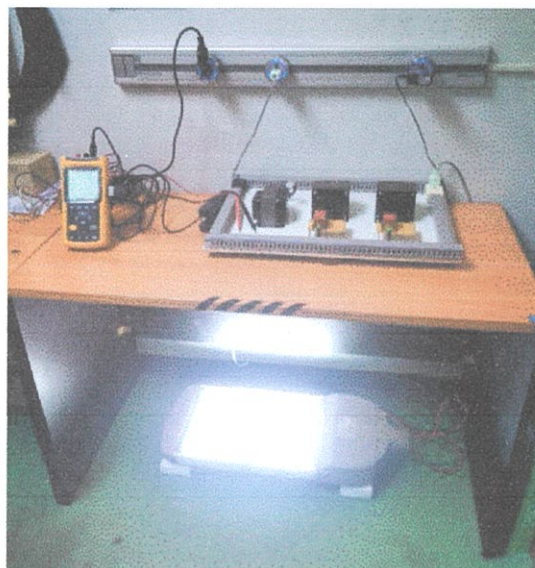
ในบทที่ 4 นั้น ได้ทำการจำลองวงจรกรองฮาร์มอนิกด้วยโปรแกรม Pspice โดยมีการคำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุที่ใช้สำหรับวงจรกรองด้วย ในบทนี้จึงได้มีการนำค่าเหล่านั้นมาปรับใช้สร้างวงจรกรองฮาร์มอนิกต้นแบบขึ้นมา สำหรับการออกแบบวงจรต้นแบบนี้จะแบ่งออกเป็น 3 กรณี โดยมีรายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ดังตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.1 วงจรกรองฮาร์มอนิกชุดต้นแบบ

ตารางที่ 5.1 รายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง

1. สวิตช์หลักสำหรับเปิด/ปิดวงจร	2. สวิตช์สำหรับใช้งานตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย
3. สวิตช์วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3	4. สวิตช์วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5
5. ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย 0.310 เฮนรี่	6. ตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรอง 0.490 เฮนรี่
7. ตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรอง 0.144 เฮนรี่	8. ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง 2.3 ไมโครฟารัด
9. ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง 3 ไมโครฟารัด	10. เต้ารับไฟฟ้าด้านขาออก



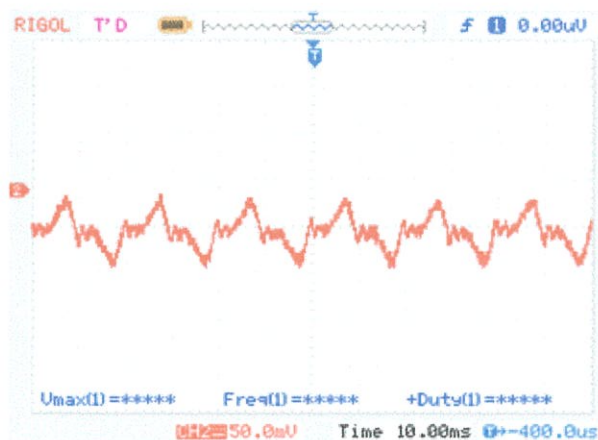
รูปที่ 5.2 การใช้งานวงจรกรองฮาร์มอนิกตัวต้นแบบร่วมกับหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง

#### 5.1.1 กรณีใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย

จากการจำลองในบทที่ 4 หัวข้อ 4.2.2 ซึ่งมีการเลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายเท่ากับ 0.310 เฮนรี ในการสร้างวงจรต้นแบบจึงได้มีการเลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยตัวเหนี่ยวนำที่ใช้มีแกนเป็นเหล็ก ลักษณะการจัดวางของแกนเหล็กเป็นแบบอีไอ ขดลวดที่ใช้พันเป็นขดลวดฉนวนอบน้ำยา พันขดลวดจนได้ค่าความเหนี่ยวนำตามที่ต้องการ



รูปที่ 5.3 ส่วนของตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย ขนาด 0.310 เฮนรี



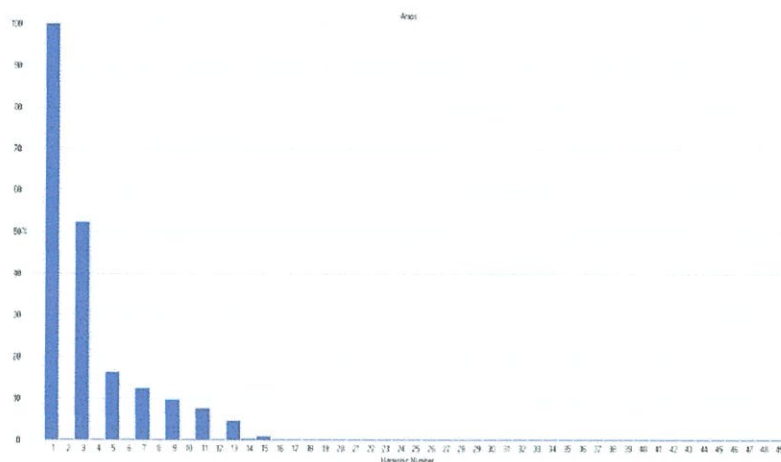
รูปที่ 5.4 กระแสขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง ที่ใช้งานร่วมกับหลอดไฟถนนขนาด 100 วัตต์ หลังใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย

จะพบว่าเมื่อใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย จะทำให้เกิดการหน่วงกระแสขาเข้าจนมีรูปคลื่นดังรูปที่ 5.4 และมีข้อมูลทางไฟฟ้าดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการตรวจวัดค่าของหลอดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง

ข้อมูลที่วัดได้	หลอดไฟถนนขนาด 100 วัตต์		ความเปลี่ยนแปลงหลังใส่วงจรกรองฮาร์มอนิก (%)
	ก่อนใส่วงจรกรองฮาร์มอนิก	หลังใส่วงจรกรองฮาร์มอนิก	
กำลังไฟฟ้าจริง (W)	30	29	-3.33
กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)	55	44	-20.00
กำลังไฟฟ้าเสมือน (VAR)	47	32	-31.91
ความถี่ไฟฟ้า (Hz)	50	50	0
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.54	0.67	24.07
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเชิงมุม	0.99	0.95	-4.04
%ความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิก	2.1	2	-4.76
แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (V)	223.9	223.5	-0.18
%ความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิก	146.1	58	-60.30
กระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (A)	0.313	0.162	-48.24

จากตารางที่ 5.3 พบว่าค่าความผิดเพี้ยนรวมของกระแสฮาร์มอนิกขาเข้าที่วัดได้เมื่อใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย และใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงจะมีค่าลดลงกว่าตอนที่ไม่ได้ใส่ตัวเหนี่ยวนำคือ ลดลงจาก 146.1 เปอร์เซ็นต์ เป็น 58 เปอร์เซ็นต์ โดยค่ากระแสฮาร์มอนิกในแต่ละลำดับที่วัดได้แสดงดังตารางที่ 5.3



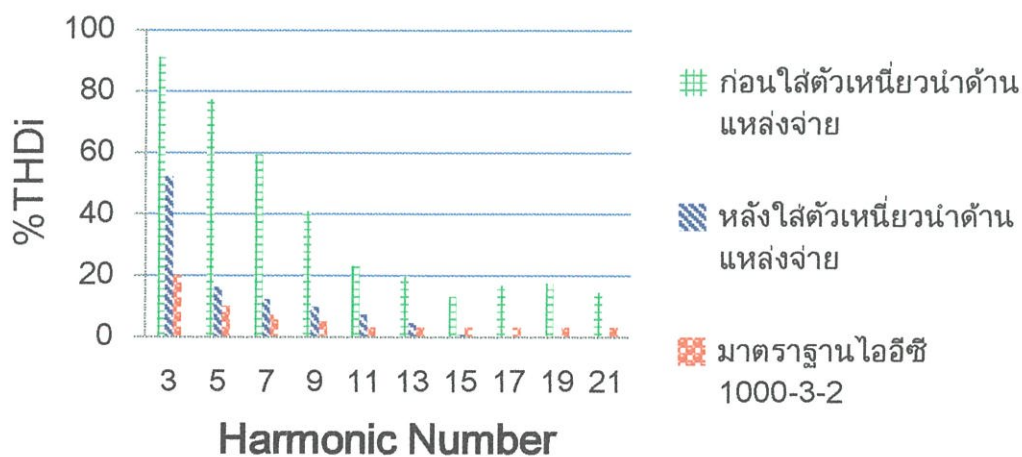
รูปที่ 5.5 สเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกขาเข้า หลังใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย

จากรูปที่ 5.5 แสดงสเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกขาเข้าหลังใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายแล้ว ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของสเปกตรัมมีค่าลดลงอย่างมากจากค่าเมื่อยังไม่ใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย แต่ค่าที่บันทึกได้ยังคงไม่สอดคล้องตามที่มาตรฐานได้ระบุเอาไว้

ตารางที่ 5.3 ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกของโหลดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย

ลำดับฮาร์มอนิก	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
ก่อนใส่ %THD <sub>i</sub>	100	91	77.2	59.2	40.9	23.2	19.9	13.1	17	17.5	14.7
หลังใส่ %THD <sub>i</sub>	100	52.2	16.3	12.3	9.7	7.4	4.6	0.9	0.2	0.2	0.2

จากนั้นนำค่ากระแสฮาร์มอนิกที่วัดได้มาทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) คลาสซี ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายกับมาตรฐานไออีซี 1000-3-2

จากรูปที่ 5.6 พบว่าเมื่อใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายทำงานร่วมกับชุดขับหลอด ไดโอดเปล่งแสง จะส่งผลให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่วัดได้นั้นมีค่าลดลงจากก่อนใส่ตัวเหนี่ยวนำ แต่ถึงอย่างไรก็ยังไม่ผ่านมาตรฐานที่ทางไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) คลาสซีกำหนดไว้

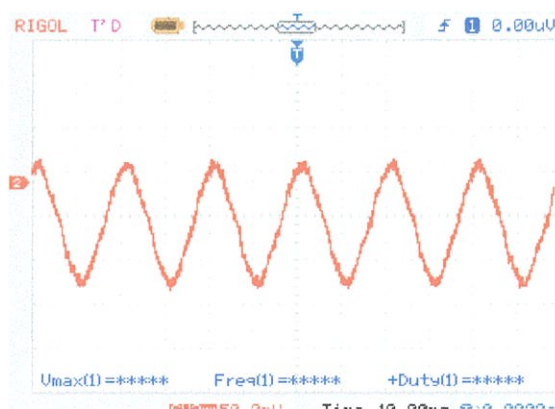
### 5.1.2 กรณีวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 3 (Single-tuned 3<sup>rd</sup> order)

จากการจำลองในบทที่ 4 ซึ่งมีการเลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายเท่ากับ 0.310 เฮนรี และในส่วนของจุดตัดความถี่ที่สัญญาณรบกวนลำดับที่ 3 นั้น มีค่าตัวเก็บประจุขนาด 2.3 ไมโครฟารัด และตัวเหนี่ยวนำขนาด 0.49 เฮนรี

ในการสร้างวงจรต้นแบบจึงได้มีการเลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยตัวเหนี่ยวนำที่ใช้มีแกนเป็นเหล็ก ลักษณะการจัดวางตัวของแกนเหล็กเป็นแบบอีไอ ขดลวดที่ใช้พันเป็นขดลวดฉนวนอบน้ำยา พันขดลวดจนได้ค่าความเหนี่ยวนำตามที่ต้องการ และเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบไม่มีขั้ว



รูปที่ 5.7 ส่วนของวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 3



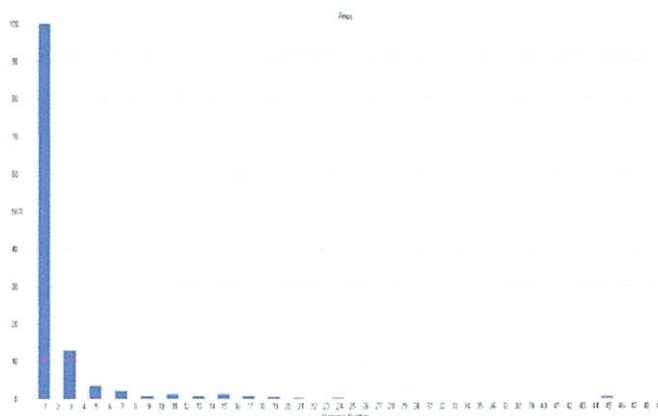
รูปที่ 5.8 กระแสขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง ที่ใช้งานร่วมกับหลอดไฟถนนขนาด 100 วัตต์ หลังใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 3

จะพบว่าเมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 3 จะทำให้กระแสขาเข้ามีรูปคลื่นใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์เป็นอย่างมาก โดยมีข้อมูลทางไฟฟ้าตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการตรวจวัดค่าของโหลดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง

ข้อมูลที่วัดได้	โหลดไฟถนนขนาด 100 วัตต์		ความเปลี่ยนแปลง หลังใส่วงจรกรอง ฮาร์มอนิก (%)
	ก่อนใส่วงจรกรอง ฮาร์มอนิก	หลังใส่วงจรกรอง ฮาร์มอนิก	
กำลังไฟฟ้าจริง (W)	30	34	13.33
กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)	55	59	7.27
กำลังไฟฟ้าเสมือน (VAR)	47	48	2.13
ความถี่ไฟฟ้า (Hz)	50	50	0
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.54	0.59	7.41
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเชิงมุม	0.99	0.63	-36.36
%ความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิก	2.1	2	-4.76
แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (V)	223.9	223.4	-0.22
%ความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิก	146.1	13.7	-90.63
กระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (A)	0.313	0.263	-15.97

จากตารางที่ 5.4 พบว่าค่าความผิดเพี้ยนรวมของกระแสฮาร์มอนิกขาเข้าที่วัดได้เมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 มีค่าลดลงจากก่อนใส่วงจรกรอง คือ ลดลงจาก 146.1 เปอร์เซ็นต์ เป็น 13.7 เปอร์เซ็นต์ โดยค่ากระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับมีค่าดังตารางที่ 5.5



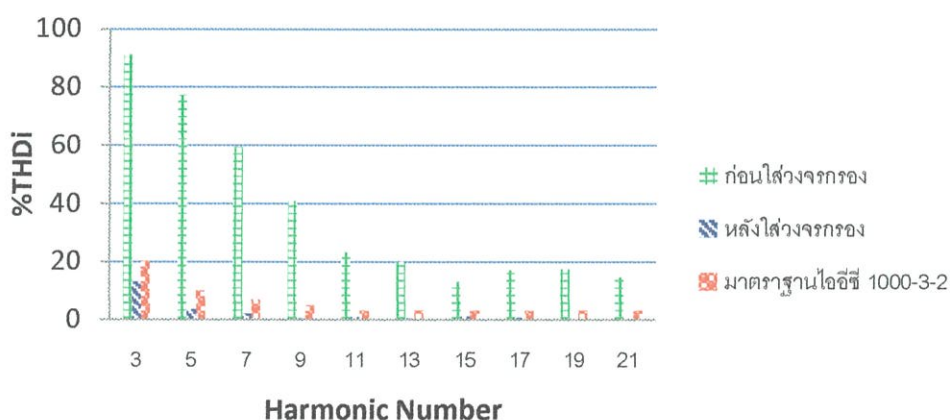
รูปที่ 5.9 สเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกหลังใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3

จากรูปที่ 5.9 จะเห็นว่าขนาดสเปกตรัมความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกแต่ละลำดับลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับก่อนใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3

ตารางที่ 5.5 ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกของโหลดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับโหลดไดโอดเปล่งแสง เมื่อใส่วงจรถองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 3

ลำดับฮาร์มอนิก	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
ก่อนใส่ %THD <sub>i</sub>	100	91	77.2	59.2	40.9	23.2	19.9	13.1	17	17.5	14.7
หลังใส่ %THD <sub>i</sub>	100	12.9	3.5	2.1	0.6	1	0.5	1.1	0.7	0.1	0.3

จากตารางที่ 5.5 เมื่อพิจารณาค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกที่วัดเปรียบเทียบกับมาตรฐานไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) คลาสซี จะพบว่ามีความผิดเพี้ยนผ่านเกณฑ์ตามที่มาตรฐานได้ระบุไว้ โดยแสดงการเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 5.10



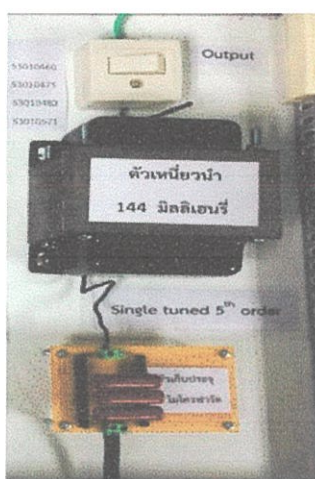
รูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังใส่วงจรถองกับมาตรฐานไออีซี 1000-3-2

จากรูปที่ 5.10 พบว่าเมื่อใส่วงจรถองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 ทำงานร่วมกับชุดขับโหลดไดโอดเปล่งแสง จะส่งผลให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่วัดได้นั้นมีค่าลดลงจากก่อนใส่วงจรถองเป็นอย่างมาก และผ่านมาตรฐานไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) คลาสซีทุกลำดับ

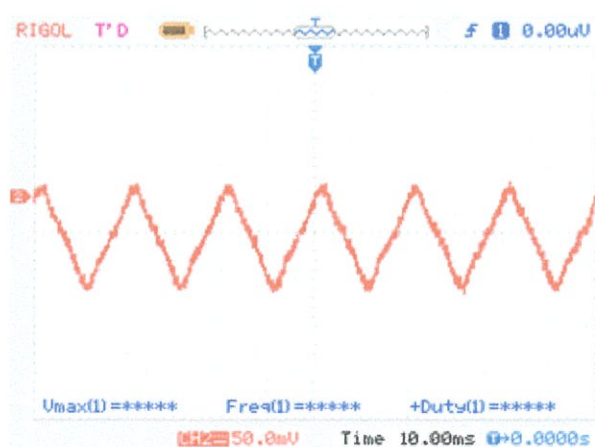
### 5.1.3 กรณีวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 (Single-tuned 5<sup>th</sup> order)

จากการจำลองในบทที่ 4 ซึ่งมีการเลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายเท่ากับ 0.310 เฮนรี และในส่วนของจุดตัดความถี่ที่สัญญาณรบกวนลำดับที่ 5 นั้นมีค่าค่าตัวเก็บประจุขนาด 3 ไมโครฟารัด และตัวเหนี่ยวนำขนาด 144 มิลลิเฮนรี

ในการสร้างวงจรต้นแบบจึงได้มีการเลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยตัวเหนี่ยวนำที่ใช้มีแกนเป็นเหล็ก ลักษณะการจัดวางตัวของแกนเหล็กเป็นแบบอีไอ ขดลวดที่ใช้พันเป็นขดลวดฉนวนอบน้ำยา พันขดลวดจนได้ค่าความเหนี่ยวนำตามที่ต้องการ และเลือกใช้ตัวเก็บประจุแบบไม่มีขั้ว



รูปที่ 5.11 ส่วนของวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5



รูปที่ 5.12 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขาเข้าหลังใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5

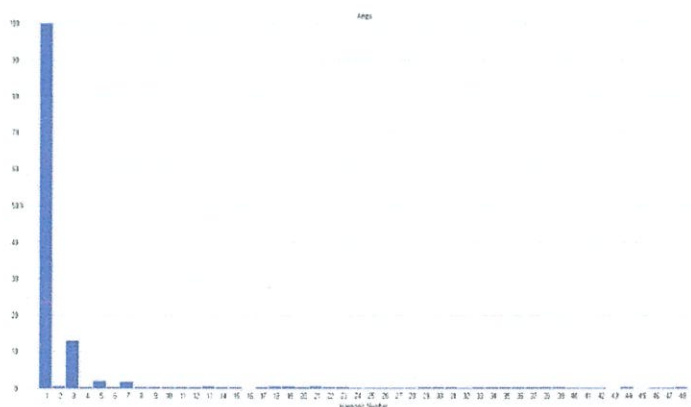
จากรูปที่ 5.12 แสดงรูปคลื่นกระแสขาเข้าของชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงเมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 จะเห็นได้ว่ามีรูปคลื่นเข้าใกล้สัญญาณไซน์มากกว่าตอนที่ไม่ได้ใส่วงจรกรองฮาร์มอนิก เนื่องจากมีการลดทอนค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกออกจากระบบได้

จะพบว่าเมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5 จะทำให้รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าขาเข้าใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มากยิ่งขึ้น โดยมีข้อมูลทางไฟฟ้าตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลการตรวจวัดค่าของโหลดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับโหลดไดโอดเปล่งแสง

ข้อมูลที่วัดได้	โหลดไฟถนนขนาด 100 วัตต์		ความเปลี่ยนแปลง หลังใส่วงจรกรอง ฮาร์มอนิก (%)
	ก่อนใส่วงจรกรอง ฮาร์มอนิก	หลังใส่วงจรกรอง ฮาร์มอนิก	
กำลังไฟฟ้าจริง (W)	30	36	20
กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)	55	74	34.54
กำลังไฟฟ้าเสมือน (VAR)	47	65	38.30
ความถี่ไฟฟ้า (Hz)	50	50	0
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.54	0.49	-9.26
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเชิงมุม	0.99	0.50	-49.49
%ความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิก	2.1	2	-4.76
แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (V)	223.9	223.8	-0.005
%ความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิก	146.1	13	-91.10
กระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (A)	0.313	0.032	-89.78

จากตารางที่ 5.6 พบว่าค่าความผิดเพี้ยนรวมของกระแสฮาร์มอนิกขาเข้าที่วัดได้เมื่อนำใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5 มีค่าลดลงกว่าก่อนใส่วงจรกรอง คือ ลดลงจาก 159.3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 13.2 เปอร์เซ็นต์ โดยค่ากระแสฮาร์มอนิกในแต่ละลำดับที่วัดได้แสดงดังตารางที่ 5.6

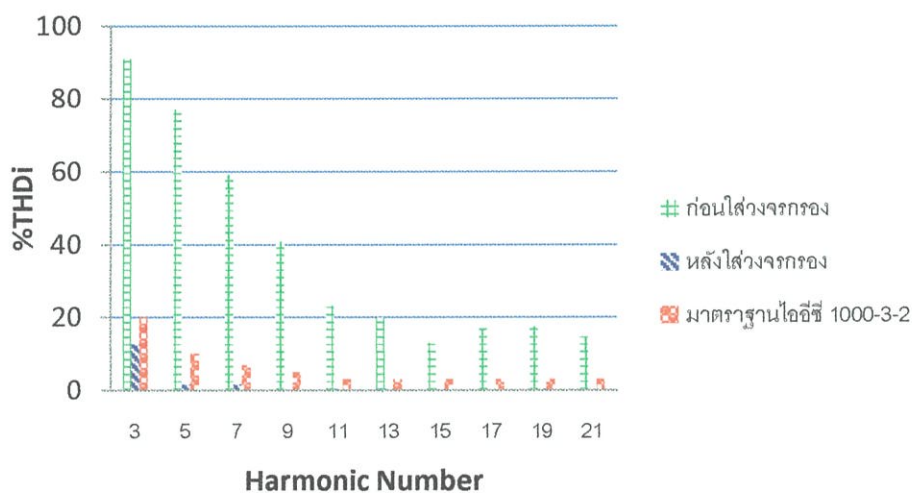


รูปที่ 5.13 สเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกขาเข้าหลังใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5

ตารางที่ 5.7 ผลการตรวจวัดฮาร์มอนิกของโหลดไฟถนนที่ใช้งานร่วมกับชุดขับโหลดไดโอดเปล่งแสง เมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5

ลำดับฮาร์มอนิก	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
ก่อนใส่ %THD <sub>i</sub>	100	91	77.2	59.2	40.9	23.2	19.9	13.1	17	17.5	14.7
หลังใส่ %THD <sub>i</sub>	100	12.7	1.6	4.6	0.1	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.1

จากนั้นนำค่ากระแสฮาร์มอนิกที่วัดได้มาทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) คลาสซี ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังใส่วงจรกรองกับมาตรฐานไออีซี 1000-3-2

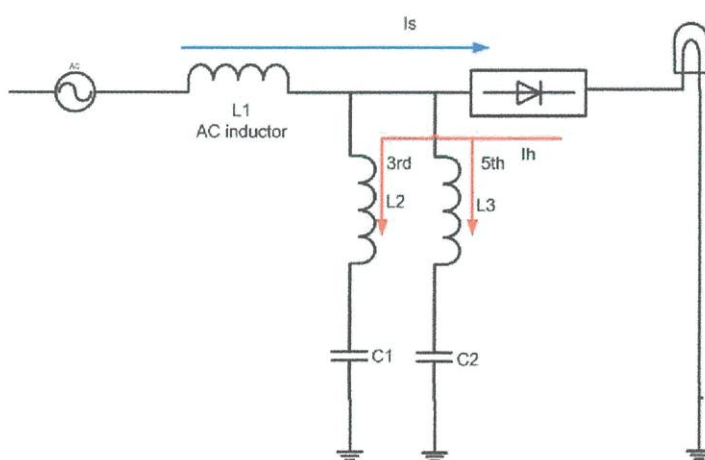
จากรูปที่ 5.14 พบว่าเมื่อใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนเฉพาะความถี่ลำดับที่ 5 ทำงานร่วมกับชุดขับโหลดไดโอดเปล่งแสง จะส่งผลให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่วัดได้นั้นมีค่าลดลงจากก่อนใส่วงจรกรอง ผ่านมาตรฐานไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) คลาสซี ทุกลำดับ

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงของหลอด โดยการจำลองติดตั้งหลอดด้วยโปรแกรมไดอะลักซ์ โดยทำการจำลองลักษณะการจัดวางที่แตกต่างกันตามจำนวนช่องทางเดินรถพบว่าคุณสมบัติทางแสงของหลอดไดโอดเปล่งแสงนั้น มีความเหมาะสม และสามารถนำมาใช้งานเป็นไฟถนนทดแทนหลอดโซเดียมความดันสูงได้ โดยอ้างอิงตามมาตรฐานของกรมทางหลวง อีกทั้งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการทำงานของหลอดไดโอดเปล่งแสงดีกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงมาก คือ ให้แสงสว่างที่เทียบเท่ากันโดยกินกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าถึงครึ่งหนึ่ง และให้สีของวัตถุด้วยค่าดัชนีความถูกต้องทางสีที่ดีกว่ามาก

ในการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นจากการใช้งานชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง พบว่าชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่นำมาใช้งานแม้จะมีราคาถูก แต่มีคุณภาพกำลังไฟฟ้าค่อนข้างแย่ โดยมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ และมีค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกสูงเกินจากมาตรฐานบริษัทสองสว่าง ไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) ชนิดซี อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหากนำมาใช้งานโดยไม่มีการแก้ไขใดๆ อาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวนต่ออุปกรณ์ที่ต่อเชื่อมอยู่ในระบบไฟฟ้าเดียวกัน ทำให้เกิดพลังงานสูญเสียเนื่องมาจากประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำ รวมถึงอาจทำให้อายุการใช้งานของหลอดลดลง จึงจำเป็นต้องทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการใช้วงจรกรองฮาร์มอนิก



รูปที่ 6.1 วงจรกรองฮาร์มอนิกที่ใช้งาน

ตารางที่ 6.1 ผลวิเคราะห์ด้านความผิดพลาดเพี้ยนฮาร์มอนิกจากโหลดไดโอดเปล่งแสง

รูปแบบวงจรที่ใช้	THD <sub>i</sub> (%)	ขนาดฮาร์มอนิกเทียบค่าที่ความถี่หลักมูล (%f)				
		3	5	7	9	11
ขณะไม่ใส่วงจรกรอง	146.1	91.0	77.2	59.2	40.9	23.2
ใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	58.0	52.2	16.3	12.3	9.7	7.4
ใส่วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 และตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	13.7	12.9	3.5	2.1	0.6	1
ใส่วงจรกรองแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 และตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย	13.0	12.7	1.6	1.6	0.1	0.3

จากการแก้ไขปัญหาคุณภาพไฟฟ้าด้วยวงจรกรองฮาร์มอนิกตามที่ได้ออกแบบไว้ พบว่ามีคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ดีขึ้น โดยมีค่าความผิดพลาดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกลดลงจาก 146.1% เหลือเพียง 13% ซึ่งมีการลดลงมาได้มากถึง 133% ทำให้มีค่าความผิดพลาดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกผ่านเกณฑ์มาตรฐานบริษัทส่องสว่างตาม ไออีซี 1000-3-2 (IEC 1000-3-2) ชนิดซี จึงสามารถนำไปใช้งานได้ โดยไม่จำเป็นต้องกังวลถึงปัญหาอันเนื่องมาจากฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นอีก

ในแง่ของการลงทุนในการเปลี่ยนแปลงการใช้งานไฟถนนจากหลอดโซเดียมความดันสูงมาเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสงนั้น ปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกได้มีแนวโน้มในการหันมาให้ความสนใจกับการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงแทน เนื่องมาจากหลอดไดโอดเปล่งแสงมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่า โดยให้แสงสว่างที่เทียบเท่าหลอดโซเดียมความดันสูงแม้จะกินกำลังไฟฟ้าน้อยกว่ามาก, ดัชนีความถูกต้องของสีสูงกว่ามาก, อายุการใช้งานยาวนานกว่า, รูปร่างดูทันสมัยและมีน้ำหนักเบา, ไม่ก่อให้เกิดมลพิษจากสารโลหะหนัก และเปิดใช้งานได้ไวกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงที่ต้องการเวลาในการอุ่นไส้หลอดนาน จึงสามารถสรุปได้ว่าแม้หลอดไดโอดเปล่งแสงจะมีราคาสูงกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงมาก แต่เมื่อพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ระยะเวลาคืนทุนเมื่อเปรียบเทียบกันในระยะยาวแล้ว หลอดไดโอดเปล่งแสงนับว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนใช้งานมากกว่า หลอดโซเดียมความดันสูงเป็นอย่างมาก

## เอกสารอ้างอิง

- [1] แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554 - 2573) กระทรวงพลังงาน
- [2] Wendt, M., Philips Res., Aachen, Andriesse, J.-W.  
“LEDs in Real Lighting Applications: from Niche Markets to General Lighting”
- [3] Remaking Cities Institute Pittsburgh, Pennsylvania  
“LED Street Light Research Project” September 2011
- [4] Dr Michelle Moram Imperial College London.  
*Lighting up with efficient lighting.* (ออนไลน์)  
แหล่งที่มา : <http://www.aglobalvillage.org/journal/issue7/waste/lightinguplives/>  
22 มีนาคม 2557
- [5] SYSTEMS SUNLIGHT S.A. “Case study of LED street lights”
- [6] D.R. Nuttall, R.Shuttle worth, G.Routledge  
“Design of a LED Street lighting System” University of Manchester UK.
- [7] Yi Luo, Xianpeng Zhang, Jiayao Liu , Changbo Zhou  
“LED street lighting technologies with high human-eye comfortability”
- [8] Stephen Atkins, Sohail Husain and Angele Storey  
“The influence of street lighting on Crime and fear of crime”
- [9] C. DiLoui “Advanced Lighting Controls: Energy Savings, Productivity, Technology and Applications”  
1st ed., Lilburn, GA: The Fainnont Press, 2005.
- [10] B. 1. Huang, P. C. Hsu, M. S. Wu and C. W. Tang, "Study of system dynamics model and control of a high-power LED lighting luminaire"  
Energy, vol. 32, pp. 2187-2198
- [11] Po-Yen Shin, Yi-Hua Liu, Yeu-Torng Yau  
“Hung-Chun Lee Development of an Energy Efficient Street Light Driving”
- [12] การไฟฟ้านครหลวง. 2556. *โครงการทดลองติดตั้งไฟสาธารณะด้วยหลอด LED.*(ออนไลน์)  
แหล่งที่มา : <http://www.mea.or.th/new/content/detail.php?mid=87&did=781&tid=&pid=>. 22 มีนาคม 2557
- [13] พุทธพร เสวตสกุลานนท์, จักรารุช เดชวิเศษ “โคมไฟถนนอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์”

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. ไดโอดเปล่งแสงคืออะไร.(ออนไลน์)  
แหล่งที่มา : <http://www.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/led/thaiLED1.htm>. 22 มีนาคม 2557
- [15] Gabe Arnold ,Dan Mellinger, Mike Burke, Dave Lahar  
“Converting Two-Thirds of Vermont’s Street Lights to LED by 2014”
- [16] DMX tecnologias Team. *Comparison Chart HPS Vs. LED street lights*.(ออนไลน์)  
แหล่งที่มา : [http://www.dmxledlights.com/OutdoorLighting/StreetLightsLU1/Comparison\\_HPS\\_vs\\_LED\\_Street\\_Lights.html](http://www.dmxledlights.com/OutdoorLighting/StreetLightsLU1/Comparison_HPS_vs_LED_Street_Lights.html). 25 สิงหาคม 2556
- [17] Ehrlich LED Lighting. *ความรู้เกี่ยวกับ LED*.  
แหล่งที่มา : <http://www.ledenergytech.com/knowledge.html>. 22 มีนาคม 2557
- [18] Dominic Steve Longpré. 2012. *LED is here and now more affordable than ever*.(ออนไลน์) แหล่งที่มา : <http://initial-led.blogspot.com/2012/03/hpshigh-pressure-sodium-vs-led-lights.html>. 22 มีนาคม 2557
- [19] Eneltec Group. 2012. *Analysis the LED lighting market eternity point*. (ออนไลน์)  
แหล่งที่มา : <http://www.eneltec-led.com/LED-Lighting-Blog/analysis-the-led-lighting-market-etentry-point/>. 22 มีนาคม 2557
- [20] แนวทางการปฏิบัติด้านประสิทธิภาพพลังงานจากโคมไฟถนน, มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ  
สภาวิศวกร พิมพ์ครั้งที่ 1
- [21] มาตรฐานและลักษณะของทางหลวงรวมทั้งกำหนดเขตทางหลวงที่จัดสรรระยะแนวต้นไม้  
และเสาพาดสายเกี่ยวกับทางหลวงท้องถิ่น พ.ศ. ๒๕๕๐, ประกาศกรมทางหลวงชนบท
- [22] มาตรฐานการออกแบบและติดตั้งไฟส่องสว่าง, กรมทางหลวง
- [23] H.Z.Azazi, E. E. EL-Kholy, S.A.Mahmoud and S.S.Shokralla “Review of Passive and Active Circuits for Power Factor Correction in Single Phase, Low Power ACDC Converters” *Proceedings of the 14th International Middle East Power Systems Conference (MEPCON’10)*, Cairo University, Egypt, December 19-21, 2010, Paper ID 154.
- [24] Young-Sik Cho and Hanju Cha “Single-tuned Passive Harmonic Filter Design Considering Variances of Tuning and Quality Factor” ,*Journal of International Council on Electrical Engineering* Vol. 1, No. 1, pp. 7~13, 2011

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
บทความทางวิชาการ

**การศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกที่เกิดจากหลอดแอลอีดีของไฟถนน**  
**STUDY AND ANALYSIS THE EFFECT OF HARMONICS NOISE**  
**IN LED STREET LIGHT**

ณัฐนันท์ เพชรานนท์, ณัฐพงศ์ ศรีวาริรัตน์, ณัฐพงษ์ พูนนิกร, ทรรคนันท์ บุญโชติมา  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 1 ซอย นลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-mail: thadsanunb@gmail.com

**บทคัดย่อ**

ปริญญานิพนธ์นี้ทำเพื่อศึกษาวิเคราะห์ทางด้านพลังงานและคุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบที่ใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนน และออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกเพื่อแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิกที่เกิดจากชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยทำการสร้างชุดทดลองของวงจรกรองฮาร์มอนิกเพื่อเปรียบเทียบกัน 3 วิธี ได้แก่ วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย, วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 3 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย และวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบในด้านพลังงานและคุณภาพกำลังไฟฟ้ากับระบบที่ไม่มีการติดตั้งวงจรกรอง เพื่อหาว่าวงจรกรองฮาร์มอนิกที่เหมาะสมในการใช้งานร่วมกับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีคุณภาพดี แต่อาจก่อให้เกิดฮาร์มอนิกแทนการใช้งานชุดขับหลอดที่คุณภาพสูงซึ่งมีราคาแพง เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายให้แก่ผู้ใช้งาน

**คำสำคัญ:** หลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนน, วงจรกรองสัญญาณ

รบกวน

**Abstract**

The purpose of this thesis is to study power characteristics of LED Street lighting compared to High pressure sodium lighting (HPS) and analyze electrical harmonics from using LED instead of HPS for street lighting system and also design a filter to eliminate or reduce the disturbance caused by the LEDs driver to improve the power quality of the system. The main purpose of the designed filter is to be used with ordinary LEDs street lighting driver to increase its performance to be equivalent as the high grade LEDs street lighting driver, which is generally much more expensive; this will reduce the cost of users.

**Keyword:** LED Street light, Harmonics, Passive Filter

**1.บทนำ**

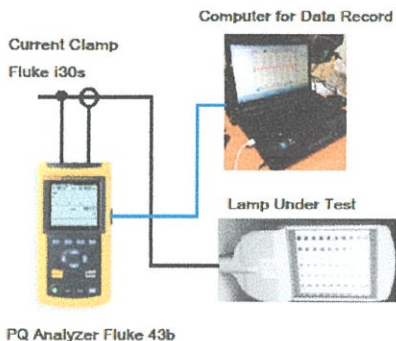
จากการที่ปริมาณความต้องการพลังงานเพิ่มสูงขึ้นทุกวัน ประกอบกับเทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนมีประสิทธิภาพการทำงาน คุณสมบัติทางแสง และประหยัดพลังงานได้สูง ในระบบไฟถนนจึงได้เริ่มมีการนำหลอดไดโอดเปล่งแสงมาใช้แทนหลอดโซเดียมความดันสูงที่ประสิทธิภาพการทำงานและคุณสมบัติทางแสงที่ต่ำกว่า ทั้งยังสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า โดยในประเทศไทยได้มีโครงการส่งเสริมการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนนเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ผู้ว่าการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้เปิดตัวโครงการเปลี่ยนหลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนนตามแนวถนนทั่วบริเวณเขื่อนศรีนครินทร์ เพื่อนำร่องเป็นต้นแบบการอนุรักษ์พลังงาน

การใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เนื่องจากสเปคตรัมสีที่หลอดสามารถสร้างได้มีช่วงกว้างมาก ทั้งยังทนทานต่อสภาพแวดล้อม และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานด้วยประสิทธิภาพการทำงานที่สูง [1] โดยเทคโนโลยีหลอดไดโอดเปล่งแสงได้มีการพัฒนาให้มีสมรรถนะสูงขึ้น จนสามารถให้ค่าความสว่างได้สูงเกินกว่า 150 ลูเมน/วัตต์ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมาก และยังคงพบว่ามีคุณสมบัติทางแสงที่ดีกว่าหลอดไฟชนิดอื่น คือ มีความสม่ำเสมอของแสงที่เหมาะสมในการใช้งานเป็นไฟถนน [2] และให้ค่าดัชนีความถูกต้องของสีที่ดีกว่าหลอดชนิดอื่นมาก

จากงานวิจัยเกี่ยวกับหลอดไดโอดเปล่งแสงข้างต้นชี้ให้เห็นว่ามีการศึกษาถึงคุณลักษณะทางแสงและพลังงานในการใช้งานหลอดไดโอดเปล่งแสงเป็นจำนวนมาก โดยที่ไม่ได้กล่าวถึงส่วนของฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าจากการใช้งานชุดหลอดไดโอดเปล่งแสง เนื่องจากหลอดไดโอดเปล่งแสงทำงานด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้จำเป็นต้องใช้ชุดขับหลอดที่เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง บทความนี้จึงได้ทำการทดลองศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าโดยจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

## 2. ชุดทดลองวัดค่าฮาร์มอนิกของหลอดไดโอดเปล่งแสง

ในบทความนี้ ได้ทำการทดลองศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะ ขนาด และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากฮาร์มอนิก โดยทดลองวัดค่าต่างๆ จากหลอดไดโอดเปล่งแสงไฟถนน ขนาด 110 W ด้วยมิเตอร์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า Fluke 43b ในการวัดค่ากระแสฮาร์มอนิก, รูปคลื่นแรงดัน ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า จากนั้น ทำบันทึกเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์ค่าต่อไป ดังรูปที่ 1



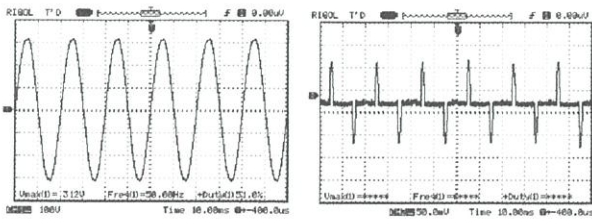
รูปที่ 1 วงจรการทดลองวัดค่าฮาร์มอนิกจากหลอดไดโอดเปล่งแสง

จากการวัดค่าข้อมูลทั่วไปทางด้านกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระหว่างหลอดไดโอดเปล่งแสงที่ทดลองกับหลอดโซเดียมความดันสูงขนาด 250 W สามารถวัดค่าได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปที่วัดจากหลอดไดโอดเปล่งแสงที่นำมาใช้งาน

Type	Power (W)	Apparent Power (VA)	Reactive Power (VAR)	P.F.	D.P.F	V <sub>rms</sub> (V)	I <sub>rms</sub> (A)
LED	30	55	47	0.54	0.99	223.9	0.313
HPS	300	370	216	0.82	0.83	225.3	0.255

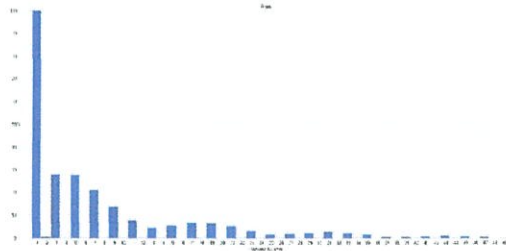
จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าหลอดโซเดียมความดันสูงอย่างมาก แต่มีปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า คือ มีฮาร์มอนิกเกิดขึ้นในระบบ และมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ โดยสามารถทำการวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดัน ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ ดังรูปที่ 2



(a) รูปคลื่นแรงดัน ไฟฟ้า

(b) รูปคลื่นกระแส ไฟฟ้า

รูปที่ 2 รูปคลื่นของระบบเมื่อใช้งานชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง



รูปที่ 3 สเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกจากชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสง

ตารางที่ 2 ค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกเทียบกับความถี่มูลฐาน

ลำดับฮาร์มอนิก	total	3rd	5th	7th	9th	11th	13th	15th
%THDi	146.1	91	77.2	59.2	40.9	23.2	19.9	13.1
%THDiมาตรฐาน	-	16.2	10	7	5	3	3	3

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นกระแสไฟฟ้ามีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์สูง เมื่อทำการวิเคราะห์สเปกตรัมของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าของระบบแล้ว จะได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งพบว่ามีความสเปกตรัม ความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกสูง โดยทำการบันทึกค่ากระแสฮาร์มอนิกได้ ดังตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEC 1000-3-2 Class-C [3] จะพบว่าค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกมีค่าสูงเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องทำการแก้ไขคุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบเพื่อให้สอดคล้องตามมาตรฐานด้วยวงจรกรองฮาร์มอนิก ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

## 3. การออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิก

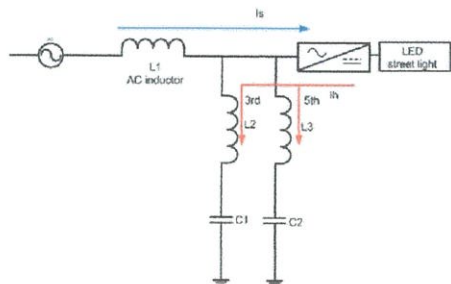
เมื่อวัดค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกในหัวข้อที่ผ่านมาแล้ว จึงทำการจำลองและออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกสำหรับชุดขับหลอดไดโอดเปล่งแสงด้วยโปรแกรม Pspice Schematics เพื่อคำนวณค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดทดลองต่อไปในหัวข้อนี้

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมกระแสฮาร์มอนิกที่ได้จากรูปที่ 3 พบว่ากระแสฮาร์มอนิกลำดับต่ำๆ มีค่าสูง ในบทความนี้ จึงได้ทำการออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนที่ฮาร์มอนิกลำดับต่ำๆ โดยกำหนดให้มีจุดตัดความถี่ที่ลำดับ 3 (150 Hz) และ 5 (250Hz) ตามลำดับ และกำหนดขนาดของตัวเก็บประจุตามขนาดที่มีขายตามท้องตลาด เพื่อใช้ในการหาตัวเหนี่ยวนำที่ต้องใช้จากสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

ในบทความนี้ ทำการออกแบบและปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรเพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรในการออกแบบวงจรกรองฮาร์มอนิก และหาค่าที่เหมาะสมในการสร้างวงจรกรองฮาร์มอนิกเพื่อให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมและสอดคล้องกับมาตรฐาน โดย

อ้างอิงจากสมการ (1) ซึ่งมีหลายรูปแบบ คือ วงจรกรองแบบใช้ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย, วงจรกรองแบบจูนลำดับสาม โดยมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย และวงจรกรองแบบจูนลำดับห้า โดยมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย โดยมีค่าส่วนประกอบต่างๆ ของวงจร ดังนี้



รูปที่ 4 รูปแบบวงจรกรองฮาร์มอนิกที่ใช้จูน

จากวงจรในรูปที่ 4  $L_1$  คือ ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่ายมีค่า 310 mH,  $L_2$  และ  $C_1$  คือ ส่วนประกอบของวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนลำดับที่ 3 มีค่า 490 mH และ 2.3 uF,  $L_3$  และ  $C_2$  คือ ส่วนประกอบของวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนลำดับที่ 5 มีค่า 144 mH และ 3uF

#### 4.ผลการทดสอบวงจรกรองฮาร์มอนิกที่ออกแบบไว้

##### 4.1 ผลการทดสอบวงจรกรองฮาร์มอนิกที่ออกแบบไว้

การทดสอบวงจรกรองฮาร์มอนิกที่ออกแบบไว้ มีวิธีการกรองฮาร์มอนิกที่ใช้ 3 รูปแบบ ได้แก่ วงจรกรองแบบใช้ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย, วงจรกรองแบบจูนลำดับสาม โดยมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย และวงจรกรองแบบจูนลำดับห้า โดยมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิก ดังตารางที่ 3 และด้านกำลังไฟฟ้า ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ด้านความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกจากหลอดไดโอดเปล่งแสง

รูปแบบวงจรที่ใช้	THD <sub>i</sub> (%)	Harmonic (%f)				
		3	5	7	9	11
without filter	146.1	91.0	77.2	59.2	40.9	23.2
AC-side inductor	58.0	52.2	16.3	12.3	9.7	7.4
Single-tune 3 <sup>rd</sup> order With AC-side inductor	13.7	12.9	3.5	2.1	0.6	1
Single-tune 5 <sup>th</sup> order With AC-side inductor	13.0	12.7	1.6	1.6	0.1	0.3

จากตารางที่ 3 ซึ่งเป็นการวัดค่าฮาร์มอนิกในกรณีต่างๆ ที่ได้ทำการทดลองโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กรณี คือ กรณีไม่ได้ใส่วงจรกรองฮาร์มอนิก(Without filter), กรณีใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย (AC-side inductor), กรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูน

ความถี่ลำดับที่ 3 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย (Single-tune 3<sup>rd</sup> order With AC-side inductor), และกรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย (Single-tune 5<sup>th</sup> order With AC-side inductor) จะเห็นว่าใน 2 กรณีแรก คือ กรณีที่ไม่ใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกกับกรณีใส่ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย จะมีค่า THD<sub>i</sub> มีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานกำหนดไว้ เมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEC 1000-3-2 class C สำหรับอุปกรณ์ส่องสว่าง และอุปกรณ์หรีไฟฟ้า โดยพบว่า กรณีที่มีค่า THD<sub>i</sub> สอดคล้องตามมาตรฐานมีอยู่เพียง 2 กรณี ได้แก่ กรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูน ความถี่ลำดับที่ 3 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย, และกรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบจูนความถี่ลำดับที่ 5 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย

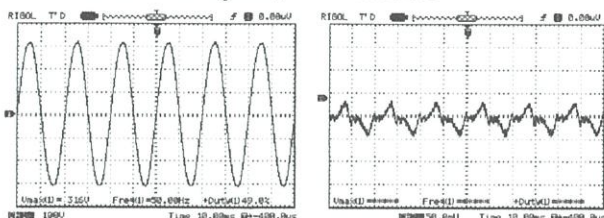
ตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์ทางด้านกำลังไฟฟ้าของหลอดไดโอดเปล่งแสง

รูปแบบวงจร	without filter	AC-side inductor	Single-tune 3 <sup>rd</sup> order With AC-side inductor	Single-tune 5 <sup>th</sup> order With AC-side inductor
Power (W)	30	29	34	36
Apparent Power (VA)	55	44	59	74
Reactive Power (VAR)	47	32	48	65
PF	0.54	0.67	0.59	0.49
DPF	0.99	0.95	0.63	0.5
Vrms (V)	223.9	223.5	223.4	223.8
Irms (A)	0.31	0.16	0.26	0.33

จากตารางที่ 4 ซึ่งแสดงผลวิเคราะห์ทางด้านกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการทดลองทั้ง 4 กรณี โดยเปรียบเทียบกรณีที่ไม่ได้ใส่ชุดวงจรกรองฮาร์มอนิกกับกรณีใส่วงจรกรองฮาร์มอนิกแบบต่างๆ โดยจะเห็นว่าเมื่อทำการใส่วงจรกรองเข้าไปจะส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W), กำลังไฟฟ้าเสมือน(Q), กำลังไฟฟ้าปรากฏ(S) เพิ่มขึ้นจากกรณีก่อนใส่วงจรก่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ในด้านความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกนั้น ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะวงจรกรองฮาร์มอนิกแบบ จูนความถี่ลำดับที่ 3 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย เนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและมีค่า THD<sub>i</sub> สอดคล้องตามมาตรฐาน IEC 1000-3-2 Class-C คือ ลดลงจาก 146.1% เหลือเพียง 13.7% เท่านั้น และยังพบว่าหลังจากใส่วงจรกรองแล้ว ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.54 เป็น 0.59 และมีค่ากระแสไฟฟ้าลดลงจาก 0.31 แอมป์ เป็น 0.26 แอมป์

โดยรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของระบบที่ใช้ทดลองด้วยการติดตั้งวงจรกรองแบบใช้ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย, วงจรกรองแบบจูนลำดับสาม โดยมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย และ

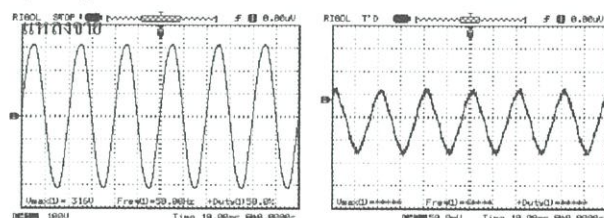
วงจรถูกแบบจูนลำดับห้า โดยมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย ตามที่ได้ ออกแบบไว้ แสดงไว้ดังรูปที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ



(a) แรงดันไฟฟ้า

(b) กระแสไฟฟ้า

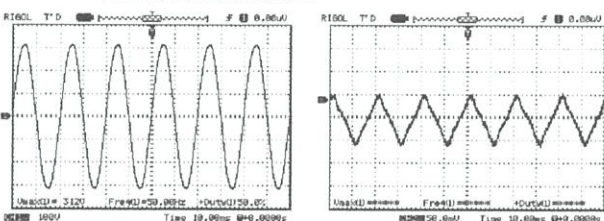
รูปที่ 5 รูปคลื่นของระบบที่ใช้วงจรถูกแบบตัวเหนี่ยวนำด้าน



(a) แรงดันไฟฟ้า

(b) กระแสไฟฟ้า

รูปที่ 6 รูปคลื่นของระบบที่ติดตั้งวงจรถูกแบบจูนลำดับสาม โดยมี ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย



(a) แรงดันไฟฟ้า

(b) กระแสไฟฟ้า

รูปที่ 7 รูปคลื่นของระบบที่ติดตั้งวงจรถูกแบบจูนลำดับห้า โดยมี ตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย

จากรูปที่ 5, 6 และ 7 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าของระบบมีลักษณะเป็นสัญญาณไซน์เหมือนกันทั้ง 3 กรณี และรูปคลื่นกระแสไฟฟ้ามีความเป็นสัญญาณไซน์มากขึ้น เมื่อเทียบกับรูปที่ 2(b) โดยรูปคลื่นกระแสในกรณีใส่วงจรถูกแบบจูนลำดับความถี่ลำดับที่ 5 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย มีความใกล้เคียงสัญญาณไซน์ที่สุด และถัดมาเป็นกรณีใส่วงจรถูกแบบจูนลำดับความถี่ลำดับที่ 3 ร่วมกับตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย และกรณีใส่วงจรถูกแบบตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย ตามลำดับ

## 5. ข้อสรุป

จากผลการทดลองที่ได้ แม้หลอดไดโอดเปล่งแสงจะใช้พลังงานน้อยกว่ามาก แต่คุณภาพกำลังทางไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากรูปคลื่นกระแสมีความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกสูงเกินกว่ามาตรฐานและมีความถี่ประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ จึงต้องแก้ปัญหาด้วยวงจรถูกแบบฮาร์มอนิก ซึ่งรูปแบบวงจรถูกแบบฮาร์มอนิกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ

ระบบนี้ คือ วงจรถูกแบบจูนลำดับสาม โดยมีตัวเหนี่ยวนำด้านแหล่งจ่าย เนื่องจากมีการปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น และลดค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกให้สอดคล้องตามมาตรฐานกำหนดได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Matthias Wendt, Jan-Willem Andriess, "LEDs in Real Lighting Applications", Phillips Reseach Aachen, Germany
- [2] Kai Wang, Sheng Liu, "A sensor Integrated Ultra-long Span LED Street Lamp System", Division of MOEMS
- [3] Hewlett Packard Co Compliance Testing to the IEC 1000-3-2 (EN 61000-3-2) and IEC 1000-3-3 (EN 61000-3-3) Standards, 1995
- [4] Y. S. Cho, "Analysis and Design of Passive Harmonic Filter for a Three-phase Rectifier", KIEE Magazine, September 2009
- [5] Erno Kovacs, Angela Sz. Varadine "Investigation of LED Street Lighting's Disturbances", SPEEDAM 2010 International Symposium on Power Electronics
- [6] Young-Sik Cho, Hanju Cha "Single-tuned Passive Harmonic Filter Design Considering Variances of Tuning and Quality Factor" Journal of International Council on Electrical Engineering Vol. 1, No. 1, pp. 7-13, 2011

ภาคผนวก ข

ประกาศกรมทางหลวงชนบท

## ประกาศกรมทางหลวงชนบท

เรื่องมาตรฐานและลักษณะของทางหลวงรวมทั้งกำหนดเขตทางหลวง  
ที่จอดรถระยะแนวต้นไม้และเสาพาดสายเกี่ยวกับทางหลวงท้องถิ่น

พ.ศ. ๒๕๕๐

อำนาจตามความในมาตรา ๒๖ แห่งพระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ. ๒๕๓๕แก้ไขเพิ่มเติม  
โดยพระราชบัญญัติทางหลวง(ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๔๙ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบาง  
ประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคลซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๓ มาตรา  
๓๔ และมาตรา ๔๑ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตาม  
บทบัญญัติแห่งกฎหมายอธิบดีกรมทางหลวงชนบทจึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้เรียกว่า “ประกาศกรมทางหลวงชนบทเรื่องมาตรฐานและลักษณะ  
ของทางหลวงรวมทั้งกำหนดเขตทางหลวงที่จอดรถระยะแนวต้นไม้และเสาพาดสาย  
เกี่ยวกับทางหลวงท้องถิ่น พ.ศ. ๒๕๕๐”

ข้อ ๒ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้น  
ไป

ข้อ ๓ บรรดาประกาศอื่นใดในส่วนที่ได้กำหนดไว้แล้วในประกาศนี้ หรือซึ่งขัดหรือ  
แย้งกับประกาศนี้ ให้ใช้ประกาศนี้แทน

ข้อ ๔ ให้ผู้อำนวยการสำนักสำรวจและออกแบบ เป็นผู้รักษาการตามประกาศนี้

ข้อ ๕ ให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นใช้มาตรฐานและลักษณะของทางหลวง  
รวมทั้งกำหนด เขตทางหลวง ที่จอดรถ ระยะแนวต้นไม้ และเสาพาดสาย เกี่ยวกับ  
ทางหลวงท้องถิ่น ในการออกแบบกำกับ ตรวจสอบ และอำนวยความสะดวก ตาม  
ประกาศนี้

## หมวด ๑

## การแบ่งชั้นทางหลวง

ข้อ ๖ ทางหลวงชนบทแบ่งออกเป็น ๕ ชั้น คือ

- (๑) ทางหลวงท้องถิ่นชั้นพิเศษ
- (๒) ทางหลวงชนบทชั้นที่ ๑
- (๓) ทางหลวงชนบทชั้นที่ ๒
- (๔) ทางหลวงชนบทชั้นที่ ๓
- (๕) ทางหลวงชนบทชั้นที่ ๔

ข้อ ๗ ทางหลวงท้องถิ่นนอกเขตเมืองและนอกเขตชุมชน แบ่งออกเป็น ๗ ชั้น คือ

- (๑) ทางหลวงท้องถิ่นชั้นพิเศษ
- (๒) ทางหลวงท้องถิ่นชั้นที่ ๑
- (๓) ทางหลวงท้องถิ่นชั้นที่ ๒
- (๔) ทางหลวงท้องถิ่นชั้นที่ ๓
- (๕) ทางหลวงท้องถิ่นชั้นที่ ๔
- (๖) ทางหลวงท้องถิ่นชั้นที่ ๕
- (๗) ทางหลวงท้องถิ่นชั้นที่ ๖

## หมวด ๒

## มาตรฐานและลักษณะของทางหลวง

## รวมทั้งเขตทางหลวงของทางหลวงท้องถิ่น

ข้อ ๑๐ ทางหลวงท้องถิ่นชั้นที่ ๒ ในเขตเมืองและในเขตชุมชน ต้องประกอบด้วย

- (๑) ลักษณะผิวจราจรแนะนำเป็นคอนกรีต หรือแอสฟัลต์
- (๒) สามารถรับน้ำหนักรถและน้ำหนักลงเพลารถได้ไม่น้อยกว่าน้ำหนักตามประกาศที่ผู้อำนวยการทางหลวงท้องถิ่นกำหนด ตามมาตรา ๖๑ แห่งพระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ. ๒๕๓๕ แก้ไขเพิ่มเติม โดยพระราชบัญญัติทางหลวง (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๔๘
- (๓) ช่องทางจราจรไม่น้อยกว่า ๒ ช่องทางต่อทิศทาง และแต่ละช่องทางกว้างไม่น้อยกว่า ๓.๒๕
- (๔) ทางเท้าหรือไหล่ทางทั้งสองข้าง กว้างข้างละไม่น้อยกว่า ๑.๕๐ เมตร
- (๕) มีทางระบายน้ำ
- (๖) เขตทางหลวง (RIGHT OF WAY) ไม่น้อยกว่า ๑๖.๐๐ เมตร
- (๗) ความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ (DESIGN SPEED)
  - (ก) ทางราบไม่เกิน ๙๐ กิโลเมตรต่อชั่วโมง
  - (ข) ทางเนินไม่เกิน ๘๐ กิโลเมตรต่อชั่วโมง
  - (ค) ทางเขาไม่เกิน ๗๐ กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- (๘) การยกกระดุมของถนนบนทางโค้ง (SUPER ELEVATION) ไม่เกินร้อยละ ๔
- (๙) ความลาดชันของถนน (GRADIENT)
  - (ก) ทางราบไม่เกินร้อยละ ๔
  - (ข) ทางเนินไม่เกินร้อยละ ๖
  - (ค) ทางเขาไม่เกินร้อยละ ๘
- (๑๐) ทางแยกหัวมุมถนนซึ่งเกิดจากการเชื่อมหรือตัดกันของถนน ให้ขอบผิวจราจรด้านในมีรัศมีความโค้งไม่น้อยกว่า ๕.๐๐ เมตร
- (๑๑) ช่องลอดของถนน ต้องมีระยะลอดในแนวตั้งไม่น้อยกว่า ๕.๐๐ เมตร

## ประวัติผู้เขียน



นายณัฐนนท์ เพชรานนท์ เกิดวันที่ 10 มกราคม 2535  
 ที่อยู่ 87/48 ถ.เทศบาลสงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กทม. 10900  
 โทรศัพท์ 085-962-6032 Email : Guntbonjovi1983@gmail.com



นายณัฐพงษ์ ศรีวาริรัตน์ เกิดวันที่ 9 มีนาคม 2535  
 ที่อยู่ 106 หมู่ 1 ต.ท่าไม้ อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร 74110  
 โทรศัพท์ 088-228-2234 Email : kilua\_n@windowslive.com



นายณัฐพงษ์ พูนนิกร เกิดวันที่ 9 ธันวาคม 2534  
 ที่อยู่ 79/66 ถ.พระราม 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กทม. 10400  
 โทรศัพท์ 083-038-5663 Email : s3010482@hotmail.com



นายทรศนันท์ บุญยโชติมา เกิดวันที่ 29 กุมภาพันธ์ 2535  
 ที่อยู่ 90/78 ถ.ศรีสะเกษอุทุมพร ต.หญ้าปล้อง อ.เมือง จ.ศรีสะเกษ 33000  
 โทรศัพท์ 080-467-8363 Email : thadsanunb@gmail.com