

## ศึกษาและวิเคราะห์แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกของอาคารในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน)

## Study and Analysis of Harmonic Sources of Buildings in Kasetsart University (Bang Khen Campus)

วีรพงษ์ แยมสระโส และเกียรติยุทธ กวีญาณ

Weeraphong Yaemsraso and Kiatiyuth Kveeyarn

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0-2579-0113, 0-2942-8500-11 โทรสาร 0-2942-8988

E-mail: g4965082@ku.ac.th

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันในอาคารมีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งเฟส (Single Phase) ที่มีคุณสมบัติโหลดไม่เป็นเชิงเส้นจำนวนมาก และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการใช้งาน โดยปราศจากการควบคุมปริมาณฮาร์มอนิก ส่งผลให้เกิดแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกที่มีนัยสำคัญมากต่อระบบไฟฟ้ากำลัง ด้วยเหตุนี้แนวทางการศึกษาแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังจึงทำการตรวจวัดปริมาณฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นของอาคารในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน) จากกรณีศึกษาพบว่า ห้องฆ่าเชื้ออุปกรณ์, ห้องตรวจเลือดและห้องผ่าตัด, ห้องพักฟื้นสัตว์ มีกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสใกล้เคียงกันและต่างกัน โดยที่มีค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม ( $THD_r$ ) น้อยกว่าขีดจำกัด เนื่องจากอุปกรณ์ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติโหลดเป็นเชิงเส้น ส่วนห้องบรรยาย 100, 200, 300 ที่นั่ง, ห้องพักอาจารย์ และสำนักงาน (ตรวจรักษาสัตว์, ฝ่ายบริหาร) พบว่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสมีค่าต่างกันและมีค่า  $THD_r$  เกินขีดจำกัดบางเฟส ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการกระจายอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นให้เกิดความสมดุลกัน สำหรับส่วนอื่นๆ ถ้าแก้ไขด้วยวิธีดังกล่าวแล้วยังมีค่า  $THD_r$  สูงกว่าขีดจำกัดอยู่ โดยเฉพาะศูนย์บริการคอมพิวเตอร์อาจต้องติดตั้งอุปกรณ์กรองฮาร์มอนิก เพื่อลดค่ากระแสฮาร์มอนิกลงโดยเฉพาะอันดับที่ 3

## Abstract

Nowadays, nonlinear single phase loads are utilized and tend to be increased by without harmonic quantity supervision. There are harmonic sources in power system. For this reason,

the harmonic sources education in power system, by measure of harmonic content in a different type of buildings at Kasetsart University, Bang Khen Campus. The case study shows that equipments sterilizes room, blood test room and operating room, recovery room have total current harmonic distortion ( $THD_r$ ), not exceed the limitation of even balanced and unbalanced phase, because most the equipment are linear type. For the lecture rooms of 100, 200, 300 seats, teacher offices and general office, such as pet's medical examination, administrative section, it was found unbalanced which some phase have the value  $THD_r$  exceeded the limitation. The adjustment of the load to balance is applied. For the others, even though it is balanced, but still has the  $THD_r$  exceed, especially computer center, the installation of filter is necessary.

## 1. คำนำ

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality) เป็นเรื่องของความแน่นอนในการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก (การไฟฟ้า) นิยามของคุณภาพไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC และ IEEE หมายถึง ลักษณะของกระแส แรงดัน และความถี่ ของแหล่งจ่ายไฟในสภาวะปกติที่ไม่ทำให้อุปกรณ์ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้า มีการทำงานที่ผิดพลาด หรือ เสียหาย

เหตุผลหลักที่ทำให้มีการพิจารณาถึงคุณภาพไฟฟ้า ปัจจุบันในอาคารของสถาบันการศึกษามีการใช้งานการควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control) มากขึ้น อุปกรณ์จึงมีลักษณะเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Load)

ส่งผลให้เกิดแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ผลที่ตามมาคือเกิดการบิดเบี้ยวฮาร์มอนิก (Harmonic Distortion) ในระบบ, ความสูญเสีย หรือแม้กระทั่งอาจเกิดรีโซแนนซ์ (Resonance) ขึ้นบางจุด โหลดเหล่านี้จะเป็นโหลดขนาดเล็กๆ และจะกระจายอยู่เป็นจำนวนมากปราศจากการควบคุมปริมาณ ฮาร์มอนิกจะเพิ่มขึ้นตามความต้องการใช้งาน จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นปัญหาฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าเป็นปัญหาส่วนหนึ่งในเรื่องของคุณภาพไฟฟ้า ที่ทำให้อุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการชำรุดเสียหายได้

ด้วยเหตุนี้แนวทางของการวิจัยฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้ากำลังจึงทำการตรวจวัดปริมาณฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นของอาคารในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน) ซึ่งทำการศึกษา อาคารสารสนเทศบัณฑิตศึกษา, อาคารชุนชาติ กำภู (วิศวกรรมศาสตร์ 60 ปี), อาคารเทพรัตนวิทยาโชติ (ศูนย์การเรียนรู้ มก.), อาคารโรงพยาบาลสัตว์และพัฒนาวิชาการสัตว์แพทย์, อาคารอินทรีจันทร์สถิตย์ (ศูนย์เรียนรวม 1) และศูนย์คอมพิวเตอร์ Kasetsart IT Square เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวอาจมีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาจากฮาร์มอนิก อย่างไรก็ตาม สิ่งที่มีความสำคัญคือ ต้องทราบข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะทำให้ทราบว่าพื้นที่ใดมีแนวโน้มจะเกิดผลกระทบจากฮาร์มอนิกทั้งปริมาณและอันดับของฮาร์มอนิก นอกจากนี้ยังมีแนวทางแก้ไขและป้องกัน เพื่อบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าของอาคารต่อไป

**2. ขอบเขตและมาตรฐานของฮาร์มอนิก**

สมการค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion, *THD*) [6] คือ

$$THD_x = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} X_h^2}}{X_1} \times 100\% \tag{1}$$

โดยที่ *X* แทนด้วย แรงดัน (*V*) หรือกระแส (*I*), *X*<sub>1</sub> คือแรงดันหรือกระแสที่ความถี่หลักมูลและ *h* คืออันดับฮาร์มอนิก

หลายประเทศทั่วโลกให้ความสำคัญกับปัญหาคุณภาพไฟฟ้าโดยเฉพาะฮาร์มอนิก จึงมีการออกมาตรฐานบังคับใช้ใน

การจำกัดปริมาณฮาร์มอนิกที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฮาร์มอนิกจะกำหนดค่าจำกัดของฮาร์มอนิกไว้เป็น 2 ลักษณะคือ ค่าจำกัดกระแสและแรงดันฮาร์มอนิก ในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ [3-4-6]

สำหรับประเทศไทยขีดจำกัดความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดๆที่มาตรฐานของการไฟฟ้ากำหนดที่ระดับแรงดัน 400V , *THD<sub>v</sub>* = 5% [1]

**ตารางที่ 1** ปริมาณสูงสุดค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม [7]

ขอบเขตและเงื่อนไขของกระแสโหลด “กระแส(I)”	ปริมาณสูงสุดค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม ( <i>THD<sub>i</sub></i> )
<i>I</i> < 40A	20.0%
40A ≤ <i>I</i> < 400A	15.0%
400A ≤ <i>I</i> < 800A	12.0%
800A ≤ <i>I</i> < 2000A	8.0%
<i>I</i> ≥ 2000A	5.0%

**ตารางที่ 2** การเปรียบเทียบค่าจำกัดแรงดันฮาร์มอนิกรวมจากมาตรฐานจำนวน 4 ฉบับ

IEEE519-1992		IEC61000-2-2-1990		IEC61000-2-4-1994		G5/4-2001	
Vs(V)	%THD	Vs(V)	%THD	Class	%THD	Vs(V)	%THD
400	5%	415	8%	1	5%	400	5%

การเลือกขนาดของสายนิวทรัลในระบบที่มีฮาร์มอนิกจะแสดงอยู่ในมาตรฐาน IEC60364-5-524 ซึ่งจะแสดงถึงการเลือกขนาดของตัวนำนิวทรัลว่าจะต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่าของตัวนำเฟส วิธีการที่ง่ายที่สุดคือการใช้ตัวคูณลดทอนพิคคของตัวนำ โดยในมาตรฐาน IEC60364-5-52 ได้แนะนำไว้ [5]

**3. การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก**

การวัดฮาร์มอนิกแสดงในรูปที่ 1 ในการวัดระดับฮาร์มอนิกเพื่อตรวจสอบค่าตามขีดจำกัดของมาตรฐานหรือวิเคราะห์ระบบเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องต้องมีการพิจารณาถึงเครื่องมือวัดวิธีการวัด และจุดตรวจวัดให้เหมาะสมและสอดคล้องกับ

ระบบและชนิดของฮาร์มอนิก การวัดถึงแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก แบ่งเป็น แรงดันฮาร์มอนิก (Harmonic Voltage) และกระแสฮาร์มอนิก (Harmonic Current)



รูปที่ 1 การวัดระดับค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม

### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดฮาร์มอนิก

- เครื่องคอมพิวเตอร์(Computer)
- ระบบปฏิบัติการ Microsoft Window XP
- เครื่องตรวจวัดฮาร์มอนิกรุ่น FLUKE 43B POWER QUALITY ANALYZER พร้อมด้วยโปรแกรม Fluke (Power Quality Analyzer 3.0 English)

### 3.2 จุดตรวจวัด

โดยทั่วไปการวัดฮาร์มอนิกมีจุดตรวจวัดที่สำคัญคือ จุดต่อร่วม (PCC) มีจุดต่อร่วมอยู่ 2 ลักษณะดังนี้

จุดต่อร่วมที่อยู่ทางด้านหน้าหม้อแปลง จุดต่อร่วมนี้จะใช้กับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดแรงดัน 22, 33 และ 115 kV ที่มีหม้อแปลงเฉพาะราย และจุดต่อร่วมดังกล่าวนี้ที่อยู่ทางด้านแรงสูง

จุดต่อร่วมที่อยู่ด้านหลังหม้อแปลง จุดต่อร่วมนี้ใช้กับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดแรงดันไม่เกิน 400 V ซึ่งเป็นผู้ใช้ไฟขนาดเล็ก ไม่มีหม้อแปลงเฉพาะราย โดยใช้หม้อแปลงในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (เป็นจุดที่ตรวจวัดในงานวิจัยนี้)

### 3.3 ช่วงเวลาและระยะเวลาการวัด

เนื่องจากระบบไฟฟ้าของอาคารแต่ละอาคารมีการใช้งานของโหลดแต่ละช่วงเวลาไม่คงที่และไม่แน่นอน ซึ่งในการประเมินระดับฮาร์มอนิกจากการตรวจวัดในช่วงเวลาสั้นๆ นั้น จึงต้องมีการกำหนดช่วงเวลาการวัดให้เหมาะสมสำหรับช่วงเวลาการทำงานของโหลดดังกล่าว

สำหรับการตรวจวัดฮาร์มอนิกตามมาตรฐาน PRC - PQG - 1998 จากข้อกำหนดของการไฟฟ้ามีข้อเสนอแนะการวัดดังตารางที่ 3 ระยะเวลาการดำเนินการ โดยทำการวัดในเวลาราชการระหว่างเดือน ธันวาคม 2550 ถึงมิถุนายน 2551

ตารางที่ 3 เวลาการตรวจวัดฮาร์มอนิกตามมาตรฐาน PRC-PQG-01/1998

การทำงานของโหลดในระบบ	ช่วงเวลาการวัดอย่างน้อย	เวลาการวัด	เวลาการวัดซ้ำทุกๆ
ค่อนข้างคงที่	24 ชั่วโมง	10 นาที	15 นาที
ไม่คงที่	7 วัน	10 นาที	15 นาที

### 3.4 ค่าที่ตรวจวัดฮาร์มอนิก

แรงดันไฟฟ้า (Voltage) เฟส เฉลี่ย 15 นาที, กระแสไฟฟ้า (Current) เฟส เฉลี่ย 20-30 นาที และกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรัล (Neutral Current) เฉลี่ย 10 นาที

## 4. ผลการวัดปริมาณฮาร์มอนิก

ถ้าหากแบ่งลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจากพื้นที่ตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่ม คือ [2]

- กลุ่มห้องสำนักงาน
- กลุ่มห้องที่ใช้งานรวมกัน
- กลุ่มศูนย์บริการคอมพิวเตอร์และบริการทั่วไป (สำนักหอสมุด)
- กลุ่มห้องบรรยายและห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด เมื่อพิจารณาผลของปริมาณฮาร์มอนิกในกระแสเฟสต่างๆ พบว่ามีค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม ( $THD_i$ ) แตกต่างกัน ซึ่งกลุ่มที่ 1 ถ้าเป็นสำนักงานประเภทบริการการศึกษา, เลขานุการ บว.๓, ฝ่ายบริหาร, สารสนเทศ, เลขานุการ วศ., ฝ่ายบริหารและห้องประชุม ซึ่งมีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งเฟสที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเชิงเส้น เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร, UPS, เครื่องปริ้นเตอร์, สแกนเนอร์, เครื่องทำลายเอกสาร และโดยเฉพาะอุปกรณ์เครื่องคอมพิวเตอร์ พบว่าปริมาณ % $THD_i$  มีค่าสูงกว่าขีดจำกัด ซึ่งแตกต่างกับ

สำนักงานประเภทห้องผ่าตัดและห้องพักฟื้นสัตว์, ห้องตรวจเลือด ปริมาณ %THD<sub>i</sub> จะมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัด เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานประกอบด้วย แสงสว่าง, ตู้แช่เย็น, กล้องจุลทรรศน์ และมีคอมพิวเตอร์จำนวนน้อย จึงทำให้ปริมาณ %THD<sub>i</sub> มีค่าน้อยกว่าขีดจำกัด จากปริมาณ %THD<sub>i</sub> ที่เกิดขึ้น เมื่อสังเกตจะพบว่าถ้ากระแสที่มีความถี่หลักมูล (50Hz) มีค่าสูงปริมาณ %THD<sub>i</sub> จะต่ำกว่ากระแสที่มีความถี่หลักมูลต่ำ

ตารางที่ 4 ข้อมูลกระแสและค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมทั้ง 4 กลุ่ม

อุปกรณ์ประเภท	เฟส A		เฟส B		เฟส C	
	กระแส (A)	THD <sub>i</sub> (%)	กระแส (A)	THD <sub>i</sub> (%)	กระแส (A)	THD <sub>i</sub> (%)
ผลการวัดฮาร์มอนิก กลุ่มห้องสำนักงาน						
สำนักงาน (บริการการศึกษา)	13.59	21.1*	3.94	63.4*	10.35	57.5*
สำนักงาน (เลขานุการ บว.ฯ)	22.69	20.8*	24.45	39.5*	13.49	40.5*
สำนักงาน (ฝ่ายบริหาร)	2.96	34.2*	6.84	23.9*	8.83	13.6
สำนักงาน (สารสนเทศ)	15.32	26.5*	6.56	28.5*	6.74	44.2*
สำนักงาน (เลขานุการ วศ.)	9.55	27.2*	10.47	35.8*	12.58	24.6*
สำนักงาน (ฝ่ายบริหารฯ)	5.49	62.9*	4.49	38.5*	11.11	31.7*
สำนักงาน (ตรวจรักษาสัตว์)	15.15	16.9	20.1	31.3*	8.18	16.4
สำนักงาน (ห้องผ่าตัด)	22.21	19.4	12.05	14.7	11.33	13.7
สำนักงาน (ห้องตรวจเลือด)	42.19	8.3	19.32	10.1	14.83	15.5
ผลการวัดฮาร์มอนิก กลุ่มห้องที่ใช้งานร่วมกัน						
บริการทั่วไป, สำนักงาน	8.59	26.6*	15.4	37.3*	13.53	29.9*
ห้องบรรยาย, สำนักงาน	29.04	21.0*	20.96	20.9*	30.65	25.1*
ห้องคอมพิวเตอร์, สำนักงาน	14.21	37.6*	9.26	60.5*	14.18	25.6*
ห้องฆ่าเชื้ออุปกรณ์, สำนักงาน	38.97	3.1	41.7	2.0	39.59	1.4
ห้องพักอาจารย์, ห้องบรรยาย	7.56	16.4	5.0	24.5*	17.56	17.4
ผลการวัดฮาร์มอนิก กลุ่มศูนย์บริการคอมพิวเตอร์และบริการทั่วไป						
ศูนย์คอมพิวเตอร์	24.2	27.4*	27.8	28.2*	18.36	28.5*
บริการอินเทอร์เน็ตและทั่วไป	22.75	30.4*	19.11	33.9*	22.52	30.9*
บริการ Edutainment Zone	20.98	24.2*	23.07	24.3*	27.55	21.8*
ผลการวัดฮาร์มอนิก กลุ่มห้องบรรยายและห้องปฏิบัติการ						
ห้องปฏิบัติการวงจรไฟฟ้า	8.12	26.9*	7.62	30.7*	12.11	22.5*
ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์	12.36	72.3*	11.85	76.3*	8.01	79.2*
ห้องบรรยาย 100 ที่นั่ง 2 ห้อง	5.96	14.8	13.87	11.5	4.26	50.7*
ห้องบรรยาย 200 ที่นั่ง	7.8	12.7	7.99	13.0	3.24	31.2*
ห้องบรรยาย 300 ที่นั่ง	15.71	9.1	8.8	11.8	5.4	32.2*

หมายเหตุ \* คือเกินขีดจำกัดข้อบังคับมาตรฐานฮาร์มอนิกที่ I<40A, THD = 20% และ 40A ≤ I<400A, THD = 15%

กลุ่มที่ 2 เมื่อพิจารณาห้องฆ่าเชื้ออุปกรณ์พบว่า ในแต่ละเฟสมีค่ากระแสสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากมีลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ประเภทซักล้างด้วยเครื่อง, เครื่องอบและฆ่าเชื้อ

รวมถึงอุปกรณ์แสงสว่าง ซึ่งพบว่าปริมาณ %THD<sub>i</sub> ที่วัดได้มีค่าน้อยมาก เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้งานหลักไม่ใช่แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกและมีค่ากระแสที่ความถี่หลักมูลสูง ส่วนห้องพักอาจารย์และห้องบรรยายพบว่า บางเฟสมีการใช้งานอุปกรณ์ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซึ่ง จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้งานในเฟส A, เฟส C อุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นแสงสว่าง และในเฟส B ปริ้นเตอร์ 1 เครื่อง, คอมพิวเตอร์ 2 เครื่องค่าปริมาณ %THD<sub>i</sub> ที่เกิดขึ้นคือ ในเฟส A เท่ากับ 16.4%, เฟส B เท่ากับ 24.5% และเฟส C เท่ากับ 17.4% ตามลำดับ สำหรับส่วนอื่นๆ พบว่าเมื่อมีการใช้งานอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สำนักงานต่างๆ ทำให้ปริมาณ %THD<sub>i</sub> มีค่าสูง ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกโดยเฉพาะอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

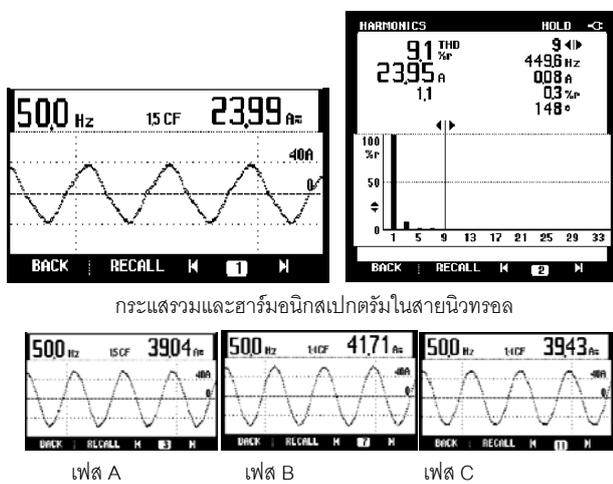
กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์จำนวนมาก ซึ่งพบว่าอุปกรณ์เหล่านี้จะสร้างกระแสฮาร์มอนิกที่สูงมาก โดยเฉพาะกระแสฮาร์มอนิกอันดับศูนย์ ซึ่งในกลุ่มนี้มีค่าปริมาณ %THD<sub>i</sub> สูงกว่าขีดจำกัดทั้งหมด และเมื่อพิจารณาศูนย์บริการอินเทอร์เน็ตและทั่วไป ซึ่งพบว่ามีอุปกรณ์ได้รับที่ใช้งานกับคอมพิวเตอร์และยังมีการใช้งานหลอดไฟชนิดที่มีบัลลาสต์แบบอิเล็กทรอนิกส์จึงทำให้ปริมาณ %THD<sub>i</sub> สูงกว่าศูนย์คอมพิวเตอร์ที่มีการใช้งานคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียว

กลุ่มที่ 4 จะเห็นว่าปริมาณ %THD<sub>i</sub> ของห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์มีค่าสูงกว่าห้องปฏิบัติการวงจรไฟฟ้า ฯ ทั้งนี้เนื่องจากประเภทอุปกรณ์ที่ใช้งานในเฟส A คอมพิวเตอร์ 15 เครื่อง, อุปกรณ์ฉายสไลด์ 1 เครื่อง เฟส B คอมพิวเตอร์ 15 เครื่อง และเฟส C คอมพิวเตอร์ 11 เครื่อง ผลที่ตามมาคือทำให้ในแต่ละเฟสมีค่าปริมาณ %THD<sub>i</sub> สูงมาก เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดกระแสฮาร์มอนิกโดยตรง สำหรับห้องบรรยาย 100, 200 และ 300 ที่นั่ง ในเฟส A และเฟส B อุปกรณ์ที่ใช้งานเป็นอุปกรณ์แสงสว่าง ส่วนเฟส C เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานกับเต้ารับ ดังนั้นปริมาณ %THD<sub>i</sub> ในเฟส C จึงมีค่าสูงกว่าเฟส A และเฟส B สำหรับกลุ่มนี้ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก ได้แก่ Analog Oscilloscope, Digital Multimeter, ชุดทดลอง RLC, คอมพิวเตอร์และเครื่องฉายสไลด์ และในทำนองเดียวกันเมื่อกระแสที่ความถี่หลักมูลมีค่าสูง %THD<sub>i</sub> มีค่าต่ำลง

สำหรับผลการตรวจวัดปริมาณค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม ( $THD_v$ ) พบว่าในกรณีที่มีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทไม่เป็นเชิงเส้นจำนวนมาก เป็นผลให้ในเฟสต่างๆ มีค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวมในปริมาณสูงกว่าขีดจำกัดและทำให้เกิดกระแสไหลในสายตัวนำนิวทรอลที่สูงแล้ว ยังส่งผลทำให้ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวมในเฟสต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีค่า  $\%THD_v$  ที่ได้จากการตรวจวัดอยู่ระหว่าง 1.1% - 2.3% อย่างไรก็ตามจากผลการตรวจวัดปริมาณ  $\%THD_v$  อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้เนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานและขีดจำกัดของค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวมของการไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 400V,  $THD_v = 5\%$

**5. ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ**

จากตารางที่ 4 แสดงข้อมูลกระแสไฟฟ้ารวมและค่า  $\%THD_v$  ในแต่ละกลุ่ม จากรูปที่ 2 แสดงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในเฟส A, เฟส B และเฟส C ที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น (กลุ่มที่ 2 ห้องฆ่าเชื้ออุปกรณ์)

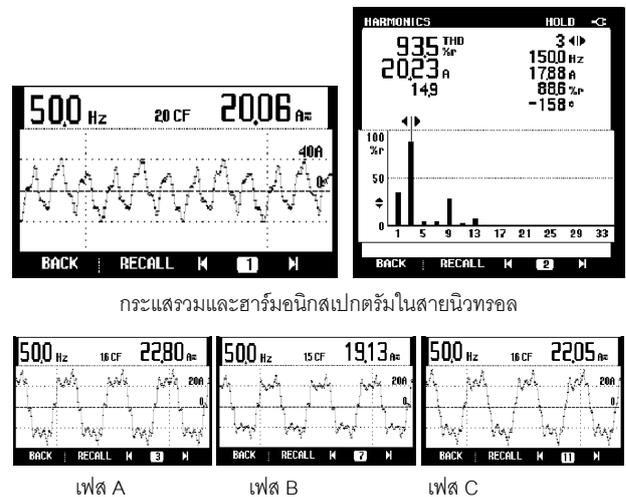


รูปที่ 2 ผลการวัดรูปคลื่นกระแสของห้องฆ่าเชื้ออุปกรณ์

เมื่อพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นในสายนิวทรอล พบว่ามีค่ากระแสไฟฟ้ารวมในสายนิวทรอลในปริมาณที่สูงแต่มีค่าปริมาณ  $\%THD_{IN}$  ต่ำ โดยผลของสัญญาณรูปคลื่นกระแสไฟฟ้ามีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มาก (Sinusoidal Waveform) ซึ่ง

ถ้าพิจารณาฮาร์มอนิกสเปกตรัมของกระแสในสายนิวทรอล จะพบว่า มีค่ากระแสฮาร์มอนิกในแต่ละอันดับน้อยมาก โดยเฉพาะกลุ่มกระแสฮาร์มอนิกอันดับศูนย์ (Triple Harmonic) คือ  $I_3 = 2.11A, I_9 = 0.08A, I_{15} = 0.05A, I_{21} = 0.03A$  และอันดับอื่นๆ มีค่าน้อยลงตามลำดับ และมีค่ากระแสที่ความถี่หลักมูล (50 Hz) เท่ากับ 23.85A

ถ้าเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 3 ศูนย์บริการอินเทอร์เน็ตและบริการทั่วไปซึ่งอุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นคอมพิวเตอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช่แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซ์ซึ่ง จะเห็นว่ากรณีนี้ถึงแม้ว่าจะมีการจัดโหลดให้แต่ละเฟสเกิดความสมดุลกัน แต่เนื่องจากว่าในกระแสเฟสมีฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 ที่สูง ทำให้เกิดกระแสนิวทรอลที่สูง และมีกระแสฮาร์มอนิกในปริมาณที่สูงมากอีกด้วย จากรูปที่ 3 แสดงรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแสดงฮาร์มอนิกสเปกตรัมของกระแสในสายนิวทรอล พบว่ามีสัญญาณรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์มาก ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณที่ประกอบขึ้นจากผลรวมระหว่างสัญญาณความถี่หลักมูล(50 Hz) กับสัญญาณฮาร์มอนิก ดังนั้นสัญญาณที่ได้จึงมีรูปร่างผิดเพี้ยนต่างจากสัญญาณรูปคลื่นไซน์

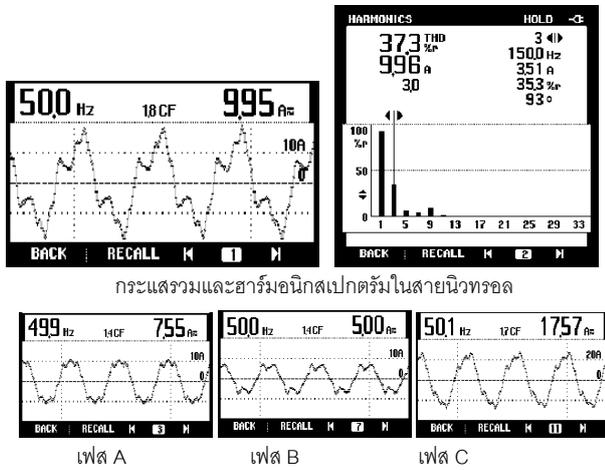


รูปที่ 3 ผลการวัดรูปคลื่นกระแสของศูนย์บริการอินเทอร์เน็ตและบริการทั่วไป

ส่วนฮาร์มอนิกสเปกตรัมของกระแสในสายนิวทรอล เมื่อพิจารณากลุ่มกระแสฮาร์มอนิกอันดับศูนย์ที่เกิดขึ้น  $I_3 = 17.88A, I_9 = 5.64A, I_{15} = 0.21A$  และ อันดับอื่นๆ มีค่า

น้อยลงตามลำดับ ซึ่งจะพบว่า กระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 ปนอยู่มาก แต่ในขณะที่ค่ากระแสที่ความถี่หลักมูล เท่ากับ 7.14A เมื่อเปรียบเทียบกับกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 จะมีค่าน้อยกว่ามาก ดังนั้น ทำให้เกิดค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมในสายนิวทรอลสูงมากคือ  $THD_{IN} = 93.5\%$  เมื่อพิจารณาต่อไปอีก สำหรับกรณีนี้ ยังพบอีกว่า กระแสรวมที่เกิดขึ้นในสายนิวทรอล (20.23A) มีค่าสูงกว่ากระแสรวมในเฟส B (19.11A) อีกด้วย แสดงในรูปที่ 3

สำหรับในกรณีที่กระแสไฟฟ้ารวมในแต่ละเฟสมีค่าต่างกันที่มีค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวมสูงกว่าขีดจำกัดหรือเกินขีดจำกัดบางเฟส จากตารางที่ 4 พบว่า กลุ่มที่ 2 (ห้องพักอาจารย์และห้องบรรยาย) มีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นในแต่ละเฟสแตกต่างกัน จะเห็นว่าในเฟส B อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก ทำให้มีปริมาณ %THD<sub>i</sub> สูงกว่าขีดจำกัด ซึ่งจะแตกต่างกับเฟส A และเฟส C ที่มีค่าปริมาณ %THD<sub>i</sub> น้อยกว่าขีดจำกัด

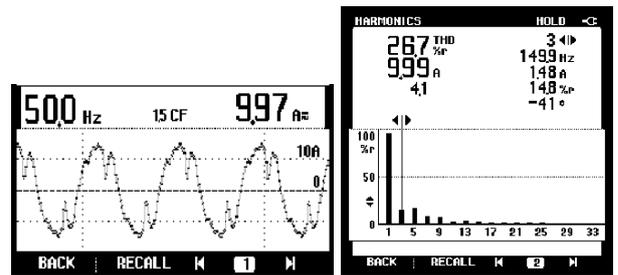


รูปที่ 4 ผลการวัดรูปคลื่นกระแสของห้องพักอาจารย์, ห้องบรรยาย

จากรูปที่ 4 แสดงผลกระทบของสัญญาณรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรอล พบว่ามีรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์ ซึ่งฮาร์มอนิกสเปกตรัมที่เกิดขึ้น จะเห็นว่ามีค่ากระแสในแต่ละอันดับ คือ  $I_1 = 9.25A, I_3 = 3.51A, I_5 = 0.66A, I_7 = 0.45A, I_9 = 0.88A$  และอันดับอื่นๆ มีค่าน้อยลง

ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่า กระแสฮาร์มอนิกกลุ่มอันดับศูนย์จะมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสฮาร์มอนิกอันดับอื่นๆ โดยผลของกระแสฮาร์มอนิกที่ปนอยู่มากคือ อันดับที่ 3 และอันดับที่ 9

ในกรณีที่มีการใช้งานของกระแสที่ต่างกัน ในตารางที่ 4 กลุ่มที่ 1 (สำนักงานประเภทห้องตรวจเลือด) มีปริมาณ %THD<sub>i</sub> ในแต่ละเฟสน้อยกว่าขีดจำกัด อันเนื่องมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานได้แก่ กล้องจุลทรรศน์, ตู้แช่เย็น และอุปกรณ์แสงสว่าง เป็นต้น



รูปที่ 5 ผลการวัดรูปคลื่นกระแสของสำนักงาน (ห้องตรวจเลือด)

จากภาพที่ 5 พบว่า สัญญาณรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าในสายนิวทรอลมีรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนจากสัญญาณรูปไซน์ไม่มากนัก และฮาร์มอนิกสเปกตรัมของกระแสที่เกิดขึ้นในแต่ละอันดับคือ  $I_1 = 9.63 A, I_3 = 1.48 A, I_5 = 1.77 A, I_7 = 0.85 A, I_9 = 0.77 A$  และอันดับอื่นๆ มีค่าน้อยลงตามลำดับ ซึ่งจะพบว่า กระแสฮาร์มอนิกกลุ่มอันดับศูนย์จะมีค่าน้อย โดยผลของกระแสฮาร์มอนิกที่มีค่าสูงสุด จะเป็นกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อค่ากระแสที่ความถี่หลักมูลสูง ทำให้ปริมาณ %THD<sub>IN</sub> มีค่าต่ำกว่าเมื่อมีกระแสที่ความถี่หลักมูลต่ำ

จากกรณีศึกษาพบว่า กลุ่มฮาร์มอนิกที่มีผลกระทบต่อสายนิวทรอลมากที่สุดคือฮาร์มอนิกกลุ่มที่มีอันดับเป็นจำนวนเท่าของสามหรือเรียกว่าฮาร์มอนิกกลุ่มอันดับศูนย์ (3, 9, 15, 21 ...) โดยเฉพาะอันดับที่ 3 จากตารางที่ 5 แสดงข้อมูลการสำรวจกระแสฮาร์มอนิกในสายนิวทรอล จะเห็นว่ากลุ่มห้อง

สำนักงานแต่ละประเภทพบ %THD<sub>IN</sub> อยู่ระหว่าง 26.7% - 74% กลุ่มห้องสำนักงานและห้องอื่นๆ ที่ใช้งานรวมกันพบ %THD<sub>IN</sub> อยู่ระหว่าง 9.1% - 73.9% กลุ่มศูนย์บริการคอมพิวเตอร์พบ %THD<sub>IN</sub> อยู่ระหว่าง 86.5% - 93.5% ส่วนกลุ่มห้องบรรยายและห้องปฏิบัติการจะพบ %THD<sub>IN</sub> อยู่ระหว่าง 22.9% - 81%

ตารางที่ 5 ข้อมูลกระแสฮาร์มอนิกรวมในสายนิวทรัลทั้ง 4 กลุ่ม

อุปกรณ์ประเภท	กระแส (A)	THD <sub>IN</sub> (%)	ฮาร์มอนิกอันดับที่กระแสสูงสุด	กระแสฮาร์มอนิกอันดับที่สูงที่สุด (A)
ผลการวัดฮาร์มอนิก กลุ่มห้องสำนักงาน				
สำนักงาน (บริการการศึกษา)	9.49	67.3	3	5.68
สำนักงาน (เลขานุการ บว.๓)	19.36	74	3	13.23
สำนักงาน (ฝ่ายบริหาร)	5.74	34.2	3	1.78
สำนักงาน (สารสนเทศ)	7.18	54.3	3	3.59
สำนักงาน (เลขานุการ วศ.)	10.02	66.3	3	8.78
สำนักงาน (ฝ่ายบริหารฯ)	9.32	56.8	3	4.65
สำนักงาน (ตรวจรักษาสัตว์)	10.77	52	3	4.91
สำนักงาน (ห้องผ่าตัด)	9.3	30	5	1.8
สำนักงาน (ห้องตรวจเลือด)	9.99	26.7	5	1.77
ผลการวัดฮาร์มอนิก กลุ่มห้องที่ใช้งานรวมกัน				
บริการทั่วไป, สำนักงาน	11.2	73.9	3	7.54
ห้องบรรยาย, สำนักงาน	7.4	43	3	2.26
ห้องคอมพิวเตอร์, สำนักงาน	15.08	61.4	3	8.44
ห้องฆ่าเชื้ออุปกรณ์, สำนักงาน	23.95	9.1	3	2.11
ห้องพักอาจารย์, ห้องบรรยาย	9.96	37.3	3	3.51
ผลการวัดฮาร์มอนิก กลุ่มศูนย์บริการคอมพิวเตอร์และบริการทั่วไป				
ศูนย์คอมพิวเตอร์	19.61	88.4	3	15.82
บริการอินเทอร์เน็ตและทั่วไป	20.23	93.5	3	17.88
บริการ Edutainment Zone	13.78	86.5	3	11.11
ผลการวัดฮาร์มอนิก กลุ่มห้องบรรยายและห้องปฏิบัติการ				
ห้องปฏิบัติการวางจรรยาวิชาชีพ	9.66	62.4	3	5.47
ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์	12.45	81	3	9.09
ห้องบรรยาย 100 ที่นั่ง 2 ห้อง	10.35	48.9	3	4.86
ห้องบรรยาย 200 ที่นั่ง	6.15	38.1	3	2.31
ห้องบรรยาย 300 ที่นั่ง	5.21	22.9	3	1.1

สำหรับกระแสฮาร์มอนิกที่มีค่าสูงสุดส่วนใหญ่จะเป็นกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 และกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 ตามลำดับ กระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 มีค่าสูงสุด 17.88 แอมแปร์ และอันดับที่ 5 มีค่าสูงสุด 1.8 แอมแปร์ สำหรับค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (%THD<sub>IN</sub>) จะอยู่ระหว่าง 9.1% - 93.5% ห้องฆ่าเชื้ออุปกรณ์จะมี %THD<sub>IN</sub> ต่ำที่สุดคือ

9.1% และบริการอินเทอร์เน็ตและทั่วไป (สำนักหอสมุด) มี %THD<sub>IN</sub> สูงที่สุดคือ 93.5% ซึ่งผลการเปรียบเทียบค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกในสายนิวทรัล (THD<sub>IN</sub>) ของกลุ่มที่ 1, กลุ่มที่ 2, กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 ได้ผลสรุปดังตารางที่ 5

### 6. บทสรุป

ผลการตรวจวัดและสำรวจอาคารในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน) พบว่า บางอาคารมีค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิก รวมของแต่ละเฟสต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น โดยเฉพาะอุปกรณ์เครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้บางเฟสมีค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวมเกินขีดจำกัด ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยกระจายอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นให้สมดุลกัน สำหรับกรณีกระแสในแต่ละเฟสใกล้เคียงกัน และยังมีค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมเกินขีดจำกัด พบว่า มีค่ากระแสในสายนิวทรัลในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 เป็นสาเหตุให้สายตัวนำเกิดความร้อนจนอาจเกิดความเสียหายได้ ดังนั้น จึงควรหาทางป้องกันโดยอาจติดตั้งอุปกรณ์กรองฮาร์มอนิกโดยเฉพาะฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 เพื่อให้ค่ากระแสลดลง

### 7. กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์เกียรติคุณ ทวีญาน, ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ มาด้วยดีตลอดรวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

### เอกสารอ้างอิง

- [1] ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์มอนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม
- [2] แบบระบบไฟฟ้าของอาคารในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน)
- [3] G5/4: Planning Levels for Harmonic Voltage Distortion and the Connection of Non-Linear Equipment to

Transmission and Distribution Networks Energy Networks

Association, February 2001

[4] IEC 1000-3-2 “Limits for harmonic current emissions (equipment input current <16A)”, 1995.

[5] IEC60364-5-52- Electrical Installation in Building – Part 5-52: Selection and Erection of Electrical Equipment – Wiring System, 2001

[6] IEEE Standard 519-1992 IEEE Standard 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Power Systems.

[7] Standards of Power Quality with reference to the Code of Practice for Energy Efficiency of Electrical Installations Ir. Martin WU Kwok-tin