

# กระแสไฟฟ้ารั่วลงดินของลูกถ้วยฉนวน 22 กิโลโวลต์ ทดสอบภายใต้สภาวะ สารละลายเกลือ

อำนาจ สุขศรี<sup>1)</sup> กิตติพงษ์ ตันมิตร<sup>2)</sup> และคงจักร์ บุญทัน<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<sup>2)</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<sup>3)</sup> นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การทดลองเพื่อศึกษากระแสรั่วไฟฟ้าลงดินของลูกถ้วยฉนวน 22 กิโลโวลต์ ภายใต้สภาวะสารละลายเกลือที่เปลี่ยนแปลงค่าความนำไฟฟ้า ซึ่งใช้ลูกถ้วยสำหรับทดสอบ 4 ชนิดคือ ลูกถ้วยก้านตรงชนิด 2 ครีบ ลูกถ้วยก้านตรงชนิด 3 ครีบ ลูกถ้วยพินโพล และลูกถ้วยไลน์โพล การทดสอบใช้ Rotating Wheel Tester (RWT) เพื่อหาคุณลักษณะความต้านทานและกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินของลูกถ้วยแต่ละชนิดที่มีต่อระดับค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายเกลือ (NaCl) วิเคราะห์ข้อมูลที่ตรวจวัดโดย Fast Fourier Transform (FFT) เพื่อหาค่าสเปกตรัมของสัญญาณที่ฮาร์โมนิกส์ต่างๆ จากการทดลองพบว่า ลูกถ้วยไลน์โพล มีคุณลักษณะความต้านทานที่ดี และมีค่ากระแสไฟฟ้ารั่วลงดินน้อยที่สุด ดังนั้น เพื่อลดปริมาณของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน ในลูกถ้วยที่ถูกติดตั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนสูง ควรพิจารณาเลือกใช้ลูกถ้วยชนิดไลน์โพลเป็นอันดับแรก แต่ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องมีข้อกำหนดหรือหลักเกณฑ์อื่นๆ มาประกอบด้วยในการเลือก เพื่อให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้งานต่อไป

# Electrical Leakage Current on 22 kV Porcelain Insulators Tested under Saline Solution

Amnart Suksri<sup>1)</sup> Kittipong Tonmitra<sup>2)</sup> and Kongchuk Boontun<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 40002

<sup>2)</sup> Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 40002

<sup>3)</sup> Master Student, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 40002

## Abstract

This paper presents the investigation of electrical leakage current characteristics of 22 kV porcelain insulators such as 2-fin pin type insulator, 3-fin pin type insulator, post type insulator and line post insulator. Experimental works used Rotating Wheel Tester (RWT) to study for the effect of saline ( $NaCl$ ) conductivity to the resistance properties as well as electrical leakage current of each insulators. Measurement of the electrical leakage current in dry band condition has also been recorded. Analyses of data were done by application of Fast Fourier Transform (FFT) for calculation of the harmonics spectrum. Based on the experiments, it is found that the line post type insulator has the best properties of resistance characteristic as well as lowest amount of electrical leakage current. Hence, for a reduction of the electrical leakage current on insulator, that is, to be installed at the high pollution area, the proper choice to choose is the line post type insulators. However, in the practically, it is necessary to gather more information in order to decide for the most suitable type of specific purpose.

**Keywords :** The electrical characteristics, electrical leakage current, Rotating Wheel Tester, Fast Fourier Transform (FFT), harmonic spectrum

## บทนำ

ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าในระบบจำหน่ายที่การไฟฟ้า ใช้งานอยู่มีอยู่หลากหลายชนิด และถูกนำไปติดตั้งปะปนกันในพื้นที่ต่างๆ ก่อให้เกิดการปนเปื้อนบนพื้นผิวของลูกถ้วยที่แตกต่างกัน การศึกษาผลของสภาวะความปนเปื้อนต่างๆ ที่มีต่อลูกถ้วยนั้นสามารถทำได้โดยการศึกษาผลของค่าความนำไฟฟ้า (conductivity) ที่เกิดขึ้นจากคราบการปนเปื้อนบนลูกถ้วยกับระดับของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า ซึ่งสามารถแทนในกรณีที่ลูกถ้วยที่มีคราบปนเปื้อนละลายเป็นสารละลายที่เกิดจากการชะล้างของน้ำฝน ทำให้มีค่าความนำไฟฟ้าเกิดขึ้นระดับหนึ่ง งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในส่วนของผลของค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายเกลือ ที่มีต่อค่าของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินที่

เกิดขึ้นในลูกถ้วยแต่ละชนิด เพื่อนำข้อมูลที่ทดสอบได้ไปประกอบในการเลือกใช้งานลูกถ้วยในสภาวะความปนเปื้อนต่างๆ ต่อไป

## ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับสายไฟฟ้า เพื่อทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันมิให้เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินหรือเกิดการลัดวงจรลงดิน เพราะถ้าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลมีค่ามาก อุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายจะตัดวงจรออกจากระบบ ทำให้การใช้ไฟฟ้าเกิดการหยุดชะงัก ดังนั้น ลูกถ้วยจึงมีความสำคัญหากยังมีการเดินสายไฟฟ้าเหนือพื้นดิน ทั้งในระบบสายส่งแรงสูง (transmission line system) และระบบสายจำหน่าย (distribution line system) ลูกถ้วยที่ใช้ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฯ มีหลายแบบได้แก่

1. ลูกถ้วยก้านตรง (pin insulators) ที่มีใช้งานในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นพิกัด 22 kV และ 33 kV ตามมาตรฐาน EEI-NEMA ของสหรัฐอเมริกา เนื่องจากเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของไทย มีการเคลือบด้วยสารกึ่งตัวนำ (semi-conductor) ที่บริเวณจุดรองรับสายตัวนำ เพื่อป้องกันมิให้เกิดคลื่นวิทยุไปรบกวนระบบสื่อสารที่อยู่ใกล้
2. ลูกถ้วยแขวน (suspension insulators) โดยด้านบนและล่างของลูกถ้วยจะมีข้อต่อที่เป็นห่วงโลหะสำหรับเกี่ยวยึดกันเป็นชั้นๆ สายตัวนำจะถูกยึดด้วย suspension clamp สามารถใช้กับเสาต้น dead end เพื่อรับสายไฟฟ้าที่มีแรงดึงสูง จำนวนชั้นของลูกถ้วยขึ้นอยู่กับระดับแรงดันไฟฟ้า ยิ่งแรงดันไฟฟ้าสูงยิ่งจำนวนชั้นมาก นิยมใช้มากในระบบแรงดันไฟฟ้าสูง โดยการไฟฟ้าฯใช้ลูกถ้วยแขวนอยู่ 2 ขนาดคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 และ 10 นิ้ว มีทั้งแบบธรรมดาและแบบ anti-pollution
3. ลูกถ้วยฟอกไทพ์ (fog type insulators) รูปร่างโดยทั่วไปจะคล้ายกับลูกถ้วยก้านตรงแรงดันไฟฟ้าสูง แต่มีครีบนับจำนวนมากกว่าและระยะสูงกว่า ลูกถ้วยชนิดนี้ออกแบบไว้ใช้งานในแถบชายทะเลที่มีมลภาวะจากไอเกลือจากทะเลสูงมากรวมทั้งป้องกันการเกิด flashover หรือเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล
4. ลูกถ้วยโพสท์ไทพ์ (post type insulator) การไฟฟ้าฯจะใช้ลูกถ้วยชนิดนี้ไม่มากนัก และส่วนใหญ่จะใช้งานในภาคใต้ บริเวณที่เป็นทางโค้งหรือทางแคบๆ แทนการใช้ลูกถ้วยก้านตรง 33 kV

5. ลูกถ้วยสำหรับสายยึดโยง (strain insulators) ใช้สำหรับสายยึดโยงในระบบจำหน่าย เพื่อป้องกันกระแสรั่วไหลจากหัวเสาตามสายยึดโยงลงดิน ลูกถ้วยจะถูกใช้งานในแนวเดียวกับสายยึดโยงซึ่งมีแรงดึงมาก ดังนั้นลูกถ้วยสำหรับสายยึดโยงจึงต้องมีความสามารถในการทนแรงดึงหรือแรงกลได้สูง
6. ลูกถ้วยลู่รอก (spool insulators) ใช้รองรับสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ใช้ร่วมกับ rack โดยสายไฟจะพาดผ่านร่องกลางของลูกถ้วยสามารถติดตั้งได้ทั้งแนวนอนและแนวตั้งขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน

### ปัญหามลภาวะกับลูกถ้วยฉนวนและแนวทางในการป้องกัน

จากการที่ลูกถ้วยฉนวนในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ถูกนำไปติดตั้งในพื้นที่ที่มีสภาวะแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนบนพื้นผิวของลูกถ้วยที่แตกต่างกันเช่น ลูกถ้วยที่ติดตั้งในเขตอุตสาหกรรมซึ่งจะมีคราบการปนเปื้อนของเขม่าควันจากท่อไอเสีย ลูกถ้วยที่ติดตั้งใกล้ชายฝั่งชายทะเลจะได้รับการปนเปื้อนจากไอเกลือ ลูกถ้วยที่ติดตั้งในเขตโรงงานแป้งมันหรือโรงสีข้าวจะได้รับการปนเปื้อนจากฝุ่นที่เกิดจากแป้งมันและฝุ่นจากการสีข้าว[1] เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเช่น อุปกรณ์ประกอบเครื่องวัดต่างๆ ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า ซีท/พีที ล้อฟ้าแรงสูง และอุปกรณ์อื่นๆ เกิดการชำรุดเสียหายทำให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดขัดข้องขึ้น การศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากมลภาวะ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการป้องกันปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องซึ่งเกิดจากมลภาวะดังกล่าว เพื่อใช้สำหรับการดูแลบำรุงรักษาระบบจำหน่าย ตามสภาวะความรุนแรงของมลภาวะแต่ละแห่งดังนี้

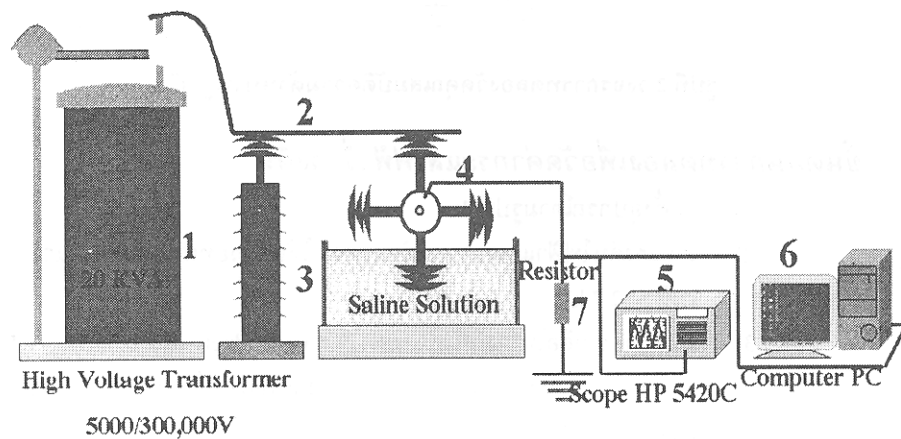
- 1) การกำหนดแผนงานฉีดน้ำล้างอุปกรณ์ไฟฟ้าตามวาระ
- 2) การกำหนดแผนงานดับไฟบำรุงรักษาระบบจำหน่าย พร้อมทั้งทำความสะอาดอาคารอุปกรณ์ไฟฟ้า และสับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุด
- 3) การเพิ่มค่าระยะฉนวน (leakage distance) ของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า และดรอพเอาต์ฟิวส์ (dropout fuse) ให้สูงขึ้น
- 4) การใช้วัสดุทาเคลือบอุปกรณ์ไฟฟ้าเช่น silicone grease หรือ silicone rubber
- 5) เลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำจาก silicone rubber

## การทดลอง

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการปนเปื้อนของลูกถ้วยจะมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 1 และมีอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าขนาด 20 KVA
- 2) สายนำไฟฟ้าแรงสูง 25 kV XLPE
- 3) ฐานรองรับอุปกรณ์
- 4) rotating wheel tester, motor, รางสารละลายเกลือ และวงจรขับ motor
- 5) oscilloscope HP 54520C 500 MHz
- 6) คอมพิวเตอร์ PC บันทึกข้อมูลผ่าน DAQ Card
- 7) ตัวต้านทานตรวจวัดขนาด 100 โอห์ม



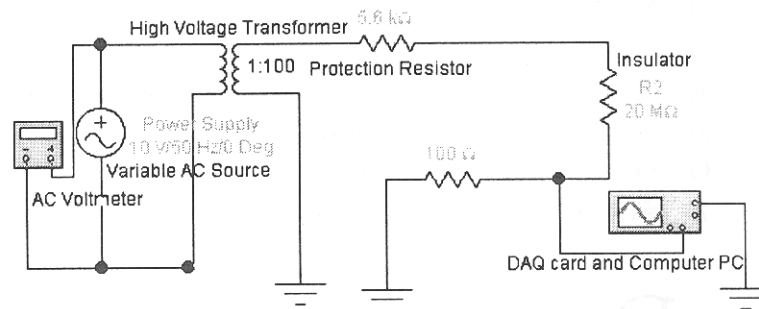
รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองวัดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน

### ขั้นตอนการทดลองวัดคุณสมบัติความต้านทานลูกถ้วย

- 1) ติดตั้งอุปกรณ์ตามวงจรรูปที่ 2 จ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงจากหม้อแปลงผ่านให้สายตัวนำไฟฟ้าให้ลูกถ้วยทดสอบที่ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 2 kV จนถึง 22-kV โดยเพิ่มค่าขึ้นครั้งละ 2 kV ตามลำดับ

- 2) ใช้ DAQ Card ทำการสุ่ม (sampling) สัญญาณที่ตรวจวัดได้ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าทดสอบค่าต่างๆ เข้าเก็บในคอมพิวเตอร์ โดยทำการเก็บข้อมูลลูกถ้วยจำนวน 4 ลูก
- 3) เปลี่ยนชนิดลูกถ้วยและทำตามขั้นตอนข้อ 1 และ 2 จนครบ

#### Circuit Diagram for Charlacteristical Insulators Testing



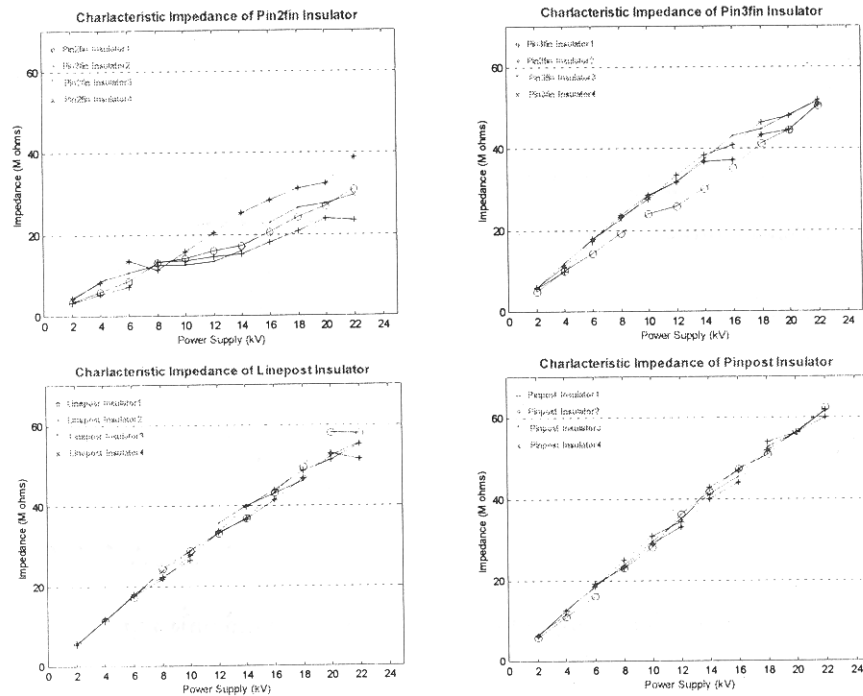
รูปที่ 2 วงจรการทดลองวัดคุณสมบัติความต้านทานลูกถ้วย

#### ขั้นตอนการทดลองเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน

- 1) ติดตั้งอุปกรณ์ตามรูปที่ 1
- 2) จ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงจากหม้อแปลง ให้ลูกถ้วยทดสอบที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 12.7 kV
- 3) สารละลายเกลือในรางมีค่าความนำไฟฟ้า (conductivity) 0.5, 1.0, 1.5, ..., 9.5 mS/cm โดยตั้งเวลาทดสอบ(Energized)ไว้ 60 วินาที (260 วินาที/รอบการหมุน)
- 4) ใช้ DAQ Card ทำการสุ่มสัญญาณที่ตรวจวัดได้ที่ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายเกลือระดับต่างๆ เข้าเก็บในคอมพิวเตอร์ วัดค่าเทียบกับ oscilloscope HP 54520C 500 MHz ทำการเก็บข้อมูลลูกถ้วยทั้ง 4 ลูก
- 5) เปลี่ยนชนิดลูกถ้วยและทำการทดลองตามข้อ 1 ถึง 4 ตามลำดับ จนครบจำนวน

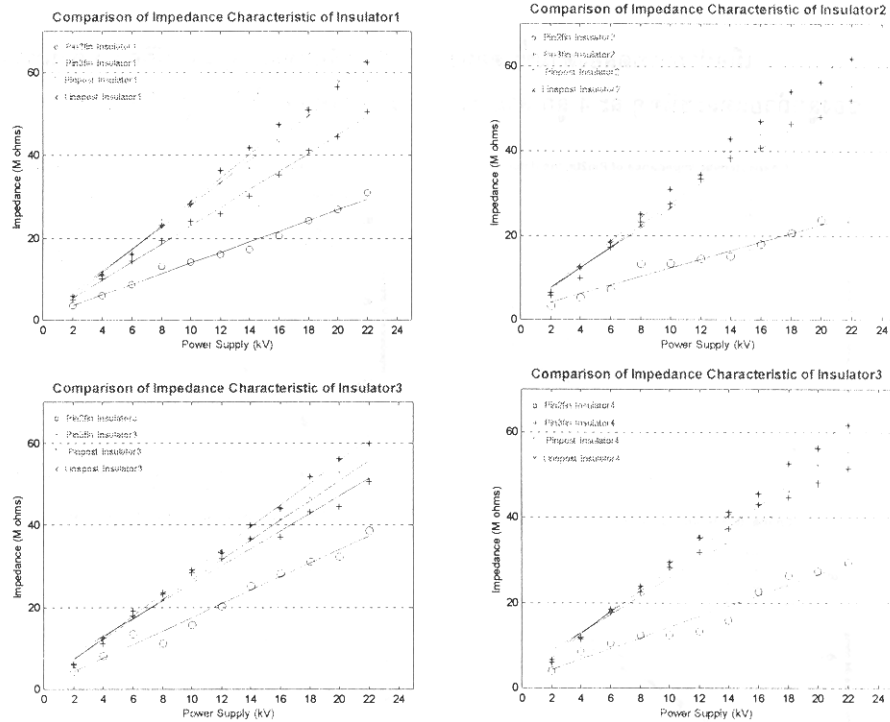
## ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองตามขั้นตอนข้อ 3.2 เพื่อทดสอบคุณสมบัติความต้านทานของลูกถ้วยแต่ละชนิดๆ ละ 4 ลูก สามารถแสดงผลการทดลองได้ตามรูปที่ 3-5

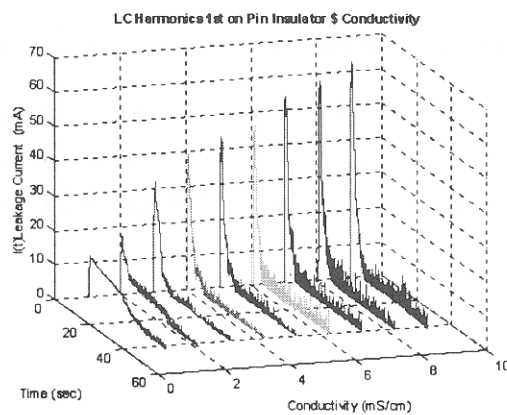


รูปที่ 3 คุณสมบัติความต้านทานของลูกถ้วยทั้ง 4 ชนิด

เมื่อทำการทดลองตามขั้นตอนข้อ 3.3 เพื่อทดสอบค่ากระแสไฟฟ้ารั่วลงดินของลูกถ้วยแต่ละชนิดๆ ละ 4 ลูก สามารถแสดงผลกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าในสภาวะเปียกจนถึงสภาวะแห้งที่สารละลายค่าความนำไฟฟ้าต่างๆ ตามรูปที่ 6



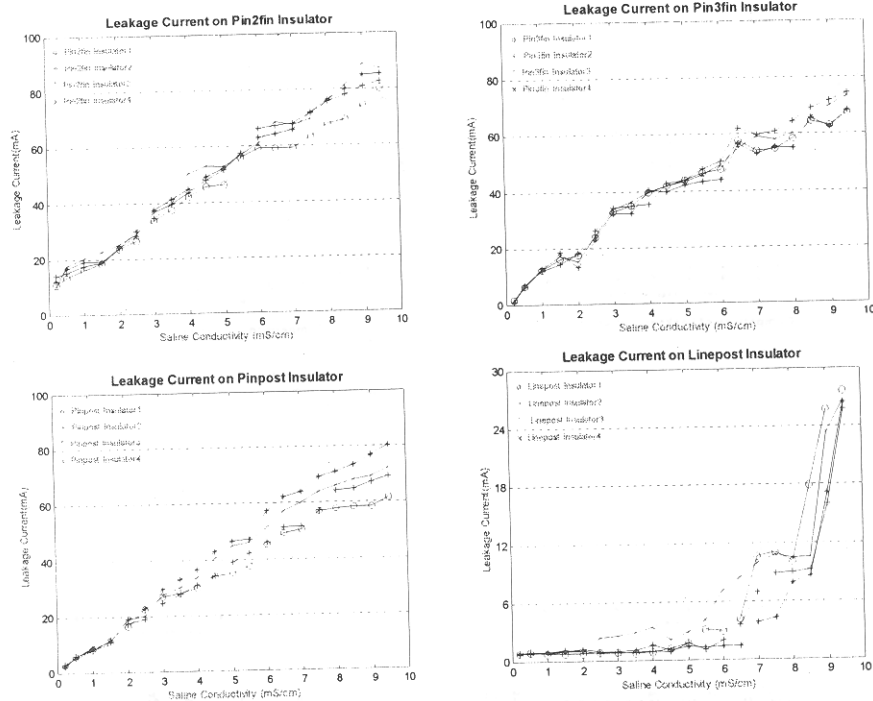
รูปที่ 5 เปรียบเทียบคุณลักษณะความต้านทานของลูกถ้วยทั้ง 4 ลูก



รูปที่ 6 ฮาร์โมนิกที่ 1 ของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินที่ค่าความนำไฟฟ้าต่างๆ ในช่วงของการทดสอบ



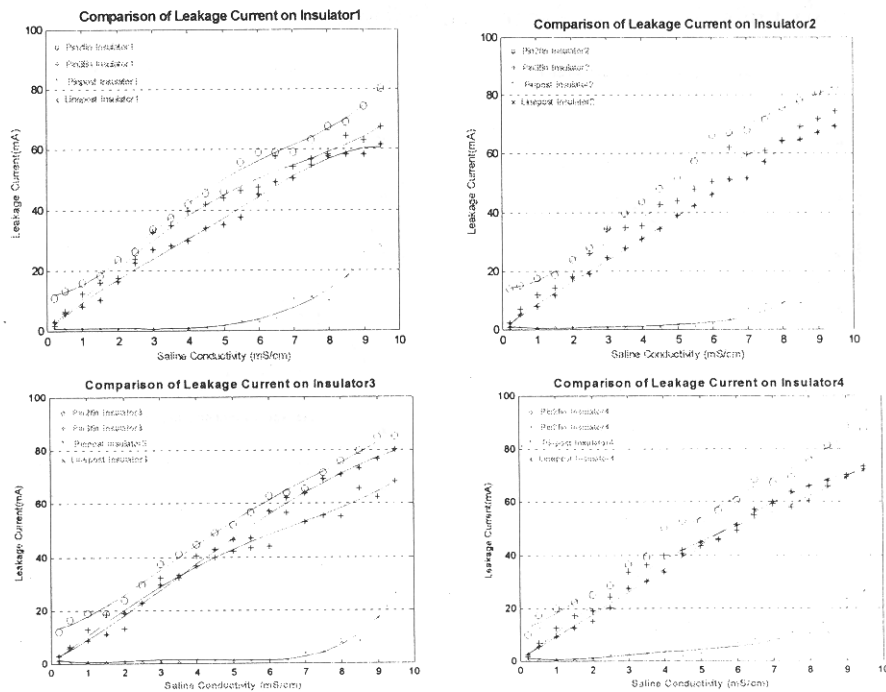
รูปที่ 7 จะแสดงผลของค่ากระแสไฟฟ้ารั่วลงดินสูงสุดในสภาวะเปียกของลูกถ้วยทั้ง 4 ชนิด ที่สารละลายเกลือค่าความนำไฟฟ้าต่างๆ



รูปที่ 7 กระแสไฟฟ้ารั่วลงดินสูงสุดในสภาวะเปียกของลูกถ้วยทั้ง 4 ชนิด

### สรุปผล

จากการทดลองพบว่าลูกถ้วยก้านตรงชนิด 2 ครีบ มีคุณลักษณะความต้านทานต่ำที่สุดที่ระดับแรงดันไฟฟ้าทดสอบเดียวกัน และมีค่ากระแสไฟฟ้ารั่วลงดินมากที่สุดสำหรับค่าความนำไฟฟ้าทดสอบระดับเดียวกันและในลักษณะเดียวกัน ลูกถ้วยไลน์โพสต์มีคุณลักษณะความต้านทานที่ดี และมีกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินน้อยที่สุดในช่วงค่าความนำไฟฟ้าระดับเดียวกัน ดังนั้น เพื่อลดปริมาณของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดินของลูกถ้วยที่ติดตั้งใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนสูง และอยู่ในสภาวะเปียกชื้นจากน้ำฝน ควรพิจารณาเลือกใช้ลูกถ้วยชนิดไลน์โพสต์ แทนการเลือกใช้ลูกถ้วยก้านตรงชนิดอื่น แต่ในการใช้งานจริงจำเป็นต้องมีข้อกำหนด หรือหลักเกณฑ์อื่นๆ มาประกอบในการพิจารณาเลือกใช้งานลูกถ้วย เพื่อประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้งานลูกถ้วยฉนวนต่อไป



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้ารั่วลงดินของลูกถ้วยแต่ละชนิดทั้ง 4 ลูก

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณกองพล พรหมหาราช การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดขอนแก่น และคุณชาติเรี เกื่อนนาดี วิศวกรไฟฟ้า ระดับ 6 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขตอุดรธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ลูกถ้วยใหม่ทดสอบ บทความนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือเครื่องใช้และอุปกรณ์ในการทดสอบจากห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอขอบคุณ คุณยุทธ จันทนป และคุณสมฤทธิ์ พิพูฒ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือปฏิบัติงาน และบุคคลอื่นๆ ที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

## เอกสารอ้างอิง

- กิตติพงษ์ ตันมิตร วันชัย ธนาเศรษฐ์อังกูล อำนาจ สุขศรี และชาติรี เกื่อนนาคี, 2543, “กระแสรั่วลงดินของลูกถ้วยก้านตรง 22 kV ในสภาวะเปรอะเปื้อน.” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 23, 23-24 พฤศจิกายน 2543 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- คงจักร์ บุญทัน กิตติพงษ์ ตันมิตร และอำนาจ สุขศรี, 2545, “รูปแบบของกระแสรั่วลงดินของลูกถ้วยฉนวน ภายใต้สภาวะของสารละลายเกลือที่ทดสอบโดย Rotating Wheel Tester” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 25, 21-22 พฤศจิกายน 2545 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Amnart Suksri, Kittipong Tonmitra and Kongchak Boontan, 2002, “Hamonics Analysis on Leakage Current of High Voltage Porcelain Insulator under Saline condition tested via Rotating Wheel Tester” **Proceedings of 9<sup>th</sup> Tri-University Joint Seminar & Symposium-Role of Asia in the World-Oct.28-31, 2002**, Jiansu University, CHINA.
- M.A.R.M. Fernando S.M. and Gubanski, 1996, “Leakage Current Patterns on Artificially Polluted Composite Insulators” **IEEE Annual Report-Conference on lectrical Insulation and Dielectric Phenomena**, San Francisco, 20-23 October 1996.
- U. Kaltenborn, J.Kindersberger, R. Barsch and H. Jahn., 1997, “On the Electrical Performance of Different Insulating Materials in a Rotating-Wheel Dip-Test” **IEEE Annual Report-Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena**, Minneapolis, 19-22 October 1997.