

## อิทธิพลของวัสดุฉนวนและการปนเปื้อนบนผิวต่อการกระจายสนามไฟฟ้าโดยใช้การจำลองเชิงฟิสิกส์และ โครงข่ายประสาทเทียม

### INFLUENCE OF INSULATOR MATERIALS AND SURFACE CONTAMINATION ON ELECTRIC FIELD DISTRIBUTION USING PHYSICS-BASED SIMULATION AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

รติ วงษ์สถาน\*, ชนะพล มหาวรรณ, ยศพร จันทร์ทอง, และ อีราวูฒิ กุลธราธีระ

Rati Wongsathan\*, Chanapon Mahawan, Yosaporn Chantong, and Theerawut Kultharatheera

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่

\* ผู้มีพันธะประสานงาน: rati@northcm.ac.th

#### บทคัดย่อ:

ฉนวนไฟฟ้าแรงสูงเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบจำหน่ายและส่งกำลังไฟฟ้า ทำหน้าที่แยกตัวนำที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงออกจากโครงสร้างที่ต่อลงดิน ในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ผิวของฉนวนมักเกิดการสะสมของสิ่งปนเปื้อนซึ่งมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกันและทำให้การกระจายสนามไฟฟ้ามีความเพี้ยน นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของกระแสรั่วและความเสี่ยงต่อการเกิดแฟลชโอเวอร์ งานวิจัยนี้ศึกษาผลของชนิดวัสดุฉนวนและสภาวะการปนเปื้อนบนผิวต่อพฤติกรรมการกระจายสนามไฟฟ้า สำหรับระบบแรงดันไฟฟ้า 11–22 kV โดยใช้การจำลองเชิงฟิสิกส์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ทำงานบนโปรแกรม COMSOL Multiphysics วัสดุฉนวนที่พิจารณาประกอบด้วยพอร์ซเลน แก้ว และพอลิเมอร์คอมโพสิต ภายใต้สภาวะการปนเปื้อนจากฝุ่นธรรมชาติ ฝุ่นอุตสาหกรรม และคราบมูลนก ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าและคุณสมบัติไดอิเล็กตริกแตกต่างกัน การวิเคราะห์มุ่งเน้นตัวแปรสำคัญ ได้แก่ ความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด การกระจายศักย์ไฟฟ้าบนผิว และสนามไฟฟ้าตามแนวระยะคลานของฉนวน ผลการจำลองพบว่า การปนเปื้อนสามารถเพิ่มความเข้มสนามไฟฟ้าได้ถึง 66.67% สำหรับกรณีฝุ่นอุตสาหกรรมที่ประกอบด้วยโลหะหนักที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง และก่อให้เกิดการรวมตัวของสนามไฟฟ้าเฉพาะบริเวณใกล้ขั้วโลหะและขอบสันของฉนวน นอกจากนี้ยังพบว่าฉนวนพอลิเมอร์คอมโพสิตมีแนวโน้มการกระจายสนามไฟฟ้าได้สม่ำเสมอกว่าวัสดุพอร์ซเลนและแก้ว ภายใต้สภาวะการปนเปื้อนเดียวกัน เพื่อเพิ่มศักยภาพในการทำนายพฤติกรรมสนามไฟฟ้า ได้พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลจากการจำลองเป็นชุดข้อมูลฝึก ซึ่งสามารถทำนายค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลอง

คำสำคัญ : ฉนวนไฟฟ้า, การปนเปื้อนบนผิว, การกระจายสนามไฟฟ้า, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, โครงข่ายประสาทเทียม

#### Abstract:

High-voltage insulators are critical components in electrical power transmission and distribution systems, providing electrical isolation between high-potential conductors and grounded structures. Under outdoor operating conditions, insulator surfaces are frequently exposed to environmental contamination that alters their electrical characteristics and distorts the surrounding electric field distribution, potentially increasing leakage current and the risk of flashover. This study investigates the influence of insulator material properties and surface contamination conditions on electric field behavior in medium-voltage systems (11–22 kV) using physics-based simulations implemented in COMSOL Multiphysics based on the finite element method. Three commonly used insulator materials—porcelain, glass, and polymer composite—are analyzed under multiple contamination scenarios, including natural dust, industrial particulate contamination, and bird droppings, each characterized by different electrical conductivity and dielectric properties. The analysis focuses on key parameters such as maximum electric field intensity, surface potential distribution, and electric field profiles along the creepage distance. Simulation results indicate that contamination layers significantly modify local electric field concentrations, with industrial

particulate contamination containing conductive metallic compounds increasing peak electric field intensity by up to 66.67%. Field enhancement is particularly pronounced near metallic fittings and shed edges. Among the evaluated materials, polymer composite insulators demonstrate a more uniform electric field distribution compared with porcelain and glass under identical contamination conditions. To further enhance predictive capability, an artificial neural network (ANN) model is developed using simulation data as the training dataset, enabling rapid prediction of maximum electric field intensity with high accuracy relative to numerical simulation results. The findings provide insights into the coupled effects of material properties and environmental contamination on electric field behavior and highlight the potential of combining physics-based modeling with data-driven approaches for improved insulator performance assessment.

Keywords: High-voltage insulators, surface contamination, electric field distribution, finite element simulation, artificial neural network.