

ลินุกซ์คลัสเตอร์ขนาดเล็กสำหรับการจำลองสนามไฟฟ้าแรงสูง : การวิเคราะห์สนามไฟฟ้า
Mini-Linux Cluster for High-Voltage Electric Field Simulation: Electric Field Analysis

นิตินพงศ์ ปานกลาง*

บทคัดย่อ

บทความนี้ เสนอการประยุกต์ใช้ลินุกซ์คลัสเตอร์ขนาดเล็กที่พัฒนา ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงกับการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าแรงสูงลินุกซ์คลัสเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นคลัสเตอร์แบบปิด มีประสิทธิภาพการประมวลผลเลขทศนิยมและประมวลผลคำสั่งในเวลา 1 วินาทีเท่ากับ 1,075 Mflops และ 2,235 ล้านคำสั่ง ตามลำดับ ปัญหาที่ประยุกต์ใช้เป็นกรวิเคราะห์สนามไฟฟ้าแรงสูงศึกษาผลกระทบของการเคลื่อนตัวเข้าหากันของอนุภาคฝุ่นภายในสวิตช์เกียร์ไฟฟ้าแรงสูงที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่างอนุภาคฝุ่น จากผลการคำนวณ พบว่า การเคลื่อนตัวเข้าหากันของอนุภาคฝุ่นมีผลทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น โดยเมื่อระยะ d เท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร ความเข้มสนามไฟฟ้าที่จุดกึ่งกลางระหว่างอนุภาค P มีค่าเท่ากับ 1.63kV/mm เมื่อระยะ d ลดลงเหลือ 0.5 และ 0.25 มิลลิเมตร สนามไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.21kV/mm และ 2.96kV/mm ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของสนามไฟฟ้าดังกล่าว อาจทำให้เกิดการเบรคดาวน์และการปล่อยประจุบางส่วนขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้อายุการใช้งานของฉนวนลดลง

คำสำคัญ: ลินุกซ์คลัสเตอร์ การวิเคราะห์สนามไฟฟ้า และวิธีประจุพื้นผิว

Abstract

This paper presents the application of mini-linux cluster for electric field analysis that has been developed in high voltage laboratory. The developed mini-linux cluster is a close system type. The FLOPS and MIPS of Linux cluster are 1,075 Mflops and 2,235 MIPS, respectively. The application problem is an electric field analysis of dielectric particles in high voltage switchgear. The simulation is observed the affect of the particles movement. The results are shown that the decrease of the distance among dielectric particles affected to an increase of electric field intensity. The distance among dielectric particles is 1.0 mm, the electric field intensity at point P equals to 1.63kV/mm. When the distance among dielectric particles is decreased from 1.0 mm to 0.5 mm and 0.25 mm which caused the value increase of the electric field intensity at point P form 1.63kV/mm to 2.21kV/mm and 2.96kV/mm, respectively. Therefore, the electric field increasing has lead to partial discharge phenomena and reduced the ageing of insulators.

Keywords: Linux Cluster, Electric Field Analysis and Surface Charge Method

*ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

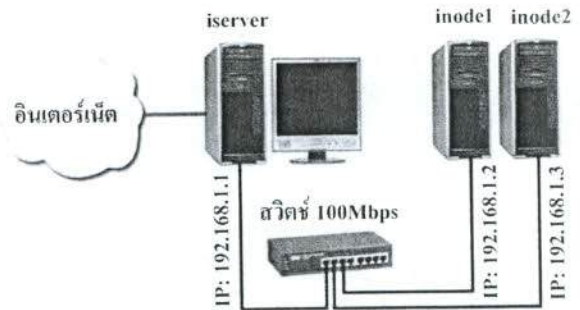
1. บทนำ

ปัจจุบัน การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าด้วยวิธีเชิงตัวเลขสามารถทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ โดยเราสามารถใช่วิธีเชิงตัวเลขต่างๆ ในการศึกษาปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวกับวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงได้ อาทิ เช่น การศึกษาผลกระทบของรูปร่างฉนวนที่มีต่อการปล่อยประจุและการวางไฟตามผิวบริเวณพื้นผิวฉนวนในสภาวะเปรอะเปื้อน [1] หรือการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าบริเวณละอองน้ำบนฉนวนพอลิเมอร์ในสภาวะโคโรนา [2] เป็นต้น การศึกษาดังกล่าวเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการประยุกต์ใช้งานวิศวกรรมกับอุปกรณ์ต่างๆ ทางวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง แต่ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าด้วยวิธีเชิงตัวเลขในกรณีที่มีปัญหาขอบเขตที่ทำการวิเคราะห์ประกอบด้วยเงื่อนไขการคำนวณที่หลากหลาย เราจำเป็นต้องใช้เครื่องคำนวณที่มีประสิทธิภาพการประมวลผล เพื่อความแม่นยำของการคำนวณและการคำนวณ ไม่ใช่เวลาคำนวณนานเกินไป

บทความนี้ นำเสนอผลการประยุกต์ใช้ระบบลินุกซ์คลัสเตอร์กับการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าแรงสูง เพื่อศึกษาผลกระทบของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กที่ปะปนอยู่ในสวิตช์เกียร์ไฟฟ้าแรงสูง ลินุกซ์คลัสเตอร์ที่ประยุกต์ใช้กับการคำนวณในบทความนี้ ผู้เขียนได้พัฒนาขึ้นจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไป ซึ่งได้นำเสนอรายละเอียดของการออกแบบและการติดตั้งระบบในบทความที่ผ่านมา [3]

2. ลินุกซ์คลัสเตอร์

โครงสร้างระบบลินุกซ์คลัสเตอร์ ลินุกซ์คลัสเตอร์ที่ใช้ในบทความนี้ เป็นระบบคลัสเตอร์แบบปิด โดยคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะเชื่อมต่อโลกภายนอกหรืออินเทอร์เน็ตผ่านเกตเวย์ (Gateway) ข้อดีของระบบคลัสเตอร์แบบปิด คือ มีความปลอดภัยสูงและไม่สิ้นเปลืองไอพีแอดเดรส ส่วนข้อเสียคือ โหนดคอมพิวเตอร์ในระบบไม่สามารถติดต่อกับระบบภายนอกได้โดยตรง ทำให้การบริหารข้อมูลจากภายนอกทำได้ยาก



รูปที่ 1 โครงสร้างของลินุกซ์คลัสเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ

โครงสร้างของลินุกซ์คลัสเตอร์แสดงดังรูปที่ 1 โดยประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ทั้งหมด 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่อง iserver เป็นเครื่องหลักหรือโหนดหลัก (Master Node) ใช้ซีพียูเอ็มดีเซมพรอน (Sempron) ความเร็ว 1.667GHz และมีหน่วยความจำแบบ DDR ขนาด 1GB การใช้งานลินุกซ์คลัสเตอร์ผู้ใช้จะป้อนคำสั่งหรือโปรแกรมผ่านทางเครื่อง iserver และสามารถดูการทำงานทางจอมอนิเตอร์ นอกจากนี้ เครื่อง iserver ยังทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ (Gateway) สำหรับเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อใช้สำหรับการเข้าใช้งานระยะไกล

เครื่อง inode1 และ inode2 เป็นโหนดคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ช่วยในการประมวลผล คอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องใช้ซีพียูเพนเทียม 3 ความเร็ว 833MHz และมีหน่วยความจำแบบ SD ขนาด 256MB คอมพิวเตอร์ทั้งสามเครื่องจะเชื่อมต่อถึงกันผ่านระบบแลน (LAN) ความเร็ว 100Mbps ระบบปฏิบัติการที่ใช้คือ ลินุกซ์เรดแฮท (RedHat) รุ่น 7.3 และโอเพนโมซิกเคอร์เนลรุ่น 2.4

ประสิทธิภาพการประมวลผล ลินุกซ์คลัสเตอร์ที่ประยุกต์ใช้ในการคำนวณสนามไฟฟ้าแรงสูงในบทความนี้ มีความสามารถในการประมวลผลเลขทศนิยมในเวลา 1 วินาทีเท่ากับ 1,075Mflops และสามารถประมวลผลคำสั่งในเวลา 1 วินาทีได้เท่ากับ 2,235 ล้านคำสั่ง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสามารถในการประมวลผลเลขทศนิยมและจำนวน คำสั่งที่สามารถประมวลผลได้ใน 1 วินาที

ประสิทธิภาพ	Mflops	MIPS
Linux Cluster	1,075	2,235

3. การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าแรงสูง

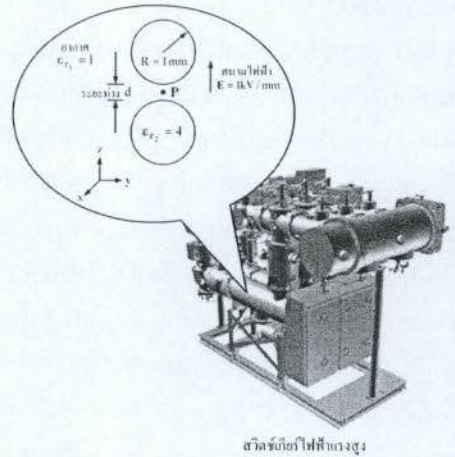
วิธีเชิงตัวเลข บทความนี้ กำหนดสนามไฟฟ้าด้วยวิธีประจุพื้นผิว (Surface Charge Method : SCM)[4] ซึ่งผู้เขียนได้พัฒนาโปรแกรมคำนวณขึ้นโดยใช้ภาษาซี หลักการคำนวณของวิธีประจุพื้นผิว อาศัยการแบ่งพื้นผิวของแบบจำลองเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ แล้วทำการคำนวณหา ค่าความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าบนเอลิเมนต์ สมการที่ใช้คำนวณหาความหนาแน่นประจุอยู่ในรูปของระบบสมการเชิงเส้นแสดงดังสมการที่ (1) ซึ่งเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างประจุไฟฟ้ากับค่าศักย์และสนามไฟฟ้าตามเงื่อนไขขอบเขต [5] ในการคำนวณ เรากำหนดให้ตัวกลางทั้งหมดเป็นแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) และปราศจากประจุค้าง (Space Charge) จากสมการที่ (1) เมื่อแก้สมการและทราบค่าความหนาแน่นประจุบนเอลิเมนต์ต่างๆ แล้วเราจึงนำค่าความหนาแน่นประจุไปคำนวณสนามไฟฟ้า ณ จุดต่างๆ บนแบบจำลอง

$$A\sigma = b \tag{1}$$

โดย A_{ij} คือตัวประกอบศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้า ณ เอลิเมนต์ i เนื่องจากประจุบนเอลิเมนต์ $j(Vm^2/C$ หรือ $Vm/C)$ σ_j คือความหนาแน่นประจุบนเอลิเมนต์ $j(C/m^2)$ และ b_j คือค่าซึ่งขึ้นกับเงื่อนไขขอบเขต (V หรือ V/m)

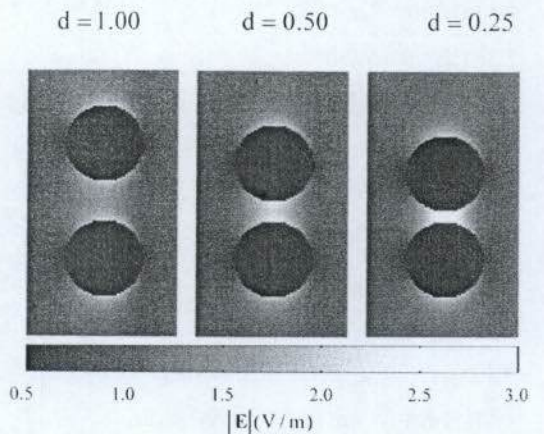
แบบจำลอง 3 มิติ การคำนวณสนามไฟฟ้าเป็นการศึกษาผลของอนุภาคฝุ่นที่ปะปนในตัวกลางฉนวนของสวิตช์เกียร์ไฟฟ้าแรงสูง โดยศึกษาผลกระทบของการเคลื่อนตัวเข้าหากันระหว่างอนุภาคฉนวนที่อยู่ติดกัน แบบจำลองมีลักษณะดังรูปที่ 2 โดยจำลองอนุภาคฝุ่นในลักษณะอนุภาคทรงกลมฉนวนภายใต้สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ อนุภาคฉนวนทั้งสองมีรัศมีเท่ากับ 1 มิลลิเมตรและมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์, ϵ_r ภายในทรงกลมเท่ากับ 4 บริเวณภายนอก

นอกทรงกลมเป็นอากาศค่าสภาพยอมสัมพัทธ์, ϵ_r เท่ากับ 1 และมีสนามไฟฟ้าภายนอก, E เท่ากับ $1kV/mm$ ในทิศทาง $+z$ การคำนวณจะเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างอนุภาคฉนวน, d เท่ากับ 1.0, 0.5 และ 0.25 มิลลิเมตรตามลำดับ เพื่อดูผลกระทบที่มีต่อสนามไฟฟ้าบริเวณโคจรอบ



รูปที่ 2 แบบจำลองทรงกลมฉนวนที่ใช้ในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้า ตารางที่ 2 ความเข้มสนามไฟฟ้าที่จุด P ที่ระยะ d ต่าง ๆ

ระยะห่าง d(mm)	สนามไฟฟ้า E (kV/mm)
1.00	1.63
0.50	2.21
0.25	2.96



รูปที่ 3 ความเข้มสนามไฟฟ้า, |E| บริเวณอนุภาคทรงกลมบนระนาบ $y = 0$ ที่ระยะห่าง, d ต่าง ๆ

4. ผลการคำนวณและวิเคราะห์ผลการคำนวณ

การคำนวณสนามไฟฟ้าด้วยวิธีประจุพื้นผิว พื้นผิวทรงกลมฉนวนแต่ละลูกถูกแบ่งเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมจำนวน 2,208 เอลิเมนต์ และเอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ใช้ในการคำนวณเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมผิวโค้งแบบแก้ระดับชั้นความเสรี [6] การแก้ระบบสมการเชิงเส้น $A\sigma = b$ เพื่อหาค่าความหนาแน่นประจุ, σ บนเอลิเมนต์สามเหลี่ยมแต่ละเอลิเมนต์ใช้วิธีการเคียนต์ตั้งยุกคู่แบบเสถียร (Biconjugate Gradient Stabilized Method, BiCGSTAB) [7] และกำหนดความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ (Tolerance) เท่ากับ 1×10^{-10} จากแบบจำลองในรูปที่ 2 ผู้เขียนคำนวณสนามไฟฟ้าที่จุด P โดยกำหนดระยะห่างระหว่างอนุภาคฉนวน, d เท่ากับ 1.0, 0.5 และ 0.25 เมตรตามลำดับ ตารางที่ 2 แสดงค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่คำนวณได้ ณ จุด P กรณีที่ระยะ d เท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร สนามไฟฟ้าที่จุด P มีค่าเท่ากับ 1.63kV/m การเคลื่อนที่เข้าหากันของอนุภาคฉนวนทำให้สนามไฟฟ้าที่จุด P มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะ d เท่ากับ 0.5 และ 0.25 มิลลิเมตร สนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 2.21kV/m และ 2.96kV/m ตามลำดับ รูปที่ 3 แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าบริเวณรอบๆ อนุภาคฉนวนบนระนาบ $y = 0$ เมื่อระยะ d เท่ากับ 1.0, 0.5 และ 0.25 เมตร จากการคำนวณจะเห็นได้ว่า การที่ระยะลดลงจาก 1.0 เมตรเหลือ 0.25 เมตร หรือลดลงประมาณ 4 เท่า ทำให้สนามไฟฟ้าที่จุด P เพิ่มขึ้นประมาณ 1.82 เท่า

5. สรุป

บทความนี้ เสนอการประยุกต์ใช้ลินุกซ์คลัสเตอร์กับการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าบนอนุภาคฉนวนที่ปะปนอยู่ในสวิตช์เกียร์ ลินุกซ์คลัสเตอร์ที่ใช้เป็นคลัสเตอร์แบบเปิด ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ทั้งหมด 3 เครื่อง ลินุกซ์คลัสเตอร์ที่ประยุกต์ใช้มีประสิทธิภาพการประมวลผลเลขทศนิยมและประมวลผลคำสั่งในเวลา 1 วินาทีเท่ากับ 1,075 Mflops และ 2,235 ล้านคำสั่ง ตามลำดับ ในการคำนวณ ผู้เขียนได้จำลองอนุภาคฝุ่นในลักษณะของอนุภาคทรงกลมฉนวนเพื่อศึกษาผลกระทบของการเคลื่อนที่เข้าหากันของอนุภาคฝุ่นภายในสวิตช์เกียร์ไฟฟ้าแรงสูงที่มีต่อความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่างอนุภาคฝุ่น จากผลการคำนวณ

พบว่า การเคลื่อนที่เข้าหากันของอนุภาคฝุ่นมีผลทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น โดยเมื่อระยะ d เท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร ความเข้มสนามไฟฟ้าที่จุดกึ่งกลางระหว่างอนุภาคฉนวน, P มีค่าเท่ากับ 1.63kV/mm เมื่อระยะ ลดลงเหลือ 0.5 และ 0.25 มิลลิเมตร สนามไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.21kV/mm และ 2.96kV/mm ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของสนามไฟฟ้าดังกล่าว อาจทำให้เกิดการเบรกดาวน์และการปล่อยประจุบางส่วน (Partial Discharge) ขึ้น ส่งผลทำให้อายุการใช้งานของฉนวนลดลง

เอกสารอ้างอิง

1. Boudissa, R. and et al. 2005. Effect of Insulator Shape on Surface Discharges and Flashover under Polluted Conditions. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 12: 429 - 437.
2. Zhicheng, G. and et al. 2005. Electric Field Analysis of Water Drop Corona. IEEE Transactions on Power Delivery, 20: 946 - 969.
3. นิตินพงศ์ ปานกลาง, "ลินุกซ์คลัสเตอร์ขนาดเล็กสำหรับการจำลองสนามไฟฟ้าแรงสูง : การออกแบบและติดตั้งระบบ", วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชภัฏธนบุรี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปีที่ 4, ฉบับที่ 8, 2549.
4. T. Takuma and T. Kouno, "Numerical Calculation Method of Electric Field", Corona Pub, Tokyo, 1982.
5. H. Singer, H. Steinbigler, and P. Weiss, "A Charge Simulation Method for the Calculation of HV Fields", IEEE PAS, Vol. 93, 1974.
6. H. Tsuboi, T. Takayama and K. Yano, "Setting Curved-Surface Triangular Element of Boundary Element Method for Electrostatic Field Problems", IEEE Trans. on Magnetic, Vol.35, No.3, pp. 1123-1126, May 1999.
7. A. Greenbaum, "Iterative Method for Solving Linear Systems", SIAM., Philadelphia, 1997.



ประวัติผู้เขียน

นิติพงษ์ ปานกลาง วศ.บ.
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
พ.ศ. 2542 วศ.ม. จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2547

ปัจจุบันเป็นอาจารย์
ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลธัญบุรี สาขางานวิจัยที่สนใจได้แก่ วิศวกรรม
ไฟฟ้าแรงสูง การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าแรงสูงด้วยวิธี
เชิงตัวเลข