

การดัดแปลงเอลิเมนต์ผิวโค้งแก้ระดับชั้นความเสรีเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณสนามไฟฟ้า

The Modification of 9-DOF Curve Elements to Increase Accuracy in Electric Field Calculation

นิติพงษ์ ปานกลาง¹

บทคัดย่อ:

บทความนี้เสนอวิธีการเพิ่มความแม่นยำของผลเฉลยจากการคำนวณสนามไฟฟ้า การเพิ่มความแม่นยำของผลเฉลยทำโดยการดัดแปลงเอลิเมนต์ผิวโค้งแก้ระดับชั้นความเสรีในส่วนการคำนวณเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วย ณ ปมทั้งสามของเอลิเมนต์การคำนวณเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วยจะคิดผลของขนาดมุม ϕ ที่ปมและผลของขนาดเอลิเมนต์ที่ต่อร่วมกันอยู่ ณ ปม ใด ๆ จากผลการคำนวณ พบว่า การคิดผลของมุม ϕ ร่วมกับผลขนาดของเอลิเมนต์สามารถลดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของสนามไฟฟ้าลงจาก 1.77 เปอร์เซ็นต์เหลือ 0.68 เปอร์เซ็นต์หรือลดลงประมาณ 62 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: วิธีประจุพื้นผิว, เอลิเมนต์ผิวโค้งแก้ระดับชั้นความเสรี และวิธีเกรเดียนต์สังยุคคู่แบบเสถียร

Abstract:

This paper presents the method of improving result accuracy in electric field calculation. This method was done by modifying the 9-DOF Element in unit normal vector calculation at the three element nodes. The unit normal vector calculation included the effect of corner angle and area of an element that were connected to any node. The result shows that the use of appropriate angle size and element area can reduce the average

error from 1.77% to 0.68%, or 62% by percentage.

Keyword: Surface Charge Method, Nine Degree of Freedom Curve Element and Biconjugate Gradient Stabilized.

1. บทนำ

ปัจจุบันมีวิธีเชิงตัวเลขหลายวิธีที่นิยมนำมาคำนวณสนามไฟฟ้ากับปัญหาทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง วิธีประจุพื้นผิว (Surface Charge Method, SCM) เป็นวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่งที่นิยมใช้เนื่องจากขั้นตอนการคำนวณง่ายและผลเฉลยมีความแม่นยำ การเพิ่มความแม่นยำของผลเฉลยที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีประจุพื้นผิวสามารถทำได้หลากหลายวิธี ตัวอย่างเช่น การเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในการคำนวณ แต่ทั้งนี้ การเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์จะส่งผลทำให้เวลาดำเนินการและหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เพิ่มขึ้น อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้เพิ่มความแม่นยำของผลเฉลย คือการใช้เอลิเมนต์ผิวโค้งในการจำลองพื้นผิวของแบบจำลองให้มีความเสมือนจริงมากยิ่งขึ้น

บทความนี้เสนอวิธีการเพิ่มความแม่นยำของผลเฉลยที่ได้จากวิธีประจุพื้นผิว โดยการดัดแปลงเอลิเมนต์ผิวโค้งแก้ระดับชั้นความเสรี [1] ในส่วนการคำนวณเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วย ณ ปมทั้งสามของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม การปรับปรุงการคำนวณเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วยทำโดยคิดผลของขนาดมุม

¹ อาจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร. (02) 549-3429, E-mail: p_nitipong@rmut.ac.th

ที่ปมและผลของขนาดเอลิเมนต์ที่ต่อร่วมกันอยู่ ณ ปมใด ๆ ซึ่งในบทความได้แสดงตัวอย่างการคำนวณสนามไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณให้เห็นอย่างชัดเจน

2. เอลิเมนต์ผิวโค้งแก้าระดับชั้นความเร็ว

เอลิเมนต์ผิวโค้งแก้าระดับชั้นความเร็วเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่สร้างจากฟังก์ชันรูปร่างทั้งหมด 9 สมการ ได้แก่ N_1, N_2, \dots, N_9 [2] ฟังก์ชันรูปร่างดังกล่าวคำนวณจากพิกัดและเวกเตอร์สัมผัส ณ ปมทั้งสามของเอลิเมนต์ รูปที่ 1 แสดงลักษณะของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมผิวโค้งแก้าระดับชั้นความเร็วตัวอย่างของสมการฟังก์ชันรูปร่างที่ปม 1 คือ N_1, N_4 และ N_7 ซึ่งแสดงดังสมการที่ (1) (2) และ (3) ส่วน ณ ปมอื่น ๆ ที่เหลือ

สมการฟังก์ชันรูปร่างมีลักษณะทำนองเดียวกัน

$$N_1 = L_1 - L_1L_2^2 + L_1^2L_2 + L_1^2L_3 - L_1L_3^2 \quad (1)$$

$$N_4 = -L_1^2L_2 - L_1^2L_3 - L_1L_2L_3 \quad (2)$$

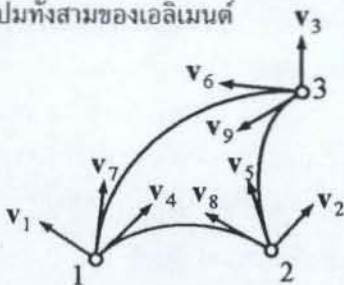
$$N_7 = L_1^2L_2 + \frac{1}{2}L_1L_2L_3 \quad (3)$$

เมื่อ L_1, L_2 และ L_3 คือพิกัดพื้นที่ (Area Coordinate) ของรูปสามเหลี่ยม [3]

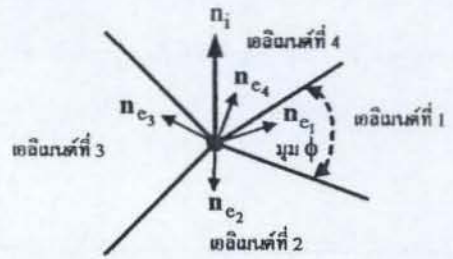
การคำนวณพิกัดบนพื้นผิวของเอลิเมนต์คำนวณจากสมการ

$$P = \sum_{i=1}^9 N_i v_i \quad (4)$$

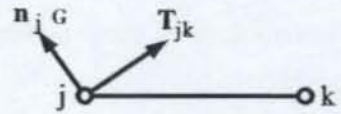
เมื่อ P คือเวกเตอร์พิกัดบนเอลิเมนต์สามเหลี่ยม N_i คือฟังก์ชันรูปร่าง และ v_i คือเวกเตอร์พิกัดและเวกเตอร์สัมผัสที่ปมทั้งสามของเอลิเมนต์



รูปที่ 1 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแก้าระดับชั้นความเร็ว



รูปที่ 2 การคำนวณเวกเตอร์หนึ่งหน่วย ณ ปมที่ i ใด ๆ



รูปที่ 3 การคำนวณเวกเตอร์สัมผัสระหว่างปมที่ j กับ k

ในบทความนี้ การคำนวณเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วย ณ ปมทั้งสามของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม เพื่อนำไปคำนวณเวกเตอร์สัมผัสแบ่งออกเป็น 2 กรณี

กรณีแรก การคำนวณเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วย ทำโดยรวมเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วย ณ ปมของเอลิเมนต์ที่มีพิกัดเดียวกัน จากนั้นหารผลรวมของเวกเตอร์ดังกล่าวด้วยจำนวนเอลิเมนต์ที่ต่อร่วมอยู่กับปมดังกล่าว สมการที่ใช้คำนวณเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วย ณ ปมที่ i คือ

$$n_i = \frac{\sum_{j=1}^m n_{c_j}}{m} \quad (5)$$

เมื่อ n_i คือเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วยที่ปม i, n_{c_j} คือเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วยของเอลิเมนต์ที่ j ใด ๆ ที่ต่อร่วมอยู่กับปมที่ i และ m คือจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมดที่ต่อร่วมอยู่กับปมที่ i แสดงดังรูปที่ 2

กรณีที่สอง เป็นการปรับปรุงการคำนวณเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วย ณ ปมทั้งสาม การปรับปรุงการคำนวณทำโดยคิดผลขนาดมุม ϕ และพื้นที่ของเอลิเมนต์ที่ต่อร่วมอยู่ ณ ปมที่ i ดังรูปที่ 2 สมการคำนวณเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วยแบ่งออกเป็น 3 สมการ สมการแรกคิดเฉพาะผลของขนาดมุม ϕ สมการที่สองคิดเฉพาะผลพื้นที่ของเอลิเมนต์ ส่วนสมการที่สามคิดทั้งผลของขนาดมุม ϕ และพื้นที่ของเอลิเมนต์รวมกัน

$$n_i = \frac{\sum_{j=1}^m (\phi_j n_{e_j})}{m} \quad (6)$$

$$n_i = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\frac{n_{e_j}}{A_j} \right)}{m} \quad (7)$$

$$n_i = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\phi_j}{A_j} n_{e_j} \right)}{m} \quad (8)$$

เมื่อ ϕ_j คือมุม ϕ ของเอลิเมนต์ j ที่ต่อร่วมอยู่ ณ ปมที่ i และ A_j คือพื้นที่ของเอลิเมนต์ j ที่ต่อร่วมอยู่ ณ ปมที่ i จากการคำนวณเวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วยทั้งสองกรณี นำมาคำนวณเวกเตอร์สัมผัสระหว่างปมที่ j กับ k ดังรูปที่ 3 สมการที่ใช้คำนวณเหมือนกันคือ

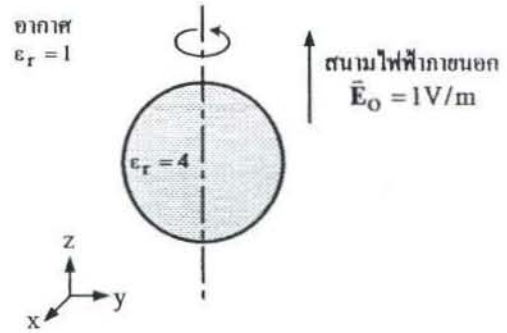
$$T_{jk} = \frac{\|X_{jk} - (X_{jk} \cdot n_j)n_j\|}{\|X_{jk} - (X_{jk} \cdot n_j)n_j\|} \quad (9)$$

เมื่อ T คือเวกเตอร์สัมผัสระหว่างปมที่ j กับ k และ X_{jk} คือเวกเตอร์ระหว่างปมที่ j กับ k

3. ปัญหาการคำนวณสนามไฟฟ้า

ปัญหาการคำนวณสนามไฟฟ้าในบทความนี้เป็น การคำนวณสนามไฟฟ้าบนทรงกลมฉนวนที่อยู่ภายใต้ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ แบบจำลองมีลักษณะดังรูปที่ 4 ทรงกลมฉนวนมีรัศมีเท่ากับ 1 เมตรและมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ภายในทรงกลมเท่ากับ 4 จุดศูนย์กลางของ ทรงกลมอยู่ที่พิกัด $(0,0,0)$ บริเวณภายนอกทรงกลม เป็นอากาศค่าสภาพยอมสัมพัทธ์เท่ากับ 1 และมี สนามไฟฟ้าภายนอก E_0 เท่ากับ $1V/m$ ในทิศทาง $+z$

การคำนวณสนามไฟฟ้าในบทความนี้ ใช้วิธี ประจุ่มผิว โดยผิวของแบบจำลองทรงกลมฉนวนถูก แบ่งเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมจำนวน 1,520 เอลิเมนต์ วิธีทำซ้ำที่ใช้แก่ระบบสมการเชิงเส้น $AC=b$ ที่ได้จาก วิธีประจุ่มผิวได้แก่ วิธีเกรเดียนต์สังยุคคู่แบบเสถียร (Biconjugate Gradient Stabilized Method, BiCGSTAB) วิธีทำซ้ำกำหนดความคลาดเคลื่อน ยินยอม (Tolerance) เท่ากับ 1×10^{-10} การคำนวณ กระทำบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ ลินุกซ์ ซีพียู Pentium 4 ความเร็ว 3.0GHz และมี หน่วยความจำเท่ากับ 1.5GB



รูปที่ 4 แบบจำลองทรงกลมฉนวนในสนามไฟฟ้า สม่ำเสมอ

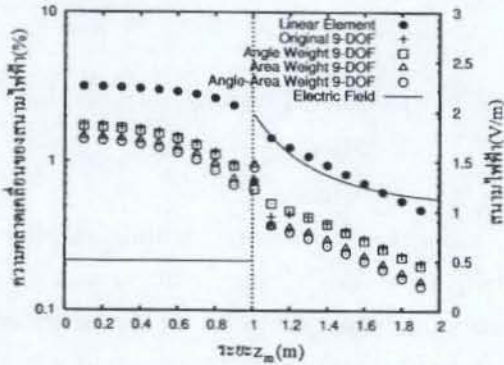
4. ผลการคำนวณสนามไฟฟ้า

จากแบบจำลองทรงกลมฉนวนที่อยู่ภายใต้สนาม ไฟฟ้าสม่ำเสมอ ผู้เขียนได้คำนวณสนามไฟฟ้าตาม แนวแกน z ที่จุด z_m เมื่อ $(0 < z_m < 2)$ โดยเปรียบเทียบ ผลการคำนวณสนามไฟฟ้าในระหว่างการใช้อิเล็กเมนต์ สามเหลี่ยมเชิงเส้นกับการใช้อิเล็กเมนต์สามเหลี่ยม ผีวโค้งแก่ระดับชั้นความเร็วในแต่ละกรณีรูปที่ 5 แสดง ความผิดพลาดของสนามไฟฟ้าตามแนวแกน z และ ลักษณะของสนามไฟฟ้า โดยสนามไฟฟ้าที่คำนวณได้ ภายในทรงกลมมีค่าคงที่เท่ากับ $0.5V/m$ สนามไฟฟ้า ภายนอกมีค่าสูงสุดบริเวณผิวของทรงกลม เท่ากับ $2V/m$ และ z_m มีค่าลดลงเรื่อยตามระยะ z_m ที่เพิ่มขึ้น จนมีค่าเท่ากับสนามไฟฟ้าภายนอกคือ $1V/m$

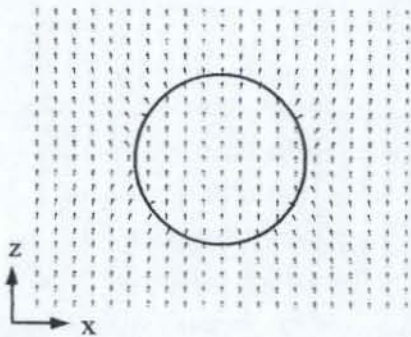
การใช้อิเล็กเมนต์สามเหลี่ยมเชิงเส้นในการคำนวณ ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของสนามไฟฟ้าเท่ากับ 1.77% กรณีที่ใช้อิเล็กเมนต์สามเหลี่ยมผีวโค้งแก่ระดับชั้นความเร็ว ต้นแบบ (Original 9-DOF) ความคลาดเคลื่อน เฉลี่ยของสนามไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.87% การคิด ผลของมุม ϕ และขนาดของเอลิเมนต์ในการหา เวกเตอร์ตั้งฉากหนึ่งหน่วยเพื่อใช้ในการสร้างเอลิเมนต์ สามเหลี่ยมผีวโค้งช่วยให้ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ สนามไฟฟ้าลดลง การคิดผลของมุม ϕ และขนาดของ เอลิเมนต์เพียงอย่างเดียว (จากรูปที่ 5 ได้แก่ Angle Weight 9-DOF และ Area Weight 9-DOF) ช่วย ลดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของสนามไฟฟ้าลงเหลือ 0.85% และ 0.73% ตามลำดับ ส่วนกรณีการคิดผล ของมุม ϕ และขนาดของเอลิเมนต์ร่วมกัน (Angle-Area Weight 9-DOF) สามารถลดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ของสนามไฟฟ้าลงได้มากที่สุด ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย

ลดลงประมาณ 62% โดยเปรียบเทียบกับกรณีใช้
 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมเชิงเส้น

รูปที่ 6 แสดงทิศทางสนามไฟฟ้าบริเวณภายใน
 และภายนอกทรงกลมฉนวนที่ระนาบ $y=0$ เมื่อ
 $(-2 \leq x \leq 2)$ และ $(-2 \leq z \leq 2)$ โดยรูปวงกลมแสดง
 ขอบเขตของทรงกลมฉนวน



รูปที่ 5 ความผิดพลาดของสนามไฟฟ้าตามแนวแกน z และ
 ลักษณะของสนามไฟฟ้า ($0 < z_m < 2$) เมื่อ เมตร



รูปที่ 6 เวกเตอร์สนามไฟฟ้าบนระนาบ $y = 0$ เมื่อ
 $(-2 \leq x \leq 2)$ และ $(-2 \leq z \leq 2)$ เมตร

5. สรุป

การตัดแปลงเอลิเมนต์สามเหลี่ยมผิวโค้งแก้
 ระดับชั้นความถี่เพื่อเพิ่มความแม่นยำของผลเฉลยใน
 การคำนวณสนามไฟฟ้าทำได้โดยการปรับปรุงการคำนวณ
 เวกเตอร์ตั้งฉากกับหน่วยที่ปมของเอลิเมนต์ การคิด
 ผลของมุม ϕ และขนาดเอลิเมนต์ใด ๆ ที่ต่อร่วมกันอยู่
 ช่วยเพิ่มความแม่นยำของผลเฉลย จากการคำนวณ
 โดยใช้เอลิเมนต์ 1,520 เอลิเมนต์ พบว่าในกรณีการ
 คิดผลของมุม ϕ และของขนาดเอลิเมนต์อย่างไรใด
 อย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียวสามารถลดความคลาดเคลื่อน

เฉลี่ยของสนามไฟฟ้าลงจาก 1.77% เหลือ 0.85% และ
 0.73% ตามลำดับ ส่วนกรณีการคิดผลของมุม ϕ และ
 ขนาดเอลิเมนต์ร่วมกันสามารถลดความคลาดเคลื่อน
 เฉลี่ยของสนามไฟฟ้าลดลงเหลือ 0.68% หรือลดลง
 ประมาณ 62% ดังนั้นจะเห็นได้ว่า เราสามารถเพิ่ม
 ความแม่นยำในการคำนวณสนามไฟฟ้าโดยที่เราไม่ต้อง
 เพิ่มจำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในการคำนวณได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุน
 งบประมาณในการทำวิจัยและเขียนบทความฉบับนี้
 รวมถึงอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน
 ที่กรุณาให้คำแนะนำ และความคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็น
 ประโยชน์อย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิตพงษ์ ปานกลาง, “การใช้เอลิเมนต์ผิวโค้งแก้
 ระดับชั้นความถี่กับการคำนวณสนามไฟฟ้า
 ด้วยวิธีประจุพื้นผิว”, วารสารวิศวกรรมศาสตร์
 ราชมงคล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
 ธัญบุรี, ปีที่ 3, ฉบับที่ 5, 2548.
- [2] 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, pp1,123-1,126, May 1999.
- [3] ปราโมทย์ เดชอำไพ, “ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
 เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล”, สำนักพิมพ์
 แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2545.



ประวัติผู้เขียนบทความ
 ชื่อ: นิตพงษ์ ปานกลาง
 - วศ.บ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
 ราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2542
 - วศ.ม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 พ.ศ. 2547

- ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ
 วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
 ธัญบุรี สาขางานวิจัยที่สนใจได้แก่ วิศวกรรมไฟฟ้า
 แรงสูง การคำนวณสนามไฟฟ้าด้วยวิธีเชิงตัวเลข



ในรูปของฝุ่น ก๊าซพิษ (เช่น SO_2 และ NO_2) ตลอดจนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจกซึ่งก่อให้เกิดความแปรปรวนของภูมิอากาศของโลก (Global Climate Changes) การผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันจะก่อให้เกิดมลภาวะต่างๆ ดังต่อไปนี้ :

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	จำนวน 1	ตัน (จากกระบวนการ De-carbonation) [1]
	จำนวน 0.06 ²	ตัน (จากการใช้พลังงานไฟฟ้า)
	จำนวน 0.19 ³	ตัน (จากการใช้ปิโตรเลียมโค้ก)
ฝุ่น	จำนวน 0.104	ตัน [5]
ก๊าซ NO_x	จำนวน 1.383	ตัน [5]
ก๊าซ SO_2	จำนวน 0.152	ตัน [5]

เนื่องจากประเทศไทยมีการผลิตปูนซีเมนต์มากกว่า 30 ล้านตัน/ปี ดังนั้นอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์จะก่อให้เกิด CO_2 , NO_x , SO_2 และฝุ่นจำนวน 37.5, 41.5, 4.6 และ 3.1 ล้านตัน/ปี ตามลำดับ

ปริมาณของมลพิษดังกล่าวจะถูกปลดปล่อยให้กระจายอยู่ในบรรยากาศของประเทศไทย และประเทศใกล้เคียง นอกจากนี้มลพิษที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ในอนาคต ดังนั้นการวิจัย และพัฒนาวัสดุ Geopolymer สำหรับใช้เสริมความต้องการปูนซีเมนต์ จึงเป็นการช่วยลดปริมาณมลพิษจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ซึ่งถือเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศได้อีกทางหนึ่ง

5. สรุป

การวิจัย และพัฒนาวัสดุ Geopolymer เป็นทางเลือกเสริมความต้องการปูนซีเมนต์เพื่อการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคภายในประเทศแม้จะช่วยลดความต้องการใช้หรือการผลิตปูนซีเมนต์ลงในปริมาณไม่มาก (เช่น 1% ของปริมาณความต้องการปูนซีเมนต์ภายในประเทศ) แต่ก็สามารถลดปริมาณการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลสำหรับอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ และการ

ผลิตไฟฟ้าลงได้ปีละนับพันล้านบาท นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการสร้างงาน สร้างรายได้ให้แก่ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องทุกระดับตลอดจนชุมชนที่อยู่ใกล้เคียง

ผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับวัสดุ Geopolymer ที่ได้รับการเผยแพร่ต่างให้ข้อสรุปในแนวทางเดียวกันว่าการวิจัย และพัฒนาวัสดุ Geopolymer เพื่อเป็นวัสดุเสริม หรือเป็นวัสดุทางเลือกในการก่อสร้าง หรือการผลิตวัสดุก่อสร้างเป็นการช่วยลดปริมาณก๊าซ CO_2 จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ และการนำซีเมนต์เก่าลอยมาใช้ผลิตวัสดุ Geopolymer เป็นการลดปัญหาการจัดการของเหลือทิ้ง หรือขยะ [2] [3] [4] นอกจากนี้คุณสมบัติของ Geopolymer ที่มีค่าการนำความร้อนต่ำยังช่วยให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานโดยเมื่อนำไปผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างจะสามารถลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในส่วนของระบบปรับอากาศ

ดังนั้นอาจนับได้ว่าการวิจัย และพัฒนาวัสดุ Geopolymer เป็นทางเลือกเสริมความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของประเทศอย่างบูรณาการ

² คำนวณจากค่า Default conversion factor: 0.000618 tone CO_2/kWh สำหรับการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยซึ่งประเมินโดย The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

³ คำนวณจากค่า Default conversion factor: 3.09 tone $\text{CO}_2/\text{tone fuel}$ สำหรับเชื้อเพลิงปิโตรเลียมโค้กซึ่งประเมินโดย The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hardjito, W.S.E, Sumajouw, D.M.J., Rangan, B.V. 2004, Cementless Fly Ash-Based Geopolymer Concrete : From Waste to Benefit, Paper, Workshop on Fly Ash, December 2004, India.
- [2] SCG 2003, Sustainability Report 2003, The Siam Cement Group, Bangkok.
- [3] Gourly, J.T. 2003, Geopolymers; Opportunities for Environmentally Friendly Construction materials, A keynote paper at Materials 2003 Conference, Adaptive Materials for a Modern Society, Institute of Materials Engineering Australia, 1-3 October, Sydney.
- [4] GI 1997, A New Way to Reduce Global Warming, The Geopolymer Institute, <http://www.geopolymer.org>, June 30.
- [5] SCI 2002, Environmental Report 2002, The Siam Cement Industry Co., Ltd., Bangkok

ประวัติผู้เขียนบทความ

ชื่อ-สกุล: นายวีรชัย สุนทรรังสรรค์

การศึกษา:

วท.บ (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยรามคำแหง

วท.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน) มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Ph.D. (Energy Planning), University of Melbourne, Australia

ตำแหน่ง: นักวิชาการ 7

ฝ่ายสิ่งแวดล้อมนิเวศวิทยา และ
พลังงาน (ผวพ.)

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และ
เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

196 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว
เขตจตุจักร กทม. 10900

โทร. 02 5791121-30 ต่อ 2102

โทรสาร. 02 5796517

E-mail: wirachai@tistr.or.th

สาขางานวิจัยที่สนใจ:

- เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์พลังงานทดแทนประเภทชีวมวล
- เทคโนโลยีสะอาด และกระบวนการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
- เทคโนโลยีการแปรรูปของเหลือทิ้งทางการเกษตร เกษตรอุตสาหกรรม อุตสาหกรรม และขยะชุมชนเป็นแหล่งพลังงาน

