

การทำนายการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านเกวียน
โดยใช้ Polyhedral meshing
The temperature distribution predicted inside the Dan Kwien Kiln
using Polyhedral meshing

พลเทพ เวงสูงเนิน*, จาริณี จงปลื้มปิติ

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
744 ถนนสุนทราราม อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
*ติดต่อ: ponthep_veng@kkumail.com, เบอร์โทรศัพท์ +886-6539179, เบอร์โทรสาร

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ของเตาเผาถ่านเกวียนโดยใช้เอลิเมนต์แบบ Polyhedral เปรียบเทียบกับ Tetrahedral เพื่อใช้ทำนายการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านเกวียน จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ของเตาในการทดสอบจริง ผลการศึกษาการสร้างแบบจำลองโดย Polyhedral แสดงให้เห็นว่าถ้าใช้การแบ่งเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติควบคุมขนาดของเอลิเมนต์ที่ผิวให้มีค่าเท่ากับ คือ 3.43 mm จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ผลการศึกษาการสร้างแบบจำลองโดยใช้เอลิเมนต์แบบ Polyhedral แสดงให้เห็นว่าถ้าใช้การแบ่งเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติควบคุมขนาดของเอลิเมนต์ที่ผิวให้มีค่าเท่ากับ คือ 3434 mm จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองที่ใช้เอลิเมนต์ Polyhedral เทียบกับผลการทดสอบจริง มีความคลาดเคลื่อนของจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 8 เท่ากับ 6% 14% 7% 9% 2% 5% 15% และ 55% ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยทุกจุดเท่ากับ 13.99% เวลาที่ใช้ในการคำนวณ แบบจำลอง Tetrahedral และ Polyhedral เท่ากับ 124 และ 47 นาทีตามลำดับ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการคำนวณแบบ Tetrahedral จะใช้เวลามากกว่าแบบ Polyhedral เท่ากับ 2.64 เท่า ดังนั้นแบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาถ่านเกวียนในงานทดสอบนี้ควรจะใช้เอลิเมนต์แบบ Polyhedral เนื่องจากมีความแม่นยำและใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด

คำหลัก: เตาเผาถ่านเกวียน การกระจายอุณหภูมิ แบบจำลอง Polyhedral Tetrahedron

Abstract

This research aims to compare computational fluid dynamic modeling for predict temperature distribution inside the Dan Kwien Kiln using Polyhedral element compare with Tetrahedral element. Then the values are compared at various points with the experiment data. The result show, the auto Polyhedral meshing model should be controlled face element size of 343 mm that cause lowest error. To compare the Polyhedral model with the experiment data, the error of point 1 to point 8 are 6% 14% 7% 9% 2% 5% 15% and 55%, respectively, and average error of all points is 13.99%. Time consumptions of Tetrahedral and Polyhedral model are 47 and 124 min, respectively, which the Tetrahedral model use time more than

CST-66

the Polyhedral model are 2.64 times. Therefore, the temperature distribution model should be the Polyhedral model because of more accuracy and less time consumption.

Keywords: Dan Kwien Kiln,. Temperature distribution, Mathematical modeling, Polyhedral, Tetrahedron

1. บทนำ

การเผาเครื่องปั้นเป็นหนึ่งในกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ในขั้นตอนการเผาผลิตภัณฑ์ในทุกครั้งต้องลงเครื่องปั้นให้พอเหมาะกับเตา แล้วเผาด้วยเชื้อเพลิงจากเห้งมันสำปะหลังประมาณ 3 ถึง 4 ตัน [1] เป็นเวลา 3 ถึง 4 วัน ซึ่งในแต่ละครั้งจะมีแนวโน้มของอุณหภูมิในลักษณะเดียวกัน แต่ค่าของอุณหภูมิต่างกัน โดยมีรูปแบบของอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับเวลาเป็นรูปประฆังคว่ำและมีช่วงของการเผาไหม้คล้ายกันทุกครั้งของการเผาเครื่องปั้นดินเผา [2] แต่ไม่สามารถระบุหรือกำหนดเวลาในแต่ละช่วงการเผาให้ชัดเจนได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอกเตาเผาซึ่งมีอากาศไหลผ่านด้วยความเร็วแตกต่างกันจึงส่งผลให้อากาศร้อนที่มีความหนาแน่นต่ำที่อยู่ภายในเตาเผาเคลื่อนที่ออกไปยังปล่องไฟ [3,4] ดังนั้นหากมีสมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถนำมาใช้ในการทำนายพฤติกรรมของอากาศภายในเตาเผาได้ก็จะทำให้สามารถวางแผนการผลิตและควบคุมคุณภาพของเครื่องปั้นดินเผาได้

ในการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยปกติแล้วการแบ่งเอลิเมนต์แบบพื้นฐานที่สุดได้แก่เอลิเมนต์แบบทรงสี่หน้า (Tetrahedral) ซึ่งเป็นเอลิเมนต์ที่สามารถสร้างได้ง่ายที่สุดแต่มีข้อเสียในส่วนของคุณภาพที่ใช้ในการคำนวณ [5,6] ปัจจุบันได้มีทฤษฎีในการแบ่งเอลิเมนต์แบบทรงหลายหน้า ซึ่งมีทั้งแบบ 2 มิติเรียกว่าโพลีโกนอล (polyhedral) [7,8] และ 3 มิติเรียกว่าโพลีฮีตรอล (polyhedral) [9,10,11] ขึ้นเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณเนื่องจากทำให้ลดจำนวนของสมการลงได้ประมาณ 3-5 เท่าของแบบทรงสี่หน้า [12,13,14] ซึ่งแสดงให้เห็นจากงานวิจัย เช่น ในปี 2009 Martin Spiegel และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์การไหลของเลือดโดย

เปรียบเทียบระหว่างเอลิเมนต์แบบทรงสี่หน้าและแบบทรงหลายหน้า ผลคือการแบ่งเอลิเมนต์แบบทรงหลายหน้าให้ความแม่นยำมากกว่า ใช้หน่วยความจำน้อยกว่าและใช้เวลาคำนวณสั้นกว่า ซึ่งในปัจจุบันยังมีอีกหลายงานวิจัยที่มีการพัฒนากระบวนการแก้สมการเพื่อให้สามารถคำนวณได้เร็วและแม่นยำขึ้น [9,10,11] ดังนั้นบทความนี้จะนำเสนอแบบจำลองเดิมที่มีผู้วิจัยและสรุปผลแล้วมาทำการทดสอบการทำนายโดยใช้การแบ่งเอลิเมนต์เป็นแบบทรงหลายหน้าเพื่อศึกษาผลการทำนายที่เกิดขึ้น

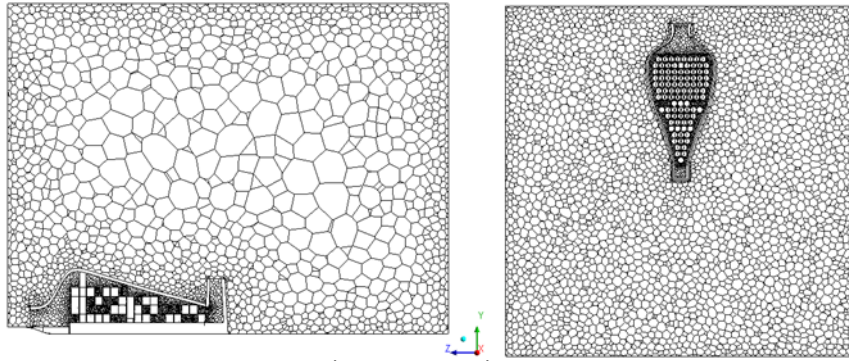
2. การศึกษา

ในการศึกษาเดิมของจาริณี จงปลื้มปิติได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำเอาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของอากาศโดยใช้เอลิเมนต์แบบทรงเหลี่ยมสี่หน้า ซึ่งในการคำนวณโดยการนำเอาเอลิเมนต์แบบทรงสี่หน้าเป็นการคำนวณที่ใช้ทรัพยากร ทางคอมพิวเตอร์สูงและใช้เวลาในการคำนวณนาน ดังนั้นบทความนี้จะต้องการที่จะทดสอบแบบจำลองเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาของจาริณี จงปลื้มปิติ แต่ใช้การแบ่งเอลิเมนต์แบบทรงหลายหน้ามาใช้ในการทำนาย โดยพิจารณา

จากความแม่นยำ จำนวนเอลิเมนต์ คุณภาพของเอลิเมนต์และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อเปรียบเทียบความได้เปรียบเสียเปรียบของการนำเอาเอลิเมนต์แบบโพลีฮีตรอลมาใช้ในการทำนาย แบ่งเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติโดยควบคุมขนาดของเอลิเมนต์บนพื้นผิว การวิเคราะห์ใช้เครื่อง IBM CPU Intel(R) Xeon(R) E5530 2.40 GHz แรม 12.0 GB จำนวนแบบจำลองโดยใช้วิธีการคำนวณแบบขนาน (parallel processing) พร้อมกัน 8 คอร์ เพื่อลดระยะเวลาใน

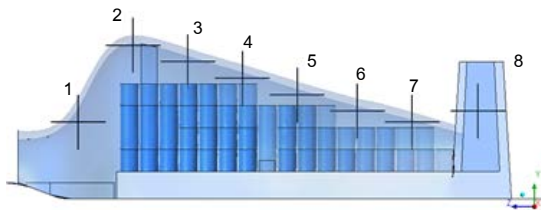
CST-66

การคำนวณ รูปที่ 1 แสดงเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 1 เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

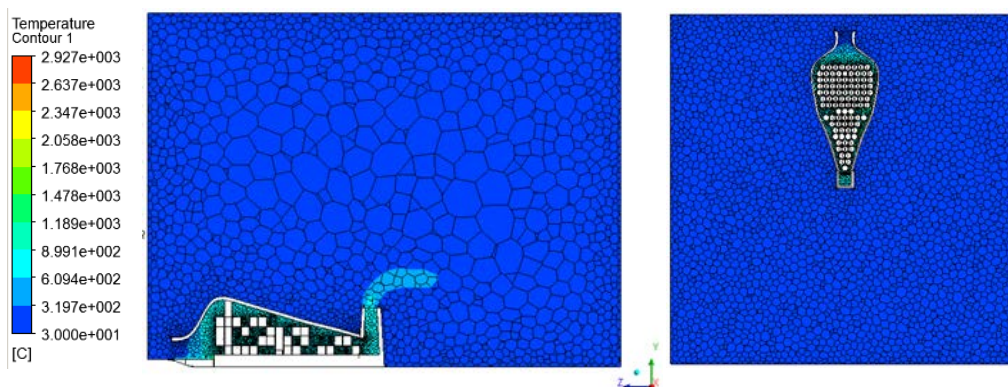
การวัดค่าผลของการสร้างแบบจำลองใช้ตำแหน่งตามการทดสอบ ณ พื้นที่การทดสอบจริง ตามตำแหน่งที่งานวิจัย [2] ได้ทำการทดสอบไว้ รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งที่ใช้ในการเก็บค่าผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิ



รูปที่ 2 ตำแหน่งที่ใช้วัดการกระจายตัวของอุณหภูมิ

3. ผลการศึกษา

การศึกษากการวิเคราะห์อากาศภายในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาโดยนำเอาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วยการแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลองให้เป็นแบบโพลีอีตรอลมาใช้ในการทำนาย แบบจำลองเริ่มต้นมีจำนวนโหนดเท่ากับ 1.66×10^5 โหนด จำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 7.82×10^5 เอลิเมนต์ มีค่า Orthogonal quality สูงสุดที่ 0.997 ต่ำสุดที่ 0.049 เฉลี่ยที่ 0.842 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.099 ผลของการสร้างแบบจำลองสามารถแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในเตาเผา

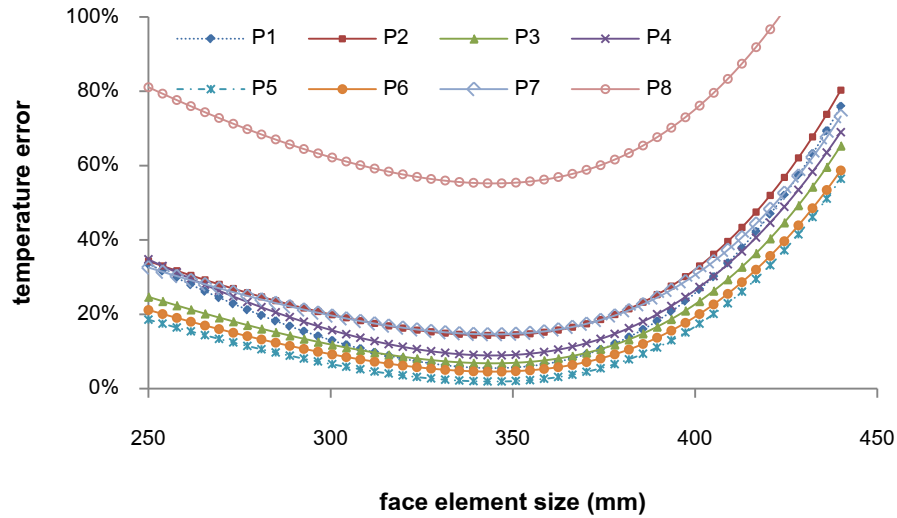
การกระจายตัวของอุณหภูมิแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิคงที่แล้วจะมีการกระจายตัวเฉพาะด้านในเตา ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3 สามารถนำมา

วิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิ จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนขนาดของเอลิเมนต์เพื่อทดสอบว่า

CST-66

ขนาดของเอลิเมนต์เท่าใดจึงจะให้ผลค่าความคลาด

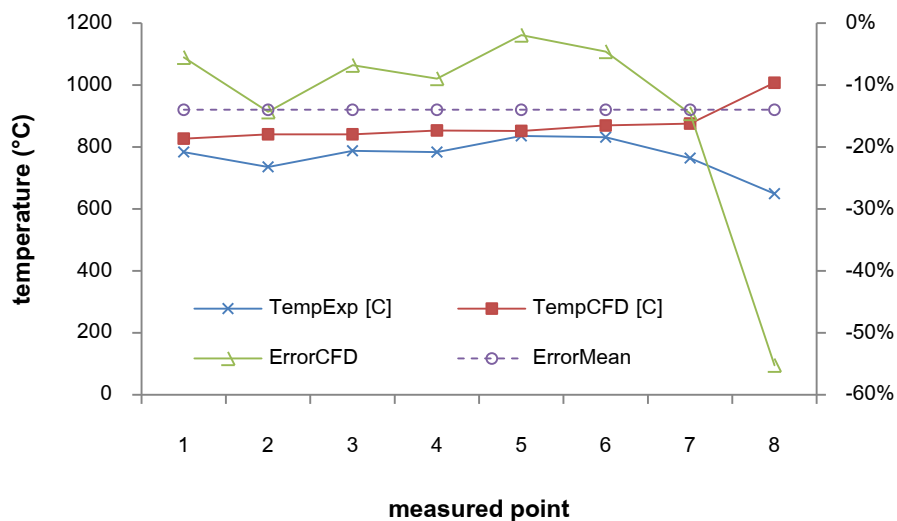
เคลื่อนที่ต่ำที่สุด



รูปที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองภายใต้การเปลี่ยนแปลงขนาดของเอลิเมนต์

จากค่าความคลาดเคลื่อนที่แสดงดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ขนาดของเอลิเมนต์ที่ผิวจะทำให้ค่าของอุณหภูมิในแต่ละจุดมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่างกัน ขนาดของเอลิเมนต์ที่ทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดคือขนาดของเอลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 343 mm โดยมีค่าความ

คลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 13.99% ดังนั้นจึงเลือกขนาดของเอลิเมนต์ที่เหมาะสมเพื่อทำการวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิ ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละจุดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละจุดเทียบกับการทดลองจริง

รูปที่ 5 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละจุดภายในเตาเผาเปรียบเทียบกับค่าการทดสอบ

จริงตั้งแต่จุดที่ 1 ถึง 8 จุดที่มีความคลาดเคลื่อนสูงที่สุดได้แก่จุดที่ 8 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่

CST-66

55% ส่วนจุดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดได้แก่ จุดที่ 5 มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 2% เวลาที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมดเท่ากับ 47 นาที จากผลการศึกษาทั้งหมดสามารถเปรียบเทียบจำนวนเอลิเมนต์และเวลาที่ใช้ในการคำนวณได้ดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ระหว่างการแบ่งเอลิเมนต์แบบ Polyhedral กับ Tetrahedral

ตัวแปร	Polyhedral	Tetrahedral
จำนวนเอลิเมนต์ (เอลิเมนต์)	1.66×10^5	2.50×10^5
จำนวนจุดต่อ (จุด)	7.82×10^5	1.25×10^6
เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (นาที)	47	124

4. สรุปผลการศึกษา

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเตาเผาถ่านเกวียนโดยใช้เอลิเมนต์แบบ Polyhedral เปรียบเทียบกับ Tetrahedral เพื่อใช้ทำนายการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านเกวียน จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ของเตาในการทดสอบจริง ผลการศึกษาการสร้างแบบจำลองโดย Polyhedral แสดงให้เห็นว่าถ้าใช้การแบ่งเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติควรควบคุมขนาดของเอลิเมนต์ที่ผิวให้มีค่าเท่ากับ คือ 343 mm จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองที่ใช้เอลิเมนต์ Polyhedral เปรียบกับผลทดสอบจริง มีความคลาดเคลื่อนของจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 8 เท่ากับ 6% 14% 7% 9% 2% 5% 15% และ 55% ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยทุกจุดเท่ากับ 13.99% เวลาที่ใช้ในการคำนวณแบบจำลอง Tetrahedral และ Polyhedral เท่ากับ 124 และ 47 นาทีตามลำดับ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการคำนวณแบบ Tetrahedral จะใช้เวลามากกว่าแบบ Polyhedral เท่ากับ 2.64 เท่า ดังนั้นแบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาถ่านเกวียนในงานทดสอบนี้ควรจะใช้เอลิเมนต์แบบ Polyhedral เนื่องจากมีความแม่นยำและใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกล เกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่สนับสนุนเครื่องจักร เครื่องมือมีวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และหน่วยวิจัยด้านการออกแบบเชิงกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุเคราะห์ผลการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jarinee Jongpluempiti and Kiatfa Tangchaichit, "Experimental Investigation of Using Cassava Rhizome to Replace Firewood for Dan Kwian Pottery Firing," *Advanced Science Letters*, vol. 15, pp. 39-42, 2012.
- [2] จาริณี จงปลื้มปิติ, "การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนและของไหลในเตาเผาถ่านเกวียนโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง," สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, บัณฑิตวิทยาลัย, ขอนแก่น, วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต 2556.
- [3] เดช ดำรงค์ศักดิ์, ณัฐวัฒน์ คำเวียง, จีรศักดิ์ แก้วเงิน, and จักรกฤษณ์ ปัญญาธรรม, "การออกแบบและสร้างเตาเผาขยะชุมชน," in *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23*, เชียงใหม่, 2552.
- [4] Maatouk Khoukhi, Hiroshi Yoshino, and Jing Liu, "The effect of the wind speed velocity on the stack pressure in medium-rise buildings in cold region of China," *Building and Environment*, vol. 42, pp. 1081-1088,

CST-66

- 2007.
- Southpointe, U.S.A.: ANSYS, Inc., 2011.
- [5] *ANSYS Meshing User's Guide*. Southpointe: ANSYS, Inc., 2011.
- [6] *ANSYS Mechanical Application User's Guide*, 140th ed. Canonsburg, USA: ANSYS, Inc., 2011.
- [7] Yijiang Peng, Lijuan Zhang, Jiwei Pu, and Qing Guo, "A two-dimensional base force element method using concave polyhedral mesh," *Engineering Analysis with Boundary Elements*, vol. 42, pp. 45-50, May 2014.
- [8] Zhiqiang Sheng and Guangwei Yuan, "The finite volume scheme preserving extremum principle for diffusion equations on polyhedral meshes," *Journal of Computational Physics*, vol. 230, no. 7, pp. 2588-2604, April 2011.
- [9] Franco Brezzi and Konstantin Lipnikov, "A new discretization methodology for diffusion problems on generalized polyhedral meshes," *A new discretization methodology for diffusion problems on generalized polyhedral meshes*, vol. 196, no. 37-40, pp. 3682-3692, August 2007.
- [10] Jeffrey D. Franklin and Joon Sang Lee, "A high quality interpolation method for colocated polyhedral/polyhedral control volume methods," *Computers & Fluids*, vol. 39, no. 6, pp. 1012-1021, June 2010.
- [11] Sergej Rjasanow and Steffen Weißer, "FEM with Trefftz trial functions on polyhedral elements," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 263, pp. 202-217, June 2014.
- [12] *ANSYS FLUENT Theory Guide*, 140th ed.
- [13] *ANSYS CFX-Solver Theory Guide*. Southpointe: ANSYS, Inc., 2011.
- [14] *ANSYS FLUENT User's Guide*, 14th ed. Southpointe, U.S.A.: ANSYS, Inc., 2011.
- [15] Martin Spiegel et al., "Tetrahedral and Polyhedral Mesh Evaluation for Cerebral," in *31st Annual International Conference of the IEEE EMBS Minneapolis*, Minnesota, USA., 2009.