

การเปรียบเทียบวิธีการหาผลเฉลยของค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิระหว่าง
การใช้สมการโพลิโนเมียลอันดับสองและสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัล
The Comparison of Solution Method Solving Net Radiative Heat Flux between
using the Second-order Polynomial Equation and Exponential Integrals Equation

จตุพล ป้องกัน¹, พรสวรรค์ ทองใบ¹, ณรงค์ศักดิ์ โยธา² และ บัณฑิต กฤตาคม^{1*}

¹ ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของวัสดุพูน

(Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory: DiTo-Lab)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

² สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: E-mail: jattupon_mp2r@hotmail.com และ bundit.kr@rmuti.ac.th, โทรศัพท์ 044 233 073, โทรสาร 044 233 074

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการเปรียบเทียบระหว่างการใช้สมการโพลิโนเมียลอันดับสอง (The second-order polynomial equation) และสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัล (Exponential integrals equation, E_n) แบบปกติในสมการการแผ่รังสีความร้อน (Radiative heat transfer equation, RTE) เพื่อหาผลเฉลยของค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิ (Net radiative heat flux, q_n) การศึกษาเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของค่าเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัลอันดับ 2 (E_2) และอันดับ 3 (E_3) จากทั้งสองสมการจะทำการคำนวณในกรณีสื่อกลางมีส่วนร่วม (Participating media) หรือวัสดุพูนของระบบพิกัดแบบระนาบขนาน 1 มิติ (One-dimensional plan parallel) ที่มีความหนาเชิงกายภาพ 5 เซนติเมตร แต่มีความหนาเชิงแสง (τ) อยู่ในช่วง 0 ถึง 1.5 และขอบเขตการคำนวณเป็นแบบวัตถุดำ (Black body) ที่มีอุณหภูมิผิวด้านบนเท่ากับ 300 K และด้านล่างเป็นผนังไอโซเทอร์มอล (Isothermal wall) ที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 1,000 K จากผลการเปรียบเทียบพบว่าค่า q_n ที่คำนวณได้จากทั้ง 2 สมการของงานวิจัยนี้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี โดยเฉพาะกรณี τ สูง ๆ เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเพียง 12 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก: สมการโพลิโนเมียลอันดับสอง; ฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิ; ผนังไอโซเทอร์มอล

Abstract

This paper was to propose the comparison of solution method between using the second-order polynomial equation and exponential integrals equation (E_n) in radiative heat transfer equation (RTE) for solving net radiative heat flux (q_n). In comparison study, to verify the accuracy of the second-order (E_2) and the third-order (E_3) of exponential integrals function in both methods, the participating media or porous media in one dimensional plane parallel was conducted. Physical thickness of porous media was 5 cm and optical thickness (τ) was in the range of 0-1.5. The porous media was bounded by black body boundary condition where the top temperatures was 300 K and the bottom was isothermal wall at temperatures of 1,000 K. From the comparison, the trend of q_n evaluated by the both equation was agreement particular in the case of a higher τ owing to the maximum error of 12 percentage was appeared.

Keywords: The second-order polynomial equation; Net radiative heat flux; Isothermal wall.

CST-35

1. บทนำ

จากความยุ่งยากและซับซ้อนของสมการการแผ่รังสีความร้อน (Radiative transfer equation, RTE) โดยเฉพาะในสื่อตัวกลางที่มีส่วนร่วมกับกลไกการแผ่รังสีความร้อน (Participating media) เนื่องจาก RTE เป็นสมการแบบ integro-differential [1,2] หมายถึงสมการที่มีทั้งการอินทิเกรตและอนุพันธ์ภายในสมการเดียว ทำให้มีวิธีการหาผลเฉลยมากมาย [2] โดยทั่วไปการหาผลเฉลยมีสองวิธีใหญ่ ๆ ได้แก่ วิธีแรกการหาผลเฉลยแบบแม่นยำ (Exact solution) จะใช้ระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการคำนวณ โดยเฉพาะการคำนวณด้วยวิธีผลเฉลยสมการมาตรฐานทั่วไป (Formal solution) ซึ่งวิธีนี้ก็มีข้อเสียคือความยากในการใช้งานฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัล (Exponential integrals function, E_n) ส่วนวิธีที่สองคือ การหาผลเฉลยแบบประมาณ (Approximation solution) ซึ่งมีหลากหลายวิธีเช่น วิธีดิฟฟิวชัน (Diffusion) วิธีสเฟียริคัล-ฮาร์โมนิกส์ (Spherical-Harmonics) หรือที่รู้จักกันดีในชื่อของการประมาณแบบ P_N (P_N approximation) วิธีแบบดิสครีต-ออร์ดิเนต (Discrete ordinates) หรือเรียกอีกชื่อว่าวิธีการประมาณแบบ S_N และวิธีการประมาณแบบ Exponential Kernel เป็นต้น สำหรับปัญหาการถ่ายเทความร้อนทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันนิยมใช้วัสดุพรุน (Porous medium) เป็นสื่อตัวกลางที่มีส่วนร่วมกับกลไกการแผ่รังสีความร้อน [3, 4] เนื่องจากวัสดุพรุนมีสมบัติที่โดดเด่น คือมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีความร้อน (Radiative absorption coefficient) สูง วัสดุพรุนอาจทำมาจากเซรามิกส์ โลหะ โครงข่ายเปิดทนความร้อนสูง (Open cellular metal) หรือตาข่ายหลายแผ่นวางซ้อนและอัดแน่นเข้าด้วยกัน จึงทำให้วัสดุพรุนมีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างการพาและการแผ่รังสีความร้อนได้เป็นอย่างดี จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้การศึกษาและหาผลเฉลยของสมการการแผ่รังสีความร้อนในวัสดุพรุนมีการพัฒนาโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม

Viskanta และคณะ [5] ได้จัดรูปสมการมาตรฐานทั่วไป (Formal solution) ในการหาค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน (Radiative heat flux) ให้อยู่ในรูปอย่างง่าย คือเปลี่ยนเทอม Exponential integral function ให้เป็น

ฟังก์ชันของความเข้มการแผ่รังสี (Intensities radiation) ที่บริเวณผิวหรือขอบเขตวัสดุพรุน ผลการคำนวณที่ได้มีความน่าเชื่อถือ Yoshida และคณะ [6] ได้ใช้สมการมาตรฐานทั่วไป (Formal solution) ในการทำนายคุณลักษณะชั่วคราวของการนำความร้อน (Conductive heat transfer) การพาความร้อน (Convective heat transfer) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiative heat transfer) ผลที่ได้มีความความน่าเชื่อถือและสอดคล้องกันกับผลการทดลองเป็นอย่างดี Kamiuto และคณะ [7] ได้ใช้ P_1 approximation ในการแก้ปัญหาการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการนำความร้อน (Conductive heat transfer) กับการแผ่รังสีความร้อน (Convective heat transfer) ผลเฉลยที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ Krittacom และ Kamiuto [8] ได้ทำการปรับปรุงวิธี P_1 approximation ให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้นเพื่อใช้ในการทำนายปัญหาการแผ่รังสีความร้อนเป็นหลัก วิธีที่ทำการปรับปรุงนี้ให้ผลเฉลยที่แม่นยำละเอียดเมื่อเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นยำ

อย่างไรก็ตามงานส่วนใหญ่ที่กล่าวมาข้างต้นก็ยังเป็นการพัฒนาการหาผลเฉลยในวิธีโดยประมาณเป็นหลัก ซึ่งส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นหรือหากพัฒนาในวิธีแม่นยำก็อาจเป็นการหาแนวทางปรับปรุงผลเฉลยทางอ้อมเท่านั้น และแต่ละวิธีล้วนมีความยุ่งยากซับซ้อน ต้องใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงในการคำนวณด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการคำนวณหาผลเฉลยอย่างง่ายแต่มีความแม่นยำ โดยปรับเปลี่ยนสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัล (Exponential integral equation, E_n) อันดับ 2 (E_2) และอันดับ 3 (E_3) เป็นสมการพหุนามอันดับสอง (The second-order polynomial equation) [9] เพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิ (Net Radiative heat flux, q_n) ที่ได้จากสมการทั่วไปที่ใช้ค่า E_n จากสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัลกับสมการพหุนามอันดับสอง พร้อมทั้งตรวจสอบความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของสมการที่สร้างขึ้น

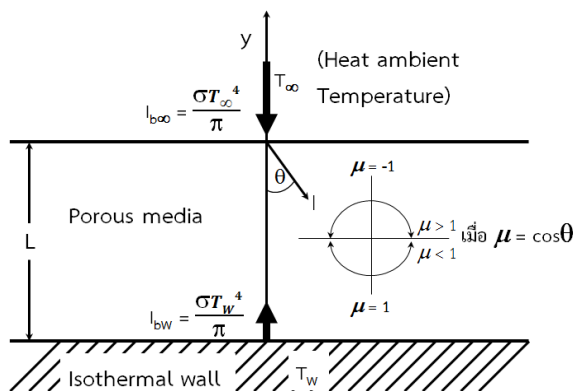
2. สมการควบคุมและแบบจำลองทางกายภาพ

รูปที่ 1 แสดงรูปแบบทางกายภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการศึกษาพฤติกรรมของการแผ่รังสีความร้อนโดยวัสดุพรุนที่ได้รับจากแหล่งความร้อนใด ๆ

CST-35

ภายนอกโดยกำหนดให้วัสดุพูนถูกบรรจุอยู่ในช่อง
ฉนวนกันความร้อน (Thermal insulation) ทำให้ด้านข้าง
ทั้งสองด้านไม่มีการสูญเสียความร้อน ด้านล่างจะเป็นผนัง
ความร้อน (Isothermal wall) ที่มีอุณหภูมิ T_w แต่ด้านบน
จะเปิดสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งด้านนี้จะได้รับการแผ่รังสี
ความร้อน (Heat radiation) จากแหล่งพลังงานใด ๆ
ที่มีอุณหภูมิ T_∞ จากรูปแบบทางกายภาพนี้ สมมติฐาน
ที่จำเป็นในการคำนวณมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) การคำนวณเป็นแบบระนาบขนานหนึ่งมิติ (One-dimensional plane-parallel) และวัสดุเป็นแบบเทา (Gray medium) มีความหนา (Porous thickness) เท่ากับ L
- 2) วัสดุพูนมีความเป็นเนื้อเดียว (Homogenous media) มีความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อน (Absorbing radiation) และการกระจายรังสีความร้อน (Emitting radiation) แต่ไม่คิดการกระเจิงรังสีความร้อน (Non scattering radiation)
- 3) ภายในวัสดุพูนไม่คิดการแผ่รังสีความร้อนของสถานะแก๊ส (อากาศ) เนื่องจากมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับสถานะของแข็ง (เนื้อวัสดุพูน)
- 4) ขอบเขตด้านบนและด้านล่างเป็นแบบวัตถุดำ (Black body) โดยที่ด้านล่างได้รับอุณหภูมิคงที่ไอโซเทอร์มอล (Isothermal wall, T_w) ด้านบนจะเปิดสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกที่มีอุณหภูมิ T_∞ และภายนอกไม่มีอากาศหรือของไหลใด ๆ ไหลผ่าน
- 5) สมบัติทางกายภาพของระบบไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ
- 6) การถ่ายเทความร้อนในวัสดุพูนเป็นสภาวะคงที่ (Steady state)



รูปที่ 1 รูปแบบทางกายภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3. สมการการคำนวณ

จากสมมติฐานทั้ง 6) ข้อในหัวข้อที่ 2 สมการควบคุมหลัก (Governing equation) ที่ใช้แก้ปัญหาการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพูนที่ได้รับพลังงานความร้อนใด ๆ จากภายนอก กระทำได้โดยพิจารณาให้วัสดุพูนมีความต่อเนื่อง (Continuous) ดังนั้นจะได้สมการควบคุมหลักการแผ่รังสีความร้อน (Radiative heat transfer, RTE) และเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) คือ

$$\mu \frac{dI(y)}{dy} = \frac{\sigma T_s^4(y)}{\pi} - I(y) \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} y=0 : I(0) &= T_b^-(y=0) = \frac{\sigma T_w^4}{\pi} \\ y=L : I(L) &= T_b^+(y=L) = \frac{\sigma T_\infty^4}{\pi} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

โดยทั่วไปปัญหาการแผ่รังสีจะนิยามกำหนดพิกัดด้วยความหนาเชิงแสง (Optical thickness) [2] คือ $d\tau = K dy$ ดังนั้นสมการที่ (1) จะเปลี่ยนเป็น

$$\mu \frac{dI(\tau)}{d\tau} = \frac{\sigma T_s^4(\tau)}{\pi} - I(\tau) \quad (3)$$

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีความร้อน (Absorption coefficient) ทำการอินทิเกรต RTE หรือสมการ (3) ในช่วง $\tau=0$ ถึง $\tau=\tau_L$ จะได้ผลลัพธ์คือ

$$I(\tau) = I^+(\tau) + I^-(\tau) \quad (4a)$$

$$I^+(\tau) = I(0)e^{-\frac{\tau}{\mu}} + \int_0^\tau \frac{1}{\mu} \left[\frac{\sigma T_s^4(\tau^*)}{\pi} \right] e^{-\frac{(\tau-\tau^*)}{\mu}} d\tau^* \quad (4b)$$

$$I^-(\tau) = I(\tau_L)e^{\frac{(\tau_L-\tau)}{\mu}} - \int_\tau^{\tau_L} \frac{1}{\mu} \left[\frac{\sigma T_s^4(\tau^*)}{\pi} \right] e^{-\frac{(\tau-\tau^*)}{\mu}} d\tau^* \quad (4c)$$

CST-35

การหาค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิ (Net radiative heat flux, q_n) [1,2] ซึ่งเป็นปริมาณที่จะทำการคำนวณในงานวิจัยนี้ สามารถคำนวณได้จาก

$$q_n(\tau) = 2\pi \int_{\mu=-1}^1 I(\tau, \mu) \mu d\mu$$

$$\begin{aligned} q_n(\tau) = & 2\pi \left[\int_0^1 I^+(0, \mu) e^{-\tau/\mu} \mu d\mu \right. \\ & + \int_0^1 \int_0^{\tau/\mu} [T(\tau', \mu)] e^{-(\tau-\tau')/\mu} d\tau' d\mu \Big] \\ & - 2\pi \left[\int_0^1 I^-(\tau_0, -\mu) e^{-(\tau_0-\tau)/\mu} \mu d\mu \right. \\ & \left. + \int_0^1 \int_{\tau/\mu}^{\tau_0/\mu} [T(\tau', -\mu)] e^{-(\tau'-\tau)/\mu} d\tau' d\mu \right] \quad (5) \end{aligned}$$

รูปแบบของสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัล (Exponential integrals equation, E_n) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อจัดรูปสมการของปริมาณฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิ (q_n) โดยมีสมการทั่วไปคือ

$$\left. \begin{aligned} E_n(x) &= \int_1^\infty e^{xt} \frac{dt}{t^n} = \int_0^1 \mu^{n-2} e^{\frac{-x}{\mu}} d\mu \\ E_n(x) &= \int_x^\infty E_{n-1}(x) dx \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ดังนั้นเมื่อหาค่า $E_2(\tau)$ และ $E_3(\tau)$ แล้ว สมการของการคำนวณหาค่า q_n จะจัดรูปสมการใหม่ดังนี้

$$\begin{aligned} q_n(\tau) = & 2\pi \left[I^+(0) E_3(\tau) \right. \\ & + \int_0^{\tau/\mu} [T(\tau')] E_2(\tau - \tau') d\tau' \Big] \\ & - 2\pi \left[I^-(\tau_0) E_3(\tau_0 - \tau) \right. \\ & \left. + \int_{\tau/\mu}^{\tau_0/\mu} [T(\tau')] E_2(\tau' - \tau) d\tau' \right] \quad (7) \end{aligned}$$

สมการโพลิโนเมียลอันดับสอง (The second-order polynomial equation) [9] ที่ถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณหาค่า $E_2(\tau)$ และ $E_3(\tau)$ แทนสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัล โดยมีรูปแบบสมการคือ

$$E_n = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \quad (8)$$

เมื่อ a_0 , a_1 และ a_2 คือค่าคงที่ที่ต้องการหา โดยใช้ระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขแบบ Gauss elimination method ในการหาค่า

4. วิธีการคำนวณ

จากสมการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งเงื่อนไขขอบเขต จะทำการหาผลเฉลยของค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิ (q_n) โดยกำหนดค่าความหนาเชิงแสง (τ) ที่ใช้ในการคำนวณ คือ 0.01, 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 ตามลำดับ เริ่มต้นคำนวณหาค่าโครงสร้างทางอุณหภูมิภายในชั้นวัสดุพูน จะทำให้ได้ค่าความเข้มการแผ่รังสี (Intensities radiation, I) ออกมา และคำนวณหาค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิ (q_n) ตามสมการที่ (7) โดยใช้ค่า E_n จาก 2 วิธี คือ จากฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัล กับฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับสอง เพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณ

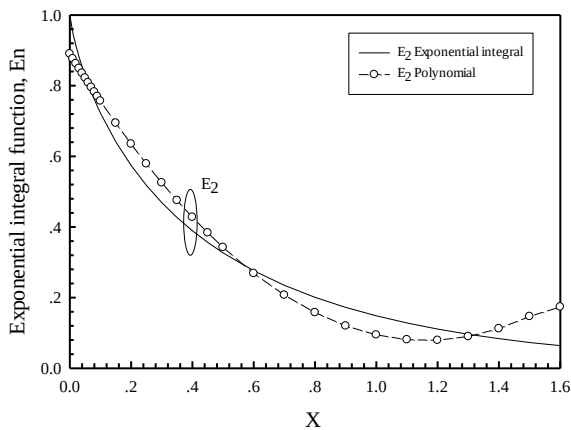
5. ผลการคำนวณและอภิปรายผล

5.1 ค่า E_2 และ E_3

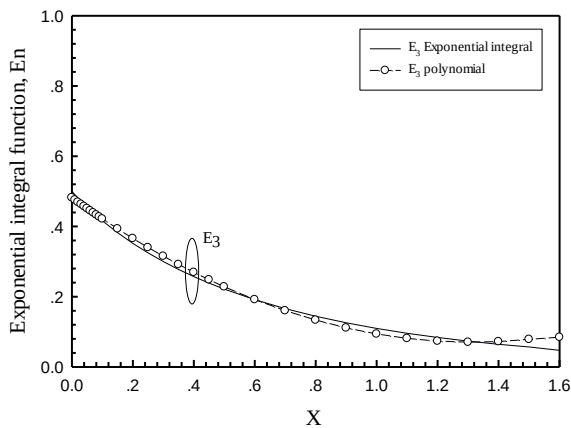
รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่า E_2 ระหว่างสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัลกับสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง โดยทำการเปรียบเทียบใน ช่วง $0 < \tau < 1.5$ จะพบว่าค่า E_2 เมื่อสร้างเป็นสมการโพลิโนเมียลอันดับสองจะมีค่าใกล้เคียงกันกับค่า E_2 ที่ได้จากสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัล (E_n) และหากพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Determination coefficient, R^2) ของ E_2 จะได้ว่ามีค่าเท่ากับ 0.9776 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 อยู่ในระดับที่น่าพอใจ

รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่า E_3 ระหว่างสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัลกับสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง โดยทำการเปรียบเทียบในกรณีเดียวกันกับค่า E_2 จะพบว่าค่า E_3 ที่ได้จากทั้งสองสมการจะมีค่าใกล้เคียงกันและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดมีค่าเท่ากับ 0.9946 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 เช่นเดียวกันกับกรณี E_2 ดังนั้นค่า E_n ของสมการโพลิโนเมียลอันดับสองที่คำนวณได้นั้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อทำนายกลไกการแผ่รังสีความร้อนได้

CST-35



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบค่า E_2 ระหว่างสมการ
เอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัลกับสมการโพลิโนเมียล
อันดับสอง

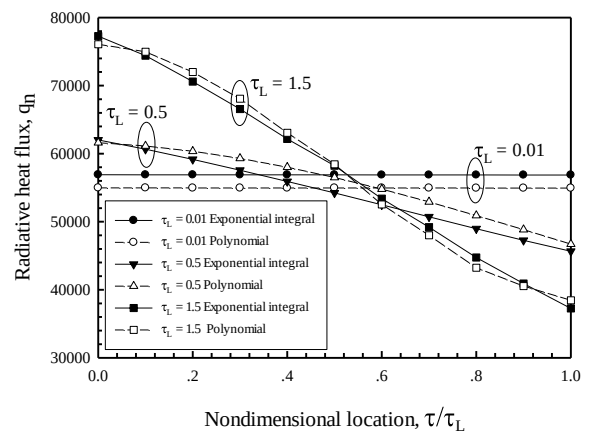


รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่า E_3 ระหว่างสมการ
เอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัลกับสมการโพลิโนเมียล
อันดับสอง

5.2 ค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิ

รูปที่ 4 แสดงค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิ (Net radiative heat flux, q_n) ภายในชั้นวัสดุพอรอนที่คำนวณได้จากสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัลกับสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง พบว่าค่า q_n จะมีแนวโน้มลดลงตามความหนาของแผ่นวัสดุพอรอน ซึ่งเกิดจากการบริเวณตำแหน่งด้านล่าง ($\tau/\tau_L = 0$) ได้รับพลังงานความร้อนจากแหล่งความร้อน (Isothermal wall, T_w) ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงและมีการแผ่รังสีอย่างเข้มข้น (ในที่นี้แสดงในรูปของฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน) และจะค่อย ๆ ลดปริมาณลงตามความเข้มข้นหรืออุณหภูมิภายในชั้นวัสดุพอรอน กรณี τ_L สูง ๆ ($\tau_L = 1.5$) ค่าฟลักซ์การแผ่รังสี

ความร้อนสุทธิจะมีค่าสูงกว่า กรณี τ_L ต่ำ ๆ ($\tau_L = 0.01$) เนื่องจากอิทธิพลของความหนาของชั้นวัสดุพอรอน นอกจากนั้นหากพิจารณาการเปรียบเทียบระหว่างการใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัลกับสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง พบว่า q_n ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองกรณี แต่ q_n ที่คำนวณได้จากสมการโพลิโนเมียลอันดับสองมีค่าสูงกว่า q_n ที่ได้จากสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัลโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 12 %



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิ (Net radiative heat flux, q_n) ระหว่างการใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัลกับสมการโพลิโนเมียลอันดับสอง

6. สรุปผล

สมการโพลิโนเมียลอันดับสองที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งสร้างขึ้นจากสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัล (E_2 และ E_3) ในช่วง $0 < \tau < 1.5$ พบว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อย และมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด R^2 สำหรับค่า E_2 และ E_3 คือ 0.9776 และ 0.9946 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 1 จึงถือว่าทั้งสองสมการมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีและอยู่ในระดับที่น่าพอใจ และเมื่อใช้หาผลเฉลยของค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนสุทธิ (q_n) พบว่าค่าที่คำนวณได้จากทั้งสองสมการจะมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงตามอุณหภูมิภายในชั้นวัสดุพอรอน โดย q_n ที่คำนวณได้จากสมการโพลิโนเมียลอันดับสองจะมีค่าสูงกว่าสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล-อินทิกรัล และมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 12 %

CST-35

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนบทความขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ในการศึกษาและปฏิบัติงานวิจัยในครั้งนี้ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ozisik, M.N. (1990). *Radiative Transfer and Interactions with Conduction and Conduction*, McGraw-Hill, New York.
- [2] Modest, M.F. (2003). *Radiative Heat Transfer*, 2nd edition, ISBN: 0-12-503163-7, Academic Press (Elsevier Science), California.
- [3] Vafai, K. (2005). *Handbook of porous media*, 2nd edition, ISBN: 0-8247-8886-9, Taylor and Francis, New York.
- [4] บัณฑิต กฤดาคม (2554). หัวพันไฟอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้วัสดุพูนในหัวพันไฟ, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, 12(1), หน้า 76 – 87

- [5] Viskanta, R., Mruyama, S. and Aihara, T. (1990). Analysis of an active high-temperature thermal insulation system, *International Journal Heat and Fluid Flow*, vol. 11(3), pp. 196 - 203.
- [6] Yoshida, H., Yun, J.H., and Echigo, R. (1990). Transient characteristics of combined conduction convection and radiation heat transfer in porous media, *Journal of Heat Mass Transfer*, Vol. 33(5), pp. 847 - 857.
- [7] Kamiuto, K., Iwamoto, M. and Nagumo, Y. (1993). Combined conduction and correlated-radiation heat transfer in packed bed, *Journal of Thermophysics Heat Transfer*, vol. 7(3), pp. 496 – 501.
- [8] Krittacom, B. and Kamiuto, K. (2007). Improvement of the P_1 approximation in radiative transfer, *JP Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 1 (1), pp. 63 - 74.
- [9] บัณฑิต กฤดาคม (2556). ระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับงานวิศวกรรม, สำนักพิมพ์ แผนงานออกแบบและผลิตสื่อสิ่งพิมพ์ งานประชาสัมพันธ์ และเผยแพร่ มทร.อีสาน, นครราชสีมา