สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

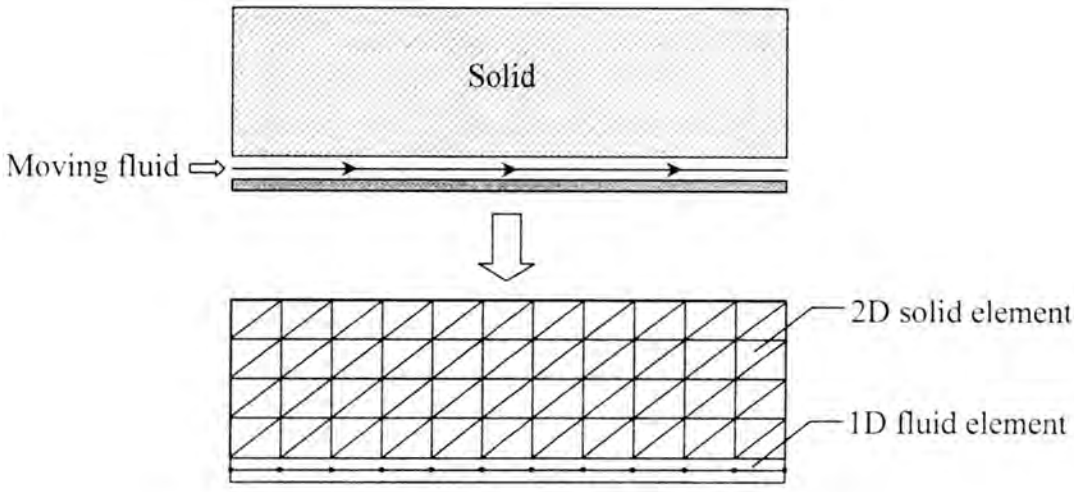
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ในปัจจุบันการวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งกับของไหลแบบสองมิติโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (numerical method) แม้ว่าจะสามารถให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องได้ดี แต่การวิเคราะห์ปัญหาในลักษณะเช่นนี้จำเป็นต้องใช้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ (computational time) มากและยังต้องใช้หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ (computer memory) มากเช่นกัน ในบางปัญหาอาจพบว่าไม่สามารถทำการคำนวณได้เลย เนื่องจากหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ไม่เพียงพอ ซึ่งถ้าหากของไหลที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนหรือให้ความร้อนไหลผ่านท่อที่ไม่มีสิ่งกีดขวางภายใน ปัญหาการไหลนั้นอาจถูกสมมุติให้เป็นปัญหาการไหลแบบหนึ่งมิติโดยอุณหภูมิของไหลจะอยู่ในรูปของก้อนอุณหภูมิ (fluid bulk temperature) ที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามแนวแกนความยาวท่อเพียงแกนเดียว ในขณะส่วนที่เป็นของแข็งยังคงถูกวิเคราะห์เป็นปัญหาการถ่ายเทความร้อนแบบสองมิติเช่นเดิม ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ทำให้การส่งถ่ายความร้อนระหว่างของไหลกับของแข็งอยู่ในรูปของการพาความร้อน (convection heat transfer) โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาทั้งสองไปพร้อม ๆ กันในลักษณะการวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนแบบคอนจูเกต (conjugate heat transfer) ที่มีอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า ทำให้ช่วยลดความซับซ้อนของปัญหา เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์และหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งกับของไหลจำเป็นต้องแก้สมการเชิงอนุพันธ์แต่การจะหาผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปของผลเฉลยแม่นตรง (exact solution) หรือผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (analytical solution) ที่ใช้สมมุติฐานบางอย่างเพื่อให้สามารถหาคำตอบได้ง่ายขึ้นอาจกระทำได้ยากหรืออาจไม่สามารถทำได้เลยโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับปัญหาที่มีรูปร่างหรือเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ที่ซับซ้อน จึงจำเป็นต้องนำระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเข้ามาช่วยหาคำตอบให้อยู่ในรูปของผลเฉลยโดยประมาณ

ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางคือระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) ซึ่งวิธีการนี้สามารถนำมาใช้กับปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี โดยขั้นตอนของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะเริ่มจากการแบ่งขอบเขตรูปร่างของปัญหาออกเป็น

เอลิเมนต์ย่อย ๆ แล้วทำการประมาณค่าของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าบนเอลิเมนต์ด้วยฟังก์ชันการประมาณภายใน (interpolation functions) จากนั้นทำการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาในรูปของสมการไฟไนต์เอลิเมนต์เมทริกซ์ (finite element matrices) ทำการรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์เมทริกซ์ของแต่ละเอลิเมนต์ขึ้นเป็นระบบสมการรวม ประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตสุดท้ายทำการแก้ระบบสมการรวม โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ระบบสมการรวมนี้เป็นผลลัพธ์ที่ตำแหน่งของจุดต่อต่าง ๆ ภายในโดเมน



รูปที่ 1.1 ภาพตัวอย่างการใช้เอลิเมนต์ในของแข็งและของไหล

1.2 ผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

Thornton [1] ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์อุณหภูมิของโครงสร้างหล่อเย็นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาในสถานะอยู่ตัว โดยนำเอลิเมนต์ที่เรียกว่า เอลิเมนต์การพาส่งถ่ายมวล (mass transport convection element) และเอลิเมนต์การพาที่ผิว (surface convection element) มาใช้

Schmidt and Szego [2, 3] นำระเบียบวิธีการผลต่างสืบเนื่อง (finite differance method) มาวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งและของไหลภายใต้สถานะชั่วครู่ โดยวิเคราะห์ส่วนที่เป็นของแข็งเป็นปัญหาแบบสองมิติและของไหลเป็นแบบหนึ่งมิติกับปัญหาอุปกรณ์กักเก็บความร้อนและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยไม่คิดผลของค่าความจุความร้อนในของไหล

Thornton [4] นำเสนอระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยการใช้ฟังก์ชันน้ำหนักอัปวินด์ (upwind weighting functions) และแสดงถึงประสิทธิภาพของวิธีการดังกล่าวในการวิเคราะห์การไหลหนึ่งมิติ ซึ่งระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยการใช้ฟังก์ชันน้ำหนักอัปวินด์สามารถช่วยลดการสั่นของผลลัพธ์ได้ดีกว่าการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบธรรมดาเมื่อปัญหานั้น ๆ ใช้จำนวนเอลิเมนต์ที่ไม่เหมาะสม

Kawahara et al. [5] and Yamada et al. [6] ได้ทำการเลือกฟังก์ชันการประมาณภายในแบบผสม (mixed interpolation function) คือการเลือกฟังก์ชันการประมาณภายในของความเร็วแบบควอดราติกและความดันแบบเชิงเส้นโดยใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบหกจุดต่อ วิธีดังกล่าวช่วยลดการสั่นของผลลัพธ์

ปราโมทย์ เดชะอำไพ [7] ได้นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาประยุกต์ใช้กับปัญหาการถ่ายเทความร้อนในของแข็ง พร้อมทั้งประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (HEAT2D) โปรแกรมดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง

Dechaumphi [8, 9] ได้นำเทคนิคการปรับขนาดเอลิเมนต์อัตโนมัติ (adaptive meshing technique) มาใช้ในกับปัญหาการถ่ายเทความร้อน โดยใช้เอลิเมนต์ขนาดเล็กในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความชันของผลลัพธ์สูงเพื่อเพิ่มความแม่นยำของผลลัพธ์และใช้เอลิเมนต์ขนาดใหญ่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความชันของผลลัพธ์ต่ำเพื่อลดหน่วยความจำและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

ยศกร ประทุมวัลย์ [10] นำเสนอการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลลุมมาวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนแบบคอนจูเกต โดยทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ผิวรอยต่อระหว่างของแข็งและของไหลด้วยวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกและทำการศึกษาผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและผลกระทบที่มีต่อการไหลและการถ่ายเทความร้อนจากแรงลอยตัวที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในการพาความร้อนแบบอิสระ

อธิพงษ์ มาลาทิพย์ [11] ได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และสตรีมไลน์อัปวินด์ (streamline upwind) โดยประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณแบบแยกกัน (segregated solution method) เพื่อวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนแบบคอนจูเกต ทำให้ช่วยลดการสั่นของผลลัพธ์ได้ดีและยังทำให้ผลลัพธ์ลู่เข้าได้เร็วยิ่งขึ้น

Phongthanapanich et al. [12, 13] นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ตัวแปรไร้จุดต่อมา (nodeless variable finite element) ประยุกต์ใช้กับปัญหาการถ่ายเทความร้อนและความเค้น ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบธรรมดาและยังนำเทคนิคการปรับขนาดเอลิเมนต์อัตโนมัติมาใช้ร่วมกัน ทำให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดการใช้หน่วยความจำและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของคอมพิวเตอร์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอปัญหาการวิเคราะห์อุณหภูมิของโครงสร้างหล่อเย็นด้วยการพาความร้อนภายใต้สถานะอยู่ตัวและสถานะชั่วครู่ โดยวิเคราะห์ส่วนของแข็งเป็นแบบสองมิติและของไหลเป็นแบบหนึ่งมิติตามแนวความยาวท่อ การส่งถ่ายความร้อนระหว่างของแข็งกับของไหลอยู่ในรูปของการพาความร้อน เพื่อลดความซับซ้อนของปัญหา เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์และหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ และยังนำเสนอระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ตัวแปรไร้จุดต่อมาใช้ในการทำนายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในของแข็งและของไหลเนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบธรรมดา โดยการใช้เอลิเมนต์ตัวแปรไร้จุดต่อ (nodeless variable element) ซึ่งมีลักษณะการกระจายผลเฉลยโดยประมาณเป็นควอดราติกฟังก์ชัน (quadratic function) โดยเอลิเมนต์ตัวแปรไร้จุดต่อนี้ยังคงใช้จำนวนจุดต่อเท่ากับเอลิเมนต์แบบธรรมดา (standard element) ซึ่งมีลักษณะการกระจายผลเฉลยโดยประมาณเป็นเชิงเส้นตรง (linear function) และยังนำเทคนิคการปรับขนาดเอลิเมนต์อัตโนมัติมาใช้ร่วมด้วยเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำของผลลัพธ์และลดจำนวนจุดต่อที่ต้องคำนวณหาผลลัพธ์ทำให้เป็นการช่วยลดเวลาที่ต้องใช้ในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์และหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์

1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.3.1 ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของแข็งและของไหล

1.3.2 ศึกษาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาการวิเคราะห์อุณหภูมิของโครงสร้างหล่อเย็นด้วยการพาความร้อน

1.3.3 ประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำนายพฤติกรรมของปัญหาในการวิเคราะห์อุณหภูมิของโครงสร้างหล่อเย็นด้วยการพาความร้อน

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ขั้นตอนดำเนินงานและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.4.1 ศึกษาสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยสำหรับปัญหาการถ่ายเทความร้อนในของไหลแบบหนึ่งมิติ และของแข็งแบบสองมิติ

1.4.2 ศึกษาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบธรรมดาและแบบตัวแปรไร้จุดต่อ

1.4.3 ศึกษาหลักการของเทคนิคการปรับขนาดเอลิเมนต์อัตโนมัติ

1.4.4 ประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์แบบธรรมดาและแบบตัวแปรไร้จุดต่อสำหรับปัญหาการวิเคราะห์อุณหภูมิของโครงสร้างหล่อเย็นด้วยการพาความร้อน

1.4.5 ประดิษฐ์โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์แบบธรรมดาและแบบตัวแปรไร้จุดต่อสำหรับปัญหาการวิเคราะห์อุณหภูมิของโครงสร้างหล่อเย็นด้วยการพาความร้อน

1.4.6 ทดสอบโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประดิษฐ์ขึ้นกับปัญหาต่าง ๆ ที่มีผลเฉลยแม่นตรงหรือผลการทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.4.7 ทดสอบโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประดิษฐ์ขึ้นร่วมกับเทคนิคการปรับขนาดเอลิเมนต์อัตโนมัติและปัญหาอื่น ๆ ที่น่าสนใจ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ก่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจของการถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็งกับของไหล

1.5.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น สามารถนำไปวิเคราะห์อุณหภูมิของโครงสร้างหล่อเย็นด้วยการพาความร้อนได้

1.5.3 ก่อให้เกิดความเข้าใจที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบการวิเคราะห์อุณหภูมิของโครงสร้างหล่อเย็นด้วยการพาความร้อนได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

1.5.4 เป็นพื้นฐานในการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์อุณหภูมิของโครงสร้างหล่อเย็นด้วยการพาความร้อน ที่มีโครงสร้างของแข็งแบบสามมิติและของไหลแบบหนึ่งมิติ