

บทที่ 7

การปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไหลความเร็วสูงและโครงสร้าง

การปฏิสัมพันธ์กันระหว่างการไหลความเร็วสูงและโครงสร้างเป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างใด ๆ ที่บินผ่านของไหลด้วยความเร็วสูงกว่าเสียง เป็นผลให้โครงสร้างดังกล่าวเกิดการเสียรูปไปจากเดิมเนื่องจากได้รับปริมาณความร้อนจากของไหลดังกล่าว ซึ่งจะมีผลต่อเนื้อหาทำให้พฤติกรรมการไหลความเร็วสูงรอบ ๆ โครงสร้างเกิดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมตามโครงสร้างที่เกิดการเสียรูปไปแล้ว ความเข้าใจในพฤติกรรมการปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวจะช่วยในการออกแบบโครงสร้างได้ดีมากขึ้น ในหัวข้อต่อไปจะอธิบายถึงขั้นตอนการคำนวณและตัวอย่างที่ได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนดังกล่าวอย่างเป็นขั้นเป็นตอน

7.1 ขั้นตอนการคำนวณการปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไหลความเร็วสูงและโครงสร้าง

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะทำการแยกคำนวณหาพฤติกรรมทั้งสามเป็นลำดับ โดยจะเริ่มจากการคำนวณหาพฤติกรรมการไหลความเร็วสูงที่มีการกำหนดให้อุณหภูมิตลอดผิวโครงสร้างมีค่าคงที่ จากนั้นเมื่อได้คำตอบที่ลู่เข้าแล้ว (converge) ซึ่งจะใช้เวลาที่เกิดขึ้นจริงของปัญหาเป็นระดับมิลลิวินาที จากนั้นนำค่าปริมาณความร้อนที่ของไหลกระทำกับผิวโครงสร้างมาเป็นภาวะความร้อนกระทำต่อโครงสร้าง เพื่อคำนวณอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากที่ได้รับปริมาณความร้อนดังกล่าวเป็นระยะเวลาผ่านไปหลายวินาที หรือนาที แล้วจึงนำค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้บนตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงสร้างมาคำนวณหาค่าการยืดหดตัวและค่าความเค้นเนื่องจากความร้อน เมื่อทำการคำนวณได้ครบทั้ง 3 พฤติกรรมแล้ว จึงจะวนกลับมาคำนวณหาพฤติกรรมการไหลความเร็วสูงใหม่ โดยต้องทำการปรับเงื่อนไขขอบเขตทั้งตำแหน่งของผิวโครงสร้างที่โก่งตัวขึ้นตามระยะยืดหดตัวเนื่องจากความร้อน และอุณหภูมิตลอดผิวโครงสร้างให้ปรับค่าตามอุณหภูมิที่คำนวณได้ เมื่อได้พฤติกรรมการไหลใหม่ ก็จะมีการคำนวณหาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของโครงสร้าง และระยะยืดหดตัวเนื่องจากความร้อนอีกครั้ง การคำนวณหาพฤติกรรมการปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไหลความเร็วสูงและโครงสร้างจะวนลำดับดังเช่นนี้

รายละเอียดลำดับขั้นตอนการคำนวณหาพฤติกรรมการปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวมีดังนี้

7.1.1 เริ่มต้นจะทำการวิเคราะห์หาพฤติกรรมการไหลแบบหนืดความเร็วสูงผ่านโครงสร้าง ซึ่งจะกำหนดให้อุณหภูมิตลอดผิวโครงสร้างมีค่าคงที่ตามที่กำหนด โดยจะประยุกต์ระเบียบวิธีอัปวินด์เซลล์เซนเตอร์ร่วมกับเทคนิคการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ รวมถึงการสร้างเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมขนาดเล็กบริเวณขอบชั้นติดกับผิวโครงสร้าง ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องด้วยเวลาและหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่น้อยกว่าวิธีพื้นฐานทั่วไป

ลักษณะการไหลแบบหนืดความเร็วสูงผ่านโครงสร้างจะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุลอย่างรวดเร็วในระดับมิลลิวินาที ในช่วงเวลาดังกล่าวปริมาณความร้อนทางพลศาสตร์จากของไหลยังไม่ทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครงสร้างมากนัก และยังคงต้อง

ใช้เวลาในระดับหลายวินาทีซึ่งจะทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปจนเริ่มมีผลให้พฤติกรรมการไหลเปลี่ยนไปจากเดิม

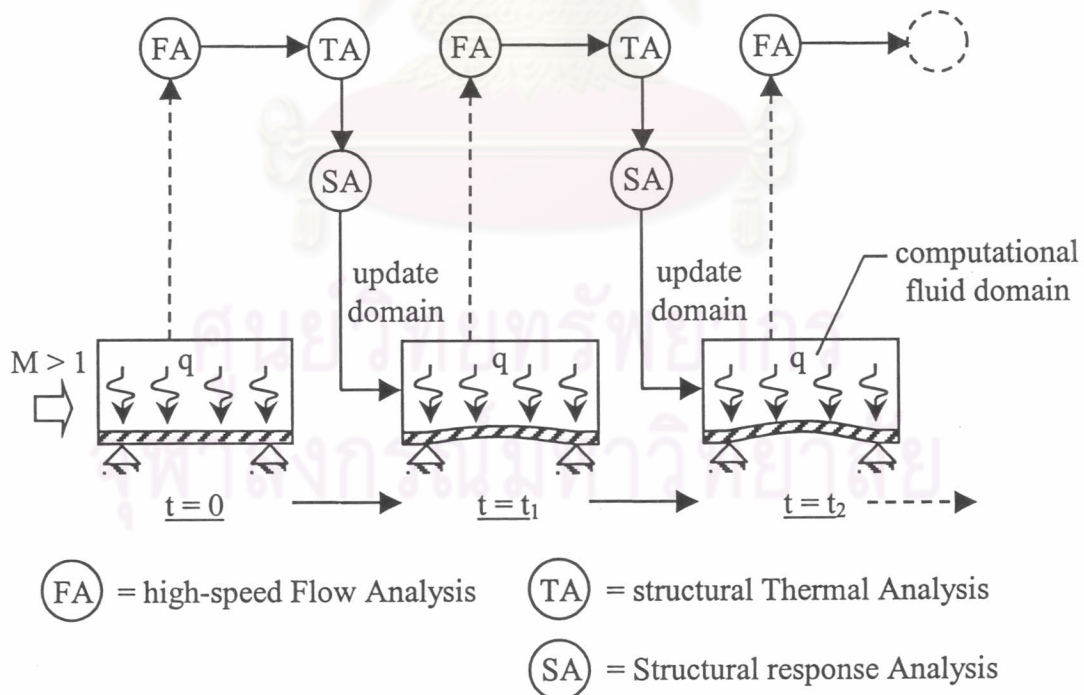
7.1.2 เมื่อเวลาผ่านไปจนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว จึงทำการคำนวณหาการกระจายของอุณหภูมิบนโครงสร้างที่ได้รับปริมาณความร้อนทางพลศาสตร์ที่เวลาดังกล่าว ด้วยการใช้โปรแกรม HEAT2DTS ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่ขึ้นกับเวลา

7.1.3 นำการกระจายของอุณหภูมิที่คำนวณได้จากหัวข้อ 7.1.2 และความดันที่ของไหลกระทำกับผิวโครงสร้างที่คำนวณได้จากหัวข้อ 7.1.1 มาใช้คำนวณหาระยะยืดหดตัวและความเค้นเนื่องจากความร้อนบนโครงสร้างด้วยโปรแกรม STRESS2DTH

7.1.4 นำรูปร่างโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งคำนวณได้ในหัวข้อ 7.1.3 มาปรับปรุงโดเมนการไหลใหม่ และปรับค่าอุณหภูมิกึ่งที่บนผิวโครงสร้างตามค่าที่คำนวณได้ในหัวข้อ 7.1.2

ทำการคำนวณในขั้นตอน 7.1.1 – 7.1.4 ใหม่อีกครั้ง และวนเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยรวม กล่าวคือการถ่ายเทความร้อนบนโครงสร้างเข้าสู่สภาวะสมดุลและมีผลให้รูปร่างของโครงสร้างไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจจะใช้เวลาประมาณ 5 – 10 นาที หรือมากกว่านั้น

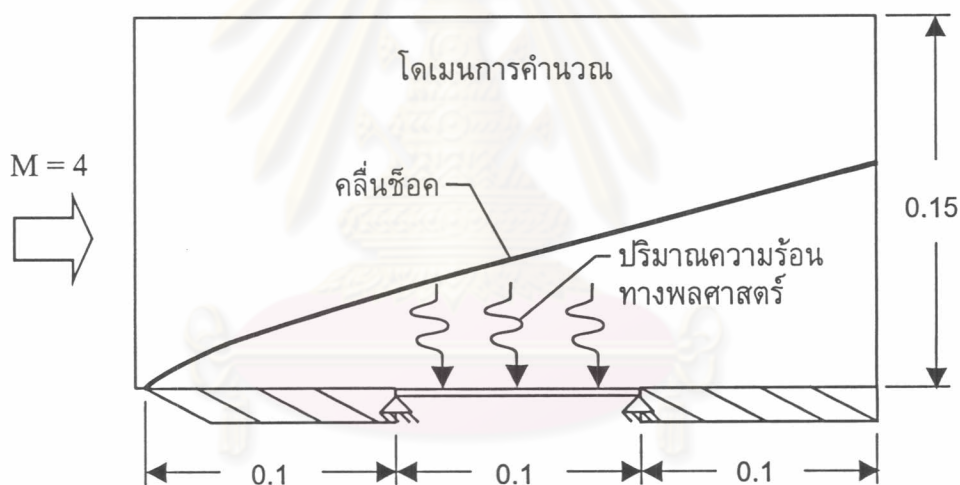
ขั้นตอนการคำนวณการปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไหลความเร็วสูงและโครงสร้างได้แสดงอยู่ในรูปแบบแผนภูมิ ดังในรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 ขั้นตอนการคำนวณการปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไหลความเร็วสูงและโครงสร้าง

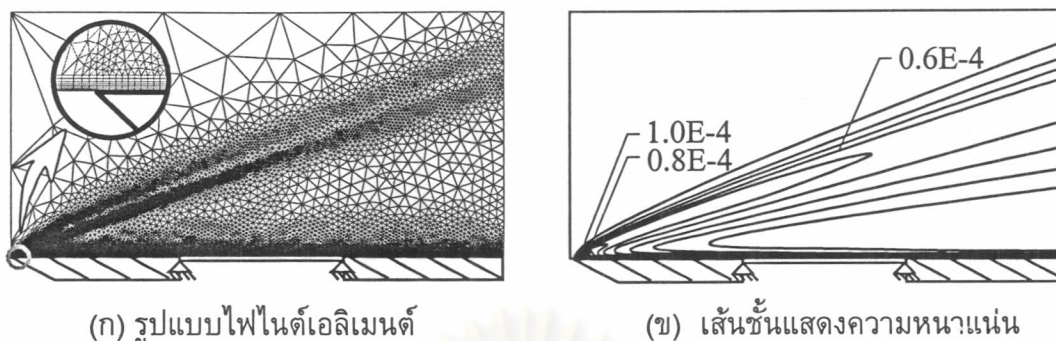
7.2 ตัวอย่างการประยุกต์การปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไหลความเร็วสูงและโครงสร้าง

การไหลแบบหนืดความเร็วสูงกว่าเสียง 4 เท่าไหลผ่านแผ่นเรียบปลายแหลมได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวอย่างในการประยุกต์การปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไหลความเร็วสูงและโครงสร้าง ลักษณะปัญหาคล้ายคลึงกับปัญหาที่ใช้หัวข้อ 6.1.5 แตกต่างกันที่ปัญหานี้ของไหลมีความเร็วสูงกว่าเสียง 4 เท่า แผ่นเรียบมีความยาว 0.3 เมตร และจะพิจารณาแผ่นเรียบในช่วง 0.1-0.2 เป็นช่วงที่โครงสร้างจะเกิดการโก่งตัว ส่วนบริเวณอื่นเป็นวัตถุแข็งเกร็ง ของไหลทางด้านขาเข้ามีความหนาแน่น $\rho = 0.4303\text{E-}4 \text{ kg/m}^3$; ค่าความเร็ว $u = 1,418.7 \text{ m/sec}$, $v = 0$, ค่าพลังงานรวม $\epsilon = 1,216,582.345 \text{ J/kg}$ และกำหนดให้ผิวแผ่นเรียบมีค่าพลังงานรวม $\epsilon_w = 210,227.5 \text{ J/kg}$ ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ ของของไหลที่ใช้ร่วมในการคำนวณหาพฤติกรรมกรการไหล ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ $T_\infty = 293 \text{ K}$; ค่าพรันด์เทิลนัมเบอร์ $Pr = 0.71$; ค่าคงตัวสากลของแก๊ส $R = 287 \text{ J/kg-K}$ และค่าความหนืดพลศาสตร์คำนวณจากสมการ (6.13) โดย $\mu_o = 1.7894\text{E-}5 \text{ kg/m-s}$; $T_o = 288.16 \text{ K}$ และ $S = 110 \text{ K}$



รูปที่ 7.2 การไหลแบบหนืดความเร็วสูงกว่าเสียง 4 เท่าไหลผ่านแผ่นเรียบปลายแหลม

การวิเคราะห์จะทำตามขั้นตอนการคำนวณในหัวข้อ 7.1 เริ่มจากการคำนวณหาพฤติกรรมกรการไหลผ่านแผ่นเรียบด้วยการใช้โปรแกรม CELLHIFLOW ร่วมกับเทคนิคการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติทำให้ได้รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ใหม่ครั้งที่สอง ดังแสดงในรูปที่ 7.3 (ก) ประกอบด้วยเอลิเมนต์สามเหลี่ยมจำนวน 19,817 เอลิเมนต์ และเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม 7,590 เอลิเมนต์ 17,914 จุดต่อ และรูปที่ 7.3 (ข) แสดงการกระจายความหนาแน่นของผลลัพธ์ที่คำนวณได้

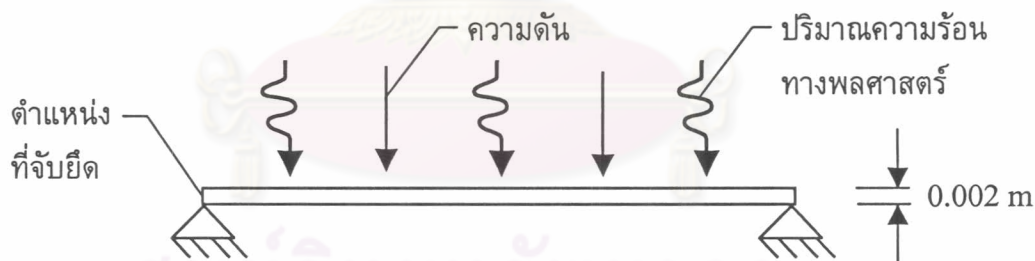


(ก) รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์

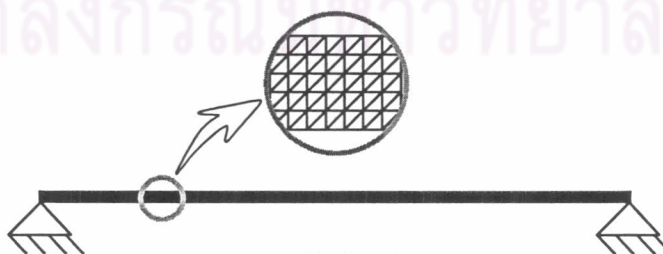
(ข) เส้นชั้นแสดงความหนาแน่น

รูปที่ 7.3 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์และการกระจายความหนาแน่นสำหรับการไหลแบบหนึ่งความเร็วสูงกว่าเสียง 4 เท่าไหลผ่านแผ่นเรียบปลายแหลม

จากนั้นนำปริมาณความร้อนทางพลศาสตร์ของของไหลและความดันที่คำนวณได้จากโปรแกรม CELLHIFLOW มาเป็นภาระไหลตกกระทาลงบนผิวโครงสร้างที่ระยะ $x = 0.1 - 0.2$ เมตร มีความหนาเท่ากับ 0.002 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 7.4 (ก) โดยถือว่าปลายทั้งสองข้างติดอยู่กับโครงสร้างที่มีมวลขนาดใหญ่ ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนออกไปยังปลายทั้งสองข้างได้ตลอดเวลา ส่วนปลายด้านล่างถือว่าเป็นฉนวน และทำการแบ่งโดเมนการคำนวณออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมขนาดเท่า ๆ กันจำนวน 2,500 เอลิเมนต์ 1,506 จุดต่อ ดังในรูปที่ 7.4 (ข)



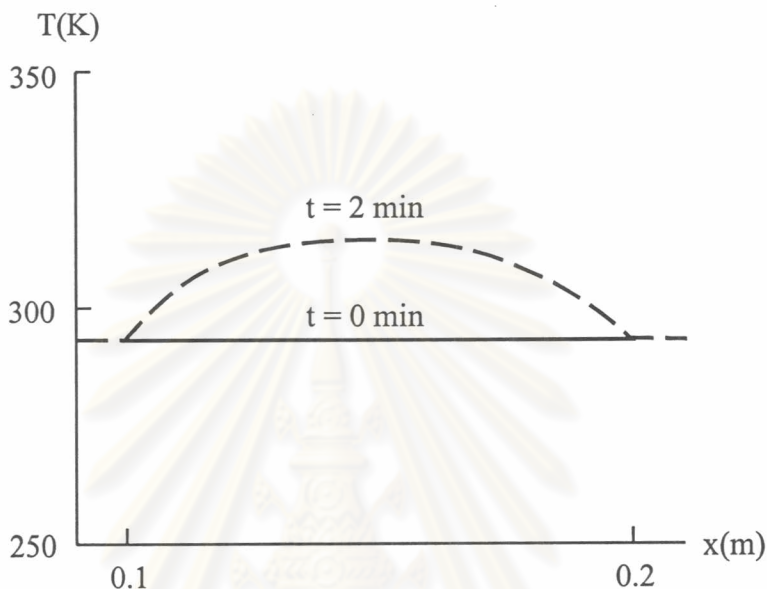
(ก) แผ่นเรียบที่ระยะ $x = 0.1 - 0.2$ เมตร อยู่ภายใต้การรับปริมาณความร้อนทางพลศาสตร์และความดันจากของไหล



(ข) รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์

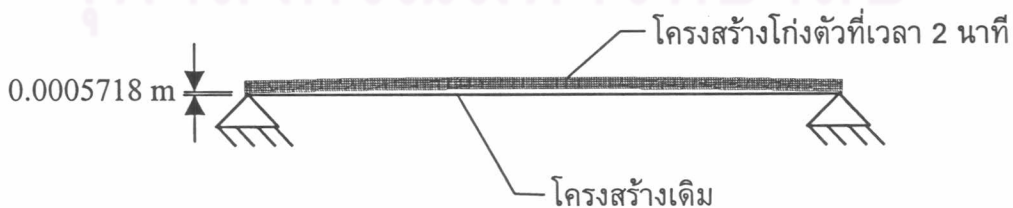
รูปที่ 7.4 รูปร่างของแผ่นเรียบและรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่ขึ้นกับเวลาและกลศาสตร์ของแข็ง

คำนวณหาการกระจายอุณหภูมิบนผิวโครงสร้างภายหลังจากที่เวลาผ่านไป 2 นาที ด้วยโปรแกรม HEAT2DTS โดยกำหนดให้แผ่นเรียบมีค่าความหนาแน่น $\rho_s = 7805.51 \text{ kg/m}^3$; ค่าความจุความร้อนจำเพาะ c เท่ากับ $467.35 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$; สัมประสิทธิ์การนำความร้อน $k = 14.10552 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ในรูปที่ 7.5 แสดงการกระจายอุณหภูมิตลอดผิวด้านบนของผิวโครงสร้างตามแนวแกน x

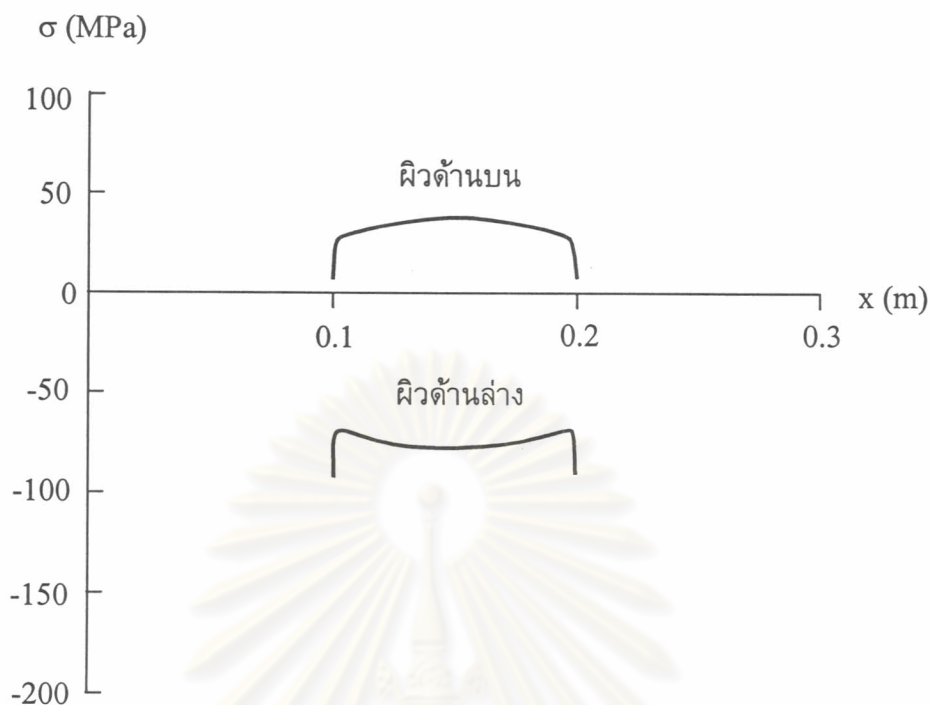


รูปที่ 7.5 การกระจายอุณหภูมิตลอดผิวด้านบนของผิวเรียบที่เวลา 2 นาที

จากนั้นคำนวณหาระยะยึดหดตัวและความเค้นที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างด้วยโปรแกรม STRESS2DTH โดยกำหนดให้แผ่นเรียบมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น $E = 227.307 \text{ GPa}$; ค่าอัตราส่วนปัวส์ซง ν เท่ากับ 0.23 และสัมประสิทธิ์การขยายตัว $\alpha = 2.8224\text{E-}05 \text{ m/m}^\circ\text{C}$ และมีการจับยึดที่ปลายด้านล่างทั้งสองข้าง และปลายทั้งสองข้างจะถือว่าการสัมผัสอย่างสมบูรณ์แบบ (perfectly contact) และผลการคำนวณจะเกิดการโก่งตัวขึ้นของโครงสร้างด้วยระยะแอนสูงสุดเท่ากับ 0.0005718 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 7.6 และรูปที่ 7.7 แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นตลอดผิวด้านบนและด้านล่างของแผ่นเรียบ

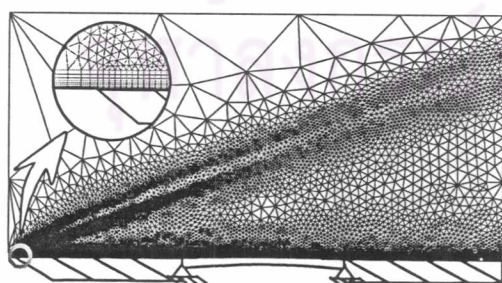


รูปที่ 7.6 ลักษณะการโก่งตัวที่เกิดขึ้นของแผ่นเรียบที่เวลา 2 นาที

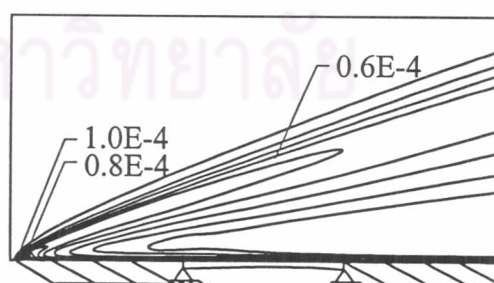


รูปที่ 7.7 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นของแผ่นเรียบที่เวลา 2 นาที

หลังจากนั้นทำการปรับปรุงโดเมนการคำนวณของการไหลใหม่ตามระยะการโค้งตัว เนื่องจากความร้อนของผิวแผ่นเรียบ และปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตของอุณหภูมิตลอดผิวแผ่นเรียบใหม่ตามที่คำนวณได้ดังในรูปที่ 7.5 จากนั้นทำการจัดแบ่งเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติร่วมกับผลการคำนวณหาพฤติกรรมการไหลด้วยโปรแกรม CELLHIFLOW สำหรับโดเมนการไหลและเงื่อนไขขอบเขตใหม่ดังกล่าว ทำให้ได้รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประกอบด้วยเอลิเมนต์สามเหลี่ยม 21,595 เอลิเมนต์และเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม 7,580 เอลิเมนต์ 18,792 จุดต่อ ดังในรูปที่ 7.8 (ก) และผลลัพธ์ที่คำนวณของความหนาแน่นแสดงได้ด้วยเส้นชั้นดังในรูปที่ 7.8 (ข)



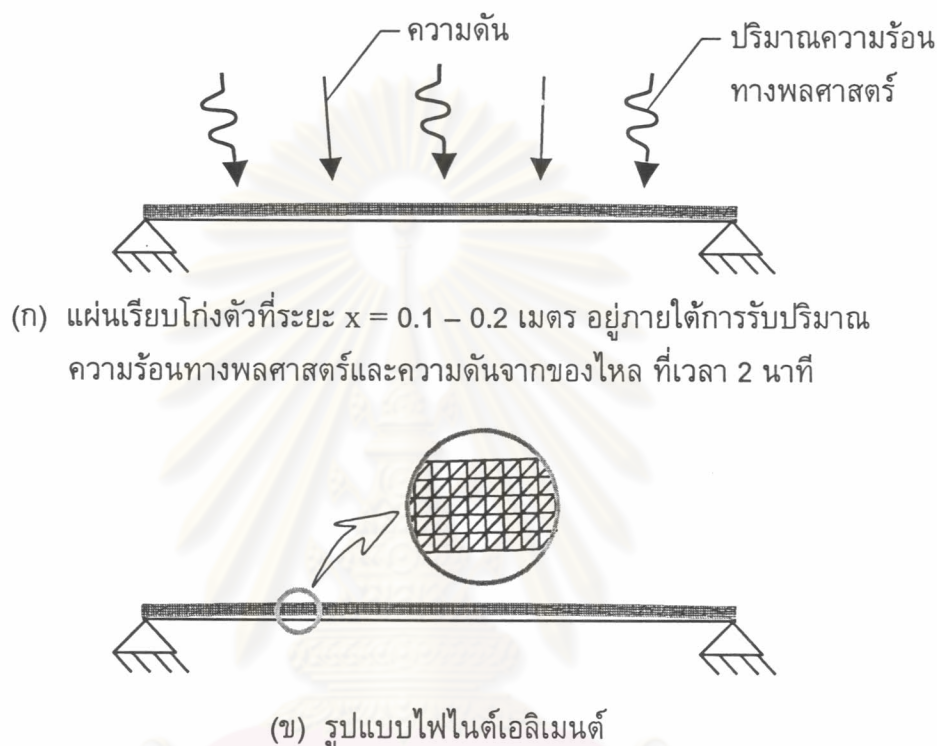
(ก) รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์



(ข) เส้นชั้นแสดงความหนาแน่น

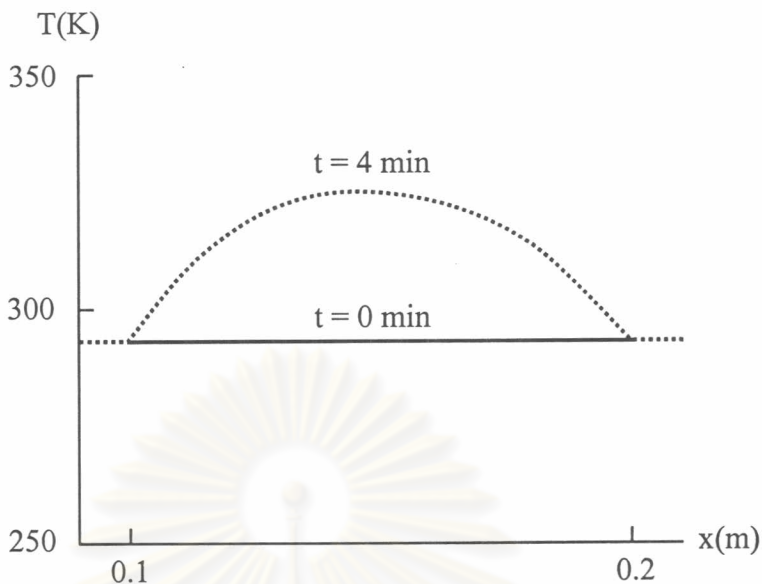
รูปที่ 7.8 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์และการกระจายความหนาแน่นสำหรับการไหลแบบหนืด ความเร็วสูงกว่าเสียง 4 เท่าไหลผ่านแผ่นเรียบปลายแหลม ที่เวลา 2 นาที

จากนั้นนำปริมาณความร้อนทางพลศาสตร์ของของไหลและความดันที่คำนวณได้จากโปรแกรม CELLHIFLOW มาเป็นภาระโหลดกระทำลงบนผิวโครงสร้างโค้งตัวที่เวลา 2 นาที ดังแสดงในรูปที่ 7.9 (ก) และทำการแบ่งเอลิเมนต์สามเหลี่ยมขนาดเท่า ๆ กันจำนวน 2,500 เอลิเมนต์ 1,506 จุดต่อ ดังในรูปที่ 7.9 (ข)



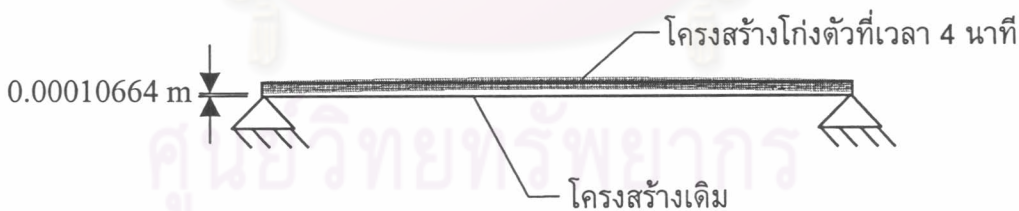
รูปที่ 7.9 รูปร่างของแผ่นเรียบโค้งตัวและรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่ขึ้นกับเวลาและกลศาสตร์ของแข็ง

และคำนวณหาการกระจายอุณหภูมิบนผิวโครงสร้างภายหลังจากที่เวลาผ่านไปอีก 2 นาที เป็นนาทีที่ 4 ด้วยโปรแกรม HEAT2DTS โดยใช้อุณหภูมิบนจุดต่อที่คำนวณได้ ณ เวลาในนาทีที่ 2 เป็นค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (initial condition) และเงื่อนไขขอบเขตตามที่กำหนดในช่วง 2 นาทีแรก ในรูปที่ 7.10 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตลอดผิวด้านบนของแผ่นเรียบโค้งตัว

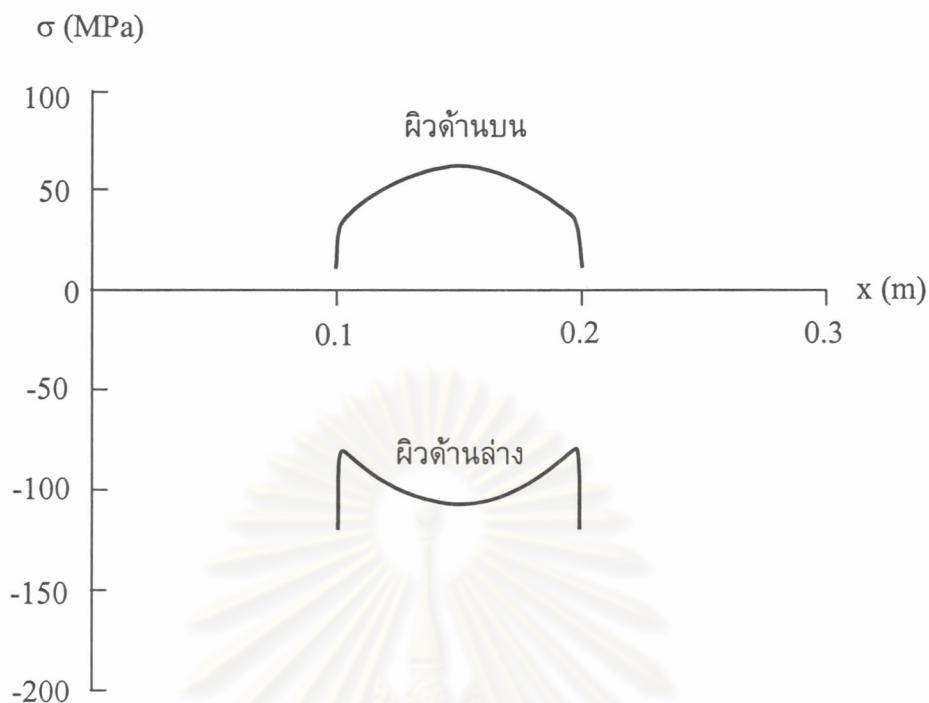


รูปที่ 7.10 การกระจายอุณหภูมิตลอดผิวด้านบนของผิวเรียบที่เวลา 4 นาที

จากนั้นคำนวณหาระยะยึดหดตัวและความเค้นที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างด้วยโปรแกรม STRESS2DTH โดยใช้เงื่อนไขขอบเขตตามที่กำหนดในช่วง 2 นาทีแรก เป็นผลให้เกิดการโก่งตัวขึ้นของโครงสร้างด้วยระยะเยื้องสูงสุดจากแนวระนาบเท่ากับ 0.00010664 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 7.11 และในรูปที่ 7.12 แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นตลอดผิวด้านบนและด้านล่างของแผ่นเรียบ

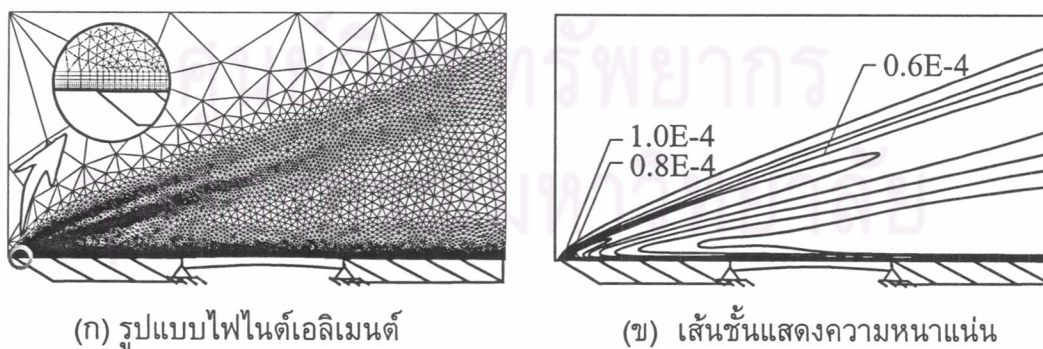


รูปที่ 7.11 ลักษณะการโก่งตัวที่เกิดขึ้นของแผ่นเรียบโก่งตัวที่เวลา 4 นาที



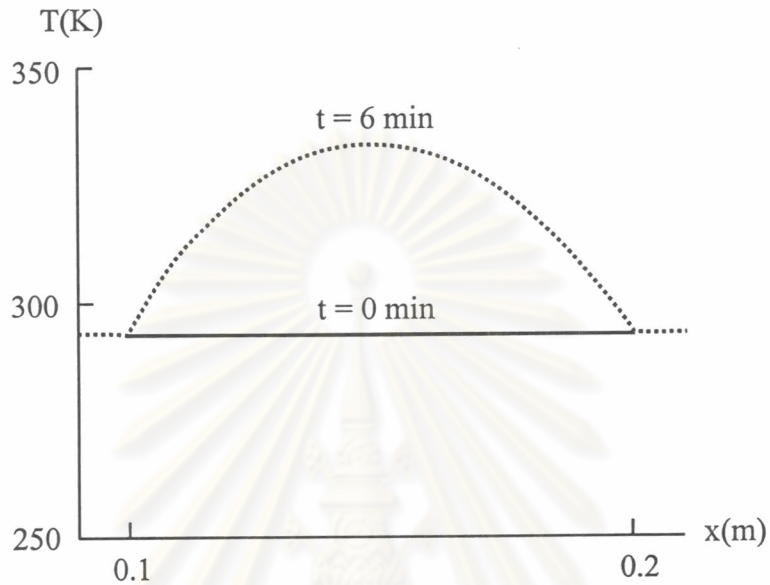
รูปที่ 7.12 การกระจายความเค้นบนแผ่นเรียบโก่งตัวที่เวลา 4 นาที

จากนั้นทำการปรับปรุงโดเมนการคำนวณของการไหลและเงื่อนไขขอบเขตใหม่อีกครั้ง และทำการจัดแบ่งเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติร่วมกับผลการคำนวณหาพฤติกรรมการไหลด้วยโปรแกรม CELLIFLOW สำหรับโดเมนการไหลใหม่ที่เวลา 4 นาที ทำให้ได้รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประกอบด้วยเอลิเมนต์สามเหลี่ยม 19,622 เอลิเมนต์และเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม 7,580 เอลิเมนต์ 17,805 จุดต่อ ดังในรูปที่ 7.13 (ก) และผลลัพธ์ที่คำนวณของความหนาแน่นแสดงได้ด้วยเส้นชั้นดังในรูปที่ 7.13 (ข)

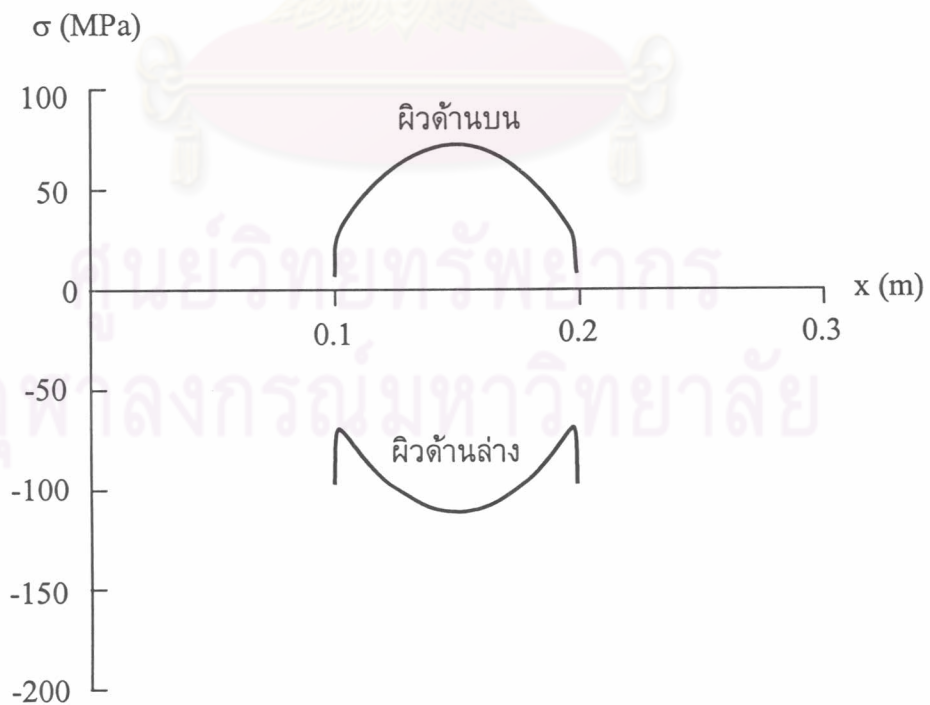


รูปที่ 7.13 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์และการกระจายความหนาแน่นสำหรับการไหลแบบหนืด ความเร็วสูงกว่าเสียง 4 เท่าไหลผ่านแผ่นเรียบปลายแหลม ที่เวลา 4 นาที

นำค่าปริมาณความร้อนทางพลศาสตร์ของของไหลมาคำนวณหาการกระจายอุณหภูมิบนผิวโครงสร้างภายหลังจากที่เวลาผ่านไปอีก 2 นาที เป็นนาทีที่ 6 ด้วยโปรแกรม HEAT2DTS โดยใช้อุณหภูมิบนจุดต่อที่คำนวณได้ ณ เวลา 4 นาทีเป็นค่าเริ่มต้น (initial condition) และในรูปที่ 7.14 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตลอดผิวด้านบนของแผ่นเรียบโค้งตัว



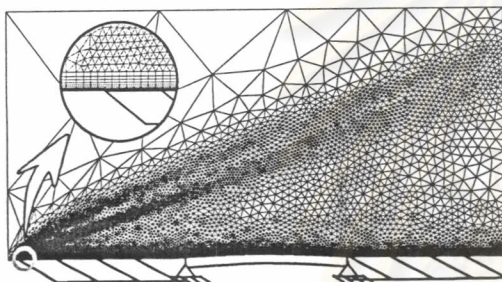
รูปที่ 7.14 การกระจายอุณหภูมิตลอดผิวด้านบนของผิวเรียบที่เวลา 6 นาที



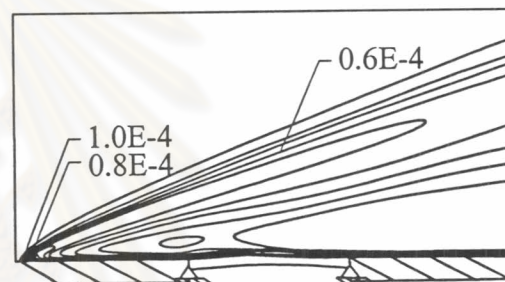
รูปที่ 7.15 การกระจายความเค้นบนแผ่นเรียบโค้งตัวที่เวลา 6 นาที

จากนั้นคำนวณหาระยะยึดหดตัวและความเค้นที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างด้วยโปรแกรม STRESS2DTH อีกครั้ง พบว่าเกิดการโก่งตัวสูงสุดจากแนวระนาบเท่ากับ 0.0015934 เมตร ในรูปที่ 7.15 แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นตลอดผิวด้านบนและด้านล่างของแผ่นเรียบ

จากนั้นทำการปรับปรุงโดเมนการคำนวณของการไหลใหม่และเงื่อนไขขอบเขตอีกครั้ง แล้วทำการจัดแบ่งเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติร่วมกับผลการคำนวณหาพฤติกรรมการไหลด้วยโปรแกรม CELLHIFLOW สำหรับโดเมนการไหลใหม่ที่เวลา 6 นาที ทำให้ได้รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประกอบด้วยเอลิเมนต์สามเหลี่ยม 18,528 เอลิเมนต์และเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม 7,580 เอลิเมนต์ 17,258 จุดต่อ ดังในรูปที่ 7.16 (ก) และผลลัพธ์ที่คำนวณของความหนาแน่นแสดงได้ด้วยเส้นชั้นดังในรูปที่ 7.16 (ข)



(ก) รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์

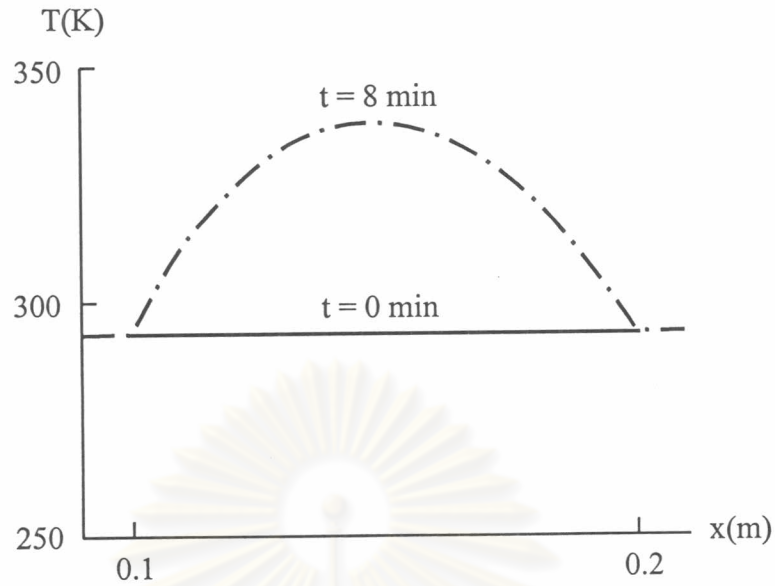


(ข) เส้นชั้นแสดงความหนาแน่น

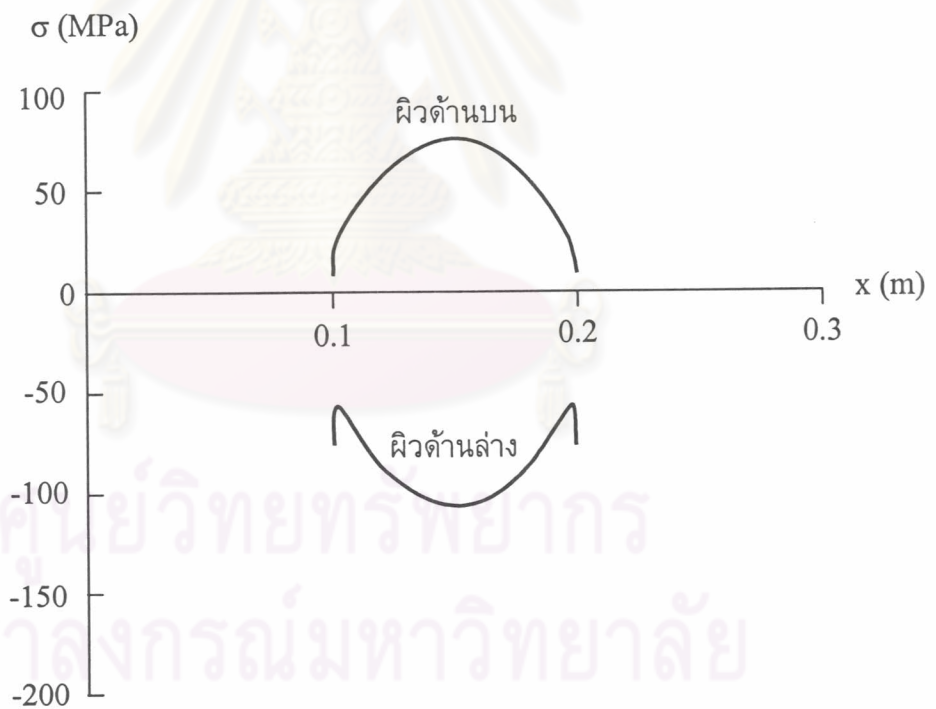
รูปที่ 7.16 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์และการกระจายความหนาแน่นสำหรับการไหลแบบหนืด ความเร็วสูงกว่าเสียง 4 เท่าไหลผ่านแผ่นเรียบปลายแหลม ที่เวลา 6 นาที

และนำค่าปริมาณความร้อนทางพลศาสตร์ของของไหลมาคำนวณหาการกระจายอุณหภูมิบนผิวโครงสร้างภายหลังจากที่เวลาผ่านไปอีก 2 นาที เป็นนาทีที่ 8 ด้วยโปรแกรม HEAT2DTS โดยใช้อุณหภูมิบนจุดต่อที่คำนวณได้ ณ เวลา 6 นาทีเป็นค่าเริ่มต้น (initial condition) และในรูปที่ 7.17 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตลอดผิวด้านบนของแผ่นเรียบโก่งตัว

จากนั้นคำนวณหาระยะยึดหดตัวและความเค้นที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างด้วยโปรแกรม STRESS2DTH อีกครั้ง พบว่าเกิดการโก่งตัวสูงสุดจากแนวระนาบเท่ากับ 0.0021047 เมตร ในรูปที่ 7.18 แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นตลอดผิวด้านบนและด้านล่างของแผ่นเรียบ



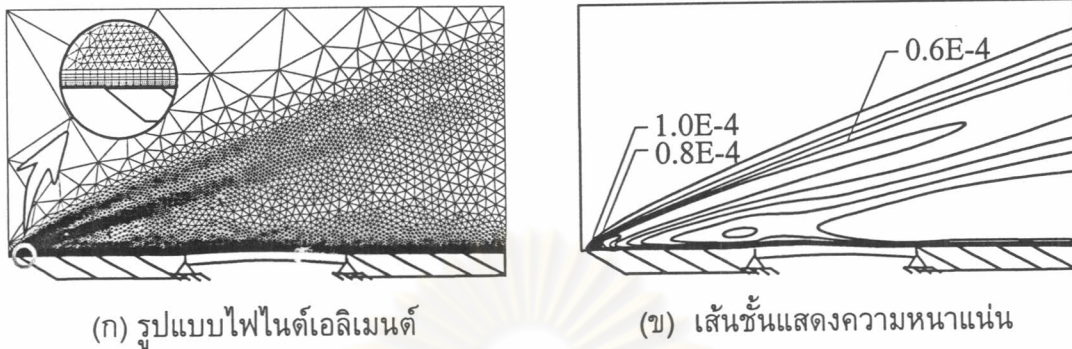
รูปที่ 7.17 การกระจายอุณหภูมิตลอดผิวด้านบนของผิวเรียบโค้งตัวที่เวลา 8 นาที



รูปที่ 7.18 การกระจายความเค้นบนแผ่นเรียบโค้งตัวที่เวลา 8 นาที

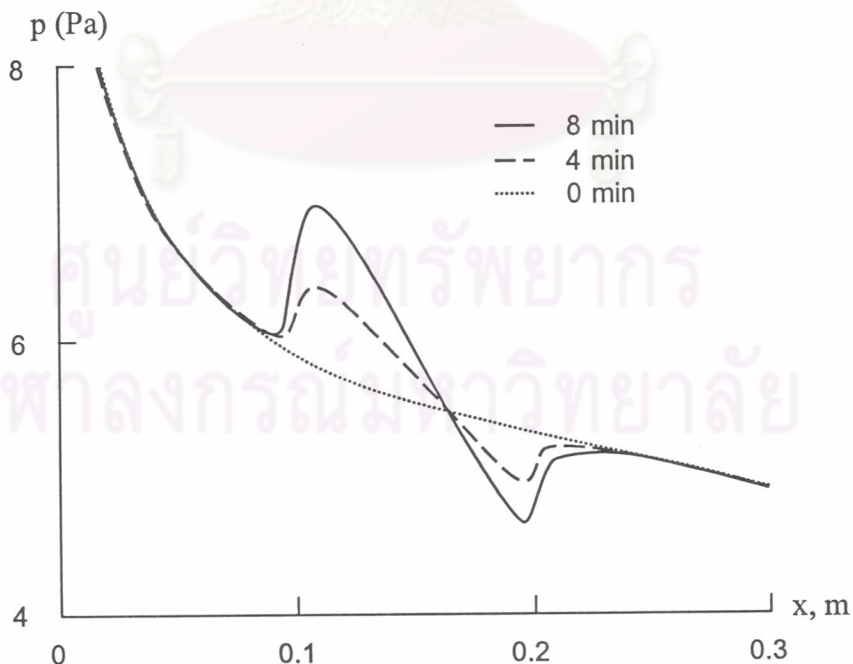
จากนั้นทำการปรับปรุงโดเมนการคำนวณของการไหลและเงื่อนไขขอบเขตใหม่อีกครั้ง และทำการจัดแบ่งเอลิเมนต์แบบอัตโนมัติร่วมกับผลการคำนวณหาพฤติกรรมของการไหลด้วยโปรแกรม CELLIFLOW สำหรับโดเมนการไหลใหม่ที่เวลา 8 นาที ทำให้ได้รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประกอบด้วยเอลิเมนต์สามเหลี่ยม 15,581 เอลิเมนต์ และเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม 7,590

เอลิเมนต์ 15,793 จุดต่อ ดังในรูปที่ 7.19 (ก) และผลลัพธ์ที่คำนวณของความหนาแน่นแสดงได้ด้วยเส้นชั้นดังในรูปที่ 7.19 (ข)

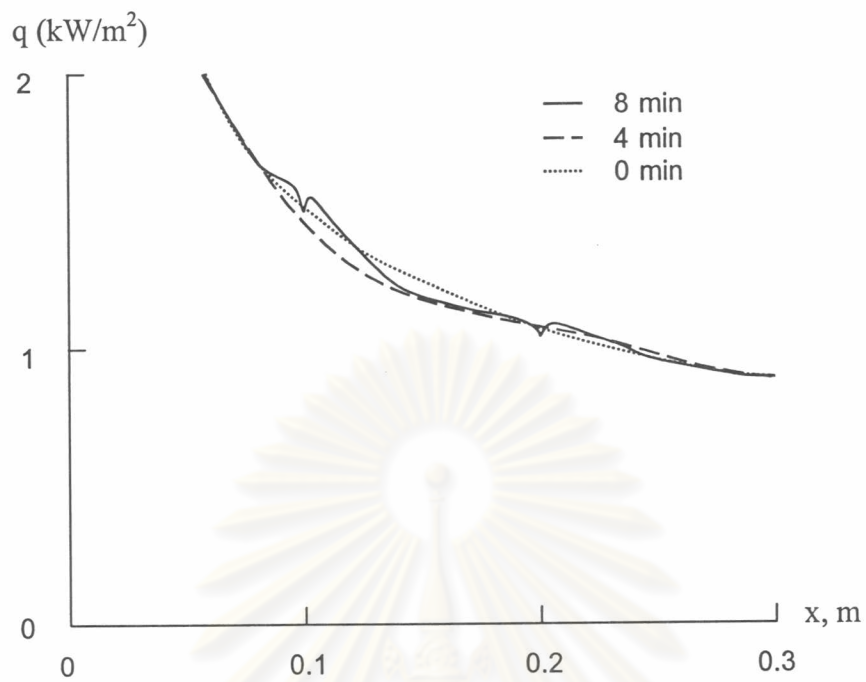


รูปที่ 7.19 รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์และการกระจายความหนาแน่นสำหรับการไหลแบบหนืดความเร็วสูงกว่าเสียง 4 เท่าไหลผ่านแผ่นเรียบปลายแหลม ที่เวลา 8 นาที

พฤติกรรมที่เกิดขึ้นของปัญหาการไหลแบบหนืดความเร็วสูงกว่าเสียง 4 เท่าไหลผ่านแผ่นเรียบปลายแหลม เป็นการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างการไหลความเร็วสูงและโครงสร้าง ซึ่งในเนื้อหาข้างบนได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 0, 4 และ 8 นาที ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาณความร้อนทางพลศาสตร์ที่กระทำบนแผ่นเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 7.20 และ 7.21 ตามลำดับ



รูปที่ 7.20 แสดงความดันกระทำบนแผ่นเรียบสำหรับปัญหาการไหลแบบหนืดความเร็วสูงกว่าเสียง 4 เท่าไหลผ่านแผ่นเรียบปลายแหลม



รูปที่ 7.21 แสดงปริมาณความร้อนทางพลศาสตร์กระทำบนแผ่นเรียบสำหรับปัญหาการไหลแบบหนืดความเร็วสูงกว่าเสียง 4 เท่าไหลผ่านแผ่นเรียบปลายแหลม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย