บทที่ 3

การประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

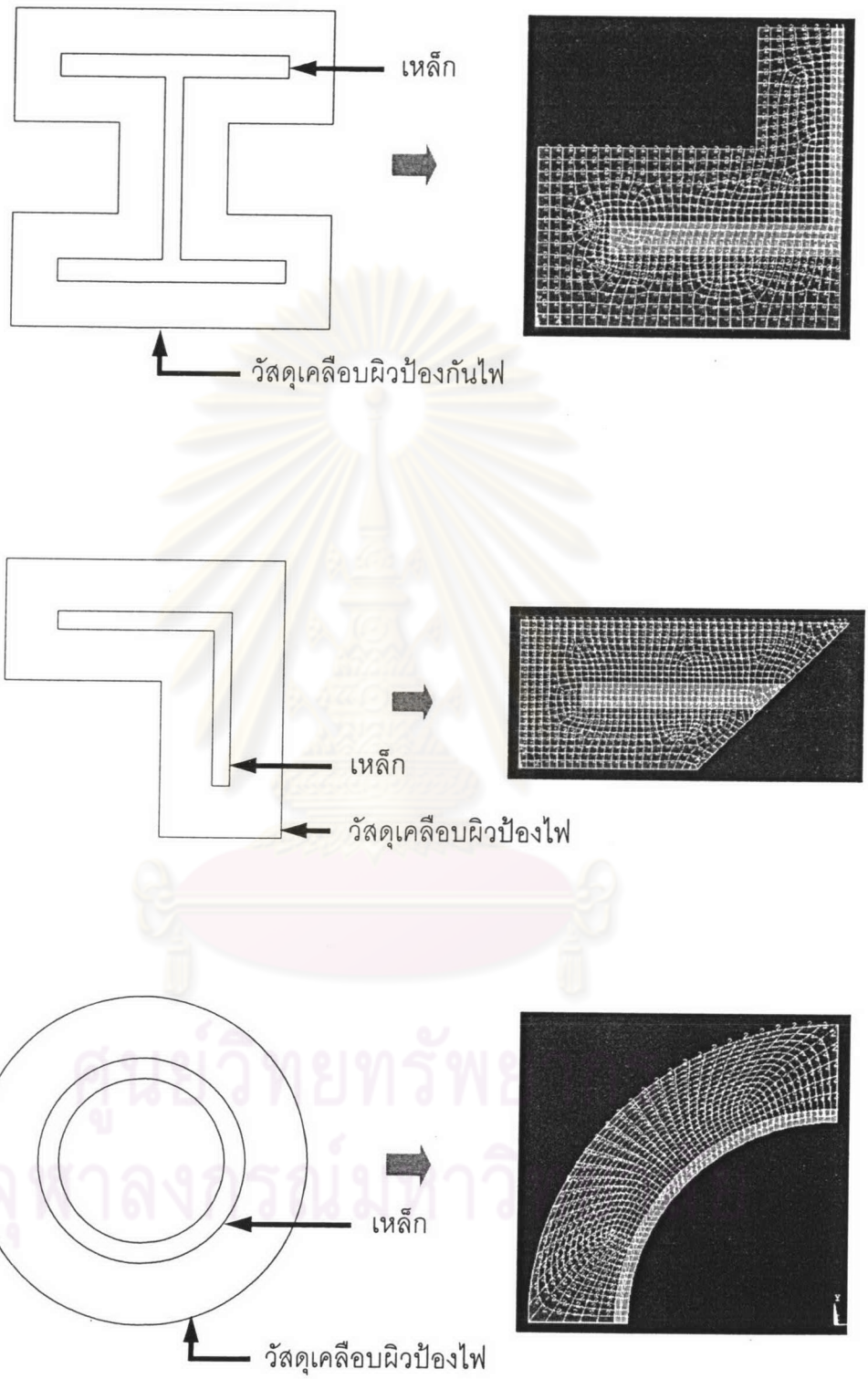
การประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณในงานวิจัยนี้อาศัยการวิเคราะห์ตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยจะทำการศึกษาการประมาณค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณประเภทหน้าตัดเหล็กไวด์แฟลนจ์ เหล็กฉาก และท่อเหล็กกลมกลวง และประยุกต์ใช้คุณสมบัติของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟตามการทดสอบของ อรรถวุฒิ อุบลจินดา (2545) ในการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่นำเสนอ

3.1 แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

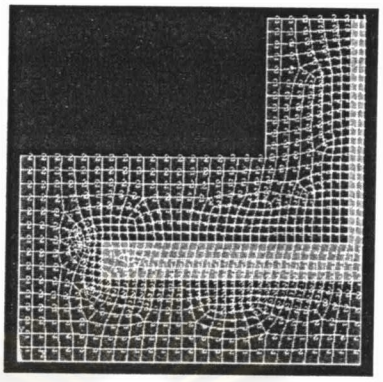
เนื่องจากหน้าตัดเหล็กโครงสร้างรูปพรรณที่ทำการศึกษามีลักษณะสมมาตรและสมมติให้ได้รับความร้อนโดยรอบเท่ากันจึงสามารถสร้างแบบจำลองหน้าตัดเหล็กซึ่งเคลือบด้วยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟดังแสดงในรูปที่ 3.1

การสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เริ่มต้นโดยการกำหนดขนาดเอลิเมนต์ที่ขอบของเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ จากนั้นจึงอาศัยการแบ่งเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติตามขนาดที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 3.2

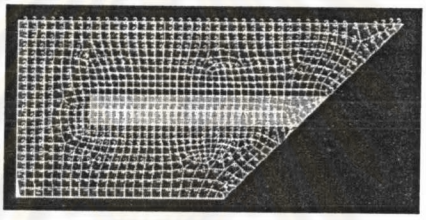
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



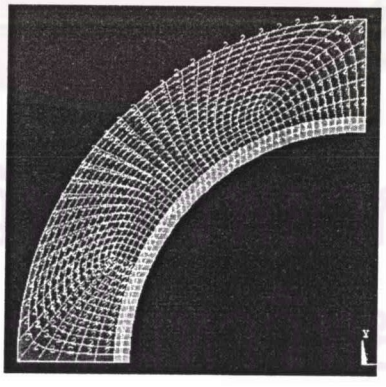
รูปที่ 3.1 การสร้างแบบจำลองหน้าตัดเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.2 แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่ :
(ก) เหล็กไวด์แฟลนจ์ W 125 x 23.8 และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม.
(ข) เหล็กฉาก L 65 x 65 x 8 มม. และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม.
(ค) ท่อเหล็กกลมกลวง ϕ 3" 1/2 x 3.0 มม.และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม.

ภายหลังการแบ่งเอลิเมนต์ในแบบจำลองทำการกำหนดคุณสมบัติทางด้านความร้อนของเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ ได้แก่ ค่าการนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะ และค่าความหนาแน่น ซึ่งมีค่าดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยค่า T_s และ T_p ในตารางที่ 3.1 คือค่าอุณหภูมิเหล็กและอุณหภูมิของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ ตามลำดับ

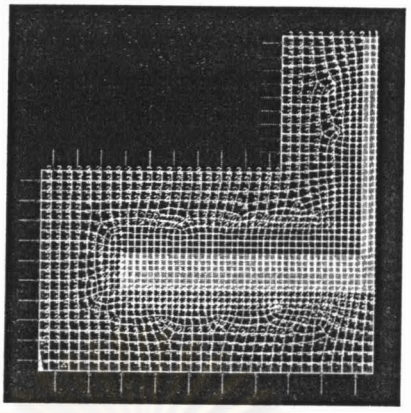
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางด้านความร้อนของเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

วัสดุ	ความหนาแน่น, ρ (kg/m^3)	ความร้อนจำเพาะ, c_s (J/kg°C)	ค่าการนำความร้อน, k_s (W/m°C)
เหล็ก	7,850	$475 + 6.01\times10^{-4}T_s^2 + 9.46\times10^{-2}T_s$	$54 - 3.33\times10^{-2}T_s$
วัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ	890	970.1	$1.065\times10^{-4}T_p + 9.35\times10^{-2}$

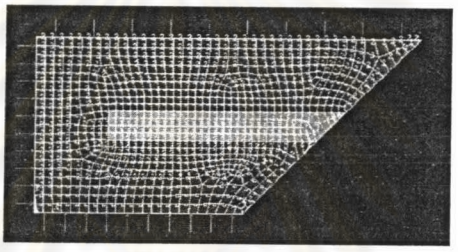
ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่ของกระบวนการพาความร้อนจากอากาศภายในเตาทดสอบตามกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119 เข้าสู่ผิวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟจะทำการป้อนค่าในแบบจำลองในลักษณะของค่าความร้อนต่อเนื่องตลอดผิวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ โดยทำการแบ่งค่าความร้อนเข้าสู่จุดต่อทุกจุดบนผิวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟดังแสดงในรูปที่ 3.3 และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c) เท่ากับ 25 W/m^2°C

ในการวิเคราะห์อุณหภูมิที่ผิวเหล็กทำการกำหนดค่าอุณหภูมิเริ่มต้นและระยะเวลาที่ทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน จากผลการวิเคราะห์จะได้ค่าอุณหภูมิที่ทุกจุดต่อภายในแบบจำลองจึงสามารถเก็บค่าอุณหภูมิสูงสุดบนผิวเหล็กและค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนผิวเหล็กได้ ตัวอย่างผลการวิเคราะห์เป็นดังแสดงในรูปที่ 3.4

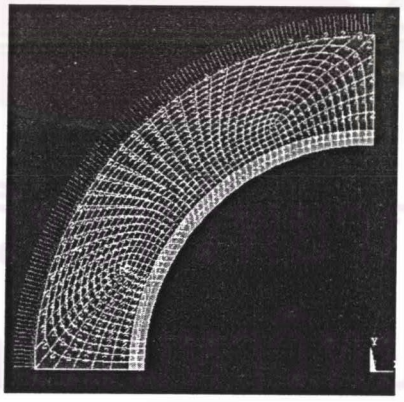
ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองอาศัยการเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ของเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟเพื่อตรวจสอบการลู่เข้าของคำตอบ โดยใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุดของผิวเหล็กที่จุด A ณ เวลาสิ้นสุดการให้ค่าความร้อนซึ่งได้จากการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนด้วยแบบจำลองที่มีจำนวนเอลิเมนต์ต่างกัน สำหรับเหล็กท่อกลมกลวงให้ผลของค่าอุณหภูมิที่ผิวเหล็กเท่ากันทุกจุดจึงสามารถใช้จุดใดๆบนผิวเหล็กในการตรวจสอบค่าอุณหภูมิสูงสุดของผิวเหล็ก ผลการตรวจสอบการลู่เข้าของค่าอุณหภูมิสูงสุดของผิวเหล็กที่จุด A เป็นดังแสดงในรูปที่ 3.5 - รูปที่ 3.19



(ก)



(ข)



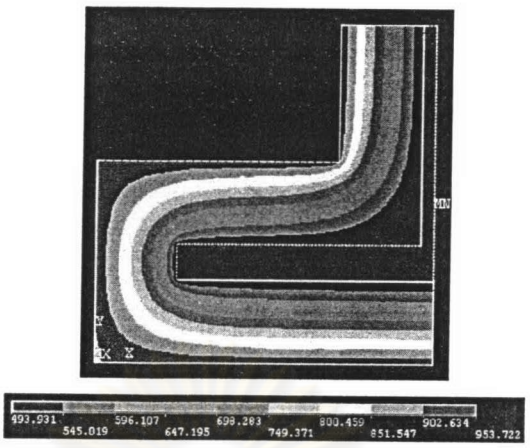
(ค)

รูปที่ 3.3 การป้อนค่าความร้อนที่บริเวณผิวของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ:

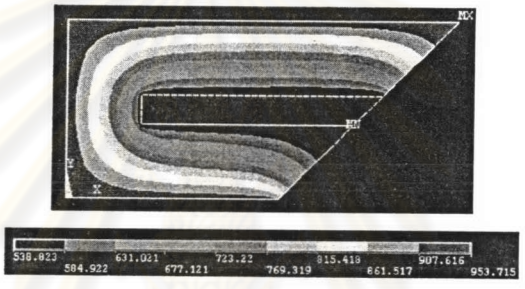
(ก) เหล็กไวด์แฟลนจ์ W 125 x 23.8

(ข) เหล็กฉาก L 65 x 65 x 8 มม.

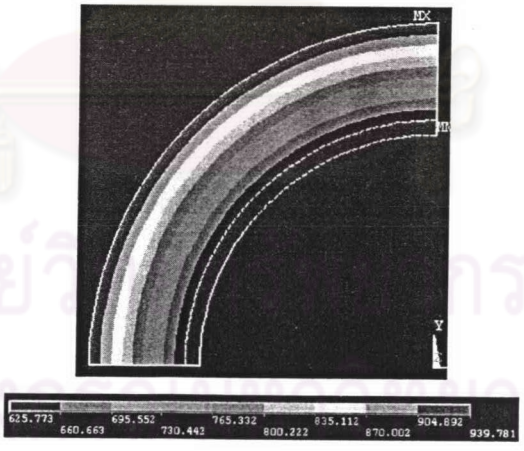
(ค) ท่อเหล็กกลมกลวง ϕ 3" 1/2 x 3.0 มม.



(ก)



(ข)



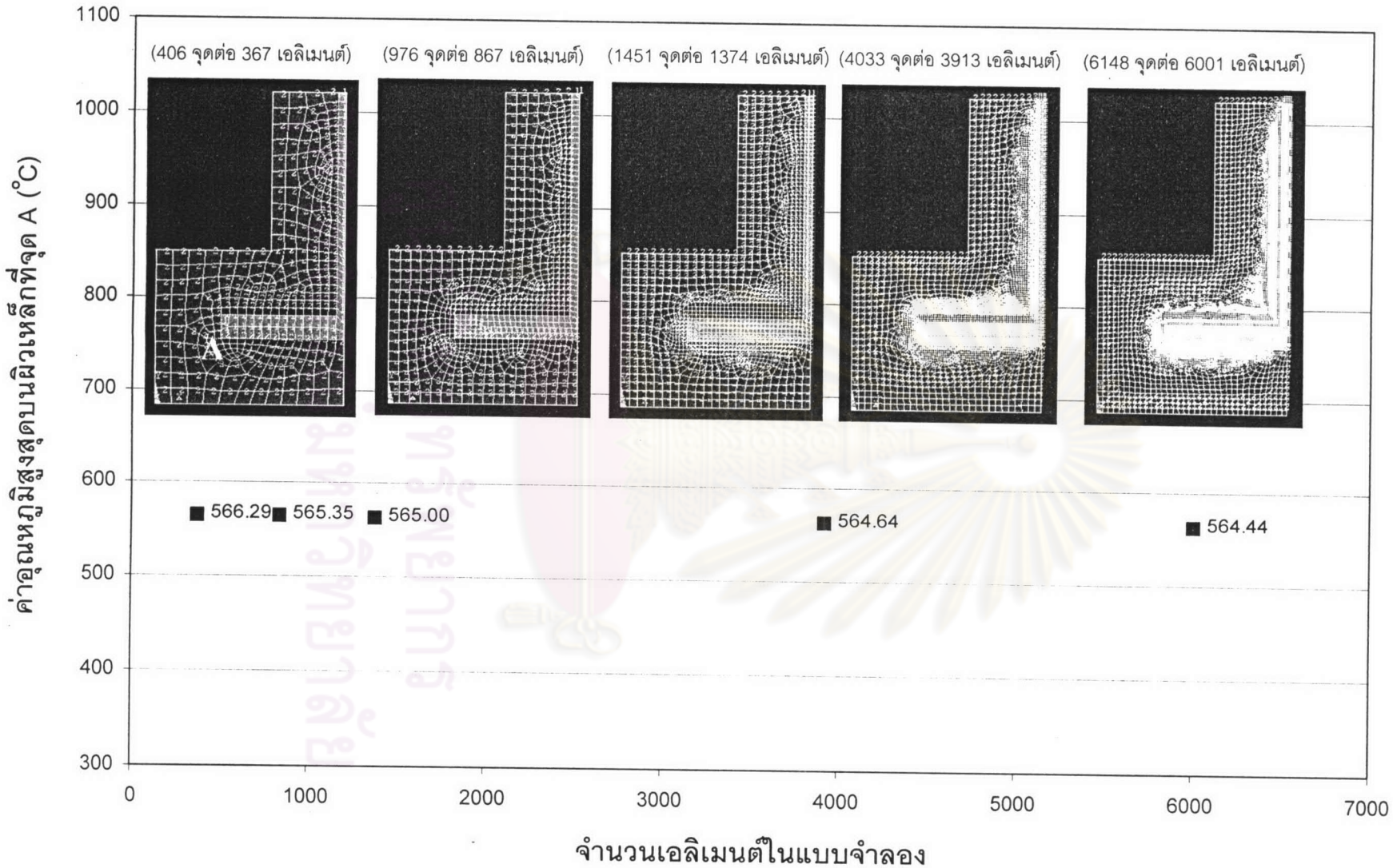
(ค)

รูปที่ 3.4 การกระจายอุณหภูมิในหน้าตัดเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ซึ่งได้รับความร้อนตามกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

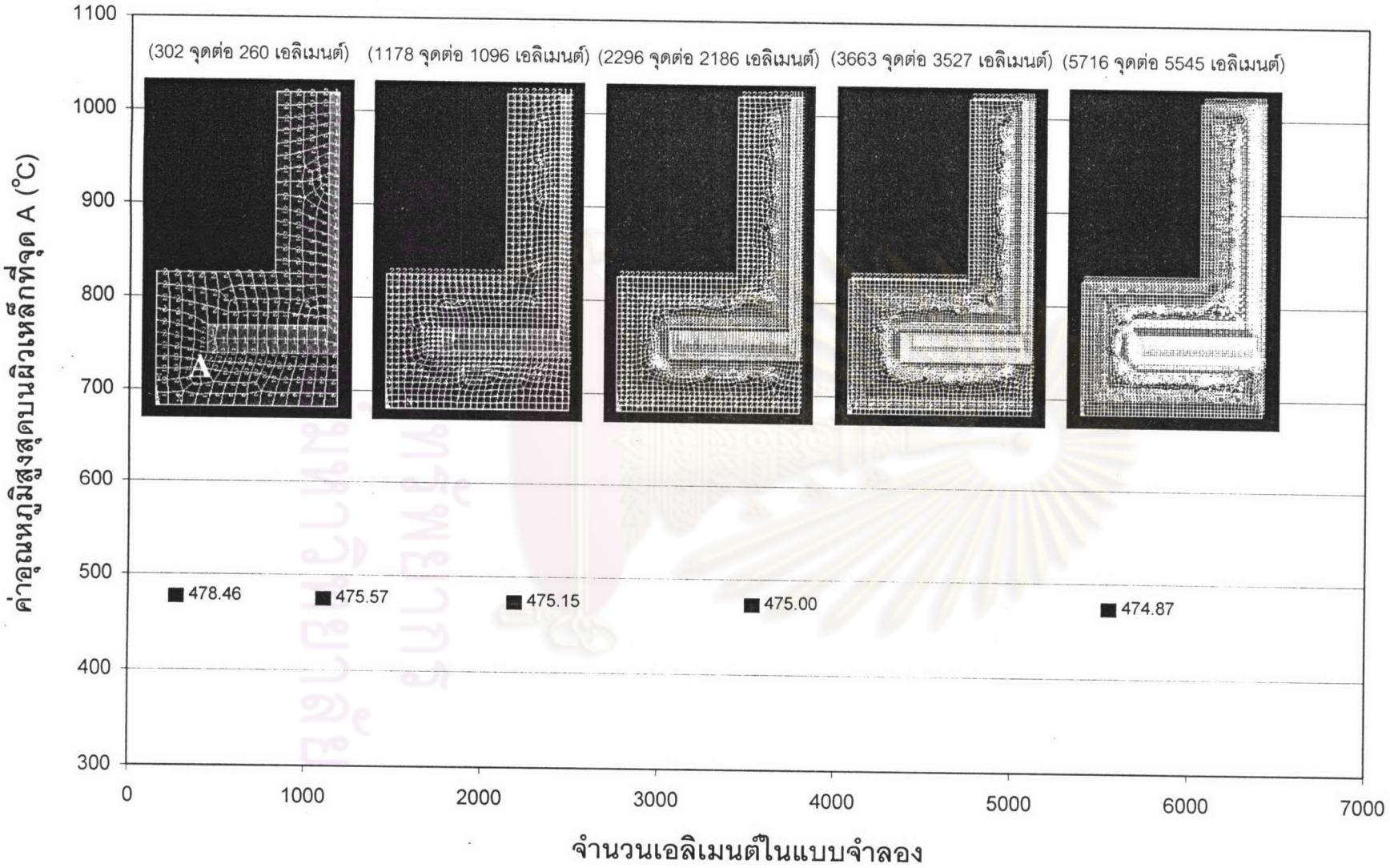
(ก) เหล็กไวด์แฟลนจ์ W 125 x 23.8

(ข) เหล็กฉาก L 65 x 65 x 8 มม.

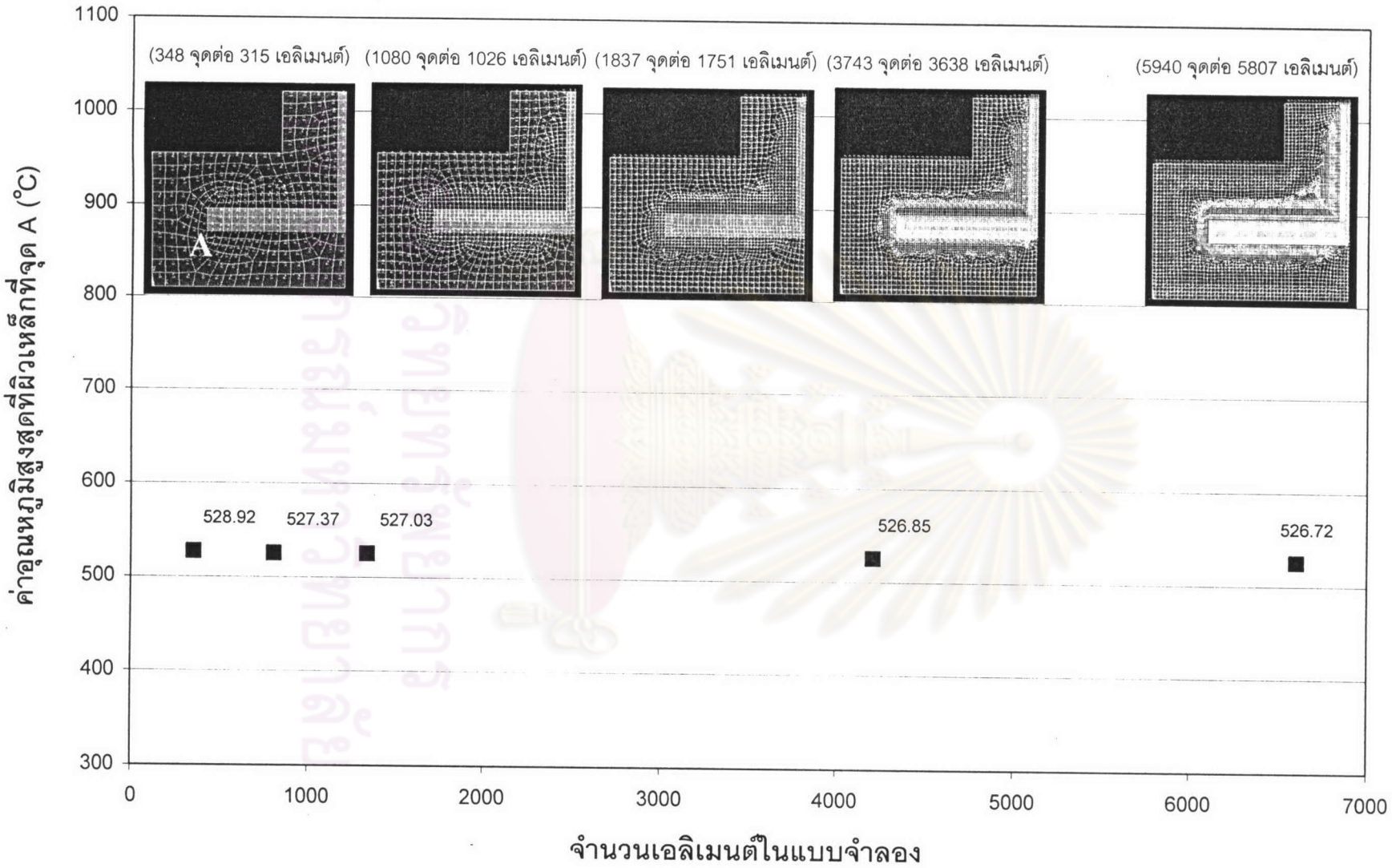
(ค) ท่อเหล็กกลมกลวง ϕ 3" 1/2 x 3.0 มม.



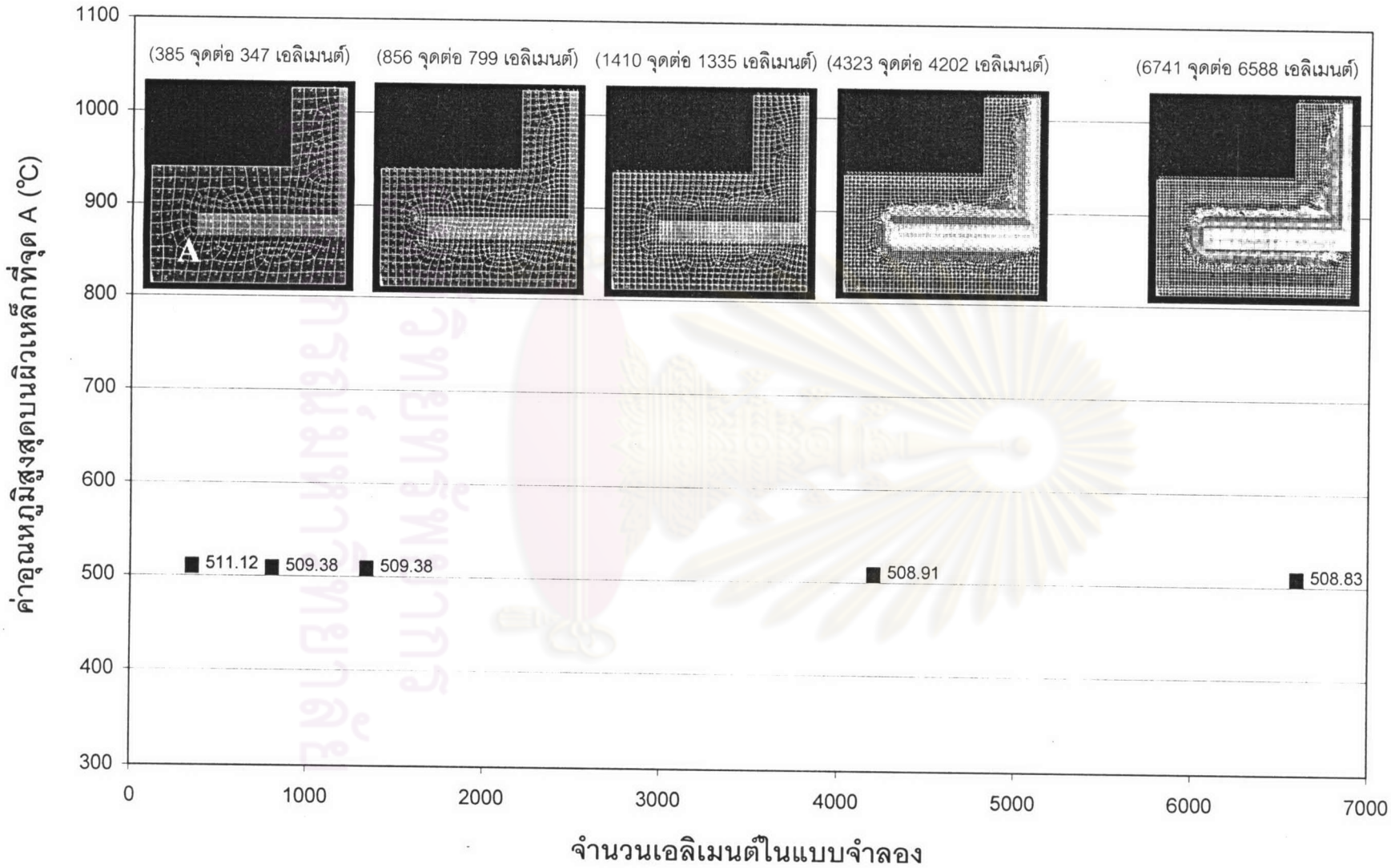
รูปที่ 3.5 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก W 150 x 14.0 และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



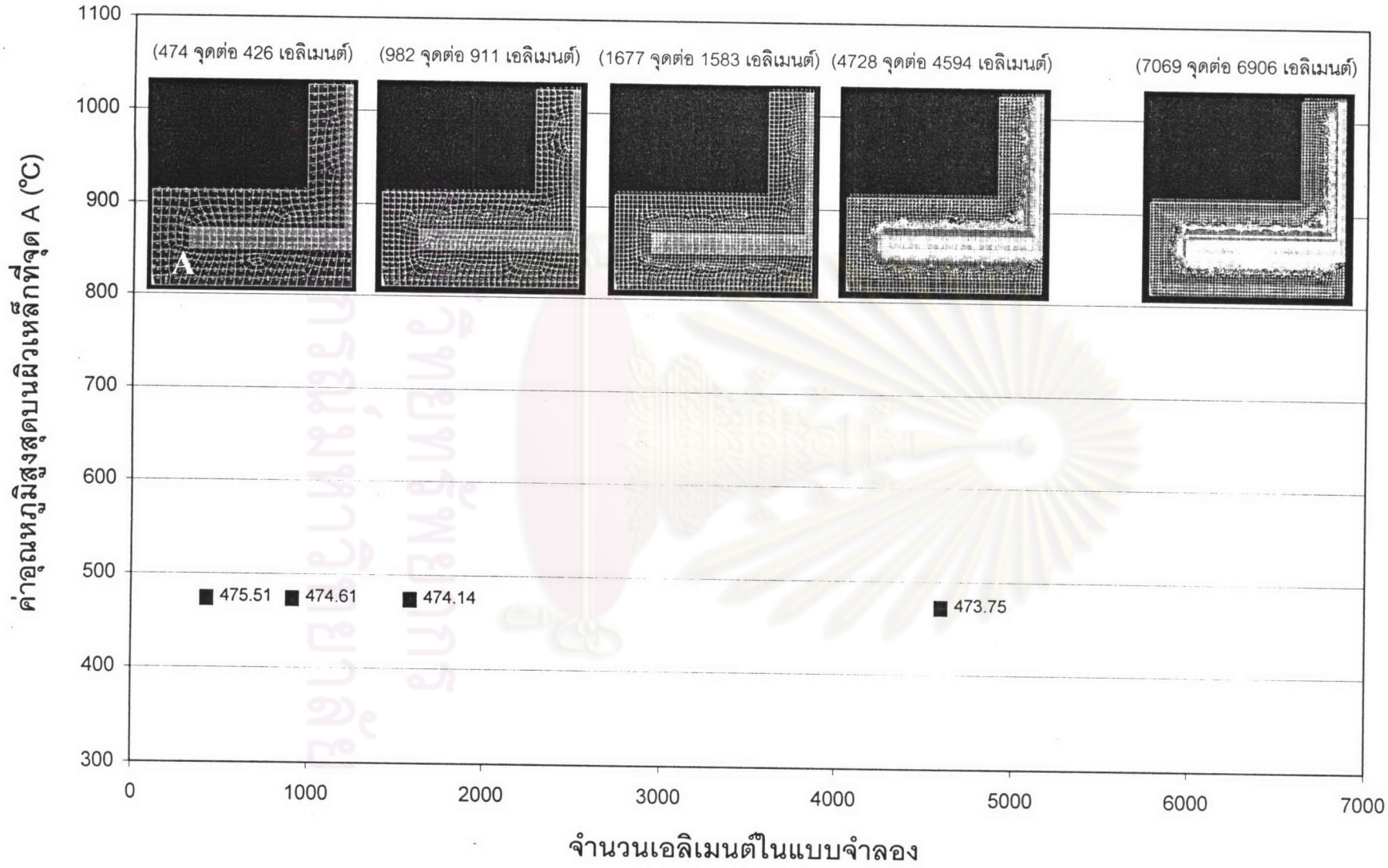
รูปที่ 3.6 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก W 200 x 21.3 และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



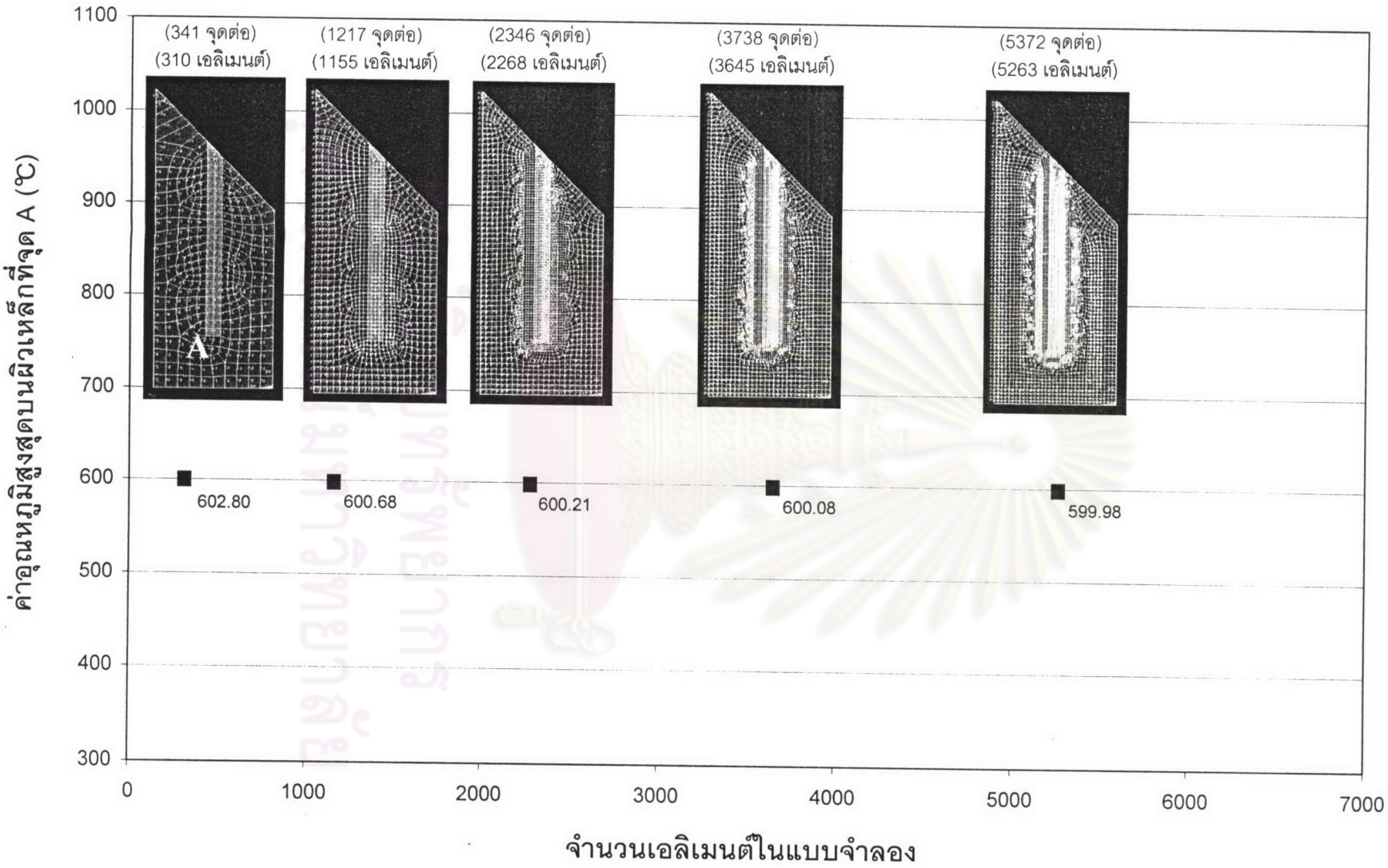
รูปที่ 3.7 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก W 100 x 17.2 และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



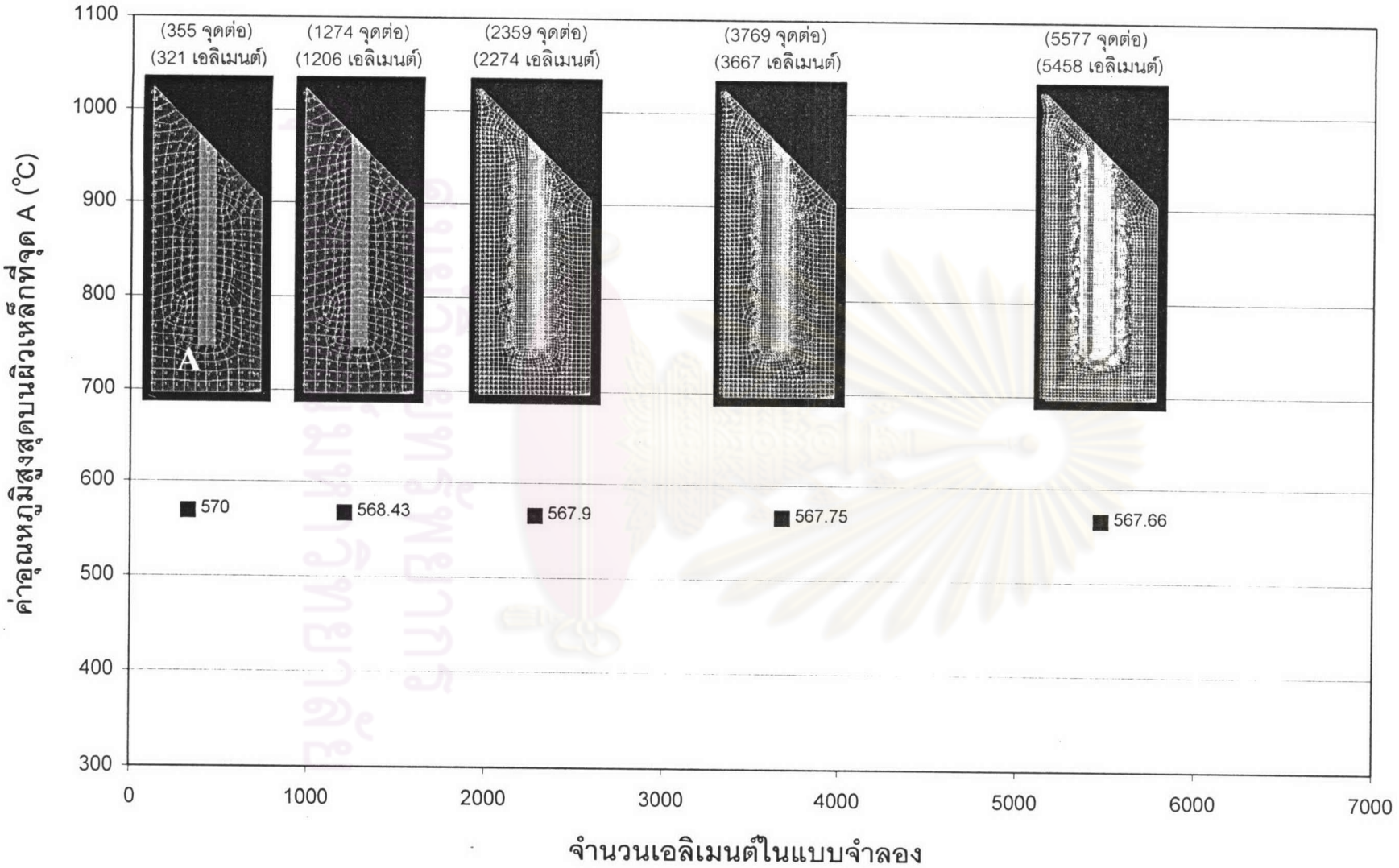
รูปที่ 3.8 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก W 125 x 23.8 และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



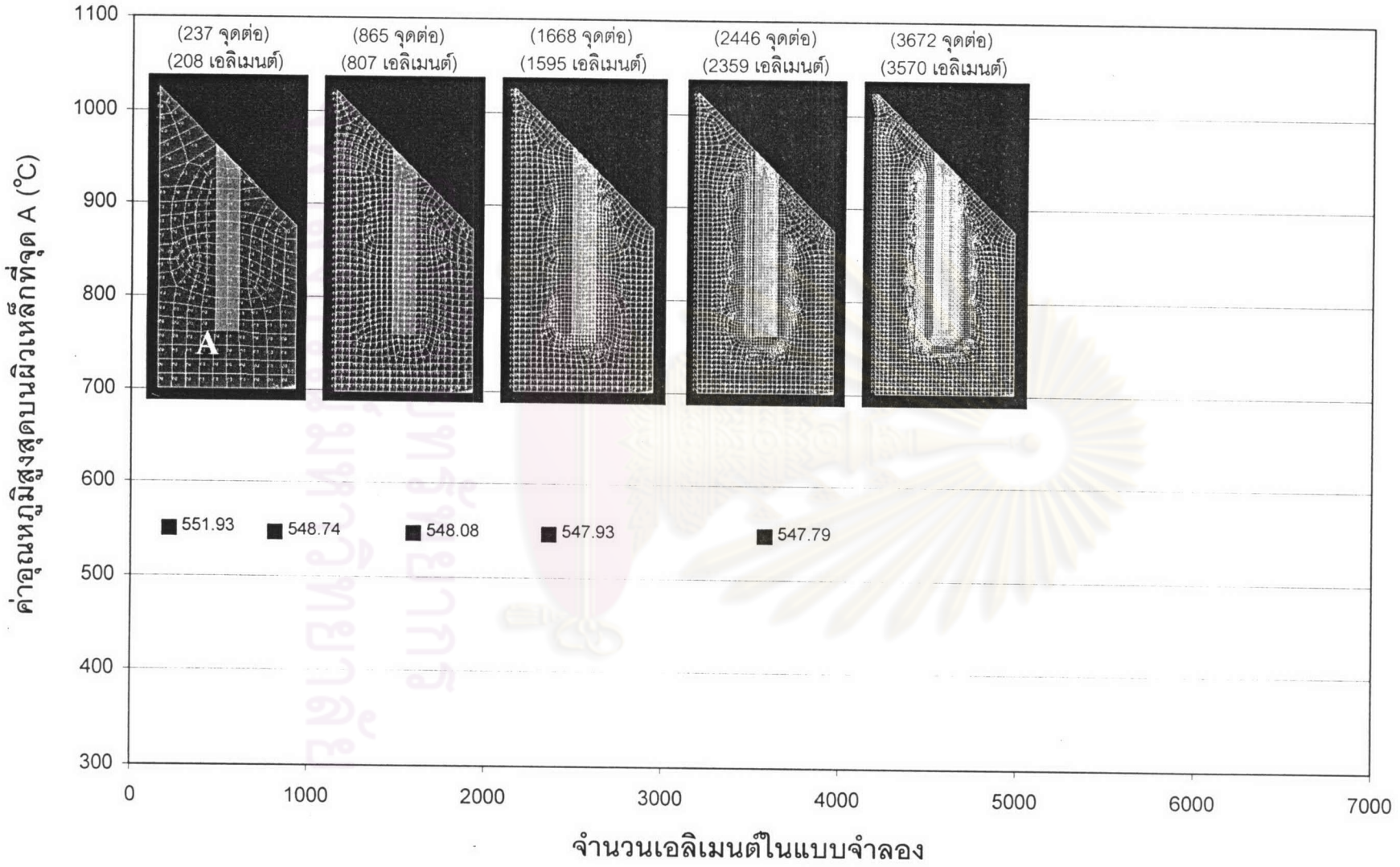
รูปที่ 3.9 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก W 175 x 40.2 และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



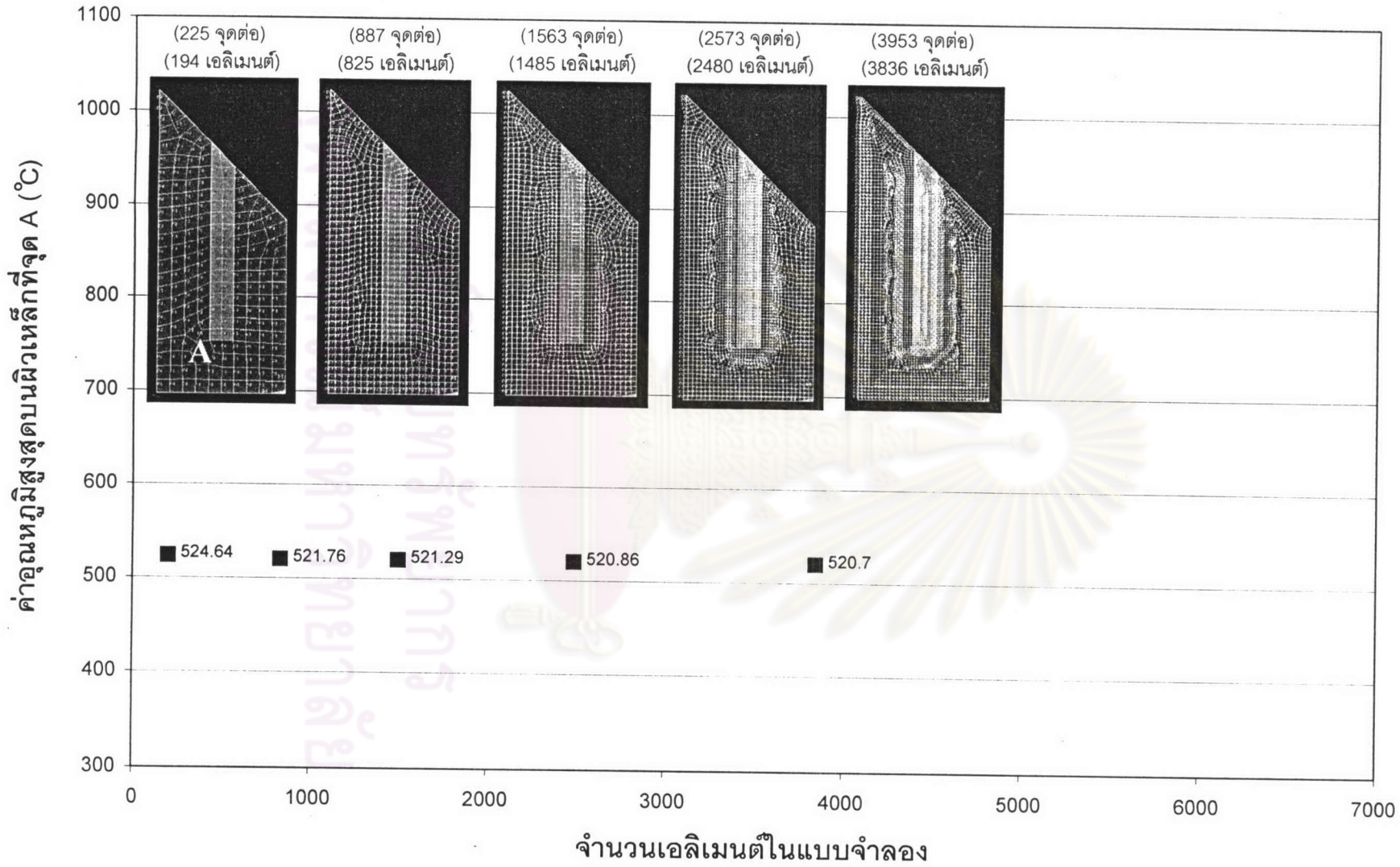
รูปที่ 3.10 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก L 75×75×6 มม. และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



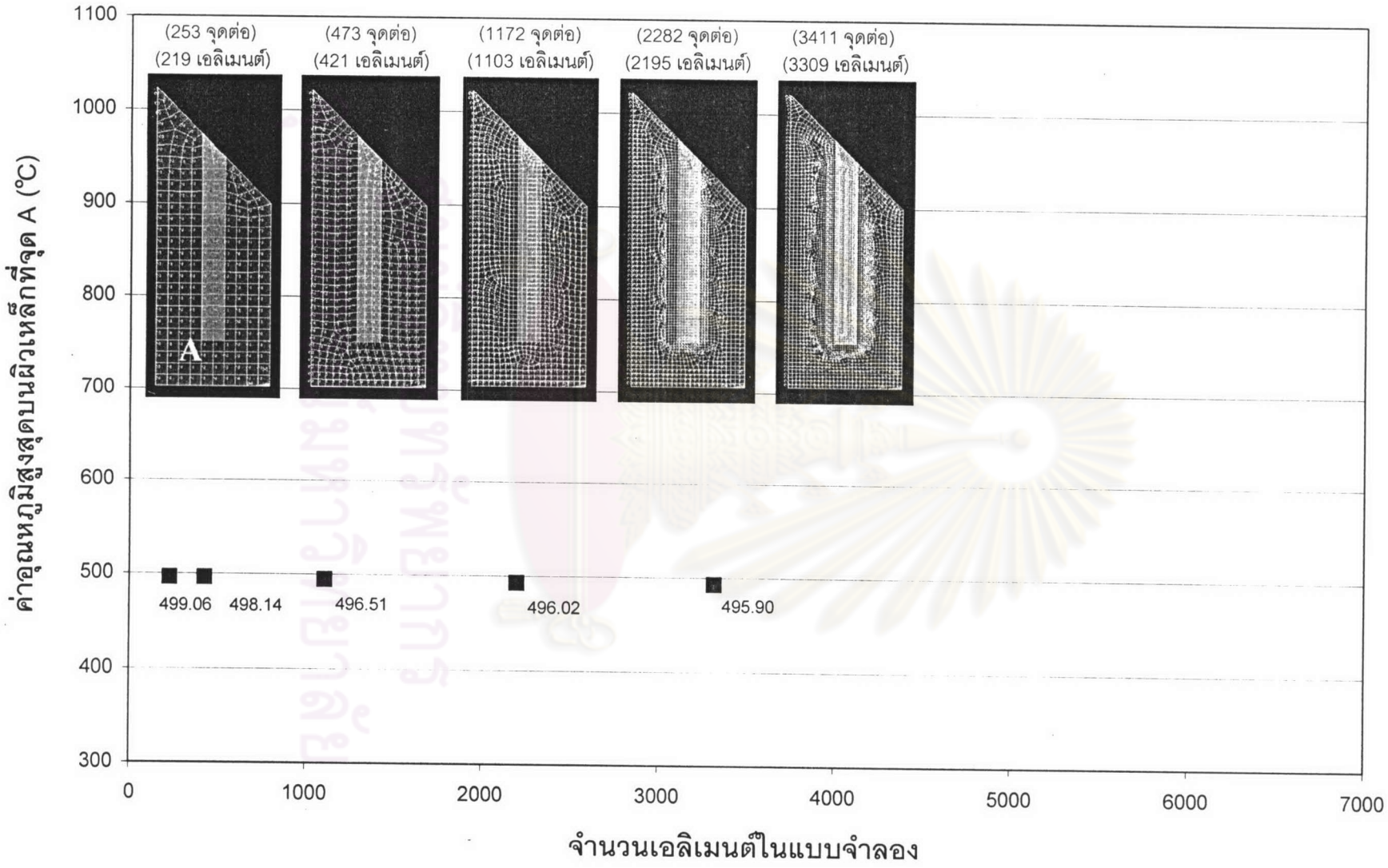
รูปที่ 3.11 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก L 90 x 90 x 7 มม. และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



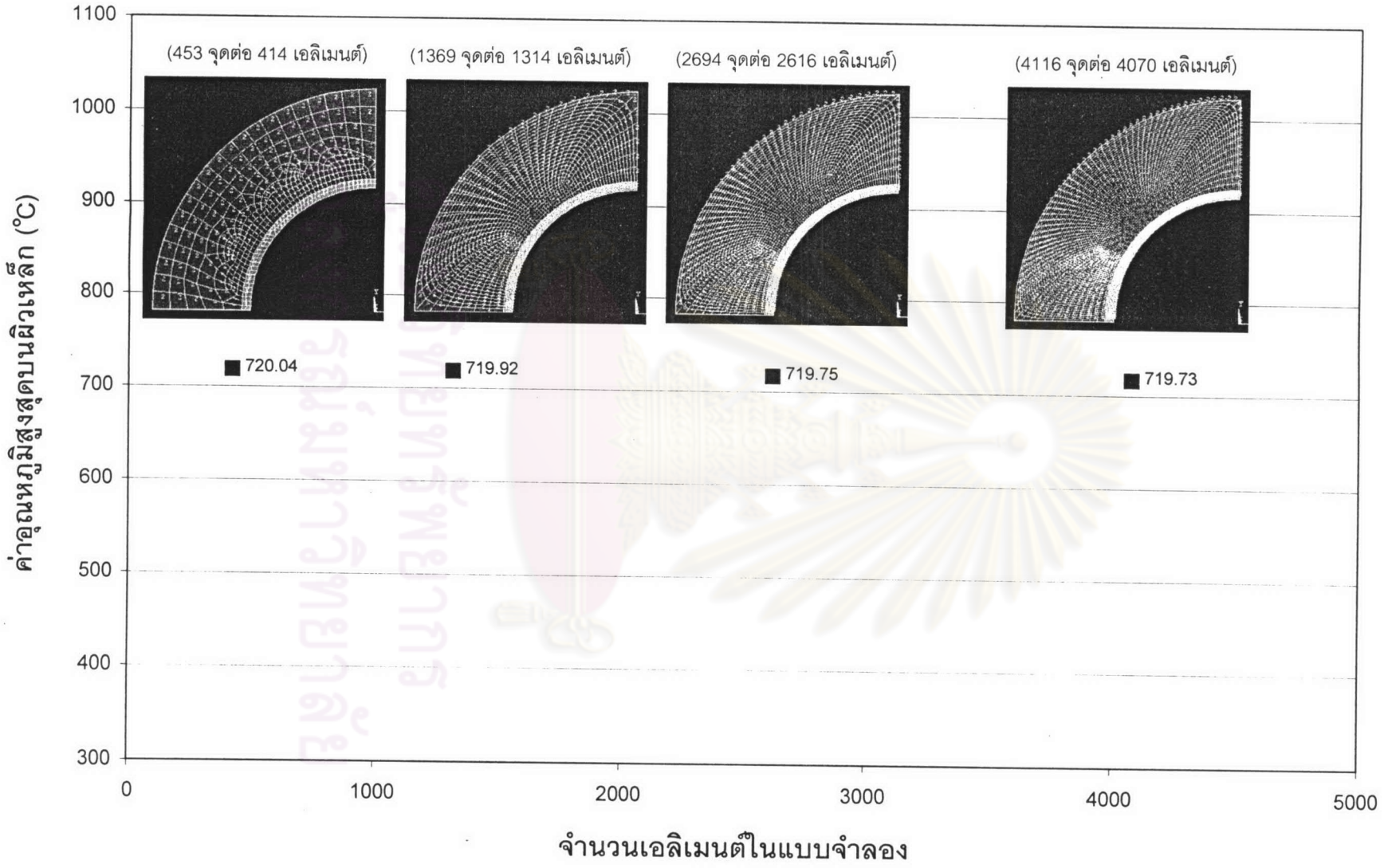
รูปที่ 3.12 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก L 65 x 65 x 8 มม. และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



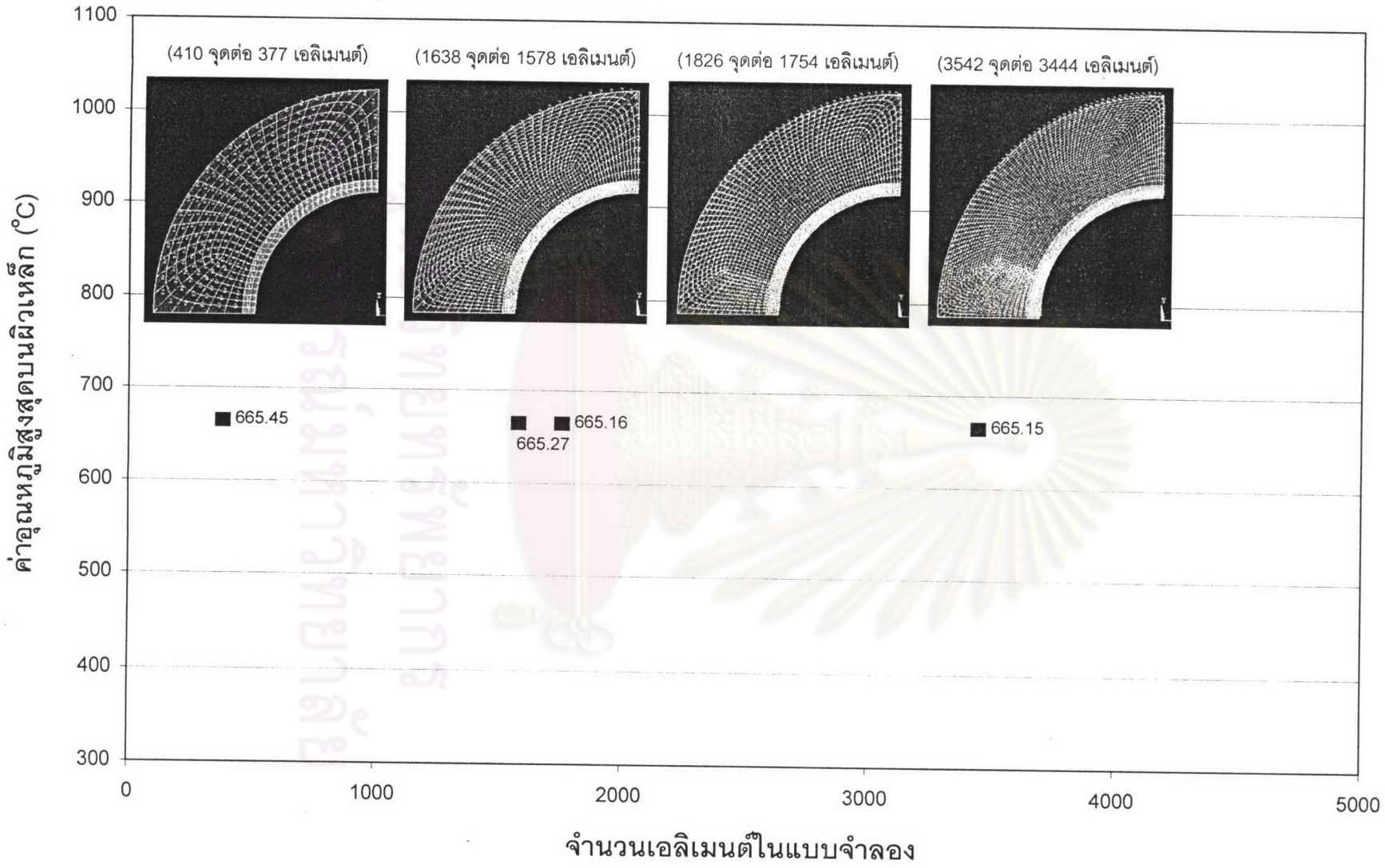
รูปที่ 3.13 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก L 75 x 75 x 9 มม. และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



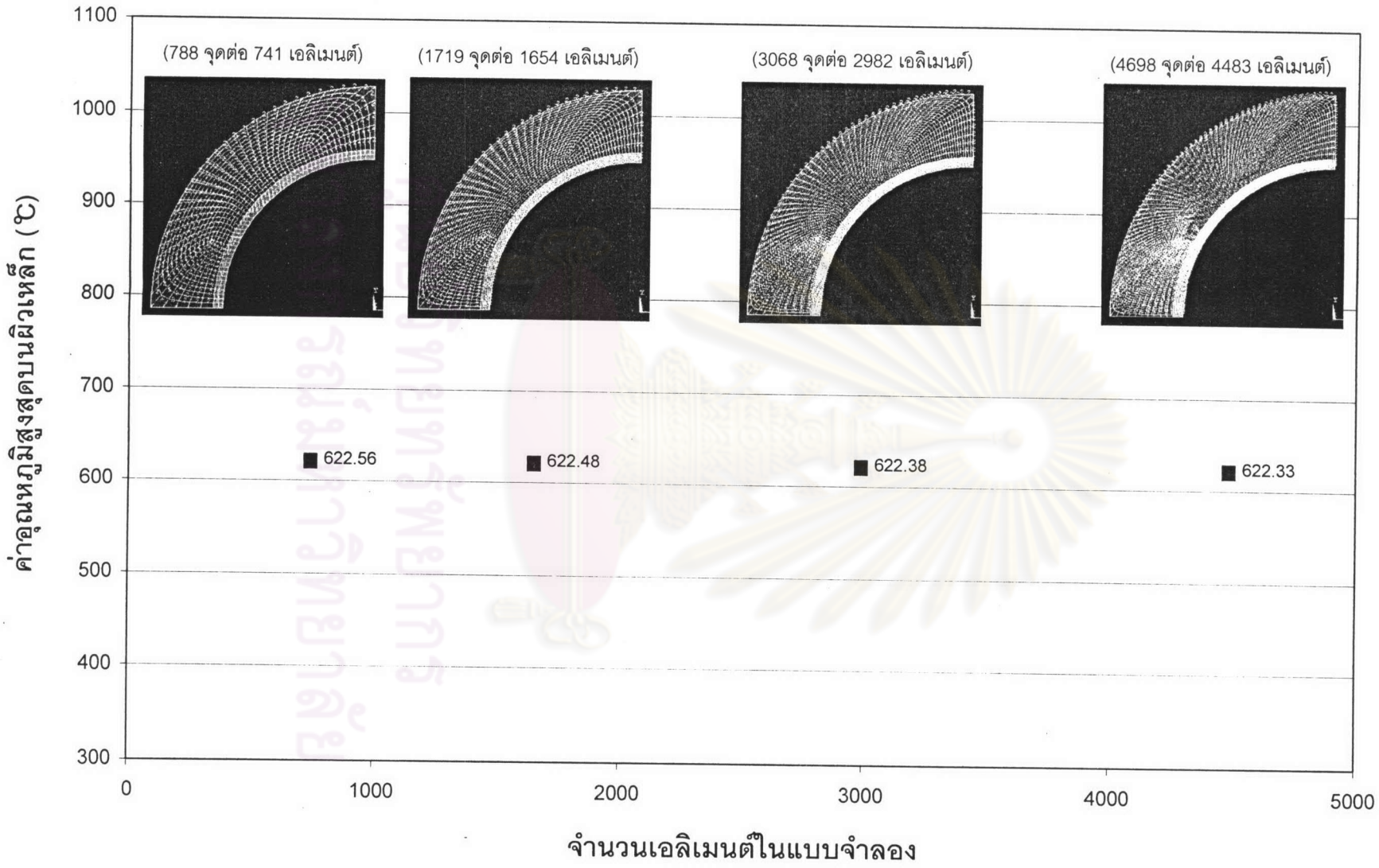
รูปที่ 3.14 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก L 90 x 90 x 10 มม. และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



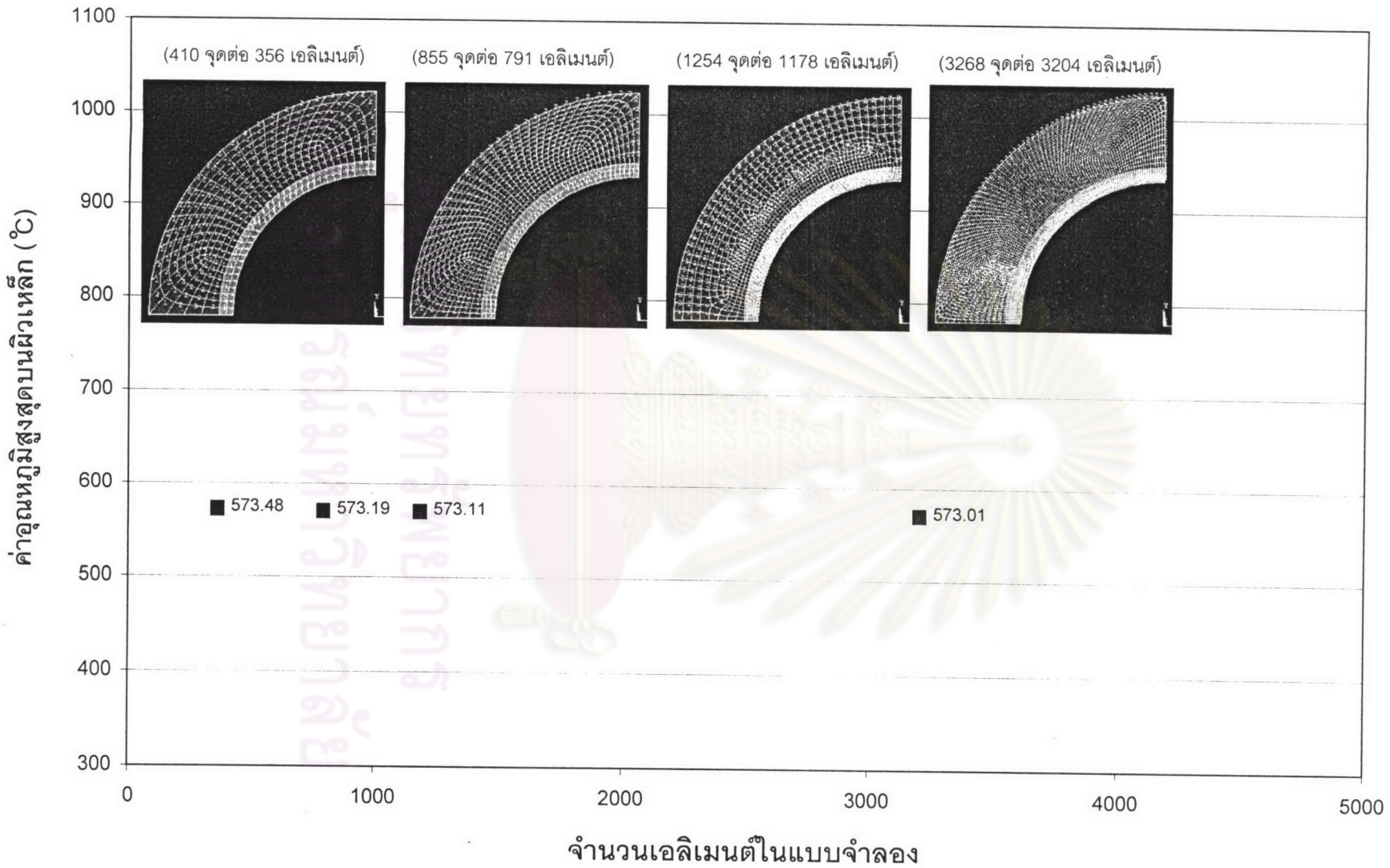
รูปที่ 3.15 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก ϕ 2" x 2.0 มม.และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



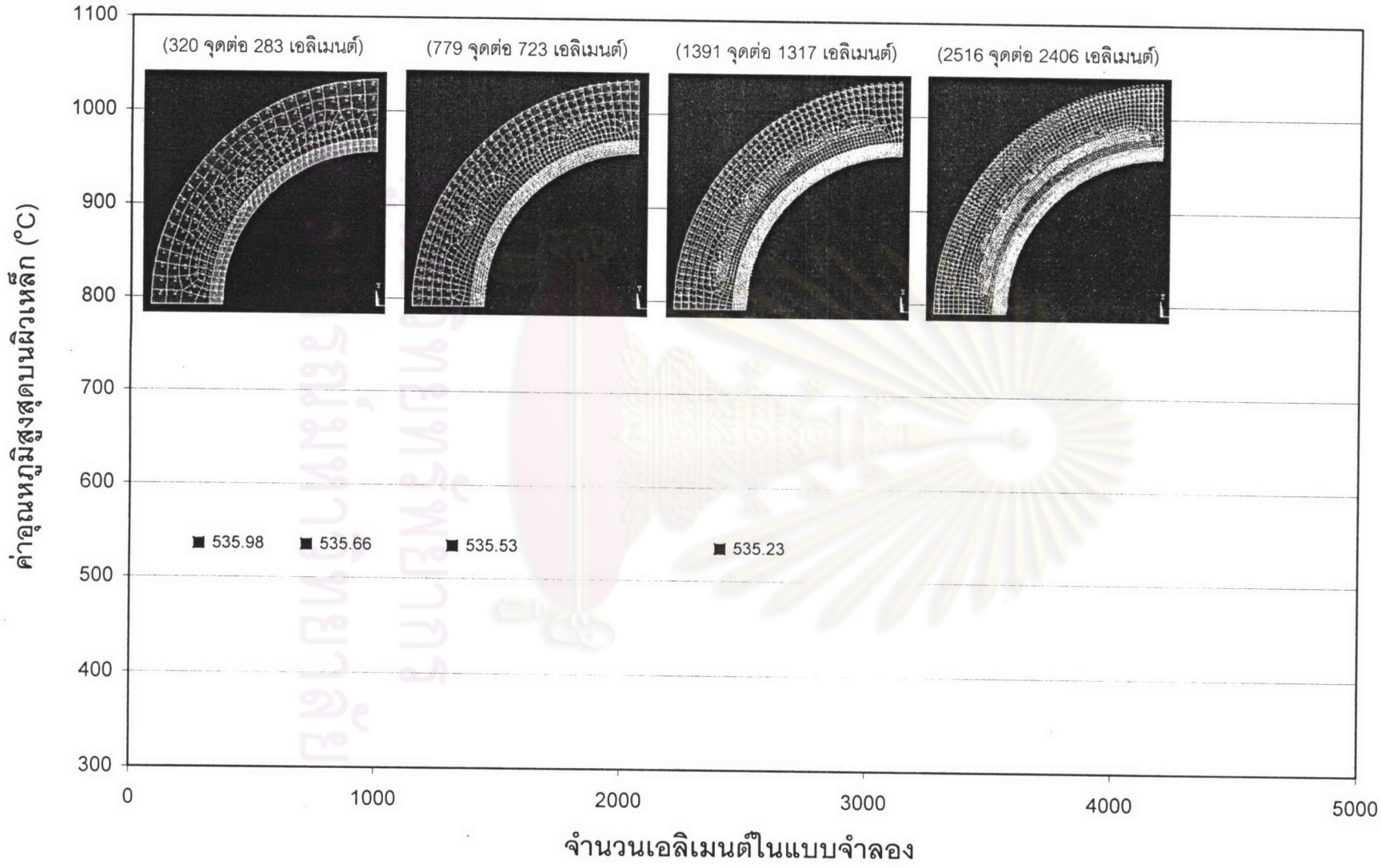
รูปที่ 3.16 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก ϕ 2" x 2.866 มม.และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.17 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก ϕ 3 1/2" x 3.0 มม.และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.18 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก ϕ 3" x 4.0 มม.และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3.19 การตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแบบจำลองเหล็ก ϕ 4" x 4.5 มม.และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟหนา 20 มม. ระยะเวลาการให้ความร้อน 1 ชั่วโมง

จากรูปที่ 3.5 - รูปที่ 3.19 จะเห็นได้ว่าทุกแบบจำลองมีการลู่เข้าของค่าอุณหภูมิสูงสุดของผิวเหล็ก โดยแบบจำลองที่สามารถวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนได้ถูกต้องประกอบด้วยจำนวนเอลิเมนต์ประมาณ 1000 เอลิเมนต์ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้จำนวนเอลิเมนต์ประมาณ 1000 เอลิเมนต์ในการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณหน้าตัดต่างๆ

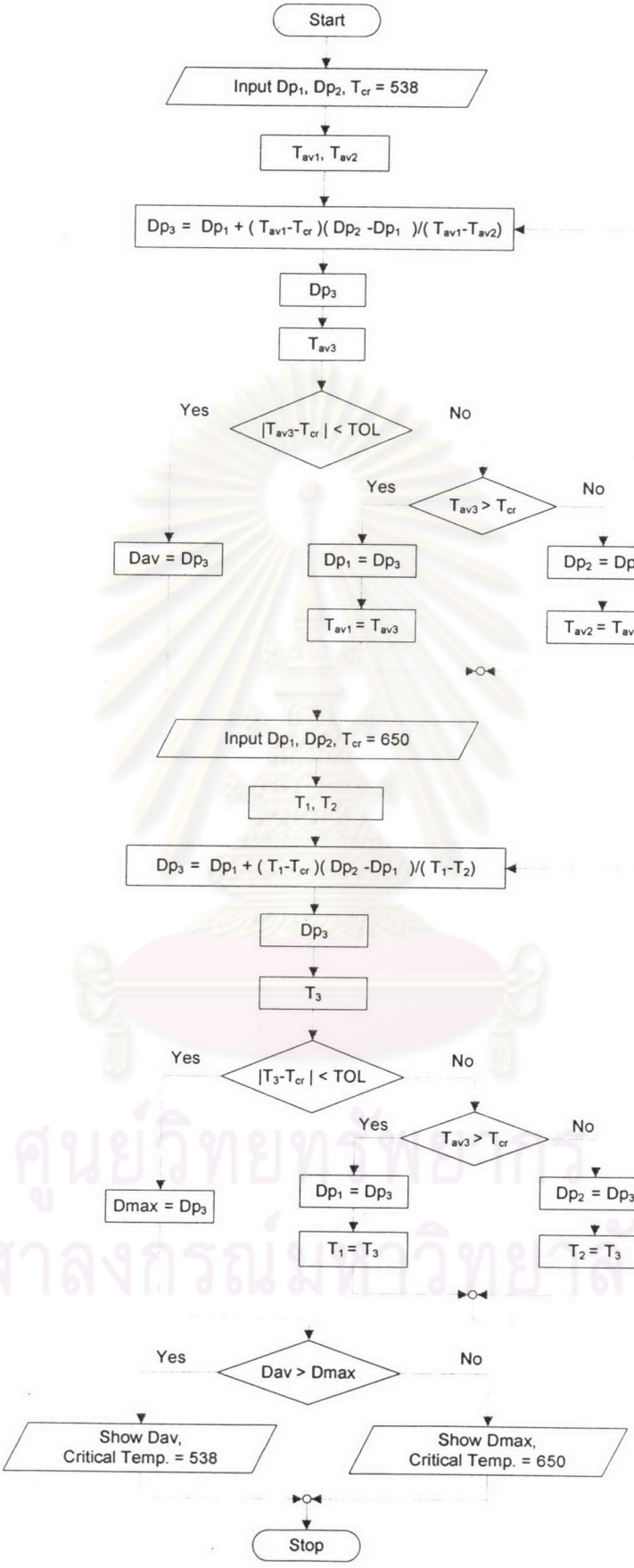
3.2 วิธีการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับองค์อาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

ในการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟอาศัยเกณฑ์การสิ้นสุดความสามารถทนไฟของโครงสร้างเมื่อค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ระดับหรือหน้าตัดใดๆ ถึง 538 °C หรือเมื่อค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งใดๆ ถึง 650 °C ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์เป็น 2 กรณี โดยในกรณีแรกความหนาที่ประมาณได้จะต้องทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวเหล็กมีค่าใกล้เคียงกับ 538 °C มากที่สุด และในกรณีที่ 2 ความหนาที่ประมาณได้จะต้องทำให้อุณหภูมิสูงสุดบนผิวเหล็กมีค่าใกล้เคียงกับ 650 °C มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบความหนาของทั้ง 2 กรณีแล้ว ความหนาที่มากกว่าจะเป็นความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ วิธีการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสามารถแสดงได้ด้วยแผนภาพดังรูปที่ 3.20

สำหรับการประมาณค่าความหนาในกรณีแรกคือค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของหน้าตัดเหล็กมีค่า 538 °C อาศัยหลักการในการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟคือ การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนโดยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมีความหนา Dp_1 ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวเหล็กมีค่า T_{av1} และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมีความหนา Dp_2 ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวเหล็กมีค่า T_{av2} ในการหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวเหล็กสามารถทำได้โดยการใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทุกจุดต่อบนผิวเหล็กในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เนื่องจากที่ผิวเหล็กมีการแบ่งเอลิเมนต์ให้มีขนาดเท่ากัน

การประมาณค่าความหนาของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟที่จะสามารถทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวเหล็กมีค่าเท่ากับ 538 °C พิจารณาจากสมการที่ 3.1

$$Dp_3 = Dp_1 + \frac{(T_{av1} - 538)(Dp_2 - Dp_1)}{(T_{av1} - T_{av2})} \qquad (3.1)$$



รูปที่ 3.20 แผนภาพแสดงขั้นตอนการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

ค่าความหนาของวัสดุกันไฟใหม่ที่ได้ (Dp_3) จะถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนซึ่งจะได้ค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยบนผิวเหล็กอีกหนึ่งค่า คือ T_{av3}

การตรวจสอบความหนาที่ประมาณได้ Dp_3 ว่าสามารถทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวเหล็กคือ T_{av3} มีค่าใกล้เคียงกับ 538 หรือไม่ อาศัยการคำนวณหาค่าผลต่างระหว่าง 538 และ T_{av3} เปรียบเทียบถือเกณฑ์ TOL ที่กำหนดไว้ โดยทำการคำนวณซ้ำจนกว่าค่าผลต่างจะอยู่ภายในเกณฑ์ที่กำหนด โดยในการศึกษานี้ใช้ค่า TOL เท่ากับ 0.01

ในกรณีที่ T_{av3} มีค่ามากกว่า 538 กำหนดให้ Dp_1 เปลี่ยนค่าเป็น Dp_3 และ T_{av1} เปลี่ยนค่าเป็น T_{av3} และในกรณีที่ T_{av3} มีค่าน้อยกว่า 538 กำหนดให้ Dp_2 เปลี่ยนค่าเป็น Dp_3 และ T_{av2} เปลี่ยนค่าเป็น T_{av3} จากนั้นจึงทำการคำนวณซ้ำเพื่อหาค่าความหนาที่เหมาะสมใหม่จนกว่าค่าความหนา Dp_3 ที่ได้จะทำให้ T_{av3} มีค่าใกล้เคียงกับ 538 ในเกณฑ์ที่กำหนดจึงทำการเก็บค่า Dp_3 ในพารามิเตอร์ Dav ซึ่งเป็นความหนาที่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวเหล็กมีค่าใกล้เคียงกับ 538 °C

การประมาณค่าความหนาในกรณีที่สองคือค่าอุณหภูมิสูงสุดของหน้าตัดเหล็กมีค่า 650 °C อาศัยหลักการในการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟคือ การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนโดยวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมีความหนา Dp_1 ทำให้อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวเหล็กมีค่า T_1 และวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟมีความหนา Dp_2 ทำให้อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวเหล็กมีค่า T_2 วิธีการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟใช้หลักการเดียวกันกับกรณีแรก แต่จะใช้ค่าอุณหภูมิวิกฤติเท่ากับ 650 °C และค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการประมาณค่าความหนาเป็นอุณหภูมิสูงสุด ณ จุดใดจุดหนึ่งบนผิวเหล็กแทนที่จะใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนผิวเหล็ก

เมื่อได้ค่าความหนาจากการประมาณค่าทั้ง 2 กรณี จึงนำความหนาทั้งสองค่ามาเปรียบเทียบกัน ค่าความหนาที่มากกว่าจะเป็นความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

การป้อนค่าข้อมูลต่างๆ สำหรับการประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ สามารถทำได้โดยการป้อนค่าข้อมูลในการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลดังแสดงตัวอย่างกรณีเหล็กไวด์แฟลนจ์ในรูปที่ 3.21

หน้าต่างที่ใช้ในการป้อนข้อมูลเพื่อประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) ชื่อของแฟ้มข้อมูลรวมทั้งตำแหน่งที่ใช้เก็บแฟ้มข้อมูลเพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

2) ค่าความหนาเริ่มต้นที่ใช้ในการประมาณค่าความหนา 2 ค่า

3) ขนาดหน้าตัดของเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

4) ค่าคุณสมบัติทางด้านความร้อนของเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟ

5) อุณหภูมิเริ่มต้นในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

6) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

7) ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

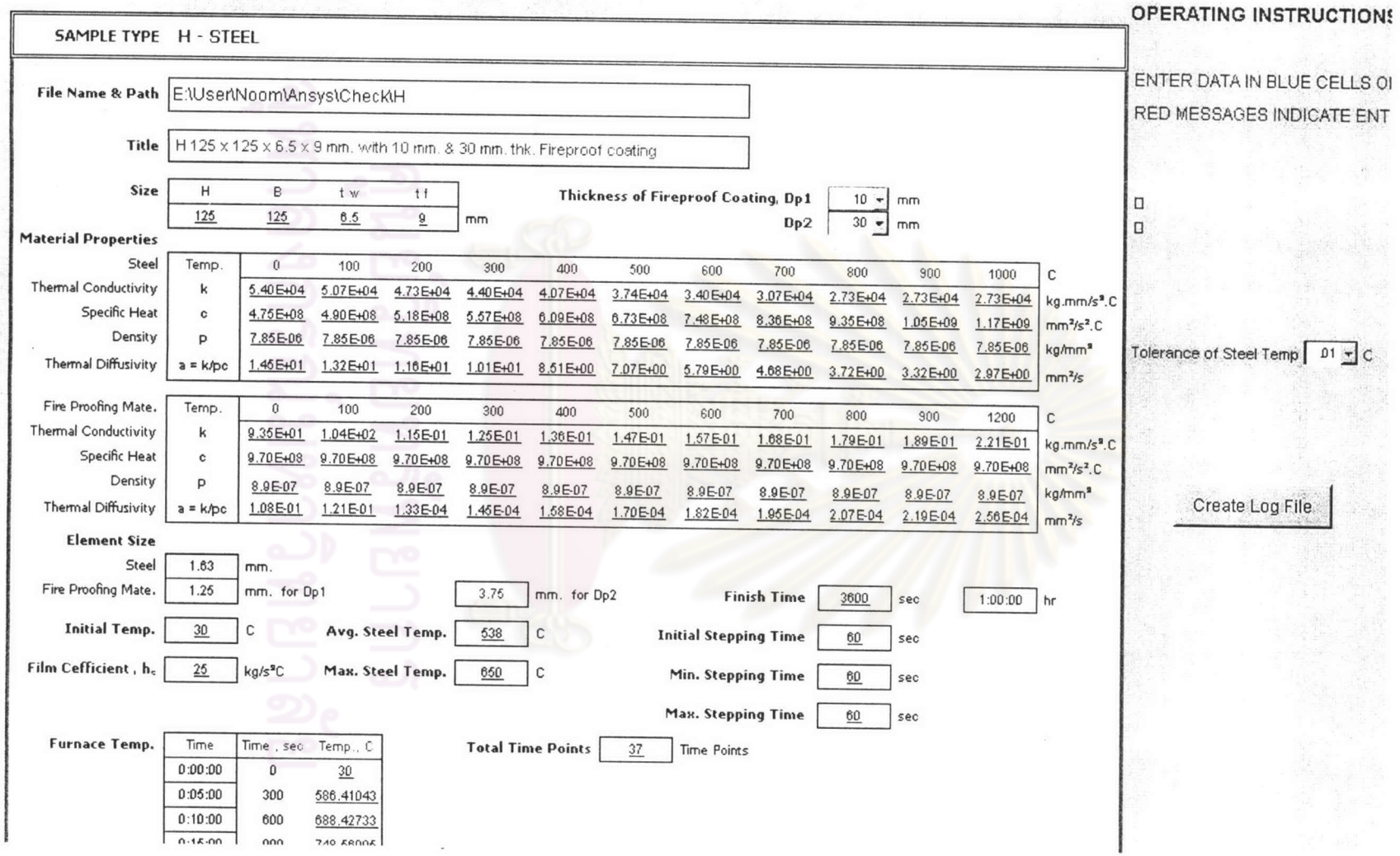
8) ช่วงแบ่งเวลา (Time Step) ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

9) อุณหภูมิตามกราฟไฟมาตรฐาน ASTM E119

10) ค่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ผิวเหล็ก

ภายหลังการป้อนข้อมูลเหล่านี้ คอมพิวเตอร์จะทำการสร้างแฟ้มข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในสองมิติแบบสภาวะไม่คงที่เพื่อประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟโดยอัตโนมัติ ตัวอย่างแฟ้มข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นสำหรับประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟกรณีเหล็กไวด์แฟลนจ์ W 125 × 23.8 ที่มีคุณสมบัติทางด้านความร้อนของเหล็กและวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟดังตารางที่ 3.1 และมีระยะเวลาทนไฟ 1 ชั่วโมงเป็นดังแสดงในภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



SAMPLE TYPE H - STEEL

File Name & Path: E:\User\Noom\Ansys\Check\H

Title: H 125 x 125 x 6.5 x 9 mm. with 10 mm. & 30 mm. thk. Fireproof costing

Size

H	B	t w	t f	
125	125	6.5	9	mm

Thickness of Fireproof Coating, Dp1: 10 mm
Dp2: 30 mm

Material Properties

Steel	Temp.	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	C
Thermal Conductivity	k	5.40E+04	5.07E+04	4.73E+04	4.40E+04	4.07E+04	3.74E+04	3.40E+04	3.07E+04	2.73E+04	2.73E+04	2.73E+04	kg.mm/s³.C
Specific Heat	c	4.75E+08	4.90E+08	5.18E+08	5.57E+08	6.09E+08	6.73E+08	7.48E+08	8.36E+08	9.35E+08	1.05E+09	1.17E+09	mm²/s².C
Density	p	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	7.85E-06	kg/mm³
Thermal Diffusivity	a = k/pc	1.45E+01	1.32E+01	1.16E+01	1.01E+01	8.61E+00	7.07E+00	5.79E+00	4.68E+00	3.72E+00	3.32E+00	2.97E+00	mm²/s

Fire Proofing Mate.	Temp.	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1200	C
Thermal Conductivity	k	9.35E+01	1.04E+02	1.15E-01	1.25E-01	1.36E-01	1.47E-01	1.57E-01	1.68E-01	1.79E-01	1.89E-01	2.21E-01	kg.mm/s³.C
Specific Heat	c	9.70E+08	9.70E+08	9.70E+08	9.70E+08	9.70E+08	9.70E+08	9.70E+08	9.70E+08	9.70E+08	9.70E+08	9.70E+08	mm²/s².C
Density	p	8.9E-07	8.9E-07	8.9E-07	8.9E-07	8.9E-07	8.9E-07	8.9E-07	8.9E-07	8.9E-07	8.9E-07	8.9E-07	kg/mm³
Thermal Diffusivity	a = k/pc	1.08E-01	1.21E-01	1.33E-04	1.46E-04	1.58E-04	1.70E-04	1.82E-04	1.95E-04	2.07E-04	2.19E-04	2.56E-04	mm²/s

Element Size

Steel: 1.63 mm.
Fire Proofing Mate.: 1.25 mm. for Dp1; 3.75 mm. for Dp2

Initial Temp.: 30 C
Avg. Steel Temp.: 538 C
Film Cefficient , h_c: 25 kg/s³C
Max. Steel Temp.: 650 C

Finish Time: 3600 sec (1:00:00 hr)
Initial Stepping Time: 60 sec
Min. Stepping Time: 60 sec
Max. Stepping Time: 60 sec

Furnace Temp.

Time	Time , sec	Temp., C
0:00:00	0	30
0:05:00	300	586.41043
0:10:00	600	688.42733
0:15:00	900	749.66006

Total Time Points: 37 Time Points

OPERATING INSTRUCTIONS

ENTER DATA IN BLUE CELLS O
RED MESSAGES INDICATE ENT

Tolerance of Steel Temp: 01 C

Create Log File

รูปที่ 3.21 ลักษณะของหน้าต่างที่ใช้ในการป้อนข้อมูลเพื่อประมาณค่าความหนาที่เหมาะสมของวัสดุเคลือบผิวป้องกันไฟสำหรับเหล็กไวด์แฟลนจ์