ในการผลิตชิ้นงานที่มีการใช้แหล่งความร้อนเคลื่อนที่พลังงานสูง เช่นงานเชื่อม/งานตัดด้วยลำแสงเลเซอร์หรือลำแสงอิเล็กตรอน โดยเฉพาะในการผลิตเร่งด่วนแบบเพิ่มวัสดุ (Additive Rapid Manufacturing) ต้องมีตัวแปรสำคัญที่ต้องควบคุมคือขนาดของบ่อวัสดุหลอมเหลว (Melt Pool Size หรือ Weld Pool หากใช้ในงานเชื่อม) ซึ่งการควบคุมความสม่ำเสมอของบ่อวัสดุหลอมเหลวเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพ ความเที่ยงตรงและความสม่ำเสมอของชิ้นงาน จากกระบวนการผลิตเนื่องจากคุณสมบัติของการหน่วงเวลาทางความร้อน (Thermal Delay) ในบริเวณขอบอิสระทำให้ไม่สามารถควบคุมความสม่ำเสมอของขนาดบ่อวัสดุหลอมเหลวได้ทันท่วงที จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดการเปลี่ยนแปลงตัวแปรของกระบวนการล่วงหน้าไว้ ทำให้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงขนาดของบ่อวัสดุหลอมเหลวในขณะที่แหล่งความร้อนเคลื่อนที่เข้าใกล้ขอบอิสระของชิ้นงานโลหะ AISI 304 โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาและรวบรวมพฤติกรรมขนาดบ่อวัสดุหลอมเหลวในบริเวณขอบอิสระซึ่งได้รับการสอบเทียบผลการวิเคราะห์กับการทดลองในกรณีที่ให้ฟลักซ์ความร้อนพลังงานสูงที่ตำแหน่งคงที่และในกรณีที่ให้ฟลักซ์ความร้อนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

จากผลการสอบเทียบพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การรับพลังงานความร้อนแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุและอัตราพลังงานในการให้พลังงานความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 0.39-0.59 และผลการสอบเทียบยังสามารถบ่งชี้ว่าการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถใช้วิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงขนาดของบ่อวัสดุหลอมเหลวได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงเมื่อกำหนดให้สัมประสิทธิ์การรับพลังงานความร้อนและสภาวะเงื่อนไขมีความเหมาะสม และใช้แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงขนาดบ่อวัสดุหลอมเหลวใกล้บริเวณขอบอิสระพบว่า การเปลี่ยนแปลงขนาดของบ่อวัสดุหลอมเหลวมีขนาดเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเส้นโค้งเอ็กซ์โพเนนเชียลหงายรวมทั้งสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงขนาดของบ่อวัสดุหลอมเหลวในลักษณะของกลุ่มตัวแปรไร้มิติเพื่อนำสมการไปใช้ทำนายพฤติกรรมของขนาดบ่อวัสดุหลอมเหลวขณะที่แหล่งความร้อนเคลื่อนที่เข้าใกล้ขอบอิสระที่ครอบคลุมวัสดุหลายชนิดและมีสภาวะการผลิตหลายระดับได้ โดยมีความผิดพลาดสูงสุดไม่เกินร้อยละ 10.5 และได้เสนอแนวทางในการปรับเปลี่ยนตัวแปรของกระบวนการเพื่อควบคุมขนาดบ่อวัสดุหลอมเหลวในบริเวณใกล้ขอบอิสระให้มีขนาดสม่ำเสมอ โดยการปรับลดอัตราพลังงานและเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ร่วมกัน ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมขนาดของบ่อวัสดุหลอมเหลวให้ลดลงได้ถึงร้อยละ 48 เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการควบคุม

In laser- and plasma-based additive manufacturing, cutting processes concern a high energy heat source moving across and melting metal substrates. The area of the molten material, termed melt pool or weld pool in welding process, is an essential parameter which directly influence the precision of the final products. In such manufacturing processes, feedback control systems via thermal imaging or other temperature reading schemes are commonly used to effectively control the size of melt pool during a quasi-steady state heat transfer process. Significant problems arise when the heat flux is moving towards a free edge of the feature where melt pool area drastically and rapidly increases due to heat balance disturbance. Previous works have found that feedback control mechanism is not sufficient to maintain melt pool size due to a thermal response delay.

This work focuses on the prediction of melt pool behavior near a free edge and methodologies to pre-adjust key process parameters before changes can be detected by sensors in order to achieve minimum changes in melt pool size. The approach of the work is to use a verified two-dimensional thin-walled shape finite element model to simulate the processes. The main tasks include model verifications, melt pool behavior analyses and melt pool pre-adjust methodologies. Model verifications are carried out by comparing temperature distributions from FEM models with actual temperature during steady-state experiments and thus determine heat absorption coefficient for particular processes. Results show that coefficients of heat absorption lie between 0.39-0.59 for the concerned processes. The verified FEM model is then used to investigate transient melt pool behavior in the case that the heat source is moving across to a free edge. The results show that melt pool size increase exponentially with the distance towards the free edge. Results are presented in terms of non-dimensional parameters for the application of a broader range of processes. The representative equation returns maximum 10.5% error in melt pool size predictions near a free edge. Moreover, various operating parameters pre-adjustment scheme were attempted to minimize the effects of free edge to melt pool size increases. It is found that a combination of exponentially power decrease with linear velocity increase can reduce final melt pool size by 48% compared with constant power and velocity cases.