บทที่ 5

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุปในการวิจัย

เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้น เป็นเพียงเครื่องต้นแบบที่จะต้องได้รับการพัฒนาต่ออีกระดับหนึ่ง เครื่องให้ความร้อนนี้ต่างจากเครื่องที่ใช้งานในปัจจุบันตรงที่ใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ประเภทมอสเฟตกำลังในการกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง แทนหลอดสุญญากาศ และวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้เป็นแบบสามสถานะ การใช้มอสเฟตกำลังจะดีกว่า เพราะประสิทธิภาพโดยรวมของวงจรไฟฟ้าจะสูงขึ้น และขนาดโดยรวมจะลดลง แต่จะมีข้อเสียเปรียบบางประการ คือความสามารถในการใช้งานในย่านความถี่สูงอาจจะไม่ดีนอ เพราะสมรรถนะในการใช้งานมอสเฟตกำลังที่ความถี่สูงมากๆยังไม่ดี

เครื่องให้ความร้อนที่สร้างขึ้นนี้เมื่อจ่ายกำลังให้แก่โหลด ในการทดลองใช้เหล็กผสมคาร์บอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร ที่ความถี่ 143 กิโลเฮิรตซ์ จะมีกำลังปรากฏด้านเข้าประมาณ 13.5 กิโลโวลต์แอมแปร์ และมีกำลังด้านเข้าประมาณ 10 กิโลวัตต์ ซึ่งกำลังที่ด้านเข้านี้ปกติจะขึ้นกับลักษณะของชิ้นงานและความถี่ที่ใช้ด้วย กำลังงานจำนวนนี้จะส่งผ่านหม้อแปลงความถี่สูงไปสู่ขดลวดให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ประมาณจากการวัดว่ากำลังงานที่ขดลวดให้ความร้อนมีค่า 8.4 กิโลวัตต์ และที่ชิ้นงานได้รับมีค่าประมาณ 6.3 กิโลวัตต์ โดยเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำนี้จะสามารถปรับความถี่ใช้งานได้ ในช่วงความถี่ 125 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 140 กิโลเฮิรตซ์ และสามารถชุบแข็งเหล็ก 0.4 เปอร์เซนต์ของคาร์บอน ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ให้ร้อนแดงจนมีอุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียสภายในเวลา 5 วินาที และสามารถทำให้เหล็ก 0.5 เปอร์เซนต์ของคาร์บอนที่มีความแข็งก่อนการชุบประมาณ 226 Hv ให้มีความแข็งประมาณ 701 Hv ที่ระยะความลึกจากผิว 1 มิลลิเมตร โดยใช้เวลาชุบแข็งประมาณ 15 วินาที เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นนี้จะประกอบด้วย

5.1.1 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรอง วงจรส่วนนี้จะรับไฟ 3เฟส 50 เฮิรตซ์ ขนาด 380 โวลต์ แล้วผ่านวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ 3 เฟส เพื่อแปลงเป็นแรงดันไฟตรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังกล่าวจึงต่อวงกรองโดยใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวกรองแรงดันกระเพื่อม และระดับแรงดันไฟตรงที่ได้มีค่าประมาณ 532 โวลต์ มีแรงดันกระเพื่อมประมาณ 2 เปอร์เซนต์

5.1.2 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบสามสถานะ วงจรส่วนนี้จะแปลงแรงดันไฟตรงที่ได้รับ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงที่มีลักษณะรูปคลื่นของแรงดันเป็นแบบสามสถานะ โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะมีความถี่ใช้งานในช่วง 125 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 140 กิโลเฮิรตซ์

5.1.3 ส่วนหม้อแปลงแยกโดดความถี่สูง ส่วนนี้จะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจากวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสามสถานะ แล้วผ่านหม้อแปลงแยกโดดความถี่สูงซึ่งหม้อแปลงแยกโดดนี้จะมีอัตราการแปลงแรงดันเป็น 9:1 เพื่อให้แรงดันและกระแสที่ขดลวดให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำเป็นไปตามที่ต้องการ และประสิทธิภาพของหม้อแปลงแยกโดดจะมีค่าประมาณ 90 เปอร์เซนต์ ถึง 95 เปอร์เซนต์

5.1.4 ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กและตัวเก็บประจุปรับปรุงตัวประกอบกำลัง โดยวงจรส่วนนี้จะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง จากด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแยกโดด โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจะมีขนาดแรงดันค่อนข้างต่ำ แต่มีขนาดกระแสที่สูงมากจะส่งผ่านให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก เพื่อสร้างฟลักซ์สนามแม่เหล็กความถี่สูงคล้องชิ้นงาน โดยฟลักซ์สนามแม่เหล็กดังกล่าวจะเหนี่ยวนำให้ชิ้นงานเกิดความร้อนขึ้น ดังที่กล่าวในหัวข้อ 2.3.5 เนื่องจากขดลวดให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำจะมีมุมประกอบกำลังเป็นแบบล้าหลัง เพื่อให้กำลังที่ขดลวดให้ความร้อนมีปริมาณมากขึ้นจึงใส่ตัวเก็บประจุขนานกับขดลวดให้ความร้อน เพื่อปรับปรุงตัวประกอบกำลังของขดลวดให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำให้ดีขึ้น

5.1.5 วงจรส่วนควบคุมและป้องกัน วงจรส่วนนี้จะสร้างสัญญาณไปควบคุมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสามสถานะ ให้กำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง นอกจากนี้วงจรส่วนนี้ยังมีหน้าที่ป้องกันมอสเฟตกำลัง โดยจะมีการป้องกันแรงดันไฟตรงและกระแสที่ไหลผ่านมอสเฟตกำลังมิให้มีค่าเกินขีดจำกัดที่มอสเฟตกำลังสามารถทนได้

การทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นนี้ จะสามารถทำงานได้โดยการให้ไฟ 3 เฟสกับเครื่อง และเปิดสวิตช์ส่วนวงจรควบคุมให้ทำงานก่อน จากนั้นจึงเปิดวงจรกำลังได้ หลังจากนี้เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำจะสามารถทำงานได้ตามปกติ ในการทำงานสามารถที่จะปรับความถี่ในการใช้งานได้ในช่วงความถี่ 125 กิโลเฮิรตซ์ ถึงความถี่ 140 กิโลเฮิรตซ์ เมื่อเกิดภาวะผิดปกติวงจรควบคุมจะหยุดการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบสามสถานะทันที และตัดแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟสออกจากระบบ พร้อมทั้งแสดงสาเหตุที่หยุดการทำงานว่ามาจากแรงดันไฟตรงที่เข้าสู่ระบบเกิน หรือว่ากระแสที่ผ่านอินเวอร์เตอร์ชุดใดเกินขีดจำกัด หลังจากนี้วงจรจะพร้อมทำงานใหม่อีกเมื่อกดสวิตช์รีเซตระบบ และเปิดสวิตช์วงจรกำลัง

5.2 ข้อเสนอในการปรับปรุง

5.2.1 เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวที่สร้างขึ้น โครงสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นแบบสามสถานะซึ่งเป็นโครงสร้างที่ยุ่งยาก มีการใช้มอสเฟตกำลังถึง 8 ตัวต่อวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสามสถานะหนึ่งชุด และจากพิกัดความสามารถในการทนกระแสและแรงดันของมอสเฟตกำลังที่ใช้จะไม่สามารถส่งผ่านกำลังงานทั้งหมดได้ จึงต้องใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบสามสถานะสองชุดต่อขนานกันทางทุติยภูมิของหม้อแปลงแยกโดด ทำให้วงจรโดยรวมเพิ่มความซับซ้อนขึ้นอีก จึงควรศึกษาโครงสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์แทนเพราะใช้มอสเฟตกำลังเพียง 4 ตัว จึงมีความน่าเชื่อถือที่ดีกว่า การควบคุมจะซับซ้อนน้อยกว่า พร้อมทั้งทำให้ขนาดและน้ำหนักโดยรวมลดลง นอกจากนี้ควรที่จะศึกษาการนำอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดอื่นเช่น ทรานซิสเตอร์กำลังมาใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์โดยอาจจะสร้างเครื่องที่สามารถทำงานในช่วงความถี่ที่ต่ำลงแต่เพิ่มขนาดของกำลังให้สูงขึ้น หรือการใช้ IGBT แทนเพราะอุปกรณ์ประเภทนี้จะมีพิกัดความสามารถในการทนแรงดันและกระแสที่สูงกว่ามอสเฟตกำลัง แต่ขีดความสามารถในการใช้งานที่ความถี่สูงจะต่ำกว่าเล็กน้อย หรือศึกษาโครงสร้างวงจรที่มีแหล่งจ่ายกำลังเป็นแบบแหล่งจ่ายกระแส

5.2.2 เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นนี้ การควบคุมเป็นแบบวงรอบเปิดคือไม่สามารถควบคุมกำลังหรืออุณหภูมิได้ แต่สามารถควบคุมได้เพียงความถี่ แต่เนื่องจากอุณหภูมิจะขึ้นกับ ขนาดกำลังที่ขดลวดได้รับและลักษณะของชิ้นงานด้วย จึงควรทำการศึกษาการควบคุมกำลังที่ให้แก่ชิ้นงาน เนื่องจากการควบคุมกำลังที่ชิ้นงานได้รับจะค่อนข้างยุ่งยาก ในที่นี้จะเสนอแนะให้ควบคุมกำลังที่เข้าสู่ระบบแทน เพราะถ้าคิดว่ากำลังสูญเสียมีค่าค่อนข้างคงที่และมีค่าเล็กเมื่อเทียบกับขนาดกำลังที่เข้าสู่ระบบ กำลังที่ขดลวดให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำจะแปรตามกำลังที่เข้าสู่ระบบ ในที่นี้จะเสนอแนะการควบคุมกำลังที่เข้าสู่ระบบดังนี้

5.2.2.1 การควบคุมกำลังโดยควบคุมแรงดันไฟตรง ที่จ่ายให้แก่ระบบ เพราะที่ความถี่ใดๆถ้าเปลี่ยนขนาดแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้แก่ระบบ ขนาดกำลังที่ชิ้นงานได้รับจะแปรผันตามไปด้วย ซึ่งในการควบคุมแรงดันไฟตรงนี้ วิธีที่นิยมคือการใช้วงจรควบคุมเฟสเพื่อปรับระดับแรงดัน หรืออาจใช้วงจรแปลงไฟ 3 เฟสเป็นแรงดันไฟตรง และใช้วงจรแปลงผัน

ไฟตรงเป็นไฟตรงที่สามารถปรับระดับแรงดันไฟตรงได้อย่างต่อเนื่องในช่วงที่กำหนด โดยแหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ชนิดนี้เมื่อเทียบกับแบบควบคุมเฟสจะมีขนาดและน้ำหนักที่เล็กกว่า แต่การควบคุมแหล่งจ่ายไฟตรงแบบปรับค่าได้ลักษณะนี้จะยุ่งยากกว่าแบบควบคุมเฟส

5.2.2.2 การควบคุมกำลังโดยการเปลี่ยนความถี่ที่ใช้งานในการเปลี่ยนความถี่ที่ใช้งานอาจสุ่มกระแสจากแหล่งจ่ายไฟตรงมาเป็นตัวควบคุมกำลัง เพราะถ้าประมาณว่าแรงดันไฟตรงค่อนข้างคงที่ กำลังที่ระบบได้รับจะแปรตามกระแสจากแหล่งจ่ายไฟตรงเนื่องจากลักษณะวงจรจะประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน ทำให้ความถี่มีผลต่อปริมาณ กระแส แรงดัน และขนาดกำลัง ดังนั้นถ้าสามารถควบคุมความถี่ที่ใช้งานได้จะสามารถควบคุมกำลังที่เข้าสู่ระบบได้

จากที่กล่าวมาทั้งสองวิธีต่างมีข้อดีและข้อเสีย ในวิธีแรกจะสามารถควบคุมได้โดยตรง และความถี่ที่ใช้งานจะมีค่าคงที่เท่ากับค่าที่ต้องการตลอดช่วงการควบคุม และการควบคุมกำลังจะสามารถควบคุมได้ตั้งแต่กำลังขนาดต่ำ จนถึงกำลังขนาดสูง ข้อเสียวิธีนี้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่และมีราคาแพง และวงจรส่วนนี้จะยุ่งยาก ส่วนวิธีที่สอง วงจรจะไม่ยุ่งยาก ขนาดเล็กและราคาไม่แพง แต่ความถี่ที่ใช้งานจะไม่คงที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามระดับกำลังที่ต้องการ นอกจากนี้ช่วงการควบคุมระดับกำลังงานจะไม่กว้างเท่าแบบวิธีแรก

5.2.3 ส่วนที่เป็นขดลวดให้ความร้อนและตัวเก็บประจุ การออกแบบยังไม่ดีพอขนาดของขดลวดให้ความร้อน และส่วนที่เป็นตัวเก็บประจุจะค่อนข้างใหญ่ ควรออกแบบทางกลเพื่อให้การติดตั้ง หรือ ประกอบลงกล่องเป็นไปได้สะดวกกว่านี้ นอกจากนี้ควรออกแบบการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าของแต่ละส่วนให้ดียิ่งขึ้น เพราะกระแสที่ไหลในวงจรส่วนนี้จะมีปริมาณมาก นอกจากนี้ควรออกแบบระบบการระบายความร้อนให้ดียิ่งขึ้น เพราะที่ตัวขดลวดให้ความร้อนจะได้รับความร้อนจากกระแสที่ไหลผ่าน และ ความร้อนจากชิ้นงานโดยการแผ่รังสี

5.2.4 จากขนาดกำลังของชิ้นงานที่ประมาณได้ 6.3 กิโลวัตต์ ถ้าต้องการเพิ่มขนาดกำลังที่ชิ้นงานให้มากขึ้น วิธีที่สามารถปรับปรุงได้คือ

5.2.4.1 โดยการพันหม้อแปลงความถี่สูงใหม่ เหตุที่กำลังที่ชิ้นงานมีขนาดต่ำเพราะแรงดันที่คร่อมขดลวดให้ความร้อนมีค่าต่ำ ถ้าสามารถเพิ่มแรงดันที่ขดลวดให้ความร้อนได้จะเปรียบเสมือนกับเพิ่มแหล่งจ่ายแรงดันให้กับโหลดกำลังที่โหลดได้รับจะมีค่าสูงขึ้น เดิมหม้อแปลงความถี่สูงจะมีอัตราการแปลงแรงดันเป็น 9:1 อาจพันหม้อแปลงใหม่ให้มีอัตรา

เดิมหม้อแปลงความถี่สูงจะมีอัตราการแปลงแรงดันเป็น 9:1 อาจพันหม้อแปลงใหม่ให้มีอัตราการแปลงแรงดันเป็น 8:1

5.2.4.2 จากผลการทดสอบที่ได้ พบว่าการเพิ่มความถี่การทำงานของระบบให้สูงขึ้นกำลังที่ชิ้นงานได้รับจะมีขนาดเพิ่มขึ้น เป็นผลเนื่องจากค่าความเก็บประจุปรับปรุงตัวประกอบกำลังของขดลวดให้ความร้อนมีขนาดเล็กกว่าที่ต้องการ ดังนั้นถ้าสามารถเพิ่มขนาดค่าความเก็บประจุดังกล่าว จะสามารถเพิ่มกำลังที่ชิ้นงานได้เช่นกัน

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

5.3.1 เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ชุบแข็งชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2 เซนติเมตรได้

5.3.2 ถ้าสามารถพัฒนาเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำนี้ได้สมบูรณ์ จะสามารถทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศได้

5.3.3 ทำให้ทราบถึงทฤษฎีและหลักการในการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ ซึ่งสามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้กับงานให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำลักษณะอื่น เช่น เตาหลอมโลหะแบบเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน หรือเตาต้มอาหารโดยการเหนี่ยวนำเตาลักษณะนี้จะสามารถทำให้อาหารสุกในเวลาอันรวดเร็ว

5.3.4 ทำให้สามารถเข้าใจการทำงาน ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสามสถานะ รวมทั้งเข้าใจข้อดีและข้อเสียของโครงสร้างลักษณะนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย