บทที่ 5

สรุปผลและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการพัฒนาเลนส์อิเล็กตรอนชนิดออฟเจ็กทีฟพบว่า การออกแบบและสร้างชิ้นส่วนมีความซับซ้อนกว่าการออกแบบและสร้างเลนส์คอนเด็นเซอร์ เนื่องจากช่องเปิดวงจรแม่เหล็กจะต้องอยู่ส่วนปลายของเลนส์และจะต้องจัดวางตำแหน่งโอริง (o-ring) ให้สามารถรักษาสภาพสุญญากาศของระบบเลนส์โดยรวมให้ได้ในระดับ 10^{-6} ทอร์ เลนส์นี้มีน้ำหนักรวม 1800 กรัม สามารถถอดประกอบเพื่อทำความสะอาดอุปกรณ์ทางผ่านของอิเล็กตรอนได้ง่าย

5.1.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างชิ้นส่วนเลนส์ที่ออกแบบขึ้นสามารถหาได้ในประเทศ โดยส่วนแกนของวงจรแม่เหล็กเพลาขาวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm และ 150 mm มาตัดแบ่งและกลึงคว้านเนื้อในเหล็กออก ซึ่งเหล็กเพลาขาวนี้เป็นเหล็กในท้องตลาดที่มีคาร์บอนต่ำที่สุด ในขณะที่โอริง (o-ring) มีให้เลือกหลายชนิดแต่โอริงสำหรับระบบสุญญากาศควรใช้ยางไวตัล (vitol) จะมีคุณสมบัติดีกว่างานทั่วไป

5.1.3 เลนส์อิเล็กตรอนที่พัฒนาขึ้นมีความเข้มสนามแม่เหล็กที่การจ่ายกระแสสูงสุด 1 แอมแปร์ เท่ากับ 2.85 กิโลเกาส์ ซึ่งเพียงพอในการปรับความยาวโฟกัสที่ระยะห่างของชิ้นงาน (working distance) 3.6 ซม. ความเข้มสนามแม่เหล็กแปรตามกระแสอย่างสม่ำเสมอระหว่าง 0-500 mA แปรเปลี่ยนสนามแม่เหล็กจาก 0-1350 G

5.1.4 ผลทดสอบการทำงานของเลนส์ออฟเจ็กทีฟที่พัฒนาขึ้นร่วมกับเลนส์คอนเดนเซอร์เพื่อการปรับโฟกัสลำอิเล็กตรอนในเครื่องกำเนิดลำอิเล็กตรอนต้นแบบพบว่าสามารถทำงานร่วมกันได้ดี โดยขนาดโฟกัสที่ระยะใช้งานระหว่างปลายเลนส์และตัวอย่าง 3.6 cm สามารถปรับปลายอิเล็กตรอนให้เล็กที่สุดด้วยการจ่ายกระแสให้คอนเดนเซอร์เลนส์ 30 mA และกระแสที่เลนส์ออฟเจ็กทีฟเท่ากับ 140 mA

5.15 ผลการวัดขนาดจุดโฟกัสของการกำเนิดรังสีเอกซ์ด้วยการอ่านค่าความไม่คมชัดตามเทคนิค edge spread ได้ขนาดของจุดโฟกัส 67.96 μm และผลการทดสอบการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ไมโครโฟกัสให้คุณภาพดีกว่าโครงสร้างที่เคยพัฒนาไว้ดั้งเดิม อย่างไรก็ตามการประเมินจุดโฟกัสนี้เป็นการประเมินจุดโฟกัสของการกำเนิดรังสีเอกซ์ซึ่งอิเล็กตรอนมีการกระเจิงอิเล็กตรอนเป็นวงกว้างขึ้นกับชนิดของเป้าผลิตรังสีเอกซ์ การประเมินขนาดลำอิเล็กตรอนโดยตรงยังไม่สามารถทำได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

5.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศมักไม่มีข้อมูลทางเทคนิคให้ตัดสินใจ เช่น ส่วนผสมของเหล็ก ส่วนผสมของทองเหลือง จำเป็นต้องสุ่มซื้อมาวิเคราะห์ผลก่อนและไม่มีการยืนยันจากผู้ขายว่า แต่ละแท่งของวัตถุนั้นมาจากแหล่งผลิตเดียวกัน

5.2.2 การจัดสร้างชิ้นส่วนละเอียดในการวิจัยนอกจากจะต้องอาศัยเครื่องมือกลที่มีคุณภาพแล้วยังต้องอาศัยบุคลากรที่มีความชำนาญและความสนใจงานประดิษฐ์เป็นหลัก ซึ่งหาได้ยากจึงเป็นอุปสรรคในงานวิจัยที่ต้องสร้างชิ้นส่วนกลที่ต้องการความละเอียดและซับซ้อนอย่างมาก

5.2.3 จากอุปสรรคของการสร้างชิ้นส่วนกลละเอียด จึงไม่สามารถสร้าง Farday cup ที่ออกแบบไว้ได้ทำให้เทคนิคการวัดขนาดของลำอิเล็กตรอน ต้องปรับวิธีเป็นการประเมินคุณภาพของปลายลำอิเล็กตรอนทางอ้อมด้วยการถ่ายภาพรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัส ร่วมกับการใช้เทคนิค edge spread ในการประเมินขนาดของจุดโฟกัส จากการผลิตรังสีเอกซ์ของลำอิเล็กตรอนแทน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 จากผลการดำเนินงานวิจัยพบว่า งานพัฒนาเลนส์ออฟเจ็กทีฟยังมีความไม่สมบูรณ์เพียงพอ เนื่องจากไม่มีการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์และทดสอบได้มากกว่า 1 ชุด เพราะการลงทุนสูง หากมีการศึกษาการแปรเปลี่ยนพารามิเตอร์มากกว่านี้จะช่วยให้ได้เลนส์ที่มีคุณภาพสูงในระดับจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

5.3.2 คุณภาพของลำอิเล็กตรอนในระบบเลนส์ที่พัฒนาขึ้นยังขาดการศึกษาเรื่องการป้องกันอิเล็กตรอนกระเจิงและกั้นด้วยช่องบังคับลำอิเล็กตรอน (aperture) จึงทำให้คุณภาพของลำอิเล็กตรอนอาจยังไม่ดีพอจึงควรมีการศึกษาต่อไป

5.3.3 หากมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องกำเนิดลำอิเล็กตรอนเพื่อผลิตรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัสควรออกแบบระบบให้รองรับการทำงานที่ศักดาฟ้าเร่ง 80 kV ขึ้นไปจึงจะสามารถถ่ายภาพรังสีเอกซ์พลังงานสูงได้ จะเป็นประโยชน์ในการสร้างภาพตัดขวางแบบ micro-CT หรือจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูง (hard x-ray)