

## การประยุกต์ใช้แผ่นบันทึกภาพสำหรับงานจุลทรรศน์รังสีเอกซ์

สุวิทย์ ปุณณชัยยะ\* นพวรรณ ตัญเจริญสุขจิต เดโช ทองอร่าม

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 0-2218-6781 โทรสาร 0-2218-6780 e-mail : fnespn@eng.chula.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของแผ่นบันทึกภาพความละเอียดสูง สำหรับประยุกต์ใช้ในการบันทึกภาพถ่ายรังสีในงานจุลทรรศน์รังสีเอกซ์แทนการใช้ฟิล์มถ่ายภาพ โดยเลือกแผ่นบันทึกภาพของบริษัทฟูจิฟิล์ม 2 ชนิด ได้แก่ BAS-SR และ BAS-TR ทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ 5.9 keV ในบรรยากาศปกติเปรียบเทียบกัน พบว่าแผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-TR ให้คุณภาพของภาพดีกว่า BAS-SR จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-TR ถ่ายภาพชิ้นตัวอย่างชีวภาพด้วยอุปกรณ์ถ่ายภาพจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้นร่วมกับการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนในโหมดสปอต (spot mode) ซึ่งปรับศักดาไฟฟ้าเร่ง 20 kV กระแสลำอิเล็กตรอน 80  $\mu$ A โดยใช้กำลังขยาย 4 เท่า เวลาถ่ายภาพ 16 นาที พบว่าภาพถ่ายให้ความคมชัด และมีความเปรียบต่างของภาพเทียบเท่ากับภาพจากฟิล์มความละเอียดสูง แต่เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีความไวต่อรังสีกระเจิง ดังนั้นเพื่อป้องกันการรบกวนของรังสีกระเจิงต่อภาพถ่าย จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการกรองรังสีเข้าช่วย

**คำสำคัญ :** แผ่นบันทึกภาพ จุลทรรศน์รังสีเอกซ์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

## Application of Imaging Plate in X-ray Microscopy

Suvit Punnachaiya\* Noppawan Tancharoensukjit Decho Thong-aram

Department of Nuclear Technology, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Tel. 0-2218-6781, Fax. 0-2218-6780, e-mail : fnespn@eng.chula.ac.th

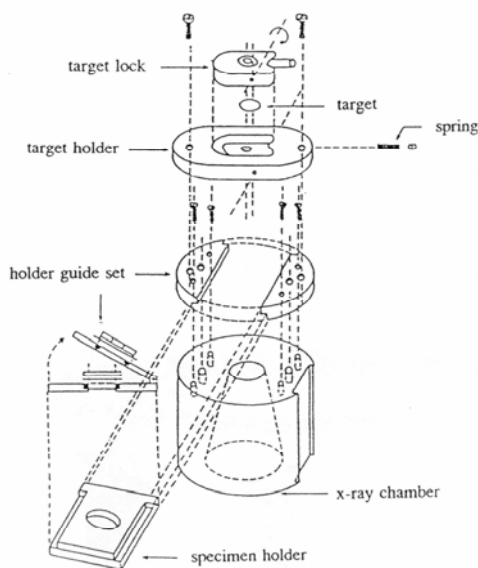
### Abstract

This research was aimed to investigate the feature of high resolution Imaging Plate (IP) for the application on image recording instead of photographic film in X-ray microscopy. Two types of IP from Fuji Film company, BAS-SR and BAS-TR, were selected to comparatively record the atmospheric 5.9 keV soft X-ray radiography. The image from BAS-TR revealed higher quality than the BAS-SR. The micro-radiographic test of the biological specimen was performed using the developed X-ray microscopic projector associated with electron microscope at spot mode of electron beam 20 kV accelerating voltage, 100  $\mu$ A beam current. The BAS-TR type was used for image recording at 4 times magnification and 16 minutes exposure time. The obtained IP image contrast and sharpness were compatible to the high resolution film. Due to the IP was sensitive to the scattered X-ray and it was necessary to prevent image degradation, therefore, the radiation filtering technique was applied.

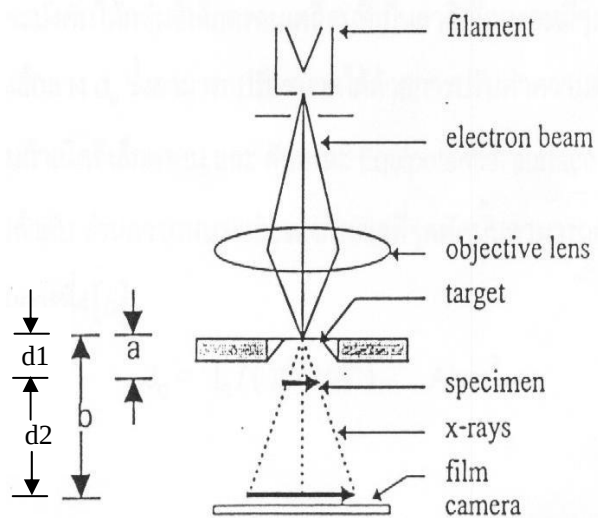
**Keywords :** imaging plate, X-ray microscopy, electron microscope

## บทนำ

การดัดแปลงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) ให้ทำงานเป็นกล้องจุลทรรศน์รังสีเอกซ์พลังงานต่ำสามารถทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้น<sup>(1)</sup> ในห้องใส่ตัวอย่าง อุปกรณ์ถ่ายภาพรังสีประกอบด้วยแท่นอลูมิเนียม เป้ากำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดแผ่นฟิล์ม<sup>(2)</sup> ทำด้วยทองคำและชั้นวางชั้นตัวอย่าง ดังโครงสร้างในแผนภาพรูปที่ 1 กำลังขยายของภาพขึ้นกับการวางตำแหน่งชั้นตัวอย่างดังแผนภาพรูปที่ 2 การบันทึกภาพจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ดั้งเดิมนิยมใช้ฟิล์มถ่ายภาพเป็นตัวบันทึกภาพ ซึ่งใช้เวลาในการถ่ายภาพนานและต้องอาศัยกระบวนการในห้องมืดเพื่อใส่และล้างฟิล์ม ปัจจุบันการบันทึกภาพเปลี่ยนจากการใช้ฟิล์มมาเป็นแผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate, IP) และอ่านข้อมูลภาพในระบบดิจิทัล<sup>(3)</sup> อันเป็นเทคนิคใหม่ในการถ่ายภาพรังสีเรียกระบบนี้ว่า คอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี (Computed Radiography)<sup>(4)</sup> การใช้แผ่นบันทึกภาพช่วยลดเวลาในการถ่ายภาพ สามารถลบภาพแฝง (Latent image) และนำมาใช้ซ้ำได้หลายครั้ง ไม่ต้องอาศัยกระบวนการในห้องมืด แต่ต้องเลือกแผ่นบันทึกภาพที่เหมาะสมกับลักษณะงาน



รูปที่ 1 แผนภาพอุปกรณ์ถ่ายภาพรังสี



$$\text{Magnification} = b/a$$

รูปที่ 2 แผนภาพจุลทรรศน์รังสีเอกซ์

## วิธีการทดลอง

### 1. การเลือกชนิดของแผ่นบันทึกภาพ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นบันทึกภาพจากบริษัทฟูจิฟิล์มจำกัด ซึ่งผลิตแผ่นบันทึกภาพที่ใช้งานด้านถ่ายภาพรังสีหลายชนิด ได้แก่ แผ่นบันทึกภาพถ่ายภาพรังสีเอกซ์ชนิดความไว

สูง (BAS-MS) แผ่นบันทึกภาพถ่ายรังสีเอกซ์ชนิดความละเอียดสูง (BAS-SR) และแผ่นบันทึกภาพชนิดที่ไม่เคลือบผิวสำหรับงานถ่ายภาพรังสีปิตาฟลังงานต่ำจาก H-3 (BAS-TR) เป็นต้น เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานถ่ายภาพจุลทรรศน์รังสีเอกซ์แทนฟิล์ม เนื่องจากรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัสที่กำเนิดจากลำอิเล็กตรอนของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนมีพลังงานต่ำ 4-20 keV (Soft X-ray) มีความเข้มรังสีต่ำและถ่ายภาพที่มีกำลังขยาย จำเป็นต้องคัดเลือกแผ่นบันทึกภาพที่มีความไวรังสีและความละเอียดสูง

#### เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. ขาตั้งและแคลมป์จับอุปกรณ์
2. ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ Fe-55
3. ลิ้มทดสอบ (Step wedge)
4. แผ่นบันทึกภาพรุ่น BAS-SR2040
5. แผ่นบันทึกภาพรุ่น BAS-TR2025

#### การทดลอง

ได้ศึกษาแผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง 2 ชนิด คือ รุ่น BAS-SR2040 และรุ่น BAS-TR2025 ในการถ่ายภาพรังสีเอกซ์พลังงานต่ำจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ Fe-55 พลังงาน 5.9 keV ความแรง 0.5 mCi ในบรรยากาศปกติ โดยทำลิ้มทดสอบจากกระดาษขนาดความหนาชั้นละ 0.08 mm จำนวน 8 ชั้น และทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยจัดอุปกรณ์ตามรูปที่ 3.ข ใช้เวลาในการถ่ายภาพนาน 3 นาที

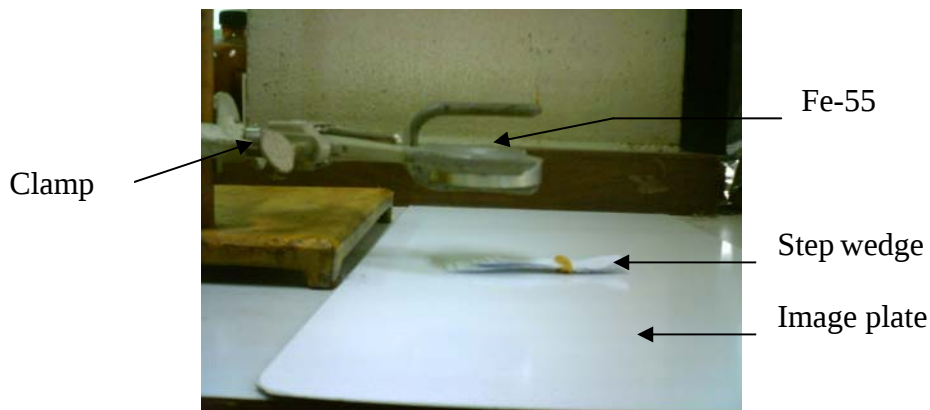


BAS -TR2025



BAS- SR2040

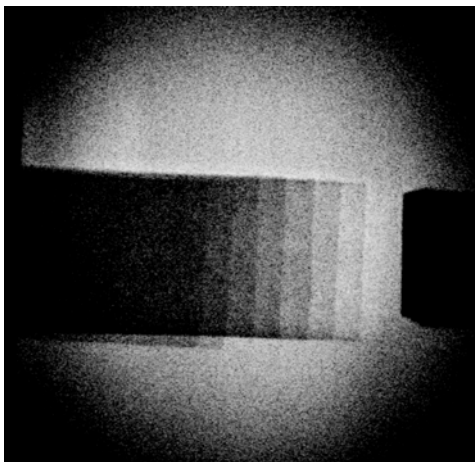
ก. แผ่นบันทึกภาพของบริษัทฟูจิฟิล์มจำกัด



#### ข. การจัดอุปกรณ์ทดสอบ

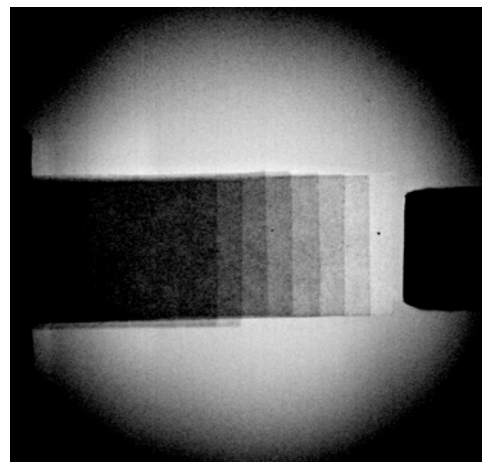
รูปที่ 3 แสดงอุปกรณ์ในการทดสอบภาพถ่ายรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ

ผลของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของลิ้มทดสอบในรูปที่ 4 จะเห็นว่าคุณภาพของภาพถ่ายรังสีด้วยแผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-TR2025 ให้ความคมชัดและความเปรียบต่าง (Contrast) ของภาพดีกว่าแผ่นบันทึกภาพชนิด BAS-SR2040 ดังนั้นจึงเหมาะกับการถ่ายภาพรังสีเอกซ์พลังงานต่ำในงานจุลทรรศน์รังสีเอกซ์



ก. ภาพถ่ายจากแผ่นบันทึกภาพชนิด

BAS-SR2040



ข. ภาพถ่ายจากแผ่นบันทึกภาพชนิด

BAS-TR2025

รูปที่ 4 เปรียบเทียบผลของภาพถ่ายรังสีเอกซ์พลังงานต่ำด้วยแผ่นบันทึกภาพ

## 2. การทดลองนำแผ่นบันทึกภาพมาใช้ในการจุลทรรศน์รังสีเอกซ์พลังงานต่ำ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. แผ่นบันทึกภาพรุ่น BAS-TR 2025
2. อุปกรณ์ถ่ายภาพรังสีเอกซ์
3. ตัวอย่างสำหรับถ่ายภาพ คือ ส่วนหางปลาหางนกยูง
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) รุ่น JSM-6400LV ของ JEOL
5. เครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพของ FUJI FILM รุ่น FLA-5100

### การทดลอง

เตรียมอุปกรณ์ถ่ายภาพจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ โดยตัดแผ่นบันทึกภาพให้พอดีกับพื้นที่ถ่ายภาพขนาด  $4.5 \times 4.5 \text{ cm}^2$  เพื่อยึดกับปากแท่นอุปกรณ์ถ่ายภาพพร้อมจัดวางชิ้นตัวอย่างให้ได้กำลังขยายภาพ 4 เท่า ดังในรูปที่ 5 จากนั้นนำไปติดตั้งบนฐานวางตัวอย่างในห้องใส่ตัวอย่างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนดังในรูปที่ 6 หลังจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพร้อมทำงาน เลือกโหมด (Mode) ทำงานแบบสแกนภาพเพื่อหาดำแหน่งศูนย์กลางของเป้าผลิตรังสีเอกซ์ก่อนใช้โหมดสปอต (Spot) เพื่ออาศัยลำอิเล็กตรอนพลังงาน 20 keV ทำอันตรกิริยากับแผ่นฟิล์มทองคำผลิตรังสีเอกซ์เฉพาะพลังงาน (L X-ray, 11.44 keV)

ทดลองถ่ายภาพจุลทรรศน์รังสีเอกซ์โดยศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อคุณภาพของภาพถ่ายรังสี ได้แก่ เวลาในการถ่ายภาพ รังสีกระเจิง และการอ่านข้อมูลภาพด้วยเครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพที่แสดงในรูปที่ 7 ใช้ความละเอียดการสแกน  $50 \text{ } \mu\text{m}$  ได้ผลของภาพถ่ายซึ่งมีกำลังขยายจากจอแสดงผลเป็น 14 เท่า



ก. ภาพถ่ายชิ้นตัวอย่าง



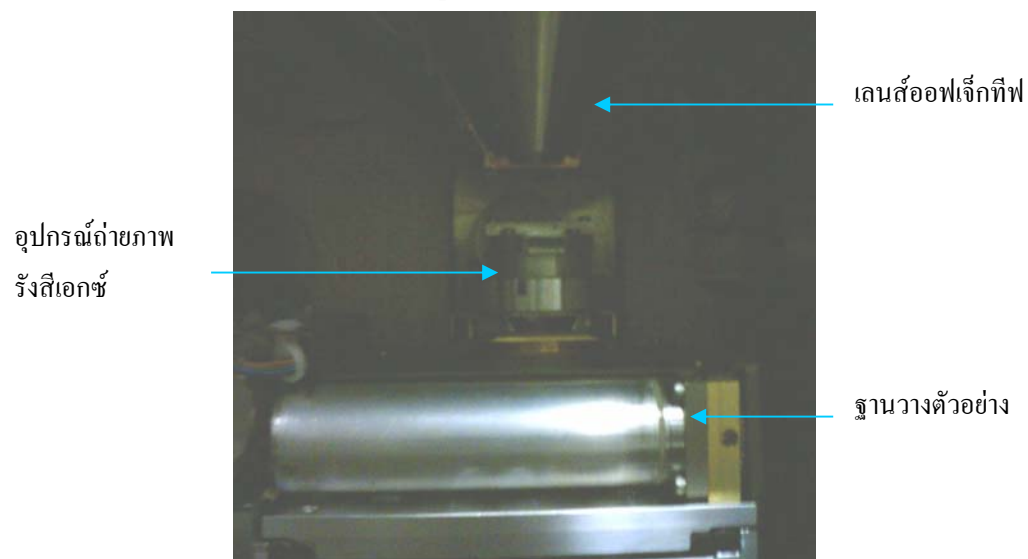
ข. อุปกรณ์ถ่ายภาพรังสีเอกซ์<sup>(1)</sup>

รูปที่ 5 การเตรียมอุปกรณ์จุลทรรศน์รังสีเอกซ์



ก. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนรุ่น JSM-6400LV

W-filament, spot mode, thin film Au target



ข. แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพในห้องใส่ตัวอย่างของ SEM

รูปที่ 6 แสดงการปรับ SEM ให้ทำงานเป็นกล้องจุลทรรศน์รังสีเอกซ์

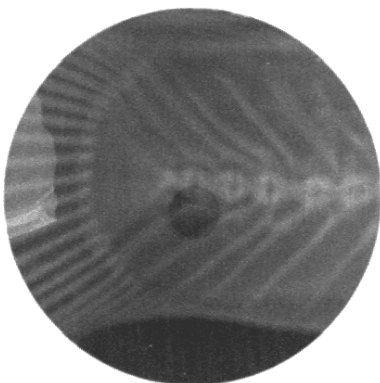


รูปที่ 7 เครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพรุ่น FLA-5100

### ผลการทดลองและวิจารณ์

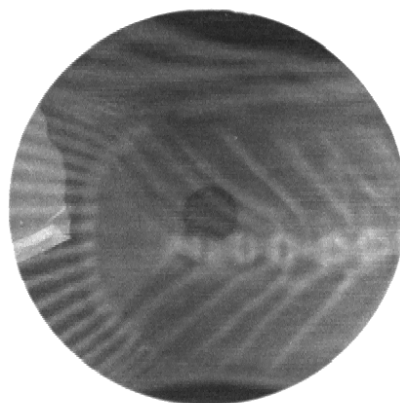
ในรูปที่ 8 จะเห็นว่าภาพถ่ายที่ใช้ระยะเวลาถ่ายภาพต่างกัน สามารถปรับความเปรียบต่างให้เหมาะสมได้ เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีย่านตอบสนองต่อปริมาณรังสีกว้าง (Wide dynamic range) แต่เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีความไวมากต่อรังสีพลังงานต่ำ จึงทำให้ภาพถ่ายรังสีขาดความคมชัดจากผลของรังสีกระเจิงดังรูปที่ 9.ก ต้องใช้เทคนิคการกรองรังสีช่วยโดยหุ้มแผ่นโพลีพรอไพลีนเคลือบอลูมิเนียม (Aluminized-Polypropylene) ขนาดความหนา 80  $\mu\text{m}$  ที่ด้านหน้าของแผ่นบันทึกภาพขณะถ่ายภาพ ช่วยให้ได้ภาพถ่ายรังสีเอกซ์มีคุณภาพดีขึ้นมากดังรูปที่ 9.ข

กำลังขยายภาพ 14 เท่า



ก. ใช้เวลาถ่ายภาพ 12 นาที

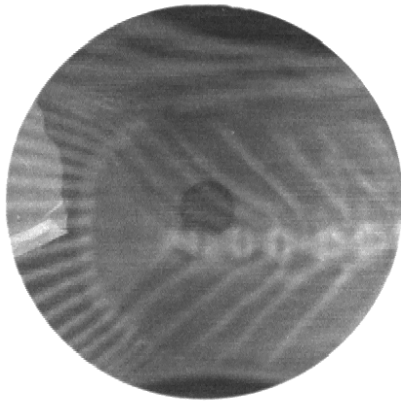
กำลังขยายภาพ 14 เท่า



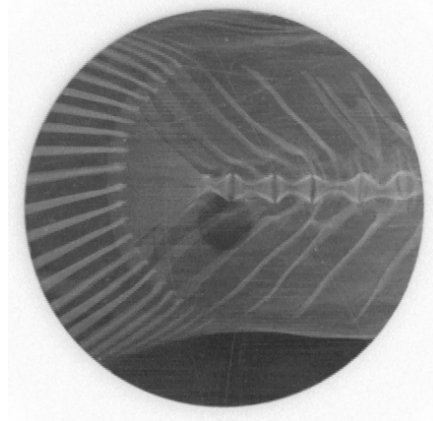
ข. ใช้เวลาถ่ายภาพ 16 นาที

รูปที่ 8 ภาพถ่ายจุลทรรศน์รังสีเอกซ์พลังงานต่ำจากแผ่นบันทึกภาพ

กำลังขยายภาพ 14 เท่า



กำลังขยายภาพ 14 เท่า



ก. ใช้เวลาถ่ายภาพ 16 นาที

ไม่ใช้แผ่นกรองรังสีกระเจิง

ข. ใช้เวลาถ่ายภาพ 16 นาที

ใช้แผ่นกรองรังสีกระเจิง

รูปที่ 9 เปรียบเทียบภาพถ่ายจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ที่ใช้แผ่นกรองรังสีกระเจิง

ภาพที่ได้จากการสแกนแผ่นบันทึกภาพจะอยู่ในรูปสัญญาณข้อมูลดิจิทัล จึงสามารถใช้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่าย (Image processing) เสริมคุณภาพของภาพได้ อีกทั้งสามารถเรียกโปรไฟล์สัญญาณภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสร้างภาพหลายมิติได้สะดวก

ระบบจุลทรรศน์รังสีเอกซ์ที่ดัดแปลงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนั้น ก่อนถ่ายภาพจำเป็นต้องใช้โหมดสแกนภาพในการหาตำแหน่งจุดกึ่งกลางของเป้าหมายรังสีเอกซ์ แต่เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพไวต่อรังสีมาก ดังนั้นขณะสแกนลำอิเล็กตรอนผ่านเป้าหมายจะมีรังสีเอกซ์เล็ดลอดลงบนแผ่นบันทึกภาพทำให้เกิดภาพวงกลมที่กึ่งกลางของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใส่อุปกรณ์ shutter ได้แผ่นเป้าหมายอิเล็กตรอน โดยจะเปิด shutter หลังจากหาตำแหน่งกึ่งกลางเป้าหมายและเลือกโหมดสปีดเพื่อถ่ายภาพจุลทรรศน์รังสีเอกซ์

## สรุปผล

จากการทดลองนำแผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate) รุ่น BAS-TR มาใช้แทนฟิล์มถ่ายภาพในงานจุลทรรศน์รังสีเอกซ์พลังงานต่ำ พบว่ามีความสะดวกที่ไม่ต้องใส่และล้างฟิล์มในห้องมืด ใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อยกว่าฟิล์มเนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีความไวต่อรังสีมาก แผ่นบันทึกภาพใช้เวลาถ่ายภาพ 16 นาทีและใช้เวลาในการสแกนอ่านภาพ 5 นาที ขณะที่ฟิล์มใช้เวลาประมาณ 30 นาทีและล้างฟิล์ม 35 นาที แต่การที่แผ่นบันทึกภาพมีความไวต่อรังสีมากทำให้ถูกรบกวนจากรังสีกระเจิงจากชิ้นตัวอย่างได้ง่าย จึงต้องกรองรังสีกระเจิงด้วยแผ่นฟิล์มโพลิพรอไพลีนเคลือบอลูมิเนียม ช่วยให้ภาพถ่ายมีความคมชัดมากขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนวิจัย พร้อมกันนี้ ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบคุณ Dr. Yuko Ikuta จาก Nuclear Technology and Education Center (NuTEC), Japan Atomic Energy Agency (JAEA) ที่สนับสนุนแผ่นบันทึกภาพรุ่น BAS-TR2025 ในการทดลองนี้

### เอกสารอ้างอิง

1. V. Mangclaviraj, S. Punnachaiya, N. Ngernvijit and D. Tong-aram., 1992. A Simple X-ray Microscope from SEM. Proceeding 5<sup>th</sup> Asia-Pacific Electron Microscopy Conference, Beijing.
2. Keiji Yada, Shoichi Takahashi., 1989. Target Materials Suitable for Projection X-ray Microscope Observation of Biological Samples. J. Electron Microsc., Vol. 38, No.5, p. 321-331.
3. Junji Miyahara., 1989. The Imaging Plate: A New Radiation Image Sensor. CHEMISTRY TODAY, October, p. 29 -36.
4. J A Rowlands., 2002. The Physics of Computed Radiography. Phys. Med. Biol. 47, R123-R166.