



การปรับปรุงความเร็วการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยใช้ฟิล์มสำหรับ  
การตรวจสอบชิ้นงานทางอุตสาหกรรมโดยไม่ทำลาย

Investigation and Improvement of Film Radiography Speed  
for Non-Destructive Inspection of Industrial Specimens

เฉลิมพงษ์ โพธิ์ลี<sup>1\*</sup>, นเรศร์ จันทน์ขาว<sup>1</sup> และ สมยศ ศรีสถิตย์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

\*Email: chalermpong.p@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การถ่ายภาพด้วยรังสีโดยใช้ฟิล์มบันทึกภาพยังคงถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรม ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการบันทึกภาพของฟิล์มน้อยกว่า 1% และค่าประสิทธิภาพจะต่ำลงเมื่อพลังงานสูงขึ้น แผ่นบันทึกภาพมีความเร็วสูงกว่าฟิล์มมากกว่า 10 เท่า แต่เครื่องอ่านข้อมูลภาพและแผ่นบันทึกภาพนั้นมีราคาสูง รวมทั้งยังมีปัญหาเกี่ยวกับการเลือนหายของข้อมูลภาพในแผ่นบันทึกภาพด้วย งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเทคนิคการปรับปรุงความเร็วในการถ่ายภาพโดยการใช้ฉากเพิ่มความเข้มของภาพชนิด PI-200 ซึ่งเป็นชนิดแกโดลิเนียมออกไซด์ไฟด์ จากการใช้ฉากชนิด PI-200 พบว่าค่าอินเทนซิฟายอิงแฟกเตอร์มีค่าประมาณ 33.6, 39.0 และ 61.3 สำหรับรังสีเอกซ์ที่ 100, 130 และ 160 kVp ตามลำดับ ในขณะที่วิธีปัจจุบันที่ใช้ฉากตะกั่วมีค่าอินเทนซิฟายอิงแฟกเตอร์ประมาณ 2.8, 3.4 และ 4.0 ตามลำดับ สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 และโคบอลต์-60 พบว่าฉาก PI-200 ให้ค่าอินเทนซิฟายอิงแฟกเตอร์ประมาณ 13.7 และ 7.3 ตามลำดับ ในขณะที่วิธีปัจจุบันที่ใช้ฉากตะกั่วมีค่าอินเทนซิฟายอิงแฟกเตอร์ประมาณ 5.8 และ 1.4 ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่าฉาก PI-200 สามารถเพิ่มความเร็วในการถ่ายภาพได้อย่างน้อย 2 เท่า โดยขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีที่ใช้ และมีค่าความไวเทียบเคียงกับการใช้ฉากตะกั่วแบบเดิม นอกจากนี้การใช้แผ่นกรองรังสีชนิดโลหะตะกั่ว ช่วยปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายให้ดีขึ้นเนื่องจากแผ่นกรองรังสีช่วยลดรังสีกระเจิงบางส่วนออกไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อถ่ายภาพชิ้นงานมีราคาเป็นองค์ประกอบ เช่น คอนกรีต

Received: Dec 09, 2015

Revised: Dec 21, 2015

Accepted: Dec 22, 2015

**คำสำคัญ:** การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย, การถ่ายภาพด้วยรังสีโดยใช้ฟิล์ม, ฉากเพิ่มความเข้มของภาพ, อินเทนซิฟายอิงแฟกเตอร์, แผ่นตะกั่วกรองรังสี

### Abstract

Film radiography is still used extensively in industry even the image recording efficiency of film is as low as <1% and is much lower at high energy range. The imaging plate (IP) is >10 times more sensitive than the conventional screen-film technique but its image reader and the imaging plate are relatively high costly. Fading of the image data on the IP is also a problem. This research emphasizes on improvement of the screen-film speed to reduce the exposure time by using the new PI-200 gadolinium oxysulfide (GOS) fluorescent screen. By using the PI-200 screens, the intensifying factors (IF) were found to be approximately 33.6, 39.0 and 61.3 for 100, 130 and 160 kVp x-rays while the IF's of the conventional lead screens were approximately 2.8, 3.4 and 4.0, respectively. The IF's for  $^{192}\text{Ir}$  and  $^{60}\text{Co}$  gamma rays were found to be approximately 13.7 and 7.3 while the IF's of the conventional lead screens were approximately 5.8 and 1.4, respectively. The PI-200 screen thus could increase the speed of the conventional lead screen-film by at least 2 times depending on photon energy. Moreover, the sensitivity of the radiograph obtained from the PI-200 was comparable to those obtained from the conventional lead screen film technique. It was also found that the image quality could significantly improve by using lead filter to absorb the scattered gamma rays at low energy range particularly when the specimens contained light elements such as concrete.

**Keywords:** Non-destructive testing, Film radiography, Intensifying screen, Intensifying factor, Lead filter

### 1. บทนำ

การตรวจสอบด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมานั้นเป็นวิธีหนึ่งของการตรวจสอบโดยไม่ทำลายที่นิยมใช้อย่างมากสำหรับการตรวจสอบชิ้นงานทางอุตสาหกรรมที่อยู่ในรูปของวัตถุดิบสินค้าสำเร็จรูป หรือการตรวจสอบชิ้นงานในกระบวนการตามปกติ ซึ่งข้อดีของการถ่ายภาพด้วยรังสีนั้นคือสามารถตรวจสอบชิ้นงานได้อย่างรวดเร็ว ตรวจสอบวัสดุได้หลากหลายชนิด รวมถึงการตรวจสอบโครงสร้างส่วนประกอบต่างๆ หรือตรวจหารอยบกพร่อง การสึกกร่อนของชิ้นงานในแนวเชื่อมหรือส่วนประกอบของเครื่องยนต์ต่างๆ

ได้ โดยผลการตรวจสอบหรือข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของรูปภาพซึ่งทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และเข้าใจได้เป็นอย่างดีสำหรับบุคคลทั่วไป

ระบบการบันทึกภาพด้วยฟิล์มสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีนั้น ปัจจุบันอาจถูกแทนที่ด้วยระบบการบันทึกภาพที่เป็นแบบดิจิทัลหรือแผ่นบันทึกภาพ (IP) [1] แต่ระบบการบันทึกภาพโดยใช้ฟิล์มนั้นยังคงจำเป็นและใช้งานกันอยู่ทั่วไปสำหรับการตรวจสอบชิ้นงานโดยไม่ทำลายโดยการถ่ายภาพด้วยรังสีในงานทางอุตสาหกรรม เนื่องจากระบบการบันทึกภาพด้วยฟิล์มมีจุดเด่นที่อุปกรณ์มีราคาถูกสามารถบันทึกภาพเป็นแบบถาวร (Permanent

record) ซึ่งยากต่อการแก้ไขรูปภาพ ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการตรวจสอบสูง และสามารถตรวจสอบรอยบกพร่องได้ด้วยตาทันทีหลังจากผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม แต่สำหรับระบบการบันทึกภาพที่เป็นแบบดิจิทัลนั้น มีราคาค่อนข้างสูงมาก และต้องใช้อุปกรณ์ประกอบสำหรับการอ่านผลภาพถ่ายทางรังสี อย่างไรก็ตามการบันทึกภาพด้วยฟิล์มนั้นมีข้อดีคือประสิทธิภาพของฟิล์มในการทำอันตรายกับรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์นั้นมีค่าไม่ถึง 1% ยิ่งไปกว่านั้นประสิทธิภาพของการทำอันตรายกับรังสีจะลดลงเมื่อพลังงานของรังสีนั้นสูงขึ้น ซึ่งอาจทำให้ต้องใช้เวลารับภาพด้วยรังสีนานขึ้น แต่ในงานทางอุตสาหกรรมหากต้องการลดเวลาการถ่ายภาพด้วยรังสีลง จะใช้ฉากเพิ่มความเข้มของภาพประกบกับฟิล์มเพื่อเปลี่ยนรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์ให้เปลี่ยนเป็นอิเล็กตรอนหรือแสง [2-4] โดยฉากเพิ่มความเข้มของภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ฉากตะกั่ว ซึ่งใช้สำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไปในปัจจุบัน ฉากเรืองแสงจะเปลี่ยนจากรังสีเอกซ์หรือแกมมาเป็นแสง และฉากผสมระหว่างฉากตะกั่วกับฉากเรืองแสง ในปัจจุบันฉากเพิ่มความเข้มภาพชนิดเรืองแสงนั้น ได้ถูกผลิตขึ้นเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการตอบสนองกับรังสีที่มีพลังงานสูงได้ดี ทำให้สามารถตรวจสอบชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่และค่าความหนาแน่นน้อยได้ เช่น ชิ้นงานคอนกรีต โดยชิ้นงานประเภทดังกล่าวมีโอกาสเกิดการกระเจิงของรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์สูง ซึ่งจะส่งผลทำให้คุณภาพที่ได้ลดลง แต่ทั้งนี้การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายจากรังสีนั้นสามารถทำได้โดยการลดการกระเจิงของรังสีที่ผ่านชิ้นงาน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพสำหรับการเพิ่มความเร็ว

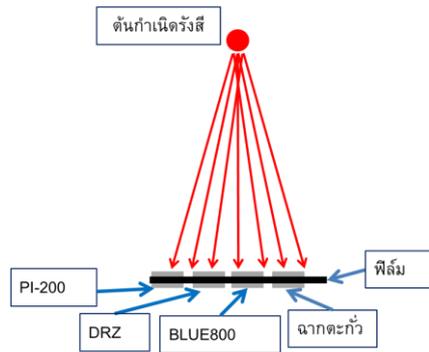
ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาโดยใช้ฟิล์มในการบันทึกภาพในทางอุตสาหกรรม รวมไปถึงการหาคุณสมบัติต่างๆ ของฉากเพิ่มความเข้มของภาพ เช่น ค่าอินเทนซิฟายอิงแฟกเตอร์ (intensifying factor, IF) และวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพ เมื่อถ่ายภาพตัวอย่างที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุเบา ซึ่งทำให้มีการกระเจิงรังสีสูง

## 2. วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 การหาค่า IF ของฉากเพิ่มความเข้มของภาพ (Intensifying screen)

IF หรือ แฟกเตอร์เพิ่มความเข้มของภาพคืออัตราส่วนระหว่างค่าเอกซ์โพซเจอร์ (Exposure) ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเมื่อไม่ใช้ฉากเทียบกับการถ่ายภาพร่วมกับฉากเพิ่มความเข้มของภาพ

การดำเนินการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนที่ 1 เป็นการหาค่า IF สำหรับรังสีแกมมา จากต้นกำเนิดรังสีแกมมาชนิดไอโซโทป ส่วนที่ 2 จะเป็นการหาค่า IF สำหรับรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมานั้น ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 (Ir-192) ซึ่งให้พลังงานรังสีแกมมาเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 380 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 (Co-60) ที่มีพลังงานเฉลี่ยประมาณ 1,250 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งการจัดองค์ประกอบสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีนั้นแสดงดังรูปที่ 1

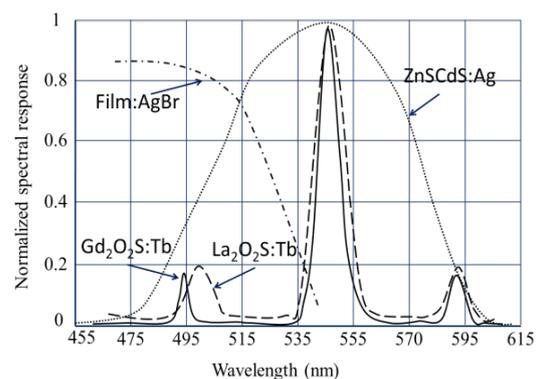


รูปที่ 1 การจัดองค์ประกอบการถ่ายภาพด้วยรังสี

สำหรับต้นกำเนิดรังสีชนิดไอโซโทป จะใช้ฉากเพิ่มความเข้มของภาพ 4 ชนิดได้แก่ ฉาก PI-200, DRZ ซึ่งทั้งสองเป็นฉากชนิดแกดอลิเมียมออกไซด์ไฟด์ (เทอร์เบียม) ที่มีสูตรเคมีเป็น  $Gd_2O_3:Tb$  [5] โดยจะให้แสงออกมาในช่วงความยาวคลื่นแสงสีเขียว ฉาก Blue800 [6] ซึ่งเป็นชนิดที่ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน และฉากตะกั่วซึ่งใช้สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีที่ใช้กันอยู่ทั่วไป โดยจะนำฉากชนิดต่างๆ ประกอบกับฟิล์มทั้งสองด้าน และฟิล์มที่ใช้เป็นชนิดฟิล์มรังสีเอกซ์ทางอุตสาหกรรม (Industrial x-ray film) ชนิด Kodak Industrex AA400 ซึ่งให้ตอบสนองได้ดีกับแสงย่านความยาวคลื่นสีน้ำเงินดังรูปที่ 2 ในการทดลองสำหรับการถ่ายภาพด้วยต้นกำเนิดรังสีชนิด Co-60 ใช้ฉากเพิ่มความเข้มของภาพชนิด PI-200, DRZ และ ฉากตะกั่วประกบทั้งสองด้านของฟิล์ม และค่าเอกโพเซออร์อยู่ในช่วง 2-100 คูรี-นาทีก สำหรับถ่ายภาพด้วยต้นกำเนิดรังสีชนิด Ir-192 ใช้ฉากเพิ่มความเข้มของภาพชนิด PI-200, Blue800 และฉากตะกั่ว และค่าเอกโพเซออร์อยู่ในช่วง 2-200 คูรี-นาทีก นอกจากนี้ในส่วนของต้นกำเนิดรังสีชนิด Ir-192 นั้นได้ทดลองประกบฉากเพิ่มความเข้มของภาพทั้งแบบประกบหนึ่งด้านและแบบประกบทั้งสองด้านของฟิล์มด้วย

สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์นั้น จะทำการถ่ายภาพโดยใช้ฉากเพิ่มความเข้มของภาพ ชนิด PI-200, DRZ, Blue800 และฉากตะกั่วที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ประกอบกับฟิล์มทางอุตสาหกรรมชนิด Kodak AA400 โดยใช้ค่าความต่างศักย์ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ 100, 130 และ 160 kVp ตามลำดับโดยแต่ละค่าความต่างศักย์นั้นได้ใช้ค่าเอกโพเซออร์ระหว่าง 5-4000 มิลลิแอมป์-วินาที

จากนั้นนำฟิล์มที่ได้ถ่ายแต่ละค่าเอกโพเซออร์มาผ่านกระบวนการล้างฟิล์มที่เงื่อนไขมาตรฐานเดียวกัน แล้วนำฟิล์มที่ได้มาอ่านค่าความดำจากเครื่องอ่านค่าความดำฟิล์ม (Densitometer) เพื่อนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำของฟิล์ม (Optical Density : OD) [7] กับค่าล็อกรีเลทีฟเอกโพเซออร์ (Log relative exposure) ของฉากเพิ่มความเข้มของภาพแต่ละชนิด



รูปที่ 2 สเปกตรัมของแสงที่ปลดปล่อยออกมาจากฉากเพิ่มความเข้มของภาพโดยเปรียบเทียบกับการตอบสนองของฟิล์ม [4]

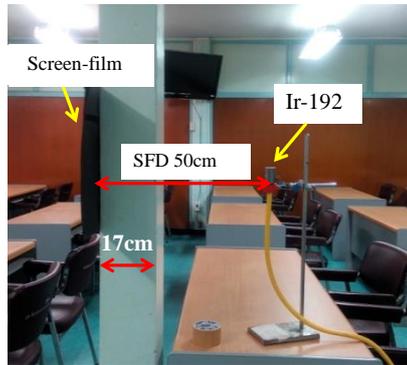
## 2.2 การศึกษาการกระเจิงของรังสีจากชิ้นงาน และการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยใช้แผ่นกรองรังสีชนิดโลหะตะกั่ว

การกระเจิงของรังสีจากชิ้นงานมีผลทำให้คุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสีนั้นลดลงทั้งความคมชัด (Sharpness) และความเปรียบต่าง (Contrast) ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายโดยการกรองรังสีพลังงานต่ำที่เกิดจากการกระเจิงจากชิ้นงานออกไป ในส่วนของการทดลองหาการกระเจิงของรังสีนั้นได้ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาชนิด โคบอลต์-60 และใช้หัววัดรังสีชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทาลเลียม) หรือ NaI(Tl) เพื่อวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านชิ้นงาน ซึ่งในที่นี้ใช้แผ่นคอนกรีตที่มีความหนา 2 เซนติเมตร ในการทดสอบ และเพิ่มความหนาจนถึง 20 เซนติเมตร ในขั้นตอนแรกเริ่มจากการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 โดยตรงก่อนเพื่อหาค่าสัดส่วนระหว่างช่วงความเข้มรังสีกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton scattering) จากสเปกตรัมกับความเข้มรังสีแกมมาของพีคพลังงาน 1173 กับ 1332 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ ของโคบอลต์-60 สัดส่วนนี้เรียกว่า ค่าพิคทูกอมตันเรโซ (Peak-to-Compton ratio) จากนั้นจึงวางแผ่นคอนกรีตระหว่างต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี โดยเพิ่มครั้งละ 1 แผ่น และวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่ทะลุผ่านชิ้นงาน และพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak-to-Compton ratio กับค่าความหนาของคอนกรีต จากนั้นทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสีโดยใช้แผ่นกรองรังสีชนิดโลหะตะกั่วที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร วางที่ด้านหลังของชิ้นงานเพื่อตัดรังสีกระเจิงบางส่วนก่อนทะลุไปยังฟิล์มและฉากเพิ่มความเข้ม ทั้งนี้ได้เลือกทดลองที่ความหนารวมของแผ่นคอนกรีต 8 เซนติเมตร

เนื่องจากเกิดสัดส่วนรังสีกระเจิงมากที่สุด จากนั้นจึงทดลองเพิ่มความหนาของแผ่นตะกั่วกรองรังสีแล้วนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak-to-Compton ratio กับค่าความหนาของแผ่นตะกั่วกรองรังสี

## 2.3 การทดสอบการถ่ายภาพด้วยรังสีกับชิ้นงานจริงด้วยเทคนิคการใช้ฉากเพิ่มความเข้มของภาพ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองถ่ายภาพด้วยรังสีกับชิ้นงานที่เป็นเสาคอนกรีตและชิ้นงานวัตถุโบราณรูปปั้นพระนารายณ์ โดยภาพชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ตามลำดับ สำหรับชิ้นงานเสาคอนกรีตมีความหนาประมาณ 17 เซนติเมตร เป็นเสาของอาคารเรียนที่มีอายุกว่า 50 ปี ในการถ่ายภาพนี้เพื่อตรวจสอบโครงสร้างภายในของเสาคอนกรีต โดยทำการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยใช้ฉาก PI-200 ประกอบกับฟิล์ม ทั้งแบบใช้และไม่ใช้แผ่นตะกั่วสำหรับกรองรังสีกระเจิง จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับภาพถ่ายด้วยรังสีกับฉากตะกั่วที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีในทางอุตสาหกรรมทั่วไป โดยใช้เวลาในการถ่ายภาพสำหรับฟิล์มกับฉากตะกั่ว ฟิล์มกับฉาก PI-200 และฟิล์มกับฉาก PI-200 ร่วมกับแผ่นตะกั่วกรองรังสีที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ด้วยเวลา 70, 30 และ 55 นาที ตามลำดับ เพื่อให้ได้ค่าความดำของฟิล์มที่ 2.0



รูปที่ 3 การจัดระบบสำหรับการถ่ายภาพเสาคอนกรีตด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192



รูปที่ 4 รูปปั้นพระนารายณ์ที่วัดคงศักดิ์ ประเทศไทย (ก) และรูปปั้นพระนารายณ์ศิลปะทวารวดีจากประเทศกัมพูชา (ข)

สำหรับชิ้นงานรูปปั้นพระนารายณ์แสดงในรูปที่ 4 (ก) ตั้งอยู่ภายในวัดคงศักดิ์ อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโบราณสถานพงตึก รูปปั้นพระนารายณ์นี้ได้ถูกขุดค้นพบเมื่อราว 100 ปีที่ผ่านมาและได้มีการบูรณะรูปปั้นขึ้นมาใหม่โดยการใช้ปูนซิเมนต์หล่อทับโครงสร้างเดิมเอาไว้ ซึ่งจากการสันนิษฐานของนักโบราณคดี พบว่ารูปปั้นที่พบนั้นมีลักษณะทางศิลปะคล้ายกับศิลปะในสมัยทวารวดีจากทางประเทศกัมพูชาซึ่งแสดงในรูปที่ 4 (ข) ซึ่งเป็นรูปปั้นแกะสลักจากหินโดยจะมีลักษณะที่เป็นส่วนของ

โครงสร้างที่ค้ำยันในตำแหน่งกรังสี่ข้างซึ่งเชื่อมติดกับฐานที่ตั้ง เพื่อเป็นการศึกษาคุณสมบัติที่มาของพระนารายณ์องค์นี้ จึงได้ทำการตรวจสอบโครงสร้างภายในรูปปั้น โดยทำการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยใช้ฉาก PI-200 ประคบกับฟิล์ม แล้วนำไปเปรียบเทียบกับ การถ่ายภาพด้วยรังสีกับฉากตะกั่วที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีในทางอุตสาหกรรมทั่วไป การถ่ายภาพได้ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาอิริเดียม-192 โดยมีระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับฟิล์มที่ 50 เซนติเมตร และใช้เวลาในการถ่ายสำหรับฟิล์มกับฉากตะกั่ว และฟิล์มกับฉาก PI-200 ที่ 30 และ 12 นาที ตามลำดับ เพื่อให้ได้ค่าความดำของฟิล์มที่ 2.0

### 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

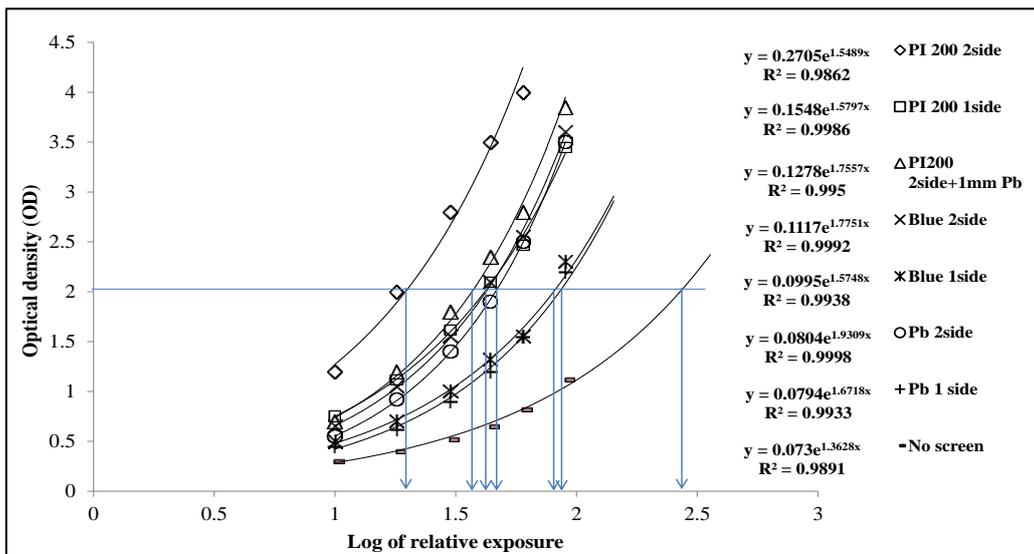
#### 3.1 ค่า IF ของฉากเพิ่มความเข้มของภาพ

IF หรือแฟกเตอร์ความเข้มของฉากเพิ่มความเข้ม สามารถหาได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำของฟิล์มหรือ Optical Density และค่าลอการิทึมเชิงโพไซเซอร์ (Log relative Exposure) ในรูปแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential) ดังแสดงในรูปที่ 5 จากนั้นหาค่า IF จากผลต่างของค่า Log relative exposure เมื่อมีฉากและไม่มีฉากเพิ่มความเข้มของภาพ แล้วทำการหาค่าแอนติลอการิทึม (Anti-logarithm) ของผลต่างดังกล่าวที่ค่าความดำของฟิล์มเท่ากับ 2.0 ซึ่งเป็นช่วงที่กราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มเป็นเส้นตรง ซึ่งจากผลการทดลองโดยใช้ต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 แสดงให้เห็นว่าค่า IF ของฉาก PI-200 เมื่อประคบฟิล์มทั้งสองด้าน มีค่ามากที่สุดประมาณ 13 เท่า เมื่อเทียบกับการถ่ายภาพด้วยฟิล์มที่ไม่ใช้ฉากเพิ่มความเข้ม และค่า IF ของฉาก Blue800, และฉากตะกั่วอยู่ที่ประมาณ 6.3 และ 5.8 เท่าตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าค่า IF เมื่อใช้ฉากเพิ่มความเข้มประคบเพียงด้านเดียว จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อใช้ฉากเพิ่มความเข้ม

ประกอบทั้ง 2 ด้าน ประมาณครึ่งหนึ่งในแต่ละชนิดของฉากเพิ่มความเข้มของภาพดังแสดงในตารางที่ 1 ในส่วนของการถ่ายภาพด้วยต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 นั้น ค่า IF ของฉากเพิ่มความเข้มเมื่อเทียบกับแบบไม่มีฉากนั้นปรากฏว่า ฉากชนิด PI-200 นั้นยังคงให้ค่า IF มากที่สุดที่ประมาณ 2.3 เท่า และฉากตะกั่วอยู่ที่ประมาณ 1.4 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 2

สำหรับการถ่ายภาพด้วยเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 7-9 และตารางที่ 3-5 นั้น ผลปรากฏว่า ค่า IF ของฉาก PI-200 นั้นยังคงมีค่ามากที่สุด โดยเมื่อถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่าง

ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 100, 130 และ 160 kVp ฉาก PI-200 จะได้ค่า IF ที่ 33.6, 39.0 และ 61.3 ตามลำดับ ฉาก Blue800 จะได้ค่า IF เท่ากับ 14.5, 18.5 และ 23.9 ตามลำดับ และสำหรับฉากตะกั่วซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ทั่วไปสำหรับการถ่ายภาพทางรังสีในปัจจุบัน จะได้ค่า IF เท่ากับ 2.8, 3.4 และ 4.0 ตามลำดับ ซึ่งจากการเปรียบเทียบค่า IF ที่ได้พบว่า ฉากเพิ่มความเข้มภาพชนิด PI-200 จะมีค่ามากกว่าฉากตะกั่วอยู่ถึง 15 เท่า ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 kVp ซึ่งจะเห็นว่าหากใช้ฉาก PI-200 จะช่วยลดเวลาในการถ่ายภาพทางรังสีได้อย่างมากเมื่อเทียบกับวิธีการในปัจจุบัน

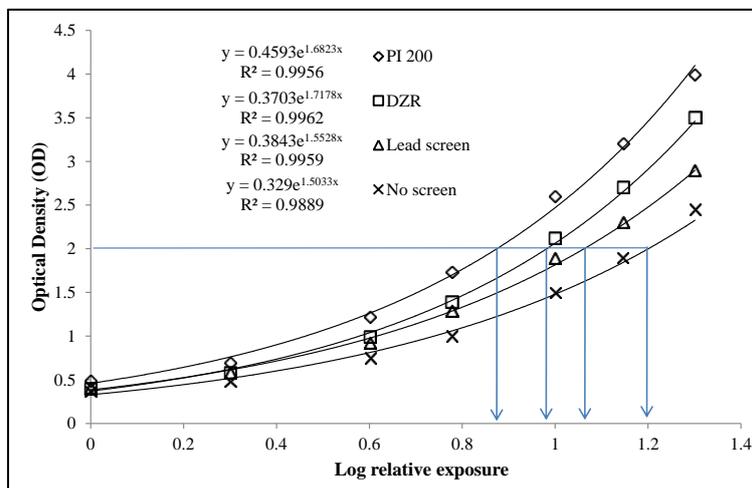


รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำฟิล์ม(OD) และค่า Log relative exposure ของฉากเพิ่มความเข้มภาพแต่ละชนิด จากการถ่ายภาพด้วยต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192

ตารางที่ 1 ค่า IF ของฉากเพิ่มความเข้มภาพแต่ละชนิดจากการถ่ายภาพด้วยต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192

	ฉาก PI-200 2 ค้าน	ฉาก PI-200 1 ค้าน	ฉาก Blue800 2 ค้าน	ฉาก Blue800 1 ค้าน	ฉาก ตะกั่ว 2 ค้าน	ฉาก ตะกั่ว 1 ค้าน	ไม่มี ฉาก
Log relative exposure	1.292	1.620	1.625	1.905	1.664	1.930	2.429
Difference*	1.138	0.809	0.804	0.524	0.765	0.499	0
Intensifying factor	13.725	6.447	6.364	3.339	5.817	3.157	1

\*ค่าความแตกต่างของค่า Log relative exposure

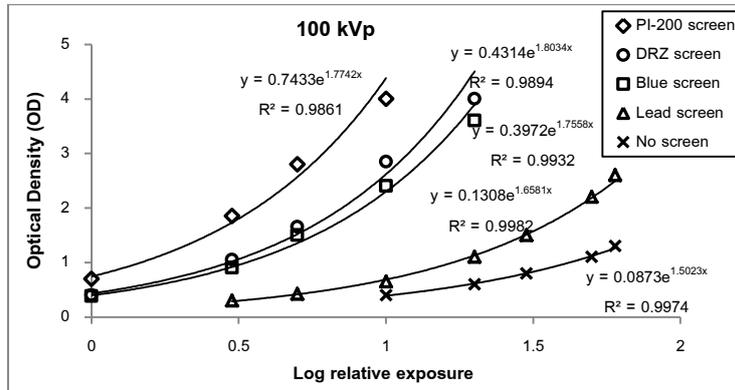


รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำฟิล์ม(OD) และค่า Log relative exposure ของฉากเพิ่มความเข้มภาพแต่ละชนิดจากการถ่ายภาพด้วยต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60

ตารางที่ 2 ค่า IF ของฉากเพิ่มความเข้มภาพแต่ละชนิดจากการถ่ายภาพด้วยต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60

	ฉาก PI-200	ฉากDRZ	ฉากตะกั่ว	ไม่มีฉาก
Log relative exposure	0.830	0.982	1.064	1.201
Difference*	0.371	0.219	0.137	0
Intensifying factor	2.349	1.655	1.370	1

\*คือ ผลต่างของค่า Log relative exposure

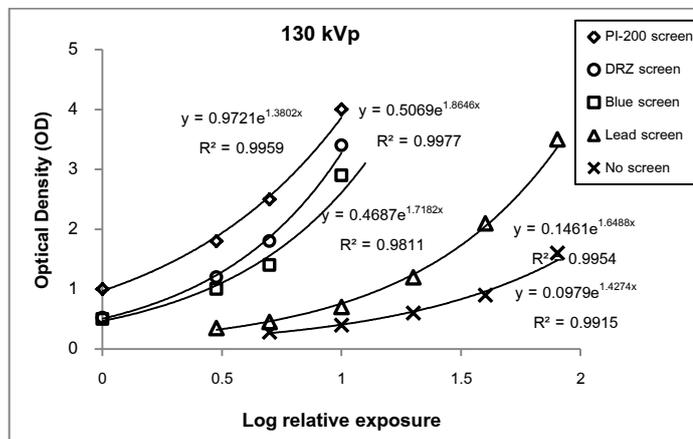


รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำฟิล์ม (OD) และค่า Log relative exposure ของฉากเพิ่มความเข้มภาพแต่ละชนิดจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 100 kVp

ตารางที่ 3 ค่า IF ของฉากเพิ่มความเข้มภาพแต่ละชนิดจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 100 kVp

	ฉาก PI-200	ฉาก DRZ	ฉาก Blue800	ฉากตะกั่ว	ไม่มีฉาก
Log relative exposure	0.557	0.850	0.920	1.644	2.084
Difference*	1.526	1.234	1.163	0.439	0
Intensifying factor	33.621	17.13	14.583	2.752	1

\*คือ ผลต่างของค่า Log relative exposure

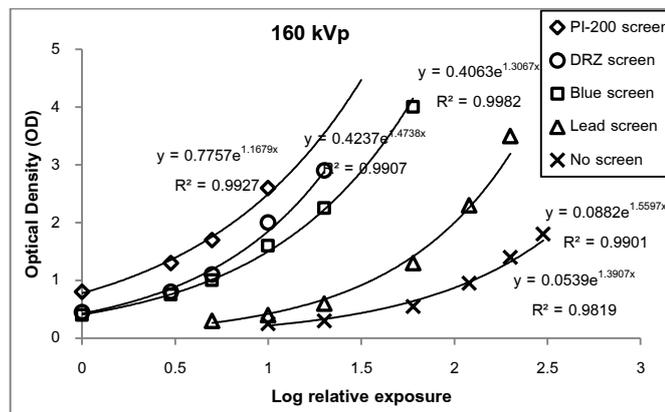


รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำฟิล์ม(OD) และค่า Log relative exposure ของฉากเพิ่มความเข้มภาพแต่ละชนิดจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 130 kVp

ตารางที่ 4 ค่า IF ของฉากเพิ่มความเข้มภาพแต่ละชนิดจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 130 kVp

	ฉาก PI-200	ฉาก DRZ	ฉาก Blue800	ฉากตะกั่ว	ไม่มีฉาก
Log relative exposure	0.523	0.736	0.844	1.587	2.114
Difference*	1.591	1.377	1.269	0.527	0
Intensifying factor	38.985	23.849	18.584	3.362	1

\*คือ ผลต่างของค่า Log relative exposure



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำฟิล์ม(OD) และค่า Log relative exposure ของฉากเพิ่มความเข้มภาพแต่ละชนิดจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 160 kVp

ตารางที่ 5 ค่า IF ของฉากเพิ่มความเข้มภาพแต่ละชนิดจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ 160 kVp

	ฉาก PI-200	ฉาก DRZ	ฉาก Blue800	ฉากตะกั่ว	ไม่มีฉาก
Log relative exposure	0.811	1.053	1.220	2.001	2.599
Difference*	1.788	1.546	1.379	0.597	0
Intensifying factor	61.313	35.120	23.922	3.957	1

\*คือ ผลต่างของค่า Log relative exposure

### 3.2 ผลการกระเจิงของรังสีจากชิ้นงานและการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยใช้แผ่นกรองรังสีชนิดโลหะตะกั่ว

เมื่อทำการวัดสเปกตรัมโดยตรงจากต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 นั้นจะได้ค่าสัดส่วนระหว่างช่วงความเข้มรังสีกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton scattering) ในสเปกตรัม กับความเข้มรังสีที่ฟลักพลังงาน 1173 กับ 1332 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ของโคบอลต์-60 หรือ Peak-to-Compton ratio เท่ากับ

0.288 และเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นคอนกรีตเพื่อวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ที่ทะลุผ่านชิ้นงานมา จะเห็นได้ว่า ค่า Peak-to-Compton ratio ลดลงเมื่อความหนาของคอนกรีตเพิ่มขึ้น แสดงว่าความเข้มของรังสีกระเจิงมากกว่าความเข้มของรังสีที่เป็นฟลักของโคบอลต์-60 โดยตรง ซึ่งผลดังกล่าวเกิดจากการกระเจิงของรังสีที่ชิ้นงานคอนกรีตดังแสดงผลในรูปที่ 10 และตารางที่ 6 โดย

ความเข้มของรังสีกระเจิงจากคอนกรีตสามารถหาได้จาก

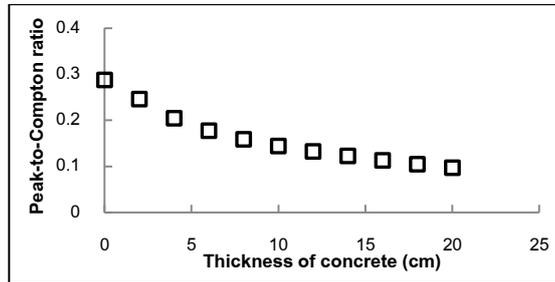
$$\text{ความเข้มรังสีกระเจิงรวมที่วัดได้} - (0.288 \times \text{ความเข้มของฟลักซ์})$$

ซึ่งค่าคงที่ 0.288 คือค่า Peak-to-Compton ratio ที่คำนวณได้จากสเปกตรัมรังสีแกมมาจากการวัดเมื่อไม่มีชิ้นงาน ซึ่งค่าความเข้มรังสีกระเจิงที่เกิดจากชิ้นงานคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นนั้นแสดงดังในรูปที่ 11 โดยจะเห็นได้ว่าสัดส่วนความเข้มของรังสีกระเจิงจากคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของคอนกรีตเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากที่สุดที่ 8 เซนติเมตรและจะลดลงเนื่องจากเกิดการดูดกลืนรังสีกระเจิงภายในคอนกรีตเอง ดังนั้นความหนาของคอนกรีตที่หนา 8 เซนติเมตร จึงเป็นความหนาที่จะนำมาทำการทดลอง

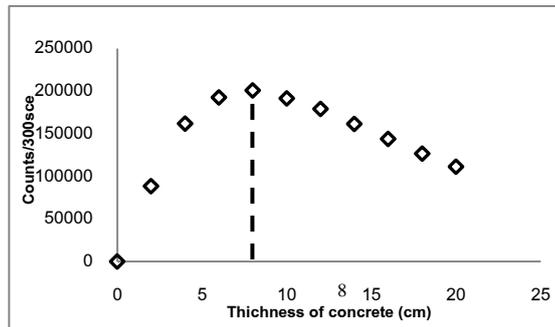
เพื่อลดรังสีที่กระเจิงจากคอนกรีต โดยวิธีการของรังสีพลังงานต่ำจากการกระเจิงออกไปโดยใช้ตัวกรองที่เป็นแผ่นโลหะตะกั่ว วางระหว่างคอนกรีตหนา 8 เซนติเมตร และหัววัดรังสี และจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นตะกั่วค่า Peak-to-Compton ratio จะเพิ่มขึ้น จนความหนาของตะกั่วเท่ากับ 3 มิลลิเมตร หลังจากนั้นเมื่อความหนาของแผ่นตะกั่วมากขึ้น ค่า Peak-to-Compton ratio จะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 12 และนอกจากนี้พบว่า ค่าความหนาของแผ่นตะกั่วกรองรังสีที่มีความหนา 1-3 มิลลิเมตรนั้น สามารถเพิ่มค่า Peak-to-Compton ratio ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นค่าความหนาของตะกั่วที่ 1 มิลลิเมตร จึงเพียงพอสำหรับการกรองรังสีที่มาจากการกระเจิงของชิ้นงานคอนกรีตได้

ตารางที่ 6 ค่า Peak-to-Compton ratio ที่ความหนาของคอนกรีตค่าต่างๆ

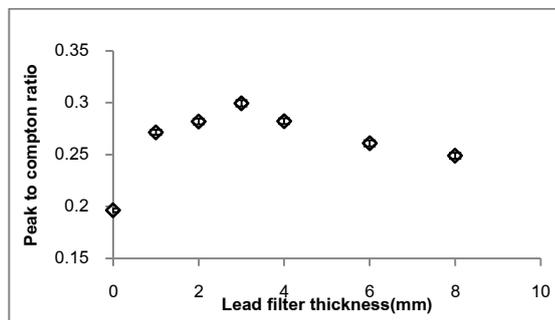
ความหนา คอนกรีต (cm)	รังสีกระเจิงรวมที่วัด ได้ (Counts/300sec)	โฟโต้ฟลักซ์ (Counts/300sec)	Peak-to Compton ratio	รังสีกระเจิงจาก คอนกรีต (Counts/300sec)
0	188097	654078	0.288	0
2	149585	608373	0.246	88215
4	114181	558881	0.204	161834
6	89074	502172	0.177	192431
8	70601	446203	0.158	200699
10	55216	383349	0.144	191344
12	43728	331105	0.132	179048
14	34297	280837	0.122	161575
16	26672	236422	0.113	143674
18	20640	198432	0.104	126660
20	16231	167628	0.097	111187



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Peak-to-Compton ratio และค่าความหนาของคอนกรีต



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีกระเจิงจากชั้นงานคอนกรีตและค่าความหนาของคอนกรีต



รูปที่ 12 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Peak-to-Compton ratio และค่าความหนาของแผ่นตะกั่วกรองรังสีแกมมาจากชั้นงานคอนกรีต

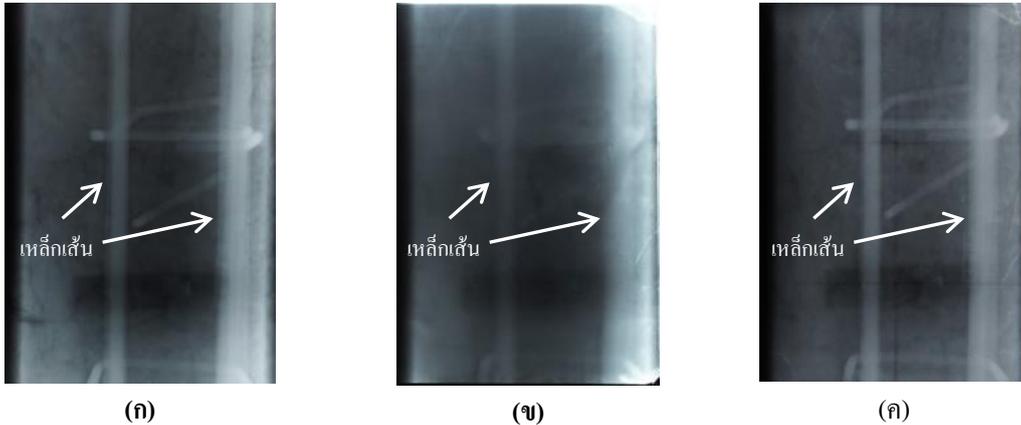
### 3.3 ผลการทดสอบการถ่ายภาพด้วยรังสีกับชั้นงานจริงด้วยเทคนิคการใช้ฉากเพิ่มความเข้มของภาพ

จากการตรวจสอบโครงสร้างของเหล็กเส้นภายในเสาคอนกรีตด้วยต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 โดยใช้ฟิล์มประกบกับฉากตะกั่ว ฟิล์มประกบกับฉาก PI-200 และฟิล์มประกบกับฉาก PI-200 ร่วมกับแผ่นตะกั่วกรองรังสีหนา 1 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการถ่ายภาพ 70, 30 และ 55 นาที ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้

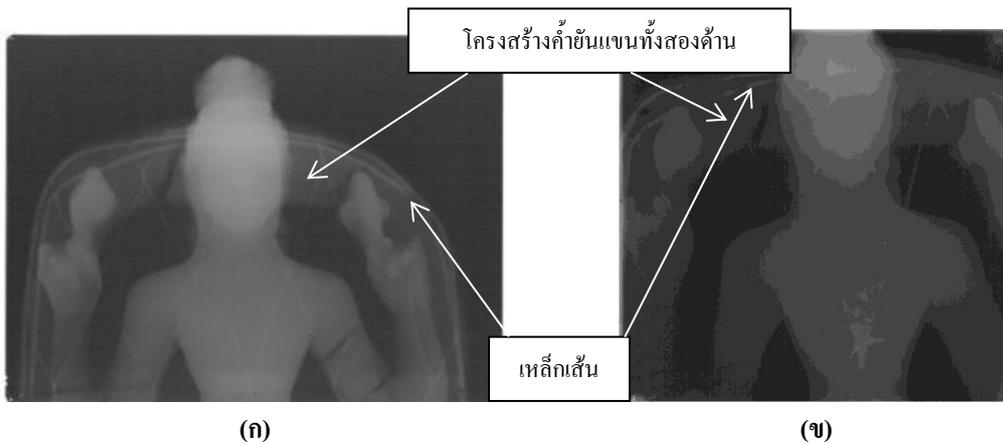
แสดงในรูปที่ 13 จะเห็นว่าเมื่อใช้ฟิล์มประกบกับฉาก PI-200 (ข) จะมีผลทำให้คุณภาพของภาพลดลงไปเล็กน้อยเมื่อเทียบกับฟิล์มประกบกับฉากตะกั่ว (ก) แต่เมื่อใช้ฟิล์มประกบกับฉาก PI-200 ร่วมกับแผ่นตะกั่วกรองรังสีหนา 1 มิลลิเมตร (ค) สามารถทำให้คุณภาพของภาพมีความคมชัดใกล้เคียงกับฟิล์มที่ประกบกับฉากตะกั่วที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป จากผลการทดลองพบว่าสามารถปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสีโดยใช้แผ่นตะกั่วกรอง

รังสีที่กระเจิงจากชิ้นงานที่เป็นธาตุเบา เช่น คอนกรีต ได้เป็นอย่างดี และยังคงใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อยกว่าการใช้ฉากตะกั่วอยู่ประมาณ 1.2 เท่า และใน

ส่วนของฟิล์มประกบกับฉาก PI-200 นั้นจะใช้เวลาน้อยกว่าฟิล์มประกบกับฉากตะกั่วอยู่ประมาณ 2.3 เท่า โดยเทียบคุณภาพที่ค่าความดำฟิล์มเท่ากับ 2.0



รูปที่ 13 ภาพถ่ายรังสีเสาคอนกรีตที่ถ่ายด้วยรังสีแกมมาจากอิริเดียม-192 โดยใช้ฟิล์มประกบกับฉากตะกั่ว (ก) ฟิล์มประกบกับฉาก PI-200 (ข) และฟิล์มประกบกับฉาก PI-200 ร่วมกับแผ่นตะกั่วกรองรังสีหนา 1 มิลลิเมตร (ค)



รูปที่ 14 ภาพถ่ายรังสีรูปปั้นพระนารายณ์ที่ถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจากอิริเดียม-192 โดยใช้ฟิล์มประกบกับฉากตะกั่ว (ก) และฟิล์มประกบกับฉาก PI-200 (ข)

รูปที่ 14 แสดงโครงสร้างภายในของรูปปั้นพระนารายณ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ฟิล์มประกบกับฉากตะกั่ว (ก) และฟิล์มประกบกับฉาก PI-200 (ข) นั้นสามารถแสดงรายละเอียดของโครงสร้างเหล็กเส้นภายในของรูปปั้นซึ่งแสดงถึงการบูรณะได้เป็นอย่างดี และนอกจากนี้ภาพถ่ายรังสียังแสดงโครงสร้างที่ค้ำยันแขนทั้งสองด้าน

เอาไว้ ซึ่งผลจากภาพถ่ายดังกล่าวสามารถสนับสนุนข้อสันนิษฐานที่ว่า รูปปั้นพระนารายณ์ที่พบ ณ วัดคงศักดิ์แห่งนี้ มีลักษณะโครงสร้างคล้ายรูปปั้นพระนารายณ์สมัยทวารวดีจากทางเขมร แต่อย่างไรก็ตาม ในการตรวจสอบช่วงยุคสมัยที่ถูกต้องควรต้องใช้หลักฐานอื่นๆ ประกอบเพิ่มเติมด้วย

ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าเราสามารถลดเวลาในการถ่ายภาพเมื่อใช้ฟิล์มประกบกับฉาก PI-200 ได้ประมาณ 2.5 เท่า เมื่อเทียบกับการใช้ฟิล์มประกบกับฉากตะกั่วที่ใช้กันในปัจจุบัน และยังรักษาระยะเยื้องหลักของรูปถ่ายไว้ได้ใกล้เคียงกัน

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการถ่ายภาพด้วยการใช้ฉากเพิ่มความเข้มของภาพชนิด PI-200 ช่วยลดเวลาในการถ่ายภาพด้วยรังสีได้เป็นอย่างดี โดยมีค่าอินเทนซิฟายอิงแฟกเตอร์ ประมาณ 33.6, 39.0 และ 61.3 สำหรับรังสีเอกซ์ที่ 100, 130 และ 160 kVp ในขณะที่วิธีปัจจุบันที่ใช้ฉากตะกั่วมีค่าอินเทนซิฟายอิงแฟกเตอร์ประมาณ 2.8, 3.4 และ 4.0 ตามลำดับ สำหรับการถ่ายภาพรังสีแกมมาด้วยอิริเดียม-192 และ โคบอลต์-60 พบว่าฉาก PI-200 ให้ค่าอินเทนซิฟายอิงแฟกเตอร์ประมาณ 13.7 และ 7.3 ตามลำดับ ในขณะที่วิธีปัจจุบันที่ใช้ฉากตะกั่วมีค่าอินเทนซิฟายอิงแฟกเตอร์ประมาณ 5.8 และ 1.4 ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่าฉาก PI-200 สามารถเพิ่มความเร็วในการถ่ายภาพได้น้อย 2 เท่า โดยขึ้นกับค่าพลังงานของรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพ

เมื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการถ่ายภาพรังสีร่วมกับฉากเพิ่มความเข้มของภาพกับตัวอย่างจริงพบว่าฉากเพิ่มความเข้มของภาพชนิด PI-200 สามารถลดเวลาในการถ่ายภาพลงได้ เมื่อเทียบกับการใช้ฉากตะกั่วในปัจจุบัน และยังให้รายละเอียดของภาพโครงสร้างภายในที่ต้องการตรวจสอบได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสีได้ด้วยการใช้แผ่นตะกั่วกรองรังสีที่กระเจิงจากชิ้นงาน ซึ่งจะเกิดขึ้นได้กับชิ้นงานที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุเบา เช่น คอนกรีต และถึงแม้ว่าจะใช้แผ่นกรองรังสีในการถ่ายภาพก็

ตาม แต่เวลาในการถ่ายภาพยังคงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการถ่ายภาพร่วมกับฉากตะกั่วในรูปแบบปัจจุบัน

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Staff of IAEA, Lecture Script for The IAEA/RCA Regional Training Course on Digital Industrial Radiology and Computed Tomography Applications in Industry, Kajang, Malaysia, 2009, 2-6.
- [2] U. Bulubay and. A. Beril Tugrul, Quantitative Evaluation of Intensifying Screen Materials in Co-60 Radiography for Steel Parts, NDT&E International, 1998, 31, 193-199.
- [3] R.C. Barrosoa, O.D. Gongalvesb; J. Eichler; R.T. Lopesds; S.C. Cardoso, Study of Secondary X-rays from Radiographic Intensifying Screens, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 1998, 404, 407-412.
- [4] I. Kandarakis, D. Cavourasa; G.S. Panayiotakisb; D. Triantisc; C.D. Nomicos, An Experimental Method for The Determination of Spatial-Frequency-Dependent Detective Quantum Efficiency (DQE) of Scintillators Used in X-Ray Imaging Detectors, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 1997, 399, 335-342,

- 
- [5] Mitsubishi Chemical Coporation, 2009.  
[http://www.mcc-phosphor.com/english/products/x-ray/fluorescent/drz\\_pi.html](http://www.mcc-phosphor.com/english/products/x-ray/fluorescent/drz_pi.html). Jan 2013.
- [6] MCI Optonix, LLC, AZ, USA 2015  
<http://www.mcio.com/Products/intensifying-screen-rare-earth-blue.aspx>. Jan 2015.
- [7] Staff of IAEA. Industrial radiography: Training Course Series No.3, Manual of The Syllabi Contained in IAEA-TECDOC-628. Austria: National Atomic Energy Agency, Vienna, 1992.