TH0200025

การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน

นารายณ์ รัตนไพโรจน์ชจี สมยศ ศรีสถิตย์ และ อรรถพร ภัทรสุมันต์

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 218-6782 โทรสาร 218-6770

บทคัดย่อ

ได้พัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายด้วยนิวตรอนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเพื่อใช้ประโยชน์ในการทดสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ กล้องมองภาพนิวตรอนและระบบหมุนชิ้นงานควบคุมจากระยะไกล โดยกล้องมองภาพนิวตรอนประกอบด้วย ฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) และลิเทียม-6 ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์ทวีความเข้มแสงและกล้องโทรทัศน์ความไวสูง สามารถเก็บข้อมูลโปรไฟล์ได้จากภาพถ่ายนิวตรอนที่แสดงบนจอมอนิเตอร์ ซึ่งอาจเป็นสัญญาณภาพโดยตรงจากกล้องโทรทัศน์หรือจากเครื่องวีดิทัศน์ที่บันทึกข้อมูลภาพไว้ด้วยระบบเก็บข้อมูลภาพ สำหรับระบบหมุนชิ้นงานนี้ออกแบบให้สามารถรองรับชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 3 เซนติเมตร กำหนดให้หมุนด้วยมุมทีละ 1.8 หรือ 3.6 องศา

จากการทดสอบระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยการถ่ายภาพด้วยเทอร์มัลนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ที่เดินเครื่องด้วยกำลัง 700 และ1000 กิโลวัตต์ กับชิ้นงานทดสอบเมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลโปรไฟล์ พบว่าได้ภาพโทโมกราฟีที่มีรายละเอียดอยู่ในระดับเป็นที่น่าพอใจทั้งที่ความเข้มของภาพถ่ายด้วยนิวตรอนมีค่าต่ำ

Development of a Data Acquisition System for Neutron Computed Tomography using The Neutron Imaging Scope

Narai ratanapirojkajee, Somyot Srisatit and Attaporn Pattarasuman

Department of Nuclear Technology, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Phatumwan, Bangkok 10330, Tel. 2186782 Fax 218-6770

ABSTRACT

The projection data acquisition system from neutron radiography was developed for a computed tomography (CT) application in non-destructive testing. The main parts of the system included a neutron imaging scope and a rotational system with a remote control device. The neutron imaging scope, which was made of ZnS (Ag) and Li-6 screen, was directly connected to an image intensifier, a television camera, and a monitor. The projection data could be collected from the directly displayed image or the recorded videotape by using a video capture system. The data acquisition system was designed to operate for any specimen for the maximum of 3-cm diameter with an increment of 1.8 or 3.6 degrees step angle.

The system was tested with different specimen geometry and materials. Each specimen was exposed to thermal neutrons from the research reactor TRR-1/M1, which operated at 700 and 1000 kW. Although the intensity of neutron was very low after the profile data was processed. The CT image was found to be satisfactory in definition.

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการแข่งขันและการขยายตัวทางอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้การตรวจสอบคุณภาพของวัสดุและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้ได้มาตรฐานในการผลิต ทั้งในเรื่องของความปลอดภัย ความประหยัด และเพื่อเป็นการรับรองคุณภาพของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์นั้นๆ จึงได้มีการประยุกต์เทคนิคทางรังสีเพื่อพัฒนางานทางด้านอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการตรวจสอบหาสิ่งบกพร่องหรือสิ่งผิดปกติในชิ้นงาน โดยใช้วิธีการถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiography) โดยวิธีนี้เป็นการอาศัยคุณสมบัติในการทะลุทะลวงของรังสีผ่านวัสดุในการถ่ายภาพซึ่งภาพที่ได้จะเป็นภาพแบบระนาบ 2 มิติ โดยเทคนิคที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุชิ้นงาน หรือเรียกว่า "ภาพโทโมกราฟี (Tomography)" ซึ่งเป็นวิธีตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลาย (Non Destructive Testing ; NDT) อีกวิธีหนึ่ง โดยเทคนิคในการสร้างภาพภาพโทโมกราฟี คือ การถ่ายภาพชิ้นงานทดสอบด้วยรังสีในแต่ละมุมของการหมุนด้วยมุมน้อย ๆ จนได้ภาพของชิ้นงานครบ 180 องศาพร้อมกับอ่านข้อมูลโปรไฟล์ของแต่ละมุม เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

ในที่นี้การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนต่างกับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา และรังสีเอกซ์ เนื่องจากรังสีทั้งสองเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อันตรกริยาของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมากับสสารเกิดขึ้นกับอิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอม สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาของธาตุต่าง ๆ จึงขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุนั้น ส่วนนิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ อันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสารเกิดขึ้นที่นิวเคลียสของอะตอม สัมประสิทธิ์การลดทอนของนิวตรอนจึงขึ้นกับภาคตัดขวางของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนกับนิวไคลด์ของแต่ละธาตุซึ่งไม่ขึ้นกับเลขอะตอม

ดังนั้น การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนจึงให้รายละเอียดของภาพและคุณสมบัติการใช้งานแตกต่างจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และด้วยข้อจำกัดในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาบางประการ เช่น ในกรณีที่มีวัสดุที่มีองค์ประกอบของธาตุเบาอยู่ปะปนหรือถูกห่อหุ้มด้วยธาตุหนัก การถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์จะไม่สามารถแสดงภาพในส่วนของวัสดุที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุเบาได้อย่างเช่นการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ซึ่งจากข้อดีและคุณสมบัติพิเศษบางประการของนิวตรอนรวมทั้งข้อจำกัดบางประการของการใช้รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ในการถ่ายภาพจึงทำให้มีการพัฒนาการใช้นิวตรอนในการถ่ายภาพ สำหรับเทคนิคที่ใช้ในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ในงานวิจัยชิ้นนี้ คือ "เทคนิคโทรทัศน์" โดยเทคนิคนี้เป็นการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่มีข้อดีกว่าวิธีอื่น คือ ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลน้อย ขั้นตอนในการนำข้อมูลภาพถ่ายด้วยนิวตรอนที่ได้ไปสแกนอ่านข้อมูลโปรไฟล์ไม่ยุ่งยาก วีดิโอเทปที่ใช้บันทึกข้อมูลภาพมีราคาถูกและยังสามารถนำ

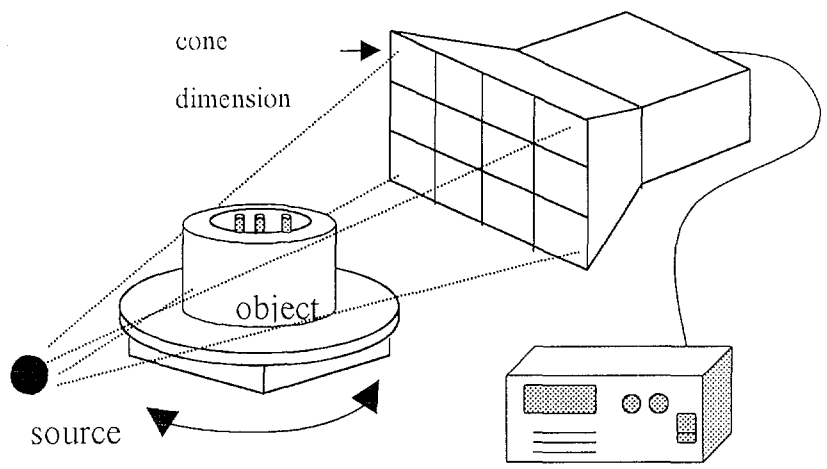
กลับมาใช้ใหม่ได้อีก แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ คุณภาพของภาพที่ได้ยังมีขีดความสามารถในการเห็นรายละเอียดแค่ระดับหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของโปรไฟล์ภาพก่อนที่จะนำไปสร้างภาพโทโมกราฟี เพื่อที่จะให้ได้ภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. ระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีรูปกรวย (cone beam)

การเก็บข้อมูลด้วยวิธีนี้เป็นการถ่ายภาพวัตถุในระนาบสองมิติ ซึ่งได้รายละเอียดทั้งในแนวแกนนอนและแกนตั้ง ลำรังสีมีลักษณะเป็นรูปกรวยแผ่ออกจากต้นกำเนิดรังสี สำหรับส่วนรับข้อมูลหรือหัววัดรังสีนั้นจะมีลักษณะเรียงกันเป็นแถวหลาย ๆ แถว หรืออาจใช้แผ่นเรืองแสงรับภาพโดยมีกล้องโทรทัศน์จับภาพ และแสดงภาพบนจอมอนิเตอร์ ดังรูปที่ 1 การเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยวิธีนี้ใช้เวลาน้อยที่สุดซึ่งอาจเรียกว่า "ระบบโทรทัศน์ (TV system)"

โดยงานวิจัยนี้ได้นำหลักการของระบบโทรทัศน์มาใช้ในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของภาพเพื่อนำไปสร้างภาพโทโมกราฟี และศึกษาเทคนิคการเก็บข้อมูลเพื่อสำหรับพัฒนาระบบเก็บข้อมูลให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

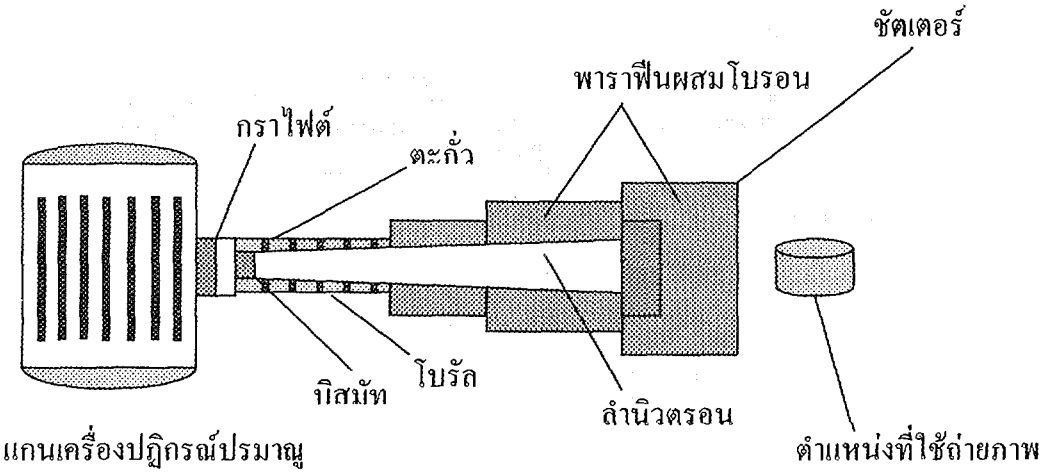


รูปที่ 1 แผนภาพระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีรูปกรวย

2. ต้นกำเนิดนิวตรอน

นิวตรอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้จากปฏิกิริยาแตกตัว (Fission) ของยูเรเนียม–235 ในแท่งเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ซึ่งติดตั้งที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เป็นเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูรุ่น TRIGA MARK III มีกำลังในการเดินเครื่องสูงสุด 2 เมกะวัตต์

นิวตรอนที่ได้จากปฏิกิริยาแตกตัวเป็นนิวตรอนพลังงานสูงแต่จะถูกลดพลังงานโดยอะตอมของไฮโดรเจนที่เป็นองค์ประกอบของน้ำในแกนเครื่องปฏิกรณ์จนกลายเป็นเทอร์มัลนิวตรอนจากนั้นจะถูกส่งมายังท่อนำนิวตรอนดังรูปที่ 2 เพื่อที่เทอร์มัลนิวตรอนนี้จะถูกส่งผ่านไปยังบริเวณที่ใช้ทำการทดลองถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยท่อนำนิวตรอนนี้มีความยาว 265 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ประกอบด้วย กราไฟต์สำหรับลดพลังงานของนิวตรอน บิสมัทสำหรับลดปริมาณของรังสีแกมมา และ โบรัล (Boral) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างอะลูมิเนียมและโบรอน สำหรับบังคับลำนิวตรอน ปลายด้านนอกมีชัตเตอร์ ทำด้วยโพลีเอทธิลีน (Polyethylene) หุ้มด้วยเหล็กสำหรับเปิดปิดท่อนำนิวตรอน อัตราส่วนความยาวของท่อนำนิวตรอนต่อความกว้างของช่องเปิดด้านในของท่อ (L /D Ratio) มีค่าเท่ากับ 50



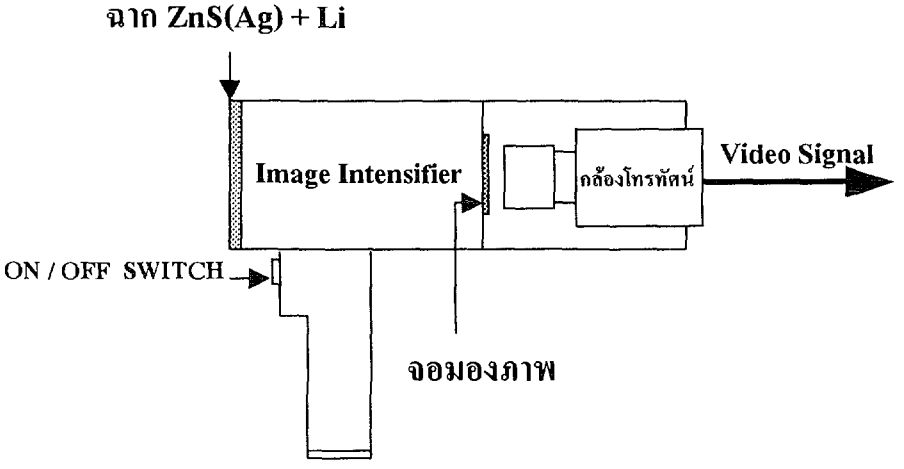
รูปที่ 2 แผนภาพท่อนำนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1

3. กล้องมองภาพนิวตรอน

กล้องมองภาพนิวตรอนถือเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากสำหรับงานวิจัยนี้ โดยพื้นที่ด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนมีลักษณะเป็นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร โดยขนาดของชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบนั้นจะต้องมีทั้งขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงไม่เกิน 3 เซนติเมตรโดยประมาณ ลักษณะเด่นของกล้องชนิดนี้ คือ สามารถมองเห็นภาพในขณะเก็บข้อมูลได้ทันที (Real Time imaging) ตัวกล้องมองภาพนิวตรอนมีลักษณะที่สามารถเคลื่อนย้ายไปได้สะดวกจึงสามารถนำไปใช้ในการถ่ายภาพรังสีในภาคสนามได้ และกล้องชนิดนี้ยังสามารถใช้ถ่ายภาพด้วยรังสีได้ทั้งจากรังสีแกมมาพลังงานต่ำและนิวตรอนอีกด้วย ส่วนประกอบของกล้องมองภาพนิวตรอนแสดงดังรูปที่ 3 โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. ฉากเรืองรังสีชนิด สังกะสีซัลไฟด์ (ZnS(Ag)) ผสม ลิเทียม-6 (Li-6) ที่อยู่บริเวณด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรังสีแกมมาหรือนิวตรอนที่ทะลุผ่านชิ้นงานตัวอย่างออกมาให้เป็นแสง

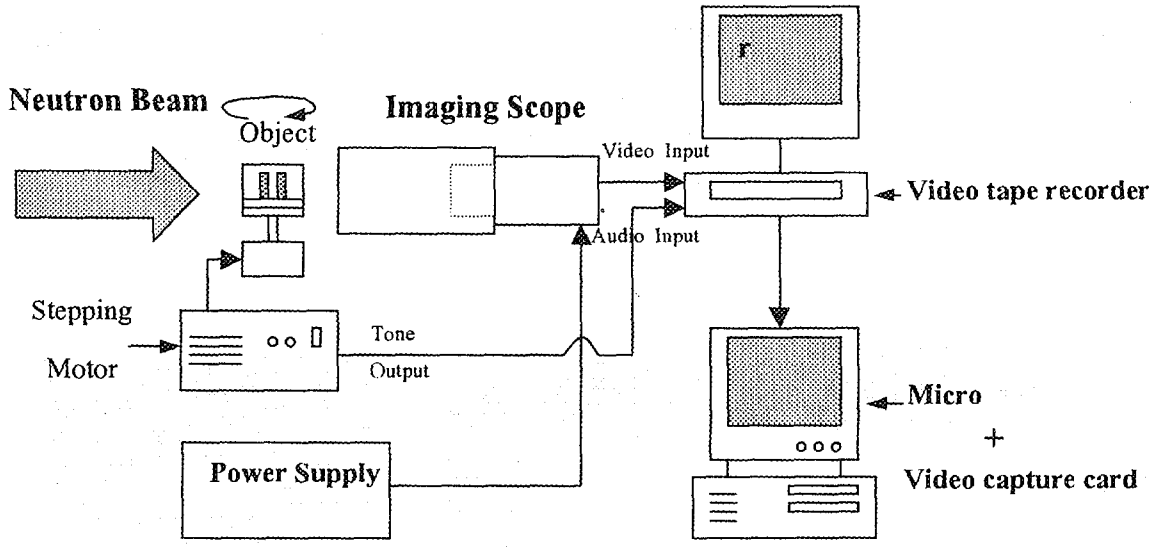
2. อุปกรณ์ทวีความเข้มแสง (Image Intensifier) ทำหน้าที่ในการเพิ่มความเข้มของแสงที่ได้จากฉากเรืองรังสีให้มีความเข้มมากขึ้นเพื่อให้ได้ภาพปรากฏบนจอภาพ (Phosphor Screen) ของกล้องมองภาพนิวตรอน



รูปที่ 3 แผนภาพส่วนประกอบของกล้องมองภาพนิวตรอน

4. ระบบถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน

หลักการทำงานของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน ใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ผ่านท่อบังคับลำนิวตรอนไปยังชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ เมื่อนิวตรอนทะลุผ่านชิ้นงานทดสอบไปกระทบกับด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนซึ่งด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนเป็นฉากเรืองรังสีชนิด ZnS(Ag) ผสม Li ทำหน้าที่เปลี่ยนนิวตรอนให้เป็นแสง โดยนิวตรอนจะทำปฏิกิริยากับ Li และให้อนุภาค อัลฟา และทริตอน (^3H) จากปฏิกิริยาดังกล่าว อนุภาคอัลฟาที่ได้จะทำให้ ZnS(Ag) เกิดการเรืองแสงขึ้น แต่เนื่องจากแสงที่ได้มีความเข้มต่ำจึงต้องมีอุปกรณ์ทวีความเข้มแสง (Image Intensifier) เพื่อทำหน้าที่เพิ่มความเข้มแสงจนทำให้ปรากฏภาพขึ้นบนจอภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังแผนภาพในรูปที่ 4



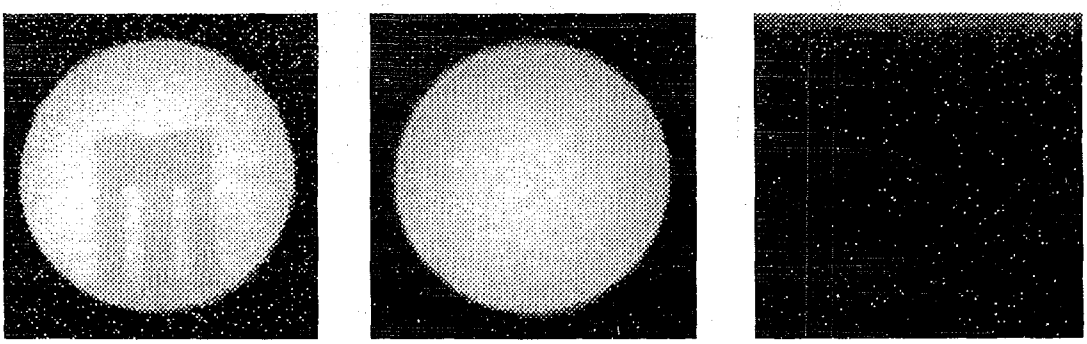
รูปที่ 4 แผนภาพระบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายด้วยนิวตรอน

ส่วนด้านหลังของกล้องมองภาพนิวตรอนเป็นกล้องโทรทัศน์ ซึ่งทำหน้าที่จับภาพที่ได้จากจอภาพของกล้องมองภาพนิวตรอนไปแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ ภาพที่แสดงผลบนมอนิเตอร์นี้เรียกว่า "Real Time Imaging"

ผลการศึกษาวิจัย

ในการวิจัยได้บันทึกข้อมูลภาพของแต่ละโปรไฟล์ลงในแถบวีดิทัศน์ โดยในการเก็บข้อมูลภาพของแต่ละมุมมีขนาดรายละเอียด 320 x 240 พิกเซล (pixcel) ซึ่งหมุนชิ้นงานทดสอบด้วยมุมทีละ 1.8 องศา จนครบ 180 องศา ได้ 100 ข้อมูลโปรไฟล์ ซึ่งควบคุมการหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และในขณะที่หมุนชิ้นงานแต่ละมุมนั้น จะบันทึกสัญญาณเสียงที่ใช้บอกลำดับของข้อมูลโปรไฟล์ที่สอดคล้องกับการหมุนในแต่ละมุมควบคู่ไปด้วย

จากนั้นจึงการแปลงข้อมูลภาพที่ได้จากแถบวีดิทัศน์ให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผ่านวงจรแปลงสัญญาณเป็นข้อมูลภาพ (Video Capture Card) ที่ติดตั้งบนไมโครคอมพิวเตอร์ แล้วสแกนอ่านข้อมูลโปรไฟล์จากข้อมูลภาพทีละภาพ และบันทึกข้อมูลโปรไฟล์ลงบนหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ โดยในขั้นตอนของการคำนวณสร้างภาพจะต้องมีการปรับแก้ข้อมูลโปรไฟล์โดยการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของแต่ละมุม และข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายด้วยนิวตรอนในกรณีที่ไม่มีชิ้นงานทดสอบ หรือเรียกว่า "Shading" รวมทั้งข้อมูลโปรไฟล์ในกรณีที่ไม่มีการถ่ายภาพ หรือเรียกว่า "Dark Current" ดังรูปที่ 5(ก)-(ค) ตามลำดับ ทั้งนี้ในการปรับแก้ข้อมูลดังกล่าวจะทำให้ได้ภาพโทโมกราฟีที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เพราะข้อมูลโปรไฟล์มีความสัมพันธ์กับค่าลดทอนของนิวตรอนโดยตรง



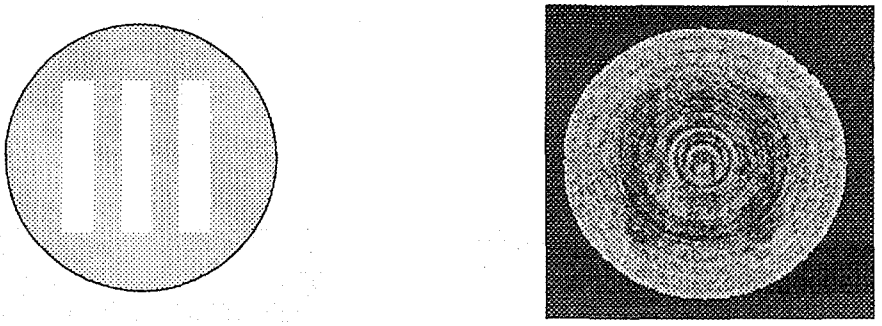
(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 5 (ก) ภาพถ่ายชิ้นงานด้วยนิวตรอน ณ มุมใด ๆ (ข) Shading (ค) Dark current

ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบชิ้นงานทดสอบโดยเลือกศึกษาชิ้นงานทดสอบจำนวน 3 แบบ ดังต่อไปนี้

ชิ้นงานทดสอบที่ 1 เป็นแผ่นพาราฟินผสมโบรอนรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาด 0.5 x 2.3 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร จัดวางบนฐานอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จำนวน

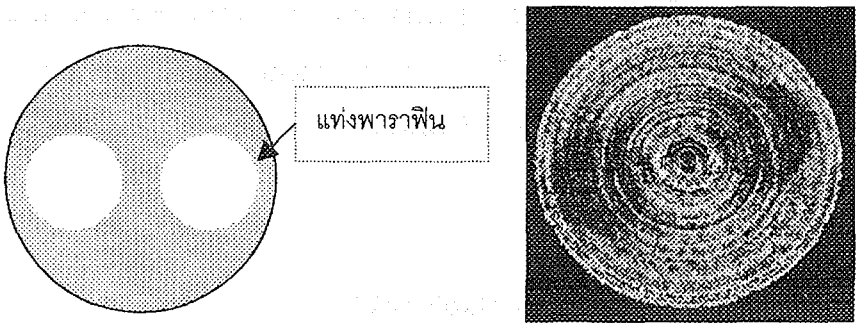
3 แท่งวางเรียงกันดังรูปที่ 6 (ก) เมื่อเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากเทคนิคดังกล่าวแล้วจะได้ภาพโทโมกราฟี ดังรูปที่ 6 (ข) ซึ่งแสดงภาพตัดขวาง โดยจะสังเกตเห็นว่ามีแถบสีดำจำนวนสามแถบซึ่งหมายถึงแผ่นพาราฟินผสมโบรอน เนื่องจากว่าข้อมูลโปรไฟล์ถูกรบกวนด้วยหลายปัจจัย เช่น นิวตรอนที่กระเจิงภายในชิ้นงาน และความเข้มของนิวตรอนมีไม่มากพอ บริเวณที่เป็นอากาศควรที่จะแสดงเป็นสีขาวแต่กลับเป็นสีเทา สิ่งเหล่านี้มีผลทำให้ภาพที่ได้ขาดความคมชัดไป



(ก) (ข)

รูปที่ 6 (ก) แผนภาพมองจากด้านบนของชิ้นงานทดสอบที่ 1
(ข) ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 1

ชิ้นงานทดสอบที่ 2 เป็นพาราฟินรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตรวางบนฐานอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จำนวน 2 แท่ง วางเรียงกันดังรูปที่ 7 (ก) และรูปที่ 7 (ข) เป็นภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 2

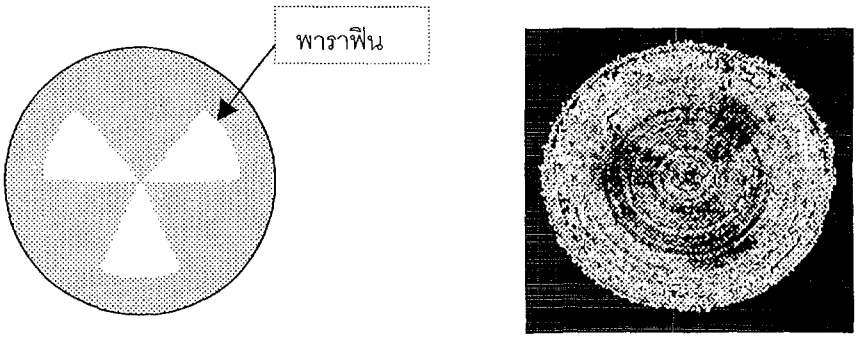


(ก) (ข)

รูปที่ 7 (ก) แผนภาพมองจากด้านบนของชิ้นงานทดสอบที่ 2
(ข) ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 2

จากรูปที่ 7 (ข) แม้ว่าพาราฟินจะมีโอกาสในการชนกับนิวตรอนได้ดี แต่เนื่องภาพถ่ายของชิ้นงานดังกล่าวถูกรบกวนจึงทำให้ขาดรายละเอียดไปบ้าง ทั้งนี้ยังสามารถเห็นรูปร่างและขนาดของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งมีลักษณะเป็นวงกลมเท่ากับชิ้นงานจริง

ชิ้นงานทดสอบที่ 3 ทำจากพาราฟินรูปทรงสามเหลี่ยมด้านข้างมีความยาวด้านละ 1.5 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร วางบนฐานอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จำนวน 3 แท่งวางเรียงกันมีลักษณะเป็นใบพัดดังรูปที่ 8 (ก) และรูปที่ 8 (ข) เป็นภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานดังกล่าว



(ก) (ข)

รูปที่ 8 (ก) แผนภาพมองจากด้านบนของชิ้นงานทดสอบที่ 3
(ข) ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 3

จากรูปที่ 8 (ข) เป็นการทดสอบว่า ภาพโทโมกราฟีที่ได้จากเทคนิคการเก็บข้อมูลจากชิ้นงานทดสอบโดยการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนที่แสดงภาพผ่านทางกล้องมองภาพนิวตรอนนั้น จะสามารถให้รายละเอียดได้ดีมากน้อยแค่ไหน ซึ่งพบว่า ภาพตัดขวางที่ได้มีลักษณะคล้ายชิ้นงาน แต่มองเห็นปลายแหลมไม่ชัดเจน

บทวิจารณ์และสรุปผล

จากการทดสอบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคการถ่ายภาพชิ้นงานทดสอบด้วยนิวตรอนโดยแสดงภาพผ่านทางกล้องมองภาพนิวตรอนต่อสัญญาณภาพเพื่อแสดงผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งอ่านข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วแต่เนื่องจากความเข้มของนิวตรอนจากเครื่อง