



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสี

Development of a laser QA tool for Laser system in a Linear accelerator room.

โดย

อาจารย์กฤษณะ อุทาพรหม

สนับสนุนโดย

สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต

2563

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสี

ผู้วิจัย : นายกฤษณะ อุทาพรหม, นายธนพัฒน์ ช่องสาร, นายศิวพล หมั่นสิงห์

สถาบัน : คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีที่พิมพ์ : 2565

สถานที่พิมพ์ : มหาวิทยาลัยรังสิต

แหล่งเก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ : มหาวิทยาลัยรังสิต

จำนวนหน้างานวิจัย : 31 หน้า

คำสำคัญ : รังสีรักษา การควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ การพิมพ์สามมิติ

ลิขสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยรังสิต

บทคัดย่อ

รายงานวิจัยเรื่องพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์เพื่อการจัดตำแหน่งของผู้ป่วย สำหรับเครื่องเร่งอนุภาคทางการแพทย์ เป็นการพัฒนาให้อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถจัดตำแหน่งได้ง่ายขึ้นและลดเวลาในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพเครื่องเร่งอนุภาคทางการแพทย์

การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ฐานที่สามารถปรับสมดุลได้และส่วนทดสอบ การสร้างชิ้นงานผลิตขึ้นโดยใช้การพิมพ์สามมิติด้วยเส้นพลาสติกชนิด PLA และ ABS จากนั้นทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ ความถูกต้องของการพิมพ์สามมิติและความสามารถในการชดเชยพื้นเอียง และทดสอบคุณสมบัติในการใช้งาน ได้แก่ความสามารถในการจัดตำแหน่งซ้ำ ความถูกต้องในการจัดตำแหน่งและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการทำงานจากเวลาที่ใช้ในการจัดตำแหน่งอุปกรณ์ พบว่าอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้มีความสามารถชดเชยพื้นเอียงได้อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสามารถชดเชยความเอียงของอุปกรณ์ที่เกิดจากการวางบนพื้นลาดเอียง 2 องศา ให้เหลือความลาดเอียงน้อยกว่า 0.0015 องศา มีความสามารถในการจัดตำแหน่งซ้ำ โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า 0.3 ในทุก ๆ แนวการเคลื่อนที่ มีความถูกต้องในการจัดตำแหน่งไปยังจุดหมุนร่วมของเครื่องเร่งอนุภาคโดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร และใช้เวลาในการจัดตำแหน่ง(ประสิทธิภาพ) โดยเฉลี่ยประมาณ 41.23 วินาที

อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ สามารถชดเชยพื้นเอียงได้อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติและมีประสิทธิภาพในการใช้งาน ขณะที่ยังมีระดับความถูกต้องในการจัดตำแหน่งและความสามารถในการทำซ้ำอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

Abstract

Title: Development of a laser QA tool for Laser system in a Linear accelerator room.

Researcher: Kitsana Utapom, Thanaphat Chongsan and Siwapon Munsing

Institution: faculty of Radiological Technology, Rangsit University

Year of Publication: 2022

Publisher: Rangsit University

Source: Rangsit University

No. of pages: 31 pages

Keywords: radiotherapy, QA of Laser system, 3D printing

Copyrights: Rangsit University

Abstract

The aim of this research was to develop laser QA tools for a linear accelerator. Easily set up and reducing QA time consumed but still have acceptable accuracy and reproducibility were goals of this research.

Developed laser QA tools designed were divided into 2 components as balancing bases and testing parts. Then they were printed as 3D objects by 3D printing with PLA and ABS filaments. Their size was measured. Slop compensation, set up accuracy, reproducibility, and efficiency were evaluated through CBCT by using Elekta versa HD linear accelerator with Hexapod 6D couch. Developed laser QA tools were non-significantly slop compensable however they were able to reduce testing part rotation set up on 2 degrees of couch slop to less than 0.0015 degrees. They were set up reproducibility with 0.3 of S.D. for all directions and highly set up accuracy with error less than 0.5 mm, while set up time consumed was 41.23 seconds, approximately.

Developed laser QA tools were set up time consume efficiently. however, its slope compensable hasn't succeeded significantly. While accuracy and reproducibility were acceptable.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยรังสิต และขอบคุณสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิตที่ให้การช่วยเหลือในการเขียนขอทุนวิจัย นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติ และขอบคุณแผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติที่เชื้อเพื่อสถานที่และเครื่องมือในการทดสอบอุปกรณ์ และสุดท้ายขอขอบคุณ คุณดาวรุ่ง พลเยี่ยม นักรังสีการแพทย์ ประจำแผนกรังสีรักษา โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกตลอดการทดสอบอุปกรณ์ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญแผนภูมิ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
สมมติฐานของงานวิจัย	1
ขอบเขตของงานวิจัย	2
กรอบแนวคิดในงานวิจัย	2
นิยามศัพท์เฉพาะ	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	11
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	11
การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	11
การเก็บรวบรวมข้อมูล	12
การวิเคราะห์ข้อมูล	13
บทที่ 4 ผลการทดลอง และอภิปรายผล	14
บทที่ 5 สรุป วิจัย และข้อเสนอแนะ	21
สรุป	21
วิจัย	21
ข้อเสนอแนะ	23
เอกสารอ้างอิง	24
ประวัติผู้เขียน	26

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงคุณสมบัติของพลาสติกที่สามารถใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติรุ่น UP BOX+ ผลิตโดยบริษัท Tiertime(Rohringer, 2020)	7
2	ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของค่าการเอียงของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสี เมื่อถูกจัดวางบนพื้นเอียงที่ระดับต่าง ๆ	17
3	แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ 3 แนวการเคลื่อนที่ จาก 2 วิธีการทดสอบความสามารถในการทำซ้ำของการจัดอุปกรณ์ฯ	17
4	แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของการจัดตำแหน่งในแต่ละแนวการเคลื่อนที่	18



สารบัญรูป

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดในงานวิจัย	2
2	การใช้งานระบบเลเซอร์ในการจัดทำผู้ป่วย	4
3	แสดงความผิดพลาดเมื่อการติดตั้งเลเซอร์มีความผิดพลาดในแนวการหมุน ซึ่งแม้ว่าเลเซอร์จะตัดกันที่จุดกึ่งกลางการหมุนของเครื่องเร่งอนุภาคแต่อาจจะยังมีความผิดพลาดอยู่ได้และมีผลต่อการจัดตำแหน่งของผู้ป่วย	5
4	ภาพ RT ALIGN ROTATE	6
5	ภาพ ISO Cube™ Daily QA Phantom	7
6	เครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น UP BOX+ ผลิตโดยบริษัท Tiertime ของคณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต	8
7	ตัวอย่างฐานพิมพ์ที่ใช้งานร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น UP BOX+ ผลิตโดยบริษัท Tiertime	8
8	อุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งเลเซอร์ที่ถูกออกแบบโดย Ivan A. Brezovich และ Stephen Jordan (2550)(Brezovich & Jordan, 2007)	9
9	ต้นแบบของอุปกรณ์จัดตำแหน่งเลเซอร์: (a) แผนผังอุปกรณ์จัดตำแหน่งเลเซอร์ และ (b) รูปถ่ายของอุปกรณ์อุปกรณ์จัดตำแหน่งเลเซอร์ที่วางอยู่บนเตียงผู้ป่วย (Hwang et al., 2016)	10
10	การออกแบบส่วนฐานของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ด้วยโปรแกรม SketchUp	12
11	การออกแบบส่วนทดสอบของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ด้วยโปรแกรม SketchUp	12
12	อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่ถูกพัฒนาในงานวิจัยนี้โดยที่ในภาพ ก) คือส่วนทดสอบ และภาพ ข) คือส่วนฐาน	14
13	อุปกรณ์เสริมที่ใช้ร่วมกับควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่ถูกพัฒนาในงานวิจัยนี้โดยที่ในภาพ ก) ลูกตุ้มถ่วงน้ำหนักขนาด 200 กรัม และภาพ ข) คือ ตลับลูกปืนพลาสติกขนาดเล็ก	15

สารบัญรูป(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	การจัดอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสี ก) การจัดตามแนวซ้าย-ขวา และ ข) การจัดตามแนวหัว-เท้า	15
15	ตัวอย่างการอ่านค่าตำแหน่งเงาของมุมอุปกรณ์บนกระดานกราฟที่ถูกติดตั้งบนพื้นผิวตั้งฉากกับพื้น	16
16	ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพภายในห้องฉายรังสี ในมุมมองต่าง ๆ ภาคตัดขวาง ได้แก่ ก) แนว coronal ข) แนว sagittal และ ค) แนว axial	18
17	ภาพโปรแกรมเปรียบเทียบอัตโนมัติ โดยค่าความคลาดเคลื่อนของการจัดตำแหน่งแต่ละครั้งจะได้สังเกตได้จากส่วน position error	19
18	แสดงอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ รุ่น IsoCube พร้อมฐานวาง จากบริษัท Radiation Products Design จำกัด รุ่น ISO BASE™ alignment platform ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงลูกบาศก์ติดตั้งบนฐานปรับระดับได้	23



สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่

1

ชื่อแผนภูมิ

แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาในการจัดตำแหน่งอุปกรณ์ฯ แต่ละครั้ง

หน้า

20



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รังสีรักษา เป็นหนึ่งในหลายวิธีการรักษาโรคมะเร็งที่มีบทบาทสำคัญในการรักษาโรคมะเร็งแบบเฉพาะจุด (Regional cancer) ภายใต้ความแม่นยำ (Precision) ในการฉายรังสีพลังงานสูง ด้วยเหตุดังกล่าวจึงจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพของเครื่องเร่งอนุภาคในแง่ของความแม่นยำของการฉายรังสีให้ได้ตามมาตรฐานสากล (Klein et al., 2009; Kutcher et al., 1994) โดยระบบเลเซอร์เพื่อการจัดตำแหน่งของผู้ป่วยในห้องฉายรังสีนับเป็นองค์ประกอบหนึ่งของเครื่องเร่งอนุภาคซึ่งถูกยิงลำแสงมาจากทิศทางต่าง ๆ ของผนังห้องฉายรังสีจนมีลักษณะเป็นเส้นตรงตัดไขว้กันในลักษณะเครื่องหมายบวก (Cross line) ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางการหมุนร่วมของเครื่องเร่งอนุภาค (Isocenter) โดยมีความสำคัญต่อการจัดทำผู้ป่วยก่อนฉายรังสีให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องและเหมือนเดิมในทุกครั้งของการฉายรังสี (Inter-Fractionation) และเพื่อสนองตอบความสำคัญดังกล่าว จึงต้องมีการทดสอบความถูกต้องของจุดตัดของระบบเลเซอร์ ด้วยการวางอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์บนเตียงฉายรังสี ณ จุดศูนย์กลางการหมุนร่วมของเครื่องเร่งอนุภาค และสังเกตว่าลำแสงเลเซอร์ที่ถูกยิงออกมานั้น ตัดกันตรงตำแหน่งที่ถูกต้องหรือไม่ แต่เนื่องจากเตียงฉายรังสีอาจมีการวางตัวที่ไม่ขนานกับพื้นตลอดทั้งเตียง (Couch sag) ด้วยเหตุผลเพื่อรองรับน้ำหนักผู้ป่วยและความเสื่อมจากการใช้งาน (Arts et al., 2006; Kutcher et al., 1994) จึงทำให้การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ต้องมีชาติังที่สามารถปรับความสูงและระนาบของอุปกรณ์ได้เล็กน้อยร่วมกับการใช้ระดับน้ำ (Level gauge) ในการหาความลาดเอียงของอุปกรณ์ที่เหมาะสมเพื่อชดเชยข้อจำกัดดังกล่าว ซึ่งทำให้เวลาที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องเร่งอนุภาคนานขึ้นเนื่องจากระยะเวลาการปรับความสูงและระนาบของอุปกรณ์ ดังนั้นเพื่อลดระยะเวลาในขั้นตอนการจัดตำแหน่งอุปกรณ์ฯ และลดโอกาสการความคลาดเคลื่อนจากผู้ปฏิบัติงาน (Human error) จากการติดตั้งอุปกรณ์ จึงต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ในส่วนชาติังของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ ที่สามารถชดเชยความเอียงของเตียงฉายรังสีได้โดยไม่ต้องใช้การปรับด้วยมือ (Manual)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์เพื่อการจัดตำแหน่งของผู้ป่วยสำหรับเครื่องเร่งอนุภาคทางการแพทย์

สมมติฐานของงานวิจัย

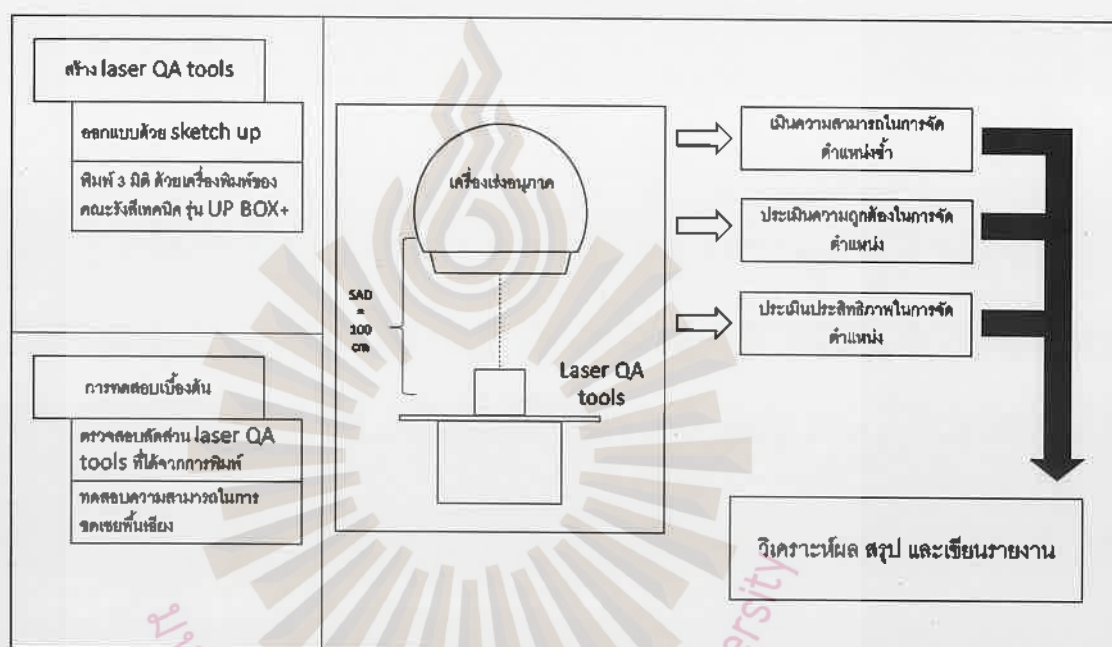
อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ที่ถูกออกแบบส่วนฐานให้สามารถปรับสมดุลการทรงตัวได้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดตำแหน่ง โดยที่ยังคงมีคุณสมบัติในด้านความสามารถในการทำซ้ำและการจัดตำแหน่ง

ขอบเขตของงานวิจัย

ด้านเนื้อหา: งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์เพื่อการจัดตำแหน่งของผู้ป่วยภายในห้องฉายรังสีด้วยเครื่องเร่งอนุภาคทางการแพทย์ แบบแขนรูปตัวอักษรซี (C-arm) ผลิตอุปกรณ์ดังกล่าวโดยใช้การพิมพ์สามมิติ โดยเน้นที่การพัฒนาส่วนฐานเพื่อให้สามารถจัดไปยังตำแหน่ง Isocenter ได้ง่ายยิ่งขึ้น (ใช้เวลาน้อยลง) การทดสอบอุปกรณ์เป็นการทดลองเชิงคุณภาพเพื่อหาคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้น ในประเด็นเกี่ยวกับความสามารถในการจัดตำแหน่งซ้ำ ความถูกต้องในการจัดตำแหน่ง และประสิทธิภาพในการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ดังกล่าว

ระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัย: 12 เดือน

กรอบแนวคิดในงานวิจัย



ภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดในงานวิจัยนี้

นิยามศัพท์เฉพาะ

- Cone beam Computed tomography หรือ CBCT หมายถึง การถ่ายภาพทางรังสี ชนิดภาคตัดขวางภายในห้องฉายรังสีรักษา โดยใช้พลังงานระดับกิโลโวลต์ (Kilovoltage)
- Crosshair หมายถึง ส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องเร่งอนุภาคทางการแพทย์ มีลักษณะเป็นเส้น 2 เส้น ตัดกันเป็นมุมฉากบนแผ่นพลาสติกใส ณ หน้าช่องทางออกของรังสีเอกซ์ ทำให้เกิดเงาเมื่อเปิดไฟแสดงขอบเขตการฉายรังสี และจุดตัดมุมฉากดังกล่าวแสดงถึงตำแหน่งของ isocenter
- electronics portal imaging device หรือ EPID หมายถึง ส่วนอุปกรณ์รับภาพที่ใช้ร่วมกับการถ่ายภาพทางรังสีภายในห้องฉายรังสีรักษาด้วยพลังงานระดับกิโลโวลต์ (kilovoltage)
- Intensity modulated radiotherapy หรือ IMRT หมายถึง เทคนิคการฉายรังสีแบบปรับความเข้ม
- Isocenter หมายถึง จุดหมุนร่วมของเครื่องเร่งอนุภาคทางการแพทย์

- Laser QA tools หมายถึง อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสี
- Stereotactic radiosurgery หรือ SRS หมายถึง เทคนิคการฉายรังสีแบบกำหนดพิภัก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ช่วยลดเวลาในการทำควบคุมคุณภาพของเครื่องเร่งอนุภาค
2. สามารถลดความแตกต่างของผลการควบคุมคุณภาพ อันเกิดจากประสบการณ์การทำงานที่มีความแตกต่างของนักรังสีการแพทย์
3. สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพ
4. อาจมีการต่อยอดและนำวิธีการทำซ้ำตั้งของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ไปใช้กับอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพรูปแบบอื่นๆ ได้
5. ผลงานได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการในระดับนานาชาติ



บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบเลเซอร์สำหรับจัดตำแหน่งผู้ป่วยในห้องฉายรังสี

จุดตัดของระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสี เป็นตัวแทนของจุด Isocenter ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใช้เป็นจุดกึ่งกลางของการฉายรังสีสำหรับเทคนิคการฉายรังสีแบบจุดหมุนร่วม (Source Axis Distance (SAD) technique) และใช้ในการจัดตำแหน่งผู้ป่วย (ภาพที่ 2) โดยลำแสงเลเซอร์จะถูกปล่อยมาจากเครื่องกำเนิดเลเซอร์ จากตำแหน่งต่าง ๆ ของห้องฉายรังสี ได้แก่ ผนังห้องด้านข้างทั้ง 2 ด้าน เพดานห้อง และด้านตรงข้ามเครื่องเร่งอนุภาคบริเวณปลายเตียง ซึ่งความถูกต้องของจุดตัดนี้ส่งผลต่อความถูกต้องของตำแหน่งในการฉายรังสีให้กับผู้ป่วย (Podgoršak & International Atomic Energy Agency, 2005) ดังนั้นการตรวจสอบความตรงกันของตำแหน่งจุดตัดระบบเลเซอร์ และตำแหน่ง Isocenter ของเครื่องฉายรังสีจึงมีความสำคัญ อีกทั้งตามแนวทางปฏิบัติของคณะกรรมการของสมาคมนักฟิสิกส์การแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา (Task group of American Association of Physicists in Medicine: AAPM) ฉบับที่ 142 (AAPM TG 142) ได้กำหนดไว้ว่าความตรงกันของจุดตัดของระบบเลเซอร์และจุด Isocenter ต้องตรงกันและมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตรสำหรับการฉายรังสีด้วยเทคนิคทั่วไป, ± 1 มิลลิเมตร สำหรับการฉายรังสีด้วยเทคนิคปรับความเข้มของลำรังสี (Intensity modulated radiotherapy: IMRT) และน้อยกว่า ± 1 มิลลิเมตร สำหรับการฉายรังสีด้วยเทคนิครังสีศัลยกรรม (Stereotactic radiosurgery: SRS) (Klein et al., 2009)

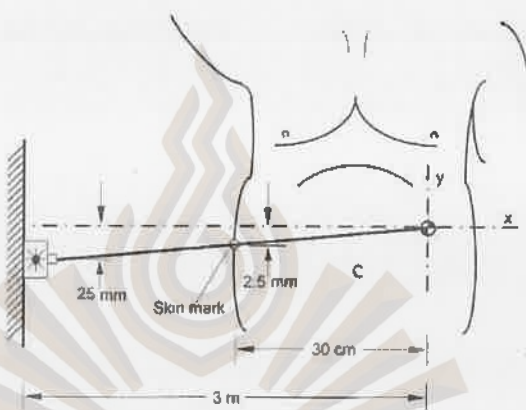


ภาพที่ 2 การใช้งานระบบเลเซอร์ในการจัดท่าผู้ป่วย (NHS GRAMPIAN CHARITIES, 2018)

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความผิดพลาดต่อการฉายรังสีเมื่อตำแหน่งของเลเซอร์สำหรับจัดตำแหน่งผู้ป่วยมีความคลาดเคลื่อน

ความผิดพลาดของตำแหน่งของเลเซอร์สำหรับจัดตำแหน่งผู้ป่วยอาจแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ ความคลาดเคลื่อนในแนวระนาบ (Translation) และความคลาดเคลื่อนในแนวการหมุน (Rotation)

สำหรับความคลาดเคลื่อนในแนวระนาบแสดงถึงความคลาดเคลื่อนของการฉายรังสีโดยตรงซึ่งไม่ขึ้นกับขนาดของผู้ป่วย ส่วนความคลาดเคลื่อนในแนวการหมุนนั้นจะส่งผลทำให้การฉายรังสีมีความผิดพลาดได้เช่นกันเพราะถึงแม้ว่าตำแหน่งของเลเซอร์สำหรับจัดตำแหน่งผู้ป่วยจากทุกแนวจะมาตัดกันที่ตำแหน่งจุดหมุนร่วมของเครื่องเร่งอนุภาคก็ตาม แต่อาจไม่เพียงพอที่จะลดความผิดพลาดในแนวการหมุนได้ เนื่องจากเลเซอร์ที่ถูกปลดปล่อยจากเครื่องที่ติดตั้งที่กำแพงห้องฉายรังสีอาจมีการเอียงไปจากแนวเดิมและส่งผลทำให้ตำแหน่งจุดหมุนร่วมของเครื่องเร่งอนุภาคผิดไปจากที่ควรจะเป็นได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าแนวการเคลื่อนที่ของเลเซอร์ที่หมุนเดียวกับลำรังสีไม่ได้ขนานกัน ดังภาพที่ 3 ดังนั้นหากจัดตำแหน่งที่ต้องการฉายรังสีตรงตามเลเซอร์ที่มีความผิดพลาด จะส่งผลให้เกิดการฉายรังสีผิดตำแหน่งได้ ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้จะมากขึ้นอยู่กับขนาดตัวของผู้ป่วยด้วย (Brezovich & Jordan, 2007)



ภาพที่ 3 ความผิดพลาดเมื่อการติดตั้งเลเซอร์มีความผิดพลาดในแนวการหมุน ซึ่งแม้ว่าเลเซอร์จะตัดกันที่จุดกึ่งกลางการหมุนของเครื่องเร่งอนุภาคแต่อาจจะยังมีความผิดพลาดอยู่ได้และมีผลต่อการจัดตำแหน่งของผู้ป่วย (Brezovich & Jordan, 2007)

3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสี

การควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีเป็นการลดโอกาสในการความผิดพลาดที่อาจส่งผลต่อปริมาณรังสี ผลการรักษา และอาการข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้น โดยวิธีการจะเป็นการทดสอบโดยการวางอุปกรณ์ทดสอบ ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางการหมุนร่วมของเครื่องเร่งอนุภาค (Isocenter) โดยไม่ใช้เลเซอร์ในการกำกับในการจัดตำแหน่ง หลังจากนั้นจึงเปิดเลเซอร์เพื่อสังเกตความคลาดเคลื่อนของการพาดผ่านของเส้นเลเซอร์บนอุปกรณ์ทดสอบ ในการควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ประจำวัน (Daily QC) ตามแนวทางปฏิบัติของ AAPM TG-142 แนะนำว่าความคลาดเคลื่อนของระบบเลเซอร์ไม่ควรเกิน 1 หรือ 2 มิลลิเมตร สำหรับการฉายด้วยเทคนิค IMRT ขึ้นไป และเทคนิคที่ไม่ใช่ IMRT ตามลำดับ (Klein et al., 2009) ซึ่งตามแนวทางปฏิบัตินี้ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้มีค่าน้อยมาก ดังนั้นความผิดพลาดที่เกิดจากผู้ปฏิบัติงานระหว่างการควบคุมคุณภาพ อาจจะทำให้ความคลาดเคลื่อนของระบบเลเซอร์ไม่ถูกตรวจพบ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก ประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพ ขาดความรู้ ความหลงลืมของการปฏิบัติงาน ข้อจำกัดด้านทรัพยากร และการสื่อสารที่ผิดพลาด ดังนั้นการใช้อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพที่ใช้งานง่ายไม่ซับซ้อนจะช่วยลดโอกาสในการเกิดความผิดพลาดจากผู้ปฏิบัติงานลงได้

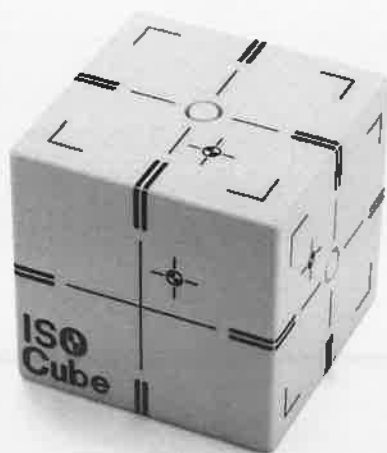
ตัวอย่างอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ที่มีจำหน่ายทั่วไป

อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ที่จำหน่ายทั่วไปมีลักษณะไม่แตกต่างกันมากส่วนใหญ่จะเป็นแบบขาตั้งและใช้หลอดปรับระดับความเอียง ซึ่งอาจจะไม่มีหรือไม่มีระดับน้ำในการตรวจสอบความเอียงของอุปกรณ์ก็ได้ ยกตัวอย่าง 2 แบบคือ RT ALIGN ROTATE และ ISO Cube™ Daily QA Phantom

- RT ALIGN ROTATE ดังภาพที่ 4 มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม สามารถหมุนอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบตำแหน่งความถูกต้องของเลเซอร์ด้านข้างได้ และสามารถตรวจสอบความตรงกันของพื้นที่ฉายรังสีและพื้นที่แสงไฟเพื่อการระบุตำแหน่งลำรังสี (Radiation field and Light field alignment) ร่วมกับการใช้อุปกรณ์รับภาพรังสีเอกซเรย์ระดับพลังงานเมกกะโวลต์ (EPID) ได้ (RT ALIGN ROTATE Specification Sheet, n.d.)
- ISO Cube™ Daily QA Phantom ดังภาพที่ 5 มีลักษณะเป็นรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 12x12x12 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm³) มีน้ำหนัก 17 กิโลกรัมโดยประมาณ ซึ่งสามารถใช้ควบคุมคุณภาพแนวเส้นเลเซอร์ (Laser alignment) พื้นที่ของแสงไฟจากเครื่องเร่งอนุภาค (Light field size indicator) ความตรงกันของจุดหมุนร่วมของอุปกรณ์รับภาพรังสีเอกซเรย์ระดับพลังงานกิโลโวลต์และเมกกะโวลต์ (kV and MV imager coincident) การทำงานของระบบถ่ายภาพแบบสามมิติในห้องฉายรังสี (CBCT accuracy) ความถูกต้องของแสงระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี (optical distance indicator accuracy: ODI accuracy) ความถูกต้องของระดับความสูงของเตียงฉายรังสี (Table height accuracy) และความตรงกันของพื้นที่ฉายรังสีและพื้นที่แสงไฟเพื่อการระบุตำแหน่งลำรังสี (Radiation field and Light field alignment) (ISO Cube Daily QA Phantom: Data Sheet, n.d.)



ภาพที่ 4 ภาพ RT ALIGN ROTATE (RT ALIGN ROTATE Specification Sheet, n.d.)



ภาพที่ 5 ภาพ ISO Cube™ Daily QA Phantom (ISO Cube Daily QA Phantom: Data Sheet, n.d.)

4. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์สามมิติ

การพิมพ์สามมิติเป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างวัตถุทางกายภาพ ปัจจุบันมีหลายวิธีการที่ถูกประยุกต์ใช้ ได้แก่ การฉีดวัสดุสำหรับการพิมพ์ที่อยู่ในสถานะกึ่งของเหลว เป็นต้น ทั้งนี้วิธีการพิมพ์สามมิติยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ต้องการพิมพ์สามมิติ อาทิเช่น การฉีดวัสดุสำหรับการพิมพ์ที่อยู่ในสถานะกึ่งของเหลวเหมาะสมกับการสร้างชิ้นงานจากพลาสติกที่อ่อนตัวเมื่อสัมผัสความร้อน เช่น Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Polylactic acid (PLA) และ Thermoplastic Polyurethane (TPU) เป็นต้น ซึ่งการสร้างชิ้นงานจากพลาสติกมีความเหมาะสมต่อการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบเนื่องจากต้นทุนต่ำ และมีกระบวนการทำงานที่ไม่ซับซ้อน (Shahrubudin et al., 2019) โดยที่พลาสติกแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและรายละเอียดปลีกย่อยที่จำเป็นต้องทราบก่อนสร้างชิ้นงาน โดยมีรายละเอียดแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของพลาสติกที่สามารถใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติรุ่น UP BOX+ ผลิตโดยบริษัท Tiertime (Rohringer, 2020)

คุณสมบัติ/วิธีใช้งาน	พลาสติกชนิด ABS	พลาสติกชนิด PLA	พลาสติกชนิด TPU
ความหนาแน่น(กรัม/ลบ.ซม)	1.04	1.24	1.2
อุณหภูมิที่ใช้พิมพ์ (องศาเซลเซียส)	230-250	180-210	230-260
อุณหภูมิสำหรับฐานพิมพ์ (องศาเซลเซียส)	90-110	50-60	45-65
ลักษณะชิ้นงานที่ได้	แข็ง ไม่มันวาว ทนต่อความร้อน และการเสียดสี	แข็ง มันวาว ชิ้นงานไม่หดตัวระหว่างพิมพ์	เหนียว ยืดหยุ่น

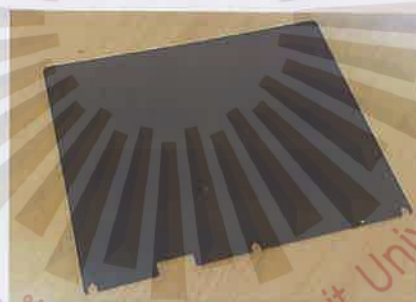


ภาพที่ 6 ภาพเครื่องฟิมพ์สามมิติ รุ่น UP BOX+ ผลิตโดยบริษัท Tiertime ของคณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต

5.แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบความถูกต้องของระบบเลเซอร์ (Hwang et al., 2016)

การทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบความถูกต้องของระบบเลเซอร์ประกอบด้วย 3 ประเด็น คือ Alignment reproducibility, Alignment accuracy และ Alignment efficiency รายละเอียดดังนี้

1. Alignment reproducibility เป็นการทดสอบความสามารถในการจัดวางอุปกรณ์ซ้ำ ๆ
2. Alignment accuracy เป็นการทดสอบความถูกต้องของการติดตั้งอุปกรณ์
3. Alignment efficiency เป็นการประเมินประสิทธิภาพของการทำงาน โดยการเปรียบเทียบเวลาในการทำงาน



ภาพที่ 7 ภาพตัวอย่างฐานฟิมพ์ที่ใช้งานร่วมกับเครื่องฟิมพ์สามมิติ รุ่น UP BOX+ ผลิตโดยบริษัท Tiertime

6.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

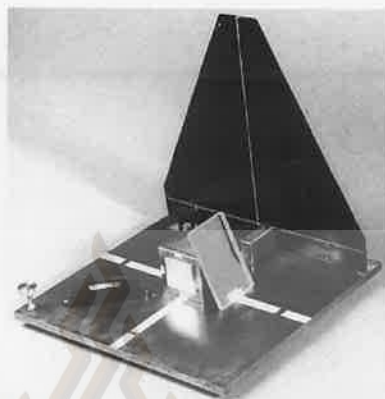
6.4 อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์

อุปกรณ์และเทคนิคการตรวจสอบความตรงกันของตำแหน่งจุดตัดของระบบเลเซอร์และตำแหน่ง Isocenter ของเครื่องเร่งอนุภาคที่มีการพัฒนาขึ้นในปัจจุบันมีหลายรุ่น โดยมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ทั้งยังออกแบบให้สามารถตรวจสอบคุณภาพเครื่องเร่งอนุภาคในประเด็นอื่น ๆ อีกด้วย (Multi-purpose QC Device)

6.4.1 การพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ที่ปรากฏในงานวิจัย

- Ivan A. Brezovich และ Stephen Jordan (2550) ได้ออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการติดตั้งเลเซอร์ในห้องฉายรังสีดังภาพที่ 8 โดยมีการใช้กระจกเพื่อสะท้อนแสงเลเซอร์ ด้วยการวางอุปกรณ์ดังกล่าวไว้ที่

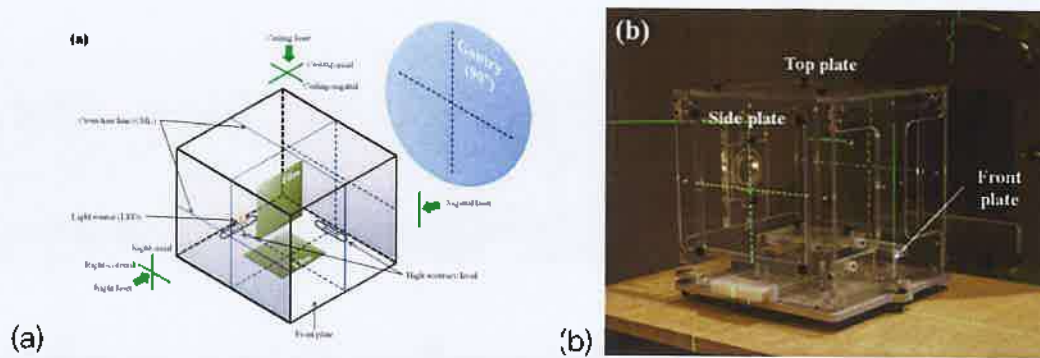
ตำแหน่งจุดกึ่งกลางการหมุนของเครื่องเร่งอนุภาคและปรับให้วางได้ขนานกับพื้นห้องโดยใช้ระดับน้ำ และขาตั้งที่มีนอตหมุนสำหรับปรับระดับ เมื่อปล่อยเลเซอร์มากะทบที่อุปกรณ์ดังกล่าวเลเซอร์จะสะท้อนกลับไปยังช่องปล่อยเลเซอร์ (Laser aperture) ของเครื่องปล่อยเลเซอร์ หากตำแหน่งหรือแนวของเลเซอร์ไม่ถูกต้อง เส้นที่สะท้อนกลับจะไม่ซ้อนทับและไม่ตัดที่ช่องปล่อยเลเซอร์ได้อย่างพอดี (Brezovich & Jordan, 2007)



ภาพที่ 8 ภาพอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งเลเซอร์ที่ถูกออกแบบโดย Ivan A. Brezovich และ Stephen Jordan (2550) (Brezovich & Jordan, 2007)

จากผลการทดสอบอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถวางไว้ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางการหมุนร่วมของเครื่องเร่งอนุภาค อย่างถูกต้อง (Accuracy) และทำได้ง่ายจึงทำให้มีความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ดังกล่าวมีการเอียงของกระจกเพื่อรองรับการตรวจสอบเลเซอร์ที่มาจากทางปลายเตียงทำให้องศาการเอียงนั้นไม่เหมาะสมเมื่อนำไปใช้กับห้องฉายรังสีห้องอื่นๆ ที่มีการติดตั้งเลเซอร์ที่ระดับความสูงแตกต่างกัน ดังนั้นอุปกรณ์นี้จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพการทำงานจริง ที่อุปกรณ์ 1 ชิ้นควรนำไปใช้งานกับห้องฉายรังสีอื่นๆ ได้ด้วย

- Ui-Jung Hwang และคณะ (2559) ได้ออกแบบอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ไว้ดังภาพที่ 9 โดยมีลักษณะเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด $30 \times 30 \times 30$ ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) ประกอบด้วยวัสดุที่เป็นแผ่นโลหะด้านฐาน 1 แผ่น และแผ่นพลาสติกอะคริลิกใส 5 แผ่น ทุกแผ่นจะมีที่มีเส้น Crosshair (CHL) หรือเส้นแนวตั้งซึ่งเป็นเส้นเดียวกับที่ใช้สำหรับการจัดตำแหน่ง ยกเว้นแผ่นด้านบนและแผ่นด้านล่างที่เป็นโลหะ และนอกจากนี้ยังมีตัวยึด 2 ตัว ที่ทำเป็นช่อง สำหรับใส่ฟิล์มเรดิโอโครมิก (Radiochromic film) ภายในอุปกรณ์ดังกล่าว เพื่อให้หาตำแหน่งจุดศูนย์กลางการหมุนร่วมของลำรังสี (Radiation isocenter) จากเครื่องเร่งอนุภาคด้วยวิธีการถ่ายภาพทางรังสี ซึ่งพบว่าวิธีการติดตั้งและการทดสอบระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ช่วยเพิ่มความถูกต้อง ความสามารถในการทำซ้ำและความเร็วเมื่อเทียบกับวิธีการเดิม นอกจากนี้กระบวนการทำนำเสนอในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้รับผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนอื่นของเครื่องเร่งอนุภาค เช่น แกนทรี แหล่งกำเนิดแสง และคลอสเตอร์ เป็นต้น (Hwang et al., 2016)



ภาพที่ 9 ภาพต้นแบบของอุปกรณ์จัดตำแหน่งเลเซอร์: (a) แผนผังอุปกรณ์จัดตำแหน่งเลเซอร์และ (b) รูปถ่ายของอุปกรณ์จัดตำแหน่งเลเซอร์ที่วางอยู่บนเตียงผู้ป่วย (Hwang et al., 2016)



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- เครื่องเร่งอนุภาค (Linear accelerator) รุ่น Versa HD ยี่ห้อ Elekta ที่มีการติดตั้งเตียงเคลื่อนที่ได้ 6 ทิศทาง รุ่น HEXAPOD และสามารถถ่ายภาพทางรังสีได้ด้วยรังสีเอกซ์พลังงานระดับกิโลโวลต์

- เครื่องจำลองการรักษาแบบสามมิติ (CT simulator) รุ่น Somatom ยี่ห้อ Siemens
- เครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น UP BOX+ ผลิตโดยบริษัท Tiertime
- โปรแกรม SketchUp
- ตลับลูกปืนพลาสติก
- ไม้บรรทัดเหล็ก
- กระดาษกราฟ
- โลหะสำหรับถ่วงน้ำหนัก
- เส้นพลาสติก ABS สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติ
- เส้นพลาสติก PLA สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติ

2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

2.1. การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพภายในห้องฉายรังสี

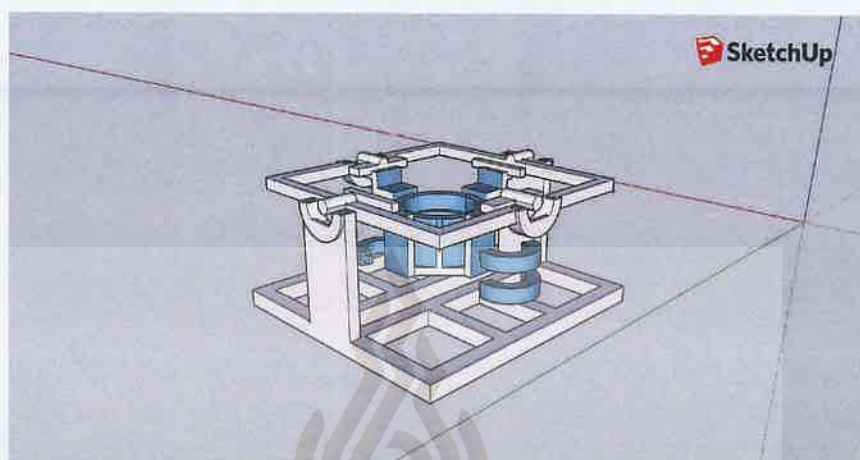
ออกแบบอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์สำหรับห้องฉายรังสีรักษา ด้วยโปรแกรมออกแบบสามมิติ SketchUp ของบริษัท Trimble ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์แบบไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งการออกแบบอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนฐานและส่วนทดสอบ รายละเอียดดังนี้

- ส่วนฐาน จะมีขนาดประมาณ 15 x 15 ตารางเซนติเมตร และสูง ประมาณ 5 เซนติเมตร มีกลไกข้อต่อแบบล้อและเพลลา 4 ชุดในแนวหน้าหลังและแนวด้านข้างเพื่อชดเชยความลาดเอียงของเตียงฉายรังสี และใช้ตลับลูกปืนช่วยลดแรงเสียดทาน และบริเวณฐานออกแบบเป็นทรงกระบอกสำหรับใส่โลหะถ่วงน้ำหนัก แสดงได้ดังภาพที่ 10
- ส่วนทดสอบ มีขนาด 10 x 10 x 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยถูกออกแบบให้มีลักษณะลูกบาศก์โปร่งบางส่วนเพื่อลดน้ำหนักของวัตถุ ซึ่งจะใช้สำหรับทดสอบแนวการพาดผ่านของเลเซอร์ทั้ง 4 แนว จากด้านข้าง 2 ด้าน เพดานและปลายเท้าของผู้ป่วยอีกอย่างละ 1 ด้าน โดยจะมีการกำหนดเส้นอ้างอิงบนส่วนทดสอบเพื่อใช้ในการจัดอุปกรณ์ นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งระดับน้ำที่กลางอุปกรณ์เพื่อใช้สังเกตความตรงของอุปกรณ์ แสดงได้ดังภาพที่ 11

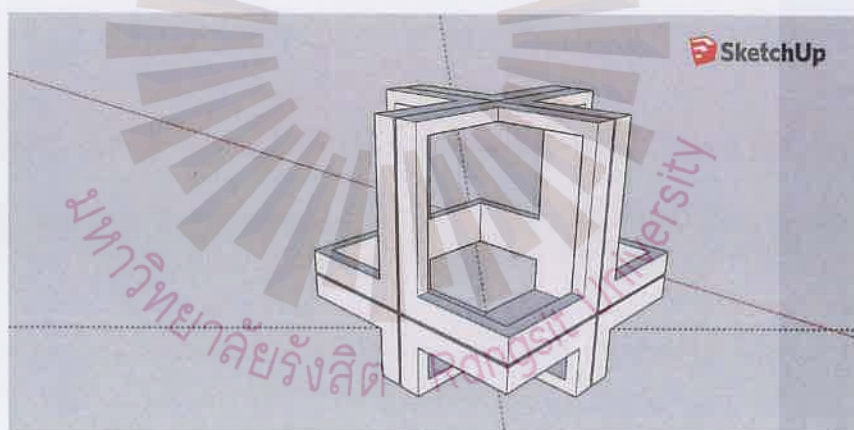
เมื่อส่วนต่าง ๆ ประกอบเข้าด้วยกันแล้ว ส่วนของโลหะถ่วงน้ำหนักจะทำหน้าที่ในการปรับสมดุลการตั้งตรงของส่วนทดสอบ ซึ่งเมื่ออุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ถูกวางบนพื้นเอียงแรงโน้มถ่วงที่เกิดกับโลหะถ่วงน้ำหนักจะทำให้เกิดทอร์กของการหมุน ส่งผลให้สามารถรักษาสภาพการวางตัวของ ส่วนทดสอบ จุดหมุน และโลหะถ่วงน้ำหนัก ให้อยู่ในแนวเดียวกับทิศทางของแรงโน้มถ่วงโลกเสมอ

2.2. การพิมพ์สามมิติ

นำไฟล์การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ ในขั้นตอนที่ 2.1 ส่งเข้าโปรแกรมควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยการพิมพ์สามมิติในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องพิมพ์สามมิติซึ่งติดตั้ง ณ คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต รุ่น UP BOX+ ผลิตโดยบริษัท Tiertime เพื่อ โดยพิมพ์แยก 2 ส่วน คือส่วนฐานซึ่งจะพิมพ์โดยใช้พลาสติกชนิด PLA เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีสัดส่วนที่ถูกต้องสูงและส่วนทดสอบใช้พลาสติกชนิด ABS เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีน้ำหนักเบา



ภาพที่ 10 การออกแบบส่วนฐานของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ด้วยโปรแกรม SketchUp มีส่วนฐานขนาด 15×15 ตารางเซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร



ภาพที่ 11 การออกแบบส่วนทดสอบของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ด้วยโปรแกรม SketchUp มีขนาด $10 \times 10 \times 10$ ลูกบาศก์เซนติเมตร มีการกำหนดเส้นอ้างอิงกว้าง 1 มิลลิเมตรบนส่วนทดสอบเพื่อใช้ในการจัดอุปกรณ์

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น

3.1.1 ความถูกต้องของการพิมพ์สามมิติ

ประเมินความถูกต้องของการพิมพ์สามมิติโดยการใช้ไม้บรรทัดที่มีการรับรองมาตรฐานระยะขีดสเกล จากหน่วยงานมาตรฐานวิทยาที่ได้รับความน่าเชื่อถือ โดยวัดในด้านต่าง ๆ ของอุปกรณ์หลังพิมพ์

เสร็จสิ้น เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์ดังกล่าวมีขนาดเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งมีผลต่อความสมดุลในการติดตั้ง โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 1 มิลลิเมตร

3.1.2 ประเมินความสามารถในการชดเชยพื้นเอียง

ทำโดยทำสอบการจัดอุปกรณ์บนเตียงฉายรังสีแบบ 6 มิติ ซึ่งสามารถจำลองการเอียงของพื้นได้ โดยทดสอบการจัดบนพื้นเอียงที่แต่ละระดับ ได้แก่ 2, 1, 0, -1 และ -2 องศา จากนั้นอ่านค่าตำแหน่งเงาจากตำแหน่งมุมของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสี ที่ตกกระทบบนผิวตั้งฉากจากแสงไฟที่เปิดโดยเครื่องฉายรังสี คำนวณค่า $\arctan$ เพื่อประเมินมุมเอียงของอุปกรณ์ สำหรับการประเมินความสามารถในการชดเชยพื้นเอียงจะทำทั้งการจัดอุปกรณ์ตามแนวซ้าย-ขวา(lateral) และแนวหัว-เท้า(longitudinal)

3.2 การทดสอบการใช้งาน

3.2.1 การทดสอบความสามารถในการทำซ้ำของจัดตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์

จัดตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์บนเตียง ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางการหมุนร่วมของเครื่องเร่งอนุภาค โดยปรับมุมหัวเครื่องเร่งอนุภาคไปที่มุม 90 องศา เปิดไฟจากเครื่องเร่งอนุภาคและอ่านค่าขนาดเงา ตำแหน่งของเงาบนพื้นผิวตั้งฉาก โดยขนาดของเงาจะแสดงตำแหน่งในแนวซ้าย-ขวา และตำแหน่งของเงาบนกำแพงจะแสดงตำแหน่งในแนวนอน-ล่างและแนวหัว-เท้า ทำซ้ำ 10 ครั้ง โดยเริ่มจัดอุปกรณ์เริ่มต้นเหมือนการเริ่มปฏิบัติงาน

3.2.2 การทดสอบความถูกต้องของจัดตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์

เป็นการทดสอบความถูกต้องของการจัดอุปกรณ์ โดยการจัดตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ด้วยวิธีการเดียวกับขั้นตอนที่ 3.2.1 จากนั้นถ่ายภาพด้วยระบบถ่ายภาพทางรังสีโดยใช้การถ่ายภาพแบบภาพตัดขวาง(cone beam computed tomography) ที่ติดตั้งภายในห้องฉายรังสีที่ใส่แกน x-y ให้กับภาพถ่ายทางรังสี จากนั้นอ่านค่าตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนไปของการจัดตำแหน่ง ในแนวซ้าย-ขวา บน-ล่างและแนวหัว-เท้า ทำซ้ำ 10 ครั้ง

3.2.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์

เป็นการประเมินประสิทธิภาพของการทำงาน โดยการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการจัดอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ที่ถูกสร้างขึ้นในการทดลองนี้ในขั้นตอนที่ 3.2.1 และ 3.2.2 กับอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ที่ใช้ในโรงพยาบาลที่มีอยู่แล้วในการทำงานควบคุมคุณภาพประจำวัน

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

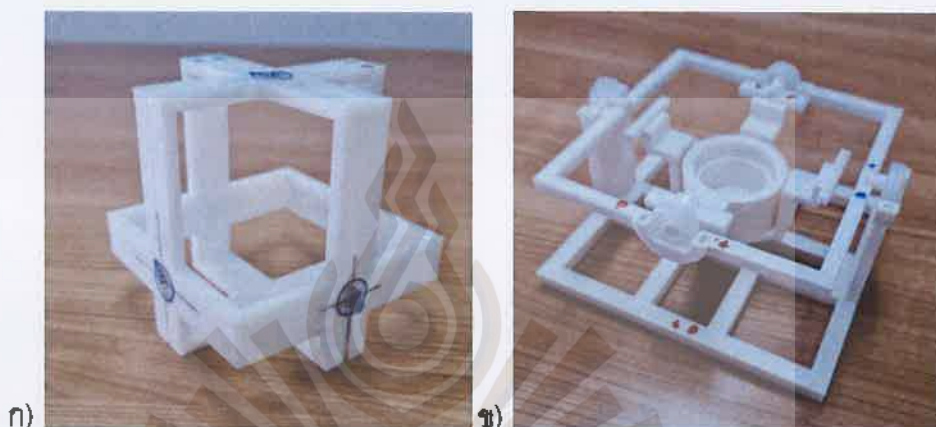
การทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ 2 ประเด็น ได้แก่ ความถูกต้องของการพิมพ์ และความสามารถในการชดเชยพื้นเอียงซึ่งจะให้การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการเอียงมุมของอุปกรณ์ด้วยสถิติทดสอบ one-way ANOVA และหากค่าการเอียงมุมไม่เท่ากันอย่างมีนัยสำคัญจะดำเนินการวิเคราะห์ด้วยวิธี multiple comparison เพื่อหาค่าการเอียงของเตียงที่อุปกรณ์ไม่สามารถชดเชยพื้นเอียงได้

ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลความสามารถของอุปกรณ์ระหว่างการใช้งาน 3 ประเด็น คือ ความสามารถในการจัดตำแหน่งซ้ำใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ความถูกต้องของการจัดตำแหน่งและประสิทธิภาพในการจัดตำแหน่งจะใช้การทดสอบด้วยสถิติ t-test โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่ถูกพัฒนาในงานวิจัยนี้ สามารถสร้างได้โดยใช้เครื่องพิมพ์สามมิติ รุ่น UP BOX+ ผลิตโดยบริษัท Tiertime ของคณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต โดยในส่วนฐานใช้เส้นพลาสติกชนิด PLA และส่วนทดสอบใช้พลาสติกชนิด ABS ซึ่งมีน้ำหนักเบากว่า โดยมีความถูกต้องของการพิมพ์ภายหลังการตัดแต่งตรงตามที่ออกแบบ มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร แสดงได้ดังภาพที่ 12



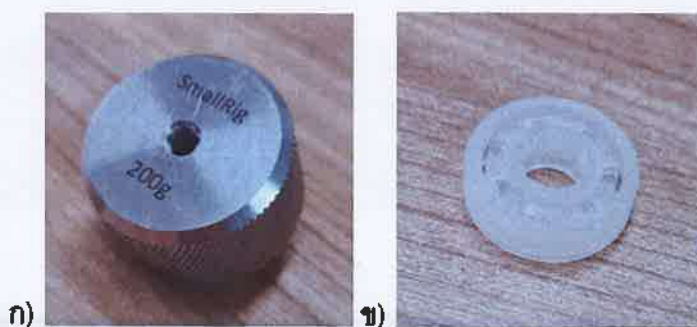
ภาพที่ 12 ภาพอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่ถูกพัฒนาในงานวิจัยนี้โดยที่ในภาพ ก) คือส่วนทดสอบ ขนาด 10 x 10 x 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร และภาพ ข) คือส่วนฐาน ขนาด 15 x 15 ตารางเซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร

นอกเหนือจากองค์ประกอบที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่ถูกพัฒนาในงานวิจัยนี้ ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ อีกได้แก่ ตลับลูกปืนพลาสติก (ภาพที่ 13.ข) จำนวน 4 ชิ้น ซึ่งเป็นส่วนที่ช่วยในการลดแรงเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนที่จำเป็นต้องมีการหมุนเพื่อปรับสมดุลของอุปกรณ์ และลูกตุ้มถ่วงน้ำหนัก (ภาพที่ 13.ก) ขนาด 200 กรัม ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กลางส่วนฐานของอุปกรณ์เพื่อช่วยในการถ่วงน้ำหนักลงด้านล่างเพื่อให้อุปกรณ์ตั้งตรงอยู่ตลอดเวลา

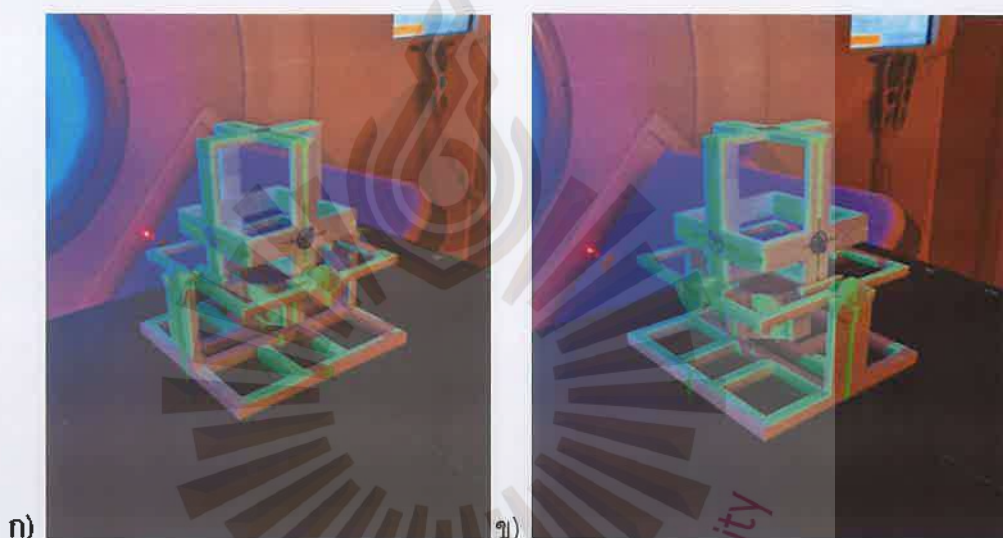
ส่วนของคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน ได้แก่ ความสามารถในการชดเชยพื้นเอียง ความสามารถในการจัดตำแหน่งซ้ำ ความถูกต้องในการจัดตำแหน่งและประสิทธิภาพในการจัดตำแหน่ง มีรายละเอียดของผลการทดลอง ดังนี้

4.1 ความสามารถในการชดเชยพื้นเอียง

การทดสอบความสามารถในการชดเชยพื้นเอียงได้ทำการทดสอบโดยการจัดอุปกรณ์บนเตียงฉายรังสีแบบ 6 มิติ รุ่น HexaPOD™ ผลิตโดยบริษัท Elekta (เตียงชนิดดังกล่าวสามารถจำลองการเอียงของพื้นได้ ไม่เกิน 3 องศา) โดยทดสอบการจัดบนพื้นเอียงที่แต่ละระดับ ได้แก่ 2, 1, 0, -1 และ -2 องศา จากนั้นอ่านค่าตำแหน่งเงาจากตำแหน่งมุมของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสี ที่ตกกระทบบนผิวตั้งฉากจากแสงไฟที่เปิดโดยเครื่องฉายรังสี คำนวณค่า Arctan เพื่อประเมินมุมเอียงของอุปกรณ์ สำหรับการประเมินความสามารถในการชดเชยพื้นเอียงจะทำการจัดอุปกรณ์ตามแนวซ้าย-ขวา และแนวหัว-เท้า แสดงได้ดังภาพที่ 14 มีรายละเอียดของผลการทดลองดังตารางที่ 2

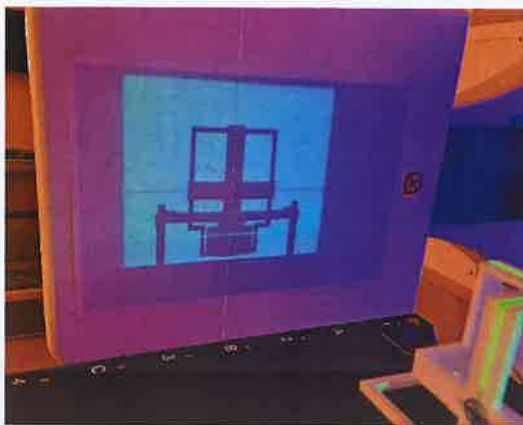


ภาพที่ 13 ภาพอุปกรณ์เสริมที่ใช้ร่วมกับควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่ถูกพัฒนาในงานวิจัยนี้โดยที่ในภาพ ก) ลูกตุ้มถ่วงน้ำหนักขนาด 200 กรัม และภาพ ข) คือดัลลัสลูบีนพลาสติกขนาดเล็ก



ภาพที่ 14 การจัดอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสี ณ ตำแหน่ง Isocenter ก) การจัดวางอุปกรณ์ตามแนวซ้าย-ขวา และ ข) การจัดวางอุปกรณ์ตามแนวหัว-เท้า

จากผลการทดลองพบว่าค่าองศาการเอียงของอุปกรณ์บนพื้นเอียงที่ระดับต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่ถูกออกแบบในงานวิจัยนี้มีผลต่อการปรับความเอียงของอุปกรณ์ให้ตั้งตรงยิ่งขึ้น และมีค่าน้อยกว่าความเอียงของเตียง สำหรับการจัดวางอุปกรณ์ทั้ง 2 แนว(แนวซ้าย-ขวา และ แนวหัว-เท้า) และเมื่อพิจารณาองศาการเอียงของอุปกรณ์พบว่ามิติน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนการเอียงองศาของเตียงฉายรังสีตามแนวทางปฏิบัติของ AAPM TG-142 คือ 1 องศา ซึ่งมุมการเอียงของอุปกรณ์ดังกล่าว มีค่าสูงสุดที่ 0.0149 องศา หรืออาจกล่าวได้ว่า อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ โดยเฉพาะส่วนฐาน มีส่วนที่สามารถชดเชยพื้นเอียงได้แม้ไม่ใช้ระดับน้ำร่วมกับการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ดังกล่าว นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าองศาการเอียงของอุปกรณ์ฯ ที่ระดับเตียง 0 องศา กับมุมต่าง ๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับทั้ง 2 แนวของการจัดวางอุปกรณ์ฯ



ภาพที่ 15 ตัวอย่างการอ่านค่าตำแหน่งเงาของมุมอุปกรณ์บนกระดานกราฟที่ถูกติดตั้งบนพื้นผิวตั้งฉากกับพื้น

4.2 ความสามารถในการจัดตำแหน่งซ้ำ

ในการทดสอบความสามารถในการจัดตำแหน่งซ้ำ สามารถประเมินการกระจายของความคลาดเคลื่อนในการจัดตำแหน่ง โดยการประเมินค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสามแนวการเคลื่อนที่ได้แก่ แนวซ้าย-ขวา แนวหัว-เท้า และแนวนบน-ล่าง ซึ่งใช้ข้อมูลทั้งจากการอ่านค่าตำแหน่งเงาที่ตกกระทบบนพื้นผิวตั้งฉากและประเมินจากความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายที่ได้จากการเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบลำรังสีรูปกรวย จากการทดสอบจัดวางซ้ำจำนวน 10 ครั้งได้ข้อมูลดังกล่าว ดังตารางที่ 3

จากผลในตารางที่ 3 ในส่วนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการประเมินโดยการอ่านค่าตำแหน่งและขนาดของเงาที่ตกกระทบบนพื้นตั้งฉาก ซึ่งการอ่านค่าตำแหน่งในแนวนบน-ล่าง และแนวหัว-เท้า จะใช้การอ้างอิงจากตำแหน่งเงามุมของอุปกรณ์ด้านเท้า และในแนวซ้ายขวาจะประเมินจากขนาดความกว้างของเงา ซึ่งได้ทำการประเมินสัดส่วนขนาดของเงาตำแหน่งในแนวซ้าย-ขวาโดยอ่านค่าของเงาเปรียบเทียบกับระยะในแนวซ้าย-ขวาที่ทราบระยะดังรายละเอียดในภาคผนวกที่ 1 ซึ่งพบว่ามีค่า 0.1901, 0.1135 และ 0.0316 สำหรับแนวซ้าย-ขวา แนวหัว-เท้า และแนวนบน-ล่าง ตามลำดับ ขณะที่การประเมินโดยใช้ภาพถ่ายที่ได้จากการเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบลำรังสีรูปกรวยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0187, 0.0135 และ 0.022 สำหรับแนวซ้าย-ขวา แนวหัว-เท้า และแนวนบน-ล่างตามลำดับ

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการจัดตำแหน่งซ้ำโดยใช้การอ่านค่าขนาดของเงาแสดงการกระจายของข้อมูลที่มากกว่าการประเมินโดยใช้ภาพถ่ายจากเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบลำรังสีรูปกรวย เนื่องจากการความละเอียดของช่องตารางของกระดานกราฟที่ใช้ในการทดลองนี้มีความละเอียดเพียง 1 มิลลิเมตร จึงทำให้ค่าที่อ่านได้มีค่ามากกว่าข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายที่ได้จากการเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบลำรังสีรูปกรวย ซึ่งเป็นการอ่านค่าระยะในโปรแกรมวิเคราะห์ตำแหน่งซึ่งมีความละเอียดสูงกว่า

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของค่าการเอียงของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสี เมื่อถูกจัดวางบนพื้นเอียงที่ระดับต่าง ๆ

	องศาเอียง ฉายรังสี	องศาเฉลี่ย (องศา)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
การจัดอุปกรณ์ ตามแนวซ้าย- ขวา	2	0.0043	0.0064
	1	0.0021	0.0037
	0	0.0127	0.0000
	-1	0.0170	0.0037
	-2	0.0106	0.0037
การจัดอุปกรณ์ ตามแนวหัว-เท้า	2	0.0000	0.0000
	1	0.0021	0.0037
	0	0.0064	0.0000
	-1	0.0127	0.0000
	-2	0.0149	0.0037

ตารางที่ 3 แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ 3 แนวการเคลื่อนที่ จาก 2 วิธีการทดสอบความสามารถในการทำซ้ำของการจัดอุปกรณ์ฯ

วิธีการทดสอบ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	แนวซ้าย-ขวา	แนวหัว-เท้า	แนวบน-ล่าง
ตำแหน่งเงาจากกระจกภาพ	0.1901	0.1135	0.0316
ภาพถ่ายเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบลำรังสี รูปกรวย	0.0187	0.0135	0.0220

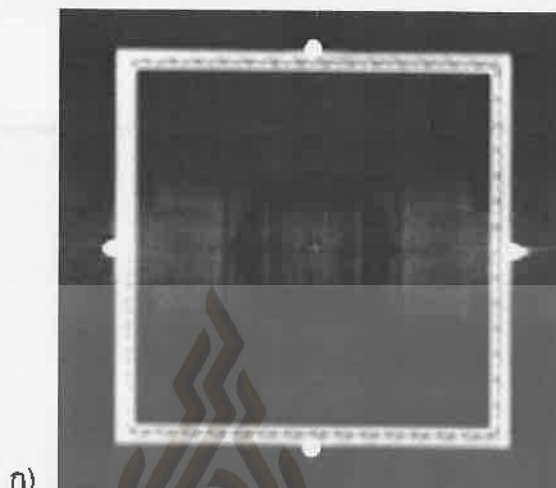
4.3 ความถูกต้องในการจัดตำแหน่ง

การทดสอบความถูกต้องในการจัดตำแหน่ง สามารถประเมินได้จากค่าความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายที่ได้จากการเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบลำรังสีรูปกรวยกับภาพถ่ายตั้งต้นจากการเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ด้วยเครื่องจำลองการรักษาแบบสามมิติดังภาพที่ 16 ซึ่งในการเปรียบเทียบจะใช้โปรแกรมเปรียบเทียบอัตโนมัติเพื่อหาค่าดังกล่าว ซึ่งภาพตัวอย่างของโปรแกรกดังกล่าวแสดงได้ดังภาพที่ 17 ในการศึกษานี้ได้จัดตำแหน่ง จำนวน 10 ครั้ง และได้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของการจัดตำแหน่งในแต่ละแนวการเคลื่อนที่ได้แก่ แนวซ้าย-ขวา แนวหัว-เท้า และแนวบน-ล่าง ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4

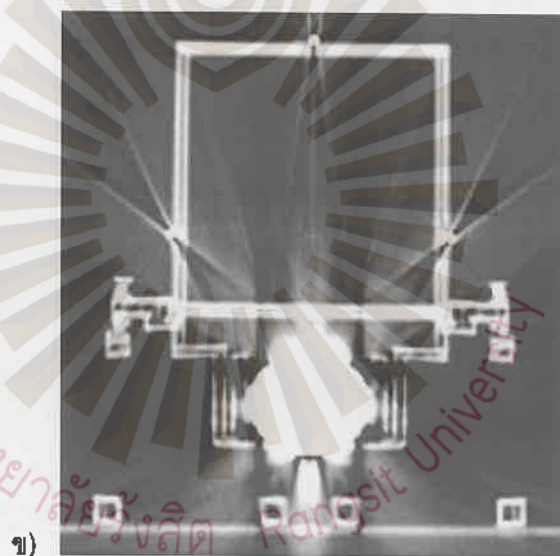
จากผลการทดลองในตารางที่ 4 พบว่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของการจัดตำแหน่งมีค่าน้อยกว่า 1 มิลลิเมตรสำหรับแนวการเคลื่อนที่ในแนวซ้าย-ขวา และแนวหัว-เท้า ขณะที่แนวบน-ล่างมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของการจัดตำแหน่งมีค่ามากกว่า 1 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของการจัดตำแหน่งในแต่ละแนวการเคลื่อนที่

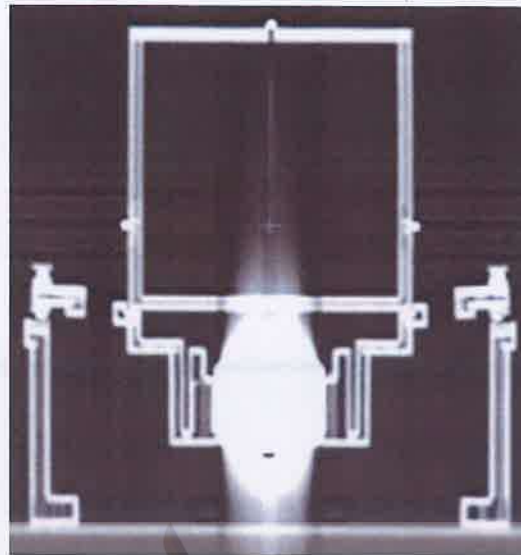
ค่าเฉลี่ย (เซนติเมตร)		
แนวซ้าย-ขวา	แนวหัว-เท้า	แนวบน-ล่าง
0.062	0.054	0.142



ก)

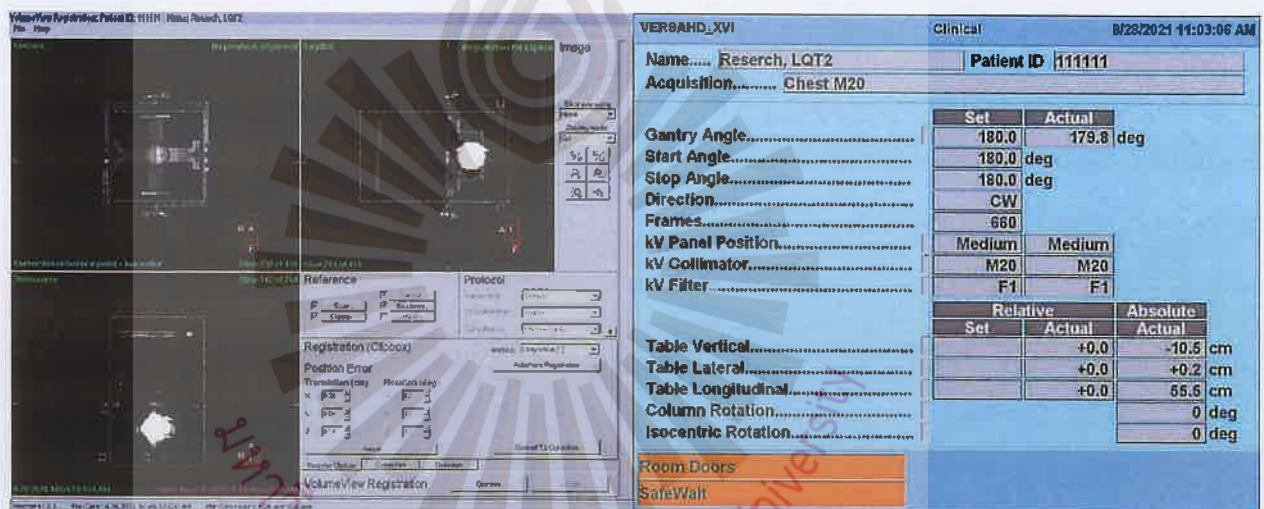


ข)



ค)

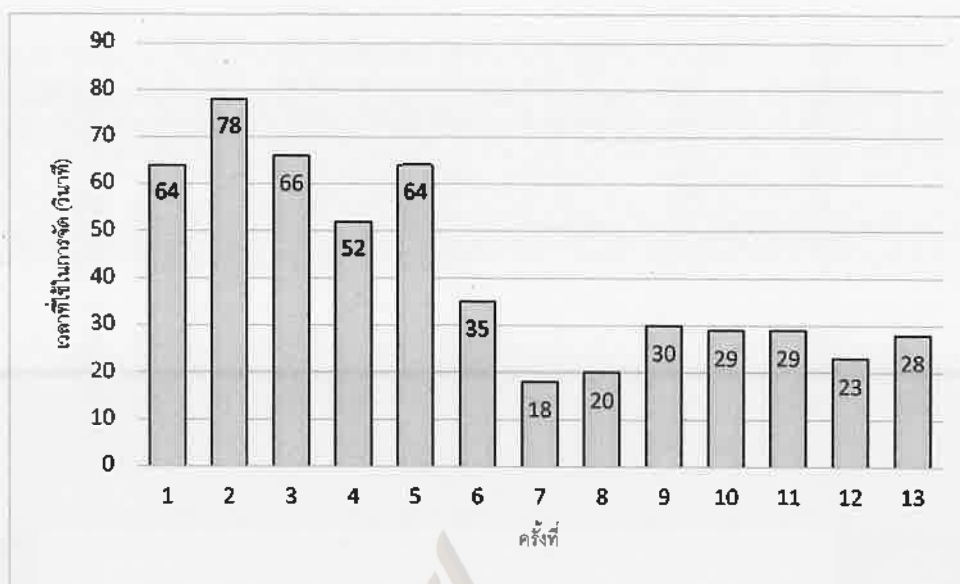
ภาพที่ 16 ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพภายในห้องฉายรังสี ในมุมมองต่าง ๆ ได้แก่ ก) แนว coronal ข) แนว sagittal และ ค) แนว axial



ภาพที่ 17 ภาพโปรแกรมเปรียบเทียบอัตโนมัติ โดยค่าความคลาดเคลื่อนของการจัดตำแหน่งแต่ละครั้ง จะได้สังเกตได้จากส่วน position error

4.4 ประสิทธิภาพในการจัดตำแหน่ง

ประสิทธิภาพในการจัดตำแหน่งจะถูกพิจารณาจากการจับเวลาการจัดตำแหน่งอุปกรณ์แต่ละครั้ง โดยจะสุ่มตำแหน่งตั้งต้นของอุปกรณ์ในระยะห่างไม่เกิน 20 เซนติเมตรจากตำแหน่ง isocenter ซึ่งค่าเวลาดังกล่าวจะบันทึกระหว่างการทดสอบในประเด็นอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องจัดตำแหน่งไปยัง isocenter ซึ่งมีการบันทึกเวลา ได้ 13 ครั้งจากการจัดตำแหน่ง 20 ครั้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 18 ถึง 78 วินาที แสดงได้ดังแผนภูมิที่ 1



แผนภูมิที่ 1 เปรียบเทียบเวลาในการจัดตำแหน่งอุปกรณ์ฯ แต่ละครั้ง

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เวลาในการจัดตำแหน่งอุปกรณ์ฯ เฉลี่ย คือ 41.23 วินาที มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 20.58 วินาที นอกจากนี้ข้อมูลจากกราฟที่ 1 ยังแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาในการจัดอุปกรณ์ฯ ที่หากมีการใช้งานซ้ำในจำนวนครั้งที่มากขึ้น อาจสร้างความคล่องตัวและส่งผลต่อการลดเวลาในการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ฯ ลง

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติ

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลการทดสอบความสามารถในการชดเชยพื้นเอียง

จากผลการทดสอบความสามารถในการชดเชยพื้นเอียง ของทั้ง 2 แนวการจัดวางคือ ตามแนวซ้าย-ขวา และตามแนวหัว-ท้าย ได้นำข้อมูลมาทดสอบว่าค่าเฉลี่ยมุมของอุปกรณ์จากการตั้งค่าองศาการเอียงของเตียงฉายรังสีที่แตกต่างกันมีค่าเท่ากันหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ one-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ามีค่าองศาการเอียงของอุปกรณ์ฯ จากทั้ง 2 แนวการจัดวางบนระดับเตียงที่แตกต่างกัน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหากอุปกรณ์ฯ มีความสามารถในการชดเชยพื้นเอียงจริงควรมีค่าความเอียงไม่แตกต่างกันเมื่อพื้นเอียงต่างกัน

4.5.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลการทดสอบความถูกต้องในการจัดตำแหน่ง

จากผลการทดสอบความถูกต้องในการจัดตำแหน่ง ได้นำข้อมูลมาทดสอบเพื่อหาว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับ 0 หรือไม่ โดยใช้ t-test โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % พบว่าค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกทิศทางการเคลื่อนที่ของการจัดวาง

4.5.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลการทดสอบประสิทธิภาพในการจัดตำแหน่ง

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพในการจัดตำแหน่ง ได้นำข้อมูลเวลาในการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ฯ ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ มาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับเวลาในการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ฯ ทั่วไป (ประมาณค่าเวลาในการจัดอุปกรณ์ฯ ทั่วไปที่ 3 นาที) โดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าเวลาในการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ฯ ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่าเวลาในการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ฯ ทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 5 สรุป วิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุป

- อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้
 - มีความสามารถในการชดเชยพื้นเอียงได้ โดยสามารถลดความลาดเอียงจากพื้นเอียงไม่เกิน 2 องศา ให้เหลือน้อยกว่า 0.0015 องศา แต่ค่าที่ได้จะยังไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า p -value < 0.05 ทั้ง แนวซ้าย-ขวาและแนวหัว-ท้ายของการวางอุปกรณ์ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
 - มีความสามารถในการทำซ้ำโดยที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตำแหน่งน้อยกว่า 0.3 มิลลิเมตร ในทุกแนวการเคลื่อนที่
 - มีค่าความถูกต้องในการจัดตำแหน่ง โดยมีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร ในแนวซ้าย-ขวา และแนวหัว-ท้าย แต่สำหรับแนวบน-ล่างพบว่า ค่าความผิดพลาดมากกว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ในโรงพยาบาล โดยสอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางสถิติที่พบว่าค่าที่ได้ยังแตกต่างกับตำแหน่งเดิม 0 องศาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า p -value < 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
 - ใช้เวลาในการจัดตำแหน่ง เฉลี่ยประมาณ 41.23 วินาที ซึ่งน้อยกว่าเวลาในการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า p -value < 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วิจารณ์ผลการทดลอง

อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ ถูกสร้างขึ้นโดยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติด้วยการใช้เทคนิคการปล่อยเส้นพลาสติกในลักษณะที่เป็นสถานะกึ่งของเหลว และรองรับวัตถุประสงค์ของการออกแบบ โดยอุปกรณ์ที่ออกแบบจากเทคโนโลยีข้างต้นมีความสามารถในการชดเชยพื้นเอียงซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ส่งผลต่อความถูกต้องในการจัดตำแหน่ง ประกอบกับยังมีความสามารถในการจัดตำแหน่งซ้ำ และมีผลให้การจัดอุปกรณ์ใช้เวลาในการจัดตำแหน่งลดลงได้

แตเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ายังไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในหลายประเด็น ทั้งนี้ อาจมาจากการพิมพ์สามมิติ โดยกระบวนการนี้ยังคงต้องการการตัดแต่งส่วนค้ำยันที่ถูกสร้างขึ้นระหว่างการพิมพ์ อีกทั้งพื้นผิวรอยต่อต่างในส่วนต่าง ๆ เช่นส่วนที่ต่อกับตลับลูกปืนพลาสติกที่จำเป็นต้องขัดเพื่อเอาส่วนต่าหนีออก จึงทำให้อุปกรณ์ที่ได้เกิดความไม่สมดุลของน้ำหนักของแต่ละส่วนของอุปกรณ์ ผู้วิจัยได้เพิ่มส่วนลูกตุ้มถ่วงน้ำหนักเพื่อชดเชยปัญหาในประเด็นดังกล่าว แม้ว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้อาจยังไม่เพียงพอที่จะทำให้อุปกรณ์ไม่สามารถชดเชยพื้นเอียงได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่สามารถพัฒนาต่อไปในอนาคตโดยการทดลองใช้กระบวนการของการพิมพ์สามมิติอื่น ๆ ที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามยังพบว่าเมื่อวางอุปกรณ์ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้บนพื้นราบที่ 0 องศา ยังคงทำให้เกิดการเอียงของอุปกรณ์เล็กน้อย ซึ่งอาจส่งผลต่อความถูกต้องและความสามารถในการจัดอุปกรณ์ซ้ำ แต่ในขณะที่การออกแบบส่วนฐานของอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพในลักษณะที่ในงานวิจัยนี้ มีส่วน

ช่วยลดเวลาในการทำงาน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถลดภาระงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพเครื่องฉายรังสีลงได้

การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีในงานวิจัยนี้ แม้ว่าจะช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพเครื่องมือ แต่การใช้งานอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่มีคุณภาพมากกว่าในงานวิจัยนี้ ยังคงมีจำเป็นต้องสอบเทียบคุณภาพอย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดของอุปกรณ์ฯ จนนำไปสู่การแปลผลที่ผิดพลาดโดยคณะผู้วิจัยเล็งเห็นว่าหากอุปกรณ์ประสบความสำเร็จในการพัฒนา อาจนำไปสู่การปรับปรุงแบบการทำงาน โดยใช้อุปกรณ์ฯ ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ในการควบคุมคุณภาพประจำวัน แต่อาจปรับเปลี่ยนให้อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์แบบปรับฐาน(แบบเดิม) ไปใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพชนิดรายสัปดาห์แทน เนื่องจากในขั้นตอนการใช้งานยังคงมีการตรวจสอบการตั้งตรงของอุปกรณ์โดยใช้ระดับน้ำโดยตรง ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่า และผลการทดสอบระบบเลเซอร์ในห้องฉายรังสีจากอุปกรณ์ทั่วไปจะช่วยให้การตรวจจับความคลาดเคลื่อนหรือข้อผิดพลาดที่เกิดจากอุปกรณ์ฯ ที่ถูกพัฒนาในงานวิจัยนี้

การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีในงานวิจัยนี้ มีความแตกต่างกับอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์โดยทั่วไป ที่นิยมออกแบบเป็นรูปร่างลูกบาศก์ และใช้ร่วมกับฐานวางที่ปรับความเอียงได้โดยใช้การหมุนนอตพลาสติก (QUALITY QUALITY ASSURANCE-GEOMETRIC ASSURANCE-GEOMETRIC ALIGNMENT ALIGNMENT, LASER, n.d.) เช่น อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ รุ่น IsoCube พร้อมฐานวาง จากบริษัท Radiation Products Design จำกัด รุ่น ISO BASE™ alignment platform ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงลูกบาศก์ติดตั้งบนฐานปรับระดับได้ที่แสดงดังภาพที่ 18 ซึ่ง รูปแบบของฐานวางชนิดนี้สามารถปรับระดับเพื่อชดเชยความเอียงได้เช่นเดียวกับ อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ เมื่อนำไปใช้งานจริงพบว่า เมื่อจัดวางอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพระบบเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีในรูปร่างลูกบาศก์ และใช้ร่วมกับฐานวางที่ปรับความเอียงได้โดยใช้การหมุนนอตพลาสติกได้ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้วจะมีความคงตัวมากกว่า และสามารถใช้อ้างอิงเพื่อปรับความคลาดเคลื่อนของเลเซอร์จัดตำแหน่งในห้องฉายได้ทันทีหลังการตรวจสอบตำแหน่ง



ภาพที่ 18 แสดงอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ รุ่น IsoCube พร้อมฐานวาง จากบริษัท Radiation Products Design จำกัด รุ่น ISO BASE™ alignment platform ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงลูกบาศก์ ติดตั้งบนฐานปรับระดับได้ (QUALITY QUALITY ASSURANCE-GEOMETRIC ASSURANCE-GEOMETRIC ALIGNMENT ALIGNMENT, LASER, n.d.)

ข้อเสนอแนะ

- ควรเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ทดสอบในงานวิจัยนี้ กับ อุปกรณ์อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่มีการใช้งานจริงในโรงพยาบาลต่าง ๆ
- ควรทดสอบความแม่นยำในการอ่านค่าความคลาดเคลื่อน และความสามารถในการตรวจจับค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด
- ควรทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งานในกลุ่มนักรังสีการแพทย์และนักฟิสิกส์การแพทย์ที่ปฏิบัติงานด้านรังสีรักษา เพื่อหาจุดบกพร่องและแก้ไขเพื่อให้อุปกรณ์อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพเลเซอร์ภายในห้องฉายรังสีที่พัฒนาในงานวิจัยนี้สามารถใช้งานได้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ปฏิบัติงานมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Arts, J. K., Bailey, M. J., Bannister, K., Lee, M., & Holloway, L. (2006). Investigation into the impact of couch sag on delivered dose. *Australasian Physics & Engineering Sciences in Medicine*, 29(3), 241–250. <https://doi.org/10.1007/BF03178572>
- Brezovich, I. A., & Jordan, S. (2007). A device for precision positioning and alignment of room lasers to diminish their contribution to patient setup errors. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 8(4), 45–53. <https://doi.org/10.1120/jacmp.v8i4.2398>
- Hwang, U.-J., Jo, K., Lim, Y. K., Kwak, J. W., Choi, S. H., Jeong, C., Kim, M. Y., Jeong, J. H., Shin, D., Lee, S. B., Park, J.-H., Park, S. Y., & Kim, S. (2016). A new method and device of aligning patient setup lasers in radiation therapy. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 17(1), 49–61. <https://doi.org/10.1120/jacmp.v17i1.5527>
- ISO Cube Daily QA Phantom: Data sheet. (n.d.). CIRS. <http://www.cirsinc.com/wp-content/uploads/2020/07/023-v-2.2-DS-072020.pdf>
- Klein, E. E., Hanley, J., Bayouth, J., Yin, F.-F., Simon, W., Dresser, S., Serago, C., Aguirre, F., Ma, L., Arjomandy, B., Liu, C., Sandin, C., & Holmes, T. (2009). Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators: Task Group 142 Report: QA of Medical Accelerators. *Medical Physics*, 36(9Part1), 4197–4212. <https://doi.org/10.1118/1.3190392>
- Kutcher, G. J., Coia, L., Gillin, M., Hanson, W. F., Leibel, S., Morton, R. J., Palta, J. R., Purdy, J. A., Reinstein, L. E., Svensson, G. K., Weller, M., & Wingfield, L. (1994). Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. *Medical Physics*, 21(4), 581–618. <https://doi.org/10.1118/1.597316>
- NHS GRAMPYAN CHARITIES. (2018, July 9). *New lasers for radiotherapy*. <https://www.nhsgcharities.com/2018/07/19/new-lasers-for-radiotherapy/NHS-Grampian-Endowment-Fund-Westholme-Woodend-Hospital-Aberdeen>
- Podgoršak, E. B., & International Atomic Energy Agency (Eds.). (2005). *Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students*. International Atomic Energy Agency.
- QUALITY QUALITY ASSURANCE-GEOMETRIC ASSURANCE-GEOMETRIC ALIGNMENT ALIGNMENT, LASER. (n.d.). Radiation Product design, Inc. https://www.rpdinc.com/2019-U-Quality_Assurance_Geometric_Alignment_Laser.pdf#page=21
- Rohringer, S. (2020, February 6). *2020 3D printer filament buyer's guide*. <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>

RT ALIGN ROTATE specification sheet. (n.d.). Leeds test object.

<https://www.leedstestobjects.com/wp-content/uploads/RT-ALIGN-ROTATE-product-specifications.pdf?x49446>

Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286–1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>



ประวัติผู้วิจัย

คำนำหน้า	นาย
ตำแหน่งทางวิชาการ	อาจารย์
ชื่อผู้วิจัย	กฤษณะ
นามสกุลผู้วิจัย	อุทาพรหม
ชื่อภาษาอังกฤษ	Kitsana
นามสกุลภาษาอังกฤษ	Utapom
วัน เดือน ปี เกิด	11 กรกฎาคม 2533
ที่อยู่ (บ้าน)	125 หมู่ 6 ต. บ้านกร่าง อ. ศรีประจันต์
จังหวัด (บ้าน)	จ. สุพรรณบุรี
รหัสไปรษณีย์ (บ้าน)	72140
โทรศัพท์ (บ้าน)	-
โทรสาร (บ้าน)	-
ที่อยู่ (ที่ทำงาน)	คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต อาคาร 10 ชั้น 10 เลขที่ 52/347 ซอยพหลโยธิน 87 ถนนพหลโยธิน อำเภอเมืองปทุมธานี
จังหวัด (ที่ทำงาน)	จังหวัดปทุมธานี
รหัสไปรษณีย์ (ที่ทำงาน)	12000
โทรศัพท์ (ที่ทำงาน)	0-2997-2200-30 ต่อ 1704-1711
โทรสาร (ที่ทำงาน)	-
E-mail Address	Kitsana.u@rsu.ac.th
ปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต เกียรตินิยม อันดับ 2
สาขา	รังสีเทคนิค
ปีที่จบ	2556
สถาบัน	มหาวิทยาลัยนเรศวร (คณะสหเวชศาสตร์)
ประเทศ	ไทย
ปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	ฟิสิกส์การแพทย์
ปีที่จบ	2561
สถาบัน	มหาวิทยาลัยมหิดล (คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี)
ประเทศ	ไทย

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ใน
วารสารต่างประเทศ

สาขาวิจัยที่นักวิจัย
เชี่ยวชาญ

1. Posterior kV-CBCT scanning of the head and neck region minimizes doses to critical organs with sustained image quality

Radiation therapy

Dosimetry

Quality assurance in radiation therapy

Monte Carlo simulation



ประวัติผู้วิจัย

คำนำหน้า	นาย
ตำแหน่งทางวิชาการ	อาจารย์
ชื่อผู้วิจัย	ธนพัฒน์
นามสกุลผู้วิจัย	ช่องสาร
ชื่อภาษาอังกฤษ	Thanaphat
นามสกุลภาษาอังกฤษ	Chongsan
วัน เดือน ปี เกิด	14 กรกฎาคม 2529
ที่อยู่ (บ้าน)	อาคารชุด "แอสปาย รัตนาธิเบศร์ 2" อาคารเอส (บี) ชั้น 18 เลขที่ 185/1212 ถนนรัตนาธิเบศร์ ตำบลบางกระสอ อำเภอเมืองนนทบุรี
จังหวัด (บ้าน)	จังหวัดนนทบุรี
รหัสไปรษณีย์ (บ้าน)	11000
โทรศัพท์ (บ้าน)	08 6846 5074
โทรสาร (บ้าน)	-
ที่อยู่ (ที่ทำงาน)	คณะรังสีเทคนิค มหาวิทยาลัยรังสิต อาคาร 10 ชั้น 10 เลขที่ 52/347 ซอยพหลโยธิน 87 ถนนพหลโยธิน อำเภอเมืองปทุมธานี
จังหวัด (ที่ทำงาน)	จังหวัดปทุมธานี
รหัสไปรษณีย์ (ที่ทำงาน)	12000
โทรศัพท์ (ที่ทำงาน)	0-2997-2200-30 ต่อ 1704-1711
โทรสาร (ที่ทำงาน)	-
E-mail Address	Thanaphat.C@rsu.ac.th
ปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต เกียรตินิยม อันดับ 2
สาขา	รังสีเทคนิค
ปีที่จบ	2553
สถาบัน	มหาวิทยาลัยนเรศวร (คณะสหเวชศาสตร์)
ประเทศ	ไทย
ปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	ฟิสิกส์การแพทย์
ปีที่จบ	2559
สถาบัน	มหาวิทยาลัยมหิดล (คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี)

ประเทศ

ไทย

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ใน

Chongsan T., Liamsuwan T., Tangboonduangjit P. (2016).

วารสารต่างประเทศ

Dosimetric investigation of proton therapy on CT-based patient data using Monte Carlo simulation. J. Phys.: Conf.

Ser. 694 012021, 1-5. [https://doi.org/10.1088/1742-](https://doi.org/10.1088/1742-6596/694/1/012021)

[6596/694/1/012021](https://doi.org/10.1088/1742-6596/694/1/012021)

สาขาวิจัยที่นักวิจัย

Radiation Protection

เชี่ยวชาญ

Radiation Physics

Radiotherapy

Quality Assurance of Radiotherapy



ประวัติผู้วิจัย

คำนำหน้า	นาย
ตำแหน่งทางวิชาการ	อาจารย์
ชื่อผู้วิจัย	ศิวพล
นามสกุลผู้วิจัย	หมั่นสิงห์
ชื่อภาษาอังกฤษ	Siwapon
นามสกุลภาษาอังกฤษ	Munsing
วัน เดือน ปี เกิด	16 กุมภาพันธ์ 2533
ที่อยู่ (บ้าน)	133 หมู่ 3 ต.โพธิ์ไทร อ.ดอนตาล จ.มุกดาหาร
จังหวัด (บ้าน)	จ. มุกดาหาร
รหัสไปรษณีย์ (บ้าน)	49120
โทรศัพท์ (บ้าน)	-
โทรสาร (บ้าน)	-
ที่อยู่ (ที่ทำงาน)	99 หมู่ 9 คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก
จังหวัด (ที่ทำงาน)	จ.พิษณุโลก
รหัสไปรษณีย์ (ที่ทำงาน)	65000
โทรศัพท์ (ที่ทำงาน)	055-965583
โทรสาร (ที่ทำงาน)	-
E-mail Address	Siwaponm@nu.ac.th
ปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต เกียรตินิยม อันดับ 1
สาขา	รังสีเทคนิค
ปีที่จบ	2556
สถาบัน	มหาวิทยาลัยนเรศวร (คณะสหเวชศาสตร์)
ประเทศ	ไทย
ปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	ฟิสิกส์การแพทย์
ปีที่จบ	2561
สถาบัน	มหาวิทยาลัยมหิดล (คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี)
ประเทศ	ไทย
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารต่างประเทศ	2. Posterior kV-CBCT scanning of the head and neck region minimizes doses to critical organs with sustained image quality

สาขาวิจัยที่นักวิจัย
เชี่ยวชาญ

3. The radioprotective potential of *Centotheca lappacea*
(L) desv. extract in human endothelial cell

Radiation therapy

Dosimetry

Quality assurance in radiation therapy

Monte Carlo simulation

