นวัตกรรมการประดิษฐ์กล่องสำหรับถ่ายภาพเจลพร้อมแอลอีดีทรานซิลลูมิเนเตอร์

Innovation in the Creation of Gel Imaging Box with DIY LED Transilluminator

ธนสาร ศิริรัตน์[1]*, สุรวินท์ รีเรียง[2], รัชชานนท์ มุระชีวะ[2], วัชรินทร์ รังษีภาณุรัตน์[1],
พัชรี กัมมารเจษฎากุล[1] สุวรรณา เสมศรี[1], พรทิพย์ พึ่งม่วง[1], สมหญิง งามอรุเลิศ[1],
กาญจนา ศิริรัตน์[1], ดวงมณี แสนมั่น[1], สุชา จุลสำลี[1], ปัญจพร นิ่มมณี[1]
[1]คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
[2]คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
*Email : tansno@hotmail.com

บทคัดย่อ

การตรวจสอบแถบดีเอ็นเอภายใต้แสงยูวีเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย แต่มีข้อเสียหลายประการ เช่น หลอดยูวีมีราคาแพง อายุการใช้งานสั้น สารเอธิเดียมโบรไมด์ก่อให้เกิดมะเร็งได้ การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อประดิษฐ์เครื่องอ่านแถบดีเอ็นเอที่ใช้แสงแอลอีดีความยาวคลื่น 400, 470 และ 525 nm พบว่าความยาวคลื่น 470 nm ให้ภาพถ่ายแถบดีเอ็นเอที่ย้อมด้วย SERVA Stain G ได้ชัดเจนจากกล้องสมาร์ทโฟนที่มีขนาดรูรับแสง 2.0 และเวลารับแสง 1 วินาที ซึ่งชัดกว่าใช้แสงยูวีที่ขนาดรูรับแสง 1.4 และเวลารับแสงตั้งแต่ 1.6 วินาทีขึ้นไป สรุปว่าเครื่อง DIY LED Transilluminator สามารถอ่านแถบดีเอ็นเอได้อย่างมีประสิทธิภาพและราคาถูกกว่าท้องตลาดถึง 10 เท่า

คำสำคัญ : ยูวี เอธิเดียมโบรไมด์ แอลอีดี SERVA Stain G

Abstract

DNA detection by UV transilluminator is widely used, but there are many disadvantages such as UV lamp, which is expensive and short life. Moreover ethidium bromide is carcinogen. This study aimed to invent the DNA reader device that used LED wavelengths at 400, 470 and 525 nanometer with SERVA Stain G dye. The results showed that LED wavelength at 470 nanometer provides clear photos from a camera smartphone with aperture of 2 and with speed shutter of 1 seconds or more, which is clearer than photos from UV transilluminator with aperture of 1.4. DNA band by Gel doc was visible when the exposure time was more than or equal to 1.6 seconds. Inconclusion DIY LED Transilluminator can read DNA band effectively and 10 times cheaper than other machine in the market.

Keywords : UV transilluminator, Ethidium bromide, LED, SERVA Stain G

บทนำ

การตรวจสอบสารพันธุกรรมและผลผลิตของสารพันธุกรรมชนิด DNA ใช้เทคนิคที่อาศัยหลักการ การเคลื่อนที่ของสารบนเจลภายใต้สนามไฟฟ้า (gel electrophoresis) (Lee, Costumbrado, Hsu, & Kim, 2012) โดยแถบของ DNA ที่แยกได้นี้ต้องติดฉลากด้วยสีย้อมที่มีคุณสมบัติเป็นสารประกอบฟลูออเรสเซนต์ เช่น สารละลายเอธิเดียมโบรไมด์ (ethidium bromide หรือ EtBr), GelGreen, GelRed และ SYBR green ซึ่งสามารถดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet หรือ UV) หรือแสงในช่วงที่มองเห็น เพื่อสังเกตการปรากฏของแถบ DNA ที่แยกได้บนแผ่นเจล (Anjomshoa & Torkzadeh-Mahani, 2016; Lee et al., 2012; Sharp, Sugden, & Sambrook, 1973; Valdes, Garcia-Canas, & Cifuentes, 2013) แต่การถ่ายภาพเจลด้วยแสง UV นั้นมีข้อเสียหลายอย่าง เช่น การซ่อมแซมที่ยุ่งยาก อายุการใช้งานที่สั้นของหลอด UV ราคาเครื่องที่สูง ผลของแสง UV ต่อสารพันธุกรรมที่เราสนใจอาจเสื่อมสภาพไปเมื่อสัมผัสกับแสง UV โดยเฉพาะอันตรายจากแสง UV ต่อผู้ปฏิบัติงาน (Akbar-Khanzadeh & Jahangir-Blourchian, 2005; D'Orazio, Jarrett, Amaro-Ortiz, & Scott, 2013; Harper, Emery, & Casserly, 2008; Kiefer, 2007; Watson, Holman, & Maguire-Eisen, 2016) ซึ่งต่างจาก light-emitting diodes (LED) ซึ่งปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน ราคาถูก การใช้งานยาวนาน และสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย (Held, 2016) จึงได้มีการทำการประดิษฐ์เครื่องถ่ายภาพเจลที่มี LED เป็นแหล่งกำเนิดแสง (Talukder, Saito, & Biyani, 2015; Kim, Song, & Kim, 2019) เนื่องจากสาร EthBr, GelGreen, GelRed และ SYBR green สามารถถูกกระตุ้นด้วยแสง LED ที่ความยาวคลื่นในช่วง 400 ถึง 630 นาโนเมตร (nm) และเปล่งแสงออกมาให้เห็นได้ด้วยเช่นกัน โดยปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ DNA ซึ่งจะตัดปัญหาการใช้งานต่างๆ ของ UV ไปได้

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการประดิษฐ์เครื่องถ่ายภาพเจลโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงจาก LED ที่ความยาวคลื่น 400, 470 และ 525 nm เพื่อทดแทนแทนการใช้ Gel documentation system และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าราคาจำหน่ายในท้องตลาดและสามารถถ่ายภาพได้ด้วยกล้องบนสมาร์ทโฟน

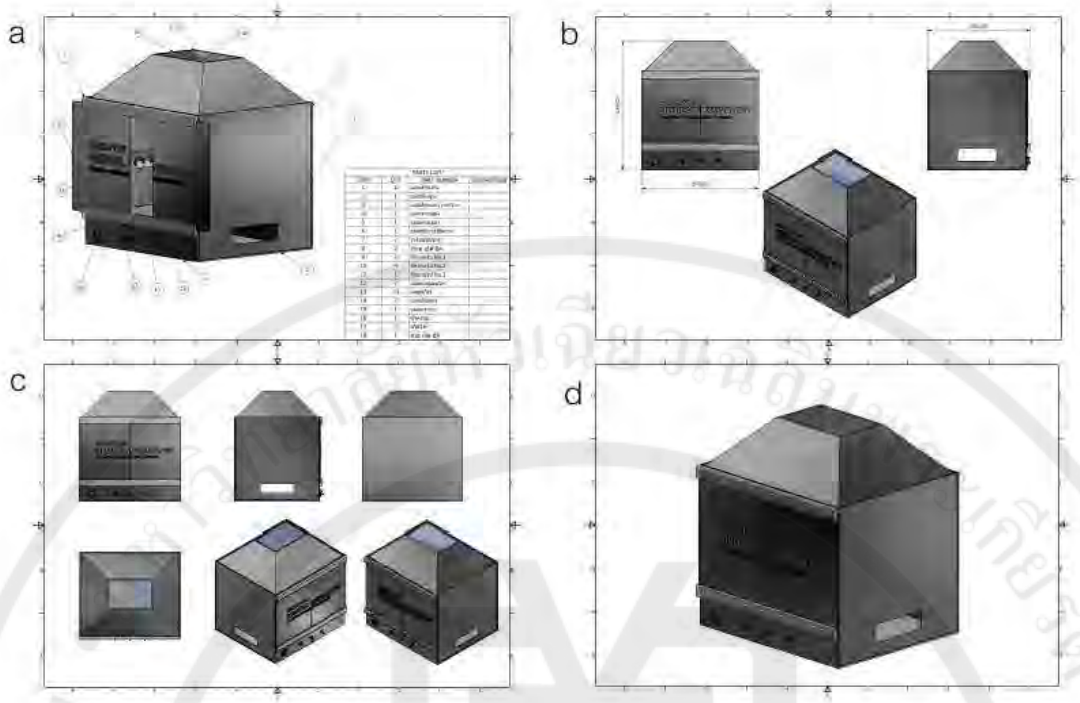
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประดิษฐ์เครื่องถ่ายภาพเจลโดยใช้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิด LED
2. เพื่อเปรียบเทียบความชัดเจนของภาพถ่ายแถบ DNA fragment ที่กระตุ้นด้วย UV transilluminator และ LED transilluminator เมื่อย้อมเจลด้วย SERVA Stain G dye

ระเบียบวิธีวิจัย

การสร้างเครื่อง DIY (Do it by yourself) LED transilluminator

1. ทำการออกแบบโครงอะคริลิกด้วยโปรแกรม Autodesk inventor professional 2017 ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การออกแบบ DIY LED transilluminator ด้วยโปรแกรม Autodesk inventor professional 2017

2. ออกแบบวงจรไฟฟ้าและคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าได้จากสมการ

$$V = IR \quad (1)$$

เมื่อ V = ความต่างศักย์

I = กระแสไฟฟ้า

R = ความต้านทาน

และ $P = IV \quad (2)$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า

V = ความต่างศักย์

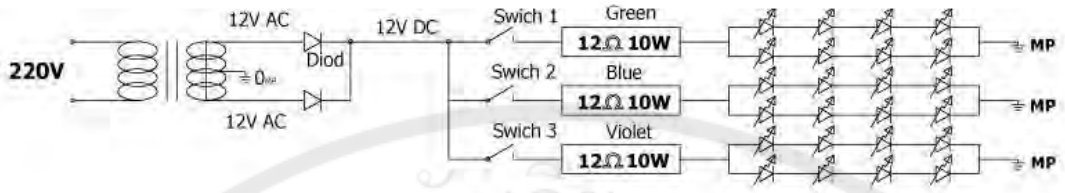
I = กระแสไฟฟ้า

ทั้งนี้ใช้กระแสไฟฟ้าสลับ 220V เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้า จากนั้นจะทำการแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 12V แล้วจึงต่อเข้ากับหลอด LED แต่ละความยาวคลื่นด้วยวงจรไฟฟ้าแบบขนาน และแบบอนุกรมในชนิดหลอด LED ที่ให้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวกัน ซึ่งแยกสวิตช์เปิดและปิดของหลอด LED ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2a

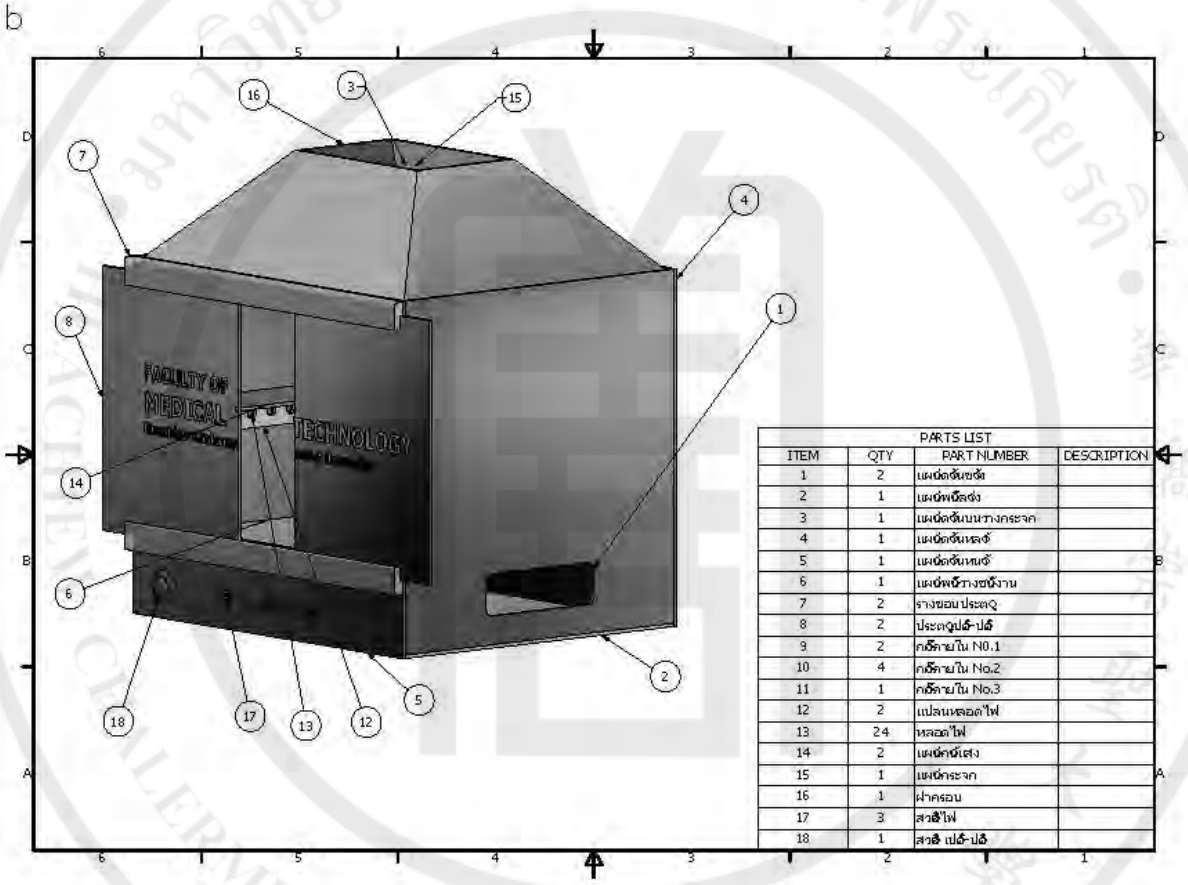
3. ตัดแผ่นอะคริลิกด้วย CNC machine mining และนำอะคริลิกมาประกอบตามที่ได้ออกแบบไว้

4. ทำการติดตั้งวงจรและหลอด high power LEDs-single color (120 degrees, 700 mA, 2.95 V, 3W) ที่ให้ความยาวคลื่น 400, 470 และ 525 nm จำนวนชนิดละ 4 หลอด จากนั้นทำการติดตั้งสายไฟและสวิตช์ตามตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 2b

a



b



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	แผ่นด้านขวัด	
2	1	แผ่นพื้นล่าง	
3	1	แผ่นด้านบนรางกระจก	
4	1	แผ่นด้านหลัง	
5	1	แผ่นด้านหน้า	
6	1	แผ่นพื้นรางขยับงาน	
7	2	รางขอบประตูQ	
8	2	ประตูปลั๊-ปลั๊	
9	2	กลั๊กายใน N0.1	
10	4	กลั๊กายใน No.2	
11	1	กลั๊กายใน No.3	
12	2	แปลนหลอดไฟ	
13	24	หลอดไฟ	
14	2	แผ่นพื้นเสง	
15	1	แผ่นกระจก	
16	1	ฝาครอบ	
17	3	สวลี่ไฟ	
18	1	สวลี่ เปลั๊-ปลั๊	

รูปที่ 2 รูปแบบของวงจร (a) และแบบการติดตั้ง ตำแหน่งการวางหลอด LED และส่วนประกอบต่างๆ (b)

รูปที่ 3 ภาพถ่าย DIY LED Transilluminator

การแยกแถบ DNA ด้วยเทคนิค electrophoresis

1. การเตรียมอะกาโรสเจลที่ความเข้าข้น 1.5% โดยชั่ง agarose gel (Sigma-Aldrich) จำนวน 1.5 กรัม ผสมด้วย TBE buffer (45 mM Tris-borate, 1mM EDTA) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วทำการละลายอะกาโรสเจลด้วย microwave จนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติม SERVA DNA Stain Clear G (SERVA, Heidelberg, Germany) ลงไปในอัตราส่วน 4 ไมโครลิตร จากนั้นรอให้ อะกาโรสเจลเย็นลงจนมีอุณหภูมิประมาณ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส แล้วเทลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ และรอให้อะกาโรสเจลแข็งตัวเพื่อพร้อมนำไปใช้งานได้

2. ทำgel electrophoresis โดยใช้ DNA Ladder (GeneRuler 100 bp Plus DNA Ladder, Thermo Fisher Scientific, MA USA) ปริมาณ 100, 200, 300, 400 และ 500 นาโนกรัม (ng) ตามลำดับ ซึ่งจะมีปริมาณ

DNA ในแต่ละช่วงความยาว DNA fragment ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นทำการแยกแถบ DNA ด้วยเทคนิค electrophoresis ด้วยแรงดันไฟฟ้า 1 – 5 V/cm เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 1 ปริมาณ DNA ในแต่ละช่วงความยาวของ DNA fragment

ความยาว DNA fragment (bp)	ปริมาณ DNA ใน ladder (ng)				
	100	200	300	400	500
3000	5.6	11.2	16.8	22.4	28
2000	5.6	11.2	16.8	22.4	28
1500	5.6	11.2	16.8	22.4	28
1200	5.6	11.2	16.8	22.4	28
1000	16	32	48	64	80
900	5.4	10.8	16.2	21.6	27
800	5.4	10.8	16.2	21.6	27
700	5.4	10.8	16.2	21.6	27
600	5.4	10.8	16.2	21.6	27
500	16	32	48	64	80
400	6	12	18	24	30
300	6	12	18	24	30
200	6	12	18	24	30
100	6	12	18	24	30

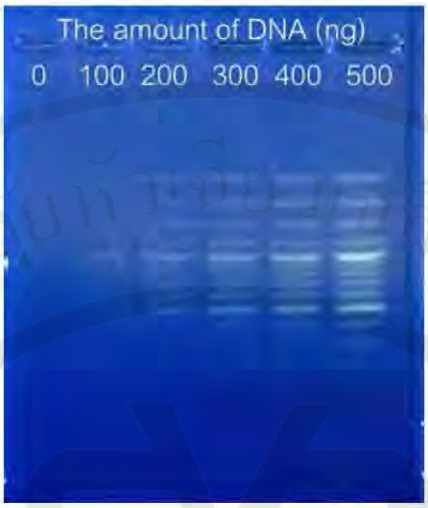
3. ตรวจสอบแถบ DNA ladder โดยใช้เครื่อง DIY LED transilluminator ที่ความยาวคลื่น 400, 470, 525 nm แล้วบันทึกภาพด้วยสมาร์ทโฟน จากนั้นนำไปตรวจสอบแถบ DNA ladder ภายใต้แสง UV ความยาวคลื่น 312 nm ด้วย Gel documentation system (Vilber Lourmat Doc-Print-1000/20M, France) แล้วบันทึกภาพ

4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการอ่านแถบ DNA ระหว่าง DIY LED transilluminator และ Gel documentation โดยการอ่านแถบ DNA ด้วย DIY LED transilluminator ถ่ายด้วยกล้องบนสมาร์ทโฟนที่มีค่ารูรับแสง f/2 และตั้งค่า speed shutter ตั้งแต่ 1 วินาทีขึ้นไป ส่วน Gel documentation มีค่ารูรับแสง f/1.4 และตั้งค่า speed shutter ตั้งแต่ 0.8 วินาทีขึ้นไป

ผลการวิจัย

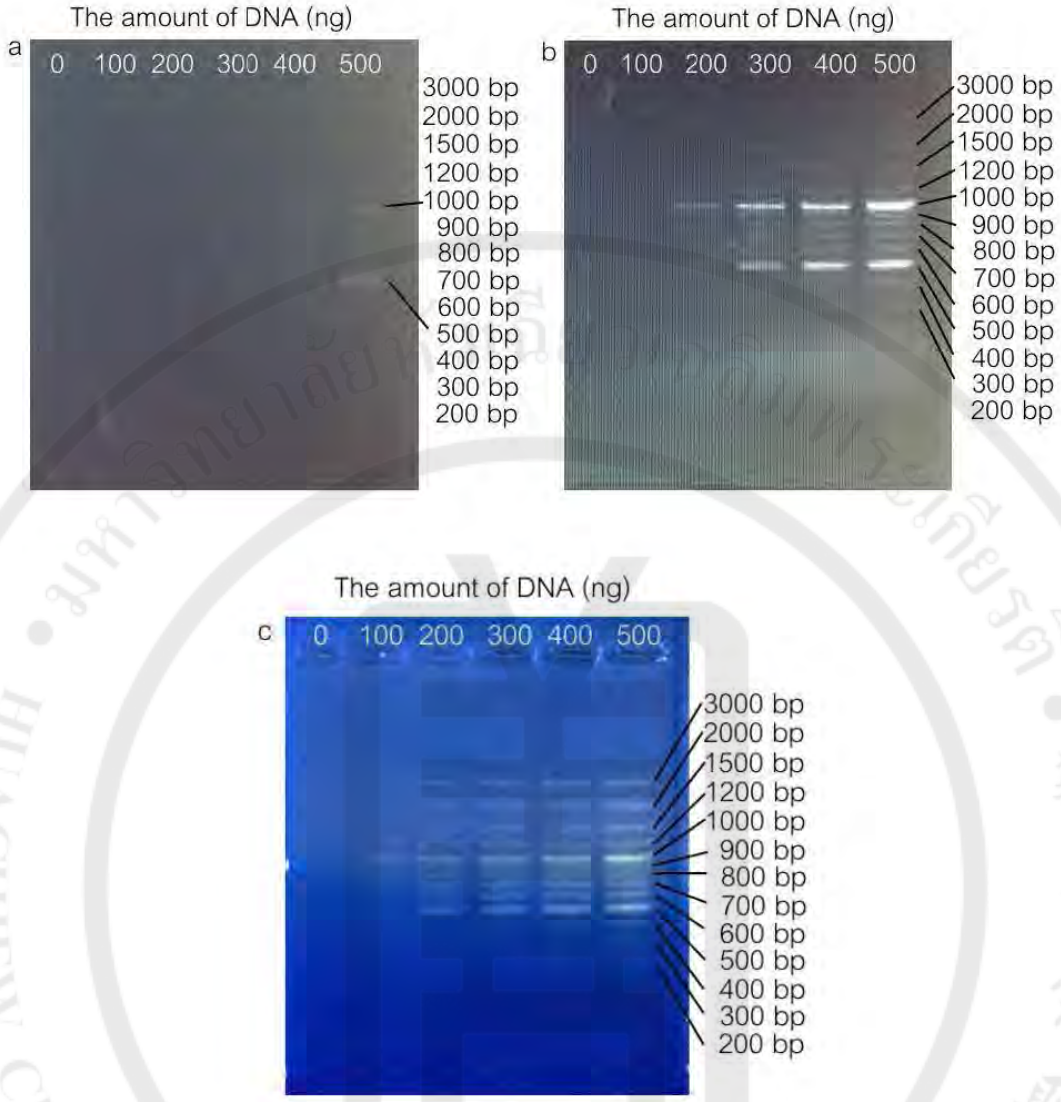
ผลการตรวจแถบ DNA โดยเครื่อง DIY LED transilluminator จากการแยกแถบ DNA ด้วยเทคนิค electrophoresis ที่มีสีย้อม SERVA DNA Stain G เมื่ออ่านผลด้วยเครื่อง DIY LED transilluminator ที่ความยาวคลื่น 400, 470 และ 525 nm และถ่ายภาพด้วยกล้องบนสมาร์ทโฟนที่มีขนาดรูรับแสง f/2 และตั้งค่า speed shutter ตั้งแต่ 1 วินาที ขึ้นไป พบว่าการอ่านแถบ DNA ภายใต้แสง LED ที่มีความยาวคลื่น 470 nm ให้ผลการอ่าน

ได้ชัดเจน (รูปที่ 4) เมื่อเปรียบเทียบกับแสง LED ที่มีความยาวคลื่น 400 nm และไม่สามารถเห็นแถบ DNA เมื่อใช้แสง LED ที่มีความยาวคลื่น 525 nm



รูปที่ 4 แถบ DNA ladder ที่ใช้ปริมาณ DNA ที่ 100, 200, 300, 400 และ 500 ที่ตรวจสอบภายใต้แสง LED ความยาวคลื่น 470 nm

เปรียบเทียบการถ่ายภาพแถบ DNA บน DIY LED transilluminator และGel documentation จากการศึกษา พบว่า การถ่ายภาพแถบ DNA ภายใต้แสง LED ที่ความยาวคลื่น 470 nm ด้วยกล้องบนสมาร์ทโฟนที่มีขนาดรูรับแสง f/2 สามารถให้ภาพถ่ายที่สามารถมองเห็นและแยกแถบ DNA ได้ชัดเจน เมื่อใช้ speed shutter ตั้งแต่ 1 วินาที ขึ้นไป (รูปที่ 4) เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายจากอะกาโรสเจลแผ่นเดียวกัน แต่ถ่ายภายใต้แสง UV ความยาวคลื่น 310 nm โดยเครื่อง Gel documentation ที่มีขนาดรูรับแสง f/1.4 และค่า speed shutter เท่ากับ 0.8 วินาที ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับกล้องบนสมาร์ทโฟนที่ใช้ พบว่าสามารถอ่านแถบ DNA บนอะกาโรสเจลแผ่นเดียวกันได้ด้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 5a) ทั้งนี้ต้องใช้ speed shutter มากกว่า 1.6 วินาที จึงสามารถเห็นแถบ DNA ที่ชัดเจนใกล้เคียงกับกล้องบนสมาร์ทโฟน (รูปที่ 5b)



รูปที่ 5 แถบ DNA ladder ที่ใช้ปริมาณ DNA ที่ 100, 200, 300, 400 และ 500 ที่ตรวจสอบ โดยเครื่อง Gel documentation ที่ a) speed shutter เท่ากับ 0.8 วินาที b) speed shutter เท่ากับ 1.6 วินาที และ c) ถ่ายด้วยกล้องบนสมาร์ทโฟนภายใต้แสง LED 470 nm

ความสามารถอ่านแถบ DNA ในแต่ละความยาวโดย DIY LED transilluminator จากการศึกษา พบว่า โดยปริมาณ DNA ต่ำสุดที่สามารถเห็นแถบ DNA ขนาด 200 และ 300 bp เท่ากับ 30 ng แถบ DNA ขนาด 400 bp เท่ากับ 24 ng แถบ DNA 500 bp เท่ากับ 32 ng แถบ DNA ขนาด 600, 700, 800 และ 900 bp เท่ากับ 10.8 ng แถบ DNA ขนาด 1000 bp เท่ากับ 32 ng แถบ DNA ขนาด 1200, 1500, 2000 และ 3000 bp เท่ากับ 16.8 ng

สรุปและวิจารณ์ผล

การอ่านแถบ DNA ภายใต้แสง LED ที่ความยาวคลื่น 400, 470 และ 525 nm ร่วมกับการใช้สีย้อม SERVA DNA Stain G (SERVA Serving Scientists, 2019) ซึ่งเปล่งแสงสีเขียวที่มี emission light ที่ 530 nm เมื่อจับกับ

สารพันธุกรรม จากผลการทดสอบการอ่านแถบ DNA ผ่าน orange filter ที่ตัดแสงที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 530 nm ไม่ให้ผ่านขึ้นมา พบว่าภายใต้แสง LED ที่มีความยาวคลื่น 400 nm ให้ผลการอ่านแถบ DNA ได้ไม่ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับแสง LED ที่มีความยาวคลื่น 470 nm เนื่องจากสีย้อม SERVA DNA Stain G มี excitation light ที่ 300 และ 450 nm (Biotium, 2019; SERVA Serving Scientists, 2019) ดังนั้นแสง LED ที่ความยาวคลื่น 470 nm ซึ่งใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่กระตุ้น SERVA DNA Stain G ได้ดีที่สุด ย่อมมี emission light intensity ที่ดีกว่าการใช้แสง LED ที่ความยาวคลื่น 400 nm จึงสามารถกระตุ้นและทำให้เห็นแถบ DNA ได้ดีและชัดเจน และไม่สามารถเห็นแถบ DNA ได้เลย เมื่ออ่านภายใต้แสง LED ที่มีความยาวคลื่น 525 nm เนื่องจากมีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับ emission light ของ SERVA DNA Stain G ที่ 530 nm (Hughes & Chonowski, 2017; SERVA Serving Scientists, 2019) จึงทำให้ไม่สามารถเห็นแถบ DNA ได้ จากผลการวิจัยพบว่าแสง LED ที่ความยาวคลื่น 470 nm มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการอ่านแถบ DNA เมื่อย้อมด้วย SERVA DNA Stain G ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ติดตั้งหลอด LED ให้มีความหลากหลายต่อการใช้สีย้อมชนิดต่าง ๆ

การถ่ายภาพแถบ DNA ที่อ่านด้วยเครื่อง DIY LED transilluminator สามารถถ่ายภาพด้วยกล้องบนสมาร์ทโฟนที่มีขนาดรูรับแสงเท่ากับ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง Gel documentation ที่ใช้แสง UV ซึ่งมีชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพที่มีขนาดรูรับแสง f/1.4 พบว่ากล้องบนสมาร์ทโฟนสามารถถ่ายภาพแถบ DNA ได้ชัดเจน เมื่อใช้ speed shutter เท่ากับ 1 วินาที ในขณะที่ Gel documentation ต้องใช้ speed shutter เท่ากับ 1.6 วินาที จึงจะเห็นแถบ DNA ได้ใกล้เคียงกับภาพที่ได้จากกล้องบนสมาร์ทโฟน แต่ก็ยังไม่สามารถเห็นแถบ DNA ได้ชัดเจนเท่ากับกล้องบนสมาร์ทโฟน ซึ่งง่ายต่อการใช้งานถ่ายภาพ ไม่ต้องใช้ชุดถ่ายภาพที่มีราคาแพง (Abbott, 2018) นอกจากนี้ยังพบว่าการมองเห็นแถบ DNA ที่มีขนาดต่าง ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของ DNA ที่ใช้ในการแยกแถบ DNA ด้วยเทคนิค electrophoresis สามารถเห็นแถบ DNA ขนาดตั้งแต่ 500 bp ขึ้นไป ต้องมีปริมาณ DNA มากกว่าหรือเท่ากับ 32 ng ส่วนแถบ DNA ที่มีขนาด 300 และ 400 bp ขึ้นไป ต้องมีปริมาณ DNA มากกว่าหรือเท่ากับ 30 และ 24 ng ตามลำดับ และแถบ DNA ที่มีขนาด 200 bp สามารถมองเห็นได้เมื่อมีปริมาณ DNA มากกว่าหรือเท่ากับ 30 ng (Doggett, Smith, & Cantor, 1992) ซึ่งสามารถอ่านแถบ DNA ได้ในปริมาณที่น้อยกว่าการอ่านด้วย Gel documentation นอกจากนี้ทางคณะผู้วิจัยจะได้มีการพัฒนาให้มีขนาดเล็ก กะทัดรัด และสามารถใช้ตรวจสอบแถบ DNA ได้ขณะที่ทำการแยกแถบ DNA ด้วยวิธี electrophoresis

สรุปได้ว่าเครื่อง DIY LED Transilluminator สามารถอ่านแถบ DNA ได้อย่างชัดเจน มีประสิทธิภาพ ความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน หลอดไฟ LED มีอายุการใช้งานยาวนาน สามารถประยุกต์ใช้กล้องถ่ายรูปหรือกล้องบนสมาร์ทโฟนเพื่อถ่ายภาพเก็บไว้ศึกษาต่อได้ สามารถเลือกความยาวคลื่นเพื่อใช้กับสีย้อมได้หลายชนิดที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และยังมีราคาถูกกว่าเครื่อง LED transilluminator ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดมากกว่า 10 เท่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท Changhnu Muang Phijit Factory จำกัด บริษัท Augers Thai จำกัด และบริษัท Changhnu Power Gen จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร และสถานที่ในการสร้างเครื่อง DIY LED transilluminator รวมถึงการให้คำปรึกษาด้านวิศวกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อทำงานวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Abbott, J. (2018). Smartphones vs cameras: do you still need a DSLR? Retrieved from https://www.techradar.com/news/smartphones-vs-cameras-do-you-still-need-a-dslr

Akbar-Khanzadeh, F., & Jahangir-Blourchian, M. (2005). Ultraviolet radiation exposure from UV-transilluminators. *J Occup Environ Hyg, 2*(10), 493-496. doi:10.1080/15459620500274211

Anjomshoa, M., & Torkzadeh-Mahani, M. (2016). Competitive DNA-Binding Studies between Metal Complexes and GelRed as a New and Safe Fluorescent DNA Dye. *J Fluoresc, 26*(4), 1505-1510. doi:10.1007/s10895-016-1850-z

Biotium. (2019). GELRED® & GELGREEN® NUCLEIC ACID GEL STAINS Safer Ethidium Bromide Alternatives. Retrieved from https://biotium.com/technology/nucleic-acid-gel-stains/gelred-gelgreen-dna-gel-stains/

D'Orazio, J., Jarrett, S., Amaro-Ortiz, A., & Scott, T. (2013). UV radiation and the skin. *International journal of molecular sciences, 14*(6), 12222-12248. doi:10.3390/ijms140612222

Doggett, N. A., Smith, C. L., & Cantor, C. R. (1992). The effect of DNA concentration on mobility i pulsed field gel electrophoresis. *Nucleic acids research, 20*(4), 859-864.

Harper, C., Emery, R. J., & Casserly, D. M. (2008). An assessment of occupational exposures to ultraviolet radiation from transilluminator light boxes in the course of biomedical research procedures. *Journal of Chemical Health and Safety, 15*(2), 16-22. doi:https://doi.org/10.1016/j.jchas.2007.08.002

Held, G. (2016). *Introduction to light emitting diode technology and applications*: Auerbach Publications.

Hughes, L., & Chonowski, K. (2017). Pick the Perfect LED with our Color Guide. Retrieved from https://www.arrow.com/en/research-and-events/videos/led-colors-by-wavelength

Kiefer, J. (2007). Effects of Ultraviolet Radiation on DNA. In V. Obe G. (Ed.), *Chromosomal Alterations*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Kim, Y.-S., Song, H.-J., & Kim, J.-D. (2019). Low-cost Miniaturization of Gel Document System Using Blue LED. *Sensors and Materials, 31*(2), 377-385.

Lee, P. Y., Costumbrado, J., Hsu, C.-Y., & Kim, Y. H. (2012). Agarose gel electrophoresis for the separation of DNA fragments. *Journal of visualized experiments : JoVE*(62), 3923. doi:10.3791/3923

SERVAServingScientists. (2019). SERVA DNA Stain G. Retrieved from https://www.serva.de/enDE/ProductDetails/3817_39803_SERVA_DNA_Stain_G.html

Sharp, P. A., Sugden, B., & Sambrook, J. (1973). Detection of two restriction endonuclease activities in Haemophilus parainfluenzae using analytical agarose--ethidium bromide electrophoresis. *Biochemistry, 12*(16), 3055-3063.

Valdes, A., Garcia-Canas, V., & Cifuentes, A. (2013). CGE-laser induced fluorescence of double-stranded DNA fragments using GelGreen dye. *Electrophoresis, 34*(11), 1555-1562. doi:10.1002/elps.201200624

Watson, M., Holman, D. M., & Maguire-Eisen, M. (2016). Ultraviolet Radiation Exposure and Its Impact on Skin Cancer Risk. *Seminars in oncology nursing, 32*(3), 241-254. doi:10.1016/j.soncn.2016.05.005