

เครื่องจำแนกสีและนับจำนวนโคโลนีโดยใช้การประมวลผลภาพ

Colony Counting and Color Classification Device based on Image Processing

รัตนพล ยุทธวิริยะ^{†1}, นพดล มณีรัตน์^{†2}, รัตติกอ วรากุลศิริพันธ์^{†3}

[†] คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

¹ mixrattanapon@hotmail.com

² kmnoppad@kmitl.ac.th

[‡] คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

³ ruttikorn@tni.ac.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาเครื่องจำแนกสีและนับจำนวนโคโลนี ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ส่วนฮาร์ดแวร์คือส่วนของกล่องนับเชื้อ ซึ่งประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นส่วนติดต่อกับคอมพิวเตอร์ และควบคุมการแสดงค่าสีของหลอดแอลอีดีชนิด RGB ซึ่งหลอดแอลอีดี จะถูกติดตั้งไว้ที่ส่วนพื้นสำหรับวางจานเพาะเชื้อ ส่วนซอฟต์แวร์คือส่วนติดต่อสำหรับผู้ใช้ (User Interface) และส่วนที่ใช้ในการประมวลผลภาพโดยขั้นตอนหลักของการประมวลผลภาพคือการพิจารณาองค์ประกอบสี การตรวจจับหลายระดับ และการกำจัดสัญญาณรบกวน โดยการใช้มอร์โฟโลยี การทดลองสามารถจำแนกสีของโคโลนีได้ 5 สี คือ ดำ ขาว ชมพู ม่วง และครีม ผลการทดลองของเครื่องนี้มีความผิดพลาดเฉลี่ย 2.3% เมื่อเทียบกับการตรวจนับโดยผู้เชี่ยวชาญ ใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อยกว่า ด้วยขนาดที่เล็กและพกพาสะดวก จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการทางชีววิทยาได้

คำสำคัญ: การนับจำนวนโคโลนี, การประมวลผลภาพ, หลอดแอลอีดีชนิด RGB

Abstract

This paper presents the design and development of color classification and colony counting device. It comprises of two main parts which are hardware and software. The hardware consists of a micro-controller which is used to interface with personal computer and used to control the RGB LED bulbs. The LED bulbs are installed on the plate's surface. The software is the graphic user interface and image processing. The main steps of image processing are determining of color component, multilevel threshold and noise reduction by using morphology. The experiment can identify the color of colonies in 5 colors which are black, white, pink, purple and cream. The result of experiment has average error about 2.3% and it takes the less time to process compared with the experts. The device can be applied to biological laboratory by the small size and portability.

Keywords: Colony Counting, Image Processing, RGB LED

1. บทนำ

ในปัจจุบันความสะอาดนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญ โดยเฉพาะในอาหาร เนื่องจากการบริโภคอาหารที่ไม่สะอาดเข้าไป อาจทำให้เกิดการเจ็บป่วยได้ การนำเข้าและส่งออกอาหารจำเป็นต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพ และการรับรองตามกฎหมายของประเทศนั้นๆ ความสะอาดในอุตสาหกรรมอาหารนั้นจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ วิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความสะอาดของอาหารคือ การตรวจหาเชื้อแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในอาหาร ซึ่งจะมีทั้งแบคทีเรียที่มีประโยชน์และให้โทษ ดังนั้นการเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียในจานเพาะเชื้อ เพื่อจำแนกชนิดและนับจำนวนโคโลนีจึงเป็นขั้นตอนพื้นฐาน [1] โดยปกติแล้วในการจำแนกชนิด และนับจำนวนโคโลนี จะใช้แรงงานคนเป็นหลัก [2] ซึ่งมีความยุ่งยากในการฝึกฝน ใช้เวลานาน อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการนับไม่คงที่ขึ้นอยู่กับความชำนาญของแต่ละบุคคล

จากความจำเป็นที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีหลายงานวิจัยที่ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์สำหรับตรวจนับจำนวนโคโลนีโดยใช้การประมวลผลภาพ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านขนาดใหญ่ เคลื่อนย้ายลำบาก อีกทั้งมีการออกแบบเฉพาะในส่วนของซอฟต์แวร์ จึงทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของภาพถ่ายได้ [3-4] มีการออกแบบในส่วนของฮาร์ดแวร์ แต่สีของพื้นสำหรับวางจานเพาะเชื้อยังมีเพียงสีเดียวจึงเกิดข้อผิดพลาดง่ายเมื่อโคโลนีมีสีที่ใกล้เคียงกับสีพื้นหลัง [5-6] และบางงานวิจัยยังพัฒนาให้มีราคาที่ถูกลง แต่ยังมีปัญหาด้านระบบโป๊สและยังสามารถตรวจนับโคโลนีได้เพียงชนิดเดียว [7-8]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบโดยใช้กล่องที่มีขนาดเล็ก จึงทำให้มีน้ำหนักเบา มีหลอดแอลอีดีชนิด RGB [9] ติดตั้งที่พื้นสำหรับวางจานเพาะเชื้อ จึงช่วยลดข้อผิดพลาดเรื่องสีที่ใกล้เคียงกัน ช่วยให้สามารถแยกโคโลนีสีต่างๆ ได้หลากหลายสีมากขึ้น และยังคงง่ายต่อขั้นตอนการประมวลผลภาพ

2. การออกแบบชุดจำแนกสี และตรวจนับโคโลนี

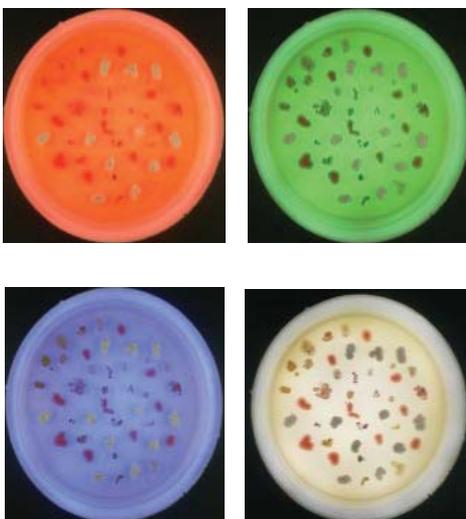
2.1 การออกแบบกล่องนับเชื้อ

การออกแบบกล่องสำหรับจำแนกสีและนับจำนวนโคโลนีนั้นจะใช้กล่องที่มีขนาดเล็กจึงไม่เปลืองพื้นที่ โดยกล่องนับเชื้อจะเป็นกล่องทึบแสง มีฝาปิด เพื่อป้องกันแสงและเงาจากภายนอกสะท้อนที่ฝาปิดจานเพาะเชื้อโคโลนี ซึ่งอาจทำให้เกิดการประมวลผลที่ผิดพลาด ภายในกล่องจะ

ประกอบด้วย กล้องวีดีโอเว็บแคมที่มีความละเอียด 2560 X 1440 พิกเซล ใช้สำหรับถ่ายและส่งภาพไปยังซอฟต์แวร์การประมวลผลภาพ โดยกล้องเว็บแคมจะทำหน้าที่ในการถ่ายภาพโคลนนี้โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งแสดงภาพได้ตลอดเวลา (Real-Time) ในส่วนของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เลือกใช้ตระกูล Arduino (ATmega32U4) เนื่องจากมีขนาดเล็ก มีโมดูลสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง USB ติดมากับไมโครคอนโทรลเลอร์ มีขาสำหรับใช้งาน PWM (Pulse Width Modulation) มากเพียงพอสำหรับการควบคุมการทำงานของหลอดแอลอีดีชนิด RGB วงจรสำหรับควบคุมหลอดแอลอีดีชนิด RGB นั้นใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ TIP 122 ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ โดยต่อกับขาสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) เพื่อทำให้มีแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามากเพียงพอที่จะทำให้หลอดแอลอีดีชนิด RGB ทำงานได้ตามที่กำหนด จากนั้นนำหลอดแอลอีดีชนิด RGB มาติดตั้งใต้พื้นสำหรับวางจานเพาะเชื้อ ที่ทำจากแผ่นอะคริลิกสีขาวขุ่น ที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ได้สีพื้นที่สวยงามเท่ากันทั้งแผ่น

2.2 การหาค่าสีพื้นที่เหมาะสมสำหรับแต่ละโคลน

สำหรับการหาค่าของสีพื้นที่เหมาะสมนั้น สามารถทำได้โดยการนำจานเพาะเชื้อที่มีโคลนที่ต้องการวางบนพื้นที่ติดตั้งหลอดแอลอีดีชนิด RGB โดยขั้นตอนการถ่ายภาพจานเพาะเชื้อนั้นจะใช้พื้นที่มีสีขาว สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินตามลำดับ หลังจากนั้นจึงนำภาพที่ถ่ายพื้นแต่ละสีมาแยกเป็นองค์ประกอบของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นภาพระดับเทา ขั้นตอนต่อไปคือนำภาพในแต่ละองค์ประกอบสีมาวิเคราะห์ฮิสโตแกรม เพื่อหาว่าพื้นสีใดและองค์ประกอบสีใดที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างระดับความสว่างของพื้นหลัง และระดับความสว่างของโคลนสีที่ต้องการมากที่สุด เพื่อให้สามารถเห็นความแตกต่างระหว่างโคลนสีที่ต้องการกับส่วนอื่นของภาพอย่างชัดเจน



รูปที่ 1 สีพื้นแต่ละสี สำหรับวางจานเพาะเชื้อโคลน

2.3 การออกแบบซอฟต์แวร์การประมวลผลภาพ

ในขั้นตอนการออกแบบนั้น ภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคมจะอยู่ในสเปซสี RGB ซึ่งนำไปผ่านกระบวนการทำให้ภาพอยู่ในภาพระดับเทา ที่มีระดับความสว่าง 256 ระดับ โดยการแยกให้อยู่ในองค์ประกอบของสีแดง องค์ประกอบของสีเขียว หรือองค์ประกอบของสีน้ำเงิน ขึ้นอยู่กับสีของโคลนที่ต้องการ จากนั้นนำภาพที่ผ่านการทำให้อยู่ในระดับเทา มากำหนดค่าเทรชโวลต์หลายระดับ เพื่อทำเป็นภาพไบนารี ซึ่งเป็นวิธีการแยกโคลนสีที่ต้องการออกจากพื้นหลังของภาพ กำหนดให้ $f(x, y)$ คือภาพที่อยู่ในระดับเทา

$$\text{ถ้า } f(x, y) < T_1$$

$$\text{แล้ว } g(x, y) = 0$$

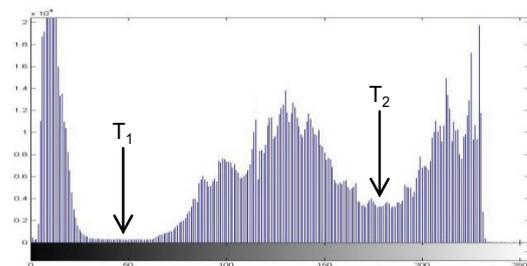
$$\text{ถ้า } T_1 \leq f(x, y) \leq T_2$$

$$\text{แล้ว } g(x, y) = 255$$

$$\text{ถ้า } f(x, y) > T_2$$

$$\text{แล้ว } g(x, y) = 0$$

เมื่อ T_1 และ T_2 คือค่าระดับในการเทรชโวลต์ และ $g(x, y)$ คือภาพผลลัพธ์ที่จุดพิกัด (x, y) ใดๆ โดยค่า T_1, T_2 ที่เลือกนั้น ได้มาจากค่าระดับความสว่างที่มากที่สุดและน้อยที่สุดของโคลนสีที่ต้องการ แสดงดังรูปที่ 2

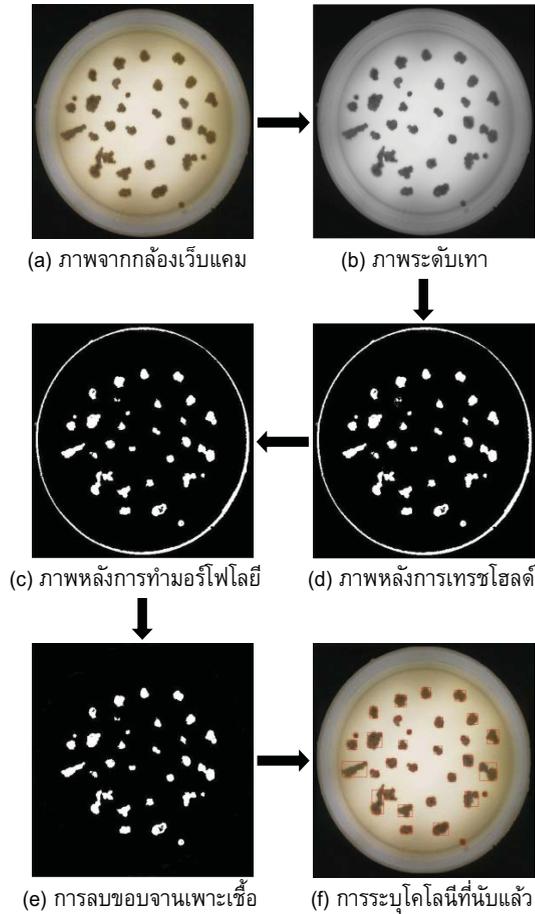


รูปที่ 2 กราฟฮิสโตแกรมและตำแหน่ง T_1, T_2

จากเงื่อนไขที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าพื้นหลังของภาพจะกลายเป็นสีดำ (ระดับความสว่าง 0) ในขณะที่โคลนนั้นจะกลายเป็นสีขาว (ระดับความสว่าง 255) แสดงดังรูปที่ 3(d) ภาพหลังจากที่ผ่านขั้นตอนเทรชโวลต์มาแล้วนั้น จะยังมีสัญญาณรบกวนปรากฏอยู่ในภาพ ซึ่งจะทำให้ขั้นตอนการนับเกิดข้อผิดพลาดได้ ดังนั้นวิธีการต่อไปคือการใช้มอร์โฟโลยี (Morphology) ในการกำจัดสัญญาณรบกวน โดยใช้ทฤษฎีการเปิด (Opening) กำหนดให้การเปิด (Opening) ของเซต A โดย B แทนด้วย $A \circ B$ และมีค่าจำกัดความดังนี้

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (1)$$

เมื่อ A คือภาพต้นฉบับ เนื่องจากโคลนมีขนาดที่แตกต่างกัน การเลือกขนาดของ B นั้น จึงต้องใช้ขนาดที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้ภาพของโคลนนี้ถูกลบออกไป แสดงดังรูปที่ 3(c) การกำหนดขนาดของ B นั้นได้มากจากการทดลองซึ่งพบว่าขนาดของสัญญาณรบกวนจะมีขนาดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 30 พิกเซล ดังนั้นจึงกำหนดให้ B มีขนาดเท่ากับ 30 พิกเซล



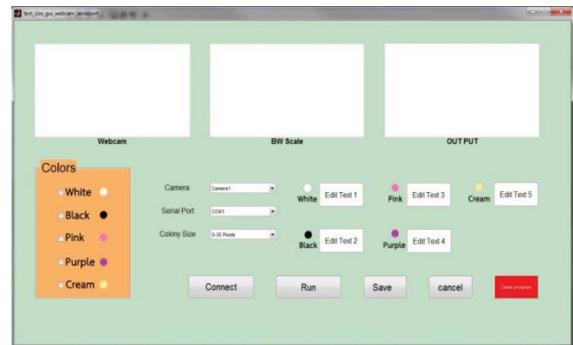
รูปที่ 3 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

ภาพที่ผ่านขั้นตอนมอร์โฟโลยี (Morphology) ยังมีภาพของขอบจางๆ ที่ชัดเจน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องลบออกก่อนขั้นตอนการนับจำนวน จากรูปที่ 3(c) จะเห็นได้ว่าภาพของขอบจางๆ เป็นพื้นสีขาว ที่มีกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกันมากที่สุด ดังนั้นจึงใช้ซอฟต์แวร์ในการคำนวณหาพิกเซลที่อยู่ติดกันมากที่สุด แล้วทำการกำหนดค่าให้กลายเป็นสีดำ (ระดับความสว่าง 0) แสดงดังรูปที่ 3(e) จากนั้นจึงใส่เลเบล (Label) ให้กับแต่ละกลุ่มพิกเซล โดยกำหนดให้กลุ่มของข้อมูลไบแนรีแต่ละกลุ่มที่อยู่แยกกัน จะได้เลเบล (Label) ที่ต่างกัน เพื่อการนับจำนวนของเชื้อโคโลนี ขั้นตอนสุดท้ายจึงนำภาพที่ใส่เลเบล (Label) มาซ้อนทับกับภาพต้นฉบับ ทำการตีกรอบรอบโคโลนี เพื่อเป็นการระบุว่าได้นับโคโลนีอันไหนบ้างแล้ว แสดงดังรูปที่ 3(f)

2.4 การทำงานร่วมกันระหว่างกล้องนับเชื้อ และซอฟต์แวร์การประมวลผลภาพ

ขั้นตอนการรับและส่งข้อมูลระหว่างกล้องนับเชื้อและซอฟต์แวร์นั้น ข้อมูลภาพจะถูกส่งผ่าน USB Hub โดยโปรแกรม MATLAB ถูกใช้ในการพัฒนาทั้งซอฟต์แวร์การประมวลผลภาพ และส่วนติดต่อสำหรับผู้ใช้ ซึ่งในส่วนของการออกแบบส่วนติดต่อสำหรับผู้ใช้ นั้น จะมีหน้าต่างสำหรับแสดงภาพที่ได้จากขั้นตอนการประมวลผลภาพ

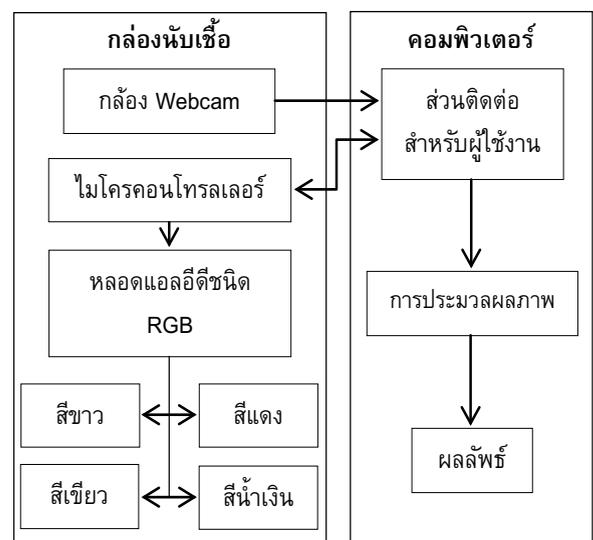
ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ภาพต้นฉบับ ภาพที่ผ่านการทำมอร์โฟโลยี และภาพที่ทำการตีกรอบรอบโคโลนีแล้ว นอกจากนี้แล้วภายในหน้าต่างส่วนติดต่อสำหรับผู้ใช้ยังประกอบไปด้วย ปุ่มสำหรับเลือกสีของโคโลนีที่ต้องการนับ ช่องสำหรับเลือกขนาดของโคโลนี และช่องสำหรับเลือกกล้องเว็บแคมในกรณีที่มีกล้องมากกว่าหนึ่งตัว แสดงดังรูปที่ 4 จากนั้นซอฟต์แวร์จะสามารถกำหนดสีของพื้นที่เหมาะสมสำหรับโคโลนีสีนั้นๆ ได้โดยอัตโนมัติ แล้วจึงส่งข้อมูลค่าสีไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการควบคุมหลอดแอลอีดี ในขั้นตอนสุดท้ายซอฟต์แวร์จึงเริ่มขั้นตอนการประมวลผลภาพ



รูปที่ 4 ซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อสำหรับผู้ใช้ (User interface)

ถ้ามีการเลือกสีของโคโลนีที่ต้องการนับมากกว่าหนึ่งสี ซอฟต์แวร์จะเริ่มการนับจากโคโลนีสีขาว สีดำ สีชมพู สีม่วง และสีครีมตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนสีพื้นนั้น จะเกิดขึ้นเมื่อขั้นตอนการประมวลผลภาพของโคโลนีสีแรกเสร็จสมบูรณ์ ซอฟต์แวร์จึงส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเปลี่ยนสีหลอดแอลอีดี ที่เหมาะสมสำหรับโคโลนีสีถัดไป ซึ่งผลที่ได้จะแสดงเป็นจำนวนโคโลนีออกมา ตามช่องของโคโลนีสีนั้นๆ

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจำแนกสีและนับจำนวนโคโลนีนั้นแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักคือ ส่วนกล้องนับเชื้อ และส่วนคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจำแนกสีและนับจำนวนโคโลนี

3. ผลการทดลอง

จากการพัฒนาเครื่องจำแนกสีและนับจำนวนโคโลนีนี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างของโคโลนีสีต่างๆ มา เพื่อหาค่าสีของพื้นที่เหมาะสมสำหรับโคโลนีแต่ละสี โดยโคโลนีที่ใช้ในการทดลองนี้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 0.8 มิลลิเมตร และในการทดลองได้ใช้หลอดแอลอีดีชนิด RGB เพื่อช่วยในการสร้างความแตกต่างระหว่างของสีพื้นหลังและสีของโคโลนี เมื่อนำมาวิเคราะห์ฮิสโตแกรมของแต่ละองค์ประกอบสี ได้ผลตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สีพื้น และองค์ประกอบสีที่เหมาะสมของโคโลนีแต่ละสี

สีของโคโลนี	สีพื้นที่เหมาะสม	องค์ประกอบสีที่เหมาะสม
โคโลนีสีขาว	ขาว	แดง
โคโลนีสีดำ	ขาว	น้ำเงิน
โคโลนีสีชมพู	เขียว	เขียว
โคโลนีสีม่วง	น้ำเงิน	น้ำเงิน
โคโลนีสีครีม	ขาว	น้ำเงิน

โดยค่าของสีพื้นและองค์ประกอบสีที่เหมาะสมนั้น จะนำมาเป็นค่าเริ่มต้นสำหรับซอฟต์แวร์การประมวลผลภาพ ขั้นตอนการหาค่าความผิดพลาดนั้น ทำได้โดยการจำแนกสีและนับจำนวนไว้ก่อนอย่างถูกต้องโดยผู้เชี่ยวชาญ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความผิดพลาดของเครื่องจำแนกสีและนับจำนวนโคโลนีเปรียบเทียบกับการตรวจนับโดยผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อของโคโลนี		การนับจำนวนโคโลนี		ค่าความผิดพลาด (%)
		ผู้เชี่ยวชาญ	ซอฟต์แวร์	
ขาว	จานเชื้อที่ 1	46	45	2.1
	จานเชื้อที่ 2	48	48	0
ดำ	จานเชื้อที่ 1	213	204	4.2
	จานเชื้อที่ 2	187	180	3.7
ชมพู	จานเชื้อที่ 1	74	73	1.3
	จานเชื้อที่ 2	60	58	3.3
ม่วง	จานเชื้อที่ 1	123	119	3.3
	จานเชื้อที่ 2	156	149	4.5
ครีม	จานเชื้อที่ 1	83	81	2.5
	จานเชื้อที่ 2	79	78	1.3
ความผิดพลาดเฉลี่ย				2.3

จากตารางที่ 2 ซึ่งให้เห็นว่า การนับโดยเครื่องจำแนกสีและตรวจนับโคโลนีเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญนั้น มีค่าความผิดพลาดซึ่งยอมรับได้ เหตุผลหลักของค่าความผิดพลาดเกิดจากการเจริญเติบโตของโคโลนีที่บริเวณขอบของจานเพาะเชื้อ จึงทำให้ซอฟต์แวร์ไม่สามารถแยกแยะระหว่างโคโลนีและขอบจานได้ การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องจำแนกสีและนับจำนวนโคโลนีกับผู้เชี่ยวชาญแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างเครื่องจำแนกสีและนับจำนวนโคโลนีกับการตรวจนับโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตัวแปร	ผู้เชี่ยวชาญ	เครื่องจำแนกสีและนับจำนวนโคโลนี
ความสะดวกสบาย	ยาก	ง่าย
ค่าใช้จ่าย	แพง	ถูก
ความเร็วในการนับ	ช้ากว่า	เร็วกว่า
การพกพาอุปกรณ์	ยาก	ง่าย
ประสิทธิภาพ	ดีมาก	ดี
ระยะเวลาในการฝึกฝน	เร็วกว่า	ช้ากว่า

4. สรุป

จากผลการทดลองเครื่องจำแนกสีและนับจำนวนโคโลนีพบว่าสามารถนับจำนวนโคโลนีได้ โดยโคโลนีจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.8 มิลลิเมตรขึ้นไป และสามารถจำแนกสีของโคโลนีได้ทั้งหมด 5 สี โดยที่โคโลนีสีขาว, สีดำ, สีครีมเหมาะสมกับพื้นสีขาว โคโลนีสีชมพูเหมาะสมกับพื้นสีเขียว และโคโลนีสีม่วงเหมาะสมกับพื้นสีน้ำเงิน ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญดังนี้ ค่าความผิดพลาดสูงสุด 4.5% ค่าความผิดพลาดต่ำสุด 0% และค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 2.3% ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ไม่แตกต่างกันมากนักและสามารถยอมรับได้ แต่มีข้อได้เปรียบเรื่องการใช้เวลาในการนับที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ มีประสิทธิภาพคงที่และใช้ระยะเวลาในการฝึกฝนบุคลากรที่น้อยกว่า มีขนาดเล็ก อีกทั้งยังมีราคาถูก จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการทางชีววิทยาได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์ห้องปฏิบัติการวิจัยทางการแพทย์และการเกษตรแห่งเอเชีย จำกัด (AMARC) และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านผู้เชี่ยวชาญและตัวอย่างเชื้อโคโลนี

เอกสารอ้างอิง

- [1] X. Liu, S. Wang, L. Sendi, and M. J. Caulfield, "High-throughput imaging of bacterial colonies grown on filter plates with application to serum bactericidal assays," Journal of Immunological Methods, 2004, pp. 187 - 193
- [2] National Standard of The People's Republic of China [S]. Food hygiene inspection methods (Microbiology section), Beijing, China Standard Press, 1985, pp.194 - 196.
- [3] M. Niyazi, I. Niyazi, C. Belka, "Counting colonies of clonogenic assays by using densitometric software," Radiation Oncology, vol. 2, 2007
- [4] H. Men, Y. Wu, X. Li, Z. Kou, S. Yang, "Counting Method of Heterotrophic Bacteria Based on Image Processing" IEEE Publication, 2008, pp. 1238 - 1241.

- [5] S. Wei-zheng, W. Ya-chun, Z. Jie, Z. Hui, "Experimental Study for Automatic Colony Counting System Based on Image Processing," International Conference on Computer Application and System Modeling, 2010, Taiyuan, China, pp. V6-612 - V6-615
- [6] C. Zhang, W. Chen, W. Liu, C. Chen, "An Automated Bacterial Colony Counting System," International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, Taichung, Taiwan, 2008, pp. 233-240
- [7] Ates H., Gerek O.N., "An Image-Processing Based Automated Bacteria Colony Counter," International Symposium on Digital Object Identifier, Guzelyurt, Turkey, 2009, pp. 18-23
- [8] P. Chongsomchai, N. Maneerat, R. Varakulsiripunth, S. Junyapoon, "Semi-Continuous Airborne Bacteria Analyzer based on Image Processing," 1st International Symposium on Technology for Sustainability, Bangkok, Thailand, 2011, pp. 64 - 67
- [9] Yueh-Ru Yang, "Implementation of a Colorful RGB-LED Light Source with an 8-bit Microcontroller," IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Taichung, Taiwan, 2010, pp. 1951 - 1956