



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การคัดเลือกด้วยวิธีการเรียนรู้รวมแบบปรับตัวได้
สำหรับการตรวจพบอาการเส้นเลือดฝอยโป่งพองและมีจุดเลือดออกในตา
สำหรับผู้ป่วยเบาหวานในระยะเริ่มต้น
(Adaptive Ensemble Selector for Microaneurysms and Dot-Blot
Hemorrhage Detection in Diabetic Retinopathy Patients)

คณะผู้วิจัย

| | |
|-----------------------------|---------------------|
| นายฤกษ์ ชินสาร | หัวหน้าโครงการวิจัย |
| นางสาวสุวรรณา รัศมีขวัญ | ผู้ร่วมวิจัย |
| นางสาวเบญจภรณ์ จันทรวงศ์กุล | ผู้ร่วมวิจัย |
| นายภูสิต กุลเกษม | ผู้ร่วมวิจัย |
| นายอัครณัฐพันธ์ รอดทุกข์ | ผู้ร่วมวิจัย |
| นางสาวจรรยา อันปันส์ | ผู้ร่วมวิจัย |
| Mr. Ratanak Khoeun | ผู้ช่วยวิจัย |
| นายธนินท์ อินทรมณี | ผู้ช่วยวิจัย |

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๘

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2558A10802405

เลขที่สัญญา 22/2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การคัดเลือกด้วยวิธีการเรียนรู้รวมแบบปรับตัวได้
สำหรับการตรวจพบอาการเส้นเลือดฝอยโป่งพองและมีจุดเลือดออกในตา
สำหรับผู้ป่วยเบาหวานในระยะเริ่มต้น
(Adaptive Ensemble Selector for Microaneurysms and Dot-Blot
Hemorrhage Detection in Diabetic Retinopathy Patients)

คณะผู้วิจัย

| | |
|-----------------------------|---------------------|
| นายกฤษณะ ชินสาร | หัวหน้าโครงการวิจัย |
| นางสาวสุวรรณา รัชมีขวัญ | ผู้ร่วมวิจัย |
| นางสาวเบญจวรรณ จันทรวงศ์กุล | ผู้ร่วมวิจัย |
| นายภูสิต กุลเกษม | ผู้ร่วมวิจัย |
| นายอรรถนุพันธ์ รอดทุกข์ | ผู้ร่วมวิจัย |
| นางสาวจรรยา อ้นปิ่นส์ | ผู้ร่วมวิจัย |
| Mr. Ratanak Khoeun | ผู้ช่วยวิจัย |
| นายธนิษฐ์ อินทรมณี | ผู้ช่วยวิจัย |

คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา

กันยายน 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 22/2558

คณะผู้วิจัย
กันยายน 2559

บทคัดย่อ

โรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา (Diabetic Retinopathy: DR) เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สูญเสียการมองเห็น ซึ่งเป็นการสูญเสียที่ร้ายแรงสำหรับผู้ป่วย และสิ่งที่สามารถตรวจพบได้ในระยะเริ่มต้นของโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา คือ หลอดเลือดฝอยโป่งพอง (Microaneurysms: MAs) แต่ผู้ป่วยเองจะไม่สามารถสังเกตเห็นถึงความผิดปกติในการมองเห็นของตนเองได้ เมื่อหลอดเลือดฝอยโป่งพองแตกจะทำให้เกิดจุดเลือดออกเล็กๆ (Dot and Blot Hemorrhages: HMHs) ซึ่งเป็นอาการของโรคจะเข้าสู่ระยะรุนแรง ผู้ป่วยจึงจะรับทราบถึงสถานะของการมองเห็นที่ไม่เป็นปกติได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการในการตรวจพบ DR สำหรับภาวะเบาหวานขึ้นจอประสาทตาขั้นเริ่มต้น (Mild non-proliferative diabetic) ในผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยทำการค้นหาเส้นเลือดฝอยที่โป่งพองผิดปกติ (MAs) รวมถึงการมีจุดเลือดออกเล็กๆ (HMHs) ในกลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวาน

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการตรวจจับ Microaneurysm Candidate โดยแบ่งขั้นตอนการประมวลผลออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ 1) Preprocessing 2) Matched Filtering และ 3) Noise Reduction จากผลการทดลองเบื้องต้นซึ่งผู้วิจัยได้ทดสอบขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ กับข้อมูลภาพ fundus image จำนวน 89 ภาพ สามารถตรวจจับ Microaneurysm 90.72% เมื่อเทียบกับ Microaneurysm ที่มีอยู่ทั้งหมด ซึ่งขั้นตอนวิธีที่นำเสนอให้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

Abstract

Diabetic Retinopathy, *DR* is a principal cause of vision lost. An early stage of *DR* is called Microaneurysms, *Mas*. It is difficult for patients to identify or observe themselves because its size and brightness are similar to normal stage. During this stage, Dot and blot hemorrhages (*HMHs*) will be occurred. Patients will obtain the lost vision signal in this stage. In this research, early stage detection of diabetic retinopathy is proposed. The proposed method will identify all candidate position of Microaneurysms and Dot and blot hemorrhages.

Our proposed method consists of 3 main steps including preprocessing, match filtering and noise reduction. Experimental results show that our method provide 90.72% of accuracy. We test our method with 89 standard fundus images.

สารบัญ

| | |
|---|----|
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| 1.5 ระยะเวลาทำการวิจัยและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 4.1 การประมวลผลภาพ..... | 4 |
| 4.2 โรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา (Diabetic Retinopathy)..... | 6 |
| 4.3 เส้นเลือดฝอยโป่งพอง (MAs) และจุดเลือดออกในตา (HMHs) | 10 |
| 4.4 Gaussian Filter | 11 |
| 4.5 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)..... | 11 |
| 4.6 Matched Filter | 11 |
| 4.7 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง | 13 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย | 16 |
| 4.8 Preprocessing..... | 16 |
| 4.9 Matched Filtering..... | 17 |
| 4.10 Noise Removing | 17 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองเบื้องต้น | 18 |
| 4.11 Preprocessing | 18 |
| 4.2 Matched Filtering..... | 19 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง | 52 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 52 |
| 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ | 52 |
| บรรณานุกรม | 53 |

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอัตราการพบผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานนั้นมีจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นโรคที่ยังไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริงและเป็นปัญหาสำคัญระดับโลก จากข้อมูลสถิติของ IDF (International Diabetes Federation) ปี พ.ศ. 2558 พบว่าทั่วโลกมีคนเป็นเบาหวาน 415 ล้านคน และจะเพิ่มขึ้นเป็น 642 ล้านคนในปี พ.ศ. 2583 ประมาณ 1 ใน 15 คน ไม่รู้ว่าตัวเองเป็นโรคเบาหวาน โดยปัจจัยหนึ่งที่มีผลค่อนข้างมากก็คือ พฤติกรรมการบริโภคอาหาร อาหารที่พบโดยทั่วไปก็คือ ระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าเกณฑ์ปกติ และด้วยสาเหตุของการที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงผิดปกติจึงให้ทำระบบต่าง ๆ ที่ร่างกายทำงานผิดปกติหรือเสื่อมลง ซึ่งส่งผลต่อการเกิดอาการแทรกซ้อนทำให้มีโอกาสเกิดโรคต่าง ๆ ที่ร้ายแรงได้ อาทิเช่น โรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา (Diabetic Retinopathy: DR) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สูญเสียการมองเห็นและเป็นการสูญเสียที่ร้ายแรงสำหรับผู้ป่วย

สิ่งที่สามารถตรวจพบได้ในระยะเริ่มต้นของโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา คือ หลอดเลือดฝอยโป่งพอง (Microaneurysms: MAs) ซึ่งเป็นอาการในระยะเริ่มต้น แต่เป็นอาการที่ผู้ป่วยเองจะไม่สามารถสังเกตเห็นถึงความผิดปกติในการมองเห็นของตนเองได้จนกว่าอาการของโรคจะเข้าสู่ระยะรุนแรงแล้วจึงจะรับทราบถึงสภาวะของการมองเห็นที่ไม่เป็นปกติ เนื่องจากหลอดเลือดฝอยโป่งพองแตกซึ่งจะทำให้เกิดจุดเลือดออกเล็กๆ (Dot and Blot Hemorrhages: HMHs) ซึ่งมีผลต่อการมองเห็น ดังนั้นเพื่อเป็นการลดอัตราการสูญเสียการมองเห็นของผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยการเริ่มรักษาทันทีที่พบอาการในระยะเริ่มต้นซึ่งมักจะส่งผลการรักษาที่ดีกว่า ในปัจจุบันจึงได้มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งนำเสนอวิธีการในการตรวจพบ DR สำหรับภาวะเบาหวานขึ้นจอประสาทตาขั้นเริ่มต้น (Mild non-proliferative diabetic) ในผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยทำการค้นหาเส้นเลือดฝอยที่โป่งพองผิดปกติ (MAs) รวมถึงการมีจุดเลือดออกเล็กๆ (HMHs) ในกลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวาน

ในการวินิจฉัยโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตาด้วยระบบคอมพิวเตอร์ทั่วไปที่พบบ่อย มักจะดำเนินการเมื่อเกิดภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรงของโรคเบาหวานในระยะยาว ซึ่งจะทำลายจอประสาทตาและเป็นสาเหตุทำให้ตาบอดได้ ส่วนการตรวจพบ MAs ซึ่งถูกพิจารณาว่าเป็นสัญญาณแรกของโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตานั้นเป็นที่สนใจของนักวิจัยจำนวนมากในปัจจุบัน เพราะการสามารถพบอาการในระยะเริ่มต้นมีผลอย่างมากต่อการรักษาอาการให้ทุเลาหรือหายขาดได้ง่ายกว่าและลดอัตราการสูญเสียดวงตาของผู้ป่วยได้มากงานวิจัยจำนวนมากได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบตำแหน่งความผิดปกติเหล่านี้ในภาพจอประสาทตาของคนไข้เพื่อตรวจหาการปรากฏตัวของ MAs/HMHs ซึ่งโดยปกติจะเป็นสัญญาณแรกของ DR สำหรับช่วยคัดกรองผู้ป่วยเพื่อให้จักษุวินิจฉัยโดยละเอียดต่อไป ดังนั้นระบบคัดกรองที่เชื่อถือได้สำหรับการตรวจสอบ MAs/HMHs จากภาพดิจิทัลของดวงตาจะสามารถช่วยจักษุแพทย์ในการวินิจฉัยผู้ป่วยได้สะดวกขึ้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนออัลกอริทึมใหม่ในการระบุตำแหน่งของ MAs/HMHs จากภาพจอประสาทตาผู้ป่วยโรคเบาหวาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเทคนิคการประมวลผลภาพ สำหรับใช้ในการพัฒนาขั้นตอนการเตรียมภาพของภาพจอประสาทตาสำหรับผู้ป่วยเบาหวานระยะเริ่มต้น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ สำหรับการแยกสกัดลักษณะเด่นของภาพจอประสาทตาที่ผิดปกติของผู้ป่วยเบาหวานระยะเริ่มต้น
- 1.2.3 เพื่อศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีการหาบริเวณและลักษณะเด่นของจอประสาทตาที่ผิดปกติ
- 1.2.4 เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีที่มีความซับซ้อนต่ำสำหรับการรู้จำภาพจอประสาทตาที่ผิดปกติของผู้ป่วยเบาหวานระยะเริ่มต้น ในการตรวจพบอาการเส้นเลือดฝอยโป่งพองและมีจุดเลือดออกในตาผู้ป่วย
- 1.2.5 เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับสนับสนุนการตัดสินใจของจักษุแพทย์สำหรับอาการเส้นเลือดฝอยโป่งพองและมีจุดเลือดออกในตาผู้ป่วย
- 1.2.6 เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำแนวความคิดที่นำเสนอ ไปศึกษาเพื่อทำการพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในงานวิจัยของตนเองต่อไป

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งที่จะศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย ความแปรปรวน ความหนาแน่น ความเบ้ หรือสหสัมพันธ์ เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการสกัดลักษณะเด่นจากภาพจอประสาทตาที่ผิดปกติเพื่อรู้จำภาพจอประสาทตาที่ผิดปกติของผู้ป่วยเบาหวานระยะเริ่มต้น ในการตรวจพบอาการเส้นเลือดฝอยโป่งพองและมีจุดเลือดออกในตาผู้ป่วยโดยมีขอบเขตดังต่อไปนี้

- 1.3.1 ข้อมูลภาพจอประสาทตาจากฐานข้อมูล Lappeenranta University of Technology ประเทศฟินแลนด์
- 1.3.2 ภาพจอประสาทตาที่ใช้ในการประมวลผลภาพ ต้องเป็นภาพสีขนาด 1150x1500 จุดภาพ
- 1.3.3 ภาพจอประสาทตาที่ใช้ในการศึกษา ต้องเป็นภาพที่แสดงเส้นประสาทและเส้นเลือดฝอย และรายละเอียดอื่น ๆ ของจอตาอย่างชัดเจน

1.4 กรอบแนวคิดการทำวิจัย

ภาพจอประสาทตาเป็นภาพที่มีความซับซ้อนขององค์ประกอบที่อยู่ภายในสูง และองค์ประกอบที่อยู่ภายในภาพจอประสาทตาเหล่านั้นจะมีขนาดเล็กมาก นอกจากนั้นระดับคล้ำสี (shade) ของภาพดวงตามีความเป็นไปได้หลายระดับ ดังนั้น การพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อการวิเคราะห์ผลจึงจะยากตามไปด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ภาพจอประสาทตา จึงจำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์ภาพจอประสาทตาด้วย

การประมวลผลภาพเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์ภาพจอประสาทตาเป็นงานขั้นตอนที่มีความสำคัญและมีความท้าทายสูง เพราะภาพจอประสาทตาเป็นภาพที่มีความแปรปรวนสูง และมีความไวต่อสิ่งกระตุ้นภาพนอก (เช่น shade และ brightness) ได้ง่าย ในงานวิจัยนี้ นำเสนอวิธีการในการ

ตรวจพบ DR สำหรับภาวะเบาหวานขึ้นจอประสาทตาขั้นเริ่มต้น (Mild non-proliferative diabetic) ในผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยทำการค้นหาเส้นเลือดฝอยที่โป่งพองผิดปกติ (MAs) รวมถึงการมีจุดเลือดออกเล็กๆ (HMHs) ในกลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยแบ่งขั้นตอนวิธีการตรวจจับ Microaneurysm Candidate ออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ 1) Preprocessing 2) Matched Filtering และ 3) Noise Reduction

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ขั้นตอนวิธีการหาลักษณะเด่นของจอประสาทตาที่ผิดปกติจากเบาหวานโดยอาศัยเทคนิคการประมวลผลภาพและการจัดกลุ่มข้อมูลมาตัดสินใจหาลักษณะผิดปกติที่เป็นไปได้
- 1.5.2 สามารถนำไปพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในงานด้านการวินิจฉัยอาการจอประสาทตาผิดปกติจากเบาหวานซึ่งจะทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนและเวลาในวินิจฉัยสำหรับเรื่องดังกล่าวให้น้อยลงจากเดิม
- 1.5.3 ขั้นตอนวิธีที่น่าเสนอจะสามารถใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาขั้นสูงต่อไป

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประมวลผลภาพ

นิยาม การประมวลผลข้อมูลภาพ หรือ การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การจัดการและการวิเคราะห์สารสนเทศของภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

- ปรับปรุงหรือเพิ่มสารสนเทศของรูปเพื่อการแปลความหมายของมนุษย์ที่ดีขึ้น
- ทำให้รูปนั้นๆ เปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการประมวลผล หรือ การรับรู้ด้วยเครื่องจักรอย่างอัตโนมัติ (Autonomous machine perception)

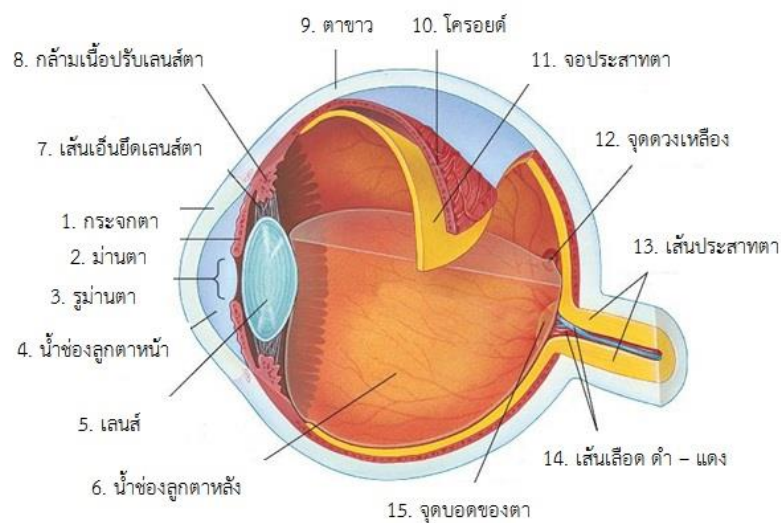
ตัวอย่างขั้นตอนวิธีของการจัดการและการวิเคราะห์สารสนเทศของภาพ เช่น การแปลงภาพ (Image Transformation) การนิยามภาพ (Image Description) การกรองภาพ (Image Filters) การคืนคืนภาพ (Image Restoration) การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) การแบ่งภาพและการหาขอบวัตถุในภาพ (Image Segmentation and Edge Detection) และ การบีบอัดข้อมูลภาพ (Image Compression) เป็นต้น

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น การประมวลผลภาพเชิงตัวเลข หรือเรียกสั้นๆ ว่า การประมวลผลภาพ (Digital Image Processing or Image Processing) คือ การประมวลผลของคอมพิวเตอร์เพื่อเปลี่ยนแปลงธรรมชาติของภาพเชิงตัวเลข (Digital Image) ดังนั้น การประมวลผลภาพถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อตอบปัญหาหลักๆ เช่น

- การทำดิจิทัลไจซ์ และการเข้ารหัสข้อมูลภาพเพื่อการส่ง การพิมพ์ และการจัดเก็บอย่างมีประสิทธิภาพ ปัญหานี้ เนื่องจากรูปต้นฉบับ (Original picture) นั้นเป็นข้อมูลเชิงอนาล็อก (Analog picture) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่อง ยังไม่สามารถประมวลผลได้ด้วยคอมพิวเตอร์ จึงจำเป็นต้องใช้การทำดิจิทัลไจซ์เพื่อทำการสุ่มข้อมูล และ แปลงข้อมูลดังกล่าวนี้ ให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (Discrete or Digital image) เพื่อการประมวลผลสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อไป
- การปรับปรุงคุณภาพของภาพ เช่น การเพิ่มความคมชัดให้กับขอบของวัตถุในภาพ ทำให้ภาพดูสว่างมากขึ้น
- การกำจัดสัญญาณรบกวน เมื่อนำภาพดังกล่าวไปผ่านกระบวนการกำจัดสัญญาณรบกวน ทำให้ได้คืนภาพที่มีความสมบูรณ์เกือบเหมือนจริงดังภาพขวามีเป็นต้น ซึ่งภาพที่คืนมาได้นั้น จะทำให้การแปลความต่อสารสนเทศที่อยู่บนข้อมูลภาพในปัญหาต่างๆ ทำได้ง่ายขึ้น

การแบ่งภาพ และ การนิยามภาพ ถือเป็นขั้นตอนสำคัญสำหรับระบบการเรียนรู้ และ มองเห็นด้วยเครื่องจักร (Machine Learning and Vision) เพราะ ขั้นตอนวิธีนี้จะช่วยให้คอมพิวเตอร์หรือเครื่องจักรสามารถประมวลผลกับส่วนต่างๆ ที่แบ่งออกมาได้ง่ายขึ้น

โครงสร้างภาพดวงตา



รูปที่ 2-1 โครงสร้างของดวงตา

(ที่มา: <http://bio1152.nicerweb.com/Locked/media/ch50/eye.html>)

ตาเป็นอวัยวะสำคัญที่มากสำหรับใช้ในการมองเห็น มีส่วนประกอบและกลไกในการทำงานค่อนข้างซับซ้อน สำหรับส่วนประกอบหลักที่สำคัญของโครงสร้างตามีดังนี้

1. กระจกตา (Cornea) หรือตาดำ เป็นเนื้อเยื่อโปร่งใสอยู่หน้าสุดของตา มีลักษณะโค้งไม่มีเส้นเลือด โดยกระจกตาทำหน้าที่หักเหแสง และรับแสงให้ผ่านเข้าไปสู่ภายใน

2. ม่านตา (Iris) มีลักษณะเป็นแผ่นเนื้อเยื่อทึบแสง ประกอบด้วยเม็ดสี (Pigment) จำนวนมาก เป็นส่วนที่ทำให้ตามีสีต่าง ๆ เช่น น้ำตาลดำฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับเชื้อชาติและพันธุกรรมโดยม่านตาทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงให้พอดี โดยการหดขยายให้ขนาดรูม่านตามีขนาดต่างกันตามปริมาณของแสงที่ได้รับ

3. รูม่านตา (Pupil) ลักษณะเป็นรูกลมอยู่กึ่งกลางม่านตา มีหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงให้พอเหมาะเพื่อผ่านเข้าสู่โครงสร้างตาภายใน โดยรูม่านตาจะขยายใหญ่เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงน้อยหรือมืด และรูม่านตาหดตัวให้เล็กลงเมื่ออยู่ในที่ที่มีแสงสว่างมากเพื่อให้แสงเข้าตาได้น้อยลง

4. น้ำช่องลูกตาหน้า (Aqueous Humor) มีลักษณะเป็นของเหลวใส (Liquid) คล้ายน้ำอยู่ระหว่างกระจกตากับเลนส์ตา ทำหน้าที่ช่วยรักษาความโค้งของกระจกตา

5. เลนส์ตา (Lens) เป็นส่วนที่ใสอยู่หลังม่านตา มีหน้าที่หักเหแสงและโฟกัสภาพเพื่อให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนมากขึ้น โดยการปรับรูปร่างของเลนส์ให้เหมาะสมตามระยะของวัตถุที่มอง

6. น้ำช่องลูกตาลัง (Vitreous Humor) มีลักษณะเป็นของเหลวใส (Liquid) คล้ายน้ำอยู่ระหว่างกระจกตากับเลนส์ตา ทำหน้าที่ช่วยรักษาความโค้งของกระจกตา ให้รูปทรงของลูกตาให้อยู่ในสภาวะปกติ

7. เส้นเอ็นยึดเลนส์ตา (Suspensory Ligaments) เป็นเส้นเอ็นเล็ก ๆ ที่ทำหน้าที่ยึดเลนส์ตาให้อยู่ในตำแหน่งปกติ

8. กล้ามเนื้อปรับเลนส์ตา (Ciliary Body) เป็นส่วนฐานของม่านตาทำหน้าที่ช่วยในกระบวนการเพ่ง

9. ตาขาว (Sclera) เป็นส่วนสีขาวของลูกตามีความหนาและแข็งแรง ทำหน้าที่รักษารูปร่างลูกตาและป้องกันอันตรายต่อโครงสร้างตาภายในของลูกตาทั้งหมด

10. โครอยด์ (Choroid) เป็นชั้นบาง ๆ สีน้ำตาลเข้มถึงดำ ประกอบด้วยเส้นเลือดเป็นจำนวนมาก อยู่กึ่งกลางระหว่างตาขาวกับจอประสาทตา

11. จอประสาทตา (Retina) คือส่วนที่ทำหน้าที่รับภาพและจะส่งภาพผ่านไปยังสมอง ประกอบด้วยเซลล์ที่รับแสงและเซลล์ประสาทอยู่บนผนังด้านในของลูกตา

12. จุดดวงเหลือง (Fovea) เป็นแอ่งเล็กๆ อยู่บริเวณจอประสาทตาเป็นบริเวณที่เห็นภาพชัดเจนที่สุด เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีเซลล์รูปกรวยอยู่หนาแน่นที่สุด

13. เส้นประสาทตา (Optic Nerve) เป็นเส้นประสาทที่มีหน้าที่ส่งผ่านการกระตุ้นของการมองเห็นจากจอประสาทตาไปยังสมองโดยสมองจะทำหน้าที่ประมวลผลว่าภาพที่เห็นนั้นคือวัตถุอะไร

14. เส้นเลือด ดำ - แดง (Retinal Artery and Vein) เส้นเลือดแดงทำหน้าที่ลำเลียงออกซิเจนและสารอาหารไปหล่อเลี้ยงโครงสร้างตาภายใน ส่วนเส้นเลือดดำทำหน้าที่ลำเลียงเลือดเสียจากภายในตาออกมาสู่กระบวนการฟอกที่ปอดต่อไป

15. จุดบอดของตา (Optic Disc) มีลักษณะกลมหรือรีอยู่บริเวณจอประสาทตาซึ่งเป็นส่วนหัวของเส้นประสาท ไม่มีเซลล์รับแสงจึงไม่มีการมองเห็นเกิดขึ้น หากแสงไปตกกระทบบริเวณนี้ จะทำให้ไม่สามารถเห็นภาพได้

2.2 โรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา (*Diabetic Retinopathy*)

ดวงตาเป็นอวัยวะที่สำคัญที่มีส่วนช่วยในการมองเห็นของมนุษย์ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องรักษาสุขภาพของดวงตาให้อยู่ในสภาวะปกติ เพื่อให้มนุษย์สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ตลอดจนที่ยังมีชีวิตอยู่ แต่ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้การมองเห็นของมนุษย์เราเปลี่ยนไป คือ โรคที่เกิดขึ้นที่จอประสาทตา และหนึ่งในโรคที่พบบ่อย คือ โรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา (*Diabetic Retinopathy*)

โรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตาเป็นโรคแทรกซ้อนของเบาหวาน เนื่องจากโรคเบาหวานเป็นโรคที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงผิดปกติ ทำให้ผนังหลอดเลือดฝอยทั่วร่างกายเสื่อมลง หากมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงผิดปกติเป็นเวลานานจะทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนในระบบต่าง ๆ ของร่างกายผิดปกติรวมทั้งทางตาด้วย โรคเบาหวานที่ทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนทางตา เช่น ภาวะจอตาหลุดลอก ต้อหิน ต้อกระจก และเบาหวานขึ้นจอประสาทตา เป็นต้น ซึ่งไม่สามารถควบคุมเบาหวานไม่ให้ลุกลามไปยังตาได้ และจะทำให้เกิดอันตรายตั้งแต่มองเห็นภาพมัว ภาพซ้อน มีปัญหาเวลามองกลางคืน จนไปถึงสูญเสียการมองเห็นอย่างถาวร โรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตาเป็นสาเหตุหลักสำคัญที่ทำให้สูญเสียการมองเห็นเป็นอันดับหนึ่ง การเกิดลักษณะผิดปกติของโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา หนึ่งในนั้นคือการเกิดเส้นเลือดฝอยโป่งพอง (*Microaneurysms*) เนื่องจากเส้นเลือดฝอยที่จอประสาทตาเสื่อม ทำให้ผนังเส้นเลือดฝอยนี้ขาดความยืดหยุ่น เปราะ และแตกได้ง่าย และเมื่อเส้นเลือดฝอยโป่งพองแตกจะทำให้เกิดจุดเลือดออกเล็กๆ (*Dot and Blot Hemorrhages*) ซึ่งเป็นผลต่อการมองเห็นอย่างมาก

การเปลี่ยนแปลงที่จอประสาทตา พบมีพยาธิสภาพอยู่ที่หลอดเลือดของจอประสาทตา โดยมีการอุดตันของหลอดเลือดฝอย และผนังหลอดเลือดฝอยบางแห่งมีการโป่งพอง การเปลี่ยนแปลงนี้มีกลไกการเกิดได้หลายทาง จากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีซึ่งสัมพันธ์กับระดับน้ำตาล ในพลาสมาที่สูง และ glucose metabolism โดยพบว่าระดับน้ำตาลในพลาสมาที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการคั่งของสาร Sorbital ซึ่งแปลงสภาพมาจากน้ำตาล มีผลต่อการทำลายเซลล์ที่ ผนังหลอดเลือดฝอย ภาวะที่น้ำตาลในพลาสมาสูงทำให้เกิดการกระตุ้น protein kinase C และการหลั่งสาร prostaglandin ทำให้การไหลเวียนของเลือดที่จอประสาทตาเปลี่ยนแปลงผนังหลอดเลือดมี permeability เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำไขมัน และสารประกอบอื่นๆ ในพลาสมาผ่านออกมาได้ และร่างกายมีการหลั่งสารกระตุ้นต่างๆ เช่น fibroblast growth factor, vascular endothelial growth factor, platelet derived growth factor ซึ่งมีผลกระตุ้น ให้เกิดการสร้างหลอดเลือดฝอยใหม่ที่ผิดปกติในจอประสาทตา

การจำแนกระยะและลักษณะของจอประสาทตาผิดปกติจากเบาหวาน โดยการเปลี่ยนแปลงที่จอประสาทตาแบ่งได้เป็น 3 ระยะคือ

1. Nonproliferative diabetic retinopathy (NPDR) หรือ background diabetic retinopathy (BDR) เป็นการเปลี่ยนแปลงในระยะเริ่มแรก (รูปที่ 2-2 ข.) พยาธิสภาพที่ จอประสาทตาที่พบได้ คือ

1.1 การโป่งพองของหลอดเลือดฝอย (Microaneurysm) เกิดจากผนังหลอดเลือดฝอย บางลง และโป่งพอง เห็นเป็นจุดแดงเล็กๆ หลอดเลือดฝอยที่โป่งพองหรือหลอดเลือดฝอย ที่ผนังมีการเปลี่ยนแปลงอาจทำให้มีเลือดออก หรือมีไขมันรั่วออกมาอยู่ในชั้นจอประสาทตา

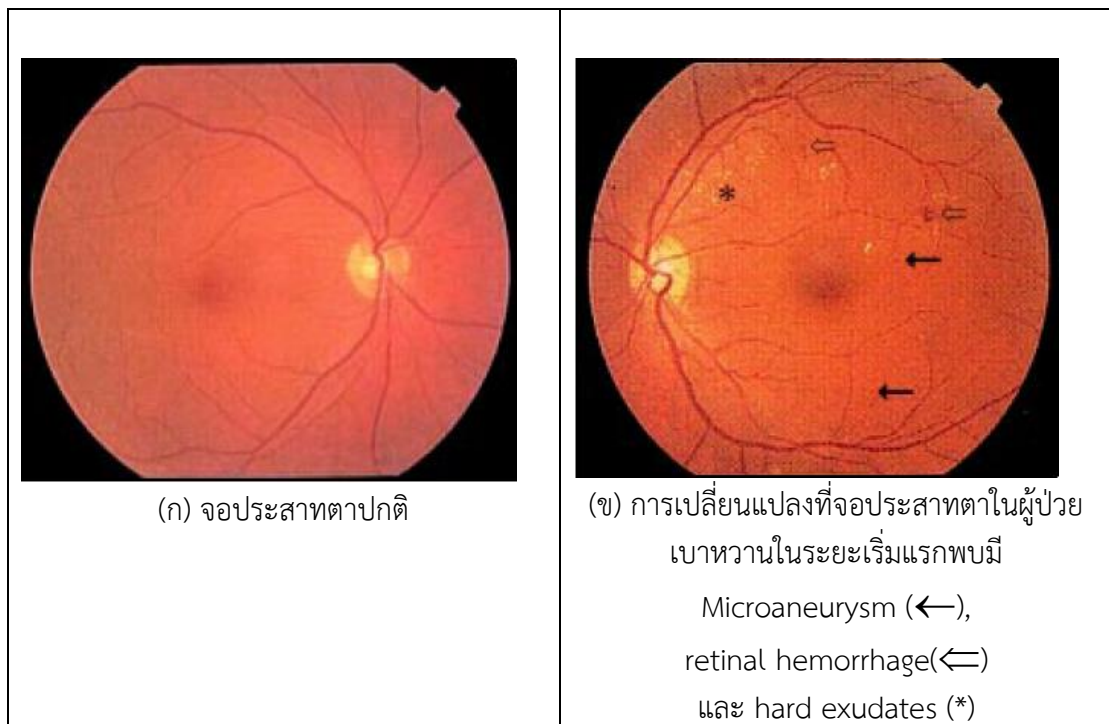
1.2 ไขมันในเลือดที่รั่วออกมาจากหลอดเลือด (Hard exudate) เห็นเป็นก้อน ขาว เหลือง อาจอยู่เป็นจุด หรือรวมเป็นกลุ่มใหญ่ สะสมอยู่ในชั้นของจอประสาทตา

1.3 เลือดออกในจอประสาทตา (Retinal hemorrhage) เป็นเลือดที่รั่วออกมาจากผนังของหลอดเลือดฝอย อาจเห็นเป็นจุดเล็กๆ (dot hemorrhage) หรือจุดใหญ่ (blot hemorrhage) หรือกระจายเป็นทางเหมือนเปลวไฟ (flame-shape hemorrhage)

1.4 เส้นใยประสาทตาบวม (Cotton wool spots) เห็นเป็นก้อนสีขาวเหมือนปุยนุ่ม เกิดจากการ ขาดเลือดที่จอประสาทตา ทำให้มีการบวมของเส้นใยประสาทตา (nerve fiber layer)

1.5 หลอดเลือดดำขยาย (Dilated retinal vein) พบหลอดเลือดดำพองตัว เป็นการเปลี่ยนแปลง ในระยะเริ่มแรกของ diabetic retinopathy เนื่องจากการเพิ่มการไหลเวียน ของเลือดที่จอประสาทตา

1.6 การบวมบริเวณจุดภาพชัดของจอประสาทตา (Macular edema) เป็นการ บวมที่บริเวณ macula เกิดจากมีน้ำ หรือ serum รั่วออกมาจากหลอดเลือด และเกิดจาก การสูญเสียหน้าที่การทำงานของเซลล์ retinal pigment epithelium ที่ควบคุมภาวะสมดุล ของน้ำในชั้นจอประสาทตา



รูปที่ 2-2 จอประสาทตาปกติ และในผู้ป่วยเบาหวานระยะแรกเริ่ม

2. Preproliferative diabetic retinopathy (PPDR) หรือ severe nonproliferative diabetic retinopathy (severe NPDR) เป็นระยะที่จอประสาทตาขาดเลือดไปเลี้ยงมากขึ้น (รูปที่ 3) เป็นการเปลี่ยนแปลงก่อนที่จะเข้าสู่ระยะ proliferative diabetic retinopathy โดย พบการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มเติมจาก NPDR คือ

2.1 หลอดเลือดผิดปกติในชั้นจอประสาทตา (intraretinal microvascular abnormalities หรือ IRMA) เห็นเป็นลักษณะเหมือนหลอดเลือดฝอยที่ขยายตัว (capillary dilatation) ซึ่งเกิดจากหลอดเลือดดำเจริญไปเลี้ยงยังบริเวณที่มี capillary closure หลอดเลือด เหล่านี้อาจดูดกลืน หลอดเลือดสร้างใหม่ที่ผิดปกติ (Neovascularization) แต่หลอดเลือดยังคง อยู่ในชั้นจอประสาทตา

2.2 เลือดออกในชั้นจอประสาทตาเป็นจำนวนมาก พบมีเลือดออกเป็นจุดกระจาย ทั่วจอประสาทตา

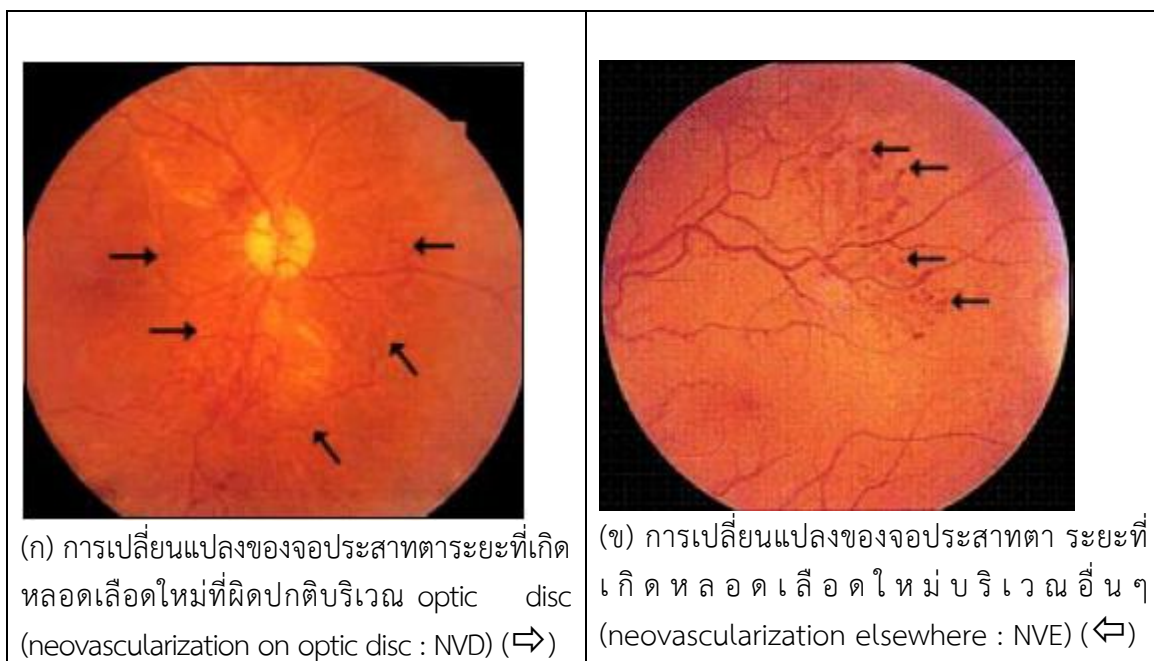
2.3 หลอดเลือดดำโป่งพอง หรือโค้งเป็นวง (venous beading, venous loop) หลอดเลือดดำโป่งเพิ่มขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง อาจเห็นเป็นปล้องๆ หรือโค้งเป็นวง เกิด เนื่องจากประสาทตาขาดเลือดมากขึ้น

2.4 เส้นใยประสาทตาบวมเป็นจำนวนมาก (multiple cotton wool spots) พบ cotton wool spots เป็นจำนวนมาก ซึ่งแสดงถึงภาวะประสาทตาขาดเลือด



รูปที่ 2-3 การเปลี่ยนแปลงที่จอประสาทตาในผู้ป่วยเบาหวาน
 ในระยะ preproliferative diabetic retinopathy

3. Proliferative diabetic retinopathy (PDR) เป็นการเปลี่ยนแปลงของจอประสาทตา
 ระยะที่มีหลอดเลือดสร้างใหม่ (neovascularization: NV) เกิดขึ้น (รูปที่ 2-4 ก.,ข.) จะพบมี หลอด
 เลือดเจริญออกมานอกชั้นจอประสาทตาเข้าไปในวุ้นตา เส้นเลือดใหม่กลุ่มนี้จะมีผนังที่ไม่ แข็งแรงจึง
 แตกง่ายเกิดเลือดออกในวุ้นตา (vitreous hemorrhage: VH) (รูปที่ 2-4 ค.) พบมีเนื้อเยื่อพังผืด
 (fibrovascular tissue) เจริญตามหลอดเลือดที่ผิดปกติเข้าไปในวุ้นตา และเนื้อเยื่อพังผืดจะดึงรั้งทำให้
 จอประสาทตาลอก (Tractional retinal detachment : TRD) (รูปที่ 2-4 ง.) ซึ่งเป็นสาเหตุของตา
 บอด



รูปที่ 2-4 การเปลี่ยนแปลงของจอประสาทตาระยะที่เกิดหลอดเลือดใหม่ที่ผิดปกติบริเวณ optic disc และบริเวณอื่น

2.3 เส้นเลือดฝอยโป่งพอง (MAs) และจุดเลือดออกในตา (HMHs)

เนื่องจากผนังเส้นเลือดไม่แข็งแรง ผนังเส้นเลือดจึงโป่งพอง โดยมีลักษณะเป็นจุดสีแดงขนาดเล็ก และเมื่อผนังเส้นเลือดจึงโป่งพองนี้แตกจะทำให้เกิดจุดเลือดออก (HMHs) กระจายทั่วไปภายในชั้นของจอประสาทตา โดยจุดเลือดออกมีสองขนาดคือ จุดเลือดออกขนาดเล็ก (dot hemorrhage) ซึ่งอาจจะมีขนาดเล็กเท่ากับเส้นเลือดฝอยโป่งพอง และจุดเลือดออกขนาดใหญ่ (blot hemorrhage) ซึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่าแต่ยังคงมีรูปร่างค่อนข้างกลมและขอบเขตชัดเจน ในระยะเริ่มต้นของโรคเบาหวาน ชั้นจอประสาทตาจะสามารถตรวจพบเส้นเลือดฝอยโป่งพองและจุดเลือดออกในจอประสาทตา แต่ผู้ป่วยจะไม่สามารถสังเกตเห็นถึงความผิดปกติการมองเห็นของตนเองในระยะเริ่มต้นนี้ได้ ซึ่งหากไม่ได้รับการตรวจและปล่อยไว้เป็นเวลานานจะทำให้เกิดสิ่งผิดปกติทางตาเกิดขึ้นอีกมากมายจนนำไปสู่ปัญหาการมองเห็น

2.4 Gaussian Filter

ตัวกรองแบบเกาส์เซียนคือประเภทตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน เมื่อนำ kernel แบบเกาส์เซียนไปทำการ Convolution กับภาพ จะมีผลทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้มีความพริ้วมัวลดลง หรือ ลด noise ของภาพ ทำให้ภาพมีความคมชัดมาก ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ตัวเลขใน kernel แบบเกาส์เซียนนี้จะถูกออกแบบให้มีความสอดคล้องกับสมการการกระจายของเกาส์เซียนฟังก์ชัน ดังสมการที่ (1)

$$G(x, y; \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

โดยที่ $G(x, y)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของเกาส์เซียนฟังก์ชัน
 σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 e คือ ค่าคงที่ 2.7183

2.5 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)

วิธีการเพิ่มคุณภาพของภาพเพื่อให้ภาพมีความคมชัด ทำให้รายละเอียดของ objects ต่างๆ ชัดขึ้น ซึ่งวิธีการนี้ได้พัฒนามาจาก Histogram Equalization (HE) โดยพิจารณารายละเอียดในแต่ละค่าพิกเซลบริเวณพื้นที่ส่วนกลางของ Histogram Equalization ภาพต้นฉบับ หากค่า Histogram ที่มีระดับสูงกว่าค่าเฉลี่ยพิกเซลจะถูกนำมากระจายให้กับทุกพิกเซลในภาพ

2.6 Matched Filter

Rotated Matched Filter เป็นวิธีในการสร้างตัวกรอง โดยที่แต่ละค่าที่อยู่ในตัวกรองนั้นถูกคำนวณจาก ตำแหน่ง x, y และค่ามุม (θ) ที่จะหมุนตัวกรองก่อนที่นำไป convolution กับภาพ

$$k(x, y) = -\exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \forall |y| \leq \frac{L}{2} \quad (2)$$

โดยที่ $k(x, y)$ คือ kernel ของ Matched Filter ตำแหน่ง x, y
 σ คือ ค่าความแปรปรวน
 L คือ ความยาวส่วนของเส้นเลือด

$$N = \left\{ (u, v), |u| \leq T, |v| \leq \frac{L}{2} \right\} \quad (3)$$

โดยที่ N คือ จุด neighborhood ในตัวกรอง
 (u, v) คือ ตำแหน่งของจุดใน neighborhood
 T คือ 3σ

$$p_i = [u \quad v] = [x \quad y] \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

โดยที่ i คือจำนวนของ kernel

θ คือ มุมซึ่งมีค่า $[0 \ 360]$

$$k_i(x, y) = -\exp\left(\frac{u^2}{2\sigma^2}\right), \forall |p_i| \in N \quad (5)$$

โดยที่ k_i คือค่าน้ำหนักในแต่ละจุด x, y ของ kernel

$$u = [x \quad y] \begin{bmatrix} \cos\theta \\ -\sin\theta \end{bmatrix}$$

N คือ จุด neighborhood ในตัวกรอง

หลังจากนั้น kernel จะผ่าน ขั้นตอนของการทำ normalization โดยใช้สมการที่ (6) และ (7)

$$k'_i(x, y) = k_i(x, y) - m_i \quad (6)$$

$$m_i = \frac{1}{a} \sum_{p_i \in N} k_i(x, y) \quad (7)$$

โดยที่ k'_i คือค่าน้ำหนักในแต่ละจุด x, y ของ kernel

m_i คือค่าเฉลี่ยของ N

a คือจำนวนจุดทั้งหมดใน N

2.7 การทบทวนวรรณกรรมสารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยของ Hanung Nugroho, D. A. Dharmawan, I. Hidayah และ L. Listyalina (2015) นำเสนองานวิจัยเรื่อง Automated microaneurysms (MAs) detection in digital colour fundus images using matched filter ซึ่งใช้วิธีการที่เรียกว่า Rotated Matched Filter โดยใช้ filter ทั้งหมด 12 จำนวนด้วยกัน และการสกัดคุณลักษณะเป็นขั้นตอนของการตรวจจับ Microaneurysm Candidate ที่มีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องในการตรวจจับ Microaneurysm

ในงานวิจัยของ Akara Sopharaka, Bunyarit Uyyanonvarab และ Sarah Barmanc (2013) นำเสนองานวิจัยเรื่อง Simple Hybrid Method for Fine Microaneurysm Detection from non-Dilated Diabetic Retinopathy Retinal Images โดยนำเสนอวิธีการตรวจจับ MAs จากรูปภาพรูม่านตาที่ไม่ขยายของผู้ป่วยโรคเบาหวาน เนื่องจากปัญหาของการตรวจจับ MAs อัตโนมัติ คือ MAs มีขนาดเล็กมาก มีความคมชัดต่ำ และยังมีความคล้ายคลึงกับเส้นเลือดด้วย จึงเป็นเรื่องยากที่จะตรวจจับ MAs ได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากรูม่านตาไม่ขยายออก ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการที่ง่ายแต่มีประสิทธิภาพเพื่อตรวจจับ MAs โดยในขั้นตอนแรกคือการเตรียมภาพเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทดสอบ และกำจัดในส่วนที่เป็นเส้นเลือดและสิ่งซึมเยิ้มชั้น (Exudate) ออกจากนั้นตรวจจับ Microaneurysm ในระดับหยาบโดยใช้ mathematic morphology และสกัดลักษณะจำนวน 18 ลักษณะเพื่อตรวจจับ MAs ในระดับละเอียดโดยใช้การจำแนกเนออีฟเบย์ (Naive Bayes Classification) ผลการทดลองของวิธีการที่นำเสนอมีค่าความอ่อนไหว (Sensitivity) ค่าจำเพาะ (Specificity) ค่าความแม่นยำ (Precision) และ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) คือ 85.68%, 99.99%, 83.34% and 99.99% ตามลำดับ

ในงานวิจัยของ M. Usman Akrama, Shehzad Khalidb และ Shoab A. Khana (2013) นำเสนองานวิจัยเรื่อง Identification and Classification of Microaneurysms for Early Detection of Diabetic Retinopathy โดยนำเสนอวิธีการระบุและจำแนกประเภทของ MAs สำหรับโรคเบาหวานในระยะเริ่มต้น ซึ่งมีทั้งหมดสามขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการสกัดรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของ MAs ในรูปภาพของจอประสาทตา ในการจำแนกรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดว่าเป็น MAs หรือไม่นั้น จะกำหนดเวกเตอร์ลักษณะสำหรับแต่ละพื้นที่โดยที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น รูปร่าง สี ความเข้ม และสถิติ ซึ่งงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการจำแนกแบบผสมโดยการรวม Gaussian mixture model (GMM) Support Vector Machine (SVM) และ m- Mediods เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนก MAs วิธีการนี้ถูกประเมินด้วยภาพจอประสาทตาจากฐานข้อมูลมาตรฐาน ผลการทดลองมีค่าความถูกต้องสูงกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่ได้นำเสนอก่อนหน้านี้

ในงานวิจัยของ Rukhmini Roy, Srinivasan Aruchamy, Partha Bhattacharjee (2013) นำเสนองานวิจัยเรื่อง Detection of Retinal Microaneurysms using Fractal Analysis and Feature Extraction Technique ซึ่งนำเสนอวิธีการตรวจจับ MAs ในจอประสาทตาโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แฟร็กทัล (Fractal Analysis) และการสกัดลักษณะ (Feature Extraction) วิธีการที่นำเสนอ

ประกอบไปด้วยสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการเตรียมภาพและวิเคราะห์แฟร็กทัลโครงสร้างเส้นเลือดของจอประสาทตา ขั้นตอนที่สองคือการตรวจจับ MAs ในรูปภาพจอประสาทตาที่ผิดปกติ โดยการตรวจหาขอบและปรับโครงสร้างสัญญาณวิทยา MAs ถูกทำให้แตกต่างจากลักษณะของจอประสาทตาอื่นๆ จากการวิเคราะห์วัตถุไบนารีในแต่ละส่วนของรูปแบบที่เป็นไปได้ วิธีการที่นำเสนอถูกประเมินด้วยรูปภาพจอประสาทตาจากฐานข้อมูลที่มาตราฐานทั้งหมด 89 ภาพ ผลการทดลองมีค่าความอ่อนไหว (Sensitivity) 89.5% และ ค่าจำเพาะ (Specificity) 82.1%

ในงานวิจัยของ Preeyaporn Yunuch, N. Maneerat, D. Isarakorn, B. Pasaya, R. Panjaphongse และ R. Varakulsiripunth (2013) นำเสนองานวิจัยเรื่อง Automatic Microaneurysms Detection Through Retinal Color Image Analysis ได้ใช้วิธีการ Color Space Transforming เพื่อแปลงภาพจาก RGB color space เป็น HSV color space และได้พิจารณา 3 คุณลักษณะด้วยกันคือ intensity, area และ eccentricity เพื่อทำการแยกส่วนที่เป็น Microaneurysm

ในงานวิจัยของ Bob Zhanga, Xiangqian Wub, Jane Youc, Qin Lic และ Fakhri Karraya (2010) ได้นำเสนองานเรื่อง Detection of Microaneurysms using Multi-scale Correlation Coefficients โดยนำเสนอวิธีการใหม่ที่ใช้หลักการ Multi-scale Correlation Filtering (MSCF) และการกำหนดเกณฑ์แบบพลวัต (Dynamic Thresholding) และแบ่งการทำงานเป็น 2 ระดับ คือ ระดับหยาบและระดับละเอียด ในส่วนของระดับหยาบเป็นการตรวจจับรูปแบบที่เป็นไปได้โดยใช้ MSCF แบบ Dynamic Thresholding และในระดับละเอียด คือ การแบ่งกลุ่มเพื่อตรวจจับ MAs จากข้อมูลรูปแบบที่เป็นไปได้ ซึ่งในการประเมินผลงานวิจัยนี้ได้ใช้ชุดข้อมูลจากฐานข้อมูล 2 ชุด ได้แก่ ROC และ DIARETDB1 จากผลการทดลองพบว่าวิธีการนี้มีค่าความผิดพลาดเชิงบวกเฉลี่ย (Average False Positive) 0.713 ต่อภาพ

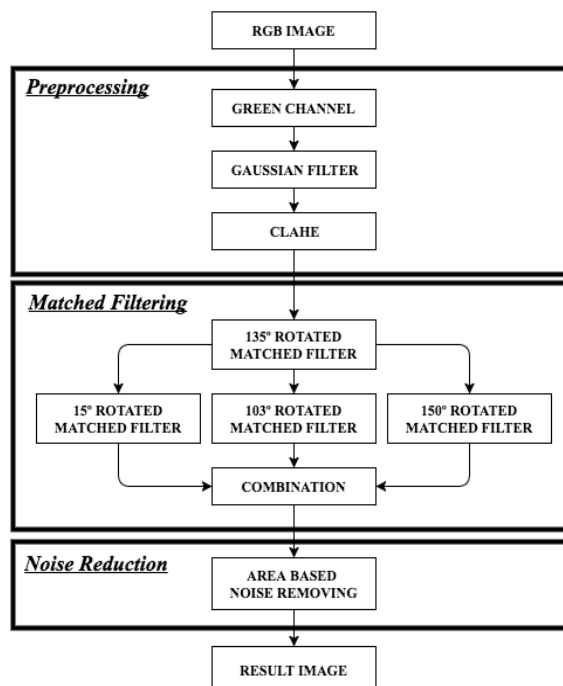
ในงานวิจัย Walter T, Massin P, Erginay A, Ordonez R, Jeulin C และ Klein JC (2007) ได้นำเสนองานเรื่อง Automatic Detection of Microaneurysms in Color Fundus Images เนื่องจากเห็นความสำคัญของการใช้ระบบคอมพิวเตอร์อัตโนมัติในการวินิจฉัยโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา ซึ่งโรคนี้มีผลร้ายแรงและพบได้บ่อยในผู้ป่วยโรคเบาหวาน งานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) การปรับเฉดสีให้ถูกต้อง และการทำนอร์มอลไลซ์ข้อมูลภาพในชั้นสีเขียวในระบบสี RGB เพื่อความถูกต้องและประสิทธิภาพของการดำเนินงาน ในขั้นตอนที่สองเป็นการตรวจจับรูปแบบทั้งหมดที่เป็นไปได้ว่าจะมีความสอดคล้องกับลักษณะ Microaneurysms ซึ่งจะถูกรวบรวมได้จากค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง ตามค่าเกณฑ์ที่สามารถปรับเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อมได้อัตโนมัติ (Adaptive Threshold) จากนั้นลักษณะที่ถูกสกัดออกมาจะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อแบ่งกลุ่มรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยใช้คอร์เนลเทคนิคการประมาณค่าความหนาแน่น ในงานวิจัยนี้จะใช้ภาพจากฐานข้อมูลจำนวน 21 ภาพ สำหรับการสอน และใช้ภาพทดสอบจำนวน 94 ภาพ ผลการทดลองมีค่าความอ่อนไหว (Sensitivity) 88.5% และ ค่าความผิดพลาดเชิงบวก (False positives) เฉลี่ย 2.13 ต่อภาพ

ในงานวิจัย S. Abdelazeem (2002) นำเสนองานวิจัยเรื่อง Microaneurysm Detection using Vessels Removal and Circular Hough Transform ซึ่งได้นำเสนอวิธีการใหม่สำหรับการตรวจจับ Microaneurysm ในภาพหลอดเลือดของจอประสาทตา โดยการตรวจจับภาพฝั้หลอดเลือด (Blood Vessels) แล้วจึงได้เพิ่มขั้นตอน Post Processing ด้วยการหาค่าคุณสมบัติหลักของหลอดเลือด คือ ค่า Piecewise linearity และค่า Antiparallel Edges เพื่อยืนยันข้อมูลอีกครั้งหนึ่งก่อนลบภาพฝั้หลอดเลือด หลังจากนั้นดำเนินการตรวจหารูปแบบข้อมูลที่มีลักษณะทรงกลมทั้งหมดด้วยหลักการของ Circular Hough Transform ทำให้ได้รูปแบบข้อมูลที่เป็น MAs และที่ไม่ใช่ หลังจากนั้นจะแยกข้อมูลด้วยวิธีแบ่งกลุ่ม ด้วยการเปรียบเทียบค่าพลังงานตามที่กำหนดเกณฑ์ (Threshold) ซึ่ง MAs จะมีค่าพลังงานแตกต่างจากค่าพลังงานของพื้นหลัง ดังนั้นรูปแบบข้อมูลที่ไม่ใช่ MAs จะถูกปฏิเสธในการทดลองนี้ใช้ภาพทั้งหมด 3 ภาพ ผลลัพธ์ที่ได้สามารถตรวจจับ False Microaneurysm ลดลงกว่าวิธีการอื่นๆ

ในงานวิจัยของ Spencer T, Olson JA, McHardy KC, Sharp PF และ Forrester JV (1996) ได้นำเสนองานเรื่อง An Image-processing Strategy for the Segmentation and Quantification of Microaneurysms in Fluorescein Angiograms of the Ocular Fundus ในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนแรก คือ ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลจากภาพฝั้หลอดเลือดในตา ด้วยวิธีการแปลงแบบโมโฟโลยีท็อปปแฮท (Morphological top-hat) 12 ระดับ โดยการหมุนองค์ประกอบโครงสร้างเชิงเส้นรัศมี 15 องศา เพื่อใช้ในการพิจารณาลบฝั้ของหลอดเลือดด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Matched Filter) ทำให้ภาพกลายเป็นภาพไบนารีตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งภาพไบนารีจะประกอบไปด้วยรูปแบบที่เป็นไปได้ หลังจากนั้นจะใช้วิธีการขยายขนาดพื้นที่ที่มีค่าสีใกล้เคียงกัน (Region Growing) ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลของขนาด รูปร่าง พลังงาน ของรูปแบบข้อมูล MAs ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ในส่วนของขั้นตอนสุดท้ายเทคนิคนี้ ได้มีการประเมินโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากคอมพิวเตอร์ กับผลการประเมินของแพทย์ 5 คน ซึ่งวิธีการนี้มีความถูกต้องแม่นยำในการติดตามการลุกลามของโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในวิธีดำเนินงานวิจัยได้นำเสนอวิธีการตรวจจับ Microaneurysm Candidate โดยนำภาพดวงตาของผู้ป่วยโรคเบาหวานมาตรวจจับ Microaneurysm ที่มีการกระจายอยู่ทั่วไป โดยแบ่งขั้นตอนการประมวลผลออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังรูปที่ 3-1 ได้แก่ 1) Preprocessing 2) Matched Filtering และ 3) Noise Reduction



รูปที่ 3-1 แผนผังวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 Preprocessing

ในขั้นตอนแรกของการประมวลผลภาพ ซึ่งเป็นขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลภาพให้เหมาะสมกับการประมวลผลการตรวจจับ MA candidate โดย fundus image เริ่มต้นนั้นเป็นภาพดวงตาที่อยู่ในรูปแบบของภาพสี (RGB color space)

- Green Channel

ในขั้นตอนนี้จะทำการแยกข้อมูลภาพออกมาแค่ Green channel เนื่องจาก Green channel จะมีข้อมูลและสารสนเทศที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับ MA candidate ภาพดวงตาที่มีความคมชัดมากที่สุด เมื่อเทียบกับ Red space ที่ทำให้ MA candidate จางหายไป และ Blue channel ทำให้ภาพมีความมืดเกือบทั้งภาพ

- **Gaussian Filter**

นำภาพ Green channel ผ่านตัวกรอง Gaussian Filter เพื่อลด noise และเพิ่มความคมชัดให้กับภาพ โดยกำหนดให้ Gaussian Filter มีขนาด 12×12 และค่า $\sigma = 2$

- **CLAHE**

จากนั้นนำภาพที่ผ่านตัวกรอง Gaussian Filter เพิ่มความคมชัดและรายละเอียดของ object ต่างๆ ให้ชัดเจนขึ้นด้วยวิธีการ CLAHE

3.2 Matched Filtering

ในขั้นนี้ได้ทำการสร้างตัวกรอง Matched Filter ที่มีค่ามุม (θ) ที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองปรับขนาดของตัวกรองและค่ามุม (θ) ปรากฏว่าทั้งสองส่งผลต่อผลลัพธ์เป็นอย่างมาก ในงานวิจัยนี้จึงเลือกขนาดของตัวกรองและค่าของ angle (θ) ที่ทำให้ Microaneurysm candidates ชัดขึ้นมากที่สุด ซึ่งได้แก่ ตัวกรองขนาด 5×5 และ ค่ามุมเป็น 135° , 103° และ 150°

- **Rotated Matched Filter 1**

นำข้อมูลภาพที่ผ่าน CLAHE จากขั้นตอนที่แล้ว ผ่านตัวกรอง 135° Rotated Matched Filter และกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ $\sigma = 2.1$, $L = 8$, $T = 4$, $\theta = 135^\circ$

- **Rotated Matched Filter 2**

นำภาพที่ได้ผ่านตัวกรอง 15° , 103° และ 150° Rotated Matched Filter โดยกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ $\sigma = 2.1$, $L = 8$, $T = 4$, $\theta = 15^\circ, 103^\circ, 150^\circ$

- **Combination**

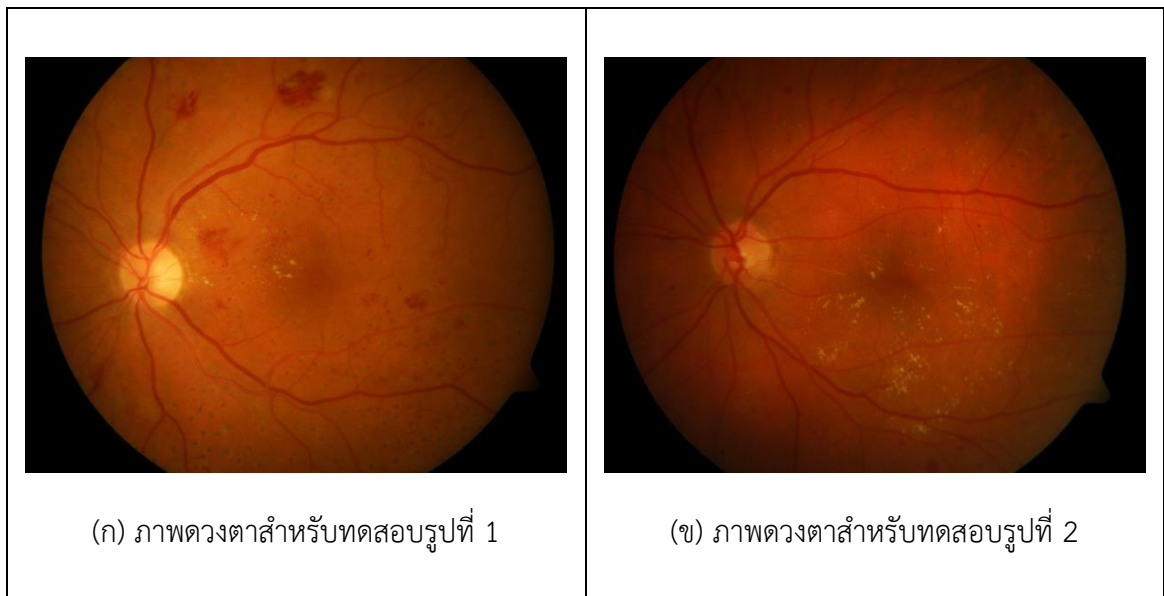
หลังจากนั้นทำการรวบรวมภาพทั้ง 3 ภาพเข้าด้วยกัน คือภาพที่ได้จากการผ่านตัวกรอง 15° , 103° และ 150° Rotated Matched Filter ซึ่งจะได้ภาพที่ประกอบไปด้วย Microaneurysm Candidates จำนวนมาก

3.3 Noise Removing

จากขั้นตอนของการทำ Combination นั้นทำให้เกิด noise ที่มีขนาดเล็กกว่า Microaneurysm ดังนั้นจึงได้ทำการลด noise นั้นออกจากการคำนวณขนาดของ objects ในภาพทั้งหมด แล้วเลือกที่จะเก็บ object ที่มีขนาดมากกว่า 25 pixels เท่านั้น

บทที่ 4 ผลการทดลอง

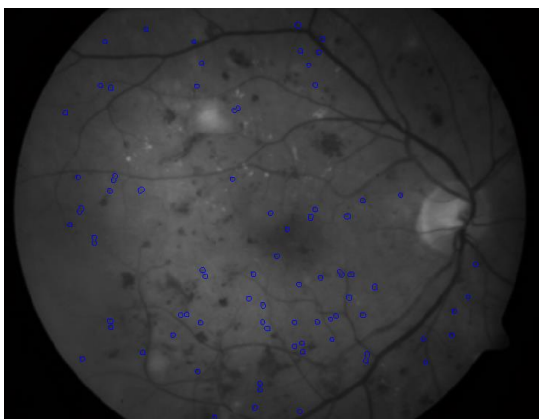
ในบทนี้ แสดงผลการทดลองที่ได้จากการใช้วิธีที่นำเสนอในบทที่ 3 โดยภาพดวงตาที่ใช้ทดสอบ จาก DIARETDB1 มีทั้งหมด 89 ภาพ ขนาด 1150x1500 พิกเซล ซึ่งภาพทั้งหมดจะมีแสงและความสว่างที่ต่างกัน รูปภาพตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4-1 (ก) และ (ข) โดยจะแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 4-1 ตัวอย่างภาพดวงตาสำหรับทดสอบ

4.1 Preprocessing

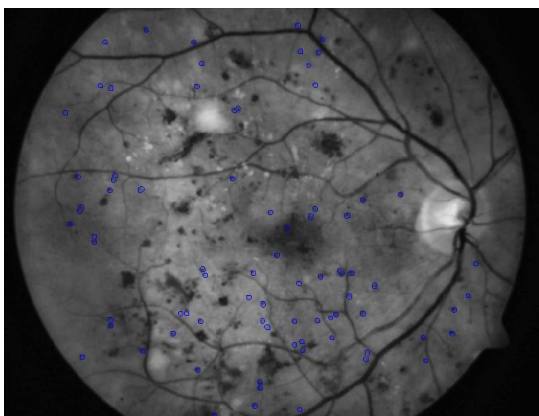
นำภาพดวงตาซึ่งเป็นภาพ RGB color space ทำการแยกเฉพาะ Green space และเพิ่มความคมชัดของภาพด้วยการผ่านตัวกรอง Gaussian Filter ผลลัพธ์ที่ได้ดังรูปที่ 4-2 ซึ่งวงกลมสีน้ำเงินคือ Ground truth



รูปที่ 4-2 ภาพดวงตาหลังจากผ่าน Gaussian Filter

จากนั้นนำมาผ่าน CLAHE เพื่อทำให้รายละเอียดของ objects ต่างๆ ชัดเจนขึ้น ดังแสดงรูปที่

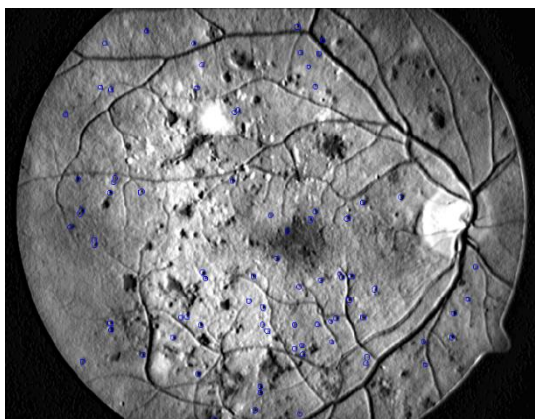
4-3



รูปที่ 4-3 ภาพดวงตาหลังจากผ่าน CLAHE

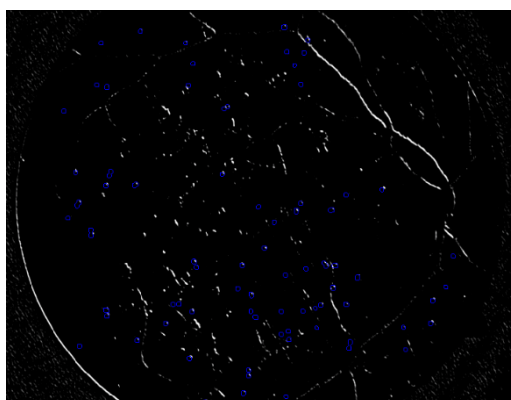
4.2 Matched Filtering

นำภาพที่ผ่านขั้นตอน Preprocessing มาตรวจจับ Microaneurysm โดยผ่านตัวกรอง 135° Rotated Matched Filter แสดงดังรูปที่ 4-4

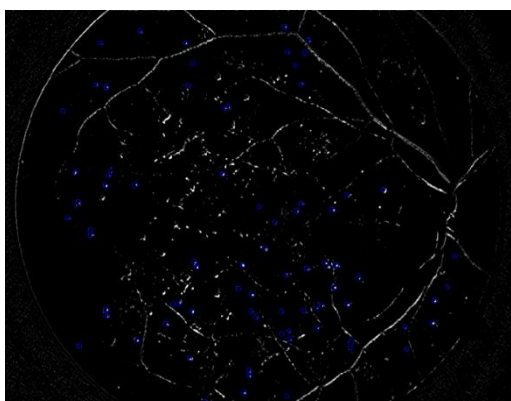


รูปที่ 4-4 ภาพดวงตาหลังจากผ่าน 135° Rotated Matched Filter

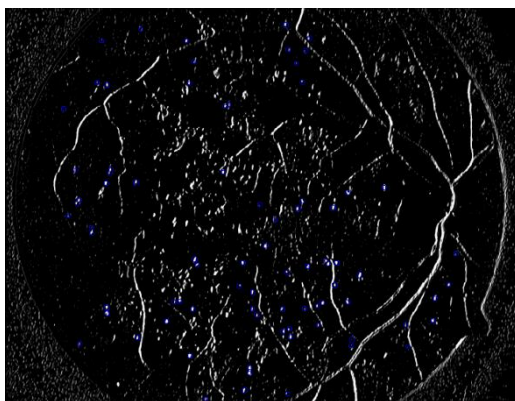
จากนั้นนำภาพที่ผ่านตัวกรอง 135° Rotated Matched Filter มาผ่าน 15°, 103° และ 150° Rotated Matched Filter ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4-5, 4-6 และ 4-7 ตามลำดับ



รูปที่ 4-5 ภาพดวงตาหลังจากผ่าน 15° Rotated Matched Filter

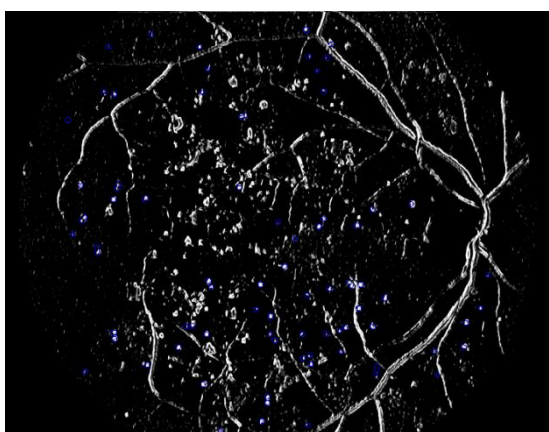


รูปที่ 4-6 ภาพดวงตาหลังจากผ่าน 103° Rotated Matched Filter



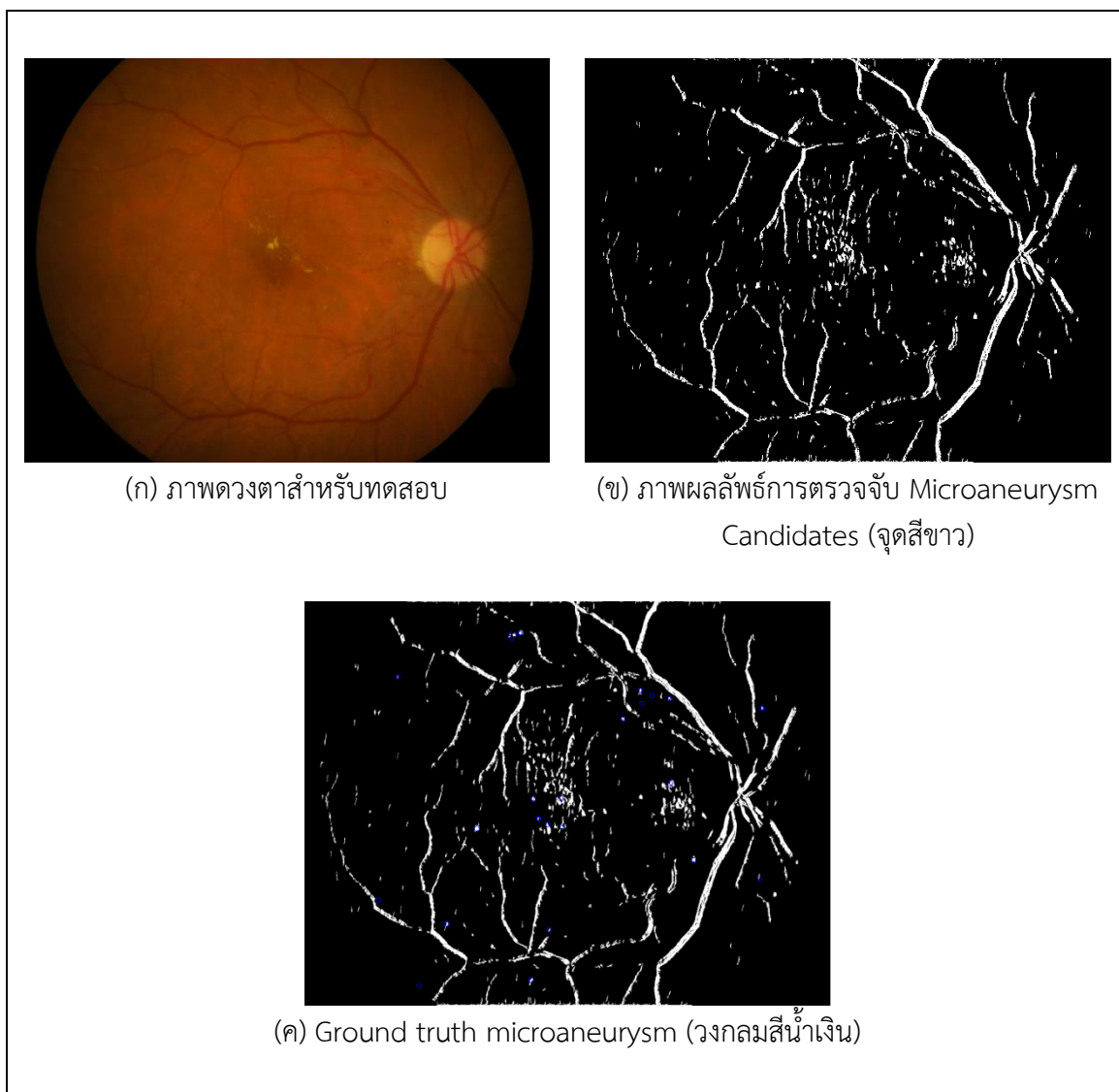
รูปที่ 4-7 ภาพดวงตาหลังจากผ่าน 150° Rotated Matched Filter

ทำการรวบรวม (Combination) ภาพทั้ง 3 ภาพเข้าด้วยกัน คือ ภาพที่ได้จาก 15°, 103° และ 150° Rotated Matched Filter แล้วจะได้ภาพที่ประกอบไปด้วย Microaneurysm Candidates จำนวนมากแสดงจุดสีขาวดังรูปที่ 4-8 สังเกตได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจจับ Microaneurysm ที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm (วงกลมสีน้ำเงิน)



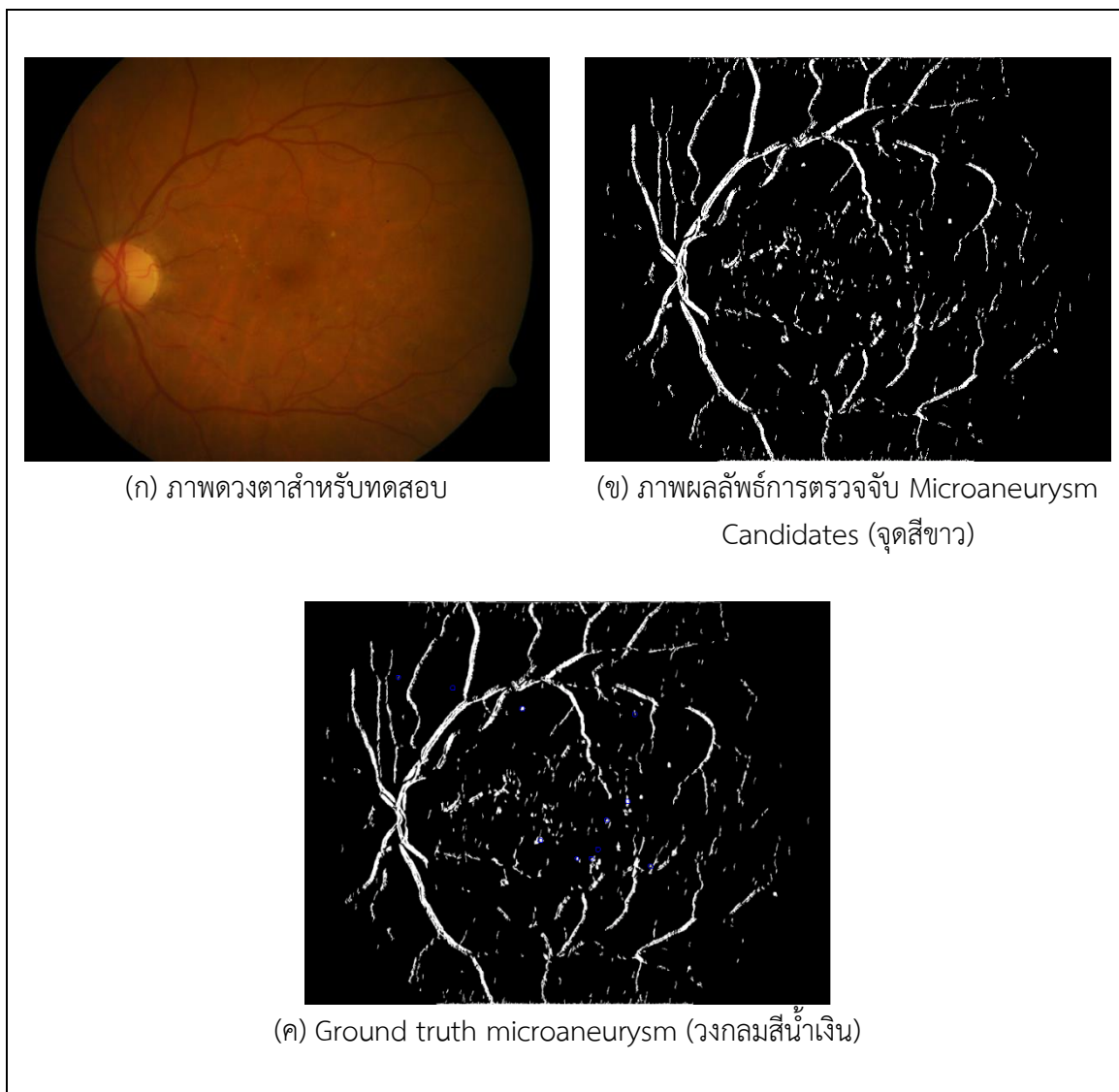
รูปที่ 4-8 ภาพดวงตาหลังจากผ่าน Combination

เมื่อทำการทดลองดังวิธีการที่นำเสนอกับรูปภาพ fundus image ของ DIARETDB1 จำนวน 89 ภาพ ผลปรากฏว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถตรวจจับ Microaneurysm ได้อย่างถูกต้อง 90.72% จากจำนวน Microaneurysm ที่มีอยู่ทั้งหมดในทั้ง 89 ภาพ โดยจะแสดงตัวอย่างภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์การตรวจจับ Microaneurysm จำนวน 30 ภาพ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4-9 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 1

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 1 ดังรูปที่ 4-9 (ก) เพื่อตรวจจับ Microaneurysm ปรากฏว่าเมื่อนำภาพที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมภาพในขั้นตอนแรกแล้ว มาผ่านตัวกรอง Rotated Matched Filter ทั้ง 4 รูปแบบ จะได้ภาพผลลัพธ์ที่มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-9 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-9 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



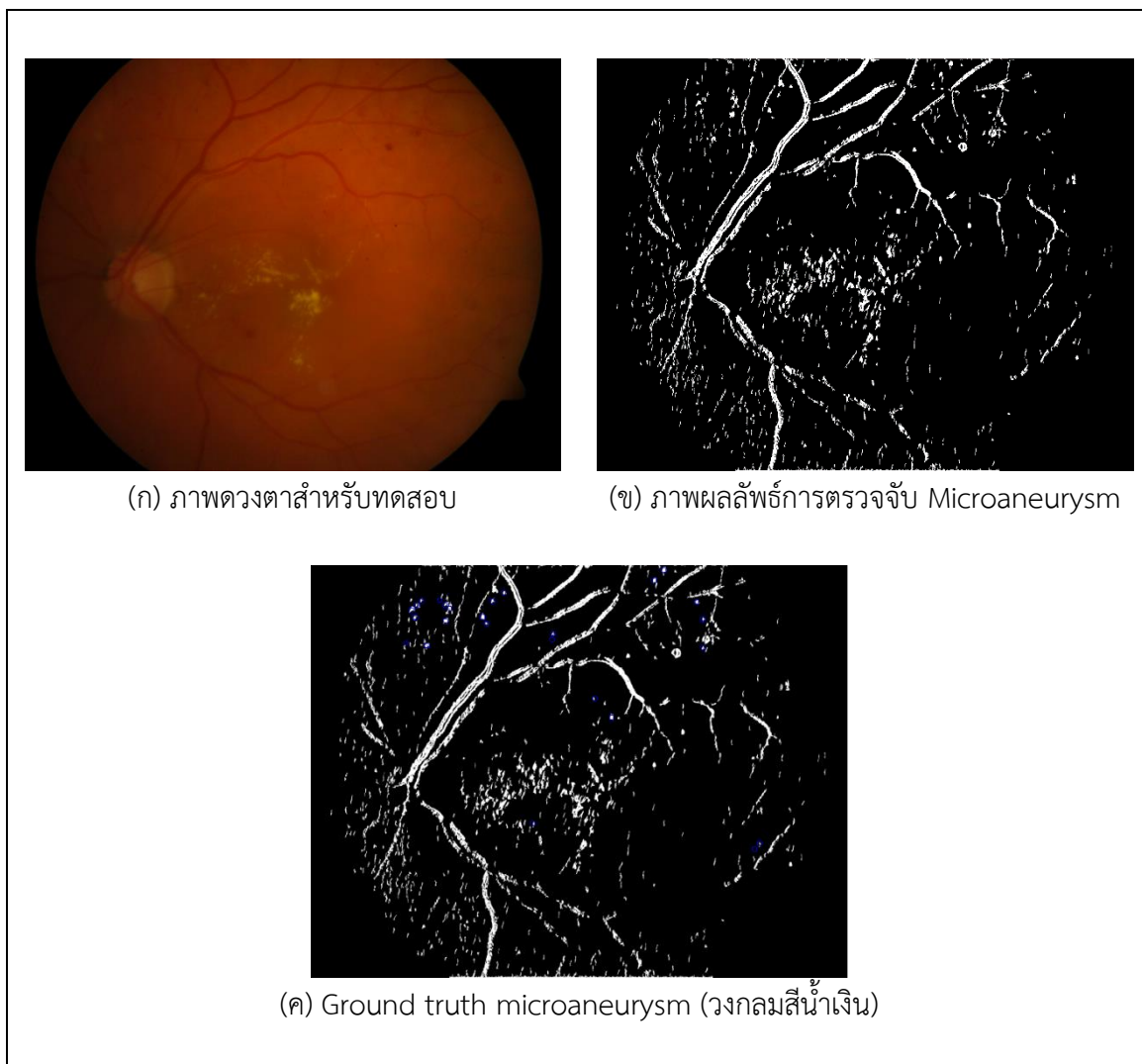
รูปที่ 4-10 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 2

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 2 ดังรูปที่ 4-10 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-10 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-10 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั่นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



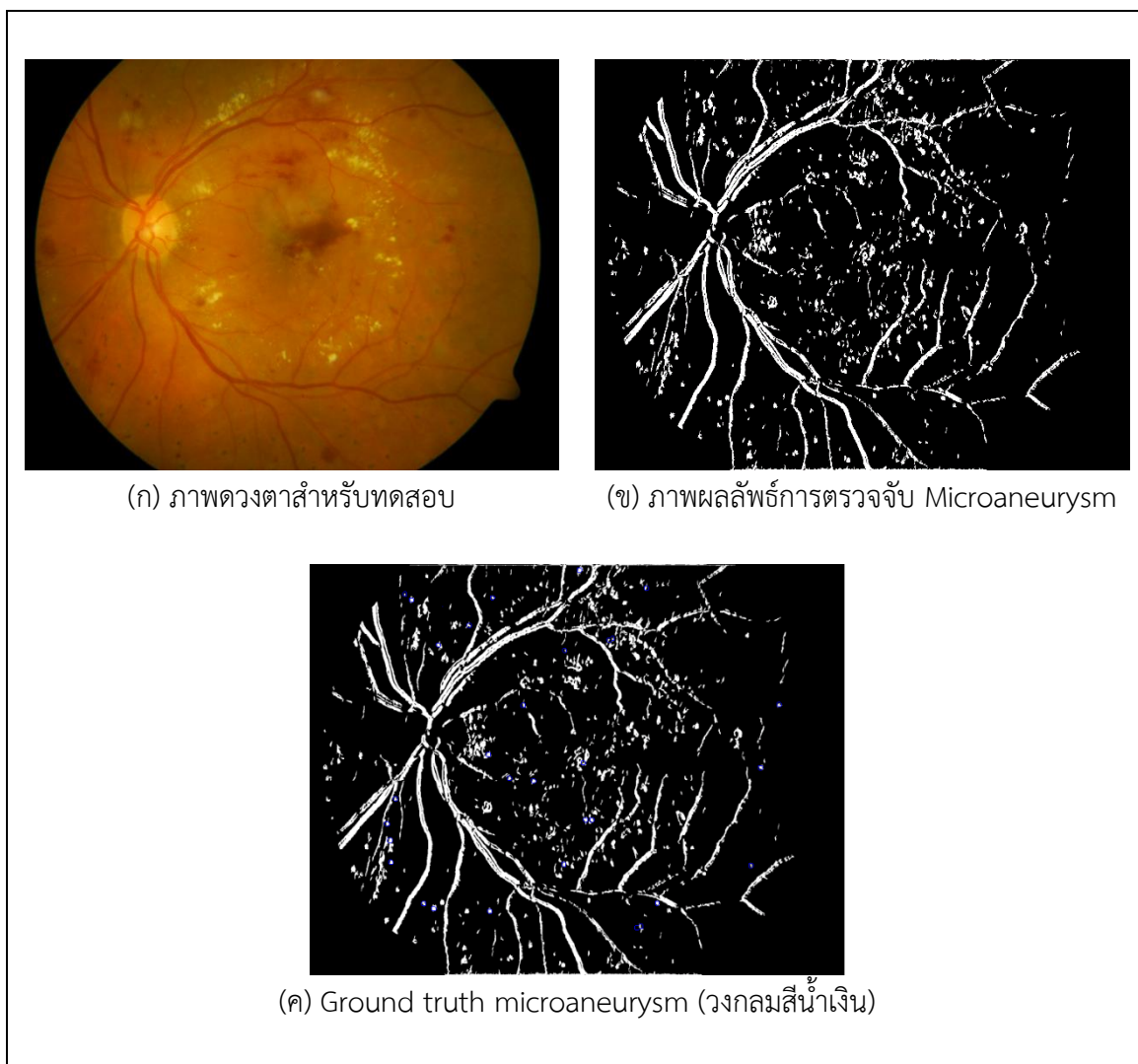
รูปที่ 4-11 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 3

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 3 ดังรูปที่ 4-11 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏว่าสามารถตรวจจับ Microaneurysm Candidates ได้จำนวนมาก ดังรูปที่ 4-11 (ข) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ที่มีอยู่จำนวนหนึ่งดังรูปที่ 4-11 (ค) พบว่า Ground truth microaneurysm ส่วนใหญ่มีตำแหน่งที่ตรงกับ Microaneurysm Candidates



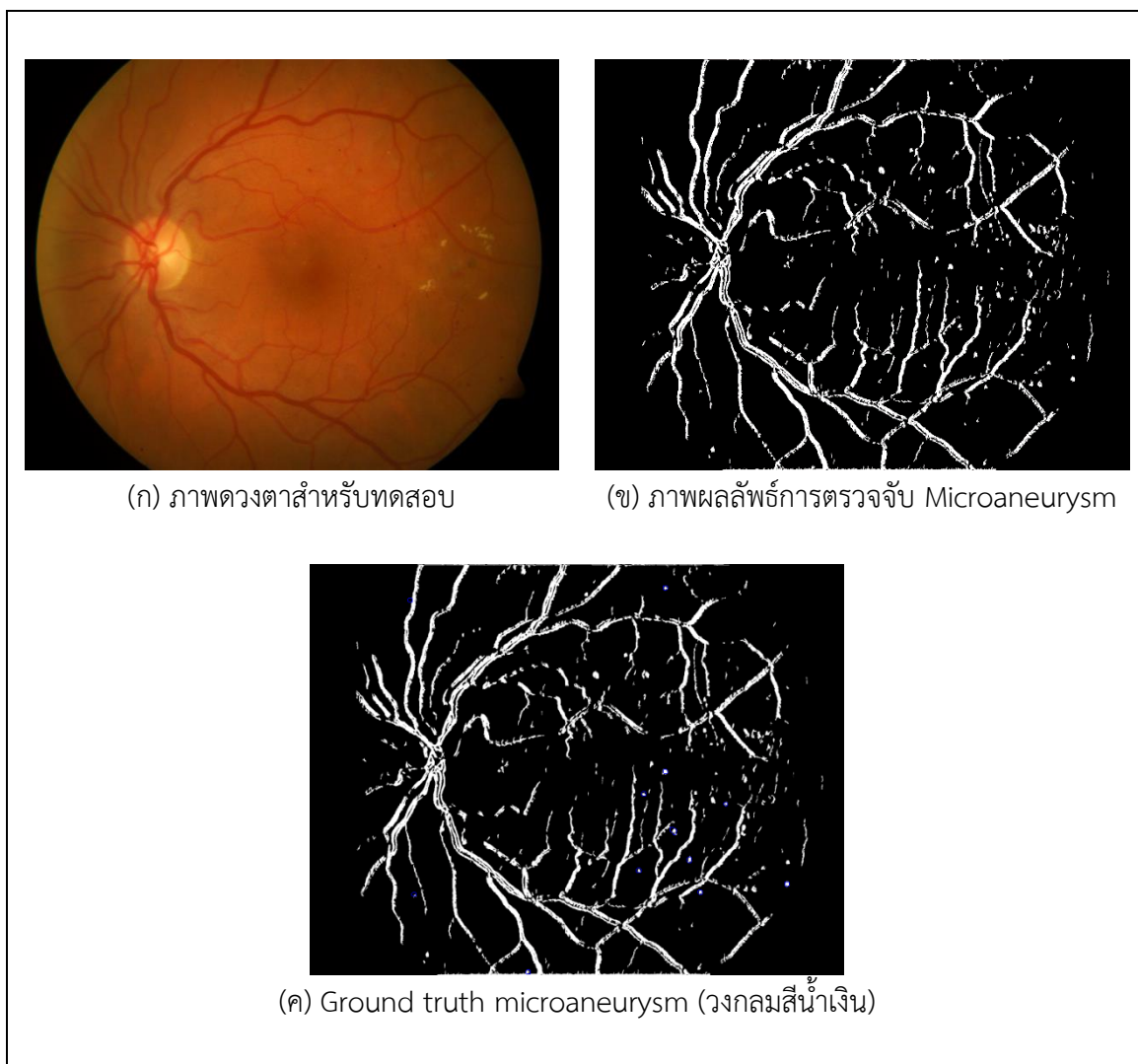
รูปที่ 4-12 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 4

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 4 ดังรูปที่ 4-12 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏว่าสามารถตรวจจับ Microaneurysm Candidates ได้จำนวนมาก แสดงดังรูปที่ 4-12 (ข) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ Ground truth microaneurysm ที่มีอยู่จำนวนหนึ่ง พบว่ามีเพียงแค่เล็กน้อยเท่านั้นที่ Ground truth microaneurysm มีตำแหน่งไม่ตรงกับ Microaneurysm Candidates ดังรูปที่ 4-12 (ค)



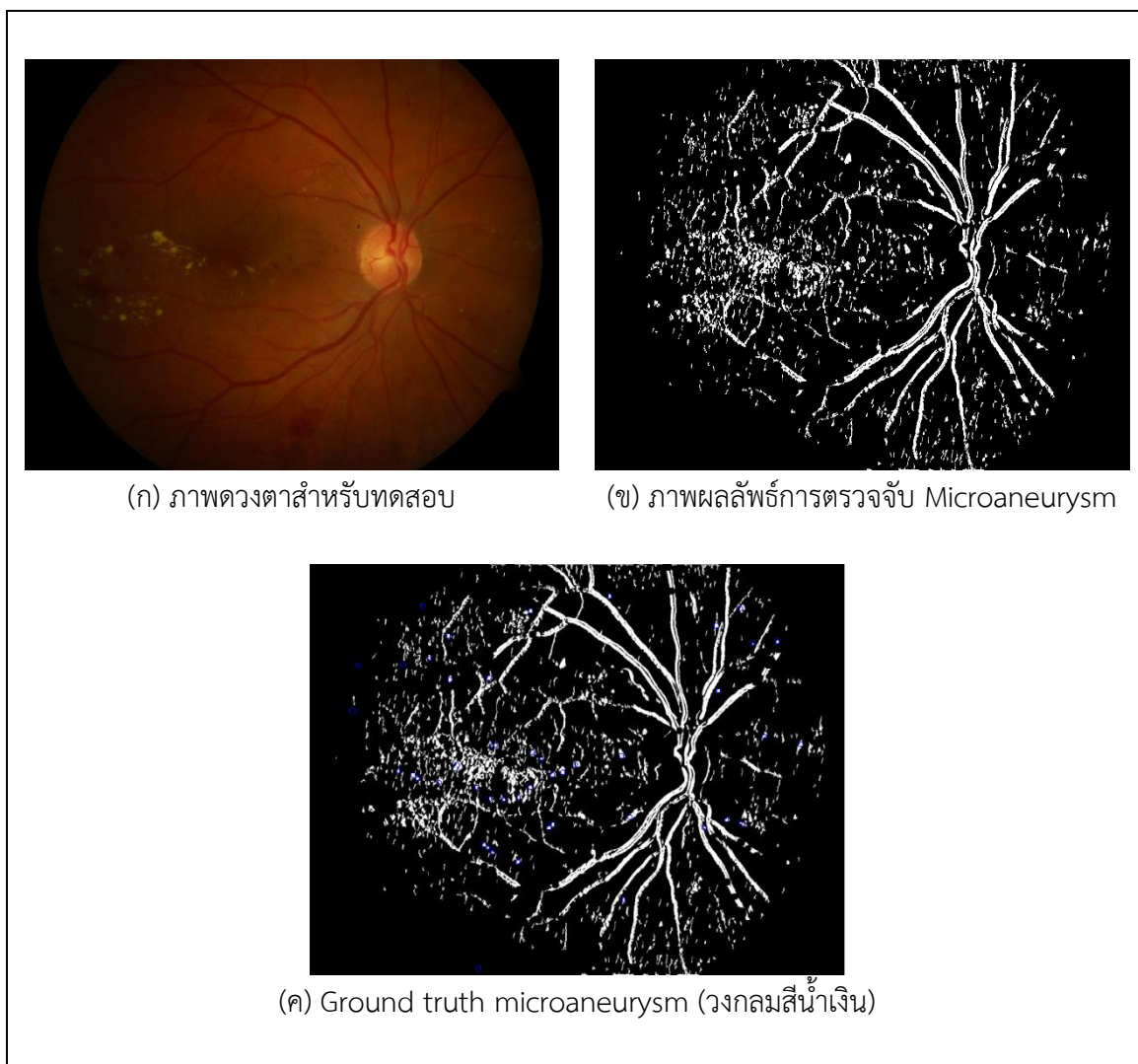
รูปที่ 4-13 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 5

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 5 ดังรูปที่ 4-13 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏว่าผลลัพธ์แสดง Microaneurysm Candidates ได้จำนวนมากดังรูปที่ 4-13 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบ Ground truth microaneurysm ที่มีอยู่จำนวนหนึ่ง พบว่ามีเพียงแค่จุดเดียวเท่านั้นที่ Microaneurysm Candidates มีการระบุตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนไปจาก Ground truth microaneurysm เพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4-13 (ค)



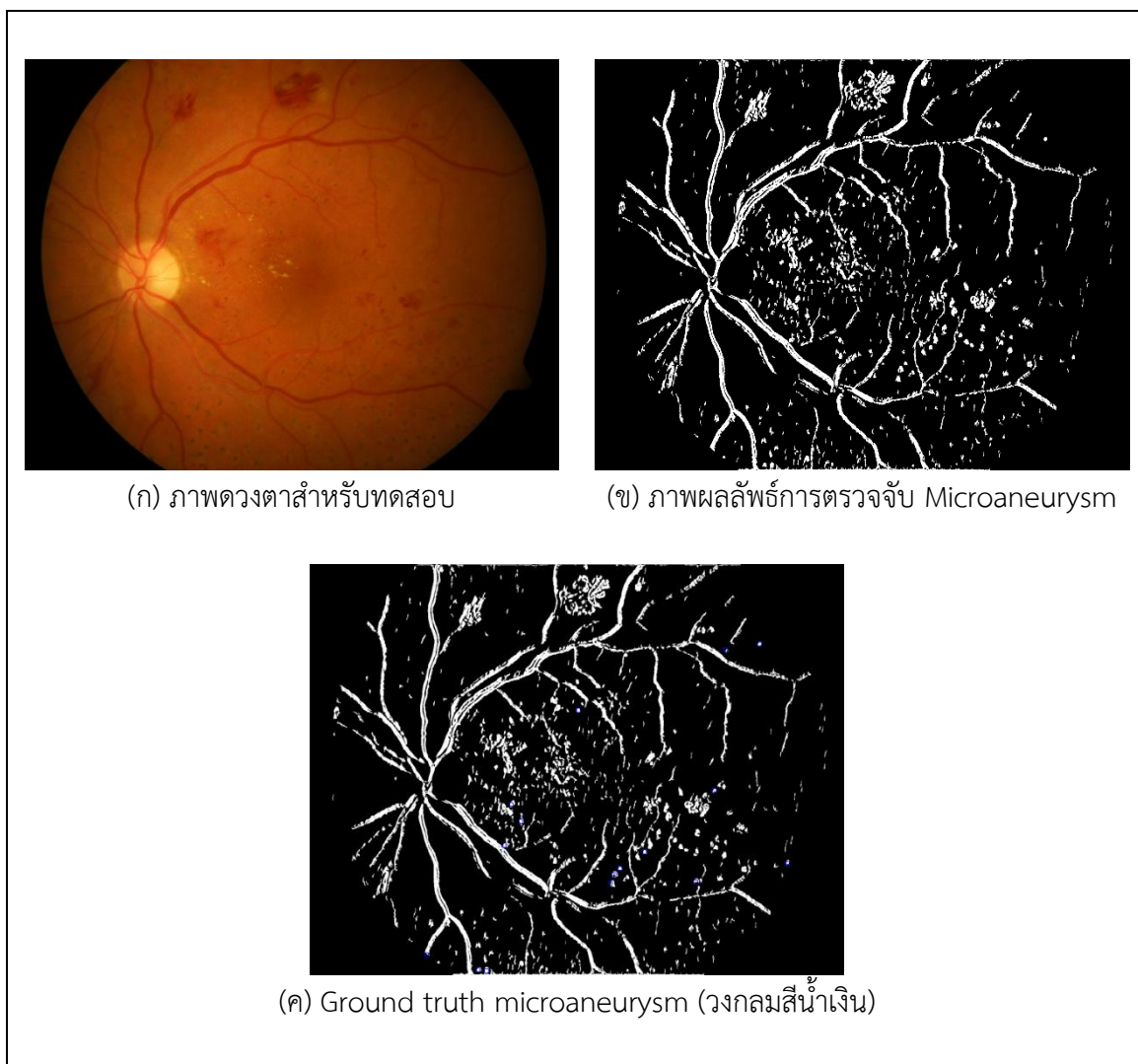
รูปที่ 4-14 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 6

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 6 ดังรูปที่ 4-14 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-14 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-14 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



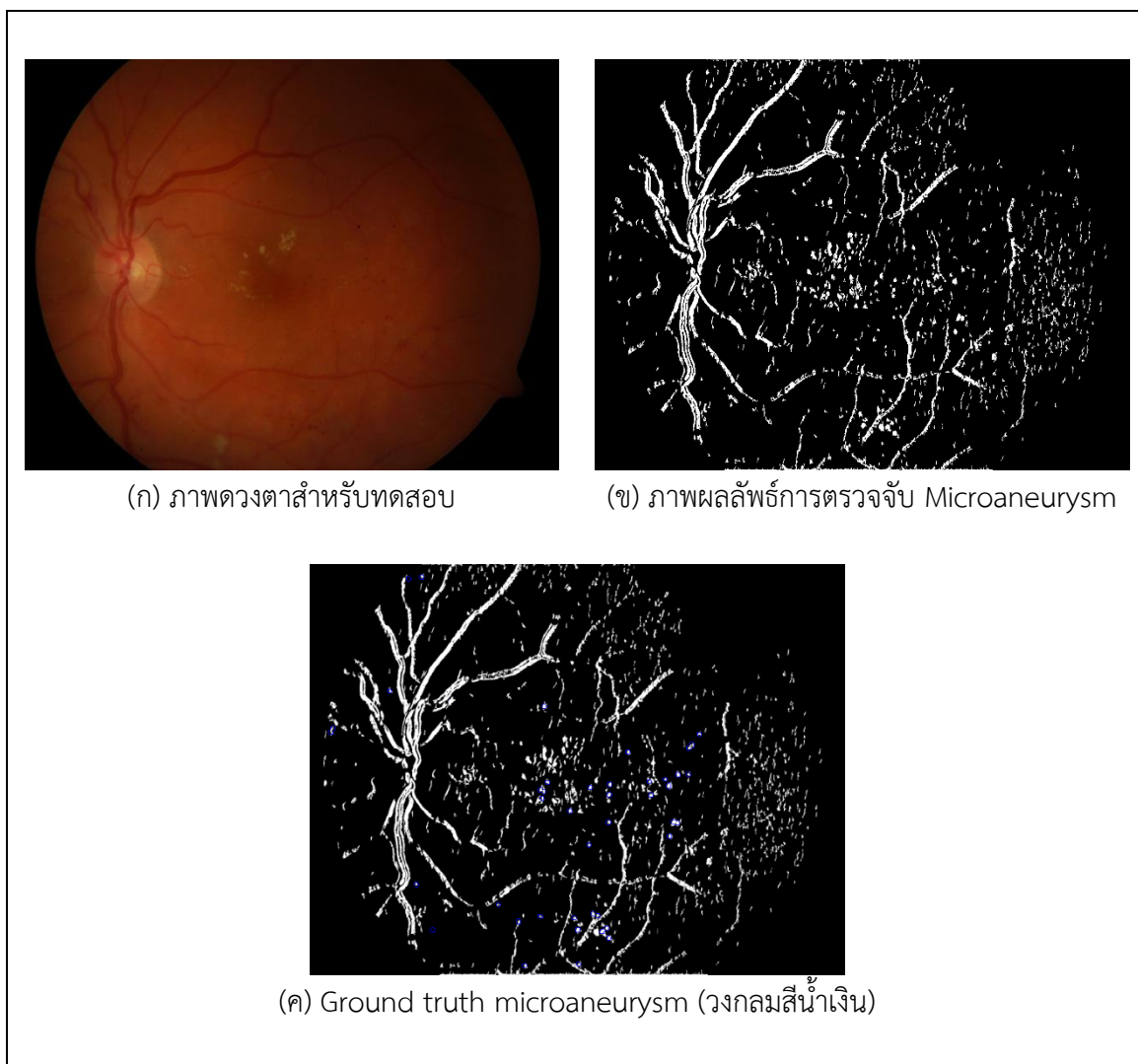
รูปที่ 4-15 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 7

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 7 ดังรูปที่ 4-15 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-15 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-15 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ส่วนน้อยบางส่วนไม่ปรากฏตัวในตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



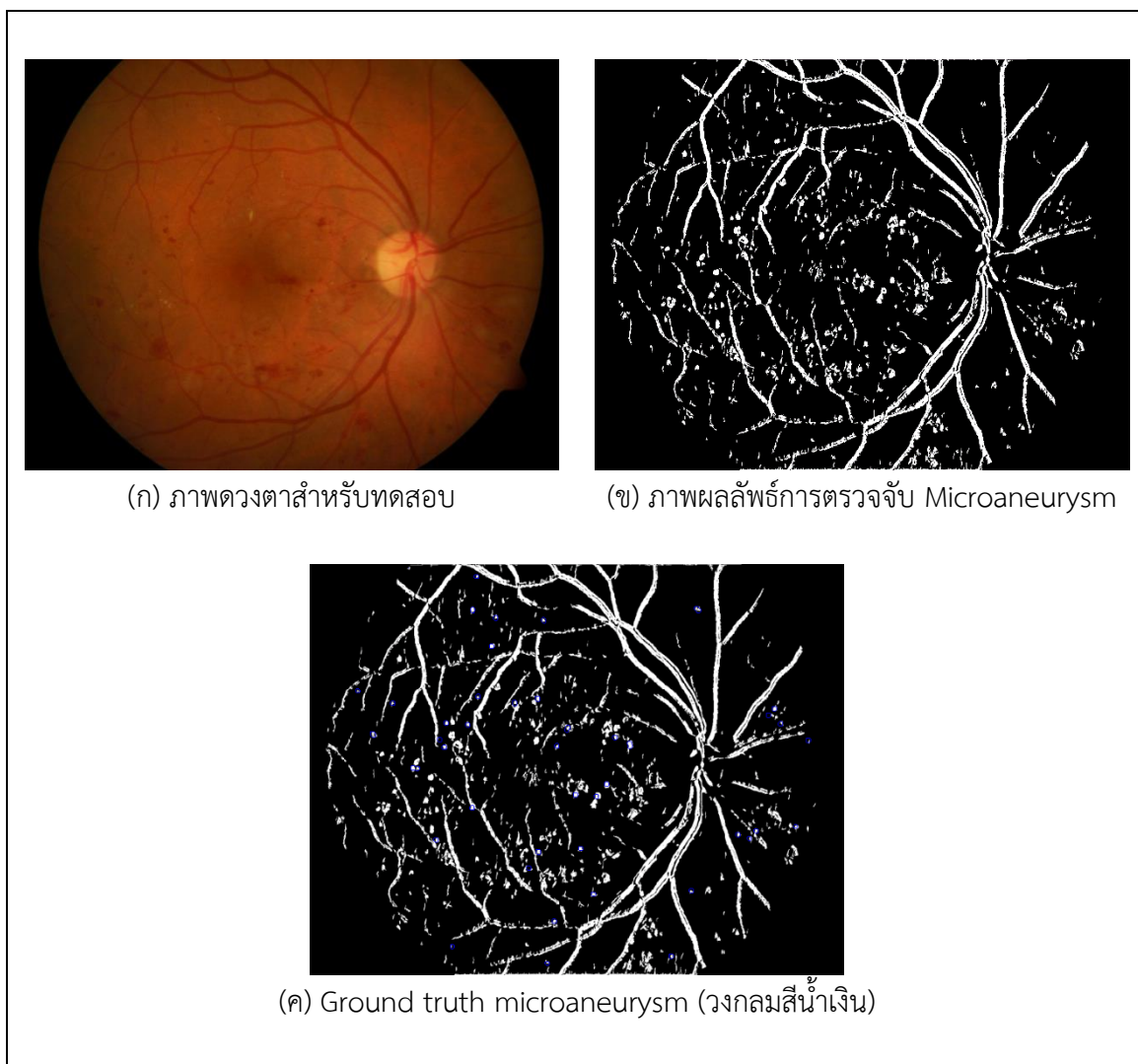
รูปที่ 4-16 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 8

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 8 ดังรูปที่ 4-16 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-16 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-16 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



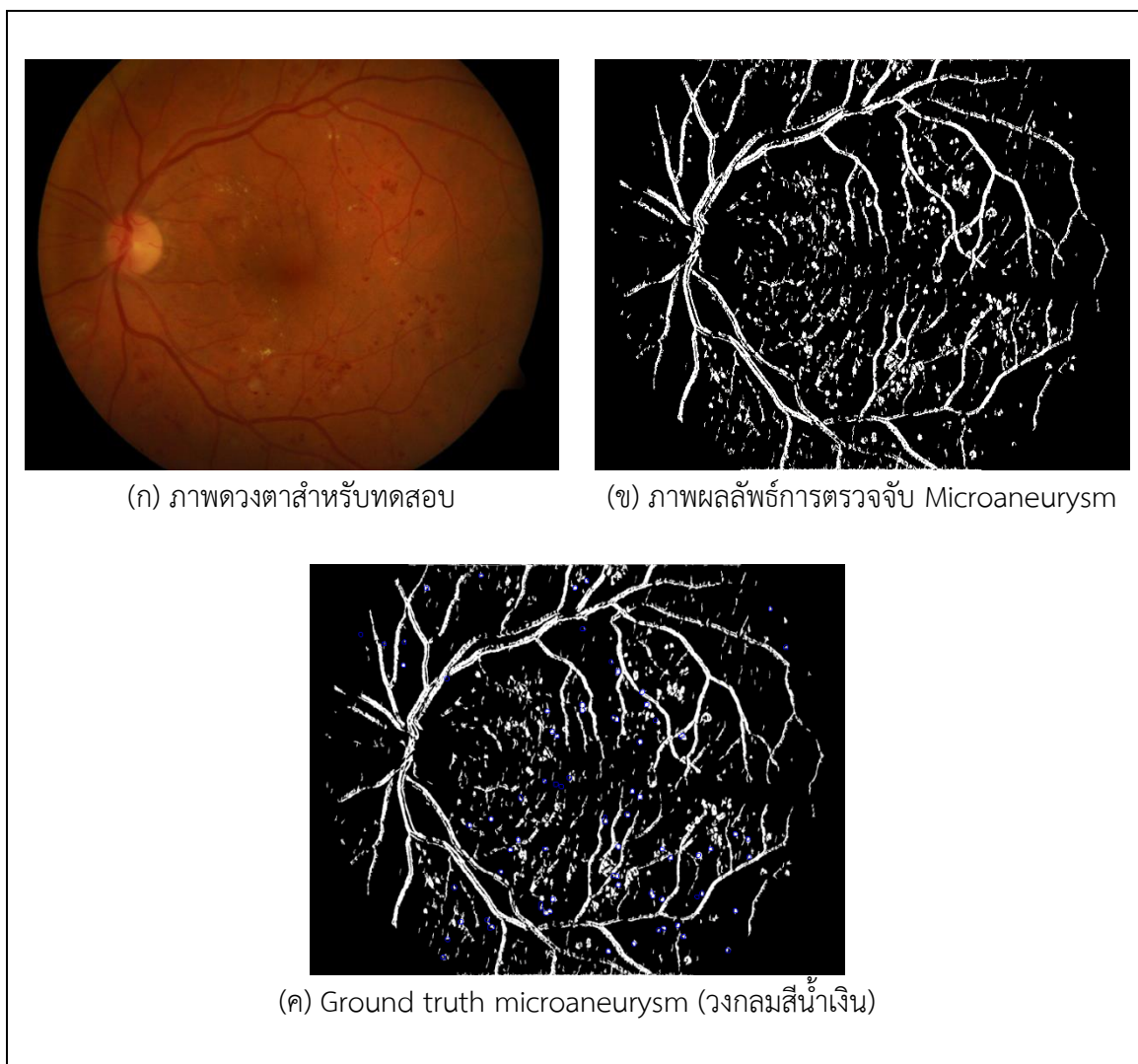
รูปที่ 4-17 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 9

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 9 ดังรูปที่ 4-17 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏว่าสามารถตรวจจับ Microaneurysm Candidates ได้จำนวนมาก แสดงดังรูปที่ 4-17 (ข) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ Ground truth microaneurysm ที่มีอยู่จำนวนหนึ่ง พบว่ามีเพียงแค่เล็กน้อยเท่านั้นที่ Ground truth microaneurysm มีตำแหน่งไม่ตรงกับ Microaneurysm Candidates ดังรูปที่ 4-17 (ค)



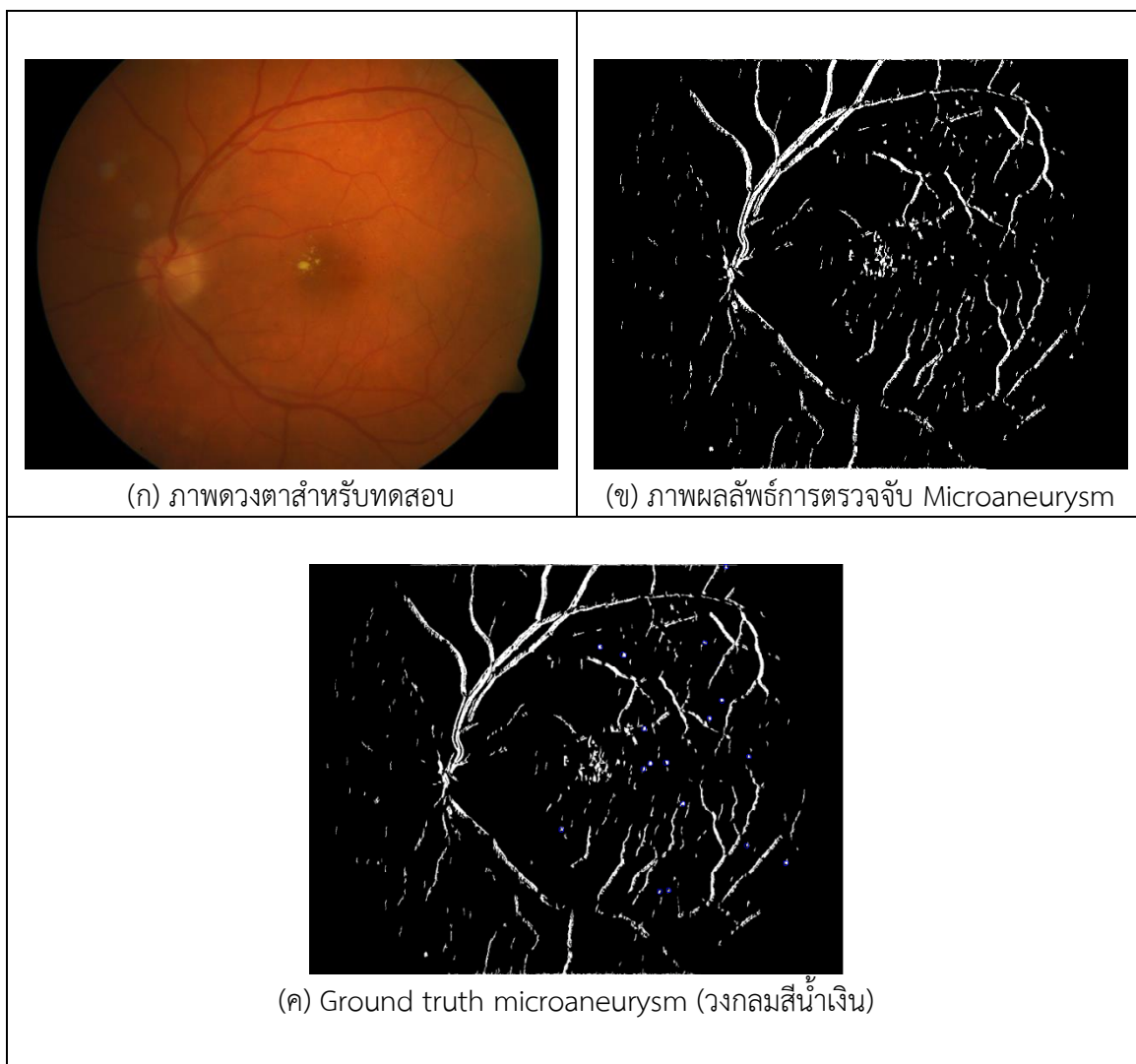
รูปที่ 4-18 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 10

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 10 ดังรูปที่ 4-18 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-18 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-18 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



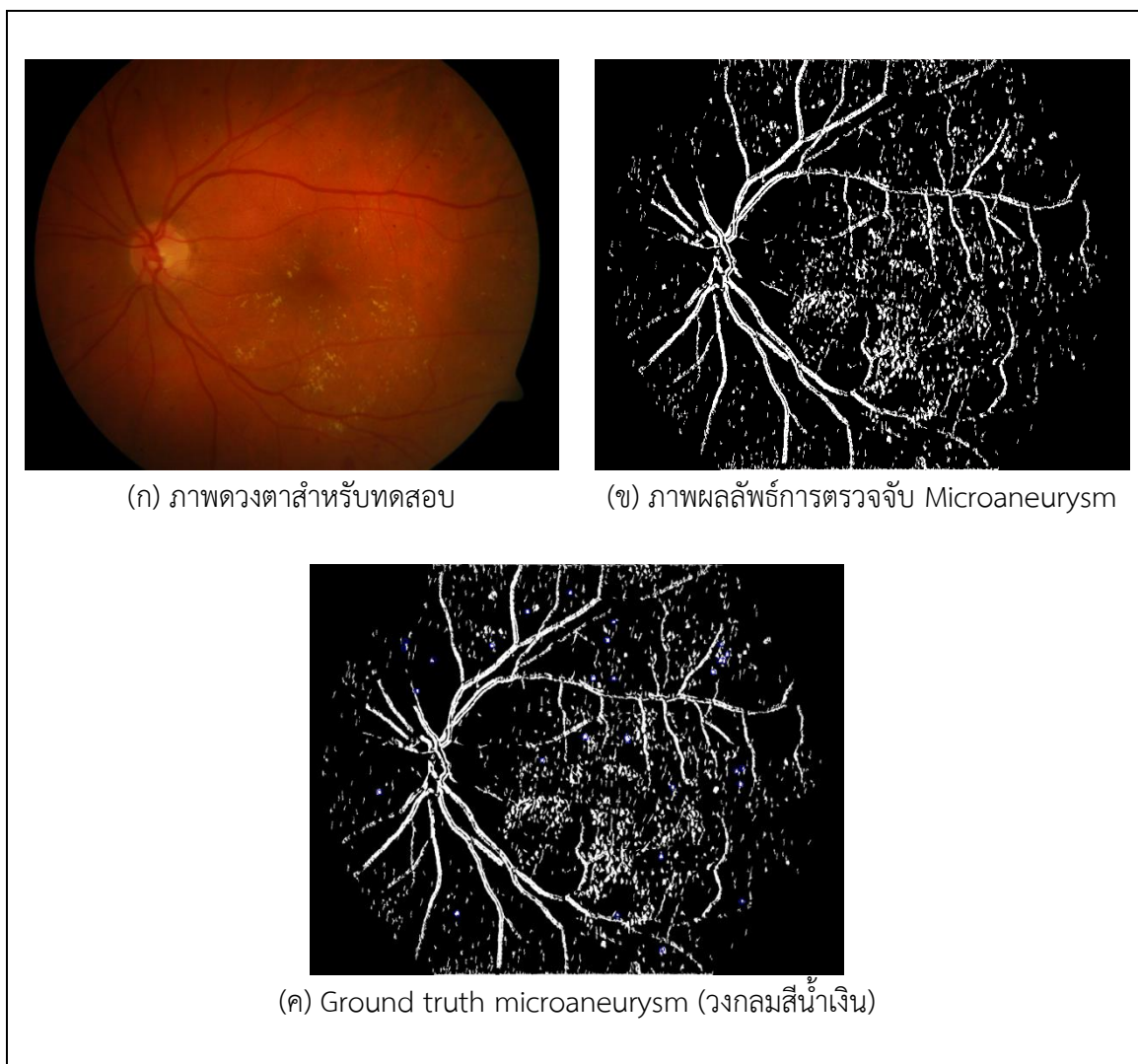
รูปที่ 4-19 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 11

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 11 ดังรูปที่ 4-19 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-19 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-19 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



รูปที่ 4-20 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 12

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 12 ดังรูปที่ 4-20 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-20 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-20 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm

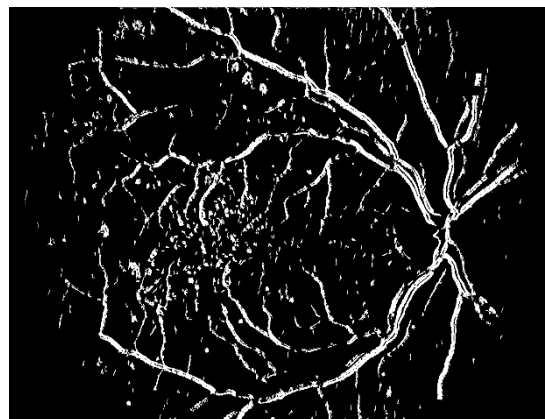


รูปที่ 4-21 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 13

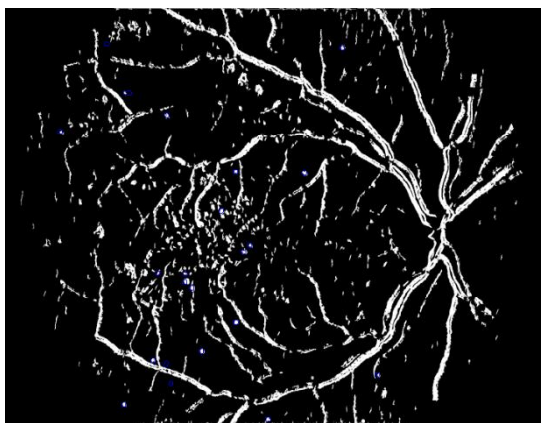
จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 13 ดังรูปที่ 4-21 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-21 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-21 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



(ก) ภาพดวงตาสำหรับทดสอบ



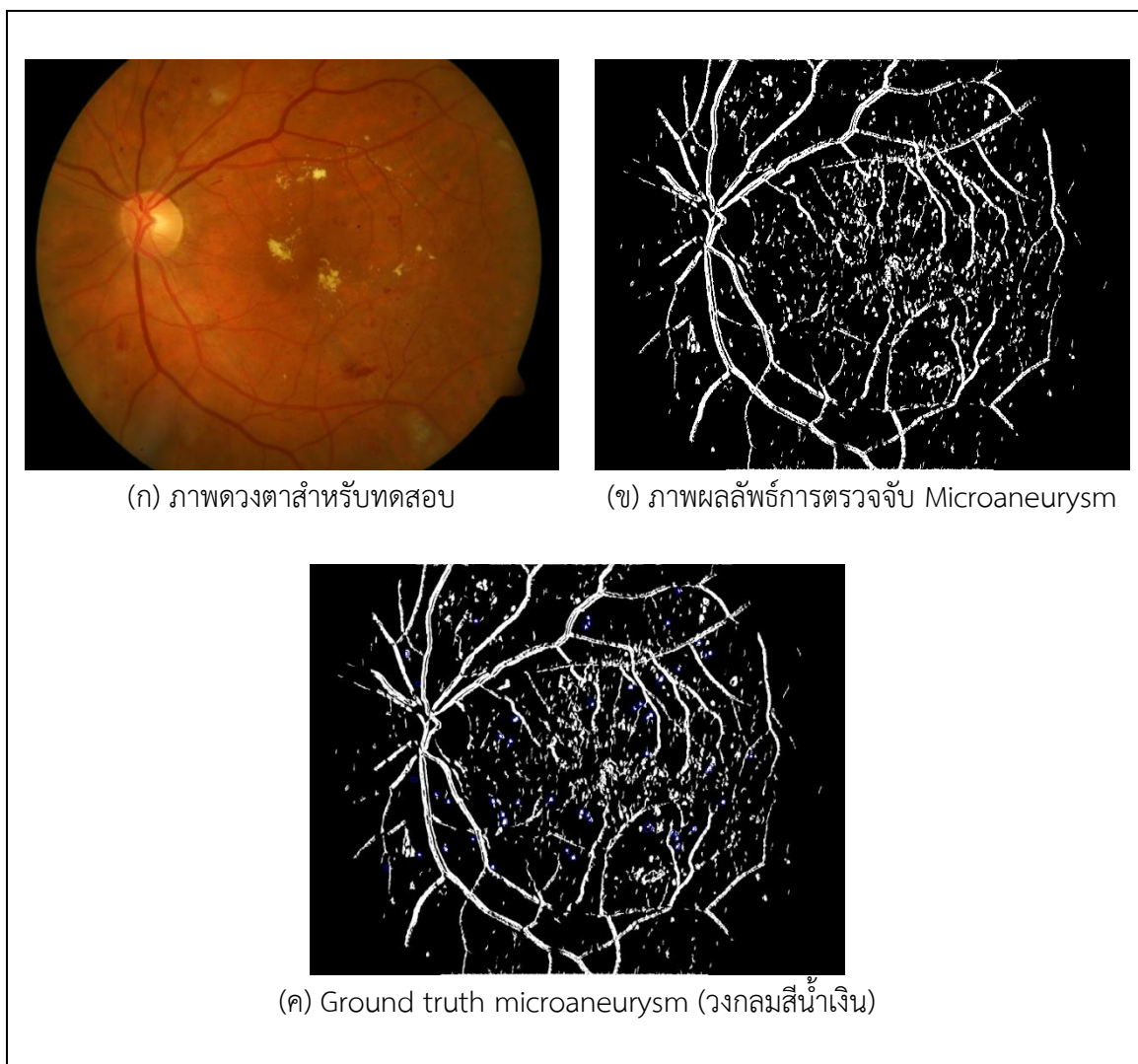
(ข) ภาพผลลัพธ์การตรวจจับ Microaneurysm



(ค) Ground truth microaneurysm (วงกลมสีน้ำเงิน)

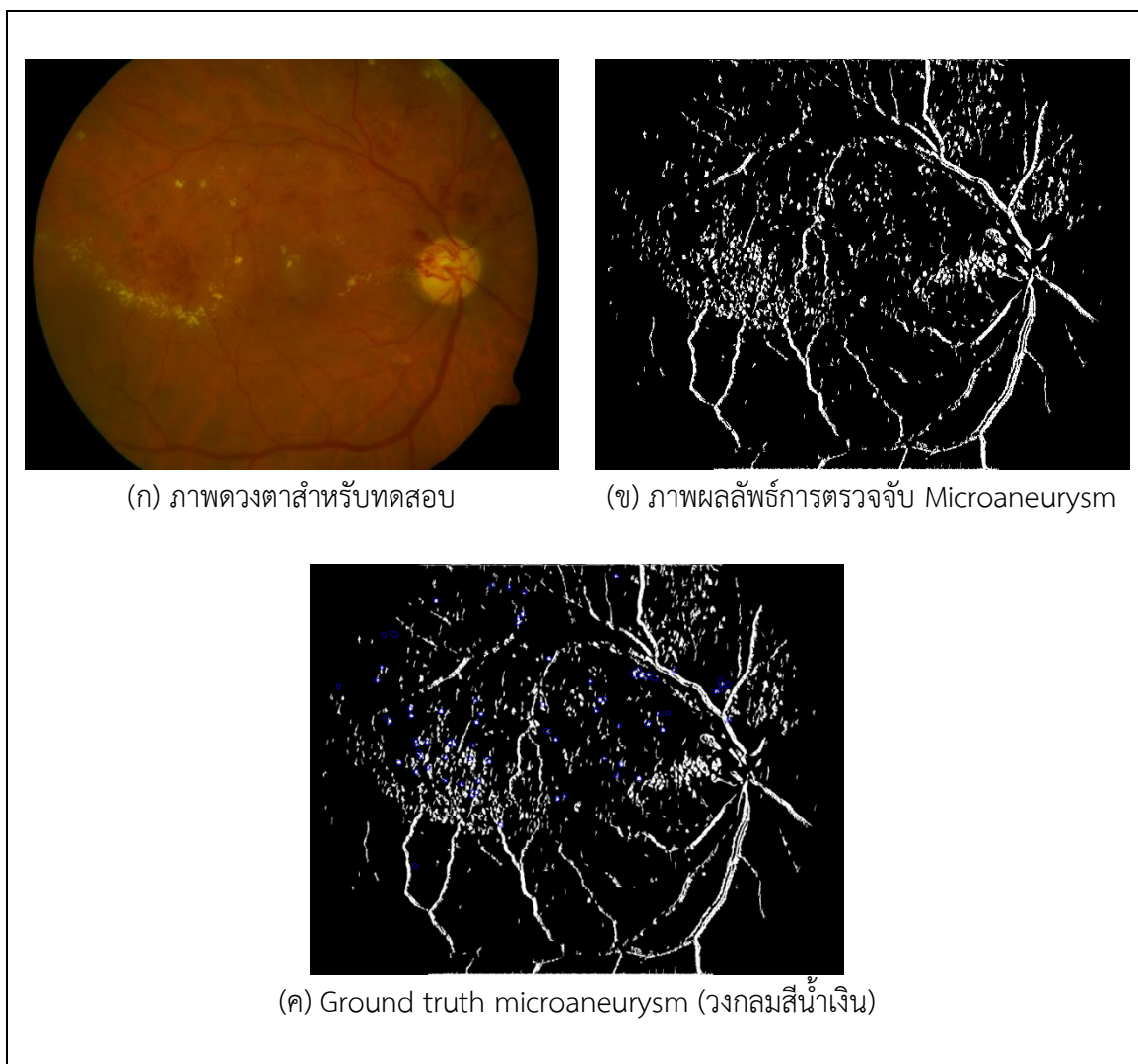
รูปที่ 4-22 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 14

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานรูปที่ 14 ดังรูปที่ 4-22 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏว่าสามารถตรวจจับ Microaneurysm Candidates ได้จำนวนมาก แสดงดังรูปที่ 4-22 (ข) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ Ground truth microaneurysm ที่มีอยู่จำนวนหนึ่ง พบว่ามีเพียงแค่เล็กน้อยเท่านั้นที่ Ground truth microaneurysm มีตำแหน่งไม่ตรงกับ Microaneurysm Candidates ดังรูปที่ 4-22 (ค)



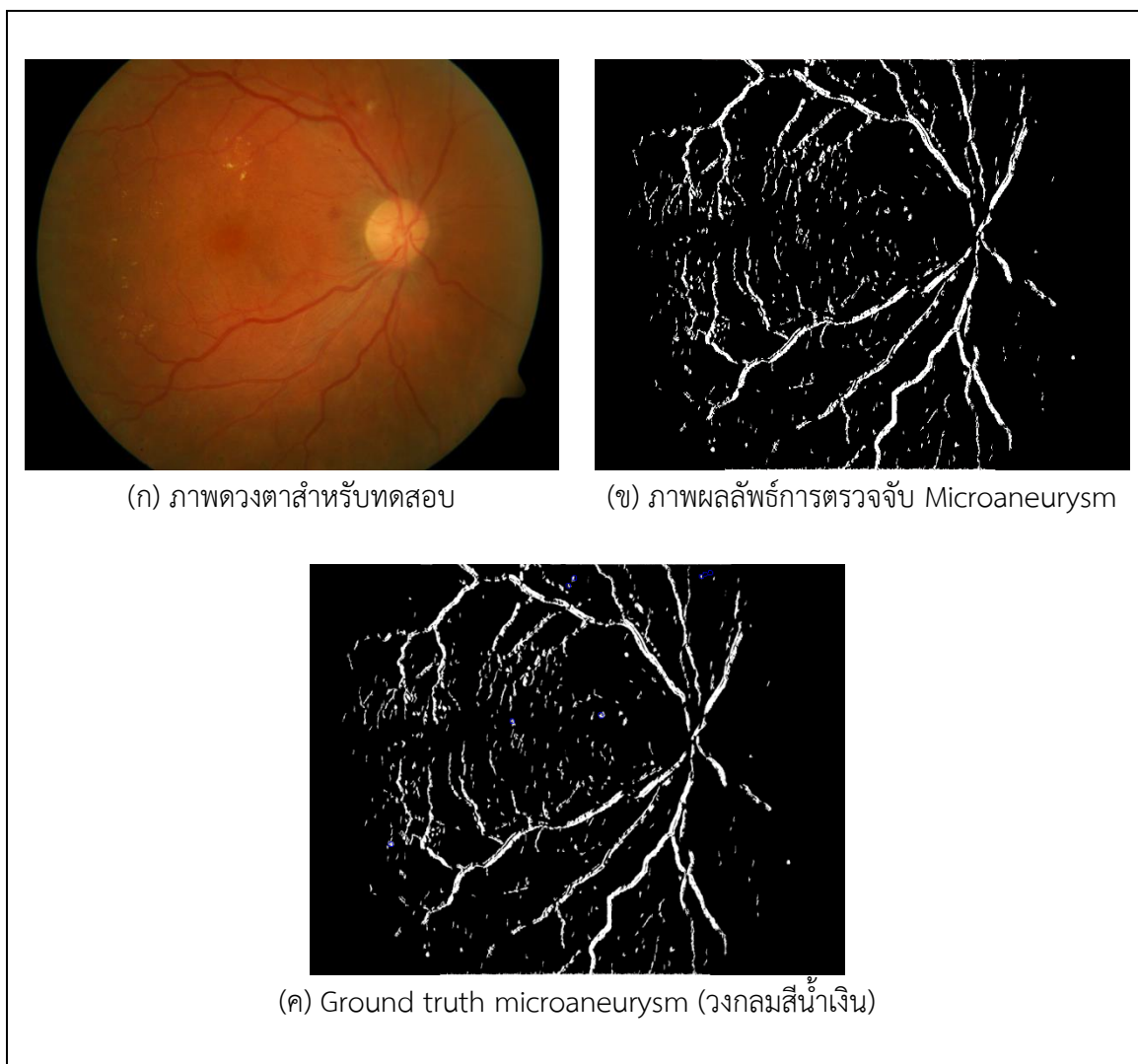
รูปที่ 4-23 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 15

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 15 ดังรูปที่ 4-23 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-23 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-23 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



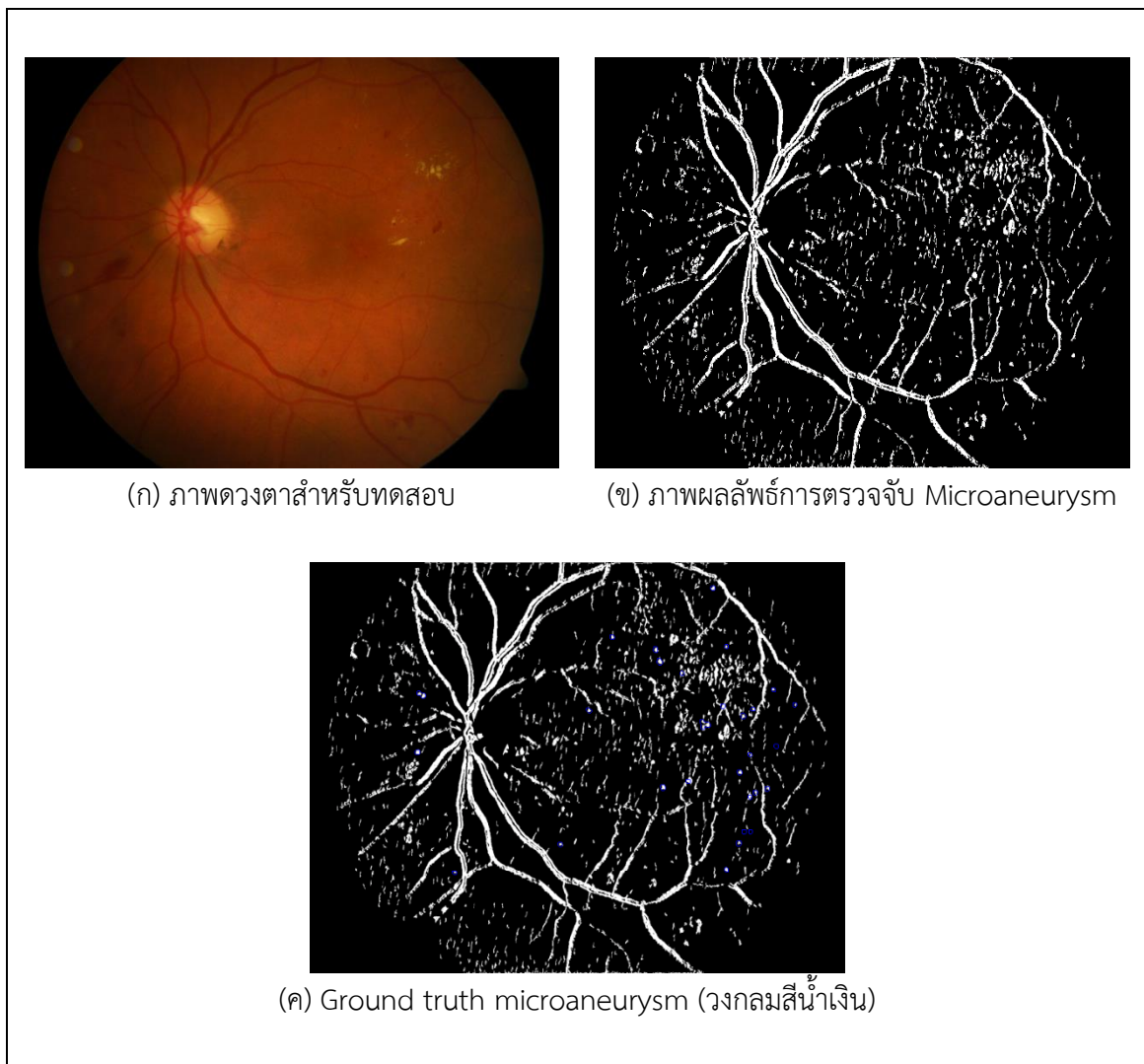
รูปที่ 4-24 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 16

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 16 ดังรูปที่ 4-24 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏว่าสามารถตรวจจับ Microaneurysm Candidates ได้จำนวนมาก แสดงดังรูปที่ 4-24 (ข) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ Ground truth microaneurysm ที่มีอยู่จำนวนหนึ่ง พบว่ามีเพียงแค่เล็กน้อยเท่านั้นที่ Ground truth microaneurysm มีตำแหน่งไม่ตรงกับ Microaneurysm Candidates ดังรูปที่ 4-24 (ค)



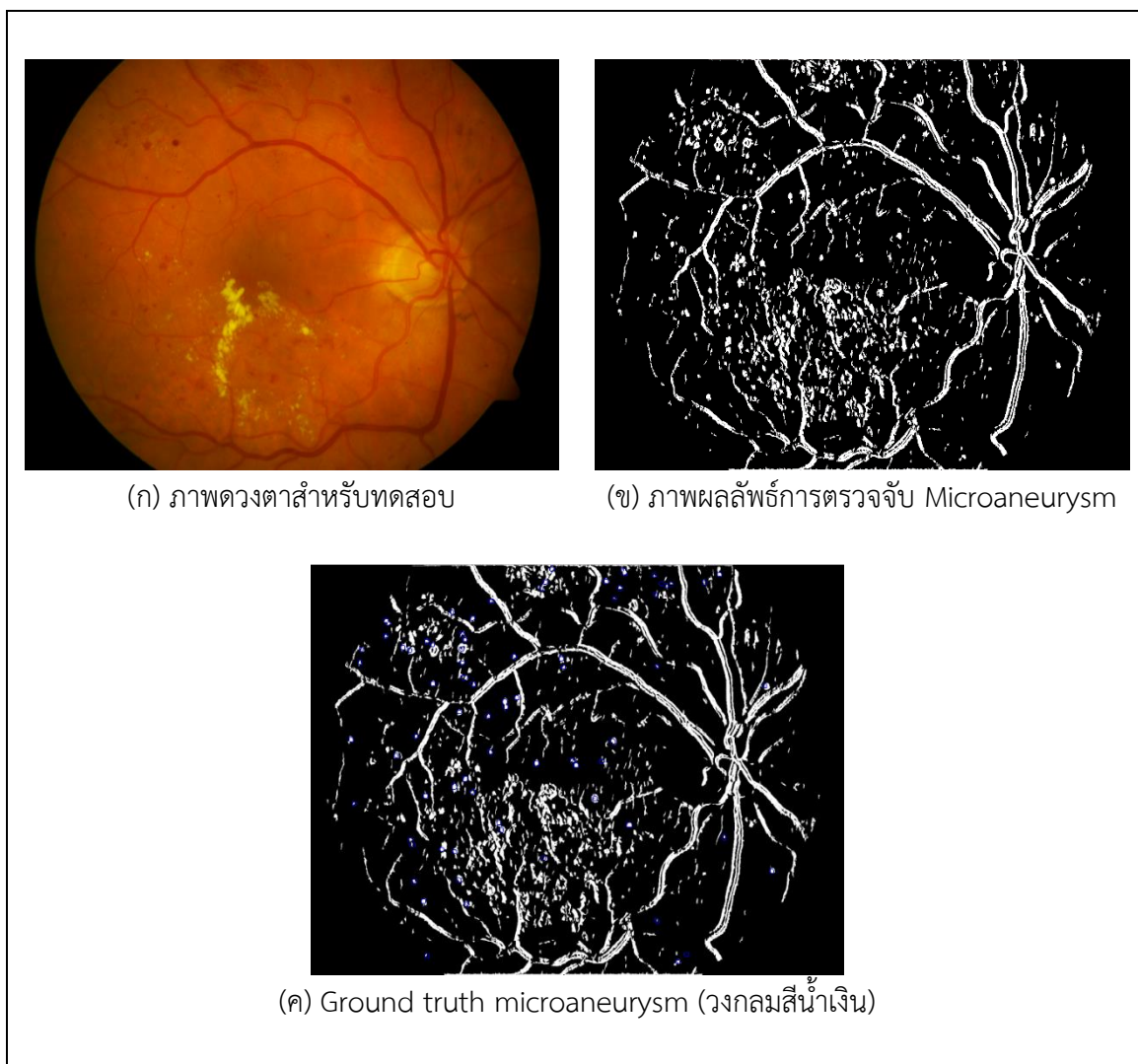
รูปที่ 4-25 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 17

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 17 ดังรูปที่ 4-25 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-25 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-25 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



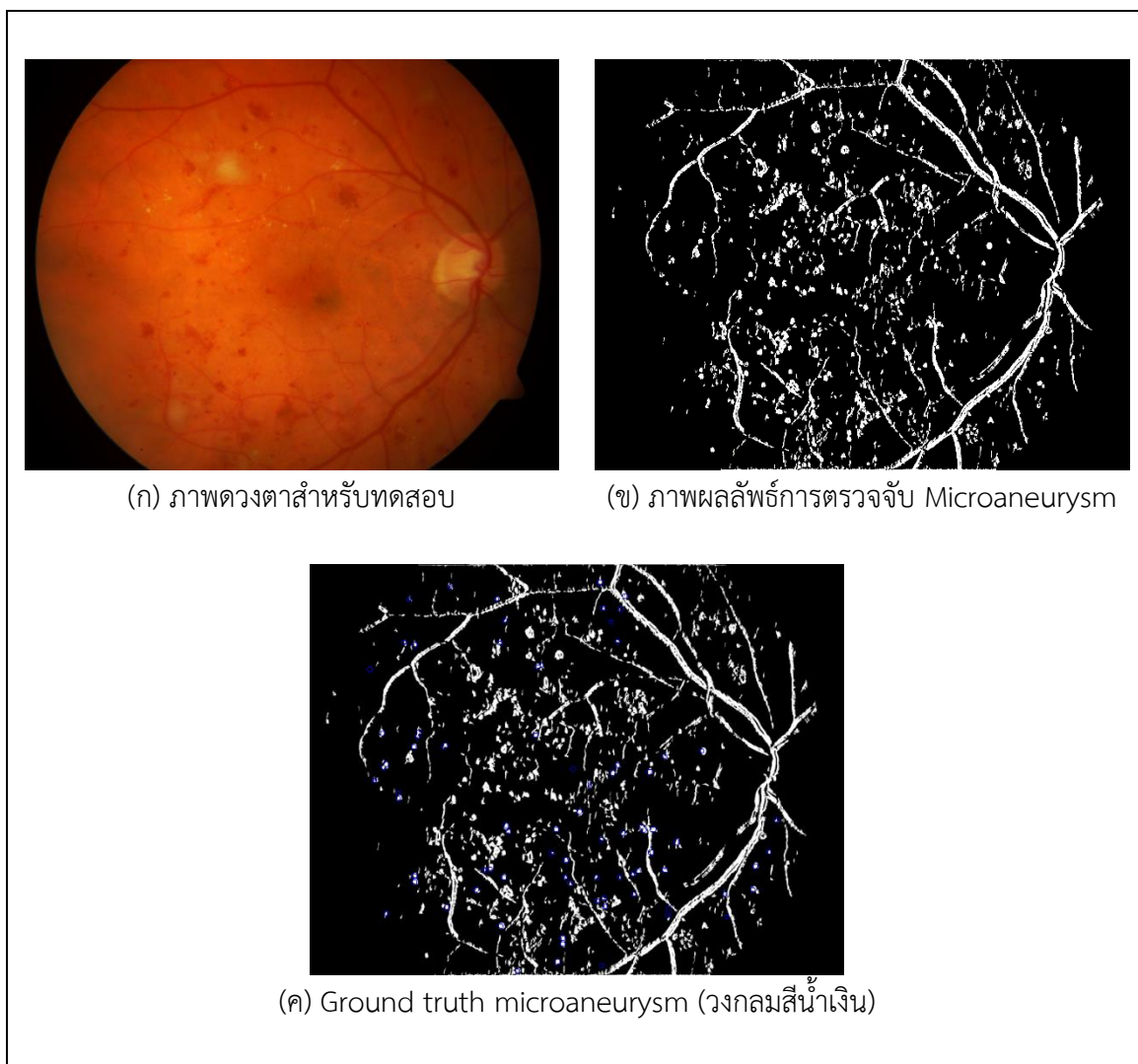
รูปที่ 4-26 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 18

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 18 ดังรูปที่ 4-26 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-26 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-26 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



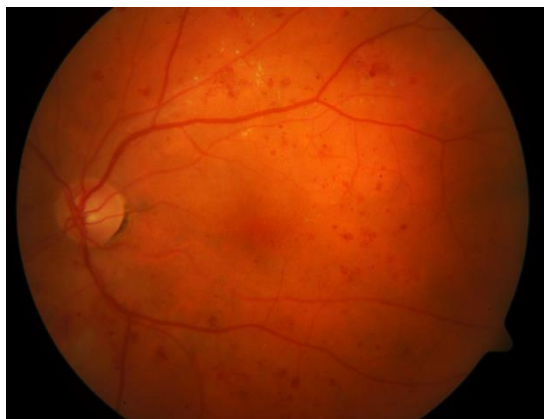
รูปที่ 4-27 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 19

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 19 ดังรูปที่ 4-27 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-27 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-27 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm

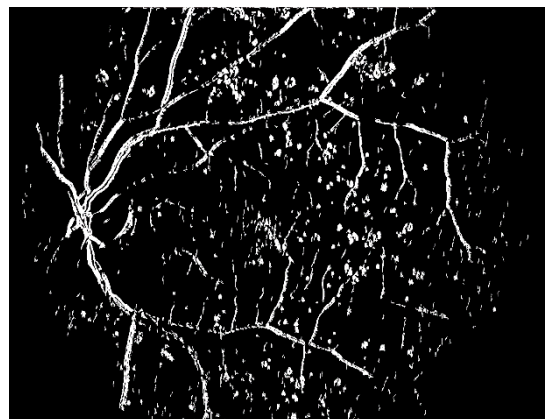


รูปที่ 4-28 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 20

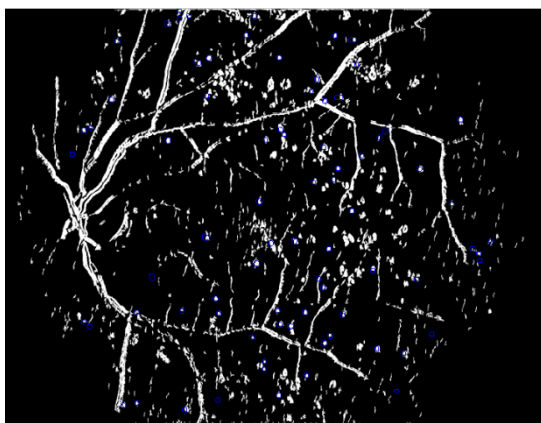
จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 20 ดังรูปที่ 4-28 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-28 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-28 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



(ก) ภาพดวงตาสำหรับทดสอบ



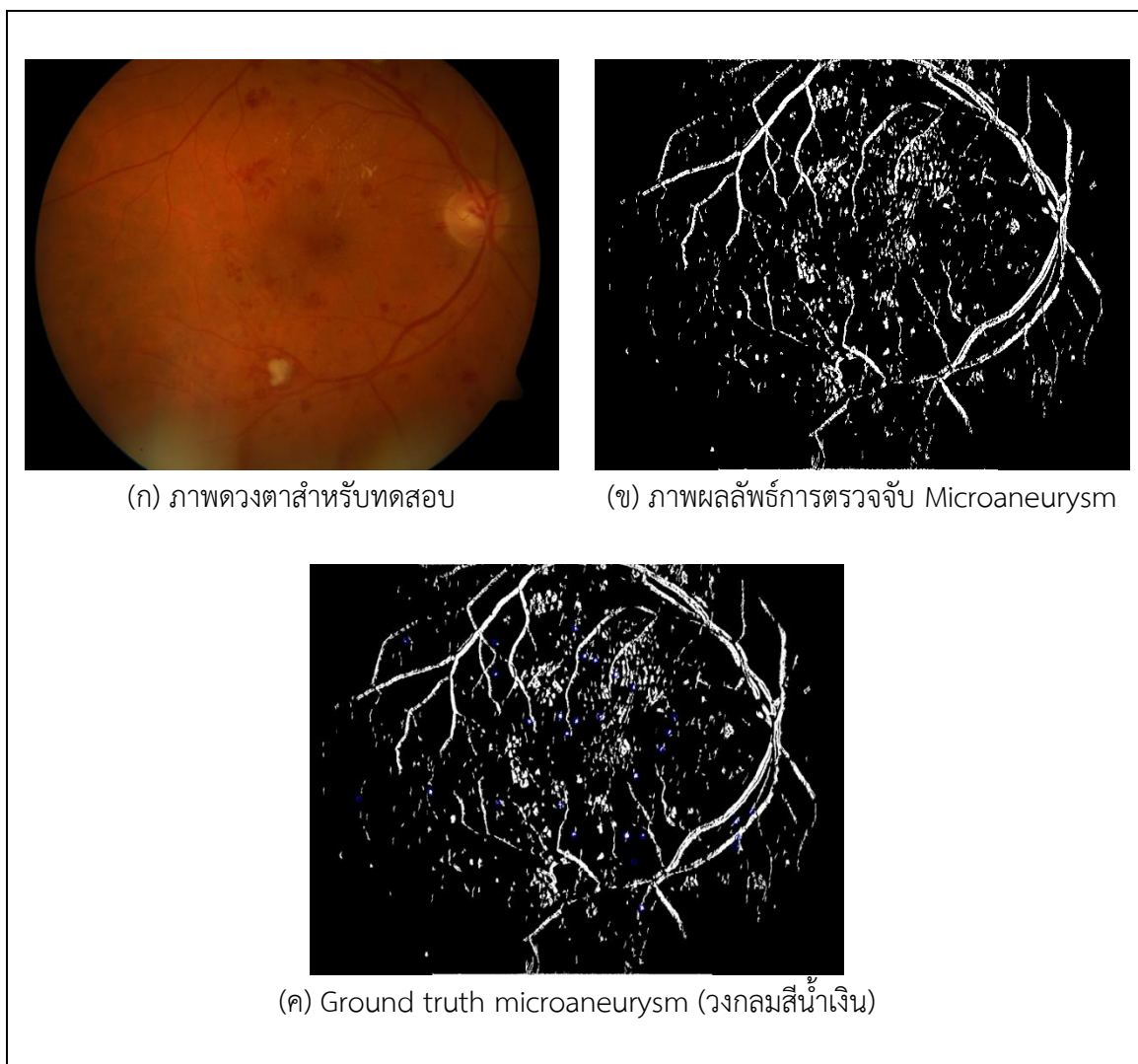
(ข) ภาพผลลัพธ์การตรวจจับ Microaneurysm



(ค) Ground truth microaneurysm (วงกลมสีน้ำเงิน)

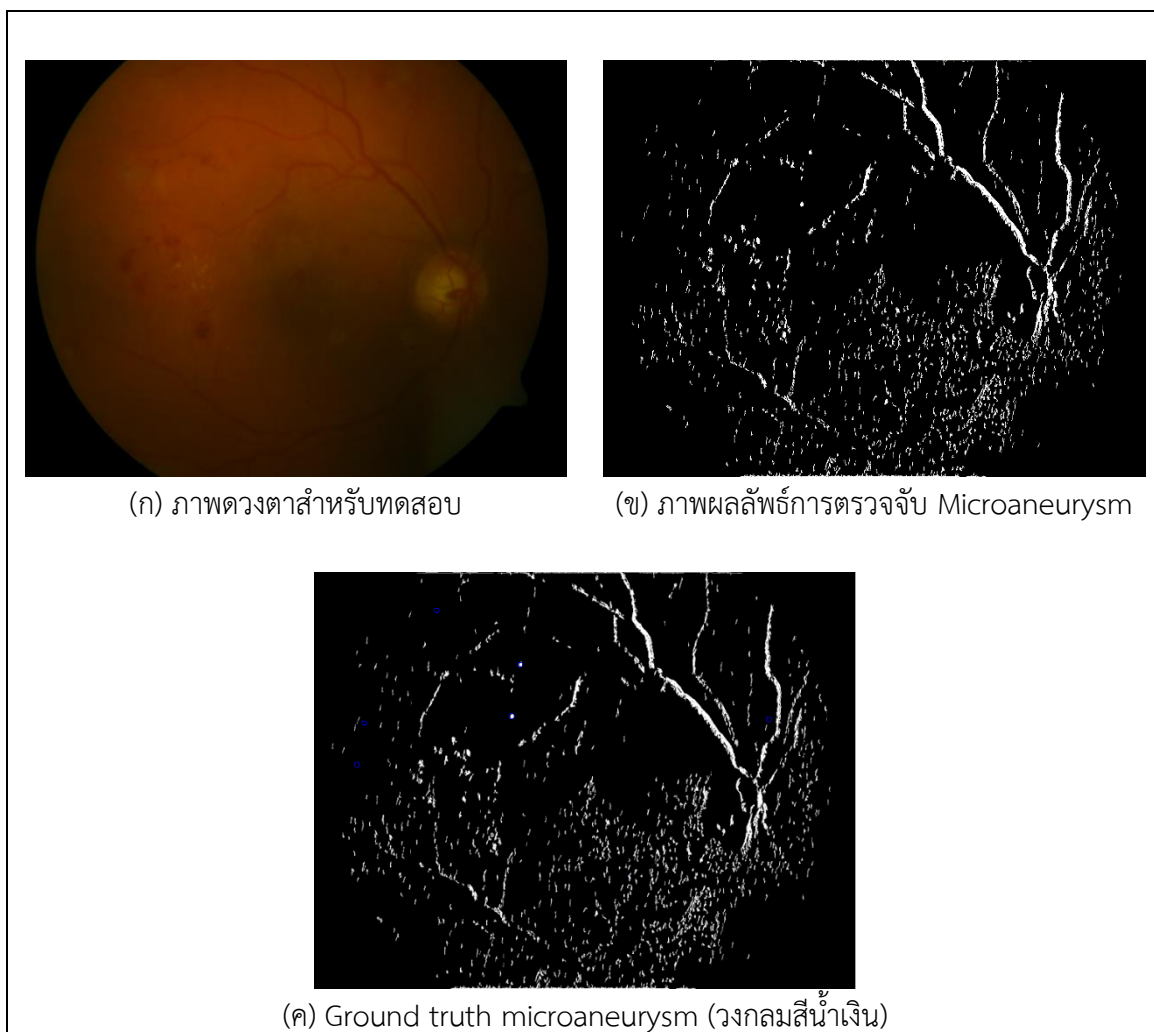
รูปที่ 4-29 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 21

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 21 ดังรูปที่ 4-29 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏว่าสามารถตรวจจับ Microaneurysm Candidates ได้จำนวนมาก แสดงดังรูปที่ 4-29 (ข) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ Ground truth microaneurysm ที่มีอยู่จำนวนหนึ่ง พบว่ามีเพียงแค่เล็กน้อยเท่านั้นที่ Ground truth microaneurysm มีตำแหน่งไม่ตรงกับ Microaneurysm Candidates ดังรูปที่ 4-29 (ค)



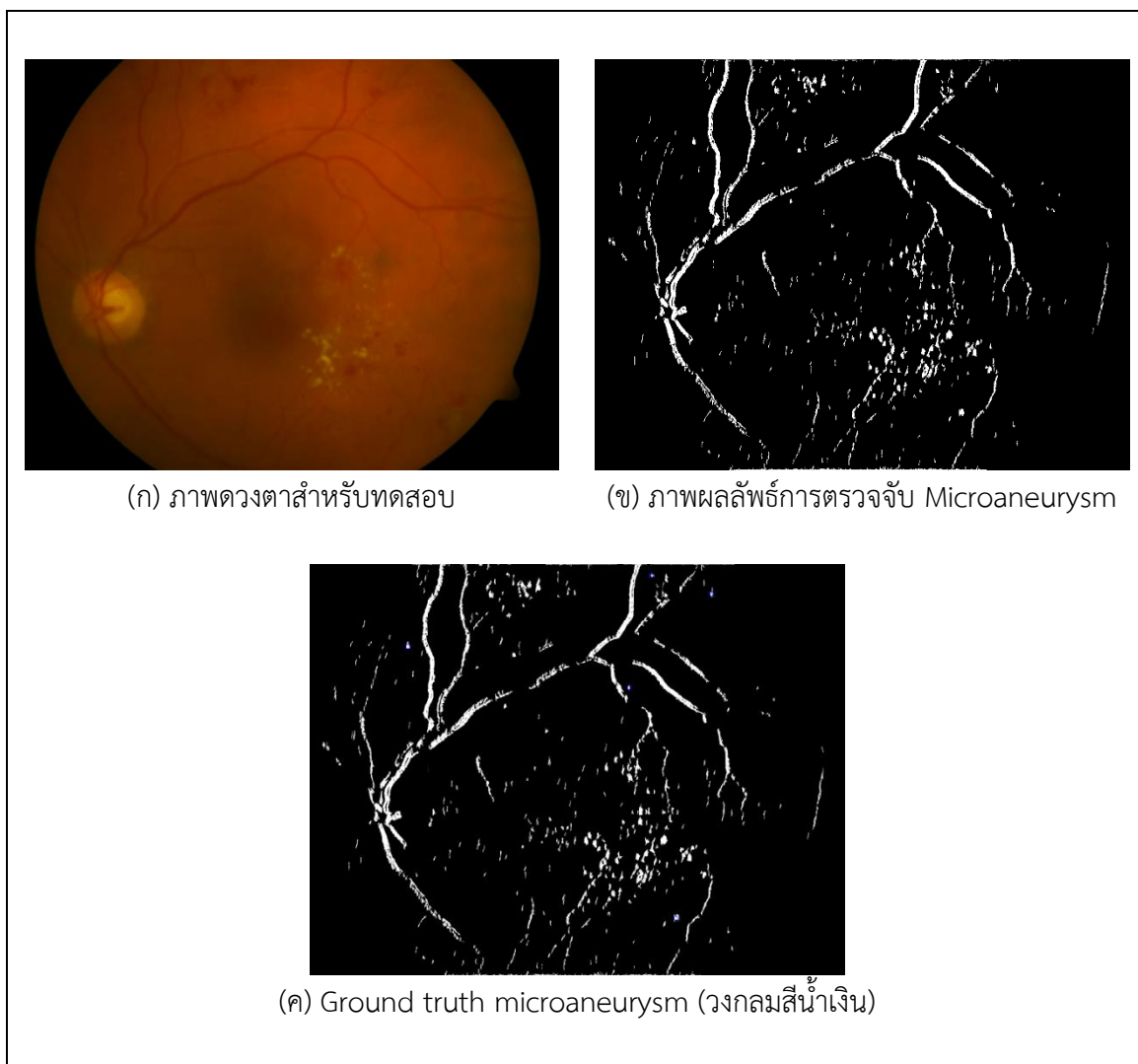
รูปที่ 4-30 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 22

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 22 ดังรูปที่ 4-30 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-30 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-30 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



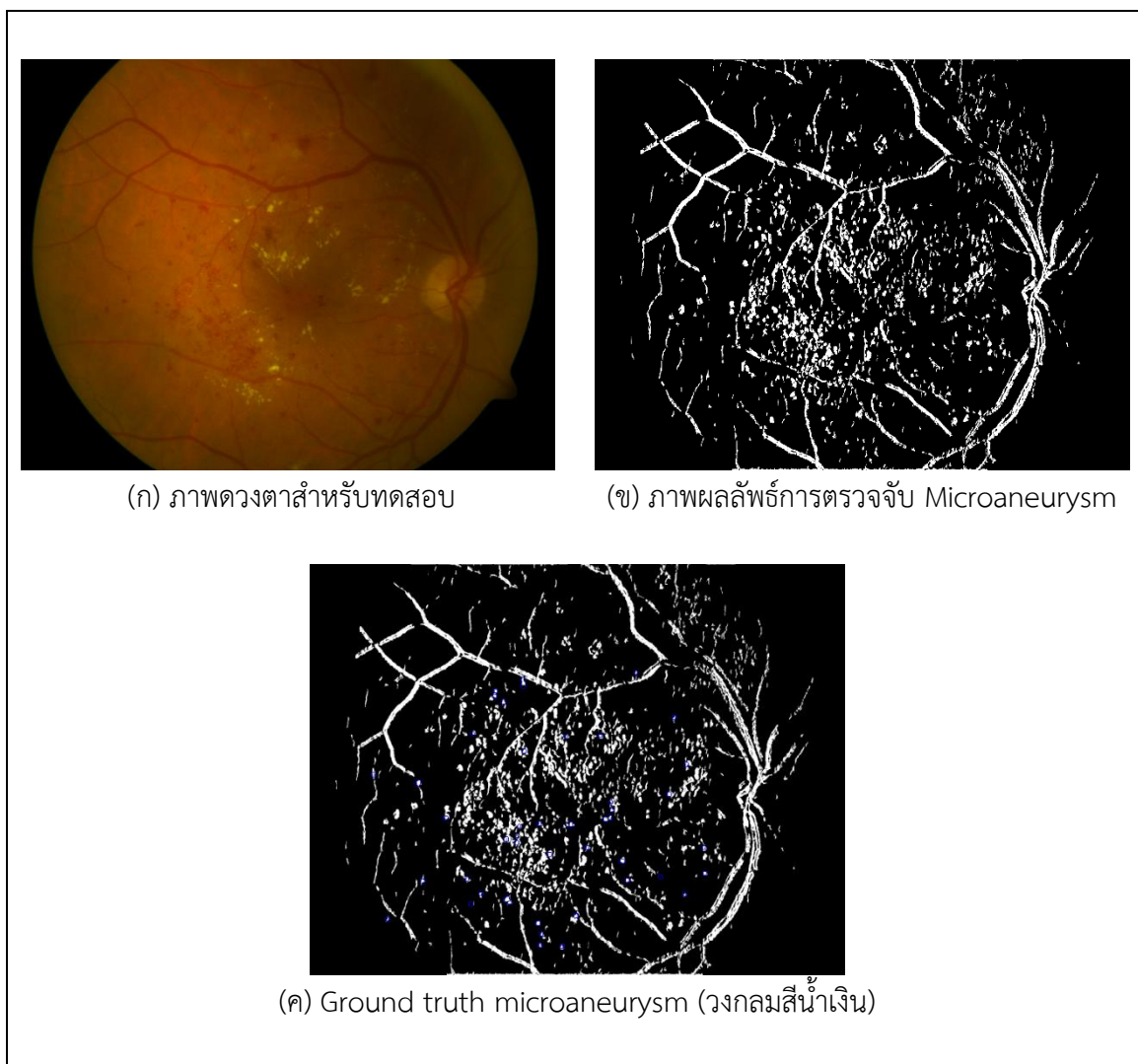
รูปที่ 4-31 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 23

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 23 ดังรูปที่ 4-31 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-31 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-31 (ค) จะเห็นว่า มีแค่ Microaneurysm Candidates จำนวน 2 จุดเท่านั้นที่มีการระบุตำแหน่งตรงกับ Ground truth microaneurysm ทั้ง 6 ตำแหน่ง



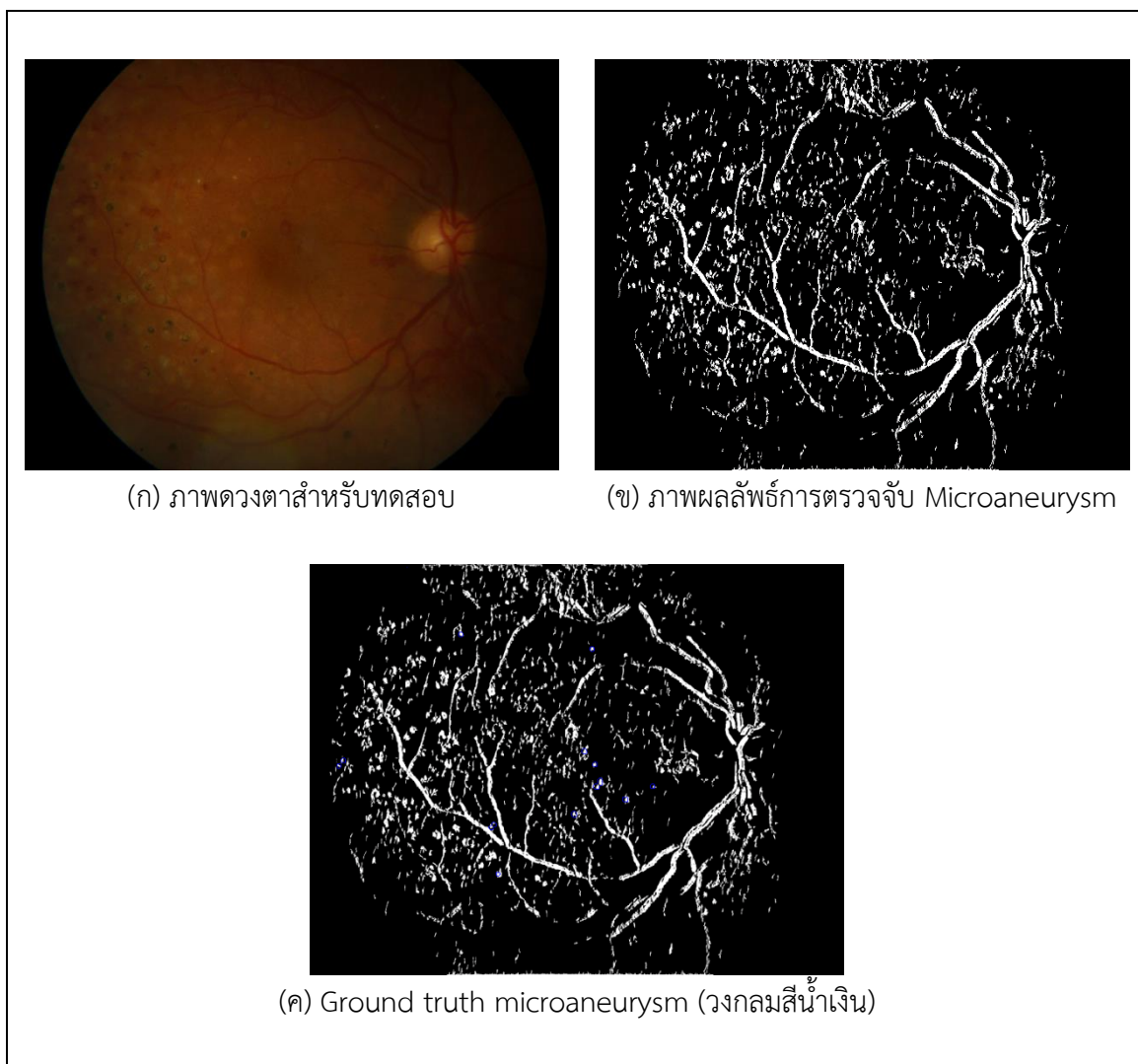
รูปที่ 4-32 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 24

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 24 ดังรูปที่ 4-32 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-32 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-32 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบทั้งหมดนั้นมีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



รูปที่ 4-33 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 25

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 25 ดังรูปที่ 4-33 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-33 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-33 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบ นั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm

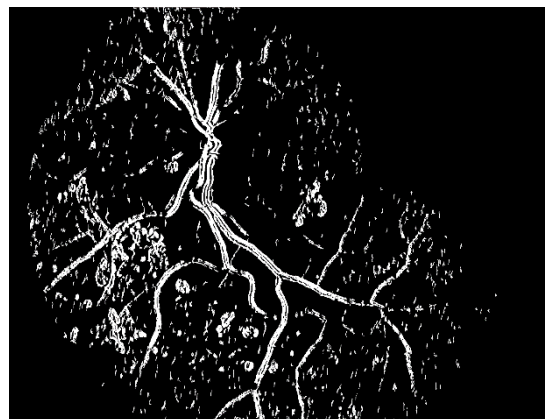


รูปที่ 4-34 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 26

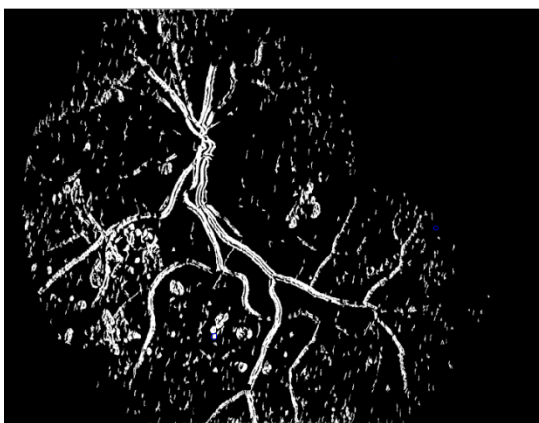
จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 26 ดังรูปที่ 4-34 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-34 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-34 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



(ก) ภาพดวงตาสำหรับทดสอบ



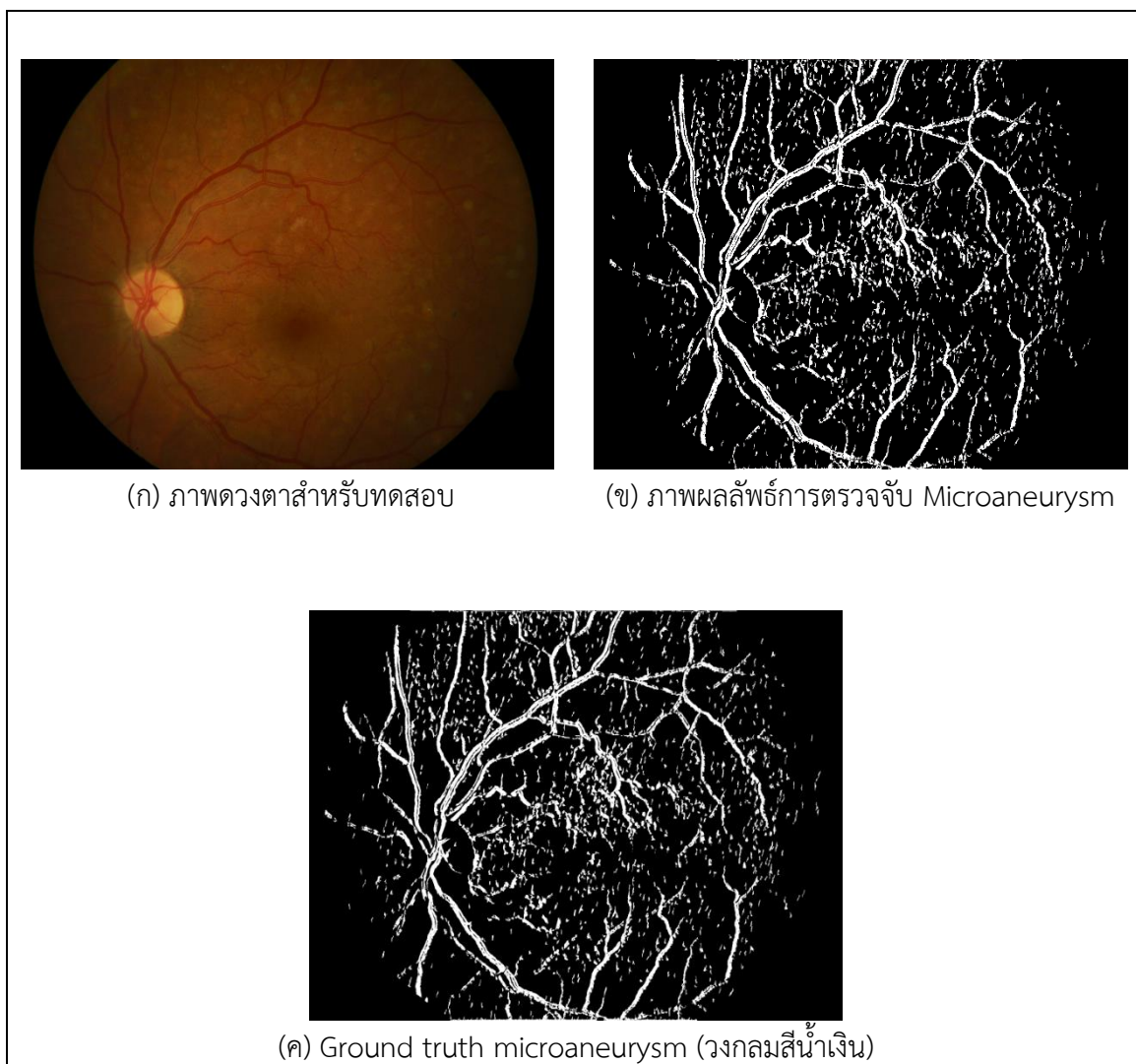
(ข) ภาพผลลัพธ์การตรวจจับ Microaneurysm



(ค) Ground truth microaneurysm (วงกลมสีน้ำเงิน)

รูปที่ 4-35 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 27

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 27 ดังรูปที่ 4-35 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-35 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-35 (ค) จะเห็นว่า มีแค่ Microaneurysm Candidates จำนวน 1 จุดเท่านั้นที่มีการระบุตำแหน่งตรงกับ Ground truth microaneurysm ทั้ง 2 ตำแหน่ง

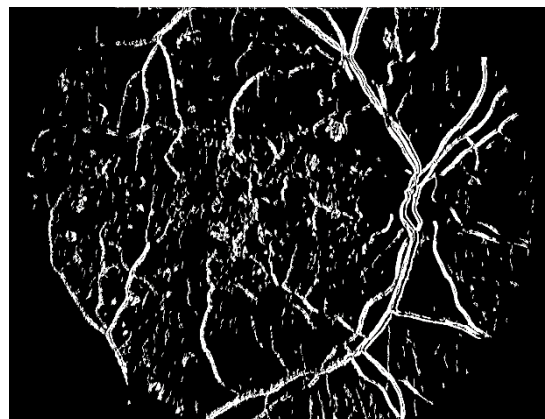


รูปที่ 4-36 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 28

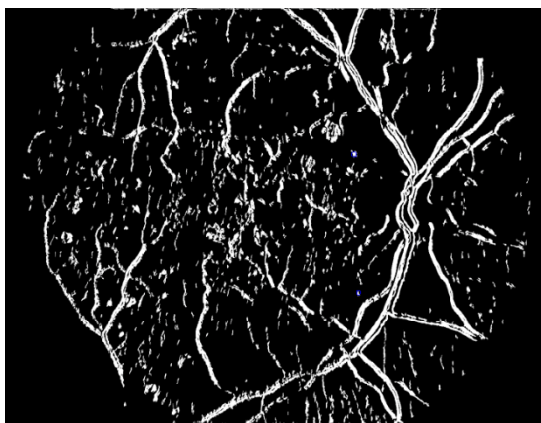
จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 28 ดังรูปที่ 4-36 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-36 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-36 (ค) จะเห็นว่า ไม่มี microaneurysm อยู่เลย



(ก) ภาพดวงตาสำหรับทดสอบ



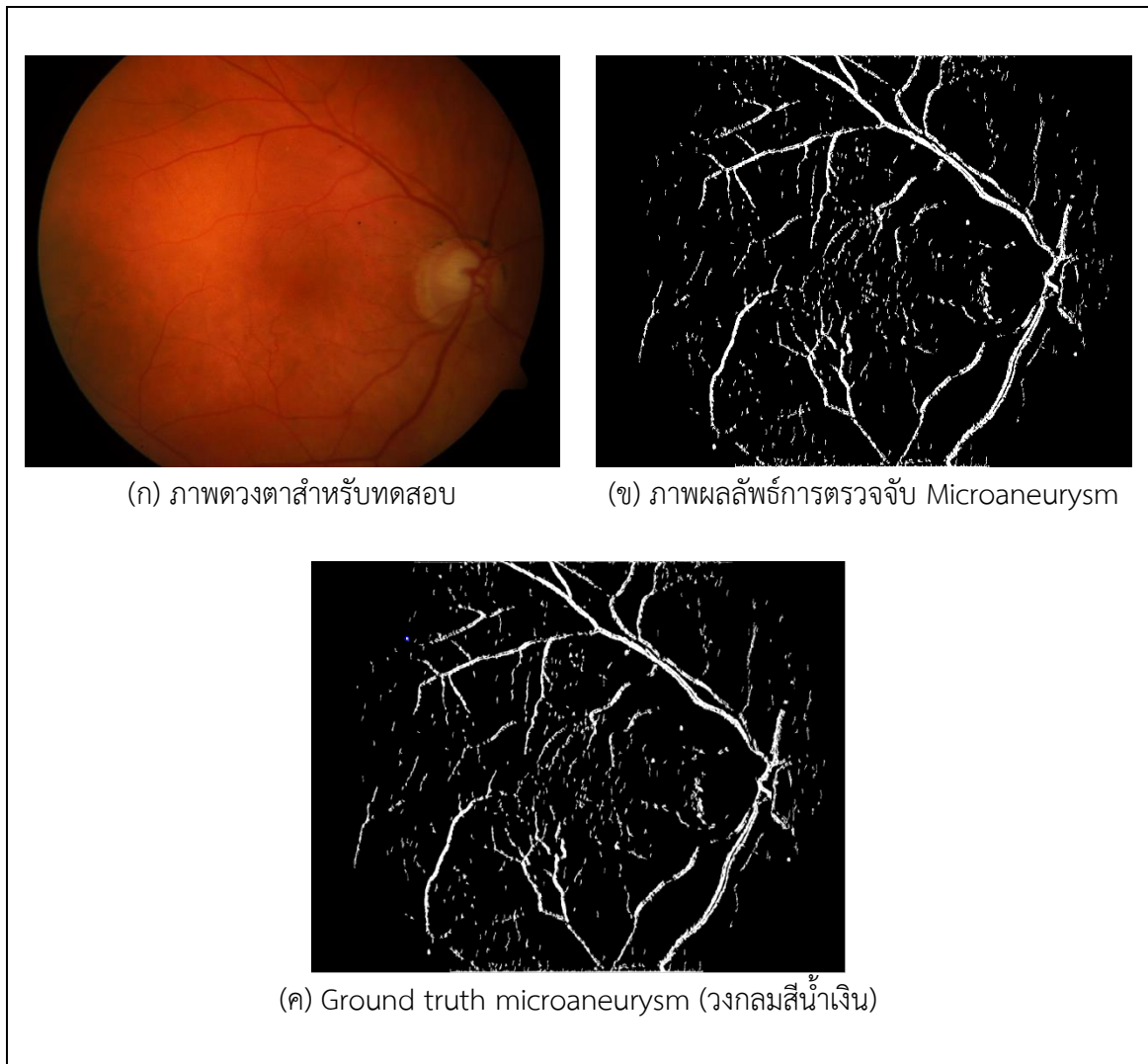
(ข) ภาพผลลัพธ์การตรวจจับ Microaneurysm



(ค) Ground truth microaneurysm (วงกลมสีน้ำเงิน)

รูปที่ 4-37 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 29

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 29 ดังรูปที่ 4-37 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-37 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-37 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบนั้นส่วนใหญ่มีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm



รูปที่ 4-38 การทดสอบภาพดวงตาเพื่อตรวจจับ Microaneurysm ภาพตัวอย่างหมายเลข 30

จากการทดสอบภาพดวงตาผู้ป่วยโรคเบาหวานภาพตัวอย่างหมายเลข 30 ดังรูปที่ 4-38 (ก) เมื่อผ่านกระบวนการวิธีที่นำเสนอเพื่อตรวจจับ Microaneurysm แล้ว ปรากฏภาพผลลัพธ์ที่ได้มี Microaneurysm Candidates อยู่จำนวนหนึ่ง ดังรูปที่ 4-38 (ข) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาพ Ground truth microaneurysm ดังรูปที่ 4-38 (ค) จะเห็นว่า Microaneurysm Candidates ที่พบทั้งหมดนั้นมีการระบุตำแหน่งที่ตรงกับ Ground truth microaneurysm

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ นำเสนอวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขและวิธีการเชิงคำนวณสำหรับการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจจับ Microaneurysm ในภาพจอตาของผู้ป่วยเบาหวานที่จอตาโดยแบ่งขั้นตอนการประมวลผลออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนหลักคือ Preprocessing คือขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพให้เหมาะสมกับการตรวจจับ Microaneurysm โดยนำภาพสีมาแยกเฉพาะ ในส่วนของ Green Space ซึ่งมีข้อมูลและสารสนเทศที่มากกว่า Red Space และ Blue Space และลด noise ในภาพด้วย Gaussian Filter เพิ่มความคมชัดของ object ด้วย CLAHE จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการหา Microaneurysm ด้วยวิธีการที่นำเสนอคือนำภาพที่ผ่าน 135° Rotated Matched Filter เป็นข้อมูลเข้าสำหรับผ่านตัวกรอง Matched Filter ทั้ง 3 ตัวกรอง ได้แก่ 15° , 103° และ 150° Rotated Matched Filter แล้วทำการรวบรวมทั้งภาพที่ได้จากการผ่าน Matched Filter ทั้ง 3 มุมเข้าด้วยกัน และในขั้นตอนสุดท้ายคือขั้นตอนในการกำจัด noise ที่มีขนาดเล็กกว่า Microaneurysm ออกจากภาพ ซึ่งความถูกต้องของการตรวจจับ Microaneurysm Candidate นั้นคือ 90.72% โดยเปรียบเทียบกับ Ground truth ทั้งหมด

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

วิธีการที่นำเสนอสำหรับการตรวจจับ Microaneurysm ให้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ และมีข้อเสนอแนะที่ควรปรับปรุงขั้นตอนวิธี ดังนี้

1. วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะทำงานได้ดีกับภาพจอตาที่มีสิ่งซีมเข้มชั้นที่มีขนาดใหญ่ และมีความชัดเจนกล่าวคือ สิ่งซีมเข้มชั้นที่เกิดขึ้นต้องมีความชัดเจนเพียงพอถ้าสิ่งซีมเข้มชั้นมีลักษณะบางหรือยังไม่ชัดเจนจะไม่สามารถตรวจพบได้
2. การใช้ Hough Transform ในการตรวจหาบริเวณ Disc ของจอตา ถ้า Disc ไม่มีลักษณะเป็นวงกลม จะไม่สามารถตรวจพบได้
3. วิธีการที่นำเสนอ จะใช้ได้ดีกับภาพที่มีความคมชัดสูง (High Contrast) ส่วนภาพที่มีความคมชัดต่ำ (Low Contrast) จะยังทำงานได้ไม่ดีพอ ดังนั้น จึงควรปรับปรุงขั้นตอนวิธี สำหรับแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับสิ่งซีมเข้มชั้นที่มีโอกาสเกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ

บรรณานุกรม

- A. Shaeidi , “An algorithm for identification of retinal microaneurysms”, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, Vol. 4 , No. 1, pp. 43-51, 2010.
- Akara Sopharaka, Bunyarit Uyyanonvarab, Sarah Barmanc, “Simple hybrid method for fine microaneurysm detection from non-dilated diabetic retinopathy retinal images”, Computerized Medical Imaging and Graphics, 2013.
- Antal B, Hajdu A, “Improving microaneurysm detection using an optimally selected subset of candidate extractors and preprocessing methods”, Pattern Recognition 45, pp. 264–270, 2012.
- Antal B, Hajdu A., “Improving microaneurysm detection in color fundus images by using context-aware approaches”, Computerized Medical Imaging and Graphics, 2013.
- B. Zhang, X. Wu, J. You, Q. Li, and F. Karray, “Detection of Microaneurysms using multi-scale correlation coefficients,” Pattern Recogn., vol. 43, no. 6, pp. 2237–2248, 2010.
- Bob Zhanga, Fakhri Karraya, Qin Lib, Lei Zhangb, “Sparse Representation Classifier for microaneurysm detection and retinal blood vessel extraction” Information Sciences 200, pp. 78–90, 2012.
- H. A. Nugroho, D. A. Dharmawan, I. Hidayah and L. Listyalina, “Automated microaneurysms (MAs) detection in digital colour fundus images using matched filter,” in Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA), 2015 International Conference, pp. 104-108, October 2015. IEEE.
- Istvan Lazar, Andras Hajdu, “Retinal Microaneurysm Detection Through Local Rotating Cross-Section Profile Analysis”, IEEE Transaction on medical imaging, Vol. 32, No. 2, pp. 400-407, 2013
- M. Usman Akrama, Shehzad Khalidb, Shoab A. Khana, “Identification and classification of microaneurysms for early detection of diabetic retinopathy”, Pattern Recognition 46, 2013 pp. 107–116.
- P. Yunuch, N. Maneerat, D. Isarakorn, B. Pasaya, R. Panjaphongse and R. Varakulsiripunth, “Automatic microaneurysms detection through retinal color image analysis,” in Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), 2013 International Conference, pp. 36-40, October 2013. IEEE.
- Rukhmini Roy, Srinivasan Aruchamy, Partha Bhattacharjee, “Detection of Retinal Microaneurysms using Fractal Analysis and Feature Extraction Technique”,

International conference on Communication and Signal Processing, April 3-5, 2013.

- S. Abdelazeem, "Microaneurysm detection using vessels removal and circular hough transform," Proceedings of the Nineteenth National Radio Science Conference, pp. 421 – 426, 2002.
- T. Spencer, J. A. Olson, K. C. McHardy, P. F. Sharp, and J. V. Forrester, "An image-processing strategy for the segmentation and quantification of microaneurysms in fluorescein angiograms of the ocular fundus," Computers and Biomedical Research, vol. 29, pp. 284–302, 1996.
- T. Walter, P. Massin, A. Arginay, R. Ordonez, C. Jeulin, and J. C. Klein, "Automatic detection of microaneurysms in color fundus images," Medical Image Analysis, vol. 11, pp. 555–566, 2007.
- Yuji Hatanaka, Tsuyoshi Inoue, Susumu Okumura, Chisako Muramatsu, Hiroshi Fujita, "Automated microaneurysm detection method based on double-ring filter and feature analysis in retinal fundus images", The 25th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems, 2012.