



การประยุกต์ใช้เทคนิคประมวลผลภาพในการวิเคราะห์มุมตกกระทบ
ของรอยคราบเลือด

**An Application of Image Processing Techniques in Incident Angle
Analysis of Bloodstains**

กิตติพัฒน์ บุญคง

Kittipat Boonkhong

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Forensic Science

Prince of Songkla University

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เทคนิคประมวลผลภาพในการวิเคราะห์มุ่มตกกระทบ ของรอยคราบเลือด
ผู้เขียน	นายกิตติพัฒน์ บุญคง
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ นำเสนอการวิเคราะห์มุ่มตกกระทบของรอยคราบเลือด โดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ เพื่อให้เกิดความถูกต้องและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น สำหรับภาพรอยคราบเลือดที่ใช้ในวิธีการนี้ จำเป็นต้องถ่ายพร้อม marker เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์อัตโนมัติ จากนั้น ทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยการขยายภาพ แล้วจึงแปลงภาพจาก RGB เป็น Gray-scale เพื่อทำการหาเส้นขอบภาพด้วยเทคนิค Canny หลังจากนั้น นำมาเปรียบเทียบ contour เพื่อหาตำแหน่งของรอยคราบเลือด และ marker แล้วจึงทำการวาดวงรีให้มีขนาดพอดีกับรอยคราบเลือด เป็นผลทำให้ได้มุ่มตกกระทบของรอยคราบเลือดออกมา

เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องกับรอยคราบเลือดที่หยดที่มุ่มตกกระทบต่างๆ คือ 15, 30, 45 และ 60 องศา องศาละ 25 หยด รวมทั้งสิ้น 100 หยด ผลที่ได้ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั่วไปกับคำนวณด้วยโปรแกรมที่ใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียว นั้น มีค่าไม่แตกต่างกันมากและจะมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อมุ่มตกกระทบมีค่าเพิ่มขึ้น สุดท้าย ทดสอบการใช้งานกับรอยคราบเลือดที่เกิดจากการกระเด็น ทั้งสิ้น 30 รอย ผลที่ได้ คือ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมุ่มตกกระทบของ marker สีน้ำเงินและสีเขียวอยู่ที่ 3.70 และ 3.36 ตามลำดับ

Thesis Title An Application of Image Processing Techniques in Incident Angle Analysis of Bloodstains.
Author Mr.Kittipat Boonkhong
Major Program Forensic Science
Academic Year 2009

ABSTRACT

This research presents the bloodstain's incident angle analysis by using image processing technique for correctness and rapid results. The process uses the images of bloodstain, which are taken with the marker to assist the program, dilated and transformed the image from RGB to Gray-scale for finding the boundary by Canny technique. After that, locating the bloodstain and marker by comparing with contour then fitting the bloodstain with ellipse was performed. The program, then, displayed the incident angle results from automatic calculation.

The accuracy of the incident angle was tested using four angles of incident (15, 30, 45 and 60 degrees) for, 25 drops at each angle, total of 100 droplets. The results are shown that the standard deviation from traditional method and using the program with blue and green markers are not different at low degrees but the results show more different when increasing incident angle. After that, the incident angle was tested again by using 30 bloodstains from spatter. The results showed that the average %error of incident angle with blue and green marker are 3.70 and 3.36 respectively.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.3 วัตถุประสงค์	9
1.4 ขอบเขต	9
2 วิธีการวิจัย	10
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นที่นำไปสู่การวิจัย	10
2.1.1 ประเภทของรูปแบบรอยคราบเลือด	10
2.1.1.1 Passive bloodstains	11
2.1.1.2 Projected bloodstains	11
2.1.1.3 Transfer/Contact bloodstains	12
2.1.2 ความเร็วตกกระทบของรอยคราบเลือด	13
2.1.2.1 Low velocity impact spatter (LVIS)	13
2.1.2.2 Medium velocity impact spatter (MVIS)	14
2.1.2.3 High velocity impact spatter (HVIS)	14
2.1.3 ทิศทางการเดินทางของรอยคราบเลือด	15
2.1.4 การพิจารณามุมตกกระทบ	16
2.1.5 วิธีวิเคราะห์ตำแหน่งแหล่งกำเนิดของรอยคราบเลือด	17
2.1.5.1 String method	17
2.1.5.2 Tangent method	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.6 โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์หรือยคราบเลือด	19
2.1.6.1 BackTrack™	19
2.1.6.2 Computer-aided design (CAD)	20
2.1.7 วิธีการถ่ายภาพ	21
2.1.8 ทฤษฎีการประมวลผลภาพเบื้องต้น	22
2.1.9 กระบวนการด้านการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์	24
2.1.9.1 การได้มาของข้อมูลภาพ (Image Acquisition)	24
2.1.9.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing)	24
2.1.9.3 การแยกข้อมูลภาพ (Image Segmentation)	26
2.1.9.4 การแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูล (Representation and Description)	27
2.1.9.5 การรู้จำและการแปลความหมาย (Recognition and Interpretation)	28
2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	29
2.2.1 การเตรียมของเหลวสีแดง (สีเลือด)	29
2.2.2 การเขียนโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด	30
2.2.1.1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น	31
2.2.1.2 การแยกข้อมูลภาพ	36
2.2.1.3 การแยกคุณลักษณะเด่นของภาพ	36
2.2.1.4 คำนวณทิศทาง (γ) ของรอยคราบเลือด	37
2.2.1.5 คำนวณระยะความกว้างและความยาว (W และ L) และมุมตกกระทบ (α) ของรอยคราบเลือด	41
2.2.3 การทดสอบโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด	42
2.2.3.1 ทดสอบของเหลวสีแดง (สีเลือด)	42
2.2.3.2 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม	44
2.2.3.3 ทดสอบการใช้งานของโปรแกรม	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 วัสดุและอุปกรณ์	47
2.3.1 วัสดุ	47
2.3.2 อุปกรณ์	47
2.3.3 เครื่องมือ	47
3 ผลการทดลอง	48
3.1 การทดสอบของเหลวที่ใช้แทนเลือดด้วยวิธีทั่วไป	48
3.2 การหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ marker สีน้ำเงินและสีเขียวเทียบกับค่าที่คำนวณด้วยวิธีทั่วไป	50
3.3 การเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั่วไปกับการใช้โปรแกรมคำนวณที่มุ่มตกกระทบต่างๆ	52
3.4 การทดสอบการทำงานของโปรแกรม	54
4 บทวิจารณ์	56
4.1 ผลการเตรียมและทดสอบของเหลวที่ใช้แทนเลือดด้วยวิธีทั่วไป	56
4.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม	58
4.2.1 การตรวจหารอยคราบเลือดที่อยู่ในภาพ	58
4.2.2 ตรวจพบ marker ที่อยู่ในภาพได้หรือไม่	59
4.2.3 การหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมุ่มตกกระทบและระยะความกว้างและความยาวของรอยคราบเลือด	59
4.3 ผลการทดสอบการใช้งานของโปรแกรม	59
4.3.1 การเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั่วไปกับการคำนวณด้วยโปรแกรมที่มุ่มตกกระทบจริงต่างๆ	60
4.3.2 การทดสอบโดยการวัดมุ่มตกกระทบจากการกระเด็นของรอยคราบเลือด	60
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	61
5.1 บทสรุป	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
5.2.1 ปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้	62
5.2.2 การแก้ไขปัญหา	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก	67
ก. การใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด	68
ข. แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง	70
ค. รูปการตกกระทบที่มุมต่างๆ และการกระเด็นของของเหลวที่ใช้แทนเลือด	92
ประวัติผู้เขียน	104

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าต่างๆ ที่ได้จากการใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียวเทียบกับค่าที่คำนวณด้วยวิธี ทั่วไป ทั้งก่อนและหลังการปรับค่า	54

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1.1 แสดงมุม γ และ α ในรูปแบบ 3 มิติ	3
1.2 แสดงจุดตัดของรอยคราบเลือด (ก) และพื้นที่ซ้อนทับของรอยคราบเลือด (ข)	4
1.3 แสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือดในมุมมองด้านบน จากโปรแกรม BackTrack™	5
1.4 แสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือดในมุมมองด้านข้าง จากโปรแกรม BackTrack™	5
1.5 แสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือดในมุมมองด้านหน้า จากโปรแกรม BackTrack™	6
1.6 แสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือดในรูปแบบ 3 มิติ จากโปรแกรม BackTrack™	7
1.7 แสดงผลการใช้โปรแกรม BackTrack™ ร่วมกับ CAD ในการหาตำแหน่ง ของแหล่งกำเนิดรอยคราบเลือดบนโต๊ะในรูปแบบ 3 มิติ	8
1.8 แสดงภาพถ่ายรอยคราบเลือดก่อนการวิเคราะห์ (ก) และหลังการวิเคราะห์ หาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเลือด (ข) แบบอัตโนมัติ	9
2.1 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ Passive	11
2.2 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ Projected	11
2.3 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ Transfer/Contact	12
2.4 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ LVIS	13
2.5 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ MVIS	14
2.6 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ HVIS	14
2.7 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบวงกลม	15
2.8 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบหยดน้ำ	15
2.9 แสดงการหามุมตกกระทบของรอยคราบเลือด	16
2.10 แสดงวิธีการ String method	17
2.11 แสดงวิธีการ Tangent method	18
2.12 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม BackTrack™	19
2.13 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม CAD	20
2.14 แสดงความแตกต่างของสีแสง (RGB) และสีวัตถุ (CMYK)	23

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
2.15 แสดงวงล้อสีแบบ RGB	23
2.16 แสดงลักษณะมาตรฐานของภาพลักษณะสีเทา	25
2.17 แสดงของเหลวสีแดงที่ใช้แทนเลือด	29
2.18 แสดงภาพรวมของขั้นตอนกระบวนการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด	30
2.19 แสดงภาพถ่ายรอยคราบเลือดพร้อมแถบสี (marker) สีน้ำเงิน	31
2.20 แสดงภาพก่อน (ก) และหลัง (ข) กระบวนการขยายจุดภาพ	31
2.21 แสดงกระบวนการแยกสีเลือด	32
2.22 แสดงภาพก่อน (ก) และหลัง (ข) กระบวนการแยกสีเลือด	33
2.23 แสดงกระบวนการหา marker	34
2.24 แสดงภาพก่อน (ก) และหลัง (ข) กระบวนการหา marker	35
2.25 แสดงภาพระดับสีเทาของรอยคราบเลือด (ก) และ marker (ข)	35
2.26 แสดงภาพหลังกระบวนการหาขอบภาพด้วยวิธี Canny ของ รอยคราบเลือด (ก) และ marker (ข)	36
2.27 แสดงภาพต้นแบบของรอยคราบเลือด (ก) และ marker (ข) ที่ใช้ในการเข้าคู่	37
2.28 แสดงรอยคราบเลือดที่มีขนาดพอดีกับภาพ	37
2.29 แสดงรอยคราบเลือดที่มีมุมเท่ากัน แต่มาจากคนละทิศทาง	38
2.30 แสดงรอยคราบเลือดที่ถูกแบ่งเป็น 4 quadrants	39
2.31 แสดงรอยคราบเลือดในทิศ γ เป็น + แต่มาจากคนละทิศทาง	39
2.32 แสดงรอยคราบเลือดในทิศ γ เป็น - แต่มาจากคนละทิศทาง	40
2.33 แสดงการคำนวณหาระยะ W และ L	41
2.34 แสดงสร้างรอยคราบเลือดที่มุมตกกระทบต่างๆ โดยใช้หลอดหยด	43
2.35 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายรอยคราบเลือดที่มุม 30 องศา	44
2.36 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายรอยคราบเลือดที่มุม 30 องศา พร้อม marker สีน้ำเงิน	45
2.37 แสดงการสร้างรอยคราบเลือดโดยใช้ตุ้มน้ำหนัก (Weight drop)	46
2.38 แสดงภาพถ่ายหลังการกระเด็นของรอยคราบเลือด	46
3.1 แสดงผลการทดสอบการตกกระทบที่มุมต่างๆ ของของเหลว ที่ใช้แทนเลือดโดยวิธีคำนวณทั่วไป	49

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
3.2	แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ marker สีน้ำเงิน และสีเขียวของความกว้างของรอยคราบเลือด	50
3.3	แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ marker สีน้ำเงิน และสีเขียวของความยาวของรอยคราบเลือด	51
3.4	แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ marker สีน้ำเงิน และสีเขียวที่มุมตกกระทบต่างๆ ของรอยคราบเลือด	52
3.5	แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั่วไป กับการใช้โปรแกรมคำนวณที่มุมตกกระทบต่างๆ	53
4.1	แสดงผลการทดลองของ Cordelia Willis <i>et al.</i> , (2001)	57
4.2	แสดงการตกกระทบที่มุมตกกระทบต่างกัน	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ในปัจจุบันพบว่ามีคดีต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย ไม่ว่าจะเป็นการฆาตกรรม ทำร้ายร่างกาย ช่มชู้ฉ้อโกงชิงวิ่งราว เป็นต้น ซึ่งในสถานที่เกิดเหตุของคดีเหล่านั้นก็ย่อมมีวัตถุพยานต่างๆ ตกอยู่มากมายด้วยเช่นเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นวัตถุพยานที่ได้มาจากร่างกาย ซึ่งได้แก่ เส้นผม เส้นขน อสุจิ ปัสสาวะ เลือด น้ำลาย เนื้อเยื่อ เป็นต้น และวัตถุพยานประเภทสิ่งของ เช่น เอกสาร อาวุธ บุหรี่ กระຈก เป็นต้น จากที่กล่าวมาแล้วนี้ “รอยคราบเลือด” เป็นวัตถุพยานชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญและพบได้ส่วนใหญ่ในสถานที่เกิดเหตุ ซึ่งวิทยาการปัจจุบันนี้สามารถบอกได้ว่า รอยคราบเลือดเลือดที่พบในสถานที่เกิดเหตุเป็นของใคร จากการวิเคราะห์ทาง DNA และในอีกทางหนึ่งก็สามารถบอกได้ว่า รอยคราบเลือดที่พบมาจากทิศทางใด ทำให้สามารถจำลองเหตุการณ์และสถานที่เกิดเหตุที่แท้จริงได้

การวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด หรือ Bloodstain Pattern Analysis (BPA) เป็นหนึ่งในหลายๆ สาขาของนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นการใช้รูปแบบของรอยคราบเลือดให้เป็นเสมือนหลักฐานชิ้นหนึ่งในสถานที่เกิดเหตุ โดยการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือดนั้น ประยุกต์มาจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์หลายๆ สาขา อาทิ หลักการทางชีววิทยา เคมี คณิตศาสตร์ และฟิสิกส์ ที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหาจริงได้ ซึ่งการอยู่ท่ามกลางหลักการทางวิทยาศาสตร์นั้นเท่ากับนักวิเคราะห์ต้องปฏิบัติตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จึงเกิดเป็นเครื่องมือแสดงหลักฐานที่หนักแน่นและมีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในสถานที่เกิดเหตุ และนำไปสู่การจับกุมผู้กระทำผิดในที่สุด

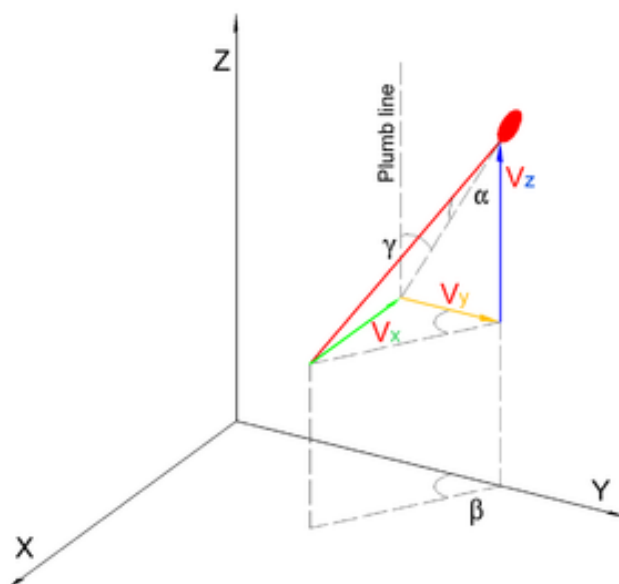
หลังจากที่วิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือดเสร็จสิ้น ไม่ใช่ทุกผลลัพธ์ที่ได้จะมีความถูกต้อง เหมาะสม แต่บางสิ่งบางอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือดนั้น อาจจะสามารถที่จะสรุปเป็นข้อเท็จจริงในตอนสุดท้ายได้^[18] เช่น

- แหล่งที่มาของเลือด
- ระยะทางระหว่างรอยคราบเลือดและแหล่งที่มาของเลือด
- ความแรง และทิศทางของแรงที่ทำให้เกิดรอยคราบเลือด
- ลักษณะ รูปร่างของวัตถุที่ทำให้เกิดรอยคราบเลือด
- จำนวนครั้งของการตี (ทำร้าย)
- ตำแหน่งของผู้ถูกทำร้าย ผู้กระทำ วัตถุที่กระทำ ขณะที่กระทำให้เกิดรอยคราบเลือด
- การเคลื่อนที่ของผู้ถูกทำร้าย ผู้กระทำ วัตถุที่กระทำ หลังจากกระทำให้เกิดรอยคราบเลือด
- รอยคราบเลือดสับสนหรือขัดแย้งกับพยานผู้เห็นเหตุการณ์
- เป็นข้อมูลเพื่อสันนิษฐานเกี่ยวกับเวลาในการตาย
- รอยคราบเลือดที่พบมีความสัมพันธ์กับผลจากห้องปฏิบัติการ และการสืบสวนที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ มีจุดประสงค์เพื่อที่จะพัฒนาการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งในขณะนี้การวิเคราะห์รูปแบบของรอยคราบเลือดในประเทศไทยสามารถที่จะกระทำได้ โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ แต่อาจเกิดความล่าช้า และความผิดพลาดขึ้นได้ เนื่องจาก ต้องให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ทำการวิเคราะห์ โดยเฉพาะในกรณีที่มีรอยคราบเลือดจำนวนมาก ซึ่งในขณะนี้การวิเคราะห์ในต่างประเทศนั้น ได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือดโดยเฉพาะ แต่โปรแกรมวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมานั้น ใช้งานค่อนข้างยาก กระบวนการสลับซับซ้อน และราคาค่อนข้างสูง จึงไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้น ในโครงการวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) มาช่วยในการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด โดยวิธีนี้เป็นกรนำภาพรอยคราบเลือดที่ต้องการมาวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อลดขั้นตอน ตลอดจนเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ และที่สำคัญโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถที่จะจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเบื้องต้น และนำกลับมาวิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแท้จริงภายหลังได้ เพื่อเป็นประโยชน์ในด้านนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

1.2 การตรวจเอกสาร

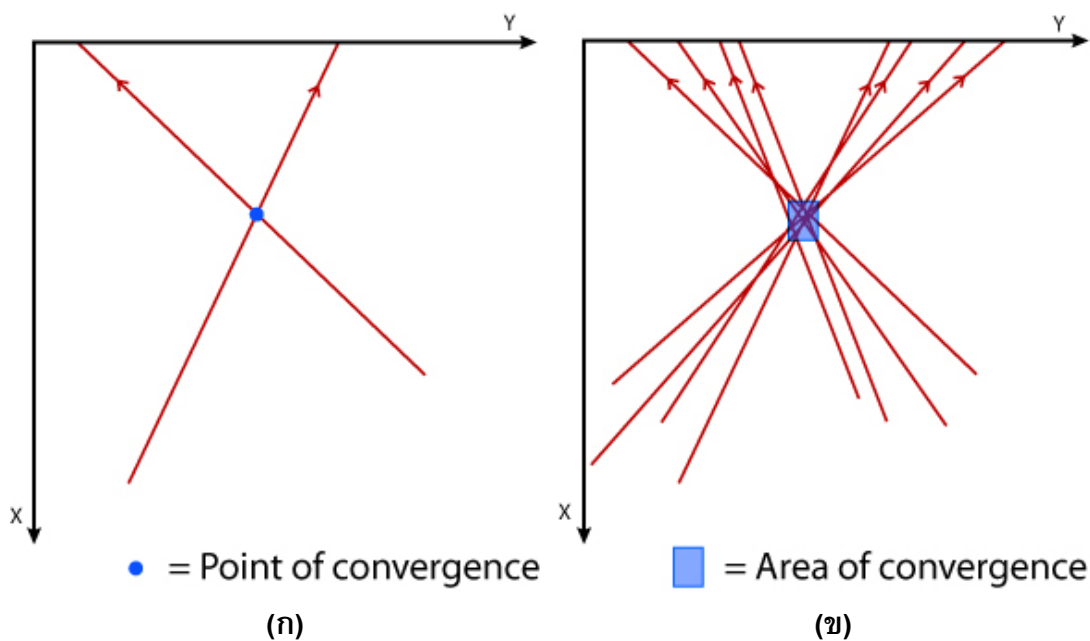
Louis L. Akin *et al.*, (2005) ^[14] ได้ศึกษาหลักการพื้นฐานของการอธิบายรูปแบบรอยคราบเลือด ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการสืบสวนสอบสวนในสถานที่เกิดเหตุ โดยใช้หลักการพื้นฐานและกระบวนการต่างๆ เพื่อที่จะสามารถเก็บและบันทึกข้อมูลอย่างถูกต้อง ทำให้สามารถวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งได้อธิบายถึงหลักการต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบของรอยคราบเลือด รวมถึงลักษณะของรูปแบบรอยคราบเลือดที่ความเร็วต่างๆ กัน โดยเริ่มแรกนั้น A. L. Carter *et al.*, ^[3] เป็นคนแรกๆ ที่ทำการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือดด้วยคอมพิวเตอร์ ที่เรียกว่า “BackTrack™” ขึ้นมาได้ในปี ค.ศ. 2001 เพื่อหาดำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือด โดยอาศัยแนวคิดพื้นฐานในการหาดำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือดโดยทั่วไป เริ่มตั้งแต่ การหามุม γ ซึ่งเป็นมุมที่บอกถึงทิศทางการเดินทางของเลือด แล้วจึงทำการปรับให้รอยคราบเลือดเป็นรูปไข่ เพื่อที่จะคำนวณหาค่ามุม α ซึ่งเป็นมุมตกกระทบของรอยคราบเลือดที่เคลื่อนที่กระทบพื้นผิว ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.1



ภาพประกอบที่ 1.1 แสดงมุม γ และ α ในรูปแบบ 3 มิติ

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Bloodstain_pattern_analysis

จากนั้นเมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ทั้งสองในแต่ละรอยคราบเลือดแล้ว โปรแกรมนี้ก็จะแสดงถึงจุดตัดหรือพื้นที่ที่ซ้อนทับกันของรอยคราบเลือดแต่ละรอย ซึ่งจุดตัดหรือพื้นที่ที่ซ้อนทับนี้ ก็คือตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือด ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.2

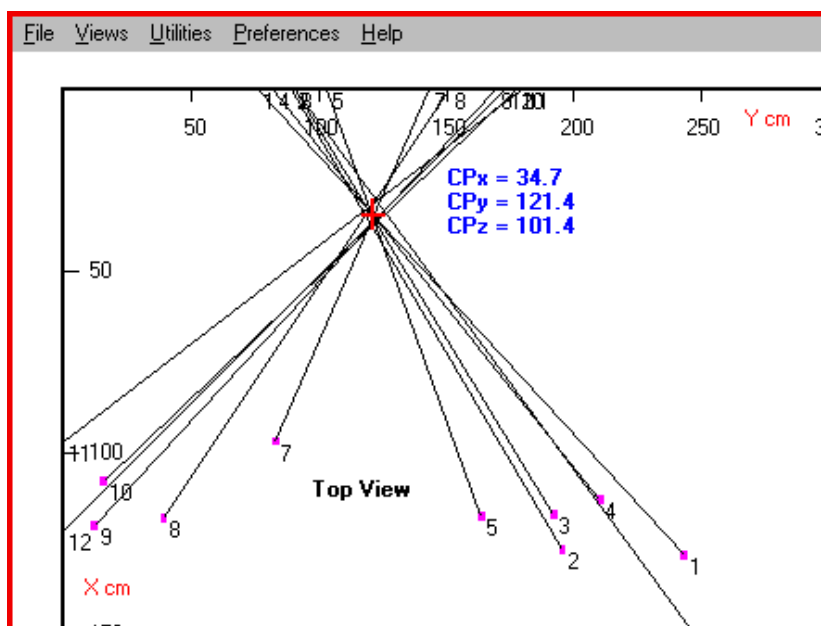


ภาพประกอบที่ 1.2 แสดงจุดตัดของรอยคราบเลือด (ก)

และพื้นที่ซ้อนทับของรอยคราบเลือด (ข)

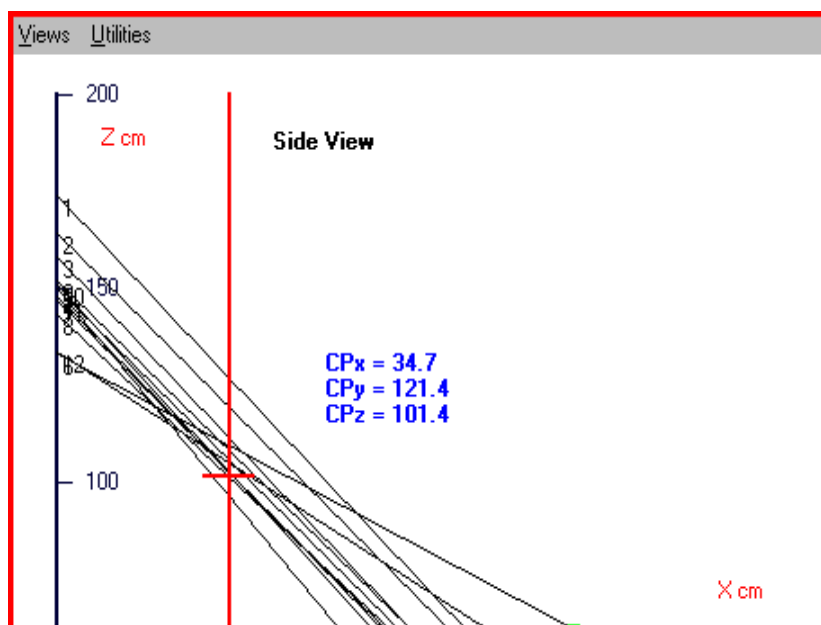
ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Bloodstain_pattern_analysis

โดยจะแสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือดให้เห็นทั้งในมุมมองด้านบน (Top view) มุมด้านข้าง (Side view) และมุมมองด้านหน้า (End view) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.3-1.5



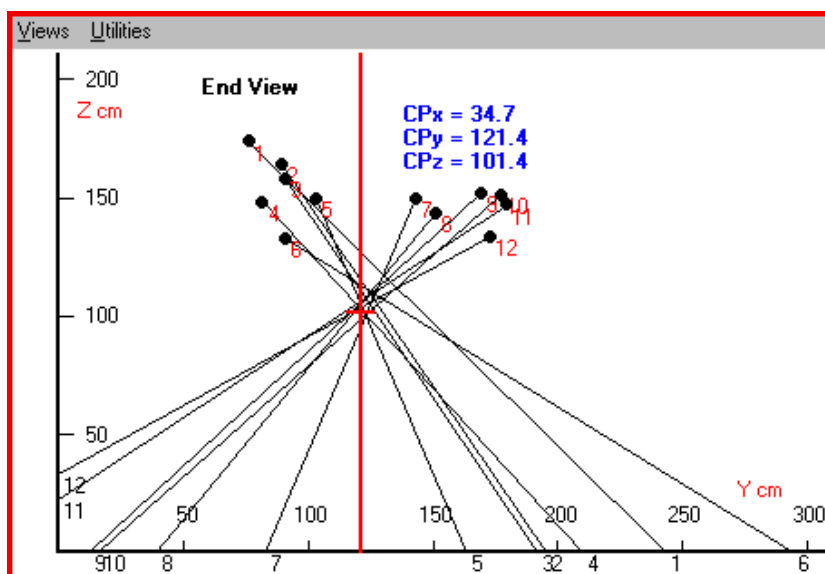
ภาพประกอบที่ 1.3 แสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือดในมุมมองด้านบน
จากโปรแกรม BackTrack™

ที่มา : <http://www.physics.carleton.ca/~carter/TopView.html>



ภาพประกอบที่ 1.4 แสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือดในมุมมองด้านข้าง
จากโปรแกรม BackTrack™

ที่มา : <http://www.physics.carleton.ca/~carter/Sideview.html>

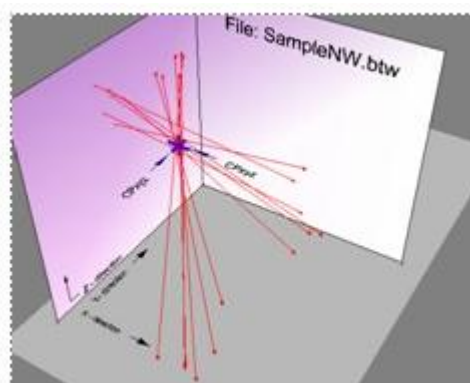


ภาพประกอบที่ 1.5 แสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือดในมุมมองด้านหน้า
จากโปรแกรม BackTrack™

ที่มา : <http://www.physics.carleton.ca/~carter/Endview.html>

ต่อมา A. L. Carter *et al.*, (2006)^[4] ได้ทดสอบโปรแกรม BackTrack™ โดยการคำนวณหาแหล่งกำเนิดของรอยคราบเลือดที่เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดรอยคราบเลือดจากรอยเลือด 5 รอยที่ได้จากการทดลอง โดยแต่ละรอยจะรู้ตำแหน่งที่แน่นอน การวิเคราะห์ทิศทางด้วยโปรแกรม BackTrack™ นี้ จะใช้มุมมองด้านบนเพื่อคำนวณหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเลือดในระนาบของพื้น โดยแนวการหยดของเลือดจะอยู่ในทิศที่ตั้งฉากกับพื้น และจากมุมมองด้านบนที่ได้เราก็จะเห็นเส้นตรงตัดกัน โดยตำแหน่งที่เส้นตรงตัดกันจะเป็นตำแหน่งที่เป็นแหล่งกำเนิดของเลือด นั่นเอง

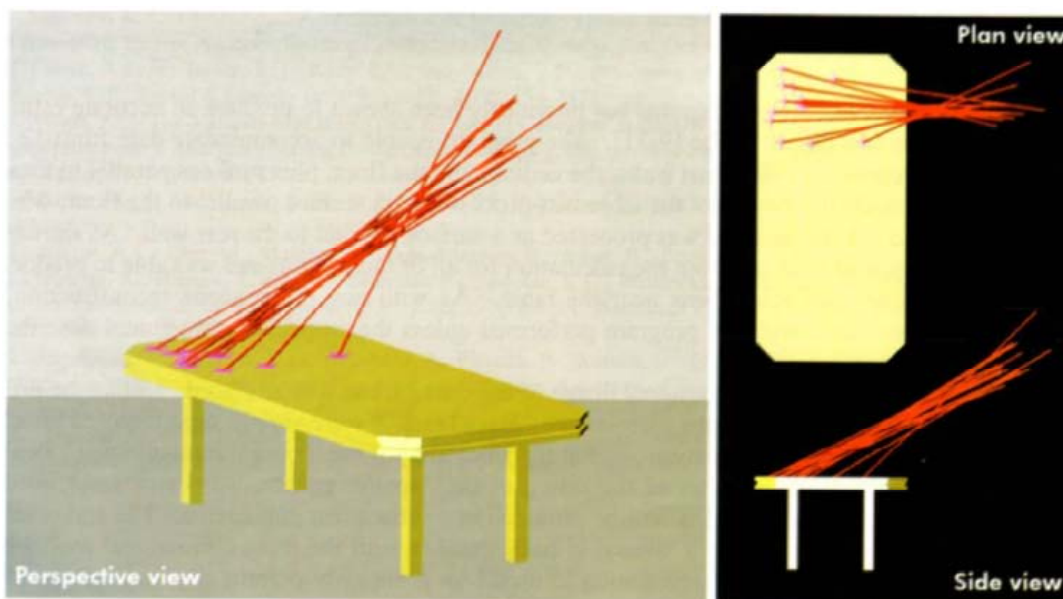
จากนั้น Kevin Maloney *et al.*, (2005) ^[13] ได้ศึกษาการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือดเพื่อประโยชน์ในทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยการประมาณหาตำแหน่งที่เหยื่อถูกทำร้าย ซึ่งสามารถดูได้จากทิศทางของรอยคราบเลือดที่กระเด็น จากนั้นหามุมตกกระทบของรอยคราบเลือดโดยอาศัยความสัมพันธ์ทางตรีโกณมิติ และการคำนวณร่วมกันในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า BackTrack™ โดยโปรแกรมนี้จะใช้ในการคำนวณหาเส้นทางการเดินทางของรอยคราบเลือด (Visual string) โดยอาศัยข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิทัล ในการทดลองนี้ จะใช้การจำลองเหตุการณ์ฆาตกรรม และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม BackTrack™ โดยเพิ่มการแสดงผลที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบ 3 สามมิติ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.6



ภาพประกอบที่ 1.6 แสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือดในรูปแบบ 3 มิติ
จากโปรแกรม BackTrack™

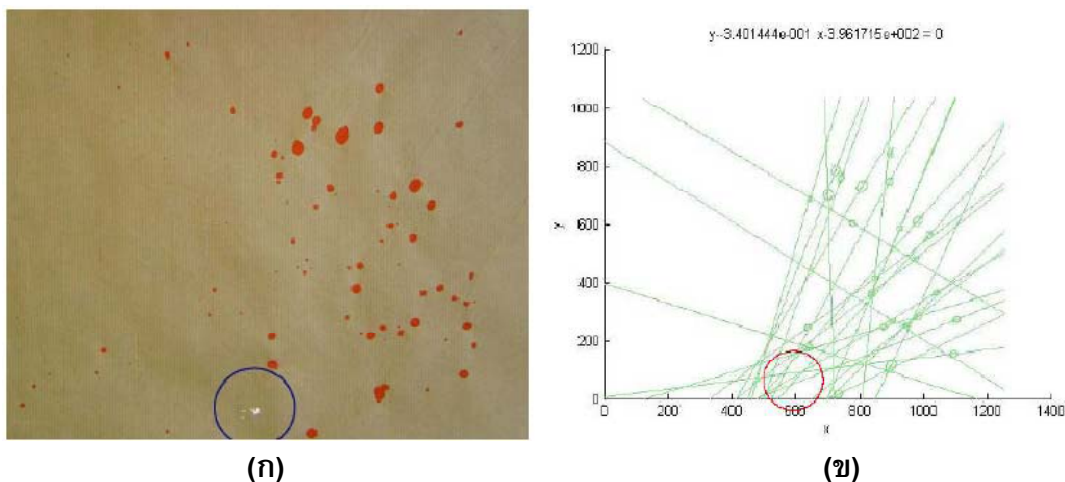
ที่มา : <http://www.physics.carleton.ca/~carter/BT406.html>

หลังจากนั้น Alexei Pace *et al.*, (2006) ^[6] ได้ศึกษากระบวนการวัดรูปแบบของรอยคราบเลือดด้วยโปรแกรม BackTrack™ และใช้หลักการหาเส้นทางการเดินทางของรอยคราบเลือดช่วยในการพัฒนาโปรแกรมร่วมกับโปรแกรม Computer-aided design (CAD) ที่สามารถสร้างรูปแบบจำลองของสถานที่เกิดเหตุในรูปแบบการวิเคราะห์ใน 3 มิติได้ ซึ่งการหาเส้นทางการเดินทางของรอยคราบเลือดนี้จะมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์ โดยจากกฎของฟิสิกส์ทำให้รู้ทิศทางของแหล่งกำเนิดของเลือดได้ ในงานวิจัยนี้ จะใช้โปรแกรม BackTrack™ ร่วมกับ CAD ในการสร้างรูปแบบ 3 มิติ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบของเลือดให้ดีขึ้นได้ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.7



ภาพประกอบที่ 1.7 แสดงผลการใช้โปรแกรม BackTrack™ ร่วมกับ CAD ในการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดรอยคราบเลือดบนโต๊ะในรูปแบบ 3 มิติ
ที่มา : Alexei Pace *et al.*, 2006. “Another Treatment of Three-Dimensional Bloodstain Pattern Analysis” I.A.B.P.A. News, March 2006.

สุดท้าย A. R. Shen *et al.*, (2006) ^[5] ได้ศึกษากระบวนการต่างๆ ของการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือดจากสถานที่เกิดเหตุ แต่รูปแบบการวิเคราะห์ที่ศึกษาจะเป็นแบบอัตโนมัติ โดยใช้การถ่ายภาพรอยคราบเลือดทั้งหมดให้อยู่ในภาพถ่ายใบเดียวที่มีความละเอียดสูง จากนั้นนำไปเข้าเครื่องสแกนทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ออกมา ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.8



ภาพประกอบที่ 1.8 แสดงภาพถ่ายรอยคราบเลือดก่อนการวิเคราะห์ (ก) และหลังการวิเคราะห์หาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเลือด (ข) แบบอัตโนมัติ
ที่มา : A. R. Shen *et.al.*, 2006. "Toward automatic blood spatter analysis in crime scenes". The Institution of Engineering and Technology Conference on Crime and Security, 2006.

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษากระบวนการ และขั้นตอนการวิเคราะห์รอยคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุ
2. ประยุกต์ใช้เทคนิคประมวลผลภาพมาช่วยในการวิเคราะห์ทิศทาง และมุมตกกระทบของรอยคราบเลือดให้มีความถูกต้อง และรวดเร็ว

1.4 ขอบเขต

1. รอยคราบเลือดที่ใช้วิเคราะห์ จะใช้ของเหลวสีเหลืองสีแดงแทนเลือด
2. ภาพถ่ายรอยคราบเลือดที่ต้องการวิเคราะห์ จะใช้หนึ่งภาพต่อหนึ่งรอยคราบเลือด
3. พื้นหลังของภาพต้องไม่เป็นสีเดียวกับรอยคราบเลือด
4. พื้นผิวที่ใช้ในการรับรอยคราบเลือดที่ต้องการวิเคราะห์เป็นพื้นผิวเรียบ สีขาว
5. โปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบของรอยคราบเลือดที่พัฒนาด้วยเทคนิคประมวลผลภาพนี้ สามารถหาขนาด ทิศทาง และมุมตกกระทบของรอยคราบเลือด แต่ยังไม่สามารถแสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเลือดได้

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงความหมาย แนวความคิด หลักการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด โดยเริ่มตั้งแต่การแบ่งประเภทรอยคราบเลือด วิธีการวิเคราะห์รอยคราบเลือด หลักการถ่ายภาพรอยคราบเลือด และทฤษฎีการประมวลผลภาพเบื้องต้นที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์รอยคราบเลือดได้ รวมไปถึงวิธีการดำเนินการในงานวิจัย และสุดท้าย คือ วัสดุและอุปกรณ์

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นที่นำไปสู่การวิจัย

ในการวิเคราะห์รอยคราบเลือด มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องหลายประการด้วยกัน เช่น ประเภทของรูปแบบรอยคราบเลือด ความเร็วตกกระทบของรอยคราบเลือด ทิศทางการเดินทางของรอยคราบเลือด การพิจารณามุมตกกระทบของรอยคราบเลือด วิธีวิเคราะห์ตำแหน่งแหล่งกำเนิดของรอยคราบเลือด โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์รอยคราบเลือด วิธีการถ่ายภาพ ทฤษฎีการประมวลผลภาพเบื้องต้น และกระบวนการดำเนินการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

2.1.1 ประเภทของรูปแบบรอยคราบเลือด

มีความความแตกต่างหลายๆ อย่าง ที่ทำให้สามารถพิจารณาแบ่งกลุ่มของประเภทและคำจำกัดความของรูปแบบรอยคราบเลือดได้ แต่ที่ยอมรับกันโดยทั่วไปนั้น อยู่บนหลักการพื้นฐานของกลไกการเกิดรอยคราบเลือด โดยสามารถแบ่งกลุ่มรอยคราบเลือดออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ Passive, Projected และ Transfer/Contact สามารถนิยามความหมายได้^[12] ดังนี้

2.1.1.1 Passive bloodstains



ภาพประกอบที่ 2.1 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ Passive
ที่มา : <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>

รอยคราบแบบนี้เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก สามารถแบ่งออกได้เป็น

- Passive Drop สร้างหรือเกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกเพียงอย่างเดียว
- Drip Pattern รูปแบบรอยคราบเลือดนี้ เป็นผลจากการหยดเลือดลงในแอ่งเลือด
- Flow Pattern เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และทิศทางของรอยคราบเลือด เนื่องด้วยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงหรือการเคลื่อนไหวของวัตถุ
- Pool Pattern เป็นรูปแบบรอยคราบเลือด เมื่อจุดกำเนิดเลือดอยู่นิ่ง

2.1.1.2 Projected bloodstains



ภาพประกอบที่ 2.2 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ Projected
ที่มา : <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>

ปรากฏเมื่อมีการโยกย้ายหรือส่งต่อพลังงานไปยังจุดกำเนิดเลือด สามารถแบ่งออกได้เป็น

- Low Velocity Impact Spatter (LVIS) เป็นรูปแบบรอยคราบเลือด ที่ถูกทำให้ตกกระทบด้วยความเร็วต่ำ
- Medium Velocity Impact Spatter (MVIS) เป็นรูปแบบรอยคราบเลือด ที่ถูกทำให้ตกกระทบด้วยความเร็วปานกลาง เช่น การทุบ ตี เป็นเหตุให้เกิดรอยคราบเลือดชนิดนี้
- High Velocity Impact Spatter (HVIS) เป็นรูปแบบรอยคราบเลือด ที่ถูกทำให้ตกกระทบด้วยความเร็วสูง เช่น เกิดจากกระสุนปืนหรือเครื่องจักรความเร็วสูง
- Cast-Off Pattern bloodstain เป็นรูปแบบรอยคราบเลือดที่เกิดขึ้น เมื่อเลือดถูกปล่อยหรือพ่นจากวัตถุขณะเคลื่อนที่
- Arterial Spurting (OR Gushing) Pattern เป็นรูปแบบรอยคราบเลือด เป็นผลจากเลือดที่ออกจากร่างกาย ภายใต้แรงดันจากหลอดเลือดที่แตก
- Back Spatter เกิดจากเลือดเดินทางในทิศทางตรงกันข้ามกับแหล่งพลังงาน เป็นผลทำให้เกิดรอยคราบเลือด
- Expiratory Blood เกิดจากเลือดที่ออกจากทางจมูก ปาก หรือบาดแผล เป็นผลจากแรงดันอากาศหรืออากาศที่เข้าไป

2.1.1.3 Transfer/Contact bloodstains



ภาพประกอบที่ 2.3 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ Transfer/Contact

ที่มา : <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>

เกิดขึ้นเมื่อวัตถุได้สัมผัสกับรอยคราบเลือดที่ยังไม่แห้งบนพื้นผิวอีกครั้งหนึ่ง อาจมองได้ว่าเป็นการสัมผัสครั้งที่สอง สามารถแบ่งออกได้เป็น

- Wipe Pattern เป็นรูปแบบรอยคราบเลือดที่เกิดขึ้น เมื่อวัตถุเคลื่อนย้ายผ่านรอยคราบเลือดที่มีอยู่แล้ว ทำให้เกิดการย้ายหรือการเปลี่ยนแปลงการปรากฏของรอยคราบเลือดเดิม
- Swipe Pattern เกิดจากการย้ายของรอยคราบเลือด โดยการเคลื่อนที่ของจุดกำเนิดไปบนพื้นผิวที่ไม่มีรอยคราบเลือด

2.1.2 ความเร็วตกกระทบของรอยคราบเลือด

การแยกกลุ่มของความเร็วของรอยคราบเลือดที่ตกกระทบ สามารถแยกออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ low-, medium- และ high- สามารถอธิบายความหมาย และความแตกต่างได้ [12] ดังนี้

2.1.2.1 Low velocity impact spatter (LVIS)

โดยทั่วไปจะเกิดเมื่อวัตถุที่มีความเร็วน้อยกว่า 1.5 m/s เข้ามาสัมผัสกับแหล่งกำเนิดเลือด ที่น่าสังเกต คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยคราบเลือดจะใหญ่กว่า 3 mm



ภาพประกอบที่ 2.4 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ LVIS

ที่มา : <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>

2.1.2.2 Medium velocity impact spatter (MVIS)

โดยทั่วไปจะเกิดเมื่อวัตถุที่มีความเร็วระหว่าง 1.5 m/s ถึง 7.5 m/s เข้ามาสัมผัสกับแหล่งกำเนิดเลือด ที่น่าสังเกต คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยคราบเลือดจะอยู่ระหว่าง 1 mm ถึง 3 mm กลไกในการเกิดรูปแบบความเร็วชนิดนี้จะรวมถึงบาดแผลที่เกิดจากของไม่มีคม การตัด หรือการแทง

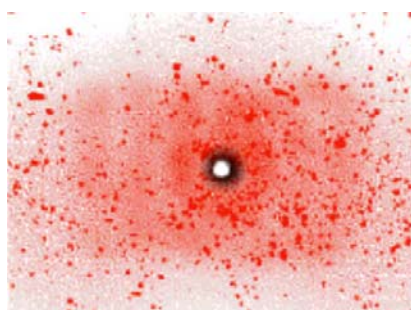


ภาพประกอบที่ 2.5 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ MVIS

ที่มา : <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>

2.1.2.3 High velocity impact spatter (HVIS)

โดยทั่วไปจะเกิดเมื่อวัตถุที่มีความเร็วมากกว่า 30 m/s เข้ามาสัมผัสกับแหล่งกำเนิดเลือด ที่น่าสังเกต คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยคราบเลือดจะเล็กกว่า 1 mm รูปแบบนี้มีการปรากฏคล้ายกลุ่มหมอก อาจเกิดโดยกระสุนปืนหรือระเบิด แต่บางกรณีอาจเกิดจากเครื่องจักรอุตสาหกรรม การอาการไอหรือจาม



ภาพประกอบที่ 2.6 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบ HVIS

ที่มา : <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>

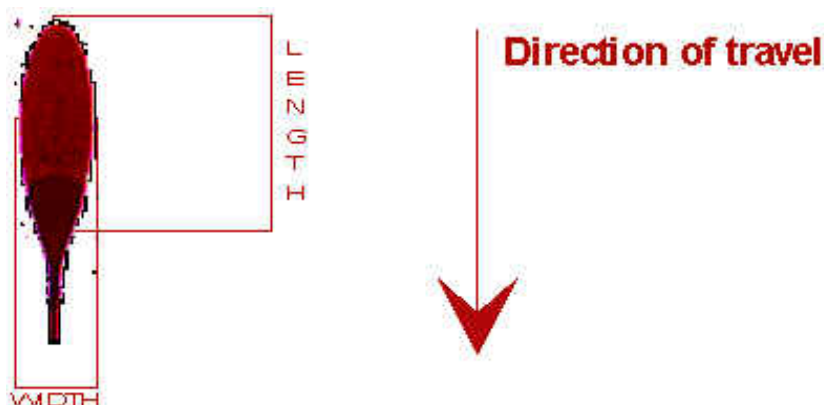
2.1.3 ทิศทางการเดินทางของรอยคราบเลือด

เมื่อพบรอยคราบเลือดที่มีลักษณะเป็นรูปวงกลมบนพื้นผิว มีความกว้างและความยาวเท่ากัน แสดงว่า ทิศทางการเดินทางของหยดเลือดที่ทำให้เกิดรอยคราบเลือดลักษณะเช่นนี้ จะทำมุม 90 องศากับพื้นผิว หรือว่าไม่มีทิศทางการเคลื่อนที่^[12] ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.7



ภาพประกอบที่ 2.7 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบวงกลม
ที่มา : <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>

แต่ถ้าพบรอยคราบเลือดที่มีลักษณะเป็นรูปคล้ายหยดน้ำบนพื้นผิว มีความกว้างและความยาวเกิดขึ้น แสดงว่า ทิศทางการเดินทางของหยดเลือดที่ทำให้เกิดรอยคราบเลือดลักษณะเช่นนี้ จะเคลื่อนที่จากส่วนที่ลักษณะมนไปส่วนที่ลักษณะแหลม^[12] ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.8

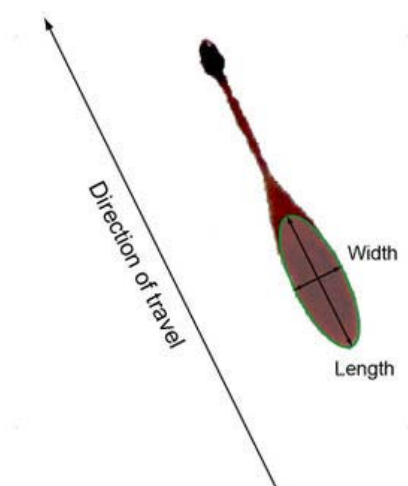


ภาพประกอบที่ 2.8 แสดงรูปแบบรอยคราบเลือดแบบหยดน้ำ
ที่มา : <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>

2.1.4 การพิจารณามุมตกกระทบ

การคำนวณหามุมตกกระทบของรอยคราบเลือดนั้น อยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างและความยาวของแกนกลางของรอยคราบเลือด ^[16]

รอยคราบเลือดที่ดีนั้น จะอยู่ในลักษณะรูปวงรี ทำให้เกิดเป็นความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวของรูปวงรี ซึ่งเป็นฟังก์ชันไซน์ของมุมตกกระทบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.9



ภาพประกอบที่ 2.9 แสดงการหามุมตกกระทบของรอยคราบเลือด
ที่มา : <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>

จะได้ความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\sin\theta = \frac{W}{L} \quad (2.1)$$

ดังนั้น

$$\theta = \arcsin \frac{W}{L} \quad (2.2)$$

เมื่อ θ คือ มุมตกกระทบของรอยคราบเลือด (องศา)

W คือ ระยะความกว้างของแกนกลางของรอยคราบเลือด

L คือ ระยะความยาวของแกนกลางของรอยคราบเลือด

2.1.5 วิธีวิเคราะห์ตำแหน่งแหล่งกำเนิดของรอยคราบเลือด

โดยทั่วไป จะแบ่งออกได้เป็นเป็น 2 วิธี คือ

2.1.5.1 String method

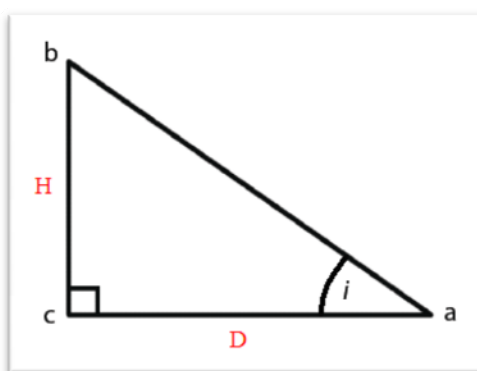
วิธีการนี้ จะใช้เชือกประทับตรงขอบด้านบนของรอยเลือด และดึงเชือกไปตามเส้นทางของมุมตกกระทบ (α) และมุมที่แสดงทิศทาง (γ) ผลที่ได้จากวิธีการนี้ คือ ทิศทางการเดินทางของเลือดที่เป็นเส้นตรงแทนด้วยเชือก และจุดที่เป็นแหล่งกำเนิดของเลือด คือ จุดที่เส้นเชือกส่วนใหญ่ตัดกัน^[17] ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.10



ภาพประกอบที่ 2.10 แสดงวิธีการ String method
ที่มา : <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>

2.1.5.6 Tangent method

วิธีการนี้ ส่วนใหญ่จะใช้กับรอยคราบเลือดที่อยู่บนพื้น เพื่อหาความสูงของแหล่งกำเนิดเลือด โดยเส้นทางการเดินทางของเลือดที่ตกกระทบ (i) ประมาณได้ว่าเป็นด้านตรงข้ามมุมฉากของสามเหลี่ยม ด้านของสามเหลี่ยมด้านหนึ่งจะวาดบนพื้นผิวไปตามแนวแกนของรอยคราบเลือด (D) ที่ตัดกัน ทำให้สามารถหาอีกด้านหนึ่งของสามเหลี่ยม (H) ได้ ค่าเฉลี่ยของด้านตรงข้ามมุมตกกระทบ จะประมาณได้ว่าเป็นความสูงของแหล่งกำเนิดเลือด^[17] ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.11



ภาพประกอบที่ 2.11 แสดงวิธีการ Tangent method

โดยค่ามุมทั้ง 3 นั้น มีความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\tan i = \frac{H}{D} \quad (2.3)$$

ดังนั้น

$$H = D \tan i \quad (2.4)$$

เมื่อ i คือ มุมตกกระทบของรอยคราบเลือด (องศา)

H คือ ความสูงของแหล่งกำเนิดเลือด

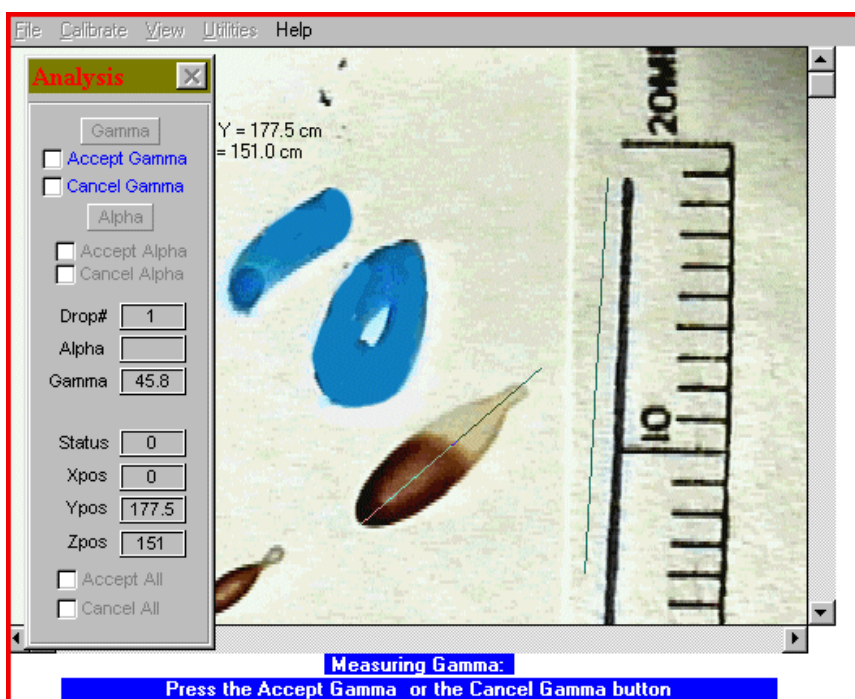
D คือ ระยะของรอยคราบเลือดที่ตัดกัน

2.1.6 โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์รอยคราบเลือด

ในงานวิจัยนี้ จะกล่าวถึงโปรแกรมสามารถใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด 2 โปรแกรม คือ

2.1.6.1 BackTrack™

โปรแกรมนี้ ใช้แสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือด โดยจะคำนวณหาจุดที่เส้นทางการเดินทางของรอยคราบเลือด (Virtual strings) มาบรรจบกัน โดยการหาเส้นทางการเดินทางของรอยคราบเลือดนี้เป็นการใช้ stringing method ให้เกิดขึ้นบนคอมพิวเตอร์ โดย BackTrack™ สามารถที่จะรับข้อมูลโดยตรง และวิเคราะห์ออกมาหลังจากการคำนวณจากภาพเมื่อมองจากด้านบน (Top view) จุดตัดของเส้นทางที่ได้ คือ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดของเลือด เมื่อมองจากด้านข้าง (Side view) สามารถดูความสูงของแหล่งกำเนิดเลือดได้ และภาพที่เกิดขึ้นสามารถหมุนไปในทิศทางต่างๆ ได้ จะทำให้เห็นถึงเส้นทางการตกกระทบของเลือดที่มีความสัมพันธ์กับสถานที่เกิดเหตุได้ดีขึ้น ^[2]

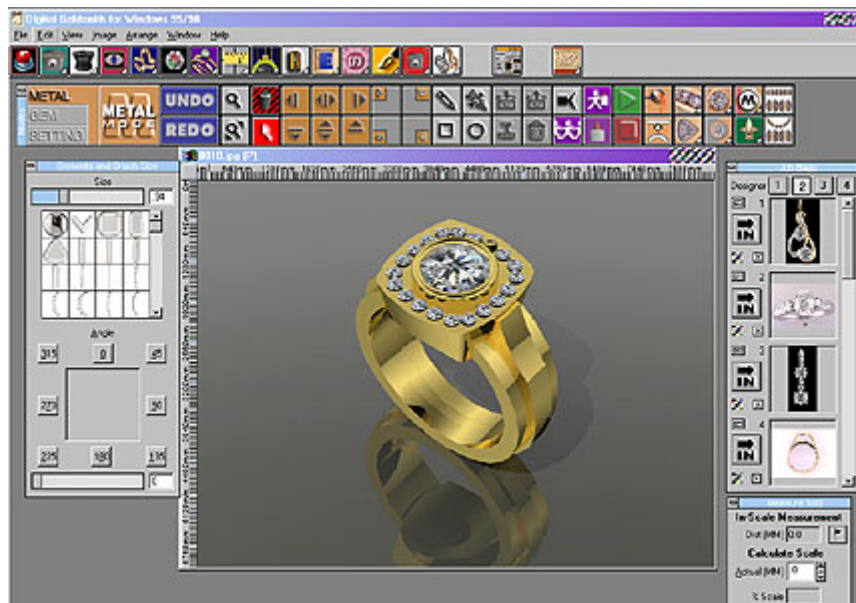


ภาพประกอบที่ 2.12 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม BackTrack™

ที่มา : <http://www.physics.carleton.ca/~carter/gamma.html>

2.1.6.2 Computer-aided design (CAD)

โดยปกติโปรแกรมนี้ จะใช้ในการเขียนแบบทางวิศวกรรม ซึ่งสามารถดูโครงสร้างภายใน และโครงสร้างภายนอกของสิ่งที่ออกแบบได้ ทั้งใน 2 มิติ และ 3 มิติ แต่ในปัจจุบันได้นำมาประยุกต์ใช้ในการมองตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเลือดในรูปแบบ 3 มิติ^[6]



ภาพประกอบที่ 2.13 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม CAD

ที่มา : <http://www.peterjewelers.com/custom.html>

การรวม BackTrack™ เข้ากับ CAD ทำให้สามารถหาตำแหน่งแหล่งกำเนิดของเลือดในสภาพแวดล้อม 3 มิติได้ ซึ่งการสร้างภาพ 2 มิติเป็นสิ่งที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการร่างภาพ แต่ในปัจจุบันความสามารถในการสร้างภาพ 3 มิติมีมากขึ้น จนสามารถจำลองและสร้างรูปแบบของวิถีกระสุนใน 3 มิติได้

2.1.7 วิธีการถ่ายภาพ

ในสถานที่เกิดเหตุ การถ่ายภาพมีความสำคัญเป็นอย่างมากเมื่ออยู่ในที่ที่เกิดเหตุการณ์ที่มีเลือด สิ่งที่เป็นต้องเตรียมนั้นมี 35 mm (B&W, สี และฟิล์มชนิดพิเศษ), กล้องถ่ายรูปดิจิทัล (เช่น Nikon, D70S หรืออื่นๆ) และวีดีโอ (Hi8, DV และรูปแบบอื่นๆ) ซึ่งอุปกรณ์แต่ละอย่างนั้น มีเหตุผลและความเหมาะสมแตกต่างกันไป^[18]

ภาพถ่ายมืออยู่ 3 ชนิด ที่ใช้ในสถานที่เกิดเหตุ

1. Overall เป็นรูปภาพมุมกว้าง (ระยะ 28-35 mm)
2. Mid-range เป็นรูปภาพใช้เลนส์ปรกติ (ระยะ 45-55 mm) ให้รายละเอียดมากกว่า Overall ใช้ในสถานที่เกิดเหตุที่เกิดเหตุการณ์ที่มีเลือดสามารถถ่ายรูปแบบรอยคราบเลือดเดี่ยวๆ ได้
3. Close-up เป็นรูปภาพใช้กับเลนส์ขนาดเล็ก ให้รายละเอียดได้มากที่สุด ใช้สำหรับรูปแบบการกระทบด้วยความเร็วปานกลาง สามารถถ่ายได้ 1,000 รอยคราบในภาพเดียว มีความสำคัญยิ่งโดยเฉพาะรอยคราบขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1-3 mm) ซึ่งต้องการความเฉพาะ

ในหลายๆ ครั้ง นักวิเคราะห์ไม่ได้ใส่ใจดูแลสถานที่เกิดเหตุที่เกิดเหตุการณ์ที่มีเลือด เพราะฉะนั้น นักวิเคราะห์ต้องทำงานทั้งหมดในสถานที่เกิดเหตุเอง ไม่ว่าจะเป็นการถ่ายภาพ บันทึก กำหนดขนาดที่เหมาะสมว่าจะใช้ Overall, Mid-range หรือ Close-up สำหรับรูปภาพ Overall นั้น จะต้องถ่ายแบบขนานและตั้งฉากกับพื้น (ในบางกรณี Overall และ Mid-range ใช้ได้โดยปราศจากสเกล)

2.1.8 ทฤษฎีการประมวลผลภาพเบื้องต้น

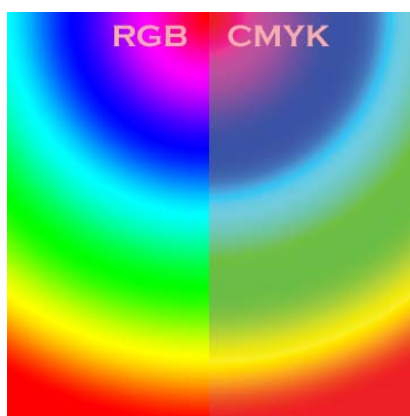
การมองเห็นเป็นสิ่งสำคัญและเป็นกลไกที่ใช้ในการรับรู้ข่าวสารที่ซับซ้อนอย่างหนึ่งของมนุษย์ ดังนั้น ภาพจึงมีบทบาทสำคัญที่ใช้เป็นสื่อในการนำเสนอข้อมูลดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตาม ประสาทสัมผัสด้านการมองเห็นของมนุษย์นั้นยังมีข้อจำกัด จึงได้มีการคิดค้นวิธีการช่วยขยายขอบเขตการรับรู้ให้กว้างและมีประสิทธิภาพมากขึ้น นั่นก็คือ กระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) โดยใช้คอมพิวเตอร์^[1]

กระบวนการประมวลผลภาพ คือ การเอาภาพมาประมวลผล เอามาคิดคำนวณทางคอมพิวเตอร์ การคิดคำนวณนั้นมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีประโยชน์แตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็นการนำเอาสี (Color) แต่ละจุด (Pixel) มาคิด การคิดคำนวณเป็นบริเวณหลายๆ จุดรวมๆ กัน (Area) เช่น การดูลวดลาย (Pattern, Texture), การวิเคราะห์หารูปปร่าง (Shape) และการวิเคราะห์แบบอื่นๆ แหล่งของรูปภาพนั้นอาจจะมาจากกล้องดิจิทัล เครื่องสแกน หรือจากสื่อดิจิทัลต่างๆ แล้วนำไปผ่านกระบวนการบางอย่างเพื่อให้เกิดเป็นภาพใหม่ เช่น การทำภาพเบลอ (Blued Image) การทำภาพนูน (Emboss Image) การตรวจหาขอบภาพ (Edge Detector) ซึ่งศาสตร์ด้านนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายด้าน เช่น ทางด้านการแพทย์ การรักษาความปลอดภัย ตรวจสอบนับจำนวนคน หรือตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆ ภายในภาพ เป็นต้น

มาตรฐานของสีที่ใช้ในการประมวลผลภาพในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการใช้งานไปใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกัน คือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในระนาบ 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในระนาบแต่ละแกนซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ในงานวิจัยนี้ ใช้ระบบ RGB ซึ่งจะมีแกนสีหลัก คือ แกนสีแดง เขียว และน้ำเงิน

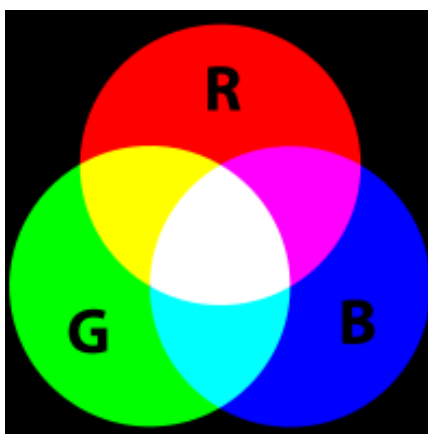
ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน โดยมีการรวมกันแบบ Additive คือ ถ้าไม่มีสีใดเลยจะมองเห็นเป็นสีดำ และในทางกลับกัน หากมีครบทุกสีจะมองเห็นสีขาวจะต่างกับระบบสีแบบ Subtractive หรือระบบสีแบบ CMYK ที่เป็นสีที่เกิดจากการสะท้อน หรือเรียกกันทั่วไปว่าสีวัตถุ ในการใช้งานระบบสี RGB ยังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไปที่นิยมใช้งาน ได้แก่ RGB_{CIE} และ RGB_{NTSC} ^[1]

- RGB_{CIE} เป็นระบบที่พัฒนาโดย CIE (Commission International I Eclairge) ซึ่งอ้างอิงด้วยแสงสีแดงที่ 700 nm สีเขียวที่ 546.1 nm และสีน้ำเงินที่ 435.8 nm
- RGB_{NTSC} เป็นระบบที่พัฒนาโดย NTSC (National Television System Committee) เพื่อใช้สำหรับการแสดงภาพของจอแบบ CRT เป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิต CRT ให้มีลักษณะเดียวกัน



ภาพประกอบที่ 2.14 แสดงความแตกต่างของสีแสง (RGB) และสีวัตถุ (CMYK)

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Color_space



ภาพประกอบที่ 2.15 แสดงวงล้อสีแบบ RGB

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Color_space

2.1.9 กระบวนการด้านการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์

การประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์หรือที่นิยมเรียกกันว่า การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) เป็นกระบวนการที่มีเทคนิควิธีในการประมวลผลข้อมูลตัวเลขของภาพที่มีความหลากหลายวิธี ซึ่งสามารถเลือกไปประยุกต์ใช้งานให้เหมาะสมกับข้อมูลภาพที่นำเข้ามาประมวลผล^[11]

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ (Hardware) ซอฟต์แวร์ (Software) และทฤษฎีการประมวลผลภาพ โดยมีการทำงานตามขั้นตอนอย่างเหมาะสม ดังนี้

2.1.9.1 การได้มาของข้อมูลภาพ (Image Acquisition)

เป็นการนำข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยอาศัยตัวรับรู้สัญญาณภาพและสามารถแปลงเป็นสัญญาณระบบดิจิทัลด้วยตัวรับรู้ เช่น กล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องวิดีโอ กล้องเว็บแคม เครื่องสแกน หรืออุปกรณ์รับสัญญาณภาพอื่นๆ ที่เหมาะสมกับระบบงานแต่ละระบบ แต่อย่างไรก็ตาม รูปแบบของข้อมูลภาพจะถูกจัดเก็บให้อยู่ในลักษณะของภาพ 2 มิติ ในงานวิจัยนี้การได้มาของข้อมูลภาพ คือ การถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

2.1.9.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing)

เป็นเทคนิควิธีของการปรับปรุงคุณภาพ (Image Enhancement Technique) ของข้อมูลภาพดิจิทัลที่ได้จากข้อมูลขั้นตอนการนำข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อให้ข้อมูลภาพมีความถูกต้องสมบูรณ์ตามความเป็นจริงก่อนนำไปประมวลผล โดยปกติแล้วการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพดิจิทัลมีหลากหลายเทคนิควิธี แต่เทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ

1. การประมวลผลภาพกับรูปร่างและโครงสร้างของภาพ (Morphological Image Processing)

การประมวลผลภาพกับรูปร่างและโครงสร้างของภาพ เป็นการประมวลผลภาพโดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพให้มีลักษณะตามที่ต้องการ โดยมีคำสั่งพื้นฐานทั่วไป ได้แก่ การ Dilation, Erosion และ Skeleton

- การ Dilation คือ การขยายจุดภาพโดยมีสัดส่วนเท่ากันทั่วทั้งภาพ (Uniform)
- การ Erosion คือ การย่อจุดภาพ เป็นลักษณะของการลบข้อมูลบริเวณขอบของภาพ
- ส่วนการทำ Skeleton เป็นการหาโครงสร้างหลักของวัตถุ

ในงานวิจัยนี้ใช้การ Dilation โดยอาศัยทฤษฎีของเซต (Set) ซึ่งเซตในเทคนิควิธีนี้ จะแทนรูปร่างหรือรูปทรงวัตถุในภาพ เช่น กลุ่มจุดภาพที่มีสีดำของภาพ 2 ระดับ หรือกลุ่มจุดภาพที่มีสีขาวของภาพ 2 ระดับ โดยเทคนิคการขยายต่อเติมจุดภาพเป็นการกระทำที่มีการเปลี่ยนแปลงจุดภาพสีดำ หรือมีค่าเท่ากับ 0 ที่ติดกับจุดภาพสีขาวหรือมีค่าเท่ากับ 1 ให้มีค่าเป็น 1 ซึ่งการกระทำลักษณะนี้เป็นการขยายจุดภาพ นั่นเอง

2. การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา (Gray-scale)

การแปลงภาพสีแบบ RGB เป็นภาพระดับสีเทา (Gray-scale Image) เป็นการปรับให้ภาพแสดงถึงค่าความสว่าง (Brightness) ของภาพเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยปราศจากค่าข้อมูลสีของภาพ ซึ่งค่าความสว่างของภาพ โดยทั่วไปภาพระดับสีเทาจะประกอบด้วยค่าความสว่างที่แตกต่างกัน 256 ระดับ นั่นคือ จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.16



ภาพประกอบที่ 2.16 แสดงลักษณะมาตรฐานของภาพลักษณะสีเทา

ในการแปลงภาพสีแบบ RGB ให้เป็นภาพระดับสีเทานี้ ใช้หลักการของโมเดลสี YIQ ซึ่งใช้องค์ประกอบ Y ที่แสดงถึงค่าความสว่าง ดังนั้น ค่าระดับสีเทาที่ได้ในที่นี้ จึงสามารถคำนวณจากการแปลงค่าสีในภาพจากโมเดลสี RGB เป็นค่า Y ในโมเดลสี YIQ นั่นเอง และความสัมพันธ์ของการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทานี้ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.5

$$\text{Grayscale}_{(x, y)} = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (2.5)$$

เมื่อ $\text{Grayscale}_{(x, y)}$ คือ ค่าระดับสีเทาที่ได้จากการคำนวณของจุดภาพของสี $\text{RGB}_{(x, y)}$

R คือ ค่าสีแดงในภาพระบบสี RGB ของจุดภาพของสี $R_{(x, y)}$

G คือ ค่าสีเขียวในภาพระบบสี RGB ของจุดภาพของสี $G_{(x, y)}$

B คือ ค่าสีน้ำเงินในภาพระบบสี RGB ของจุดภาพของสี $B_{(x, y)}$

2.1.9.3 การแยกข้อมูลภาพ (Image Segmentation)

เป็นวิธีการที่จะทำให้สามารถแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ หรือทำให้ได้ข้อมูลที่ต้องการออกจากพื้นหลัง โดยทั่วไปวิธีการหรือขั้นตอนการแยกข้อมูลภาพมีอยู่ 2 หลักการ คือ Pixel base Segmentation เป็นการแบ่งแยกภาพสีให้เป็นแต่ละวัตถุ โดยการตรวจจับทีละจุดภาพหรือที่ระดับจุดภาพ เช่น สีเหมือนกันจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นพื้นที่ และ Region base Segmentation เป็นการแบ่งแยกวัตถุในภาพสีด้วยวิธีการหาค่าทางสถิติต่างๆ โดยดูจากตำแหน่งของจุดภาพและความเหมือนกันของคุณสมบัติของจุดภาพภายในพื้นที่ โดยถ้าจุดภาพที่อยู่ติดกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันจะถูกจัดให้เข้ากลุ่มเดียวกัน ข้อดีของการทำเช่นนี้ คือ จะได้พื้นที่ที่ต่อเนื่องกัน

นอกจากนี้ การหาขอบภาพ (Edge Detection) ยังเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยในการการแยกข้อมูลภาพ โดยอาศัยความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) ของคุณสมบัติของจุดภาพบริเวณรอยต่อระหว่างวัตถุกับฉากหลัง วิธีนี้มุ่งที่ขอบของวัตถุเป็นหลัก ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีนี้จะอยู่ในรูปเส้นขอบเขตระหว่างพื้นที่ต่างๆ เพื่อช่วยอธิบายถึงรูปร่าง ลักษณะ ขนาด และอื่นๆ ของภาพ

การหาขอบภาพเป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพ เมื่อทราบเส้นรอบวัตถุก็จะสามารถคำนวณหาพื้นที่ (ขนาด) หรือรู้จำนวนของวัตถุได้ อย่างไรก็ตาม การหาขอบภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์ไม่ใช่เรื่องง่าย เนื่องจากขอบภาพเป็นส่วนหนึ่งของภาพที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงของวัตถุ และเป็นส่วนที่แสดงขอบเขตของวัตถุภายในภาพ หรือเป็นการดึงลักษณะโครงร่างเด่นของวัตถุออกมา ดังนั้น เมื่อภาพมีความแตกต่างระหว่างพื้นหน้ากับพื้นหลังน้อย หรือมีความสว่างไม่สม่ำเสมอทั่วภาพ จะทำให้การหาขอบภาพเป็นไปได้ยาก

โดยทั่วไป การหาขอบภาพ คือ การตรวจสอบว่าเส้นขอบลากผ่านหรือใกล้เคียงกับจุดใด โดยวัดจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดดังกล่าว ซึ่งวิธีการหาขอบนั้นมีด้วยกันหลายวิธี แต่อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ Gradient method และ Laplacian method โดยในแต่ละวิธีมีรายละเอียด^[7, 9] ดังต่อไปนี้

1. Gradient method

วิธีนี้จะหาขอบโดยการหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดในรูปของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพ โดยจุดที่เป็นขอบจะอยู่ในส่วนที่เหนือค่า Threshold จึงอาจทำให้เส้นขอบที่ได้มีลักษณะหนา ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Roberts, Prewitt, Sobel และ Canny เป็นต้น

2. Laplacian method

วิธีนี้จะหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับ 2 โดยใช้จุดที่ค่า y เป็น 0 (Zerocrossing) ซึ่งวิธีนี้จะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า Gradient method ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Laplacian of Gaussian และ Marrs-Hildreth เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ ใช้การหาขอบภาพแบบ Canny ที่จะให้ผลลัพธ์ที่มีเส้นขอบขนาด 1 จุดภาพเนื่องจาก วิธีดังกล่าวมีการใช้ Gaussian filter ก่อนการหาขอบ จึงสามารถควบคุมระดับความละเอียดของขอบที่ต้องการ และสามารถลดสัญญาณรบกวนได้อีกด้วย ทำให้สามารถตัดขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) บางขั้นตอนออกไปได้

2.1.9.4 การแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูล (Representation and Description)

สำหรับการแสดงภาพหลังจากการแบ่งแยกข้อมูลภาพแล้ว เพื่อให้เห็นถึงลักษณะเด่นและอธิบายข้อมูลภาพบริเวณต่างๆ ของข้อมูลภาพที่นำเข้าสู่คอมพิวเตอร์ การเลือกตัวแทนสำหรับการแสดงข้อมูลเป็นส่วนเดียวของการแก้ปัญหาสำหรับการแปลงข้อมูลดิบเป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ต่อไป วิธีการที่จะอธิบายลักษณะเด่นของข้อมูลที่สนใจถือเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งเรียกว่า การเลือกลักษณะเด่น (Feature Extraction) ผลลัพธ์ที่ได้จากการแยกลักษณะเด่นหรือความแตกต่างของข้อมูลที่สนใจออกจากข้อมูลอื่นๆ ก็คือ กลุ่มของวัตถุ (Class of Object) นั้นเอง

2.1.9.5 การรู้จำและการแปลความหมาย (Recognition and Interpretation)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประมวลผลภาพดิจิทัลหลังจากขั้นตอนการแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูล ก็คือ การรู้จำภาพ (Image Recognition) ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของการจำแบบรูป (Pattern Recognition) โดยการรู้จำภาพจะต้องรู้จำรูปแบบของแต่ละภาพเป้าหมาย เพื่อให้คำตอบว่าแบบรูปของภาพที่นำเข้าสู่คอมพิวเตอร์มีความคล้ายกับแบบรูปของภาพอ้างอิงภาพใดมากที่สุด และการแปลความหมายนำไปสู่การกำหนดความหมายของชุดข้อมูลรู้จำวัตถุ การได้มาของรูปแบบอ้างอิงนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต้องมีตัวอย่างภาพที่มีลักษณะเดียวกันหลายๆ ภาพ จากนั้นคำนวณหาลักษณะเด่นของแต่ละภาพ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ ก็คือ รูปแบบของภาพเหล่านั้น นั่นเอง

การแปลความหมายเป็นวิธีการตีความหมายข้อมูลภาพที่ได้จากการแบ่งแยกข้อมูลภาพมาแล้ว เพื่อนำลักษณะเด่นของภาพในส่วนที่ต้องการและทำให้สามารถเลือกวิธีการจำแนกข้อมูลภาพอย่างเหมาะสมได้ ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการเข้าคู่กันของเส้นรูปร่าง (Contour Matching Technique) เป็นวิธีการจำแนกข้อมูลภาพวิธีหนึ่ง โดยเทคนิคนี้เป็นการประมวลผลด้วยความเข้าคู่กันของเส้นแสดงรูปร่างแบบปิด จากนั้น จึงคำนวณวัดค่าความเหมือนกันระหว่างเส้นรูปร่าง 2 เส้น

2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การเตรียมของเหลวสีแดงที่ใช้แทนเลือด ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือดโดยละเอียด สุดท้าย คือ การทดสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาในการหามุมตกกระทบของรอยคราบเลือด ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.2.1 การเตรียมของเหลวสีแดง (สีเลือด) ^[10]

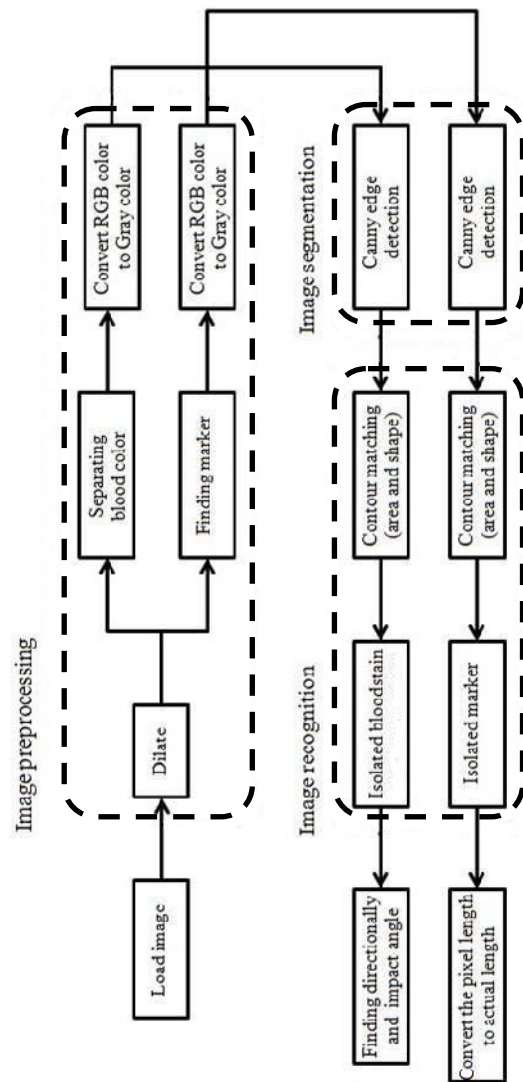
1. ผสมแป้งข้าวโพด 175 กรัม และน้ำ 75 มิลลิลิตร เข้าด้วยกันลงในเครื่องปั่น
2. เติมน้ำเชื่อม 175 มิลลิลิตร ตามลงไป
3. เติมน้ำผสมอาหารสีแดงและสีเขียวย่างละ 3 และ 1 ช้อนโต๊ะ ตามลำดับ
4. ปั่นให้เข้ากัน



ภาพประกอบที่ 2.17 แสดงของเหลวสีแดงที่ใช้แทนเลือด

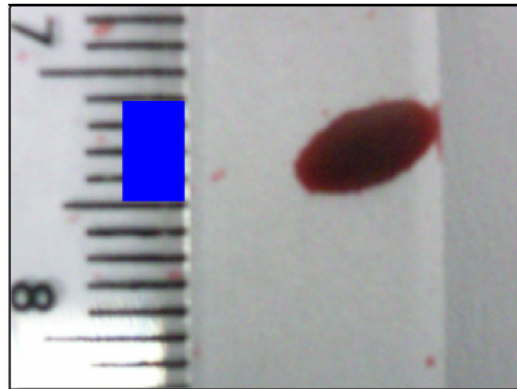
2.2.2 การเขียนโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด

โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะเขียนด้วย Visual C++ 6.0 โดยใช้ Open CV Library เป็นหลักเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพสำหรับวิเคราะห์รอยคราบเลือด สำหรับขั้นตอนกระบวนการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด แสดงในภาพประกอบที่ 2.18



ภาพประกอบที่ 2.18 แสดงภาพรวมของขั้นตอนกระบวนการวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด

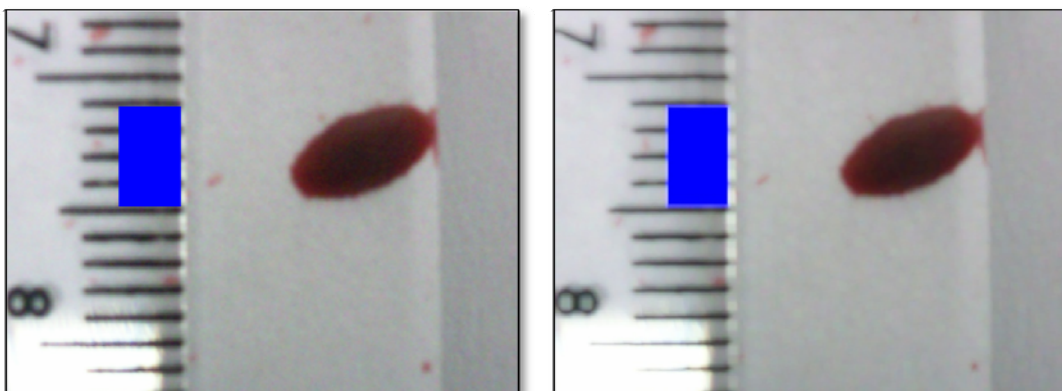
กระบวนการทำงานของโปรแกรมจะแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน หลังจากถ่ายภาพรอยคราบเลือดแต่ละรอยพร้อมแถบสี (marker) ที่ทราบขนาดที่แน่นอนในแนวนานกับพื้น โดย marker นี้จะเป็นตัวช่วยในการปรับหน่วยจากหน่วยที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการวิเคราะห์ (pixel) ให้เป็นหน่วยจริงที่ใช้ในการวัด (millimeter) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.19



ภาพประกอบที่ 2.19 แสดงภาพถ่ายรอยคราบเลือดพร้อมแถบสี (marker) สีน้ำเงิน

2.2.2.1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

เป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพให้เหมาะสมสำหรับประมวลผลภาพในขั้นตอนต่อไป สำหรับขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย การขยายจุดภาพ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.20



(ก)

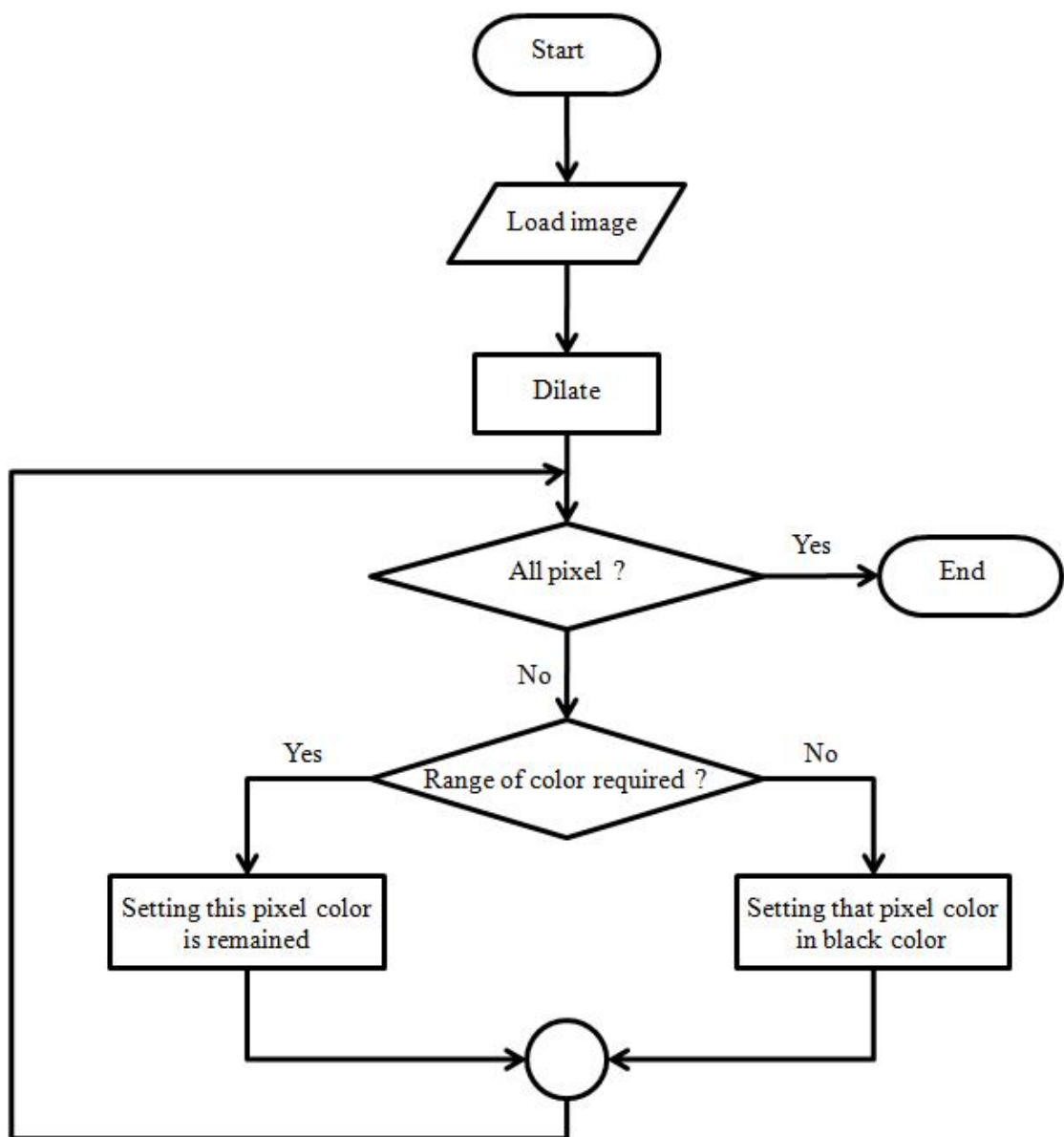
(ข)

ภาพประกอบที่ 2.20 แสดงภาพก่อน (ก) และหลัง (ข) กระบวนการขยายจุดภาพ

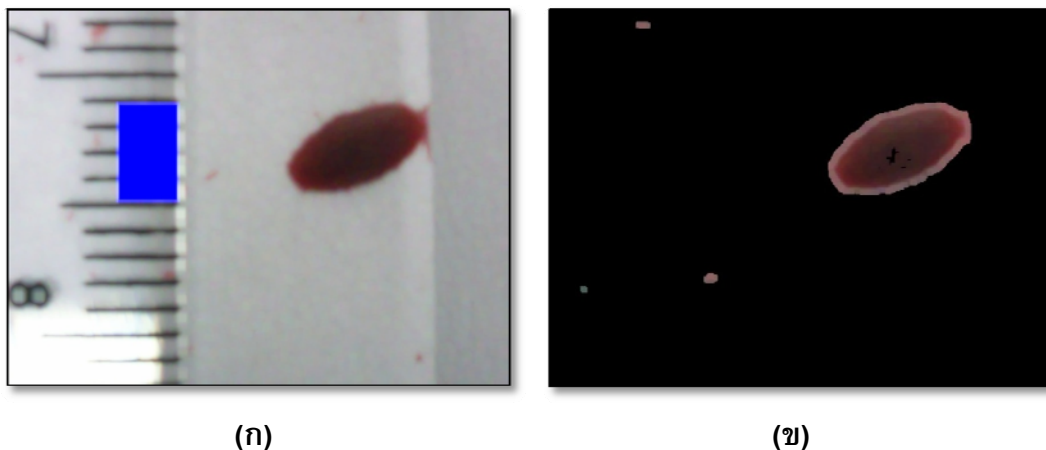
จากนั้น ทำการแยกภาพที่ต้องการประมวลผลออกเป็นภาพย่อย 2 ส่วน ดังนี้

1. แยกสีเลือด

เมื่อนำภาพเข้าสู่โปรแกรม จากนั้นทำการกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการในภาพออกไป แล้วทำการเลือกช่วงสีที่ต้องการวิเคราะห์ ในที่นี้ คือ สีของเลือด เมื่อหาช่วงสีที่ต้องการในภาพได้แล้ว จึงทำการคงค่าสีที่ต้องการ (สีของเลือด) นั้นไว้ นอกนั้นกำหนดให้เป็นสีดำ ดังแสดง



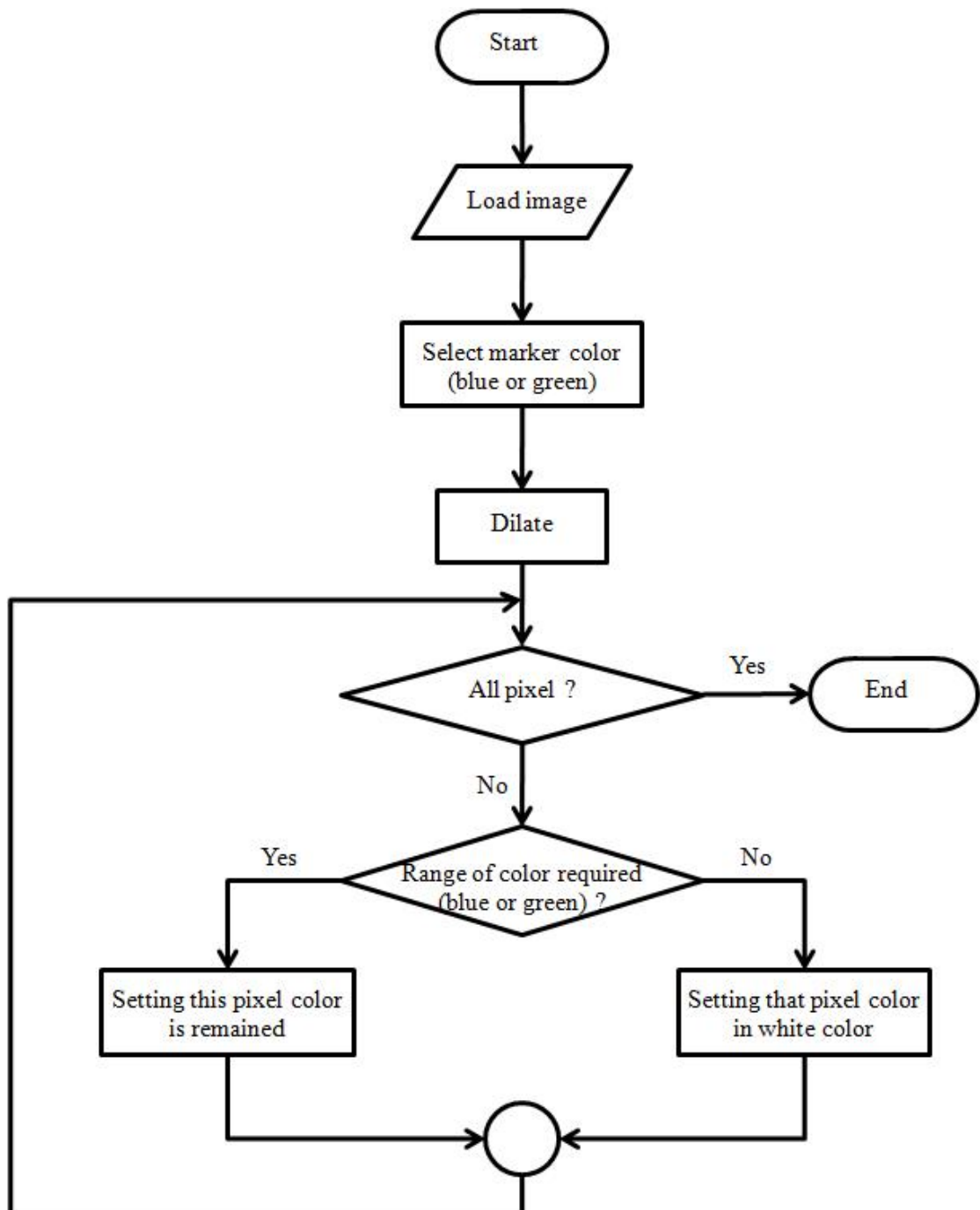
ภาพประกอบที่ 2.21 แสดงกระบวนการแยกสีเลือด



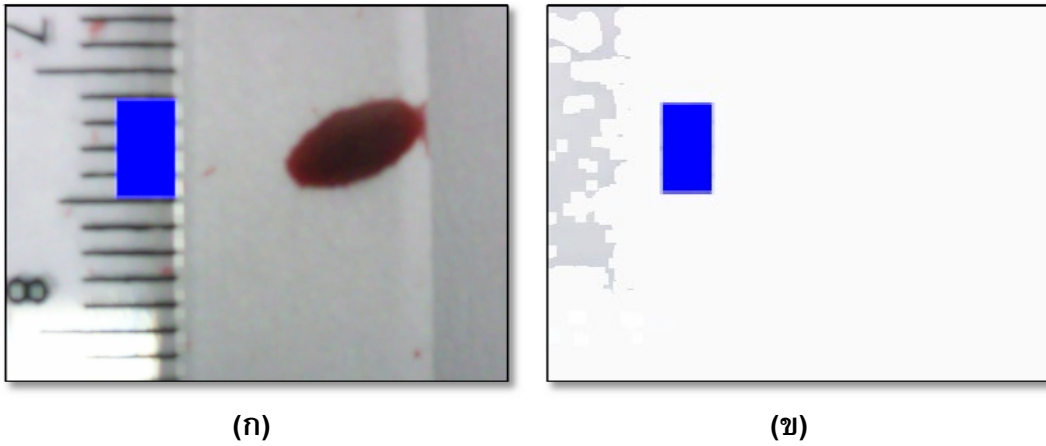
ภาพประกอบที่ 2.22 แสดงภาพก่อน (ก) และหลัง (ข) กระบวนการแยกสีเลือด

2. หา marker

หลังจากผ่านกระบวนการแยกสีเลือด ต่อไปเป็นการหา marker ที่ปรากฏอยู่ในภาพ ในงานวิจัยนี้ marker ที่กำหนดมี 2 สี คือ น้ำเงิน และเขียว ทำเช่นเดียวกับกระบวนการแยกสีเลือด เมื่อนำภาพเข้าสู่โปรแกรม หลังจากเลือกช่วงสีของ marker ที่ต้องการวิเคราะห์ แล้วทำการกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการในภาพออกไป เมื่อหาช่วงสีที่ต้องการในภาพได้แล้ว ทำการคงค่าสีที่ต้องการ (สีของ marker) นั้นไว้ นอกนั้นกำหนดให้เป็นสีขาว ดังแสดง

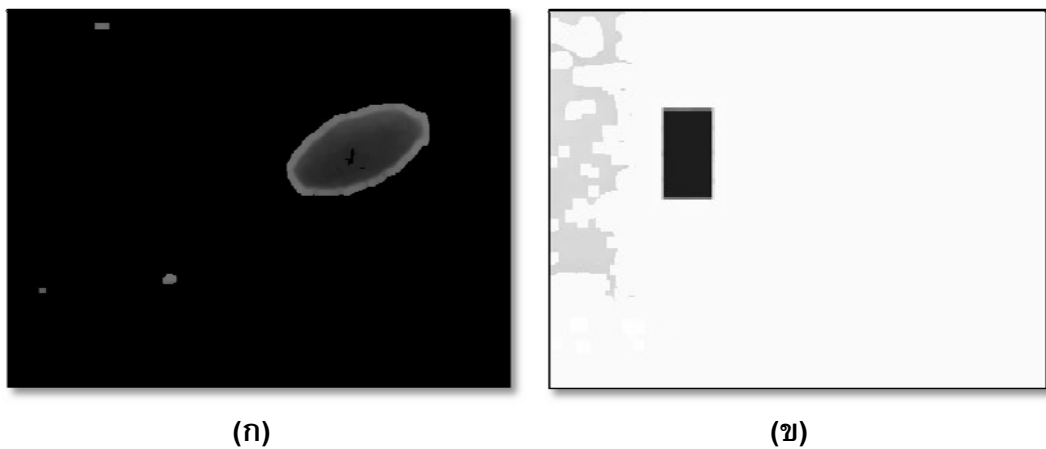


ภาพประกอบที่ 2.23 แสดงกระบวนการหา marker



ภาพประกอบที่ 2.24 แสดงภาพก่อน (ก) และหลัง (ข) กระบวนการหา marker

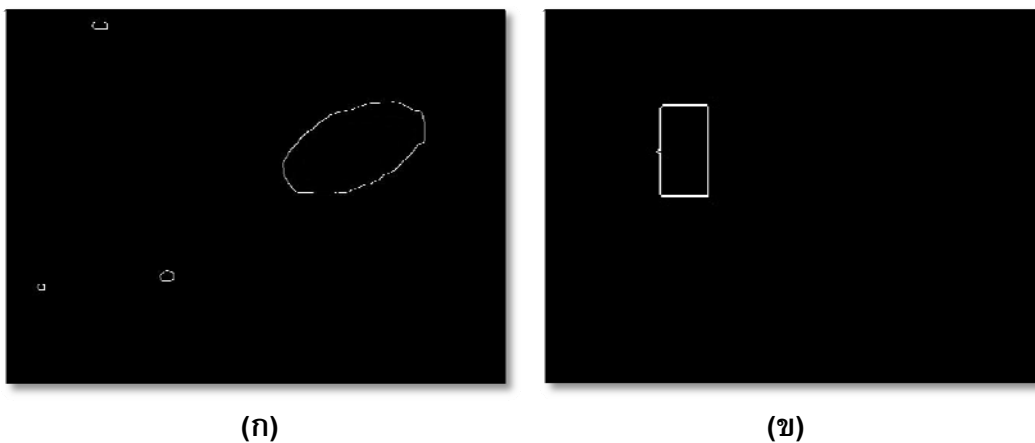
หลังจากได้ภาพที่ต้องการนำไปประมวลผลต่อทั้ง 2 ภาพ ทำการแปลงภาพทั้ง 2 จากระบบสี RGB เป็นภาพระดับสีเทา ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.25 เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลในขั้นต่อไป



ภาพประกอบที่ 2.25 แสดงภาพระดับสีเทาของรอยคราบเลือด (ก) และ marker (ข)

2.2.2.2 การแยกข้อมูลภาพ

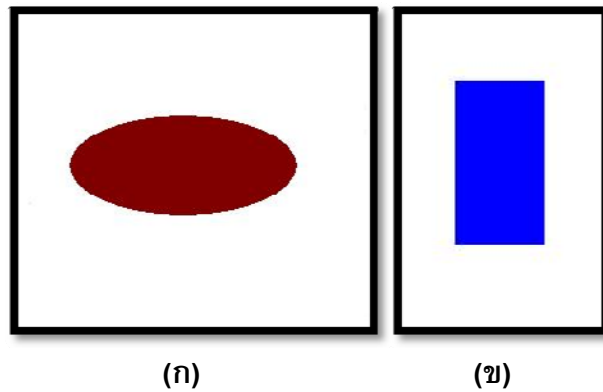
เป็นการหาขอบเขตของวัตถุ เพื่อหาคุณลักษณะเด่นของวัตถุที่สนใจ ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกเทคนิควิธีของ Canny ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.26 เนื่องจาก เป็นวิธีที่ให้รายละเอียดของภาพได้ดี และเหมาะกับการหาคุณลักษณะเด่นของวัตถุที่สนใจอีกด้วย



ภาพประกอบที่ 2.26 แสดงภาพหลังกระบวนการหาขอบภาพด้วยวิธี Canny ของรอยคราบเลือด (ก) และ marker (ข)

2.2.2.3 การแยกคุณลักษณะเด่นของภาพ

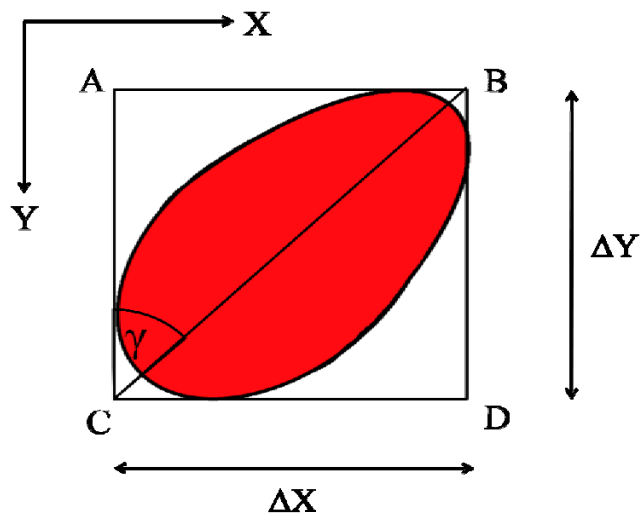
ลักษณะเด่นของวัตถุที่สนใจ ถือเป็นสิ่งบอกถึงเอกลักษณ์เฉพาะของสิ่งๆ นั้น แสดงถึงความเป็นสมาชิกของกลุ่มต่างๆ ได้ ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกคุณลักษณะที่บ่งบอกถึงรอยคราบเลือดและ marker คือ ความเหมือนกันของรูปร่าง และขนาดพื้นที่ของรูปร่างกับภาพต้นแบบ โดยใช้เทคนิควิธีการเข้าคู่กันของเส้นแสดงรูปร่างสำหรับรูปร่างแบบปิด ทำให้ได้ภาพรอยคราบเลือดที่ผ่านการประมวลผลภาพพร้อมตำแหน่งจุดศูนย์กลาง รวมทั้งขนาดของรอยคราบเลือด และ marker ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 2.27 แสดงภาพต้นแบบของรอยคราบเลือด (ก) และ marker (ข) ที่ใช้ในการเข้าสู่

2.2.2.4 จำนวนทิศทาง (γ) ของรอยคราบเลือด

หลังจากผ่านกระบวนการประมวลผลภาพข้างต้น ทำให้ทราบว่ารอยคราบเลือด อยู่บริเวณไหนของภาพ จากนั้นทำการตัดเฉพาะบริเวณที่มีรอยคราบเลือดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม ทำให้ได้รอยคราบเลือดที่มีขนาดพอดีกับภาพ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.28



ภาพประกอบที่ 2.28 แสดงรอยคราบเลือดที่มีขนาดพอดีกับภาพ

แล้วคำนวณตำแหน่งที่มุมทั้ง 4 ของภาพ (ตำแหน่ง A, B, C และ D)

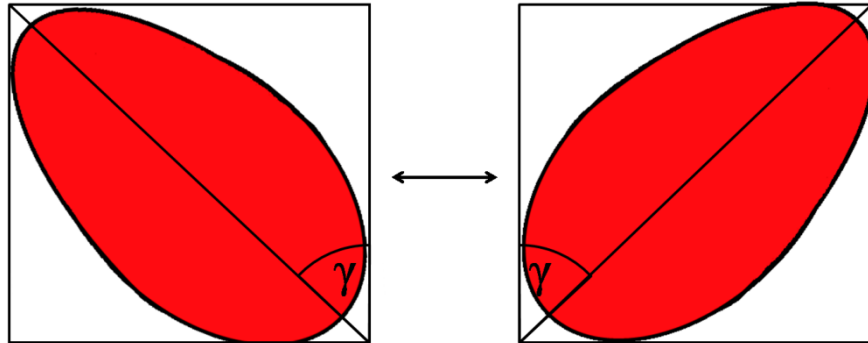
$$\begin{aligned} \text{โดย } A &= (\min_x, \min_y) \\ B &= (\max_x, \min_y) \\ C &= (\min_x, \max_y) \\ D &= (\max_x, \max_y) \end{aligned}$$

ดังนั้น จะได้

$$\gamma = 90 - \arctan\left(\frac{\Delta Y}{\Delta X}\right) \quad (2.6)$$

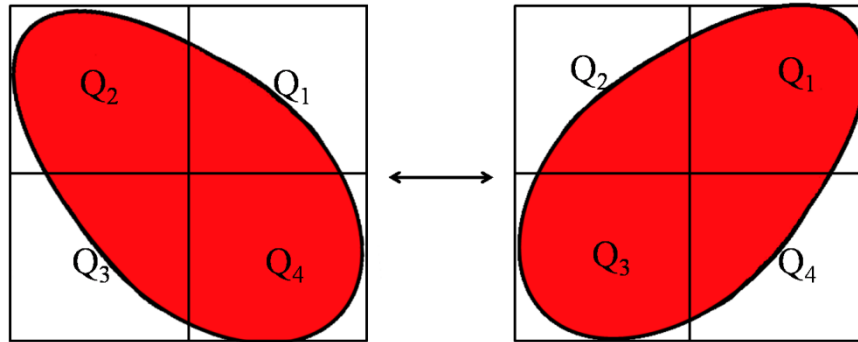
จากสมการ (2.6) จะพบว่า มีกรณีให้พิจารณา 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 รอยคราบเลือดที่มาจากคนละทิศทาง แต่มีมุมที่เท่ากัน



ภาพประกอบที่ 2.29 แสดงรอยคราบเลือดที่มีมุมเท่ากัน แต่มาจากคนละทิศทาง

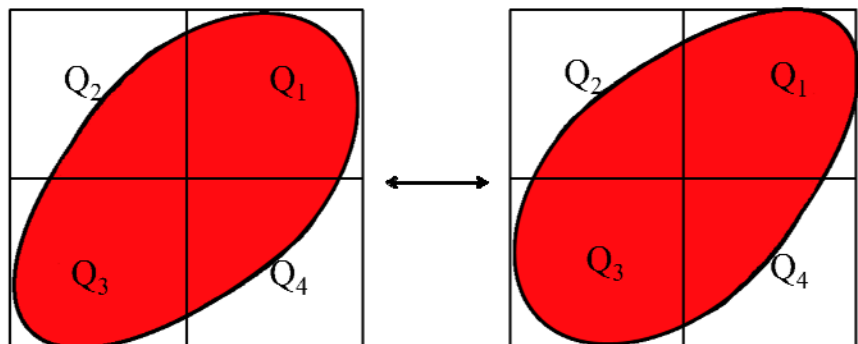
ดังนั้น จะแบ่งรูปออกเป็น 4 quadrants



ภาพประกอบที่ 2.30 แสดงรอยคราบเลือดที่ถูกแบ่งเป็น 4 quadrants

โดย พื้นที่ของสีเลือดใน $Q_1 + Q_3 > Q_2 + Q_4$ กำหนดให้ γ มีทิศเป็น +
พื้นที่ของสีเลือดใน $Q_1 + Q_3 < Q_2 + Q_4$ กำหนดให้ γ มีทิศเป็น -

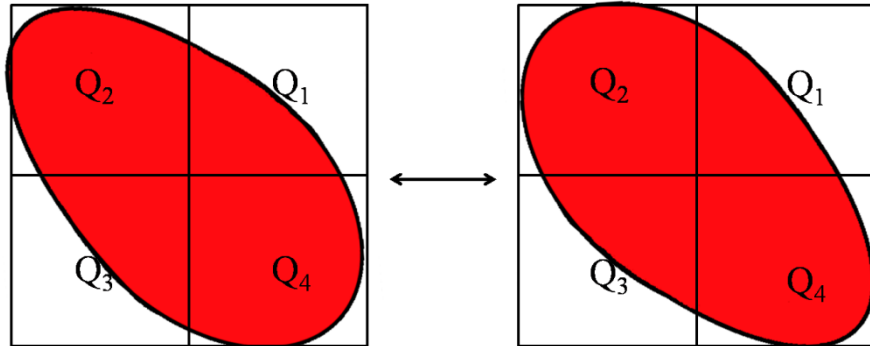
กรณีที่ 2 รอยคราบเลือดในทิศ γ เป็น + จะมาได้จากได้ 2 ทิศทาง ดังภาพประกอบที่ 2.31
วิธีพิจารณารอยคราบเลือดมาจากทิศทางใด โดยจะแบ่งรูปออกเป็น 4 quadrants
เช่นเดียวกับ กรณีที่ 1



ภาพประกอบที่ 2.31 แสดงรอยคราบเลือดในทิศ γ เป็น + แต่มาจากคนละทิศทาง

โดย พื้นที่ของสีเลือดใน $Q_1 < Q_3$ จะได้ $\gamma = \gamma$
พื้นที่ของสีเลือดใน $Q_1 > Q_3$ จะได้ $\gamma = \gamma - 180$

ในทำนองเดียวกัน รอยคราบเลือดในทิศ γ เป็น -



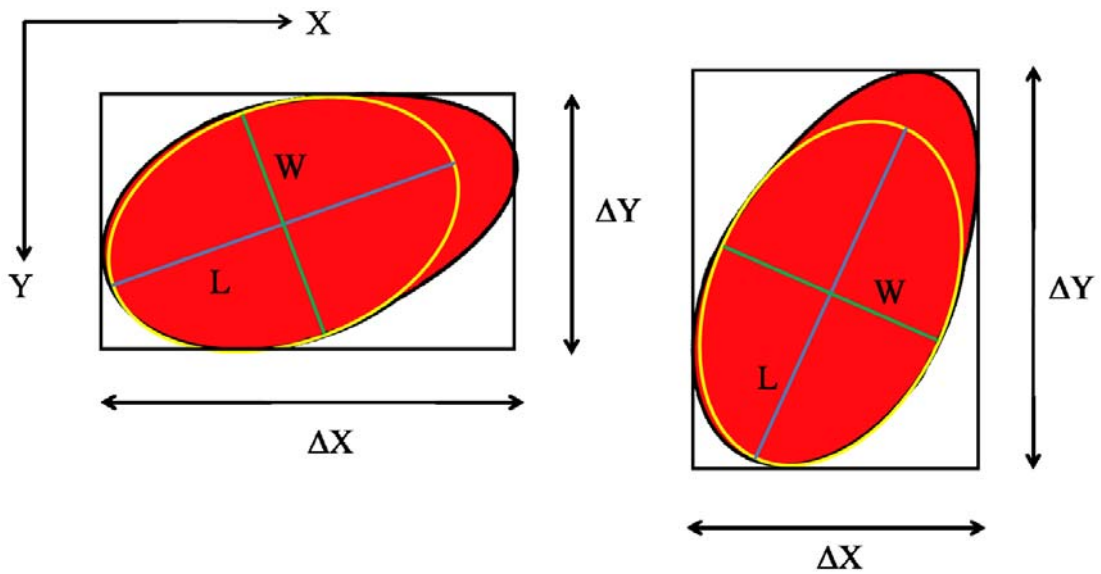
ภาพประกอบที่ 2.32 แสดงรอยคราบเลือดในทิศ γ เป็น - แต่มาจากคนละทิศทาง

โดย พื้นที่ของสีเลือดใน $Q_2 < Q_4$ จะได้ $\gamma = -\gamma$
 พื้นที่ของสีเลือดใน $Q_2 > Q_4$ จะได้ $\gamma = -\gamma + 180$

ถ้ารอยคราบเลือดที่ทำการวิเคราะห์มีลักษณะที่ไม่สมมาตร การคำนวณมุม γ อาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้น โปรแกรมจะมีตัวช่วยที่สามารถปรับมุม γ ที่ได้ ให้มีความถูกต้องตามความต้องการของผู้ใช้ได้

2.2.2.5 คำนวณระยะความกว้างและความยาว (W และ L) และมุมตกกระทบ (α) ของรอยคราบเลือด

ในการคำนวณหาระยะ W และ L จะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.33



ภาพประกอบที่ 2.33 แสดงการคำนวณหาระยะ W และ L

$$\begin{array}{l} \text{กรณีที่ 1 } \Delta X > \Delta Y \\ \text{จะได้ } W \approx \Delta Y \cdot \left[\frac{\Delta Y}{\Delta X} \right] \\ L \approx \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{กรณีที่ 1 } \Delta X > \Delta Y \\ \text{จะได้ } W \approx \Delta Y \cdot \left[\frac{\Delta Y}{\Delta X} \right] \\ L \approx \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \end{array}} \right\} \quad (2.7)$$

$$\begin{array}{l} \text{กรณีที่ 2 } \Delta X < \Delta Y \\ \text{จะได้ } W \approx \Delta X \cdot \left[\frac{\Delta X}{\Delta Y} \right] \\ L \approx \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{กรณีที่ 2 } \Delta X < \Delta Y \\ \text{จะได้ } W \approx \Delta X \cdot \left[\frac{\Delta X}{\Delta Y} \right] \\ L \approx \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \end{array}} \right\} \quad (2.8)$$

เมื่อได้ระยะ W และ L โดยประมาณแล้ว โปรแกรมจะวาดวงรีขึ้นมาบรยายคราบเลือดจากระยะ W และ L ที่ประมาณ โดยระยะ W และ L ที่ได้นี้อาจไม่ดีที่สุดที่จะใช้ในการคำนวณหา α ดังนั้น โปรแกรมจะมีตัวช่วยที่สามารถปรับระยะ W และ L ที่ได้ ให้มีความถูกต้องตามความต้องการของผู้ใช้ได้ เหมือนกับการปรับมุม γ ในข้อ 2.2.2.4

แต่ระยะ W และ L ที่ได้ นี้ จะอยู่ในหน่วยที่คอมพิวเตอร์รู้จัก (pixel) ดังนั้น ในขั้นตอนการถ่ายภาพรอยคราบเลือดจึงต้องถ่ายพร้อม marker ที่ทราบขนาดที่แน่นอน ในงานวิจัยนี้ ใช้ขนาด 2×4 มิลลิเมตร โดยหลังทำการแยกสีของ marker ทำให้คอมพิวเตอร์รู้ว่า marker มีความยาวเท่ากับกี่ pixel จึงสามารถคำนวณกลับไปได้ว่าระยะ W และ L มีค่าจริงเท่าไรในหน่วยมิลลิเมตร

สุดท้าย เมื่อทราบระยะ W และ L แล้ว จึงนำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการ (2.2) ก็จะได้มุมตกกระทบของรอยคราบเลือด (α) แต่ละรอยออกมา

2.2.3 การทดสอบโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด

ในส่วนของการทดสอบโปรแกรมวิเคราะห์รอยคราบเลือดนี้ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นการทดสอบของเหลวสีแดงที่ใช้แทนเลือด ส่วนที่สองจะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์รอยคราบเลือดที่เขียนขึ้น และในส่วนสุดท้ายจะเป็นการนำโปรแกรมวิเคราะห์รอยคราบเลือดไปทดสอบการใช้งาน ดังต่อไปนี้

2.2.3.1 ทดสอบของเหลวสีแดง (สีเลือด)

ในส่วนของการทดสอบของเหลวสีแดงที่ใช้แทนเลือดนี้ เมื่อทำการเตรียมของเหลวสีแดงจากข้อ 2.2.1 เรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำของเหลวสีแดงมาหยดลงบนกระดาษ A4 โดยใช้หลอดหยด โดยทำการหยดที่มุมตกกระทบต่างๆ คือ 15, 30, 45 และ 60 องศา องศาละ 25 หยด รวมทั้งสิ้น 100 หยด (ปริมาตรหยดละ 20 ไมโครลิตร) ระยะหยด (ความสูงจากปลายหลอดหยดถึงพื้นกระดาษ) ประมาณ 75 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.34 หลังจากนั้น ทำการถ่ายภาพรอยคราบเลือดที่ได้พร้อมกับสเกลวัด สุดท้าย จึงนำมาคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ดังสมการ (2.9) จากภาพถ่ายรอยคราบเลือดที่มุมต่างๆ

$$\text{S.D.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.9)$$

โดย S.D. คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมที่วัดได้ที่มุมตกกระทบต่างๆ

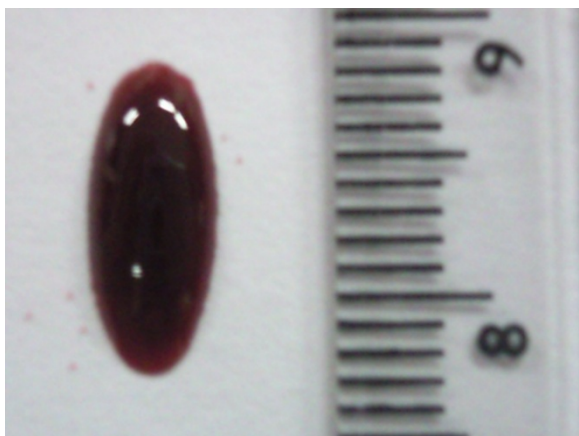
x_i คือ ค่ามุมที่วัดได้ที่มุมตกกระทบต่างๆ

\bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของมุมที่วัดได้ที่มุมตกกระทบต่างๆ

n คือ จำนวนครั้งของการทำซ้ำที่มุมตกกระทบต่างๆ



ภาพประกอบที่ 2.34 แสดงสร้างรอยคราบเลี้ยวที่มุมตกกระทบต่างๆ โดยใช้หลอดหยด



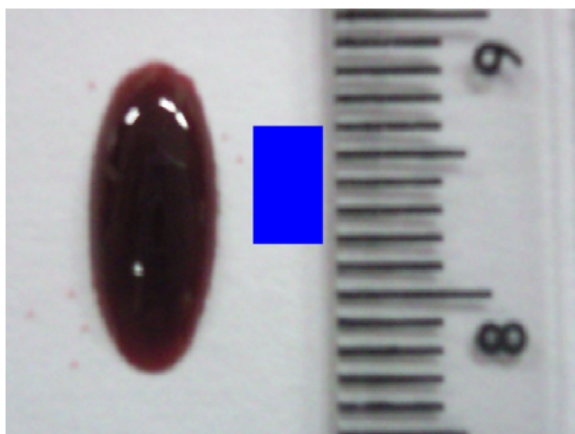
ภาพประกอบที่ 2.35 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายรอยคราบเลือดที่มุม 30 องศา

2.2.3.2 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

ในส่วนของการตรวจสอบโปรแกรมนี้ ทำเช่นเดียวกับการทดสอบของเหลวสีแดง (สีเลือด) ในข้อ 2.2.3.1 โดยจะนำของเหลวสีแดงที่ได้จากการเตรียมในข้อ 2.2.1 มาหยดลงบนกระดาษ A4 แล้วใช้หลอดหยด ทำการหยดที่มุมตกกระทบต่างๆ คือ 15, 30, 45 และ 60 องศา องศาละ 25 หยด รวมทั้งสิ้น 100 หยด (ปริมาตรหยดละ 20 ไมโครลิตร) ระยะหยด (ความสูงจากปลายหลอดหยดถึงพื้นกระดาษ) ประมาณ 75 เซนติเมตร หลังจากนั้นทำการถ่ายภาพรอยคราบเลือดที่ได้พร้อมสเกลวัด แต่ในหัวข้อนี้จะเพิ่ม marker ทั้ง 2 สีในภาพด้วย เพื่อคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%error) ของความกว้างและความยาว (W และ L) และมุมตกกระทบ (α) ของรอยคราบเลือดที่มุมต่างๆ ตามสมการ (2.10) จากภาพถ่ายรอยคราบเลือดที่มุมต่างๆ

$$\%error = \frac{Value_{actual} - Value_{program}}{Value_{actual}} \times 100 \quad (2.10)$$

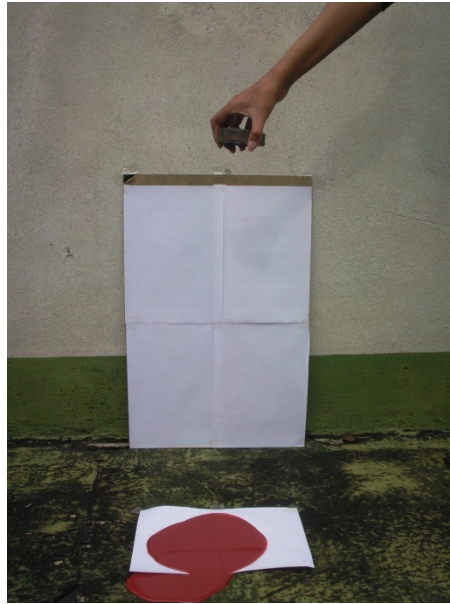
โดย	ค่า %error	คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าต่างๆ
	ค่า Value _{actual}	คือ ค่าต่างๆ ที่วัดได้ด้วยมือ
	ค่า Value _{program}	คือ ค่าต่างๆ ที่คำนวณได้จากโปรแกรม



ภาพประกอบที่ 2.36 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายรอยคราบเลือดที่มุม 30 องศา พร้อม marker สีน้ำเงิน

2.2.3.3 ทดสอบการใช้งานของโปรแกรม

ในส่วนของการทดสอบการใช้งานของโปรแกรมนี้น จะนำของเหลวสีแดงที่ได้จากการเตรียมในข้อ 2.2.1 มาเทให้เป็นแอ่ง ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นใช้ตุ้มน้ำหนัก (Weight drop) น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ปล่องลงมาจากระดับความสูงประมาณ 1 เมตร ลงบนแอ่งเลือด เพื่อให้เกิดการกระเด็นของเลือดในทิศทางต่างๆ ไปตกกระทบบนฉากที่วางเอาไว้ห่างจากแอ่งเลือดประมาณ 30 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.37 และ 2.38 หลังจากนั้น จะทำการถ่ายภาพรอยคราบเลือดที่กระเด็นของเลือดในทิศทางต่างๆ พร้อมสเกลวัด และ marker ทั้ง 2 สี เพื่อทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ของความกว้างและความยาว (W และ L) มุมตกกระทบ (α) และทิศทาง (γ) ของรอยคราบเลือด ตามลำดับ ดังสมการ (2.10)



ภาพประกอบที่ 2.37 แสดงการสร้างรอยคราบเลือดโดยใช้ตุ้มน้ำหนัก (Weight drop)



ภาพประกอบที่ 2.38 แสดงภาพถ่ายหลังการกระเด็นของรอยคราบเลือด

2.3 วัสดุและอุปกรณ์

ในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุ อุปกรณ์ รวมถึงเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ ดังนี้

2.3.1 วัสดุ

1. แป้งข้าวโพด 175 กรัม
2. น้ำเชื่อม 175 มิลลิลิตร
3. น้ำ 75 มิลลิลิตร
4. สีผสมอาหารสีแดง 3 ช้อนโต๊ะ
5. สีผสมอาหารสีเขียว 1 ช้อนโต๊ะ
6. กระดาษ A4 1 รีม

2.3.2 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ ขนาด 500 1,000 และ 2,000 มิลลิลิตร
2. เครื่องปั่น KASSEL รุ่น KBL-242
3. เครื่องชั่งดิจิตอล 3 ตำแหน่ง Mettler Toledo รุ่น PG503S
4. Weight drop น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม
5. หลอดหยด
6. มือจับ
7. ฉาก
8. ไม้บรรทัด
9. ไม้วัดมุม

2.3.3 เครื่องมือ

1. คอมพิวเตอร์ Intel(R) Core(TM)2 DUO E7400 2.80GHz 2.00 GB
2. โปรแกรม Microsoft Visual C++ 6.0
3. โปรแกรม Open CV Library
4. กล้องถ่ายภาพดิจิตอล Samsung รุ่น G800

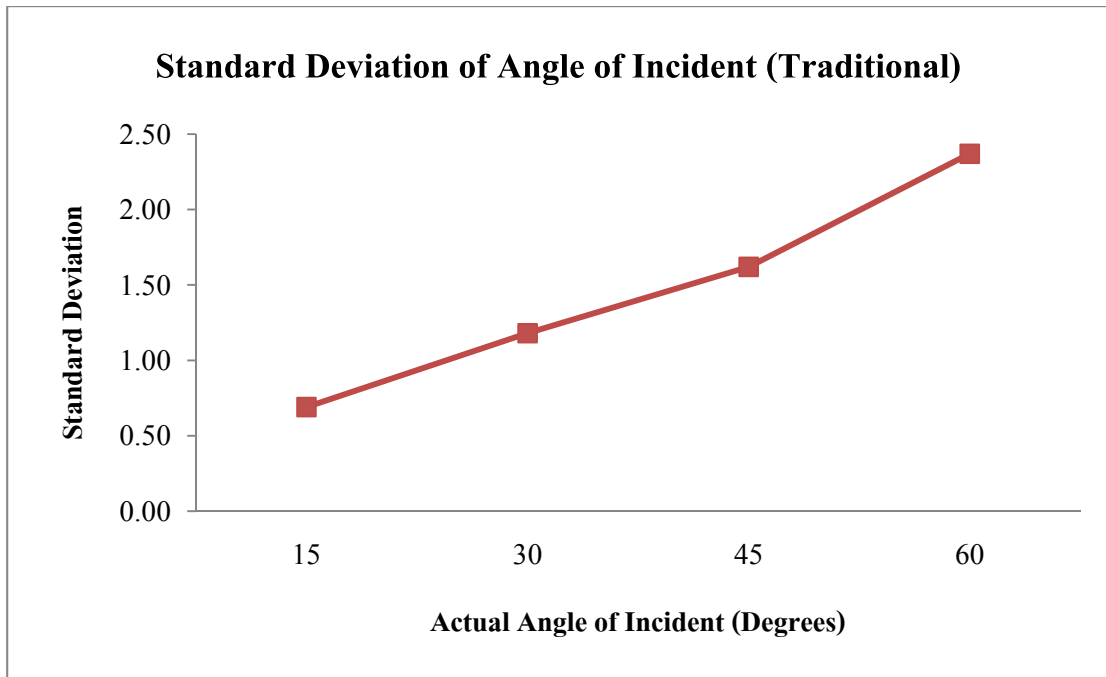
บทที่ 3

ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลถ่ายภาพรอยคราบเลือดที่ได้จากการหยุดเลือดที่มุมตกระทบต่างๆ และที่ได้จากการกระเด็นของเลือดในทิศทางต่างๆ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือดที่ทำการพัฒนาขึ้นมา ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 โดยในส่วนของผลการทดลองนี้ ได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

3.1 การทดสอบของเหลวที่ใช้แทนเลือดด้วยวิธีทั่วไป

การทดลองโดยเบื้องต้นนั้น ได้ทำการเตรียมของเหลวสีแดงที่ใช้แทนเลือด (ดังแสดงในข้อ 2.2.1) หลังจากที่เตรียมเสร็จสิ้นแล้ว นำของเหลวสีแดงมาหยดลงบนกระดาษ A4 โดยใช้หลอดหยด ทำการหยดที่มุมตกระทบต่างๆ คือ 15, 30, 45 และ 60 องศา องศาละ 25 หยด รวมทั้งสิ้น 100 หยด ตามลำดับ (ดังที่ได้อธิบายในข้อ 2.2.3.1) จากนั้นทำการคำนวณค่ามุมตกระทบของรอยคราบเลือดแต่ละรอย เมื่อหาค่ามุมตกระทบของรอยคราบเลือดแต่ละรอยที่มุมตกระทบจริงต่างๆ ได้แล้ว จึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังสมการ (2.9) ที่มุมตกระทบจริงต่างๆ ตามลำดับ สุดท้าย นำค่าที่ได้มาวาดกราฟระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมตกระทบที่วัดได้ของรอยคราบเลือด กับมุมตกระทบจริงที่ทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.1



ภาพประกอบที่ 3.1 แสดงผลการทดสอบการตกกระทบที่มุมต่างๆ ของของเหลวที่ใช้แทนเลือดโดยวิธีคำนวณทั่วไป

จากภาพประกอบที่ 3.1 แสดงผลการทดสอบการตกกระทบที่มุมต่างๆ ของของเหลวที่ใช้แทนเลือดโดยวิธีคำนวณทั่วไป (traditional) นั่นก็คือ ใช้วิธีการวัดความกว้างและความยาว (W และ L) ของรอยคราบเลือดด้วยไม้บรรทัด แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหามุมตกกระทบ (α) จากสมการที่ (2.2) ด้วยตนเอง ผลที่ได้ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามมุมตกกระทบที่มีค่ามากขึ้น

3.2 การหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ marker สีน้ำเงินและสีเขียวเทียบกับค่าที่คำนวณด้วยวิธีทั่วไป

การทดลองนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม (ในที่นี้ คือ marker) ว่ามีความถูกต้องมากน้อยแค่ไหนเมื่อเทียบกับค่าที่คำนวณด้วยวิธีทั่วไป โดยมีการใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเป็นเกณฑ์ ดังสมการ (2.10) โดยในงานวิจัยนี้ใช้ marker 2 สี คือ สีน้ำเงินและสีเขียว ส่วนค่าที่จะพิจารณา คือ ความกว้างและความยาว (W และ L) และมุมตกกระทบ (α) ของรอยคราบเลือด (โดยใช้วิธีการทดลองและวิธีการคำนวณดังที่ได้อธิบายในข้อ 2.2.3.2) สุดท้าย นำค่าที่ได้มาวาดกราฟระหว่างค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของความกว้างและความยาว และค่ามุมตกกระทบของรอยคราบเลือดกับมุมตกกระทบจริงที่ทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.2-3.4 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ marker สีน้ำเงินและสีเขียวของความกว้างของรอยคราบเลือด

จากภาพประกอบที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของความกว้างของรอยคราบเลือดของ marker สีน้ำเงินจะมีค่าน้อยกว่าสีเขียวทุกมุมตกกระทบ



ภาพประกอบที่ 3.3 แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ marker สีน้ำเงิน และสีเขียวของความยาวของรอยคราบเลือด

จากภาพประกอบที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของความยาวของรอยคราบเลือดของ marker สีน้ำเงินจะมีค่าน้อยกว่าสีเขียวทุกมุมตกกระทบ เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของความกว้างของรอยคราบเลือด

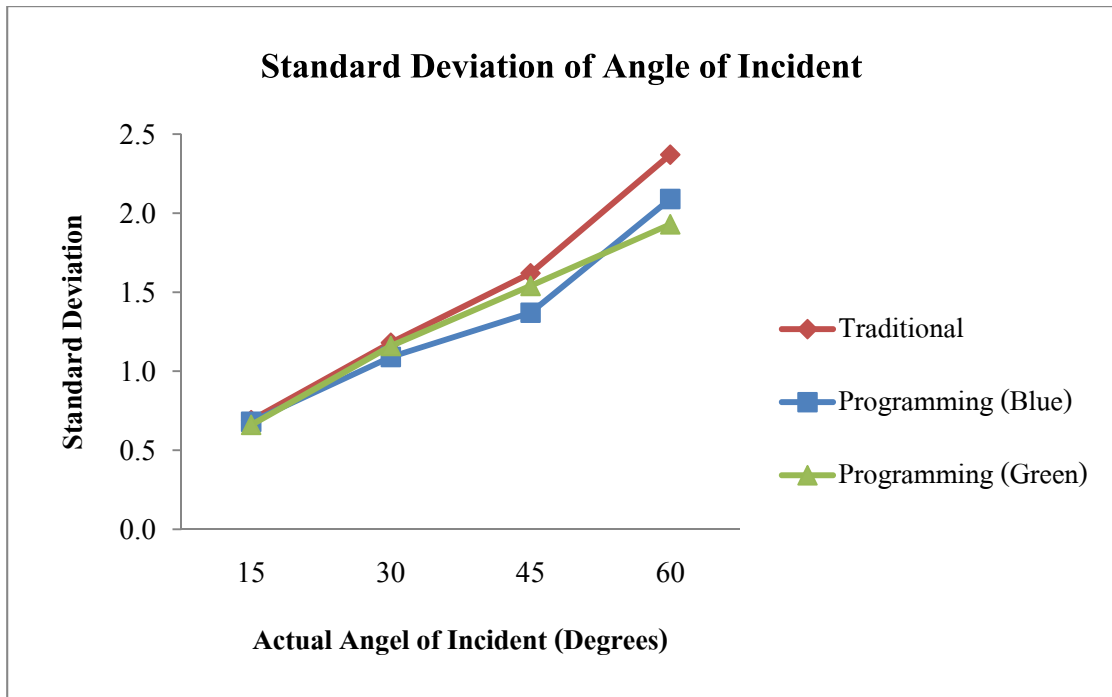


ภาพประกอบที่ 3.4 แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของ marker สีน้ำเงิน และสีเขียวที่มุมตกกระทบต่างๆ ของรอยคราบเลือด

จากภาพประกอบที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมุมตกกระทบของ marker สีน้ำเงินจะมีค่าน้อยกว่าสีเขียวทุกมุมตกกระทบ เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของความกว้างและความยาวของรอยคราบเลือด

3.3 การเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั่วไปกับการใช้โปรแกรมคำนวณที่มุมตกกระทบต่าง ๆ

การทดลองนี้เป็นผลการเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั่วไปกับการใช้โปรแกรมคำนวณที่มุมตกกระทบต่าง ๆ โดยผลการคำนวณด้วยวิธีทั่วไปที่มุมตกกระทบต่าง ๆ นั้น ได้มาจากการทดลองในข้อ 3.1 ส่วนผลการคำนวณโดยการใช้โปรแกรมที่มุมตกกระทบต่าง ๆ นั้น ได้มาจากการใช้วิธีทดลอง (ดังที่ได้อธิบายในข้อ 2.2.3.1) ส่วนวิธีการคำนวณนั้นใช้สมการ (2.9) สุดท้าย นำค่าที่ได้มาวาดกราฟระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมตกกระทบที่คำนวณด้วยวิธีทั่วไป และคำนวณด้วยโปรแกรมโดยใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียว ตามลำดับ กับมุมตกกระทบจริงที่ทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.5



ภาพประกอบที่ 3.5 แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั่วไป
กับการใช้โปรแกรมคำนวณที่มุมตกกระทบต่าง ๆ

จากภาพประกอบที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการคำนวณด้วยวิธีทั่วไป และการคำนวณด้วยโปรแกรมโดยใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียว นั้น มีค่าใกล้เคียงกัน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามมุมตกกระทบที่มีค่ามากขึ้น

3.4 การทดสอบการทำงานของโปรแกรม

การทดลองในส่วนสุดท้ายนี้ เป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมด้วยการสร้างรอยคราบเลือดจากตุ่มน้ำหนัก แล้วทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความกว้างและความยาว (W และ L) มุมตกกระทบ (α) รวมถึงทิศทาง (γ) ของรอยคราบเลือด ดังสมการที่ (2.10) ที่ได้จากการใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียวเทียบกับค่าที่คำนวณด้วยวิธีทั่วไป ทั้งก่อน (automatic) และหลัง (manual) การปรับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ (ดังที่ได้อธิบายในข้อ 2.2.3.3) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าต่างๆ ที่ได้จากการใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียวเทียบกับค่าที่คำนวณด้วยวิธีทั่วไป ทั้งก่อนและหลังการปรับค่า

Parameters	Average %error			
	Automatic		Manual	
	Blue	Green	Blue	Green
Width (mm)	11.84	13.31	2.22	2.98
Length (mm)	6.24	9.62	1.63	1.78
Alpha (deg)	12.47	11.86	3.70	3.36
Gamma (deg)	10.81	10.81	0.93	0.98

จากตารางที่ 3.1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความกว้างและความยาว (W และ L) มุมตกกระทบ (α) รวมถึงทิศทาง (γ) ของรอยคราบเลือด ที่ได้จากการใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียวเทียบกับค่าที่คำนวณด้วยวิธีทั่วไป ทั้งก่อน (automatic) คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมอย่างอัตโนมัติ และหลัง (manual) คือ ค่าที่ได้จากการปรับให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นตามความต้องการของผู้ใช้ (ปรับให้วงรีที่โปรแกรมคำนวณได้ซ้อนทับกับรอยคราบเลือดพอดี) ผลที่ได้ คือ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความกว้างและความยาว (W และ L) ของรอยคราบเลือด ที่ได้จากการใช้ marker สีน้ำเงินจะมีค่าน้อยกว่าสีเขียว ทั้งก่อนและหลังการปรับค่า แต่ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่ามุมตกกระทบ (α) ของรอยคราบเลือด ที่ได้จากการใช้ marker สีน้ำเงินจะมีค่ามากกว่าสีเขียว ทั้งก่อนและหลังการปรับค่า ส่วนค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของทิศทาง (γ) ของรอยคราบเลือด ที่ได้จากการใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียว นั้น มีค่าเท่ากันก่อนการปรับค่า แต่หลังการปรับค่านั้น ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของทิศทาง (γ) ของรอยคราบเลือด ที่ได้จากการใช้ marker สีน้ำเงินจะมีค่าน้อยกว่าสีเขียวสีเขียว เมื่อเทียบกับค่าที่คำนวณด้วยวิธีทั่วไป

บทที่ 4

บทวิจารณ์

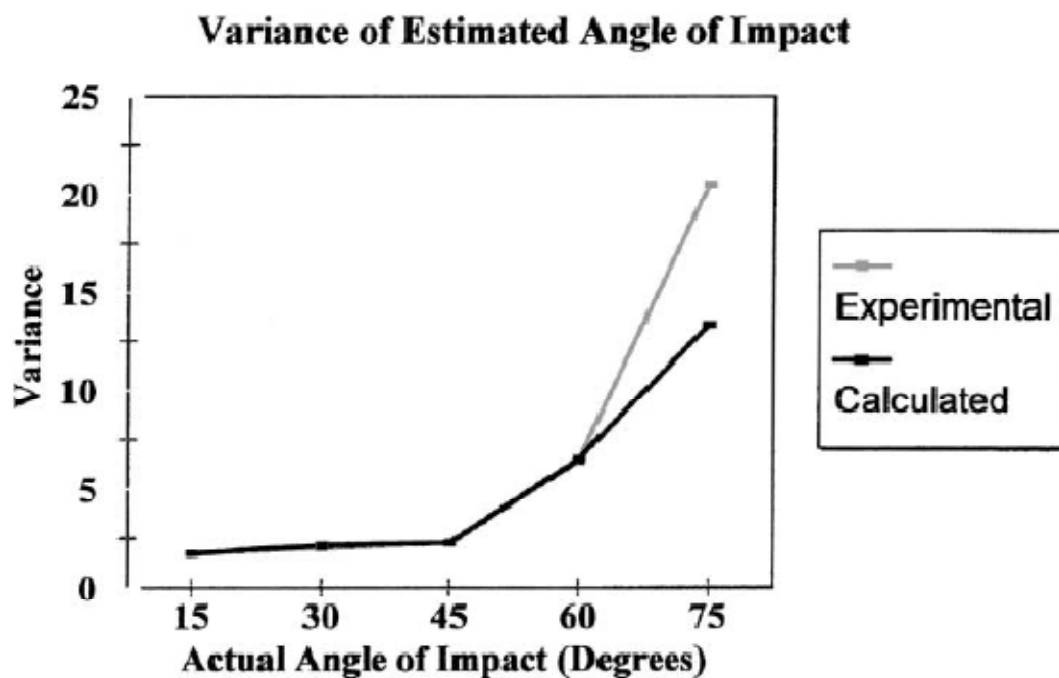
ในงานวิจัยนี้ ได้แบ่งขั้นตอนวิธีการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วน และผลการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 และบทที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดสามารถที่จะวิเคราะห์เปรียบเทียบ และอธิบายผลให้เกิดความชัดเจนยิ่งขึ้นได้ ดังนี้

4.1 ผลการเตรียมและทดสอบของเหลวที่ใช้แทนเลือดด้วยวิธีทั่วไป

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเตรียมของเหลวสีแดง (สีเลือด) ขึ้นมา เพราะ ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เลือดจริง เนื่องจาก ในส่วนของการวิเคราะห์หารอยคราบเลือดนั้น ใช้แต่เพียงสีของเลือดเท่านั้น ในการหาว่ารอยคราบเลือดอยู่ตรงส่วนใดของภาพ ดังนั้น สิ่งที่สำคัญ คือ การหาช่วงสีที่สามารถครอบคลุมสีของเลือดได้ทั้งหมด เพราะ รอยคราบเลือดที่เพิ่งเกิดจะมีสีแดงสด ส่วนรอยคราบเลือดที่เกิดมานานจะมีสีแดงน้ำตาล นอกจากนี้ คนที่มีความผิดปกติของเลือด สีของเลือดอาจมีสีไม่เหมือนคนปกติ เช่น คนที่เป็นโรคโลหิตจาง สีของเลือดอาจมีสีที่อ่อนกว่าในคนปกติ เป็นต้น

นอกจากนั้น ในงานวิจัยนี้ยังได้มีการทดสอบของเหลวสีแดง (สีเลือด) ด้วย ดังที่ได้แสดงในหัวข้อ 2.2.1 เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Cordelia Willis *et al.*, (2001) ^[8] ที่ได้ศึกษาการหาค่าความแปรปรวน (Variance) ของมุมตกกระทบของรอยคราบเลือดจริง พบว่า

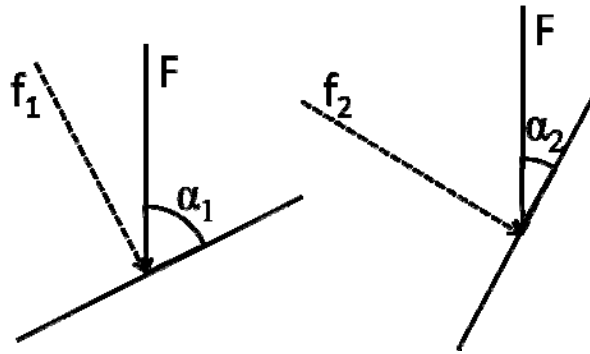
1. ถ้าความเร็วของการหยุดเลือดที่ทำให้เกิดรอยคราบเลือดนั้น มีความเร็วเท่ากับความเร็วปลาย (Terminal velocity) ค่าความแปรปรวนจะหาค่าไม่ได้ ดังนั้น ในหัวข้อ 2.2.3.1 จึงได้ใช้ระยะหยุดประมาณ 75 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะที่ทำให้ไม่เกิดความเร็วปลาย
2. ผลการทดลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแปรปรวนกับมุมตกกระทบต่างๆ ดังภาพประกอบที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า มีลักษณะคล้ายผลการทดลองในงานวิจัยนี้ คือ ในภาพประกอบที่ 3.1 โดยค่าความแปรปรวนและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่ามากขึ้น ถ้ามุมตกกระทบมีค่าสูงขึ้น แสดงว่า ของเหลวที่ใช้แทนเลือดในงานวิจัยนี้ กับเลือดจริงที่ใช้ นั้น น่าจะไม่มี ความแตกต่างกันทางด้านกายภาพมากนัก (ความแปรปรวนมาจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยกกำลังสอง จึงสามารถเปรียบเทียบกันได้)



ภาพประกอบที่ 4.1 แสดงผลการทดลองของ Cordelia Willis *et al.*, (2001)

ที่มา : Cordelia Willis *et al.*, 2001. "Errors in the estimation of the distance of fall and angles of impact blood drops". *Forensic Science International* 123 (2001) 1–4.

3. จากภาพประกอบที่ 4.1 แสดงให้เห็นอีกประเด็นว่า ถ้าขนาดของมุมตกกระทบมีขนาดใกล้ 90 องศา ค่าความแปรปรวนจะมีค่ามากขึ้นจนหาค่าไม่ได้ ดังนั้น จากสมการ (2.2) ที่ใช้หาค่ามุมตกกระทบนั้น จะสามารถทำนายถูกต้องที่มุมตกกระทบน้อยกว่า 60 องศา จากสาเหตุนี้เอง ที่ในงานวิจัยนี้ ทดสอบการหาค่ามุมตกกระทบเพียง 4 มุม คือ 15, 30, 45 และ 60 องศา เท่านั้น
4. ประเด็นสุดท้าย คือ การทดลองที่ให้หยดเลือดตกกระทบที่มุมต่างๆ กัน จะเห็นได้ว่า ความเร็วตอนตกกระทบมีค่าเท่ากัน โมเมนตัมก่อนชนมีค่าเท่ากัน แต่จะต่างกันที่ตรงแรงเสียดทาน (Friction) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.2 จากสมการที่ (4.1) แสดงให้เห็นว่า ค่าแรงเสียดทานมีค่าขึ้นกับมุมตกกระทบ คือ ยิ่งมุมตกกระทบมีค่าเพิ่มมากขึ้น แรงเสียดทานก็มีค่ามากตามไปด้วย ทำให้ค่าความกว้างและความยาว (W และ L) ของรอยคราบเลือดมีค่าไม่เท่ากันที่มุมตกกระทบต่างกัน เป็นผลให้สามารถจำแนกรอยคราบเลือดที่พบได้ว่า มาจากมุมตกกระทบเท่าไร และที่มุมตกกระทบมากๆ (60-90 องศา) ค่าแรงเสียดทานจะมีค่ามาก ทำให้รอยคราบเลือดค่อนข้างจะเป็นทรงกลม เป็นผลให้จำแนกได้ยากกว่า รอยคราบเลือดที่พบมาจากมุมตกกระทบเท่าไร (ความแปรปรวนมีค่ามาก)



ภาพประกอบที่ 4.2 แสดงการตกกระทบที่มุมตกกระทบต่างกัน

จากความสัมพันธ์

$$f_1 = F \sin \alpha_1$$

$$f_2 = F \sin \alpha_2$$

เมื่อ $\alpha_1 > \alpha_2$ ดังนั้น $\frac{f_1}{f_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$ (4.1)

จะได้ว่า $f_1 > f_2$

4.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมในที่นี้ คือ การดูว่าสามารถตรวจหารอยคราบเลือดที่อยู่ในภาพได้หรือไม่ ตรวจพบ marker ที่อยู่ในภาพได้หรือไม่ เมื่อพบ marker แล้วสามารถคำนวณได้ถูกต้องหรือไม่เพื่อให้ทราบขนาดรอยคราบเลือดจริง รวมถึงการคำนวณหามุมตกกระทบด้วย

4.2.1 การตรวจหารอยคราบเลือดที่อยู่ในภาพ

ในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมนี้ หากจากการหยดเลือดที่มุมตกกระทบ 4 มุม คือ 15, 30, 45 และ 60 องศา องศาละ 25 หยด ตามลำดับ รวมใช้รอยคราบเลือดทั้งสิ้น 100 รอย พบว่า สามารถตรวจหารอยคราบเลือดที่อยู่ในภาพได้ทั้งหมด แสดงว่า ช่วงสีที่ใช้ในการหารอยคราบเลือดนั้น ครอบคลุมทุกรอยรอยคราบเลือดที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.22

4.2.2 ตรวจพบ marker ที่อยู่ในภาพได้หรือไม่

ทำเช่นเดียวกับการตรวจหารอยคราบเลือดในข้อ 4.2.1 แต่ในที่นี้ตรวจหาสีของ marker คือ สีน้ำเงินและสีเขียว พบว่า สามารถตรวจพบ marker ที่อยู่ในภาพได้ทั้งหมด เช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.24

4.2.3 การหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมุมตกกระทบ และระยะ ความกว้างและความยาวของรอยคราบเลือด

ใช้รอยคราบเลือดเดียวกับที่ใช้ในข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะความกว้างและความยาว และมุมตกกระทบของรอยคราบเลือด แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3.2-3.4 ตามลำดับ ซึ่งจากภาพประกอบจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะความกว้างและความยาว และมุมตกกระทบของรอยคราบเลือด marker ที่ใช้สีน้ำเงินนั้น จะให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่น้อยกว่า marker ที่ใช้สีเขียว อาจจะเป็นเนื่องจากว่า การปรับปรุงคุณภาพของภาพนั้นมีการขยายภาพ (dilate) ทำให้เกิดการกินขอบของ marker ไป และจากกรณีนี้เอง สีน้ำเงินอาจจะถูกกินขอบไปน้อยกว่าสีเขียว ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดน้อยกว่า

4.3 ผลการทดสอบการใช้งานของโปรแกรม

การทดสอบการใช้งานของโปรแกรมนี้นี้ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกจะเป็นส่วนของการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการหาค่ามุมตกกระทบของรอยคราบเลือดที่มุมตกกระทบจริงต่างๆ ด้วยวิธีทั่วไปและการใช้โปรแกรมช่วยหานั้นว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ และในส่วนที่สองเป็นการทดสอบโดยการวัดมุมตกกระทบจากการกระเด็นของรอยคราบเลือดจริง ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อ 2.2.3.3 แล้วทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของของค่าความกว้างและความยาว มุมตกกระทบ รวมถึงทิศทางของรอยคราบเลือดนั้นว่ามีค่าเป็นอย่างไร

4.3.1 การเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั่วไปกับการคำนวณด้วยโปรแกรมที่มุดตกระทบจริงต่าง ๆ

ในการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั่วไปกับการคำนวณด้วยโปรแกรมที่มุดตกระทบจริงต่าง ๆ นี้ หาจากการหาค่าเฉลี่ยที่มุดตกระทบ 4 มุด คือ 15, 30, 45 และ 60 องศา องศาละ 25 หยด ตามลำดับ รวมใช้รอยคราบเลือดทั้งสิ้น 100 รอย แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3.5 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างการคำนวณด้วยวิธีทั่วไปกับการคำนวณด้วยโปรแกรมที่ใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียว นั้น มีค่าไม่แตกต่างกันมาก และจะมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อมุดตกระทบมีค่าเพิ่มขึ้น

4.3.2 การทดสอบโดยการวัดมุดตกระทบจากการกระเด็นของรอยคราบเลือด

ในการทดสอบโดยการวัดมุดตกระทบจากการกระเด็นของรอยคราบเลือดนี้ เป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมด้วยการสร้างรอยคราบเลือดจากตุ่มน้ำหนัก แล้วทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าความกว้างและความยาว มุดตกระทบ รวมถึงทิศทางของรอยคราบเลือด ที่ได้จากการใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียวกับค่าที่คำนวณด้วยวิธีทั่วไป ทั้งก่อนและหลังการปรับ แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งจากตารางจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าต่าง ๆ นั้น มีค่าดีขึ้นหลังจากที่ได้ทำการปรับด้วยมืออีกครั้ง และการใช้ marker สีน้ำเงินนั้น จะให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่น้อยกว่า marker ที่ใช้สีเขียว ยกเว้น ค่ามุดตกระทบ ที่ใช้ marker สีเขียวนั้น จะให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่น้อยกว่า marker ที่ใช้สีน้ำเงิน เนื่องมาจากว่า การคำนวณค่ามุดตกระทบนั้น มีได้คำนวณจาก marker โดยตรง แต่เป็นการใช้สมการ (2.2) มาคำนวณค่าที่ได้จาก marker อีกครั้งหนึ่ง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์หามุมตกกระทบของรอยคราบเลือด ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยการถ่ายภาพรอยคราบเลือดแต่ละรอยที่ต้องการวิเคราะห์ แล้วส่งต่อให้คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ทำให้ได้ผลการการวิเคราะห์ออกมาทันที เป็นการเพิ่มความง่ายและความรวดเร็วในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ โปรแกรมวิเคราะห์รอยคราบเลือดที่พัฒนาขึ้นมาจะมีส่วนที่ปรับด้วยมือด้วยเพื่อให้เกิดความถูกต้องและให้ได้ผลตรงตามความต้องการของผู้ใช้อีกด้วย

จากการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ พบว่า สามารถที่จะตรวจหารอยคราบเลือดทุกรอยที่อยู่ในภาพได้ รวมทั้งตรวจพบ marker ทั้งสีน้ำเงินและสีเขียวที่อยู่ในภาพได้ทุกภาพ เช่นเดียวกัน และจากการทดสอบการใช้งานของโปรแกรม พบว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมุมตกกระทบของ marker สีน้ำเงินและสีเขียวก่อนการปรับอยู่ที่ 12.47 และ 11.86 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมุมตกกระทบของ marker สีน้ำเงินและสีเขียวหลังการปรับอยู่ที่ 3.70 และ 3.36 ตามลำดับ

นอกจากนี้ สาเหตุที่ต้องทำ marker ขึ้นมา 2 สีนั้น เนื่องจากว่า ถ้าพื้นหลังของภาพเป็นสีน้ำเงิน เราก็ใช้ marker สีเขียว และในทำนองเดียวกัน ถ้าพื้นหลังของภาพเป็นสีเขียว เราก็ใช้ marker สีน้ำเงิน เพื่อที่จะให้คอมพิวเตอร์สามารถตรวจพบ marker ได้โดยง่าย แต่ถ้าพื้นหลังไม่ใช่สีน้ำเงินและสีเขียวจะใช้ marker สีใดก็ได้ จึงเป็นการเพิ่มความหลากหลายในการวิเคราะห์ภาพอีกทางหนึ่ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้

1. สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการถ่ายภาพมีระดับแสงไม่สม่ำเสมอ มีจุดอับแสงหรือเงา ทำให้มีผลต่อความคมชัดของภาพ และเกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ได้
2. รอยคราบเลือดที่ถ่ายมีขนาดเล็ก (1-3 mm) ทำให้การถ่ายเป็นไปด้วยความยาก
3. ภาพรอยคราบเลือด 1 ภาพ อาจมีรอยคราบเลือดมากกว่า 1 รอย ทำให้การตรวจหารอยคราบเลือดผิดพลาดได้
4. พื้นหลังของภาพเป็นสีเดียวกับสีของเลือด หรือพื้นหลังมีทั้งสีน้ำเงินและสีเขียวซึ่งเป็นสีเดียวกับ marker ทำให้ยากแก่การตรวจหารอยคราบเลือดและตรวจพบ marker ได้
5. รอยคราบเลือดที่ได้จากการกระเด็น อาจจะไม่ได้มาจากมุมตกกระทบที่วิเคราะห์ได้ เนื่องจาก มีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น มวลความเร็ว และระยะทางที่เลือดเดินทาง เป็นต้น
6. โปรแกรมที่วิเคราะห์รอยคราบเลือดที่พัฒนาขึ้นมานี้ หาได้เฉพาะระยะความกว้างและความยาว มุมตกกระทบ และทิศทางของรอยคราบเลือดแต่ละรอยเท่านั้น ยังไม่สามารถแสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเลือดได้ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์รอยคราบเลือด

5.2.2 การแก้ไขปัญหา

1. สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการถ่ายภาพมีระดับแสงไม่สม่ำเสมอ แก้ปัญหาโดยใช้กล้องถ่ายรูปที่มีแฟลช ซึ่งจะทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากขึ้น และลดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ได้
2. รอยคราบเลือดที่ถ่ายมีขนาดเล็ก แก้ปัญหาโดยใช้กล้องถ่ายรูปที่มีกำลังขยายที่สูงขึ้น ถ่ายภาพด้วย Macro ซึ่งเป็นคุณสมบัติของการถ่ายภาพระยะใกล้ และปรับระยะโฟกัสให้เหมาะสม
3. ภาพรอยคราบเลือด 1 ภาพ อาจมีรอยคราบเลือดมากกว่า 1 รอย แก้ปัญหาโดย ขณะถ่ายภาพควรนำกระดาษหรือวัสดุอื่นที่ไม่ทำให้รอยคราบเลือดอื่นๆ เสียหายมาบังรอยคราบเลือดที่ไม่ต้องการไว้
4. พื้นหลังของภาพเป็นสีเดียวกับสีของเลือด แก้ปัญหาโดย เพิ่มการทำงานของโปรแกรมโดยให้ผู้ใช้เป็นผู้หารอยคราบเลือดเอง ส่วนพื้นหลังมีทั้งสีน้ำเงินและสีเขียวซึ่งเป็นสีเดียวกับ marker แก้ปัญหาโดย เพิ่มการทำงานของโปรแกรมโดยให้สามารถใช้สีของ marker ได้มากขึ้น
5. ในกรณีการวิเคราะห์หามุมตกกระทบของรอยคราบเลือดที่ได้จากการกระเด็น จะสมมุติว่า มวลไม่สูงมาก ความเร็วค่อนข้างสูง และระยะทางที่เลือดเดินทางไม่มากนัก ทำให้การเคลื่อนที่วิถีโค้ง (Projectile) ไม่มีผลกับหยุดเลือด
6. พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์รอยคราบเลือด ให้สามารถแสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเลือดได้ เนื่องจาก โปรแกรมที่วิเคราะห์รอยคราบเลือดที่พัฒนาขึ้นมาสามารถหาค่าต่างๆ ที่จำเป็นในการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเลือดได้ครบแล้ว ยกเว้น ตำแหน่งของรอยคราบเลือดแต่ละรอยเท่านั้น

บรรณานุกรม

- [1] มนตรี กาญจนเดชะ. “เอกสารประกอบการสอนวิชา Image Processing”. ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2545.
- [2] A. L. Carter. “BackTrack™”. <http://www.physics.carleton.ca/~carter/index.html>. (Accessed 17/04/09).
- [3] A. L. Carter. 2001. “The Directional Analysis of Bloodstain Patterns, Theory and Experimental Validation”. Can. Soc.Forens.Sci.J., Vol. 34 No. 4 (2001) pp. 173-189.
- [4] A. L. Carter, Jon Forsythe-Erman, Vince Hawkes, Mike Illes, Pat Laturus, Gord Lefebvre, Craig Stewart and Brian Yamashita. 2006. “Validation of the BackTrack Suite of Programs for Bloodstain Pattern Analysis”. Journal of Forensic. Identification Vol.56, No. 2 (2006) pp. 242-254.
- [5] A. R. Shen, G.J. Brostow and R. Cipolla. 2006. “Toward automatic blood spatter analysis in crime scenes”. The Institution of Engineering and Technology Conference on Crime and Security, 2006.
- [6] Alexei Pace, A. L. Carter, Craig Moore and Brian Yamashita. 2006. “Another Treatment of Three-Dimensional Bloodstain Pattern Analysis”. I.A.B.P.A. News, March 2006.
- [7] Castleman and Kenneth R. “Digital Image Processing”. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1996.

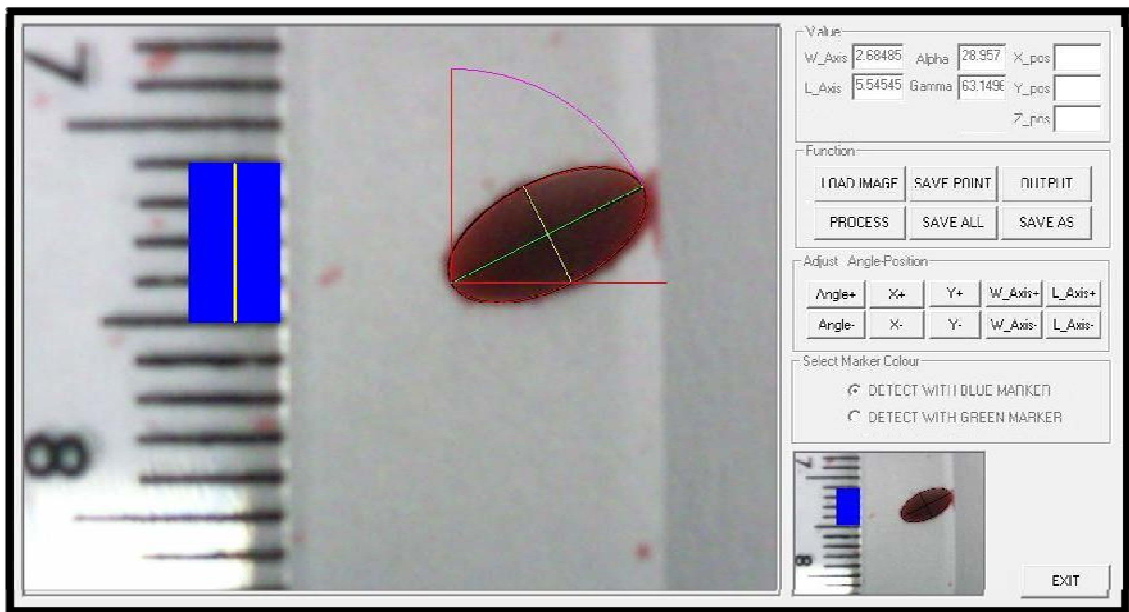
- [8] Cordelia Willis, Anna K. Piranian, John R. Donaggio, Robert J. Barnett and Walter F. Rowe. 2001. "Errors in the estimation of the distance of fall and angles of impact blood drops". Forensic Science International 123 (2001) 1–4.
- [9] Fisher and Robert *et al.*, "Image Processing Learning Resources HIPR2". <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2>. (Accessed 14/06/09).
- [10] Forensic Investigations (Blood spatter). "Fake Blood Recipe" www.clt.uwa.edu.au/__data/page/112508/fsb06.pdf . (Accessed 18/05/09).
- [11] Gonzalez, Rafael C. and Richard E. Woods. "Digital Image Processing", Addison-Wesley Publishing Company Inc, 1992.
- [12] J. Slemko Forensic Consulting. "Bloodstain Pattern Analysis Tutorial". <http://www.bloodspatter.com/BPATutorial.htm>. (Accessed 15/03/09).
- [13] Kevin Maloney, A. L. Carter, Scott Jory and Brian Yamashita. 2005. "Three-Dimensional Representation of Bloodstain Pattern Analysis". Journal of Forensic. Identification Vol. 55, No. 6 (2005) pp. 711-725.
- [14] Louis L. Akin. 2005. "Blood Interpretation at Crime Scene". The Forensic Examiner Summer 2005 Vol. 14 No 2.
- [15] M. B. Illes, A. L. Carter, P. L. Laturus and Brian Yamashita. "Use of the Backtrack Computer Program for Bloodstain Pattern Analysis of Stains from Downward-Moving Drops". Can. Soc.Forens.Sci.J., Vol. 38 No. 4 (2005) pp. 213-218.

- [16] V. T. Bevel and R. M. Gardner. "Bloodstain Pattern Analysis: With an Introduction to Crime Scene Reconstruction". CRC Press, 2nd edition, 2002.
- [17] W. G. Eckert and S. H. James. "Interpretation of Bloodstain Evidence at Crime Scenes". CRC Press, 2nd edition, 1999.
- [18] Wikipedia. "Bloodstain Pattern Analysis".
http://en.wikipedia.org/wiki/Bloodstain_pattern_analysis.
(Accessed 16/02/09).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด



ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด

1. กดปุ่ม SAVE AS เพื่อกำหนดว่าจะตั้งชื่อไฟล์ที่จะบันทึกข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ว่าจะไร และเก็บไว้ที่ไหน
2. กดปุ่ม LOAD IMAGE เพื่อนำภาพรอยคราบเลือดที่ต้องการวิเคราะห์ เข้าสู่โปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบรอยคราบเลือด
3. ดูว่า marker ที่ปรากฏในภาพที่ต้องการวิเคราะห์เป็นสีน้ำเงินหรือสีเขียว
 - ถ้าเป็นสีน้ำเงินให้เลือกที่ DETECT WITH BLUE MARKER
 - ถ้าเป็นสีเขียวให้เลือกที่ DETECT WITH GREEN MARKER

4. กดปุ่ม PROCESS เพื่อวิเคราะห์ภาพรอยคราบเลือด โดยโปรแกรมจะวาดวงรีซ้อนทับรอยคราบเลือด เพื่อหา
 - ความกว้างของรอยคราบเลือด จะปรากฏอยู่ในช่อง W_Axis
 - ความยาวของรอยคราบเลือด จะปรากฏอยู่ในช่อง L_Axis
 - มุมตกกระทบของรอยคราบเลือด จะปรากฏอยู่ในช่อง Alpha
 - ทิศทางของรอยคราบเลือด จะปรากฏอยู่ในช่อง Gamma
5. การวิเคราะห์รอยคราบเลือดในครั้งแรก โปรแกรมอาจวาดวงรีซ้อนทับรอยคราบเลือดไม่พอดี ทำให้การวิเคราะห์รอยคราบเลือดเกิดความผิดพลาด ดังนั้น จึงมีปุ่มช่วยปรับวงรีให้ซ้อนทับกับรอยคราบเลือดให้พอดี ดังนี้
 - Angle+ เพิ่มมุม Gamma
 - Angle- ลดมุม Gamma
 - X+ เลื่อนวงรีไปทางขวา
 - X- เลื่อนวงรีไปทางซ้าย
 - Y+ เลื่อนวงรีขึ้นบน
 - Y- เลื่อนวงรีลงล่าง
 - W_Axis+ เพิ่มความกว้างของวงรี
 - W_Axis- ลดความกว้างของวงรี
 - L_Axis เพิ่มความยาวของวงรี
 - L_Axis ลดความยาวของวงรี

หลังจากปรับวงรีให้มีขนาดพอดีกับรอยคราบเลือดตามปุ่มข้างต้นแล้ว จะทำให้ค่าใน W_Axis, L_Axis, Alpha และ Gamma เปลี่ยนไปตามที่ปรับ มีผลให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น
6. กดปุ่ม SAVE POINT เพื่อบันทึกค่า W_Axis, L_Axis, Alpha และ Gamma ลงไปในไฟล์ที่สร้างไว้ในขั้นตอนที่ 1
7. กดปุ่ม LOAD IMAGE อีกครั้ง เพื่อนำภาพรอยคราบเลือดใหม่มาวิเคราะห์ต่อไป แล้วทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 2-6

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง

1. ผลการคำนวณเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ที่มุมตกกระทบ 15 องศา

Stains	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)	Experimental (degree)	% Error
1	3.38	13.63	14.34	15.00	4.39
2	3.40	12.40	15.91	15.00	6.09
3	3.33	12.56	15.40	15.00	2.64
4	3.56	13.11	15.73	15.00	4.90
5	3.63	14.50	14.48	15.00	3.48
6	3.56	14.00	14.71	15.00	1.92
7	3.44	13.67	14.60	15.00	2.68
8	3.13	13.25	13.64	15.00	9.06
9	3.13	12.88	14.05	15.00	6.35
10	3.00	11.33	15.35	15.00	2.33
11	3.14	11.86	15.37	15.00	2.47
12	3.38	12.88	15.20	15.00	1.31
13	2.67	11.00	14.03	15.00	6.47
14	3.11	12.33	14.61	15.00	2.59
15	2.89	11.22	14.92	15.00	0.55
16	2.33	9.33	14.48	15.00	3.48
17	3.25	11.75	16.06	15.00	7.05
18	3.43	13.29	14.96	15.00	0.30
19	3.00	11.44	15.20	15.00	1.31
20	3.00	11.13	15.64	15.00	4.29
21	3.00	11.50	15.12	15.00	0.81
22	3.00	11.50	15.12	15.00	0.81
23	2.56	10.89	13.57	15.00	9.51
24	3.25	12.50	15.07	15.00	0.47
25	3.00	12.57	13.81	15.00	7.96
Average	15 Degree		14.85	15.00	3.73
S.D.			0.69	0	2.77

2. ผลการคำนวณเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ที่มุมตกกระทบ 30 องศา

Stains	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)	Experimental (degree)	% Error
1	5.25	10.25	30.81	30.00	2.70
2	4.80	10.00	28.69	30.00	4.38
3	4.67	9.78	28.51	30.00	4.98
4	5.00	10.20	29.35	30.00	2.16
5	4.91	9.73	30.31	30.00	1.03
6	4.70	9.80	28.66	30.00	4.47
7	4.50	9.08	29.70	30.00	1.01
8	4.70	9.80	28.66	30.00	4.47
9	4.60	9.50	28.96	30.00	3.46
10	4.70	9.40	30.00	30.00	0.00
11	4.60	10.10	27.09	30.00	9.69
12	4.60	9.30	29.64	30.00	1.18
13	4.40	9.60	27.28	30.00	9.07
14	4.70	9.70	28.98	30.00	3.39
15	4.90	10.30	28.41	30.00	5.31
16	4.10	8.50	28.84	30.00	3.87
17	4.40	9.00	29.27	30.00	2.44
18	4.36	8.91	29.33	30.00	2.24
19	4.70	9.60	29.31	30.00	2.29
20	5.20	10.70	29.08	30.00	3.08
21	5.22	9.78	32.28	30.00	7.61
22	4.64	9.82	28.18	30.00	6.07
23	5.00	10.00	30.00	30.00	0.00
24	5.00	9.60	31.39	30.00	4.63
25	4.67	9.11	30.81	30.00	2.70
Average	30 Degree		29.34	30.00	3.69
S.D.			1.18	0	2.51

3. ผลการคำนวณเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ที่มุมตกกระทบ 45 องศา

Stains	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)	Experimental (degree)	% Error
1	4.80	7.20	41.81	45.00	7.09
2	4.56	6.67	43.10	45.00	4.21
3	4.67	6.22	48.59	45.00	7.98
4	5.00	6.67	48.59	45.00	7.98
5	5.30	7.10	48.29	45.00	7.30
6	5.00	6.89	46.54	45.00	3.41
7	6.00	8.25	46.66	45.00	3.68
8	5.20	7.20	46.24	45.00	2.75
9	5.30	7.30	46.55	45.00	3.45
10	5.33	7.22	47.60	45.00	5.78
11	6.00	8.29	46.40	45.00	3.10
12	5.11	7.11	45.95	45.00	2.11
13	6.00	8.30	46.29	45.00	2.87
14	5.60	7.70	46.66	45.00	3.68
15	5.67	7.78	46.77	45.00	3.93
16	5.40	7.60	45.28	45.00	0.62
17	5.56	7.56	47.33	45.00	5.18
18	6.00	8.56	44.53	45.00	1.04
19	5.63	8.00	44.68	45.00	0.71
20	6.13	8.75	44.43	45.00	1.27
21	5.80	8.30	44.33	45.00	1.49
22	5.88	8.00	47.25	45.00	5.01
23	5.75	8.00	45.95	45.00	2.11
24	5.63	7.75	46.54	45.00	3.41
25	5.50	7.75	45.21	45.00	0.46
Average	45 Degree		46.06	45.00	3.63
S.D.			1.62	0	2.27

4. ผลการคำนวณเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ที่มุมตกกระทบ 60 องศา

Stains	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)	Experimental (degree)	% Error
1	7.11	7.89	64.34	60.00	7.24
2	6.38	7.38	59.82	60.00	0.31
3	6.89	7.56	65.75	60.00	9.58
4	7.13	8.13	61.27	60.00	2.12
5	6.50	7.13	65.82	60.00	9.70
6	6.33	7.33	59.73	60.00	0.45
7	6.90	7.90	60.86	60.00	1.43
8	7.00	7.89	62.54	60.00	4.23
9	5.40	6.00	64.16	60.00	6.93
10	6.38	7.13	63.47	60.00	5.79
11	6.30	7.20	61.04	60.00	1.74
12	5.90	6.80	60.19	60.00	0.31
13	5.20	6.00	60.07	60.00	0.12
14	6.22	6.89	64.59	60.00	7.64
15	6.40	7.40	59.87	60.00	0.22
16	6.40	7.20	62.73	60.00	4.56
17	6.30	7.30	59.66	60.00	0.57
18	6.88	7.75	62.51	60.00	4.18
19	6.00	7.00	59.00	60.00	1.67
20	6.13	7.25	57.65	60.00	3.91
21	6.86	7.71	62.73	60.00	4.56
22	5.88	6.50	64.67	60.00	7.78
23	6.25	6.88	65.38	60.00	8.97
24	6.86	8.00	59.00	60.00	1.67
25	6.00	6.80	61.93	60.00	3.21
Average	60 Degree		61.95	60.00	3.96
S.D.			2.37	0	3.20

5. ผลการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (Average %error) ของ marker สีน้ำเงิน ที่มุมตกกระทบ 15 องศา

Stains	Programing			Experimental			% Error		
	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)
1	3.36	13.62	14.29	3.38	13.63	14.34	0.39	0.06	0.34
2	3.40	12.42	15.90	3.40	12.40	15.91	0.10	0.17	0.07
3	3.36	12.53	15.55	3.33	12.56	15.40	0.75	0.22	1.00
4	3.58	13.12	15.83	3.56	13.11	15.73	0.62	0.05	0.58
5	3.62	14.47	14.48	3.63	14.50	14.48	0.22	0.22	0.00
6	3.60	13.97	14.93	3.56	14.00	14.71	1.25	0.18	1.47
7	3.43	13.68	14.52	3.44	13.67	14.60	0.46	0.08	0.55
8	3.15	13.28	13.72	3.13	13.25	13.64	0.77	0.20	0.57
9	3.10	12.88	13.95	3.13	12.88	14.05	0.64	0.05	0.70
10	2.98	11.36	15.22	3.00	11.33	15.35	0.63	0.22	0.87
11	3.12	11.81	15.32	3.14	11.86	15.37	0.73	0.41	0.32
12	3.40	12.84	15.35	3.38	12.88	15.20	0.70	0.28	1.00
13	2.71	11.03	14.22	2.67	11.00	14.03	1.61	0.29	1.34
14	3.13	12.30	14.75	3.11	12.33	14.61	0.62	0.29	0.93
15	2.90	11.19	15.04	2.89	11.22	14.92	0.50	0.31	0.83
16	2.32	9.37	14.36	2.33	9.33	14.48	0.46	0.37	0.84
17	3.22	11.72	15.96	3.25	11.75	16.06	0.88	0.27	0.62
18	3.41	13.32	14.86	3.43	13.29	14.96	0.41	0.24	0.66
19	2.98	11.44	15.10	3.00	11.44	15.20	0.62	0.03	0.60
20	3.02	11.16	15.70	3.00	11.13	15.64	0.70	0.32	0.39
21	3.02	11.50	15.23	3.00	11.50	15.12	0.70	0.03	0.75
22	3.02	11.54	15.18	3.00	11.50	15.12	0.70	0.33	0.37
23	2.57	10.92	13.62	2.56	10.89	13.57	0.62	0.28	0.35
24	3.27	12.55	15.12	3.25	12.50	15.07	0.70	0.36	0.34
25	3.02	12.58	13.91	3.00	12.57	13.81	0.80	0.04	0.78
Average	15 Degree		14.88	Blue		14.85	0.66	0.21	0.65
S.D.			0.68			0.69	0.30	0.12	0.35

6. ผลการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (Average %error) ของ marker สีน้ำเงิน ที่มุมตกกระทบ 30 องศา

Stains	Programing			Experimental			% Error		
	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)
1	5.21	10.22	30.67	5.25	10.25	30.81	0.69	0.29	0.45
2	4.78	10.00	28.55	4.80	10.00	28.69	0.42	0.00	0.46
3	4.70	9.80	28.63	4.67	9.78	28.51	0.62	0.24	0.42
4	4.99	10.20	29.33	5.00	10.20	29.35	0.12	0.03	0.09
5	4.93	9.77	30.32	4.91	9.73	30.31	0.47	0.44	0.03
6	4.69	9.75	28.76	4.70	9.80	28.66	0.15	0.47	0.34
7	4.53	9.09	29.90	4.50	9.08	29.70	0.64	0.04	0.67
8	4.75	9.78	29.07	4.70	9.80	28.66	1.09	0.20	1.42
9	4.60	9.47	29.02	4.60	9.50	28.96	0.08	0.28	0.22
10	4.70	9.47	29.76	4.70	9.40	30.00	0.04	0.78	0.82
11	4.59	10.06	27.17	4.60	10.10	27.09	0.17	0.44	0.29
12	4.61	9.29	29.76	4.60	9.30	29.64	0.22	0.13	0.38
13	4.44	9.59	27.57	4.40	9.60	27.28	0.92	0.07	1.08
14	4.72	9.75	28.95	4.70	9.70	28.98	0.36	0.47	0.12
15	4.95	10.24	28.91	4.90	10.30	28.41	1.00	0.61	1.77
16	4.17	8.51	29.34	4.10	8.50	28.84	1.69	0.10	1.75
17	4.42	9.12	28.99	4.40	9.00	29.27	0.48	1.36	0.96
18	4.34	8.95	28.96	4.36	8.91	29.33	0.65	0.49	1.25
19	4.71	9.63	29.30	4.70	9.60	29.31	0.25	0.28	0.03
20	5.23	10.69	29.28	5.20	10.70	29.08	0.56	0.07	0.69
21	5.20	9.78	32.09	5.22	9.78	32.28	0.47	0.06	0.60
22	4.68	9.75	28.65	4.64	9.82	28.18	0.87	0.66	1.68
23	5.02	10.04	30.00	5.00	10.00	30.00	0.38	0.38	0.00
24	5.02	9.63	31.41	5.00	9.60	31.39	0.34	0.28	0.06
25	4.72	9.17	30.96	4.67	9.11	30.81	1.08	0.64	0.48
Average	30 Degree		29.41	Blue		29.34	0.55	0.35	0.64
S.D.			1.09			1.18	0.39	0.31	0.56

7. ผลการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (Average %error) ของ marker สีน้ำเงิน ที่มุมตกกระทบ 45 องศา

Stains	Programing			Experimental			% Error		
	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)
1	4.84	7.23	42.06	4.80	7.20	41.81	0.88	0.39	0.60
2	4.58	6.63	43.71	4.56	6.67	43.10	0.62	0.50	1.40
3	4.59	6.31	46.61	4.67	6.22	48.59	1.68	1.47	4.07
4	4.99	6.63	48.83	5.00	6.67	48.59	0.12	0.50	0.50
5	5.25	7.15	47.27	5.30	7.10	48.29	0.86	0.74	2.10
6	5.04	6.88	47.17	5.00	6.89	46.54	0.89	0.14	1.36
7	5.96	8.21	46.50	6.00	8.25	46.66	0.71	0.45	0.34
8	5.15	7.22	45.53	5.20	7.20	46.24	0.91	0.28	1.53
9	5.29	7.25	46.80	5.30	7.30	46.55	0.22	0.63	0.53
10	5.29	7.25	46.80	5.33	7.22	47.60	0.85	0.44	1.68
11	5.95	8.34	45.52	6.00	8.29	46.40	0.81	0.67	1.90
12	5.11	7.12	45.83	5.11	7.11	45.95	0.11	0.10	0.26
13	5.97	8.27	46.16	6.00	8.30	46.29	0.57	0.35	0.28
14	5.63	7.76	46.46	5.60	7.70	46.66	0.48	0.81	0.43
15	5.66	7.85	46.15	5.67	7.78	46.77	0.11	0.92	1.32
16	5.39	7.59	45.22	5.40	7.60	45.28	0.19	0.09	0.13
17	5.55	7.66	46.40	5.56	7.56	47.33	0.15	1.39	1.98
18	6.00	8.53	44.71	6.00	8.56	44.53	0.00	0.32	0.41
19	5.66	8.00	45.03	5.63	8.00	44.68	0.61	0.00	0.78
20	6.13	8.77	44.31	6.13	8.75	44.43	0.01	0.22	0.26
21	5.86	8.39	44.33	5.80	8.30	44.33	1.03	1.04	0.01
22	5.87	8.07	46.66	5.88	8.00	47.25	0.08	0.90	1.26
23	5.74	8.04	45.58	5.75	8.00	45.95	0.09	0.53	0.80
24	5.66	7.79	46.62	5.63	7.75	46.54	0.61	0.48	0.17
25	5.45	7.74	44.69	5.50	7.75	45.21	0.97	0.07	1.14
Average	45 Degree		45.80	Blue		46.06	0.54	0.54	1.01
S.D.			1.37			1.62	0.42	0.39	0.90

8. ผลการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (Average %error) ของ marker สีน้ำเงิน ที่มุมตกกระทบ 60 องศา

Stains	Programing			Experimental			% Error		
	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)
1	7.13	7.85	65.32	7.11	7.89	64.34	0.29	0.50	1.52
2	6.40	7.38	60.17	6.38	7.38	59.82	0.39	0.04	0.59
3	6.91	7.58	65.57	6.89	7.56	65.75	0.24	0.39	0.28
4	7.15	8.09	62.15	7.13	8.13	61.27	0.34	0.49	1.44
5	6.47	7.19	64.08	6.50	7.13	65.82	0.49	0.93	2.65
6	6.34	7.32	59.99	6.33	7.33	59.73	0.10	0.17	0.45
7	6.95	8.00	60.28	6.90	7.90	60.86	0.69	1.27	0.96
8	6.90	7.92	60.61	7.00	7.89	62.54	1.40	0.41	3.09
9	5.47	6.11	63.71	5.40	6.00	64.16	1.36	1.75	0.70
10	6.29	7.17	61.31	6.38	7.13	63.47	1.28	0.70	3.42
11	6.31	7.25	60.36	6.30	7.20	61.04	0.08	0.75	1.12
12	5.89	6.81	59.99	5.90	6.80	60.19	0.09	0.10	0.32
13	5.26	5.93	62.65	5.20	6.00	60.07	1.23	1.23	4.29
14	6.15	6.91	62.96	6.22	6.89	64.59	1.15	0.24	2.51
15	6.42	7.44	59.68	6.40	7.40	59.87	0.33	0.52	0.31
16	6.39	7.26	61.55	6.40	7.20	62.73	0.22	0.88	1.89
17	6.32	7.33	59.46	6.30	7.30	59.66	0.25	0.46	0.34
18	6.83	7.75	61.81	6.88	7.75	62.51	0.62	0.02	1.13
19	6.07	7.05	59.41	6.00	7.00	59.00	1.21	0.78	0.70
20	6.13	7.21	58.18	6.13	7.25	57.65	0.00	0.57	0.91
21	6.91	7.76	62.82	6.86	7.71	62.73	0.74	0.65	0.14
22	5.87	6.53	63.98	5.88	6.50	64.67	0.13	0.45	1.06
23	6.22	6.96	63.26	6.25	6.88	65.38	0.50	1.29	3.24
24	6.83	8.05	58.05	6.86	8.00	59.00	0.41	0.61	1.61
25	6.07	6.81	63.09	6.00	6.80	61.93	1.17	0.10	1.88
Average	60 Degree		61.62	Blue		61.95	0.59	0.61	1.46
S.D.			2.09			2.37	0.47	0.43	1.14

9. ผลการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (Average %error) ของ marker สีเขียว ที่มุมตกกระทบ 15 องศา

Stains	Programing			Experimental			% Error		
	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)
1	3.41	13.64	14.48	3.38	13.63	14.34	1.04	0.11	0.95
2	3.37	12.43	15.75	3.40	12.40	15.91	0.80	0.21	1.03
3	3.32	12.61	15.29	3.33	12.56	15.40	0.25	0.45	0.71
4	3.61	13.25	15.79	3.56	13.11	15.73	1.47	1.10	0.38
5	3.65	14.80	14.30	3.63	14.50	14.48	0.80	2.05	1.25
6	3.66	14.42	14.69	3.56	14.00	14.71	2.87	3.03	0.16
7	3.51	14.10	14.43	3.44	13.67	14.60	2.03	3.17	1.13
8	3.15	13.31	13.70	3.13	13.25	13.64	0.90	0.48	0.43
9	3.15	12.92	14.13	3.13	12.88	14.05	0.90	0.35	0.57
10	3.02	11.35	15.43	3.00	11.33	15.35	0.64	0.15	0.50
11	3.18	11.90	15.48	3.14	11.86	15.37	1.07	0.35	0.73
12	3.37	12.88	15.18	3.38	12.88	15.20	0.08	0.01	0.09
13	2.74	11.15	14.21	2.67	11.00	14.03	2.68	1.40	1.29
14	3.10	12.39	14.48	3.11	12.33	14.61	0.46	0.44	0.91
15	2.94	11.32	15.06	2.89	11.22	14.92	1.76	0.83	0.94
16	2.37	9.47	14.48	2.33	9.33	14.48	1.46	1.46	0.00
17	3.23	11.79	15.92	3.25	11.75	16.06	0.49	0.32	0.83
18	3.37	13.34	14.64	3.43	13.29	14.96	1.65	0.40	2.09
19	2.94	11.50	14.83	3.00	11.44	15.20	1.94	0.46	2.44
20	3.07	11.37	15.65	3.00	11.13	15.64	2.26	2.19	0.07
21	2.98	11.56	14.93	3.00	11.50	15.12	0.73	0.54	1.29
22	2.98	11.61	14.87	3.00	11.50	15.12	0.73	0.92	1.67
23	2.59	11.03	13.60	2.56	10.89	13.57	1.49	1.32	0.17
24	3.24	12.66	14.84	3.25	12.50	15.07	0.28	1.26	1.55
25	3.03	12.72	13.76	3.00	12.57	13.81	0.85	1.17	0.31
Average	15 Degree		14.80	Green		14.85	1.19	0.97	0.86
S.D.			0.66			0.69	0.75	0.87	0.63

10. ผลการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (Average %error) ของ marker สีเขียว ที่มุมตกกระทบ 30 องศา

Stains	Programing			Experimental			% Error		
	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)
1	5.40	10.58	30.72	5.25	10.25	30.81	2.94	3.22	0.30
2	4.82	10.02	28.75	4.80	10.00	28.69	0.43	0.23	0.22
3	4.65	9.87	28.07	4.67	9.78	28.51	0.46	0.95	1.53
4	5.04	10.55	28.57	5.00	10.20	29.35	0.89	3.41	2.66
5	4.80	9.86	29.13	4.91	9.73	30.31	2.22	1.36	3.88
6	4.77	9.93	28.72	4.70	9.80	28.66	1.53	1.32	0.22
7	4.62	9.21	30.11	4.50	9.08	29.70	2.72	1.44	1.39
8	4.78	9.84	29.04	4.70	9.80	28.66	1.67	0.45	1.33
9	4.65	9.51	29.26	4.60	9.50	28.96	1.11	0.16	1.04
10	4.74	9.70	29.27	4.70	9.40	30.00	0.90	3.20	2.44
11	4.60	10.11	27.06	4.60	10.10	27.09	0.08	0.05	0.14
12	4.67	9.56	29.23	4.60	9.30	29.64	1.45	2.75	1.39
13	4.52	9.80	27.47	4.40	9.60	27.28	2.68	2.03	0.69
14	4.77	9.95	28.65	4.70	9.70	28.98	1.49	2.58	1.16
15	4.92	10.27	28.67	4.90	10.30	28.41	0.51	0.33	0.92
16	4.08	8.47	28.80	4.10	8.50	28.84	0.49	0.37	0.13
17	4.44	9.24	28.71	4.40	9.00	29.27	0.83	2.63	1.92
18	4.35	9.05	28.70	4.36	8.91	29.33	0.41	1.57	2.12
19	4.72	9.66	29.29	4.70	9.60	29.31	0.51	0.57	0.07
20	5.19	10.77	28.82	5.20	10.70	29.08	0.13	0.67	0.88
21	5.28	9.96	32.00	5.22	9.78	32.28	1.04	1.84	0.88
22	4.66	9.79	28.44	4.64	9.82	28.18	0.58	0.26	0.92
23	5.07	10.06	30.25	5.00	10.00	30.00	1.42	0.65	0.85
24	5.01	9.60	31.43	5.00	9.60	31.39	0.11	0.00	0.13
25	4.83	9.36	31.04	4.67	9.11	30.81	3.40	2.69	0.76
Average	30 Degree		29.21	Green		29.34	1.20	1.39	1.12
S.D.			1.16			1.18	0.95	1.13	0.93

11. ผลการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (Average %error) ของ marker สีเขียว ที่มุมตกกระทบ 45 องศา

Stains	Programing			Experimental			% Error		
	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)
1	4.81	7.33	41.06	4.80	7.20	41.81	0.30	1.80	1.79
2	4.53	6.66	42.86	4.56	6.67	43.10	0.58	0.13	0.56
3	4.65	6.32	47.38	4.67	6.22	48.59	0.38	1.54	2.49
4	5.28	7.06	48.33	5.00	6.67	48.59	5.53	5.96	0.54
5	5.25	7.17	47.06	5.30	7.10	48.29	1.02	0.93	2.54
6	5.04	6.88	47.17	5.00	6.89	46.54	0.89	0.14	1.36
7	6.04	8.24	47.14	6.00	8.25	46.66	0.72	0.07	1.03
8	5.13	7.32	44.54	5.20	7.20	46.24	1.29	1.64	3.67
9	5.47	7.59	46.05	5.30	7.30	46.55	3.18	4.04	1.07
10	5.38	7.35	47.02	5.33	7.22	47.60	0.89	1.84	1.22
11	5.95	8.28	45.94	6.00	8.29	46.40	0.83	0.06	0.99
12	5.15	7.24	45.34	5.11	7.11	45.95	0.73	1.79	1.34
13	6.03	8.39	45.97	6.00	8.30	46.29	0.58	1.12	0.69
14	5.62	7.80	46.05	5.60	7.70	46.66	0.33	1.34	1.29
15	5.65	7.90	45.70	5.67	7.78	46.77	0.27	1.53	2.28
16	5.45	7.68	45.22	5.40	7.60	45.28	0.95	1.05	0.13
17	5.54	7.68	46.17	5.56	7.56	47.33	0.25	1.67	2.46
18	6.00	8.56	44.50	6.00	8.56	44.53	0.00	0.06	0.07
19	5.77	8.27	44.25	5.63	8.00	44.68	2.63	3.41	0.96
20	6.22	8.85	44.62	6.13	8.75	44.43	1.48	1.13	0.44
21	5.86	8.20	45.65	5.80	8.30	44.33	1.08	1.22	2.98
22	5.95	8.29	45.91	5.88	8.00	47.25	1.35	3.63	2.85
23	5.74	8.07	45.34	5.75	8.00	45.95	0.16	0.90	1.34
24	5.74	7.84	47.04	5.63	7.75	46.54	2.00	1.15	1.09
25	5.72	7.88	46.57	5.50	7.75	45.21	3.98	1.61	3.01
Average	45 Degree		45.71	Green		46.06	1.26	1.59	1.53
S.D.			1.54			1.62	1.31	1.38	0.99

12. ผลการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (Average %error) ของ marker สีเขียว ที่มุมตกกระทบ 60 องศา

Stains	Programing			Experimental			% Error		
	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (Degree)
1	7.24	7.97	65.20	7.11	7.89	64.34	1.79	1.08	1.33
2	6.41	7.49	58.81	6.38	7.38	59.82	0.49	1.54	1.69
3	7.06	7.88	63.69	6.89	7.56	65.75	2.50	4.26	3.14
4	7.08	8.12	60.73	7.13	8.13	61.27	0.64	0.12	0.88
5	6.39	7.29	61.13	6.50	7.13	65.82	1.72	2.39	7.12
6	6.42	7.41	59.99	6.33	7.33	59.73	1.37	1.10	0.45
7	7.27	8.33	60.76	6.90	7.90	60.86	5.29	5.40	0.17
8	6.99	7.95	61.64	7.00	7.89	62.54	0.09	0.74	1.43
9	5.47	6.11	63.55	5.40	6.00	64.16	1.25	1.78	0.94
10	6.30	7.21	60.96	6.38	7.13	63.47	1.14	1.17	3.97
11	6.38	7.28	61.19	6.30	7.20	61.04	1.29	1.16	0.23
12	5.96	6.82	61.05	5.90	6.80	60.19	1.09	0.24	1.43
13	5.19	6.15	57.60	5.20	6.00	60.07	0.19	2.45	4.12
14	6.23	6.99	62.96	6.22	6.89	64.59	0.11	1.52	2.51
15	6.50	7.53	59.68	6.40	7.40	59.87	1.52	1.71	0.31
16	6.39	7.28	61.41	6.40	7.20	62.73	0.15	1.08	2.11
17	6.32	7.37	59.15	6.30	7.30	59.66	0.37	0.89	0.84
18	7.26	8.22	62.06	6.88	7.75	62.51	5.61	6.05	0.72
19	6.15	7.21	58.43	6.00	7.00	59.00	2.45	3.07	0.95
20	6.30	7.55	59.10	6.13	7.25	57.65	2.89	4.19	2.51
21	6.94	7.83	62.46	6.86	7.71	62.73	1.20	1.45	0.44
22	5.95	6.69	62.84	5.88	6.50	64.67	1.29	2.90	2.83
23	6.23	6.99	62.91	6.25	6.88	65.38	0.39	1.71	3.77
24	6.84	8.08	57.85	6.86	8.00	59.00	0.21	1.03	1.95
25	6.07	6.89	61.82	6.00	6.80	61.93	1.18	1.29	0.18
Average	60 Degree		61.08	Green		61.95	1.45	2.01	1.84
S.D.			1.93			2.37	1.43	1.53	1.64

13. ผลการเปรียบเทียบค่า **Average %error** ของค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียวกับค่าที่วัดด้วยมือก่อนการปรับ

Stains	Measurement			
	Gamma (degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)
1	-36.75	1.00	1.57	39.56
2	-17.75	0.80	1.70	28.07
3	-22.25	1.11	2.67	24.57
4	10.75	1.71	3.43	29.90
5	10.75	1.36	2.82	28.83
6	10.50	1.00	2.20	27.04
7	-6.75	1.33	2.67	29.88
8	-33.00	1.78	3.11	34.91
9	-44.75	3.40	5.40	39.02
10	-62.25	3.80	6.00	39.30
11	44.75	1.82	2.73	41.81
12	63.25	2.73	5.36	30.62
13	33.50	1.09	2.18	30.00
14	25.25	0.83	2.25	21.65
15	26.25	1.50	3.58	24.77
16	26.00	1.45	3.64	23.48
17	12.25	1.08	3.85	16.29
18	-1.00	1.33	3.78	20.60
19	17.75	1.00	2.67	22.00
20	6.00	1.33	3.00	26.32
21	-5.75	1.40	2.80	30.00
22	-1.00	1.08	2.50	25.59
23	-10.75	1.60	3.33	28.72
24	0.00	2.17	4.92	26.17
25	0.00	1.83	3.58	30.74
26	-11.75	1.21	2.43	29.86
27	8.00	1.36	2.70	30.25
28	26.75	1.00	2.22	26.77
29	-2.00	1.00	2.00	30.00
30	-22.25	2.11	5.33	23.32
S.D.				
Average				

Programming (Blue)			
Gamma (degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)
-32.73	1.30	1.95	41.56
-20.73	0.88	2.10	24.61
-19.46	1.43	2.89	29.59
14.44	1.72	4.10	24.80
13.97	1.24	3.00	24.34
11.46	0.90	2.06	25.80
-6.62	1.50	3.21	27.87
-30.28	2.00	3.15	39.36
-43.27	3.94	5.03	51.59
-62.78	3.95	6.10	40.32
44.77	2.33	2.91	53.13
87.15	2.88	5.55	31.35
28.40	1.38	2.25	37.67
20.36	0.81	2.19	21.69
21.24	1.75	3.38	31.23
23.06	1.40	3.50	23.58
9.18	1.22	3.70	19.25
-1.00	1.29	3.64	20.67
13.74	1.10	2.69	24.11
6.04	1.25	3.28	22.36
-4.64	1.23	2.80	25.98
-1.00	0.98	2.19	26.46
-10.66	1.47	3.35	26.01
0.00	1.84	4.94	21.90
0.00	1.51	3.62	24.70
-10.84	1.05	2.38	26.18
7.95	1.26	2.68	28.18
22.34	1.09	2.04	32.23
-2.00	0.93	2.00	27.55
-22.33	2.31	5.33	25.68

Programming (Green)			
Gamma (degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)
-32.73	1.21	1.98	37.76
-20.73	1.08	2.10	30.76
-19.46	1.48	3.00	29.59
14.44	1.81	4.32	24.80
13.97	1.32	3.19	24.34
11.46	0.95	2.19	25.80
-6.62	1.57	3.35	27.87
-30.28	2.17	3.42	39.36
-43.27	3.94	5.03	51.59
-62.78	4.23	6.54	40.32
44.77	2.26	3.20	44.93
87.15	2.98	5.72	31.35
28.40	1.47	2.40	37.67
20.36	0.88	2.32	22.16
21.24	1.91	3.68	31.23
23.06	1.50	3.86	22.80
9.18	1.32	4.00	19.25
-1.00	1.33	3.78	20.67
13.74	1.20	2.94	24.11
6.04	1.30	3.42	22.36
-4.64	1.31	3.00	25.98
-1.00	1.04	2.32	26.46
-10.66	1.52	3.47	26.01
0.00	1.90	5.09	21.90
0.00	1.65	3.94	24.70
-10.84	1.12	2.55	26.18
7.95	1.31	2.77	28.18
22.34	1.13	2.11	32.23
-2.00	1.02	2.21	27.55
-22.33	2.50	5.76	25.68

%Error (Blue)			
Gamma (degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)
10.95	29.52	24.36	5.05
16.79	9.48	23.73	12.34
12.55	28.70	8.35	20.46
34.29	0.58	19.53	17.05
29.94	9.09	6.38	15.59
9.10	10.30	6.34	4.56
1.96	12.78	20.16	6.70
8.23	12.36	1.41	12.72
3.31	16.02	6.77	32.20
0.85	3.86	1.67	2.59
0.04	27.87	6.56	27.07
37.79	5.67	3.46	2.38
15.21	26.15	3.21	25.57
19.38	2.28	2.47	0.21
19.10	16.76	5.63	26.05
11.31	3.45	3.85	0.44
25.02	12.96	3.90	18.18
0.00	3.33	3.63	0.32
22.58	9.71	0.59	9.62
0.59	6.17	9.33	15.02
19.33	12.38	0.00	13.39
0.00	9.47	12.22	3.38
0.81	8.06	0.75	9.44
0.00	15.00	0.50	16.31
0.00	17.29	1.16	19.64
7.76	13.31	2.15	12.35
0.68	7.02	0.84	6.82
16.47	8.57	8.30	20.39
0.00	7.50	0.00	8.17
0.35	9.53	0.06	10.12
11.23	7.74	7.04	8.65
10.81	11.84	6.24	12.47

%Error (Green)			
Gamma (degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)
10.95	21.11	25.97	4.56
16.79	34.48	23.73	9.58
12.55	33.47	12.36	20.46
34.29	5.88	25.82	17.05
29.94	3.23	13.25	15.59
9.10	4.52	0.29	4.56
1.96	17.69	25.39	6.70
8.23	21.72	9.86	12.72
3.31	16.02	6.77	32.20
0.85	11.28	8.93	2.59
0.04	24.18	17.22	7.46
37.79	8.97	6.69	2.38
15.21	34.56	10.09	25.57
19.38	5.60	3.27	2.38
19.10	27.06	2.69	26.05
11.31	3.21	6.10	2.88
25.02	22.12	3.90	18.18
0.00	0.25	0.06	0.32
22.58	20.00	10.02	9.62
0.59	2.26	13.89	15.02
19.33	6.12	7.14	13.39
0.00	4.14	7.06	3.38
0.81	5.00	4.10	9.44
0.00	12.57	3.37	16.31
0.00	10.00	10.09	19.64
7.76	7.12	4.84	12.35
0.68	3.92	2.47	6.82
16.47	12.59	4.90	20.39
0.00	2.07	10.35	8.17
0.35	18.29	8.07	10.12
11.23	10.34	7.39	8.07
10.81	13.31	9.62	11.86

14. ผลการเปรียบเทียบค่า **Average %error** ของค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการใช้ marker สีน้ำเงินและสีเขียวกับค่าที่วัดด้วยมือหลังการปรับ

Stains	Measurement			
	Gamma (degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)
1	-36.75	1.00	1.57	39.56
2	-17.75	0.80	1.70	28.07
3	-22.25	1.11	2.67	24.57
4	10.75	1.71	3.43	29.90
5	10.75	1.36	2.82	28.83
6	10.50	1.00	2.20	27.04
7	-6.75	1.33	2.67	29.88
8	-33.00	1.78	3.11	34.91
9	-44.75	3.40	5.40	39.02
10	-62.25	3.80	6.00	39.30
11	44.75	1.82	2.73	41.81
12	63.25	2.73	5.36	30.62
13	33.50	1.09	2.18	30.00
14	25.25	0.83	2.25	21.65
15	26.25	1.50	3.58	24.77
16	26.00	1.45	3.64	23.48
17	12.25	1.08	3.85	16.29
18	-1.00	1.33	3.78	20.60
19	17.75	1.00	2.67	22.00
20	6.00	1.33	3.00	26.32
21	-5.75	1.40	2.80	30.00
22	-1.00	1.08	2.50	25.59
23	-10.75	1.60	3.33	28.72
24	0.00	2.17	4.92	26.17
25	0.00	1.83	3.58	30.74
26	-11.75	1.21	2.43	29.86
27	8.00	1.36	2.70	30.25
28	26.75	1.00	2.22	26.77
29	-2.00	1.00	2.00	30.00
30	-22.25	2.11	5.33	23.32
S.D.				
Average				

Programming (Blue)			
Gamma (degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)
-36.73	0.90	1.65	32.81
-17.73	0.78	1.70	27.09
-22.46	1.13	2.69	24.78
10.44	1.62	3.60	26.74
10.97	1.34	2.80	28.51
10.46	1.00	2.16	27.48
-6.62	1.40	2.71	31.13
-31.28	1.80	3.15	34.80
-45.27	3.34	5.53	37.18
-62.78	3.75	6.00	38.64
44.77	1.83	2.61	44.45
63.15	2.68	5.35	30.15
33.40	1.08	2.25	28.54
26.36	0.81	2.29	20.70
26.24	1.45	3.68	23.24
26.06	1.40	3.70	22.23
12.18	1.12	3.80	17.14
-1.00	1.29	3.74	20.09
17.74	1.00	2.69	21.79
6.04	1.35	2.98	26.89
-5.64	1.43	2.80	30.63
-1.00	1.08	2.49	25.60
-10.66	1.57	3.35	27.92
0.00	2.14	4.94	25.70
0.00	1.81	3.52	31.00
-11.84	1.25	2.38	31.68
7.95	1.36	2.68	30.64
26.34	0.99	2.24	26.16
-2.00	1.03	1.90	32.65
-22.33	2.11	5.33	23.32

Programming (Green)			
Gamma (degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)
-37.73	1.11	1.68	41.47
-17.73	0.78	1.70	27.09
-22.46	1.08	2.70	23.61
11.44	1.61	3.62	26.45
10.97	1.42	2.79	30.46
10.46	0.95	2.19	25.80
-6.62	1.47	2.85	30.96
-33.28	1.77	3.12	34.53
-44.27	3.34	5.53	37.18
-61.78	3.83	6.14	38.61
44.77	1.86	2.70	43.54
63.15	2.68	5.42	29.58
33.40	1.07	2.20	29.00
24.36	0.78	2.22	20.44
26.24	1.51	3.68	24.18
26.06	1.50	3.76	23.44
12.18	1.12	3.90	16.67
-1.00	1.33	3.78	20.67
17.74	1.00	2.74	21.43
6.04	1.40	3.02	27.65
-5.64	1.41	2.80	30.34
-1.00	1.14	2.52	26.74
-10.66	1.62	3.37	28.76
0.00	2.20	4.99	26.15
0.00	1.85	3.54	31.44
-11.84	1.22	2.45	30.00
7.95	1.41	2.67	31.84
27.34	1.03	2.21	27.64
-2.00	1.02	1.91	32.36
-22.33	2.10	5.36	23.02

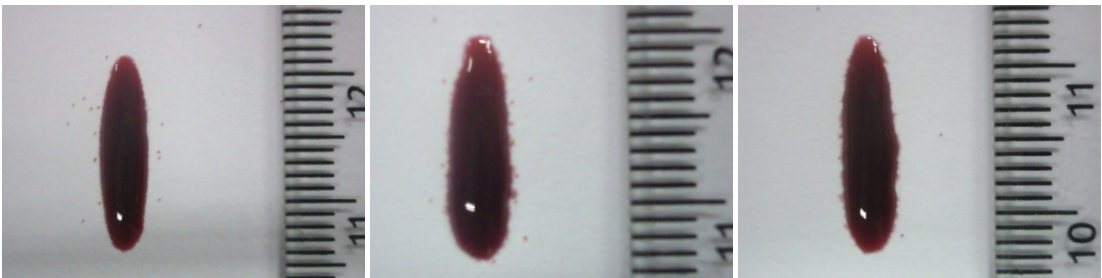
%Error (Blue)			
Gamma (degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)
0.07	10.48	5.25	17.08
0.11	3.02	0.20	3.48
0.94	1.67	0.86	0.86
2.92	5.26	4.96	10.57
2.03	1.74	0.71	1.13
0.43	0.30	1.79	1.64
1.96	5.26	1.44	4.18
5.20	1.12	1.41	0.32
1.16	1.62	2.49	4.71
0.85	1.40	0.00	1.67
0.04	0.40	4.43	6.33
0.16	1.65	0.27	1.53
0.29	1.38	3.21	4.87
4.38	2.28	1.98	4.36
0.05	3.24	2.75	6.19
0.23	3.45	1.65	5.29
0.53	3.70	1.30	5.22
0.00	3.33	0.98	2.47
0.05	0.29	0.59	0.91
0.59	1.35	0.67	2.20
1.93	1.91	0.00	2.11
0.00	0.21	0.22	0.02
0.81	1.81	0.75	2.77
0.00	1.18	0.50	1.79
0.00	0.90	1.63	0.82
0.75	3.21	2.15	6.09
0.68	0.33	0.84	1.30
1.52	1.43	0.71	2.28
0.00	2.50	5.00	8.83
0.35	0.05	0.06	0.01
1.29	2.08	1.55	3.62
0.93	2.22	1.63	3.70

%Error (Green)			
Gamma (degree)	Width (mm)	Length (mm)	Alpha (degree)
2.65	11.11	6.86	4.82
0.11	3.02	0.20	3.48
0.94	2.57	1.12	3.88
6.38	5.82	5.42	11.55
2.03	4.13	0.94	5.64
0.43	4.52	0.29	4.56
1.96	10.17	6.66	3.64
0.86	0.75	0.21	1.10
1.08	1.62	2.49	4.71
0.76	0.75	2.26	1.75
0.04	2.20	1.10	4.14
0.16	2.01	1.10	3.39
0.29	2.14	0.92	3.32
3.54	6.45	1.18	5.58
0.05	0.39	2.69	2.39
0.23	3.21	3.35	0.15
0.53	3.60	1.30	2.34
0.00	0.25	0.06	0.32
0.05	0.00	2.53	2.59
0.59	5.26	0.56	5.07
1.93	1.02	0.00	1.13
0.00	5.12	0.94	4.46
0.81	1.25	1.10	0.16
0.00	1.25	1.34	0.09
0.00	0.93	1.08	2.27
0.75	1.14	0.73	0.46
0.68	3.43	1.23	5.26
2.22	2.59	0.40	3.26
0.00	2.07	4.66	7.87
0.35	0.66	0.56	1.29
1.37	2.71	1.86	2.50
0.98	2.98	1.78	3.36

ภาคผนวก ค

รูปการตกกระทบบที่มุมต่างๆ และการกระเด็นของของเหลวที่ใช้แทนเลือด

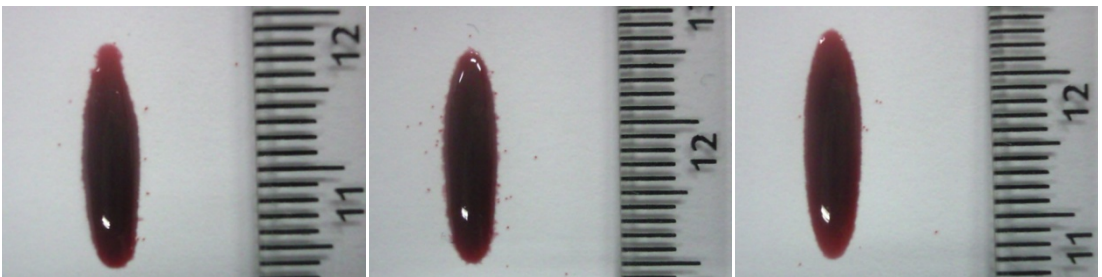
1. การตกที่มุมกระทบบ 15 องศา ของของเหลวที่ใช้แทนเลือด



รูปที่ 1

รูปที่ 2

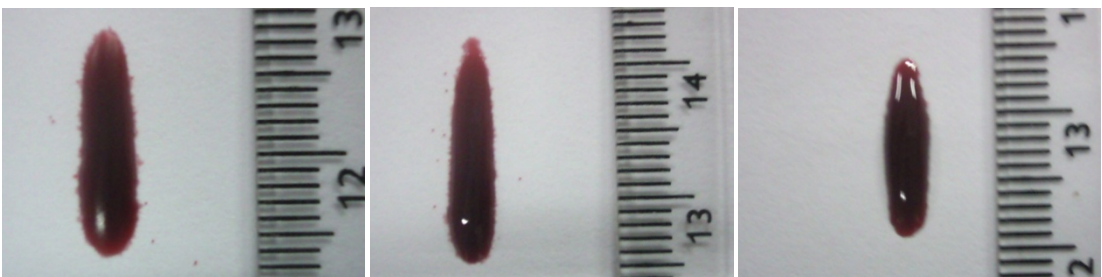
รูปที่ 3



รูปที่ 4

รูปที่ 5

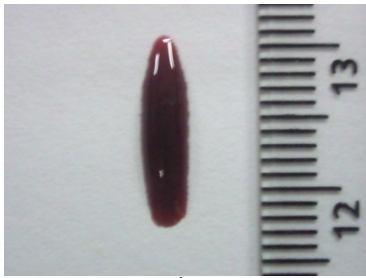
รูปที่ 6



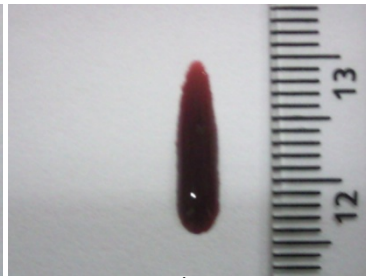
รูปที่ 7

รูปที่ 8

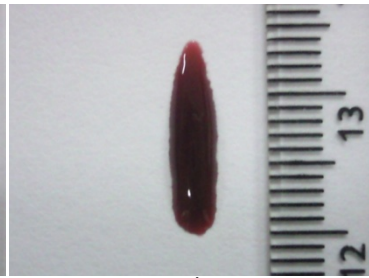
รูปที่ 9



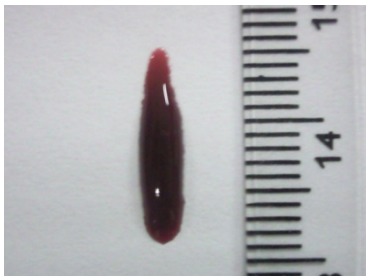
รูปที่ 10



รูปที่ 11



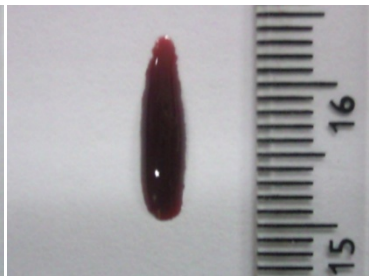
รูปที่ 12



รูปที่ 13



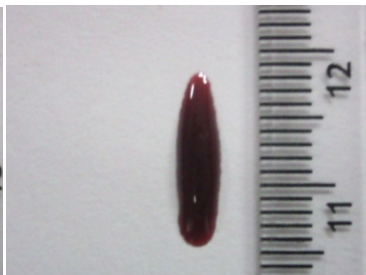
รูปที่ 14



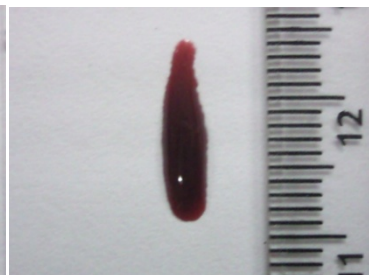
รูปที่ 15



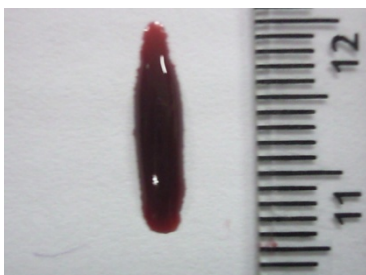
รูปที่ 16



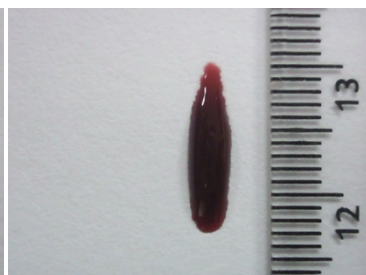
รูปที่ 17



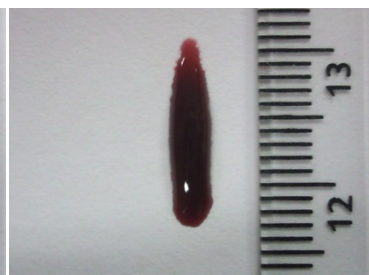
รูปที่ 18



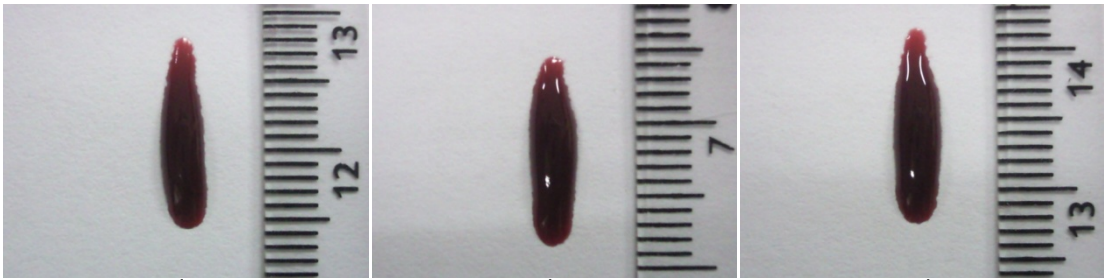
รูปที่ 19



รูปที่ 20



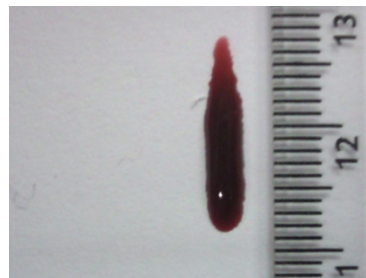
รูปที่ 21



รูปที่ 22

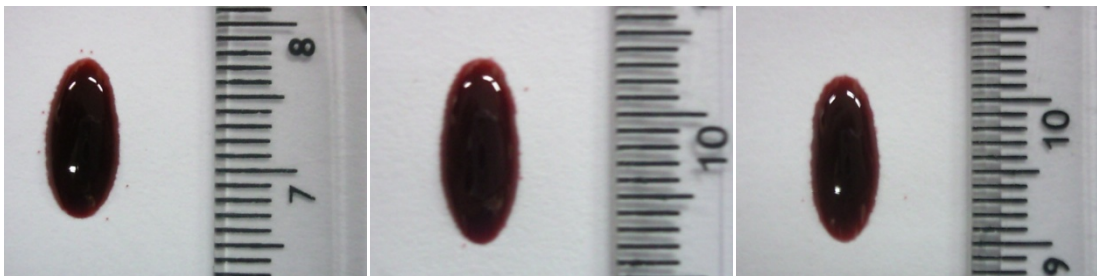
รูปที่ 23

รูปที่ 24



รูปที่ 25

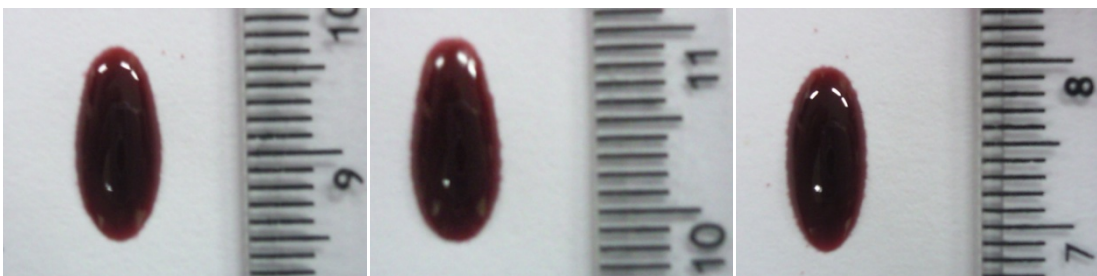
2. การตกที่มุมกระตบ 30 องศา ของของเหลวที่ใช้แทนเลือด



รูปที่ 1

รูปที่ 2

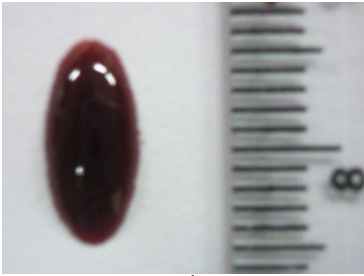
รูปที่ 3



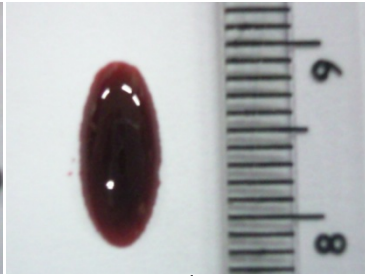
รูปที่ 4

รูปที่ 5

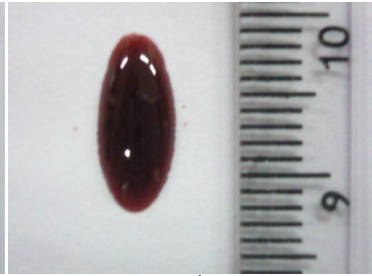
รูปที่ 6



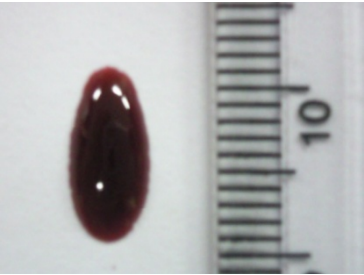
รูปที่ 7



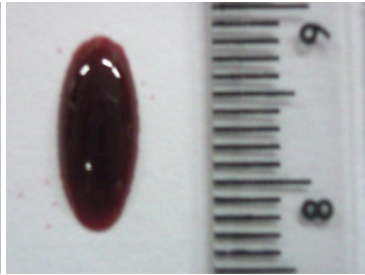
รูปที่ 8



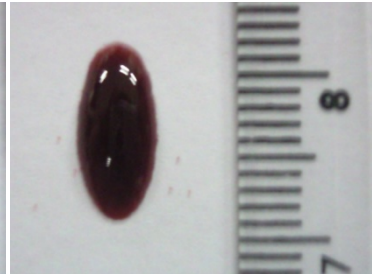
รูปที่ 9



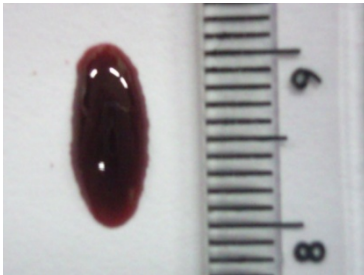
รูปที่ 10



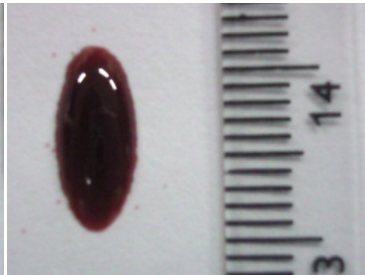
รูปที่ 11



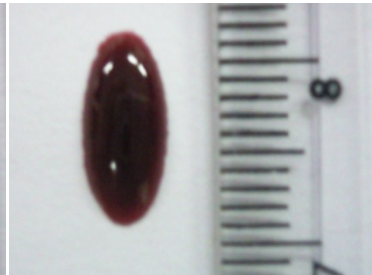
รูปที่ 12



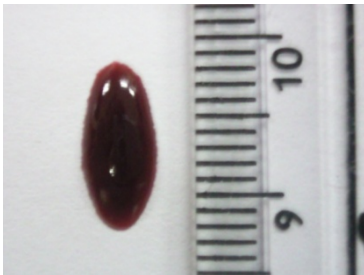
รูปที่ 13



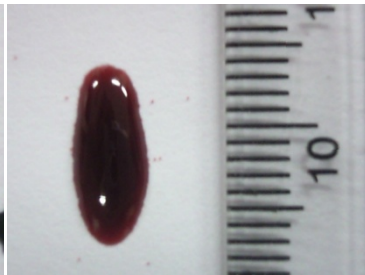
รูปที่ 14



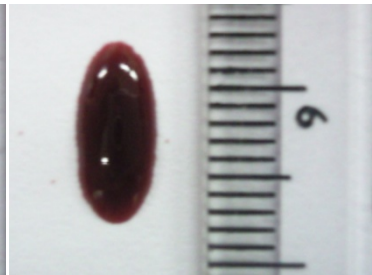
รูปที่ 15



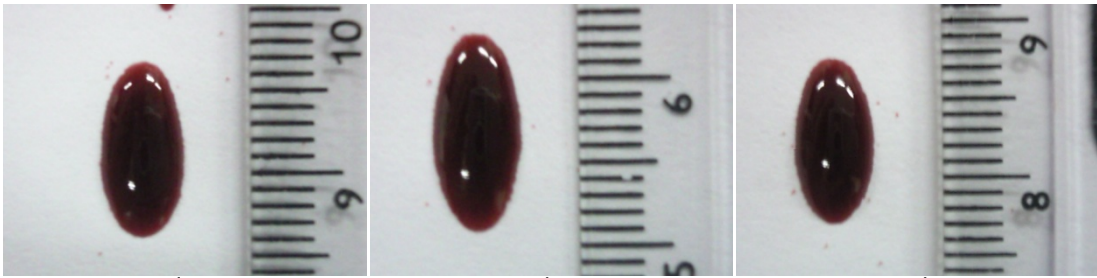
รูปที่ 16



รูปที่ 17



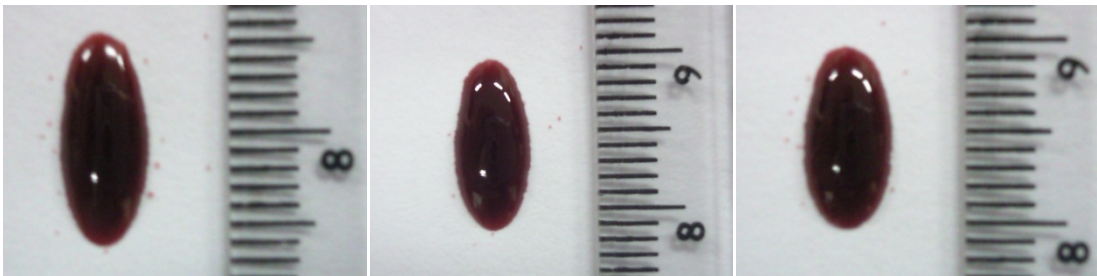
รูปที่ 18



รูปที่ 19

รูปที่ 20

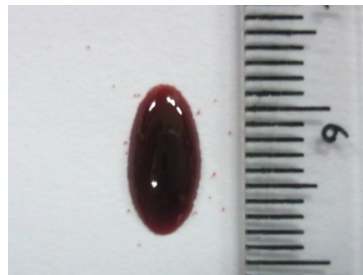
รูปที่ 21



รูปที่ 22

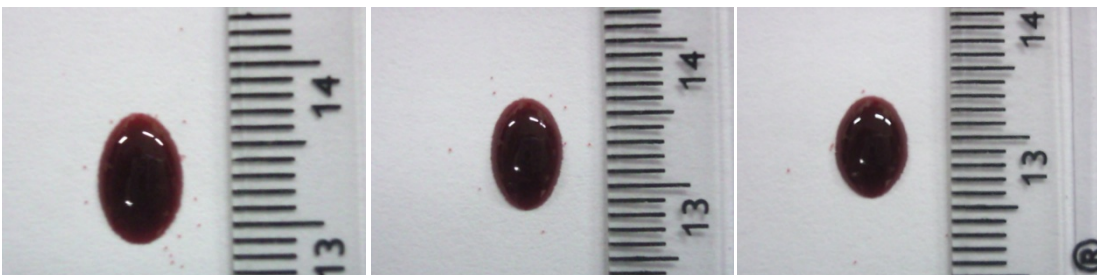
รูปที่ 23

รูปที่ 24



รูปที่ 25

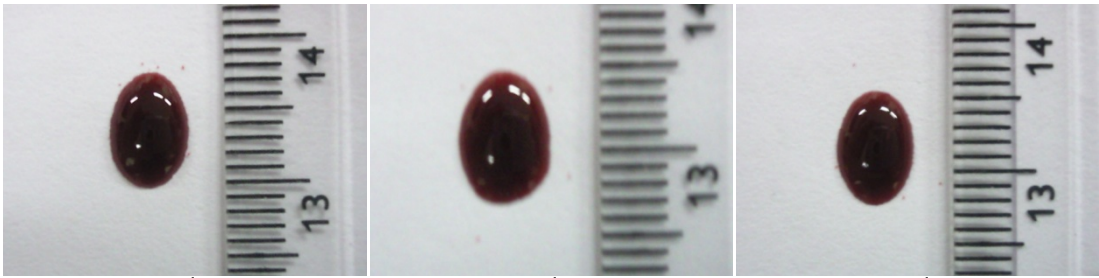
3. การตกที่มุมกระตบ 45 องศา ของของเหลวที่ใช้แทนเลือด



รูปที่ 1

รูปที่ 2

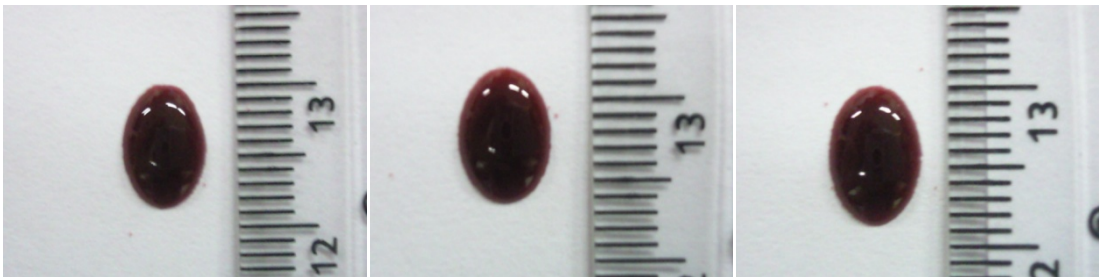
รูปที่ 3



รูปที่ 4

รูปที่ 5

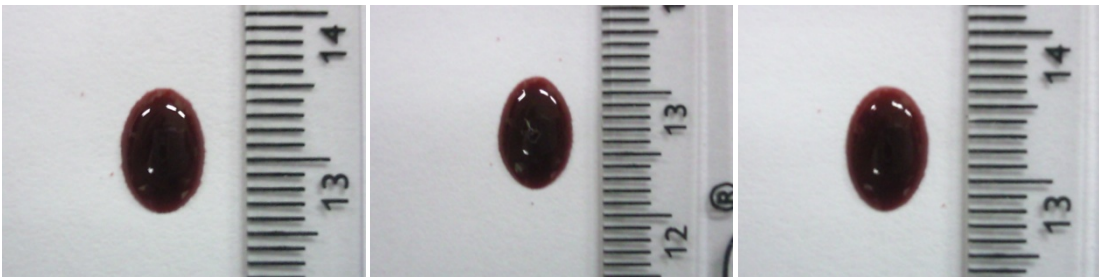
รูปที่ 6



รูปที่ 7

รูปที่ 8

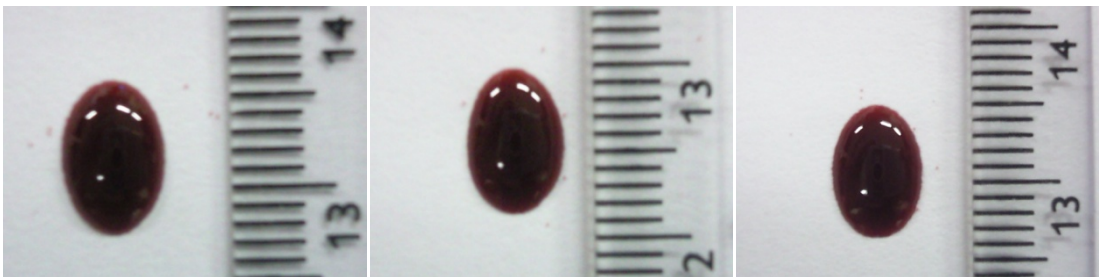
รูปที่ 9



รูปที่ 10

รูปที่ 11

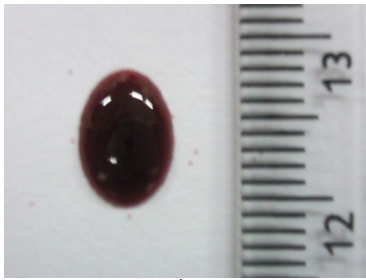
รูปที่ 12



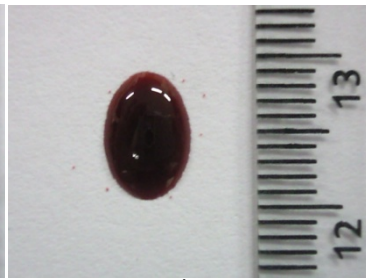
รูปที่ 13

รูปที่ 14

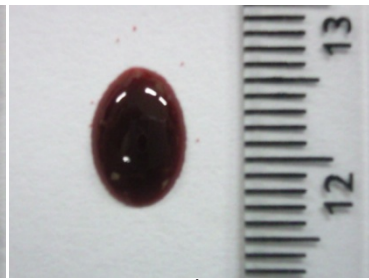
รูปที่ 15



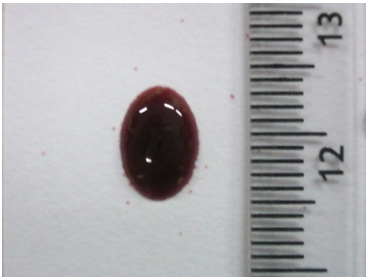
รูปที่ 16



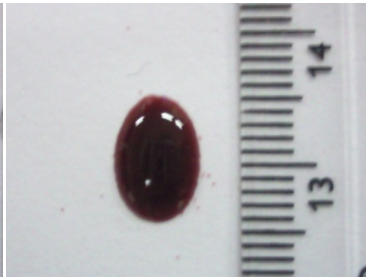
รูปที่ 17



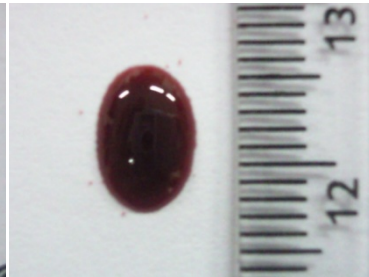
รูปที่ 18



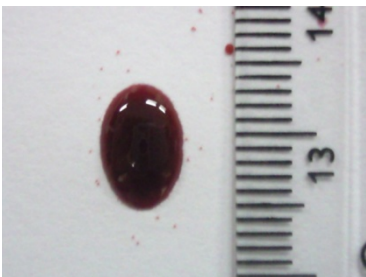
รูปที่ 19



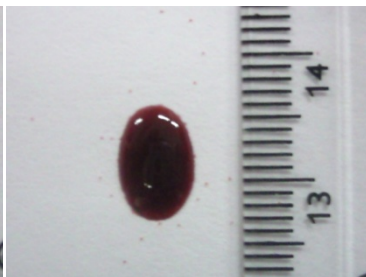
รูปที่ 20



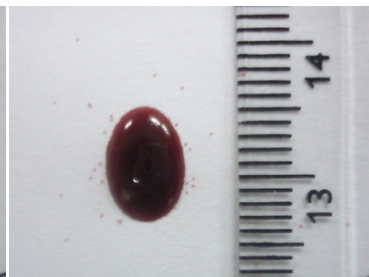
รูปที่ 21



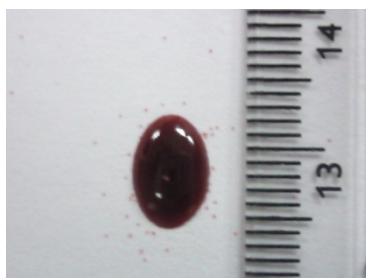
รูปที่ 22



รูปที่ 23

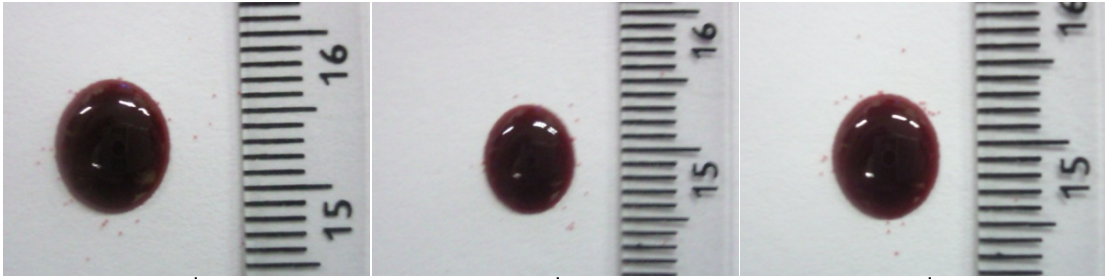


รูปที่ 24



รูปที่ 25

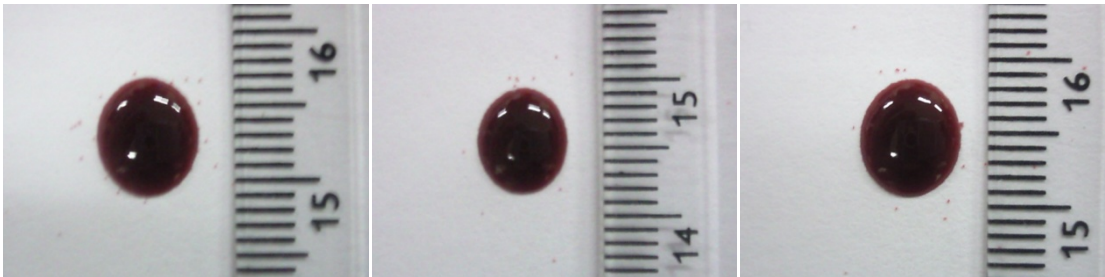
4. การตกที่มุมกระบอก 60 องศา ของของเหลวที่ใช้แทนเลือด



รูปที่ 1

รูปที่ 2

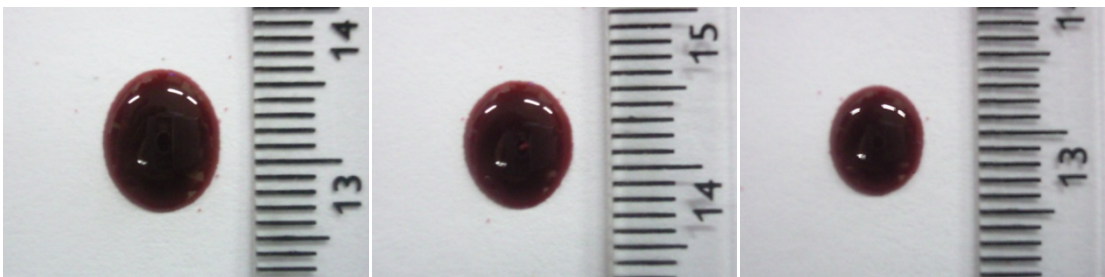
รูปที่ 3



รูปที่ 4

รูปที่ 5

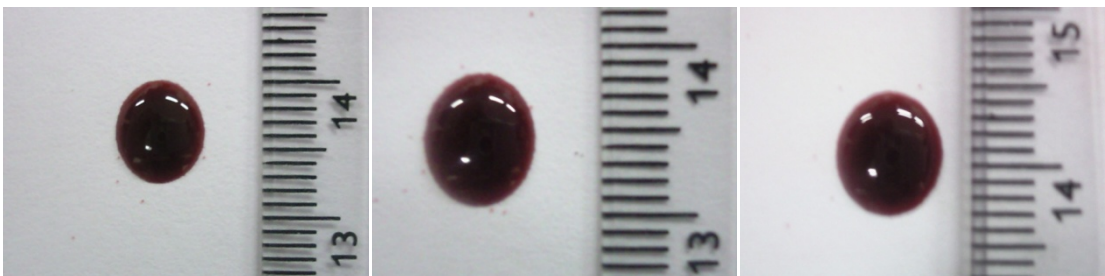
รูปที่ 6



รูปที่ 7

รูปที่ 8

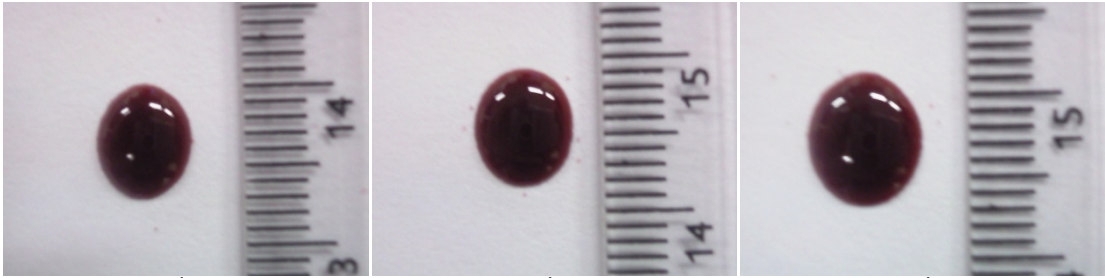
รูปที่ 9



รูปที่ 10

รูปที่ 11

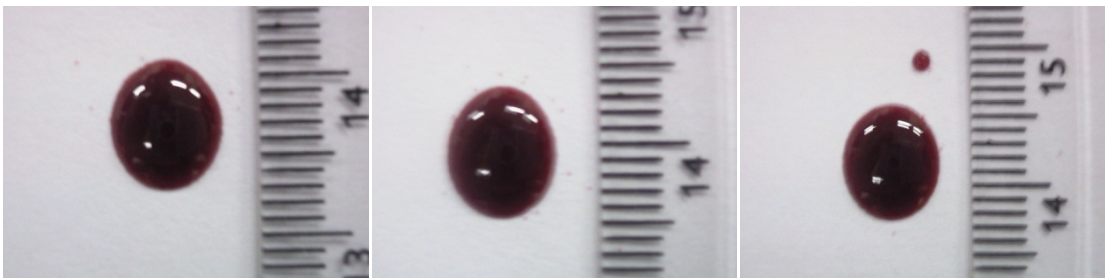
รูปที่ 12



รูปที่ 13

รูปที่ 14

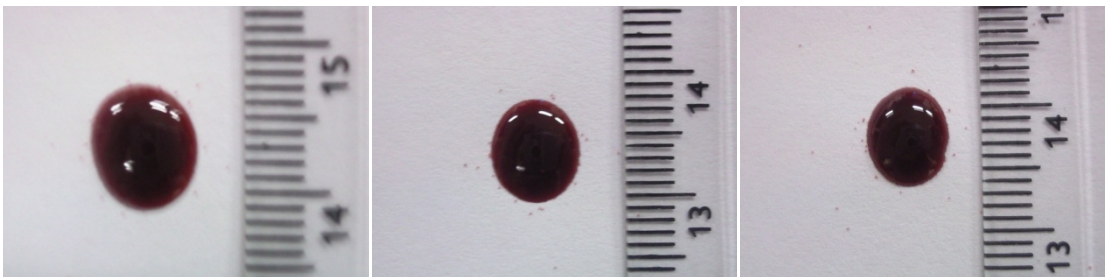
รูปที่ 15



รูปที่ 16

รูปที่ 17

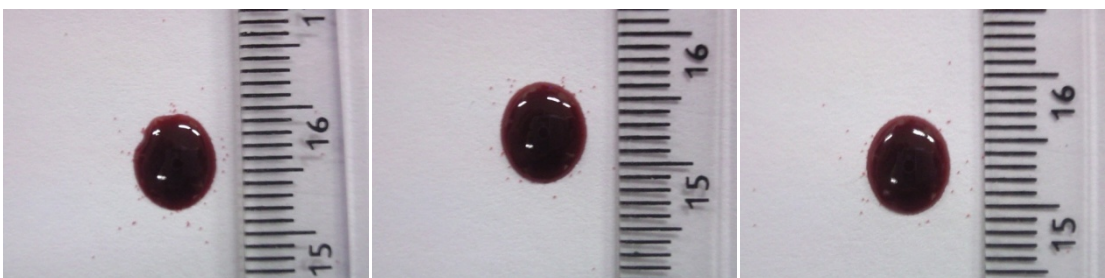
รูปที่ 18



รูปที่ 19

รูปที่ 20

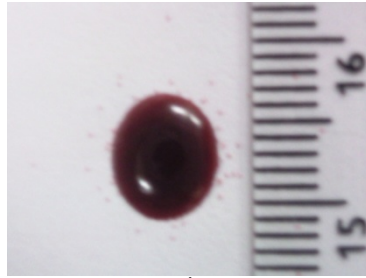
รูปที่ 21



รูปที่ 22

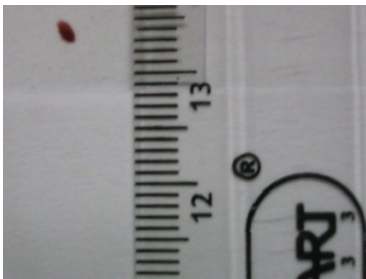
รูปที่ 23

รูปที่ 24

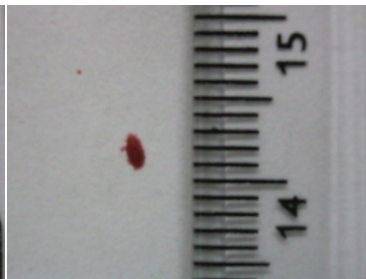


รูปที่ 25

5. การกระเด็นจาก Weight drop ของของเหลวที่ใช้แทนเลือด



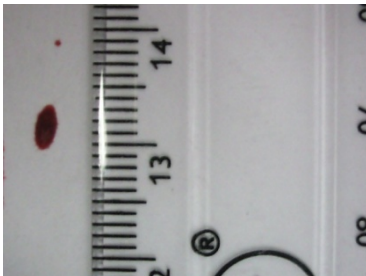
รูปที่ 1



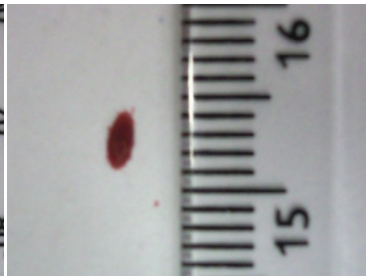
รูปที่ 2



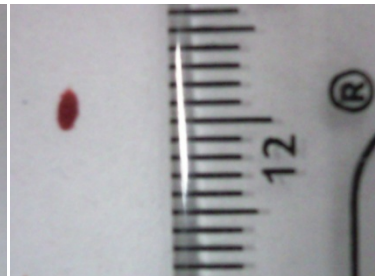
รูปที่ 3



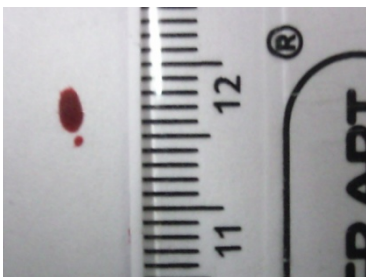
รูปที่ 4



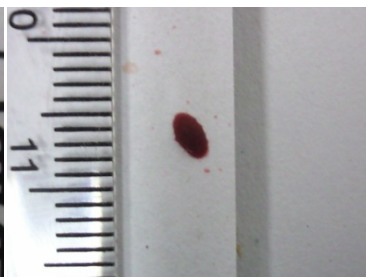
รูปที่ 5



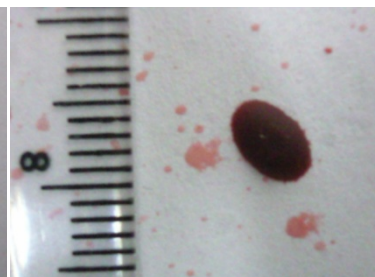
รูปที่ 6



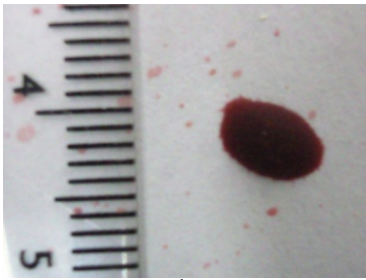
รูปที่ 7



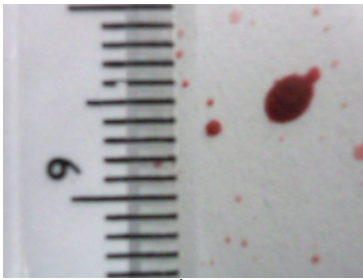
รูปที่ 8



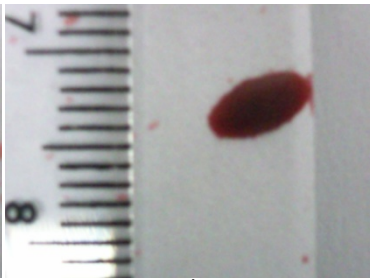
รูปที่ 9



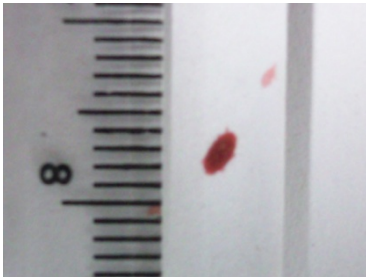
รูปที่ 10



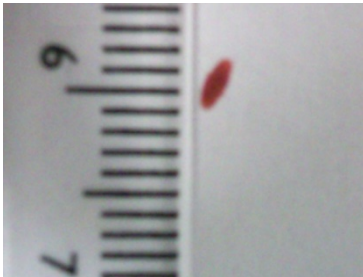
รูปที่ 11



รูปที่ 12



รูปที่ 13



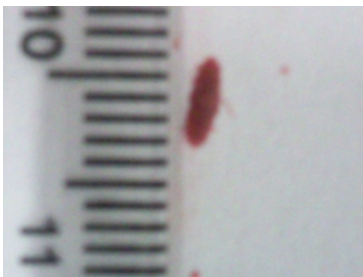
รูปที่ 14



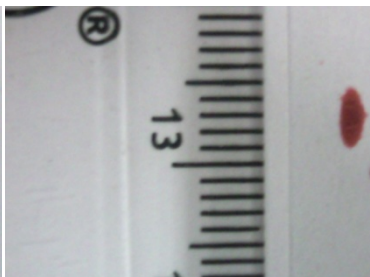
รูปที่ 15



รูปที่ 16



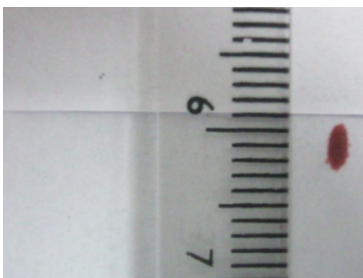
รูปที่ 17



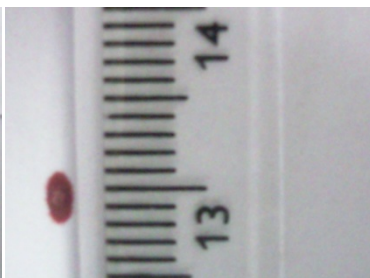
รูปที่ 18



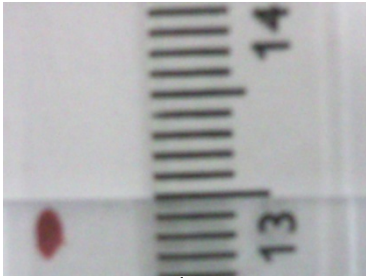
รูปที่ 19



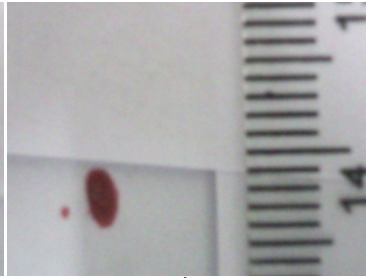
รูปที่ 20



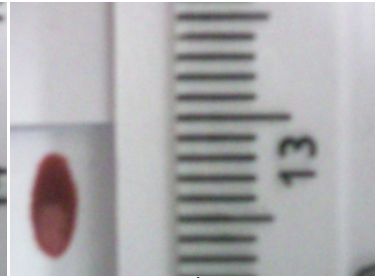
รูปที่ 21



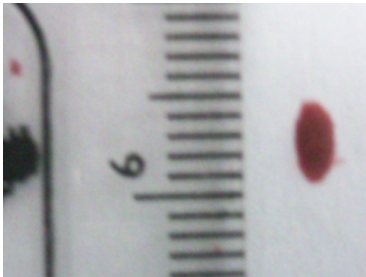
รูปที่ 22



รูปที่ 23



รูปที่ 24



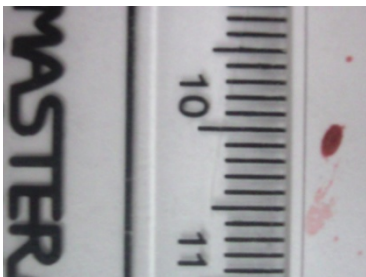
รูปที่ 25



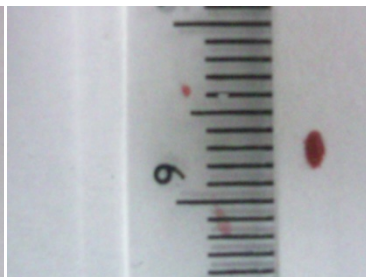
รูปที่ 26



รูปที่ 27



รูปที่ 28



รูปที่ 29



รูปที่ 30

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายกิตติพัฒน์ บุญคง

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010220008

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์) เกียรตินิยมอันดับสอง	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

1. ปีการศึกษา 2550 – 2551 ได้รับทุนผู้ช่วยนักวิจัย จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. ปีการศึกษา 2550 – 2552 ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

กิตติพัฒน์ บุญคง, ภัทร อัยรักษ์ และมนตรี กาญจนะเดชะ. 2552. “การประยุกต์ใช้เทคนิคประมวลผลภาพในการวิเคราะห์มุมตกกระทบของรอยคราบเลือดในสถานที่เกิดเหตุ”. งานประชุมวิชาการงานตรวจสถานที่เกิดเหตุ ครั้งที่ 2 การเสนอผลงานวิชาการด้านการตรวจสถานที่เกิดเหตุ 17 กรกฎาคม 2552 ณ โรงแรม มิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น. กรุงเทพฯ.