โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การหาสภาวะที่เหมาะสมในการล้างฟิล์มเนกาทีฟขาวดำด้วยน้ำยาล้างฟิล์มชนิดแคฟฟินอล

ชื่อนิสิต นางสาวชลลดา เกิดสุข

นางสาวชิดชนก หวังศิริเลิศ

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานการวิจัย

ภายใต้โครงการการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์

การหาสภาะที่เหมาะสมในการล้างฟิล์มเนกาทีฟขาวดำด้วยน้ำยาล้างฟิล์มชนิดแคฟฟินอล

Determination of Optimal Condition for Black and White Negative Film Developing process using Caffenol Film Developer

โดย

นางสาวชลลดา เกิดสุข

นางสาวชิดชนก หวังศิริเลิศ

ประจำปีการศึกษา 2563

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาสภาะที่เหมาะสมในการล้างฟิล์มเนกาทีฟขาวดำด้วยน้ำยาล้างฟิล์มชนิดแคฟฟินอล

โดย

นางสาวชลลดา เกิดสุข
นางสาวชิดชนก หวังศิริเลิศ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ภัสสร์พล งามอุโฆษ
อาจารย์ธำรงรุจน์ ฮุนตระกูล

รายงานนี้เป็นส่วนของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประจำปีการศึกษา 2563

Determination of Optimal Condition for Black and White Negative Film Developing process using Caffenol Film Developer

Chonlada Kerdsuk
Chidchanok Wangsirilert

Project Advisor

Asst. Prof. Passapol Ngamukot, Ph.D.
Co Asst. Instructor Dhamrongruchana Hoontrakul

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science Program in Imaging and Printing Technology
Department of Imaging and Printing Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

หัวข้องานวิจัย	การหาสภาะที่เหมาะสมในการล้างฟิล์มเนกาทีฟขาวดำด้วยน้ำยาล้างฟิล์มชนิดแคฟฟินอล
โดย	นางสาวชลลดา เกิดสุข
	นางสาวชิดชนก หวังศิริเลิศ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัสสร์พล งามอุโฆษ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ธำรงรุจน์ ฮุนตระกูล
ปีการศึกษา	2563

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อนุมัติให้รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
ปีการศึกษา 2563

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญดา เกตุเมฆ)
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัสสร์พล งามอุโฆษ)
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

.....

(อาจารย์ธำรงรุจน์ ฮุนตระกูล)
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการ

หัวข้องานวิจัย	การหาสภาะที่เหมาะสมในการล้างฟิล์มเนกาทีฟขาวดำด้วยน้ำยาล้างฟิล์มชนิดแคฟฟินอล
โดย	นางสาวชลลดา เกิดสุข
	นางสาวชิดชนก หวังศิริเลิศ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัสสร์พล งามอุโฆษ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ธำรงรุจน์ ฮุนตระกูล
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการถ่ายภาพฟิล์มกลับมาเป็นที่นิยมอีกครั้ง แต่การถ่ายภาพด้วยฟิล์มซึ่งเป็นเทคโนโลยีในอดีตนั้น อาจมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น สืบเนื่องจากฟิล์มในท้องตลาดมีจำนวนน้อย ส่งผลให้ฟิล์มและน้ำยาล้างฟิล์มมีราคาค่อนข้างสูง ในน้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำมีสารเคมีที่ใช้ในกระบวนสร้างภาพหลายตัวที่เป็นสารอินทรีย์ จึงอาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังได้นอกจากนี้ ในขั้นตอนการกำจัดสารเคมีก็อาจมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นด้วย โครงการนี้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการล้างฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำด้วยน้ำยาล้างฟิล์มชนิดแคฟฟินอล (Caffenol Film Developer) ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างภาพโดยใช้กาแฟ โดยทำการศึกษา 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ใช้กาแฟสำเร็จรูปเพียงอย่างเดียว และสูตรที่ใช้กาแฟสำเร็จรูปผสมกับวิตามินซี ผลที่ได้จากการทดลอง เช่น เวลาที่ใช้ในการสร้างภาพ ค่าความเปรียบต่าง (contrast) และส่วนที่ดำที่สุดของภาพ ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบ กับผลที่ได้จากการล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ Kodak D-76 ซึ่งเป็นกระบวนการมาตรฐาน จากการทดลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการสร้างภาพจะน้อยลงเมื่อมีการเติมวิตามินซีลงไปด้วย ปริมาณวิตามินซี และ Na_2CO_3 ที่เหมาะสม คือ 1,000 มิลลิกรัม และ 17.25 กรัม ตามลำดับ และเวลาการสร้างภาพที่เหมาะสมของน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล คือ 11 นาที

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัสสร์พล งามอุโฆษ)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

.....

(อาจารย์ธำรงรุจน์ ฮุนตระกูล)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

Project Title	Determination of Optimal Condition for Black and White Negative Film Developing process using Caffenol Film Developer
Student	Chonlada Kerdsuk Chidchanok Wangsirilert
Study Program	Bachelor of Science in Imaging and Printing Technology
Advisor	Asst. Prof. Passapol Ngamukot, Ph.D.
Co Advisor	Instructor Dhamrongruchana Hoontrakul
Academic Year	2020

Abstract

Nowadays film photography has become popular again. Shooting with an old-fashioned film technology leads to increased cost due to the limited availability of the film and the film developer. A commercial black & white developer solution which contains many inorganic chemicals may cause a skin irritation. The chemical wastes generated from this process also required a proper treatment which result in higher cost. In this project, an alternative film developer called Caffenol has been chosen. An instant black coffee with (and without) vitamin C have been used in this approached. The effect of developing time has also been investigated. The data obtained from Caffenol approached such as a film density and a contrast has been compared with the data obtained from a Kodak D76 standard procedure. The results indicated that the developing time decreased in a presence of vitamin C. The optimal amount of vitamin C and Na_2CO_3 are 1000 mg and 17.25 g, respectively. The results also showed that the optimal developing time is 11 minutes.

.....

(Asst. Prof. Passapol Ngamukot, Ph.D.)

Advisor

.....

(Instructor Dhamrongruchana Hoontrakul)

Co Advisor

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนตามหลักสูตรระดับปริญญาบัณฑิตของภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้รับเงินทุนสนับสนุนจากงบประมาณของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2563 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัสสร์พล งามอุโฆษ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และอาจารย์ธำรงรุจน์ ฮุนตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น รวมทั้งความรู้ที่ผู้วิจัยนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาค้นคว้าทดลองจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์รวมถึงเพื่อนนิสิตร่วมชั้นปี รุ่นพี่ปริญญาโท และปริญญาเอก ที่คอยให้คำปรึกษาช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในเรื่องต่าง ๆ ตลอดการทำงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และการค้นคว้าวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปในอนาคต

นางสาวชลลดา เกิดสุข

นางสาวชิดชนก หวังศิริเลิศ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 ฟิล์มถ่ายภาพ	3
2.2 ฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำ	3
2.3 น้ำยาสร้างภาพ	4
2.4 น้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ D-76	4
2.5 การเจือจางน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ D-76	5
2.6 สารเคมีที่ใช้ในน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล	5
2.7 ความไวแสงในการถ่ายภาพขั้นพื้นฐาน	7
2.8 ความเปรียบต่าง	8
2.9 ดัชนีการเปิดรับแสง และละติจูด	9
2.10 ฟิล์มถ่ายภาพขาว-ดำ Fomapan100 Classic	11
2.11 การสร้างภาพขาว-ดำของฟิล์ม Fomapan100 Classic	12
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	13
3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทำวิจัย	13
3.2 สารเคมี	14
3.3 สูตรน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล	14
3.4 วิธีการทดลอง	15
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	18

4.1 ผลการศึกษาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมในการล้างฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำ ด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำ (D-76) ที่เวลาการล้าง 7 นาที 18
4.2 ผลการศึกษาสูตรน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล 20
4.3 ผลการศึกษาเวลาการล้างที่เหมาะสมสำหรับน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1 และ 2 22
4.4 ผลการศึกษาเวลาการล้างที่เหมาะสมสำหรับน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 โดยปรับเพิ่มเวลาในการล้างเป็น 13 นาที 24
4.5 ผลการศึกษาปริมาณวิตามินซีในน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำสูตรที่ 2 โดยลดปริมาณวิตามินซีลงไป 0.5 เท่า (สูตรที่ 2-1) และเพิ่มปริมาณวิตามินซีเป็น 2 เท่า (สูตรที่ 2-2) 26
4.6 ผลการศึกษาปริมาณวิตามินซีในน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำสูตรที่ 2 โดยลดปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตลงไป 0.5 เท่า (สูตรที่ 2-3) และ 0.25 เท่า (สูตรที่ 2-4) 28
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 30
5.1 สรุปผลการทดลอง 30
5.2 ข้อเสนอแนะ 30
เอกสารอ้างอิง 31
ภาคผนวก 32
ก ตารางแสดงค่าความดำ 32
ข ภาพฟิล์มจากการทดลอง 38
ค ภาพถ่าย และภาพที่อัดขยายจากการใช้ Caffenol Film Developer 41
ง ข้อมูลผลิตภัณฑ์กาแฟ และวิตามินซี 46
จ ประวัติผู้วิจัย 48

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. สูตรน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล 14
2. สูตรน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 (ปรับปริมาณ) 16

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผลึกของซิลเวอร์เฮไลด์	3
2	โมเลกุลไฮโดรควิโนน และเมทอล	4
3	สมการการสลายไฮโดรเจน	5
4	โมเลกุลกรดแคฟเฟอิก กรดแอสคอบิก และโซเดียมคาร์บอเนต	6
5	สมการรีดิวซ์	6
6	กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณแสงกับค่าความดำที่ได้จากการฉายแสง	7
7	ลักษณะของกราฟค่าความดำฟิล์ม	8
8	ลักษณะของกราฟค่าความดำฟิล์มที่ความเปรียบต่าง (contrast) มีค่าต่างกัน	9
9	กราฟเส้นโค้งค่าความดำโดยทั่วไปแสดงค่าครอบคลุมช่วง log E ที่ 3.0	10
10	กราฟเส้นโค้งค่าความดำโดยทั่วไปที่ได้จากการเลื่อนค่าแสงไปที่ log E 0.3 หรือ 1 สต็อป	11
11	กราฟเส้นโค้งค่าความดำโดยทั่วไปที่ได้จากการเลื่อนค่าแสงลดลง 1 สต็อป	11
12	ความสัมพันธ์ของรูรับแสงและความไวแสงของฟิล์ม	12
13	อุณหภูมิ และเวลาสร้างภาพของน้ำยาสร้างภาพยี่ห้อต่าง ๆ	12
14	อุปกรณ์ล้างฟิล์ม	13
15	เครื่องฉายแสงแบบอัดสัมผัส	13
16	แถบลิ่มแสง	14
17	เครื่องวัดความดำ	14
18	กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 5, 6 และ 7 โวลต์(V) เวลา 1 วินาที โดยล้างฟิล์มด้วย D-76 กับค่าระดับ Relative LogH	18
19	กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาในการฉายแสง 1 วินาที ใช้เวลาในการล้าง 7 นาที โดยล้างฟิล์มด้วย D-76, น้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 กับค่าระดับ Relative LogH	20
20	กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาในการฉายแสง 1 วินาที โดยล้างฟิล์มด้วย D-76 ที่เวลา 7 นาที, น้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ที่เวลา 7, 9 และ 11 นาที กับค่าระดับ Relative LogH	22
21	กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาในการฉายแสง 1 วินาที โดยล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 ที่เวลา 11 และ 13 นาที กับค่าระดับ Relative LogH	24

22	กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาในการฉายแสง 1 วินาที โดยล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำ ชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 โดยลดปริมาณวิตามินซีลง 0.5 เท่า และเพิ่มขึ้น 2 เท่า ที่เวลา 11 นาที กับค่าระดับ Relative LogH	26
23	กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาในการฉายแสง 1 วินาที โดยล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำ ชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 โดยลดปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตลง 0.5 และ 0.25 เท่า ที่เวลา 11 นาที กับค่าระดับ Relative LogH	28

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1. ที่มา และความสำคัญ

การถ่ายภาพ ถือเป็นนวัตกรรมอย่างหนึ่งที่ผลิตขึ้นมาเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ โดยทำให้สามารถบันทึกความทรงจำเอาไว้ได้ แม้ในปัจจุบันนี้ที่โลกก้าวไกลไปจนถึงขั้นที่มีการผลิตกล้องดิจิตอลออกมามากมายและถึงขั้นที่สมาร์ทโฟนก็สามารถถ่ายภาพได้ แต่ยังมีอีกสิ่งหนึ่งที่ถึงจะดูเก่าหรือล้าสมัย แต่คนรุ่นใหม่ก็กลับมาให้ความสนใจ นั่นคือ “กล้องฟิล์ม” และ “ภาพฟิล์ม”

การถ่ายภาพด้วยกล้องฟิล์มกลับมาเป็นที่นิยมอีกครั้งในหมู่ผู้ที่รักการถ่ายภาพและนักเรียนนักศึกษา เป็นเพราะเสน่ห์ของกล้องฟิล์ม และภาพฟิล์มที่หาได้ยากจากกล้องดิจิตอลทั่วไป การถ่ายภาพฟิล์มนั้นใน 1 ม้วนฟิล์มจะได้ภาพเพียง 36 รูปเท่านั้น และจะไม่สามารถดูรูปได้จนกว่าจะถ่ายครบทั้งม้วนแล้วนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์มเสียก่อน ดังนั้นการถ่ายภาพฟิล์มแต่ละครั้ง ช่างกล้องจะต้องคิด วิเคราะห์ คำนวณทุกอย่างเป็นอย่างดีแล้วก่อนกดถ่ายภาพ เพื่อให้ภาพที่ออกมาสวยตามต้องการ สิ่งนี้เป็นเสน่ห์ของกล้องฟิล์มที่ในหมู่คนรักการถ่ายภาพคิดว่าเป็นความท้าทายที่กล้องดิจิตอลไม่สามารถทำได้ นอกจากนี้เสน่ห์อีกอย่างหนึ่งก็คือโทนของภาพฟิล์มที่มีเอกลักษณ์เฉพาะของแต่ละยี่ห้อฟิล์มที่เลือกมาใช้ สิ่งที่กล่าวมานี้เป็นเหตุผลที่ทำให้ฟิล์มกลับมาเป็นที่นิยมอีกครั้ง แต่เนื่องด้วยยุคสมัยที่เปลี่ยนไปนั้นทำให้ฟิล์ม และน้ำยาล้างฟิล์ม ค่อนข้างหายาก และมีราคาค่อนข้างสูง เพราะมีการผลิตที่ลดลงเมื่อเทียบกับในอดีต ดังนั้นหากนำฟิล์มไปล้างที่ร้านล้างฟิล์มก็จะมีราคาสูงเช่นกัน การล้างฟิล์มด้วยตนเองจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายสำหรับผู้ที่รักการถ่ายภาพด้วยกล้องฟิล์ม

Caffenol เป็นชื่อกระบวนการสร้างภาพโดยใช้สารเคมีที่มีอยู่ในกาแฟ เนื่องจากสารกลุ่ม PolyPhenol ที่มีอยู่ในกาแฟ สามารถนำมาใช้สร้างภาพฟิล์มขาว-ดำได้ หาได้ง่ายตามท้องตลาด และยังเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติมีความปลอดภัย จากการศึกษามีการใช้สารกลุ่ม PolyPhenol จากกาแฟ-สำเร็จรูปในการล้างฟิล์มขาว-ดำได้ ด้วยขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก และง่ายต่อการล้างฟิล์มด้วยตนเอง ดังนั้น Caffenol จึงเป็นเทคนิคที่น่าสนใจมากที่สามารถนำมาใช้แทนน้ำยาสร้างภาพขาว-ดำ ตามท้องตลาดที่มีราคาแพง เช่น D-72 หรือ D-76 ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาหาสูตรที่เหมาะสมต่อการสร้างภาพขาว-ดำ ของน้ำยาสร้างภาพจากสารกลุ่ม PolyPhenol ในกาแฟ หรือ Caffenol Film Developer

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการสร้างภาพขาว-ดำ โดยใช้ Caffenol Film Developer

3. ขอบเขตของการวิจัย

1. คัดเลือกสูตรน้ำยาล้างฟิล์มชนิดแคฟฟินอลที่เหมาะสมในการล้างฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำ
2. วิเคราะห์ค่าคอนทราสต์

3. วิเคราะห์ค่าความดำ

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สูตร Caffenol film developer ที่เหมาะสมที่สุดต่อการล้างฟิล์มขาว-ดำ และการอัด ภาพลงบนกระดาษอัดภาพ

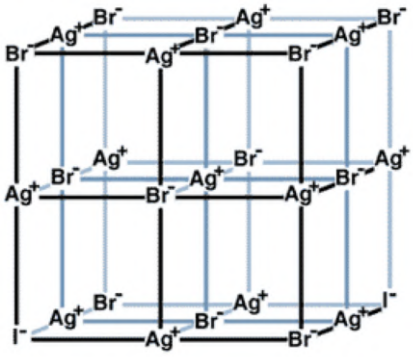
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ฟิล์มถ่ายภาพ (Photographic Film)

ภาพถ่ายฟิล์มเกิดจากเกรนที่ไวแสงของซิลเวอร์และเฮไลด์ เกรนเหล่านี้จะเกิดปฏิกิริยาเมื่อได้รับแสง และสร้างเป็นภาพแฝงที่ตาสามารถมองเห็นได้ ในห้องมืด สภาวะแวดล้อมของน้ำยาสร้างภาพที่เป็นด่างหรือเป็นกลาง น้ำยาสร้างภาพจะทำให้โมเลกุลของซิลเวอร์เฮไลด์แปรเปลี่ยนไปเป็นอะตอมเมทัลซิลเวอร์ และเกิดเป็นบริเวณภาพที่มืด

เมื่อสร้างภาพเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต้องใช้น้ำยาคงภาพที่มีฤทธิ์เป็นกรดเพื่อหยุดการเกิดปฏิกิริยาสร้างภาพและกำจัดซิลเวอร์เฮไลด์ที่ตกค้างอยู่เพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับแสงต่อ

ฟิล์มถ่ายภาพประกอบด้วยอิมัลชันเจลาตินที่มีซิลเวอร์เฮไลด์เป็นชั้นที่ฐานฟิล์ม เฮไลด์ที่นิยมใช้คือ คลอรีน, โบรมีน และไอโอดีน ที่ใช้มากที่สุดคือโบรมีน ซิลเวอร์เฮไลด์เป็นโครงสร้างผลึกของซิลเวอร์ไอออนและเฮไลด์ไอออนในโครงสร้างแบบตาข่าย เมผลึกของซิลเวอร์เฮไลด์เชื่อมกันด้วยพันธะเคมีและมีความเสถียรมาก มีการเคลื่อนที่ของอะตอมและอิเล็กตรอนทั่วทั้งโครงสร้าง



ภาพที่ 1 ผลึกของซิลเวอร์เฮไลด์

ระดับของพลังงานที่แตกต่างกันของเกรนที่มีทั้งวงวาเลนซ์ (valence band) และวงคอนดักชัน (conduction band) อิเล็กตรอนในวงวาเลนซ์จะเคลื่อนที่รอบ ๆ อะตอม ส่วนในวงคอนดักชันจะสามารถเคลื่อนออกจากเกรนได้ เมื่อเกรนได้รับโฟตอนจากแสง อิเล็กตรอนจะหลุดออกและจับกับซิลแวอร์ไอออนจากอะตอมซิลเวอร์ ซึ่งจะเกิดเป็นภาพแฝงขึ้น

ฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำ (Black and White Negative Film)

ฟิล์มขาว-ดำทั่วไปจะให้ภาพที่ตรงข้ามกับภาพจริง โดยส่วนสีดำบนฟิล์มเกิดจากซิลเวอร์ ภาพแฝงจะปรากฏขึ้นในขั้นตอนการสร้างภาพทำให้สามารถมองเห็นสีดำจากซิลเวอร์ และเฮไลด์ถูกกำจัดออก เหลือเพียงภาพเนกาทีฟบนฟิล์ม (ส่วนที่สว่างในภาพจริงคือส่วนดำบนฟิล์ม และส่วนที่เป็นเงาในภาพจริงคือส่วนสว่างบนฟิล์ม)

น้ำยาสร้างภาพ (Developer)

โดยทั่วไปน้ำยาสร้างภาพถูกสร้างจาก 4 สารประกอบ คือ สารสร้างภาพ (developing agent), สารเร่ง (accelerator), สารยับยั้ง (restrainer) และสารกันบูด (preventative)

สารสร้างภาพ คือ ตัวรีดิวซ์ ซึ่งให้อิเล็กตรอนกับผลึกซิลเวอร์เฮไลด์ อิเล็กตรอนจะเข้าสู่วงคอนดักทีฟของสารประกอบ และลดซิลเวอร์ไอออนให้เป็นซิลเวอร์อะตอม กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยที่โฟตอน (photons) เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา การสร้างภาพถูกเร่งให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในพื้นที่ของภาพที่สว่างกว่าและหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่ได้รับการกระตุ้นด้วยแสงเล็กน้อยหรือไม่มีแสงเลย

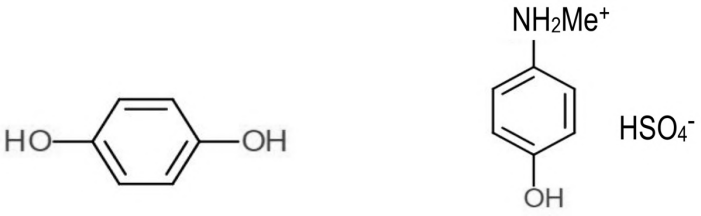
รีดักชันเกิดจากการออกซิเดชัน ขณะที่ตัวรีดิวซ์ให้อิเล็กตรอน ตัวรีดิวซ์จะสูญเสียอิเล็กตรอนและกลายเป็นตัวออกซิไดซ์แทน และสามารถถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนในอากาศได้ เมื่อตัวรีดิวซ์ไม่เหลืออิเล็กตรอนสำหรับให้ผลึกซิลเวอร์แล้ว จะสิ้นสุดกระบวนการสร้างภาพ การเติมสารกันบูดช่วยให้กระบวนการนี้เกิดช้าลง โดยสารกันบูดจะป้องกันตัวรีดิวซ์จากการถูกออกซิไดซ์

วัตถุประสงค์ของสารเร่ง คือ ตัวเร่งช่วยสร้างสภาพแวดล้อมทางเคมีที่เอื้อต่อตัวรีดิวซ์ สารเร่งเป็นสารเคมีที่ทำให้น้ำยาสร้างภาพมีสภาวะทางเคมีเป็นกลางหรือเป็นด่างมากขึ้น สารยับยั้งให้ผลตรงข้ามกับสารเร่ง เป็นตัวหยุดสารสร้างภาพในกระบวนการสร้างภาพ

น้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ D-76 (Kodak D-76 Film Developer)

ประกอบด้วย เมทอล (Metal), โซเดียมซัลไฟต์ (Sodium Sulfite, anhydrous), ไฮโดควิโนน (Hydroquinone) และ บอแรกซ์ (Borax, granular) โดย

สูตรโครงสร้างของสารเคมีที่ใช้ในน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ D-76



Hydroqunione Metol

ภาพที่ 2 โมเลกุลไฮโดรควิโนน และเมทอล

เมทอล (Metol) รวมถึง พีนิโดน (Phenidone) (สารสร้างภาพที่ใหม่กว่า) และไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) เป็นสารสร้างภาพขาว-ดำทั่วไป เมทอลเป็นสารประกอบอินทรีย์และเกลือไม่มีสี ในน้ำยาสร้างภาพขาว-ดำ D-76 ใช้ทั้งเมทอลและไฮโดรควิโนน การรวมตัวกันของสารสร้างภาพเป็นที่รู้กันว่าเพื่อให้เกิดอัตราการสร้างภาพมากขึ้น และให้อัตราการสร้างภาพดีกว่าการสร้างภาพโดยใช้สารสร้างภาพแต่ละตัวเพียงตัวเดียว ไฮโดรควิโนนเป็นตัวหลักที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาในฐานะตัวรีดิวซ์

โซเดียมซัลไฟต์ (Sodium Sulfite) เป็นสารช่วยให้สารสร้างภาพเกิดการออกซิเดชันโดยออกซิเจนในอากาศช้าลง ซัลไฟต์หรือซัลเฟอร์ออกไซด์ ถูกใช้เป็นสารกันบูดในไวน์หรืออาหาร เพื่อคุณสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียและต้านอนุมูลอิสระ

บอแรกซ์ (Borax) สารอัลคาไลน์ (alkaline agent) เช่น โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate), บอแรกซ์ (Borax) หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) ถูกใช้เพื่อปรับค่า pH ให้มีค่าสูงหรืออยู่ในสภาวะด่าง ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ

น้ำกลั่น (Distilled Water) ใช้เพื่อไม่ให้มีสิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับน้ำ ปัจจุบันใช้น้ำ DI

การเจือจางน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ D-76 (D-76 Dilutions)

การเจือจางน้ำยาสร้างภาพฟิ์มขาว-ดำ D-76 โดยทั่วไปน้ำยาสร้างภาพขาว-ดำ จะใช้ที่อัตราส่วนของน้ำยาสร้างภาพกับน้ำ 1:1 ซึ่งเป็นการแนะนำโดยโกดัก (Kodak) การเจือจางน้ำยาสร้างภาพฟิล์มในลักษณะนี้จะให้ช่วงของความดำที่กว้าง

สารเคมีที่ใช้ในน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล

สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย กรดแคฟเฟอิก, กรดแอสคอร์บิก, โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate) และน้ำ

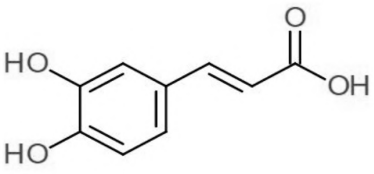
โดยกรดแคฟเฟอิกในแคฟฟินอลเป็นตัวรีดิวซ์ตัวหลัก และวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกเป็นตัวรีดิวซ์รอง ซึ่งการใช้ตัวรีดิวซ์ 2 ตัว ทำให้ใช้เวลาในกระบวนการสร้างภาพน้อยลงและไม่สูญเสียโทนของภาพ (compromising tonality) น้ำยาสร้างภาพที่สามารถสร้างภาพได้เร็วจะให้ contrast ต่ำ และ mid-tone ที่มีรายละเอียดสูง เนื่องจากน้ำยาสร้างภาพทำปฏิกิริยาได้เร็ว หากตัวรีดิวซ์ว่องไวมากจะทำให้สามารถลดเกรนได้แสดงว่าไม่เกิดภาพแฝง เป็นผลทำให้ภาพที่ได้มี contrast ต่ำและรายละเอียดน้อย กลับกันน้ำยาสร้างภาพที่ทำการสร้างภาพช้าจะให้ contrast มากกว่า ตัวรีดิวซ์เหล่านี้ไม่ว่องไวและทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างเกรนในส่วนภาพแฝงและส่วนที่ไม่มีภาพแฝงมากกว่า

โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate) ทำหน้าที่เป็นตัวปรับค่า pH ของน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ ให้อยู่ในสภาวะด่างที่เหมาะสม เมื่อรวมกับน้ำโซเดียมและคาร์บอเนตจะแยกตัวออกจากกัน คาร์บอเนตไอออนกำจัดอะตอมของไฮโดรเจน เหลือไฮดรอกไซด์ไอออน

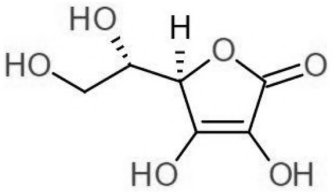
$$Na_2{}^{2+} + CO_3{}^{2-} \rightarrow HCO_3{}^{-} + OH^{-}$$

ภาพที่ 3 สมการการสลายไฮโดรเจน

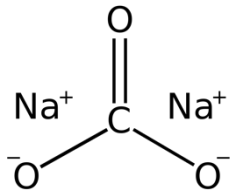
สูตรโครงสร้างของสารที่ใช้ในน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล



Caffeic acid



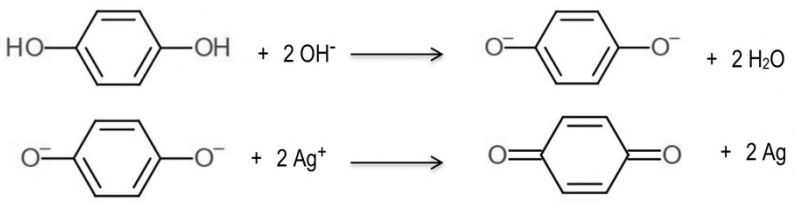
Ascorbic acid (Vitamin C)



Sodium Carbonate

ภาพที่ 4 โมเลกุลกรดแคฟเฟอิก กรดแอสคอบิก และโซเดียมคาร์บอเนต

โครงสร้างทั่วไปของตัวรีดิวซ์เป็นวงเบนซีนที่มีหมู่ —OH ในสภาวะที่เป็นด่าง สารเร่งจะเร่งให้อะตอมไฮโดรเจนของหมู่ —OH หลุดออกจากโมเลกุล เนื่องจากอิเล็กโทรเนกาติวิตีของอะตอมออกซิเจน จับกันแน่นกับอิเล็กตรอนในพันธะไฮดรอกไซด์ นั่นทำให้ไฮโดรเจนหลุดออกได้ง่ายกว่า เมื่อเกิดการสลายพันธะส่งผลให้โมเลกุลจับกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว และเกิดเป็นประจุลบ โดยอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวได้จากอะตอมของซิลเวอร์



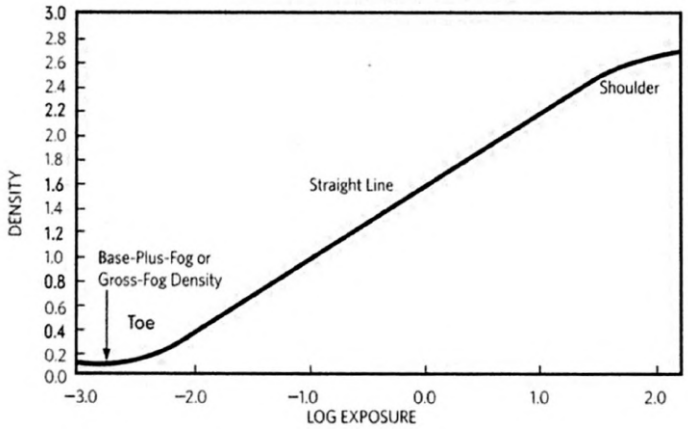
ภาพที่ 5 สมการรีดิวซ์

ความไวแสงในการถ่ายภาพขั้นพื้นฐาน (Basic Photographic Sensitometry)

ลักษณะของความดำบนฟิล์ม ขึ้นอยู่กับปริมาณแสง, ชนิดของแหล่งแสง, ปริมาณการฉายแสง, ชนิดของน้ำยาสร้างภาพ และเวลาการสร้างภาพ

ลักษณะของกราฟความไวแสง or กราฟความดำ (The Characteristic curve)

กราฟที่พลอตปริมาณแสงเปรียบเทียบกับค่าความดำที่ได้จากการฉายแสง



ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณแสงกับค่าความดำที่ได้จากการฉายแสง

ค่าความดำที่นำมาพลอตเกิดจากการใช้ Step Wedge หรือ Step Tablet (แผ่นที่ลักษณะเป็นขั้นความไวแสงของการฉายแสง) ประกอบด้วย 21 ขั้น เป็นช่องแถบที่มีความทึบแสงตั้งแต่มากไปน้อย เมื่อฟิล์มถูกฉายแสงผ่าน Step Wedge ผลที่เกิดขึ้นคือค่าความดำของทั้ง 21 ขั้น ซึ่งสามารถวัดได้โดยเครื่อง Densitometer

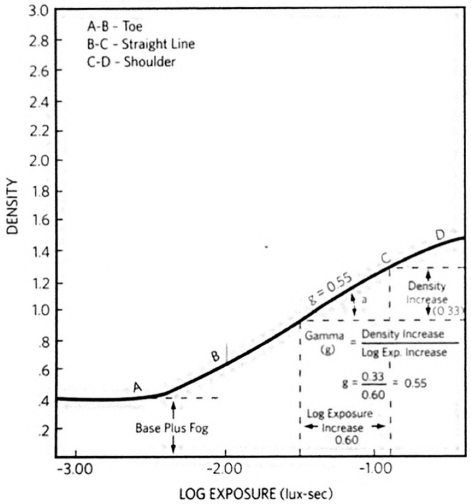
ค่าความดำที่วัดได้จะแสดงบนแกนแนวตั้งของกราฟ (Vertical axis) ปริมาณแสงที่ฉายจะแสดงบนแกนแนวนอนของกราฟ (horizontal axis) โดยแสดงค่าลอการิทึมของปริมาณแสง (logarithmic values)

กราฟประกอบด้วย 3 ส่วน คือ toe, straight-line portion และ shoulder

ส่วนที่มืด (shadows) ของภาพคือส่วนที่สว่างหรือใสของฟิล์มเนกาทีฟ ส่วนมืดถูกแสดงในส่วน toe ของกราฟ ซึ่งเรียกว่าการเกิด shadows

ส่วนสว่าง (highlights) คือส่วนมืดของฟิล์มเนกาทีฟ แต่เป็นส่วนสว่างของภาพจริง เช่น ส่วนเสื้อสีขาว, แสง, การสะท้อนของแสง เป็นต้น ส่วนสว่างถูกแสดงในส่วน shoulder ของกราฟ ซึ่งเรียกว่าการเกิด highlights

ส่วนกลางของภาพ เรียกว่า mid-tones ซึ่งปรากฏบนส่วนเส้นตรงของกราฟ



ภาพที่ 7 ลักษณะของกราฟค่าความดำฟิล์ม

D-min (density-minimum) คือส่วนที่ค่าความดำต่ำที่สุด เนื่องจากฐานของฟิล์มมีความโปร่งใส และชั้นฟิล์มของอิมัลชันที่ถูกสารเคมีทำให้มีลักษณะฝ้ามัว (fogging) ซึ่งเกิดจากผลึกของซิลเวอร์แฮไลด์จำนวนมากที่เกิดขึ้นบนชั้นฟิล์ม ถึงแม้ว่าจะไม่ได้รับการฉายแสงก็ตาม ทำให้ D-min ถูกอ้างเป็น base plus fog (base คือค่าความดำของแผ่นฟิล์มที่สามารถรองรับได้ รวมกับ fog ที่มีค่าความดำ (ผลึก) เกิดขึ้นเมื่อสารไวแสงทำปฏิกิริยากับน้ำยาสร้างภาพ แม้สารไวแสงในส่วนนั้นจะไม่โดนแสงมาก่อน เกิดเป็นค่าความดำต่ำสุดของฟิล์ม)

D-max (density maximum) คือส่วนที่ค่าความดำสูงสุดบนฟิล์ม โดยค่าความดำสูงสุดที่ฟิล์มได้รับลักษณะกราฟของฟิล์มขาวดำส่วนใหญ่จะไม่แสดงให้เห็นส่วน D-max เพราะเกินค่ามาตราส่วนการถ่ายทอดจาก step wedge

ความเปรียบต่าง (Contrast)

คือ ลักษณะที่ใช้อธิบายความแตกต่างของส่วนที่มืดที่สุดกับส่วนสว่างที่สุด (contrast) เช่น แบน (flat), ความแตกต่างสูง (contrasty) และ หนักหรือแข็ง (hard) ซึ่งเวลาของการสร้างภาพส่งผลต่อความชัน หรือความเปรียบต่างของกราฟ โดยทั่วไปลักษณะกราฟที่มีความชันสูงกว่า จะให้ค่าความแตกต่างของส่วนที่มืดที่สุดกับส่วนที่สว่างที่สุด (contrast) สูงกว่า

วิธีการวัดค่าความเปรียบต่าง (contrast) มี 2 วิธี

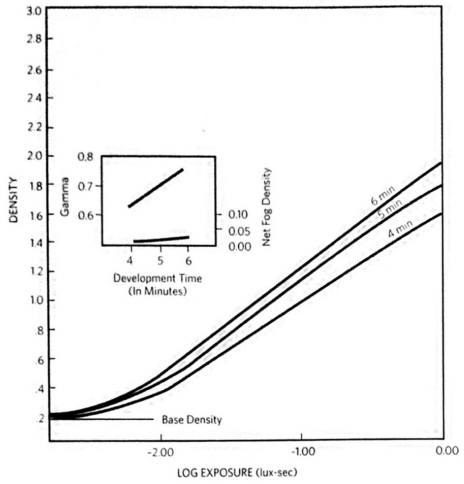
1. แกมมา (γ) เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณจากส่วนเส้นตรงของกราฟ ซึ่งความชันของกราฟสามารถเปรียบเป็นความชันของส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟ และสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\gamma = \frac{\Delta D}{\Delta \log exposure}$$

2. การวัดค่าความแตกต่างของส่วนที่มืดที่สุดกับส่วนที่สว่างที่สุดของฟิล์มเนกาทีฟ คือ ค่าเฉลี่ยการไล่ระดับความมืด (Average Gradient) โดยระดับความมืดคือความชันของส่วนของเส้นตรงที่ลากเชื่มระหว่าง 2 จุดของระยะระหว่างปริมาณแสงที่ฟิล์มได้รับบนกราฟ ตำแหน่งของทั้ง 2 จุด รวมถึงส่วนของกราฟที่เกินส่วนส่วนที่เป็นเส้นตรง (straight line) ด้วย ดังนั้นค่าเฉลี่ยการไล่ระดับความมืด (Average Gradient) สามารถอธิบายลักษณะของความเปรียบต่าง (contrast) ในบริเวณของภาพที่ไม่ถูกแสดงผลบนส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟ

การเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างของฟิล์ม (Film's Contrast)

ค่าความเปรียบต่างหรือความแตกต่างของส่วนที่มืดที่สุดกับส่วนที่สว่างที่สุด (contrast) สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการ โดยวิธีการทั่วไปของการปรับเปลี่ยนค่าความเปรียบต่าง (contrast) คือการเปลี่ยนเวลาการสร้างภาพ ขณะที่การควบคุมอุณหภูมิ, การเขย่า และน้ำยาสร้างภาพไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้



ภาพที่ 8 ลักษณะของกราฟค่าความดำฟิล์มที่ความเปรียบต่าง (contrast) มีค่าต่างกัน

จากภาพ สังเกตได้ว่าเวลาการสร้างภาพที่มากกว่า ให้ความชันของกราฟที่สูงกว่า การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่คือ straight line และ shoulder ของกราฟ ส่วน toe ยังคงใกล้เคียงกัน

ดัชนีการเปิดรับแสงและละติจูด (Exposure Index and Latitude)

การรับแสงที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ 4 ปัจจัย คือ เวลาการรับแสง (length of exposure), รูรับแสงของเลนส์ (lens opening), ความสว่างเฉลี่ย (average scene luminance) และความไวแสงของฟิล์ม (speed of the film)

ดัชนีการเปิดรับแสง (Exposure Index)

Film exposure index (EI) คือค่าที่วัดได้จากความไวแสงของฟิล์ม ซึ่งสามารถใช้โดยเครื่องวัดแสงเพื่อกำหนดค่ารูรับแสงที่ต้องการสำหรับแสงตามเงื่อนไข EI ได้จาก speed point ของกราฟ จุดที่สอดคล้องกับค่าแสงที่ต้องการเพื่อทำให้เกิดความดำของฟิล์ม

Reciprocity Law

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสง (light intensity) และเวลาการเปิดรับแสง (exposure time) โดยปริมาณแสงรวมที่ฟิล์มสามารถรับ เป็นไปตามกฎของ Reciprocity (Reciprocity Law) คือ ปริมาณแสงที่ฟิล์มได้รับ (H) เท่ากับ ความส่องสว่าง (E) คูณกับเวลาการเปิดรับแสง (T)

$$E \times T = H$$

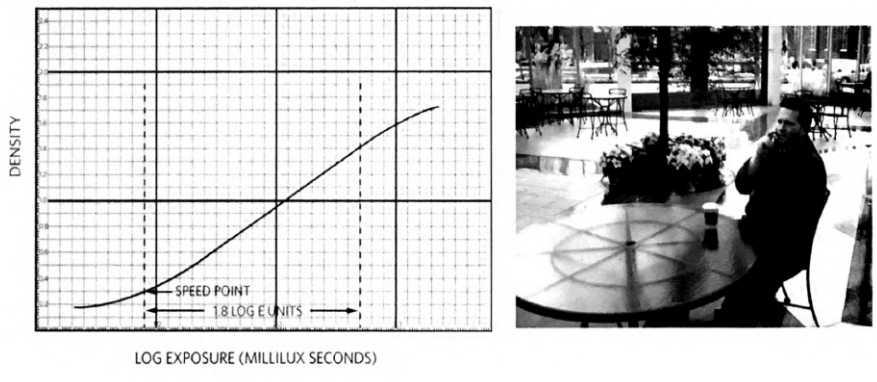
ความไวแสงสูงสุดที่ฟิล์มสามารถรับได้ที่การวัดแสงพอดี ความไวแสงเปลี่ยนแปลงโดยเวลาการเปิดรับแสงและระดับความเข้มของแสง ภาพที่ดีเกิดโดยฟิล์มได้รับระดับความเข้มของแสงและเวลาการเปิดรับแสงที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามที่ระดับความเข้มของแสงต่ำที่สุด การเพิ่มขนาดรูรับแสงจากการคำนวณอาจทำให้ได้รับแสงไม่เพียงพอ ซึ่งทำให้กฎของ reciprocity law ไม่ได้ผล ซึ่งเรียกว่า “Reciprocity Law Failure” เพราะว่า reciprocity law fails อธิบายความไวแสงของฟิล์มที่การเปิดรับแสงเร็วมากและช้ามาก

Reciprocity Law โดยปกติจะใช้ได้ผลกับเวลาในการเปิดรับแสง 1/5 วินาที ถึง 1/1000 วินาที สำหรับฟิล์มขาว-ดำ เวลาที่สูงกว่าหรือต่ำกว่านี้ สำหรับฟิล์มขาว-ดำอาจไม่ได้ผล เกิด reciprocity failure แต่ละติจูดการเปิดรับแสงที่กว้างจะชดเชยการสูญเสียความเร็วในการเปิดรับแสงได้อย่างมีประสิทธิผล การเปิดรับแสงน้อยเกินไปและการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่าง (contrast) เป็นผลมาจากความล้มเหลวของ Reciprocity Law อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงความเปรียบต่าง (contrast) ไม่สามารถชดเชยได้และอาจเกิดความแตกต่างของความเปรียบต่างได้

ละติจูดการรับแสง (Exposure Latitude)

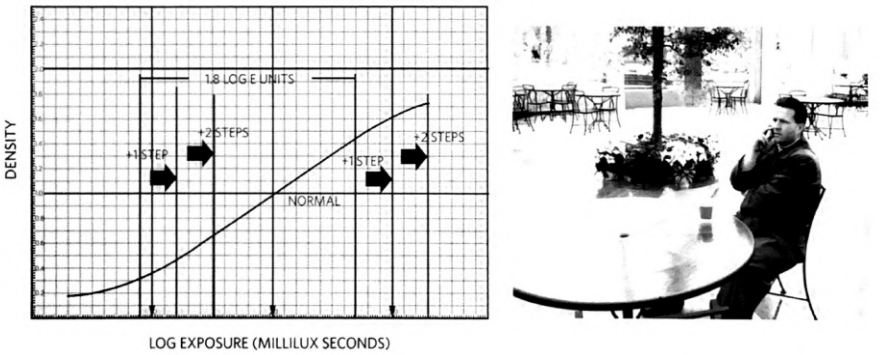
ละติจูดการรับแสงคือการเปลี่ยนแปลงระดับของแสงที่กล้องอนุญาต ที่สามารถทำได้โดยไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพของภาพ ซึ่งสามารถกำหนดละติจูดได้จากลักษณะของกราฟเส้นโค้ง

ถ้าช่วงความสว่างของความเปรียบต่าง ที่ถูกบันทึกโดยฟิล์ม คือ 60:1 แสดงค่าลอการิทึมเป็น 1.8 ลักษณะกราฟเส้นโค้งโดยทั่วไปแสดงค่าครอบคลุมช่วง log E ที่ 3.0 ซึ่งช่วง 1.8 สามารถใส่เข้าไปในช่วงนั้นได้ โดยยังมีพื้นที่ว่าง (ละติจูด) เหลืออยู่ ตำแหน่งของค่าแสงปกติอยู่ที่ speed point



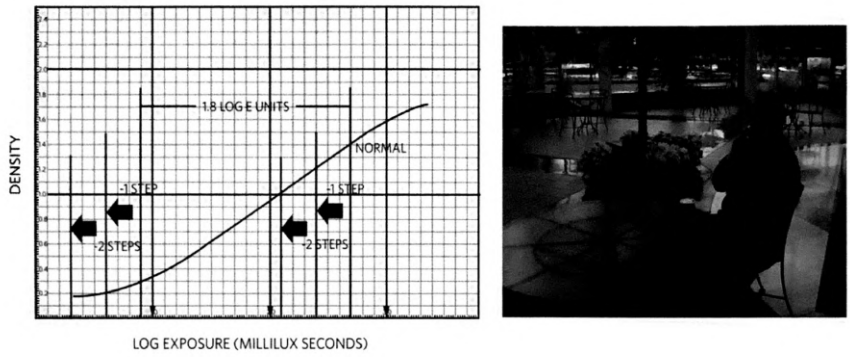
ภาพที่ 9 กราฟเส้นโค้งค่าความดำโดยทั่วไปแสดงค่าครอบคลุมช่วง log E ที่ 3.0

การเลื่อนค่าแสงไปที่ log E 0.3 หรือ 1 สต็อป สามารถเลื่อนช่วงความสว่างไปทางซ้ายได้สองครั้ง ก่อนที่จะหมดส่วนของเส้นโค้งหรือเกินขอบเขตความสามารถในการรับแสงของฟิล์ม



ภาพที่ 10 กราฟเส้นโค้งค่าความดำโดยทั่วไปที่ได้จากการเลื่อนค่าแสงไปที่ log E 0.3 หรือ 1 สต็อป

เหมือนกันกับการเลื่อนช่วงความสว่างไปทางขวาสองครั้ง ก่อนที่จะหมดส่วนของเส้นโค้งหรือเกินขอบเขตความสามารถในการรับแสงของฟิล์ม



ภาพที่ 11 กราฟเส้นโค้งค่าความดำโดยทั่วไปที่ได้จากการเลื่อนค่าแสงลดลง 1 สต็อป

ฟิล์มถ่ายภาพขาว-ดำ ฟอมาแพน100 คลาสสิค (Fomapan 100 Classic black-and-white negative film)

ฟิล์มถ่ายภาพขาว-ดำ Fomapan 100 Classic มีความไวแสงเล็กน้อยคือ ISO 100/21 แต่เนื่องจากฟิล์มขอบเขตการรับแสงของฟิล์มที่กว้างและยังให้ผลของภาพที่ดีอยู่หากถ่ายภาพให้สว่างกว่าปกติ 1 สต็อป (+1 EV) เปรียบได้กับที่ ISO 50/18 หรือถ่ายให้มืดกว่าปกติได้ 2 สต็อป (-2 EV) เปรียบได้กับที่ ISO 400/27 โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการสร้างภาพ เช่น เวลาในการสร้างภาพ หรือเพิ่มอุณหภูมิของน้ำยาสร้างภาพที่ใช้

Speed
ISO 100/21º, 21º ČSN
Schwarzschild effect

Exposure (seconds)	*1/1000–1/2*	*1*	*10*	*100*
Lengthening of exposure	1x	2x	8x	16x
Correction of aperture number	0	-1	-3	-4

ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ของรูรับแสงและความไวแสงของฟิล์ม

การสร้างภาพขาว-ดำของฟิล์ม Fomapan 100 Classic

ในการสร้างภาพของฟิล์ม Fomapan 100 Classic สามารถใช้น้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำเนกาทีฟทั่วไปได้ เวลาในการสร้างภาพแสดงในภาพด้านล่าง

Developer	*Development time (minutes)*	
	20 °C	*30 °C*
Fomadon LQN (1+10)	7 – 8	2,5
Fomadon R09 (1+50)	8 – 9	–
Fomadon P	7 – 8	4
Fomadon Excel	5 –6	1.5
Kodak Xtol	5 – 6	1.5
Ilford Microphen–stock	5 – 7	2
Ilford Perceptol–stock	8	3.5
Ilford ID 11/ Kodak D76–stock	6 – 7	3
Tetenal Emofin Liquid	4 – 5	–

ภาพที่ 13 อุณหภูมิ และเวลาสร้างภาพของน้ำยาสร้างภาพยี่ห้อต่าง ๆ

จากภาพ น้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำของ Kodak D-76 ใช้เวลาในขั้นตอนการสร้างภาพ 6-7 นาที ที่อุณหภูมิน้ำยาสร้างภาพ 20 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทำวิจัย

1. กล้องถ่ายภาพฟิล์ม Nikon F4 + Lens Nikkor 50mm f1.4
2. ฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำ Fomapan100
3. อุปกรณ์ล้างฟิล์ม Paterson Super System 4 Universal Developing Tank (ดังแสดงในภาพที่ 14)
4. ที่ดึงฟิล์ม (Film Picker)
5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
6. คลิปตากฟิล์ม (Stainless Film Cilp)
7. บีกเกอร์ (Beaker)
8. ถาดสำหรับอัดภาพ
9. นาฬิกาจับเวลา (Timer)
10. ตู้อบลมร้อน
11. เครื่องฉายแสงแบบอัดสัมผัส (Contact Copy) (ดังแสดงในภาพที่ 15)
12. แถบลิ่มแสง (Step Wedge) (ดังแสดงในภาพที่ 16)
13. เครื่องวัดความดำ (Densitometer) (ดังแสดงในภาพที่ 17)
14. เทปกาว
15. กรรไกร

ภาพที่ 14 อุปกรณ์ล้างฟิล์ม

ภาพที่ 15 เครื่องฉายแสงแบบอัดสัมผัส

ภาพที่ 16 แถบลิ่มแสง

ภาพที่ 17 เครื่องวัดความดำ

3.2 สารเคมี

1. กาแฟสำเร็จรูป เนสกาแฟเรดคัพ
2. วิตามินซี Hicee Vitamin C 500 mg
3. โซเดียมคาร์บอเนต
4. น้ำยาสร้างภาพขาว-ดำ (Kodak D-76 Film Developer)
5. น้ำยาคงภาพ (Fixer)
6. น้ำสะอาด

3.3 สูตรน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล

ตารางที่ แสดงสูตรน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล

สูตร	ส่วนประกอบ			
	กาแฟสำเร็จรูป (g)	น้ำ (ml)	โซเดียมคาร์บอเนต (g)	วิตามินซี (mg)
1	24.65	340.00	17.25	-
2	24.65	340.00	17.25	1000.00

3.4 วิธีการทดลอง

<u>การทดลองที่ 1</u>

1. หาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม

   อัดสัมผัสฟิล์มและ Step Wedge ที่ค่าความเข้มแสง 5,6 และ 7V ใช้เวลาในการฉายแสง 1 วินาที และล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำ (D-76) ใช้เวลาในการล้าง 7 นาที จากนั้นวัดค่าความดำของฟิล์มด้วยเครื่องวัดความดำ

2. เปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ได้จากการล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างทั้ง 3 ชนิด

   อัดสัมผัสฟิล์มและ Step Wedge ที่ค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม (ได้จากขั้นตอนที่ 1) และล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1 และ 2 ใช้เวลาในการล้าง 7 นาที จากนั้นวัดค่าความดำของฟิล์มด้วยเครื่องวัดความดำ เทียบกับฟิล์มที่ล้างด้วย D-76

เนื่องจากล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพทั้ง 3 ชนิดโดยใช้เวลา 7 นาทีเท่ากัน แต่ฟิล์มที่ได้จากน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1 และ 2 ได้ค่าความดำที่น้อยกว่า D-76 ดังนั้นจึงทำการเพิ่มเวลาในการล้างโดยใช้ค่าความดำของฟิล์มที่ล้างจาก D-76 เป็นเกณฑ์

3. หาเวลาที่ใช้ในการล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลที่เหมาะสม

   อัดสัมผัสฟิล์มและ Step Wedge ที่ค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม (ได้จากขั้นตอนที่ 1) ทั้งหมด 6 ชิ้น ล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 อย่างละ 3 ชิ้น ในเวลา 7, 9 และ 11 นาที จากนั้นวัดค่าความดำด้วยเครื่องวัดความดำ เทียบกับฟิล์มที่ล้างด้วย D-76

น้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1 ให้ค่าความดำที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับ D-76 ดังนั้นจึงเลือกเพียงน้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

4. หาเวลาในการล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลที่เหมาะสมสำหรับสูตรที่ 2

   อัดสัมผัสฟิล์มและ Step Wedge ที่ค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม (ได้จากขั้นตอนที่ 1) ล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 ในเวลา 13 นาที จากนั้นวัดค่าความดำด้วยเครื่องวัดความดำ เทียบกับฟิล์มที่ล้างด้วย D-76

การทดลองที่ 2

1. ปรับปริมาณวิตามินซีสำหรับน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลในสูตรที่ 2

   อัดสัมผัสฟิล์มและ Step Wedge ที่ค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม (ได้จากขั้นตอนที่ 1) ล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 โดยลดปริมาณวิตามินซีลงไป 0.5 เท่า (สูตรที่ 2-1) และเพิ่มปริมาณวิตามินซี 2 เท่า (สูตรที่ 2-2) จากนั้นวัดค่าความดำ เทียบกับน้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 และ D-76

2. ปรับลดปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตสำหรับน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลในสูตรที่ 2

   อัดสัมผัสฟิล์มและ Step Wedge ที่ค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม (ได้จากขั้นตอนที่ 1) ล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 โดยลดปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตลงไป 0.5 เท่า (สูตรที่ 2-3) และ 0.25 เท่า (สูตรที่ 2-4) จากนั้นวัดค่าความดำเทียบกับน้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 และ D-76

ตารางที่ แสดงสูตรน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 (ปรับปริมาณ)

สูตร	ส่วนประกอบ			
	กาแฟสำเร็จรูป (g)	น้ำ (ml)	โซเดียมคาร์บอเนต (g)	วิตามินซี (mg)
เริ่มต้น*	24.65	340.00	17.25	1000.00
2-1	24.65	340.00	17.25	500.00
2-2	24.65	340.00	17.25	2000.00
2-3	24.65	340.00	8.63	1000.00
2-4	24.65	340.00	12.94	1000.00

*น้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2

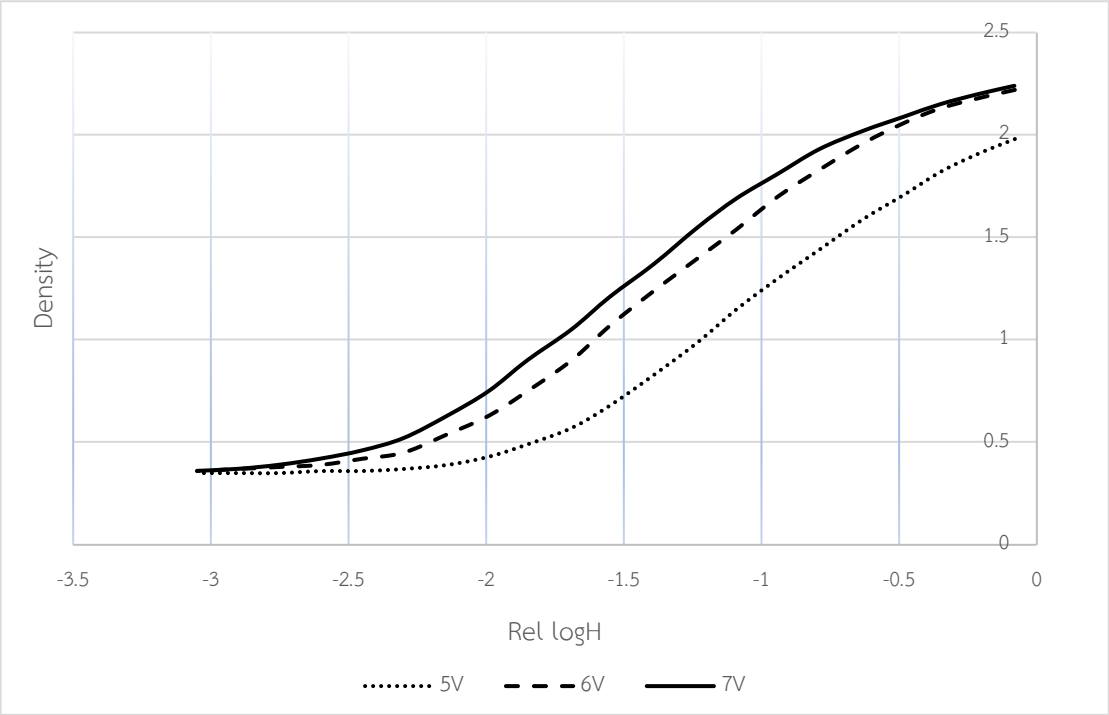
<u>วิธีการเปรียบเทียบค่าความดำฟิล์มที่ได้ โดยกราฟค่าความดำ</u>

ค่าความดำที่นำมาพลอตเกิดจากการใช้ Step Wedge หรือ Step Tablet (แผ่นที่ลักษณะเป็นขั้นความไวแสงของการฉายแสง) ประกอบด้วย 21 ขั้น เป็นช่องแถบที่มีความทึบแสงตั้งแต่มากไปน้อย เมื่อฟิล์มถูกฉายแสงผ่าน Step Wedge ผลที่เกิดขึ้นคือค่าความดำของทั้ง 21 ขั้น ซึ่งสามารถวัดได้โดยเครื่อง Densitometer

แกนแนวตั้งของกราฟ (Vertical axis) แสดงค่าความดำที่ได้บนฟิล์ม แกนแนวนอนของกราฟ (horizontal axis) แสดงปริมาณแสงที่ฟิล์มได้รับตามระดับแบบลอการิทึม

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ (Results and discussion)

4.1 ผลการศึกษาค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมในการล้างฟิล์มเนกาทีฟขาวดำด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำ (D-76) ที่เวลาการล้าง 7 นาที



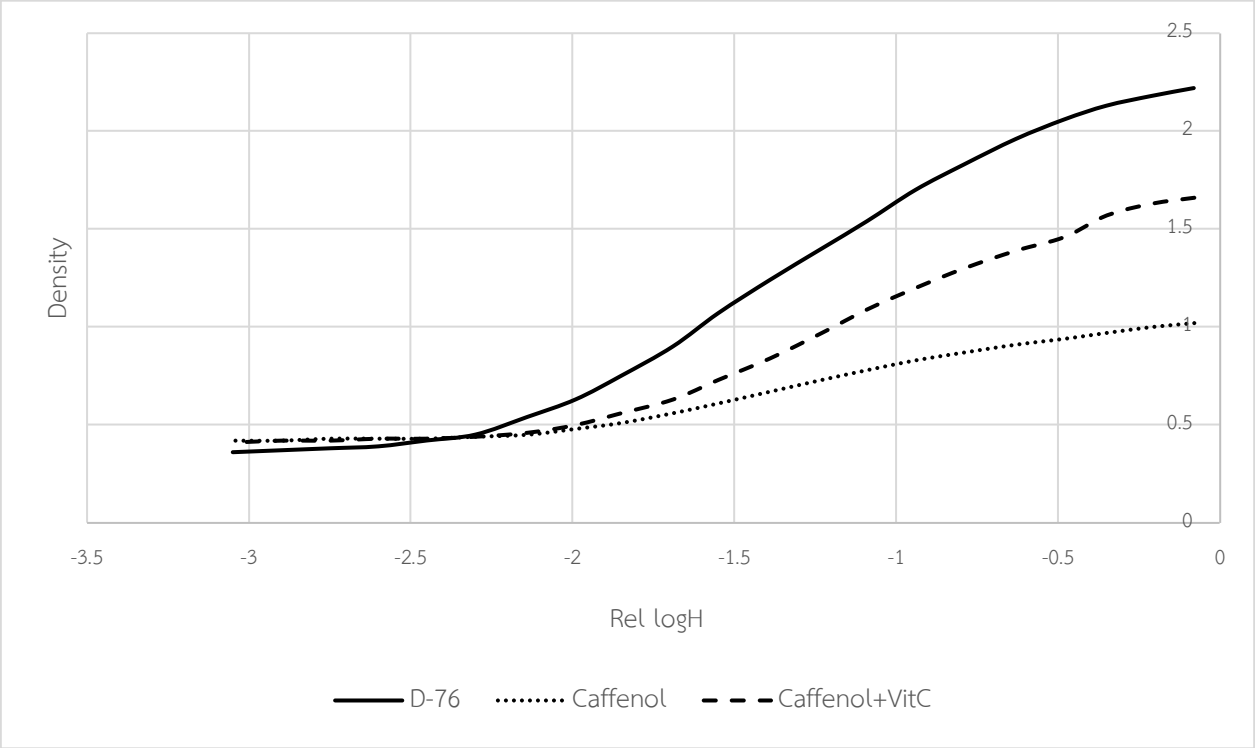
ภาพที่ 18 กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 5, 6 และ 7 โวลต์(V) เวลา 1 วินาที (เป็นค่าการฉายแสงกลาง ๆ ของเครื่องอัดสัมผัส เพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการทดสอบ) โดยล้างฟิล์มด้วย D-76 กับค่าระดับ Relative LogH (H คือค่าการฉายแสง) ซึ่งระดับความดำจะตรงข้ามกับความดำบน Step wedge (จึงใช้ค่าเป็นลบ)

จากภาพที่ 18 แสดงให้เห็นว่าค่าการฉายแสงที่ความเข้มแสง 7V ให้เส้นกราฟที่สูงที่สุด รองลงมาเป็น 6 V และ 5 V ตามลำดับ ค่าความดำที่สูงที่สุดของค่าการฉายแสงที่ความเข้มแสง 5 V มีค่าน้อยที่สุด แต่ที่ 6 V และ 7 V มีค่าใกล้เคียงกัน

เนื่องจากการฉายแสงลงบนฟิล์ม แสงจะต้องเดินทางผ่าน Step wedge ก่อนที่จะถึงฟิล์ม ในส่วนที่ขาวที่สุดของ Step wedge เมื่อฉายแสงให้ผ่านลงไปบนฟิล์มส่วนนั้นจะเป็นส่วนที่ฟิล์มโดยแสงมากที่สุด และเมื่อนำมาล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพส่วนที่โดนแสงมากที่สุดจะกลายเป็นส่วนที่ดำที่สุด เนื่องจากเป็นฟิล์มเนกาทีฟ ดังนั้นการที่ฉายแสงด้วยความเข้มแสงน้อยกว่า จะส่งผลให้ฟิล์มมีค่าความดำที่น้อยกว่า ดังเช่นเส้นกราฟ 5V ที่มีค่าความดำต่ำที่สุด และ เส้นกราฟ 7V ที่มีค่าความดำสูงที่สุด

ค่าความดำที่มากที่สุดของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยความเข้มแสง 7V และ 6V มีค่าใกล้เคียงกัน เพราะเป็นค่าสูงสุดแล้วที่ฟิล์มสามารถรับแสงได้ ส่วนค่าความดำที่น้อยที่สุดของฟิล์มมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 เส้น เนื่องจากเป็นค่าความดำที่ต่ำที่สุด (D-min) และจากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการฉายแสงบนฟิล์มคือ 6V เพราะเส้นกราฟแสดงให้เห็น exposure latitude ของฟิล์ม fomapan100 โดยค่าความดำที่ปรากฏบนส่วนใสสุดของฟิล์มจะมีค่าไม่เท่ากับ 0 เรียกจุดที่มีค่าความดำต่ำสุดว่า base plus fog ซึ่ง base คือค่าความดำของแผ่นฟิล์มที่สามารถรองรับได้ รวมกับ fog ที่เป็นความดำที่เกิดจากสารไวแสงบนฟิล์มทำปฏิกิริยากับน้ำยาสร้างภาพ แม้สารไวแสงในส่วนนั้นจะไม่โดนแสงมาก่อน จึงเกิดเป็นค่าความดำต่ำสุดของฟิล์ม

4.2 ผลการศึกษาสูตรน้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล ที่ฉายแสงด้วยความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาฉายแสง 1 วินาที ใช้เวลาการล้าง 7 นาที



ภาพที่ 19 กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาในการฉายแสง 1 วินาที ใช้เวลาในการล้าง 7 นาที โดยล้างฟิล์มด้วย D-76, น้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1 (Caffenol) และสูตรที่ 2 (Caffenol+VitC) กับค่าระดับ Relative LogH (H คือค่าการฉายแสง) ซึ่งระดับความดำจะตรงข้ามกับความดำบน Step wedge (จึงใช้ค่าเป็นลบ)

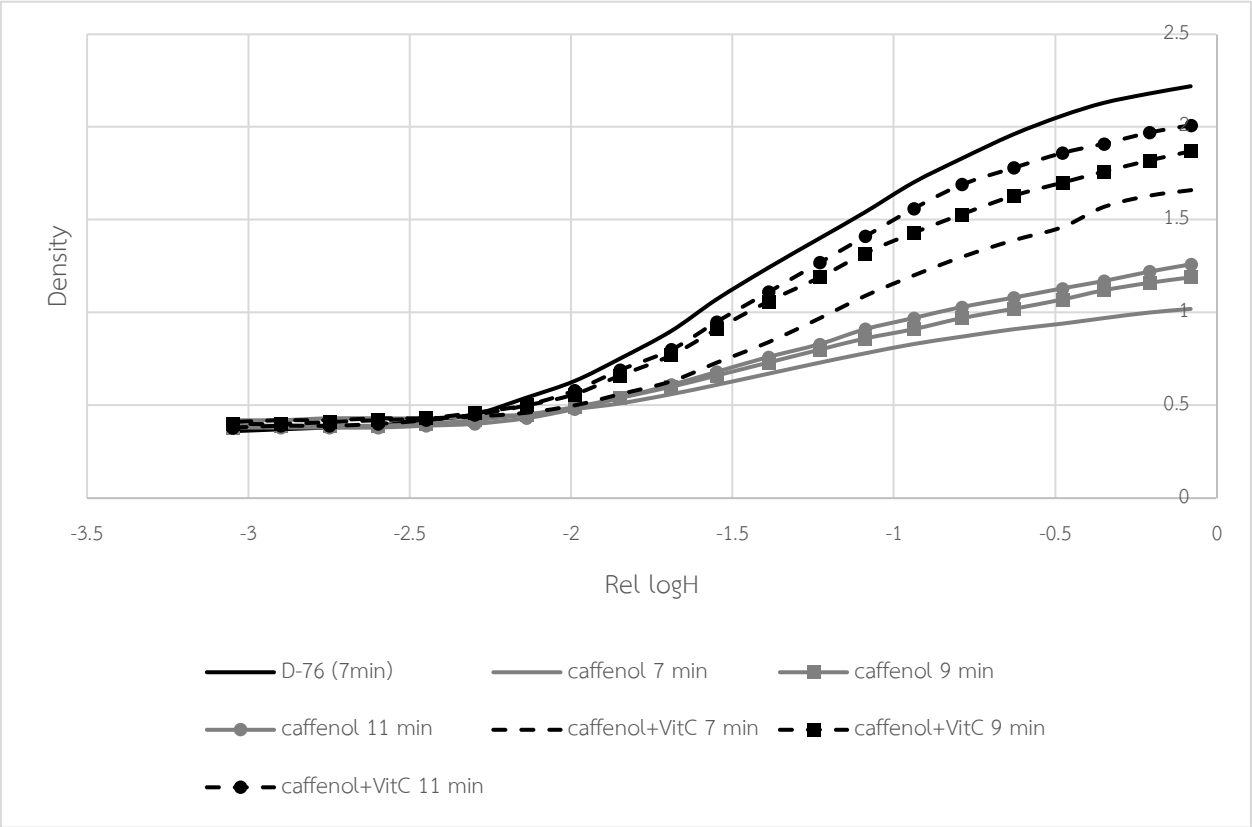
จากภาพที่ 19 แสดงให้เห็นว่าเส้นกราฟของฟิล์มที่ล้างด้วย D-76 เป็นเส้นกราฟที่สูงที่สุด ให้ค่าความดำสูงที่สุดในจุดที่มีความดำมากที่สุดบนฟิล์ม และมีความชันสูงที่สุด รองลงมาเป็นเส้นกราฟของฟิล์มที่ล้างด้วย Caffenol+VitC และ Caffenol ตามลำดับ แต่ที่จุดเริ่มต้นเส้นกราฟ(toe) D-76 มีค่าความดำต่ำที่สุด ในขณะที่ Caffenol+VitC และ Caffenol มีค่าใกล้เคียงกัน

เนื่องจากใน D-76 มีตัวรีดิวซ์ 2 ตัวโดยมี Hydroquinone เป็นตัวรีดิวซ์หลักและ Metol เป็นตัวรีดิวซ์รอง ซึ่งการใช้ตัวรีดิวซ์ 2 ตัวร่วมกันทำให้เกิดปฏิกิริยาสร้างภาพได้ดีกว่าการใช้ตัวรีดิวซ์เพียงตัวเดียว ดังเช่นสารสร้างภาพ Caffenol ที่ใช้ Caffeic acid เป็นตัวรีดิวซ์เพียงตัวเดียวจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาสร้างภาพน้อยกว่า D-76 ส่วน Caffenol+VitC ที่มีตัวรีดิวซ์ 2 ตัว คือ Caffeic acid และ Ascorbic acid ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสร้างภาพที่ดีกว่า Caffenol แต่ยังไม่เทียบเท่า D-76 เพราะโครงสร้างของตัวรีดิวซ์ที่มีขนาดใหญ่กว่าจึงเข้าทำปฏิกิริยาได้ช้ากว่า ทำให้ค่าความดำที่ได้มีค่าต่ำกว่า เมื่อใช้เวลาในการสร้างภาพเท่ากัน

ในส่วน toe ของกราฟเส้น D-76 มีค่าความดำต่ำที่สุดเพราะในขั้นตอนการล้างฟิล์ม D-76 เป็นน้ำยาสร้างภาพที่มีสีค่อนข้างใส หรือแทบไม่มีสีเลย ต่างกับ Caffenol และ Caffenol+VitC ที่เป็นน้ำยาสร้างภาพที่

มีสีน้ำตาลเข้มและค่อนข้างขุ่น เมื่อนำไปสร้างภาพจึงทำให้สีจากน้ำยาสร้างภาพไปติดอยู่บนฟิล์มได้มากกว่า จึงเป็นเหตุผลว่าส่วนสีใสที่สุดของฟิล์มที่ล้างจาก Caffenol และ Caffenol+VitC นั้นมีค่าความดำที่มากกว่า D-76

4.3 ผลการศึกษาเวลาการล้างที่เหมาะสมสำหรับน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1 และ 2 ที่ฉายแสงด้วยความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาฉายแสง 1 วินาที



ภาพที่ 20 กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาในการฉายแสง 1 วินาที โดยล้างฟิล์มด้วย D-76 ที่เวลา 7 นาที, น้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1 (Caffenol) และสูตรที่ 2 (Caffenol+VitC) ที่เวลา 7, 9 และ 11 นาที กับค่าระดับ Relative LogH (H คือค่าการฉายแสง) ซึ่งระดับความดำจะตรงข้ามกับความดำบน Step wedge (จึงใช้ค่าเป็นลบ)

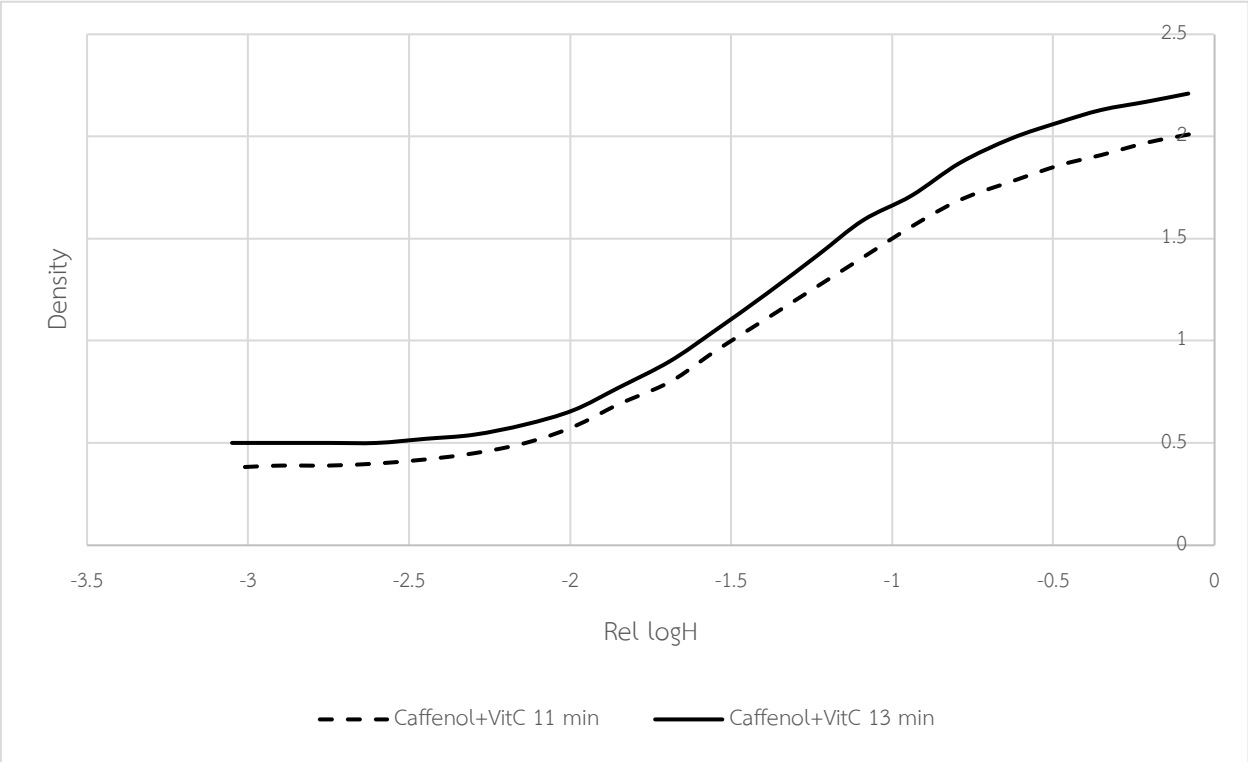
จากภาพที่ 20 แสดงให้เห็นว่าเส้นกราฟของฟิล์มที่ล้างด้วยน้ำยา D-76 เป็นเส้นกราฟที่สูงที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่มเส้นกราฟของฟิล์มที่ล้างด้วย Caffenol+VitC 11, 9 และ 7 นาทีตามลำดับ ส่วนกลุ่มเส้นกราฟของฟิล์มที่ล้างด้วย Caffenol ให้ค่าความดำต่ำที่สุด โดยเรียงจากมากไปน้อยได้แก่ 11, 9 และ 7 นาที และความชันของกราฟเรียงจากมากไปน้อยได้แก่ D-76, Caffenol+VitC 11 นาที, Caffenol+VitC 9 นาที, Caffenol+VitC 7 นาที, Caffenol 11 นาที, Caffenol 9 นาที และ Caffenol 7 นาที

จากอภิปรายข้อ 4.2 ที่เวลาการล้างฟิล์มที่เท่ากัน ค่าความดำที่ได้จากมากไปน้อยได้แก่ D-76, Caffenol+VitC และ Caffenol เมื่อเปลี่ยนเวลาในการล้างแนวโน้มของค่าความดำที่ได้จากการล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลทั้ง 2 สูตร มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาในการล้างที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาที่มากขึ้นทำให้ตัวรีดิวซ์เข้าทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น เกิดอัตราการสร้างภาพที่มากขึ้น และจากค่าความชันของกราฟ แสดงถึง

contrast โดยเมื่อค่าความชันสูง จะให้ contrast สูง ซึ่ง Caffenol ให้ค่าความชันต่ำ เนื่องจากการเข้าทำปฏิกิริยาของตัวรีดิวซ์ที่มีเพียง 1 ตัว และโครงสร้างใหญ่ ทำให้เกิดเกิดปฏิกิริยาได้ไม่ดี อัตราการสร้างภาพจึงต่ำ

จากผลของกราฟทำให้เห็นแนวโน้มที่เป็นไปได้ในการพัฒนาน้ำยาสร้างภาพแคฟฟินอลสูตรที่ 2 (Caffenol+VitC) ให้ได้ผลใกล้เคียงกับ D-76 มากกว่าน้ำยาสร้างภาพแคฟฟินอลสูตรที่ 1 (Caffenol) จึงเลือกพัฒนาเพียงสูตรที่ 2 ต่อไป

4.4 ผลการศึกษาเวลาการล้างที่เหมาะสมสำหรับน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 โดยปรับเพิ่มเวลาในการล้างเป็น 13 นาที ที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาฉายแสง 1 วินาที



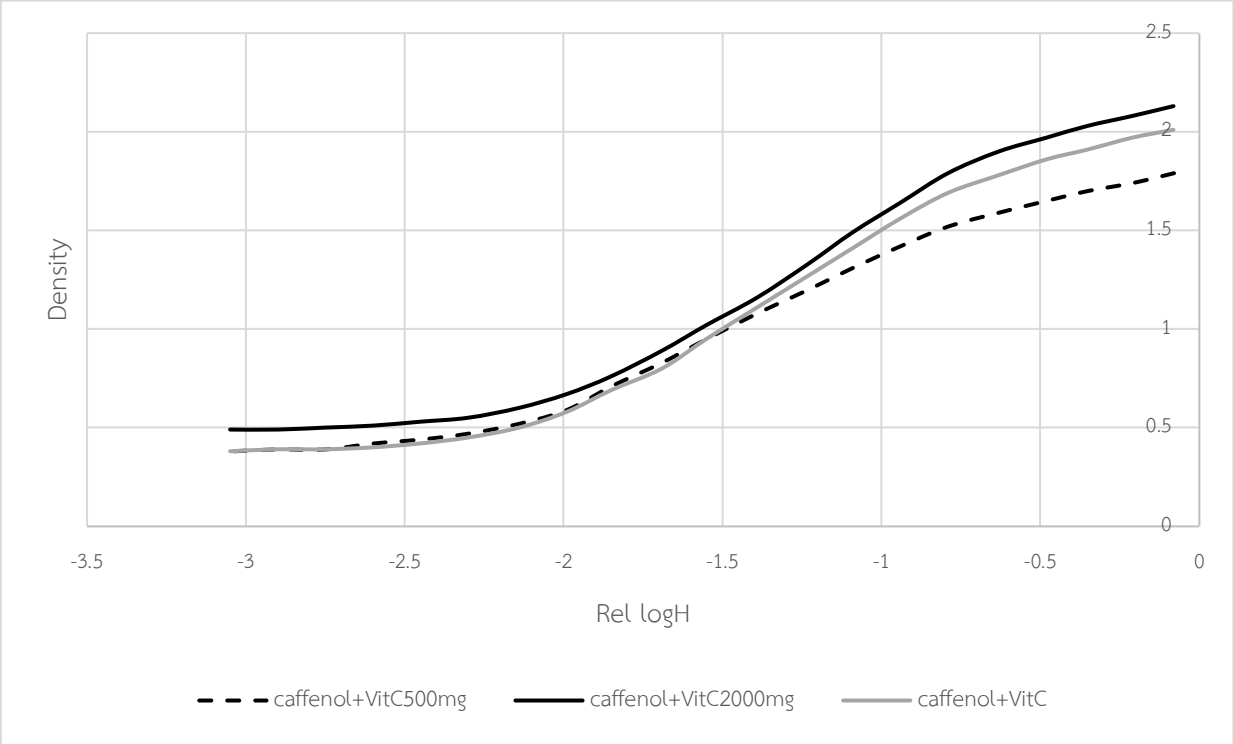
ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาในการฉายแสง 1 วินาที โดยล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 (Caffenol+VitC) ที่เวลา 11 และ 13 นาที กับค่าระดับ Relative LogH (H คือค่าการฉายแสง) ซึ่งระดับความดำจะตรงข้ามกับความดำบน Step wedge (จึงใช้ค่าเป็นลบ)

จากภาพที่ 21 แสดงให้เห็นเส้นกราฟที่ล้างด้วย Caffenol+VitC ที่เวลา 13 นาที มีเส้นกราฟที่สูงกว่าและมีค่าความดำทุกส่วนมากกว่าเส้นกราฟที่ล้างด้วย Caffenol+VitC ที่เวลา 11 นาที แต่กราฟทั้ง 2 เส้นมีค่าความชันที่ใกล้เคียงกัน

จากอภิปรายข้อที่ 4.3 เมื่อเพิ่มเวลาในการล้าง ค่าความดำที่ได้จะเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากความดำที่ล้างด้วย Caffenol+VitC ที่เวลา 13 นาที ความดำส่วนของฟิล์มที่ดำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความดำในส่วนของฟิล์มที่ใสเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ผลของความดำที่เพิ่มขึ้นมาจากเวลาในการล้างที่มากขึ้น ทำให้ตัวรีดิวซ์ในน้ำยาสร้างภาพสามารถทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น แต่อีกสาเหตุหนึ่งมาจากสีของน้ำยาสร้างภาพที่มีความเข้มจากสีของกาแฟ ทำให้สีของน้ำยาติดบนฟิล์ม ลักษณะฟิล์มที่ได้จึงมีความดำมากกว่าปกติ และส่วนใสของฟิล์มไม่ใสเท่าที่เวลาการล้าง 11 นาที แสดงให้เห็นว่าค่าความดำของฟิล์มเพิ่มขึ้นทั้งหมดตั้งแต่ส่วนที่ใสสุดไปจนถึงส่วนที่ดำสุด และค่าความชันก็มีค่าใกล้เคียงกันกับการล้างที่เวลา 11 นาที ดังนั้นการเพิ่มเวลาล้างเป็น 13 นาทีจึงส่งผลเพียงแค่ค่าความดำเพิ่มขึ้น แต่ contrast ไม่เพิ่มขึ้น

จากผลของกราฟจึงได้เวลาในการสร้างภาพที่เหมาะสมของน้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 คือเวลาการล้างที่ 11 นาที

4.5 ผลการศึกษาปริมาณวิตามินซีในน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำสูตรที่ 2 โดยลดปริมาณวิตามินซีลงไป 0.5 เท่า (สูตรที่ 2-1) และเพิ่มปริมาณวิตามินซีเป็น 2 เท่า (สูตรที่ 2-2) ที่ฉายแสงด้วยความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาฉายแสง 1 วินาที ใช้เวลาการล้าง 11 นาที



ภาพที่ 22 กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาในการฉายแสง 1 วินาที โดยล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 (Caffenol+VitC) โดยลดปริมาณวิตามินซีลง 0.5 เท่า (Caffenol+VitC500mg) และเพิ่มขึ้น 2 เท่า (Caffenol+VitC2000mg) ที่เวลา 11 นาที กับค่าระดับ Relative LogH (H คือค่าการฉายแสง) ซึ่งระดับความดำจะตรงข้ามกับความดำบน Step wedge (จึงใช้ค่าเป็นลบ)

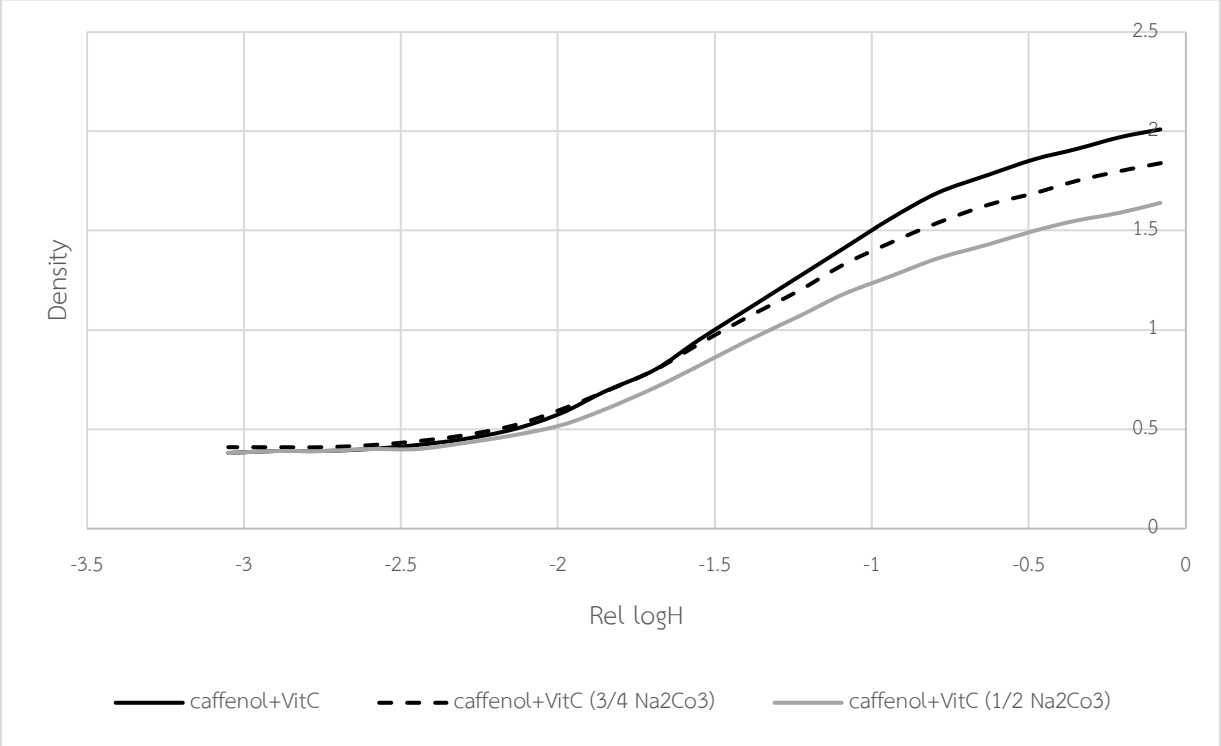
จากภาพที่ 22 แสดงให้เห็นว่าจุดที่มีค่าความดำมากที่สุด (shoulder) ของเส้นกราฟทั้ง 3 เส้น กราฟของฟิล์มที่ล้างด้วย Caffenol+VitC2000mg ให้ค่าความดำสูงที่สุด รองลงมาเป็น Caffenol+VitC และ Caffenol+VitC500mg ตามลำดับ แต่ในจุดที่มีค่าความดำน้อยที่สุด (toe) กราฟของฟิล์มที่ล้างด้วย Caffenol+VitC2000mg มีค่าความดำมากที่สุด ส่วน Caffenol+VitC และ Caffenol+VitC500mg ให้ค่าความดำต่ำที่สุดซึ่งใกล้เคียงกัน ค่าความชันของกราฟ Caffenol+VitC และ Caffenol+VitC2000mg มีค่าใกล้เคียงกัน ต่างจาก Caffenol+VitC500mg ที่มีค่าความชันต่ำที่สุด

จากค่าความดำของฟิล์มในส่วน shoulder ของกราฟที่ได้ เนื่องจากการเพิ่มหรือลดปริมาณ VitC เป็นการเพิ่มหรือลดตัวรีดิวซ์ ซึ่งส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาและอัตราการเกิดภาพบนฟิล์ม โดยการเพิ่มปริมาณ VitC ส่งผลให้ค่าความดำของฟิล์มเพิ่มขึ้นทั้งหมดตั้งส่วนใสสุดไปจนดำสุด แต่ contrast ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับ

ปริมาณ VitC ตั้งต้น ดังนั้นการเพิ่มปริมาณ VitC ที่มากเกินพอ จึงส่งผลเพียงเพิ่มค่าความดำฟิล์ม แต่ไม่เพิ่ม contrast

จากผลของกราฟจึงได้ปริมาณวิตามินซีในการสร้างภาพที่เหมาะสมของน้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 คือ 1000 มิลลิกรัม

4.6 ผลการศึกษาปริมาณวิตามินซีในน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำสูตรที่ 2 โดยลดปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตลงไป 0.5 เท่า (สูตรที่ 2-3) และ 0.25 เท่า (สูตรที่ 2-4) ที่ฉายแสงด้วยความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาฉายแสง 1 วินาที ใช้เวลาการล้าง 11 นาที



ภาพที่ 23 กราฟเปรียบเทียบค่าความดำของฟิล์มที่ฉายแสงด้วยค่าความเข้มแสง 6 โวลต์ เวลาในการฉายแสง 1 วินาที โดยล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 (Caffenol+VitC) โดยลดปริมาณโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ลง 0.5 และ 0.25 เท่า ที่เวลา 11 นาที กับค่าระดับ Relative LogH (H คือค่าการฉายแสง) ซึ่งระดับความดำจะตรงข้ามกับความดำบน Step wedge (จึงใช้ค่าเป็นลบ)

จากภาพที่ 23 แสดงให้เห็นว่าจุดที่มีค่าความดำสูงที่สุดของเส้นกราฟทั้ง 3 เส้น กราฟของฟิล์มที่ล้างด้วย Caffenol+VitC ให้ค่าความดำสูงที่สุด รองลงมาเป็น Caffenol+VitC (3/4Na_2CO_3) และ Caffenol+VitC (1/2Na_2CO_3) ตามลำดับ แต่ในจุดที่มีค่าความดำต่ำที่สุดกราฟทั้ง 3 เส้นให้ค่าความดำที่ใกล้เคียงกัน และความชันของกราฟจากมากไปน้อย ได้แก่ Caffenol+VitC, Caffenol+VitC (3/4Na_2CO_3) และ Caffenol+VitC (1/2Na_2CO_3) ตามลำดับ

เนื่องจากโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ทำหน้าที่เป็นตัวปรับสภาวะของน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำให้เป็นด่างที่เหมาะสมแก่การสร้างภาพ หากน้ำยาสร้างภาพไม่อยู่ในสภาวะที่เป็นด่างจะไม่เกิดปฏิกิริยาสร้างภาพแฝงบนฟิล์ม ดังนั้นการปรับลดปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตจึงมีผลทำให้ค่าความดำในส่วนมืดสุดของฟิล์มลดลงด้วย เพราะสภาวะของน้ำยาสร้างภาพมีความเป็นด่างต่ำ

จากผลของกราฟ ปริมาณเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่เหมาะสมของน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2 คือปริมาณในสูตรตั้งต้น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ (Conclusions and Recommedation)

สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการสร้างภาพขาว-ดำ โดยใช้ Caffenol Film Developer

น้ำยาสร้างภาพฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลที่เหมาะสมคือสูตรที่ 2 (Caffenol+VitC) ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส โดยเวลาการล้างฟิล์มที่เหมาะสมคือ 11 นาที, ปริมาณวิตามินซีที่เหมาะสมคือ 1000 มิลลิกรัม และปริมานโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่เหมาะสมคือ 17.25 กรัม ในน้ำ 340 มิลลิลิตร ซึ่งให้ค่าความดำ และ contrast ของฟิล์มใกล้เคียงกับการล้างด้วย D-76 สามารถใช้ทดแทน D-76 ได้โดยที่ให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก และสามารถใช้แทนน้ำยาสร้างภาพสำหรับกระดาษอัดขยาย D-72 ได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรควบคุมอุณหภูมิในการล้างฟิล์มทุกครั้ง เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น
2. ในขั้นตอนการล้างน้ำ หลังจากขั้นตอนการสร้างภาพ ก่อนขั้นตอนคงภาพ ควรล้างจนกว่าจะเทน้ำออกมาแล้วใส ไม่มีสีของกาแฟปนออกมา เพื่อให้กาแฟจากน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ ไม่ตกค้าง
3. ควรสวมถุงมือ เมื่อต้องสัมผัสฟิล์ม เพื่อป้องการรอยนิ้วมือและไม่ให้ฟิล์มเลอะ

เอกสารอ้างอิง

Butkhup L., “Dietary Polyphenols and Their Biological Effects.” J Sci Technol MSU 31 (July – August 2012): 445-448.

Eastman Kodak Company, “Basic Sensitometry and Characteristics of Film in The Essential Reference Guide for Filmmakers.” 2007: 49-55.

Foma Bohemia spol. s r.o. “Fomapan 100 Classic Black-And-White Negative Film.” 2016.

Fox, A., Langford, M., and Smith, R.S. “Basic characteristics of lighting.” In Langford’s Basic Photography. 9th Edition. pp. 134-136. USA: Elsevier, 2010.

Fox, A., and et al. “Silver Halide Emulsions, Features Common to all Films, and Choosing Films for Black and White.” In Langford’s Basic Photography. 9th Edition. pp. 196-208. USA: Elsevier, 2010.

Krasnov, S., Film Developing with Kodak D-76, https://skrasnov.com/blog/film-developing-kodak-d76, Accessed date: March, 3, 2021.

Layton. T., and associates, LLC, How to Make an Eco-Friendly D-76 B&W Film Developer & Why It’s Important, https://www.timlaytonfineart.com, Accessed date: March, 3, 2021.

Sutin S., “Vitamins and Free Radicals.” ว. วิทย. เทคโน. หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ 2 (January – June 2016): 88-89.

Witten, N. The Chemistry of Photography. Senior Theses University of South Carolina-Columbia, 2016.

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงค่าความดำ

ตารางที่ ก1 แสดงค่าความดำของฟิล์มที่ได้จากการล้างด้วยน้ำยา D-76 เวลาในการล้าง 7 นาที

แถบที่	Relative LogH	ค่าความดำ (Density)		
		ค่าการฉายแสง 5V , 1s	ค่าการฉายแสง 6V , 1s	ค่าการฉายแสง 7V , 1s
0	-00.8	1.98	2.22	2.24
1	-0.21	1.91	2.18	2.20
2	-0.35	1.82	2.13	2.15
3	-0.48	1.71	2.06	2.09
4	-0.63	1.59	1.96	2.02
5	-0.79	1.44	1.83	1.93
6	-0.94	1.30	1.70	1.81
7	-1.09	1.15	1.54	1.69
8	-1.23	0.99	1.40	1.55
9	-1.39	0.83	1.24	1.37
10	-1.55	0.68	1.07	1.21
11	-1.69	0.57	0.90	1.05
12	-1.85	0.49	0.75	0.90
13	-1.99	0.43	0.63	0.75
14	-2.14	0.39	0.54	0.63
15	-2.3	0.37	0.45	0.52
16	-2.45	0.36	0.42	0.46
17	-2.60	0.36	0.39	0.42
18	-2.75	0.35	0.38	0.39
19	-2.90	0.35	0.37	0.37
20	-3.05	0.35	0.36	0.36
21	-3.05	0.35	0.36	0.36

ตารางที่ ก2 แสดงค่าความดำของฟิล์มใช้เวลาในการล้างฟิล์ม 7 นาที , การฉายแสงที่ 6 โวลต์ เวลา 1 วินาที

แถบที่	Relative LogH	ค่าความดำ (Density)		
		ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพ D-76	ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1	ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2
0	-00.8	2.22	1.02	1.66
1	-0.21	2.18	1.00	1.63
2	-0.35	2.13	0.97	1.57
3	-0.48	2.06	0.94	1.46
4	-0.63	1.96	0.91	1.39
5	-0.79	1.83	0.87	1.30
6	-0.94	1.70	0.83	1.20
7	-1.09	1.54	0.78	1.09
8	-1.23	1.40	0.73	0.97
9	-1.39	1.24	0.67	0.84
10	-1.55	1.07	0.61	0.73
11	-1.69	0.90	0.56	0.63
12	-1.85	0.75	0.51	0.56
13	-1.99	0.63	0.48	0.50
14	-2.14	0.54	0.45	0.46
15	-2.3	0.45	0.44	0.44
16	-2.45	0.42	0.43	0.43
17	-2.60	0.39	0.43	0.43
18	-2.75	0.38	0.43	0.42
19	-2.90	0.37	0.42	0.42
20	-3.05	0.36	0.42	0.41
21	-3.05	0.36	0.42	0.41

ตารางที่ ก3 แสดงค่าความดำของฟิล์มที่ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1 และ 2 ที่เวลาการล้าง 7, 9 และ 11 นาที , การฉายแสงที่ 6 โวลต์ เวลา 1 วินาที

Relative LogH	ค่าความดำ (Density)					
	ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 1			ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2		
	7 นาที	9 นาที	11 นาที	7 นาที	9 นาที	11 นาที
-00.8	1.02	1.19	1.26	1.66	1.87	2.01
-0.21	1.00	1.16	1.22	1.63	1.82	1.97
-0.35	0.97	1.12	1.17	1.57	1.76	1.91
-0.48	0.94	1.07	1.13	1.46	1.70	1.86
-0.63	0.91	1.02	1.08	1.39	1.63	1.78
-0.79	0.87	0.97	1.03	1.30	1.53	1.69
-0.94	0.83	0.91	0.97	1.20	1.43	1.56
-1.09	0.78	0.86	0.91	1.09	1.32	1.41
-1.23	0.73	0.80	0.83	0.97	1.19	1.27
-1.39	0.67	0.73	0.76	0.84	1.06	1.11
-1.55	0.61	0.66	0.68	0.73	0.91	0.95
-1.69	0.56	0.60	0.61	0.63	0.77	0.80
-1.85	0.51	0.54	0.54	0.56	0.66	0.69
-1.99	0.48	0.49	0.48	0.50	0.56	0.58
-2.14	0.45	0.45	0.43	0.46	0.50	0.50
-2.3	0.44	0.42	0.40	0.44	0.46	0.45
-2.45	0.43	0.40	0.39	0.43	0.43	0.42
-2.60	0.43	0.39	0.38	0.43	0.42	0.40
-2.75	0.43	0.39	0.38	0.42	0.41	0.39
-2.90	0.42	0.39	0.38	0.42	0.40	0.39
-3.05	0.42	0.39	0.38	0.41	0.40	0.38
-3.05	0.42	0.38	0.38	0.41	0.40	0.38

ตารางที่ ก4 แสดงแสดงค่าความดำของฟิล์มโดยการล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล สูตรที่ 2 ใช้เวลาการล้าง 11 และ 13 นาที , การฉายแสงที่ 6 โวลต์ เวลา 1 วินาที

แถบที่	Relative LogH	ค่าความดำ (Density)	
		ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพ ชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2	
		11 นาที	13 นาที
0	-00.8	2.01	2.21
1	-0.21	1.97	2.17
2	-0.35	1.91	2.13
3	-0.48	1.86	2.07
4	-0.63	1.78	1.99
5	-0.79	1.69	1.87
6	-0.94	1.56	1.71
7	-1.09	1.41	1.59
8	-1.23	1.27	1.42
9	-1.39	1.11	1.23
10	-1.55	0.95	1.05
11	-1.69	0.80	0.90
12	-1.85	0.69	0.77
13	-1.99	0.58	0.66
14	-2.14	0.50	0.59
15	-2.3	0.45	0.54
16	-2.45	0.42	0.52
17	-2.60	0.40	0.50
18	-2.75	0.39	0.50
19	-2.90	0.39	0.50
20	-3.05	0.38	0.50
21	-3.05	0.38	0.50

<u>ตารางที่ ก5</u> แสดงค่าความดำของฟิล์มโดยการล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2-1 และ 2-2 ใช้เวลาในการล้าง 11 นาที , การฉายแสงที่ 6 โวลต์ เวลา 1 วินาที

แถบที่	Relative LogH	ค่าความดำ (Density)	
		น้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอล	
		สูตรที่ 2-1	สูตรที่ 2-2
0	-00.8	1.79	2.13
1	-0.21	1.74	2.08
2	-0.35	1.70	2.03
3	-0.48	1.65	1.97
4	-0.63	1.59	1.90
5	-0.79	1.52	1.79
6	-0.94	1.42	1.64
7	-1.09	1.31	1.49
8	-1.23	1.20	1.33
9	-1.39	1.08	1.16
10	-1.55	0.95	1.02
11	-1.69	0.83	0.89
12	-1.85	0.71	0.76
13	-1.99	0.61	0.67
14	-2.14	0.54	0.60
15	-2.3	0.49	0.55
16	-2.45	0.47	0.53
17	-2.60	0.45	0.51
18	-2.75	0.44	0.50
19	-2.90	0.44	0.49
20	-3.05	0.44	0.49
21	-3.05	0.43	0.49

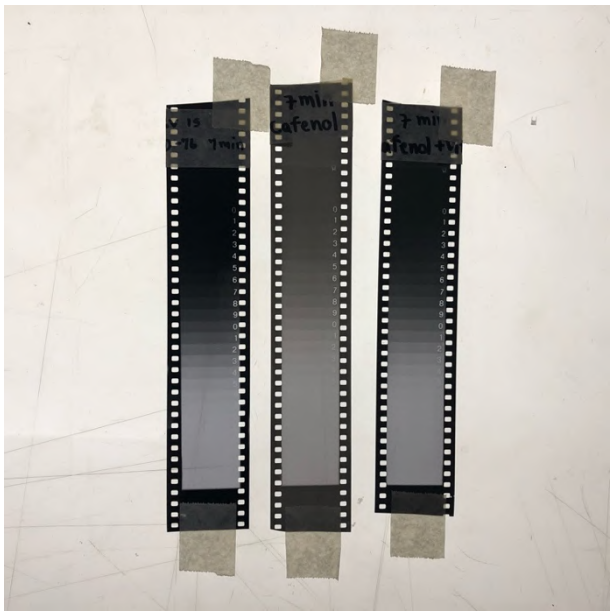
ตารางที่ ก6 แสดงค่าความดำของฟิล์มโดยการล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพเนกาทีฟขาว-ดำชนิดแคฟฟินอลสูตรที่ 2-3 และ 2-4 ใช้เวลาในการล้าง 11 นาที , การฉายแสงที่ 6 โวลต์ เวลา 1 วินาที

แถบที่	Relative LogH	ค่าความดำ (Density)	
		น้ำยาสร้างภาพชนิดแคฟฟินอล	
		สูตรที่ 2-3	สูตรที่ 2-4
0	-00.8	1.64	1.84
1	-0.21	1.59	1.80
2	-0.35	1.55	1.75
3	-0.48	1.50	1.69
4	-0.63	1.43	1.63
5	-0.79	1.36	1.54
6	-0.94	1.27	1.44
7	-1.09	1.18	1.33
8	-1.23	1.07	1.20
9	-1.39	0.95	1.07
10	-1.55	0.82	0.93
11	-1.69	0.71	0.80
12	-1.85	0.60	0.69
13	-1.99	0.52	0.60
14	-2.14	0.47	0.52
15	-2.3	0.43	0.47
16	-2.45	0.40	0.44
17	-2.60	0.40	0.42
18	-2.75	0.39	0.41
19	-2.90	0.39	0.41
20	-3.05	0.38	0.41
21	-3.05	0.38	0.41

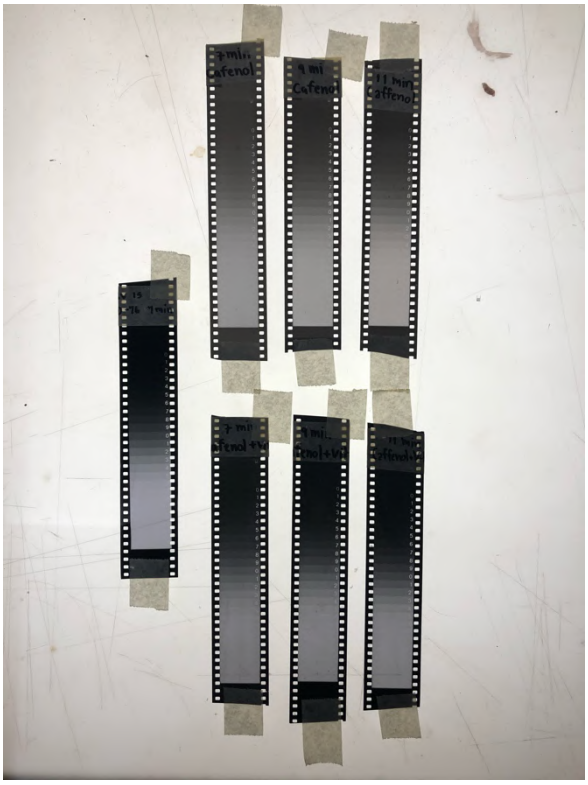
ภาคผนวก ข
ภาพฟิล์มจากการทดลอง

<u>ภาพที่ ข1</u> ฟิล์มที่ได้จากเครื่องอัดสัมผัสฉายแสงผ่าน Step Wedge ที่ค่าการฉายแสง 5, 6 และ 7 V เวลาฉายแสง 1 วินาที ล้างด้วยน้ำยาสร้างฟิล์มขาว-ดำ D-76 เวลาการสร้างภาพ 7 นาที

<u>ภาพที่ ข2</u> ฟิล์มที่ได้จากการฉายแสงที่ค่า 6 V เวลาการฉายแสง 1 วินาที โดยล้างฟิล์มด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ D-76 และน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำชนิดแคฟฟินอล สูตรที่ 1 และ 2 ที่เวลาการสร้างภาพ 7 นาที ตามลำดับ เปรียบเทียบกับฟิล์มที่ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ D-76 เวลาการสร้างภาพ 7 นาที

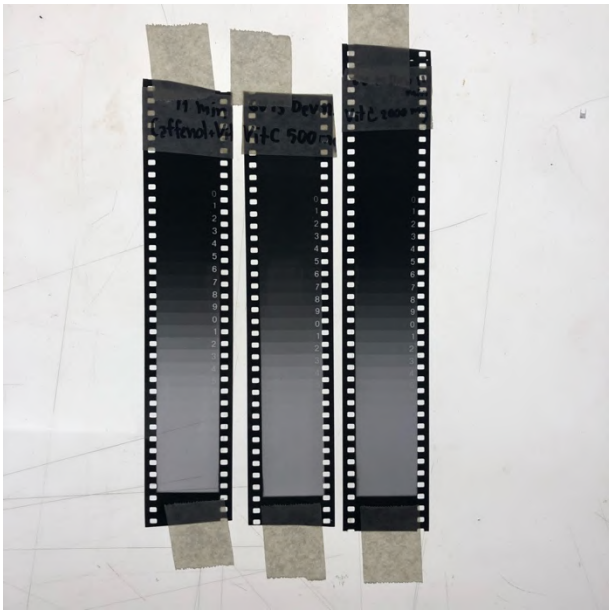


<u>ภาพที่ ข3</u> ฟิล์มที่ได้จากค่าการฉายแสง 6 V เวลาการฉายแสง 1 วินาที โดยล้างด้วยน้ำสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ ชนิดแคฟฟินอล ทั้ง 2 สูตร ที่เวลาการสร้างภาพ 7, 9 และ 11 นาที ตามลำดับ เปรียบเทียบกับฟิล์มที่ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ D-76 เวลาการสร้างภาพ 7 นาที

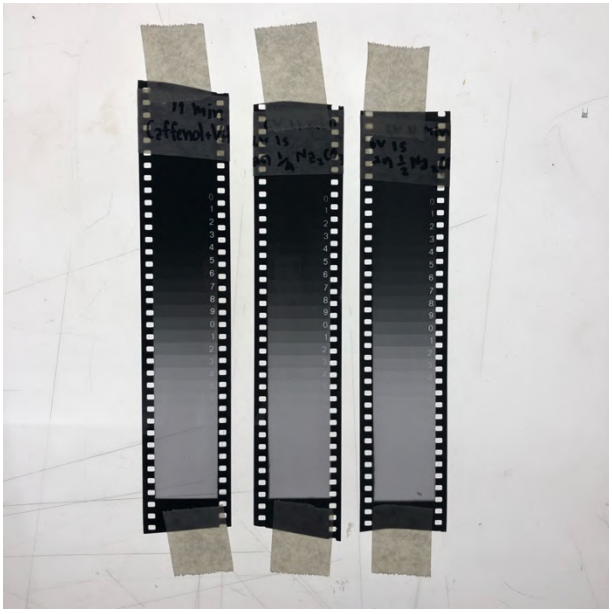


<u>ภาพที่ ข4</u> ฟิล์มที่ได้จากการฉายแสงที่ 6 V เวลาฉายแสง 1 วินาที โดยล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ ชนิดแคฟฟินอล สูตรที่ 2 ที่เวลาการสร้างภาพ 11 และ 13 นาที ตามลำดับ เปรียบเทียบกับฟิล์มที่ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ D-76 เวลาการสร้างภาพ 7 นาที

<u>ภาพที่ ข5</u> ฟิล์มที่ได้จากการฉายแสงที่ 6 V เวลาการฉายแสง 1 วินาที ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ ชนิดแคฟฟินอล สูตร 2 ที่เวลาการสร้างภาพ 11 นาที โดยใช้ปริมาณวิตามินซีที่ 500 มิลลิกรัม (ฟิล์มตรงกลาง) และ 2000 มิลลิกรัม (ฟิล์มด้านขวา) เปรียบเทียบล้างด้วยสูตรที่ 2 ตั้งต้น



<u>ภาพที่ ข6</u> ฟิล์มที่ได้จากการฉายแสงที่ 6 V เวลาการฉายแสง 1 วินาที ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ ชนิดแคฟฟินอล สูตร 2 ที่เวลาการสร้างภาพ 11 นาที โดยใช้ปริมาณโซเดียมคาร์บอร์เนต (Na_2CO_3) ลดลง 0.25 เท่า (ฟิล์มตรงกลาง) และ 0.5 เท่า (ฟิล์มด้านขวา) เปรียบเทียบกับล้างด้วยสูตรที่ 2 ตั้งต้น



ภาคผนวก ค

ภาพถ่าย และภาพที่อัดขยายจากการใช้ Caffenol Film Developer

ภาพที่ ค1-7 ภาพที่ได้จากการล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ ชนิดแคฟฟินอล สูตรที่ 2

ภาพที่ ค1

ภาพที่ ค2

ภาพที่ ค3

ภาพที่ ค4

ภาพที่ ค5

ภาพที่ ค6

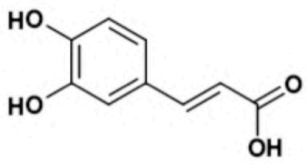
ภาพที่ ค7

<u>ภาพที่ ค8</u> ภาพที่ได้จากการอัดขยาย โดยใช้น้ำยาสร้างภาพฟิล์มขาว-ดำ ชนิดแคฟฟินอล สูตรที่ 2 แทนน้ำยาสร้างภาพขาว-ดำ D-72

ภาคผนวก ง

ข้อมูลผลิตภัณฑ์กาแฟ และวิตามินซี

กรดแคฟเฟอิก (Caffeic Acid) ในกาแฟ



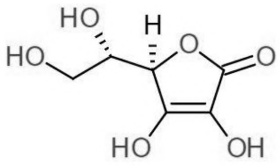
caffeic acid

เป็นกรดฟีโนลิกกลุ่มใหญ่ที่สุด พบทั่วไปในพืช เกิดขึ้นจากหลายรูปแบบ เช่น เกิดจากการย่อยของเอนไซม์ หรือการเชื่อมขวางกันของเอสเทอร์ของกรดไฮดรอกซี่ (hydroxyacids)

โดยกรดแคฟเฟอิก (Caffeic Acid) เป็นสารทุติยภูมิที่พืชสร้างขึ้น จัดเป็นกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งอาจอยู่ในรูปกรดอิสระหรือจับกันเป็นโอลิโกเมอร์ หรือเชื่อมกันด้วยสารประกอบอินทรีย์ในรูปของกลูโคไซด์ และเอสเทอร์ กรดคาเฟอิกพบในผลไม้ ผัก เครื่องเทศ และเครื่องดื่ม

ภาพที่ ง1 กาแฟสำเร็จรูปที่ใช้ในการทดลอง Nesscafé Red Cup

กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) ในวิตามินซี



Ascorbic acid (Vitamin C)

สูตรโมเลกุล $C_6H_8O_6$

กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) หรือแอสคอร์เบต (ascorbate) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ละลายได้ดีในน้ำ, เอทานอล, กลีเซอรอล และโพรพิลีนไกลคอล สลายตัวง่ายเมื่อได้รับความร้อน แสง และออกซิเจน มีฤทธิ์เป็นกรด เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงมาก และถูกออกซิไดส์ได้ง่ายโดยออกซิเจนในอากาศ เมื่อถูกออกซิไดส์แล้วจะเปลี่ยนเป็นดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroas corbicacid; DHA)

ภาพที่ ง2 วิตามินซีที่ใช้ในการทดลอง HICEE Vitamin C

ภาคผนวก จ

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวชลลดา เกิดสุข
ตำแหน่ง	หัวหน้าโครงการ
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2563
โทรศัพท์	0953288926
Email	chonladakerdsuk@gmail.com

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวชิดชนก หวังศิริเลิศ
ตำแหน่ง	ผู้ร่วมวิจัย
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2563
โทรศัพท์	0950362575
Email	cw.chidchanok@gmail.com