



5 0.ค. 2543

การศึกษาเปรียบเทียบฟิล์ม ขาว-ดำ 3 ชนิด ซึ่งล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพต่างชนิด
เพื่อใช้ในการถ่ายภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ประสิทธิ์ งามสันเทียะ

อธิบดีแผนการ

จาก

ปัทมาภรณ์ทัญ ม.มหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเวชนิทัศน์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. 2543

ISBN 974-663-905-6

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

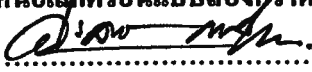
๗๗
๒/๔/๒๕
๒๕๔๓
ค.๒

51531 ๑.๑

วิทยานิพนธ์

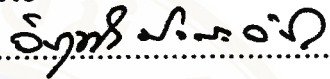
เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบฟิล์ม ขาว-ดำ 3 ชนิด ซึ่งล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพต่างชนิด
เพื่อใช้ในการถ่ายภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)


.....

นายประสิทธิ์ งามสันเทียะ

ผู้วิจัย


.....

รองศาสตราจารย์ วิรุฬห์ มังคละวิรัช

Dipl.-Ing. Stuttgart University

Germany

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


.....

รองศาสตราจารย์ น.พ. สภา ลิ้มพานิชย์การ พ.บ.,

Cert in Arts as Applied to Medicine. (John Hopkins)

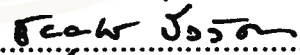
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ สุรินทร์วงศ์

วท.บ., วท. ม (เวชนิทัศน์)

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


.....

อาจารย์ชัยยุทธ บัววัฒนา

วท.บ., (เวชนิทัศน์)

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์


.....

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณรงค์ สุรินทร์วงศ์

วท.บ., วท.ม. (เวชนิทัศน์)

ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเวชนิทัศน์

คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล


.....

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ลิ้มล้อมวงศ์

B.Sc. Ph.D.

คณบดี

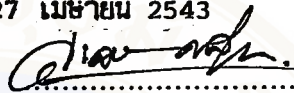
บัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบฟิล์ม ขาว-ดำ 3 ชนิด ซึ่งล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพต่างชนิด
เพื่อใช้ในการงานถ่ายภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเวชนิทัศน์

วันที่ 27 เมษายน 2543



นายประสิทธิ์ งามสันเทียะ

ผู้วิจัย



รองศาสตราจารย์วิรุฬห์ มังคละวิรัช

Dipl.-ing.Stuttgart University

Germany.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



รองศาสตราจารย์ น.พ. สภา ลิ้มพานิชย์การ พ.บ.,

Cert inArts as Applied to Medicine.(John Hopkins)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัญชา แจ่มสว่าง

วท.บ.(เวชนิทัศน์), ค.ม. (โสตทัศนศึกษา)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



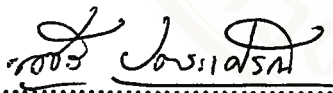
ศาสตราจารย์ พญ.ชนิกา ตู้จินดา

พ.บ.,M.S.,FAAP.,อ.ว.(กุมารเวชศาสตร์),

Dip.Amer.Board.

คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

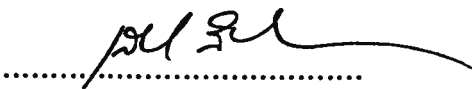
มหาวิทยาลัยมหิดล



อาจารย์ นุชรี ปุตระเศรษฐี

วท.บ.,วท. ม (เวชนิทัศน์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ศาสตราจารย์เลียงชัย ลิ้มถ่อมวงศ์

B.Sc. Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ วิรุฬห์ มังคละวิรัช รองศาสตราจารย์นายแพทย์ สภา ถิมพานิชย์การ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ สุรินทร์ วงศ์ และอาจารย์นุชรี ปุตุระเศรษฐี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็น ต่างๆของการวิจัยมาโดยตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณและขอบคุณในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้แต่งตำราทุกท่าน ที่ผู้วิจัยได้นำบทความมาอ้างอิงในวิทยานิพนธ์เล่มนี้
ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นาวาเอก ดร. วรพจน์ ขำพิศ ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล เหล่าสุวรรณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
นายนิคม ประทุมมา ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
นาย สุรพล ศรีธำณ ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ
คุณ อาณิก จันทอยู่เย็น ศูนย์เครื่องมือฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ พนักงานวิทยาศาสตร์ ที่ปฏิบัติหน้าที่ เกี่ยวข้องกับการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จากศูนย์เครื่องมือฯจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหา วิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ สำนัก ปฎักบำรุงและบริษัทเอกชน ที่กรุณาตอบแบบสอบถามการประเมินของฟิล์มที่ถ่ายด้วยกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนในการวิจัยครั้งนี้

ขอรำลึกในพระคุณอันยิ่งใหญ่ของมารดา บิดา ที่เป็นพลังอันสำคัญในการผลักดันให้การ ศึกษาโดยตลอด และสร้างสรรค์สิ่งที่ดีงาม ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคน

ประสิทธิ์ งามสันเทียะ

3836104 SIMA / M : สาขาวิชา : เวชนิทัศน์ ; วท.ม. (เวชนิทัศน์)

คำสำคัญ : กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด / น้ำยาล้างฟิล์ม / ฟิล์ม

ประสิทธิ งามสันเทียะ : การศึกษาเปรียบเทียบฟิล์มขาว-ดำ 3 ชนิด ซึ่งล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพต่างชนิด เพื่อใช้ในการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM (A COMPARATIVE STUDY OF 3 DIFFERENT BLACK AND WHITE NEGATIVE FILMS BY USING DIFFERENT KINDS OF DEVELOPER FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE PHOTOGRAPHY) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ :

วิรุฬห์ มังคะวิรัช (Dipl.-Ing. Stuttgart University , Germany)., สภา ภูมิพาณิชย์การ พ.บ., Cert in Arts as Applied to Medicine (Johns Hopkins)., ณรงค์ สุรินทร์วงศ์ วท.บ., วท.ม. (เวชนิทัศน์)., ชัยยุทธ บัววัฒนา วท.บ. (เวชนิทัศน์) 127 หน้า ISBN 974 - 663-905-6

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อต้องการศึกษาเปรียบเทียบฟิล์มขาว-ดำ 3 ชนิด ซึ่งล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพต่างชนิด ที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ให้ผลแตกต่างกันในการบันทึกรายละเอียดของภาพ ด้วยวิธีกำหนดการถ่ายภาพแบบเดียวกัน การล้างฟิล์มในสภาวะเหมือนกันและแตกต่างกันที่น้ำยาล้างฟิล์มกับเวลาที่กำหนดโดยผู้ผลิต ทั้งนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มและน้ำยาล้างฟิล์ม สำหรับเป็นแนวทางการเลือกฟิล์มและน้ำยาที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายขาว-ดำทางงานวิจัยวิทยาศาสตร์มีความถูกต้อง การกำหนดฟิล์มที่ใช้ในการวิจัย 3 ชนิด คือ ฟิล์ม Kodak Verichrom pan film /6041 ISO 125/22° จำนวน 20 ม้วน; ฟิล์ม ILFORD 100 DELTA PROFESSIONAL ISO 100/21°; จำนวน 20 ม้วน ฟิล์ม FUJI NEOPAN SS100 ISO100/21°; จำนวน 20 ม้วน น้ำยาล้างฟิล์ม 4 ชนิด คือ D-76.; MICROPHEN.; PERCEPTOL.; และ MICRODOL-X. กำหนดอุณหภูมิล้างที่ 20 องศาเซลเซียส ด้วยการล้างอัตโนมัติ ครั้งละ 1 ม้วน

ผู้วิจัยได้ทำการประเมินคุณสมบัติของฟิล์มขาว-ดำ 3 ชนิด จากกลุ่มตัวอย่าง คือ อาจารย์ แพทย์ นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ ช่างภาพการแพทย์ นักวิชาการโสตทัศนศึกษาและพนักงานห้องทดลอง ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องทางด้านนี้ จำนวน 47 คนจาก 10 สถาบัน การวิเคราะห์ข้อมูลใช้แบบ Parametric Statistic Test โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบทางเดียว (One-way analysis) เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และการวิเคราะห์แตกต่างกันเป็นคู่โดยใช้ Multiple comparison ของ Scheffé ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปผลได้ว่าฟิล์มขาว-ดำต่างชนิดกัน เมื่อถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและนำมาล้างด้วยน้ำยาต่างชนิดกันในสภาวะเดียวกัน ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และปรากฏว่าฟิล์ม Fuji มีคุณภาพฟิล์มสูงเมื่อล้างด้วยน้ำยา Microphen ; Perceptol และ D-76 เป็นอันดับรอง เช่นเดียวกับฟิล์ม Ilford ส่วนฟิล์ม Kodak มีคุณภาพสูงเมื่อล้างด้วยน้ำยา D-76 มากที่สุดและน้ำยา Microphen; Perceptol และ Microdol-x ตามลำดับ โดยที่ฟิล์ม Kodak ให้ประสิทธิภาพสูงกับการล้างด้วยน้ำยา 4 ชนิด ฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Fuji ตามลำดับ

3836104 SIMA/ M : MAJOR MEDICAL ART AND COMMUNICATION: M.Sc.(MADICAL ART AND COMMUNICATION

KEY WORDS : SCANNING ELECTRON MICROSCOPE / DEVELOPERS / FILMS

PRASIT NGAMSANTIA : A COMPARATIVE STUDY OF 3 DIFFERENT BLACK AND WHITE NEGATIVE FILMS BY USING DIFFERENT KINDS OF DEVELOPER FOR SCANNING ELECTRON MICROSCOPE PHOTOGRAPHY. THESIS ADVISORS : VIRUL MUNGCLAVIRAJ, DIPL.ING. .STUTTGART UNIVERSITY GERMANY., SAPHA LIMPHANICHAKARN M.D., CERT IN ART AS APPLIED TO MEDICINE (JOHNS HOPKINS.), NARONG SURINWONG M.Sc. (MEDICAL ARTS & COMMUNICATION), CHAIYUT BEUVITANA ,B.Sc.(MEDICAL ILLUSTRATION & AV TECHNOLOGY), 127 p. ISBN 974-663-905-6

The objective of this study is to compare the quality of three different black and white negative films for scanning electron microscope photography. This comparative study was done under the same photographic method and development processing, with different types of developers and processing times. The results of the study are used to determine the different quality of films and developers as a criteria to select the films and developers for black and white photography with the best efficiency and accuracy in scientific research. There were there different films used in the study: 20 rolls of Kodak Verichrom pan film /6041 ISO 125/22⁰, 20 rolls of ILFORD 100 DELTA PROFESSIONAL ISO 100/21⁰ and 20 rolls of FUJI NEOPAN SS100 ISO100/21⁰. Each roll of the films mentioned above was automatically developed at 20 C⁰ with four different developers which were D-76., Microphen., Perceptol., and Microdol-x

The quality of the different black and white films were evaluated by 47 professors , medical doctors, researchers, scientists, medical illustrators, educational technologists and laboratory technicians who work in fields of study from nine different institutes. The statistical analysis used in the study is the parameter statistical test : the one-way analysis of variance, (ANOVA). The results of the study show that there was a statistically significant difference ($P < 0.05$) among the different films and a statistically significant difference ($P < 0.05$), by using Multiple comparison by Scheffé , between each pair of those films. The results also show a statistically significant difference between using two different black and white films in the same condition of scanning electron microscope photography. solutions ordered as following: Microphen, Perceptol and D-76 give highest quality when used with Fuji film as well as Ilford film. For Kodak film, D-76 and Microphen give the best result; Perceptol and Microdol-x give lower quality respectively , Kodak film gives the highest quality followed by Ilford film and Fuji film when used with all 4 solutions.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญแผนภูมิ.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	๗
บทที่	
1. บทนำ.....	1-3
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาวิจัย.....	2
วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	2
สมมุติฐานในการวิจัย.....	2
ขอบเขตในการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
2. บทบทวนวรรณกรรม.....	4-34
ตอนที่ 1. ความเป็นมาของกล้องจุลทรรศน์.....	4
โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	4
ระบบภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	7
หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	10
การสร้างภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน.....	12
สัญญาณอิเล็กตรอน.....	12
การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ SEM.....	14
ตอนที่ 2. ฟิล์ม.....	16
ฟิล์มขาว-ดำ.....	16
โครงสร้างของฟิล์ม.....	16
ฟิล์มทำงานอย่างไร.....	18
คุณภาพของฟิล์มเนกาทีฟ.....	23
เส้นโค้งลักษณะเฉพาะ.....	26

สารบัญ(ต่อ)

ความชันเส้นโค้งและดัชนีค่าเปรียบเทียบ.....	30
การกำหนดดัชนีค่าเปรียบเทียบจากเส้นโค้งลักษณะเฉพาะ.....	31
ความสามารถในการแจกแจงหรือแยกวัตถุที่ใกล้เคียงกัน.....	33
ความไวแสงของฟิล์ม.....	34
น้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	36
เครื่องมือที่ใช้วิจัย.....	38
คุณลักษณะของฟิล์มขาว-ดำที่ใช้ในงานวิจัย.....	41
3. วิธีการดำเนินการวิจัย.....	45-50
การเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	45
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	45
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	46
การสร้างแบบสอบถามในการวิจัย.....	48
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	48
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	49
4. ผลการศึกษาวิจัย.....	51-59
ผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	55
วิเคราะห์คะแนนที่รวบรวมจากแบบสอบถาม.....	89
สรุปผลการวิเคราะห์การล้างฟิล์มด้วยน้ำยาชนิดต่างชนิด.....	94
สรุปผลการทดลอง.....	95
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	96-101
บทอภิปราย.....	99
ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย.....	100
ข้อเสนอแนะในการเลือกฟิล์มและน้ำยาล้างฟิล์ม.....	100
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป.....	101
เอกสารอ้างอิง.....	102
ภาคผนวก	103-126
ก. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	104-116
ข. ภาพผลการทดลอง.....	118-126
ประวัติผู้วิจัย.....	127

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	6
ตารางที่ 2 แสดงคุณลักษณะเครื่องอัดขยายภาพชนิดแผ่กระจายแสงและเครื่องอัดขยายชนิดรวมแสง.....	25
ตารางที่ 3 แสดงค่าเปรียบเทียบและความหนาที่บของการอัดขยายภาพด้วยกระดาษอัดขยายชนิดธรรมดาด้วยความแตกต่างของชนิดเครื่องอัดขยายภาพ.....	29
ตารางที่ 4 แสดงค่าความสัมพันั้ระดับค่าตัวเลข ISO, ASA และ DIN.....	35
ตารางที่ 5 แสดงคุณลักษณะของชนิดน้ำยาล้างฟิล์ม.....	36
ตารางที่ 6 แสดงเวลาเปรียบเทียบที่ใช้ล้างฟิล์ม Fuji neopan ที่ใช้ร่วมกับน้ำยาชนิดต่างๆ.....	42
ตารางที่ 7 แสดงเวลาเปรียบเทียบที่ใช้ล้างฟิล์ม Ilford 100Delta ที่ใช้ร่วมกับน้ำยาชนิดต่างๆ...	43
ตารางที่ 8 เปรียบเทียบเวลาการล้างฟิล์มขาว-ดำชุด W ที่อุณหภูมิ 20° C.....	47
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบเวลาการล้างฟิล์มขาว-ดำชุด X ที่อุณหภูมิ 20° C.....	47
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบเวลาการล้างฟิล์มขาว-ดำชุด Y ที่อุณหภูมิ 20° C.....	47
ตารางที่ 11 แสดงอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิน้ำยาตามลำดับการทดลองด้วยเครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ.....	52
ตารางที่ 12 แสดงสถาบัน/หน่วยงานที่ร่วมมือตอบแบบสอบถามจาก 10 สถาบันรวม 47 คน....	54
ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการศึกษาศึกษาทุกกรณี.....	58
ตารางที่ 14 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดที่สภาวะการล้าง 80 %ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1).....	59
ตารางที่ 15 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดที่สภาวะการล้าง 80 %ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microphen.....	60
ตารางที่ 16 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดที่สภาวะการล้าง 80 %ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol.....	61
ตารางที่ 17 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดที่สภาวะการล้าง 80 %ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x.....	62
ตารางที่ 18 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์มทั้ง 3 ชนิดที่สภาวะการล้าง 90 %ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1).....	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 33 แสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 120 % ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x.....	78
ตารางที่ 34 สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 80%.....	79
ตารางที่ 35 สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 90%.....	81
ตารางที่ 36 สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 100%.....	83
ตารางที่ 37 สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 110%.....	85
ตารางที่ 38 สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 120%.....	87
ตารางที่ 39 แสดงผลคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามการวิจัยจำนวน 47 คน.....	90
ตารางที่ 40 แสดงสรุปผลการล้าง เรียงตามลำดับฟิล์ม.....	95
ตารางที่ 41 แสดงสรุปผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด กับน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด เรียงตามระดับการล้าง.....	98

สารบัญแผนภูมิ

	หน้า
แผนภูมิที่ 1 แสดงค่าน้ำหนักของแสงที่ส่องผ่านฟิล์มและกระดาษอัดขยายภาพ.....	24
แผนภูมิที่ 2 แสดงเส้นโค้งลักษณะเฉพาะของฟิล์ม.....	26
แผนภูมิที่ 3 แสดงเส้นกราฟจากวัตถุที่ถ่ายชนิด Low contrast และ High contrast	28
แผนภูมิที่ 4 เส้นกราฟแสดงลักษณะเฉพาะแบบที่ 1.....	30
แผนภูมิที่ 5 เส้นกราฟแสดงลักษณะเฉพาะแบบที่ 2.....	30
แผนภูมิที่ 6 เส้นกราฟแสดงการกำหนดค่าเส้นโค้งแสดงลักษณะเฉพาะ.....	31
แผนภูมิที่ 7 เส้นแบ่งตารางเพื่อใช้หาค่าเส้นทแยง (slope).....	41
แผนภูมิที่ 8 แสดง CHARACTERISTIC CURVE ของฟิล์ม FUJI NEOPAN SS 100.....	41
แผนภูมิที่ 9 และ 10 แสดงค่า TIME-G CURVE และ SPECTRAL SENSITIVITY CURVE...	41
แผนภูมิที่ 11 แสดงค่าCharacteristic Curves และContrast-Index Curves และเปรียบเทียบการล้างฟิล์ม ของฟิล์มKODAK VERICHROME Pan Film / 6041 ISO125/22 ⁰	44
แผนภูมิที่ 12 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1) ที่ระดับการล้าง 80%.....	59
แผนภูมิที่ 13 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ที่ระดับการล้าง 80%.....	60
แผนภูมิที่ 14 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ที่ระดับการล้าง 80%.....	61
แผนภูมิที่ 15 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ที่ระดับการล้าง 80%.....	62
แผนภูมิที่ 16 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1) ที่ระดับการล้าง 90%.....	63
แผนภูมิที่ 17 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ที่ระดับการล้าง 90%.....	64
แผนภูมิที่ 18 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ที่ระดับการล้าง 90%.....	65
แผนภูมิที่ 19 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ที่ระดับการล้าง 90%.....	66

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 20 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1) ที่ระดับการล้าง 100%.....	67
แผนภูมิที่ 21 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ที่ระดับการล้าง 100%.....	68
แผนภูมิที่ 22 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ที่ระดับการล้าง 100%.....	69
แผนภูมิที่ 23 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ที่ระดับการล้าง 100%.....	70
แผนภูมิที่ 24 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1) ที่ระดับการล้าง 110%.....	71
แผนภูมิที่ 25 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ที่ระดับการล้าง 110%.....	72
แผนภูมิที่ 26 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ที่ระดับการล้าง 110%.....	73
แผนภูมิที่ 27 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ที่ระดับการล้าง 110%.....	74
แผนภูมิที่ 28 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1) ที่ระดับการล้าง 120%.....	75
แผนภูมิที่ 29 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ที่ระดับการล้าง 120%.....	76
แผนภูมิที่ 30 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ที่ระดับการล้าง 120%.....	77
แผนภูมิที่ 31 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ที่ระดับการล้าง 120%.....	78
แผนภูมิที่ 32 แสดงผลของน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้าง ที่ระดับ 80 เปอร์เซนต์ พบว่า น้ำยา Microphen ล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ได้ผลดีที่สุด... 80	80
แผนภูมิที่ 33 แสดงผลของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 80 เปอร์เซนต์.....	80

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 34 แสดงผลของน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิดโดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้าง	
ระดับ 90 เปอร์เซนต์.....	82
แผนภูมิที่ 35 แสดงผลของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 90 เปอร์เซนต์.....	82
แผนภูมิที่ 36 สรุปผลของน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่	
ระดับ 100 เปอร์เซนต์.....	84
แผนภูมิที่ 37 แสดงผลของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยที่การล้างระดับ 100 เปอร์เซนต์.....	84
แผนภูมิที่ 38 แสดงผลของน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิดโดยสรุปค่าเฉลี่ยที่การล้าง 110 เปอร์เซนต์...	86
แผนภูมิที่ 39 แสดงผลของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 110 เปอร์เซนต์.....	86
แผนภูมิที่ 40 แสดงผลของน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้าง	
ที่ระดับ 120 เปอร์เซนต์.....	88
แผนภูมิที่ 41 แสดงผลของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 120 เปอร์เซนต์.....	88

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างกล้องจุลทรรศน์แบบแสง กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	5
รูปที่ 2 เปรียบเทียบระบบเลนส์ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบลำอิเล็กตรอนลำส่องผ่านและแบบสแกน.....	7
รูปที่ 3 การสแกนโปรบอิเล็กตรอนแบบผิวขึ้นตัวอย่าง.....	8
รูปที่ 4 การสร้างภาพในระบบเลนส์แบบลำอิเล็กตรอนสแกน.....	9
รูปที่ 5 แผนภาพเบื้องต้นของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	10
รูปที่ 6 แสดงภาพตัดส่วนประกอบภาพในคอลัมน์ของกล้องจุลทรรศน์แบบ SEM6400.....	11
รูปที่ 7 สัญญาณอิเล็กตรอนในลักษณะต่างๆจากอันตรกิริยา.....	12
รูปที่ 8 สัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดจากอันตรกิริยา แสดงชั้นความลึกของการเกิดสัญญาณ อิเล็กตรอนในขึ้นตัวอย่าง.....	13
รูปที่ 9 ลักษณะของสัญญาณภาพของ SEM.....	14
รูปที่ 10 แสดงภาพตัดขวางในโครงสร้างฟิล์มขาว-ดำ ทั่วไป.....	17
รูปที่ 11 ภาพขยายโครงสร้างของผลึก Silver bromide crystal.....	18
รูปที่ 12 แสดงขนาดความแตกต่างของ crystals.....	19
รูปที่ 13 แสดงการเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีแสงเข้ามากระทบใน Silver.....	20
รูปที่ 14 แสดงขั้นตอนการทำปฏิกิริยาของน้ำยาสร้างภาพ.....	21
รูปที่ 15 แสงจุดหรือเส้นของรายละเอียดที่ฟิล์มบันทึกได้.....	33
รูปที่ 16 เครื่องล้างฟิล์มชนิดอัตโนมัติ รุ่น ATL 2 PLUS ผลิตภัณฑ์เยอรมัน.....	40
รูปที่ 17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-6400 ผลิตภัณฑ์ ญี่ปุ่น.....	40

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แสงสว่างเป็นสื่อกลางของการมองเห็น สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ สามารถแยกแยะความแตกต่างของวัตถุที่อยู่ใกล้ตัว แยกประเภทได้นอกเหนือโดยการสัมผัส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นฐานการเรียนรู้และองค์ประกอบใกล้ตัว ซึ่งจะแยกประเภทของความแตกต่างได้ถูกต้องแม่นยำ แต่ถ้าสิ่งเหล่านั้นมีขนาดเล็กมากๆเกินขีดจำกัดของการแยกประเภท ก็ยังมีเครื่องมือบางประเภทเพื่อแยกวิเคราะห์ แต่สิ่งเหล่านี้ก็หาได้มีความแตกต่างแห่งการมองเห็นเกินกว่าสายตาและวิจรรณญาณแต่การแยกประเภทไปได้

มนุษย์มีความพยายามที่จะคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถเอาชนะการมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือการศึกษาค้นคว้าถึงเส้นทางชีวภาพและกายภาพที่ลึกถึงซับซ้อนให้เห็นพื้นผิวลักษณะความแตกต่างของภายในโครงสร้างขนาดเล็กจะเรียงตัวอัดแน่นในระดับไมโคร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐาน และรายละเอียดของโครงสร้างไมโครบนผิววัตถุ ไม่ว่าจะเป็นขนาดของเกรน (Grain) การกระจายของอนุภาค ความพรุน ความหนาแน่น หรือร่องรอยอันเกิดจากความผิดปกติของผิววัตถุ เราสามารถบันทึกความแตกต่างเหล่านั้นได้และสามารถที่จะมองเห็นสิ่งเหล่านั้นด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ จึงเป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการวิเคราะห์เบื้องต้น

เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่แจกแจงรายละเอียดในระดับไมโครที่สามารถมองเห็นโครงสร้างได้สูงยิ่งนี้ได้มีการพัฒนาให้มีกำลังขยายสูงแสนเท่า ทำให้การศึกษา ค้นคว้า วิจัยได้มีประสิทธิภาพด้วยเทคนิคระบบเลนส์ แบบลำอิเล็กตรอน เรียกว่า (SEM) SCANNING ELECTRON MICROSCOPE ซึ่งเกิดจากกระบวนการควบคุมการสแกนลำอิเล็กตรอนที่มีขนาดปลายลำเล็กมาก ให้เคลื่อนที่บนระนาบ X-Y ของพื้นที่ผิวตัวอย่าง สัญญาณอิเล็กตรอนเหล่านั้นจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณภาพด้วยอุปกรณ์วัดที่เหมาะสม และส่งผ่านสัญญาณให้ระบบแสดงภาพบนจอแคโทดเรย์ (CRT) การบันทึกภาพอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กของแกนขดลวดสแกนจึงต้องใช้เวลาเร็วในการสแกนต่ำ ดังนั้นภาพไมโครกราฟที่แสดงผลบนจอภาพจึงปรากฏเฉพาะส่วนที่ผ่านการสแกน และคงการเรืองแสงด้วยความเฉื่อยของสารที่ฉายจอรเรืองแสง (Persistence of Screen) ในช่วงเวลาอันสั้นเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ภาพเต็มพื้นที่ที่สแกนจึงเกิดจากการบันทึกภาพ ด้วยระบบถ่ายภาพบนฟิล์มหรือกล้องโพลารอยด์ (Polaroid) เท่านั้น

การถ่ายบันทึกภาพในงานจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นงานที่ต้องการคุณภาพในรายละเอียดและความถูกต้องการเลือกใช้วัสดุฟิล์มและน้ำยาสร้างภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้การบันทึกภาพมีความถูกต้องสมบูรณ์ ตามกระบวนการสร้างภาพ ด้วยขั้นตอนการล้าง ตามแต่ละชนิดของฟิล์มที่ใช้ถ่ายและน้ำยาสร้างภาพแต่ละประเภทที่ถูกเลือกใช้ ตามคุณภาพแต่ละชนิดฟิล์มและน้ำยาที่มีคุณสมบัติที่ต่างกันอยู่แล้ว เมื่อภาพที่ถ่ายมีความถูกต้อง สามารถเก็บรายละเอียดได้ชัดเจน เมื่อนำมาอัดขยายภาพ และนำมาวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายดังกล่าว การวิเคราะห์ก็จะมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยในฐานะที่ทำงานเกี่ยวข้องด้านนี้ เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับชนิดฟิล์มและน้ำยาล้างฟิล์มที่มีหลายชนิดในห้องตลาด การเลือกใช้น้ำยาล้างฟิล์มไม่ถูกประเภท อีกทั้งส่วนใหญ่ใช้เวลาล้างไม่เหมาะสม ผลที่ได้นำไปสู่การความเสียหายซึ่งหมายถึงขึ้นตัวอย่างวิจัย เวลาและงบประมาณต้องถ่ายอีกครั้ง ผู้วิจัยได้เห็นปัญหาดังกล่าวประกอบกับการทำงานเกี่ยวข้องด้านนี้ จึงนำปัญหาดังกล่าวมาวิจัย เพื่อประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยอาจนำไปสู่การแก้ปัญหาและเป็นแนวทางให้กับหน่วยงานต่างๆนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเลือกฟิล์มและน้ำยาแต่ละชนิดได้อย่างถูกต้องเหมาะสม โดยเฉพาะเมื่อใช้ในงานถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อการทดลองหาคุณสมบัติของฟิล์มเนกาทีฟ ขาว-ดำ แต่ละชนิดว่ามีความแตกต่างในการสร้างภาพและในสภาพน้ำยาสร้างภาพต่างชนิดกันอย่างไร
2. ข้อมูลที่ได้จากการวิจัย สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับงานวิเคราะห์วิจัยในการเลือกใช้ฟิล์ม - น้ำยา สำหรับงานจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สมมุติฐานในการวิจัย

ฟิล์มแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันในการสร้างภาพในสถานะที่ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพเดียวกัน

ขอบเขตในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาเปรียบเทียบฟิล์ม ขาว-ดำ 3 ชนิด ที่ใช้ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคป นำมาแช่ล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพต่างชนิดกัน ในสถานะการควบคุมที่เหมือนกัน การวิจัยครั้งนี้ไม่ได้วัดคุณภาพของกระดาษอัดภาพที่ทำ Contact print ประกอบคำถาม

วิธีการดำเนินการวิจัย

ใช้ฟิล์ม ขาว-ดำ 3 ชนิด ถ่ายตัวอย่างชนิดเดียวกันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ
ส่องกราด SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

1. นำฟิล์มมาล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพต่างชนิดกัน ตามคุณสมบัติของฟิล์มและน้ำยาชนิด
นั้น ด้วยเครื่องล้างฟิล์มชนิดอัตโนมัติครั้งละ 1 ม้วน

2. นำฟิล์มมาฉายแสงลงกระดาษอัดภาพขาว-ดำ ชนิดเดียวกันและน้ำยาชนิดเดียวกันด้วย

วิธี Contact print

3. จัดทำแบบสอบถามประกอบรูปภาพขาว-ดำไปยังกลุ่มเป้าหมาย

4. ผลที่ได้ นำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ด้านการบริการ จะได้นำผลการวิจัยมาเป็นแนวทางในการเลือกใช้ฟิล์ม - น้ำยา ให้
เหมาะสมแต่ละชนิดตัวอย่างที่นำมาวิจัย ทั้งทางด้านโลหะวิทยา ชีววิทยา จุลชีววิทยา พฤษศาสตร์
และกีฏวิทยา ทางการแพทย์และอื่น ๆ ได้อย่างเหมาะสม

2. ให้ความรู้แก่หน่วยงานที่มีเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อนำผลการวิจัยเผยแพร่

3. ด้านการวิจัย เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาสำหรับผู้ที่ต้องการวิจัยด้านการถ่ายภาพ
จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ให้ละเอียดยิ่งขึ้นกว่านี้

บทที่ 2

บททบทวนวรรณกรรม

บทนำ

ตอนที่ 1. ความเป็นมาของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นประดิษฐ์กรรมทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเกิดจากความเพียรพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการจะศึกษาค้นคว้าสิ่งเร้นลับทางชีวภาพและกายภาพที่ลึกลับซับซ้อนภายในโครงสร้างขนาดเล็กระดับไมโคร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า นักวิทยาศาสตร์อาศัยแสงสว่างเป็นสื่อกลางของการมองเห็นผ่านระบบกำลังขยายของเลนส์แก้ว (Optical lens) เรียกว่า “กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope)” กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้ได้รับการออกแบบใน 2 ลักษณะ คือ แบบแรกใช้เทคนิคการจัดระบบเลนส์แบบลำแสงส่องผ่าน (Transmission type) และแบบที่สองใช้เทคนิคการจัดระบบเลนส์แบบลำแสงสะท้อน (Reflection type) แต่ทั้งสองชนิดก็มีข้อจำกัดในการมองเห็นในด้านกำลังขยายและความสามารถในการแจกแจงโครงสร้างขนาดเล็ก (Resolving power) เนื่องจากความยาวคลื่นของแสงที่ส่องกระทบบนโครงสร้างของชิ้นวัตถุตัวอย่าง ในช่วงคลื่นที่ตาเปล่ามองเห็นมีขนาดกว้างกว่ารายละเอียดของโครงสร้างขนาดเล็กที่ต้องการจะศึกษา จึงทำให้ขีดจำกัดของการมองเห็น ด้วยเหตุนี้ ในปี 2467 De Breglie ได้พบว่า อิเล็กตรอนที่ถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าในสุญญากาศให้มีพลังงานสูงขึ้น จะมีพฤติกรรมทางกายภาพ คล้ายคลื่นแสงและสามารถบังคับให้คลื่นอิเล็กตรอนมีขนาดความยาวสั้นกว่าคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็นได้ โดยขึ้นกับศักดาไฟฟ้าที่ใช้เร่งอิเล็กตรอน หลังจากนั้น ลำอิเล็กตรอนถ้าเข้ามามีบทบาทในระบบเลนส์ของกล้องจุลทรรศน์ กล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้เรียกว่า “กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscope)”

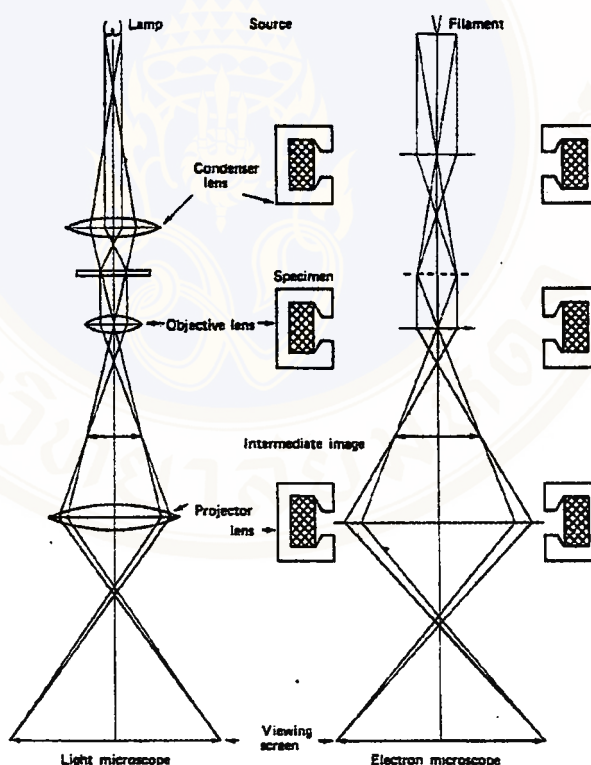
โครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

โครงสร้างพื้นฐานและองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการมองเห็นของ SEM จะคล้ายกับกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาแบบสเตอริโอ (Stereo microscope) แต่กลไกการทำงานจะแตกต่างกัน แหล่งกำเนิดแสงของกล้องสเตอริโอจะเป็นแสงของธรรมชาติหรือหลอดไฟ เมื่อส่องสว่างกระทบตัวอย่าง แสงสะท้อนเข้าสู่เลนส์ที่เป็นแก้วหรือกระจกผ่านตัวกลางอากาศ โดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) และเลนส์ใกล้ตา (Eyepiece lens) จะทำหน้าที่ในการขยายภาพ การปรับเปลี่ยนกำลังขยายและความคมชัดของภาพ ควบคุมด้วยระบบกลและเรตินาของตาเราเป็นฉากรับภาพ การ

พัฒนากล้องจุลทรรศน์เพื่อให้เกิดการมองเห็นโครงสร้างไมโครด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจนนั้น มีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. ความสามารถในการแยกแยะ (Resolving power)
2. กำลังขยาย (Magnification)
3. ความคมชัดและความชัดเจนของภาพ (Focus and contrast)

ทั้ง 3 องค์ประกอบที่กล่าวถึงนี้ขึ้นกับโครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของสื่อกลางที่ช่วยให้เกิดการมองเห็น ระบบเลนส์ที่ทำให้เกิดกำลังขยายและอุปกรณ์ประกอบที่ช่วยลดความผิดเพี้ยนของภาพรวมทั้งความคมชัด ไม่ว่าจะเป็นกล้องจุลทรรศน์แบบแสงหรือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนก็ตาม จะมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายกันดังแสดงในภาพโครงสร้างเปรียบเทียบรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่จัดระบบเลนส์แบบลำแสงและลำอิเล็กตรอนส่องผ่าน มีลักษณะการมองเห็นภาพคล้ายคลึงกัน แต่ในเรื่องของกลไกการทำงานแล้ว กล้องจุลทรรศน์ทั้งสองชนิดแตกต่างกันอย่างมาก เนื่องจากแหล่ง

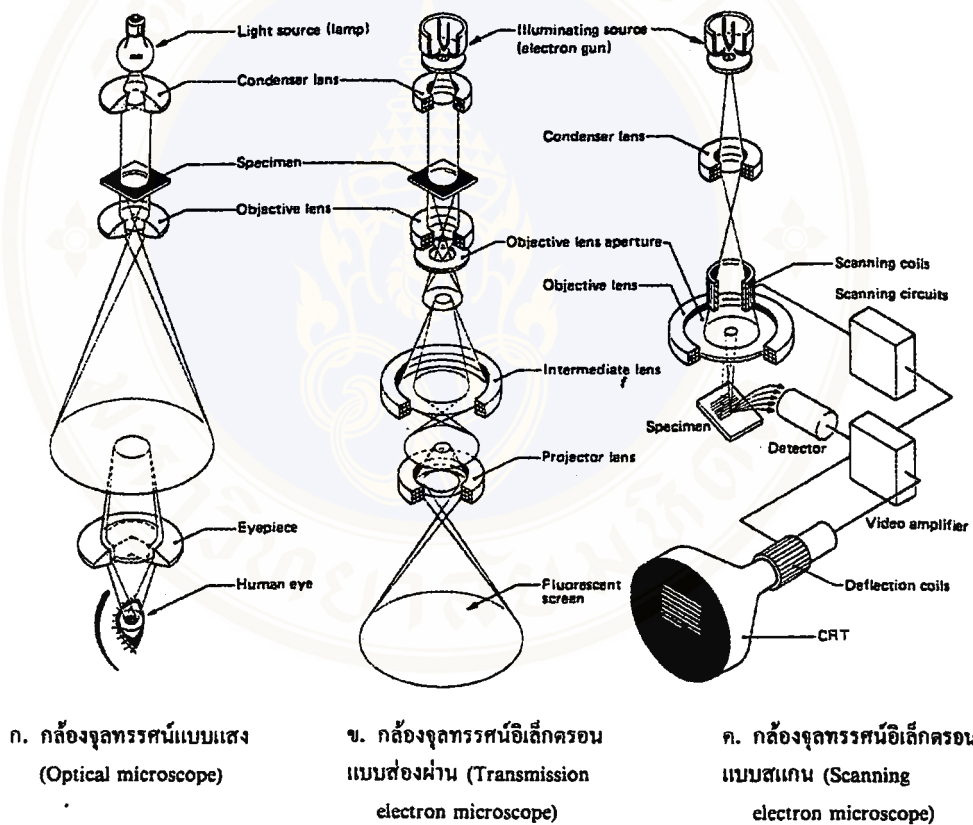
กำเนิดของสื่อกลางในการเกิดภาพของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงใช้หลอดไฟฟ้า ซึ่งให้ลำแสงผ่านระบบเลนส์แก้วในคอลัมน์ที่มีอากาศได้ การปรับเปลี่ยนกำลังขยายและการปรับความคมชัดอาศัยระบบกลในการควบคุมทั้งหมด ส่วนในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนจะต้องทำงานในคอลัมน์สุญญากาศ โดยจะถูกบังคับด้วยสนามไฟฟ้าศักดาสูงเร่งให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงและมีพฤติกรรมคล้ายคลื่นแสงกำลังขยายของภาพในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจากการบังคับให้ลำอิเล็กตรอนผ่านสนามแม่เหล็กซึ่งทำหน้าที่คล้ายเลนส์ การปรับเปลี่ยนกำลังขยายและความคมชัดของระบบเลนส์อิเล็กตรอนเป็นการปรับปริมาณกระแสไฟฟ้า ในขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก การใส่ชิ้นตัวอย่างเพื่อการศึกษาจะต้องใส่ในห้องสุญญากาศ รวมทั้งระบบการมองเห็นภาพต้องอาศัยตัวกลางในการเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดจากอันตรกิริยาในโครงสร้างโมเลกุลของชิ้นตัวอย่างให้ปรากฏเป็นภาพที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ด้วยเหตุนี้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จึงประกอบด้วยระบบต่างๆ มากมาย เช่น ระบบสุญญากาศ ระบบกำเนิดไฟฟ้าศักดาสูง ระบบควบคุมอิเล็กตรอนิกส์ ระบบเลนส์อิเล็กตรอน เป็นต้น

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างกล้องจุลทรรศน์แบบแสงกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (EM)	กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM)
แหล่งกำเนิดลำแสง	ลำอิเล็กตรอน	ลำแสงสว่าง
ความขามคลื่น	0.0859 Å (20 kV) -0.0251 Å (200 kV)	7,500 Å (visible) -2,000 Å (ultraviolet)
ตัวกลาง	สุญญากาศ	บรรยากาศปกติ
เลนส์	เลนส์อิเล็กตรอน	เลนส์แก้ว
มุมอเพอเจอร์ (aperture)	-35°	-70°
ความสามารถในการแจกแจงกำลังขยาย	point to point : 3.5 Å Lattice : 1.4 Å 100X - 450,000X ปรับได้ต่อเนื่อง	visible : 2,000 Å ultraviolet : 1,000 Å 10X - 2,000X (เปลี่ยนเลนส์ทีละชุด)
โฟกัส	ปรับระบบไฟฟ้า	ปรับระบบกล
คอนทราสต์	การกระเจิง, การเลี้ยวเบนและเฟสของคลื่นอิเล็กตรอน	การดูดกลืนและการสะท้อนแสง

ระบบภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

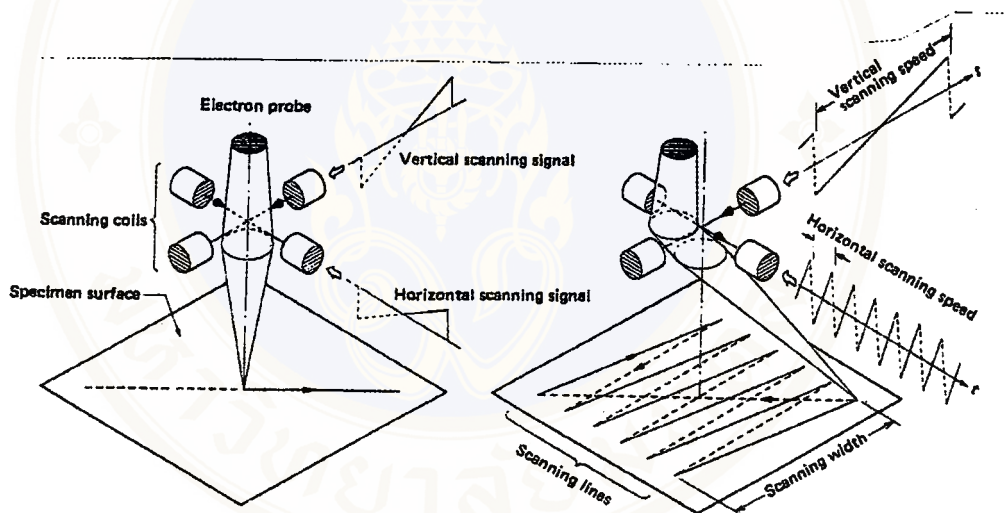
สัญญาณที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างลำอิเล็กตรอนและชิ้นตัวอย่างแล้ว มีสัญญาณหลักอยู่ 2 กลุ่มคือ สัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดบนพื้นผิวตัวอย่างและสัญญาณอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านชิ้นตัวอย่าง ซึ่งเอื้ออำนวยต่อการศึกษภาพไมโครกราฟทั้งบนพื้นผิวชิ้นตัวอย่างและในชั้นเนื้อเยื่อบาง เช่นเดียวกับกระบวนการของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงแต่จะต้องมีการจัดระบบเลนส์อิเล็กตรอน และเทคนิคทางสัญญาณภาพที่เหมาะสม ดังภาพแสดงเปรียบเทียบระบบเลนส์ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



รูปที่ 2 เปรียบเทียบระบบเลนส์ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำอิเล็กตรอนลำส่องผ่านและแบบสแกน

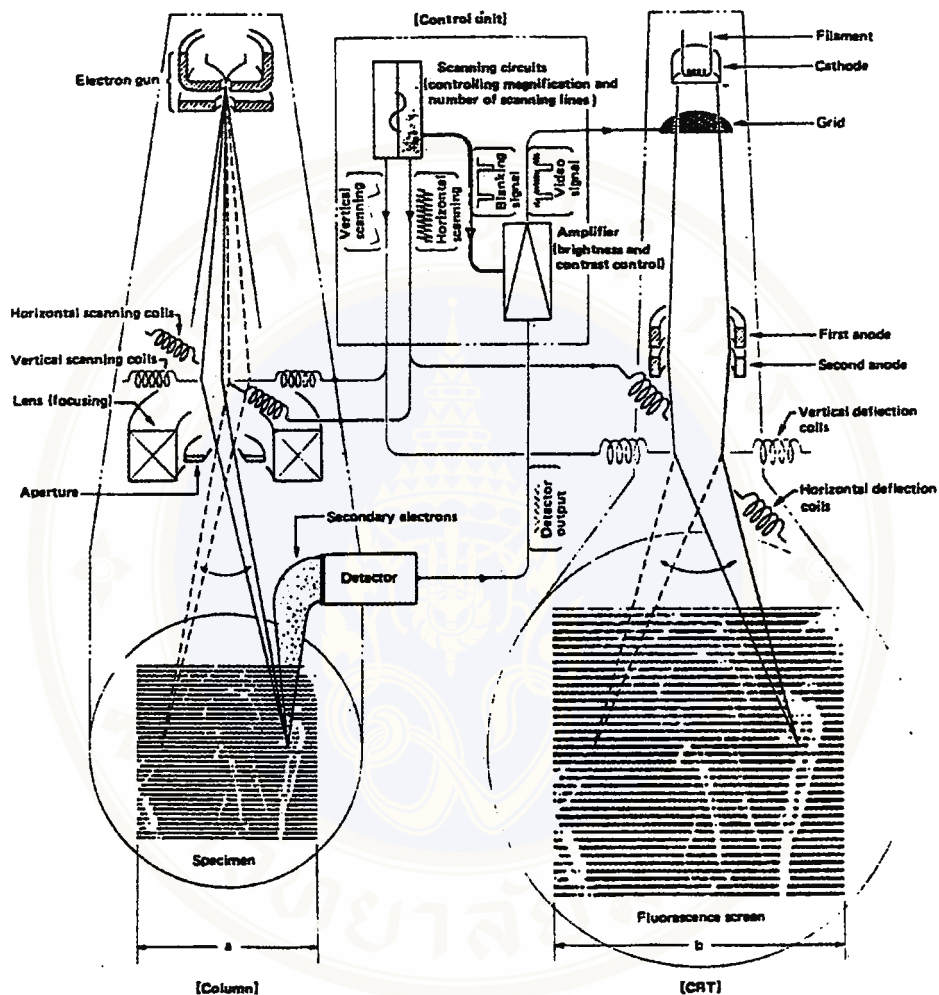
ระบบเลนส์และลำอิเล็กตรอนส่องผ่านในรูป 2 ข. เหมาะกับการสร้างภาพของกลุ่มสัญญาณทะลุผ่านชิ้นตัวอย่าง เพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาโครงสร้างภายในชั้นเนื้อเยื่อและในชิ้นตัวอย่างบางมาก

ระบบเลนส์แบบลำอิเล็กตรอนสแกนในรูป 2 ค. เหมาะกับการสร้างภาพของกลุ่มสัญญาณในการศึกษาโครงสร้างบนพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง ระบบเลนส์แบบนี้ต่างไปจากแบบแรก คือการสร้างภาพจะต้องบีบลำอิเล็กตรอนด้วยเลนส์ออฟเฟกทีฟจนมีลักษณะเป็นโปรบ (electron probe) โฟกัสลงบนชิ้นตัวอย่าง สัญญาณอิเล็กตรอนจึงเกิดเฉพาะจุดที่ปลายโปรบตกกระทบ การสร้างภาพไมโครไม่สามารถฉายไปบนฉากเรืองแสงได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยระบบแกนลำอิเล็กตรอนบนพื้นที่ไมโครที่กำหนดบนชิ้นตัวอย่าง และเลือกรับสัญญาณอิเล็กตรอนชนิดใดๆ จุดต่อจุดที่ปลายโปรบอิเล็กตรอนเลื่อนไป เพื่อนำไปสร้างภาพขยายที่เข้าจังหวะกัน (synchronize) บนพื้นที่ของจอภาพแคโทดเรย์



รูปที่ 3 การสแกนโปรบอิเล็กตรอนบนผิวชิ้นตัวอย่าง

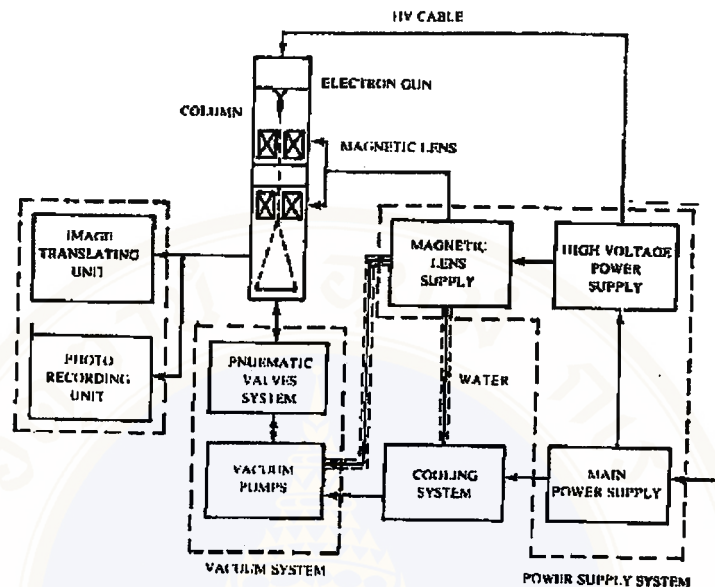
สัญญาณควบคุมการสแกนของโปรบอิเล็กตรอนในคอลัมน์สัญญาณและชุดกำเนิดภาพจะกำเนิดพร้อมกัน ดังนั้นสัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดในขณะที่อิเล็กตรอนโปรบเคลื่อนไปบนผิวชิ้นตัวอย่างจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์วัด ปรากฏเป็นสัญญาณภาพบนจอภาพจุดต่อจุดแบบแนวสแกน ทั้งแนวนอนและแนวตั้งบนระนาบ ประกอบกันเป็นภาพขยาย



รูปที่ 4 การสร้างภาพในระบบเลนส์แบบลำอิเล็กตรอนสแกน

กำลังขยายของ SEM ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเลนส์ใกล้วัตถุ แต่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างขนาดความกว้างของเส้นสแกนบนจอรับภาพ (L) กับขนาดความกว้างของเส้นสแกนบนผิวตัวอย่าง (I) (รูป 2 ค.) ภาพ SEM โดยทั่วไปบันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพที่ใช้ฟิล์มขาวดำ

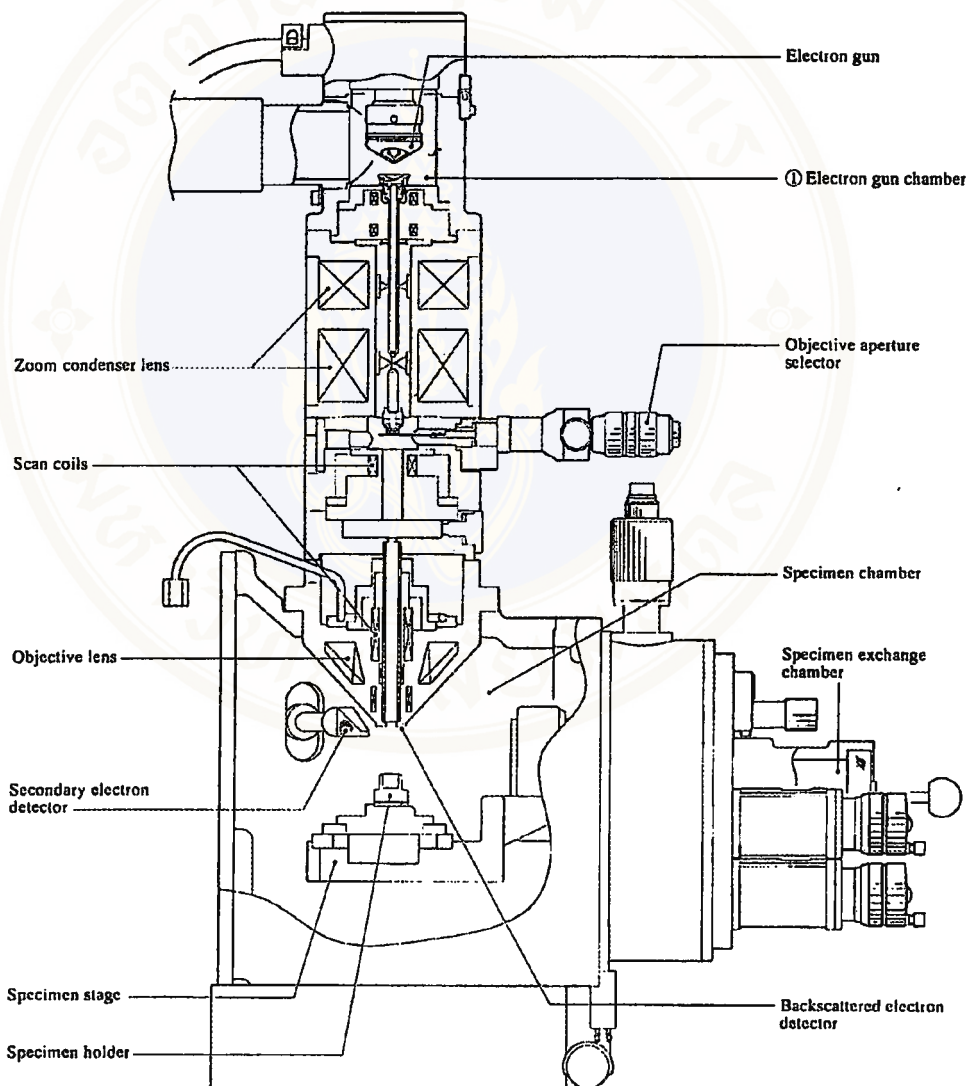
หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



รูปที่ 5 แผนภาพเบื้องต้นของระบบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

รูปที่ 5 แสดงแผนภาพเบื้องต้นของระบบต่างๆ ภายนอกกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ซึ่งทำงานเชื่อมโยงกันตามลำดับขั้นที่ถูกออกแบบไว้ กล่าวคือ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะทำงานได้นั้น ระบบสุญญากาศจะต้องสร้างสภาพสุญญากาศภายในคอลัมน์ ซึ่งบรรจกระบบอิเล็กตรอนออฟติคก่อน จากนั้นระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก 2 ส่วน คือ แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงและแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับเลนส์แม่เหล็กจึงทำงานได้ แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าแรงให้กับระบบอิเล็กตรอนออฟติคเพื่อสร้างลำอิเล็กตรอนความเร็วสูง เพื่อให้อิเล็กตรอนที่พลังงานสูงและมีพฤติกรรมคล้ายคลื่นแสง สามารถบังคับให้คลื่นอิเล็กตรอนมีขนาดความยาวคลื่นที่สั้นมากได้ เช่น ถ้าใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงอิเล็กตรอน 20 kV จะได้ลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความยาวคลื่นประมาณ $0.08 \text{ \AA}$ เป็นต้น เลนส์รวมแสง (condenser lens) และเลนส์ใกล้วัตถุเป็นระบบเลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) ซึ่งควบคุมโดยระบบไฟฟ้า จะทำหน้าที่ในการบีบลำแสงอิเล็กตรอนให้เป็นรูปกรวย (electron probe) ที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ให้โฟกัสลงบนตัวอย่าง จากนั้นลำแสงรูปกรวยจะถูกบังคับด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าชุดควบคุมการสแกน (scanning coil) ให้เคลื่อนไปบนผิวตัวอย่าง ในแนวแกนนอนและแกนตั้งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าคล้ายระบบสแกนของโทรทัศน์ ในขณะที่ผิวตัวอย่างสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่เกิดขึ้น เมื่อลำแสงรูปกรวยเคลื่อนไปบนผิวตัวอย่างจะถูกรวบรวมโดยอุปกรณ์วัดสัญญาณ (collector & scintillator) ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วผ่านท่อลำแสง (light pipe) ไปยังเครื่องขยาย

แสง (photomultiplier tube) ถูกส่งต่อไปยังหลอดภาพปรากฏเป็นสัญญาณภาพขึ้นบนจอรับภาพ (cathode ray tube, CRT) ถ้าแสงที่ทราบเป็นเส้นบนจอรับภาพจะเคลื่อนไปในทิศทางและเวลาเดียวกันกับลำแสงอิเล็กตรอนที่ส่องกราดไปบนผิวตัวอย่าง ซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า ขึ้นตัวอย่างที่ต้องการจะศึกษาโครงสร้างจะต้องใส่ในห้องสูญญากาศภายในคอลัมน์ที่จัดไว้ตามสภาพโครงสร้างของระบบเลนส์ ภาพสัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในระบบอิเล็กตรอนออปติคต้องอาศัยระบบการสร้างภาพเพื่อให้สามารถมองเห็นภาพขยายนั่นด้วยตาเปล่า และสามารถบันทึกลงบนแผ่นฟิล์มได้

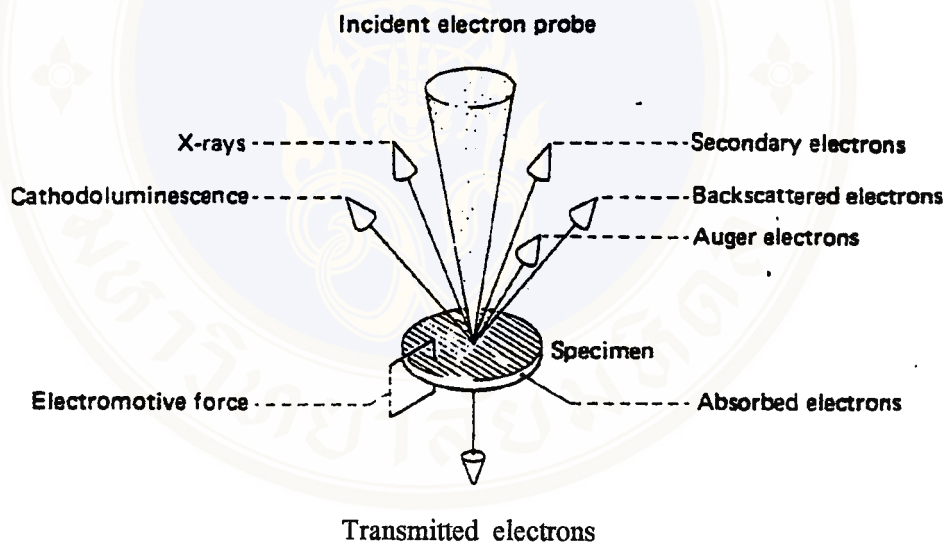


รูปที่ 6 แสดงภาพตัดส่วนประกอบภายในคอลัมน์ของกล้องจุลทรรศน์แบบ SEM รุ่น JSM 6400

กล้องจุลทรรศน์แบบ SEM ขึ้นตัวอย่างจะอยู่ใต้เลนส์ออฟเฟคตีฟ ลำอิเล็กตรอนในระบบเลนส์จะถูกโฟกัสลงบนผิวของสัญญาณภาพด้วยอุปกรณ์วัดที่เหมาะสม และส่งผ่านสัญญาณให้ขึ้นตัวอย่าง และถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ตามบริเวณที่ต้องการศึกษาโครงสร้างด้วยระบบสแกนและสร้างสัญญาณภาพขยายอิเล็กตรอนบนจอภาพ การบันทึกภาพจะบันทึกจากจอภาพแคโทดเรย์

การสร้างภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน

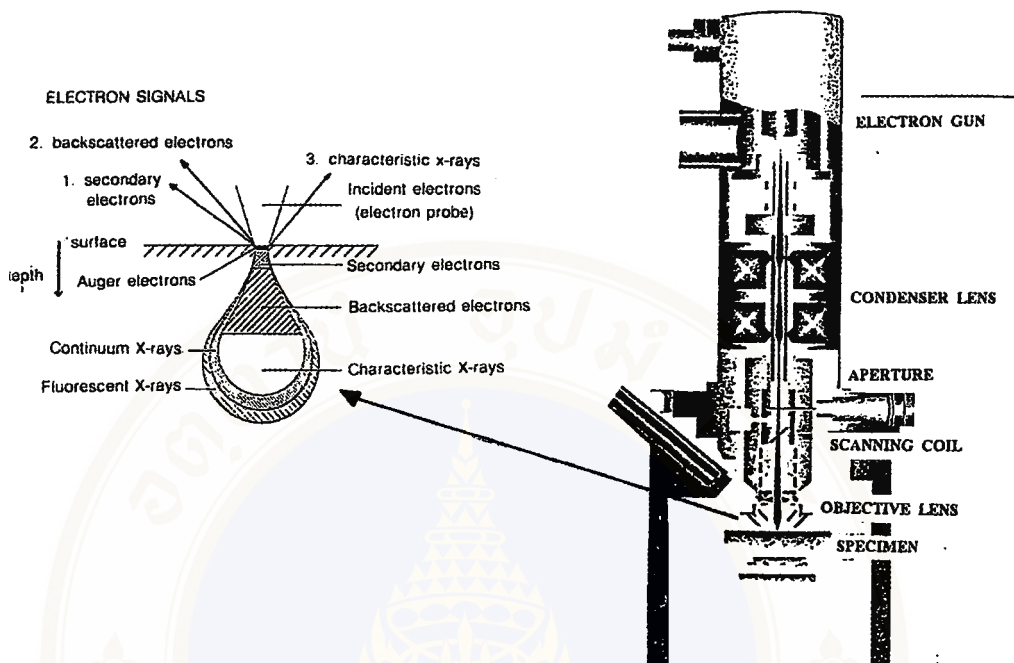
ภาพไมโครกราฟที่ปรากฏบนจอภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนั้น เกิดจากกระบวนการควบคุมการสแกนลำอิเล็กตรอนที่มีขนาดปลายลำเล็กมากให้เคลื่อนที่บนระนาบ X-Y ของพื้นที่ผิวตัวอย่าง อันตรกิริยา (interaction) ระหว่างอิเล็กตรอนจากลำอิเล็กตรอนกับอะตอมธาตุในขึ้นตัวอย่างจะทำให้เกิดสัญญาณอิเล็กตรอน (electron signals) ขึ้น คุณสมบัติของธาตุองค์ประกอบในขึ้นตัวอย่างนั้น สัญญาณอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นระบบแสดงภาพบนจอแคโทดเรย์ (CRT)



รูปที่ 7 สัญญาณอิเล็กตรอนในลักษณะต่างๆ จากอันตรกิริยา

สัญญาณอิเล็กตรอน

เมื่อลำอิเล็กตรอน (electron probe) พลังงานสูง ซึ่งเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนปฐมภูมิตกกระทบผิวของขึ้นตัวอย่าง อิเล็กตรอนปฐมภูมิจะทำอันตรกิริยากับอะตอมธาตุองค์ประกอบของขึ้นตัวอย่าง ผลจากการถ่ายโอนพลังงานที่ขึ้นความลึกจากพื้นผิวที่ระดับต่างๆ จะทำให้เกิดการปลดปล่อยอนุภาค รวมทั้งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามคุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะ ธาตุองค์ประกอบนั้นๆ อนุภาคและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปลดปล่อยออกมาจากผลของอันตรกิริยานี้เรียกรวมว่า “สัญญาณอิเล็กตรอน”



รูปที่ 8 สัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดจากอันตรกิริยา แสดงชั้นความลึกของการเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนในชิ้นตัวอย่าง

การทำงานของระบบกำเนิดภาพ เริ่มจากปลายลำอิเล็กตรอนที่ถูกระบบเลนส์อิเล็กตรอนโฟกัสลงบนผิวชิ้นตัวอย่างเฉพาะจุดและเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนขึ้น ระบบควบคุมการสแกนจะบังคับให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่บนพื้นที่ไมโครเป็นเส้นสแกนบนระนาบ X และ Y สัญญาณที่เกิดจากอันตรกิริยาบนผิวชิ้นตัวอย่างจุดต่อจุดจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพ ด้วยอุปกรณ์วัดส่งให้ระบบสแกนภาพของจอแคโทดเรย์ซึ่งทำงานเข้าจังหวะกัน (synchronize) เส้นต่อเส้นต่อเนื่องกันไป

สัญญาณภาพที่เกิดจากการสแกนแต่ละเส้นจะปรากฏเป็นภาพบนจอภาพในเวลาเดียวกัน (real time) ดังแสดงรูปสัญญาณที่บันทึกลงบนภาพไมโครกราฟในรูปที่ 9 ต่อเนื่องจากขณะที่กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนทำงานที่กำลังขยายสูงจะไม่สามารถสแกนด้วยความเร็วสูงได้ เพราะจะเกิดความผิดเพี้ยนของภาพ อันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กของแกนขดลวดสแกนจึงต้องใช้ความเร็วในการสแกนต่ำ ดังนั้นภาพไมโครกราฟที่แสดงผลบนจอภาพจึงปรากฏเฉพาะส่วนที่ผ่านการสแกนและคงการเรืองแสงด้วยความเฉื่อยของสารที่ฉาบจอเรืองแสง (persistence of screen) ในช่วงเวลาอันสั้นเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ภาพเต็มพื้นที่ที่สแกนจึงเกิดจากการบันทึกภาพด้วยระบบถ่ายภาพบนฟิล์มหรือกล้องโพลาไรด์ (polaroid) เท่านั้น



รูปที่ 9 ลักษณะของสัญญาณภาพของ SEM

. การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ SEM

ตัวอย่างที่จะนำมาศึกษาด้วย SEM จะต้องอยู่ในสภาพที่ปราศจากน้ำหรือความชื้นใดๆ และมีสภาพผิวที่นำไฟฟ้า ยกเว้นกรณีใช้ SEM ชนิดความดันสูญญากาศต่ำ ในการเตรียมตัวอย่างขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษาตัวอย่างแต่ละชนิด พอจะจำแนกตัวอย่างออกได้เป็น 21 ประเภท ใหญ่ๆ คือ ทางด้านชีววิทยาและวัสดุ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทางชีววิทยาโดยทั่วไป มีดังนี้

1. แช่ตัวอย่าง (Pre-fix) ใน 2.5 % glutaraldehyde ใน 0.1 M phosphate buffer pH 7.2 นาน 1 ชั่วโมง หรือข้ามคืนในตู้เย็น
2. ล้างด้วย phosphate buffer 3 ครั้งๆ ละ 10-15 นาที
3. แช่ตัวอย่าง (Pre-fix) ใน 1 % OsO₄ ใน 0.1 M phosphate buffer pH 7.2 หรือน้ำกลั่น นาน 1-2 ชั่วโมง
4. ล้างด้วย phosphate buffer หรือน้ำกลั่น 3 ครั้งๆ ละ 10-15 นาที
5. ขจัดน้ำออกจากตัวอย่าง (dehydrate) ด้วย ethanol หรือ acetone ที่ความเข้มข้น 30 %, 50 %, 70 % และ 100 % (2 ครั้ง) ตามลำดับ ขั้นตอนละ 10-15 นาที
6. ทำตัวอย่างให้แห้ง ณ จุดวิกฤตด้วยเครื่องทำให้แห้ง (critical point dryer)
7. ติดตัวอย่างบนฐานรองตัวอย่าง (stub) ด้วยเทป 2 หน้าหรือกาวย
8. นำตัวอย่างไปฉาบทองด้วยเครื่องฉาบทอง (ion sputter)
9. นำไปส่องดูด้วย SEM

น้ำยา fix และเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน สามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับลักษณะขนาดและชนิดของตัวอย่าง นอกจากนี้การเก็บตัวอย่างก่อน fix ก็แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของตัวอย่าง เช่น เลือด หนอง สเปิร์ม จะต้องป้าย (smear) บนแผ่นแก้วบาง (cover glass) แบบที่เรียกออาหารเหลว สำหรับเซลล์เดียว ไคอะตอมขนาดเล็กจะต้องล้างก่อนแล้วกรองผ่านกระดาษกรอง (millipore filter) เป็นต้น ทั้งนี้จะต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของผู้เตรียมด้วย

ส่วนการเตรียมตัวอย่างทางด้านวัสดุจะไม่ยุ่งยากเหมือนทางชีววิทยาเพียงแค่เอาตัวอย่างที่ต้องการจะดู ติดบน stub ด้วยเทป 2 หน้าหรือกาวตามความเหมาะสม แล้วฉาบผิวด้วยทอง ถ้าตัวอย่างมีขนาดใหญ่เกิน stub จะต้องตัดให้เล็กลงและต้องคำนึงถึงความสูงด้วย เมื่อใส่เข้าไปกล้องดูแล้ว ตัวอย่างจะไม่ไปชนกับอุปกรณ์วัดสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่าง ที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าอยู่แล้วให้ติดตัวอย่างด้วยกาวโลหะ (conductive paint) เช่น silver paint หรือ carbon paint สามารถนำไปส่องดูได้เลยโดยไม่ต้องฉาบผิว กรณีตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ธาตุจะต้องฉาบผิวด้วย carbon แทนการฉาบทอง เพราะ carbon (eC) เป็นธาตุเบาซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์ได้

ตอนที่ 2 ฟิล์ม (FILM)

ฟิล์มขาว-ดำ และฟิล์มสี ต่างก็ใช้สารไวแสงประเภทเกลือเงิน (silver halide) ฉาบลงบนแผ่นเซลลูโลสไนเตรส (cellulose nitrate) หรือที่เรียกว่า“เซลลูลอยด์” (celluloid)แต่มีปัญหาการยึดหดตัวและไวไฟ ต่อมาได้มีการปรับปรุง วัสดุที่ใช้ทำฟิล์ม (Film base) ใหม่โดยใช้เซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate) แทนเดี๋ยวกับฟิล์มภาพยนตร์ เพราะไม่เป็นวัสดุไวไฟ ซึ่งจะสังเกตได้ที่บริเวณขอบฟิล์มมักจะมีคำว่า “safty” กำกับไว้ด้วย

ฟิล์มขาว-ดำ (Black and white film)

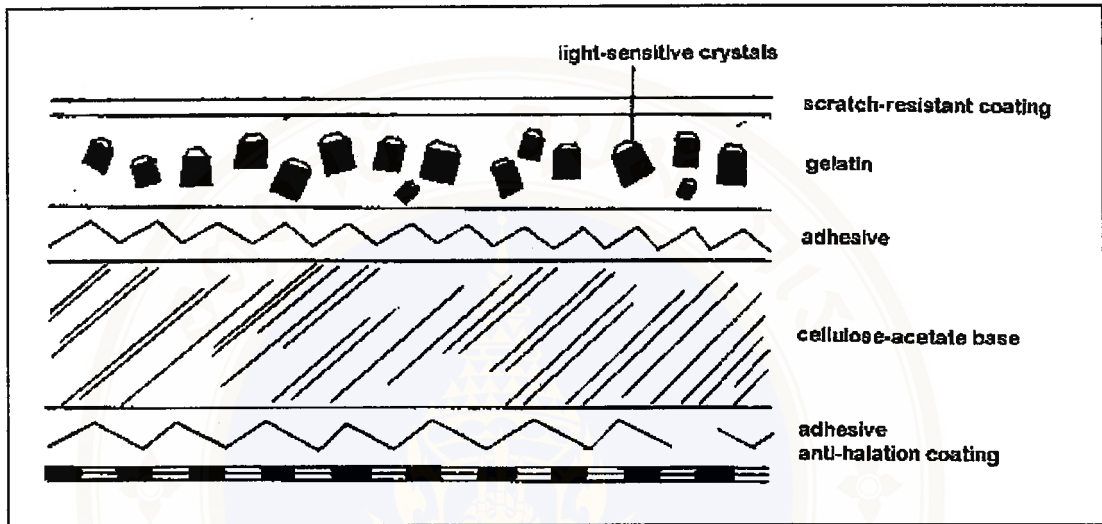
ฟิล์มขาว-ดำ ประกอบด้วยเกลือเงินแฮไลด์ (silver halide) เป็นเชื้อไวแสงที่ฉาบด้วยน้ำยาเป็นชั้น ๆ โดยลักษณะของเงินแฮไลด์นั้นมีขนาดเล็กมาก ซึ่งในพื้นที่สี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 1 ตารางมิลลิเมตร จะบรรจุด้วยเกรน (grain) เม็ดเล็กๆจำนวนมากนับล้านเม็ดและเป็นการฉาบน้ำยาที่บางแยกเส้นที่อยู่ชิดกันในภาพถ่ายอย่างละเอียดที่สุด ส่วนบนสุดเป็นเฮลาตินฉาบไว้ เพื่อป้องกันการขีดข่วน ส่วนด้านล่างก็เป็นเฮลาตินที่ฉาบไว้เพื่อไม่ให้ฟิล์มฉีกขาด เมื่อฟิล์มเปียกและแห้งฟิล์มขาว-ดำ ที่ยังไม่ได้ถ่ายภาพ ผิวด้านที่ฉาบสารไวแสงจะมีสีเทา หรือสีอมเหลืองนั้นเป็นส่วนที่ฉาบด้วยซิลเวอร์แฮไลด์ เป็นส่วนประกอบของสารที่ไม่มีสีของซิลเวอร์ผสมกับแฮไลด์ (โปเทสเซียมไอโอไดด์, โปเทสเซียมโบไมด์ หรือ โปเทสเซียมคลอไรด์) ที่ฝังอยู่ในเฮลาติน เฮลาตินเป็นส่วนประกอบสำคัญในโครงสร้างฟิล์ม เพราะเป็นตัวยึดสารเคมีให้ยึดติดกับฟิล์มแล้วยังช่วยทำให้มีการโปรงพองและยอมให้สารเคมีซึมผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารไวแสง โดยไม่ทำให้รูปทรงของภาพเปลี่ยนไป (4)

โครงสร้างของฟิล์ม (Film of structure)

โครงสร้างของฟิล์มโดยทั่วไปฟิล์มจะมีความหนาประมาณ .005 นิ้วภายในประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

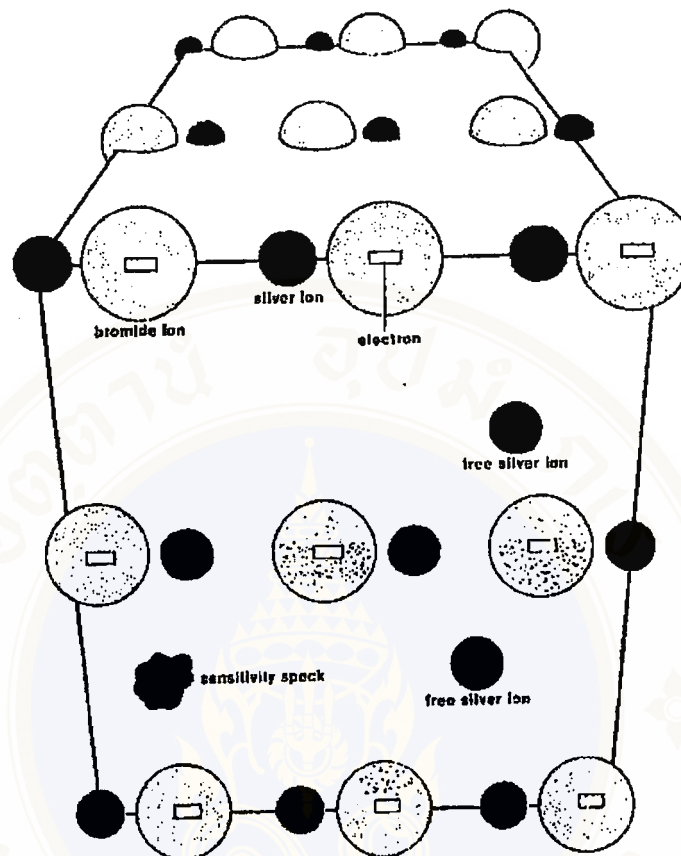
1. ชั้นบนผิวฟิล์ม Upper coat เป็นชั้นบางๆฉาบป้องกันรอยขีดข่วน (scratchresistant coating)
2. ชั้น Light-sensitive crystal หรือ emulsion เป็นส่วนสำคัญในการเกิดเป็นรูปภาพ ประกอบด้วยเฮลาติน 60เปอร์เซ็นต์และอีก 40เปอร์เซ็นต์เป็นผลึกไวแสง
3. ชั้น Adhesive เป็นของเหนียวที่ยึดติดกับชั้น emulsion base
4. ชั้น Cellulose-acetate base เป็นชั้นที่มีความหนามากยึดแน่นกับพลาสติกกรองรับสิ่งกระทบเป็นฐานฟิล์ม(base)ทำขึ้นจาก Cellulose-acetate
5. ชั้น Adhesiveเป็นของเหนียวยึด base กับชั้น anti-halation

6. ชั้น Anti-halation coating อยู่ด้านล่างฉาบด้วยสารป้องกันแสงสะท้อน



รูปที่ 10 แสดงภาพตัดขวางโครงสร้างฟิล์ม ขาว-ดำ ทั้งหมด

ผลึก ซิลเวอร์โบไมด์ (silver-bromide) เป็นโครงสร้างรูปลูกบาศก์ (cubic) ภายในประกอบด้วยซิลเวอร์ไอออน (ลูกบอลกลมเล็กสีดำ) และโบไมด์ไอออน (ลูกบอลกลมใหญ่สีขาว) ทั้งสองอยู่ในรูปประจุไฟฟ้าขั้วลบ ซึ่งจะเกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนอะตอมของประจุไฟฟ้า จุดสีดำที่มีรูปร่างไม่แน่นอนนี้เรียกว่าจุดไวแสง “Sensitivity speck” จะมีจำนวนมากกว่า 1 ตัว จะไม่มีขั้วประจุที่นี้ อิเล็กตรอนจำนวนมากไม่มีการแลกเปลี่ยนกับอะตอมโบไมด์ ซึ่งมีค่าเป็นเนกาทีฟแต่ละซิลเวอร์ ไอออนที่มี 1 อิเล็กตรอนหรือมีน้อยกว่าจะแลกเปลี่ยนซิลเวอร์อะตอมได้ ดังนั้นมันจึงกลับค่าเป็นประจุบวก แต่ละผลึกจะควบคุมจุดต่าง (speck) หรือความไม่สมบูรณ์ แต่ละสิ่งจะเป็นปัจจัยเสริมกัน และเกิดเป็นรูปภาพ ดูรูปประกอบที่ 10



รูปที่ 11 ภาพขยายโครงสร้างของผลึก silver bromide crystal

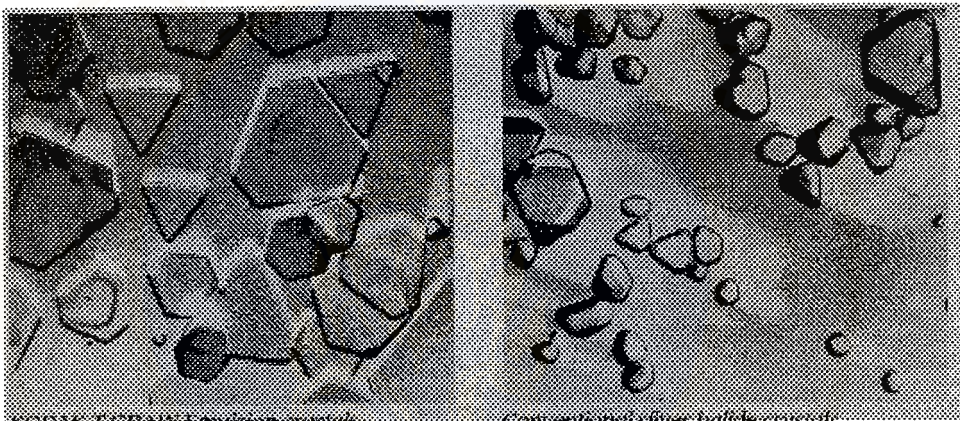
ฟิล์มทำงานอย่างไร (How film works)

ความไวแสงของผลึกเกลือเงิน (silver crystals) เป็นหลักการของฟิล์มขาว-ดำและฟิล์มสีแสงที่จับต้องในรูปผลึกขนาดเล็กมากโดยการรวมกันเรียกว่า ซิลเวอร์ โบไมด์ ในฟิล์มขาว-ดำ ในฟิล์มสี ซิลเวอร์ คลิสตอล จะถูกย้อมสี คือ ประยุกต์จากภาพขาว-ดำที่เรียกว่า “Chromatic film” จากระยะเอียง (grain) ที่เป็นอิสระและมีความไวสูง ผลึก crystals เป็นการวางตัวในเฮลาติล (gelatin) ที่ทำจากหนังสัตว์หรือกระดูกและผสมกันเรียกว่า เยื่อไวแสง (emulsion) เป็นชั้นบางๆ ที่วางบนฐานพลาสติก (plastic base) ไว้รองรับ

เมื่อซิลเวอร์ คลิสตอลถูกแสงกระทบก็จะเปลี่ยนเป็นสีเข้ม (dark metallic silver) แม้จะเป็นเวลาสั้นๆ ในการรับแสงก็ตาม ก็เพียงพอที่จะทำการแยกอะตอมของผลึก ตามตำแหน่งของแสงและเงา เยื่อไวแสงจะยังคงบันทึกด้วยภาพแฝง (latent image) ของแสงและเงา การเก็บรักษาภาพจะต้องอยู่ในที่มืดสนิท ต่อเมื่อผ่านกระบวนการล้างภาพในน้ำยาสร้างภาพ (developer) โดยจะเป็น

ตัวขยายให้โครงสร้างอะตอมในผลึกเพิ่มจำนวนและจะเปิดให้เห็นส่วนที่ได้รับแสงเป็นสีดำและสีเทา (สีขาวในภาพจริงจะเป็นสีดำในฟิล์ม)

ปัจจัยที่เป็นผลกระทบของความไวแสงของฟิล์มคือ ขนาดของsilver bromide crystals เชื้อไวแสงที่บรรจุ crystals ขนาดใหญ่ต้องการแสงน้อยกว่า crystals ที่มีขนาดเล็ก crystals ขนาดใหญ่จะได้ภาพไม่ดี การตอบสนองที่ไวของcrystal emulsion จะมีผลต่อการเก็บรายละเอียดของภาพ จึงเป็นข้อเลือกของฟิล์มสำหรับนักถ่ายภาพ หากเลือกฟิล์มที่มีความไวแสงสูงก็จะได้ภาพที่มีรายละเอียดของภาพน้อย ซึ่งจะตรงกันข้ามกับ ฟิล์มที่มีความไวแสงน้อย (8)



KODAK T- GRAIN Emulsion crystals

Conventional silver-halide crystals

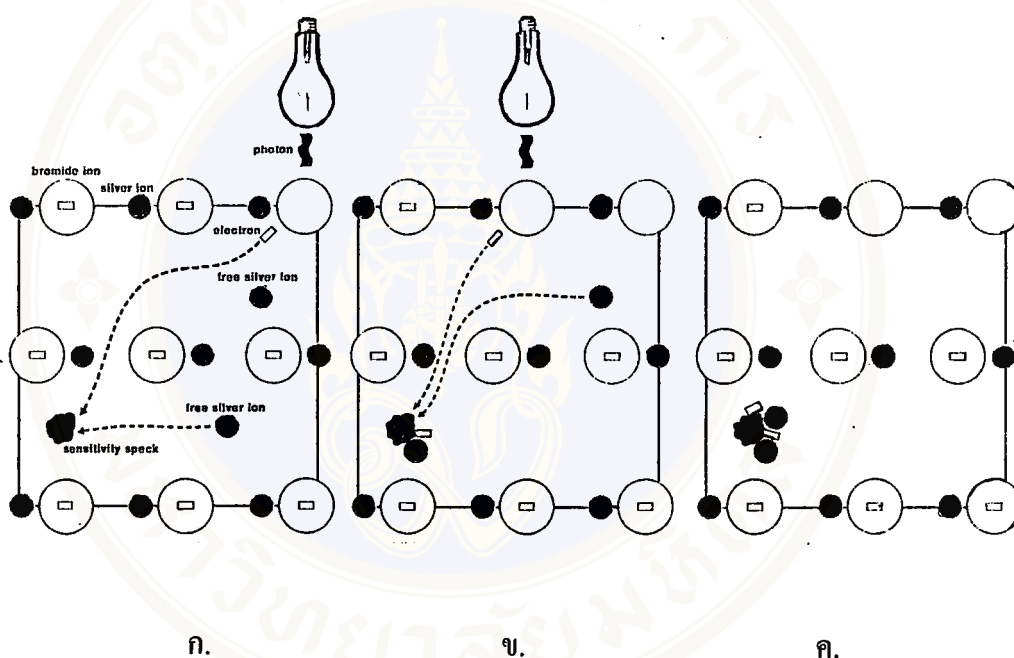
รูปที่ 12 แสดงขนาดความแตกต่างของcrystals (7)

คุณลักษณะที่มีความต่างของ silver - halide crystals เป็นส่วนสำคัญที่เป็นลักษณะเฉพาะของฟิล์มทั้งในด้านรายละเอียดการบันทึกและความคมชัดของภาพ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 11 ที่แสดงความแตกต่างของโครงสร้าง crystals ของฟิล์ม 2 ชนิด

การสร้างภาพเป็นปฏิกิริยาระหว่างแสงที่ตกกระทบของผลึกในเชื้อไวแสง (1 ผลึกcrystal มีขนาด 1 ในส่วน 40 ล้านนิ้ว) การกระทบของแสง 2 photon (แสงไฟแฟลชมีจำนวนพันล้าน photon ต่อ วินาที) ปฏิกิริยาเริ่มตั้งแต่ ผลึกcrystals ทำปฏิกิริยากับ silver bromine ซึ่งประกอบด้วยอะตอมที่มีการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า ที่มี อีออนซึ่งจะเข้าไปรวมกันกับก้อนสีเหลืองขนาดเล็ก โดยการดึงของประจุไฟฟ้าขั้วลบ (electrical attraction) ผลึกที่มีโครงสร้างสมบูรณ์จะมีการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบและตัวมันจะไม่กระทบกับแสงบางที่จำนวนของ silver ions ที่อยู่ภายนอกโครงสร้าง และมีการเคลื่อนที่อิสระจะมีส่วนช่วยให้เกิดรูปภาพ ดูภาพที่ 12 ประกอบ

การทำภาพในโลหะเงิน (Making an image in silver)

จุดไวแสง (sensitivity speck) ที่อยู่รอบนอก silver ions ทำงานด้วยกันในโครงสร้างขนาดเล็กที่ไม่ประจุอะตอมของ silver metal เมื่อผลึกมีการกระทบแสงจำนวนเล็กน้อยของ metallic silver จะสะสมพลังงานแสงไว้ เป็นการทำงานในระดับจุลภาคที่สามารถมองเห็นได้ เมื่อมีการล้างด้วยน้ำสร้างภาพยาเคมีสร้างภาพ metallic silver จะเกิดปฏิกิริยาเห็นเป็นจุดภาพอย่างช้าๆ



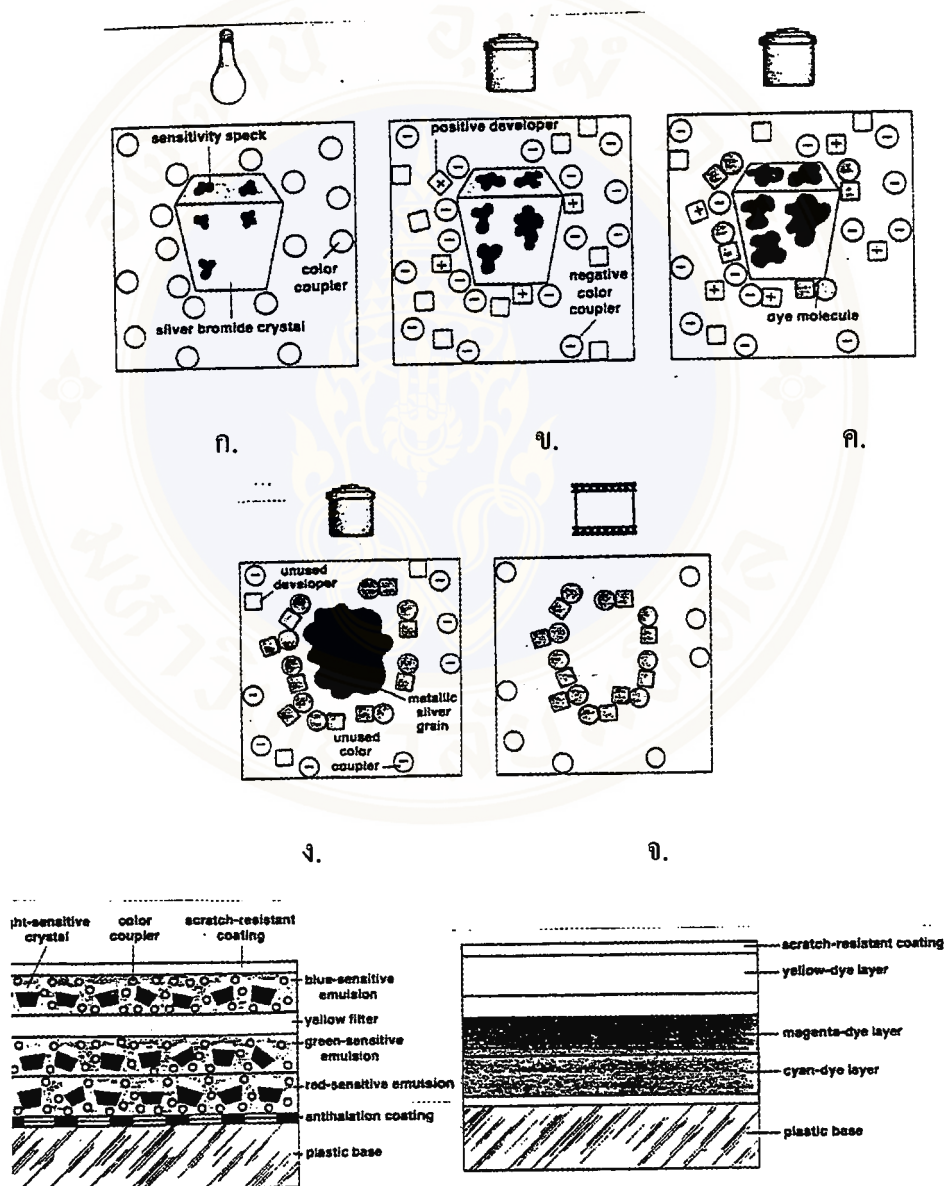
รูปที่ 13 แสดงการเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีแสงเข้ามากระทบภายใน silver

รูปที่ 13 ก. แสดงการตกกระทบของโฟตรอนแสงกับ silver bromide crystal ปฏิกิริยาภาพได้เกิดขึ้นเมื่อโฟตรอนให้พลังงานกับ bromide ions ภายนอกอิเล็กตรอน ระดับพลังงานที่ได้รับจะสูงขึ้น เมื่อมีการกลับค่าประจุอิเล็กตรอนและกระจายไปทั่วโครงสร้างของผลึก พลังของจั่วประจุไฟฟ้ามีอิทธิพลต่อตำแหน่งประจุอิสระของ silver ions

การเพิ่มโฟตรอนของแสงกระทบนอกเหนือไปจาก bromide ions (รูปที่ 13 ข.) silver จำนวนมากได้เคลื่อนไปยังจุดไวแสง (sensitivity speck) อิเล็กตรอนได้เข้าร่วมกับ silver ions เป็นความเท่าเทียมกันของประจุไฟฟ้าและการกระทำของ silver metal

การกระทบโดยนับจำนวนครั้งไม่ถ้วนของอะตอม metallic silver ที่จุดไวแสง (sensitivity speck) กลายเป็นองค์ประกอบของรูปร่างต่างๆ เป็นปฏิกิริยาเคมีที่มองไม่เห็น ตำแหน่งของผลึกทั้งหมดจะเปลี่ยนไป ทั้งหมดตลอดกระบวนการล้างสร้างภาพน้ำยาสร้างภาพ จะทำหน้าที่ขยายตัวอย่างมาก ภายในฟิล์มแม้เพียงการเปลี่ยนน้ำยาเพียงน้อยนิดและสร้างออกเป็นภาพถ่ายออกมา รูปที่ 13(ค)

ภาพแสดงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาในระดับต่างๆของฟิล์มสีเพราะมีการทำปฏิกิริยาการเกิดภาพที่คล้ายคลึงกันแต่ต่างที่ผลึกของ silver มีการเชื่อมสี รูปที่14 (ก.-ข.)



ก. ฟิล์มก่อนการล้างฟิล์ม

ข. ปฏิกิริยาหลังการล้างฟิล์ม

รูปที่ 14 (ก-ข) แสดงขั้นตอนการทำปฏิกิริยาของน้ำยาสร้างภาพ

ฟิล์มสีถูกออกแบบมาในรูปของการเชื่อมของอนุโมเลกุล (Molecules) ในชื่อเรียก Coler coupler หรือ สารคู่ควบสี ในความไวแสงสีน้ำเงินจะเป็นผลึกสีเหลือง ในชั้นไวแสงสีเขียวอยู่ในรูปผลึกสีม่วงแดง (magenta) และในชั้นไวแสงสีแดงในรูปของผลึกสีน้ำเงิน (cyan) สีทั้งหมดจะเป็นการกลับค่าที่เชื่อมในน้ำยาสร้างภาพและจะเปลี่ยนเป็นสีเหมือนจริงเมื่อถูกการอัดขยายภาพ รูปที่ 14 ก. ผลึก silver bromide ในชั้นไวแสงสีแดงกระทบกับแสงในส่วน of silver metal เป็นรูปของ silver ions จุดไวแสง (sensitivity speak) โมเลกุลของสารคู่ควบสีจะมีปฏิกิริยากับไฟสีแดง รูปที่ 14 ข. เมื่อโมเลกุลของน้ำยาสร้างภาพสัมผัสกับผลึกการกลับ ค่าเนกาทีฟจะเพิ่มขึ้นและรวมกันกับ silver ions ประจุบวก ในรูปที่ 12 โมเลกุลจะเปลี่ยนแปลงต่างๆกลายเป็น พอซิทีฟโดยเป็นผลจากการทำปฏิกิริยาเคมีตัวอื่น รูปที่ 14. การเชื่อมสีจะเริ่มมีการเปลี่ยนตำแหน่ง ของการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลภาพรวมกัน เนกาทีฟที่เปลี่ยนค่าในโมเลกุลของสารคู่ควบสีพื้นที่รอบๆ crystal จะเป็นการรวมกันสร้างโมเลกุลสีเชื่อมในกรณีของสีแดงและสีน้ำเงินเข้าด้วยกัน รูปที่ 14 ง. เมื่อการสร้างภาพเสร็จสมบูรณ์อะตอม silver ในรูปของ metallic silver เม็ดที่อยู่รอบๆ โมเลกุลสีน้ำเงินจะเปลี่ยนแปลงและพุ่งขึ้นโมเลกุลที่ไม่ได้ใช้น้ำยาสร้างภาพจะกลายเป็นสีคู่เทียม น้ำยาหยุดภาพ (stop-bath) และน้ำยาฟอกขาว (fixer) จะมีผลกับการเปลี่ยนแปลงในครั้งนี้ รูปที่ 14 จ. การหยุดภาพและการฟอกขาวเป็นการเปลี่ยนภาพของ metallic silver หยุดภาพจากรูปโมเลกุล สีเชื่อมสีเปลี่ยนแปลง เนกาทีฟของสารคู่ควบสีใน 3 ชั้นดังเช่นสีเขียวในชั้นสีแดงให้กลับค่าเป็นสีส้มเช่นเดียวกันกับสีอื่นๆ และสีจะตรงกลับความเป็นจริงเมื่อถูกอัดขยาย รูปที่ 14 ฉ. รูปตัดขวางแสดงความหนาของ 3 ชั้นประกอบด้วยสีเชื่อมเหลืองในชั้นสีฟ้า สีม่วงแดง ในชั้น สีเขียว และสีน้ำเงินเขียวในชั้นสีแดง ฟิเตอร์สีเหลืองที่ชั้นระหว่างชั้นสีฟ้าและชั้นสีเขียวเป็นสารที่เคลือบป้องกันการกระทบของแสงถัดไปเป็นฐานฟิล์ม (8)

คุณภาพของฟิล์มเนกาทีฟ (Negative quality)

องค์ประกอบของการเลือกฟิล์มขาว-ดำที่ดีมี 2 ปัจจัย คือ

1. ปัจจัยที่เลือกคุณภาพของฟิล์มเพียงอย่างเดียว
2. ปัจจัยที่ควบคุมคุณภาพทั้งหมดของการผลิตทั้งหมดที่ไม่เปลี่ยนแปลงคุณภาพฟิล์ม

สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ความทึบหนา (density) และค่าเปรียบต่าง (contrast) ในฟิล์มกับความแตกต่างของวัตถุที่ถ่าย การเปิดหน้ากล้อง การควบคุมคุณภาพแสง ตลอดจนการควบคุมคุณภาพการล้างฟิล์ม จึงจะได้เนกาทีฟที่ดีซึ่งหมายถึงการอัดขยายภาพที่ดีด้วย

ลักษณะเฉพาะของเนกาทีฟคุณภาพสูง (Characteristic of high quality Negative)

สิ่งหนึ่งของฟิล์มเนกาทีฟคุณภาพสูงจะให้ผลของการอัดขยายภาพที่ดีเมื่อใช้เครื่องอัดขยายภาพหรือทำ contact print โดยมีข้อจำกัดและเหตุผลดังนี้

เงาทึบของเนกาทีฟ (shadow densities) เป็นตัวกำหนดของการเปิดหน้ากล้อง ฟิล์มจะมีความหนาสุทธประมาณ 0.10 ถึง 0.15 (base-plus-fog density) ฐาน-ค่าทึบ-เหนือความดำไม่โดนแสง

ค่าความถี่ความทึบหนาของฟิล์มกำหนดโดยขบวนการล้างที่สัมพันธ์กับ กระดาษอัด-ขยายภาพเมื่อผ่านการอัดขยายภาพ

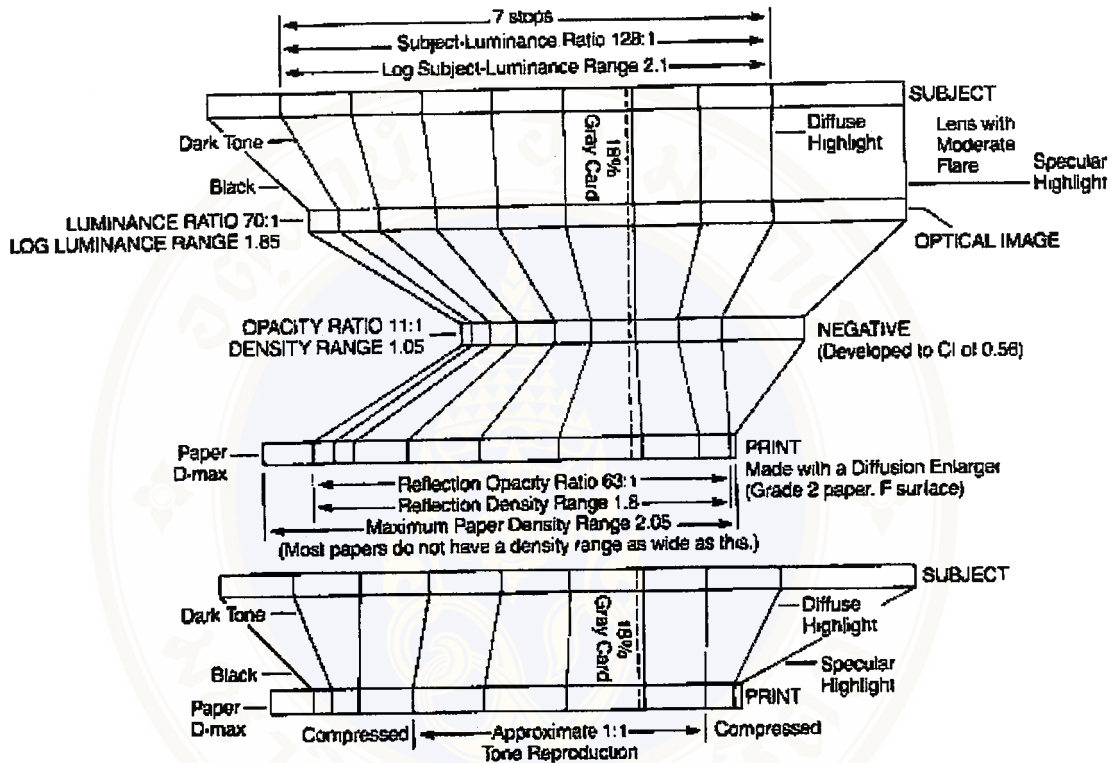
น้ำหนักของสี (Tone reproduction)

เป็นปัจจัยที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของการอัดขยายภาพ เป็นกระบวนการปรับเปลี่ยนภาพขาว-ดำโดยธรรมชาติและ tone สีของวัตถุที่ถ่ายขาว-เทา และดำในภาพอัดขยายจึงจะภาพถ่ายที่มีคุณภาพดี แสงสว่างที่ส่องวัตถุกลางแจ้งที่มุม 45 ระหว่างตัวกล้องกับวัตถุมีค่าประมาณ 160:1 ที่ความต่างประมาณ 7 stop จากที่สว่างสุด (high light) ถึงเงาที่มีมืดทึบ (dark shadow) หรือประมาณ 6—stop ที่ถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพรูป

มีค่าเฉลี่ยของเนกาทีฟที่ 0.80-1.25 (density) ทั้งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของชนิดเครื่องอัดขยาย ชนิดของกระดาษอัดภาพขาว-ดำมีค่าความทึบหนาประมาณ 1.5-2.0 เป็นค่าที่แสงผ่านฟิล์มลงสู่กระดาษอัดภาพโดยการแผ่กระจายแสงจากเครื่องอัดขยาย

1. เพราะว่าต้นฉบับที่ถ่ายมีความสว่างที่ 160:1 และกระดาษอัดภาพมีเพียง 60:1 ของค่าความสว่างหรือแสงที่สะท้อนกลับ (reflectance ratio) ขณะที่อัดผ่าน บางทีภาพขาว-ดำ อาจไม่อัดขยายส่วนที่สว่างสุด ส่วนที่สว่างจึงอัด-ขยายได้ดีดำเพราะความบางของฟิล์ม น้ำหนักที่ปานกลางจะลอกแบบที่ไม่อัดลงทั้งหมด ซึ่งหมายถึง ค่าความสว่างสุดของ tone จะมีน้ำหนักปานกลางใกล้เคียงกันที่สว่างสุดจึงมีแสงผ่านแต่ไม่มากเท่าน้ำหนักของเงาที่ตกกระทบ ขอบของเงาตรงบริเวณที่แสงอัดผ่านมาก curve จึงอยู่ต่ำสุดเมื่อฟิล์มมีแสงตกกระทบบริเวณนั้น ดูภาพประกอบแผนภูมิที่ 1

Graphic Representation of Typical Photographic Tone Reproduction



แผนภูมิที่ 1 แสดงค่าน้ำหนักของแสงที่ส่องผ่านฟิล์มและกระดาษอัด-ขยายภาพ

ลักษณะโดยทั่วไปของการมอเนกาทีฟที่มีคุณภาพดีมี ดังนี้

1. ทุกส่วนของฟิล์มต้องมีความคมชัดเมื่อส่องดูด้วยแว่นขยาย
2. ความทึบหนาทั้งหมด น่าจะอัด-ขยายได้แม้เพียงการอัดขยายแม้ช่วงเวลาอันสั้น
3. ฟิล์มที่ทึบหนาดังกล่าวต้องอัด-ขยายด้วยกระดาษแบบธรรมดาได้ความสว่างของแสงเงาและมี

รายละเอียดต่างชัดเจน

4. เงามในส่วนที่ลึกน่าจะสดใส น้ำหนักกลางน่าจะมีรายละเอียดให้เห็น
5. แสงที่แพร่กระจาย จะแสดงเป็นลำดับขั้นและมีการเห็นความทึบหนาน้อยกว่าแสงที่

สว่างที่สุด

6. फिल्मจะไม่มีรอยขีดข่วน (scratches) รอยสายฟ้า (static marks) รอยป็นเป็นฝ้า (scum) รอยหยดน้ำ (water spot) หรือรอยจุดดำ (mark and pinholes) เมื่อแห้งสนิท
7. เมื่ออัดขยายจะไม่เป็นเม็ดจุดดำที่ควรจะเป็นในรายละเอียดของฟิล์ม
8. फिल्मจะไม่แสดงลายดวงๆหรือไม่เรียบด้วยสาเหตุของความไม่ถูกต้องหรือกระบวนการล้างฟิล์มซ้ำ

มาตราวัดคุณภาพของเนกาทีฟ (Measuring negative quality)

วิธีการพิจารณาคุณภาพการอัด-ขยายของฟิล์มเนกาทีฟ คือการวัดความทึบหนาที่แน่นอนกับเครื่องวัด densitometer มีดังนี้

- หาค่า exposure film วัดความทึบหนาของพื้นที่เงาอาจจะวิธีการ อัดขยาย โดยค่าความสว่างมากค่ามีความหนาที่ประมาณ 0.10 ถึง 0.15 ของฟิล์ม (base-plus-fog density) ตารางประกอบที่ 2

- หาค่าการล้างฟิล์ม วัดพื้นที่การแผ่กระจายแสงอาจมีความมืดมากกว่าความสว่าง หักลบความมืดของพื้นที่เงาที่หนาที่บอกจากความทึบหนาของการแผ่กระจายแสงโดยกำหนด ความแตกต่างของ ความทึบหนา ถ้าวัตถุที่ถ่ายมีค่าแสงปกติ 160:1 ความทึบหนาที่แตกต่างน่าจะประมาณ 1.05 ถ้าอัดขยายด้วยเครื่องชนิดเลนส์แผ่กระจายแสง หรือ 0.80 เมื่ออัดขยายด้วยเครื่องชนิดเลนส์รวมแสง ตามตารางตัวอย่างที่ 2

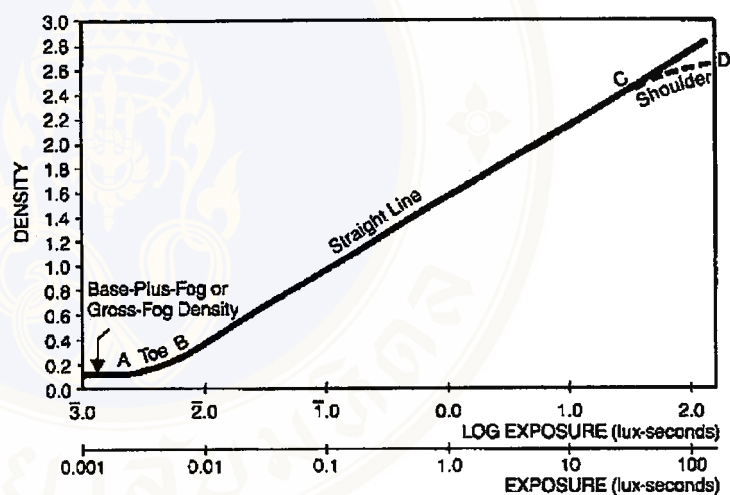
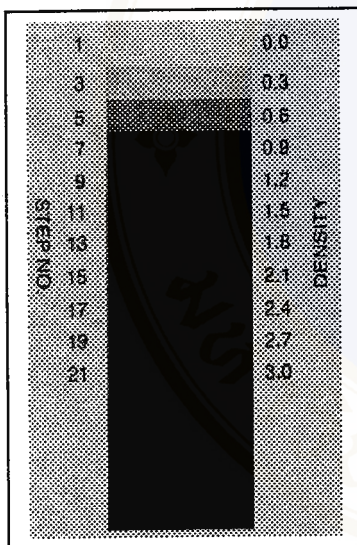
ตารางที่ 2 แสดงคุณลักษณะของเครื่องอัดขยายภาพชนิดแผ่กระจายแสงและชนิดรวมแสง

	เครื่องอัดขยายภาพ ชนิดแผ่กระจายแสง	เครื่องอัดขยายภาพ ชนิดรวมแสง
ความทึบของแสงที่แผ่กระจาย	1.20	1.00
รายละเอียดที่ทึบหนาของเงา	- 0.15	-0.20
ค่าความทึบหนา	1.05	0.80

ค่าเฉลี่ยที่ได้นี้มีที่มาจากการทดสอบด้วยเครื่องอัดขยายหลายชนิด ค่าความทึบหนาของฟิล์มจะมีผลกับการอัดขยายด้วยกระดาษอัด-ขยายแบบธรรมดา (grade 2) ถ้าอัด-ขยายแบบขาวจัด-ดำจัดแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ถ้ามีการเพิ่มเวลาล้างฟิล์มจะมีความหนาขึ้นซึ่งจะมีผลต่อการอัดขยายด้วยกระดาษแบบธรรมดาก็จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ฉะนั้น ควรลดเวลาล้างฟิล์มลงเพื่อให้ฟิล์มมีความหนาน้อยลง

เส้นโค้งแสดงลักษณะเฉพาะ (Characteristic curve)

สิ่งที่แสดงการตอบสนองของฟิล์มถ่ายรูปเมื่อโดนแสงหรือการล้างฟิล์มที่ถูกวิธี โดยจะแสดงออกเป็นเส้นกราฟที่เรียกว่า เส้นโค้งแสดงลักษณะเฉพาะ (Characteristic curve) รูปที่ 30 เป็นภาพแสดงโดยผ่านเครื่องมือวัดที่เรียกว่า Sensitometer โดยแสดงเป็นลำดับขั้นของการเปิดหน้ากล้องตามลำดับบนแผ่นฟิล์ม แต่ละลำดับจะต่างกัน 2 ขั้น (1stop) หรือ $2 (1.41)$ ประมาณ /stop ตัวอย่างรูปเป็นการล้างแบบ under ซึ่งต้องระมัดระวังควบคุมสภาวะ จึงจะได้ผลการทดสอบฟิล์มตามลำดับขั้นของความทึบหนาที่ต่างกัน



แผนภูมิที่ 2 แสดงเส้นโค้งลักษณะเฉพาะของฟิล์ม

ความทึบหนา (density) เป็นเครื่องวัดของแสงที่หยุดเฉพาะลงบนพื้นที่ในภาพถ่ายทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนที่มากมายของเม็ดโลหะเงิน (metallic silver) ในกระบวนการล้างความทึบหนาของแสงที่แผ่กระจายเป็นลักษณะเฉพาะที่แสดงออกและการล้างเนกาทีฟจะมีค่า 0.90 ถึง 1.40 และจะมีความหนาสุดที่ประมาณ 2.50 เส้นโค้งแสดงลักษณะเฉพาะจึงเป็นผลจากการอ่านค่าทดสอบเนกาทีฟที่แสดงลักษณะเฉพาะของฟิล์ม/รวมกับกระบวนการล้างฟิล์ม

หมายเหตุ: เป็นอัตราส่วนที่ยอมให้แสงผ่านโดยการตกกระทบ ฟิล์มจะยอมให้แสงผ่านได้ 0.5 ความทึบ (Opacity) ก็ทำนองเดียวกันจะให้แสงผ่าน (1/0.5=2) ความทึบหนา (Density) เป็นเลขยกกำลังของความทึบหนา มีค่าเท่ากับ ($\log_{10} 2 = 0.301$) ความทึบหนาของฟิล์มอันเดียวกันกับ 0.3ยอมให้แสงผ่านได้ 50เปอร์เซ็นต์

ความหมายลักษณะเส้นโค้ง(Curve sharp)

รูปสัณฐานลักษณะเฉพาะของเส้นโค้งจะมีความแตกต่างตามชนิดของฟิล์ม toeอาจจะสั้นหรือยาวหรืออาจจะโค้งก็ได้ ต่อจากนั้นก็โค้งขึ้น เป็นประโยชน์ในการอ่านค่าของฟิล์มรวมทั้งผลที่กระทบกับฟิล์มที่ทำงานมีด้วยกัน 3 ลักษณะ มีดังนี้ ส่วนที่ 1 A-Bเรียกว่า Toe ส่วนที่ 2 B-C เรียกว่า **Straight line** ส่วนที่ 3 C-D เรียกว่า **Shoulder**

Base-plus-fog density (ฐาน-บวก-ความมืดของบริเวณที่ไม่โดนแสง) คือส่วนที่อยู่ด้านซ้ายสุด ตำแหน่ง A เป็นเส้นแนวนอน(horizontal line)เป็นส่วนที่ไม่ตอบสนองกับแสง ยังคงมืดทึบจึงเรียกว่า “base-plus-fog”หรือ “gross-fog -density”

The toe คือ ส่วนหัว เป็นรูปโค้งจันทร์ครึ่งซีก ตำแหน่ง A ถึง B หมายถึงส่วนที่มีมืดไม่เกิดภาพ ในค่าที่ลาดต่ำส่วนต้นจะเริ่มชี้ขึ้น มีความหนาที่ต่ำกว่า 0.10 หน่วย อัตราขยายภาพไม่ได้รายละเอียด เส้นที่มีช่วงสั้น จะมีเงาที่แผ่กว้างกว่าเส้นที่มีช่วงเส้นยาว

The Straight line(เส้นตรง) ตำแหน่งเส้น B ถึง C เป็นเส้นที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างความหนาที่กับตัวเลขที่ปิดหน้ากล้อง เส้นจึงดูตรงสม่ำเสมอ

เส้นที่ลาดโค้ง(slop)หรือ เส้นแกมมา (gamma) ของตำแหน่งเส้นตรง (วัดจากปลายที่ทำกับตำแหน่งเส้นราบ) เป็นตัวสำคัญที่วัดความชัดเจน,ลักษณะเฉพาะ,น้ำยาฉายฟิล์มและข้อกำหนดการล้างตามลักษณะของเส้นที่โค้ง

The Shoulder (ไหล่เขา) แสดงเป็นจุดไข่ปลาที่ตำแหน่ง C ถึง D มีลักษณะที่โค้งลง หมายถึงถึงเป็นค่าที่เปิดให้แสงผ่านเข้ามาจึงไม่ได้รายละเอียดของการอัตราขยาย(7)

ประโยชน์จากค่าเปรียบเทียบของฟิล์ม (Used film of contrast)

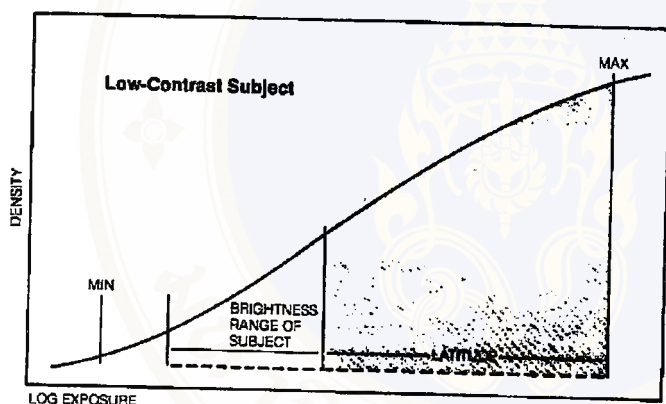
Contrast หรือ ค่าเปรียบเทียบ หมายถึง ความแตกต่างของค่าความดำระหว่างส่วนที่ดำที่สุดหรือ shadow กับที่ขาวที่สุดหรือ high light บนฟิล์มที่ถ่าย โดยทั่วไปฟิล์มที่มีความไวแสงสูงมักจะมีความช่วงรับแสงที่เรียกว่า “เอกซ์โพสเชอร์ละติจูด” (exposure latitude) ที่กว้างซึ่งจะทำให้มีค่าเปรียบเทียบที่ต่ำกว่าฟิล์มที่มีความไวแสงปานกลางหรือต่ำ

ฟิล์มที่มีค่าเปรียบเทียบต่ำ (low contrast) ฟิล์มชนิดนี้มีความสามารถในการบันทึกภาพของวัตถุที่มีความแตกต่างของสีเทาได้มาก เพราะมีความแตกต่างระหว่าง high light กับ shadow มาก เป็นฟิล์มชนิดที่มีความไวแสงสูง มีค่าตั้งแต่ 400 ไอเอสโอขึ้นไป

ฟิล์มที่มีค่าเปรียบเทียบปานกลาง (medium contrast) เป็นฟิล์มที่เหมาะสมกับการถ่ายภาพทั่วไป การถือปฎิบัติภาพที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน ความแตกต่างระหว่าง high light กับ shadow มีไม่มากเกินไปมีความไวแสงปานกลาง ที่ต้องการรายละเอียดสูง เช่น การถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน มีค่า ระหว่าง100-125 ไอเอสโอ

ฟิล์มที่มีค่าเปรียบต่างสูง (**high contrast**) เหมาะสำหรับการถ่ายภาพต้นฉบับที่ต้องการให้มีน้ำหนักขาวมากกว่าดำ เช่น การทำภาพถ่ายเส้น ลายสกรีน หรือ ภาพแบบฮาล์ฟโทน (halftone picture) ที่ใช้ในระบบการพิมพ์การถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์ฟิล์มชนิดนี้มีความไวแสงระหว่าง 6 ถึง 64 ไอเอสโอ

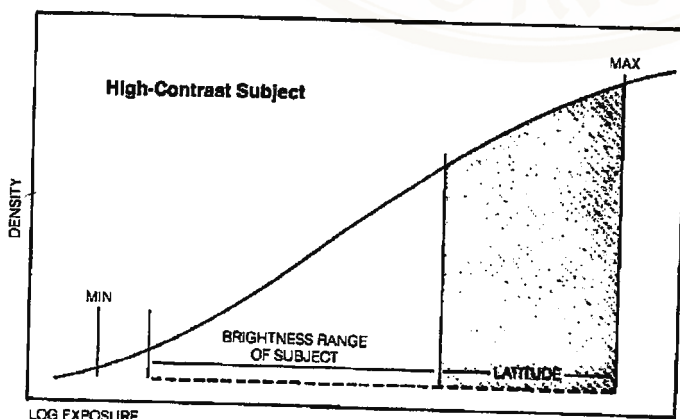
ฟิล์มขาวดำชนิดเดียวกัน หากถ่ายภาพโดยการเปิดหน้ากล้องและเวลาฉายแสงที่เท่ากัน แต่ถ้าใช้เวลาต่างไม่เท่ากัน เนกาทีฟก็จะมีค่าเปรียบต่างไม่เท่ากันเพราะหากล้างฟิล์มนานเนกาทีฟจะมีค่าเปรียบต่างสูง เนื่องจากเปรียบต่างเนกาทีฟ มีผลโดยตรงกับการอัดขยายภาพ ดังนั้นเพื่อให้การถ่ายภาพที่ดี อย่าให้เนกาทีฟมีค่าเปรียบต่างสูงมาก เพราะหากนำเนกาทีฟที่ได้นี้ไปอัด-ขยายก็จะได้ภาพที่มีคุณภาพต่ำแม้ว่าจะเลือกใช้กระดาษที่มีค่าเปรียบต่างสูงแล้วก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียรายละเอียดทั้งส่วนที่ดำที่สุดและขาว ที่สุดไป(7)



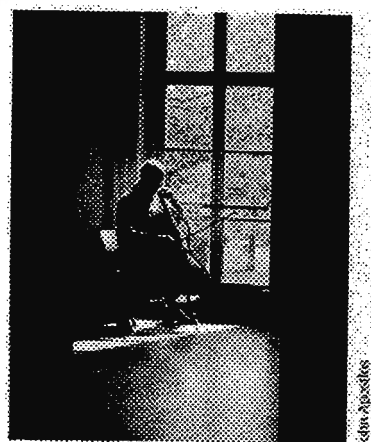
ก.



Low-contrast subject



ข.



High-contrast subject

แผนภูมิที่ 3 แสดงเส้นกราฟจากวัตถุที่ถ่ายชนิด low contrast (ก) และ high contrast (ข)
ความชันเส้นโค้งและดัชนีค่าเปรียบต่าง (Gamma and Contrast index)

เป็นการแบ่งแยกประเภทของค่าเปรียบเทียบเนกาทีฟ ที่ได้จากเครื่องวัดชนิดพิเศษโดยมีค่า 2 ชนิดที่วัดได้ คือ ค่าความชันเส้นโค้ง (gamma) และดัชนีค่าเปรียบเทียบ(contrast index)

ค่าความชันเส้นโค้ง (gamma) เป็นวิธีที่ทำกันมานานเป็นประโยชน์ในทางวิทยาศาสตร์ และเทคนิคการถ่ายภาพ ซึ่งบางที ดัชนีค่าเปรียบเทียบ (contrast index)เป็นค่าที่ใช้ประโยชน์ในการพิมพ์ภาพ gamma () จะเป็นลักษณะเส้นลาดเอียงที่ชี้ขึ้นไป ซึ่งเป็นตำแหน่งของ Characteristic curve มันจะแสดงน้ำหนักที่เกิดขึ้นระหว่างภาพจุดสายตาและเนกาทีฟที่ค่า gamma 0.60 มีโทนน้ำหนักที่ 6/10 หมายถึง ความเป็นเส้นลาดเอียงของฟิล์มที่มี 2 น้ำหนักในระดับสายตามีความทึบหนาต่างกันที่ 1.0 ของฟิล์มที่ใช้บันทึก โดยการล้างที่ gammaระดับ 0.60 ความทึบหนาที่ต่างกัน 2 ระดับจะมีค่าน้ำหนักประมาณ 0.60ในเนกาทีฟแสดงว่ามีเส้นน้ำหนักที่กดทับกัน

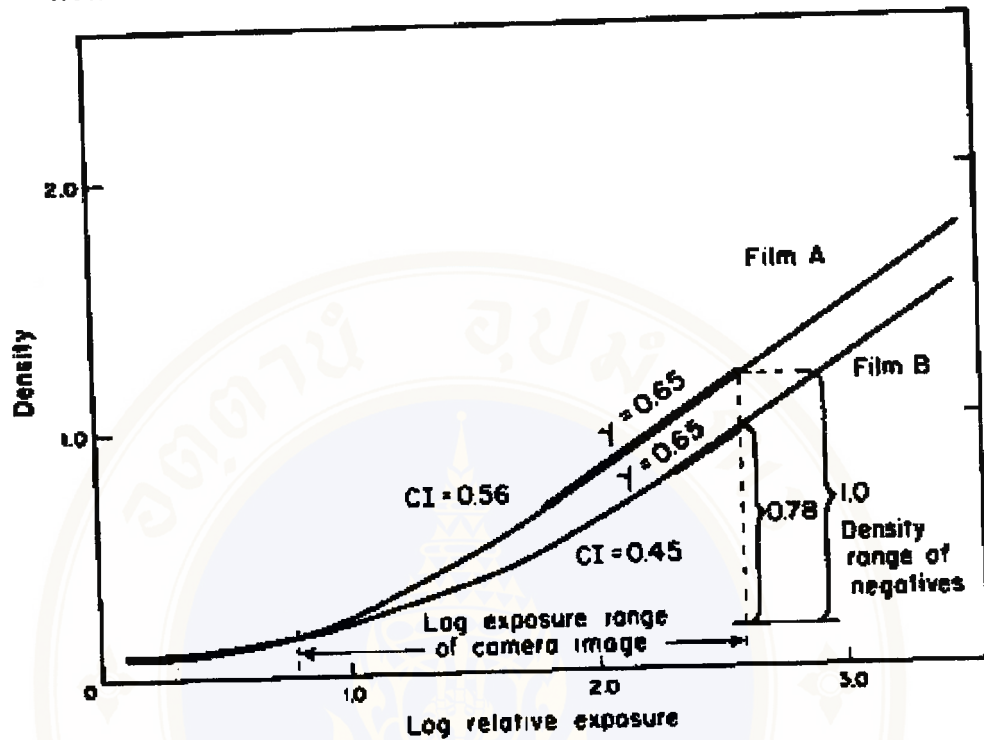
เพราะเครื่องวัดความชันเส้นโค้ง(gamma)เป็นตำแหน่งเส้นเดียวกับเส้น โค้งแสดงลักษณะเฉพาะ(Characteristic curve) ซึ่งจะเป็นเครื่องชี้ค่าความเปรียบเทียบของเนกาทีฟว่าดีหรือไม่ดีในการถ่ายภาพเช่น ฟิล์ม 2ชนิดที่ล้าง มีความชันเส้นโค้งที่เหมือนกันแต่ประโยชน์ที่ใช้ต่างกันในความแตกต่างของความทึบหนา จะเห็นได้ชัดมากที่ตำแหน่ง toe ที่แสดงลักษณะเฉพาะกับความชันเส้นโค้งที่คาดคะเน

ดัชนีค่าเปรียบเทียบ contrast index (C I) เป็นเส้นที่โค้งลง ตำแหน่งทั้ง 3 ของเส้น โค้งแสดงลักษณะเฉพาะ จุดที่ 1 ที่ตำแหน่ง toe เป็นจุดเปิดรายละเอียดของเงา จุดที่ 2 แสดง base-plus-fox density จุดที่ 3 เป็นเส้นตรงถึง shoulder แสดงการแผ่กระจายของแสง ประโยชน์ของดัชนีค่าเปรียบเทียบ คือจะเป็นตัวกำหนดเวลาการล้างฟิล์ม ตัวอย่างในตารางที่ 3 เป็นการทำให้ฟิล์มขาวดำชนิดหนึ่งที่ล้างซึ่งมีค่า C I 0.56 อัด-ขยาย ได้ดีด้วยกระดาษธรรมดาด้วยเครื่องอัดขยายชนิดแผ่กระจายแสงสามารถล้างฟิล์มชนิดอื่นๆที่มีค่า C I เหมือนกันระยะความทึบหนาของเนกาทีฟเหมือนกันเมื่อค่าความสว่างของวัตถุที่ถ่ายเท่ากันก็จะสามารถกำหนดเวลาการล้างฟิล์มด้วยดัชนีค่าเปรียบเทียบได้

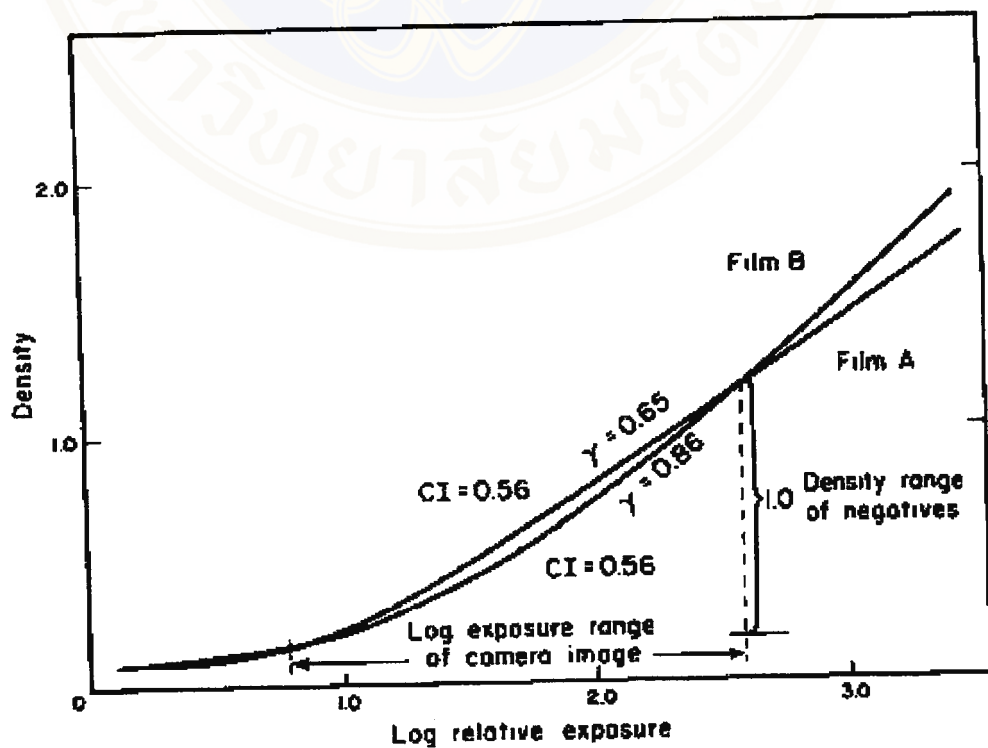
ตารางที่ 3 แสดงค่าความเปรียบเทียบและความหนาที่บของการอัด-ขยายภาพด้วยกระดาษอัด-ขยายชนิดธรรมดาด้วยความแตกต่างของชนิดเครื่องอัดขยาย

ชนิดของเครื่องอัดขยาย	ดัชนีค่าเปรียบเทียบ	ค่าความทึบหนา
ชนิดแผ่กระจายแสง	0.56	1.05
หลอดรวมแสงชนิดopal	0.57	0.80
หลอดรวมแสงชนิดมีไส้หลอดขนาดเล็ก	0.38	0.73

ความชันเส้นโค้งกับดัชนีค่าเปรียบต่าง (Gamma vs contrast index)



แผนภูมิที่ 4 เส้นกราฟแสดงลักษณะเฉพาะแบบที่ 1

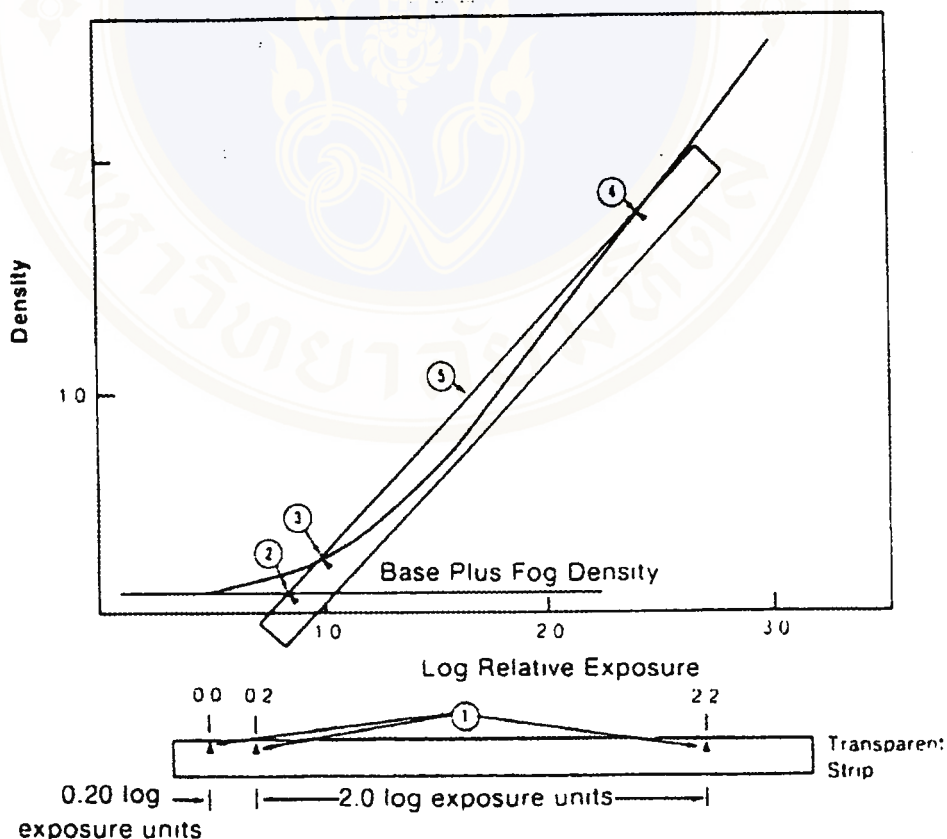


แผนภูมิที่ 5 เส้นกราฟแสดงลักษณะเฉพาะแบบที่ 2

แผนภูมิที่ 4 แสดงลักษณะเส้นโค้งที่ต่างกันของฟิล์ม 2 ชนิด ฟิล์มชนิด A (เส้นที่ขีดทึบขาวบน) กับฟิล์ม B (เส้นที่ขีดทึบสีน้ำตาล) แสดงการเปิดรับแสงพอดี ฟิล์มทั้ง 2 ชนิดนี้มีลักษณะความชันเส้นโค้งเหมือนกันที่ระดับ 0.65 แต่ฟิล์ม A มีระดับความมืดในการอัดขยายด้วยกระดาษแบบธรรมดาดีกว่าฟิล์ม B ที่มีช่วงระยะความมืดที่สั้นกว่าแต่ก็ อัด-ขยายได้ดีใน tone ถัดไป

แผนภูมิที่ 5 แสดงเส้นโค้งลักษณะเฉพาะที่เหมือนกันของฟิล์ม 2 ชนิด เช่นเดียวกับกับแผนภูมิที่ 4 ดัชนีค่าเปรียบเทียบที่ระดับ 0.56 ทั้งฟิล์ม A และฟิล์ม B มีระยะความทึบเท่ากันการอัดขยายด้วยชนิดกระดาษธรรมดาดีเท่ากัน ระดับเส้นโค้งโดยเฉลี่ยเท่ากันแต่เส้นบนจะบันทึกภาพได้ดีกว่า

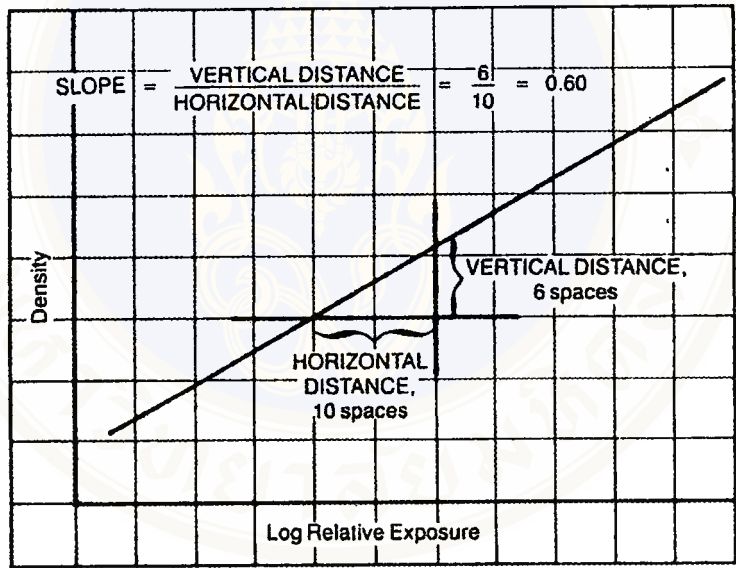
การกำหนดดัชนีค่าเปรียบเทียบจากค่าเส้นโค้งแสดงลักษณะเฉพาะ
(Determining Contrast-Index Value from Characteristic Curves)



แผนภูมิที่ 6 เส้นกราฟแสดงการกำหนดค่าเส้นโค้งแสดงลักษณะเฉพาะ

แผนภูมิที่ 6 แสดงถึงดัชนีค่าเปรียบต่างที่กำหนดจากเส้นโค้งแสดงลักษณะเฉพาะ ! สัน
ขนานที่ลากคู่ขึ้น ไปจากเส้นฐาน base-plus-fog level คือ ค่าความทึบมืดสนิทที่ริมขอบฟิล์มซึ่งผ่าน
กระบวนการล้างฟิล์มแล้ว ที่เส้นโค้งด้านล่าง ตำแหน่ง toe

เครื่องหมายที่กำหนดขอบของเส้นที่ 0 (ศูนย์) ที่ค่าความหนาที่ 0.20 หน่วย(ค่ายกกำลัง
เปิดหน้ากล้อง) และอีกหนึ่งที่ค่าความทึบ 2.2 หน่วย(1) ที่ตำแหน่งเส้นกราฟบนขอบเส้นตรงกับ
mark 0.2 (3) บน toe และที่ mark 2.2 (4) ตำแหน่งเส้นตรงด้านข้างขอบเส้นขึ้นและลง เครื่องหมาย
ปิดบนเส้นโค้ง ศูนย์และ (2) ตกบนเส้น base-plus-fog เครื่องหมายทั้ง 3 สัมพันธ์กันเป็นเส้น
ตรง(5)เส้นทะแยงนี้ คือ ดัชนีค่าเปรียบต่าง การกำหนดเส้นจะเลือกได้หลายจุดอาจจะถึง 10 หน่วย
ย่อยบนเส้นตรงก็ได้ แผนภูมิที่ 7 เป็นการแบ่งช่องเส้นตารางเพื่อใช้กำหนดดัชนีค่าเปรียบต่าง



แผนภูมิที่ 7 เส้นแบ่งตารางเพื่อใช้หาค่าเส้นทแยง (Slope)

สูตรตัวอย่างที่ใช้หาค่าเปรียบต่างของฟิล์ม

เส้นทแยง (Slope)	<u>ระยะห่างเส้นแนวตั้ง</u>	<u>6</u>	เท่ากับ 0.06
	ระยะห่างเส้นแนวนอน	10	

ดัชนีค่าเปรียบต่างของฟิล์มในแผนภูมิที่ 7 มีค่าเท่ากับ 0.60



ความสามารถในการแจกแจงหรือแยกวัตถุที่ใกล้ชิดกัน

(Resolving Power or Resolution)

ความสามารถในการแจกแจงหรือแยกจุดที่ใกล้ชิดกันของฟิล์มเป็นความสามารถที่แจกแจงในรายละเอียด เป็นเครื่องวัดที่หมายจุด แจกแจงแยกจุดที่ใกล้ชิดกันของภาพ หรือแผนภูมิ ภายใต้การทดสอบเฉพาะ จุดที่แจกแจงมีกลุ่มเส้นขนาดเท่ากัน ขนาดช่องว่างระหว่างเส้นเท่ากัน แต่ละเส้นแตกต่างด้วยขนาดกลุ่มที่ใกล้ชิดกัน กลุ่มใหญ่ที่อยู่ถัดไป โดยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ $1/2$ มีค่าเท่ากับ (1.41) หลังจากการล้างฟิล์มโดยการมองผ่านกล้องขยาย (microscope) มองผ่านกลุ่มที่มีขนาดเล็กที่สุดของเส้นได้ กลุ่มของเส้นแสดงถึงความสามารถในการแจกแจงจุดที่ใกล้ชิดของฟิล์มขนาดหนึ่งส่วนพันเมตร

ค่าการแจกแจงจุดที่ใกล้ชิดกันขึ้นอยู่กับ ค่าเปรียบเทียบ การเปิดหน้ากล้อง และระยะเวลาการล้างฟิล์ม โดยจะวัดจากจุดที่มีค่าเปรียบเทียบสูงและค่าเปรียบเทียบต่ำ จุดที่สว่างสุดมีค่าเท่ากับ 1000:1 ค่าระดับต่ำที่ 1.6:1 ฟิล์มจะกระจายรายละเอียดได้ดีกับภาพที่มีค่าเปรียบเทียบที่สูงมาก การแจกแจงที่สูง ถูกกำหนดโดยการแจกแจงของ lens กล้องดีเท่ากับการแจกแจงของ film ซึ่งหาค่าได้จากสูตร ดังนี้

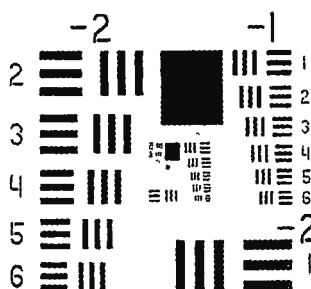
$$\frac{1}{(R_s)} = \frac{1}{(R_f)} + \frac{1}{(R_L)}$$

R_s = ค่าแจกแจงของระบบ (เลนส์+ฟิล์ม)

R_f = ค่าแจกแจงของฟิล์ม

R_L = ค่าแจกแจงของเลนส์

ในทางปฏิบัติยังมีปัจจัยอื่น เช่นกล้องไม่นิ่ง การปรับความคมชัดไม่ดี สภาพแสง และอื่นๆ



Atypical resolving-power test target

Atypical resolving-power test target

รูปที่ 14 แสดงจุดหรือเส้นของรายละเอียดที่ฟิล์มบันทึกได้

ความไวแสงของฟิล์ม (Film Speed)

ความไวแสงของฟิล์ม หมายถึง ความไวของเชื้อไวแสงของฟิล์มที่ใช้ถ่ายที่ใช้กัน เป็นที่รู้จักทั้งผู้ผลิตและผู้ถ่าย คือ ค่า ไอ เอส โอ ในทางวิทยาศาสตร์ได้ใช้คำจำกัดความของคำว่า "ความไวแสง" ของฟิล์มไว้ดังนี้ คือ ค่าการฉายแสง Hm (มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างความเข้มของความส่องสว่างบนฟิล์มกับเวลาฉายแสง) ที่ไปทำให้ฟิล์มเกิดความดำ 0.1 หน่วยความดำของบริเวณฟิล์มที่ไม่ถูกแสง (fog density) ฟิล์มที่มีความไวแสงสูงเมื่อถ่ายภาพต้องใช้แสงน้อย ส่วนฟิล์มที่มีความไวแสงต่ำหรือค่าไอเอสโอน้อยต้องการแสงมากกว่า (5)

ค่าความไวแสงของฟิล์มมีหน่วยที่ใช้กันอยู่หลายระบบ ได้แก่

1. ระบบมาตรฐานสากล ใช้หน่วย ไอเอสโอ (ISO ย่อมาจาก International Standard Organization) เป็นระบบที่ตั้งขึ้นใหม่ ค่าความไวแสงระบบนี้ ได้มีการกำหนดเป็นมาตรฐานใช้กันทั่วโลกในปัจจุบันนี้ มีค่าเท่ากับหน่วย เอเอสเอ (ASA)
 2. ระบบของอเมริกาใช้หน่วย เอเอสเอ (ASA ย่อมาจาก American Standard Association) ค่าความไวแสงหน่วยนี้ใช้แพร่หลายกันมาก่อน ระบบนี้ง่ายต่อการคำนวณ เช่นฟิล์ม 100 เอ เอส เอ มีค่าความไวแสงเป็น 2 เท่าของฟิล์ม 50 เอเอสเอ
 3. ระบบของเยอรมันใช้หน่วย ดีไอเอ็น (DIN ย่อมาจาก Deutsche Industrie Norm) เป็นมาตรฐานทางอุตสาหกรรมของเยอรมัน ค่าความไวแสงระบบนี้ มีค่าตัวเลขต่างกันเท่ากับ 3 แสดงว่า ความไวแสงต่างกัน 2 เท่า เช่น ฟิล์มที่มีค่า 21 ดีไอเอ็น มีค่าความไวแสงเป็น 2 เท่าของฟิล์มที่มี 18 ดีไอเอ็น
 4. ระบบของรัสเซียใช้หน่วย จีไอเอสที (GOST ย่อมาจาก Gosudurstvenny of Standard) ในประเทศไทยไม่มีใช้กัน
 5. ระบบของญี่ปุ่นใช้หน่วย เจไอเอส (JIS) อัตราค่าไวแสงต่อหน่วยมีค่าเท่ากับหน่วยระบบหน่วยสากล (ไอเอสโอ)
 6. หน่วยเอพีอีเอ็กซ์ (APEX ย่อมาจาก Additive Photographic Exposure) ค่าความไวแสงของฟิล์มระบบนี้ ถ้ามีตัวเลขต่างเท่ากับ 1 แสดงมีความไวแสงต่างกัน 2 เท่า
- ค่าความไวแสงที่ใช้กันอยู่ทุกอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ระบบสากล (ISO) ระบบอเมริกา (ASA) ส่วนระบบของเยอรมัน (DIN) ก็ยังใช้อยู่ในปัจจุบัน (5)

ดัชนีการเปิดรับแสง Exposure Index (EI) เป็นการกำหนดค่าความเร็วแสงด้วยเครื่องวัด “Sensitometer” ผลิตเฉพาะโดยมาตรฐานสากล เป็นค่าเฉลี่ยทางสถิติกับจำนวนค่าการวัดความส่องสว่างมาก ISOกำหนดเป็นตัวเลขหรือเลขยกกำลัง ISOกำหนดความเร็วใกล้เคียงกับความไวแสงของฟิล์ม การเพิ่มขึ้นของ 1 เลขยกกำลังความไวแสงของฟิล์มจะเพิ่มขึ้น 1-3 stop เช่น ฟิล์ม Kodak TRI-X Pan มีค่าความไวแสงที่ 27เร็วกว่าฟิล์ม Kodak TRI-X Pan Professional 26อยู่ 1 ถึง 3 stop เป็นต้น

ตารางที่ 4 แสดงค่าความสัมพันธ์ระดับค่าตัวเลข ISO,ASAและ DIN

ISO/ASA/DIN FILM SPEED CONVERSION TABLE

ISO	ASA	DIN
4/7 ⁰	4	7
6/9 ⁰	6	9
10/11 ⁰	10	11
12/12 ⁰	12	12
16/13 ⁰	16	13
20/14 ⁰	20	14
25/15 ⁰	25	15
32/16 ⁰	32	16
40/17 ⁰	40	17
50/18 ⁰	50	18
64/19 ⁰	64	19
80/20 ⁰	80	20
100/21 ⁰	100	21
125/22 ⁰	125	22
160/23 ⁰	160	23
200/24 ⁰	200	24
250/25 ⁰	250	25
320/26 ⁰	320	26
400/27 ⁰	400	27
500/28 ⁰	500	28
640/29 ⁰	640	29
800/30 ⁰	800	30
1000/31 ⁰	1000	31
1600/33 ⁰	1600	33
3200/36 ⁰	3200	36

น้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำที่ใช้ในงานถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

น้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำที่ใช้ในงานถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นน้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำที่มีใช้ได้ดีกับฟิล์มขาว-ดำทุกชนิดโดยทั่วไปแล้วมีหลายบริษัท แต่ที่ใช้กับการวิจัยครั้งนี้ใช้เพียง 3 ชนิดเพื่อให้ถูกวัตถุประสงค์ของการวิจัย มีทั้งชนิดผงสำเร็จรูปและชนิดน้ำ ซึ่งสารเคมีแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการล้างฟิล์มต่างกัน รายละเอียดจากตารางข้างล่าง

ตารางที่ 5 แสดงคุณลักษณะของชนิดน้ำยาล้างฟิล์ม(7)

Kodak Developer or Developer and Replenisher	General Characteristics	Type of Film Usually Developed	Type of Development Usually Used	Availability		Replenisher
				Packaged Liquid Concentrate	Packaged Powder	
T-Max	Normal contrast, higher speed, Average graininess; good for push processing	Continuous-tone 35 mm and roll	Small tank, large tank; rotary-tube processors	X		
T-Max RS	Normal contrast, higher speed, average graininess; good for push processing; especially formulated for replenished systems.	Continuous-tone 35 mm roll, and sheet	Small tank, large tank, tray; rotary-tube, rack -and - tank processors	X		X
D-76	Normal contrast, normal speed, moderately fine graininess	Continuous-tone 35 mm roll, and sheet	Small tank, large tank, tray; rotary-tube processors		X	X
HC-100	Normal contrast, normal speed, average graininess	Continuous-tone 35 mm roll, and sheet	Small tank, large tank, tray; rotary-tube processors	X		X
Microdol-X	Slightly finer grain than average produces some loss in effective film speed	Continuous-tone 35 mm and roll	Small tank, Large tank	X	X	X
DK-50	Normal contrast, normal speed, average to slightly higher graininess	Continuous-tone 35 mm roll, and sheet	Small tank, Large tank, tray		X	X
D-19	Higher than normal contrast and speed, higher than average graininess	instrumentation films, scientific plates	Large tank, tray		X	
D-11	Higher than normal contrast and speed, grainier than average	Continuous-tone and process film and plates	Large tank, tray		X	
D-8	Contrast, speed, grain much higher than normal.	Continuous-tone and process Films and plates	Tray		X	
Technidol Liquid	Normal contrast developer for use Exclusively with Technical Pan film	All formats of Technical Pan film.	Small tank, tray	X		

ชนิดของน้ำยาสร้างภาพ Types of developer

ชนิดของน้ำยาสร้างภาพแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะการใช้งาน

1. ชนิดผงบรรจุของ กล่องหรือกระป๋องสำเร็จรูป
2. ชนิดน้ำบรรจุในขวดแก้วหรือขวดพลาสติก มีความเข้มข้นสูง
3. เลือกที่จะผสมของเคมีตามสูตรขึ้นใช้เอง ผู้ใช้งานต้องรู้จักคุณสมบัติของเคมีชนิดนั้นดี

ในส่วนประกอบของน้ำยาสร้างภาพมีสารเคมีเป็นส่วนประกอบสำคัญ ในการทำปฏิกิริยาสร้างภาพที่สำคัญมีดังนี้

Borax เป็นด่าง เป็นตัว accelerator อ่อนๆ ทำน้ำยาล้างฟิล์ม

Calcium Carbonate เมื่อละลายน้ำกลายเป็น calcium bicarbonate .ให้ฟอง CO₂

Hydroquinone เมื่อถูกอากาศจะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีชา sulphite เป็น preservative ไม่ให้เสียเร็วช่วยให้ contrast มากขึ้นและเป็นตัว developing agent,density!เพิ่มเร็วขึ้น

Metol เป็น soft working developer มีsulphite เป็นตัว preseve ขาวถ้าเสียจะเป็นสีชา มีพลังมากให้ detail ใน under developed negative, density เพิ่มขึ้นให้ soft contrast negative

Potassium bichromate หรือ dichromate ใช้ทำน้ำยา bleach ในการล้าง Reversal process

Potassium bromide ใช้แทนRestrainer (ยับยั้ง)กัน fog ไม่ให้เกิดขึ้นทำส่วนขาวให้clear

Potassium sulfocyanide หรือ sulfocyanate หรือ thiocyanateใช้ในการผสม fine grain

developer

Sodium carbonate เป็น accelerator ใน developer ใช้ชนิด anhydrous

Sodium hydroxide ถ้างแรงเป็นด่างอย่างแรง contrast มาก

Sodium sulphite ใช้เป็น preservative ใน developer ใช้ใน fix ด้วย

Water น้ำ ทำให้น้ำละลายสารเคมี

การใช้งาน อ่านเอกสารประกอบการใช้ตามชนิดของน้ำยาเคมีที่ใช้

น้ำยาหยุดภาพ stop bath

น้ำยาหยุดภาพ stop bath ทำหน้าที่ยับยั้งการสร้างภาพที่ต่อเนื่องของน้ำยาสร้างภาพบนฟิล์มเป็นส่วนผสมของ acetic acid กับน้ำในอัตราส่วน 1:20 การใช้งานหลังจาก developer แล้วใช้stop bath ถ้างประมาณ 10วินาที

น้ำยาคงสภาพ Fixer

น้ำยาคงสภาพ Fixer ทำหน้าที่ล้าง Silver halide ที่ไม่โดนแสงออกจากฟิล์มโดยทำปฏิกิริยากับ Non-exposed silver halide grain กลายเป็น Soluble compound ให้ภาพที่เกิดจาก metallic silver มีสภาพเป็นถาวรภายหลังการแช่ Fixer ส่วนที่โดนแสงจะใสในฟิล์ม

สารเคมีใน Fixer ประกอบด้วย

1. Sodium thiosulphate หรือ hypo จะทำหน้าที่ได้ดี เมื่ออยู่ในสภาวะเป็นกรดและเมื่อผสมกับ acetic acid ที่เป็นกรดแรงกว่าจึงจะหยุดปฏิกิริยาของ developer และขณะเดียวกันการรวมตัวของสารทั้ง 2 จึงทำให้เกิดตะกอน
2. Sodium sulphite ป้องกันการ decompose ของ thiosulphate
3. Acetic acid เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาความเป็นกรด
4. Potassium alum
5. Boric acid เป็นตัวป้องกันการเกิดตะกอนลอยบางๆเนื่องจาก pH สูง
6. น้ำตัวทำละลาย

กระบวนการล้างฟิล์ม

การล้างฟิล์มมี 2 วิธี คือ

1. **Manual processing** เป็นวิธีการแบบพื้นฐานโดยใช้มือเขย่า ควบคุมการล้าง อุณหภูมิ และเวลา เริ่มจากน้ำยาสร้างภาพ น้ำยาหยุดภาพ น้ำยาคงสภาพ ล้างน้ำ และการอบแห้ง ทุกขั้นตอน
2. **Automatic processing** เป็นวิธีการล้างโดยใช้เครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ เพียงการเปิดเครื่อง ตั้งเวลาการล้างในแต่ละขั้นตอน จากนั้น roll ฟิล์มใส่ tank ล้าง เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดเครื่องจะทำการล้างตามโปรแกรมที่ตั้งไว้จนสิ้นสุดกระบวนการ(9)

เครื่องมือที่ใช้วิจัย Research material

เครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ ยี่ห้อ JOBO รุ่น ATL-2 plus

เป็นเครื่องล้างฟิล์มและกระดาษแบบอัตโนมัติ สามารถล้างฟิล์มสี, ล้างฟิล์มสไลด์, ล้างฟิล์มขาว-ดำได้ขนาดฟิล์ม 135-36 หรือ 120 ม.ม. และฟิล์มแผ่นขนาด 4 นิ้ว 6 และ 5 นิ้ว 7

การทำงานแบบอัตโนมัติตั้งแต่เริ่มต้นจนจบกระบวนการ

จัดโปรแกรมการล้างฟิล์มได้ 13 โปรแกรมและโปรแกรมล้างแท่งน้ำยาอีก 3 โปรแกรม

เลือกปริมาณน้ำยาสำหรับล้างฟิล์มได้ 16 ตำแหน่งเลือกกระดกการหมุนของแท่งน้ำยา 4

ระดับความเร็ว

อ่างบรรจุน้ำทำอุณหภูมิพร้อมการควบคุมอุณหภูมิได้ 18-49.5 องศาเซลเซียสและสามารถควบคุมอุณหภูมิของน้ำยาได้คงที่

ชุดบรรจุน้ำยาพร้อมล้างขนาดความจุ 1.8 ลิตรจำนวน 6 ชุด ชนิดชุดบรรจุพร้อมการใช้งาน 6 ชุด ชนิดเก็บน้ำยาที่ล้างฟิล์มแล้ว 6 ชุดพร้อมวาล์วเปิด-ปิดระบบน้ำยาอัตโนมัติ

มีระบบการแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติของการทำงานแต่ละขั้นตอน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดรุ่น JSM 6400

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีอำนาจการแจกแจงสูงขนาด 3 นาโนเมตร ที่ศักดาไฟฟ้าสูง 0.3 ถึง 30 กิโลโวลต์ กำลังขยายตั้งแต่ 10 เท่าถึง 300,000 เท่า

ระบบเลนส์ชนิด condenser lens แบบ electromagnetic และชนิด objective lens แบบ corrected field mini- lens, water-cooled

ระบบการปรับอัตโนมัติ แบบ built-in และแบบ dynamic focus

Scan coils แบบ Electronmagnetic

ระบบภาพ

ขนาดหน่วยความจำชนิด 4 เฟรม (1024+1024+8 บิตต่อเฟรมและชนิด 2 เฟรม

ระบบการสแกนแบบความเร็ว scan speed 1-2-3, T.V. และ S R และปรับระดับความเร็ว-ช้าของความไวการถ่ายภาพระดับ 1-5 ระดับ

แสดงระบบผลบนจอภาพ CRTs ประกอบด้วย TV, SR และ PHOTO ., scan speeds และ recording CRT.

ระบบการบันทึกภาพ

ระบบควบคุมความไวแสงแบบ Automatic contrast และ brightness contrast correction control แบบ built-in โดยปรับ Waveform ที่จอ monitor ตั้งแต่ 0-5 V. รวม 6 ระดับ

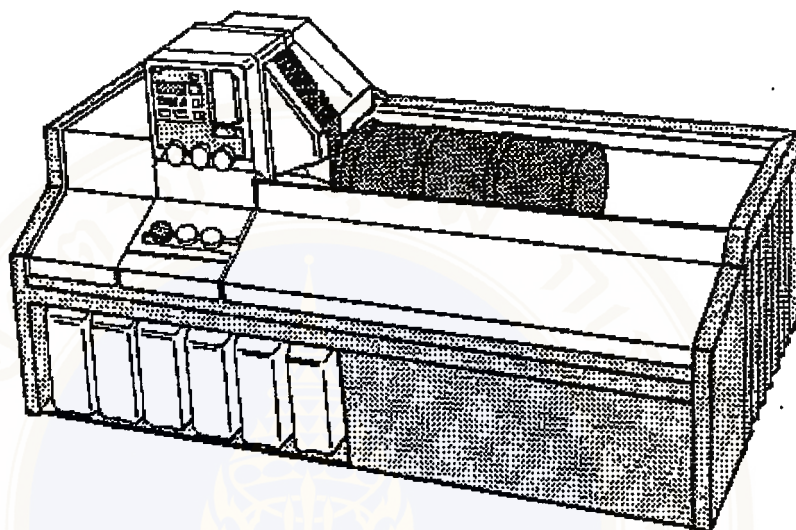
ระบบการถ่ายภาพ

เลนส์ขนาด 75 มม. F:5.6

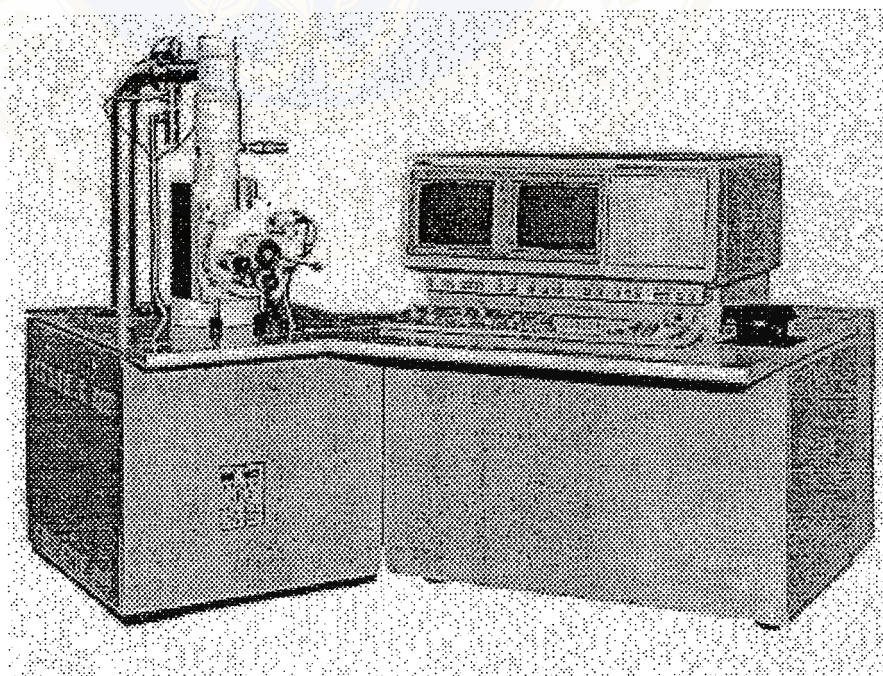
Aperture F/5.6, 8, 11, 16, 22 ปรับระดับการเปิดหน้ากล้องได้ตามต้องการ

เลือกชนิดฟิล์มที่ต้องการถ่าย ชนิด poraroid หรือ sheet film ขนาด 120 มม.

Resolution 2,000 เส้น/เฟรม



รูปที่ 16 เครื่องล้างฟิล์มชนิดอัตโนมัติรุ่นATL 2plus ผลิตภัณช์ เยอรมัน

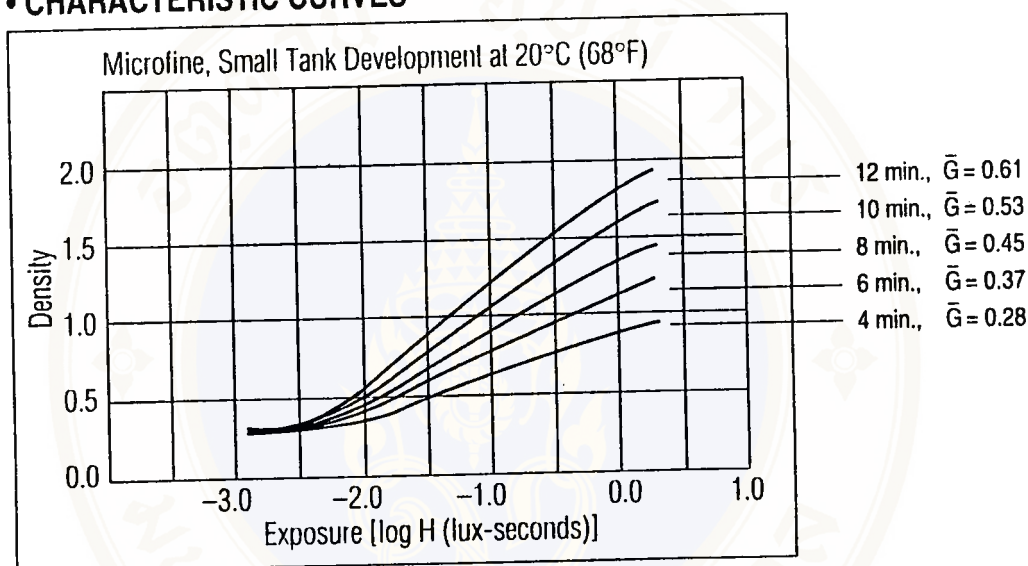


รูปที่ 17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM 6400
ผลิตภัณช์จากประเทศญี่ปุ่น

คุณลักษณะของฟิล์มขาว-ดำที่ใช้ในการวิจัย

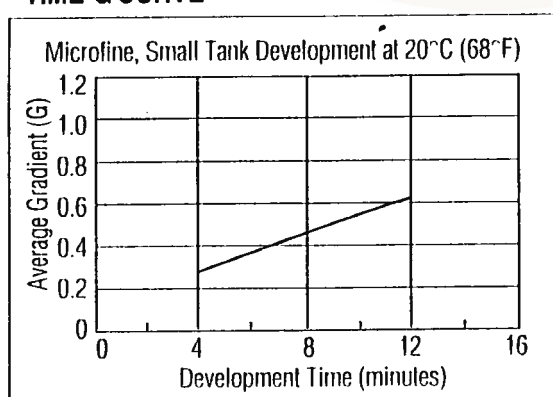
ฟิล์มขาวดำชื่อ FUJI NEOPAN SS 100 ISO 100/21° เป็นฟิล์ม panchromatic ชนิด fine grain ความไวแสงปานกลาง ช่วงการรับแสงกว้าง เหมาะสำหรับการถ่ายภาพทั่วไป

• CHARACTERISTIC CURVES



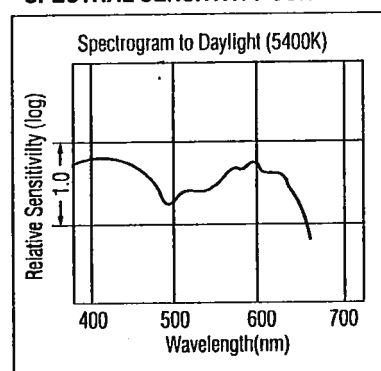
แผนภูมิที่ 8 แสดง CHARACTERISTIC CURVE ของฟิล์ม Fuji neopan ss 100

• TIME- $\bar{G}$ CURVE



แผนภูมิที่ 9

• SPECTRAL SENSITIVITY CURVE



แผนภูมิที่ 10

แผนภูมิที่ 9 และ 10 แสดงค่า TIME-G CURVE และ SPECTRAL SENSITIVITY CURVE

ตารางที่ 6 แสดงเวลาเปรียบเทียบที่ใช้ล้างฟิล์ม FUJI NEOPAN SS. ใ้ร่วมกับน้ำยาล้างฟิล์มชนิดต่างๆ

NEOPAN SS (135) PROFESSIONAL

Developer	Temp EL	18° C (64° F)	20° C (68° F)	22° C (72° F)	24° C (75° F)	26° C (79° F)
D-76	100	7 3/4	6 3/4	5 3/4	4 3/4	4
	200	8 3/4	7 1/4	6 1/4	5 1/4	4 1/2
	400	12	10	8 1/2	7	6
D-76(1:1)*	100	9 1/2	8 1/4	7 1/4	6 1/4	5 1/2
	200	10 1/2	9	7 3/4	6 3/4	6
Microdol-x	100	8	7	6	5 1/2	4 3/4
Microdol-x(1:1)	100	9 3/4	8 1/2	7 1/2	6 1/2	5 3/4
HC-110 (Dil.B)	100	6 3/4	5 1/2	4 1/2	3 3/4	3
	200	7 3/4	6 3/4	5 1/4	4 1/4	3 1/2
T-MAX Developer	100	5 1/2	4 3/4	4 1/4	3 3/4	3 1/4
	200	6 1/4	5 1/2	4 3/4	4 1/2	3 3/4
	400	10	8 1/2	7 1/2	6 1/2	5 3/4
T-MAX RS Developer	100	5 3/4	5	4 1/4	3 3/4	3 1/4
	200	6 1/2	5 1/2	4 3/4	4	3 1/2
	400	9 3/4	8	7	5 3/4	5
ID-11	100	6 1/4	5 1/2	4 1/4	3 3/4	3 1/4
	200	7	6	5	4 1/4	3 3/4
	400	10	8 1/2	7 1/4	6	5
PERCEPTOL	100	11 1/2	9	7	5 1/2	4 1/4
Acufine	200	4 1/4	3 1/2	3	NR	NR
	400	6	5	4 1/4	3 1/2	NR
Microfine	100	11 1/2	9 1/2	8 1/4	6 1/2	5 1/2
Microfine (1:1)*	100	13 1/2	11 1/2	10	8 1/2	7 1/2

NR:Not Recommended

NOTE Normally developer stock solution does not require diluting.However in the case

Above*(1:1) ,1 part of water is to be added to one part of developer.

ฟิล์ม ILFORD 100DELTA PROFESSIONAL ISO 100/21°

ตารางที่ 7 แสดงค่าเวลาการล้างฟิล์ม ILFORD 100DELTA PROFESSIONAL ที่ใช้งาน
ร่วมกับล้างฟิล์มชนิดต่างๆ
100 DELTA PROFESSIONAL

SOLUTION	TEMPALATURE	20° C/68° F 22° C/72° F 24° C/75° F		
ID-11	STOCK	8.30	7.00	5.30
	1+1	11.00	9.00	7.30
MICROPHEN*	STOCK	8.00	6.30	5.30
PERCEPTOL	STOCK	15.00	12.00	10.00
ILFOTEC HC	1+31	6.00	5.00	4.15
ILFOTEC LC 29 (HCD)	1+19	6.00	5.00	4.15
ILFOTEC DD	STOCK	10.00	8.30	7.00
KODAK D-76	STOCK	9.00	7.30	6.00
	1+1	12.00	10.00	8.15
KODAK T-MAX*	1+4	8.00	6.30	5.15
KODAK T-MAX RS	STOCK	9.00	7.30	6.30
* EI 200				
FIX	HYPAM1+4	2.00-4.00	1.30-3.30	1.15-3.00

Process as soon as possible after exposure. Agitation should be continuous for the first 10 seconds, then
10 seconds every minute

ฟิล์ม KODAK VERICHROME PAN FILM / 6041 ISO125/22⁰

KODAK VERICHROME Pan Film / 6041

KODAK VERICHROME Pan Film is a medium-speed panchromatic film that features extremely fine grain, its excellent gradation and wide exposure latitude make it a good choice for general-purpose applications.

Size Available: 120

Emulsion Characteristics:

Grain —Extremely Fine

Resolving Power --

Low-Contrast Test Object:
50 lines/mm

High-Contrast Test Object:
100 lines/mm (High)

Sensitivity —Panchromatic

Speed: ISO 125/22⁰

Filter Factors: Multiply the normal exposure by the filter factor indicated below

KODAK WRATTEN Gelatin Filter	No. 8	No. 11	No. 15	No. 25	No. 47	No. 58	Polarizing Filter
Daylight or Electronic Flash	2	4	2.5	8	6	6	2.5
Tungsten	1.5	4	1.5	5	12	6	2.5

Darkroom Recommendations:

Handle this film in total darkness. After development is half complete, you can use a KODAK 3 Safelight Filter (dark green) in a suitable safelight lamp with a 15-watt bulb for a few seconds only. Keep the safelight at least 4 feet (1.2 metres) from the film.

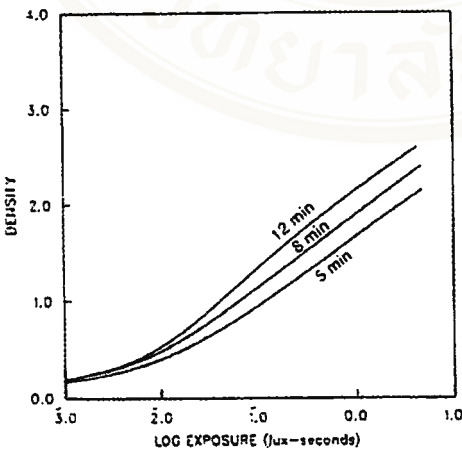
Development: The development times in the table below are starting-point recommendations; the times in **bold type** are the primary recommendations (see page 52). To increase contrast, increase the development time; to decrease contrast, decrease the development time. (For more information, see "Contrast" on page 14.)

KODAK Developer or Developer and Replenisher	Development Time (Minutes)									
	Small Tank*					Large Tank†				
	65°F (18°C)	68°F (20°C)	70°F (21°C)	72°F (22°C)	75°F (24°C)	65°F (18°C)	68°F (20°C)	70°F (21°C)	72°F (22°C)	75°F (24°C)
T-MAX	—	6	5½	5	4	—	—	—	—	—
T-MAX RS	—	4	4	3½	3½	—	5½	5	5	4
D-76	8	7	5½	5	4½	9	8	7	6	5
D-76 (1:1)	11	9	8	7	6	12½	10	9	8	7
HC-110 (Dil B)	6	5	4½	4	2	8	6½	6	5½	4½
MICRODOL-X	10	9	8	7	6	11	10	9	8	7
MICRODOL-X (1:3)	15	14	13	12	11	20	15	~14	13	12

*With agitation at 30-second intervals. Development times shorter than 5 minutes may produce unsatisfactory uniformity.

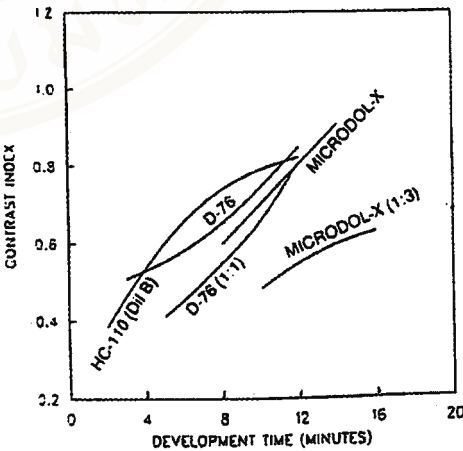
†With manual agitation at 1-minute intervals. Development times shorter than 5 minutes may produce unsatisfactory uniformity.

Characteristic Curves



Process: Small Tank; KODAK HC-110 Developer (Dil B), 68°F (20°C)

Contrast-Index Curves



Process: Small Tank; 68°F (20°C)

แผนภูมิที่ 11 แสดงค่าCHARACTERISTIC CURVES และCONTRAST-INDEX CURVES ของฟิล์ม KODAK VERICHROME PAN FILM / 6041 ISO125/22⁰

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งเป้าหมายของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อการทดลองหาคุณสมบัติของฟิล์มขาว-ดำ 3 ชนิด ว่ามีความแตกต่างในการบันทึกภาพ ในสภาพน้ำยาที่แตกต่างกันจะมีผลในการบันทึกรายละเอียดอย่างไร เมื่อถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) จากกลุ่มประชากรคือฟิล์มเนกาทีฟ ขาว-ดำ ของบริษัทที่ต่างกัน โดยมีคุณสมบัติดังนี้

1. ฟิล์มเนกาทีฟ ขาว-ดำ ขนาด 120 มม. จำนวน 60 ม้วน
2. น้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำขนาด 120 มม. ประกอบด้วย
 - Fuji Neopan ss ISO 100/21⁰
 - Ilford Delta 100Professional ISO 100/21⁰
 - Kodak Verichrompan film /6041 ISO 125/22⁰
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด JSM 6400
3. เครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ ATL2 plus
4. น้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำ (Developer) ประกอบด้วย
 - น้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำ Kodak D-76
 - น้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำ Kodak Microdol-X
 - น้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำ Ilford Microphen
 - น้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำ Ilford Perceptol
 - น้ำยาหยุดภาพ Indicator Stop-bath ของ Kodak ใช้งานหลังน้ำยาร่างภาพ
 - น้ำยาคงสภาพฟิล์ม Fixer ของ Kodak
 - น้ำยา Kodak hypo clearing agent ใช้จัดคราบไฮโปที่ติดค้าง
 - น้ำยา Kodak photo-flo ใช้จัดคราบน้ำและฝุ่นสกปรกที่อยู่บนฟิล์ม
5. ตัวอย่างที่ใช้ทดลองกับฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์ คือ ดินไม้กลายเป็นหิน

6.แบบสอบถาม เพื่อประเมินคุณสมบัติของฟิล์มเนกาทีฟขาว-ดำ ทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ประกอบด้วยเอกสารเรียนผู้ประเมินและแบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเปรียบเทียบภาพขาว-ดำ จำนวน 60 ข้อ

ตอนที่ 3 ภาพขาว-ดำที่เกี่ยวข้องกับตอนที่ 2 จำนวน 5 ชุด แบ่งเป็นชุด A , B ,C ,D และ E
วิธีดำเนินการ มีวิธีขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

1.หาคุณสมบัติและขนาดของฟิล์มรวมทั้งน้ำยาที่ใช้ล้างฟิล์ม ที่สามารถใช้ได้กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนโดยติดต่อสอบถามหน่วยงานที่ใช้และบริษัทผู้แทนจำหน่าย

2.ศึกษาตัวอย่างที่เคยใช้งานกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ว่าตัวอย่างชนิดใดมีความทนกับลำแสงอิเล็กตรอนได้มากและนาน โดยที่ตัวอย่างมีผลกระทบน้อย

3.เตรียมตัวอย่างที่ต้องการจะทดลอง ตามเทคนิคและวิธีการ

4.การถ่ายภาพจากตัวอย่างเดียวในสถานะเดียวกัน ชนิดฟิล์มละ 20 ม้วน รวม 60 ม้วน

5.ขั้นตอนการล้างฟิล์ม จะล้างตามกระบวนการล้างโดยใช้เครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ ซึ่งจะล้างฟิล์มแต่ละยี่ห้อสลับกับจนครบทั้ง 60 ม้วนเมื่อล้างแต่ละม้วนแล้วเสร็จ จะติด Codeรหัส ทุกฟิล์ม เพื่อกันการสับสน

6.วิธีการคิดค่าความต่างของเวลาการล้างฟิล์ม

เทียบค่า 100% มีค่าเท่ากับ 60 นาที (1 รอบ) และทศนิยมท้าย เปอร์เซนต์ 2 ตำแหน่ง จากนั้นดูเวลามาตรฐานการล้างของฟิล์มกับน้ำยาชนิดนั้นกำหนดมาตรฐาน เช่นที่ 8 นาที และในความต้องการจะลดเวลาล้างลง 30% วิธีการเป็นดังนี้

$$100\% - 30 = 70 \%$$

$$70\% = 0.70$$

$$0.70 \times 8 \text{ นาที} = 5 \frac{1}{2} \text{ นาที}$$

กรณีต้องการเพิ่มเวลาล้าง 30 % ที่เวลาล้างจริง 11 นาที

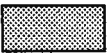
$$100\% + 30 = 130\%$$

$$130\% = 1.30$$

$$1.30 \times 11 \text{ นาที} = 14.3 \text{ ประมาณ } 14 \text{ นาที } 20 \text{ วินาที หรือ } 14 \frac{1}{2} \text{ นาที ดังนี้ เป็นต้น}$$

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบเวลาการล้างฟิล์มขาว-ดำ ชุด W ที่อุณหภูมิ 20°C

ตัวอย่าง	ฟิล์ม น้ำยา Dev.	FUJI NEOPAN SS 100				
		1(-20%)	2(-10%)	3(0%)	4(+10%)	5(+20%)
ไม่-เป็นหิน	D-76 (1:1)	6.30	7.20	8.15	9.00	9.45
	Microdol-x	5.35	6.20	7.00	7.40	8.25
	Microphel	7.25	8.20	9.30	10.15	11.10
	Perceptol	7.10	8.10	9.00	9.45	10.45

ค่าเวลาการล้างที่บริษัทกำหนด 

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบเวลาการล้างฟิล์มขาว-ดำ ชุด X ที่อุณหภูมิ 20°C

ตัวอย่าง	ฟิล์ม น้ำยา Dev.	ILFORD DELTA 100				
		1(-20%)	2(-10%)	3(0%)	4(+10%)	5(+20%)
ไม่-เป็นหิน	D-76 (1:1)	9.35	10.50	12.00	13.10	14.25
	Microdol-x	6.25*	7.10*	8.00*	8.50*	9.30*
	Microphel	6.25	7.10	8.00	8.50	9.30
	Perceptol	12.00	13.30	15.00	16.30	18.00

ค่าเวลาการล้างที่บริษัทกำหนด 

กำหนดค่าเวลาการล้างฟิล์มระหว่างฟิล์ม 2 ชนิด (*)

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบเวลาการล้างฟิล์มขาว-ดำ ชุด Y ที่อุณหภูมิ 20°C

ตัวอย่าง	ฟิล์ม น้ำยา Dev.	KODAK VERICHOM PAN FILM				
		1(-20%)	2(-10%)	3(0%)	4(+10%)	5(+20%)
ไม่-เป็นหิน	D-76 (1:1)	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
	Microdol-x	7.10	8.10	9.00	9.45	10.45
	Microphel	6.45*	7.35*	8.45*	9.20*	10.10*
	Perceptol	9.35*	10.50*	12.00*	13.10*	14.25*

ค่าเวลาการล้างที่บริษัทกำหนด 

กำหนดค่าเวลาการล้างฟิล์มระหว่างฟิล์ม 2 ชนิด (*)

8. นำชุดฟิล์มที่แบ่งเป็นหมวดทำcontact print และจัดเป็นชุดพร้อมแบบสอบถามไปให้บุคคลที่เป็นกลุ่มตัวอย่างเพื่อพิจารณาความชัดเจนและค่าเปรียบต่างของภาพ

9. นำคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามมารวบรวมและวิเคราะห์และหาค่าทางสถิติ การสร้างแบบสอบถามมีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มขาว-ดำทั้ง 3 ชนิดและน้ำยาล้างฟิล์มที่ใช้ร่วมกันได้จากเอกสารและการใช้งานที่มีการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)

2. นำคุณสมบัติด้านต่างๆของฟิล์มและน้ำยาล้างฟิล์มที่รวบรวมมาสร้างเป็นแบบสอบถามโดยตั้งคำถามเป็น 60 ข้อตามจำนวนฟิล์ม (ตัวอย่างแบบสอบถามอยู่ภาคผนวก)

3. ข้อคำถามที่สร้างขึ้นมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประกอบค่า(Rating scale)โดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามพิจารณาแต่ละข้อ ดังนี้

Q1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป

Q2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด

Q3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง

ผู้ตอบแบบสอบถามจะเปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มขาว-ดำทั้ง 3 ชนิดโดยแยกชนิดของน้ำยาล้างฟิล์มแต่ละชนิดที่ให้ค่าเวลาการล้างที่ต่างกันตามชนิดของฟิล์มนั้นๆที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น โดยการเขียนเครื่องหมาย (/) ลงในช่องระดับความพึงพอใจที่กำหนดไว้ 5 ระดับ ดังนี้

ให้ค่าระดับความพึงพอใจมากที่สุด ให้ 5 คะแนน

ให้ค่าระดับความพึงพอใจมาก ให้ 4 คะแนน

ให้ค่าระดับความพึงพอใจพอใช้ ให้ 3 คะแนน

ให้ค่าระดับความพึงพอใจน้อย ให้ 2 คะแนน

ให้ค่าระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด ให้ 1 คะแนน

นำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นนี้ นำไปปรึกษากับอาจารย์ที่ควบคุมวิทยานิพนธ์และอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสถิติและออกแบบสอบถามแล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามพร้อมทั้งสื่อตัวอย่างฟิล์มขาว-ดำ 3 ชนิดที่ล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มต่างชนิดกันไปให้กลุ่มตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการล้างฟิล์มขาว-ดำที่เกี่ยวข้อง คือ อาจารย์ นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ นักเวชนิทัศน์และพนักงานวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องเป็นผู้ประเมินให้มีจำนวน 47คน ในสถาบันต่างๆ มีดังนี้

- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ภาควิชาพยาธิวิทยา, ภาควิชากายวิภาคศาสตร์, โรงเรียนเวชนิทัศน์ คณะแพทยศาสตร์
ศิริราชพยาบาล, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน, มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2. นำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ โดยการหาเฉลี่ยของความพึงพอใจในแต่ละฟิล์มนำมาเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกัน

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม 2542 รวมเวลาทั้งสิ้น 3 เดือน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จะนำมาตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งแล้วจึงนำมาลงรหัส (Coding) แล้วนำไปประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for Social Science) for windows

สถิติที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบ ANOVA แบบ Parametric

การทดลองใช้สูตร

ตารางการวิเคราะห์หว่าเรียนซ์

Sources of Variation (Sources)	Degrees of Freedom (df)	Sum of Squares (SS)	Mean Square (MS)	F - value
Treatments Film)	$k - 1$	$\sum \frac{T^2}{n} - CF$ $= SStr$	$\frac{SSTr}{k - 1}$ $= MStr$	$MStr / MSE$
Error	$k(n - 1)$	$TSS - SStr$ $= SSE$	$\frac{SSE}{k(n - 1)}$ $= MSE$	
Total	$kn - 1$	$\sum x_{ij}^2 - CF$ $= TSS$		

แทนแสดงค่าสมการ

k = จำนวนTreatment (3 films)

n = จำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษา

$$CF = \sum X_{ij}^2 / kn$$

$$T = \sum X_i$$

การวิเคราะห์ความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparisons Test) ใช้วิธีทดสอบของ

Scheffé

$$H_0 : \mu_i = \mu_j ; i \neq j \quad \text{Or } H_0 : L = \bar{x}_i - \bar{x}$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \quad H_1 : L \neq \bar{x}_i - \bar{x}$$

$$S = S_C \sqrt{(k-1)F_{\alpha, k-1, N-k}} ; N = k$$

$$S_C = \sqrt{MSE \cdot \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

ถ้า

$$|L| = |\bar{x}_i - \bar{x}_j| > S$$

ปฏิเสธ H_0 หมายความว่าค่าเฉลี่ย Treatment i แตกต่างจากค่าเฉลี่ย Treatment j

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาเปรียบเทียบ หาคณสมบัติของฟิล์มขาว-ดำ 3 ชนิด จากตัวอย่างไม้กลายเป็นหินซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ใช้ฟิล์มในการถ่ายภาพฟิล์มละ 20 ม้วน รวม 60 ม้วน จากนั้นนำฟิล์มมาล้างด้วยน้ำยาที่ต่างกัน 4 ชนิด โดยให้ค่าเวลาล้างที่ต่างกัน 5 ระดับ โดยมีมาตรฐานของค่าเวลาล้างและน้ำยาที่ใช้กับฟิล์มชนิดนั้นเป็นตัวกำหนด 1 ค่าเวลา จากนั้นจึงหาค่าที่ต่างอีก 4 ค่าเวลาเพื่อเปรียบเทียบ (หน้า 61) เพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งเป็นการทดลองแบบ FACTORIAL TEST เพื่อการศึกษาค้นคว้าหาฟิล์ม น้ำยาล้างฟิล์ม และการกำหนดเวลาล้างที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ฟิล์มเนกาทีฟที่เหมาะสม เพื่อผลในการอัดขยายภาพที่ดีโดยวิธีถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ผลจากการทดลองโดยการล้างฟิล์มจำนวน 60 ม้วนด้วยเครื่องล้างฟิล์มรุ่น ATL-2 plus ยี่ห้อ JOBO ซึ่งกำหนดอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิของน้ำยาล้างฟิล์มให้เครื่องเริ่มทำงานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเร็ว 25 รอบ/นาที ล้างครั้งละ 1 ม้วนและน้ำยาใช้ครั้งเดียวทิ้ง น้ำยาล้างหยุดภาพ (STOP BATH) แช่ 30 วินาที น้ำยาคงสภาพ (FIXER) 3.30 นาที ใช้วิธีการล้างสลับกันในแต่ละยี่ห้อฟิล์มเพื่อให้อยู่ในสภาวะเดียวกันโดยมีความต่างของอุณหภูมิ น้ำยาล้างฟิล์มและอุณหภูมิ น้ำควบคุมมีความต่าง $20.8 - 20.3 = 0.5$ องศาเซลเซียส

ตารางที่ 11 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิอากาศตามลำดับการทดลองด้วยเครื่องล้างฟิล์มอัตโนมัติ

ลำดับครั้ง	ชนิด FILM	อุณหภูมิน้ำเข้า C	อุณหภูมิน้ำออก C	เวลาดำรงน้ำที่	CODE FILM
1	FUJI	19.9	20.3	8.15	WD1
2	ILFORD	20.0	20.7	12.00	XD1
3	KODAK	20.1	21.0	10.00	YD1
4	FUJI	20.1	20.6	9.00	WD2
5	ILFORD	19.9	20.8	13.10	XD2
6	KODAK	19.7	20.6	11.00	YD2
7	FUJI	20.0	19.7	9.45	WD4
8	ILFORD	20.1	20.6	14.25	XD4
9	KODAK	20.3	20.0	12.00	YD4
10	FUJI	20.3	21.4	7.20	WD3
11	ILFORD	20.5	20.5	10.50	XD3
12	KODAK	20.2	20.0	9.00	YD3
13	FUJI	19.2	20.0	6.30	WD5
14	ILFORD	19.7	20.0	9.35	XD5
15	KODAK	20.1	19.6	8.00	YD5
16	FUJI	20.0	20.1	7.00	WX1
17	ILFORD	20.1	21.0	8.00	XX1
18	KODAK	20.2	18.2	9.00	YX1
19	FUJI	20.2	19.5	7.40	WX2
20	ILFORD	19.9	20.2	8.50	XX2
21	KODAK	20.1	19.0	9.45	YX2
22	FUJI	20.1	21.4	8.25	WX4
23	ILFORD	19.8	21.5	9.30	XX4
24	KODAK	20.0	21.5	10.45	YX4
25	FUJI	20.2	20.8	6.20	WX3
26	ILFORD	19.7	21.8	7.10	XX3
27	KODAK	20.1	20.1	8.10	YX3
28	FUJI	20.2	19.9	5.35	WX5
29	ILFORD	21.9	20.0	6.25	XX5
30	KODAK	20.1	19.2	7.10	YX5

ลำดับครั้ง	ชนิด FILM	อุณหภูมิน้ำยา c	อุณหภูมิน้ำ c	เวลาดำงนาที่	CODE FILM
31	FUJI	20.2	19.9	9.30	WM1
32	ILFORD	20.0	21.3	8.00	XM1
33	KODAK	19.9	21.3	8.45	YM1
34	FUJI	19.9	21.0	10.15	WM2
35	ILFORD	19.7	21.1	8.50	XM2
36	KODAK	20.4	20.7	9.20	YM2
37	FUJI	20.3	19.9	8.20	WM3
38	ILFORD	19.8	21.9	7.10	XM3
39	KODAK	20.7	20.0	7.35	YM3
40	FUJI	20.2	19.9	11.10	WM4
41	ILFORD	20.0	21.0	9.35	XM4
42	KODAK	20.2	20.0	10.10	YM4
43	FUJI	20.2	20.0	7.25	WM5
44	ILFORD	20.4	21.2	6.25	XM5
45	KODAK	20.0	20.0	6.45	YM5
46	FUJI	20.0	20.5	9.00	WP1
47	ILFORD	20.1	20.0	15.00	XP1
48	KODAK	19.9	20.7	12.00	YP1
49	FUJI	20.1	20.8	9.45	WP2
50	ILFORD	19.8	20.0	16.30	XP2
51	KODAK	20.2	20.2	13.10	YP2
52	FUJI	20.1	19.9	8.10	WP3
53	ILFORD	20.1	21.1	13.30	XP3
54	KODAK	20.1	19.3	10.15	YP3
55	FUJI	20.0	19.0	10.40	WP4
56	ILFORD	20.3	20.1	18.00	XP4
57	KODAK	19.8	21.5	14.25	YP4
58	FUJI	19.9	20.0	7.10	WP5
59	ILFORD	20.0	21.2	12.00	XP5
60	KODAK	19.9	20.1	9.35	YP5

ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิยา / อุณหภูมิห้อง 60 ม้วน 20.08 C° และ 20.3 C°

ตารางที่ 12 แสดงสถาบัน / หน่วยงานที่ร่วมมือตอบแบบสอบถามจำนวน 10 แห่ง รวม 47 คน ดังนี้

สถาบัน / หน่วยงาน	เพศ		พนักงานวิทย พนักงานโสตฯ	นักวิทยาศาสตร์ ช่างภาพการแพทย์ นักวิชาการโสตฯ	อาจารย์	วุฒิการศึกษา		
	ชาย	หญิง				ตรี	โท	เอก
บริษัท เอกชน	1	-	-	1	-	1	-	-
ม. เทคโนโลยีสุรนารี	4	3	1	2	4	3	2	2
ม.สงขลานครินทร์	4	-	-	2	2	2	2	-
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	1	2	-	3	-	1	2	-
กรมวิทยาศาสตร์บริการ	-	1	-	1	-	-	1	-
ม.วิทยาลัยเชียงใหม่	1	2	-	1	2	-	3	-
ม.มหิดล	7	7	-	8	6	6	6	2
ม.เกษตรศาสตร์	6	-	-	-	6	2	2	2
ม.ขอนแก่น	7	-	1	3	3	2	4	1
สำนักปลุกป่าฯ	1	-	-	1	-	-	1	-
รวมทั้งสิ้น 10 แห่ง	32	15	2	22	23	16	23	7

ในตารางที่ 12 จากจำนวนทั้งสิ้น 47 คนแยกเป็นเพศชาย 32 คนเพศหญิง 15คนแบ่งเป็นสาย
การปฏิบัติงานทั้งสิ้น 23 คน โดยส่วนใหญ่เป็นนักวิทยาศาสตร์ พนักงานวิทยาศาสตร์และ
พนักงานโสตทัศนศึกษา รวม 2 คนทั้งนี้รวมอาจารย์ที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องทางด้านนี้จำนวน 23
คน จากจำนวนทั้งหมด 47 คน และแบ่งวุฒิการศึกษาในระดับปริญญาตรี 16 คน ปริญญาโท 23 คน
และระดับปริญญาเอก 7 คน

ผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษานี้ต้องการศึกษาความแตกต่างของ फिल्म 3 ชนิด คือ 1) Kodak 2) Ilford และ 3) Fuji โดยใช้น้ำยาล้างฟิล์มแตกต่างกัน คือ 1) D-76 2) Microphen 3) Perceptol และ 4) Microdol-X ที่สภาวะการล้างแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 1) 80% 2) 90% 3) 100% 4) 110% และ 5) 120% วิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS for windows โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบทางเดียว (One-Way Analysis) วิเคราะห์ความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีสมมติฐาน ดังนี้

H_0 : ความพึงพอใจฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความพึงพอใจฟิล์มทั้ง 3 ชนิด อย่างน้อยมี 1 คู่แตกต่างกัน

และการวิเคราะห์ความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparisons Test) ใช้วิธีทดสอบของ Scheffé ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีสมมติฐาน ดังนี้

H_0 : ความพึงพอใจฟิล์ม Kodak กับ Ilford ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความพึงพอใจฟิล์ม Kodak กับ Ilford แตกต่างกัน

H_0 : ความพึงพอใจฟิล์ม Kodak กับ Fuji ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความพึงพอใจฟิล์ม Kodak กับ Fuji แตกต่างกัน

และ H_0 : ความพึงพอใจฟิล์ม Ilford กับ Fuji ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความพึงพอใจฟิล์ม Ilford กับ Fuji แตกต่างกัน

ส่วนการวิเคราะห์ความพึงพอใจฟิล์มในแต่ละกรณี ว่ามีความพึงพอใจมาก (ค่าเฉลี่ยมากกว่า 3.5) ปานกลาง (ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.49 ถึง 3.5) หรือน้อย (ค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 2.49)

กรณีศึกษาทั้งสิ้นจำนวน 20 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 80%

โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1)

กรณีที่ 2) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 80%

โดยใช้น้ำยา Microphel

กรณีที่ 3) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 80%

โดยใช้น้ำยา Perceptol

กรณีที่ 4) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 80%

โดยใช้น้ำยา Microdol-X

กรณีที่ 5) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 90%

โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1)

กรณีที่ 6) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 90%

โดยใช้น้ำยา Microphel

กรณีที่ 7) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 90%

โดยใช้น้ำยา Perceptol

กรณีที่ 8) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 90%

โดยใช้น้ำยา Microdol-X 1

กรณีที่ 9) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 100%

โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1)

กรณีที่ 10) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 100%

โดยใช้น้ำยา Microphel

กรณีที่ 11) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 100%

โดยใช้น้ำยา Perceptol

กรณีที่ 12) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 100%

โดยใช้น้ำยา Microdol-X

กรณีที่ 13) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 110%

โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1)

กรณีที่ 14) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 110%

โดยใช้น้ำยา Microphel

กรณีที่ 15) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 110%

โดยใช้น้ำยา Perceptol

กรณีที่ 16) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 110%

โดยใช้น้ำยา Microdol-X

กรณีที่ 17) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 120%

โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1)

กรณีที่ 18) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 120%

โดยใช้น้ำยา Microphel

กรณีที่ 19) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 120%

โดยใช้น้ำยา Perceptol

กรณีที่ 20) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 120%
โดยใช้น้ำยา Microdol-X

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยของผลการศึกษา ทุกกรณี

สภาวะการล้าง	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
80%	D-76 (1:1)**	1.8014	2.5954	1.7801	<0.05	(1,2) (2,3)
	Microphen	3.1631	3.1135	3.3688	0.1622	-
	Perceptol**	2.5603	2.8298	2.1064	<0.05	(1,3) (2,3)
	Microdol-x**	2.4539*	1.9716	1.7376	<0.05	(1,2) (1,3)
90%	D-76 (1:1)**	3.5177*	2.6809	2.2128	0	(1,2) (1,3)(2,3)
	Microphen**	3	3.2837	3.4397*	0.0012	(1,3)
	Perceptol**	3.1206*	2.7092	2.1631	0	(1,2) (1,3)(2,3)
	Microdol-x**	2.9220*	2.2177	1.8723	0	(1,2) (2,3)
100%	D-76 (1:1)**	3.2695*	2.1844	1.9645	0	(1,2) (1,3)
	Microphen**	2.8369	3.4468	3.7447*	0	(1,2) (1,3) (2,3)
	Perceptol**	3.4539*	3.0780	2.4539	0	(1,3) (2,3)
	Microdol-x**	2.8156*	2.3404	2.1348	<0.05	(1,2) (1,3)
110%	D-76 (1:1)**	3.5177*	3.2482	2.1915	0	(1,3) (2,3)
	Microphen**	2.9220	3.0638	3.3191*	0.0077	(1,3)
	Perceptol**	2.7730*	2.6454	2.2624	0.0002	(1,3) (2,3)
	Microdol-x**	3.2128*	1.9220	1.9574	0	(1,2) (1,3)
120%	D-76 (1:1)	3.0638	3.0922	2.9291	0.4086	-
	Microphen**	2.6383	3.2411	3.2766*	<0.05	(1,2)(1,3)
	Perceptol**	2.4255	2.8369*	2.3617	0.0004	(1,2)(2,3)
	Microdol-x	2.3617	2.3688	2.0780	0.0739	-

หมายเหตุ * หมายถึง ความพึงพอใจ มาก

** หมายถึง ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ

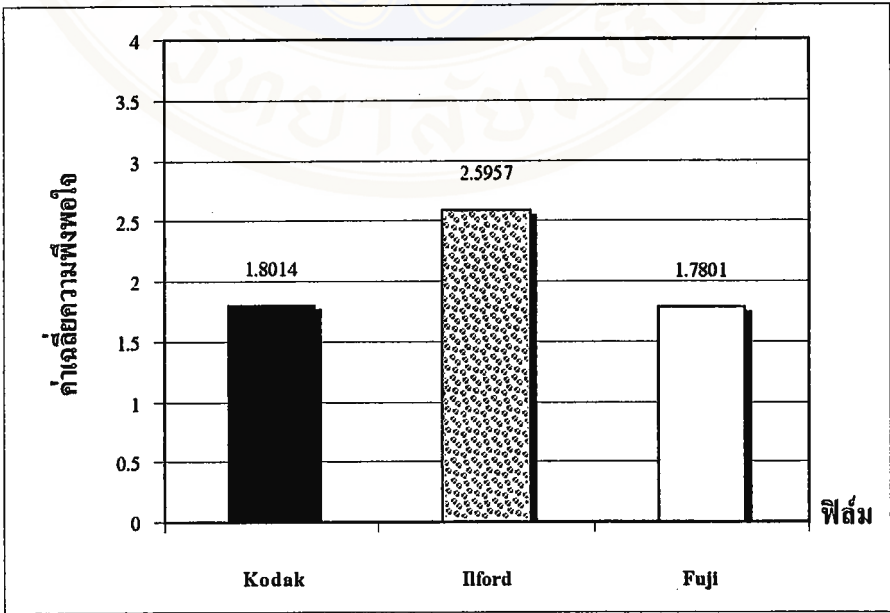
ผลการศึกษา กรณีที่ 1) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
 ที่สภาวะการล้าง 80%
 โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1)

ตารางที่ 14 แสดงผลการศึกษาริขบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 80%
ด้วยน้ำยา D-76 (1:1)

สภาวะการล้าง	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
80%	D-76 (1:1)**	1.8014	2.5957*	1.7801	<0.05	(1,2) (2,3)

จากตารางที่ 14 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 80% โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1) พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Ilford และ ฟิล์ม Ilford กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Ilford มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Ilford เมื่อล้างน้ำยา D-76 (1:1) ที่เวลาล้าง 80 % ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji ซึ่งมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 12 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1) ที่ระดับการล้าง 80%

ผลการศึกษา กรณีที่ 2) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด

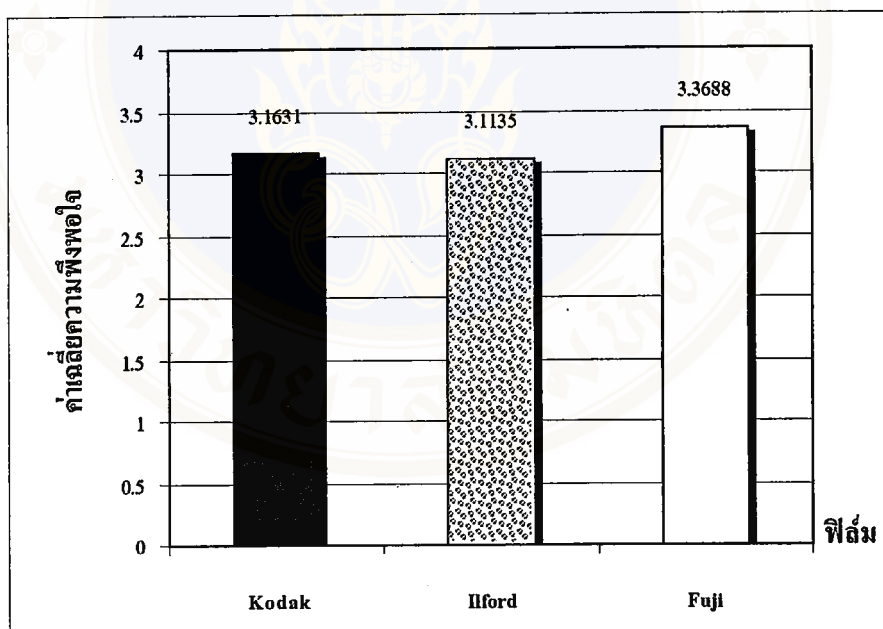
ที่สภาวะการล้าง 80%

โดยใช้น้ำยา Microphel

ตารางที่ 15 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 80% ด้วยน้ำยา Microphel

สภาวะการล้าง 80%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Microphel	3.1631	3.1135	3.3688	0.1622	-

จากตารางที่ 15 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 80% โดยใช้น้ำยา Microphel พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 13 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ที่ระดับการล้าง 80%

ผลการศึกษา กรณีที่ 3) ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด

ที่สภาวะการล้าง 80%

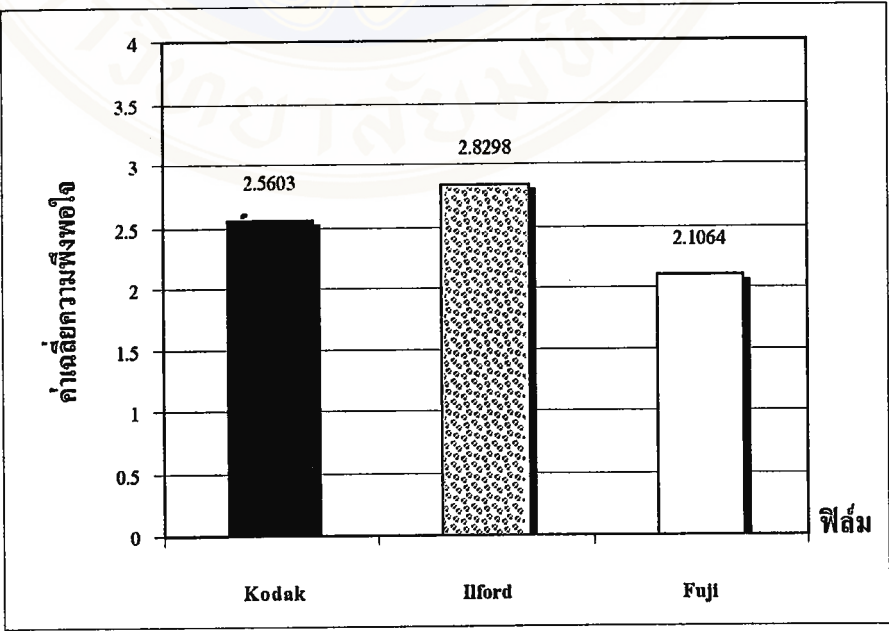
โดยใช้น้ำยา Preceptol

ตารางที่ 16 แสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 80% ด้วยน้ำยา Preceptol

สภาวะการล้าง 80%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Preceptol**	2.5603	2.8298*	2.1064	<0.05	(1,3) (2,3)

จากตารางที่ 16 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 80% โดยใช้น้ำยา Preceptol พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji และ ฟิล์ม Ilford กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Ilford มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Ilford เมื่อล้างน้ำยา Preceptol ที่เวลาล้าง 80 % ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji ซึ่งมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 14 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Preceptol ที่ระดับการล้าง 80%

ผลการศึกษา กรณีที่ 4 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด

ที่สภาวะการล้าง 80%

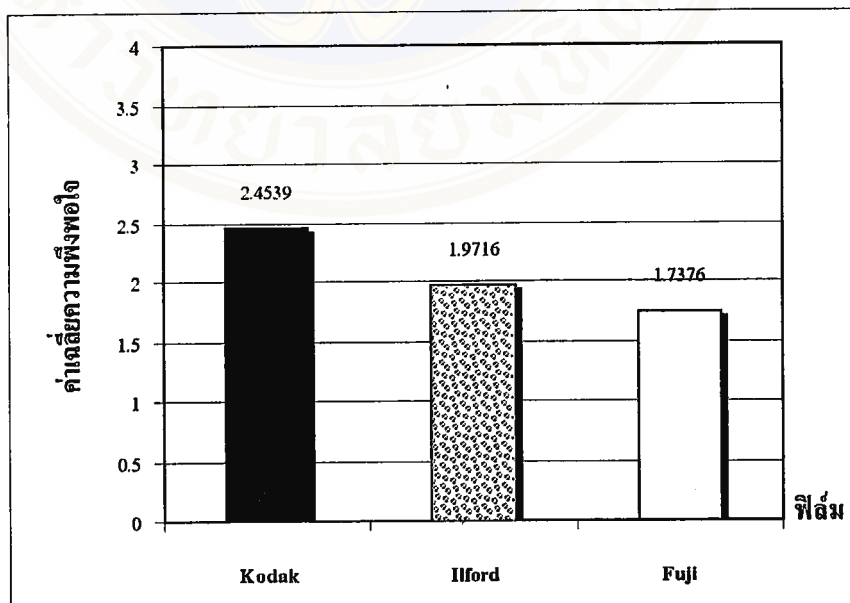
โดยใช้น้ำยา Microdol-x

ตารางที่ 17 แสดงผลการศึกษาริยบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิดที่สภาวะการล้าง 80% ด้วยน้ำยา Microdol-x

สภาวะการล้าง 80%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Microdol-x**	2.4539*	1.9716	1.7376	<0.05	(1,2) (1,3)

จากตารางที่ 17 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 80% โดยใช้น้ำยา Microdol-x พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Ilford และ ฟิล์ม Kodak กับฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Kodak มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Kodak เมื่อล้างน้ำยา Microdol-x ที่เวลาล้าง 80 % ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji ซึ่งมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 15 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ที่ระดับการล้าง 80%



ผลการศึกษา กรณีที่ 5 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด

ที่สภาวะการล้าง 90%

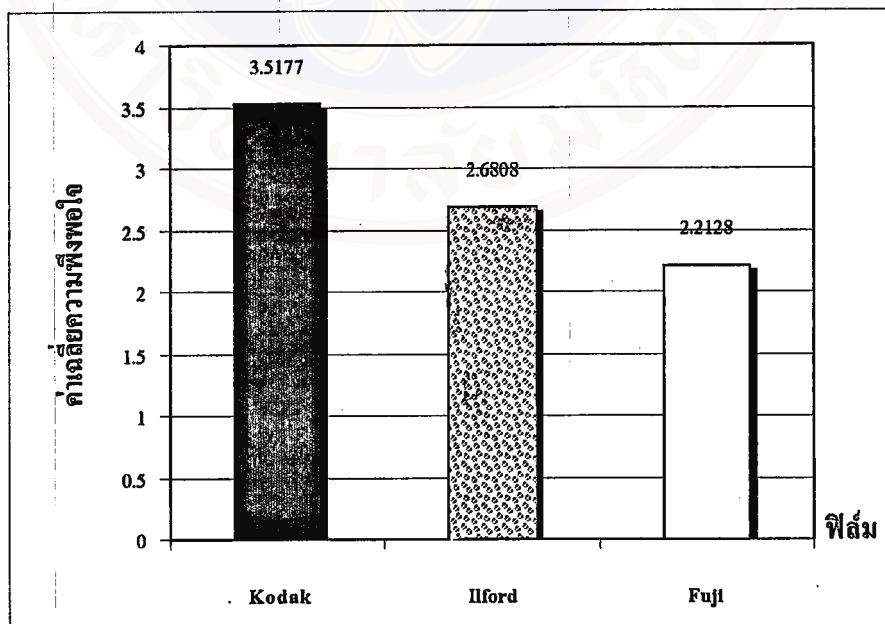
โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1)

ตารางที่ 18 แสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 90% ด้วยน้ำยา D-76 (1:1)

สภาวะการล้าง	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
90%	D-76 (1:1)**	3.5177*	2.6808	2.2128	0	(1,2) (1,3)(2,3)

จากตารางที่ 18 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 90% โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1) พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Ilford ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji และฟิล์ม Ilford กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Kodak มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Kodak เมื่อล้างน้ำยา D-76 (1:1) ที่เวลาล้าง 90 % ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji



แผนภูมิที่ 16 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1) ที่ระดับการล้าง 90%

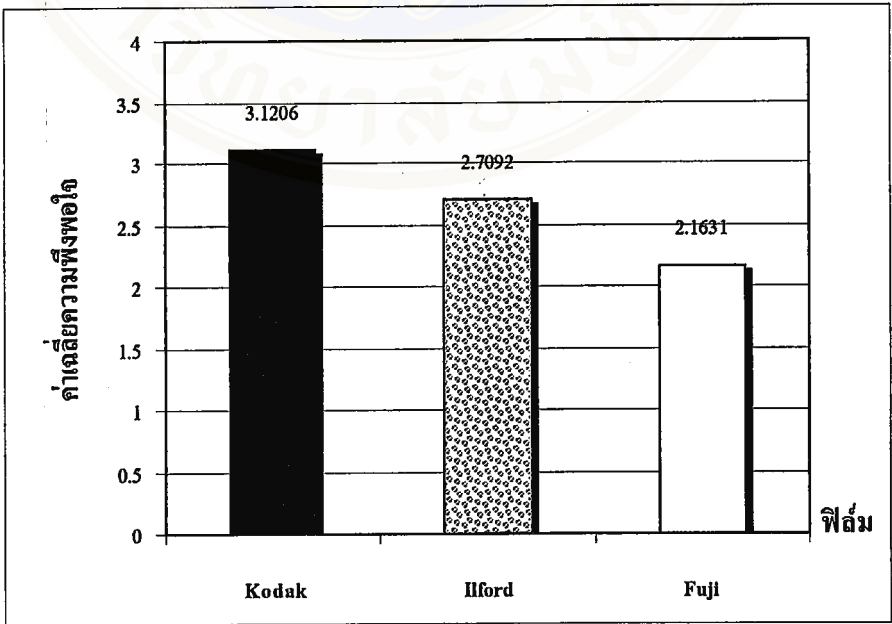
ผลการศึกษา กรณีที่ 7 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
 ที่สภาวะการล้าง 90%
 โดยใช้น้ำยา Perceptol

ตารางที่ 20 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 90% ด้วยน้ำยา Perceptol

สภาวะการล้าง 90%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Perceptol**	3.1206*	2.7092	2.1631	0	(1,2) (1,3)(2,3)

จากตารางที่ 20 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 90% โดยใช้น้ำยา Perceptol พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Ilford, ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji และฟิล์ม Fuji กับ ฟิล์ม Ilford แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Kodak มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Kodak เมื่อล้างน้ำยา Perceptol ที่เวลาล้าง 90 % ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji



แผนภูมิที่ 18 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ที่ระดับการล้าง 90%

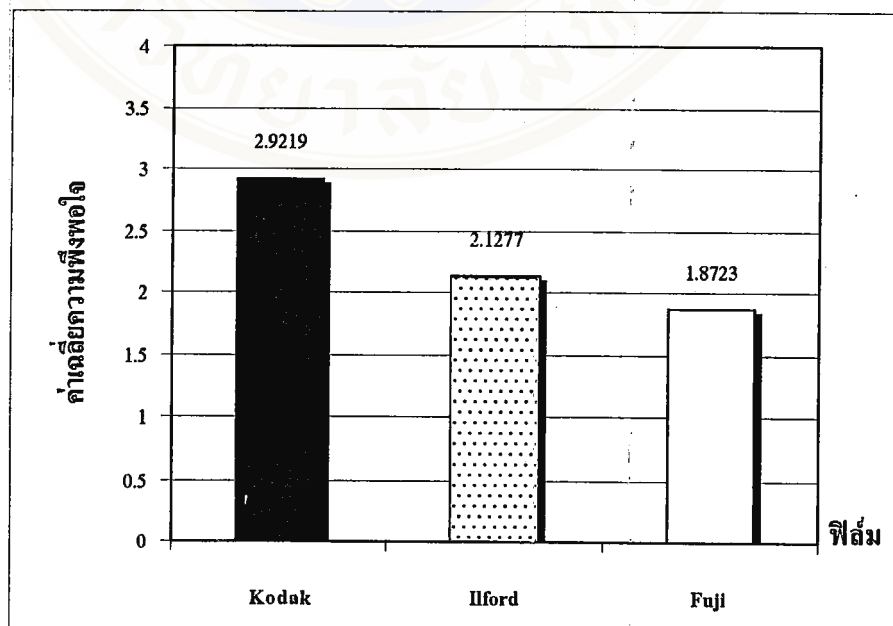
ผลการศึกษา กรณีที่ 8 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 90%
โดยใช้น้ำยา Microdol-x

ตารางที่ 21 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 90% ด้วยน้ำยา Microdol-x

สภาวะการล้าง 90%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Microdol-x**	2.9219*	2.2177	1.8723	0	(1,2) (2,3)

จากตารางที่ 21 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 90% โดยใช้น้ำยา Microdol-x พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Ilford กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Kodak มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Kodak เมื่อล้างน้ำยา Microdol-x ที่เวลาล้าง 90 % ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji โดยฟิล์ม Ilford กับ ฟิล์ม Fuji ไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 19 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ที่ระดับการล้าง 90%

ผลการศึกษา กรณีที่ 9 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด

ที่สภาวะการล้าง 100%

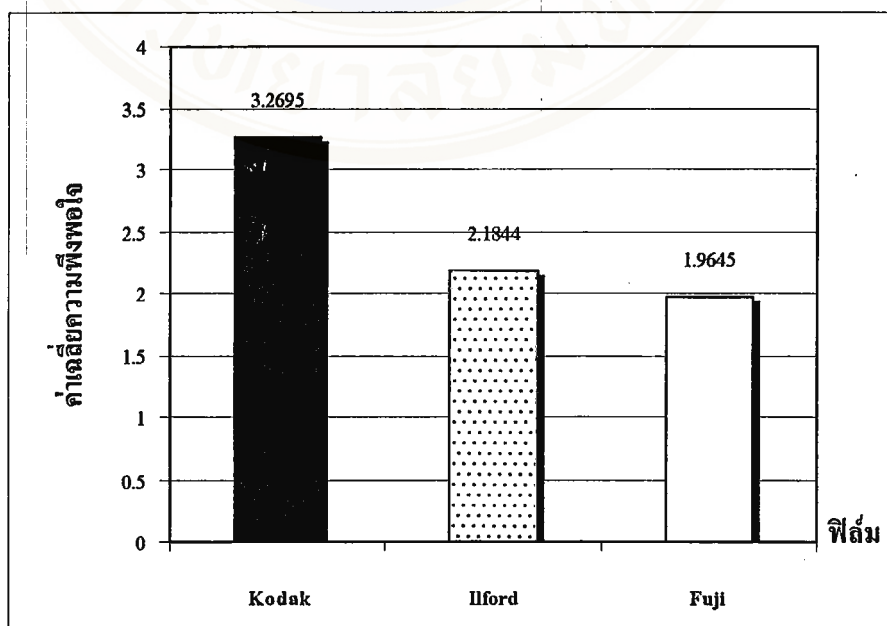
โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1)

ตารางที่ 22 แสดงผลการศึกษาร่วมเทียบค่าเฉลี่ยฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 100% ด้วยน้ำยา D-76 (1:1)

สภาวะการล้าง	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
100%	D-76 (1:1)**	3.2695*	2.1844	1.9645	0	(1,2) (1,3)

จากตารางที่ 22 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 100% โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1) พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Ilford และ ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Kodak มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Kodak เมื่อล้างน้ำยา D-76 (1:1) ที่เวลาล้าง 100 % ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji โดยฟิล์ม Ilford กับ ฟิล์ม Fuji ไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 20 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1) ที่ระดับการล้าง 100%

ผลการศึกษา กรณีที่ 10 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด

ที่สภาวะการล้าง 100%

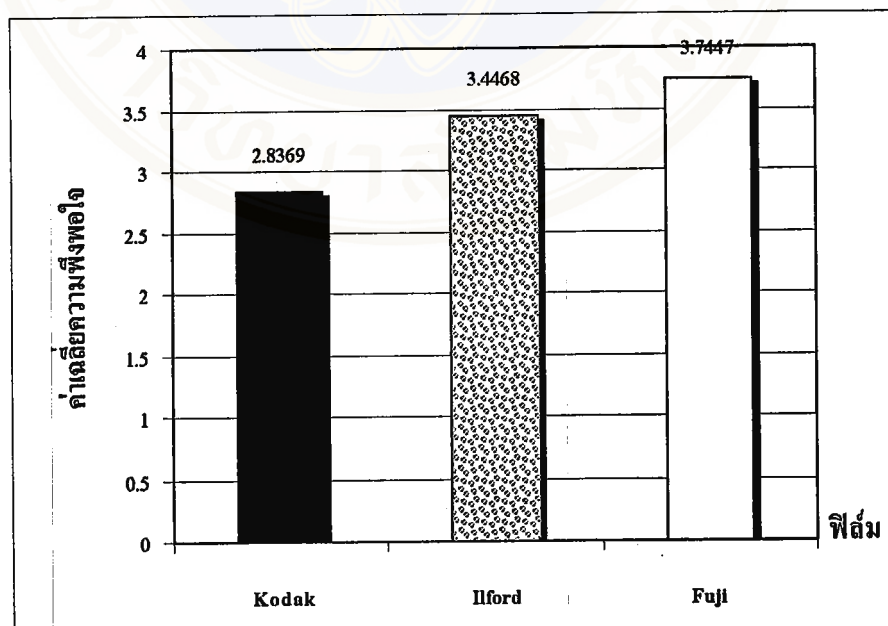
โดยใช้น้ำยา Microphel

ตารางที่ 23 แสดงผลการศึกษา เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 100% ด้วยน้ำยา Microphen

สภาวะการล้าง 100%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Microphel**	2.8369	3.4468	3.7447*	0	(1,2) (1,3) (2,3)

จากตารางที่ 23 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 100% โดยใช้น้ำยา Microphel พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Ilford, ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji และฟิล์ม Fuji กับ ฟิล์ม Ilford แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Fuji มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Fuji เมื่อล้างน้ำ Microphel ที่เวลาล้าง 100 % ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Kodak



แผนภูมิที่ 21 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microphel ที่ระดับการล้าง 100%

ผลการศึกษา กรณีที่ 11 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด

ที่สภาวะการล้าง 100%

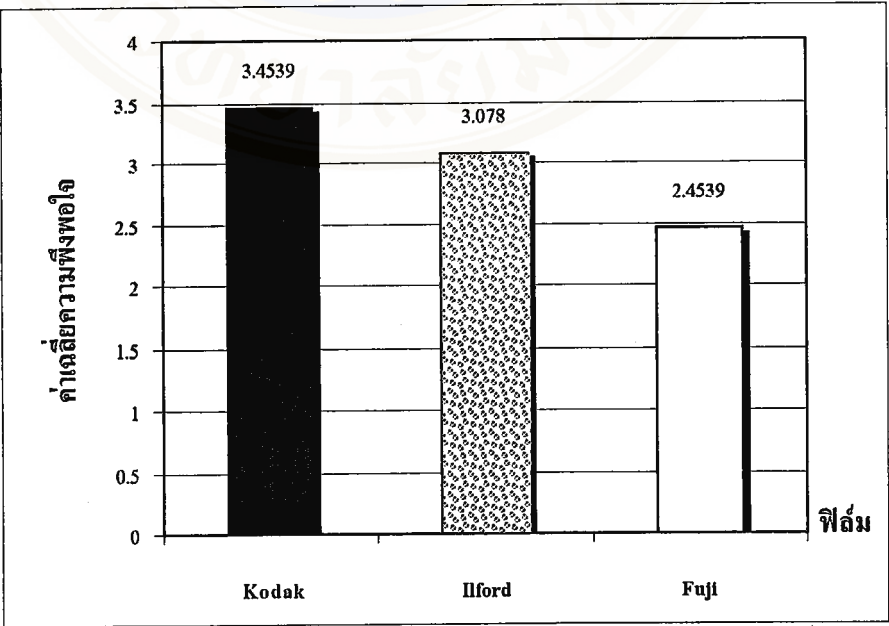
โดยใช้น้ำยา Perceptol

ตารางที่ 24 แสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 100% ด้วยน้ำยา Perceptol

สภาวะการล้าง 100%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Perceptol**	3.4539*	3.0780	2.4539	0	(1,3) (2,3)

จากตารางที่ 24 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 100% โดยใช้น้ำยา Perceptol พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji และฟิล์ม Ilford กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Kodak มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Kodak เมื่อล้างน้ำ Preceptal ที่เวลาล้าง 100% ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji โดยที่ฟิล์ม Kodak กับฟิล์ม Ilford ไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 22 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ที่ระดับการล้าง 100%

ผลการศึกษา กรณีที่ 12 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด

ที่สภาวะการล้าง 100%

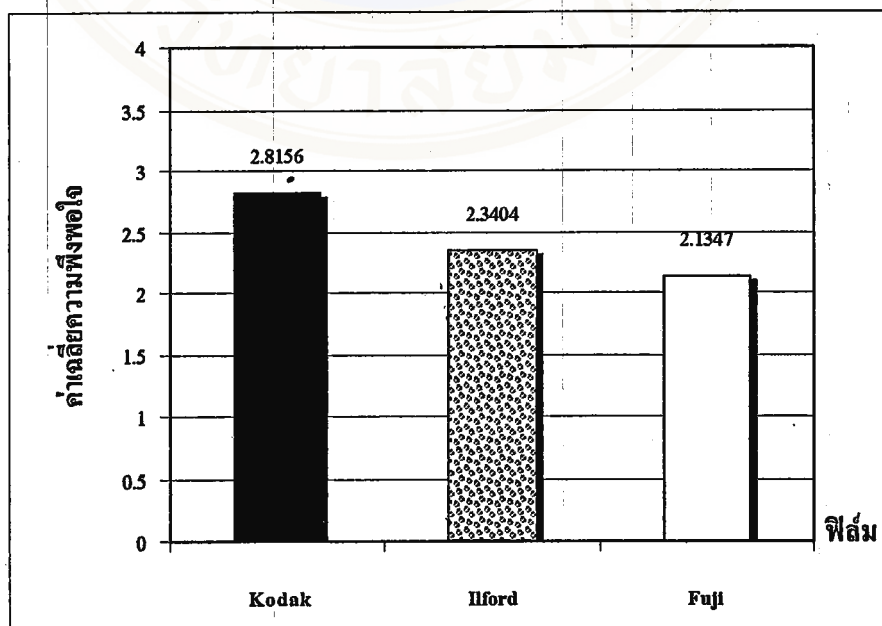
โดยใช้น้ำยา Microdol-x

ตารางที่ 25 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 100% ด้วยน้ำยา Microdol-x

สภาวะการล้าง 100%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Microdol-x**	2.8156*	2.3404	2.1347	<0.05	(1,2) (1,3)

จากตารางที่ 25 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 100% โดยใช้น้ำยา Microdol-x พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Ilford และ ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Kodak มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Kodak เมื่อล้างน้ำ Microdol-x ที่เวลาล้าง 100% ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji โดยที่ฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji ไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 23 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ที่ระดับการล้าง 100%

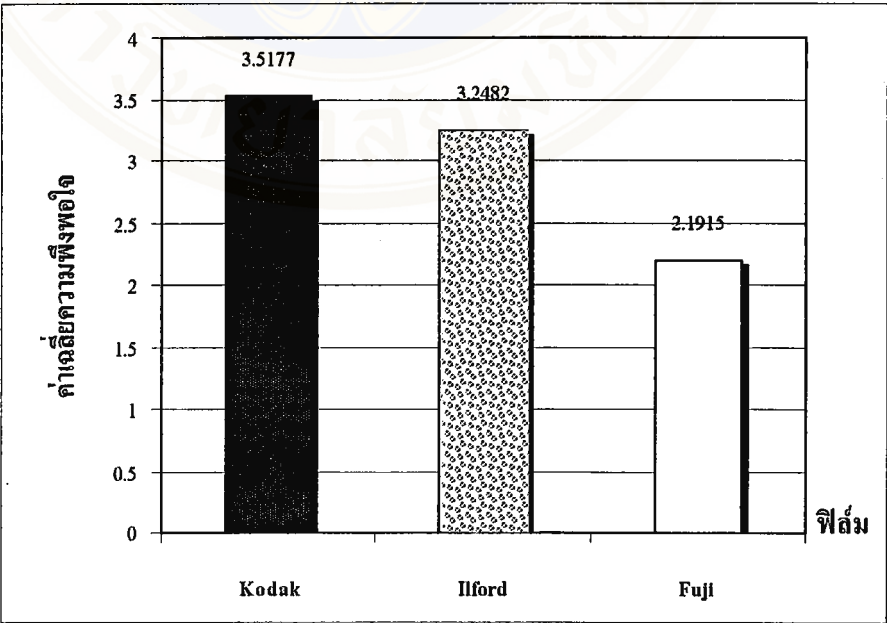
ผลการศึกษา กรณีที่ 13 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
 ที่สภาวะการล้าง 110%
 โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1)

ตารางที่ 26 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด สภาวะการล้าง 110% ด้วยน้ำยา D-76 (1:1)

สภาวะการล้าง	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
110%	D-76 (1:1)**	3.5177*	3.2482	2.1915	0	(1,3) (2,3)

จากตารางที่ 26 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 100% โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1) พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji และฟิล์ม Ilford กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Kodak มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Kodak เมื่อล้างน้ำ D-76 (1:1) ที่เวลาล้าง 110% ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji โดยที่ฟิล์ม Kodak กับฟิล์ม Ilford ไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 24 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1) ที่ระดับการล้าง 110%

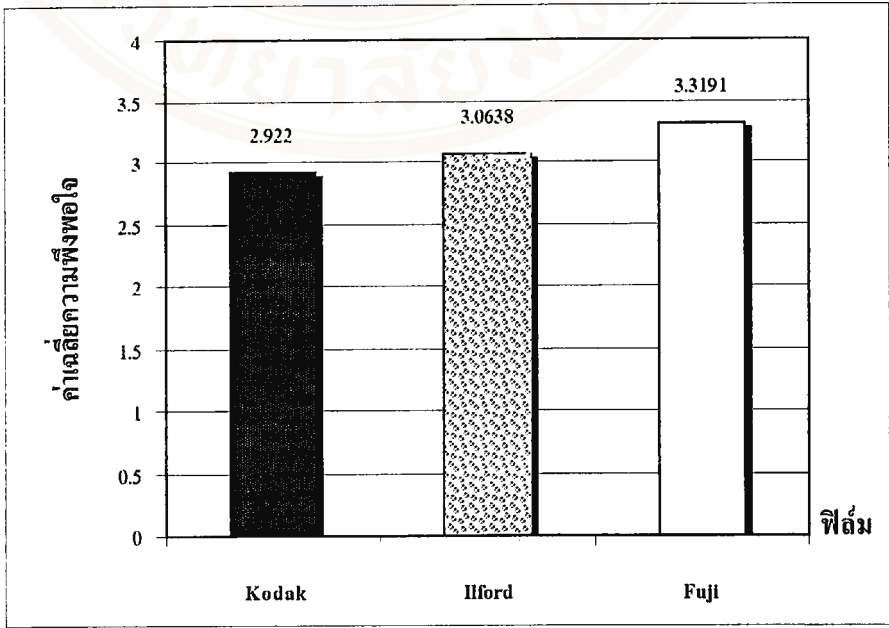
ผลการศึกษา กรณีที่ 14 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
 ที่สภาวะการล้าง 110%
 โดยใช้น้ำยา Microphel

ตารางที่ 27 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 110% ด้วยน้ำยา Microphel

สภาวะการล้าง 110%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Microphel**	2.9220	3.0638	3.3191*	0.0077	(1,3)

จากตารางที่ 27 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 110% โดยใช้น้ำยา Microphel พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Fuji มีค่าเฉลี่ยสูงสุดแสดงว่าฟิล์ม Fuji เมื่อล้างน้ำ Microphel ที่เวลาล้าง 110% ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Kodak โดยที่ฟิล์ม Kodak กับฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji ไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 25 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microphel ที่ระดับการล้าง 110%

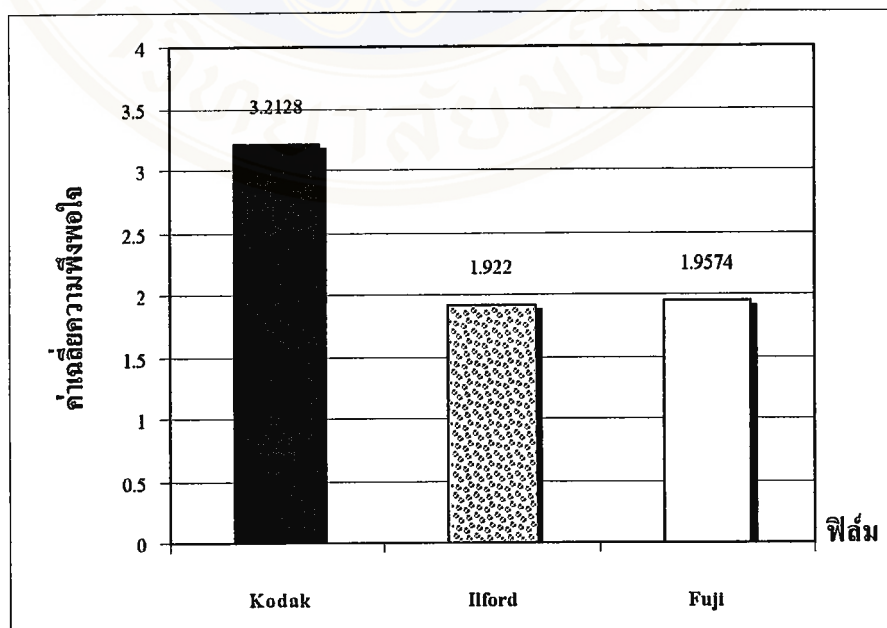
ผลการศึกษา กรณีที่ 16 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 110%
โดยใช้น้ำยา Microdol-x

ตารางที่ 29 แสดงผลการศึกษาร่วมเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 110% ด้วยน้ำยา Microdol-x

สภาวะการล้าง 110%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Microdol-x**	3.2128*	1.9220	1.9574	0	(1,2) (1,3)

จากตารางที่ 29 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 110% โดยใช้น้ำยา Microdol-x พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Kodak มีค่าเฉลี่ยสูงสุดแสดงว่าฟิล์ม Kodak เมื่อล้างน้ำ Microdol-x ที่เวลาล้าง 110% ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Fuji โดยที่ฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji ไม่แตกต่างกัน



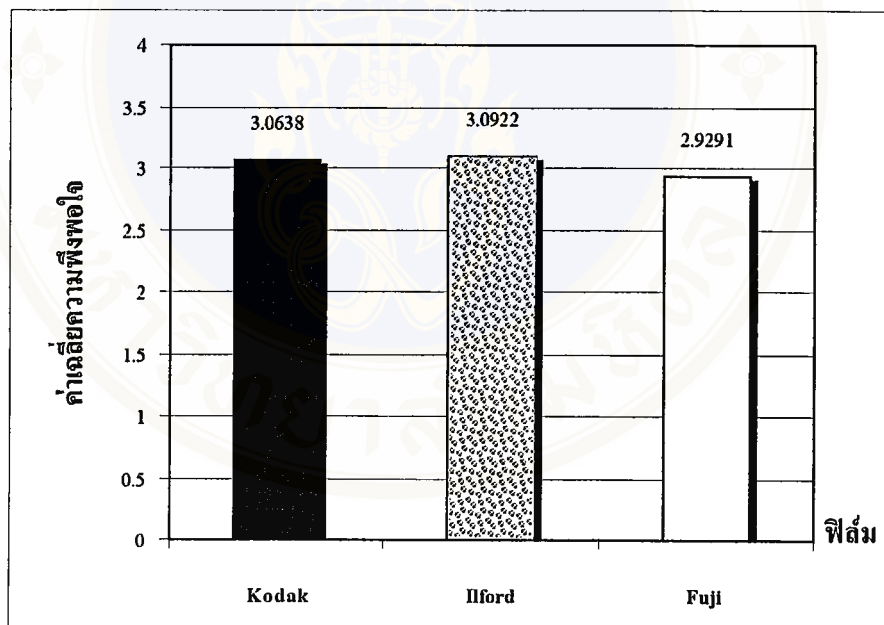
แผนภูมิที่ 27 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ที่ระดับการล้าง 110%

ผลการศึกษา กรณีที่ 17 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
ที่สภาวะการล้าง 120%
โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1)

ตารางที่ 30 แสดงผลการศึกษา เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 120% ด้วยน้ำยา D-76 (1:1)

สภาวะการล้าง	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
120%	D-76 (1:1)	3.0638	3.0922	2.9291	0.4086	-

จากตารางที่ 30 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 120% โดยใช้น้ำยา D-76 (1:1) พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 28 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1) ที่ระดับการล้าง 120%

ผลการศึกษา กรณีที่ 18 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด

ที่สภาวะการล้าง 120%

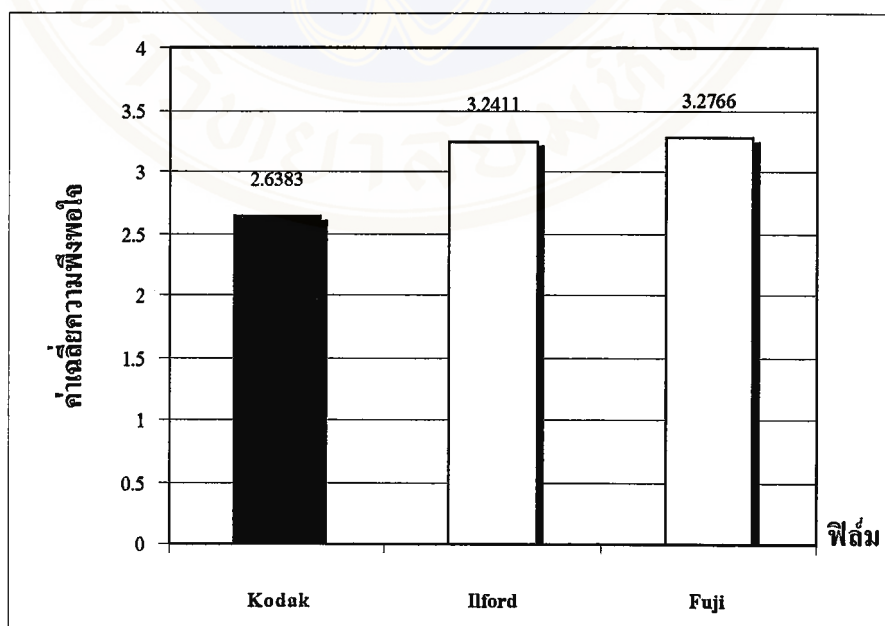
โดยใช้น้ำยา Microphen

ตารางที่ 31 แสดงผลการศึกษเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 120% ด้วยน้ำยา Microphen

สภาวะการล้าง 120%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Microphen**	2.6383	3.2411	3.2766*	<0.05	

จากตารางที่ 31 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 120% โดยใช้น้ำยา Microphen พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Fuji มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Fuji เมื่อล้างน้ำยา Microphen ที่เวลาล้าง 120% ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Kodak โดยที่ฟิล์ม Ilford กับฟิล์ม Fuji ไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 29 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ที่ระดับการล้าง 120%

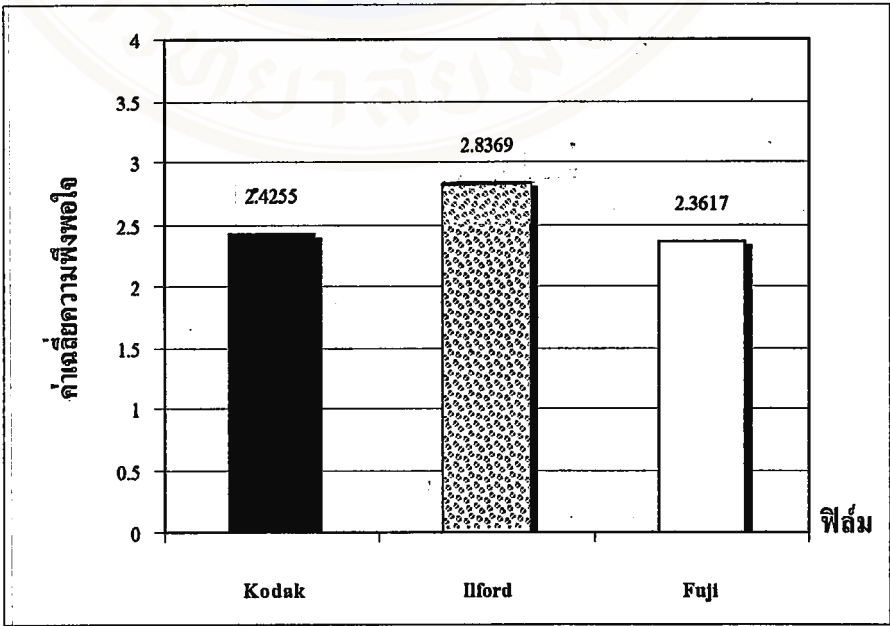
ผลการศึกษา กรณีที่ 19 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด
 ที่สภาวะการล้าง 120%
 โดยใช้น้ำยา Perceptol

ตารางที่ 32 แสดงผลการศึกษาร่วมเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 120% ด้วยน้ำยา Perceptol

สภาวะการล้าง 120%	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่ แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	Perceptol**	2.4255	2.8369*	2.3617	0.0004	(1,2)(2,3)

จากตารางที่ 32 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 120% โดยใช้น้ำยา Perceptol พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อทำการทดสอบความแตกต่างกันเป็นคู่ (Multiple Comparison) พบว่า ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Ilford กับ ฟิล์ม Fuji แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อดูค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด จะเห็นว่าฟิล์ม Ilford มีค่าเฉลี่ยสูงสุด แสดงว่าฟิล์ม Ilford เมื่อล้างน้ำยา Perceptol ที่เวลาล้าง 120% ได้รับความพึงพอใจมากกว่าฟิล์ม Kodak ฟิล์ม Fuji โดยที่ฟิล์ม Kodak กับ ฟิล์ม Fuji ไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 30 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ที่ระดับการล้าง 120%

ผลการศึกษา กรณีที่ 20 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด

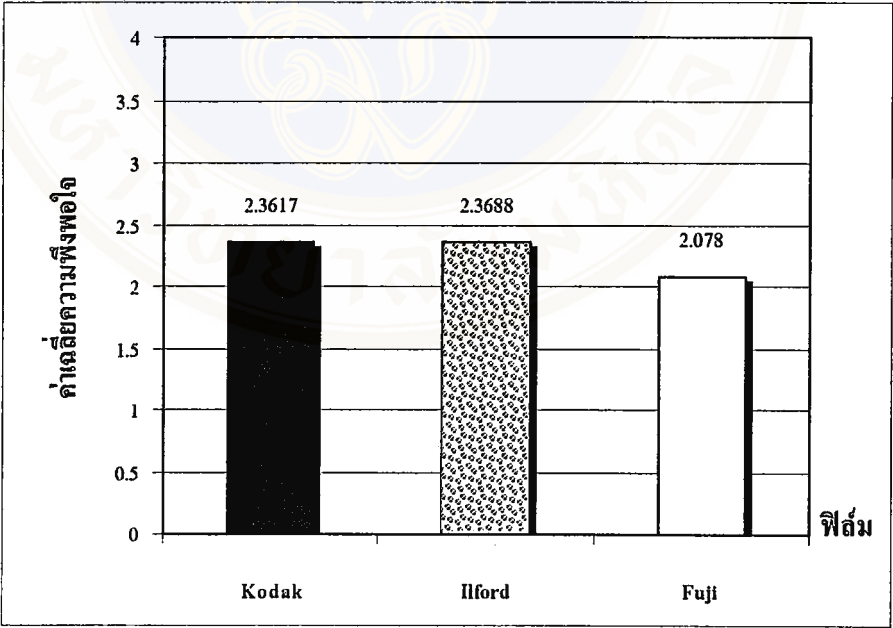
ที่สภาวะการล้าง 120%

โดยใช้น้ำยา Microdol-x

ตารางที่ 33 แสดงผลการศึกษา เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟิล์ม 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 120% ด้วยน้ำยา Microdol-x

สภาวะการล้าง	ประเภทน้ำยา	ประเภทฟิล์ม			P-value	ฟิล์มที่แตกต่างกัน
		Kodak (1)	Ilford (2)	Fuji (3)		
	120%					
	Microdol-x	2.3617	2.3688	2.0780	0.0739	-

จากตารางที่ 33 ศึกษาความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่สภาวะการล้าง 120% โดยใช้น้ำยา Microdol-x พบว่า ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกัน



แผนภูมิที่ 31 แสดงผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิดด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ที่ระดับการล้าง 120%

ผลจากการทดลองสามารถสรุปผลการล้างฟิล์มได้ 5 ระดับดังนี้

1. สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 80%

ตารางที่ 34 สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 80 %

ฟิล์ม ชนิดน้ำยา	Kodak	Ilford	Fuji	P-value
D-76(1:1)	1.8014	2.5957	1.7801	<0.05
Microphel	3.1631	3.1135	3.3688	0.1622
Perceptol	2.5603	2.8298	2.1064	<0.05
Microdol-x	2.4539	1.9716	1.7376	<0.05
P-value	<0.0001	<0.0001	0	

จากตารางที่ 34 ที่ระดับการล้าง 80% ของการล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด กับฟิล์ม 3 ชนิด เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่า :-

น้ำยา D-76 (1:1) เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Microphel เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน

น้ำยา Perceptol เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Microdol-x เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และฟิล์มแต่ละชนิด ล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิดเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า

ฟิล์ม Kodak เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Kodak ล้างด้วยน้ำยา Microphel ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

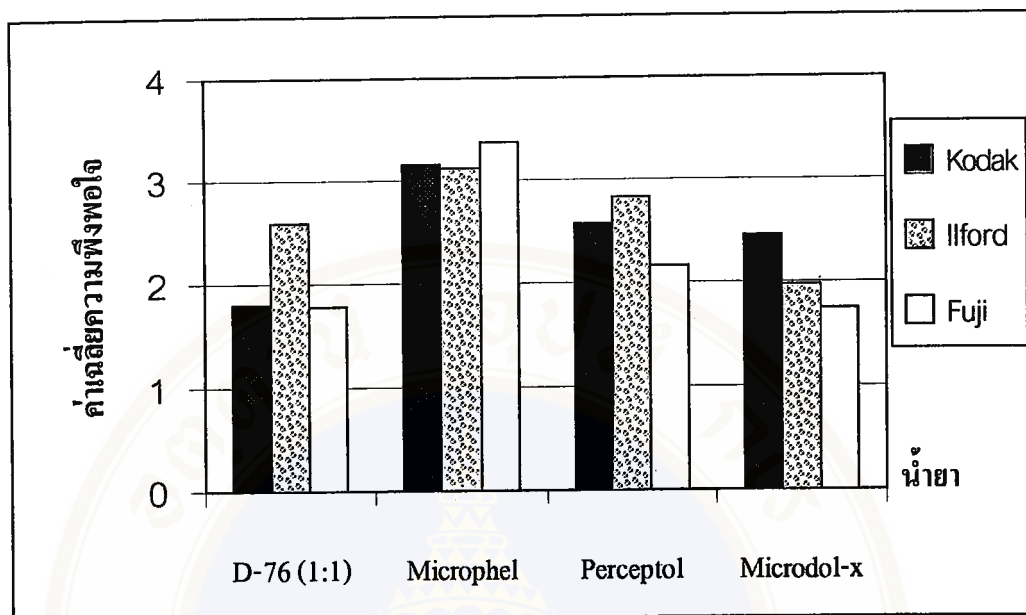
ฟิล์ม Ilford เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Ilford ล้างด้วยน้ำยา Microphel ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

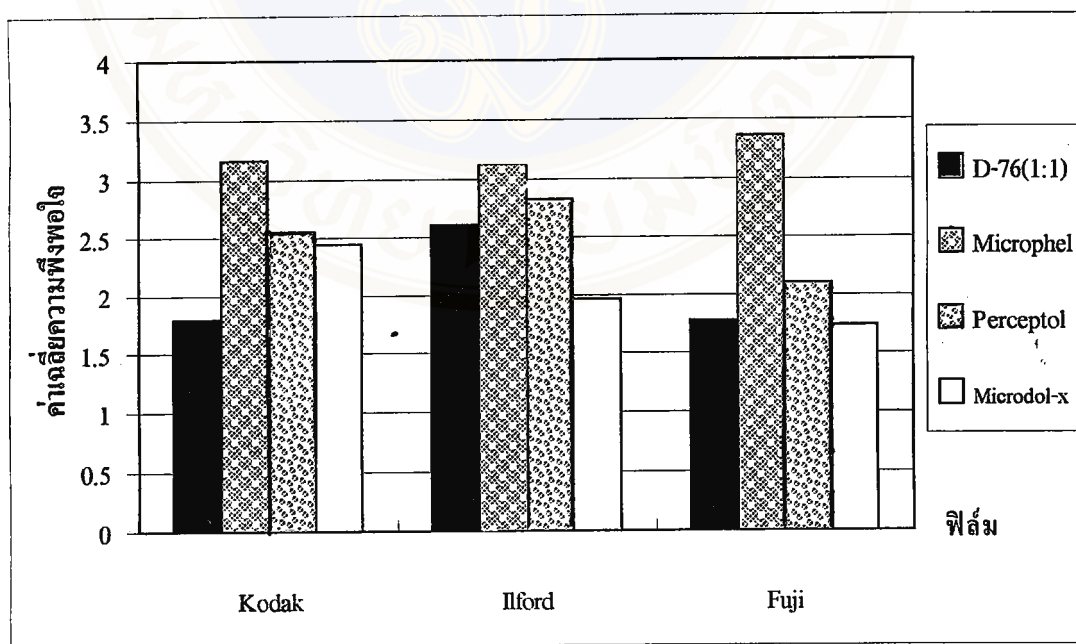
ฟิล์ม Fuji เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Fuji ล้างด้วยน้ำยา Microphel ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

สรุปได้ว่า การล้างที่ระดับ 80% ฟิล์ม ทั้ง 3 ชนิดล้างด้วยน้ำยา Microphel ได้ผลเท่ากัน และได้ผลน่าพอใจที่สุด



แผนภูมิที่ 32 แสดงผลของน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 80 เปอร์เซนต์ พบว่า น้ำยา Microphel ล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ได้ผลดีที่สุด



แผนภูมิที่ 33 แสดงผลของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 80 เปอร์เซนต์

2. สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 90%

ตารางที่ 35 สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 90 %

ฟิล์ม ชนิดน้ำยา	Kodak	Ilford	Fuji	P-value
D-76(1:1)	3.5177	2.6808	2.1277	0
Microphen	3	3.2837	3.4397	0.0012
Perceptol	3.1206	2.7092	2.1631	0
Microdol-x	2.9220	2.2177	1.8723	0
P-value	<0.0025	<0.0001	<0.0001	

จากตารางที่ 35 ที่ระดับการล้าง 90% ของการล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด กับฟิล์ม 3 ชนิด เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่า :-

น้ำยา D-76 (1:1) เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Microphen เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Perceptol เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Microdol-x เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ 0.05

และฟิล์มแต่ละชนิด ล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิดเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า

ฟิล์ม Kodak เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Kodak ล้างด้วยน้ำยา D-76(1:1) ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

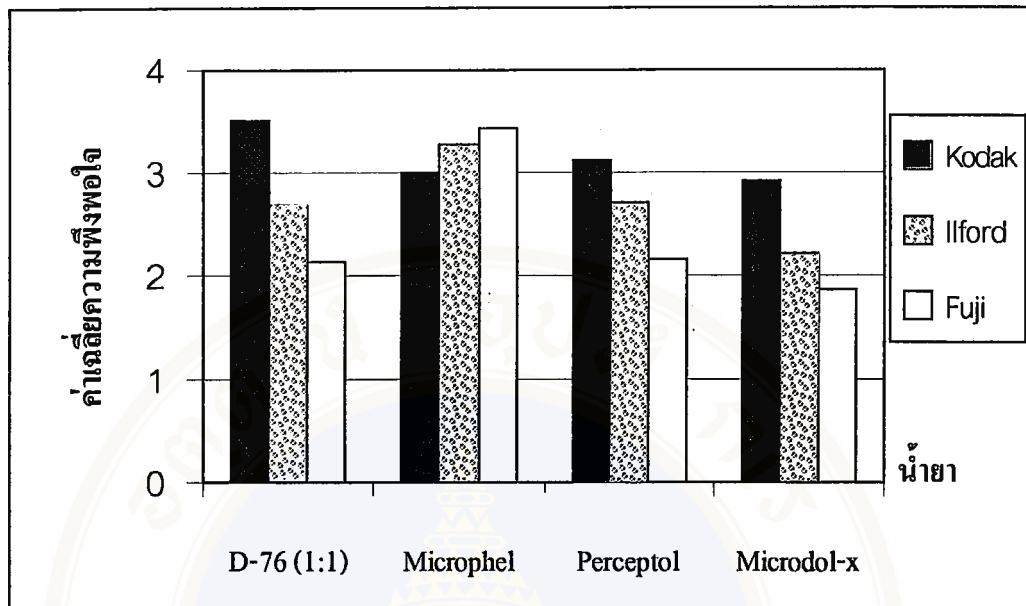
ฟิล์ม Ilford เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Ilford ล้างด้วยน้ำยา Microphen ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

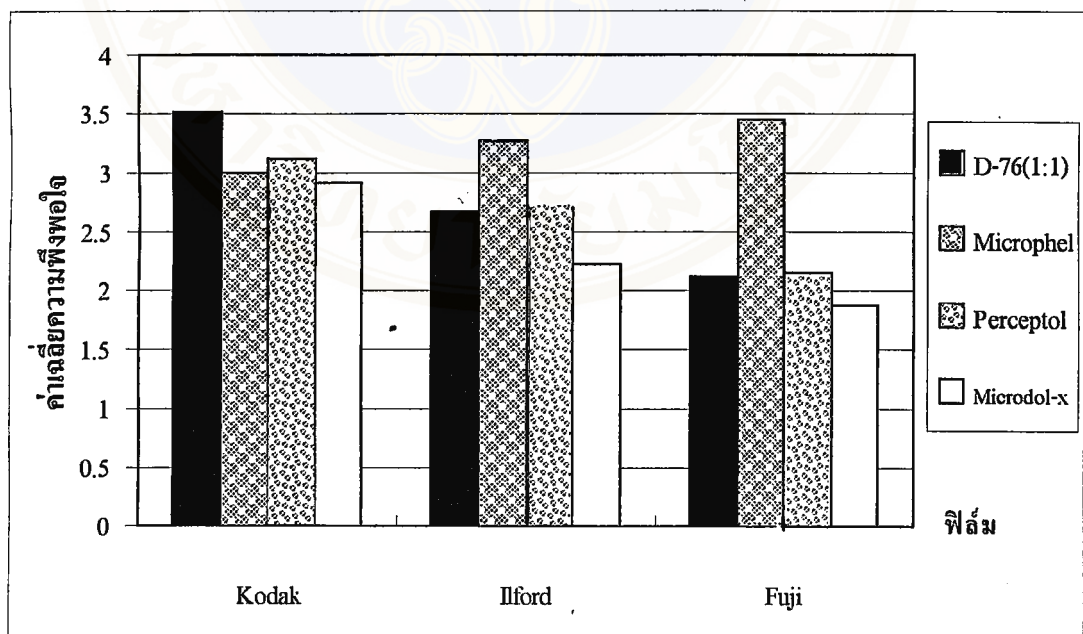
ฟิล์ม Fuji เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Fuji ล้างด้วยน้ำยา Microphen ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

สรุปได้ว่า การล้างที่ระดับ 90% ฟิล์ม Kodak ล้างด้วยน้ำยา D-76(1:1) ได้ผลเป็นที่น่าพอใจมากที่สุด ฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Fuji ล้างด้วยน้ำยา Microphen ได้ผลเป็นที่น่าพอใจมากที่สุด



แผนภูมิที่ 34 แสดงผลของน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 90 เปอร์เซนต์



แผนภูมิที่ 35 แสดงผลของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 90 เปอร์เซนต์

3. สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 100%

ตารางที่ 36 สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 100 %

ฟิล์ม ชนิดน้ำยา	Kodak	Ilford	Fuji	P-value
D-76(1:1)	3.2695	2.1844	1.9645	0
Microphen	2.8369	3.4468	3.7447	0
Perceptol	3.4539	3.0780	2.4539	0
Microdol-x	2.8156	2.3404	2.1348	<0.05
P-value	<0.0001	<0.0001	0	

จากตารางที่ 36 ที่ระดับการล้าง 100% ของการล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด กับฟิล์ม 3 ชนิด เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่า :-

น้ำยา D-76 (1:1) เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Microphen เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Perceptol เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Microdol-x เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และฟิล์มแต่ละชนิด ล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิดเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า

ฟิล์ม Kodak เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Kodak ล้างด้วยน้ำยา Perceptol ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

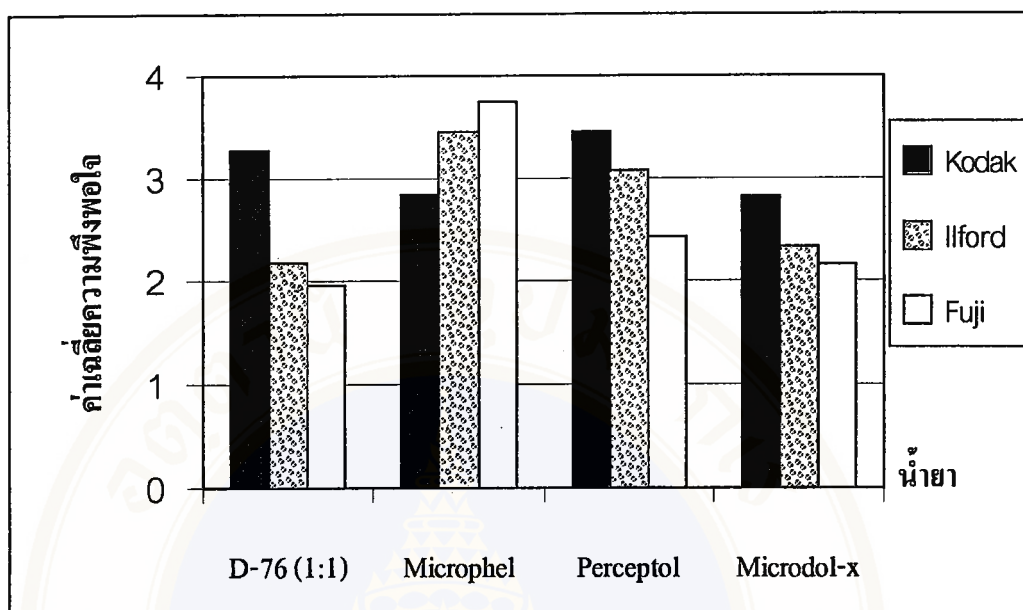
ฟิล์ม Ilford เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Ilford ล้างด้วยน้ำยา Microphen ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

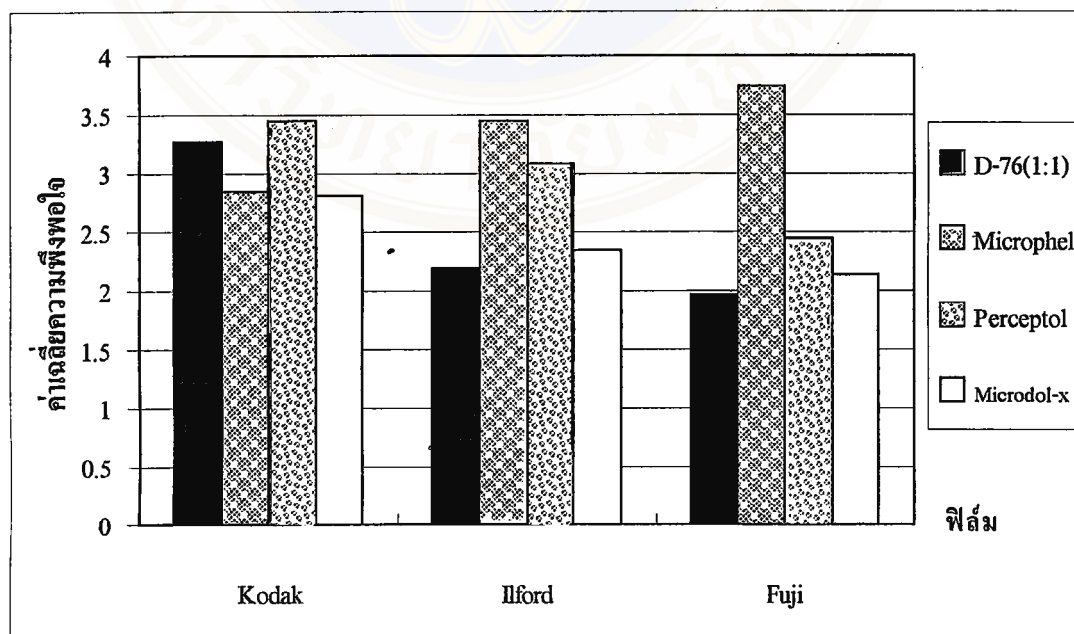
ฟิล์ม Fuji เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Fuji ล้างด้วยน้ำยา Microphen ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

สรุปได้ว่า การล้างที่ระดับ 100% ฟิล์ม Kodak ล้างด้วยน้ำยา Perceptol ได้ผลเป็นที่น่าพอใจมากที่สุด ฟิล์ม Ilford ล้างด้วยน้ำยา Microphen ได้ผลเป็นที่น่าพอใจและฟิล์ม Fujil้างด้วยน้ำยา Microphen ได้ผลน่าพอใจมากที่สุด



แผนภูมิที่ 36 แสดงผลของน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิดโดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 100%



แผนภูมิที่ 37 แสดงผลของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยที่การล้างระดับ 100 เปอร์เซนต์

4. สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 110%

ตารางที่ 37 สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 110 %

ฟิล์ม ชนิดน้ำยา	Kodak	Ilford	Fuji	P-value
D-76(1:1)	3.5177	3.2482	2.1915	0
Microphen	2.9220	3.0638	3.3191	0.0077
Perceptol	2.7730	2.6454	2.2241	0.0002
Microdol-x	3.2128	1.9220	1.9574	0
P-value	<0.0003	<0.0001	<0.0001	

จากตารางที่ 37 ที่ระดับการล้าง 110% ของการล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด กับฟิล์ม 3 ชนิด เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่า :-

น้ำยา D-76 (1:1) เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Microphen เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Perceptol เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Microdol-x เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ 0.05

และฟิล์มแต่ละชนิด ล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิดเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า

ฟิล์ม Kodak เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Kodak ล้างด้วยน้ำยา D-76(1:1) ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

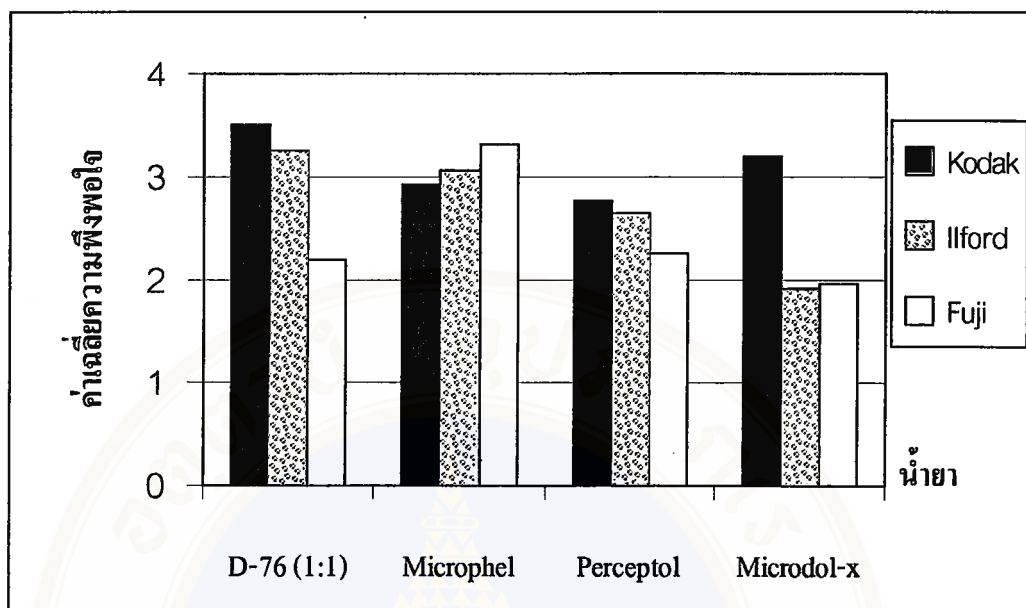
ฟิล์ม Ilford เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Ilford ล้างด้วยน้ำยา D-76(1:1) ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

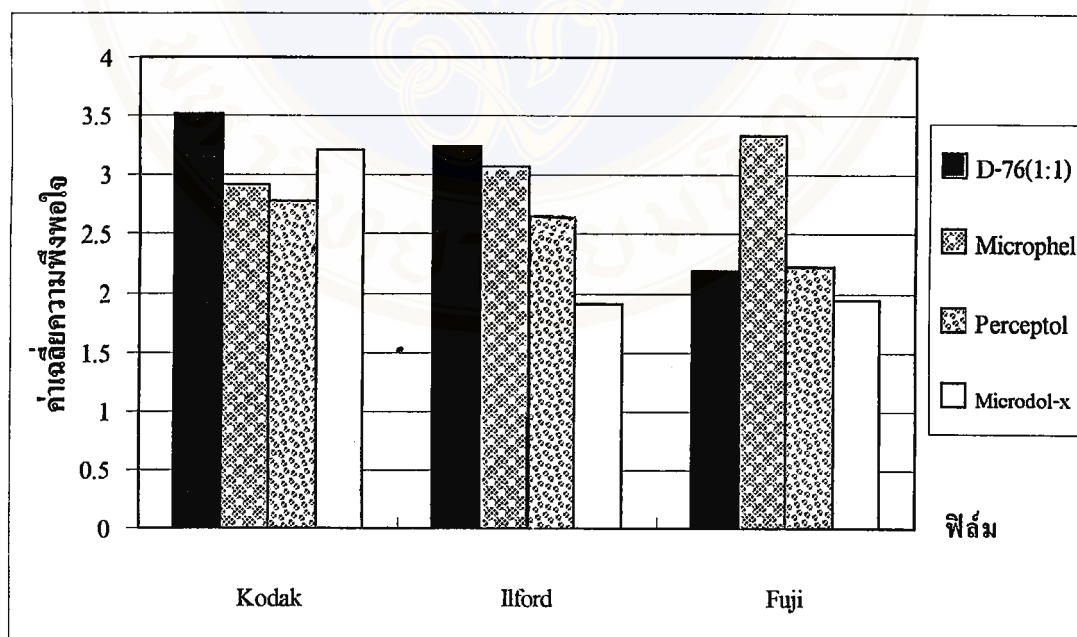
ฟิล์ม Fuji เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Fuji ล้างด้วยน้ำยา Microphen ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

สรุปได้ว่า การล้างที่ระดับ 110% ฟิล์ม Kodak ล้างด้วยน้ำยา D-76(1:1) ได้ผลเป็นที่น่าพอใจมากที่สุดเช่นเดียวกับ ฟิล์ม Ilford ,ฟิล์ม Fuji ล้างด้วยน้ำยา Microphen ได้ผลเป็นที่น่าพอใจมากที่สุด



แผนภูมิที่ 38 แสดงผลของน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยที่การล้าง 110 เปอร์เซนต์



แผนภูมิที่ 39 แสดงผลของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 110 เปอร์เซนต์

5. สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 120%

ตารางที่ 38 สรุปผลการล้างฟิล์มที่ระดับ 120 %

ฟิล์ม ชนิดน้ำยา	Kodak	Ilford	Fuji	P-value
D-76(1:1)	3.0638	3.0922	2.9291	0.4086
Microphel	2.6383	3.2411	3.2766	<0.05
Perceptol	2.4255	2.8369	2.3617	0.0004
Microdol-x	2.317	2.3688	2.0780	0.0739
P-value	<0.001	0.0001	<0.0001	

จากตารางที่ 38 ที่ระดับการล้าง 120% ของการล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด กับฟิล์ม 3 ชนิด เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่า :-

น้ำยา D-76 (1:1) เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน

น้ำยา Microphel เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Perceptol เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

น้ำยา Microdol-x เมื่อล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน

และฟิล์มแต่ละชนิด ล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิดเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า

ฟิล์ม Kodak เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Kodak ล้างด้วยน้ำยา D-76(1:1) ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

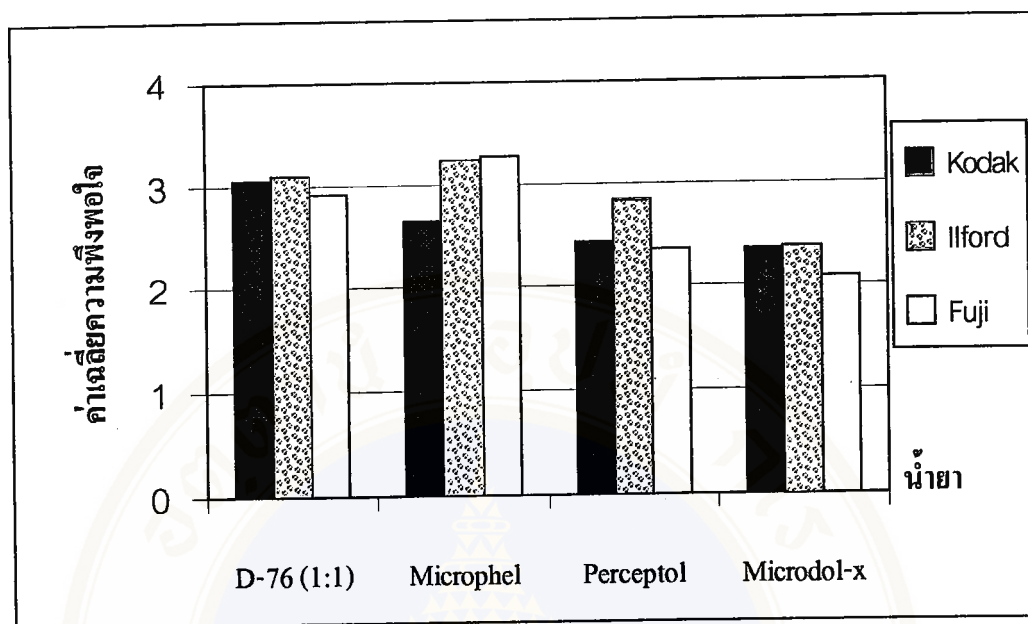
ฟิล์ม Ilford เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Ilford ล้างด้วยน้ำยา Microphel ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

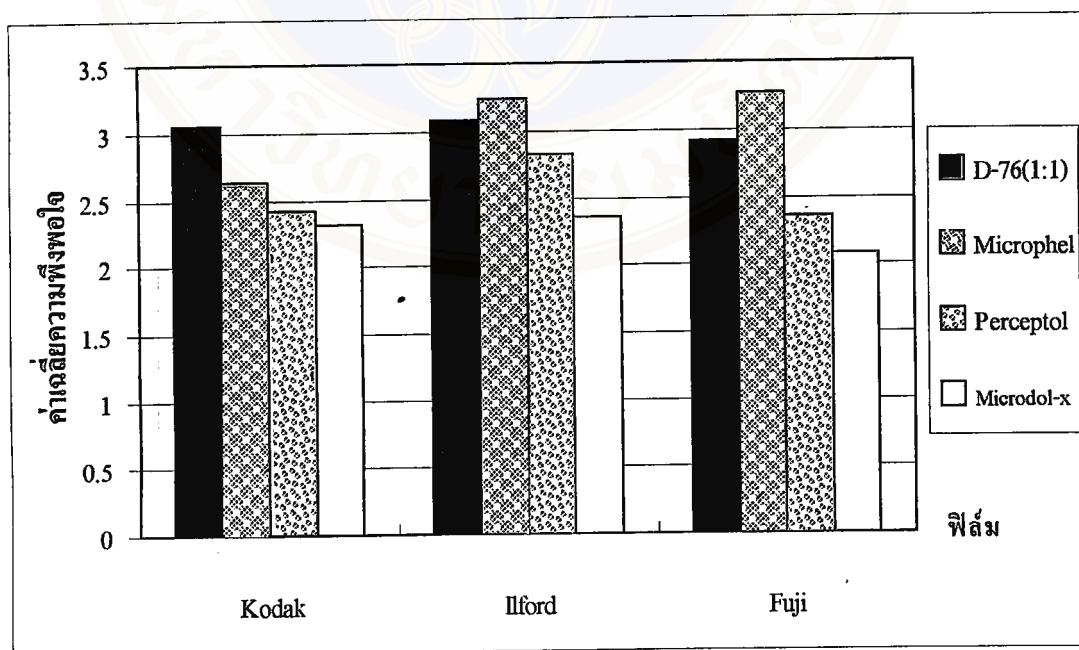
ฟิล์ม Fuji เมื่อล้างด้วยน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าฟิล์ม Fuji ล้างด้วยน้ำยา Microphel ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

สรุปได้ว่า การล้างที่ระดับ 120% ฟิล์ม Kodak ล้างด้วยน้ำยา D-76 (1:1) ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด ฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Fuji ล้างด้วยน้ำยา Microphel ได้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด



แผนภูมิที่ 40 แสดงผลของน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 120% เปอร์เซ็นต์



แผนภูมิที่ 41 แสดงผลของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด โดยสรุปค่าเฉลี่ยการล้างที่ระดับ 120 เปอร์เซ็นต์

วิเคราะห์คะแนนที่รวบรวมจากแบบสอบถาม

ผลที่ได้จากรวบรวมแบบสอบถามในการประเมินคุณสมบัติของฟิล์มขาว-ดำ ที่ใช้ในการถ่ายภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการวิเคราะห์หน้า 90-93

ประกอบด้วย

ฟิล์ม Fuji Neopan ss100 ISO 100/21⁰ ชนิด fine grain

ฟิล์ม Ilford 100 DELTA Professional ISO 100/21⁰ ชนิด fine grain

และฟิล์ม Kodak verichrome pan Film 6041 ISO 125/22⁰ ชนิด Extremely Fine

ฟิล์มทั้ง 3 ชนิดรวมทั้งหมด 60 ม้วนหรือ 60 รูปแบ่งเป็น 5 กลุ่มเรียกชื่อ A,B,C,D และ E ตามระดับการล้างฟิล์ม แยกประเภทน้ำยาล้างและฟิล์ม ใน 1 รูปจะถามคำถาม 3 ข้อ คือ

Q1 หมายถึง ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป

Q2 หมายถึง การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีดี

Q3 หมายถึง การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง

การให้คะแนนที่ได้จากแบบสอบถามใช้วิธีวัดระดับความพึงพอใจในแต่ละรูป การตัดสินใจให้คะแนนของผู้ประเมินมี 5 ระดับ คือ

มากที่สุด = 5 มาก = 4 ปานกลาง = 3 น้อย = 2 และน้อยที่สุด = 1

คะแนนที่รวบรวมได้จากตารางที่ 00 อภิปรายผลเป็นดังนี้

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดระดับความพึงพอใจ

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดระดับความพึงพอใจของฟิล์ม 3 ชนิดที่ได้จากการรวบรวมคะแนนจากตัวเลขที่มาก หมายถึง การให้ความพึงพอใจกับฟิล์มชนิดนั้นและน้ำยาล้างฟิล์มชนิดนั้นมากที่ส่วนฟิล์มใดที่ให้ผลคะแนนต่ำหมายถึงการให้ระดับความพึงพอใจกับฟิล์มชนิดนั้นและน้ำยาล้างฟิล์มชนิดนั้นน้อยโดยจะแยกตามค่าระดับการล้างฟิล์มแบ่งเป็น 5 ระดับ พิจารณาจากตารางที่ 39

ตารางที่ 39 แสดงผลคะแนนที่รวบรวมได้จากแบบสอบถามการวิจัยจำนวน 47 คน

ฟิล์ม	FUJI				ILFORD				KODAK				ค่า
คำถาม น้ำยา	Q1	Q2	Q3	รวม	Q1	Q2	Q3	รวม	Q1	Q2	Q3	รวม	ทดสอบ
D-76(1:1)	81	78	92	251	128	113	125	366	87	79	88	254	80%
MICROPHEN	169	165	141	475	155	140	144	439	157	162	127	446	
PRECEPTAL	104	88	105	297	143	123	133	399	131	118	112	361	
MICRODOL-X	81	76	88	245	89	86	96	278	123	105	118	346	
รวม คะแนน	435	407	426		515	462	498		498	464	445		
	1268				1482				1407				
D-76(1:1)	105	94	113	312	133	114	131	378	175	175	146	496	90%
MICROPHEN	172	166	147	485	160	150	153	463	154	157	112	423	
PRECEPTAL	103	90	112	305	132	119	131	382	161	142	137	440	
MICRODOL-X	90	78	96	264	101	91	107	299	142	137	133	412	
รวม คะแนน	470	428	468		526	474	522		632	611	524		
	1366				1522				1771				
D-76(1:1)	93	85	99	277	103	92	113	308	163	140	158	461	100%
MICROPHEN	184	177	167	528	107	163	153	486	147	114	139	400	
PRECEPTAL	118	111	117	346	156	133	145	434	176	169	142	487	
MICRODOL-X	99	96	105	300	115	98	117	330	136	135	126	397	
รวม คะแนน	494	469	488		481	486	528		622	558	565		
	1451				1558				1662				
D-76(1:1)	105	93	110	308	159	145	154	458	175	170	151	496	110%
MICROPHEN	164	164	140	468	149	141	142	432	147	151	114	412	
PRECEPTAL	110	98	112	320	135	112	130	377	114	131	116	361	
MICRODOL-X	94	87	97	278	89	82	99	270	160	152	141	453	
รวม คะแนน	473	442	459		532	480	525		626	604	522		
	1374				1537				1752				
D-76(1:1)	146	121	146	413	156	137	143	436	152	157	123	432	120%
MICROPHEN	164	162	136	462	162	155	140	457	129	116	127	372	
PRECEPTAL	116	99	118	333	142	122	136	400	124	121	97	342	
MICRODOL-X	98	94	101	293	116	105	113	334	121	109	103	333	
รวม คะแนน	524	476	501		576	519	522		526	503	450		
	1501				1627				1479				

ที่ระดับการล้าง 80%

ฟิล์ม Fuji ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1268 ความพึงพอใจน้ำยา Microphen อันดับ1 =475
 ฟิล์ม Ilford ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1482 ความพึงพอใจน้ำยา Microphen อันดับ1 =439
 ฟิล์ม Kodak ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1407 ความพึงพอใจน้ำยา Microphen อันดับ1 =446
 ที่ค่าการล้างต่ำกว่าเวลาล้างปกติของน้ำยา 20% น้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ได้รับความพึงพอใจกับฟิล์มทั้ง 3 ชนิดมากกว่าน้ำยา D-76, Perceptol และ Microdol-x ซึ่งน้ำยา Microphen ให้ผลการตอบสนองดีกับฟิล์ม Fuji อันดับ 1 และ Kodak อันดับ 2 โดยรวมแล้วฟิล์ม Fuji พึงพอใจกับน้ำยาที่เหลือทั้ง 3 น้อย ดังนั้นคะแนนรวมทั้งต่ำกว่าฟิล์ม Kodak ที่มีคะแนนด้วยในน้ำยา D-76 เท่ากัน และฟิล์ม Ilford แต่กับน้ำยา Microphen แล้ว ให้ผลดีใกล้เคียงกันยกเว้นน้ำยา Microdol-x คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยาฟิล์ม Ilford ที่การล้าง 80% จึงดีที่สุด

ที่ระดับการล้าง 90 เปอร์เซนต์

ฟิล์ม Fuji ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1366 ความพึงพอใจน้ำยา Microphen อันดับ1 =485
 ฟิล์ม Ilford ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1522 ความพึงพอใจน้ำยา Microphen อันดับ1 =463
 ฟิล์ม Kodak ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1771 ความพึงพอใจน้ำยา D-76 อันดับ1 =496
 ที่ค่าการล้างต่ำกว่าเวลาล้างปกติ 10% ทุกฟิล์มให้ผลการล้างกับน้ำยา 4 ชนิดมีคะแนนสูงขึ้น โดยเฉพาะฟิล์ม Kodak ให้ผลคะแนนสูงมากอันดับ 1 เพิ่มขึ้น 25% ฟิล์ม Ilford เพิ่มขึ้น 2.7% และฟิล์ม Fuji เพิ่มขึ้น 7.7 % ซึ่งอาจเป็นไปได้ที่ฟิล์ม Kodak เป็นผลของ ISO ฟิล์ม และมีคะแนนในทุกน้ำยา 400 คะแนนขึ้นทุกน้ำยาล้าง โดยน้ำยา D-76 ดีเพิ่มขึ้น 15 % Microphen ดีเพิ่มขึ้น 5 % เช่นเดียวกัน Perceptol และ Microdol-x

ฟิล์ม Ilford มีคะแนนรวมมากเป็นอันดับ 2 เพิ่มขึ้น 2.6% จากระดับ 80 % ยังคงพอใจกับการล้างน้ำยา Microphen มากอันดับ1 ดีเพิ่มขึ้น 5% และน้ำยาทุกตัวก็เพิ่มขึ้นเช่นกับเฉลี่ย 5-7 %

ฟิล์ม Fuji ได้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยาเพิ่ม 7.7% จากที่ลดเวลาล้างลง 10 % ดีกว่าฟิล์ม Ilford ฟิล์ม Fuji เมื่อล้างด้วย D-76 ให้ผลดีขึ้น 24% น้ำยา Microphen ดีขึ้น 2% ผลการล้างด้วย น้ำยา Perceptol และ Microdol-x ยังคงไม่พอใจเปลี่ยนแปลง

ที่ระดับการล้าง 100 เปอร์เซนต์

ฟิล์ม Fuji ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1451 ความพึงพอใจน้ำยา Microphen อันดับ1 =528
 ฟิล์ม Ilford ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1558 ความพึงพอใจน้ำยา Microphen อันดับ1 =486
 ฟิล์ม Kodak ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1662 ความพึงพอใจน้ำยา Perceptol อันดับ1 =487
 ฟิล์ม Fuji มีผลคะแนนลดลงเมื่อล้างด้วย D-76 ผลการล้างด้วย Microphen ดีขึ้น 9% เช่นเดียวกับน้ำยา Perceptol เพิ่มขึ้น 8% และ Microdol-x เพิ่มขึ้น 24 % แสดงว่าการเพิ่มเวลาล้างให้ผลดี

ฟิล์ม Ilford เมื่อล้างด้วย D-76 มีผลคะแนนลดลง 20% น้ำยา Microphen ดีขึ้น 5% น้ำยา Perceptol ลดลง น้ำยา Microdol-x เพิ่มขึ้น 10% โดยเฉลี่ยการล้างทั้ง 4 น้ำยาคะแนนเพิ่มขึ้น 2.3 %

ฟิล์ม Kodak ให้ผลการล้างด้วยน้ำยา D-76 ลดลง 7% เช่นเดียวกับน้ำยา Microphen แต่ให้ผลดีขึ้น กับน้ำยา Perceptol เพิ่ม 10 % แต่น้ำยา Microdol-x ลดลง 2% มีคะแนนรวมมากเป็นอันดับ 2 ในการล้างด้วย 4 น้ำยาลดลง 6%

ที่ระดับการล้าง 110 เปอร์เซนต์

ฟิล์ม Fuji ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1374 ความพึงพอใจน้ำยา Microphen อันดับ1 =468

ฟิล์ม Ilford ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1537 ความพึงพอใจน้ำยา D-76 อันดับ1 =458

ฟิล์ม Kodak ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1752 ความพึงพอใจน้ำยา D-76 อันดับ1 =496

เมื่อเพิ่มเวลาล้าง 10% ฟิล์ม Fuji มีคะแนนรวมลดลงจากคะแนนเวลาล้างปกติ แต่น้ำยาล้างฟิล์ม D-76 เพิ่มขึ้น 11% ซึ่งมีคะแนนเท่าๆกันกับการล้าง 90% น้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ลดลง 12% ต่ำกว่าคะแนนที่ล้าง 90 % ลดลง 3.6% ซึ่งก็ยังมากกว่าน้ำยาอีก 3 ชนิด คือ D-76 , Perceptol และน้ำยา Microdol-x ที่การล้าง 110% มีผลคะแนนลดลง 1.3% จากคะแนนล้าง 100%

ฟิล์ม Ilford ให้ผลคะแนนมากอันดับ 1 ด้วยการนำยา D-76 ที่สูงกว่าน้ำยา 3ชนิด มากกว่าคะแนนล้างปกติ 48% แสดงว่าการเพิ่มเวลาล้างขึ้น 10 % ฟิล์มจะดีขึ้น น้ำยา Microphen มีคะแนนลดลง 11% เช่นเดียวกับน้ำยา Perceptol และMicrodol-x ลดลง 11 % มีคะแนนรวมลดลง เทียบกับเวลาล้าง 100% เท่ากับ 1.3%

ฟิล์ม Kodak ในคะแนนดีขึ้นกว่าการล้างปกติและมีคะแนนใกล้เคียงกับคะแนนล้าง 90 % แต่ดีกว่าเวลาล้างปกติ 7.5% น้ำยาMicrophen ดีขึ้น 3% น้ำยา Perceptol ลดลง 19.7% น้ำยา Microdol-x ดีขึ้น 14 % น้ำยาทั้ง 4 ชนิดมีคะแนนรวมมากอันดับ1 ดีขึ้นกว่าการล้างปกติ 5.4%

ที่ระดับการล้าง 120 เปอร์เซนต์

ฟิล์ม Fuji ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1501 ความพึงพอใจน้ำยา Microphen อันดับ1 =462

ฟิล์ม Ilford ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1627 ความพึงพอใจน้ำยา D-76 อันดับ1 =457

ฟิล์ม Kodak ให้คะแนนรวมทั้ง 4 น้ำยา 1479 ความพึงพอใจน้ำยา D-76 อันดับ1 =432

เมื่อเพิ่มเวลาล้างขึ้น 20 % ทั้งฟิล์ม Fuji และIlford มีคะแนนเพิ่มขึ้นใน 4 น้ำยาล้าง แต่ฟิล์ม Kodak กลับให้ความเชื่อมั่นใน 4 น้ำยาลดลง เป็นดังนี้

ฟิล์มFuji มีคะแนนเพิ่มขึ้นใน 4 น้ำยา 3.4% จากเวลาปกติและ 18% จากเวลาล้างที่ระดับ 80% แสดงว่าเมื่อล้างนานขึ้น 20% คุณภาพของฟิล์มดีขึ้น มีผลการตอบสนองกับน้ำยาMicrophen มากที่สุด และน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 ให้ผลดีที่สุดกับฟิล์มที่ระดับนี้ น้ำยาPerceptol ให้ผลที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก ส่วนน้ำยา Microdol-x ให้คุณภาพเท่ากับการล้างระดับ 100%



ฟิล์ม Ilford มีคะแนนรวมใน 4 น้ำยามากอันดับ 1 ดีกว่าคะแนนเวลาล้างปกติ 4.4% แสดงว่าเมื่อล้างนานขึ้น 20% คุณภาพของฟิล์มดีขึ้น โดยมีความพึงพอใจกับน้ำยา Microphen มากอันดับ 1 แต่มีคะแนนน้อยกว่า ที่การล้าง เวลาปกติ ลดลง 6% น้ำยา D-76 มีผลดีขึ้นกว่าเวลาปกติ 41% แต่ให้คุณภาพด้อยกว่าที่การล้าง 110% ที่ 4% น้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ให้คุณภาพกับฟิล์มไม่เปลี่ยนแปลง ตั้งแต่ระดับ 80- 120% ด้วยคะแนนที่ใกล้เคียงกับน้ำยา Microdol-x แต่น้ำยา Microdol-x ให้คุณภาพกับฟิล์ม Ilford ดีที่สุดที่ระดับ 120%

ฟิล์ม Kodak มีคะแนนรวมใน 4 น้ำยาน้อยกว่าฟิล์ม Ilford และ Fuji คุณภาพฟิล์มลดลง จากเวลาล้างที่ดีที่สุดที่ระดับ 90% ของน้ำยา D-76 และ Microphen ลดลง 12 % น้ำยา Perceptol ลดลง 22% น้ำยา Microdol-x 12 % แสดงถึงการเพิ่มเวลาล้างมากทำให้คุณภาพฟิล์มลดลง

สรุป ฟิล์ม Fuji เมื่อเพิ่มเวลาล้างให้คุณภาพของฟิล์มดีขึ้น โดยมีความพึงพอใจกับการล้างด้วยน้ำยา D-76 เพิ่มจากการล้างเวลาปกติ 20% คือเวลา 9.45 นาที ให้ความพึงพอใจกับการล้างน้ำยา Microphen มากที่สุดทุกระดับการล้างดีที่สุดที่เวลา 9.30 นาที น้ำยา Perceptol ให้คุณภาพน้อยกว่า 2 น้ำยาที่กล่าวมาให้คุณภาพดีที่สุดที่เวลา 9.00 นาที น้ำยา Microdol-x ที่เวลา 7.00 นาที

ฟิล์ม Ilford ให้คุณภาพกับฟิล์ม ดีขึ้นด้วยการล้าง 4 น้ำยา ที่เวลามากกว่าปกติ 20 % ด้วยคุณภาพดีฟิล์มดีเป็นอันดับ 2 โดยมีความพึงพอใจกับน้ำยา Microphen มากอันดับ 1 และน้ำยา D-76 อันดับ 2 ที่เวลาล้างปกติ 8.00 นาทีและน้ำยา D-76 ที่เวลาล้างเพิ่มขึ้น 10 % ที่เวลา 13.10 นาที น้ำยา Perceptol ให้คุณภาพการล้างน้อยกว่าฟิล์มชนิดนี้ แต่ให้คุณภาพดีกว่าน้ำยา Microdol-x ทุกระดับการล้าง

ฟิล์ม Kodak ให้คุณภาพการล้างกับน้ำยา 4 ชนิดดีขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาล้าง 10 % จากเวลาปกติ โดยมีความพึงพอใจกับน้ำยา D-76 มากอันดับ 1 ที่ระดับการล้าง 90 % เวลา 9.00 นาที และที่ระดับ 120 % เวลา 11.00 นาที ซึ่งมีคะแนนเท่ากัน น้ำยา Microphen ให้ผลดีอันดับ 2 ดีที่สุดเมื่อลดเวลาล้าง 20% คือเวลา 6.45 นาที น้ำยา Perceptol ให้คุณภาพกับฟิล์มมากที่สุดที่ระดับ 100 % เวลา 12.00 นาที น้ำยาชนิดนี้ให้ผลดีเมื่อมีการลดเวลาล้างจนถึงเวลาปกติตั้งแต่ 8.30-12.00 นาที น้ำยา Microdol-x เมื่อพิจารณาพร้อมกับฟิล์ม Fuji และ Ilford แล้วในทุกระดับการล้างแล้วน้ำยาชนิดนี้ให้ความพึงพอใจกับฟิล์ม Kodak มากกว่าฟิล์มทั้ง 2 ชนิด และดีที่สุดที่ระดับการล้าง 110% ที่เวลา 9.55 นาที

สรุปผลการวิเคราะห์จากการล้างฟิล์มด้วยน้ำยาต่างชนิด

การทดลองสรุปได้ดังนี้

ฟิล์ม Kodak ให้ผลยอมรับค่าการล้างตั้งแต่ระดับ 90, 110, 100 และ 120 เปอร์เซ็นต์ด้วยน้ำยา D-76 (1:1) และให้ความพึงพอใจมากที่สุดที่ระดับ 90 และ 110 เปอร์เซ็นต์ มากเป็นอันดับ 1

น้ำยา Perceptol ให้ผลยอมรับการล้างด้วยคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจอันดับ 2 ที่การล้างระดับ 100 และ 90 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

น้ำยา Microphel ให้ผลยอมรับการล้างด้วยคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจอันดับ 3 ที่การล้างระดับ 80, 90, 110 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

น้ำยา Microdol-x ให้ผลยอมรับการล้างด้วยคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจอันดับ 4 ที่การล้าง 110 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

นั้นย่อมแสดงว่าฟิล์ม Kodak ให้ความพึงพอใจกับการล้างด้วยน้ำยา D-76 (1:1) ซึ่งเป็นน้ำยาที่ผลิตเองคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด ขณะเดียวกันก็ยอมรับการล้างด้วยน้ำยาที่ผลิตโดยบริษัทและให้ผลกับฟิล์มอื่นด้วยเช่นกัน

ฟิล์ม Ilford ให้ผลยอมรับการล้างทุกระดับด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ให้ผลดีที่สุดตามลำดับ คือ 100, 90, 120, 80 และ 110 เปอร์เซ็นต์ มากเป็นอันดับ 1

น้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1) ให้ผลยอมรับการล้างด้วยคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจอันดับ 2 ที่การล้าง 110 และ 120 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

น้ำยา Preceptal ให้ผลยอมรับการล้างด้วยคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจอันดับ 3 ที่การล้าง 110 และ 120 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

น้ำยา Microdol-x ให้ผลความพึงพอใจน้อยกว่าฟิล์มชนิดนี้ โดยมีคะแนนความพึงพอใจต่ำ แสดงว่าฟิล์ม Ilford ยอมรับน้ำยา Microphel ที่บริษัท Ilford ผลิตเองและฟิล์มชนิดนี้ก็ยอมรับน้ำยาชนิดอื่นด้วยเช่นกันแต่ยอมรับน้อยกว่า

ฟิล์ม Fuji ให้ผลยอมรับการล้างทุกระดับด้วยน้ำยา Microphen ตามลำดับที่ดีที่สุด คือ 80, 90, 100, 110 และ 120 เปอร์เซ็นต์ มากอันดับ 1

น้ำยา D-76 (1:1) ให้ผลยอมรับการล้างด้วยคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจอันดับ 2 ที่การล้าง 120 เปอร์เซ็นต์

น้ำยา Perceptol และน้ำยา Microdol -x ให้ภาพยังไม่เป็นที่พอใจ ด้วยมีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจน้อยเมื่อใช้กับฟิล์ม Fuji

แสดงว่าฟิล์ม Fuji ให้การยอมรับน้ำยา Microphel ของ Ilford มากกว่า น้ำยา D-76 ของ Kodak ซึ่งแสดงผลตามตารางสรุปผลการล้างเรียงตามลำดับฟิล์ม

ตารางที่ 40 แสดงสรุปผลการล้าง เรียงตามลำดับฟิล์ม

ฟิล์ม	ลำดับ	น้ำยาล้างฟิล์ม	ระดับการล้าง (%) เรียงตามลำดับ
Kodak	1	D-76 (1:1)	90, 110, 100, 120
	2	Perceptol	100 ,90
	3	Microphel	80, 90, 110, 100
	4	Microdol-x	110, 90
Ilford	1	Microphel	100, 90, 120 ,80, 110
	2	D-76 (1:1)	110, 120
	3	Perceptol	100,120
	4	Microdol-x	ภาพที่ได้ไม่เป็นที่พอใจ
Fuji	1	Microphel	80 ,90 ,100 ,110 ,120
	2	D-76 (1:1)	120
	3	Perceptol	ภาพที่ได้ไม่เป็นที่พอใจ
	4	Microdol-x	ภาพที่ได้ไม่เป็นที่พอใจ

สรุปผลการทดลอง

จากการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ด้วยน้ำยาล้างฟิล์ม 4 ชนิด แยกการล้างออกเป็น 5 ระดับ พบว่าฟิล์ม Kodak, Ilford และ Fuji เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าฟิล์มทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกัน และน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด คือ น้ำยา D-76(1:1) ,Microphel ,Perceptol ,และ Microdol-x เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าน้ำยามีความแตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาเปรียบเทียบฟิล์มขาว-ดำ 3 ชนิด ซึ่งล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพต่างชนิดเพื่อใช้ในการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยมีสมมุติฐานว่า ฟิล์มแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันในการสร้างภาพในสถานะที่ให้น้ำยาสร้างภาพเดียวกัน โดยมีข้อกำหนด ต้องถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยตัวอย่างแบบเดียวกัน คือ ไม่กลายเป็นหิน และล้างด้วยน้ำยาสร้างภาพต่างชนิด ในขบวนการล้างตามความแตกต่างของน้ำยาแต่ละประเภทที่ถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต การทดลองจะให้ค่าเวลาล้างฟิล์มต่างกัน 5 ระดับคือ 80, 90, 100, 110 และ 120 เปอร์เซ็นต์ การทดลองครั้งนี้ใช้ฟิล์มรวม 60 ม้วนน้ำยาล้างฟิล์ม 4 ชนิด

จากนั้นนำฟิล์มที่ได้จากการทดลอง มาจัดกลุ่มแบ่งประเภทฟิล์ม น้ำยาและระดับการล้างอัดเป็นภาพขาว-ดำพร้อมทั้งแบบสอบถามเพื่อประเมินผลด้วยวิธีวัดระดับความพึงพอใจ จากกลุ่มเป้าหมายที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนและการล้างฟิล์มอัดขยายภาพ คือ อาจารย์ นักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย ช่างภาพการแพทย์ พนักงานวิทยาศาสตร์และพนักงานโสตทัศนศึกษา จาก 10 สถาบันรวม 47 คน ดังนี้ มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ บริษัทเอกชน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำนักปลุกบำรุง และ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากผลการประเมินได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยการทดสอบแบบ Parametric Statistic Test โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แบบทางเดียว (One-way analysis) เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และการวิเคราะห์แตกต่างกันเป็นคู่โดยใช้ (Multiple comparison) ของ Scheffe' ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปผลได้ว่าฟิล์มขาว-ดำต่างชนิดกัน เมื่อถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และนำมาล้างด้วยน้ำยาต่างชนิดกันในสถานะเดียวกัน ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการสรุปเป็นดังนี้

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยสรุปตามระดับการล้างฟิล์มทั้ง 5 ระดับ โดยให้ความพึงพอใจของค่าเฉลี่ยมากที่สุด อันดับ1 และรอง 2,3 ตามลำดับของฟิล์มแต่ละชนิดกับน้ำยาล้าง ดังนี้

ที่ระดับ 80 เปอร์เซนต์ ฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ให้ผลยอมรับการล้างน้ำยา Microphel ดีเท่ากันหมด ด้วยเวลา 6.45 นาที ของฟิล์ม Kodak ,ฟิล์ม Ilford เวลา 6.25 นาที , ฟิล์ม Fuji เวลา 7.25 นาที

ที่ระดับ 90 เปอร์เซนต์ ฟิล์มที่ให้ความพึงพอใจ เรียงตามอันดับ ดังนี้

- ฟิล์ม Kodak ให้ผลดีที่สุดอันดับ 1 ด้วยน้ำยา D-76(1:1) เวลา 9.00 นาที
- ฟิล์ม Ilford .ให้ผลดีอันดับ 2 ด้วยน้ำยา Microphel เวลา 7.10 นาที
- ฟิล์ม Fuji ให้ผลดีอันดับ 3 ด้วยน้ำยา Microphel เวลา 7.35 นาที

ที่ระดับ 100 เปอร์เซนต์ ฟิล์มที่ให้ความพึงพอใจ เรียงตามอันดับ ดังนี้

- ฟิล์ม Fuji ให้ผลดีที่สุดอันดับ 1 ด้วยน้ำยา Microphel เวลา 9.30 นาที
- ฟิล์ม Kodak ให้ผลดีที่สุดอันดับ 2 ด้วยน้ำยา Perceptol เวลา 12.00 นาที
- ฟิล์ม Ilford .ให้ผลดีอันดับ 3 ด้วยน้ำยา Microphel เวลา 8.00 นาที

ที่ระดับ 110 เปอร์เซนต์ ฟิล์มที่ให้ความพึงพอใจ เรียงตามอันดับ ดังนี้

- ฟิล์ม Kodak ให้ผลดีที่สุดอันดับ 1 ด้วยน้ำยา D-76 (1:1) เวลา 11.00 นาที
- ฟิล์ม Fuji ให้ผลดีอันดับ 2 ด้วยน้ำยา Microphel เวลา 10.15 นาที
- ฟิล์ม Ilford ให้ผลดีอันดับ 3 ด้วยน้ำยา D-76 (1:1) เวลา 13.10 นาที

ที่ระดับ 120 เปอร์เซนต์ ฟิล์มที่ให้ความพึงพอใจ เรียงตามอันดับ ดังนี้

- ฟิล์ม Fuji ให้ผลดีที่สุดอันดับ 1 ด้วยน้ำยา Microphel เวลา 11.10 นาที
- ฟิล์ม Ilford ให้ผลดีอันดับ 2 ด้วยน้ำยา Microphel เวลา 9.35 นาที
- ฟิล์ม Kodak ให้ผลดีที่สุดอันดับ 3 ด้วยน้ำยา D-76 (1:1) เวลา 12.00 นาที

สรุป ฟิล์มที่ให้คุณภาพสูงที่สุดเมื่อถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด อันดับ1คือฟิล์ม Kodak กับน้ำยาล้างฟิล์ม D-76 (1:1)ฟิล์ม Fuji ให้คุณภาพกับฟิล์มสูงกับน้ำยา Microphel เช่นเดียวกับฟิล์ม Ilford เมื่อดูคุณภาพโดยรวม ฟิล์ม Kodak ได้ผลที่น่าพึงพอใจที่สุด รองมาคือฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Fuji เรียงตามลำดับ

ตารางที่ 41 แสดงสรุปผลการล้างฟิล์มทั้ง 3 ชนิด กับน้ำยาล้างฟิล์มทั้ง 4 ชนิด เรียงตามระดับการล้าง

ระดับการล้าง	อันดับที่	ฟิล์ม	น้ำยาล้างฟิล์ม
80%	คุณภาพ เท่ากัน	Kodak	Microphen
		Ilford	Microphen
		Fuji	Microphen
90%	1	Kodak	D-76(1:1)
	2	Fuji	Microphen
	3	Ilford	Microphenl
100%	1	Fuji	Microphen
	2	Kodak	Perceptol
	3	Ilford	Microphenl
110%	1	Kodak	D-76(1:1)
	2	Fuji	Microphen
	3	Ilford	D-76(1:1)
120%	1	Fuji	Microphen
	2	Ilford	Microphen
	3	Kodak	D-76(1:1)

บทอภิปราย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยด้านคุณภาพของฟิล์มและน้ำยา ดังนั้นต้องมีการออกแบบการวิจัยที่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งทางด้านฟิล์มและน้ำยา และยังให้ความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ทดลอง นอกจากนี้ยังให้ความสำคัญกับ การวิเคราะห์ทางสถิติ การวิเคราะห์คะแนนระดับความพึงพอใจอีกด้านหนึ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า

ฟิล์ม Kodak ให้ผลยอมรับค่าการล้างตั้งแต่ระดับ 90 เปอร์เซนต์ถึง 120 เปอร์เซนต์ ด้วยน้ำยา D-76 (1:1) และให้ความพึงพอใจมากที่สุดที่ระดับ 90 และ 110 เปอร์เซนต์ น้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ให้ยอมรับการล้างที่ 80 เปอร์เซนต์ดีที่สุด โดยให้ผลยอมรับมากเป็นดับ 2 รองจากน้ำยา D-76 (1:1) น้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ให้ผลยอมรับที่ระดับ 100 และ 90 เปอร์เซนต์ดีที่สุด และน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ให้ผลยอมรับการล้างดีที่สุดที่ระดับ 110 เปอร์เซนต์ แสดงว่าฟิล์ม Kodak ให้ผลยอมรับและพอใจกับน้ำยา ทั้ง 4 ชนิดมากที่สุด

ฟิล์ม Ilford ให้การยอมรับมากในทุกระดับการล้างคือน้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ให้ผลดีทุกระดับการล้างและดีที่สุดที่ระดับ 100 เปอร์เซนต์, ให้ผลยอมรับการล้างด้วยน้ำยา D-76(1:1) ดีที่สุดที่ระดับ 110 และ 120 เปอร์เซนต์ตามลำดับ น้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ให้ผลดีที่ระดับการล้าง 100 เปอร์เซนต์ และน้ำยา Microdol-x ให้ความพึงพอใจน้อยกว่าฟิล์มชนิดนี้

ฟิล์ม Fuji ให้การยอมรับมากในทุกระดับการล้างคือน้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ให้ผลดีทุกระดับการล้างและดีที่สุดที่ระดับ 80 เปอร์เซนต์ขึ้นไป และให้ผลดีกับน้ำยา D-76(1:1) ที่ระดับการล้าง 120 เปอร์เซนต์, น้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ให้ความพึงพอใจน้อยกว่าฟิล์ม Fuji เช่นเดียวกับน้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x

น้ำยาล้างฟิล์ม D-76(1:1) ให้ความพึงพอใจกับฟิล์ม Kodak มากที่สุด, ฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Fuji ตามลำดับ

น้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ให้ความพึงพอใจกับการล้างฟิล์มได้ดีทั้ง 3 ชนิด ทุกระดับการล้างแสดงว่าน้ำยามีความยืดหยุ่นในการล้างดี ซึ่งฟิล์ม Fuji มีความพึงพอใจกับน้ำยาชนิดนี้มากที่สุดทุกระดับการล้าง ให้ผลใกล้เคียงกัน ฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Kodak ก็ให้ผลดีดีด้วยเช่นกันแต่น้อยกว่าฟิล์มทั้ง 2 ชนิด

น้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ให้ผลการล้างดีกับฟิล์ม Kodak และฟิล์ม Ilford ส่วนฟิล์ม Fuji ให้ผลพอใจน้อย ภาพที่ได้ไม่เป็นที่พอใจ

น้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-x ให้ผลพอใจกับฟิล์ม Kodak ดีพอใช้ ส่วนฟิล์ม Ilford และฟิล์ม Fuji ให้ภาพที่ได้ไม่เป็นที่พอใจ

ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

โดยรวมแล้วฟิล์มทั้ง 3 ชนิดที่นำมาทดลองวิจัยนี้ มีประสิทธิภาพที่ไม่ด้อยกว่ากัน เพียงแต่เลือกน้ำยาล้างฟิล์มกับเวลาที่ล้างถูกต้องเหมาะสม ตลอดจนการควบคุมอุณหภูมิล้างให้คงที่ฟิล์มที่ล้างก็จะออกมาดี อีกประการคือ ขั้นตอนอัดภาพขาว-ดำ ด้วยต้องใช้แบบสอบถามพร้อมแนบภาพประกอบจำนวนมากและหลายชุด ภาพประกอบอาจมีความแตกต่างบ้าง การลงคะแนนความพึงพอใจจึงจะยังไม่ถูกต้องตามจริง นอกเสียจากว่าต้อง ส่งแบบสอบถามพร้อมกับฟิล์มต้นฉบับ

อีกประการหนึ่งมาตรฐานของห้องปฏิบัติการการล้าง-อัดขยายภาพในประเทศไทย ยังไม่สมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์นัก เนื่องด้วยมีห้องปฏิบัติการมากมาย และห้องปฏิบัติการฯ เฉพาะฟิล์มแต่ละชนิดก็มีน้อย จำเป็นต้องอาศัยการล้างด้วยน้ำยากกลาง ซึ่งสามารถล้างฟิล์มได้ทุกชนิด ค่อยลงไปบ้าง ถึงแม้ต่างประเทศเช่นเดียวกันมาตรฐานห้องปฏิบัติการฯ อัด-ขยายแต่ละแห่ง ก็ยังมีมาตรฐานไม่เหมือนกัน ก็ยังไม่สมบูรณ์เหมือนประเทศเราเช่นเดียวกัน ซึ่งมีหลักฐานอยู่ในรายงานจากหนังสือด้านการถ่ายภาพอยู่เสมอ (10)

ข้อเสนอแนะในการเลือกฟิล์มและน้ำยาล้างฟิล์ม

น้ำยาล้างฟิล์ม D-76 นอกจากจะให้ผลที่ดีกับการล้างฟิล์มแล้วยังประหยัดเพราะวิธีการทำน้ำยาให้เจือจาง (Dilution) และฟิล์มขาว-ดำทุกชนิดสามารถล้างได้ด้วย การลดหรือเพิ่มเวลาเป็นสิ่งที่ผู้ใช้ต้องพิจารณาฟิล์มโดยอาศัยความชำนาญ โดยทั่วไปแล้วผู้ใช้สามารถแก้ไขได้อีกวิธีด้วยการอัดภาพขาว-ดำ

น้ำยาล้างฟิล์ม Microphen ผลการใช้งานกับฟิล์มทั้ง 3 ชนิดให้ผลการล้างดีทุกระดับการล้างโดยเฉพาะกับฟิล์มFuji ให้ผลดีกว่า ฟิล์ม Ilford และKodak ในทุกระดับการล้างค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของฟิล์ม Ilfordน้อยกว่าฟิล์ม Fuji ต่างเพียงเล็กน้อย ซึ่งหมายถึง ใช้แทนกันได้

น้ำยาล้างฟิล์ม Perceptol ให้ผลการดีพอใช้กับฟิล์ม Kodak และดีกว่าฟิล์ม Ilford เล็กน้อยส่วนฟิล์มFUJI กลับไม่ชอบน้ำยาชนิดนี้

น้ำยาล้างฟิล์ม Microdol-xให้ผลดีเฉพาะฟิล์ม Kodak ทุกระดับการล้างและจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาล้าง คุณภาพการใช้งานใกล้เคียงกับน้ำยา Perceptol

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

จากแบบสอบถาม คะแนนที่ได้จากผู้ประเมินมีจำนวนเพียงน้อยมากที่ให้ 5 คะแนนเต็ม ส่วนใหญ่ให้คะแนนเต็มที่ 4 ผลจากดังกล่าวอาจเกิดจากคุณภาพของรูปภาพที่ส่งไปพร้อมกับแบบสอบถาม ผลที่ตอบยังมีคำแนะนำที่เกี่ยวกับการถ่ายโดยให้ศักดาไฟฟ้าที่สูง(25 kv) เกินไปแล้วจะมีผลกับชิ้นตัวอย่างและผลกับรูปที่ถ่าย ควรให้ค่าศักดาไฟฟ้าที่ต่ำกว่านี้ซึ่งน่าจะได้ภาพที่ดีกว่า และผลอีกอย่างที่มีต่อความคมชัดของฟิล์มคือ การเลือกปรับ contrast และ brightness ก่อนการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ก็มีผลด้วยเช่นกัน

การทดลองดังกล่าวจะเป็นข้อแนะนำสำหรับผู้ที่ต้องวิจัยต่อไป

- 1.การให้ค่าศักดาไฟฟ้าที่ต่างระดับกันในการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีผลต่อฟิล์มที่มีการบันทึกภาพต่างกัน
- 2.การปรับ contrast และ brightness ให้ผลกับฟิล์มในการบันทึกภาพด้วยฟิล์มหรือการล้างด้วยน้ำยาและเวลาที่ต่างกัน มีผลต่อคุณภาพของฟิล์มที่ใช้ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ทั้งชนิดส่องกราด(SEM) หรือชนิดส่องผ่าน (TEM)
- 3.การเปลี่ยนปรับ ISO ของฟิล์ม มีผลกับการบันทึกภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนหรือไม่
4. การทดสอบนี้สามารถใช้ได้กับการทดลองกระดาศอัดภาพ ขาว-ดำโดยใช้กระดาศต่างชนิดและน้ำยาต่างกัน

การทดลองดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ได้กับฟิล์มขาว-ดำ, ฟิล์มสีขนาด 135 มม., ฟิล์มแผ่น (sheet film) หรือกระดาศอัดภาพขาว-ดำ โดยวิธีทดลองกับน้ำยาชนิดต่างๆ เพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีของชิ้นงานและความถูกต้องตามสภาพความเป็นจริง

รายการอ้างอิง

1. วิรุพห์ มังคละวิรัช และสุวิทย์ ปุณณชัยยะ. (2534). กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน. วารสารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 1(2), 126-165.
2. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และเคโซ ทองอร่าม. (2538). กระบวนการถ่ายภาพและการวิเคราะห์ภาพสำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน. วารสารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 5(1), 21-48.
3. รุจิพร ประทีปเสน. (2538). กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. วารสารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 5(1), 49-55.
4. วิรัตน์ ก่อเกียรติ.(ม.ป.พ.) ILFORD PHOTO. กรุงเทพมหานคร:บริษัท ชินวุธ มาร์เก็ตติ้ง จำกัด
5. สภา ทิมพานิชย์การ พ.บ.(2534) การถ่ายภาพ กรุงเทพมหานคร: โรงเรียนเวชนิทัศน์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล.
6. สุรสิทธิ์ นิ่ง ถิ่น. (2535). กล้องถ่ายภาพสะท้อนเลนส์เดี่ยว. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาศึกษาศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
7. อนันต์ ลือขจร. (2535). กล้องจุลทรรศน์และเทคนิคการถ่ายภาพทางชีววิทยา. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่.
8. Fujifilm Professional data guide (1998). Tokyo,Japan.
9. JOBO Auto Lab ATL2 plus. Operating instructions.j.j.Bockemuhl; Germany.
10. JSM -6400 Scanning Microscope. (1989). Tokyo: JEOL.
11. Kodak Professional Black and White Films.(1990). Rochester,N.Y.: Eastman Kodak.
12. Light and Film. (1981). Alexandria, Virginia: Time-Life Books.
13. McNamara J. Michael. 90 color film composed. Popular Photography, 1992 :40-43
14. Birnbaum , Hubert C. (1986). The kodak workshop series Black-and-White Darkroom Techniques. U.S.A.,Eastman kodak Company.





ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถามเพื่อการประเมินคุณสมบัติของฟิล์มขาว-ดำ 3 ชนิด ซึ่งล้างด้วยน้ำยา สร้างภาพต่างชนิดที่ใช้ในงานถ่ายภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เรียนท่านผู้ประเมินที่เคารพ

แบบสอบถามนี้ สร้างมาเพื่อประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับคุณสมบัติของฟิล์มขาว-ดำ 3 ชนิดว่ามีความแตกต่างกันเท่าใด เมื่อถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและล้างด้วยน้ำยาสภาพที่ต่างชนิดกันภายใต้อุณหภูมิและสภาวะเดียวกัน มาทำการศึกษาวิจัย

ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยเหล่านี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเลือกฟิล์มและน้ำยาสภาพในหน่วยงานที่ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) ซึ่งจะเป็นในงานวิจัยด้านต่างๆทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นแนวทางให้ผู้ที่ต้องการวิจัยให้ละเอียดมากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณทุกท่าน ที่กรุณาสละเวลาในการตอบแบบสอบถามเพื่อประเมินผลการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างสูง

นายประสิทธิ์ งามสันเทียะ

นักศึกษาปริญญาโท สาขาเวชนิทัศน์

คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

มหาวิทยาลัยมหิดล

แบบสอบถามเพื่อการประเมินคุณสมบัติของฟิล์มขาว-ดำ 3 ชนิด ซึ่งล้างด้วยน้ำยา
สร้างภาพต่างชนิดที่ใช้ในงานถ่ายภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

แบบสอบถามนี้แบ่งเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล

ตอนที่ 2 คำจำกัดความและหลักการพิจารณาในการให้คะแนนตามลำดับความพึงพอใจ
และกรอบตารางภาพ

ตอนที่ 3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มขาว-ดำ 3 ชนิดซึ่งล้างด้วยน้ำยาต่างชนิดที่ใช้ใน
งานถ่ายภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

.....

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล

โปรดกรอกข้อความลงในช่องว่างหรือกาเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ()

1.เพศ

() ชาย

() หญิง

2.วุฒิการศึกษา

() ปริญญาตรี

() ปริญญาโท

ปริญญาเอก

3.ตำแหน่ง.....

4.สังกัดภาควิชา/สาขาวิชา/ฝ่าย/กลุ่มงาน.....

.....

5.ประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

() 1-5 ปี

() 6-10 ปี

() 10 ปีขึ้นไป

6.ภาระงานที่รับผิดชอบในปัจจุบัน.....

.....

ตอนที่2 คำจำกัดความและหลักการพิจารณาในการให้คะแนนตามลำดับความพึงพอใจ และกรอบตารางภาพ

1) คำจำกัดความหลักเกณฑ์ในการพิจารณา

ก. ความชัดเจนของฟิล์มโดยทั่วไป หมายถึง ความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของภาพในส่วนที่เป็นเงามืด ส่วนรับแสงได้มากที่สุด

ข. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง หมายถึง การแจกแจงในส่วนที่สามารถบันทึกรายละเอียดของภาพในบริเวณที่โดนแสง

ค. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่เป็นเงามืด หมายถึง การแจกแจงในส่วนที่สามารถบันทึกรายละเอียดของภาพในบริเวณที่เป็นเงามืด

2) การให้คะแนนโดยพิจารณาตามลำดับความพึงพอใจตามความคิดของท่าน โดยใช้เกณฑ์การประมาณค่าแบ่งออกเป็น 5 ระดับดังนี้

5 หมายถึง มีความพึงพอใจกับรูปภาพนั้น มากที่สุด

4 หมายถึง มีความพึงพอใจกับรูปภาพนั้น มาก

3 หมายถึง มีความพึงพอใจกับรูปภาพนั้น พอใช้ หรือ ปานกลาง

2 หมายถึง มีความพึงพอใจกับรูปภาพนั้น น้อย

1 หมายถึง มีความพึงพอใจกับรูปภาพนั้น น้อยที่สุด

3) ลำดับภาพที่นำมาพิจารณามีทั้งหมดรวม 60 ภาพโดยแยกเป็น 5 กลุ่มๆละ 12 ภาพ ประกอบด้วยกลุ่ม A,B,C,D,และE ซึ่งจะกำหนดลำดับหมายเลขแต่ละรูปตามรายการด้านล่าง

กลุ่ม A

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12

กลุ่ม B

13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24

กลุ่ม C

25	26	27	28
29	30	31	32
33	34	35	36

กลุ่ม D

37	38	39	40
41	42	43	44
45	46	47	48

กลุ่ม E

49	50	51	52
53	54	55	56
57	58	59	60

ข้อกำหนด เพื่อพิจารณาคุณภาพของรูปภาพ จะต้องพิจารณาเฉพาะรูปโดยไม่คำนึงเปรียบเทียบรูปข้างเคียง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการมีอคติในการให้คะแนน

ตอนที่3 ให้ท่านเปรียบเทียบคุณสมบัติของภาพขาว-ดำ โดยพิจารณาจากรูปแต่ละรูปตามลำดับของกลุ่มภาพA,B,C,D และE ตามลำดับช่องหมายเลขภาพที่กำหนดไว้แล้ว ตรงตามหมายเลขข้อที่กำหนดไว้แล้ว กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ท่านเห็นสมควร

ลำดับภาพ กลุ่ม A	ข้อพิจารณา	ระดับความพึงพอใจ				
		1	2	3	4	5
1	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
2	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
3	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
4	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
5	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
6	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
7	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
8	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					

ลำดับภาพ กลุ่ม A	ข้อพิจารณา	ระดับความพึงพอใจ				
		1	2	3	4	5
9	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
10	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
11	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
12	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					

ข้อเสนอแนะ.....
.....
.....
.....

ตอนที่3 ให้ท่านเปรียบเทียบคุณสมบัติของภาพขาว-ดำ โดยพิจารณาจากรูปแต่ละรูปตามลำดับของกลุ่มภาพA,B,C,D และE ตามลำดับช่องหมายเลขภาพที่กำหนดไว้แล้ว ตรงตามหมายเลขข้อที่กำหนดไว้แล้ว กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ท่านเห็นสมควร

ลำดับภาพ กลุ่ม B	ข้อพิจารณา	ระดับความพึงพอใจ				
		1	2	3	4	5
13	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
14	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
15	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
16	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
17	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
18	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
19	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
20	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					

ลำดับภาพ กลุ่ม B	ข้อพิจารณา	ระดับความพึงพอใจ				
		1	2	3	4	5
21	1.ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
22	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
23	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
24	1.ความชัดเจนของภาพ โดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

ตอนที่3 ให้ท่านเปรียบเทียบคุณสมบัติของภาพขาว-ดำ โดยพิจารณาจากรูปแต่ละรูปตามลำดับของกลุ่มภาพA,B,C,D และE ตามลำดับช่องหมายเลขภาพที่กำหนดไว้แล้ว ตรงตามหมายเลขข้อที่กำหนดไว้แล้ว กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ท่านเห็นสมควร

ลำดับภาพ กลุ่ม C	ข้อพิจารณา	ระดับความพึงพอใจ				
		1	2	3	4	5
25	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
26	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
27	1. ความชัดเจนของภาพ โดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
28	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
29	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
30	1. ความชัดเจนของภาพ โดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
31	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
32	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					

ลำดับภาพ กลุ่ม C	ข้อพิจารณา	ระดับความพึงพอใจ				
		1	2	3	4	5
33	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
34	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
35	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
36	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

ตอนที่3 ให้ท่านเปรียบเทียบคุณสมบัติของภาพขาว-ดำ โดยพิจารณาจากรูปแต่ละรูปตามลำดับของกลุ่มภาพA,B,C,D และE ตามลำดับช่องหมายเลขภาพที่กำหนดไว้แล้ว ตรงตามหมายเลขข้อที่กำหนดไว้แล้ว กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ท่านเห็นสมควร

ลำดับภาพ กลุ่ม D	ข้อพิจารณา	ระดับความพึงพอใจ				
		1	2	3	4	5
37	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
38	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
39	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
40	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
41	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
42	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
43	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
44	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					

ลำดับภาพ กลุ่ม D	ข้อพิจารณา	ระดับความพึงพอใจ				
		1	2	3	4	5
45	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
46	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
47	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
48	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

ตอนที่3 ให้ท่านเปรียบเทียบคุณสมบัติของภาพขาว-ดำ โดยพิจารณาจากรูปแต่ละรูปตามลำดับของกลุ่มภาพA,B,C,D และE ตามลำดับช่องหมายเลขภาพที่กำหนดไว้แล้ว ตรงตามหมายเลขข้อที่กำหนดไว้แล้ว กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ท่านเห็นสมควร

ลำดับภาพ กลุ่ม E	ข้อพิจารณา	ระดับความพึงพอใจ				
		1	2	3	4	5
49	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
50	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
51	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
52	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
53	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
54	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
55	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
56	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3.การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					

ลำดับภาพ กลุ่ม E	ข้อพิจารณา	ระดับความพึงพอใจ				
		1	2	3	4	5
57	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
58	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
59	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					
60	1. ความชัดเจนของภาพโดยทั่วไป					
	2. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่มีมืด					
	3. การเก็บรายละเอียดของภาพในส่วนที่สว่าง					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

ฟิล์มที่ใช้วิจัยทั้งหมด 3 ชนิด 60 ม้วน น้ำยาล้างฟิล์มขาว-ดำ 4 ชนิด ใช้เวลาล้างต่างกัน 5 ระดับ ที่ 80,90,100,110 และ 120% จากค่าเวลาล้างปกติ และนำฟิล์มทำ CONTACT PRINT เปิดแสงผ่าน 4 วินาที หนักกล้อง F 4 ด้วยกระดาษ FORTESPEED ชนิด NORMAL ล้างด้วยน้ำยา D-72

ตัวอย่างที่ใช้วิจัย “ไม้กลายเป็นหิน”

กัตกรด HF 2% ; 60 sec.

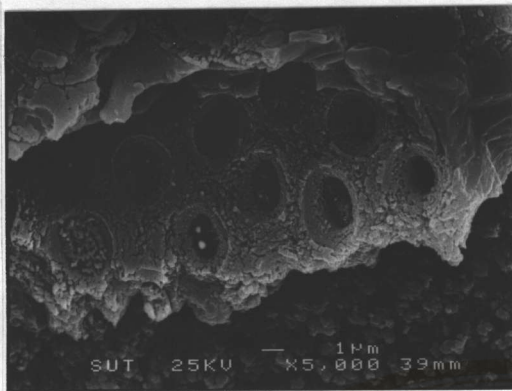
Gold coat 4 min

ขอขอบพระคุณที่กรุณาใช้เวลากรอกแบบสอบถามเป็นอย่างสูง

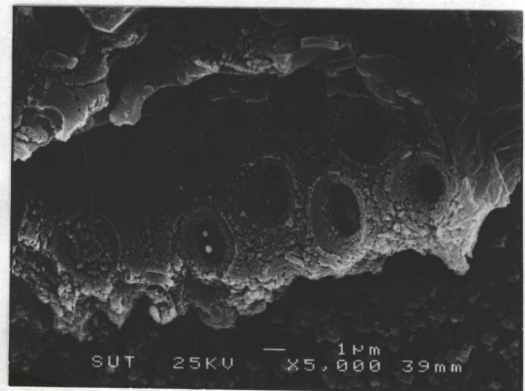


ภาคผนวก ข

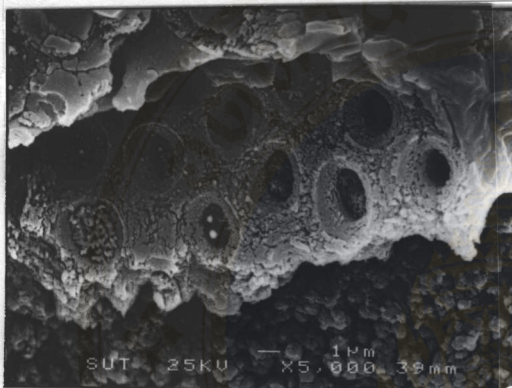
ภาพผลการทดลอง



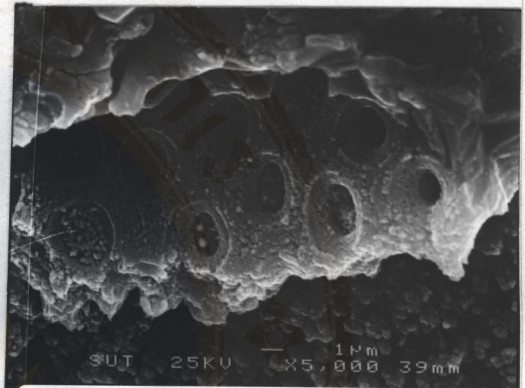
ภาพที่ 1 Kodak ,D-76 (1:1)10.00 นาที



ภาพที่ 2 Kodak ,Microphen 8.45 นาที



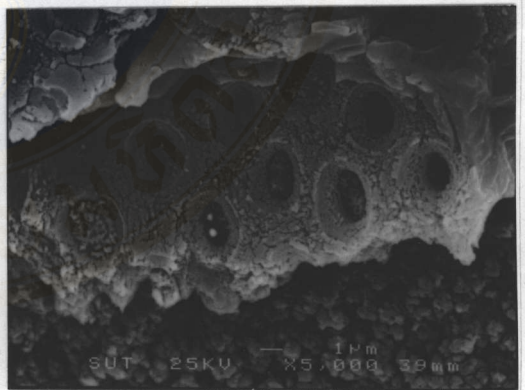
ภาพที่ 3 Kodak ,Perceptol 12.00 นาที



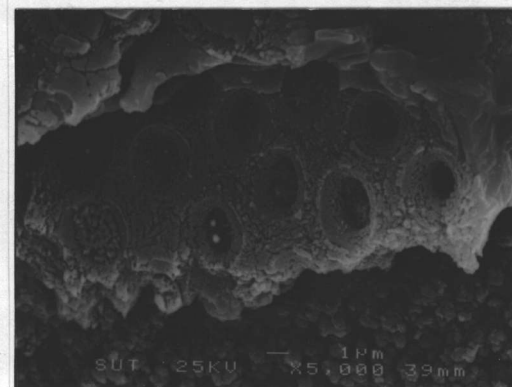
ภาพที่ 4 Kodak , Microdol-x 9.00 นาที



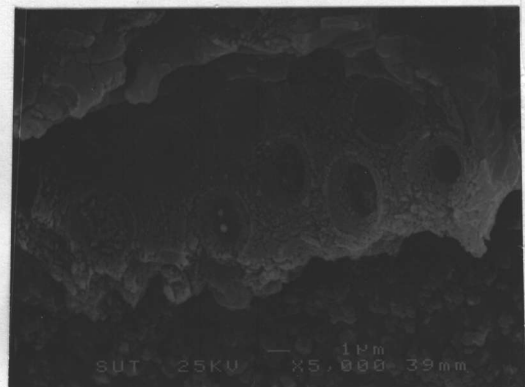
ภาพที่ 5 Ilford , D-76(1:1)12.00 นาที



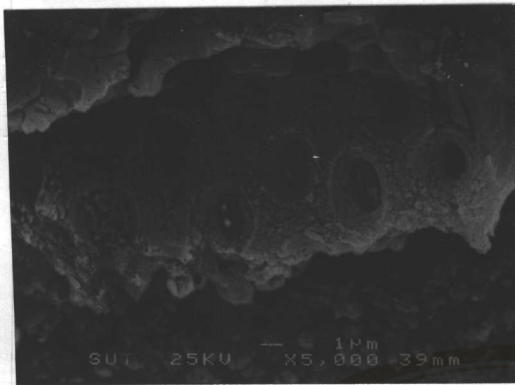
ภาพที่ 6 Ilford , Microphen 8.00 นาที



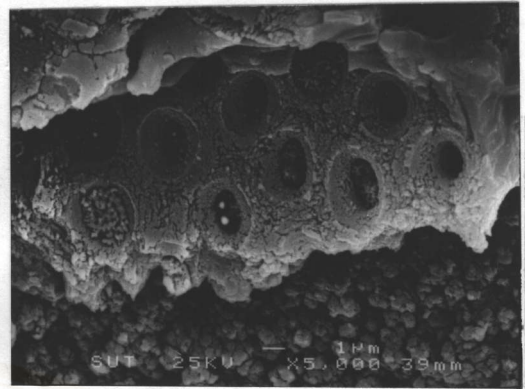
ภาพที่ 7 Ilford , Perceptol 15.00 นาที



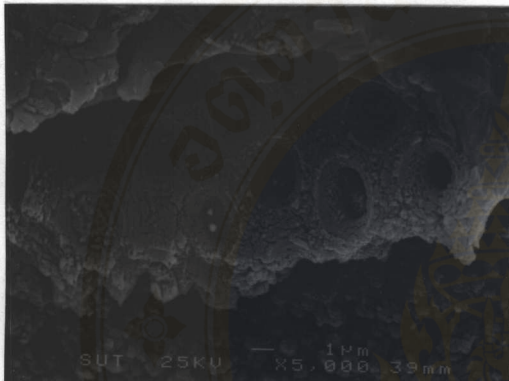
ภาพที่ 8 Ilford , Microdol-x 8.00 นาที



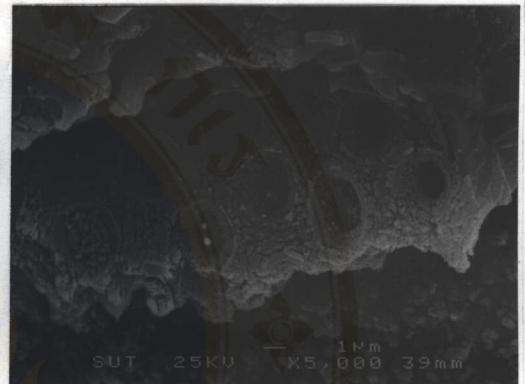
ภาพที่ 9 Fuji ,D-76(1:1) 8.15 นาที



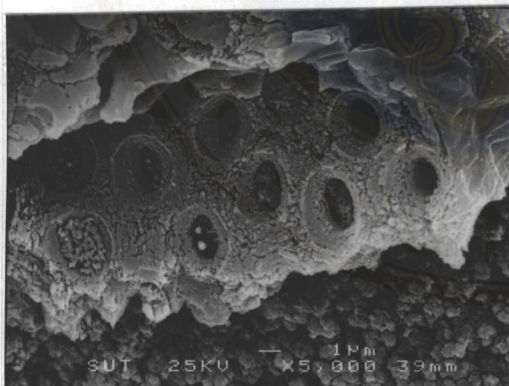
ภาพที่ 10 Fuji ,Microphen 9.30 นาที



ภาพที่ 11 Fuji , Perceptol 9.30 นาที



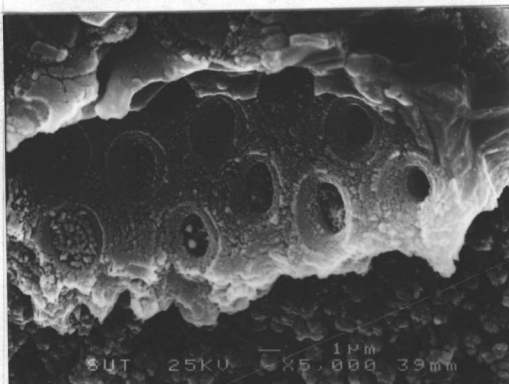
ภาพที่ 12 Fuji , Microdol-x 7.00 นาที



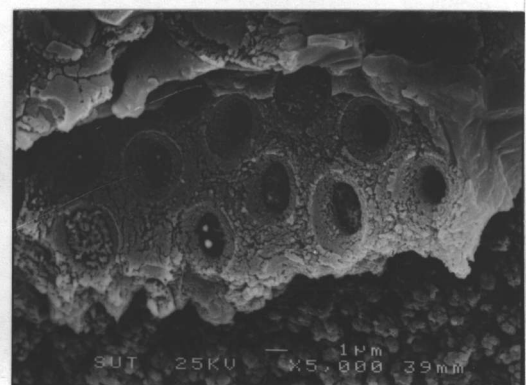
ภาพที่ 13 Kodak ,D-76 (1:1) 11.00 นาที



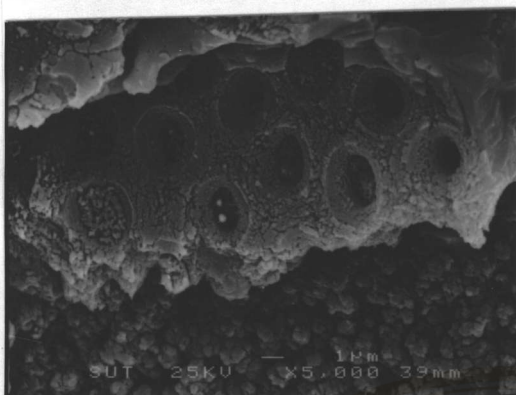
ภาพที่ 14 Kodak ,Microphen 9.20 นาที



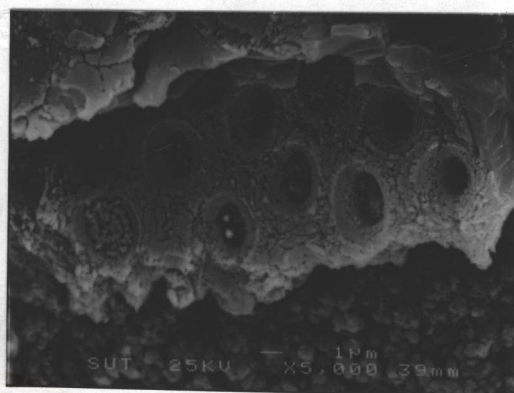
ภาพที่ 15 Kodak , Perceptol 13.10 นาที



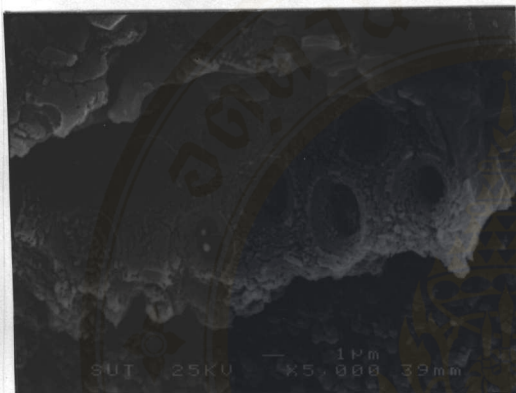
ภาพที่ 16 Kodak , Microdol-x 9.45 นาที



ภาพที่ 17 Ilford , D-76(1:1)13.10 นาที



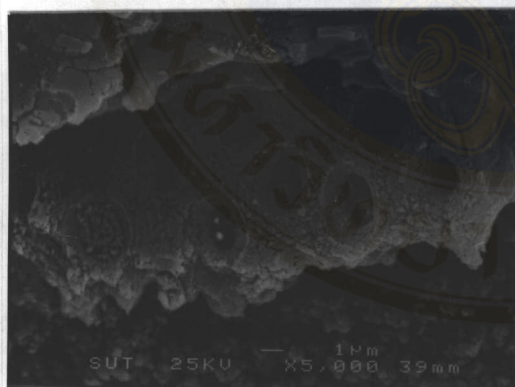
ภาพที่ 18 Ilford , Microphen 8.50 นาที



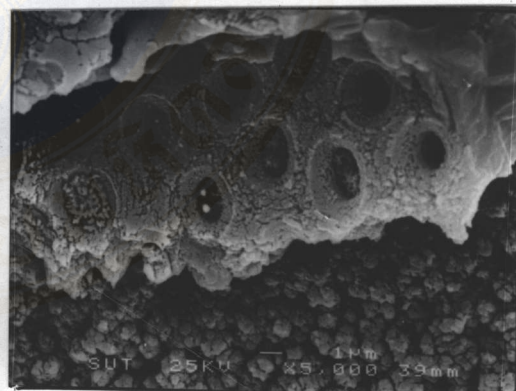
ภาพที่ 19 Ilford , Perceptol 16.30 นาที



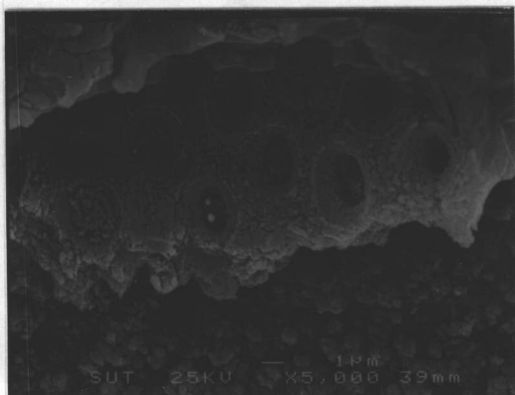
ภาพที่ 20 Ilford , Microdol-x 8.50 นาที



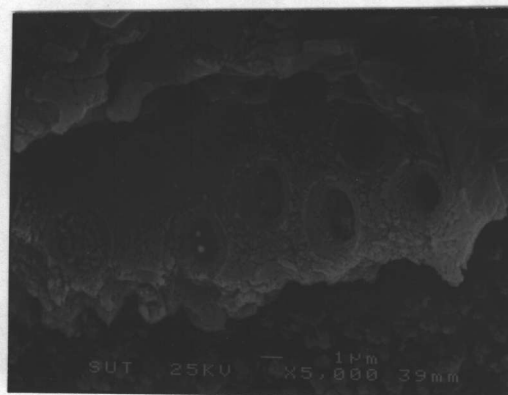
ภาพที่ 21 Fuji ,D-76(1:1) 9.00 นาที



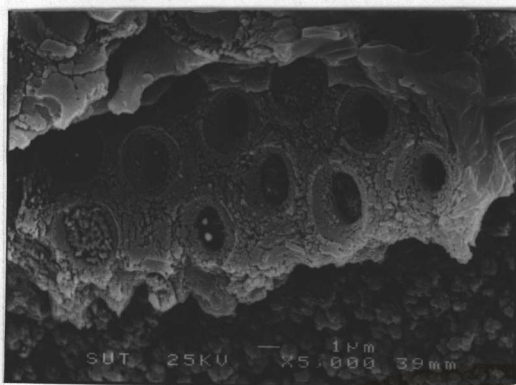
ภาพที่ 22 Fuji ,Microphen 10.15 นาที



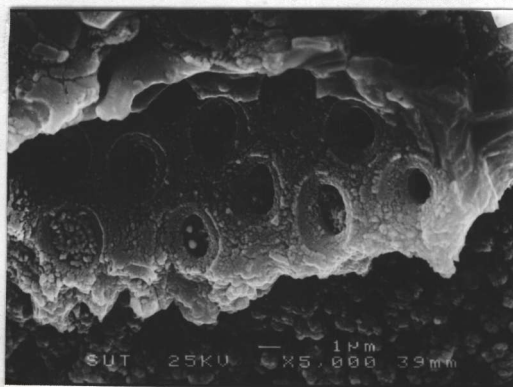
ภาพที่ 23 Fuji , Perceptol 16.30 นาที



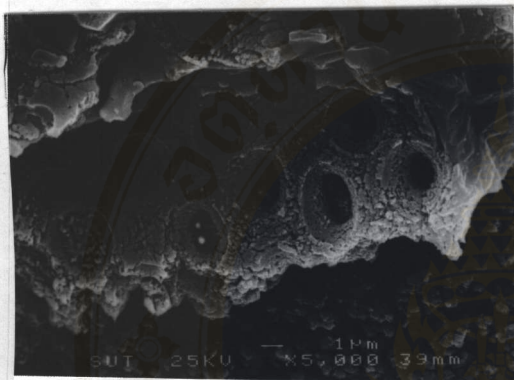
ภาพที่ 24 Fuji , Microdol-x 8.50 นาที



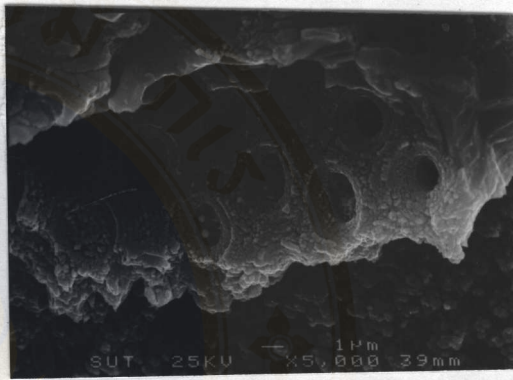
ภาพที่ 25 Kodak ,D-76 (1:1)9.00นาทื



ภาพที่ 26 Kodak ,Microphen 7.35 นาทื



ภาพที่ 27 Kodak , Perceptol 10.50 นาทื



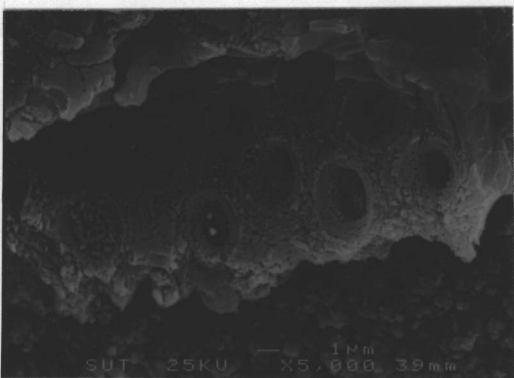
ภาพที่ 28 Kodak , Microdol-x 8.10 นาทื



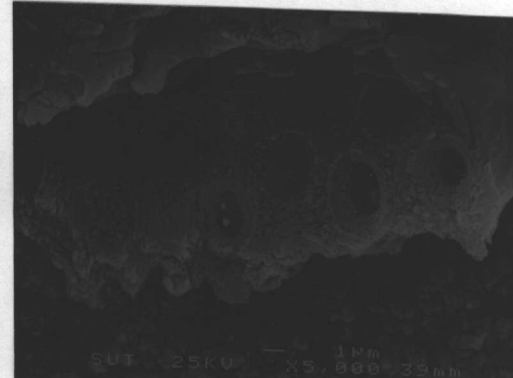
ภาพที่ 29 Ilford , D-76(1:1)10.50 นาทื



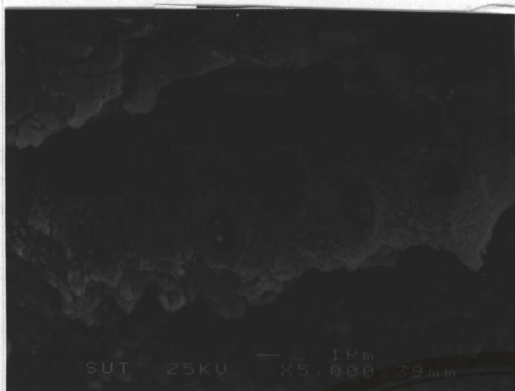
ภาพที่ 30 Ilford , Microphen 7.10 นาทื



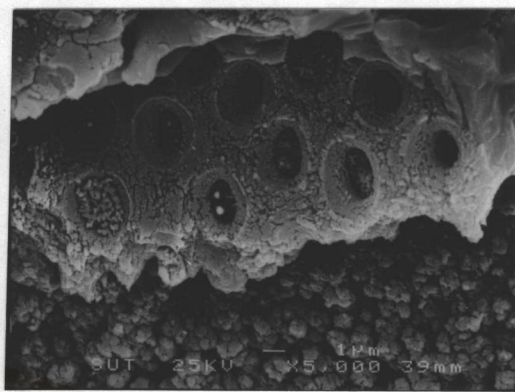
ภาพที่ 31 Ilford , Perceptol 13.30 นาทื



ภาพที่ 32 Ilford , Microdol-x 7.10 นาทื



ภาพที่ 33 Fuji ,D-76(1:1) 7.20 นาที



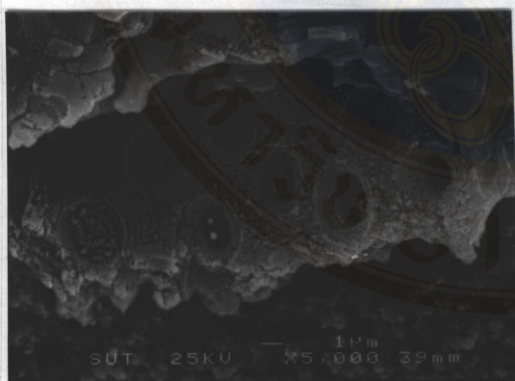
ภาพที่ 34 Fuji ,Microphen 8.20 นาที



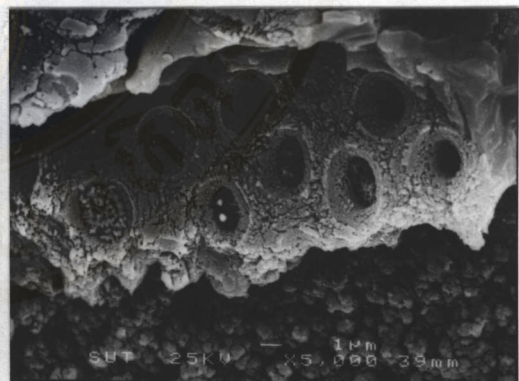
ภาพที่ 35Fuji , Perceptol 8.10 นาที



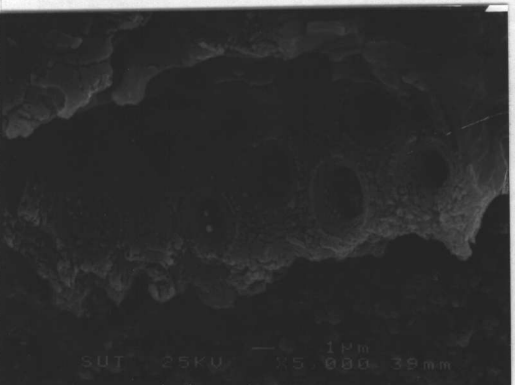
ภาพที่ 36 Fuji , Microdol-x 6.20 นาที



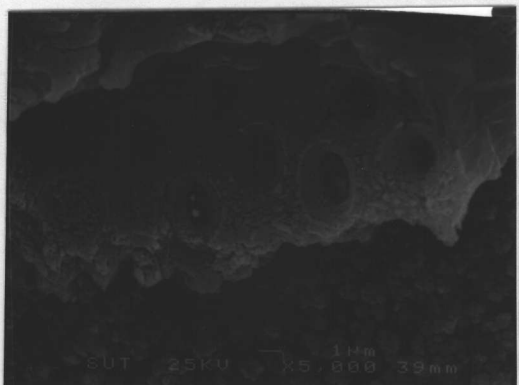
ภาพที่ 37 Fuji ,D-76(1:1) 9.45 นาที



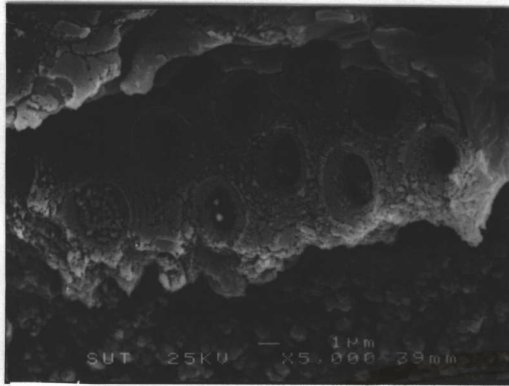
ภาพที่ 38 Fuji ,Microphen 11.10นาที



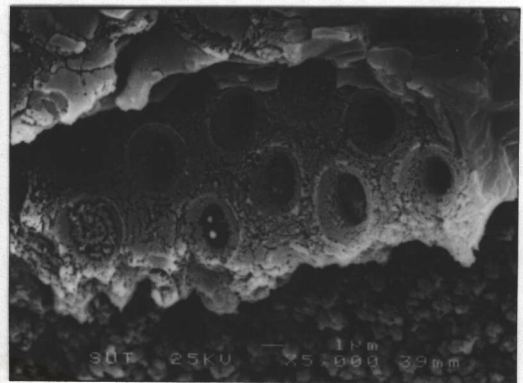
ภาพที่ 39 Fuji , Perceptol 10.45 นาที



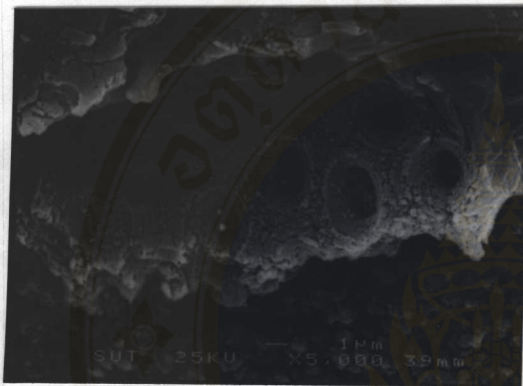
ภาพที่ 40 Fuji , Microdol-x 8.25 นาที



ภาพที่ 41 Ilford , D-76(1:1)14.25 นาที



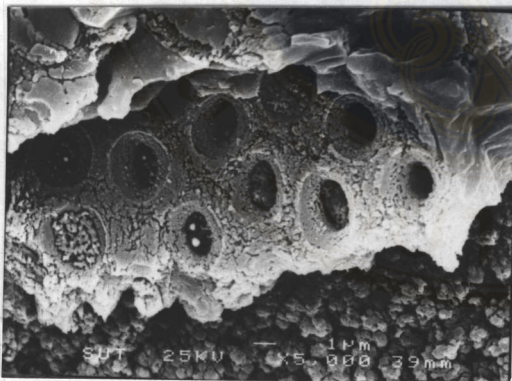
ภาพที่ 42 Ilford , Microphen 9.35 นาที



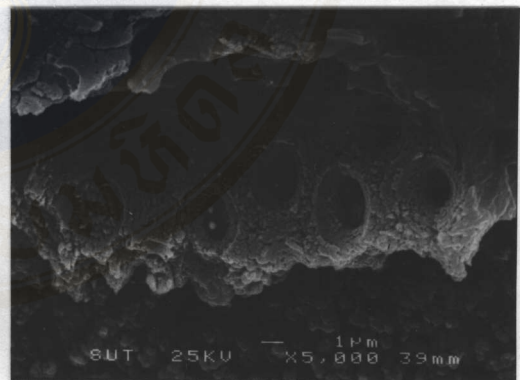
ภาพที่ 43 Ilford , Perceptol 18.00 นาที



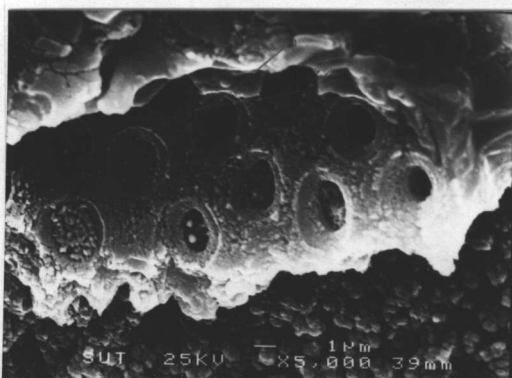
ภาพที่ 44 Ilford , Microdol-x 9.30 นาที



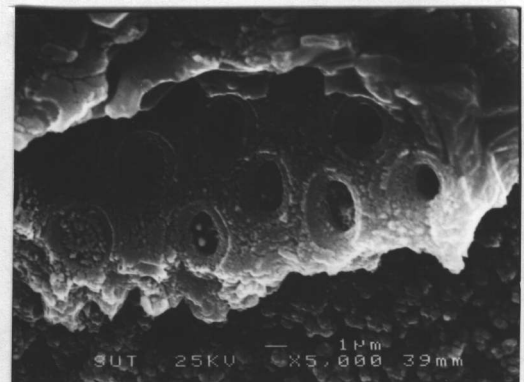
ภาพที่ 45 Kodak ,D-76 (1:1)12.00นาที



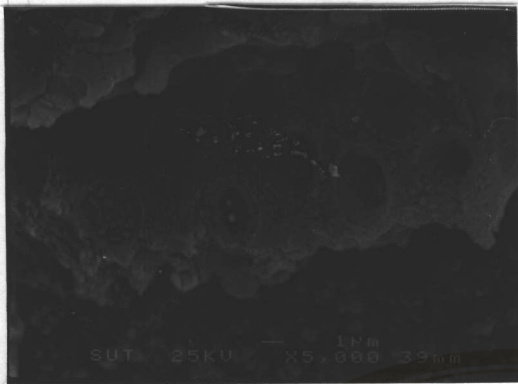
ภาพที่ 46 Kodak ,Microphen 10.10 นาที



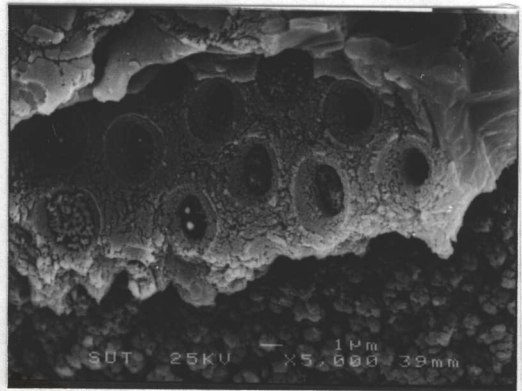
ภาพที่ 47 Kodak , Perceptol 14.25 นาที



ภาพที่ 48 Kodak , Microdol-x 10.45 นาที



ภาพที่ 49 Fuji ,D-76(1:1) 6.30 นาที



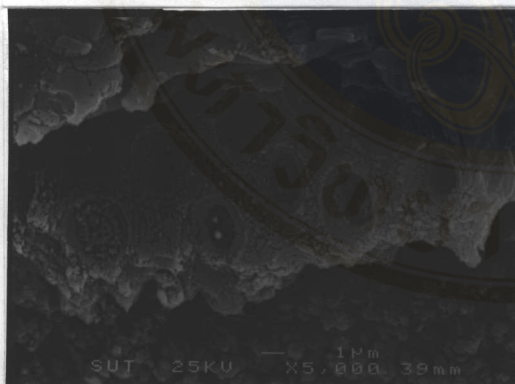
ภาพที่ 50 Fuji ,Microphen 7.25 นาที



ภาพที่ 51 Fuji , Perceptol 7.10 นาที



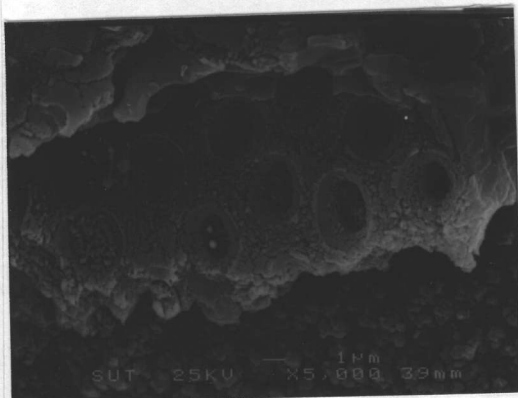
ภาพที่ 52 Fuji , Microdol-x 5.35 นาที



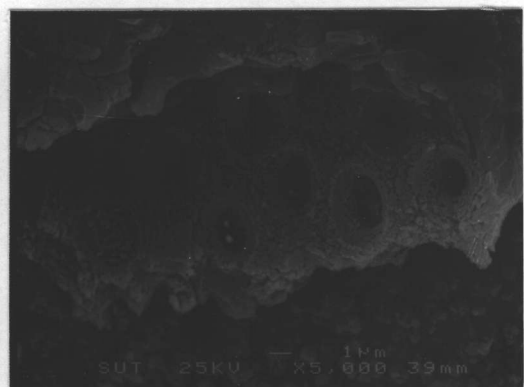
ภาพที่ 53 Ilford , D-76(1:1)9.35 นาที



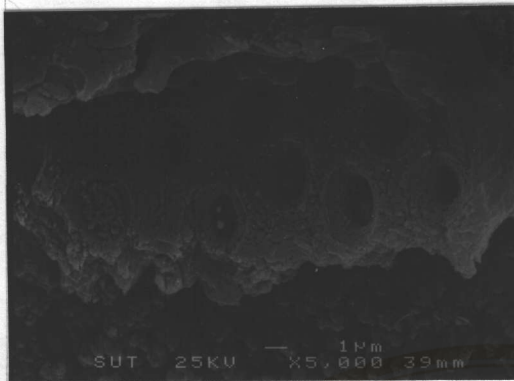
ภาพที่ 54 Ilford , Microphen 6.25 นาที



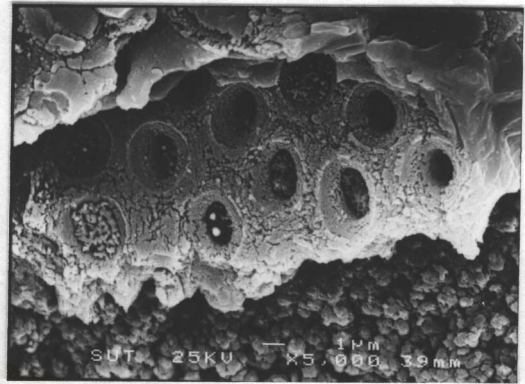
ภาพที่ 55 Ilford , Perceptol 12.00 นาที



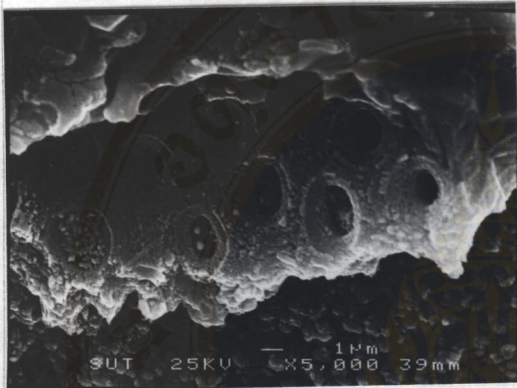
ภาพที่ 56 Ilford , Microdol-x 6.25 นาที



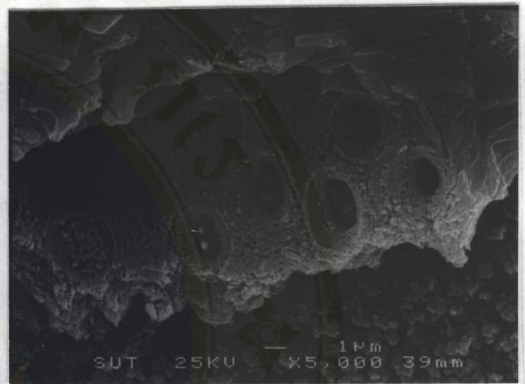
ภาพที่ 57 Kodak ,D-76 (1:1)8.00นาทื



ภาพที่ 58 Kodak ,Microphen 6.45 นาทื



ภาพที่ 59 Kodak , Perceptol 9.35 นาทื



ภาพที่ 60 Kodak , Microdol-x 7.10 นาทื

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ

นาย ประสิทธิ์ งามสันเทียะ

วัน เดือน ปีเกิด

12 มกราคม พุทธศักราช 2508

สถานที่เกิด

จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย

ประวัติการศึกษา

โรงเรียนเวชนิทัศน์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

มหาวิทยาลัยมหิดล

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เวชนิทัศน์)

มหาวิทยาลัย มหิดล, พ.ศ. 2532-2533

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เวชนิทัศน์)

มหาวิทยาลัยมหิดล

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

พ.ศ. 2537-ปัจจุบัน

ฝ่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตำแหน่ง: นักวิทยาศาสตร์