บทที่ 2

ทฤษฎี

1. เรื่องทั่วไปที่เกี่ยวกับอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป

อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป มีส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด คือ ซิวเวอร์แฮไลด์ (Silver Halide) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิคส์เมื่อถูกแสง ซิวเวอร์แฮไลด์มีความไวต่อแสงมาก ความไวต่อแสงของซิวเวอร์แฮไลด์จะมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ วิธีผสมและชนิดของซิวเวอร์แฮไลด์ที่ใช้ ซิวเวอร์โบรไมด์ (Silver Bromide) ไวต่อแสงมากที่สุด สารที่มีความไวต่อแสงรองลงมาได้แก่ ซิวเวอร์คลอไรด์ (Silver Chloride), ซิวเวอร์ไอโอไดด์ (Silver Iodide) และซิวเวอร์ฟลูออไรด์ (Silver Fluoride) ตามลำดับ

การจะนำซิวเวอร์แฮไลด์มาฉาบลงบนสิ่งที่รองรับ (Base) ให้เกาะแน่นและกระจายไปทั่วถึงอย่างสม่ำเสมอนั้นทำได้โดยการใช้เยลาติน ดังนั้นในอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปจึงมีเยลาตินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง เยลาตินมีคุณสมบัติพิเศษเหมาะสมในการทำอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป เพราะเยลาตินสามารถพองตัวได้เมื่อถูกน้ำ ทำให้น้ำยาล้างฟิล์มสามารถเข้าไปทำปฏิกริยากับเกลือเงินของฟิล์มได้ดี และเมื่อแห้งเยลาตินจะหดตัวกลับเหมือนสภาพเดิมได้ นอกจากนั้นเยลาตินยังสามารถละลายได้เมื่อได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิจำกัดอันหนึ่ง

อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปจึงประกอบด้วยเยลาตินผสมกับซิวเวอร์แฮไลด์ที่แผกระจายเป็นผลึกที่เล็กมาก (micro crytals) ซึ่งเรียกว่าเกรนส์ (grains) ผลึกเหล่านี้มีลักษณะเป็นลูกบาศก์มีรูปร่างต่างๆกัน เป็นรูป สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม ทรงกระบอก และเกือบทรงกลม เกรนส์เหล่านี้มีขนาดเฉลี่ยตั้งแต่ 0.03 ถึง 1-2 μ (1μ = 1/1000 มิลลิเมตร) ดังตารางที่ 1 และจะกระจายอยู่ในอีมัลชั่นเป็นชั้นมีความหนา 20 ถึง 100 เกรนส์ ความหนาทั้งหมดของชั้นของอีมัลชั่น (emulsion

layer) บนฟิล์มอาจมีขนาดตั้งแต่ 3 ถึง 25 – 30 μ ชั้นของอีมัลชั่นที่ใช้ในด้านนิวเคลียฟิสิคส์ซึ่งไม่มีสิ่งรองรับนั้นต้องทำหนาเป็นพิเศษ อาจหนาถึง 400 – 600 μ หรือมากกว่านั้น

ตารางที่ 1

แสดงขนาดเฉลี่ยของเกรนส์และจำนวนเกรนส์ต่อ ลบ.ซม.ของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป ที่มีมาตรฐานใช้เป็นตัวอย่างได้

1

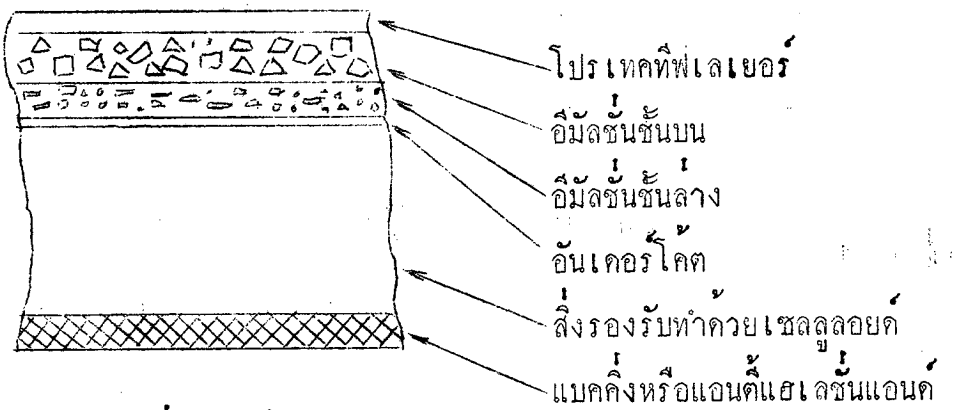
ชนิดของอีมัลชั่น	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ไมครอน(μ))	พื้นที่ฉายเฉลี่ย (ไมครอน)^2	จำนวนเกรนส์ ต่ออีมัลชั่น 1 ลบ.ซม.
ลิปมาน (Lippmann)	0.030	0.0007	221.00×10^{12}*
ฟิล์มภาพยนต์	0.626	0.31	117.85×10^{9}
ฟิล์มม้วนชนิดเกรนส์ละเอียด	0.788	0.49	52.35×10^{9}
ฟิล์มถ่ายภาพคน	0.880	0.61	25.66×10^{9}
ฟิล์มม้วนชนิดความเร็วสูง	1.090	0.93	22.61×10^{9}
ฟิล์มเอกซ์เรย์	1.710	2.30	6.32×10^{9}

(* ในลิปมานอีมัลชั่น มีซิวเวอร์โบรไมด์อยู่ 20 กรัมต่อลิตร)

---

1 Zelikman V.L.,and Levi S.M., MAKING AND COATING PHOTOGRAPHIC EMULSIONS (London and New York: The Focal Press Limited, 1964), หน้า 13.

ในฟิล์มสำหรับถ่ายรูปภาพดำ – ขาว จะฉาบน้ำยาไว้เป็นชั้นต่างๆหลายชั้น ดังรูป 1 จุดประสงค์เพื่อจะให้ฟิล์มถ่ายรูปนั้นมีคุณสมบัติที่ดีที่สุดนั่นเอง น้ำยาแต่ละชั้นที่ฉาบไว้จะมีคุณสมบัติที่เป็นคุณประโยชน์ด้านต่างๆ ดังจะกล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 1 (5)

1. <u>สิ่งรองรับ</u> (Base) ต้องมีคุณสมบัติสำคัญ 3 ประการ คือ

ก. ต้องมีความเฉื่อย(inert) คือ

(1) ไม่ทำปฏิกริยาต่ออีมัลชั่นซึ่งฉาบอยู่บนสิ่งรองรับนั้น

(2) ไม่ทำปฏิกริยาต่อภาพแฝง (latent image)

(3) ไม่ทำปฏิกริยาต่อเม็ดโลหะเงินที่ประกอบเป็นภาพขึ้น

ข. เมื่อสิ่งรองรับถูกกับน้ำยาที่ล้างรูป ทั้งในขั้นการดีวีลอป และ ฟิคซิ่ง (Fixing) แล้วต้องคงสภาพเดิมไม่หดหรือยืด

ค. ต้องมีความใส (transparent) คือ แสงสว่างลอดได้บ้าง

สิ่งที่รองรับที่ใช้กันอยู่ มี หลายชนิด ได้แก่

(ก) สิ่งที่ได้จากเซลลูลอยด์ (cellulose derivatives) ที่ใช้กันมากที่สุดได้แก่ เซลลูโลสอาซีเตท (cellulose acetate) ซึ่งใช้ทำฟิล์มถ่ายรูปทั่วๆไปในขณะนี้ มีคุณสมบัติดีกว่าเซลลูโลสไนเตรท (cellulose nitrate) ตรงที่ไม่ไวไฟ บางครั้งจึงเรียกสิ่งรองรับซึ่งทำด้วยเซลลูโลสอาซีเตทนี้ว่า สิ่งรองรับนิรภัย (safety base) และเรียกฟิล์มที่ใช้เซลลูโลสอาซีเตทเป็นสิ่งรองรับว่า ฟิล์มนิรภัย

(safety films)

(ข) แก้วหรือกระจก ในสมัยก่อนนิยมใช้แก้วหรือกระจกเป็นสิ่งรองรับกันมาก ในปัจจุบันยังคงใช้กันอยู่บ้าง ทั้งนี้เพราะมีการยืดหดตัวน้อยมาก เหมาะอย่างยิ่งในการใช้งานทางแผนที่หรืองานที่ต้องการความละเอียดแน่นอนทางมาตราส่วน แต่มีข้อเสียที่แตกง่าย ไม่มีความยืดหยุ่น ม้วนงอไม่ได้ และมีน้ำหนักมาก

(ค) กระดาษ ใช้เป็นสิ่งรองรับสำหรับทำกระดาษอัดรูป ทั้งนี้เพราะแสงสว่างผ่านไม่ได้ แต่สะท้อนได้ มีความยืดหยุ่น ม้วนงอได้ และเป็นสิ่งที่มีราคาถูกที่สุด

2. <u>ชั้นของอีมัลชั่น</u> (Emulsion Layers) ในปัจจุบันมักไม่ฉาบเป็นชั้นเดียว แต่จะฉาบเป็นสองชั้นซ้อนกัน อีมัลชั่นชั้นล่าง (Lower (ground)emulsion layer) จะมีเกรนส์เล็กกว่าและมีความไวต่อแสงน้อยกว่าอีมัลชั่นชั้นบน (Upper (main) emulsion layer) อีมัลชั่นชั้นล่างจะทำปฏิกริยาเมื่อถูกแสงนานๆ ซึ่งจะช่วยให้รายละเอียดของภาพดีขึ้น และขณะเดียวกันจะช่วยลดแฮเลชั่น (halation) ด้วย อีมัลชั่นชั้นล่างนี้จะป้องกันอีมัลชั่นที่อยู่ชั้นบนซึ่งเป็นชั้นที่มีความไวต่อแสงมากกว่าให้พ้นจากผลเสียที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากสารประกอบของสิ่งรองรับ

3. <u>ชั้นล่างสุด</u> เป็นชั้นที่ป้องกันการเกิดแฮเลชั่น และป้องกันไม่ให้ฟิล์มโค้งงอ เรียกชั้นนี้ว่า แบคคิ่ง (backing) หรือ แอนตี้แฮเลชั่น แอนด์ แอนตี้สแตติค เลเยอร์ (antihalation and antistatic layer)

แฮเลชั่น เกิดขึ้นเนื่องจากแสงส่องไปถูกสิ่งรองรับในขณะถ่ายรูป แสงจะสะท้อนจากสิ่งรองรับกลับไปกลับมา ทำปฏิกริยากับอีมัลชั่นเกิดเป็นรอยแสงสว่างรอบๆ สิ่งนั้นมีลักษณะเหมือนพระอาทิตย์ทรงกลด การป้องกันการเกิดแฮเลชั่น เรียกว่า แอนตี้แฮเลชั่น (antihalation) มีหลักการโดยดูดกลืนแสงที่จะผ่านไปกระทบกับสิ่งรองรับนั้นเสีย ทำให้แสงไม่สามารถสะท้อนกลับมาทำปฏิกริยาได้อีกต่อไป

ชั้นล่างสุดนี้ประกอบด้วย **สีย้อมอินทรีย์** (organic dye) กระจายอยู่ในเยลาติน **สีย้อมอินทรีย์**นี้จะดูดกลืนรังสีหรือแสงที่จะไปทำปฏิกริยาซ้ำในชั้นของอีมัลชั่นไว้อย่างรวดเร็ว **สีย้อมอินทรีย์**เหล่านี้ได้แก่ สีย้อมสีแดง (red dye) ใช้สำหรับ

โอโธโครเมติคฟิล์ม (orthochromatic film) สีย้อมสีเขียวใช้สำหรับ แพนโครเมติคฟิล์ม (panchromatic film) และสีย้อมสีดำใช้สำหรับฟิล์มสีธรรมชาติ เป็นต้น ส่วนมากมักจะใช้สีย้อมสีเทาเติมลงใน คอลโลเดียน (collodion) (ซึ่งเป็นน้ำยาทำจากฝ้ายละลายในอีเธอร์ ใช้ในการทำสิ่งรองรับของฟิล์มถ่ายรูป) ก่อนที่จะหล่อสิ่งรองรับ เพื่อทำให้เกิดแอนตี้แฮเลชั่นดีขึ้น

การเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าของสิ่งรองรับ ทำให้เกิด โลคัลอิลลูมิเนชั่น (local illumination) ในอีมัลชั่นได้ เพื่อป้องกันเรื่องนี้จึงฉาบฟิล์มอีกด้านหนึ่งด้วย แอนตี้สแตติคเลเยอร์ (antistatic layer) ทำให้เกิดอิเลคตรอนนิคคอนดักชั่น (electronic conduction) เพิ่มขึ้น และใช้ประจุไฟฟ้าที่ตรงข้ามไปเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าสถิตย์ให้มาเกิดบนสิ่งรองรับอีกด้านหนึ่งเพื่อทำให้บริเวณชั้นของอีมัลชั่นมีอำนาจไฟฟ้าเป็นกลาง

นอกจากนั้นชั้นแบคกิ้งนี้ยังมีคุณสมบัติทำให้ฟิล์มเรียบด้วย

4. <u>ชั้นอันเดอร์โค้ต</u> (Undercoat) ในปัจจุบันต้องการจะทำให้ชั้นอีมัลชั่นบางลง จึงจำเป็นต้องทำให้เกิดแอนตี้แฮเลชั่นเพิ่มขึ้น ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มชั้นสีดำของโลหะเงินที่ละเอียดมากเข้าไประหว่างสิ่งรองรับกับชั้นของอีมัลชั่นขึ้น ซึ่งเรียกชั้นนี้ว่า อันเดอร์โค้ต

5. <u>โปรเทคทีฟเลเยอร์</u> (Protective layer) ในฟิล์มภาพยนต์นั้นมีการป้องกันการขีดข่วนที่จะเกิดขึ้นบนชั้นของอีมัลชั่นได้โดยใช้เยลาตินมาฉาบหุ้มไว้อีกชั้นหนึ่ง เรียกว่าใช้ "ซุบเปอร์โค้ต (Supercoat)" การใช้ซุบเปอร์โค้ตนี้เมื่อกระทำให้ถูกต้องแล้ว จะช่วยลดการเกิดละอองหมอกที่ผิว (surface microfogging) ลดเกรนนิเนส (graininess) และเพิ่มคาร์โซลฟวิ่งพาวเวอร์ (resolving power) ได้ ซึ่งจะทำให้ความพราของภาพลดลง ได้ภาพชัดเจนขึ้น เรียกชั้นนี้ว่า โปรเทคทีฟเลเยอร์ เป็นชั้นผิวบนสุดของฟิล์ม

สารที่อยู่ในชั้นโปรเทคทีฟเลเยอร์นี้เมื่อใช้เยลาตินประกอบกับสารบางชนิด เช่น โพลีวายนิลอัลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) แล้วจะทำให้ฟิล์มที่ทำขึ้นนั้นมี

คุณภาพทางกลศาสตร์ดีขึ้น เช่น ทำให้แข็งขึ้น และต้านทานไม่ให้เกิดน้ำค้างแข็ง (forst) เป็นต้น เมื่อฉาบโปรเทคทีฟเลเยอร์ลงไป มันจะไปคลุมความหยาบเนื่องจากอีมัลชั่นเกรนส์(emulsion grains) ทำให้ผิวฟิล์มเรียบ โปรเทคทีฟเลเยอร์นี้มีประโยชน์มากเมื่อลดความหนาของอีมัลชั่นเลเยอร์ลง ดังจะเห็นประโยชน์ของโปรเทคทีฟเลเยอร์ได้จากตารางที่ 2

ตารางที่ 2

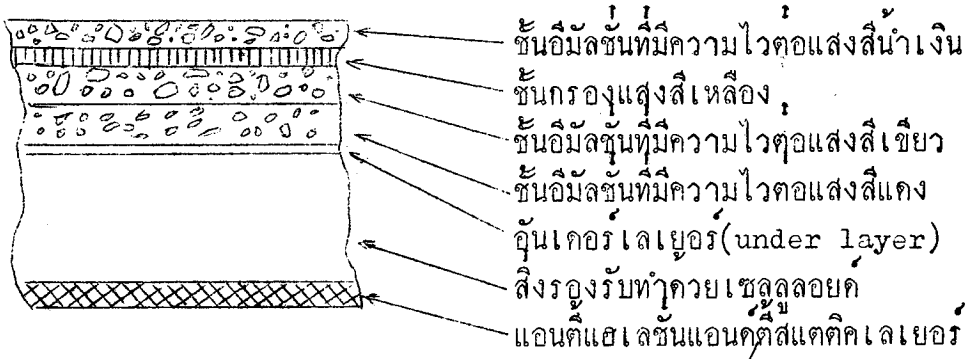
อิทธิพลของโปรเทคทีฟเลเยอร์ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มในการถ่ายรูป (อีมัลชั่นเลเยอร์มีความหนาประมาณ 6 μ)

เวลาดีวีลอป (นาที)	เมื่อไม่มีโปรเทคทีฟเลเยอร์				เมื่อมีโปรเทคทีฟเลเยอร์			
	ความไว	แกมมา	D_{max}	หมอก	ความไว	แกมมา	D_{max}	หมอก
8	460	1.70	2.60	0.56	540	2.06	2.60	0.10
12	550	1.30	2.75	0.96	800	1.68	2.68	0.32

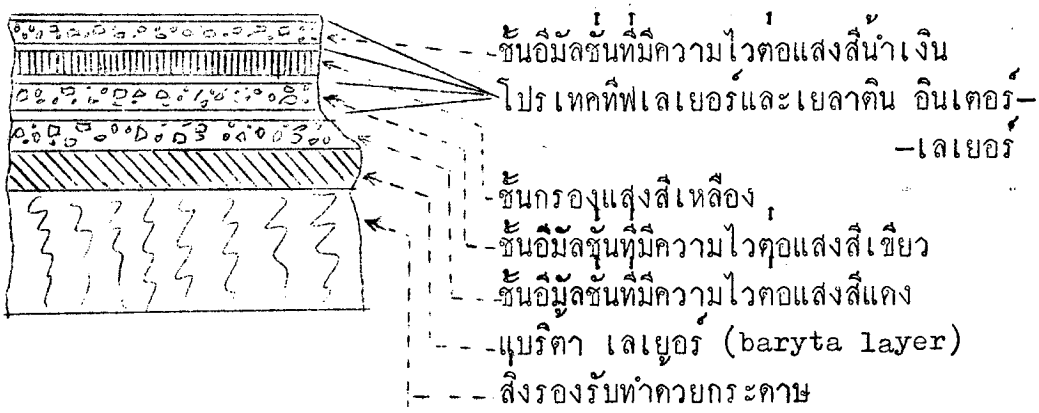
สำหรับฟิล์มสีและกระดาษอัดรูปสี (multilayer colour films and papers) จะมีโครงสร้างซับซ้อนกว่า ประกอบด้วยอีมัลชั่นเลเยอร์และสารที่ทำหน้าที่ช่วยทำให้เกิดภาพตามที่ต้องการ (auxiliary) นอกจากนั้นยังมีชั้นสำหรับกรองแสง (filter layer) และโปรเทคทีฟเลเยอร์ อยู่ด้วย ดังรูปที่ 2

---

2 ดูแหล่งที่แล้ว, หน้า 16.



รูปที่ 2 (ก) แสดงภาพหน้าตัดของฟิล์มสี (5)



รูปที่ 2 (ข) แสดงภาพหน้าตัดของกระดาษอัดรูปสี (5)

ฟิล์มสีและกระดาษอัดรูปภาพสีเหล่านี้จะเกิดการแยกสีได้ขณะที่ถูกแสง ภาพสีเกิดขึ้นได้เนื่องจากการจัดชั้นของอีมัลชั้น การใช้สารที่มีความไวต่อแสงสีต่างๆ (spectral sensitivities) และการใช้ชั้นกรองแสง(intermediate filtering layer) การจัดชั้นอีมัลชั้นเลเยอร์เป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการทำฟิล์มสีและกระดาษอัดรูปสี

2. <u>เทคนิคในการผลิตอีมัลชั้นสำหรับถ่ายรูป</u>

คุณภาพของอีมัลชั้นเป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่งที่จะทำให้ได้ภาพถ่ายชัดเจนหรือไม่ ดังนั้นเทคนิคในการผลิตอีมัลชั้นสำหรับถ่ายรูปจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ทุกๆขั้นในการผลิตจะต้องกระทำโดยถูกต้องตามหลักการและกำหนดเวลา ปราศจากสิ่งสกปรกต่างๆ และจะต้องกระทำในที่ที่มืดสนิท ไม่มีแสงต่างๆรบกวนนอกจากแสงพันสีมวง

(non actinic light) ด้วยเหตุนี้การผลิตอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปส่วนมากจึงใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติ

เทคนิคและขบวนการผลิตอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปประกอบด้วยขั้นต่างๆ ดังนี้

ขั้นที่ 1 การเลือกวัตถุดิบ

เบื้องต้นของการผลิตอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป ได้แก่การเลือกและการเตรียมวัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิต วัตถุดิบที่จะนำมาใช้ต้องมีคุณภาพตามต้องการ บริสุทธิ์ปราศจากสิ่งสกปรกหรือการเจือปนกับสารอื่นๆที่จะทำให้คุณภาพของอีมัลชั่นที่ผลิตได้ต่ำลง

ส่วนประกอบที่เป็นหลักในการผลิตอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปได้แก่ เยลาติน และซิวเวอร์แฮไลด์

ก. เยลาติน เป็นตัวกลางที่เหมาะสมในการผลิตอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปมากกว่าการใช้ตัวกลางอื่นๆ เกรนส์ของซิวเวอร์แฮไลด์กระจายไปได้อย่างสม่ำเสมอในเยลาติน คุณสมบัติของเยลาตินไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านขบวนการต่างๆ เช่น การล้างรูป ฯลฯ เยลาตินยอมให้สารละลายต่างๆที่ใช้ในการล้างรูปแทรกเข้าไปทำปฏิกริยาได้โดยรวดเร็ว เยลาตินไม่มีส่วนทำให้อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปเกิดคุณสมบัติที่ไม่ต้องการทางการถ่ายภาพ และเมื่อผ่านขบวนการต่างๆแล้ว เยลาตินจะมีคุณสมบัติเหมือนสภาพเดิม นอกจากนั้นยังเป็นตัวกลางที่ช่วยให้อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปมีความไวต่อแสงได้มากกว่าอีมัลชั่นที่ใช้ตัวกลางชนิดอื่นด้วย

เยลาตินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางการถ่ายภาพแตกต่างกันไปสุดแต่ส่วนประกอบและการผลิตเยลาตินนั้นๆ โดยทั่วไปเยลาตินทำขึ้นจากหนังลูกวัว หูและแก้ม บางชนิดอาจทำจากหนังหมู กระดูก วัตถุดิบที่จะนำมาทำเยลาตินนี้ต้องเลือกอย่างละเอียด ต้องไม่มีส่วนผุพังเน่าเปื่อยโดยบักเตรี

เยลาตินจัดอยู่ในหมู่โปรตีนของผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ มีโมเลกุลของกรดอมิโน (amino acid) ต่อกันปลายต่อปลายเป็นลูกโซ่ ข้อต่ออยู่ระหว่างเอซิดิคกรุพ (acidic group) ของกรดอมิโนตัวหนึ่งกับเบซิคกรุพ (basic group) ของตัวข้างเคียง ข้อต่อแบบนี้เรียกว่า เพ็ปไทด์บอนด์ (peptide bond) สำหรับลูกโซ่

เรียกว่า โพลี่เพ็ปไทด์เชน (polypeptide chain) มีความยาวมากและไม่คงที่ แม้จะเป็นเยลาตินชนิดเดียวกันก็ตาม เยลาตินที่ใช้ทำอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปบางชนิดมีความยาวลูกโซ่ 250 – 800 หน่วย ความยาวเฉลี่ยประมาณ 350 – 500 หน่วย

ส่วนที่อยู่ตอนปลายหรือข้างๆของโมเลกุลเยลาติน ประกอบด้วย $-NH_2$ และ -COOH groups ดังนั้นเยลาตินจึงมีคุณสมบัติเป็นทั้งกรดและด่าง กล่าวคือ ถ้าเยลาตินอยู่ในสารละลายหรือล้อมรอบด้วยตัวกลางที่มีไฮโดรเจนไอออน (hydrogen ion) ที่เข้มข้นมากๆ กลุ่มของอมีโน (amino groups) รวมกับไฮโดรเจนไอออนจะเกิดเป็น $-NH_3^+$ group แล้วโมเลกุลของเยลาตินก็จะเป็นประจุบวก แต่เมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนต่ำพอ -COOH group จะแตกตัวเป็น $-COO^-$ แล้วโมเลกุลของเยลาตินก็จะเป็นประจุลบ ขณะที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนปานกลางพอดี โมเลกุลของเยลาตินจะมีอำนาจไฟฟ้าเป็นกลาง ซึ่งเรียกจุดพอดีนี้ว่า ไอโซอีเลคตริคพ้อยท์ (isoelectric point) ของเยลาติน ดังนั้นความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนจึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเยลาติน

004372

pH เป็นหน่วยที่ตั้งขึ้นเพื่อใช้บอกความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (Hydrogen ion concentration) มีสูตร

$$pH = -\log [H^+] = \log \left[\frac{1}{H^+}\right]$$

คุณสมบัติทางฟิสิคส์ของเยลาตินหลายประการ เช่น ความสามารถในการเป็นสารละลาย การพองตัว ฯลฯ เหล่านี้ เปลี่ยนแปลงตามค่าpH ไอโซอีเลคตริคพ้อยท์ของเยลาตินที่ใช้ในเรื่องอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปมีช่วง pH 4.7 ถึง 5.2 แต่เยลาตินบางชนิดซึ่งเตรียมด้วยเอซิดไฮโดรไลซิส (acid hydrolysis) มีไอโซอีเลคตริคพ้อยท์ที่ pH มีค่าเท่ากับ 8 หรือสูงกว่านั้น

สารละลายเยลาตินที่มีความเข้มข้นเพียงพอจะเป็นวุ้นแข็งเมื่อตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องธรรมดาหรือที่อุณหภูมิต่ำกว่าเล็กน้อย เยลาตินจะแข็งตัวที่ความเข้มข้น อุณหภูมิและในเวลาที่จำกัดอันหนึ่งซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของเยลาติน นอกจากนั้นความแข็งและความเกร็งของเยลาตินยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้น อุณหภูมิ และตัวประกอบต่างๆด้วย

i 17158722

เยลาตินแห้งถ้าถูกความชื้นหรือใส่ในน้ำเย็นจะดูดน้ำและพองตัวบวมขึ้น เยลาตินจะดูดของเหลวได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่า pH และปริมาณของเกลือที่มีอยู่ในของเหลว ขณะที่เยลาตินพองตัวบวมขึ้นนั้นจะออน เปลี่ยนรูปได้ และเป็นรอยฉีกขาดได้ง่าย แต่ถ้าสารละลายนั้นเย็นและมีโมเลกุลขนาดค่อนข้างเล็ก เช่น สารละลายดีวีลอปปิ้งเอเย่นต์ (developing agents) โมเลกุลที่ละลายอยู่จะแทรกเข้าไปทำปฏิกริยากับสารที่อยู่ในเยลาตินได้แก่ซิวเวอร์แฮไลด์ ได้ง่าย ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการถ่ายรูปประการหนึ่งของเยลาติน

การทำให้เยลาตินแข็งตัวนั้น สามารถทำได้โดยการใช้สารอินทรีย์เคมีบางชนิด โดยเฉพาะพวกเกลือของโครเมี่ยมและอลูมิเนียม ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารอย่างหนึ่งที่ใช้ในเรื่องนี้ได้ดี

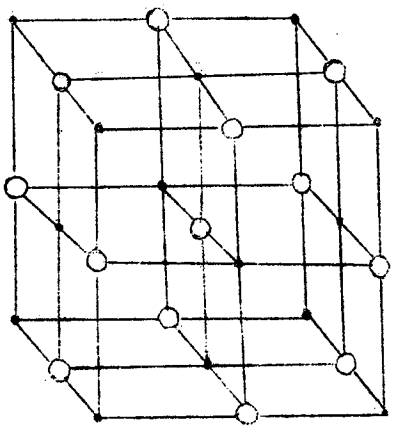
ข. ซิวเวอร์แฮไลด์ เป็นสารที่มีความไวต่อแสง เมื่อซิวเวอร์แฮไลด์ถูกแสงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิคส์ขึ้น จึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป

ซิวเวอร์แฮไลด์จะอยู่ในอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปในลักษณะเป็นผลึกเล็กๆ เรียกว่า เกรนส์ (grains) มีน้ำหนักประมาณ 30 – 40 % ของน้ำหนักอีมัลชั่นทั้งหมด

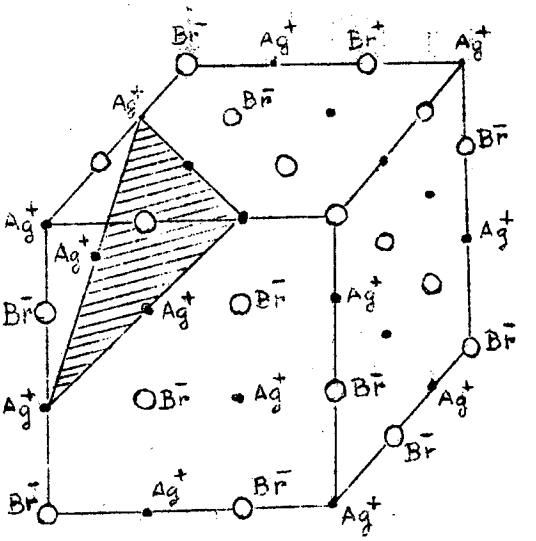
ซิวเวอร์โบรไมด์และซิวเวอร์คลอไรด์ มีความไวต่อแสงมากกว่าซิวเวอร์แฮไลด์ชนิดอื่น ผลึกของซิวเวอร์แฮไลด์สองชนิดนี้ประกอบด้วย ซิวเวอร์ไอออนซึ่งเป็นประจุบวกกับแฮไลด์ไอออน ซึ่งเป็นประจุลบเกาะกันอยู่ในรูปโครงสร้างที่มีสัดส่วน (symmetry) กันไอออนตัวหนึ่งจะแวดล้อมไปด้วยไอออนอีกชนิดหนึ่ง 6 ไอออน จากการวิเคราะห์โดยใช้เอกซ์เรย์ พบว่า ซิวเวอร์โบร์ไมด์และซิวเวอร์คลอไรด์ มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูปลูกบาศก์ ดังรูปที่ 3 (ก) ระยะระหว่างไอออนที่อยู่ใกล้กันที่สุดในซิวเวอร์โบรไมด์มีค่า 2.88 X 10^{-8} ซ.ม. ในซิวเวอร์คลอไรด์มีค่า 2.77 X 10^{-8} ซ.ม.

อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปอาจทำจากซิวเวอร์แฮไลด์ เพียงชนิดเดียว หรือ ใช้

ซิวเวอร์แฮไลด์หลายชนิดผสมกัน ก็ได้ เช่นใช้ ซิวเวอร์คลอไรด์ ผสม ซิวเวอร์โบรไมด์, หรือ ซิวเวอร์โบรไมด์ผสมซิวเวอร์ไอโอไดด์, หรือ ซิวเวอร์คลอไรด์ผสมซิวเวอร์โบรไมด์ และซิวเวอร์ไอโอไดด์ เป็นต้น โดยวิธีการนี้ช่วยทำให้อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปมีความไวต่อแสง (sensitivity) สูงขึ้น หรือช่วยทำให้ขนาดของเกรนส์ละเอียดขึ้นได้ ซิวเวอร์โบรไมด์และซิวเวอร์คลอไรด์เป็นผลึกที่มีลักษณะเหมือนกัน(isomophous) ในระหว่างการเตรียมอีมัลชั่นสารทั้งสองอย่างนี้มีลักษณะเป็นผลึกรูปลูกบาศก์ 8 ด้าน



รูป 3 (ก)



รูป 3 (ข)

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างของผลึก (5)

(ก) ซิวเวอร์โบรไมด์ และ ซิวเวอร์คลอไรด์

(ข) ซิวเวอร์โบรไมด์แสดงแนวของซิวเวอร์ไอออนและโบรไมด์ไอออนอยู่สลับกัน

ถ้ามุมหนึ่งของลูกบาศก์ถูกตัดออก ดังรูป 3(ข) จะเห็นว่าหน้าตัดส่วนที่แสดงในรูปเป็นพื้นที่แรเงานั้นประกอบด้วยซิวเวอร์ไอออนทั้งหมด และพื้นที่ชั้นใต้ลงไปซึ่งขนานกับพื้นที่แรเงานี้จะประกอบด้วยโบรไมด์ไอออนทั้งหมด ชั้นของไอออนจะสลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ทำให้ผลึกเกิดการรวมเป็นชั้นของซิวเวอร์ไอออนและชั้นของโบรไมด์-ไอออนขึ้น กรณีเช่นนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อ ซิวเวอร์ไนเตรท ($AgNO_3$) และโปแตส-

เซียมโบรไมด์ (KBr) ถูกผสมเข้าด้วยกัน อันอาจมีซิวเวอร์ไอออนหรือโบรไมด์ไอออนอย่างหนึ่งอย่างใดมากกว่ากันก็ได้

เกรนส์ซึ่งเป็นผลึกเล็กๆของซิวเวอร์แฮไลด์ อาจเปลี่ยนรูปร่างภายนอกไปได้มาก อีมัลชั่นเกรนส์บางอย่างเป็นเม็ดแบน อาจมีขอบเป็นสามเหลี่ยม หรือ หกเหลี่ยม เม็ดเหล่านี้จะทำมุมกับสิ่งรองรับน้อยกว่า 45 องศา ปรากฏว่าเมื่อฉาบอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปลงบนแผ่นแก้วแล้ว 90.5 % ของเกรนส์ทั้งหมดจะเอียงทำมุม 0 – 45 องศา มีเพียง 9.5 % เท่านั้นที่ทำมุมโตกว่า 45 องศา

อีมัลชั่นบางชนิดมีเกรนส์เป็นผลึกรูปเข็มปะปนอยู่ด้วย และบางชนิดอาจเป็นรูปเกือบทรงกลม

ในอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนั้นเรื่องเกรนส์เป็นสิ่งสำคัญมาก เกรนส์แต่ละตัวเป็นหน่วยหนึ่งๆที่ทำให้เกิดภาพแฝง (latent image) ขึ้น จำนวนเกรนส์ที่ล้างได้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแสงที่ผ่าน อีมัลชั่นชนิดเดียวกันอาจมีเกรนส์หลายรูปหลายขนาดแตกต่างกันได้

<u>ขั้นที่ 2</u> การเตรียมอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป (4)

อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่ทำขึ้นส่วนใหญ่มีอยู่ 2 ชนิด คือ นิวตรอลไทพ์อีมัลชั่น (neutral - type - emulsion) และ แอมโมเนียไทพ์อีมัลชั่น (ammonia - type - emulsion)

ก. นิวตรอลไทพ์อีมัลชั่น มีวิธีการเตรียม ดังนี้

(1) เตรียม โบรไมด์โซลูชั่น (Bromide Solution) ประกอบด้วย

โปแตสเซียมโบรไมด์ (KBr)	135 กรัม
โปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI)	5 กรัม
น้ำ	710 ลบ.ซม.
กรดเกลือ (HCl)	0.1 ลบ.ซม.

(2) เตรียมซิวเวอร์โซลูชั่น (Silver Solution) ประกอบด้วย

ซิวเวอร์ไนเตรท ($AgNO_3$)	175 กรัม

เยลาติน	30 กรัม
น้ำ	655 ลบ.ซม.
อุณหภูมิ	49 องศา ซ.

นำโบรไมด์โซลูชั่นเติมลงในซิวเวอร์โซลูชั่นทีละน้อยๆ กวนให้เข้ากัน ที่อุณหภูมิ 49 องศา ซ. เป็นเวลา 45 นาที แล้วเก็บในที่เย็นประมาณ 18 – 24 ชม. เพื่อให้อีมัลชั่นแข็งตัวนำไปตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ล้างน้ำแล้วหลอมจนมีอุณหภูมิ 25 องศา ซ.

นำเยลาติน 140 กรัม (ชนิดแข็งและออนอย่างละครึ่ง) ผสมกับน้ำ 87.5 ลบ.ซม.ละลายที่อุณหภูมิ 38 องศา ซ. เมื่อละลายดีแล้วทิ้งไว้ให้เย็นมีอุณหภูมิ 25 องศา ซ. นำไปผสมกับน้ำยาที่เตรียมไว้

ข. แอมโมเนียไทพ์อีมัลชั่น มีวิธีเตรียม ดังนี้

(1) เตรียมโบรไมด์โซลูชั่น ประกอบด้วย

โปแตสเซียมโบรไมด์(KBr)	135 กรัม
โปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI)	5 กรัม
เยลาติน	30 กรัม
น้ำ	710 ลบ.ซม.

(2) เตรียมซิวเวอร์โซลูชั่น ประกอบด้วย

ซิวเวอร์ไนเตรท($AgNO_3$)	175 กรัม
น้ำ	435 ลบ.ซม.

เติมแอมโมเนีย(ammonia) (เจือจาง 10 %)ลงในซิวเวอร์โซลูชั่นที่เตรียมไว้ จะเกิดปฏิกริยา ดังสมการ

$$AgNO_3 + NH_4OH \rightleftharpoons AgOH + NH_4NO_3$$

แล้วจะแยกออกอย่างรวดเร็วเป็นซิวเวอร์ออคไซด์(silver oxide) มีสีดำ ดังสมการ

$$2\,AgOH \rightleftharpoons Ag_2O + H_2O$$

ในขณะที่มีแอมโมเนียเพียงพอปฏิกริยาจะดำเนินต่อไปเป็นรูป คอมแพล็คซิวเวอร์แอมมีน (complex silver ammine)(ซิวเวอร์แอมโมเนท silver ammoniate) ดังสมการ

$$Ag_2O + 2\ NH_4OH + 2\ NH_4NO_3 \rightleftharpoons 2\ [Ag(NH_3)_2]\ NO_3 + 3\ H_2O$$

ปฏิกริยาข้างบนนี้สามารถแทนได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$Ag\ NO_3 + 2\ NH_4OH \rightleftharpoons [Ag(NH_3)_2]\ NO_3 + 2\ H_2O$$

นำซิวเวอร์โซลูชั่นเติมลงในโบรไมด์โซลูชั่นทีละหยด ที่อุณหภูมิ 25 องศา ซ. เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปเก็บไว้ในที่เย็นประมาณ 18 – 24 ชม. เพื่อให้อิมัลชั่นแข็งตัว นำไปตัดเป็นชิ้นเล็กๆล้างน้ำ หุลอมและเติมเยลาติน 140 กรัม น้ำ 875 ลบ.ซม. อุณหภูมิ 38 องศา ซ.เช่นเดียวกับวิธีแรก จากนั้นจึงนำไปฉาบลงบนสิ่งรองรับ

ในขั้นที่ 2 ซึ่งเป็นการเตรียมอิมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนี้ อาจกล่าวเป็นขั้นๆเป็นลำดับได้ดังนี้

(ก) <u>ขั้น พรีซิพิเตชั่น</u> (The precipitation stage)

ขั้นนี้บางครั้งเรียกว่า พรีซิพิเตชั่นของโซลิดเฟส(precipitation of the solid phase) หรือ อิมัลสิฟิเคชั่น(emulsification) ซิวเวอร์แฮไลด์มีลักษณะคล้ายโซลิดเฟส คือมีปฏิกริยาการสลายตัวเชิงซ้อน(double decomposition reaction) ระหว่างน้ำยาซิวเวอร์ไนเตรท($AgNO_3$) หรือซิวเวอร์แอมโมเนท (silver ammoniate) ในแอมโมเนียโปรเซส(ammonia process) กับ อัลคาไล แฮไลด์(alkali halide) ในเยลาติน ดังสมการ

$$Ag\ NO_3 + K\ Br \longrightarrow Ag\ Br + K\ NO_3$$

หรือ $$[Ag(NH_3)_2]\ NO_3 + K\ Br \longrightarrow Ag\ Br + K\ NO_3 + 2\ NH_3$$

ขณะที่เติมน้ำยาซิวเวอร์ไนเตรทลงในน้ำยาซิวเวอร์แฮไลด์นั้น ถ้าน้ำยาเจือจางและมีสารทำปฏิกริยาเพียงพอแล้ว ซิวเวอร์แฮไลด์จะแยกตัวออกเป็นอนุภาคเล็กมากและมีประจุไฟฟ้า ถ้ามีโปแตสเซียมโบรไมด์เหลืออยู่ ผิวของซิวเวอร์-ไนเตรทจะดึงดูดอนุภาคโบรไมด์ไอออน(Br^-) ซึ่งเป็นประจุลบและจะชนประจุลบซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการรักษาอนุภาคให้คงอยู่ในน้ำยา

ในการเตรียมอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปจะต้องควบคุมในเรื่องความเข้มข้นของน้ำยาซิวเวอร์ไนเตรทและพวกอัลคาไลด์บนแอมโมเนียแฮไลด์ เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการชนกันของประจุไฟฟ้า ในการเตรียมอีมัลชั่นนั้นเยลาตินจะทำหน้าที่คล้ายกับไปหุ้มอยู่รอบๆอนุภาค เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวดังกล่าว โดยการดูดกลืน (adsorption) ของแฮไลด์ไอออน ยังคงสามารถดำเนินต่อไปได้ตามปกติ

วิธีผสมน้ำยาสำคัญมาก เวลาในการพรีซิพิเตชั่นนี้ มีผลทำให้ขนาดของเกรนส์เปลี่ยนไป ซึ่งจะทำให้อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปมีคุณสมบัติในเรื่องความไว (speed) และมีค่าแกมมา (gamma หรือ γ) เปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของเกรนส์, จำนวนเกรนส์, ความไว, และค่าแกมมา กับ เวลาในการพรีซิพิเตชั่น

เวลาในการพรีซิพิเตชั่น	จำนวนเฉลี่ยต่อ ลบ.ซม.	พื้นที่เฉลี่ย	ความหนาเฉลี่ย	ความไว (สัมพัทธ์)	แกมมา
0' 31"	6.85×10^9	0.14	0.062	12	2.50
4' 22"	2.09×10^9	0.28	0.096	52	2.08
10' 12"	0.63×10^9	0.50	0.183	150	1.50
19' 30"	0.28×10^9	0.82	0.248	250	1.36
42' 40"	0.17×10^9	1.47	0.253	450	0.94
54' 50"	0.09×10^9	2.35	0.284	630	0.23
55' 10"	0.04×10^9	2.56	0.383	910	0.05

ในการเตรียมอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่ต้องการเกรนส์ละเอียดนั้นมักจะเติมซิวเวอร์โซลูชั่นลงในแฮไลด์โซลูชั่นที่ผสมอยู่กับเยลาตินแล้ว นอกจากนั้นขนาดของเกรนส์

จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซิวเวอร์ไนเตรทและโปแตสเซียมโบรไมด์ด้วย

ในการเตรียมอิมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่ต้องการความเร็วสูง มักจะใช้ไอโอไดด์ เช่น โปแตสเซียมไอโอไดด์ผสมในขั้นพรีซิพิเตชั่นนี้ ถ้าใช้ไอโอไดด์มีจำนวนไม่เกิน 5 % โมเลกุลของสารแฮไลด์ทั้งหมด แล้วจะได้อิมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่มีความไวสูงสุด หากจำนวนของไอโอไดด์มากกว่านี้หรือน้อยกว่านี้แล้ว จะทำให้อิมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่ผลิตได้มีความไวลดลง นอกจากนั้นจำนวนไอโอไดด์ยังมีผลทำให้ขนาดและรูปร่างของเกรนส์ในอิมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปเปลี่ยนไปด้วย กล่าวคือ โดยทั่วไปผลึกหรือเกรนส์ของซิวเวอร์โบรไมด์บริสุทธิ์จะมีรูปเป็นเม็ดแบนๆ เมื่อผสมไอโอไดด์ด้วยจะทำให้ผลึกหรือเกรนส์นั้นเปลี่ยนรูปร่างหนาขึ้น

(ข) <u>ขั้นไรพเพนนิ่ง</u> (The ripening stage)

ในการทำอิมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนั้น ในขั้นพรีซิพิเตชั่น ที่ผ่านมา การเพิ่มขนาดของผลึกเกิดขึ้นได้เมื่อผลึกอื่นหมดไป

การเพิ่มขนาดของอนุภาค อาจทำได้ 2 ทาง คือ

(1) รวมหลายๆอนุภาคเข้าด้วยกันแล้วทำให้ตกเป็นผลึกเดียวกัน

(2) โดยออสวัลด์ไรพเพนนิ่ง(Oswald ripening) เป็นการเพิ่มขนาดของเกรนส์จากหลักที่ว่า เมื่อทำผลึกใหญ่ให้เป็นผง จะต้องเสียพลังงานไปในการทำให้โครงสร้างนั้นแยกออก พลังงานจะอยู่ที่ผิวของไอออน ดังนั้นอนุภาคเล็กจึงมีพลังงานที่ผิว/มวลสาร (surface energy/unit mass) มากกว่าอนุภาคใหญ่ เมื่ออนุภาคแตะกัน อนุภาคที่เล็กกว่าก็จะจมลงไปในอนุภาคใหญ่ ทำให้ผลึกหรือเกรนส์ของอนุภาคใหญ่โตขึ้น เป็นการรวมตัวหรือเพิ่มขนาดของเกรนส์โดยวิธีฟิสิคคัลไรพเพนนิ่ง (physical ripening)

แมลิโนสกิ (Malinowski) ได้ศึกษาเรื่องฟิสิคคัลไรพเพนนิ่งในแอมโมเนียไทพ์อิมัลชั่น พบว่า ถ้าความเข้มข้นของแอมโมเนียมไฮดรอคไซด์(ammonium hydroxide) สูง และความเข้มข้นของไอโอไดด์ต่ำ มีโปแตสเซียมโบรไมด์เพียงพอ 10 – 20 % แล้วจะทำให้ขนาดของเกรนส์เพิ่มขึ้น อัตราเพิ่มขนาดของเกรนส์นี้ในขั้น

ต้นต่ำมาก แล้วค่อยสูงๆขึ้น ในตอนสุดท้ายอัตราการเพิ่มขนาดของเกรนส์จะต่ำลงอีก

อัตราของฟิสิคคัลเดเวลอพเพนนิ่งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสิ่งเจือปนในเยลาตินหรือลักษณะที่ประกอบเป็นเยลาตินนั้น อนุของเยลาตินที่เน่าเปื่อยทำให้เกิดปฏิกริยายับยั้งอัตราฟิสิคคัลเดเวลอพเพนนิ่งได้

เนื่องจากการที่ผิวของซิลเวอร์แฮไลด์ดูดกลืนสารประกอบไว้ ดังนั้นความเข้มข้นของน้ำยาจึงเป็นสิ่งหนึ่งที่ทำให้ฟิสิคคัลเดเวลอพเพนนิ่งช้าลง สภาวะที่เหมาะสมต่างๆ ได้แก่ อัตราการเติมน้ำยา ซิลเวอร์โบรไมด์ อนุของเยลาติน ฯลฯ เหล่านี้ อาจช่วยในการฟิสิคคัลเดเวลอพเพนนิ่งได้ ค่า pH ของน้ำยาเป็นสาเหตุหนึ่ง ฟิสิคคัลเดเวลอพเพนนิ่งจะลดลงเมื่อค่า pH ลดลง และจะหยุดเมื่อค่า pH ประมาณ 2 หน่วย(unit) ต่ำกว่าไอโซอิเลคตริคพ้อยท์

ตัวทำละลายซิลเวอร์แฮไลด์ที่เจือจาง คือ แอมโมเนีย และโบรไมด์ไอออน (Br^-) ที่เกินเหลืออยู่(Br^- เป็นตัวทำละลายที่สำคัญในการเตรียมนิวตรอลไทพ์อิมัลชั่น แอมโมเนีย เป็นตัวทำละลายที่สำคัญในการเตรียมแอมโมเนียไทพ์อิมัลชั่น) จะทำให้อัตราฟิสิคคัลเดเวลอพเพนนิ่งเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ ในการทำอิมัลชั่นนี้ ขั้นแรกจึงใช้อุณหภูมิสูง

ในการทำอิมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนั้น หลังจากขั้นฟิสิคคัลเดเวลอพเพนนิ่งนี้แล้ว รูปรางและขนาดของเกรนส์จะไม่เปลี่ยนอีกต่อไป

(ค) <u>ขั้นล้าง</u> (Washing)

ในตอนท้ายของขั้นไดเวลอพเพนนิ่งนั้น อิมัลชั่นจะมีพวกด่างและพวกอัลคาไล (alkali) ที่ละลายได้เหลืออยู่ และมี แอมโมเนียมไนเตรท แอมโมเนีย เหลืออยู่ในอิมัลชั่นที่เตรียมได้นั้น ถ้าเราฉาบอิมัลชั่นที่ได้ลงบนสิ่งรองรับที่น้ำยาซึมลงไปไม่ได้ เช่น เซลลูโลสอาซีเตท(cellulose acetate) หรือ กระจก แล้วอัลคาไล ไนเตรท (alkali nitrate) จะตกผลึกออกมาจากอิมัลชั่นที่แห้ง ซึ่งจะมีผลกระทบกระเทือนถึงคุณสมบัติทางฟิสิคส์ของฟิล์มที่ทำขึ้นนั้น ส่วนแอมโมเนียที่ยังมีเหลืออยู่ในอิมัลชั่นจะเป็นเหตุให้เกิดหมอก(fog) ขึ้นมากมายในฟิล์ม ส่วนใหญ่ของแฮไลด์ที่ละลายได้ซึ่งเหลืออยู่ จะทำให้ความไวของอิมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปลดลงไปเป็นอันมาก

ดังนั้นในทางปฏิบัติ หากจะใช้อีมัลชั่นฉาบลงบนสิ่งรองรับที่น้ำยาซึมไม่ได้จึงจำเป็นต้องนำน้ำยาที่เตรียมได้นั้นมาล้างเอาแอมโมเนียออกให้หมด จนอีมัลชั่นนั้นมีคุณสมบัติเป็นกลางเสียก่อน และต้องกำจัดไนเตรทและพวกแฮไลด์ที่ละลายได้เหลืออยู่นั้นออกด้วย แต่ถ้าจะฉาบอีมัลชั่นลงบนสิ่งรองรับที่น้ำยาซึมได้ เช่น กระดาษ แล้วอาจจะไม่ต้องล้างก็ได้ เพราะพวกเกลือต่างๆจะซึมแทรกเข้าไปในสิ่งรองรับนั้นจึงไม่ตกผลึกออกมาทางผิวของอีมัลชั่น ส่วนแอมโมเนียก็จะระเหยหมดไปด้วยเช่นกัน

ตอนต้นของขั้นที่ 2 ในเรื่องการเตรียมอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนี้ ได้บรรยายถึงการล้างโดยทำเยลาตินซิลเวอร์แฮไลด์อีมัลชั่นให้จับเป็นก้อนแข็ง แล้วนำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆล้างน้ำบริสุทธิ์ แล้วจึงนำไปหลอมในน้ำหรือในน้ำยาเยลาตินอีกทีหนึ่ง

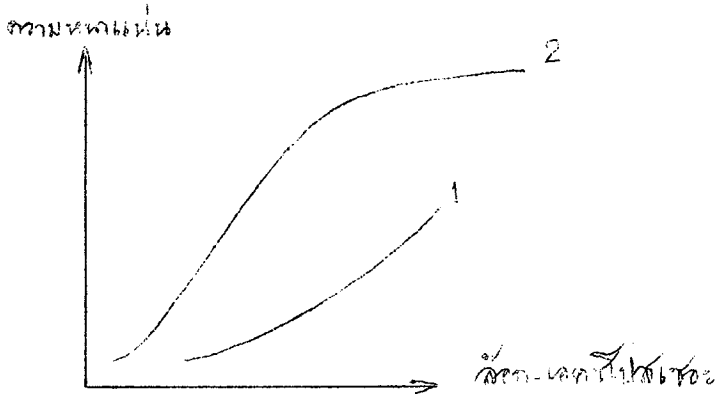
ในขั้นการล้างมีวิธีการปฏิบัติดังนี้ คือ นำอีมัลชั่นซึ่งผ่านการเตรียมในขั้นพรีซิพิเตชั่น และขั้นรีพเพนนิ่ง มาแล้วซึ่งจะมีลักษณะเป็นวุ้นแข็ง นำมาฉีกหรือตัดให้เป็นฝอยหรือเป็นชิ้นเล็กๆนำไปล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์หลายๆครั้ง แล้วนำไปทดสอบวิเคราะห์ดู(Analytical tests) ด้วยการตรวจน้ำที่ล้างออกมาโดยวิธีตรวจสอบบราวน์ริง (Brown ring test) เพื่อดูว่ายังมีไนเตรทอยู่หรือไม่ จะต้องล้างจนไม่มีไนเตรทเหลืออยู่ นอกจากนั้นถ้าหากลางไปนานๆแล้ว ในที่สุดตัวอีมัลชั่นเองจะละลายออกมาก็ยุติการล้างได้ หรืออาจจะล้างอีมัลชั่นจนกระทั่งมีซิลเวอร์ไอออนอยู่ในโบรไมด์ที่เหลือทั้งนี้เนื่องจากซิลเวอร์ไอออนรวมกับเยลาตินเป็นซิลเวอร์เยลาตินเนท(silver gelatinate) ขณะที่มีซิลเวอร์โบรไมด์สมดุลย์พอดี จะมีซิลเวอร์ไอออนมากที่สุดประมาณ 10^{-6}, 1 กรัมของเยลาตินจะสมดุลย์กับซิลเวอร์ไอออนที่อยู่ในน้ำยาที่เป็นกลาง 1 มิลลิกรัม ดังนั้นการล้างอาจล้างเยลาตินซิลเวอร์โบรไมด์อีมัลชั่นจนกระทั่งส่วนประกอบเฉลี่ยมีซิลเวอร์ทั้งหมด 0.4 % ประกอบอยู่กับเยลาติน แทนที่จะเป็นส่วนประกอบของโบรไมด์

ในทางปฏิบัติ ตามปกติจะล้างไปจนกระทั่งโบรไมด์ที่เหลืออยู่ถูกกำจัดจนเหลือปริมาณอยู่เพื่อดำเนินการในขั้นอาฟเตอร์รีพเพนนิ่งและขั้นสำเร็จ(finishing) เท่านั้น

(ง) ขั้น อาฟเตอร์-ไรพเพนนิ่ง (After-Ripening)

หลังจากขั้นการล้างต้องนำอีมัลชั่นมาดำเนินการต่อในขั้นอาฟเตอร์-ไรพเพนนิ่ง โดยนำอีมัลชั่นที่เตรียมได้นั้นมาหลอมที่อุณหภูมิคงที่ 50 องศา ซ. เป็นเวลาประมาณ 1 ชม. ในระยะเวลาระหว่างนี้อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของเกรนส์หรือรูปร่างทั่วๆไป(general form) บ้างเล็กน้อย หรืออาจจะไม่เปลี่ยนแปลงเลย ทั้งนี้เพราะพวกตัวเร่งในเรื่องไรพเพนนิ่ง(repening accelerator) เช่น โบรไมด์ไอออน และ แอมโมเนียที่เหลืออยู่ ได้ถูกแยกออกไปแล้วในขั้นการล้างนั้น

ในขั้นอาฟเตอร์-ไรพเพนนิ่งนี้ มีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในด้านคุณภาพของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป คือ การลดความไว และ คอนทรัสต์(contrast) อันเนื่องมาจากปฏิกริยาความไวทางเคมี(chemical sensitizing reaction) ดังรูปที่ 4 ซึ่งเป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงแคแรคเทอะริสติคเคอฟว์(characteristic curve) ของแอมโมเนียไทพ์ ไอโอโดโบรไมด์อีมัลชั่น(ammonia-type iodobromide emulsion) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากสารที่ทำให้เกิดความไวทางเคมี(chemical sensitizing)



รูปที่ 4

เส้นกราฟหมายเลข 1 เมื่อไม่ใช้สารที่ทำให้เกิดความไวทางเคมี

เส้นกราฟหมายเลข 2 เมื่อใช้ออรัส ไทโอ ไซแอนไนท์(aurous thio-cyanite) เป็นสารที่ทำให้เกิดความไวทางเคมี

ความไวทางเคมีนี้เกิดขึ้นได้โดยปฏิกริยาของเยลาติน หรือสิ่งเจือปน

(impurity) ที่มีอยู่กับซิวเวอร์แฮไลด์

เมื่อเริ่มต้นทำขั้นอาฟเตอร์-ริพเพนนิ่งนั้น อาจเติมเยลาตินซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดความไวโดยธรรมชาติ(natural sensitizer) อยู่แล้วให้แก่อีมัลชั่น หรืออาจจะใช้เติมสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำให้เกิดความไวตามลักษณะที่เราต้องการให้มีความไวต่อสภาพใด เช่น ต่อแสงสีใด ต่อความยาวคลื่นแสงเท่าใด เป็นต้น ลงในอีมัลชั่นที่ทำนั้น

ในเรื่องนี้ ได้มีผู้ค้นคว้าไว้เป็นอันมาก สารที่ทำให้เกิดความไวซึ่งเป็นที่รู้จักกันในปัจจุบัน ได้แก่

(1) เฮโลจีเนท ฟูลเรสซีน (Halogenated fluoresceins)

อีโอซีน(Eosin)	ทำให้เกิดความไวต่อแสง	สีเหลือง–เขียว
อีรีทโธรซีน(Erythrosin)	"	สีเหลือง–เขียว

(2) เดอริเวทีฟซ์ ของ ไพริดีน, ควินโนลีน และ อคริดีน (Derivatives of pyridine, quinoline and acridine)

(a) ไอโซไซแอนนีนซ์:(Isocyanines)

พินาฟลาโวล(Pinaflavole)	ทำให้เกิดความไวต่อแสง	สีเขียว
ออโธโครม ที(Orthochrome T)	"	สีเขียว
พินาเวอร์โดล(Pinaverdol)	"	สีส้ม
พินาโครม(Pinachrome)	"	สีส้ม
อคริดีน ออเรนจ์(Acridine orange)	"	สีส้ม
เอทธิลเรด(Ethylred)	"	สีส้ม,แดง– $-\lambda$ 6500 A.U.

(b) คาร์โบไซแอนนินซ์: (Carbocyanins)

พินาไซแอนโนล(Pinacyanole)	ทำให้เกิดความไวต่อแสง	สีแดง λ 6800
แนพโธไซแอนโนล(Naphthocyanole)	"	สีแดงเข้ม λ 7500
ไดไซแอนนีน(Dicyanin)	"	สีอินฟราเรด λ 9000

กริพโตไซแอนนิน(Kryptocyanin)ทำให้เกิดความไวต่อแสง สีแดงจัด λ8000

มีโซไซแอนนิน(Mesocyanin) " สีอินฟราเรด λ9000

นีโอไซแอนนิน(Neocyanin) " สีอินฟราเรด λ10000

ซีโนไซแอนนิน(Xenocyanin) " สีอินฟราเรด λ10000

สารที่ทำให้เกิดความไว อาจจัดเป็นพวกได้ดังนี้

(1) พวกสารประกอบซึ่งทำปฏิกริยากับซิวเวอร์แฮไลด์แล้วประกอบเป็นซิวเวอร์ซัลฟายด์(silver sulfide) เรียกว่าเป็น ซัลเฟอร์เซนซิไทเซอร์ (sulfur sensitizer)

(2) พวกสารประกอบซึ่งลด(reduce) ซิวเวอร์ไอออนไปเป็นซิวเวอร์ เรียกว่าเป็น รีดักชั่น หรือ ซิวเวอร์เซนซิไทเซอร์(reduction or silver sensitizer)

(3) พวกเกลือของทองและโลหะมีค่าอื่นๆ

ปริมาณของสารที่ทำให้เกิดความไวนั้นจะต้องพอดี จึงจะได้อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ถ้าใช้ ออลลิล ไทโอยูเรีย(allayl thiourea) มีความเข้มข้นมากเกินไปแล้วจะทำให้เกิดหมอกขึ้นมากมาย ซิวเวอร์โบรไมด์จะดูดไทโอยูเรียได้อย่างแรง จะมีปฏิกริยาที่สำคัญในเรื่องการทำให้ความไวเกิดขึ้นบนผิวของเกรนส์ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมแล้วซิวเวอร์ซัลฟายด์จะเกิดขึ้น ดังสมการ

$$S=C\begin{matrix}\diagup NH_2\\ \diagdown NHC_3H_5\end{matrix} + 2\,Ag^+ \longrightarrow Ag_2S + 2H^+ + N\equiv C\text{-}NHC_3H_5$$

การทำให้เกิดความไวในการถ่ายรูป(photographic sensitivity) และอัตราของปฏิกริยาซึ่งเกิดซิวเวอร์ซัลฟายด์ จะเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มอุณหภูมิ, เพิ่ม pH และลดความเข้มข้นของแฮไลด์ไอออนที่มีเกินอยู่ พฤติกรรมที่เกิดคู่กันไประหว่างการทำให้เกิดความไว และอัตราของปฏิกริยานี้เอง ทำให้การเกิดซิวเวอร์ซัลฟายด์เป็นสิ่งแสดงให้ทราบถึงการเกิดความไวได้

ซิวเวอร์ซัลฟายด์จะไปเร่งปฏิกริยาระหว่างซิวเวอร์ไอออนกับไทโอยูเรีย ไทโอซัลเฟตไอออน(thiosulfate ion) ซึ่งเป็นซัลเฟอร์เซนซิไทเซอร์ ก็จะถูกดูดอย่างแรงโดยผิวซิวเวอร์แฮไลด์ และจะทำปฏิกริยาภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดซิวเวอร์ซัลฟายด์บนผิวของเกรนส์

รีดิวซิ่งเอเยนต์(reducing agent) เช่น สแตนนัส-คลอไรด์(stannous chloride) และ ไฮดราซีน(hydrazine) มีปฏิกริยาเหมือนเป็นสารที่ทำให้เกิดความไว คือ จะทำปฏิกริยากับซิวเวอร์ไอออนเพื่อประกอบขึ้นเป็นปรมาณูของซิวเวอร์ทำให้เกิดการเพิ่มความไวขึ้น ได้เคยกล่าวมาแล้วว่าในเยลาตินก็อาจมีพวกรีดิวซิ่งเอเยนต์อยู่ จึงกระทำปฏิกริยาเป็นสารทำให้เกิดความไวด้วย การทำให้เกิดความไวโดยใช้ซัลเฟอร์เซนซิไทเซอร์นั้นจะมีความต้านทานปฏิกริยาออคซิไดซิ่งเอเยนต์(oxidizing agent) อย่างอ่อนๆ เช่น เฟอร์ไรไซแอนนายด์(ferricyanide) นี่คือความแตกต่างของปฏิกริยาของซัลเฟอร์เซนซิไทเซอร์ และ รีดักชั่นเซนซิไทเซอร์

เซนซิไทเซอร์ซึ่งเป็นพวกเกลือของทองและโลหะมีค่าอื่นๆ เกิดจากปฏิกริยาของสารประกอบของทอง(gold compound)และ โกลด์ไอออนคอมเพล็กซ์(gold-ion complex) ได้ออรัส-ไทโอไซแอนเนท-คอมเพล็กซ์(aurous thiocyanate complex) และสามารถเพิ่มความไวของอิมัลชั่นได้ด้วยซัลเฟต หรือรีดักชั่นเซนซิ-ไทเซอร์ การทำให้เกิดความไวแบบนี้เนื่องมาจากการสร้างเป็นรูป(formation) ของอนุของทองบนผิวเกรนส์

มิทเชลล์(Mitchell) และผู้ร่วมงานของเขาได้ทำการทดลองโดยนำผลึกซิวเวอร์โบรไมด์ซึ่งเตรียมได้โดยวิธีคูลลิ่ง-เพียวริฟายด์(cooling purified)มาหลอมระหว่างแผ่นแก้ว ผลึกนี้จะแสดงให้เห็นการเกิดความไวสำหรับภาพแฝงขึ้น โดยการหลอมตัวของ เงิน, ทอง, หรือไอของซิวเวอร์ซัลฟายด์ ลงบนผิวของซิวเวอร์โบรไมด์ซึ่งไม่มีเยลาติน แต่ถ้าปริมาณสารที่ทำให้เกิดความไวนี้มากเกินไปแล้วก็จะทำให้เกิดหมอกขึ้น

(จ) ขั้นการเพิ่มเติมก่อนฉาบ (Final Additions before Coating)

ในระหว่างดีวีลอปเม้นต์(development) ฟิคซิ่ง(fixing) และการล้างภายหลังจากการถ่ายรูปนั้น เยลาตินจะพองขึ้น จึงต้องพิจารณาถึงความเค้น (mechanical stress) บนผิวเยลาตินด้วย เยลาตินสามารถต้านทานความเค้นได้มากขึ้นโดยการเพิ่มฮาร์ดดิ่งเอเยนต์(harding agent) ลงไปในอีมัลชั่นก่อนที่จะนำไปฉาบ เช่น เติมโครมอลัม(chrom alum) 1กรัมต่อเยลาติน 100 กรัม หรืออาจใช้ฮาร์ดดิ่งเอเยนต์ชนิดอื่นๆก็ได้ เช่น ฟอร์มอลดีไฮด์(formal dehyde)แต่ถ้าใช้ปริมาณฮาร์ดดิ่งเอเยนต์มากเกินไปแล้วจะทำให้เกิดการหน่วงดีวีลอปเม้นต์ขึ้น และเกิดการสูญเสียในด้านการทำให้เกิดความไวขึ้นด้วย

สารที่ทำให้อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปมีความไวเป็นพิเศษ(spectral sensitivity) ได้แก่ เซนซิไทซิ่งดาย(sensitizing dye) คือ สีย้อมชนิดต่างๆ ซึ่งเรียกว่า ออปติคัล–เซนซิไทเซอร์(optical sensitizer)ซึ่งมักจะเติมสีย้อมลงไปขณะเตรียมสารออร์โธโครแมติกและแพนโครแมติก(orthochromatic and panchromatic material) เมื่อกรรมวิธีในการผลิตอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปจวนจะสำเร็จ สีย้อมซึ่งมีปริมาณอยู่เพียงเล็กน้อยจะซึมเข้าไปในผิวของซิวเวอร์โบรไมด์ทำให้อีมัลชั่นเกิดความไวขึ้น และจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อสีย้อมซึมเข้าไปในผิวก่อนที่ผิวของเกรนส์ทั้งหมดจะปิดลง

เซนซิไทซิ่งดายมีหลายอย่าง จึงอาจเลือกใช้เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการในช่วงความยาวคลื่นกว้างๆได้

การเติมสารต่างๆเพื่อให้ได้คุณสมบัติพิเศษอื่นๆ เช่น เพื่อป้องกันรักษาคุณภาพของฟิล์ม, ทำลายการเกิดหมอก, ฯลฯ เหล่านี้จะต้องกระทำก่อนการฉาบเสมอ

ขั้นที่ 3 การฉาบ (Coating)

อีมัลชั่นที่ทำสำเร็จเรียบร้อยแล้วต้องนำไปฉาบลงบนสิ่งรองรับ (supporting material) ที่เหมาะสม ในฟิล์มถ่ายรูปทั่วๆไปมักใช้สิ่งรองรับที่เป็นเซลลูโลส–เอสเตอร์(cellulose ester) เช่น อาซิเตท(acetate) สำหรับโฟโต–

กราฟฟิกเพลท(photographic plate) ใช้กระจก ส่วนกระดาษอัดรูป (photographic paper)ใช้กระดาษเป็นสิ่งรองรับ กรณีที่เป็นงานพิเศษโดยเฉพาะ อาจใช้ไม้ หรือ โลหะ เป็นสิ่งรองรับได้

3. ข้อสังเกตเกี่ยวกับอีมัลชั่นชนิดพิเศษ

สารที่ใช้และกรรมวิธีต่างๆในการทำอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนั้น อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการ สิ่งที่จำเป็นต้องใช้โดยไม่อาจใช้สิ่งอื่นแทนได้ ได้แก่ ซิวเวอร์แฮไลด์ และ เยลาติน เท่านั้น ส่วนสารอื่นๆและการฉาบอีมัลชั่นเป็นชั้นหนาหรือบางเพียงใดนั้น อาจเปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการที่จะใช้

อีมัลชั่นสำหรับเนคเกทีฟฟิล์ม(negative film) จะใช้เยลาตินแห้งหนัก 60 ส่วนต่อซิวเวอร์แฮไลด์หนัก 40 ส่วน และนำมาฉาบให้มีความหนาประมาณ 0.02 มม. มีซิวเวอร์แฮไลด์ประมาณ 1.5 มิลลิกรัมต่อ 1 ลบ.ซม. ฟิล์มที่ทำสำเร็จแล้วจะมีความชื้นอยู่เล็กน้อย(ประมาณ 10 % ของน้ำหนักเยลาตินทั้งหมด) นอกจากนั้นจะมีแฮไลด์ที่เหลือและสิ่งเจือปนต่างๆเล็กน้อย และจะมีสารที่ได้ผสมลงไปเพื่อให้อีมัลชั่นมีคุณสมบัติพิเศษต่างๆอยู่อีกบ้าง

อีมัลชั่นสำหรับโพสิทีฟฟิล์ม(positive film) จะมีจำนวน % ของซิวเวอร์แฮไลด์น้อยกว่าพวกเนกเกทีฟฟิล์ม และจะบางกว่าด้วย

เอกซ์-เรย์ อีมัลชั่น(X-ray emulsion) เป็นโบรไมด์หรือไอโอโบรไมด์อีมัลชั่น ได้มีการทดลองเพื่อใช้สารอื่นแทนปรากฏว่าสามารถใช้สารหลายอย่างแทนได้ เช่น ซิวเวอร์ทังสเตน(silver tungsten) แต่มีผลดีสู้ซิวเวอร์แฮไลด์ไม่ได้ การเอกซ์เรย์ต้องการให้ฟิล์มมีการดูดกลืนรังษีไว้มากที่สุดดังนั้นการทำฟิล์มเอกซ์เรย์จึงฉาบอีมัลชั่นหนากว่าฟิล์มตามปกติ และจะฉาบทั้งสองด้านของฟิล์มด้วย

อีมัลชั่นที่มีคอนทรัส(contrast) สูง ทำได้โดยการผสมน้ำยาซิวเวอร์และโบรไมด์อย่างรวดเร็ว กวนพอสุกเท่านั้น เกรนส์ของอีมัลชั่นที่เตรียมได้จะมีขนาดเล็กทำให้มีคุณสมบัติคอนทรัสสูงด้วย

อีมัลชั่นที่ใช้ฉาบกระดาษอัดรูป เป็นอีมัลชั่นที่มีความไวน้อย เรียกว่า สโลว์ (slow) เป็นอีมัลชั่นที่มีเกรนส์ละเอียด

พริ้นเอ้าท์ อีมัลชั่น(Print-out emulsion) เป็นอีมัลชั่นพิเศษ เมื่อถูกแสงสว่างโดยตรงจะได้ภาพ(image silver) โดยไม่ต้องผ่านการดีเวลอป การทำอีมัลชั่นพวกนี้ใช้ ซิวเวอร์คลอไรด์ หรือเกลือของซิวเวอร์ มีสารอินทรีย์ เช่น ออคซาเลท (oxalate) ฯลฯ ผสมอยู่ ในพริ้นเอ้าท์ อีมัลชั่น จะมีซิวเวอร์ไอออนอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งแตกต่างจากอีมัลชั่นทั่วๆไป

โลว์–เยลาติน อีมัลชั่น(low-gelatine emulsion) แบบอื่นๆใช้สำหรับบันทึกเกี่ยวกับ แสงคอสมิค(cosmic ray),อนุภาคนิวเคลีย(nuclear particle) และอีเลคตรอน(electron) เหล่านี้ประกอบด้วยซิวเวอร์แฮไลด์มากถึง 80 % การฉาบอีมัลชั่นก็จะฉาบหนากว่าฟิล์มธรรมดา หรือบางครั้งอาจทำเป็นแผ่นบางๆโดยไม่ใช้สิ่งรองรับเลยก็มี

4. <u>คุณสมบัติของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป</u>

อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปเป็นสิ่งสำคัญในการทำให้เกิดภาพขึ้น ในงานแต่ละอย่างมีความต้องการอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่มีคุณสมบัติเฉพาะแตกต่างกันไป ในการปฏิบัติงานจึงจำเป็นจะต้องทราบคุณสมบัติของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปเสียก่อน เพื่อจะเลือกใช้อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการได้ถูกต้อง อันจะทำให้การปฏิบัติงานนั้นๆได้รับผลดีที่สุด

สิ่งที่แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติต่างๆของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป คือ แคแรคเทอะริชติคเคอฟว์ ซึ่งเป็นกราฟเส้นโค้งเขียนขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นที่เห็น (optical density) กับ ค่าลอกการิธึมของเอคซโปสเชอะ(logarithm of the exposure) โดยการนำสิ่งที่ฉาบด้วยอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปมาเอคซโปสด้วยแสงชุดหนึ่งซึ่งประกอบด้วยค่าเอคซโปสเชอะที่เพิ่มขึ้นด้วยค่าที่คงที่อันหนึ่งเป็นลำดับ เมื่อเอคซโปสแล้วนำสิ่งที่ฉาบด้วยอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนั้นมาหาค่าความหนาแน่น(density)ของเงินที่เกิดขึ้น

โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เด็นสิโตมิเตอร์ (Densitometer) เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่าความหนาแน่นของเงินกับค่าล้อกการิธึมของเอกซโปสเชอะแล้ว จะได้เส้นโค้งซึ่งเรียกว่า แคแร็คเทอะริชติคเคอฟว์

ความหนาแน่น (Density) สัญญาลักษณ์ D คือค่าล้อกการิธึมของความทึบแสง (Opacity) สัญญาลักษณ์ O ของเงินที่มีอยู่ อาจเขียนสูตรได้ดังนี้

$$\text{การส่งผ่าน (Transmission, T)} = \frac{\text{แสงที่ส่งผ่านไป (Transmitted light, I)}}{\text{แสงตก (Incident light, } I_0\text{)}}$$

$$\text{ความทึบแสง (Opacity, O)} = \frac{1}{\text{การส่งผ่านไป}} = \frac{1}{T} = \frac{I_0}{I}$$

$$\text{ความหนาแน่น (Density, D)} = \log_{10} \text{ ความทึบแสง} = \log_{10} \frac{1}{T}$$

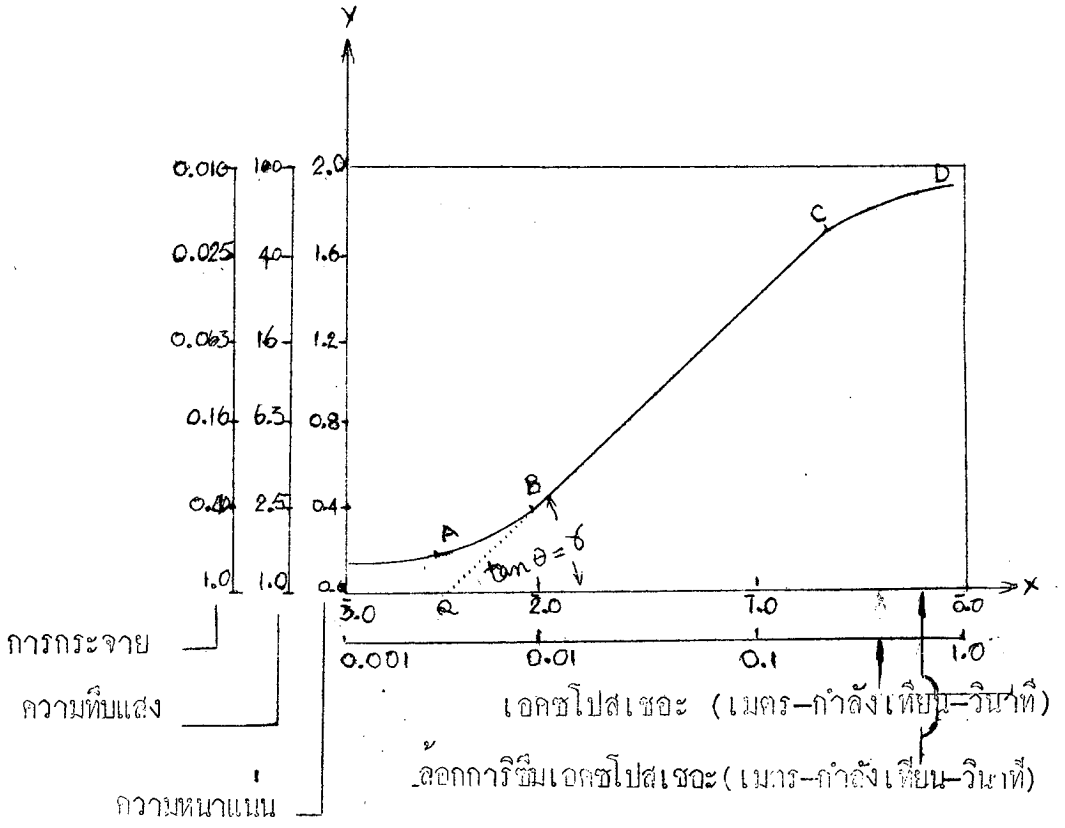
ค่าเอกซโปสเชอะที่กล่าวถึงนี้ เป็นจำนวนรวมทั้งหมดของพลังงานการส่องแสง (luminous energy) ซึ่งกระทำบนสิ่งที่ฉาบอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปไว้ ปกติใช้หน่วยเมตร–กำลังเทียน–วินาที (meter-candle-seconds) ดังนั้นล้อกการิธึมของเอกซโปสเชอะที่นำมาใช้ในการเขียนแคแร็คเทอะริชติคเคอฟว์นี้จึงมีหน่วยเป็นเมตร–กำลังเทียน–วินาที

ความชัน (slope) หรือ เกรเดียน (gradient) ที่ส่วนหนึ่งส่วนใดของเส้นโค้งแสดงให้เห็นถึงความรวดเร็วในการเปลี่ยนค่าความหนาแน่นเมื่อค่าเอซโปสเชอะเปลี่ยนไป

ลักษณะของแคแรกเทอะริชติคเคอฟว์โดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 5 อาจแบ่งเป็นส่วนต่างๆได้ดังนี้

ก. ระยะจากแกน Y ถึง A เป็นระยะเมื่อการเอกซโปสเชอะมีค่าน้อยกว่าที่จุด A ระยะนี้เมื่อผ่านการดีวีลอปแล้วปรากฏว่าไม่มีความหนาแน่นของภาพ (no image density) ความหนาแน่นที่ปรากฏจะมีลักษณะเป็นหมอกหยาบๆ (gross fog) ซึ่งเป็นความหนาแน่นที่เกิดจากสิ่งรองรับอีมัลชั่น รวมกับความหนาแน่นที่เป็นหมอกอันเนื่องจาก

การดีวีลอปหรือเรียกว่าเป็นความหนาแน่นพื้นฐาน



รูปที่ 5 แสดงแคแรคเทอะริซติคเคอฟว์ของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป

ที่จุด A เป็นค่าเอคซโปสเซอะเริ่มต้น(threshold exposure) นั่นคือ เป็นค่าเอคซโปสเซอะต่ำสุดที่ทำให้เกิดความหนาแน่นได้

ข. ระยะ AB เรียก โท(Toe) หรือ อันเดอร์เอคซโปสเซอะ(Under exposure) ในระยะนี้ค่าความชันของเส้นโค้งจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มเอคซโปสเซอะ

ค. ระยะ BC เรียก เส้นตรง(Straight-line) หรือ คอร์เร็คเอคซ-โปสเชอะ(Correct exposure) เป็นระยะซึ่งมีค่าความชันของเส้นโค้งคงที่ ค่าความหนาแน่นจะเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับค่าลอกการิธึมของเอคซโปสเชอะ

ในการถ่ายรูปที่ใช้งานให้มีการเอคซโปสเพื่อจุดประสงค์ในการวัดค่าความหนาแน่นของภาพที่ถ่ายได้ เช่น ในงานด้านดาราศาสตร์, สเปคโตรกราฟฟี่(Spectrography) แล้วจะได้ผลดีที่สุดหากใช้เอคซโปสเชอะในช่วงเส้นตรงในแคแรคเทอะริซติคเกอฟว์

ง. ระยะจากจุด C ขึ้นไป เรียก โชลเกอะ(Shoulder) หรือ โอเวอร์-เอคซโปสเชอะ(Over exposure) ในระยะนี้ค่าความชันของเส้นโค้งจะลดลงเมื่อค่าเอคซโปสเชอะเพิ่มขึ้น

ต่อจากนั้นเส้นโค้งจะอยู่ในแนวระดับ นั่นคือ เมื่อค่าเอคซโปสเชอะเพิ่มขึ้นแต่ความหนาแน่นคงที่ ความหนาแน่นในช่วงเส้นโค้งแนวระดับนี้ ใช้สัญญลักษณ์ D_{max}

ในบางกรณีหลังจาก D_{max} ไปแล้ว เมื่อเพิ่มค่าเอคซโปสเชอะต่อไป แต่ค่าความหนาแน่นกลับลดลง กรณีในช่วงนี้ เรียกว่า รีเวิสแซลเอคซโปสเชอะ(Reversal exposure) หรือ โซลาร์ไรซ์เซชั่น(Solarization) โซลาร์ไรซ์เซชั่น เกิดขึ้นเนื่องจากได้รับแสงมากเกินไป นอกจากนั้นยังเกี่ยวกับวิธีการผลิตอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปด้วย คือ หากในการผลิตอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนั้นได้แยกเอาฮาโลเจน(halogen) ที่เหลือจากปฏิกริยาออกหมดแล้วจะไม่เกิดโซลาร์ไรซ์เซชั่น ถ้าหากในการผลิตอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนั้นมิได้แยกเอาฮาโลเจนที่เหลืออยู่ออกก็จะทำให้เกิด รีฮาโลจีเนชั่น(Rehalogenation) คือ มีฮาโลเจนอิสระเหลืออยู่ จะไปจับรวมกับเงินที่เกิดขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของเงินที่เกิดขึ้นในรูปถ่ายนั้นลดลง ซึ่งเรียกว่าเกิด โซลาร์ไรซ์เซชั่น ขึ้น

คุณสมบัติของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่กล่าวถึงทั่วๆไป ได้แก่

(1) <u>ความไว</u> (speed) คือความไวที่อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปทำปฏิกริยาต่อแสงว่าจะต้องใช้เวลามากน้อยเพียงใด ระบบวัดความไวมีอยู่หลายหน่วย ได้แก่

- เอชแอนด์ดี (H&D, Hurter & Driffield)

- ดิน (Din)
- ไชน์เนอร์ (Scheiner)
- ยี.อี. (G.E., General Electric)
- เวสตัน (Weston)
- เอ.เอส.เอ.(A.S.A., American Standards Association)

จากแกนแรกเท่อะริธติกเกอฟว์ ถ้าต่อเส้นตรง CB ไปตัดแกนที่จุด Q ดังรูปที่ 5 แล้วค่าเอกซโปสเชอะที่จุด Q เรียกว่า อินเนอร์เชีย(Inertia) คือ เป็นค่าเอกซ์-โปสเชอะที่จะทำให้เกิดความหนาแน่นขึ้น เป็นสิ่งที่จะแสดงให้เห็นค่าความไวของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป ซึ่งมีสมการ ดังนี้

$$\text{ความไว} = \frac{1}{\text{อินเนอร์เชีย (Inertia)}}$$

ความไวของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนี้ มีค่าเปลี่ยนแปลงได้เนื่องในกรณีต่อไปนี้

(ก) เทคนิคในการผลิต

- ในขั้นใดขั้นหนึ่งในการผลิตอีมัลชั่นนั้น ถ้าเคี่ยวนาน อีมัลชั่นที่ผลิตได้จะมีความไวสูงขึ้น
- ในการผลิตอีมัลชั่นหากมีแอมโมเนียผสมด้วย ได้แก่ แอมโมเนียไทพ์ อีมัลชั่นจะช่วยทำให้อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่ผลิตได้นั้นมีความไวสูงขึ้น
- หากใช้ความร้อนในการผลิตอีมัลชั่นสูงแล้ว จะทำให้อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่ผลิตได้มีความไวสูงขึ้น แต่เกรนส์ของอีมัลชั่นจะโตหยาบ

(ข) น้ำยาที่ใช้ในการดีวีลอป จะทำให้ความไวของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปเปลี่ยนแปลงไปได้

(ค) แสงที่ใช้ในการถ่ายรูป โดยมากอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปทุกชนิดจะไวต่อแสงอุลตราไวโอเลต(ultraviolet) และสีน้ำเงินมากกว่าแสงช่วงอื่นๆ แสงแดดมีรังสีในช่วงอุลตราไวโอเลต และสีน้ำเงินอยู่เป็นส่วนมาก ส่วนแสงไฟฟ้าจะมีรังสีช่วงสีแดงและส้มปนอยู่ ดังนั้นอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปจึงไวต่อการถ่ายรูปด้วยแสงแดดมากกว่าการถ่ายรูป

ด้วยแสงไฟฟ้า

ความไวต่อสี(Color Sensitivity) เกลือเงินแฮไลด์มีความไวต่อสีน้ำเงิน ม่วง และอุลตราไวโอเลตเท่านั้น หากต้องการอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่มีความไวต่อรังสีช่วงอื่นด้วยแล้ว ในการผลิตอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนั้นต้องเติมสารที่จะไปช่วยให้เกิดความไวต่อสีตามความต้องการ สารที่ช่วยทำให้อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปเกิดความไวต่อสีได้แก่ เซนซิไทซิ่งดาย(Sensitizing Dyes) ดังได้กล่าวมาแล้ว

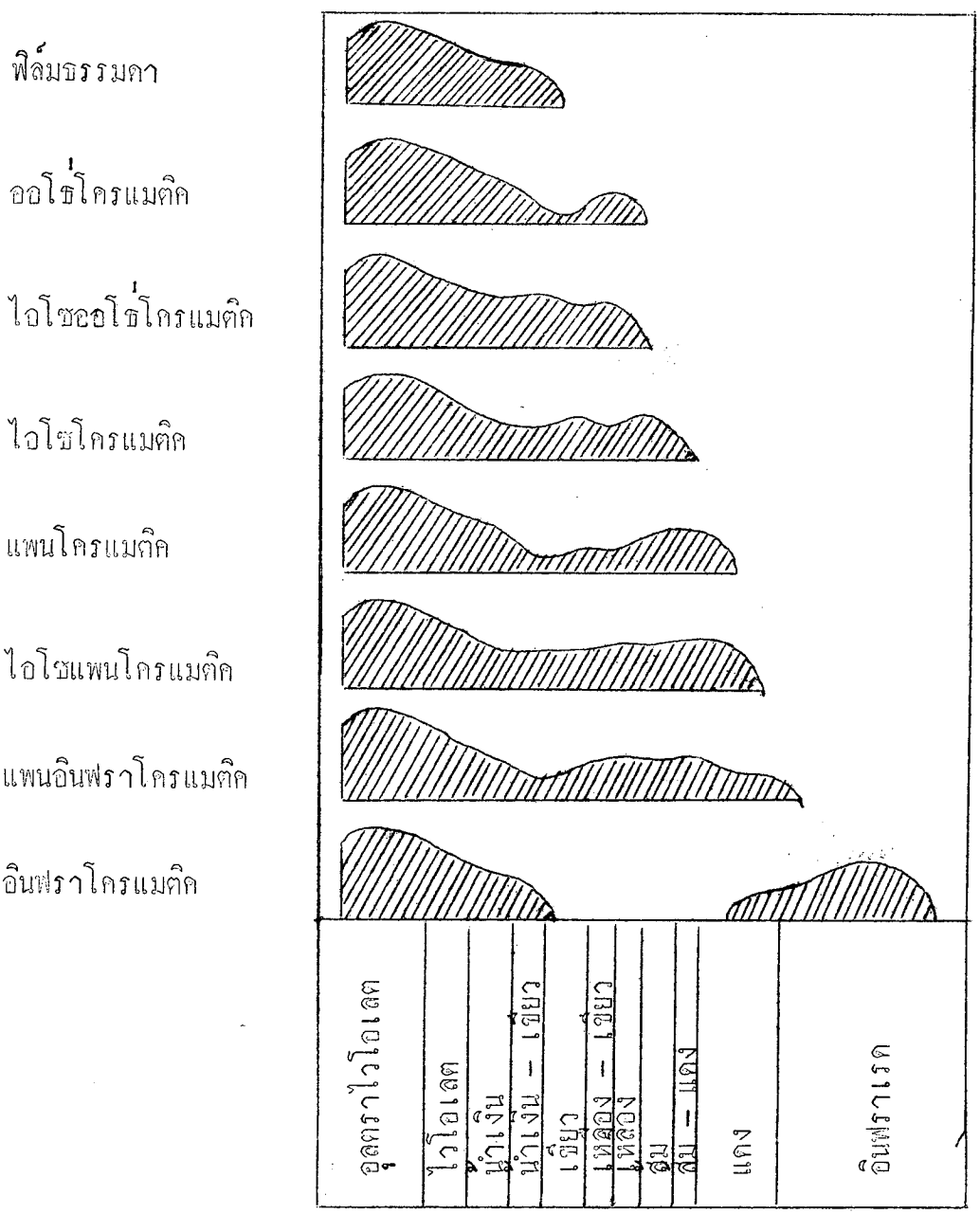
ฟิล์มที่มีขายตามท้องตลาดจะจัดทำเป็นชนิดต่างๆ ซึ่งมีคุณสมบัติไวต่อรังสีช่วงต่างๆ กัน ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 6

คุณสมบัติของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปอันเนื่องจากการใช้สีเป็นสารที่ช่วยทำให้เกิดความไวนี้จะทำให้ได้อีมัลชั่นที่มีความไวต่อรังสีในช่วงต่างๆแตกต่างกันไปและทำให้เกิดเฮอร์เชิลเอฟเฟค(Herschel Effect) ต่างกันด้วย

เฮอร์เชิลเอฟเฟค เป็นผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเอกซโปสครั้งแรกด้วยรังสีคลื่นสั้น(shorter λ)เช่นแสงสีน้ำเงิน ทำให้เกิดภาพแฝงขึ้น ต่อจากนั้นนำไปเอกซโปสด้วยรังสีคลื่นยาว(longer λ) เช่นแสงสีแดง เมื่อผ่านการล้างแล้วปรากฏว่าภาพแฝงที่เกิดจากการเอกซโปสครั้งแรกด้วยรังสีคลื่นสั้น บางส่วนหายไป แสดงว่ารังสีคลื่นยาวอาจทำลายภาพแฝงที่เกิดจากรังสีคลื่นสั้นบางส่วนได้ เรียกผลนี้ว่า "เฮอร์เชิลเอฟเฟค"

ผู้ที่จะถ่ายรูปเพื่อนำไปใช้งาน จะต้องเลือกฟิล์มที่อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการ เช่น

- ในการถ่ายรูปลายเส้น หรือ ทำกระจกฉายภาพ(Lantern Slide) ซึ่งเป็นงานที่ต้องการความละเอียด ต้องการความแตกต่างความดำ จึงควรใช้ฟิล์มชนิดธรรมดา (ordinary) เพราะอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปในฟิล์มชนิดนี้ประกอบด้วยเกลือเงินแฮไลด์ซึ่งให้ความแตกต่างของความดำสูงกว่าชนิดอื่นๆ
- ในการถ่ายรูปพอทเทรท(Portrait) ของผู้ชายนั้นมักใช้ฟิล์มชนิดออโธโครเมติค(Orthochromatic)



รูปที่ 6 แสดงคุณสมบัติที่ไวต่อรังสีช่วงต่างๆของอีมัลชั่นในฟิล์มชนิดต่างๆ (5)

– ในการถ่ายรูปพอทเทรทของผู้หญิง, เด็ก และในที่ๆต้องการความนุ่มนวลและสวยงาม มักใช้ฟิล์มชนิดแพนโครเมติค(Panchromatic)

– ในการถ่ายรูปทางอากาศระยะสูงๆหรือขณะฟ้าหรัว(Haze), การทำ

แผนที่ทางอากาศ, ตรวจการพลางของข้าศึก, การสำรวจป่า, ฯลฯ มีความต้องการฟิล์มที่มีอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่ไวต่อช่วงรังสี สีแดงและอินฟราเรด(infra red) จึงต้องเลือกใช้ฟิล์มชนิดอินฟราเรด และระหว่างการถ่ายภาพจะต้องใช้มานกรองแสงสีแดงด้วย เพื่อตัดแสงอุลตราไวโอเลตและแสงสีน้ำเงินออก

(2) <u>ความแตกต่างของความคำ</u> (Contrast) คือ อัตราส่วนระหว่างความดำสูงสุดกับความดำต่ำสุดของเนกาทีฟ(negative) หรือภาพ อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปต่างชนิดกันจะมีความแตกต่างของความดำต่างกัน อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่มีความไวสูง จะมีความแตกต่างของความดำต่ำ และมีขนาดเกรนส์โต ส่วนอีมัลชั่นที่มีความไวน้อยมักจะมีความแตกต่างของความดำสูง และมีขนาดเกรนส์ละเอียด

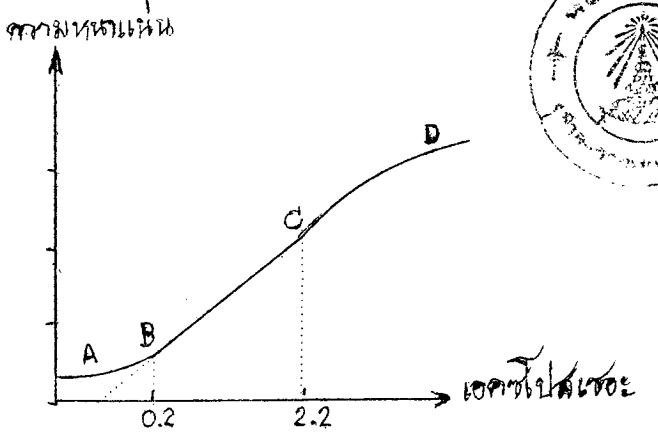
ความแตกต่างของความดำนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับสิ่งที่จะทำการถ่ายรูป, วิธีการถ่าย. การใช้มานกรองแสง และวิธีการล้าง แล้วยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปด้วย

ค่าแกมมา(gamma, γ) คือความชันของเส้นตรงในแคแรคเทอะริซติคเคอฟว์ ค่าแกมมาที่เป็นตัวเลขนั้น คือ ค่าแทนเจน(tangent) ของมุมที่เกิดจากแกนกราฟที่เป็นค่าเอคซโปสเชอะ(exposure axis) ในรูปที่ 5 ค่าแกมมานี้เป็นสิ่งแสดงถึงค่าความแตกต่างความดำ และ คุณสมบัติบางประการของอีมัลชั่น (นอกจากนั้นยังแสดงถึงขนาดของการดีวีลอปด้วย ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้)

(3) <u>ค่าเลทติจูด</u> (Latitude) อาจเขียนสูตรได้เป็น

$$\text{เลทติจูด} = \frac{\text{แอนติล้อกของค่ากอร์เรคเอคซโปสเชอะสูงสุด(Anti log of max. correct exposure)}}{\text{แอนติล้อกของค่ากอร์เรคเอคซโปสเชอะต่ำสุด (Anti log of min. correct exposure.)}}$$

ตัวอย่างเช่น ฟิล์มอันหนึ่งมีค่าล้อกการซึมของคอร์เรคเอคซโปสเชอะสูงสุดที่จุด C = 2.2



ล้อกการิธึมของกอร์เรคเอคซโปสเชอะต่ำสุดที่จุด B = 0.2
ดังนั้นค่าแอนติล้อกของกอร์เรคเอคซโปสเชอะสูงสุด = 160
ดังนั้นค่าแอนติล้อกของกอร์เรคเอคซโปสเชอะต่ำสุด = 1.6

$$\text{ก่าเลทติจูดของฟิล์ม} = \frac{160}{1.6} = 100$$

หมายความว่าฟิล์มนี้สามารถถ่ายภาพที่มีความหนาแน่นของแสงที่มืดและสว่างต่างกันได้ถึง 100 เท่า

(4) <u>ขนาดเกรนส์</u> อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่มีความไวสูงขนาดของเกรนส์ (คือขนาดของเม็ดของเกลือเงิน) ใหญ่กว่าอีมัลชั่นที่มีความไวต่ำ ในการผลิตอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนั้น หากใช้ความร้อนสูงและเคี่ยวนานจะทำให้ขนาดเกรนส์ของอีมัลชั่นโตหยาบขึ้น นอกจากนั้นขนาดของเกรนส์อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้โดยใช้วิธีการล้าง, การดีวีลอปช่วย

(5) <u>รีโซลวิ่งพาวเวอร์</u> (Resolving Power) คือ ความสามารถของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปจะสามารถถ่ายลายเส้นละเอียดให้มองเห็นได้ชัดเจนมากน้อยเพียงใด วิธีการวัดค่ารีโซลวิ่งพาวเวอร์นี้ จะวัดเป็นจำนวนเส้นในระยะทาง 1 มิลลิเมตร ในงานที่ต้องการลายเส้นละเอียด จะต้องใช้อีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปที่มีค่ารีโซลวิ่งพาวเวอร์สูง นอกจากนั้นเลนซ์ของกล้องถ่ายรูป และน้ำยาที่ใช้ในการดีวีลอป จะช่วยทำให้ก่า

รีโซลวิ่งพาวเวอร์เปลี่ยนแปลงไปได้บ้าง

คุณสมบัติของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูปนี้อาจเขียนตารางเทียบไว้เพื่อสะดวกในการพิจารณาคุณสมบัติบางอย่างได้ดังนี้

ตารางที่ 4

แสดงคุณสมบัติของอีมัลชั่นสำหรับถ่ายรูป

ความไว	ความแตกต่างความดำ	ขนาดเกรนส์	รีโซลวิ่งพาวเวอร์	เลทติจูด
มาก	น้อย	หยาบ	ต่ำ	มาก
ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
น้อย	มาก	ละเอียด	สูง	น้อย