

特輯 : 고속촬영에 의한 용접 현상의 해석

고속 촬영용 필름의 종류와 특성

김 용 수 · 김 승 섭 · 김 기 철

An Introduction to the Motion Picture Films for High Speed Photography

Y. S. Kim, S. S. Kim and K. C. Kim



김용수/한국코닥(주)/
1967년생/필름 및 post
production technical
service 담당



김승섭/포항산업과학
연구원/1971년생/고에
너지밀도 용접 및 용
접자동화 공정 개발



김기철/포항산업과학
연구원/1948년생/고에
너지 밀도 용접, 용접
현상해석 및 system 개
발

1. 서 언

아크 용접 공정과 같은 매우 빠른 속도로 변화하는 공학 현상을 해석하기 위하여는 우선 그 현상을 고속으로 정확하게 기록하는 것이 중요하다¹⁾. 이러한 물리 현상의 기록은 여러 가지 장치와 방법을 동원할 수 있겠으나, 사실 그대로를 가장 충실하게 기록하는 것은 사진 이외의 방법을 찾기 어렵다. 사진 매체를 이용하는 기록 방법에서는 전통적인 필름을 사용하는 방법과 비디오 테이프를 이용하는 자기 기록 방법이 거론의 대상이 된다. 한편, 전자 공업의 눈부신 발전에 힘입어 최근에 등장하게 된 디지털 기록 방법도 그 응용 범위를 크게 확장하고 있다. 그러나, 고속 기록(또는 촬영)이라는 과정의 특성상 아직까지는 기록 품질과 기록 시간 측면에서 촬영 후 현상 과정이라는 번거로움이 있음에도 불구하고 필름을 이용하는 고속 촬영 방법이 중추적인 역할을 담당하고 있음을 부인하기는 어렵다.

이러한 현실과 함께 최근에 들어서 필름 제조 회사들의 기술 개발 노력은 괄목한 만한 것으로 감도

가 높으면서 해상력이 우수하며^{2,3)}, 혹한 조건에서 고속으로 사용하여도 파손이 없고 필름의 보관 기간을 더 길게할 수 있는 제품들이 출현하고 있다³⁻⁷⁾. 또, 사용 목적에 따라 다양한 선택의 폭을 가진 것도 최근의 일로써, 중감도 혹은 고감도 35mm와 16mm 포맷의 컬러 네가티브 필름을 포함하여 중감도 컬러 리버설 필름, 그리고 산업용으로 제조된 고감도의 16mm 컬러 리버설 필름 등을 들 수 있다.

여기에서는 용접 현상의 고속 촬영에서 가장 중요하게 취급되고 있는 영화용 필름을 대상으로 그 종류와 특성 및 촬영 후 처리 과정을 기술함에 있어서 필름 그 자체를 이해하기 위한 내용도 일부 다루어 고속 촬영에 임하는 현장 엔지니어들의 이해를 돕고자 한다.

2. 필름의 포맷(format)과 종류

고속 촬영용으로 가장 많이 쓰이는 16mm 포맷은 필름의 양 측면에 각각 소정의 크기와 간격으로 구멍(perforation, 이하 퍼포레이션)을 가공한 것이다. 이렇게 고속 촬영에서 양측의 퍼포레이션(two-edge perforation) 형식을 사용하는 것은 촬영

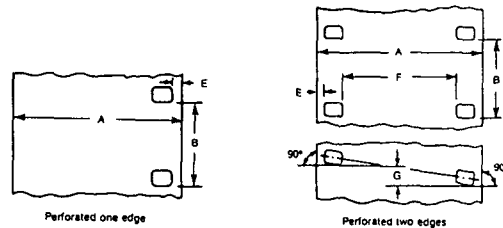
시 필름이 매우 빠른 속도로 이동하기 때문에 발생할 수 있는 촬영 장치 안에서의 필름 이탈을 막고, 필름에 걸리는 힘의 균형을 이루어 촬영 중, 특히 저온에서 촬영에 임하였을 때 끊어지는 사고를 최소화 하기 위한 것이다. 실제로 고속 촬영시 필름의 이동 속도는 용접 현상 기록에서 자주 쓰이는 3,000~5,000fps의 경우 정상 속도에서 22.8~38m/s에 해당한다. 카메라 안에서 촬영에 필요한 여러번의 굴곡 부위를 이렇게 빠른 속도로 무리 없이 지나가도록 하기 위하여는 필름 기판(base)의 인성 등 감광 특성에 못지 않게 기계적인 성질도 우수하여야 한다⁸⁾. 또, 통상의 촬영에서도 그렇지만, 특히 고속 촬영에서는 양질의 사진을 얻기 위하여 촬영 목적에 맞는 필름의 선정과 함께 주 조명의 밝기, 색 온도와 순간적인 광량의 변화, 정확한 노출 지수의 결정 및 조명 장치 전원의 일관성 등에 세심한 배려를 하여야 한다⁸⁻¹¹⁾. 표 1은 퍼포레이션의 모양과 간격을, 그리고 표 2는 몇 종류의 필름 및 감도를 보이는 것이다^{6,7,12,13)}.

표 2. 16mm 포맷의 고속 촬영용 필름 예

Type	Film	Exposure Index	
		Daylight	Tungsten
Color	7245	7298	12*
	7248	50	100
	7246	64*	-
	7246	250	320
	7277	200*	500
	7279	320*	200
	7293	160*	200
Black & white	7297	250	64*
	7297	320*	500
	7231	80	64
	7222	250	200
	7224	500	400

* With the colour compensation filter

표 1. 16mm 포맷 필름의 퍼포레이션 형태



Dimension	Perforation type and ANSI number								Tolerances ±	
	1R-2994 (PH22. 109)		1R-3000 (PH22. 110)		2R-2994 (PH22. 110)		2R-3000 (PH22. 110)			
	Inches	mm	Inches	mm	Inches	mm	Inches	mm	Inches	mm
A*	0. 6280	15. 950	0. 6280	15. 950	0. 6280	15. 950	0. 6280	15. 950	0. 0010	0. 030
B	0. 2994	7. 605	0. 3000	7. 620	0. 2994	7. 605	0. 3000	7. 620	0. 0005	0. 013
E	0. 0355	0. 920	0. 0355	0. 902	0. 0355	0. 902	0. 0355	0. 902	0. 0020	0. 051
F	-	-	-	-	0. 4130	10. 490	0. 4130	10. 490	0. 0010	0. 030
G	-	-	-	-	0. 0010	0. 030	0. 0010	0. 030	-	-
L**	29. 94	760. 5	30. 00	762. 0	29. 94	760. 5	30. 00	762. 0	0. 03	0. 8

* This dimension also represents the unperforated width.

** This dimension represents the length of any 100 consecutive perforation intervals.

촬영에 앞서 촬영 조건에 따라 적절한 필름을 선정하여야 하는데, Fig 1에 나타난 것과 같이 광원의 파장 영역에 적합한 선택이 우선 필요하다. 또, 필름의 감광 속도는 Fig 2에서 개략적으로 보이고 있는 바와같이 필름 내의 감광 입자 크기 및 해상도와 깊은 관계가 있다. 필름 제조사에서는 고감도이면서 높은 해상도를 가지는 필름을 만드는 것이 주요 과제의 하나로 Fig 3은 그러한 예를 보여주는 것이다. 사진에서 알 수 있듯이 이 기술은 감광 입자(할로젠화 은)의 모양을 특별히 제어(tabular grain)함으로써, 입자의 표면적은 증가시키면서도 부피를 낮추어 입자 표면에서의 입사광 산란 억제에 따른 해상도 향상과 함께 감광도를 높이고 있다^{15, 16)}.

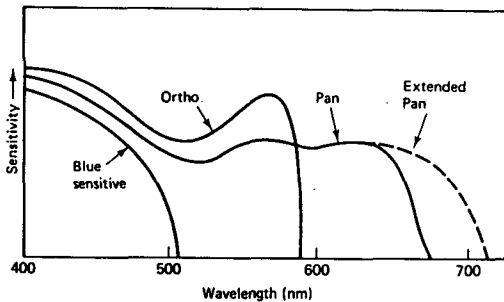


Fig. 1 가시광의 파장영역과 필름의 감광대역 관계 개략도

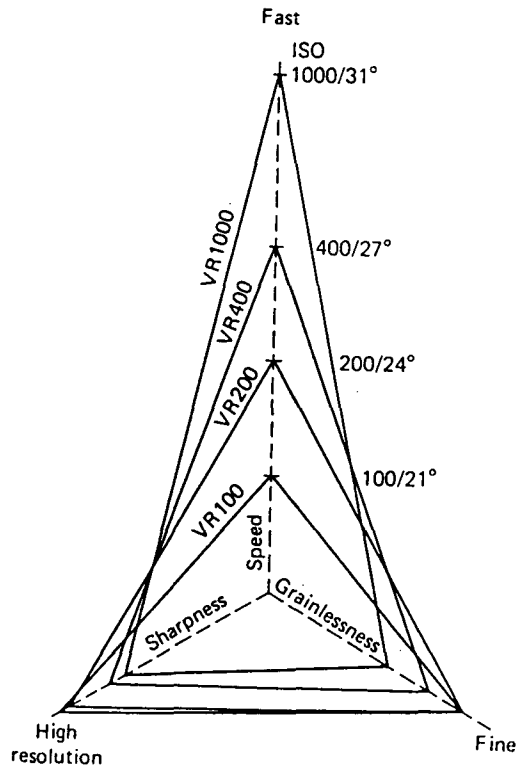


Fig. 2 필름의 감도, 해상도 및 입자 크기의 상관성

3. 감광의 원리와 보관에 관하여

3.1 감광의 원리

필름에 물체의 모양이 기록되는 과정은 기록면 위에 정확히 상을 맺도록 하는 물리적 장치와 그 상에 해당하는 빛의 명암에 따라서 광화학 반응을 일으켜 상으로 재현하는 작용의 조합으로 설명할 수 있다. 즉, 빛이 카메라 렌즈를 통하여 필름에 와 닿으면 이 빛 에너지는 필름에 영향을 끼치게 되는데 이를 노출이라고 하며, 이 때 렌즈를 통과한 빛에 들어있는 각각의 스펙트럼은 필름의 각 층에 반응을 일으킨다(Fig 4). 필름 면에 존재하는 각각의 감광 층에는 할로젠화 은 입자가 있고 이 입자가 빛에 반응 하여 잠상(latent image)을 형성하게 되는데 촬영 완료시 현상 과정에서 이러한 잠상 정보는 할로젠화 은 입자 주위의 염료에 의하여 색(또는 농도)으로 나타나는 것이다.

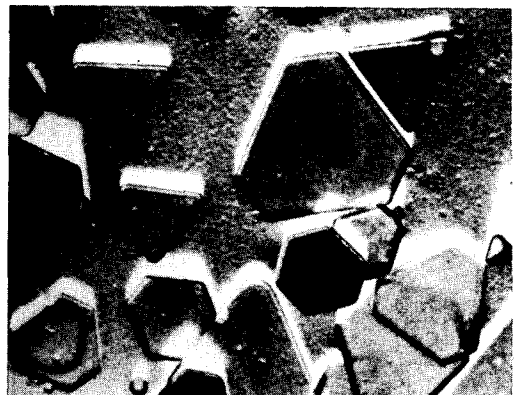


Fig. 3 해상도를 높이기 위한 감광입자의 예

3.2 필름의 보관

필름은 그 자체가 매우 민감한 화학 물질이므로 주변의 온도 및 습도 변화에 의하여 특성이 변하기

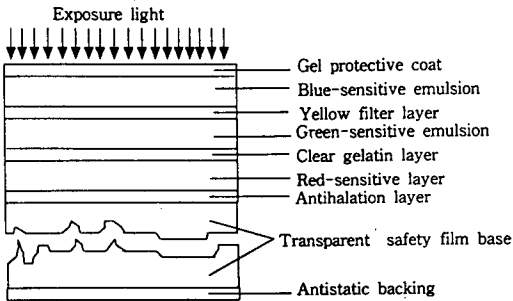


Fig. 4 칼라 네가티브 필름의 구성도

쉽다. 따라서, 최적의 조건으로 촬영된 필름이라고 하더라도 촬영 전, 후의 보관 상태에 의하여 본래 의도하였던 것과는 다른 결과를 나타낼 수 있기 때문에 주의하여야 한다. 일반적으로 사용 전의 필름은 성능 보존을 위하여 표 3에 제시된 바와같이 13°C 이하에서 보관하여야 하며, 만약 6개월 이상 장기간 보관하여야 할 경우에는 -18°C 이하를 유지하도록 제조사에서는 추천하고 있다^{6,7,9}. 그러나, 일반 산업체 현장 또는 실험실에서 6개월 이상 장기간 보관하는 경우는 거의 없으므로 대부분 냉장고의 냉장실을 이용하고 있으며, 그렇게 하더라도 어느 정도 이하의 단기간 보관에서는 실용적으로 전혀 문제가 없는 것으로 알려져 있다.

저온으로 보관되었던 필름을 사용할 경우에는 적어도 1시간 이상 저장된 곳에서 꺼낸 다음 사용 온도에 포장된 상태로 방치하여 캔(또는, 카세트) 내부의 온도를 서서히 올린 후에 촬영하는 것이 바람직하다(표 4). 이와같이 필름의 온도를 서서히 올리는 과정을 워업(warm-up)이라고 하며 16mm 포맷 필름의 경우 14°C/hr 정도 시간은 필요하다. 이와같이 워업을 하여야 하는 이유는, 저온으로 보관되었던 필름이 갑자기 높은 온도에 노출되었을

경우 그 온도 차이로 인하여 공기 중의 습기가 응축되면서 필름 면에 물방울이 맺히게 되는데 이것이 문제(현상 후 작은 물방울 무늬를 나타냄)를 일으킬 수 있기 때문이다.

- 한편, 촬영이 완료된 필름의 보관 조건은 다음과 같다.
- 아세테이트계 기판을 사용한 필름: 상대습도 15~60% 및 10°C 이하
- 에스테르계 기판을 사용한 필름: 상대습도 30~60% 및 10°C 이하.

4. 필름의 광화학적 특성

4.1 특성곡선(characteristic curve)

필름의 특성곡선에 대한 이해는 실제 촬영에서 노출값의 결정 또는 목적으로하는 사진의 품질을 예측하는데 큰 도움이 된다. 특성곡선은 필름이 받아들이는 광량과 그에 따른 농도의 변화를 나타내는 곡선으로, 광량을 서서히 증가시키면서 노출된 필름으로 사진을 만든 후 농도계를 써서 투과 농도를 측정하여 만든다. Fig 5는 네가티브 필름의 특성 곡선을 개념적으로 나타낸 것으로 입사 에너지(H)가 많을수록 측정된 농도(D)가 크게 나타나며 리버설 필름의 경우는 그와 반대로 농도가 작아

표 4. 저온 보관 필름의 warm-up 시간

Type of KODAK film package	Typical warm-up times (hours)	
	For 14°C (25°F) rise	For 55°C (100°F) rise
16mm	1	1½
35mm	3	5

표 3. 현상전 필름의 보관 조건

Photographic material	Short-term (less than 3 months)		Long-term (more than 3 months)	
	Temperature	% Relative humidity	Temperature	% Relative humidity
Raw stock*	-13° (55° F)	below 60	-18° to -23° C (0° to -10° F)	below 60
Exposed, unprocessed	-18° to -23° C (0° to -10° F) +	below 60	Not recommended	

진다. Fig 5에서 알 수 있는 또 하나의 사실은 빛에 전혀 노출시키지 않았던 조건에서도 어느 정도의 농도가 나타나는데(그림에서 D_0) 이것은 필름 기판이 완전한 투명체가 아니며 현상 과정을 거치면서 감광 유제들도 약간의 발색을 일으키기 때문이다^{7,15~17}. 광량을 서서히 증가 시키면 농도도 증가하여 직선 구간(II)이 나오는데 이 구간에서는 광량과 농도가 선형 관계를 가지는 곳으로 이 부분은 적정 노출 범위이며 촬영에서 직접 활용되는 특성의 구간이다. 선형 영역을 지나 과도한 광량이 입사되면 특성 곡선의 기울기가 급격히 감소하게 되지만(III~IV 영역), 최근의 필름은 많은 기술 개발을 통하여 이 영역의 농도 감소가 거의 없는 특성을 가지고 있다. 한편, IV 영역은 특성곡선의 기울기가 반전되는 곳으로 솔라리제이션(solarization) 영역이라고도 하며 입사광의 강도 증가가 오히려 감광 농도를 낮추는 특성을 나타낸다. 또, 특성곡선의 직선 부분은 필름 선정의 중요한 기준이 되는데 그 기울기(그림에서 g)의 크기에 따라서 고 콘트라스트형 필름과 저 콘트라스트형 필름으로 구분할 수 있다.

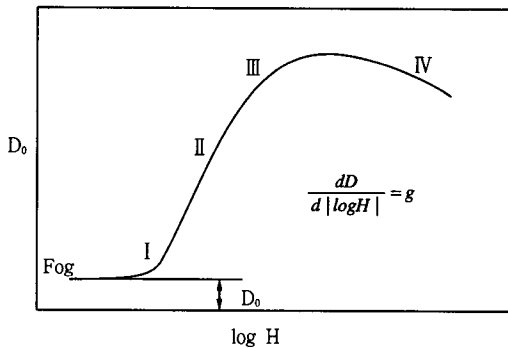


Fig. 5 네가티브 필름의 D-H 특성 곡선

4.2 입사광의 파장-감광 감도 (spectral sensitivity)

흑백 필름과 다르게 컬러 필름에서는 세가지 스펙트럼 감광 곡선, 즉 적색광 감광층(cyan-dye forming), 녹색광 감광층(magenta-dye forming) 및 청색광 감광층(yellow-dye forming)으로 구성되어 있다. Fig 6은 컬러 필름 스펙트럼 감광 곡선의 예로서 이러한 곡선은 필름을 가시광선 스펙트럼

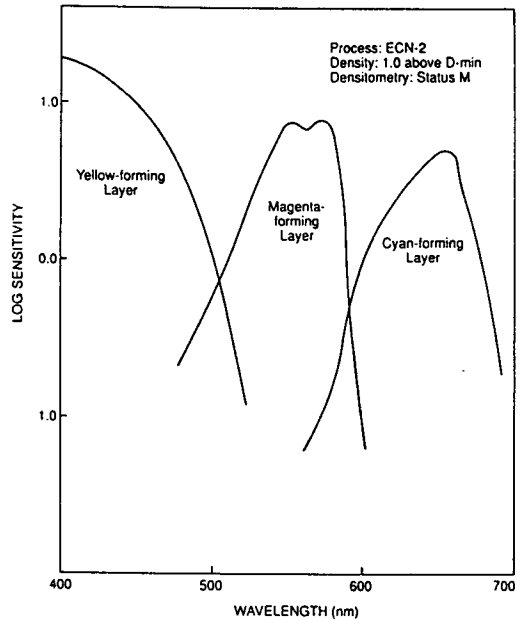


Fig. 6 네가티브 필름의 스펙트럼 감광 특성에

내에서 일정한 파장 간격으로 만들어진 일련의 광선에 노출시켜 얻으며 촬영 목적에 따른 필름의 선정에 중요한 요소로 이용되고 있다.

4.3 스펙트럼-염료-농도곡선(spectral-dye-density curve)

노출된 컬러 필름을 현상하면 필름의 각 층에는 cyan, magenta 및 yellow 염료의 이미지가 발생하도록 되어 있다. 이러한 색깔을 만드는 방법에는 가색법, 즉 3원색으로부터 시작하여 다른 색을 내도록 각각의 색들을 서로 더해가는 것과 백색광으로부터 다른 파장을 제거함으로써 원하는 한가지 색을 남기는 감색법이 있다. 그런데, 감색법은 현재 쓰이는 컬러 필름 발색 기술의 기본이 되는 방법이다^{4,7}. 컬러 필름은 청, 록 및 적색에 잘 반응하는 감광 유제층으로 구성되어 있고 각 층은 현상 과정을 통하여 감광 파장의 보색 이미지로 변환된다. 이들 3색의 염료는 보색 파장 영역에 대하여 불투명한 반면, 그 이외의 파장에 대하여는 투명해야만 이상적으로 실제 상의 색을 재현할 수 있다. 따라서, 각각의 원색 감광 층의 특성은 실제 사진의 색재현 특성에 큰 영향을 미치게 된다.

Fig 7은 이러한 필름의 특성을 나타내기 위한 특성 곡선으로 필름의 선정에 중요한 조건이다. 이 도표는 염료 층 각각에 대하여 입사 파장에 따른 빛의 투과성을 계측한 것으로 분산 스펙트럼 농도가 높을수록 불투명함을 나타낸다. 이 그림에서 알 수 있듯이 실제의 염료는 보색 파장만을 흡수하지 않고 근접하는 영역의 빛도 흡수한다. 예를 들어 magenta의 첨두 스펙트럼 위치는 약 540nm이며 cyan은 약 660nm를 나타내는데, 이들 두 염료는 600nm 근처에서 동일한 특성을 가지고 있으므로 촬영상에서 색 재현 충실도를 떨어뜨리게 된다. 이러한 현상을 극복하기 위하여 실제의 네가티브 필름에서는 녹색 감광 유제층에 옅은 황색을, 그리고 적색 유제층에는 분홍색을 부여하는 기법, 즉 colour masking법을 채택하고 있다.

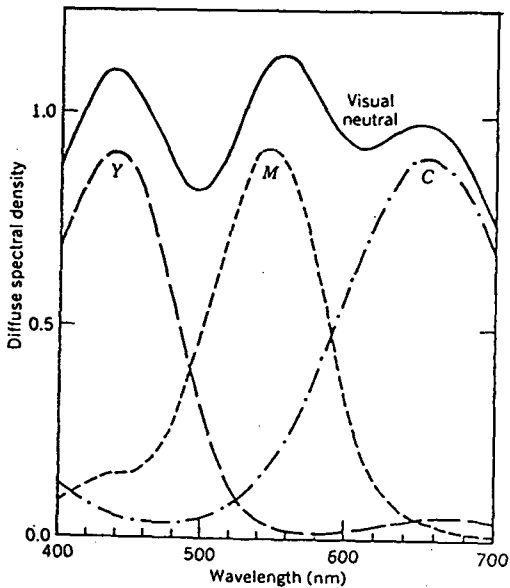


Fig. 7 스펙트럼-염료-농도 곡선

4.4 MTF 곡선

MTF (Modulation Transfer Function) 곡선은 렌즈의 성능 뿐만 아니라 필름의 묘사 성능을 표시하는데도 유용하게 쓰이는 특성의 하나이다^{15,17}. Fig 8에서 보이고 있는 바와같이 MTF 특성곡선은 필름의 성능을 최대 100%로 설정하고 소정의 이미지 씨클 영역 내에서 공간 주파수 변화에 대한 비율로 나

타내는 방법이 사용된다. 또, 이 특성 곡선에서는 기준값의 -10%, 즉 90% 위치에서의 특성을 해당 필름의 최대 분해능이라고 정의한다. 일반적으로 이와같은 최대 분해능은 저감도 흑백 필름의 경우 200 lp/mm 내외이며 중감도 컬러 네가티브 필름의 경우는 100 lp/mm 정도로 알려져 있다. Fig 8(a)는 흑백 필름의 MTF 특성을 보인 것으로 이 그림에서는 저감도, 중감도 및 초고감도 필름의 경우를 예시하고 있는데, 감광 감도가 증가 할수록 MTF값은 하락하므로 촬영상의 컨트라스트 저하를 예측하는 것이 가능하다. 이와같이 MTF 특성이 공간주파수의 증가에 따라 감소하는 것은 그 영역에서 감광 입자 또는 감광 유제 내에서의 산란이 큰 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 한편, Fig 8(b)는 같은 감도의 컬러 리버설 필름의 MTF 특성으로서 필름의 종류에 따라 서로 기록 품질의 차이가 있음을 알 수 있

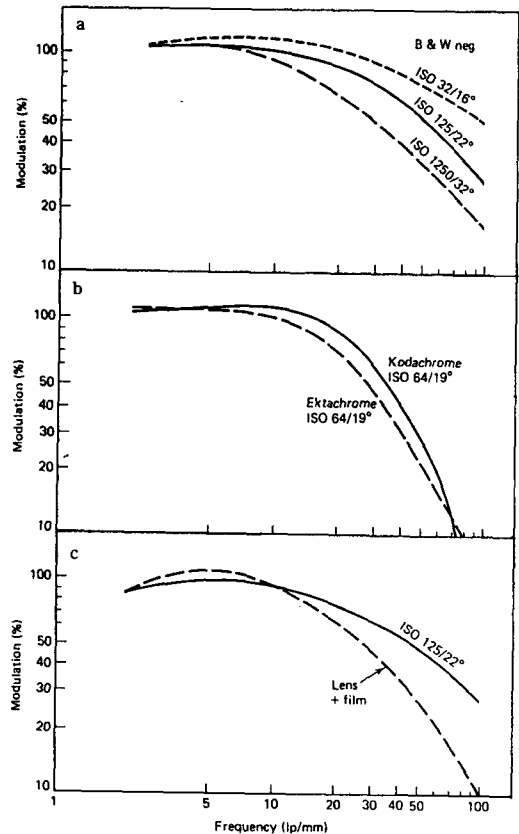


Fig. 8 필름의 MTF 특성 곡선 예

다. 그러나, 실제의 촬영에서 이와같은 기록 품질은 필름 하나만의 문제는 아니므로 항상 필름과 촬영 장치의 광학계를 동시에 생각하여야 함을 Fig 8(c)는 강조하고 있다.

5. 결 언

통상의 촬영도 그렇지만, 특히 고속 촬영은 여러가지의 영향 요소가 있기 때문에 제한된 지면에 자세히 기술하는 것이 매우 어려우나, 간단하게 요약하여 정리하면 다음과 같다. 우선 촬영 목적에 맞는 필름을 선정하지 않으면 성공적인 사진을 얻을 수 없다. 좋은 사진이 얻어지지 않았다는 것은 실험의 실패를 의미하여 고속 촬영의 성격상 비용의 부담도 크므로 이러한 점은 숙지하고 있어야 한다. 다음으로 중요한 사항은 촬영 전, 후의 필름 보관 상태와 본 실험 촬영 이전에 예비 촬영을 실시하여 기록 상태를 확인하는 것도 필요하다. 기록된 영상의 품질에 절대적으로 영향을 미치는 요소로서 조명의 밝기, 광량의 순간 변화율, 광원의 색온도 및 적정 노출량의 결정 등도 빼놓을 수 없는 사항이다.

자체 현상 시설을 이용할 경우에는 본 실험용으로 촬영된 필름의 현상에 앞서, 작업 조건 확인을 위하여 control strip을 먼저 현상하고 그 결과에 따라 적절한 조치를 행하는 것이 기본적인 절차이다. 또, 현상 장치의 주기적인 점검 및 유지 보수를 통하여 항상 최적의 상태가 되도록 하는 것도 잊어서는 안될 중요 사항이다.

참 고 문 헌

1. W. G. Hyzer: Engineering & Scientific High Speed Photography, The Macmillan Co. (1962)
2. G. Schaub: The Amphoto Book of Film, Waston-Guptill Pub. Inc (1993)
3. Kodak Publication No. G-44
4. 久保田廣, 浮田祐吉, 會田軍太夫: 光學技術 핸드ブック, 朝倉書店 (1975)
5. Kodak Publication No. E-77
6. Kodak Publication No. H-2
7. Kodak Publication No. H-1
8. Eastman Kodak: Using Creative Techniques, Longmeadow Press (1990)
9. 김기철, 강문진, 조시훈: 용접현상 관측을 위한 고휘도 광원의 개발, 대한용접학회 춘계학술발표개요집 (1996)
10. Eastman Kodak: The Joy of Photography, 3rd Edition, Addison-Wesley (1991)
11. 神山雅英: 寫眞家の爲の光學, 槇書店 (1980)
12. Eastman Kodak: Eastman Films for the Cinematographer
13. Eastman Kodak: Technacal Data 및 필름 카탈로그
14. Eastman Kodak: Reference Data for Kodak Professional Photographic Products
15. M. Langford: Advanced Photogrtaphy, 5th Edition, Focal Press (1993)
16. Kodak Professional Network Magazine- Imaging News, Issue 2, Nov. (1993)
17. E. N. Mitchell: Photographic Science, John Willey & Sons (1984)