

相反則 不軌에 關한 實驗

仁川看護保健專門大學 放射線科

姜 弘 錫

高麗大學校保健專門大學 放射線科

許 俊·李 寅 子

Abstract

A Study on the Reciprocity Law Failure

Hong Seok Kang

Dept. of Radiotechnology, Incheon Junior Nursing College

and Allied Health Sciences

Joon Huh, In Ja Lee

Dept. of Radiotechnology, Junior College of Public Health and

Medical Technology, Korea University

The reciprocity law failure of the blue sensitive screen-film system was measured by authors.

As a result, it has been found that reciprocity law failure is more likely to occur at lower exposure, lower density and higher development temperature.

I. 서 론

진단에 많이 이용되고 있는 X선사진은 증감지에서 발광되는 빛에 의해서 노광이 되므로 상반칙불계의 영향을 받게 된다. 이에 따라 증감지-필름시스템의 상대감도는 저하되며 피폭선량을 증대시키는 결과를 초래한다.

빛에 관한 상반칙불계의 이론에 관해서는 Gurney, Mizuki 등¹⁻⁴⁾의 보고가 있으며 증감지-필름 시스템에 대해서도 많은 보고가 있다.^{5,6)}

CaWO₄ 증감지-필름 시스템과 회토류증감지에 대해서 洞田⁷⁾, 吉本⁸⁾은 회토류증감지-필름 시스템에서의 상반칙불계와 현상온도 의존성을 보고하였으며, 특

히 저조도와 현상온도가 높고 조사시간이 길며 저농도일 경우 크다고 하였다.

상반칙불계는 time scale 법으로 특성곡선을 작성할 경우에 그 형태에 변화를 주어 M.T.F. 측정 등에 영향을 미치게 되므로 주의할 해야 한다.”

이에 저자는 임상에서 많이 사용되는 증감지-X선 필름시스템의 상반칙불계를 실험하고, 현상의 설정온도에 따라 일어나는 상반칙불계에 대해서도 검토하여 그 결과를 보고한다.

II. 실험기재 및 방법

노광조도, 필름 흑화도 및 현상온도가 상반칙불계의 정도에 미치는 영향을 보기위해 관전압 60 kVp 에

서 부피여과판 0.2 mmCu + 1.0 mmAl 을 쓰고 1/120 ~ 6.0 sec 로 노광시간을 변경시켜가며 1m, 2m, 3m, 4m, 6m 거리에서 각각 sensitometry 를 실시하고, 온도 33 °C, 35 °C, 37 °C 에서 현상하였다. 이때 사용한 X선발생장치는 Picker GX 550, 150 kV - 500 mA 이고, 증감지와 필름은 Kyokko LT-II, Fuji RX 이었으며, 현상장치는 Fuji Rn 3 90 초용이다.

이 결과를 그림 1에 나타내고 거리 1m에서 노광한 곡선상에서 흑화도 0.5, 1.0, 1.5, 2.0을 내기 위해 필요한 노광시간을 온도별로 구하였다. 그리고 이것을 기준으로 하여 동일한 노광을 주기 위한 노광시간을 각 거리마다 계산하여 표 1에 나타내고 그림 2에서와 같이 거리별곡선상에 횡선으로 연결, 표시하였

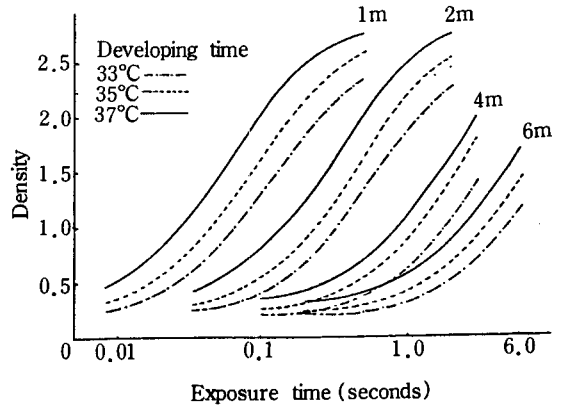


Fig.1. Characteristic curves with various development temperature

Table 1. Exposure time for constant exposure Unit : sec

ffd (m)	temp. (°C)	density	Exposure time (sec)			
			0.5	1.0	1.5	2.0
1	33	0.0255	0.0255	0.068	0.132	0.261
	35	0.0172	0.0172	0.0455	0.090	0.165
	37	0.0093	0.0093	0.0269	0.056	0.095
2	33	0.1132	0.1132	0.3018	0.5858	1.1583
	35	0.0763	0.0763	0.2019	0.3994	0.7323
	37	0.0413	0.0413	0.1194	0.2485	0.4216
4	33	0.5023	0.5023	1.3395	2.6001	5.1412
	35	0.3388	0.3388	0.8963	1.7728	3.2502
	37	0.1832	0.1832	0.5299	1.1031	1.8713
6	33	1.2011	1.2011	3.2028	6.2172	12.2931
	35	0.8101	0.8101	3.1431	4.2390	7.7715
	37	0.4380	0.4380	1.2670	2.6376	4.4745

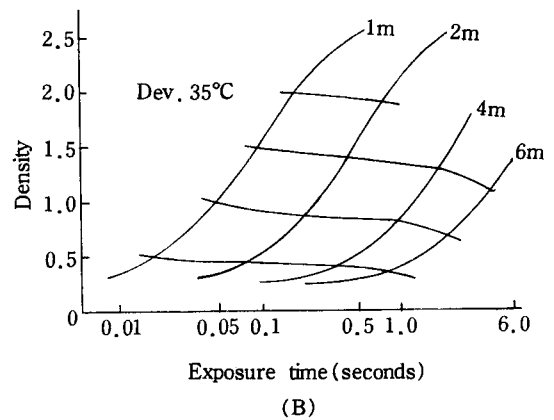
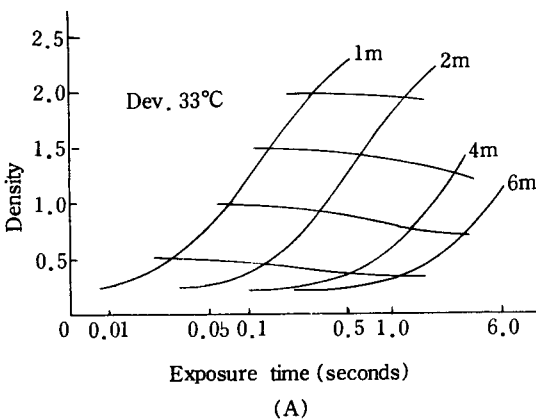
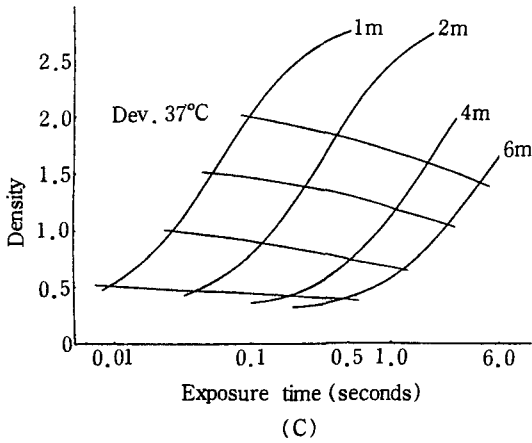


Fig.2. Characteristic curves and reciprocity-law failure curves for constant exposure



다. 또한 그림 1의 곡선상에서 각 거리마다 동일한 흑화도 0.5, 1.0, 1.5, 2.0을 내기 위해 필요한 노광시간을 모두 구하여 표 2에 나타내고 그림 3과 같이 온도로 분류하여 각 흑화도마다 횡선으로 표시하였다. 이상에서 거리의 지수는 모두 2.15를 취하였다.

Ⅲ. 실험결과

각 거리에서 동일 노광량을 내기 위한 노광시간으로 나타낸 상반칙불계 곡선은 그림 2와 같다. 각 현상온도에서 모두 노광시간이 길어질수록 즉, 조도가

Table 2. Exposure time for constant density Unit:sec

ffd (m)	density temp. (°C)	density			
		0.5	1.0	1.5	2.0
1	33	0.0255	0.068	0.132	0.261
	35	0.0172	0.0455	0.090	0.165
	37	0.0093	0.0269	0.056	0.095
2	33	0.1330	0.327	0.635	1.240
	35	0.0930	0.240	0.442	0.790
	37	0.0465	0.143	0.283	0.510
4	33	0.780	1.81		
	35	0.455	1.19	2.18	
	37	0.270	0.84	1.69	
6	33	1.94	4.75		
	35	1.30	3.50		
	37	0.77	2.40	4.75	

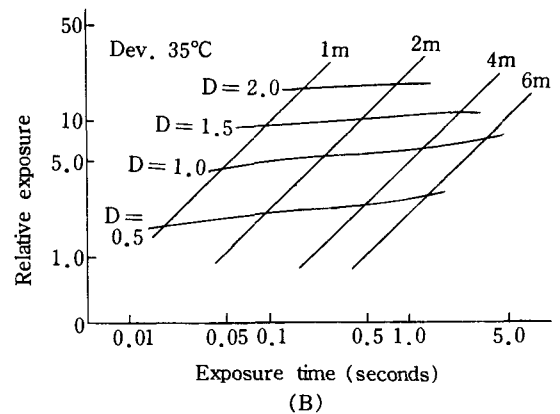
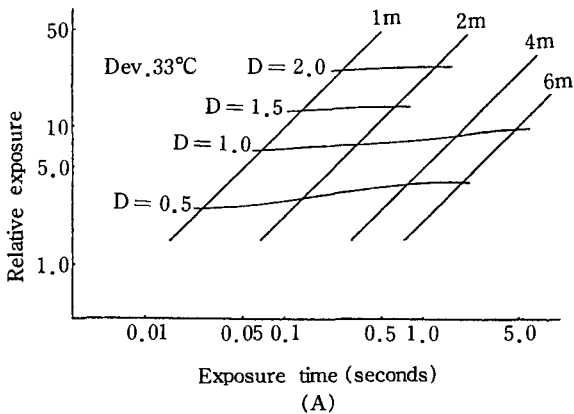
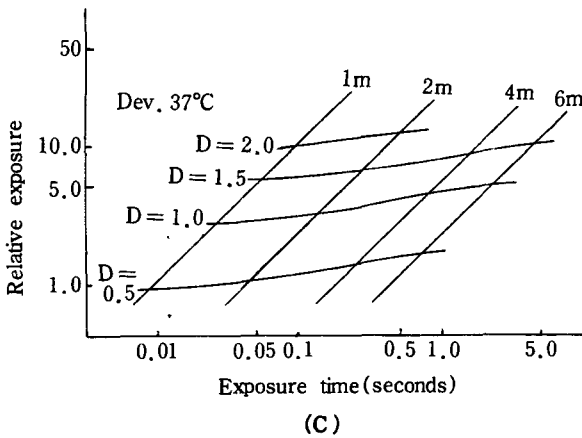


Fig.3. Reciprocity-law failure curves for constant density



낮을수록 동일한 노광량을 줄 경우의 흑화도가 저하되고 있으며, 이 경향은 현상온도 37°C에서 더욱 뚜렷하게 직선적인 흑화도의 저하를 보이고 있다. 또한 동일한 농도를 내기 위한 각 거리별 노광량의 상반칙 불균형 곡선은 그림 3에서와 같이 조도가 낮을수록 점점 증가하고 있다.

그 비율을 보면(현상온도 33°C에서 노광시간이 0.26 sec일 때 흑화도 0.5를 내는데 필요한 상대노광량이 3.4이고, 조도를 낮추어 노광시간을 0.54sec로 하면 필요한 노광량이 3.8이 되어 11.8% 노광량을 증가시켜야 한다. 각 흑화도별 노광의 증가율은 흑화도 1.0일 때 노광량 7.5에서 7.9로 5.3%, 흑화도 1.5일 때 노광량 14.0에서 14.5로 3.6%, 흑화도 2.0일 때 노광량 26.2에서 26.5로 1.1%이다.

현상온도를 35°C로 하고 노광시간 0.20~0.70 sec 범위에서의 노광의 증가율을 보면 흑화도 0.5일 때, 2.22에서 2.48로 11.7%, 흑화도 1.0일 때 5.3에서 5.80으로 9.4%, 흑화도 1.5일 때 9.50에서 10.20으로 7.4%, 흑화도 2.0일 때 16.50에서 17.50으로 6.1%이다.

현상온도가 37°C로 올라갈 때 노광시간 0.10~0.50 sec 범위에서의 노광의 증가율은 흑화도 0.5일 때 1.18에서 1.52로 28.8%, 흑화도 1.0일 때 3.05에서 3.90으로 27.9%, 흑화도 1.5일 때 5.80에서 6.90으로 19.0%, 흑화도 2.0일 때 9.70에서 11.50으로 18.6%가 되어 각 현상온도에서 모두 조도 저하에 따르는 상대노광량의 증가율이 흑화도가 낮을수록 커지는 경향을 보이고 있다.

또한 현상온도별 경향을 보기 위해 노광시간 0.07~0.70 sec에서 흑화도 1.0을 내기위해 필요한 노광

의 증가율은 온도 33°C일 때 6.80에서 8.10으로 19.1%, 35°C일 때 4.70에서 5.80으로 23.4%, 37°C일 때 2.94에서 4.20으로 42.9%로 나타나 현상온도가 상승됨에 따라 노광의 증가율이 커지는 경향을 보인다.

IV. 고 안

상반칙불균에 영향을 미치는 인자로는 조도, 노광과장, 노광온도, 유제의 특성, 현상시간 및 온도 등이 있다.

X선노광에서 상반칙불균은 보통보다 많이 조사하여 반전이 일어날 정도가 될 때에 나타나며, 이에 대해서 N.J.P, Chassende-Baroz는 특별한 유제를 쓰고 X선의 양을 변화시키면 사진효과가 변화된다고 하였으며 이 경우에는 감도가 떨어져도 X선양자에 의한 one hit의 원리가 성립되지 않으므로 X선에너지의 손실에 의해 상반칙불균이 생긴다고 하였다.¹⁾⁸⁾

상반칙불균은 低照度側과 高照度側에 일어나며, 노광되는 파장과 관계된다. 吉本⁹⁾ 청색발광의 CaWO₄ 증감지 필름 시스템에서 低照度에 상반칙불균현상이 일어나고, 회토류 증감지 필름시스템에서는 低照度 및 高照度에서 상반칙불균이 있음을 보고하고 있다. 洞田⁵⁾는 회토류증감지 필름시스템에서 低照度불균만 일어나고 高照度불균은 생기지 않았다는 보고를 하고 있다. 노광시간에 대해서는 0.1~10초에서는 대체로 상반칙이 성립된다 하였으나¹⁰⁾ 본 실험은 1/120~6.0초에서 상반칙불균현상을 보이고 있었다.

CaWO₄ 증감지와 회토류증감지 시스템에서 각 차이가 있는 것은 노광되는 파장과 관계되는 것으로서 빛의 파장이 100 nm 이하의 자외선이면 상반칙불균은 소실되고 상반칙이 성립된다. 즉 에너지가 높은 X선과 전자선의 경우에는 상반칙이 성립된다.

상반칙불균은 현상시간과 온도에 따라 일어난다. 일반적으로 현상시간이 길어짐에 따라 高照度側 불균이 나타나며, 현상온도가 높을수록 低照度 不軌가 심하다. 현상온도에 따라 특성곡선을 기준으로 할 때에 거리역자승법칙 불균을 고려하여 정확을 기하기 위해 거리지수를 이 실험에서는 2.15로 하였으나¹⁰⁾ γ 가 크게 변화되는 고로 현상온도가 높고 조사시간이 길고 농도가 저하됨에 따라 그 영향은 크게 나타나게 된다.

이상과 같은 검토에 따라 할로겐화은유체에 상반칙 불쾌가 일어나는 기전을 고찰하면 사진유체의 조성이나 제조법에 따라 차이가 있다. 즉, 低照度側に 잘 생기는 상반칙불쾌는 감광과정에서 생긴 잠상의 안정성이 없어서 노광중에 잠상의 일부가 소실되는데 기인된다.

한편, 高照度の 상반칙불쾌는 노광과정에서 일부에 많은 자유電子와 正孔이 할로겐화은 중에 생성되는 까닭에 電子와 正孔이 재결합하여 일어나고, 또 일시에 감광핵에 전자가 모이면 음전하가 많아져서 여러 電子와 반발하여 잠상의 성장을 억제시키는데 있다.

상반칙불쾌는 斷層촬영과 같이 촬영시간이 길 때에 고려해야 하며, 특성곡선을 time scale 法으로 작성할 경우에는 상반칙불쾌에 따라 그 형태가 변화되고 M, T, F 측정 등에 영향을 미치게 되므로 주의할 필요로 한다.

V. 결 론

CaWO₄ 증감지-필름시스템에 미치는 상반칙불쾌의 영향을 노광조도, 필름흑화도, 현상온도를 변화시키며 검토한 결과는 다음과 같다.

1. ffd 1~6m 사이에서 상반칙불쾌의 정도는 노광시간이 길어질수록, 즉 조도가 낮을 경우에 심해진다.
2. 흑화도 0.5~2.0 사이에서 상반칙불쾌는 흑화도가 작을 때에 심해진다.
3. 현상온도 33℃~37℃ 사이에서 상반칙불쾌는 온도가 상승될수록 심해진다.

참 고 문 헌

1. 友田宜忠: 寫眞科學, 通商産業研究社, 1982.

2. Eiichi Mizuki, Shin Fujisawa: Phenomenological Theory of Intensity Reciprocity-Law Failure at and near the Optimum in Photographic Exposure, Scientific Publications of the Fuji Photo Film Co., Ltd., No.1, 39, 1953.
3. Shin Fujisawa, Eiichi Mizuki: Effect of Silver Iodide upon the Reciprocity-Law Failure, Scientific Publications of the Fuji Photo Film Co. Ltd., No.3, 71, 1955.
4. Shin Fujisawa, Eiichi Mizuki; A Note on Intermediate Intensity Reciprocity-Law Failure at and Near the Optimum in Photographic Exposure, Scientific Publications of the Fuji Photo Film Co. Ltd., No.1, 36, 1953.
5. 洞田貫誠志, 守部仲幸, 園田良男, 東田善治, 大塚昭義: 稀土類増感紙オルソフィルム (Lanex Medium+OH-1) システムの相反則不軌 (現像溫度依存性について), 日本放射線技術學會雜誌, 39(1), 18, 1983.
6. 吉本政弘, 高須賀章, 川上壽昭: X線 フィルムの相反則不軌特性とその影響, 日本放射線技術學會第40回總會記念文獻集(第2卷), 229, 1984.
7. 許俊: X線寫眞의 Sensitometry 에 關하여, 韓放技學誌, 8(1), 41, 1985.
8. 菊池眞: 寫眞化學, 共立出版株式會社, 1962.
9. 岡島俊三: 醫學放射線物理學, 南山堂, 1980.
10. 姜弘錫, 金昌均, 許俊: 距離逆自乘의 法則에 關한 檢討, 韓放技學誌 第9卷 第1號 發表豫定, 1986.