방사선방어학회지
제12권 제2호 1987

■ 해 설 ■

非電離放射線 防禦에 관한 指針
-紫外線放射線(Ultra-Violet Radiation)의 被曝限度에 관한 指針-

河 正 雨
(韓國에너지硏究所 放射線安全管理室)

1. 서 론

자외선방사선(ultraviolet radiation, UVR)은 100~400*nm*의 전자기적 스펙트럼의 부분을 차지한다. UVR생물학적효과의 토론에서 국제조명위원회(CIE)는 UV스펙트럼을 3구역대로 나누었다. 315에서 380내지 400*nm* 구역대는 UV-A, 280에서 315*nm*는 UV-B로, 100에서 280*nm*까지는 UV-C로 하였다(CIE70). 180*nm*이하 파장(진공자외선)은 공기중에서 쉽게 흡수되기 때문에 거의 실제적으로 중요하지는 않다. UV방사선은 의학적, 산업적 과정에서 광범위하게 그리고 미용목적으로 이용된다. 이것들은 잉크와 플래스틱의 photocuring(UV-A와 UV-B), photoresist process(모든 UV), solar simulation(모든 UV), cosmetic tanning(UV-A와 UV-B), fade test(UV-A 와 UV-B), 피부학(모든 UV) 그리고 치과학(UV-A)을 포함한다. 이런 대부분의 이용과정에서, 주요한 작동파장이 UV-A에 있다할 지라도, 거의 항상, 몇몇 더욱 짧은 파장(UV-B와 UV-C)의 방사선과 진동빛도 마찬가지로 방출된다. 대부분의 산업적 이용은 열이나 빛을(예:용접)내기위한 아아크선원(arc source)으로서 이 선원은 통제관리가 필요한 자외선방사선을 원하지 않는 혼합채로서 발생한다.

낮은 준위의 자외선방사선에 대한 피폭이 건강에 유익하다는 것은 일반적으로 수긍하고 있지만, 자외선방사선에 대한 피폭한도의 개발과 적용의 필요성이 요구되는 해로운 효과도 있다.

자외선방사선에의 피폭으로 인한 가장 중요한 보건상 나쁜 장해효과는 집합적으로 화학자외선(actinic UV)로 알려진 315*nm*이하의 파장이라고 보고되어 있다.

2. 목적과 배경

국제방사선방어위원회의 비전리방사선위원회(INIRC)는 국제보건기구(WHO)의 환경보건분과와 협력하여 자외선피폭에 관한 기술기준지침서를 1979년에 발행하였다.

이 지침서의 목적은 180*nm*와 400*nm*사이의 스펙트럼 구역에 있는 UVR에의 최대 피폭한도의 기준을 설정하고, 또한 거의 모든 개인이 해로운 효과없이 반복적으로 피폭될 수 있다고 예측되는 조건을 제시하고 있다. 눈이나 피부의 피폭에 대한 이 피폭한도(Exposure Limit, EL)값은 자외선방사선으로 부터 장해피폭을 잠정적으로 평가하는데 이용될 수 있다. 즉, arcs, gas 및 증기발전, 형광램프, 백열선원 그리고 태양방사선으로 부터의 피폭이다. 이 한도는 자외선레이저에 적용되지는 않는다. 비록 단색방출스펙트럼이 저압기체방전으로 부터 생성될 수 있지만 대부분의 incoherent 자외선선원은 광역대이다. 이런 값들은 피폭기간이 0.1μs이하가 아닌 연속선원과 파형화된 선원에의 피폭의 관리에서 지침으로서 이용되어야 한다. 이 피폭한도들은 의료용 치료의 일부분으로서 요구되는 환자에의 자외선피폭에 대해, 그리고 선택적 미용목적에 이용되는 준위 이하이다. 이 피폭한도들은 여름에 0°~40° 위도에서 정오 태양빛에 5~10분 동안에 받은 양을 초과한다. 피폭한도들은 눈에 대해서 절대한도가 고려되어야

하며, 피부형태에 따라 피부상해의 폭넓은 감수성 때문에 피부에 대해서도 권고한도가 고려되어야 한다. 피폭한도는 피부색이 연한 개인을 방어하는데 적합하여야 한다.

3. 기본 개념

이 지침서에서 채택한 스펙트럼대 표시법은 CIE 표시법을 따랐으며, 별도의 설명이 없는한 UV-A는 315～400*nm*, UV-B는 280～315*nm* 그리고 UV-C는 100～280*nm*이다(CIE70). 어떤 특수전문가들은 이 일반적인 방법에 따르고 있으나, 320*nm* 에서 UV-A와 UV-B사이의 구분선을 택하고 있음을 주목하여야 한다. 자외선방사선 피폭은 눈과 피부의 시간한도(혹은 파형)피폭에 대해서는 라디안트 피폭(radiant exposure) H(J/㎡ 혹은 J/㎠)로 혹은 연속피폭에 대해서는 이라디안스(irradiance) E(W/㎡ 혹은 W/㎠)의 량으로 정량화 되어야 한다. 자외선 방사선 피폭의 기하학은 매우 중요하다. 예를 들자면, 눈(그리고 어느정도 작은 범위까지는 피부)은 상공선원(예를 들자면, 상공의 태양)으로 부터의 자외선방사선피폭에 대해 해부학적으로 어느정도 방어된다. 방향여현 응답특성을 가진 기기로 측정하여, 방사선원을 향한 신체의 표면에 수직방향으로 피폭받는 경우에 이 한도가 적용되어야 한다(UN79). irradiance와 radiant피폭은 직경 1㎜보다 크지 않은 원형측정구경의 면적에 대하여 평균되어야 한다. 이런 피폭한도는 자외선선원에 대한 피폭관리의 지침으로서, 그리고 치료목적이 아닌, 그리고 선택적 피폭이 아닌 것에 대한 상한치로서 사용되어야 한다. 피폭한도는 눈의 피폭에 대한 절대한도로서 고려되어야 한다. 피폭한도는 최대의 민감도를 갖고 있고 그리고 유전적 소인(素因)을 갖고 있는 가벼운 색소인종(즉, 백색 코카서스 인종)을 고려해서 개발되었다.

인공선원하에서 일광욕과 피부를 볕에 태우는 동안의 피폭은 이 한도를 훨씬 초과하지만 피폭된 개인은 그와 같은 행위로 얼마간의 보건상 위험이 뒤따른다는 사실을 충고받아야 한다. 의학적 치료중 받는 피폭에 대하여 눈의 보호가 항상 요구된다. 그럼에도 불구하고, 어떤 조건상태에 있는 피부에 대한 특별한 기회의 피폭은 해로운 효과를 유발하지 않는다. 자외선방사선 한도에 대한 이론적 근거는 부록에서 설명하겠다.

4. 피폭한도

Irradiance값이 알려져 있고, 피폭기간의 조절이 가능한 피부나 눈에 입사하는 자외선방사선에 대한 일반인과 직업적 피폭에 대한 피폭한도는 다음과 같다.

자외선 근방의 UV-A스펙트럼 구역(315～400*nm*)에 대해, 비보호피부나 눈에 입사하는 전 irradiance는 10^3초(약16분)를 훨씬 넘는 기간 동안 1mW/㎠ (10W/㎡)를 초과하지 말아야 한다. 그리고 10^3초이하의 피폭기간 동안에 대해 radiant피폭은 1.0J/㎠ (10kJ/㎡)를 초과하여서는 안된다.

화학선의 자외선 스펙트럼 구역(180～315*nm*의UV-A와 UV-B)에 대해, 8시간 기간이내에 비보호피부나 눈에 입사한 radiant피폭은 표1에 주어진 값을 초과하여서는 안된다. 상대적스펙트럼 효능에 대한 값 Sλ는 스펙트럼방사선측정(spectroradiometry)을 위하여 318*nm*로 주어졌다. 스펙트럼의 효능곡선(effectiveness curve) (270*nm*)의 피크에 대해 가중시킨, 광역대(broad band)선원의 실효 irradiance를 결정하기 위해, 다음과 같은 가중식이 이용되어야 한다.

$$Eff = \sum E\lambda \cdot S\lambda \cdot \triangle\lambda$$

여기서, Eff=270*nm*에서의 단색선원(monochromatic source)에 정규화된 μW/㎠〔μJ/(s.㎠)〕나 W/㎡〔J/(s.㎠)〕 단위의 실효 irradiance

Eλ=μW/(㎠.*nm*)나 W/(㎡.*nm*)단위로 측정한 스펙트럼 irradiance

Sλ=상대스펙트럼 효능(무차원단위)

△λ=계산이나 측정구간의 *nm*단위의 bandwidth

비보호피부나 눈에 입사한 화학자외선방사선피폭에 대한 초단위의 허용피폭시간은 30J/㎡를 W/㎡ 단위의 Eeff값으로 나누어 줌으로써 계산될 수 있다.

Table 1. Ultraviolet radiation (UVR) exposure limits at representative wavelengths

Wavelength (nm)	EL (J/m²)	EL (mJ/cm²)	Relative spectral effectiveness S_λ
180†	1, 000	100	0.03
190†	1, 000	100	0.03
200	1, 000	100	0.03
205	590	59	0.051
210	400	40	0.075
215	320	32	0.095
220	250	25	0.12
225	200	20	0.15
230	160	16	0.19
235	130	13	0.24
240	100	10	0.30
245	83	8.3	0.36
250	70	7.0	0.43
*254	60	6.0	0.50
255	58	5.8	0.52
260	46	4.6	0.65
265	37	3.7	0.81
270	30	3.0	1.0
275	31	3.1	0.96
280	34	3.4	0.88
285	39	3.9	0.77
290	47	4.7	0.64
295	56	5.6	0.54
297	65	6.5	0.46
300	100	10	0.30
303	250	25	0.19
305	500	50	0.060
308	1, 200	120	0.026
310	2, 000	200	0.015
313	5, 000	500	0.006
315	10, 000	1, 000	0.003
316‡	—	—	0.002
317‡	—	—	0.0015
318‡	—	—	0.001

* Principal emission line of low-pressure quartz-mercury lamps.

† Tentative values given for use only when sources emit substantial amounts of UVR in this band.

‡ Values provided for guidance in spectroradiometer measurements.

Table 2. Limiting UV exposure durations based on exposure limits

Duration of exposure per day	Effective irradiance	
	Eeff(W/㎡)	Eeff(μW/㎠)
8 hours	0.001	0.1
4 hours	0.002	0.2
2 hours	0.004	0.4
1 hour	0.008	0.8
30 minutes	0.017	1.7
15 minutes	0.033	3.3
10 minutes	0.05	5
5 minutes	0.1	10
1 minute	0.5	50
30 seconds	1.0	100
10 seconds	3.0	300
1 second	30	3, 000
0.5 second	60	6, 000
0.1 second	300	30, 000

최대 피폭기간은 W/㎡나 μW/㎠단위의 실효 irradiance에 상응하는 대표적인 조사기간을 나타낸 표 2를 이용하여 결정할 수도 있다.

5. 특별고려

이러한 피폭한도값들은 작업인구의 자외선방사선 피폭에 적용할 작정이지만, 어느정도 주의를 기울이면 또한 일반대중에게도 적용할 수 있다. 그러나, 드물긴 하지만 빛에 과민한 사람이 이 준위의 피폭으로 건강에 해롭게 반응할 수 있다는 것을 인식하여야 한다. 이런 개인들은 그들의 과민감성을 보통 깨닫고 있다. 이와 마찬가지로, 만일 개인이 광민감성작인(光敏感性作因)에 피폭되었다고하면, 빛에 과민한 반응이 일어날 수 있다. 특히 강조하여야 할 사실은 광민감성작인(소화 혹은 외적작용 화학물질, 예를 들면, 화장품, 음식, 약품, 공업화학약품 등)에 피폭된 많은 사람들이 아마도 그들의 과민성을 깨닫지 못할 것이라는 것이다. 앞에서 언급한 자외선방사선피폭(별에 그을리게하여 세포이상증식을 초래하는)상태에 있었던 백인종과 유색인종은 홍반영향 없이 피폭한도를 초과한 피부피폭이 허용될 수 있다. 그러나 별에 피부를 태우는 행위를 반복하면 후에 피부노화를 가속화시켜 심지어 피부암까지 발전하게 될 risk를 증가시킬 수도 있다. 자외선방사선을 의료용 광자치료(phototherapy)나 미용을 위한 피폭으로 사용하기 전에 이러한 risk가 있음을 이해하여야 한다.

6. 방어대책

방어대책은 자외선방사선피폭이 실내에서 일어나는지 실외에서 일어나는지에 따라 다르다. 모자, 안경, 안면차폐, 옷 그리고 차양(遮陽)의 이용이 실용적인 방어수단이다. 실내의 산업장해방어에서와 마찬가지로 공학적 관리수단으로 방호복, 보호안경 안전절차대책이 선택될만 하다. 아아크 램프용 유리덮개는 대부분의 UV-B와 UV-C를 여과시킨다. 여기서 고전압 유리봉함전구와 수정할로겐전구에 장기간에 걸쳐 아주 가까운 거리에서 피폭이 발생하였을 경우, 추가적 유리여과가 필요할지도 모른다. 가볍고 탄탄한 캐비넷과 봉입(封入)과 자외선방사선흡수유

리와 플라스틱차폐는 물질의 내화시험, 태양모의시험, 광저항응용과 광치료와 같은 많은 산업적 응용에서 발생되는 위험한 자외선방사선에의 인간의 피폭을 막는데 이용하는 요체가 되는 공학적 관리수단이다. 아아크 용접에 대해 캐비넷은 실용적이 아니다. 차폐체, 커튼, 방해물과 적당한 격리거리가 아아크용접, 아아크절삭, 프라즈마 스프레이와 같은 개방상태 아아크처리공정에 의해 방출되는 자외선방사선에 대해서 사람을 방어하는데 이용된다. 다이나믹한 여과용접방호모(dynamic-filter welding helmets)와 투시커튼(See-through curtains)과 기타 새로운 안전장비의 개발이 현재 진행중에 있다. 작업규칙이 잠재적 피폭이 가능한 개인을 방어하기 위하여 취급규칙이 필요하다. 작업자는 이런 일반적인 규칙을 철저히 준수할 수 있도록 훈련되어 있어야 한다. UV-C방사선에 의하여 생성되는 오존과 기타 공기중 오염물을 배기하기 위하여 환기장치가 요구되기도 한다.

7. 측 정

자외선방사선측정기가 있기는 하지만, UV-B 와 UV-C방사선에 직접적으로 반응하는 비교적 값이 저렴한 현장 안전서베이미터(Sλ함수로 측정되는)를 제작하려는 시도가 완전히 성공하지 못했다.

그렇지만 상대적스펙트럼효능Sλ에 따라 UV-B와 UV-C에 대한 반응을 하는 비교적 비싼 장비는 있다.

Eff를 계산하기 위한 Sλ 중함수와 같이 이용될 수 있는 선원의 스펙트럼측정기가 간단하고, 직접 읽을 수 있는 안전계기가 보다 더욱 정확한 측정을 위해 때로는 필요하다. 어떤 측정기술이 이용되든지 간에 측정의 기하학이 중요하다. 자외선방사선에 대한 앞에서 기술한 모든 피폭한도들은 피부피폭의 평가시 신체에 직접피폭받는 모든 표면에 수직방향으로, 그리고 눈의 피폭평가시 피폭받는 개개인의 시야선에 따라(혹은 평행하게) 방향여현응답검출기(cosine-response detector)가 부착된 계측장치로 측정한 선원들에 적용된다.

자외선필름배지는 자외선방사선선원에 대해서 움직이는 특정 신체위치에의 자외선피폭누적양의 측정에 이용될 수 있다. 그렇지만, 그와같은 필름배지의 스펙트럼응답은 아직까지 Sλ에 정확하게 따르지 못하고 있다.

8. 결 론

의료분야에서, 산업작업환경분야에서, 미용목적의 이용분야에서 그리고 부분적으로는 소비성제품에서의 자외선방사선의 이용증가 때문에, 이러한 전자파방사선 종류의 잠재적인 장해에 대하여 보다 많은 주의를 기울이도록 하였다. 자외선방사선의 만성효과와 상해메카니즘에 대한 현재의 지식은 한정적이며, 이런 문제들은 더욱 많은 연구를 기다리고 있는 실정이다. 상기의 지침은 시의적절하게 주기적인 검토와 개선을 하여야 할 것이다.

9. 부 록

자외선방사선에 대한 피폭한도의 이론적 근거

1. 배 경

자외선방사선에 대한 깊이있는 검토는 UNEP / WHO/IRPA(UN79)에 의해 발간되었으며, 관심있는 독자는 그런 문헌을 참고하기 바란다. 다음의 내용은 자외선방사선지침을 유도하기 위하여 사용된 물리적, 생물학적 인자에 대한 개략적인 검토이다.

2. 일반적 생물학적 효과

인간생활은 태양방사선에 매일 피폭받는 상태에서 전개된다. 비록 자외선방사선이 지구표면에 도달하는 태양광선의 약 5%에 불과하지만, 이것은 광양자 하나하나의 에너지가 태양스펙트럼에서의 그 어떤 광양자에 대한 것보다도 가장 크기 때문에 중요한 생물학적 역할을 한다. 이들 단파장 고에너지 광양자들은 상해를 일으킬 수 있는 생물학적 효과를 유발시키기에 충분한 에너지를 갖고 있다. 눈과 피부는 쉽게 피폭되기 때문에 자외선방사선피폭에 대한 결정장기이다. 어떤 치과이용에 있어서, 입안이 피

폭될 수도 있다.

관측 생물학적 효과에 대한 발단치는 파장에 따라 크게 다르다. 결론적으로, 각종 "action spectra" 가 선량-반응 관계식을 설정하기 위하여 개발되어 왔다. 광생물학(photobiology)에서, "action spectrum" 이란 용어는 생물학적 효과를 유발하는데 있어서 서로 다른 파장의 상대적 스펙트럼 효능을 말하는 것이다.

3. 홍 반

홍반(태양광선으로 피부가 붉어짐)은 자외선방사

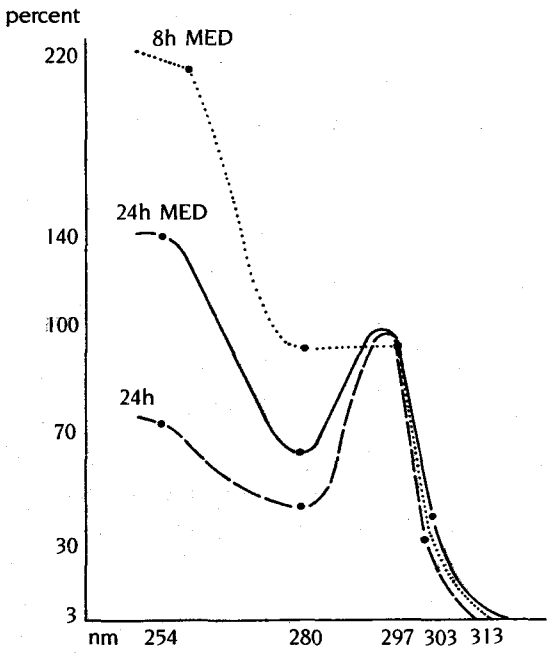

Fig. 1. Action spectrum of human skin. Averages of relative values for abdominal skin of five subjects. Note great similarity for wavelengths from 297-313 nm, and marked differences at shorter wavelengths for 8 hours (after irradiation) MED, 24 hours (after irradiation) MED, and a curve constructed by using values for moderate erythema.

선에 피폭된 후 피부에 나타나는 가장 일반적으로 관측되는 효과이다. 이런 효과는 독일의 Hausser와 Vahle에 의해 1920년말에 파장의존성효과로서 최초로 정량적인 자료로 된 것이다(Ha28). 그 이래 이러한 정량적 연구와 기타 다른 정량적 연구에 의해 홍반발단치는 해부학적 위치, 파장 그리고 피폭과 평가사이의 시간에 따라 변화한다는 것이 확인되었다. (Co31 ; Lu30 ; Ev65 ; Fr66 ; Be68 ; Wi72 ; Va69 ; Pa82 ; Ba82).

그 이외에 발표된 발단치에서의 변화량은 임상학적 정의에서의 차이와 최소홍반의 추산 및 방사선계량측정기술에 기인된다. 홍반은 UV-C와 UV-B 영역(180~315*nm*)의 파장에 과도한 피폭결과로 보통 초래되는 피부의 광화학적 반응이다. UV-A만의 피폭으로 홍반을 생성할 수 있지만 대단히 높은 radiant피폭(>10J/㎠)에서도 홍반현상이 일어난다. UV-B피폭 이전에 추가된 UV-A는 홍반반응을 약간 강화시킬 수도 있다(Wi72). 두 개의 스펙트럼대의 동시작동효과가 photoaugmentation이라고 알려져 있다. 이전의 한번의 피폭이 피부의 감수성을 줄이는 반대효과가 또한 일어나며, UV-A와 UV-B에 대한 동시피폭에 대해서 더욱 명백할지 모른다(Va69, Pau82). 더욱 긴 UV-B파장(295~315*nm*)에 의해 유발된 홍반이 더욱 짧은 파장에 대한 홍반보다 더욱 심각하며 더욱 오랜 기간동안 지속된다는 것을(Hausser에 의해 보고된 것 같이) Hausser와 Vahle가 처음으로 보였다. 홍반의 증가된 심각성과 시간과정은 상피에의 이들 파장의 상피속으로 더욱 깊은 투과 결과에 기인할지도 모른다. 일반적으로, 자외선 방사선은 많은 확산 매개체를 방출하며, 다음에 이것들은 염증효과를 더욱 깊은 피부층에까지 운반한다는 사실이 받아들여 졌다. 홍반에 대한 피부의 최대민감도를 위한 발단치의 산정은 산정의 기준과 피폭후 기간에 따라 250*nm*에서 297*nm*까지 변한다. 다른 등급의 홍반에 대한 "action spectra"는 아주 상이하다. 홍반의 최대민감등급에 관해서 최소홍반선량(Minimal Erythemal Dose, MED)은 별에 타지 않는 백인에 대하여 6~30mJ/㎠범위라고 아주 최근의 연구에서 보고되었다(Ev65 ; Fr66 ; Pa82). 이러한 피

부 종류에 대해 피폭한도 값은 대략 최소 홍반선량 값보다 대략 1.3내지 6.5배 작다는 것이 최소홍반 선량 자료는 제안하고 있다. 피부색소와 콘디션잉(conditioning)(각막층의 두꺼워짐과 벗에 타는 것)은 최소한 크기가 1차수 만큼 최소홍반선량의 증가를 유발할지 모른다. 그림 1은 피부홍반 action 스펙트럼을 나타낸다.

4. 피부에 대한 만발성 효과

태양, 특히 UV-B성분에의 만성피폭은 피부노화 과정을 가속시키고 피부암의 발생에 대한 risk를 증가시킨다(Va84). 태양스펙트럼은 지구의 오존층에 의하여 크게 감쇠되어, 지상에 도달한 자외선의 파장은 대략 290*nm*이상의 파장이 된다. 지면에서의 UV-B의 irradiance는 하늘에서의 태양고도각의 강한 함수이다. 이것은 자외선감쇠가 대기경로(날과계절의 시간)에 따라 변화하는데 기인한다. 몇몇 상피부학적 연구결과에 의하면 피부암의 발생율은 고도, 위도 그리고 구름두께와 상호관련성이 아주 크다는 것을 보여주고 있다(Ch78 ; Cu74 ; Ur74 ; Sw71 ; Go 76).

깨끗한 피부, 즉, 켈트족의 사람에게 피부암 발병 경향이 아주 크다고 하더라도, 정확한 정량적 선량-반응관계식이 아직까지 확립되지 못했다. 피부암은 전형적으로 농부나 어부와 같은 실외 작업자의 질병이다. 단지 소수의 정량적 연구가 직업적 작업환경에서 피부암 risk를 증가시키는지 여부를 결정하기 위해 UV-B의 인공선원에 만성적으로 피폭된 작업자 집단을 시험하였다. 비늘모양 세포의 악성종양이 가장 공통적인 유형이다. 이것은 피폭된 위치(즉, 손과 목 등)에 국한하는 것이다. 흑색종(黑色腫, melanoma)의 발생율에 대한 연구는 실외 작업자에 대해 보고되어 있지 않다.

5. 광각막 결막염(photokerato conjunctivitis)

화학선의 자외선방사선(UV-B와 UV-C)은 각막과 결막에 의해 강하게 흡수된다. 이런 조직의 과도피폭은 공통적으로 용접공의 불빛, 아아크-눈(arc-eye)등이라고 말하여지고 있는 광각막 결막염을 야기한다. Pitts는 보통의 임상적 광각막염 과정을 특성화 했다(Pi71, Pi74, Pi77). 잠복기는 1/2내지 24시간 범위에서 피폭의 심각성에 따라 역으로 변화하지만 보통 6~12시간 이내에 발생한다. 결막염은 더욱 서서히 진전되는 경향이 있으며, 눈꺼플 주위의 안면피부의 홍반을 수반할 수도 있다. 각 개인은 눈안의 이물질이나 모래에 대한 감각을 갖고 있으며, 광선공포증, 눈물흘림과 눈까플경련을 어느정도까지 경험할 것이다. 급성징후는 6~24시간 지속되며 불편함은 보통 48시간 이내에 사라진다. 피폭이 영구적인 안질환을 초래하는 일이 거의 드물다 할지라도, 각 개인은 48시간 기간동안 시각적으로 무능력하다. 인간의 광각막염에 대한 발단치 데이타는 220에서부터 310*nm*까지 10*nm*파장대에 대해 Pitts와 Tridici에 의해 설정되었다.(Pi71). 200*nm*에서 305*nm*사이의 피폭한도들에 대한 지침은 최소변화 발단치보다 약 1.3내지 4.6배 작다. 인간의 눈의 최대민감도가 270*nm*에서 발생하는 것이 발견되었다. 220*nm*와 310*nm*사이의 파장 반응(action스펙트럼)은 4~14mJ/㎠범위의 발단치에 따라 홍반의 경우에서처럼 크게 변화하지 않는다. UV-A파장으로 부터의 각막상해는 10J/㎠을 초과하는 수준이다(Pi77 ; Sh 77 ; Zu77 ; Zu80 ; Ta69 ; Ha69).

6. 백내장

295*nm*이상의 파장은 각막을 투과할 수 있으며, 수정체에 의해 흡수된다. 수정체의 일시적 그리고 영구불투명(백내장)이 295~320*nm*파장대를 갖는 자외선방사선에 피폭받는 토끼와 원숭이에서 생성될 수 있다는 것을 Pitts등이 보여 주었다(Pi77). 일시불투명에 대한 발단치는 극적으로 0.15~12.6J/㎠ 파장의 범위이었다. 영구불투명에 대한 발단치는 일시불투명에 대한 값보다 전형적으로 두배이다. 훨씬 낮은 준위에서의 만성피폭이 수정체의 불투명 효과를 가져오는가 하는 것은 아직까지 결정되지 않았다.

7. 망막 효과

각막과 투명한 수정체는 보통 자외선방사선 피폭결과에 의한 급성효과로부터의 망막을 충분히 차폐

한다. 보통 UV-A의 1%이하가 망막에 도달하며, 더욱 짧은 UV-B파장은 완전히 감쇠된다. Ham과 그의 동료들은 투명한 수정체를 제거하여 망막에서 5 J/㎠정도 준위에서 급성망막 상해를 실증하였다.

8. Envelope action spectrum

① 분명히, 작업자와 일반대중들에 대한 자외선방사선 피폭한도의 개발은 두가지 risk를 고려하여야 한다. 이것들은 눈과 피부 양자에 대한 급성과 만성 상해의 risk이다. 문헌에 의하면 상해발단치는 각 효과에 대하여 파장에 따라 크게 변한다고 지적하고 있다. UV-B와 UV-C영역에서, 최소홍반과 각막결막염의 최근 연구로부터 얻어진 급성효과에 대한 상호작용(reciprocity)범위에서 피폭선량(radiant exposure)에 대한 발단치 data를 포함하고 있는 action스펙트럼 곡선을 그릴 수 있다. 상호작용은 irradiance E와 피폭기간 t가 역(逆)의 관계를 갖는다는 것을 의미하며 E와 t의 일정한 곱(즉, 피폭선량)은 어떤 주어진 효과의 결과가 된다. 이 피폭한도곡선은 각 개인의 반응에서의 변화량과 측정오차를 고려한 집합적 발단치 date와 크게 다르지 않다. 비록 안전인자가 최소적으로 감지가능한 결막염에 대해 최소라고 하더라도 급성결막염에서는 1.5내지 2.0 범위라고 믿어진다. 이 곡선은 또한 급성UV-B 백내장 발생 발단치 훨씬 이하이다. 자외선의 잠재적 위험준위에의 반복된 눈의 피폭이 별에 피부를 태우고, 각막층이 두꺼워지는 것처럼 각막의 방어능력이 증가된다고 믿어지지 않는다. 그래서 피폭한도는 눈에 대해 더욱 쉽게 적용 가능하며, 그 장기에 대해 제한값을 고려하여야만 한다. 외부각막층은 이 조직의 정상적 회복과정에 의해 약 48시간 이내에 대치되기 때문에 광각막염을 야기하는 UV-B와 UV-C의 그 어떤 누적은 약 48시간으로 제한된다. UV-A의 깊은 투과력 때문에 UV-A의 경미한 추가 피폭은 48시간 이상까지 존재한다. 이 부가성 인자는 피폭한도 속에 들어 있는 안전인자의 크기를 유도하는데 고려되었다. 급성효과를 근거로 하여 UV-A 피폭한도에 대한 안전인자는 크며, 이 인자는 약 320 *nm*에서의 7에서부터 390*nm*에서의 100이상까지 변한다.

② 각 개인사이의 발단치와 피폭이력(조건)에서의 광범위한 변화 때문에, 이러한 지침들은 단지 피부장해를 평가하기 위한 출발점으로서만 이용되어야 한다. 이 지침은 가장 민감한 개인을 제외한 모든 사람들을 방어하기 위하여 어느만큼 안전의 여분을 갖고 있다. 이런 여분에 대한 정확한 값이 주어질 수 없지만, 이 값은 백인에 대해서 방사선의 스펙트럼 성분에 따라 약 3부터 20까지이다. 한 개 이상 홍반메카니즘이 존재하여, 그래서 한 개이상의 홍반action 스펙트럼 이상이 있을지 모르기 때문에 180*nm*에서 315*nm*범위의 두 개의 크게 다른 파장의 방사선효과는 단순히 부가적이 아닐수도 있다. 이 피폭한도는 300~315*nm*범위에 있는 급격히 증가하는 스펙트럼 irradiance를 갖고 있는 태양과 형광램프와 같은 선원의 평가에서 주의하여 이용되어야 한다.

이 구역에서 그와같은 선원의 정확한 스펙트럼 측정의 어려움 때문에 큰 오차가 발생한다.

③ 피폭한도는 광민감성 개인이나 혹은 화학적, 제약학적 식물성 광민감자에 부수적으로 피폭받는 정상인에 대한 적절한 방어를 제공하지 못할 수도 있으며, 그런 경우에 대하여 특별한 주의가 취해져야 한다.

④ 피폭한도는 급성효과를 예방하고 일생동안의 자외선피폭을 제한하여 만성 피부효과의 발생 risk를 감소시키게 된다. 홍반 action 스펙트럼이 자외선피폭의 전 세계적 평가를 하기위해 사용되어오긴 했지만, 자외선피부 발암물질에 대한 action 스펙트럼은 인간에 대해선 알려져 있지 않다. 네덜란드의 보건위원회는 10년 기간동안까지 급성 일일피폭에 대해 이 피폭한도 값들과 비슷한 제한치를 제안했다. 장기간동안의 경우에 대하여 만성효과를 방지하기 위하여, 급성제한치의 약 15%에 해당되는 다른 제한값들을 이용하여야 한다. 이 제한치들은 UV-B와 UV-C에서의 같은 action 스펙트럼을 가져야 한다. 대부분의 경우에 있어서, UV-B에 대한 직업적 피폭은 태양의 UV-B에 대한 개인의 비직업적 피폭에 가산된다.

⑤ 자외선장해 이외에 아주 강한 UV-C선원은 공기로부터 오존과 산화질소를, 그리고 유지(油脂)를 빼는 곳에서 포스겐(phosgene)가스를 위험한 농도까지도 역시 발생시킬 수 있다.

9. UV-A방사선 효과

UV-A에 대한 피폭한도가 합리적으로 설정한 근거가 되는 이용가능한 data는 한정되어 있다. 그렇지만, 해로운 생물학적 효과를 유발시키는 스펙트럼 구역에서 충분한 강도를 방출하는 산업적 선원은 극히 적다. 피부장해는 광과민감인 사람들에 대한 것을 제외하고 매우 높은 irradiance를 요구하는 성질에서 주로 열이다. 광각막염과 수정체 불투명은 높은 irradiant 피폭량의 급성피폭을 시킨 실험동물에서 발생되었다. 과거에 백내장의 하나의 원인물이라고 가설화되긴 했지만, 대부분의 실내작업환경에서 발견한 저준위 UV-A가 어떤 장해를 준다는 지적은 없다. 그래서 UV-A에 대한 피폭한도는 흔히 쉽게 생각할 수 있는 열, 혹은 광화학적 상해 메카니즘 이하이다.

최근 수년간 백내장 뒤에 하나 혹은 양쪽의 수정체를 제거한 실맹인구가 급격히 증가되었다. 이들 대다수의 실맹자는 인공유리 혹은 프라스틱의 수정체를 넣었다(이러한 사람을 흔히 가실명인 (假失明人)이라고 부른다). UV-A를 흡수하기 위하여 수정체 이식을 받은 소수인은 차치하고, 이러한 사람들은 피폭한도에서의 UV-A 피폭으로부터 각막상해를 적절하게 방어하지 못할 것이다. 그러한 사람은 만일 UV-A 방사선원을 취급한다면 UV-A 방어렌즈를 착용하여야 한다.

REFERENCES

1) Commission Internationale de l'Eclairage (International commission on Illumination), 1970, International Lighting Vocabulary, 3rd Edn, Publication CIE No.17(E-1.1)(Paris : CIE).
2) United Nations Environment Programme/ World Health Orgamization/International Radiation Protection Association, 1979, *Environmental Health Criteria,* 14, Ultraviolet Radiation(Geneva : WHO).
3) Hausser K. W., 1928, "Influence of wave length in radiation biology," *Strahlentherapie,* 18, 25-44 (in Geneva).
4) Coblentz W. W., Stair R. and Hogue J. M., 1931, "The spectral erythemic reaction of the human skin to ultraviolet radiation," *Proc. U.S. Nat. Acad. Sci.,* 17, 401-403.
5) Luckiesh M. L., Holladay L. and Taylor A. H., 1930, "Reaction of untanned human skin to ultraviolet radiation," *J. Opt. Soc. Amer.,* 20, 423-432.
6) Everett M. A., Olsen R. L. and Sayer R. M., 1965, "Ultraviolet erythema," *Arch. Dermatol.,* 92, 713-729.
7) Freeman R. G., Owens D. W., Knox J. M. and Hudson H. T., 1966, "Relative energy requirements for an erythemal response of skin to monochromatic wavelengths of ultraviolet present in the solar spectrum," *J. Invest. Dermatol.* 47, 586-592.
8) Berger D., Urbach F. and Davies R. E., 1968, "The action Spectrum of erythema induced by ultraviolet radiation" (Preliminary Report XIII), pp.1112-1117, in : *Proc. of the Congressus Internationalis Dermatologiae-/ Munchen 19 67*(Edited by W. Jadassohn and C. G. Schirren) (New York : Springer-Verlag).
9) Willis I., Kligman A. and Epstein J., 1972, "Effects of long ultraviolet rays on human skin : photoprotective or photoaugmentaive,"

J. Invest. Dermatol., 59, 416-420.

10) Van der Leun J. C. and Stoop. T., 1969, in : *The Biological Effects of UV Radiation* (Edited by F. Urbach), pp. 251-254 (Oxford : Pergamon Press).

11) Parrish J. A., Jaenicke K. F. and Anderson R. R., 1982, "Erytheme and melanogenesis action spectra of normal haman skin," *Protochem. Photobiol.* **36**(2), 187-191.

12) Bauer H., Caldwell M. M., Tevini M. and Worrest B.(Eds), 1982, *Biological effects of UV-B radiation* (Proc. of a workshop held in Munich-Neuherberg, 25-27 May 1982), Gesellschaft fur strahlen und Umweltforschung, Josephspitalstr. 15, D-8000 Munich 2, Federal Republic of Germany, BPT-Report 5/82.

13) Paul B. and Parrish J., 1982, "The interaction of UV-A and UV-B in the production of threshold erythema." *J. Investdermatol.*, **78**, 371-374.

14) Van der Leun J. C., 1984, "UV carcinogenesis," Photochem. *Photobiol.*, **39**(6), 861-868.

15) Chavaudra J. and Latarjet R., 1978, "Le rayonnement ultraviolet solaire et l'ozone atmospherique," in : *Effects biologiques des rayonnement non-ionisants-utilisation et risques associes (Proc. 9th Int. Congr. Societe francaise de Radioprotection)* (B.P. no. 72, F-92260, Fontenay-aux-Roses, France : SFRP) (in French).

16) Cutchis P., 1974, "*Stratospheric ozone depletion and solar ultraviolet radiation on earth,*" *Science.*, **184**, 13-19.

17) Urbach F., Epstein J. H. and Forbes P. D., 1974, "UV Carcinogenesis," pp. 259-283, in : *Sunlight and Man* (Edited by T. B. Fitapatrick, M. A. Pathak, L. C. Harber, M. Seiji and A. Kutika) (Tokyo : University of Tokyo Press).

18) Swanbeck G. and Hillstrom L., 1971, "Analysis of etiological factors of squamous cell skin cancer of different locations," *Acta Dermatovener.*, **51**, 151-156.

19) Gordon D. and Silverstone H., 1976, "Worldwide epidemidogy of pre-malignant and malignant cutaneous lesions," pp. 405-434, in : *Cancer of the Skin* (Philadelphia : W. B. Saunders Co.).

20) Pitts D. G. and Tredichi T. J., 1971, "The effects of ultraviolet on the eye," *Amer. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **32**(4), 235-246.

21) Pitts D.G., 1974, "The human ultraviolet action spectrum," *Amer. J. Optom. and Physiol. Optics.*,**51**(12), 946-960.

22) Pitts D. G., Cullen A. P. and Hacker P. D., 1977, *Ocular Ultraviolet Effects from 295 nm to 400 nm in the Rabbit Eye,* National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH, Contract CDC-99-74-12, DHEW (NIOSH) Publication No. 77-175.

23) Sherashov S. G., 1977, "Spectral sensitivity of the corna to ultraviolet radiation," *Biofizika,* **15**, 543-544(in Russian).

24) Zuclich J. A. and Kurtin W. E., 1977, "Oxygen dependence of near UV-induced corneal damage," *Photochem. Photobiol.*, **25**, 133-135.

25) Zuclich J. A., 1980, "Cumulative effects of near UV induced corneal damage," *Health Phys*, **38**, 833-838.

26) Tapaszto I. and Vass Z., 1969, " Alterations in mucopolysaccharide compounds of tear and that of corneal epithelium, caused by ultraviolet radiation," *Ophthalnologica(Additamentum).*, **158**, 343-347.

27) Harmerski W. and Zajaczkowska A., 1969, "Electrophoretic investigations of proteins of the corneal epithelium in experimental photophthalmia,"*Pol. Med. J.*, **8**, 1464-1468.

28) Harmerski W., 1969, "Studies on the histochemical changes in experimental corneal le-

sions induced with ultraviolet radiation and on prevention of photophthalmia," *Klin. Oczna.*, 39, 537-542(in Russian). English translation in : *Pol. Med. J.*, 8, 1469-1476.