온도에 의한 개인 피폭선량계 측정치에 대한 영향

- 필름뱃지 -

1. 머리말

개인용 방사선피폭선량 측정용구로써 현재까지 일본에서 가장 많이 이용되어 온 것은 필름뱃지이지만 2001년도부터 차츰 광자극현황(OSL) 선량계나 형광유리선량계 등의 비은염측정소자로 대체되고 있다. 그 주요 이유로써 측정감도의 향상뿐만 아니라 필름의 패딩에 의한 측정정도의 저하, 현상처리를 하기 위하여 환경으로의 영향이 크다는 것, 폐액처리에 부담이 크다는 것 등을 열거할 수 있지만 기타 이유의 하나로서 필름이 온도에 영향받기 쉽다는 것도 들 수 있다.

필름뱃지는 온도에 의한 측정장치의 영향이 있다고 하며 고온환경하에 방치하면 이상적으로 높은 측정치가 관측되는 일도 있다. 그와 같은 피폭이 보고된 경우 방사선관리를 하는 입장에서 곧바로 피폭원인을 조사하게 되는데 드물게는 원인을 거의 찾을수 없는 이상 피폭을 경험할 때가 있다. 예로서, 과거에 본학교(宮崎醫科大)의 방사선 업무종사자의 필름뱃지가 1개월당 26.6mSv (연한도 50mSv)의 피폭이 있었다는 것이 보고되었다. 따라서, 이 방사선 작업종사자의 방사선 취급을 중지시키고 원인을 조사하였더니 피폭의 원인은 거의 알수 없었고, 생각할 수 있는 것으로는 흰가운에 장착된 상태의 필름뱃지를 본인의 자가용 뒷자석 뒤 선반에 장기간 방치하였음이 판명되었다.

필름뱃지를 여름철의 차속과 같은 고온환경하에 방치하면 마치 그 필름이 방사선으로 피폭된 것과 같은 추정치를 나타낼 때가 있다. 이것은 필름이 열에 의하여 흑화하였기 때문이라고 생각되지만, 온도 피폭 노출시간과 선량당량의 관계를 나타내는 구체적인 데이터가 없고 실제로 방사선으로 피폭된 경우와 구분하는 것은 매우 어렵다. 따라서 방사선에 의한 피폭관리를 하는자가 필름뱃지의 선량당량과 온도 · 폭로시간의 시간을 안다는 것은 실제의 피폭선량을 추정하는데 있어서 중요한 의미를 갖는다.

여기서, 필자들은 실제로 있을수 있는 고온환경하에 방치된 필름뱃지에 대하여 온도에 의한 측정치의 영향을 조사하였다.

또, 실제로 필름뱃지를 방치할 가능성이 있는

환경온도로써 자가용 안에서 온도를 연속측정하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

실험에는 NAGASE CANDAVER사 G타이프 필름뱃지를 사용하였다. 또 항온조는 SANYO DRYING OVEN MOV-202, 조사용 선원으로써 ^{137}Cs 밀봉선원 1MBq, 차내의 온도 변화측정에 사용한 승용차로 TOYOTA세리카와 MAZDA 봉고 왜건이다. 연속온도측정에는 T&D사의 Thermo Recorder 온도 판독기를 사용하였다.

2.2 실험방법

① 일정한 온도의 항온조중에 일정시간 방치한 필름뱃지의 선량당량을 측정하고 또 온도 · 폭로시간을 변화시킴으로써 필름뱃지의 온도에 의한 선량당량의 변화, 고온환경하에 대한 방치시간과 선량당량의 변화를 검토하여 온도가 필름뱃지에 주는 영향을 조사하였다. 온도는 60, 70, 75, 80, 90, 100, 110℃로 설정하였다. 방치시간은 각각의 온도에 대하여 3, 6, 12, 24, 48시간으로 하였다.

② 고온환경하에서 실제로 필름뱃지를 방사선에 피폭시켜 선량당량을 측정함으로써 온도가 필름의 감도에 주는 영향을 조사하였다. 조사선원으로 1MBq의 ^{137}Cs 밀봉선원을 사용하고 선원에서 필름뱃지까지의 거리를 일정 (10 ㎝)하게 하여 80℃의 환경하에서 조사하였다. (그림 1) 조사시간은 3, 6, 12, 24, 48시간으로 하였다. 대조하기 위하여 저온실(5℃)내에서 위와 같은 조건으로 조사한 것과 비교하였다.

③ 차속에 온도계를 설치하여 차내의 온도변화를 연속측정함으로써 항온조에 설정한 온도가 실제의 환경온도에 해당하는가를 조사하였다. 온도계의 설치장소로 온도계의 내부센서를 프런트패널의 직사광선이 닿지 않는 장소에 설치하며, 외부센서를 대쉬보드위에 직사광선이 닿는 곳에 설치하였다. 측정온도는 1시간마다 기록하였다.

또, 동시에 온도계의 센서와 같은 위치에 7월과 8월의 일정기간 (1주간 및 2주간) 필름뱃지를 설치하여 실제의 차내온도에 의한 측정치에의 영향을 조사하였다.

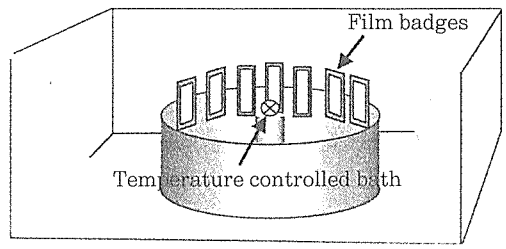


Fig. ^{137}Cs irradiation under the higher temperature condittion

3. 실험결과

필름뱃지의 흑화도는 필름의 로트나 현상조건에 의하여 변화하기 때문에 다른 로트나 다른 시기에 현상한 필름의 흑화도를 그대로 비교하는 것은 적당하지 않다. 이번 검토에서는 흑화도를 바꾸어 NAGASE CANDAVER에 의뢰하여 표준선원을 사용한 보정곡선에 의하여 선량당량 (mSv)으로 변환시킨 값을 사용하여 비교키로 하였다.

3.1 온도와 선량당량과의 관계

가온시간을 3, 6, 12, 24, 48시간으로 일정하

게 하여 온도를 60℃에서 110℃까지 10℃간격으로 상승시켰을때의 선량당량 변화를 그림2에 나타낸다. 3시간에서 24시간 가온까지는 70℃이하에서의 선량당량은 검출한계미만(M:0.1mSv미만)였지만 48시간 가온한 것은 70℃에서 선량당량의 상승은 볼수 있어서 어떤 설정기간의 경우도 온도 10℃의 상승에 대하여 선량당량은 약 100배로 급격한 상승을 볼수 있었다. 그러나 액 7,000~8,000mSv를 상한으로 하여 플래토에 달하였다.

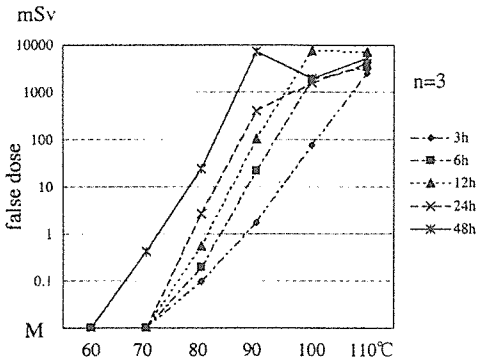


Fig. 2 Relation between temperature measured dose

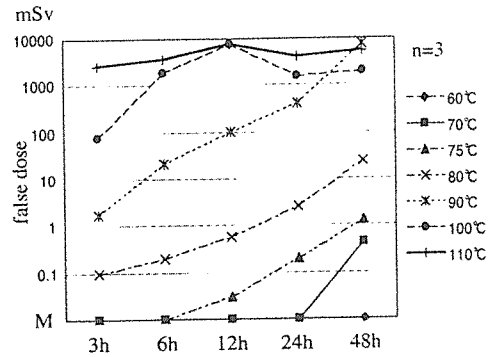


Fig. 3 Relation between and radiation dose and heating time.

3.2 가온시간과 선량당량과의 관계

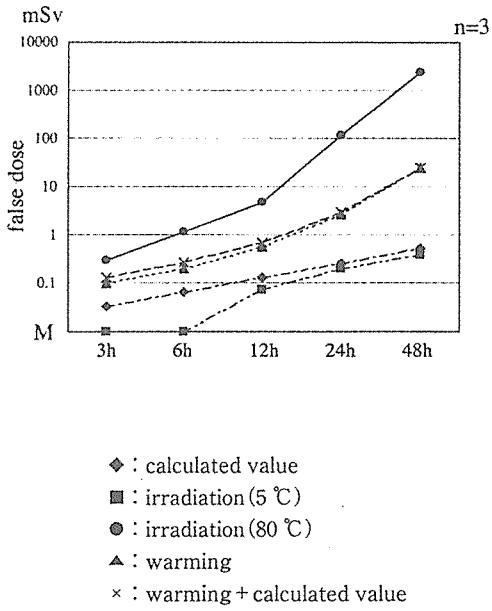
한편, 온도를 60, 70, 75, 80, 90, 100, 110℃와 각각 일정으로 하여, 가온시간으로 2시간에서 48시간까지 변화시켰을 때의 선량당량 변화를 그림 3에 나타낸다. 60℃에서는 이번에 검토한 48시간까지는 선량당량은 검출한계미만(M:0.1mSv미만)였지만, 70℃에서는 24시간 때부터 선량당량의 상승을 볼 수 있고, 80℃를 넘으면 본 검토의 최단시간인 3시간부터 가온시간과 함께 선량당량은 직선적으로 상승하였다. 그러나, 측정하계인 약 7,000~8,000mSv를 상한으로 플래토에 달하였다.

이번 실험에서의 최고 온도인 110℃에서는 아마 열에의한 젤라틴층의 변성때문이라고 생각되지만, 필름뱃지가 패키지에 들어 붙었다. 또, 100℃를 넘으면 필름배지케이스가 열에 의하여 변형하였다.

3.3 온도가 필름뱃지의 감도에 미치는 영향

80℃의 고온환경하에서 ^{137}Cs밀봉선원 1MBq로 3, 6, 12, 24, 48시간 조사시켰을 때의 결과를 그림 4에 나타낸다.

^{137}Cs-1MBq의 1㎝선량당량상수 0.0910($\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$)을 근거로한 계산치와 5℃ 조사의 선량은 거의 일치하였다. (6시간 조사까지는 0.1mSv미만이기 때문에 필름뱃지의 측정치는 검출한계미만 (M)으로 되었다.) 이 계산치와 결과 3.2의 가온데이터를 가산한것 (가온+계산치)을 비교하면, 고온환경에서 조사한 것 (가온+조사)은 명백하게 높은 값을 나타내었다. 이것은 온도가 필름의 감도에 영향을 주어 80℃의 고온환경하에서는 필름의 감도를 상승시켰기 때문이라고 생각된다.



3.4 차내의 온도변화와 필름뱃지의 측정치

실제의 차내온도변화를 그림5에 나타낸다. 스포티카에서는 차내에 직사일광이 닿지 않는 부분에도 50℃를 넘고 일광이 닿는 대쉬보드 위는 80℃를 넘은 온도가 된다는 것을 알았다. 그러나, 원박스 왜건에서는 대쉬보드에서 드물게 70℃를 넘는 것이 있었지만, 최고온도는 스포티카보다 10℃이상 낮은 결과를 나타내었다. 이것은 스포티카의 프런트 유리가 투명유리인데 대하여 왜건은 보론즈유리였고 프런트유리의 기울기차에 의한 일광의 입사량차에 의한 것으로 생각된다.

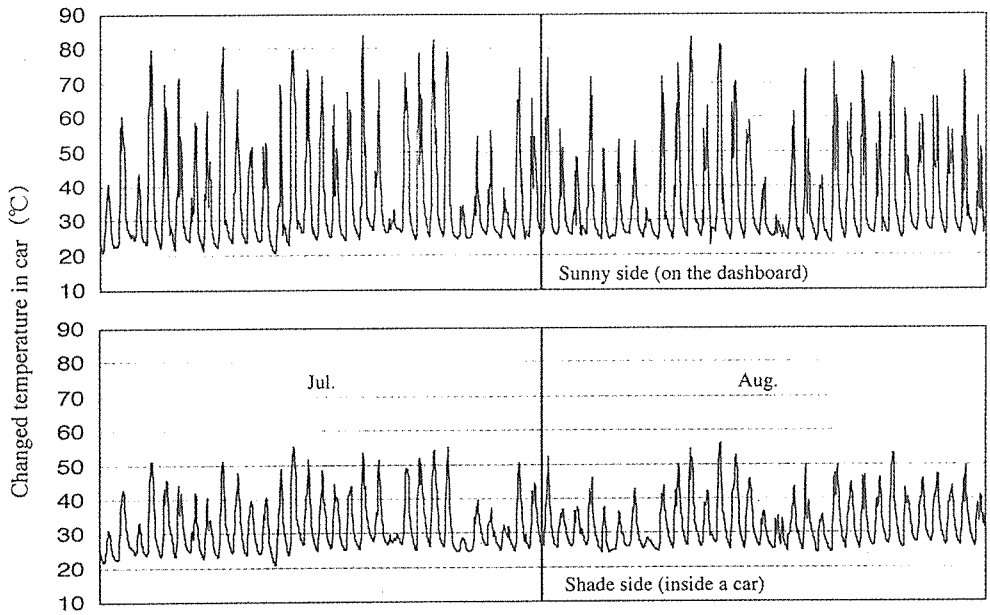


Fig.5 The change of temperature inside the car. Sports car silver, clear glass.
Upper row : Temperature on the dashboard.
Lower row : Temperature inside the car without sunbeam.

또 실제로 7월과 8월에 차속에 방치한 필름배지의 방치기관과 차내의 온도변화를 그림6에 측정치를 표1에 나타낸다. 1주간, 2주간의 설치 모두에 차내의 직사광선이 닿지 않는 부분에도 이상치는 발견하지 못했지만, 일광이 닿고 대쉬보드위에 방치한 필름뱃지에는 마치 방사선으로 피폭된것과 같은 측정치가 보고되어 있다. 특히 8월에 2주간 설치한 것은, 서론에서 기술한 방사선 작업종사자의 이상피폭의 데이터와 거의 일치하였다.

온도계 설치장소의 형편상 실험에서는 온도계의 외부센서를 대쉬보드위에 설치하였지만, 실제로 필름배지를 단 흰가운을 놓을 가능성이 있은 뒷선반에서도 같은 결과를 얻을 것이라고 생각된다.

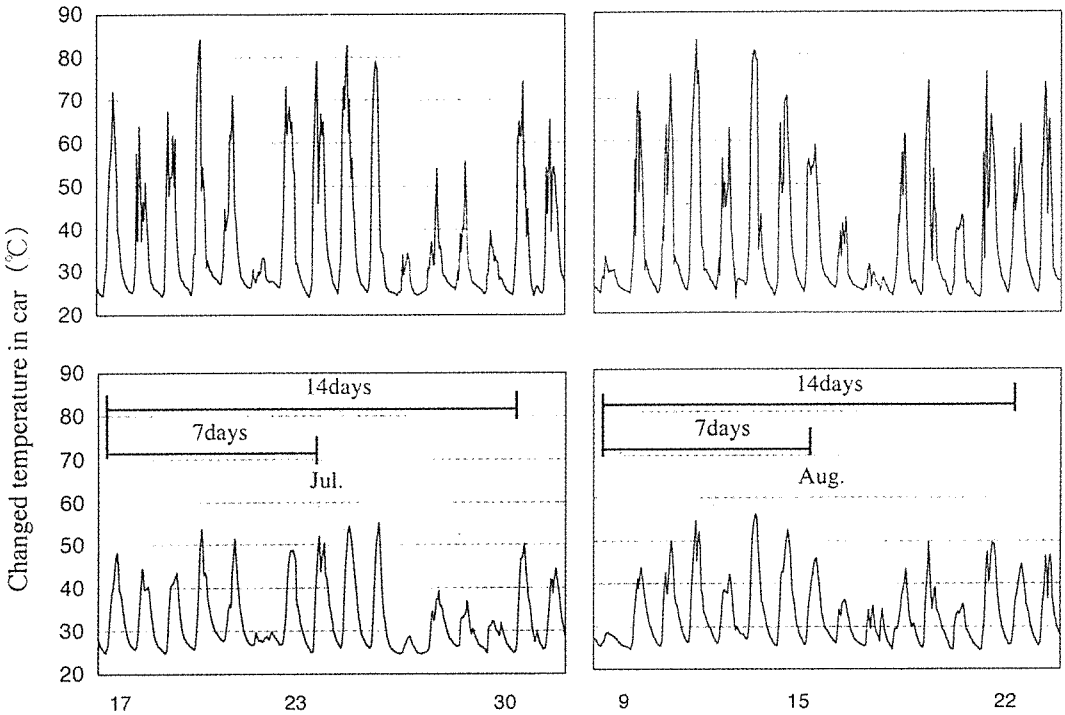


Fig.6 The relationship between setting time of film badge and the change of temperature

Table 1. Doses measured by film badge set in the car

Sports car (clear glass) color:silver				Mini-van (bronzy glass) color:silver			
	days	shade side	sunny side		days	shade side	sunny side
Jul.	7	M	1.3 mSv	Jul.	7	M	M mSv
	14	M	2.3		14	M	M
Aug.	7	M	3.6	Aug.	7	M	0.1
	14	M	20.8		14	M	M

M : below detection limits

4. 맺음

선량당량과 온도 · 가온시간과의 사이에는 명백한 인과관계가 인정되었다. 여름의 직사광선이 닿은 차속처럼 실제로 있을수 있는 환경속에서도 불가 3시간의 방치에도 측정치에 영향이 나타나고 온도의 상승 또는 시간의 경과와 함께 측정치는 상승한다는 것이 판명되었다.

고온환경하에서 실제로 방사선을 조사하였을 때 온도만에 의한 흐림과 방사선에 의한 흑화 합계를 비교하면, 명백히 높은 값이 관측되었다. 이 결과는 온도가 필름의 감도를 상승시킨 것으로 생각된다.

차내의 온도는 자가용의 차종이나 창문의 대질 등에 따라 상당히 다르다는것이 판명되었다. 그러나 그것들을 특정할수 있으면 필름뱃지의 방치기간이나 장소(직사광선이 닿는지의 여부) 방치한 기간의 기온등에 따라 과잉보고된 선량당량에 대하여 올바른 값의 추정은 어느정도 가능하다.

필름의 흑화현상은 할로겐화은에 빛이나 방사선(전자파)이 직접 작용함으로써 광전자 생성과 그것에 수반하는 은원자의 생성에 의한 잠상 발생에 의한다고 한다. (Gurney-Mott이론) 그러나 그 이외에도 온도에 의한 온도흐림이나 압력에 의한 압력흐림, 정전기에 의한 static등의 현상은 잘 알려진 사실이다.

이번 실험에는 이들 중에서 온도에 의한 흐림에 주목하여 이 현상을 정량적으로 측정하였다. 그 결과 필름을 가온하는 조건(온도 및 시간)과 겉보기의 피폭선량측정치에 상관성이 인정되고, 조사중의 필름을 가열함으로서 온도에 의한 증감효과가 확인되었다.

또, 온도에 의하여 과도하게 어림잡은 피폭선량에 대하여 적정한 값을 추정할 수 있는 가능성이 시사되었다. KRIA

〈日本 官崎醫科大 Y. TAHARA 외,
Radioisotopes No. 52, No.4 (2003)〉