

병원 내 방사선 작업종사자의 만성적 방사선 피폭에 의한 혈액학적 성분 변화에 관한 연구

서울아산병원 핵의학과, 광주보건대학 방사선과¹, 신구대학 방사선과²
류재광 · 정우영 · 신상기 · 조시만 · 동경래¹ · 김현수²

Occupational Radiation Exposure to Hospital Workers: On the Effect of Hematological Change

Jae Kwang Ryu, Woo Young Jung, Sang Ki Shin, Shee Man Cho, Kyung Rae Dong¹, Hyun Soo Kim²
Asan Medical Center, Nuclear Medicine Department, Seoul, Korea
Gwang Ju Health College University, Radiological Technology Department¹, Gwangju, Korea
Shin Gu College, Radiological Technology Department², Seongnam, Korea

Purpose: This prospective study was conducted to reveal the haematological index change by low level radiation exposure in radiological environment our hospital workers. **Materials and Method:** We gathered the cumulative dose by Thermoluminescent Dosimeters (TLD) over 9-yr period and examined hematological index counts change (RBC, Hb, Platelet, WBC, Monocyte, Lymphocyte, Neutrophilic, Basophilic, Eosinophilic) both occupational workers and controls. Of a total 370 occupational workers and 335 controls were compared. **Results:** This analysis has led to the following general observations 1) The average cumulative dose in male and female were 9.65 ± 15.2 mSv, 4.82 ± 5.55 mSv respectively. 2) In both male and female, there were very low relationship between occupation period and cumulative dose ($r < \pm 0.25$). 3) Occupation period was more increased, in male, WBC counts decreased and increased workers, RBC counts decreased workers were more than controls group ($p < 0.05$). In female, WBC counts decreased and increased workers and W-eosino counts decreased workers were more than controls group ($p < 0.01$). 4) Cumulative dose was more increased, in male, W-Lympho counts decreased workers and Platelet counts decreased workers were more than controls group ($p < 0.05$). In female, W-lympho counts decreased workers and RBC counts decreased workers were more than controls group ($p < 0.05$). **Conclusions:** We can find some kinds of blood index abnormal distribution in occupational radiation workers by comparing with controls. Occupational workers cannot avoid radiation exposure, in spite of the control it. Actually low level radiation adverse effect occurred not dose but probability. So workers must always try to reduce exposure by ourselves, furthermore as long as possible the government should provide rapidly that national system on radiation control for worker's health. (**Korean J Nucl Med Technol 2008;12(3): 157-170**)

Key Words : Radiation exposure, Hematological index change, TLD, Occupation period, Cumulative dose

서 론

• Received: June 3, 2008. Accepted: September 1, 2008.
• Corresponding author: **Kyung Rae Dong**
Radiological Technology Department, Gwang Ju Health College
University, 683-3 Shinchang-dong, Gwangsan-gu, Gwangju,
506-701, Korea
Tel: +82-16-778-9397, Fax: +82-62-958-7665
E-mail: krdong@hanmail.net

1895년 독일의 물리학자인 W. K. Rontgen의 X-선 발견과 그 이듬해인 Becquerel의 우라늄 방사능 발견 이후 여러 형태의 방사선과 방사성 동위원소들이 과학과 의료분야뿐만 아닌 사회전반의 여러 분야에 걸쳐 광범위하게 이용되고 있다[윤철호 등 1984]. 근래 들어 경제발전에 의한 국민소득의 증가

와 전국민의료보험의 시행에 따른 개개인의 건강관리의 요구가 고조되면서 방사선의 의학적 이용도는 더욱 증대되고 있으며 앞으로도 더욱 증가될 전망이다[추성실 1978].

현재 의료분야에서 다양하게 이용되는 방사선원의 종류는 X-선을 시작으로 감마선, 베타선, 전자선, 양자선 등이 있으며 이런 방사선원을 사용하여 작게는 임상환경의 환자들에게 다양한 진단정보제공부터 질병치료에 적용하고, 넓게는 차세대 의료기술의 개발 연구 영역에 이르기까지 실로 매우 광범위한 사용을 통해서 무궁무진한 편익과 혜택을 얻고 있다.

이와 같은 방사선의 이용은 의학의 발전과 더불어 국민보건향상에 크게 기여하고 있지만, 그에 반하여 방사선이 갖는 여러 가지 급,만성 생물학적 효과로 인한 장애와 잠재적인 유전적 영향으로부터의 보호가 대단히 중요한 사회문제의 하나로 대두되고 있다[남정우 1992].

특히 의료기관의 방사선 작업종사자들은 직접적인 방사선원의 취급으로 인하여 방사선에 노출되는 기회가 날로 증가하고 있기에, 철저한 대책과 준비 및 방사선의 특성을 제대로 인식하여야만 하며, 방사선작업 시 피폭 방지에 관련된 수칙 및 규정 그리고 작업환경 개선에 노력하지 않는다면 종사자들은 물론 전 국민의 잠재적인 방사선 피해가 축적되어 우리들의 후손에게 예기치 못한 일들을 초래할지도 모르는 것이다.

방사선이 생체조직에 조사될 때 생물학적인 변화를 일으키는 것은 이미 규명된 사실이며, 방사선 피폭으로부터 일어나는 장애를 검증할 수 있는 대표적인 생물학적 지표(Biological Marker)로 혈액성분의 변화와 염색체이상을 언급할 수 있다[정해원 등 1996]. 의료기관에서의 방사선발생장치 및 방사성물질 사용은 종류부터 제한적이며 소량이기 때문에 종사자가 받는 연간피폭은 대부분 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서 권고하는 선량한도 -5년간 총 100 mSv 이하, 1년 최대 50 mSv 이하- 이내의 저준위 피폭이지만 무엇보다 중요한 점은 장기간 지속적으로 피폭되어 인체에 미치는 영향의 우연성이 확률적으로 높아진다는 점에 초점을 맞추어야 할 것이며, 그에 따라 방사선 작업종사자에 대한 건강영향 평가를 강화함은 물론 관련 분야 연구에 깊은 관심을 가져야 할 것이라고 생각된다.

방사선 방어분야의 절대적 권위 기관인 ICRP에서는 방사선 피폭을 ‘개인선량한도가 초과되지 않는 조건하에서 합리적으로 달성할 수 있는 한 충분히 낮게’라는 ALARA (As Low As Reasonably Achievable)의 원칙을 제시하고 있으며 선량등록과 분석을 통한 피폭관리를 권고하고 있는바[ICRP

1991] 대부분의 나라에서 방사선 피폭선량관리가 시행되고 있으며, 캐나다[Ashmore et al. 1985], 영국[Kendall et al. 1987], 스위스[Moser 1995], 일본[Iwasaki et al. 1996] 등 일부 국가에서는 정부가 주도적으로 국가 database를 형성하여 종사자마다의 개인적인 모니터링을 통하여 방사선으로 기인한 질병발생에 대한 연구를 수행하고 있다. 우리나라의 경우는 현재 선량등록이 방사성동위원소사용 관련자는 과학기술부에, 그 외 관련 종사자는 식품의약품안전청으로 각기 이원화되어 있어 복잡하며 더욱이 질병발생에 대한 정량적 평가는 아직 확립되지는 않은 실정이다[최수용 등 1999]. 이로 인하여 국내 방사선 작업종사자의 건강영향에 관한 연구는 극히 드문 편이며, 특히 선량한도 이하의 저준위 방사선 피폭으로 인한 생물학적인영향 연구는 물론 이 분야의 전문가도 매우 부족한 실정이다. 하지만 이런 국내 실정과는 다르게 국제적으로는 저준위 전리 방사선 피폭으로 인한 생물학적 영향의 재평가와 이에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있으며 [ICRP 1991], 최근의 ICRP 권고안에 따르면 방사선 피폭에 의한 발암이나 유전적인 결함 등의 확률적 영향에 대해 문턱치가 없는 양-반응 관계의 위해도를 인정하고 있고, 특히 저준위에서는 피폭량과 정비례 한다는 입장을 취하고 있다. 하지만 일부 몇몇의 학자들은 직업적인 저준위 전리 방사선 피폭으로 인한 인체 내 영향은 오히려 일부 그룹에서 유해하다는 방사선 호메시스 이론을 주장하여 여전히 전문가 그룹에서 초차 방사선의 인체 내 영향은 논란의 대상이 되고 있음을 알 수 있다[Luckey 1982, Calabrese 1998]. 그러므로 이런 혼란에 대한 문제 해결과 정확한 현상 파악을 위하여 국가적 차원에서 선량기록을 수집 및 관리가 요구되며 하루라도 빨리 방사선에 의한 영향평가를 정기적으로 실시하여야 하겠다.

지금까지 의료방사선 피폭문제와 관련되어 선행되어진 연구로는 방사선 방어에 관한 연구[박영선 1989], 피폭선량에 대한 고찰[김길생 등 1980, 추성실 등 1981, 동경래 2002], 방사선사의 근무실태[최종학 등 1986]와 같이 인체 내 방사선 조사로 인한 생물학적 변화에 관한 연구보다는 주로 환경이나 피폭실태 위주의 연구가 대부분을 차지하였다. 그러나 최근 들어 분자 생물학 영역에서의 진보된 분석방법들의 많은 소개로 인하여 일부 국한된 종사자의 혈액 내 염색체변화를 관찰한 경우가 있었다[이춘자 1997, 신숙희 2001].

현재 의료기관에서 종사중인 대부분의 방사선 작업종사자는 비록 피폭선량에 관한 정보를 정기적으로 보고 받고는 있지만 그것 또한 매우 형식적이며 큰 관심이 없는 게 일반적이다. 이는 의료피폭에 대한 영향 자체를 정확히 알 수

없음에 기인했을 것이며, 추가적으로 정밀한 영향평가 역시 이제까지 충분하지 못했던 현실의 산물임을 간과할 수 없을 것이다. 그러므로 병원 내 방사선 작업 종사자를 대상으로 만성적 피폭으로 인한 체내 혈액성분의 변화를 이해하려는 본 연구는 그 시도 자체로 의의가 있다고 생각하며 이 연구를 바탕으로 더 진보된 연구들이 진행되는데 일조할 수 있으리라 생각한다.

본 연구는 서울 소재 일개 대형종합병원의 방사선 작업종사자 370명을 대상으로 만성적 저준위 의료방사선 피폭으로 인한 체내 혈액학적 영향을 대조군과의 비교를 통해 확인하며, 이를 바탕으로 방사선종사자 및 관련자 모두에게 방사선의 영향에 대한 이해를 증진시켜 방사선 취급관련 직업병예방을 위한 안전대책 마련을 유도하여 종사자들의 건강관리에 만전을 기할 수 있는 여건이 정착될 수 있도록 하는데 도움이 되고자 한다.

본 연구의 세부 목적은 첫째, 현 수준에서의 일개 대형병원 내 방사선 종사자의 피폭현황을 연도별, 성별, 근무년수별로 확인하고 둘째, 임상혈액검사지표들의 변화를 대조군과 비교분석하여 셋째, 실제 만성적 의료방사선 피폭의 영향 정도를 평가하며 넷째, 현재 실시되고 있는 의료방사선 작업종사자 건강평가의 적절성에 대한 평가 자료로 사용하는데 기초 자료로 활용하여 다섯째, 궁극적으로는 방사선 종사자 뿐만 아닌 모든 이들에게 의료방사선의 영향에 관한 이해를 도모하고자 한다.

실험재료 및 방법

1. 연구 대상

1) 방사선 작업 종사자군

서울소재 일개 대형종합병원 내 2007년 9월 현재 저선량 방사선 피폭가능 집단인 진단방사선과, 치료방사선과, 핵의학과에 근무 중인 의사, 간호사, 방사선사, 임상병리사, 연구원, 및 직종을 불문한 방사선 작업구역 안에서 개인피폭 측정용구인 TLD (Thermo Luminescent Dosimeter) - Panasonic 社 UD 802AT - 를 착용하고 근무 중인 방사선 작업종사자 총 410여 명 가운데 업무상 방사선 피폭의 우려가 거의 없는 20여 명을 제외한 실제 만성적 방사선 피폭의 우려가 있는 390여 명 안에서 직원 건강검진 설문지 문진항목에서 최근 6개월 이내 유의한 질환을 앓지 않았으며, 약물 치료력이 없고 또한 임신이나 출산 등을 경험하지 않았다고 응답한 방사

선 작업관련 종사자 모두를 대상으로 하였다.

2) 대조군

동일 병원에서 2007년 9월 현재 방사선 구역이 아닌 장소에서 근무 중인 직원들로 방사선 작업종사자군과 같은 기간에 직원 건강검진을 시행했으며 최근 6개월 이내 유의한 질환을 앓지 않았으며, 약물 치료력이 없고 또한 임신이나 출산 등을 경험하지 않았다고 한 응답자 중에서 종사자군과 연령대가 동일한 남녀를 대상으로 구성하였다.

2. 연구 자료 수집

1) 종사자의 방사선 피폭량

종사자의 방사선 피폭량에 관한 정보는 진단방사선과의 경우 식품의약품안전청으로부터, 치료방사선과와 핵의학과 의 경우는 원자력안전기술원에 각각 최근 9년간(1999~2007) 보고된 자료를 기준으로 삼았으며, 그 세부내용으로는 주민등록번호, 나이, 성별 등의 인적사항과 방사선 작업 종사기간, 근무지, 작업내용 등의 이력사항, 개인별 총 누적 피폭량, 연도별 피폭량 및 선량한도 초과여부 등이 있었다.

2) 임상검사 지표 자료

연구대상에 대한 임상검사 지표 자료는 2007년 서울아산병원에서 시행된 직원 건강검진 자료를 이용하였다. 검진결과는 일반 신체검사 결과와 임상병리검사 결과로 구분할 수 있으며, 그 세부내용을 살펴보면 혈압, 시력, 체중, 흉부 X-선 촬영 등의 일반 신체검사와 백혈구수, 적혈구수, 혈소판수, 혈색소, 적혈구 농축비, 평균 적혈구용적 등의 혈액검사와 요산·요소 및 요단백 등의 요검사, 총단백, 총지질, 알부민, 알라닌 아미노산 전이효소, 아스팔릭 아미노산 전이효소, 크레아티닌, 혈당, 단백질, 간수치, 중성지방, 체내 인 대사 등의 임상화학검사가 포함되어 있었으며 본 연구를 위한 자료로서 그 중 혈액성분 분석 자료의 일부를 사용하였다.

3. 연구 자료 분석

구체적인 통계분석 내용은 방사선 작업종사자와 대조군을 성, 연령별로 각각 구분하여 적절히 나누어진 종사기간과 누적선량에 대해서 종사자군과 대조군 두 집단간의 임상검사 지표 차이를 t-test로 검증하였으며, 그 후 다시 대조군과의 구분없이 대조군 포함 모든 집단별로 ANOVA test 시행하여

(Bonferroni corrected) 전체 모든 집단간의 차이여부를 검증하였다.

각 검사 항목별 정상과 비정상간의 분포 차이 확인은 각각 구분된 종사기간과 누적선량에 대하여 Fisher's의 Exact test를 이용하여 대조군과의 차이를 검증을 하였으며 저준위 방사선 피폭과 종사기간과의 검사항목별 관계는 단순상관 분석법을 이용하였으며 그 상관도는 Pearson 상관계수를 이용하여 계량화하였다.

이상의 모든 통계처리는 SPSS 10.0 version을 이용하였으며 $p < 0.05$ 수준에서 유의성 검증을 실시하였다.

결 과

1. 연구 대상자들의 일반적 특성

본 연구의 대상자는 종사자군 370명(남:215명, 여:155명), 대조군 335명(남:196명, 여:139명)이었고 남녀 간의 성비는 종사자군 58.1:41.9, 대조군 58.5:41.5로 두 집단 간의 유의한 차이는 없었다. 평균 연령은 각각 34.75년과 35.22년으로 큰 차이는 없었지만 두 군 모두 남성이 여성보다는 평균 5년 이상 높았다. 종사자군의 평균 작업 종사기간은 6.43년이었고 남자는 평균 6.93년, 여자는 평균 5.73년으로 남녀간 유의한 차이가 있었다. 또한 종사자의 평균 누적선량은 7.7 mSv이었지만 남자 역시 평균 9.7 mSv로 여자평균 4.9 mSv에 비해

유의하게 크게 관찰 되었다. 한편 종사자의 분포는 20, 30대가 타 연령대에 비해 남녀 모두 현저하게 많았으며 특히 여자에서는 90% 이상을 차지하였고, 50대의 분포는 많이 작아 여성은 1명밖에 관찰되지 않았다(Table 1).

2. 방사선 작업 종사자의 피폭선량 및 종사기간

남자 215명, 여자 155명으로 구성된 종사자의 누적선량(Cumulative dose)을 각각 살펴보면 남녀 모두 최근 9년간은 국제 방사선 방호위원회의 선량한도 권고치(ICRP 60)인 1년 최대 50 mSv 이하(단, 5년간 100 mSv 이하)를 초과한 종사자는 관찰되지 않았다. 남녀간 피폭 수준의 차이를 살펴보면 남녀 대부분의 종사자가 20 mSv 이하에 포함되어 있었으나 남성의 경우에서 20 mSv 이상 피폭자의 비율이 여성에 비해 많음을 알 수 있었다.

최근 9년간의 종사기간 분포에서는 남자의 경우 1~2년, 3~4년, 5~6년, 7~8년이 전체의 50% 이내에서 비슷한 분포를 보이다 9년간 종사자가 115명으로 과반수 이상을 차지하고 있지만, 여자의 경우는 9년 종사자가 31.6%인 49명으로 많긴 했지만 남자들의 분포 보다는 비교적 종사기간의 편차가 적었다(Table 2).

3. 총 누적선량, 종사기간, 검사항목별 상관관계

Table 1. General observation of populations

	Radiological workers		Controls	
	Male	Female	Male	Female
No. of population (%)	370		335	
	215 (58.1%)	155 (41.9%)	196 (58.5%)	139 (41.5%)
Age (years)	34.75±6.71 23~56		35.22±7.38 22~59	
Mean±sd	36.83±6.99 [‡]	31.86±5.04	37.34±7.72 [†]	32.23±5.66
Range	25~54	23~56	23~59	22~57
20 - 29	40 (18.6%)	51 (32.9%)	36 (18.4%)	40 (28.8%)
30 - 39	107 (49.8%)	94 (60.6%)	92 (46.9%)	86 (61.9%)
40 - 49	54 (25.1%)	9 (5.8%)	52 (26.5%)	11 (7.9%)
50 - 59	14 (6.5%)	1 (0.6%)	16 (8.2%)	2 (1.4%)
Years of employment	6.43±2.81 1~9		-	
Mean±sd	6.93±2.63 [†]	5.73±2.9	-	
Range	1~9	1~9	-	
Cumulative dose (mSv)	7.66±12.35 0.01~139.38		-	
Mean±sd	9.65±15.2 [‡]	4.89±5.55	-	
Range	0.01~139.38	0.04~44.45	-	

[†] $p < 0.05$, [‡] $p < 0.01$ (t-test)

Table 2. The distribution of cumulative dose both male and female

	Male		Female	
	No.	%	No.	%
Cumulative dose (mSv)				
< 2.5	47	21.9	55	35.5
2.5 ~ 5	63	29.3	43	27.7
5 ~ 10	56	26.0	38	24.5
10 ~ 15	15	7.0	13	8.4
15 ~ 20	8	3.7	3	1.9
> 20	26	12.1	3	1.9
Total	215	100	155	100
Years of employment (yr)				
1 ~ 2	20	9.3	29	18.7
3 ~ 4	34	15.8	33	21.3
5 ~ 7	25	11.6	23	14.8
7 ~ 8	21	9.8	21	13.5
9	115	53.5	49	31.6
Total	215	100	155	100

남녀 방사선 작업종사자 370명을 대상으로 한 총 누적선

량과 종사기간 차이에 따른 검사성적과의 상관관계에서는 대부분의 상관성이 매우 미약하였다. 비록 통계적으로 유의했던 항목이라도 상관계수 자체가 작았기 때문에 그 자체만으로 상관성을 입증하기에는 다소 무리가 있어보였다.

남자의 경우는 누적선량에서 다른 변수와의 특별한 상관성 없이 종사기간과의 정상관관계($r=0.22$)만 있었으며 종사기간에서는 단백질(Protein)에서만 부상관관계($r=-0.2$)가 있었다. 백혈구(WBC)는 같은 혈액 내 성분인 혈소판(Platelet)과 호중구(Neutrophil)와는 정상관관계가 림프구(Lymphocyte), 단구(Monocyte), 호산구(Eosinophil), 호염기구(Basophil)에서는 부상관관계를 보였다. 적혈구(RBC)는 혈색소(Hb)와 유의한 정상관관계($r=0.85$)에 있었으며, 호중구(Neutrophil)는 림프구(Lymphocyte)와 아주 유의한 부상관관계(-0.93)를 가지고 있었다(Table 3).

한편 여자의 경우는 누적선량과 종사기간에서 모두 검사 항목과의 특별한 상관성은 보이지 않았다. 다만 남자의 경우와 비슷하게 백혈구(WBC)에서 여러 다른 항목들과의 상관

Table 3. Correlation relationship among hematological index in male

(남자)	누적선량	종사기간	WBC	RBC	Hb	Platelet	Neutro	Lymph	Mono	Eosino	Baso
누적선량	1.00										
종사기간	.22*	1.00									
WBC	-.13	-.04	1.00								
RBC	.09	-.04	.12	1.00							
Hb	.08	-.21	.14	.85†	1.00						
Platelet	-.06	.08	.34†	.01	-.07	1.00					
Neutro	-.11	.02	.35†	-.13	-.09	.04	1.00				
Lymph	.09	-.05	-.33*	.11	.08	-.07	-.9†	1.00			
Mono	.07	-.01	-.21*	.20	-.01	-.03	-.22	-.03	1.00		
Eosino	.04	.11	-.25*	.15	.09	.11	-.26	-.03	.09	1.00	
Baso	.09	.08	-.17*	.30	.01	.22†	-.11	-.03	-.06	.42†	1.00

* $p<0.05$, † $p<0.01$ (Pearson Correlation)

Table 4. Correlation relationship among hematological index in female

(여자)	누적선량	종사기간	WBC	RBC	Hb	Platelet	Neutro	Lymph	Mono	Eosino	Baso
누적선량	1.00										
종사기간	.16*	1.00									
WBC	-.02	-.12	1.00								
RBC	.04	.02	-.04	1.00							
Hb	-.15	.04	.03	.55†	1.00						
Platelet	.05	-.07	.29†	.17*	.17*	1.00					
Neutro	.04	-.07	.59†	-.08	-.16*	-.02	1.00				
Lymph	-.01	.01	-.5†	.06	.12	.02	-.9†	1.00			
Mono	-.07	.15	-.26*	.09	.05	-.02	-.33*	.20*	1.00		
Eosino	-.04	.17	-.24*	-.01	.09	-.08	-.43†	.28†	.12	1.00	
Baso	-.09	.05	-.22*	.01	.07	.11	-.27*	.18*	.19*	.31†	1.00

* $p<0.05$, † $p<0.01$ (Pearson Correlation)

성이 있었으며 호중구(Neutrophil)에서는 림프구(Lymphocyte)와 남자보다도 더 높은 부상관관계($r=-0.95$)를 가지고 있었다(Table 4).

4. 종사자군과 대조군의 혈액학적 검사 성적의 평균

종사자군과 대조군 모두 검사성적의 평균은 정상범위에 포함되고 있었다.

남자는 모든 항목에서 여자는 대부분의 검사항목에서 대

Table 5. Hematological index counts both workers and controls

검사항목 (정상범위)	Radiological workers		Controls	
	Male 215	Female 155	Male 196	Female 139
WBC ($4\sim 10\times 10^3/mm^3$)	6.23±1.69	5.92±1.82	6.39±1.49	5.99±1.40
RBC 남($4.2\sim 6.3\times 10^6/mm^3$) 여($4.0\sim 5.4\times 10^6/mm^3$)	4.91±0.32	4.17±0.3 [†]	4.86±0.32	4.27±0.30
Hb 남(13~17 g/dL) 여(12~16 g/dL)	15.33±0.94	12.61±1.04 [†]	15.21±0.78	12.87±1.04
Platelet ($15\sim 35\times 10^4/mm^3$)	23.63±4.52	24.65±55.15	24.27±4.78	24.73±51.51
Neutrophil (42.2~75.2%)	53.57±8.26	57.50±9.44 [‡]	53.43±7.73	55.61±7.79
Lymphocyte (20.5~51.1%)	36.41±7.83	33.34±8.23 [‡]	36.06±7.19	35.03±7.33
Monocyte (1.7~9.3%)	6.45±1.85	6.27±1.50	6.56±1.46	6.31±1.47
Eosinophil (1~10%)	3.04±2.02	2.23±1.64	3.40±2.66	2.56±2.02
Basophil (0~2%)	0.52±0.34	0.47±0.32	0.53±0.31	0.50±0.31

[†] $p<0.05$, [‡] $p<0.1$ (t-test)

Table 6. The difference of hematological indexes counts by occupation period

검사항목	Controls		Occupation period			
	Male 196	Female 139	1~2년		3~4년	
			Male 20	Female 29	Male 34	Female 33
WBC	6.39±1.49	5.99±1.40	6.43±1.59	6.38±1.84	6.38±1.24	6.16±1.95
RBC	4.86±0.32	4.27±0.30	4.85±0.31	4.14±0.25 [†]	4.95±0.29	4.19±0.34
Hb	15.21±0.78	12.87±1.04	15.4±0.86	12.6±0.91	15.32±0.78	12.58±0.85
Platelet	24.27±4.78	24.7±51.51	23.8±4.83	24.8±5.65	21.9±3.97 [†]	25.7±4.69
Neutrophil	53.43±7.73	55.61±7.79	51.3±6.12	58.4±10.5	53.3±7.41	57.9±9.67
Lymphocyte	36.06±7.19	35.03±7.33	39.5±5.84 [†]	33.2±9.56	36.6±7.47	33.7±8.62
Monocyte	6.56±1.46	6.31±1.47	5.95±2.16	5.80±1.14	6.91±1.84	6.26±1.35
Eosinophil	3.40±2.66	2.56±2.02	2.71±1.46	2.09±1.61	2.77±2.17	1.72±1.26 [†]
Basophil	0.53±0.31	0.50±0.31	0.45±0.36	0.52±0.36	0.46±0.28	0.39±0.29

검사항목	Occupation period					
	5~6년		7~8년		9년	
	Male 25	Female 23	Male 21	Female 21	Male 115	Female 49
WBC	6.06±1.21	5.38±1.72	6.32±1.93	6.18±1.27	6.18±1.89	5.63±1.94
RBC	4.99±0.41 [†]	4.24±0.22	4.92±0.30	* 4.0±0.37 [‡]	4.89±0.32	4.21±0.31
Hb	15.3±1.37	12.5±0.96	15.3±0.82	12.3±1.14 [†]	15.33±0.90	12.8±0.96
Platelet	24.6±4.25	23.6±5.91	23.8±4.99	25.3±5.75	23.8±4.54	24.1±5.71
Neutrophil	56.3±7.07	57.6±9.22	53.3±8.45	57.7±9.75	53.5±8.96	56.5±8.90
Lymphocyte	33.8±6.06	33.1±7.68	36.9±8.33	32.4±7.78	36.3±8.38	33.7±7.82
Monocyte	6.48±1.66	6.42±1.81	6.31±1.26	5.91±1.69	6.43±1.93	6.65±1.49
Eosinophil	2.84±1.82	2.53±1.66	2.89±2.03	1.99±1.08	3.26±2.11	2.64±1.97
Basophil	0.56±0.36	0.43±0.29	0.53±0.41	0.47±0.34	0.54±0.33	0.51±0.31

[†] $p<0.05$, [‡] $p<0.01$ (t-test), * $p<0.05$ (ANOVA Bonferroni corrected)
(각 종목별 단위는 Table 5와 같음)

조군과 유의한 차이가 없었으나, 여자의 경우 적혈구(RBC)수에서 $4.17 \pm 0.3 \times 10^3 / \text{mm}^3$ 로 대조군의 $4.27 \pm 0.30 \times 10^3 / \text{mm}^3$ 보다 약간 떨어진 차이가 있었으며, 혈색소(Hb) 또한 $12.61 \pm 1.04 \text{ g/dL}$ 로 대조군의 $12.87 \pm 1.04 \text{ g/dL}$ 과 약간 떨어진 차이를 보였다. 조금 더 넓은 관점에서 변화를 보기위해 유의수준을 90%로 하여 다시 분석을 했을 경우에도 남자는 큰 유의한 차이를 발견할 수 없었으나, 여자에서 비로소 백혈구 내 성분인 호중구(Neutrophil)와 림프구(Lymphocyte)가 유의한 차이를 보이고 있었다(Table 5).

5. 종사기간 차이에 따른 검사항목별 평균차이

첫 번째, 종사기간 차이에 따른 대조군과 각각의 종사기간군간의 두 집단간 평균차이는, 남자의 경우 유의한 차이를 보인 검사항목으로 종사기간 1~2년에서 림프구(Lymphocyte)가 $39.5 \pm 5.84\%$ 로 대조군의 $36.06 \pm 7.19\%$ 보다 낮았다.

3~4년 종사자군에서는 혈소판(Platelet)수에서 $21.9 \pm 3.97 \times 10^4 / \text{mm}^3$ 로 대조군의 $24.27 \pm 4.78 \times 10^4 / \text{mm}^3$ 보다 낮았으며, 5~6년

종사자군은 적혈구(RBC)수에서만 $4.99 \pm 0.41 \times 10^6 / \text{mm}^3$ 으로 대조군의 $4.86 \pm 0.32 \times 10^6 / \text{mm}^3$ 보다 높았다. 7~8년 및 9년 종사자군에서는 유의한 차이가 없었다.

여자의 경우 유의한 차이는 1~2년 종사자군에서 적혈구(RBC)수가 $4.14 \pm 0.25 \times 10^6 / \text{mm}^3$ 로 대조군에 비해 조금 낮았으며, 3~4년 종사자군에서는 호산구(Eosinophil)가 $1.72 \pm 1.26\%$ 로 대조군의 $2.56 \pm 2.02\%$ 보다 낮았다. 한편 5~6년 종사자군에서는 유의한 차이가 없었으며 7~8년 종사자군에서는 적혈구(RBC)수가 $4.04 \pm 0.37 \times 10^6 / \text{mm}^3$ 로 대조군보다 낮았고 혈색소(Hb) 또한 낮음을 보였다. 9년 종사자군에서는 유의한 차이가 없었다.

두 번째, 대조군을 포함한 모든 종사기간군 간의 유의한 평균차이는 남자의 경우 없었으며, 여자에서는 적혈구(RBC)가 7~8년 종사자군만이 대조군에 비해 $0.22 \pm 0.07 \times 10^6 / \text{mm}^3$ 정도 낮은 차이를 보였다(Table 6).

6. 누적선량 차이에 따른 검사항목별 평균차이

Table 7. The difference of hematological indexes counts by cumulative dose

검사항목	Controls		Cumulative dose					
	Male 196	Female 139	< 2.5 mSv		2.5~5 mSv		5~10 mSv	
			Male	Female	Male	Female	Male	Female
WBC	6.39±1.49	5.99±1.40	6.44±1.44	6.17±2.01	6.28±1.83	5.96±1.73	6.44±1.93	5.38±1.71 [†]
RBC	4.86±0.32	4.27±0.30	4.94±0.28	4.17±0.36	4.85±.39	4.25±0.29	4.98±0.28 [†]	4.0±0.28 [‡]
Hb	15.21±0.78	12.87±1.04	15.42±0.77	12.54±1.17	15.2±1.14	12.9±1.01	15.4±0.87	12.53±0.76
Platelet	24.27±4.78	24.7±51.51	23.2±4.25	24.1±5.06	*22.6±4.04 [†]	25.2±6.52	25.3±4.49	24.3±5.53
Neutrophil	53.43±7.73	55.61±7.79	55.4±8.02	58.4±10.95	53.9±9.15	57.1±7.72	52.9±7.33	55.9±9.79
Lymphocyte	36.06±7.19	35.03±7.33	35.3±7.71	32.6±9.82	36.2±8.38	33.5±6.73	37.3±7.44	34.4±8.46
Monocyte	6.56±1.46	6.31±1.47	6.26±2.09	6.02±1.29	6.26±1.56	6.58±1.64	6.36±1.39	6.49±.60
Eosinophil	3.40±2.66	2.56±2.02	2.64±1.58 [†]	1.97±1.15 [†]	3.17±2.13	2.33±1.70	2.99±1.97	2.67±2.21
Basophil	0.53±0.31	0.50±0.31	0.47±0.31	0.47±0.36	0.54±0.34	0.48±0.29	0.49±0.34	0.49±0.32

검사항목	Cumulative dose							
	5~10 mSv		10~15 mSv		15~20 mSv		> 20 mSv	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female
WBC	6.44±1.93	5.38±1.71 [†]	5.8±1.53	6.04±1.59	5.48±1.21	6.87±1.67	5.85±1.46	6.23±0.66
RBC	4.98±0.28 [†]	4.0±0.28 [‡]	4.82±0.33	4.12±0.25	4.99±0.32	4.13±0.12	4.95±0.29	4.32±0.01
Hb	15.4±0.87	12.53±0.76	15.1±0.90	12.7±0.78	15.8±0.94	12.68±0.23	15.3±0.87	11.1±2.08
Platelet	25.3±4.49	24.3±5.53	23.5±5.42	25.6±4.97	23.4±5.82	25.3±2.02	23.1±4.65	26.8±3.07
Neutrophil	52.9±7.33	55.9±9.79	53.9±6.46	58.8±8.28	50.9±4.59	54.5±1.61	51.7±9.88	63.47±7.32
Lymphocyte	37.3±7.44	34.4±8.46	34.7±6.05	33.0±6.47	38.6±3.85	36.1±1.18	37.6±9.29	29.7±5.03
Monocyte	6.36±1.39	6.49±.60	7.28±3.57	5.88±1.33	6.65±1.97	6.40±1.15	6.94±1.40	5.10±2.03
Eosinophil	2.99±1.97	2.67±2.21	3.57±1.85	1.89±1.33	3.39±3.21	2.47±1.37	3.16±2.31	1.37±0.75
Basophil	0.49±0.34	0.49±0.32	0.56±0.38	0.40±0.28	0.54±0.42	0.53±0.40	0.55±0.37	0.37±0.21

[†]p<0.05 [‡]p<0.01 (t-test), *p<0.05 (ANOVA Bonferroni corrected)
(각 항목별 단위는 Table 5와 같음)

첫 번째, 누적선량 차이에 따른 대조군과 각각의 누적선량 군 간의 두 집단 간 평균차이는 남자의 경우 유의한 차이를 보인 검사 항목은 누적선량 2.5 mSv 이하군에서 호산구(Eosinophil)가 2.64±1.58%로 대조군의 3.40±2.66%보다 낮았고, 5~10mSv군에서는 적혈구(RBC)수가 4.98±0.28×10⁶/mm³으로 대조군의 4.86±0.32×10⁶/mm³보다 높았다.

여자의 경우 유의한 차이를 보인 항목은 누적선량 2.5 mSv 이하군에서 남자와 같은 호산구(Eosinophil) 1.97±1.15%로 대조군의 2.56±2.02%보다 낮았다. 5~10 mSv군에서는 백혈구(WBC)수가 5.38±1.71×10³/mm³, 적혈구(RBC)수가 4.01±0.28×10⁶/mm³로 대조군에 비해서 낮았다. 그 외의 누적선량군인 10~15 mSv, 15~20 mSv, 20 mSv군에서는 남녀 간 모두 유의한 차이를 보이는 검사항목은 없었다.

두 번째, 대조군을 포함한 모든 누적선량군 간의 유의한 평균차이는 남자의 경우 혈소판(Platelet)에서 누적선량 2.5~5 mSv군이 5~10 mSv군보다 2.66±0.85×10⁴/mm³ 정도 낮은 차이가 있었으며, 여자에서는 혈색소(Hb)가 20 mSv 이상군

이 대조군에 비해 1.84±0.59 g/dL 정도 낮은 차이를 보이긴 하였으나 p=0.51로서 기각역에는 포함되지 않았다(Table 7).

7. 종사자군과 대조군간의 정상 비정상 분포차이

종사자군과 대조군에서 각 검사항목별 정상 비정상 분포는 표 8과 같다.

남자의 경우 유의한 분포의 차이가 관찰된 검사항목은 혈소판(Platelet)과 호산구(Eosinophil)였다. 대조군 196명에서 혈소판(Platelet)수가 감소된 사람은 한사람도 없었지만 종사자군에서는 전체 215명 중 5명이나 감소된 사람이 있었으며, 호산구(Eosinophil)에서 종사자군의 증가자는 1명이었던 반면 대조군에서는 7명으로 큰 차이가 있었다.

여자의 경우는 유의한 차이를 보인 항목이 남자보다는 많았는데 특히 백혈구(WBC)의 경우는 저하와 증가영역 두 부분 모두에서 대조군보다 많은 분포를 보였다. 호중구(Neutrophil)의 변화는 대조군에서는 없었던 증가자가 종사자군에서는 6명이나 있었으며, 림프구(Lymphocyte)에서는 감소된 종사자가 10명으로 유의하게 많았다.

Table 8. Normal and abnormal distribution of hematological indexes

검사항목(남,여)	Radiological workers		Controls		
	Male	Female	Male	Female	
WBC	< 4×10 ³	13	15*	8	5
	4~10×10 ³	195	134	185	134
	> 10×10 ³	7	6*	3	-
RBC	< 4.2(4)×10 ⁶	3	38	5	21
	4.2(4)~6.3(5.4)×10 ⁶	212	117	191	118
	> 6.3(5.4)×10 ⁶	-	-	-	-
Hb	< 13(12)	3	5	1	19
	13(12)~17(16)	207	144	193	120
	> 17(16)	5	6	2	-
Platelet	< 15×10 ⁴	5*	10	-	1
	15 ~ 35×10 ⁴	208	143	192	132
	> 35×10 ⁴	2	2	4	6
Neutrophil	< 42.2	14	5	13	8
	42.2~75.2	194	144	183	131
	75.2	4	6*	-	-
Lymphocyte	< 20.5	6	10*	2	2
	20.5~51.1	204	143	190	135
	> 51.1	5	2	4	2
Monocyte	< 1.7	-	-	-	-
	1.7~9.3	215	151	192	136
	> 9.3	10	10	4	3
Eosinophil	< 1	26	33	19	22
	1~10	188	121	170	116
	> 10	1*	1	7	1
Basophil	0~2	215	154	196	139
	> 2	-	1	-	-

* p<0.05 (Fisher's exact test)
(각 종목별 단위는 Table 5와 같음)

8. 종사기간 차이에 따른 대조군과의 정상 비정상 분포 차이

종사기간 차이에 따른 각 검사항목별 정상 비정상 분포는 표 9와 같다.

남자의 경우 유의한 분포 차이가 있었던 항목은 종사기간 3~4년 군에서는 호산구(Eosinophil)의 감소자가 34명 중 8명으로 대조군 내 19명보다 많은 분포였으며, 4~5년 군에서는 혈색소(Hb)의 감소자가 25명 중 2명으로 대조군 내 1명보다 많은 분포였다. 또한 7~8년 종사자군에서는 백혈구(WBC)의 증가자가 21명 중 2명으로 대조군에서의 분포보다 높았으며 9년 종사군에서는 백혈구(WBC)와 혈소판(Platelet) 감소자가 115명 중 11명과 3명으로 대조군내의 분포보다 높았다(Fig. 1).

반면 여자에서는 유의한 분포의 차이가 1~2년 종사자군에서는 보이지 않다가 3~4년 종사자군의 혈색소(Hb)와 호산구(Eosinophil)의 감소자가 33명 중 각 10명과 12명으로 대조군에 비해 증가되어 있었고, 7~8년 종사자군에서는 혈색소(RBC)의 감소자가 21명 중 7명으로 대조군에 비해 많았으며, 9년 종사자군에서는 백혈구(WBC)의 감소 및 증가자가 각각 49명 중 10명과 3명으로 대조군에 비해 많이 있었다(Fig. 2).

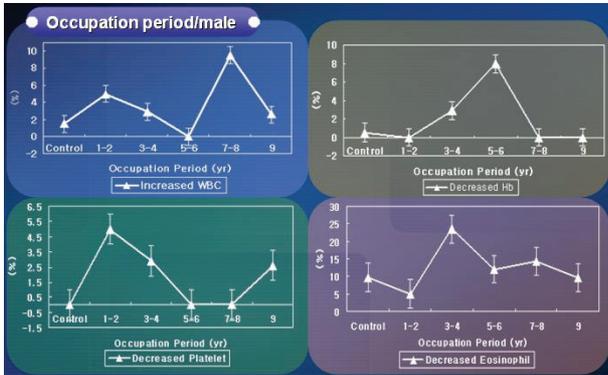


Fig. 1. Increased and Decreased Index by Occupation Period in Male.

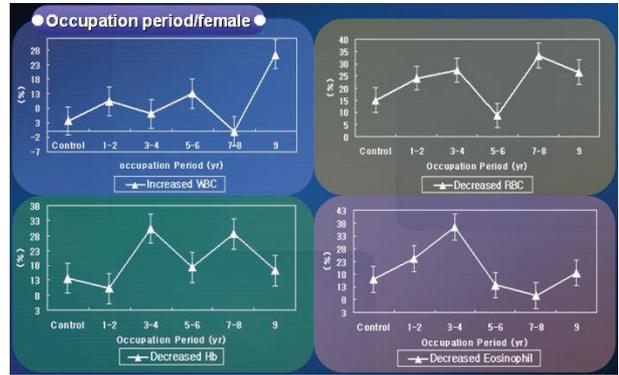


Fig. 2. Increased and Decreased Index by Occupation Period in Female.

9. 누적선량 차이에 따른 대조군과의 정상 비정상 분포 차이

누적선량 차이에 따른 각 검사항목별 정상 비정상 분포는 표 10과 같다.

남자의 경우 유의한 분포 차이가 있었던 항목은 누적선량 2.5 mSv 이하군에서 혈소판(Platelet) 감소자가 47명 중 2명으로 대조군의 196명 중 0명에 비해서 많이 발생했으며, 단구 (Monocyte) 증가자도 각각 47명 중 4명으로 대조군 196명 중 0명보다 많은 분포를 보이고 있었다. 한편 누적선량 2.5~5

Table 9. Normal and abnormal distribution of indexes by occupation period

검사항목(남,여)		Controls		Radiological Workers									
				1~2년		3~4년		5~6년		7~8년		9년	
		Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female
WBC	< 4×10 ³	8	5	-	2	-	1	1	2	1	-	11*	10†
	4 ~ 10×10 ³	185	134	19	26	33	31	24	20	18	21	101	36
	> 10×10 ³	3	-	1	1	1	1	-	1	2*	-	3	3†
RBC	< 4.2(4)×10 ⁶	5	21	1	7	1	9	1	2	-	7*	1	13
	4.2(4) ~ 6.3(5.4)×10 ⁶	191	118	19	22	34	24	24	21	21	14	114	36
	> 6.3(5.4)×10 ⁶	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hb	< 13(12)	1	19	-	3	1	10*	2*	4	-	6	-	8
	13(12) ~ 17(16)	193	120	20	26	32	23	22	19	21	15	112	41
	> 17(16)	2	-	-	-	1	-	1	-	-	-	3	-
Platelet	< 15×10 ⁴	-	1	1	-	1	1	-	1	-	1	3*	1
	15 ~ 35×10 ⁴	192	132	19	28	33	31	25	21	20	19	111	45
	> 35×10 ⁴	4	6	-	1	-	1	-	1	1	1	1	3
Neutrophil	< 42.2	13	8	-	1	1	1	1	-	1	2	11	1
	42.2 ~ 75.2	183	131	20	27	32	31	23	21	20	19	102	46
	> 75.2	-	-	-	1	1	1	1	1	-	-	-	-
Lymphocyte	< 20.5	2	2	-	2	1	2	1	1	-	2	4	3
	20.5 ~ 51.1	190	135	20	26	33	31	24	21	20	19	107	46
	> 51.1	4	2	-	1	-	-	-	-	1	-	4	-
Monocyte	< 1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.7 ~ 9.3	192	136	19	29	31	33	24	21	20	20	111	48
	> 9.3	4	3	1	-	3	-	1	1	1	1	4	1
Eosinophil	< 1	19	22	1	7	8*	12†	3	3	3	2	11	9
	1 ~ 10	170	116	19	22	26	21	22	19	18	19	103	40
	> 10	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Basophil	0 ~ 2	196	139	20	29	34	33	25	22	21	21	115	49
	> 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*p<0.05, †p<0.01 (Fisher's exact test)
(각 종목별 단위는 표-6과 같음)

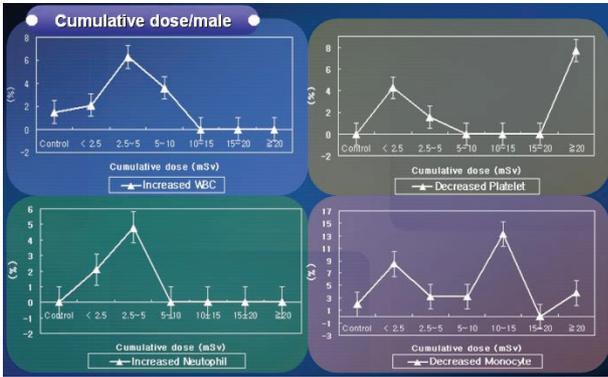


Fig. 3. Increased and Decreased Index by Cumulative Dose in Male.

mSv군에서는 증가된 분포가 많은 항목으로 백혈구(WBC)와 호중구(Neutrophil)가 있었으며, 저하된 항목은 혈색소(Hb)와 림프구(Lymphocyte)가 있었다. 그 외 누적선량 10~15 mSv군에서 단구(Monocyte)의 증가자가 15명 중 2명으로 대조군의 증가자보다 많았고, 20 mSv 이상군에서 혈소판(Platelet) 감소

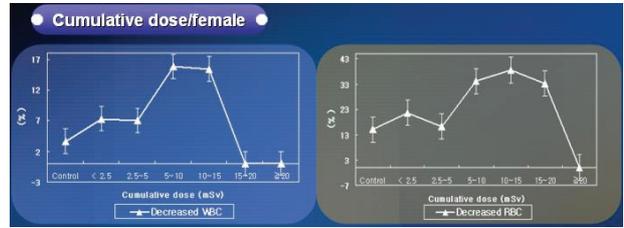


Fig. 4. Decreased Index by Cumulative Dose in Female.

자가 26명 중 2명으로 대조군에 비해 많았지만 5~10, 15~20 mSv군에서는 유의한 분포의 차이는 없었다(Fig. 3).

여자의 경우 유의한 분포를 보인 항목으로 2.5 mSv 이하군에서 백혈구(WBC)의 감소자가 55명 중 3명으로 대조군 내 0명과 차이가 있었으며, 5~10 mSv군에서는 더욱더 뚜렷하게 백혈구(WBC)의 감소 및 증가자가 많이 있었으며, 적혈구(RBC)의 감소자 또한 38명 중 13명으로 대조군보다 많았다. 10~15 mSv군에서도 적혈구(RBC)의 감소자 분포가 많았다. 15~20 mSv, 20 mSv 이상군에서는 유의한 차이는 없었다(Fig. 4).

Table 10. Normal and abnormal distribution of indexes by cumulative dose

검사항목(남,여)	Controls	Cumulative dose													
		< 2.5 mSv		2.5~5 mSv		5~10 mSv		10~15 mSv		15~20 mSv		> 20			
		Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female		
WBC	< 4×10 ³	8	5	1	4	5	3	3	6 [†]	2	2	1	-	1	-
	4~10×10 ³	185	134	45	48	54	39	51	30	13	11	7	3	25	3
	> 10×10 ³	3	-	1	3*	4*	1	2	2*	-	-	-	-	-	-
RBC	< 4.2(4)×10 ⁶	5	21	1	12	2	7	-	13*	-	5*	-	1	-	-
	4.2(4)~6.3(5.4)×10 ⁶	191	118	46	43	61	36	56	25	15	8	8	2	26	3
	> 6.3(5.4)×10 ⁶	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hb	< 13(12)	1	19	-	12	3*	7	-	7	-	3	-	-	-	2
	13(12)~17(16)	193	120	46	43	58	36	55	31	15	10	7	3	26	1
	> 17(16)	2	-	1	-	2	-	1	-	-	-	1	-	-	-
Platelet	< 15×10 ⁴	-	1	2*	1	1	2	-	1	-	-	-	-	2*	-
	15~35×10 ⁴	192	132	45	53	61	37	55	36	15	12	8	3	24	3
	> 35×10 ⁴	4	6	-	1	1	4	1	1	-	1	-	-	-	-
Neutrophil	< 42.2	13	8	1	3	4	-	5	2	-	-	-	-	4	-
	42.2~75.2	183	131	45	48	56	42	51	35	15	13	8	3	22	3
	> 75.2	-	-	1	3	3*	1	-	1	-	-	-	-	-	-
Lymphocyte	< 20.5	2	2	1	6 [†]	4*	1	1	3*	-	-	-	-	-	-
	20.5~51.1	190	135	46	47	58	42	52	35	15	13	8	3	25	3
	> 51.1	4	2	-	1	1	-	3	-	-	-	-	-	1	-
Monocyte	< 1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-
	1.7~9.3	192	136	43	53	61	43	55	36	13	13	5	2	25	3
	> 9.3	4	3	4*	1	2	-	1	2	2*	-	-	-	1	-
Eosinophil	< 1	19	22	6	14	7	7	7	7	-	3	-	-	3	1
	1~10	170	116	41	40	56	36	49	31	15	10	8	3	22	2
	> 10	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Basophil	0~2	196	139	47	54	63	43	56	38	15	13	8	3	26	3
	> 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*p<0.05, †p<0.01 (Fisher's exact test)

(각 종목별 단위는 표-6과 같음)

고 찰

방사선 피폭량에 대한 측정은 물리적 방법과 생물학적 방법 등 보편화된 과학적인 방법을 통해 정량적으로 비교적 정확하게 평가할 수 있다. 그러나 저준위 방사선 피폭으로 인하여 인체에 어떠한 영향을 미치며 그것이 건강상의 질병으로 이어지는가에 대해서는 방사선에 피폭된 사람의 연령, 성별, 사람마다의 감수성에 따라 매우 상이할 수 있으며, 대상이 인간이라는 점에서 그 접근 또한 어려울 수 있다. 일반적으로 방사선피폭은 크게 급성적으로 고선량피폭으로 인한 문턱선량이 존재하는 결정적 영향(deterministic effect)과 일반적인 문턱선량 없이 인체에 나타나는 영향이 방사선 피폭량에 비례하여 확률적으로 증가한다는 확률적 영향(stochastic effect)으로 크게 나눌 수 있으며, 전자는 주로 방사선 사고나 핵폭발의 경우에 해당되어 피폭이 적은 경우 피부홍반, 수정체 혼탁, 골수세포 감소 등을 유발할 수 있으나 심한 경우는 4 Gy에서 조혈기계의 장애를 유발하여 50%가 사망하는 반치사선량이 되며 7 Gy 이상에서는 위장장애까지 겹쳐 100% 사망에 이르게 된다. 반면 후자는 대부분이 만성적 저준위 피폭에 적용되어 긴 잠복기를 형성하면서 세포내 단백질 또는 유전인자를 구성하는 분자, 원자를 전리시킴으로써 세포의 변형을 초래하여[Ishii 등, 1996] 결국에는 암, 백혈병, 유전적 이상 등을 유발하게 된다[정해원 등 1996].

방사선 사고나 원폭투하로 인한 급성피폭의 경우를 배제한다면 방사선 피폭량의 평가는 정상적인 상황 하에서, 즉 방사선이 통제나 관리되는 상황이라면 방사선 호메시스(radiation hormesis)이론[Luckey 1982, Calabrese et al. 1998]에도 불구하고 확률적 영향에 의한 발암을 근간으로 하는 쪽에 관심을 두어야 한다는 주장이 대세를 이루고 있다.

현재 건강장해를 일으키는 방사선의 직업적 피폭정도를 알기 위해 몇 종류의 물리학적 선량계가 주로 이용되고 있으나, 이런 선량계만으로는 피폭에 관한 모든 정보를 얻기가 사실상 힘들며 그 영향을 분석하기도 어려운 게 현실이다[안용찬 등, 1993]. 따라서 방사선 피폭에 반응하는 인체의 생물학적 변화를 알아볼 수 있는 방법들이 필요한데, 현재 시행할 수 있는 방법으로는 혈액학적 검사의 수치를 통해 골수의 손상 정도를 파악하는 방법과 소변을 이용한 생화학적 검사, 세포 유전학적인 염색체 이상 빈도 측정법, DNA 손상 측정법 등이 활용되고 있다[신숙희 등, 2001]. 위의 방법 중 가장 예민하면서도 비교적 정확한 방법은 DNA나 염색체 이상 빈도관찰이긴 하지만 검사가 까다롭고 복잡하며 시간과 비

용이 많이 소요되어 일반적인 방사선 작업종사자들에게 모두 적용하는 것이 쉽지는 않은 실정이며, 현재 대부분의 의료 방사선 작업종사자들은 1년에 한 번씩 혈액학적 검사수치를 통해 피폭상태를 모니터링 하고 있다.

ICRP 1997 보고서에 의하면 의료방사선 작업종사자의 경우 대부분 10~100 mrem 정도의 피폭이 장기적으로 발생될 가능성이 많음을 시사하고 있는데 이는 아주 극히 적은 양이므로 방사선 영향 평가 시 확률론적인 영향에 근간을 두고 있음을 보여주는 내용이라 이해할 수 있겠다.

따라서 병원 내 의료방사선 종사자들의 건강평가는 확률론적 영향의 개념으로서 접근이 요구될 수 있으며 이러한 만성적 저준위 피폭에 대한 생물학적 평가는 방사선에 가장 민감하고 단기간으로 가장 빠르게 반응을 보이는 혈액세포를 관찰 하는 것이 가장 타당할 것이고[Alepen 1990, Hall 1994] 방사선 피폭 후 일정시간 후의 혈액 내 임상검사지표 수준의 관찰은 그 생물학적인 영향평가 측정의 지표로서 충분한 가치가 있게 된다.

본 연구에서의 의료방사선 작업종사자의 평균 종사기간은 6.43 ± 2.81 년으로 남자가 6.93 ± 2.63 년 여자는 5.78 ± 2.9 년으로 나타났으며, 작업종사자 전체의 평균누적선량은 7.66 ± 12.35 mSv로 신운재[1990]의 연구 2.47 mSv보다는 많이 증가된 선량이었다. 그 중에서도 남자의 경우는 9.65 ± 15.2 mSv로 여자의 4.89 ± 5.55 mSv보다 많은 양이었는데, 이는 박명제[1993]연구에서도 지적된 바와 같이 남성의 경우는 피폭의 우려가 많은 핵의학과나 방사선종양학과 그리고 진단방사선과에서도 혈관조영실이나 투시검사실 같은 부서에 많이 근무하는 반면 여성은 상대적으로 비교적 피폭의 부담이 적은 부서에 많이 근무하게 되는 실정과 그 외에도 종사자로는 분류되어 있지만 접수나 사무직에 종사하는 인원이 여성에서 많음을 간과할 수 없을 것이다.

피폭선량의 분포는 대부분의 남녀에서 10 mSv 이하가 유의하게 많았으며 남자의 경우만 누적선량 20 mSv 이상이 약 12% 정도였고 최대 피폭자는 9년 종사자 중 139.38 mSv를 받은 경우였다. 하지만 다행히도 선량한도를 초과해서 피폭된 종사자는 남녀 모두 없었다.

종사자의 연령대는 20~30대가 전체 중에 남자는 65% 이상, 여자 90% 이상을 차지하고 있었는데 특히 이 연령군은 실제 생식활동에 왕성히 참여하는 연령군이므로 이들에 대한 피폭은 국민 유전 유익선량에 직접적으로 관여할 수 있어 주의를 요하며, 종사자들에 대한 적절한 피폭관리가 절실히 요구된다고 강조할 수 있겠다. 종사기간에 따른 누적선량의

변화는 점진적으로 증가되는 양상으로 남성에서 유의한 차이가 있었으나 여성에서는 큰 유의한 차이는 없었다.

누적선량의 변화와 종사기간 차이에 따른 각 검사항목과의 상관관계는 매우 낮게 관찰되었는데 이는 실제로 상관성이 없어서라기보다는 주로 저 선량영역에서의 피폭에 의한 영향 자체가 확률적일 가능성이 높으며, 더욱욱 의료방사선 작업종사자들이 받는 피폭선량 자체가 워낙 적은 양이라 양-반응관계에 의한 상관관계가 낮게 나왔을 것으로 생각된다.

종사자와 대조군 모두에서 검사성적의 평균은 남녀모두 정상범위였으며 남자는 대조군에 비해서 큰 차이가 없었지만 여자의 경우는 적혈구와 혈색소, 림프구는 조금 낮았으며 호중구는 증가되는 차이가 있었다. 종사기간의 변화에 따라서는 남녀에서 유의한 변화를 보이는 것이 있긴 했지만 워낙 편차가 커서 방사선의 영향이라고는 말하기가 어려울 것 같다. 반면 누적선량의 변화에 따라서는 10 mSv 피폭군까지 약간의 변화만 있었던 반면 그 이상군에서는 유의한 변화가 없었던 것으로 미루어 볼 때 만성적 저선량피폭의 영향은 크게 피폭량의 많고 적음에 영향을 받는 것이 아니라 피폭 여부에 따라 확률적으로 이상변화가 증가할 수 있음을 보여주는 것으로 생각된다.

따라서 이렇게 확률적인 차이의 발생 빈도를 관찰할 때는 평균값의 변화를 이용하는 것보다 교차분석에 의한 분포검정이 유용하므로 이를 다시 이용하여 재분석을 시도한 결과,

남자 종사자의 경우는 혈소판이 저하되고 당질이 증가되는 분포가 높았으며 여성에서는 백혈구수의 감소와 증가 빈도가 둘 다 모두, 림프구는 감소되는 분포가 그리고 호중구와 당질, 혈중요소질소의 증가되는 분포가 높았다. 종사기간의 차이에 따라서는 남자에서 유의하게 당질이 많이 증가되는 군이 나타났으며 적혈구와 혈색소의 감소자도 유의한 증가를, 특히 종사기간이 길었던 종사자군에서는 백혈구의 증가자 및 감소자가 여성에서처럼 많은 분포를 이루고 있었다.

여자에게는 특히 호산구의 감소가 유의한 변화를 보였다. 누적선량의 변화에 따른 분포에서는 검사항목의 평균의 변화에서와 비슷하게 남녀모두 선량이 증가될수록 오히려 이상발생의 빈도는 줄어드는 양상이었다. 남자의 경우는 혈소판이 감소되며 단구의 수가 증가되는 비율과 림프구가 감소되는 비율이 높았고 여자에서는 백혈구가 증가와 감소되는 비율이 종사기간에서의 변화처럼 비슷하게 높았으며 림프구와 적혈구가 감소되는 비율 또한 유의하게 높았다. 전체적인 분석을 해보면 CBC성분 중 남자의 경우는 적혈구와 혈소판, 림프구가 주로 감소되며 백혈구는 증가와 감소 양상을 같이 보이고

있었으며, 여자에서도 백혈구의 증가와 감소, 림프구와 호산구, 적혈구 감소가 주된 변화 양상으로 관찰되었다. 화학성분의 변화는 남성에서 당질의 증가가 그나마 가장 유의했지만 큰 의미는 없었고 여성에서는 큰 변화를 찾아보긴 힘들었다.

한편 본 연구의 제한점으로는 첫째, 본 연구 자체가 한정된 공간과 지역에서 근무 중인 일개병원 종사자만을 대상으로 하였기에 단순히 본 연구의 자료만으로 전체 종사자로서의 확대해석에는 무리가 있을 수 있다는 것이며 둘째, 현재 의료방사선 종사자들의 피폭관리가 얼마나 정확하게 이루어지고 있는지에 대해서 검증할 방법이 없었다는 것이다. 그 중 가장 큰 문제점으로는 피폭선량계의 착용상 문제로서 실제 받는 피폭량 자체에 대한 부정확도를 야기할 수 있는 가능성이 있다. 이런 경우 대부분은 선량계를 모든 작업 시 착용하지 않거나 작업 후 방치하는 경우, 보호 장구 밖에서 착용하는 경우, 실수나 고의로 선원과 같이 두는 경우 등이 포함될 수 있다. 또한 핵의학과나 방사선 종양학과와 같은 선량보고가 매달 이루어지는 반면 그 외의 종사자들 대부분은 분기별로 보고가 되고 있어 기간에 따른 오차의 가능성과 선량계의 변질 또한 무시할 수 없는 요인이라 할 수 있겠다.

결 론

방사선의 의학적 이용은 환자의 방사선 피폭뿐만 아니라 방사선 종사자의 생물학적 영향까지도 문제시 되고 있다. 방사선이 생물체에 조사되면 조직이나 기관이 위축되어 세포가 죽게 되거나 세포내의 표적 분자인 DNA 구성 성분에 손상을 주게 되므로 종사자에 대하여 물리적 또는 생물학적 상호작용에 의하여 생체적 영향과 유전적 영향이 발생하여 심각한 영향을 초래할 수도 있다. 대부분 의료 방사선에 노출되는 종사자는 급성 방사선에 의한 영향보다는 지속적 저선량 방사선피폭에 의한 만성장해의 문제가 있으므로, 만성적인 피폭에 의한 확률적인 방사선장해로부터 보호 되어야한다. 이를 위해서는 종사자 스스로 ICRP의 ALARA의 원칙에 근거하여 시간, 거리, 차폐의 피폭방지 3원칙을 철저히 숙지할 필요가 있겠다.

본 연구의 결과를 종합해 볼 때 아주 소량의 방사선에 피폭되고 있는 의료방사선 작업종사자들이라도 방사선 피폭으로 인한 영향이 없다고는 말할 수 없을 것으로 생각된다. 특히 혈액성분 중 방사선에 민감하다고 알려진 백혈구나 림프구의 변화가 남녀모두에게서 유의하게 관찰되었으며 어느 정도 둔감한 것으로 알려졌던 혈소판과 적혈구에 있어서도

변화가 감지되었다는 사실에 놀라지 않을 수 없었다. 따라서 방사선 작업 종사자들은 물론 방사선 사용기관 스스로 항상 피폭절감에 노력해야 할 것이며 종사자에 대한 정기적인 건강 진단이 반드시 필요하다고 판단된다.

이춘자 등[1997]의 연구에 저선량 피폭에서도 이동원 염색체 이상(Dicentric Chromosomal Aberration)이 유발된다고 보고하였듯이 유전적인 이상을 초래할 수 있는 만성적 저선량 피폭자가 대부분인 의료 방사선 종사자를 위해서라면 건강진단 시에도 현재와 같은 단순 혈액상 검사나 화학검사가 아닌 확률적으로 발생가능성이 증가되는 암이나 유전적변이등의 발생에 대한 검증이 필요할 것이다. 따라서 혈액만으로도 비교적 간단히 실시할 수 있는 암 태아성(CEA) 항원 검사라든지, 핵의학 갑상선 호르몬(TSH) 검사를 정기 건강진단 항목에 추가할 필요성이 있으며, 이제는 염색체 검사를 점진적으로 시행하는 것도 유용할 것이라고 생각된다.

요 약

본 연구는 의료기관에 종사하는 의료방사선 작업종사자에게서 직업적 방사선 피폭으로 인한 인체 내 생리적인 변화를 통해 만성적 저선량 방사선피폭의 위험도를 예측하며 현 수준의 변화 상태를 파악하기 위한 목적으로 서울시내 일개 대형병원에서 최근 1~9년간 방사선 작업종사자로 근무한 370명을 대상으로 남녀 간의 체내 혈액성분의 수치변화를 대조군과의 비교 분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 종사자의 1~9년간 평균 방사선 누적선량은 남자가 9.65±15.2 mSv, 여자가 4.89±5.55 mSv로 남자에서 높았으며 이는 통계적으로도 유의하였다($p < 0.01$).
2. 남녀 종사자 모두에서 누적선량과 종사기간의 차이에 따른 검사항목들과의 상관성은 매우 미약하였다($r < \pm 0.25$)
3. 종사기간이 증가할수록 남자에서는 백혈구의 감소자와 증가자, 혈색소의 감소자, 당질의 증가자 비율 유의하게 높았으며($p < 0.05$), 여자에서도 백혈구의 감소 및 증가자, 호산구의 감소자의 비율이 유의하게 높았다($p < 0.01$).
4. 누적선량의 증가할수록 남녀모두에서 오히려 이상분포를 보이는 항목은 줄어들었으며, 남자는 림프구와 혈소판의 감소자가 유의하게 높았고($p < 0.05$) 여자는 림프구와 적혈구의 감소뿐만 아니라 종사기간에서 이상을 보였던 백혈구의 감소 및 증가자 역시 유의한 증가를 나타냈다($p < 0.05$).
5. 전체적인 변화를 보면 남자 종사자에서는 혈액성분 중 적

혈구, 혈소판, 림프구가 주로 감소되며 백혈구는 감소와 증가양상을 같이 보였다. 화학성분 중 당질의 증가가 유의했지만 큰 의미는 없었다. 여자 종사군에서는 남자와 똑같이 백혈구가 감소, 증가 양상을 동시에 보였으며 그밖에 적혈구와 림프구, 호산구의 감소가 유의했다.

이상의 결과를 종합해보면 비록 낮은 선량에 피폭이 되고 있는 의료방사선 종사자일지라도 방사선 피폭에 있어서는 자유롭지 못하여 그 영향으로 인한 체내 생물학적 변화를 겪을 수 있으며 그 변화는 선량에 의존하기 보다는 다분히 확률적일 수 있다는 사실이다. 그러므로 항상 미연에 피폭을 방지하기 위한 노력을 종사자 스스로 기울임을 물론 관련 당국 또한 종사자들의 건강을 체계적으로 관리할 수 있는 시스템을 하루빨리 구축하여 방사선 피폭으로 인한 직업병의 발생의 우려를 없애야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. 김길생, 이해룡. 방사선 방위에 관한 연구. *대한방사선학회지* 13(1);64-65, 1980.
2. 남정우. 한국의 진료방사선으로 인한 피조사 축적선량의 방사선 보건학적 연구. *국립보건원보* 27-39, 1992.
3. 동경래. 서울지역 3차의료기관 방사선 종사자의 개인피폭선량에 관한 연구. *연세대학교 보건대학원 석사학위논문* 2002.
4. 박명제. 부산지역 방사선사의 업무실태에 관한 조사연구. *인제대학교 보건대학원 석사논문* 1993.
5. 박영선. 진단방사선 기술 분야에서의 방사선 방어실태. *대한방사선협보* 123-125, 1989.
6. 방사성동위원소 이용실태 2002, 2003. 방사성동위원소협회지.
7. 신숙희. 병원내 방사선작업 종사자의 p53유전자 변이와 아포토시스 빈도에 관한 연구. *고려대학교 자연과학대학원 석사논문* 2001.
8. 신운재. 의료방사선 종사자의 개인 피폭선량과 혈액상에 관한 연구. *인제대학교 보건대학원 석사논문* 1990.
9. 안용찬, 하성환. 체외방사선 조사시 인체 말초 혈액 임파구의 염색체 이상 빈도에 관한 연구 18(2);1-15, 1993.
10. 이춘자, 하성환, 정해원. 병원내 방사선 작업종사자들의 이상 빈도. *대한방사선방어학회지* 22(4); 227-235, 1997.
11. 윤철호, 황상용. 방사선이 일반보건에 미치는 영향에 관한 고찰. *최신의학* 27(4);113-127, 1984.
12. 정해원, 강만식, 김종봉, 문봉희, 정규희. 방사선 생물학 81-92, 1996.
13. 추성실. 방사선 종사자들의 피폭관리와 대책, *대한방사선학회지* 11(1);12-17, 1978.
14. 최수용, 김태환, 정차권, 조철구. 우리나라 방사선 관련 작업종사자에 대한 피폭 선량 분석. *한국역학회지* 21(1);72-80.
15. 최종학, 전만진, 박영선. 방사선사의 근무실태에 관한 조사연구. *방사선학회지* 9(1);51, 1986.

16. Alepen EL. Radiation Biophysics. Prentice-Hall International Inc. 1990.
17. Asmore JP, Krewski D, Zielinski. First analysis of mortality and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada. *Am J Epi* 148;564-574, 1998.
18. Calabrese EJ, Baldwin LA. Can the concept of hormesis be generalized to carcinogenesis? *Regul Toxicol Pharmacol* 128(3); 230-241, 1998.
19. Ellis RE., Yuan J. and Horvits HR. (1991) Mechanism and function of cell death. *Annu Rev Cell Biol* 7;663-698, 1991.
20. Hall EJ. Radiobiology for the Radiologist. 4th edition, J.B. Lippincott Co, 1994 ICRP, 1990 Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 60. *ICRP* 1991.
21. W.F Bandom, G. Saccomanno, V.E. Archer, P.G Archer and A.D Bloom. Chromosome aberrations as a biological dose-response indicator of radiation exposure in uranium miner. *Radiat Res* 76;159-171, 1978.
22. Kenneth L., Mossman and Goldman M. Radiation risk in perspective. *Health physics society position statement*.
23. Luckey TD. Physiological benefits from low-level ionizing radiation. *Health Physics* 43;771-789, 1982.
24. Miller RW. Low dose radiation exposure. *Western J Med* 24(1); 1166-1167, 1990.
25. Sohii K. Misonoh K. Induction of radioadaptive response by low-dose X-irradiation on chromosome aberrations in human embryonic fibroblasts. *Physical Chem Phys. Med NMR* 1996.
26. Sorenson JA. Perception of radiation hazards. *Seminars in Nuclear Medicine* 16;158-170, 1986
27. Peled A., Zipori D and Rotter V. Cooperation between p53-dependent and p53-independent apoptotic pathways in myeloid cells. *Cancer Res* 56;2148, 1996.