

## 비파괴검사원에서 발생한 적백혈병과 골수형성이상증후군 2예

울산의대 울산대학교병원 산업의학과, 울산의대 울산대학교병원 혈액종양내과<sup>1)</sup>,  
한국원자력의학원 국가방사선비상진료센터<sup>2)</sup>

오명순 · 윤재국 · 김현수 · 김 혁<sup>1)</sup> · 이진경<sup>2)</sup> · 이지호 · 김양호

— Abstract —

### Two Case of Erythroleukemia and Myelodysplastic Syndrome in a Non-Destructive Inspector

Myoung-Soon Oh, Jae-Kook Yoon, Hyun-Soo Kim,  
Hawk Kim<sup>1)</sup>, Jin-Kyung Lee<sup>2)</sup>, Ji-Ho Lee, Yang-Ho Kim

*Division of Occupational and Environmental Medicine, Division of Hematology-Oncology<sup>1)</sup>,  
Ulsan University Hospital, University of Ulsan College of Medicine, Ulsan, Korea  
Korea Cancer Center Hospital, National Radiation Emergency Medical Center, Seoul, Korea<sup>2)</sup>*

**Background:** Ionizing radiation is a group 1 carcinogen according to the IARC(International Agency for Research on Cancer) classification. With the development of the radiation related industry, the number of radiation exposed workers has been increasing. There have been several reports on AML(Acute Myeloid Leukemia) on exposure to ionizing radiation; however, there are no reports of occupational malignant lymphohematopoietic disease related to non-destructive inspection.

**Case report 1:** A 35-years-old male, who had worked for 10 years in non-destructive inspection, was diagnosed with myelodysplastic syndrome. He worked 8 hours a day, for three weeks per months, where he was exposed to 192Ir and 60Co radiation sources. Because he had not worn a film badge for monitoring his radiation exposure dose, the accurate exposure dose was not reported. The estimate exposure dose calculated via a chromosomal study was 1.20 Gy, which exceed the dose limits of Korean radiation dose standards, which are 50 and 100 mSv annually and quinquennially respectively.

**Case report 2:** A 26-years-old male, who had worked for 2.5 years in the same company was also diagnosed with myelodysplastic syndrome.

**Conclusion:** Non-destructive inspection is the main source of ionizing radiation in the workplace, which could be the cause of malignant lymphohematopoietic diseases. Therefore, more practical plans and guidelines are needed to prevent non-destructive inspectors from workplace radiation exposure.

**Key words:** Ionizing radiation, Myelodysplastic syndrome, Leukemia

### 서 론

진리방사선은 의료용, 공업용 등으로 널리 이용되고 있으며 따라서 방사선치료를 하는 환자와 방사선 진료 종사

자, 방사성의약품 취급자, 비파괴검사와 원전 근로자 등은 피폭과 핵폭발 및 원자력 이용에 따른 환경오염 등으로 인한 피폭이 가능하다. 우리나라의 방사선 종사자는 1984년 처음 등록된 이후 지속적으로 증가하는 추세이며<sup>1)</sup>

2007년 보고에 따르면 방사선 및 방사선 동위원소 취급 근로자는 40,993명에 이르고 있으며<sup>2)</sup> 따라서 전리방사선에 관련된 업무상 질병의 증가도 추정할 수 있다.

전리 방사선은 운동에너지를 가지고 있으면서 물질과 작용했을 때 전리 작용을 일으키는 방사선으로 이온화 반응으로 세포의 변화와 손상을 일으키고 여러 질병을 야기할 수 있다. 특히 전리방사선의 발암성은 잘 알려져 있으며 히로시마 원폭 피해 생존자 및 체르노빌 사고 피해자들을 대상으로 한 연구에서 발암성이 입증되어 있다<sup>3-5)</sup>. 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 전리방사선을 인체 발암성 분류상 1군으로 분류하며 방사선 피폭으로 인해 발생 위험이 증가된다고 알려져 있는 암은 만성 림프구성 백혈병을 제외한 백혈병, 갑상선암, 간암, 췌장암, 식도암, 신장암, 방광암, 폐암, 위암, 대장암, 여성유방암, 난소암, 뇌암, 피부암, 다발성골수종, 비호지킨림프종, 간암 등이다<sup>6)</sup>.

방사선에 의한 림프조혈기계 암은 1990년에 국내에 처음 알려졌는데 당시 근로자는 비과피검사자로 급성 골수성 백혈병으로 진단 받았으나 산업재해보상보험 상 직업성 질환으로 승인되지 않았고 이후 행정소송을 통하여 직업병으로 인정되었다. 이것이 방사선에 의한 직업성 암으로 산업재해보상보험(Industrial Accident Compensation Insurance, IACI)에 의해 보상받은 첫 사례로 알려져 있다<sup>7)</sup>. 이후 2000년에 원자력 발전소 설비 보수 작업자가 방사선에 피폭된 후 발생한 급성 골수성 백혈병이 업무상 질병으로 인정되었고 2005년까지 치과용 방사선 장비 개발자, 방사선과 전문의, 방사선 안전관리자 등이 방사선 노출로 인한 암 발생으로 산업재해 인정을 받은 바 있다<sup>8)</sup>.

비과피검사는 금속의 용접부 등에 열, 음파, 전기, 방사선 등을 조사하여 검사할 대상을 손상시키지 않고 그 균열, 결함, 용접부 내부결함 등을 검사하는 기술로서 국내에는 방사선투과검사(Radiographic testing, RT)를 포함하여 11종의 검사법이 있다. 이중 방사선을 이용하는 방사선 투과검사는 금속의 용접부 등에 방사선을 조사하여 이들을 투과시킨 방사선으로 투과사진을 촬영하여 흠집이나 결함을 검출하는 것으로 보일러나 각종 압력용기의 제조공정, 석유화학플랜트 건설공장, 그리고 조선소의 용접부위 검사 등에 많이 이용되고 있다. 이러한 방사선 투과 비과피검사는 전리방사선에 노출될 위험이 있어 원자력법 제 65조에서 사용 등의 허가에 관한 사항 및 105조에서 교육훈련에 관한사항, 원자력법 시행령 제 298조에서 방사선 작업 종사자들의 교육 훈련에 관한 사항, 원자력법 시행령 제 299조에서 건강진단에 관한 사항을 명시하여 이에 의한 관리를 받고 있다<sup>9)</sup>.

비과피검사자의 업무관련성 질병으로는 사고성 피폭으

로 인한 방사선 피부염 사례가 보고 된 바 있으나<sup>10)</sup> 직업성암 사례는 행정소송을 통해 직업병으로 인정된 사례가 있고 1988년 방사선 투과검사 중 사고로 피폭된 이후 1년 이상 치료 후 2004년 4월 원발부위 불명암이 진단되어 전리방사선의 작업관련성이 인정된 사례가 있다. 하지만 비과피검사로 인한 전리방사선 노출과 관련하여 발생한 조혈기계암 사례는 지금까지 보고된 바가 없었다. 우리는 울산에 위치한 일개 비과피검사 업체에서 방사선 노출 업무에 종사해오던 근로자들 가운데 최근 1년 동안 3례의 골수형성이상증후군(myelodysplastic syndrome, 이하 MDS)이 발생하여 2명이 저자가 근무 중인 병원에서 진단되었고 1명 타 종합병원에서 진단되었음을 확인하였다. 이 중 저자들이 경험한 진단된 적백혈병으로 진행한 골수형성이상증후군 1예와 골수형성이상증후군 1예, 총 2예를 보고하고자 한다.

### 사례 1

환자: 35세, 남자

주소: 우측 하악관절 및 좌측 제 3족지 통증 및 부종

현병력: 비과피검사 업체에서 비과피검사원으로 일하던 근무자로 본원 내원 2주전인 2010년 6월경부터 특별한 이유 없이 우측 하악관절과 좌측 제 3족지에 통증 및 부종이 발생하여 개인의원에서 10일간 치료받았으나 호전을 보이지 않아 혈액검사를 시행하였고 그 결과 범혈구감소증 소견을 보여 이에 대한 진단을 위해 본원 혈액종양내과로 입원하였다. 내원 당시 이학적 검사 소견 상 혈압 110/70 mmHg, 맥박 78회/분, 호흡수 20회/분, 체온 36.6℃이었으며 결막이 창백한 소견을 보였다. 경부 임파절은 촉진되지 않았고 흉부 청진과 복부 촉진, 신경학적 검사에서 이상소견은 없었다. 수포, 홍반, 소양감, 통증 및 부종 등의 방사선 피부염이 의심 증상은 관찰되지 않았고 오심, 구토 등의 방사선 노출 시 나타나는 위장관계도 없었다. 혈액검사와 골수생검 시행하였고 적백혈병(erythroleukemia)으로 진행한 MDS를 진단받았다.

과거병력: 평소 건강하게 지냈으며 암이나 다른 질환으로 치료받은 병력은 없었고 철분제 간헐적으로 복용하는 것 외에 지속적으로 복용하는 약물 없었다. 매년 실시한 특수건강진단에서 2001년 4월 입사 후 부터 2005년까지 계속 정상소견을 보이다 입사 6년째 되던 2006년에 혈색소 12.2 g/dl, 적혈구 수  $3.51 \times 10^6 / \text{mm}^3$ , 백혈구 수  $4,500 / \text{mm}^3$  및 혈소판 수  $9 \times 10^4 / \text{mm}^3$ 로 혈소판수 감소에 대한 비직업성 질환 유소견 판정을 받았다. 이후 각각 입사 8년, 9년째 되는 해인 2008년과 2009년 건강진단에서도 혈색소 수치가 12.0 g/dl, 9.6 g/dl이었으나 특별한 조치 없었으며, 개인적으로 근처 병원을 통해서

간헐적으로 철분제를 투약하였다. 입사 10년째인 2010년에는 혈색소 9.1 g/dl, 적혈구 수  $2.74 \times 10^6 / \text{mm}^3$ , 백혈구  $3,600 / \text{mm}^3$  및 혈소판  $7.4 \times 10^4 / \text{mm}^3$ 로 범혈구 감소 소견을 보였으나 작업제한이나 변경 등의 조치는 없었다(Table 1).

**직업력:** 전문대학 졸업 및 군복무후 2001년 4월에 26세 나이로 비파괴검사 업체에 취업하였다. 이 회사는 서울에 본사를 두고 각 지방에 출장소를 두었으며 환자는 울산 출장소에서 근무하였다. 2010년 6월까지 동일 업체에서 9년간 비파괴검사원으로 종사하였다. 이전에는 아르바이트 형태의 근무를 하였고 정식 취업은 이 회사가 처음이었다.

**사회력 및 가족력:** 진단시기까지 14년간 하루 0.5갑의 흡연력이 있었으며 음주는 거의 하지 않았다. 원자력 발전소 주변이나 고압선 아래에서 거주한 이력은 없었고 혈액질환과 종양의 가족력은 없었다.

**검사 소견:** 본원 혈액종양내과 외래에서 최초로 시행한 말초혈액검사상 적혈구  $2.64 \times 10^6 / \text{mm}^3$ , 백혈구 2,490

$/ \text{mm}^3$  [절대 호중구 수치(absolute neutrophil count)가  $946 / \text{mm}^3$ ], 혈색소 8.4 g/dl, 헤마토크리트 26.4%, 혈소판  $6.4 \times 10^4 / \text{mm}^3$ 로 범혈구감소증 소견을 보여 15일 후 입원하여 골수 생검을 시행하였고 MDS를 동반한 급성 골수성 백혈병(Acute myeloid leukemia with MDS change)으로 진단되었는데 이는 French-American British (FAB) 분류 중 순수 적아구성 백혈병(pure erythroid leukemia, M6b)에 해당하였다. MDS는 국제 보건의기구 분류 상 철아구성 다중이형성 불응성빈혈(refractory cytopenia with multilineage dysplasia with ringed sideroblast, RCMD-RS)에 속하였다. 염색체 검사에서는 비정상 남자 핵형(44, XY, t(3:7)(p13:?), -7, add(17)(p11:2), -18, -2 min[20])을 보였다(Fig. 1).

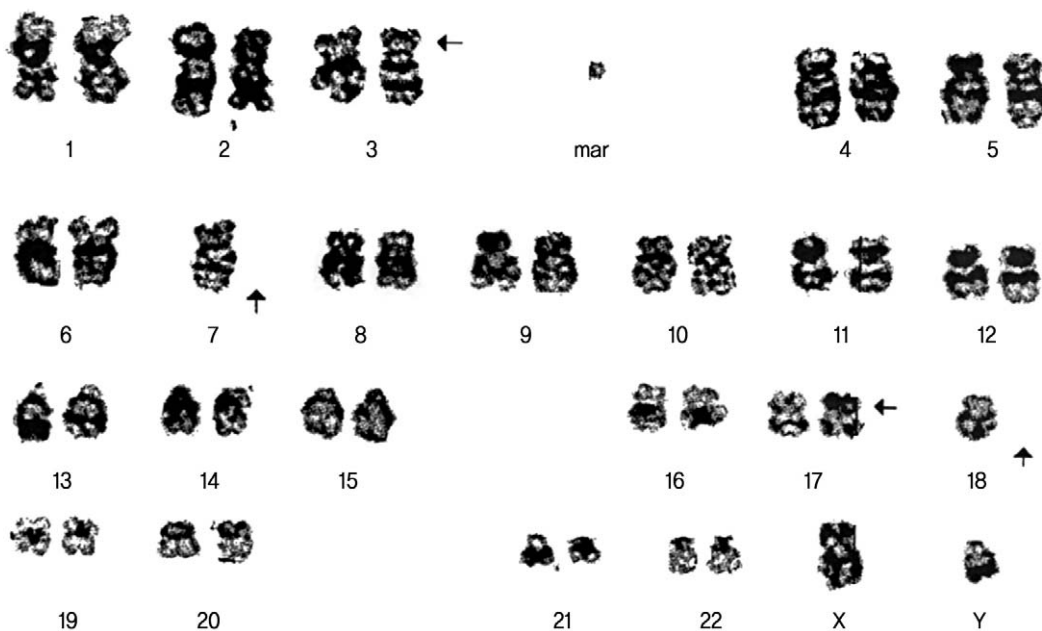
**방사선 검사 소견:** 흉부방사선 촬영 및 복부초음파 검사 상 이상소견은 없었다.

**치료 경과:** 입원 3일째부터 Adriamycin과 Cytarabin 병합 항암화학요법을 시행하였고 이후 호중구 감소성 발

**Table 1.** Complete blood count results of case 1 during last 10 years

	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
Hemoglobin (g/dl)	-	13.8	13.9	13.8	14.9	12.2	11.0	12.0	9.6	9.1
WBC* (count/mm <sup>3</sup> )	4,600	5,800	7,200	5,100	6,200	4,500	2,900	5,100	2,300	3,600
PLT <sup>†</sup> ( $\times 10^3 / \text{mm}^3$ )	37.0	21.0	22.0	20.0	22.0	9.0	6.4	14.0	6.8	7.4
RBC <sup>‡</sup> ( $\times 10^6 / \text{mm}^3$ )	4.39	4.36	4.3	4.13	4.53	3.51	2.99	4.01	2.92	2.74

\*White blood cell, <sup>†</sup>Platelet, <sup>‡</sup>Red blood cell.



**Fig. 1.** Chromosomal study result of Case 1 (45, XY, t(3:?), -7, add(17)(p11.2), -18, -2dmin[20]) karyotype shows translocation at chromosome 3, monosomy at chromosome 7 and 18, addition at chromosome 17.

열이 있었으나 항생제를 사용한 후 혈액 배양 상 동정되는 균 없이 발열은 소멸되었다. 입원 14일째 재시행한 골수 생검에서 여전히 골수 감소 및 세포충실도 감소소견을 보였으며, 입원 28일째 다시 시행한 골수 생검에서 세포충실도 13.6%이었고 말초혈액 검사상 백혈구 2,670/mm<sup>3</sup> (절대 호중구 수치 1,041/mm<sup>3</sup>), 혈색소 8.5 g/dl, 혈소판 11.5×10<sup>4</sup>/mm<sup>3</sup>로 회복 소견 보여 퇴원하였다. 1개월 후 재입원하여 5일간 경화 항암치료를 시행한 이후 관해를 보여 2010년 10월 동종조혈모세포 이식을 시행하였으나 재발하여 구제항암화학요법(salvage chemotherapy) 시행하였고 현재 완전관해(complete response) 상태로 경과관찰 중이다.

**작업조사(환자진술):** 환자가 근무한 사업장은 비파괴검사 전문용역업체로서 공업용 방사선 장비(X-선, γ-선, 60Co, 192Ir)로 용접부분의 결함 유무를 검사하는 업체이며 조선, 기계 등의 대형 철 구조물 제조업체로부터 비파괴검사 업무를 받아 작업자를 투입하는 방식으로 운영되는 소규모 용역 업체이다. 비파괴 검사 업무는 방사선 투과검사(Radiation Testing), 액체 침투검사(liquid penetrant testing), 자분탐상검사(magnetic particle testing), 초음파 검사(ultrasonic testing), 합금성분분석검사(positive material identification) 등이 있었으며 작업은 주간조와 야간조로 운영하여 주간에는 초음파 검사, 액체 침투검사, 자분탐상검사, 합금성분분석검사 등을 하였고 전리방사선에 노출될 수 있는 방사선 투과검사는 타 작업자들이 없는 야간에만 집중적으로 하였다. 방사선 노출 위험 때문에 주간 1주, 야간 2주의 주기로 작업하기로 되어 있다고 하나 실제로는 야간작업만 연속 3주에서 연속 12주까지 수행하기도 하였다고 한다. 발병 18개월 전부터 발병 당월까지 환자의 근태기록을 검토한 결과 주간작업 65일, 야간작업 334일이었다. 주간 작업시간은 보통 오전 8시부터 오후 18시까지이며 야간 작업시간은 오후 18시에서 다음날 오전 4시까지이었고 방사선 사진 촬영매수는 50~400장 가량 되었다. 방사선 투과검사 작업의 경우 반드시 2인 1조 또는 3인 1조의 팀별로 작업이 이루어져야 하지만 용역업체의 특성상 1인 1조 체제로 작업을 나갈 때가 많았으며 환자는 종종 1인 장비로 촬영을 시행하였다고 한다. 작업자의 방사선피폭 방지를 위해서는 고정식 차폐나 이동식 차폐설비가 필요하나 이러한 설비의 이용은 없었고 투과사진 촬영시 건물의 기둥과 같은 큰 구조물 뒤에서 은폐하는 방식으로 불안전하게 대처하였다.

방사선 투과검사 작업시에는 피폭정도를 알 수 있는 필름배지, 포켓도시미터, 알람모니터, 서베이미터 등과 같은 작업자 보호 휴대안전장비를 반드시 휴대하고 작업해야 하지만, 일반적으로 방사선 노출 확인만 시켜주는 알

람모니터만 휴대하고 작업하였고 이로 인해 개인 피폭선량은 알 수 없었다. 작업자가 개인피폭선량을 초과하게 되면 일정기간 동안 계속 그 작업을 수행할 수 없게 되므로 근무를 계속 수행하기 위해 방사선 누적 노출량을 알 수 있는 필름배지는 관행적으로 회사에서 일괄 보관 및 관리하고 있었다고 한다.

**방사선 피폭량:** 방사선 안전관리 통합 정보망의 환자 개인피폭집적선량 기록상에서는 2009년 1년간 피폭량이 1.51 mSv, 5년 누적 피폭량이 6.74 mSv 이었고 이는 방사선작업종사자 유효선량한도인 연간 50 mSv를 넘지 아니하는 범위에서 5년간 100 mSv에 크게 미달되는 수치이고 2009년 비파괴검사 종사자 피폭평균선량인 2.25 mSv에도 미치지 못하였다<sup>11)</sup>. 하지만 환자의 진술에 의하면 작업자 보호 휴대안전장비를 휴대하지 않은 채로 1개월에 1회정도 방사선량 측정 기록계인 필름배지를 바닥에 둔 후 임의 촬영을 하여 실제와 다른 피폭량을 보고를 해왔다고 한다. 이러한 상황을 고려할 때 공식 피폭량 기록은 신뢰할 수 없어서 한국원자력의학원에 의뢰하여 환자의 염색체 변이 분석을 통한 생물학적 선량평가로 간접적으로 추정 피폭 선량을 계산하였다. 그 결과 만성 폭로를 추정하는 안정형 염색체 검사에서 총 100개의 관찰 염색체중 26개의 염색체전위(chromosome translocation)가 관찰되어 정상범위를 벗어나 있었고 약 2개월 동안의 급성 방사선피폭량을 추정할 수 있는 불안정형 염색체 이상검사에서 700개의 관찰 염색체 중 119개의 이동원 염색체(dicentric chromosome)가 발견되어 추정 피폭선량은 1.20 Gy이었다.

**동료 근로자 현황:** 사업장의 작업 인원은 변동이 있지만 40여명 정도이었다. 본 사례 발생 1년 전 동일업체에서 동일 업무에 2년 6개월간 종사하였던 26세 남자가 역시 본원에서 MDS 진단받은 후 타원 전원 되어 자가조혈모세포 이식하였다. 이 환자는 사례 2에 기술하였다. 회사는 퇴사하였으며 산업재해로 인정받았다. 본 사례의 근로자가 진단 1개월 후 회사 근무자 총 35명을 대상으로 교육과학기술부에서 혈액검사를 실시한 결과 범혈구 감소증이 발견된 28세 남자 근로자도 이후 타원에서 진행된 검사에서 MDS로 진단받아 동일 사업장에서 1년간 총 3명이 MDS로 진단되었다.

## 사례 2

**환자:** 26세, 남자

**주소:** 호흡곤란

**현병력:** 2009년 8월 본원 내원 2주전부터 조금만 걸어도 숨이 차고 어지러운 증상 있고 안색이 창백한 소견 있었고 내원 2일전부터는 변에 묻어나는 정도의 혈변 증상

발생하여 개인의원 방문하였고 시행한 검사상 범혈구 감소 소견 보여 큰병원 권유받아 본원 응급실 방문하였다. 응급실에서 시행한 혈액검사상 혈색소 3.7 g/dl, 적혈구 수  $0.98 \times 10^6 / \text{mm}^3$ , 백혈구 수 1,620 / $\text{mm}^3$  및 혈소판 수  $5.5 \times 10^4 / \text{mm}^3$ 의 심각한 범혈구 감소증 보여 본원 혈액종양내과 입원하였다. 입원시 시행한 이학적 검사 상 혈압 113/61 mmHg, 맥박 78회/분, 호흡수 20회/분, 체온 38.3℃이었으며 결막이 창백한 소견을 보였다. 경부 임파절은 촉진되지 않았고 흉부 청진과 복부 촉진, 신경학적 검사에서 이상소견은 없었다.

과거병력: 평소 건강하게 지냈으며 암이나 다른 질환으로 치료받은 병력은 없었고 지속적으로 복용하는 약물 없었다. 매년 실시한 특수건강진단에서 2007년 4월 입사 당시 정상소견보였으나 입사 1년째 후인 2008년 건강진단에서는 혈색소 12.5 g/dl, 적혈구 수  $4.05 \times 10^6 / \text{mm}^3$ , 백혈구 수 5,600 / $\text{mm}^3$  및 혈소판 수  $14 \times 10^4 / \text{mm}^3$ 로 빈혈 소견보였으나 같은 회사 동료들도 이러한 정도의 빈혈이 흔하여 간헐적으로 철분제 복용하며 지냈다 한다.

직업력: 2007년 2월 23세 때 울산에 위치한 비파괴검사 업체에 취업하였고 2009년 8월까지 동일 업체에서 2년 반 동안 비파괴검사원으로 종사하였다. 이 비파괴검사 업체가 환자의 첫 직장이며 이전에 방사선이나 벤젠에 노출될 수 있는 취미를 가진 이력도 없었다.

사회력 및 가족력: 흡연과 음주는 하지 않았다. 원자력 발전소 주변이나 고압선 아래에서 거주한 이력은 없었고 혈액질환과 종양의 가족력은 없었다.

검사 소견: 응급실 통해 본원 혈액종양내과 입원하여 골수 생검을 시행하였고 그 결과 MDS, 국제 보건기구

분류 상 과잉불응성 빈혈(refractory anemia with excess blasts, RAEB-II)로 진단받았다. 염색체 검사에서 비정상 남자 핵형(46, XY, -7, +mar[12]) 보였다 (Fig. 2).

방사선 검사 소견: 흉부방사선 촬영 및 복부초음파 검사 상 이상소견은 없었다.

치료 경과: 입원 4일째부터 Cytarabin 으로 항암화학요법을 시행하였고 입원 9일째 골수이식위해 타원 전원되었다. 타 대학병원에서 골수이식받았으며 현재 산재요양 중이다.

작업조사(환자진술): 환자는 사례1의 환자와 같은 조로 일하였으며 작업내용은 앞서 서술한 바와 동일하였다.

방사선 피폭량: 이 환자 역시 작업자 보호 휴대안전장비를 휴대하지 않은 관계로 정확한 피폭선량을 알 수 없었다. 필름뱃지와 포켓 선량계는 착용하지 않고 알람모니터 하나만 착용하였다. 알람모니터는 방사선 누출시 울리게 되어 있는 장치로 환자 진술에 따르면 기본적으로 작업 시 매일 울렸다고 한다. 방사선 안전관리 통합 정보망에 개인피폭집적선량 기록상 29개월간의 총 피폭선량이 1.85 mSv 였으나 앞의 사례와 동일하게 실제와 다른 피폭량을 보고를 해 왔다 한다. 이러한 상황을 고려할 때 이 공식 피폭량 기록은 신뢰할 수 없을 것으로 보인다. 이 환자는 생물학적 선량평가를 시행하지 않은 관계로 추정 피폭 선량은 계산하지 못했다.

고 찰

MDS는 범혈구 감소, 골수 조혈세포계의 형성이상(dysplasia) 및 무효조혈(ineffective hematopoiesis)

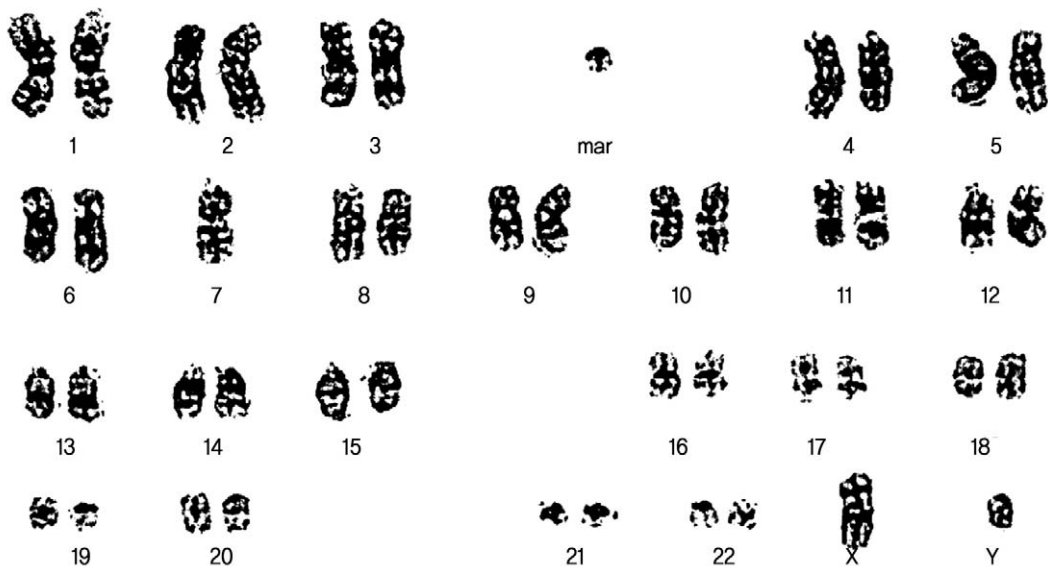


Fig. 2. Chromosomal study result of Case 2 (46, XY, -7, +mar[12]) karyotype shows monosomy at chromosome.

을 특징으로 하는 클론성(clonal) 질환으로 수년간에 걸쳐 서서히 진행하거나 혹은 급속하게 급성백혈병으로 진행되는 등 다양한 임상경과를 보이는 질환이다<sup>12)</sup>. MDS의 원인 및 발생 기전은 아직 확실히 규명되지 않았으나, 조혈모세포의 성숙 이상과 함께 증식에 이상을 보인다. 현재까지 알려진 MDS의 원인으로는 허용기준치 이상의 벤젠 및 유기용제 등의 노출, 흡연, 혈액암의 가족력, 방사선 등이 보고되었다<sup>13)</sup>. 그 병리기전은 여러 단계를 거치게 되는데<sup>14,15)</sup> 첫 번째 단계에서 화학물질, 방사선, 세포독성약물 등과 유전자변이에 의해 조혈모세포의 유전적 이상이 일어나게 되며, 이러한 이상들이 축적되면서 세포 주기조절, 종양억제유전자의 전사 등에 영향을 줌으로써 MDS 클론의 팽창을 가져온다. 초기에는 골수의 세포충실도가 증가하나 말초혈액의 혈구세포는 감소하는 무효조혈이 나타나는데, 이는 골수 내 조혈모세포 기원세포(hematopoietic progenitor cell) 및 분화된 세포의 고사(apoptosis)에 의한 것이다. 진행기에 백혈병으로의 이행은 종양억제유전자/종양촉진유전자의 변이 혹은 이러한 유전자들의 과메틸화(hypermethylation) 등에 의해 발생하며 이때에는 세포고사가 점진적으로 감소하고 미성숙 세포의 증식이 나타나게 된다.

직업적 방사선 노출과 MDS의 상관성에 대한 한 연구에서 직업적 방사선 노출로 인한 MDS의 비차비가 양-반응 관계가 있음을 보여주었다<sup>16)</sup>. 환경적 방사선 노출에 대해 80,000명의 원폭 생존자들(162명의 MDS)을 대상으로 한 연구에서는 원폭 당시 폭과 중심부와의 거리에 따라 MDS의 발생율이 반비례 관계에 있어 원폭 방사능 피폭과 MDS와의 양 반응 관계를 증명했다<sup>17)</sup>.

만성 림프구성 백혈병을 제외한 모든 림프조혈기계암의 발생위험은 조혈세포의 방사선 피폭 정도에 따라 발병위험도가 증가하고 그 증가 정도는 피폭시간, 피폭시의 환경조건, 나이, 성별 등에 따라 다를 수 있다. 피폭 후 발병까지의 잠복기간도 여러 조건에 따라 다른데, 대략 피폭 후 5~10년 후에 발병위험도가 가장 높고, 25년이 경과하면 위험도는 피폭 이전 수준이 되는 것으로 알려져 있다<sup>18)</sup>. 이 연구 대상자들의 잠복기는 2년에서 10년까지였고 모두 피폭 중에 발생하였다. 본 사례1의 환자는 상기 비파괴검사 업체에 2001년 4월 취업하여 발병 시기인 2010년 6월까지 9년간 비파괴검사원으로 종사하였고 사례 2의 환자도 2년 6개월간 같은 업무에 종사하였다. 따라서 사례 1과 사례 2의 잠복기는 각각 9년, 2년 6개월로 특수검진 결과에서 이상소견이 나타난 시점으로 볼 때에는 실제 잠복기가 더 짧을 수도 있지만 확진 시기를 기준으로 하면 앞선 연구들에서의 전리방사선 노출에 의한 림프조혈기계암의 발병 잠복기와 유사하다고 할 수 있다.

MDS는 높은 빈도의 염색체 이상을 보이는 질환으로

본 사례 1은 t(3:7), add(17), -7/del(7q), 18/del(18q)를 보이고 있고 사례 2는 -7/del을 보이고 있다. MDS는 이전에 항암치료 혹은 방사선 치료와 같은 세포독성 치료를 받았는지의 유무에 따라 이러한 치료와 관계 없이 발생한 de novo MDS와 치료 후 발생한 therapy-related MDS (t-MDS)로 구분된다. 직업적 또는 환경적 노출로 인한 MDS에서는 염색체 5번 및 7번의 이상을 자주 볼 수 있으며 특히 직업적 방사선 노출의 경우에는 염색체 8번의 이상이 동반된다고 하는데<sup>19)</sup> 본 두 사례는 모두 공통적으로 7번 결실을 보이고 있다. 이는 t-MDS에서 더 자주 관찰되는 특징으로 직업적 노출로 인해 발생한 MDS는 t-MDS와 그 특징을 공유하는 것으로 볼 수 있다. 더구나 MDS의 염색체 이상 동반 빈도는 de novo MDS에서는 약 40~70%, t-MDS에서는 약 80-95%로 t-MDS에서 그 빈도가 높다<sup>20-23)</sup>. MDS에서 흔히 나타나는 염색체 이상은 -5/del(5q), -7/del(7q), +8, del(20q) -Y/del(Y) 등이며<sup>24,25)</sup>, -5/del(5q)는 de novo MDS의 약 10~20%, t-MDS의 약 40% 정도에서 나타나고, -7/del(7q)는 de novo MDS의 약 5-10%, t-MDS의 약 50%정도에서 나타난다. Korgaonkar 등의 연구에서는 직업적 노출로 인한 MDS에서 염색체 이상이 27%, 비직업적 MDS에서 33%로 비직업적인 원인에 의한 MDS에서 상대적으로 높은 빈도의 염색체 이상을 보인다고 하였으나 결론적으로 de novo MDS와 직업적으로 발생한 MDS의 차이는 감별 할 수 없다고 하였다<sup>26)</sup>. 특정 염색체의 이상과 직업적 방사선 피폭과의 연관성에 대해서 아직 밝혀진 바는 없으며 직업적 방사선 피폭 근로자의 염색체 이상과 관련하여 향후 특정 염색체 이상과의 연관성을 규명하기 위한 연구들이 더 필요할 것으로 생각된다.

우리나라에서 원자력 관련 산업의 발전과 방사선 피폭 근로자 수의 증가에 따라 식품의약품안전청의 식품의약품안전평가원에서는 2004년부터 피폭선량관리센터(National Dose Registry, NDR)를 설치, 운영하고 있다. 이번 사례에서 공식 피폭직접선량 기록을 정황상 신뢰할 수 없었으므로 본 사례1 환자의 말초혈액표본을 마지막 근무 10일 후 채집하여 염색체 이상에 근거한 생물학적 선량평가를 한국원자력의학원 국가방사선비상진료센터에서 시행하였다. 만성노출을 추정하는 안정형 염색체 이상검사에서는 '정상범위를 넘는다'는 진단이 나왔고 약 2개월간의 급성노출정도를 추정하는 불안정형 염색체 이상에서 추정 피폭선량은 1.2 Gy로 계산되었다<sup>27)</sup>. 원자력법에 따르면 방사선 작업종사자의 유효선량한도는 연간 50 mSv를 넘지 않는 한도 내에서 5년간 100 mSv인데 반해 여기에 보고된 사례 1의 추정 피폭선량 1.2 Gy는 유효선량한도를 과도하게 초과하여 노출되었다고 할 수

있다. 따라서 이러한 과다한 피폭선량은 사례 1 환자의 직업성 MDS를 강하게 의심할 수 있게 해준다.

본 사례 환자들의 직종인 방사선 투과검사는 교량, 선박 등의 금속 구조물이나 송유관, 가스관 등의 용접배관 결합 여부를 조사하는데 주로 이용되고 있다<sup>28)</sup>. 방사선 투과검사에는 X-선,  $\gamma$ -선, 중성자선 등이 이용되며  $\gamma$ -선의 선원으로  $^{192}\text{Ir}$ 과  $^{60}\text{Co}$ 가 주로 이용된다. 방사선 투과검사는 휴대용 조사장치, 추진 케이블 선원 유도관을 장치한 후 검사하려는 물체의 후면에 필름을 놓고, 작업자는 방호구를 착용하거나 안전거리 이상 멀리 떨어져서 추진 케이블을 작동하여 조사장치 내의 선원을 선원 유도관 말단까지 이동시켜 일정시간 방사선을 조사하여 검사를 시행하고 검사가 끝나면 다시 추진 케이블을 작동하여 선원을 휴대용 조사장치 내로 이동 시킨다. 이 장치는 한 사람이 이동할 수 있게 고안되어 있으며, 이동성이 좋고 전원 없이 작동하기 때문에 대다수의 공업 분야에서 사용되고 있다. 현재 한국에서는 2009년도 말 기준으로 비파괴 검사업체는 총 72개로 이중에 방사선 투과검사를 활용하는 곳은 47개 업체이다<sup>29)</sup>. 이들 비파괴검사업체는 일부를 제외하고는 대부분이 중소 규모이며 저가 수주경쟁으로 인한 낮은 검사단가로 안전관리에 소홀한 실정이다. 또 방사선 투과검사는 검사의 특성상 대부분 발주업체의 사업장이 검사 장소이므로 검사 장소가 고정적이지 않고 검사대상물이 다양하여 효율적인 피폭방지가 힘든 실정이다. 실제 고정적인 차폐설비가 설치된 현장은 약 106개소이며 이동식 차폐설비가 설치된 현장은 약 89개소이다<sup>29)</sup>. 이는 전체 사용 장소인 611개소의 약 32%에 불과한 것으로 그나마도 작업자 및 일반인의 피폭방지에 적합하도록 설계 및 제작되지 못한 설비가 다수이다. 또한 방사선 투과검사가 가장 많이 활용되는 작업일수록 검사 대상물이 대형이거나 고소작업 등 많은 요인으로 인해 차폐 시설의 설치나 활용이 어려워 작업자가 일정 부분 방사선피폭을 감수할 수밖에 없는 것이 현실로 이에 대한 대책 마련이 시급한 것으로 판단된다.

방사선 투과검사에서 방사선 피폭량을 줄이기 위해서는 첫째, 가능한 한 노출시간을 줄이고, 둘째 선원으로 부터 거리를 되도록 멀리 유지하고, 셋째 적절한 차폐장치를 사용하며, 넷째 작업자는 반드시 보호 휴대안전장비를 사용하도록 해야 한다. 또한 지나치게 방사선 투과검사 위주인 비파괴 검사를 초음파검사 등과 같이 유해성이 낮은 다른 비파괴검사방법으로의 전환이 필요하다. 아울러 방사선 노출을 예방하기 위해서는 법률적, 제도적 예방에 더하여 실제 검사자들과 사업주 및 안전보건 담당자들이 방사선 피해에 대한 확실한 이해와 지도 감독 및 예방 교육에 심혈을 기울여야 하겠다.

직업성 방사선 질환에 대한 국내 보고는 비파괴검사원

들에서 발생한 방사선 피부염 사례<sup>10)</sup>와 원자력 발전소 근로자에서 발생한 백혈병발생 사례<sup>30)</sup>, 비파괴검사사에서 발생한 원인불명암<sup>31)</sup> 등 소수에 불과하다. 이는 보고 및 보상 체계의 미비, 사업주나 근로자들의 인식부족 및 지식부족 등이 원인으로 생각된다. 따라서 방사선 관련 직업성 질환에 대한 포괄적 감시 및 보상 체계의 마련, 관련 사업주 및 근로자의 교육 및 홍보 등이 적극적으로 이뤄져야 할 것으로 생각된다.

본 사례는 비파괴검사 근로자에서 전리방사선의 직업적 노출로 인한 MDS 발생의 국내 첫 보고이다. 특히 한 업체에서 짧은 기간에 3명의 환자가 발생하였고 근로자가 개인선량계조차 소지하지 못하고 작업하는 열악한 상황임을 볼 때, 향후 방사선 관련 근로자에 대한 더욱 철저한 관리감독 및 실태조사가 필요할 것으로 판단된다. 또한 환자가 발병 4년 전부터 특수검진에서 지속적으로 혈구감소 소견이 있었으며 특히 사례 2 환자가 발생한 3개월 후 이면서 사례 1 발생하기 8개월 전인 2009년 11월경 시행한 방사선 동위원소 종사자 혈액검사에서 사례 1 환자와 다른 동료 3인, 총 4인이 혈구감소를 소견 나타나 재검을 받았고 재검에서도 여전히 혈구감소 소견을 보였으나 별다른 안전관리나 안전조치 없이 계속 같은 업무에 종사하였으며 이 4명중 1명은 퇴사하였고 남은 3명 중 2명이 이듬해인 2010년 6월과 7월에 MDS 진단되었다. 이와 같은 상황은 특수검진에서 질 관리의 허점을 단적으로 드러내는 것이라 볼 수 있다. 특수건강진단의 목적이 직업병을 조기 진단하고 이상이 있는 근로자를 조기 발견하여 더 이상의 노출을 막는 것이라는 점에서 이 사례는 특수건강진단 후 관리장치가 전혀 가동되지 못함을 보여 주고 있다. 조혈기계 이상과 같은 검사결과의 경향이 의미 있는 항목에 대해서는 단면적 판정에 더하여 그 변화 경향에 대한 경시적 관찰이 필요하며, 이러한 조치를 위해서는 특수검진 후 사후관리체계에 대한 수정이 고려되어야 할 것이다. 그에 더하여 기본적인 개인선량계조차 소지하지 않고 수년간 작업하도록 한 허술한 안전관리의 실태에 대한 전면적인 조사가 필요하다고 본다.

## 요 약

배경: 전리방사선은 국제암연구소(IARC) 발암물질 분류 상 1군 발암물질이며, 원자력 관련 산업이 발전함에 따라 방사선 피폭근로자 수가 증가하고 있는 추세이다. 우리나라에서도 2000년 방사선에 피폭된 후 발생한 급성 골수성 백혈병이 업무상 질병으로 공식적으로 인정된 바 있고 이후에도 인정된 사례가 몇몇 있으나 비파괴검사사에서 업무에 관련된 방사선 노출로 인한 조혈기계암이 보고된 바는 없었다. 이에 우리는 울산에 위치한 일개 비파

피검사 업체에서 방사선 노출 업무에 종사하던 근로자들 가운데 골수형성이상증후군이 3예가 발생하였고 이 중 2예를 경험하였기에 보고하고자 한다

사례1: 35세 남자 근로자로 10년간 비파괴검사업체에서 검사업무에 종사 하던 중 우측 하악관절 및 좌측 제 3족지 통증 및 부종 발생하여 치료하였으나 호전 없고 범혈구감소증 소견을 보여 본원 혈액종양내과를 내원하였다. 내원 후 시행한 골수 생검 결과 골수형성이상증후군을 동반한 급성 골수성 백혈병(Acute myeloid leukemia with MDS change)으로 진단되었고 이는 적백혈병(pure erythroid leukemia)에 해당하였다.

해당 근로자는 비파괴검사 업무 중 <sup>192</sup>Ir 및 <sup>60</sup>Co를 선원으로 하는 검사업무를 1개월에 3주이상, 하루 8시간 이상 시행하였다. 근무 중 방사선 피폭에 대한 방지대책으로 규정된 방호복은 착용하지 않았으며, 방사선 조사 시 주위 구조물을 이용하여 은폐하는 방식으로 불완전하게 대처하였다. 방사선 피폭량의 모니터링을 위한 필름 배지 역시 미착용한 상태로 정확한 피폭량은 알 수 없었다. 피폭량의 추정을 위한 불안정형 염색체 이상 분석 검사 결과 추정 피폭 선량은 1.20 Gy로 국내 방사선작업 종사자의 노출 선량한도인 연간 50 mSv 및 5년간 100 mSv를 과도하게 초과하는 것으로 판단되어 업무 중 기준 선량을 초과하는 방사선에 노출된 것으로 추정되었다.

사례2: 26세 남자 근로자로 2년 6개월간 비파괴검사업체에서 전리 방사선에 노출되는 방사선 검사업무에 종사 하던 중 가슴답답함, 피로감 등의 증상 있어 시행한 혈액검사 상 범혈구감소증 소견 보여 본원 혈액종양내과 입원하였다. 내원 후 시행한 골수 생검 결과 골수형성이상증후군 진단되었다.

결론: 비파괴검사는 교량, 선박 등의 금속 구조물이나 송유관, 가스관 등의 용접배관 내부 결함을 조사하기위해 이루어지며, 사용되는 선원은 주로 <sup>192</sup>Ir 및 <sup>60</sup>Co이다. 이는 병원의 방사선 촬영실과 같이 방사선 피폭에 관해 미리 예비된 공간이 아닌 개방된 다양한 환경에서 작업하게 되므로 상대적으로 노출에 더 취약한 여건일 수 있으나 작업상의 제약 및 방사선 방호에 관한 인식 부족 등으로 보호 장비의 착용 및 노출량 모니터링이 제대로 수행되지 않고 있다. 비파괴검사 근로자에서 직업적 방사선 노출로 인한 골수형성이상증후군 발생 사례는 이전 국외 및 국내 문헌에서 보고된 바가 없었으나 동일한 사업장에서 1년간 3명이 MDS로 진단되었고 그 중 본 사례1에서 불안정형 염색체 이상 분석 검사 결과 추정 피폭선량이 기준을 초과하여 이의 업무 관련성이 있을 것으로 판단되며 사례2 역시 2년 6개월간 보호구 착용 없이 방사선에 노출된 후 50대에 호발하는 질환인 MDS에 26세의 젊은 나이에 발병한 것을 볼 때 업무 관련성이 있을 것으로 본다. 향후

비파괴검사사에서 업무 중 전리방사선 피폭에 관한 방호 대책 및 작업환경측정 등에 관한 구체적 규정 마련이 필요할 것이다.

### 참 고 문 헌

- 1) Choi SY, Kim TH, Chung CK, Cho CK. A Study on Patterns of Dose for Radiation Workers in Korea. Korean J Epidemiol 1999;21(1):72-80.(Korean)
- 2) Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA) Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI). Research on the actual condition about Health and Safety control of Workers Exposed to Radiation in Korea (translated by Oh MS). KOSHA OSHRI. Incheon. 2007.
- 3) Preston DL, Kusumi S, Tomonaga M, Izumi S, Ron E, Kuramoto A, Kamada N, Dohy H, Matsuo T, Nonaka H, Thompson DE, Soda M, Mabuchi K. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III. Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. Radiat Res 1994;137 (2 suppl):S68-S97.
- 4) Pierce DA, Shimizu Y, Preston DL, Vaeth M, Mabuchi K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer:1950-1990. Radiat Res 1996;146(1):1-27.
- 5) Moysich KB, Menezes RJ, Michalek AM. Chernobyl-related ionising radiation exposure and cancer risk: an epidemiological review. Lancet Oncol 2002;3(5): 269-79.
- 6) International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to Humans Volume 75(2000) Ionizing radiation, Part 1, X-and Gamma-radiation, and neutrons. Available: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol75/index.php> [cited 10 Oct 2011].
- 7) Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA) Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI). Investigation Report on Health and Safety of Workers Exposed to Radiation in Korea (translated by Oh MS). KOSHA OSHRI. Incheon. 2006. (Korean)
- 8) Ahn YS. Occupational Malignant Lymphohematopoietic Diseases Compensated under the Industrial Accident Compensation Insurance from 1996 to 2005. Korean J Occup Environ Med 2007;19(2):81-92.
- 9) Ministry of Education Science and Technology (MEST). Atomic energy Law. Available: <http://likms.assembly.go.kr> [cited 10 Oct 2011].
- 10) Kim KJ, Yoo JH. Radiodermatitis from Occupational Exposure to <sup>192</sup>Ir. Korean J Occup Environ Med 1998;10(1):128-35. (Korean)
- 11) Ministry of Education Science and Technology (MEST) Korea institute of Nuclear Safety (KINS). 2010 White Paper on Nuclear Safety (translated by Oh MS). MEST. MINS. Daejeon. 2010. (Korean)
- 12) Kröger N. Epigenetic Modulation and Other Options to



- Improve Outcome of Stem Cell Transplantation in MDS. *Hematology Am Soc Hematol Educ Program* 2008;60-7.
- 13) Strom SS, Gu Y, Gruschkus SK, Pierce SA, Estey EH. Risk factors of myelodysplastic syndromes: a case-control study. *Leukemia* 2005;19(11):1912-8.
  - 14) Nimer SD. MDS: A Stem Cell Disorder-But What Exactly Is Wrong with the Primitive Hematopoietic Cells in This Disease? *Hematology Am Soc Hematol Educ Program* 2008;43-51.
  - 15) Nolte F, Hofmann WK. Myelodysplastic syndromes: molecular pathogenesis and genomic changes. *Ann Hematol* 2008;87(10):777-95.
  - 16) West, R.R., et al., Occupational and environmental exposures and myelodysplasia: a case-control study. *Leuk Res* 1995;19(2):127-39.
  - 17) Masako Iwanaga et al. Myelodysplastic syndromes in Atomic bomb survivors in Nagasaki: A preliminary analysis. *Acta Med. Nagasaki* 50:97-100.
  - 18) Kipen HM, Wartenberg D. Lymphohematopoietic malignancies. In: Rosenstock L(eds) *Textbook of clinical occupational and environmental medicine*. 2nd ed. Elsevier Saunders Philadelphia. 2005. pp744.
  - 19) West RR, Stafford DA, White AD, Bowen DT, Padua RA. Cytogenetic abnormalities in the myelodysplastic syndromes and occupational or environmental exposure. *Blood* 2000;95(6):2093-7.
  - 20) Olney HJ, Le Beau MM. The cytogenetics of myelodysplastic syndrome. *Best Pract Res Clin Haematol* 2001;14(3):479-95.
  - 21) Vallespi T, Imbert M, Mecucci C, Preudhomme C, Fenaux P. Diagnosis, classification, and cytogenetics of myelodysplastic syndromes. *Haematologica* 1998; 83(3):258-75.
  - 22) Thirman MJ, Larson RA. Therapy-related myeloid leukemia. *Hematology Oncology Clinics North America* 1991;10:293-320.
  - 23) Morel P, Hebbar M, Lai JL, Duhamel A, Preudhomme C, Wattel E, Bauters F, Fenaux P. Cytogenetics analysis has strong independent prognostic value in de novo myelodysplastic syndromes and can be incorporated in a new scoring system: a report on 408 cases. *Leukemia* 1993;7:1315-23.
  - 24) Solé F, Luño E, Sanzo C, Espinet B, Sanz GF, Cervera J, Calasanz MJ, Cigudosa C, Millà F, Ribera JM, Bureo E, Martín ML, Arranz E, Florensa L. Identification of novel cytogenetic markers with prognostic significance in a series of 968 patients with primary myelodysplastic syndromes. *Haematologica* 2005;90:1168-78.
  - 25) Haase D, Germing U, Schanz J, Pfeilstöcker M, Nösslinger T, Hildebrandt B, Kundgen A, et al. New insights into the prognostic impact of the karyotype in MDS and correlation with subtypes: evidence from a core dataset of 2124 patients. *Blood* 2007;110(13): 4385-95.
  - 26) Korgaonkar S, Babu VR, Kerketta L, Ghosh K. Chromosomal breakage in myelodysplastic syndrome. *Asian Pac J Cancer Prev* 2008;9(1):151-4.
  - 27) Bauchinger, M. Quantification of low-level radiation exposure by conventional chromosome aberration analysis. *Mutat Res* 1995;339(3):199-89.
  - 28) Lee EJ. Radiation safety control (translated Oh MS). 1st ed, Gold chulpansa. Seoul. 2001. pp 9-26. (Korean)
  - 29) Korea Institute of Nuclear Safety. 2010 9th Symposium for Radiation Safety (translated by Oh MS). Available: <http://www.kins.re.kr/radsympo2010>. (Korean) [cited 10 Oct 2011].
  - 30) Lim HS, Cheong HK, Kim SK, Park BC, Lee K. Case of acute myelogenous leukemia occurring in a nuclear power plant worker. *Dongguk J Med* 2002;9(2): 122-38. (Korean)
  - 31) Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA) Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI). Casebook of Occupational disease in Korea (translated by Oh MS). KOSHA OSHRI. Incheon. 2005. (Korean)