

# 방사선 비파괴검사 근로자의 암 예방관리(2)



성균관의대 강북삼성병원 직업환경의학과 / 김수근

## 방사선 비파괴 검사자에서 발생한 직업성 암

2011년 4월 비파괴검사업체 K사 울산출장소 소속 근로자 3명에게서 백혈병 및 골수형성이상 증후군이 발생하였다. 선박 용접에 방사선 동위원소(이리듐-192)를 사용하여 비파괴검사(감마선 투과 검사)를 하였으며 2012년 5월까지 백혈병 발생 근로자 3명 모두 사망하였다.<sup>1)</sup> 발병 원인으로는 감마선 투과 검사 시 노출 선량 감소를 위한 안전거리 미확보, 차폐물의 설치, 개인용 차폐장비를 착용하지 않아 방사선(감마선)에 직접 노출되었으며, 방사선 작업 시 개인 선량계(TLD 또는 필름배지) 착용이 부실하여 노출량에 따른 관리가 이루어지지 않았기 때문이었다. 이들 중 2명에 대하여 사례 보고된 것을 요약하면 다음과 같다.<sup>2)</sup>

### 사례 1 : 35세, 남자

비파괴검사 업체에서 비파괴검사원으로 일하던 근무자로 2010년 6월경에 혈액검사를 시행한 결과 범혈구감소증 소견을 보여, 혈액종양내과에서 혈액검사와 골수생검을 시행한 결과 적백혈병(erythroleukemia)으로 진행한 MDS를 진단받았다. 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 골수생검을 시행하였고 MDS를 동반한 급성 골수성 백혈병(Acute myeloid leukemia with MDS change)으로

진단되었다. 이는 French-American British(FAB) 분류 중 순수 적아구성 백혈병(pure erythroid leukemia, M6b)에 해당한다.

2001년 4월 입사 후부터 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 혈소판 수가 감소하였다. 이후 각각 입사 8년, 9년, 10년째 되는 해인 2008년, 2009년 및 2010년 건강진단에서도 혈색소 수치가 12.0 g/dl, 9.6 g/dl, 9.1 g/dl이었으나 특별한 조치는 없었다.

2001년 4월 26세 나이로 비파괴검사 업체에 취업하였고, 2010년 6월까지 동일 업체에서 9년간 비파괴검사원으로 종사하였다. 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 12주까지 수행하기도 하였다고 한다. 발병 18개월 전부터 발병 당월까지 환자의 근태기록을 검토한 결과 주간작업 65일, 야간작업 334일이었다. 주간작업시간은 보통 오전 8시부터 오후 18시까지이며 야간작업시간은 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 방사선 피폭 방지를 위해서는 고정식 차폐나 이동식 차폐설비가 필요하나 이러한 설비의 이용은 없었고 투과사진 촬영 시 건물의 기둥 같은 큰 구조물 뒤에서 은폐하는 방식으로 불안전하게 대처하였다.

방사선 투과검사 작업 시에는 피폭정도를 알 수 있는 필름배지, 포켓도시미터, 알람모니터, 서베이미터 등과 같은 작업자 보호 휴대안전장비를 반드시 휴대하고 작업해야 하지만, 일반적으로 방사선 노출 확인만 시켜주는 알람모니터만 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 안전관리 통합 정보망의 환자 개인피폭집적선량 기록상에서는 2009년 1년간 피폭량이 1.51 mSv, 5년 누적 피폭량이 6.74 mSv 이었다. 하지만 환자의 진술에 의하면 작업자 보호 휴대안전장비를 휴대하지 않은 채로 1개월에 1회 정도 방사선량 측정 기록계인 필름배지를 바닥에 둔 후 임의 촬영을 하여 실제와 다른 피폭량을 보고해왔다고 한다. 이러한 상황을 고려할 때 이 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 염색체 중 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.

## 사례 2 : 26세, 남자

변에 묻어나는 정도의 혈변 증상이 발생하여 개인 의원을 방문하였고, 시행한 검사상 범혈구 감소 소견을 보여 본원 응급실로 방문하였다. 응급실에서 시행한 혈액검사상 혈색소 3.7 g/dl, 적혈구 수  $0.98 \times 106 / \text{mm}^3$ , 백혈구 수  $1,620 / \text{mm}^3$  및 혈소판 수  $5.5 \times 104 / \text{mm}^3$ 의 심각한 범혈구 감소증을 보였다. 골수 생검을 시행하였고 그 결과 MDS, 국제 보건기구 분류상 과잉불응성 빈혈(refractory anemia with excess blasts, RAEB-II)로 진단받았다.

2007년 4월 입사 당시 실시한 특수건강진단에서는 정상소견이었으나 입사 1년 후인 2008년 건강진단에서는 혈색소 12.5 g/dl, 적혈구 수  $4.05 \times 106 / \text{mm}^3$ , 백혈구 수  $5,600 / \text{mm}^3$  및 혈소판 수  $14 \times 104 / \text{mm}^3$ 로 빈혈 소견을 보였다.

2007년 2월 23세 때 울산에 위치한 비파괴검사 업체에 취업하였고 2009년 8월까지 동일 업체에서 2년 반 동안 비파괴검사원으로 종사하였다.

사례1과 같은 조로 일하였으며 작업내용은 앞서 서술한 바와 동일하였다. 이 환자 역시 작업자 보호 휴대안전장비를 휴대하지 않은 관계로 정확한 피폭선량을 알 수 없었다. 필름배지와 포켓선량계는 착용하지 않고 알람모니터 하나만 착용하였다. 알람모니터는 방사선 누출 시 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 이었으나 앞의 사례와 동일하게 실제와 다른 피폭량을 보고해왔다 한다. 이러한 상황을 고려할 때 이 피폭량 기록은 신뢰할 수 없을 것으로 보인다. 이 환자는 생물학적 선량평가를 시행하지 않은 관계로 추정 피폭 선량은 계산하지 못했다.

사례1과 2가 발생한 사업장의 35명을 대상으로 교육과학기술부에서 혈액검사를 실시한 결과 범혈구 감소증이 발견된 다른 28세 남자 근로자도 MDS로 진단받아 동일 사업장에서 1년간 총 3명이 MDS로 진단되었다. 백혈병으로 병세가 악화됐다가 지난 2012년 4월 29살의 나이로 숨졌다.<sup>1)</sup>

MDS는 범혈구 감소, 골수 조혈세포계의 형성이상(dysplasia) 및 무효조혈(ineffective hematopoiesis)을 특징으로 하는 클론성(clonal) 질환으로 수년간에 걸쳐 서서히 진행하거나 혹은 급속하게 급성백혈병으로 진행되는 등 다양한 임상경과를 보이는 질환이다.<sup>5)</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>6)</sup> 그 병리기전은 여러 단계를 거치게 되는데<sup>5), 6)</sup> 첫 번째 단계에서 화학물질, 방사선, 세포독성약물 등의 영향과 유전자변이에 의해 조혈모세포의 유전적 이상이 일어나게 되며, 이러한 이상들이 축적되면서 세포주기조절, 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. 진행기에서 백혈병으로의 이행은 종양억제유전자/종양촉진유전자의 변이 혹은 이러한 유전자들의 과메틸화 등에 의해 발생하며 이때에는 세포 고사가 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>7)</sup> 환경적 방사선 노출에 대해 80,000명의 원폭 생존자들(162명의 MDS)을 대상으로 한 연구에서는 원폭 당시 폭과 중심부와의 거리에 따라 MDS의 발생률이 반비례 관계에 있어 원폭 방사능 피폭과 MDS와의 양 반응 관계를 증명했다.<sup>8)</sup>

### 사례 3 : 29세, 남자

1990년 8월 28일 선박저유탱크 등에 대한 비파괴검사 업무를 하던 비파괴검사업체인 (주)OO업체의 직원인 임OO은 급성백혈병으로 진단받고 치료받다가 사망하였다.<sup>9)</sup> 국내 작업장에서 작업도중 방사선을 과다하게 피폭된 근로자가 급성 백혈병으로 사망하기는 처음이었다. 임OO은 1980년 8월 (주)OO업체에 입사하여 1981년 5월 경남 울산시 탱크터미널 공사현장에서 방사선 동위원소 장비를 이용하여 용접부위를 검사하다가 사고로 방사선에 피폭되었다고 한다. <그림 5>는 1990년 8월 30일자 동아일보에 보도된 당시 기사이다.<sup>10)</sup> 방사선을 이용하여 철골구조물의 용접상태를 점검하는 일을 해 온 20대 회사원이 방사선에 피폭된 뒤 9년 만에 급성백혈병으로 숨져, 사인을 놓고 논란이 일고 있다고 하였으나 1990년 12월 19일 산재로 인정하고 유족급여와 장례비를 지급하였다고 한다.<sup>11)</sup>

**放射線(방사선) 권 20대(대)회사원 9년만에 白血病(백혈병) 사망**

동아일보 1990.08.30 기사(뉴스)

**放射線(방사선) 권 20대(대)회사원**9년만에 白血病(백혈병) 사망  
遺族(유족) | 會社(회사) 「직접死因(사인)」 싸고 논란

방사선용 이용, 철구조물의 용접상태를 점검하는 일출해온 20대 회사원이 방사선에 피폭된 뒤 9년만에 급성백혈병으로 숨져 사인을 놓고 논란이 일고있다.

지난28일 새벽3시경 서울鐘路(종로)구평(평)동 고려병원에서 급성백혈병으로 입원 치료중이던 삼영검사엔지니어링대리任錫彬(임석빈)씨(29)가 숨졌다.

가족들은 숨진 任(임)씨가 지난81년5월 蔚山(울산)의 탱크터미널공사 현장에서 방사선용 이용, 철구조물의 용접상태를 점검하다 피폭돼 그후유증으로 백혈병에 걸려 숨졌다고 주장하고 있다.

任(임)씨는 지난80년8월 이회사에 입사, 방사선검사작업에 종사해오다 피폭사고 이후 자리를 옮겨 일반 관리업무를 맡아왔으며 85년까지 원자력병원 등에서 방사선체 거치료를 받았다는 것이다.

한편 회사측은 "任(임)씨가 지난81년 방사선용 기준치이상된 사실이 있다"고 피폭 사실을 시인하고 "정확한 사인을 가리고 산재보험처리등 보상대책을 논의중"이라고 밝혔다.

**방사선被爆(피폭)사망 첫 産災(산재)인정**

동아일보 1993.03.18 기사(뉴스)

**방사선被爆(피폭)사망 첫 産災(산재)인정**서울노동청유족급여등 2구(천)여萬(만)원 지급  
개연성만으로 배상길 연 획기적 결정

방사선동위원소 이용업체에서 일하다 사망한 근로자를 국가에서 처음으로 업무상 방사선 과다 피폭산재해로 인정, 산재보험급여를 지급한 사실이 확인됐다. 이에 따라 지금까지의학적 상관관계가 명확하지 않다는 이유로 산재처리되지 않던 각종 방사선재해에 대한 지방노동청의 산재처리판정이 뒤따를 것으로 보인다.

과학기술처는 18일 비파괴검사업체인 삼영검사엔지니어링직원으로 출산 현대건설 탱크터미널 공사현장에서 일하다 방사선과다피폭으로 지난90년8월28일서울고려병원에서 숨진 任錫彬(임석빈)씨(당시29세)유족에게 서울지방노동청이 90년12월19일 2천4백여만원의 유족급여와 장례비를 지급했다고 밝혔다.

서울지방노동청은 「백혈병이 방사선피폭으로 인해생겼다고 단정할 수는 없으나 그 가능성은 배제할수 없다」는 국립과학수사연구소의 시체 부검의견서와 「任(임)씨는 방사선피폭으로 인한 후유증으로 백혈병이 생겼고 그 합병증으로 인한 뇌출혈로 사망한것으로 보아므로 의학적으로 업무기인성이 충분히있다」는 자문의 魏基濤(배기택)씨(58서울백병원 의료부원장)의 소견을 수용, 이같은결정을 내렸다.

**<그림 1> 방사선 권 20대 회사원 9년 만에 백혈병 사망 기사**

1984년에 과학기술처에 제출된 '방사선 피폭 사고 보고서'에 의하면, 울산시 건설 현장에서 방사선투과검사 중 Ir-192 선원(17 Ci 1개)이 탈락되어 선원 안내튜브(guide tube)에 남아 있는 것을 모르고 선원 안내튜브를 손으로 조작하여 방사선에 피폭되었다고 한다.<sup>12)</sup> 그러나 구체적인 사고 상황과 피폭량 평가 결과를 확인할 수 없었지만, 다른 경로로 확인된 자료에서는 피폭량 평가결과 전신은 30.54 mSv, 손은 180.14 mSv 이었다.

**사례 4 : 47세, 남자**

1988년 방사선 투과검사 중 사고로 피폭된 이후 1년 이상 치료 후 2004년 4월 원발부위 불명암이 진단되어 전리방사선의 작업관련성이 인정된 사례가 있다.<sup>13)</sup>

이○○는 1988년 1월 입사하여 비파괴검사소에 근무하던 중 1988년 9월 9일 방사선 투과검사 중 사고로 피폭된 이후 2004년 4월 원발부위 불명암으로 진단받고 치료를 받고 있던 중 2005년 3월 사망하였다. 비파괴검사 업무 시작 약 8개월 후인 1988년 9월 9일 방사선 피폭사고가 있었는데, 밀봉선원 Ir-192 1개를 이용한 방사선 투과검사 작업 중 원격조작장치의 작동에도 불구하고 선원이 Front Guide Tube 내에 계속 노출되어 있었으나 이를 모르고 방사선작업을 하여 방사선에 피폭되었다(약 50분간). 필름배지를 분석한 결과에 의하면 1988년 2월부터 9월까지 8개월간 총 2.23 mSv 방사선에 피폭되었다. 사고가 발생한 1988년 9월의 피폭량은 0.3 mSv이었다. 동료근로자들은 피폭량을 축소할 경향이 있고 방사선 피폭량은 안전관리상 피폭가능성을 최대로 산정하는 것이 기본적인 원칙이라며 사고 피폭량을 1,870 mSv이라고 주장하고 있다.

피폭 사고 시 1988년 2월부터 동년 8월까지 7개월간의 피폭량을 공식 피폭량으로 가정한 후 원발부위 불명암의 인과확률을 계산한 결과 인과확률 50%라고 판단하는 것이 99% 맞을 가능성이 9.64%이었다. 동료근로자들이 주장하는 피폭량에 의한 인과확률 50%라고 판단하는 것이 99% 맞은 가능성이 67.34%이었다.

이에 대하여 역학조사평가위원회에서는 이○○의 원발부위 불명암은 실제 방사선 피폭량이 불확실한 상태에서 공식적인 피폭량을 근거로 계산 시에는 인과확률 50%일 가능성이 낮지만, 동료 근로자들이 주장하는 추정 피폭량을 고려하면 인과확률이 50% 이상일 가능성이 높고, 원자력안전기술원의 추정 피폭량은 전신이 97.29 mSv이고 손이 1064.97 mSv이었다.

또한, 원발부위 불명암은 방사선 피폭에 의해 발생이 증가하는 것으로 알려진 고형암의 하나이며, 방사선 피폭사고 후 16년이 경과하여 잠복기간도 충분하므로, 이번 경우는 방사선 피폭에 의해 발생한 직업성 암일 가능성이 높다고 판단하였다.

이상의 5사례 이외에도 2013년에 대구지역의 한 비파괴검사 업체에서 2명의 근로자에게 혈액암이 발생하여 역학조사가 수행되었다고 한다.

## 결론

사례1에서 피폭직접선량 기록을 정황상 신뢰할 수 없었으므로 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 염색체이상에서 추정 피폭선량은 1.2 Gy로 계산되었다.<sup>14)</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.

방사선 투과검사는 휴대용 조사장치, 추진 케이블 선원 유도관을 설치한 후 검사하려는 물체의 후면에 필름을 놓고, 작업자는 방호구를 착용하거나 안전거리 이상 멀리 떨어져서 추진케이블을 작동하여 선원 유도관 말단까지 조사장치 내의 선원을 이동시켜 일정시간 방사선을 조사하여 검사를 시행하고 검사가 끝나면 다시 추진 케이블을 작동하여 선원을 휴대용 조사장치 내로 이동 시킨다. 이들 비파괴검사업체는

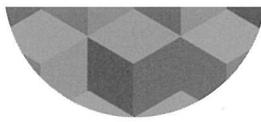
일부를 제외하고는 대부분이 중소 규모이며 저가 수주경쟁으로 인한 낮은 검사단가로 안전관리에 소홀한 실정이다. 또 검사의 특성상 방사선 투과검사 장소는 대부분 발주업체의 사업장이므로 검사 장소가 고정적이지 않고 검사대상물이 다양하여 효율적인 피폭방지가 힘든 실정이다. 검사 대상물이 대형이거나 고소작업 등 많은 요인으로 인해 차폐 시설의 설치나 활용이 어려워 작업자가 일정 부분 방사선 피폭을 감수할 수밖에 없는 것이 현실로 이에 대한 대책 마련이 시급한 것으로 판단된다.

방사선 투과검사에서 방사선 피폭량을 줄이기 위해서는 첫째, 가능한 한 노출시간을 줄이고, 둘째 선원으로부터 거리를 되도록 멀리 유지하고, 셋째 적절한 차폐장치를 사용하며, 넷째 작업자는 반드시 보호 휴대안전장비를 사용하도록 해야 한다. 또한 지나치게 방사선 투과검사 위주인 비파괴 검사를 초음파 검사 등과 같은 유해성이 낮은 다른 비파괴검사방법으로의 전환이 필요하다.

사례 1과 2에서 발병 전부터 특수건강진단에서 지속적으로 혈색소와 혈구 감소 소견이 있었으며, 재검에서도 여전히 혈구감소 소견을 보였으나 별다른 안전관리나 안전조치 없이 계속 같은 업무에 종사하였다. 이와 같은 상황은 특수건강진단에서 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.

한편, 같은 회사의 남은 동료근로자들에 대한 추적관리는 물론 방사선 피폭량 확인을 위한 과거 피폭선량 재구성이 필요할 것임에도 불구하고 이러한 후속조치가 전혀 이루어지지 않고 있으며, 모든 근로자들은 이미 뿔뿔이 흩어졌다는 사실이다.

이들에 대한 선량재구성과 추적관리를 서둘러야 할 것이다. 방사선작업에 따른 작업자의 건강에 영향을 미치는 피폭선량을 미리 분석·예측하여 가능한 피폭선량을 낮게 유지해야 하며, 방사선작업별 예상피폭선량에 대한 위험도를 분석함으로써 작업장별 안전관리의 기본 자료를 구축할 필요가 있다. 



**참고문헌**

1. 신동명. 방사선 비파괴검사 노동자 잇단 백혈병. 한겨레 2012.03.07.  
<http://www.hani.co.kr/arti/society/area/522357.html>(2014년 3월 30일 접속)
2. 오명순, 윤재국, 김현수, 김 혁, 이진경, 이지호, 김양호. 비파괴검사원에서 발생한 적백혈병과 골수형성이상증후군 2예. 대한직업환경의학회지, 2011; 23(4): 471~479
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Nolte F, Hofmann WK. Myelodysplastic syndromes: molecular pathogenesis and genomic changes. Ann Hematol 2008;87(10):777-95.
7. West, R.R., et al., Occupational and environmental exposures and myelodysplasia: a case-control study. Leuk Res 1995;19(2):127-39.
8. Masako Iwanaga et al. Myelodysplastic syndromes in Atomic bomb survivors in Nagasaki: A preliminary analysis. Acta Med. Nagasaki 50:97-100.
9. 방사선 피폭 근로자 사망. 연합뉴스 1990년 8월 29일  
<http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0003413678>(2014년 3월 30일 접속)
10. 방사선 췌 20대 회사원 9년만에 백혈병 사망. 동아일보 1990년 8월 30일
11. 방사선 피폭 사망 첫 산재인정. 동아일보 1993년 3월 18일
12. 원자력안전정보공개센터. 사고/고장현황-방사선 투과 검사용 선원에 의한 피폭. <http://nsrc.kins.re.kr/nsrc/radAccidentView.do>  
(2014년 3월 30일 접속)
13. 2005년도 직업병역학조사 사례집. 산업안전보건연구원 2005; p27
14. Bauchinger, M. Quantification of low-level radiation exposure by conventional chromosome aberration analysis. Mutat Res 1995;339(3):199-89.

