

# 방사선 비파괴검사 근로자의 암 예방관리(1)



성균관의대 강북삼성병원 직업환경의학과 / 김수근

## 서론

울산지역에서 2011년 2명과 2012년 1명의 비파괴검사 근로자들이 방사선 과다피폭으로 급성 백혈병이 발병하여 사망하였다.<sup>1)</sup> 원자력법에 의해 방사선 사용을 허가한 교육과학기술부는 동 업체에 대해 방사선 노출측정 미 실시 등 위반으로 업무정지, 방사선 안전 관리자 변경 명령 및 과태료를 부과하였다.

과학의 발달과 더불어 금속재료 및 제품검사 방법의 하나로 대상물을 파괴하지 않고 검사할 수 있는 검사방법이 채택되어 널리 활용되고 있다. 이에 따라 과학적이면서도 효율적인 제품검사를 통하여 품질관리 업무를 발전시키고 제품의 질과 안전성을 향상시키기 위한 전문화된 검사가 채택되고 있다. 비파괴검사는 말 그대로 검사 대상물을 파괴하지 않고 항공기나 선박, 터널, 교량, 철도, 대형건물 등의 안전도를 검사하는 방법을 가리킨다. X-선이나 컴퓨터 단층촬영으로 인체의 질병을 알아내는 방식과 똑같다. 안전에 대한 관심이 높아지는 만큼 비파괴검사 시장의 규모도 점점 커지고, 방사선 비파괴검사(또는 방사선 투과검사) 업무에 종사하는 근로자도 매년 증가하고 있다.

산업재해 통계를 보면, 비파괴검사 근로자의 백혈병으로 인한 직업병은 최근 5년간 해마다 1~2명씩 발생하고 있다.<sup>2)</sup> 2012년도 방사선 비파괴검사 근로자의 피폭선량 중에서 연간 선량한도인 50 mSv를 초과하는 근로자는 16명이었고, 20 mSv를 초과하는 근로자는 143명이었다.<sup>3)</sup>

비파괴검사 업무는 방사선에 지속적으로 노출되기 쉬운 작업의 특성상, 관련 사업주는 엄격한 피폭예방 조치와 근로자 건강관리를 실시해야 한다. 근로자는 피폭에 대한 위험성을 이해하고, 방호대책에 따른 안전작업을 실시해야 한다. 또한, 비파괴검사 업무의 재해예방을 위한 법령 및 제도개선 방안 마련, 비파괴검사 기술에 대한 조사연구, 방사선 노출사고에 대한 원인조사 실시, 기술 자료의 공동 개발 및 보급 등이 이루어지고 있다.

이 글에서는 선박 및 압력용기 등 금속제품 제조 사업장의 비파괴검사 작업 중 방사선을 이용한 검사 시 근로자의 방사선 노출을 줄이고 백혈병 등의 건강장해를 예방하기 위한 것을 다루고자 한다.

## 방사선 비파괴검사

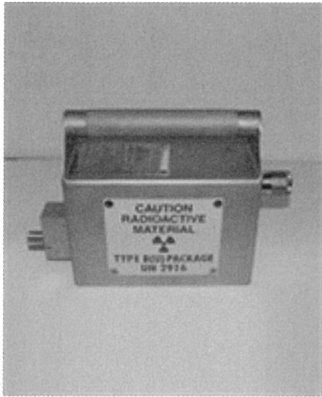
비파괴검사의 종류는 방사선 비파괴검사(Radiographic Testing, RT), 초음파 비파괴검사(Ultrasonic Testing, UT), 자기 비파괴검사, 침투 비파괴검사, 와전류 비파괴검사, 누설 비파괴검사, 음향방출 비파괴검사, 육안 비파괴검사, 열화상 비파괴검사, 중성자 비파괴검사 및 응력측정 비파괴검사 등 다양하다. 비파괴검사에서 RT는 UT와 함께 대부분 내부결함을 검출하는데, 방사선의 위험성도 높고 검사재료비가 비싼데도 불구하고 우리나라는 신뢰성 관계로 RT를 많이 선호하고 있는 실정이다.

방사선 투과검사는 방사선 발생장치 혹은 방사성 동위원소로부터 방출된 X-선 혹은  $\gamma$ -선이 검사대상물을 투과하여 필름을 감광시키며 이 투과 필름으로 검사대상물의 건전성 여부를 판별하게 된다. 예를 들어 방사선이 주조물의 내부에 구멍이 있는 부분을 통과할 때는 구멍이 없는 부분을 통과할 때 보다 흡수가 적기 때문에 방사선 투과검사에 의하여 발견할 수 있다. 방사선 흡수의 차이는 필름에서 광도의 차이로 나타나기 때문이다. 이 검사 방법은 검사 대상물의 내부를 한 눈에 볼 수 있어 결함의 분포, 크기 및 형상까지의 추측이 가능하다. 특히 기록의 영구보존은 장점 중의 하나다. 방사선을 이용한 비파괴검사는 용접물, 주조물, 단조물 등의 금속 조립품을 여러 상황에서 검사할 때 사용한다.

X선과  $\gamma$ 선의 차이점은 단지 발생 근원이 다른 것뿐이다. X선은 물질의 원자에서 방출된 광자(전자기파)이고,  $\gamma$ 선은 물질의 핵 내에서 방출된 광자(전자기파)를 말한다.  $\gamma$ 선은 방사성 물질이 항상 붕괴하여 360° 방향으로 방출되므로 사용하지 않을 때에는 차폐하고, 사용 시에만 필요한 선량을 노출하게 해야 한다(그림 1과 2).

X선의 발생은 X선이 방출되는 전기적 장치로서 감마선 조사장치에 비하여 체적이 크고 무겁다(그림

3). 이동이 불편하고 협소하거나 복잡한 형태의 시험체 적용에는 부적합하다. 그러나 시험체의 투과력을 좌우하는 X선의 광자에너지(또는 파장)를 관전압(kVp)으로 자유롭게 조절할 수 있으므로 시험체 재질과 두께에 적절한 투과강도의 차이를 얻을 수 있는 장점이 있고, 방사선 안전관리도 용이하다.



<그림 1> IR 100(Iridium-192)



<그림 2> Cobalt-60 source projector



<그림 3> X-선 발생장치

출처 : 한국비파괴검사협회(<http://www.kandt.or.kr/sub/ndt2.php?menu=2>) (2014년 3월 31일 접속)

## 방사선 투과검사의 현황

비파괴검사 기술은 국내 산업의 시설 및 제품에 대한 신뢰성 확보와 안전성 진단을 위한 대표적인 검사 방법이다. 방사선을 이용한 방사선 투과검사(Radiographic Testing, RT)는 국내 비파괴검사 시장의 절반 이상을 차지하는 주요한 검사 방법이다.

### 설비 및 업체 현황

<표 1>은 한국동위원소협회의 방사선이용통계에 수록된 국내 방사선 투과검사 사업체의 허가 현황이다. 일시적 사용 장소로 이동 사용하는 기관 수는 95개 기관이고, 이동 사용하지 않는 고정 장소에서의 허가 수가 1,569개 기관이다. 방사선 투과검사 전문 엔지니어링업체는 이동 사용하는 업체로서 산업체 86개 기관 속에 포함되어있다.

<표 1> 방사선 투과검사 분야별 이용 기관수

구분	산업 기관	공공 기관	의료 기관	교육 기관	연구 기관	군사 기관	계
이동사용허가기관 (비파괴검사전문기관)	86	-	-	3	4	2	95
이동사용허가기관 외	1,282	66	10	114	73	24	1,569
계 (기관수)	1,368	66	10	117	77	26	1,664

출처 : 2011년 방사선이용통계, 한국동위원소협회, 2012. 9.

<표 2>에서 방사선 투과검사에 사용하는 방사성동위원소로서 Ir-192(57개 기관)와 Co-60(35개 기관)을 대부분 사용하고 있으며, 감마선 조사기 개수는 2,000여 대에 이르고 있다.

<표 2> 방사선 투과검사에 사용하는 방사성동위원소 기관수

핵종	Am-241	Co-60	Cs-137	Ir-192	Kr-85	Se-75
기관수	1	35	1	57	1	4

출처 : 2011년 방사선이용통계, 한국동위원소협회, 2012. 9.

특수한 입자가속기를 제외한 X선 발생장치는 총 21,354대 중 산업기관이 18,527대로 86.8%를 차지하고 있다. 여기서 의료기관의 방사선 발생장치는 진단용 X선을 제외한 것이다<표 3>.

<표 3> 방사선 발생장치 대수

구분	산업기관	공공기관	의료기관	교육기관	연구기관	군사기관	계
대수	18,527	971	202	1,002	505	147	21,354

출처 : 2011년 방사선이용통계, 한국동위원소협회, 2012. 9.

## 방사선 투과검사 이용분야

국내에서 적용중인 방사선투과검사는 약 85% 이상이 Ir-192 감마선원을 사용하고 있다. 방사선 투과검사가 활용되고 있는 분야는 중공업, 에너지, 석유화학플랜트 분야가 전체의 80% 이상을 점유하고 있으며, 거의 모든 산업시설 전반에서 활용되고 있다.<sup>3)</sup>

## 방사선 비파괴검사의 위험성

방사선 비파괴검사의 주된 위험은 전리방사선에 피폭되는 것이다. 안전문제는 방사선 선원에 따라 다르므로, 선원(X-선 발생장치와 감마선)을 각각 다룬다.

### X-선 발생장치

X-선 발생장치는 음극과 양극 사이의 높은 전압차에 의하여 전자가 가속화되는 속이 빈 튜브로 되어 있다. 양극에는 텅스텐 같은 비교적 원자번호가 큰 물질로 된 표적이 있다. 이 표적에 전자가 부딪히면 급속도로 감속되어 X-선 에너지가 40~429 KeV<sup>1)</sup>에 이른다.

조정판에 'X-선 발생중'으로 표시되어 있는 스위치는 X-선을 발생시키기도 하고 차단시킬 수도 있다. 그리고 튜브의 전압과 전류를 나타내는 계기와 함께, 이 변수들을 조절하는 계기도 있다. 이 조정판과 튜브헤드를 연결하는 선을 이용하기 때문에 검사자가 방사선 피폭을 최소화 할 수 있고 원거리에서 X-선 튜브에 에너지를 공급할 수 있다.

X-선 발생장치 외곽의 최대 허용 방사선 강도는 규제기준이 정해져 있고, X-선이 언제 발생하는지를 표시하도록 조정판과 튜브헤드에 경고등을 설치하도록 요구하고 있다. 방사선 투과검사가 행해지는 곳에서는 방사선을 주의하라는 픽토그램(Pictogram)과 경고문 표시를 하여야 한다. 이 지역으로 들어갈 때는 허가를 받아야 한다. 방사선 투과검사가 행해지는 장소에 실수로 들어 가서 생기는 방사선 피폭이 종종 생긴다. 방사선 투과검사가 개방된 지역에서 행해질 때는 근로자들이 피폭되지 않도록 경고문을 부착하도록 하여야 한다.

### 감마선의 선원

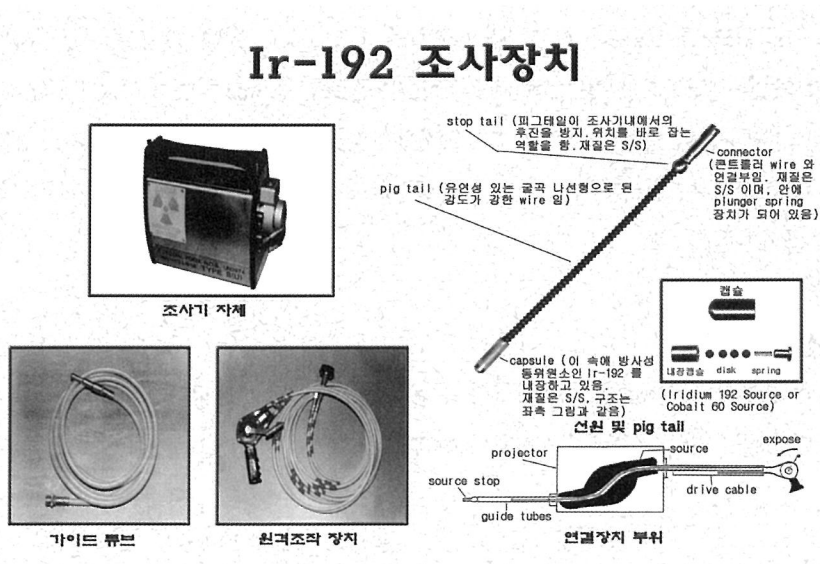
방사선투과검사에 사용되는 감마선은 방사성 동위원소의 핵붕괴로 생긴다. 사용되는 주된 동위원소는 이리듐-192와 코발트-60이다. 이리듐-192에서 200Ci, 코발트-60에서 1000Ci까지 함유한다(표 5).

&lt;표 5&gt; 전형적인 방사선 동위원소의 특징

동위원소	반감기	광자 에너지(keV)	1 Ci로부터 1m에서의 조사량(R/hr)
$^{192}\text{Ir}$	74일	310, 468, 608	0.55
$^{60}\text{Co}$	5.3년	1170, 1330	1.3
$^{169}\text{Yb}$	30일	60, 110, 131, 177, 198	0.125
$^{137}\text{Cs}$	30년	660	0.32

방사성 동위원소의 원천은 외부에서 에너지 공급을 필요치 않아서 송수관과 같은 원거리에서의 방사선 투과검사에 유효하다. 이것은 계속적으로 감마선을 배출하기 때문에 몇 가지 추가적인 안전수칙을 필요로 한다.

방사선 투과검사는 방사선 동위원소를 스테인레스강으로 조립된 캡슐 속에 봉해둔다. 방사선 동위원소가 든 캡슐은 사용하지 않을 때는 주위지역으로의 방사능 노출을 줄이기 위하여 차단된 합이나 금속덩어리 속에 넣어 둔다.



&lt;그림 4&gt; 대표적인 비파괴검사용 방사선조사기 및 부품 설명

출처 : 조건우, 조운갑, 정승영 등. 방사선 안전문화 기반조성방안 연구. 교육과학기술부. 2010; p94

저장함의 끝에는 선원정지장치가 있는 유인하는 튜브가 붙어 있다. 작동자는 선원정지장치를 방사선 검사위치로 옮기고 원격조정장치를 이용해서 조종하면 방사선 동위원소의 원천이 유인한 튜브를 통해 원격정지장치까지 전달된다. 원격조정장치는 작동자에게 방사선 피폭을 최소화할 수 있도록 방사선 동위원소의 선원으로부터 17m정도 떨어져 있어야 한다. 방사선 조사가 끝나면 동위원소를 선원정지장치로부터 차단된 위치로 되돌려 놓는다.<sup>4)</sup> 이러한 조작 중에 회수가 안 된 선원으로 인하여 방사선 피폭이 일어나는 경우가 종종 있다.

## 비파괴검사 근로자의 피폭현황

<표 6> 비파괴검사 근로자의 평균선량

연도	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11
선량	3.50	3.54	3.18	2.94	2.79	3.14	3.26	2.75	2.65	2.59	2.26	2.40	2.39

출처 : 2011년 방사선이용통계, 한국동위원소협회, 2012. 9.

<표 7> 선량 구간별 방사선 작업 종사자수(2011년도)

구분	≤0.1	0.1~1	1~5	5~10	10~20	20~50	합계
근로자수	1,580	1,876	1,774	519	243	83	6,075

- 1) 판독 특이자에 대한 선량평가가 반영되지 않은 수치임.
- 2) 합계의 종사자수는 업종별 중복 등록된 종사자수를 고려하지 않은 수임.

출처 : 2011년 방사선이용통계, 한국동위원소협회, 2012. 9.

<표 8> 비파괴검사 근로자중 연간 20 mSv 이상 피폭자 현황

연도	'06	'07	'08	'09	'10	'11
근로자수	52	45	72	65	99	83

출처 : 2010년 방사선종사자 피폭방사선량 통계, 한국동위원소협회, 2011. 10.

\* 2011년은 '2011년 방사선이용통계(한국동위원소협회)' 자료임. (공공기관 1명 제외)

<표 6>은 비파괴검사에 종사하는 근로자들의 연간 평균 피폭선량을 나타낸 것이다. 2011년에 비파괴검사 근로자는 6,075명으로 연간 평균 피폭선량은 2.39 mSv이었다. 이는 전 업종 평균인 0.81 mSv의 3배나 된다. 또한 최근 5년 동안 평균 선량 추이를 볼 때에 별로 감소하는 경향이 없다. <표 7>은 5년 동안 연간 평균 선량한도인 20 mSv를 초과하는 근로자가 83명이었고, 연도별로 20 mSv를 초과하는 근로자 수가 증가하고 있다<표 8>.

- 다음호에 계속

**주석 및 참고문헌**

- 1) 전자볼트(1 eV)는 전자 1개가 1V의 전위차로 가속되어 얻는 운동에너지이다.  $1\text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}\text{ J}$  인 관계가 있다.
1. 김태권. 비파괴검사 노동자 방사능피폭. 부산일보 2012년 3월 7일  
<http://news20.busan.com/controller/newsController.jsp?newsId=20120307000109> (2014년 3월 30일 접속)
2. 안전보건공단. 방사선 노출 비파괴검사 근로자 보호한다. 보도자료 2011.9.11
3. 한국동위원소협회, 방사선이용통계. 2013; p87
4. 조건우, 조운갑, 정승영 등. 방사선 안전문화 기반조성방안 연구. 교육과학기술부. 2010; p94

## 가톨릭대학교 보건대학원

### 2014학년도 후기 신입생 모집요강

**1. 모집과정 및 전공**

가. 과 정 : 석사학위 과정 (야간)

나. 전 공 : 산업 및 환경보건학, 인간공학 및 재활보건학,  
 산업 및 지역사회간호학, 건강증진학,  
 보건정보학, 역학 및 임상시험학, 보건정책 및 관리학

※ 특수과정 : 산업전문간호사과정  
 (최근 10년 이내에 산업보건 실무경력이 3년 이상인 자)



**가톨릭대학교**  
 THE CATHOLIC UNIVERSITY OF KOREA

**2. 지원자격**

가. 국내·외 대학교에서 학사학위를 취득(예정)한 자

나. 위와 동등한 자격이 있다고 교육부장관이 인정하는 자로서 대학원장의 인정을 받은 자

다. 산업 및 지역사회간호학전공은 간호사 면허증 소지자(사본 제출)에 한함

**3. 원서접수**

가. 원서접수 : 2014년 5월 12일(월) ~ 19일(월) 17:00

나. 접수방법 및 기타 상세 사항 :

보건대학원 홈페이지 참고(<http://songeui.catholic.ac.kr/gsph>) 입학안내/입학원서 접수

**4. 입학전형**

가. 전형일시 : 2014년 6월 12일(목) 14:00, 의과학연구원 1002호

5. 합격자 발표 : 2014년 6월 23일(월) 14:00, 홈페이지 입학공지에 발표

6. 문의처 : 교학팀 ☎ 02-2258-7074 / 홈페이지 (<http://songeui.catholic.ac.kr/gsph>)