

방사선의 산업적 이용

이 해*

Industrial Application of Radiation

Hae Lee*

1. 서 론

방사선의 산업적 이용은 방사선과 물질과의 상호작용에서 생기는 현상을 이용하는 것으로 원자력발전소, 중화학플랜트, 조선, 항공산업등 산업설비의 안전진단에 사용되는 공업적 이용과 병원등 의료기관에서 사용되는 의학적 이용, 멸균 처리와 종자개량 등에 사용하는 농수산분야 이용등으로 크게 구분할 수 있다.

방사선의 공업적 이용은 방사선의 작용 및 이용 특성에 따라 표 1과 같이 그 적용 분야가 매우 다양하나 여기에서는 비파괴검사 분야에서 이용되는 방사선투과검사를 중심으로 기술하였다.

1. 1 비파괴검사의 정의와 종류

비파괴검사(Nondestructive Testing)란 재료, 제품, 구조물, 산업설비 등의 검사대상물

을 손상시키거나 파괴하지 않으며 원형과 기능상에 지장을 주지 않고 그 재료등의 결합 검출, 치수측정, 기계적·전자기적·물리적·열적 성질등을 파악하는 검사기술을 말하며 검사, 품질관리 및 품질보증의 중요한 한 수단으로서 제조 기술의 개량, 생산 원가의 절감, 제품의 신뢰성 향상과 안정성 확보를 위해 널리 이용되고 있다. 비파괴검사의 종류 및 특징은 표 2와 같이 분류한다.

1. 2 방사선투과검사의 역사

방사선투과검사는 1895년 12월 빌헬름 뢰트겐이 X-선을 발견하여 금속시편을 촬영한 이래 1920~30년대에 미 해군 연구소에서 이용되기 시작하여 제2차 세계대전을 전후하여 급진적으로 발전하기 시작하였다.

우리나라에서는 1960년대 초 한국원자력연구소에서 신라시대의 청동불상의 구조연구와 결합검사를 위해 사용하였고 일반적으로는 프로판가스통 및 보일러 용접부위검사 등에

* (사)한국비파괴검사학회(Korean Society for Nondestructive Testing)

접수 : 1991년 8월 23일(Received August 23, 1991)

표 1. 방사선의 산업적 이용

방사선작용	이용분야	이용 특성	이용사례
흡수 · 산란	계 측 제 어	방사선이 물질을 통과할 때 생기는 흡수산란	측후계, 밀도계, 수분계 자동계어계통
투 과	비 파 괴 검 사	물질의 투과력 및 투과량의 차	방사선투과검사 내부결합검사
조 사	물 질 개 선	고분자화합물의 架橋結合 Graft 重合	PE, 염색성향상 Tire의 加硫化 改善
	화 학 반 응	Free Radical 생성	염소화, 산화, 중합
	살 균 보 관	멸균, 생세포의 활동제어	의약품살균 식품보관
전 리 여 기	정 전 기 제 어	하전입자의 정전기 중화	정전기 제거장치
	방 전 유 발	하전입자에 의한 이온화	避雷器 등
	전 기 발 생	방사선의 기전력, 열발생	원자력전지
	빛 의 발 생	형광체에 의한 발광	야광도료
추 적 자	물 리 적	검출가능한 미량의 방사선 방출	용광로의 감손량 누수조사 등
	화 학 적	방사선발생 동위체로 행동	마모시험, 염료착색 도장두께 측정등
방 사 화	방사화 분석	중성자 및 미립자에 의한 유도방사능과 그 정량	비파괴정량, 극미량 물질의 검출정량

표 2. 비파괴검사의 종류 및 특징

종 류	특 징
방사선투과검사	방사선의 투과력 이용
초음파탐상검사	초음파의 투과, 반사 이용
자분탐상검사	누설자장 이용
와전류탐상검사	전자유도 현상 이용
침투탐상검사	모세관현상 이용
누 설 검 사	시험체내부와 외부와의 압력차 이용
음향방출검사	재료내에서의 음향방출 이용
기 타 검 사	

사용한 것이 시초이며 정부의 경제개발계획의 추진에 따라 원자력발전소, 조선, 방위산업, 석유화학 플랜트 등이 건설되면서 비파괴검사기술의 고도화가 요구되었고 보급 및 촉진되었다.

2. 방사선투과검사의 현황

2. 1 실시목적

방사선투과검사는 비파괴검사 전문용역업체 또는 일반기업체에서 관련 법규규격, 계약조건의 충족과 제품의 품질보증 및 품질관리와 신뢰성향상을 위해 실시하고 있으며 관련 법규를 살펴보면 표 3과 같다.

2. 2 방사선투과검사의 적용

국내에서 적용중인 비파괴검사방법중 방사선투과검사 분야가 전체의 80% 이상을 점유하고 있으며 약 85% 이상의 Ir-192 감마선원을 사용하고 있다.

방사선투과검사가 적용되고 있는 분야는 중공업, 에너지, 석유화학 분야가 전체의 80% 이상을 점유하고 있으며 검사 대상물의 형태는 용접부가 전체의 90% 이상이다. 검사 시기는 산업 설비의 제작 또는 건설중의 검사(사용전 검사) 전체의 90% 이상을 점유하고 있다.

표 3. 비파괴검사 관련 국내 법규

법 규 명	대 상
고압가스안전관리법	특정및 일반 제조시설의 배관, 용접용기, 압력용기, 저장탱크의 용접부(동력자원부 고시)
액화석유가스안전및사업관리법	액화석유가스 충전및 집단 공급시설의 배관 용접부
도시가스사업법	가스 도매사업 시설, 일반 도시가스 사업시설및 특정가스 사용시설의 배관용접부
에너지이용합리화법	열및 기타 에너지 사용시설과 기자재, 보일러및 압력용기 제작중의 용접검사
전기사업법	발전용 화력기(보일러등에 속하는 용기 및 관) 열교환기의 용접부(동력자원부의 전기공작물 용접기술기준령)

2. 3 방사선투과검사 실시기관 현황

방사선투과검사를 실시하고 있는 기관현황은 표 4와 같다.

표 4. 방사선투과검사 실시기관 현황

구 분	방사성 동위원소	방사선 발생장치
공공기관	2	10
연구소	1	3
교육기관		39
일반기업	10	63
비파괴전문용역업체	9	9
소 계	22	124

2. 4 비파괴검사 방법별 점유율

방사선의 산업적이용 현황을 개략적으로 추정하기 위하여 비파괴검사 전문용역업체와 일반기업체에서 실시하고 있는 비파괴검사 방법별 점유율을 보면 표 5와 같이 방사선투과검사가 절대 다수를 차지하고 있다.

표 5. 비파괴검사방법별 점유율

방 법	점유율(%)
방사선투과검사	83
초음파탐상검사	7
자분탐상검사	5
침투탐상검사	4
기 타	1

(주) 기타 검사는 방사성동위원소를 이용한 합금재질 확인검사 와전류탐상검사, 현장경도 검사 등이 있음.

(주) 1980년 일본용접협회의 설문조사에 의한 검사방법의 순위는 1) 초음파탐상검사 2) 방사선투과검사 3) 침투탐상검사 4) 자분탐상검사의 순이다.

2. 5 방사선투과검사의 산업분야별 적용

방사선투과검사가 활용되고 있는 산업분야를 살펴보면 중공업, 석유화학 플랜트산업, 에너지 관련산업, 압력용기등 장치류 제작업체, 조선및 해양구조물 제작업체 기타 연구단체등 거의 모든 산업시설 전반에서 활용되고 있으며 산업별 점유율은 표 6과 같다.

표 6. 방사선투과검사의 산업별 점유율(%)

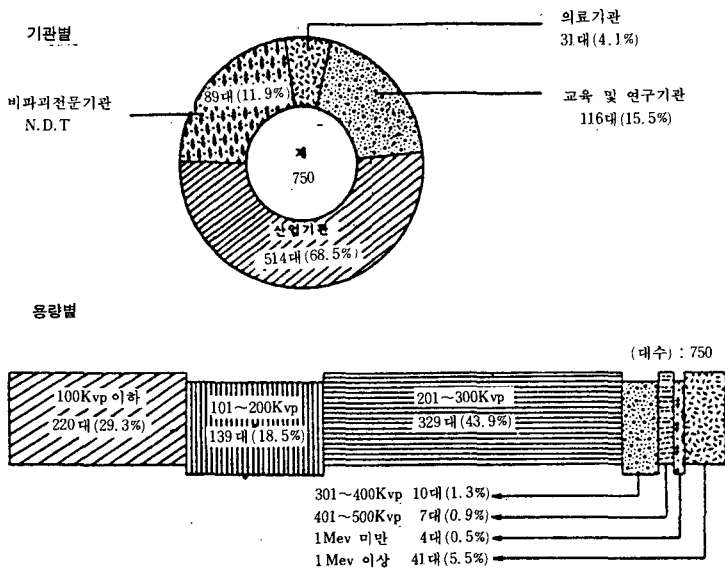
분 야	분 포	분 야	분 포
중공업	31	방위산업	3
에너지	30	조선	2
석유화학	19	건축	1
압력용기	3	기 타	11

(주) 위 도표는 비파괴검사 전문용역업체의 현황임

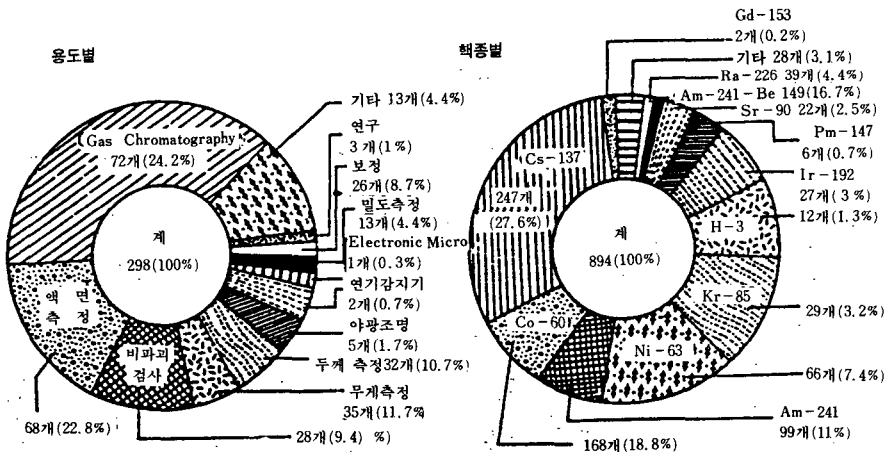
2. 6 방사선투과검사의 장비현황

방사성동위원소와 방사선발생장치의 국내 이용기관을 살펴보면 그림 1,2와 같으며 이중 비파괴검사가 차지하는 비율은 방사성동위원소의 이용기관 전체의 약 10%이며 방사선발생장치 이용기관 전체의 11.9%이다.

비파괴검사 전문용역업체에서 사용하는 방



〈그림 1〉 방사선발생장이용기관



〈그림 2〉 방사성동위원소 이용기관(산업기관)

사선투과검사 장비를 대략적으로 살펴보면 방사성발생장치는 140대, Ir-192 조사장치 383대, Co-60 조사장치 5대 등이다.

2. 7 방사성동위원소 사용 현황

방사선투과검사에서 사용되는 방사성동위

원소는 주로 Ir-192와 Co-60이나 20 Ci 정도의 Ir-192가 90%를 점유하고 있으며 Co-60은 두께가 두꺼운 검사 대상물에 사용되고 있다.

우리나라에서 사용되는 방사성동위원소중 Co-60과 Ir-192의 연도별 사용량과 특성은

표 7, 8과 같다.

표 7. Co-60과 Ir-192의 연도별 사용량

(단위 : Ci)

선원명	1988	1989	1990
Ir-192	19,030	19,410	25,668
Co-60	19,027	218,514	14,050

표 8. 방사선투과검사용 방사성동위원소의 특성

명 칭	반감기	적용두께	에너지(MeV)
Ir-192	약75일	1/2~3인치	0.31, 0.47, 0.60
Co-60	5.3년	3/2~9인치	.33, 1. 17

표 7에서 보는 바와 같이 Ir-192의 사용량은 매년 증가하고 있는 실정이며 앞으로 2000년대까지 원자력 및 수화력발전소의 건설, 도시가스, 지역난방 송유관, LNG 등의 배관망 확충과 석유화학 플랜트 및 중공업, 항공산업 등의 성장과 함께 비파괴검사와 더불어 방사성동위원소의 사용량이 급증할 것으로 추정된다.

2. 8 방사선안전관리 장비 현황

비파괴검사 전문용역업체의 방사선안전관리 장비 현황을 대략적으로 살펴보면 Survey Meter 400대, Alarm Monitor 1,110대, Dosimeter 1,200대, Film Badge 1,200개이며 Alarm Monitor를 작업자의 개인 필수지급 품목으로 선정함으로써 현장 안전관리가 현저히 개선되었다.

2. 9 인원 현황

비파괴검사 전문용역업체에서 종사하는 인원은 기술직 종사자가 약 1,300명이며 관리직 종사자가 약 200명으로 1,500명 정도이다.

2. 10 지역별 현장현황

비파괴검사전문용역업체의 작업 현장수는

전국적으로 약 1,000개소이며 이를 지역별로 분류하면 울산 22%, 창원 16%, 여천 6%, 경인 19%, 부산 7%, 경기 6%, 경남 4%, 전남 4%, 경북 4%, 충청 9%, 전북 2%, 강원지역 1% 등이다.

2. 11 비파괴검사 요원의 자격인정과 교육훈련 기관 현황

우리나라에서 적용하고 있는 비파괴검사 요원의 자격인정 현황은 표 9와 같으며 비파괴검사의 품질에 가장 많은 영향을 미치는 검사원의 교육훈련기관 현황은 아래와 같다.

표 9. 비파괴검사요원 자격인정 현황

○ 응시자격 요건

학력기준	기사1급	SNT-TC-1A(LevelIII)
4년제 대학 졸업자	동일 기술분야를 전공한자 또는 다른 기술분야를 전공한 자로서 동일 기술분야에서 2년이상 실무에 종사한 자	이공계 졸업자로서 해당기술 분야 LevelII에 상응하는 실무경력 1년 이상인 자
전문대학 졸업자	동일 기술분야를 전공한 자로서 당해 기술분야에서 2년 이상 실무에 종사한 자 또는 다른 기술분야를 전공한 자로서 동일 기술분야에서 4년이상 실무에 종사한 자	이공계 졸업자로서 해당기술 분야 LevelII에 상응하는 실무경력 2년 이상인 자
제한 없음	동일 기술분야의 기사 2급 자격을 취득한 후 당해 기술분야에서 2년 이상 실무에 종사한 자 또는 동일 기술분야에서 10년 이상 실무에 종사한 자	해당 기술분야 LevelII에 상응하는 실무경력 4년 이상인 자

* 두자격제도의 응시요건은 전체적으로 상호 유사함.

○ 자격인정 절차

구 분	국가기술자격(기사1급)	SNT-TC-1A (LevelIII)
주 관	한국산업인력관리공단	회사장, ASNT
출제및채점	한국산업인력관리공단	ASNT/회사장
시 험 과 목	비파괴검사개론, 금속재료및 용접기술	Basic Examination
	해당 비파괴검사법	Method Examination
	공업규격, 실기시험	Specific Examination
시 행	한국산업인력관리공단	ASNT/회사장
자 격 발 부	한국산업인력관리공단	회사장, ASNT
업 무 내 용	검사기법 선정, 절차서 운용, 검사결과 판정, 규격 해석등	좌 동

* 시험과목은 상호 유사한 종목끼리 묶은 것임.

2. 11. 1 한국비파괴검사학회

1982년 이래 총 7회에 걸쳐 미국비파괴검사학회의 ASNT LEVEL III 시험을 국내에 유치하고 동 시험대비 강습회를 개최하여 약 150명의 자격소지자를 배출하였으며 1987년 이후 국내 비파괴검사 전문가들로 강사진을 구성하여 비파괴검사기술 연수과정을 실시하고 있으며 동 강습회의 강좌에 방사선안전관리가 포함되어 있다. 아울러 방사선안전관리 의식을 고취시키기 위하여 1990년 비파괴검사 전문용역업체의 전체 종사자들을 대상으로 서울, 창원, 여천, 울산지역을 순회하며 방사선안전관리 교육을 실시하였으며 앞으로도 지속적으로 실시할 예정이다.

2. 11. 2 한국원자력연구소

1977년 이후 비파괴검사 기초과정과 전문 과정을 개설 운용하고 있다.

2. 11. 3 한국기계기술원과 한국표준과학연구원

1981년 이후 산업체의 요청에 의해 부정기적으로 특수 훈련과정을 실시하고 있다.

4) 비파괴검사전문 용역업체및 민간기업체

원자력법 시행령 301조에 의거 방사선 작업종사자에 대한 교육훈련을 사내 훈련 계획에 따라 자체적으로 실시하고 있는 한편 선배 기술자가 공장 및 현장에서 On the job training방법과 외부 교육기관에 위탁교육을 의뢰하고 있다.

2. 12 방사선투과검사의 이용 전망과 과제

2. 12. 1 방사선투과검사의 이용 전망

방사선투과검사는 에너지자원의 안정적인 확보를 위한 정부의 중·장기 계획에 따른 다음과 같은 신규 건설사업 등으로 지속적인 증가가 예상된다.

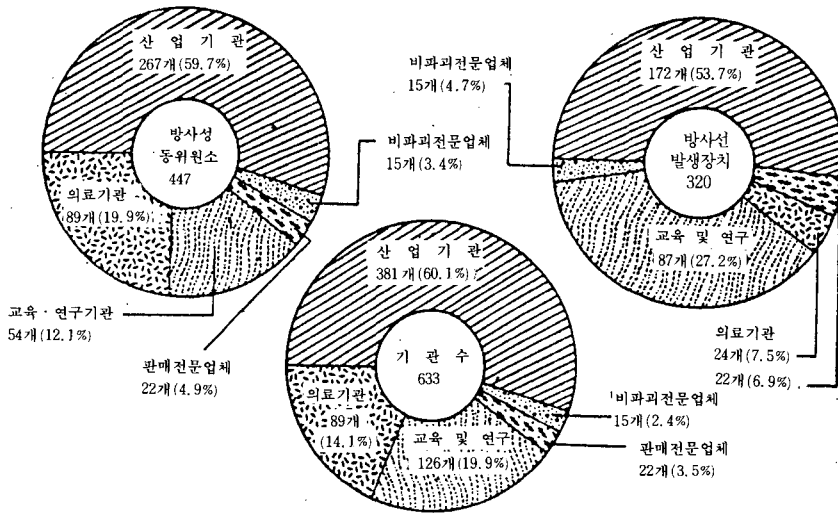
- 발전소 신규건설 사업(원자력 18기, 유연탄 28기, LNG 14기 등 85기)
- LNG 인수기지및 중부권, 호남권, 영남권 배관망의 건설사업
- 원유, 제품, LPG 비축기지 건설사업
- 남북및 호남권 송유관과 저유소 건설사업

산업이 발달할수록 구조물이 복잡해지고 다양한 재질의 사용이 증가하며 고온고압 또는 저온사용 조건 등으로 인해 용접, 재료의 문제점 등에 기인하는 파괴 등의 사고가 발생하고 있으며 이러한 사고를 미연에 방지하거나 최소화하기 위해서는 적절한 시기에 비파괴검사를 이용하는 것이 절실히 요망되므로 공장, 시설, 배관망 등의 유지보수, 관리목적의 비파괴검사의 증가가 예상된다.

2. 12. 2 방사선투과검사의 과제

방사선투과검사기술을 앞에서 서술한 바와 같이 모든 산업설비의 안전진단에 활용되고 있으나 방사선평폭을 얼마나 최소화 하느냐가 동 검사기술의 과제로 대두되고 있다. 방사선투과검사시 방사선안전사고의 발생원인을 살펴 보면 대략 다음과 같다.

- 열악한 작업환경으로 인한 종사자의 육



〈그림 3〉 기관별 방사성동위원소등의 이용현황

- 체적, 정신적 피로
- 무리한 작업완료 독촉
- 방사선발생장치의 취급 부주의 및 안전장치 미확인
- 방사선방어 3대 원칙 미준수(시간, 거리, 차폐)
- 방사선취급에 관련된 충분한 지식의 결여

- 방사선방어와 관련된 안전장구 등의 미비
 - 기타
- 방사선투과검사시의 안전사고를 미연에 방지하기 위해서는 방사선작업 종사자에 대한 충분한 사전교육 및 안전수칙의 준수와 위에 나열한 안전사고 원인을 해결할 수 있는 방안을 모색하여야 할 것이다.

표 10. 放射性同位元素 등의 利用기관現況

('89. 12. 31 현재)

기관		종류	방사성동위원소	Gas Chromatography	방사선발생장치	기관수	계
산업기관	일반산업체		267 (22)	72	172 (17)	381 (32)	511
	비파괴전문업체		15	-	15	15	30
	판매전문업체		22	-	22	22	44
	소 계		304 (22)	72	209 (17)	418 (32)	585
		의료기관	89	-	24	89	113
		교육 및 연구기관	54	-	87	126	141
		계	447	72	320	633	839

주: ()내의 숫자는 공공기관수 일반산업체에 포함.

표 11. 放射線發生裝置用途別 利用現況

기관별	용도	용량							계	기관수	
		100KVP 이하	101~200KVP	201~300KVP	301~400KVP	401~500KVP	1MeV 미만	1MeV 이상			
비파괴전문기관	비파괴검사		40	81					121	22	
산업기관	비파괴검사	조선			2				2	1	
		자동차							2	2	
		화학							2	2	
		파이프									
		항공		4	1				5	3	
		정밀기계		9	5				14	10	
		보일러	4	7					11	9	
	금속, 철강, 기계	중공업		1	4	1			2	8	6
		금속, 철강, 기계	29	40	25	4	4		1	103	55
		기타	5	4	3	1	1		2	16	12
	성분분석	금속속	22	3	1					26	19
		금속속	4							4	4
		유리	2							2	2
		기타	11	1						12	6
	두께측정	타이어	11	11						22	13
		타이어	4	7						11	2
		화분 측정 (제지)	3							3	2
수화물		14	3						17	8	
전선								2	2	2	
각도		8							8	6	
Gold 선		1							1	1	
이동 검사											
섬유류 품질 개선											
소계		118	130	126	6	5		7	392	187	
의료기관	치료		1					30	31	24	
교육 및 연구기관	비파괴검사		5	3	1	2		4	15	2	
	교육	20	23	25	2		1		71	66	
	성분 분석	25		3				2	30	19	
	소계	45	28	31	3	2	1	6	116	87	
총계		163	159	157	9	7	1	43	539	298	

3. 결 론

와 같이 비파괴검사분야의 방사선투과검사에
 서 많이 활용되고 있으며 이의 활성화를 위
 해서는 다음과 같은 각계의 지원과 노력이
 방사선의 산업적 이용은 위에서 살펴본 바

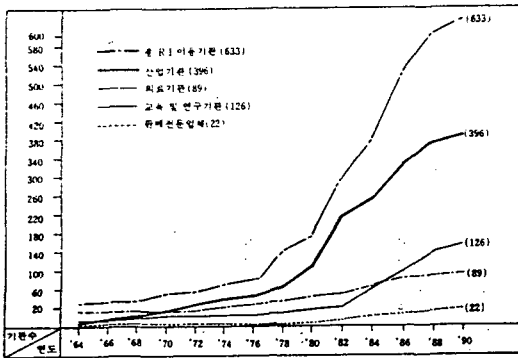
표 12. 主要使用核種 및 用途(산업기관)

용도	핵종														계	기관수		
	Am-241	Gd-153	Cs-137	Kr-85	Co-60	Ni-63	Sr-90	Pm-147	Rd-226	H-3	Ir-192	Am-241	기타					
유황 분석																		
성분 분석	2	2															14	9
무게 측정																	8	
· 화학분야			1	1													2	1
· 제지분야				9	17												1	27
· 기기분야	1			6				1	1								9	8
액면 측정																		
· 화학분야	1		21	1	11			1	1			1					37	35
· 식품·주류·음료분야	15		1		1												17	16
· 양회·유리분야	1																	1
· 분금속(비철금속)련	66		3		4							86					159	11
· 섬유분야			1														1	1
· 기기분야			83														119	4
연기감지기	2																2	2
Electronic Micro Leak test				1													1	1
두께 측정																		
· 화학분야	2		5	9	2			14									32	20
· 금속분야	4		91	1	122			1	2				1	1			223	12
밀도 측정																		
· 화학분야	2		8	1				1									12	10
· 석탄모래			33														33	3
· 기기분야							66										72	72
야간 조명								1									5	5
보정용	3				7			2	1	3			4	6			26	26
비파괴검사																		
· 비파괴전문업체					4												24	21
· 조선분야																	1	1
· 중공업분야																	1	1
· 기기분야																	5	5
연기구								1									11	13
수분 측정																	56	2
금탄상대감시																		
수정착색																	1	1
점등관방전									1								1	1

필요하다.

1) 방사선투과검사는 대부분 야간 또는 심

야작업으로 행해지고 있으며 시간적인 제약으로 인한 종사자들의 육체적, 정



〈그림 4〉 방사성동위원소등의 이용기관 수 연도별 증가추세

신적 피로가 방사선안전 사고를 유발할 수 있으므로 발주처 또는 제작회사에서는 이를 위한 별도의 작업장 마련과 주간작업으로의 전환이 필요하다.

- 2) 이동사용 장소에서의 통상적인 방사선 투과검사기술은 정착단계에 있으나 노후 장비의 교체, 장비의 양호한 상태 유지 및 보수, 종사자들에 대한 정기적인 교육 및 훈련, 안전관리의 강화 등을 통하여 방사선 피폭의 최소화와 노출예방을 기함으로서 방사선안전관리를 정착시켜야 한다.
- 3) 방사선투과검사는 고도의 검사기술인 만큼 이에 적절한 검사수가를 보장해 주어야 한다.
- 4) 방사선의 역할과 중요성에 비추어 발주

처의 인식제고가 요망된다.

- 5) 신기술개발 및 신장비의 도입, 전문 검사원의 양성을 위해 정부의 지속적인 지원과 산·학·연의 협동이 필요하다.
- 6) 선진국에서의 비파괴검사기술 발전과정과 방사선안전관리 문제 등을 고려하여 우리나라에서도 초음파탐상검사기술의 개발 및 저변확대가 필요하며 비파괴검사의 정량화와 자동화기술 개발이 요구된다.

References

1. S. A. McGuire and C. A. Peabody, "Working Safely in Gamma Radiography".(1986)
2. H. Lee and N. Ho, "Nondestructive Testing Activities in the Republic of Korea, Journal of KSNT, Vol 2. No 2 (1982)
3. "원자력연감 1991", 한국원자력산업회의,(1990) pp 514-528
4. "방사성동위원소의 이용기관 일람표", 과학기술처,(1988)
5. 박은수, "비파괴검사개론" 한국비파괴검사학회,(1990)
6. "비파괴검사현황" 일본용접협회(1980)
7. E. K. Han, "Nondestructive Testing Activities in the Korea" Journal of JS-NDI, Vol. 38, No. 6,(1989)