

국내 및 해외 비파괴검사 현황과 향후 전망

- I. 비파괴검사 개요
- II. 국내 비파괴검사 현황
- III. 해외 비파괴검사 시장
- IV. 비파괴검사 기술 동향 및 향후 전망
- IV. 맺음말



CONTENTS

I. 비파괴검사 개요	03
II. 국내 비파괴검사 현황	04
III. 해외 비파괴검사 시장	09
1. 비파괴검사 서비스 시장 현황	
2. 비파괴검사 장비 대여 서비스 시장 현황	
3. 비파괴검사 교육 서비스 시장 현황	
4. 비파괴검사 장비 교정 시장 현황	
IV. 비파괴검사 기술 동향 및 향후 전망	13
1. 비파괴검사 4.0	
2. 구조물 상태 모니터링	
3. 적층 제조 공정	
4. 복합 소재와 고급 합금	
5. 인공지능(AI)과 비파괴검사의 통합	
6. 증강현실(AR)과 가상현실(VR)	
7. 스마트 제조 및 산업 4.0 시대	
8. 석유 및 가스 산업의 도전	
9. 항공우주 산업의 전망	
10. 발전 분야의 비파괴검사 확대	
11. 자동차 산업의 긍정적 전망	
12. 떠오르는 건설산업의 기회	
IV. 맺음말	18
1. 글로벌 비파괴검사 시장의 성장	
2. 국내 비파괴검사 분야의 발전 과제	

☑ 본 보고서의 내용은 상업적 용도로 무단 사용할 수 없으며, 비상업적 용도로 내용을 인용 또는 전재 시 출처를 반드시 명시하여 주시기 바랍니다.

☑ 본 보고서는 비파괴검사 분야를 중심으로 작성하였습니다.

☑ 보고서 내용에 대한 문의는 아래의 연락처로 문의 바랍니다.
산업안전보건 인적자원개발위원회 사무국 담당자(02-6275-8657)

☑ 보고서 집필자 백민호, 기술진흥팀장(한국비파괴검사협회)

I. 비파괴검사 개요

비파괴검사(NDT: Non Destructive Testing)의 정의

비파괴검사는 “물리적 현상의 원리를 이용하여 검사할 대상물을 손상시키지 아니하고, 그 대상물에 존재하는 불안전성을 조사하고 판단하는 기술”(NDT법 제2조)로 정의된다.

☑ “비파괴검사기술의 진흥 및 관리에 관한 법률” 시행령 제2조(비파괴검사의 방법)에서 비파괴검사는 다음의 11가지 검사방법으로 규정하고 있다.

표 1 비파괴검사 방법(11가지)

국가기술자격증(6종목)		기타 검사방법(5종목)	
1. 방사선 비파괴검사	2. 초음파 비파괴검사	7. 음향방출 비파괴검사	8. 육안 비파괴검사
3. 자기 파괴검사	4. 침투 비파괴검사	9. 열화상 비파괴검사	10. 중성자 비파괴검사
5. 와전류 비파괴검사	6. 누설 비파괴검사	11. 응력측정 비파괴검사	

☑ 비파괴검사의 활용 : 국가 중요 고위험 인프라의 안전과 신뢰성 보장

- 사고 예방 제품이나 설비의 잠재적인 결함과 위험 인자를 조기에 감지하여 안전성 확보
- 가동중지시간 단축 소재나 시스템의 가동 중 검사를 통해 공정 중단으로 인한 손실 방지
- 친환경 소재의 샘플링 없이 검사가 가능(제품 손상 없이 경제적이고 환경 친화적)
- (다양한 검사방법에 의한) 종합 검사 가능 ➡ 향상된 제품 신뢰성 확보

그림 1 비파괴검사기술의 활용 분야



II. 국내 비파괴검사 현황

- ☑ 국내에서 비파괴검사를 수행하고자 하는 자는 비파괴검사기술의 진흥 및 관리에 관한 법률에 따라 비파괴검사를 업으로 등록해야 하며 현재 국내에 등록된 검사업체는 약 250개사(2024년 11월 현재)에 달한다.

표 2 비파괴검사업 등록업체 현황

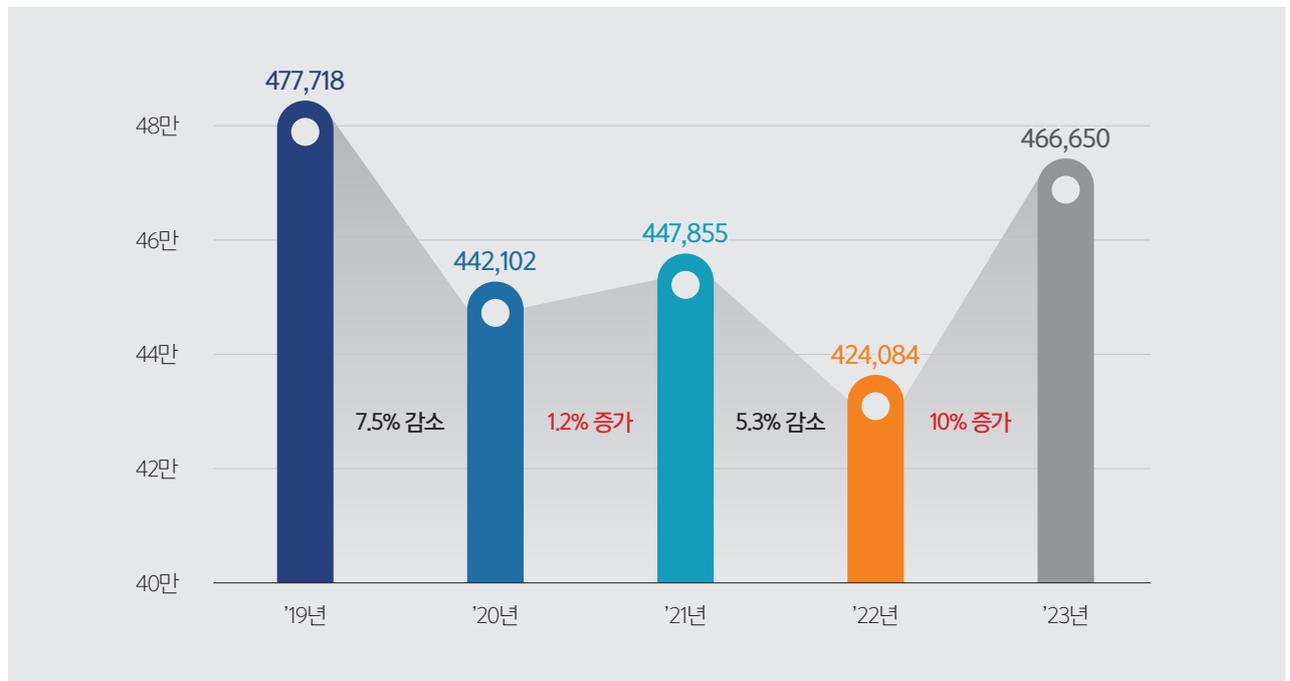
연도	전문 검사업체		다른 법령에 의한 등록업체				계	
	RT등록	RT미등록	위험물안전 관리법	토양환경 보전법	건설기술 관리법	시설물 안전법		소계
'19년	56	131	5	3(3)	1	-	9	196
'20년	57	153	5	6(3)	2	-	10	220
'21년	58	161	6	6(3)	1	1	11	230
'22년	56	178	5	5(3)	-	2	9	243
'23년	53	177	6	5(4)	-	1	8	238

* 출처: 한국비파괴검사협회

- ☑ 국내 비파괴검사업체의 매출액 규모는 코로나-19로 인한 글로벌 경기 침체의 여파로 상승과 하락을 반복하였고, 최근 들어 점차 회복되는 추세에 있다. 2023년 전체 매출액 규모는 약 4,660억 원으로 전년 대비 약 10% 증가하였으며, 매출 상위 10개 업체의 매출액은 약 2,449억 원으로 전체 매출액의 약 54%를 차지하고 있다.

그림 2 국내 비파괴검사 분야 매출액 현황

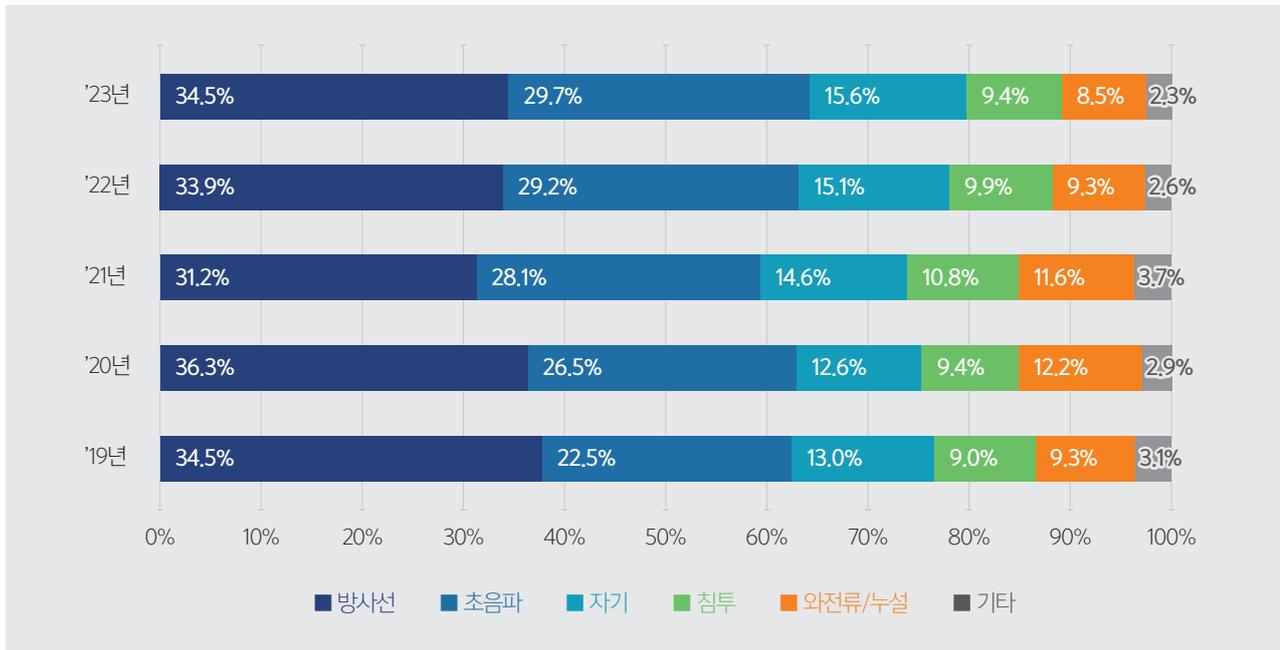
단위: 백만원



* 출처: 한국비파괴검사협회

☑ 비파괴검사 방법별로 매출액의 비중을 살펴보면 방사선, 초음파, 자기, 침투 비파괴검사로 약 89.2%의 비중을 차지하고, 나머지 검사 방법은 10.8% 정도의 낮은 비중을 보인다. 비중이 가장 높은 검사 방법은 방사선 비파괴검사로 약 34.5%를 차지하고 있고 다음으로는 초음파 비파괴검사가 29.7%를 차지하고 있다.

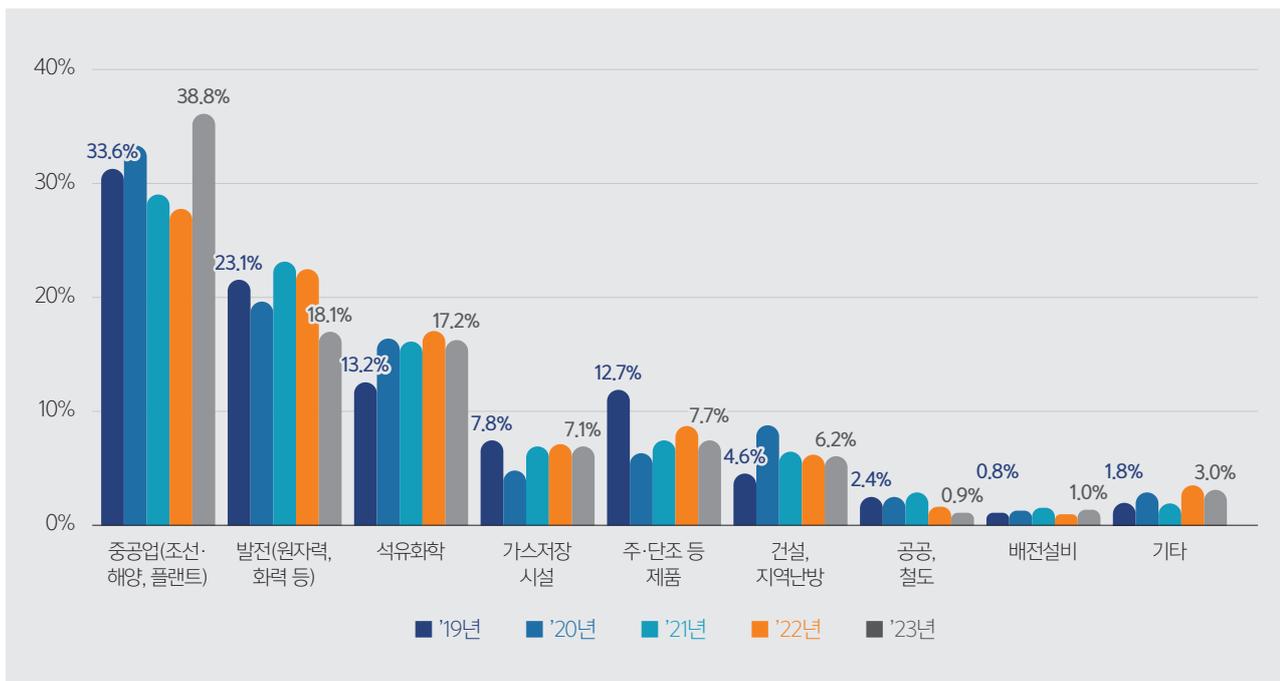
그림 3 국내 비파괴검사 방법별 매출액 비중



* 출처: 한국비파괴검사협회

☑ 국내에서 비파괴검사가 가장 많이 적용되는 분야는 중공업(조선·해양 및 플랜트)으로 매출 비중이 전년 대비 약 9% 정도 상승한 약 38.8%이고, 다음으로 석유·가스 분야가 24.3%, 발전 분야가 18.1%로 조사되었다. 발전 분야는 전년 대비 약 5.8% 감소하였으며 다른 산업 분야의 경우 큰 변동이 없었다.

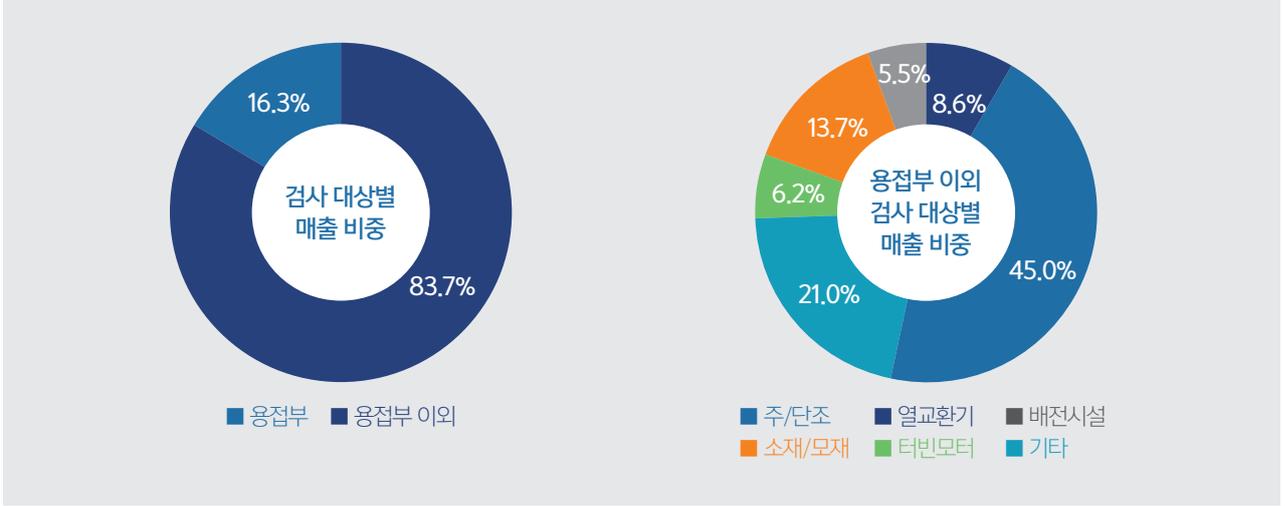
그림 4 국내 비파괴검사 적용 분야별 매출액 현황



* 출처: 한국비파괴검사협회

☑ 국내 비파괴검사는 약 80% 이상이 용접부 검사이며, 이 수치는 매년 큰 변동이 없다. 용접부를 제외하면 주·단조품 검사가 45%로 가장 많고 다음으로 소재/모재(13.6%), 열교환기(8.6%) 순으로 나타난다. 기타 분야에는 소재검사, 두께측정, 배전설비, 복합소재 등이 포함된다.

그림 5 국내 비파괴검사 적용 대상별 매출액 비중



* 출처: 한국비파괴검사협회

☑ 국내 시장 포화현상에 따른 기업의 해외 진출도 조금씩 증가하고 있다. 현재 아시아 1개국, 중동 4개국, 아메리카 1개국 등으로 조사되었으며 국내 기업의 현지 법인은 5개 사업장으로 조사되었다.

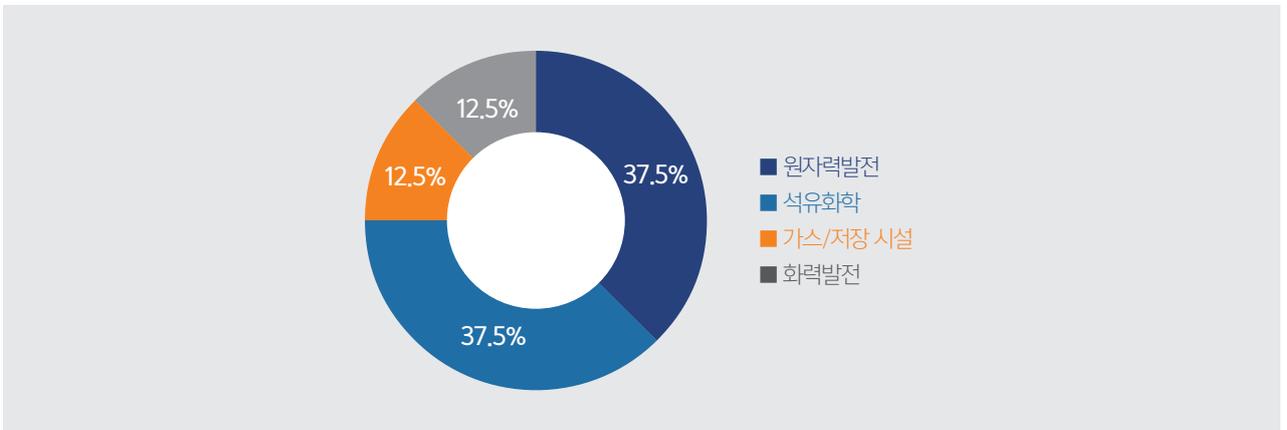
표 3 국내 비파괴검사업체 해외 진출 현황

국가	중동				아시아	아메리카	총계
	이라크	카타르	아랍에미리트	이집트	인도네시아	미국	
업체수	1	1	2	1	1	1	7

* 출처: 한국비파괴검사협회

☑ 해외진출 분야별로 살펴보면 석유·화학 및 원자력 분야가 각각 37.5%를 차지하고 뒤를 이어 가스/저장시설 및 화력발전 분야가 12.5%로 조사되었다.

그림 6 국내 비파괴검사 적용 대상별 매출액 비중



* 출처: 한국비파괴검사협회

☑ 현재 국내 비파괴검사업체에 근무하는 종사자는 약 6천명 이상이고, 그 가운데 비파괴검사를 수행하는 검사자는 약 5천명 정도이다. 아래 최근 현황에서 주목되는 것은 책임자의 수는 계속 증가하고 있으나 검사자의 수는 상대적으로 지속 감소하고 있다는 점으로 이는 신규 검사자의 유입이 지속해서 감소하고 있음을 나타내고 있다.

표 4 최근 5년간 비파괴검사자 현황

구분	비파괴검사자(명)				
	2020년	2021년	2022년	2022년	2023년
검사자	2,293	2,316	2,102	1,873	1,777
검사책임자	1,958	2,150	2,356	2,495	2,562
준하는 자격	455	483	462	487	404
합계	4,706	4,949	4,920	4,855	4,743

* 출처: 한국비파괴검사협회

- 검사자 비파괴검사 기사 5년 미만, 산업기사 8년 미만, 기능사
- 책임자 비파괴검사 기술사, 기사 5년 이상, 산업기사 8년 이상
- 준하는 자 SO 9712 자격자, 방사선 비파괴검사(RI 면허자 또는 원자력안전법 제106조에 따른 교육 이수자)

☑ 국가기술자격 시험을 주관하고 있는 한국산업인력공단에서 발표한 비파괴검사 국가기술자격 취득자 현황을 살펴보면, 전체 자격증 취득자 중 기술사의 60.6%가 현재 비파괴검사 등록업체에서 근무하는 것으로 파악된다. 또한, 기사의 39.7%, 산업기사의 20.9%, 기능사의 14.3%가 등록업체에서 근무하고 있다.

표 5 국가기술자격증 발급 대비 비파괴검사자 현황 비교

자격	기술사			기사			산업기사			기능사			
	전체 발급 현황	검사자 현황	비율(%)	전체 발급 현황	검사자 현황	비율(%)	전체 발급 현황	검사자 현황	비율(%)	전체 발급 현황	검사자 현황	비율(%)	
RT	99	60	60.6	3,440	1,343	39.0	1,446	308	21.3	13,669	1,730	12.7	
UT				2,251	1,062	47.2	1,049	355	33.8	6,858	1,399	20.4	
MT				4,281	1,837	42.9	2,585	652	25.2	11,149	1,761	15.8	
PT				7,291	2,325	31.9	5,068	808	15.9	16,796	2,039	12.1	
LT				1,234	670	54.3	-	-	-	-	-	-	-
ECT				1,068	534	50.0	-	-	-	-	-	-	-
합계	99	60	60.6	19,565	7,771	39.7	10,148	2,123	20.9	48,472	6,929	14.3	

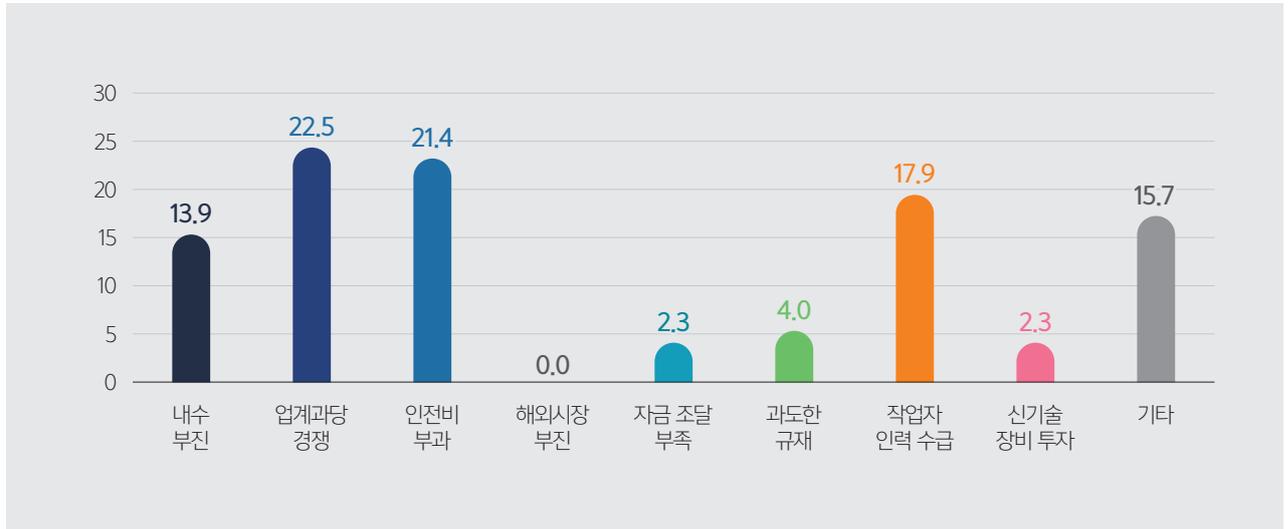
* 출처: 한국비파괴검사협회

** 누설비파괴검사 및 와전류비파괴검사의 산업기사, 기능사 자격 취득현황은 각 시험의 폐지로 제외

** 자격증 발급 현황-2023년 12월 31일 기준(한국산업인력공단) / 자격증 등록 현황-2023년 8월 8일 기준(한국비파괴검사협회)

- 비파괴검사업체들이 겪고 있는 사업 운영상의 애로사항으로는 과당경쟁을 약 22.5%로 가장 많은 응답을 보였다. 다음으로 인건비 부담을 약 21.4%로 응답했다. 인력 수급에 대해 수치가 전년과 비슷하게 조사되었는데 인력난 문제가 장기적으로 해결되지 않고 있음을 보여주고 있다

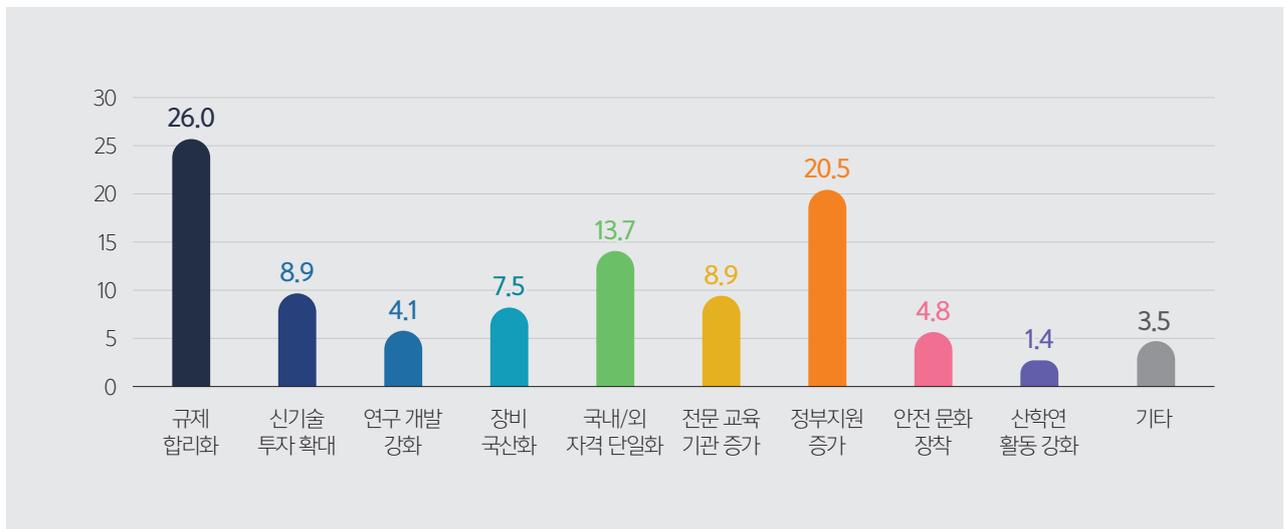
그림 7 국내 비파괴검사업체의 사업 운영상 애로사항



* 출처: 한국비파괴검사협회

- 장기적으로 비파괴검사의 발전을 위하여 우선 해결되어야 할 과제에 대한 질문의 가장 많은 업체에서 규제의 합리화 (26.0%)를 최우선 과제로 꼽았다. 다음으로 정부 지원 증가(20.5%), 국내·해외 자격 단일화(13.7%) 순으로 조사되었다.

그림 8 국내 비파괴검사 발전을 위한 선결 과제



* 출처: 한국비파괴검사협회

III. 해외 비파괴검사 시장

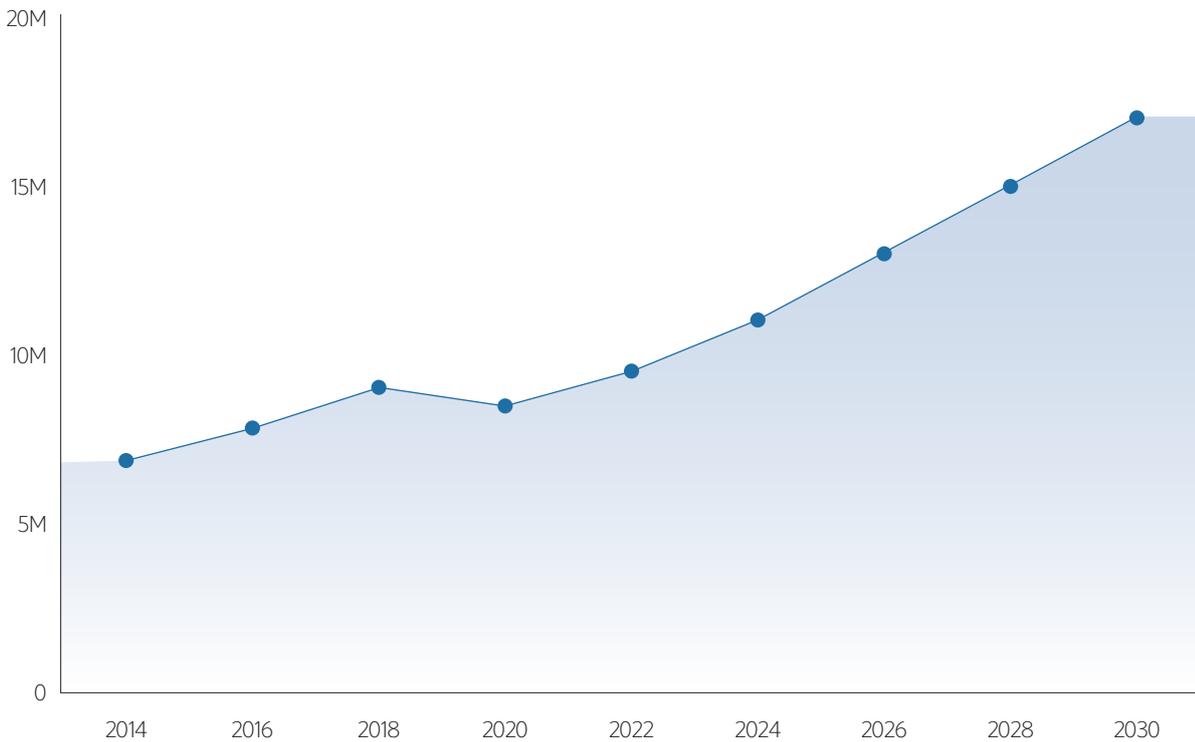
01 비파괴검사 서비스 시장 현황

✓ 글로벌 비파괴검사 서비스 시장은 이제 팬데믹으로 인한 정체기를 넘어 다시 지속 성장추세에 접어들었고, 2023년 102억 달러로 추산된 시장 규모는 2030년 172억 달러에 도달할 것으로 예상되며, 연평균 성장률 약 8%의 고부가가치 산업으로 전망되고 있다. 특히 미국은 비파괴검사 서비스에서 가장 큰 지역 시장으로 2023년 세계 전체의 약 37.0%를 차지하고 있으며 시장 규모는 약 38억 달러로 2030년까지 61억 달러에 도달할 것으로 예상된다.

표 6 세계 비파괴검사 서비스 시장 현황

(단위: 미화 천달러)

연도	2014	2016	2018	2020	2022
세계	6,858,205.0	7,823,408.9	8,997,524.7	8,535,313.0	9,476,661.4
연도	2024	2026	2028	2030	%
세계	10,951,932.6	12,947,056.2	15,077,131.6	17,228,661.0	7.9



* 출처: Global Industry Analysts, Inc(2024)

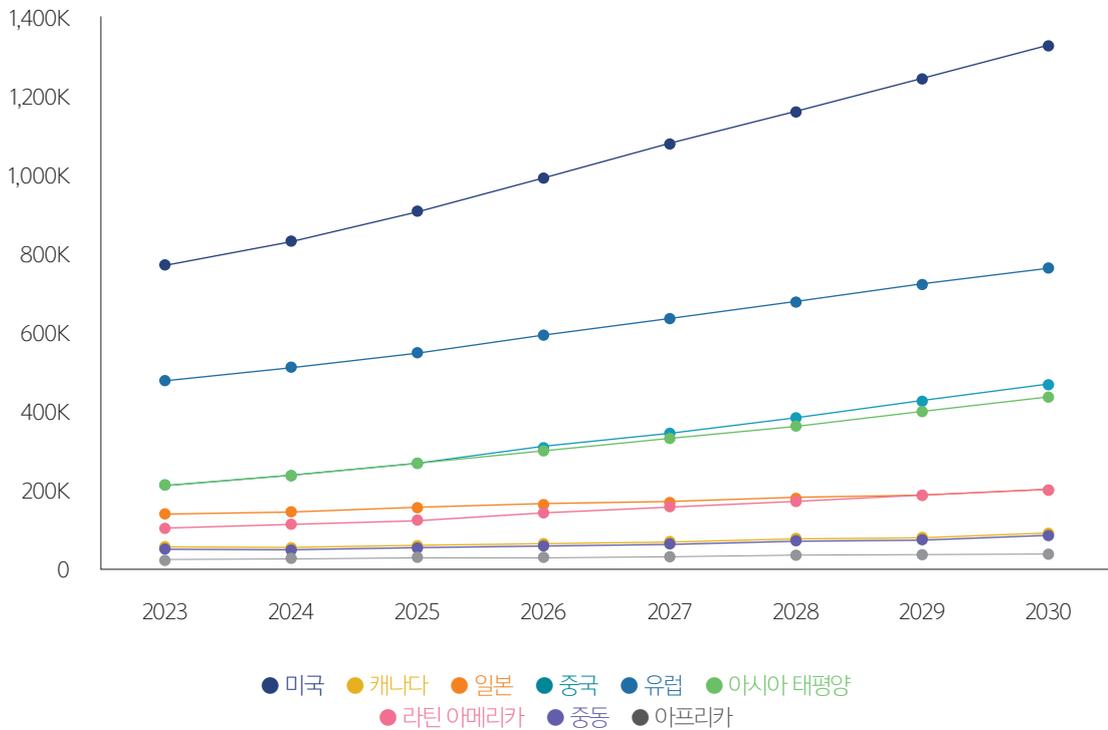
02 비파괴검사 장비 대여 서비스 시장 현황

장비 대여 서비스의 세계 시장은 2023년 21억 달러로 추산되며, 2030년 36억 달러에 도달할 것으로 분석 기간 8.4%의 연평균 성장률이 예상된다. 미국의 시장 규모가 제일 크며, 2023년 세계 매출의 37.6%를 차지한다.

표 7 세계 지역별 장비 대여 서비스 시장 현황

(단위 : 미화 천달러)

지역	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	%
미국	774,395.9	837,818.9	910,709.1	995,496.1	1,079,018.2	1,162,750.0	1,246,584.3	1,330,354.8	8.0
캐나다	54,673.8	58,714.2	63,317.4	68,629.7	73,818.1	78,985.4	84,119.5	89,217.1	7.2
일본	138,431.5	146,252.9	155,028.1	164,980.9	174,516.8	183,853.4	192,990.9	201,945.7	5.5
중국	215,689.5	241,744.8	272,760.7	310,183.5	348,553.2	388,462.5	429,756.1	472,344.9	11.8
유럽	481,598.9	515,093.9	553,180.4	597,013.2	639,669.1	682,036.9	724,045.0	765,689.2	6.8
아시아 태평양	218,098.3	241,291.1	268,584.4	301,136.9	334,103.9	368,043.4	402,829.6	438,409.4	10.5
라틴 아메리카	104,815.0	115,447.0	127,923.5	142,760.2	157,720.9	173,069.1	188,752.7	204,748.7	10.0
중동	45,448.2	49,543.1	54,284.4	59,843.1	65,360.6	70,935.9	76,554.0	82,211.3	8.8
아프리카	23,876.1	25,876.9	28,179.9	30,862.6	33,507.5	36,164.6	38,826.3	41,493.7	8.2
합계	2,057,027.2	2,231,782.8	2,433,967.9	2,670,906.2	2,906,268.3	3,144,301.2	3,384,458.4	3,626,414.8	8.4



* 출처: Global Industry Analysts, Inc(2024)

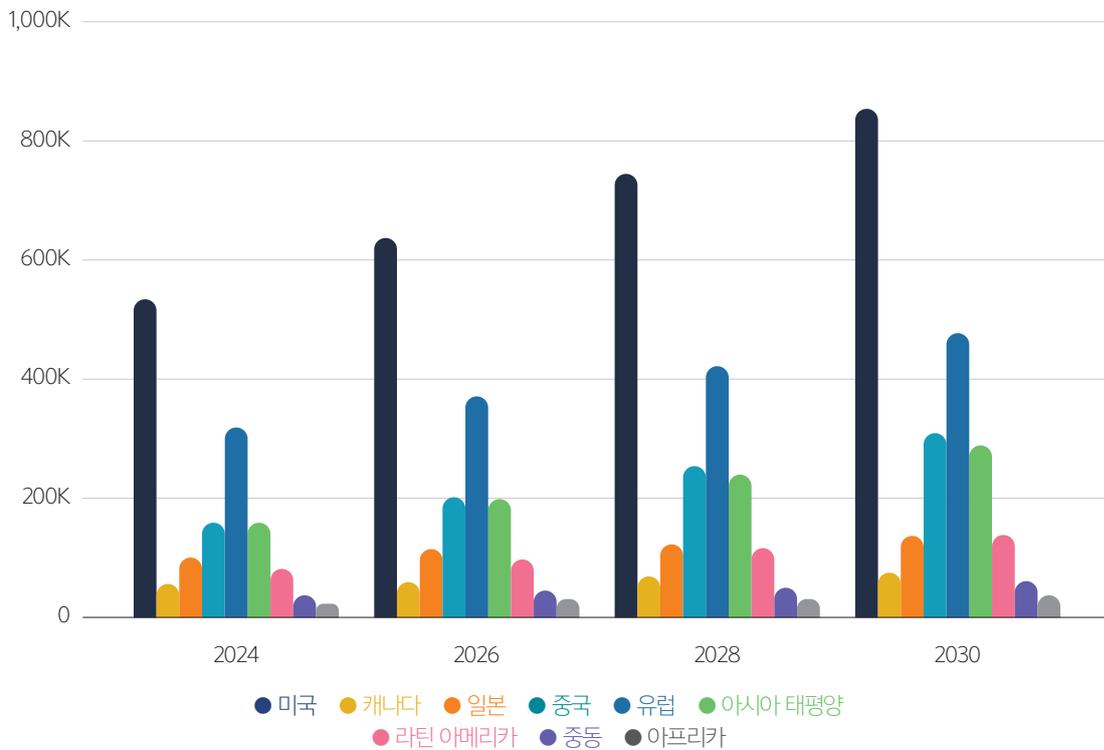
03 비파괴검사 교육 서비스 시장 현황

비파괴검사 교육 서비스의 2023년 13억 달러로 추산되며, 2030년 23억 달러에 도달할 것으로 분석 기간 8.9%의 연평균 성장률이 예상된다. 미국의 시장 규모가 제일 크며, 2023년 세계 매출의 39.0%를 차지했다.

표 8 세계 지역별 교육 서비스 시장 현황

(단위 : 미화 천달러)

지역	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	%
미국	488,718.8	530,553.1	578,833.4	635,096.0	690,730.4	746,748.6	802,978.8	859,347.9	8.4
캐나다	36,045.4	38,900.2	42,171.7	45,962.9	49,681.3	53,402.4	57,119.2	60,826.2	7.8
일본	83,144.6	88,058.4	93,588.5	99,877.6	105,920.2	111,851.7	117,668.0	123,374.9	5.8
중국	129,672.9	146,517.4	166,722.1	191,313.6	216,739.2	243,398.1	271,194.2	300,076.4	12.7
유럽	288,817.1	310,059.5	334,327.5	362,367.4	389,795.8	417,157.1	444,395.8	471,516.0	7.3
아시아 태평양	131,599.0	146,491.9	164,138.7	185,338.2	206,958.5	229,357.7	252,459.2	276,238.3	11.2
라틴 아메리카	60,767.2	67,246.1	74,883.7	84,015.6	93,278.7	102,833.6	112,647.2	122,701.1	10.6
중동	22,936.9	25,111.3	27,637.5	30,611.3	33,577.5	36,589.4	39,637.3	42,717.1	9.3
아프리카	12,543.1	13,643.1	14,913.3	16,398.7	17,869.7	19,352.9	20,845.0	22,343.8	8.6
합계	1,254,245.0	1,366,581.0	1,497,216.4	1,650,981.3	1,804,551.3	1,960,691.5	2,118,944.7	2,279,141.7	8.9



* 출처: Global Industry Analysts, Inc(2024)

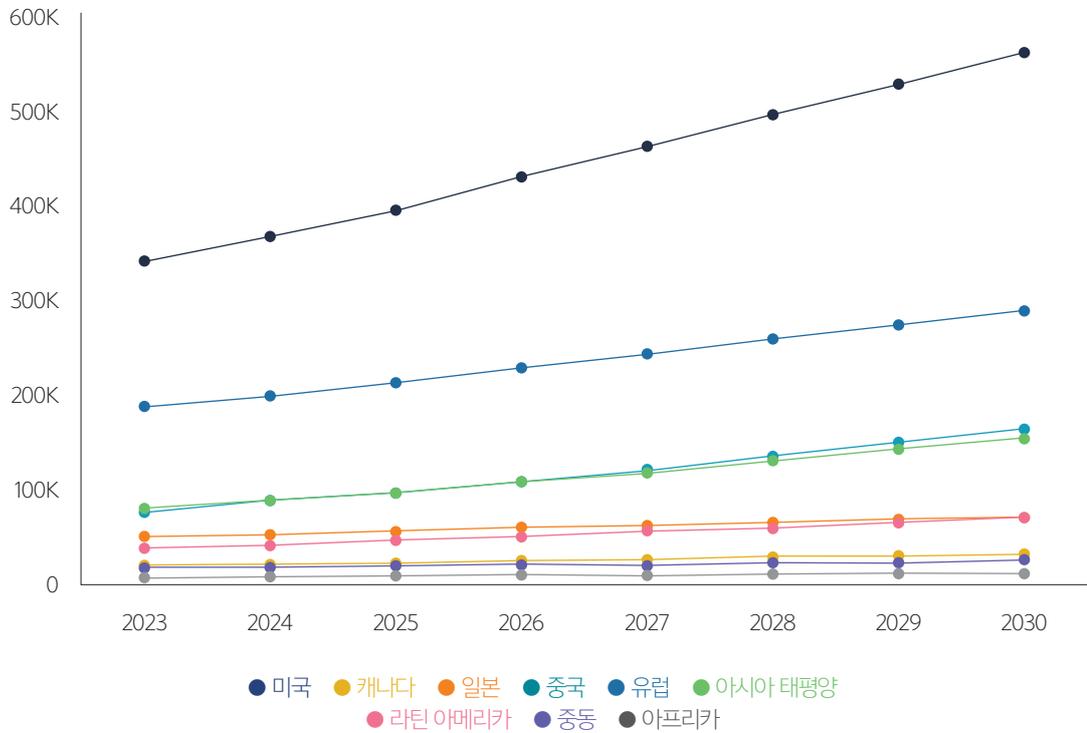
04 비파괴검사 장비 교정 시장 현황

☑ 비파괴검사 장비 교정(calibration)의 세계 시장은 2023년 8억 1,770만 달러로 추산되며, 2030년 14억 달러에 도달할 것으로 분석 기간 7.8% 연평균 성장률이 예상된다. 미국의 시장 규모가 제일 크며, 2023년 세계 매출의 41.7%를 차지했다.

표 9 세계 지역별 장비 교정 시장 현황

(단위 : 미화 천달러)

지역	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	%
미국	340,701.4	366,254.0	395,444.4	429,175.8	462,136.5	494,994.4	527,664.0	560,168.1	7.4
캐나다	20,201.7	21,660.3	23,319.5	25,231.7	27,093.8	28,944.3	30,779.4	32,601.5	7.1
일본	50,782.9	53,433.8	56,394.0	59,738.2	62,928.2	66,036.9	69,068.0	72,024.1	5.1
중국	77,364.3	86,385.0	97,079.5	109,932.8	123,036.8	136,607.8	150,596.4	164,978.4	11.4
유럽	187,974.9	200,007.3	213,615.7	229,192.4	244,271.5	259,165.6	273,861.0	288,373.4	6.3
아시아 태평양	80,140.1	88,210.2	97,660.8	108,876.9	120,164.2	131,716.9	143,502.8	155,495.2	9.9
라틴 아메리카	37,696.1	41,294.9	45,496.1	50,462.3	55,442.8	60,524.8	65,691.1	70,937.2	9.5
중동	15,509.7	16,807.9	18,302.1	20,040.8	21,754.3	23,477.2	25,202.8	26,931.7	8.2
아프리카	7,304.1	7,887.0	8,555.0	9,330.1	10,092.4	10,855.4	11,617.4	12,378.3	7.8
합계	817,675.2	881,940.4	955,867.1	1,041,981.0	1,126,920.5	1,212,323.3	1,297,982.9	1,383,887.9	7.8



* 출처: Global Industry Analysts, Inc(2024)

IV. 비파괴검사 기술 동향 및 향후 전망

01 비파괴검사 4.0

- ✔ 비파괴검사 및 비파괴평가(NDT/NDE)는 Industry 4.0에서 영감을 받은 디지털 혁신으로 인해 큰 변화를 겪고 있다. Industry 4.0은 인공지능, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 가상 물리시스템 및 디지털 트윈과 같은 첨단 기술을 활용하여 제조 공정의 자동화를 목표로 하며, 이 원칙이 비파괴검사에도 적용된 것이다. 비파괴검사/평가 4.0은 이러한 기술을 통해 검사 방식과 제조 공정의 통합을 더욱 효율적으로 변경하고 있다.
- ✔ 특히, 인공지능은 결함 탐지를 자동화하고, 빠른 학습을 통해 검사자의 결정을 지원하는 중요한 기술로 자리 잡았다. 기공 및 균열 같은 미세한 결함까지도 정밀하게 탐지할 수 있으며, 복잡한 적층 제조 부품을 검사하는 데 중요한 컴퓨터 단층 촬영(CT)은 세밀한 분석을 통해 제품의 안전성과 신뢰성을 보장한다. 이러한 기술은 제조 공정에서 비파괴검사의 역할을 강화하고 있다.

표 10 비파괴검사 4.0의 장점과 주요 내용

구분	주요 내용
향상된 데이터 관리 및 분석	3D 체적 데이터와 대용량 문서의 생성 및 관리를 용이하게 하여 더 자세하고 포괄적인 검사가 가능하며, 구조적 무결함을 실시간으로 검사함으로써 정확성과 신뢰성을 향상
운영 효율성 증대	프로세스를 자동화하고 고급 검사 장비를 단일 기록 소스로 통합하여 검사 작업을 간소화할 수 있고, 자동화로 수동 작업을 줄이고 검사 프로세스를 가속화하여 오류를 최소화
인력 개발	숙련된 전문가의 고급 장비와 기술을 공유하여 교육 훈련을 향상시키고, 디지털 시스템의 통합으로 지속 학습과 기술 개발을 용이하게 하여 기술인력이 최신 기술을 학습하는데 도움을 줌
향상된 고객 서비스	정확하고 신뢰할 수 있는 검사 결과를 제공하여 신뢰도를 향상시키고, 원격 검사 및 다양한 위치에서 전문 지식을 활용할 수 있는 기능을 통해 고객에게 지리적 제약에 관계없이 고품질 서비스를 제공
비파괴검사/비파괴평가 4.0의 미래 의미	디지털화를 통해 검사 장비는 상호 연결되고, 검사 작업은 자동화되며, 데이터 분석은 정교해짐. 이러한 진화를 통해 보다 포괄적이고 신뢰성 있는 검사를 제공하여 다양한 산업에서 안전성과 효율성을 개선

02 구조물 상태 모니터링

- ✔ 구조물 상태 모니터링(Structural Health Monitoring, SHM)은 교량, 건물, 댐 등 주요 인프라의 안전을 유지하는 데 필수적이다. 구조물은 시간이 지나면서 노후화되거나 환경적 영향 및 지진 같은 예기치 못한 사건으로 손상될 수 있다. SHM은 첨단 기술을 사용해 지속적으로 모니터링하여 잠재적 문제를 조기에 발견하고, 사전 예방적 유지보수를 통해 안전성과 수명을 연장한다.
- ✔ SHM 시스템은 Strain 게이지, 압력계, 기울기 미터 등 다양한 센서를 사용해 구조적 변화를 감지하며, 수집된 데이터를 실시간으로 분석하고 원격으로 관리할 수 있다. 이를 통해 문제를 조기에 발견하고 즉각 대응할 수 있어, 수리 비용 절감과 경제적 손실 방지에 중요한 역할을 한다.
- ✔ 비파괴검사는 SHM에서 핵심적인 역할을 하며, 구조물 손상 없이 균열, 습기, 변형 등의 이상을 감지하는 기술로, 여러 기법을 결합해 정확성과 신뢰성을 높인다. 특히 인공지능과 머신러닝 기술이 비파괴검사와 통합되면서 방대한 양의 데이터를 분석하고, 결함을 예측하는 기능이 강화되었다. 인공지능 알고리즘은 패턴을 감지해 실시간 모니터링과 신속한 의사 결정을 지원한다.

03 적층 제조 공정

- ✓ 적층 제조는 기존의 절삭 제조와 달리 재료를 층층이 쌓아 3D 모델을 만드는 혁신적인 방식으로, 항공우주, 자동차, 의료 분야 등에서 널리 활용되고 있다. 이 기술은 가볍고 강하며 복잡한 디자인의 부품을 제작할 수 있지만, 층 간의 약점, 재료 밀도 불일치, 기공 등 결함이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 비파괴검사가 적층 제조 공정에서 중요한 역할을 하며, 결함을 조기에 감지하고 수정하여 제품의 구조적 무결성과 내구성을 보장한다.
- ✓ 비파괴검사는 적층 제조 공정의 여러 단계에서 결함을 탐지해 생산 효율성을 높일 수 있다. 특히 실시간 관찰 시스템이 개발되어 프린팅 과정에서 즉각적으로 결함을 수정하고, 소재 낭비를 줄인다. 인공지능과 머신러닝 기술이 결합한 비파괴검사 시스템은 데이터를 자동으로 분석해 결함 탐지의 속도와 정확성을 크게 향상했다.
- ✓ 그러나 3D 프린팅에서 기존의 비파괴검사 방법을 적용하는 데는 과제가 남아 있다. 적층 제조 특유의 기하학적 구조와 소재 속성에 맞는 비파괴검사 표준이 여전히 개발 중이며, 이를 위해 업계 전문가와 연구자 간의 협력이 필요하다.

04 복합 소재와 고급 합금

- ✓ 복합 소재와 고급 합금제조 과정과 수명 주기 동안 무결성과 안전성을 유지하려면 비파괴검사가 필수적이다. 비파괴검사는 제조, 조립, 유지보수 단계에서 결함을 조기에 발견해 소재의 성능을 유지하고 사고를 방지한다. 복합 소재는 층 간 약점, 재료 밀도 불일치 등의 결함이 발생하기 쉬우며, 고급 합금은 화학적 조성 변화로 인한 문제를 겪을 수 있는데, 비파괴검사를 통해 조기에 감지하고 해결함으로써 성능 저하를 예방할 수 있다.
- ✓ 또한 장기적인 내구성 및 수명 주기에 대한 데이터를 제공하여 부품 교체와 유지보수 일정을 정하는 데 필수적이다. 산업 전반에서 비파괴검사를 통해 안전 및 규정을 준수하고, 제품의 품질과 신뢰성을 유지할 수 있다. 비파괴검사의 미래는 인공지능과 머신러닝을 통해 더욱 자동화되고 정교해질 것이며, 이는 검사 속도와 신뢰성을 높이고, 인간의 오류를 최소화할 것으로 기대된다.

05 인공지능(AI)과 비파괴검사의 통합

- ✓ Industry 4.0을 통해 비파괴검사 4.0이 발전하면서 인공지능은 인간의 실수와 관련된 요소들을 예방하며, 잠재적 결함에 자동으로 레이블을 지정한다. 검사자의 피로도와 주의력의 영향을 줄이고, 일관된 결함 분류를 지원하며, 중요한 세부 사항에 집중할 수 있도록 이미지 품질을 최적화하며 결함 탐지율을 향상한다.
- ✓ 인공지능은 부품을 자동으로 인식하고, 검사 데이터 관리 시스템(Inspection Data Management System, IDMS)에 통합하여 품질보증을 개선한다. 과거 검사 데이터를 분석하고 패턴을 식별함으로써 문제를 사전에 감지하고, 침식, 부식 등의 징후를 자동으로 감지하는 기능을 수행하며, 이를 통해 검사자의 수동 검토를 최소화하고, 미세한 결함을 식별할 수 있다.
- ✓ 효과적인 인공지능 활용을 위해 고품질 데이터베이스가 필수적이며, 검사 작업 흐름을 디지털화하여 데이터와 보고서의 가용성을 보장하는 것이 중요하다. 영상 저장 전송 시스템(Picture Archiving and Communication System)은 주요 검사 시스템과 연결되어 데이터 수집에서 평가, 관리, 보관까지의 전체 프로세스를 간소화하고, 인공지능 모델 훈련과 검사 프로세스 개선을 위한 우수한 데이터베이스를 제공한다.

06 증강현실(AR)과 가상현실(VR)

- ✓ 증강현실은 육안으로 볼 수 없는 결함을 시각화하는 데 유용하며, 결함의 3D 모델을 실제 검사 부품에 투사함으로써 검사자는 결함의 위치, 크기, 특성을 보다 정확히 이해할 수 있다. 또한 단계별 지침을 제공하여 검사자가 실제 부품에 중첩된 지침을 따라 배우고, 실수 시 즉각적인 피드백을 통해 학습을 가속할 수 있다.
- ✓ 가상현실은 비파괴검사 시나리오를 시뮬레이션하는 몰입형 교육 프로그램을 제공하여 검사자가 안전하게 다양한 검사 기술을 연습할 수 있게 한다. 가상현실 환경에서 검사자는 경험을 쌓고, 평가를 통해 필요한 표준을 충족하는지 확인할 수 있다.
- ✓ 미래의 증강현실 및 가상현실 시스템은 고급 센서를 통합하여 더 정밀한 검사 데이터를 제공할 수 있다. 인공지능과 가상현실, 증강현실 간의 협력작용은 비파괴검사 프로세스를 더욱 향상할 것으로 기대되며, 또한, 증강현실 및 가상현실 기술의 발전에 따라 비파괴검사의 표준화가 증가할 것으로 보이며, 이는 교육과 검사 절차의 일관성을 보장하고 기존 비파괴검사 공정에 이러한 기술을 쉽게 통합할 수 있게 할 것이다.

07 스마트 제조 및 산업 4.0 시대

- ✓ 비파괴검사는 방대한 양의 데이터를 생성하지만, 제조 시스템에 통합하는 데 어려움이 있다. 다양한 비파괴검사 방법에서 생성된 데이터는 형식이 다르며, 효과적으로 통합하려면 복잡한 처리 과정이 필요하다. 이를 해결하기 위해, 최근에는 데이터 연결성과 처리 기능을 강화하는 데 중점을 두고 있으며, 머신러닝과 인공지능의 발전으로 결함 탐지 및 분류의 정확도가 향상되고 있다.
- ✓ 앞으로 제조 공정이 더 복잡해짐에 따라 비파괴검사의 중요성은 더욱 커질 것이다. 빠르고 안정적이며 정확한 비파괴검사를 수행하는 능력이 필수적이며, 적층 제조와 같은 새로운 기술의 발전에 따라 비파괴검사도 진화해야 한다. 현대 제조 생태계의 중요한 구성 요소로, Industry 4.0과 스마트 제조의 발전에 필요한 지원을 제공하며, 기술 발전에 따라 디지털 및 자동화 제조 작업과의 통합이 더욱 심화할 것이다.

08 석유 및 가스 산업의 도전

- ✓ 비파괴검사 기술은 원유, 응축오일, 가스 생산 및 처리 응용 분야에서 부식 수준을 평가하는 데 널리 사용된다. 도시화와 인구 증가로 인해 증가하는 에너지 수요를 맞추기 위해 비전통적인 공급원에서 천연가스 생산이 보편화되고 있으며, 2030년까지 65% 이상 증가할 것으로 예상된다. 북미는 2025년까지 천연가스 수출국으로 부상하고, 셰일 자원 활용이 국가의 천연가스 자립에 기여하고 있다. 셰일 가스는 2035년까지 미국 전체 가스 생산량의 40% 이상을 차지할 것으로 보인다.
- ✓ 수압 파쇄는 셰일 가스 추출의 핵심 공정으로, 고성능 장비를 사용해 깊은 셰일 암석을 파쇄하여 가스를 생산한다. 그러나 이 과정에서 기계적 응력이 크고, 변속기, 펌프, 배관 등 장비의 고장이 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 비파괴검사는 이러한 결함을 모니터링하고 예측함으로써 유압 파쇄 장비의 안전성과 신뢰성을 개선하는 데 기여할 수 있다. 이러한 환경 속에서 석유 및 가스 산업의 지속적인 성장 전망은 비파괴검사 서비스에 대한 강력한 사업 기회로 이어질 것으로 예상된다.

09 항공우주 산업의 전망

- ✓ 항공우주 산업은 2022년 이후 경제 회복세를 보이며, 항공 여객 교통량의 증가에 힘입어 2024년 말까지 전 세계 여객 교통량이 2019년 팬데믹(pandemic) 수준을 넘어설 것으로 예상된다. 항공우주 산업에서 비파괴검사는 항공기의 안전성과 기능성을 보장하며, 부품을 손상하지 않고 검사할 수 있는 기술로, 생산 단계부터 수명 주기 전반에 걸쳐 활용된다.
- ✓ 주요 이점은 결함을 조기에 감지하여 사고를 예방하고, 검사 후 바로 부품을 사용할 수 있어 제조 공정을 지속할 수 있다는 점이다. 이는 비싼 수리나 교체의 필요성을 줄이며, 제조업체는 생산된 각 부품의 신뢰성을 보장할 수 있다. 또한, 결함의 위치와 특성을 정확히 파악함으로써 유지보수 결정을 내리는 데 중요한 정보를 제공하여 가동 중지 시간을 최소화하는 데 기여한다.
- ✓ 항공기는 이륙, 착륙 및 난류에 노출되면서 동체와 부품이 마모되며, 이는 외부 및 내부 부품에도 영향을 미친다. 노후 항공기의 안전을 고려할 때, 유지보수, 수리 및 정비(MRO)의 중요성이 더욱 커지고 있다. 군수업 및 방산 항공우주 분야에서는 긴 서비스 수명을 유지해야 하므로, MRO가 노후 항공기와 관련된 안전 문제 해결에 비파괴검사가 중요한 역할을 할 것으로 보인다.

10 발전 분야의 비파괴검사 확대

- ✓ 원자력발전소에서는 비파괴검사가 설비와 배관의 검사에 매우 중요하며, 후쿠시마 재해 이후 안전 기술이 강화되면서 비파괴검사에 대한 수요가 증가하고 있다. 비파괴검사는 열화, 피로, 응력 부식 균열 등 다양한 결함을 감지하고 재료 열화를 관찰하는 기술로, 원자력발전소의 안전을 보장하는 데 필수적이다.
- ✓ 재생 에너지 분야에서도 비파괴검사에 대한 수요가 증가하고 있다. 풍력 발전에서는 초음파 비파괴검사가 터빈 타워와 블레이드를 검사하는 데 사용되며, 방사선투과 및 육안 검사도 함께 적용된다. 태양광 발전에서는 태양광 패널의 제조 및 서비스 중 정기 검사가 필요하며, 이는 비파괴검사의 기회를 제공한다.
- ✓ 수력 발전도 성장하고 있어, 혹독한 날씨 조건에서의 운영을 고려할 때 비파괴검사에 대한 수요가 향후 더욱 증가할 것으로 기대된다.

11 자동차 산업의 긍정적 전망

- ✓ 자동차 산업에서 비파괴검사는 필수적인 요소로 자리 잡고 있으며, 다양한 부품의 제조와 유지보수에 광범위하게 사용되고 있다. 부품 결함으로 인한 사고 및 소송의 위험 때문에, 자동차 제조업체는 부품 선택을 신중히 하고, 품질관리에 엄격한 기준을 요구하게 되어 비파괴검사 서비스에 대한 수요를 증가시키고 있다. 비파괴검사는 신속한 부품 납품과 생산과정의 낭비를 줄여 비용 절감에 기여한다.
- ✓ 비파괴검사는 자동차 엔진 블록, 실린더, 스위치, 밸브, 차체, 타이어 등 다양한 부품의 검사에 사용되며, 특히 엔진 블록의 내부 및 외부 결함을 검사하는 데 중요하다. 차량 안전 보장에도 중요한 역할을 하며, 부품의 마모 및 파손을 사전에 확인하여 안전성과 내구성을 확보한다. 이와 같은 검사 과정에서 나타난 결함을 기반으로 부품의 교체나 수리를 통해 품질을 유지하고 있다.
- ✓ 자동차 산업의 품질관리 및 품질보증 기준이 높아짐에 따라 비파괴검사와 같은 고급 품질관리에 대한 수요가 계속 증가할 것으로 예상된다. 향후 기술적으로 진보된 제품에 대한 소비자의 수요가 증가함에 따라 비파괴검사의 중요성은 더욱 커질 전망이다.

12) 떠오르는 건설산업의 기회

- ✔ 건설산업은 신기술과 지속 가능성을 반영하여 변화하는 경제 흐름 속에서 중요한 전환점에 있으며, 이는 기회와 도전을 동시에 제공하고 있다. 2050년까지 전 세계 인구의 70%가 도시 중심지에 거주할 것으로 예상됨에 따라, 건설 기술의 발전과 인프라 및 상업적 벤처에 대한 투자가 필요하다.
- ✔ 비파괴검사의 수요가 증가하는 이유는 안전과 관련된 높은 관심도에 있다. 건설 프로젝트는 복잡한 구조물과 재료로 구성되어 있으며, 공공안전을 위해 높은 안전 기준을 충족해야 한다. 비파괴검사는 재료를 손상하지 않고 결함을 검사하여 건물과 인프라의 안전을 보장한다. 노후화된 인프라에 대한 정기적인 유지보수와 상태 평가가 중요해지며, 초음파, 방사선, 자기검사 기술을 통해 숨겨진 결함을 조기에 감지할 수 있다.
- ✔ 비파괴검사는 접근성과 비용 효율성을 크게 향상했으며, 지속적인 감시와 조기 결함 탐지가 가능해져 문제를 사전에 해결할 수 있게 되었다. 또한, 자원의 책임 있는 관리와 폐기물 감소를 위한 지속 가능한 건설 관행에 기여하며, 규제기관이 건물 안전 및 지속 가능성을 높이기 위해 법규를 강화하고 있어 비파괴검사가 이러한 규정을 준수하는 데 중요한 역할을 한다.
- ✔ 또한, 비파괴검사는 콘크리트, 철 구조물 및 용접의 품질보증에 폭넓게 사용된다. 초음파, 지면 침투 레이더(GPR), 반발 경도 시험 등이 콘크리트 구조물의 결함을 평가하는 데 사용되며, 철 구조물의 경우 초음파와 방사선 검사가 일반적이며, 배관라인의 경우 초음파 및 자기 검사로 부식 및 균열을 감지하여 환경적 위험을 예방하는 데 기여한다. 건설산업에서 비파괴검사는 필수 요소로 자리 잡고 있으며, 향후 더욱 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

V. 맺음말

01 글로벌 비파괴검사 시장의 성장

- ✓ 비파괴검사는 글로벌 산업의 발전과 희망성쇠를 같이하는 경향이 있다. 비파괴검사 시장은 이제 팬데믹으로 인한 정체기를 넘어 다시 지속적인 성장추세에 접어들었고 연평균 성장률 약 8%의 고부가가치 산업으로 전망되고 있다.
- ✓ 기본적으로 비파괴검사 시장의 촉진 요인은 다음과 같이 판단된다.

기술의 발전	센서 기술 발전과 프로그램 및 장비의 효율적 개선을 통해, 보다 세부적이고 빠른 검사가 가능해졌다.
산업 자재 및 구조의 복잡성 증가	항공우주 및 원자력과 같은 산업의 소재 및 구조가 더욱 복잡해짐에 따라 보다 정교한 비파괴검사 방법에 대한 필요성이 커지고 있다.
더 높은 안전 및 품질 표준	산업계에서는 더욱 엄격해진 안전 및 품질 규정을 채택하고 있으며, 이에 따라 더욱 안정적이고 철저한 검사기술이 산업현장에서 요구되고 있다.
효율성 및 비용 절감	고급 비파괴검사 기술은 결함 탐지 속도와 정확도를 개선하여 검사와 관련된 시간과 비용을 줄일 수 있다.
숙련된 인력부족 문제 해결	복잡한 새로운 비파괴검사 방법들은 검사에 관련된 일부 공정들을 자동화하고 단순화함으로써 고도로 숙련된 비파괴검사 기술자의 부족 문제도 해결하는 방향으로 발전하고 있다.

- ✓ 현재 비파괴검사기술은 Industry 4.0과 연계하여 석유가스, 발전, 우주항공, 자동차, 건설 등 다양한 분야에서 중요 품질관리 수단으로 급속히 확산되고 있고, 점차 결함을 사전에 판단하는 “Proactive 기술”로 발전하는 추세다.
- ✓ 특히 비파괴검사기술은 무인 검사, 자동화, 원격 로봇, AI 솔루션 등 기존의 한계를 넘어 접근성과 비용의 문제를 획기적으로 해결하는 첨단 고급기술로 발전하고 있고, 글로벌 시장에서 선진국과 경쟁하기 위해서는 첨단 비파괴검사 기술력의 확보가 매우 필수적인 분야로 변화하고 있다.

02) 국내 비파괴검사 분야의 발전 과제

- ✓ 국내 비파괴검사 시장은 방사선 비파괴검사 위주의 용접부 검사에 치중(약 80%)하고 있어 종사자의 피폭, 경쟁력 저하, 기능인력 이탈의 악순환이 반복되는 문제점이 있다. 또한, 대부분 중소기업으로 자체적인 기술 개발과 투자에 한계점을 나타내고 있고 이러한 현상은 국제 경쟁력 약화로도 이어지는 실정이다.
- ✓ 최근 들어 일부 검사업체는 포화상태인 국내 시장을 벗어나 중동, 아시아 등으로의 진출을 도모하고 있지만, 기존 검사기술에 국한되어서는 후진국에서도 경쟁력에 한계를 나타내기가 쉽다. 또한, 최근 중국, 인도, 베트남 등 일부 국가의 비파괴검사 발전 속도도 어느 정도 국내 수준에 근접하거나 비슷한 수준이라는 평가도 있다.(장비 제조 부문에 있어 중국은 이미 국내보다 압도적 우위를 점하고 있다.)
- ✓ 갈수록 첨단화, 고급화되고 있는 비파괴검사 기술의 발전 동향을 감안할 때, 이제 국내 비파괴검사 분야도 최신 기술의 적용을 통해 새로운 검사 분야로 그 범위를 확대할 수 있도록 “자체 기술력과 노하우를 축적”하는 것이 궁극적인 과제이며, 이를 위한 정부 차원의 지원책도 매우 필요한 상황이다.
- ✓ 국내 비파괴검사기술의 발전을 위해 “비파괴검사기술의 진흥 및 관리에 관한 법률”이 제정(2005)되었으나, 실질적인 진흥대책은 아직 미미한 수준으로 평가되고 있다. 현재 비파괴검사협회와 비파괴검사학회는 이러한 문제점을 극복하고자 정부 정책연구를 통해 “Total Solution Center” 구축 등 다양한 해결방안을 모색하고 있다.
- ✓ 비파괴검사기술은 국가 주요 산업의 안전 확보에 필수적인 기술인 만큼 선진화된 기술력 확보를 통해 국내는 물론이고 글로벌 시장 진출을 통한 국가 경쟁력 강화에도 기여할 수 있는 성장 유망 분야이다. 이를 위해 국내 비파괴검사 분야의 모든 기업과 단체 및 유관기관 등이 합심하여 꾸준히 노력할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

- 비파괴검사 실태조사(2024), 한국비파괴검사협회
- Global Industry Analysts, Inc(2024), Non-Destructive Test(NDT) A Global Strategic Business Report
- 비파괴검사(NDT) 정보공유 플랫폼. <https://info.ndtis.kr/>





산업안전보건 인적자원개발위원회
Occupational Safety and Health Industrial Skills Council