



인공지능 비파괴검사 인프라구축을 위한 여정

한국원자력학회 워크숍

최원재 (한국표준과학연구원)

@ 창원 컨벤션센터

2022. 10. 19

CONTENTS

- 01 개요
- 02 Data NDT 인프라
- 03 인증체계 for Data NDT
- 04 요약



PART

1

1. 개요

- 2. Data NDT 인프라
- 3. 인증체계 for Data NDT
- 4. 요약

비파괴검사 (Nondestructive Testing)

재료와 시설물에 내재한 손상을 평가하는 기술로 중요시설의 안전성 확보와 고부가가치 생산품의 고품질화를 위한 필수 핵심기술

- 국가 기간시설 노후화 등 재난위험 증가에 대응하고 초일류국가 핵심산업 성장을 효과적으로 견인하기 위한 **비파괴검사 기술 신뢰성 혁신 필요성 증가**

- 현재 과학적 위험도 평가기술 수준 미흡

(국가과학기술자문회의, '18.10)

- 신기술 수요가 증가하고 있으나, 판독 난이도 증가 및 전문 검사인력 부족으로 인한 검사 신뢰성 문제 발생

(전력설비 안전성 향상대회('15), 가스신문('19))



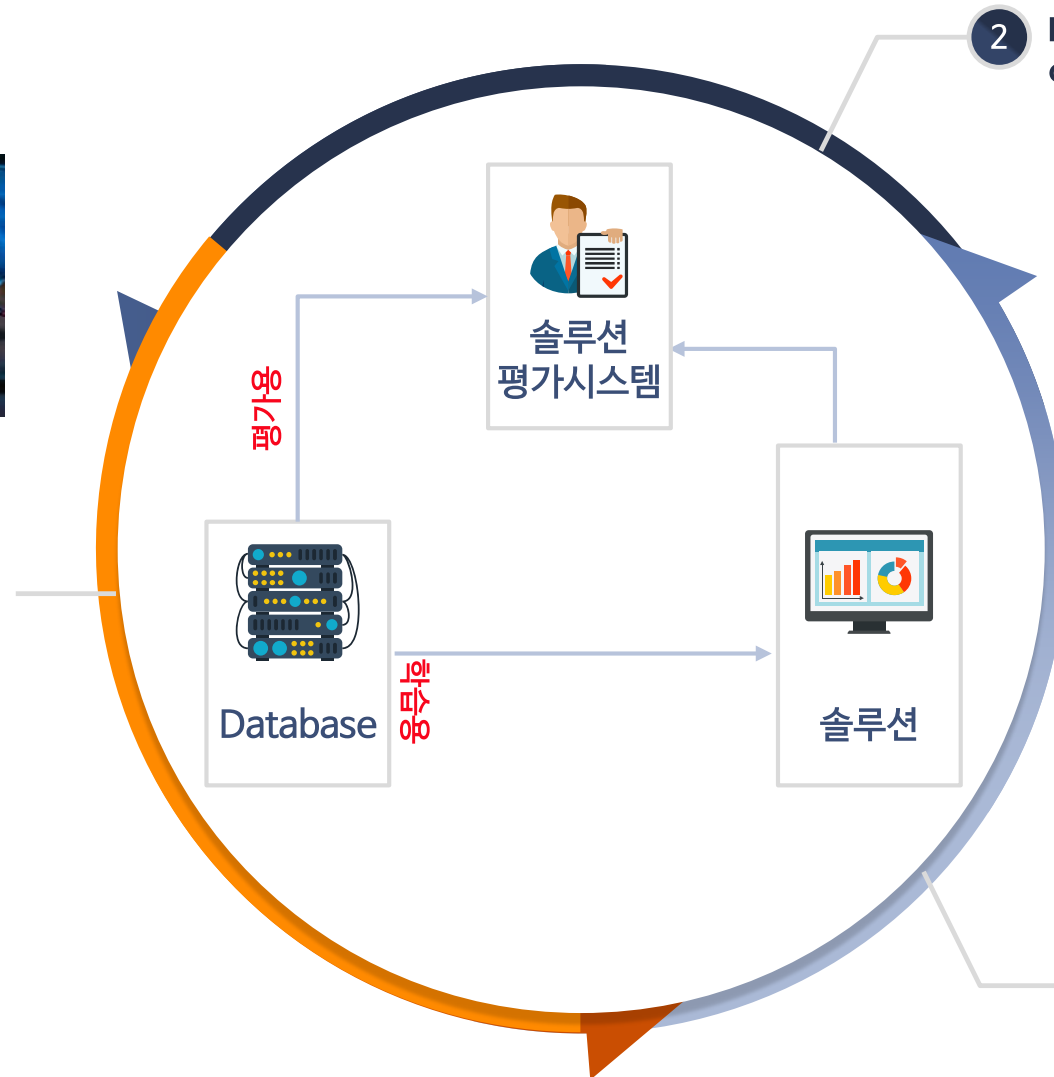
[The Importance of Non-Destructive Testing \(azobuild.com\)](http://azobuild.com)

**데이터에 근거하여 판단 오류 가능성을 줄이고
신뢰성 제고를 위한 AI 기술 도입 필요**

Data NDT 생태계



1 신뢰성이 검증된
검사 데이터



2 데이터과학기반 검사신뢰성
인증 체계



[특집] 인공지능 기술 #AI랑 산다 || LIVE LG - LG전자 소셜 매거진
(lge.co.kr)

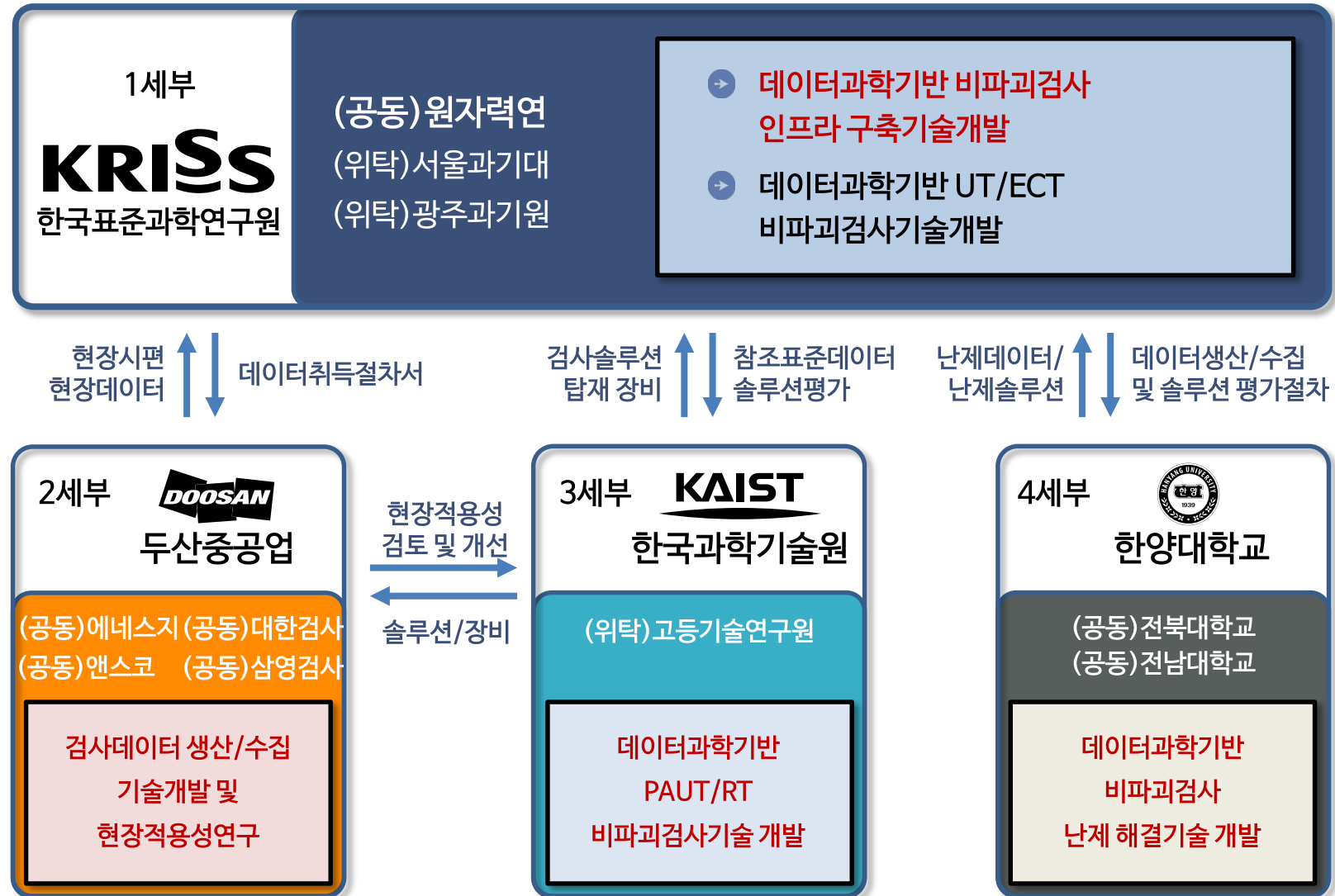
3 인공지능 솔루션 및
솔루션 탑재 장비

지속 가능한 데이터과학기반 비파괴검사 생태계 기반 구축

Data-based NDT 과제



Data-based NDT 과제



PART

2

2. Data NDT 인프라

1. 개요

3. 인증체계 for Data NDT

4. 요약

Data NDT 인프라



Data NDT 인프라



시편



데이터
생산랩



데이터
관리 체계



DB

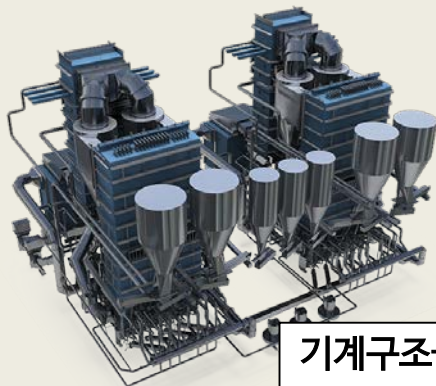


솔루션
평가시스템

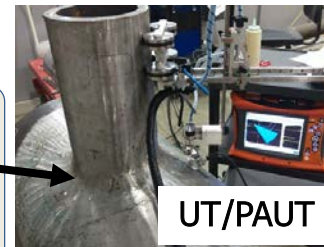


솔루션

검사대상



기계구조물 (ex. Boiler)



UT/PAUT



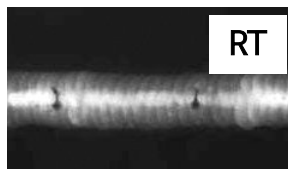
ECT



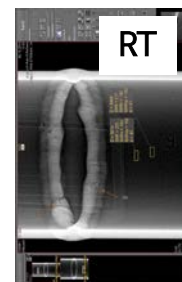
UT/PAUT



UT/PAUT



RT



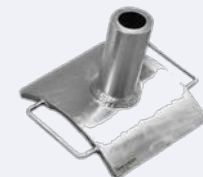
RT

UT/PAUT/RT



평판

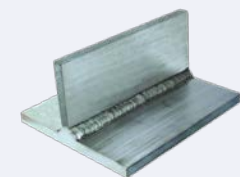
배관



노즐



T



Y

ECT



세관



시편

데이터
생산랩

데이터 관리 체계



DB



솔루션 평가시스템



■ 솔루션

고신뢰도 시편 목록화

[illegible]

Data NDT 인프라



시편



데이터
생산



데이터
관리 체계



DB



솔루션
평가시스템

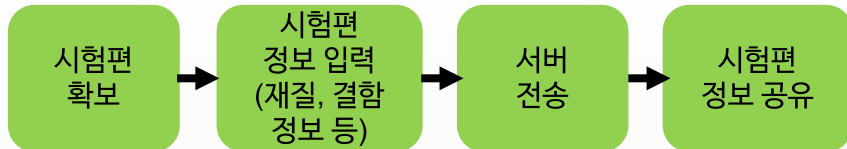


솔루션

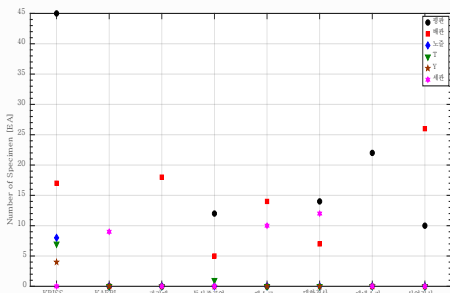
시편 보유현황 분석

▶ 시험편 보유 현황 : 총 201개

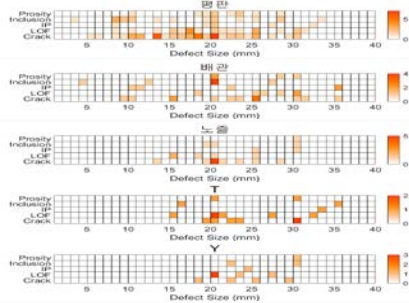
- ▶ 시험편 분류 체계 : 평판, 배관, 노즐, T, Y, 세관
- ▶ 결함 분류 체계 : Crack, LOF, IP, Inclusion, Porosity, etc
 - Crack : Axial, Centerline, HAZ, Rock 등
 - LOF : LOSF, LORF, LOIF 등
 - IP : LOP, LORP, 등
 - Inclusion : Slag, Tungsten 등
 - etc : DV, SV, Undercut, Lamination 등



<시험편 관리 절차>



<시험편 보유 현황>

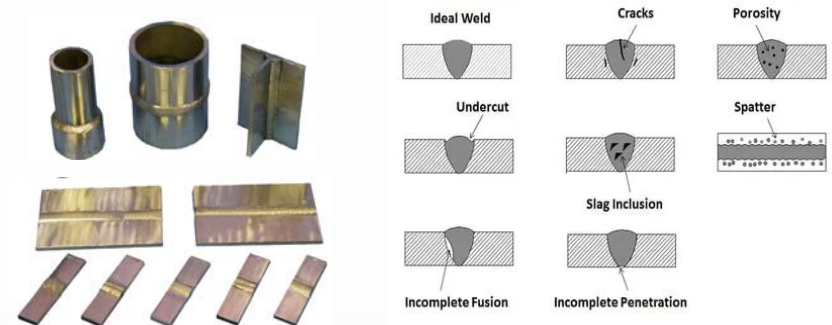


<결함 분류 체계>

표준시편 제작

▶ 용접부 주요 결함 특성 정리 및 제작사양 검토

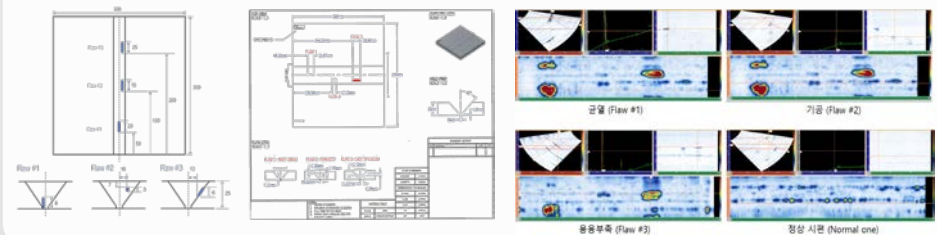
- ▶ 용접부 주요 발생 결함 도출 및 정리



- ▶ 주요 시편 제작 사양 분석/정리

- 주요 제작사(Sonaspection, Flawtech) 제작 사양 정리

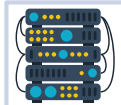
- ▶ 1차 기초 결함 시편 설계 및 제작 완료



Data NDT 인프라



시편

데이터
생산랩데이터
관리 체계

DB

솔루션
평가시스템

솔루션

시편 분류 체계

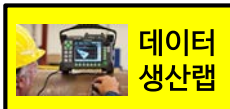
ID	시편형상	재질	상세재질	개선면 형상	용접형태	모재배치	결함종류	결함크기	결함위치
PL1	PLate	CS	1011	V	MIG	Butt	crack	2x2x2	10x2x10

평판(PLate)	Carbon steel	10xx	V	Gas fusion	Butt	Crack
배관(Pipe)		11xx	X	Arc	Lap	Undercut
노즐(Nozzle)		12xx	I	MIG	Fillet	Overlap
T		...	L	TIG	Corner	LoP
Y	Stainless steel	304	K	CO2 Gas	Edge	LoF
세관(Tube)		444	U	Submerged	Plug	Porosity
..		436	H	Stud	..	Slag
		..	J	Electro slag		..
			JJ	Thermit		
			..	PAW		
				Arc		
				Termit	..	

Data NDT 인프라



시편

데이터
생산랩데이터
관리 체계

DB

솔루션
평가시스템

솔루션

검사 분야별 장비 조사/분석

▶ 참조표준데이터 생산 시스템을 위한 장비 확보

- ❖ UT : Data Acquisition System, Flaw Detector, Sensors, Wedges
- ❖ PAUT : Flaw Detector, Scanner, Sensors, Wedges
- ❖ ECT : Eddy Current Tester, Probe Pusher, Sensors
- ❖ RT : Film Digitizer, Radiography Scanner, Digital X-ray Detector, CT X-Ray Inspection system

검사 주요인자 분석

▶ 고품질 NDT 데이터 확보를 위한 코드 기반 주요 인자 분석

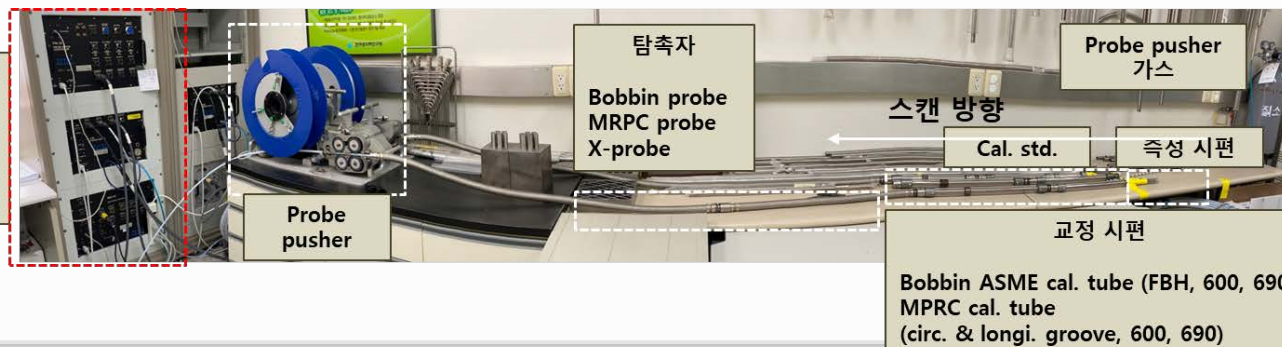
- ❖ 표준 데이터 생성을 목적으로 ASME, ISO, KS 등의 코드 기반 주요 인자 분석 수행
- ❖ 데이터의 다양성 확보를 위한 시험적 요인 검토
- ❖ 국내외에서 적용중인 기술기준 검토 및 시뮬레이션을 통한 결함 평가 주요인자 분석 수행

ECT 검사데이터 생산랩 구축

▶ 세관 ECT 검사데이터 생산을 위한 H/W 및 S/W 구축 완료

측정 장비

ECT 장비 : ZETEC MIZ-70

Pusher controller : ZETEC PM-3A
Pusher power supply : ZETEC 10D

H/W

LAN

ECT 신호취득
S/W

FTP

ECT 신호 분석
S/W

Data NDT 인프라



시편

데이터
생산데이터
관리 체계

DB

솔루션
평가시스템

솔루션

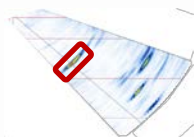
데이터 분류체계

▶ 검사 유형별 데이터 구조 및 라벨링 형태 정의

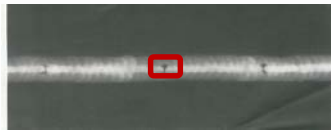
UT: B-scan (영상)



PAUT: S-scan (영상)



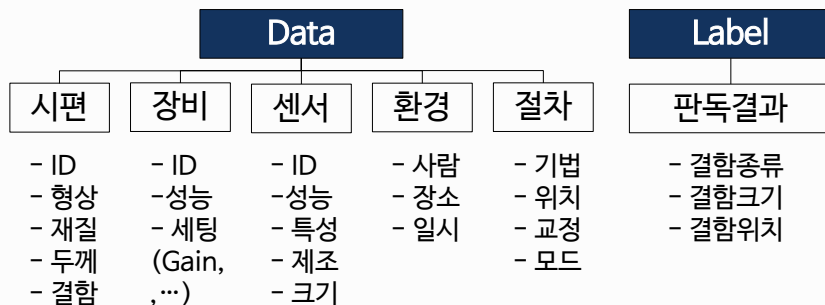
RT: Film Scan (영상)



ECT: Strip Chart (시계열)



▶ 검사 유형별 데이터 관리 체계 확립



데이터 생산절차

▶ 검사 유형별 데이터 생산 전략 수립

- ▶ 검사 유형별 조정 가능한 인자 종류 정의 (현장분석)
- ▶ 인자 조정 범위를 고려한 검사 조건 종류 산정
- ▶ 검사 조건 다양화를 통한 데이터 생산 전략 수립

기법	UT	PAUT	RT	ECT
시편 #				
검사 종류				
검사 횟수				
데이터				
합계				

Data NDT 인프라



시편



데이터
생산랩



데이터
관리 체계



DB



솔루션
평가시스템



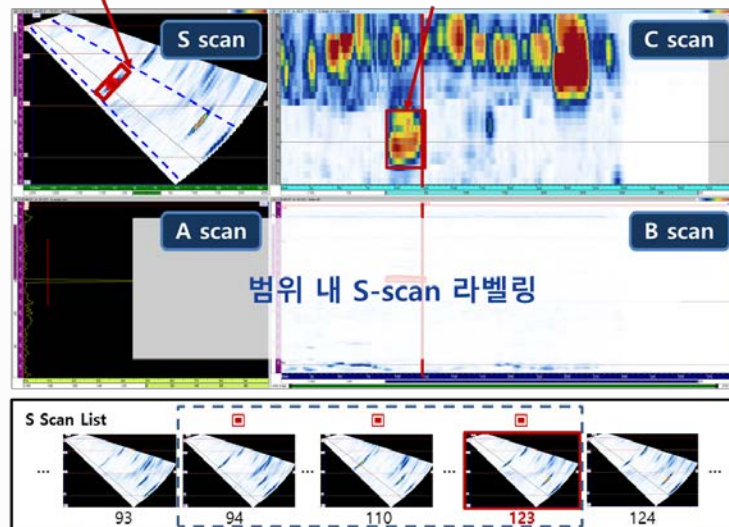
솔루션

데이터 라벨링 기법 (PAUT)

➤ 전문가 및 비전문가 공동 작업을 통한 라벨링

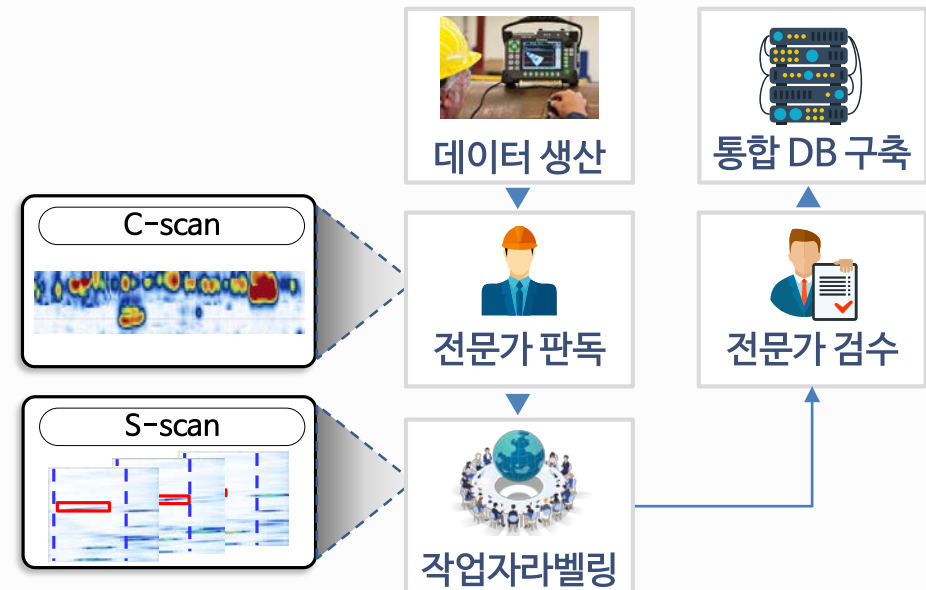
- ▶ 전문가의 C-scan (전체 데이터 정보) 결함 라벨링
- ▶ 비전문가의 대량 S-scan 결함 라벨링

② [비전문가] S-scan ① [전문가] C-Scan



➤ 라벨링 품질 관리기법 개발

- ▶ 전문가의 C-scan (전체 데이터 정보) 결함 라벨링
- ▶ 비전문가의 대량 S-scan 결함 라벨링



Data NDT 인프라

▶ 데이터 추출 및 분석 인터페이스 구축

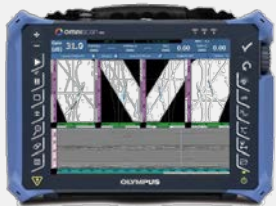
검사



판독



데이터베이스

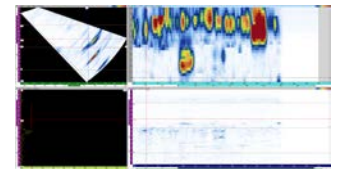


검사/장비
유형별
신호 추출

표준화된
데이터 형식

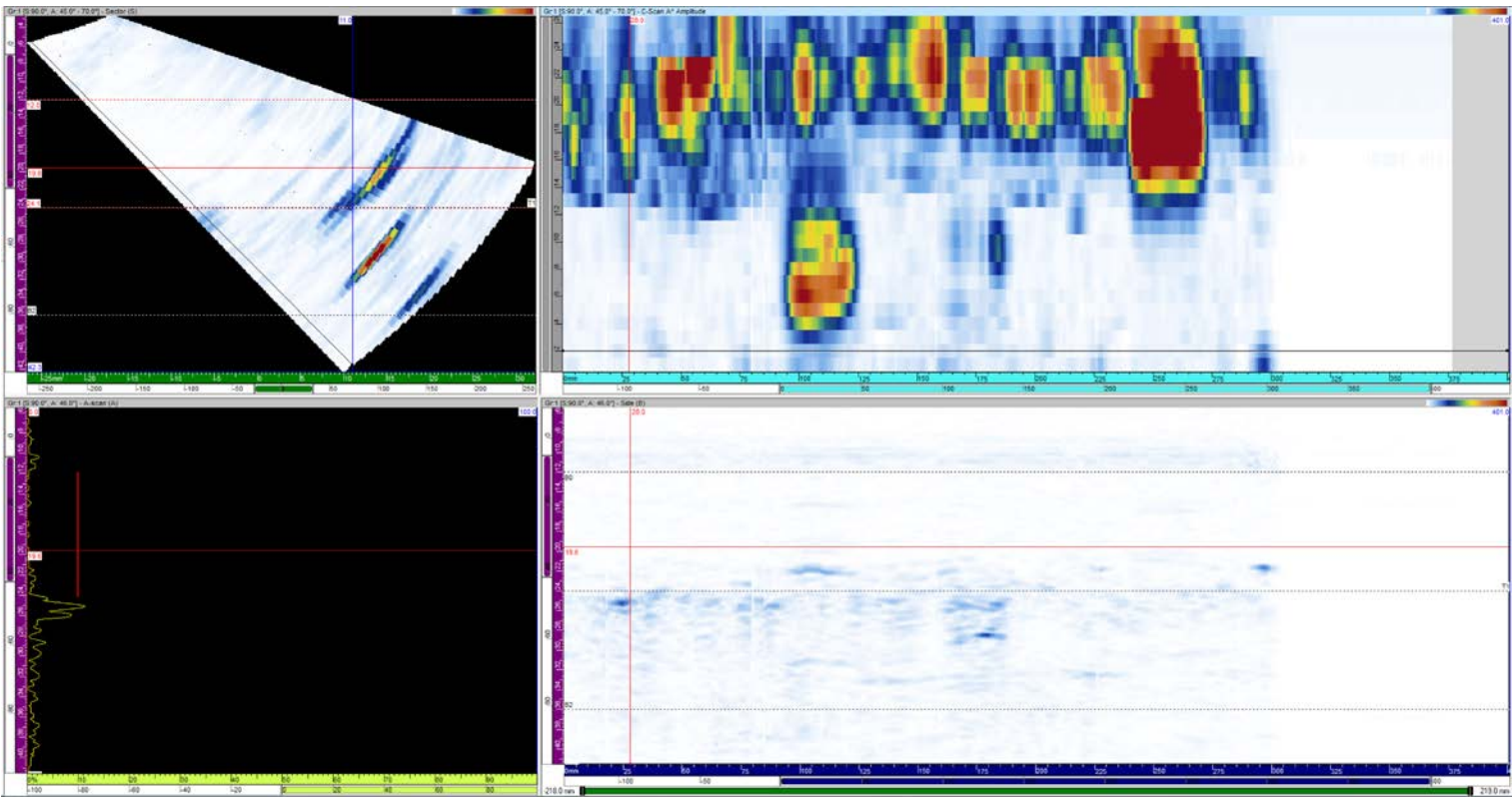
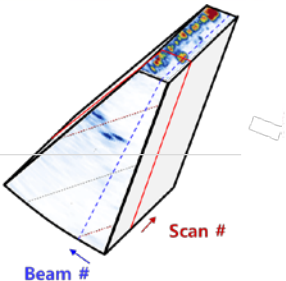
[Samples x Scan x Index (beam)]

라벨링 툴
(클라우드)



Data NDT 인프라

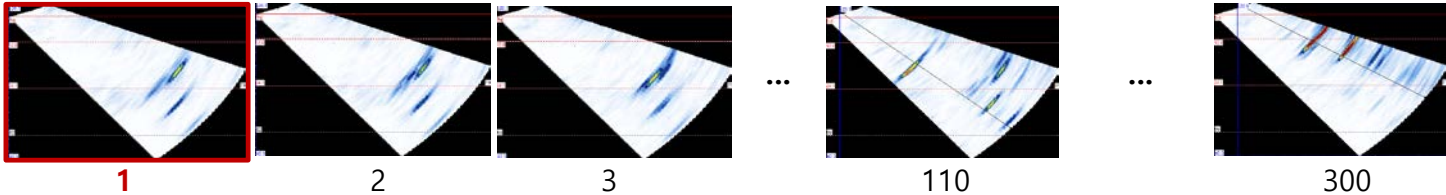
화면 구성



ID	C	S	검수	...
##	O	O	O	
##	O	O	X	
##	O	△	X	
### #	O	X	X	

Info	Parameters
	Gate
	t0 12
	t1 24
	A 10
	Color
	C 0 ~ 27
	S 0 ~ 27
	B 0 ~ 27

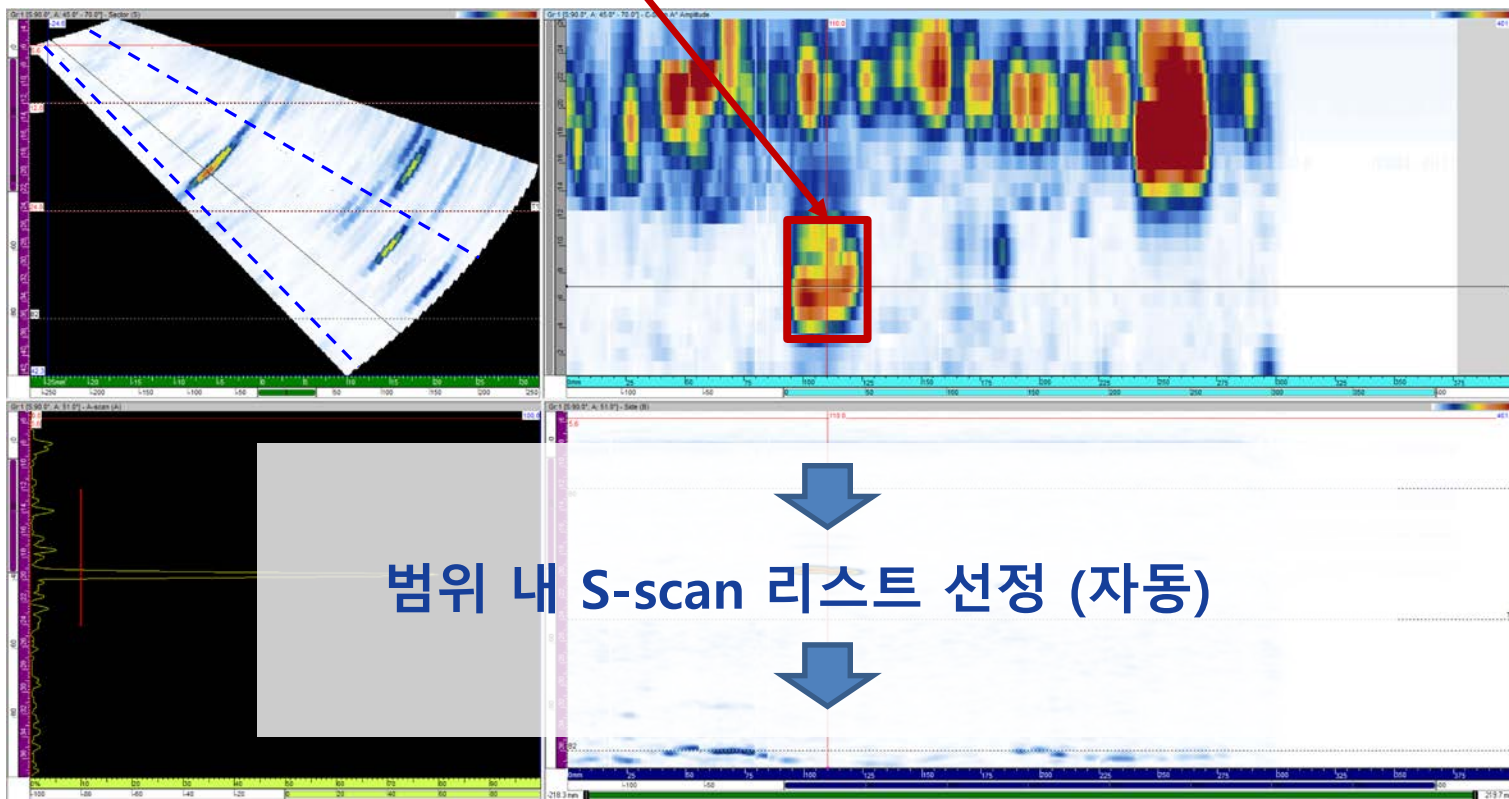
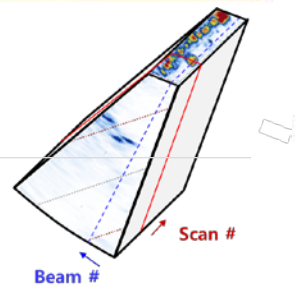
S Scan List



Data NDT 인프라

라벨링

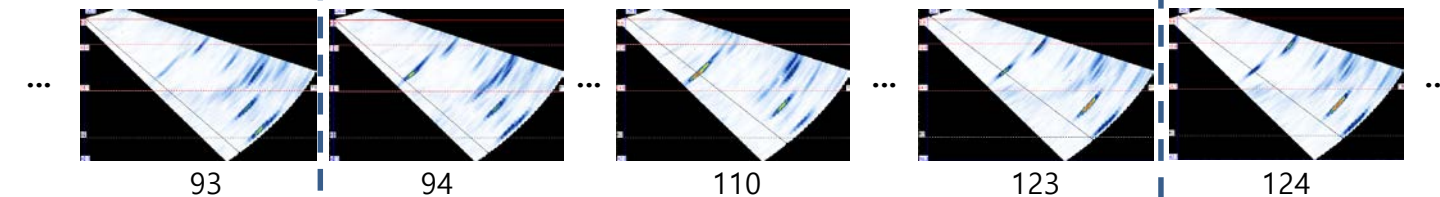
① [전문가] C-Scan



ID	C	S	검수	...
##	O	O	O	
##	O	O	X	
##	O	△	X	
### #	O	X	X	

Labeling		Parameters	
Cscan		Gate	
Scan	94~123	t0	12
Beam	4~12	t1	24
Sscan		A	10
		Color	
Beam	-	C	0 ~ 27
Sample	-	S	0 ~ 27
		B	0 ~ 27

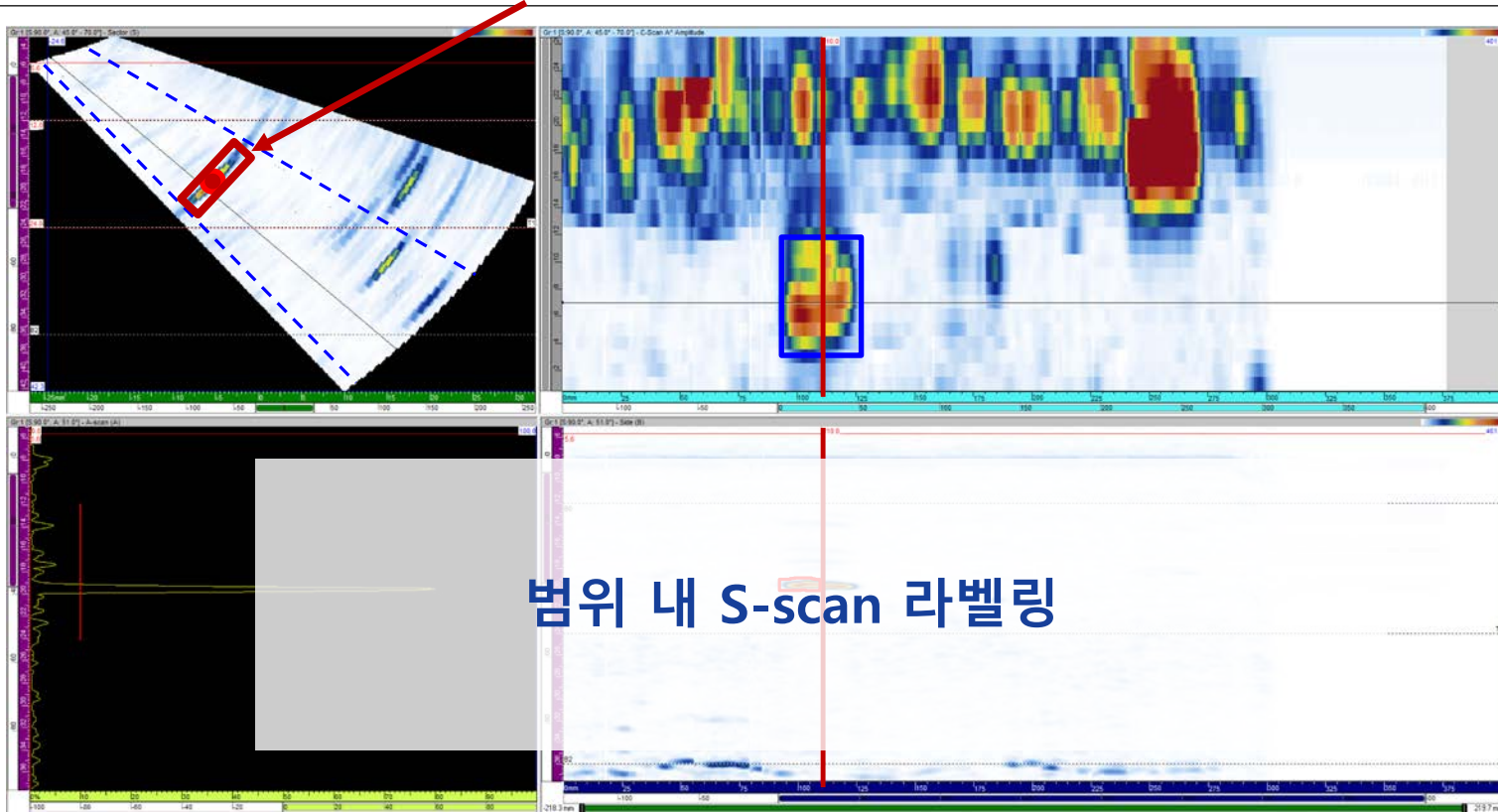
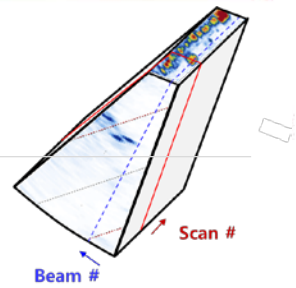
S Scan List



Data NDT 인프라

라벨링

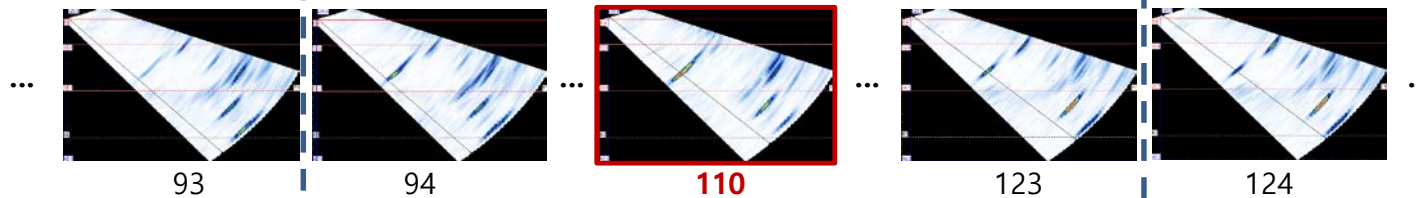
② [비전문가] S-scan



ID	C	S	검수	...
##	O	O	O	
##	O	O	X	
##	O	△	X	
### #	O	X	X	

Labeling		Parameters	
Cscan		Gate	
Scan	94~123	t0	12
Beam	4~12	t1	24
Sscan		A	10
Beam	5~12	Color	
Sample	5.6~5.9	C	0 ~ 27
		S	0 ~ 27
		B	0 ~ 27

S Scan List



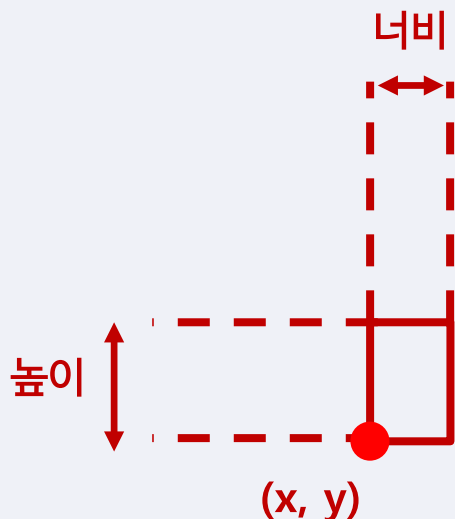
Data NDT 인프라

▶ 라벨링 품질 평가 체계 구축 (참조표준데이터 연계)

전문가 라벨링 평가 인자

C-scan에서

- 1) 위치 (x, y)
- 2) 크기 (너비, 높이)
- 3) 신호 최대 크기



비전문가 라벨링 평가 인자

S-scan에서

- 1) 위치 (x, y)
- 2) 크기 (너비, 높이)

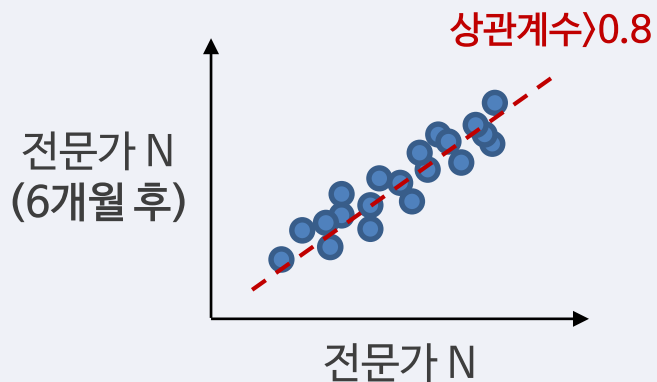
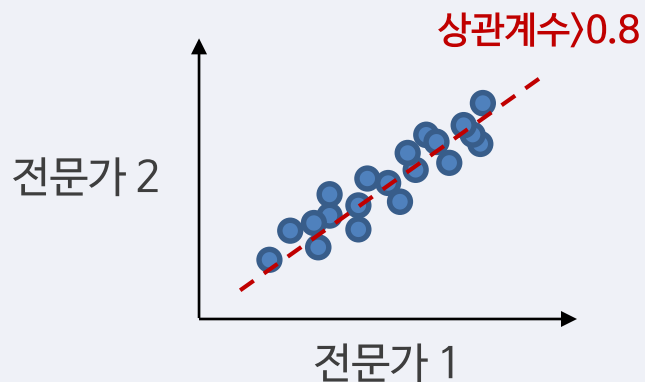


Data NDT 인프라

▶ 라벨링 품질 평가 체계 구축 (참조표준데이터 연계)

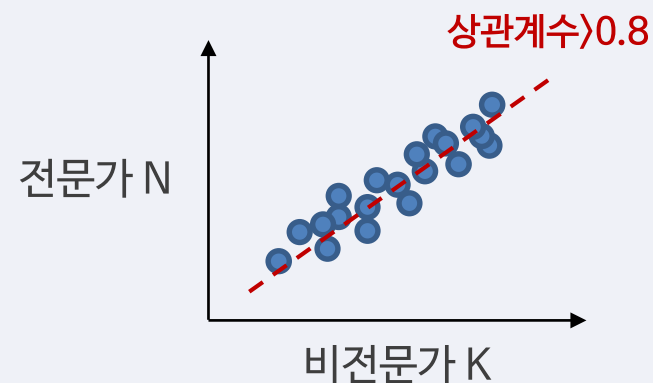
전문가 라벨링 합격 기준

무작위 C-scan 20개 데이터에 대해



비전문가 라벨링 합격 기준

무작위 S-scan 20개 데이터에 대해



Data NDT 인프라



시편

데이터
생산랩데이터
관리 체계

DB

솔루션
평가시스템

솔루션

고신뢰도 시편 선정 및 수집절차 개발

▶ 현장 결함 내재시편 목록화 (16종)

형상	재질	공칭OD	공칭두께	결함정보	시험편 사진
배관	S/S	6 inch	18.38 mm	Root Crack, L.F., L.O.P.	
배관	C/S	10 inch	30.23 mm	Root Crack, Toe Crack, L.F., L.O.P.	
튜브	Inc-600	0.75 in	0.043 in	Axial crack (ID)	
튜브	Inc-600	0.75 in	0.043 in	Axial crack (OD)	
튜브	Inc-600	0.75 in	0.043 in	Corrosion (OD)	
튜브	Inc-690	0.75 in	0.043 in	Denting	
튜브	Inc-690	0.75 in	0.043 in	Bulge	

▶ 데이터 생산 표준규약 및 표준절차서 (8종)

(RT) 기법 요약지

1. 검사목적 및 적용범위	“데이터 과학기반 비파괴검사 현장 적용기술개발” 과제를 수행하는데 필요한 RT 검사 데이터 표준 수집 절차 개발
2. 적용규격, 참조문서/개정상태	1. ASME Sec V(2015): Nondestructive Examination 2. ASME Sec VIII Div.1(2015): Rules For Construction of Pressure Vessels (Division 1) 3. ASME Sec V SE 999 (2015): Standard Guide for Controlling the quality of Industrial radiographic film processing
3. 사용장비 및 기자재	1. 동위원소: IR=192 2. Film: Carestream MX125, T200, AA400 3. 투과도계: ASTM 1B 4. DR detector: DR Tech EXT 3643S
4. 교정 및 장비/감도설정	1. 동일한 시편에 대하여 각각의 필름 Type에 따라 3종류의 필름을 준비 2. 필름에 빛이 직접 감광되지 않기 위하여 필름을 증감지와 함께 보호용 카세트에 넣어 촬영을 준 3. 원형 지시표 (RT 표준 절차서 Appendix I. - ASME Sec VIII Div. 1 Appendix 4 참조)
5. 검사기법 및 수행절차	1. 정 2. 정 3. 정 4. 정

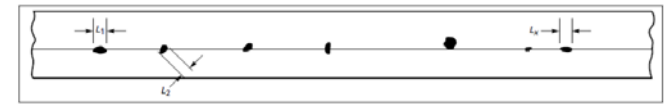


Fig 11. Aligned Rounded Indications



Maximum Group Length

L= 1/4 in. (6 mm) for t less than 3/4 in. (19 mm)

L= 1/3 t for t 3/4 in. (19 mm) to 2 1/4 in. (57 mm)

Minimum Group Spacing

3L where L is the length of the longest adjacent group being

Data NDT 인프라



시편

데이터
생산랩데이터
관리 체계

DB

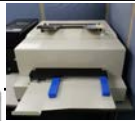








솔루션
평가시스템

솔루션

기초데이터 확보 및 분석

▶ 데이터 수집 절차 검증을 위한 기초데이터 생산 (1545 회)

◆ 적용장비 (8종) 및 생산 데이터 포맷 (7종)

기법	수집장비	구성 사진	데이터 format
RT	DICOM 2905		TEST-001.DCM
DRT	EXT 3643S (14"x17")		TEST-001.dcm TEST-001.raw TEST-001.jpg
UT	Mercury		TEST-001.ch1.rf
	Omni-MX2		TEST-001.opd
PAUT	Omni-MX2		TEST-001.opd
	TOPAS		TEST-001.UVData
	Dynaray		TEST-001.UVData
ECT	MIZ-80iD		TEST-001.set TEST-001.raw
	MS-5800E		TEST-001.set TEST-001.dat

◆ 1차(9월)/2차(12월) 기초데이터 수집

- ◆ 생산된 데이터는 학습모델/알고리즘 개발시 선행 샘플의 역할을 수행하여 자동평가 솔루션 개발방향을 테스트해 보는 기초 데이터 역할



Data NDT 인프라



시편

데이터
생산랩데이터
관리 체계

DB

솔루션
평가시스템

솔루션

데이터 원신호/라벨 품질
평가기술 기반 구축 완료

데이터 및 라벨 품질 평가기술 기반 구축

▶ 데이터 원신호 및 라벨 품질 평가기술 기반 구축

- 기존 구축 사례와 비파괴 데이터의 권고 기준 비교 분석
 - 뇌혈관, 전동기 데이터 댐 구축 사업 품질 평가 및 구축 과정 검토 및 비파괴 데이터 적용함.
- 독립 변수 영향 평가 기반 데이터 품질 수준 평가법 제안
 - 데이터 취득 - 독립 변수 별로 네트워크 학습 - 정량적 영향 평가 - 데이터 취득 피드백 과정
- 제안한 평가법 적용
 - 비파괴 오픈 데이터, 표준연 비파괴 샘플 데이터, 공기 압축기 진동 데이터, 유압 펌프 진동 데이터에 대해 수행함.

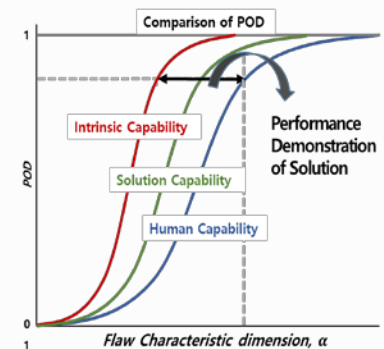
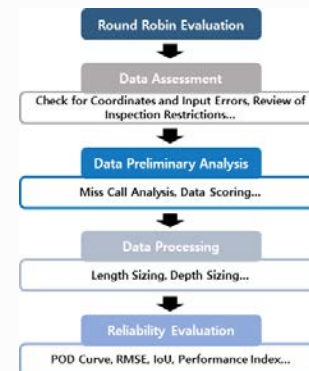
▶ NDT 솔루션 신뢰도 평가 개념 설계 및 기반 구축

- 뇌혈관 CT 데이터 신뢰도 평가 수행
- 뇌혈관 CT 데이터 사례 검토 및 비파괴 데이터 적용
 - 정확성, 혼동 행렬, AUROC 등 적용 가능함.

솔루션 신뢰도 평가 개념설계 및 기반 구축

▶ NDT 솔루션의 신뢰도 평가 개념 설계

- NDT 솔루션의 **POD 기반 신뢰도 평가 체계 수립**
- 비파괴분야에서 POD는 상대적인 개념으로 **정량적 신뢰도 평가**를 위해 **시뮬레이션 기반 POD, RRE 기반 POD를 평가 기준으로 선정하고 POD 산출 절차 수립**
- 시뮬레이션 기반 POD는 물리적으로 비파괴검사 시스템이 도출할 수 있는 **이상적인 값으로, 솔루션 POD의 상한 한계 기준으로 활용하기 위해 POD 산출 절차 수립**
- RRE는 전문가 평가에 대한 기준값으로, **솔루션의 등급 등을 판별하는 선정 기준으로 활용 및 분석**



PART

3

1. 개요

2. Data NDT 인프라

3. 인증체계 for Data NDT

4. 요약

인공지능 단계

미국 자동차공학회(SAE)의 자율 주행 단계별 구분



단계	명칭	정의	주요 기능
Lv.0	무자율	모든 운전 운전자가 수행	자율주행 기능없음
Lv.1	운전자보조	운전자 : 주행, 시스템 : 조향, 가감속의 특정 주행모드 수행	• 차간거리유지 • 차선유지
Lv.2 (2018)	부분자율	운전자 : 주행, 시스템 : 조향, 가감속 기능 복합되어 특정 주행모드 수행 (현재 수준)	• 차간거리유지+차선유지 • 자동주차
Lv.3 (2020)	조건부자율	시스템 : 주행 운전자 : 시스템의 개입 요청에 적절 대응, 항상 차량 제어를 위한 준비자세	• 고속도로자율주행
Lv.4 (2025)	고도자율	시스템 : 주행, 운전자가 개입요청에 적절히 대응 못하는 경우에도 시스템 주행가능	• 특정 구간 및 기상상황
Lv.5 (2035+)	완전자율	모든 조건에서 시스템이 상시 운전	• 자율주행 • 무인운송

NDT

레벨 1

레벨 2

레벨 3

레벨 4

인공지능 단계

데이터과학기반 비파괴검사 단계

- 레벨 I
 - 현수준, 검사자의 주관에 의존하는 단계
- 레벨 II
 - 검사자 주관에 의해 판단하지만, 데이터기반 검사 솔루션 결과를 참고할 수 있는 단계 (검사자의 검사 능력 유지 필수)
- 레벨 III
 - 검사자와 인공지능이 함께 판단 (검사자가 데이터기반 검사 솔루션을 이용하여 검사 능력 유지)
- 레벨 IV
 - 데이터기반 검사 솔루션이 단독으로 판단 (검사자가 판단에 개입하지 않는 단계)

인증체계

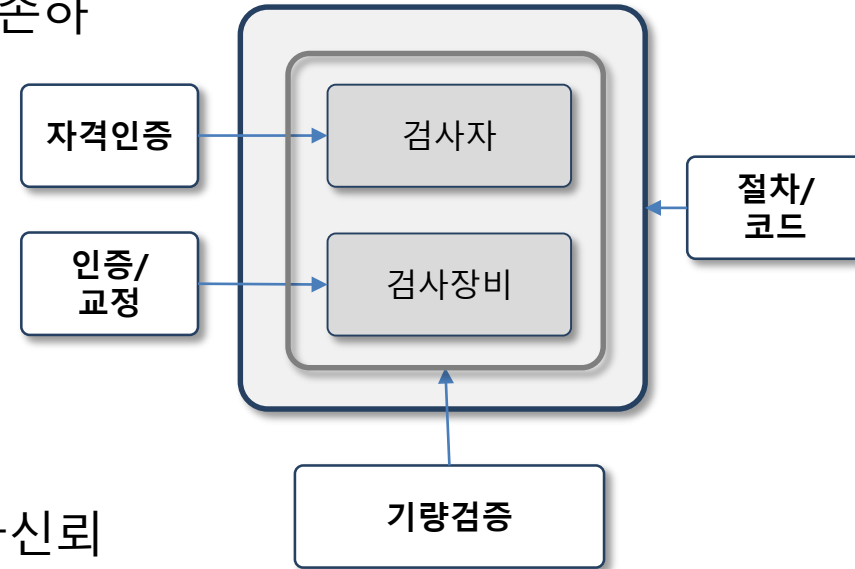
비파괴검사 신뢰성 확보 체계

- 현 비파괴검사가 검사자의 주관에 의한 판단에 의존하므로 검사 신뢰성 확보를 위한 시스템 적용

- 검사자 → 자격
- 장비 → 교정
- 검사자+장비+대상 → 기량검증
- 검사 절차 → 코드, 규격, 표준

- 데이터과학기반 비파괴검사 기술의 도입으로 검사신뢰성의 획기적인 향상을 추구

- 기본 신뢰성 확보 체계 적용이 어렵고 별도의 체계 구축이 필요함



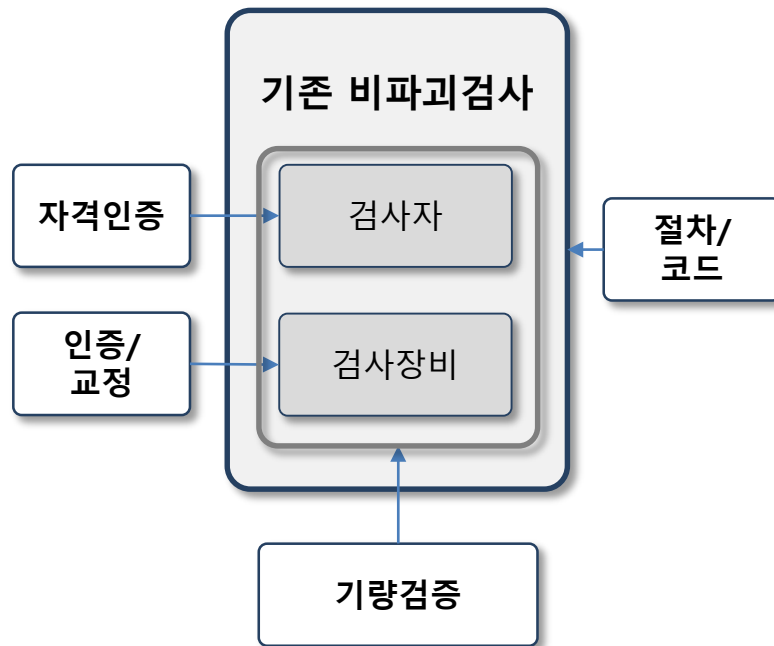
현 비파괴검사 신뢰성 확보 체계

핵심 비전

- 2030년 국내 비파괴검사 시장 70% 이상 데이터과학기반 비파괴검사 적용 (레벨 II 이상)
- 데이터과학기반 비파괴검사 기술/체계 모델 제시 및 세계 선도

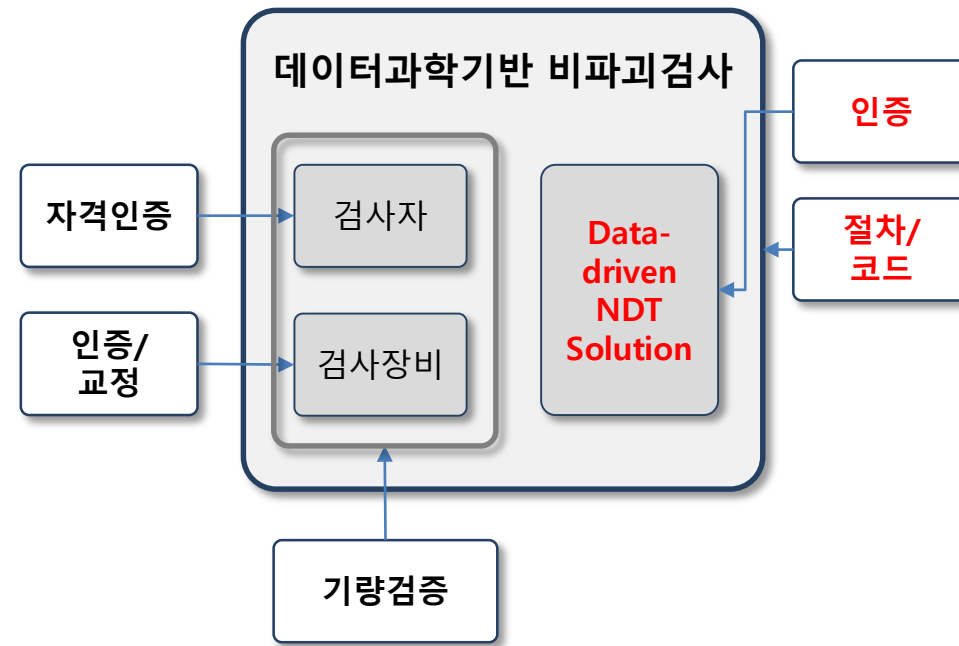
인증체계 for Data NDT

現 비파괴검사 신뢰성 확보 체계 (As-is)



- 검사자의 주관적 판단에 의존하므로 일관성 결여
→ 검사 신뢰성 저하

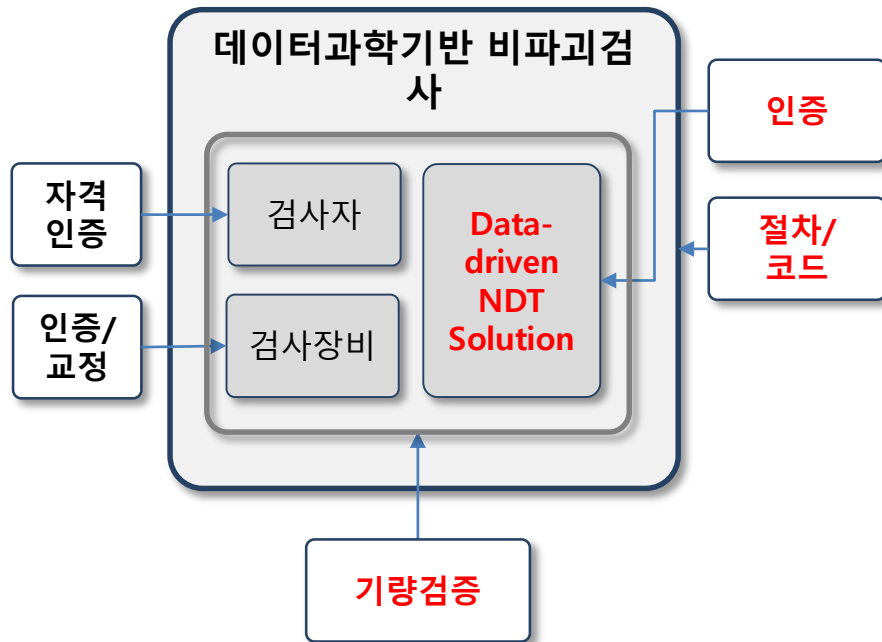
데이터과학기반 비파괴검사 신뢰성 확보 체계 Level II, (To-be)



- 누적된 비파괴검사 데이터를 활용한 데이터기반 검사 솔루션이 검사자의 판단을 보조 (level II)
- 데이터에 근거한 객관성 확보로 검사 신뢰도 제고

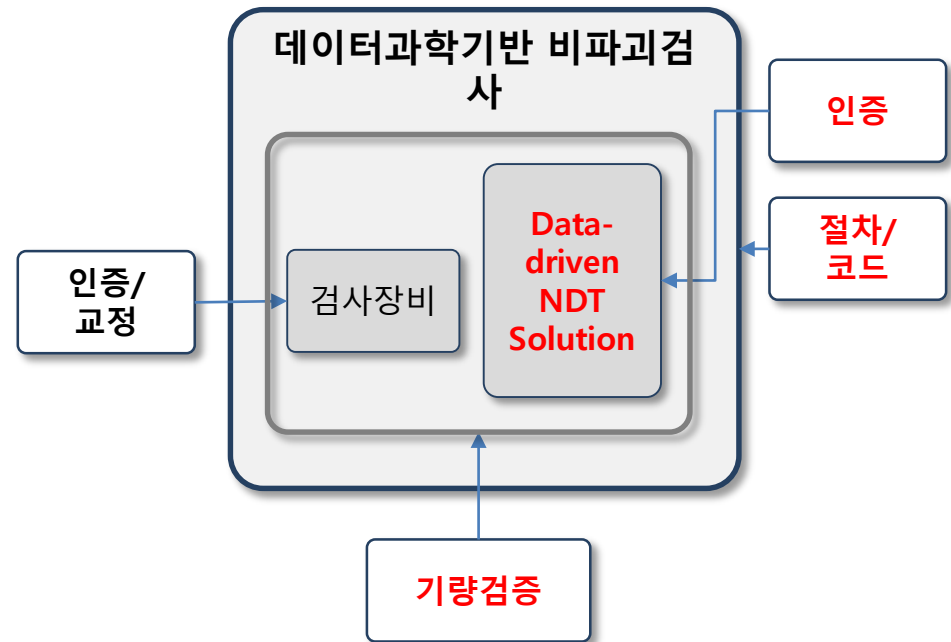
인증체계 for Data NDT

데이터과학기반 비파괴검사 신뢰성 확보 체계 Level III



- 누적된 비파괴검사 데이터를 활용한 데이터기반 검사 솔루션과 검사자가 함께 검사 판단 (level III)
- 데이터에 근거한 객관성 확보로 검사 신뢰도 제고

데이터과학기반 비파괴검사 신뢰성 확보 체계 Level IV,



- 궁극적으로 모든 판단을 데이터기반 검사 솔루션이 독립적으로 수행(level IV)
- 데이터에 근거한 객관성 확보로 검사 신뢰도 제고

PART

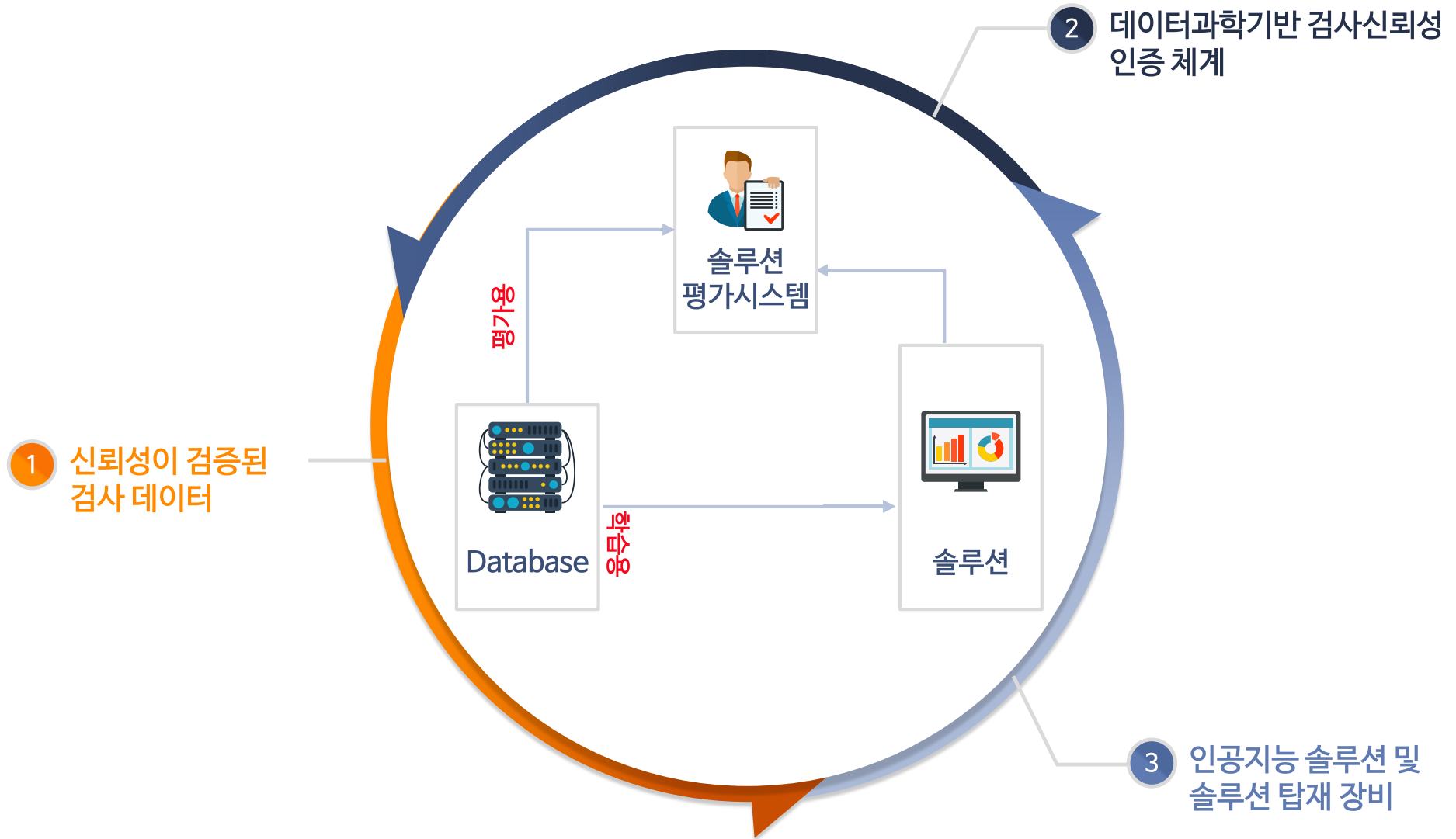
4

1. 개요

2. Data NDT 인프라

3. 인증체계 for Data NDT

4. 요약



지속 가능한 데이터과학기반 비파괴검사 생태계 기반 구축

▶ 데이터기반 비파괴검사 체계 핵심 컨트롤타워인 **비파괴검사 데이터센터** 설립 지원 ◀

양질의 데이터 제공

검사솔루션 개발 인프라 & 체계 구축

신뢰도가 검증된 검사 솔루션

➔ 다양한 검사 솔루션 탑재 장비 개발 촉진 및 세계 기술 선도

➔ 검사솔루션 고도화 & 미래기술 선도 기반 구축

➔ 검사 전문기업 역량 향상 및 검사 신뢰성 제고



감사합니다

w.choi@kriss.re.kr

