



비파괴검사용 전자가속기 개발 현황

22. 10. 19.

(주)쎬크 문진혁



■ Contents

I. 회사 소개

1. (주)쎄크 소개
2. 사업 분야
3. X-ray 검사기 사업현황
4. SEM 사업현황

II. 가속기 개발 현황

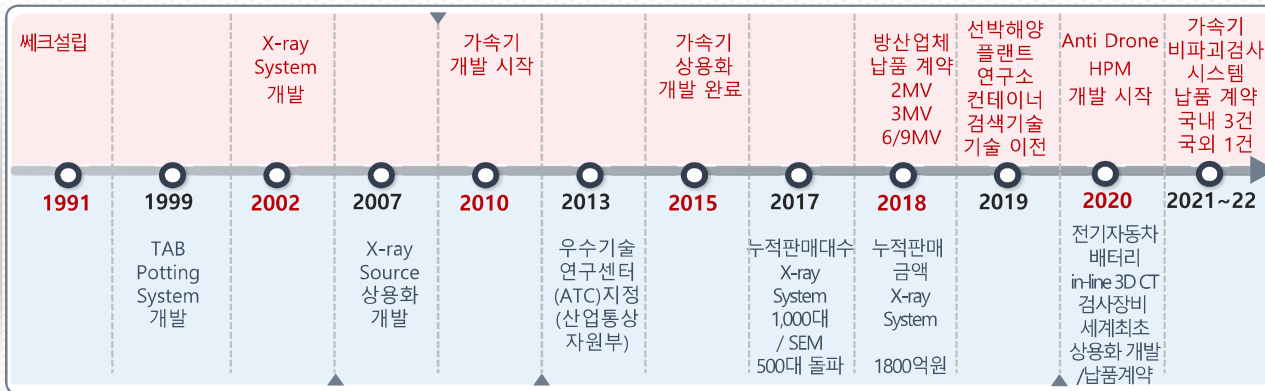
1. 가속기 사업현황
2. 가속기 개발 연혁
3. 개발 및 제작 절차
4. 보유 인프라
5. 평가 protocol
6. LINASEC Series LineUp
7. 성능 비교 및 개선사항
8. LINASEC Image Gallery
9. 컨테이너 검색기

(주)씨크 소개

주요 연혁

○ 산업용 X-ray 장비 전문 제작사

- 2D & 3D(CT) AXI 초고속
In-line Inspection System 개발 (X-eye 6200/6300)



- 주사전자현미경 (Mini SEM) 개발
- Flip Chip Bonder 개발

- 일자리 우수기업 선정 (경기도지사)
- 11회 국제 나노 기술 심포지움 및 나노 융합대전 우수상 수상 (산업통상자원부장관)

- '2019년 소재부품장비 강소기업100 프로젝트' 선정 (중소벤처기업부)



Critical Technology

핵심기술 보유

- ✓ X-ray 발생장치 설계, 개발, 제조 기술 (100~450kV)
- ✓ RF LINAC 설계, 개발, 제조 기술 (1~15MV)
- ✓ 영상 알고리즘 기술
- ✓ 3D CT Reconstruction 알고리즘 기술
- ✓ 자동 X-ray 검사기술 (AXI)-2D, 3D



Patent

특허 보유수 **69건**
합계

X-ray Tube, System 특허

34건

AXI System 특허

8건

Tabletop SEM 특허

3건

Packaging 특허

24건

사업분야

산업용 X-ray 검사기 (2002~)

소재, 부품 검사



Semiconductor
SMT
ELECTRONIC
COMPONENTS
LI ION BATTERY
Etc.

SAMSUNG/AMKOR/SK Hynics/Micron, Etc.

1,570
Units

LINAC(선형가속기) (2017~)

장치, 부품 검사



Military
Container Cargo
Vehicle
Medical(Oncology)
Etc.

5
Units



E-Beam 기술 기반 사업

R&D Center/ H Company, Etc.

Tabletop SEM(주사전자현미경) (2006~)

소재, 생물 검사



Bio Nano
Biology
Material
Li ion Battery
Etc.

University, R&D Center, Government, Etc.

770
Units

Packaging (1999~)



Mobile Phone
TV(LCD)
VR
Etc.

290
Units

STECO/LB Lusem/NEPES/MagnaChip, Etc.

Application별 20개 이상 장비 Line-up
누적 1,570대 / 연 매출 기준 65%

In-line AXI System

세계 최고 검사 속도 & 정밀도
세계 유일 어셈블리 제품 CT 자동 검사
딥러닝 기반 인공지능 SW(소프트웨어) 일부 탑재



X-eye6200AXI



X-eye6300AXI



X-eye9300AXI

Off-line X-ray inspection

세계 최고 수준의 고해상도 장비
SW(소프트웨어)추가로 자동 검사 기능 탑재 가능
광범위한 응용분야 적용 가능



X-eye SF160NCT



X-eye 5000N



X-eye NF120

Die-casting Inspection

자동차 휠, 엔진 등의 금형 주조물
플라스틱 사출품, LCD 패널
등의 대형 제품 불량 검사



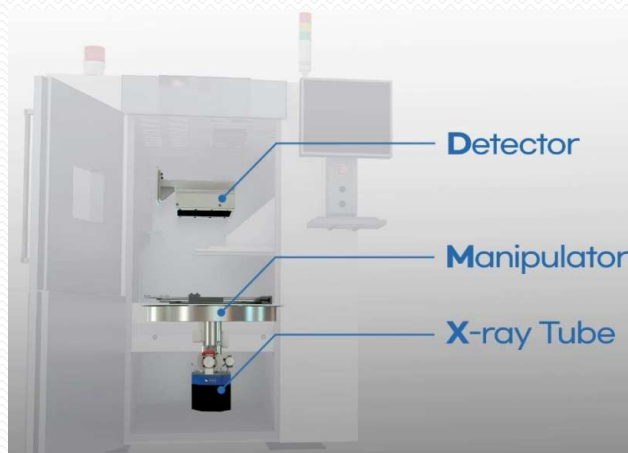
X-eye 7000B



X-eye PCT

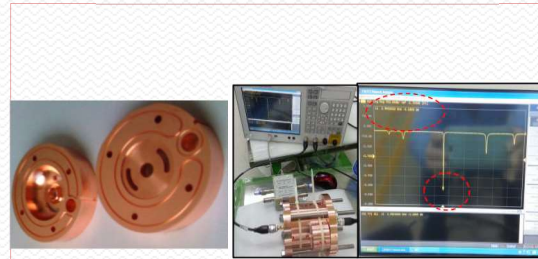
국내유일 X-ray 발생장치(Tube) 개발 및 상용화

X-ray Tube 원천 기술 확보



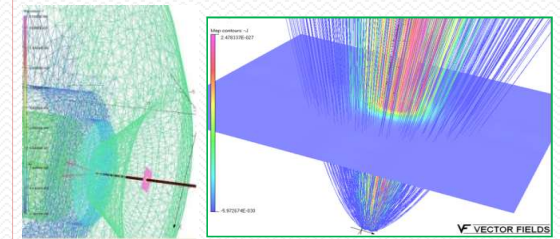
- 01 전량 수입에 의존하던 X-ray Tube 국산화/사업화 성공
- 02 X-ray Tube 원천기술 확보, 10개 모델 개발 성공
- 03 내재화 및 자체생산으로 원가절감, 가격 경쟁력 확보
- 04 X-ray Tube 사업 진행, 일본/독일 등에 역수출 준비 중

설계/가공/측정기술



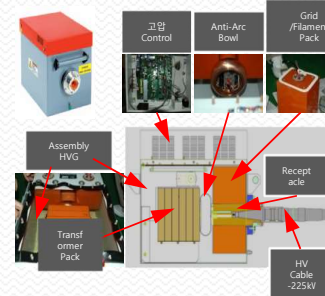
- 높은 조도(50nm)의 부품 정밀 가공기술
- 정밀 Brazing 기술, 고 진공도 유지기술

전자 빔 궤적 전산모사 기술



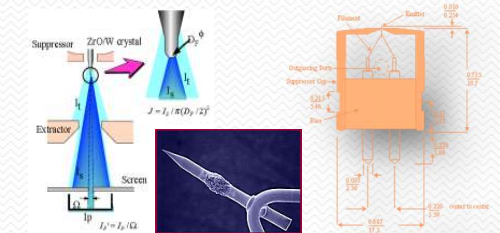
- 진공 내 자기장 분포 해석 기술
- 가속된 전자가 자기장 내의 집속 궤적 계산

Nano Source Generator 기술



- 절연파괴 고려한 고 전압 승압 메커니즘 설계 기술
- 고전압 절연 및 누설감지 설계 기술

전자 총 구동 및 제어 개발



- LaB6, TFE Source Type 전자 총 기술
- Be 판에 수 μm 두께의 텅스텐(W) Deposition 기술

X-ray 검사기 사업현황



시장 확대

부품
사업화

전기차용 배터리, 3D CT 자동 검사 장비

現 전기차용 배터리 일부 2D X-ray 검사 中

2D 검사의 한계를 3D X-ray 검사를 통해 극복 가능⇒ 고속 3D CT 자동 검사 수요 확대

기존 세계 최고 정밀도와 생산성의 3D 자동 X-ray 검사장비를 전기차용 배터리 검사용으로 개발 완료 단계

자율주행차 전장부품, 자동 검사 장비

2010년부터 자동차 전장부품 업체에 X-ray 검사장비 공급 中

2019년부터 전장부품 업계 X-ray 전수검사 수요 증가 中

딥러닝 기반 인공지능 SW 개발하여 성능 향상 예정

독일 OEM의 경우, X-ray 전수검사 표준화 추세

산업용 X-ray Tube

원천기술 확보, X-ray tube 10개 모델 생산 中

2020년 2~3개 모델 선 사업화 진행, 21년부터 해외(중국 포함) 본격적 판매 진행

국내 최초 주사 전자 현미경(SEM) 개발 Tabletop SEM 국내 시장 점유율 40%, 1위



SNE-4500M Plus

사용자 편리성 극대화
최고 사양 고급형 SEM



SNE-4500M

Normal SEM 동등 수준
고 분해능 구현



SNE-300MS

경제적 가격 구성
보급형 SEM

합리적이고 경제적인
공급 가격

고객 사용목적에 최적화된
모델 구성

짧은 대기 시간으로
고 품질의 신속한 영상 구현

진공 시간(3분 이내),
진공 해제 시간(1분 이내)

설치와 이동이 간편한
초소형 주사전자현미경

SET-UP (30분 이내),
설치공간 최소화

유지 관리 비용 해소 및
체계적인 관리 시스템

신속한 A/S 대응 및
순쉬운 장비 유지 관리

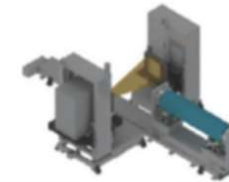
성분 분석 시스템 지원

전 모델 EDS 장착 가능

컨테이너 검사, 자동차, 항공 등 대형 NDT 전용 X-ray 검사 선형가속기(LINAC)



- 1~15 MeV로 전자빔을 가속시켜
고에너지 X-ray를 발생시키는
비파괴 검사 장비
- 전자 선형 가속관 설계 기술을
국산화 개발 및 상용화 성공
- FPXD 및 LDA detector 지원으로
2D/3DCT 영상 획득 가능
- 국내 유일 최대 20MeV까지 평가 가능
차폐시설 보유
(고객의 조건에 맞게 샘플테스트 평가 가능)



국방분야



Container Security



고객사 자동검사대



광양항 컨테이너 검색시설



대형구조물 부품



초대형 컨테이너 검색

가속기 기술 주요 적용처



가속기 사업현황

LINASEC™

시장 확대

신시장
진입

LINAC을 이용한 컨테이너 검색기

말레이시아 외 동남아 국가에서 관심 多, 대량 투자 전망

방산 NDT(비파괴 검사) 장비

2017년 개발 완료 시점 이후 본격적으로 국내 업체 검증/판매 진행 中
딥러닝 기반 인공지능 SW 개발, 검사 성능 향상 추진 中

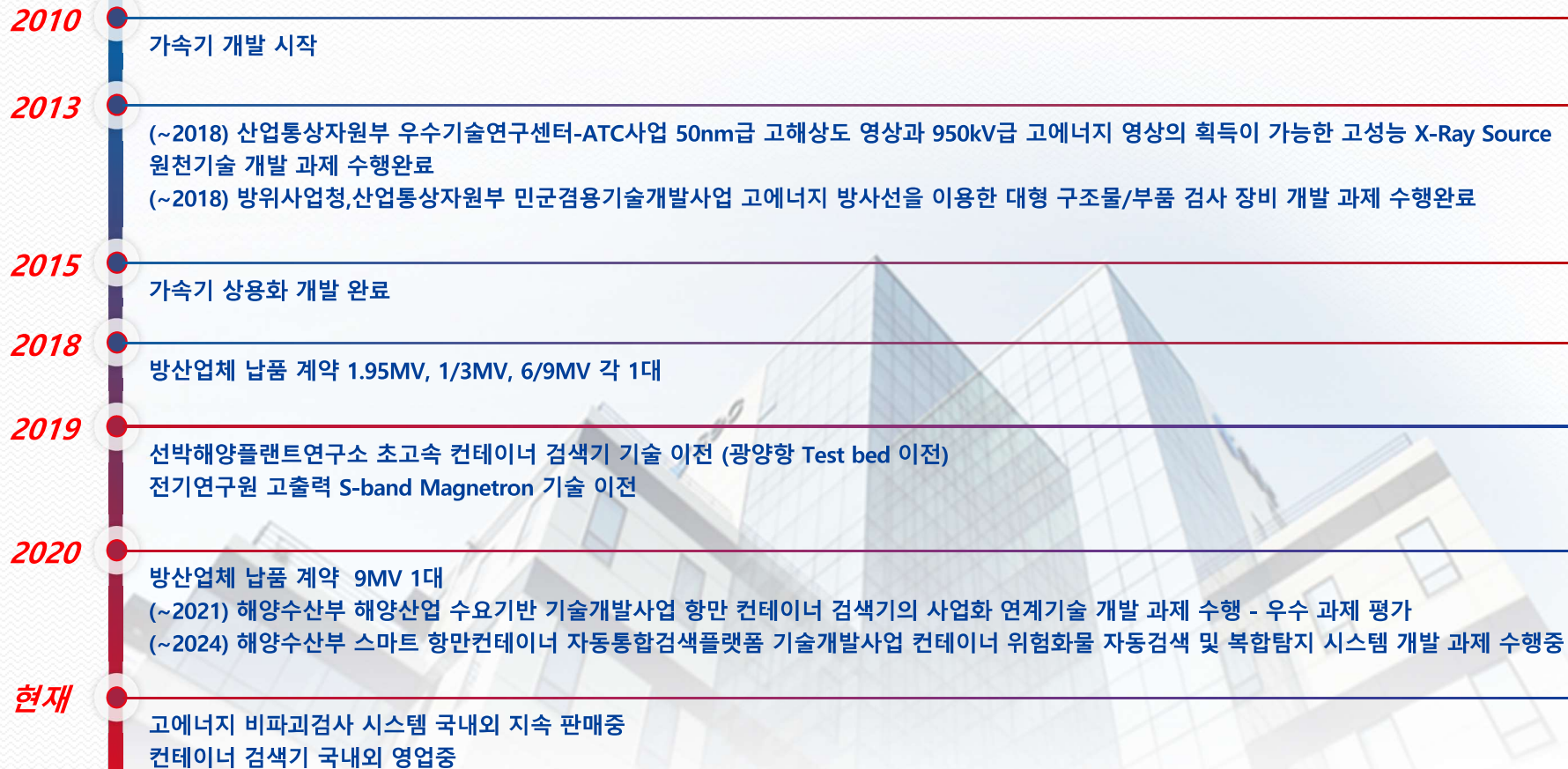
X-ray 암치료기

현재 G병원 외 여러 전문기관과 개발 기획 단계, 2026년까지 시제품 개발 완료 목표

불법 비행체 방어시스템

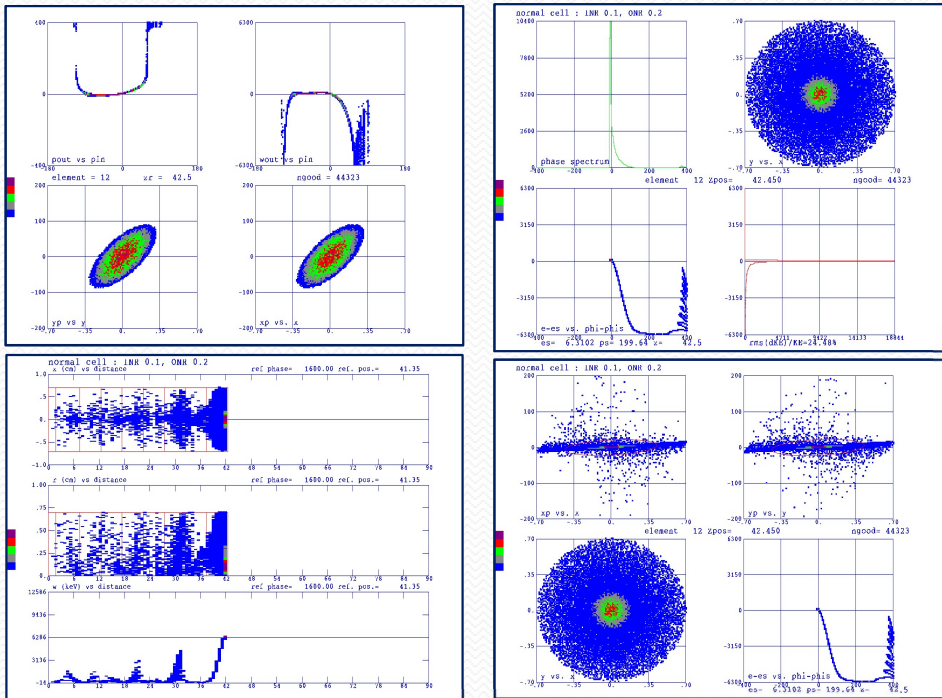
LINAC의 RF발생장치, 마그네트론과 안테나 설계 기술 도입, 융합을 통한 불법 비행체 방어시스템 개발 中
국가 주요 시설, 군사 시설, 핵심 공장 등의 불법 촬영, 테러 등을 방지 가능

가속기 개발 연혁

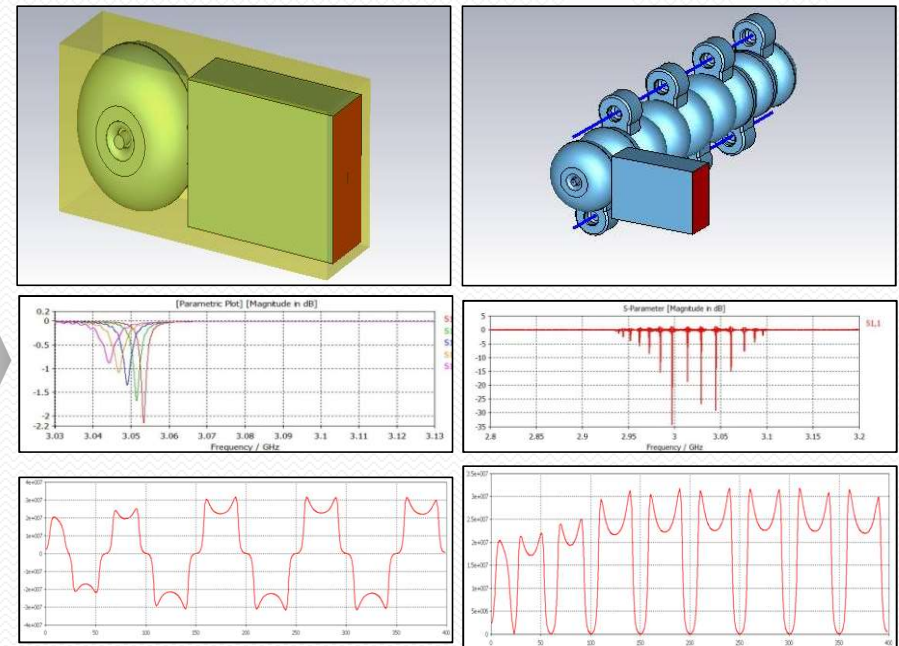
- 
- A vertical timeline on the left side of the slide, with years 2010, 2013, 2015, 2018, 2019, 2020, and 현재 (Current) listed in red. Horizontal lines extend from each year to the right, where the corresponding development milestones are listed in blue text. The background features a faint image of modern buildings.
- 2010** 가속기 개발 시작
 - 2013**
 - (~2018) 산업통상자원부 우수기술연구센터-ATC사업 50nm급 고해상도 영상과 950kV급 고에너지 영상의 획득이 가능한 고성능 X-Ray Source 원천기술 개발 과제 수행완료
 - (~2018) 방위사업청, 산업통상자원부 민군겸용기술개발사업 고에너지 방사선을 이용한 대형 구조물/부품 검사 장비 개발 과제 수행완료
 - 2015** 가속기 상용화 개발 완료
 - 2018** 방산업체 납품 계약 1.95MV, 1/3MV, 6/9MV 각 1대
 - 2019**
 - 선박해양플랜트연구소 초고속 컨테이너 검색기 기술 이전 (광양항 Test bed 이전)
 - 전기연구원 고출력 S-band Magnetron 기술 이전
 - 2020**
 - 방산업체 납품 계약 9MV 1대
 - (~2021) 해양수산부 해양산업 수요기반 기술개발사업 항만 컨테이너 검색기의 사업화 연계기술 개발 과제 수행 - 우수 과제 평가
 - (~2024) 해양수산부 스마트 항만컨테이너 자동통합검색플랫폼 기술개발사업 컨테이너 위험화물 자동검색 및 복합탐지 시스템 개발 과제 수행중
 - 현재**
 - 고에너지 비파괴검사 시스템 국내외 지속 판매중
 - 컨테이너 검색기 국내외 영업중

개발 및 제작 절차

물리설계 Simulation

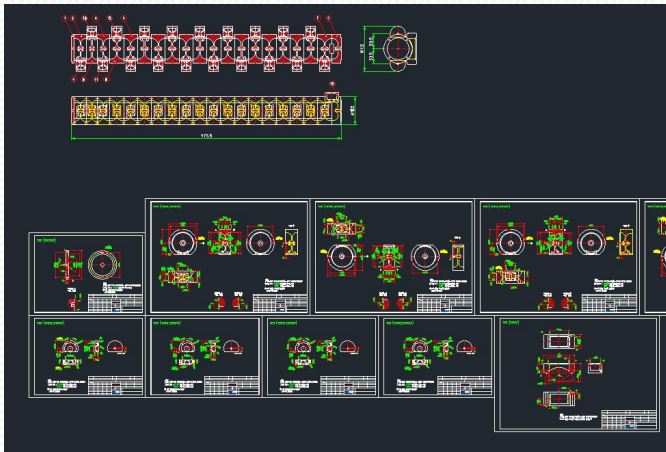


2D Simulation

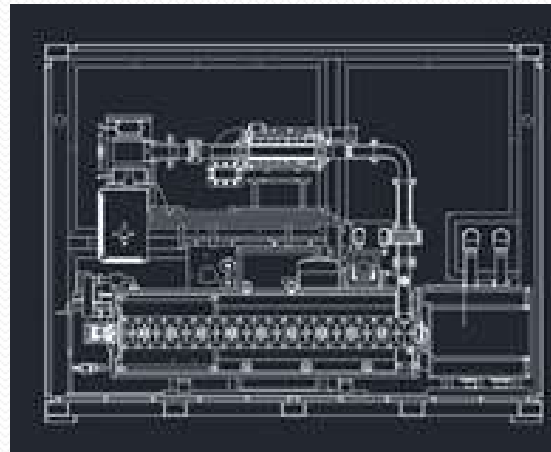


3D Simulation

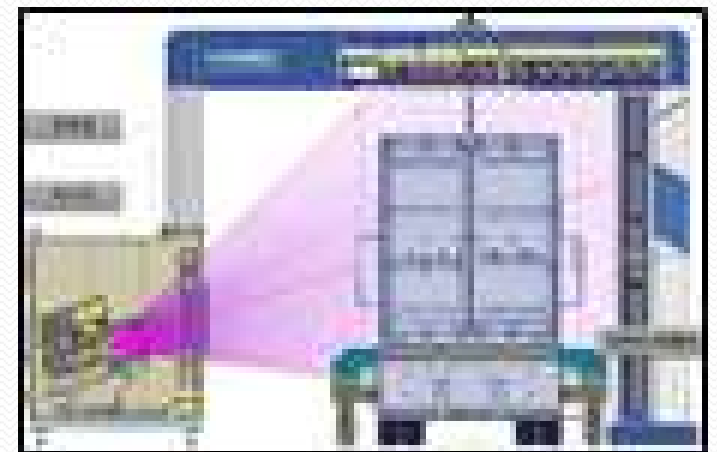
공학설계



가속관 공학설계



가속기 공학설계



시스템 공학설계

개발 및 제작 절차

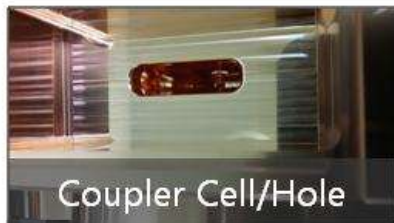
가속관 제작



전체부품



Normal Cell 부품



Coupler Cell/Hole



부품 조립



Side Cell부품

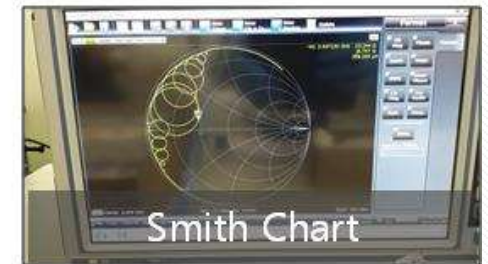
가공 후 조립 및 브레이징



VNA - LINAC Setup



S11 측정



Smith Chart

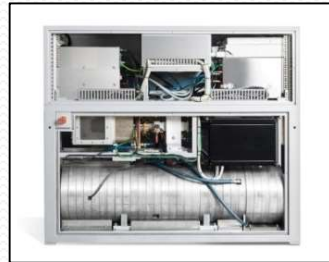
검수 과정

개발 및 제작 절차

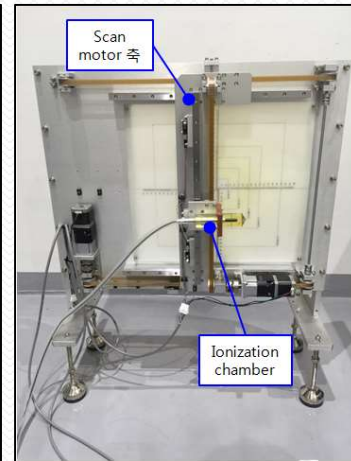
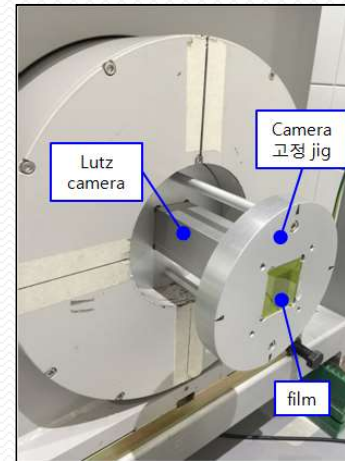
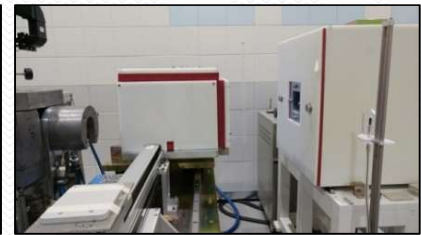
제작 / Processing / 성능평가



가속관 Processing
(Aging or Conditioning)



System integration



성능 평가

국내 유일 자체 차폐시설 보유 / 자체 시험 가능



가속기 차폐실 2개소

제작 인프라

국내 유일 자체 생산 시설 보유



Clean Booth



Water Jet



납평탄기



형상측정기



범용선반



MCT/CNC 복합기



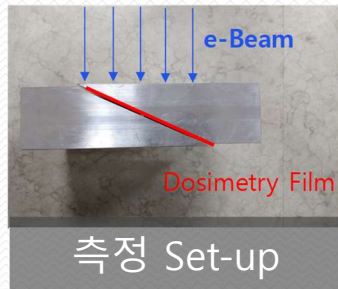
DTM



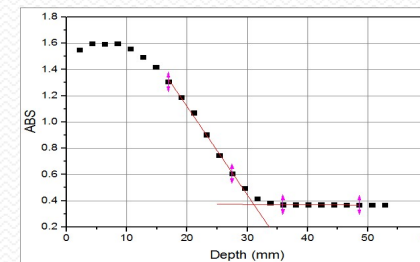
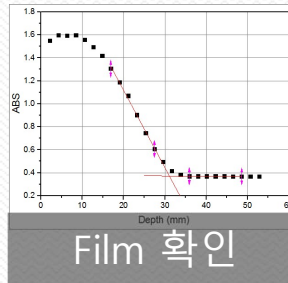
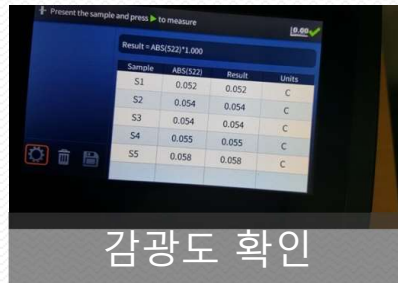
브레이징로

Energy 측정 (ASTM 규정)

Aluminum Wedge를 이용한 Energy 측정



- ✓ ASTM 51649 규정집의 절차와 Data에 근거
- ✓ Al Wedge 내 깊이 별 Film의 감광 정도 확인
- ✓ 1~16 MV 이상의 다양한 e-Beam Energy 출력



E (MeV)	R ₅₀ (cm)	R _p (cm)	R _{ex} (cm)
2.5	0.3046	0.4386	0.4404
3	0.3906	0.5440	0.5446
4	0.5622	0.7541	0.7526
5	0.7333	0.9633	0.9601
6	0.9038	1.1714	1.1671
7	1.0739	1.3787	1.3736
7.5	1.1588	1.4819	1.4767
8	1.2435	1.5849	1.5796
9	1.4126	1.7903	1.7851
10	1.5812	1.9947	1.9901
12	1.9170	2.4009	2.3986
15	2.4171	3.0036	3.0077
20	3.2415	3.9913	4.0134
25	4.0548	4.9591	5.0077

Energy 측정 (Half value layer)

Ion Chamber를 이용한 Energy 측정



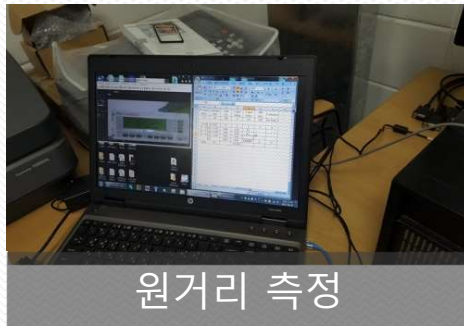
이온챔버



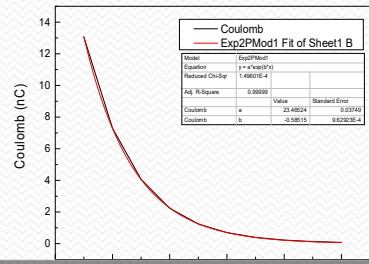
이온전류측정



선량 측정기



원거리 측정



Data Fitting, HVL 계산

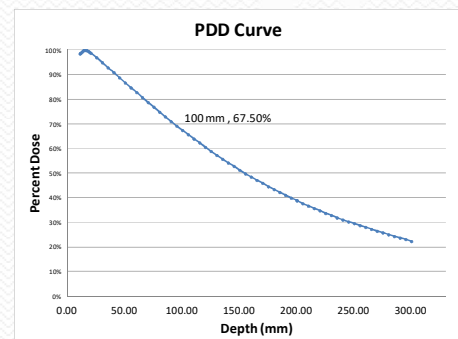
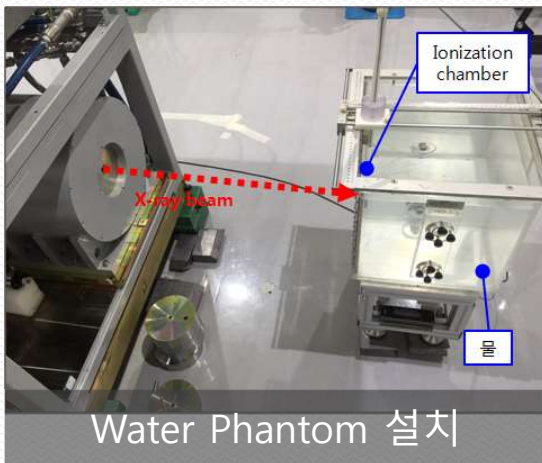
- Steel Plate를 늘려가면서 이온전류 측정
- Steel 증가에 따른 감쇄율을 Fitting하여 HVL 계산
- Energy별 반가층 값과 비교, 1~16 MV 확인

TABLE 1 Typical Steel HVL Thickness in Inches (mm) for Common Energies

Energy	Thickness, Inches (mm)
120 kV	0.10 (2.5)
150 kV	0.14 (3.6)
200 kV	0.20 (5.1)
250 kV	0.25 (6.4)
400 kV (Ir 192)	0.35 (8.9)
1 MV	0.57 (14.5)
2 MV (Co 60)	0.80 (20.3)
4 MV	1.00 (25.4)
6 MV	1.15 (29.2)
10 MV	1.25 (31.8)
16 MV and higher	1.30 (33.0)

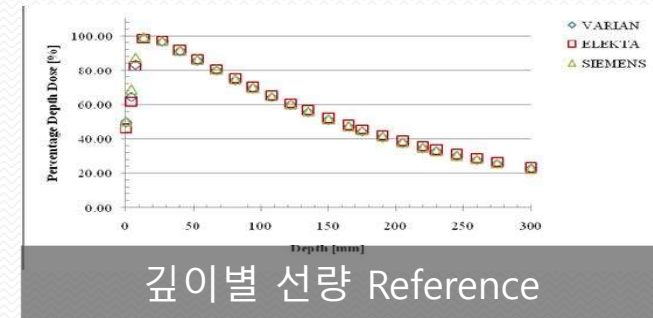
Energy 측정 (PDD curve 비교)

Water Phantom을 이용한 Energy 측정



깊이별 선량 감소율

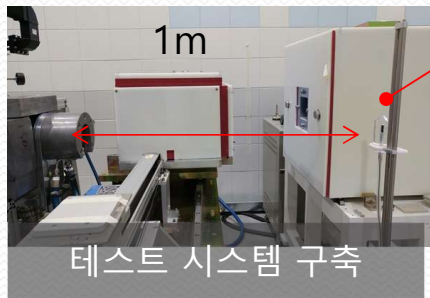
- ✓ 물에 X-ray Beam을 조사하여 깊이별 선량 측정
- ✓ 깊이 별 선량 측정을 의료용 장비의 PDD와 비교
- ✓ 10x10 cm² Field Size 이용시 10 cm위치에서 67.3%가 Siemens 6MV LINAC에서의 값이다.
- ✓ 강남성모병원 의학물리팀에 의해 측정되었으며, sec 장비는 67.5%로 >6MV Energy가 측정되었다.



깊이별 선량 Reference

Dose rate 측정

Ion Chamber를 이용한 X-ray 선량 측정



Ion Chamber



- Target으로부터 1 m 위치에 Ion Chamber 설치
- e-beam Pulse 폭과 PRF 조정하여 선량 확인
- 측정 시간은 1 min을 기준으로 한다.
- 9MV, 15MV의 경우 V社 대비 월등한 선량 확인

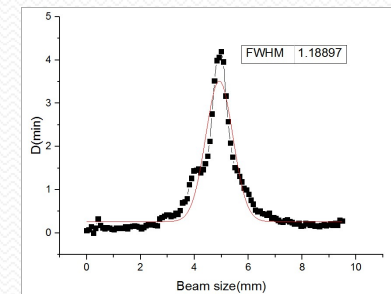
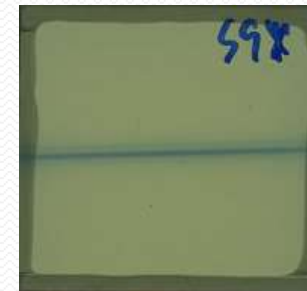


Spot size 측정

카드보드지와 납판을 이용한 Spot Size 측정



- ✓ EBT3 Film 준비
- ✓ 카드보드지와 납을 중첩한 측정장비 준비
- ✓ Film 감광 이후 Scan하여 피팅 후 FWHM 측정
- ✓ 전 시스템에서 2mm 이내 Spot Size 확인



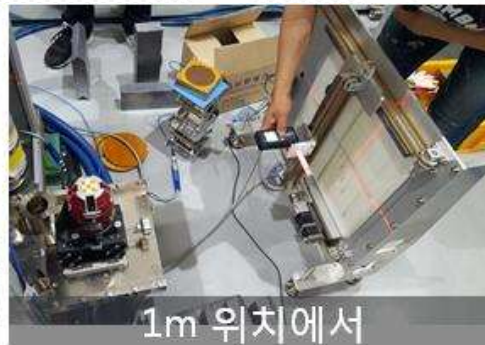
2D Dosimetry System을 이용한 빔특성 측정



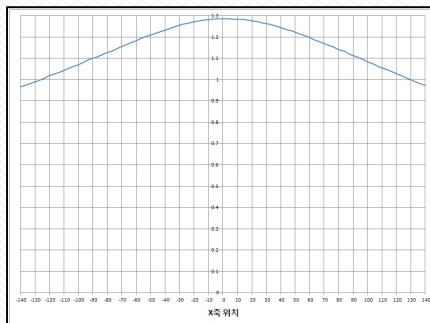
System



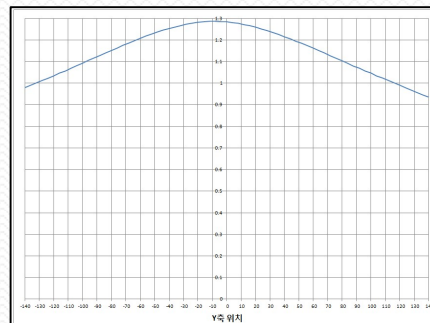
2D 선량 측정기



1m 위치에서

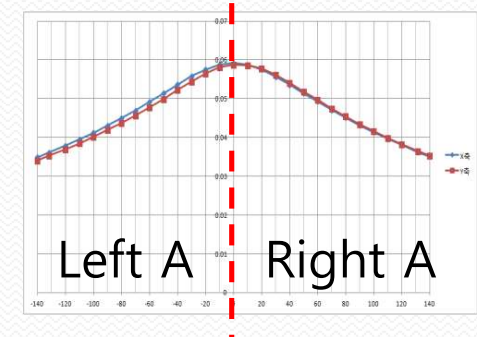


X축 선량 Profile



Y축 선량 Profile

- 1 m위치에서 평면 위치별 선량을 측정한다.
- 선량 감소 정도를 비교하여 Flatness를 확인
- 면적을 아래식을 이용하여 Symmetry 계산

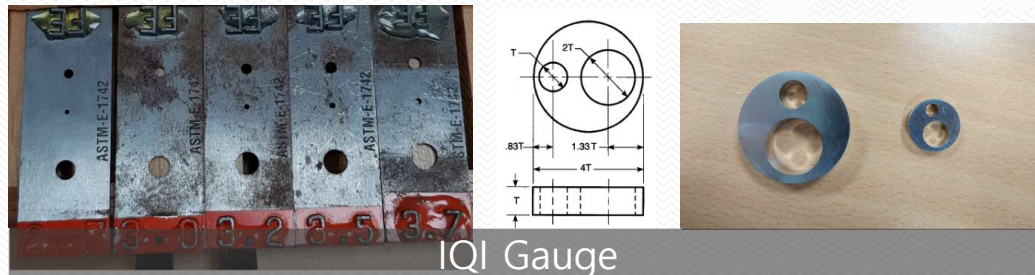


R(ratio)

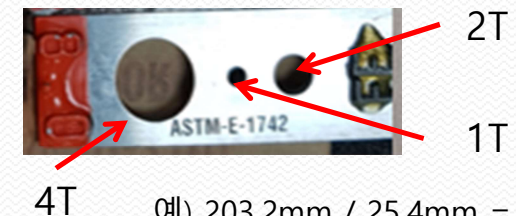
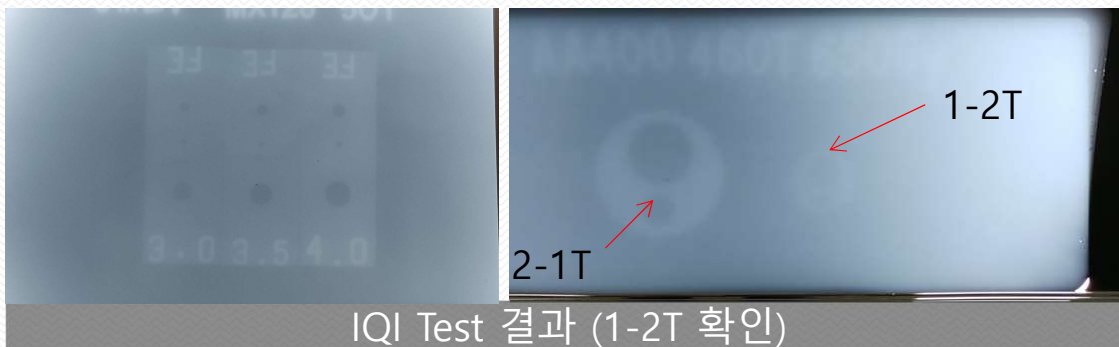
$$= 100 \times \frac{\text{Area(left)} - \text{Area(right)}}{\text{Area(left)} + \text{Area(right)}}$$

유공계 테스트

IQI를 이용한 Imaging Quality Test



- ✓ IQI 식별번호 = 시편두께 / 25.4
- ✓ 적정 IQI 대비 더 낮은 것을 사용할 것(기본 2%)
- ✓ 유공계를 통해 1-2T 확인

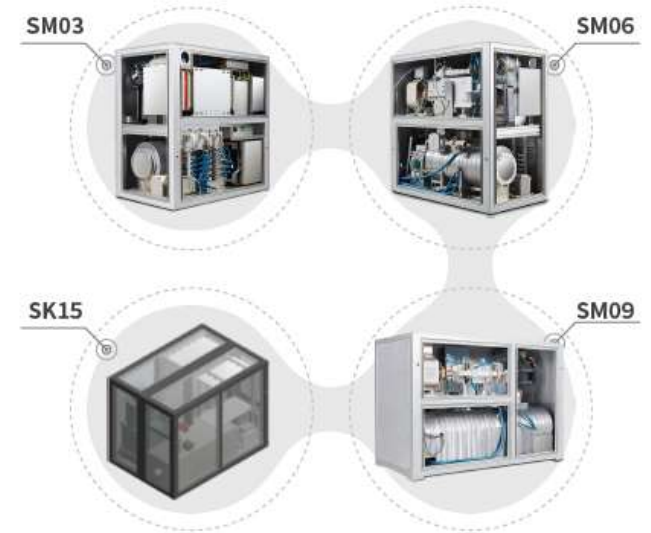


예) $203.2\text{mm} / 25.4\text{mm} = 8.0$
필요 유공계 식별 : #8
결과 : 2-1T
(시편 두께의 2%에 hole 1T 식별)

LINASEC Series LineUp

Description	SM03	SM06	SM09	SK15
X-ray Beam Energy	1/2/3 (MV)	3.5/5/6(MV)	5/6/9(MV)	9/15(MV) 이상
X-ray Beam Dose Rate	0.25~3 (Gy/min•m)	2.5~10 (Gy/min•m)	6~35 (Gy/min•m)	50~140 (Gy/min•m)
X-ray Beam Focal Spot Size	< 2mm (FWHM)			
Operating Frequency	2998 MHz (S-band)			2856 MHz
RF Source	Magnetron			Klystron
Beam Pulse Width	1~3.5 us			
Max. PRF	Up to 300 Hz			250 Hz
Beam Flatness	≥72.5%@±7.5°	≥62%@±7.5°	≥55%@±7.5°	≥45%@±6.0°
Radiographic Quality Range	38~203mm	51~254mm	76~381mm	254~460mm
Leakage(fraction)	1×10^{-3} (0.1%)			
Electric Power	380VAC 3Φ			
Current	50A/18A (*TCU)			

*TCU : Temp. Control Unit



성능 비교

선진업체 대비 동급 이상 사양

평가항목		인증기준	평가 결과	
			썬크	미국 V사
X-ray 에너지	10MV mode	30.50mm \pm 1%	30.61mm	
	9MV mode	29.97mm \pm 1%	29.96mm	1.19inch(30.226mm)
	6MV mode	27.94mm \pm 1%	28.15mm	1.11inch(28.194mm)
선량률	9MV mode	> 30Gy/min@1m	30.42Gy/min@1m	29.38Gy/min@1m
	6MV mode	> 10Gy/min@1m	10.90Gy/min@1m	10.09Gy/min@1m
	9/6MV Interlaced mode	> 20Gy/min@1m	20.71Gy/min@1m	19.83Gy/min@1m
X-ray Beam Size	9MV mode	각 결과 < 2mm	X축 1.96mm / Y축 1.94mm	X축 1.4mm / Y축 1.7mm
	6MV mode		X축 1.40mm / Y축 2.00mm	X축 1.3mm / Y축 1.6mm
	9/6MV Interlaced mode		X축 1.66mm / Y축 1.98mm	X축 1.4mm / Y축 1.6mm
Symmetry	9MV mode	각 결과 < 5%	X축 0.45% / Y축 -1.59%	X축 2.5% / Y축 1.9%
	6MV mode		X축 -0.82% / Y축 -1.82%	X축 4.3% / Y축 4.2%
	9/6MV Interlaced mode		X축 -2.86% / Y축 -1.64%	X축 3.7% / Y축 3.1%
Flatness	9MV mode	$\geq 55\%$ @ $\pm 7.5^\circ$	+X축 58.19% / -X축 58.93% / +Y축 60.68% / -Y축 57.34%	X축 56% / Y축 56%
	6MV mode	$\geq 62\%$ @ $\pm 7.5^\circ$	+X축 64.55% / -X축 62.40% / +Y축 65.15% / -Y축 62.21%	X축 68.5% / Y축 68.5%
Leakage		모든 지점 Leakage < 0.1%	주 방향 선량(기준 선량) : 7610mGy 최대값 : 5.78mGy (0.076%) 최소값 : 0.68mGy (0.009%) 모든 지점 합격	주 방향 선량(기준 선량) : 3194R/min 최대값 : 0.1175R/min (0.00368%) 최소값 : 0.0113R/min (0.00035%) 모든 지점 합격

성능 개선사항

다양하고 확장된 운용 mode

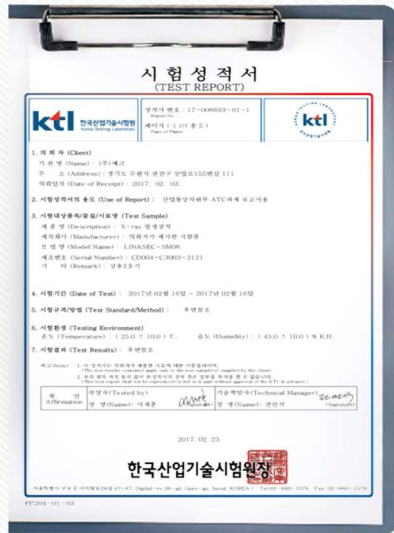
항 목	세크	미국 V사
X-ray 에너지	5~10 MV 범위를 0.1 MV 단위로 제어 가능	5/6/9 MV 3가지 에너지 모드만 가능
선량률	6~35 Gy/min@1m PRF와 Pulse Width 제어로 선량률을 자유롭게 가변 가능	6/8/30 Gy/min@1m PRF 제어는 가능하나 Pulse Width는 자유로운 제어가 어려움
Modulator	Hybrid 방식 Modulator Max. RF peak power : 3.1 MW peak power와 pulse width의 제어가 자유로움	PFN 방식 Modulator Max. RF peak power : 2.6 MW peak power와 pulse width의 자유로운 제어가 어려움
E-gun	3극관 E-gun 전자beam current로 선량률 제어를 할 수 있음	2극관 E-gun 전자beam current로 선량률 제어가 불가능함

Modulator와 E-gun의 개선을 통한
다양하고 유연한 운용 mode

가속관 설계의 개선을 통한
확장된 운용 mode 사양

고객의 검사 상황에 맞는 최적의 X-ray 발생 가능

15 MV 가속기 사양 비교



KTL 시험성적서

Varian K15



SEC



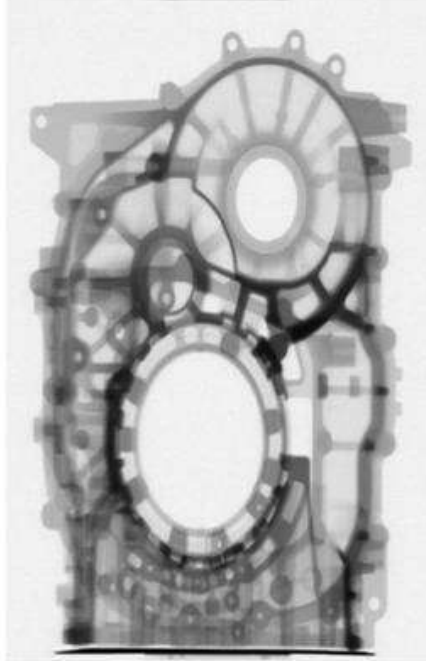
	Varian K15	개발결과
Energy	15 MeV	> 16 MeV
Dose Rate	120 Gy/min-m	140 Gy/min-m
Spot Size	< 3 mm	About 1 mm
Radiographic Quality	1-2T	1-2T
Penetration	< 460 mm	< 460 mm

LINASEC Image Gallery

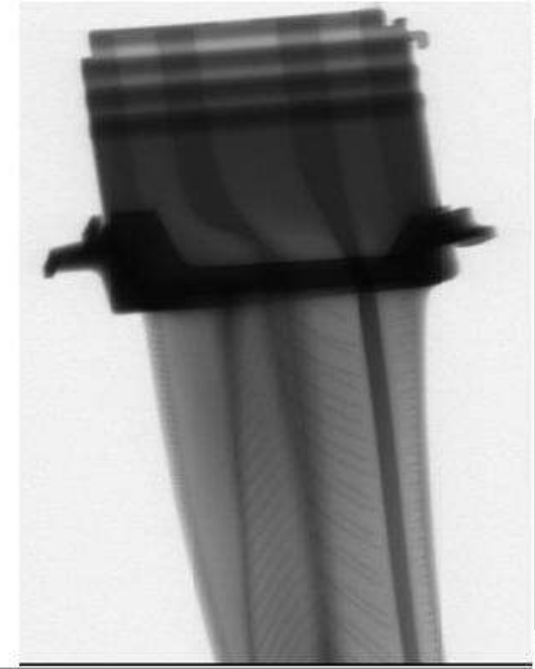
LINASEC Image Gallery



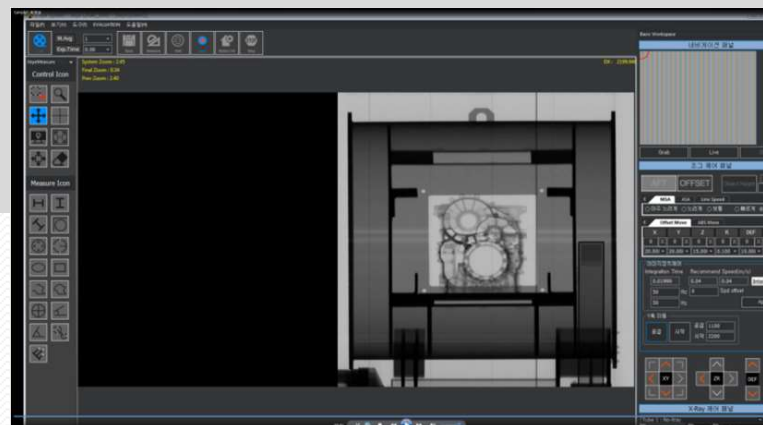
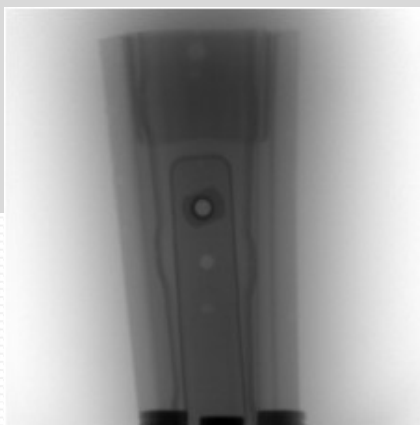
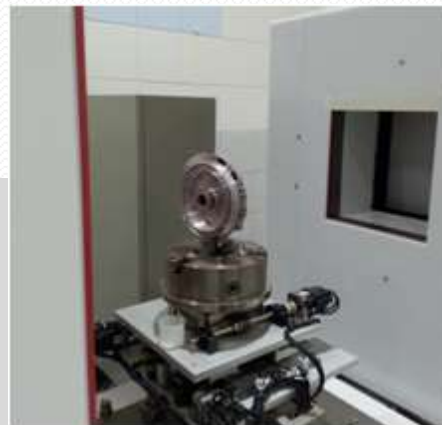
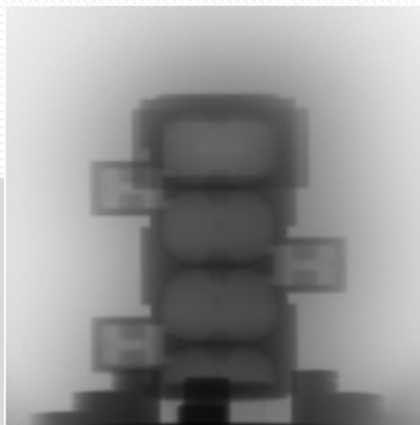
Engine Mission



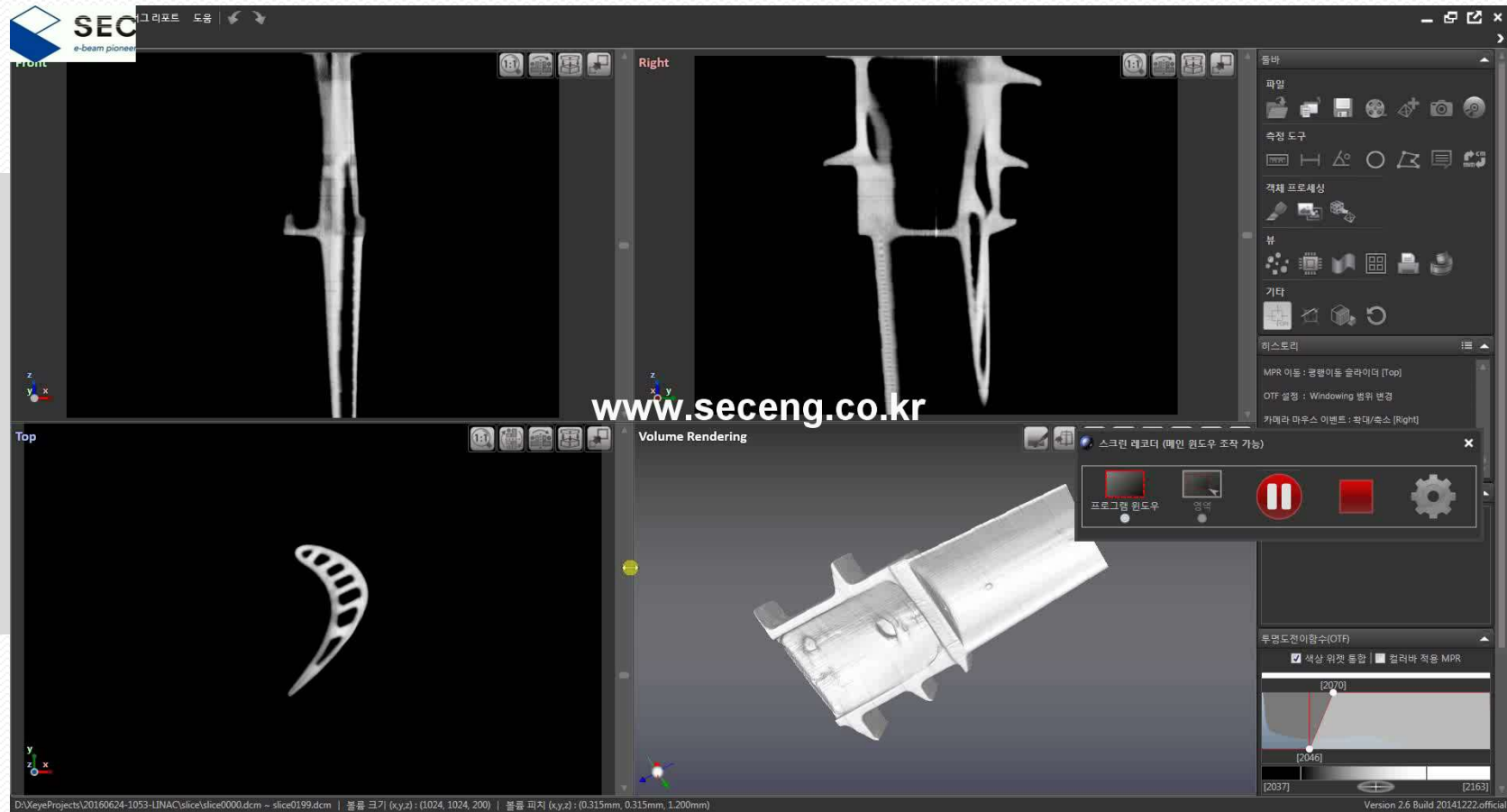
발전소 Turbine Blade



LINASEC Image Gallery



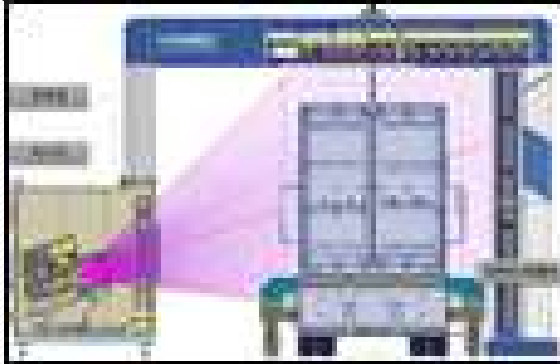
LINASEC Image Gallery



컨테이너 검색기

광양항 relocatable type 컨테이너 검색기

• Relocatable방식 컨테이너 검색시스템

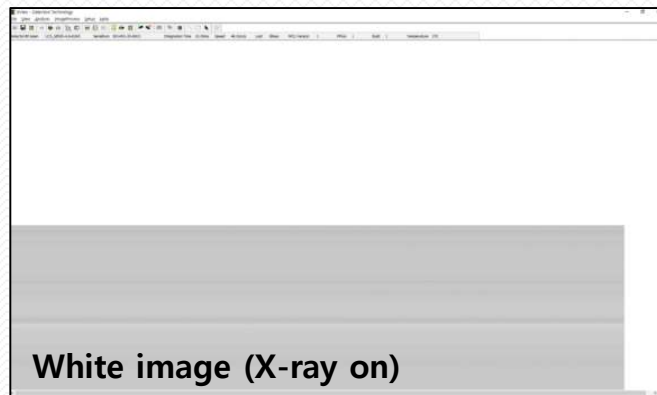


컨테이너 검색기

광양항 relocatable type 컨테이너 검색기

○ 영상 획득

• 영상 Calibration



• Test 영상 획득

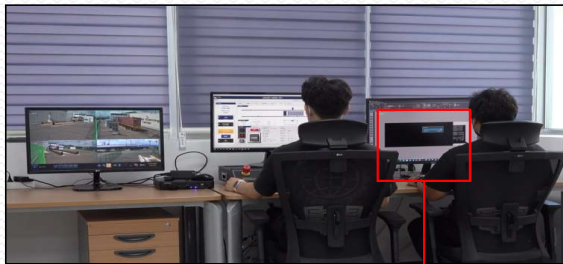


컨테이너 검색기

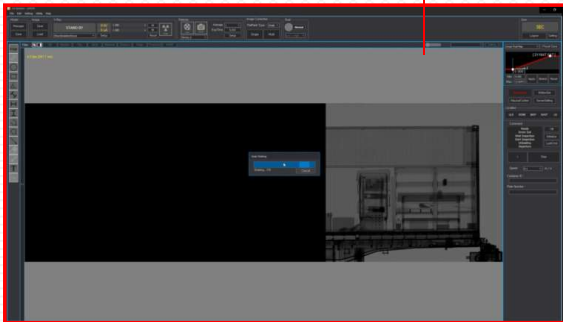
투과영상 컨테이너 검색시스템

○ 투과 영상획득시험 시스템 최적화

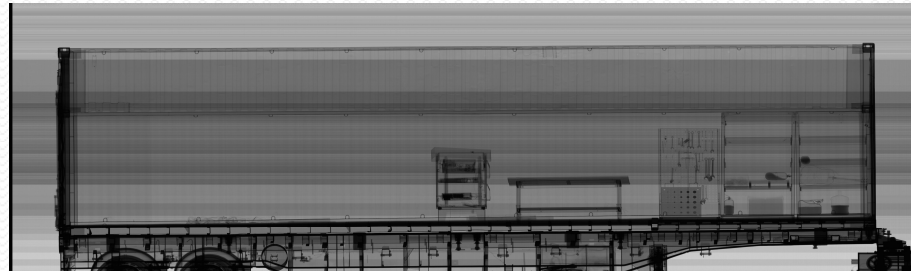
- 사전 영상 획득 시험 최적화
- Gain correction 최적화 수행



영상 획득 시험



영상 획득 프로그램



영상 처리(Gain correction) 이전



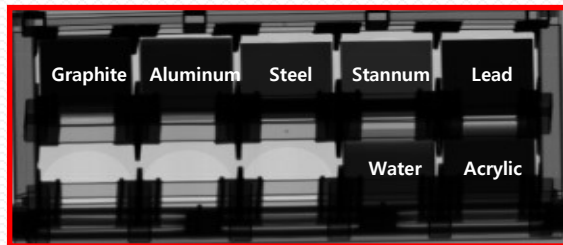
영상 처리(Gain correction) 이후

컨테이너 검색기

투과영상 컨테이너 검색시스템

○ 이중에너지 물질판별 method

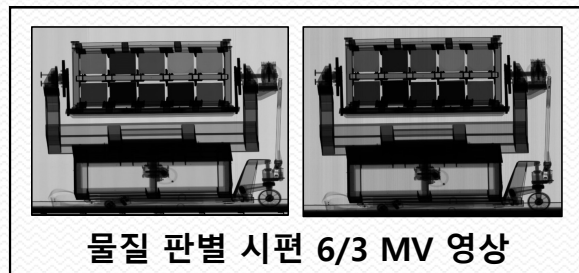
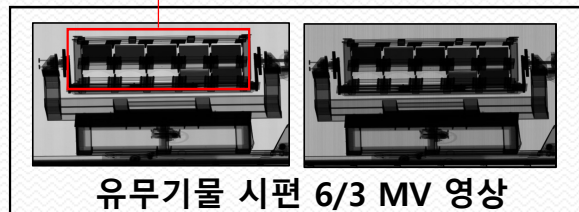
- 물질 판별을 위한 이중 에너지 영상획득 사전 시험



	T1	T2	T3	T4	T5
Lead	10	20	40	60	100
Stannum	13	26	51	77	90
Steel	15	30	60	90	150
Aluminum	40	80	160	250	400
Graphite	100	200	400	600	800
Acrylic	100	200	400	600	800
Water	100	200	300	500	600
Air					

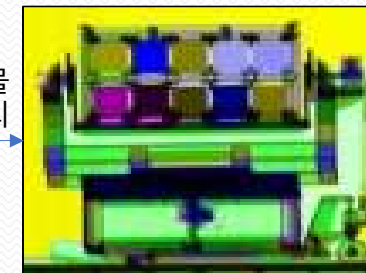
단위 : mm
지그 없이 컨테이너만 촬영

각 샘플마다 정해진 두께로 한 세트 구성, 총 5세트

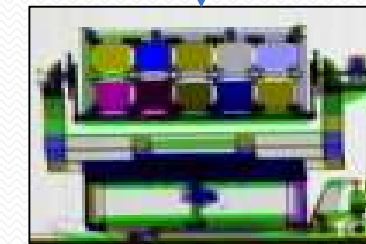


세트들로
구성된 샘플
영상 촬영
↓
Library data
생성

유무기물
판별처리



Offset 적용

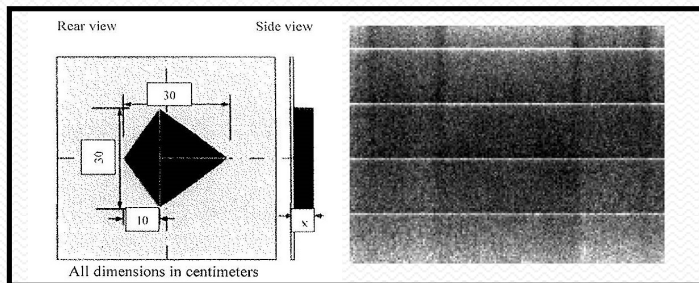


최종 영상

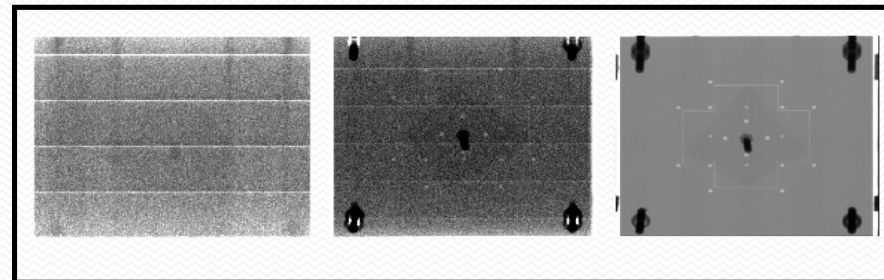
컨테이너 검색기

ANSI N42.46

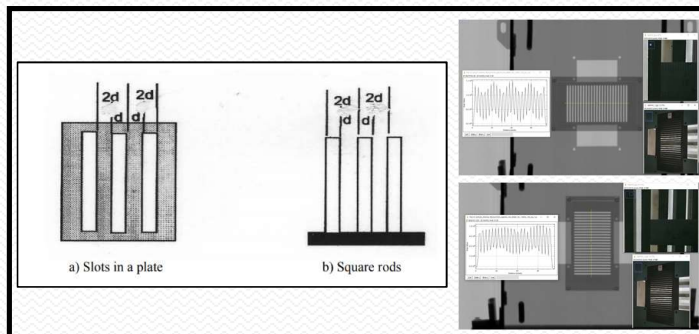
- 6MV X-ray
- Pixel pitch 4.6mm LDA 조건



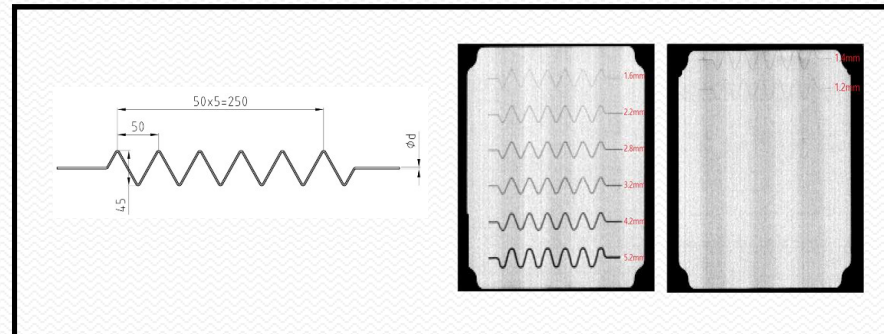
투과력 평가 : 360mm 철판



대비민감도 평가 : 290 mm 철판 조건에서 9 mm



공간해상도 평가 : 4.6 mm



선감지 평가 : 1.2 mm

컨테이너 검색기

광양항 컨테이너 검색기 시설

○ 컨테이너 내부 투과 영상

6MV



9MV



컨테이너 검색기

광양항 컨테이너 검색기 시설

○ 실시간 컨테이너 검색기 System

※ 5배속 영상





THANK YOU