



# 비파괴검사용 전자가속기 개발 현황

22. 10. 19.

(주)세크 문진혁



# ■ Contents

## I. 회사 소개

1. (주)세크 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)세크 소개

## 주요 연혁

### ○ 산업용 X-ray 장비 전문 제작사

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



• 주사전자현미경 (MiniSEM) 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.

LINASEC™

R&D Center/ H Company, Etc.

5  
Units



E-Beam 기술 기반 사업

## 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.

STECO/LB Lusem/NEPES/MagnaChip, Etc.

290  
Units

## 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



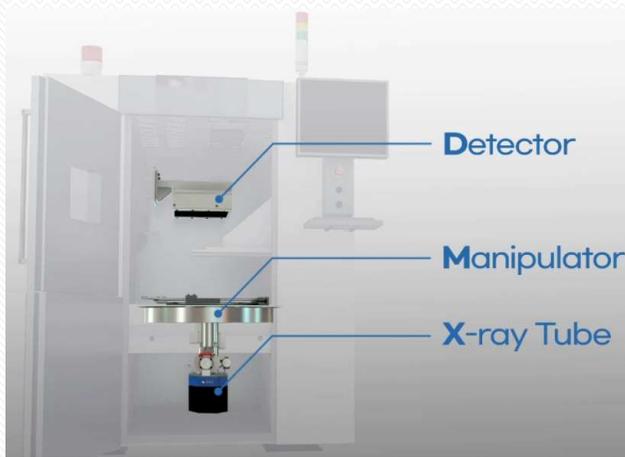
X-eye 7000B



X-eye PCT

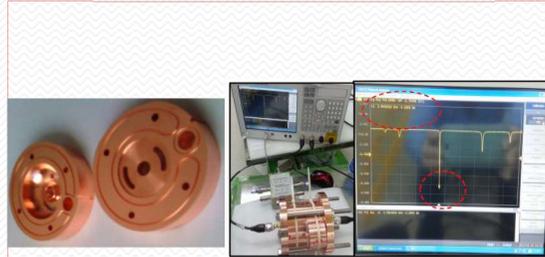
# 국내유일 X-ray 발생장치(Tube) 개발 및 상용화

## X-ray Tube 원천 기술 확보



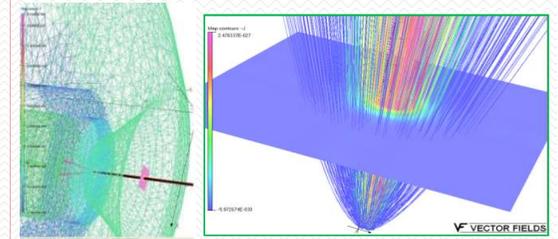
- 01 전량 수입에 의존하던 X-ray Tube **국산화/사업화 성공**
- 02 **X-ray Tube 원천기술 확보**, 10개 모델 개발 성공
- 03 내재화 및 자체생산으로 **원가절감, 가격 경쟁력 확보**
- 04 X-ray Tube 사업 진행, **일본/독일 등에 역수출 준비 중**

## 설계/가공/측정기술



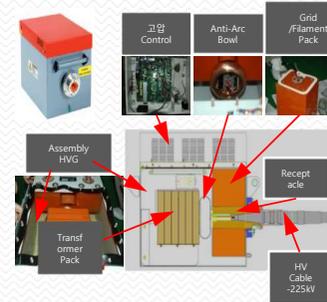
- 높은 조도(50nm)의 부품 정밀 가공기술
- 정밀 Brazing 기술, 고 진공도 유지기술

## 전자 빔 궤적 전산모사 기술



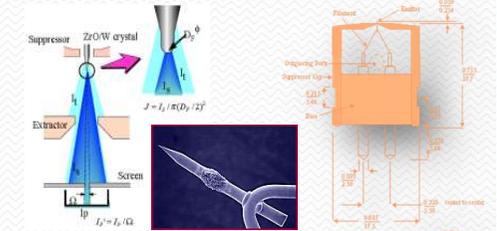
- 진공 내 자기장 분포 해석 기술
- 가속된 전자가 자기장 내의 집속 궤적 계산

## 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  $\mu\text{m}$  두께의 텅스텐(W) Deposition 기술



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)



## 가속기 기술 주요 적용처



## 가속기 사업현황

LINASEC™

시장 확대

신시장  
진입

### LINAC을 이용한 컨테이너 검색기

말레이시아 외 동남아 국가에서 관심 다, 대량 투자 전망

### 방산 NDT(비파괴 검사) 장비

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

### X-ray 암치료기

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

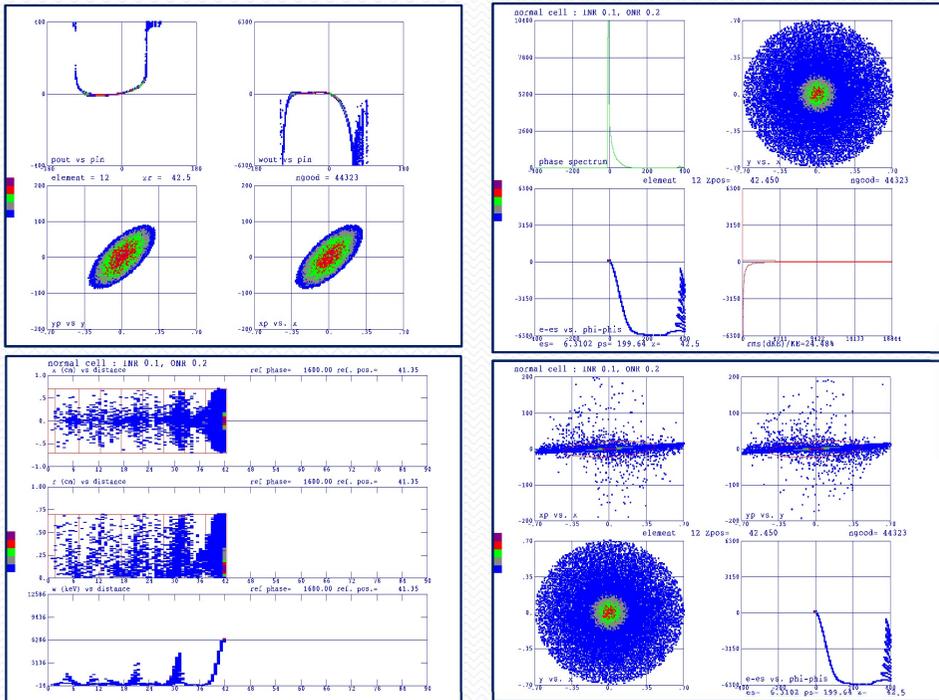
### 불법 비행체 방어시스템

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

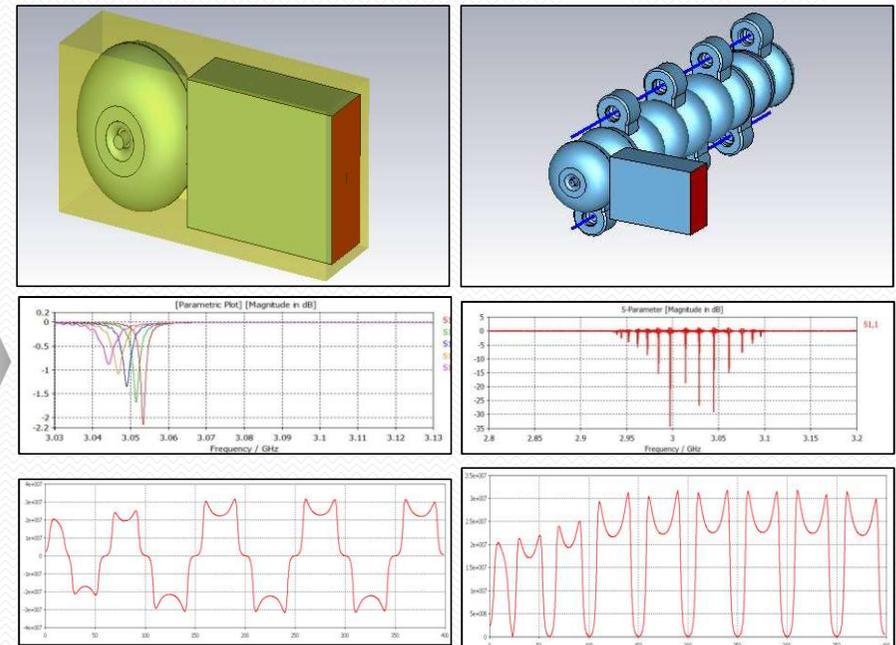
## 가속기 개발 연혁

- 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

## 물리설계 Simulation

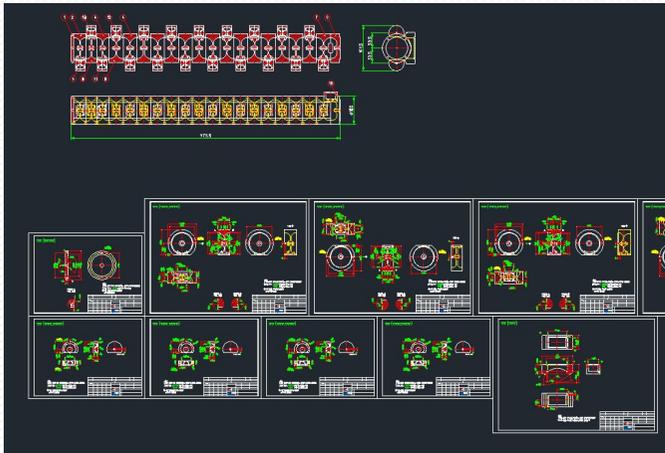


2D Simulation

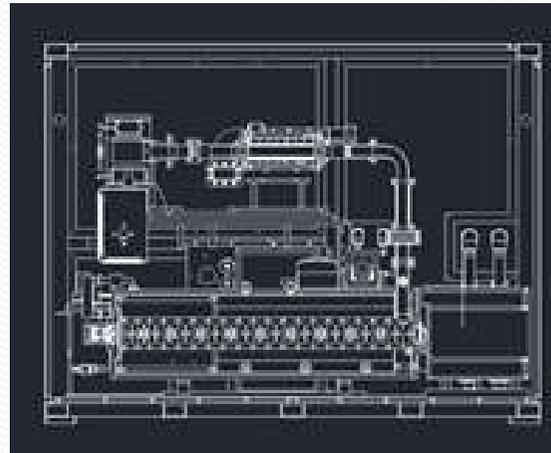


3D Simulation

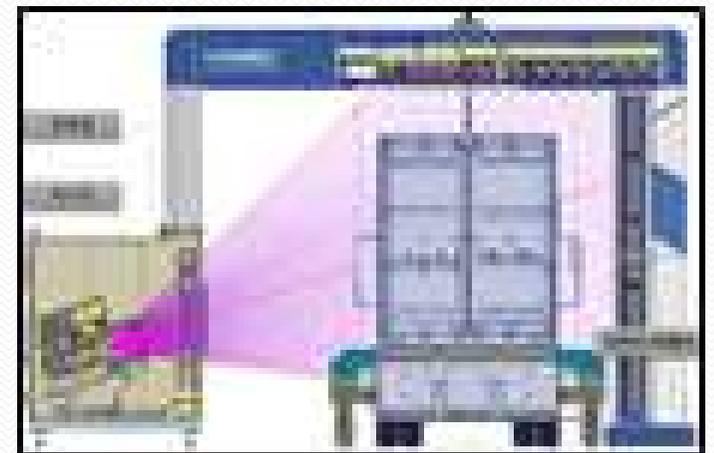
공학설계



가속관 공학설계

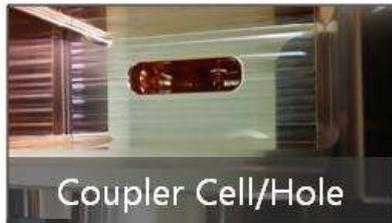
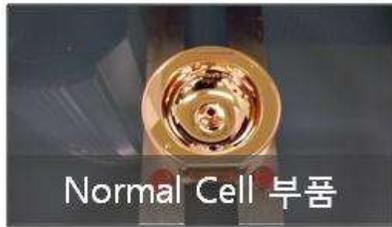


가속기 공학설계

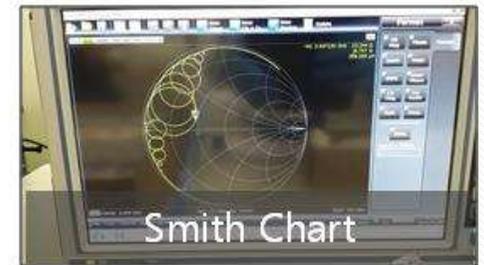
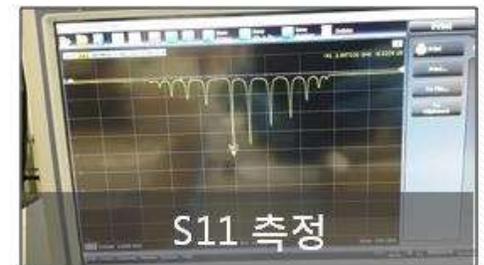


시스템 공학설계

가속관 제작



가공 후 조립 및 브레이징



검수 과정

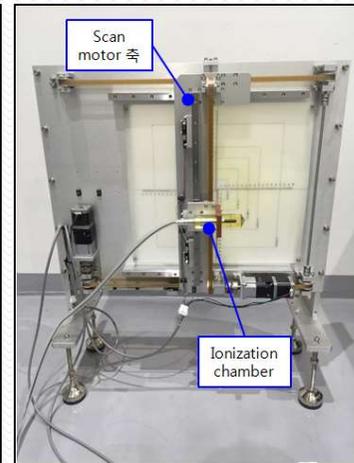
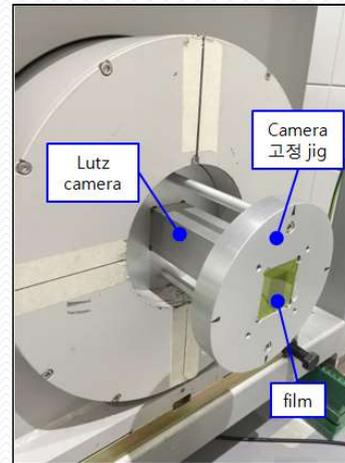
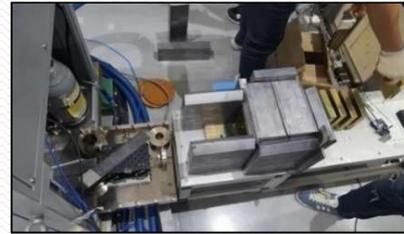
제작 / Processing / 성능평가



가속관 Processing  
(Aging or Conditioning)



System integration



성능 평가

국내 유일 자체 차폐시설 보유 / 자체 시험 가능



가속기 차폐실 2개소

국내 유일 자체 생산 시설 보유



Clean Booth



Water Jet



납평탄기



형상측정기



범용선반



MCT/CNC 복합기



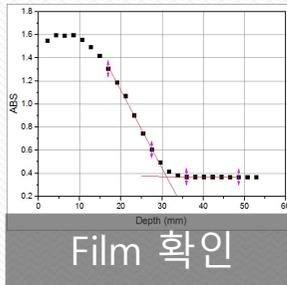
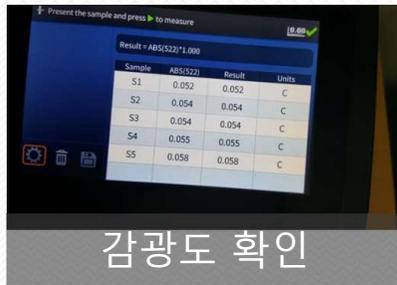
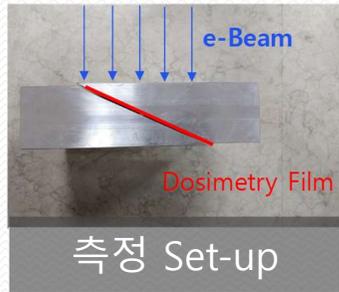
DTM



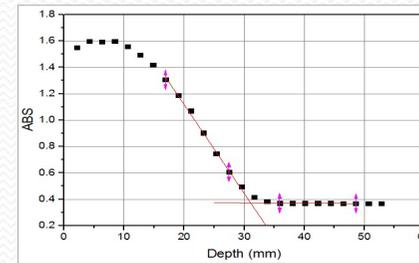
브레이징로

# 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) | $R_{0.05}$ (cm) |
|---------|---------------|------------|-----------------|
| 2.5     | 0.3046        | 0.4386     | 0.4404          |
| 3       | 0.3906        | 0.5440     | 0.5446          |
| 4       | 0.5622        | 0.7541     | 0.7526          |
| 5       | 0.7323        | 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



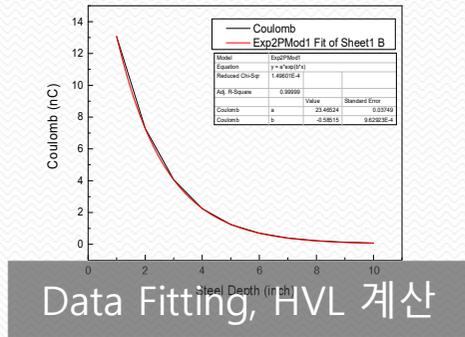
이온전류측정



선량 측정기



원거리 측정



Data Fitting, HVL 계산

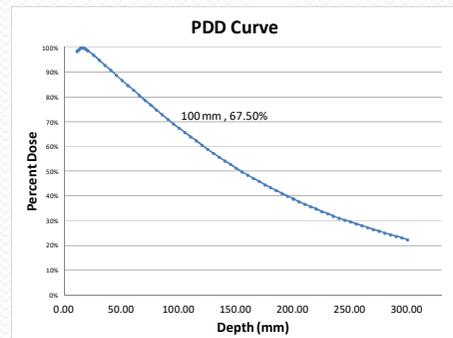
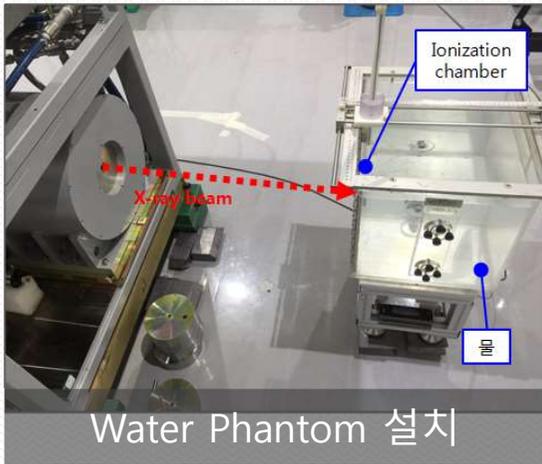
- Steel Plate를 늘려가면서 이온전류 측정
- Steel 증가에 따른 감쇄율을 Fitting하여 HVL 계산
- Energy별 반가층 값과 비교, 1~16 MV 확인

**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)            |

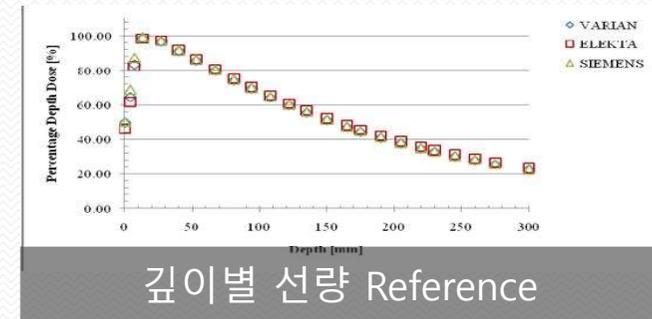
# Energy 측정 (PDD curve 비교)

## Water Phantom을 이용한 Energy 측정



깊이별 선량 감소율

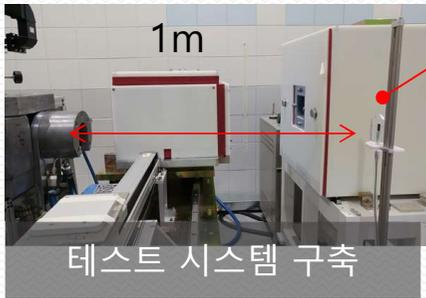
- 물에 X-ray Beam을 조사하여 깊이별 선량 측정
- 깊이 별 선량 측정을 의료용 장비의 PDD와 비교
- 10x10 cm<sup>2</sup> Field Size 이용시 10 cm위치에서 67.3%가 Siemens 6MV LINAC에서의 값이다.
- 강남성모병원 의학물리팀에 의해 측정되었으며, sec 장비는 67.5%로 >6MV Energy가 측정되었다.



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

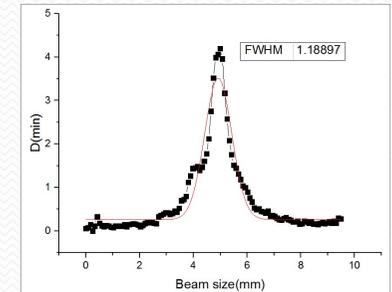
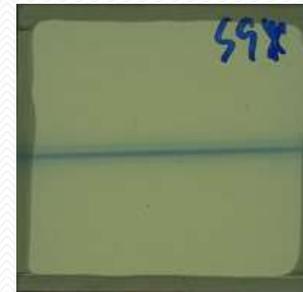


## Spot size 측정

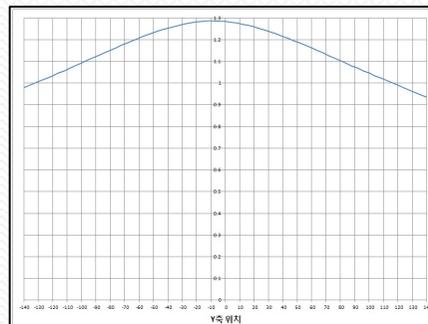
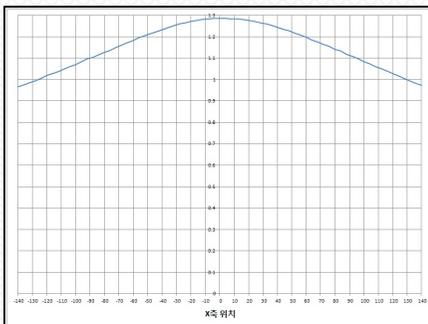
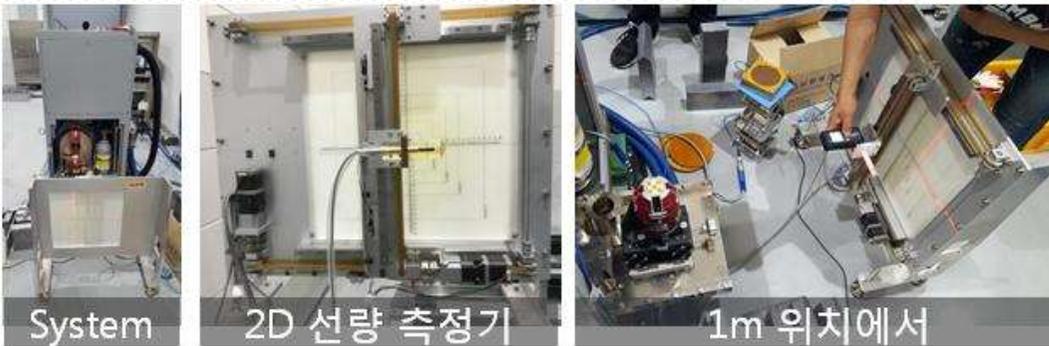
### 카드보드지와 납판을 이용한 Spot Size 측정



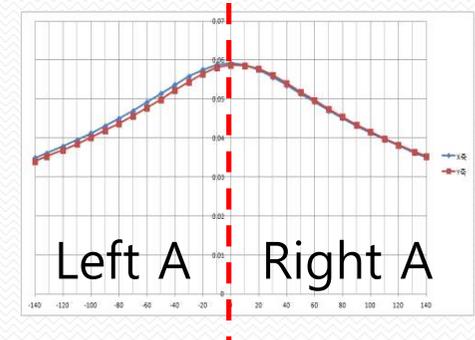
- ✓ EBT3 Film 준비
- ✓ 카드보드지와 납을 중첩한 측정장비 준비
- ✓ Film 감광 이후 Scan하여 피팅 후 FWHM 측정
- ✓ 전 시스템에서 2mm 이내 Spot Size 확인



## 2D Dosimetry System을 이용한 빔특성 측정



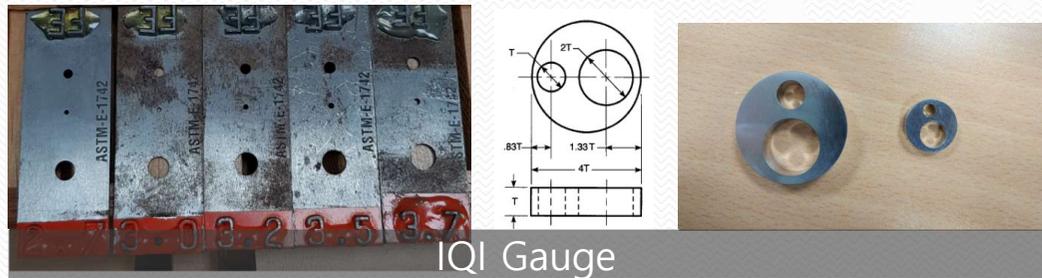
- 1 m위치에서 평면 위치별 선량을 측정한다.
- 선량 감소 정도를 비교하여 Flatness를 확인
- 면적을 아래식을 이용하여 Symmetry 계산



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

# 유공계 테스트

## IQ를 이용한 Imaging Quality Test



IQI Gauge



IQI Test 결과 (1-2T 확인)

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

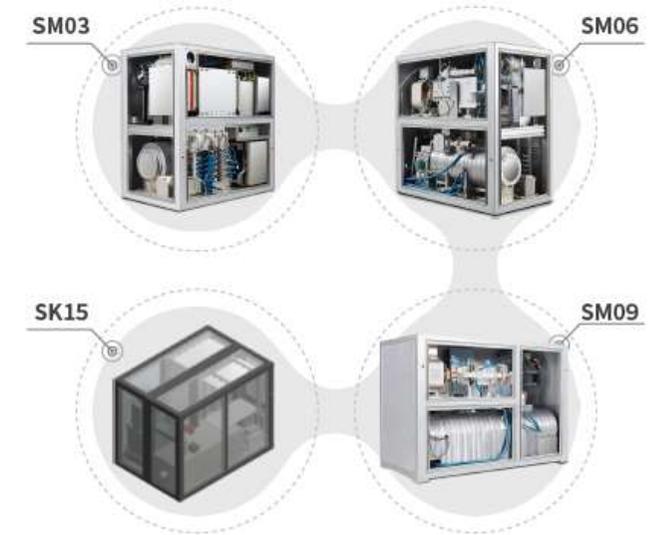


예)  $203.2\text{mm} / 25.4\text{mm} = 8.0$   
 필요 유공계 식별 : #8  
 결과 : 2-1T  
 ( 시편 두께의 2%에 hole 1T 식별)

## 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<br>(Gy/min•m)      | 2.5~10<br>(Gy/min•m) | 6~35<br>(Gy/min•m) | 50~140<br>(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)          | $1 \times 10^{-3}$ (0.1%) |                      |                    |                      |
| Electric Power             | 380VAC 3Φ                 |                      |                    |                      |
| Current                    | 50A/18A (*TCU)            |                      |                    |                      |

\*TCU : Temp. Control Unit





## 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<br>PRF와 Pulse Width 제어로 선량률을 자유롭게 가변 가능                                  | 6/8/30 Gy/min@1m<br>PRF 제어는 가능하나 Pulse Width는 자유로운 제어가 어려움                               |
| Modulator | Hybrid 방식 Modulator<br>Max. RF peak power : 3.1 MW<br>peak power와 pulse width의 제어가 자유로움 | PFN 방식 Modulator<br>Max. RF peak power : 2.6 MW<br>peak power와 pulse width의 자유로운 제어가 어려움 |
| E-gun     | 3극관 E-gun<br>전자beam current로 선량률 제어를 할 수 있음   | 2극관 E-gun<br>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**



|                      | <b>Varian K15</b> | <b>개발결과</b>  |
|----------------------|-------------------|--------------|
| 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     |

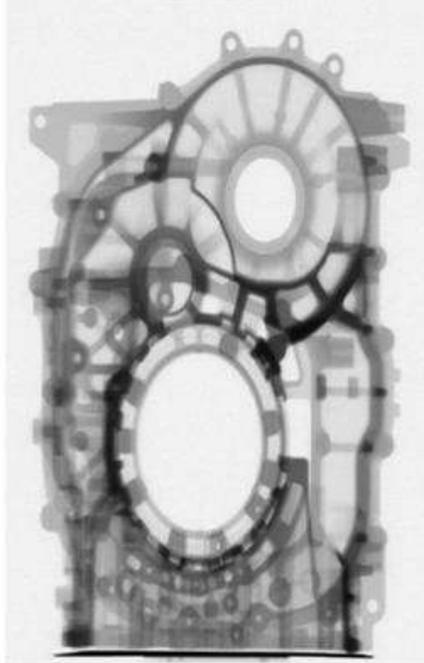
---

## LINASEC Image Gallery

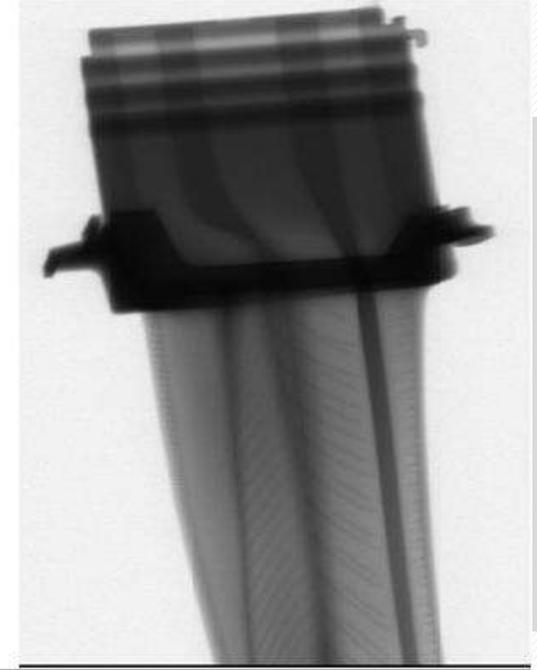
## LINASEC Image Gallery



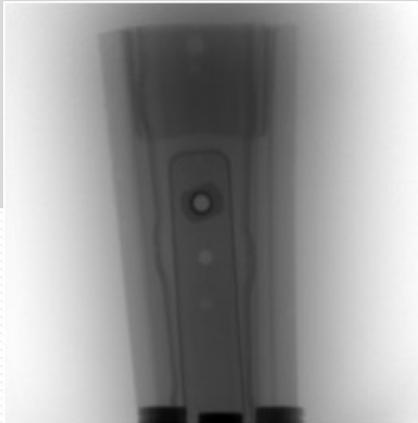
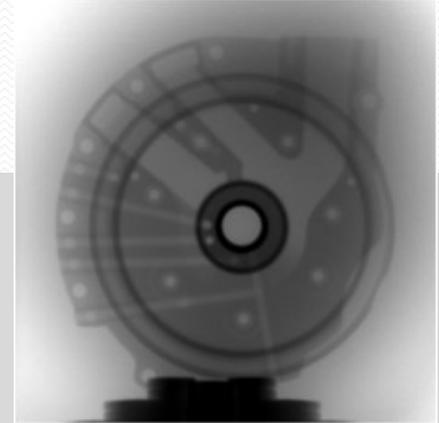
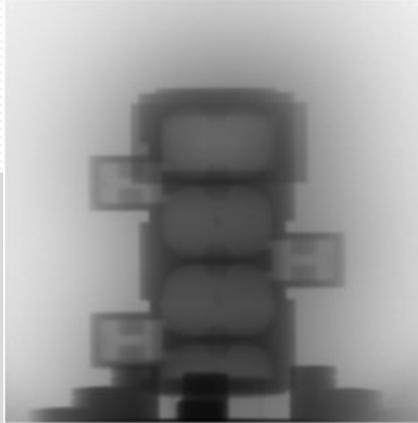
Engine Mission



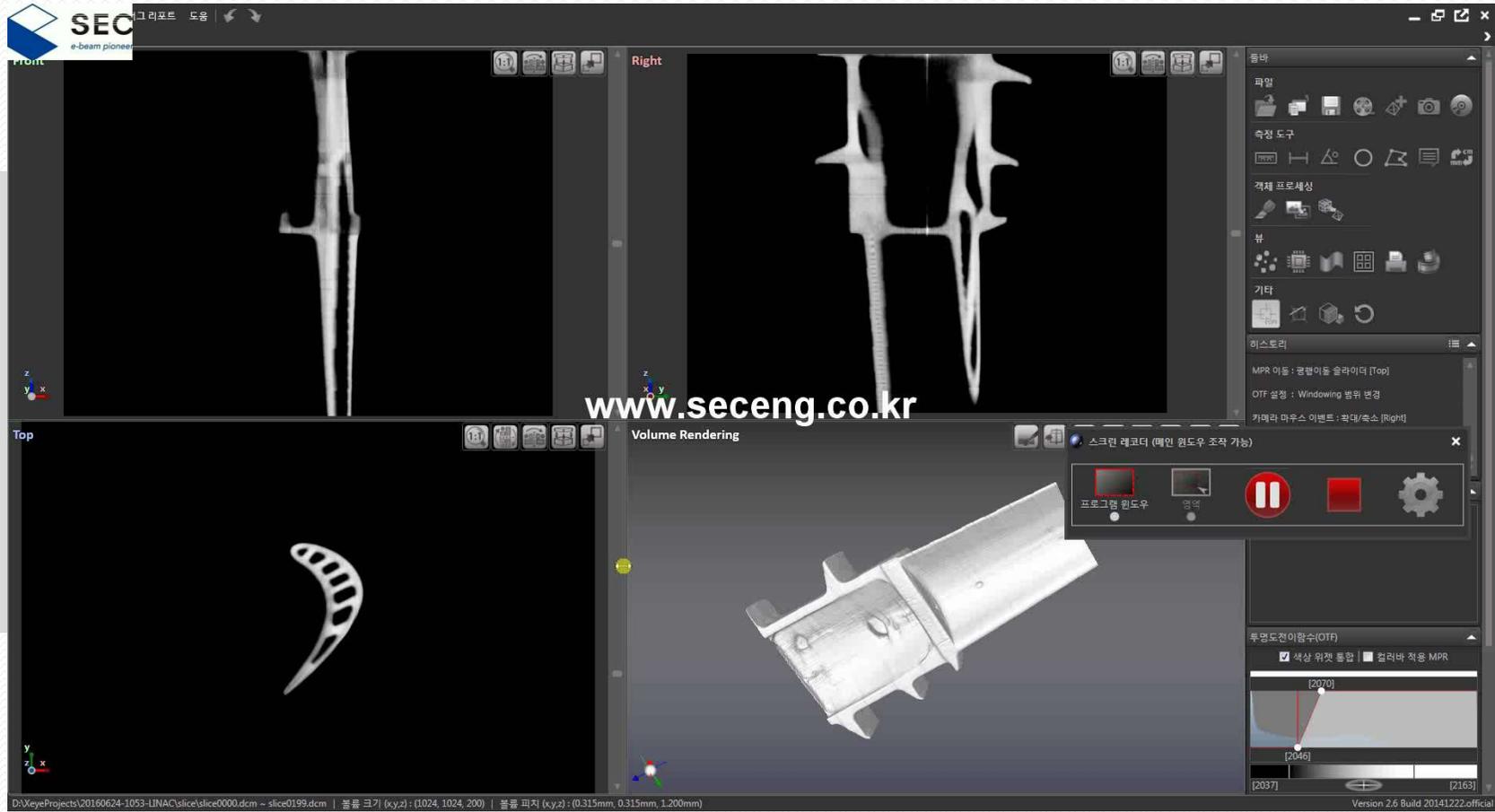
발전소 Turbine Blade



# LINASEC Image Gallery



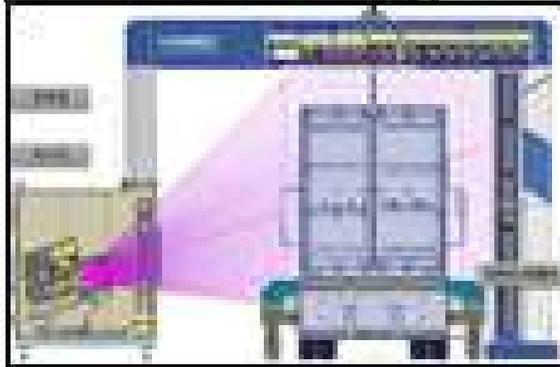
# LINASEC Image Gallery



# 컨테이너 검색기

## 광양항 relocatable type 컨테이너 검색기

- Relocatable 방식 컨테이너 검색시스템

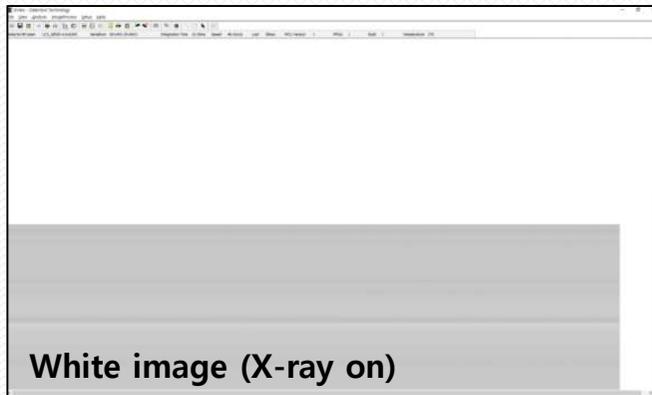


# 컨테이너 검색기

## 광양항 relocatable type 컨테이너 검색기

### ○ 영상 획득

#### • 영상 Calibration



#### • Test 영상 획득

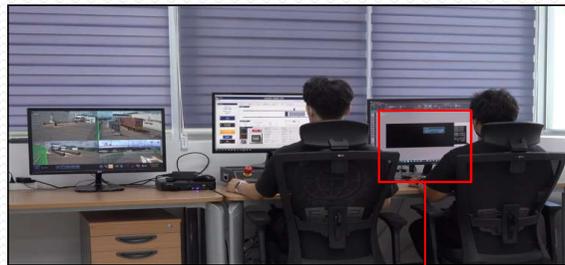


# 컨테이너 검색기

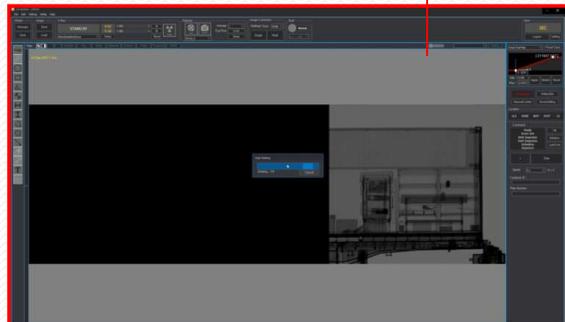
## 투과영상 컨테이너 검색시스템

### ○ 투과 영상획득시험 시스템 최적화

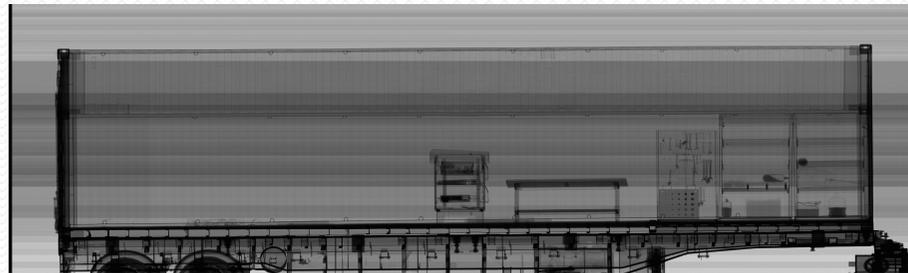
- 사전 영상 획득 시험 최적화
- Gain correction 최적화 수행



영상 획득 시험



영상 획득 프로그램



영상 처리(Gain correction) 이전



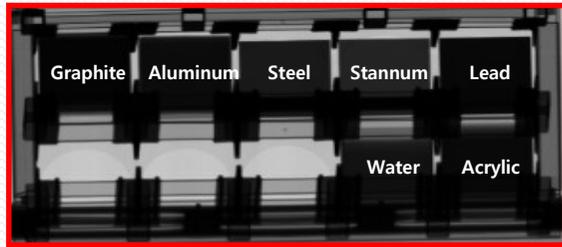
영상 처리(Gain correction) 이후

# 컨테이너 검색기

## 투과영상 컨테이너 검색시스템

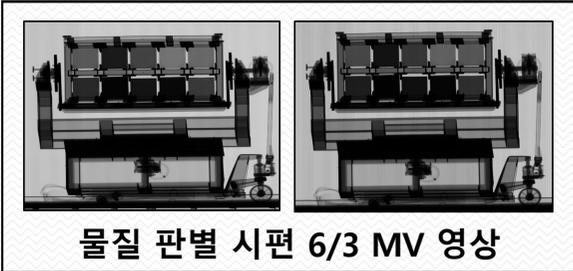
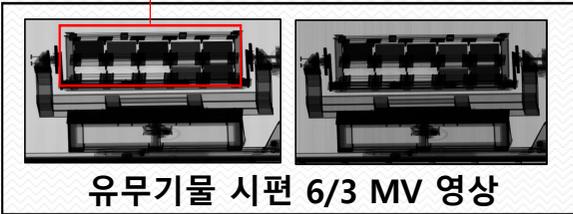
### ○ 이중에너지 물질판별 method

- 물질 판별을 위한 이중 에너지 영상획득 사전 시험



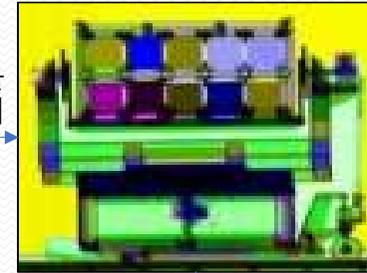
|          | T1  | T2  | T3  | T4  | T5  | 단위: mm         |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|
| Lead     | 10  | 20  | 40  | 60  | 100 |                |
| Stannum  | 13  | 26  | 51  | 77  | 90  |                |
| Steel    | 15  | 30  | 60  | 90  | 150 |                |
| 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      |     |     |     |     |     | 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

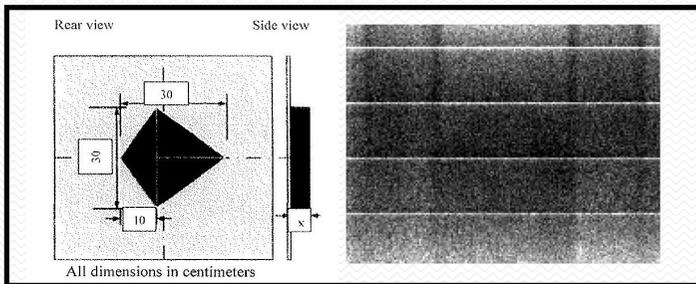


최종 영상

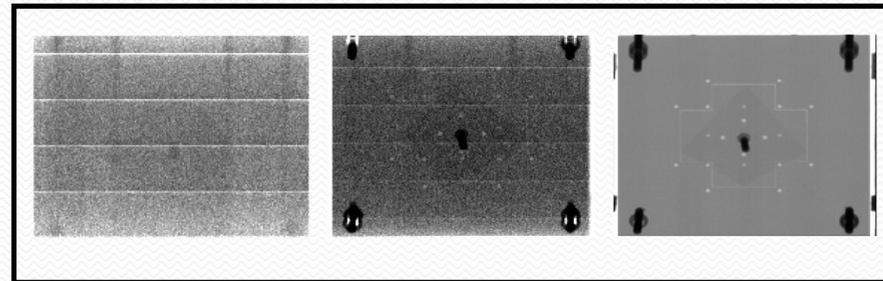
# 컨테이너 검색기

## ANSI N42.46

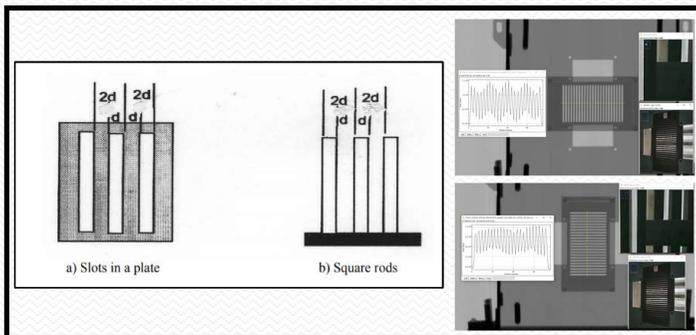
- 6MV X-ray
- Pixel pitch 4.6mm LDA 조건



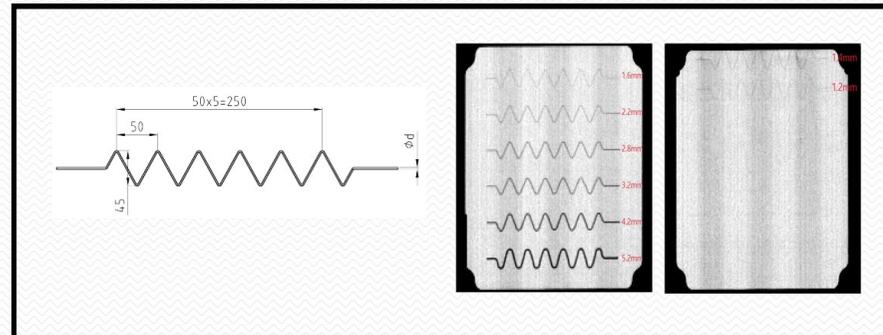
투과력 평가 : 360mm 철판



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

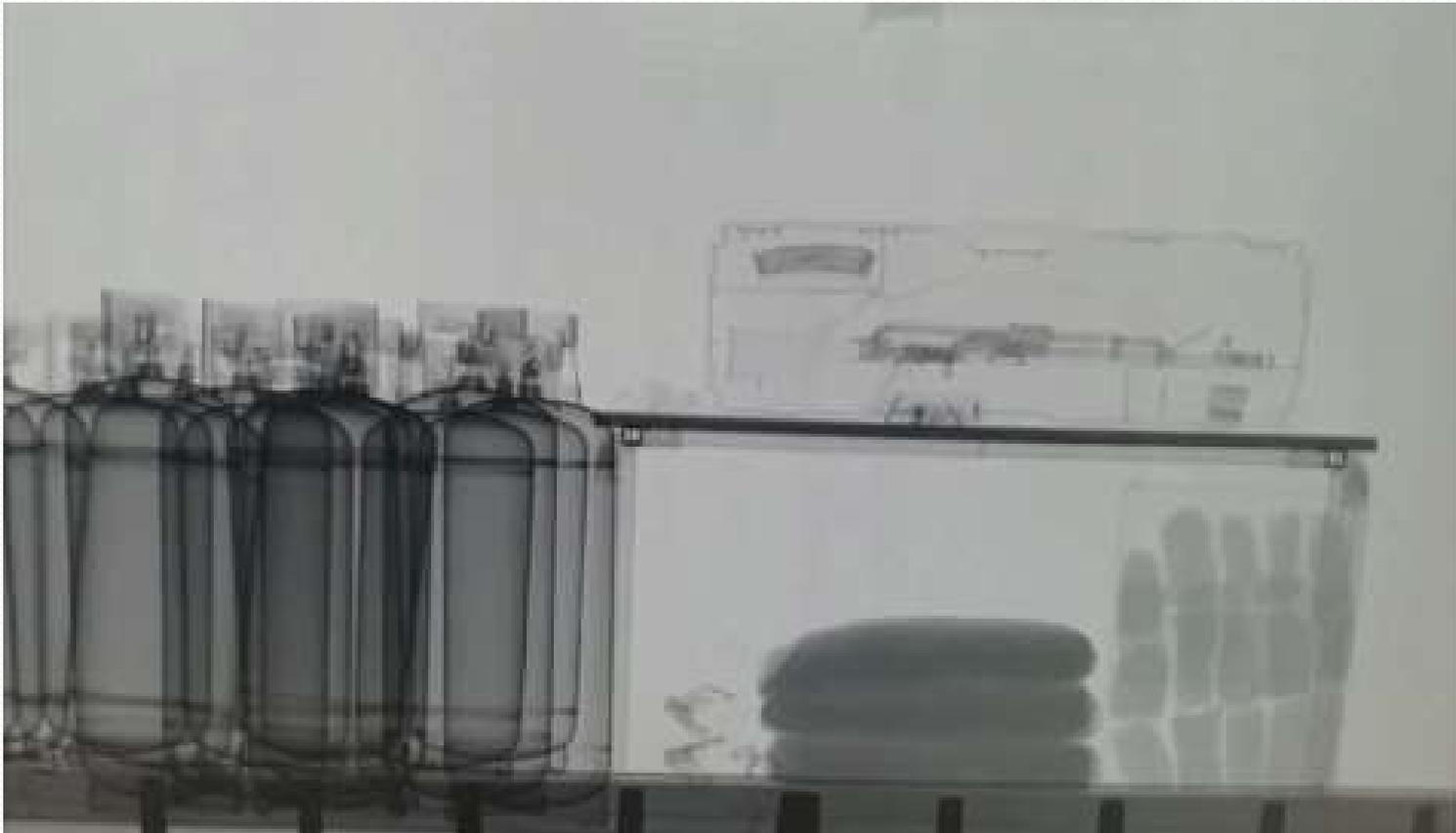


# 컨테이너 검색기

## 광양항 컨테이너 검색기 시설

### ○ 실시간 컨테이너 검색기 System

※ 5배속 영상





THANK YOU