

KAERI/AR-480/97



KR9800584

기술 현황 분석 보고서  
레이저 제염과 감마 카메라

A Status-of-the-Art Report on  
the Laser Decontamination and Gamma Camera

한국원자력연구소

29 - 41

R

## 제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 “제염해체 및 환경복원 기술개발” 과제의 기술현황 분석보고서로 제출합니다.

1997 년 11월

주저자 : 이 철 용 (제염해체 및 환경복원기술개발분야)

공동저자 : 안 병길, 심 준보, 원 휘준, 이 병직, 오 원진

책임감수위원 : 서 인 석

감 수 위 원 : 윤 지 섭

## 요 약

방사능 표면 제염장비로 Laser 장비와 오염 측정 장비로 Gamma Camera에 대해 기술개발 현황을 파악하고 연구개발에 대한 방향을 제시하였다. Laser에 의한 방사능 오염물의 제염 방법은 금속 혹은 콘크리트 표면에 직접 Laser radiation을 인가하여 오염물을 제거하는 기술로 비접촉 방법과 선택적으로 오염지역 선정 및 2차 폐기물이 거이 발생하지 않는 장점을 가지고 있다. 오염물의 제거 과정은 열파장이 모체에 전파되기 전에 표면이 냉각 상태에서 종료되며, 오염물은 즉시 Suction 장치에 의해 필터링된다. 또한 접근하기 어려운 지역에 다관절 로봇과 Laser Head를 결합시켜 레이저 파장과 펄스 폭 및 스캔 속도를 조정하면 안전하고 효율적으로 방사능 오염물을 제거할 수 있다. 이와같이 원격 Laser 제염장비를 사용하여 방사능 제염을 하기 위해서는 먼저 오염지역을 확인하여야 하는데, 종래의 운전자가 직접 측정하는 방식을 탈피하여 오염된 핵종과 분포패턴을 원격적으로 측정하여 2차원적으로 보여주는 장비가 Gamma Camera이다. Gamma Camera는 콜리메이트된 방사선 측정장치, 영상 처리장치, 거리 측정장치의 3부분으로 구성된다. 따라서 원격으로 Gamma Camera에 의해 방사선 위치와 준위를 확인하고, Laser 장비를 사용하여 오염지역을 제염한다면 원자력 시설의 해체 및 제염분야에 매우 유용하게 활용될 수 있다.

<제 목 차 례>

1. 서 론 .....	1
2. 레이저 원리 .....	1
3. Laser surface cleaning 초기연구 .....	3
가. 예비적 디자인 .....	4
나. 경제성 비교 .....	4
다. 결론 .....	9
4. 여러 Laser surface cleaning 외국현황 .....	11
가. 레이저에 의한 콘크리트 제염 .....	11
나. Laser paint stripping .....	12
다. Laser ablation of Contaminants from Concrete and Metal Surfaces .....	14
(1) 시스템 구성 .....	14
(2) 실험결과 .....	18
라. The perfect strip Act (Ames Laboratory) .....	19
마. Laser cleaning and Coatings Removal .....	19
바. Complete removal of paint from metal surface by ablation with a TEA CO <sub>2</sub> laser .....	20
사. Surface cleaning of metals by pulsed-laser irradiation in air .....	22
5. 레이저 제거에 대한 이론적 고찰 .....	23
가. 열적 반응 .....	23
나. 레이저 빔에 의한 증발현상 .....	24
다. 자연석의 제염 .....	25
6. Gamma radiation detection .....	26
가. PNC의 방사선 모니터링 기술 개발 .....	26
(1) 방사선 영상 표시 .....	27
나. 고에너지 방사능 시각화(High-Energy Radiation Visualizer; HERV) .....	30
(1) 도입 .....	30
(2) HERV의 시스템 .....	30
다. Gamma camera 시제품 현황 .....	37

(1) RadScan 600 Gamma Scanner .....	37
(2) GAMMACAM .....	38
7. 연구방향 .....	41
가. Remote Laser Decontamination System 개발 .....	41
나. Gamma-ray Camera 개발 .....	43
참고문헌 .....	44

<표차례>

표1. 레이저 장비 비교 .....	7
표2. 탱크 제염장비 비용 .....	10
표3. 콘크리트 제거 실험 데이터 .....	11
표4. 빔에너지 한계식 비교 .....	26

<그림차례>

그림1. 레이저 원리 .....	2
그림2. 레이저에 탱크제염 .....	5
그림3. 탱크제염을 위한 배치도 .....	6
그림4. 레이저 제거 과정 .....	6
그림5. 레이저 에너지와 제거된 무게 .....	13
그림6. 레이저 제거 현상 .....	13
그림7. 레이저 제거과정 .....	13
그림8. 레이저 시스템 .....	15
그림9. 오염물 흡입장치 .....	16
그림10. 저출력 레이저 실험장치 .....	16
그림11. 대형 스캐너가 장착된 레이저 제염장비 .....	17
그림12. 600W Full laser system .....	18
그림13. 레이저가 인가된 SUS 표면 .....	21
그림14. SUS EDX 스펙트럼 .....	22
그림15. Cu substrate에 저에너지 인가 .....	23
그림16. Al substrate에 고에너지 인가 .....	23
그림17. 방사능 영상 표시의 구성도 .....	28
그림18. 방사능 영상 표시 장치 .....	28
그림19. 액체폐기물 탱크의 측정 예 .....	29
그림20. 방사능 물질의 지정위치 .....	29
그림21. 제염전후 액체 폐기물 탱크의 평가 .....	29
그림22. HERV 시스템 .....	32
그림23. HERV 측정 헤드의 도면 .....	32
그림24. 수학적 처리전 아크 $\gamma$ 물체의 영상 .....	35
그림25. 점소스의 영상 .....	35
그림26. 영숫적 섬광기관에 의한 아크물체 .....	36
그림27. TV 영상과 $\gamma$ 영상의 중첩 .....	37
그림28. BNFL RadScan .....	39

그림29. RadScan PC 화면 .....	39
그림30. GammCam .....	40
그림31. GammCam에 의한 오염지역 측정 .....	40
그림32. Telerobot .....	42
그림33. Remote Laser Ablation System .....	42
그림34. Gamma-ray Camera .....	43

## 1. 서론

증가된 환경적 인식과 폐기물처리 문제는 종래의 surface cleaning(제염) 방법에 대해 새로운 평가를 하게 되었다. 기존의 방법은 기계적, 마찰-분사, 열과 화학적 처리 등이 있는데, 이 방법들은 상당한 2차 폐기물이 발생된다. 따라서 효율적인 다른 방법으로 Laser radiation을 이용하게 되었다. Laser 방법은 금속 혹은 콘크리트 표면 오염물을 Laser radiation에 의해 제거되는데 비접촉인 방법 사용과 선택적 오염지역 선정할 수 있고, 2차 폐기물이 거의 발생하지 않는 장점을 가지고 있다. 또한 원격으로 레이저 제염을 하기 위해 먼저 선행 과정으로 오염지역을 측정하여야 하는데, 이 방법 또한 기존의 작업자가 직접 Gamma-ray를 측정하는 방식을 탈피하여 원격으로 감마선을 측정하고 측정지역을 실제 CCTV 영상에 2차원적으로 방사선 준위와 핵종에 대한 정보를 제공하는 장비에 대해 기술현황을 파악하고자 한다.

## 2. 레이저 원리 <sup>(22,23)</sup>

최근에 레이저는 레이저 디스크, 레이저 프린터, 레이저 수술기와 같이 우리 일상 생활에 점점 밀접한 관계를 갖게 되었다. 응용범위가 첨단기술로서 각광을 받고 확산되는 레이저(LASER)는 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation의 약어 첫자로 만든 합성어로 “유도방출에 의한 빛의 증폭”이라는 뜻을 갖는다. 레이저 빛은 유도방출로 증폭된 빛이기 때문에 형광등, 백열전등 및 태양 광선 등에서 나오는 빛과는 다른 성질을 갖는다. 즉

- 레이저 빛은 단파장이다.

백열전등에서 나오는 빛은 여러 가지 색깔의 빛이 섞여있으나 레이저 빛에서 나오는 색깔은 단색만 존재한다.

- 레이저 빛은 지향성(Directional)을 갖는다.

보통의 빛은 거리가 멀어지면 그 세기가 급격히 감소하지만 레이저는 거리와 상관없이 거의 줄어들지 않는 특성을 나타낸다.

- 레이저 빛은 간섭성(Coherent)이다.

백열전등에서 나오는 빛은 원자가 제각기 독자적으로 빛을 발생하지만 레이저 빛은



이웃한 원자들이 서로 긴밀한 관계를 갖고 있어 전체 원자가 일사불란하게 빛을 방출한다.

위와 같은 특성을 갖는 레이저 광은 자연 상태에서는 존재하지 않고 인위적으로 발생시켜야 하는데 다음과 같이 크게 3가지 구성 요소로 나눈다.

- 공진기(resonator)

100%에 가까운 반사율을 갖는 거울로 입사하는 광을 전부 반사시키는 전반사경과 입사광중 일부는 통과시키고 나머지는 반사시키는 부분 반사경으로 이루어진 한 쌍의 거울이다.

- 광 증폭기(optic amplifier)

공진기내에 특별한 원자(분자)로 채워진 물체가 있는데 두거울 사이를 왕복하는 빛이 유도 과정으로 증폭하여 강한 빛을 발생한다.

- 펌핑(pump) 장치

증폭기가 광증폭을 하기 위해 외부에서 에너지를 가하는 장치이다.

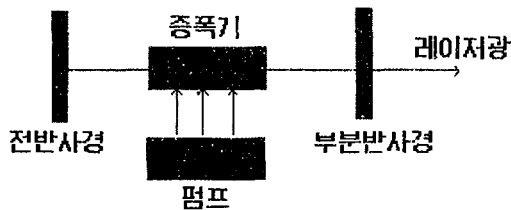


그림 1. 레이저 원리

레이저의 종류는 증폭기에 따라서 다음과 같이 분류된다.

기체레이저	He-Ne레이저, CO <sub>2</sub> 레이저, Ar레이저
액체레이저	dye 레이저
고체레이저	Nd:YAG 레이저
반도체레이저	GaAlAs 레이저

또한 발전 방식에 따라서 레이저 빛이 일정한 세기로 나오는 CW방식과 순간적으로 빛이 발생하는 PW방식이 있다. PW방식은 Q-switching 이나 mode-locking을 사용하여 1ns 이하의 매우 짧은 펄스를 만들 수 있다.

### 3. Laser surface cleaning 초기연구<sup>(1-5)</sup>

Ames 연구소는 1990부터 방사능 금속물을 제염시키기 위해 레이저 사용방법을 연구하게 되었다. 이 연구는 1989 U. S Department of Energy(DOE) 에 의해 오염된 장비와 시설을 제염하기 위해 추진 되었다. 초기 DOE site 복원 프로그램은 다음 2가지 의미를 강하게 내포하였다.

- DOE 시설 복원은 recycling을 강조하여야 한다. 따라서 제염방법은 원칙적으로 자원을 재사용을 할 수 있어야 하며, 지하에 처분하는 제염방식은 자원 낭비와 환경적인 관점에서 바람직하지 않다.

- DOE 시설 복원은 작업자에게 위험한 방사능물질이 노출 되어서는 안된다. 시설 제염은 ALARA(As Low As Reasonably Achievable) 원칙에 의해 방사성 물질을 취급하는 작업은 원격적으로 수행 되어야 하고, 자동화된 장비를 사용한다.

금속표면이 오염된 제염작업은 표면으로부터 물질을 제거하고, 제거된 물질은 표면에 다시 증착하기 전에 포획하여야 한다. 사용된 laser ablation 효율은 빠른 펄스 레이저(1 $\mu$ s 이하 펄스폭)를 사용하여 최적화한다. 또한 가시광선(1064nm)과 초음파 영역(248nm)에서의 파장을 갖는 레이저가 금속표면의 제염에 효과적인 것으로 확인되었다. 실험실에서 작은 물체에 대한 제염 후에 다음과 같은 의문이 생겼다.

- 대규모 물체에서도 레이저 제염기술을 적용할 수 있을까?
- 접근이 어려운 환경에서도 레이저 제염기술을 사용할 수 있을까?
- 다른 폐기물 처리 기술과 비교하여 경제성이 있을까?

이러한 의문에 대해 Westinghouse Idaho Nuclear Company, Inc(WINCO) 지원으로 다음과 같은 연구가 진행 되었다.

## 가. 예비적 디자인

레이저 제염기술에 대한 대규모 실증은 94년 1월에 WINCO에서 제공된 길이 90cm 직경 59cm 두께 0.85cm 탱크에 대해서 수행 되었다. 엑시머 레이저를 사용하여 탱크 내부와 외부를 제염하기 위해 외부 뚜껑은 제거한다. 실제 상황에서 탱크는 제한된 환경에 있고 외부 뚜껑의 제거는 용이하지 않기 때문에 원격 제거방법이 바람직하다. Ames 연구소는 탱크는 핫셀이나 프로세스 셀과 같은 제한된 환경에 있다고 고려하였다. 엑시머 레이저와 레이저 빔을 조사하기 위해 제어 컴퓨터는 청정실에 있고, 레이저 빔은 그림2와 같이 핫 지역과 청정 지역사이의 벽을 통해서 전송된다. 빔은 렌즈를 사용하여 물체에 조사되고 금속 표면으로부터 제거된 물질은 HEPA 필터를 통해 수집된다. 레이저 빔은 그림3과 같이 표면으로부터 제거된 물질을 수집하기 위해 사용된 셀 내에 실린더 렌즈로 탱크 표면에 집중시킨다. 금속의 레이저 제거 방법은 헬륨압이 낮은 압력 상태에서 더욱 좋은 효율을 보여준다 하고 있으나, 장치의 단순화를 위해 본 실험은 대기압에서 수행하였다. 표면에서 방사된 레이저 빛을 잡기 위해 photo detector를 사용하고, 최대 제거효율을 유지하기 위해 렌즈와 표면사이의 거리를 자동으로 조정하여야 한다. 최적인전을 위해 레이저 빔의 방향은 표면과 수직이어야 한다. 컴퓨터에 의해서 제어되는 이들 장치는 디자인만 하였고, 실제 실험에서는 수동으로 레이저 빔을 조정하였다.

## 나. 경제성 비교

### (1) 레이저 장비가격

다음과 같은 레이저 장비에 대해서 여러 조건에 대해 비교하였다.

엑시머 레이저 : Questek 2460 rB ,	\$14,300 - \$22,900
Nd:YAG 레이저 : Continuum YG 660,	\$8,450 - \$13,400
Nd:YAG 레이저 : Continuum NY 82,	\$13,250 - \$21,500

이들 장비의 상세 가격은 표1과 같다.

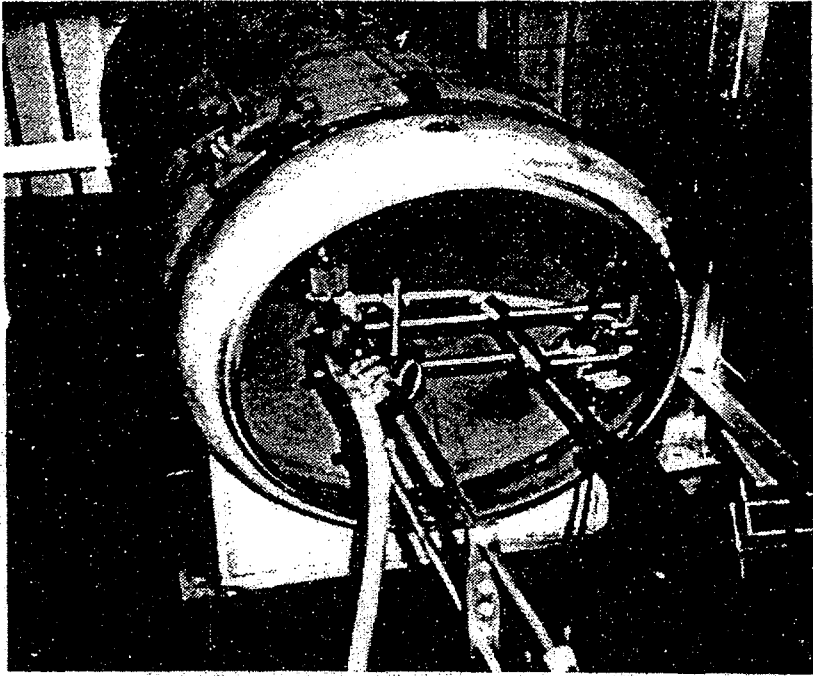


그림 2. 레이저 탱크제염

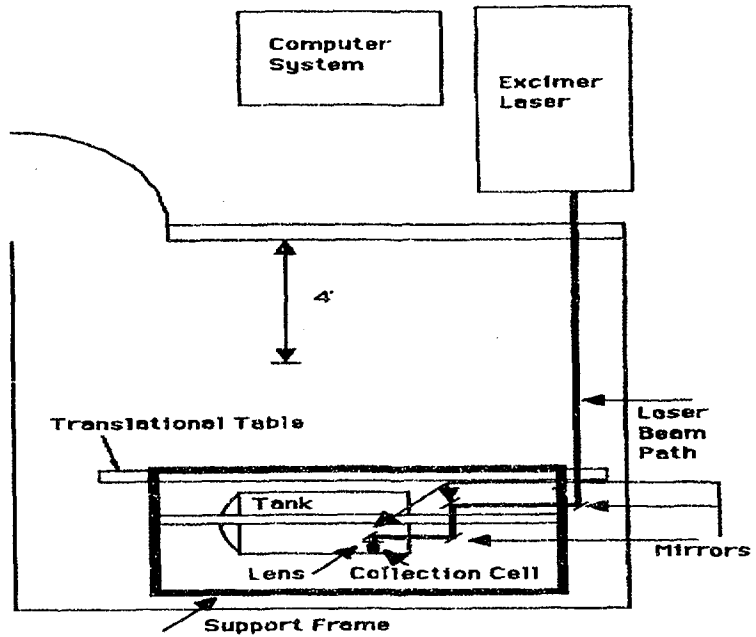


그림 3. 탱크제염을 위한 배치도

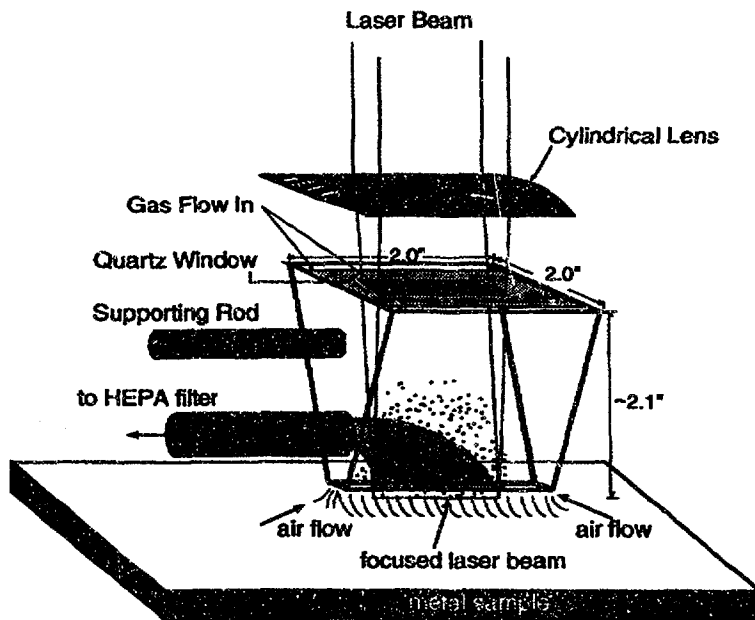


그림 4. 레이저 제거 과정

표1. 레이저 장비 비교

Equipment	Excimer [Questek 2550vβ]	Nd:YAG [Continuum YG660]	Nd:YAG [Continuum NY82]
Laser	\$60,000	\$30,000	\$60,000
4x4-based computer and software	\$7,000	\$7,000	\$7,000
X-Y-Z tables and controller	\$6,500	\$6,500	\$6,500
Rotational stage and controller	\$5,200	\$5,200	\$5,200
Cryogenic gas recirculation system	\$5,000	Not required	Not required
Energy meter	\$3,000	\$3,000	\$3,000
Optics (mirrors and cylindrical lens)	\$2,100	\$1,500	\$1,500
Optical table	\$2,000	\$2,000	\$2,000
Gas regulator	\$1,900	Not required	Not required
Halogen gas safety cabinet	\$1,700	Not required	Not required
Laser displacement sensor	\$1,600	\$1,600	\$1,600
Optical mounts	\$1,000	\$1,000	\$1,000
Particulate collection cell	\$1,000	\$1,000	\$1,000
TV monitor & camera (remote viewing)	\$500	\$500	\$500
Personal safety devices (hearing, eye protection)	\$500	\$500	\$500
Exhaust pump	\$300	\$300	\$300
In-line HEPA filter	\$200	\$200	\$200
Fiber-optic delivery system	N/A	?	?

## (2) 장비 유지보수 비용

### - 유지비

주당 60시간 예산 사용을 근거로 필터, 펌프오일, 미러 등에 대한 교체비를 포함한다.

### - 소모성 공급비

역시며 레이저에서는 가스와 액체 nitrogen 을 소비하는데 90W 레이저인 경우 시간당 \$3의 비용이 들고, 반면 Nd:YAG 레이저는 소모성 가스는 없지만 플래시 램프를 주기적으로 교체한다. 이때 30 Hz 로 12일 동안 30만 shots 사용한다면 한 달에 1번 교체하여야 한다.

### - 인건비

유지비용이 적은 장비가 인건비가 작으므로 이런 측면에서는 Nd:YAG 레이저가 유리하다.

### - 2차 폐기물 처리 비용

다른 제염방법에 비해 레이저 제염방식은 2차 폐기물을 최소화시킬 수 있다는데 있다. 특히 레이저방식은 솔벤트를 사용하지 않으며, 대상물중 소량만 제거 과정 동안에 입자로 전환된다. 만일 레이저 제거과정이 WINCO 탱크 표면에 10 $\mu$ m 균일 두께를 제거한다면 약 330g 정도가 제거된다(제거된 물질의 질량은 8g/cm<sup>3</sup>). 그리고 제거된 물질은 바로 HEPA 필터링되고 레이저 제염동안 발생하는 폐기물은 HEPA 필터만 오염시킨다고 가정한다. HEPA 필터의 처리 비용은 다음과 같은 이유에서 평가될 수 없다. 먼저 고농축 우라늄이나 플루토늄으로 오염 되었다면 특별한 필터 사용과 자주 필터를 교체하여야 한다. 그리고 재사용 가능한 스테인레스 스틸 HEPA 필터가 앞으로 개발되어 사용할 수 있기 때문이다.

### - 탱크제염을

실증용으로 사용된 레이저에 의한 탱크제염은 탱크 외부의 검정 페인트와 내부의 그리스를 제거한다. 이때 제염 비용은 제거율을 포함하여야 한다.

이상과 같은 여러 유지보수 비용을 고려하면 표2 와 같다.

## 다. 결론

장비 제염을 위해 접근하기 어려운 지역에 광케이블과 Nd:YAG 레이저를 사용하면 효율적으로 대응할 수 있다. 이때 고려할 사항은 파장(금속 제거는 장파장에서는 효율이 감소한다.), 반복율(현재 Nd:YAG는 약 100Hz, 엑시머 레이저는 300Hz 이상), 고출력 펄스에 의한 광케이블의 손상이다. 결론적으로 엑시머 레이저는 성능 면에서는 우수하지만 유연성 있는 빔 전송에 문제가 있다. 따라서 150ns 펄스폭과 1 kHz 이상의 고반복율을 갖는 1064nm 음향소자의 Q-switched Nd:YAG laser가 레이저 제염장비로서 좋은 성능을 갖는다.

### \* Q-switch

시간폭이 좁고 피크출력이 큰 펄스발진으로 에너지를 레이저 매질의 여기 준위에 축적하고 단시간에 출력시킴. 대부분의 Q-switch는 음향소자를 초음파로 변조하는 A0-Q switch이며 얻어지는 펄스 레이저 광은 최대 수십 kHz 정도까지 반복이 가능하고 펄스폭은 100ns 전후의 값이다.

### \* YAG(Yttrium Aluminum Garnet)

YAG결정중  $Y^{3+}$  이온의 일부와 치환된  $Nd^{3+}$  이온이 활성이온으로 된다.



표2. 탱크 제염장비 비용

Estimated Tank Decontamination Costs (Excimer Laser).

Operation	Annual cost	Duty factor (%)	Estimated cost
Laser operator	\$100,000	0.5	\$ 500
Capital equip.	\$ 17,500	1	\$ 175
Maintenance	\$ 5,000	1	\$ 50
Supplies	\$ 9,000	1	\$ 90
Set-up labor	N/A	100	\$ 300
Contingency		25	\$ 235
Total cost			\$1350

Estimated Tank Decontamination Costs (Continuum YG660).

Operation	Annual cost	Duty factor (%)	Estimated Cost
Laser operator	\$100,000	0.5	\$ 500
Capital equip.	\$ 10,925	5	\$ 546
Maintenance	\$ 2,900	5	\$ 145
Supplies	N/A	-	\$ 0
Set-up labor	N/A	100	\$ 300
Contingency		25	\$ 373
Total cost			\$1864

Estimated Tank Decontamination Costs (Continuum NY82).

Operation	Annual cost	Duty factor (%)	Estimated Cost
Laser operator	\$100,000	0.5	\$ 500
Capital equip.	\$ 17,375	1	\$ 174
Maintenance	\$ 6,800	1	\$ 68
Supplies	N/A	-	\$ 0
Set-up labor	N/A	100	\$ 300
Contingency		25	\$ 260
Total cost			\$1302

#### 4. 여러 Laser surface cleaning 외국현황<sup>(6-16)</sup>

##### 가. 레이저에 의한 콘크리트 제염

Westinghouse Hanford Company에서는 시설을 제염하기 위해 레이저 방식을 조사하게 되었다. 특히 이 방법은 기존의 제염 방법들이 모래, 물, 화학약품 등을 부가적으로 사용하여 발생하는 폐기물의 양이 많아짐에 따라 처리 비용에 문제점을 두고 출발하게 되었다. 사용되는 YAG 레이저는 오염된 Pool과 오염물이 벽안으로 침투하였을 때 그 필요성이 인정되었다.

##### (1) 실험과정

3.5ms 펄스폭의 40W PW YAG 레이저와 600W CW 레이저를 이용해 X-Y table에서 콘크리트 제거 실험을 하였다. 견본은 Hanford Site에서 샘플링한 콘크리트를 가지고 실험하였는데, 공기중과 수중 상태에서 레이저를 견본에 조사하였을 때 제거된 무게를 측정하였다. 제거된 실험 결과는 표3.와 같다.

표3. 콘크리트 제거 실험 데이터

Specimen Condition	Laser Type	Pulse Power (W)	Average Power (W)	Total Energy (J)	Test Time (s)	Target Area (mm <sup>2</sup> )	Weight Removed (g)	Final Depth (mm)
Dry	Pulsed	1,593	1.86	4,690	2,523	5.1 x 5.1	0.173	2.29
Dry	Pulsed	2,579	3.01	7,590	2,523	5.1 x 5.1	0.296	3.91
Dry	Pulsed	3,710	4.33	10,920	2,523	5.1 x 5.1	0.426	6.05
Wet*	Pulsed	2,857	3.33	8,410	2,523	5.1 x 5.1	0.062	0.89
Dry	Pulsed	3,711	4.33	11,690	2,700	15.2 x 15.2	0.759	NA
Dry	CW	NA	620	18,600	30	17.8 x 25.4	1.546	NA

\*Specimen under 1.3 cm (0.5 in.) of water.

## (2) 실험결과

레이저 빔 조사로 인해 감소된 콘크리트 무게와 레이저 빔 에너지와의 관계는 그림 5와 같다. 그림5에서 보면 인가된 빔에너지와 제거된 무게 사이에는 선형적 관계를 보여 준다. 또한 표3에서 보면 제거된 무게와 침투깊이 상관관계로 부터 공기 중에서 0.64cm 깊이로 930cm<sup>2</sup> 콘크리트를 제거할 때 소요되는 시간은 약2.24시간이 된다. 수중에서의 실험결과로 부터 레이저 에너지의 약 78%는 1.27cm 물깊이를 통과한다. 그러나 공기 중 에서와 비교하면 수중에서는 14.6% 무게, 14.7% 깊이 정도만 제거된다. 이같은 결과는 물이 에너지를 흡수하는 장벽역활을 한다기보다 감쇄 요소로서 작용한다고 보기 때문이다. 따라서 수중에서의 콘크리트제거는 레이저 출력과 선형적이지 않지만 출력이 크게 감쇄된다.

### 나. Laser paint stripping

목적 : 레이저 빔을 이용하여 금속표면의 표면코팅 제거

지원 : Mare Island Naval shipyard

페인트가 위험한 물질을 포함하고 있을 때 페인트 제거는 경제적으로 이루어져야 한다. 레이저에 의한 페인트 제거 장점은 페인트와 페인트 함유 물을 함께 없애 수 있다는 점에 있다. 이들의 가스 상태의 생성물은 쉽게 제거되고 처리할 수 있다. 여러 제거 방법 중에서 특히 sand blastion 과 같은 방법은 모래가 페인트를 제거하므로 제거 과정 동안에 점점 오염된다. 따라서 페인트 제거 후에 많은 위험한 물질을 발생시킨다. 페인트를 벗겨내는 과정은 다음과 같다. 먼저 레이저 빔은 재료의 표면에 조사되고, 진동되는 거울을 사용하여 지정된 스캔폭으로 움직인다. 이때 레이저 빔이 조사될 때 페인트가 조각으로 제거된다. 입사되는 레이저 빔을 조정하면 제거되는 페인트 깊이를 조정할 수 있다. 아래 그림들은 레이저 제거현상과 제거과정을 보여준다.

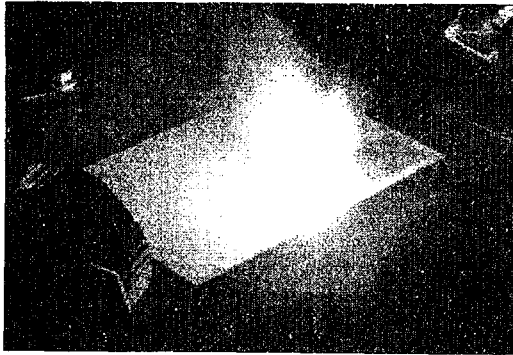


그림 6. 레이저 제거 현상

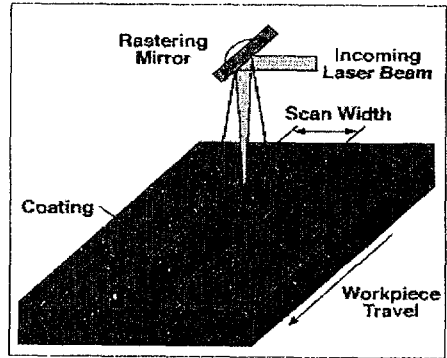


그림 7. 레이저 제거 과정

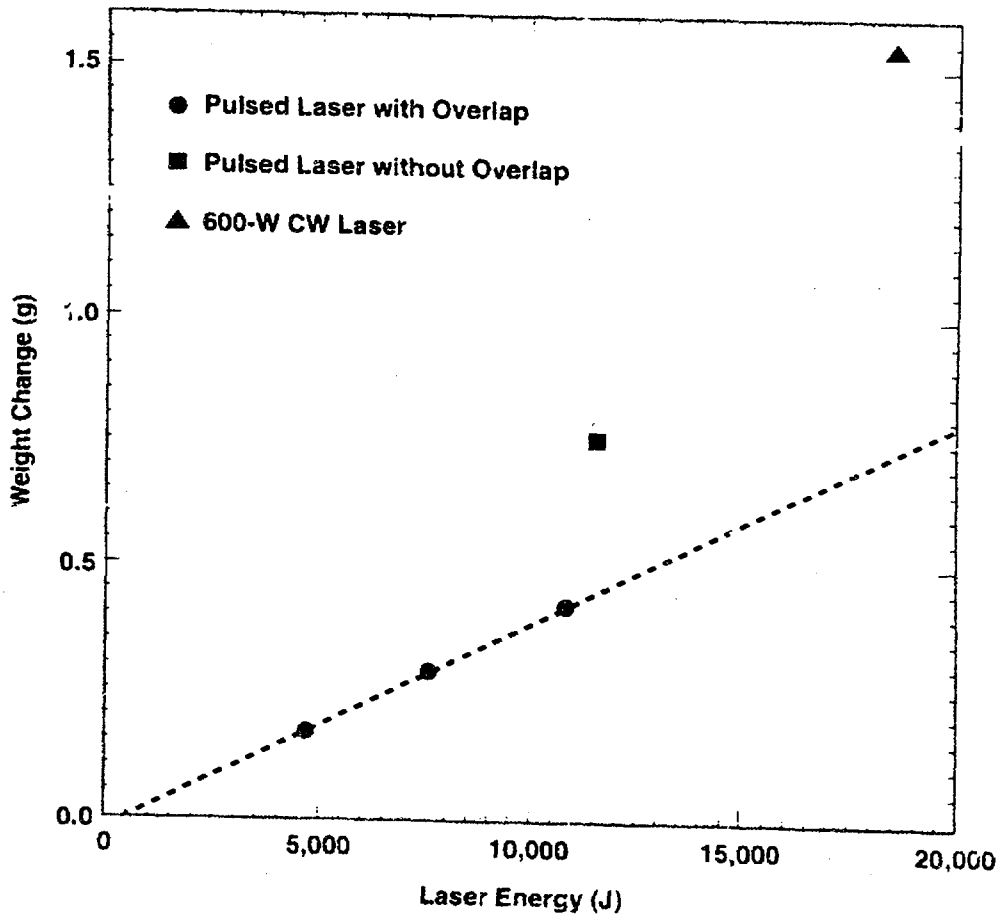


그림 5. 레이저 에너지와 제거된 무게

## 다. Laser ablation of Contaminants from Concrete and Metal Surfaces

### (1) 시스템 구성

F2 협회는 금속과 콘크리트 표면으로부터 코팅 물을 제거하기 위해 제어장치와 고출력, 고반복을 산업용 레이저를 개조하여 사용하고 있다. 레이저는 파장과 펄스폭, 에너지, 대상물의 출력밀도, 펄스 반복율, 스캔 속도를 적절히 조합하여 사용한다. 이러한 조합은 표면과 표면 기공으로부터 효과적으로 코팅 물을 제거할 뿐만 아니라 열 파장이 모체로 전파되기 전에 표면이 냉각상태에서 제거과정이 끝난다. 이런 특성이 모체의 손상을 피하고 오염물의 잠재적으로 휘발되는 것을 막는다.

고출력 펄스 레이저를 사용하여 표면 코팅을 제거하는 시스템을 개발을 위한 실험 목표는 다음과 같다.

- 펄스출력의 레이저는 표면의 기공을 포함하여 콘크리트나 금속표면의 페인트 및 에폭시를 제거할 수 있음을 입증한다.
- 제거과정은 주위환경으로 제거된 물질은 오염 되어서는 안된다.
- 이 과정에서 폐기물 발생은 최소화되고 필터링되어야 한다.

기본 시스템은 그림8과 같이 4부분으로 이루어진다. 1) 고출력 펄스 반복 레이저, 2) 레이저와 가스/증기/입자 수집 노즐을 연결하는 광 빔전송 장치, 3) 표면 스캐너와 연결된 노즐, 4) 레이저 과정에 의해 제거된 오염물을 포착하기 위한 장수명 필터링 시스템. 4개 모든 부분은 위험한 코딩을 제거하기 위해 필요하다.

Tetra Corporation과 부계약자들은 레이저와 광학장치 및 노즐을 공급한다. F2는 시스템 통합과 스캐너, 필터링 시스템, 로봇, 시스템 운전을 담당한다. 1단계에서 예비적 시험단계로 저출력 CO<sub>2</sub> 레이저를 사용하여 페인트 제거 실험을 하였다. 2단계에서 1단계 실험결과를 근거로 6KW 레이저 시스템을 만들고 평면으로부터 오염물을 제거하는 표면 스캐너를 제작하려고 한다. 그림 11은 1단계에서 만들어진 실험장치이다. 실험은 수동으로 시편을 움직이며 단일펄스를 조사하는 단일 펄스실험과 X-Y 스캐너를 사용하여 시편에 연속적인 펄스를 조사하는 연속펄스 실험을 하였다. 실험 시편은 4 mil 광면단(red-lead primer) 금속과 10 mil 에폭시가 2층으로 도포된 금속을 사용하였다. 광면단과 2층의 에폭시에 대한 레이저 제거 에너지는 약 6.5E5 cal/J 이다.

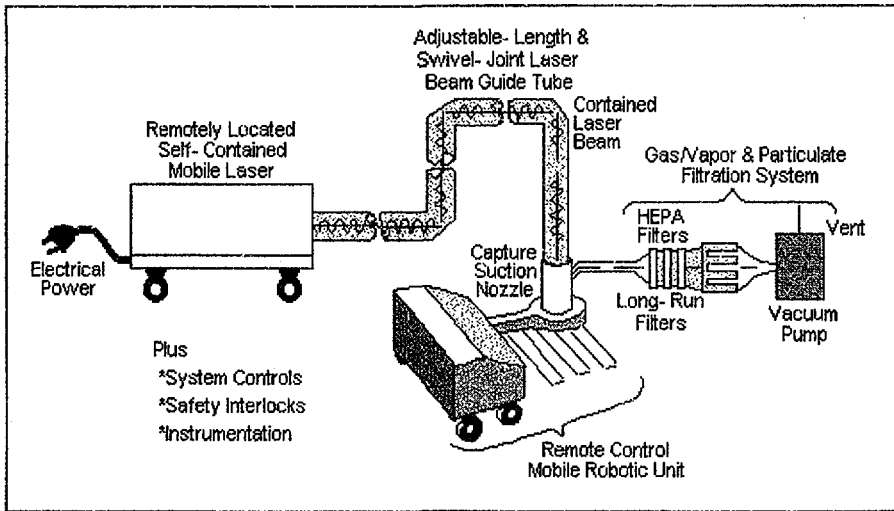


그림 8. 레이저 시스템

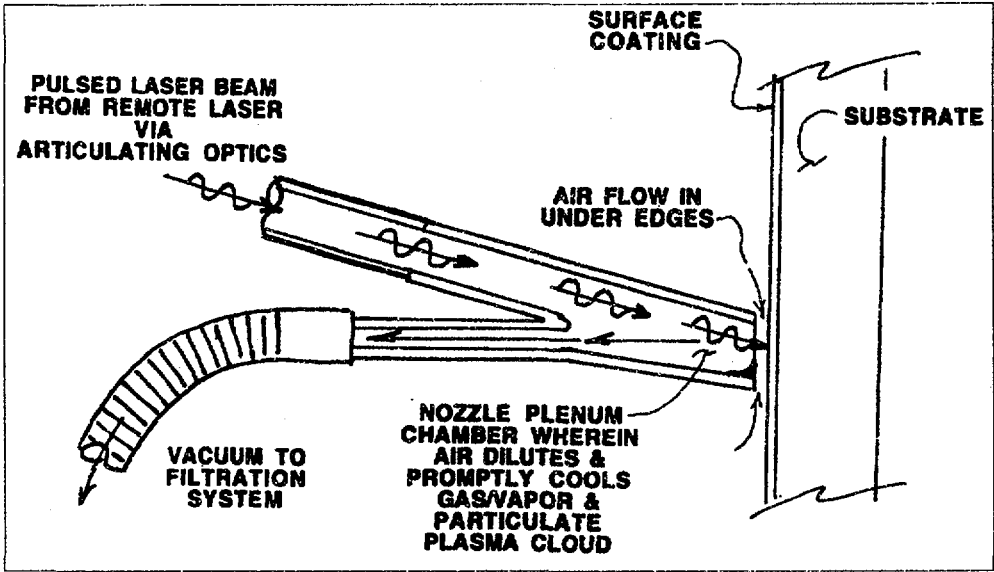


그림 9. 오염물 흡입장치

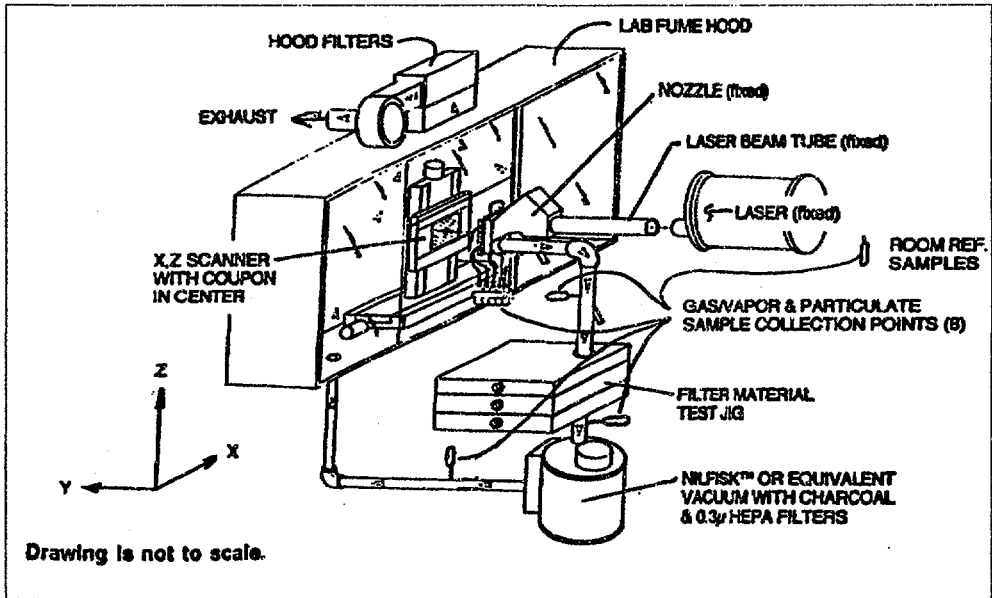


그림 10. 저출력 레이저 실험장치

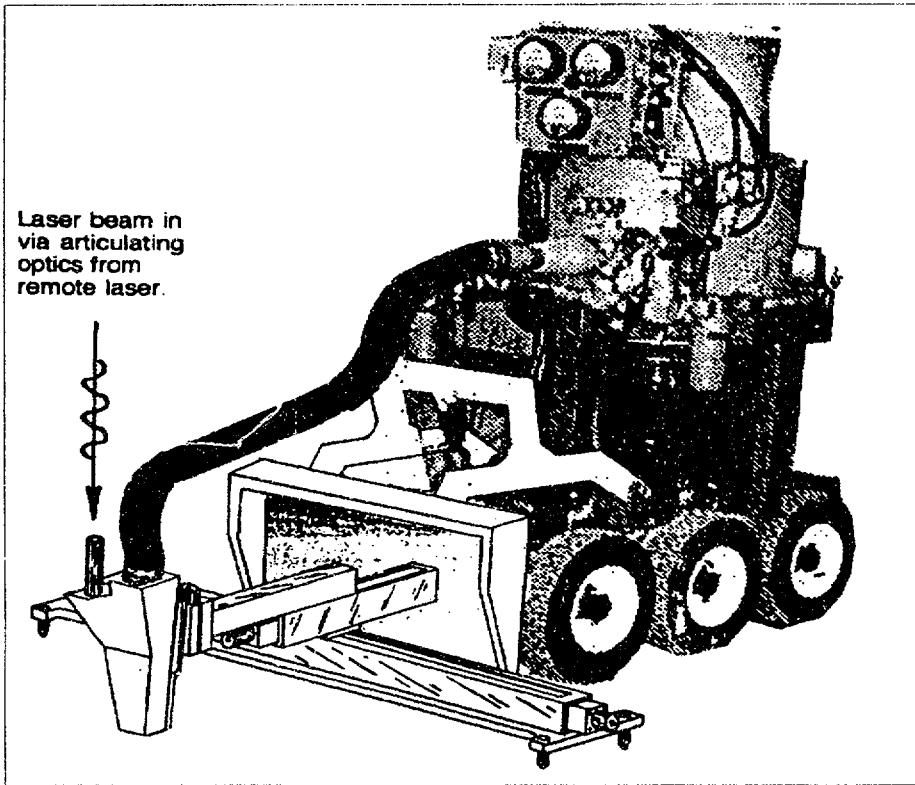


그림 11. 대형 스캐너가 장착된 레이저 제염장비



(2) 실험결과

1단계에서 저출력 레이저 실험으로부터 모든 코팅 물에 대한 제거는 만족하게 이루어졌지만 단지 필터링 부분에 보강이 필요하게 되었다. 따라서 2단계 과정에서 정밀하게 조정된 새로운 노즐 디자인과 제거된 위험한 물질을 완전히 수집하기 위해 필터 시스템 펌프율을 증가시킬 필요가 있었다. 그러나 금속과 콘크리트 표면과 표면 기공은 충분히 청소가 되었다.

현재 1단계 150W 저출력 레이저에서 실험실에서의 600W 대규모 이동시스템(그림 12)에 대한 연구를 추진하고 있다. 그러나 전문가에 의한 기술적 검토에 의해 어느 정도 방향 전환이 되고 있는데, DOE는 F2 협회에 콘크리트 코팅제거 연구 중심에서 금속의 코팅제거 및 제염에 초점을 두도록 요청하였다.

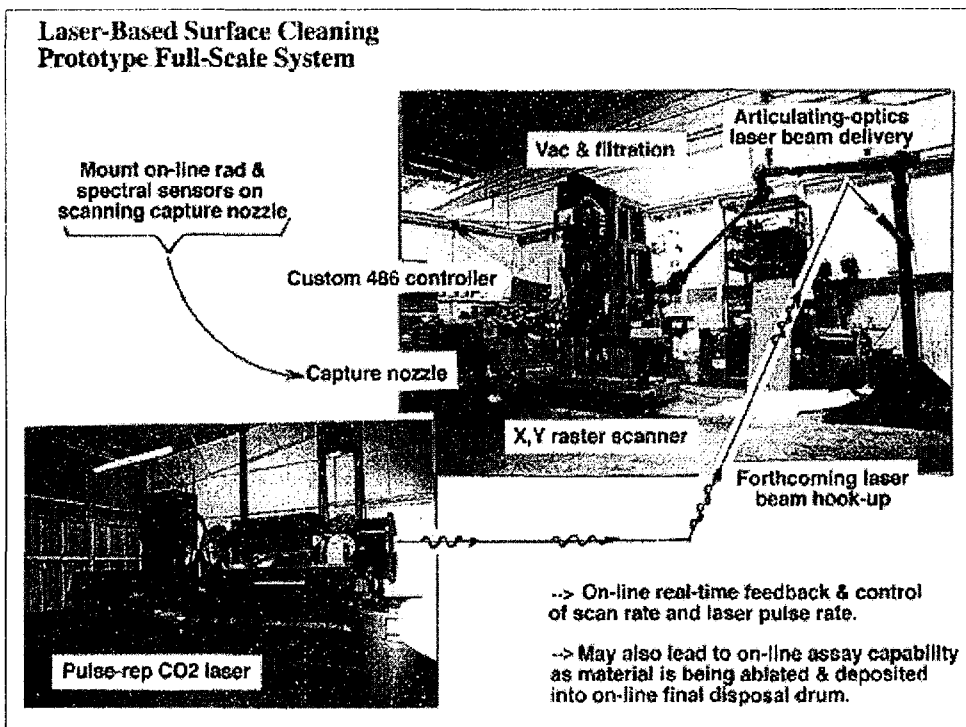


그림 12. 600W Full laser system

#### 라. The perfect strip Act (Ames Laboratory)

91년부터 laser surface decontamination 연구를 수행하고 있다. 환경규제는 점점 위험한 화공물질의 사용을 제한하고, 오염물 제거시 발생하는 2차 폐기물의 최소화 요구와 경제적 처리 비용에 중점을 두고 있다. 이에 기업체와의 공동연구로 fiber optic 과 Q-switched Nd:YAG laser 를 사용하는 Laser light ablation 기술을 개발하여 오염물 제거에 이용하게 되었다. 제거된 오염물은 진공펌프와 HEPA 필터에서 수집된다. Ames와 LMIT(WINCO/Lockheed Martin Idaho Technologies) 와 공동으로 laser decontamination system & apparatus는 96년에 US 특허(번호 5550,851)를 받았다. 상업화된 200W 레이저 시스템의 가격은 대략 \$100,000 이다. 인공위성과 같은 고경화 합금물을 제염하기 위해서는 레이저 스폿크기와 펄스 에너지를 강력하게 제어할 수 있어야한다. 이 시스템은 고제염율을 갖도록 자동화되고, 광전송시스템은 1년 이상의 견인성을 갖는다. 또한 시스템은 연금속에서도 좋은 특성을 보여주는데, 특히 납벽들의 코팅물을 제거하는데 매우 효율적이다.

#### 마. Laser cleaning and Coatings Removal

종래의 정화와 코팅제거 기술로 보통 PD 680(I,II,&III) methyl ethyl ketone(MEK), methylene chloride(MECL), 페놀, 강산 등의 유기물을 많이 사용하였다. 이들의 물질은 환경적 규제를 받는 위험하고 휘발성 유기합성물이다. 최근에는 환경규제 경향으로 수성 정화제 사용으로 바뀌어지고 있으며, 또한 수성 폐기물 발생을 감소시키는 기술개발이 필요하게 되었다. 본과제의 목적은 터빈엔진 날개와 착륙기어 및 레이더 도움 등에 레이저를 정화와 코팅제거를 사용하는 기술개발현황을 보여주는데 있다. 설비는 CO<sub>2</sub>와 엑시머 레이저를 사용한 정화 및 코팅제거 디자인이다. 시스템 운전은 완전히 로봇화되고, 일정 표면에 레이저가 위치되도록 온라인 측정과 제어된다. 과제 목표는 다음과 같다.

- 전투 항공기 착륙기어와 레이더 도움 부품에 대한 레이저처리 디자인 시스템 데모
- 처리중 가능한 모든 입자 성분을 포획할 수 있는 상세 디자인 설계

- 레이저, 컴퓨터, 로봇, 제어기, 선서 등의 하드웨어 그리고 시스템 운전에 필요한 소프트웨어에 대한 구입 혹은 제조

- 데모용 설비 시스템 조립
- 항공 부품에 대한 정화 및 코팅 제거 처리의 시험 및 충분한 평가
- 금속과 비금속 시편에 대한 시스템 실증
- 설비 운전과 항공부품에 대한 엔지니어링 평가
- 제안된 모든 사항은 DoD와 공군에 의해 위임된 공해방지 규정을 준수

설비에 대한 폭넓은 시험 평가와 레이저 빔에 대한 여러 모체 물질과 코팅제거를 해군과 공군에서 수행하였다. 다음에 필요한 사항은 다양한 항공 부품에 대해 시험과 평가 및 정화레벨을 측정할 수 있는 원형시설이다. 이 설비는 평가 목적으로 서비스 및 항공시설에 사용 가능하다. 이 과제에 내포된 기술적 어려움은 낮다. 레이저는 산업용 CO<sub>2</sub>와 엑시머레이저를 사용한다. 제어, 로봇센서, 측정장비를 이용하고 생산 시스템을 제어하기 위해 소프트웨어를 개발한다. 모든 시스템 디자인은 안전성을 고려한다. 레이저에 의한 정화 및 코팅제거 설비는 광범위로 항공과 일반 장비의 정화와 코팅제거 작업에 적용된다. 이에 따른 장점은 위험하고 유독성 폐기물 발생을 완전히 제거하는데 있으며, 고비용의 고체, 액체, 기체 폐기물 처리에 대처하여 효과적인 기술이다.

바. Complete removal of paint from metal surface by ablation with a TEA CO<sub>2</sub> laser <sup>(20)</sup>

고속으로 금속 표면 오염물 제거를 위해 TEA CO<sub>2</sub> laser(500W) 펄스를 인가하여 여러 표면 및 빔조사 조건에 대해 제거되는 효율성을 실험하였다. 그림13. 실험에서와 같이 SUS 표면의 페인트를 제거하기 위해 빔강도를 증가시키면 제거율은 높아지지만 표면에 그을음이 생긴다. 따라서 잔유물과 그을음 발생을 없애기 위해 여러 화학제를 사용하였다. 물, 에칠알콜, 아세톤, DFM(dimethy-formamide)을 레이저 빔 인가 전 시편 표면에 발랐다. 그림14의 결과와 같이 DFM이 없을 때 EDX(Energy dispersive X-ray) 스펙트럼상의 제염계수는 160이고, 반면 DFM를 사용했을 때에는 500을 넘었다. 따라서 DFM는 그을음 없이 잔유 페인트를 제거하는데 큰 역할을 한다는 것을 알 수 있었다. 이 논문에서 보여준바와 같이 표면제거 효율은 재질의 표면 거칠기에 따라 다르지만, 이

레이저 표면 제거방법은 표면에 그을움없이 오염물을 완전하게 제거할 수 있었다.

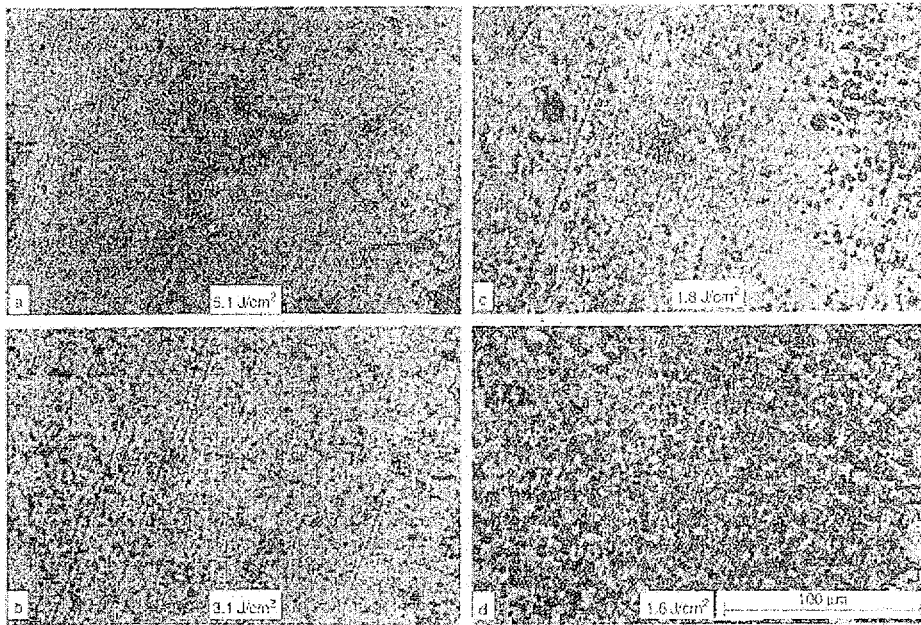


그림 13. 레이저가 인가된 SUS 표면

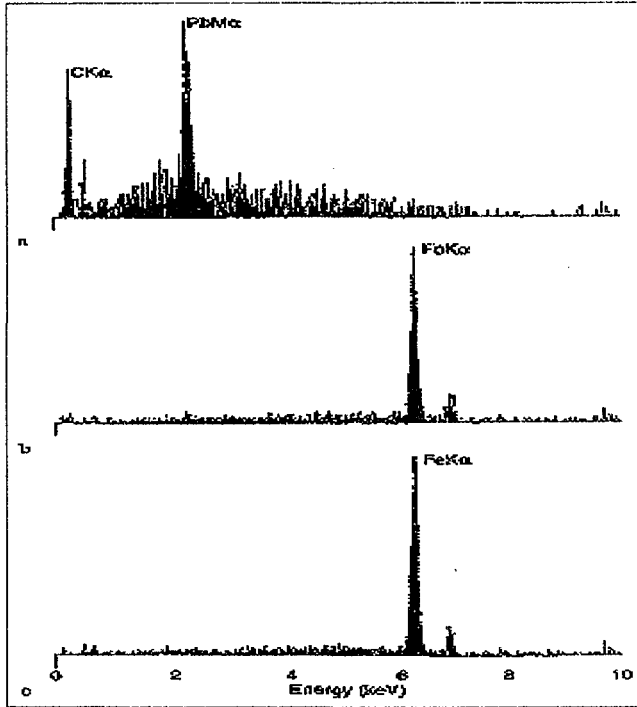


그림 14. SUS EDX 스펙트럼 (a. 레이저빔인가 전, b. 10 펄스레이저 인가, c. DFM을 사용한 후 펄스레이저 인가)

#### 사. Surface cleaning of metals by pulsed-laser irradiation in air<sup>(14)</sup>

금속 표면의 오염물 제거를 위해 KrF-excimer laser를 사용하였다. 실험은 구리, 스테인레스, 알루미늄 금속을 사용하였는데, 표면이 심하게 오염되었을 경우에도 효과적으로 제거되었다. 레이저 표면제거는 짧은 파장과 펄스 폭이 필요되며 레이저 펄스의 에너지

지 밀도는 중요 파라미터이다. 낮은 에너지 밀도에서는 표면 제거가 되지만 많은 펄스가 요구된다. 반면 높은 에너지 밀도에서는 높은 제거효율을 보여주지만, 표면 온도 상승으로 인해 표면 산화와 2차 오염현상이 발생한다.

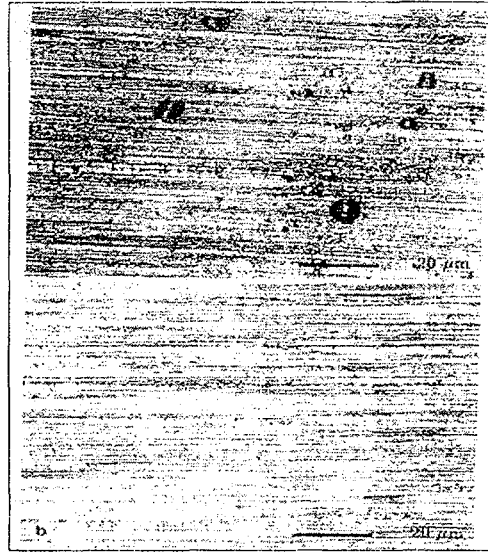
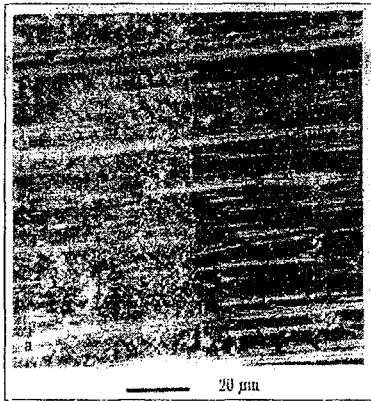


그림 15. Cu substrate에 저에너지 인가(70 mJ/cm<sup>2</sup>, 600 pulses, a 인가후)

그림 16. Al substrate에 고에너지 인가(375 mJ/cm<sup>2</sup>, 1 pulse, b 인가후)

## 5. 레이저 제거에 대한 이론적 고찰<sup>(17)</sup>

### 가. 열적 반응

레이저 빔의 반응을 지배하는 가장 중요한 변수는 가열과 냉각 온도 및 속도이다.

레이저 빔이 인가되었을 때 특징적인 변수로는 다음과 같다.

$h$ : 샘플 두께,  $r_0$ : 레이저빔 반경,  $r_n$ : 빔의 구분포 균일성

$\xi = 1/\alpha$ : 흡수계수,  $L = \sqrt{at}$ : 열전달 길이,  $l_n$ : 재료의 비균일성

$r_0 \geq r_n \gg \max[\xi, L]$  이면 모체의 가열과 빔흡수는 균일 차원으로 취급할 수 있다.

주변과 열교환을 무시하면 큰 샘플( $L \gg \max[\xi, L]$ ) 에서 온도 필드 식은 3.1과 같다. 레이저 빔의 끝에서 모체의 최대온도는  $z=0$  인 표면에서 일어나므로 식 3.1은 식 3.2로 간략화할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 T(z, t) = \frac{Aq_0}{\alpha\lambda} \left\{ \exp(\alpha^2 at - z\alpha) \left[ \left( 1 + \operatorname{erf} \frac{z - 2a\alpha t}{2\sqrt{at}} \right) - \exp(-\alpha^2 a\tau) \right. \right. \\
 \left. \left. \times \left( 1 + \operatorname{erf} \frac{z - 2a\alpha(t - \tau)}{2\sqrt{a(t - \tau)}} \right) \right] \right. \\
 \left. + \exp(\alpha^2 at + z\alpha) \left[ \left( 1 - \operatorname{erf} \frac{z + 2a\alpha t}{2\sqrt{at}} \right) - \exp(-\alpha^2 a\tau) \right. \right. \\
 \left. \left. \times \left( 1 - \operatorname{erf} \frac{z + 2a\alpha(t - \tau)}{2\sqrt{a(t - \tau)}} \right) \right] \right. \\
 \left. + 4\alpha \sqrt{\frac{a}{\pi}} \left[ \sqrt{t} \exp\left(-\frac{z^2}{4at}\right) - \sqrt{t - \tau} \exp\left(-\frac{z^2}{4a(t - \tau)}\right) \right] \right. \\
 \left. + 2\alpha z \left( \operatorname{erf} \frac{z}{2\sqrt{at}} - \operatorname{erf} \frac{z}{2\sqrt{a(t - \tau)}} \right) \right\}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$T_m = \frac{Aq_0 \alpha \tau}{C} \left( 1 - \frac{2}{3\sqrt{\pi}} \alpha \sqrt{a\tau} \right) \approx \frac{\Phi \alpha}{C} \tag{3.2}$$

여기서  $\Phi = Aq_0 \tau$  는 흡수된 빔에너지 밀도이고,  $C$ 는 단위 체적당 규정된 열,  $\alpha$ 는 흡수계수를 의미한다.

#### 나. 레이저 빔에 의한 증발현상

고체 상태에서 가스 상태로의 물질 천이 현상인 증발과정은 많은 레이저 응용(드릴링, 컷, 증착, 레이저 수술)분야에 기초가 된다. 레이저 빔 영향으로 증발은 내부와 외부 상태로 나눌 수 있다. 외부 상태는 증기의 운동, 플라즈마 형성, 파괴 산물에 의한 에너지 흡수가 나타난다. 내부 상태로는 응축된 물질에서 일어나는 과정 즉 가열과 인터

페이스 이동으로 설명된다. 압력 P에서 물질이 가스상태 매로 증발할 때 이동에 따라 경계면에서 증발율은 Hertz-Langmuir-Knudsen 공식에 의해서 식 3.3과 같다.

$$J = J_+ - J_- = \alpha_o(2\pi mkT_v)^{-1/2}(P_s - P) \quad (3.3)$$

$J_+$  : 증발 표면으로부터 입자흐름,  $J_-$  : 입자의 반대 흐름,  $P_s$  : 포화 증기압  
 $T_v$ : 증발 표면온도,  $m$ : 원소질량,  $\alpha_o$  : 수용계수(금속  $\alpha_o \approx 1$ )

#### 다. 자연석의 제염

자연석 표면에 대한 레이저 제거 과정중 관련된 파라미터 결정을 한다.

레이저 방법이 돌을 정화하는 종래의 방법(기계적, 화학적)과 차이점은 다음과 같다.

- 다양성 : 모든 오염물 제거
- 지협성 : 제거될 표면의 손상을 최소화
- 고속성 : 고효율 레이저와 고속 스캐닝 장치 사용

제거조건은 오염물의 종류, 침투깊이와 돌의 성질과 관련된다. 대부분의 오염물은 (carbon black, soot, oil, 황화합물, 녹) 넓은 스펙트럼 범위에서 레이저 빔을 흡수한다. 반면 돌의 순수성질은 좁은 흡수 영역을 갖는다. 돌의 흡수계수( $\alpha \approx 30\text{cm}^{-1}$ )는 오염물의 흡수계수( $\alpha \approx 10^4\text{cm}^{-1}$ )와 다르다. 만일  $\alpha \sqrt{a\tau} \ll 1$ ,  $\alpha \sqrt{a\tau} \gg 1$  조건을 만족하면 오염과 비오염된 영역의 표면온도는 (3.2)식과 같다. 여기서  $T=T_c$ 와  $T=T_a$  이면 ( $T_c$ : 오염물 제거 온도,  $T_a$ : 돌 제거 온도) 돌 표면에서 제거가 가능한 빔에너지 한계 식은 다음과 같다.

$$\Phi_1 = \frac{(T_c - T_0) \lambda \sqrt{\pi \tau}}{2(1 - R_c) \sqrt{a}} \quad \Phi_2 = \frac{C(T_a - T_0)}{\alpha(1 - R)} \quad (3.4)$$

Carbon black과 soot의 제거 메카니즘은  $T_c \approx 500^\circ\text{C}$  공기 중에서 타 들어가기 때문에  $T_c < T_a$  조건을 만족하면 제거시 돌에 손상은 없다. 녹을 제거하기 위해 돌 표면은 (증발온도  $T_v \geq 2000^\circ\text{C}$  혹은 금속 환원 온도  $T_r \approx 1000^\circ\text{C}$ ) 대리석과 다른 탄소성 바위의 열



분해 온도  $T_d \approx 850^\circ\text{C}$  이상으로 열을 가해준다. 이 경우에 돌 표면에 대한 손상이 발생하지만 최소화시켜야 한다. 손상 깊이를 감소시키기 위해 레이저 펄스 폭을 작게 하고, 미세입자가 제거될 때 일어나는 진동성 위상천이를 피해야한다. 표 5.1은 대리석과 화강암에 대해  $\Phi_1, \Phi_2$  계산 결과 값으로  $\lambda_0 = 1.0 \mu\text{m}$ ,  $\tau = 10^{-3}$ ,  $\lambda = 0.03\text{W/cm}$ ,  $Ka = 0.01\text{cm}^2/\text{s}$ ,  $T_a = T_d = 850^\circ\text{C}$ (대리석),  $T_a = T_v = 2200^\circ\text{C}$ (화강암) 인 조건에서 구했다.

표 4. 빔한계식 비교  $\Phi_1$ (Cleaning onset),  $\Phi_a$  (ablation)

돌	오염물	$\Phi_1, \text{J/cm}^2$	$\Phi_a, \text{J/cm}^2$
대리석	Carbon black, soot	5(4)	99(80)
대리석	녹	13(10)	99(80)
화강암	녹	10(12)	224(210)

\* 가로 안의 값은 식(3.4) 를 사용해서 계산한 값이다.

## 6. Gamma radiation detection

원자력 시설에서 gamma-radioactive sources 를 원격으로 측정하는 장치는 매우 중요하다. 특히 시각적으로 방사선원을 보여주는 장치를 gamma camera or gamma-vision camera(GVC)라고 한다. 장치 구성은 감마선을 센싱하는 차폐된 detector, 이 gamma detector를 좌우상하로 이동시키는 구동장치, gamma선을 영상 처리하는 장치로 구분된다. 현재 이동식으로 개발 되어 제품화된 것에는 2종류가 있는데 BNFL의 RadScan 600 Gamma Scanner와 AIL의 GAMMACAM 이다. 또한 일본 PNC에서 개발한 것도 보고되고 있다.

### 가. PNC의 방사선 모니터링 기술 개발<sup>(25)</sup>

1990년 1월에 DOE는 원자력산업에 사용하기 위해 이동형 감마선 영상카메라를 개발하기 위한 프로젝트를 시작하였다. 초기 연구개발 목표는 카메라가 인식하는 광자대신에 감마선을 응답하는 칼라 텔레비전과 유사한 것을 개발하려고 했다. 빔의 강도와 에너지를 2차원으로 보여주는 영상을 카메라방향에 대하여 방사선의 강도와 칼라를 좌표적

위치에 나타낸다. 효율적이고 안전하게 해체를 하기 위해 오염된 핵종의 양과 분포패턴을 결정할 수 있는 모니터링 기술은 중요하다. PNC는 종래의 대략적이고 직접 측정하는 방식을 벗어나 원격으로 핵종의 오염분포를 신속 정확하게 평가하는 방사선 영상 표시(RID; radiation image display) 기술을 개발하였다.

#### (1) 방사선 영상 표시

해체시 측정과 평가 효율을 향상하기 위해, 작업중 피폭을 감소시키고 측정데이터의 신뢰성 향상을 위해, PNC는 원격과 자동으로 방사성 물질의 분포에 대한 영상표시를 하는 장비를 개발해왔다. 동작원리는 콜리메이티된 감마선 측정기, 측정된 오염물체를 스캔하기 위한 거리측정, 방사선 정보와 거리정보는 컴퓨터에 의해 1500-9000 픽셀과 10색 레벨로 방사성 물질(평가그림) 분포도를 생성하고, 영상을 합성하여 TV모니터에 그림을 표시한다. 측정원리는 그림 17와 같다. 그림 18은 1986년에 만든 장비이다. 그림 19에 액체폐기물 탱크를 측정한 결과를 보여준다. 평가 사진은 상한으로 그림이 위치한 사진의 최대 계수 값으로 10색 레벨(빨강-노랑-초록-청색-무색)로 각 그림에 계수 값을 나타낸다. 스크린과 그림의 합성 영상은 액체 폐기물 탱크 바닥 면에 위치한 방사성 물질에 대한 정보를 제공한다. 이 장비의 응용은 폐기물과 액체폐기물 탱크를 만들어서 평가하였다. 실험 결과들은 아래와 같다.

##### ① 폐기물 측정

그림 19은 200ℓ 폐기물 드럼에 대한 측정 결과이다. 결과에 대한 명확한 평가는 즉석에서 방사성 물질 존재에 대한 위치 파악이다.

##### ② 제염전후 액체 폐기물 탱크의 측정

FRB연료 다발을 청소시 발생되는 액체폐기물을 보관하는 탱크는 고압의 물로 오염된다. 제염과정은 본 장비로 평가하였다. 제염전후 측정된 영상들은 그림 21.와 같다. 측정은 3.5m 거리에서 30분 이상 걸렸다. 사진에서와 같이 고압 물에 의한 제염은 제염 전에 탱크 위에서 측정하고 높게 오염된 침전물이 탱크 밑바닥에 생겼다.

항 목	RID
$\gamma$ detector	CsI(Tl)+PD $\phi$ 28x50mm
차폐물	텅스텐
차폐두께	50mm
차폐 Power	1/100
( $\gamma$ 에너지: 1Mev)	
Detector 무게	약50Kg
Detector 크기	300(W)x350(D) x900(H)
케이블수	5
측정시간	10,15,30,60분
계산시간	3분

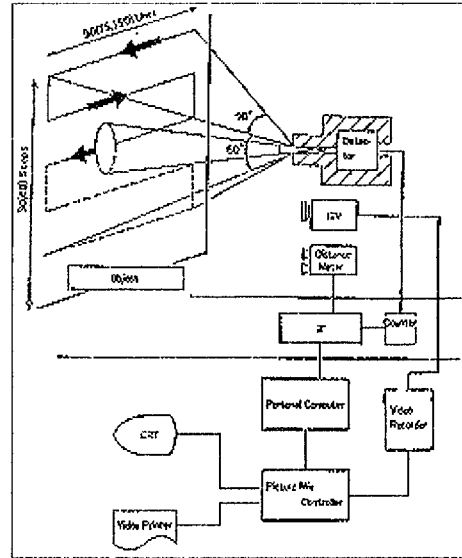


그림 17. 방사능 영상 표시의 구성도

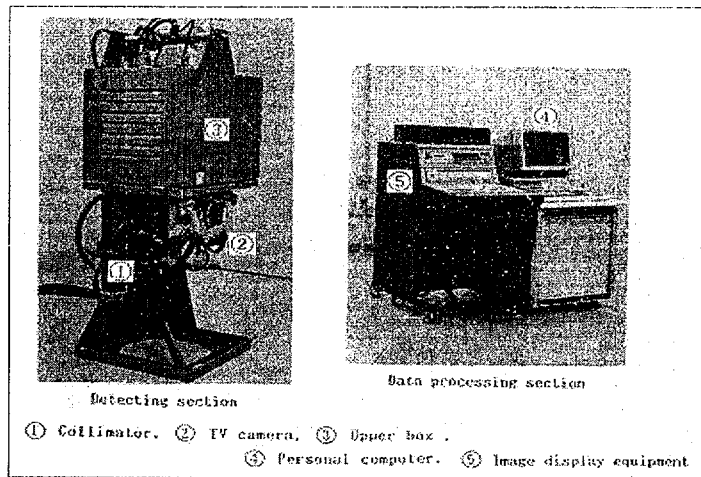


그림 18. 방사능 영상 표시 장치

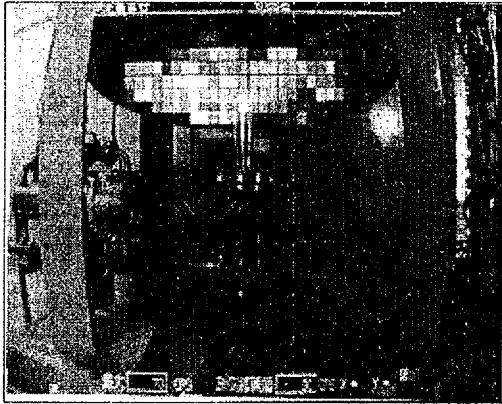
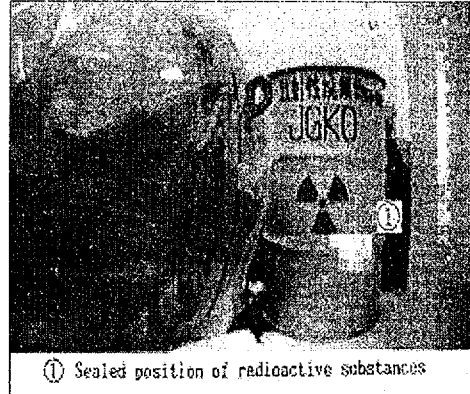


그림 19. 액체폐기물 탱크 측정의 예



① Sealed position of radioactive substances

그림 20. 방사능 물질의 지정 위치

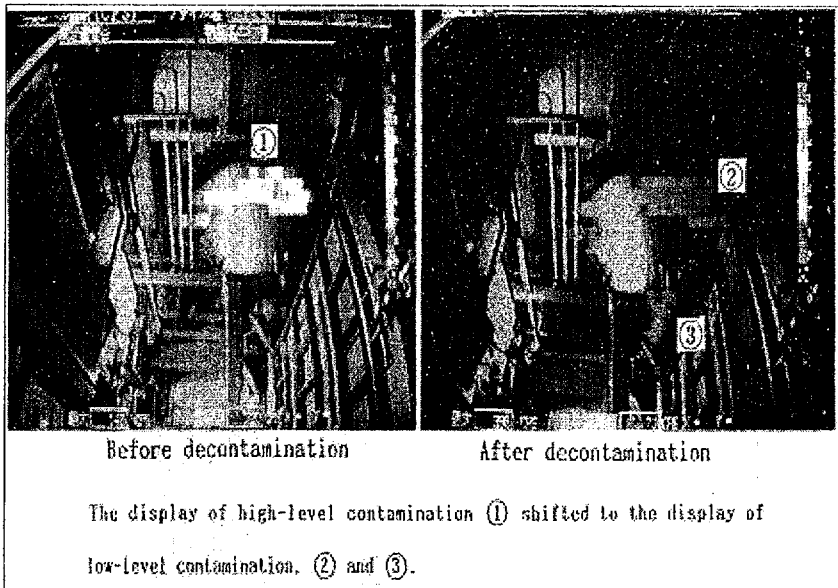


그림 21. 제염전후 액체폐기물 탱크의 평가

## 나. 고에너지 방사능 시각화(High-Energy Radiation visualizer; HERV)<sup>(41)</sup>

### (1) 도입

과거 수십년 동안 원자력시설에서의 몇몇 사고들은 감마 방사능 소스의 원격센싱과 발견을 위해 새로운 방법과 장비개발이 중요하게 인식 되었다. 그러한 방법중의 하나가 방사능 소스의 시각화이다. gamma-vision camera(GVC) 혹은 gamma-visor 라 부르는 장비는 방사능 소스를 찾기 위해 개발 되었다. GVC는 다음과 같은 이유로 심하게 오염된 조건에서도 효율적으로 사용된다. 이 방법은 100m 거리에서도 소스를 찾으므로 장비는 선량율이 작은 곳에 위치할 수 있다. 또한 GVC는 즉시 여러 소스를 찾기 위한 광범위 시계를 갖는다. 그러므로 운전자는 위치를 변경하지 않고 GVC의 도움으로 빠르게 충분히 넓은 지역을 조사할 수 있다. 이 장비는 방사능 오염지역의 조사가 고준위 선량율의 조건에서 수행될 때 개인의 과도한 피폭을 막을 수 있다. GVC의 처음 적용은 1986년 여름에 사고난 체르노빌 원자력발전소 4호기에서 이루어졌다. 고에너지 시각화(HERV)는 GVC의 업그레이드이다. HERV의 주요 응용은 원자력 발전소에서 사고 발생시 강한 감마선 소스를 찾는 일이다. 그러나 적용은 다른 여러 분야에서도 가능하다. 이 논문에서 대상물 표면 층에서 산란된 X-ray선 측정을 위해 HERV 사용에 대해 기술하였다. 천문학(감마 망원경)에서 감마 영상을 시각화하는 장비와 의료분야에서 핵진단을 하는 장비들이 있지만 위에서 언급한 문제들을 해결하기 위해 이들의 장비를 사용할 수는 없다. 이들의 장비들은 미리 알고있는 소스로부터 발생하는 감마선으로부터 동작한다. 조사된 물체의 좌표적 위치는 대략 알고 있다. 그러므로 검출기는 측면과 후방 차폐가 필요 없으며 큰 크기와 민감도를 갖는다. 방사능 모니터링을 위한 장비는 절대적으로 다른 조건에서 동작하여야 한다. 미지의 좌표와 배열을 갖는 물체는 복잡하고 어려운 방사능 배경에서 측정될 때, 이들의 문제점을 본 장비에서 해결하려고 한다. 최근에 많은 실험실에서 방사선 모니터링을 위한 이동형 감마영상 장비를 개발하여 왔다.

### (2) HERV의 시스템

#### ① 장치 구성

가능한 시스템 배열은 그림 22과 같다. 이 시스템의 간략한 구성은 납차폐, 콜리메이터와 스톱퍼, 섬광 매트릭스 혹은 판, 영상 증강장치, CCD카메라, 광 TV카메라로 되어있다. 이들은 대부분 중요한 영상 요소들이다. 검출기 헤드(그림 23)의 도면은 HERV

에 의한 영상 원리를 설명한다. 영상은 핀홀 카메라 원리에 있다. 콘모양의 2개 콜리메이터 “1”는 섬광 검출기의 평면 “2”에서 역상의 X-ray or 감마선을 만든다. 중심에서 콜리메이터 최소 직경은 1.5mm이다. 연속적으로 섬광 검출기는 사용될 수 있다. 감마와 X-ray 빔의 전환을 위해 빛이 차단된 셀인 매트릭스 섬광  $\text{AaI(Tl)}$ 는 빛을 만들어 낸다. 섬광의 총직경은 40mm, 두께가 6mm, 셀 단면적 크기는 1x1mm<sup>2</sup>이다. 매트릭스 섬광은 1000개 이상 독립된 검출기로 2차원 배열을 하고 있다. 우리는 연속적으로  $\text{CsI(Tl)}$ 과 3-8mm 두께의 BGO 섬광 판을 사용한다. 빔흡수의 결과로 검출기상에 나타나는 광은 영상증강기 “3”에 의해 증폭된다. 광 출력 증폭뿐만 아니라 영상증강기는 5배 정도 영상크기를 감소시킨다. 차폐 최소 두께는 25mm이다. 검출기 헤드의 무게는 약 35kg이다. 약한 물체의 장시간 영상 취득중 백그라운드 신호와 영상에 대한 정보를 얻기 위해 납 스톱터를 사용했다. 이 장비는 전자 제어 시스템이 있고 콜리메이터가 개폐된 위치에 고정된다. CCD카메라와 다른 부가된 전자의 제어는 IBM PC에 의해 동작된다. 컴퓨터는 영상을 읽고, 저장, 처리하여 표시한다. CCD 카메라는 낮은 프레임 반복을 모드에서 동작된다. 단일 프레임의 노출시간은 1-60초 범위내이다. 감마 물체의 그림은 영상처리중 PC에 표시된다. 장비의 운전자는 측정시간이 광학적 조합에 대한 물체의 인식과 표시되는 감마영상이 충분한가를 결정한다.

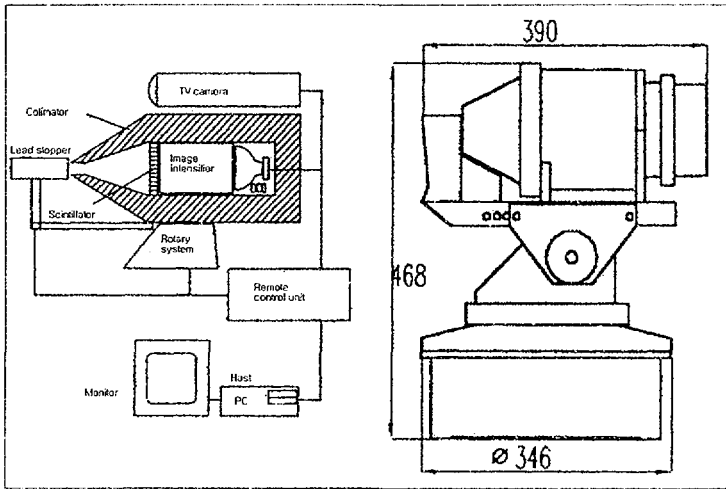


그림 22. HERV 시스템

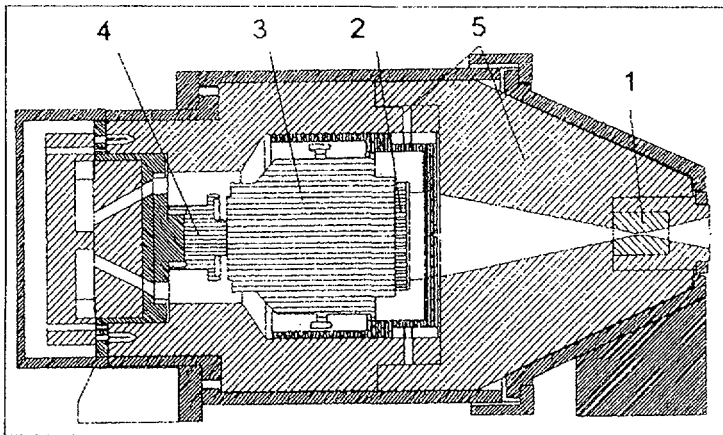


그림 23. HERV 측정 헤드의 도면

## ② 데이터 취득과 영상처리

HERV에서 데이터 취득과 영상처리에 대해 살펴보자. 원격 검출기 헤드를 갖는 장비에 의해 동작되는 과정의 블록 형태는 그림 22과 같다. IBM PC 본체에서 헤드의 모든 전자장비는 제어되고 CCD 카메라로부터 신호를 읽고 예비적 영상처리를 한다. 헤드 앞 장비의 제어를 위한 모든 보드는 PC 마더보드에 삽입한다. IBM PC 마더보드는 RS-232C 포트로 Host PC와 연결된다. PC 메모리로 CCD 매트릭스 데이터 판독은 특별한 ADC에 의해 동작된다. 초기 CCD 프레임은 마개의 위치와 일치하는 부호로 메모리에 입력된다(+부호는 정보 프레임, - 부호는 배경 프레임). 몇몇 초기 프레임의 대수학의 합(보통 세트는 8프레임)은 중간 프레임이다. 정보와 배경 프레임의 바른 선택은 잡음을 감소시키고 전자 부품의 잡음과 일시적 드리프트에 의한 영상방해를 감소시킨다. 연속적 중간 프레임들은 직접 결과 영상으로 더해진다. 이들 프레임이 첨가되기 전에 2단계 처리를 한다. 즉 임시 중간 필터와 영상 압축 과정이다. 임시 중간 필터는 3개 중간 프레임에 적용되고 결과로서 초기 프레임 픽셀의 중간 변환에 의해 얻어진 각각의 프레임임을 얻는다. 이 필터는 CCD 매트릭스 픽셀과 감마양 상호관계의 결과들을 배제한다. 공간중간이나 증폭필터는 이들 상호관계에 양호한 결과를 주지 못한다. 결과 영상의 이웃 픽셀을 포함하여 CCD 매트릭스 영역에 신호 부가에 의한 프레임 압축은 원격PC와 Host PC 사이 작은 연결을 때문에 원격측정 헤드는 필요하다. 빠른 링크 혹은 1대 컴퓨터 사용한 경우에 압축은 섬광관 영상 증강기의 영상 증배 왜곡과 비균일 공간 민감성 때문에 영상 보상을 촉진한다. 셀룰러 섬광의 경우에 영역에 분포된 CCD 매트릭스는 섬광셀과 매핑이 일치한다. 연속적인 섬광인 경우에 영역은 CCD 매트릭스에 단순 정방향이나 영상 증폭 왜곡을 고려한 중심패턴의 요소로 나타난다. Host PC로 전송후 압축된 중간 영상 프레임은 결과 영상에 첨가되고 영상의 교정이 섬광 판과 영상 증배기의 영상 증배 왜곡과 비균일 공간 민감도 보상이 이루어진다. 영상을 나타내기 위해 압축된 영상은 유사 색으로 교정하여 매핑된다. TV 카메라를 갖는 시스템은 광학적 영상에 감마 영상의 중첩이 가능하다.

## ③ 감마 영상의 실험적 결과

그림 24-26은 실험적 감마 영상들이다. 콜리메이터로부터 1m 거리에 점과 선 Cs-137소스에 대한 실험을 수행하였다. 그림 24는 수학적 처리 전에 섬광기 매트릭스에 정방향 셀로 좁은 아크와 같은 감마 물체의 영상을 보여준다. 섬광기의 분리셀은 영상에



서 볼 수 있다. 그림 25은 연속적 섬광 판으로 얻어진 영상과 영상의 횡단면이다. 두께3 mm 연속 CsI(Tl) 섬광 판에서 얻어진 점소스의 감마 영상은 그림 26와 같다. 콜리메이터 중앙 지경은 1.5mm이다. 콜리메이터 중앙과 섬광기 거리는 12cm이다. 이런 파라미터를 갖는 HERV는 거의 1도 각 해상도(하좌 점의 쌍은 1.2도 각거리와 하우는 1.6도 각거리)를 갖는다. 연속 삼광기는 판의 두께와 콜리메이터의 중심 직경을 감소시킨다면 더좋은 각 해상도를 얻는다. 불행히도 이들의 변화는 장치의 민감도를 감소시킨다. 셀룰러 섬광검출기는 셀크기와 민감도의 높은 분산을 갖는다. 이것이 영상처리가 모든 섬광기 셀의 크기와 민감도를 고려해야할 이유이며 만일 물체 활동의 정확한 분포를 알고싶다면 고단계 알고리즘에 의한 해석이 필요하다. 연속적 섬광기는 전 영역에 걸쳐 높은 민감성을 갖는다. 이와같이 단순 잡음 필터 후에 좋은 영상을 얻을 수 있다. 그림 26은 다른 위치에서 같은 아크 모양의 물체에 대한 영상이다. 첨가된 영상처리없이 아크 한쪽 끝에서 강도분포는 2개 영상이 비슷하다. 즉 그들은 소스에서 민감분포가 섬광기 민감성 변화를 의미하지 않기 때문이다.

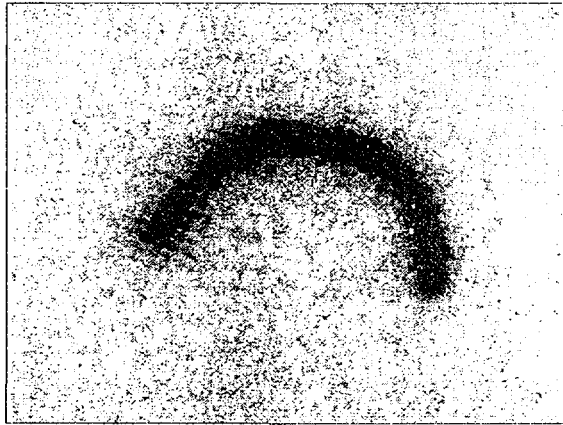


그림 24. 수학적 처리전 아크  $\gamma$  물체의 영상

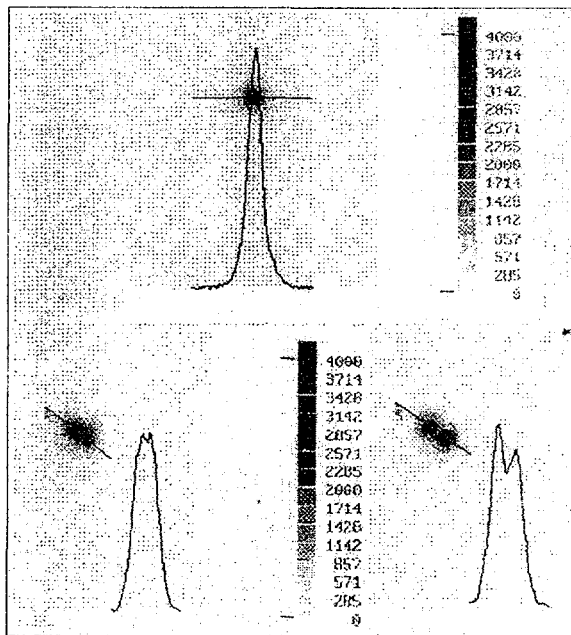


그림 25. 점소스의 영상

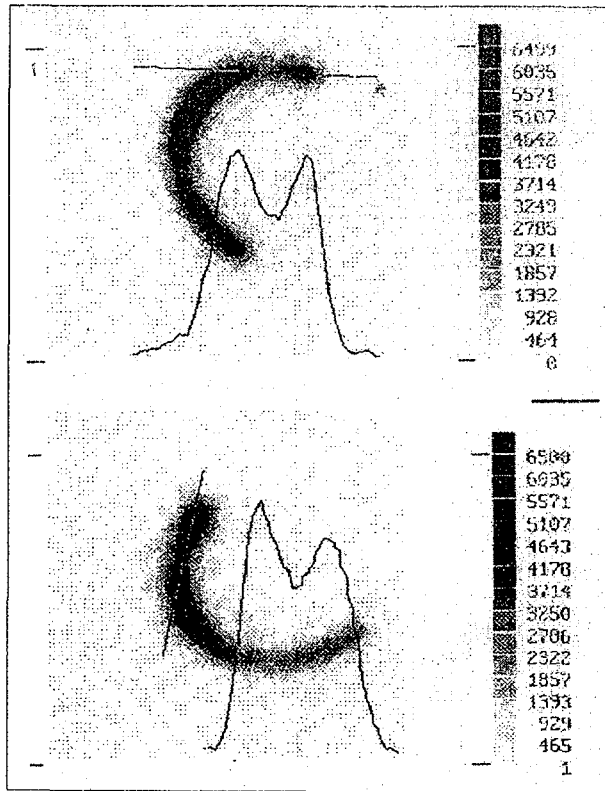


그림 26. 연속적 섬광기판에 의한 아크물체

#### ④ 실험적 HERV의 현상태

우리는 HERV의 다른 요소(섬광기, 폴리메이터, 영상증배기)에 대한 실험을 하였다. 이들 요소중 최적 파라미터, 데이터 취득방법과 영상처리 등에 대한 HERV의 여러 사용 방법에 대해서 조사하였다. 최적 파라미터의 선택은 가능한 물체의 방사능 에너지와 강도와 관련된다. 원자력 발전소에서 정상과 사고시 감마 영상의 장치는 지금 조립 중에 있다. 원격 측정 헤드는 1축 회전 시스템에 위치하고 원격 PC 보드에서 제어된다. 측정 헤드는 Host PC에서 부터 200m 정도 위치한다. 감마 영상의 다음 주 파라미터는 HERV의 변수로 얻어진다.

- 좌표

- 영상각도(콜리메이터 각도) : 20도
- 최소 각해상도 : 1도

- 민감도: Cs-137 소스에 대해 최소감지 한계, 10m 거리, 측정시간 60분

- 점소스 :  $7.4 \times 10^8$  Bq
- 균일 분포 :  $2.5 \times 10^6$  Bq/cm<sup>2</sup>

임의 거리에 대해 점소스는 70  $\mu$ R/h 이상 측정헤드 선량율로 위치해야 한다.

- 동작온도 : 10- 40  $^{\circ}$ C

선 소스에 대해 위에서 언급한 민감도 한계는 측정 헤드 위치에서 HERV 시각도로 부터 감마물체가 위치한 노출 선량율이 15mR/h 정도일 때 물체의 광학적 TV 영상과 감마 영상의 중첩에 대한 HERV의 제어 인터페이스는 그림 27과 같다.

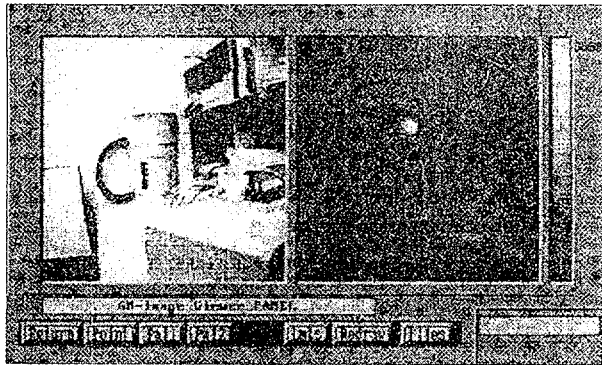


그림 27. TV 영상과  $\gamma$  영상의 중첩

나. Gamma camera 시제품 현황

(1) RadScan 600 Gamma Scanner

① 개요

BNFL의 RadScan 600 Gamma Scanner는 미지 혹은 고준위 방사능 지역에서 방

사능을 모니터링하기 위한 장비이다. 시스템은 운전자에게 방사능 물질의 공간적 분포에 관한 정보를 제공한다. 전형적인 사용은 해체전 건물과 장비에 대한 오염상황을 측정할 때이다. 이 RadScan 600은 이동크레인, 삼각대, 매뉴플레이터에 장착하여 사용할 수도 있다. 시스템은 플로토늄과 감마선 방출량에 따라 탈착 가능한 2개의 검출기 헤드중 한 개를 사용한다. 시스템 동작은 자체 점검후 설치 지역내에 모든 물체를 측정하는데, 안전 지역에 위치한 원격 PC와 제어모듈에 의해 수행된다. 스크린 정보는 Windows 환경의 SW에 의해 표시되며, VCR에도 기록된다.

## ② 사양

검출기 헤드 크기 : 315mm(h) x 370mm(w) x 435mm(d)

검출기 헤드 무게 : 55kg( Cs-137 용), 30kg(플로토늄 용)

스캐닝각 : 340° pan, -40° to +90° tilt

스캐닝 속도 : 6° /sec pan, 3° /sec tilt

검출기 : CsI(TL) scintillator photodiode

잡음레벨 : -100 keV

카메라 : 고감도 칼라 CCD

## ③ 성능

검출 한계 : <10 μCi for Cs-137

검출 범위 : 0.5 -50m

유효 범위 : <10 μCi to 0.2Ci for <sup>137</sup>Cs at 1m

원격 운전 : 측정 헤드에서 약 40m

운전 범위 : 0- 1Gy/hr

## (2) GAMMACAM

### ① 개요

GammaCam은 감마선을 방출하는 물체에 대해 정확한 2차원 영상을 만드는 이동형 측정장비이다. 이 시스템은 흑백 비디오 그림에 유사 칼라로 감마선 영상을 중첩시킨다. 센서 헤드의 원격 조작은 고준위 환경에서도 안전하게 감마선 영상을 얻는다. 이 시스템으로 얻어진 감마 영상은 서베이 관리, 업무 계획, 차폐 평가등 여러 응용에 사용할 수 있다.

### ② 사양

검출기 헤드 크기 : 380mm(h) x 250mm(w) x 480mm(d)

검출기 헤드 무게 : 25kg

검출기 : High density terbium-actived scintillation glass

③ 성능

검출 한계 :  $1\mu R$  for  $^{137}Cs$  point source

표준검출 범위 : 4 ~8m

유효 범위 : <80keV to >1.3MeV

원격 운전 : 측정 헤드에서 약 26m

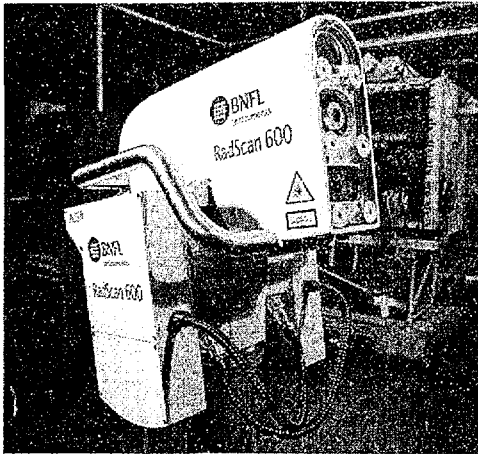


그림 28. BNFL RadScan

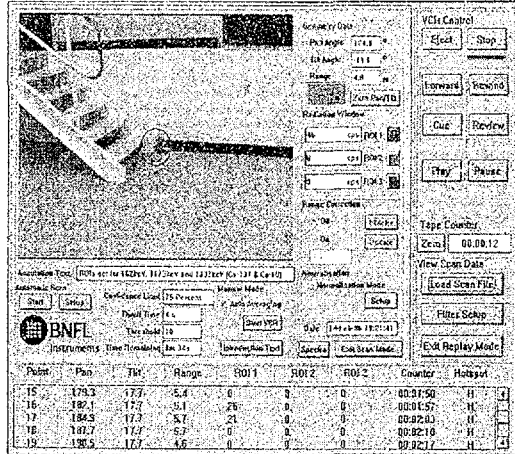


그림 29. RadScan PC 화면

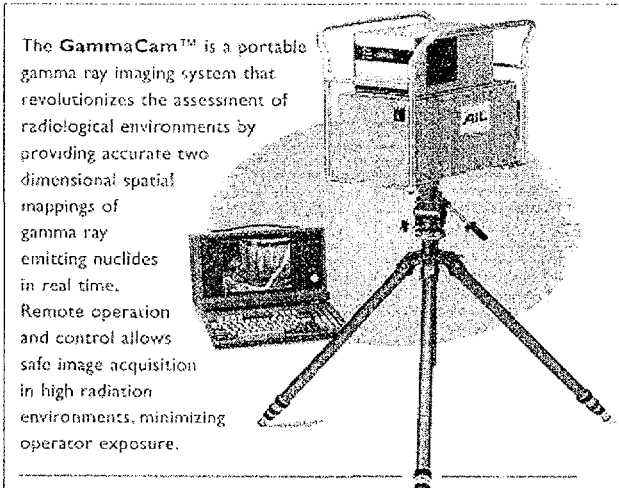


그림 30. GammCam

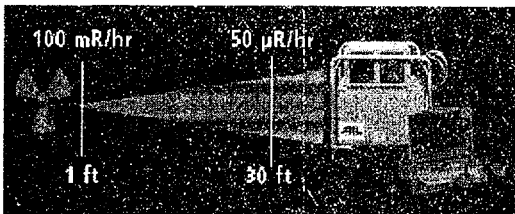


그림 31. GammCam에 의한 오염지역 측정



## 7. 연구방향

상기 외국의 laser ablation은 일반 산업현장을 대상으로 하고 있다. 그리고 레이저 출력장치에 대한 자유로운 원격 위치제어가 미약하다. 따라서 방사능으로 오염된 지역을 대상으로 오염지역을 원격 적으로 측정하고, 측정된 오염지역에 정보를 2차원 영상화면에 보여주는 Gamma-ray Camera장치를 개발하고, 이 Gamma-ray Camera의 측정결과를 연계하여, 오염지역에 대해 선택적으로 제염할 수 있도록 위치 제어장치, Laser 출력장치, 증발 흡수된 방사능 오염물의 Filtering 등이 통합된 원격 제염시스템(Remote laser decontamination system)을 개발은 중요한 의미를 갖는다.

### 가. Remote Laser Decontamination System 개발

모듈형태의 Hot cell과 같이 공간이 작은 오염지역에는 Telerobot(그림32)에 설치된 Laser head만을 투입시켜서 제염작업을 하여야 한다. 또한 시설공간이 광범위한 지역에는 Moble type 의 레이저 장비를 사용하여야 하는데, 다음과 같은 목적과 시스템 구성을 같은 제염장비를 개발한다.

- 목적 : Buliding & equipment 표면제염
- 대상 : Uramium & other radioactive materials
- 시스템 구성:
  - Q-switched Nd:YAG laser (60W), Remote Position control,
  - Suction nozzle, HEPA filter, monitoring system



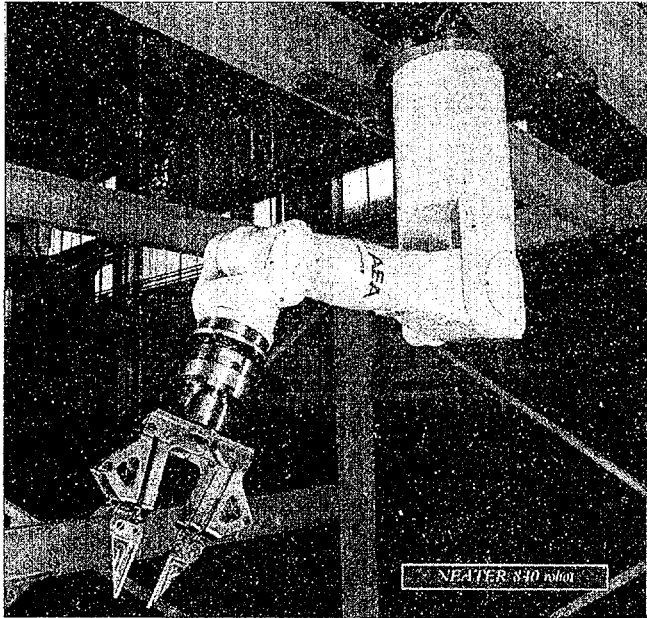


그림 32. Telerobot

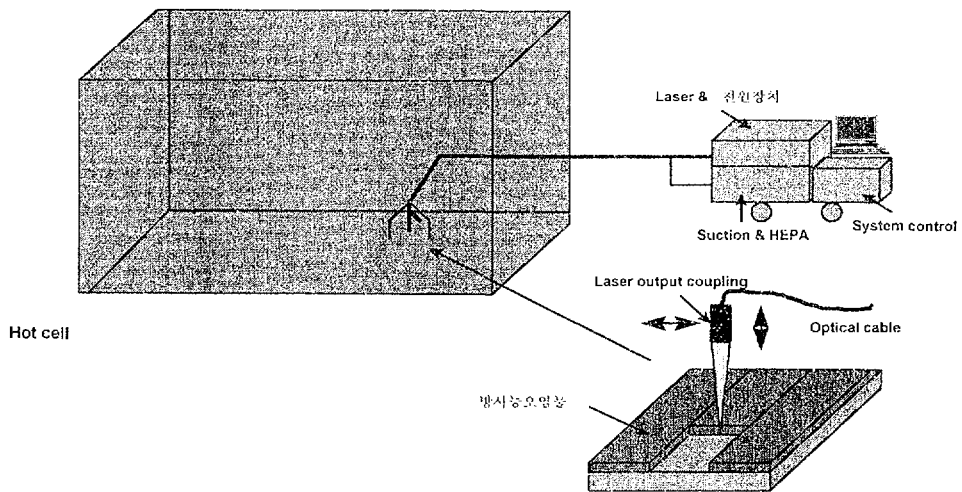


그림 33. Remote Laser Ablation System

나. Gamma-ray Camera 개발<sup>(24,26)</sup>

방사능 검출기와 방사능 point source까지 거리를 측정하고 검출기에 의해 측정된 조사선량에 따라 방사능을 계산하고, 그값을 CCTV의 영상에 2차원적으로 중첩하여 표시하는 Gamma Camera를 개발한다.

- 목적 : 방사능 오염지역의 제염전 gamma-ray image display
- 구성 : gamma detector, camera
- 원리 : 방사능 Q(Ci)인 point source 에서 부터 d 거리(m) 에서의 조사선량을 X(R/h) 는 식 6.1 과 같다.

$$X = K \cdot Q/d^2 \tag{6.1}$$

K: gamma-ray 방사계수  $^{60}\text{Co}=1.3 \text{ R}\cdot\text{m}^2/\text{Ci}$ ,  $^{137}\text{Cs}=0.34$ ,  $^{131}\text{I}=0.23$

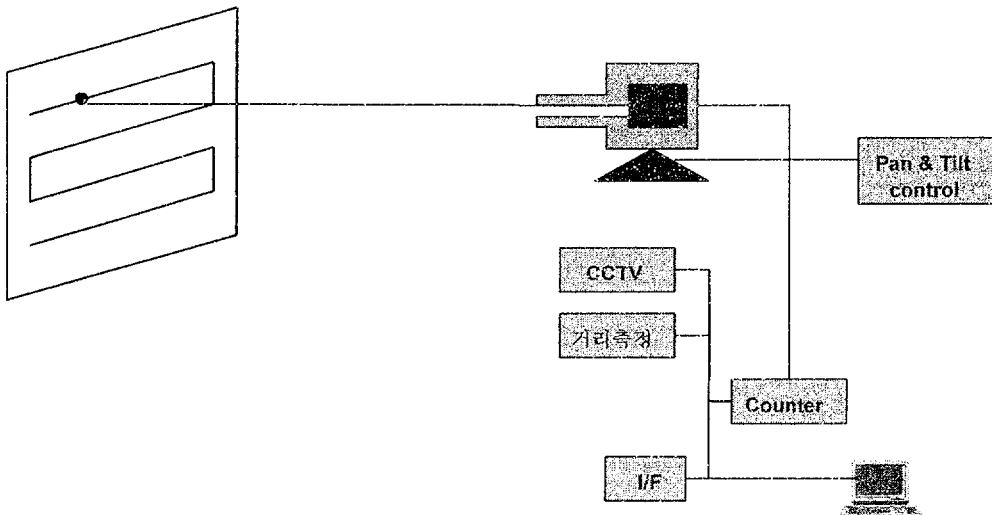


그림 34. Gamma-ray Camera

## 참고문헌

1. H.C.Peebles, N.A.Creager, "Surface Clearing by Laser Ablation," SAND-91-050, 1991.
2. S.J.Lee, K.Imen, S.D.Allen, "Shock wave analysis of laser assisted particle removal," J.Appl.Phys., Vol.74, No.12, pp. 7044-7047, 1993.
3. O.YODA, A.MIYASHITA, "DYNAMIC BEHAVIORS OF FRAGMENTS EJECTED FROM THE SURFACE OF CARBON MATERIALS BY LASER ABLATION," JAERI-M-92-173, 1992.
4. M.C.Edelson, "LASER DECONTAMINATION: A NEW STRATEGY FOR FACILITY DECOMMISSIONING," IS-M-709, 1992.
5. N.S.Cannon, D.J.Flesher, "Lasers for the Radioactive Decontamination of Concrete," WHC-SA-2116-FP, 1993.
6. J.L.Tnpp, "CRITERIA AND EVALUATION OF THREE DECONTAMINATION TECHNIQUES," WINCO-1187, 1994.
7. J.Freiwald, David A.Freiwald, "Laser Ablation of Contaminations from Concrete and Metal Surfaces," DOE/MC/30359, 1994.
8. J.Y.Rhee, Y.M.Hamrick, "APPLICATION OF LASERS TO THE DECONTAMINATION OF BULK CONTAMINATED NUCLEAR WASRES," APPLICATION OF LASERS, pp. 1663-1666, 1994.
9. Y. F. Lu, Y. Aoyagi, "Laser-Induced Dry Cleaning in Air-A New Surface Cleaning Technology in Lieu of CFC Solvents," Jpn.J.Appl.Phys. Vol. 33, pp. L430-L433, 1994.
10. Y.F.Lu, Y.Aoyagi, "Laser Surface Cleaning in Air : Mechanisms and Applications," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 33, pp. 7138-7143, 1994.
11. J.N.Leboeuf, K.R.Chen, "DYNAMICAL MODELING OF LASER ABLATION PROCESSES," CONF-100918-94, 1994.
12. R.E.Russo, "Laser Ablation," App.Spectroscopy, Vol.49, No.9, pp. 14A-28A, 1995.
13. C.L.Liu, J.N.Leboeuf, "Computational Modeling of Physical Processes during

- Laser Ablation," proceedings Eng.Foundation conf. on Materials Processing and Advanced Application of Lasers, 1994.
14. Y.F.Lu, M.Takai, "Surface cleaning of metals by pulsed-laser irradiation in air," Appl. Phys. A 59, pp. 281-288, 1994.
  15. J.G.Freiwald, D.A.Freiwald, "Laser Surface Cleaning," Conf-9411149, 1994.
  16. H.Pang, M.C.Edelson, "Preliminary Design and Estimate of Capital and Operating Costs for a Production Scale Application of Laser Decontamination Technology," IS-5112, 1994.
  17. E.N.Sobol, "Phase transformations and ablation in laser-treated solids", John Wiley & Sons, 1995.
  18. Y.F.Lu, W.D.Song, M.H.Hong, "Laser removal of particles from magnetic head sliders," J.Appl.Phys., Vol.80, No.1,1 pp. 499-504, 1996.
  19. W.Svendsen, O.Ellegaard, J.Schou,"Laser ablation deposition measurements from silver and nickel," Appl. Phys. A 63, pp. 247-255, 1996.
  20. A.Tsunemi,K.Hagiwara, "Complete removal of paint from metal surface by ablation with a TEA CO2 laser," Appl. Phys. A 63, pp. 435-439, 1996.
  21. S.Amoruso,V.Berardi,"High fluence laser ablation of aluminum targets: Time-of-flight mass analysis of plasmas produced at wavelengths 532 and 355 nm," App. Phys. A 62, pp. 533-541, 1996.
  22. 김철중외3인, "삼단 발전형 KW 급 Nd:YAG 레이저 개발," KAERI/RR-1642/96, 1996.
  23. "특집21세기 하이테크 레이저기술" 전자과학, pp. 235-301, 3월호, 1996.
  24. KNOLL, "Radiation detection and measurement," John Wiley & Sons, 1979.
  25. "Development of Monitoring Techniques," PNC N9430, 1989.
  26. 서두환, "방사선계측," QC715.42 서26, 1985.
  27. K.R.Zasadny, K.F.Koral,"MEASUREMENT OF COMPTON SCATTERING IN PHANTOMS BY GERMANIUM DETECTOR," IEEE Trans. on Nucl. Science, Vol.37, N0.2, pp. 642-646, 1990
  28. N.Dogan, D.K. Wehe, "A Source Reconstruction Method for Multiple Scatter Compton Cameras," IEEE Trans. on Nucl. Science, Vol.39, N0.5, pp. 1427-1430,

- 1992.
29. D.K.Wehe, G.F.Knoll, "Development of Gamma Ray Imaging Cameras," DOE/ER/12932-2, 1992.
  30. F.A.Dilmanian, "A High-Resolution SPECT System Based on a Microchannel-Plate Imager," IEEE Trans. Nucl. Scien, Vol.37, No.2, pp. 687-695, 1990.
  31. T.A.DeVol, D.K.Wehe, "Gamma-ray spectral imaging using a single-shutter radiation camera," Nuclear Inst.& Methods in Phys. Research A299, pp. 495-500, 1990.
  32. N.J.Yasillo, "Design Considerations for a Single Tube Gamma Camera," IEEE Trans. on Nucl. Science, Vol. 37, No. 2, pp. 609-615, 1990.
  33. C.E.Floyd, M.T.Munley, "Dual Collimation Acquisition for High Resolution, Low Noise SPECT," IEEE Trans. on Nucl. Science, Vol.38, N0.2, pp. 784-788, 1991.
  34. D.L.Gunter, K.R.Hoffmann, "THREE-DIMENSIONAL IMAGING UTILIZING ENERGY DISCRIMINATION I," IEEE Trans. on Nucl. Science, Vol.37, N0.3, pp. 1300-1307, 1990.
  35. J.B.Martin, N.Dogan, "Imaging Multi-Energy Gamma-Ray Fields with a Compton Scatter Camera," IEEE Trans. on Nucl. Science, Vol.41, N0.4, pp. 1019-1025, 1991.
  36. G.L.Zeng, G.T.Gullberg, "THREE-DIMENSIONAL ITERATIVE RECONSTRUCTION ALGORITHMS WITH ATTENUATION AND GEOMETRIC POINT RESPONSE CORRECTION," IEEE Trans. on Nucl. Science, Vol.38, N0.2, pp. 693-702, 1991.
  37. T.Hebert, P.Murphy, "Experimentally Determining a Parametric Model for the Point Source Response of a Gamma Camera," IEEE Trans. on Nucl. Science, Vol.40, N0.4, pp. 967-971, 1993.
  38. J.B.Martin, G.F.Knoll, "A Ring Compton Scatter Camera for Imaging Medium Energy Gamma Rays," IEEE Trans. on Nucl. Science, Vol.40, N0.4, pp. 972-978, 1993.

39. N.Petrick, "WINDOWS-BASED ACQUISITION AND IMAGE RECONSTRUCTION FOR A MULTI-ELEMENT IMAGING SYSTEM," IEEE Trans. on Nucl. Science, Vol.41, NO.4, pp. 1225-1228, 1994.
40. S.V.Guru, Z.He, "A high energy gamma camera using a multiple hole collimator and PSPMT," Nucl. Instru. and Methods in Phys. Research A 353, pp. 328-333, 1994.
41. A.N.Sudarkin, O.P.Ivanov, "High-Energy Radiation Visualizer: A New System for Imaging in X-Ray and Gamma-Ray Emission Regions," IEEE Trans. on Nucl. Science, Vol.43, NO.4, pp. 2427-2433, 1996.
42. 박태순외2인, "X-선 분광분석 방법에 의한 Fe 핵종의 방사능 측정," New Phys. Vol 30, No. 5, pp. 477-482. 1990.
43. 이춘호외5인, "CdTe 단결정을 이용한 방사선 검출기에 대한 기초연구," New Phys. Vol 31. No. 5, pp. 501-509, 1991.
44. 이종환, 노태익, "Plastic 섬광검출기의 감마선 스펙트럼에 대한 unfolding 분석," New Phys. Vol 34, No. 4, pp. 380-385. 1994.

## 서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드
KAERI/AR - 480/97			
제목/부제	레이저 제염과 감마 카메라 기술		
연구책임자 및 부서명 (TR, AR인 경우 주저자)	이 철 용 (제염해체 및 환경복원기술개발분야)		
연구자 및 부서명	안병길, 심준보, 원휘준, 이병직, 오원진 (제염해체 및 환경복원기술개발분야)		
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소
페이지	56 p.	도표	있음( V ), 없음( )
참고사항			
비밀여부	공개( V ), 대외비( ), _ 급비밀	보고서종류	기술현황분석보고서
연구위탁기관			계약 번호
초록	<p>방사능 표면 제염장비로 Laser 장비와 오염 측정 장비로 Gamma Camera에 대해 기술개발 현황을 파악하고 연구개발에 대한 방향을 제시하였다. Laser에 의한 방사능 오염물의 제염 방법은 금속 혹은 콘크리트 표면에 직접 Laser radiation을 인가하여 오염물을 제거하는 기술로 비접촉 방법과 선택적으로 오염지역 선정 및 2차 폐기물이 거이 발생하지 않는 장점을 가지고 있다. 오염물의 제거 과정은 열과장이 모체에 전파되기 전에 표면이 냉각 상태에서 종료되며, 오염물은 즉시 Suction 장치에 의해 필터링된다. 또한 접근하기 어려운 지역에 다관절 로봇과 Laser Head를 결합시켜 레이저 파장과 펄스폭 및 스캔 속도를 조정하면 안전하고 효율적으로 방사능 오염물을 제거할 수 있다. 이와같이 원격 Laser 제염장비를 사용하여 방사능 제염을 하기 위해서는 먼저 오염지역을 확인하여야 하는데, 종래의 운전자가 직접 측정하는 방식을 탈피하여 오염된 핵종과 분포패턴을 원격적으로 측정하여 2차원적으로 보여주는 장비가 Gamma Camera이다. Gamma Camera는 콜리메이트된 방사선 측정장치, 영상 처리장치, 거리 측정장치의 3부분으로 구성된다. 따라서 원격으로 Gamma Camera에 의해 방사선 위치와 준위를 확인하고, Laser 장비를 사용하여 오염지역을 제염한다면 원자력 시설의 해체 및 제염분야에 매우 유용하게 활용될 수 있다.</p>		
주제명키워드	레이저장비, 방사능오염물제거, Laser ablation, 감마카메라, 방사선영상표시		

**BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET**

Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.		INIS Subject Code	
KAERI/AR-480/97							
Title/ Subtitle		A State-of-the-Art Report on the Laser Decontamination and Gamma Camera					
Project Manager and Department		Chul Yong Lee (Decontamination and Restoration R&D)					
Researcher and Department		B.G. Ahn, J.B. Shim, H.J. Won, B.J. Lee, W.Z. Oh					
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI		Publication Date	1997. 11	
Page	56 p.	Ill. & Tab.	Yes( V ), No ( )		Size	26 Cm.	
Note							
Classified	Open( V ), Restricted( ), ___ Class Document			Report Type	AR		
Sponsoring Org.				Contract No.			
Abstract		<p>Survey on the development status has been performed on the laser as the device of a radioactive surface decontamination and Gamma Camera as the device of a contamination measurement. The laser is directly applied to a radioactive contamination on the metal or the concrete surface, then the contamination is removed. Its method has the follow advantages: noncontact method, selective removal of contamination area, negligible amounts of additional waste generated. Laser cleaning process is completed at a cooling state before the heat wave propagate to substrate and the contamination material is filtered by the suction device. The Gamma Camera show a contaminated nuclide and pattern with 2-Dimension by remote measurement. The Gamma Camera is consist of 3 part; collimated radiation measurement part, CCTV image process part, distance measurment part. Therefore, if a radiation position and level are defined by the Gamma Camera and the laser device is used with remote control, it is very useful at decontamination and decommissioning of the nuclear facility.</p>					
Subject Keywords		Laser device, Radioactive contamination, Laser ablation, Radiation image display					