
방폭지역에서의 불꽃점화시험을 위한 장치의 개발

The Development of Break-flash Testing Apparatus for
Hazardous Atmospheres

1998. 12.



한국산업안전공단
산업안전보건연구원

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 산업재해 예방기술의 연구개발 및 보급사업의 일환으로 수행한 “방폭지역에서의 불꽃점화시험을 위한 장치의 개발“의 최종 보고서로 제출합니다.

1998. 12.

연구 기관: 산업안전보건연구원 안전공학연구실

연구책임자: 선임연구원 최 상원

요 약 문

I. 제 목

방폭지역에서의 불꽃점화시험을 위한 장치의 개발

II. 연구 기간

1998 1. ~ 12. (12개월)

III. 연구개발 목적 및 필요성

근래 전기·전자기술의 발달에 따라 고주파 전기회로를 가진 전기·전자기기가 증가하고 있으며, 이들이 가연성 혼합기체가 존재하는 장소에 사용될 경우 이 고주파 전기·전자기에서 발생하는 고주파 전기회로에 의한 점화 위험성이 증가하고 있다.

현재 사용되고 있는 「방폭구조 전기기계·기구 성능검정규격」(노동부 고시 제 92-23호)에서 본질안전 방폭구조의 본질안전회로에 대한 불꽃점화시험은 교류회로의 경우 상용 주파수로 시험을 하고 있으나, 요즈음 전기·전자기기 기술의 발달과 더불어 고주파 전기·전자회로에서 발생하는 에너지에 의한 점화 위험성이 있다는 선진국가 들의 여러 가지 기술자료 및 연구보고가 보고되고 있는 실정이다. 우리 연구원에서는 이러한 연구배경을 바탕으로 95년도에 “고주파 전기회로에 의한 가연성가스의 점화위험성 분석 및 방지대책에 관한 연구”를 수행한바 있다.

한편, 무선 송신기로부터 방사되는 무선 주파수 (Radio Frequency; R. F.)와 안테나로 작용하는 산업현장의 금속성 구조물이 접촉, 차단시 (예; 진동 또는 보수

시)에 발생하는 에너지에 의해 점화 위험성이 있기 때문에 이에 대한 연구 및 시뮬레이션이 이미 선진국에서는 활발한 연구를 하고 있으나 국내에서는 아직 전무한 실정이다.

본 연구에서는 고주파 전기회로 및 R. F. 방사에 의한 점화 위험성을 규명하기 위한 첫 단계로서 방폭지역에서 사용될 수 있는 불꽃점화 실험장치를 방폭형 및 이동용으로 개발하는데 그 목적이 있으며, 개발한 불꽃점화 실험장치를 이용하여 산업현장의 금속성 구조물로부터 추출되는 고주파방사 에너지에 의한 점화 위험성을 현장에서 측정하고자 하였다.

IV. 연구개발 내용 및 범위

본 연구개발의 내용 및 범위는 다음과 같다.

- 고주파 전기회로와 고주파 방사에 의한 점화 위험성 분석 및 방지에 대한 국내외 관련자료를 비교·검토하였다.
- 10여종의 불꽃점화 실험장치를 비교하였으며, 그중 고주파 전기회로 및 방사에 의한 점화 위험성을 평가하고자 2종을 방폭형 및 이동용으로 개발하였다.
- 개발한 실험장치를 이용하여 고주파 전기회로에서의 최소 점화 에너지를 주파수 50[MHz]까지 구하였다.
- 고주파 전기회로 및 고주파 방사에 의한 점화 특성 메커니즘과 위험성을 실험 및 관계이론을 분석하여 이의 방지대책을 제시하였다.

V. 연구개발 결과 및 기대효과

본 연구의 결과는 다음과 같다.

- 간이형과 이동용으로 사용 가능한 방폭형 불꽃점화 시험장치의 개발; 2종
- 각종 고주파용 불꽃점화 실험장치의 특징 분석

- 고주파 방사에 의한 점화 위험성 방지대책 및 이의 물리적 측정방법 제시

본 연구결과 기대되는 효과는 다음과 같다.

- 고주파 전기회로 및 방사에 의한 점화 위험성 평가 및 방지기술 (연구/개발)
- 고주파 방사기기의 점화 위험성을 평가하기 위한 방폭성능 검정에 활용 (검정/인증)
- 산업현장의 금속성 구조물에서 R. F. 방사에 의한 점화 위험성 평가 및 진단에 활용 (지도원)
- 고주파 전기회로 및 방사에 관련된 전기·전자기기의 방폭화 개발 (방폭기기 제조자)
- 고주파 방사에 의한 점화 위험성의 측정 및 방지대책 기술자료 (방폭기기 사용자)

여 백

목 차

제 출 문

요 약 문	i
표 목 차	viii
그 립 목 차	ix
제1장 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구추진 방법 및 내용	2
제2장 고주파 방사에 의한 점화 위험성	3
2.1 고주파의 분류 및 안테나 이론	3
2.1.1 주파수의 분류와 전파양식	3
2.1.2 안테나 이론	5
2.1.3 전파전파의 실제	12
2.2 고주파 방사에 의한 점화 메커니즘	14
2.2.1 송신기 및 출력 파라미터	17
2.2.2 구조물	17
2.2.3 스파크 발생 메커니즘	18
2.2.4 가연성 분위기	18

2.3 고주파에 의한 사고 사례 및 분석	20
2.3.1 고주파 치료기에 의한 화재	20
2.3.2 이동용 크레인 로프에 의한 스파크	23
제3장 불꽃점화 실험장치의 개발	27
3.1 실험장치의 비교 및 검토	27
3.1.1 Coaxial Ignition Test Cell	27
3.1.2 Microwave Test Cell	27
3.1.3 Copper Pipe Dipole	29
3.1.4 ASA Pipe Dipole	30
3.1.5 Miniature Coaxial Breakflash	30
3.1.6 R. F. Ignition Test Apparatus	31
3.1.7 Spark Ignition Chamber	33
3.1.8 IEC Type Break-flash	35
3.2 설계기준	38
3.2.1 불꽃점화 실험장치 #1	38
3.2.1 불꽃점화 실험장치 #2	40
3.3 개발한 실험장치의 사양 및 특성	42
3.3.1 사양 및 특성	42
3.3.2 사용상의 주의점	44
제4장 점화 위험성 평가	45
4.1 실험 방법	45
4.1.1 개요	45

4.1.2 추출전력의 측정	46
4.1.3 점화 위험성 실험방법	47
4.2 실험장치의 구성	48
4.2.1 고주파 전기회로의 점화 위험성	48
4.2.2 고주파 방사에 의한 점화 위험성	50
4.3 실험결과 분석 및 고찰	54
4.4 점화 위험성 방지대책	55
4.4.1 본딩 이용	55
4.4.2 절연 이용	56
4.4.3 구조물의 효율감소	56
4.4.4 구조물의 동조감소	57
제5장 결 론	58
참고문헌	60
부록: 개발품의 상세 도면	69
1. 불꽃점화 실험장치 #1	69
2. 불꽃점화 실험장치 #2	85

표 목 차

표 2.1	대한 민국 주파수의 분류 및 용도	4
표 2.2	전파양식과 전파의 분류	5
표 3.1	개발품의 사양	42
표 4.1	R. F. 수신용 안테나의 사양	52
표 4.2	동축 케이블의 특성	52
표 4.3	실험기기 및 계측기의 사양	53

그림 4.1	추출전력의 측정방법	46
그림 4.2	점화실험 방법	48
그림 4.3	고주파 전기회로의 점화실험 회로	49
그림 4.4	고주파 전기회로의 점화실험 구성 사진	49
그림 4.5	고주파 방사의 점화실험 회로	50
그림 4.6	고주파 방사 및 수신용 안테나의 사진	51
그림 4.7	동조용 가변 용량기 사진	51
그림 4.8	가연성 혼합기체에 다른 최소 점화 에너지 측정결과	55
그림 4.9	구조물의 효율감소 예	57

제1장 서론

1.1 연구배경

근래 전기·전자기술의 발달에 따라 고주파 전기회로를 가진 전기·전자기기가 증가하고 있으며, 이들이 가연성 혼합기체가 존재하는 장소에 사용될 경우 이 고주파 전기·전자기기 (예: 무선기, 통신선로 등)에서 발생하는 고주파에 의한 점화 위험성이 증가하고 있다.

고주파에 의한 점화 위험성은 전기·전자기기가 갖는 고주파 회로의 단선 또는 단락시에 발생하는 전기불꽃과 고주파 방사에 의해 방폭지역 구조물이 고주파의 수신 안테나로 작용하여 발생하는 전기불꽃에 의한 위험성으로 나눌 수 있다.

전자에 대한 연구는 이미 우리 연구원에서도 수행한 바 있으나 후자에 대한 연구는 무선기기의 사용 증가에 따른 점화 위험성이 증가함에도 불구하고 국내에서는 아직 전무한 실정이다.^{[1]~[3]}

현재 사용되고 있는 「방폭구조 전기기계·기구 성능검정규격」(노동부 고시 제 92-23호)에서 본질안전 방폭구조의 본질안전회로에 대한 불꽃점화시험은 교류회로의 경우 상용 주파수로 시험을 하고 있으며, 고주파 전기회로에 대한 평가기술은 제시되지 않고 있다. 더욱이 전기·전자기기 기술의 발달과 더불어 고주파 전기·전자회로에서 발생하는 에너지에 의한 점화 위험성이 있다는 선진국가 들의 여러 가지 기술자료 및 연구보고가 보고되고 있는 실정이다.^{[5]~[21]}

본 연구에서는 이러한 고주파 기기에서 발생하는 에너지에 의한 점화 위험성을 평가하기 위한 실험장치를 개발하는데 그 목적을 두었으며 아울러 저항성 부하와 50[MHz]까지의 주파수의 고주파 전기회로에서 발생하는 최소 점화 에너지 즉 전

압, 전류를 구하여 관련 고주파 전기·전자기기의 설계시 필요한 설계자료와 위험성을 규명하여 폭발방지의 안전기술 자료를 개발하여 폭발재해를 미연에 방지코자 하였다.

한편, 고주파에 의한 점화 위험성에 대해서는 Bittner, Burstow 등이 저항회로에서 또한, Burstow 등은 안테나로써 작용하는 구조물에서의 점화 위험성을 평가할 목적으로 점화한계를 보고하고 있다. [22]~[35]

고주파 방사에 의한 점화 위험성에 대한 실험은 안테나로 작용하는 수신 구조물의 종류가 다양하기 때문에 이에 따른 전기적인 등가회로도 각각 달라 현장에서 일일이 측정한 데이터를 사용하는 시뮬레이션 및 실험이 필요하다. 이러한 실험을 부득이 현장에서 즉, 방폭지역에서 직접 수행하는 경우는 불꽃점화 실험장치 자체가 방폭형이어야 하며 또한, 휴대하기 쉽도록 간편하고 경량화된 구조이어야 한다.

1.2 연구 추진 방법 및 내용

본 연구에서는 고주파 방사에 대한 점화 위험성의 고찰과 평가를 하기 위하여 이미 선진외국에서 사용하고 있는 각종 실험장치 및 실험방법 등을 분석하였다.

이를 바탕으로 하여 영국 표준규격 (BS)^[4]에 부합되는 방폭지역에서의 고주파방사에 의한 점화실험을 위한 장치를 설계하였고, 또한 방폭지역에서 고주파 방사 에너지에 의한 가연성가스의 점화 유무를 확인할 수 있는 휴대용 및 방폭형으로 2종의 불꽃점화 실험장치를 개발하였다.

아울러 개발한 2종의 불꽃점화 실험장치를 이용하여 고주파 전기회로에 의한 가연성 가스의 점화 위험성과 고주파 방사에 의한 점화 위험성을 규명하고자 아세틸렌, 에틸렌 및 메탄가스를 대상으로 고주파 전기회로에서의 최소 점화 에너지를 구하였다.

제2장 고주파 방사에 의한 점화 위험성

2.1 주파수의 분류 및 안테나 이론

2.1.1 주파수의 분류와 전파양식

전파의 주파수에 의한 분류는 표 2.1과 같이 구분된다. 주파수 구별의 상용어는 표 2.2의 오른쪽 난에 표시했다. 전파는 물리적으로 보아 직접파, 반사파, 굴절파, 회전파, 지표파 및 산란파의 6종류로 분류된다. 실제로 전파의 전달형태는 그림 2.1과 같이 된다. 전파 경로의 번호는 표 2.2와 같다. 즉 지상파에는 지표파 (장·중파)와 직접파, 대지반사파 및 회절파 (초단파 이상) 등이 포함되어 있다. 특히, 대류권 대기의 특성을 고려해야 하는 초단파 이상인 경우는 대류권파라 한다. 그리고 전리층파에는 전리층 경계면에서의 반사파, 전리층 중의 굴절파, 산란파 등이 포함된다. 이들 중에서 어느 것이 우수한가는 전파의 주파수, 통신시각, 계절, 거리, 편파면 및 지형, 지물 등의 여러 조건에 의해 다르다. 우주공간 전파는 자유공간 전파가 대부분이기 때문에 직접파에 포함시킨다.

표 2.1의 대한 민국 주파수의 분류 및 용도에서 화학공장 등의 구조물과 크레인 파 같은 로프의 루프를 고려할 때 대략 파장을 단파이하만 고려해도 좋으며 또한, 해상이동 통신에 사용되는 중단파는 지상파를 이용하므로 여기서 주된 관심의 대상이 된다. 해상이동 통신의 특징은 송신기의 출력이 높은 반면에 낮은 주파수를 사용하며 또한, 이동 통신이기 때문에 R. F.에 의한 점화 위험성을 평가시 세심한 주의를 필요로 한다.

결국 안테나로 작용하는 구조물에서 안테나의 길이는 전파의 주파수에 반비례하

기 때문에 산업현장의 구조물을 고려할 때 대략 30[MHz] 이하의 주파수를 갖는 무선기기만 고려해도 좋다.

표 2.1 대한 민국 주파수의 분류 및 용도

주파수 명칭		주파수 범위	파장	용도
VLF	장파	3~30[kHz]	100~10[km]	무선항해, 해상이동 등
LF	중파	30~300[kHz]	10~1[km]	무선항해, 항공이동 등
MF	중단파	300~3[MHz]	1~0.1[km]	무선항해, 항공이동, AM방송(526.5~1606.5kHz)
HF	단파	3~30[MHz]	100~10[m]	산업용 고주파기기, 무선항해, 아마추어 무선 등
VHF	초단파	30~300[MHz]	10~1[m]	FM방송(88~108MHz), VHF-TV(54~216MHz)
UHF	극초단파	300~3[GHz]	1~0.1[m]	UHF-TV(470~890MHz)
SHF	마이크로파	3~30[GHz]	100~10[mm]	위성통신, Radar 등
EHF	밀리파	30~300[GHz]	10~1[mm]	Radar, 천문, 지구탐사 등

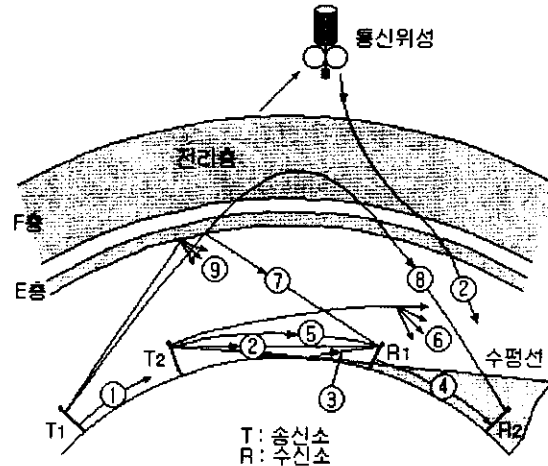


그림 2.1 전파의 경로

표 2.2 전파양식과 전파의 분류

대 별	분 류	번 호	이용 주파수대	상용 주파수 구분
지상파	지표파	①	MF, LF, VLF	장파: 10~100[kHz]
	직접파	②	VHF, UHF, SHF	중파: 100~1500[kHz]
	대지 반사파	③	VHF, UHF	중단파: 1.5~6.0[MHz]
	회절파	④	VHF, UHF	단파: 6.0~30[MHz]
대류권파	대류권 굴절파	⑤	VHF, UHF, SHF	초단파: 30~300[MHz]
	대류권 산란파	⑥	UHF, SHF	극초단파: 0.3~30[GHz]
전리층파	전리층 반사파	⑦, ⑧	HF, MF, LF, VLF	마이크로파: 1~100[GHz]
	전리층 산란파	⑨	VHF, HF, MF, LF	밀리파: 30~300[GHz]

2.1.2 안테나의 이론

진공의 무한공간 (자유공간)에 놓여진 길이 $dx[m]$ 의 미소 다이폴에 파장 $\lambda[m]$ ($\lambda \gg dx$)인 고주파 전류 (실효값 $I[A]$)가 흐르고 있을 때 전류소자 $I dx$ 에 의한 방사 전자계의 절대값은 다음 식 (2.1)으로 주어진다.

$$\begin{aligned} E_{\theta} &= \frac{60\pi I dx}{\lambda r} \sin \theta \quad [V/m] \\ H_{\phi} &= \frac{I dx}{2\lambda r} \sin \theta \quad [AT/m] \end{aligned} \quad (2.1)$$

단, 전류소자로서 그림 2.2와 같이 2개의 미소거리 dx 떨어져서 마주 선 쌍극자를 원점에 놓고, 그 축에 θ 방향의 충분히 먼 거리 $r[m]$ ($r \gg \lambda$)에 생기는 방사 전계 E_{θ} 와 방사 자계 H_{ϕ} 를 표시한다.

안테나에 충분히 가까운 영역 ($r < \frac{\lambda}{2} \pi$)에서는 정전계 ($\frac{1}{r^3}$ 비례하는 항)나 유도 전자계 ($\frac{1}{r^2}$ 에 비례하는 항)가 방사 전자계보다 크지만, $r > 5\lambda$ 에서는 방사 전

자계만이 되어 다른 전자계는 소실되어 식 (2.1)이 성립한다.

방사된 충분히 먼 거리에서의 전자파 (이하 전파라 함)는 반경방향에 파동으로서 퍼지는 구면파이지만, 근사적으로 파면은 평면으로 간주되며, 그림 2.2처럼 진행방향에 전기 E_θ , 자계 H_ϕ 와도 서로 수직이다. 이런 형의 전파를 평면파라 하며 횡파 (TEM파)이다.

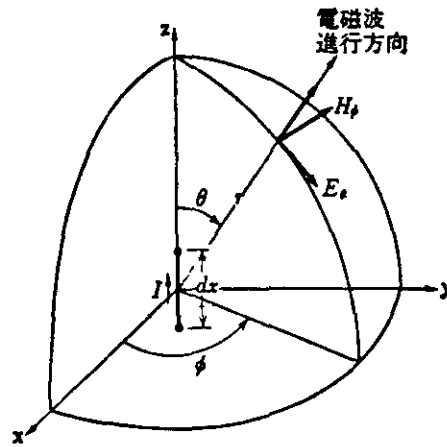


그림 2.2 전류소자에 의한 전자계의 좌표

전계와 자계의 비는 식 (2.1)에서 식 (2.2)과 같이 된다.

$$Z_0 = \frac{E_\theta}{H_\phi} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi = 377[\Omega] \quad (2.2)$$

Z_0 는 전파의 진공매질에서의 특성 임피던스를 의미하며, 고유 임피던스라 불리는 상수이다. 전파매질이 정해지고 전계 또는 자계의 한쪽이 주어지면 다른 쪽을 구할 수 있다.

전파는 진공매질 중에서도 변화하는 전계 E 에 의해 $\partial D / \partial t$ ($D = \epsilon_0 E$)인 변위

전류가 발생하고, 이것에 의해 변화하는 자계가 생기며, 이 자계는 다시 변화하는 전계를 발생시킨다. 이처럼 전계와 자계는 모양을 바꾸면서 전파되며 양자의 에너지 밀도의 평균값은 같다. 진행방향에 수직인 단위면적을 통해서 매초 흘러나가는 전파에너지를 포인팅 벡터 (Poynting Vector)라 하고, 그 방향은 그림 2.3과 같이 되며 다음 식 (2.3)과 같이 표시된다.

$$W = E \times H \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2.3)$$

절대값은 포인팅 전력이라고도 하고, 방사전력(속)밀도를 나타내며 다음 식 (2.4)으로 주어진다.

$$W = EH = \frac{E^2}{120\pi} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2.4)$$

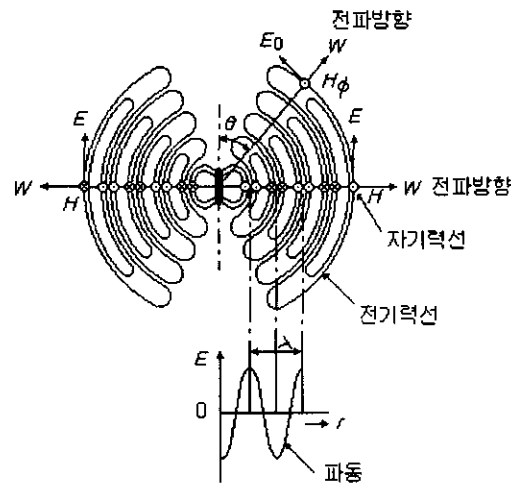


그림 2.3 전류소자에서의 방사 전자계

안테나에서 어떤 방향 (보통은 최대 방사방향)에 방사되는 전파의 전력밀도와

그것과 동일전력이 공급되고 있는 기준 안테나에 의해 동일 거리의 점에 방사되는 전파의 전력밀도와의 비율을 지금 생각하고 있는 송신 안테나의 (전력)이득이라 한다. 이득의 정의를 수식으로 표시하면 다음 식 (2.5)과 같이 된다.

$$G \equiv \frac{\left(\frac{W}{P}\right)}{\left(\frac{W_0}{P_0}\right)} = \frac{\left(\frac{E^2}{P}\right)}{\left(\frac{E_0^2}{P_0}\right)} = \left(\frac{E}{E_0}\right)^2_{P=P_0} = \left(\frac{P_0}{P}\right)_{E=E_0} \quad (2.5)$$

여기서 임의 안테나의 입력전력을 P 라 했을 때, 거리 r 에서의 최대 전계강도를 E 로 하고, 그것에 대응하여 기준 안테나의 입력전력을 P_0 , 전계강도를 E_0 로 한다. 수신점의 포인팅 전력을 각각 W , W_0 로 한다.

이득은 전력비이므로 dB표시로 하면 식 (2.6)이 된다.

$$G = 10 \log_{10} G = 20 \log_{10} \left(\frac{E}{E_0}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_0}{P}\right) \quad [dB] \quad (2.6)$$

기준 안테나로서 다음 안테나가 있다.

- 1) 완전 반파장 안테나 (무손실)에 대한 이득을 상대이득 (G_h)라 한다. 이것은 다이폴 열 등 선상 안테나에 흔히 쓰인다.
- 2) 등방성 안테나 (Isotropic Antenna)에 대한 이득을 절대이득 (G_a)라 한다. 이것은 점파원에서 한결같이 구면상으로 방사하는 가상의 무지향성 안테나를 기준으로 하지만 마이크로파 안테나처럼 입체적인 안테나에는 편리한 표시이다.
- 3) 짧은 수직접지 안테나 ($\lambda/4$ 보다 충분히 짧은 무손실 안테나)에 대한 이득을 지상이득 (G_v)이라 한다. 이것은 접지 안테나의 이득을 표시하는데 쓰이는 수가 있다. $\lambda/4$ 수직접지 안테나에서는 $G_v = 1.09$ 가 된다.

어떤 안테나를 송신 안테나로서 사용했을 때의 특성과 수신 안테나로서 사용했을 때의 특성은 입력 임피던스, 이득, 지향성은 각각 동일하게 가역성이 있다. 다만 안테나 상의 전류분포는 한 파장 안테나와 같은 특별한 예에서는 송신에 사용했을 때의 전류분포와 크게 다르지만, 대부분의 경우는 거의 동일하다고 생각되며 안테나의 실효장도 동일하다고 해도 좋다.

장파 및 중파 송신 안테나는 지표파 전파를 주로 쓰는 대전력의 것이 많고, 파장이 긴 것으로, 수직접지 안테나가 기본으로 되어 있다. 송신 안테나의 제상수로서 중요한 것은 고유주파수, 실효고, 방사효율, 수평면 이득, 수직면 지향성, 임피던스 등이 있다. 수신 안테나로서는 접지 안테나 외에 웨이브 안테나, 루프 안테나 등의 지향성 안테나가 쓰인다.

(1) 루프 안테나

장·중파에 사용하는 루프 안테나는 파장에 대해서 한 원주가 충분히 작고 미소 루프라 간주된다. 그림 2.4와 같이 면적 S , 권수 N 의 루프 면에 평행인 전계를 갖는 루프에서 ϕ 의 방향으로부터 도래했을 때의 기전력 V 는 다음 식 (2.7)과 같이 주어진다.

$$V = \frac{2\pi N S E \cos \phi}{\lambda} = I_e E \cos \phi \quad (2.7)$$

초단파 대에서는 한 원주 길이가 한 파장과 가깝고, 한 점에서 급전하여 사용하는 원형 또는 방형의 한 파장 정재파 루프 안테나와 루프 위에 균일한 전류가 흐르게끔 급전한 큰 루프 안테나가 있다.

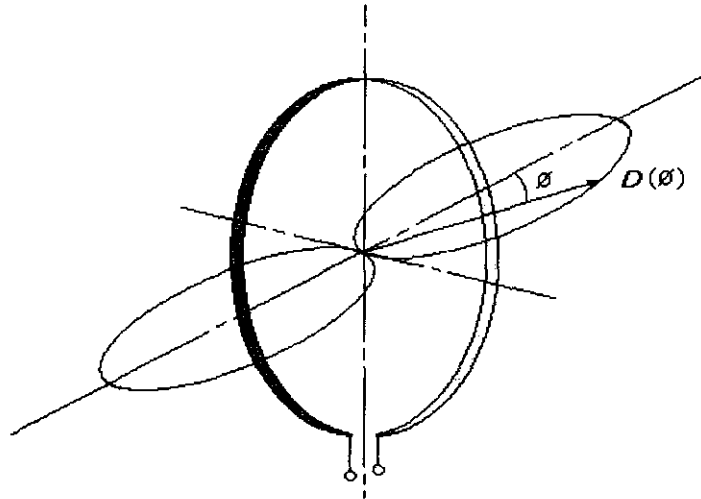


그림 2.4 루프 안테나

(2) 다이폴 안테나

단파 안테나의 기본소자는 반파장 안테나이며 수평, 수직의 어느 것이나 사용된다. 지향성과 임피던스는 대지의 영향을 받기 쉬우므로 지상에서의 높이는 주파수, 전파거리, 편파면, 대지의 전기적 특성 등을 고려하여 결정할 필요가 있다. 그림 2.5는 안테나의 지상고 h 를 변화시켰을 때의 무손실 대지에 있어서의 지향성 패턴의 양상을 표시했다.

단파에서는 한 파장 안테나가 비임 안테나의 기본소자로서 사용되는 일이 많다. 그것은 상대이득이 1.7[dB]로 높고, 입력 임피던스가 일반적으로 수 천[Ω] 정도가 되어 정합을 취하기가 쉽다.

초단파에서는 소자의 굵기를 상당히 굵은 원통상 다이폴로 한다. 지름을 굵게 하면 광대역성을 나타낸다. 또한 도선을 대신하여 판상의 팬 안테나나 입체적인 코니컬 안테나 등이 광대역 소자로서 쓰인다.

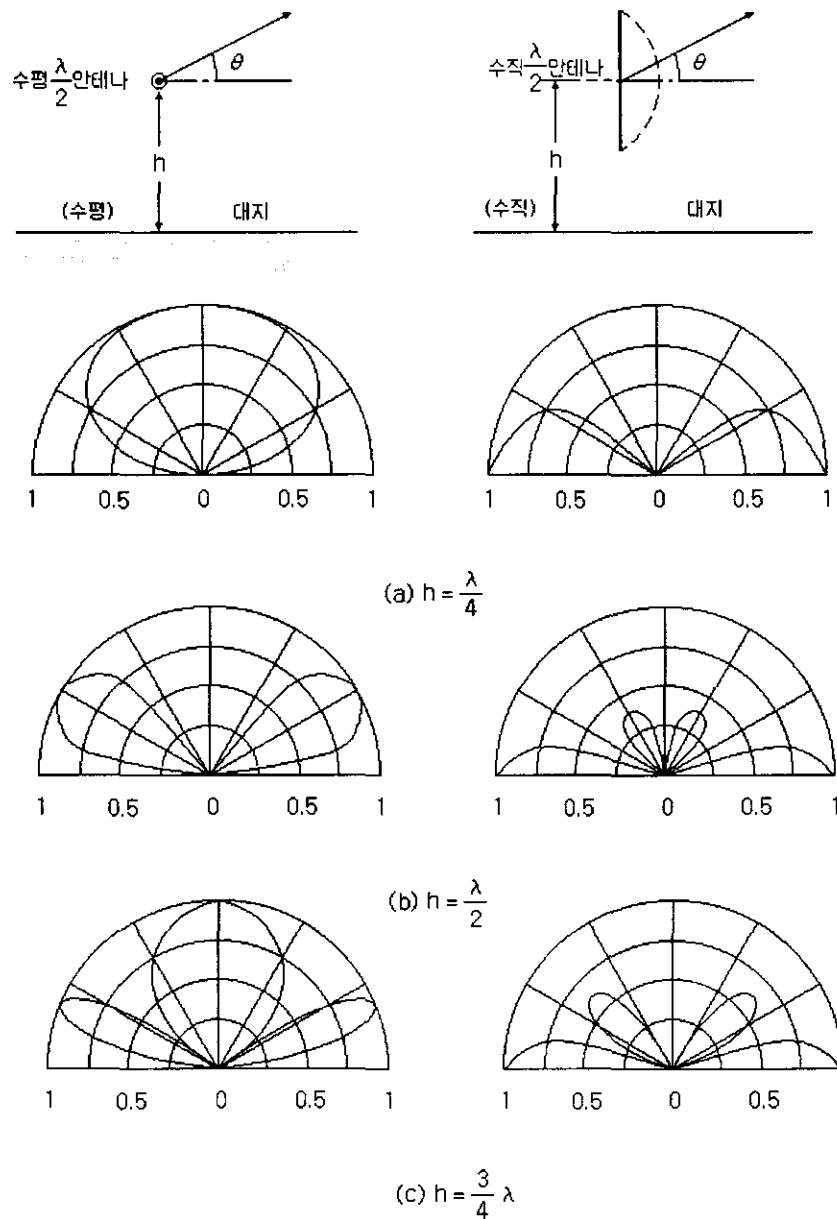


그림 2.5 파장 안테나의 지상고에 따른 패턴의 변화 (무손실 대지)

2.1.3 전파전파의 실제

(1) 장파의 전파

장파의 전파는 파장이 길 수록 지표파의 감쇠가 매우 적고 안정한 전파가 가능하다. 육상에서는 약 500[km], 해상에서는 1000[km] 정도까지 지표파가 전리층과 보다는 우세하게 된다. 장파의 전리층 전파는 낮에는 D층, 밤에는 E층 하부에서 반사하고, 대지와 전리층간을 마치 도파관 내의 전파와 동일한 모드로 전파된다. 장파의 전파상의 특징은 다음과 같다.

- 1) 주파수가 낮을 수록 감쇠가 적고, 주야의 변동차도 적다.
- 2) 전파통로의 모두가 낮 또는 밤인 경우의 수신 전계는 비교적 안정하다.
- 3) 전파통로의 도중에 일몰 혹은 일출시가 들어가면 수신 전계강도의 급감이 있다.
- 4) 전리층파에서는 주간과 야간에서 전리층의 높이가 변화하므로 전파속도가 변화한다.
- 5) 장파의 전파는 손실도 적고 안정되어 있지만, 공전방해가 많고, 주파수 대역도 좁고, 안테나의 효율도 나쁘므로 전파 항법용 이외에는 별로 쓰이지 않는다.

(2) 중파의 전파

중파의 전파도 지표파와 전리층파가 있다. 주간은 D층이 감쇠층으로서 동작하고, 전리층파의 흡수감쇠가 크고, 거의 지표파 전파만을 이용하고 있다. 야간에는 D영역의 전자밀도가 감소하여 E층 혹은 F층에서 반사하여 비교적 원거리까지 도달한다. 지표면파와 전리층파의 전계강도가 같은 정도로 되는 거리 (50~300km)에서 심한 페이딩이 생긴다. 이것을 근거리 페이딩이라 하고 중파방송의 서비스 에리어

를 좁게 한다.

중파는 흔히 선박용의 방향탐지의 전파로서 쓰이지만, 해안에서 전기적인 특성이 급격히 달라져 전파의 속도가 해상과 육상에서 다르기 때문에 굴절하여 진방위의 측정에 오차가 생긴다. 이를 해안선 오차라 한다.

(3) 단파의 전파

단파의 원거리 통신은 전리층의 상태 및 기타의 조건이 좋은 경우에는 감쇠가 매우 적고, 소 전력으로 지구의 뒤편과의 교신도 가능하지만 최고 사용주파수, 도약거리, 전리층에서의 감쇠 등의 문제가 많다.

(4) 초단파 및 마이크로파의 전파

이 주파수대의 전파에는 다음 세 가지 요인이 지배적인 영향을 미친다.

- 1) 지형: 지구의 완곡, 산악이나 대지 따위의 지표면의 기복
- 2) 지물: 빌딩, 가옥, 고가도로나 철도, 송전선 등의 지상의 각종 건축 구조물
- 3) 기상: 지표면 상공 2~3[km]까지의 대류권 대기의 기상조건이 변화에 따르는 굴절률 분포

이런 것들은 송수신 안테나나 양 지점간 거리에 의해 전파에 대한 영향의 정도가 다르다. 기타의 특징은 다음과 같다.

- 4) 빛의 전파와 마찬가지로 취급된다.
- 5) VHF대의 전파가 스퍼래틱 E층에서 반사되는 수가 있지만, 일반적으로는 전리층은 관통하여 버리고, 지표면은 매우 감쇠가 커서 실용되지 않는다.
- 6) VHF~UHF에서는 보통 80[km]정도 이하의 가시거리 내의 직접파와 대지반사파의 합성전계를 사용한다. 마크로 통신회로에서는 페이딩의 경감 때문에 직접파만을 사용하게끔 하고 있다. 주파수가 높을 수록 회절회지 않으므로 건축물 등의 영향이 크다.

- 7) 밀리미터 파의 비교적 장거리의 전반에서는 비나 안개 혹은 대기분자, 대기의 수증기에 의해 감쇠를 받는다.

2.2 고주파 방사에 의한 점화 메커니즘

고주파 방사에 의한 점화 위험성은 무선주파수 송신기에 의해 발생하는 전자파가 금속성 도체 구조물과 충돌하여 전류를 야기 시키는데 이때 야기된 전류의 진폭은 송신된 신호의 파장 및 전자장의 파장에 관련된 구조물의 형상과 크기에 의존하게 된다. 정상적으로 접속된 구조물의 부분이 진동 등에 의하여 순간적으로 차단 및 분리될 때 야기되는 전압 또는 전류가 충분히 큰 경우 스파크가 발생된다. 이러한 상황이 가연성 물질이 존재하는 장소에서 발생된다면 위험상태가 초래될 수 있다. 그러나 점화 가능성은 아래와 같은 여러 가지 요건에 의존한다.

- 충분한 세기의 전자장 방사
- 수신 안테나로서 작용하는 구조물의 특성
- 수신된 에너지의 스파크 발생 메커니즘
- 가연성 분위기의 존재

현재까지는 최소 점화에너지에 대한 취급으로 직류와 상용 주파수를 동등하게 다루었으나 예를 들면 낙뢰보호 시스템, 보호도체 시스템, 당김 또는 받침쇠줄, 크레인, 파이프시스템과 같은 아주 큰 금속구조물은 안테나로써 작용한다. 이들은 송신기지의 지역에서 고주파와 무의식적으로 만나게 된다. 게다가 만일 적절한 전압과 스파크 갭이 있는 상태에서 수 센티미터의 스파크가 발생하여 이때 가연성 분위기가 존재한다면 점화를 일으킬 수 있다.

그림 2.6은 장·중파 송신기에서의 점화에너지를 나타낸 것이다 송신기 출력, 수신 구조물의 형태와 유효높이, 송신기와 수신 안테나 사이의 거리를 알면 점화 위험성을 알 수 있다.

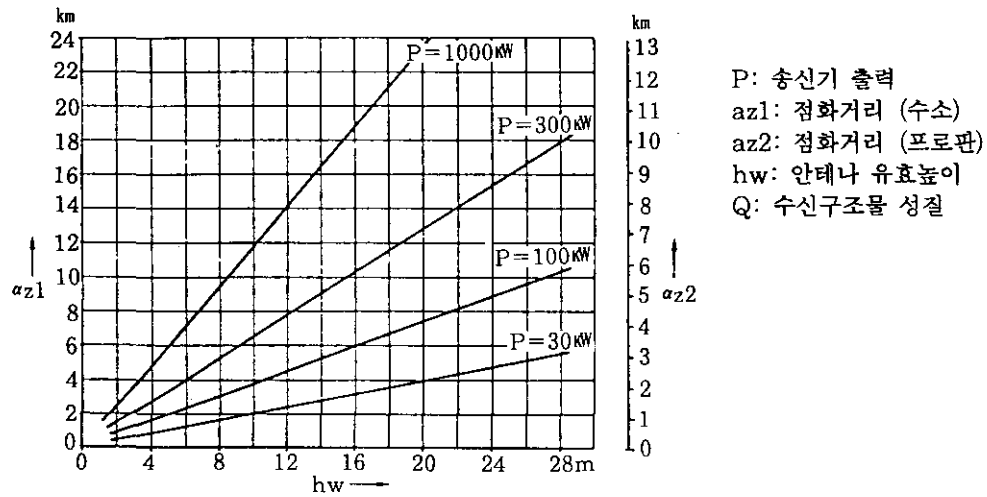


그림 2.6 도체와 장·중파 송신기 사이의 점화거리

그림 2.7은 무부하시와 단락회로에서의 스파크 점화능력을 나타낸 것이며, 그림 2.8은 수소와 공기혼합물을 사용하여 0.5~300[MHz]의 고주파의 방사에 의한 장세기 및 전력밀도를 나타낸 것이다.

특성 곱은 안테나 성질과 안테나의 유효 높이의 곱, 등가 임피던스의 유효 및 무효성분의 비로부터 결정된 안테나의 성질을 포함한다.

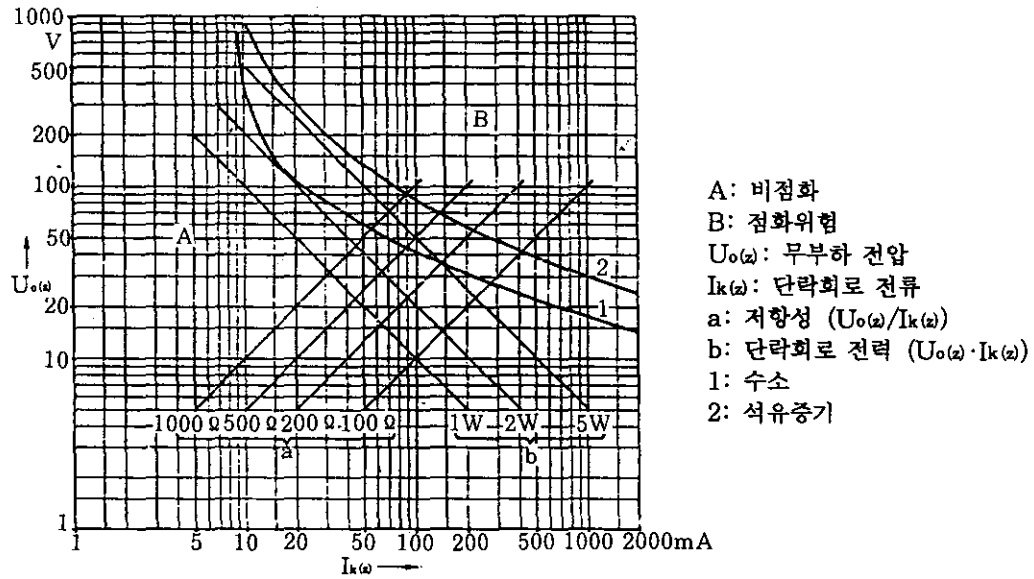


그림 2.7 스파크 점화능력

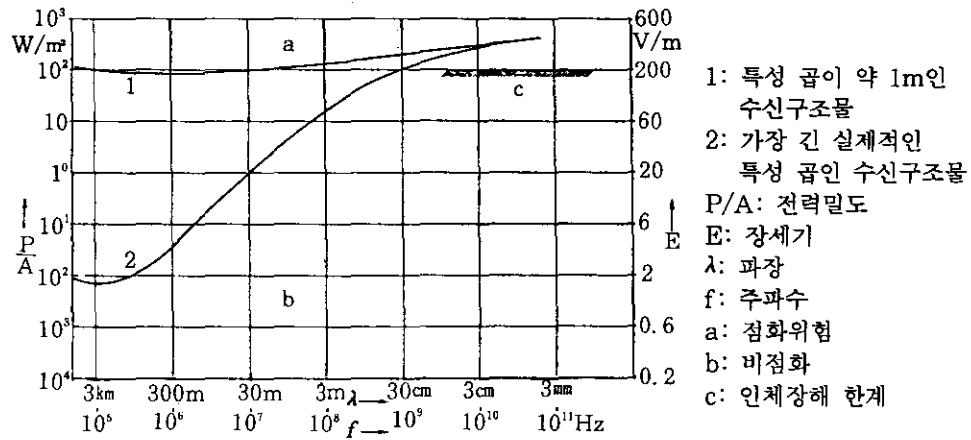


그림 2.8 장세기 및 전력밀도

2.2.1 송신기 및 출력 파라미터

고주파 방사에 의한 점화 위험성을 평가하기 위한 송신기 및 출력 파라미터에 관계되는 것으로는 주파수의 범위, 송신기의 출력, 안테나 이득, 변조방식이 있다. 고주파의 점화 위험성을 야기시키는 주파수 대역은 15[kHz]~35[GHz] 대역만 취급한다. 15[kHz] 이하의 전송은 R. F.에 의한 점화 위험성을 야기시킨다고 생각되지 않는다. 고려되는 송신기의 형태는 다음과 같다.

- 1) 특정대역 0.15[MHz]~1000[MHz] 범위 내에서의 라디오 및 TV방송 송신기
- 2) 특정대역 0.4[MHz] 이상의 통신목적 개인, 상업 및 아마추어용 고정 및 이동 송신기
- 3) 특정대역 220[MHz], 600[MHz] 및 1 [GHz] 이상에서의 레이더
- 4) 15[KHz]를 넘는 항해장비, 무 방향성 비이콘 (Beacon) 등

2.2.2 구조물

두 개의 도전성 물체가 고주파 방전으로 간헐적인 접촉을 할 때 전자장에서 금속물체에 전압과 전류가 유기된다. 방전에 의한 점화의 고주파 전력원은 전자장안에 위치한 안테나이다. 안테나 형태는 그림 2.9와 같이 금속물체 또는 파이프 라인, 크레인의 로프로 형성될 수 있다. 구조물은 크게 루프형과 수직형 (Monopole 안테나)으로 나뉘어 진다.

(1) 루프형 구조물

30[MHz] 이하 주파수에서, 그림 2.9 (루프 형태)의 구조물이 다른 형태의 구조물 보다 수신 안테나로서 더 효과적이라고 판명되었다. 내부 루프길이가 약 반 파장일 때 구조물은 자체 공진 되어 그 효율은 최대로 된다. 그러나 최적값보다 짧은 루프길이를 갖는 루프 구조물은 불연속 지점을 지나는 표유 커패시턴스에 의해

공진을 일으킬 수 있다. 파장에 대한 루프길이의 비율이 0.5이하일 때 효율은 급격히 감소하며 이 비율이 0.5보다 큰값일 때 효율은 일정하게 유지된다. 구조물의 어떤 잠재적 불연속 지점에서 다음 정보를 이용할 수 있다면 최대 추출 전력을 계산할 수 있다.

- 1) 구조물 내부길이
- 2) 전송 주파수
- 3) 구조물 장소에서 발생하는 장세기

특히 크레인은 루프형 구조물에 매우 적합하므로 특별하게 취급하여야 한다.

(2) 수직형 구조물

가연성물질이 사용되는 플랜트 또는 공장에서 많은 수직형 구조물을 볼 수 있다. 가장 쉽게 볼 수 있는 수직 구조물은 Vent 또는 Flare Stack이다. 일부분의 기둥과 같이 독자적으로 서있는 구조물도 같은 범주에 속한다. 그러나 콘크리트 바닥에 위치한 구조물일지라도 높거나 낮은 주파수에서 대지에 낮은 임피던스를 제공하기 때문에 이 지점에서 추출할 수 있는 전력은 극히 낮다. 그러므로 자유롭게 서있는 수직 구조물은 수신 안테나로서 작용하는 구조물의 효과적인 형태로 분류하지 않는다.

2.2.3 스파크 발생 메커니즘

비록 높은 고주파 전위가 두 개의 구조물 사이에 존재하더라도 갭의 성질과 스파크 발생 메커니즘은 불연속지점 둘레에 존재하는 가스 또는 증기는 고주파점화에 대하여 매우 크게 관계된다. 만약 두 부분이 초기 접촉으로부터 떨어진다면 고주파방전은 가장 쉽게 발생한다.

2.2.4 가연성 분위기

스파크의 전력 또는 에너지를 발생하기 위한 스파크 점화는 가연성 가스 또는 증기의 성질과 농도에 의존하는 임계값을 초과하여야 한다.

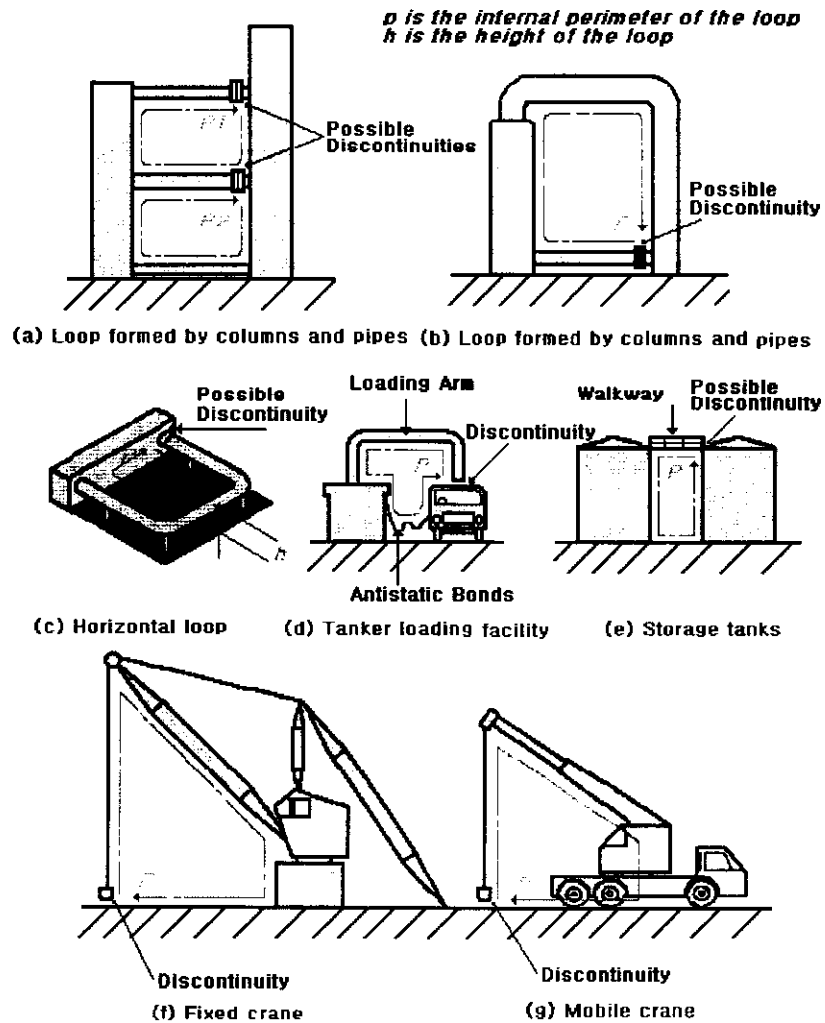


그림 2.9 루프형 구조물의 예

2.3 고주파에 의한 사고 사례 및 분석

2.3.1 극초단파 치료기에 의한 화재^[8]

극초단파 (Ultra Short-Wave)를 이용한 좌골 신경통을 치료하는 영국의 한 환자의 집에서 외전상 불에 탄 흔적이 없는 스프링 매트리스에서 화재가 발생하였다. 화재의 발생 경위는 자격이 있는 물리치료사에 의해 환자의 집 1층의 침실에서 처지가 행해졌으며, 출력 350[W], 17.12[MHz]에서 동작되는 휴대용 극초단파 치료 기기를 사용하였다. 치료는 평평한 고무 플렉시블 전극을 사용하여 하나의 전극은 패드를 삽입한 환자의 등 쪽의 왼쪽에 위치시키고 또 다른 전극은 환자의 왼쪽 무릎에 안전하게 체결한 후 약 15분간 치료를 하는 중에 환자와 물리치료사가 타는 냄새를 느끼게 되었다.

물리 치료사는 치료 장비와 전원 플러그 등의 과열을 확인하였으나 결함을 찾을 수가 없었으며 그 후 치료를 중단했는데도 타는 냄새는 계속되었다. 그때 환자의 아들이 도착하여 물리 치료사는 다음의 약속 때문에 그 환자의 집을 떠났고 환자의 아들은 타는 냄새가 더욱 강하게 진행되어 하는 수 없이 소방서에 연락하였다. 소방관이 도착하여 집안의 전기배선 등을 면밀하게 조사하였으나 결과가 없었다.

그러나 환자의 침대를 옮길 때 촉감으로 침대천이 따뜻하다는 것을 알고 침대의 커버를 벗겼을 때 매트리스의 끝 부분에 있는 배기 구멍으로부터 연기가 나오는 것을 볼 수 있었다. 매트리스의 안쪽을 개봉하였을 때 개개의 스프링을 둘러싸는 매트리스의 중앙부분에서 넓은 범위에 걸쳐 연기와 타는 듯한 빛이 나고 있었다. (그림 2.10 및 그림 2.11)

사고 원인에 대한 치료 기기의 제조자와 전문가가 토의와 실험을 수행하여 서로 다른 두 개의 스프링이 가깝게 근접해 있는 코일 사이에서 쉽게 스파크가 발생되

고 있다는 것을 확인하였다. (그림 2.12)

결국 화재의 원인은 극초단파를 이용한 투열 요법 기기로부터 침대 안에 있는 스프링에 유기된 高周波 場 (High Frequency Field)에 의해 매트리스 안에 있던 솜을 점화시킬 수 있는 스파크가 발생되어 일어났다고 판단하였다.

이를 방지하기 위하여 전문가들은 다음의 것들을 권고하였다.

- 치료 기기에 의해 발생하는 고주파 장은 거리에 따라 장의 세기가 작아지므로 침대와 환자사이의 거리를 2인치 이상 유지할 것.
- 치료 행위가 금속성을 갖지 않는 목재나 천으로 된 간이형 침대에서 행할 것. (발포 고무 매트리스를 이용)



그림 2.10 극초단파 치료 기기에 의해 발생된 화재의 매트리스



그림 2.11 개봉된 매트리스

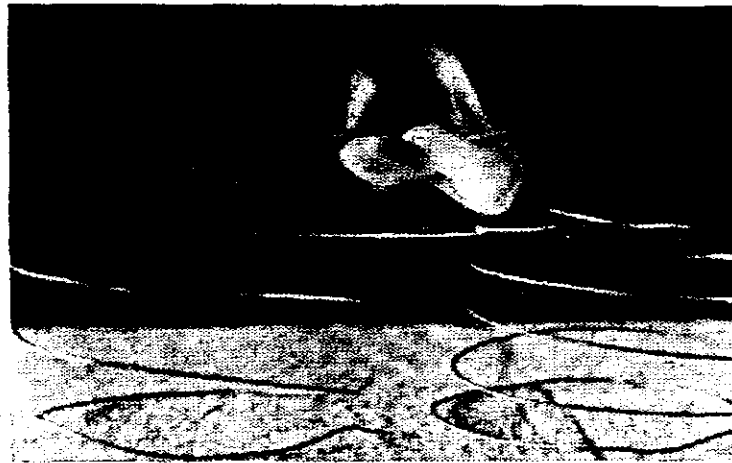


그림 2.12 Electrical Research Association에 의해 수행된 실험

2.3.2 이동용 크레인 로프에 의한 스파크 [10]

- 고층 건설 공사장에서 작업자가 크레인 상승을 위하여 로드 훅을 교환하고 있던 중 주위로부터 갑작스럽게 생생한 라디오 방송을 듣게 되었다.
- 항구 터미널에서 이동용 크레인으로 선박의 하역 작업을 하던 작업자는 호이스트 로프에서 화재와 폭발을 일으킬 수 있는 전기 아크의 발생과 전격 및 불빛을 경험했다.
- 고층 건설 공사장에서 야간 작업을 위하여 크레인 붐에 설치된 전구가 회로 스위치가 개방되어 있는 상태에서도 불이 들어오고 있었다.
- 강 구조물을 세우던 작업자가 다음의 빔을 로프에 감아 올리는 작업 준비중에 위험스럽게도 한쪽 손을 구조물위에 짚고 빔 위에 걸터앉아 있던 중 요동치는 쇼크를 받았다.
- 갑판과 고층 공사 사이에서 상승 크레인 마스터의 교차 부재 사이에 임시적으로 설치된 체결 선이 불가사의하게 발광게 되어 타버렸다. (그림 2.13, 그림 2.14 및 그림 2.15)

위와 같은 현상은 공상 과학이 아니며 실제로 경험한 것들이다. 이러한 것들은 무선 주파수로부터 유도된 전기의 현상들이다.

우리는 그 동안 R. F. 방사에 의한 생물학적 및 생리학적 영향에 대해서만 주로 관심을 갖게되었지만 건설 현장의 작업자는 생각하지도 못한 R. F.에 유도된 전기 쇼크에 의해 돌이킬 수 없는 추락에 의해 재해를 입게된다.

영국의 BBC 방송국 송신탑 근처에서 이동용 크레인에서 발생하는 스파크에 의한 점화능력을 확인하기 위하여 ERA (Electric Research Association)에서 수행한 실험장치의 구성도는 그림 2.16와 같다. 크레인에서 발생하는 스파크는 중단파로 송신되는 방송 주파수와 크레인의 로프에 의해 형성된 루프의 길이가 정확하게 동

조되어 크레인에 유도된 전류가 물체를 들어올릴 때마다 발생되었고, 몇 년 전에 우리 나라에서도 방송국 송신탑과 수백 미터 내에 있는 구로 지역의 한 아파트 공사장에서 위와 같은 현상이 있었다.

발생되는 스파크는 여러 가지 요인을 받으나 송신기의 출력이 클수록 크레인에 유도되는 전압도 크게되어 크레인의 로프에 의해 형성된 루프가 개방된 상태에서 ERA가 그림 2.16을 이용하여 측정한 결과 수백 볼트의 전압이 측정되었다. 이때 유도된 전압에 의해서 화재·폭발은 물론 인체와의 접촉시 감전재해를 유발시킬 수 있다.

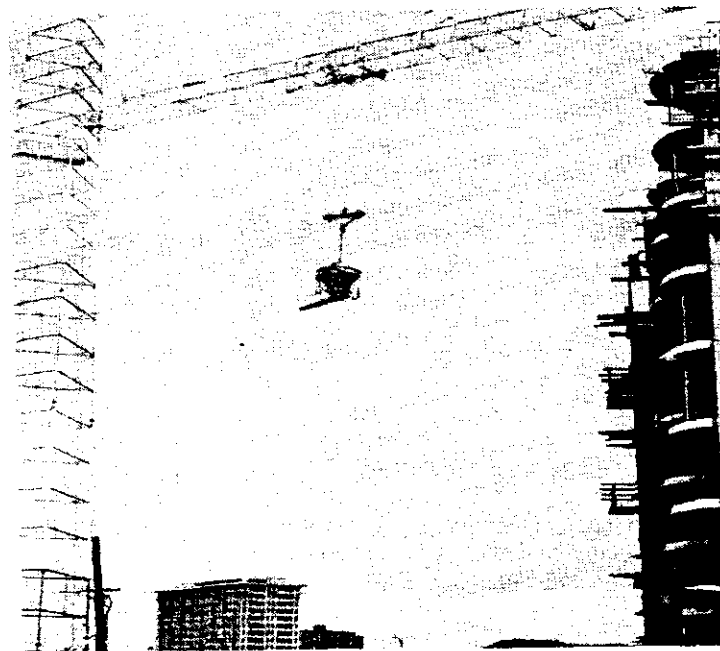


그림 2.13 안테나로 작용하는 크레인의 로프

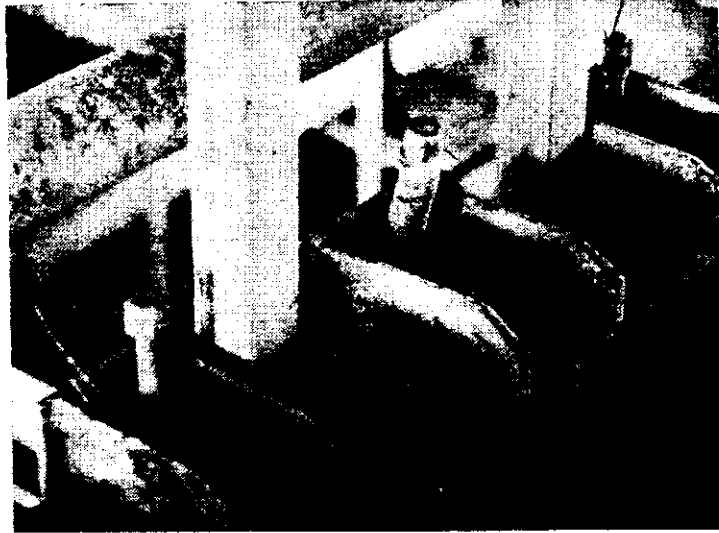


그림 2.14 크레인의 로프에서 발생하는 스파크에 의한 사고 사례 사진



그림 2.15 절연체를 이용한 크레인의 로프에서 발생하는 스파크 억제방법의 예

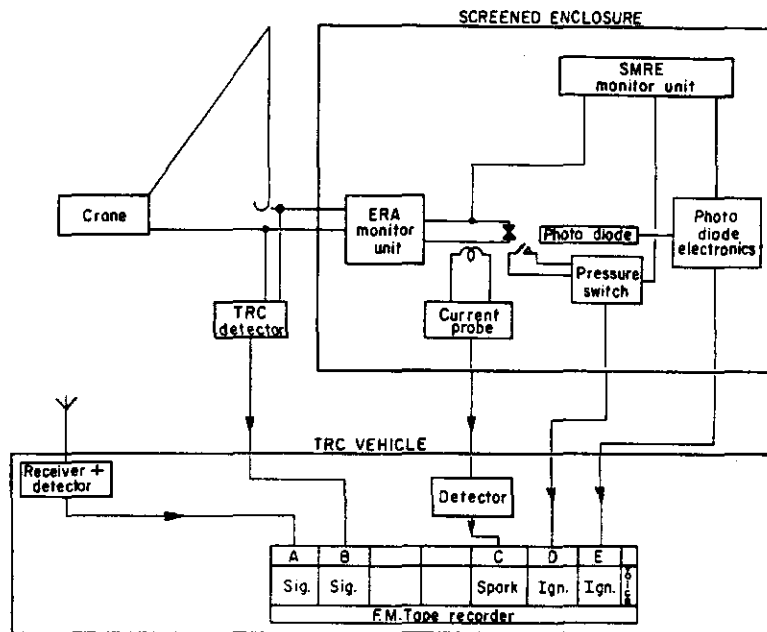


그림 2.16 크레인의 로프에서 발생하는 스파크의 점화 능력의 실험장치 구성도

제3장 불꽃점화 실험장치의 개발

3.1 실험장치의 비교 및 검토

3.1.1 Coaxial Ignition Test Cell

그림 3.1은 50 [Ω]의 임피던스 전원과 10[Hz]~500[MHz]의 주파수 대역의 동축
형의 고주파 점화 위험성을 Butcher 등이 실험한 장치이다.^{[12]~[14], [17], [20], [22], [28]}
전극의 접촉자는 IEC 형을 사용하고 있다.

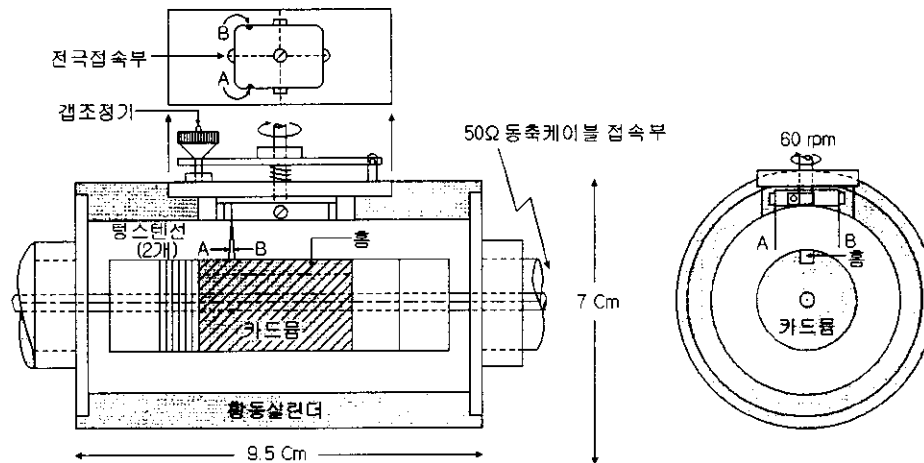


그림 3.1 Coaxial Ignition Test Cell

3.1.2 Microwave Test Cell

그림 3.2는 1~10[GHz] 대역의 Microwave 방사에 의한 점화 위험성을 실험한 장치이다.^[6] Microwave Generator는 900[p/s], 0.7[μ s], 20[kW]를 사용하였다. 그림 3.2를 이용한 측정장치 구성도는 그림 3.3과 같다.

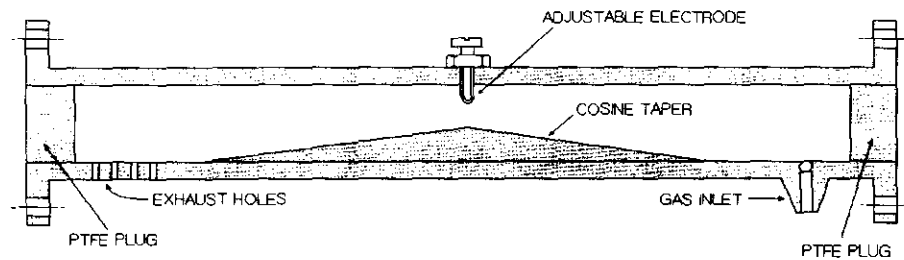


그림 3.2 Microwave Test Cell

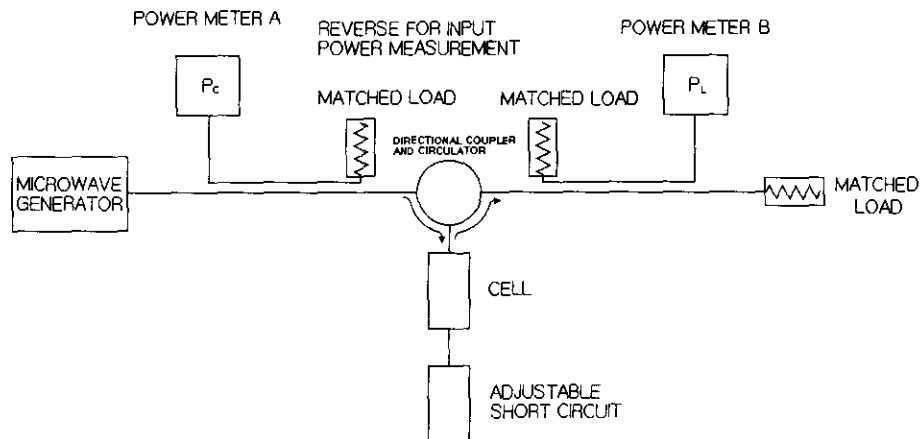


그림 3.3 Measuring Set-up

3.1.3 Copper Pipe Dipole

그림 3.4는 9[GHz] 주파수 대역까지의 다이폴 안테나 방사에 의한 점화 위험성을 평가하기 위하여 영국의 HSE-RLSD에서 사용한 실험장치이다.^[25] 전극의 접촉 시스템은 IEC 형과 거의 유사하다. 구동 모터는 60[rpm]으로 회전시키며 구동축은 절연되어 있다. 실험장치는 높이 1.5[m]의 목재로 절연 지지된다. Butcher 등이 제안한 실험으로 TV, Radar 등 무선 송신기에서 발생하는 고주파 방사 전력에 대한 점화 위험성을 평가하는데 사용하였다. 추출 전력에 사용되는 안테나는 다이폴에 입각한 긴 다이폴 안테나가 가장 많이 사용되며 또한 적합하다.

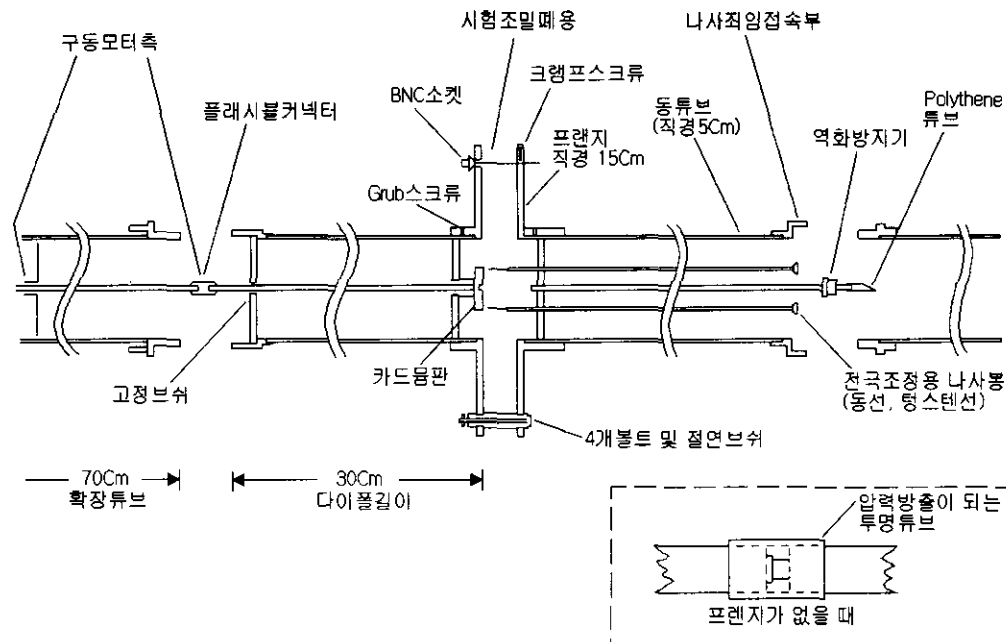


그림 3.4 Ignition Test Cell for Copper Pipe Dipole

3.1.4 ASA Pipe Dipole

그림 3.5는 그림 3.4와 거의 흡사하며 다른 점은 전극의 접촉시스템이 플러스 형태이다.^[25] ASA 파이프 다이폴을 이용한 시스템이며 전극의 끝 부분은 둥글게 처리한다. 대지로부터 1.5[m] 격리시키기 위하여 절연 목재 지지대를 사용한다.

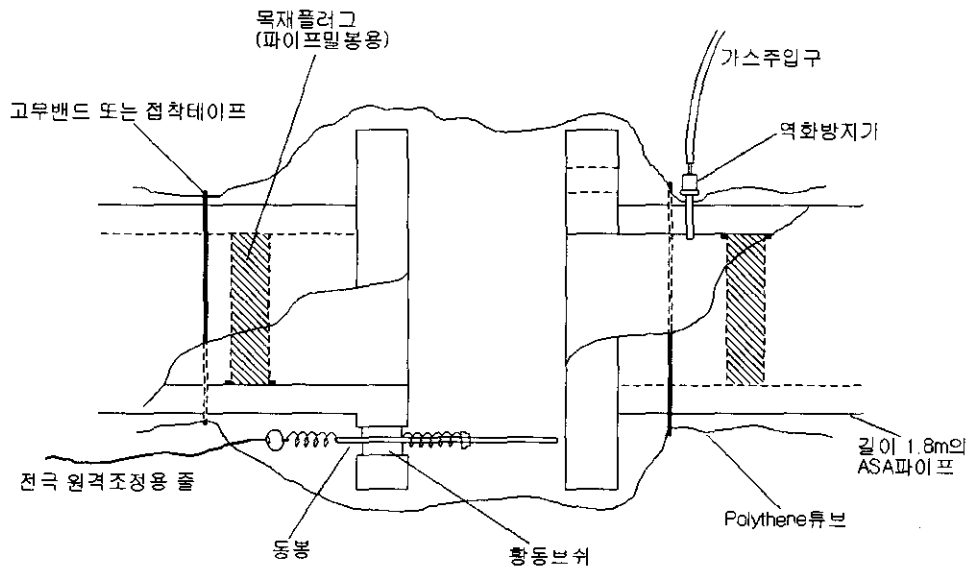


그림 3.5 ASA Pipe Dipole, Plus Contact System

3.1.5 Miniature Coaxial Breakflash

그림 3.6은 Pipe Dipole을 이용한 소형 동축 불꽃점화 실험장치로 낮은 임피던스 및 커패시턴스를 갖는 회로에 적합하다.^[25] Busrtow이 수신 안테나로 작용하는 루프형 구조물로부터 고주파 점화 위험성을 10[MHz]까지 또한 다이폴 구조물로는 9[GHz]까지 실험을 한 장치로 실험중 구조물로부터 점화 임계 추출전력은 다중전

송의 영향을 받는다. 본 실험장치는 10[MHz]까지의 주파수와 50[Ω] 저항 전원과 동조 루프에서 고주파 방전에 의한 점화 위험성을 평가할 수 있다.

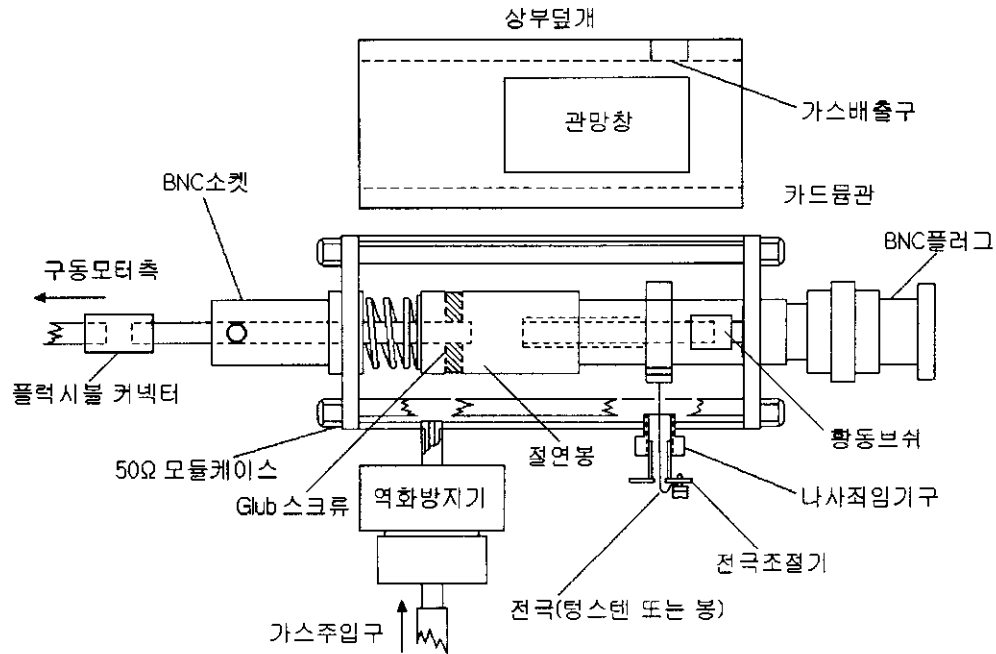


그림 3.6 Miniature Coaxial Breakflash

3.1.6 R. F. Ignition Test Apparatus

그림 3.7은 1.8~21[MHz]의 연속파의 주파수 대역에서 점화 위험성을 실험한 장치이다.^[29] 또한 실험에 사용한 전극의 형태는 그림 3.8과 같으며, 녹슨 강철 전극을 사용한다. 전극 재료로 녹슨 강철 전극은 Clean Metal 전극보다 최소 점화 전압이 낮다는 것은 널리 알려진 사실이다. 그림 3.7에서 연소실은 지름이 80[mm], 길이가 115[mm]의 내부용적을 가진 두께가 두꺼운 황동 실린더이다. 실험장치는

절연판 위에 고정하고 놓이지만 고주파 전력 케이블의 스크린에 의해 전기적으로 접속되어 있다. 고정 전극은 저용량성 PTFE의 등근 부분에 고정되며 시험조의 바깥부분에 고주파 단자가 직접 연결되어 있다. 이동 전극은 시험조 벽에 있는 O링을 통하여 움직인다. 시험조와 전극을 동축으로 하기 위해 금속 벨로우가 전기회로를 구성한다. 실린더는 압력변환기, 압력스위치, 파열 판, 가스공급 그리고 관망창으로 구성된다. 시험조의 가스 공급라인은 화염방지와 나일론 절연부분을 가지고 있다. 이동 전극은 공압 구동기에 의해 조절되며, 솔레노이드 밸브는 저 주파(대략 1Hz)에서 구형파 발진기 및 릴레이에 의해 작동된다. 배출 밸브에 의한 피스톤 방출로 개폐 스트로크의 속도를 조작할 수 있다.

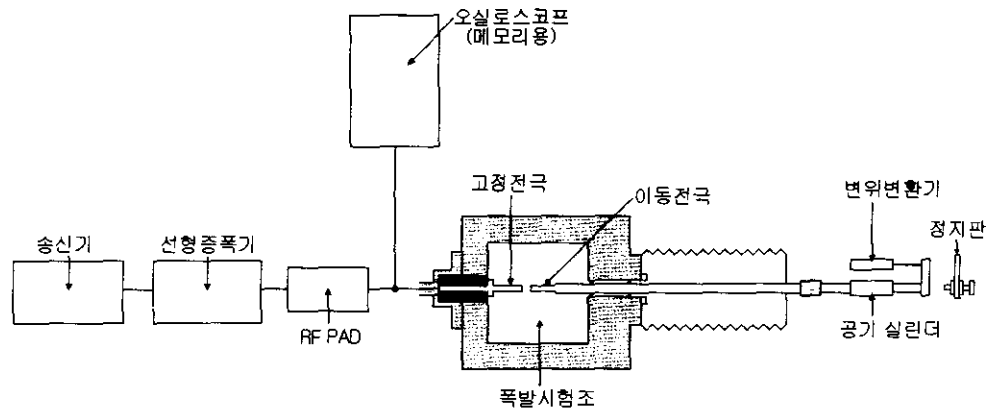


그림 3.7 R. F. Ignition Test Apparatus

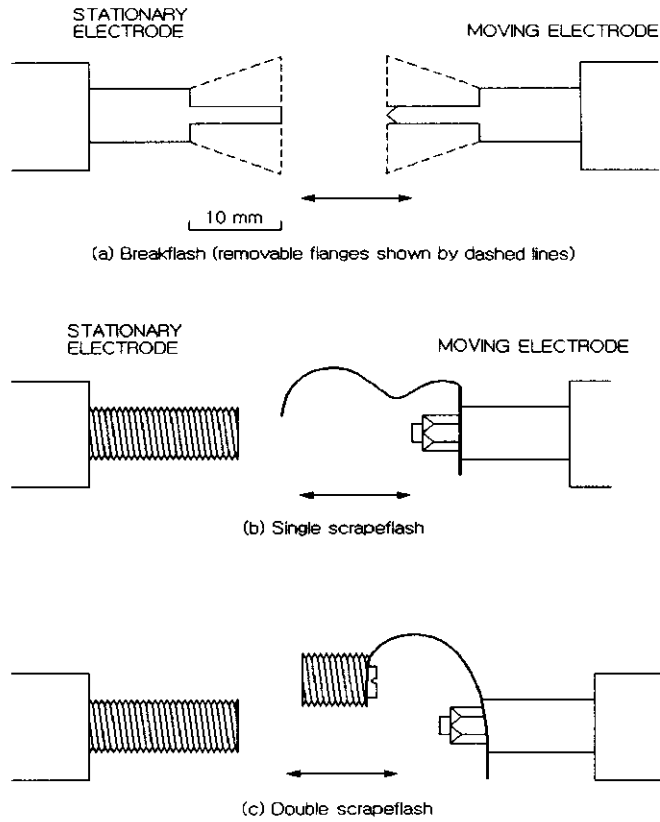


그림 3.8 Electrode Configurations

3.1.7 Spark Ignition Chamber

그림 3.9는 영국의 Bradford 대학교에서 제작하여 실험한 것으로 본 실험장치에 9.1[MHz]의 공진 안테나를 이용하여 점화 위험성을 평가하였다.^[28] 또한 그림 3.10은 9.1[MHz] 공진 안테나를 이용한 실험장치의 구성도이며, 그림 3.11은 2[MHz]의 주파수에서 50[Ω] 부하를 갖는 R. F.에 점화 실험장치의 구성도이다.

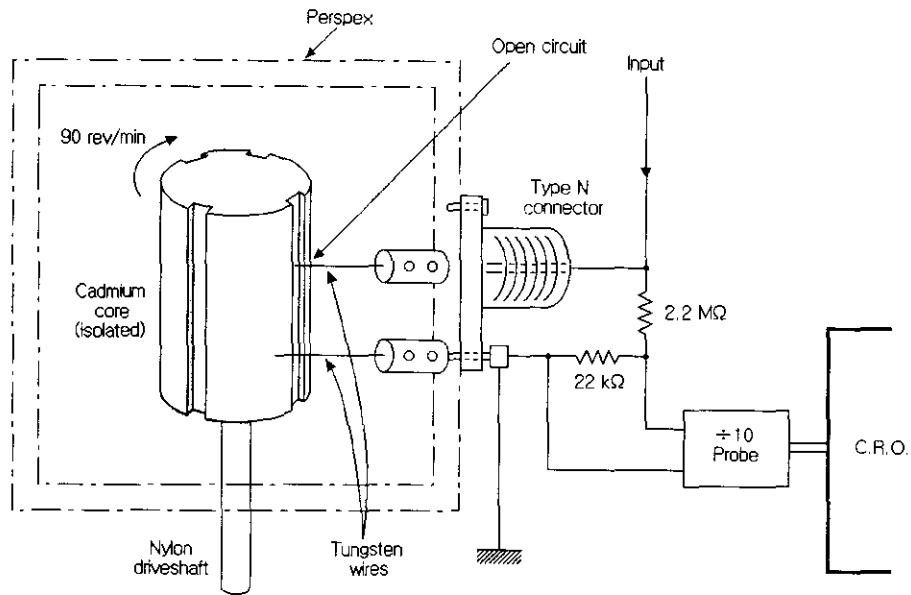


그림 3.9 Spark Ignition Chamber (Breakflash)

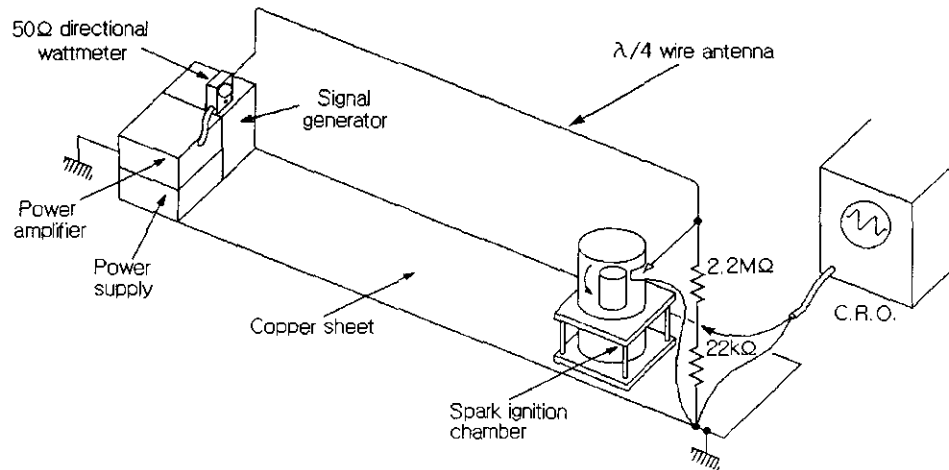


그림 3.10 9.1[MHz] Resonant Antenna

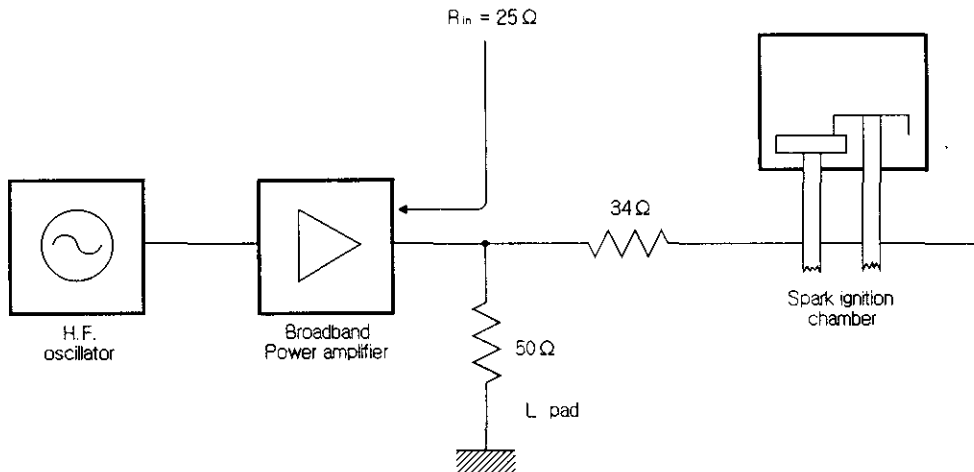


그림 3.11 50[Ω] Ignition System for 2[MHz]

3.1.8 IEC Type Break-flash

그림 3.12는 IEC 60079-3에서 현재까지는 직류와 상용 주파수만을 사용하여 저압 회로에서의 최소 점화 에너지를 구하는 불꽃점화 실험장치이다. 그러나 앞으로는 이 실험장치가 고주파용 전기 및 전자기기의 방폭성능을 입증하는데 사용될 예정이었으나 향후 본 실험장치의 특성상 주파수가 증가하게 되면 장치에서 발생하는 임피던스의 증가 때문에 1.5[MHz] 이하에서만 사용될 예정이다. 현재 영국의 BS 6656 규격에서는 10[MHz]까지의 주파수에서는 이 실험장치를 사용토록 권고하고 있다.^[4] 그림 3.14는 전극부의 형태를 나타낸 것이다.

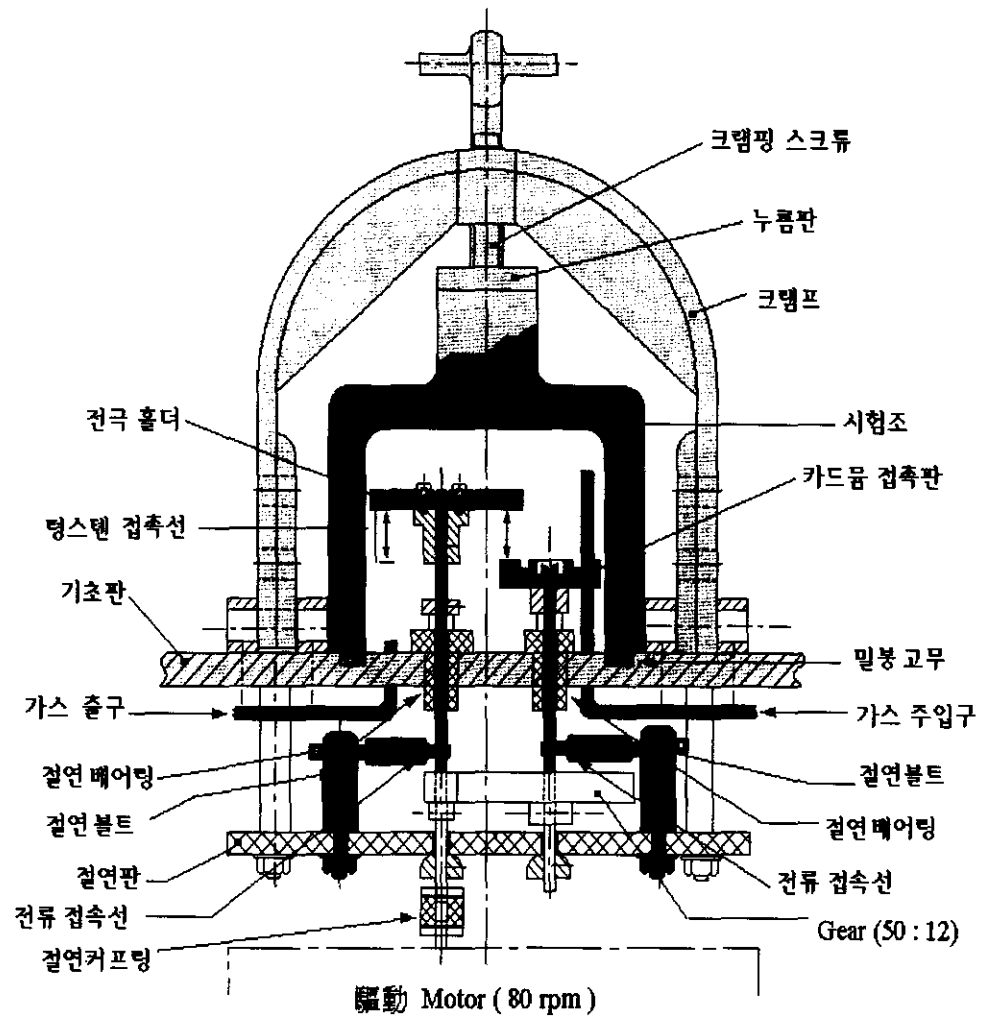


그림 3.12 IEC 형 불꽃점화 실험장치

3.2 설계 기준

불꽃점화 실험장치는 서로 다른 2종을 설계 및 제작하여 실험에 사용코자 하였다. 설계기준은 실험 장치 종류에 따라 다음과 같다.

3.2.1 불꽃점화 실험장치 #1 (Break-flash Apparatus)

불꽃점화 실험장치 #1 (Break-flash Apparatus)은 IEC 60079-3의 실험장치 (그림 3.12)를 방폭형 및 이동용으로 개발코자한 것이다.

(1) 일반사양

- 1) 본 실험장치는 무선 송신기로부터 방사되는 Radio Frequency에 의한 산업현장의 금속성 구조물에서 접촉, 차단 시에 점화 위험성이 있기 때문에 이를 확인하기 위한 불꽃점화 실험장치를 방폭형 및 간이형으로 설계하여야 한다.
- 2) 실험장치 설계를 위하여 다음의 관련된 규격 및 규정을 만족하여야 한다.
 - 노동부고시 제 92-23호 "방폭구조 전기기계·기구 성능검정 규격"
 - BS 6656 "Prevention of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency"
 - IEC 60079-3 "Spark-test apparatus for intrinsically-safe circuit"
- 3) 실험장치는 내압방폭구조를 원칙으로 하여 설계하여야 한다. 다만 기술적 판단에 의해 상시 점화원으로 되는 부분 이외에는 내압방폭구조가 아닌 다른 방폭구조로 할 수 있도록 한다.
- 4) 폭발 등급은 그룹 IIC에 적합하도록 하여야 한다.
- 5) 방폭 성능의 입증을 위하여 우리 연구원에서 실시하는 성능시험에 적합하여야 한다.
- 6) 방폭 지역에서의 사용을 목적으로 하기 때문에 방폭 성능의 입증은 물론 휴

대하기에 간편하도록 하고 경량화 되도록 하여야 한다.

- 7) 실험장치는 운반 중 외부 충격에 보호될 수 있도록 보호용 케이스를 구비하여야 한다.

(2) 기술사양

- 1) 모든 주파수로부터 구조물에서 추출할 수 있는 스파크 점화능력은 본 실험 장치의 회전판과 수없이 간헐적으로 스치는 접촉을 가진 텅스텐 선으로 구성되는 IEC 형의 불꽃점화 실험장치를 기준으로 한다.
- 2) 실험장치 구동을 위한 입력전원은 직류 및 교류전원을 겸용할 수 있어야 하며, 또한 현장측정을 위한 축전지를 내장하거나 별도의 케이스에 수납한다. 축전지는 방폭형으로 하거나 수납 케이스를 방폭형으로 하여야 한다.
- 3) 축전지의 용량은 실험장치를 30분간 구동시킬 수 있어야 한다.
- 4) 전극의 치수 및 모양은 IEC 기준에 따라야 하며, Disc 전극은 카드뮴 및 강철로 각각 2조씩 제작하여 전극의 재질에 따른 특성을 비교한다.
- 5) 시험조는 점화유무를 확인하기 위하여 관망 창을 부착하여야 한다.
- 6) 전극 구동용 전동기는 속도 가변이 되도록 하여야 하며 또한, 그 지시값을 나타내어야 한다.
- 7) 절연 커플링 등 접속부는 고주파 누설이 되지 않는 (최대 사용주파수: 10 MHz) 절연성능을 가진 부품을 사용하여야 한다.
- 8) 텅스텐 선 전극 ($\phi=1\text{mm}$)을 사용한다.
- 9) 가스 입구 및 출구는 방폭 성능에 적합한 역화 방지기를 부착하여야 한다.
- 10) 실험장치의 루프 접촉저항은 $1[\Omega]$ 미만이어야 한다.
- 11) 실험장치의 점화 감도는 IEC 규격에서 제시하는 시험방법에 의해 만족하여야 한다.

- 12) 구조물과의 R. F. 동조를 위한 동조용 리액턴스 (f_c : 30MHz)를 구비하여야 한다.
- 13) 구조물과 본 실험장치 및 동조용 리액턴스를 접속할 고주파용 접속기구 및 케이블이 구비되어야 한다.
- 14) 실험장치의 특정부분에는 점화회로내의 고주파 전력을 측정하기 위한 고주 전력계를 부착하여야 한다.
- 15) 혼합가스를 배출하기 위한 진공펌프 (진공도달도: 10^{-3} Torr 이상)를 내장 하거나 별도로 구비하여야 한다. 별도로 구비하는 경우는 방폭구조로 한다.
- 16) 실험장치에 부착되는 계기는 0.5급을 원칙으로 한다.

3.2.2 불꽃점화 실험장치 #2 (Break-flash Apparatus)

불꽃점화 실험장치 #2 (Break-flash Apparatus)는 그림 3.7의 실험장치를 방폭형 및 간이형으로 개발코자한 것이다.

(1) 일반사양

- 1) 본 실험장치는 무선 송신기로부터 방사되는 Radio Frequency에 의한 산업현장의 금속성 구조물에서 접촉, 차단 시에 점화 위험성이 있기 때문에 이를 확인하기 위한 불꽃점화 시험장치를 방폭형 및 간이형으로 설계하여야 한다.
- 2) 실험장치 제작을 위하여 다음의 관련된 규격 및 규정을 만족하여야 한다.
 - 노동부고시 제 92-23호 "방폭구조 전기기계·기구 성능검정 규격"
- 3) 실험장치는 내압방폭구조를 원칙으로 하여 제작하여야 한다. 기술적 판단에 의해 상시 점화원으로 되는 부분 이외에는 내압방폭구조가 아닌 다른 방폭구조로 할 수 있다.
- 4) 폭발 등급은 그룹 IIC에 적합하도록 하여야 한다.

- 5) 방폭 성능의 입증을 위하여 우리 연구원에서 실시하는 성능시험에 적합하여야 한다.
- 6) 방폭 지역에서의 사용을 목적으로 하기 때문에 방폭 성능의 입증은 물론 휴대하기에 간편하도록 하고 경량화 되도록 하여야 한다.
- 7) 실험장치는 운반 중 외부 충격에 보호될 수 있도록 보호용 케이스를 구비하여야 한다.

(2) 기술사양

- 1) 모든 주파수로부터 구조물에서 추출할 수 있는 스파크 점화능력은 본 실험 장치의 전극 접촉을 갖는 R. F. Ignition Test Apparatus이다.
- 2) 실험장치 구동을 위한 입력전원은 직류 및 교류전원을 겸용할 수 있어야 하며, 또한 현장측정을 위한 축전지를 내장하거나 별도의 케이스에 수납하여야 한다. 축전지는 방폭형으로 하거나 수납 케이스를 방폭형으로 하여야 한다.
- 3) 축전지의 용량은 실험장치를 30분간 구동시킬 수 있어야 한다.
- 4) 시험조는 점화유무를 확인하기 위하여 관망 창을 부착하여야 한다.
- 5) 전극 간격은 가변이 되도록 하여야 하고 또한, 그 지시값을 나타내어야 한다.
- 6) 절연 커플링 등 접속부는 고주파 누설이 되지 않는 (최대 사용주파수: 50 MHz) 절연성능을 가진 부품을 사용하여야 한다.
- 7) 가스 입구 및 출구는 방폭 성능에 적합한 역화 방지기를 부착하여야 한다.
- 8) 장치의 루프 접촉저항은 $1[\Omega]$ 미만이어야 한다.
- 9) 구조물과 본 실험장치를 접속할 고주파용 접속기구 및 케이블을 구비하여야 한다.
- 10) 실험장치의 특정부분에는 점화회로내의 고주파 전력을 측정하기 위한 고주

전력계를 부착하여야 한다.

- 11) 혼합가스를 배출하기 위한 진공펌프 (진공도달도: 10^{-3} Torr 이상)를 내장하거나 별도로 구비하여야 한다. 별도로 구비하는 경우는 방폭구조로 한다.
- 12) 실험장치에 부착되는 계기는 0.5급을 원칙으로 한다.

3.3 개발한 실험장치의 사양 및 특성

3.3.1 사양 및 특성

금번에 개발한 불꽃점화 실험장치의 2종에 대한 상세한 설계 및 제작 도면은 부록에 수록하였으며, 다음 표 3.1은 개발품에 대한 사양을 나타낸 것이다. 또한 그림 3.14와 그림 3.15는 개발품의 외형 사진을 나타낸 것이며, 그림 3.16은 이들 실험장치를 운반용 케이스에 수납한 상태의 사진을 나타낸 것이다. 개발품의 주요 특징으로는 아래와 같다.

- 방폭지역에서 점화 유무를 확인할 수 있는 방폭형
- 소형, 경량 구조의 이동용
- 주파수 10[MHz], 20[MHz]까지 측정할 수 있는 고주파용
- 전극재질 및 전극 간격 별 점화 에너지 측정가능

표 3.1 개발품의 사양

구분		실험 장치 #1	실험 장치 #2
방폭구조		Ex d IIC (H ₂) T4	Ex d IIC (H ₂) T4
정격		220V, 2A	220V, 1A
합격번호		98-1271-Q1	98-1291-Q1
합격일자		1998년 9월 29일	1998년 11월 2일
중량	총 중량 [kg]	31.65	42
	장치 중량 [kg]	28	36.8

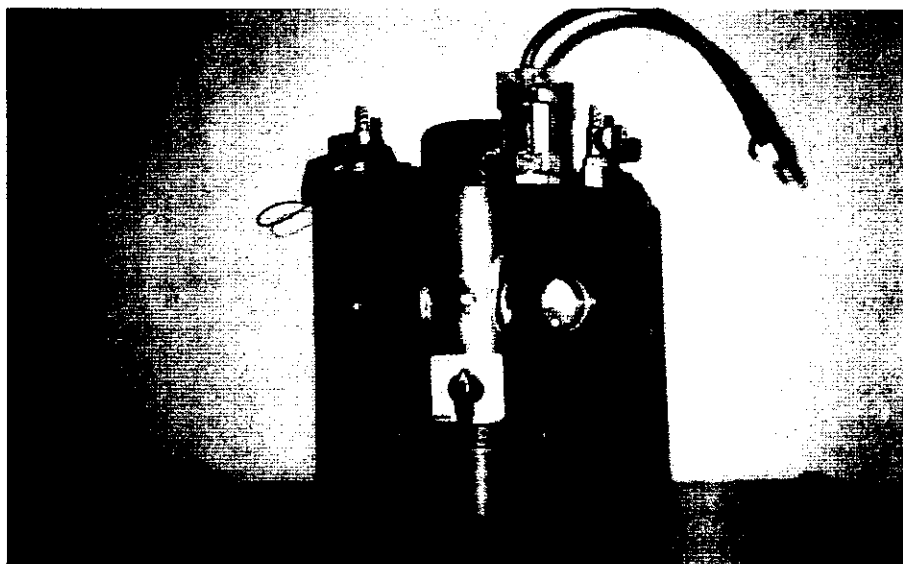


그림 3.14 불꽃점화 실험장치 #1의 외형 사진

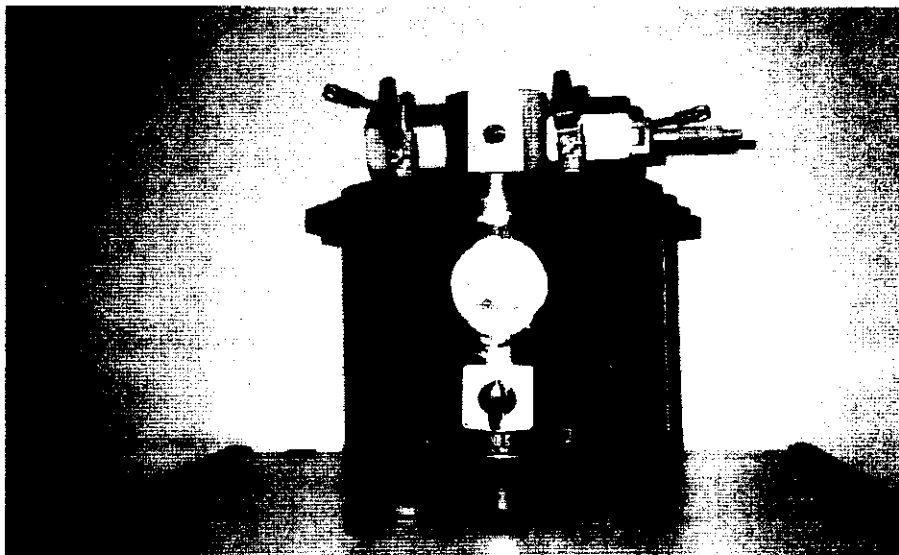


그림 3.15 불꽃점화 실험장치 #2의 외형 사진

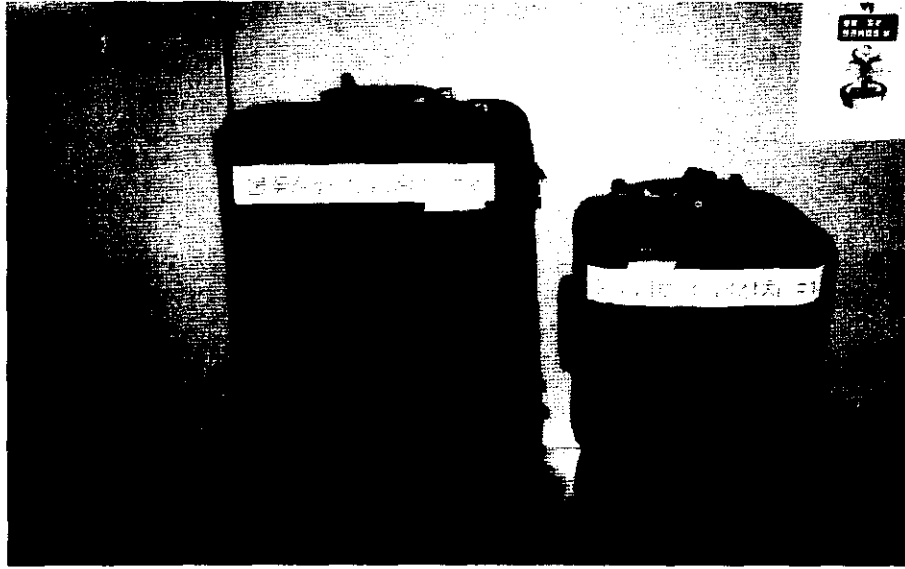


그림 3.16 운반용 케이스에 수납된 불꽃점화 실험장치 #1과 #2의 외형 사진

3.3.2 사용상의 주의 점

- 1) DC 24 [V]의 충전용 축전지를 내장하여 외부 전원이 공급되지 않는 방폭지역에서 30분간 사용할 수 있도록 하였으나 축전지의 충전은 반드시 비방폭 지역에서 실시하여야 한다.
- 2) 충전이 완료된 후 교류 전원 케이블과 커넥터를 본체로부터 분리한 후 불꽃점화 실험장치에 부착된 플러그 덮개를 견고하게 체결하여 사용하여야 한다.
- 3) 방폭 성능에 영향을 미치는 커버, 플랜지 등은 견고하게 죄여 있는가 반드시 확인하고 또한 함부로 개폐하지 않아야 한다.
- 4) 장치의 사용 전에는 작동설명서를 충분히 숙지한 후 동작시켜야 한다.
- 5) 폭발조 내에는 대기압 이하의 가연성 가스를 충전시켜 점화시험 한다.

제4장 점화 위험성 평가

4.1 실험 방법

4.1.1 개요

가연성 물질을 취급하는 공장에서 무선 송신기에서 방사되는 고주파에 의한 점화 위험성에 대해서 영국에서는 1978년 HSE (Health and Safety Executive)에 의해 광범위하게 조사되었다. 이에 대한 실험은 Bradford 대학에서 처음으로 연구되었다.

R. F. 불꽃점화 실험장치의 방전에 의한 이전의 실험활동은 Bittner에 의해 정리되었다. 1.8~21[MHz] 주파수 범위에서 연속파 전원을 사용하여 실험적으로 연구하였으며, 여기서 점화의 최소 전력과 전압을 측정하였다. 이때 R. F. 전원 임피던스의 형태와 전극의 재료, 전극의 모양, 전극의 개폐속도가 중요한 영향을 미친다. Gehm과 Dobritz는 최소 점화전압 0.5~5[MHz]까지 병렬공진 회로의 Q, 즉 여러 가지 공진계수의 영향에 관해 실험했다. Howson과 Butcher는 수소·공기혼합 기체를 점화하기 위해 필요한 최소 전력의 주파수 의존성에 대해 연구했다. Gunell의 연구 중 몇몇 알려지지 않은 연구는 점화전력에 관해 전원 임피던스에 미치는 영향을 보여준다. 동시에 최근의 연구들은 Widginton이나 Howson 그밖에 다른 사람에 의해 독자적인 연구를 수행하여 왔다. Widginton은 전극의 재료와 여기 주파수의 변화에 대한 영향을 연구했다. 그는 동조관 루프와 50[Ω]의 저항성 전원을 가지고 실험을 했다. 그들은 프로판, 부탄, 그리고 메탄과 공기 혼합기체가 유사한 R. F. 점화특성을 가지고 있다는 것을 알아냈고 또한, Gunnell의 결과들도 확인했

다.

4.1.2 추출전력의 측정

구조물에 대한 현장실험은 추출전력의 측정과 점화실험을 포함하며, 현재 구조물로부터 추출할 수 있는 전력의 최대 주파수는 30[MHz]이다. 무선과장에 의해 조사된 구조물의 불연속 지점에서 추출할 수 있는 전력은 직접측정에 의해 결정할 수 있으며, 그림 4.1은 이들의 측정방법에 대한 것을 나타낸 것이다.

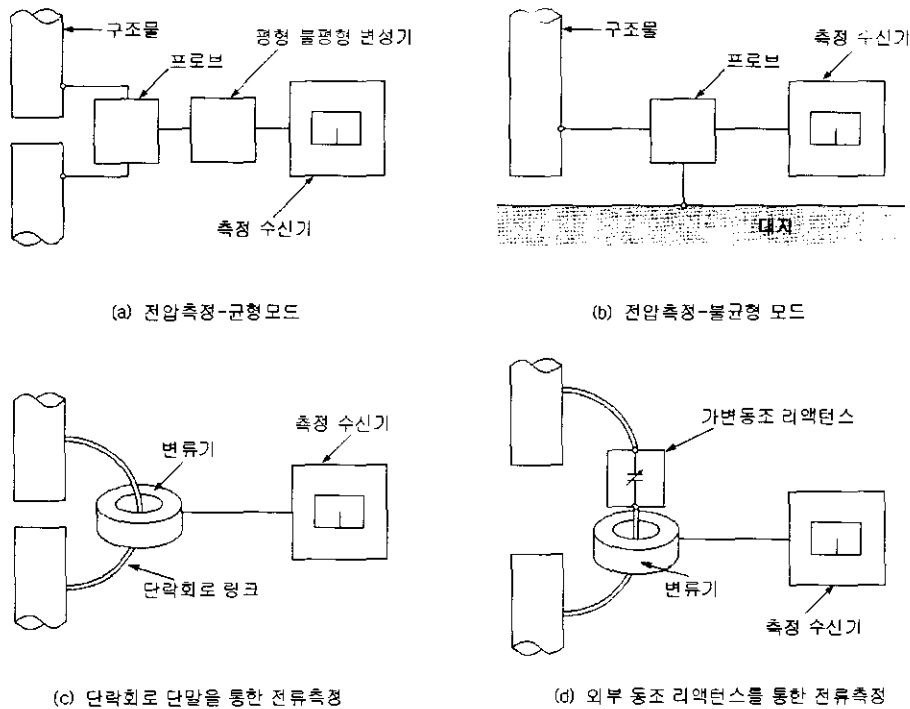


그림 4.1 추출전력의 측정방법

4.1.3 점화 위험성 실험방법

방폭지역에서 고주파 방사에 의한 구조물에서 발생하는 점화 위험성을 평가하기 위한 실험장치의 구성도는 그림 4.2와 같다. 불꽃점화 실험장치의 단자는 외부 동조 리액턴스가 필요한 곳에서는 공진을 맞춘 구조물의 불연속 지점 사이에 접속시키며, 이때 접속선은 가능한 짧게 접속한다.

동조 리액턴스는 실험장치 및 모든 모니터 프로브가 접속될 때 구조물 부도체를 지나는 최대 전압이 얻어지도록 조정하여야 한다.

10[MHz]까지의 모든 주파수에서 구조물로부터 추출할 수 있는 스파크의 점화전력은 회전판과 수없이 간헐적으로 스치는 접촉을 가진 텅스텐 선으로 구성되는 수정된 그림 3.12의 IEC 불꽃점화 실험장치 (IEC 60079-3)를 사용하여 평가할 수 있다.

새로운 제안에서는 판 (Disc)은 표준 카드뮴 판보다 녹이 쓴 강철이 감도가 좋기 때문에 이를 사용하여 플랜트의 재료근거에 대하여 좀더 대표적이다. 메커니즘은 시험가스 또는 증기를 넣을 수 있는 시험조로 전체적으로 밀봉되어 있으며 만일 충분한 전력이 발생된다면 가스의 점화가 발생되며 또한 관측할 수 있다.

10[MHz] 이상의 전송 주파수에서는 불꽃점화 실험장치의 다른 형태를 사용하여야 하며 적절한 실험장치와 만일 필요하다면 회전방법의 채택여부의 선택에 대하여 전문가의 조언을 받아야 한다.

불꽃점화 실험장치는 스파크에 의한 점화의 최적농도의 적절한 시험가스/공기 혼합물을 공급하여야 한다. 불꽃점화 실험장치의 감도는 구조물 단자의 대신에 유도성 직류 전원 및 카드뮴 이외에 언급된 교정값을 포함하여 IEC 규격에 명시된 과정을 사용하여 시험가스의 몇 회의 점화로부터 얻은 시험 전후에서 확인하여야 한다.

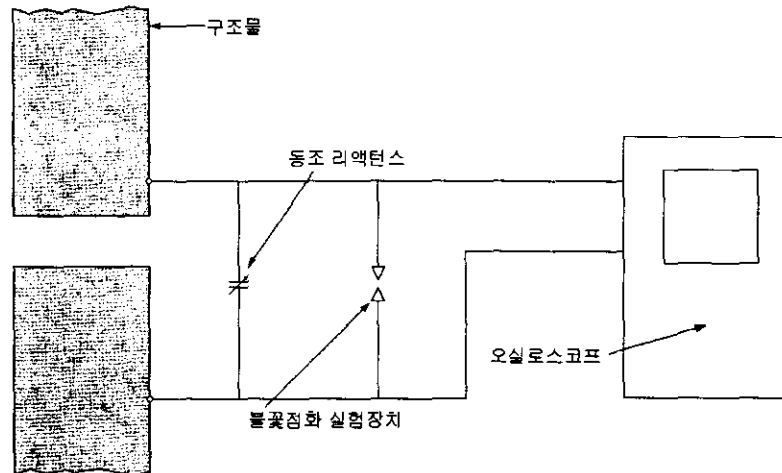


그림 4.2 점화실험 방법

4.2 실험장치의 구성

전자파에 대한 인체의 영향을 고려하여 ANSI 4~8[W/kg], EPA 1~2[W/kg] 인체에 대한 기준치에서 안전율을 적용하여 0.4[W/kg]이 노출되지 않도록 실험하여야 한다. 구 소련의 노출시간에 대한 입사 전력한계 기준은 한 시간 동안 10 [mW/cm²]를 권고치를 준수하여야 한다.

4.2.1 고주파 전기회로의 점화 위험성

본 연구에서는 고주파 전기회로의 개폐불꽃에 의한 위험성을 명백히 하고 방폭 전기기기의 설계자료의 제공을 목적으로 하여 실험은 IEC 규격을 기초로 한 50 [Ω] 저항회로에서 아세틸렌, 에틸렌 및 메탄 가스와 공기 혼합기체에서의 최소 점

화 전압을 구하였다. 주파수 범위는 50[MHz]까지, 불꽃점화 실험장치는 IEC형을 사용하였다.

그림 4.3은 실험장치의 구성회로이며 그림 4.4는 구성사진을 나타낸 것이다.

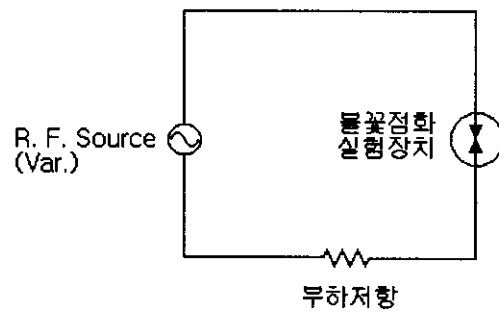


그림 4.3 고주파 전기회로의 점화실험 회로

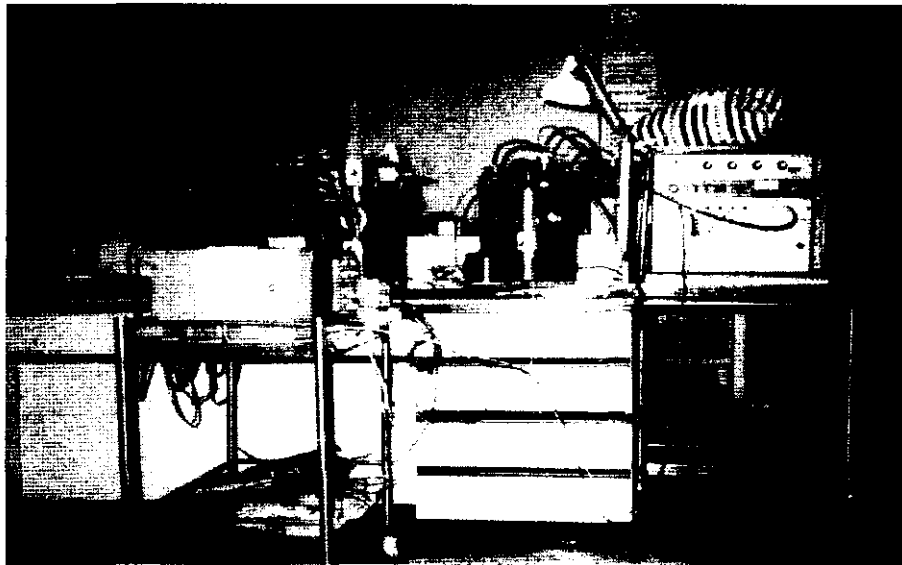


그림 4.4 고주파 전기회로의 점화실험 구성 사진

4.2.2 고주파 방사에 의한 점화 위험성

고주파 방사에 의한 점화실험은 그림 4.5의 실험 회로도를 사용하여 실시하며 그림 4.6은 실험 장치 중 안테나 사진을 나타낸 것이다. 그림 4.7은 현장 실험시에 구조물에서의 추출전력 동조용 가변 용량기를 나타낸 사진이다. 또한 표 4.1은 실험에 사용한 안테나의 사양을 나타낸 것이다.

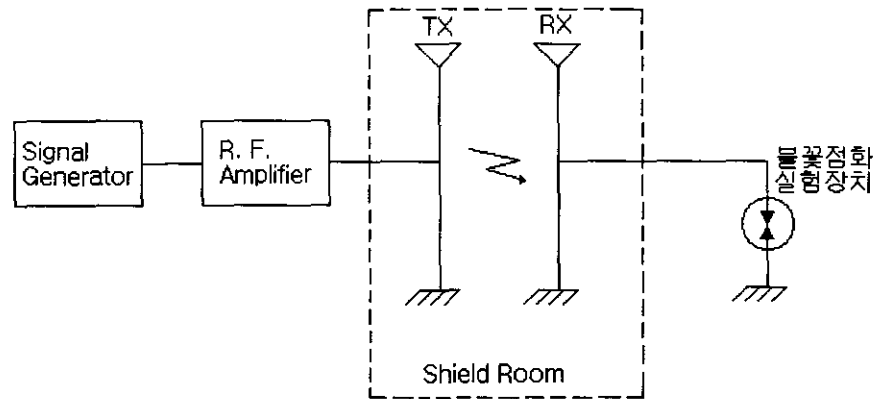


그림 4.5 고주파 방사의 점화실험 회로

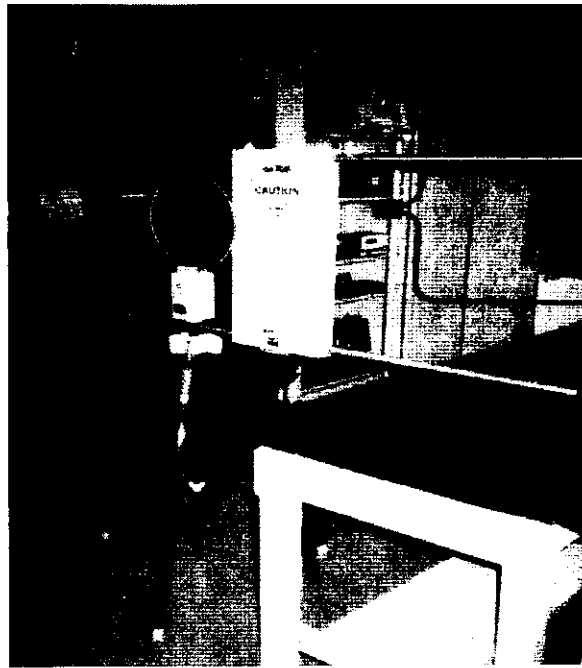


그림 4.6 고주파 방사 및 수신용 안테나의 사진

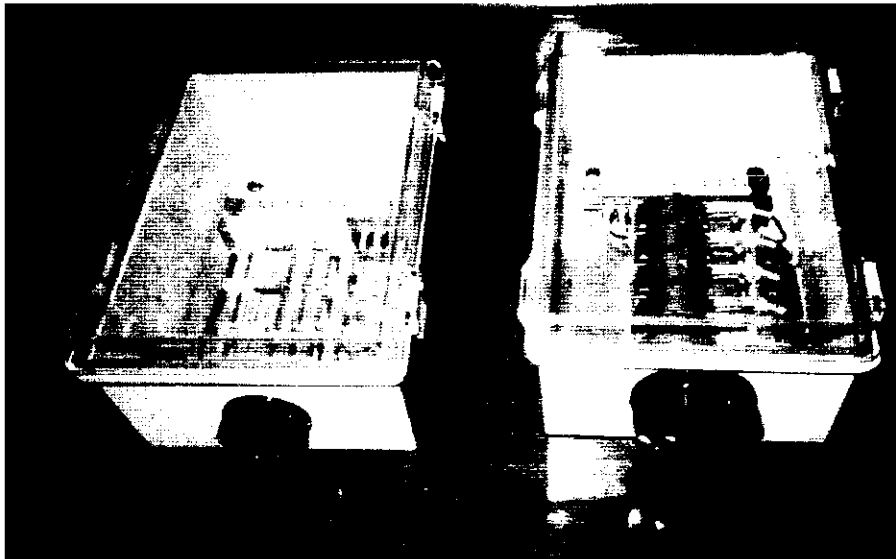


그림 4.7 동조용 가변 용량기 사진

표 4.1 R. F. 수신용 안테나의 사양

Items	Loop Antenna	Rod Antenna
Generator	H-Field	E-Field
Frequency Range	1[kHz]~30[MHz]	1[kHz]~30[MHz]
Maximum Input Power	1000[W]	300[W]
Impedance (Nominal)	50[Ω]	50[Ω]
Connector	Type N Female	Type N Female

동축 케이블은 그 내부 도체 지름과 외부 도체 지름 및 절연물의 유전율에 의해 특성 임피던스가 결정된다. 투자율이 좋은 공기 ($\epsilon=1$)의 절연재에 의한 동축이 가장 양호하나 중심도체의 지지가 어려워 실현은 곤란하다. 동축 케이블의 특성 임피던스는 크게 50[Ω] 계와 75[Ω] 계의 두 종류가 일반적으로 사용된다. 고주파 기기에서는 대부분 50[Ω]의 특성 임피던스를 갖는다. 실험에 사용한 동축 케이블의 특성은 표 4.2와 같다.

표 4.2 동축 케이블의 특성

종류 \ 항목	특성 임피던스 [Ω]	감쇄량 [dB/km]	표준 정전용량 [pF]
3D2V	50±2	14 (1 MHz) 46 (10 MHz) 80 (30 MHz) 215 (200 MHz)	100
RG-58A/u RG-58C/u	50±2	14 (1 MHz) 43 (10 MHz) 82 (30 MHz) 315 (200 MHz)	100
RG-214/U	50±2	5.7 (1 MHz) 20 (10 MHz) 37 (30 MHz) 128 (200 MHz)	100

표 4.3은 실험에 사용한 주요한 고주파 증폭기 및 계측기기의 사양을 나타낸 것이다.

표 4.3 실험 기기 및 계측기의 사양

Items	Models	Makers	Specifications
R. F. Amp.	AR500A100	AR社	- Frequency Range: 10kHz-100MHz - Output: 500W - Gain: 57dB - Input/output Impedance: 50Ω
Oscilloscope	9354TM	Lecroy社	4-channel 500MHz 2Gs/s - FFT
Function Generator	8116A 3040	HP社 MAXTEC社	Frequency Range: 13/50MHz
Electric Field Measurement	EFM 100	Combinova社	- Measurement Range ELF: 0.5-10,000V/m VLF: 0.05-1000V/m - Frequency ELF: 5-2000Hz(-3dB), VLF: 2-400KHz(-3dB) - Accuracy ELF: $\pm(3\%$ of reading +0.2V/m) VLF: $\pm(3\%$ of reading +0.03V/m)
EMF Tester	HI-4422 HI-3603	Holiday社	- Measurement Range: 0.1-199.9mGauss - Frequency: 30-300Hz - Accuracy: $\pm(4\%$ +3dB) at 50/60Hz - Measurement Range Frequency: 10kHz-3MHz - Measurement Range 1-1999V/m, 1-1999mA/m - Frequency 전계; ± 0.5dB 10-100kHz, +0.5/-2dB 2-200kHz 자계; ± 0.5dB 12-200kHz, +0.5/-2dB 8-300kHz
Digital Power Meter	2532-21	YOKOGAWA社	- Frequency Range: DC-400kHz 10-600V - Accuracy: $\pm(0.2\%$ of reading + 0.2% of range)
Impedance/Gain-Phase Analyzer	4194A	HP社	- Test Frequency: 100Hz-100MHz - Resolution: 1mHz - Accuracy: ± 20ppm
Current Probe	6302	Tectronix社	- Band Width: DC-50MHz - Peak Pulse: 50A - Max. AC p-p: 50A - Max. DC: 20A - Insertion Impedance (1MHz): 0.1Ω

4.3 실험결과 분석 및 고찰

그림 4.8은 그림 4.3의 회로를 이용하여 고주파 전기회로의 최소 점화 에너지를 측정한 결과를 나타낸 그래프이다. 실험가스는 아세틸렌 $15\pm1\%$ /공기, 에틸렌 $7.8\pm0.5\%$ /공기, 메탄 $8.3\pm0.5\%$ /공기를 사용하였으며, 고주파 전원은 50[MHz]까지 가변 공급하였다.

그래프에 나타난 결과를 고찰하여 보면

- 1) 주파수가 높게 됨에 따라 아세틸렌, 에틸렌, 메탄의 순서로 점화전압은 크게 되나 1[kHz] 이하의 범위에서는 점화에 필요한 전압은 거의 동일하였다.
- 2) 점화에 필요로 하는 시간은 아세틸렌의 경우 20[μ s], 에틸렌의 경우는 40[μ s] 정도이기 때문에 대략 10[kHz]까지는 1회 방전에 의해 점화가 발생한다. 또한, 50[kHz]이상에서는 각각의 20[μ s]와 40[μ s]이내에 발생한 2회 이상의 방전이 점화에 관계한다. 그러나 메탄은 점화에 필요로 하는 시간은 100[μ s]이므로 500[Hz]를 경계로 하여 점화전압이 아주 높아지게 된다.
- 3) 점화에 필요로 하는 시간 이상의 주파수에서는 전류가 0으로 될 때에도 전극의 냉각이 충분하게 진행되지 않으므로 전극간에서 방전의 재발생 조건이 유지되어 방전 에너지를 증대시키는 영향이 나타난다고 예상된다.

본 연구에서는 그림 4.5의 실험회로를 이용하여 고주파 방사에 대한 최소 점화 에너지를 측정하고자 계획하였으나 실험실 여건상 수행치 못하였다. 그러나 향후 우리 연구원에서 설치되는 전자파 차폐실이 완성되는 데로 이를 실시코자한다.

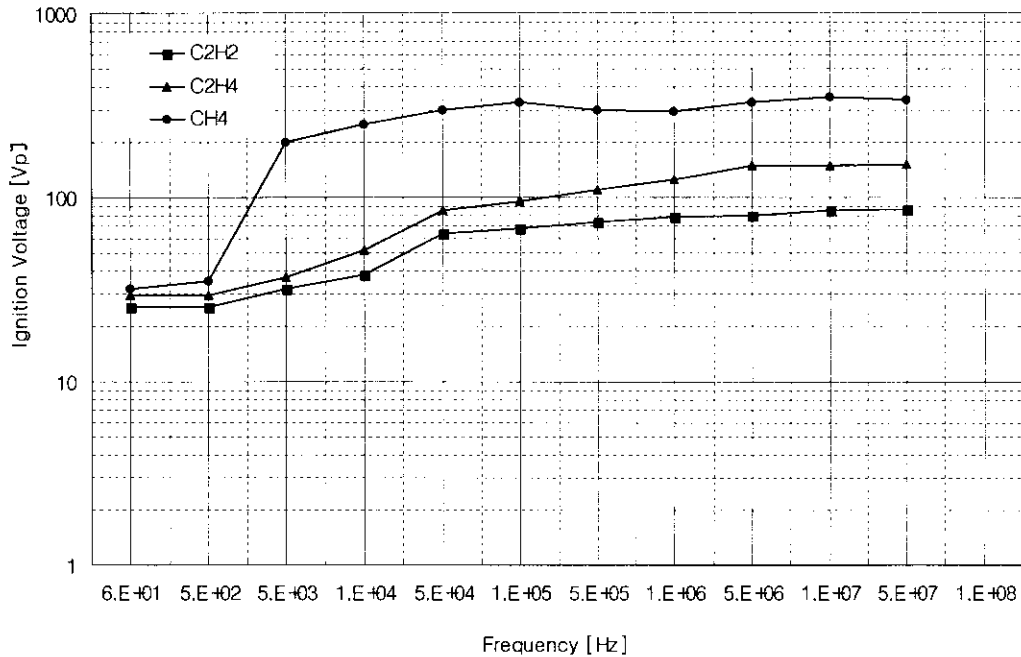


그림 4.8 가연성 혼합기체에 따른 최소 점화 에너지 측정결과

4.4 점화 위험성 방지대책

4.4.1 본딩 이용

R. F.에서 본딩은 낮은 R. F. 임피던스의 도체에 의해 두 개 금속성 부분을 접속하는 것이다. 그러므로 두 부분사이의 전압은 현저하게 감소된다. 비록 본딩 도체를 통하여 상당한 전류가 흐르더라도 이 전압은 두 부분사이의 방전을 유지하는 데는 아주 낮다. 만약 본딩의 임피던스가 구조물의 두 부분사이의 R. F. 임피던스와 비교하여 낮다면 본딩은 유효하다. 이것은 본딩 도체길이가 주요 전송 파장과 비교하여 짧아야 된다는 것을 요구한다. 최대 길이가 파장의 100분의 1로 요구한다. 부가적으로 본딩과 구조물의 두 부분사이의 접촉성은 모든 환경조건하에서 유

지되어야 한다는 것은 기본적인 것이다. 본당에 가장 적합한 적용형태는 예를 들면 밸브의 분리 또는 제거에 전에 파이프 플랜지의 양쪽을 가로지르는 것이다. 또 다른 적용은 간헐적인 접속을 할 수 있는 통로의 열팽창을 금지하는 두 저장탱크를 연결하는 통로이다. 이 접촉지점을 가로지르는 본드가 가장 효과적이다. 예를 들어 접지와 같이 대지에 대한 본드의 이용은 보통 도체길이가 길게 요구되기 때문에 권장하지 않으며 접지 균압망이 저 손실 루프 몇 개로 해결하기 위하여 측정한 것보다 더 큰 문제를 야기시킬 수 있다.

4.4.2 절연이용

절연물질의 이용은 본당이 불가능한 경우에 효과적이다. 예를 들면 만약 간헐적인 접촉을 하는 구조물의 R. F.에서 효과적인 절연층에 의해 분리되어 있다면 이때 차단 스파크 기구에 의해 야기되는 점화성 방전의 가능성은 효과적으로 제거될 수 있다. 만일 이것이 가능하지 않다면, R. F.에서 효과적인 절연 배리어를 가능한 한 간헐 접촉부분에 가까운 구조물의 다른 부분에 삽입될 수 있다. 그러므로 불연속 지점에서 R. F. 전류는 근본적으로 감소되어 방전발생의 가능성을 최소화시킬 수 있다. (또한 이는 종종 무선 송신기 근처에서 크레인을 사용하는데 직면할 수 있는 R. F. 충격 및 R. F. 화염의 방지를 위하여 효과적이다.) 절연이 R. F.에서 효과적이라는 것을 보증할 필요가 있다. 그렇지 않으면 문제를 악화시킬 수 있다.

4.4.3 구조물의 효율감소

길이가 반 파장보다 작은 주파수에서 루프형 구조물의 효율은 길이 대 파장비율에 대하여 임계적으로 의존하여 만일 루프의 길이가 감소한다면 급격하게 감소한다. 플랜트 설계자는 루프의 길이를 최소 길이로 함으로써 잠재적인 R. F. 점화

위험의 가능성을 감소시킬 수 있다. 잠재적인 점화 위험성이 존재하는 구조물에서 하나 또는 그 이상 도체는 그림 4.9에서 보인 바와 같이 작은 구간으로 루프를 나누기 위하여 사용될 수 있다. 구조물의 효율이 감소되어 위험성을 배제시킬 수 있다. 이 원리의 확장은 구조물을 본당한 금속성 메쉬 시트를 갖는 루프의 전지역에 덮는 것이다.

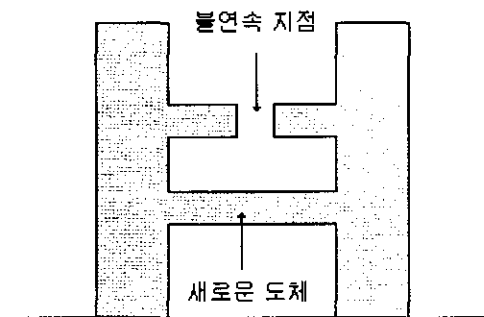


그림 4.9 구조물 효율감소의 예

4.4.10 구조물의 동조감소

만약 하나의 주 전송 주파수가 문제가 있고, 또한 앞에서 수행한 것이 실용적이지 않다면 구조물에 대하여 유도성 부품을 접속한 동조감소 시스템에 의해 불연속 지점의 터미널에서 추출전력을 감소시킬 수 있다.

제6장 결 론

고주파 전기회로에 대한 점화 위험성을 우리 연구원 등에서 이미 수행한 바 있으나 고주파 방사에 대한 연구는 무선기기의 사용 증가에 따른 점화 위험성의 증가에도 불구하고 국내에서는 아직 전무한 실정인 바 이를 평가하기 위한 초기 단계로 고주파 방사에 대한 점화 위험성을 고찰하기 위하여 이미 선진외국에서 사용하고 있는 각종 실험장치 및 실험방법 등에 분석을 실시하였다.

이를 바탕으로 하여 영국 표준 (BS) 규격에 부합되는 방폭지역에서의 고주파방사에 의한 점화실험을 위한 장치를 설계하여, 2종의 불꽃점화 실험장치를 개발하였으며, 이를 이용하여 고주파 전기회로에 의한 점화 위험성을 평가하였다.

본 연구의 주된 연구결과는 다음과 같다.

- 고주파 전기회로와 고주파 방사에 의한 점화 위험성 분석 및 방지에 대한 국내외 관련자료를 비교·검토하였다.
- 10여종의 불꽃점화 실험장치를 비교하였으며, 그중 2종을 방폭지역에서의 고주파 전기회로 및 방사에 의한 점화 위험성을 평가할 목적으로 방폭형 및 이동용으로 개발하였다.
- 개발한 실험장치를 이용하여 고주파 전기회로에 의한 최소 점화 에너지를 주파수 50[MHz]까지 구하였다. 그 결과 주파수가 높게 됨에 따라 아세틸렌, 에틸렌, 메탄의 순서로 점화전압은 크게 되게 나타나는데 그 이유는 점화에 필요로 하는 시간 (아세틸렌; 20[μ s], 에틸렌; 40[μ s], 메탄; 100[μ s])과 비례하기 때문이다.
- 고주파 전기회로의 점화 특성 메커니즘과 위험성을 실험 및 관계이론을 분석

하여 이의 방지대책을 제시하였다.

- 고주파 방사에 의한 점화 위험성 방지대책 및 이의 물리적 측정방법 제시하였다.

아울러 본 연구결과의 향후 기대효과는 다음과 같다

- 고주파 전기회로 및 방사에 의한 점화 위험성 평가 및 방지기술 (연구/개발)
- 고주파 방사기기의 점화 위험성을 평가하기 위한 방폭성능 검정에 활용 (검정/인증)
- 산업현장의 금속성 구조물에서 R. F. 방사에 의한 점화 위험성 평가 및 진단 시 활용 (지도원)
- 고주파 전기회로 및 방사관련 전기·전자기기의 방폭화 개발 (방폭기기 제조자)
- 고주파 방사에 의한 점화 위험성의 측정 및 방지대책 기술자료 (방폭기기 사용자)

향후, 본 연구와 관련하여 관련 계측기의 방폭화와 더불어 우리 연구원의 인증팀에서 건설하는 전자파 차폐실에서 R. F. 방사에 의한 기초실험 및 실험장치 성능의 평가와 방폭지역에서의 불꽃점화 실험을 실시한 후 본 실험장치를 보급할 예정이다. 또한 R. F. 방사에 의한 점화 위험성 지역을 나타내는 지리정보 시스템의 작성과 이를 평가하기 위한 기술기준, 조연단체의 필요성과 지정이 시급하다.

※ 본 연구의 실험을 위하여 바쁜 업무중에도 실험가스의 조성과 제공을 해준 안전검인증센터의 김 영덕 차장님께 감사한 마음을 전합니다.

참고문헌

- [1] 산업안전연구원, 고주파 전기회로에 의한 가연성가스의 점화 위험성 분석 및 방지 대책에 관한 연구, 연구보고서 기전연 95-6-7, 1995. 12.
- [2] 최상원, 이관형, 문정기, "고주파 스파크에 의한 가연성 혼합가스의 점화위험성에 관한 연구", '96 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1913~1916, 1996. 7.
- [3] 최상원, 이관형, 문정기, "고주파 방사에 의한 가연성가스의 점화 위험성 고찰", '98년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, E권, pp. 1740~1751, 1998. 7.
- [4] BS 6656, Guide to prevention of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation, 1991.
- [5] V. I. Ashenoff and N. A. Mjasoesoff, "Effective Resistance of Closed Antennas", Proceedings of the Institute of Radio Engineers, Volume 24, No. 5, pp. 778-801, May 1936
- [6] H. F. Calcote, C. A. Gregory, JR., C. M. Barnett and R. B. Gilmer, "Effect of Molecular Structure", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 44, No .11, pp. 2656-2662, Nov. 1952
- [7] D. R. Lintin, B. Sc., and E. R. Wooding, "Investigation of the Ignition of a Gas by an Electric Spark", British Journal of Applied Physics, Vol. 10, pp. 159-166, April 1959

- [8] "Short Wave Therapy Caused Fire: Unusual Discovery", Fire Protection Review, pp. 113-114, Feb. 1963
- [9] M. E. Rogers and H. W. G. Wyeth, "Investigation into a Fuel Tank Explosion Britannia G-Arka", Royal Aircraft Establishment, Technical Report, TR 67080, April 1967.
- [10] E. W. Plischke and W. F. Wolff, "tuned in or Turned on RF Radiation Study", ASSE Journal, pp. 12-15, June 1969
- [11] H. A. Schwab, "Some Properties of Radio Frequency Gas Discharges in Air at Atmospheric Pressure", Proceedings of the IEEE, Vol. 59, No. 4, pp. 613-616, April 1971
- [12] G. H. Butcher, P. S. Excell and D. P. Howson, "The Ignition Hazard Due to Radiation from Radio Transmitters", Postgraduate School of Electrical and Electronic Engineering, University of Bradford, UK., pp. 143-147, 1975.
- [13] G. H. Butcher and D. P. Howson, "Coaxial Breakflash For R. F. Ignition of Flammable Vapours", Proc. IEEE(UK), Vol. 122, No. 12, pp. 1453-1454, Dec. 1975
- [14] P. S. Exell BSc, G. H. Butcher, D. P. Howdon, "The Possibility of Ignition on Flammable Atmospheres Due to Mobile Radio Transmitters", IERE conf. pwc. Vol. 33, pp. 1010-103, 1975.
- [15] D. H. Shinn, "Avoidance of Radiation Hazards from Microwave

- Antennas", The Marconi Review, Vol. XXIX, No. 201, pp. 61-80, Second Quarter 1976.
- [16] S. I. Ghobrial and D. P. Howson "Hazards to Inflammable Fuels and Vapours Due to Induced Microwave Radiation", The Radio and Electronic Engineer, Vol. 46, No. 2 pp. 64-68, Feb. 1976
- [17] P. S. Excell, G. H. Butcher and D. P. Howson, "A Generalized Basis for the Determination of the Hazard of Ignition of Flammable Gas Mixtures by Raddio Frequency Radiation", Proc. 2nd European Electromagnetic Compatibility Symposium, Montreux, pp. 59-64, 1977.
- [18] P. S. Excell, "Performance of Long Dipoles as Unintended Receiving Antennas", Postgraduate School of Electrical & Electronic Engineering, University of Bradford, Bradford, West Yorkshire, UK, pp. 250-259, 1978.
- [19] D. P. Howson "Radiation Induced Ignition and Detonation Hazards Associated with Radio Transmitters on Offshore Oil/Gas Platforms", Div in Electron for Offshore Oil/Gas Platforms sci pub. Ltd, pp. 201-224, 1978.
- [20] P. S. Excell, G. H. Butcher and D. P. Howson, "Towards a Safety Standard for Radio Frequency Hazards to Flammable Mixtures-Progress and Problems", IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, San Diago, CA, USA, pp. 394-398, 1979.
- [21] A Hall and D. J. Burstow "Risk of Ignition of Flammable Gases and

- Vapours by Radio Transmission", Electrotechnology, Vol. 8, pp. 12-15, Jan. 1980
- [22] P. S. Excell and G. H. Butcher, "The Ignition of Flammable Atmospheres by Radio Frequency Sparks", IEE Colloq. Dig. N 1980/40, Conf. on Radio Transm. and Modulation Tech., London, Engl., pp. 63-66, March 24-25, 1980
- [23] A. Hall and R. J. Loveland, "Radio Frequency Ignition Hazards", Electrical Consultant Section of HM Factory Inspectorate, Health and Safety Executive, pp. 58-62, 1980.
- [24] P. Knight "Radio Frequency Ignition: The Effect of the Ground on the Resistance of a Loop Antenna", IEE Colloq. Dig. N 1980/40, Conf. on Radio Transm. and Modulation Tech., London, Engl., pp. 71-76, March 24-25, 1980.
- [25] D. J. Burstow, R. J. Loveland, R. Tomlinson and D. W. Widginton, "Radio Frequency Ignition Hazards", The Radio and Electronic Engineers, Vol. 51, No. 4, pp. 151-169, April 1981
- [26] A. J. Maddocks, and G. A. Jackson, "Measurements of Radio Frequency Voltage and Power Induced in Structures on the St Fergus Gas Terminals", The Radio and Electronic Engineers, Vol. 51, No. 4, pp. 187-194, April 1981
- [27] S. S. J. Rovertson, and R. J. Loveland, "Radio-Frequency Ignition

Hazards: A Review", IEE Proc., Vol. 128, Pt. A, No. 9, pp. 607-614, Dec. 1981

- [28] D. P. Howson, P. S. Excell and G. H. Butcher, "Ignition of Flammable Gas/Air Mixtures by Sparks from 2 MHz and 9 MHz Sources", The Radio and Electronic Engineers, Vol. 51, No. 4, pp. 170-174, April 1981
- [29] J. L. J. Rosenfeld, D. C. Strachan, P. S. Tromans and P. A. Searson, "Experiments on the Incendivity of Radio-Frequency, Breakflash Discharges (1.8-21 MHz c.w.), The Radio and Electronic Engineers, Vol. 51, No. 4, pp. 175-186, April 1981
- [30] D. W. Widginton, "Ignition Threshold Parameters for Pulsed Microwave Sources", Health and Safety Executive, UK Research and Laboratory Services Division, pp. 139-143, 1982.
- [31] A. J. Maddocks and A. L. Bartels, "Ignition at Radio Frequencies Using Simple Tuned and Equivalent Circuits", IEEE, conf. pub. Vol. 218, pp. 144-149, 1982.
- [32] P. S. Excell, "Measurements of Minimum Ignition Energy Using a 9.4GHz Pulsed Radar Source", IEE conf. pub. Vol. 218, pp. 134-139, 1982.
- [33] Y. Kasashima, "Prevention of Electric Shock in a Large Crane near a Radio Broadcasting Antenna", IEEE International Symposium on Electromagnetic, pp. 359-363, 1982.
- [34] Edwin L. Bronaugh, "Hazards to Flammable Atmospheres and to

Electroexplosive Devices Due to R.F. Radiation: Recent British Experience and the New Draft British Standards", IEEE Electromagnetic Compatibility Soc. Newsletter, No. 123, pp. 5-6, Fall 1984

[35] Peter S. Excell, "Radio Frequency Ignition Hazards", Hazards Prevention, Vol. 120, pp. 4-11, May/June 1984

[36] P. Knight and J. A. W. Robson, "Empirical Formula for Groundwave Field-Strength Calculation", Electronics Letters, Vol. 20, No. 18, pp. 740-742, 30th August 1984

[37] P. S. Execell and A. J. Maddocks, "Gain, Effective Aperture and Efficiency of Industrial Structures Acting as Electrically-Small Loop" IERE conf. Pub. No. 60, 'Electromagnetic Compatibility', pp. 113-117, Sept. 1984

[38] P. S. Execel, "Ignition of Flammable Gas Mixtures X-Band Microwave Discharges" IEE Proceedings, Vol. 131, No. 2, pp. 103-110, March 1984

[39] P. S. Exell, "Radio Frequency Hazards in the Oil and Gas Industries", Proceedings of the Technical Program of 'Electronics in Oil and Gas 85', London, pp. 258-265, 1985.

[40] R. A. James, P. S. Excell and A. Z. Keller, "Probabilistic Factors in Radio Frequency Ignition and Detonation Hazards Analyses" 9th Advances in Reliability Technology Symposium, pp. c1/2/1- c1/2/11, 1986.

[41] R. A. James, P. S. Excell and A. Z. Keller, "Evaluation of Probabilistic

- Factors in Radio Frequency Ignition and Detonation Hazards", Electromagnetic Compatibility 5th Int'l conf. (pub, No.71), pp. 71-79, Oct. 1986
- [42] L. M. Oriolo, S. B. Diaz, B. Alvarez-Ovide and V. Padula-Pintos, "Possible Risks Caused by an Accidental Antenna", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-29, No. 2, pp. 191-194, May 1987
- [43] R. A. James, P. S. Excell and A. Z. Keller, "Probabilistic Factors in Radio-Frequency Ignition and Detonation Hazards Analyses", Reliability Engineering 17 (1987) 139-153, pp. 139-153, 1987
- [44] W. David "Fiber Optic Switch Fir Electric Drive System Applications", Electrical Manufacturing, Vol. 2, No. 6, pp. 23-25, Nov. 1988
- [45] G. Tortoisshell, "The Safety of Optical Systems in Flammable Atmospheres", Forth International Conference on Electrical Safety in Hazardous Areas, (No.296), Vol. vii+188, pp. 86-93, 1988.
- [46] F. B. Carleton and F. J. Weinberg, "Radiative Ignition by Loose Agglomerates of Fine Fibres", SPIE Vol. 1314, Fibre Optics '90, pp. 299-307, 1990.
- [47] J. S. Peterson, "Aa Investigation of the Ignition Hazards Association with Various Materials in the Breakflash Appatatus", Conference Record of The 1991 IEEE, Vol. 2, pp. 1254-1263, 1991.

- [48] A. J. Maddocks, "The Ignition of Flammable Atmospheres by Radio Frequency Initiated Sparks", ERA Technology Limited Cleeve Road Leatherhead Surrey KT22 7SA England, pp. 129-139, 1992.
- [49] "The Safe Use of Radio Transmitters on Road Tankers and Other Vehicles", IEE Colloquium on Operation of Radio Trasmmitter in Proximity to Flammable Atmospheres (Digest No. 054), Vol. 36, pp. 4/1-4/7, 1993.
- [50] P. S. Excell, "Problems in Design of Ignition Test Cells for Use With Pulsed Radar Sources", IEE Colloquium on Operation of Radio Transmitter in Proximity to Flammable Atmospheres (digest No. 054) P: 36, ref. 11, pp. 5/1-5/4, 1993
- [51] "Radio Frequency Induce Ignition Hazards the Current Relevant Standards and the Legal Position", IEE Colloquium on operation of radio Transmitter in proximity to Flammable Atmospheres (Digest No. 054), pp. 1/1-1/5, 1993
- [52] S. K. Scott and J. D. B. Smith, "Modelling of Ignition of Flammable Atmospheres by Radiation-Heated Fibrous Agglomerates", The Royal Society, pp. 199-216, 1995.
- [53] M. M. Atalla, "Arcing of Electrical Contacts in Telephone Switching Circuits", The Bell System Technical Journal, pp. 1493-1506, Nov. 1993.
- [54] W. D. Greason, Z. Kucеровsky, M. W. Flatley and S. Bulash, "Noninvasive Measurement of Electrostatic-Discharge-Induced Phenomena

in Electronic Systems", IEE Transactions on Industry Applications, Vol.
34, No. 3, May/June 1998

부록

개발품의 상세 도면

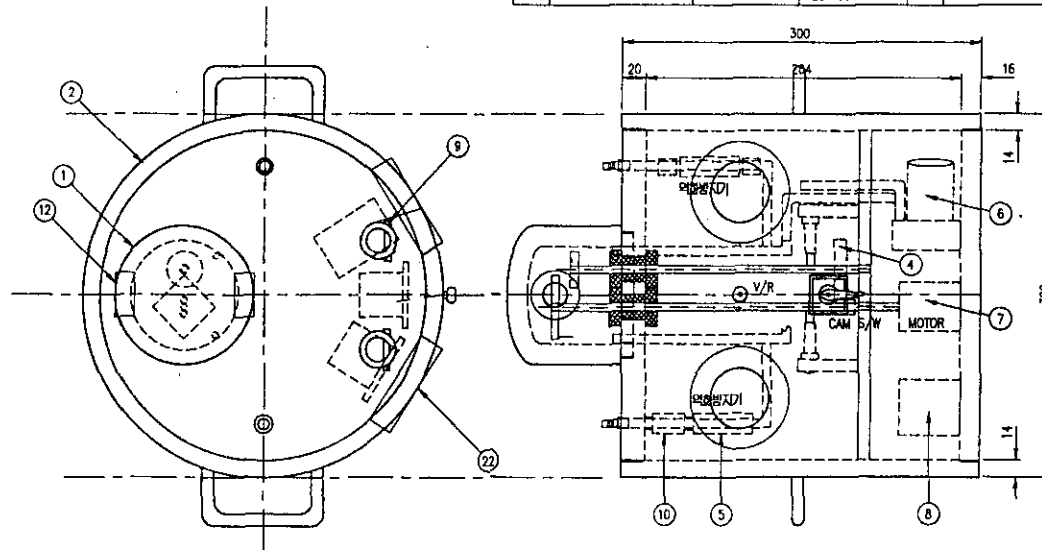
1. 불꽃점화 실험장치 #1

여 백

목 차

NO	DISK NO	도 면 NO	도 면 내 용
1	ASIA2000	ASIA2000	불꽃점화 실험장치 조립도
2	ASIA2001	ASIA2000-1	COVER 평면도 및 GAS 배관도
3	ASIA2002	ASIA2000-2	GAS 입구 및 출구 BRACKET
4	ASIA2003	ASIA2001	불꽃점화장치 시험조
5	ASIA2004	ASIA2001-1	시험조 관망창 FRAME
6	ASIA2005	ASIA2002	BODY FRAME
7	ASIA2006	ASIA2002-1	METER 관망창 FRAME .1
8	ASIA2007	ASIA2002-2	METER 관망창 FRAME .2
9	ASIA2008	ASIA2002-3	VOLUME HOLDER 및 CAM S/W HOLDER
10	ASIA2009	ASIA2002-4	상판뚜껑 및 하판뚜껑
11	ASIA2010	ASIA2003	전극의 조립도 & 전극의 모양 및 크기
12	ASIA2011	ASIA2004	회전축 지지대 및 GEAR BOX
13	ASIA2012	ASIA2005	CONTROL DIAGRAM
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

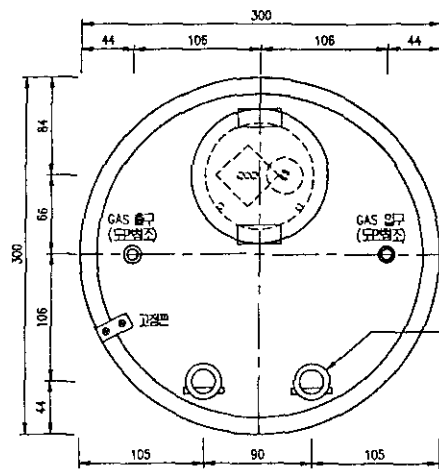
순번	품명	소재	규격	수량	비고
1	불꽃차단장치 시멘트	두랄루민	#120x105L	1	
2	BODY FRAME	두랄루민	#300x300L	1	
12	시멘트 관입형	강화유리	#20x8H	2	
22	METER 관입형	강화유리	#50x10H	3	
4	GEAR BOX	STEEL+강화재 (PE)	12:50	1	
5	외압방수기	BRASS	0.1A 12V 1A	2	한국전력 : 96-101-01
6	VACUUM PUMP		DC 12V 1A	1	
7	DC GEARED MOTOR		DC 12V 7500RPM	1	GEAR RATIO 1:48
8	BATTERY		12V 1.2AH	2	NEWMAX
9	PACKING CABLE GLAND	BRASS	#10	2	한국전력 : 97-1444-01
10	FLAME ARRESTER		#26x16H	1	



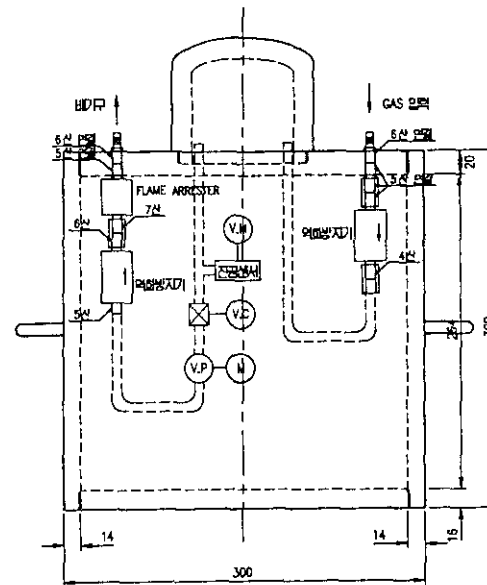
DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	UNIT		불꽃차단 시스템 설치 조립도
이정하				SCALE	N S	FOR 산업안전연구원
				DATE	1998.07	DWG. NO. ASIA 2000



(株) 亞細亞重電機
Asia Electrical Engineering Co., Ltd.

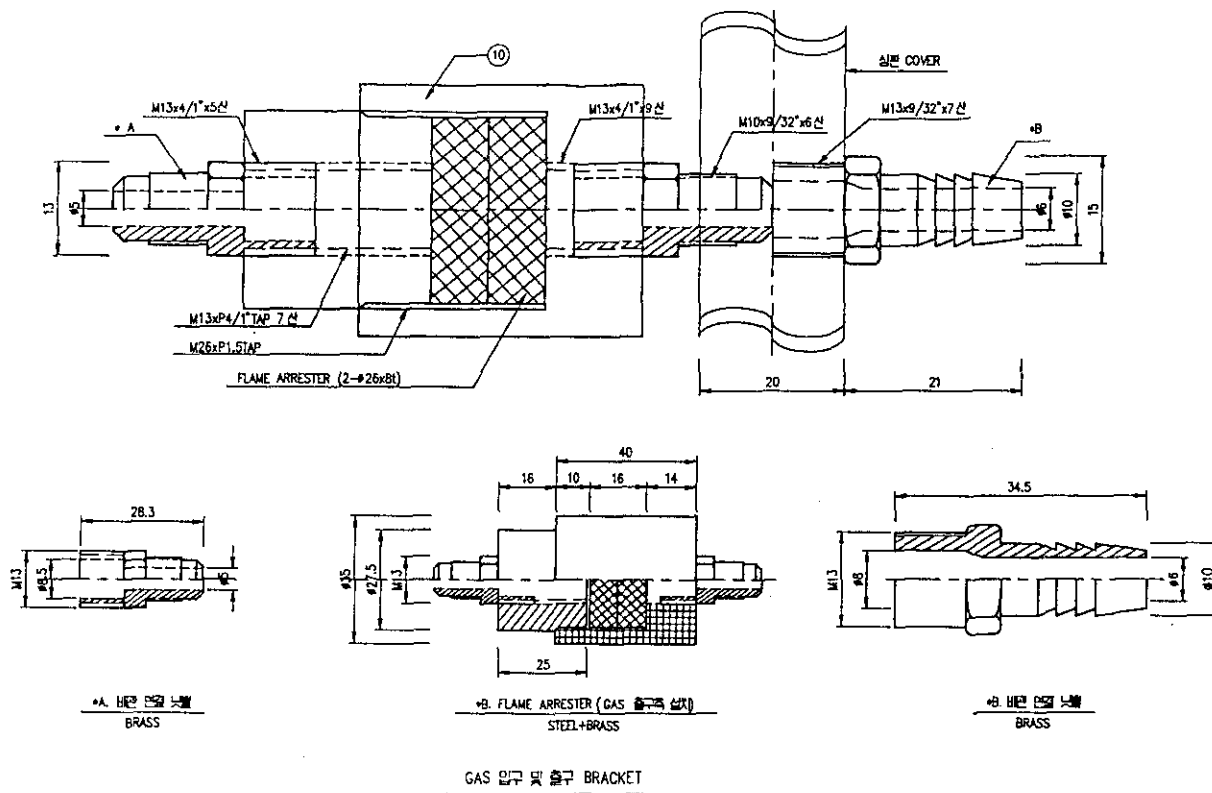


COVER 플레이트



GAS 실린더

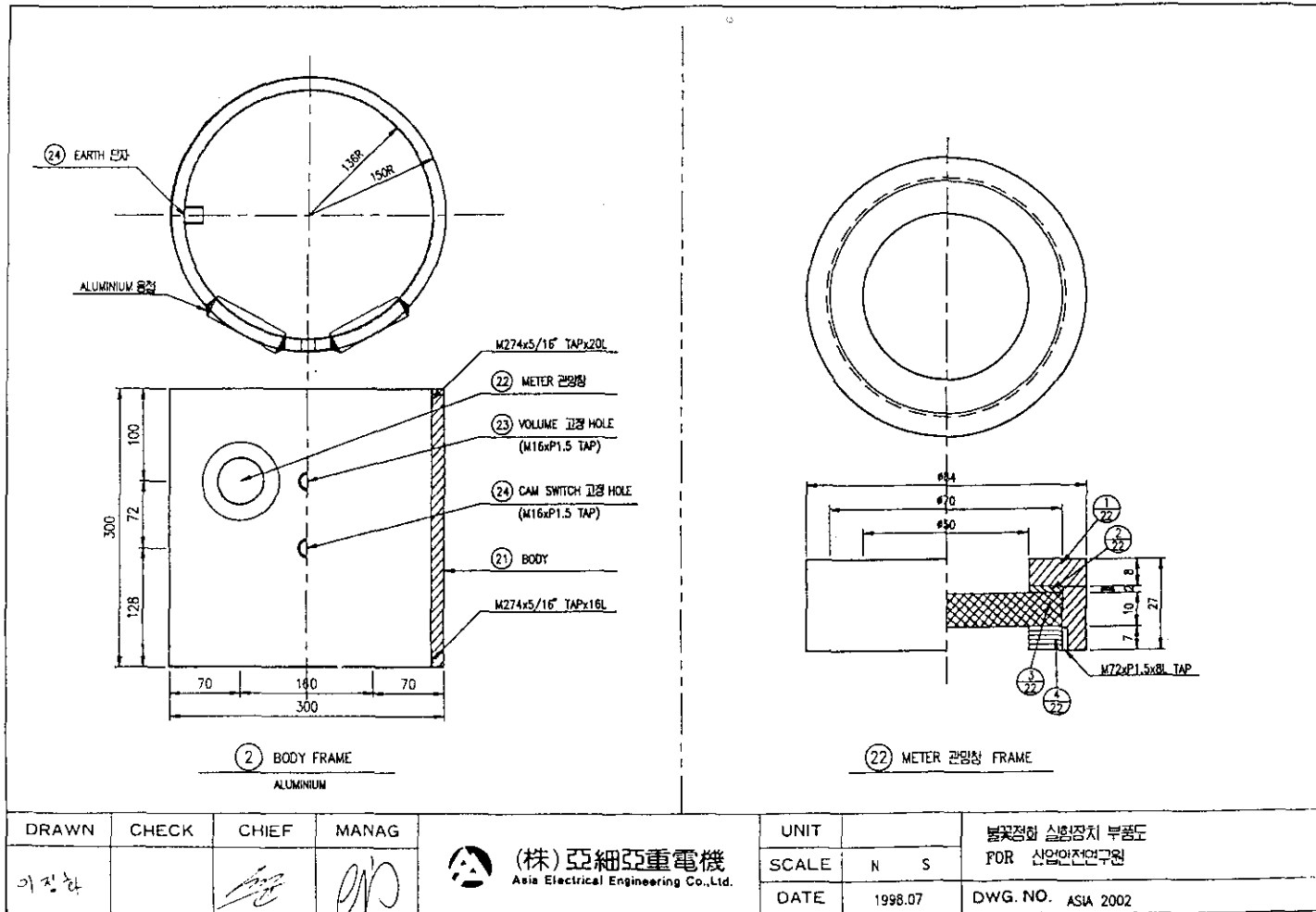
DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT		불꽃점화 실험장치 부품 및 배관도 FOR 산업안전연구원
이정하					SCALE	N S	
					DATE	1998.07	DWG. NO. ASIA 2000-1

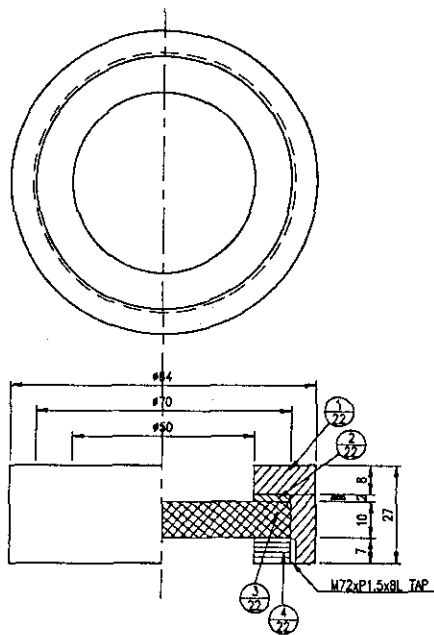


DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT	불꽃점화 실험장치 부품도	
이정하					SCALE	N S FOR 산업안전연구원	
					DATE	1998.07	
					DWG. NO. ASIA 2000-2		

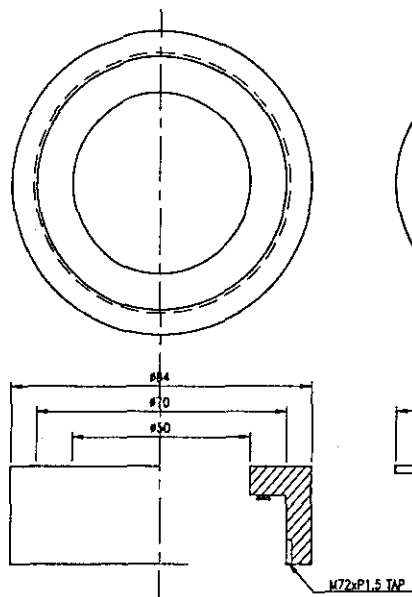
④ 12 LOCK NUT
ALUMINIUM

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株)亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT		불꽃정화 실험장치 부품도 FOR 신업안전연구원
이정화					SCALE	N S	
					DATE	1998.07	

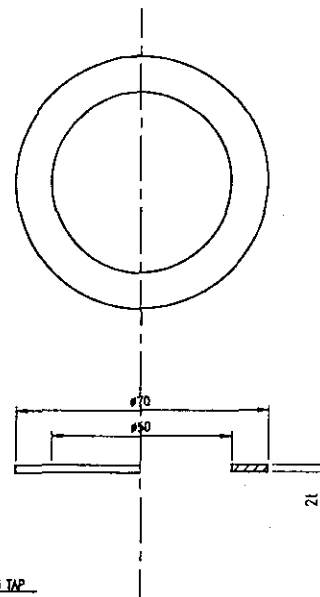




②② METER 관망창 FRAME

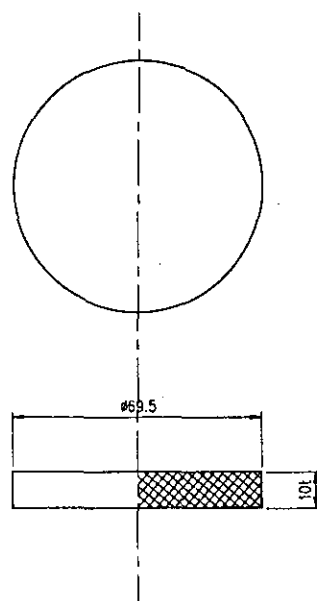


① 23 시료조 관망창 FRAME
ALUMINUM

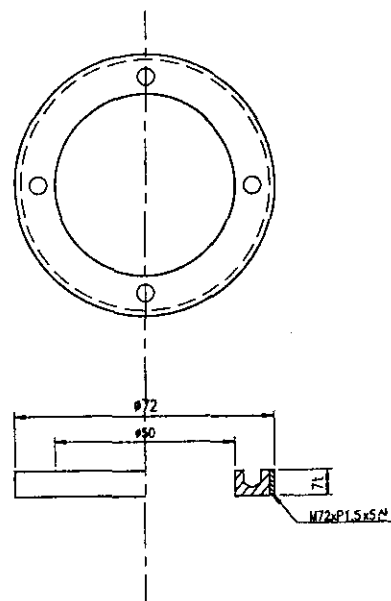


②④ PACKING
SILICONE PLATE

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株)亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co.,Ltd.	UNIT		불꽃점화 실험용치 부품도 FOR 산업안전연구원
이정학					SCALE	N S	
					DATE	1998.07	

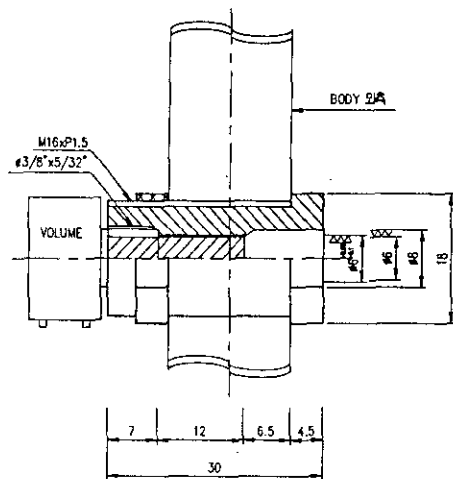


3 강화유리

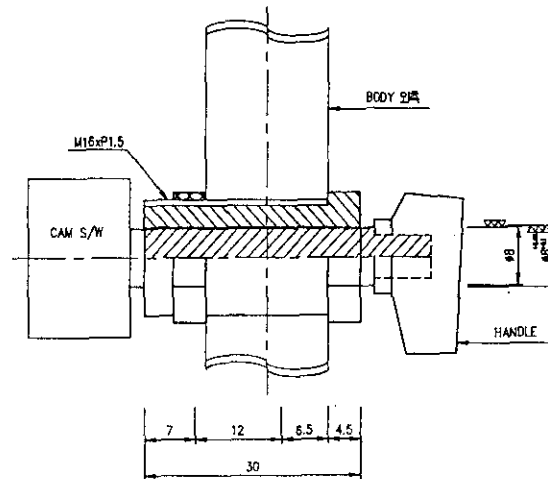


4 LOCK NUT
ALUMINUM

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT		불꽃점화 실험장치 부품도 FOR 산업안전연구원 DWG. NO. ASIA 2002-2
이정하					SCALE	N S	
					DATE	1998.07	

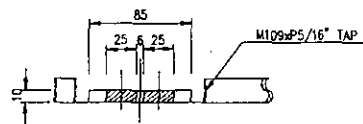
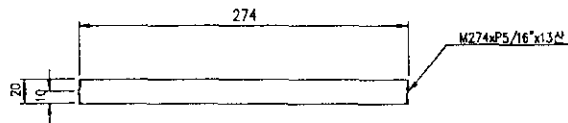
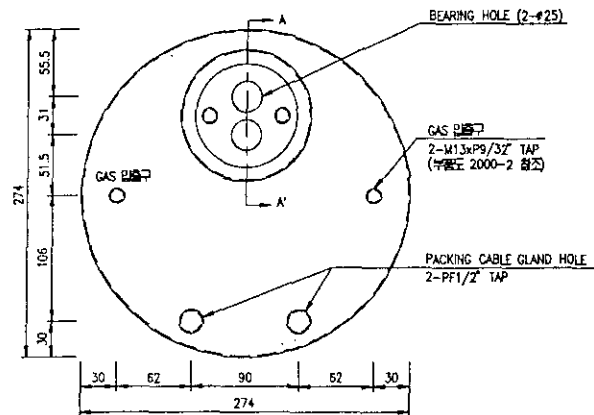


②③ VOLUME HOLDER



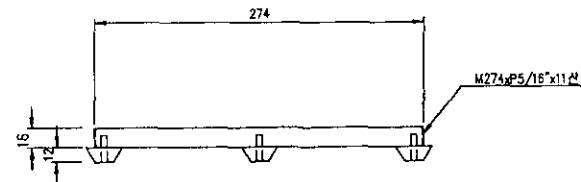
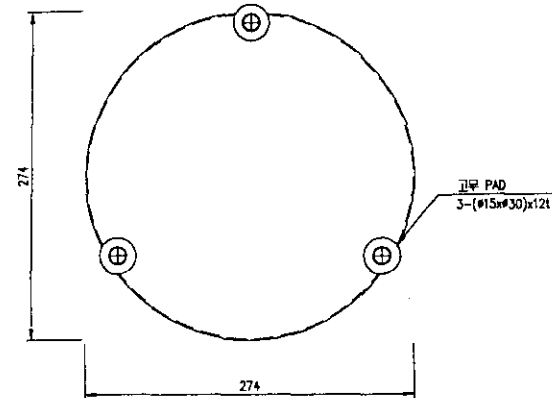
②④ CAM SWITCH HOLDER

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT		불꽃점화 실험장치 부품도 FOR 산업안전연구원 DWG. NO. ASIA 2002-3
이길환					SCALE	N S	
					DATE	1998.07	



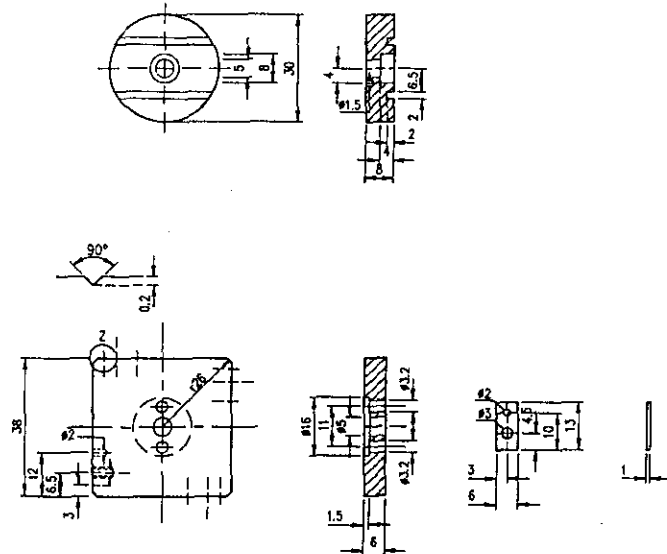
A-A' SECTION DRAWING

상판 두께
ALUMINIUM



하판 두께
ALUMINIUM

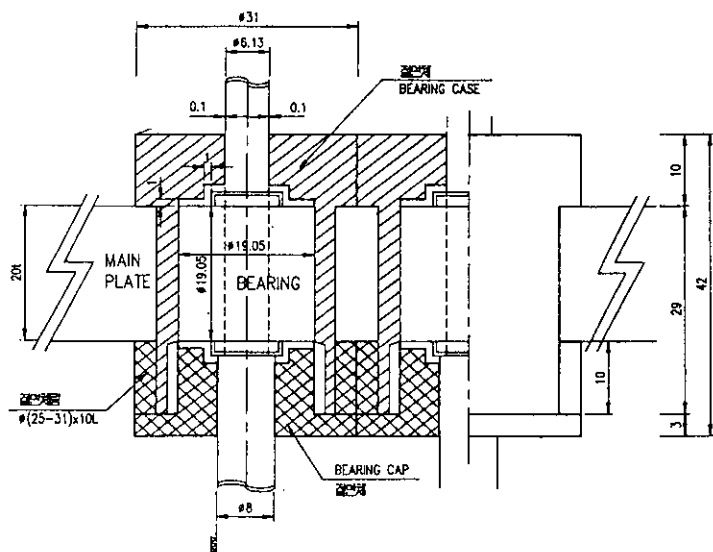
DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株)亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co.,Ltd.	UNIT	불꽃점화 실험장치 부품도		
이정환					SCALE	N	S	FOR 산업안전연구원
					DATE	1998.07	DWG. NO. ASIA 2002-4	



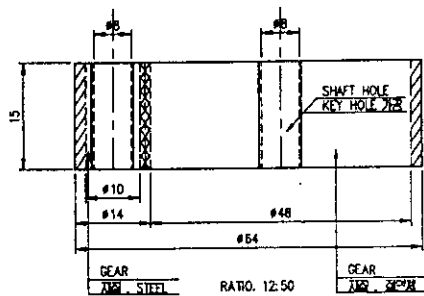
전북의 조립도

전원모임 및 3기

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株)亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT		불꽃점화 실험장치 부품도
이정하					SCALE	N : S	PDR 산업안전연구원
					DATE	1998.07	DWG. NO-ASIA 2003

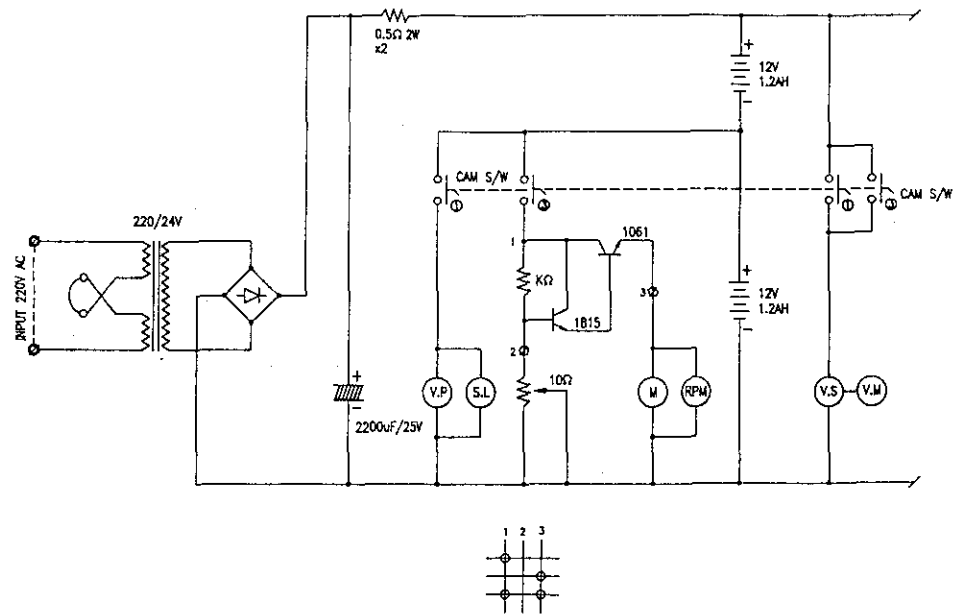


회전축 지지대



④ GEAR BOX

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT		불꽃점화 실험장치 부품도 FOR 산업안전연구원
이정하					SCALE	N S	
					DATE	1998.07	DWG. NO. ASIA 2004



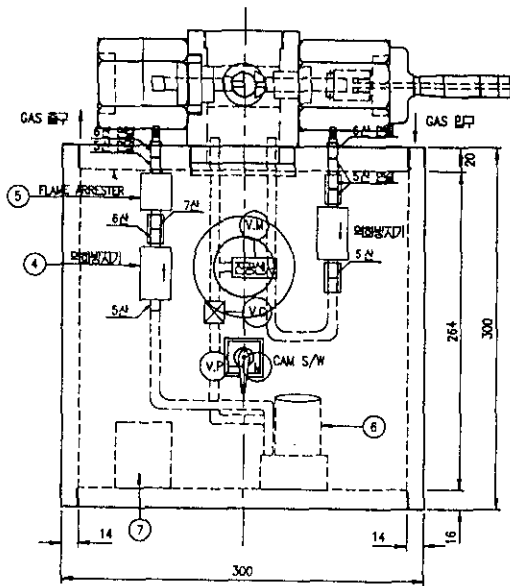
DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT	불꽃점화 실험장치 CONTROL DIAGRAM FOR 산업안전연구원	
					SCALE	N	S
					DATE	1998.07	DWG. NO. ASIA 2005

2. 불꽃점화 실험장치 #2

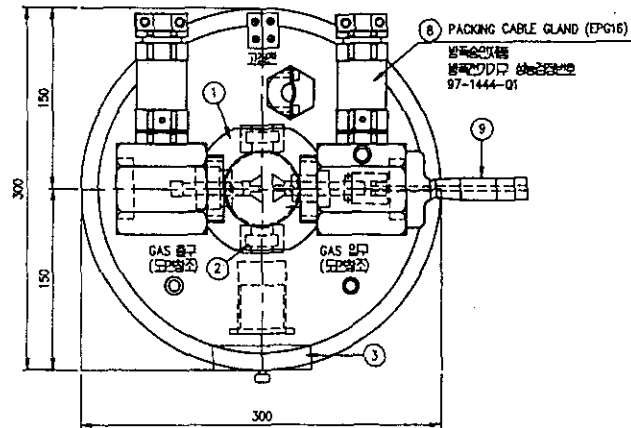
여 백

--- 목 차 ---

순번	DISK 번호	도면번호	도면내용	비고
1	ASIA 2013	ASIA 2010	불꽃점화 실험장치 조립도	
2	ASIA 2014	ASIA 2011	불꽃점화 시험조	
3	ASIA 2015	ASIA 2011-1	불꽃점화 시험조몸통 및 전극몸통	
4	ASIA 2016	ASIA 2011-2	고정전극 ASS'Y	
5	ASIA 2017	ASIA 2011-3	이동전극 ASS'Y	
6	ASIA 2018	ASIA 2011-4	각종 전극의 모양	
7	ASIA 2019	ASIA 2012	시험조 관망창 및 METER 관망창	
8	ASIA 2020	ASIA 2013	GAS 입구 및 출구 BRACKET	
9	ASIA 2021	ASIA 2014	상판 뚜껑 및 하판 뚜껑	
10	ASIA 2022	ASIA 2015	BODY FRAME 및 CAM SWITCH HOLDER	
11	ASIA 2023	ASIA 2016	PACKING CABLE GLAND	
12	ASIA 2024	ASIA 2017	불꽃점화실험장치 CONTROL DIAGRAM	



정면도



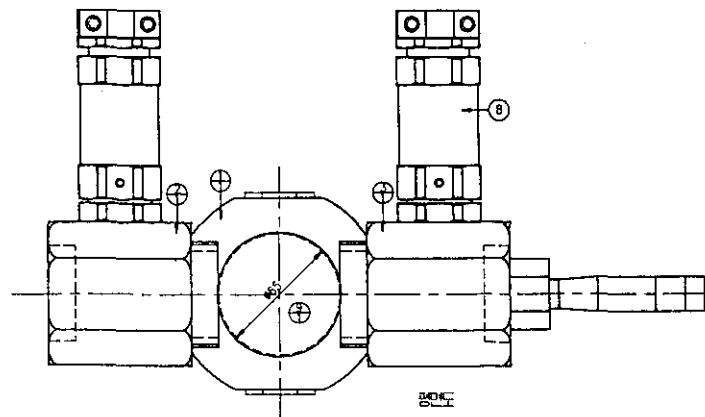
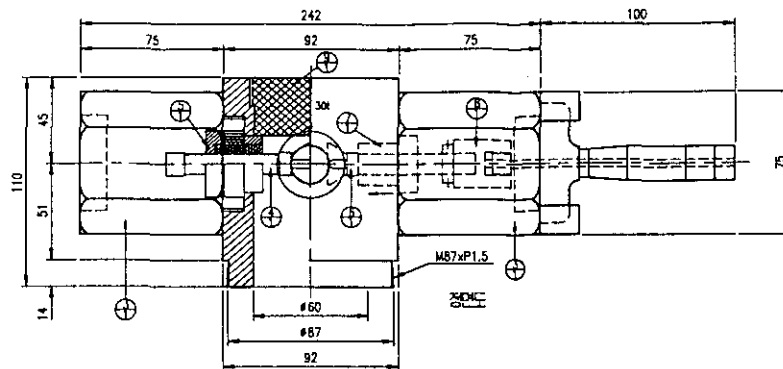
평면도

번호	품명	재질	규격	수량	비고
1	불꽃점화장치 시동기	BRASS	92x110L	1	
2	시동기 연결관	강철유리	#20x81	2	
3	METER 연결관	강철유리	#50x101	1	
4	미량분사기	BRASS	이내관 분사용	2	입력, 출력
5	FLAME ARRESTER			1	
6	VACUUM PUMP		AC 220V 0.5A	1	
7	BATTERY		12V 1.2AH	2	NEWMAX
8	PACKING CABLE GLAND	BRASS	#10	3	
9	MICROMETER			1	DMC60-25

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	UNIT	SCALE	DATE	비고
이정라					N S	1998.09	불꽃점화 실험장치 조립도 FOR 시범마스터연구원 DWG. NO. ASIA 2010



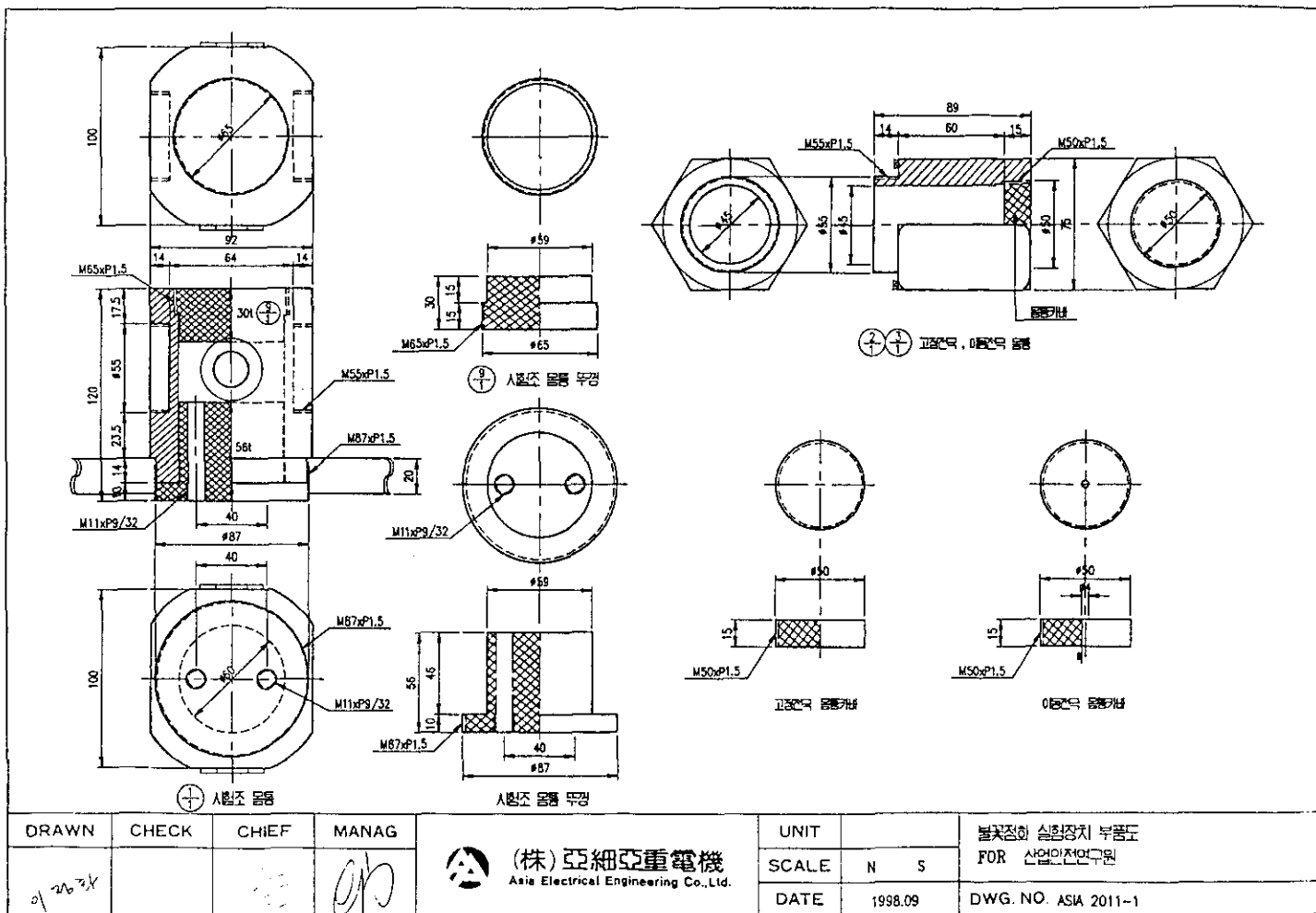
(株) 亞細亞重電機
Asia Electrical Engineering Co., Ltd.

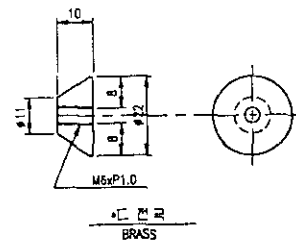
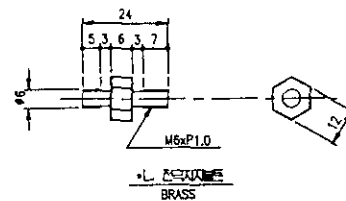
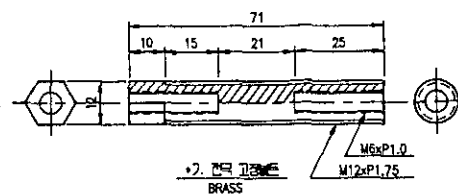
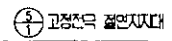
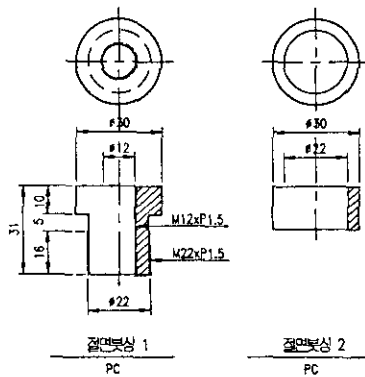
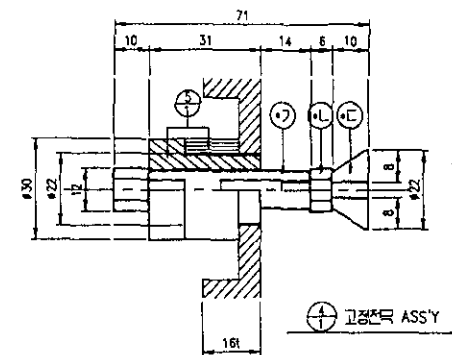


① 불꽃점화 인입장

순번	품명	소재
①	인입장 본체	BRASS
②	고정너트 본체	BRASS
③	이동너트 본체	BRASS
④	고정너트 ASSY	BRASS
⑤	고정너트 클램프	PC
⑥	이동너트 ASSY	BRASS
⑦	이동너트 클램프	PC + BRASS
⑧	클램프 커브링	PC
⑨	인입장 고정 부품	BRASS
⑩	PACKING CABLE GLAND	BRASS

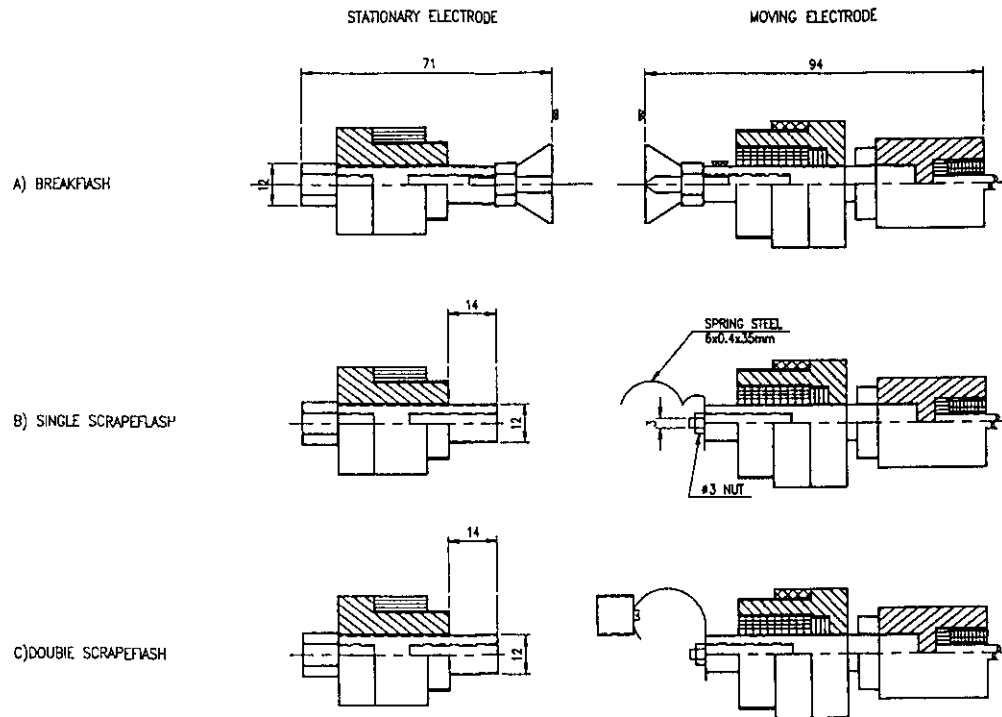
DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株)亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT	불꽃점화 실용장치 부품도		
이정환		이정환	이정환		SCALE	N	S	FOR 산업안전연구원
					DATE	1998.09	DWG. NO. ASIA 2011	





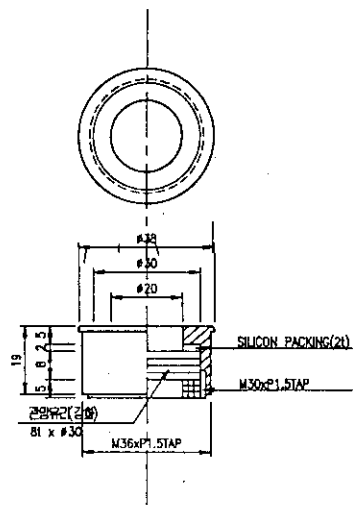
DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT			불꽃점화 실험장치 부품도 FOR 산업안전연구원
이정현					SCALE	N	S	
					DATE	1998.09		
						DWG. NO. ASIA 2011-2		

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT			불꽃점화 실험장치 부품도 FOR 산업안전연구원
					SCALE	N	S	
					DATE	1998.09		

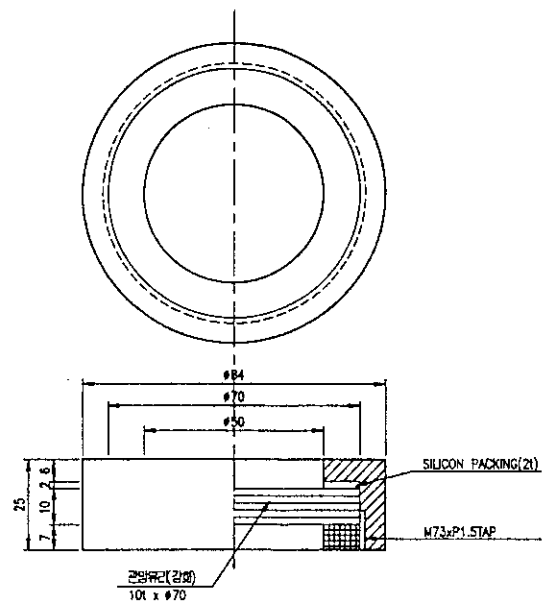


각종 전극의 모양

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT		불꽃정화 실험장치 부품도 FOR 산업안전연구원
01/26/98			SCALE		M	S	
			DATE		1998.09	DWG. NO. ASIA 2011-4	

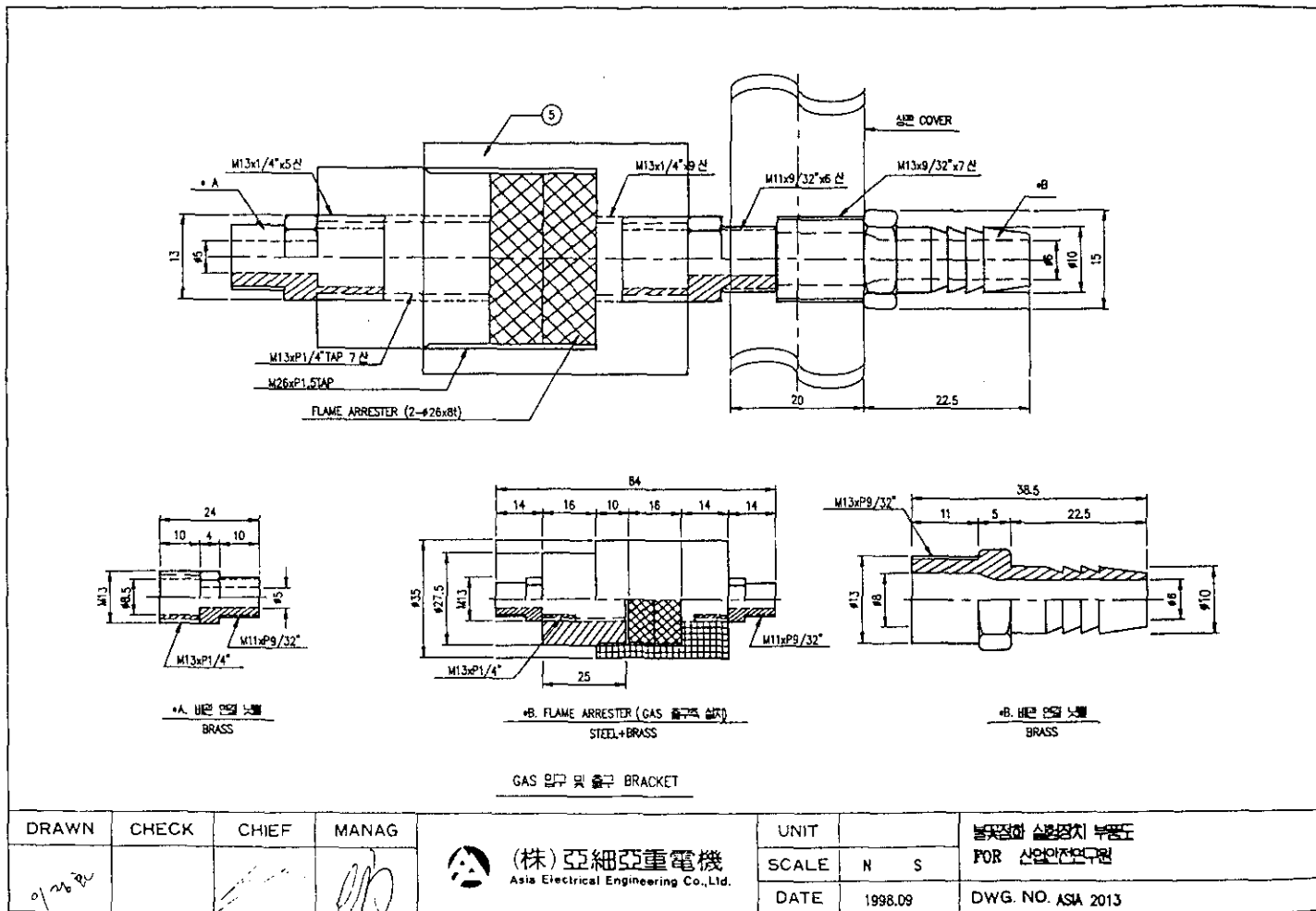


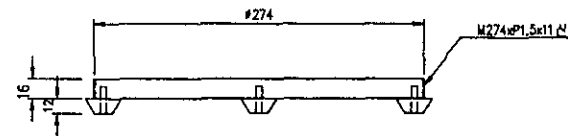
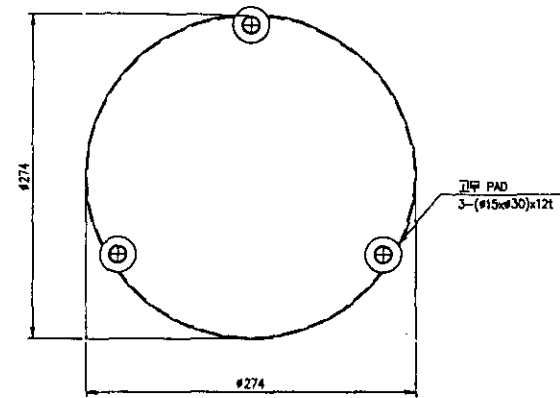
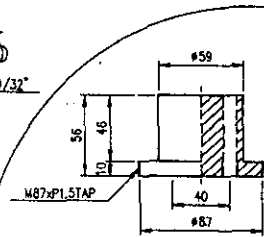
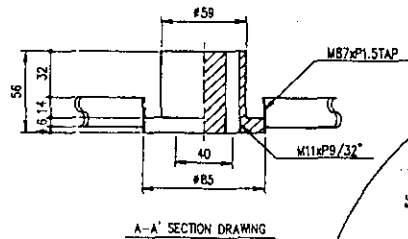
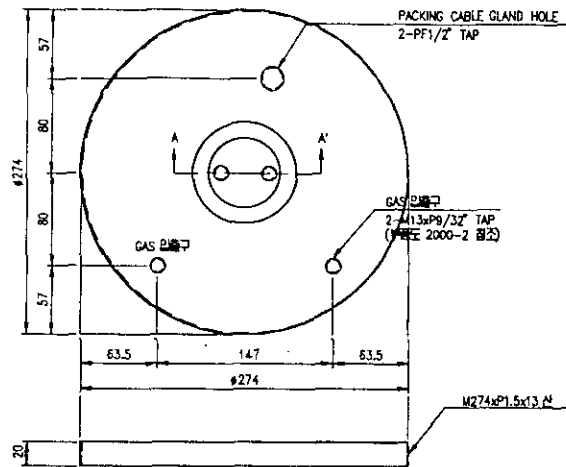
② 소형 관입창



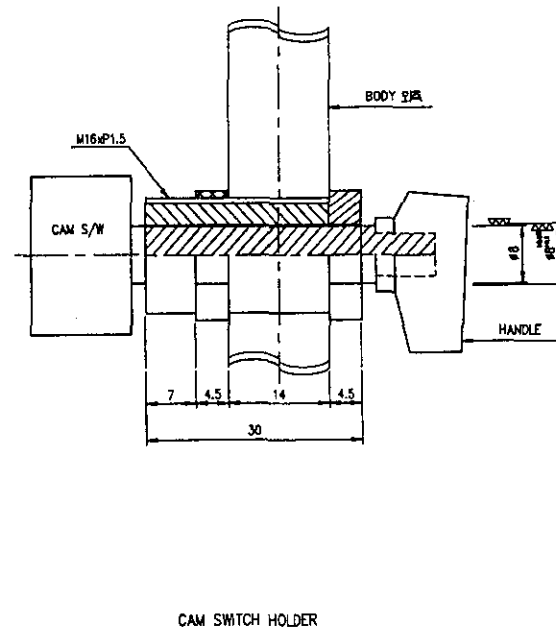
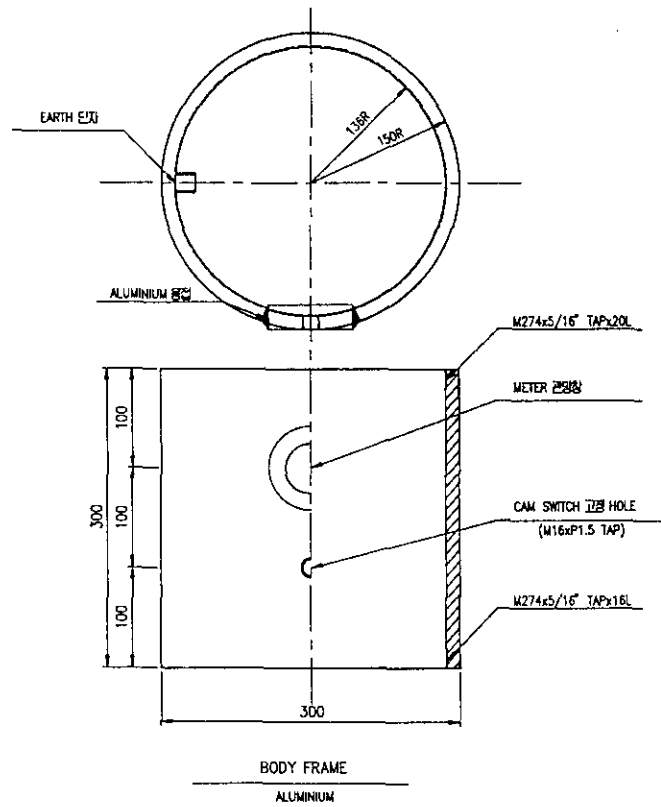
③ METER 관입창

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT	불꽃경화 실용용치 부품도 FOR 산업안전연구원 DWG. NO. ASIA 2012
<i>g. 2012</i>		<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>		SCALE	
					DATE	
					1998.09	

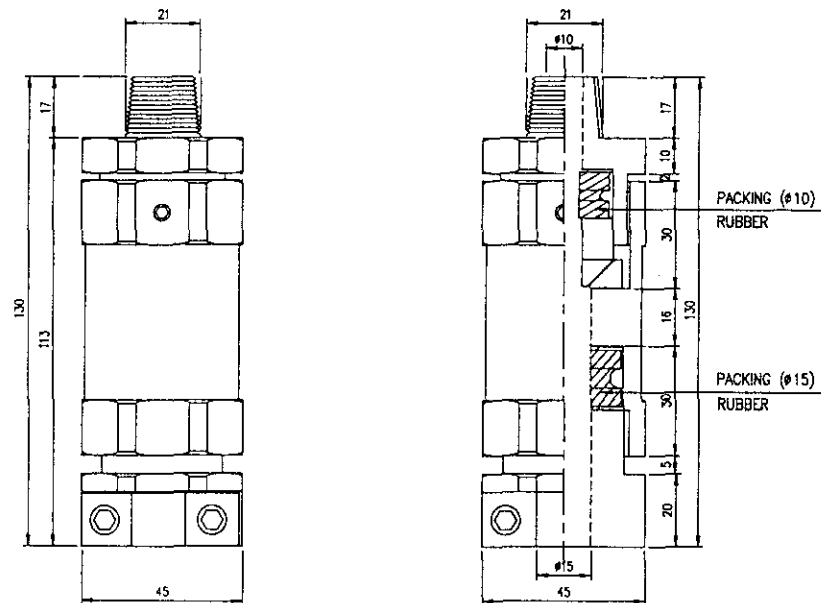




DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT	불꽃점화 실험장치 부품도 FOR 산업안전연구원	
9/20/20					SCALE	N	S
					DATE	1998.09	DWG. NO. ASIA 2014



DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株) 亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT	불꽃점화 실험장치 부품도 FOR 산업안전연구원 DWG. NO. ASA 2015
o/w					SCALE	
					DATE	



⑧ PACKING CABLE GLAND
BRASS

• 97-1444-01 상용감압품

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株)亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co.,Ltd.	UNIT	불꽃점화 습윤장치 조립도 FOR 산업안전연구원	
이정호					SCALE	N	S
					DATE	1998.09	DWG. NO. ASIA 2016

DRAWN	CHECK	CHIEF	MANAG	 (株)亞細亞重電機 Asia Electrical Engineering Co., Ltd.	UNIT		불꽃점화 시스템장치 CONTROL DIAGRAM FOR 산업안전구역
이정하					SCALE	N S	
					DATE	1998.09	

방폭지역에서의 불꽃점화시험을 위한 장치의 개발

(안전분야-연구자료 연구원 99-25-95)

발 행 일 : 1999. 4.

발 행 인 : 산업안전보건연구원 정 호 근

연구책임자 : 선임연구원 최 상 원

발 행 처 : 한국산업안전공단
산업안전보건연구원
안전공학연구실

주소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-4

TEL : (032) 5100-838

FAX : (032) 518-0867

<비매품>