

## 본질안전방폭용 BARRIER에 관한 연구

오진석†

(원고접수일 : 2004년 6월 30일, 심사완료일 : 2004년 7월 19일)

### A Study on the Barrier of Intrinsic Safety Type

Jin-Seok Oh†

**Abstract** : Intrinsic safety is generally considered the safest method of operating electrical instrumentation in potentially explosive atmospheres. The method of intrinsic safety limits the energy passing into the hazardous area. The energy limitation is provided by the use of safety barriers which are mounted in the safe area. Because of the energy limitation, regardless of the fault in the hazardous area, sufficient energy cannot be released to ignite the explosive atmosphere. The following industries are known to have hazardous locations: chemical, munitions, petrochemical, auto(paint spray booths), grain, waste water, printing, distillers, pharmaceutical, breweries, cosmetics, and utilities. In this paper, a isolator type barrier for ship(LNG, LPG, etc.) and test equipment confidence are proposed. The test equipments are designed for mechanical · electrical life time test and vibration. All of test results satisfy the goal and the studied barrier shows the improved confidence.

**Key words** : Barrier(베리어), Intrinsic Safety type(본질안전방폭구조), Improvement in Confidence(신뢰성향상), Explosive Gas(폭발 가스)

#### 1. 서론

선박이 자동화되면서 다양한 자동화시스템이 연구 개발 운용되고 있다. 첨단 기술에 의한 자동화는 선박 및 산업현장의 위험한 분야에 안전을 확보하기 위해 활용되고 있다. 베리어는 가스 등의 인화물이 있는 곳에서 전기적인 스위칭 작용에 따른 스파크로 인해 폭발이 발생할 경우 이를 방지하기 위해 사용하는 것으로 산업분야 및 선박에

대단히 중요한 것이다. 위험물을 취급하는 선박 1척 당 사용되는 베리어 수량은 수십 개에서 수백 개에 달한다. 그리고 석유화학, 가스, 폐기물 분야 등 베리어를 활용한 시스템은 매우 많다. 선박 및 산업 현장의 위험한 곳에 사용되는 기기가 안전하게 동작하기 위해서는 스파크를 억제해야만하고, LNG 및 LPG 선박 등과 같은 위험물 취급선박에 필요한 폭발방지시스템용으로 활용이 가능하도록 베리어의 성능을 향상시켜야 한다. 위험 지역에

† 책임저자(한국해양대학교 선박전자기계공학부), E-mail : ojs@hhu.ac.kr, T : 051)410-4283

설치되는 만큼 무엇보다 신뢰성을 확보해야만 한다. 선박의 특수 상황에 맞게 기계적·전기적 수명을 보장할 수 있어야 하고, 진동에 대한 내구성과 신뢰성을 갖추어야 한다. 따라서 본 연구에서는 선박의 폭발을 방지할 수 있는 베리어와 이의 신뢰성 실험을 위한 신뢰성 실험 장비를 연구하고자 한다.

## 2. 베리어

### 2.1 본질안전방폭구조(Intrinsic Safety Type; i)

가스, 증기 등의 폭발성 혼합기체가 존재하고 있는 위험장소에 전기기기를 설치하더라도 이것이 점화원이 되어 화재 및 폭발 등의 사고가 발생하지 않도록 전기기기에 방폭성을 갖기 위한 구조가 필요하다. 여러 방폭구조 중에 베리어를 쓰는 방폭구조는 Exi(본질안전방폭)구조이다.

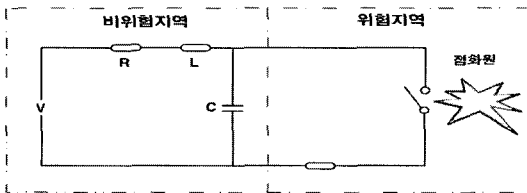


Fig. 1 Configuration of intrinsic safety type

Fig. 1은 본질안전방폭구조를 나타낸다. 본질안전방폭구조란 정상시 및 사고시에 발생하는 전기불꽃, 아크 또는 고온에 의하여 폭발성 가스 또는 증기에 점화되지 않는 것이 점화시험 등에 의하여 확인된 구조를 말한다.

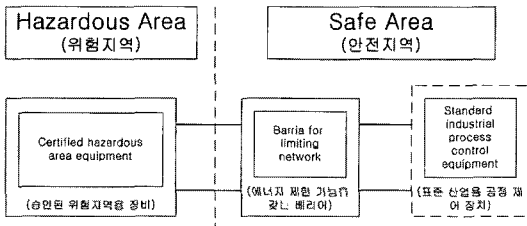


Fig. 2 Block diagram of intrinsic safety type

Fig. 2는 본질안전방폭의 계통도이다. 폭발이 예

상되는 환경에서 점화를 야기시키는 정상 또는 비정상 상태 하에서 전기적 에너지나 열적 효과를 제한함으로써 폭발을 막을 수 있는 방폭구조이다. 즉 베리어가 없이는 본질안전 방폭을 달성할 수 없다.

최근, 본질안전개념 도입을 많이 하는 이유는 기본적인 구조가 변경되어서가 아니고, 전자기술의 발달로 성능이 향상되고 가격이 저렴해졌기 때문이다. 또한 무한경쟁시대에 접어들면서 유지·보수행위를 위하여 플랜트를 셧다운(shutdown)하면 경쟁사에 밀리는 것이 현실이므로, 공장이 살아있는 상태에서 유지·보수를 할 수 있는 본질안전방폭이 경제성과 실용성 측면에서 유리하다. 따라서 요즘의 추세는 본질안전으로 간다.

### 2.2 발화에너지

전기불꽃은 단시간에 집중적으로 에너지를 대상으로 부여함으로 에너지 밀도가 높은 착화원이다. 발화가 일어나기 위해서는 화학반응에 의한 발열과 주위로의 방열의 조화가 문제로 되며 가연물의 종류, 외부조건 등에 의해 정해지는 어느 정도 이상의 에너지가 필요하다. 그 에너지를 최소화에너지(MIE; Minimum Ignition Energy)라 하며 가연성 가스 및 공기와의 혼합가스에 착화원으로 점화시에 발화하기 위하여 필요한 최저 에너지이다. 매우 압력이 낮아서 어느 정도 착화원에 의해 점화하여도 점화할 수 없는 한계가 있는데 이를 최소화압력이라 한다. 이를 측정하는 방법으로는 구형용기에 가연성가스를 넣고 공기 중심에 콘덴서로서 불꽃방전을 일으켜 데이터를 측정한다. 관계식은 다음과 같다.

$$MIE = \frac{1}{2} CV^2 \tag{1}$$

여기서, MIE는 최소화에너지 [J], C는 콘덴서 용량[F], V는 전압[V]이다.

MIE는 유속과 함께 증대하며 혼합기체의 유동의 영향은 같은 유속에서도 난류의 강도가 커지면 MIE는 증가한다.

$$H_C \approx d_C \lambda \frac{(T_f - T_u)}{S_u} \quad (2)$$

여기서,  $H_C$ 는 화염면 전체에서 얻어지는 에너지,  $d_C$ 는 소염거리,  $\lambda$ 는 화염 평균 전달율,  $T_f$ 는 화염 온도,  $T_u$ 는 미연가스온도,  $S_u$ 는 연소속도이다.

또 하나의 발화에너지로 폭발성가스와 공기의 혼합가스에 온도를 가할 경우 연소 또는 폭발을 일으킬 수 있는 최소의 회로전류를 최소 점화전류라 하고, 이는 폭발성가스의 종류에 따라 다르다. 많은 발화에너지 중 본 연구에서는 최소 점화전류에 해당하는 발화에너지를 차단시킴으로서 전기불꽃을 방지하여 위험지역의 전기기기를 안전하게 운전시키고자 한다.

### 2.3 베리어 종류

#### 가. 션트(shunt)다이오드 베리어

션트다이오드 베리어는 위험지역에서 계장 장비를 사용하기 위한 에너지(전압, 전류) 제한기술로, 이중 또는 삼중의 제너 다이오드를 사용하여 전압을 제한하고, 저항을 사용하여 전류를 제한하고, 퓨즈를 사용하여 제너 다이오드가 취급하기 힘든 비정상 전원을 차단하는 기능을 한다. 그러나 비정상적인 상태가 형성되었을 때 누전 전류가 안전지역에 위치한 접지 쪽으로 흐르며, 현장에서 다른 장비를 추가적으로 연결하기 쉽지 않고, Isolator 타입에 비해서 외란에 상대적으로 취약하다.

#### 나. 절연베리어

성능 향상과 가격을 낮출 수 있어 절연 타입의 사용이 증가하였다. 절연의 기본은 안전지역과 위험지역의 회로를 완충장치를 사용하여 근본적으로 분리시키는 방법이다. 전원은 트랜스포머를 통하여 전달되며, 신호전달은 포토커플러, 변압기, 또는 릴레이등을 통하여 이뤄진다. 회로를 완전히 분리시킬 수 있고, 접지를 잡지 않아도 되므로 접지를 하기가 상대적으로 어려운 원격사이트, 선박, 팡산 등에 사용할 수 있어 사용량이 지속적으로 증가추세에 있다. 가격이 비싸고 단점을 많이 가

지고 있음에도 불구하고 요즘은 무조건적으로 절연 방식을 채택하고 있다. 특히, 대형 펌프를 사용하여 선적, 하역을 하여야 하는 경우는 더더욱 필요하다. 왜냐하면 선박에서 흘러 다니는 전류는 음극적으로(Cathodically Protected) 보호되어있으며, 양극과 음극이 만나서 부식도 추진시키기 때문이다. 따라서 선박은 절연형을 사용하는 것이 유리하다. 따라서 본 연구에서는 절연형을 연구하고자 한다.

### 3. 실험 장치 및 방법

위험장소에 대한 분류는 Table 1과 같다. 본 연구는 "0"종 장소에 적용이 가능한 신뢰도를 갖춘 Barrier에 관련된 연구를 수행하였다.

Table 1 Classification of hazardous areas

국 가	지속적인 폭발 분위기	통상상태에서 간접적인 폭발 분위기	이상상태에서 폭발 분위기
한 국	0종 장소	1종 장소	2종 장소
일 본	0종 장소	1종 장소	2종 장소
IEC	Zone 0	Zone 1	Zone 2
독 일	Zone 0	Zone 1	Zone 2
영 국	Division 0	Division 1	Division 2
미 국	Division 1		Division 2

실험 장치는 크게 두가지로 나눌 수 있다. 하나는 신뢰성을 높인 베리어이고 다른 하나는 베리어의 신뢰성을 테스트할 수 있는 실험장치이다. 본 연구대상인 베리어는 선박에 적용되므로 무엇보다 열악한 운전조건에서 작동되게 된다. 따라서 전기·기계적 수명을 대해 신뢰성이 있어야 하고, 어느 정도의 진동에도 내구성을 가져야 한다.

#### 3.1 베리어 시스템

Fig. 3은 베리어 구성도이다. 그림에서 핵심기술 요구되는 부분은 폭발이 발생되지 않은 범위 내에서 동작이 가능하게 하는 저전류 및 저전압부와 전기적인 절연이 요구되는 절연부이다.

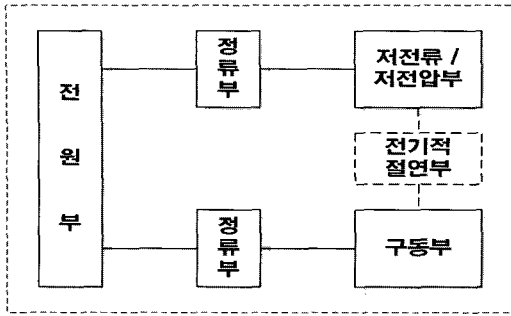


Fig. 3 Configuration of barrier

베리어 제작시 반드시 확보해야 하는 안전전류 범위는 12mA 이하를 만족해야 하고, 전압은 15V 이하를 만족해야 한다. 그리고 단자와 케이스 사이의 절연저항은 100MΩ 이상이고, 전기적 절연부의 절연저항도 100MΩ 이상이어야 한다. 이상의 조건을 만족하도록 베리어를 제작하는 것이 핵심요소기술이다. Fig. 3에 도시한 베리어가 신뢰도를 갖춘 부품이 되기 위해서는 성능개선 및 보안을 통해 신뢰성을 갖춘 새로운 베리어를 시험할 수 있는 실험장비가 갖추어져야 한다. 이를 위해 신뢰성 시험용 실험장치를 병행하여 연구하였다. 그리고 실험결과를 분석하여 신뢰성 향상을 위한 회로설계에 반영하였다.

3.2 기계·전기적 수명 실험장치

Fig. 4는 기계적 수명 실험장치의 제어 순서를 나타낸다. 마이크로프로세서로 릴레이 구동신호를 주고, 이 구동 신호에 의해 릴레이 접점 동작 횟수를 센다. CPU에서 내보낸 구동신호와 릴레이 접점상태로 인해 생성되는 신호를 비교하여 일치하면 무한루프를 수행하게 되고, 만약 같지 않으면 에러를 검출하고 실험을 멈춘다. 이때 릴레이 접점 상태를 카운팅 한 수를 하나씩 증가시켜 저장하고 LCD와 컴퓨터 모니터를 통해 확인할 수 있다. 이 숫자가 100만회 이상이면 이 베리어는 기계적 수명을 만족시켰으므로 신뢰성을 얻을 수 있는 것이다. 신뢰성을 위해서 연구 개발물인 베리어 5 세트를 실험 대상으로 한다.

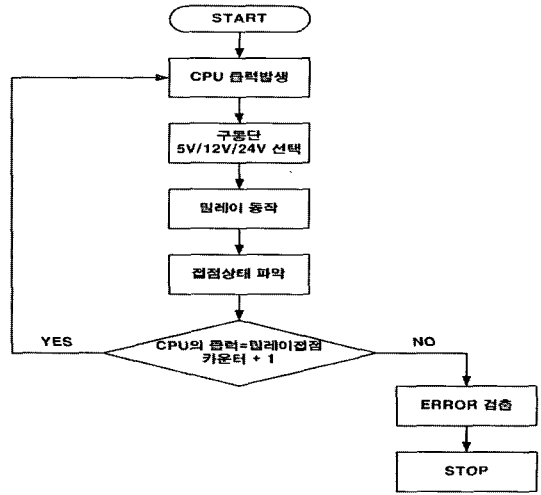


Fig. 4 Flowchart for the mechanical lifetime test

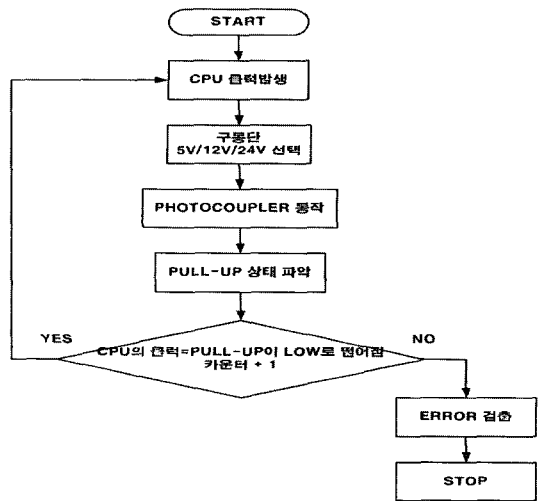


Fig. 5 Flowchart for the electrical lifetime test

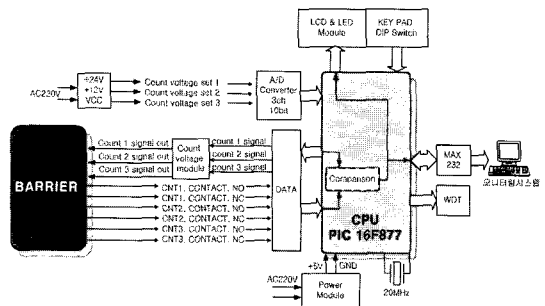


Fig. 6 Life time test circuit

Fig. 5는 전기적 수명 실험장치의 제어 순서도이다. 마이크로프로세서에서 전기적 절연을 받고 있는 포토커플러에 구동신호를 내보낸다. 포토커플러가 구동되면 풀업(Pull-up) 시킨 부분이 Low로 떨어진다. 이를 CPU의 구동신호와 비교하여 일치하면 무한루프를 수행하고, 일치하지 않으면 에러를 검출하고 동작을 멈추게 된다. 이때 저장된 카운팅 수가 전기적 수명인 40만회보다 크면 이 베리어는 전기적 수명을 신뢰할 수 있게 된다. 정확한 데이터를 위해 5 세트의 베리어를 실험하여 평균적인 수명을 얻는다.

Fig 6은 Fig. 4와 Fig. 5의 알고리즘에 의해 구현된 기계·전기적 수명 실험장치의 회로도를 나타낸다.

### 3.3 진동 실험장치

Fig. 7은 진동 실험장치의 제어 순서도이다. 오른쪽 루프는 마이크로프로세서를 이용하여 진동모터를 구동하는 알고리즘이고, 이로 인해 만들어진 진동에서 베리어가 제대로 작동되는지를 기계적 수명 실험을 수행하면서 확인한다. 왼쪽 루프가 기계적 수명 실험 알고리즘을 나타낸다. 인버터 주파수를 변화시켜 진동모터의 진동크기를 변화시킨다. 각 변화하는 진동에서 베리어의 기계적 수명 실험을 수행하여 기계적 수명 신뢰 조건을 만족하는지 관찰한다.

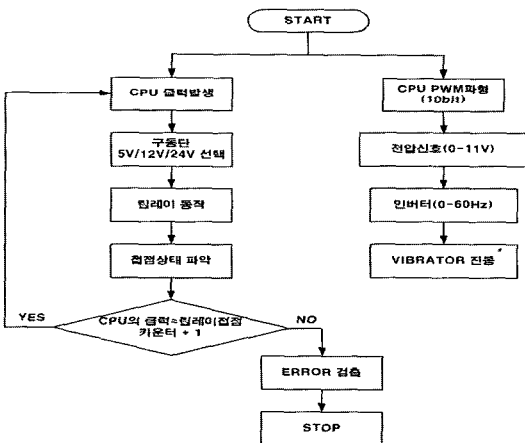


Fig. 7 Flowchart for vibration test

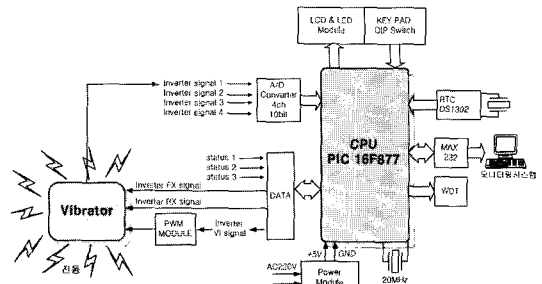


Fig. 8 Vibration test circuit

Fig. 8은 Fig. 7의 알고리즘의 진동 실험장치의 회로도를 나타낸다.

## 4. 성능실험 내용 및 결과

일반적으로 가장 엄격한(방폭 성능 표시 및 구조 표시를 하지 않는 경우) 베리어의 정격전력(전기에너지 최대치)의 기준은 25mW이다. 본 연구에서는 선박의 특수성을 감안하여 Table 2와 같은 추가적인 기준을 설정하여 신뢰성 실험을 수행하였다. 성능 실험으로는 베리어의 기본 동작 실험과 전압과 전류 제한 기능 실험, 전기·기계적 수명 실험, 진동에 따른 신뢰성 실험 등을 수행하였다. 각각은 반복적인 실험 및 성능 테스트를 거쳐 그 신뢰성을 검증하였다.

### 4.1 전압과 전류 제한 기능 실험

베리어의 기준전압 이상의 전압과 전류를 흐르게 하여 실제 설계된 회로에 맞게 안정된 수준의 정전압을 유지하여 구동하는지에 대하여 실험하였다.

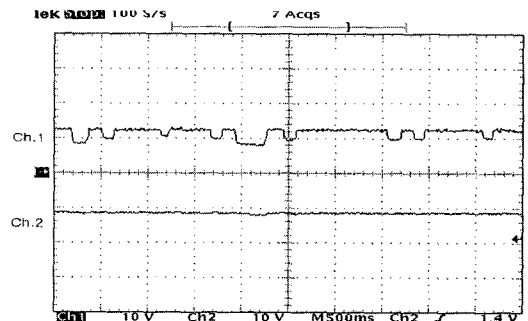


Fig. 9 Waveforms of test result for constant voltage

Fig. 9는 실험결과 파형이다. 채널 1번에서는 기준 전압 이상의 전압을 걸어 변화를 주면서, 채널 2번에는 실제 베리어 내부에 유지되어 구동되는 전압을 측정된 파형이다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 상단부 파형의 변화에도 하단부의 베리어 내부에 걸리는 전압은 항상 거의 일정한 상태를 유지함을 알 수 있다.

4.2 전기·기계적 수명 실험

Fig. 10은 신뢰성 테스트를 위해 신뢰성 실험장치로 베리어를 동작시킨 후 베리어의 전류와 전압을 측정된 위치를 나타낸다. CH2, CH3, CH4는 각각 오실로스코프의 2번, 3번, 4번 채널을 이용하여 파형을 잡은 부분을 나타낸다. CH2로 측정된 위치는 위험지역에서 전기기기를 작동시키기 위해 스위치와 연결된 곳으로, 스파크에 의한 폭발이 일어나지 않게 하기 위해 12mA 이하의 전류만이 흘러야한다. 그러기 위해서 적당한 저항값을 구하기 위해 R1을 가변저항을 사용하여 저항 값을 달리하면서, 즉 전류 값을 변화시키면서 전압 특성 파형을 얻었다. CH3, CH4 부분은 기계·전기적 수명과 진동에 의한 신뢰도 테스트 등에서 베리어가 정상적으로 작동되는지를 전압 파형을 통해 확인하였다. 또한 실제 선박과 같은 환경에서 실험하기 위해서 선박에서 사용하는 Magnetic Conductor를 릴레이에 부착하여 실험하였다.

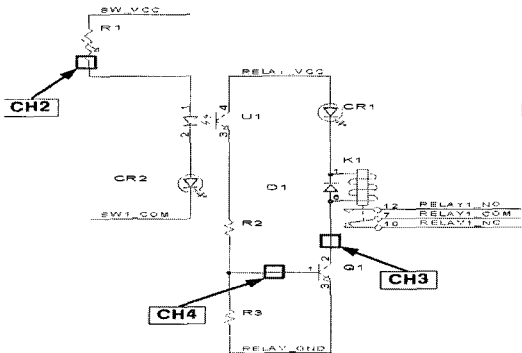


Fig. 10 Measurement positions

Fig. 11은 본 연구에서 개발한 베리어로 CH2 부분의 전류가 0.94mA일 때의 파형을 나타낸다. 그

림과 같이 파형이 심하게 찌그러지는 것을 볼 수 있다.

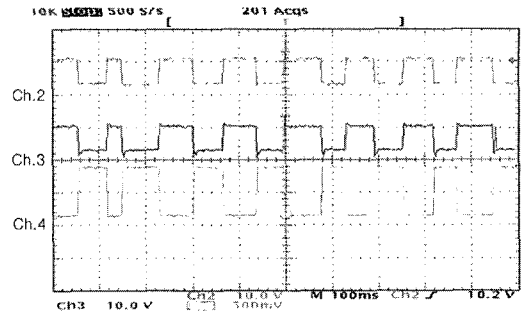


Fig. 11 Waveforms(CH2=0.94mA)

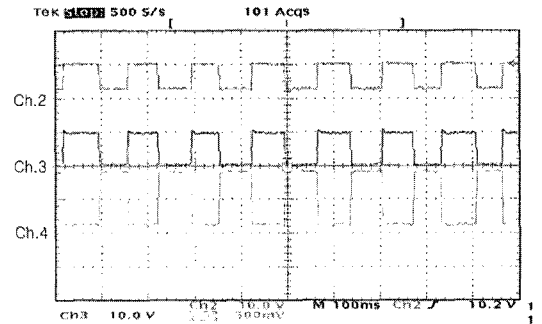


Fig. 12 Waveforms(CH2=2.0mA)

Fig. 12는 CH2 부분의 전류가 2.00mA일 때의 파형을 나타낸다. Fig. 11과 달리 파형이 정확하고 안정적임을 알 수 있다. Fig. 12는 전기·기계적 수명 실험에서 신뢰성을 만족하도록 실험이 끝난 상태에서의 파형이다. 기존 베리어 제품은 8.00mA의 전류를 유지하고 또한 수명실험을 만족하지 못하였다. 하지만 본 연구에서 개발한 베리어는 2.00mA에서도 안정적으로 정확하게 동작하였다. 동작 전류가 낮기 때문에 부품의 수명도 길어지고 궁극적으로 베리어의 수명이 길어져 Barrier의 신뢰도를 향상시킬 수 있었다.

4.3 진동에서의 실험

Fig. 13 ~ Fig. 15는 진동 실험장치 위에 베리어를 고정시키고 카운터 실험을 하였을 때의 파형을 나타낸다. 인버터의 주파수를 0-60Hz로 변화시

킴에 따라 진동모터의 진동도 변화한다. Fig. 13 ~ Fig. 15는 모두 CH2의 전류가 2.00mA를 유지할 때의 파형이다. 각 그림에서 CH2는 스위치와 같은 동작을 하므로 CPU에 의해 생성된 일정 펄스파형이 정확하게 나타나고 있다.

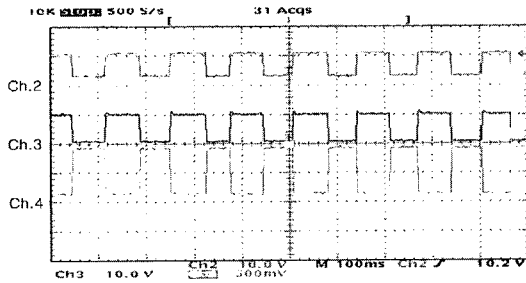


Fig. 13 Waveforms(CH2=2.0mA, VF=10Hz)

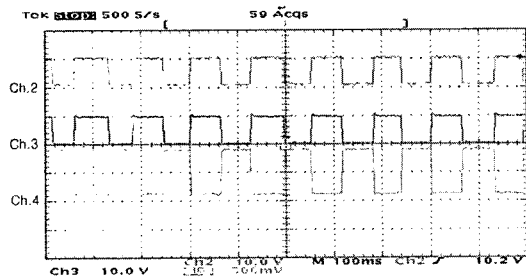


Fig. 14 Waveforms(CH2=2.0mA, VF=30Hz)

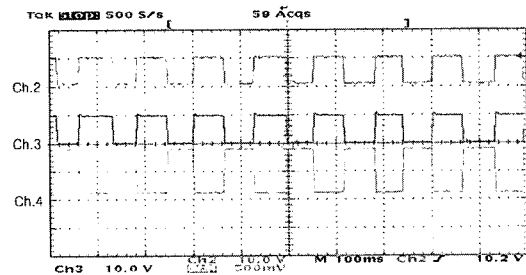


Fig. 15 Waveforms(CH2=2.0mA, VF=50Hz)

그림의 파형에서 보는 바와 같이 전류 2.00mA 상태에서 0~60Hz 사이의 진동을 주었을 때 베리어의 파형은 안정된 것을 볼 수 있다. 따라서 연구된 베리어는 정상적인 동작을 수행하였다고 판단된다. 실험의 신뢰성을 위해 5 세트의 베리어를

진동 실험장치 위에서 실험한 결과 기계·전기적 수명을 모두 만족하였고, 파형 또한 안정되고 정확하게 출력되었다. 따라서 본 연구를 통해 진동에 대한 베리어의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

4.4 신뢰성 평가 결과

Table 2는 신뢰성 평가 항목과 결과를 표로 나타냈다. 실험 결과는 위에서 파형으로 나타냈고, 부품 및 재료선정, 측정에 의한 다른 신뢰성 실험값만을 Table 2에 표시하였다.

Talbe 2 Evaluation items of reliability

평가항목 (기술적성능지표)	단위	신뢰성 평가결과	시험기준 (평가규격)
전압(에너지제한)	V	8V 이하	IEC
전류(에너지제한)	A	2mA 동작	IEC
기계적수명	회	100만회이상	자체평가
전기적수명	회	40만회이상	자체평가
절연부저항	MΩ	100MΩ	-
케이스부저항	MΩ	100MΩ	-
외부허용인덕턴스	mH	2.0mH	-
외부허용캐패턴스	μF	0.3 μF	-
신뢰성공정	-	-	자체평가

Table 2에서 보듯이 신뢰성 목표를 만족하고 있으며, 일부 항목은 안전성 측면에서 신뢰도가 크게 향상된 연구 결과를 얻었다. 특히 저 에너지 동작영역을 확보함으로써 베리어의 활용영역을 넓히는데 기여할 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 논문에서 연구한 베리어는 선박의 안전, 운항 시스템에 필수적인 시스템이다. 가스, 인화물질 등의 폭발성 혼합기체가 존재하고 있는 위험장소에 전기기기를 동작시킬 때 스파크로 인한 폭발을 방지하기 위해 본질안전방폭구조인 베리어를 사용한다. 열악한 운전조건인 선박과 위험장소에 사용되는 부품이므로 무엇보다 신뢰성이 중요하다.

현재 한국에는 신뢰성에 대한 기준이 정립되어 있지 않다. 그러므로 본 실험결과가 신뢰성 기준을 정하는데 도움이 될 수 있다고 사료된다. 본 연구의 배리어는 IEC 및 자체 신뢰성 기준을 만족하고 있어, 특수선의 폭발방지시스템에 활용함은 물론이고, 석유화학분야 및 가스 산업분야에도 적용될 수 있다고 본다.

앞으로도 온도, 압력, 충격 등에 의한 신뢰성향상을 위한 꾸준한 연구가 필요하다고 판단된다.

### 참고문헌

[1] L. William, Schweber, "Data Communications," McGRAW-HILL Inc., 1988.  
 [2] PEPPERL+FUCHS, Ex-i-Interface DIN-Rail Housing, 1996.  
 [3] PEPPERL+FUCHS, Interface DIN-Rail Housing, 2001.  
 [4] NAKAMURA ELECTRIC MFG. CO., LTD., Explosion-proof control devices, 1996.  
 [5] P.M. Gil, A Lumbreras, J. Sebastian, J. Uceda, "Analysis of the FB-ZCS-PWM Converter as a Power Factor Preregulator", IEEE. pp. 908-913, 1995.

[6] John H. Henderson, Thomas A. Baginski, "An RF-Insensitive Hybrid Electroexplosive Device Incorporating an integral Filter", IEEE Trans on industry Appli. Vol. 32, No. 2 pp. 465-470, March/Appil 1996.  
 [7] Subhashish Bhattacharya Deepak Divan, "Design and Implementation of a Hybrid series active filter system", IEEE. pp. 189-195, 1995.

### 저 자 소 개



#### 오진석 (吳珍錫)

1983~1986 영국 ZODIAC 선박회사 엔지니어. 국방과학연구소 연구원('89~'92) 양산대학 전임강사, 조교수, 학과장('92~'96). 한국해양대학교 전임강사, 조교수, 부교수('96~현재). 영국 Cardiff대학 교환교수('01~'02). 한국박용기관학회 편집위원('02~현재). 한국산화연 논문집 편집위원('02~현재). 영국 K.O.TECH R&D 센터장('04~현재).