

보호등급 “ia”의 2선식 신호전송기 및 릴레이 개폐기용 본질안전 제너배리어 개발

문영길¹, 김응식^{2*}

¹호서대학교 산업안전기술연구센터, ²호서대학교 안전공학과

Development of Level of "ia" Class Intrinsically Safe Zener Barrier for 2-wire Transmitter and Relay

Young-Kil Moon¹, Eung-Sik Kim^{2*}

¹Industrial Safety Engineering Research Center, Hoseo University

²Division of Safety Engineering, Hoseo University

요약 본질안전(Intrinsically Safe) 방폭구조란 폭발성 분위기 내에 존재하는 기기의 전기적 에너지를 점화한계 수준 이하로 제한하는 것을 의미한다. 또한, 관련기기(Associated Apparatus)란 비본질안전회로가 본질안전회로에 악영향을 미치지 않도록 구성된 전기기기이다. 따라서 본질안전기기와 관련기기는 상호 연계되어 석유 및 가스의 사용으로 폭발성분위기가 조성되기 쉬운 장소에 사용된다. 현재 세계적으로 대규모 인적 물적 손실로 이어지는 폭발 및 화재 관련 사고의 증가로 본질안전기기의 채택이 강화되는 추세에 있다. 그러나 국내 제조사들의 본질안전기기와 이와 연계된 관련기기의 개발 건수는 저조한 상태이다. 이는 본질안전기기의 인증규격규정(IEC60079-11)의 엄격한 검증 절차에 대한 이해 부족에 그 원인이 있으며, 전기적 에너지의 점화한계 이하의 사용에 따른 회로설계로 인증을 통과하더라도 제품이 현장에서 정상 동작이 안되는 경우가 발생하기 때문에 해외 인증 제품이 사용된다. 본 연구에서는 현장에서 가장 많이 쓰이는 본질안전기기 중 2선식 신호 전송기(2-wire Transmitter) 및 릴레이용 개폐기(Switch)에 연결할 수 있는 관련기기의 파라미터 설정, 부품 선정 및 회로 설계를 마치고 IEC60079-11의 요구사항에 만족하는 신뢰성이 높은 Ex [ia] IIC -20°C ≤ Ta ≤ +60°C 등급을 가진 관련기기인 제너배리어(Zener Barrier)를 개발하였다.

Abstract Equipment protection by intrinsic safety level "i" means explosion-proof construction based on limiting the electrical energy in equipment exposed to an explosive atmosphere to a level below which ignition may occur. An associated apparatus is configured so that non-intrinsically safe circuits do not adversely affect intrinsically safe circuits. Currently, the adoption of intrinsically safety apparatuses is on the rise due to the increase in explosion and fire accidents leading to great damage worldwide. However, the number of cases of development of intrinsically safety apparatuses and associated apparatuses by domestic manufacturers is low.

This is due to a lack of understanding of the strict verification procedure of intrinsically safe apparatus certification IEC60079-11. Even if a product passes the certification of electric energy below the ignition limit, the product may not operate in the field, so products certified in other countries are used. In this study, we performed parameter setting, component selection, and circuit design of an associated apparatus that can be connected to a two-wire signal transmitter and a relay switch among intrinsically safety apparatuses most commonly used in the field. As a result, we developed Zener Barriers with a reliable Ex [ia] IIC -20°C ≤ Ta ≤ +60°C rating that satisfies the requirements of IEC60079-11.

Keywords : Intrinsically Safe Apparatus, Associated Apparatus, Zener barrier, 2-wire Transmitter, Switch

*Corresponding Author : Eung-Sik Kim(Hoseo Univ.)

email: eskim@hoseo.edu

Received February 17, 2023

Accepted April 7, 2023

Revised March 28, 2023

Published April 30, 2023

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

인화성 또는 가연성 가스, 증기 및 분진 등 가연성 물질이 대기상태에서 공기와 혼합하여 폭발성 분위기가 쉽게 조성될 수 있는 FPSO(Floating Production Storage and Offloading), 시추선(Drillship), 가스저장시설, 화학 플랜트, 탄광, LNG선 등의 폭발위험장소(Hazardous area)가 증가하고 있다. 또한, 수소에너지의 사용이 확산되고 있어 방폭설비는 점점 늘어날 것으로 예상된다. 이러한 장소에 설치된 설비, 기기 및 계측기들에 의한 2016~2021년까지 화재폭발 사고 건수와 사망자수는 아래 Table 1과 같다[1].

Table 1. Current status of fire explosion accidents in Korea(2016~2021)

Current status of fire explosion accident (Criteria for disaster investigation)							
	Total	'16	'17	'18	'19	'20	'21.10
Fire explosion accident (case)	199	35	27	29	42	41	25
Number of deaths (persons)	203	39	26	33	39	45	21

우리나라는 조선 강국임에도 불구하고 선박내의 방폭 설비는 대부분 수입제품을 사용하고 있는 현실이다. 방폭인증 현황을 공시하는 IECEx에서 2-wire Transmitter에 연결할수 있는 제너배리어 제품은 Table 2에서 보는 바와 같고 릴레이용 개폐기에 연결할 수 있는 제너배리어 제품은 없음을 확인 할 수 있다[2].

Table 2. 2-wire transmitter Zener barrier certification status for Domestic Companies(2009~2022)

No.	Manufacturer
1	HANLA IMS CO., LTD.
2	FLOWNIX Co., Ltd.

기존 해외 제품의 경우, 제품에 대한 개념도 외에 회로도 및 부품에 대한 정보를 일체 얻을 수 없으며, 더욱이 인쇄회로가 몰딩되어 있어 몰딩을 제거하여 부품을 확인하여도, 본질안전 규격(IEC60079-11)의 요구사항을 이해 못하면 회로 내 부품의 위치선정 및 정확한 스펙

을 선택하기 어렵다. 따라서 인증받은 제품을 똑같이 설계하여도 인증기관에서 요구하는 자료 및 부적합 지적사항에 대응하지 못하게 된다. 이로 인해 인증기관의 요구대로 회로를 수정하여 인증을 받아도 정확한 동작을 하지 못하는 어려움이 발생한다. 결론적으로 국내 개발이 시급한 상황이다.

이에 본 논문에서는 0종 장소[3]에서 사용 가능한 “ia” 등급[4]을 가진 본질안전기기중 사용 빈도가 가장 높은 2-wire Transmitter 및 Switch에 연결할 수 있는 신뢰성 높은 관련기기(Associated apparatus)[5,6]인 제너배리어에 대한 개발에 그 목적이 있다.

2. 본론

2.1 제너배리어(Zener Barrier)

2.1.1 제너배리어의 개념

제너배리어[7,8]는 폭발위험지역에 있는 본질안전기기가 정상으로 작동할 수 있게 하고, 고장 상태에서는 과전압 및 과전류가 폭발위험지역에 도달하는 것을 방지하여 폭발위험지역에 설치된 본질안전기기를 보호하는 대표적인 관련기기이다. 제너배리어의 기본 회로도에는 아래 Fig. 1과 같다.

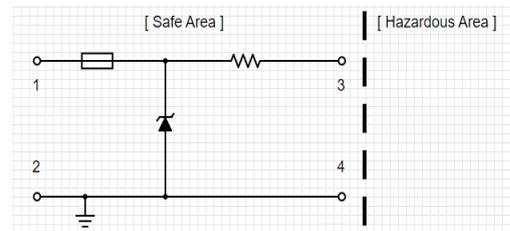


Fig. 1. Zener barrier concept diagram

제너배리어는 기본적으로 제너다이오드, 전류 제한 저항기, 퓨즈 및 접지로 구성되며 각 구성 요소의 기능은 아래 Table 3과 같다.

Table 3. Function of essential parts of Zener barrier

Component	Function
Fuse	Limits fault current passing through the Zener diode
Current Limit Resistor	Limit maximum current flowing into the Hazardous area
Zener Diode	Limit overvoltage current flowing into the Hazardous area
Earth	Return of Zener diode fault current

2.1.2 구조적 고려 사항

제너배리어는 IEC60079-11 규격에 따라 다음과 같은 기계적 조건도 만족해야 한다. 아래 Fig. 2 (a)와 같이 회로를 에폭시 수지로 몰딩하여 인증받은 회로의 부품을 변경 혹은 교체할 수 없게 하였다. 한 개 이상의 제너배리어 연결시 혼선 방지를 위해 Fig. 2 (b)와 같이 입·출력단자의 색을 다르게 하였다.

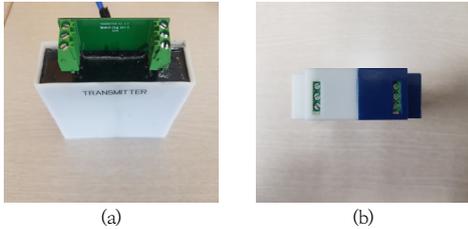


Fig. 2. Enclosure of Zener Barrier
(a) Molding circuit parts
(b) Color separation of I/O terminals

2.2 제품설계 및 검증

개발한 2-wire Transmitter 및 Switch용 제너배리어에 대한 설계 및 검증을 아래와 같이 수행하였다.

2.2.1 2-wire Transmitter용 제너배리어

2-wire Transmitter에서 측정된 값을 250 Ω 저항을 아래 Fig. 3 에 나타난 입력단자 1 혹은 2에 연결하여 1~5 V 신호로 변환하여 사용할 수 있으나, 불안정한 전압을 공급받을 경우 아래 Fig. 4 에서 보는 바와 같이 신호의 정확도가 떨어지는 문제가 발생할 수 있음을 확인하였다. 이러한 문제점은 Fig. 3 회로 내부에 250 Ω 저항을 연결한 후 단자 2와 접지단자에서 출력신호를 받는 회로를 구성함으로써 해결할 수 있다.

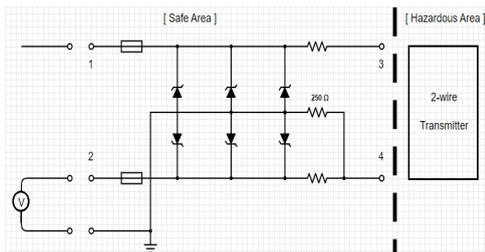


Fig. 3. Zener Barrier for 2-wire transmitter circuit

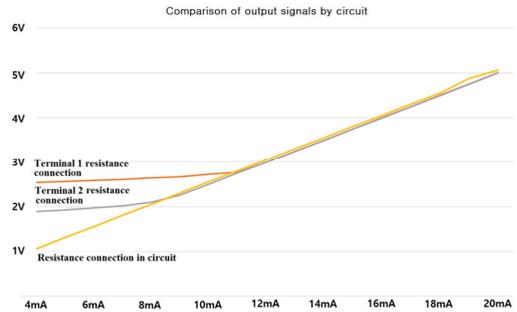


Fig. 4. Comparison of output signals by circuit

2.2.2 Switch용 제너배리어

폭발위험지역에 설치된 스위치의 신호를 받아 릴레이를 동작시키는 경우, 릴레이가 On/Off 될 때마다 코일에 의해 발생하는 개폐 서지(Surge)가 아래 Fig. 5 (a)와 (b)에서 보는 바와 같이 순간적으로 높은 전압을 발생하여 접화원이 될 수 있음을 확인하였다. 이 문제점은 아래 Fig. 6와 같이 회로를 구성함으로써 해결할 수 있다. 또한, 실험을 통해 릴레이가 On/Off 될 때마다 코일에 의해 발생하는 개폐 서지가 Fig. 5 (c)와 (d)에서 보는 바와 같이 차단됨을 확인하였다.

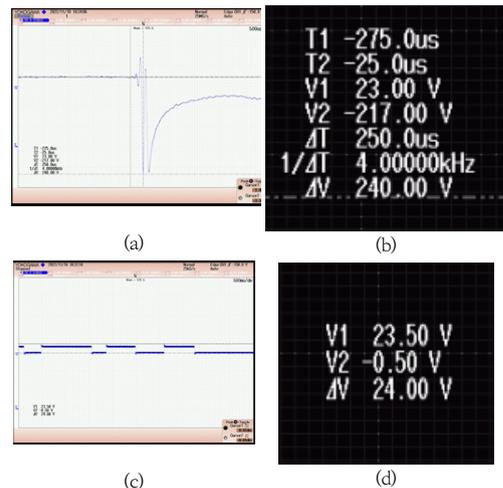


Fig. 5. Measurement of transient cut-off by Zener barrier

- (a) Oscilloscope waveform before improvement
- (b) Oscilloscope measurement before improvement
- (c) Oscilloscope waveform after improvement
- (d) Oscilloscope measurement after improvement

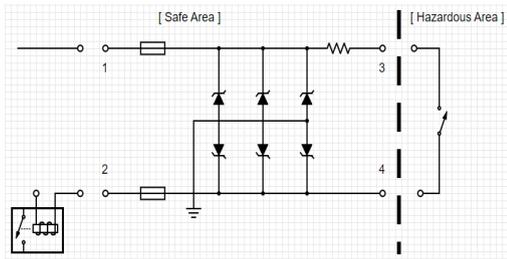


Fig. 6. Relay switch for circuit generated by relay

2.3 본질안전 파라미터 선정

아래 Table 4 에서 보는 것과 같이 국내에서 국제인증(IECEx) 받은 2-wire Transmitter의 최대입력전압 U_i 값이 30 V 이상인 제품에 모두 적용할 수 있는 제너레이터의 파라미터값을 선정하였다. 이 경우, 제조사의 본질안전기기별 파라미터 값이 다양하게 존재하여 기존 제품들과 비교가 불가능하다[4].

2.4 본질안전 파라미터 검증

2.4.1 최대출력전압 U_o

최대출력전압(U_o)은 27.3V[9] 이며 사용된 제너다이오드의 최대저너 전압값이다. 이 값은 최대출력전압값으로 정의한 30 V를 초과하지 않음을 확인하였다.

2.4.2 최대출력전류 I_o

최대출력전류(I_o)는 아래와 같이 계산할 수 있고 이 값은 95.8 mA를 초과하지 않음을 확인하였다. 계산에 사용된 저항값은 허용오차범위 내의 최소치를 적용하였다.

$$\text{최대출력전류}(I_o) = V_z / R = 95.8 \text{ mA}$$

2.4.3 최대출력전력 P_o

최대출력전력(P_o)는 아래 공식을 통해 구할 수 있고,

이값은 정의한 0.65 W를 초과하지 않음을 확인하였다.

$$\text{최대출력전력 } P_o = V_z^2 / 4R = 0.65 \text{ W}$$

2.4.4 최대외부커패시턴스 C_o

개발된 제너레이터의 회로 내부에는 C값을 가지고 있는 부품이 없다. 최대출력전압(U_o) 값이 30 V일때 허용되는 정전 용량인 0.066 uF(그룹IIC 및 안전을 1.5 적용)[10]값을 적용했다.

2.4.5 최대외부인덕턴스 L_o

최대외부인덕턴스(L_o)값은 정의한 3.87 mH를 초과하지 않음을 확인하였다. 계산에 사용된 E값은 IEC600790-11 6.2.3절에 정의된 그룹IIC 기기에 허용하고 있는 값인 40 uJ 을 적용하였다.

$$E = 0.5 * L * I^2$$

$$L_o = (2 * E) / I^2 = 3.87 \text{ mH}$$

2.5 제너레이터 접화 검증

2.5.1 저항성 접화

최대출력전압(U_o)값이 30 V일 경우, 최대 허용전류는 101 mA[11]이므로 최대출력전류(I_o)로 정의한 95.8 mA값에 따른 저항에 의한 접화는 일어나지 않음을 확인하였다.

2.6 퓨즈 및 제너다이오드로 구성된 회로에 대한 과도현상 시험

입력전원에서 알 수 없는 여러 원인에 의해 최대교류전압(U_m)인 220 VAC 전압이 제너레이터에 인가될 수 있는 상황이 발생할 수 있다. 이에 대한 과도현상에 대해 아래와 같은 절차로 시험을 진행하였다.

1) 과도현상 시험전 제너다이오드의 특성곡선을 아래

Fig. 7 (a)와 (b) 같은 회로를 구성하여 구하였다.

Table 4. Parameters of 4-20mA transmitters by domestic companies certified by IECEx and the parameters of associated apparatus of developed

Intrinsically safety apparatus						Associated apparatus Verification criteria			Development product
A	B	C	D	E	F	U_i	\geq	U_o	
33 V	30 V	28 V	28 V	28 V	30 V	U_i	\geq	U_o	30 V
100 mA	130 mA	93 mA	93 mA	93 mA	100 mA	I_i	\geq	I_o	95.8 mA
0.7 W	0.75 W	0.65 W	0.65 W	0.651 W	0.75 W	P_i	\geq	P_o	0.65 W
0 uF	40 nF	38 nF	0.065 uF	30 uF	3.5 nF	C_i	\leq	C_o	0.066 uF
0 uH	104 uH	74 uH	0.0044 mH	0.074 uH	3.6 uH	L_i	\leq	L_o	3.87 mH

2) 구성된 회로에 220 VAC 전압을 인가하였다. 이는 퓨즈가 끊어지기 직전의 짧은 순간에 제너다이오드에 아래와 같은 전류가 흐를 수 있음을 의미한다. 즉, 제너다이오드의 서지전류값보다 높은 전류가 인가되어 제너다이오드가 충격을 받을 수 있는 상태에 노출된다.

$$\text{전류} = (\sqrt{2} * U_m) / \text{저항의 합} = 31.18 \text{ A}$$

제너다이오드 서지전류 7.0 A[9] 및 3.9 A[9]

3) 과도현상 시험 후 제너다이오드의 특성곡선을 구하였다. 과도시험 전후 특성곡선 비교 결과는 Fig. 7 (c)에서 보는 바와 같이 변화가 없음을 확인하였다. 시험 결과 내부저항값이 높고, 용융시간이 매우 짧은 fuse를 선택해야 과도전압으로부터 제너다이오드를 보호할 수 있다.

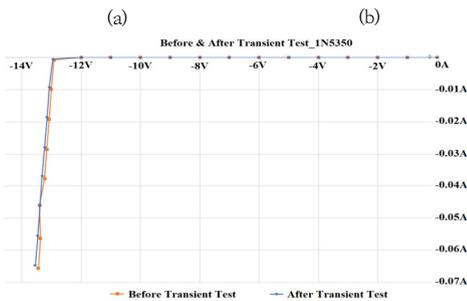
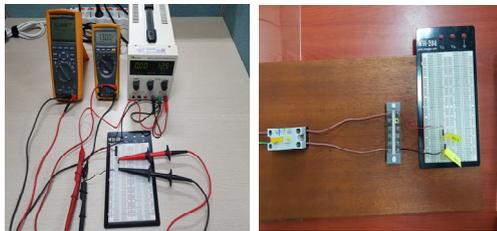


Fig. 7. Characteristic curve of zener diode before and after transient test

(a) (b) Transient test
(c) Comparison of characteristic curves

2.7 구조검증 및 실험

2.7.1 이격거리

최대출력전압(U_0)에 대해 본질안전에 영향을 주는 핵심 부품과 부품 사이의 이격거리를 규격(IEC60079-11) 아래 Table 5에서 요구하고 있다[12]. 아래 Fig. 8과 같이 측정하여 Table 5와 같은 결과를 얻었다. 이격거리는 2.0 mm 보다 크다는 것을 확인하였다.

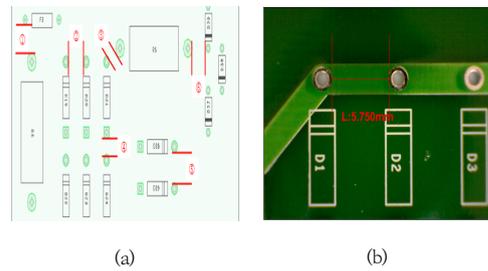


Fig. 8. Measurement of separation distances
(a) Measurement position
(b) Measurement of separation distances

Table 5. Measurement of separation distances

Product	Position	Measured	Requirements
2-wire Transmitter	(F1 ↔ R1)	5.715 mm	2.0 mm (at $U_0 = 30 \text{ V}$)
	(D1 ↔ D2)	5.750 mm	
	(D3 ↔ R2)	3.179 mm	
	(D3 ↔ D4)	3.286 mm	
	(D8 ↔ D9)	4.536 mm	
	(D12 ↔ R2)	5.357 mm	
	(D10 ↔ R4)	3.500 mm	
	(R3 ↔ R4)	3.679 mm	
	(R4 ↔ D7)	5.893 mm	
	Switch	(F3 ↔ R5)	
(D19 ↔ D20)		5.643 mm	
(D21 ↔ R6)		3.164 mm	
(D21 ↔ D24)		3.214 mm	
(D28 ↔ D29)		5.714 mm	
(D39 ↔ R6)		5.357 mm	

2.7.2 부품의 정격

본질안전에 영향을 주는 부품의 경우 IEC60079-11 7.1절 요구사항에 따라 제너다이오드 및 전류제한 저항 부품이 정격 전력의 2/3 값을 초과하지 않음을 아래 Table 6에서 보는 바와 같이 확인하였다.

Table 6. Verification of ratings of safety components

Component	Value	Power used (W2)	Maximum power(W1)[9]	W1/W2
Zener diode	13V, 5W	1.16	5.0	4.31
	10V, 5W	0.89	5.0	5.62
	28V, 5W	2.5	5.0	2.0
Component	Value	Power used (W2)	Maximum power(W1)[13,14]	W1/W2
Resistor	50Ω, 1%, 3W	0.36	3.0	8.33
	250Ω, 5%, 7W	1.89	7.0	3.0

Table 7. Temperature test

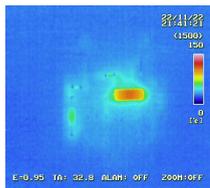
Conditions					
Voltage	Current	Power	Safety Factor		Remark
30 V	0.07 A	2.1 W	1.0 in According to IEC60079-11 5.2		Output terminal short circuit
2-wire transmitter	Component	Results		Calibration result (maximum temperature)	
		Max. temperature (°C)	Amb. temperature (°C)	Sercive Temperature (Max.) (°C)	Max. temperature correction (°C)
	Zener diode	39.8	20.3	60	79.5
Resistor	75.0	20.3	60	124.4	
Switch	Component	Results		Calibration result (maximum temperature)	
		Max. temperature (°C)	Amb. temperature (°C)	Sercive Temperature (Max.) (°C)	Max. temperature correction (°C)
	Zener diode	43.1	18.7	60	84.4
Resistor	85.1	18.7	60	126.4	

Zener diode max. operating temperature 200 °C[9]
 Resistor max. operating temperature 250 °C[14]
 Epoxy max. operating temperature 130 °C[15]

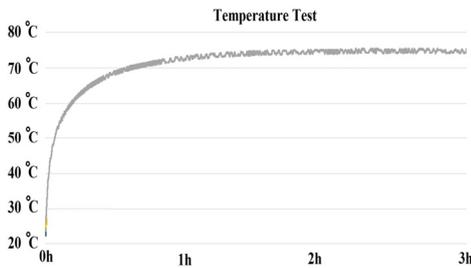
2.7.3 온도시험

IEC60079-11 5.6절에 따라 온도시험이 요구사항에 따라 아래 Table 7과 Fig. 9와 같은 시험 결과 얻었다. 에폭시 및 몰딩된 중요 부품의 온도는 제조사 데이터시트에 명시된 최고사용온도 조건을 넘지 않음을 확인하였다.

과를 얻었다. 측정 결과 인쇄회로기판의 단일 트랙 너비는 2.0 mm 보다 크다는 것을 확인하였고 결과적으로 무고장부품임을 확인하였다.



(a)



(b)

Fig. 9. Temperature for components in circuit
 (a) Thermal imaging measurement
 (b) Temperature graph

2.7.4 인쇄회로 기판 트랙 너비 측정

IEC 60079.11 Clause 8.8 b) 2)절 요구사항에 따라 아래 Fig. 10과 같이 측정하여 아래 Table 8과 같은 결

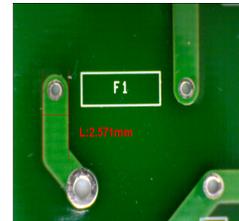


Fig. 10. Measurement of track width

Table 8. Track width measurement of printed circuit board

Product	No.	Measured	Requirements
2-wire Transmitter	01	2.571 mm	2.0 mm (at $U_o = 30$ V) [16]
	02	2.500 mm	
	03	2.571 mm	
	04	2.607 mm	
Switch	01	2.500 mm	
	02	2.536 mm	
	03	2.500 mm	
	04	2.536 mm	

2.7.5 몰딩된 퓨즈의 적합성 시험

퓨즈가 몰딩이 되어 있는 경우 IEC60079-11 10.6.2 절에 따라 에폭시 수지가 퓨즈 내부로 들어갈 수 있는지

에 대한 검증이 요구되어진다. 이에 아래 Table 9의 조건으로 시험을 진행하였다. 아래 Fig. 11 (a)와 같이 퓨즈의 온도 안정화 확인 후 아래 Fig. 11 (b) 와 같이 퓨즈를 물속에 담가 퓨즈에서 거품이 발생이 않음을 확인하였다. 결과적으로 에폭시 수지가 퓨즈 내부로 들어가지 않음을 확인하였다.

Table 9. Test condition of the acceptability of fuses requiring encapsulation

	Conditions	Results
Fuse temperature	(25.0 ± 2.0) °C	26.1 °C
Water temperature	(50.0 ± 2.0) °C	51.9 °C
Depth of immersion	At least 25 mm	30 mm
Test time	At least a 1 minute	1 min 10 sec
Number of fuses	5 ea	5 ea
Test results	Fuse does not bubble during the test.	

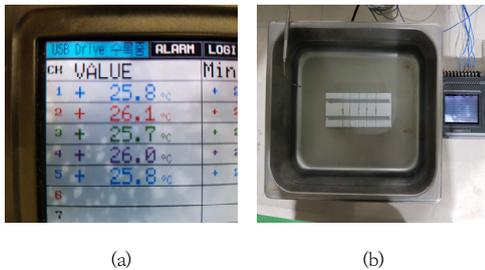


Fig. 11. Test of the acceptability of fuses requiring encapsulation

- (a) Surface temperature of fuse
- (b) Fuse flooding test

3. 결론

첫째, 관련기기 파라미터 설정, 부품 선정 및 회로 설계를 마치고 본질안전 규격(IEC60079-11)의 요구사항에 부합하는 신뢰성 있는 2-wire Transmitter 및 Switch용 Ex [ia] IIC -20°C ≤ Ta ≤ +60°C 등급을 가진 제너배리어를 개발하였다. 둘째, 2-wire Transmitter용 제너배리어의 경우, 입력단에 있는 퓨즈와 제너다이오드 사이에 직렬로 무고장저항 연결 및 높은 서지 전류값을 갖는 제너다이오드를 선택하여 입력측의 높은 서지전류로부터 제너다이오드를 보호하였다. 또한,, 회로 내부에 신호를 받는 저항의 위치를 설계하여 출력신호의 신뢰성

을 높였다. 셋째, Switch용 제너배리어의 경우, 릴레이의 On/Off시 필연적으로 발생하는 개폐 서지가 폭발위험지역으로 흐르지 못하게 회로(환류)를 설계하고, 실험을 통해 개폐 서지가 차단됨을 확인하였다. 넷째, 본질안전 개념을 220 VAC 입력전압을 직류전압으로 변환하여 사용하는 전기기기에 적용하여 입력측 과도현상 및 부품 고장에 따른 사고 예방 회로설계의 기초자료로 활용 가능하다고 사료된다.

References

- [1] Safety and Health Agency social issue Accident Casebook, 2021 Central Accident Investigation Center-900.
- [2] IECEx Certificates : <https://www.iecex-certs.com>
- [3] DH. Kim, SC. Kim, ES Kim, etc. Electrical safety engineering, p606, DongHwa technology, 2013, pp349.
- [4] IEC60079-11 ed.6 Clause 5.2.
- [5] Alan McMillan, Electrical Installtions in Hazardous Areas, p649, BUTTERWORTH HEINEMANN, 2002, pp334.
- [6] Geoffrey Bottrill, Derek Cheyne, G.Vijayaraghavan, Electrical Equipment and Installations in Hazardous Areas, p411, ELSVIER, 2005, pp167.
- [7] Alan McMillan, Electrical Installtions in Hazardous Areas, p649, BUTTERWORTH HEINEMANN, 2002, 402p.
- [8] Geoffrey Bottrill, Derek Cheyne, G.Vijayaraghavan, Electrical Equipment and Installations in Hazardous Areas, p411, ELSVIER, 2005, pp157.
- [9] 1N53 Series 5 Watt Surmetic 40 Zener Voltage Regulators Datasheet, On Semiconductor.
- [10] IEC60079-11 ed6.0 Table A.2. Permitted capacitance corresponding to the voltage and the equipment group.
- [11] IEC60079-11 ed6.0 Table A.1 Permitted short-circuit current corresponding to the voltage and the Equipment Group.
- [12] IEC60079-11 ed6.0 Table 5. Clearances, creepage distances and separations.
- [13] Vitreous Enamelled Wirewound Resistors Datasheet, TT Electronics.
- [14] Wirewound Resistors, Commercial Power, Silicone Coated, Axial Lead Datasheet, VISHAY.
- [15] ER2001Epoxy Resin Technical Data Sheet, ELECTROLUBE.
- [16] IEC60079-11 ed.6 Clause 8.8 b) 2).

문 영 길(Young-Kil Moon)

[정회원]



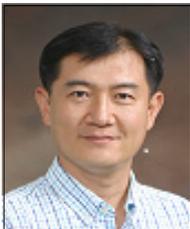
- 2003년 2월 : 호서대학교 일반대학원 안전공학과 (공학석사)
- 2023년 2월 : 호서대학교 일반대학원 안전공학과 (공학박사)
- 2003년 2월 ~ 2010년 12월 : 호서대학교 강사
- 2000년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 산업안전기술연구센터 책임연구원

〈관심분야〉

방폭인증, IP, Flame Arrester, 심야전기기기

김 응 식(Eung-Sik Kim)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 일반대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 일반대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 안전공학과 교수

〈관심분야〉

전기안전, 고전압, 전기환경