



## 팽창형 슬리브를 결합한 내화성능을 가진 케이블 그랜드 기술 개발

### Development of Cable Gland Technology with Fire Resistance combined with an Expandable Sleeve

채한식\* · 강동혁\*\* · 임영일\*\*\*

Han-Sik Chae\* · Dong-Hyeok Kang\*\* · Young-Il Lim\*\*\*

\* Principal Researcher, Dept. of Mechanical IT Convergence Engineering, KOMERI/ Korea Maritime & Ocean Univ., South Korea (caromio1@komeri.re.kr)

\*\* Coauthor, Lead Researcher, Busan Headquarters, KOMERI, South Korea (dhriver@komeri.re.kr)

\*\*\* Coauthor, President, DS Corporation, South Korea (young12@dmatch.co.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** Cable glands are currently experiencing problems of low-cost products and quality deterioration due to the limitation of cost reduction. This acts as the most vulnerable element of the cable gland in the event of a fire, and the fire spreads through the cable, causing a fatal disaster. In addition, policies are being continuously strengthened to prevent the spread of fire and to prepare measures to strengthen safety, and countermeasures are urgently needed. **Method:** For this study, the existing cable gland and two developed products with reinforced fire resistance were installed on a mineral wool panel with a size of 2,480mm × 2,420mm. Fire resistance performance was confirmed by applying the test method of 2010 FTP CODE. In addition, performance evaluation was conducted on five items, such as IP test, flame retardancy, non-toxicity, mechanical strength test, and environmental test, which are basically required for field application. **Result:** This paper, six types of performance evaluation were analyzed and presented for a cable gland with fire-resistance combined with an expandable sleeve developed with domestic technology.

#### KEYWORD

케이블 그랜드  
팽창형 슬리브  
내화성능

Cable Gland  
Expanding Sleeve  
Fire Resistance

#### ACCEPTANCE INFO

Received Apr. 5, 2023

Final revision received Apr. 21, 2023

Accepted Apr. 26, 2023

© 2023. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

국내 건축 및 플랜트 산업계는 현재 산업 인프라 취약, 선진국 견제 심화, 개발 도상국의 추격으로 국제 경쟁구도에서 열악한 환경에 처해 있다. 이러한 경쟁구도 속에서 케이블 산업은 대부분 수요가 국가 전력망 구축 및 유지로부터 발생하는 가운데 국가기간산업인 전력 통신 산업과 등을 중심으로 정부의 개발 계획과도 밀접한 연관이 있다. 케이블과 필수적으로 같이 사용하고 있는 케이블 커넥터 또는 피팅이라고 명칭하고 있는 케이블 그랜드의 경우 전기 설치 재료의 일부를 형성하는 필수 부속품으로 전기 케이블의 끝을 기자재에 부착하고 고정하기 위한 장치로서 다양한 분야에서 사용되고 있는 부속 자재이다.

이는 전 세계 시장의 약 90%가 미국 및 유럽 등 국외 기업들이 차지하고 있으며 이외 10%는 국내 및 중국, 동남아에서 차지하고 있는 실정이다.

그러나 원가 절감이라는 한계로 저가 제품 및 품질저하의 문제가 발생하고 있으며 치명적인 재앙으로 발생하면서 케이블과 케이블 그랜드로 인한 피해는 증가하고 있는 추세이다. 소방청의 09년부터 2018년까지 10년간 화재 발생 총괄표에 따르면 매년 40,000건 이상의 화재가 발생하고 있으며 케이블 화재와 같은 전기적 요인에 의한

화재는 연 평균 10,000여 건으로 총 화재 발생건수 중 약 25%의 비중을 차지하고 있다.

화재 발생시 케이블은 기자재 중에서 가장 취약한 부분으로 케이블이 타면서 발생한 틈으로 화재가 전이 확산되며 일상생활에서 사용시 나사산 목부의 취약한 강도로 인한 파손, Metal 재질의 케이블 그랜드 등과 같은 경우 원자재 특징으로 인한 무게 증가로 사용성에 한계점을 나타내고 있다. 또한, 기존 케이블 그랜드의 경우 내부구조가 복잡하여 분해조립이 어려우며 많은 작업 공정으로 오류 발생시 수정작업의 어려움과 생산성 효율저하의 단점을 보유하고 있다.

위와 같이 화재 확산 방지와 안전 강화, 효율성 등이 이슈화 되고 있는 산업계와 주거 환경의 현 상황에서 케이블 그랜드는 재해 확산에 있어 큰 비중을 차지하게 된다.

이러한 특징요소로 인하여 현장 및 산업계에서는 원가경쟁력 향상과 안전 확보, 공정 단순화 및 현장 애로 사항에 대한 실질적인 대책 마련이 필요 하며 지속적으로 강화되고 있는 정부정책과 효율향상에 있어 취약요소의 제거 방안과, 연구 개발이 시급한 실정이다[1].

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 취약요소의 해결책 도출을 위하여 경량화를 목적으로 Polybutylene 계열의 재질을 이용하였으며 케이블 그랜드와 팽창형 슬리브를 결합하여 레진 소재를 추가함으로써 내화성능을 향상하였다. 또한 케이블 그랜드에 대하여 현장에

서 필요로 하는 내구성 및 강도를 증대함으로써 취약점을 보강하였다.

팽창슬리브는 200°C 이상의 열을 받았을 때 5배~10배 팽창하는 올레핀 레진 소재로 구성하였으며 플러그 몸체 안에 삽입되는 굴곡진 원통형 보강재를 적용함으로써 내구성과 강도 증진을 향상시키고자 하였다.

성능 검증 방법은 화재 확산 방지와 제품의 사용, 현장에서 필요로 하는 성능 검증을 고려하여 내화시험, IP시험 무독성 시험, 기계적 강도시험, 환경시험 6가지로 채택하여 시험을 통한 개선된 성능 검증을 진행하였으며 내화 성능은 선연연구(1)에서 기존 제품과 비교 분석을 위하여 1차로 진행하였으며 2차로 개발 제품 3가지 종류에 대하여 성능을 검증하였다. 아울러 본 연구는 개발 제품의 성능 검증을 위하여 채택한 총 6가지의 항목을 기준으로 이에 해당하는 기준을 적용하여 나타내었다.

## 2. 시험방법

### 2.1. 시험방법

본 연구에서는 개발 기술의 성능 평가 및 검증을 위하여 내화성 시험을 기본으로 하여 IP 시험, 난연 성능 시험, 무독성시험, 기계적 강도시험, 환경시험 총 6가지를 선정하였다. 시험 방법은 아래와 같이 적용하였다.

내화시험은 2010 FTP CODE의 명시되어 있는 표준온도 곡선을 적용하여 약 841°C의 온도조건에서 30분 동안 진행되었으며 비가열면측에서 각 시험체마다 상·하부 온도 센서를 부착하여 온도 변화를 측정하였다[2]. 개발된 시험체는 아래와 같다.(Fig. 1.)

IP 시험은 KS C IEC 60529 외함의 밀폐보호 등급 구분의 규정에 따라 3가지 등급을 적용하였으며 난연성(Flame Retardant)은 IEC 60332-3 Bunching Test를 적용하였다. 무독성 시험(Halogen Free)은 CIC(Combustion Ion Chromatography)에 의하여 분석하였으며 하중 100kgf · 변위 10mm · 100,000회 조건에서의 기계적 강도시험과 개발 제품에 케이블을 결합한 상태로 - 40°C와 100°C의 조건에서 환경시험을 진행하였다.(Table 1.)



Fig. 1. Confirmation of specimen

Table 1. Test item of Cable Grand

Test Item	Test Standard
Fire Test	- FTP code 2010 : 841°C/30min
IP Test	- KS C IEC 60529:2017
Flame Retardant	- Bunching Test : Category A
Halogen Free	- CIC : 5% 이하
Strength Test	- 100kg, 10mm, 100,000회
Environment Test	- IEC600682-1,2 : - 40°C~100°C

### 2.2. 시험체 선정

개발 제품은 전기 패널 및 Partition 등에 케이블 인입 시 사용되는 것으로써 작업이 간편한 새로운 형식의 케이블 그랜드를 사용 가능한 구역에 적용하여 생산성을 높이고자 하였으며 내화 성능 및 내구성을 향상함으로써 기존 기술과의 차별성과 안전성을 확보하고자 하였다.(Fig. 2.)

시험 방법에 따른 시험체 선정은 기존 케이블 그랜드에서 취약점이 보완 개발된 개발 제품으로 하였으며 아래 구조와 같다.(Fig. 3.)

내화 시험은 예비시험과 본 시험으로 분류하여 수행하였으며 예비시험은 기존 제품과 개발 제품 비교 분석을 위하여 2,480mm × 2,420mm 크기의 내화성능이 확보된 미네랄을 판넬을 사용하였으며 본 시험은 개발 제품을 대상으로 2,480mm × 2,420mm 크기의 격벽(Bulkhead)에 제작 및 설치하였다. 제작 및 설치시 사용된 케이블 그랜드는 현장에서의 사용 환경과 유사하게 구현하도록 하였다.

IP 시험과 Bunching Test, 무독성 시험, 기계적 강도시험, 환경시험 5가지는 개발된 케이블 그랜드 자체를 설치하여 진행하였다. 기계적 강도시험의 경우 무게추를 케이블 하단에 설치하여 하중이 인가된 상태에서 케이블을 100,000회 반복적으로 회전운동을 가하도록 하였다.

## 3. 케이블 그랜드 시험 결과 및 분석

### 3.1. 내화 시험

본 연구를 위해 진행한 시험 장비와 내화 시험의 표준 온도 곡선에 따른 시험온도는 아래 그림과 같이 나타내었다.(Fig. 4./5.)

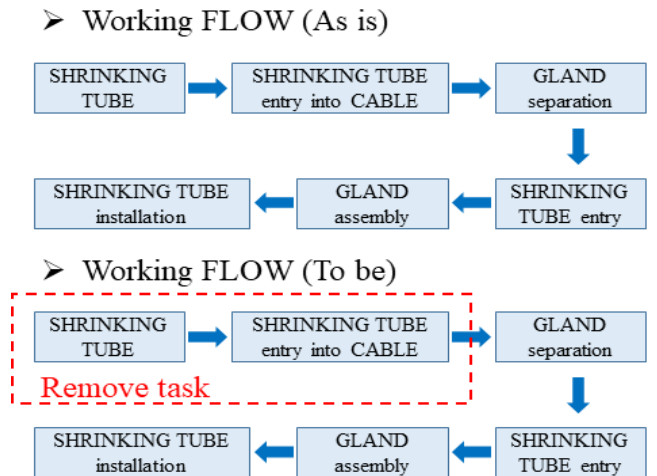


Fig. 2. Working process effect analysis

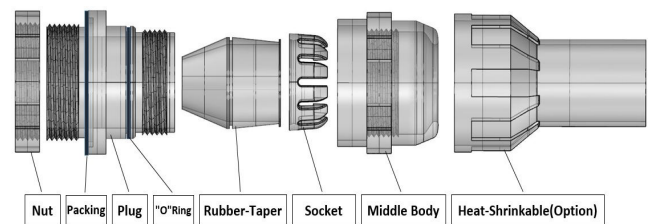


Fig. 3. Cable Grand structure

예비시험에서 기존 제품의 내화 시험 결과 기존 제품은 5분 경과 시 연기 발생이 시작되어 설치된 판넬에서 탈락되기 시작하였으며 8분경과 완전히 분리 되어 판넬에서 탈락되었다. 10 분 경과 탈락된 기존 제품의 위치에서 화염이 10초 이상 발생하였으며 15분 경과 2 차 화염이 발생하였다. 시험체 온도는 5분 경에 약 25°C를 나타내었으나 제품의 탈락 및 화염 발생으로 인하여 측정이 불가능하였다.(Fig. 6./7./8.)

개발 제품의 경우 시험이 진행되는 30분 동안 약간의 연기가 발생하였으며 화염은 발생하지 않았다. 시험체의 표면온도는 개발제품 1 상부 61.7°C, 하부 54.6°C, 개발제품 2는 상부 34.8°C, 하부 42.6°C, 개발 제품 3은 39.1°C, 37.9°C를 나타내었으며 내화 성능 기준을 만족한 것으로 나타났다[3].(Table 2.)

본 시험에서는 격벽(Bulkhead) 2,480mm × 2,420mm 크기에 개발 제품을 설치하였다. 설치 된 시험체는 각기 다른 크기로 10mm, 20mm, 50mm 3가지로 구성하였으며 선정된 시험체는 현장에서 가장 많이 사용되는 크기를 선정하였다. 시험은 841°C의 온도조건에서 30min. 동안 진행하였다.

시험 판정기준은 차열성과 차염성을 만족하는 조건으로써 비 가 열면에서 시험체의 온도가 225°C를 초과해서는 안되며 화염 발생이 없을시 성능을 만족하는 것으로 하였다.

시험 결과 10mm의 시험체에서는 최고 93.4°C, 20mm에서는 최고 204.6°C, 50mm에서는 최고 107.8°C를 나타내었다. 측정 결과 3 가지 제품 모두 시험 조건을 만족하였다.(Table 3.)



Fig. 4. Test equipment

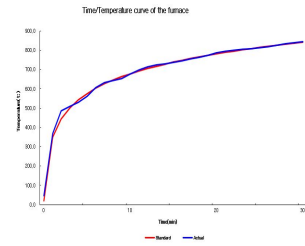


Fig. 5. Heating temp. curve

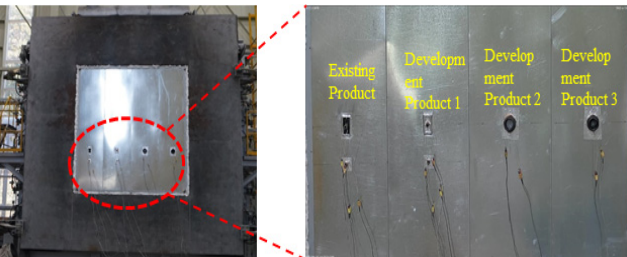


Fig. 6. Specimen installation of primary test

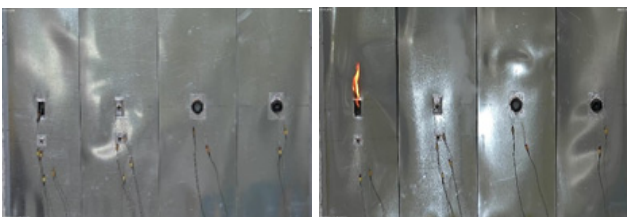


Fig. 7. Existing product drop out (8 min.) Fig. 8. Existing product flame (10 min.)

### 3.2. IP 보호등급 시험(IP 6X / IP X6/ IP X7)

케이블 그랜드의 IP 시험은 IP 6X, IP X6, IP X7 3가지 등급으로 'KS C IEC 60529 외함의 밀폐보호 등급 구분(IP코드)'에 따라 수행하였다.

IP 6X는 시험장비 Solid IP Tester와 Digital force gauge, Linear measuring system을 이용하였으며 위험한 부분으로의 접근 및 외부 분진에 대한 보호 등급을 나타내는 것으로서 시료 설치의 아래와 같다.(Fig. 10.)

시험은 검사용 프로브 지름 1.0mm, 시험힘 (1.0 ± 0.1) N의 조건으로 먼지 챔버를 이용하였다. 시험용 외함은 시험 챔버내부에 두고 진공 펌프로 외함 내부의 압력을 주위 기압 미만으로 유지시켰으며 시험에 사용되는 활석 가루는 공칭 전선 지름이 50µm 이며 전선 사이 간격의 공칭 너비가 75µm 인사각 그물체를 통과할 수 있

Table 2. Surface temperature and results of specimens

	Top(°C)	Bottom(°C)	Results
Existing product	Not measurable	Not measurable	Drop out and flame
Development product 1	61.7	54.6	Non-flame
Development product 2	34.8	42.6	Non-flame
Development product 3	39.1	37.9	Non-flame



Fig. 9. Secondary Test before and after

Table 3. Fireproof test results of Cable Grand

Category	Performance criterion	Results
10	Gap gauge not passed through	Not passed through
	Cotton wool pad no ignition	No ignition
	No flaming	No flaming
Insulation	Unexposed face max. temp. less than 240.1°C	93.4°C
20	Gap gauge not passed through	Not passed through
	Cotton wool pad no ignition	No ignition
	No flaming	No flaming
Insulation	Unexposed face max. temp. less than 239.6°C	204.6°C
50	Gap gauge not passed through	Not passed through
	Cotton wool pad no ignition	No ignition
	No flaming	No flaming
Insulation	Unexposed face max. temp. less than 240.6°C	107.8°C

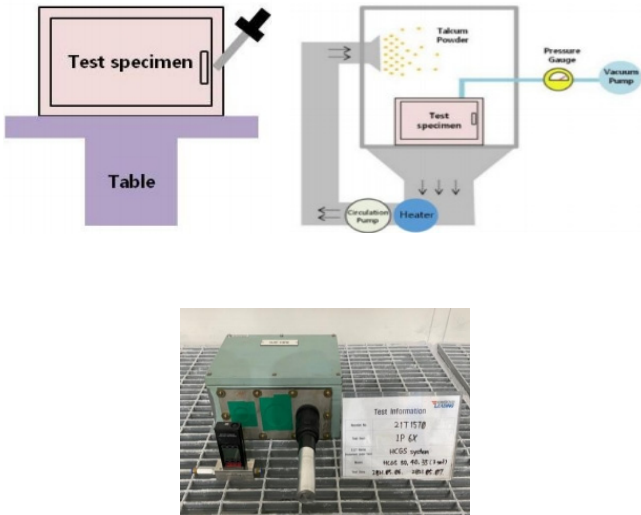


Fig. 10. Specimen installation



Fig. 11. IP 6X test result

어야 한다.

결과 판정 기준은 종료시 외함 내부에 어떠한 먼지 퇴적물의 유입이 없을시 만족스런 보호가 이루어진 것으로 한다. 이와 같은 시험 방법으로 수행 후 확인한 결과 외함의 내부로 시험 프로브 및 분진이 침투되지 않았으며 아래와 같다.(Fig. 11.)

IP X6과 IP X7 시험은 물의 침투에 관한 시험으로 시험 장비는 Water IP Tester, Linear measuring system, Data logger를 사용하였다.

IPX6 시험은 노즐의 내부 지름 12.5mm, 방수율 100L/min ± 5%, 노즐로부터 2.5m 떨어진 지름 약 120mm의 원 조건으로 약 3분간 진행하였다.

결과 판정기준은 물의 침투가 없어야 하며 시험 결과 외함의 내부로 물이 침투되지 않았다. 시험체 설치 구성도와 결과는 아래 사진과 같이 나타내었다.(Fig. 12.)

IP X7 시험은 일시적 침수로 인한 물 침투로 인하여 기기에 미치는 해로운 영향을 평가하는 시험으로 시험 시간은 약 30분간 진행하였다. 시험 조건은 시험체의 높이가 850mm 미만인 외함의 경우, 외함의 아래 끝이 수면에서 1,000mm 에 위치하도록 하였으며 시험 결과 외함의 내부로 물이 침투되지 않았음을 확인할 수 있었다.(Fig. 13.)

개발 제품에 대하여 시험한 결과 보호 등급 IP 6X, IP X6, IP X7 3가지에 대하여 먼지 및 물의 침투가 발생하지 않았으며 외함의 밀폐 보호 등급에 대하여 성능 기준을 만족한 것으로 나타났다.

### 3.3. 난연성 시험(Bunching Test)

Bunching Test는 IEC 60332-3의 시험 방법을 적용하였다. 시험체는 케이블 3m 길이 8개를 수직으로 고정 설치후 개발 제품을 장착

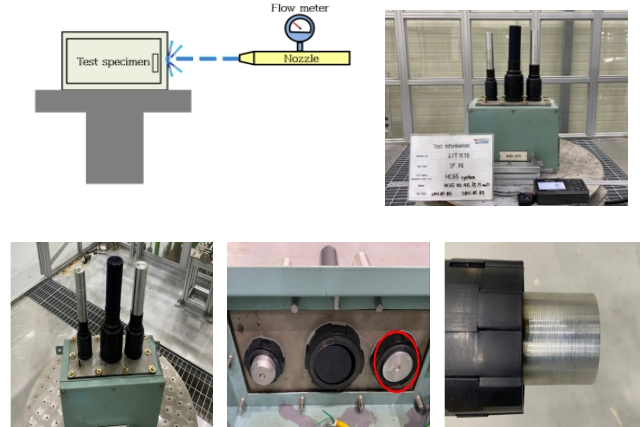


Fig. 12. IP X6 Specimen installation and result



Fig. 13. IP X7 Specimen installation and result

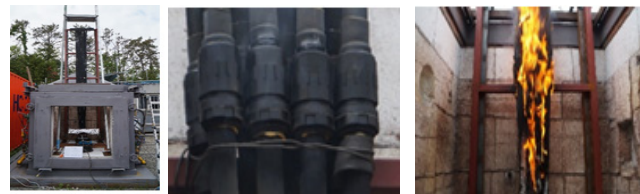


Fig. 14. Specimen installation



Fig. 15. Test result and specimen confirmation

하였다. 설치된 케이블 하단부에 화염을 가하여 약 40min. 동안 진행하였으며 시험 판정기준은 시험 종료 후 개발 제품 내부에 화염 전이가 없을시 성능에 적합한 것으로 하였다.

시험 결과 개발 제품 케이블 그랜드 상부 케이블측은 화염이 외부에서 타고 전이가 발생하여 케이블 전체 손상되었으나 케이블 그랜드 내부를 확인하였을 때 화염전이가 발생하지 않았으며 케이블의 원 형태를 유지하고 있었다.(Fig. 14./15.)

### 3.4. 무독성 시험(Halogen Free Test)

Halogen Free 시험은 친환경 측면에서 환경규제에 대응하기 위한 성분 확인 시험으로 개발 제품의 소재에 대하여 수행하였다. 규제 물질에 대한 허용치는 Bromine(Br)과 Chlorine(Cl) 두가지 모두 max. 900mg/kg 이며 총 할로젠 제한치는 max. 1,500mg/kg으로 규정하고 있다. 이에 대하여 분석한 결과 측정 시료 전체에서 Cl과 Br은 기준치를 만족하였으나 개발 제품의 경우 타사 제품에 비해 개

Table 4. Halogen free test results

Specimens		Unit	Tet Item	
			Cl	Br
H1-1	Development product	mg/kg	69	N.D.
H1-2	Development product	mg/kg	27	N.D.
J2-2	Company A	mg/kg	72	N.D.
G2-3	Company B	mg/kg	57	N.D.
K2-4	Company C	mg/kg	144	N.D.
R2-5	Company D	mg/kg	50	N.D.
H2-1	Development product	mg/kg	51	N.D.
H2-1	Development product	mg/kg	52	N.D.

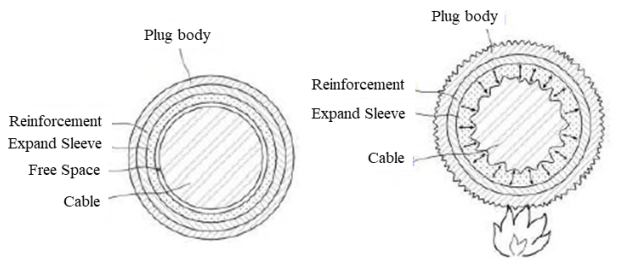


Fig. 16. Cross section of Specimen

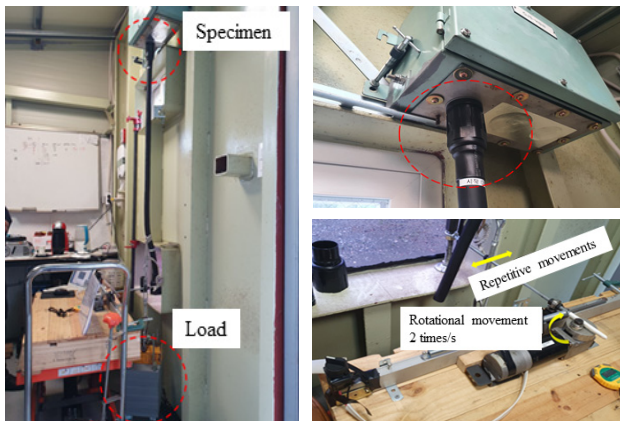


Fig. 17. Specimen installation and confirmation

발 시료의 Cl 검출량이 27mg/kg, 51mg/kg, 52mg/kg, 69mg/kg으로 비교적 적게 검출되어 개선된 성능을 확인 할 수 있었다. 아래 표는 개발 제품과 타사 제품과 비교 검토를 위해 분석결과를 나타내었다.(Table 4.)

### 3.5. 기계적 강도 시험

케이블 그랜드의 나사산 목부위의 경우 사용시 취약한 강도 및 반복 사용으로 파손되는 경우가 빈번히 발생하고 있다. 이런 취약요소에 대하여 보완된 제품에 대하여 기계적 강도 시험을 통하여 성능평가를 수행하였다. 개발된 케이블 그랜드의 구조는 아래와 같다.(Fig. 16.)

시험 조건은 하중 100kgf, 변위 10mm로 설정하여 100,000회 반복시험을 하도록 하였으며 시험은 하중이 인가된 상태에서 진행하여 최종적으로 개발제품의 변형, 파손 및 체결상태 등 결함 유무를 확인하였다.(Fig. 17.)



Fig. 18. Test result confirmation

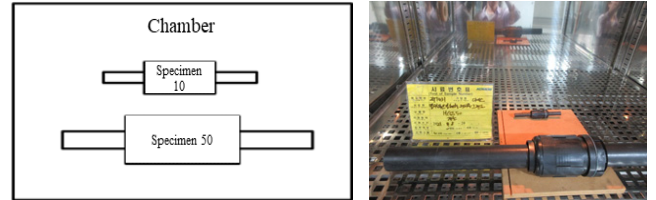


Fig. 19. Specimen installation

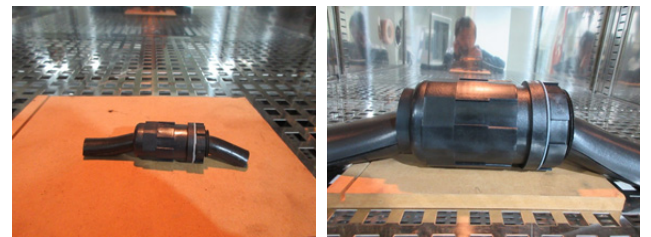


Fig. 20. Test result(10mm)

Fig. 21. Test result(50mm)

Table 5. Test results of Cable Grand

Test Item	Test Standard	Results
Fire Test	- FTP code 2010 : 841°C/30min	Conformity
IP Test	- KS C IEC 60529:2017	Conformity
Flame Retardant	- Bunching Test : Category A	Conformity
Halogen Free	- CIC : 5% 이하	Conformity
Strength Test	- 100kg, 10mm, 100,000회	Conformity
Environmental Test	- IEC600682-1,2 : - 40°C/100°C	Conformity

시험 결과 약 77시간 동안 130,242회 반복 진행하였으며 아래 그림과 같이 확인 한 결과 파손 및 변형은 발생하지 않았다.(Fig. 18.)

### 3.6. 환경 시험

환경시험은 개발제품에 케이블을 장착한 상태로 IEC 60068-2-2:2007 Environmental testing-Part 2-2:Tests -Test B:Dry heat에 따라 진행하였다.

시험 장비는 항온항습기를 이용하여 - 40°C와 100°C 조건에서 내한성과 내열성에 대하여 진행하였으며 설치는 아래와 같다.(Fig. 19.)

시험시간은 각각 2시간 동안 진행하였으며 시험 종료 후 외관검사를 행하였다.

결과 - 40°C조건에서는 크랙, 변색, 변형 등이 발생하지 않았다. 100°C 조건에서는 케이블은 변형이 발생하였으나 케이블 그랜드는 크랙, 변형 등이 발생하지 않았으며 정상 작동하여 이상 없음을 확인할 수 있었다.(Fig. 20./21.)

개발 제품에 대하여 기능 및 향상된 특성 위주로 적합한 시험 방법을 적용하여 검증한 결과 기존 케이블 그랜드에서 개선된 성능을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존 사용되고 있는 케이블 그랜드에 대하여 케이블을 통한 화재확산과 나사 목부위의 사용시 파손 등 취약 요소를 보완 보강한 개발 제품으로써 각 성능에 적합한 시험 방법을 선정 후 성능을 분석하였으며 결론은 다음과 같다.

케이블 그랜드의 내화 성능 시험은 총 2회로 진행되었으며 1차 예비 시험에서는 기존제품은 화염이 같은 위치에서 2회 발생하였으나 개발제품은 화염이 발생하지 않았으며 기존 제품과의 성능 개선을 확인할 수 있었다. 2차 본 시험에서는 격벽에 설치하여 확인한 결과 성능을 만족함으로써 케이블이 타면서 생긴 틈과 케이블 그랜드의 중심부를 통한 화염이 확산 방지가 가능함을 확인 할 수 있었다. 이외 IP등급 시험, 난연성 시험(Bunching Test), Halogen Free, 기계적 강도, 환경성능 시험에 대하여 진행한 결과 성능 기준에 만족함을 확인할 수 있었다.

본 연구의 내화 시험과 Flame Retardant의 Bunching Test를 통해 개발된 팽창형 슬리브 결합형 내화용 케이블 그랜드는 공간과 공간에 대하여 케이블이 타면서 발생한 틈을 원통형 팽창 슬리브가 팽창하면서 메움으로써 케이블이 타면서 생긴 틈과 케이블 그랜드의 중심부를 통해서 화염 확산 방지가 가능함을 확인하였다. 기계적 강도 시험을 통하여 플러그 몸체 안에 삽입되는 원통형 보강재를 구비함으로써 몸체를 얇게 만들고 강도 유지가 가능함을 확인하였으며 IP시험과 Halogen Free, 환경성능 시험을 통하여 구조적 효율성과 내구성이 증진 효과를 확인할 수 있었다.

또한, 개발제품의 원가 경쟁력에서는 향상을 위하여 공정 단순화 및 Metal 재질이 아닌 복합 소재를 적용함으로써 현 수준보다 상위 수준의 성능 개선이 이루어진 것으로 판단된다.

케이블은 모든 분야와 산업계에서 사용 중인 전기와 관련한 필수 자재이며 케이블 그랜드는 약 1~2% 수준의 기자재지만, 신경·혈관과 같은 매우 중요한 역할을 하고 있다. 동력 에너지, 정보를 연결해주는 역할은 케이블 없이는 이뤄질 수 없기 때문에 산업에 있어서 중요성이 부각되고 있으며 이에 성능 개선 및 개발된 케이블 그랜드는 산업계의 효율적인 공정과 경제성, 안전 확보에 있어 큰 요소로 작용할 것으로 사료된다.

#### Acknowledgement

본 연구는 2020년 과학기술정보통신부 기술사업화 역량강화 사업의 지원으로 이루어졌습니다.

#### References

[1] Ministry of Science and ICT, Technology Commercialization Capacity Building Project, Expandable Development of sleeve-coupled fireproof cable gland commercialization technology, 2020.  
 [2] IMO Res. MSC 307(8) - International Code for Application of Fire Test Procedures, Annex1, Part3-Part4, 2010.  
 [3] 채한식 외 3인, 팽창형 슬리브 결합형 내화용 케이블 그랜드 기술 개발, 한국: 한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회논문집, 2021, pp.68-69. // (H.S. Chae et al., Expandable sleeve-type fireproof cable

gland Technology development, Korea: Conference Journal of KIEAE, 2021, pp.68-69.)

1) 채한식, 강동혁, 임영일, 이종호, 팽창형 슬리브 결합형 내화용 케이블 그랜드 기술 개발, 한국: 한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회논문집, 2021, pp.68-69.