변전소 철골 내화뿔칠 부착강도 기준설정에 관한 실험적 연구

The Experimental Study on the Suggestion for Bond Strength Standard of Sprayed Fire Resistive Materials Used at the Substation Steel Structures

박 동 수^{1)*} 정 원 섭²⁾
Dong-Su Park Won-Seoup Joung

Abstract

Sprayed fire resistive materials are mainly used at steel structures to satisfy fireproof construction standard. However, the regulations on bond strength have been not considered with the exception of structures in the nuclear power plants, although it is an important factor showing material properties. Therefore, this paper suggested guidelines for bond strength of sprayed fire resistive materials used in the substation, by measuring bond strength according to aging of structures and impact loading considering environment of substations. It is judged that the bond strength suggested in this paper is the minimum value because it was measured from specimens widely used.

Keywords : Fire resistance, Sprayed fire resistive material, Bond strength, Substation, Impact loading

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

본 논문은 변전소에 내화뿔칠재를 적용하기 위하여 경년 열화 조건에 의하여 부착강도 기준을 설정하는 실험연구이다. 한전에서는 변전소 철골 내화구조로 내화뿔칠재를 사용하고 있으나, 부착강도 기준 값은 설정되어 있지 않은 상태이다.

부착강도는 내화뿔칠재가 성능을 유지하고 있는지를 나타내는 척도로 사용되고 있다. 경년열화에 의하여 내화뿔칠재가 탈락한다면 내화구조로서의 기능을 상실하기 때문이다.

변전소는 일반구조물의 실내환경과 유사하나 한 가지 다른 점은 변전소 특성상 GIS (Gas Insulated Switchgear)의 전원 투입 및 개방 현상이 있으며, 이때 구조물에 진동이 발생하게 된다. 이로인하여 내화뿔칠재가 진동에 영향을 받을 수 있으므로 충격하중 항목이 실험에 포함되었다.

실험방법에 있어서는 기존의 부착강도 실험은 용수철 저울을 이용하여 인력으로 당기는 방법으로 실험자에 따라 오차가 발생할 수 있어 이를 방지하고, 실험의 편의성 향상을 위하여 부착강도 실험장치를 개발하였으며, 충격하중 실험장치도 새로 개발하여 실험의 편의성을 향상시켰다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 논문은 변전소 철골구조물의 내화뿔칠재 부착강도 기준을 설정하기 위한 것으로 변전소 실내 환경조건에 따른 경년변화에 의한 영향을 연구범위로 하였다.

또한, 국내에서 내화뿔칠 부착강도 값이 규정되어 있는 것은 원전에 적용된 것이 유일하기 때문에 원전현장을 조사하여 부착 상태를 확인하였으며, 원전 부착강도 값을 기준설정에 참고하였다.

국내외 관련문헌을 조사하여 각 국가별 내화뿔칠재 부착강도 기준 및 실험조건을 분석하여 촉진실험방법을 정립하

1) 정회원, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원, 교신저자
2) 정회원, 한국전력공사 전력연구원 선임보연구원

* Corresponding author : dspark@kepri.re.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2014년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2014년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

였고 변전소의 운전에 따른 조건을 분석하여 실험방법을 정립하고, 필요한 실험장치를 개발하였다.

2. 내화뿔칠 관련기준

2.1 관련법령

건축공사 표준시방서 및 한전 건축공사전문시방서 등에는 부착강도 값에 대한 기준은 설정되어 있지 않으며, 일반적인 내화기준의 내용은 아래와 같다.

- (1) 건축법시행령 제56조 「건축물의 내화구조」
: 3층 이상의 건축물 및 지하층이 있는 건축물
- (2) 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제3조 「내화구조」: 한국건설기술연구원이 실시하는 품질실험에서 성능 확인
- (3) Table 1은 건교부 고시 제2005-122호 (2005. 5)이며 내화구조의 인정 및 관리기준이다.

2.2 기존 내화뿔칠 충격하중 실험기준

변전소 내화뿔칠 부착강도 기준설정의 목적은 변전소 수명기간동안 내화뿔칠재가 제 기능을 수행할 수 있도록 하기 위함이다.

즉, 변전소 수명기간 동안 내화뿔칠재가 탈락하지 않고 부착되어 제 기능을 수행하는지의 여부를 판단하고자 하였다.

수명기간 동안 탈락여부를 실험하는 규격은 원자력구조물 시공기준인 ASTM E760 'Effect of Impact on Bonding of Sprayed Fire-Resistive Material Applied to Structural Members'에 충격하중 실험의 방법이 기술되어 있다.

본 기준은 다시 ASTM E695 'Method for Measuring Relative Resistance of Wall, Floor and Roof Construction to Impact Loading'을 참고하도록 되어 있다.

그러나, 본 기준은 건물 마감재에 대한 충격실험에 관한

Table 1 Approval and management standard of fire construction

Classification	Construction Standard	Fire Resistive Performance
General facilities (Office, Public service, the first class, the second class neighborhood living facility)	below 4th floor, lower than 20m-high	1 hr
	below 12th floor, lower than 50m-high	2 hrs
	below 12th floor, higher than 50m-high	3 hrs

것이며 실험편의 크기가 작은 경우에는 적용하기 어렵게 되어 있어 본 실험에서는 부착강도 실험편을 실험할 수 있는 실험장치를 개발하여 사용하게 되었다.

2.3 내구성 실험조건

변전소의 수명기간 동안 내화뿔칠재의 건전성을 평가하기 위해서는 변전소 수명기간 동안 해당하는 열화를 거친 실험편을 이용하여 실험을 수행하여야 변전소에 적용할 수 있는 내화뿔칠재의 성능기준을 수립할 수 있다.

본 항에서는 기존의 연구내용 및 국외 기준을 참조하여 변전소에 적용하는 실험조건을 규정하고자 한다.

2.3.1 기존 연구

내화뿔칠재에 대한 기존연구의 내용은 '석고 및 질석계 내화뿔칠재의 온-습도조건에 따른 내화성능'이 있다. 본 논문에서는 온도의 영향을 평가하기 위하여 -20, 20, 40℃, 상대습도를 50%로 고정한 조건과 습도의 영향을 평가하기 위하여 상대습도를 30, 60, 90%, 온도를 20℃로 고정한 조건의 6가지의 다른 온습도 조건으로 구분하여 밀도 및 부착강도 실험편을 7일간 열화시켜 실험하였다.

Table 2~Table 4는 각각 미국, 일본, 영국의 내구성 실험 기준을 정리하였다.

2.3.2 변전소 경년열화에 따른 내구성 실험조건

변전소 구조물의 내구년한은 특별한 규정은 없으나 일반적으로 약 40년으로 보고 있다. 따라서, 구조물의 경년열화에 의한 환경조건을 최소 40년을 기준으로 하였다.

내구성 실험을 위한 환경조건으로 변전소 운전환경에서 내화뿔칠재에 작용할 수 있는 동결융해 (건설 및 창문개방

Table 2 Aging method of ASTM E 1529 fireproof construction

Method	Content
accelerated degradation	Place at $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ for 270 days
accelerated weathering	Place for 30days in the weathering machine
humidity freeze melting	12cycles/day for 72 hours. 24 hours at $-40 \pm 3^{\circ}\text{C}$ after 17.8mm water spray 72 hours at $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$
high humidity	Place for 180 days at $35 \pm 3^{\circ}\text{C}$, RH 100%
contaminated air	Place in the 25.4mm-water-filled plate at $35 \pm 3^{\circ}\text{C}$ with the mixed air with 1~1.5% of SO_2 gas and 1.5% of CO_2 gas
salt spray	Test according to the ASTM B 117

Table 3 Evaluation method of durability for fire resistant paint of JSSC

Method	Content
weathering test	evaluation for 2000 hrs, 48mins/cycle, irradiation for 12 mins and water spray, irradiation for 21hrs long, leave it for 3 hrs
freeze melting	freeze in gas phase at 20℃ for 2hrs melting in water phase at 20℃ for 2hrs repeat 1250 cycles continuously
high humidity	Place at 40℃, RH 98%, for 1000hrs
salt spray	Place at 35℃, with 5% of NaCl solution spray for 5000hrs
water resistance	Place in water at 20℃ for 100 days

Table 4 Evaluation method of durability for fire resistant paint of BS 8202-2

Exposure condition	external condition	partially external condition	internal condition under construction	internal condition
high temperature exposure test at 50 ±2℃ for 6months	○	○	○	○
decantation test 20 cycles wetting the sample with 2.5%-soapy water, dry it without rinse	○	○	○	○
freeze-melting test 24hrs at -20 ℃, 24hrs at 20 ℃	10 cycles	10 cycles	5 cycles	5 cycles
SO ₂ Test SO ₂ 0.2l per 300l according to BS 3900-F3	20 cycles	10 cycles	5 cycles	5 cycles
Humidity Test according to BS 3900	1000 hrs	1000 hrs	250 hrs	250 hrs
Weathering Test according to BS 3900-F3	2000 hrs	1000 hrs		
Salt Spray Test according to BS 3900-F4	2000 hrs	1000 hrs		
Outdoor Exposure Test	2 years at least	1 year at least	0.5 year at least	

시), 습도, 온도, 중성화의 4가지 조건을 실험환경 조건으로 설정하였다.

온도조건으로는 기상청의 국내 온도 및 습도의 30년간 월 평균 값을 조사한 결과, 국내 최고온도는 8월 달에 30℃를 웃도는 것으로 나타났으며, 최저온도는 1월 달에 -10~-15℃ 사이에 분포하였다. 상대습도는 1년 사이에 50~90% 사이에서 변하는 것으로 나타났다.

Fig. 1 Internal temperature history in the substation for a year

Fig. 2 Cyclic conditions of complex tests

이와 같은 기상청 자료 이외에 변전소 실내 온도이력을 2년간에 걸쳐 측정한 결과는 Fig. 1과 같으며 최고 약 30℃에서 최저 5℃로서 실내에서는 영하로 떨어지지 않았다.

습도조건은 ASTM E 1529 기준에서는 약 100%로 실험하였으나, 본 실험에서는 사이클 실험시 온-습도 복합조건에 의한 실험장비 성능상 50%에서 60%로 정하였으며, 100% 습도조건은 실험편을 48시간 수중 침지하는 것으로 대체하였다. 동결융해 조건은 변전소 내화뿔칠은 대부분 실내에서 노출로 시공되나 시공과정에서 외기에 노출될 수 있으므로 최저 -20℃에서 최고 60℃로 하였다. 중성화 실험조건은 대기중 CO₂ 농도는 0.03% 이나 단기간 촉진열화를 위하여 약 100배 증가시킨 값으로 CO₂ 농도를 3%로 하였다.

Fig. 2는 내화뿔칠재를 열화시키기 위한 복합 실험조건 열화사이클을 나타내고 있다.

12시간이 기본 사이클로 되어 있으며 실험은 10, 25, 71,

90 사이클 단위로 실험하였으며, 일수로는 최대 45일 열화시켰다. 이는 촉진내후성 실험조건인 ASTM E 1529에서 30일 기준, BS 3900-F3에서는 부분적 외부조건으로 1,000시간으로 되어 있어 본 실험에서는 12시간이 1 사이클로 90 사이클 1,080시간으로 정하였으며, 24시간인 2 사이클이 1년의 경년열화 시간임으로 변전소 내구년한인 40년 이상으로 하였다.

2.3.3 변전소 충격하중 실험조건 설정

(1) 충격하중 산정

변전소 수명기간동안 발생하는 진동은 연간 1회 정도 시행하는 GIS 기기 전원 투입 및 개방 시 진동이 있다. Fig. 3은 GIS 전원 투입 및 개방 시 가속도 값을 현장에서 측정한 것이다. 측정결과 가속도 최대값은 약 0.8 m/sec^2 이었다.

측정위치는 진동원인 GIS 스위치로부터 거리가 떨어진 위치에서 측정하였으므로 내화뿔철재에 가해지는 가속도 값은 거리에 의한 감쇄, 충수에 따른 증폭, 실험시 오차 및 여유도 등을 고려하여 약 $5\sim 10 \text{ m/sec}^2$ 으로 하였다. 충격횟수는 변전소 내구년한을 상회하는 45회로 하였다.

(2) 충격하중 실험장치 개발

Fig. 4의 실험장치는 내화뿔철재가 GIS 투입 및 개방 시

Fig. 3

Fig. 4 The tester for impact loading

받는 충격하중을 모사하여 실험체에 가하기 위한 장치로 유사한 충격량이 가해질 수 있도록 햄머의 각도를 조절할 수 있게 하였다.

실험편은 Fig. 4에서 철판 밑에 하향의 방향으로 설치된다. 충격하중은 오른편의 햄머에 의하여 자유낙하와 같은 원리로 회전축을 중심으로 반원을 그리며 실험편이 부착된 철판면 주위에 충격을 가하고 이때의 충격가속도는 실험편 윗편 철판부의 실험편 중심에 설치된 가속도센서에 의하여 측정하였다. 햄머의 뒤쪽에 설치된 각도 표시눈금은 일정한 충격하중을 가하기 위하여 햄머를 드는 각도를 측정하는 장치이다.

3. 부착강도 실험

3.1 부착강도 실험기준

3.1.1 기존 부착강도 실험기준

국내 기준으로는 KS F 2902 : 2008 ‘구조부재에 시공하는 내화 뿔철재의 부착 강도 실험방법’에 따라서 실험하도록 되어있으며, 국외기준으로는 ASTM E736 ‘Cohesion/Adhesion of Sprayed Fire-Resistive Materials Applied to Structural Members’가 있으며 두 기준은 내용은 유사하다.

(1) 실험장치

- 원통형 접시 : 지름이 51~83 mm의 접시모양
- 접착제 : 2액형의 에폭시 수지 또는 우레탄 수지
- 저울 : 용수철 타입이며, 12 kg에서 50 kg 용량과 0.1 kg 이내의 정밀도를 갖는다.
- 아연도금 강판 : 용제를 이용하여 표면의 기름을 제거하고 두께 1.6 mm, 크기 300 × 300 mm의 정사각형

(2) 실험편의 크기

- 300 × 300 mm의 아연도금 강판에 12 mm에서 25 mm의 두께로 내화뿔철재를 시공한다.
- 실험은 실험편이 항량에 도달한 후 실시되어야 한다.

(3) 실험절차

- 원통형 접시에 접착제를 충분히 채우고, 내화 뿔철재 표면에 부착시킨다.
- 접착제가 충분히 경화될 때 까지 원통형 접시를 고정시킬 수 있는 조치를 취하고, 원통형 접시 밖으로 흘러나온 접착제는 경화되기전에 닦아내거나 경화후에 조심스

럽게 제거하여야 한다.

- 접착제 경화 후 용수철 저울을 갈고리에 걸고 실험편이 수직방향으로 약 49 N/min의 하중을 일정하게 또는 단계적으로 가한다.

3.1.2 기존 실험방법 보완

기존에 수행되는 부착강도 실험방법은 Fig. 5와 같이 ASTM 및 KS 기준에 의하여 50kg 용량의 용수철 저울을 이용하여 인력으로 실험편 표면에 붙인 컵을 당겨서 최대 부착강도를 측정하게 되어 있다.

용수철 저울을 이용한 방법은 용수철을 당기는 방법이 인력에 의하기 때문에 일정한 하중을 연속적으로 가할 수 없고, 부착강도가 용수철의 범위를 넘게되면 최대 부착강도를 알지 못하는 경우가 있다. 또한, 부착강도 실험 시 하중에 따른 변위를 측정할 수 없어 내화재료 특성을 알 수 없었다.

본 논문에서는 이와 같은 점을 해결하기 위하여 Fig. 6과

같은 파괴 부착강도 까지 실험이 가능하도록 200kgf까지 유압에 의하여 가력하며, 변위계 설치에 의한 변위측정, 실험편의 고정 등 실험실 부착강도 실험 및 현장에서 이용 가능한 이동식 부착강도 실험기를 개발하게 되었다.

실험장치는 알루미늄 프레임 하부에 소형 유압잭을 부착하고 유압잭 피스톤 단부에 디지털 값으로 하중을 측정할 수 있는 로드셀이 부착되고 로드셀 하부에는 힌지장치가 있는 실험체를 결합할 수 있는 치구가 설치되어 정밀한 실험이 가능하도록 하였다.

실험편 표면은 아연도금 강판을 이용하도록 되어 있으나, 변전소 현장 여건을 반영하기 위하여 녹막이 도장처리가 된 것과 안된 철판을 이용하였다. 실험편 두께는 규격에서는 1.6mm로 하게 되어 있으나 본 실험장치 이용시 실험편 자체가 휘어져 실제 부착강도보다 작게 측정될 수 있는 문제가 있어 이를 방지하기 위하여 본 실험에서는 두께 5mm의 철판을 이용하였다.

3.2 실험편 제작 및 열화

3.2.1 실험편 제작방법

실험편은 중밀도, 저밀도, 녹막이 도장면, 철판면의 4가지이며 열화 사이클은 0, 10, 25, 71, 90 5개 사이클로 20개이며, 각 Case 별로 3개의 실험편을 제작하여 총 60개가 소요된다. 추가로 침수실험 및 기타의 목적에 따른 실험을 위하여 40개를 더하여 총 100개의 실험편을 제작하였다. 실험편의 크기는 300 × 300 mm이며, 시공두께는 약 24mm로 하였다. 재료구성은 Table 5와 같다.

(1) 실험편 표면 처리

실험편의 표면 처리는 Fig. 7과 같이 중밀도 (b) 제품은 제품기준에 따라 하도처리를 하였고, 저밀도 (a)는 하도처리가 없으며 용제를 이용하여 기름기 등을 제거하였다.

(2) 내화뿔칠 시공

실험편 제작을 위한 시공용 기계는 Fig. 8과 같이 현장에서 사용하는 동일한 종류의 장비를 사용하였다.

Fig. 5

Fig. 6 The developed bond strength tester

Table 5 The composition of material

composition	Portland cement	Expanded polystyrene for thermal insulation	Retarding agent	Stabilizer	Gypsum plaster	addition agent
Mixing ratio by weight	70	2.5	0.5	5.0	15	7.0

(a) Plates for medium density (b) Plates for low density

Fig. 7

(a) Construction equipment (b) Spray of material

Fig. 8

(a) Neutralization tester (b) Test setting

Fig. 9

3.2.2 실험편 양생 및 열화

실험편의 양생은 약 1개월간 실내조건에서 양생하였으며, 양생이 끝난 실험편에 대하여 Fig. 9의 중성화실험장치를 이용하여 최대 45일 (90 사이클) 온도, 습도, 중성화 조건으로 열화시켰다. 실험장치는 일본 마루이사의 중성화실험기를 이용하였다.

3.2.3 부착강도 실험편 제작

양생 및 열화가 끝난 실험편을 접착제를 이용하여 컵을 붙인 후 24시간 양생하였다 (Fig. 10).

Fig. 11은 10일 열화된 실험편을 나타내고 있다. 실험체 표면의 반점은 열화에 의한 현상이 아니라 복합열화 시 상부 실험편의 철판에서 녹물이 떨어져 생긴 흔적이다.

Fig. 10 Attachment of Cup

Fig. 11 Deteriorated specimens

(a) Bond strength test (b) Material fracture

Fig. 12

3.3 부착강도 실험결과

3.3.1 부착강도 실험방법

부착강도 실험은 양생 및 열화가 끝난 실험편에 대하여 수행하였으며, Fig. 12의 좌측과 같이 부착강도 실험기에 실험편을 고정하고 50mm 변위계를 원통형 접시 위에 설치한다. 가력은 유압에 의하여 원통형 접시를 인장하며 로드셀 및 변위계를 이용하여 하중과 변위값을 데이터로거에 연결하여 동시에 측정한다.

3.3.2 실험편 파괴양상

부착강도 실험결과 실험편은 크게 3가지 양상으로 파괴되었다. (1) 내화뿔철재 재료에서 파괴 (Fig. 13(a)), (2) 내화뿔철재 재료와 철판면에서 파괴 (Fig. 13(b)), (3) 철판면 전체

(a) Result of fracture (b) Result of fracture

Fig. 13

Table 6 The results of bond strength test

Cycles	Test Sample	Medium density (bond strength (MPa))		Low density (bond strength (MPa))	
		painting	non-painting	painting	non-painting
0 Cycles		0.16	0.19	0.06	0.09
10 Cycles		0.14	0.15	0.03	—
25 Cycles		0.07	0.21	0.05	0.05
71 Cycles		0.71	0.17	0.04	0.05
90 Cycles		0.06	0.18	0.04	0.06

에서 파괴 (Fig. 12(b))되었다.

내화뿔철재 재료와 철판면에서 판단되는 양상은 열화전 실험체에서만 관찰되었다. 철판면 전체에서 판단되는 양상은 열화가 진행된 실험편 중 도장면에 시공한 실험편에서 발생되었다. 재료와 철판면에서 파괴되는 이유는 양생이 충분히 되지 않아 강도부족으로 재료간의 점착력이 약하므로 전단력에 의하여 파괴된 것으로 판단되며, 철판면 전체에서 파괴되는 것은 열화가 진행되면서 도장면과 내화뿔철재 사이에 습기가 침투되어 부착력이 약화된 것으로 판단된다.

3.3.3 부착강도 실험결과

(1) 열화 사이클에 따른 부착강도 실험결과

Table 6은 실험결과를 열화 Cycle 및 재료특성에 따라 구분하여 정리한 결과이다.

부착강도는 Cycle이 증가하여 열화가 진행될수록 부착강도는 감소하며, 비중이 높을수록 부착강도는 높아지는 경향을 보였다. 즉, 부착강도는 열화에는 반비례하고, 비중에는 비례하는 특성을 나타냈다.

또한, 결과를 정리한 Fig. 14를 참고하면 중밀도 무도장면은 열화 Cycle에 관계없이 높은 값을 나타내었다.

범례의 Mp는 중밀도 도장, Mnp는 중밀도 무도장, Lp는 저밀도 도장, Lnp는 저밀도 무도장을 나타낸다.

Fig. 14 Bond strength test results

Fig. 15 Impact test

Fig. 16 Details of an impact tester

(2) 충격하중 실험결과

충격하중실험은 내화뿔철재 열화 후 탈락여부를 판단하기 위한 방법으로 수행하였으며, 변전소에서 발생하는 최대 진동가속도인 5~10 m/sec²을 충격하중으로 가력하여 실험하였다.

실험체 부착방법은 Fig. 17(a)과 같이 철판내화뿔철 시공 부위 중 중력에 의한 자중의 작용으로 가장 불리한 조건인 뿔철재를 하향 방향으로 부착하고 Fig. 17(b)의 직상부 근처를 햄머에 의해 충격력을 가하고 실험편에 작용하는 충격력을 가속도센서를 이용하여 측정하였다. Fig. 15는 실험장치를 뒤편에서 본 것이며, Fig. 16은 우측에서 본 것이다.

이와 같은 방법으로 충격 실험을 수행한 결과 90 사이클 열화된 모든 실험편이 45회의 충격력을 가하는 동안 탈락되지 않고 실험편에 부착되어 있어 진동에 의한 조건에서는 이

Fig. 17

Fig. 18

상이 없는 것으로 확인되었다. 그러나, 탈락된 실험편이 하나도 없었으므로 제작된 실험장치 실험방법의 효과성을 검증하기 위하여 보다 큰 충격하중 (약 500 m/sec^2)으로 충격력 실험을 수행한 결과 부착력이 약한 실험편이 2회에서 20회 사이에서 탈락되는 것을 확인할 수 있었으며, 이로 인하여 실험방법에는 이상이 없음을 확인하였다.

3.3.4 밀도실험

저밀도와 중밀도 기준을 설정하기 위하여 밀도실험을 실시하였다.

(1) 밀도실험편 제작

밀도실험을 위한 실험편은 Fig. 18과 같이 합판을 이용하여 동일한 용적의 거푸집을 제작하여 사용하였다. 밀도계산을 위해서 거푸집 질량은 따로 측정하였다.

(2) 밀도실험 결과

밀도실험결과는 Table 7과 같으며, 밀도가 항량에 도달했을 때의 밀도값이다. Fig. 19는 KS F 2901에 따라 24시간 간격으로 측정하여 질량이 일정한 값에 수렴하는 항량에 도달될 때 까지 약 3개월간 양생하며 측정한 결과에 대한 그래프이다. 실험결과를 바탕으로 저밀도는 400 kg/m^3 이상, 중

Table 7 The results of density test

Test Sample	Weight (kg)	Density (kg/m^3)	Note
H-1	0.630	420.0	
H-2	0.580	386.7	
H-3	0.663	422.0	
Total	1.843		
Average	0.614	409.0	Low Density
Z-1	0.754	502.7	
Z-2	0.755	503.3	
Z-3	0.738	492.0	
Total	2.247		
Average	0.749	499.3	Medium Density

Fig. 19 Progress of density changes

밀도는 490 kg/m^3 이상을 기준으로 설정하였다. 원자력 건설시공 기준 값은 640 kg/m^3 이다.

3.3.5 침수 실험

본 실험은 변전소 마감재 시공전 내화뿔철재 시공 시 내화뿔철재가 우수에 젖을 경우를 가정한 실험이다. 실험방법은 Fig. 21과 같이 실험편을 침수시켰다.

(1) 침수실험 조건

실험 Case 별로 1개씩 4개의 실험편에 대하여 48시간을 침수시킨 후 상온에서 4시간 건조하였다.

(2) 침수실험 결과

침수실험 후 실험편의 건전성을 검증하기 위하여 Fig. 20과 같은 충격하중을 가한 충격하중 실험을 실시하였다. 충격하중 실험결과 변전소의 진동조건인 $5 \sim 10 \text{ m/sec}^2$ 으로 45회의 충격하중에서 모두 탈락하지 않고 부착상태를 유지하였다.

3.4 변전소 부착강도기준

이상의 부착강도 및 충격하중 실험결과를 통하여 변전소

Fig. 20 The results for impact loading test

Fig. 21 Waterlogging test

에 적용하여야 할 최소한의 부착강도 기준은 0.08 MPa로 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

Table 5를 참조하여 열화시키지 않은 실험체의 부착강도는 저밀도 무도장면이 0.09 MPa이며 도장면이 0.06 MPa 중 밀도 무도장면이 0.19 MPa이며 도장면이 0.16 MPa이다. 저밀도 도장면의 경우 부착강도 실험시 파단형상이 재료와 철 뿔철재가 철골 표면에서 전체적으로 떨어질 수 있어 사고 발생위험이 있으므로, 저밀도 무도장면에서는 부착강도 값이 0.09 MPa로서 45일 (90 Cycles)의 열화실험 후 충격 진동값을 견디었으므로 부착강도 값으로 만족할 만 하다고 판단된다. 다만, 실험시의 여러 조건에 따라 부착강도 값이 변동 될 수 있으므로 보수적으로 10%의 여유를 두어 0.08 MPa으로 정하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

4. 결 론

변전소 내화뿔철재의 부착강도 기준을 설정하기 위한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 내구성 평가를 위한 열화조건으로 변전소의 환경과 기존의 실험기준을 고려하여 중성화, 온도, 습도, 충격하중을 선정 하였다.
- (2) 변전소 내구년한을 고려하여 열화는 90 Cycles (45일) 까지 하였으며 부착강도는 열화가 많을 수록 부착강도 값이 감소하였다.
- (3) 열화실험 및 침수실험을 거친 모든 실험편이 변전소 기준 충격하중 45회에서 탈락되지 않아 변전소 수명기간동안 건전성을 유지할 것으로 판단된다.
- (4) 변전소 부착강도 기준값은 분석결과 0.08 MPa 이상으로 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

References

1. ASTM International (2010), Standard Test Methods for Determining Effects of Large Hydrocarbon Pool Fires on Structural Members and Assemblies.
2. BSI, BS 8202-2 (1992), Coatings for fire protection of building elements, -part 2: Code of practice for the use of intumescent coating systems to metallic substrates for providing fire resistance.
3. KEPSCO (1995), Nuclear Power Plant Construction Specification CP-A2.
4. Kim, G. S., Lee, H. J. (2010), A Report of Field Measurement for Dynamic Characteristics of 154kV Steel Frame Substation, KEPRI Report.
5. Kim, J. Y., Song, E. J., Kim, T. H. (2012), An Analysis of Service Life for Wasting Asset in Major Countries (Tax law Report 12-06), Korea Institute of Public Finance, 21.
6. KS F 2901 (2008), Test methods for thickness and density of sprayed fire resistive material applied to structural members.
7. KS F 2902 (2008), Test methods for bond strength of sprayed fire resistive material applied to structural members.
8. Lee, J. C. (2006), The Fire Resistance of the Sprayed Fire Resistive Materials with Gypsum and Vermiculite aged in the Different Temperature and Humidity Conditions, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Structural part, 109-116.
9. Park, D. S. (2010), Development a Technology of Maintenance for Waterproofing System in Substation, KEPRI Report, 104-108.
10. www.kma.go.kr (1981-2010), Korea Meteorological Administration, Korea climate table.

요 지

내화뿔칠재는 주로 철골구조물 위에 시공하여 내화구조기준을 만족하기 위한 것이다. 국내에서는 원자력발전소를 비롯하여 철골구조물에 내화뿔칠재를 시공하여 왔지만, 재료특성 중 중요한 요건인 부착강도기준이 제정되어있지 않았다. 다만, 원자력발전소는 원전의 기준에 따라 부착강도 기준이 있었다. 본 논문에서는 변전소에 시공되는 내화뿔칠재의 부착강도 기준을 정하고자 하였다. 기준설정 방법은 현재 사용되는 제품으로 실험체를 제작하고, 변전소 환경에 따라 열화시키며 부착강도를 측정하고 구조물 내구연한 기간 동안 열화시킨 후 변전소에서 발생하는 충격하중 실험을 통하여 탈락여부를 평가하여 부착강도기준을 설정하였다.

본 논문에서의 부착강도는 시중에서 사용되는 제품을 기준으로 실험한 것으로 최소한의 값이라고 판단된다.

핵심 용어 : 내화, 내화뿔칠재료, 부착강도, 변전소, 충격하중