

2018 KEPIC-Week 원전 방호도장 워크숍

# 원전 방호도장의 불연요건에 대한 연구

A Study on Non-Combustibility of Protective Coatings for NPP

우 안 식, 김 수 광

2018. 08. 29



본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20161510400110)

# Table of Contents

- 1** 개 요
- 2** RG 1.54 화재성능 요건
- 3** RG 1.189 마감재 화재성능 요건
- 4** 결 론
- 5** 참고문헌

---

1

개 요

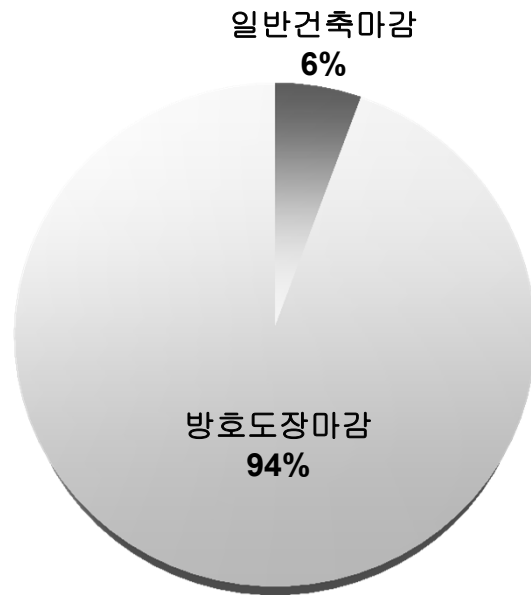
2

Copyright © by KEPCO E&C

# 개 요

---

방호도장은 원전 내부 마감재(Interior Finish)의 대부분을 차지하고  
있음.



마감재 적용 현황 (신한울 1,2호기 기준)

- 본관건물 기준 마감재 적용 Room 총 1,230개
- 일반건축마감 Room : 68개
- 방호도장마감 Room : 1,162개

# 개 요

---

- 원전 내부 마감재는 불연성(Noncombustible) 자재가 사용되어야 함.
- 원전 내부 마감재의 대부분이 도장재임에도 불구하고 방호도장 규제지침(RG 1.54) 및 화재방호 규제지침(RG 1.189)에는 도장의 화재성능 관련 명확한 기준이 제시되지 않음.
- 본 연구에서는 국내외 원전 규제지침과 미국 건설산업의 주요 Code인 IBC 및 NFPA 규격에 대한 검토를 통해 도장에 요구되는 화재성능 기준을 명확히 제시하고자 함.

---

**2**

## **RG 1.54 화재성능 요건**

5

Copyright © by KEPCO E&C

# RG 1.54 화재성능 요건

---

- 방호도장 규제지침(RG 1.54)에는 화재성능 관련 요건이 제시되지 않으나, 규제지침이 인용하는 KEPIC SNE 5144/ASTM D5144 (원전 방호도장 적용 표준지침)에는 다음의 요건이 제시되어 있음.

*5.7 Fire Evaluation Tests:*

*5.7.1 Flame Spread Tests*—Flame-spread tests, when required, shall be conducted and evaluated in accordance with Test Method E84. The permissible flame-spread and smoke generation, when tested on a noncombustible substrate, shall not exceed the limits set by the nuclear power generating facility. Test Method E648 has been used as an alternate method to evaluate floor coatings in other industries.

5.7.2 The coating systems should be tested to cover the specified film thickness range (or greater) since the flame-spread and smoke density can vary with film thickness. Smoke density is significant where a coating is utilized in enclosed spaces and smoke generation can reduce visibility and prevent effective fire fighting operations. Historic test data indicates that most coatings applied at less than 25-mils dry film thickness over noncombustible substrates and tested in accordance with Test Method E84 demonstrate flame-spread values below 25.

# RG 1.54 화재성능 요건

---

- ASTM D5144, 5.7항 Fire Evaluation Test 요건(KEPIC SNE 동일)
  - Flame Spread 시험은 요구될 경우 ASTM E84에 따라 수행
  - Flame Spread Index(FSI) 및 Smoke Developed Index(SDI)는 각 발전소의 기준 준수(별도 승인기준 없음)
  - ASTM E648은 일반산업계에서 바닥 도장 시험을 위한 대체 방법임을 기술(ASTM D5144-08, R2016)
  - 시험은 최대 도막두께 기준으로 수행되어야 하며, 25mils 이하의 도장은 대부분 FSI가 25이하로 입증되었음을 기술



# RG 1.54 화재성능 요건

---

- ASTM D5144, 5.7항 Fire Evaluation Test 요건 검토
  - 도장재 화재성능 시험은 각 발전시설에서 수행여부를 결정하고, 승인기준도 수립하여야 함.(ASTM D5144 이전 적용된 ANSI N101.2에서는 ASTM E84에 따라 FSI 50이하 제시)
  - 시험 방법은 ASTM E84를 준수하고 도막두께는 보수적으로 최대도막두께 이상으로 수행하는 것이 적정하며, 바닥도장의 경우 ASTM E648을 적용할 수 있음.
  - 도장재 화재성능 시험 수행 필요여부 및 승인기준 수립을 위해서는 화재방호 규제지침(RG 1.189) 및 관련 건설산업 Code의 화재성능 요건에 대한 검토가 필요함.

---

**3**

## **RG 1.189 마감재 화재성능 요건**

9

Copyright © by KEPCO E&C

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

---

- 원전 화재 방호 계획
  - 화재예방 설계
    - 가연물, 인화물의 관리 및 불연재 사용
  - 화재감지, 지연 및 진화 설계
    - 화재감지기, 스프링클러 및 소화설비 설치, 피난
  - 설계기준화재 시 구조물 및 기기 성능유지를 위한 설계
    - 내화구조(밀봉재, 방화문, 방화댐퍼 등) 설계, 화재위험 분석 등
- 내부 마감재의 불연재 사용은 화재예방을 위한 목적임.
- 가연물이 사용될 경우 발열량에 따른 화재화중(열량) 및 화재심각도(시간) 결정을 통해 안전정지 영향 여부 등이 검토되어야 함.

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

---

- RG 1.189, 4.1.1항 내부마감재 화재성능 요건 검토

내부 마감재는 다음 3가지 요건 중 하나를 만족하여야 함.

- 별도 검증 없이 규제지침에서 허용한 자재 사용
- 불연성 자재 사용
- 시험에 검증된 자재 사용

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

---

## 1. 별도 검증 없이 규제지침에서 허용한 자재 사용

### 4.1.1.1 Interior Finish

Interior finishes should be noncombustible. The following materials are acceptable for use as interior finish without evidence of test and listing by a recognized testing laboratory:

- a. plaster, acoustic plaster, and gypsum plasterboard (gypsum wallboard), either plain, wallpapered, or painted with oil- or water-base paint,
- b. ceramic tile and ceramic panels,
- c. glass and glass blocks,
- d. brick, stone, and concrete blocks, plain or painted,
- e. steel and aluminum panels, plain, painted, or enameled, and
- f. vinyl tile, vinyl-asbestos tile, linoleum, or asphalt tile on concrete floors.

- 불연재이거나 NRC가 요구하는 화재성능 요건을 일반적으로 만족하는 자재를 검증 없이 사용할 수 있도록 제시함.

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

---

- 불연성 구조재 바탕에 적용된 도장은 검증 없이 사용할 수 있는 자재로 간주되어 미국의 일부 원전에 사용되었음.
- 그러나 NRC는 Information Notice 2007-26을 통해 일부 원전의 Epoxy 바닥 도장에 대한 화재성능 평가 결과 가연성물질로 확인되어 미해결 항목(URI)으로 보고되었으며 별도의 화재영향 평가를 수행하였음을 발전사업자들에게 고지하고, Epoxy 바닥 도장에 대한 화염확산시험 수행 및 최대도막두께 관리를 권고함.
- 이에 따라 도장재의 경우 별도 검증 없이 사용하는 것은 적정하지 않은 것으로 판단됨.

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

---

## NRC Information Notice 2007-26

NRC INFORMATION NOTICE 2007-26: COMBUSTIBILITY OF EPOXY FLOOR COATINGS AT COMMERCIAL NUCLEAR POWER PLANTS

### ADDRESSEES

All holders of operating licenses for nuclear power reactors and fuel cycle facilities except licensees for reactors that have permanently ceased operations and who have certified that fuel has been permanently removed from the reactor vessel.

### PURPOSE

The U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) is issuing this information notice (IN) to inform addressees of a fire protection issue raised by NRC inspectors at two nuclear power plants that involves the combustibility of epoxy floor coatings over the concrete floors in various plant areas. The issue discussed in this IN could similarly apply to fuel cycle facilities. The NRC expects that recipients of this IN will review the information for applicability to their facilities and consider taking actions, as appropriate, to avoid similar problems. However, suggestions contained in this IN are not NRC requirements; therefore, no specific action or written response is required.

### CONCLUSION

The problem of epoxy floor coatings that are considered combustible can be avoided by using a product with a low flame spread rating, applying it in accordance with the manufacturer's/ vendor's recommendations, and providing plant procedural controls for applying the coating to ensure it does not exceed recommended thickness. Coatings that are applied thicker than a manufacturer's recommendations may exceed the listed flame spread rating.

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

## 2. 불연성 자재 사용

### 4.1.1.2 Testing and Qualification

Interior finishes should be noncombustible (see the “Glossary” of this guide) or listed by an approving laboratory for the following:

**noncombustible material**—(1) Material that, in the form in which it is used and under conditions anticipated, will not ignite, burn, support combustion, or release flammable vapors when subjected to fire or heat, or (2) material having a structural base of noncombustible material, with a surfacing not over 3 mm (1/8 inch) thick that has a flame spread rating no higher than 50 when measured in accordance with ASTM E84, “Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials” (Ref. 104).

- 불연재의 정의는 (1)화염이나 열에 의하여 점화, 연소되지 않고, 연소를 돕거나 가연성 증기를 방출하지 않는 물질, 또는 (2)불연성 바탕재 위에 적용되고 ASTM E84에 따라 화염확산지수(FSI) 50이하인 두께 3mm이하 표면재료
- 도장에 대한 불연재 정의 적용 가능여부 확인을 위해 미국 건설 산업의 주요 Code인 NFPA 및 IBC의 관련 규정 확인 필요



# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

## RG 1.189, NFPA, IBC의 불연성 자재 정의에 대한 비교

| Code<br>용어                               | NRC RG 1.189                                                                                                                                                                         | NFPA<br>(101, 5000, 804)                                                                           | IBC*2                                     |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 불연성 물질<br>Non-Combustible Material       | 점화, 연소되지 않고, 연소를 지원하거나 가연성 증기를 방출하지 않는 물질                                                                                                                                            | 점화, 연소되지 않고, 연소를 지원하거나 가연성 증기를 방출하지 않는 물질*1                                                        | -                                         |
|                                          | -                                                                                                                                                                                    | ASTM E136*4 만족                                                                                     | 단일자재<br>ASTM E136 만족                      |
|                                          | ASTM E84에 따라 FSI 50이하인 3mm이하 표면재료                                                                                                                                                    | -                                                                                                  | 복합자재<br>ASTM E84에 따라 FSI 50이하인 3mm이하 표면재료 |
| 난연성 물질<br>Limited-Combustible Material*3 | -                                                                                                                                                                                    | NFPA 259에 따라 잠재열량이 3,500Btu/lb이하이면서, ASTM E84에 따라 FSI 50이하인 3mm이하 표면재료 또는 ASTM E84에 따라 FSI 25이하 재료 | -                                         |
| 비고                                       | *1 Steel, Concrete, Masonry, Glass를 예시로 제시함.<br>*2 불연성이란 용어는 내부마감재 및 장식재 화염확산 특성에 적용되지 않는다고 명시함.<br>*3 제시된 기준을 초과하는 자재는 가연성으로 고려해야 함을 명시함.<br>*4 ASTM E136은 수직로에서 자재의 불연성을 측정하는 시험임. |                                                                                                    |                                           |

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

---

- 불연재의 정의 중 “화염이나 열에 의하여 점화, 연소되지 않고, 연소를 돕거나 가연성 증기를 방출하지 않는 물질”은 ASTM E136(불연성 시험)을 만족하는 통상 Steel, Concrete, Masonry, Glass 등의 단일자재(Elementary Materials)를 의미하는 것으로 도장재는 해당되지 않는 것으로 판단됨.
- 현재 원전에 적용되는 도장재는 불연성 바탕재인 콘크리트나 철재에 적용되고 있고, 두께도 3mm이하이므로 ASTM E84에 따라 화염확산지수(FSI)가 50이하일 경우 복합자재(Composite Materials)로써 RG 1.189의 불연재 정의를 만족할 수 있음.

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

- 이에 따라 국내 원전 도장설계에는 화재성능 설계요건을 ASTM E84 시험 기준 화염확산지수(FSI) 50이하로 명시

## 국내 APR 1400 적용 도장재 화재성능 평가 결과 (ASTM E84)

| Type \ 회사                  |                  | A사                    | B사                    | C사                   | D사                   |
|----------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Type I<br>일반 액상도장 (36mils) |                  | FSI : 15              | FSI : 15              | FSI : 25             | FSI : 10             |
| Type II<br>Low VOC<br>도장   | 철재<br>(11mils)   | FSI : 15<br>SDI : 25  | FSI : 20<br>SDI : 65  | FSI : 15<br>SDI : 15 | FSI : 10<br>SDI : 25 |
|                            | 콘크리트<br>(27mils) | FSI : 20<br>SDI : 115 | FSI : 40<br>SDI : 165 | FSI : 25<br>SDI : 85 | FSI : 15<br>SDI : 75 |

FSI : Flame Spread Index

SDI : Smoke Developed Index

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

## 3. 시험에 검증된 자재 사용

### 4.1.1.2 Testing and Qualification

Interior finishes should be noncombustible (see the “Glossary” of this guide) or listed by an approving laboratory for the following:

- a. surface flame spread rating of 25 or less and a smoke development rating of 450 or less, when tested under American Society for Testing and Materials (ASTM) E84, “Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials” (Ref. 104),
- b. potential heat release of 8,141 kilojoules per kilogram (kJ/kg) (3,500 Btu per pound) or less when tested under ASTM D3286, “Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Isoperibol Bomb Calorimeter” (Ref. 105), or NFPA 259, “Standard Test Method for Potential Heat of Building Materials” (Ref. 106),<sup>5</sup> and
- c. floor covering critical radiant flux as determined by testing in accordance with NFPA 253, “Standard Method of Test for Critical Radiant Flux of Floor Covering Systems Using a Radiant Heat Energy Source” (Ref. 108).

- **ASTM E84, NFPA 259 및 NFPA 253으로 검증된 자재의 사용이 가능하나 적용대상 및 승인기준이 불명확함.**

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

- 도장재는 NRC 불연재 정의(두께 3mm이하 FSI 50이하)에 따른 화재성능 요건을 적용할 수 있으나 국내 화재방호 규제지침의 불연재 정의는 불만족하므로 추가시험(ASTM E84, NFPA 253 및 NFPA 259)이 요구될 수 있음.

## 국내외 규제지침의 불연성 물질에 대한 정의 비교

| 구분                                          | 불연성 물질에 대한 정의                                                                                                          |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NRC RG 1.189<br>Fire Protection for<br>NPPs | 화염이나 열에 의하여 점화되거나 연소되지 않으며 연소를 돕거나 가연성 증기를 방출하지 않는 물질, 또는 불연성 바탕재 위에 적용되고 ASTM E84에 따라 화염확산지수(FSI) 50이하인 두께 3mm이하 표면재료 |
| KINS/RG-N10.06<br>원자력발전소<br>화재방호            | 「건축법 시행령」 제2조에 따른 불연재료 또는 준불연재료로서 화염이나 열에 의하여 점화되거나 연소되지 않으며 연소를 돕거나 가연성 증기를 방출하지 않는 물질                                |
| 비고                                          | 기타 마감재에 요구되는 화재성능 요건은 동일                                                                                               |

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

- ASTM E84, NFPA 253 및 NFPA 259에 대한 적용대상 설정 및 승인기준 수립을 위해 NFPA 및 IBC의 마감재 규정을 검토함.

## RG 1.189 대비 NFPA 및 IBC 마감재 시험요건에 대한 비교

| Code<br>시험규격               | NFPA<br>(101, 5000, 804)                                                                                                                      | IBC     | RG 1.189                                                                              |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ASTM E84<br>(화염확산 시험)      | 벽 및 천장 마감재에 적용, 승인기준은 Class A, B, C로 구분<br>Class A : FSI 0-25, SDI 0-450<br>Class B : FSI 26-75, SDI 0-450<br>Class C : FSI 76-200, SDI 0-450 |         | 적용대상 미제시<br>승인기준 Class A                                                              |
| NFPA 253<br>(바닥재 임계복사열 시험) | 바닥 마감재에 적용, 승인기준은 Class I, II로 구분<br>Class I : 0.45 watts/cm <sup>2</sup> 이상<br>Class II : 0.22 watts/cm <sup>2</sup> 이상                      |         | 적용대상 미제시<br>승인기준 미제시                                                                  |
| NFPA 259<br>(잠재열량 시험)      | 시험요건 없음<br>가연성물질 판정을 위한 Limited Combustible의 정의로 제시                                                                                           | 시험요건 없음 | 적용대상 미제시<br>승인기준 잠재열량 3,500 Btu/lb이하<br>주석을 통해 NFPA의 Limited Combustible의 개념과 동일함을 명시 |

# RG 1.189 마감재 화재성능 요건

---

- ASTM E84는 본문의 적용범위에서 시험방법의 특성상 벽 및 천장에 적합한 것으로 기술하고 있고, NFPA 253은 배경설명에서 1960~70년대 바닥시스템의 화염확산에 가장 적합한 시험방법으로 개발된 것임을 기술하고 있음.
- 이에 따라 각 부위별 도장시스템에 요구되는 시험규격 및 승인 기준은 다음과 같음.
  - ✓ 벽 및 천장 도장시스템
    - ASTM E84, 승인기준 - Class A, FSI 25이하, SDI 450이하
    - NFPA 259, 승인기준 - 잠재열량 3,500 Btu/lb이하
  - ✓ 바닥 도장시스템
    - NFPA 253, 승인기준 - Class I, 0.45 watts/cm<sup>2</sup>이상
    - NFPA 259, 승인기준 - 잠재열량 3,500 Btu/lb이하

---

# 4 결론



# 결론

---

- 방호도장 규제지침 RG 1.54에서 인용하는 ASTM D5144는 인허가 기관 등에서 요구할 경우 화염확산시험인 ASTM E84에 따라 도장재를 평가하도록 규정하고 있으나 별도 승인기준을 제시하지 않음.
- 화재방호 규제지침 RG 1.189의 불연재 정의(불연성 바탕재 위에 적용되고 두께 3mm이하 표면재료)에 따라 방호도장의 화재성능 요건은 시험규격 ASTM E84, 승인기준 FSI 50이하를 적용할 수 있음.
- 다만, 미국 및 국내 화재방호 규제지침의 불연재에 대한 정의가 상이하므로 인허가 문서에 방호도장에 대한 화재성능 요건을 별도 명시하여 승인 받을 필요가 있음.

# 결론

---

- 추가로 요구될 경우 벽, 천장 도장시스템과 바닥 도장시스템을 구분하고 각 도장시스템의 최대 도막두께 기준으로 아래의 시험규격 및 승인기준에 따라 검증이 필요함.
  - ✓ 벽 및 천장 도장시스템
    - ASTM E84, 승인기준 - Class A, FSI 25이하, SDI 450이하
    - NFPA 259, 승인기준 - 잠재열량 3,500 Btu/lb이하
  - ✓ 바닥 도장시스템
    - NFPA 253, 승인기준 - Class I, 0.45 watts/cm<sup>2</sup>이상
    - NFPA 259, 승인기준 - 잠재열량 3,500 Btu/lb이하

---

**5**

## **참고문헌**

# 참고문헌

---

1. NRC, "RG 1.54, Service Level I, II, and III Protective Coatings Applied to Nuclear Power Plants", 2010.10
2. NRC, "RG 1.189, Fire Protection for Nuclear Power Plants", 2009.10
3. NRC, "IN 2007-26, Combustibility of Epoxy Floor Coatings at Commercial Nuclear Power Plants", 2007.08
4. 한국원자력안전기술원, "KINS/RG-N10.06, 원자력발전소 화재방호", 2017.12
5. 전력산업기술기준, "KEPIC SNE, 방호도장", 2015
6. International Code Council, "International Building Code", 2015
7. NFPA, "Building Construction and Safety Code NFPA 5000", 2015
8. ASTM D5144, "Standard Guide for Use of Protective Coating Standards in Nuclear Power Plants", 2008
9. ASTM E84, "Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials", 2017
10. ASTM E136, "Standard Test Method for Behavior of Materials in a Vertical Tube Furnace at 750°C", 2016
11. NFPA 253, "Standard Method of Test for Critical Radiant Flux of Floor Covering Systems Using a Radiant Heat Energy Source", 2015
12. NFPA 259, "Standard Test Method for Potential Heat of Building Materials", 2013

**Nuclear Safety First,**  
Last and Always

**THANK  
YOU.**

