

'2002 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

실험적 열화환경에 노출된 내방사성 보호도장재의 부착력 특성

Adhesion Characteristics of Protective Coating Materials Experienced an Experimental Deterioration Environment

이 상 국, 이 계 현
한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19번지

신 재 철
충남대학교
대전시 유성구 궁동 220번지

요 약

원자력발전소의 설계수명은 30년~40년 정도로서 설계수명 기간동안 원자로격납건물 내부에 사용된 보호도장재의 내구성이 유지되는 것이 바람직하지만 그러한 성능을 만족시키는 도장재가 아직 개발되지 않은 현 시점에서는 지속적인 유지관리를 통해 도장재의 성능을 유지시키는 것이 필수적이며, 이를 위해서는 보호도장재의 열화손상에 대한 부착 특성을 아는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 도장재의 품질확보 방안을 모색하기 위하여, 가상의 설계 기준사고(DBA)인 냉각재상실사고(LOCA)와 주증기관과단사고(MSLB) 조건을 모사한 정형화된 열화촉진시험을 통해 열화환경을 조성하고, 열화된 도장재에 대해 열화환경 이력에 따른 정량적인 부착특성과 물리적 특성을 밝히기 위해 부착력시험을 수행하고 그 결과를 제시하였다.

Abstract

Protective coating materials used in the containment structures should be durable for the designed life time of a nuclear power plant, that is generally around 30 to 40 years. At the present, when such a material hasn't yet to be developed, it is very important to keep the durability of the protective coating materials through persistent care, and in order to achieve this, understanding the adhesion characteristics of the coating materials is of utmost importance. Therefore, this study attempts to find any methods for durability maintenance of these protective coating materials. To accomplish these aims, this study applied an

experimental deterioration environment relevant to Loss of Coolant Accident(LOCA) and Main Steam Line Break(MSLB), categorized as of Design Base Accident(DBA), onto steel liner plate specimens covered with protective coating materials. Adhesion tests were performed on these deteriorated coating materials to characterize physical properties and found quantitative adhesion characteristics according to the history of deterioration environment.

1. 서론

원자로격납구조물의 내측면에는 방사성 물질의 누설을 방지하기 위해 강재의 라이너플레이트가 설치되며, 이 라이너플레이트의 표면은 부식을 방지하고 제염을 용이하게 하기 위해 내방사성 보호도장재로 도포된다. 이때 사용되는 보호도장재는 가상의 설계기준사고(DBA)인 냉각재상실사고(LOCA)와 주증기관파단(MSLB)사고시에 발생하는 고온, 고압 및 방사능에 견딜 수 있어야 하는데, 이는 이들 가상사고시 원자로의 안전정지를 위해 가동되는 격납용기살수계통(Containment Spray System)의 작동시 도막이 손상 또는 탈락되어 집수정의 여과스크린(Sump Screen)을 막음으로써 순환수의 흐름을 어렵게 하는 원자로 안전정지기능의 저해를 방지하기 위함이다. 이러한 이유로 내방사성 보호도장재는 안전성관련 품목으로 분류되어 엄격한 품질관리 규정^{<1-2>}에 따라 생산된다.

1973년에 미국에서 원전의 보호도장재 관련 규제지침인 Reg. Guide 1.54가 처음 발행되었을 때는 이 기준을 만족시키는 보호도장재는 설계수명기간 동안 그 기능을 유지할 것으로 생각했었다. 그러나, 그 동안의 원전 운전이력을 조사해 보면 보호도장에 예상하지 않았던 균열, 피도체에서의 분리 등 여러 형태의 열화가 발생된 것을 알 수 있다.^{<3-4>}

일반적으로 원자력발전소의 설계수명은 30년~40년 정도로서 설계수명 기간동안 보호도장재의 내구성이 유지되는 것이 바람직하지만 그러한 성능을 만족시키는 도장재가 아직 개발되지 않은 현 시점에서는 지속적인 유지관리를 통해 도장재의 성능을 유지시키는 것이 무엇보다 중요하며 이를 위해서는 보호도장재의 열화손상에 대한 특성을 아는 것이 선결 요건이다.

그러나, 현장에 시공된 도장재는 시공위치, 조건, 상태에 따라 물성치의 편차가 심하며 기계적인 물성치를 측정하는 것만으로는 열화상태를 정확히 파악하기가 어렵기 때문에, 손쉬운 방법으로 도장재 외관의 변화에 대한 점검이 유지관리의 기준이 되었으며 열화특성에 대한 이해 또한 부족하여 사전에 적극적인 보완대책을 세우지 못해 왔다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점에 대한 대안과 도장재의 품질확보 방안을 모색하기 위하여, 격납구조물 내부의 다양한 환경조건에 따른 열화촉진시험을 수행하여 도장재를 열화환경에 노출시키고, 열화된 도장재에 대해 물리적 부착력시험을 실시하여 열화환경 이력에 따른 부착력 특성을 정량적으로 밝혔으며, 이를 통하여 보호도장재의 내구성 향상 및 품질확보 방안을 제시하였다. 도출된 결과를 종합할 때, 보호도장재의 내구성 향상 및 품질 확보에 가장 중요한 요건은 사용목적에 적합한 도장시스템의 선정과 시공중 초기양생을 철저히 수행하는 것이다.

2. 시험 시편의 제작

시험에 사용된 시편은 ASTM D5139 기준에 따라 제작되었으며, 완성된 시편에 대하여는 부착력, 내마모성, 내충격 등 물리적 특성을 시험하여 제작시편의 건전성을 확인하였다. 시험시편은 두 차례로 나누어 제작되었는데, 1차는 작업조건이 열악한 건설중 현장에서 습도가 높은 우기에 제작되었고, 2차는 온/습도가 조절되는 양호한 조건의 실험실에서 제작되었다.

1차 제작시에는 도막층별 양생기간을 5일로 하여 상온에서 양생하였으나, 2차에는 양생기간을 14일로 늘리고, 기술기준에서 허용하는 양생온도를 감안하여 65. C를 유지하여 양생하였다.

2.1 1차 시편제작

1) 도장시스템 Code 1

초벌 하도용 도장재는 A사의 무기아연미분말(Inorganic Zinc)을 사용하였으며, 마감 상도용 도장재는 B사의 에폭시수지 도장재를 사용하였다. 도장은 철재면 위에 이루어졌으며 사용된 도장시스템에 대한 개요는 표 1과 같다. 시편은 ASTM A36 탄소강에 시험조건(방사선조사, DBA 조건)을 고려하여 도장면을 전처리한 후 관련시방서(CP-A3) 및 규준(ASTM/ANSI)에 명시된 방법과 두께에 따라 제작하였다.

표 1 도장시스템 Code 1의 제작 사양
Code 1 앞면(정규사양)

구 분	제품명/앞면(도막 두께 : mils)	비 고
1 차	Inorganic Zinc Primer CZ 11SG (3-5)	A
2 차	Epoxy Topcoat ET 562 (3-5)	B
합 계	(6-10)	

Code 1 뒷면(보수사양)

구 분	제품명/뒷면(도막 두께 : mils)	비 고
1 차	Inorganic Zinc Primer CZ 11SG (3-5)	A
2 차	Inorganic Zinc Touch-up IZ197 (3-5)	B
3 차	Epoxy Topcoat ET 562 (3-5)	B
합 계	(9-15)	

2) 도장시스템 Code 2

초벌 하도용 도장재와 마감 상도용 에폭시수지 도장재는 모두 B사의 제품을 사용하였다. 모든 도장은 탄소강으로 된 철재의 표면 위에 시행되었으며 사용된 도장시스템에 대한 개요는 표 2와 같다. 시편은 ASTM A36 탄소강에 시험조건(방사선조사, LOCA 조건 및 DBA 조건)을 고

려하여 도장면을 전처리한 후 관련시방서(CP-A3) 및 기준(ASTM/ANSI)에 명시된 방법과 두께에 따라 제작하였다. 세부적인 제작순서와 절차는 도장시스템 Code 1과 동일하다.

표 2 도장시스템 Code 2의 제작 사양
Code 2 뒷면(보수사양)

구 분	제품명/뒷면(도막 두께 : mils)	비 고
1 차	Inorganic Zinc Primer IZ197 (3-5)	B
2 차	Inorganic Zinc Touch-up IZ197 (3-5)	B
3 차	Epoxy Topcoat ET 562 (3-5)	B
합 계	(9-15)	

Code 2 앞면(철재면 보호용)

구 분	제품명/앞면(도막 두께 : mils)	비 고
1 차	Inorganic Zinc Primer IZ197 (3-5)	B
2 차	Epoxy Topcoat ET 562 (3-5)	B
합 계	(6-10)	

3) 도장시스템 Code 3

초벌 하도용 및 마감 상도용 에폭시수지 도장재는 B사의 제품을 사용하였다. 모든 도장은 철재의 표면 위에 시행되었으며 사용된 도장시스템에 대한 개요는 표 3과 같다.

표 3 도장시스템 Code 3의 제작 사양

구 분	제품명/앞면(도막 두께 : mils)	비 고
1 차	Epoxy Primer ET 562 (3-5)	B
2 차	Epoxy Topcoat ET 562 (3-5)	B
합 계	(6-10)	

2.2 2차 시편제작

1) 도장시스템 Code I

초벌 하도용 도장재는 A사의 무기아연미분말(Inorganic Zinc)을 사용하였으며, 마감 상도용 도장재는 B사의 에폭시수지 도장재를 사용하였다. 도장은 철재면 위에 이루어졌으며 사용된 도장시스템에 대한 개요는 표 4, 5와 같다.

표 4 도장시스템 Code I-1의 제작 사양

구 분	제품명/앞면(도막 두께 : mils)	비 고
1 차	Inorganic Zinc Primer CZ 11SG (3-5)	A
2 차	Epoxy Topcoat ET 562 (3-5)	B
합 계	(6-10)	

표 5 도장시스템 Code I-2의 제작 사양

구 분	제품명/앞면(도막 두께 : mils)	비 고
1 차	Inorganic Zinc Primer CZ 11SG (3-5)	A
2 차	Inorganic Zinc Touch-up IZ197 (3-5)	B
3 차	Epoxy Topcoat ET 562 (3-5)	B
합 계	(9-15)	

2) 도장시스템 Code II, III

도장시스템 Code II의 초벌 하도용 도장재와 마감 상도용 에폭시수지 도장재는 모두 B사의 제품을 사용하였으며, 사용된 도장시스템에 대한 개요는 표 6과 같고, 세부적인 제작순서와 절차는 도장시스템 Code I 과 동일하다. 도장시스템 Code III는 2차 시편제작에서는 만들지 않고 1차 시편제작에서 만든 것을 사용하였다.

표 6 도장시스템 Code II의 제작 사양

구 분	제품명/뒷면(도막 두께 : mils)	비 고
1 차	Inorganic Zinc Primer IZ197 (3-5)	B
2 차	Inorganic Zinc Touch-up IZ197 (3-5)	B
3 차	Epoxy Topcoat ET 562 (3-5)	B
합 계	(9-15)	

3. 열화축진시험

가속화된 열화환경을 조성하기 위해 냉각재상실사고(LOCA) 및 주증기관파단사고(MSLB)시에 발생가능한 온도, 습도, 방사선 등의 환경상태를 정형화된 열화축진(방사선조사, 열충격, 냉각재상실사고 및 주증기관파단사고)시험을 통해 모의하였으며, 열화축진시험에 적용된 열화조건은 표 7 과 같다.

표 7 열화촉진시험에 적용된 열화환경 조건

	열화환경 조건		
	열충격	LOCA	MSLB
최고온도/지속시간	302°F(150°C) / 10 ⁴ 초	302°F(150°C) / 10 ⁴ 초	360°F(182°C) / 2×10 ² 초
최대압력/지속시간	14.7psig(101kPa) /10 ⁴ 초	54psig(372kPa) /10 ⁴ 초	57psig(393kPa) /10 ³ 초
총 시험시간	2.78시간	12일	30일
기타 조건	대기조건	가습조건	가습조건

3.1 방사선조사시험

가속화된 열화환경을 조성하기 위한 방사선조사시험은 ANSI N5.12 기준^{<5>}에 따라 수행되었는데, 조사된 총방사선량은 2×10⁸ rads, 조사속도는 4~5×10⁵ rads/hr로 하여 시험규정의 제한 조건을 만족시켰다.

3.2 열충격시험

열충격시험은 어떤 시험공간에 급격한 온도변화를 주어 이때 발생하는 열적 충격으로 야기되는 시편의 물리/화학적 이상상태 및 변형상태를 관찰하는 시험으로서 열충격저항성(Thermal Shock Resistance)을 조사하기 위한 것이다. 여기서, 열충격저항성이란 급격한 온도변화에 따른 시편의 물성저하나 파괴에 대해 저항하는 성질로서 재료의 인성, 균일성, 기공율, 미세균열 등의 내적 요인과 열응력의 크기, 도장시편 내의 응력분포, 응력 지속시간 등의 외적 요인에 의존한다.

3.3 설계기준사고 시험^{<6-7>}

내방사성 도장재는 원자로건물에서의 최악의 환경조건인 설계기준사고(DBA)에서도 성능을 발휘할 수 있음이 입증되어야 하며, 이는 보통 설계기준사고 시나리오에 의한 E.Q-Profile을 작성하고 DBA 시험기기를 사용하여 인위적으로 이러한 환경조건 아래에서의 성능을 확인함으로써 가능해진다^{<8>}. 설계기준사고 시험으로는 영광 3, 4호기 설계기준사고 조건과 같은 LOCA 시험과 울진 5, 6호기 설계기준사고 조건과 같은 MSLB 시험이 각각 수행되었다.

1) LOCA 시험 조건

LOCA 시험은 관련시방서(CP-A3 No : 9-191-A610) 및 관련요건(ANSI N101.2)^{<9>}에 따라 수행되었으며 요구되는 E.Q-Profile는 그림 1과 같다. 시험시간은 요건에서 요구하는 필수시간인 10⁶초에 정상상태에 도달하기 위해 지체된 시간이 추가되어 총 12일이 소요되었고, 시험에 실제로 사용된 최대온도와 압력은 329°F, 59 psig(407 kPa)이었다.

시험결과로 주어진 LOCA 시험이력곡선(그림 2)을 검토해 보면 LOCA 시험조건을 재현을 위해 사용한 온도 및 압력 Profile이 관련요건에 따라 요구되는 E.Q-Profile을 포괄시키고 있으므로 시험에 적용된 도장시스템은 원전의 가상사고인 냉각재상실사고 환경을 경험한 것으로 볼 수 있다.

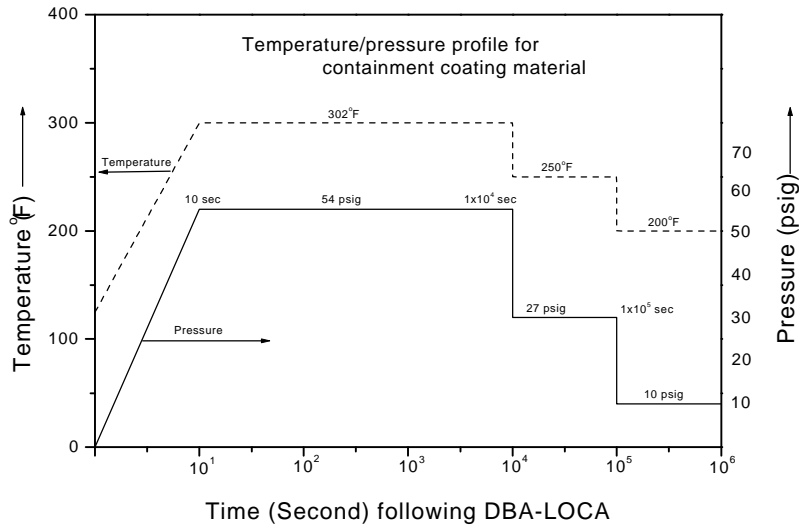


그림 1 LOCA 시험을 위한 E.Q-Profile

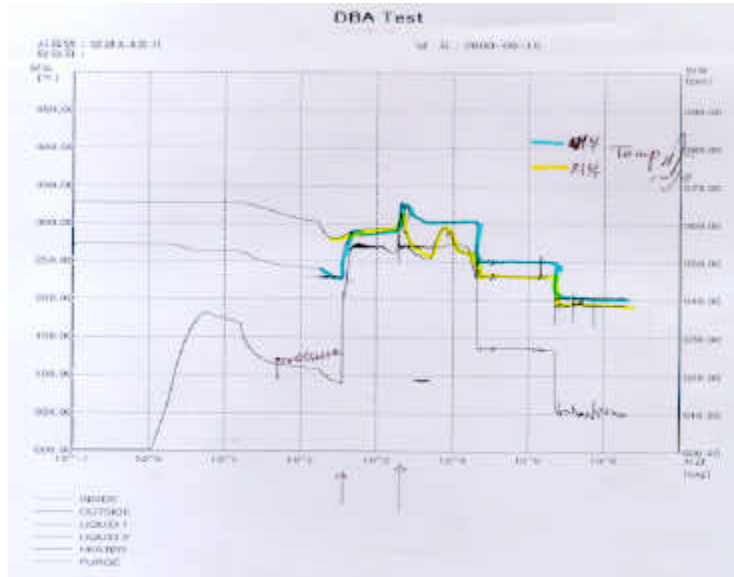


그림 2 LOCA 시험에 적용된 온도-압력 곡선

2) MSLB 시험 조건

MSLB 시험은 관련시방서(CP-A3 No : 9-191-A291) 및 요건(ASTM D3911)^{<10>}에 따라 수행 되었으며, 요구되는 E.Q Profile은 그림 3과 같고, 여기서 요구하는 최대온도와 압력은 360°F, 57 psig(393 kPa)이었다. 시험에는 총 30일이 소요되었으며, 시험결과로 나타난 시험이력곡선은 그림 4와 같다. 이를 E.Q Profile과 비교하여 보면 MSLB시험 시행이력(그림 4)이 요구되는 E.Q Profile을 포괄시키고 있음을 알 수 있으며 이로서 시험에 적용된 도장시스템은 원전의 가상사고인 설계기준사고 환경을 경험한 것으로 볼 수 있다.

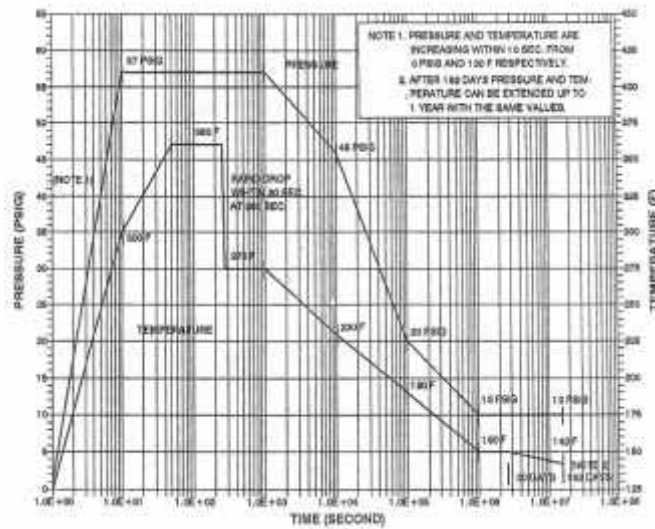


그림 3 MSLB 시험을 위한 E.Q-Profile

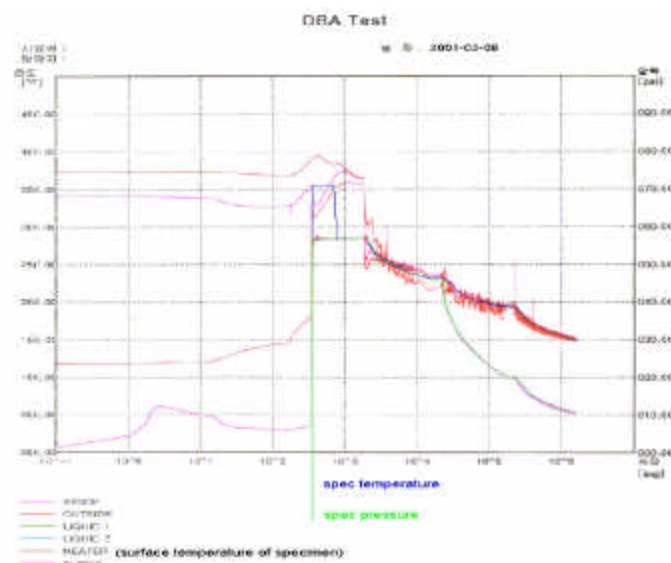


그림 4 MSLB 시험에 적용된 온도-압력 곡선

4. 부착력 시험 및 결과

4.1 부착력시험(Adhesion Test)

도막의 피도물에의 부착성은 매우 중요한 성질로서 아무리 좋은 도장재라도 부착성이 나쁘면 도장재로서의 가치가 없다. 특히 내방사성 보호도장재에 있어서는 가장 중요하게 요구되는 도막의 성능은 부착력이다. 그러나, 부착성을 나타내는 메커니즘에 대하여는 아직 정확하게 밝혀져 있지 않고, 시공경험을 근거로 설명되어 왔기 때문에 시행착오가 발생할 수 있다.

부착력시험은 열화환경에 노출된 시편에 대하여 Elcometer Adhesion Tester를 사용하여 ASTM D4541에 따라 시행하였다. 시험전에는 부착력의 크기가 크지 않을 것이라고 예상하여 측정범위가 작은 시험기를 사용하였으나, 일부시편의 부착력이 $1000 \text{ lb/in}^2 (70.3 \text{ kg/cm}^2)$ 이상으로 나타나 동종의 큰 시험기도 함께 사용하였다. Dolly의 접착제는 Epoxy Adhesive를 사용하였으며, Dolly 표면 및 시편을 가볍게 표면처리하여 접착시킨 후 최소 2일 이상 상온에서 건조 및 경화시킨 뒤 측정하였다.

4.2 측정결과 비교분석

1) 방사선조사에 의한 영향

방사선조사가 시편의 부착력에 미치는 영향을 파악하기 위해 방사선조사시험 시행전후에 부착력을 측정한 결과를 표 8에 비교하였다.

방사선이 조사된 기본시편은 방사선이 조사되기 전의 기본시편에 비해 모든 시편에서 부착력이 향상되었음을 볼 수 있는데, 이러한 결과는 방사선조사가 보호도장재의 열화요소로 작용함에도 불구하고 오히려 도막의 부착력을 상승시키는 작용을 하고 있음을 나타내고 있다.

이는 방사선의 조사가 도장재 내부의 결합사슬을 손상시키기보다는 철재면과 도장재간의 층간밀착을 강화시키게 되므로 모든 도장시스템에서 부착력의 향상효과가 나타난 것으로 판단되며, 보호도장재의 성능검증시험시 방사선조사가 부착력을 감소시킬 것이라고 예측했던 그간의 관념과 상반된 결과로 부착력의 크기를 열화정도를 나타내는 지표로 삼기에는 부적절함을 보여 준다.

2) LOCA 환경에 의한 영향

LOCA 환경이 시편의 부착력에 미치는 영향을 파악하기 위해 LOCA 시험 시행전후에 부착력을 측정한 결과를 표 9에 비교하였다.

LOCA 환경에 노출되었던 시편은 Code 2 시편만을 제외하고 시험전에 비하여 시험후의 부착력이 모두 향상되었음을 볼 수 있는데, 이러한 결과는 보호도장재의 성능검증시 LOCA 시험조건이 시험시편의 부착력을 저해하는 요인이 될 것이라고 예측했던 것과는 상반된 결과이다.

Code 2 시편의 경우는 두개의 시편 모두가 강제표면에 부식이 발생되어 측정된 부착력 값이 $100 \text{ lb/in}^2 (7.0 \text{ kg/cm}^2)$ 이하를 나타내었다. 이러한 부식의 원인은 Code 2 시편이 상대적으로 열악한 환경에서 제조되었으며, 하도에 두꺼운 아연미분말층을 가지고 있는 보수사양에 따라 만들어졌기 때문에 열화환경에 더욱 심각한 영향을 받은 것으로 판단된다.

3) MSLB 환경에 의한 영향

MSLB 환경이 기본시편의 부착력에 미치는 영향을 파악하기 위해 MSLB 시험 시행전후에 측정된 부착력을 표 10에 비교하였다.

MSLB 환경에 노출되었던 시편중 부착력 측정범위를 초과하였던 Code III 시편을 제외하고는 모든 시편에서 부착력의 저하현상을 볼 수 있었는데, 이러한 현상은 이미 시편의 초기양생이 잘 되어 있어, 충분한 물성(부착력)을 확보하고 있으나 물성이 추가로 향상될 여지는 적으며, 30일간이나 지속된 열화환경 그 중에서도 특히 습기조건으로 인해 부착력이 저하되는 현상이 나타난 것으로 판단된다.

4) 도장시스템에 따른 영향

도장시스템별 부착성능을 평가해 보면 열악한 조건에서 제작·양생된 1차 시편이나 좋은 조건의 실험실에서 제작·양생된 2차 시편을 막론하고, 예폭시하도와 예폭시상도로 이루어진 도장시스템 Code 3(Code III)의 부착성능이 가장 좋은 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 아연미분말하도와 예폭시상도로 이루어진 정규사양(Code I-1), 가장 열등한 것은 아연미분말하도와 예폭시상도의 보수사양들(Code 1(보수), Code 2(II), Code I-2)이었다.

부착력이 가장 열등한 것으로 나타난 보수사양들은 하도에 사용된 무기아연미분말의 두께가 정규사양보다 2배나 두껍다. 이는 하도에 사용된 무기아연미분말의 두께가 부착력의 저하에 직접적인 영향을 주고 있음을 보여주는 것이다. 따라서, 강재의 부식방지를 위해서 특별히 이러한 사양을 사용하여야 하는 경우를 제외하고는 내방사성 보호도장재로서의 무기아연미분말의 사용은 바람직하지 않다. 다만, 부득이 사용하여야 하는 경우에는 시공시 무기아연미분말의 두께가 규정된 두께보다 두껍게 시공되지 않도록 특별한 시공관리가 필요하며, 보수도장의 경우는 중간보수재로 현재 사용중인 무기아연미분말 대신에 예폭시수지 도장재로 대체되는 것이 부착력 증진 측면에서 훨씬 유리하다.

또한, 모든 도장시스템에서 시편의 부착성능이 1차 시편보다는 2차 시편의 부착력이 월등히 크며 부착력의 우월성이 열화환경조건보다는 초기의 양생조건에 크게 의존됨을 볼 수 있는데, 이는 시공시 초기 양생조건이 보호도장재의 내구성 확보를 위한 중요한 요건임을 말해준다.

따라서, 보호도장재의 내구성 향상 및 품질확보에 가장 중요한 요건은 사용목적에 적합한 도장시스템의 선정과 초기양생을 철저히 수행할 수 있는 작업환경을 제공하는 것임을 알 수 있다.

표 8 방사선조사에 따른 부착력시험 결과 비교

시스템		열화환경	방사선조사전 (1b/in ²)/(kg/cm ²)	방사선조사후 (1b/in ²)/(kg/cm ²)	비 고
Code 1	정규		380 / 26.7	520 / 36.6	
	보수		140 / 98	190 / 13.4	
Code 2			230 / 16.2	240 / 16.9	
Code 3			1500/105 이상	1500/105 이상	측정범위초과
Code I	I-1		1500/105 이상	1500/105 이상	측정범위초과
	I-2		890 / 62.6	930 / 65.4	
Code II			850 / 59.8	920 / 64.7	

표 9 LOCA 시험에 따른 부착력시험 결과 비교

시스템		열화환경 방사선	기본시험 (1b/in ²)/(kg/cm ²)	LOCA시험 (1b/in ²)/(kg/cm ²)	비 고
Code 1	정규	미조사	380 / 26.7	700 / 49.2	
		조사	520 / 36.6	900 / 63.3	
	보수	미조사	140 / 9.8	430 / 30.2	
		조사	190 / 13.4	500 / 35.2	
Code 2	미조사	230 / 16.2	100 / 7.0*	*강재부식	
	조사	240 / 16.9	100 / 7.0*	*강재부식	
Code 3	미조사	1500/105 이상	1500/105 이상	측정범위초과	
	조사	1500/105 이상	1500/105 이상	측정범위초과	

표 10 MSLB 시험에 따른 부착력시험 결과 비교

시스템		열화환경 방사선	기본시험 (1b/in ²)/(kg/cm ²)	MSLB시험 (1b/in ²)/(kg/cm ²)	비 고
Code I	I - 1	미조사	1500/105 이상*	680 / 47.8	*측정범위초과
		조사	1500/105 이상*	940 / 66.1	*측정범위초과
	I - 2	미조사	890 / 62.6	640 / 45.0	
		조사	930 / 65.4	800 / 56.3	
Code II	미조사	850 / 59.8	410 / 28.8		
	조사	920 / 64.7	720 / 50.6		
Code III	미조사	1500/105 이상	1500/105 이상	측정범위초과	
	조사	1500/105 이상	1500/105 이상	측정범위초과	

5. 결 론

- 1) 도장시스템별 부착성능은 하도와 상도가 모두 에폭시로 이루어진 도장시스템 Code 3의 경우가 가장 좋은 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 무기아연미분말(Inorganic Zinc) 하도와 에폭시 상도로 이루어진 정규사양(Code I-1)이고, 가장 열등한 것은 무기아연미분말 하도와 에폭시 상도의 보수사양들(Code 1(보수), Code 2(II), Code I-2) 순이었다.
- 2) 무기아연미분말의 두께가 정규사양보다 2배나 두꺼운 보수사양들의 부착력이 가장 열등한 것으로 나타났는데, 이는 하도에 사용된 무기아연미분말의 두께가 부착력 저하에 직접적인 영향을 주고 있음을 보여준다. 따라서, 강재의 부식방지를 특별히 고려해야하는 경우를 제외하고는 무기아연미분말의 사용은 바람직하지 않다. 다만, 부득이 사용해야하는 경우 무기아연미분말의 두께가 규정보다 두꺼워지지 않도록 특별한 시공관리가 필요하며, 보수도장의 경우는 중간보수재로 무기아연미분말 대신에 에폭시수지 도장재로 대체되는 것이 부착력 증진에 효과적이다.
- 3) 방사선이 조사되면 도장재 내부의 결합사슬이 손상되기보다는 철재면과 도장재간의 층간밀착을 강화시키게 되므로 모든 도장시스템에서 부착력의 향상효과가 나타난다. 따라서, 방사선조사가 시편의 부착력을 항상 감소시킬 것이라 예측했던 그간의 관념과 부착력의 크기만으로 열화 정도를 평가하는 관행은 수정되어야 한다.
- 4) 모든 시편의 부착성능은 1차시편보다는 2차시편이 월등히 크며, 열화환경조건보다는 초기의 양생조건에 크게 의존됨을 볼 수 있는데, 이는 시공시 초기 양생조건이 보호도장재의 내구성 확보를 위한 중요한 요건임을 말해준다.
- 5) 본 연구에서 제안한 두겹의 에폭시수지 층으로 구성된 도장시스템 Code 3는 현재 국내원전에서 사용중인 도장시스템인 Code 1(I)과 Code 2(II)보다 부착성능이 월등하고, 주요 열화환경에 대한 저항성도 우수한 것으로 나타났으므로 보호도장재의 장기 내구성 향상 및 품질 확보 측면에서 현재 사용하고 있는 도장시스템을 본 연구에서 제안한 도장시스템으로 변경하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. US NRC Reg. Guide 1.54 "Quality assurance requirements for protective coatings applied to water-cooled nuclear power plants", 1973
2. ANSI N45.2 "Quality assurance program requirement for nuclear power plants", 1971
3. NRC Information Notice 97-13, "Deficient conditions associated with protective coatings at nuclear power plants", Mar. 1997

4. NRC Generic Setter 98-4, "Potential for degradation of the emergency core cooling system and the containment spray system after LOCA because of construction and protective coating deficiencies and foreign material in containment", 1998
5. ANSI N5.12, "Protective coatings for the nuclear industry", 1974
6. 이상국, "내방사성 도장재 성능실증시험 및 열화특성관련 해외출장보고서(KINS/DR-434)", 1998
7. 이상국, "CANDU형 원자로격납구조물 Non-metallic liner system의 성능실증시험에 대한 연구 (KINS/AR-124)", 1993
8. Regulatory Guide 1.89, "Environmental qualification of certain electric equipment for nuclear power generating stations", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1983
9. ANSI N101.2 " Protective coatings(paints) for light water nuclear reactor containment facilities", 1972
10. ASTM D3911, "Standard test method for evaluating coatings used in light-water nuclear power plants at simulated design base accident(DBA) conditions", 1995