내화도료의 기술적 특성과 시공

이 익 수 / 대한페인트·잉크(주) 연구소 과장

1. 머리말

최근의 도료기술개발은 환경친화적 기술과 특수기능성 기술로 집약되는 추세이다. 내화도료는 일반적인 도료 형태로써 내화구조라는 특수기능성을 갖고 있는 도료이다. 즉, 건축물의 주요 철구조물을 화재로부터 일정 시간 보호하는 기능을 갖는 특수기능성 도료이다. 발포성 유기계 내화도료의 경우, 내화도료로 시공한 내화구조는 보통의 경우에는 일반도료와 마찬가지로 방청효과, 미장효과 등을 발휘하다가 화재로 인한 고열이나 화염에 노출되면 200℃~350℃에서 도막이 급격히 발포팽창하여 원래 시공된 두께보다 50배~100배 두꺼워지게 된다. 이렇게 발포 팽창된 단열층을 이루는 일련의 현상으로 인해 고온의 열이 철강재에 전달되는 것을 차단하거나 지연시켜줌으로써 철골구조물의 급격한 내력저하로 인한 건축물의 붕괴를 막아줄 뿐만 아니라 화재를 진압하거나 인명을 구출하는 등 주요구조부의 안정성을 확보해주게 되는 것이다.

내화도료의 특수 기능성이 발휘되기 위해서는 내화구조로의 시공방법도 매우 중요하다. 내화도료도 일반도료와 마찬가지로 도장재료이므로 일반도료에 적합한 시공방법을 선정하듯이 내화도료에 적합한 시공방법이 선정되고 제품 시방서에 따라 적합하게 시공되어야만 내화구조로서의 기능을 발휘할 수 있게 된다.

본 고에서는 발포성 유기계 내화도료를 중심으로 내화도료의 특성 및 시공방법 등을 소개하여 내화도료에 대한 이해와 내화구조 시공에 도움을 주고자 한다.

2. 내화도료의 특성

내화도료는 발포 특성, 수지 특성, 희석제 특성 및 도막두께에 따라 각각 발포성과 비발포성, 유기계와 무기계, 유성계와 수성계 및 박막형과 후막형 등으로 분류할 수 있는 데 본고에서는 국제적으로 내화도료의 주류를 이루고 있는 발포성 유기계 내화도료(Intumescent Coating)를 중심으로 고찰하고자 한다. 발포성 유기계 박막형 내화도료는 희석제로 유기용제를 사용하도록 설계된 유성내화도료와 희석제로 물을 사용하도록 설계된 수성내화도료로 구분할 수 있는 데 내화성능을 발휘하는 내화 메카니즘은 동일하다.

발포성 유기계 내화도료의 내화성능은 크게 4가지 효과가 복합 유기적으로 작용함으로써 나타나는 특성이다. 스스로 많은 열량을 축적할 수 있는 화학 물질에 의한 흡열기능과 발포되면서 일어나는 상변화에 의한 흡열반응 등으로 피도물의 온도상승을 지연시키는 열역학적 효과, 포비이론(Intumescent Theory)에 따른 축합반응으로 형성된 Char층이 유기무기 복합계로 조성되어 연소속도를 감소시키는 화학적 효과, 화학물질이 용융되면서 형성된 층과 발포층 표면의 무기계층이 가연성 기체의 침투를 막고 피도물과 공기와의 접촉을 차단함으로써 발포층내의 연소반응을 지연시키는 차단층 효과 및 화학반응으로 생성, 방출된 난연성 기체와 수증기에 의해 가연성 기체가 희석되어 연소속도를 감소시키는 가스희석효과 등으로 구분할 수 있는 데 내화도료 구성물질들이 4가지 효과에 유기적으로 작용하는 것이므로 특성 검토는 복합적으로 이루어져야 한다. 이와 같은 효과를 유도하기 위해서

특수한 원료들이 조성되어 있으나 이로 인해 특수한 시공방법이 필요한 것은 아니다.

내화도료는 내화성능이라는 특수 기능을 갖는 것외에 통상적인 실온에서는 일반적인 중방식용 또는 건축용 도료로서의 기능도 필요하기 때문에 도막의 상태, 부착성, 충격성, 경도, 내식성, 내수성, 내산성, 내알칼리성, 내후성, 내구성, 가스유해성 등도 일정 수준이상의 성능을 발휘할 수 있어야 하며 특히 일반도료에 비해 도막두께가 두껍기 때문에 도장작업성이 우수하여야 한다. 이와 같은 특성들은 내화도료의 구성재료와 배합기술에 따라 결정되는 것으로 절대로 간과해서는 않된다.

3. 내화도료의 시공

내화도료가 내화구조로서의 기능을 발휘하기 위해서는 반드시 적절한 현장시공이 뒷받침되어야 한다. 올바른 현장시공이 이루어지기 위해서는 다음과 같은 사항들을 검토하여 숙지하는 것이 바람직하다.

3-1. 도장 환경

도장하는 작업 중이나 도료의 건조 기간 중, 도장하는 장소의 환경 및 기상조건이 아래와 같이 좋은 도장 결과를 기대할 수 없을 때에는 도장 작업을 금하는 것이 좋다.

1) 도장 시공시의 기온이 5℃이하이거나 40℃ 이상일 때.
2) 피도물의 표면온도가 이슬점(Dew Point)보다 3℃미만일 때(작업장에서 확인할 수 있는 방법으로 손수건이나 헝겊 조각에 청수(淸水)를 적셔서 피도체 표면에 붙인 다음 약 15분이내에 마르지 않을 때).
3) 도장시공시의 상대습도가 80%를 초과할 때.
4) 눈이나 비가 올 때 및 안개가 심하게 끼었을 때.
5) 강설우, 강풍, 지나친 통풍, 도장할 장소의 더러움 등으로 인하여 물방울, 들뜨기, 흙먼지 등이 도막에 부착하기 쉬울 때.
6) 주위의 다른 작업으로 인하여 도장작업에 지장이 있거나 또는 도막이 손상될 우려가 있을 때.
7) 도장시의 조명이 시공자가 시공상태, 표면상태 및 습도막두께 등을 조절할 수 없을 때.
8) 도장시의 전기용량이 시공과 관련된 설비들을 규정 용량에 준하여 작동시킬 수 없을 때.

3-2. 소지 조정

내화도료는 철강재를 주요 피도체로 하고 있으므로 올바른 내화도료의 시공이 이루어지기 위해서는 금속의 부식 또는 발청에 대해 이해할 필요가 있다. 부식 또는 발청은 건식(Dry Corrosion)과 습식(Wet Corrosion)으로 구분되는데 건식이란 물이 개입되지 않고 금속을 약 200℃이상으로 가열할 때 일어나는 산화현상으로 열연강판의 표면에 생기는 흑피(Mill Scale)가 주를 이룬다. 흑피는 핀홀(Pinhole) 등과 같은 이상현상이 없는 균일한 상태라면 문제가 없으나 핀홀이 있는 경우에는 철소지와의 사이에 전지가 형성되어 철이온이 용출되게 된다. 즉, 금속 표면에 생긴 녹이나 흑피는 그냥 먼지나 오염물이 붙어서 생긴 것이 아니라 화학적으로 생성된 것이다. 상온에서 철강재의 녹은 다음과 같은 경로로 발생된다.

철은 공기(물과 산소)의 작용에 의해 그 표면이 먼저 수산화제1철이 되고 이 반응이 계속 진행되어 수산화제2철이 되며, 철표면은 새로 생긴 수산화제1철로 또 수산화제2철로 반응이 계속해서 진행되면서 녹이 발생하게 되는 것이다.

이와 같이 발생된 금속의 녹이나 흑피, 기계유, 유지(油脂) 등은 도막의 부착력을 저해하거나 도막의 이상 현상을 유발하는 원인이 된다. 그러므로 표면에 부착, 생성된 이물질을 제거하여 부착성을 향상시킴으로써 내식성 등의 물성을 극대화하고자 하는 것이 소지 조정의 목적이다. 도장과 관련된 각종 요인별로 도막의 수명에 미치는 기여율을 조사한 실험 결과에서도 다른 요인들이 도막의 수명에 5~20% 기여하는 반면에 소지 조

정이 약 50% 기여하는 것으로 알려져 있다.

철골에 내화도료를 도장하기 전에 이미 도장되어 있는 하도의 상태가 양호한가를 확인하고 불량한 경우에는 바탕 만들기를 해야 한다. 오염, 먼지 등은 닦아 내고 단조(鍛造), 용접, 리벳접합 등의 부분에 부착된 불순물을 스크레이퍼, 와이어브러쉬, 내수연마지 등으로 제거한다. 기름, 지방분 등의 부착물을 닦아낸 후, 휘발유 등의 용제로 씻거나 또는 비눗물로 씻고 물 또는 더운물등으로 다시 씻어 건조시킨다.

3-3. 도료 보관 및 안전 조치

내화도료가 현장에 반입될 때, 먼저 상표가 완전하고 외부 파손이 없는 가를 확인한 다음, 건설교통부 고시 제1998-248호에 따른 지정제품의 표시여부, 지정번호, 사용부위, 내화성능, 회사명 및 품명 등을 확인해야 한다. 필요한 경우에는 감리자나 현장관리자의 확인을 받는다. 유성계 내화도료의 경우, 최초 반입한 도료 및 사용중인 도료는 현장내에서 담당원이 승인하는 도료전용창고에 보관하고 화기엄금 표시를 한다. 도료창고는 특히 화재에 주의하고, 창고내와 그 주변에서의 화기사용을 엄금한다. 사용중인 도료는 이물질이 혼입되지 않도록 될 수 있는대로 밀봉하여 새거나 엎지르지 않게 다루고, 샌 것 또는 엎지른 것은 발화의 위험이 없도록 닦아내며 이때 도료가 묻은 헝겊 등 자연발화의 우려가 있는 것을 도료보관 창고안에 두어서는 안되며 소각시켜야 한다.

내화도료를 일반도료와 혼합해서 사용하는 것은 절대 금해야 하고, 주로 생산공장에서 공급된 도료상태에서 시공하나 필요한 경우에는 규정 희석제로 희석해서 사용할 수도 있다.

건축 도장공사는 일정한 장소에서 작업할 수 없고, 현장별 이동 작업이 특색이다. 따라서 작업의 효율을 최대한 얻기 위해서는 작업자가 작업에 익숙해야 하며 다음과 같은 안전수칙을 준수해야 한다.

1) 작업은 안전한 방법으로 진행되어야 하고, 작업량은 건강 또는 안전에 관한 장애가 없도록 하여야 한다.

2) 도료는 화학물질을 함유하고 있으므로 저장, 취급, 도장 및 건조를 위하여 적절한 건강 및 안전에 관한 사전 예방 조치가 있어야 한다. 사용자는 제품에 관한 최근의 기술자료를 사전에 숙지하여야 한다.

3) 도료가 도장되는 동안 모든 작업자는 적절한 보호장구 및 보호복을 착용하여야 한다.

4) 스파크나 불꽃을 일으키는 장비들은 절대 작업장에 가까이 하지 말아야 하고(장비, 성냥, 라이터 등) 작업지역에서는 금연하여야 한다. 모든 전기장비는 스파크를 막기 위해 접지 하여야 한다.

5) 내부 도장시 먼지, 도료 냄새의 흡입을 막기 위하여 적절한 환기 시설을 하여야 한다. 도료 더스트를 제거하기 위하여 내부의 하단 홀에 휀을 설치하여야 한다. 작업자는 안전을 위하여 마스크, 안면 보호구 등을 착용하여야 한다.

6) 눈은 특별히 보호되어야 하며 특히 도장시에는 눈과 얼굴부위의 보호를 위해서 보안경을 반드시 착용하여야 한다.

7) 도료를 장시간 취급하면 피부자극이 올 수 있으므로 모든 작업인원은 장갑, 보호복, 안면 보호구, 마스크와 보안경을 착용하여야 한다. 피부에 도료가 묻었을 때는 비누로 깨끗이 씻어야 하며, 흡연 및 취식 등은 반드시 도장작업장과 격리된 지정장소에서 하여야 한다.

3-4. 내화도료의 시공

도장공사 전반에 있어서 시공은 정확하고 충분한 도장설계가 되어 그것을 기본으로 한 규정화, 시방서 작성 및 설정이 중요하다. 본고에서는 내화도료를 도장하는 방법과 관련된 내용으로 국한하여 설명하고자 한다. 도장작업에 있어서 어떤 도장 기기를 사용하는가에 따라 도장 사양에 따른 도장 결과와 도장작업의 경제성이 좌우된다고 볼 수 있다. 내화도료 도장은 철골공사가 이루어진 다음에 진행되고 피도체의 형상이 다양하므로 스프레이 도장방법이 가장 적당하다.

1) 에어리스 스프레이(Airless Spray) 도장

내화도료 도장시 가장 널리 사용되고 있는 에어리스 스프레이 도장방법은 도료에 직접 높은 압력을 가하여 팁(Tip)의 구멍을 통과하도록

표1 에어리스 스프레이와 에어 스프레이 도장방법 비교

구 분	에어리스 스프레이 도장방법	에어 스프레이 도장방법
분 사 원 리	고압펌프 사용	압축공기 사용
도 착 효 율	60~90 % 도료의 손실이 적다	30~50 % 도료의 손실이 많다
도 료 점 도	제한받지 않는다 고점도/저점도 도료 사용가능하다	제한받는다 고점도 도료는 사용하기 곤란하다
희석제 첨가량	매우적다	많다
환 경 오 염	적다	많다
작 업 생 산 성	매우 우수하다 후막도장이 가능하다	보통이다 후막도장이 불가능하다
도 막 외 관	도장면이 균일하다	도장면이 균일하고 외관이 매우 우수하다
주요 사용용도	건축/중방식/선박 등	자동차/가전공업/목공 등

함으로써 유동 속도가 증가된 도료가 대기와 충돌되면서 작은 입자로 무화되는 현상을 이용한 도장방법이다. 에어리스 스프레이 도장방법은 도료가 유동 상태에서 압축된 공기가 주입됨으로써 무화되는 현상을 이용한 에어 스프레이(Air Spray) 도장방법에 비해 도료 손실이 적고 작업생산성이 우수하다는 대표적인 장점을 갖고 있다. 에어리스 스프레이와 에어 스프레이 도장방법을 비교하면 상기 표 1과 같다.

2) 에어리스 도장기

내화도료는 주로 후도막으로 도장되므로 시공작업비와 관련된 경제성을 우선 고려하여 내화도료에 적합한 도장기를 사용하는 것이 매우 중요하다. 에어리스 도장기를 선택할 때는 동력원, 분무압력, 사용가능한 팁, 도료 토출량 등을 고려하여 사용하고자 하는 도료를 효율적으로 도장할 수 있는가를 검토하는 것이 중요하다.

실질적으로 펌프를 선정할 때는 토출 압력(도료의 필요 무화압력+압력손실)과 토출 유량(팁 토출량×팁의 수)을 같이 검토해야 한다. 도료의 필요 무화압력(Atomization Pressure)이란 도료를 비산시켜 도막을 얻기 위한 최소 압력으로 방청도료나 상도도료의 경우 50~80kgf/㎠, 발포성 유기계 내화도료의 경우 120~180kgf/㎠의 무화압력이 필요하다. 또한 압력손실이란 펌프에서의 압력과 스프레이 건(Gun)에서의 압력의 차이를 말하며 일반적으로 연결 호스(Hose)의 길이가 길수록, 호스의 내경(Inside Diameter)이 작을 수록, 팁 구경이 클수록, 도료의 점도가 높을 수록 압력손실이 증가한다. 발포성 유기계 내화도료의 경우, 보통 토출분사압력은 150~210kgf/㎠이상이면 사용 가능하다.

3) 스프레이 팁(Spray Tip)

에어리스 스프레이 도장에 있어서 도료의 도착효율을 높게하고 도료 손실율을 최소화하기 위해서 팁의 선택은 매우 중요하다. 또한 팁의 선택에 따라 토출량이 결정되고 1회 도장시 도막두께, 도장횟수, 도막외관상태 등이 결정되기도 한다.

도장할려고 하는 피도체의 크기 및 형상에 따라 먼저 분사폭을 결정한 다음에 팁 구경을 결정한다. 분사폭이 너무 작은 팁으로 작업하게 되면 도료 소실이 적은 반면에 작업능률이 저하된다. 또한 팁 구경이 너무 작은 팁으로 작업하면 도막 외관은 양호하나 토출량이 적기 때문에 작업능률이 저하된다. 발포성 유기계 내화도료를 도장하는 데는 분사폭은 6~10 inch가 적합하고 팁 구경은 방청도료나 상도도료의 경우 0.015 ~

0.021 inch, 발포성 유기계 내화도료의 경우 0.025 ~ 0.035 inch가 적합하다.

현재 국내에서 널리 사용되고 있는 Graco사의 팁은 팁의 종류에 따라 각각 고유한 3자리 구분 번호를 갖고 있는 데 Silver팁(163-), Contractor팁(269-), RAC IV Switch팁(221-)등이 주로 사용되고 있다. 각각의 팁에는 6자리 숫자로 구분 표기되어 있는 데 앞의 3자리 숫자는 앞에서 설명한 팁의 종류를 나타내는 숫자이고 뒤의 3자리중 첫 번째 숫자는 분사폭을 나타내는 숫자이고 마지막 2자리 숫자는 팁의 구경을 나타내는 숫자이다.

예를 들면 「221-331」이라고 표기된 팁은 RAC IV Switch팁으로 건(Gun)에서 약 30cm 떨어진 거리에서 최저분사폭이 6 inch(3의 2배), 최고분사폭이 8 inch(최저분사폭+2 inch), 분사각이 30°(3의 10배)이고 팁의 구경이 0.031 inch(31의 1/1000)인 팁을 표시하는 것이다. 참고로 RAC IV Switch팁의 구경에 따른 토출량을 표2에 나타내었다.

팁은 작업량에 따라 자연적으로 마모가 생기게 되는 데 이는 저급의 도료를 사용하거나 펌프 압력이 과도하거나, 도료나 장비내에 이물질이 있으면 더욱 마모 속도가 가속된다. 마모가 일어나면 분사폭은 줄어들고 팁구경이 커지게 되어 도장작업을 조절하기 어려워지게 된다. 발

표2 RAC IV Switch팁의 구경에 따른 토출량

팁구경(inch)	토출량(GPM*)	토출량(LPM)
0.015	0.23	0.87
0.017	0.30	1.13
0.019	0.36	1.36
0.021	0.46	1.74
0.023	0.55	2.08
0.025	0.66	2.49
0.027	0.77	2.91
0.029	0.88	3.33
0.031	1.02	3.86
0.035	1.31	4.95

*: GPM(gallon/min) = 3.78LPM(liter/min)

포성 유기계 내화도료의 경우 약 500 l 이상 사용하면 팁의 교체를 검토하는 것이 바람직하다.

4) 도장방법 및 시공관리

에어리스 스프레이 도장시, 스프레이 거리는 피도체 형태에 따라 좌우되며, 일반적으로 25 ~ 30cm 정도로 적당하다. 거리가 멀게 되면 도장면이 넓고 건(Gun)의 운행 횟수가 적어서 도장시간이 단축되기는 하나 실제로 도포량이 적기 때문에 도장 횟수를 늘려야 하는 경우도 있다. 반면에 거리가 가까우면 흘러 내리거나 얼룩 무늬가 생기기 쉽다. 스프레이 건을 움직이는 속도는 20 ~ 50cm/sec가 적당하며, 운행속도는 균일하게 유지하고 운행방향은 피도물과 평행으로 움직이므로써 항상 직각방향으로 도장하는 것이 바람직하다. 이때 먼저 도장된 부분과 30~40%씩 중첩되도록 도장하는 것이 효율적이다. 철골 모서리부분을 도장할 때는 인접한 도장면보다 먼저 도장하고 또한 반드시 중첩되도록 도장함으로써 건조후의 도막두께가 지정 도막두께 이상이 되도록 한다. 희석 및 장비 세척은 반드시 지정된 희석제로 희석 또는 세척하여야 한다.

도장작업후 이상현상이 발생하여 보수도장해야 하는 경우에는 보수도장이외의 면적은 보수도장 작업시 도장으로 인한 손상이나 겹도장으로부터 보호될 수 있도록 보양해주고 이상현상에 따라 보수도장한다. 핀홀, 얼룩 등은 조정한 후에 덧칠하고, 규정도막두께보다 미달된 부분은 규정도막두께가 되도록 재도장한다. 과도하게 흐른 부분, 더스트가 날린 부분 등은 블라스팅을 하여 제거하고 압축 공기로 표면을 불어낸 후 규격대로 재도장 한다. 손상되었거나 갈라졌거나, 부풀어오르거나, 벗겨진 부분의 도막은 순수 소지가 드러날 때까지 제거하고 주변의 정상적인 도막의 일부도 재도장시 외관이 양호하도록 약간의 손질이 필요하며, 먼지와 이물질이 제거된 후 규격에 따라 재도장 한다. 도막검사시 도장된 면의 용접 등이 필요한 부분은 용접이 끝난 후 즉시 그라인더로 용접부위를 처리하고 용접 찌거기를 완전히 제거하는 등 손상 도막을 표면처리하고, 발청이 시작되기 전에 즉시 보수도장을 한다. 또한 손상부위의 장시간 방치는 발청의 원

인이 되므로 즉시 보수도장을 한다.

기존 건축물을 증축 또는 개축하면서 내화피복도료로 시공하여야 하는 경우 또는 내화도료로 시공된 내화구조를 부분 보수시공하는 경우, 구도막의 외관 및 부착상태를 먼저 확인한다. 단순히 부분적으로 노후된 상도도막은 스크래핑에 의해 제거하고, 견고하게 부착되어 기능이 유지된 상도는 표면의 오염물만 수공구나 동력공구로 제거한다. 이때 상도 구도막과 내화도료와의 층간밀착성을 반드시 확인하고 양호한 경우에만 내화도료와 상도도료를 시공해야 한다.

시방서에 준하여 도장에 관한 제반 작업이 수행되는지 감독관 또는 그 대리인은 감리하며, 감리자의 승인을 받아 제반 작업을 수행해야 한다. 특히, 도장사양에 제시된 모든 도료는 규격에 맞도록 전처리 되어진 표면에 도장되어야 하며, 도장 전 그 부위에 정해진 도료가 사용되는가를 확인하여야 한다. 감독관 또는 그 대리인은 작업에 영향을 미치는 주변 상황 및 작업 관계를 매일 기록(날씨, 대기중의 온도 및 습도, 도료 작업량, 건조도막 두께 등)하여 보관하고 도장에 관한 제반 작업이 시방서에 준하지 않을 경우 즉시 수정하여야 한다. 도장감리에 필요한 기기로 도막상태와 표면조도를 관찰하기 위한 확대경, 도막의 핀홀을 탐지하기 위한 핀홀 디텍터, 표면온도 측정기, 습도막/건조도막두께 측정기 등을 구비하여야 한다.

3-5. 도막두께관리

도막 두께의 관리는 내화 도료의 성능 발휘와 매우 밀접한 관계가 있다. 특히 내화 성능은 일정 수준의 도막 두께까지는 도막 두께에 비례하는 특성을 갖고 있으므로 내화구조 지정도막두께로 반드시 도장하여야 한다.

도막 두께는 습도막 두께와 건조도막 두께로 구분할 수 있는데 습도막 두께 측정기기를 사용하여 습도막 두께를 정확히 측정하기 위해서는 도료를 도장한 후 반드시 즉시 측정하여야 한다. 도막 두께가 얇은 경우에는 표면에서의 용제 증발로 인해 정확히 측정할 수 없을 수도 있으나 내화 도료와 같이 도막두께가 일반도료에 비해 두꺼운 경우에는 비교적 정확하다. 내화 도료를 시험 도장하여 도장 작업자 스스로 도장 기술 및 패턴에 따른 습도막 두께를 측정하여 숙지함으로써 실제 도장 작업시 활용하는 것이 바람직하다.

건조도막 두께는 도막이 완전건조된 후 건조도막 두께 측정기(Digital Coating Thickness Gauge 또는 Electronic Surface Coating Thickness Gauge)를 사용하여 정확히 측정하여야 한다. 측정 위치는 철강재 표면을 대표할 수 있는 위치로 선정하고 측정 횟수는 많을수록 정확한 값을 얻을 수 있다. 건조도막 두께 측정기를 사용하기에 앞서 반드시 매번 기기 검량을 하여야 한다. 다른 종류의 소재에 동일한 도료를 동일하게 도장한 경우에도 다른 도막두께 Data를 얻을 수 있는 데 이는 소재가 달라지면 다른 검량값을 갖기 때문이다. 그러므로 동일한 장소에서 동일한 소재에 도장된 건조도막 두께를 측정하더라도 매번 기기 검량을 하는 것이 바람직하다.

참고로 도막두께에 따른 도료소요량을 산출하기 위해서는 도료의 고유한 값인 (고형분 용적비, 건조도막의 두께와 습도막의 두께의 비율)을 먼저 산출해야 하는 데 이는 도료의 부피에 대한 고형분의 백분비율이기도 하다. 단위 면적당 필요한 이론 및 실제 도료소요량을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\text{이론 도료소요량 } (l/m^2) = \frac{\text{요구하는 건조도막의 두께(mm)}}{\text{SVR값(\%)}} \times 100$$

$$\text{실제 도료소요량 } (l/m^2) = \frac{\text{이론 도포량 } (l/m^2)}{(1-\text{Loss율})}$$

3-6. 도장결함 및 방지대책

도료 저장중이거나 도장작업중 혹은 도막형성을 전후해서 불량요인이 발생할 수 있다. 도막에 결함이 생기는 원인으로서는 도료, 도장방법, 도장설비, 도장환경 등 그 요인이 대단히 많고 이러한 요인들이 복합적으로 작용하는 경우가 많기 때문에 정확한 원인 규명은 쉽지 않다. 내화구조 시공과 관련된 결함 및 방지대책을 다음

표 3과 표 4에 간략히 요약하였다.

표 3 도장관련 결함 및 방지대책

결함명	현 상	발생원인	방지대책	조치방법
도막부족 도막과다	소정의 두께보다 얇거나 두꺼워서 가끔 도막결함의 2차적 원인이 된다	1. 도장점도가 너무 낮으면 도막두께가 부족하고 너무 높으면 과다하게 된다 2. 에어리스도장방법에서는 도장점도외에 칩, 압력, 건, 숙련도 등에 따라서 도막두께 변동이 심하다	1. 적절한 규정도장점유를 유지한다 2. 규정된 시방에 따라 도장한다	1. 도막두께가 부족한 경우에는 덧칠을 한다. 2. 도막이 과다한 경우에는 2차결함이 발생하지 않는다면 그대로 두고 발생한다면 그 결함에 대한 조치를 취한다
새깅 Sagging Running Curtaining	수직으로 도장했을 때 또는 지촉건조상태전에 중력에 의해 도막이 흘러내려서 주름이나 덩어리가 생기는 등 도막이 균일하지 않은 현상	1. 너무 두껍게 도장하거나 과하게 희석했을 때 2. 에어리스도장에서 칩이 너무 크거나 2차압력이 낮을 때 3. 온도가 너무 낮아서 지촉건조경화까지의 시간이 길어졌을 때	1. 규정된 도막두께와 희석율을 준수한다 2. 토출량이 적은 칩으로 교체하고 두꺼운 도막을 방지한다. 2차압을 높이고 희석제량을 줄인다	현저하게 외관이 손상되지 않았을 때는 그대로 둔다 도막 기능의 저하는 별로 없다 외관상으로 문제가 될때는 흘러내려 두꺼워진 부분을 깍아 낸다
리프팅 Lifting	상도도료가 하도도막을 녹여서 도막이 들뜨는 현상	1. 상도도료의 성분이 하도도막을 용해시킬 때 2. 하도도막이 충분히 건조되지 않았을 때	1. 도장시스템에 맞는 상도를 선택한다 또한 상도의 희석제로 지정된 것을 반드시 사용한다 2. 하도를 충분히 건조시킨다	기본작으로 도장 시스템이 맞지 않기 때문에 나타나는 현상이므로 전부 벗겨내고 하도부터 다시 도장해야 한다. 1.의 원인일 때는 비교적 단시간내에 결함이 나타나므로 적은 범위로 한정시키도록 한다

4. 맺음말

철강재는 강도 및 안정성, 설계의 다양성, 시공의 편리성 등의 장점이 높이 평가되면서 국내에서도 그 적용분야가 급격히 확대되고 있는 추세이다. 기술 선진국에서는 발포성 유기계 내화도료(Intumescent Coating)가 이미 일반화되어 공항이나 터미널 등 철강재로 시공된 다양한 용도의 철구조물에 적용되고 있다. 국내에서도 여러 종류의 다기능 복합건물이나 공장 등과 같이 건축물의 기능과 특성이 복잡하고 다양해지면서 내부용적 감소가 적고 건축물의 미적효과와 내화구조효과를 동시에 갖는 발포성 유기계 내화도료의 적용이 증가될 것으로 예측된다. 향후 국내외 소비자의 다양한 욕구를 충족시키기 위해서는 국제 경쟁력을 확보할 수 있는 고품질과

표4 도막의 경시적 결함 및 방지대책

결함명	현 상	발생원인	방지대책
벗겨짐 Peeling Scaling Flaking Chipping	소지와 하도도막 또는 도막과 도막사이의 접착력이 없어져서 전면적 또는 부분적으로 벗겨지는 현상으로 외관이 극단적으로 저하되고 녹이 발생하게 되는 원인이 되기도 하므로 중대 결함중 하나이다	1. 유성방청도료(특히 산화철계)를 겨울철에 도장했을 때나 통풍이 나쁠 때 표면에 친수물질이 생겨서 상도의 부착력이 현저히 저하된다 2. 층간 밀착성이 불량한 도장시스템일 때 3. 소지 또는 하도면에 이물질(특히 해염입자가 100 mg/㎡ 이상)이 부착되었을 때	1. 겨울철에는 되도록 건조되고 나서 도장하는 것 이외에 방법이 없다 2. 시험도장으로 도장시스템을 확인한다 3. 해염입자를 와이어브러쉬로 닦거나 물로 씻어 제거한다
균열 Crazing Checking Cracking	도막에 여러가지 형상. 깊이. 크기의 균열이 생기는 현상	1. 하도가 충분히 건조되지 않은 상태에서 상도를 도장했을 때 2. 도료내 수지나 가소제가 부족하여 탄성이 줄었을 때 3. 규정도막이상으로 도장할 때	1. 유성계/알키드계에서 나타나기 쉽다 하도를 충분히 건조시킨다 2. 도료배합을 변형시킨다 3. 규정도막을 준수한다
백아화 Chalking Erosion	태양. 수분의 영향으로 수지가 분해되어 도막표면이 분화하는 현상으로 계속 진행되면 도막이 점차 소모되어 마침내는 하도가 비춰 보이게 된다	1. 도료내 수지물성이 부적합하거나 안료의 종류나 양이 적합하지 못할 때 2. 이산화티탄의 영향이 많이 나타날 때	적합한 안료를 선택하고 특히 수지를 고급화해야 한다
변색 Discoloration 퇴색 Fading	태양과 물의 영향으로 도막중의 안료가 변화되어 색이 변하는 것을 변색이라 하고. 색이 바래지는 것을 퇴색이라 한다	1. 원색도료로 조색한 경우 원색의 내후성이 서로 다를 때 2. 저급의 적색계/황색계 안료를 사용했을 때 3. 납(鉛)계 안료를 사용하고 황화수소나 아황산가스에 노출되었을 때 4. 내화학특성이 부족할 때	1. 원색의 내후성을 조정한다 2. 적색계/황색계안료는 특히 주의해서 선택한다 3. 황화수소는 미량이라도 변색하므로 흰색이나 담색에서는 납계 건조제는 사용하지 않는다 4. 사용환경에 맞도록 도장 시스템을 추천한다

저비용을 추구하는 내화도료 기술개발이 끈임없이 이루어져야 하고 시공을 담당하는 도장업체들의 내화기능관련 의식전환 노력과 내화도료 제품 및 내화구조 시공과 관련된 합리적인 품질관리 노력 등이 요구된다. 내화도료의 재료품질. 시공품질 및 관리품질이 동시에 합리성과 국제경쟁력을 갖추어야만 국내시장은 물론이고 세계시장에서도 앞서 갈 수 있을 것이다.

끝으로 내화도료의 특성 및 시공과관련된 사항 등을 이해함으로써 발포성 유기계 내화도료에 대한 이해를 높이고 올바른 내화도료 시공에 도움이 되기를 기대해 본다. FLK