

경년변화에 따른 내화도료의 성능 변화에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Performance of Intumescent Coating System with Time Elapse

최동호 / 공학박사 · 방내화팀 선임연구원

1. 서론

현재 국내에서는 철골건축물의 내화성능 확보를 위해 내화도료의 수요가 점차 늘어나고 있다. 이러한 내화도료는 기존의 뿔질피복재에 비하여 시공이 간단하고 미관적으로 우수하며 폐기물에 대한 부담이 적어 환경적으로도 유리한 장점이 있다. 그러나 내화도료는 재료의 화학적 성분, 배합 및 시공방법 등에 따라 성능에 차이를 나타내며, 외부 환경 등에 따라 내구성이 변화되어 요구되는 내화성능이 저하될 우려가 있다. 따라서 내화도료는 시공시의 품질확보 및 시간경과에 따른 내구성 변화를 파악하여 이에 대비할 수 있는 평가 방법 및 유지관리 등에 대한 연구가 필요하다.

현재 영국, 독일 및 일본 등 외국에서는 이러한 내화도료에 대한 내구성을 평가하고 이에 따른 유지관리를 실시하고 있으며, 관련 연구도 활발히 진행하고 있다.

이에 따라 본 연구는 국내에서 내화구조로 인정된 내화도료 시스템을 대상으로 2년 동안 옥내·외 폭로 실험을 실시하고 폭로후의 내구성 및 내화성능 변화를 파악하고자 하며, 이를 위하여 실험체 제작 초기 및 제작후 6개월 경과시에 대한 기존 연구에 이후 18

개월간 진행한 연구결과를 추가하여 총 2년의 기간중 나타난 내화도료 성능 변화에 대한 실험 자료를 제시하고자 한다.

2. 내화도료 구성 및 인정

2.1 내화도료 구성

내화도료의 일반적인 도장시스템은 그림 1과 같이 '하도(방청도료)+중도(내화도료)+상도(일반도료)'로 구성된다.

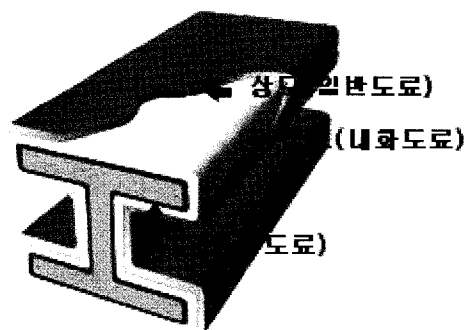


그림 1. 내화도료 도장 시스템

내화도료 중 하도는 KS M 5311에서 규정하는 일반적인 방청성 도료(광명단)를 사용하며, 상도는 중도인 내화도료를 외부의 눈, 비 및 기타 오염물질로부터 보

호하기 위해 내구성이 있는 염화고무계, 알키드계, 아크릴계 및 에폭시/우레탄계 도료 등을 내화도료 사양에 따라 사용하고 있다.

내화도료는 크게 유기와 무기 내화도료로 분류할 수 있는데, 유기 내화도료는 도막을 발포하기 용이하게 만들어 주는 수지, 도막을 수습 배로 발포시켜 주는 발포제, 탄화도막의 주성분을 제공하는 탄화제, 가스방출과 탄화도막 형성을 촉진시키는 촉매 등으로 구성되며, 무기 내화도료는 결정수를 포함하는 무기질 수지 및 흡열 반응으로 외부의 열을 흡수할 수 있는 기능성 안료 및 반응을 촉진하는 촉매 등으로 구성된다.

2.2 내화도료 인정

현재 국내에는 10개 업체 56종(보 26종, 기동 30종)의 내화도료가 1~2시간 내화성능이 확보된 것으로 인정되어 있다.(한국건설기술연구원, 2010년 9월)

국내의 내화도료에 대한 내화구조 인정은 「내화구조의 인정 및 관리기준(국토해양부고시 제2010-331호)」에 의한 인정 절차에 따라 제조업체가 국가공인시험기관의 관리 하에 내화시험 및 부가시험을 실시하여 내화구조로의 성능을 인정받게 된다. 단, 이때 실시하는 품질시험은 제작 초기의 내화성능 평가에 그 목적이 있으며, 이에 따라 인정 취득 후 시간경과에 따른 내화도료의 내구성 및 내화성능 변화에 대한 평가는 제외되고 있는 실정이다.

3. 실험

3.1 개요

실험대상인 내화도료는 국내에서 내화구조로 인정된 내화도료 3개 제품과 이에 일반적으로 적용되는 상도도료 4개의 조합으로 하였으며, 상도 시공에 따른 성능비교를 위하여 상도를 시공하지 않은 경우도

실험대상에 포함하였다.

실험 인자 및 수준은 표 1과 같다.

표 1. 실험 인자 및 수준

요인	실험 대상			경년
	내화도료	상도도료	적용위치	
인자	무기 A 유기 B 유기 C	상도 미시공 염화고무계 알키드계 알키드계 에폭시/우레탄계	옥내 옥외	제작초기 6개월 1년 1.5년 2년
수준	3	5	2	5

실험방법은 1993년 일본강구조협회에서 실시한 내화도료 내구성 연구(5)의 경년조건(6개월, 1년, 1.5년의 총 2년)을 참조하여 연구기간인 2년 동안 실험체에 대한 옥내·외 폭로를 실시하고 표 1의 경년에 도달시 폭로시킨 실험체에 대한 도막두께, 부착강도 측정과 가열실험을 실시하는 것으로 하였다.

3.2 사용재료

실험대상인 내화도료의 물성 등은 표 2~4와 같다.

표 2. 무기도료 A 물성 및 품질 현황

항목	물성 및 품질 현황
점도 (cps)	200 이상
부착강도 (N/㎡)	0.2 이상

표 3. 유기도료 B 물성 및 품질 현황

항목	물성 및 품질 현황
비중 (25℃)	1.26 ± 0.05
점도 (cps)	20,000 ~ 30,000
연화도 (NS)	4 이상
불휘발분 (wt %)	70 ± 2
건조시간(분)	30 이하

표 4. 유기도료 C 물성 및 품질 현황

항목	물성 및 품질 현황
비중 (25℃)	1.25 ± 0.10
점도 (cps)	110,000 ± 20,000
연화도 (NS)	3 이상
불휘발분 (wt %)	68 이상
건조시간(분)	30 이하

3.3 실험체 제작

실험체는 내화도료 및 상도도료를 방청도료가 시공된 강판(St-300mm×300mm×3.2mm)에 도료별 제조 시방에 따라 표 5의 도막두께를 목표로 설정한 후 뿔칠 제작하였다.

표 5. 실험체 구성

내화도료		두께 (mm)	상도 도료	상도 두께 (mm)	
무기 도료	A			4	염화고무계, 알키드계 아크릴계
유기 도료	B	0.8	염화고무계, 알키드계	0.05	0.1
			에폭시/우레탄계	0.1	0.1
	C	0.85	염화고무계, 알키드계	0.05	-
			에폭시/우레탄계	0.1	-

3.4 실험 방법

(1) 폭로 실험

폭로 실험은 실험체를 옥내 및 옥외 폭로실험장(방재시험연구원, 경기도 여주군 가남면 위치)에서 6개월, 1년, 1.5년 및 2년간 폭로시키도록 하였다.

폭로 조건은 KS M 5000(2003)의 「도료의 옥외 폭로 내후성 시험방법(시험방법 3241)」에 따른 폭로 조건 및 직사광선 및 우수가 차단되는 실온의 실내 조건으로 정하였다. 실험기간인 2년(2006. 4~2008. 4) 동안의 최고온도는 8월 평균 30℃, 최저온도는 1월 -10~-15℃의 범위였으며, 상대습도는 50~90% 범위에 분포하였다.

(2) 도막 두께 및 부착강도 측정

각 경년 도달시 실험체의 도막두께 및 부착강도를 표 6의 방법에 따라 측정하였다.

(3) 가열 실험

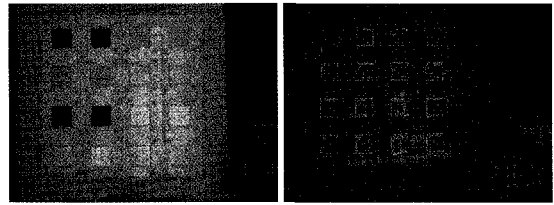
각 경년 도달시 표 7의 방법에 따른 가열실험을 실시하여 내화도료의 내화성능을 측정하였다.

표 6. 도막 두께 및 부착강도 측정 방법

구분	실험 방법
도막두께	- 철골 보·기둥의 피복두께 판정기준(2005) 적용
측정	- 폭로 실험 전·후 5개소 측정평균 산정
도막 부착강도	- KS M ISO 4624 적용
측정	- 폭로 실험전·후 3개소 측정평균 산정

표 7. 가열 실험 방법

구분	실험방법
실험 방법	- KS F 2257-1의 표준가열온도곡선에 따라 무기도료 2시간 유기도료 1시간 가열 - 실험중 강판 3개소의 이면상승온도 측정 - 이면상승온도는 KS F 2257-1의 동원판 열전대를 사용한 실시간 측정 및 Data Logger에 1분 간격 저장 - 실험중 도막의 발포상태, 탈락 등 관찰 - 실험결과를 초기경년의 실험결과와 비교



(a) 실험체 가열면

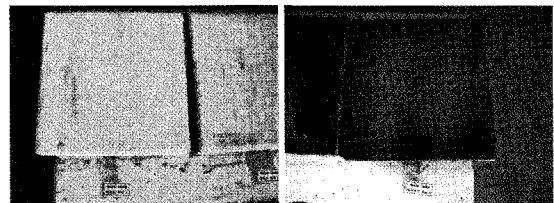
(b) 실험체 이면

그림 2. 가열 실험

4. 실험결과 및 분석

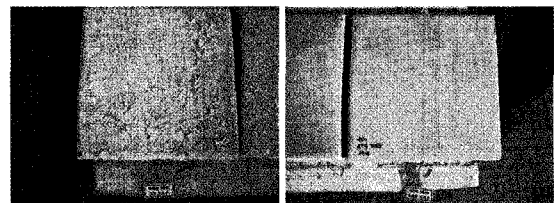
4.1 폭로 실험

그림 3~5는 실험체 제작후 24개월 경과 시까지 옥내·외에서 폭로시킨 무기도료 A 실험체를 나타낸 것이다.



(a) 상도 미시공

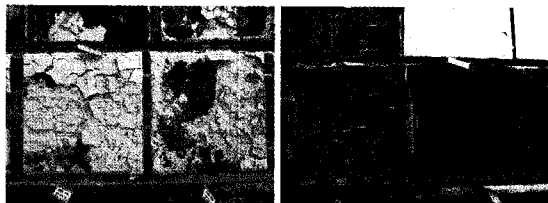
(b) 염화고무계 상도



(c) 알키드계 상도

(d) 아크릴계 상도

그림 3. 무기도료 A (옥내 폭로, 24개월 경과)



(a) 상도 미시공 (b) 염화고무계 상도



(c) 알키드계 상도 (d) 아크릴계 상도

그림 4. 무기도료 A (옥외 폭로, 6개월 경과)

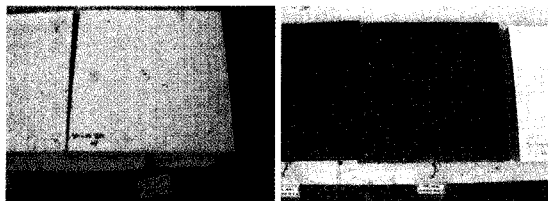


(a) 염화고무계 상도 (b) 아크릴계 상도

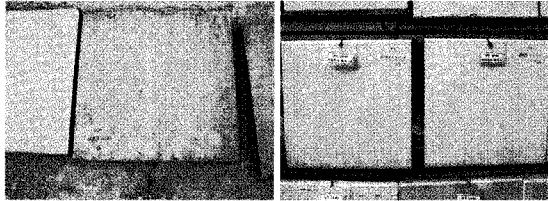
그림 5. 무기도료 A (옥외 폭로, 12개월 경과)

실험체에 대한 2년 동안의 옥내·외 폭로결과 무기도료는 옥외 폭로시 상도 미시공·알키드계 상도 시공 실험체는 6개월 이내, 염화고무계·아크릴계 상도 시공 실험체는 12개월 경과시 실험체 표면의 균열, 도료의 박리 현상이 나타나 도료의 대부분이 탈락하였다. 특히 알키드계 상도 시공의 경우 옥내 폭로에서도 6개월 경과 시 표면박리가 나타났는데, 이는 알키드계 상도가 중도인 내화도료의 건조를 막아 건조된 상도와 비건조된 내화도료간의 분리가 이루어진 때문으로 판단된다.

옥내 폭로의 경우에는 알키드계 상도 실험체외에는 제작 초기와 비교하여 균열 및 박리 등의 현상이 발생하지 않았다.

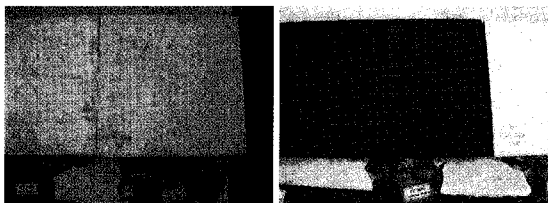


(a) 상도 미시공 (b) 염화고무계 상도

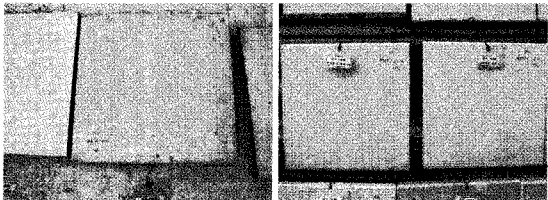


(c) 알키드계 상도 (d) 에폭시/우레탄계

그림 6. 유기도료 B (옥내 폭로, 24개월 경과)

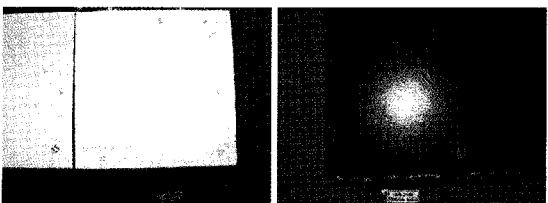


(a) 상도 미시공 (b) 염화고무계 상도

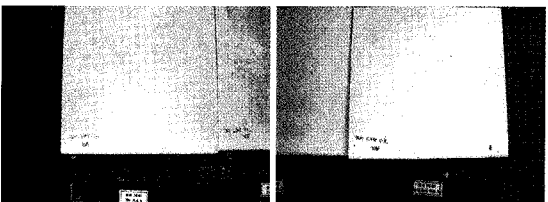


(c) 알키드계 상도 (d) 에폭시/우레탄계 상도

그림 7. 유기도료 B (옥외 폭로, 24개월 경과)



(a) 상도 미시공 (b) 염화고무계 상도



(c) 알키드계 상도 (d) 에폭시/우레탄계 상도

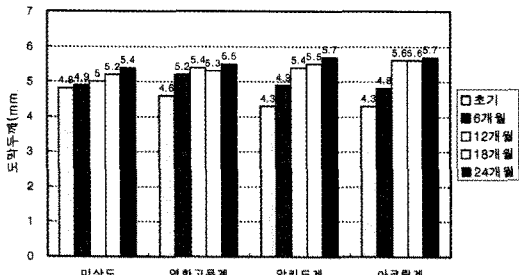
그림 8. 유기도료 C (옥내 폭로, 24개월 경과)

유기도료는 옥외 폭로시킨 상도 미시공 실험체에서 표면에 전체적인 도막의 주름현상이 발생하였으며, 기타 옥내 폭로 실험체 및 상도를 시공한 옥외 폭로 실험체에서는 상도 종류에 관계없이 제작 초기와 비교하여 실험체에 별다른 변화가 발생하지 않았다.

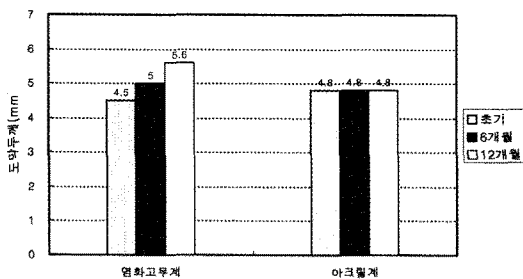
4.2 도막 두께

실험체 제작후 24개월 경과 시까지 옥내·외에서 폭로시킨 실험체의 도막 두께 측정 결과는 그림 9~11과 같다.

제작 초기의 도막두께는 각 내화도료의 시공기준에 따라 무기도료는 4.0~4.1mm, 유기도료는 0.8~0.95mm 정도를 예상하였으나 도료의 시공시 일정한 두께 확보가 곤란하여 무기도료는 4.3~4.8mm, 유기도료는 0.8~1.0mm의 범위로 나타났다.



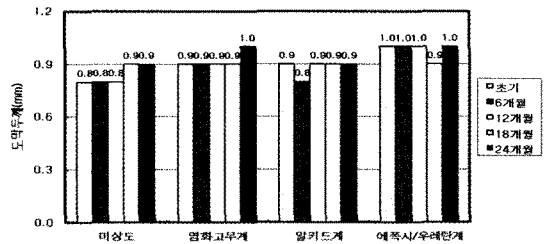
(a) 옥내 폭로



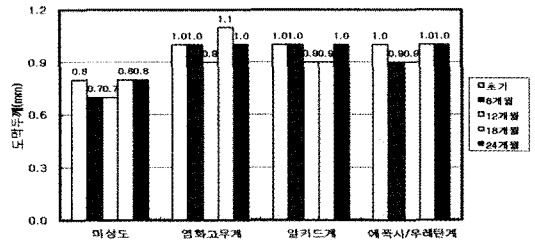
(b) 옥외 폭로

그림 9. 무기도료 A 도막두께

도막두께 측정결과 무기도료는 옥외 폭로시 상도 미시공과 알키드계 상도 시공 실험체는 6개월, 열화고무계·아크릴계 상도 시공 실험체는 12개월 경과후 시공



(a) 옥내 폭로



(b) 옥외 폭로

그림 10. 유기도료 B 도막두께

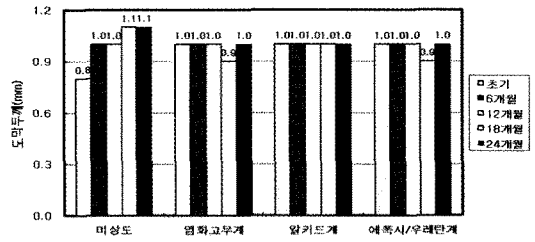


그림 11. 유기도료 C 도막두께

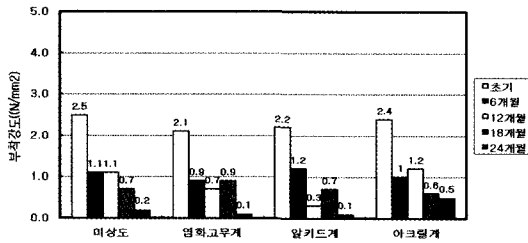
도료의 대부분이 탈락하여 두께 측정이 불가하였다. 옥내 폭로시는 초기에 비하여 24개월 경과시 도막두께가 8~30% 증가하였으며, 그중 알키드계와 아크릴계 상도를 시공한 경우의 도막두께가 가장 크게 증가한 것으로 나타났다.

유기도료의 경우에는 상도 미시공 실험체에서 최대 10%의 도막두께 증가 발생 외에는 상도종류 및 폭로조건에 따른 도막두께의 변화는 나타나지 않았다.

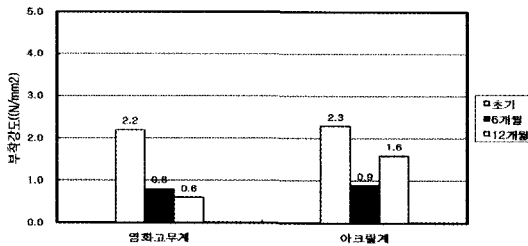
무기도료 및 상도 미시공 유기도료에서 폭로실험후 제작 초기에 비하여 도막두께가 증가하는 이유는 시간 경과에 따라 온도, 습도 등에 따른 도막의 팽창 때문으로 사료되며 추후 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4.3 부착강도

실험체 제작후 24개월 경과 시까지 옥내·외에서 폭로시킨 실험체의 부착강도 측정 결과는 그림 12~14와 같다.

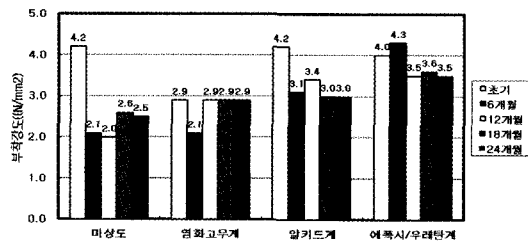


(a) 옥내 폭로

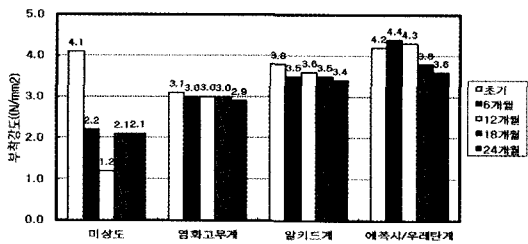


(b) 옥외 폭로

그림 12. 무기도료 A 부착강도



(a) 옥내 폭로



(b) 옥외 폭로

그림 13. 무기도료 B 부착강도

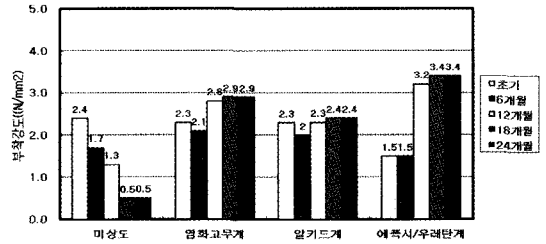


그림 14. 유기도료 C 부착강도

제작 초기 실험체의 부착강도 측정결과 무기도료 A는 1.6~2.5 N/mm², 유기도료 B는 3.1~4.2 N/mm², 유기도료 C는 1.5~2.4 N/mm²의 범위로 나타났으며, 유기도료 B의 부착강도가 기타 실험체에 비하여 약 80% 크게 나타났다.

도막두께의 경우와 같이 무기도료는 옥외 폭로시 상도 미시공과 알키드계 상도 시공 실험체는 6개월, 염화고무계·아크릴계 상도 시공 실험체는 12개월 경과후 시공 도료의 대부분이 탈락하여 그 이후 부착강도의 측정이 불가하였으며, 유기도료는 제작후 24개월 경과시 유기도료 B는 2.1~3.6 N/mm², 유기도료 C는 0.5~3.4 N/mm²의 범위로 나타났다.

실험체 제작 후 24개월 경년까지의 부착강도 측정결과 무기도료 옥내 폭로시 80~95%의 부착강도 저하율이 나타났으며, 옥외 폭로시 6개월 경년의 염화고무계 및 아크릴계 상도 시공에서 30~70%의 부착강도 저하율이 나타났다.

유기도료의 경우는 모든 상도 미시공 실험체에서 부착강도가 40~80% (유기도료 C는 80%) 저하하였으며, 상도 시공시 도료 A는 옥내폭로시 11~28%, 옥외폭로시 6~14% 부착강도가 저하한 것으로 나타났다.

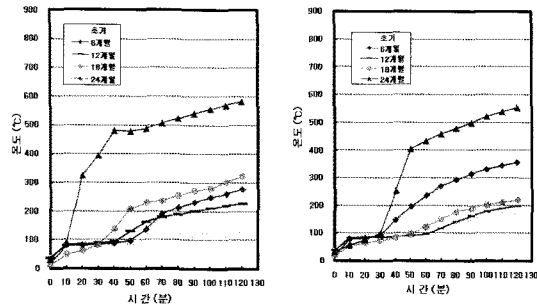
실험결과 도료 A 알키드계 상도 시공시 부착강도 저하율이 옥외 폭로시보다 옥내 폭로시 큰 것으로 나타났으며, 도료 B는 상도시공시 시간경과에 따라 부착강도의 증가현상이 나타났으며, 이에 대해서는 추가 실험 등을 통한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4.4 가열 실험

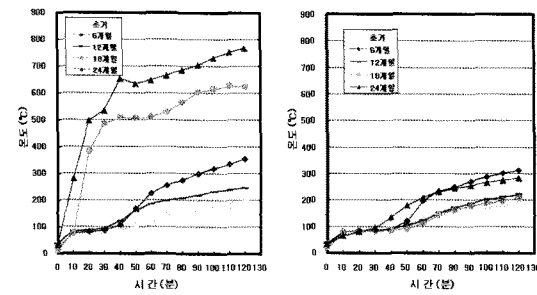
표 8, 표 9와 그림 15~18은 제작 초기, 6개월, 12개월, 18개월 및 24개월 경과 시까지 옥내·외 폭로시킨 무기도료 실험체에 대한 2시간 가열실험결과를 나타낸 것이다.

표 8. 무기도료 A(옥내 폭로) 이면상승온도

구분	이면 최고상승온도 (°C)				
	초기	6개월	12개월	18개월	24개월
상도 미시공	127	277	228	323	581
염화고무계	176	355	197	221	553
알키드계	191	354	247	624	767
아크릴계	187	312	222	209	284

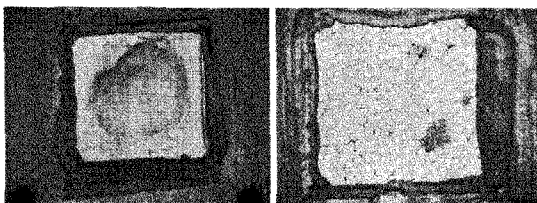


(a) 상도 미시공 (b) 염화고무계 상도

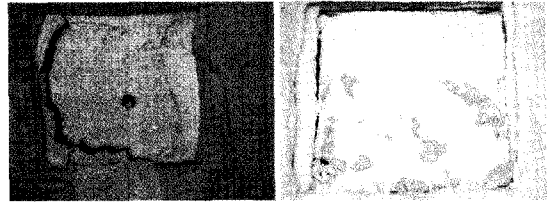


(c) 알키드계 상도 (d) 아크릴계 상도

그림 15. 경년별 무기도료 A(옥내 폭로) 이면상승온도

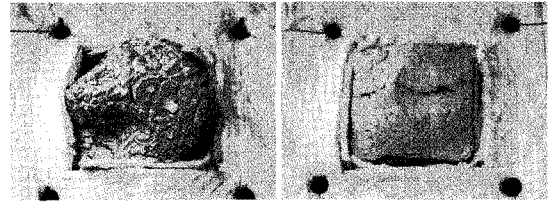


(a) 상도 미시공 (b) 염화고무계 상도

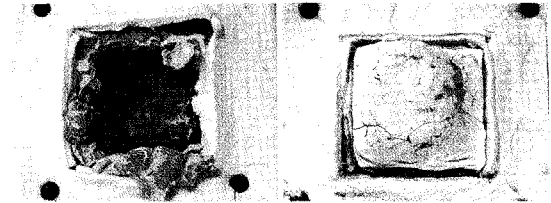


(c) 알키드계 상도 (d) 아크릴계 상도

그림 16. 무기도료 A(옥내 폭로, 6개월 경과) 가열후 모습



(a) 상도 미시공 (b) 염화고무계 상도

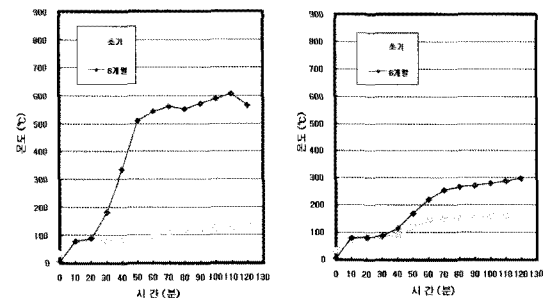


(c) 알키드계 상도 (d) 아크릴계 상도

그림 17. 무기도료 A(옥내 폭로, 24개월 경과) 가열후 모습

표 9. 무기도료 A(외 폭로) 이면상승온도

구분	이면 최고상승온도 (°C)				
	초기	6개월	12개월	18개월	24개월
상도 미시공	127	-	-	-	-
염화고무계	133	564	-	-	-
알키드계	191	-	-	-	-
아크릴계	166	298	-	-	-



(a) 염화고무계 상도 (b) 아크릴계 상도

그림 18. 경년별 무기도료 A(외 폭로) 이면상승온도

제작 초기 가열실험 결과 알키드계 상도 시공 실험체의 이면상승온도가 기타 실험체에 비하여 30~60℃ 높게 나타났으며, 상도 미시공의 경우가 상도 시공시에 비하여 이면상승온도가 40℃ 정도 낮은 것으로 나타났다.

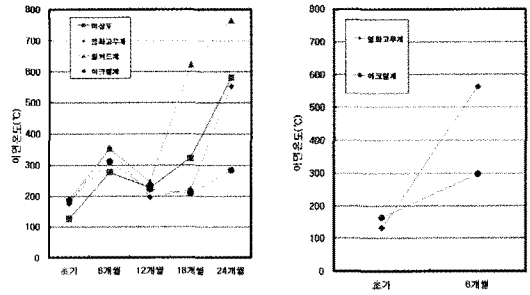
6개월 폭로후 실험결과는 옥내 폭로시 초기에 비해 125~180℃의 이면상승온도 증가가 나타났으며, 특히 염화고무계 상도 시공시의 이면상승온도가 180℃ 증가하여 기타 실험체에 비하여 온도증가가 큰 것으로 나타났다.

24개월 경과 시 실험체의 이면상승온도는 옥내 폭로의 경우 상도 미시공 실험체는 454℃, 염화고무계·알키드계 상도 시공 실험체는 각각 377℃, 576℃ 증가하였으며, 아크릴 상도 시공 실험체에서 97℃ 이면상승온도 증가가 나타나 전체적으로 내화도료의 성능이 저하한 것으로 나타났다. 특히 알키드계 상도 시공시 이면상승온도가 최대로 상승하여 성능의 변화가 가장 큰 것으로 나타났다.

옥외 폭로의 경우는 상도 미시공 및 알키드계 상도 시공 실험체에서 6개월 경과후 시공된 도료의 대부분이 탈락하여 염화고무계 및 아크릴계 상도 시공 실험체를 대상으로 실험을 실시하였으며, 6개월 경과시의 실험체를 대상으로 한 실험결과 제작 초기와 비교하여 염화고무계 상도 시공 실험체에서 430℃, 아크릴계 상도 시공 실험체에서 130℃의 이면상승온도 증가가 나타났다.

실험체 제작후 24개월 경년까지의 무기도로에 대한 가열실험결과를 비교할 때 옥내 폭로시 상도 시공 여부에 관계없이 이면상승온도가 초기에 비하여 최소 90℃, 최대 500℃ 이상, 옥외 폭로의 경우는 12개월 경과 전에 최소 130℃가 증가하였으며, 이러한 결과로 볼 때 내화도료의 성능이 시간경과에 따라 제작초기에 비하여 저하하는 것으로 판단된다.

표 10, 표 11과 그림 20~24는 제작 초기, 6개월, 12개월, 18개월 및 24개월 경과 시까지 옥내 폭로시킨 유기도로 실험체에 대한 1시간 가열실험결과를 나타낸 것이다.



(a) 옥내 폭로 (b) 옥외 폭로

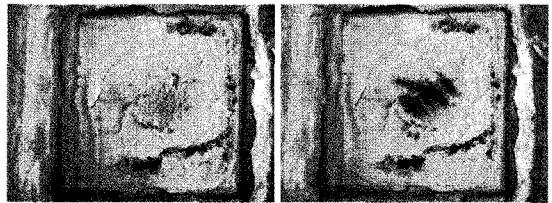
그림 19. 무기도로 A 경년별 이면상승온도

표 10. 유기도로 B(옥내 폭로) 이면상승온도

구분	이면 최고상승온도 (°C)				
	초기	6개월	12개월	18개월	24개월
상도 미시공	352	363	328	337	372
염화고무계	316	406	364	409	380
알키드계	405	415	379	418	372
에폭시/우레탄계	391	420	370	408	408

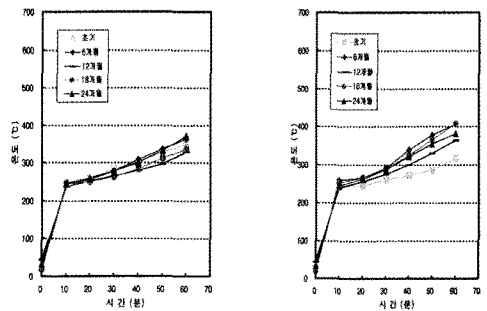


(a) 상도 미시공 (b) 염화고무계 상도

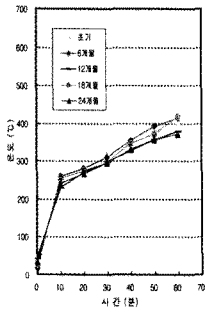


(c) 알키드계 상도 (d) 에폭시/우레탄계 상도

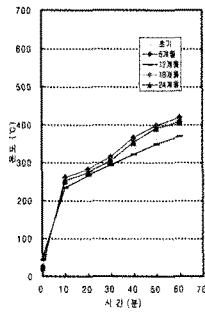
그림 20. 유기도로 B(옥내 폭로, 24개월 경과) 가열후 모습



(a) 상도 미시공 (b) 염화고무계 상도

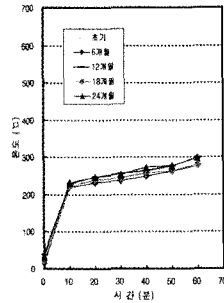


(c) 알키드계 상도

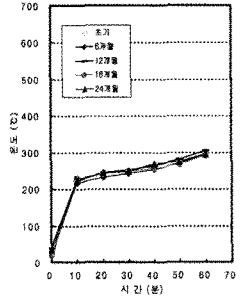


(d) 에폭시/우레탄계 상도

그림 21. 경년별 유기도료 B(옥내 폭로) 이면상승온도



(c) 알키드계 상도

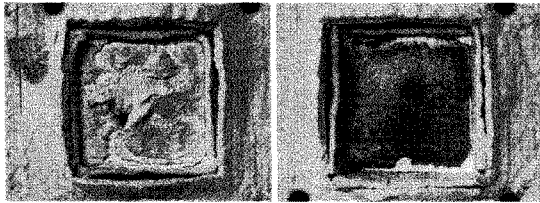


(d) 에폭시/우레탄계 상도

그림 23. 경년별 유기도료 C(옥내 폭로) 이면상승온도

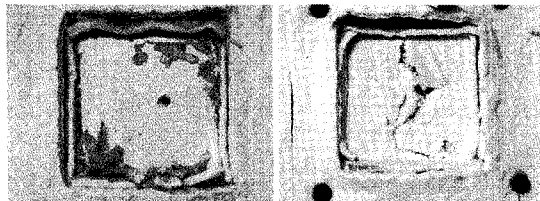
표 11. 유기도료 C(옥내 폭로) 이면상승온도

구분	이면 최고상승온도 (°C)				
	초기	6개월	12개월	18개월	24개월
상도 미시공	275	304	319	269	309
염화고무계	306	289	331	313	308
알키드계	297	279	299	281	299
에폭시/우레탄계	299	295	305	291	294



(a) 상도 미시공

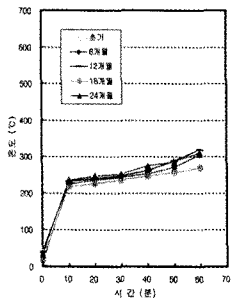
(b) 염화고무계 상도



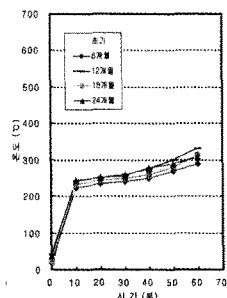
(c) 알키드계 상도

(d) 에폭시/우레탄계 상도

그림 22. 유기도료 C(옥내 폭로, 24개월 경과) 가열후 모습



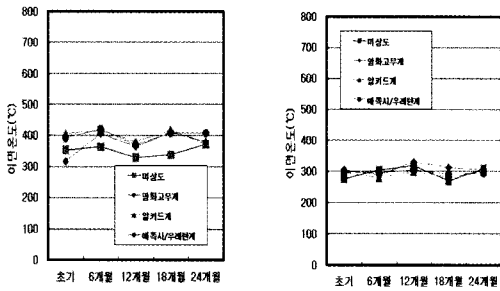
(a) 상도 미시공



(b) 염화고무계 상도

제작 초기 실험시 유기도료 B의 이면상승온도가 유기도료 C에 비해 50~80°C 높게 나타났으며, 유기도료 B에서는 알키드계 상도를 시공한 경우 20~90°C 정도 높은 이면상승온도를 나타냈다. 유기도료 C의 경우는 상도 종류에 따른 이면상승온도의 차이가 10°C 이하로 나타나 제작초기시는 유기도료 C가 상도 종류에 관계없이 성능이 균일한 것으로 나타났다. 또한 도료 종류에 관계없이 상도 미시공시 이면상승온도가 20°C 낮게 나타났는데, 이는 상도가 내화도료의 정상적인 발포를 억제하여 이면온도상승에 영향을 주기 때문으로 판단된다. 실험체 제작후 24개월 경과시의 실험결과는 옥내 폭로의 경우 도료의 종류 및 상도 시공 여부에 관계없이 제작 초기에 비하여 10~90°C의 이면상승온도 증가가 나타났다. 유기도료 B는 염화고무계 상도를 시공한 경우 제작 초기에 비해 93°C의 이면상승온도 증가를 나타냈으며, 이외에는 상도 미시공을 포함하여 평균 13°C의 이면온도 증가가 나타났다. 유기도료 C는 상도 미시공시 이면온도 상승 35°C를 제외하면 평균 2°C정도의 이면온도 변화가 나타났다.

위의 실험결과는 실험체 제작후 6개월 경과 시 10~90°C의 이면상승온도 증가, 유기도료 B에 염화고무계 상도를 시공한 경우의 90°C의 이면상승온도 증가 및 유기도료 C의 상도 미시공시 30°C의 이면상승온도 증가라는 결과와 비교하면 큰 차이가 없는 것으로 유기도료의 경우 옥내 폭로시 제작초기에 비하여 6개월 경과 후부터 2년 경과 시까지는 내화도료의 성능변화가 거의 없는 것으로 판단된다.

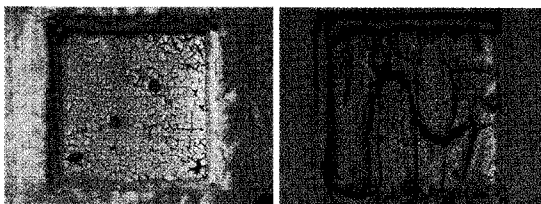


(a) 유기 도로 B (b) 유기 도로 C
 그림 24. 유기도로(옥내 폭로) 경년별 이면상온도

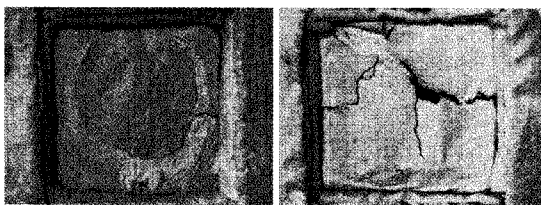
표 12, 그림 25~27은 제작 초기, 6개월, 12개월, 18개월 및 24개월 경과 시까지 옥외 폭로시킨 유기도로 실험체에 대한 1시간 가열실험결과를 나타낸 것이다.

표 12. 유기도로 B(옥외 폭로) 이면상온도

구분	이면 최고상온도 (°C)				
	초기	6개월	12개월	18개월	24개월
상도 미시공	355	581	591	599	590
염화고무계	361	367	428	431	450
알키드계	380	372	404	437	439
에폭시/우레탄계	377	363	406	408	423

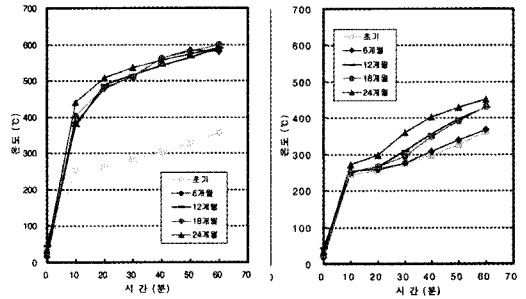


(a) 상도 미시공 (b) 염화고무계 상도

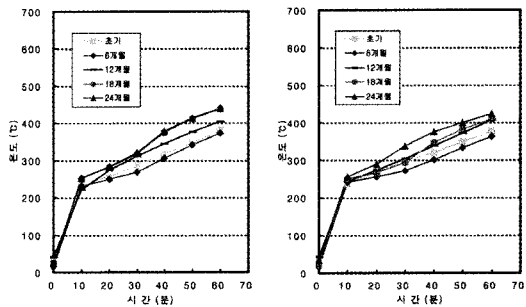


(c) 알키드계 상도 (d) 에폭시/우레탄계 상도

그림 25. 유기도로 B(옥외 폭로, 24개월 경과) 가열후 모습



(a) 상도 미시공 (b) 염화고무계 상도



(c) 알키드계 상도 (d) 에폭시/우레탄계 상도

그림 26. 경년별 유기도로 B(옥외 폭로) 이면상온도

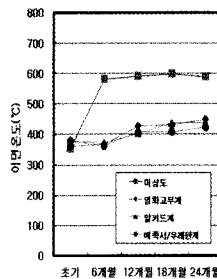


그림 27. 유기도로(옥외 폭로) 경년별 이면상온도

실험체 제작후 24개월 경과 시 옥외 폭로에서는 상도 미시공시 240°C, 상도 시공시 50~90°C 이면상온도가 증가하여 상도두께의 변화 시에도 옥내 폭로 시보다는 내화성능의 저하가 큰 것으로 나타났다. 위의 실험결과는 상도 미시공시 200°C, 상도 시공시 평균 5°C의 이면상온도 증가를 나타낸 6개월 경과 시의 실험결과와는 차이가 있는 것으로 이러한 결과로 볼 때 옥외 폭로 시 내화도료의 성능은 6개월 이후부터 2년까지 계속하여 저하하며, 특히 상도를 미시공하는 경

우는 6개월 이내에 내화도료의 성능이 상도시공시의 수준 이상으로 저하된다고 판단된다.

4.5 결과 종합

(1) 폭로 실험

- ① 무기도료는 옥외 폭로 실험에서 폭로 6개월 경과 후부터 도막의 균열 현상이 발생하여 12개월 경과 후에는 모든 실험체의 도막이 탈락하였다.
- ② 무기도료는 24개월 동안의 옥내 폭로 실험에서 알키드계 상도 시공을 제외한 기타 실험체에서는 실험종료시까지 실험체에 변화가 발생하지 않았다. 단 알키드계 상도를 시공한 경우는 도막 박리 현상이 나타났다.
- ③ 유기도료는 옥외 폭로시킨 상도 미시공 실험체를 제외하고는 24개월 경과 시까지 실험체에 변화가 발생하지 않았다. 단 옥외 폭로시킨 상도 미시공 실험체에서는 도막 표면에 주름 및 균열이 발생하였다.

(2) 도막 두께, 부착강도

- ① 무기도료는 옥내 폭로시 24개월 경과 시까지 도막두께는 8~30% 증가하고, 부착강도는 80~95% 저하하였으며, 옥외 폭로에서는 6개월 경과 시까지 부착강도 측정이 불가능할 정도로 도막이 탈락(상도 미시공, 알키드계 상도 시공)하거나 부착강도가 30~70% 저하하였다(염화고무계·아크릴계 상도 시공).
- ② 유기도료는 옥내·외 폭로에 관계없이 24개월 경과 시까지 도막두께의 변화는 없었으며(상도 미시공시 최대 10% 증가), 부착강도는 12~28% 저하(상도 미시공시는 40~80% 저하)하였다.

(3) 가열 실험

- ① 무기도료는 옥내 폭로시 24개월 경과 시까지 이면상승온도가 상도 미시공시 454℃, 상도 시공시 97~576℃ 증가하여 제작초기에 비해 내화성능이 저하하는 것으로 나타났다.

- ② 무기도료는 옥외 폭로 시 12개월 경과후 모든 실험체의 도막이 탈락하는 등 전체적으로 도료의 내구성이 상실되는 것으로 나타났다.
- ③ 유기도료는 옥내 폭로 시 24개월 경과 시까지 도료 및 상도 종류에 관계없이 이면상승온도가 2~10℃ 증가(유기도료 B에 염화고무계 상도 시공은 이면상승온도 90℃ 증가)하여 무기도료보다 내화성능의 변화가 낮게 나타났다.
- ④ 유기도료는 옥내 폭로 시 시공초기에서 6개월 경과 시까지 성능이 가장 크게 변화하였으며, 이후 24개월 경과 시까지는 변화된 성능을 일정하게 유지하는 것으로 나타났다.
- ⑤ 유기도료는 옥외 폭로 시 24개월 경과 시까지 이면상승온도가 상도 미시공시 240℃, 상도 시공시 평균 50~90℃ 증가하여 옥내 폭로와 비교하여 내화성능의 저하율이 90% 이상 큰 것으로 나타났다.
- ⑥ 유기도료는 옥외 폭로 시 시공 후부터 24개월 경과 시까지 지속적으로 성능이 저하하는 것으로 나타났다.

5. 결론

가, 내화도료 시공후 24개월 경과 시까지의 내화도료의 부착강도 및 내화성능의 변화가 증명되었으며, 이에 따라 내화도료 시공시 기본적인 내구성에 대한 고려 및 사후 유지관리가 필요한 것으로 나타났다.

나, 연구결과 내화도료의 부착강도 증가시 내화성능도 저하하였는데 부착강도가 90% 이상 저하할 경우 내화성능도 98% 이상 저하하는 것으로 나타났다. 따라서 시공현장에서 도막두께 및 부착강도 측정에 의하여 내화도료의 내화성능 변화여부에 대한 파악이 가능한 것으로 판단된다.

다, 무기도료를 옥내에 시공 또는 유기도료를 옥외에 시공하는 경우에는 내화도료 외부에 적절한 상도를 반드시 시공하고 시공후 18개월 이내에 도막 두께 및 부

착강도 변화에 대한 점검이 필요한 것으로 판단된다.

라. 무기도료를 옥외에 시공하는 경우에는 적절한 상도의 시공 외에 추가로 두께 증가 및 부착강도 저하를 방지하기 위한 내구성 유지 대책이 필요한 것으로 판단된다.

마. 유기도료를 옥내에 시공하면서 상도의 시공이 적절하게 이루어진 경우에는 시공후 2년 경과 시까지 내화도료의 내구성 및 내화성능이 유지되는 것으로 판단된다.

바. 현재 국내의 내화도료 제조업체의 제품 개발 및 국가인정은 인정후 2년 이내에 새로운 제품을 인정받는 경우가 대부분으로 이를 고려하여 내화도료의 내구성 평가 및 유지관리를 수행할 수 있는 추후 연구의 수행이 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Y. Sakumoto, "Durability evaluation of intumescent coating for steel frames", Journal of materials in civil engineering, pp.23-27(2001)
2. BS 8202-2, Coating for fire protection of building elements -Part 1:Code of practice for the use of intumescent coating system to metallic substrates for providing fire resistance, 1992
3. (社)日本鋼建構造協, "鐵骨造建築の耐久性設計ガイドブック" (1998)
4. 최동호외, 「경년변화에 따른 내화도료의 내구성 및 내화성능 변화에 관한 실험적 연구」, 대한건축학회 논문집(구조계), 23권, 11호, p.p. 67~76, 2007
5. (社)日本鋼建構造協會, "耐火塗料の實用化評に關價する調査研究" (1998)