

콘크리트 열화 방지를 위한 무기질 도료와 알칼리 부여제의 특성평가

김인섭* · 이종규 · 추용식 · 김특준 신현만

<요업기술원 세라믹·건재부>

<(주) 디오>

1. 서 론

최근 사회가 급속히 발달하고 도시의 거대화가 진행됨에 따라 대기오염등에 의한 환경 오염이 날로 심각해 지고 있는 실정이다¹⁾. 이러한 환경에서 콘크리트 구조물 역시 시공단계에서부터 열악한 물리·화학적 환경에 노출되어 있다. 특히, 노후화된 콘크리트 구조물에서는 열화 및 내화학적등에 의한 내구성의 저하가 심화되고 있어 콘크리트 구조물의 유지 보전에 대한 관심이 높아지고 있으며^{2~4)}, 이의 일환으로 콘크리트 구조물 표면에 무기질 도료와 알칼리부여제를 사용하여 내구수명을 연장시키는 방안이 모색되고 있다. 그러나 무기질 도료의 경우 도료자체 성능에 대한 연구가 미흡한 실정이고 알칼리 부여제 또한 중성화된 콘크리트의 알칼리부여에 대한 명확한 평가가 정립되지 않아 그 효과를 판단하기 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 무기질 도료를 대상으로 규정된 시험항목을 적용하여 무기질 도료의 도막특성을 검토하고, 콘크리트 공시체에 알칼리 부여제를 도포하여 콘크리트 구조물의 내구성 개선 및 유지 효과를 대한 시험을 실시하였다.

2. 시험방법

2.1 무기질 도료의 도막특성 시험

2.1.1 사용재료

무기질 도료의 도막특성에 사용한 도료는 국내 D사에 생산되는 제품을 사용하였으며 이는

콘크리트 구조물과 동일한 분말형태의 calcium-silicate계 무기질 도료이다. 상도제는 하이폴리머와 실록산계 폴리머가 주성분인 2종의 도료를 사용하였다. 내화학적 시험에 사용된 재료는 KS L 5115에 규정하는 플렉시블 판을 사용하였고 부착강도와 온냉반복에 사용된 시멘트는 KS L 5205의 내화물용 알루미늄 시멘트이고 잔골재는 KS L 5100의 주문진 표준사를 사용하였다.

2.1.2 시험체 제작

플렉시블 판과 알루미늄 시편에 무기질 도료를 도포하여 <표 1>과 같이 무기질 도료 도막특성에 대한 시험을 진행하였다. 또한 상도제는 무기질 도료를 도포하여 1일이 지난 후에 상도1, 상도2로 나누어 도포하여 상도제에 대한 도막특성을 평가하였다.

내화학적 시험은 150×50×4mm의 플렉시블 판(그림 1)을 사용하여 무기질 도료를 도포 하였다. 또한 상도제를 2수준으로 도포하여 내화학적 시험을 진행하였다.

부착강도 및 온냉반복시험은 KS L 5207의 11.3에 규정하는 방법에 따라 조제한 모르타르(그림 2)를 안쪽 치수 70×70×20mm의 금속제 거푸집에 성형시켜 20±2℃, 습도 80%이상의 항온항습기에 24시간 양생시켜 탈형한 후 6일동안 수중양생을 하였다. 다시 7일 이상 양생실에서 양생시킨 뒤 150번 연마지를 사용하여 시편의 밑면을 충분히 연마하여 각 수준의 무기질 도료를 도포하였다. 무기질도료 도막특성의 항목별 시험수준을 <표 1>에 나타내었다.

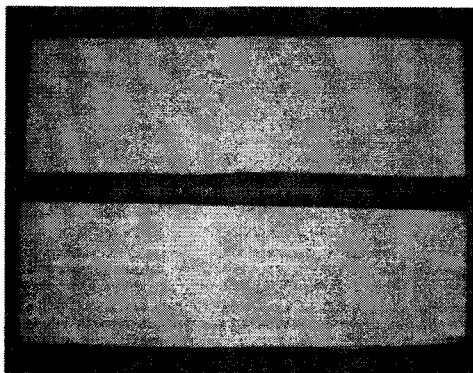
<표 1> 무기질 도료의 항목별 시험수준

시험항목	시험방법	시편	측정방법
온냉반복	-양생조건별 습기함 0일, 14일, 28일 -상도수준별 (조건1, 조건2)	70×70×20mm 알루미나 시편	KS F 4715
내후성	-양생조건별 습기함 0일, 7일, 28일 -상도수준별 (조건1, 조건2)	150×50×4mm 플렉시블판	KS F 4715
내알칼리성	-양생조건별 습기함 0일, 7일, 28일 -상도수준별 (조건1, 조건2)	150×50×4mm 플렉시블판	KS F 4715 10% NaOH용액 침전
내염수성	-양생조건별 습기함 0일, 7일, 28일 -상도수준별 (조건1, 조건2)	150×50×4mm 플렉시블판	10% NaCl용액 침전
내수성	-양생조건별 습기함 0일, 7일, 28일 -상도수준별 (조건1, 조건2)	150×50×4mm 플렉시블판	수도물 사용하여 침전
부착강도	-양생조건별 습기함 0일, 7일, 14일, 28일 -상도 수준별 (조건1, 조건2) -내화학성시험별 부착강도 (온냉반복, 내산성, 내알칼리성, 내염수성시험 후 측정)	70×70×20mm 알루미나 시편	KS F 4715
도막경도	-양생조건별 습기함 0일, 7일, 14일, 28일 -상도 수준별 (조건1, 조건2)	150×50×4mm 플렉시블판	ASTM D 3960

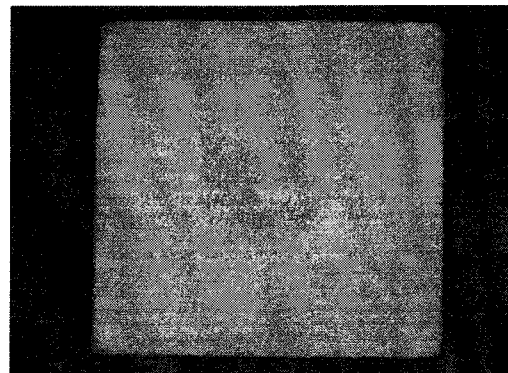
습기함 0일 : 도포 후 기건 7일 방치 후 시험

습기함 x일 : 도포 후 기건1일+습기함x일+기건1일(x일 : 7일, 14일, 28일)

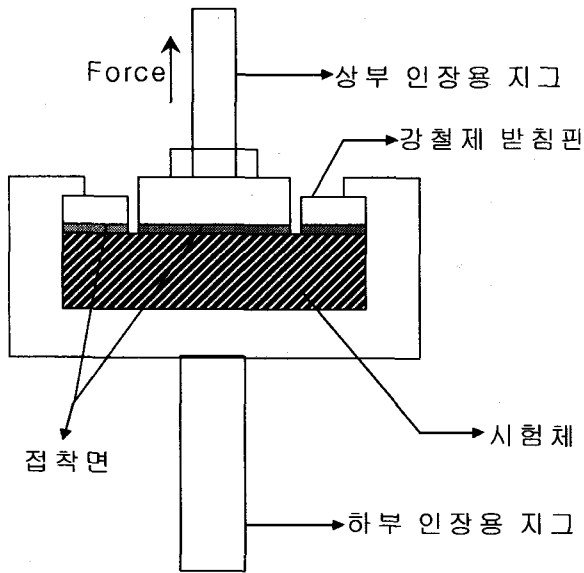
상도수준별 : 중도 1일 후 상도 도장 + 기건 14일



<그림 1> 150×50×4mm 플렉시블판



<그림 2> 70×70×20mm 알루미나 시편



<그림 3> 부착강도 측정 모식도

2.1.3 시험방법

1) 부착강도 및 도막경도시험

부착강도는 70×70×20mm의 시편을 사용하여 양생조건별, 상도별, 내화학적 시험별로 하여 그림 3과 같은 강철제 지그를 만능재료시험기에 부착하여 강도를 측정하였다. 양생조건 시험은 습기함 0일, 7일, 14일, 28일동안 양생시킨 후 각각의 강도를 측정하였고 상도제를 도장한 시편은 14일이 지난 후 강도 측정을 하였다. 또한 내화학적 시험이 끝난 시편에 대한 부착강도를 측정하였다.

도막경도는 ASTM D 3960의 시험에 따라 진행하였다. 여러가지 연필(9H, 8H, 7H, 6H, 5H, 4H, 3H, 2H, H, F, HB, B, 2B, 3B, 4B, 5B, 6B)에 긁히는 정도에 대한 평가 결과이고 측정방법은 경도가 높은 연필부터 시작해서 긁히지 않는 연필을 5회 측정하여 평균을 기록하였다.

2) 온냉반복시험

온냉반복시험은 70×70×20mm의 시편을 20±2℃의 물속에 18시간 담가둔 뒤, 즉시 -20±3℃의 항온 탱크 속에서 3시간 냉각시키고 이어서 50±3℃의 다른 항온 탱크 속에서 3시간 가온하였다. 이것을 1 cycle로 하고 총 10cycle을 반복한 후 2시간 동안 기건방치된 시편들의 표면에

벗겨짐, 잔갈림, 부풀음이 있는가의 여부를 관찰하였다.

3) 내화학적시험

내화학적 시험은 내알칼리성시험, 내염수성시험, 내수성시험으로 세분화 하였다. 내알칼리성 시험은 무기질 도료가 도포된 플렉시블판에 10% NaOH용액을 사용하였고 내염수성시험은 10% NaCl용액을, 내수성시험은 일반적인 수돗물을 사용하였다. 이들 각각의 용액을 10일간 침지시킨 후 표면의 벗겨짐, 잔갈림, 부풀음 등의 여부를 관찰하고 XRD를 통하여 양생에 따른 성분변화를 알아보았다.

4) 내후성시험

KS F 2274에 규정하는 선사인 카본 아크등 (WS형)을 사용하여 250시간 빛을 조사한 뒤 기준 시험체와 빛을 받은 시험체를 표준 회색 색표를 사용하여 변색의 정도를 비교하였다.

2.2 알칼리 부여제 특성평가

2.2.1 사용재료

본 시험에 사용된 시멘트는 KS L 5201의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 골재는 주문진 표준사를, 굵은 골재는 표준상태인 부순자갈을 사용하였다.

2.2.2 도료

알칼리 부여제는 3수준으로 도포하였다. 규산리튬이 주성분인 No.1과 No.2과 규산나트륨, 규산칼륨, 콜로이드실리카졸을 주성분으로 하는 No.3을 사용하였다. 또한 각각의 도료에 대한 pH와 비중을 <표 2>에 나타내었다.

2.2.3 시험 방법

1) 강도측정

콘크리트 공시체를 표 3과 같이 2수준의 콘크리트를 제작한 후 28일간 수중양생 하였다. 수중양생이 끝나고 3종의 알칼리 부여제를 도포하여 28일간 기건 양생한 다음 강도를 측정하였다.

<표 2> 알칼리성 부여제의 특성

시험항목	No.1	No.2	No.3
pH	11.16	11.04	11.4
비 중	1.076	1.097	1.148

2) 중성화 회복 시험

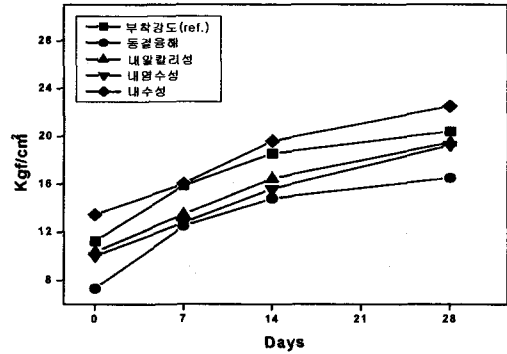
콘크리트 공시체를 무기질 도료로 도포하여 중성화시험을 실시하였다. 중성화시험 방법은 공시체를 절단한 다음 페놀프탈레인 용액을 분무기로 분사하여 착색되지 않은 부분을 측정해서 평균중성화 깊이를 구하였다⁵⁾. 이 때 조건은 온도 30℃, 습도 60%, CO₂ gas 10%로 하여 28일이 된 공시체의 중성화 깊이를 측정하였다.

3. 시험 결과

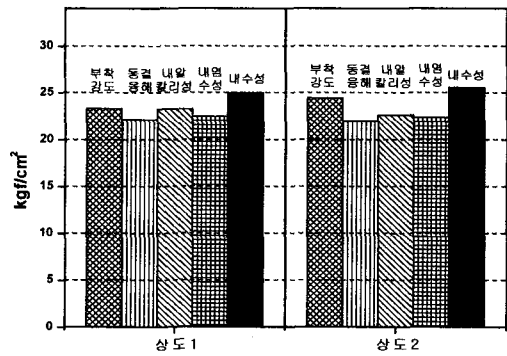
3.1 도막특성평가

1) 부착강도 및 도막경도시험

무기질 도료의 부착성능을 알아보기와 재령 및 상도제에 따른 부착강도를 측정하였다. 그림 4는 재령 및 내화학시험에 따른 부착강도이고 <그림 5>는 상도제 종류에 따른 부착강도 시험 결과이다. 측정결과 양호한 부착강도를 나타내었고 재령에 따라 부착성이 증가되는 현상을 보이고 있었다. 또한 모든 부착강도에서 내수성이 가장 좋은 결과를 나타내고 있었다. 이는 시멘트성분인 무기질 도료가 수돗물에 침지됨에 따라 수화반응이 일어나 다른 시편에 비해 좋은 강도를 나타내고 있는 것으로 판단된다.



<그림 4> 재령에 따른 조건별 부착강도



<그림 5> 상도제에 따른 부착강도

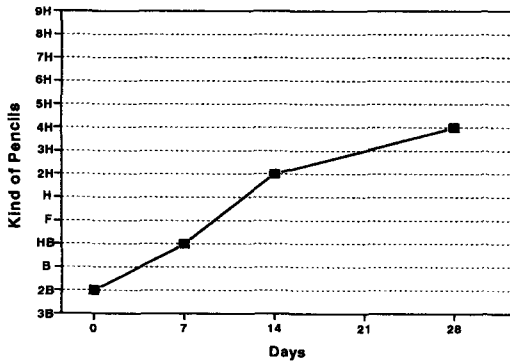
<그림 6과 7>은 재령 및 상도제 종류에 따른 도막경도 측정결과이다. 부착경도와 마찬가지로 재령에 따라 도막 경도가 증가됨을 알 수 있었다. 상도제에 따른 도막경도에서도 상도1이 2H, 상도2가 F로 좋은 도막경도를 나타내고 있었다. 따라서 양생 기간이 증가함에 따라 무기질 도포제는 피복되는 모르타르와 동질의 재료특성으로 인하여 접착면에서 일부 반응이 일어나 부착강도 및 도막경도가 증가되고 있었다⁶⁾.

<표 3> 콘크리트 공시체의 배합표

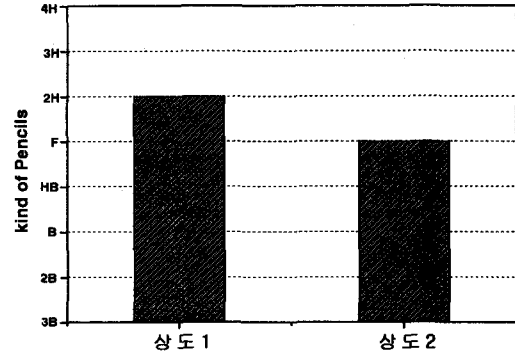
구분	단위수량 (kg)	W/C (%)	S/a (%)	시멘트	잔골재	굵은골재	AE 감수제	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)
L*	185	70	51	265	910	920	0.003%***	15.5	5.0	229.228
H**	180	55	48	327	839	957	0.5%****	15.5	4.5	332.338

* L : 저강도 ** H : 고강도

AE제로 시멘트량의 0.003% 사용 *AE제와 감수제를 시멘트량에 각각 0.003%, 0.5% 사용



<그림 6> 재령에 따른 무기질도료의 도막경도



<그림 7> 상도제에 따른 무기질 도료 도막경도

2) 온냉반복시험

무기질 도료가 온도 조건에 따른 변화를 알아보기 위하여 도포재령에 따른 온냉반복시험을 진행하였다. <그림 8>은 재령에 따른 현미경 사진과 상도제 종류에 따른 현미경 사진을 나타내었다. 습기함 0일에는 갈라짐 현상과 얼룩현상이 발견되고 있으나 습기함 14일 이후로는 표면에 외상의 흔적이 발견되지 않았다. 상도제 종류에 따른 온냉반복시험에서 표면에 외상의 흔적이 발견되지 않았다. 이는 무기질 도료가 시멘트시편 표면의 접촉이 재령이 지남에 따라 시멘트와 무기질 도료가 일체화되는 구조를 가지기 때문으로 판단된다.

3) 내화학적

내화학적 시험은 내알칼리성시험, 내염수성시험, 내수성시험에 따른 도막의 손상여부를 관찰하였다. <그림 9>는 각각의 내화학적 시험의 재령별 및 상도제 종류에 따른 현미경 사진을 나타내고 있다.

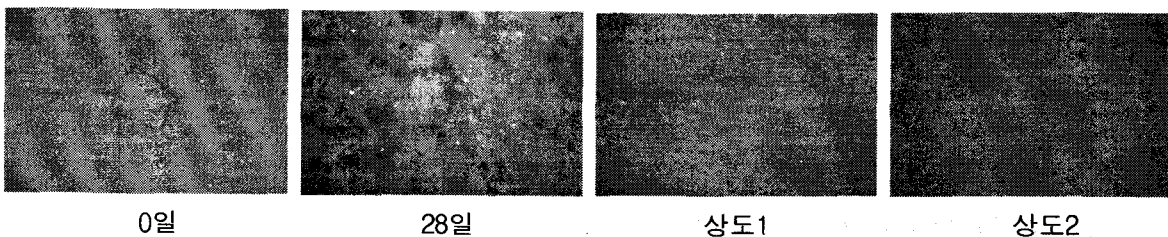
10% NaOH용액을 사용한 내알칼리성시험에서는 표면상으로는 부분적 탈색이 관측되었으나 광학 현미경 관찰(x500)에서는 재령에 관계없이

뚜렷한 외상이 보이지 않았다. 내염수성시험과 내수성시험 역시 표면에 뚜렷한 외상이 나타나지 않았다. 따라서 무기질 도료가 내알칼리성, 내염수성, 내수성에 대한 저항력이 있음을 알 수 있었다.

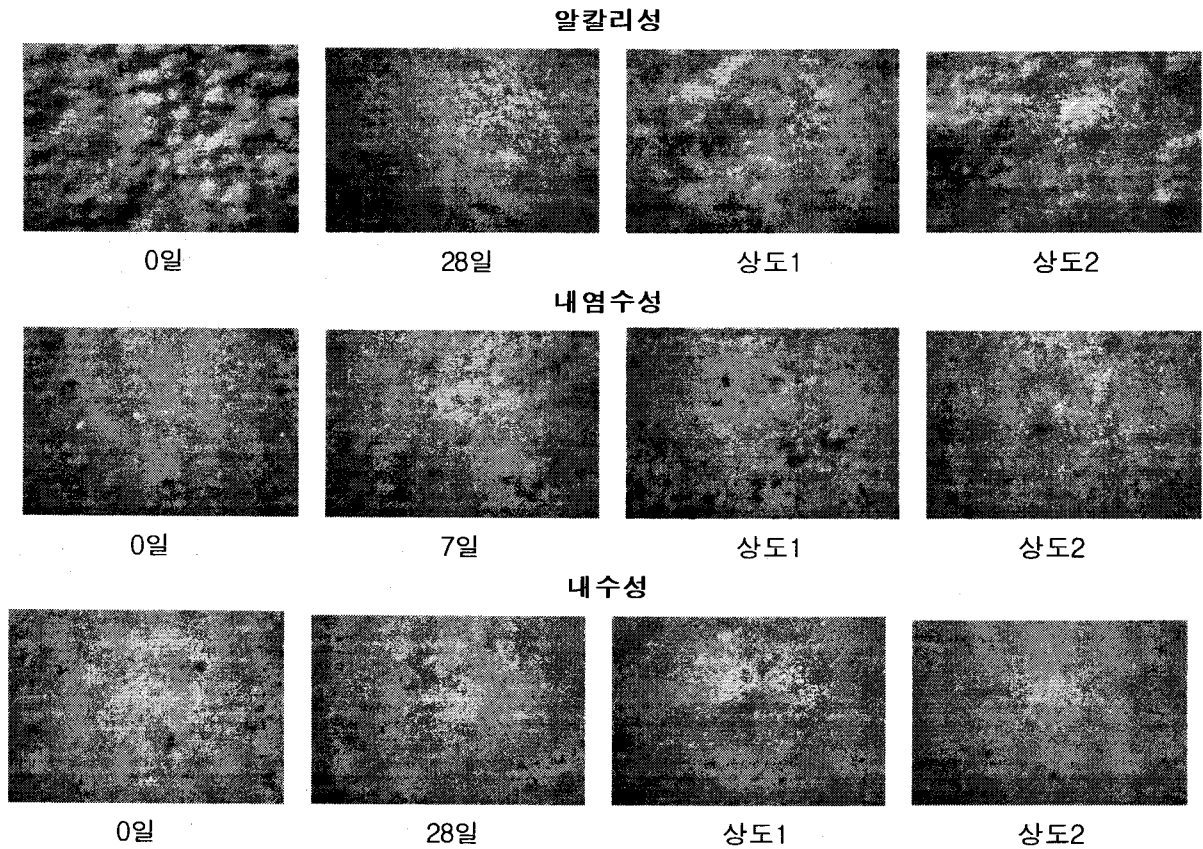
<그림 10~12>는 XRD의 분석결과로 내화학적 시험이 끝난 후 성분변화를 알아보려고 하였다. 수화생성물로는 $Ca(OH)_2$ 및 저결정상의 C-S-H 수화물이 보이고 있으며, 반응물로는 $\beta-C_2S$, C_3S 등이 나타나고 있었다. 또한 무기질 도료의 주성분은 $CaCO_3$, TiO_2 가 관찰되었다.

내알칼리성의 경우, 18°부근의 $Ca(OH)_2$ 가 재령에 따라 감소함을 알 수 있었다. 이는 NaOH의 침적으로 재령에 따라 시멘트 함량이 감소하여 나타나는 현상이다.

내염수성의 경우 초기재령에 프리텔 염이 생성되었으나 재령 14일 이후부터는 생성이 되지 않았다. 이는 무기질 도료가 재령에 지남에 따라 내염수성에 대한 저항성이 있음을 알 수 있었다. 내수성은 $Ca(OH)_2$ 가 재령이 지남에 따라 높아지고 있어 수돗물을 침전시킴에 따라 수화반응이 계속 진행되고 있는 것으로 판단된다.



<그림 8> 온냉반복의 현미경 사진

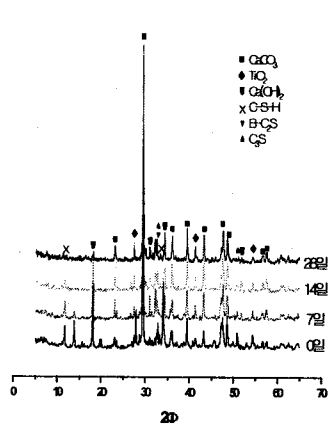


<그림 9> 재령 및 상도에 따른 내약품성 현미경 사진(x500)

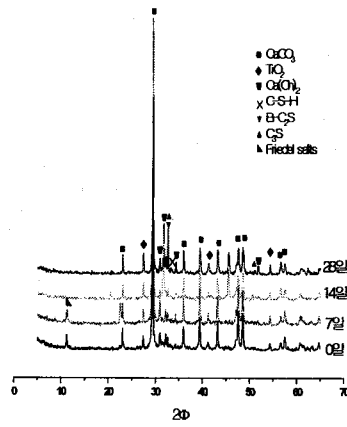
4) 내후성

<표 4>는 촉진 내후성 시간에 따른 도료의 변색정도를 비교한 것이다. 표에서 보는바와 같

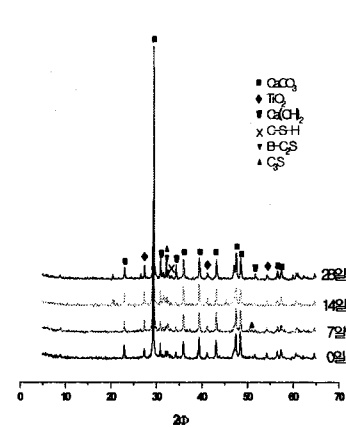
이 재령에 관계없이 3~4호 정도의 양호한 색도를 나타내고 있었고 겉모양 역시 이상이 없었다.



<그림 10> 내알칼리성 XRD patterns



<그림 11> 내산성 XRD patterns



<그림 12> 내수성의 XRD patterns

<표 4> 도포 재령에 따른 내후성 측정

시료구분 \ 시험항목	내후성 (WS형, 250h)	
	겉모양	색표(호)
내후성 0일	이상없음	3
내후성 7일	이상없음	3
내후성 14일	이상없음	3
상도 1	이상없음	3-4
상도 2	이상없음	4

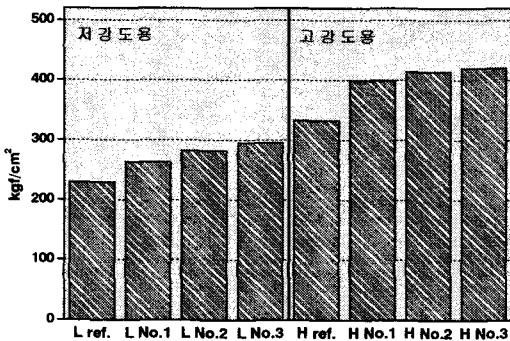
3.2 알칼리 부여제 특성평가

1) 알칼리 부여제의 압축강도 측정

콘크리트 공시체를 28일간 수중양생한 후 각각의 알칼리 부여제를 도포하고 28일이 지난 후 압축강도를 측정하였다. 그림 13은 압축강도에 대한 그래프이다. 알칼리 부여제로 도포를 한 공시체가 도포를 하지 않은 공시체에 비해 압축강도가 향상되고 있으며, No.3>No.2>No.1>ref. 순으로 압축강도가 높았다. 이는 알칼리 부여제가 도포된 공시체에 기공에 침투되고 장기적으로 콘크리트에 공극속에 보존되어 조밀한 공극을 형성하여 알칼리 부여제로 도포한 공시체의 압축강도가 향상되는 것으로 판단된다.

2) 알칼리 부여제의 중성화 회복 시험

알칼리 부여제의 종류에 따른 중성화를 알아



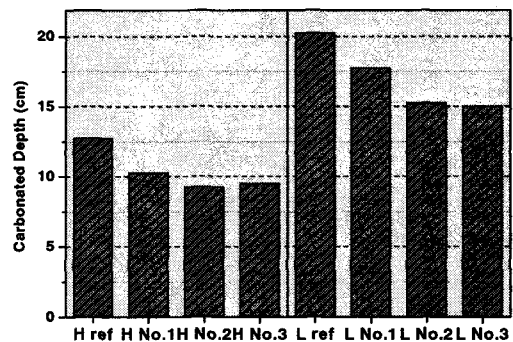
<그림 13> 알칼리 부여제 종류에 따른 압축강도

보기 위하여 중성화 시험 후 알칼리 부여제를 도포하여 28일간 방치한 콘크리트 공시체의 중성화 깊이를 그림 14에 나타내었다. 알칼리 부여제 종류에 따라 차이가 있지만 알칼리성이 회복되고 있었다. 저장도의 경우 13~26%, 고강도의 경우 18~26% 정도의 알칼리성이 회복되고 있었으며, No.3의 알칼리 부여제를 사용한 경우, 알칼리성의 회복차가 가장 많이 나타났다. 이는 알칼리성 부여제가 공시체의 공극까지 침투하여 도포하기 때문에 탄산가스를 억제하는 것으로 판단된다.

4. 결론

무기질 도료의 도막특성과 알칼리 부여제 도포하여 콘크리트 구조물의 내구성 개선 및 유지효과를 대한 시험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 부착강도 및 도막경도 측정결과 양호한 부착성을 보이고 있었고 재령에 따라 부착성이 증가되는 현상을 보이고 있었다.
2. 온냉반복 및 내화학성 시험결과 도막에 대한 이상흔적이 없는 것으로 나타나 온냉반복 및 내화학성에 대한 저항성을 보이고 있었다.
3. 알칼리 부여제를 도포한 콘크리트 공시체의 압축강도 측정 결과, 도포된 공시체가 도포되지 않은 공시체에 비해 강도가 향상되고 있었다.



<그림 14> 중성화후 도포에 대한 중성화 깊이

4. 중성화 회복 시험에서는 저장도의 경우 13~26%, 고강도의 경우 18~26% 정도로 알칼리성이 회복되고 있었다.

< 감사의 글 >

본 연구는 2001년 산업자원부의 청정생산기술 사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

< 참고 문헌 >

- 1) 기초전력공학공동연구소, “지하철구조물의 유지관리 전문가 시스템 개발을 위한 기초연구” (1999)
- 2) 김인섭, 이종규, 추용식, 김병익, 신영훈, “무기질 도료를 이용한 시멘트 경화체의 Cl 이온확산과 콘크리트의 내구성 평가” 2001년 가을 학술발표회논문집, 한국콘크리트학회 p221~226 (2001)
- 3) 김광기, 조규현, 박선길, 김성식, 송병창, 정상진, “시멘트 경화체에 적용되는 알칼리 부여제의 성능회복에 관한 연구” 2002년 봄 학술 발표회논문집, 한국콘크리트학회 p829~834 (2002)
- 4) 문한영, 김성수, 안태송, 김홍삼, “콘크리트 표면도장에 의한 내구성증진 효과” 1999년 봄 학술발표회, 한국콘크리트학회, p433~436 (1999)
- 5) RILEM Draft Recommendation CPC-18, “Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth”, Materials and Structures, 21, No. 126, pp. 453~455 (1988)
- 6) 신도철, 이종열, 박정준, 오희갑, 이태규, “시멘트계 및 유기계 도포재료의 방청성능에 관한 시험적 연구” 1996년 봄 학술발표회, 한국콘크리트학회 p150~154 (1996)