

# 침투성 알칼리성부여제 도포에 의한 중성화된 콘크리트의 알칼리성 회복성능의 정량적인 평가에 관한 연구

김 무 한 (충남대학교 건축공학과 교수)

## 1. 서 론

콘크리트는 반영구적인 건설재료로 건축·토목 분야에서 널리 사용되고 있으며, 철근콘크리트 구조물은 사회자산으로서도 큰 규모를 차지하고 있다. 그러나, 설계, 사용재료, 배합조건, 시공정도 및 사용 환경에 의해 콘크리트 구조물의 내구성능은 크게 영향을 받으며, 표준시방에 준해 시공한 구조물도 시간이 경과함에 따라 환경요인 및 성능저하요인의 복합적인 상호작용에 의하여 서서히 노후화되어 그 성능이 저하하게 된다.

특히, 콘크리트의 중성화는 시간이 경과함에 따라 증가하는 대표적인 성능저하 기구로서, 타설 직후 콘크리트의 pH는 12~13의 강알칼리성을 나타내게 되지만, 대기 중 탄산가스의 침투, 산성비 등에 의해 pH 8.5~10 정도로 알칼리성을 소실하게 된다. 이러한 중성화가 콘크리트 표면으로부터 서서히 진행하여 철근에 도달하게 되면, 철근의 부동태 피막이 파괴되어 철근의 부식이 진행되며, 철근의 발청에 의한 피복콘크리트의 균열·박락 및 철근의 내력한계 도달 등과 같은 내구성능저하를 초래하게 된다. 최근 들어 콘크리트의 중성화 메카니즘에 관한 연구와 더불어 중성화된 구조물의 보수·보강 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이미 외국에서는 중성화된 콘크리트에 약품도포 및 전기화학적 방법을 이용하여 재알칼리화, 탈염 및 전기방식 등과 같은 공법을 실용화하고 있으나 국내의 경우

아직까지는 체계적인 연구가 진행되지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 연구는 기존에 보고되고 있는 중성화 단계에 따른 보수공법을 바탕으로 중성화된 콘크리트에 침투성 알칼리성부여제를 도포함에 따른 알칼리성 회복성능을 평가하기 위하여 I 시리즈에서는 물시멘트비 및 알칼리성부여제 도포량에 따른 회복성능을 비교·분석하였으며, II 시리즈에서는 알칼리성부여제 도포 후 표면 피복재의 종류에 따른 알칼리성 유지성능을 정량적으로 평가함으로써 향후 중성화된 철근 콘크리트 구조물의 내구성을 향상시키기 위한 기초자료로써 제시하고자 한 것이다.

## 2. 실험 계획 및 방법

### 가. 실험 계획

본 연구의 실험계획은 <표-1>에서 보는 바와 같다. I 시리즈는 물시멘트비 0.35, 0.45, 0.55의 3수준 및 알칼리성부여제의 도포량을 표준 및 초과 도포함에 따른 알칼리성 회복성능을 재령별 중성화 깊이 측정 및 사진촬영을 통해 평가한 것이며, II 시리즈는 물시멘트비 0.65의 콘크리트에 알칼리성부여제를 도포한 후 표면피복재 종류에 따른 알칼리성 유지성능을 평가하기 위하여 중성화깊이 측정, 사진촬영, pH측정, ICP분석, X선 회절분석 및 SEM촬영을 실시하였다.

〈표-1〉 실험계획

시리즈	W/C	28일 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	알칼리성부여제 도포량(g/m <sup>2</sup> )	마감재 종류		회복조건	측정항목	촉진중성화 조건			
I	0.35	565	표준 : 400 ± 20 초과 : 791	R+M	무도포	속 의	· 중성화깊이 · 육안관찰	온도 40℃ 습도 50% CO <sub>2</sub> 15%			
									Type0		
	0.45	435							표준 : 400 ± 20 초과 : 861	R	Type1
										R+P	Type2
	0.55	301							표준 : 400 ± 20 초과 : 1076	R+RP	Type3
										R+M	Type4
II	0.65	208	400 ~ 450	R+RM	Type5						
				R+RM+P	Type6						

주) R:알칼리성부여제, P:수성페인트, RP:발수페인트, M:몰탈, RM:방청페인트

## 나. 배합 및 사용재료

### (1) 배합 및 비빔방법

본 실험의 콘크리트 배합은 〈표-2〉에 나타난 바와 같이 I 시리즈는 단위수량 170kg/m<sup>3</sup>에 따른 물 시멘트비를 0.35, 0.45, 0.55의 3수준으로 설정하였으며, II 시리즈는 물시멘트비를 0.65로 설정하였다.

비빔은 100 l 강제식 팬타입 믹서를 이용하여 시멘트, 잔골재 및 굵은골재를 넣고 건비빔을 30초간 행한 후 물을 첨가하여 1분 30초간 비빔을 행하였으며, 소요의 유동성을 확보하기 위한 소량의 고성능감수제를 첨가한 후 토출하였다.

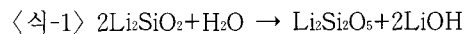
〈표-2〉 콘크리트배합

시리즈	W/C	S/A (%)	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )			
			물	시멘트	잔골재	굵은골재
I	0.35	42.0	170	486	694	967
	0.45	42.0	170	378	731	1019
	0.55	42.0	170	309	757	1051
II	0.65	39.1	196	302	710	1114

### (2) 사용재료

본 실험에 사용한 사용재료는 〈표-3〉과 같다.

중성화된 시험체에 알칼리성을 회복시키기 위하여 사용한 침투성 알칼리성부여제는 〈표-4〉에 나타난 바와 같이 규산리튬(Li<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>)을 주성분으로 한 pH 11 ± 0.5의 강알칼리성의 수용액을 사용하였으며, 알칼리성부여제 도포시 물과 반응하여 수산화리튬 및 실리카고형분을 생성하는 반응식은 다음과 같다.〈식-1〉



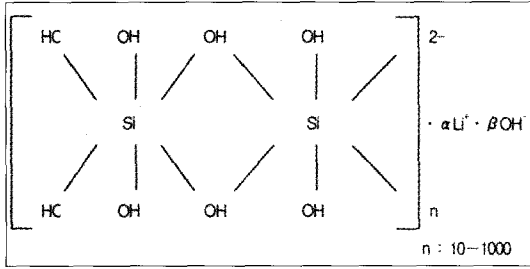
또한, 규산리튬수용액(Li<sub>2</sub>OxSiO<sub>2</sub>aq)의 구조는

〈표-3〉 사용재료의 물리적성질

시멘트	· 종류 : 보통포틀랜드시멘트 · 비중 : 3.15
잔골재	· 종류 : 강모래 · 비중 : 2.60
굵은골재	· 종류 : 갠자갈 · 비중 : 2.62 · 입경 : 25mm

〈표-4〉 알칼리성부여제의 물리적성질

주성분	pH	점도	비중	색깔
Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	11 ± 0.5	10PCS	1.09 ± 0.02	담황색



〈그림-1〉 Li<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>의 화학구조

〈그림-1〉과 같이 폴리실리케이트의 형태를 갖고 있으며, 폴리실리케이트는 입경이 이온보다는 크나 콜로이드보다는 훨씬 작은 2~20μm 정도이며, 점도도 10PCS 정도로 낮기 때문에 콘크리트 및 몰탈에 침투되기 쉬운 특성을 갖고 있다.

II 시리즈에서 알칼리성부여제를 도포한 후 표면 피복재의 종류에 따른 알칼리성 유지성능을 비교·검토하기 위하여 표면 피복재로 페인트, 방청페이스트, 발수페인트를 사용하였으며 그 물리적 성능을 〈표-5〉에 나타내었다.

### 다. 시험체 제작

중성화 회복시험용 시험체는 I 시리즈의 경우 Ø 10 × 20cm의 원주형 시험체로 제작하였으며, II 시리즈의 경우 7.5 × 10 × 40cm의 각형 시험체로 제작하였다.

시험체는 타설후 1일에 탈형하여 4주간 표준양생을 실시하였으며, 표준양생 직후 시험체를 중성화시키기 위하여 I 시리즈는 CO<sub>2</sub> 15%, 온도 40℃, 습도 50%, II 시리즈는 CO<sub>2</sub> 10%, 온도 40℃, 습도 50%의 환경 하에서 6주간 촉진중성화를 실시하였다.

촉진중성화 직후 I 시리즈의 경우 원주형 시험체를 길이 방향으로 할렬하여 2개의 시험체로 제작하

〈표-5〉 마감재료의 물리적성질

방청 페이스트	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 내알칼리성 : 양호</li> <li>· 투수성 : 0.4ml/day</li> <li>· 수증기투과성 : 20g/m<sup>2</sup> · day</li> <li>· 철근부착력 : 98.4kg/cm<sup>2</sup></li> </ul>
발수페인트	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 산성도 : 4이상</li> <li>· 비중 : 0.87 ± 0.02</li> <li>· 휘발분 : 4.8 ± 2</li> </ul>
페인트	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비중 : 1.38</li> <li>· 점도 : 88</li> <li>· pH : 8.8 ~ 9.5</li> <li>· 휘발분 : 41%</li> <li>· 주성분 : 아크릴에멀전 타입</li> </ul>

였으며, 각각의 표면을 그라인더로 연마한 후 알칼리성부여제를 400 ± 20g/m<sup>2</sup>를 표준도포, 알칼리성부여제가 더 이상 흡수되지 않을 때까지를 초과도포로 하여 2수준으로 도포하였다. II 시리즈의 경우 각형 시험체의 전면을 그라인더로 연마한 후 알칼리성부여제를 표준도포 하였다. 또한, I 시리즈는 표면 피복재로서 시멘트 페이스트를 도포하였으며, II 시리즈는 각각의 시험체에 표면피복재를 주택건설시방서에 준해 도포하였다.

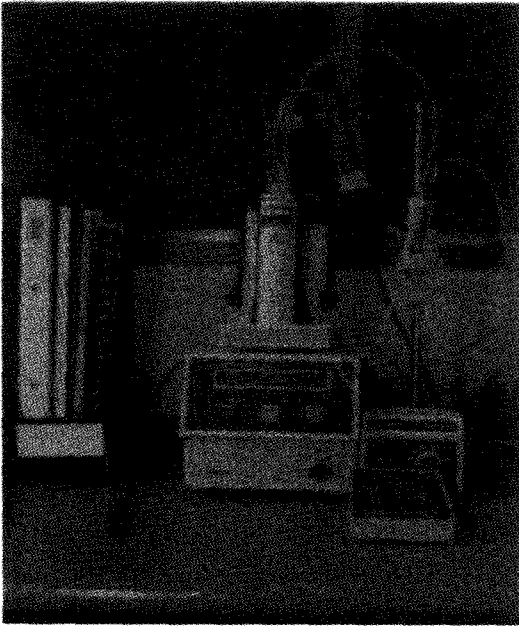
본 실험의 플로우를 〈그림-2〉에 나타내었다.

### 라. 측정항목 및 측정방법

중성화깊이 측정은 시험체를 일정 두께로 절단하여 파단면에 1%의 페놀프탈레인 용액을 분무하여 적색으로 착색하지 않은 부분까지의 거리를 측정하였으며, 측정 후 절단면은 대기에 직접 노출되지 않

탈형	수중양행	촉진중성화	시리즈 I 알칼리성부여제 + 페이스트	시리즈 II 알칼리성부여제 + 페이스트	육의방치
1일	4주	6주	-	-	52주

〈그림-2〉 실험 흐름도



〈사진-1〉 pH 측정기

것으로서, 표면피복재 종류에 따른 알칼리성 유지성능을 정량적으로 평가하기 위하여 콘크리트 표면으로부터 5mm, 5~10mm, 10~15mm 까지 3단계의 깊이별로 페이스트 시료를 채취하여 증류수에 용해시킨 후, 전위차 적정장치(716 DMS Titrino, Metrohm)를 사용하여 pH를 측정하였다. 본 실험에 사용한 전위차 적정장치를 〈사진-1〉에 나타냈다.

또한, 알칼리성부여제의 주성분인  $Li^+$ 의 침투량을 정량적으로 분석하기 위하여 ICP(Induced Coupled Plasma)분석을 실시하였고, 알칼리성부여제 도포시 생성되는 규산리튬수화물( $Li_2Si_2O_5$ )의 생성여부를 파악하기 위하여 구리를 타겟으로 한 X선 회절분석을 실시하였으며, 알칼리성부여제 도포 시험체와 무도포 시험체의 표면성상을 관찰하기 위하여 전자주사현미경(SEM)관찰을 하였다.

### 3. 실험 결과의 분석 및 검토

#### 가. 알콜용액법에 의한 평가

##### (1) 1 시리즈

〈사진-2〉는 물시멘트비별 촉진중성화시험 직후

도록 에폭시코팅을 행하였다.

II 시리즈에서는 알칼리성부여제 도포에 의해 알칼리성이 회복된 시험체에 표면피복재를 종류별로 도포한 후 재령에 따른 알칼리성 유지성능을 평가한

W/C	촉진중성화 직후	알칼리성부여제 도포직후 (표준)	육외방치 6주 (표준도포)	육외방치 6주 (초과도포)
0.35				
0.45				
0.55				

〈사진-2〉 물시멘트비 및 알칼리성부여제 도포량에 따른 알칼리회복성능 (시리즈 I)

원주형 시험체를 할렬면하여 측정된 중성화깊이와 알칼리성부여제 도포 직후의 회복성상, 도포후 옥외 폭로재령 6주의 표준 및 초과도포 시험체의 중성화 회복성상을 나타낸 것이다.

알칼리성부여제 도포전 시험체의 중성화깊이는 물시멘트비 0.35는 7.7mm, 0.45는 12.7mm, 0.55는 15.3mm로 물시멘트비가 클수록 중성화깊이는 크게 나타났으나 알칼리성부여제 표준도포를 행한 직후의 모든 시험체에서 전면이 착색되고 있어 알칼리성이 회복된 것으로 나타났다.

한편, 알칼리성부여제를 표준 및 초과도포한 후 옥외폭로를 실시한 시험체의 재령 6주 알칼리성 회복성상은 도포직후에 비하여 일부부위에서 희미하게 나타나고 있으나, 모든 물시멘트비에 있어서 중성화되었던 부위에서 착색되고 있어 알칼리성이 유지되고 있는 것으로 나타났다. 그러나 물시멘트비 및 표준·초과도포에 따른 알칼리성 회복 및 유지성상은 알콜용액법에 의한 발색의 정도를 육안 관찰에 의한 측정만으로 판단하기에는 어려움이 있는 것으로 나타났다.

(2) II 시리즈

〈사진-3〉은 II 시리즈의 알콜용액법에 의한 측정 결과로서 촉진중성화 직후의 중성화깊이는 9mm 내외로 나타났으나 알칼리성부여제를 도포한 직후 중성화된 부위가 착색되고 있음을 알 수 있다. 한편, 알칼리성부여제만 도포한 시험체의 경우 도포직후 붉게 착색되었던 중성화부위가 옥외폭로 52주에

어서 다시 도포전과 비슷하게 나타나고 있는데 반하여, 표면피복처리를 행한 Type6(알칼리성부여제+방청페이스트+페인트) 시험체의 경우 중성화된 부위의 일부부위에서 착색이 나타나고 있어 알칼리성을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

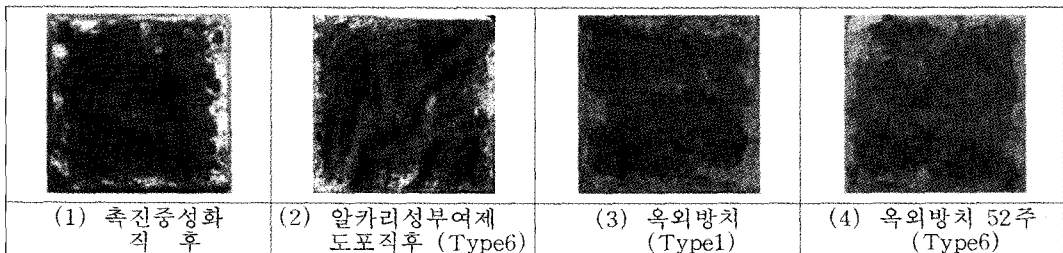
나. pH 측정결과

〈그림-3〉은 표면피복재 종류 및 깊이별 알칼리성부여제 도포전, 도포직후에서 옥외폭로 45주까지의 pH 변화를 나타낸 것으로 알칼리성부여제 도포전의 pH는 0~5mm에서 9.58, 5~10mm에서 11.54, 10~15mm에서 11.91로 나타났다.

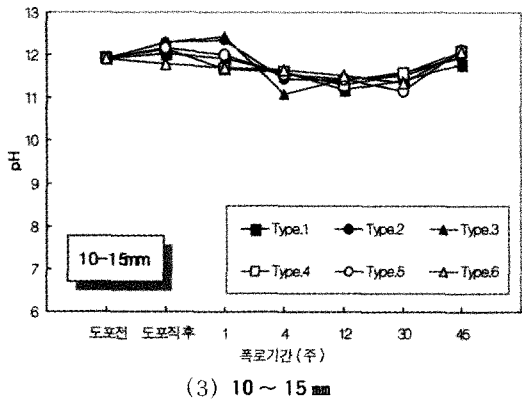
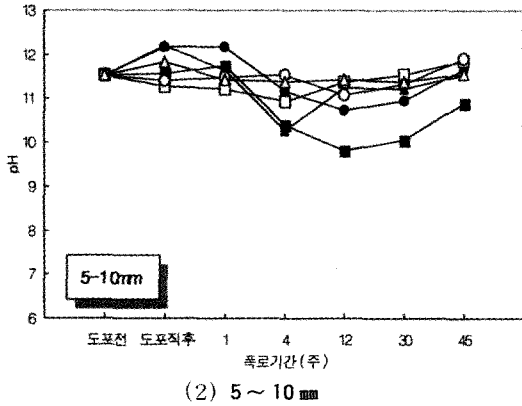
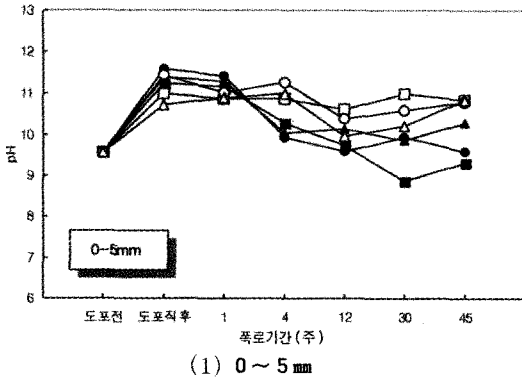
촉진중성화 실시 후 콘크리트 표면 부근인 0~5mm에서는 탄산가스의 침입에 의해 알칼리성이 거의 소실된 것으로 나타났으나, 모든 시험체에서 알칼리성부여제를 도포한 직후의 pH는 11내외를 나타내고 있어 알칼리성이 회복된 것을 알 수 있다.

한편, 각각의 시험체에 알칼리성부여제 및 표면피복재를 도포한 후 옥외폭로 재령에 따른 pH의 변화는 0~5mm에서 가장 큰 변화를 나타내고 있으며, 옥외폭로 재령이 증가함에 따라 pH가 서서히 저하하여 45주 경과후의 pH는 Type1, Type2의 경우 각각 9.32, 9.61로 알칼리성부여제 도포전과 유사한 값을 나타내고 있다. 그러나, Type4~6은 재령 45주에서도 10.8정도를 나타내고 있어 알칼리성 유지 성능이 다소 높게 나타나고 있다.

〈그림-4〉는 외기노출 재령에 따른 pH의 변화율

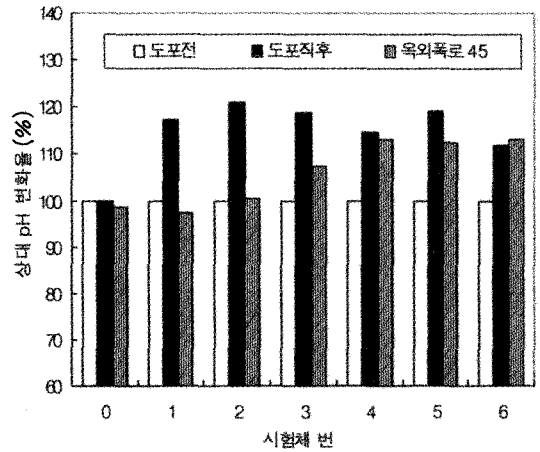


〈사진-3〉 마감재종류에 따른 알칼리회복성능 (시리즈 II)



〈그림-3〉 폭로기간에 따른 pH 변화

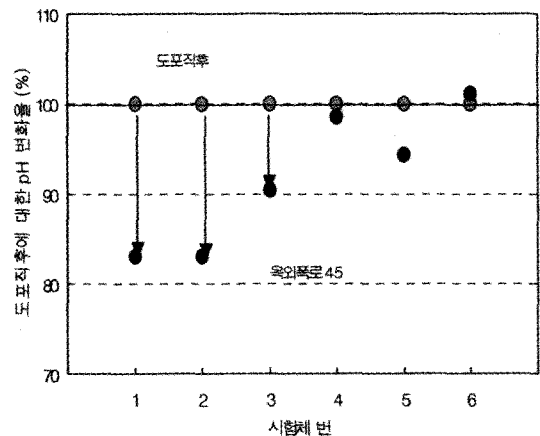
이 가장 큰 0~5mm에서의 알칼리성부여제 도포 전후의 상대 pH 변화율을 나타낸 것으로서 촉진중성화를 시킨 모든 시험체에 알칼리성부여제를 도포한 직후의 pH는 시험체의 종류에 따라 다소 차이를



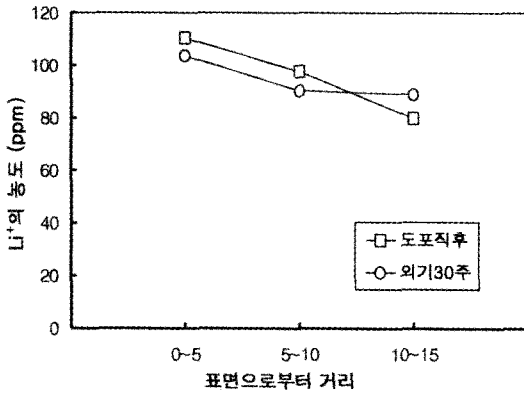
〈그림-4〉 알칼리성부여제 도포에 따른 상대 pH 변화율 (0~5mm)

나타내고 있으나 대부분 11 이상 알칼리성을 회복한 것으로 측정되었다. 그러나, 외기노출 45주 경과 후 Type1과 Type2는 알칼리성부여제 도포전 pH 대비 97.29%와 100.31%를 보여주고 있어 알칼리성 유지능력이 다소 떨어지는 경향을 보였으나, Type4, 5, 6에 있어서는 45주 경과 후에도 도포전 pH에 비해 112~113% 정도의 회복성능을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

〈그림-5〉는 알칼리성부여제 도포직후의 pH에 대



〈그림-5〉 시험체 종류별 도포직후에 대한 pH 변화율 (0~5mm)



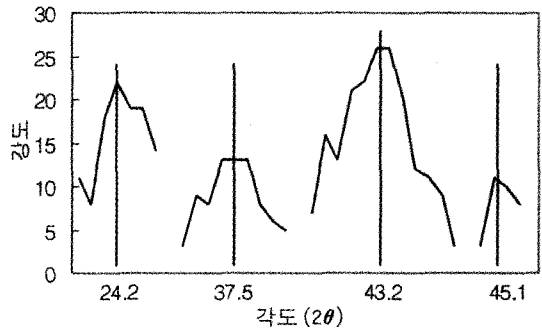
〈그림-6〉 깊이에 따른 Li<sup>+</sup> 농도

한 외기노출 45주의 상대 pH 변화율을 나타낸 것으로써, Type4 및 Type6는 각각 98.54%, 101.1%로 알칼리성 유지성능이 우수하게 나타났고, Type1과 Type2의 경우, pH의 상대변화율은 83.2%로써 알칼리성 유지성능이 상대적으로 떨어지는 것으로 나타나 방청페이스트와 일반 시멘트 페이스트의 알칼리성 유지성능이 우수한 것으로 나타났다. 따라서 알칼리성부여제 도포 후 적절한 표면 피복재를 도포할 경우, 그 성능은 현저히 향상될 것으로 사료된다.

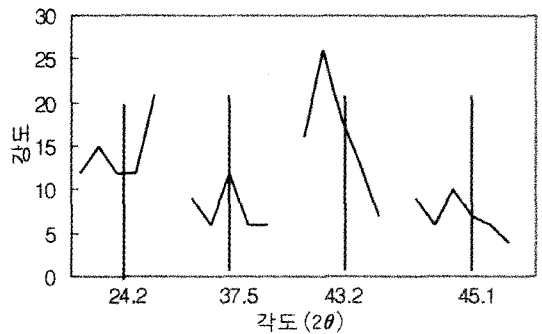
### 다. 성분분석 결과

알칼리성부여제의 침투량을 정량적으로 파악하기 위하여 알칼리성부여제 도포후 방청페이스트와 페인트를 도포한 시험체(Type6)로 부터 알칼리성부여제의 주성분인 Li<sup>+</sup>을 측정된 ICP분석 결과는 〈그림-6〉에서 보는 바와 같다.

도포 직후의 Li<sup>+</sup>의 깊이별 농도는 콘크리트 표면으로부터 0~5mm에서 110.4ppm, 5~10mm에서 97.6ppm, 10~15mm에서 80.2ppm으로 측정되어 표면부의 알칼리성부여제 침투량이 가장 높았으며, 침투깊이는 15mm 이상일 것으로 사료된다. 한편, 옥외폭로 30주에서는 깊이별로 각각 103.5ppm, 90.5ppm, 89ppm의 측정결과를 보여 도포직후의 침투량과 유사한 것으로 나타났다.



(1) 무도포



(2) 알칼리성부여제 도포

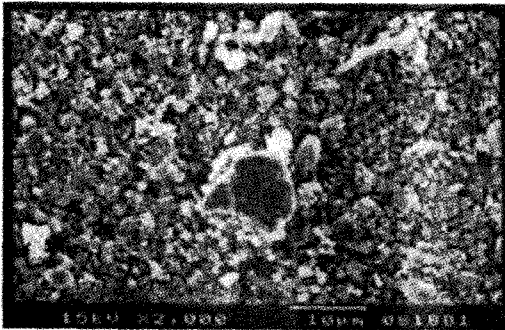
〈그림-7〉 XRD 분석 결과 (Li<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

### 라. XRD 분석 결과

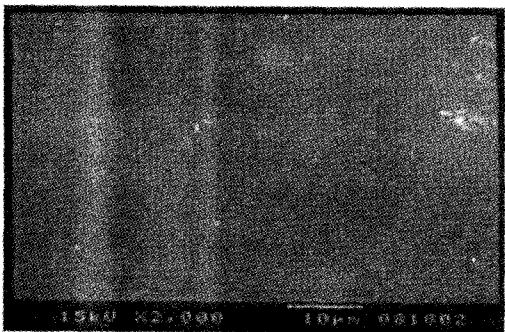
알칼리성부여제 도포시 생성되는 규산리튬수화물 (Li<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)의 유무를 확인하기 위하여 무도포 시험체 및 알칼리성부여제 도포 시험체의 XRD 분석결과를 〈그림-7〉에 나타냈다. 구리(Cu)를 타겟으로 하였을 때의 Li<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 회절각(2θ)은 24.2, 37.5, 43.2, 45.1로 나타났으며, 각각의 회절각에서 무도포 시험체는 피크가 나타나고 있지 않으나, 알칼리성부여제를 도포한 시험체에서는 피크가 나타내고 있어 알칼리성부여제의 주성분인 Li<sup>+</sup>이 콘크리트 내부로 침투하여 반응생성물을 생성시킨 것으로 나타났다.

### 마. SEM 분석 결과

알칼리성부여제를 도포한 콘크리트의 도포면과



(1) 무도포



(2) 알칼리성부여제 도포

〈사진-4〉 알칼리성부여제 도포에 따른 표면성상

도포를 하지 않은 기존 콘크리트 표면을 비교·검토하기 위하여 SEM촬영을 하였으며 그 결과는 〈사진-4〉와 같다. 사진에서 알 수 있는 바와 같이 알칼리성부여제를 도포하지 않은 콘크리트 표면은 거칠게 나타나고 있으나, 알칼리성부여제를 도포한 콘크리트 표면은 매끈하게 나타나고 있다. 이는 알칼리

성부여제 도포에 따라 표면 요철을 충전하고, 표면에 알칼리성의 막을 형성하고 있는 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

중성화된 콘크리트에 알칼리성부여제의 도포에 의한 중성화 회복 및 표면 피복재의 종류에 따른 알칼리성 유지성능에 관한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 중성화된 콘크리트의 알칼리성 회복성능을 pH값 및 사진촬영을 통하여 확인할 수 있었다. 또한, pH 10 이하로 중성화 된 콘크리트 표면에 알칼리성부여제를 도포함으로써 도포 직후 pH 11 이상으로 알칼리성을 회복시킬 수 있었으며, 외기폭로 45주 후에도 상대 pH를 110% 이상 유지할 수 있었다.
- (2) 재령별 알칼리성 유지성능은 표면 피복재에 따라 차이가 있었으며, 특히 방청페이스트 및 일반 시멘트 페이스트의 효과가 우수하였다. 따라서 알칼리성부여제 도포후 적절한 표면 피복재를 도포할 경우 알칼리 유지성능이 크게 향상될 것으로 사료된다.
- (3) ICP 분석을 통하여 도포후 외기폭로 30주에서도 도포직후의 Li+농도와 유사한 이온농도를 유지하고 있었으며, 알칼리성부여제 도포에 의한 알칼리성 부여제 침투깊이는 15mm 이상일 것으로 사료된다. ▲

## 시사 용어 해설

### ▶ 금융비용부담률

기업의 금융비용을 총매출액으로 나눈 수치. 금융비용부담률은 부도 및 법정관리신청 기업을 피해 투자하기 위한 필수적인 체크 포인트이다. 하지만 몇 퍼센트 이상이 좋다든지 나쁘다든지 하는 절대비교수치는 없고, 동업종의 여러 회사와 비교해 특별히 높은 경우 위험수위에 다다랐다고 보아야 한다. 금융비용부담률은 특히 몇 년간 추세를 눈여겨 봐야 하며 전기에 비해 특별히 많이 증가했다면 회사 사정이 그만큼 어려워 졌다고 볼 수 있다.