

경화불량콘크리트의 사례연구

A Case Study on the Retarded Hardening of Concrete

정재동 · 이양수* · 이선우 · 안상욱

〈동양중앙연구소 이차제품연구실〉

I. 서론

콘크리트는 모래와 자갈 등을 시멘트와 물(시멘트 페이스트)에 의해 결합시켜 강고하게 만들어진 복합 재료이며, 압축강도, 작업성, 내구성 등의 물성을 향상시키기 위하여 다양한 혼화재료를 첨가하여 제조하게 된다. 이와같이 콘크리트는 다양한 재료가 혼합된 다성분계 재료이고 시간의 경과에 따라 복잡한 수화 반응이 일어나기 때문에 여러가지 요인에 의해 품질 문제가 나타나게 되고 현장에서의 시공요인 등에 의해 그 문제는 더욱 심화된다. 콘크리트 품질문제의 양상은 경화초기에는 경화불량, 초기균열 등에 의해 누수의 원인이 되기도 하며, 경화후에는 갖가지 균열의 발생으로 구조물의 내구성 또는 안전성에 영향을 주기도 한다.

이러한 문제점을 사전에 방지하려면 콘크리트를 구성한 각 원재료들의 철저한 관리와 아울러 콘크리트 시공, 양생 등의 관리에 각별한 주의를 기울이지 않으면 안된다. 또한 일단 문제가 발생하면 그 원인을 가능한한 빠른 시일내에 밝혀 대책을 강구하는 것도 잊어서는 안될 중요한 일이라 하겠다. 그러나 그 원인이 너무 복잡하고 복합적으로 작용되기 때문에 정확한 원인을 규명하기는 어렵고 가능성이 가장 높은 원인을 제시하는 경우가 대부분이다.

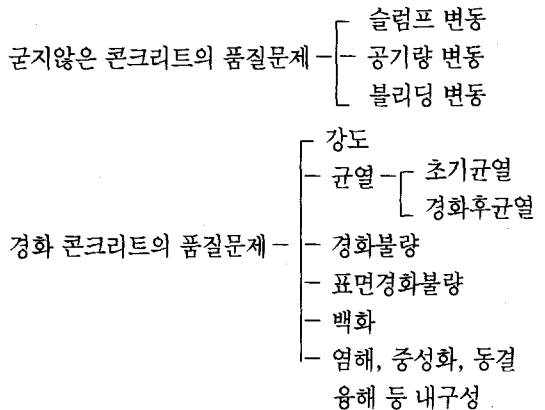
본 연구팀은 외국산시멘트를 사용한 콘크리트의 경화불량 사례를 현장으로부터 추출 각종분석과 실험을 통하여 그 원인을 분석하고 대책을 수립한 바 있다.¹⁾ 본 보고는 계속해서 콘크리트에 나타나는 여러가지 품질문제들중 특히 초기(약 재령 2주정도) 응결경화불량의 양상을 건설현장에서의 실제 몇가지의 사례를 중심으로 검토하고 원인을 분석하여 대책을 수립하는데 그 목적을 둔다.

II. 본론

1. 콘크리트의 주요 품질문제

콘크리트에 있어서 품질문제는 여러유형으로 나타날 수 있으며 특히 굳지 않은 콘크리트와 경화후의 콘크리트의 품질문제를 나누어 생각할 수 있다. 이러한 품질문제를 일으킬 수 있는 요인은 재료, 배합설계, 제조공정, 시공, 사후관리 등 다양하다. 콘크리트에서 나타날 수 있는 여러 유형의 품질문제와 그 변동요인은 다음과 같이 정리할 수 있다.

이와같이 많은 콘크리트의 품질문제 중 특히 경화 초기에 자주 발생되는 콘크리트의 응결 경화불량을 중심으로 알아본다.



2. 콘크리트의 응결경화불량

초기응결 경화불량의 원인은 다양하지만 크게 분류하면 다음과 같다.

1) 원재료 · 제조상의 요인

- ① 골재중의 유해물(당류, 유기물 등) 혼입
- ② 사용수중의 유해물(당류, 유기물 등) 혼입
- ③ 시멘트 품질저하(풍화된 시멘트 사용 등)
- ④ 시멘트의 화학성분(특히 SO₃ 함량 및 석고의 존재형태 등)

- ⑤ 시멘트의 과소계량
- ⑥ 혼화재료의 과다한 계량(특히 유기혼화제, 팽창제 등)
- ⑦ 기타 제조시의 이상
- 2) 시공상의 요인
 - ① 타설시의 재료분리
 - ② 현장에서의 많은 가수(加水) — 물 시멘트비의 증가
 - ③ 수중에서의 타설
 - ④ 물이 낀 거푸집에서의 타설
 - ⑤ 거푸집에서의 모르타 누출 — 시멘트페이스트의 감소
- ⑥ 여름철의 이상건조 — 양생부족
- ⑦ 겨울철의 콘크리트 동결 — 양생부족
- ⑧ 혼화재료의 현장투입에 의한 불충분한 혼합
- ⑨ 불량거푸집의 사용 — 표면경화불량

이 이외에도 알려지지 않은 크고 작은 요인들이 있을 수 있으며, 대부분의 경우 재령기간의 경과에 따라 응결 및 강도의 회복을 기대할 수 있으나 몇몇 경우에는 강도증진이 되지 않아 부분적 누수현상 뿐만 아니라 균열과 함께 심하면 붕괴에 까지 이를 수 있다.

다음은 최근에 발생했던 3가지의 콘크리트 응결불량의 현장사례이며, 현장조사와 채취된 시료의 분석, 그리고 분석을 통하여 얻어진 추정치를 바탕으로한 재현실험을 실시하였다. 여기서는 자세한 내용은 지면 관계상 생략하고 핵심적인 부분만 수록하였다.

3. 경화불량사례

3.1. 현장사례(I)

3.1.1. 개요

본 사례는 1993년도 경남지역에서 발생한 응결불량사례로 2주 경과 후에도 경화가 잘 이루어지지 않았으며 육안관찰결과 콘크리트 내에 시멘트의 양이 부족한 것으로 보였다. 따라서 당시 사용 시멘트의 화학분석과 콘크리트 중의 시멘트 함량을 정량하였다.

3.1.2. 시험분석 결과

① 시멘트화학분석

당시에 사용되었던 시멘트의 화학조성은 표 1과 같

다.

② 콘크리트중 시멘트 정량 시험

본 시험은 경화된 포틀랜드시멘트 콘크리트의 시멘트 함유량 시험방법(KS F 2416)에 의거 시험을 시행하였으며 시험방법은 그림 1과 같으며 그 실험결과를 계산하면 다음과 같다.

$$S_r = C_r S_c + A_r S_a \quad \text{--- (1)}$$

$$C_r + A_r = 1.0 \quad \text{--- (2)}$$

여기서 S_r : No.6체 통과 시료중의 가용성 성분의 백분율
 C_r : No.6체 통과 시료중의 시멘트량
 A_r : No.6체 통과 시료중의 골재량
 S_c : 시멘트 중의 가용성 성분(산화칼슘, 실리카)의 백분율
 S_a : No.6체 통과 시료중의 골재성분에 있는 가용성 성분의 함유 백분율

또한

$$C_t = \frac{C_r W_r + W_L}{W_s} \times 100 \quad \text{--- (4)}$$

여기서 C_t : 탈수한 콘크리트 중의 시멘트 백분율
 W_r : No.6체 통과한 시료의 중량
 W_L : No.6체에 남은 시료를 산처리했을 때 없어진 중량
 W_s : 탈수한 콘크리트의 중량

콘크리트 1m³당 시멘트량(kg)으로 표시하면,

$$C_v = C_t \times \frac{10}{B-C} \times A \quad \text{--- (5)}$$

여기서 C_v : 콘크리트 1m³당 시멘트의 양(kg)
 A : 노 건조중량(kg)
 B : 표면건조 포화상태 때의 공기중 중량(kg)
 C : 수중중량(kg)
 10 : 1000kg 물 / M³ ÷ 100

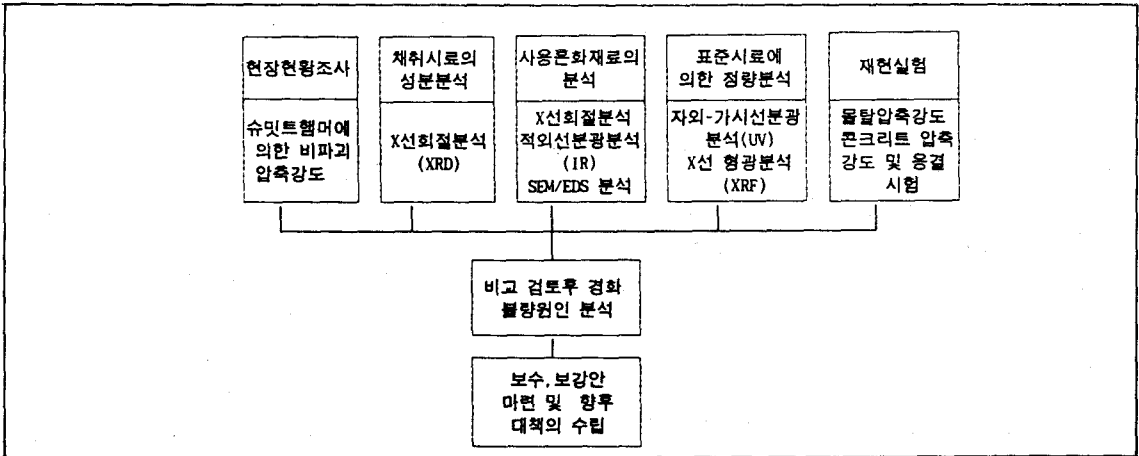
위의 계산식을 이용하여 다음의 시험치를 대입하면,

$$\begin{aligned} S_a &= 2.56 & S_r &= 18.46 & S_c &= 62.69 \\ W_s &= 1506.43 & W_r &= 704.75 & W_L &= 19.48 \\ A &= 1650.66 & B &= 1775.11 & C &= 985.39 \end{aligned}$$

표 1 시멘트의 화학성분

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	f-CaO	Ig. loss
21.60	3.02	5.20	62.09	3.07	2.24	0.15	0.65	0.35	0.83

그림 1. 원인분석과정



$$C_i = \frac{18.46 - 2.56}{62.69 - 2.56} = 0.2644$$

$$C_i = \frac{0.2644 \times 704.75 + 19.48}{1506.43} \times 100 = 13.66$$

$$\therefore C_v = 13.66 \times 2.06 \times 10 = 281.45 \text{ kg/m}^3$$

3.1.3. 소견 및 대책

당시 타설된 레미콘은 25-210-12(공기량 4.2%)이고, 이때의 시멘트량은 약 350kg/m³으로 배합설계 되었으나 본 시멘트 정량시험 결과 281.45kg/m³으로 밝혀져 육안으로 관찰된 결과와 일치하고 있다. 따라서 본 레미콘에 있어서 초기경화불량은 콘크리트 중의 시멘트 부족 때문인 것으로 사료되므로 적절한 조치가 필요할 것으로 보인다. 즉 공정라인상의 어떤 결함에 의하여 과소계량 되었을 것으로 공정의 이상을 잘 파악하여 교정해야 할 것이다.

3.2. 현장사례(II)

3.2.1 개요

본 사례는 1993년 서울지역에 신축중인 빌딩의 지하에서 발생된 설계기준강도 210kgf/cm² 콘크리트 구조물의 응결불량의 현장사례이다. 현장에 나타난 현상은 콘크리트 타설후 약 2주가 경과된 시점에서 지하 2층 벽체와 기둥 등에서 부분적으로 응결불량 현상이 나타났으며, 그 상태는 색깔이 짙고 습기가 많았으며 부슬부슬 떨어져 골재와 시멘트페이스트 부분이 쉽게 분리되었다. 특히 응결불량이 나타난 부분은 지하층이어서 지하수 등에 의한 누수를 방지할 목적으로 구체방수제를 사용(3.77%)하였고, 경화불량의 현상이 전체적인 것이 아니라 부위가 넓지 않고 부분

적이라는 점과 구체방수제를 현장에서 투입했다는 점으로부터 배합상의 문제, 기후적인 요인, AE 감수제의 과잉첨가 등에 의한 것이라기보다는 구체방수제의 혼합불량에 의한 것일 가능성이 높다고 예상된다.

3.2.2. 원인분석 결과 및 고찰

3.2.2.1. 분석 내용 및 방법

우선 현장답사를 통하여 슈미트 햄머에 의한 비파괴 압축강도시험을 행하였으며 경화된 부분과 경화되지 않은 부분을 채취하여 X선회절분석(XRD)과 주사전자현미경(SEM)으로 수화생성물의 상태를 파악하고 사용된 구체방수제와 AE 감수제를 입수 자체분석과 첨가량에 따른 현장시료와의 정량분석(자외-가시선 분광광도법(UV), 적외선분광광도법(IR), 및 X선 형광분석(XRF)), 그리고 첨가량에 따른 몰탈과 콘크리트의 압축강도시험으로 재현실험을 행하였다.

그림 1은 원인분석과정을 나타낸 것이나 본 보고에서는 몇가지 결과만을 수록하고자 한다.

3.2.2.2 현장현황조사

현장에서 압축강도는 슈미트 햄머(Schmidt Hammer)에 의한 비파괴시험으로 검사하였다.

재령 2주 경과시의 측정결과 전체적으로 설계기준강도의 70% 이상의 추정압축강도를 나타내나 지하 2층 벽체 및 기둥부위 몇군데의 경우 측정이 불가능하거나 상당히 낮은 추정압축강도의 값을 나타내었다.

3.2.2.3. 현장채취콘크리트의 성분분석

현장시료는 경화부위 1개소, 미경화부위 3개소의

콘크리트를 채취하였다. X선회절분석결과, 미경화시료는 골재와 시멘트페이스트 부분의 결합이 약해서 분리가 쉬웠으며 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 수화물 피크가 나타나지 않은 것으로 보아 경화시료보다 수화가 진행되지 않았거나 진행되었다 하더라도 구체방수제 중의 플라이애쉬와의 포졸란반응(pozzolanic reaction)으로 소실되었을 가능성이 있다.

3.3.2.4. 사용 혼화재료의 분석

① X선회절분석

본 콘크리트 타설시 사용된 혼화재료로는 AE감수제와 구체방수제이며, AE 감수제는 액상, 구체방수제는 분말상이었다. 구체방수제를 물에 풀면 밑에 가라앉은 부분과 위에 부유하는 물질을 관찰할 수 있는데, 가라앉은 분말을 채취하여 X선회절분석한 결과, α -quartz(SiO_2)와 Mullite($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)를 주 성분으로 한 플라이애쉬 입자인 것으로 보인다.

② 적외선분광분석(IR : Infra Red Spectroscop)

구체방수제를 물에 풀었을 때 위에 뜨는 물질은 XRD에 의해서는 정성할 수 없었고 따라서 유기물로 보여지므로 IR 분석을 실시하였다. 구체방수제 부유물의 건조물을 IR 분석한 결과는 그림 2와 같다. 파장 $1400\sim 1600\text{cm}^{-1}$ 및 파장 $2800\sim 3000\text{cm}^{-1}$ 부분의 피크는 스테아린산 계통으로 판단되고 뒤의 SEM/EDS 분석 결과에서 Zn이 다량 검출된 것으로 보아 방수제에 많이 사용되고 있는 지방산인 스테아린산아연(Zinc stearate)인 것으로 생각된다.

③ SEM/EDS 분석

구체방수제의 미세구조와 성분분석을 위해서 SEM/EDS (Scanning Electron Microscope / Energy Dispersive Spectroscopy) 분석을 행하였다. 사진 1은 구체방수제의 SEM 사진으로서 등근 입자($1\sim 10\mu\text{m}$)와 부정형의 덩어리 입자로 구성되어 있는 것을 볼 수 있다. 이것을 point EDS 분석한 결과 등근 입자는 주성분이 SiO_2 와 Al_2O_3 로 이루어진 플라이애쉬 입자이며 (그림 3), 부정형 입자는 거의 대부분이 Zn으로 이루어져 있다는 것을 알 수 있다. (그림 4).

3.2.2.5 X선 형광분석(XRF : X-Ray fluorescence analysis)에 의한 정량분석

구체방수제 중에는 스테아린산아연을 함유하고 있고 따라서 Zn의 양을 XRF로 검출하여 경화 및 미경

그림 2. 구체방수제를 물에 풀은 후 부유한 물질의 IR분석 결과

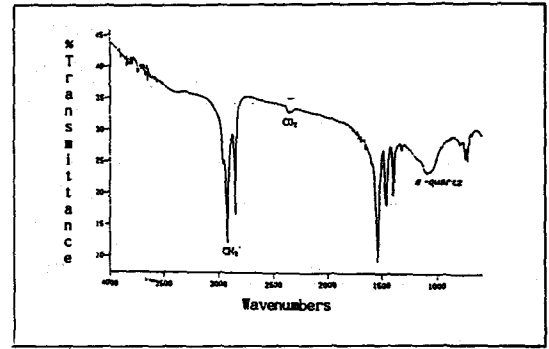


사진 1. 구체방수제의 SEM 사진

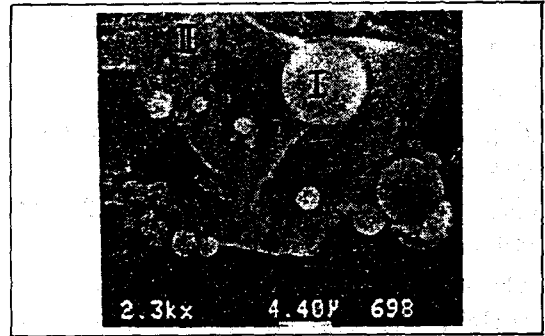


그림 3. point I의 EDS분석 결과

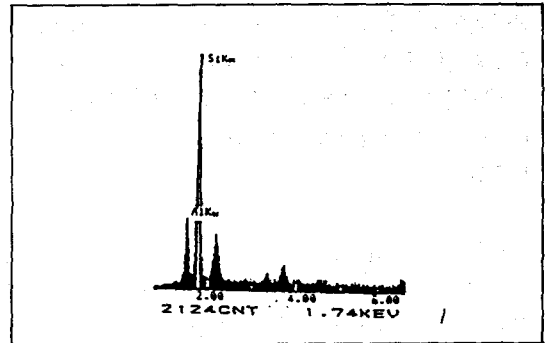
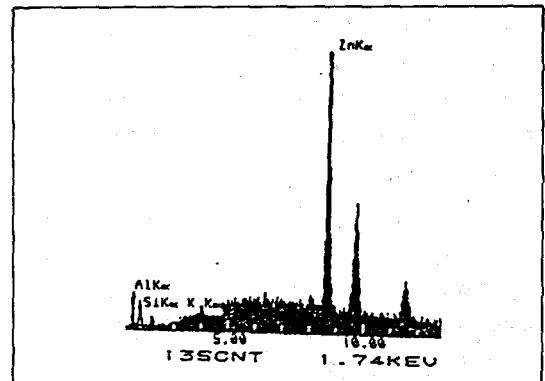


그림 4. point II의 EDS분석 결과

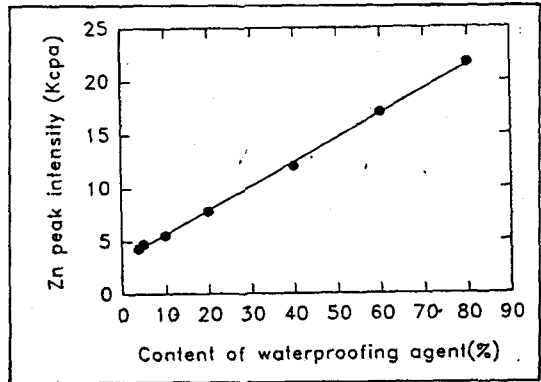


〈표-2〉 XRF 분석 결과

시료	구체방수제 첨가량	Zn Max. intensity (KCPS)	2θ range (degrees)	추정 구체방수제 함유량
표준시료	3.77%(표준첨가량)	4.281	41.0~ 42.2	
	5%	4.731		
	10%	5.540		
	20%	7.772		
	40%	12.041		
	60%	17.014		
	80%	21.692		
현장시료	A(미경화시료)	8.864		22.12
	B(미경화시료)	7.673		19.08
	C(미경화시료)	7.123		16.66
	D(경화시료)	4.692		5.96

화시료에 존재하는 구체방수제의 양을 정량하고자 하였다. 구체방수제의 양을 3.77, 5, 10, 20, 40, 60, 80% 치환첨가한 시멘트 모르타를 제작하여 2주 기건양생후 분쇄하여 표준시료로 하였다. 표 2에 표준모르타, 미경화시료 3개 및 경화시료 1개의 XRF 분석에 의한 Zn 검출량($2\theta=41\sim 42.2^\circ$) 측정결과를 나타내었다. 미경화시료의 Zn의 최대강도가 경화시료보다 높게 나타나는 것으로부터 미경화시료에 스테아린산아연이 더 많이 존재한다는 것을 알 수 있으며, 그림 5의 검량곡선을 이용하여 경화시료 및 미경화시료의 구체방수제의 존재량을 추정하면 경화시료는 대략 4.5%이고 미경화시료의 존재량은 18~22% 정도로 사료된다.

그림 5. 구체방수제의 첨가량에 따른 XRF에 의한 Zn 검출량의 검량곡선



〈표-3〉 콘크리트 압축강도(재령 1주)와 응결시험결과

구분	구체방수제(%)	평균압축강도 (kg/cm ²)	응결시간(Hr:min)	
			초 결	종 결
1	3.77 (표준첨가량)	97.52	10:50	20:50
2	10	64.10	36:35	43:35
3	20	1.02	200시간이상	200시간이상
4	40	-	200시간이상	200시간이상
5	60	-	200시간이상	200시간이상
6	80	-	200시간이상	200시간이상

3.2.2.6 재현실험

위의 분석결과 경화 및 미경화콘크리트 시료간의 차이는 구체방수제의 함유량이었으며 이러한 구체방수제의 첨가량이 실제 콘크리트의 응결 및 강도 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보려고 하였다. 콘크리트 배합은 당시 사용했던 동일한 배합에 구체방수제의 양을 달리 하였으며, 공시체는 KS L 2405 규격에 준하여 제작하였고 콘크리트의 응결시험은 KS F 2436 관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법으로 행하였다.

공시체의 재령 7일 압축강도를 측정한 결과와 응결시험결과를 표 3에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 구체방수제 첨가량 20%를 기준으로 콘크리트의 압축강도가 급격히 감소됨을 알 수 있다. 구분 4, 5, 6은 재령 7일에도 전혀 탈형할 수 없을 정도이며, 콘크리트의 수화반응을 전혀 볼 수 없었다. 콘크리트의 응결시험결과에서도 압축강도와 비슷하게 구체방수제를 20% 이상 첨가한 공시체는 재령 8일까지 응결이 전혀 진행되지 않았다. 따라서 앞의 분석결과와 물성시험에 의한 재현실험을 종합해 보면 본 미경화콘크리트의 경화불량의 원인은 현장에서 투입된 구체방수제의 혼합불량에 의한 것이라는 것을 알 수 있었다.

3.2.3. 결론 및 향후대책

위의 분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 조사대상 구조물의 콘크리트 강도를 조사한 결과 설계기준강도 210kg/cm²를 만족하는 것으로 나타나 일부 경화불량부분을 제외한 나머지부분은 건전한 것으로 판단된다.

2) X선형광분석 결과, 경화불량을 일으킨 콘크리트 시료내에서 구체방수제의 지방산 성분인 스테아린산아연이 표준첨가량을 초과하여 검출되었다.

3) 따라서 구체방수제의 현장첨가시 구체방수제의 혼합불량특성으로 인하여 완전히 혼합되지 못한 부분에서 부분적으로 경화불량을 초래한 것으로 판단된다.

4) 미경화부분이 그리 넓지 않기 때문에 보수·보강하면 구조물은 안전한 것으로 판단되나 구조물의 안전성 진단이 선행되어야 한다. 보수·보강은 미경화부분을 떼어내고 고품질의 콘크리트로 재시공하고 경화후 이음부분을 에폭시로 충전할 필요가 있다.

5) 지하의 누수를 방지할 목적으로 혼합사용하는 구체방수제의 사용시, 혼합특성이 좋지 않다는 점을 감안하여 현장에서 투입하더라도 사전에 혼합시간에 대한 충분한 검토를 거친 후에 적정량을 사용하도록 주의 해야 한다.

3.3. 현장사례(Ⅲ)

3.3.1 개요

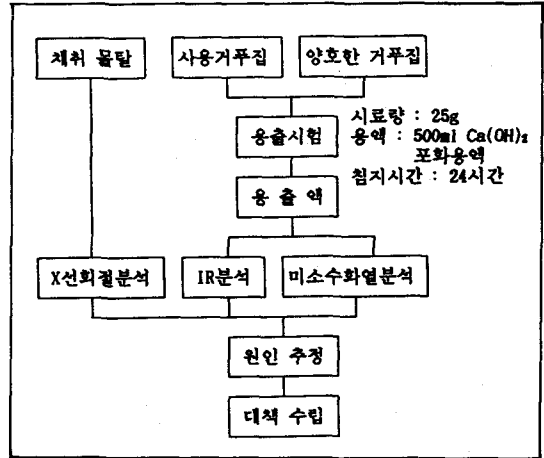
1994년 경기도 지역에서 발생한 본 사례는 재령 2주 경과한 구조물에서 특정 거푸집을 제거한 일부분에서 표면경화가 심하게 불량하여 분석한 사례이다.

분석에 사용된 시료는 표면 미경화물탈부분과 당시 사용되었던 20×20×1.2cm의 거푸집 합판이었으며 분석시험과정은 그림 6과 같다.

3.3.2. 이론적 배경

콘크리트를 타설한 후 거푸집을 제거하였을 때, 콘크리트 표면의 경화상태가 불량하여 표면이 쉽게 긁혀지거나 거푸집에 묻어나오는 경우가 있는데, 이러한 현상을 콘크리트 표면의 경화불량 현상이라한다. 이러한 콘크리트 표면의 경화불량의 원인으로는 콘크리트의 탄산화에 의한 경우²⁾, 블리딩수 등 표면에 물이 있는 상태에서의 표면마무리³⁾, 콘크리트 표면과 거푸집과의 접촉면에서 발생한 경우⁴⁾ 등을 들 수 있다.

그림 6. 분석시험 과정



표면경화불량은 콘크리트 구조물의 안정성에는 큰 영향을 미치지 않으나, 구조물의 내투수성을 저하시키고, 미관상으로도 좋지 않고, 내마모성을 저하시키는 등의 몇가지 문제점을 야기시킬 수 있다. 콘크리트 표면의 경화불량현상은 거푸집용으로 합판을 사용하면서부터 문제시되었으며, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 표면경화에 영향을 줄 수 있는 거푸집 관련 인자들로는 목재의 종류, 박리제의 종류, 변질의 정도, 건조, 합판접착제의 종류 등이다.

목재중에 존재하는 탄닌, 리그닌 등의 물질이 용출될 경우와 박리제⁵⁾에 의해 용결이 불량해지며 리그닌이나 탄닌 등의 용출은 목재 자체의 성질이거나 태양광선⁴⁾이나 습기에 의한 변질 등 때문이다. 그러나 건조나 합판접착제의 종류⁶⁾ 등은 큰 영향이 없다고 보고되고 있다.

따라서 본 사례는 박리제를 사용하지 않았으므로 목재의 질이나 변형 등에 의한 표면용결불량일 것으로 추정된다.

3.3.3 시험분석 결과

① 표면물탈의 X선회절분석결과

현장에서 채취된 미경화 표면부위의 물탈에 대한 X선회절분석 결과(그림 7), 재령 2주 경과한 수화물이라 할 수 없을 정도의 미수화시멘트와 골재성분만이 검출될 뿐, 수화에 의해 생성되는 Ca(OH)₂가 전혀 검출되지 않아 수화는 거의 진행되지 않았음을 확인할 수 있었다.

② 용출시험

당시 사용된 거푸집에서 콘크리트에 접해있던 단판과 뒤의 단판, 그리고 표면경화불량을 일으키지 않는

것으로 판정된 양호한 거푸집(대성목재 산)의 단판에 대해서 1×1cm 크기로 약 25g 채취한 후, Ca(OH)₂ 수용액 50ml에 24시간 동안 침지시켜 가용성 성분을 용출시켰다.

용출시험 후, 여과시킨 용출액에 대한 사진을 사진 2에 나타내었다. 사진에서 알 수 있듯이 콘크리트에 접해있던 거푸집단판(a)을 용출시킨 용출액의 색깔이 나머지 단판(b), (c)의 경우에 비하여 짙은 갈색을 띠고 있는데, 이것은 리그닌 등의 유해성분이 많이 용출된 것으로 보인다. 이것은 용출액 자체의 적외선 분광분석(FT-IR) 결과와 용출액을 이용한 미소수화열분석(conduction calorimetry)에 의해 확인되었다.

③ 용출액의 IR 분석결과

각 용출액을 105℃에서 36시간 이상 충분히 건조하여 수분을 완전히 제거한 후, IR 분석을 행하였다. (그림 8) 그림에서 알 수 있듯이 blank(Ca(OH)₂ 수용액)에 비하여 건전 거푸집(대성목재산)의 용출액(c)과 거푸집 앞판에서 용출된 용출액(a) 모두 특정 파수(약 1050~1300, 1650cm⁻¹)에서 피크가 나타나고 있는데 이는 리그닌의 특정피크인 것으로 밝혀졌다.

거푸집 앞판의 리그닌 피크가 건전 거푸집 용출액의 피크보다 훨씬 크게 나타나서 Ca(OH)₂ 수용액 중에서 리그닌이 훨씬 많이 용출되었고 앞의 사진 2에서 짙은 갈색의 주성분은 리그닌이었다는 것을 알 수 있었다. 리그닌은 일반적으로 알려져 있는 감수제의 주성분으로 이 양이 과다하면 시멘트의 응결을 지연시킨다는 것은 주지의 사실이다.

④ 미소수화열분석결과

용출액을 이용하여 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 수화시켰을 때, 수화시간에 따른 수화발열속도를 알아보기 위하여 증류수로 수화시킨 것과 비교하여 미소수화열량 분석을 실시하였으며 이것을 그림 9에 표시하였다. 이때 w/c=0.5, 수화온도는 23℃로 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 콘크리트와 접하지 않은 단판에 대한 용출액(b)과 건전한 거푸집의 용출액(c)에 의한 수화발열속도는 비슷하며 증류수에 의한 것보다는 약간 늦은데 반하여, 콘크리트에 접한 단판에 대한 용출액(a)에 의한 수화발열속도는 증류수에 의한 것보다 늦은 것을 볼 수 있다. 또한 이것은 실제 Ca(OH)₂ 농도가 농축되고 기후적인 인자(온도 등)와 복합적으로 작용하는 현상에 있어서는 더욱 수화가 지연될 가능성이 있다고 생각된다.

그림 7. 표면 미경회탈물의 X선회절분석도

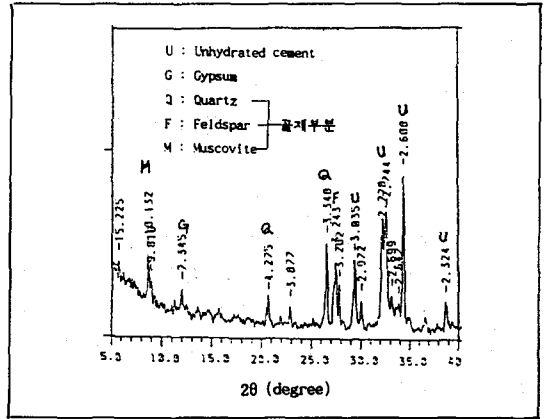


사진 2. 용출시험 후 여과한 용출액

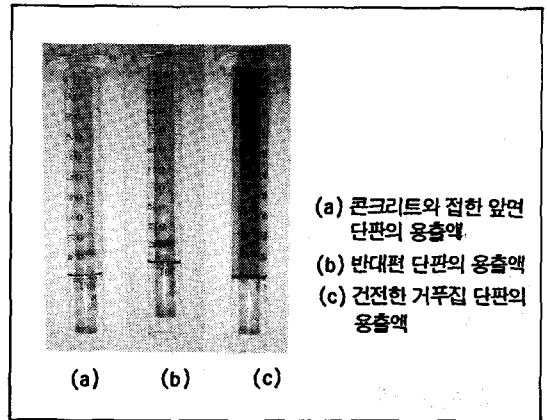


그림 8. 용출액의 IR 분석결과

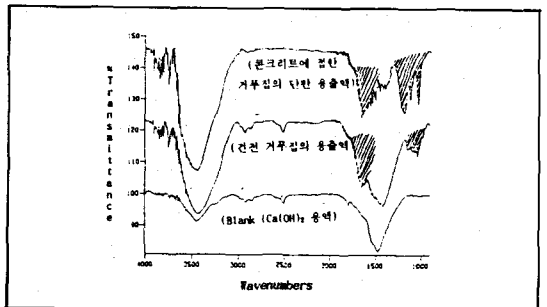
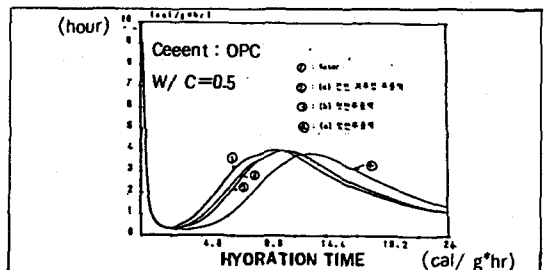


그림 9. 용출액에 의한 미소수화열 분석결과



따라서 앞의 결과를 토대로 표면경화불량의 주원인을 추정하여 보면, 거푸집 중에 있는 리그닌이 시멘트 수화에 의해 발생하는 알칼리 성분으로 인해 용출되어 시멘트의 수화를 저지했다고 결론지을 수 있다.

3.3.4. 결론 및 대책

1) 현장에서 채취된 미경화 표면의 몰탈부분에 대한 X선회절분석결과, 수화가 거의 진행되지 않은 상태의 미수화시멘트로 이루어져있음을 확인하였다.

2) 용출시험 후 여과한 용출액은 짙은 갈색을 띠었고 이것을 IR 분석한 결과 일부 감수제의 주성분인 리그닌(Lignin)인 것으로 밝혀졌다.

3) 용출액에 의한 미소수화열 분석결과, 콘크리트 표면과 접한 단판에서 용출된 용출액으로 수화시험한 시료에서 지연현상이 나타났다. 따라서 본 표면경화불량의 주원인은 거푸집 중의 리그닌 등이 알칼리 성분으로 인해 용출되어 시멘트의 수화를 저지한 것으로 판단된다.

4) 최근 목재수급이 원활하지 않아 목재수입의 산지변화(인도네시아 → 아프리카)에 따라 불량 거푸집으로 인한 이러한 경화불량 현상이 발생할 가능성이 증가하고 있다.

5) 따라서 이와같은 표면응결불량을 미연에 방지하기 위해서는 거푸집의 입수시 목재회사의 사전시험 결과에 대한 검토 등 입하관리를 철저히 해야하고, 보관에 있어서도 태양광선에 직접 노출시키거나 습기가 많은 곳은 피해야 할 것으로 생각된다.

III. 결론

위의 몇가지 응결불량사례는 콘크리트의 품질문제 중의 극히 일부에 속하고 실제로는 품질문제에 대한 수많은 사례가 존재할 수 있다. 또한 위의 사례들과 같이 대부분의 품질문제는 최근의 발달된 분석학적 기법으로 분석이 가능하다. 그러나 그 원인이 복합적으로 발생한 사례라든지 콘크리트 중 혼화제의 정량 분석 등 몇몇 분석에 있어서는 시료전처리 등 분석과정이 복잡하고 정밀을 요하며 분석방법이 아직 정립되어 있지 않기 때문에 정확한 원인분석은 어려우며 추정에 머무르는 경우도 있다. 앞에서도 언급했듯이, 이와같은 문제점을 사전에 방지하려면 원재료의 철저한 입하 품질관리, 제조공정관리 뿐만 아니라 시공 및 사후관리 등에 철저한 관리가 이루어지지 않으면 안된다. 또한 만일의 응결불량에 대비하여 타설당시의

원재료 및 콘크리트 시료의 확보와 기계적 이상유무, 온도 등 당시의 상황을 한눈에 알아볼 수 있는 자료를 작성하여 두는 것이 이후 분석 및 대책수립에 유리하다고 사료된다. 이것은, 현장에서 응결불량 사례가 발생할 경우, 분석에 참고가 될만한 자료는 타설된 현장 콘크리트와 강도시험용공시체, 당시 사용 원재료와 타설당시의 조건 등이 전부이기 때문이다.

또 한가지 중요한 사실은 콘크리트의 원재료를 공급하는 공급자(시멘트제조회사, 골재납품업자, 혼화제 공급업자 등)와 레미콘 제조회사, 그리고 시공의 책임을 맡고 있는 시공자 3자 각자의 책임감과 유기적인 협조관계가 필요하다는 점이다. 불량콘크리트를 납품하는 것은 말할 것도 없고 양호한 원재료를 이용하여 아무리 좋은 품질의 콘크리트를 제조하여 납품하였다고 해도 심한 가수를 한다든지 혼화제를 현장에서 충분한 혼합시간의 고려없이 투입하는 등 시방서에 준하지 않는 시공을 한다면 부실공사는 막을 수 없을 것이다.

1994년 올해를 “부실시공 추방의 원년”이라는 구호가 나올 정도로 최근 부실공사의 사례가 급증하고 있는 추세인 것에 비추어 불매 건설에 책임을 지고 있는 시멘트, 골재, 혼화재료 등의 재료관련 업체, 레미콘 제조업체, 시공관련 건설사 삼자간의 협조와 신뢰가 어느때 보다도 절실하게 필요한 때라고 생각된다.

<References>

- 1) 정재동, 김원기, 김남호, 이양수, “외국산시멘트사용 콘크리트의 경화불량 원인에 대한 사례연구”, 레미콘 32(1992. 6)
- 2) Frank A. Randall, “Carbonation of Fresh Concrete Floor Surfaces”, Concrete Construction, Nov., (1979).
- 3) Finishing Problems and Surface Defects in Flatwork, Concrete Construction, Apr. (1979).
- 4) 문한영, 최재진, “목재 거푸집 사용으로 콘크리트 표면에 발생하는 표면경화불량에 대한 연구”, 대한토목학회논문집, 제3권 제2호, (1983)
- 5) M. K. Hurd, “Dusting of Formed Concrete Surfaces”, ACI Jour., Vol. 65, Sept., (1968).
- 6) 丸一俊雄, “木製パネルのコンクリート硬化不良防止”, 建築技術, 제69호, (1961).