

화학약품용액에 침지한 시멘트모르타의 물성변화

Properties of Cement Mortar Immersed in Chemical Solution

문 한 영* 김 진 철** 김 홍 삼** 유 정 훈** 이 승 태***
Moon, Han Young Kim, Jin Cheol Kim, Hong Sam Yoo, Jung Hoon Lee, Seung Tae

ABSTRACT

The 5 types of cement mortar was immersed in the various chemical solutions for 400 days and then the compressive strength and the length change were measured to consider the chemical resistance at required ages. Due to the effect of flyash and GGBF slag, the compressive strength of blended cement mortar was higher than that of portland cement mortar at long ages.

According to the result of length change, the mineral admixture in blended cement had an influence on reducing the amount of C_3A , the cause of making concrete expand, and it made the formation of cement mortar denser so that the length change was much smaller than that of the portland cement mortar. However, the OPC mortar immersed in Na_2SO_4 solution for 180 days shows 4 times bigger length change than the blended cement mortar.

1. 서 론

근년 신공항 고속도로상에 건설되는 영종대교, 부산시에서 시공 중인 광안대교 및 서해대교와 같은 해양환경 하에 축조되는 대형 콘크리트교량 건설 등이 증가추세에 있어 콘크리트 구조물의 내해수성에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 그러나 해상 또는 해안 가에 건설되는 콘크리트 구조물의 경우, 해수 중의 황산염, 마그네슘 및 염화물이온이 콘크리트 표면으로부터 침투확산되어 콘크리트구조물의 기능을 크게 떨어뜨릴 뿐만 아니라 콘크리트 중의 철근부식을 촉진하므로써 균열을 발생시키는 등 구조물의 사용성능을 크게 저하시키는 문제점에 대한 충분한 대책이 수립되지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 5종류의 국산 시멘트를 선정하여 제조한 모르타를 인공해수, 황산염 및 염화물용액에 재령 400일까지 침지한 후 모르타의 압축강도, 길이변화 및 XRD와 SEM분석을 통하여 시멘트 종류별 화학저항성에 대하여 고찰하였다. 그리고 이들 연구결과를 토대로 하여 해양환경하에 건설되는 콘크리트 구조물용으로 적합한 시멘트의 선정에 필요한 기초자료를 얻고자 한다.

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

2. 사용재료 및 실험방법

(1) 시멘트 : 보통포틀랜드시멘트(C1로 약함), Belite계의 저열시멘트(C4로 약함), 내황산염시멘트(C5로 약함), 내황산염시멘트를 플라이애시로 20% 대체한 시멘트(F5로 약함) 및 고로슬래그시멘트(S1로 약함)를 사용하였으며, 화학성분과 물리적 성질 및 조성광물은 각각 표 1 및 표 2와 같다.

(2) 광물질혼화재 : 광물질혼화재는 플라이애시 및 고로슬래그미분말(GGBFS로 약함)을 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

| Types | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO ₃ (%) | Ig. loss (%) | Specific gravity | Blaine (cm ² /g) |
|---------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|
| C1 | 20.2 | 5.8 | 3.0 | 63.3 | 3.4 | 2.1 | 1.2 | 3.15 | 3,120 |
| C4 | 25.4 | 4.0 | 3.6 | 61.5 | 2.6 | 1.3 | 1.2 | 3.16 | 3,580 |
| C5 | 22.6 | 3.8 | 4.3 | 62.8 | 2.5 | 2.0 | 1.2 | 3.17 | 3,280 |
| F5 | 29.2 | 8.4 | 5.1 | 51.6 | 2.0 | 1.0 | 1.9 | 2.96 | 3,390 |
| S1 | 28.0 | 11.2 | 1.6 | 51.0 | 4.7 | 1.8 | 0.9 | 2.98 | 4,010 |
| Fly ash | 57.6 | 25.5 | 6.1 | 3.4 | 0.9 | - | 4.3 | 2.39 | 3,590 |
| GGBFS | 33.2 | 15.2 | 0.3 | 43.0 | 6.4 | 1.0 | 0.1 | 2.90 | 4,930 |

표 2 포틀랜드시멘트의 조성광물 (%)

| Types | C ₃ S | C ₂ S | C ₃ A | C ₄ AF |
|-------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| C1 | 54.9 | 16.6 | 10.3 | 9.1 |
| C4 | 21.1 | 57.1 | 4.5 | 10.9 |
| C5 | 46.0 | 30.1 | 3.5 | 13.0 |

(3) 잔골재 : 주문진 향호리산 표준사(KS L 5100)를 사용하였다.

(4) 시험용액 : ASTM D 1141에 의하여 2배농도 인공해수(인공해수로 약함), 5% Na₂SO₄ 및 CaCl₂용액을 제조하여 사용하였다.

(5) 압축강도 : 모르타 공시체를 KS L 5105에 의하여 제조하여 채령 1일에 탈형한 후 20±1°C 수중에서 200kg/cm²정도의 압축강도가 발현될 때까지 양생하여 각각 시험용액에 침지하여 채령 400일까지의 압축강도를 측정하였다.

(6) 길이변화율 : 2.5×2.5×28.5cm의 각주형 공시체를 제조하여 각각 시험용액에 침지한 후 채령 400일까지 KS F 2424의 다이얼게이지 방법에 의하여 길이변화를 측정하였다.

3. 약품용액에 침지한 시멘트모르타의 종류별 압축강도

5종류의 모르타를 각각 시험용액에 채령 400일까지 침지하여 채령별 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 1이다. 이 그림에서 담수의 경우, 시멘트의 종류에 관계없이 채령이 증가하는데 따라 압축강도가 증가하였으나, 나머지 3종류의 시험용액에 침지한 경우에는 채령에 따른 압축강도의 크기 및 피크가 크게 상이함을 알 수 있다.

인공해수에 침지한 S1모르타는 채령 28일 이후의 장기채령에서 압축강도가 4종류의 모르타보다 크게 나타난 반면 C1모르타는 채령이 증가하는데 따라 압축강도가 크게 감소하는 현상을 나타내었다.

이번에는 황산나트륨용액에 있어서 C1모르타의 채령 28일까지의 압축강도는 가장 크게 나타났으나

그 이후 재령에서는 압축강도가 급격하게 떨어졌다. 그 이유는 시멘트수화물인 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 황산염이온이 반응하여 팽창성 에트링가이트를 생성하므로 초기재령에서는 모르터의 공극을 치밀하게 하여 압축강도를 증진시키지만 재령이 증가함에 따라 팽창압이 증대하여 모르터의 조직을 열화시켜 강도의 감소를 촉진한다고 생각된다.

그러나 S1모르터는 슬래그미분말의 잠재수경성의 영향으로 장기재령에서 시멘트경화체의 조직이 치밀해져 강도의 감소율이 가장 적은 좋은 결과를 나타내었다.

끝으로, 염화칼슘용액에 침지한 모르터의 압축강도를 비교해본 결과, 재령 6개월까지는 S1모르터의 압축강도가 가장 컸으나 재령 400일에서는 C4모르터의 압축강도가 가장 큰 반면 C1모르터가 가장 작은 값을 나타내었다. 그림 2는 재령 400일 담수에서의 시멘트별 압축강도 100에 대한 각각 시험용액에서의 압축강도를 백분율로 나타낸 것으로서 인공해수 및 황산나트륨용액의 경우, 압축강도비가 S1 > F5 > C4 > C5 > C1모르터 순으로 나타났으나, 염화칼슘용액의 경우 압축강도비의 경향이 약간 상이한 결과를 나타내었다.

4. 시멘트모르터의 길이변화에 대한 고찰

3종류 약품용액 및 담수에 모르터를 재령 400일까지 침지하여 길이변화를 나타낸 것이 그림 3이다.

이 그림에서 담수의 경우, 시멘트의 종류에 관계없이 재령이 증가하는데 따라 거의 비슷한 길이변화의 증가현상을 나타내었으나, 나머지 3종류의 시험용액에 침지한 경우, 재령에 따른 길이변화가 약간 상이함을 알 수 있다.

황산나트륨용액에 침지한 C1모르터는 시멘트의 조성광물 중 C_3A 량이 상대적으로 많은 탓으로 재령 180일 이후에서는 팽창성 에트링가이트의 과도한 생성으로 측정이 불가능하였으나 혼합시멘트 2종류의 경우 $140 \times 10^{-3} \%$ 이하의 작은 길이변화를 나타내었다. 인공해수용액에 침지한 C1모르터의 길이변화가 비교적 적은 이유는 황산염이온 뿐만 아니라 염화불이온이 공존하므로 염화물이온이 모르터 중에 먼저 침투하여 C_3A 와 반응한 후 Friedel's Salt로 고정화되므로써 황산염침식이 약화된 탓으로 생각된다. 그러나 F5 및 S1모르터 중의 포졸란반응 및 잠재수경성의 영향으로 시멘트경화체의 조직이 치밀하여 길이변화가 적게 나타났다고 생각된다.

염화칼슘용액에 침지한 5종류 모르터의 길이변화를 측정, 비교한 결과, C1모르터의 길이변화가 가장 크게 나타난 반면 F5모르터는 가장 적게 나타났으나, 시멘트 종류에 따른 큰 차이는 없었다.

이번에는 5종류의 모르터를 3종류의 시험용액 및 담수에 재령 400일까지 침지하여 각각 시멘트 종류별 길이변화를 비교한 것이 그림 4이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 시험용액별 및 시멘트 종류별로 길이변화가 약간 상이하어 압축강도와는 다른 경향을 나타내었으나 대체적으로 혼합시멘트를 사용한 모르터의 길이변화가 적은 반면 포틀랜드시멘트계를 사용한 모르터가 큰 경향을 나타내었다.

5. 결 론

(1) 모르터를 재령 400일까지 약품용액에 침지한 결과, 인공해수 및 황산나트륨용액에서는 S1모르터, 염화칼슘용액에서는 C4모르터의 압축강도가 가장 큰 값을 나타낸 반면, C1모르터의 압축강도는 가장 작은 값을 나타내므로써 화학약품에 대한 저항성은 혼합시멘트가 유리함을 알 수 있었다.

(2) C1모르터를 황산나트륨용액에서 침지재령 400일까지 길이변화를 측정한 결과, C_3A 량이 많은 탓으로 팽창성 에트링가이트의 과도한 생성으로 측정이 불가능한 반면, F5 및 S1모르터의 경우 포졸란반응 및 잠재수경성의 영향으로 시멘트경화체의 조직이 치밀하여 길이변화가 적게 나타났다고 생각된다.

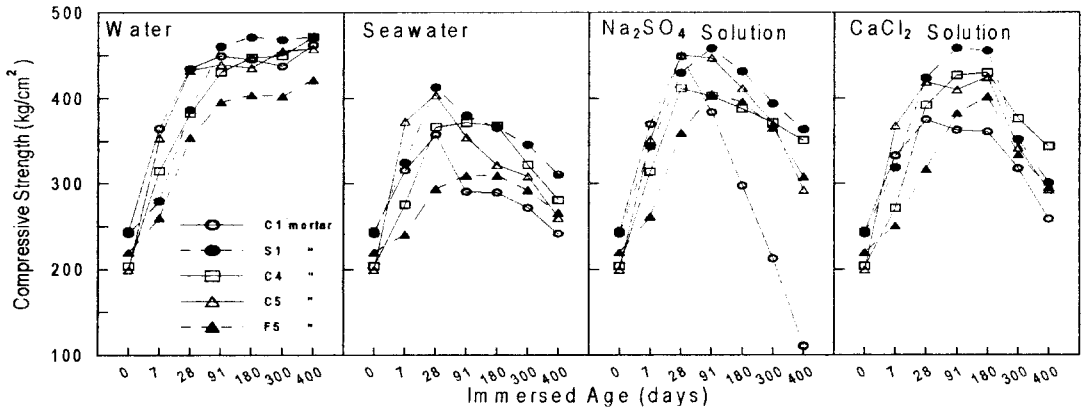


그림 1 화학약품용액에 침지한 모르터의 압축강도

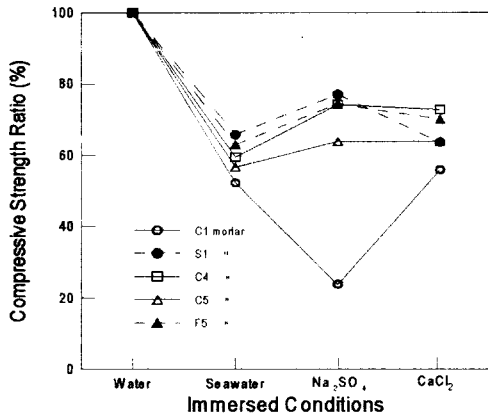


그림 2 모르터의 압축강도비(침지재령 400일)

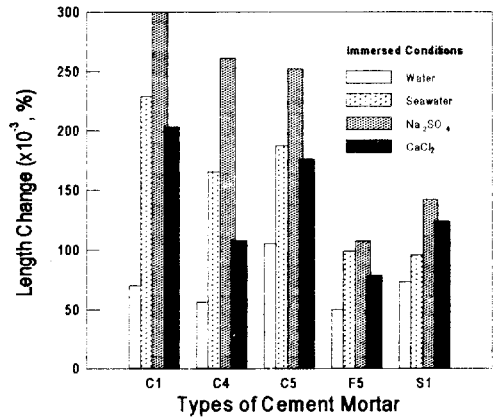


그림 4 모르터의 길이변화(침지재령 400일)

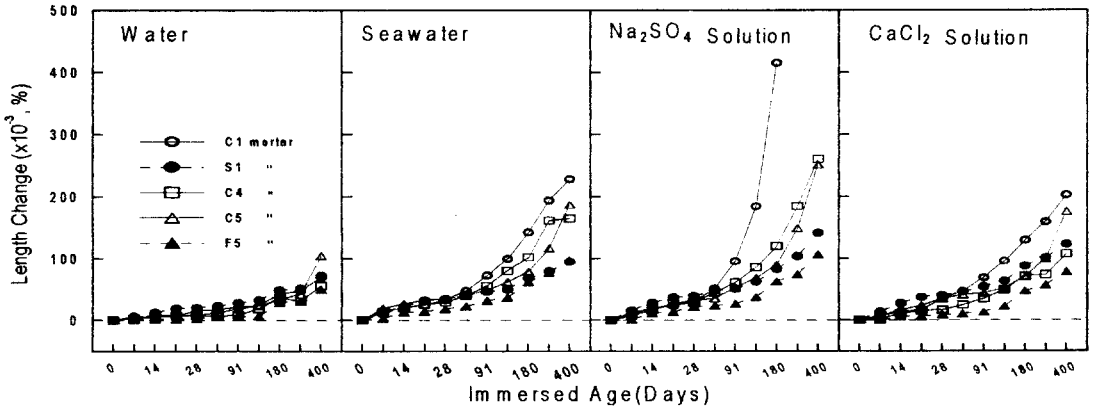


그림 3 화학약품용액에 침지한 모르터의 길이변화