

# 2배농도 인공해수에 대한 시멘트모르타의 저항성

## The Resistance of Cement Mortar in Artificial Seawater

문 한 영\*      김 진 철\*\*      김 홍 삼\*\*      이 승 태\*\*\*  
Moon, Han-Young    Kim, Jin-Cheol    Kim, Hong-Sam    Lee, Seung-Tae

### ABSTRACT

Generally, the durability of the reinforced concrete structures reduce when they are constructed in marine environments. The Mg ions and sulfate ions in seawater cause chemical attacks in concrete and the cracks in concrete result from corrosion of steel due to chlorides. In this study, the mortar specimens made from 5 different types of cement were immersed in artificial seawater of 2 times concentration and then we measured the compressive strength, the length change and the weight change. As a result of this study, we found that the compressive strength ratio decreased in the immersed 56days. We also found the longer the immersed days were, the more the increase of weight ratio and the length change were.

### 1. 서 론

최근 서해대교, 광안대교 및 영종도 신국제공항을 연결하는 연육교 등과 같은 해양환경하에 축조되는 대형 콘크리트 구조물이 증가추세에 있어 콘크리트 구조물의 내구성에 대한 관심이 고조되고 있다.

그런데 바다속이나 해변에 연해 건설되는 철근콘크리트 구조물의 경우, 해수중의 황산염, 마그네슘 이온 등의 침투에 의한 콘크리트의 열화와 염화물이온의 침투확산에 의한 철근부식이 촉진되며, 이러한 유해물의 영향으로 인하여 콘크리트 구조물에는 균열이 발생되거나 내하력의 저하로 인하여 공용성을 크게 떨어뜨리는 결과를 초래하게 된다.

그러므로 이런 조건하에 건설되는 콘크리트 구조물의 내구성을 확보하기 위한 대책의 일환으로 내해수성이 우수한 시멘트와 혼화재료의 활용에 대한 연구가 국내·외에서 오래 전부터 수행되어 왔으나 국가별 시멘트와 혼화재료의 품질, 규격 및 특성이 상이하므로 연구성과 및 사용실적이 반드시 일치되는 결과를 기대할 수 없는 것이 현실이다.

본 연구에서는 해양환경하에서 건설되는 콘크리트 구조물에 적합한 국산시멘트의 선정에 필요한 기초자료를 얻기위한 목적으로 국내에서 생산되는 시멘트를 5종류 선택하여 2배농도 인공해수에 대한 저항성을 실험을 통하여 비교 고찰하였다.

\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 대학원 박사과정

\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 대학원 석사과정

## 2. 사용재료

(1) 시멘트 : 국내 A사에서 제조한 보통포틀랜드시멘트(C1로 약함), Belite계의 저열시멘트(C4로 약함), 내황산염시멘트(C5로 약함), 내황산염시멘트를 플라이애쉬로 30% 치환한 시멘트(M5로 약함), 고슬래그시멘트(SC로 약함)이며 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

Types	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /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
M5	29.2	8.4	5.1	51.6	2.0	1.0	1.9	2.96	3,390
SC	28.0	11.2	1.6	51.0	4.7	1.8	0.9	2.98	4,010

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

(3) 2배농도 인공해수 : ASTM D 1141에 준하여 표 2와 같이 2배농도 인공해수(인공해수로 약함)를 제조하였다.

표 2. 2배농도 인공해수의 조성 (g/l)

NaCl	MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>	KCl
49.06	20.84	8.18	2.32	1.39

## 3. 실험방법

(1) 압축강도 : KS L 5105에 의하여 모르타공시체(5×5×5cm)를 제조하여 재령 1일에 탈형한 후 20±1℃ 수중에서 200kg/cm<sup>2</sup>정도의 압축강도가 발현될 때까지 양생하여 인공해수에 침지한 다음 7, 28 및 56일에서 압축강도를 측정하였다.

(3) 중량변화율 : 압축강도 공시체와 동일한 크기와 방법으로 제조한 중량변화율 측정용 모르타 공시체는 인공해수에 침지 후 7, 28 및 56일에서 측정하여 침지 전 중량에 대한 백분율로 나타냈다.

(2) 길이변화율 : 2.5×2.5×28.5cm의 각주형 길이변화용 공시체를 제작하여 인공해수에 침지한 후 7, 14, 21, 28 및 56일에서 KS F 2424의 다이얼계이지 방법에 준하여 길이변화를 측정하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1. 모르타의 압축강도와 인공해수에 침지한 모르타의 중량변화에 대한 고찰

표준양생한 모르타의 재령별 압축강도와 표준양생한 모르타 중량 100에 대한 인공해수 침지 모르타의 중량비를 나타낸 것이 표 3이다. 이 표에서 C1 및 C5 모르타의 압축강도가 재령 28일에서 가장 크게 나타났으나, M5 모르타는 가장 작은 값을 나타내었다. 그러나 SC 모르타는 잠재수경성의 영향으로 재령 3일의 압축강도는 제일 작았지만 재령 28일에서 비교적 높은 압축강도를 나타내었으며, C4 모르타는 상대적으로 많은 C<sub>2</sub>S의 영향으로 재령 28일에서 비교적 좋은 강도발현을 보였다.

한편 20±1℃ 수중에서 200kg/cm<sup>2</sup>정도의 압축강도가 발현될 때까지 양생한 모르타의 중량 100에 대한

시멘트 종류별 모르터의 재령별 중량변화를 백분율로 정리해 본 결과, 재령이 클수록 표준양생한 모르터에 대한 인공해수 침지모르터의 중량비가 약간씩 증가하는 경향을 나타내었으나 재령 56일까지는 시멘트의 종류에 관계없이 중량변화는 거의 없었다. 본 실험의 재령 56일까지의 중량변화는 시멘트 모르터와 해수 중 성분과의 화학반응에 의한 결과라기 보다는 인공해수 중의 침전물에 의한 영향을 더 크게 받아 중량이 증가된 것으로 생각된다.

표 3. 표준양생한 모르터의 압축강도(kg/cm<sup>2</sup>) 및 표준양생한 모르터에 대한 인공해수 모르터의 중량비(%)

재령(일)	종류	C1	C4	C5	M5	SC
압축강도	3	170(46)	135(36)	155(42)	158(43)	121(33)
	7	260(70)	184(50)	259(70)	202(54)	240(65)
	28	371(100)	338(91)	378(102)	308(83)	351(95)
중량비	7	101	101	100	101	100
	28	101	101	101	101	100
	56	101	102	101	100	101

( ) : 재령 28일 C1 모르터의 압축강도 100에 대한 시멘트모르터의 압축강도비

#### 4.2 인공해수에 침지한 모르터의 압축강도에 대한 고찰

해수 중에는 Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 및 Mg<sup>2+</sup> 등 콘크리트에 유해한 이온들이 존재하며, 콘크리트에 침투한 다음 시멘트 수화물과 반응하여 팽창 또는 수화물의 용출 등으로 인해 강도가 저하된다. 그래서 5종류의 시멘트로 제조한 모르터의 해수저항성을 알아보기 위하여 2배농도 인공해수에 침지한 모르터의 압축강도를 침지재령 7, 28 및 56일에 측정하여 침지 전 압축강도에 대한 백분율로 계산한 결과를 그림 1에 나타내었으며, 담수에 대한 인공해수의 모르터 압축강도비를 정리한 것이 그림 2이다.

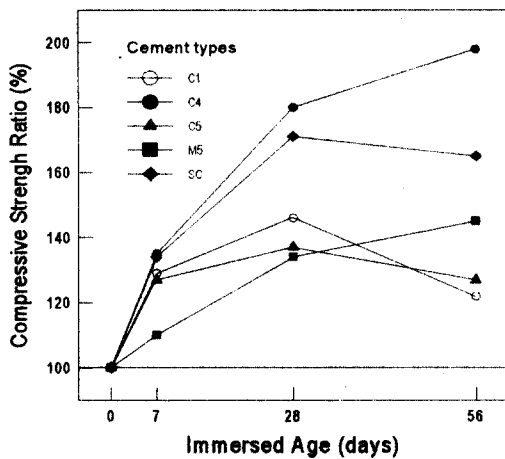


그림 1. 인공해수에 침지한 모르터의 압축강도비

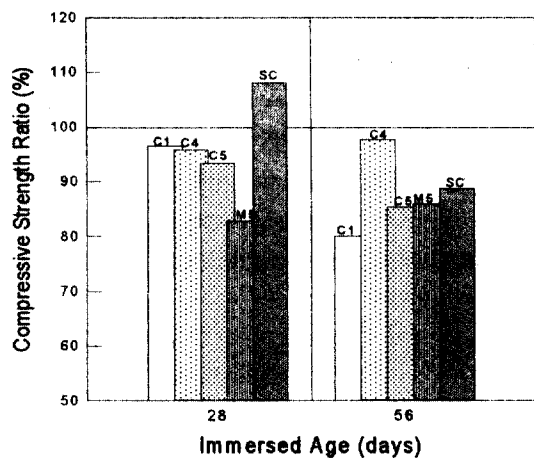


그림 2. 모르터의 압축강도비 (인공해수/담수)

그림 1에서 5종류 모르터 모두 재령 28일까지는 압축강도가 증가하였으나 재령 56일에는 C1, C5 및 SC 모르터의 압축강도가 약간 감소되었다. 그림 2는 담수에 침지한 모르터의 압축강도 100에 대한 인공해수 침지 모르터의 압축강도비를 나타낸 것으로서 C1 모르터는 재령 56일에서 담수 침지 모르터에

대한 강도비의 감소가 뚜렷한 반면 C4 및 M5 모르터는 재령 56일에서의 강도비가 재령 28일에 비해서 약간 증가하는 경향을 보였다. 한편 SC 모르터는 재령 28일에서 담수에 침지한 모르터의 강도보다 오히려 큰 최고값을 나타내었으나 재령 56일에서는 강도비가 크게 감소되는 결과를 나타내었다.

#### 4.3 인공해수에 침지한 모르터의 길이변화에 대한 고찰

시멘트수화물은 인공해수 중의 각종 이온과 반응하여 석고를 생성하고 석고의 일부는 C<sub>3</sub>A의 수화물과 반응하여 팽창성 물질인 ettringite(C<sub>3</sub>A · 3CaSO<sub>4</sub> · 32H<sub>2</sub>O)가 생성되므로써 팽창을 일으켜 체적변화가 생긴다고 한다. 그림 3은 5종류 모르터를 인공해수에 침지하여 재령 56일까지 길이변화를 측정한 결과로써 재령이 증가하는데 따라 모르터의 종류에 관계없이 길이가 증가함을 알 수 있다. 이때 재령 56일에서 비교해 보면 C1 모르터의 길이가 가장 크게 증가한 반면 M5 모르터의 길이변화가 가장 작게 나타났으나, C4, C5 및 SC 모르터의 길이변화는 거의 비슷함을 알 수 있다.

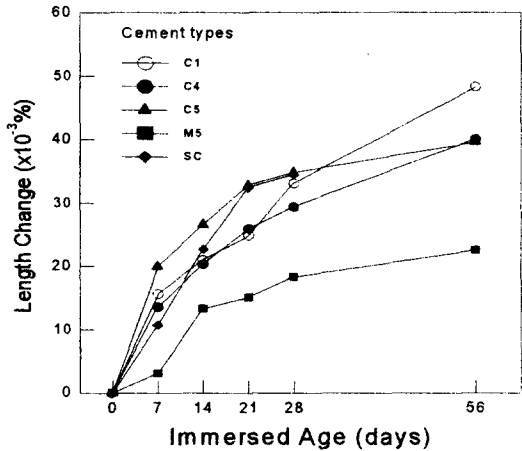


그림 3. 인공해수에 침지한 모르터의 길이변화

#### 5. 결론

- (1) 수중에서 200kg/cm<sup>2</sup> 정도의 압축강도가 발현될 때까지 양생한 모르터의 중량 100에 대한 시멘트 종류별 모르터의 중량변화율로 정리한 결과, 재령이 증가할수록 표준양생에 대한 인공해수 침지 모르터의 중량비가 약간 증가하는 경향이였으나 시멘트의 종류에 관계없이 중량변화는 거의 없었다.
- (2) 인공해수에 5종류의 시멘트모르터를 침지한 결과 재령 28일까지는 압축강도비가 증가하였으나, 재령 56일에서 C1, C5 및 SC 모르터의 압축강도비는 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 한편 담수양생 모르터의 압축강도 100에 대한 인공해수 침지 모르터의 압축강도비는 재령 56일에서 C1 모르터는 감소한 반면 C4 및 M5 모르터는 약간 증가하는 경향을 보였다.
- (3) 5종류 모르터를 재령 56일까지 인공해수에 침지하여 길이변화를 측정한 결과 재령이 증가하는데 따라 모르터의 종류에 관계없이 길이가 증가하였으며, M5 모르터의 길이가 가장 작은 반면 C1 모르터는 가장 크게 나타났으며, C4, C5 및 SC 모르터의 길이변화는 비슷한 결과를 나타내었다.

이상의 실험결과를 종합해 볼 때 시멘트모르터 및 콘크리트의 해수에 대한 저항성을 평가하기 위해서는 보다 장기재령에서 더욱 많은 실험결과를 토대로 연구 모찰할 필요가 있다고 생각되었다.

#### 참고문헌

1. S. Gimenez, S.Garcia, M.T. Blanco and A. Palomo, " The Behaviour of a Low Energy Cement in Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and Sea Water Media " Cement and Concrete Research, pp 793~ 803, 1992.
2. Malhotra, V. M, ed., " Performance of Concrete in Marine Environment " ACI SP109, 1988.