

인공 해수 간헐 조건에서의 방청제 및 혼화제를 사용한 콘크리트 압축강도 및 저항의 특성

The characteristics of compressive strength and resistance of concrete combined with corrosion inhibitors and mineral admixtures under simulated tidal condition

이 용 은* 장 태 순** 양 우 석**
Lee, Yong Eun Chang, Tae Sun Yang, Woo Seok

ABSTRACT

The structures exposed to marine environment do not show long-term durability due to corrosion of steel and deterioration of concrete by the attack of various salts dissolved in sea water. In this study, partial substitution of cement with fly ash(20%) or blast furnace slag(40%) was made together with the addition of 4 different corrosion-inhibitors, as a protective measure of concrete structures against chemical attack of salts. Combined effects of mineral and corrosion-inhibiting admixtures were tested by measuring the resistance and compressive strength of concretes under the simulated tidal condition, which consists of alternating 12 hour periods of immersion in artificial sea water and drying in air. Both the strength and concrete resistance were found to decrease in following order, regardless of the corrosion inhibitors: the concretes with blast furnace slag, those with fly ash and those without any mineral admixtures. The interrelation between compressive strength of concrete and resistance was investigated.

1. 서론

해양 환경 하에 철근 콘크리트 구조물이 오랜 기간 노출되면, 해수중의 화학성분의 영향으로 강구조물은 철의 부식으로 인해, 콘크리트 구조물은 콘크리트 속에 묻힌 철근의 부피 팽창과 콘크리트 자체의 열화에 의해 내구성이 크게 저하되고 심한 경우 구조물의 파괴를 일으킨다. 또한 콘크리트 구조물의 내구성 저하는 동결 융해 작용, 건조와 습윤의 반복 작용을 받으면, 상승효과로 더욱 빨리 진행된다. 염해로 인해 해양구조물의 보수 보강 및 유지관리등에 상당한 비용이 필요하게 됨에 따라 선진 각국에서는 염해의 영향을 받는 콘크리트 구조물의 내구성 평가에 대한 연구가 상당히 진행되어 구조물 시공시 염해에 대한 대책을 고려하고 있고 해양구조물의 보수 유지 대책에 상당한 수준에 이르러 있다. 그러나 우리 나라는 염해 방지 대책에 대한 연구도 미흡 할 뿐 아니라 일부 사용되고 있는 재료공법과 적용성에 대한 검증이 미흡한 실정으로 이에 대한 기준 검토 및 적합한 재료 선정이 시급하다고 판단된다. 이 연구에서는 플라이애쉬와 고로슬래그 및 네 가지의 방청제를 첨가한 공시체를 인공해수에서 간헐시키며 양생하고 압축강도와 콘크리트 저항의 변화를 측정하여 재료에 따른 열화 정도와 압축강도와 콘크리트 저항과의 상관관계를 유도하고 내구성 증진에 도움을 주고자 한다.

* 한국도로공사 도로연구소 재료연구실 책임연구원

** 한국도로공사 도로연구소 재료연구실 연구원

2. 실험

2.1 실험재료

시멘트는 국내 H사 제품의 1종 보통 포틀랜드 시멘트 (OC)를 구매하여 사용하였고, 혼화제는 플라이애쉬 (FA), 고로슬래그 미분말 (BS)을 사용하였다. 잔 골재는 강모래를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대 치수가 25mm인 쇄석을 사용하였다. 각각의 화학 성분 및 물리적 성질은 다음 표2.1과 같다.

표2.1 시멘트와 혼화제의 화학 성분 및 물리적 성질

종류 \ 항목	화학 성분 (%)							비 중	비표면적 (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	강 열량		
OC	22.81	5.83	3.23	61.16	2.72	2.49	1.67	3.15	3,708
FA	64.74	22.15	6.32	2.35	0.80	0.02	3.10	2.19	3,064
BS	32.19	13.07	0.29	41.79	6.77	2.87	0.40	2.90	4,800

방청제는 시중에 시판되고 있는 것 중에 4가지(이하 A, B, C, D)를 선택하여 사용하였으며 각각 제품회사에서 권장하는 양만을 사용하였다. 방청제 A는 변형 아미노 알콜의 혼합물이며, 방청제 B는 아질산염계의 혼합물로서 방향족 화합물을 주원료인 중축합형 고분자를 포함하고 있다. 방청제 C는 알카놀아민이 주성분이며, 방청제 D는 방청효과는 없으나 흡수율을 감소시키며, 워커빌리티 증진제가 함유되어 있어 콘크리트를 수밀 하게 하는 기능을 하는 구체방수제이다.

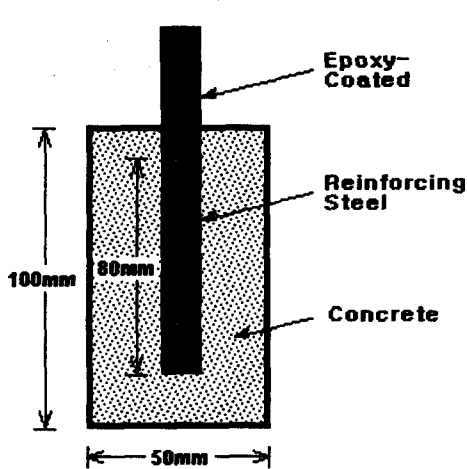


그림 2.1. A schematic diagram of a concrete test specimen

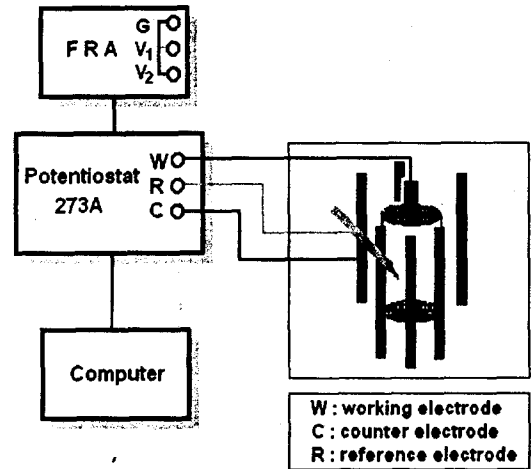


그림 2.2 A schematic diagram of experimental apparatus

2.2 실험방법

압축강도 시편은 실린더형(φ100×200mm)을 사용하였다. 또한 콘크리트 저항 측정용 시편은 실린더형

($\phi 50 \times 100\text{mm}$)으로 $\phi 13 \times 125\text{mm}$ 철근을 매입하여 그림 2.1과 같이 제작하였다. 각 공시체는 7일 동안 양생한 후, 12시간마다 인공해수 속에 침지·건조를 반복하는 조건하에서 양생되었고 재령 7일, 28일, 90일 압축강도 및 콘크리트 저항을 측정하였다. 단 28일 압축강도는, 7일 수중양생 후 기건 및 수중양생된 공시체에 대해서도 측정되었다. 인공 해수는 ASTM D1141에 따라 제조하여 사용하였다. 저항 값은 그림 2.2에서 보는바와 같이 인공해수를 전해질로 하여 회로를 구성하였고, 작업 전극으로 시편을, 기준전극으로는 포화칼로멜 전극(SCE)을, 상대전극으로는 탄소봉 6개를 사용하는 AC Impedance 방법으로부터 구하였다.

2.3 배 합

무기 혼화재인 플라이애쉬 20% (이하 FA), 고로슬래그 40% (이하 BS)를 각각 혼합한 콘크리트를 보통 포틀랜드 콘크리트 (이하 OC)와 비교하였으며, 시중에서 상업적으로 시판하는 4종류의 방청제를 각각에 혼합하였다. 물-시멘트 비율 53%로 고정시켰으며 S/a는 40%로 단위시멘트량은 $331\text{kg}/\text{cm}^3$ 으로 하였다. 방청제 자체가 배합수로 작용할 경우 단위수량에서 그만큼 감소 시켰으며, 슬럼프는 $8 \pm 1\text{cm}$ 를, 공기량 $4 \pm 0.1\%$ 를 기준으로 하였다.

3. 압축강도 및 콘크리트 저항

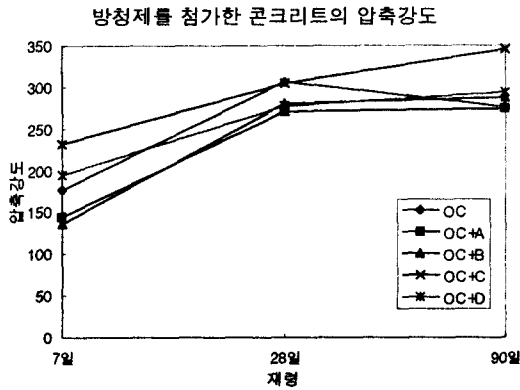
3.1 압축강도

그림 3.1과 표 3.1에서 보듯이 간헐 양생된 압축강도는 재령이 증가함에 따라 대체로 증가하는 경향을 보인다. 재령 7일에서는 OC 계열 > BS 계열 > FA 계열의 순으로 OC 계열이 훨씬 크지만, 재령 28일에서는 BS 계열 ≈ OC 계열 > FA 계열의 순으로 순서가 바뀌었고, 재령 90일에는 BS 계열 > FA 계열 > OC 계열의 순으로 OC 계열보다 FA 계열이나 BS 계열이 강도가 더 커짐을 알 수 있다. 방청제를 사용한 경우에는 재령 28일 강도보다 재령 90일의 강도가 증가하였으며, 90일 강도는 방청제를 사용한 경우가 사용하지 않은 경우보다 모두 높게 나타났다. 그러나 그림 3.1의 (D)에서 보듯이 방청제를 사용하지 않은 경우에는 OC와 BS의 경우, 계열 전체의 경향과는 달리 90일 강도가 28일 강도보다 더 낮았다. 이런 사실로 미루어 볼 때, 방청제를 사용하는 것이 해수에 존재하는 이온들의 침투, 공격에

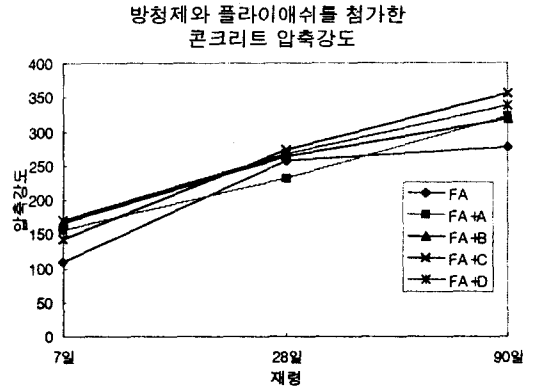
표 3.1 콘크리트의 압축강도 측정 결과

재령 종류	7일	28일	90일
OC	176	306	276
OC+A	144	271	274
OC+B	136	281	287
OC+C	231	305	345
OC+D	195	277	293
FA	108	258	278
FA+A	157	231	322
FA+B	166	264	319
FA+C	142	273	356
FA+D	170	267	338
BS	120	287	280
BS+A	159	294	357
BS+B	174	281	317
BS+C	152	312	366
BS+D	140	283	339

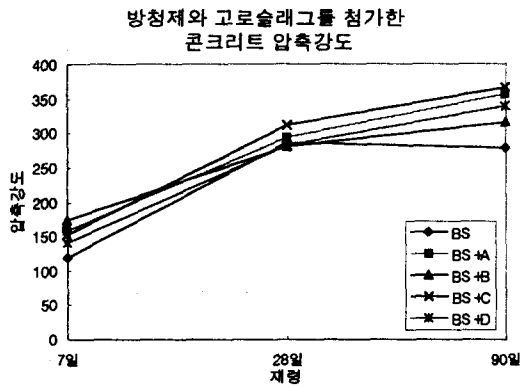
콘크리트 구조가 열화되는 현상을 막아주는 데 도움이 되었다고 생각 된다. 그림 3.1에서 보이는바와 같이 사용된 방청제 중에서 방청제 C를 사용한 것이 각 계열에서 가장 높은 압축강도를 보여 주었고, 나머지 방청제들은 계열별로 압축강도에 미치는 영향이 달랐다. 양생 조건에 의한 영향을 좀 더 살펴보기 위해서 방청제를 섞지 않은 OC, FA, 그리고 BS에 대해서 28일 수중양생, 7일 수중양생 후 간헐 양생, 7일 수중양생 후 기건 양생의 양생 조건에 따른 재령 28일에서의 압축 강도 측정 결과를 서로 비교해 보았다(표 3.2). OC는 기건 > 수중 > 간헐, FA는 기건 > 수중 > 간헐, 그리고 BS는 기건 > 수중 > 간헐 순으로 압축강도가 감소했다. 간헐 양생 조건의 압축강도가 가장 작은 것은 해수 속의 이온에 의한 화학적 공격과 건습의 반복 때문이라 생각되며, 이러한 간헐의 영향을 OC 계열이 가장 많이 받는 것으로 나타났다. 예상과 달리 기건 양생이 수중양생 결과 보다 더 높은 것은 양생시 대기의 습도와 온도가 매우 높았기 때문이라 생각 된다.



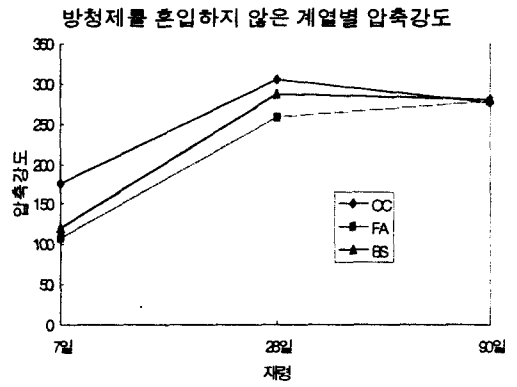
(A) OC계열



(B) FA계열



(C) BS계열



(D) 방청제 혼입하지않음

그림 3.1 보통 콘크리트 (OC) 계열, 플라이애쉬 혼합 콘크리트 (FA) 계열, 고로슬래그 혼합 콘크리트 (BS) 계열의 재령별 압축강도

표 3.2 양생 조건에 따른 압축강도의 변화

종류 \ 재령	28일 (수중)	28일 (간헐)	28일 (기건)
OC	322	306	328
FA	265	258	283
BS	289	287	289

3.2 콘크리트 저항

Nyquist plot으로부터 구한 재령 90일에서의 각 계열별 콘크리트 저항은 그림 3.2와 같다. 콘크리트

저항이 BS>FA>OC 계열 순으로 커지는 것을 알 수 있다. 고로슬래그나 플라이애쉬 등의 무기혼화재를 함유한 콘크리트는 세공분포가 미세화 되고 구조가 치밀해 짐으로 보통 콘크리트에 비해 전자의 움직임이 제한되어 이러한 결과를 보여 주는 것으로 생각 된다. 방청제를 첨가한 것들은 압축강도와 같이 대체적으로 방청제를 포함하지 않은 것보다 콘크리트 저항이 컸으며 방청제 C를 혼합한 것이 압축강도와 마찬가지로 가장 저항이 큰 것을 볼 수 있다. 이 방청제는 구체 방수제는 아니지만 구조를 치밀하게 함으로서 방청을 막는 역할을 하는 것으로 예측된다. 그림 3.3~3.5는 압축강도와 마찬가지로 시간이 증가함에 따라 저항이 증가하는 것을 보여 주고 또한 콘크리트 저항이 증가함에 따라 압축강도도 대체로 증가하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 압축강도가 28일 전후로 증가 속도가 느려지는 반면 콘크리트 저항은 계속 비슷한 속도로 증가함을 보여준다. 이로 미루어 볼 때 콘크리트 저항은 미세 구조의 변화에 더욱 영향을 받는 듯하다.

계열별 콘크리트 저항

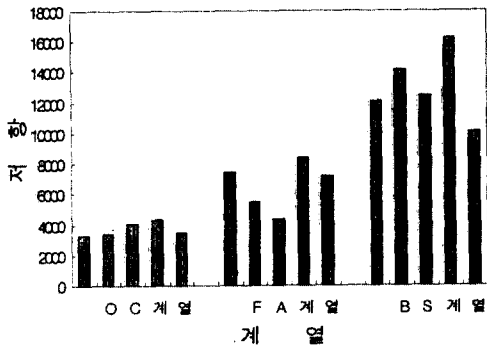


그림 3.2 계열별 콘크리트 저항

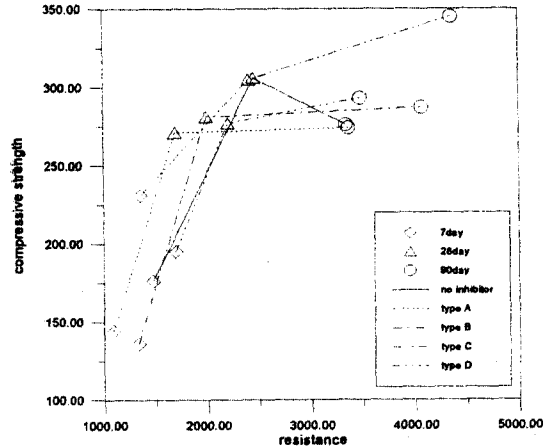


그림 3.3 OC 계열 콘크리트 저항에 대한 압축강도

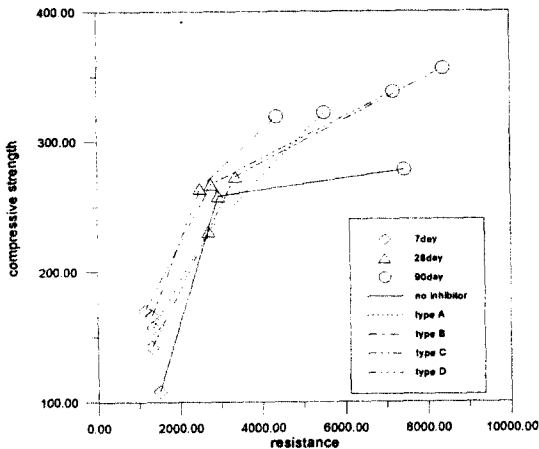


그림 3.4 FA 계열의 콘크리트 저항에 대한 압축강도

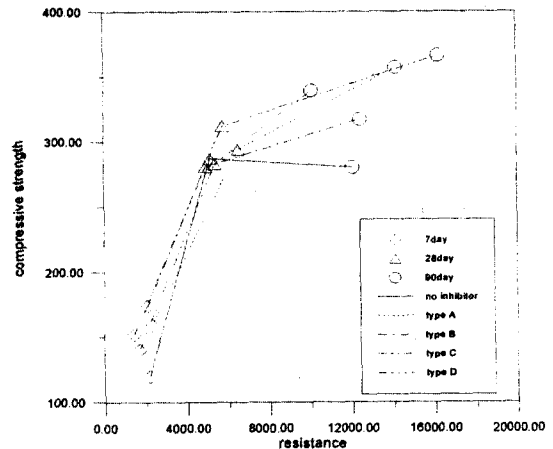


그림 3.5 BS 계열의 콘크리트 저항에 대한 압축강도

그림 3.3 각 계열별 콘크리트 저항 및 압축강도 비교

4. 결 론

- ◎ 7일 수중양생 후 간헐 양생된 압축강도는 재령에 따라 대체로 증가하였다. 재령 7일에서는 OC 계열>BS 계열>FA 계열의 순으로 OC 계열이 훨씬 크다. 그러나, 재령 28일에서는 BS 계열≈OC 계열>FA 계열의 순으로 순서가 바뀌었고, 재령 90일에는 BS 계열>FA 계열>OC 계열의 순으로 OC 계열보다 FA 계열이나 BS 계열이 강도가 더 커짐을 확인하였다.
- ◎ 어느 계열이나 방청제를 사용한 경우에는 재령 28일 강도보다 재령 90일의 강도가 증가하였으며, 90일 강도는 방청제를 사용한 경우가 사용하지 않은 경우보다 모두 높게 나타났다. 그러나, 방청제를 사용하지 않은 OC와 BS는 90일 강도가 28일 강도보다 낮게 나타났다. 이러한 사실로 미루어 볼 때, 방청제를 사용하는 것이 해수에 존재하는 이온들의 침투, 공격에 의해 콘크리트 구조가 열화 되는 현상을 막아주는 데 도움이 되었다고 생각 된다.
- ◎ 양생 방법에 따른 영향 조사 결과, OC는 기건>수중>간헐, FA는 기건>수중>간헐, 그리고 BS는 기건>수중>간헐 순으로 재령 28일의 압축강도가 감소했다. 간헐 양생으로 인한 재령 28일의 압축강도가 줄어드는 것은 해수의 간헐 조건으로 해수 속의 이온에 의한 화학적 공격이 그 원인으로 생각 된다.
- ◎ 콘크리트 저항은 BS계열이 가장 크고, 다음이 FA, OC계열 순이다. 콘크리트 저항은 시간이 흐름에 따라 증가하고, 방청제를 함유한 것이 압축강도와 같이 저항이 대체로 크다.

5. 참고문헌

- 1) 김문한, 염해와 그 대책, 콘크리트 학회지, 제4권, 1호, 1992
- 2) 오성원, 석탄회 및 탈황석고 활용 국제워크숍, 한국전력공사, 1997
- 3) 콘크리트용 고로슬래그 미분말 규격(안), 대한토목학회 기준 (KSCE 95-01), 대한토목학회
- 4) 오병환, 철근 부식 방지를 위한 방청제의 역할, 1996
- 5) T. E. Santon, Studies on the Use of Pozzolans for Counteracting Excessive Concrete Expansion Resulting from Reaction Between Aggregates and Alkalis in Cement, ASTM STP 99, 1949
- 6) P. L. Owens, Pulverised Fuel Ash, Part 1, Current Practice Sheets, No. 54, July 1980
- 7) D. G. John, P. C. Searson, J. L. Dawson, "Use of AC Impedance Technique in Studies on Steel in Concrete in Immersed Conditions," Br. Corrosion J., f16, 1981
- 8) A. J. Bard, L. R. Faulkner, Electrochemical Methods-Fundamentals and Applications, Wiley, New York, 1980