

무기계 방오기능성 혼화제를 사용한 콘크리트 특성에 관한 실험적 연구

Experimental study on Properties of Concrete Using Inorganic Antifouling Agent

김연봉* 강용식** 이병기*** 김도수*** 길배수**** 남재현*****
Kim, Yeon Bong Kang, Yong Sik Lee, Byoung Ky Kim, Do Su Khil, Bae Su Nam, Jae Hyun

ABSTRACT

Concrete structures in the marine environment often deteriorate in the early stage of their service life because of contact with various aggressive conditions. In recent years, the study on the concrete in the marine environment are carried out to increase their service life. In this experimental study, the concrete specimens were prepared with various adding contents of inorganic antifouling agent(0~3.0wt%) composed to some fluosilicate solution. For evaluatin of the physical and chemical properties of concretes containing inorganic antifouling agent, various tests such as setting time, slump loss, compressive strength, water absorption rate, freezing and thawing resistance and SEM micrographs of concrete, were conducted. As the results, physical and chemical properties of concretes were improved with an adding of inorganic antifouling agent. From the results of various tests, the optimal adding contents of antifouling agent was 1.0wt%.

1. 서론

최근에 신거주 공간의 창조 및 확대를 목적으로 해상도시, 해상비행장, 해상발전소 등과 같은 해양 구조물의 수요증가에 따라 해양 콘크리트의 수명연장을 위하여 내구성 향상에 관한 연구가 진행되고 있다. 해양 콘크리트는 해수의 화학작용, 기상작용, 파랑이나 표류물에 의한 충격 및 마모작용 등의 작용으로 가혹한 환경하에서 각종 열화의 문제점이 지적되고 있다. 특히, 어패류 등의 해양 부착생물은 해양 구조물의 미관을 크게 손상시키고, 상기의 열화작용으로 콘크리트의 수명을 저하시키는 것으로 보고되고 있다. 따라서 해양 콘크리트를 적극 활용하기 위해서는 콘크리트의 내구성 및 해양 생물의 부착을 억제시키는 방오기능성이 필요하다. 현재까지 해양 생물부착을 억제하는 방오제로는 TBT (tributyltin)가 사용되었지만, 강한 독성으로 해양생태계의 파괴때문에 전세계적으로 사용금지된 실정 이므로, 생태계에 영향을 미치지 않는 저독성 방오기능성 혼화제의 개발이 절실히 요구되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 해양 콘크리트의 내구성을 개선하고, 해양생물의 부착을 방지하기 위하여 저독성의 방오기능성 혼화제를 사용한 콘크리트의 물리·화학적 특성에 대한 연구를 진행하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

- * 정희원, 대전대학교 건축공학과 석사과정
- ** 정희원, (주)트라이포드 선임연구원
- *** 정희원, (주)트라이포드 이사, 공학박사
- **** 정희원, (주)트라이포드 대표이사, 공학박사
- ***** 정희원, 대전대학교 건축공학과 교수

2.1 실험계획

본 연구에서는 방오기능성 혼화제(AF)의 첨가량에 따른 콘크리트의 특성을 연구하기 위해서 표 1과 같이 실험계획 및 시험항목을 작성하였다. 표 1에서 콘크리트는 현장배합을 기준으로 고로슬래그를 30wt% 시멘트 대체하였고, AF의 첨가량은 시멘트 대비 0~3.0wt%로 하였다. 이와같이 평가는 KS에 기준하여 진행하였다.

표 1. 실험계획 및 시험항목

구분	물결합비 (%)	잔골재율 (%)	고로슬래그 (%)	AF혼입률 (C×wt%)	굳지않은 콘크리트 시험항목	경화 콘크리트 시험항목	기타
Plain	45	46	30%	0%	슬럼프(KSF2402) 응결시험(KSF2436)	압축강도(KSF2405) 흡수율(KSF2456) 동결융해저항성(KSF2456)	SEM관찰 복로시험
AF				0.5, 1, 1.5, 2, 3			

주) AF는 방오기능성 혼화제(Antifouling agent),

2.2 사용재료 및 비빔순서

사용재료 기초물성은 표 2와 같다. 표 2에서 AF는 Mg, Zn 및 Cu를 사용한 규불화염계로 고형분 농도는 20±1wt%이었다. 비빔순서는 100ℓ 강제팬타입 믹서로 시멘트, 모래, 고로슬래그를 투입하여 30초간 건비빔하였고, AF를 혼합수와 혼합하여 믹서에 넣고 60초간 비빔후에 굵은 골재를 투입하여 60초간 비빔하였다. 온도 20±1℃의 범위에서 항온·수중양생을 하였다.

표 2. 사용재료

구분	내용	구분	내용
OPC	분말도 3421(cmf/g), 비중 3.14, 안정도(%)0.03	고로슬래그 미분말	분말도5962(cmf/g), 비중 2.91
잔골재	강모래, 최대치수5mm, 비중 2.68, 조립율 2.42	방오기능성 혼화제(AF)	비중 1.154±0.05, 액상
굵은골재	쇄석, 최대치수25mm, 비중 2.59, 조립율:6.92	고성능 감수제	나프탈렌계, 비중 1.185±0.05

4. 실험결과 및 분석

4.1 굳지않은 콘크리트

4.1.1 응결시간

AF의 첨가량에 따른 콘크리트의 응결시간을 측정한 결과는 그림 1과 같다. 그림 1에서 AF의 첨가량이 증가함에 따라 콘크리트의 응결시간이 점점 지연되는 결과가 나타났고, AF를 1.5wt% 이상 첨가하면 지연효과가 더욱 크게 나타났다. 이러한 과도한 지연은 AF 성분중 규불화마그네슘에 의한 효과로 사료되며, 시공현장을 감안한 AF의 사용량은 시멘트 대비 1wt% 이하가 적당한 것으로 사료된다.

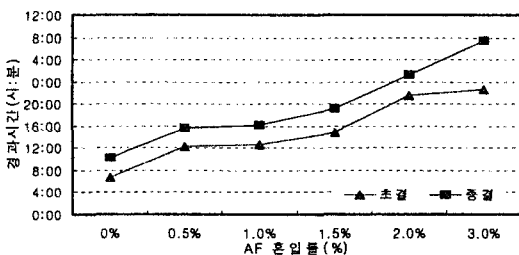


그림 1. AF 첨가량에 따른 콘크리트 응결시간

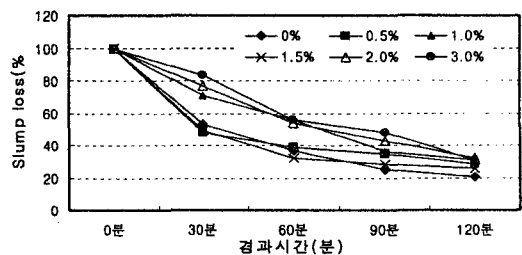


그림 2. AF 첨가량에 따른 콘크리트 슬럼프로스(%)

4.1.2 슬럼프로스(Slump loss)

그림 2는 AF의 첨가량에 따른 슬럼프로스의 측정결과이다. 그림 2에서 AF의 첨가량이 증가함에 따라 콘크리트의 슬럼프가 Plain(0wt%)에 비해 장시간 유지됨으로써 슬럼프로스(%)가 높게 나타나고 있다. 특히, AF의 첨가율이 1.0wt% 이상인 경우 경과시간 120분까지 슬럼프가 높게 유지되었다. 따라서 AF의 첨가에 따라 콘크리트의 유동성이 Plain보다 장시간 유지되는 결과로부터 AF의 사용으로 콘크리트의 슬럼프로스를 다소 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

4.2 경화 콘크리트의 물성

4.2.1 압축강도

AF의 첨가량에 따른 콘크리트의 압축강도를 결과는 그림 3과 같다. 그림 3에서 AF를 첨가한 콘크리트는 재령 3일에서 Plain보다 저하되었지만, 재령 7일 이후에는 증가하였고, 재령 56일에 AF를 1.0wt% 첨가한 콘크리트의 압축강도가 가장 높게 나타났다. 초기 재령에서 AF를 첨가한 콘크리트의 압축강도가 Plain보다 낮게 나타난 원인은 AF의 주성분인 규불화염이 수화반응을 지연시켜 강도발현이 지연된 것으로 사료된다. 그러나 재령경과에 따라 규불화염이 시멘트 수화물과 수화반응하여 생성된 난용성 금속불화물 및 규산칼슘수화물의 미세공극을 충전시켜 AF를 첨가한 콘크리트의 압축강도가 Plain보다 증가된 것으로 사료된다.

4.2.2 흡수율

그림 4에는 AF의 첨가량에 따른 콘크리트의 흡수율의 결과를 나타낸 것이다. 그림 4의 (a)에서 흡수율은 AF의 첨가량 및 시간변화에 관계없이 Plain과 유사하였지만, (b)에서는 AF의 첨가량에 따라 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히, (b) 28일에서 흡수율은 AF 1wt%를 기준으로 감소하다가 증가하는 경향을 나타내었다.

4.2.3. 동결융해 저항성에 의한 상대동탄성계수

그림 5와 6은 AF의 첨가량에 따른 콘크리트 공시체의 급속동결융해 시험을 통해 얻어진 상대동탄성계수와 내구성지수의 결과이다. 그림 5에서 Plain의 상대 동탄성계수는 235사이클에서 60% 이하로 나타났지만, AF의 첨가량 증가로 상대 동탄성계수는 Plain보다 높게 나타났고, 특히 1wt%인 경우에 상대적으로 가장 높은 동결융해 저항성을 나타내었다. 이것은 AF의 주성분인 규불화염이 시멘트와 반응하여 콘크리트의 내부공극에 수화물을 생성시켜 수밀해졌기 때문으로 사료되며, 그림 6의 내구성 지수의 결과도 유사하게 나타났다. 반면에 AF의 첨가량이 1.5wt% 이상되면 상대동탄성 계수는 오히려 감소함으로써 AF의 첨가량이 콘크리트의 내구성에 매우 중요한 변수임을 알 수 있었고, 상기 압축강도 및 흡수율의 결과로부터 AF의 최적 첨가량은 시멘트 대비 1.0wt%임을 알 수 있었다.

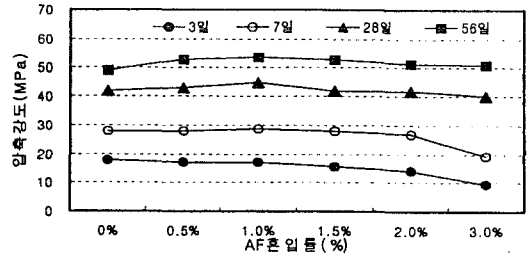
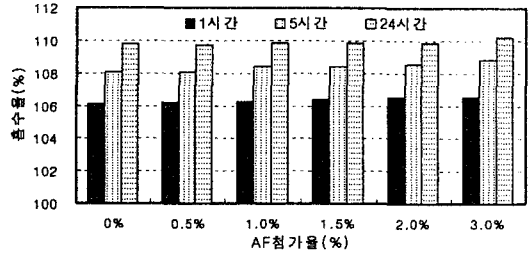
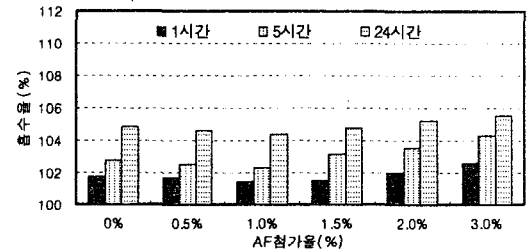


그림 3. AF 첨가량에 따른 콘크리트 압축강도(MPa)



(a) 재령 7일



(b) 재령 28일

그림 4. AF 첨가량에 따른 콘크리트 흡수율

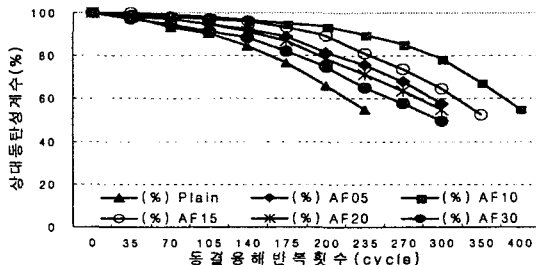


그림 5. AF 첨가량에 따른 콘크리트 동결융해저항성

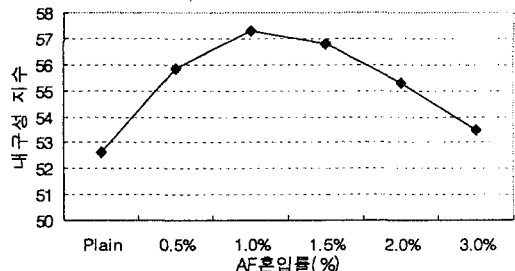


그림 6. AF 첨가량에 따른 동결융해 내구성 지수

4.2.4. 수화생성물의 관찰

그림 7에는 Plain과 AF를 1.0wt% 첨가한 시멘트 수화생성물을 수화시간(6hr, 48hr)에 따라 관찰한 SEM사진이다. 그림 7의 (a)에서 미수화생성물과 수화생성물 사이에 미세공극이 존재함을 관찰할 수 있다. 반면에 (b)의 시멘트 수화생성물에는 미수화생성물 주변에 새로운 수화생성물이 미세공극을 충전시키고 있다. 특히 48hrs 경과후 수화생성물들은 더욱 치밀한 구조로 되었다. 따라서 AF의 첨가로 수화생성물은 Plain보다 치밀한 구조를 보임으로써 콘크리트의 물성이 향상된 것으로 사료된다.

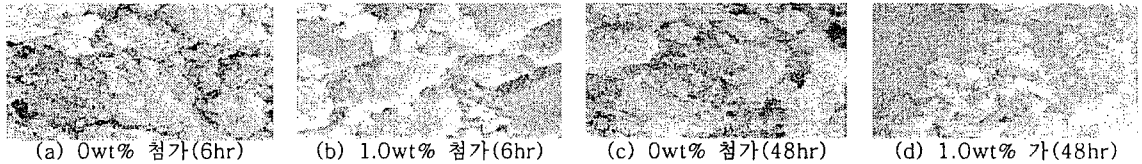
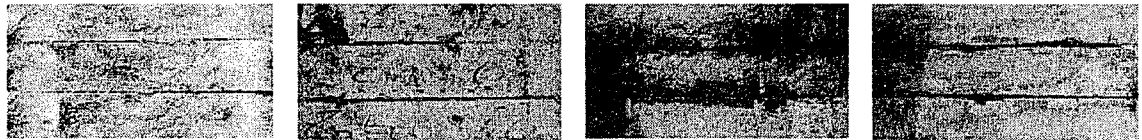


그림 7. AF를 첨가한 시멘트 수화생성물의 SEM 사진

4.2.5. 방오기능성 관찰

AF의 첨가량에 따른 콘크리트를 4개월간 폭로시험한 결과는 그림 8과 같다. 그림 8에서 AF를 첨가하지 않은 (a)의 경우 해양 생물이 다량 부착되어 있지만, AF를 첨가한 (b), (c) 및 (d)에서는 해양 생물의 부착이 Plain보다 크게 감소되었고, 첨가량의 증가에 따라 감소현상이 크게 나타났다. 특히 3.0wt%를 첨가한 공시체에서는 해양 생물이 전혀 부착되지 않았다.



(a) 0wt% 첨가 (b) 1.0wt% 첨가 (c) 2.0wt%첨가 (d) 3.0wt%첨가

그림 8. AF 첨가량에 따른 공시체의 폭로시험(4개월) 관찰 사진

5. 결론

본 연구에서 무기계 방오기능성 혼화제(AF)를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 실험을 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) AF 첨가 콘크리트의 응결시간은 Plain보다 지연되었고, 첨가량 증가에 따라 지연효과는 더욱 커졌다. 한편, AF첨가는 콘크리트의 유동성을 유지시켜 경시변화에 따른 슬럼프로스를 개선시켰다.
- (2) 경화 콘크리트의 압축강도 및 흡수율의 측정결과, Plain보다 AF를 1wt% 첨가한 콘크리트의 28일 압축강도가 7%이상 향상되었고, 흡수율도 Plain보다 다소 감소되었다.
- (3) 동결융해 저항성에 의한 상대동탄성계수와 내구성지수는 AF의 첨가로 개선되었고, SEM 사진을 관찰한 결과 관찰을 Plain보다 치밀한 구조를 갖고 있음을 확인할 수 있었다.
- (4) 폭로시험 결과, AF를 1.0wt% 이상 첨가하면 해양 생물의 부착을 크게 억제할 수 있으며, AF의 최적 첨가량은 시멘트 대비 1.0wt%로 나타났다.

참고문헌

1. A. M. Neville, Properties of Concrete, Longman, pp.490-495
2. 한국콘크리트학회, 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997. 3, pp.134-142
3. 최익창, "해양콘크리트 구조물의 장기 내구성에 대한 고찰"목포해양대학교 논문집. Vol6, No.3, pp.115-126, 1991.1
4. P. Kumar Mehta, Concrete Structure, Properties, and Materials, Prentice Hall, pp.17-41
5. Peter H.Emmons, Concrete Repair and Maintenance Illustrated, pp.22-27
6. Geoff Mays, Durability of Concrete Structures, Investigation, Repair, Protection, pp. 3-15