

항만콘크리트의 내구실험과 현장적용

Durability Test and Field Application of Marine Concrete

강희철* 정원기** 이규정*** 박우선****
Kang, Hee Chul Chung, Won Ki Lee, Kyu Jung Park, Woo Sun

ABSTRACT

This paper covers durability and field application of marine concrete which have been enhanced the resistance against deterioration in seawater. Fly ash concrete is applied to make the concrete with good durability. It is well known fly ash in concrete has a good performance preventing from a sulphate attack and a steel corrosion. Several durability tests were performed to find characteristics of marine concrete which is proposed in this paper comparing with normal concrete. Field application was executed to compare results with laboratory test and to give a reliability to engineers. The project was supported by Ministry of Marine Affairs and Fisheries for two years.

1. 서론

최근 들어 염해에 의한 철근의 부식 및 콘크리트의 부식이 구조물의 노후화 촉진에 많은 문제점(구조물 사용연한 단축, 구조물 유지관리 비용 증대 등)으로 대두되고 있다. 특히 항만구조물은 해수에 접하는 장소에 건설되기 때문에 염해에 의하여 부식되기 쉬운 열악한 환경에 놓여 있게 되므로 콘크리트의 내구성 향상에 대한 관심이 고조되고 있다. 이것은 아무리 성실한 시공을 한다하여도 구조물에 대한 내구성 확보가 부족하면 환경적 요인에 의하여 구조물의 성능저하현상이 필연적으로 수반된다고 할 수 있다. 따라서 콘크리트의 단기 및 장기 강도 특성뿐만 아니라 투수, 부식, 동결융해, 내황산염 저항성 등 콘크리트에 대한 전반적인 내구특성 및 실용화에 대한 연구개발 필요성이 부각되고 있다.

본 연구소에서는 지난 2년간 플라이애쉬를 적용한 내구성 콘크리트의 특성을 분석하여 우수한 내구성능향상을 입증한 바 있다.^{(7),(8)} 이들 연구에서는 설계자와 시공자로부터 내구성 콘크리트의 신뢰도를 높이기 위해서 실내시험의 결과와 현장 시험시공의 결과를 검토, 분석하여 현장 시험시공시 발생된 문제점을 도출 보완 하였다. 또한 항만콘크리트 구조물에 내구성 콘크리트의 적용으로 인한 경제성 증대와 항만콘크리트의 내구성 콘크리트 일반화에 기여하고자 하였다.

2. 항만 구조물의 성능저하

- * 동아건설산업(주) 기술연구원 주임연구원, 공학석사
- ** 동아건설산업(주) 기술연구원 수석연구원, 공학박사
- *** 동아건설산업(주) 기술연구원 주임연구원, 공학석사
- **** 한국해양연구소 책임연구원, 공학박사

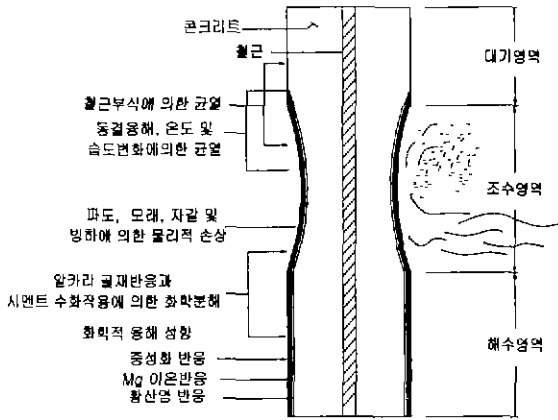


그림 1. 해수에 노출된 철근 콘크리트 구조물의 부식도

항만구조물의 부식종류와 열화의 정도는 노출조건에 따라 다르다(그림 1). 해수면 내에 위치한 철근 콘크리트 단면은 철근부식과 동결융해 피해를 적게 받으나 황산염 피해 등 화학작용에 의한 부식이 발생된다. 해수면 위의 단면은 철근부식 및 동결융해 피해가 심하다. 그러나 가장 심각한 부위는 물리적(파도 및 모래에 의한 세굴), 화학적 피해를 받는 포말대 부위이다. 해양 구조물의 경우 해수에 의한 철근부식과 황산염반응이 여러 가지 성능저하 원인중 중요한 위치를 차지하므로 이 두 가지 원인 및 대책에 대하여 표 1에 나타내었다.

표 1 항만 콘크리트의 주요 성능저하 원인과 문제점

성능저하 요인	발생되는 문제점	품질에 미치는 영향
염해	철근부식 콘크리트 피막의 탈락	- 균열발생, 강도저하 - 구조적 문제 발생
황산염	황산염반응에 의한 콘크리트 부식 팽창용력 발생 철근부식 촉진	- 균열발생, 강도저하 - 구조적 문제 발생
동결융해	동결융해작용에 의한 성능저하	- 강도저하

3. 고내구성 해양콘크리트

3.1 연구개발 개요

본 연구개발에서 적용하는 배합비는 현장 적용성을 고려하여 플라이애쉬 대체율을 10, 15%로 하여 콘크리트 설계압축강도 240, 280 kg/cm²으로 배합비를 구분하였다. 일반적으로 재령별 강도시험 외에 다음과 같은 각종 내구성 시험(동결융해시험, 철근부식시험, 황산염시험, 투수성시험)을 수행하여 향상된 내구성을 입증하였으며 다수의 현장에 실용화 시험시공을 통하여 현장적용성을 실현하였다. 강도별 플라이애쉬 혼입률에 따른 시험변수와 그에 대한 시방배합은 표 2와 같다.

3.2 강도특성 및 유동성

배합변수 별 압축강도 내구성 배합은 목표강도이상 발현하였다. 시공성을 증진시키기 위해 콘크

표 2 고내구성 해양콘크리트의 시방배합

항목 실험 변수	시멘트 (kg/m ³)	W/C (%)	FlyAsh (kg/m ³)	골재 (kg/m ³)	잔골재 (kg/m ³)	굵은골재 (kg/m ³)	S/a (%)
A-F-10	320	49.9	36	178	762	1039	43.3
A-F-15	331	47.3	58	184	749	1022	43.3
B-F-10	364	46.2	41	187	700	1037	41.3
B-F-15	354	43.5	62	181	706	1045	41.3

표 3 재령 따른 콘크리트의 측정 강도

항목 실험 변수	압축강도(kg/cm ²)			
	3일	7일	28일	56일
NA-F-0	138	203	253	271
DA-F-10	151	222	297	331
DA-F-15	195	247	338	373
NC-F-0	188	229	301	320
DB-F-10	181	253	333	366
DB-F-15	204	251	331	396

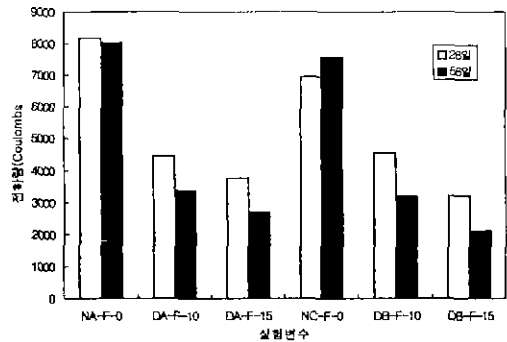


그림 2 일반콘크리트와 고내구성해양콘크리트의 투수성 비교

리트 타설시 15±3cm의 슬럼프를 유지하도록 각 배합비마다 슬럼프 경시변화를 고려하여 고유동화 제약을 조절하였으며 4±1.5%의 공기량을 유지시키도록 공기연행제를 첨가하였다. 각각의 콘크리트 종류에 따른 재령별 강도는 표 3과 같다. 표 3에는 고내구성 해양콘크리트 외에 일반레미콘 제품(NA-F-0, NC-F-0)의 강도도 나타내었다.

3.3 내투수성

고내구성 콘크리트는 내투수성(수밀성)이 탁월 하여 일반적인 투수시험으로는 그 지표를 구할 수 없어 염소이온 투과시험인 ASTM C1202-91, AASHTO T259의 방법에 의거하여 수행하였다.⁽²⁾ 실험결과 단위시멘트의 증가는 콘크리트 내투수성을 증가시키는데 효과적이거나 적정혼화제의 선정 및 혼입량의 결정이 더욱 효율적임을 알 수 있다. 그림 2에서 보듯이 일반 콘크리트에 비하여 내투수성이 상당히 증대되어 있음을 알 수 있다.

3.4 동결융해 저항성

콘크리트 시편에 간극수의 빙점이하의 온도, 빙점 이상의 온도를 주기적으로 가하는 실험으로 KS F 2456, ASTM C 666에 의거하여 급속동결 융해 시험을 실시하였다.⁽²⁾ 기존 연구에서 공기량이 적은 콘크리트는 동결융해 CYCLE은 60을 넘지 못하고 내구성 지수가 60%이하로 저하되는 것으로

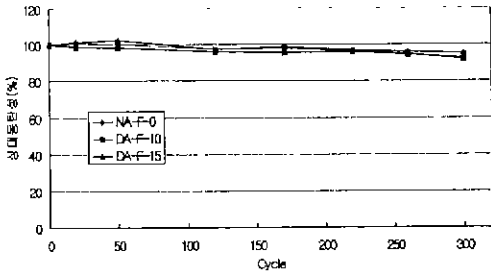


그림 3 현장콘크리트의 동결융해 저항성
(설계강도 240kg/cm²)

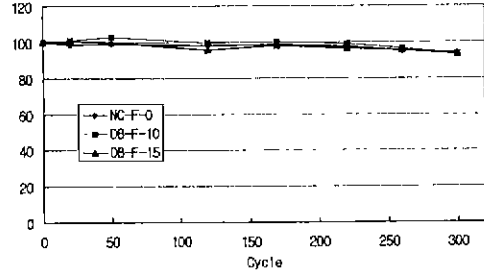


그림 4 현장콘크리트의 동결융해 저항성
(설계강도 280kg/cm²)

보고되고 있다.⁽⁶⁾ 따라서 고내구성 콘크리트에 적정 공기량을 포함시켜 동결융해 300CYCLE 이상에서도 상대동탄성 계수를 80% 이상을 유지하여 동결융해 저항성을 극대화시켰다.(그림 3,4) 이번 실험결과로부터 일반레미콘도 적정 공기량을 함유하고 있으면 동결융해 저항성에 좋은 특성을 보유함을 알 수 있다.

3.5 황산염 저항성

황산염해의 접근방법은 다양하나 본 실험은 ASTM C1012-95에 근거하여 이루어졌으며 10% 황산나트륨에 대한 콘크리트 내황산염 저항성을 측정하였다.⁽²⁾ 이 실험은 시편의 팽창성을 측정하여 저항성을 평가하는 방법으로 팽창하는 속도가 완만하다면 황산염 저항성이 크다고 말할 수 있다. 이번 실험결과에 의하면 일반 콘크리트에 비하여 5종시멘트를 적용한 콘크리트는 저항성이 우수하며 또한, 플라이애쉬를 적용한 고내구성 콘크리트도 동등한 황산염 저항효과를 보여주고 있다. 따라서 5종시멘트가 고가임을 고려할 때 1종시멘트와 혼화제를 적용한 고내구성콘크리트가 경제적이라고 할 수 있다. 그림 5은 1종 시멘트와 플라이애쉬를 15% 함유한 고내구성 콘크리트 그리고 5종 시멘트에 대한 내 황산염 시험 결과이다. 이는 플라이애쉬를 포함한 고내구성 콘크리트는 5종시멘트와 비슷한 황산염 저항성을 가지고 있음을 보여주고 있다. 그림 6와 그림 7은 고내구성 해양콘크리트가 일반 콘크리트에 비해 좋은 황산염 저항성을 가지고 있음을 보여주고 있다.

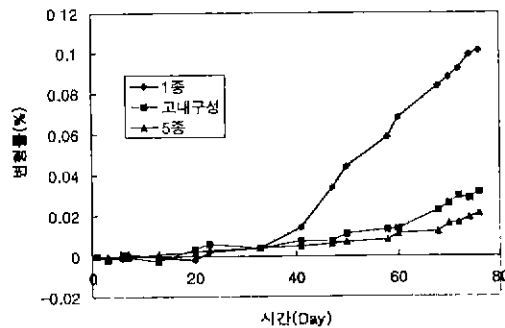


그림 5 시멘트 종류별 내황산염 실험

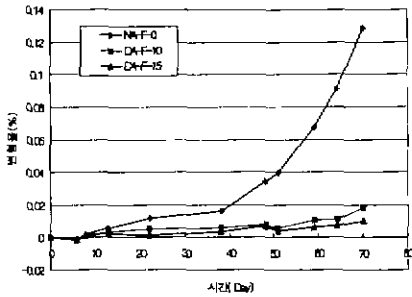


그림 6 현장콘크리트의 황산염 저항성
(설계강도 240kg/cm²)

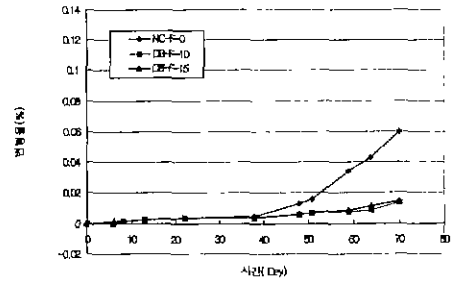


그림 7 현장콘크리트의 황산염 저항성
(설계강도 280kg/cm²)

4. 고내구성 해양 콘크리트 현장타설

고내구성 해양 콘크리트를 실제 적용하기 위해서는 현장에서의 시험시공으로 부더의 검증이 불가피하다. 이번 연구에서는 실제 바닷물에 접하여 일반콘크리트에 비해 부식동에 열악한 환경에 놓여있는 구조물을 선정하여 현장 타설을 실시하여 시공성을 측정하고 추후 내구성을 측정하기 위하여 여러 공시체를 제작하였다. 선정된 현장타설지는 당사 광양항만현장으로써 여러 구조물중 케이슨위 상치 콘크리트를 대상으로 정하였다. 이 구조물은 조수간만의 차로 인해 침수와 노출이 반복되는 가장 부식에 열악한 부분으로 콘크리트의 내구성 확인에 적절한 위치로 판단된다. 현장 배합은 시공성을 고려하여 실내시험으로부터 구한 최적배합설계를 현장골재에 맞추어 수정하였다. 운반거리 및 대기 시간에 맞춰 슬럼프 및 공기량에 대한 요구범위를 만족하게 하였으며 특히 하절기에 시공하였기 때문에 슬럼프 손실량을 고려하였다. 현장 타설은 예비시험을 수행했던 동일한 레미콘공장을 이용하였으며 설계기준 강도는 240kg/cm² 및 280kg/cm² 두 종류로 설정하였다. 그림 8은 현장 타설 장면이다. 두 배합의 타설시 평균 슬럼프는 15.8cm, 16.4cm이고 공기량은 4.9%, 4.7%로서 매우 만족스러운 결과를 보였다. 따라서 내구성 콘크리트의 시공성에는 전혀 문제가 없으며 오히려 유동성을 증진시켜서 공성 증진효과를 기대할 수 있다. 본 구조물에 타설된 2종류의 배합을 포함한 총 6종류의 배합에



그림 8 고내구성 해양 콘크리트의
현장 타설 장면

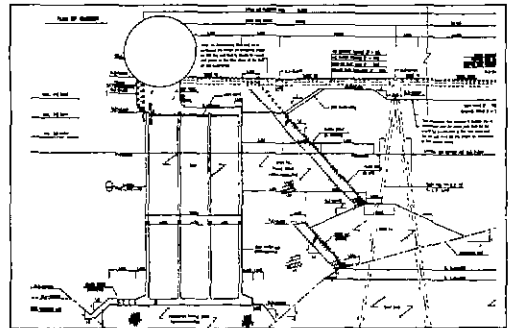


그림 9 타설대상인 상치콘크리트와 주변
구조물 설계도면

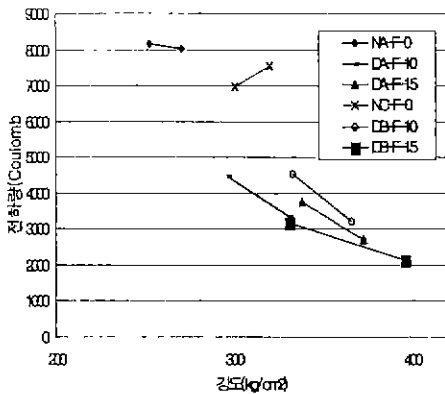


그림 10 콘크리트강도에 따른 투과성

대한 각종 내구성 실험용 공시체를 현장에서 제작 거치 하였다. 이들 공시체는 장기거동용 공시체들로서 주기적으로 관찰하여 실내축진 실험과 비교할 예정이다. 현장 타설 후 각각의 배합에 대한 염소이온투과 실험을 실시한 결과 플라이애쉬를 혼합하지 않은 일반 콘크리트는 강도에 관련 없이 염소이온 투과율이 7,000 ~ 8,000 Coulomb로서 일반강도의경우 플라이애쉬를 혼합한 내구성 콘크리트보다 염소이온 투과율이 상당히 클 수 있다.(그림10) 따라서 내투수성을 증진시키기 위해서는 강도증진 뿐만 아니라 혼화재(플라이애쉬, 고로슬래그)의 혼입이 보다 더 중요한 역할을 함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 다양한 실내시험을 수행하여 고내구성 해양 콘크리트의 특성을 분석하였고 내구성 콘크리트의 내구성능향상을 입증하고자 하였고 설계자와 시공자로부터 신뢰도를 높이기 위해서는 시험 시공을 통하여 시공시 문제점 발생 여부와 해결방안, 실내실험결과와 현장시공결과를 비교검토를 실시 하였다. 내구성을 증진하기 위하여 콘크리트의 강도 증진 및 물-시멘트비 제한에 부가하여 혼화재 (Mineral admixture)를 시멘트 결합재로 사용하면 혼화재 미립자들이 콘크리트의 미세 공극을 채워 조직을 더욱 더 치밀하게 하여준다. 따라서 항만 콘크리트 구조물에 포졸란 재료(플라이애쉬 및 고로슬래그)의 사용은 산업폐기물의 재활용 측면, 재료비 절감뿐만 아니라 내구성을 대폭 향상 시켜주는 시멘트 결합재라고 할 수 있다. 이들 재료의 혼합은 콘크리트의 조직을 치밀하게 하는 역학적 이점뿐만 아니라 내화학적 저항성을 갖게 한다. 즉, 이들 혼화재의 포졸란 반응은 황산염 반응, 알칼리-골재 반응 등 콘크리트 내구성을 저하하는 화학적 반응에 대한 저항성이 강하다. 특히 해수의 영향을 받는 항만구조물에 적용하는 고가의 내황산시멘트(5종시멘트)의 대체 효과를 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

1. ACI Manual of Concrete Practise, 1992.
2. Annual Book of ASTM Standard, 1997.
3. G. Sam Wong, Toy Poole, "Sulfate Resistance of Mortars Made Using Portland Cement and Blends of Portland Cement and Pozzolan or Slag", Technical Report SL-88-34, USAE Waterways Experiment Station Structures Laboratory, 1988.
4. M. D. Cohen and B. Mather, "Sulfate Attack on Concrete - Research Needs," ACI Materials Journal, pp. 62-69, Jan.-Feb., 1991.
5. P. Schubert, "Carbonation Behavior of Mortars and Concretes Made with Fly Ash," ACI SP100, pp. 1945
6. 건설교통부, "고품질 시공을 위한 고내구성 콘크리트의 개발 및 실용화 연구", 동아건설산업(주) 1996.
7. 해양수산부, "항만콘크리트구조물의 내구성 증진 실용화 기초연구", 동아건설산업(주), 1998.
8. 해양수산부, "고내구성 해양콘크리트의 실용화 연구", 동아건설산업(주), 1999.