

고내구성 콘크리트 개발 및 실용화 연구

A Study for Development and Actual Application of High Durability Concrete

오 병환*, 정 원기**, 강 승희**, 장 봉석***, 조 윤구***
Oh B. H., Jeong W. K., Kang S. H., Jang B. S., Cho Y. G

ABSTRACT

High durability concrete increasingly studied in various countries. This report presents the data on durability related properties such as the chloride ion permeability, the resistance to freezing-thawing, the corrosion of steel and the resistance to sulfate attack. To promote the actual application of high durability concrete, several series of high durability concrete have been made and applied to actual structures.

1. 개요

콘크리트 대형 구조물 즉, 국도상의 교량, 댐, 항만 등의 국가의 기반 시설물로서 그 중요성이 날로 부각되고 있으며, 우리나라의 공업화 당시에 건설된 각종 구조물들은 성능저하로 그 구조물의 기능에 의문이 제기되고 있고, 또한 국가의 주요 구조물의 빈번한 보수는 국민들의 불편과 국가의 경쟁력 저하 등의 문제들을 야기시킨다.

따라서, 본 연구에서는 콘크리트 구조물에 발생하는 성능저하에 적절히 대처할 수 있는 고내구성 콘크리트의 개발 및 실용화를 위하여 여러 변수들에 대하여 각종 내구성 실험을 수행하였으며, 이를 현장에 직접 적용하여 그 적용성을 검토, 분석하였다.

2. 시험종류 및 변수

본 연구에서는 고내구성 콘크리트의 개발을 위하여 공기량 및 혼화제(실리카흙, 플라이애쉬, 고로슬래그)를 주요 변수로 하여 투수성시험, 동결융해시험, 철근부식시험, 황산염시험 등의 내구성 시험을 수행하였으며, 현장 적용성을 검토하기 위하여 당진 화력발전소 TTP현장에 직접 시험시공하는 현장실험을 수행하였다.

내구성 시험은 단위시멘트량 350kg/m³과 550kg/m³대하여 실리카흙 0%, 10%, 20%, 플라이애쉬 0%, 15%, 30%, 고로슬래그

0%, 12.5%, 25%를 대체한 경우와 공기연행을 한 경우와 공기연행을 하지 않은 경우에 대하여 각종 내구성시험을 수행하였으며, 현장적용 실험은 내구성 시험 변수중에서 몇가지 경우에 대하여 현장 타설시험을 수행하였으며, 그 변수는 표.1에 나타내었다.

표.2 내구성 시험변수

실험 변수		공기량 (%)	AE제 (%)	SP (%)
19mm 골재 사용	N1-0-0	1.8	-	1.7
	N1-F15-0	1.2	-	1.5
	N1-F30-0	1.0	-	1.5
	N1-F15-0.04	3.6	0.04	1.4
	N1-S10-0	1.1	-	1.4
	N1-S20-0	1.0	-	1.5
	N1-S10-0.04	3.5	0.04	1.5
	N1-B12.5-0	3.4	-	1.8
	N1-B25-0	3.8	-	1.7
25mm 골재 사용	N1-F15,S10-0.04	4.1	-	1.6
	N1-0-0	1.9	-	1.9
	N1-F15-0.04	3.8	0.04	1.4
	N1-S10-0.04	3.7	0.04	1.5
19mm 골재 사용	N1-F15,S10-0.04	3.9	-	1.5
	H1-0-0	1.6	-	1.8
	H1-F15-0.04	4.2	0.04	1.7
	H1-S10-0.04	4.0	0.04	1.7
	H1-F15,S10-0.04	3.8	-	1.6
	N5-0-0	1.6	-	1.2
	N5-F15-0.04	4.1	-	0.6
	N5-S10-0.04	3.9	-	0.8
25mm 골재 사용	N5-B12.5-0	1.9	-	1.0
	N1-0-0(방청제1%)	2.1	-	2.0
	N1-0-0(방청제2%)	2.4	-	1.9

* : 서울대학교 토목공학과 교수, 정희원

** : 동아건설산업(주) 기술연구소, 정희원

***: 서울대학교 토목공학과 대학원, 정희원

2.1 투수시험

콘크리트의 투수특성을 알아보기 위하여 전위차에 의한 촉진 시험방법인 ASTM C1202-91 “Electrical indication of concrete’s ability to resist chloride ion penetration”와 AASHTO T259의 방법에 의거하여 수행하였다

표.1 통과전하량에 따른 염소이온 투과성

통과 전하량 (Coulombs)	염소이온 투과성
4000이상	높음
2000~4000	보통
1000~2000	낮음
100~1000	매우 낮음
100이하	무시할만함

2.2 동결융해시험

콘크리트의 동결융해 작용에 의한 성능 저하 및 내구성을 측정하기 위한 시험은 콘크리트 시편에 간극수의 빙점이하의 온도, 빙점 이상의 온도를 주기적으로 가하는 실험으로 KS F 2456(급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험법), ASTM C 666 (Resistance of concrete to rapid freezing and thawing)에 표준시험 방법에 의거하여 수행하였다.

2.3 철근부식시험

콘크리트에 매설된 철근의 부식실험 방법중 자연 침투방법은 장시간의 실험시간이 필요하고 이러한 방법은 장시간의 관리가 어려운 점이 있다. 따라서 촉진시험이 보편화되어 있고 촉진방법으로는 오토클레이브에 의한 촉진과 전압에 의한 촉진으로 나눌 수 있고 본 연구에서는 전위차에 의한 부식촉진 실험을 수행하였다. 전위차에 의한 강제 부식방법은 실험에 소요되는 시간이 자연 침투방법과 다른 촉진 실험에 비해 매우 짧고 또한 각 시편간의 특성들이 명확하게 나타내어지는 장점이 있다. 물론 이러한 방법이 실제 환경에서의 부식과는 다르지만 동일한 콘크리트 덮개가 부식을 차단하는 저항성에 대한 비교 지표로는 충분한 자료로 활용 가능할 것으로 사료된다.

2.4 황산염시험

황산염해에 관한 접근 방법은 다양하나 본 실험은 US Bureau of Reclamation Test Method 4908B인 10% 황산나트륨에 대한 콘크리트의 내황산염 저항성에 근거하여 길이변화를 측정하고 아울러 중량감소를 측정하였다.

3. 시험결과

3.1 내구성 시험 결과

본 연구에서 수행한 내구성시험에서는, 투수성 시험에서는 실리카흙을 혼입한 경우 콘크리트의 내투수성이 현저히 증가하는 결과를 보였으며, 이는 비표면적이 매우 큰 실리카흙이 콘크리트 내부의 미세간극을 충전한 결과로 사료되며, 플라이애쉬 및 고로슬래그도 내투수성을 향상시키는 결과를 나타내었다. 단위시멘트량의 증가는 콘크리트의 투수 저항성을 증진시키는데 효과적이나 적정 혼화재의 선정 및 혼입량의 결정이 더욱 효율적일 수 있다. 실리카흙을 혼입한 경우가 투수성을 감소시키는데 가장 효과적이며 고로슬래그의 혼입도 상당한 효과가 있음을 알 수 있다.(그림.1)

보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 보통강도배합과 동일배합설계로 내황산염 시멘트를 사용한 보통강도배합의 투수성과 부식 저항성을 비교하면 내황산염시멘트배합보다 보통포틀랜드시멘트 배합의 투수 및 부식저항성이 우수하다.

동결융해저항성은 모든 배합의 콘크리트에 대해서 공기연행으로 동결융해저항성이 증가하였으며(그림.2) 동해에 노출된 콘크리트 구조물은 공기량이 적어도 4%이상 필요하다고 판단된다. 다른 연구들에 의하면 6~7%이상의 공기량을 갖는 콘크리트는 동해에 거의 영향을 받지 않는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 내구성지수 80%이상의 값을 충족시키기 위해서는 7%이상의 공기량을 유지하는 것이 필수적이다.

실리카흙 혼입한 콘크리트가 내부식성이 크게 향상되는 결과를 보였으며 이는 내투수성 증가로 인한 것으로 사료된다.(그림.3)

내황산염시험은 제5종시멘트가 황산염저항성 증가하였으며, 플라이애쉬등의 혼화재 혼입으로 내황산염 저항성을 향상되는 결

과를 얻을 수 있었으며, 계속하여 측정을 수행중에 있다.(그림.4)

표.2 각 구조물의 내구성 적정배합

3.2 현장적용 실험 결과

현장 타설 실험은 N1-F15-0.04, N1-S10-0.04, N1-B25-0.04, H1-S10-0.04, H1-F15-0.04배합 및 현장배합인 210강도 배합에 대하여 현장 적용을 수행하였다. 고내구성 콘크리트의 현장 적용실험시 유동성은 배합직후 약 19cm에서 60분후 11cm이상으로 만족할 만한 결과를 보였으며, 28일 후 채취한 코어 공시체의 강도 또한 각각의 목표강도를 상회하는 것으로 나타나 현장 실용화 가능성을 확보하였다. 공기량은 배합 직후에는 만족할 만한 값을 보이나, 현장 도착 후(배합 후 약 40분)에는 공기량이 현저하게 떨어지는 경향을 보였으며, 이것은 혼화재 미분말이 공기를 흡착하여 생긴 현상으로 사료되며 AE제의 분할 투입 방법을 검토하여야 할 것으로 판단된다.

또한 현장 실험시 제작한 공시체(그림.5)를 현장 조건에 방치한 후, 장기간에 걸쳐 공시체의 거동을 측정·관찰하여 실내 촉진 실험과 실제 조건하에서의 내구성능을 비교·분석할 예정이다.

4. 내구성 배합 도출

본 연구에서, 고내구성 콘크리트의 적정 배합을 도출이라 함은 어떤 구조물이 노출된 특정한 열화 작용 각각에 대한 적정 배합을 결정하는 것으로 정의하였으며, 실질적으로 모든 환경에 대한 고내구성 콘크리트의 적정 배합은 사실 불가능한 것이라고 할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 특정 환경 하의 구조물을 설정하고, 그 환경에 필요한 배합을 추천하는 방법으로 고내구성 콘크리트의 적정 배합을 도출하였다. 이것을 표.2에 나타내었으며, 추천배합은 모든 시험이 완료된 후에 추천할 계획이다.

5. 결론

본 연구에서는 콘크리트 구조물물에 적합한 고품질 콘크리트를 개발 및 실용화를 위하여 시멘트종류, 단위시멘트량, 혼화재 종류 및 첨가량을 주요 변수로 강도, 유동

종 류	항 목	항목별 중요도				추천 배합
		동상	부식	황산염	투수	
토목 구조물	교량					
	가) 지역별					
	- 중부이륙 및 산간지방	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆	
	- 해안지역	☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	
	나) 교량별					
	- PC, 강대 교량	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	
	- 일반교량	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	
	콘크리트댐	☆☆	☆	☆☆	☆☆☆	
	박스구조물					
	가) 지하철	☆	☆☆☆	☆☆	☆	
나) 수로	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆		
다) 지하 통로	☆	☆	☆☆	☆☆		
하수처리장	☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆☆		
방수능해기물 저장소	☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆		
화학물 저장소	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆☆		
터널	☆	☆	☆☆☆	☆☆☆		
장만시설	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆		
원자력발전소	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆		
건축 구조물	중공전통(학교, 백화점, 터미널, 박물관 등)	☆	☆☆☆	☆	☆	
	아파트					
	20층 이하	☆	☆☆	☆	☆	
20층 이상(고층아파트)	☆	☆☆	☆	☆		
일반 건물	☆	☆☆	☆	☆		

☆:보통, ☆☆:약간 중요함, ☆☆☆:중요함, ☆☆☆☆:매우 중요
 1: 450kg/cm² 이상, 2: 500kg/cm²~300kg/cm², 5: 300kg/cm² 이하
 * : 본 결과는 앞으로 곧 실험결과가 완료되는 대로 추천 예정이다

성 및 내구특성시험을 수행하였고, 계속하여 진행중이며, 실용화를 위한 현장 적용성 실험도 수행하였다. 이를 통하여 고내구성 콘크리트의 적정배합을 도출할 계획이며, 내구성 시험과 현장 적용실험을 통하여 현장조건과 촉진시험의 상관관계를 정립함으로써 합리적으로 내구성을 고려한 설계와 시공이 가능할 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

1. 콘크리트 표준시방서, 건설부, 1988.
2. 도로교 표준시방서, 건설부, 1992.
3. ACI Manual of Concrete Practise, 1992.
4. Annual Book of ASTM Standard, 1989.
5. Neville, A.M., Properties of concrete, 3rd edition, 1981.
6. Mindess, S., Young, J.F., Concrete, 1981.
7. Mehta, P. K., Concrete: Structure, Properties, and Materials, Prentice-Hall, Inc., 1986.

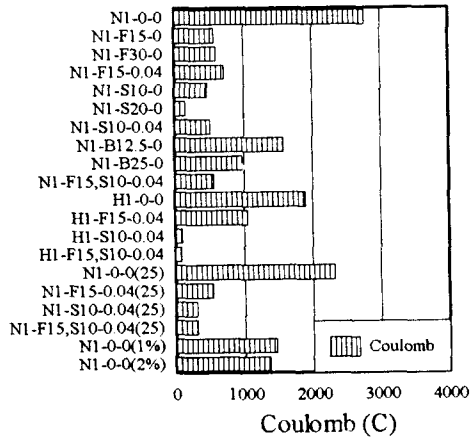


그림.1 투수시험 결과

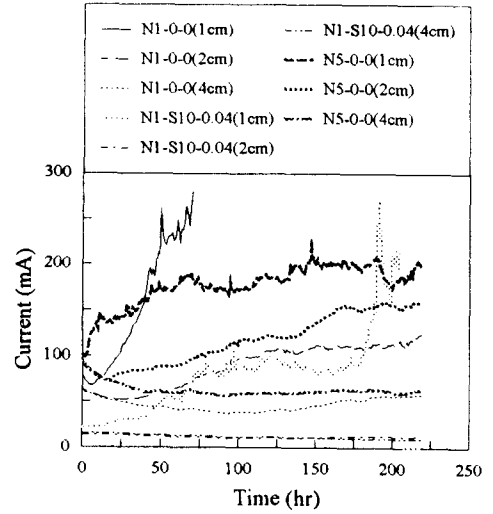


그림.3 부식시험 결과

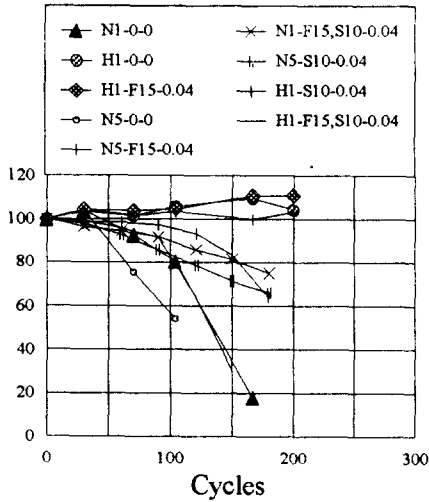


그림.2 동결융해시험 결과

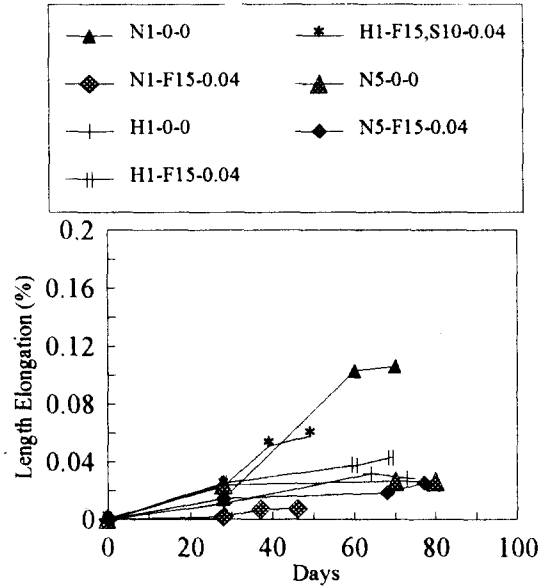


그림.4 황산염시험 결과

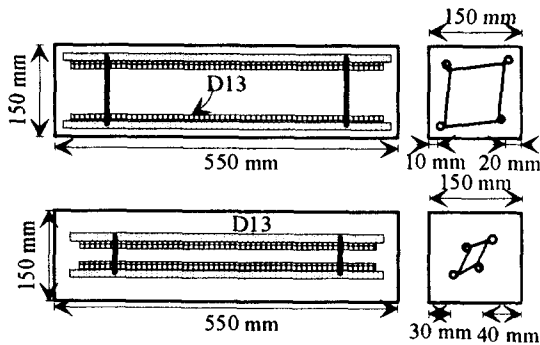


그림.5 장기거동 측정용 공시체