

# 삼성분계 시멘트를 사용한 콘크리트의 내구성

## Durability of Concrete Using Ternary Blended Cement

심 은 철\* 배 수 호\*\* 박 광 수\*\*\* 이 준 구\*\*\*\* 임 병 탁\* 하 재 담\*\*\*\*  
Sim, Eun Choul Bae, Su Ho Park, Kwang Su Lee, Joon Gu Lim, Byoung Tak Ha, Jae Dam

### ABSTRACT

Recently, physical properties of concrete containing ternary blended cement were actively researching to develop durability, mobility, and atc. as well as strength increase of concrete. In this study, durability of concrete such as the resistance against chloride ion penetration, rebar corrosion, freeze and thaw, and sulfate were researched for concrete containing ordinary portland cement(OPC) and ternary blended cement(TBC), respectively. For this purpose, concrete specimens containing OPC and TBC, respectively, were made for 37.5% of W/C, and then various durability experiments described above were carried out. As a result, it was observed from the test that concrete containing TBC showed excellent durability than concrete containing OPC.

### 1. 서론

최근, 콘크리트의 강도증진은 물론 내구성, 유동성 등을 향상시키기 위하여 OPC(Ordinary Portland Cement)에 고로슬래그 분말이나 플라이애쉬 또는 실리카 폼 등을 혼입한 3성분계 시멘트(Ternary Blended Cement, TBC)를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전술한 결합재 중 실리카 폼은 성능은 탁월하나 고가인 단점이 있으므로, 실용적인 측면에서 고로 슬래그 분말이나 플라이애쉬 등이 TBC의 주요 구성요소로 사용되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 OPC에 고로슬래그 분말 및 플라이애쉬를 혼입한 TBC를 사용한 콘크리트에 대해서 염소이온 침투성, 철근부식 저항성, 내동해성 및 황산염 저항성 등을 실험·분석함으로써 내구성을 규명하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 물-시멘트비 37.5%에 대해서 OPC 및 TBC를 각각 혼입한 콘크리트 공시체를 제작한 후 상술한 내구성 실험을 통하여 TBC를 사용한 콘크리트의 내구성을 OPC 콘크리트와 비교분석하였다.

### 2. 실험개요

#### 2.1 사용재료

- \* 정회원, 안동대학교 토목공학과 석사과정
- \*\* 정회원, 안동대학교 토목공학과 부교수
- \*\*\* 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 수석연구원
- \*\*\*\* 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원
- \*\*\*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 책임연구원

시멘트는 시중에서 구입한 보통 포틀랜드 시멘트(비중=3.12)와 OPC에 고로슬래그 분말 및 플라이애쉬를 혼입한 TBC(비중=2.81)를 사용하였으며, 화학 혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 감수제(표준형)와 동결융해 저항성 개선을 위한 AE 감수제(표준형)를 사용하였다. 콘크리트 공시체 내의 철근부식 저항성을 평가하기 위하여 SD 30A 이형철근과 인공해수를 사용하였다.

## 2.2 실험방법

### (1) 공시체 제작

TBC를 사용한 콘크리트의 내구성을 실험·분석하기 위하여 콘크리트 공시체를 제작하였는데, 이때 목표 슬럼프 및 공기량은 각각  $21\pm 2\text{cm}$ ,  $3.5\pm 0.5\%$ 로 설정하였고, 콘크리트 공시체는 KS F 2403에 따라 제작하였으며, 성형 후 24시간 경과하여 몰드를 제거하고 시험 전까지  $20\pm 3^\circ\text{C}$ 의 온도로 습윤양생하였다. 한편, TBC를 사용한 콘크리트의 내구성을 동일 배합의 OPC 콘크리트와 비교분석하기 위하여 OPC를 사용한 콘크리트 공시체도 추가 제작하였다.

### (2) 압축강도 시험

TBC를 사용한 콘크리트의 강도를 평가하고, 또한 이를 OPC 콘크리트와 비교분석하기 위하여 압축강도 시험을 KS F 2405에 따라 재령별(7일, 28일, 91일)로 하였다.

### (3) 염소이온 침투성 시험

콘크리트 내의 염소이온 침투에 대한 저항성을 정성적으로 평가하기 위한 염소이온 침투 실험은 ASTM C 1202에 의하였으며, 관련 실험장치에 의해 온도  $20^\circ\text{C}$ , 습도  $60\pm 3\%$ 인 항온항습실에서 콘크리트 내의 통과전하량을 측정하였다.

### (4) 철근부식 저항성 시험

TBC를 사용한 콘크리트의 철근부식 저항성을 단기간에 정성적으로 평가하기 위하여 Lollypop 시험체를 제작하였으며, 시험체는 자연상태의 해수환경을 고려하여 12시간 주기로 인공해수에 의한 건습반복 작용을 받도록 하였다. 또한, 인공해수 환경에 있는 Lollypop 시험체에 대해서 power supply에 의해 0.8V의 전압을 공급해줌으로써 콘크리트 내의 철근부식을 촉진 시켰다.

### (5) 동결융해 저항성 시험

콘크리트의 내동해성에 미치는 삼성분계 시멘트의 영향을 평가하기 위한 동결융해 시험은 재령 14일간 표준 양생한 콘크리트 공시체에 대해서 KS F 2456의 시험방법 B인 기중동결, 수중융해 방법에 따라 하였다.

### (6) 황산염 저항성 시험

콘크리트의 내약품성 실험방법은 미국 ASTM에도 명시되어 있으나, 이는 모르타르에 대한 실험방법이기 때문에 일본 JIS 원안의 “콘크리트의 용액침지에 의한 내약품성 시험방법(안)”에 의하여 수행하였다. 이 시험방법(안)에 제시된 약품 중 황산, 황산나트륨 및 황산마그네슘 용액을 선택하여 실험을 수행하였다. 황산염 실험을 위한 공시체는 재령 28일까지 양생한 다음 황산염 용액에 28일, 56일 및 91일간 침지시킨 후 침지 재령별로 내황산염을 평가하였다.

## 3. 결과분석 및 고찰

### 3.1 압축강도

그림 1은 TBC를 사용한 콘크리트의 재령별 압축강도 특성을 동일 배합의 OPC 콘크리트와 비교한 것이다. TBC를 사용한 콘크리트의 압축강도는 OPC 콘크리트보다 다소 높은 것으로 나타났으나, 이들 간의 압축강도 차는 재령이 증가할수록 작아지는 것으로 나타났다. 현재, 재령 28일까지 압축강도 특성을 분석하였고, 금후 재령 91일까지 압축강도 특성을 평가할 계획이다.

### 3.2 염소이온 침투성

콘크리트의 염소이온 침투성은 쿨롬(Coulomb)량으로 평가하는데, 60V의 전기장하에서 6시간 동안에 콘크리트 셀을 통과한 총 전하량이 많을수록 염소이온 침투성이 큰 것으로 정의된다. 즉, 총 전하량이 2000 쿨롬 미만이면 염소이온 침투성이 낮으며, 2000~4000 쿨롬이면 보통, 4000 쿨롬을 초과하면 염소이온 침투성이 높은 것으로 평가된다. 그림 2는 TBC를 사용한 콘크리트와 동일 배합의 OPC 콘크리트의 염소이온 침투성을 나타낸 것으로, 전자가 후자보다 염소이온 침투성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 특히, 재령 28일의 경우 전자의 총 통과전하량이 2000 쿨롬 미만으로 염소이온 침투성이 매우 낮은 것으로 나타나, TBC를 사용한 콘크리트는 OPC 콘크리트보다 염소이온 침투에 대한 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

### 3.3 동결융해 저항성

그림 3은 콘크리트의 공기량이  $3.5 \pm 0.5\%$ 로 일정할 때 동결융해 300 사이클 후의 내구성 지수를 나타낸 것으로, OPC 및 TBC 각각을 혼입한 콘크리트의 내구성 지수는 각각 93.4%, 94.5%로 내동해성이 매우 우수하며 이들 간의 내구성 지수의 차가 미미한 것으로 나타났는데, 이것은 시멘트 종류별로 콘크리트의 공기량이  $3.5 \pm 0.5\%$ 로 일정하기 때문에 시멘트 종류에 따른 내동해성의 차가 거의 없는 것으로 판단된다. 따라서 콘크리트 내에 적정 공기량(3~6%)을 연행시켰을 때 콘크리트의 내동해성에 미치는 시멘트 종류의 영향은 미미한 것으로 나타났다.

### 3.4 황산염 저항성

그림 4는 OPC 및 TBC 콘크리트의 용액의 종류에 따른 내황산염 실험결과를 나타낸 것으로, 황산 용액에 28일 침지시킨 OPC 및 TBC 콘크리트의 중량감소율은 전자가 후자보다 훨씬 큰 것으로 나타나, TBC 콘크리트는 황산용액에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 한편, 황산나트륨 및 황산마그네슘 용액에서의 OPC 및 TBC 콘크리트의 중량감소율은 매우 작은 것으로 나타났으나, 이 경우도 전자가 후자보다 중량감소율이 다소 큰 것으로 나타나, 황산나트륨 및 황산마그네슘 용액에 대한 저항성도 TBC를 사용한 콘크리트가 OPC 콘크리트보다 다소 우수한 것으로 나타났다.

### 3.5 철근부식 저항성

OPC 및 TBC 콘크리트 각각에 대해서 Lollypop 시험체를 제작하여 철근부식 촉진실험을 진행 중이나, 학술발표일 전에는 시험이 완료되므로 그 때 실험결과를 발표할 계획이다.

## 4. 결론

- (1) TBC를 사용한 콘크리트의 압축강도는 OPC 콘크리트 보다 다소 높은 것으로 나타났으나, 이들 간의 압축강도 차는 재령이 증가할수록 작아지는 것으로 나타났다.
- (2) TBC를 사용한 콘크리트는 동일 배합의 OPC 콘크리트보다 염소이온 침투성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 특히, 재령 28일의 경우 전자의 총 통과전하량이 2000쿨롬 미만으로, 염소이온 침투성이 매우 낮은 것으로 나타나, TBC를 사용한 콘크리트는 OPC 콘크리트보다 염소이온 침투에 대한 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다.
- (3) OPC 및 TBC 각각을 혼입한 콘크리트의 내구성 지수는 각각 93.4%, 94.5%로 내동해성이 매우 우

수하며 이들 간의 내구성 지수의 차가 미미한 것으로 나타났는데, 이것은 시멘트 종류별로 콘크리트의 공기량이  $3.5 \pm 0.5\%$ 로 일정하기 때문에 시멘트 종류에 따른 내용해성의 차가 거의 없는 것으로 판단된다.

- (4) 황산용액에 28일 침지시킨 OPC 및 TBC를 사용한 콘크리트의 중량감소율은 전자가 후자보다 훨씬 큰 것으로 나타나, TBC를 사용한 콘크리트는 황산용액에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 한편, 황산나트륨 및 황산마그네슘 용액에서의 OPC 및 TBC 콘크리트의 중량감소율은 매우 작은 것으로 나타났으나, 이 경우도 전자가 후자보다 중량감소율이 다소 큰 것으로 나타나, 황산나트륨 및 황산마그네슘 용액에 대한 저항성도 TBC를 사용한 콘크리트가 OPC 콘크리트보다 다소 우수한 것으로 나타났다.

### 참고문헌

1. 오병환 외 3인, “석회석 미분말을 사용한 3성분계 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성 연구”, 한국 콘크리트학회 봄학술발표 논문집, 제14권 1호, 2002. 5, pp.569~574.
2. 배수호 외 5인, “물-시멘트 및 재령이 콘크리트 염소이온 확산특성에 미치는 영향”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제14권 1호, 2002. 5, pp.737~742.

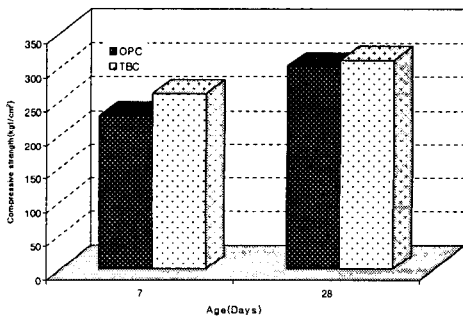


그림 1. 시멘트 종류별 콘크리트 압축강도

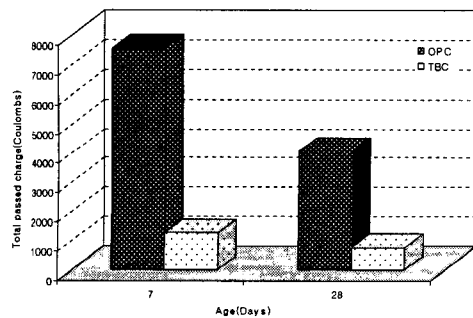


그림 2. 시멘트 종류별 염소이온 침투성

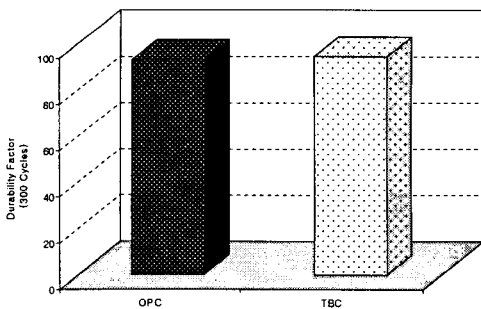


그림 3. 시멘트 종류별 내구성 지수

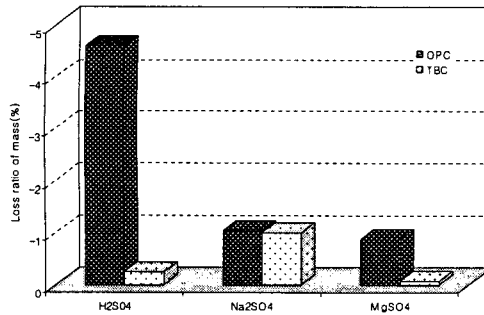


그림 4. 시멘트 종류별 질량감소율