

# 고내구성 백색칼라 콘크리트 개발에 관한 연구

권인표\* · 위동수 · 강석표 · 박찬훈 · 주동철 · 김정환

<한일시멘트 중앙연구소>

## 1. 서 론

최근 들어 건축이나 토목구조물에서 설계자의 의도 또는 구조물의 특성에 맞게 다양한 콘크리트를 설계에 반영하는 추세에 있으며, 이중 콘크리트 표면마감을 도료나 기타 마감재료를 사용하지 않고 콘크리트 구조체 자체에서 색상을 표현할 수 있도록 하는 제물마감 콘크리트의 적용이 요구되고 있다.

현재까지 다양한 칼라 콘크리트 제품이 나오고 있으나, 이들은 대부분 건축이나 토목구조물을 위한 것이기보다는 도로 및 보도, 자전거 도로의 포장용을 위한 바닥용도로 제작되어 사용되어 왔는데, 이러한 특정용도 때문에 색상발현이나 강도보다는 투수성 개선에 주안점을 두고 개발되어 왔다. 결국, 이러한 종래의 칼라 콘크리트 제품들은 소요강도를 구비하지 못하여 그대로 구조용 콘크리트로 적용하기 곤란하였다. 또한 색상도 붉은색이나 초록색계열 쪽으로 편중되어 왔다.

백색칼라 콘크리트는 상기 제물마감 콘크리트의 대표적인 예로서 수요자의 요구에 맞게 콘크리트 자체로 화려한 미관을 부여할 수 있고, 건축 및 토목 구조물의 특성을 다양하게 반영할 수 있는 장점이 있기 때문에 특정한 상징성을 부여하는 콘크리트로서 최근에 사용량이 증가하고 있다.

이에 본 연구에서는 고내구성을 부여한 백색칼라 콘크리트 개발에 관해서 중점적으로 연구를 진행하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

본 실험에 사용한 재료는 보통포틀랜드시멘트, 백색포틀랜드시멘트, 고내구성 혼화재료, 안료, 혼화제, 모래, 자갈 등이며, 그 원산지(제조사) 및 성상과 화학조성은 Table 1 및 Table 2와

Table 1. 재료별 원산지(제조사) 및 성상

구분	제조사(원산지)	성상
보통포틀랜드시멘트(OPC)	H사	분말
백색포틀랜드시멘트(WPC)	U사	분말
오메가2000(Ω2000)	H사	분말
SWP-2	T사	액상
안료	B사	분말
혼화제	D사	액상
잔골재(S)	상주	강사
굵은골재(G)	공주	쇄석(20mm)

Table 2. 화학성분

구분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	T.A	LOI	SUM
OPC	22.31	5.13	3.68	62.11	2.42	1.93	0.75	1.18	99.51
WPC	21.11	4.11	0.3	64.02	1.36	2.77	0.13	2.86	96.66

같고, 잔골재 입도분포는 Fig. 1과 같다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 강도시험

압축강도 시험은 KS F 2403에 따라 공시체를 제작·양생한 후, KS F 2405의 시험 방법에 의해 재령 3, 7, 28일 압축강도를 측정하였다. 압축강도 값은 해당 재령에서의 3개의 평균값이다.

### 2.2.2 철근부착시험

철근부착시험은 공시체는 모든 모서리가 15cm인 입방체로 중심축을 따라 수직으로 1개의 철근이 묻혀 있는 수직 철근용 공시체를 제작하여 KS F 2441에 준하여 시험하였다.

### 2.2.3 동결융해

동결융해저항성 시험은 KS F 2456의 수중 급속 동결융해 시험방법에 의하여 실시하였다. 공시체는 100x100x400mm의 각주 공시체를 사용하였고, 28일간 표준양생을 실시한 후 동결융해시험을 실시하였다. 시험을 실시한 후 300cycle까지 매 30cycle마다 가로진동1차주파수를 측정하여 다음과 같이 상대 동탄성계수를 계산하였다.

$$P_c = (n_1^2/n^2) \times 100$$

여기서,  $P_c$  : 동결융해 C 사이클 후의 상대 동탄성계수(%)

$n$  : 동결융해 0 사이클에서의 가로1차 진동주파수

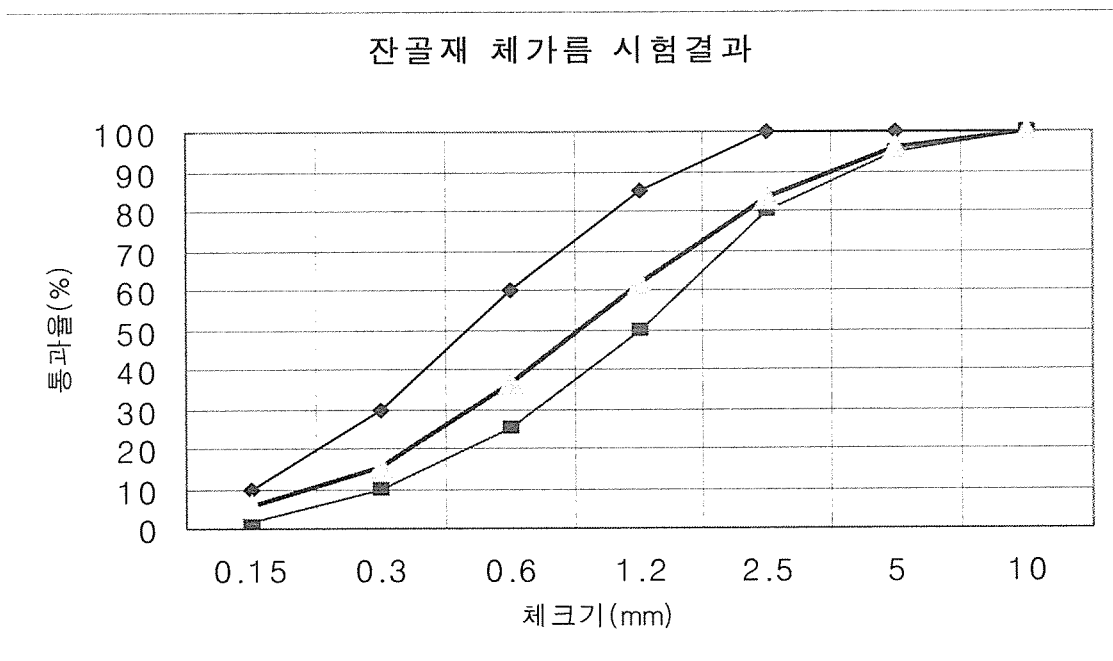


Fig. 1 잔골재 체가름 시험결과

Table 3. 콘크리트 배합비 및 실험결과

구분	W/B (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )									슬럼프 (cm)	공기량 (%)
			W	OPC	WPC	Ω2000	S	G	AD	안료	SWP-2		
1	45.1	50.3	183	406	0	0	854	867	2.84	0	0	21	1.8
2	45.1	50.3	183	0	406	0	854	867	2.84	0	1.67	21	1.6
3	45.1	50.3	183	0	386	20	854	867	2.84	0	1.67	21	1.7
4	45.1	50.3	183	0	386	20	854	867	2.84	20.3	1.67	21	3.8
5	45.1	50.3	183	0	386	20	854	867	2.84	40.6	1.67	21.5	4.6
6	45.1	50.3	183	0	386	20	854	867	2.84	81.20	1.67	20	5.5

(주) WPC : 백색포틀랜드시멘트

$n_1$  : 동결융해  $n$  사이클에서의 가로1차 진동주파수

### 2.2.4 염소이온 침투 저항성

염소이온 침투 저항성 시험은 KS F 2711 전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성 시험 방법에 의해 실시하였다. Φ100x200 mm 원주 공시체를 제작하여 28일간 표준양생을 실시한 후 Φ100x50mm가 되도록 시편을 절단·연마한다. 이후 측면을 실리콘으로 도막하여 굳게하고, 3시간 동안 진공상태를 유지한 후, 18시간 동안 증류수에 침지시켜 완전히 포화가 되도록 하여 측정장치(3% NaCl(-극), 0.3N NaOH(+극))에 의해 매 30분마다 전압을 측정하였다.

## 3 실험결과 및 고찰

### 3.1 콘크리트 배합 및 성상

본 연구에서 실험한 콘크리트 배합비는 Table 3과 같다. W/B 45.1%, S/a 50.3%로 동일하게 하고, OPC, WPC 단독사용과 Ω2000 5%사용, 안료 5, 10, 20% 각각 추가한 배합으로 실험하였고, 이에 따른 굳지 않은 콘크리트의 성상은 슬럼프는 전체적으로 유사하였고, 공기량은 안료첨가량이 늘어날수록 증가하는 경향으로 나타났다.

### 3.2 압축강도

Fig. 2는 재령별 콘크리트의 압축강도 결과이다. 결합재로 백색포틀랜드시멘트(WPC)를 사용한 2번 배합이 보통포틀랜드시멘트를 사용한 1번 배합에 비해 압축강도가 다소 낮게 나타났고, WPC에 Ω2000을 5% 치환첨가한 3번 배합에서는 OPC를 단독으로 사용한 1번 배합과 유사한 경향을 나타내었다. 이는 Ω2000을 사용하면서 조직이 보다 치밀하여 지면서 나타나는 현상으로 사료된다. 또한 안료를 5, 10, 20% 외할 첨가한 4, 5, 6번 배합에서는 안료의 첨가량이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향으로 나타났다. 위와 같은 결과는 3, 7, 28일 재령별로 유사한 경향으로 나타났다.

### 3.3 철근부착 시험

Fig. 3은 Table 3의 1, 3, 4, 5번 배합으로 콘크리트를 배합하여 KS F 2441에 준하여 철근의 부착에 의한 콘크리트 비교 시험을 실시하였고, OPC를 단독으로 사용한 1번 배합을 plain으로 하여 각각 상대비교 하였다.

먼저 결합재로 WPC와 Ω2000 5%를 치환첨가한 3번 배합의 경우에는 plain에 비해 130%가 넘는 철근부착력을 나타내었고, 이어 안료5%, 안료10%를 첨가한 4, 5번 배합에서도 plain에 비

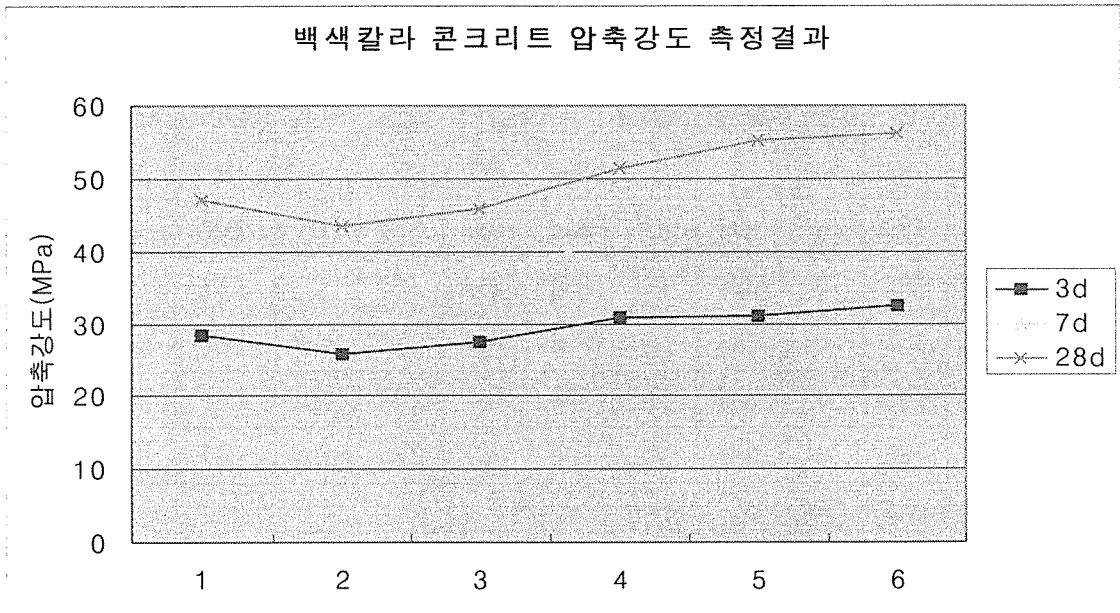


Fig. 2 압축강도 측정결과

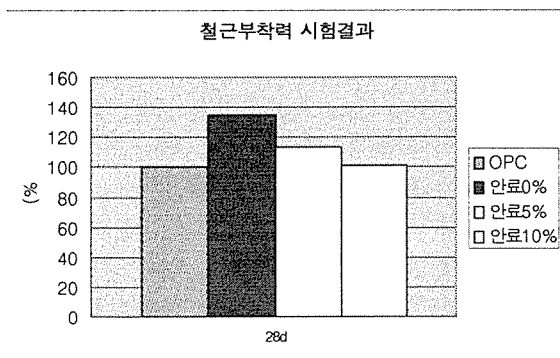


Fig. 3 철근부착력 시험결과

해 높은 철근부착력이 나타났다. 또한 3, 4, 5번 배합을 비교하면, 철근부착력이 하락하는 경향을 보이고 있는데 이는 안료의 첨가량이 증가할수록 공기량이 증가하여 철근부착력이 낮아지는 경향으로 나타나는 것으로 추측된다.

### 3.4 동결융해저항성

Table 3의 배합비로 콘크리트를 배합하여 동결융해 시험을 실시한 결과 Fig. 5과 같은 결과

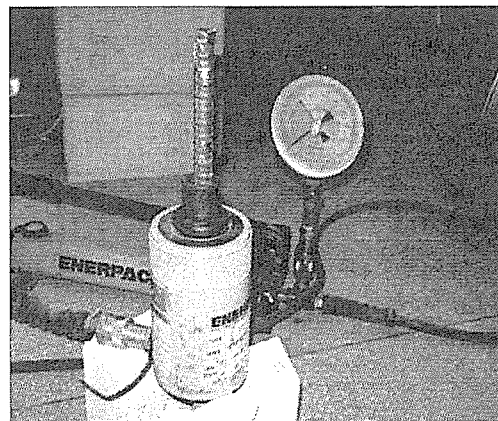
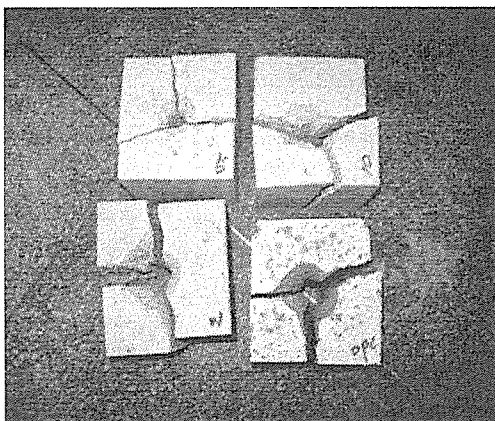


Fig. 4 철근부착력 시험

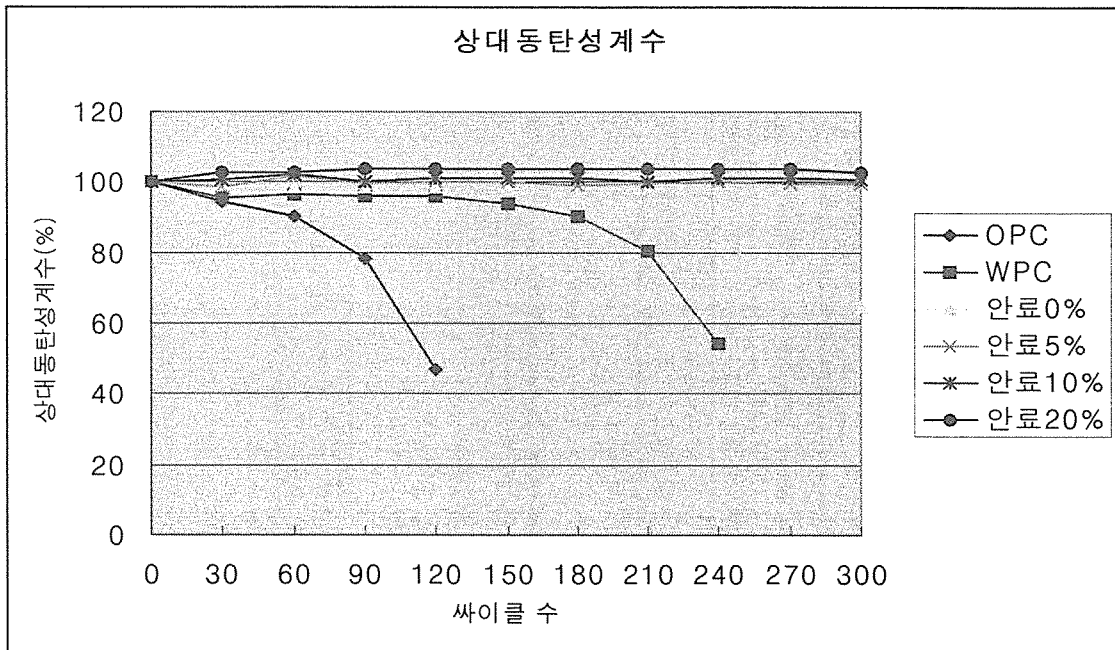


Fig. 5 동결융해저항성 시험결과

가 나타났다. OPC 만을 단독으로 사용한 1번 배합과 비교하면 2번 3번 배합으로 갈수록 동결융해 저항성이 향상되는 것으로 나타난다. 이는 WPC만 단독으로 사용한 2번 배합보다 Ω2000을 5% 치환첨가한 3번 배합에서 동결융해저항성이 더욱 향상되었다. 이는 고내구성을 부여하기 위해 Ω2000을 치환 첨가한 결과 조직이 더욱 치밀하게 되어 나타났다고 판단된다. 또한 안료첨가량이 증가할수록 동결융해저항성이 향상되었는

데 이는 압축강도 결과와 동일한 경향으로 나타나고 있다.

### 3.5 염소이온침투저항성

Table 3의 배합비로 시편을 제작하여 염소이온 침투 저항성 시험을 실시한 결과 Fig. 7과 같은 결과가 나타났다. OPC 단독으로 사용한 1번 배합에 비해 전체적으로 염소이온 침투 저항성이 향상되었고, 특히 Ω2000을 사용한 3번 배합(안료 0%)이 OPC나 WPC만을 단독으로 사용한 경우 보다 우수한 결과를 나타냈다. 이는 Ω2000을 사용해서 조직이 치밀해져서 나타난 결과로 보여지며, 안료 첨가량이 늘어날수록 저항성은 증가하는 결과로 나타나고, 이는 압축강도, 동결융해저항성 시험 결과와 같은 경향이다.

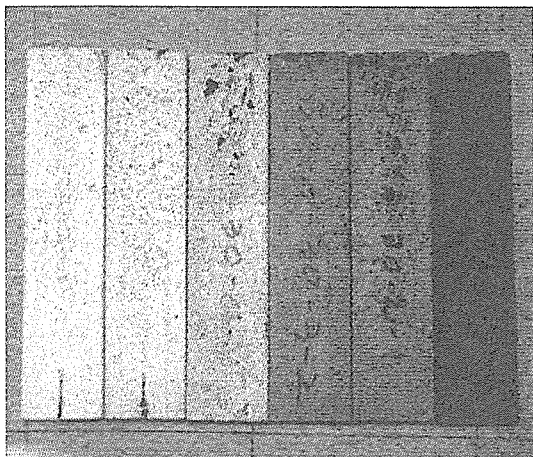


Fig. 6 동결융해 시험(180cycle)

## 4. 결 론

본 연구에서는 백색도를 일정수준이상 유지하면서 콘크리트의 내구성을 향상시킨 고내구성 백색칼라 콘크리트의 개발을 목적으로 진행하였

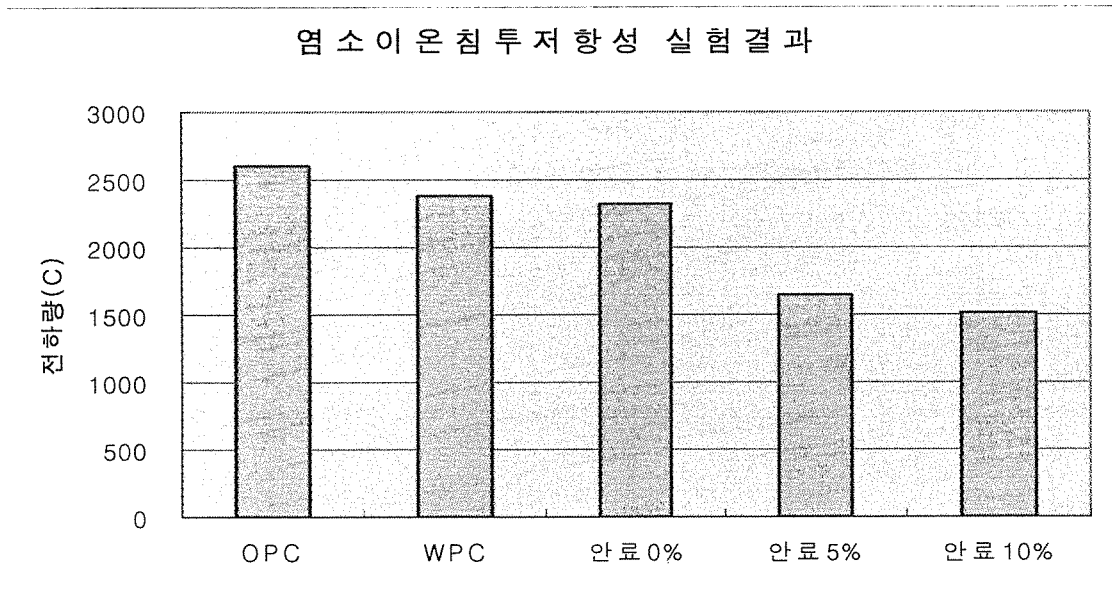


Fig. 7 염소이온 침투 저항성 실험결과

으며, 그 평가항목으로 기초 실험단계인 몰탈에서의 검토사항은 번외로 하고, 콘크리트의 내구성능을 중심으로 평가하였다.

- (1) 압축강도는 전체적으로 40MPa 이상의 고강도로 나타났으며, 결합재로 OPC와 WPC를 단독으로 사용한 콘크리트보다 고내구성 혼화재료인  $\Omega 2000$ 을 혼합사용한 콘크리트가 동등 이상의 압축강도가 발현되었다.
- (2) 철근부착시험 결과는 OPC를 단독으로 사용한 것과 비교해서 WPC와  $\Omega 2000$ 을 혼합사용한 콘크리트가 130% 더 높은 철근부착력을 나타냈고, 안료가 5~10% 첨가되어 공기량이 증가한 경우에도 OPC를 단독으로 사용한 콘크리트의 철근부착력을 상회하는 결과나 얻어졌다. 이는 고내구성 혼화재료인  $\Omega 2000$ 을 사용함으로써 조직이 치밀해져서 나타난 결과로 판단된다.
- (3) 동결융해저항성 시험결과에서는 위와 같은 경향이 더욱 뚜렷하게 나타났다. OPC나 WPC를 단독으로 사용한 콘크리트는 각각 120cycle과 240cycle에서 상대동탄성계수가

초기값의 60% 미만으로 떨어졌으나,  $\Omega 2000$ 을 함께 사용한 경우 상대동탄성계수가 300cycle이 경과하여도 초기값의 65%를 유지하였다. 이는 고내구성 혼화재료인  $\Omega 2000$ 을 사용하면 조직이 더욱 치밀하여져 동결융해에 대한 저항성이 매우 양호해진 결과가 뚜렷히 나타났다고 할 수 있다.

- (4) 염소이온침투저항성 시험에서는  $\Omega 2000$ 을 혼합사용한 경우가 OPC를 단독으로 사용한 콘크리트보다는 훨씬 양호한 결과를 나타냈고, WPC를 단독으로 사용한 콘크리트와는 유사한 특성을 나타냈다.

이상의 내용을 종합해 보면 고내구성 혼화재료인  $\Omega 2000$ 을 콘크리트에 결합재로 혼합 사용하면 콘크리트 물성에 좋은 결과를 얻을 수 있으며, 특히 고내구성을 필요로 하는 구조체에서는 콘크리트의 성능을 더욱 더 양호하게 개선시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

### < 참고 문헌 >

1. Taylor, "cement chemistry" pp. 377-383