

# 석회석 미분말의 종류 및 함유율 변화에 따른 고유동 콘크리트의 특성

## The Properties of High Flowing Concrete with the Kind and Content of Limestone Powder

조 중 동\*    홍 상 희\*\*    조 병 영\*\*\*    장 기 영\*\*\*\*    한 천 구\*\*\*\*\*  
Cho, Joong Dong    Hong, Sang Hee    Cho, Byung Young    Jang, Gi Young    Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

In this paper, the application of limestone powder, which produced by being gathered electrically in the process of manufacturing of cement, to high fluidity concrete are investigated. According to the experimental results, especially, high viscosity and the loss of air content are accomplished by applying limestone powder as the partial substitution of fine aggregates. In case of hardened concrete, high compressive strength can be achieved by using limestone powder.

### 1. 서 론

최근, 자원 고갈과 환경오염에 대한 관심이 집중되면서 산업폐기물이나 산업부산물을 건설재료로써 재활용하는 방안이 다각적으로 검토되고 있다.

이러한 관점에서 본 연구는 시멘트의 제조과정중 원료의 분쇄공정에서 발생하는 비산분진을 전기집진기로 집진한 미세한 입자(EP-dust 혹은 Kiln dust라고 칭하는 경우도 있지만, 주성분이 석회석 미분말로서 본 연구에서는 석회석 미분말이라 칭함)를 분체계의 고유동 콘크리트에 적용하는 방안을 기초적으로 검토하고자 한다. 즉, 석회석 미분말은 분말도가 매우 크므로 고유동 범위의 콘크리트에서 점성확보에 의한 재료분리 감소, 공극충전 효과에 의한 강도 증진 등으로 고유동 콘크리트의 품질을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 추측된다.

그러므로 본 연구에서는 석회석 미분말의 종류변화 및 잔골재의 치환율로서 혼입율을 변화시켜 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 제반 특성을 분석하므로써 궁극적으로 산업부산물로 발생하는 석회석 미분말의 효율적인 활용 및 고유동 콘크리트의 품질향상에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 실험계획

석회석 미분말의 종류 및 함유율 변화에 따른 고유동 콘크리트의 특성 파악을 위한 본 연구의 실험 계획은 표 1과 같다.

\* 정희원, 청주대 대학원, 석사과정  
\*\* 정희원, 청주대 대학원, 박사과정  
\*\*\* 정희원, 청주대 대학원, 박사과정, 한국건자재시험연구원

\*\*\*\* 정희원, 아세아시멘트공업(주), 이사  
\*\*\*\*\* 정희원, 청주대 건축공학과 교수, 공학박사

표 1. 배합 및 실험사항

배합사항							실험사항								
W/C	혼입율 (%)	석회석미분말의 종류	유동화제 사용량 (%/C)	AE제 사용량	단위수량 (kg/m³)	중량배합(kg/m³)				용적배합(ℓ/m³)			굳지 않은 콘크리트	경화콘크리트	
						시멘트	석회석미분말	굵은골재	강모래	시멘트	석회석미분말	굵은골재			강모래
45	0	A사 B사	7.78	0.12	175	389	0	863	830	123	0	328	328	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 슬럼프</li> <li>■ 슬럼프플로우 (슬럼프플로우속도)</li> <li>■ 공기량</li> <li>■ 단위용적중량</li> <li>■ V로트유하시간</li> <li>■ L플로우</li> <li>■ U형충진</li> <li>■ 콘크리트 씻기시험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 압축강도 (1,3,7,28일)</li> </ul>
	5					389	44	863	789	123	16	328	312		
	10*					389	88	863	747	123	33	328	295		
	15					389	132	863	706	123	49	328	279		
	20					389	176	863	664	123	66	328	263		
	30					389	264	863	581	123	98	328	230		

\*는 고유동 콘크리트의 기준배합으로 설계한 석회석 미분말 혼입율임

먼저, 배합사항으로 W/C는 45%로 고정하고, 석회석 미분말의 종류는 H사와 A사의 2 종류를 사용하며, 석회석 미분말의 혼입율은 0~30%까지 6수준을 잔골재에 대한 치환율로 실험계획 한다. 고유동 콘크리트의 목표 슬럼프 플로는 석회석 미분말 혼입율 10%에서 600±100mm의 범위로 배합설계한 후, 각 배합에 동일하게 적용한다.

실험사항으로는 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량, 단위용적중량, V로트 유하시간, L플로우, U형충진시험 및 재료분리 저항율시험(슬럼프플로우 시험후 중앙부와 주변부 콘크리트의 씻기시험)을 실시하는 것으로 하며, 경화 콘크리트에서는 재령 경과에 따른 압축강도시험을 실시한다.

### 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내산 H사의 1종 보통포틀랜드 시멘트(비중: 3.15, 분말도: 3,415cm<sup>2</sup>/g)와 굵은골재는 충북 청원군 옥산면산 부순 굵은골재(최대치수: 20mm, 비중: 2.67), 잔골재는 충북 청원군 부강면 미호천산 강모래(비중: 2.59, 조립율: 2.64)를 사용한다. 석회석 미분말의 화학성분은 표 2와 같고, 고성능 감수제는 폴리칼본산계로, 그 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 2. 석회석 미분말의 화학성분

종류	LOI	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>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
A사	35.66	11.06	4.13	1.44	43.80	1.42	0.30	1.02	0.18
B사	42.6	0.7	0.4	0.2	54.5	0.6	-	-	-

\* 분말도: A사 - 5000cm<sup>2</sup>/g, 비중: 2.68  
B사 - 9000cm<sup>2</sup>/g, 비중: 2.67

표 3. 고성능 감수제의 물리적 성질

성상	색상	비중(20℃)	점도(mPas)	표준사용량(C×%)
액상	암갈색	1.05	15.0	0.5~3.0

### 2.3 실험방법

먼저, 콘크리트의 혼합은 그림 1과 같이 고성능 감수제의 효과를 충분히 발휘할 수 있도록 비빔시간을 연장하는 것으로 한다.

굳지 않은 콘크리트의 실험과 공시체의 제작 및 경화콘크리트의 시험은 각각 KS 규정 및 기타 표준적인 시험방법에 의거 실시한다.

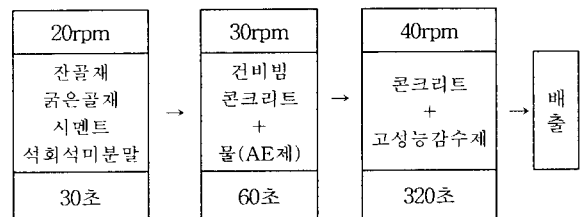


그림 1. 모르터의 혼합방법

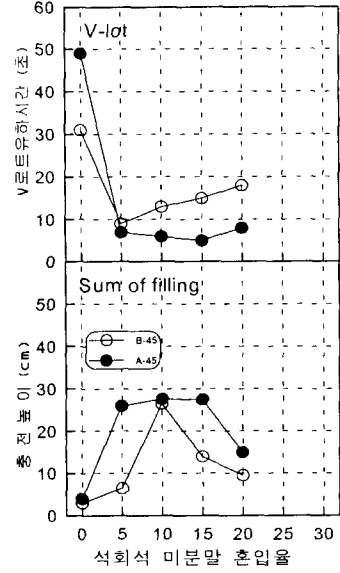
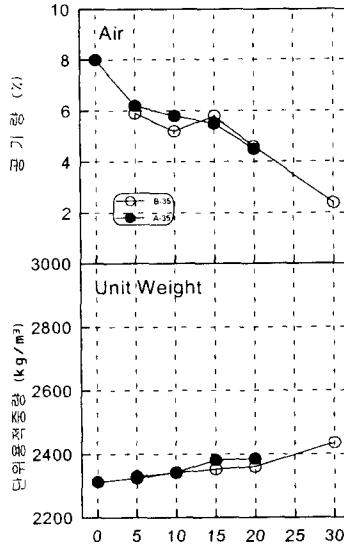
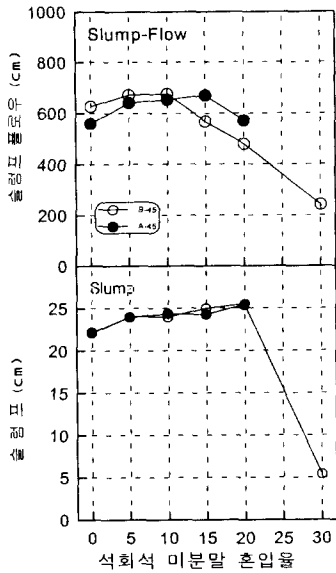


그림 2. 석회석 미분말의 혼입율 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지 않은 콘크리트의 물성

그림 2는 석회석 미분말 혼입율 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로우 및 슬럼프, 공기량, 단위용적중량, V로트 유하시간 및 U형 충전높이를 석회석 미분말의 종류별로 구분하여 나타낸 그래프이다.

먼저, 슬럼프 플로우의 경우 석회석 미분말의 혼입율이 증가함에 따라 증가하다가 B사는 10%, A사는 15% 이상의 혼입율에서는 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 낮은 혼입율에서는 점성의 부족에 의하여 재료분리가 발생한 반면 그 이상의 혼입율에서는 과도한 점성에 의하여 슬럼프 플로우치가 감소하는 것으로 분석된다. 또한 A사 보다 B사의 경우가 적은 치환율에서 최대치를 보인 것은 B사의 분말도가 A사보다 큰것에서 기인한 것으로 사료된다.

슬럼프의 경우는 낮은 혼입율에서는 점성의 부족으로 중앙에 골재가 쌓이는 재료분리 현상에 기인하여 슬럼프치가 낮게 나타났으나 혼입율이 증가함에 따라 재료분리가 감소되면서 슬럼프치가 증가한 것으로 분석되었다. L플로우도 슬럼프 플로우와 유사한 경향으로 나타났다.

공기량 및 단위용적중량은 석회석 미분말의 종류에는 별 차이없이 석회석 미분말의 혼입율이 증가함에 따라 공기량은 감소하는 경향으로 나타났으며, 단위용적 중량은 증가하는 것으로 나타났는

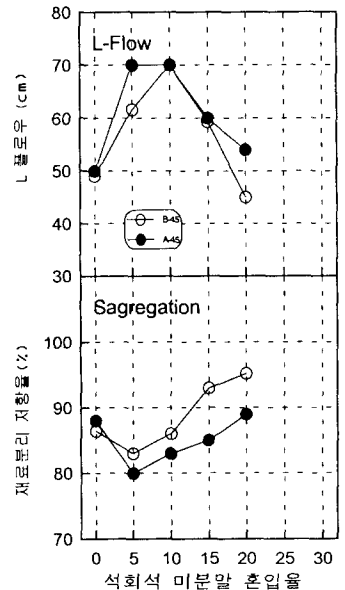


그림 3 석회석 미분말의 혼입율 변화에 따른 고유동 콘크리트의 L플로우 및 재료분리 저항율

데, 이는 미세한 입자인 석회석 미분말의 혼입율이 증가함에 따른 공극충전효과인 것으로 판단된다.

또한, V로트 유하시간은 석회석 미분말을 혼입하지 않은 경우의 콘크리트는 점성부족으로 폐색현상이 나타났으며, 석회석 미분말의 혼입율이 증가함에 따라 유하시간은 단축되었다가 어느정도 혼입율 이상이 되면 다시 증가하는 것으로 나타났는데 단, B사의 경우는 10% 이상의 혼입율에서 점성이 크게 증가하여 유하시간이 약간 증가하는 것으로 나타났다.

충진높이의 경우도 V로트 유하시간과 유사한 경향으로 낮은 혼입율에서는 재료분리에 의하여 장애부(철근과 철근사이)에 골재가 막히는 현상이 나타났으나, 혼입율이 증가함에 따라 점성의 확보에 의하여 충전성이 양호해졌는데, B사의 경우는 혼입율 10%전후, A사의 경우는 10~15%전후가 가장 양호한 것으로 나타났다.

또한, 재료분리 저항성은 전반적으로 5%혼입율까지는 감소하다가 그이후의 혼입율에서는 증가하는 경향으로 나타났는데 이는 석회석 미분말의 혼입율이 증가함에 따라 점성증대에 기인된 것으로 사료된다.

### 3.2 경화콘크리트의 특성

그림 4는 석회석 미분말의 종류 및 혼입율 변화에 따른 각 재령의 압축강도를 나타낸 그래프이다.

전반적으로 석회석 미분말을 혼입하지 않은 경우보다 석회석 미분말이 혼입될수록 공극충전 및 공기량 감소에 기인하여 현격한 강도증가를 보이고 있었다. 재령 및 석회석 미분말의 종류에 따른 압축강도 증진비는 3일 이전의 초기재령에서 B사의 경우는 144~191%, A사의 경우는 152~179%로 나타났으며, 28일 재령에서는 B사가 120~161%, A사의 경우는 134~163%로 나타나 3일 이전의 초기재령에서는 B사, 7일 이후의 재령에서는 A사가 약간 크게 나타났다.

## 4. 결 론

석회석 미분말의 종류 및 혼입율 변화에 따른 고유동 콘크리트의 특성을 요약하면 다음과 같다.

1) 고유동 콘크리트에 있어, 석회석 미분말의 혼입율이 어느정도 범위(분말도가 큰 B사는 10%, A사는 15%) 이내에서는 혼입율이 증가하면 슬럼프, 슬럼프 플로우, L플로우 등의 유동성과 충전성은 양호해지는 것으로 나타났는데, 이는 석회석 미분말에 의한 점성증가에 기인된 결과로 사료된다. 재료 분리저항성은 혼입율이 증가할수록 커지는 것으로 나타났다.

2) 공기량은 혼입율이 증가할수록 감소하였고, 단위용적중량은 공기량과 반대의 경향으로 나타났는데, 이는 석회석 미분말의 공극충전효과에 기인한 것으로 판단된다.

3) 강도특성은 석회석 미분말의 혼입율이 증가할수록 꾸준히 증진되는 경향으로 나타났는데, 이는 공극충전 및 공기량 감소 효과에 기인된 결과로 사료된다. 또한 석회석 미분말의 종류별로는 3일 이전의 초기강도에서는 분말도가 큰 B사, 그 이후의 재령에서는 A사가 약간 큰 강도를 나타내었다.

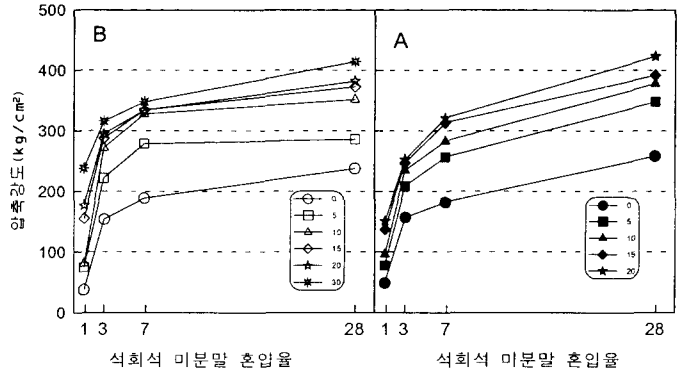


그림 4. 석회석 혼입율 변화에 따른 콘크리트의 재령별 압축강도