

# 수경성 물질용 분리저감제를 사용한 무다짐 콘크리트 실용화 연구

## Practical Use of Self-compacting Concrete by Hydraulic Composition Containing a Segregation-Reducing Agent

손 유 신<sup>\*</sup>  
Sohn, Yu Shin

이 승 훈<sup>\*\*</sup>  
Lee, Seung Hoon

김 규 동<sup>\*\*\*</sup>  
Kim, Gyu Dong

김 경 태<sup>\*\*\*\*</sup>  
Kim, Kyoung Tae

### ABSTRACT

Recently, self-compacting concrete is applied in order to achieve workability improvement and rationalization in construction. But self-compacting concrete using viscosity agent has a difficulty in practical use because viscosity agent is invested small quantity and by man-power. Therefore in this paper we have been focused on the development and practical use of self-compacting concrete by hydraulic composition containing the segregation-reducing agent. According to mix variable, we find out right quantity of water, binder and rate of admixture replacement, and also we find out the optimum mix proportion.

In the result, self-compacting concrete by hydraulic composition containing the segregation reducing agent gave satisfaction with standard and its demand will increase in the future.

### 1. 서론

최근 건설현장에서는 콘크리트의 품질은 유지하면서 시공성을 향상시켜 공사의 합리화를 도모할 수 있는 무다짐 콘크리트 공법이 적용되고 있다.

무다짐 콘크리트는 사용되는 재료의 조합에 따라 분체계, 증점제계 및 병용계로 나눌 수 있으며 증점제형 무다짐 콘크리트는 결합재형 무다짐 콘크리트에 비해 상대적으로 적은 결합재가 투입됨으로써 수화열 저감 측면에서 상당한 장점을 가지고 있으나, 그 투입량이 소량이며 투입방법 또한 인력에 의한 투입방법을 취하는 분말 형태의 증점제를 이용함으로써 실용화에 어려움이 많았다.

그러나 최근 들어 (주)디엠제이 바이오텍에서 미생물 발효를 통해 생산되는 액상형태의 수경성 물질용 분리저감제를 개발함으로써 기존의 분말형보다 사용이 편리하고 균일한 품질을 얻을 수 있으며, 레미콘공장에서도 계량시스템에 의한 생산이 가능하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 수경성 물질용 분리저감제를 사용하여 추후 현장에서 사용빈도가 높아질 것으로 판단되는 보통강도 무다짐 콘크리트를 개발하기 위해서 수경성 물질용 분리저감제 사용시 배합 변수들과의 적합성을 검토하고, 수경성 물질용 분리저감제를 사용한 보통강도 무다짐 콘크리트의 최적 배합비를 도출하여 레미콘 Pilot Test와 온도변화에 따른 영향평가 실험 및 Semi Mock-Up Test를 통해서 현장 실용화 가능성을 검토하고자 한다.

\* 정회원, 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 주임연구원

\*\* 정회원, 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 선임연구원

\*\*\* 정회원, 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 전임연구원

\*\*\*\* 정회원, (주) 디엠제이 바이오텍 과장

## 2. 실험계획

### 2.1 실험계획

무다짐 콘크리트는 일반콘크리트와 달리 유동성, 자기충전성 및 재료분리 저항성을 동시에 평가해야 하므로 기존 실험 데이터를 바탕으로 관련 시험 품질기준을 설정하였으며, 본 시험에 적용할 무다짐 콘크리트 품질기준은 표 1과 같다.

표 1 품질기준

시험항목	배합강도	슬럼프플로우	50cm도달시간	V-lot 유하시간	U형 충전높이	공기량
품질기준	351kgf/cm <sup>2</sup> 이상	65±5cm	3~15sec	7~13sec	300mm이상	3~5%

이와 같은 품질기준을 바탕으로 시험배합은 표 2의 시험배합 계획에 따라 크게 네 단계로 구분되어 진행되었으며, 각 단계별로 품질기준에 적합한지를 파악하여 품질기준을 만족하지 못하는 배합변수를 제거해 나가는 방식으로 진행되었다. 또한 현장 적용성을 검토하기 위하여 시험배합에서 적정 배합을 선택하여 레미콘 Pilot Test를 실시하고 온도변화에 따른 콘크리트 물성 변화를 검토하며 유동성 및 충전성 평가를 통한 현장 실용화를 위해 소형부재를 제작하여 Semi Mock-Up Test를 실시하였다.

표 2 실내배합 계획

구분		실내 시험		실용화 실험
		배합변수	시험항목	
I단계	배합변수	· 단위수량 : 165, 170, 175kgf/m <sup>3</sup> · 결합재량 : 410, 430, 450kgf/m <sup>3</sup> · 플라이애쉬 치환율 : 15, 20, 25%	· 슬럼프 플로우 · 50cm 도달시간 · V-lot 유하시간 · U형 충전높이 · 공기량 · 압축강도	· 레미콘 Pilot Test · 온도영향 평가 시험 · Semi Mock-Up Test
II단계	수경성 물질용 분리저감제 투여량	· 5.0, 5.5, 6.0kgf/m <sup>3</sup>		
III단계	단위 굵은골재용적	· 0.295, 0.300, 0.305, 0.310 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>		
IV단계	혼화제 종류	· 플라이애쉬 · 고로슬래그 미분말		

### 2.2 사용재료

본 실험에서 사용된 시멘트는 국내 A사에서 생산되는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 인천 세척사를 굵은골재는 부순골재를 사용하였다. 시멘트의 물리화학적 성질은 표 3, 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질은 표 4와 같다.

표 3 시멘트의 물리화학적 성질

비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	용결도(h:m)		화학적성분		강열감량 (%)	안정도 (%)
		초결	종결	MgO	SO <sub>3</sub>		
3.15	3.267	3:55	5:46	2.06	1.89	0.79	0.06

표 4 골재의 물리적 성질

골재	조립율	비중	흡수율(%)
잔골재	2.78	2.62	0.98
굵은골재	6.63	2.65	0.93

고성능 감수제는 국내 D사에서 생산되는 제품을 사용하였고, 분리저감제는 (주)디엠제이 바이오텍에서 개발한 수경성 물질용 분리저감제를 사용하였다. 각각의 물리적 성질은 표 5와 같다.

표 5 혼화제의 물리적 성질

구분	유형	색상	주성분	고형분(%)	독성	pH	비중	점도(cps)
고성능 감수제	2000SR	액상	암갈색	나프탈렌계	35.7	없음	6.50	1.190
분리저감제	Bioflo	액상	암갈색	다당류 폴리머	-	없음	12.8~13.2	1.02

### 3. 실내시험 결과 및 분석

#### 3.1 배합변수에 따른 배합 결과

단위수량 165kg/m<sup>3</sup>인 배합의 경우 고성능 감수제를 증가시키거나 분리저감제를 감소시켜도 목표 슬럼프를 얻을 수 없었으며 결합재량 410kg/m<sup>3</sup>의 경우는 전체적으로 모르타르가 부족한 듯 했고 플라이애쉬 치환율 15%의 경우는 플라이애쉬 치환율 20%, 25%에 비해 상대적으로 슬럼프 로스가 크게 나타났다. 따라서 단위수량 165kg/m<sup>3</sup>, 결합재량 410kg/m<sup>3</sup>과 플라이애쉬 치환율 15%는 배합변수에서 제외하기로 했으며, 표 6의 배합변수 중 품질기준에 대한 적합성 여부를 나타내었다.

표 6 배합변수에 따른 배합결과 (단위 : kg/m<sup>3</sup>)

W	B	410			430			450		
		15%	20%	25%	15%	20%	25%	15%	20%	25%
165		×	×	×	×	×	×	×	×	×
170		×	×	○	○	◎	◎	◎	◎	○
175		○	×	×	◎	○	○	×	○	○

◎ 매우적합 ○ 적합 ×부적합

#### 3.2 수경성 물질용 분리저감제 투여량에 따른 배합 결과

배합변수에 따른 배합에서 분리저감제 투여량을 5.0kg/m<sup>3</sup>로 고정해서 실험을 수행했으므로, 분리저감제 투여량에 따른 배합에서는 6.0kg/m<sup>3</sup>, 5.5kg/m<sup>3</sup>에 대해서 비교시험을 실시하였다. 수경성 분리저감제의 첨가량이 6.0kg/m<sup>3</sup>인 경우 60분후 굳지않은 콘크리트 물성이 급격히 저하됐으며, 60분 후에 품질기준을 만족하는 배합은 단위수량 175kg/m<sup>3</sup>, 분체량 450kg/m<sup>3</sup>, 플라이애쉬 치환율 25%인 경우 뿐이었다. 반면 첨가량이 5.5kg/m<sup>3</sup>의 경우는 유동성이 떨어지기는 했으나 60분 이후에도 급격한 물성 저하는 없었다. 표 7의 결과를 보면 수경성 물질용 분리저감제 투여량은 5.0kg/m<sup>3</sup>이 적당할 것으로 생각되며, 5.5kg/m<sup>3</sup>를 사용한다면 고성능 감수제 첨가량을 증가시키거나 S/a를 조정하면 적절한 물성을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

표 7 수경성 물질용 분리저감제 투여량 (단위 : kg/m<sup>3</sup>)

투여량	5.0				5.5				6.0			
	430		450		430		450		430		450	
FA 치환율	20%	25%	20%	25%	20%	25%	20%	25%	20%	25%	20%	25%
170	◎	◎	◎	○	×	○	×	×	×	×	×	×
175	○	○	○	○	×	×	×	○	×	×	×	○

◎ 매우적합 ○ 적합 ×부적합

#### 3.3 단위 굵은골재용적(Gv)에 따른 시험배합 결과

수경성 물질용 분리저감제 투여량을 5.0kg/m<sup>3</sup>로 고정하면 Gv가 0.300, 0.305인 경우 U형 충전고가 품질기준에 만족되었으며, Gv가 0.295, 0.310인 경우는 U형 충전고를 측정하기 어려웠다. 전반적인 물성을 비교해보면 Gv가 0.300인 경우 가장 우수한 물성상태를 보였다. 표 8은 품질기준 적합성 여부를 나타내고 있다.

표 8 단위굵은 골재 용적

증점제 투여량		5.0kg/m <sup>3</sup>
Gv	0.295	×
	0.300	◎
	0.305	○
	0.310	×

표 9 결합재(고로슬래그 미분말)

슬래그치환율	15%	20%	25%	35%	
Gv	0.295	-	◎	○	×
	0.300	○	○	○	×
	0.310	○	-	○	×

### 3.4 혼화재 종류에 따른 시험배합 결과

초기의 시험은 플라이애쉬를 기준으로 배합이 진행되었으므로, 고로슬래그 미분말을 이용해서 비교시험을 실시했다. 플라이애쉬를 치환한 경우 치환율 25%, Gv 0.300인 경우 가장 우수한 물성을 보였으며, 고로슬래그 미분말을 치환한 경우 플라이애쉬를 치환한 배합과 균지않은 콘크리트 물성에서 큰 차이를 보이지는 않았으나 Gv가 0.31 배합에서의 슬럼프 플로우가 Gv가 0.30의 슬럼프 플로우에 비해 급격히 감소하는 현상을 보였으며, 슬래그 치환율 35%인 배합에서는 Gv값에 관계없이 블리딩이 발생하여 부적합한 것으로 판단된다. 표 9는 품질기준 적합성 여부를 나타내고 있다.

### 3.5 최적 배합 도출

실내시험 결과를 토대로 도출된 최적배합은 표 10과 같다.

표 10 최적 배합비

구분	W/B (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	B (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	혼화재 (kg/m <sup>3</sup> )	Gv (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	S/a (%)	분리저감제 (kg/m <sup>3</sup> )	고성능 감수제 (B×%)
FA	40	175	450	338	112	0.300	52.5	5.0	1.90
Slag	40	175	450	360	90	0.295	54.3	5.0	1.90

※ Gv는 잔골재의 종류 및 조립율에 따라 달라질 수 있음

## 4. 수경성 물질용 분리저감제를 사용한 무다짐 콘크리트 실용화

### 4.1 레미콘 Pilot Test

실내 배합에서 도출된 최적 배합 중 플라이애쉬가 포함된 배합을 레미콘 생산 시스템을 통해서 실제 생산과 동일한 조건으로 수경성 물질용 분리저감제를 사용한 무다짐 콘크리트를 생산하였다. 레미콘Pilot Test를 통해서 얻은 균지않은 콘크리트의 물성은 다음과 같다. 또한 그림 1, 2는 무다짐 콘크리트의 충전 성능을 확인하기 위한 실험으로써 양호한 결과를 나타내었다.

표 11 균지않은 콘크리트 물성

슬럼프 플로우 (cm)			50cm 도달시간 (sec)			공기량 (%)		V-lot (sec)	U형충전고 (mm)
0min	30min	60min	0min	30min	60min	0min	60min	60min	60min
68/68	66/64	65/63	2.0	3.4	3.9	4.2	3.5	3.0	345

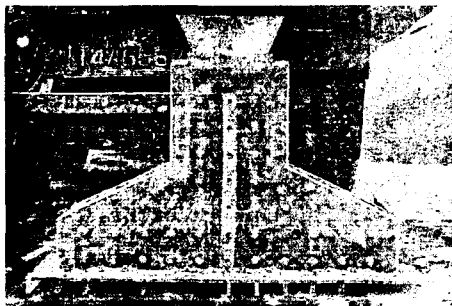


그림 3. 충전성 실험 (타설시작)

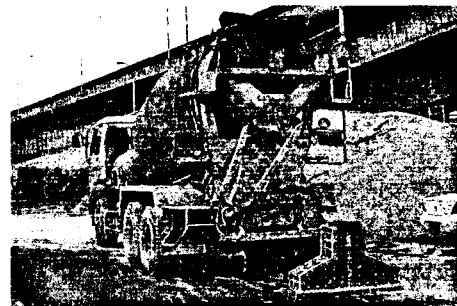


그림 4. 충전성 실험 (타설완료)

#### 4.2 온도영향 평가 실험

무다짐 콘크리트의 배합에서는 유동성, 충전성 및 재료분리저항성 등 굳지않은 콘크리트의 물성이 특히 중요하지만, 실제 타설시에는 봄에서 겨울까지의 온도변화를 감안하여 실행되기 때문에 온도에 따른 콘크리트의 영향 분석도 필요하다. 따라서 온도영향 평가 실험에서는 도출된 최적 배합을 이용하여 굳지않은 콘크리트의 물성 시험, 온도별 응결시간 및 경화 콘크리트 시험 등을 실시하였다.

##### 4.2.1 굳지않은 콘크리트의 물성

최적 배합의 굳지않은 콘크리트 물성은 품질기준에 적합했으며, 시험 결과는 표 12와 같다.

표 12 굳지않은 콘크리트 물성

구분	슬럼프 플로우 (cm)		50cm 도달시간 (sec)		공기량 (%)		U형충전고 (mm)	
	0min	60min	0min	60min	0min	60min	0min	60min
FA	65/65	65/63	4.10	4.80	4.0	3.0	-	340
Slag	69/68	64/65	2.13	5.56	6.7	4.5	-	340

##### 4.2.2 응결시간 비교 결과

응결시간 결과를 보면 플라이애쉬를 치환한 배합보다 고로슬래그 미분말을 치환한 배합의 응결시간이 더 빠르게 나타나는데 이것은 실험에 사용된 고로슬래그 미분말이 비표면적이 커서 수화반응을 촉진하는 효과를 가져온 것으로 판단된다. 그림 3은 혼화재별 응결시간 결과를 나타내고 있다.

##### 4.2.3 경화 콘크리트 물성

고로슬래그 미분말 치환 배합의 조기강도 발현이 약간 높은 것으로 나타났으나 큰 차이를 보이지는 않으며 재령 28일에는 거의 비슷한 수준을 보였다. 그림 4는 재령별 압축강도 결과를 나타내고 있다.

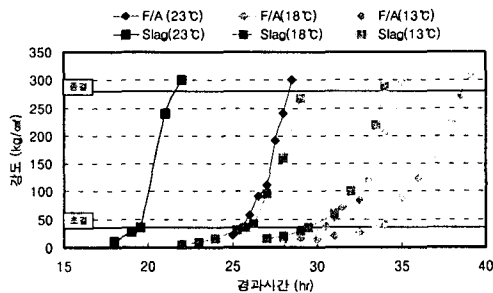


그림 5. 응결시간 비교

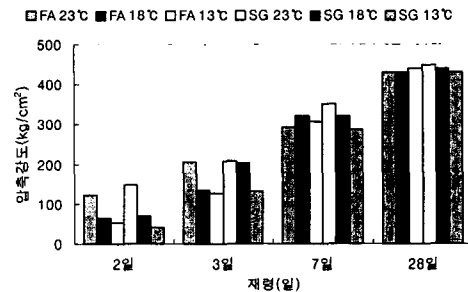


그림 6. 재령별 압축강도

#### 4.3 Semi Mock-Up Test

Semi Mock-Up Test에서는 실제 현장 타설과 유사한 환경을 조성하기 위하여 그림 5와 같이 한쪽면을 아크릴로 처리한 수조에 철근을 배치한 장치를 이용해서 철근이 없는 경우와 철근이 3개씩 배열되는 경우를 비교하고 또한 철근이 3개 배열되어 있는 경우 다른 한쪽에서는 철근이 4개씩 배열되어 있는 경우를 비교 했다. Semi Mock-Up Test 결과를 통해서 수경성 물질용 분리저감제를 사용한 무다짐 콘크리트의 유동성 및 충전성을 종합적으로 검토할 수 있었다.

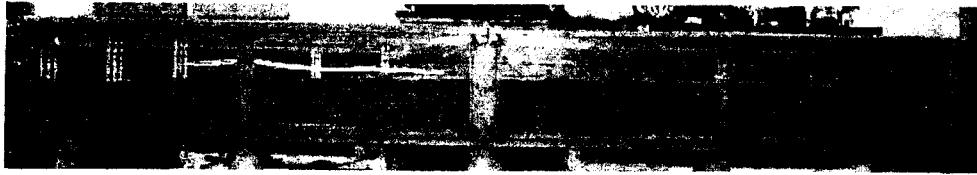


그림 7. Semi Mock-Up 부재 타설 완료

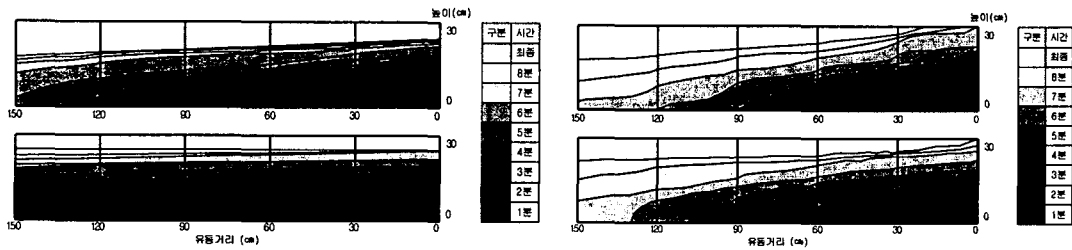


그림 8. (위) 철근 3개 장치, (아래) 철근 장치 없음

그림 9. (위) 철근 4개 장치, (아래) 철근 3개 장치

## 5. 결론

수경성 물질용 분리저감제를 사용한 무다짐 콘크리트의 현장 실용화를 위한 연구 결론은 다음과 같다.

1. 수경성 물질용 분리저감제를 사용한 무다짐 콘크리트의 품질은 전반적으로 우수하였으며, 기존의 분말 증점제 보다는 사용성 측면에서 유리하므로 향후 무다짐 콘크리트 제조시 활용 기회가 확대될 것으로 사료된다.
2. 수경성 물질용 분리저감제를 사용한 경우 콘크리트의 응결시간이 다소 지연되는 경향이 있었으나 이것은 고성능 감수제의 종류에 많은 영향을 받으므로 레미콘 생산시 고성능 감수제의 선택이 중요할 것으로 판단되며, 향후 응결시간을 단축시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 추가로 진행되어야 할 것으로 생각된다.
3. 분리저감제를 사용한 무다짐 콘크리트는 적은 결합제가 투입되므로써 수화열 저감측면에서 상당한 장점을 가지고 있다. 이러한 무다짐 콘크리트 기술수준 향상을 위해서는 수경성 물질용 분리저감제 개발과 같은 새로운 기술을 적극 수용하는 자세를 가져야할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Ikeda, Nishimoto, Yamauchi and Ishikawa, "Experimental study of vibration free concrete" Report of the faculty of science and engineering, Vol. 22, No. 2, 1994.
2. Febrillet, Yamauchi and Ishikawa, "experimental study on fly ash flowable concrete", 49th conference of JSCE, Sept. 1994.
3. 김진근, 한상훈, 박연동, 노재호, "초유동 콘크리트의 재료특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회, 학술발표회 논문집, 1995.
4. 한천구 외 5인, "증점제를 이용한 다짐불요 콘크리트의 실용화에 관한 연구", 대한건축학회 추계학술발표 논문집, 1996. 10
5. 손유신, 윤영수, 원종필, 송영철, "시공성 향상을 위한 고성능 콘크리트 배합설계 모델 개발에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표회, 2000. 5
6. 문한영, 송용규, 김성수, 이승훈, 정재홍, "수중불분리성 콘크리트의 현장적용을 위한 연구", 대한토목학회 학술발표회, 2000. 10.