

고유동 콘크리트용 분리저감형 유동화제의 최적배합비 결정

한천구^{1)*} · 김성수¹⁾ · 손성운¹⁾

¹⁾청주대학교 건축공학과

(2001년 3월 2일 원고접수, 2002년 2월 20일 심사완료)

Determination of Optimal Mixture Proportion of Segregation Reducing Type Superplasticizer for High Fluidity Concrete

Cheon-Goo Han^{1)*}, Seong-Soo Kim¹⁾, and Sung-Un Son¹⁾

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, Chongju University, Chongju, 360-764, Korea

(Received March 2, 2001, Accepted February 20, 2002)

ABSTRACT

High fluidity concrete needs high dosage of superplasticizer to acquire sufficient fluidity and high contents of fine powder and viscosity agents to prevent segregation. But it requires high manufacturing cost and has difficult in quality control. Therefore, in this paper, determination of optimal mixture proportion of segregation type superplasticizer for high fluidity concrete and manufacturing high fluidity concrete by applying developed segregation reducing type superplasticizer are discussed using flowing concrete method. According to test results, as dosage of superplasticizer increases, it shows that fluidity and bleeding increase, while air contents and ratio of segregation resistance decrease. It also shows that adding viscosity agent into it reduce bleeding and improve segregation resistance. Dosage of AE agent into it containing viscosity agent recovers loss of air contents during flowing procedure. Combination of proper contents of superplasticizer, viscosity agent and AE agent make possible to develop segregation reducing type superplasticizer. Compressive strength of high fluidity concrete applying flowing method with it is higher than that of base concrete. No differences of compressive strength between compacting methods are found.

Keywords: high fluidity concrete, viscosity agent, segregation reducing type superplasticizer

1. 서 론

국내 건설업의 경우는 건설시장의 개방에 따른 기술경쟁력 강화라는 국내외적 환경 변화에 직면하고 있는 현실을 고려할 때 신기술·신공법의 개발 및 실용화는 서둘러 대처해야 할 사안으로 인식되고 있다^{1,2)}.

현재, 건설물의 구조재료로서 가장 널리 쓰이는 콘크리트의 경우에도 역시 신기술·신공법에 의한 합리화가 요구되어져, 이미 일부 선진국뿐만 아니라 국내에서도 새로운 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 특히 굳지않은 상태에서 유동성이 좋고, 재료분리에 대한 저항성이 우수하며, 충전성이 양호하여 다짐없이 자력만으로 아무리 복잡한 구조부위라도 손쉽게 채워질 수 있는 고유동 콘크리트의 연구가 진행되어 실용화에도 커다란 발전이 있어 왔다²⁻⁹⁾.

그러나, 이와 같은 고유동 콘크리트는 대부분 레미콘 공

장제조 형태로서 유동성 향상을 위한 다량의 고성능 감수제와 재료분리를 방지하기 위한 다량의 분체 혹은 증점제로 말미암아 제조비용이 고가이고, 또한 품질관리면에서도 많은 어려움이 있었다.

그러므로, 본 연구에서는 유동화 공법을 도입하여 유동화제의 유동성능을 극대화시켜 유동화제량을 최소화함으로써 경제성을 성취하고, 또한 유동화 과정에서 발생하는 재료분리 및 공기량 저하를 유동화제에 증점제 및 AE제를 일정비율로 첨가시켜 해결하는 고유동 콘크리트용 분리저감형 유동화제(가칭, 이하 분리저감형 유동화제라 칭함)의 최적배합비를 결정함으로써 품질관리에 편리성을 도모함으로써 새로운 형태의 고유동 콘크리트 제조에 한 방법을 제안한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, Table 2는 베이

* Corresponding author

Tel : 043-229-8480 Fax : 043-229-8480

E-mail : cghan@chongju.ac.kr

스 콘크리트의 배합사항을 나타낸 것이다.

먼저, 배합사항으로 베이스 콘크리트의 물시멘트비는 40 % 하나의 수준으로 하였고, 목표 슬럼프는 18±2.5 cm, 목표 공기량은 4.5±1.5%로 하였다.

고유동 콘크리트용 분리지감형 유동화제의 최적배합비 결정을 목적으로, 시리즈 I에서는 유동화제 첨가량을 변화하여 목표 슬럼프플로우 60±10 cm의 범위를 만족하는 적정의 유동화제량을 결정하는 것으로 하였다.

시리즈 II에서는 시리즈 I에서 결정된 적정의 유동화제량에 증점제 첨가량을 변화시켜 재료분리가 발생하지 않는 적정의 증점제량을 결정하는 것으로 하였다. 또한, 시리즈 III에서는 시리즈 I 및 II에서 결정된 적정의 유동화제와 증점제량에 AE제 첨가량을 변화시켜 베이스 콘크리트 수준을 만족하는 적정의 AE제 첨가량을 결정하는 것으로 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프

플로우, 공기량, 굵은골재 씻기시험 및 블리딩 시험을 계획하였고, 경화 콘크리트에서는 재령 7, 28 및 91일의 압축강도와 재령 28일의 인장강도를 측정하는 것으로 하였다. 또한, 압축강도의 경우는 재령 28일에서 표준다짐 공시체와 무다짐 공시체의 압축강도를 비교하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로서 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다. 골재로서 잔·굵은골재는 충북 청원군 옥산산 강모래 및 부순굵은골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 4와 같다.

혼화제^{10,11)}로서 유동화제는 멜라민계, 증점제는 폴리테렌 옥사이드(이하 PEO라 칭함)로서 점도는 79 cP(점도 측정온도 20 °C, 0.4 % 수용액, Brookfield 점도계 RV Type,

Table 1 Design of experiments

Series	Mixing factors						Experiments	
	W/C (%)	Slump (cm)	Slump flow (cm)	Superplasticizer (C*×%)	Viscosity agent** (C*×%)	AE agent (C*×%)	Fresh concrete	Hardened concrete
I	40	Base concrete : 18±2.5	High fluidity concrete 60±10	0 0.6 0.9 1.2	0	0	<ul style="list-style-type: none"> Slump Slump flow Air contents Washing test of coarse aggregate Bleeding 	<ul style="list-style-type: none"> Compressive strength compacting condition (7, 28, 91 days) Non compacting condition(28days) Tensile strength (28days)
II				0.9	0	0 0.40 0.50 0.55 0.60 0.70		
III				0.9	0 0.010 0.015 0.020			

* C : Cement

** Diluted with water in the ratio of 4 to 1000

Table 2 Mixing design of base concrete

W/C (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	Unit volume(ℓ/m ³)			Unit weight(kg/m ³)		
					C	S	G	C	S	G
40	180	50	1	0.015	143	316	316	450	815	857

Table 3 Physical properties of cement

Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min.)		Compressive strength (kgf/cm ²)		
			Ini.	Fin.	3d.	7d.	28d.
3.15	3,303	0.08	226	409	231	308	410

50 rpm으로 측정하였음)이었고, AE제는 나트륨 로릴 황산염계를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 5와 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로, 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 첨가한 혼화제가 충분히 혼합될 수 있도록 Fig. 1과 같은 순서에 따라 실시하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프 시험은 KS F 2402 규정에 따라 실시하였고, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였다. 공기량은 KS F 2421 규정(공기실 압력법), 블리딩 시험은 KS F 2414 규정에 의거 측정하였다. 굵은골재 씻기시험은 콘크리트 중의 굵은골재 분포상태로써 콘크리트의 분리저항성을 평가하기 위한 것으로, 실험방법은 슬럼프 플로우 시험이 완료된 시료에 대하여 지름 20cm의 원으로 시료를 분리하여 20cm이내의 시료와 이외의 시료를 채취한 다음 각 시료의 중량을 측정하고 5mm체 씻기시험으로 굵은골재를 채취한 다음, 표면건조포화상태로 만들어 중량을 측정하였다. 측정된 골재 중량으로부터 내외 측의 굵은골재 분포율을 산출하고 이때 20cm 이내의 굵은골재 분포율에 대한 외측의 굵은골재 분포율의 비율을 재료분리 저항률로 하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축 및 인장강도 시험용 공시체 제작은 KS F 2403에 따라 $\phi 10 \times 20$ cm 시험체로 제작하여 계획된 재령동안 수중양생($20 \pm 3^\circ\text{C}$)하였고, 압축 및 인장강도 시험은 KS F 2405 및 2423에 의거 실시하였다. 또한, 압축강도는 재령 28일에서의 표준다짐과 무다짐 공시체의 압축강도를 비교하는 것으로 하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

Table 4 Physical properties of aggregates

Aggregates	Specific gravity	Absorption(%)	Unit weight(kg/m^3)	Solid volume percentage(%)
Fine agg.	2.58	1.94	1,598	61.0
Coarse agg.	2.71	0.84	1,531	56.5

Table 5 Physical properties of chemical admixtures

Kinds	Ingredient	Shape	Density	Recommended dosage (C×%)	Viscosity (cP)
Superplasticizer	Melamine	Dark brown liquid	1.08	1.0	-
Viscosity agents	Poly ethylene oxide	White grain	1.00	0.2	79
AE agents	Sodium lauryl sulfate	Light brown liquid	1.04	0.015	-

Fig. 2는 고유동 콘크리트용 분리저감형 유동화제의 최적배합비 결정을 위하여 실험계획된 각종 혼화제의 첨가량 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 재료분리 저항률 및 블리딩량을 나타낸 것이다. 즉, 시리즈 I의 경우는 베이스 콘크리트에서의 유동화제 첨가량, 시리즈 II는 시리즈 I에서 결정된 적정 유동화제에서의 증점제 첨가량, 시리즈 III은 시리즈 I, II에서 결정된 적정 유동화제 및 증점제 첨가량에 AE제 첨가량을 변화시켜 실험한 것이다.

3.1.1 유동화제 첨가량(시리즈 I)

먼저, 유동화제 첨가량이 증가할수록 슬럼프는 증가하다 일정량 이상에서는 유사한 것으로 나타났고, 슬럼프플로우는 계속하여 증가하는 것으로 나타났다. 단, 유동화제 첨가량 1.2%에서는 점성부족으로 인하여 중앙부에 굵은골재가 쌓이는 재료분리현상이 발생하였다.

따라서, 적정 유동화제 첨가량은 증점제 첨가에 의한 유동성 저하를 감안할 경우 슬럼프값이 24cm, 슬럼프플로우 값이 68cm인 유동화제 0.9%를 결정하였다. 이때 공

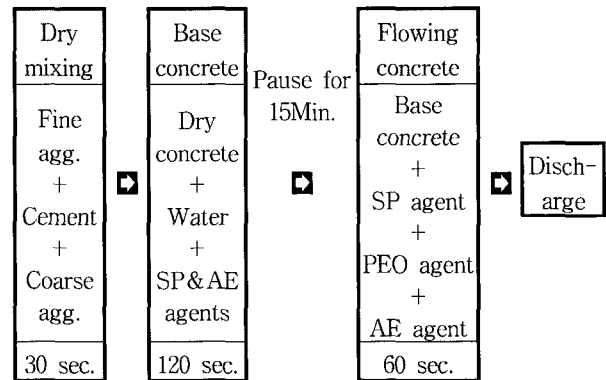
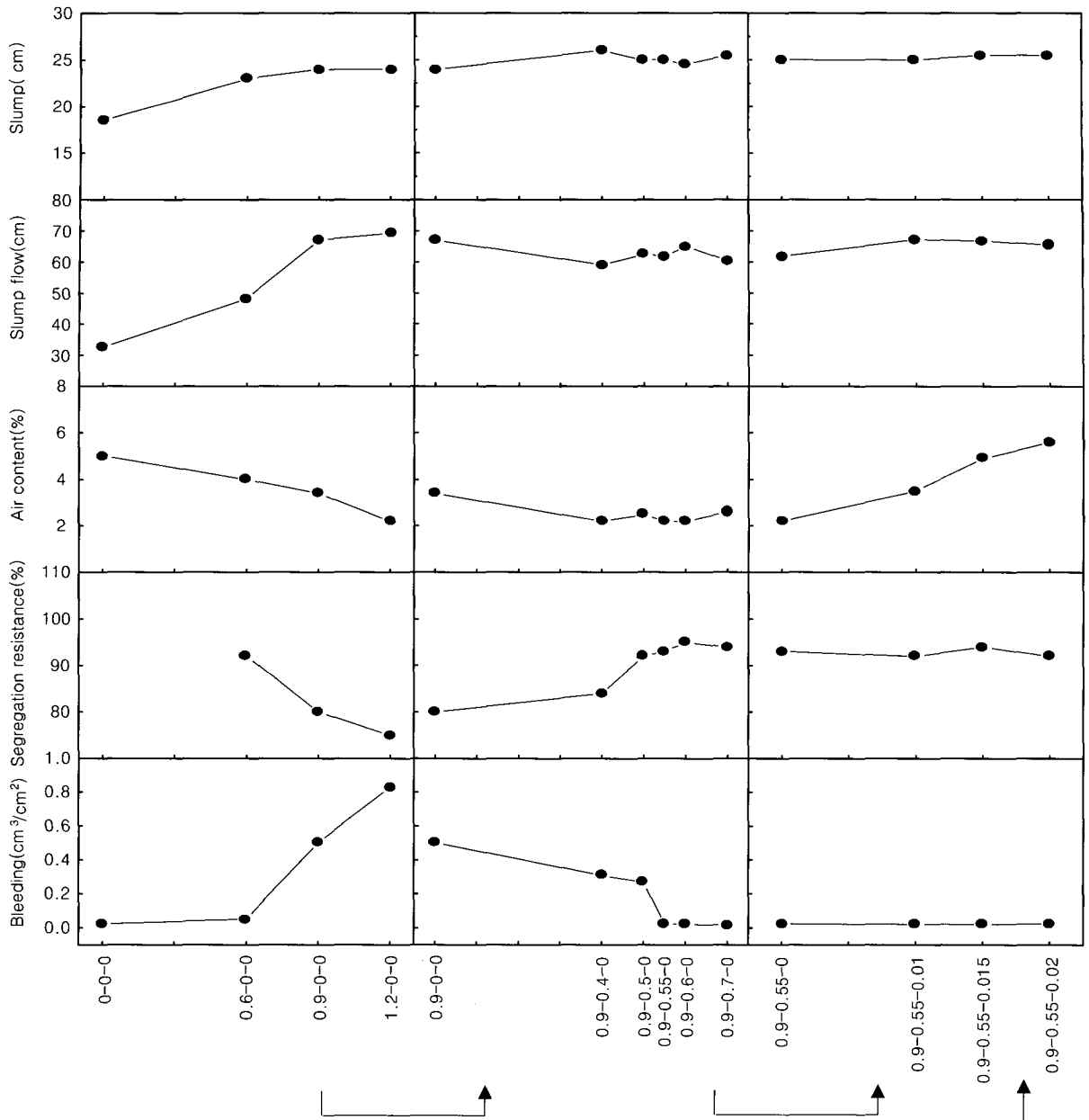


Fig. 1 Mixing procedure



a-b-c a : Superplasticizer
 b : Viscosity agents
 c : AE agents

Segregation-reducing type
 superplasticizer

1) Series I

2) Series II

3) Series III

Fig. 2 Properties of fresh concrete versus dosage of chemical admixture

기량은 유동화제 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향이었고, 육안관찰 및 굵은골재 씻기시험을 통한 재료분리저항률은 크게 저하하는 것으로 나타났다. 또한, 블리딩량은 유동화제 첨가량 0.6% 이상에서 크게 증가하는 경향을 보였다.

3.1.2 증점제 첨가량(시리즈 II)

시리즈 II는 유동화제를 0.9% 첨가하는 배합에서 증점제 첨가량을 변화시킨 것으로 증점제 첨가량이 증가할수록 슬럼프는 거의 변동이 없었고, 슬럼프플로우는 감소하는 경향이었으나, 전반적으로는 큰 차이가 없는 것으로 나타

났다.

그러나, 증점제 첨가량이 증가할수록 재료분리 저항률은 증가하였는데, 특히 증점제 첨가량 0.5% 이상에서 재료분리저항률은 90% 이상으로 나타났다^{12,13)}. 재료분리의 판정에 또 하나의 기준이 되는 블리딩량은 증점제 첨가량이 증가할수록 저하하여, 0.5% 이상에서는 일본건축학회 고유동 콘크리트의 시공지침(안)·동해설의 블리딩량 규정⁴⁾인 $0.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ 를 만족하였는데, 0.55% 이상에서 $0.02 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ 정도로 거의 변화가 없는 경향이었다.

따라서, 유동화제 0.9%에 증점제 첨가량을 변화시켜 유동성, 재료분리 저항률 및 블리딩량을 분석한 결과 재료분리가 없는 범위에서 유동성이 양호한 증점제 첨가량은 0.55%인 것으로 밝혀졌다.

증점제 첨가량 변화에 따른 공기량은 유사하거나 약간 감소하는 경향으로 나타났다. 따라서, 유동화에 의하여 저하된 공기량을 베이스 콘크리트 수준으로 만족시키기 위하여는 AE제 첨가를 검토해야만 할 것으로 사료된다.

3.1.3 AE제 첨가량(시리즈 III)

시리즈 III은 저하된 공기량을 회복시키기 위한 것으로, AE제 첨가량이 증가할수록 유동성은 유사하거나 약간 증가하는 경향으로 나타났고, 재료분리저항률 및 블리딩량도 유사하였으나, 공기량은 크게 증가하는 것으로 나타났다. 또한, AE제 첨가량 0.015%에서는 베이스 콘크리트 수준의 공기량을 만족하였다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

Fig. 3은 Fig. 2와 동일한 방법으로 실험계획된 각종 혼화제의 첨가량 변화에 따른 압축 및 인장강도를 나타낸 것이다.

전반적으로 베이스 콘크리트와 비교할 경우 콘크리트의 압축 및 인장강도는 유동화제 0.9% 일 때 제일 큰 것으로 나타났고, 증점제 및 AE제의 첨가에 따라서는 거의 변화 없거나 약간 저하하는 것으로 나타났다. 이중 유동

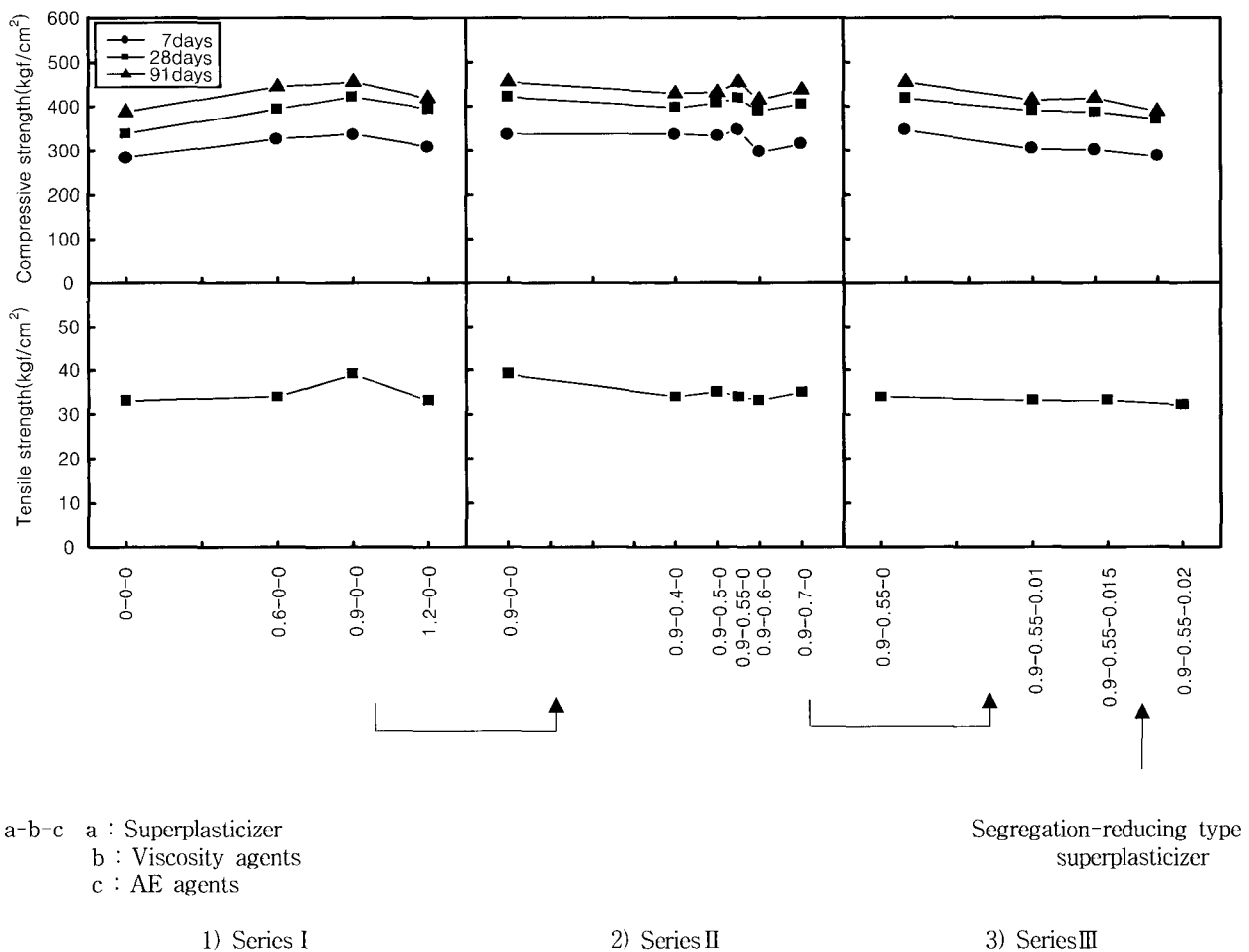


Fig. 3 Properties of compressive and tensile strength versus dosage of chemical admixture

화제를 0.9% 첨가한 경우의 압축강도 증진은 유동성 증진에 의한 충전성 향상 및 공기량 감소 등의 복합적인 원인으로 분석되고, AE제 첨가량 증가에 따른 강도저하는 공기량 증가의 영향으로 분석된다.

따라서, 분리저감형 유동화제를 이용하여 고유동 콘크리트를 제조할 경우, 강도저하 등 특별한 문제점은 없으며 오히려 유동성 증진에 의한 충전성 향상으로 약간의 강도는 증진될 수 있음을 시사하고 있다.

Fig. 4는 재령 28일 압축강도에 대한 7 및 91일 압축강도를 산점도로 비교한 것이다. 재령 28일의 압축강도를 기준으로 재령 7일의 압축강도는 75~90%를 발휘하는 것으로 나타났고, 재령 91일의 압축강도는 약 5~15% 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 재령 28일에서의 표준다짐 공시체의 압축강도와 무다짐 공시체의 압축강도를 산점도로 비교한 것이다. 본 실험조건에서 무다짐 압축강도는 표준다짐 압축강도에 비하여 약 3%(12 kgf/cm²) 정도 작게 나타났다. 그러나, 분리저감형 유동화제를 이용하여 유동화 공법으로 올바르게 제조된 고유동 콘크리트는 다짐방법에 따른 차이가 거의 없는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 재령 28일의 압축강도에 대한 28일의 인장강도를 산점도로 비교한 것이다. 전반적으로 재령 28일의 인장강도는 압축강도의 약 1/10~1/13 정도인 것으로 나타났다.

종합적으로 본 실험에서는 슬럼프 185 cm, 슬럼프플로우 32.5 cm, 공기량 5%인 베이스 콘크리트에 유동화제 0.9%, 증점제 0.55% 및 AE제 0.015%를 첨가하여 유동

화시 키르로써 Table 6과 같이 슬럼프 25.5 cm, 슬럼프플로우 66.8 cm, 공기량 4.9% 이고, 특히 재료분리가 방지되며, 강도도 상승되는 양호한 고유동 콘크리트를 제조할 수 있었다. 그러므로 본 연구범위에서 고유동 콘크리트 제조용분리저감형 유동화제를 제조하기 위하여 멜라민계 유동화제를 기준으로 환산할 경우 혼합비율은 멜라민계 유동화제 : PEO 증점제 : AE제를 1 : 0.61 : 0.017의 비율로 혼합할 경우 유동화제의 품질을 향상시킬 수 있는 최적배합비율을 알 수 있었다.

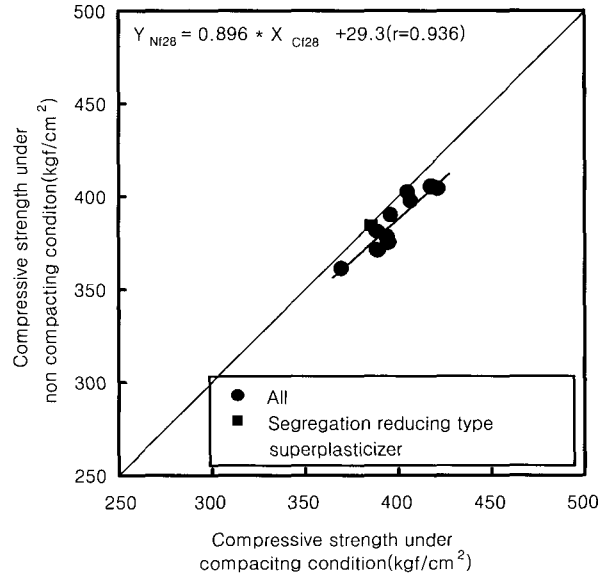


Fig. 5 Correlation between compressive strength under compacting and non compacting condition

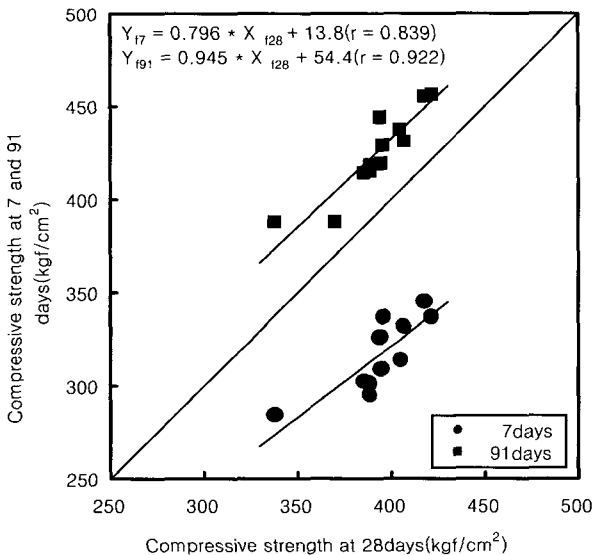


Fig. 4 Correlation between compressive strength at 28 days and at 7, 91 days

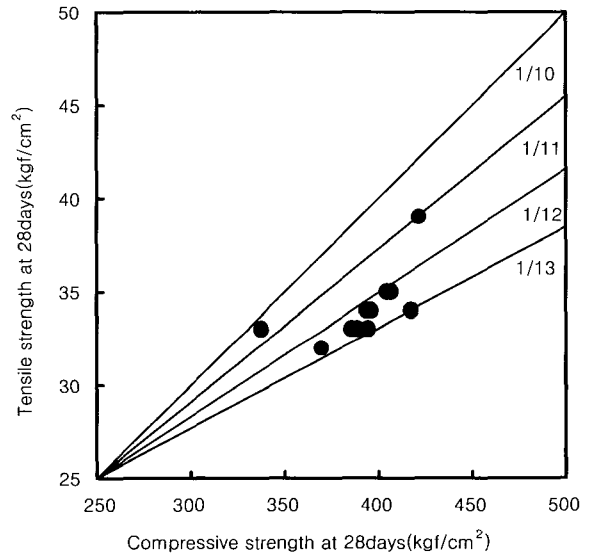


Fig. 6 Correlation between compressive strength and tensile strength at 28 days

Table 6 Experimental results of base and flow concrete

Kinds	Slump (cm)	Slump flow (cm)	Air content (%)	Segregation resistance (%)	Bleeding (cm ³ /cm ²)	Compressive strength (kgf/cm ²)			Tensile strength (kgf/cm ²)
						7days	28days	91days	28days
Base concrete	18.5	32.5	5	-	0.02	284	338	388	33
Flowing concrete	25.5	66.8	4.9	94	0.02	301	386	418	34

4. 결 론

유동화제에 증점제 및 AE제의 혼합 비율을 변화시켜 고유동 콘크리트용 분리저감형 유동화제의 최적배합비 결정에 관한 실험 연구 결과는 다음과 같이 요약된다.

1) 유동화제 첨가량 증가에 따른 슬럼프 및 슬럼프플로우 경우 첨가율 0.9%까지는 증가하였지만, 그 이상에서는 거의 변화 없는 것으로 나타났고, 공기량 및 재료분리 저항률은 저하하였으며, 블리딩량은 크게 증가하는 것으로 나타났다.

2) 증점제 첨가량 증가에 따른 슬럼프, 슬럼프 플로우 및 공기량은 유사하거나 약간 저하하는 것으로 나타났지만, 재료분리 저항률은 첨가율 0.55% 이상에서 90% 이상으로 양호하게 나타났고, 블리딩량도 0.02 cm³/cm² 정도로 양호한 결과를 얻었다.

3) AE제 첨가량 증가에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우는 약간 증가하는 경향으로 나타났고, 재료분리 저항률 및 블리딩량은 유사한 것으로 나타났으나, 특히 공기량은 급격히 증가하여 AE제 0.015%에서 베이스 콘크리트의 공기량으로 회복하는 것을 확인할 수 있었다.

4) 고유동 콘크리트의 압축강도는 베이스 콘크리트보다 유동성 증가에 따른 충전성 향상으로 약간 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 표준다짐 공시체의 압축강도와 무다짐 공시체의 압축강도는 약간의 차이는 있지만, 다짐방법간의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

5) 종합적으로 유동화 공법 도입에 의한 고유동 콘크리트 제조용 분리저감형 유동화제는 멜라민계 유동화제 : PEO 증점제 : AE제를 1 : 0.61 : 0.017의 비율로 혼합하여 사용할 경우 위커빌리티 향상, 재료분리 방지 및 양호한 역학적 성질을 발휘할 수 있는 분리저감형 유동화제의 품질을 향상시킬 수 있었다.

참고문헌

1. 강석화, 박철립, "일본에서의 초유동 콘크리트의 실용화

동향," 콘크리트학회지, Vol. 5, No. 2, 1993. 6, pp.54~65.

2. 윤재환, 차태환, 홍순조, 권지훈, "고유동 콘크리트의 제조 및 현장적용을 위한 실험적 연구," 콘크리트학회지, Vol. 8, No. 2, 1996. 4, pp.109~117.

3. 김성환, 박원구, 최응규, "고강도-초유동 콘크리트 충전합성강관 구조물의 시공 및 품질관리," 콘크리트학회지, Vol. 8, No. 4, 1996. 8, pp.86~93.

4. 김무한, 鎌田英治, 한천구, 송하영, 김규용, "고유동 콘크리트의 제조시스템 및 개발에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 논문집, Vol. 13, No. 5, 1997. 5, pp.279~288.

5. 박철립, 권영호, 이상수, 원철, "Top Down 공법에 초유동 콘크리트의 현장적용," 대한건축학회 논문집, Vol. 13, No. 10, 1997. 10, pp.355~362.

6. 임병훈, 임서형, 권지훈, "고유동 콘크리트를 사용한 R/C조 건물의 기둥 보강공사," 콘크리트학회지, Vol. 10, No. 1, 1998. 2, pp.59~64.

7. 황소영, 이학기, 강병희, "고유동 콘크리트의 현장 적용성에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, Vol. 14, No. 7, 1998. 7, pp.71~78.

8. 한천구, 김기철, 최응규, "증점제 및 플라이애쉬를 이용한 고유동 콘크리트의 모의부재 실험 연구," 대한건축학회 논문집, Vol. 14, No. 10, 1998. 10, pp.69~76.

9. 김기철, "증점제를 이용한 고유동 콘크리트의 특성 및 실용화에 관한 연구," 청주대학교 박사학위논문, 1998.

10. 한천구, 반호용, 오선교, "분리저감형 유동화 콘크리트의 개발에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, Vol. 14, No. 12, 1998. 12, pp.73~82.

11. 한천구, 강의영, 오선교, 반호용, "증점제를 이용한 분리저감형 유동화 콘크리트의 개발 및 그 특성 분석," 한국콘크리트학회지, Vol.11, No.1, 1999. 8, pp.95~106.

12. 한천구, 김기철, "고유동 콘크리트의 새로운 재료분리 저항성 평가방법에 관한 제안," 콘크리트학회지, Vol. 10, No.12 1988. 4, pp.147~154.

13. 한천구, 최응규, 김기철, 조병영, "증점제를 이용한 고유동 콘크리트의 특성에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, Vol. 13, No.5, 1997. 5, pp.271~277.

요 약

고유동 콘크리트를 제조할 경우는 유동성 향상을 위한 다량의 고성능 감수제와 재료분리를 방지하기 위한 다량의 분체 혹은 증점제로 말미암아 제조비용이 고가이고, 또한 품질관리에도 많은 어려움이 있다. 그러므로, 본 연구에서는 유동성 및 재료분리 저항성이 우수한 고유동 콘크리트를 경제적으로 제조하기 위하여 분리저감형 유동화제의 최적배합비를 결정한 다음, 유동화 공법으로 접근하는 것을 검토하였다. 실험결과로 유동화제 첨가량이 증가할수록 유동성 및 블리딩량은 증가하였고, 공기량 및 재료분리저항성은 저하하는 것으로 나타났다. 따라서, 여기에 증점제를 첨가함에 따라 양호한 유동성에서 블리딩량이 저하하였고, 재료분리저항성도 증대되었는데, 마지막으로 AE제량 증가에 따라 저하된 공기량이 회복되므로써 양질의 분리저감형 유동화제로 최적배합비를 결정할 수 있었다. 경화 콘크리트 특성으로 유동화 공법으로 제조된 고유동 콘크리트의 압축강도는 베이스 콘크리트보다 증가하는 것으로 나타났고, 무다짐 공시체의 압축강도는 표준다짐 공시체의 압축강도와 유사한 것으로 나타나 다짐 방법간의 차이는 없는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 고유동 콘크리트, 증점제, 분리저감형 유동화제
