
강섬유를 혼입한 굳지 않은 재생 콘크리트의 특성에 관한 연구

Properties of Freshly Mixed Concrete Using Recycled Coarse Aggregates and Steel Fiber



구봉근*

Koo, Bong-Kuen



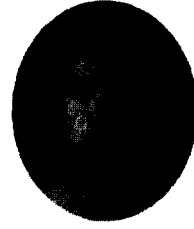
김창운**

Kim, Chang-Woon



김태봉***

Kim, Tae-Bong



박재성****

Park, Jae-Seung

ABSTRACT

The physical properties of freshly mixed steel fiber reinforced recycled concrete(SFRC) were investigated. Physical state and quality of fresh concrete were monitored batch by batch. The properties of freshly mixed SFRC were determined in terms of slump, air content, superplasticizer, and bleeding ratio. Concrete mixtures were produced for three kinds of aggregate proportions. So, the experimental variables are various aggregate proportions, steel fiber contents(0, 0.5, 1.0, 1.5%) and steel length(30, 50, 60mm). From experimental results, optimum S/a by various experimental variables, variations of the slump by the air contents, and optimum superplasticizer to decrease unit water were presented.

Keywords : steel fiber reinforced recycled concrete, slump, recycled aggregate concrete

* 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 충북대학교 토목공학과 박사과정 수료

*** 정회원, 대덕대학 산업응용계열 교수

**** 충북대학교 토목공학과 박사과정

· 본 논문에 대한 토의를 2001년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2001년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

현재 건설현장에서는 천연골재 자원이 부족해지고 있으며, 노후화된 기존의 콘크리트 구조물의 증가로 건설폐기물 발생량⁽¹⁾이 증가하고 있다. 따라서, 이런 건설폐기물의 처리문제는 사회적 문제가 될 정도로 아주 심각하다. 또한, 현 우리나라 콘크리트 표준 시방서^(2,3)는 섬유보강콘크리트의 시공에서 특히 필요로 하는 사항에 대하여 일반적인 표준을 규정하고 있으나, 아직까지 상세히 기술하지 않고 있다.

강섬유의 표면적과 형상에 의한 굳지 않은 콘크리트의 내부 마찰 증가로 인하여 강섬유를 혼입한 굳지 않은 콘크리트의 반죽질기저하 현상⁽⁴⁾이 나타난다. 실제로 치수가 0.5×0.5×30 mm의 강섬유를 용적혼입률로 2% 혼입한 경우를 계산하면 1m³중의 섬유수는 267만개이고, 그 표면적은 실제로 1,600,000 cm²에 달한다⁽⁵⁾. 따라서, 보통콘크리트에 관한 규정을 강섬유 보강 콘크리트 (Steel Fiber Reinforced Concrete : 이하 SFRC)에 적용하는 것은 한계가 있기 때문⁽⁶⁾에 본 연구의 필요성이 대두되었다.

한편, 본 연구의 가장 중요한 목적은 건설폐기물인 폐콘크리트의 부산물, 즉 재생골재를 건설공사에 재사용하는 것이다. 또한 보통 콘크리트의 단점인 인성부족이 재생골재를 사용함으로써 작아진다고 보고⁽⁷⁾ 되어 있어, 본 연구에서는 이를 보강하기 위하여 강섬유를 혼입한 굳지 않은 재생콘크리트(콘크리트 폐기물에서 추려낸 재생골재를 사용한 콘크리트)의 특성을 실험을 통해 검토하고자 했으며, 섬유 보강 콘크리트의 적용을 위한 기초적 자료 제시 하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험계획

실험계획은 Table 1과 같다. 즉, 실험변수로서 골재의 구성 형태는 쇄석골재100%(CS100), 쇄석골재70%+재생골재30%(CS70+RA30), 쇄석골재50%+재생골재50%(CS50+RA50), 강

섬유혼입률은 0, 0.5, 1.0, 1.5%의 4가지 유형, 강섬유길이는 30, 50, 60 mm의 3가지 유형, Superplasticizer는 5가지 유형, 잔골재율, 단위수량을 고려하였고, 실험사항으로는 KS, ASTM에 규정되어 있는 공기량과 슬럼프, 블리딩, 혼화제의 영향 등을 측정하였다.

특히, 공기량은 콘크리트의 워커빌리티, 강도, 내구성, 수밀성 및 단위무게 등에 큰 영향⁽⁸⁾을 미치므로 콘크리트의 품질관리 및 적절한 배합설계를 위하여 공기량의 측정이 필요하므로, 본 연구에서는 워싱턴형 공기량 측정기(Washington type air meter)로 측정하였으며, 공기량 눈금판의 점정, 콘크리트의 걸보기 공기량의 측정, 골재 수정계수 등을 측정하여 콘크리트의 공기량(KS F 2421)을 측정했다. 콘크리트의 반죽질기를 측정하기 위하여 실시하는 것으로 슬럼프 시험은 KS F 2401(굳지 않은 콘크리트의 시료채취방법)에 따라 시료를 채취하여 KS F 2402에 준하여 시험하였다. 블리딩은 KS F 2414에 의하여 시험하였다.

Table 1 Testing plan

Test Variables						Test item
W/C	Aggregate type	Steel fiber		S (C × %)	S/a	W
		cont. (%)	leng. (mm)			
	CS100%	0		0		Air(%) Slump Bleeding
	CS70% + RA30%	0.5	30	0.4		
	CS50%	1.0	50	0.8		
	CS50% + RA50%	1.5	60	1.2		
				1.6		

Note : CS : crushed stone, RA : recycled aggregate, S : superplasticizer, C : cement.

콘크리트의 혼합을 위해서 강제식 팬믹서(MARUTO사, 50리터)를 사용하였다. 이때 강섬유 첨가는 fiber ball현상을 억제하기 위해서 손으로 1/2를 뿌려주고 건조비빔을 60초간 실시한 후, 물과 함께 나머지 강섬유를 천천히 첨가시키면서 90초간 혼합하였다.⁽⁴⁾

2.2 실험재료

시멘트는 비중이 3.15, 감열감량이 2.1%, 안정도가 0.15%이며, 분말도가 3.220cm/g² 인 S

사에서 생산 중인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. Table 2는 시멘트(KS L 5201)의 물리적, 화학적 성질을 나타낸 것이다.

Table 2 Physical, chemical properties of cement

Setting		C.S. (kgf/cm ²)			MgO (%)	SO ₃ (%)
Initial(min)	Final(min)	3D	7D	28D		
235	375	211	292	385	3.1	2.1

Note ; C.S. : Compressive strength, D : days

Table 3 Physical properties of aggregate

Class.	S.G	F.M.	Abrasion (%)	Absorption (%)
CS	2.56	6.71	31	2.47
RA	2.19	6.55	33	7.26
Sand	2.50	2.57	-	0.93

Note ; S.G. : specific gravity

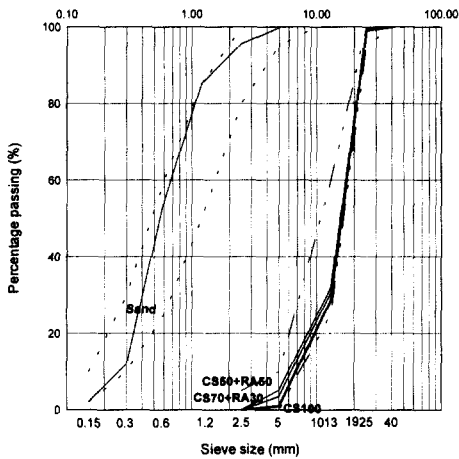


Fig. 1 Grading curve of aggregate

사용 골재의 물리적 특성은 Table 3과 같고, 골재의 체가름 곡선은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 알 수 있듯이, 사용 골재는 모두 굵은골재 최대치수가 25 mm이며, 모든 골재조합이 표준입도를 만족한다.

한편, 콘크리트표준시방서⁽³⁾에서 요구하는 시멘트계 복합재료용 섬유로서 무기계섬유에 속하는 강섬유의 일반적인 성질은 결합재 사이의 부착성이 양호하고, 섬유의 인장강도가 크며, 내구성, 내열성 및 내후성이 우수하여야 한다고 기술

되어 있다. 본 연구에 사용된 강섬유는 시방조건에 모두 만족하며, Table 4와 같은 물리적 특성을 갖는다.

실험에 있어서 목표슬럼프값을 맞추기 위해서 고성능유동화제를 첨가하였는데, 고성능유동화제의 물성치는 Table 5와 같다.

Table 4 Physical properties of steel fiber

Fiber type	Class.	L (mm)	D (mm)	S.G.	E	T.S. (kgf/cm ²)
Steel fiber		30	0.5	7.85	20	20,000
		50				
		60				

Note ; L : length, D : diameter, E : elastic modulus($\times 10^5$ kgf/m²), T.S. : tensile strength

Table 5 Physical properties of superplasticizer

S.G (20°C)	pH	Main component	Type	Color
1.21	8	Akali sulfonate	Liquid	Brown

3. 결과 및 고찰

3.1 배합요인의 영향

Fig. 2는 슬럼프가 12 cm의 콘크리트에 강섬유를 혼입한 경우의 슬럼프 변화와 물-시멘트비와의 관계를 표시한 것이다. Fig. 2에서 SFRC는 강섬유 혼입량의 증가에 따라 슬럼프

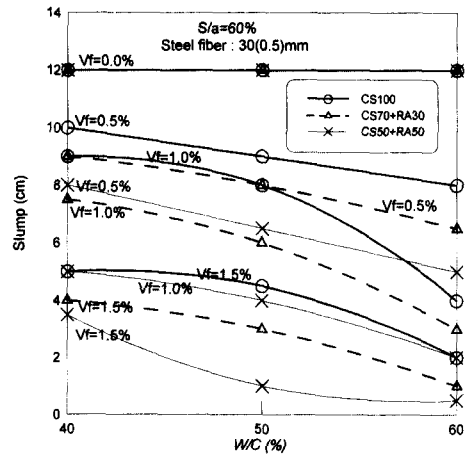


Fig. 2 Effect of W/C influenced on consistency of SFRC

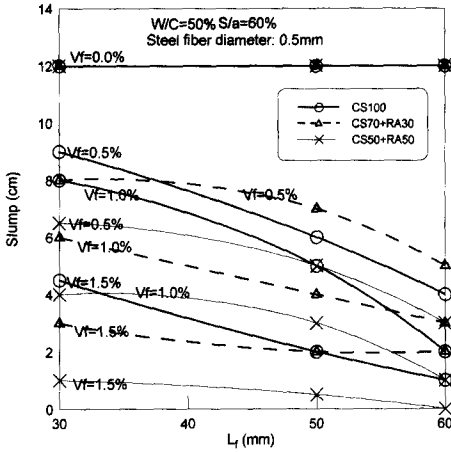


Fig. 3 Effect of steel fiber length on consistency of SFRC

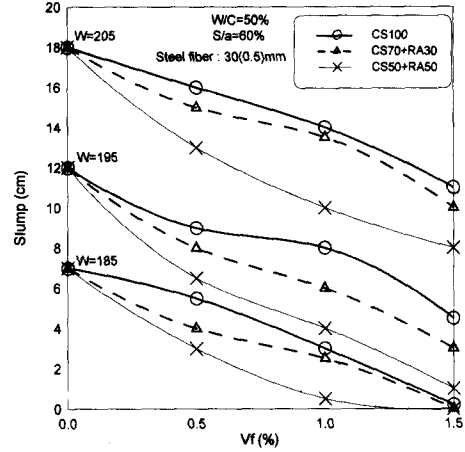


Fig. 4 Relation of steel fiber content and slump

감소량이 증가하였다. 이는 강섬유 혼입량 증가로 인한 콘크리트 내에서의 내부마찰이 때문으로 사료되며, 보통 콘크리트에 성립하는 단위수량 일정법칙(물-시멘트비가 변화해도 동일 슬럼프를 얻기 위한 단위수량은 거의 일정하다)이 성립하지 않았다.

Fig. 3은 SFRC의 슬럼프에 미치는 강섬유의 치수의 영향을 강섬유의 지름이 일정한 경우에 대하여 표시한 것이다. 여기서, 어떤 일정한 슬럼프의 콘크리트에 단면치수가 일정하고 길이가 다른 강섬유를 소정량 혼입한 경우의 슬럼프 감소는 강섬유 길이가 길어지는 만큼 현저하게 감소함을 알 수 있었다. 이 원인은 섬유길이가 증가함에 따라 강섬유의 엉김 현상이 두드러지면서 슬럼프가 감소되는 것으로 사료된다.

한편, 강섬유혼입률과 슬럼프와의 관계를 Fig. 4에 나타내었다. 단위수량이 185, 195, 205 kg 일 때, 세 가지 골재조합(쇄석골재 100%, 쇄석골재 70%+재생골재 30%, 쇄석골재 50%+재생골재 50%)의 초기슬럼프값을 각각 7cm, 12cm, 18cm로 맞춘 후, 강섬유혼입률 증가에 따른 슬럼프의 변화를 살펴보면, 단위수량이 185 kg에서 제일 작게 변하는 것을 알 수 있다.

단위수량이 185, 205 kg일 때는 쇄석골재 100%, 쇄석골재 70%+재생골재 30% 조합의 섬유혼입률에 따른 슬럼프 변화는 매우 유사하게 나타났다.

3.2 재생골재를 포함한 SFRC의 특성

먼저, 최적잔골재율과 이것에 미치는 각종 요인의 영향을 살펴본 결과, Fig. 5는 섬유혼입률(0.5, 1.0, 1.5%)이 다른 SFRC에 대해, 잔골재율과 슬럼프와의 관계를 구한 것이다. Fig. 5에서 분명하듯이 단위수량, 단위시멘트 및 강섬유 혼입률을 일정하게 하고 잔골재율을 변화시키면, SFRC의 경우에도 슬럼프값이 최대가 되는 잔골재율, 즉 슬럼프를 일정하게 한 경우 단위수량

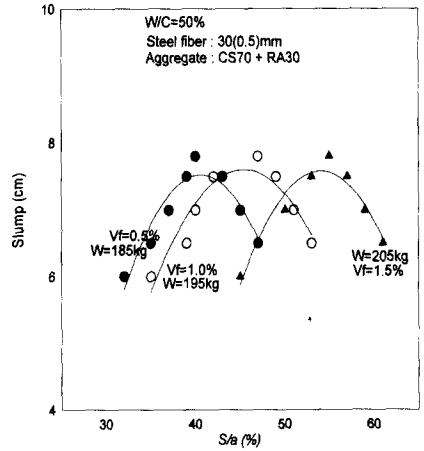


Fig. 5 Relation of S/a and slump

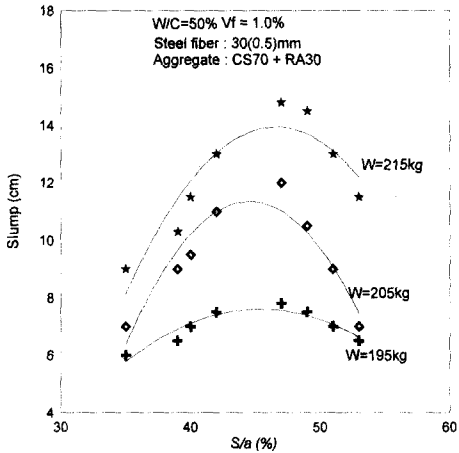


Fig. 6 Relation of optimum S/a and slump

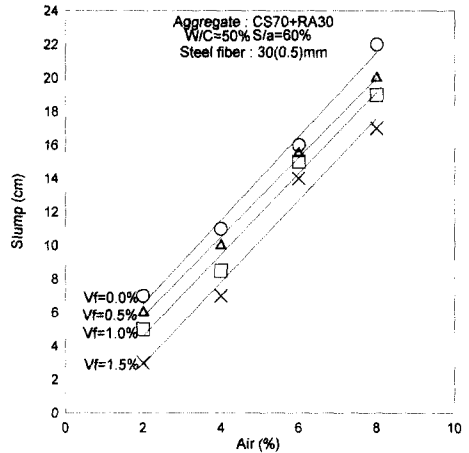


Fig. 8 Relation of air and slump (CS70 + RA30)

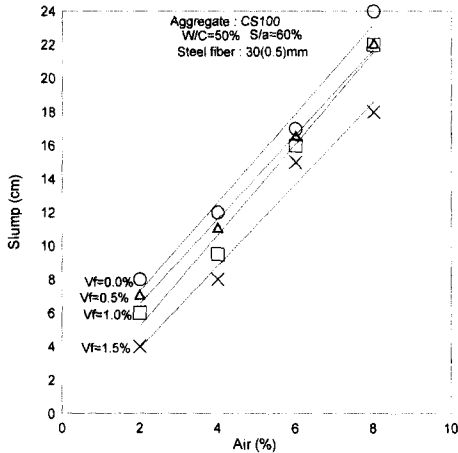


Fig. 7 Relation of air and slump (CS100)

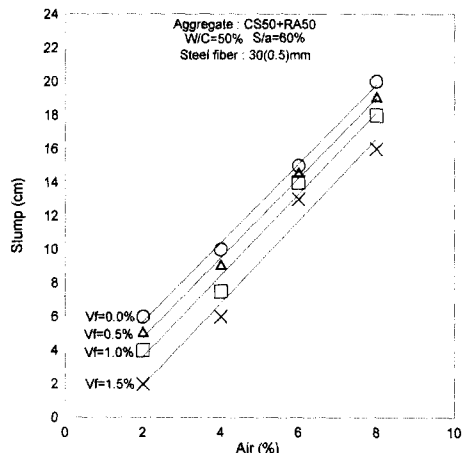


Fig. 9 Relation of air and slump (CS50 + RA50)

량이 가장 작게 되는 최적잔골재율이 존재한다. 이 값은 섬유혼입률에 따라 다르고, 섬유혼입률이 증가함에 따라 큰 값이 되는 것이 Fig. 5에서 분명하다.

한편, 단위수량에 미치는 각종 요인의 영향을 살펴보기 위해서 단위수량을 195, 205, 215kg으로 변화시키면서 슬럼프와 잔골재율과의 관계 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6을 보면, 강섬유혼입률(1.0%)과 골재조합(쇄석골재 70% + 재생골재30%)의 경우, 슬럼프의 값 여하에 관계 없이 최적잔골재율은 거의 일정한 값을 가짐을 알 수 있었다.

공기량과 슬럼프와의 관계를 나타낸 것이 Fig. 7~Fig. 9에 나타나 있다.

Fig. 7 ~ Fig. 9에서 실용적인 범위는 섬유혼입률의 여하에 관계없이, 공기량의 증대와 함께 슬럼프값이 직선적으로 크게 되는 것을 알 수 있었고, 공기량 증가에 따른 슬럼프의 값은 재생골재가 많이 함유된 골재의 조합에서 다소 작았다. 또 직선의 기울기에 상당하는 값 즉, 공기량 1%에 대한 슬럼프의 변화량은, 일반 콘크리트의 경우와 같은 정도로 약 2cm로 되는 것을 알 수 있었다.

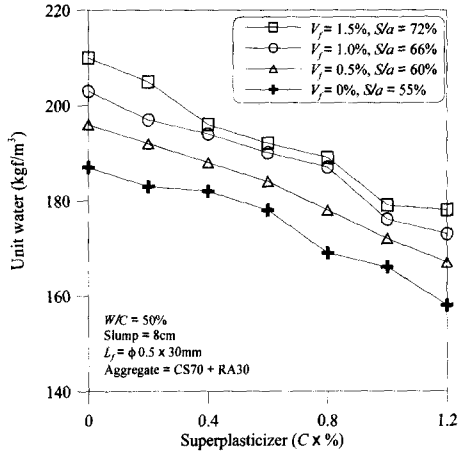


Fig. 10 Relation of unit water and superplasticizer (slump : 8cm)

한편, Fig. 10은 슬럼프 8cm를 얻을 때 고성능감수제⁽⁹⁾의 첨가에 의한 단위수량의 감소를 그림에 나타낸 결과이다. 재생골재를 포함한 강섬유보강 콘크리트에서는 일반적으로 단위수량이 증가하는 경향이 있고 어느 정도의 슬럼프를 갖는 SFRC의 단위수량은 200 kg/m³을 넘는 것이 보통이다. 이것을 대폭으로 감소시키는 유효한 수단은 고성능 감수제의 이용이다. Fig. 10에 의하면 보통 콘크리트와 같이 고성능감수제의 첨가량을 늘림에 따라, 단위수량은 거의 직선적으로 감소하였다. 고성능감수제를 시멘트 중량에 대해서 1.2% 정도 사용함으로써 소요의 슬럼프를 갖는 SFRC의 단위수량을 15% 정도 감소시키는 것이 가능한 것을 알 수 있었다. 또, 잔골재율이 작은 콘크리트에 고성능감수제를 이용하면 재료분리의 영향을 나타내지만 SFRC의 배합은 잔골재 재료가 크기 때문에 고성능감수제의 이용이 특히 유용한 것으로 사료되었다. 한편, 구미에서는 flyash 등의 이용이 검토되고 있지만 혼화제에 비해 효과가 적고 강도지연의 불이익도 있기 때문에 실용의 가능성이 희박⁽⁵⁾하다.

Fig. 11은 SFRC의 블리딩 성상을 나타낸 것이다. 이 그림에서 SFRC의 블리딩은 기본적으로는 물-시멘트비에 의해 결정되지만, 물-시멘트비가 일정한 경우에는 보통 콘크리트보다도

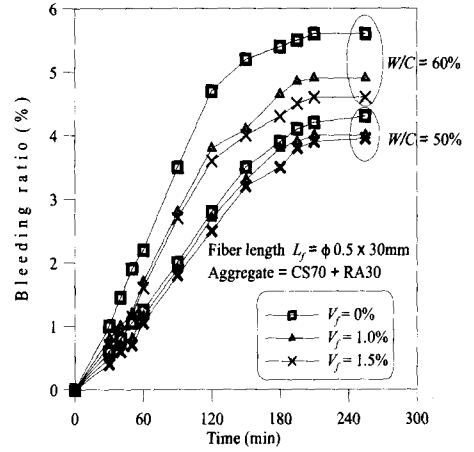


Fig. 11 Bleeding ratio according to time

적게 되어, 그 정도는 물-시멘트비의 값이 큰 만큼 커지는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 강섬유 보강 재생 콘크리트의 굳지 않은 특성에 관한 실험을 통하여 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 재생골재를 포함한 어느 일정한 슬럼프의 콘크리트에 소정량의 강섬유를 혼입한 경우, 슬럼프 변화는 잔골재율에 의해서 상당히 다르고 잔골재율의 값이 작게 되는 만큼 그 변화는 크게 되는 것을 알 수 있었다.
- 2) 공기량 1%에 대한 슬럼프의 변화량은 골재의 배합에 다소 차이가 있지만 2~3.2cm가 되는 것을 알 수 있었다.
- 3) 본 실험에서는 크게 3가지의 골재조합(쇄석골재 100%, 쇄석골재 70% + 재생골재 30%, 쇄석골재 50% + 재생골재 50%)에 대해서 실험을 행하였다. 기준이 되는 쇄석골재 100%와 쇄석골재 70% + 재생골재 30% 조합의 실험결과를 종합적으로 살펴보면, 큰 차이를 보이지 않아서 강섬유 포장과 관련된 시공에서 일반골재에 대체해서 재생골재를 시공성측면에서 약 30% 정도는

사용해도 무방할 것으로 사료된다.

- 4) SFRRC의 배합에서는 고성능감수제의 이용이 특히 유용하였으며, 시멘트 중량의 1.2%정도를 사용함으로써 단위수량을 15%정도 감소시킬 수 있었다.
- 5) 결과는 본 실험에서 사용한 재생골재와 유사한 물리적 성질을 갖는 재생골재들에만 적용됨을 밝혀두며, 어느 특정지역의 재생골재를 사용하기 위해서는 적절한 재료실험을 통한 최적의 배합설계 등을 수행하여야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 연구개발사업인 건설폐기물의 재활용 및 처리기술개발 중 제 3 세부과제인 **폐콘크리트의 재활용 및 처리기술개발** (1997. 12~2000. 4)에 대한 연구성과 중의 일부이며, 연구를 수행할 수 있도록 지원해주신 건설교통부, 한국건설기술연구원, 강섬유를 제공해주신 (주)청조 등의 관계자 여러분께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부, "98 전국 폐기물 발생 및 처리현황," 1999.
2. 한국콘크리트학회, "콘크리트표준시방서," 1999.
3. 대한토목학회, "콘크리트표준시방서," 1996.
4. 구봉근, 김창운, 박재성, "폐콘크리트를 이용한 굳지 않은 강섬유 보강 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제 11권 2호, 11월, 1999.
5. 小林一輔, "纖維補強コンクリート-特性と應用-", オーム社, 1981, pp. 123~138.
6. 小林一輔·岡村雄樹, "所要のコンシステンシーを得るための鋼纖維補強コンクリートの配合設計方法," 日本土木學會論文報告集, 第293號, 1980. 4, pp. 111~119.
7. Sobhan, K., "Stabilized Fiber-Reinforced Pavement Base Course with Recycled Aggregate," Ph.D Dissertation, University of Northwestern, Illinois, 1997.
8. Neville, A. M., "Properties of Concrete," Fourth Edition Pitman, 1995.
9. American Society for Testing and Materials, ASTM C1017-92, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete," ASTM, Philadelphia, 1992.

요 약

본 연구는 굳지 않은 강섬유 보강 콘크리트에 재생골재를 첨가함으로써 SFRRC의 굳지 않은 성질을 살펴본 실험이다. 현재 폐콘크리트의 발생량이 연간 약 1000만 톤(1998년)에 육박하는 실정에서 재생골재를 일반골재에 대체해서 써야 하는 만큼 콘크리트용 골재의 고갈화는 심각하다. 굳지 않은 콘크리트의 실험중 슬럼프, 공기량, 블리딩, 혼화제의 영향을 여러 변수 인자와의 상관성 중심으로 실시하였다. 재생골재를 씌으로써 굳은 후 내구성, 인성, 강도의 문제점을 극복하기 위하여 강섬유를 변수로써 혼합하였다. 결론적으로, 본 연구는 강섬유 보강 재생 콘크리트의 포장 콘크리트에 대한 시공성 및 유동성 측면을 살펴보기 위한 굳지 않은 콘크리트의 성질을 살펴보았다. 여러 실험 변수에 따른 최적 잔골재율과 공기량 변화에 따른 슬럼프값의 변화, 단위수량을 감소시키기 위한 고성능 감수제의 최적량등을 제시하였다. 추후 재생골재를 함유한 강섬유 보강 포장 콘크리트의 시공성에 관한 기초적 자료로 유효할 것이라 사료된다.

(접수일자 : 2000. 6. 12.)