

플라이애쉬를 이용한 강섬유보강콘크리트의 강도 및 휨인성 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Strength and Flexural Toughness of Steel Fiber Reinforced Concrete Using Fly Ash

박 승 범*
Park, Seung Bum

조 청 휘**
Cho, Chong Hui

이 봉 춘***
Lee, Bong Chun

김 정 환***
Kim, Jeong Hwan

Abstract

This paper describes an experimental study on the strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete using fly ash. The fly ash contents were varied from 0% to 20% of cement weight to explore the effect of fly ash addition with steel fiber reinforced concrete. As the result, the tensile strength, flexural strength and flexural toughness were increased remarkably as steel fiber contents were increased to 2.0 vol.%. Also, the steel fiber reinforced concrete containing 10% fly ash developed the highest strength. In the same contents of steel fiber, the flexural toughness characteristics show excellent when fly ash contents were 10% and steel fiber contents were 1.5 vol.%.

1. 서론

최근 국내·외의 대규모 건설공사의 발주 및 성수기를 맞으면서 양질의 원자재 부족 및 산업인력의 부족현상과 건설시장 개방에 따른 해외 건설기술의 국내건설시장 침투로 선진국 수준의 건설 신소재 개발 응용을 위한 개발연구가 급선무로 대두되고 있다. 국내 석탄화력발전소에서 부산 되고 있는 석탄회는 매년 약 300만톤 가량이 발생되고 있으나, 약 18%가량만이 시멘트 원료 및 레미콘 혼화재로 사용되고 있고 그 나머지 석탄회는 회처리장에 매립되고 있는 실정이다. 그러나 미국, 일본 및 유럽 선진국에서는 이러한 저렴한 산업 폐기물인 플라이애쉬의 건재료로의 활용이 활발하게 진행되고 있고, 우리나라의 경우에도 그에 대한 연구필요성이 대두되고 있는 실정이나 여전히 연구실적 및 유효사용량이 극히 미진한 실정으로 이들 산업폐기물의 유효이용을 위한 용도개발이 시급한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 강섬유보강 콘크리트에 초미분말 플라이애쉬를 혼화재로 사용하여 천연자원의 고갈로 인한 자원절약 및 골재생산이나 시멘트 등의 생산시 소요되는 막대한 에너지의 절약과 고기능 섬유보강콘크리트의 개발·활용차원에서 섬유보강 콘크리트의 강도 및 휨인성에 대한 실험적 연구를 수행하였다.

- 1) * 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수
- 2) ** 정희원, 충남대학교 대학원 박사과정
- 3) *** 정희원, 충남대학교 대학원 석사과정

2. 실험계획

2.1 사용재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내 D사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 금강 상류에서 채취한 강모래와 굵은골재는 최대치수 20mm의 부순돌을 사용하였다. 또한 강섬유는 유럽 B사 제품으로 치수 $\phi 0.5 \times 30\text{mm}$ 의 변들타입 양단 갈고리(Hooked)형을 사용하였으며, 혼화재로 사용한 플라이애쉬는 보령 한국플라이애쉬공업(주)에서 생산된 Fly Ash를 사용하였고, 고성능감수제는 일본 K사 제품의 나프탈렌설폰산염 고축합물계인 Mighty-150을 사용하였다.

2.2 배합 및 실험방법

배합은 물·결합재비 49%로 선정하여 플라이애쉬를 이용한 보통 콘크리트 및 SFRC 제조시 재료가 분리하지 않고 적당한 워커빌리티를 확보하도록 시험배합을 통하여 믹싱방법과 배합조건을 결정하였다. 이때 배합은 보통 콘크리트에 플라이애쉬 혼입량을 시멘트 중량의 0, 5, 10, 20%로 대체한 경우와 강섬유를 매트릭스의 절대용적비로 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%로 대체한 경우로 하여, 시험배합에 의하여 결정하였으며 배합은 표 1에 나타낸바와 같이하였다.

표 1 강섬유보강콘크리트의 배합표

Mix No.	W/B (%)	Fiber (vol.%)	Fly-ash 대체율 (%)	S/a (%)	Air (%)	단위 중량 (Kg/m ³)					SP. (C×wt.%)	
						W	C	SF	S	G		flyash
1	49	0	0	45	5±1	200	400	0	726	907	0	C×0.2
2			380				722		903	20		
3			360				719		899	40		
4			320				713		891	80		
5		0.5	0	45	5±1	200	400	39.25	720	900	0	C×0.2
6			380				717		896	20		
7			360				713		892	40		
8			320				707		884	80		
9		1.0	0	45	5±1	200	400	78.5	714	893	0	C×0.2
10			380				711		889	20		
11			360				708		885	40		
12			320				701		877	80		
13		1.5	0	45	5±1	200	400	117.75	708	886	0	C×0.2
14			380				705		882	20		
15			360				702		878	40		
16			320				695		869	80		
17		2.0	0	45	5±1	200	400	157	702	878	0	C×0.2
18			380				699		874	20		
19			360				695		870	40		
20			320				689		862	80		

플라이애쉬를 첨가한 강섬유보강 콘크리트의 배합조건별 휨강도 및 휨인성시험은 15×15×55cm의 보공시체를 제작하여 JCI-SF4의 섬유보강 콘크리트의 휨강도 및 휨인성 시험방법에 준하여 그림 1과 같은 처짐측정장치를 설치하여 일본 S사의 30t 컴퓨터콘트롤 UTM을 이용하여 재하 하중별 처짐량을 측정 한 후 하중-처짐곡선을 구해 휨인성을 평가하였다.

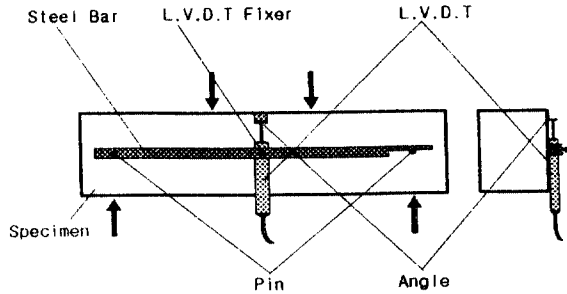


그림 1 JCI-SF4에 의한 처짐측정장치

3. 실험결과 및 고찰

플라이애쉬를 혼입한 SFRC의 굳지않은 성질과 역학적 성질에 대한 시험결과는 표 2와 같다.

표 2 플라이애쉬를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 시험결과

No.	W/B (%)	S/a (%)	Vf (%)	Fly ash (%)	Slump (cm)	Air (%)	압축강도 (kg/cm ²)		인장강도 (kg/cm ²)		휨강도 (kg/cm ²)	
							28일	90일	28일	90일	28일	90일
1	49	45	0	0	11	4.4	279	355	40.3	48.7	35.6	45.3
2				5	11.5	4.2	275	350	38.1	50.5	35.1	45.9
3				10	13	4.0	271	379	37.3	51.6	34.5	51.3
4				20	14.3	3.1	263	369	36.8	50.7	34.2	49.5
5			0.5	0	10.4	4.8	289	363	44.6	51.0	45.1	51.6
6				5	10.9	4.6	279	370	40.0	52.5	43.2	53.5
7				10	11.5	4.4	276	393	38.8	55.8	41.4	58.6
8				20	12.6	3.9	268	387	38.5	53.2	38.6	55.0
9			1.0	0	9.4	5.1	295	368	49.4	57.1	54.9	60.9
10				5	10.1	5.0	290	381	45.0	62.6	50.5	62.5
11				10	11.1	4.7	284	399	43.2	67.1	48.7	69.7
12				20	11.7	4.2	278	393	42.0	63.5	46.0	67.2
13			1.5	0	7.2	5.4	298	379	58.2	61.2	58.1	71.4
14				5	8.3	5.3	295	387	57.0	68.9	55.4	76.9
15				10	9.6	5.2	286	404	55.0	72.0	53.3	82.6
16				20	10.9	4.6	283	397	50.0	69.1	48.9	78.8
17			2.0	0	4.3	5.7	287	361	61.3	67.1	58.8	74.6
18				5	4.7	5.6	279	374	58.2	71.2	57.4	79.7
19				10	5.4	5.4	271	392	56.4	74.2	56.2	83.8
20				20	7.0	4.9	268	388	54.4	72.3	52.5	81.6

3.1 플라이애쉬를 이용한 강섬유보강 콘크리트의 압축강도 및 인장강도 특성

3.1.1 압축강도 시험결과

강섬유 혼입량에 관계없이 재령 28일에서의 압축강도는 플라이애쉬의 첨가량이 증가할수록 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 재령 90일의 경우 플라이애쉬를 10%첨가하였을 때의 압축강도는 보통 콘크리트에 비하여 강섬유 혼입률에 따라 7~14%증가하는 것으로 나타났다.

한편, 강섬유 혼입에 따른 압축강도는 섬유혼입률 1.5%까지는 플라이애쉬 혼입률에 관계없이 다소 증가하는 경향을 보였으나, 2.0%에서는 강도증가율이 저하하였는데 이는 성형시 워커빌리티가 저하되어 밀실한 콘크리트 제작이 곤란하였기 때문인 것으로 판단된다.

이를 종합하여 보면 플라이애쉬를 사용한 강섬유보강 콘크리트는 플라이애쉬 혼입률 10%, 강섬유 혼입률은 1.5%일 때 가장 양호한 조건인 것으로 판단된다.

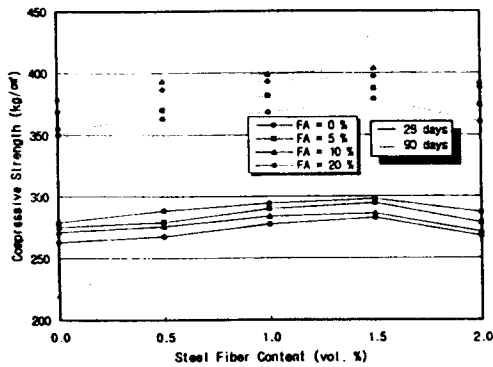


그림 2 강섬유의 혼입률에 따른 플라이애쉬 혼입률과 압축강도와의 관계

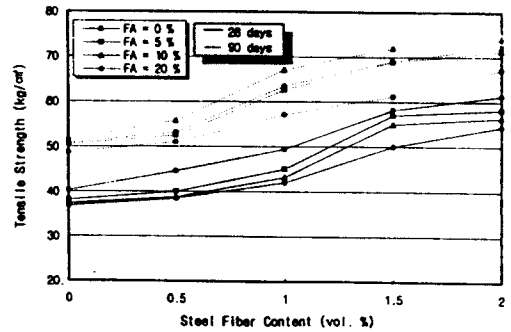


그림 3 강섬유의 혼입률에 따른 플라이애쉬 혼입률과 인장강도와의 관계

3.1.2 인장강도 시험결과

플라이애쉬를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 재령 28일까지의 강도는 보통 콘크리트에 비해 감소하는 경향을 보였으며 플라이애쉬 첨가량이 증가할수록 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 재령 90일에서는 플라이애쉬를 5, 10%, 20%로 대체한 경우는 보통 콘크리트의 경우에 비하여 우수한 인장강도를 나타내었으며, 특히 10%인 경우에는 섬유혼입률 1.0%일 때 약 38%정도의 강도증진효과를 나타내었으나, 20% 혼입한 경우에는 10%보다 오히려 강도가 저하되는 것으로 나타났다. 또한 플라이애쉬의 혼입에 의한 증진효과는 0.5%이하의 낮은 섬유혼입률 경우보다는 1.0% 이상인 경우에 더욱 증진되는 것으로 나타났다. 이는 1.0%이상 강섬유 혼입시 매트릭스의 워커빌리티 저하현상을 혼입된 적정의 플라이애쉬에 의해 유동성을 확보하여 콘크리트를 밀실한 조직으로 만들기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 플라이애쉬 혼입률에 관계없이 강섬유 혼입률이 증가함에 따라 인장강도는 혼입률 2.0%까지는 점차적으로 증가하는 것으로 나타났다. 플라이애쉬 혼입률이 10%인 경우 재령 90일에서 섬유혼입률 2.0%의 경우는 보통 콘크리트에 비해 약 52%의 강도증진이 나타났다. 이는 강섬유가 시멘트 풀에 의해 골재들과의 부착이 개선되어, 할렬인장파괴점에 이르기 전까지 매트릭스를 크게 구속하기 때문인 것으로 판단되며, 혼입률이 2.0%이상인 경우에는 인장강도 증가율이 다소 저

하되는 것으로 나타났는데 이는 성형할 때 다짐이 불량하여 밀실한 콘크리트 조직이 이루어지지 못했기 때문인 것으로 판단된다.

3.1.3 휨강도 및 휨인성시험결과

플라이애쉬를 혼입하는 경우의 28일까지의 휨강도는 보통 콘크리트에 비하여 강섬유 혼입물에 관계없이 다소 낮은 휨강도를 보이고 있고, 플라이애쉬 첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향이 나타났다. 재령 90일에서는 플라이애쉬를 10% 혼입한 경우 보통 콘크리트의 경우에 비하여 강섬유혼입물에 따라 약 13~85%의 휨강도 증진효과를 나타내었다. 한편 강섬유 혼입에 따른 휨강도는 재령과 플라이애쉬혼입물에 관계없이 섬유혼입률이 증가할수록 휨강도는 증가하나 너무 높은 혼입률(2.0%)에서는 비빔시 워커빌리티의 저하로 휨강도의 증진 효과가 둔화되는 것으로 나타났다.

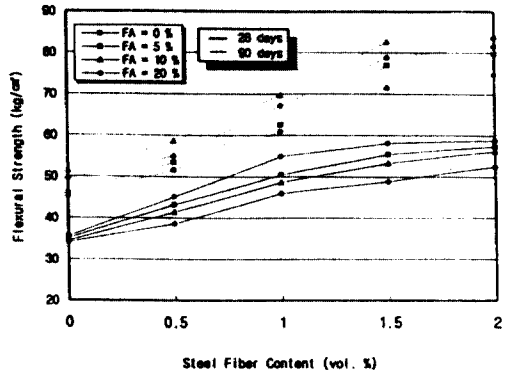


그림 4 강섬유의 혼입률에 따른 플라이애쉬 혼입률과 휨강도와의 관계

한편 강섬유혼입률 2.0%, 플라이애쉬 10% 혼입한 재령 90일의 휨강도는 보통 콘크리트에 비하여 1.8배정도 증가하는 효과를 나타내었으나, 경제성과 섬유보강 효과를 고려할 때 강섬유 1.5%, 플라이애쉬 10% 혼입의 경우가 가장 적절한 배합으로 판단된다.

또한 휨하중과 변형곡선 자료를 근거로 평가된 재령 90일의 경우의 휨인성 특성에 관한 결과는 플라이애쉬를 5, 10, 20% 혼입한 경우는 플라이애쉬를 혼입하지 않은 경우보다 다소 휨인성이 증진되는 것으로 나타났으며, 동일한 강섬유 혼입률인 경우에는 플라이애쉬 함유율이 10%인 경우가 가장 좋은 휨인성을 나타내고 있다.

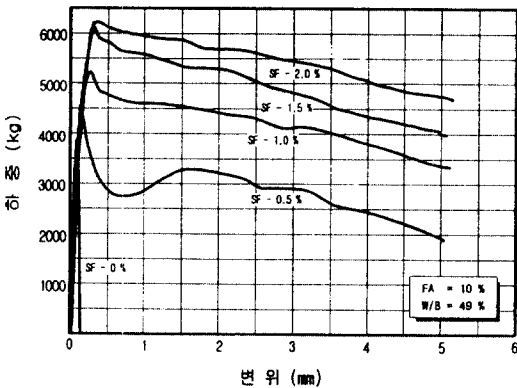


그림 5 강섬유의 혼입률에 따른 하중-변형곡선(플라이애쉬 10%)

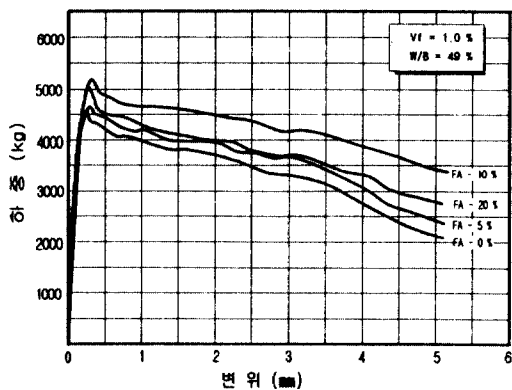


그림 6 플라이애쉬의 혼입률에 따른 하중-변형 곡선(강섬유 1.0%)

4. 결 론

산업부산물인 플라이애쉬를 혼입한 강섬유보강 콘크리트의 강도와 휨인성 특성을 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 플라이애쉬를 이용한 SFRC의 압축강도는 강섬유를 혼입한 각각의 조건에서 플라이애쉬를 10% 혼입한 경우가 가장 양호한 압축강도를 나타내었으며, 강섬유혼입률 1.5%, 플라이애쉬를 10%혼입한 경우가 가장 양호한 조건으로 평가되었다.
2. 플라이애쉬를 이용한 SFRC의 인장강도와 휨강도는 플라이애쉬의 혼입률에 관계없이 강섬유의 섬유혼입률 2.0%까지 증가하였으며, 플라이애쉬 혼입률 10%인 경우 가장 양호한 강도증진을 나타내었으며, 경제성과 섬유보강효과를 고려한 적정량의 플라이 애쉬와 강섬유의 사용은 강도 증진에 효과가 있는 것으로 사료된다.
3. 플라이애쉬를 이용한 SFRC의 휨인성은 휨하중과 변형곡선 자료를 근거로 평가된 재령 90일의 경우 플라이애쉬를 5, 10, 20% 혼입한 경우는 플라이애쉬를 혼입하지 않은 경우보다 다소 휨인성이 증진되는 것으로 나타났으며, 같은 강섬유 혼입량에 대해 플라이애쉬 10%혼입한 경우가 휨인성 향상에 가장 효과적인 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 小林一輔 ; “纖維補強コンクリート - 特性よ應用-”, 日本, オーム社, pp. 5, 1981.
2. Gebler, S.H, Klieger, P ; “ Effect of Fly Ash on Physical Properties of Concrete”, ACI Pub. SP-91, Vol. 1, pp. 1~50, 1986
3. ACI committee 226, “Use of fly ash in concrete”, ACI material journal, Sep.-Oct. 1987.
4. V.M. Malhotra, “Fly ash, Silica Fume, Slag and the Mineral By-Products in Concrete”, ACL Publication, SP-79, 1983
5. 박승범, 조영찬 ; “ 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터수지 복합체의 역학적 특성 ”, J. of KCI, Vol. 5, No. 4, pp. 156~166, 1993. 12
6. Hague, M.N. “High Strength Fly Ash Concretes”, ACI Journal, Jan-Feb, 1984.
7. Ravina, D. “Slump Loss of Fly Ash Concrete, Concrete International”, April, 1984. pp.35-39
8. R. E. Davis, “Use of Pozzolans in Concrete”, J. of ACI, Proc. , Vol. 46, Jan. 1950
9. Richard Helmwith, “ Fly Ash in Cement and Concrete ”, Portland Cement Association, 203p., Illinois, 1983
10. Berry, E.E., Malhotra, V.M., “ Fly Ash for Use in Concrete a Critical Review”, Proc. of ACI, Vol.77, No.8, pp.59-73, 1980
11. Swamy, R.N., Mangant, P.S. and Rao, S.V.K., “ The Mechanics of Fibre Reinforced Concrete, ACI Pub. SP - 44, pp.1~28, 1974
12. Argon, A.S., Shack, W.J., “ Theories of Fibre Cement and Fibre Concrete ”, Fibre - Reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium, pp.39~55, 1975