

# 강섬유 보강 플라이애쉬 · 폴리에스터 수지복합체의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Fly Ash · Polyester Resin Composites

박 승 범\*  
Park, Seung Bum  
조 영 찬\*\*  
Cho, Yung Chan

### 요 약

본 연구는 산업폐기물인 플라이애쉬를 충전재로 사용한 강섬유보강 폴리에스터 수지 복합체의 워커빌리티 및 그 역학적 특성을 구명하고, 그 제조방법을 실험적으로 검토한 것이다. 동복합체는 강섬유, 충전재(플라이애쉬, 중질탄산칼슘), 불포화 폴리에스터수지(스티타이렌 모노머), 경화촉진제(코발트 옥테이트), 촉매(MEKPO) 및 굵은 골재와 잔골재를 사용하여 제조하였고, 배합조건별로 그 특성을 검토하였다.

연구결과, 플라이애쉬 · 폴리에스터 수지복합체의 경우, 플라이애쉬-결합재비의 증가에 따라 압축, 인장, 휨강도 및 경화수축은 현저히 개선되었고, 강섬유 보강 플라이애쉬 · 폴리에스터 수지복합체의 경우 워커빌리티는 플라이애쉬-결합재비 및 강섬유혼입율 증가에 따라 저하하였으나, 압축, 휨강도 및 휨인성은 섬유혼입율 증가에 따라 현저히 증가되었다.

### Abstract

The results of an experimental study on the manufacture and the mechanical properties of steel fiber reinforced polyester resin composites utilizing industrial waste products(fly ash) are presented in this paper. The composites using steel fiber, fly ash, unsaturated polyester resin, styrene monomer, catalyst(cobalt octate) and accelerator(methyl ethyl ketone peroxide), fine and coarse aggregates were prepared using various mixing conditions.

As the test results show, the mechanical and physical properties, such as the compressive, tensile and flexural strengths, and the setting shrinkage of fly ash · polyester resin composites were improved considerably by increasing the fly ash-binder ratio. And the workability of steel

\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수  
\*\* 충남대 산업대학원 석사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1994년 2월 28일까지 학회로 보내  
주시면 1994년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

fiber reinforced fly ash · polyester resin composites was reduced with increasing the fly ash-binder ratio and steel fiber content. Also, the compressive, flexural strength and toughness of the composites were remarkably increased by increasing steel fiber content.

**Keywords** : steel fiber reinforced fly ash · polyester resin composites, industrial waste products, styrene monomer, catalyst, accelerator, mechanical and physical properties, setting shrinkage, toughness, fly ash-binder ratio, fiber content

## 1. 서 론

최근 국내·외적으로 플라이애쉬, 배연탈유석고 및 폐플라스틱과 같은 산업부산물의 이용 및 처리방법을 위한 연구가 폐자원의 유효활용과 에너지절약 측면에서 많은 관심을 모으면서 진행됨에 있으며<sup>(1-5)</sup> 특히, 플라이애쉬와 같은 산업부산물의 레진콘크리트와 같은 우수한 건축용 복합체의 제조응용에 활용함은 건설산업발전에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 여기서 레진콘크리트는 1958년 미국의 S. R. Barnete<sup>(6)</sup> 등에 의하여 불포화 폴리에스터수지 및 에폭시수지를 결합재로 이용하여 개발된 바 있고, 이보다 약간 늦게 소련의 E. K. Stavrov<sup>(7)</sup>에 의하여 레진콘크리트에 관한 연구결과가 보고된 바 있다. 일본에서는 1950년대 후반부터 연구개발이 시작되어 최근에는 大浜<sup>(8-10)</sup>, 出村<sup>(11)</sup> 등에 의하여 폴리에스터 레진콘크리트의 배합, 작업시간의 결정방법과 경화 특성 등에 관해 보고되었고, 山崎<sup>(12)</sup> 등은 레진콘크리트의 경화초기의 시간의존거동을 실험적으로 검토하여 보통콘크리트에 비해 수축량이 급격히 증가함에 따른 문제점을 보고하였다. 한편, T. M. Aminabhavi<sup>(13)</sup> 등은 산업폐기물을 에폭시수지, 실리카, 석면 등과 혼합하여 일반 시멘트 콘크리트에 비하여 방수성 및 내구성이 우수한 경량복합재료의 제조가능성에 대하여 보고하였고, W. Reszniak 등은<sup>(14)</sup> 플라이애쉬와 폴리프로피렌을 복합 사용한 물리적, 화학적 성질이 양호한 복합체를 제조하여 건설재료로서의 광범위한 용도전개 가능성을 보고한 바 있으며, 向井<sup>(15)</sup>은 충전재로서 플라이애쉬를 이용한 폴리에스터 레진모르타의 압축강도는 매트릭스의 조직이 치밀해짐에 의해

크게 향상되었음을 보고하는 등 해외에서는 많은 응용연구가 진행된 바 있으나, 우리나라에서는朴<sup>(16)</sup>, 邊<sup>(17)</sup>, 延<sup>(18)</sup> 등에 의한 소수의 폴리머콘크리트의 제조 및 물성에 관련한 기초적 연구가 보고된 정도이고, 특히 플라이애쉬 등 산업부산물의 폴리에스터 수지 복합체에 관한 응용연구는 극히 미진한 실정으로서 이에 관한 적극적인 활용연구가 요망되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 이에 관련한 기초적 연구로서 역학적 성능이 우수한 산업부산물인 플라이애쉬를 충전재로 사용한 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지복합체의 제조응용을 위하여 그 역학적 특성에 관한 기초적 연구를 수행하였다.

## 2. 사용 재료 및 시험방법

본 연구에서는 미세한 분체인 플라이애쉬를 폴리에스터 수지복합체용 충전재로 사용하고 폴리에스터 수지복합체의 배합요인을 변화시켜 그 성상을 검토하였다. 충전재-결합재비 및 결합재율을 변화시킨 경우의 플라이애쉬를 충전재로 한 폴리에스터 수지복합체의 워커빌리티 성능을 검토하고, 압축 및 인장강도를 검토하여 최적배합조건을 조사하였으며, 최적배합조건에서의 압축응력-변형률곡선, 탄성특성 및 휨하중-치짐관계, 그리고 건조수축변형 등을 검토하였고, 아울러 동복합체에 강섬유를 보강한 경우의 성능을 비교검토하였다.

### 2.1 사용재료

#### (1) 충전재

충전재로서 플라이애쉬는 보령화확발전소의 유

연탄 플라이애쉬(BFA)로 KSL 5405(플라이애쉬)에 적합한 것을 사용하였고, 그 화학적 성분은 Table 1과 같다. 아울러 이와 비교, 고찰을 위하여 보통 수지복합체의 충전재로 사용되는 중질탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>; 국내 D사 제품)을 사용하였고, 그 물성은 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical compositions of fly ash

Chemical Compositions (%)								
Ig. loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	Total
3.63	65.30	25.50	4.25	1.20	0.98	1.03	0.21	98.47

Table 2 Properties of fillers

Type of Fillers	Specific Gravity (20°C)	Blaine's Specific Surface Area (cm <sup>2</sup> /g)	Size (mm)	Water Content (%)	Organic Impurities
Fly Ash	2.10	3,124	<4.2×10 <sup>-2</sup>	<0.1	None
CaCO <sub>3</sub>	2.68	—	<2.5×10 <sup>-3</sup>	<0.1	None

(2) 결합재

액상 레진으로는 경제성과 재료성능이 양호한 액상 불포화 폴리에스터 수지(일본 C사 제품)를 사용하고, 희석재로는 스티렌 모노머(styrene monomer)를 사용하였으며, 그 물성은 Table 3 및 4와 같다.

Table 3 Properties of unsaturated polyester resin

Viscosity (20°C, cp)	Specific Gravity (20°C)	Styrene Content (%)	Acid Value
694	1.128	38.2	21.2

Table 4 Properties of styrene monomer

Viscosity (20°C, cp)	Specific Gravity (20°C)	Boiling Point (°C)	Molecular Weight
0.834	0.912	145.0	104.4

또한 경화촉진제(Catalyst) 및 촉매제(Accelerator)로는 각각 Cobalt Octate(CoOc) 및 Methyl Ethyl Ketone Peroxide의 55%인 DMP용액(MEKPO)을 사용하였고, 결합재의 배합은 중량 비로 Unsaturated Polyester Resin : Styrene :

CoOc : MEKPO = 100 : 13 : 0.5 : 0.5로 하여 사용하였다.

(3) 골재

골재는 금강 상류에서 채취된 것으로 굵은 골재는 최대치수를 10mm로 한 깬돌을 사용하였고, 잔 골재 및 굵은골재의 물리적 성질은 Table 5와 같다.

Table 5 Physical properties of aggregates

Aggregate	Specific Gravity	Water Absorption(%)	Under No. 200 Sieve	Unit Weight	Organic Impurities
Fine Agg.	2.60	< 0.1	0.85	1,625	—
Coarse Agg.	2.65	< 0.1	—	1,650	—

(4) 강섬유

보강용 강섬유로서는 일본 S사 제품(상품명 : TESUSA Steel Fiber)의 Indent형상의 전단강 섬유를 사용하였고, 그 물성은 Table 6과 같다.

Table 6 Properties of steel fiber

Size (mm) (b×t×L)	Section Area (mm <sup>2</sup> )	Aspect Ratio	Specific Gravity(20°C)	Es (kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (kg/mm <sup>2</sup> )
0.4×0.4×30	0.160	66	7.8	2.1×10 <sup>6</sup>	73.0

2.2 시험방법

(1) 플라이애쉬를 이용한 폴리에스터 수지복합체의 배합 및 공시체 제작

Table 7 Mix proportions of polyester resin concretes using fly ash

Mix. No.	Mix Proportion (Wt.%)				
	Binder	Filler		Aggregate	
		Fly Ash	CaCO <sub>3</sub>	Gravel	Sand
1	12.0	—	12.0	28.10	47.90
2	—	5.0	—	31.40	53.60
3	10.0	10.0	—	29.60	50.40
4	—	15.0	—	27.75	47.25
5	—	6.0	—	30.34	51.66
6	12.0	12.0	—	28.12	47.88
7	—	18.0	—	25.90	44.10
8	—	7.0	—	29.23	49.77
9	14.0	14.0	—	26.64	45.36
10	—	21.0	—	24.05	40.95

플라이애쉬·폴리에스터 수지복합체의 배합은 결합재율을 중량비로 10.0, 12.0, 14.0 % 로 하고 충전재량을 결합재량에 대하여 0.5, 1.0, 1.5배로 변화시켜 배합설계를 행하였으며, 워커빌리티 성능이 양호하고 소요의 물리적·역학적 성능을 기대할 수 있는 최적조건을 추출하기 위하여, 배합조건별로, 믹싱상태, 유동성, 성형성 및 Finishing 상태를 종합적으로 분석고찰하였다. 또한, 믹싱은 점성이 높은 폴리에스터수지의 분산혼합이 용이한 Omni-Mixer (용량30ℓ)를 사용하였으며, 그 배합은 Table 7과 같이 하였다.

#### (2) 공시체의 제작 및 강도시험방법

중질탄산칼슘 및 플라이애쉬를 충전재로 사용한 폴리에스터 수지복합체의 제조와 압축강도 및 휨강도시험은 KSF 2419, 2481 및 2482의 시험방법에 준하여 행하였고, 압축강도 및 활렬인장강도시험용 공시체는  $\phi 10 \times 20$  cm의 몰드에 2층으로 나누어 타설하고 진동대를 사용하여 다졌다. 성형된 공시체는 온도 20°C, 상대습도 50%인 항온항습기에서 7일간 양생을 행한 후 제시험을 실시하였으며, 공시체에 Wire Strain Gauge 를 부착하여 압축강도시험시 종변형을 및 탄성계수를 측정하였다. 또한 휨강도시험용 공시체의 크기는 7×7×35 cm, 순시간 30cm로 하여 공시체 중앙부에 설치된 Strain Gage Type Transducer 로 부처짐량을 측정하였고, 재하에는 일본S사 제품의 Automatic Computer Controlled Universal Testing Machine (용량 25t)이 사용되었으며, 하중-처짐관계도는 X-Y Recorder에 의하여 구하였다.

#### (3) 경화 수축시험

플라이애쉬·폴리에스터 수지복합체의 경화수축시험용 공시체는 10×10×40 cm의 크기로서 몰드에 2층으로 나누어 타설하고 외부진동기를 이용해 다짐을 하였으며, 촉매침가 30분 후부터 1시간 간격으로 재령 24시간 까지의 경화수축을 JIS A 1129의 모르타 및 콘크리트의 길이 변화시험방법에 준하여 폼퍼테터와 공시체 양단부에 설치한 측정압자에 연산기 및 디지털기록계에 접속한 차동 Transformer를 사용하여 측정하였다.

#### (4) 강섬유 보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지

### 복합체의 제조 및 강도시험

플라이애쉬-결합재비(Wt.%)를 50%, 100%, 150% 로 하고, 일본 S사 제품인 전단강섬유를 각각 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 Vol.%로 변화시켜 섬유분산용 Omni-Mixer (용량 30ℓ)를 사용하여 배합·제조하였고, 압축강도 및 휨강도시험용 공시체의 제작 및 강도시험은 (2)항과 같은 요령으로 실시하였다.

## 3. 시험 결과 및 고찰

### 3.1 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 워커빌리티특성

플라이애쉬를 충전재로 한 폴리에스터 레진콘크리트의 워커빌리티 성능은 일반적으로 결합재율의 증가에 따라 양호하게 되는 경향이 있으며, 결합재율 10.0 Wt.%의 경우 충전재-결합재비의 증가에 따라 미립분이 많게 되어 콘크리트가 보다 플라스틱하게 되기 때문인 것으로 추정된다. 결합재율 10.0 Wt.% 일때 충전재-결합재비 50%, 100%, 150%의 모든 경우에 진동성형이 가능하였다. 또한, 충전재로 중질탄산칼슘을 사용한 경우는 믹싱, 유동성, 성형성, 피니셔빌리티 성능등이 양호하여 약 30초 이내에 다짐이 끝나고 3초 이내에 표면마무리가 가능하였고 거의 진동다짐이 필요없었으며, 플라이애쉬, 골재, 결합재의 믹싱은 약 10초 정도로 완료되었다. 따라서 본 시험결과로부터 플라이애쉬를 충전재로 사용하는 경우는 진동다짐이 요망되는 것으로 판단된다.

### 3.2 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 압축강도 및 활렬인장강도특성

플라이애쉬 및 중질탄산칼슘을 충전재로 사용한 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 압축강도시험결과는 Fig.1 및 2와 같고, 인장강도시험결과는 Fig.3 및 4와 같다. 이를 고찰하여 보면, 충전재-결합재비 및 결합재율의 증가에 따라 플라이애쉬를 충전재로 사용한 폴리에스터 레진콘크리트의 압축강도는 증가하는 경향을 나타내었

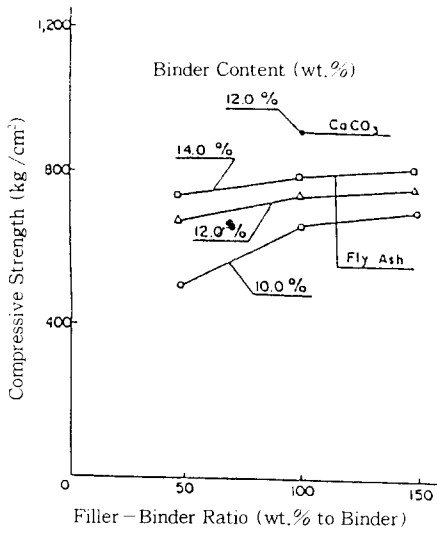


Fig. 1 Relationship between compressive strength and filler-binder ratio of polyester resin concrete using fly ash and CaCO<sub>3</sub>

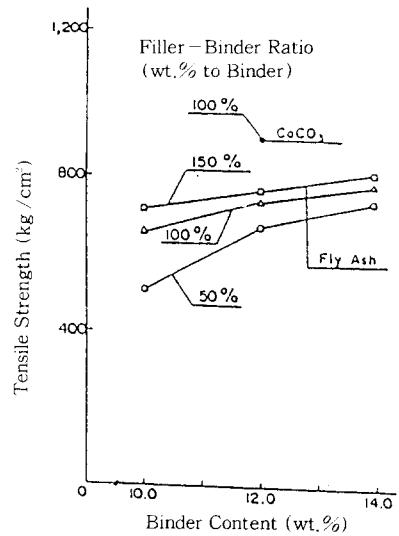


Fig. 3 Relationship between tensile strength and filler-binder ratio of polyester resin concrete using fly ash and CaCO<sub>3</sub>

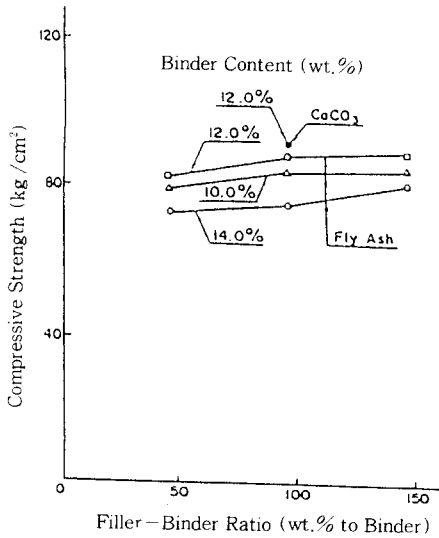


Fig. 2 Relationship between compressive strength and binder content of polyester resin concrete using fly ash and CaCO<sub>3</sub>

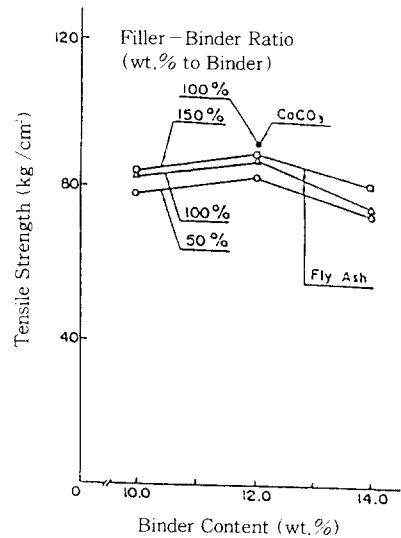


Fig. 4 Relationship between tensile strength and binder content of polyester resin concrete using fly ash and CaCO<sub>3</sub>

으나 결합재율이 12.0 Wt.% 이상이 되어 결합재율 14.0 Wt.% 인 경우 진동다짐 성형이 어려웠다. 따라서 워커빌리티 성능을 고려한 경우 결합재율은 12.0 Wt.% 정도가 적당한 것으로 생각된다. 이런 경향은 大浜<sup>(10)</sup>의 연구에서 충전재-결합재비의 증가는 폴리머콘크리트의 내부조직을 밀

실하게 함을 보고한 바와 같이 본 연구에서도 충전재-결합재비의 증가에 따라 콘크리트 내부의 조직이 치밀해지기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 충전재-결합재비의 증가에 따라 플라이 애쉬를 사용한 폴리에스터 레진콘크리트의 인장강도는 다소 증가하는 경향을 보였으나, 결합재율

의 증가에 따른 인장강도의 현저한 증가현상은 나타나지 않고 결합재율 14.0 Wt.%의 경우는 결합재율 12.0 wt.%에 비하여 오히려 적어지는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 콘크리트의 강도에 미치는 요인중에서 압축보다는 인장강도에 크게 영향을 미치는 것으로써 콘크리트중에 내포된 미세균열등의 결점을 갖는 확률을 생각할 수 있고, 극히 작은 미세균열을 내재한 천연골재를 사용하는 경우 골재의 균열은 콘크리트의 파괴요인으로 크게 작용하지 않고, 아울러 결합재율의 증가와 함께 모체의 양이 증가됨에 따라 골재량의 감소에 의한 커다란 수축을 생기게 하여<sup>(19)</sup> 미세균열의 발생을 유발하게 된다<sup>(20)</sup>. 따라서 결합재율의 증가에 따라 콘크리트가 약한 결합을 갖는 확률은 높게되어 결합재율이 12.0 Wt.%에서 14.0 Wt.%로 증가함에 따라 인장강도의 감소가 생긴 것으로 생각된다.

이상의 워커빌리티 성능 및 압축·인장강도 시험결과 등을 종합할 때 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 적정배합은 결합재율 12 Wt.%, 충전재-결합재비 100~150% 정도로 Mix.No.6,7의 경우가 적당한 것으로 판단되나, 실제 사용하는 플라이애쉬의 입도 및 품질에 따라 많은 영향이 예상되므로 KS규격에 적합한 플라이애쉬의 사용은 물론 사용전 확인검토가 필요한 것으로 판단된다.

또한 Fig.5는 플라이애쉬를 충전재로 한 폴리에스터 레진콘크리트의 압축응력-변형을 곡선을 나타낸 것으로서, 충전재로 플라이애쉬를 사용한 경우에 결합재율 12.0 Wt.%, 충전재-결합재비 100%인 경우 최대압축변형은  $7,160 \times 10^{-6}$ , 탄성계수  $2.41 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ , 충전재-결합재비 150%인 경우에는 각각  $7,030 \times 10^{-6}$ ,  $2.42 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ 의 값을 나타내었다. 이에비해, 충전재로서 중질탄산칼슘을 사용한 경우 결합재율 12.0 Wt.%, 충전재-결합재비 100%인 경우 최대압축변형은  $7,400 \times 10^{-6}$ , 탄성계수는  $2.43 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ 로서 플라이애쉬를 사용한 경우의 값과 거의 비슷하게 나타났다.

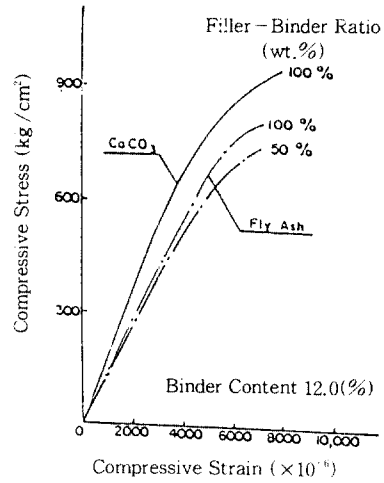


Fig. 5 Relationship between compressive stress and compressive strain of polyester resin concrete using fly ash and CaCO<sub>3</sub>

### 3.3 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 휨강도, 하중-처짐특성

플라이애쉬를 충전재로 사용한 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 휨강도 및 최대처짐량은 결합재율 12.0 Wt.%, 충전재-결합재비 100%인 경우 각각  $198 \text{ Kg/cm}^2$  및  $130 \times 10^{-2} \text{ mm}$ 이고, 충전재-결합재비 150%인 경우는  $207 \text{ Kg/cm}^2$  및  $147 \times 10^{-2} \text{ mm}$ 이었다. 또한, 중질탄산칼슘을 충

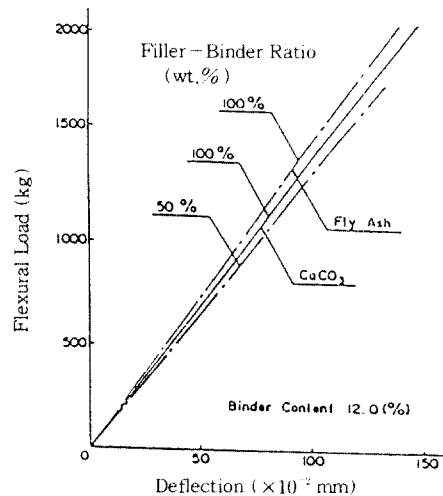


Fig. 6 Relationship between flexural load and deflection of polyester resin concretes using fly ash and CaCO<sub>3</sub>

전재로 한 경우는 결합재를 12.0 Wt.%, 충전재-결합재비 100%일때 휨강도는 209 Kg/cm<sup>2</sup>, 최대 처짐량은 138×10<sup>-2</sup>mm 정도로 휨강도 및 최대 처짐량은 충전재로 플라이애쉬를 사용한 경우와 거의 비슷한 양상을 나타내었으며, 본 실험결과 휨하중-처짐변형 관계는 Fig.6과 같다.

### 3.4 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 경화수축특성

Fig.7은 플라이애쉬를 충전재로 한 폴리에스터 레진콘크리트의 경화수축과 재령과의 관계를 나타내고, Fig.8는 충전재-결합재비와 플라이애쉬를 충전재로 한 폴리에스터 레진콘크리트의 재령 24시간 동안의 경화수축과의 관계를 나타낸 것이다.

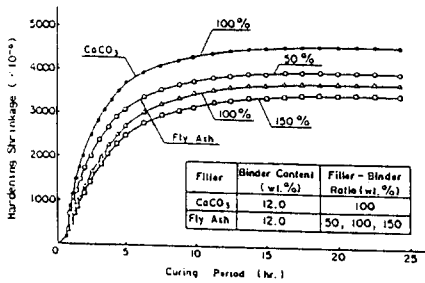


Fig. 7 Relationship between hardening shrinkage and curing period of polyester resin concretes using fly ash and CaCO<sub>3</sub>

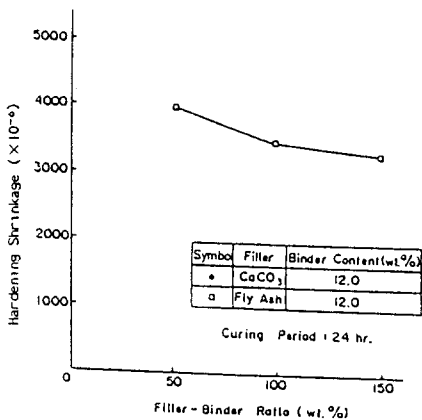


Fig. 8 Relationship between hardening shrinkage and filler-binder ratio of polyester resin concretes using fly ash and CaCO<sub>3</sub>

시험결과, 어느 배합의 경우도 폴리에스터 레진 콘크리트는 재령 약 2시간 이후부터 급격히 수축하는 현상을 나타내어 약 12시간 이후부터는 대략 일정한 값을 유지하였고, 플라이애쉬를 충전재로 한 폴리에스터 레진콘크리트의 경화수축은 중질 탄산칼슘을 사용한 경우보다 작았으며, 이러한 현상은 골재의 용적율의 증가 (충전재는 수축하지 않는 불활성이므로 골재의 일부로 가정)에 따라 그 수축이 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.5 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 레진 콘크리트의 워커빌리티 특성

Fig.9 및 10은 강섬유혼입량 증가 및 충전재-결합재비의 증가에 따른 Flow값과의 관계를 나타낸 것으로서, 이를 고찰하여 보면, 플라이애쉬-결합재비가 50% 및 100%의 경우의 워커빌리티가 양호하였음을 알수있는데, 이 때에는 점착성이 비교적 작고 성형 및 마무리가 용이하였다. 이에 비하여 플라이애쉬-결합재비가 150%인 경우 유동성이 현저히 저하하여 성형 및 마무리가 어렵고, 강섬유의 혼입도 곤란하였다. 또한 플라이애쉬-결합재비가 50% 및 100%의 경우 재료분리에 대한 저항성이 우수하였고, 전반적으로 강섬유혼

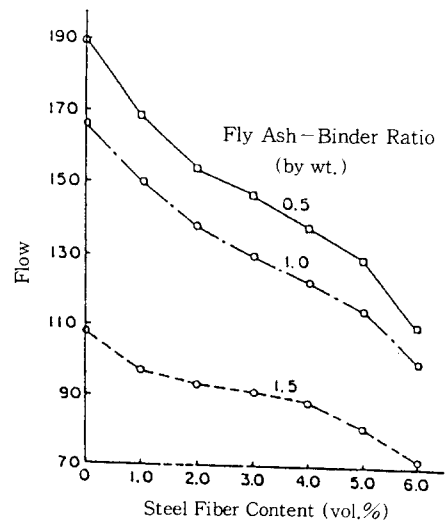


Fig. 9 Relationship between flow and steel fiber content of steel fiber reinforced fly ash-polyester resin concretes

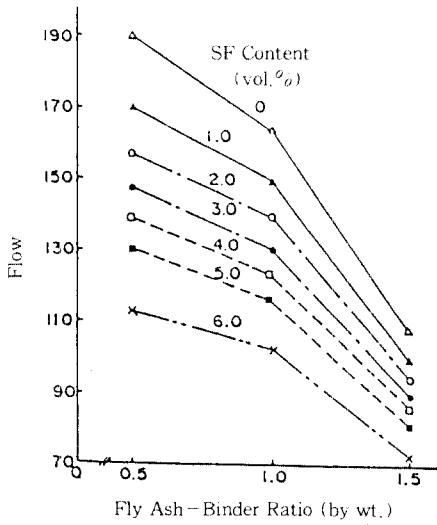


Fig. 10 Relationship between flow and fly ash-binder ratio of steel fiber reinforced fly ash-polyester resin concretes

입을 증가에 따라 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지복합체의 워커빌리티 성능은 저하하는 경향을 나타내었으며, 이러한 경향은 강섬유의 과다혼입으로 Fiberball을 발생시켜 충분한 믹싱이 곤란해짐에 기인하는 것으로서, 본 실험결과에서 한계 강섬유혼입율은 약 5~6 Vol.%이라고 할 수 있겠다.

### 3.6 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 레진 콘크리트의 압축 및 휨강도, 하중-처짐변형 특성

강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지복합체의 압축 및 휨강도 시험결과는 Fig.11 및 12와 같고, 하중-처짐변형시험 측정결과는 Fig.13과 같다. 이를 고찰하여 보면, 플라이애쉬-결합재비의 증가에 따라 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지 복합체의 압축강도는 저하하는 경향을 나타내었고, 강섬유혼입율의 증가에 따라 대략 직선적으로 완만히 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지복합체의 휨강도도 플라이애쉬-결합재비의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 이러한 경향

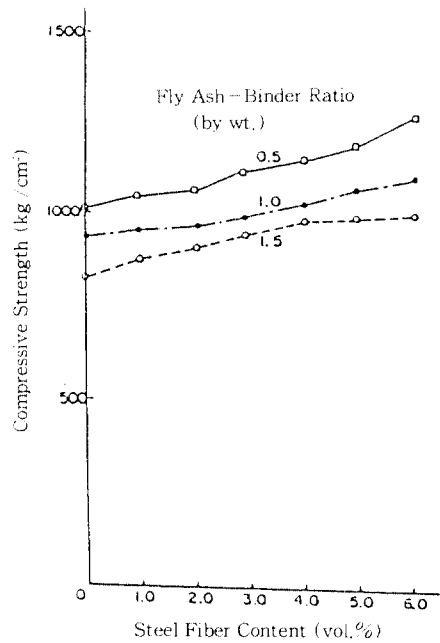


Fig. 11 Relationship between compressive strength and steel fiber content of steel fiber reinforced fly ash-polyester resin concretes

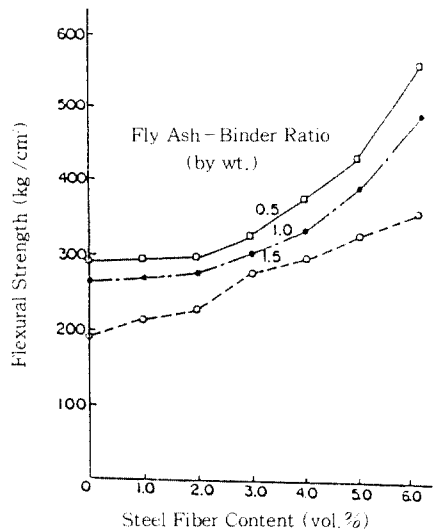


Fig. 12 Relationship between flexural strength and steel fiber content of steel fiber reinforced fly ash-polyester resin concretes

은 결합재량의 감소에 따른 매트릭스 강도의 저하에 기인하는 것으로 판단되며, 아울러 강섬유혼입율의 증가에 따른 휨강도는 강섬유혼입율 2.0



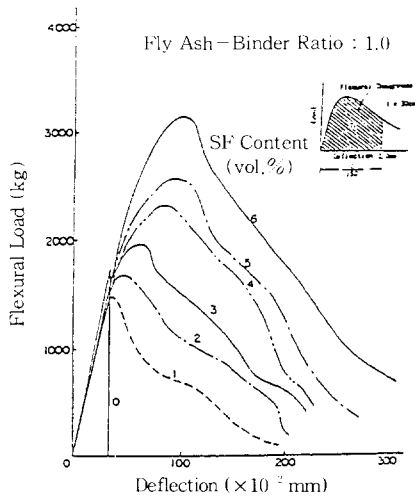


Fig. 13 Relationship between flexural load and deflection of steel fiber reinforced fly ash-polyester resin concretes with fly ash-binder ratio of 1.0

Vol.%까지는 현저한 증가는 없으나 3.0 Vol.% 이상으로부터 6.0 Vol.%까지 증가됨에 따라 휨강도는 현저한 증가경향을 나타내었다.

한편, 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지복합체의 하중-처짐변형특성을 고찰하여 보면, 강섬유혼입율 3.0 Vol.%까지는 균열발생후 내력은 저하하고, 그 이상의 혼입율로 되면 내력의 저하는 곧바로 회복되고 최대하중을 나타낸후 파괴에 이르게 되고, 여기서 균열발생까지는 매트릭스가, 그리고 그 이후는 강섬유가 그 응력을 부담하는 것으로 판단된다. 또한, 강섬유와 매트릭스의 부착이 매우 양호하기 때문에 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지복합체의 휨파괴는 강섬유의 파단에 의하여 일어남이 관찰되었다.

이와같이 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지 복합체의 경우, 휨파괴가 강섬유의 slip보다는 파단에 의하여 일어남을 감안할 때 모체의 연화에 의한 일반적인 강섬유보강콘크리트에 비하여 극히 미소한 것으로 판단된다.

또한, 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지복합체에서 강섬유혼입율의 증가에 따른 휨인성은 JCI-SF4(강섬유보강콘크리트의 휨강도 및 휨인성 시험방법)<sup>21)</sup>에 준하여 처짐량이 지간의 1/150까지의 하중-처짐곡선하의 면적에서 구하

여 검토하였다. 본 실험에서 휨공시체의 지간은 30cm로 처짐량 2.0mm까지의 하중-처짐곡선하의 면적에서 휨인성을 구하면, 강섬유혼입율이 각각  $V_f=0\%$ , 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6% 일때 휨인성은 각각 110.8 Kg·cm, 199.3 Kg·cm, 238.1 Kg·cm, 307.6 Kg·cm, 354.6 Kg·cm, 432.5 Kg·cm 이고 강섬유혼입율 0%일때에 대한 상대인성비는 강섬유혼입율을  $V_f = 1\%$ , 2%, 3%, 4%, 5%, 6% 일때 각각 3.9, 7.0, 8.4, 10.8, 12.5, 15.2 로서 강섬유혼입율의 증가에 따라 현저한 인성증가 경향을 나타내었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 이상의 시험 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1)산업부산물인 플라이애쉬를 충전재로 사용한 폴리에스터 레진콘크리트의 워커빌리티 성능은 사용 플라이애쉬의 품질, 결합재물 및 플라이애쉬-결합재비에 의하여 크게 영향을 받았으며, 양호한 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트를 제조하기 위하여는 양질의 플라이애쉬 사용이 요구되며, 결합재물 10.0~12.0 Wt.%, 충전재-결합재비 100~150% 정도가 적당한 것으로 판단된다.

(2)플라이애쉬를 충전재로 사용한 경우 결합재물 및 충전재-결합재비의 증가에 따라 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 압축강도는 현저히 증가하는 경향을 나타내었으며, 이러한 경향은 콘크리트 내부조직이 보다 치밀해지기 때문인 것으로 판단된다.

(3)플라이애쉬-결합재비의 증가에 따른 인장강도는 다소 증가하는 경향이 있으나, 결합재물의 증가에 따른 인장강도의 현저한 증가현상은 나타나지 않았고, 결합재물 14.0 Wt.% 이상이 되면 12.0 wt.%인 경우에 비하여 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

(4)플라이애쉬를 충전재로 사용한 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 휨강도 및 최대처짐량은 결합재물 12.0 Wt.%, 플라이애쉬-결합재비가 100%인 경우 198 kg/cm<sup>2</sup> 및 130×10<sup>-2</sup>mm, 150%인 경우 207 kg/cm<sup>2</sup> 및 147×

10<sup>-2</sup>mm를 나타내어 플라이애쉬-결합재비의 증가에 따라 휘강도 및 처짐량도 다소 증가하는 경향을 나타내었으며, 중질탄산칼슘을 사용한 경우와 비교하면 대략 비슷한 값을 나타내었다.

(5) 강섬유보강 플라이애쉬-폴리에스터 레진 콘크리트의 워커빌리티는 플라이애쉬-결합재비 및 강섬유혼입율에 크게 영향되며, 플라이애쉬-결합재비의 증가 및 강섬유혼입율의 증가에 따라 Flow값은 현저히 감소하였다.

(6) 강섬유혼입율의 증가 및 플라이애쉬-결합재비의 감소에 따라 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 압축강도는 증가하고, 휘강도는 강섬유혼입율의 증가에 따라 크게 증가하였고, 강섬유와 매트릭스의 부착이 매우 양호하여 휘파괴는 강섬유의 파단에 의하여 일어나며, 강섬유혼입율의 증가에 따라 그 인성은 현저히 증가하였고, 특히 강섬유혼입율 약 4.0 Vol.%이상의 경우 현저한 인성증가경향을 나타내었다.

### - 감사의 말 -

본 연구는 1990년도 한국과학재단의 일반 목적 기초 연구지원에 의하여 수행되었음을 밝히며 동 재단과 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 박승범, 윤의식, "산업폐기물을 이용한 간재용 고성능 복합체의 개발 및 응용에 관한 실험적연구", 한국콘크리트학회지, Vol.3, No.3, pp.101-110, 1991
2. 박승범, "탄소섬유보강 플라이애쉬·시멘트복합체의 역학적특성", 한국콘크리트학회 가을학술발표회, Vol.3, No.3, pp.99-106, 1991
3. 廢棄物の處理·再利用編集委員會, "廢棄物の處理再利用", 建設産業調査會, 692p., Oct.1979
4. 渡邊弘昭, "特許情報における産業副産物とコンクリート", 콘크리트工學, Vol. 14, No.9, pp.72-81, Sept. 1976
5. Renfro, O. S., "Building Materials from Solid Waste", Noeys Data Corporation, Park Ridge,

- New Jersey, 275p, 1979
6. Anon., "Plastics Marble, Cutting the Cost of Beauty", Modern Plastics, Vol.42, No.7, pp. 92-95, July 1964
7. Stavrakov, E. Kh., "Transportnoe Stroitel'stvo", Vol.9, No.5, pp.57-58, 1959
8. Y. Ohama, "Mix Proportions and Properties of Polyester Resin Concretes", Polymers in Concrete, Publication SP-40, ACI, Detroit, pp.283-294, 1973
9. Y. Ohama, "Determination Methods for Working Life of Polyester Resin Concrete", Polymers in Concrete, Pub. SP-58, ACI, Detroit, pp.31-40, 1978
10. Y. Ohama, "Mix Proportioning and Mechanical Properties of Polymethyl Methacrylate Resin Concrete", Transactions of the JCI, Vol.3, pp.97-104, Dec.1981
11. 出村克宜, "ポリエスチルレジンコンクリートの硬化收縮挙動", 日本建築學會東北支部研究報告書, No.31, pp.105-108, Mar. 1979
12. 山崎竹博, 宮川邦彦, "硬化初期におけるレジンコンクリートの時間依存影響に關する實驗", 土木學會第34回年次學術講演會概要集(第5部), pp. 203-204, Oct. 1979
13. Aminabhavi, T.M, Patel, R.C., "Studies on Physico-Mechanical Properties of Some New Lt.Wt.Eng.Materials", Polymer Eng. and Science, Vol.21, No.16, pp.1085-1091, Nov. 1981
14. Reszniak, W., and Smirnowa, K., "A Thermoplastic Constructional Building Material", Polish Tes. Review, No.6, pp.28-29, 1981
15. 向井毅, "レジンコンクリート及びレジンモルタルとその性質", 콘크리트·ジャーナル, Vol. 11, No.4, pp.10-17, April 1973
16. 박승범, "폴리머함침 탄소섬유보강 시멘트복합체의 역학적 특성", 한국콘크리트학회지, Vol.4, No. 1, pp.107-118, 1992
17. 변근주, 이가성, 강재남, "신재료로서의 폴리머 콘크리트", 제 4회 레미콘 기술세미나, 한국레미콘협회, 1988

18. 연구석, 박제선, 김광우, “폴리에스터 폴리머 콘크리트의 파괴거동”, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol.5, No.1, pp.53-58, 1993
19. Pickett, G., “Effect of Aggregate on Shrinkage of Concrete and a Hypothesis Concerning Shrinkage”, J. of ACI, pp.581-590, Jan. 1956
20. 日本コンクリート工學協會論集, 콘크리트便覽, 技報堂, pp.77, 1976
21. JCI-SF4, “纖維補強콘크리트의 曲げ強度及び 曲げタフネス試驗方法”, 纖維補強콘크리트의 試驗方法に關する規準, 日本コンクリート工學協會, pp.11-17, 1984

(접수일자 : 1993. 8. 4)