

産業副産物을 利用한 鋼纖維補強 폴리에스터 수지複合體의 製造 및 力學的 特性

Fabrication and Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Polyester Resin Composites Utilizing by-Products (Fly Ash)

박 승 범*

Seung Bum, Park

윤 의 식**

Eui Sik, Yoon

ABSTRACT

Results of an experimental study on the manufacture, the workability and mechanical properties of steel fiber reinforced polyester resin composites utilizing industrial waste products are presented in this paper.

The fly ash-polyester resin composites using steel fiber, fly ash and calcium carbonic acid (CaCO_3), unsaturated polyester resin, styrene monomer, cobalt octate and methyl ethyl ketone peroxide, fine and coarse aggregates are prepared with various filler-binder ratios, binder rates and mixing conditions.

As a test results, the workability of steel fiber reinforced polyester resin composites are considerably dropped with increasing fly ash-binder ratio and steel fiber volume. And compressive, flexural strength and bending toughness of the composites are remarkably improved with augmenting fiber contents.

1. 서론

본 연구에서는 국내의 막대한 산업용 부산물의 이용 측면에서 광범위한 유효이용이 시급히 요구되는 플라이애쉬와 보강재로서 강섬유를 사용하여 고강도 건재용 폴리에스터수지 복합체의 개발을 목적으로, 주재료로 플라이애쉬와 결합재로 폴리에스터를 이용하고 보강재로 강섬유를 보강함으로써 목적에 맞는 물리적·역학적 성질을 갖는 건재용 고성능 레진계 복합체(레진콘크리트)의 개발 및 그 실용화를 위한 연구에 관한 기초적 연구를 수행하였으며, 1차로 강섬유 보강 고강도 플라이애쉬-폴리에스터 수지 복합체의 워커빌리티 성능 및 역학적 성능에 관한 실험적 고찰을 행하였다.

2. 사용 재료 및 시험방법

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

2.1 사용재료

(1) 충전재 : 충전재로서 플라이애쉬는 보령화학 발전소의 유연탄 플라이애쉬(BFA)로 KSL 5405(플라이애쉬)에 적합한 것을 사용하였고, 그 화학적 성분은 Table 1과 같다. 아울러 이와 비교고찰을 위하여 보통 레진콘크리트의 충전재로 사용되는

* 정희원, 충남대학교 공과대학 트목공학과 교수

** 정희원, 충남대학교 대학원 박사과정

중질탄산칼슘(CaCO₃; 국내 D사 제품)을 사용하였고, 그 물성은 Table 2와 같다.

Table 1. Chemical Compositions of Fly Ash

Chemical Compositions (%)								
Ig. Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	Total
2.14	78.50	28.50	4.21	1.20	0.21	1.03	0.20	98.47

Table 2. Properties of Fillers

Type of Filler	Specific Gravity (20°C)	Size (mm)	Water Content (%)	Organic Impurities
Fly Ash	2.12	< 4.2 × 10 ⁻³	< 0.1	None
CaCO ₃	2.66	< 2.5 × 10 ⁻³	< 0.1	None

(2) 결합재 : 액상 레진으로는 경제성과 재료성능이 양호한 액상 불포화 폴리에스터 수지(일본 C사 제품)를 사용하고, 희석재로는 공업용 Styrene Monomer를 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
684	1.128	36.2	21.2

Table 4. Properties of Styrene

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 촉매(Accelerator)로는 각각 Cobalt Octate(CoO₈) 및 Methyl Ethyl Ketone Peroxide의 55% DMP용액(MEKPO)를 사용하였고, 결합재의 배합은 중량비로 Unsaturated Polyester Resin 100, Styrene 13, CoO₈ 0.5, MEKPO 0.5로 하여 사용하였다.

(3) 골재 : 골재는 금강 상류에서 채취된 것으로 굵은 골재는 최대치수를 10mm로 한 깻돌을 사용하였고, 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질은 Table 5와 같다.

Table 5. Physical Properties of Aggregates

Aggregate	Specific Gravity	Water Absorption (%)	Under 200 Sieve	Unit Weight	Organic Impurities
Fine AGG.	2.60	< 0.1	0.85	1.625	—
Coarse AGG.	2.65	< 0.1	—	1.630	—

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

Table 6. Properties of Steel Fiber

Size (mm) (bxdxL)	Section Area (mm ²)	Aspect Ratio	Specific Gravity (20°C)	Es (kg/cm ²)	Tensile Strength (kg/cm ²)
0.4x0.4x30	0.160	66	7.8	2.1x10 ⁶	75.0

2.2 시험방법

(1) 폴리아에쉬를 이용한 폴리에스터수지 콘크리트의 배합 및 공시체 제작

폴리아에쉬 사용 폴리에스터수지 콘크리트의 배합은 결합재율을 10.0, 12.0, 14.0, Wt.%로 하고 충전재량을 결합재량에 대하여 0.5, 1.0, 1.5배로 변화시켜 배합설계를 행하였으며, 워커빌리티 성능이 양호하고 소모의 물리적·역학적 성능을 기대할 수 있는 최적조건을 추출하기 위하여, 배합 조건별트 ①믹싱상태 ②유동성 ③성형성 ④Finishing 상태를 조사 분석하였다. 또한, 믹싱은 점성이 높은 폴리에스터수지의 분산혼합이 용이한 Omni-Mixer (용량30ℓ)를 사용하였으며, 그 배합은 Table 7과 같이 하였다.

Table 7. Mix Proportions of Polyester Resin Concrete Using Fly Ash

Mix. No.	Mix Proportion (Wt.%)					Remarks
	Binder	Filler		Aggregate		
		Fly Ash	CaCO ₃	Gravel	Sand	
1	12.0	—	12.0	28.10	47.90	
2	10.0	5.0	—	31.40	55.60	
3		10.0	—	28.60	50.40	
4		15.0	—	27.75	47.25	
5	12.0	6.0	—	30.34	51.66	
6		12.0	—	25.12	47.88	
7		18.0	—	25.90	44.10	
8	14.0	7.0	—	29.25	49.77	
9		14.0	—	26.64	45.36	
10		21.0	—	24.05	40.95	

(2) 공시체의 제작 및 강도시험방법

중질탄산칼슘, 폴리아에쉬(또는 고르슬래그 분말)를 충전재로 사용한 폴리에스터 레진콘크리트의 제조 및 강도 시험은 KSF 2419, 2481 및 2492의 폴리머 콘크리트의 제조 및 시험방법에 준하여, 압축강도 및 활렬인장강도 시험용 공시체는 10 × 20 cm의 몰드에 2층으로 나누어 타설하고

진동대를 사용하여 다진 후 표면을 성형하였고, 성형된 공시체는 20°C, 50% R.H. 조건의 항온항습기에서 7일간 양생을 행한 후 제시험을 측정하였으며, 압축강도 시험에는 Wire Strain Gauge 를 부착하여 종변형 및 탄성계수를 측정하였다. 또한 휨강도 시험은 7×7×35 cm 의 공시체를 제작하여 공시체 중앙부에 Strain Gage Type Transducer 를 사용하여 하중-처짐관계는 일본S사 제품의 Automatic Computer Controlled Universal Testing Machine (용량 25t)을 사용해 X-Y Recorder에 의하여 구하였다.

(3) 길이변화시험

플라이 애쉬 사용 폴리에스터 수지 복합체의 경화 건조수축 시험은 10×10×40 cm 의 몰드에 2층으로 나누어 타설하고 외부진동기를 이용해 다짐을 행하였으며, 촉매첨가후 30분 후부터 1시간 간격으로 24시간의 경화수축을 일본 M사 제품의 경화수축 측정장치를 사용하여 측정하였다.

(4) 강섬유 보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지

복합체의 제조 및 강도시험

플라이애쉬-결합재비(wt.%)를 50%, 100%, 150% 로하고, 일본 S사 제품의 전단강섬유를 각각 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 Vol.%로 변화시켜 섬유 분산용 Omni-Mixer (용량 30ℓ)를 사용하여 배합·제조하였고, 압축강도 및 휨강도시험용 공시체의 제작 및 강도시험을 (2)항과 같은 요령으로 행하였다

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의

워커빌리티 성능

플라이애쉬를 충전재로 한 폴리에스터 레진 콘크리트의 워커빌리티 성능은 일반적으로 결합재율의 증대에 수반하여 양호하게 되는 경향이 있으며, 결합재율 10.0 wt.%의 경우 충전재-결합재비의 증대에 수반하여 미립분이 많게 되어 콘크리트가 보다 플라스틱하게 되기 때문인 것으로 추정된다. 결합재율 10.0 wt.% 일때 충전재-결합재비 5%, 100%, 150%의 모든 경우에 진동성형이 가능하였다. 또한, 충전재로 중질탄산칼슘을 사용한 경우는 믹싱, 유동성, 성형성, 피니셔빌리티 성능 등이 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

압축·인장강도, 탄성계수 및 최대압축변형

플라이애쉬 및 중질탄산칼슘을 충전재로 사용한 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 압축강도시험결과는 Fig.1 및 2와 같고, 인장강도시험결과는 Fig.3 및 4와 같다. 시험결과를 고찰하여 보면, 충전재-결합재비 및 결합재율의 증대에 수반하여 플라이애쉬를 충전재로 사용한 폴리에스터 레진콘크리트의 압축강도는 증가하는 경향을 나타내었으며, 이런 경향은 충전재-결합재비 및 결합재율의 증가에 수반하여 콘크리트의 내부조직이 보다 치밀하여 지기 때문인 것으로 판단된다.

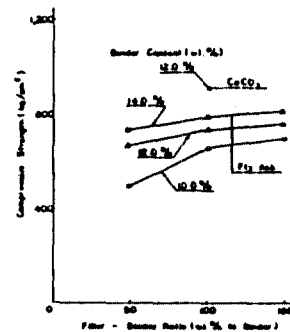


Fig. 1 Relationship between Compressive Strength and Fiber - Binder Ratio (wt. % to Binder)

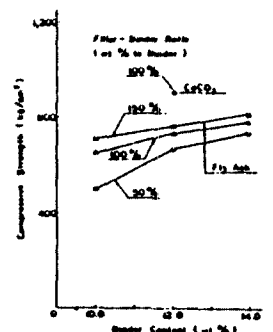


Fig. 2 Relationship between Compressive Strength and Binder Content (wt. %)

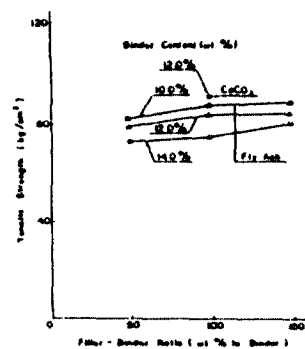


Fig. 3 Relationship between Tensile Strength and Fiber - Binder Ratio (wt. % to Binder)

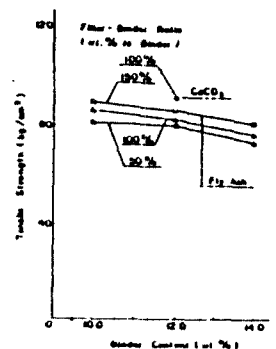


Fig. 4 Relationship between Tensile Strength and Binder Content (wt. %)

한편, 충전재-결합재비의 증대에 수반하여 플라이애쉬를 사용한 폴리에스터 레진콘크리트의 인장강도는 다소 증가하는 경향을 보였으나, 결합재율의 증대에 수반한 인장강도의 현저한 증가현상은 나타나지 않고 결합재율 12.0 Wt.%와 14.0 Wt.%의 경우를 비교하면 결합재율 14.0 Wt.%의 경우는 오히려 적어지는 경향을 나타내었으며, 이러한 경향은 다음과 같은 이유 때문인 것으로 추정된다. 즉, 콘크리트의 강도에 미치는 요인중 압축보다 인장강도에 크게 영향되는 것으로서 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 증대와 함께 매트릭스의 양이 증대됨에 따라 골재량의 감소에 의한 커다란 수축을 생기게 하여 미세균열의 발생을 유발하게 되므로 결합재량의 증대에 수반하여 콘크리트가 약한 결함을 갖는 확률은 높게되어 결합재율이 12.0 Wt.%에서 14.0 Wt.%로 증대함에 따라 인장강도의 감소가 생긴 것으로 생각된다.

이상의 워커빌리티 성능 및 압축·인장강도 시험결과등을 종합할 때 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 적정 배합은 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 확인 검토가 필요한 것으로 판단된다.

또한 Fig.5는 플라이애쉬를 충전재로 한 폴리에스터 레진콘크리트의 응력-변형률 곡선을 나타낸 것으로서, 결합재율 12.0 Wt.%, 충전재-결합재비 100, 150%인 경우의 플라이애쉬를 충전재로 한 폴리에스터 레진콘크리트의 최대압축변형은 $7000 \sim 7400 \cdot 10^{-6}$ 정도로서, 충전재로 중질탄산칼슘을 사용한 경우와 거의 비슷한 경향을 나타내었으며, 결합재율 12.0 Wt.%, 충전재-결합재비 100%인 경우 최대압축변형은 $7160 \cdot 10^{-6}$, 탄성계수 $2.41 \cdot 10^5$, 충전재-결합재비 150%인 경우의 최대압축변형은 $7030 \cdot 1110^{-6}$, 탄성계수 $2.42 \cdot 10^5$ 이었고, 충전재로서 중질탄산칼슘을 사용한 경우 결합재율 12.0 Wt.%, 충전재-결합재비 100%인 경우 최대압

축변형은 $7400 \cdot 10^{-6}$, 탄성계수는 $2.43 \cdot 10^5$ 이었다.

3.3 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 휨강도, 휨하중-처짐변형특성

플라이애쉬를 충전재로 사용한 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 휨강도 및 최대처짐량은 결합재율 12.0 Wt.%, 충전재-결합재비 100%인 경우 각각 198 Kg/cm^2 및 $130 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$ 이고, 충전재-결합재비 150%인 경우는 207 Kg/cm^2 및 $147 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$ 이었다. 또한 중질탄산칼슘을 충전재로 한 경우는 결합재율 12.0 Wt.%, 충전재-결합재비 100%일때 휨강도는 209 Kg/cm^2 , 최대처짐량은 $138 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$ 정도로 휨강도 및 최대처짐량은 충전재로 플라이애쉬를 사용한 경우와 거의 비슷한 양상을 나타내었으며, 본 실험결과 휨하중-처짐변형 관계는 Fig.6과 같다.

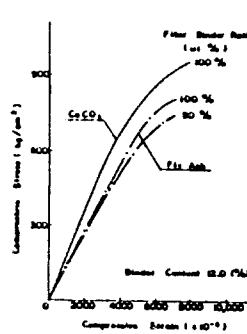


Fig. 5. Relationship between Compressive Stress and Compressive Strain.

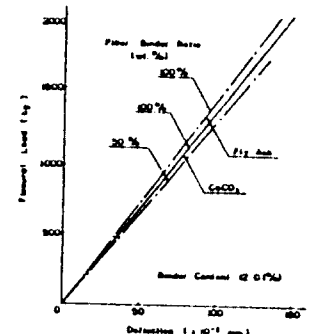


Fig. 6. Relationship between Flexural Load and Deflection and Compressive Stress.

3.4 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 경화수축특성

본 실험결과 Fig.7은 플라이애쉬를 충전재로 한 폴리에스터 레진콘크리트의 경화수축과 양생재령과의 관계를 나타내고, Fig.8는 충전재-결합재비와 플라이애쉬를 충전재로 한 폴리에스터 레진콘크리트의 양생재령 24시간동안의 경화수축과의 관계를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 시험결과 최적배합으로 판단되는 배합의 결합재율 12.0 Wt.%에 충전재-결합재비 50%, 100%, 150%로 변화시킨 것에 대하여 검토하였다. 시험결과, 어느 배합의 경우도 폴리에스터 레진콘크리트는 양생재령 약 2시간 이후부터 급격히 수축하는 현상을 나타내어 약 12시간 이후부터

는 대략 일정한 값을 유지하였고, 플라이애쉬를 충전재로한 폴리에스터 레진콘크리트의 경화수축은 중질탄산칼슘을 사용한 경우보다 작았으며, 이러한 현상은 골재의 용적율의 증대(충전재는 수축하지 않는 불활성이므로 골재의 일부로 가정)에 수반하여 그 수축이 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

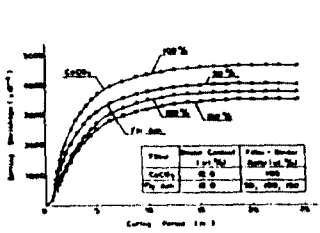


Fig. 7 Relationship between Setting Strength and Curing Period (%)

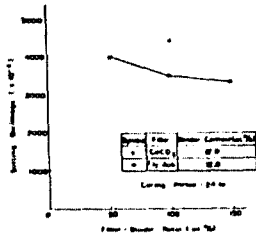


Fig. 8 Relationship between Setting Strength and Fly Ash - Binder Ratio

3.5 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 워커빌리티 특성

Fig. 9 및 10은 강섬유 혼입량 증가 및 충전재-결합재비의 증가에 따른 Flow값과의 관계를 나타낸 것으로, 이를 고찰하여 보면, 플라이애쉬-결합재비가 50% 및 100%의 경우가 양호하였으며 그 점착성이 비교적 작고 성형 및 마무리가 용이하였으나, 플라이애쉬-결합재비가 150%인 경우 유동성이 현저히 저하하여 성형 및 마무리가 어려웠으며 또한 강섬유의 혼입이 곤란하였다. 또한 플라이애쉬-결합재비가 50% 및 100%의 경우 재료분리에 대한 저항성이 우수하였고, 전반적으로 강섬유 혼입율 증대에 수반하여 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지 복합체의 워커빌리티 성능은 저하하는 경향을 나타내었으며, 이러한 경향은 강섬유의 과다혼입으로 Fiberball을 발생시켜 충분한 디싱이 곤란해짐에 기인하는 것으로서, 본 실험에서 한계강섬유혼입율은 약 5~6 Vol.%이었다.

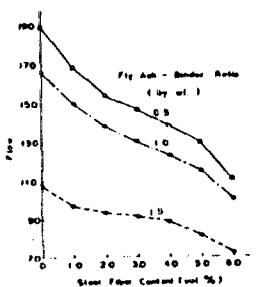


Fig. 9 Relationship between Flow and Steel Fiber Content

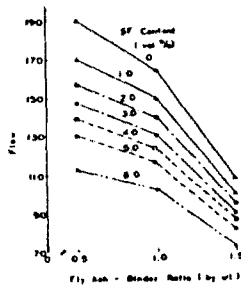


Fig. 10 Relationship between Flow and Fly Ash - Binder Ratio

3.6 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 압축 및 휨강도, 하중-처짐변형특성

강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지 복합체의 압축 및 휨강도 시험결과는 Fig. 11 및 12와 같고, 하중-처짐변형시험 측정결과는 Fig. 14와 같다. 이를 고찰하여 보면, 플라이애쉬-결합재비의 증대에 수반하여 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지 복합체의 압축강도는 저하하는 경향을 나타내었고, 강섬유혼입율의 증대에 수반하여 대략 직선적으로 완만히 증대하는 경향을 나타내었다. 또한 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지 복합체의 휨강도도 플라이애쉬-결합재비의 증대에 수반하여 감소하는 경향을 나타내었으며, 이러한 경향은 결합재량의 감소에 수반한 매트릭스 강도의 저하에 기인하는 것으로 판단되며, 아울러 강섬유혼입율의 증대에 따른 휨강도는 강섬유혼입율 2.0 Vol.%까지는 현저한 증가는 없으나 3.0 Vol.% 이상으로부터 6.0 Vol.%까지 증대됨에 따라 휨강도는 현저한 증가경향을 나타내었다.

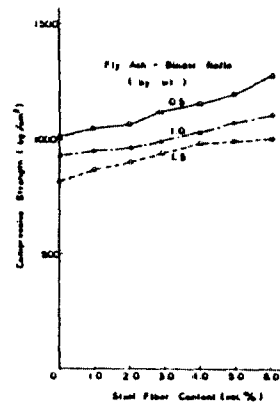


Fig. 11 Relationship between Compressive Strength and Steel Fiber Content

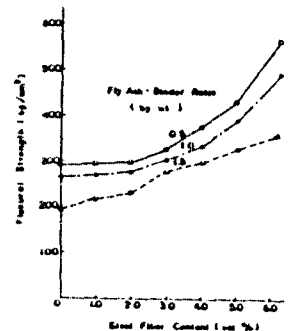


Fig. 12 Relationship between Flexural Strength and Steel Fiber Content

한편, 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지 복합체의 하중-처짐변형특성을 Fig. 13에서 고찰하여 보면, 강섬유혼입율을 3.0 Vol.%까지는 균열발생 후 내력은 저하하고, 그 이상의 혼입율로 되면 내력의 저하는 곧바로 회복되고 최대하중을 나타낸 후 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 수지 복합체의 휨파괴는 강섬유의 파단에 의하여 일어나고, 강섬유혼입율의 증대에 수반하여 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 수지 복합체의 인성은 증대하였고, 특히 강섬유혼입율 약 4.0 Vol.% 이상의 경우 현저한 인성증대경향을 나타내었다.

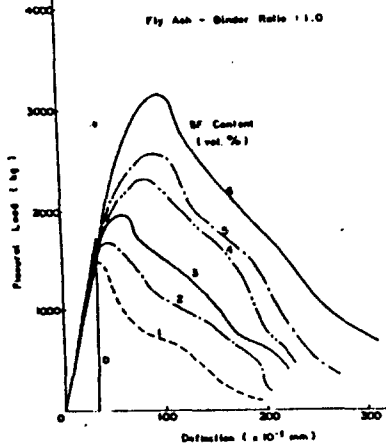


Fig. 15. Relationship between Flexural Load and Deflection

4. 결론

본 연구에 관한 이상의 시험 연구 결과를 요약하여 보면 다음과 같다.

- (1) 산업부산물인 플라이애쉬를 충전재로 사용한 폴리에스터 레진콘크리트의 워커빌리티 성능은 사용 플라이애쉬의 굵질, 결합재율 및 플라이애쉬-결합재비에 의하여 크게 영향을 받으며 양호한 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트를 제조하기 위하여는 양질의 플라이애쉬 사용 및 결합재율 10.0~12.0 wt.%, 충전재-결합재비 100~150% 정도로 판단된다.
- (2) 플라이애쉬를 충전재로 사용한 경우 결합재율 및 충전재-결합재비의 증대에 수반하여 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 압축강도는 현저히 증가하는 경향을 나타내었으며, 이러한 경향은 콘크리트 내부조직이 보다 치밀하여 지기 때문으로 판단된다.
- (3) 플라이애쉬-결합재비의 증대에 수반한 인장강도는 다소 증가하는 경향이 있으나, 결합재율의 증대에 수반한 인장강도의 증가현상은 뚜렷하지 못하였으며, 결합재율 14.0 wt.% 이상이 되면 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.
- (4) 플라이애쉬를 충전재로 사용한 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 휨강도 및 최대처짐

량은 결합재율 12.0 wt.%, 플라이애쉬-결합재비가 100%인 경우 198 kg/cm² 및 130×10⁻²mm, 150%인 경우 207 kg/cm² 및 147×10⁻²mm로 나타나 플라이애쉬-결합재비의 증대에 따라 휨강도 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 증대에 수반하여 Flow값은 현저히 감소한다.
- (6) 강섬유혼입율의 증대 및 플라이애쉬-결합재비의 감소에 수반하여 강섬유보강 플라이애쉬·폴리에스터 레진콘크리트의 압축강도는 증대하고, 강섬유혼입율의 증대에 수반하여 휨강도는 크게 증가하였고, 강섬유와 매트릭스의 부착이 매우 양호하여 휨파괴는 강섬유의 파단에 의하여 일어나고 강섬유혼입율의 증대에 수반하여 그 인성은 현저히 증대하였으며, 특히 강섬유혼입율 약 4.0 Vol.% 이상의 경우 현저한 인성증대경향을 나타내었다.

참고 문헌

1. Swamy R.N., "Fly Ash Concrete-Potential without misuse", Material and structures, 23, 397~411, 1990
2. Seung Bum, Park, "A Study on the Mechanical Properties of CFRC Impregnated in Polymer" Proc. of the KCI, Vol. 4, No. 1, pp. 107~118, 1992
3. Seung Bum, Park, "Development and Application of High Performance Composite Utilizing Industrial Waste Products", Proc. of the KCI, Vol. 3, No. 3, pp. 101~110, 1991
4. Ohama Y., Demura K., "Development of Lt. Wt. CFR-ACC", Proc. of the Int. Symposium on FRC, Dec. 16~19, 1987, Madras, India
5. Vipulanandan C., Dharmarajan N., "Mechanical Behaviour of Polymer Concrete Systems", Materials and Structures, 21, 268~277, 1988