

# Fly Ash를 사용한 구조용 재생 콘크리트의 역학적 특성

## Mechanical Characteristics of Recycled Structural Concrete with Fly Ash

김진영\* 김광우\*\* 이봉학\*\*\* 박제선\*\*\*  
Kim, Jin-Young Kim, Kwang-Woo Lee, Bong-Hak Park, Je-Seon

### Abstract

Various of batches of recycled concretes were produced with different ratios of recycled aggregate (20% and 50%) and admixtures based on workable range of slump value and using a fixed w/c ration. Mechanical characteristics of the recycled concretes were evaluated. Test results showed that, in general, relatively high strength recycled concrete could be obtained using a plasticiser. The concrete using fly ash showed somewhat reduced strength, lower elastic modulus and relatively high strain, in general. However, the strength reduction ratio of the recycled concrete due to adding fly ash was relatively minor, compared with normal concrete. Since it has been known that the fly ash is used in place of cement and gives an improved long term strength, a further study may be warranted for a possibility of using fly ash without degrading the strength required.

## 1. 서론

현재 국내에서의 콘크리트 폐기물의 발생량은 연간 약 500만톤 정도로 추산되고 있다. 하지만 이 많은 물량의 대부분은 제대로 재활용 되지 못하고 폐기 처분되고 있으며, 재활용 되는 량의 대부분도 매립장의 채움재, 도로의 보조기층재등 부가가치가 낮은 재료로 사용될 뿐 구조용 콘크리트등 고급재료로 사용되지 못하고 있다. 하지만 우리나라와 같이 국토가 협소하고 골재자원의 공급이 한계에 다란 국내 실정에서 유용한 재활용 자원인 폐콘크리트의 양질 콘크리트로서의 재활용은 시급한 실정이다. 미국, 일본, 유럽등의 선진국에서는 일찍이 이에 대한 연구를 통하여 폐콘크리트의 양질건설 재료로써 재활용을 완전 실용화 하고에 있다. 따라서 본연구는 국내에서 발생하는 폐콘크리트를 재활용 하기 위한

연구의 일환으로 혼화재료를 이용한 재생 콘크리트의 강도 특성에 관한 연구를 수행하였다.

현재 까지 본 연구팀의 연구<sup>(1,6,7)</sup>에 의하면 재생콘크리트의 압축강도 향상이 문제점으로 제기 되어 왔으며 따라서 Fly Ash등 혼화재와 물-시멘트비 감소를 위한 유동화제의 사용이 제시 되어왔다. 그러므로 본 연구의 목적은 Fly Ash를 사용한 재생콘크리트의 강도 특성을 규명하고 이를 토대로 구조용 재료로서 폐콘크리트의 사용가능성을 점검하는 것이다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 재료

콘크리트 제조용 시멘트는 국내 S사 제품인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 화학적 성질 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

\* 강원대학교 토목공학과 석사과정  
\*\* 강원대학교 농공학과 조교수  
\*\*\* 강원대학교 토목공학과 교수

Table 1 Chemical and Physical Properties of Normal Portland Cement

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	lg. Loss (%)	Specific Gravity	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)
20.8	6.3	3.2	61.2	3.3	2.3	1.0	3.12	3200

산업폐기물의 일종인 Fly Ash를 시멘트의 일부에 대체하면 콘크리트 생산단가가 절감되고 환경보호 문제도 해결되므로 본 실험에서는 보령화력발전소산 유연탄 Fly Ash(Table 2)를 사용하여 재생 콘크리트를 제조하였다.

Table 2 Physical Properties and Chemical Composition of Fly Ash

Physical properties		Chemical composition (%)				
specific gravity	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	lg. loss
2.23	3200	89.8	0.3	0.2	1.0	4.5

천연 잔골재는 강원도 춘천군 가정리 강모래를 사용하였고 천연 굵은 골재의 최대치수는 19mm인 레미콘 제조용 쇠석을 사용하였다. 재생 굵은 골재는 강원도 춘천시 효자2동의 약 25년된 건축 구조물의 슬래브 부분 폐콘크리트를 이용하였다. 본 연구는 기존의 기초연구와 자료를 통하여 재생 잔골재는 제외하였으며 각 골재의 물성은 Table 3과 같고 입도 분포는 Fig.1과 같다.

Table 3 Physical Properties of Aggregates

Type	ASG	SSDSG	ABP(%)	F.M
VS	2.67	2.59	1.94	2.86
VG	2.68	2.64	0.81	6.64
RG	2.62	2.4	5.29	6.80

- VS : Virgin Sand
- VG : Virgin Coarse Aggregate
- R.G : Recycled Coarse Aggregate
- ASG : Apparent Specific Gravity
- SSDSG: Saturated Surface Dry Sp. Gravity
- ABP : Absorption(%),
- F.M : Fineness Modulus

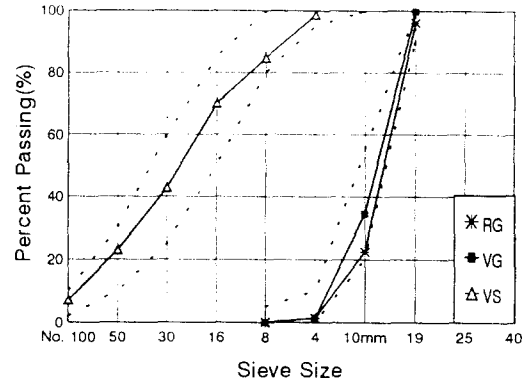


Fig. 1 Gradation of Aggregates Used

또한 본 실험에서는 강도 증진을 위하여 단위수량을 감소시킴에 따른 워커빌리티 확보를 위하여 국내 K사 제품인 나프탈렌 셀포네이트 나트륨계 Mighty-150 Powercon을 유동화제로 사용하였다.

## 2.2 실험 방법

재활용 콘크리트의 제조시 재생 조골재의 대체율은 0, 25, 50%로 하고 혼화제 (Fly Ash)의 혼입율은 0, 10, 20%로 하였다. 물-결합재비는 35%, 잔골재율은 40%로 고정시켰고 단위시멘트량을 550kg/m<sup>3</sup>로하여 강도 발현에 중점을 두었다. 비교적 낮은 물-결합재비와 재생골재의 높은 흡수율에 따른 유동성 저하를 방지하기 위해 사용한 유동화제 첨가량은 슬럼프의 적정치를 18±2cm로 보고 그에 적당한 값이 얻어지도록 첨가량을 조절하였다. 이에 따른 배합설계 내용은 Table 5와 같다. 압축강도 및 할렬인장강도 측정을 위하여 10×20cm 원통형 공시체를 각 배합별로 7개씩 총 189개(3골재×3혼화제율×3혼화제율×7)를 제조하여 28일간 수중 25±1°C 에서 양생시켰다. 또한 휨강도 측정을 위하여는 10×10×30cm 빔 공시

체를 배합별로 3개씩 81개(3골재×3혼화제  
 을×3혼화제을×3)를 제조하여 28일간 같은  
 방식으로 양생하였다. 압축, 인장, 휨강도  
 및 탄성계수는 각각 KS F 2045, KS F 2423,  
 KS F 2408, KS F 2438의 규정에 의하여 행  
 하여 졌다.

Table 4 Content of Mixed Concrete

Variable	Quantity
Cement (kg)	550
Sand/Agg. (%)	40
(Recycled Agg.)/ (Recycled Agg. + Agg.) (%)	0, 25, 50
Fly Ash/Cement (%)	0, 10, 20
Powcon/Cement (%)	0.5-3

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 고성능 감수제의 영향

콘크리트 배합의 요인과 수준으로 하여 슬럼프  
 $18 \pm 2$ 의 콘크리트를 제조하는데 사용된 고  
 성능 감수제의 첨가량에 대한 분석결과를  
 Fig. 2 에 나타내었다. 그림에서와 같이 동일  
 한 슬럼프를 갖는 콘크리트를 제조하기 위해  
 서 고성능 감수제는 재생골재 비율과 Fly Ash  
 비율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타  
 냈다. 이와같은 현상은 재생골재의 높은 흡수  
 율과 Fly Ash의 분말도에 영향을 받았음을 알  
 수 있다.

#### 3.2 압축강도

콘크리트별 Fly Ash량에 따른 재령 28에서  
 의 압축강도 측정 결과는 Fig. 3와 같다.

일반 콘크리트의 강도 백분율에 따른 압축  
 강도는 Fly Ash 혼입율이 10%, 20% 에 대해  
 6.4%, 8.4% 정도 강도 감소 현상을 보였고 재  
 생골재를 25% 혼입한 재생콘크리트에서는 Fly  
 Ash 혼입율이 0%, 10%, 20% 에 대해 6.9%,  
 12.9%, 7.4% 정도 감소 현상을 보였으며 재생

골재 50%를 혼입한 경우에는 Fly Ash 혼입율  
 이 0%, 10%, 20% 에 대해 12.1%, 19.1%,  
 30.4% 정도 강도 감소 현상을 보였다.

전반적으로 재생골재 혼입율과 Fly Ash 혼  
 입율이 증가함에 따라 압축강도가 비교적 낮  
 아지는 경향을 보여주고 있으나 일반 콘크리  
 트와 재생골재 50%를 혼입한 콘크리트는 Fly  
 Ash를 혼입하지 않고 유동화제 만으로 최대강  
 도를 얻었고 재생골재 25%를 혼입한 재생콘크  
 리트에서는 Fly Ash 20%를 혼입하고 유동화제  
 를 사용한 콘크리트에서 최대강도를 내었다.

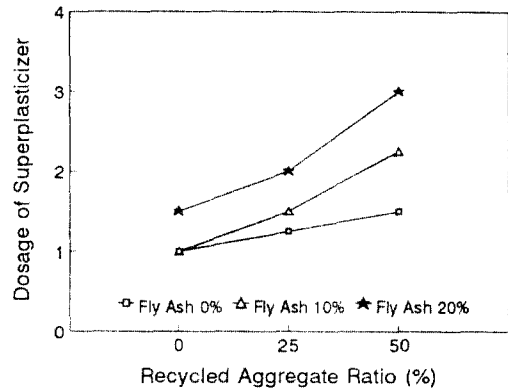


Fig. 2 Relationship of Dosage of Superplasticizer among Recycled Aggregate Ratios

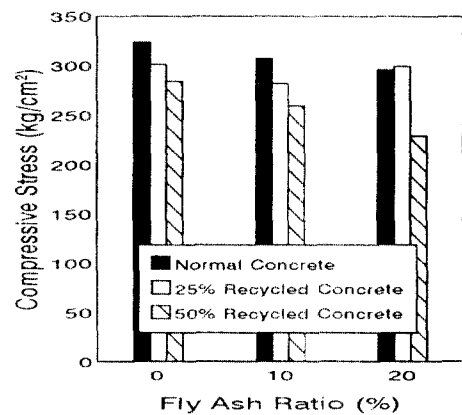


Fig. 3 Compressive Strength ( 28 days )

### 3.2 인장강도

Fig. 4 과 같이 인장강도는 전반적으로 재생골재 비율과 Fly Ash 비율이 증가함에 따라 강도감소 현상이 보인다. 압축강도와 인장강도의 관계에서는 Fly Ash가 10% 첨가된 50% 재생콘크리트를 제외하고는 전체적으로 압축강도의 크기에 따라 인장강도도 변화하고 있다. 일반적으로 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 1/8 - 1/12 정도로 알려져 있는데 본 실험의 경우 그보다 다소 낮은 1/12 - 1/16 정도다. 특히 재생골재율의 증가에 따라 낮은 값을 보였는데 이는 비교적 단위중량이 작고 연약한 재생골재의 특성에 기인하는 것으로 보여진다.

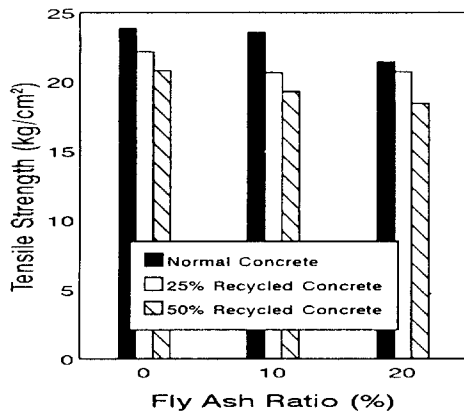


Fig. 4 Tensile Strength ( 28 days )

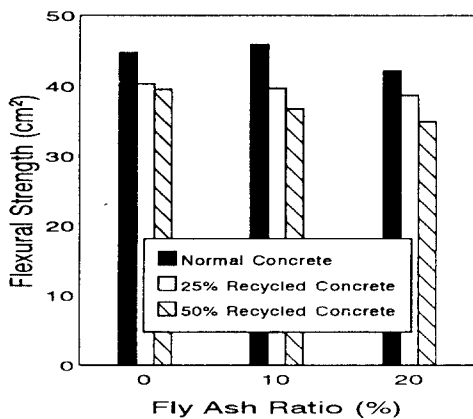


Fig. 5 Flexural Strength ( 28 days )

### 3.3 휨강도

휨강도는 Fig. 5 와 같이 골재비율의 증가와 Fly Ash 비율의 증가에 따라 인장강도와 유사하게 감소하는 경향을 보였으나 Fly Ash 10%를 사용한 일반콘크리트에서는 최대의 휨강도를 내었다. 일반적으로 보통 콘크리트의 경우 휨강도는 압축강도의 1/4 - 1/8 정도인데 본 실험에서는 1/6 - 1/8 정도로 나타났다.

### 3.4 응력-변형도 곡선과 탄성계수

Fig. 6-8의 세가지 콘크리트(일반, 재생 25%, 재생50%) 응력-변형을 곡선에서 볼 수 있듯이 응력증가에 따른 변형율도 Fly Ash량의 증가에 따라 커짐을 알 수 있고 또한 재생골재량의 증가에 따라서도 커짐을 알 수 있었다. 즉 재생골재는 일반콘크리트 보다 같은 응력 수준에서 변형율이 더커서 탄성계수가 낮음을 알 수 있었다. 한편 휨-응력 변형을 곡선에서도 Fig. 9-11에서 보듯이 재생골재 비율과 Fly Ash 비율에 따라 압축의 경우와 유사한 경향을 보였다. 그리고 모든 보에서 휨 변형은 일정응력 수준 이후에 급속도로 증가되는 특징을 보여 주었다. 변형도 곡선에서  $\sigma_c$  점과 원점을 잇는선은 응력  $\sigma_c$ 의 세컨트 계수인데 세컨트 계수를 콘크리트의 탄성계수로 보았다. 탄성계수는 각각의 최대하중에 대해 40% 내에서 구하였다. 강도와 탄성계수의 관계는 Fig 12, 13 와 같이 나타났다. 재생골재 비율이 증가함에 따라 탄성계수가 감소하는 현상을 볼때 골재의 변형특성에 따라 탄성계수가 좌우됨을 알 수 있다.

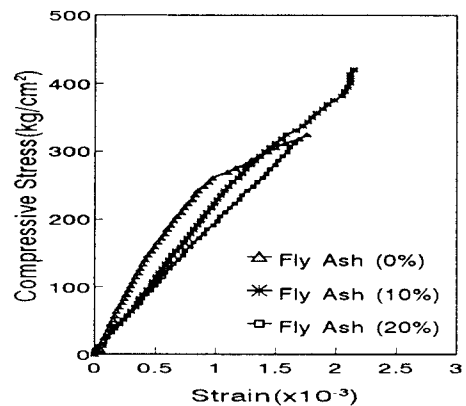


Fig.6 Stress-Strain Curve for Conventional Concrete ( Rccycled Agg. = 0% )

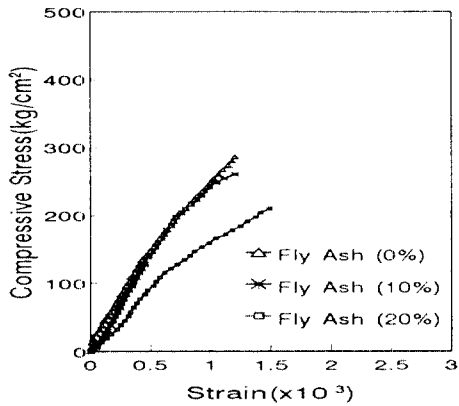


Fig.7 Stress-Strain Curves for Recycled Concrete ( Recycled Agg. = 25% )

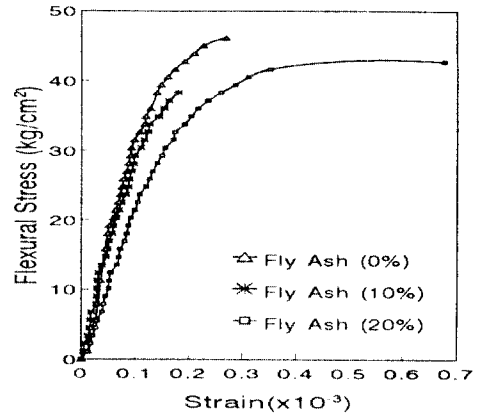


Fig.10 Flexural Stress-Strain Curves for Recycled Concrete ( Recycled Agg. = 25% )

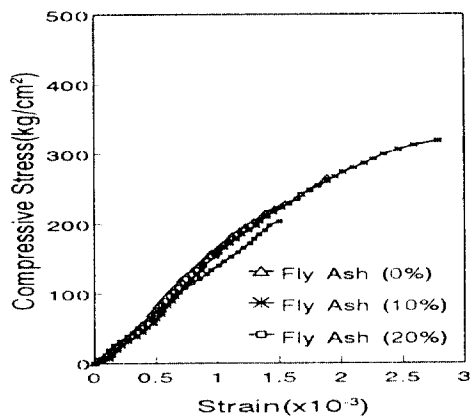


Fig.8 Stress-Strain Curves for Recycled Concrete ( Recycled Agg. = 50% )

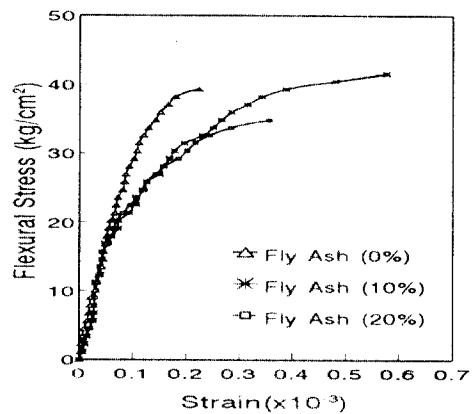


Fig.11 Flexural Stress-Strain Curves for Recycled Concrete ( Recycled Agg. = 50% )

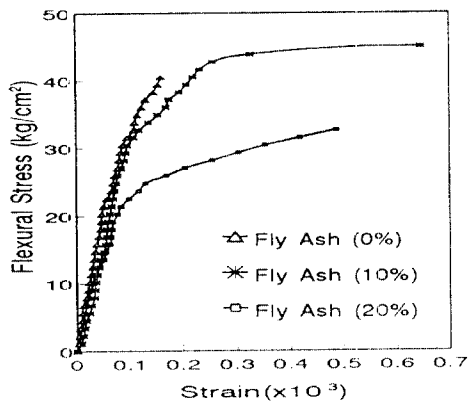


Fig.9 Flexural Stress-Strain Curves for Conventional Concrete ( Recycled Agg. = 0% )

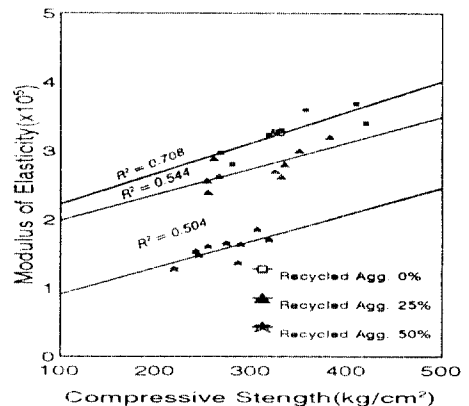


Fig.12 Relation Between Modulus of Elasticity and Compressive Strength

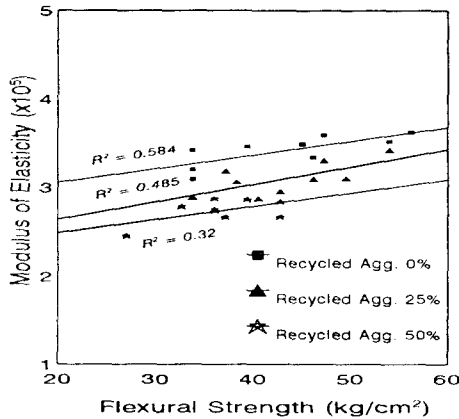


Fig.13 Relation Between Modulus of Elasticity and Flexural Strength

#### 4. 결론

본 연구에서는 폐콘크리트에서 얻어지는 골재를 사용하여 제조한 재생콘크리트의 강도특성과 역학적 특성을 개선할 목적으로 혼화재를 사용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 재생골재가 혼입된 재생콘크리트에서 단위시멘트량을 높이고 물-시멘트비를 낮추고 혼화재료를 사용함으로써 비교적 높은 압축강도( $\sigma_{28} > 300\text{kg/cm}^2$ )의 콘크리트를 얻을 수 있었다.

2) 압축강도, 인장강도, 휨강도는 전반적으로 유동화제만 사용하여 최대강도를 얻을 수 있었고 재생골재 비율과 Fly Ash 비율이 증가함에 따라 강도감소 현상을 보였다.

3) 재생골재량과 Fly Ash 사용량이 증가함에 따라 같은 응력수준에서 변형율이 커지고 탄성계수는 낮아짐을 보여주었다.

4) 일반적으로 재생골재에 Fly Ash를 혼입함으로써 강도가 일반콘크리트와 비교했을 때 감소하는 경향을 보였지만 그 감소폭이 크지 않았다. 따라서 콘크리트의 소요강도를 충족시키는 범위에서 큰 문제없이 Fly Ash를 사용토록하는 연구가 가능할 것으로 보여진다.

#### 참 고 문 헌

1. Kim, K. W., Lee, B. H., Park, J. S. and Doh, Y. S. "Performance of Crushed

Waste Concrete as Aggregate in Structural Concrete," Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction, ASCE, NEW YORK, NY.

2. Nixon, P. J. (1978), "Recycled Concrete as an Aggregate for Concrete - a Review," Materials and Structures, Vol. 11. No. 65, pp. 371-378.

3. Sri Ravindrajah, and Tam, C. T. (1985), "Properties of Concrete Made with Crushed Concrete as Coarse Aggregate," Magazine of Concrete Research, Vol. 37, No. 130, March, pp. 29-38.

4. Hansen, T. C. (1986), "Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete: Second State-of-the-Art Report Developments 1945-1985," Materials and Structures, 19 (111), June, pp. 201-246.

5. Hansen, T. C. and Marga, M. (1988), "Strength of Recycled Concrete Made from Coarse and Fine Recycled Concrete Aggregate," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 605-612.

6. 김광우, 연구석, 이병덕, "폐콘크리트 재활용에 있어서 강도특성상의 문제점." 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제4권 2호, 1992.11

7. 김광우, 이봉학, 도영수, "재생콘크리트의 동결융해 저항성과 변형특성," 콘크리트 학회지 제4권 4호, 1992.12