

鋼纖維補強 表面處理 循環骨材콘크리트의 特性†

藜主星 · *金南旭*

全北大學校 工科大學 土木工學科, 工業技術研究센터

*全北大學校 工科大學 土木工學科, 交信著者

Properties of Concrete using Surface Treatment Recycled Aggregates and Steel Fibers†

Ju-seong Bae and *Nam-wook Kim*

Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, RCIT

*Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, Corresponding author

요 약

폐콘크리트로부터 생산되는 순환골재는 천연골재에 비해 품질이 떨어지는 단점이 있어 이를 해결하는 것이 순환골재를 더 많이 재활용하는데 있어서 해결과제라 할 수 있다. 본 연구에서는 선행연구에서 사용된 콜로이드 실리카용액을 이용하여 순환골재의 품질 개선에 효과적인 표면처리 방법을 도출하였다. 또한, 본 연구에서는 도출한 표면처리방법과 강섬유보강이 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 파악하므로써 순환골재의 더 많은 재활용과 보다 인성적인 콘크리트의 제조를 위하여 5종류의 시험체의 강도 및 휨 파괴 시험 결과를 비교하여 고찰하였다.

주제어 : 표면처리, 순환골재, 강섬유, 파괴거동, 파괴저항성

Abstract

The recycled aggregate produced from the waste concrete have the disadvantages in the quality for the natural aggregate. Therefore, in order to reuse the recycled aggregate widely it is a previous subject to improve the quality of recycled aggregate. We deduced the more effective surface treatment method using the colloidal silica solution for quality improvement of recycled aggregate. This study aimed to verify the influences of the deduced surface treatment method and the reinforcement of steel fiber to the properties of concrete. For this object, we inquired into the results of the strengths and the flexural failure tests for the five kinds of concrete specimens.

Key words : Surface treatment, recycled aggregate, steel fiber, fracture behavior, fracture resistance

1. 서 론

건설 산업의 성장에 따라 골재의 소비량이 매년 크게 증가하여 연간 약 26만³ 정도 소요 되고 있으며 이러한 천연골재의 수요와 공급의 불균형 현상은 더욱 심화 될 것으로 예측된다.¹⁾ 한편, 건설 폐기물 또한 매년 다 량으로 배출되고 있는데 2010년대 중반에는약 1억톤 이

상으로 예측되고 있어 이의 처리문제가 크게 대두되고 있다.²⁾ 따라서, 건설폐기물의 60% 이상을 차지하고 있는 폐콘크리트로부터 얻어지는 순환골재를 대량으로 재활용 할 수 있다면 천연골재의 부족난 해소 뿐만 아니라 폐콘크리트의 매립처리에 따른 경비절감 및 환경 문제의 발생을 줄이는데 크게 기여할 것이다. 그러나 순환골재는 천연골재에 비해서 밀도가 작고, 흡수율이 높은 단점 등 그 품질이 나쁘기 때문에 순환골재의 재활용도를 높이기 위해서는 순환골재의 품질을 개선하는 것이 선결과제라 할 수 있다. 본 연구진은 선행연구에

† 2010년 11월 17일 접수, 2010년 12월 22일 1차수정

2011년 1월 12일 수리

*E-mail: asahi00@jbnu.ac.kr

서 기존의 방법과는 달리 특별한 설비투자를 하지 않고 흡착성이 우수한 콜로이드 실리카 용액의 농도, 함침시간, 건조방법 및 건조시간을 다양하게 변화시켜 순환골재의 품질을 보다 간편하게 개선시킬 수 있는 효과적인 표면처리방법을 도출하였다.³⁾ 본 연구는 선행연구에서 도출한 표면처리방법으로 품질을 개선한 순환골재의 활용 및 강섬유보강 여부에 따른 콘크리트의 특성을 파악하기 위하여 각 종 시험체의 역학적 특성, 균열구속능력 및 에너지흡수능력 등을 비교분석함으로써 순환골재의 더 많은 재활용에 기여하고 보다 안정적인 파괴거동을 나타내는 순환골재 콘크리트의 개발을 목적으로 한다.

2. 시험

2.1. 골재

본 시험에서 사용한 천연 굵은골재와 천연 잔골재는 각각 밀도가 2.64이며 최대치수가 25 mm인 쇄석과 밀도가 2.53인 하천사를 사용하였다. 표면처리 전의 순환굵은골재(이하 순환골재)는 밀도 2.25, 최대치수 25 mm 골재를 사용하였으며, 표면처리를 한 경우 순환골재의

밀도는 2.42로 나타났다. 한편, 본 연구에서 사용한 골재들의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

2.2. 강섬유

본 연구에서는 30 mm 길이의 양단 갈고리형 강섬유를 콘크리트 체적의 1%로 혼입하여 사용하였으며 사용된 강섬유의 형상 및 물성치는 각각 Fig. 1 및 Table 2와 같다.

2.3. 배합표 및 시험체 종류

본 연구에서는 설계기준강도 24MPa로 하여 콘크리트 시험체를 제작하였다. 배합은 60의 강제식 믹서를 사용하였으며, 타설된 각 콘크리트는 탈형하여 28일간 수중 양생한 후 시험을 실시하였다. 압축강도 및 인장강도용 시험체는 $\phi 100 \times 200$ mm의 강제 몰드를 사용하였으며, 휨강도용 시험체는 76.2 \times 152.4 \times 711.2(순지간 609.6)mm의 강제 몰드를 사용하였다. 제작된 시험체는 천연골재 콘크리트를 기본으로 하여 순환골재 콘크리트, 표면처리 순환골재 콘크리트, 강섬유보강 순환골재 콘크리트 및 강섬유보강 표면처리 순환골재 콘크리트 등 총 5가지

Table 1. Physical characteristics of used aggregates

kind of aggregates	Gmax	density (g/cm ³)	absorption (%)	contents of clay (%)	contents of chloride (%)	Remarks
natural coarse aggregate	25mm	2.64	0.63	0.2	0.008	
natural fine aggregate	---	2.53	1.31	0.15	0.007	
recycled coarse aggregate	25mm	2.11	8.25	0.5	0.013	Before surface treatment
	25mm	2.42	2.82	0.3	0.010	After surface treatment

Table 2. Properties of fiber

Kind of fiber	Steel fiber
Length (mm)	30
Diameter (mm)	0.5
Aspect ratio (l/d)	60
Density (g/cm ³)	7.85
Type	Hooked
Tensile strength (MPa)	1,100
Elastic modulus (MPa)	200,000

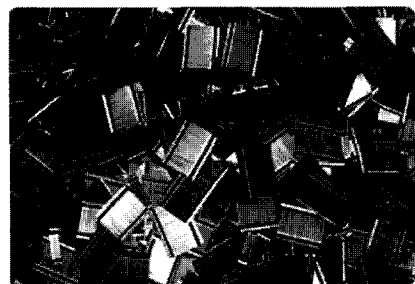


Fig. 1. shapes of steel fiber.

Table 3. Used mixing design

Kinds	W/C (%)	S/a (%)	Air (%)	Slump (cm)	Unit volume weight (kg/m ³)								
					W	C	S	G1	G2	G3	SF	SP	
NC	48	43	5±1	10±2	160	335	744	1029	---	---	---	---	3.35
RC	48	43	5±1	10±2	160	335	744	---	920	---	---	---	3.35
SC	48	43	5±1	10±2	160	335	744	---	---	978	---	---	3.35
RCF	48	43	5±1	10±2	160	335	744	---	920	---	78.5	---	3.85
SCF	48	43	5±1	10±2	160	335	744	---	---	978	78.5	---	3.85

*G1 : 천연 굵은골재, *G2 : 순환굵은골재, *G3 : 표면처리 순환굵은골재

*SF : 강섬유, SP : 고성능 감수제

Table 4. Specimen types

Specimen	Remarks
NC	Natural aggregate concrete
RC	Recycled aggregate concrete
SC	Surface treatment aggregate concrete
RCF	Recycled aggregate steel fiber reinforced concrete
SCF	Surface treatment aggregate steel fiber reinforced concrete

타입이었으며 본 연구에서 사용된 배합표는 Table 3에 시험체의 종류는 Table 4에 나타내었다.

2.4. 순환골재의 표면처리방법

본 연구진은 선행연구에서 순환골재의 표면처리를 위하여 다양한 용액을 사용하여 실험한 결과, 콜로이달 실리카용액이 가장 적정함을 알았으며³⁾ 이 용액을 순수 증류수를 이용하여 시험결과 얻어진 최적농도 8%로 희석하여 사용하였는데 그 물리적 특성은 Table 5와 같다.

순환골재는 제조과정 상 발생하는 미세균열로 인하여 품질이 저하되므로 이러한 미세균열, 즉 표면공극을 메꾸는 것이 중요하다. 따라서 본 연구진은 선행연구에서 표면처리방법을 이용한 순환골재의 품질을 개선하기 위하여, 적정용액으로 선정된 콜로이달 실리카용액의 농도, 함침시간 및 함침 순환골재의 건조방법과 건조시간 등을 변수로 하여 실시한 다양한 시험결과를 비교 분석하여 효과적인 표면처리방법을 도출하였다. 도출된 표면처리방법

은 콜로이달 실리카용액을 순수 증류수를 이용하여 최적 농도 8%로 희석한 후 희석된 콜로이달 실리카 용액과 건조상태의 골재의 부피비를 1:1로 하여 혼합한다. 그 후 골재는 혼합용 드럼을 30rpm으로 회전시키면서 투입하였으며 투입이 끝나고 5분 동안 동일한 속도로 혼합한 후, 다시 5분 동안 정지상태를 유지한 후 자연상태에서 건조시켜 시험에 사용하였는데 적정 건조시간은 약 5일 정도로 도출되었다. 한편 시험은 항온항습조에서 이루어졌으며 상대습도는 60%, 온도는 20±3°C를 유지하였다.

2.5. 강도시험

본 연구에서 실시한 강도시험은 압축강도, 인장강도 및 휨 강도시험으로서 먼저 압축강도시험은 100×200 mm의 원주형 시험체를 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 시험체 제작 방법)의 규정에 의해 제작하여 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험 방법) 규정에 따라 재령 28일의 압축강도를 측정하였으며, 인장강도 시험은 KS F 2423(콘크리트 쪼갬 인장강도 시험 방법) 규정에 따라 실시하여 재령 28일에 인장강도를 측정하였다.

휨강도 시험은 KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험)의 규정에 의거 3등분점 하중 재하방법을 이용하여 실시하였다.

2.6. 휨 파괴시험

휨 파괴 시험은 하중 가력에 의해 발생하는 콘크리트 시험체의 균열변위를 측정하기 위한 것으로 시험체 중앙 인공균열(노치) 하단에 변위계를 장착한 후 변위를 측정하였다. 이 경우 안정적인 균열 성장을 유도하기 위

Table 5. Physical characteristics of colloidal silica solution

surface area (m ² /g)	silica content (%)	PH	weight per gallon (lbs)	density (g/cm ³)
129.16	40	9.25	10.7	1.21

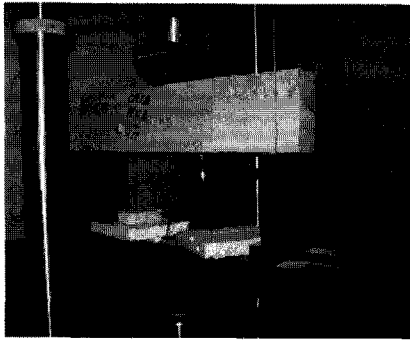


Fig. 2. View of flexural failure test.

하여 RILEM TC 89-FMT7 권장안인 최대하중에 도달하는 시간을 5분정도 걸리는 0.1~0.6 mm/min의 속도로 한 변위제어법을 수행하였는데 이로부터 얻어진 데이터를 이용하여 순환골재의 표면처리 및 강섬유보강의 효과를 비선형 파괴역학에 기초한 하중-변위특성 및 가상균열에 의한 파괴에너지를 구하여 고찰하였다.

휨 파괴 시험은 10tonf 용량의 UTM을 사용하였으며 보조 측정 장비로서는 데이터로거(data logger)를 이용하여 시험데이터가 자동저장 되도록 하였다. 한편, 휨 파괴 시험광경은 Fig. 2에 나타내었다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1. 순환골재의 표면처리 효과

선행연구에서 도출된 방법으로 표면처리한 순환골재

의 여러 물성 중 가장 대표적인 인자인 밀도 및 흡수율의 개선효과는 Table 6과 같으며 표면처리 전과 후의 순환골재의 전경은 Fig. 3에 나타내었다.

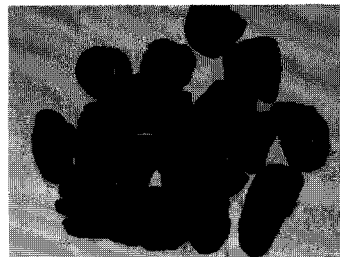
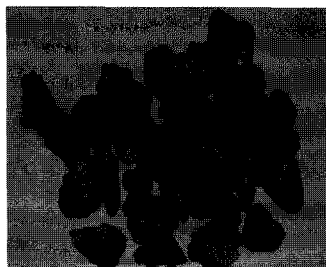
또한 30,00배 확대하여 SEM 촬영한 순환골재의 표면상태 전 및 후의 상태는 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4 (a)에서 나타나듯이 표면처리 전의 순환골재 표면에는 모르타르가 부착되어 있고 부분적으로 공극이 존재함을 확인할 수 있었다. 순환골재에 부착되어 있는 모르타르는 순환골재 품질 저하의 직접적인 원인이 되며 흡수율이나 기타 다른 물성에도 큰 영향을 미치는데 이러한 공극은 순환골재 생산과정에서 발생한 것으로 판단된다.

Fig. 4 (b)와 같이 콜로이달 실리카 용액으로 표면처리된 경우는 작은 실리카 입자들이 표면을 덮고 있어 표면의 평활도가 개선됨을 알 수 있었는데 이는 콜로이달 실리카의 응집체가 골재 표면에 물리적으로 흡착된 결과로 판단된다.

한편, 본 연구에서는 콜로이달 실리카 용액의 사용에 따른 표면처리 순환골재의 알카리 골재반응 여부를 판별하기 위하여 표면처리 순환골재에 대해 KS F 2545(골재의 알카리잠재반응시험 방법)에 의해 시험을 실시하였으며 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서는 골재와 알카리반응에 의하여 용출된 실리카 양이며, 는 골재와의 반응에 의하여 소모된 수산화나트륨 양으로 이 두 인자의 상호관계로 부터 골재의 유·무해성이 판별된다. 결과로부터 본 연구에서 사용된 표면처리 순환골재는 무해한 것으로 나타났으며, 본 연구에서 제시한 콜로이달 실리카용액을 이용한 표면처리방법은 알카리골재반응에 영향이 없음을 알았다.

Table 6. Enhancement of properties of recycled aggregate according to the surface treatment

Properties	Recycled aggregate	Surface treated recycled aggregate	Improvement effect
Density (g/cm ³)	2.11	2.42	0.31 increase
Absorption (%)	8.25	2.82	5.43% decrease



(a) Before surface treatment method (b) After surface treatment method

Fig. 3. Views of used coarse aggregates.



(a) Before surface treatment method (b) After surface treatment method

Fig. 4. Views of aggregate by SEM.

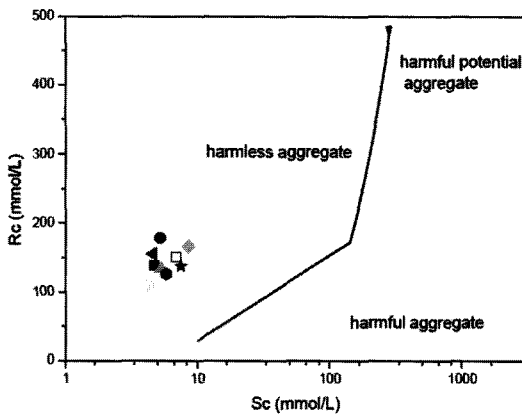


Fig. 5. Results of alkali aggregate reaction test.

3.2. 강도

본 연구에서 실시한 압축강도 시험결과는 Fig. 6에 나타내었다. 일반적으로 순환골재를 100% 사용하여 제조된 콘크리트는 천연골재 콘크리트에 비하여 약 10~30% 정도 압축강도가 저하되는 것으로 알려져 있으며, 본 연구의 경우 순환골재콘크리트의 압축강도가 천연골재 콘크리트의 압축강도 보다 약 13% 정도 저하되는 것으로 나타나 일반적인 경향과 유사하였다. 순환골재를 표면처리한 표면처리 순환골재 콘크리트의 압축강도는 천연골재 콘크리트의 압축강도와 거의 유사한 강도를 나타내어 표면처리 방법이 역학적 특성 증진에 효과적임을 알았다. 이는 순환골재를 표면처리 할 경우 다공성인 순환골재의 공극을 자기유도도가 높은 콜로이드 실리카 용액이 충전시켜 주어, 낮은 비중과 높은 흡수율의 단점을 개선하였고, 또한 시멘트와 골재사이의 계면 부착력을 증대시켰기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 강섬유를 혼입한 경우도 역시 표면처리 순환골

재 콘크리트 시험체의 압축강도가 더 높았으며 또한 천연골재 콘크리트 보다도 강섬유보강 표면처리 순환골재 콘크리트의 경우가 더 높은 강도를 나타내었다. 일반적으로 섬유를 보강한 경우 압축강도의 증진효과는 미비한 것으로 알려져 있으나 본 연구의 경우는 오히려 섬유를 보강하지 않은 천연골재 콘크리트 보다 강도가 우수하였는데 이는 콜로이드 실리카 용액과 강섬유와의 부착력 증대로 기인한 것으로 판단되어지며 이 부분에 대해서는 추 후 확장된 연구가 있어야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서 실시한 조짐 인장강도 시험 결과는 Fig. 7에 나타내었다. 일반적으로 순환골재 콘크리트의 경우, 압축강도의 결과와 마찬가지로 골재의 흡수율이 높아 천연골재 콘크리트에 비하여 인장강도가 낮은 경향을 나타내나, 표면처리 순환골재 콘크리트의 인장강도는 천연골재 콘크리트 거의 동등하였으며 강섬유를 혼입한 경우 증진효과가 크다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 휨 시험 시 안정된 균열성장을 유도하기 위하여 RILEM TC 89-FMT7 권장안인 5분정도에서 최대하중에 도달하도록 한 변위제어식의 3점 휨 시험을 실시한 후 식 (1)을 이용하여 휨강도를 구했으며, 이로부터 계산되어진 결과는 Fig. 8에 나타내었다.

$$f_t = 3 \times \frac{(P_{max} + W_{h0}) \times S}{2 \times (b - a_0) \times t} \tag{1}$$

- 여기서, P_{max} : 최대하중(kgf)
- W_{h0} : 시험체 자중(kg)
- S : 순지간(mm)
- b : 시험체 높이(mm)
- a_0 : 노치길이(mm)
- t : 시험체 폭(mm)

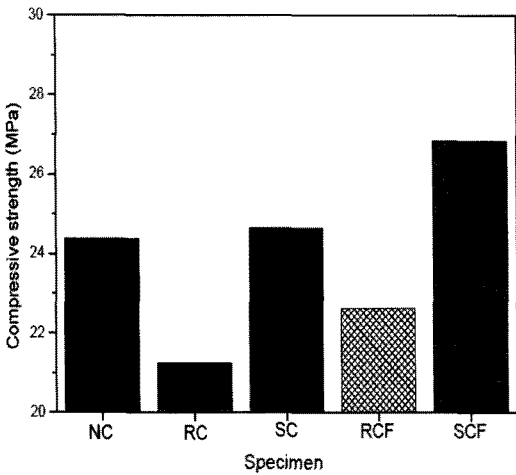


Fig. 6. Results of compressive strength.

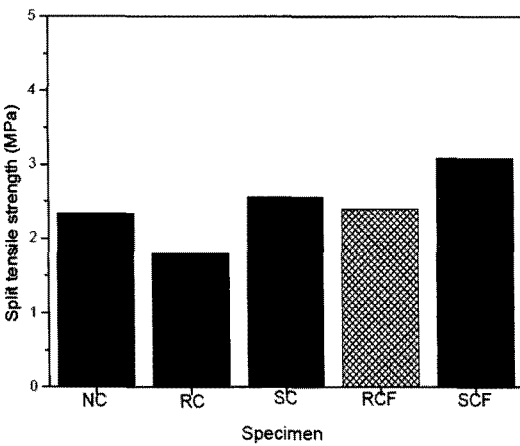


Fig. 7. Results of split tensile strength.

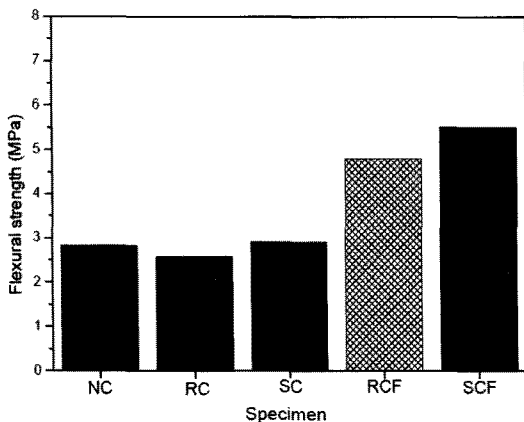


Fig. 8. Results of flexural strength.

휨강도 측정 결과, 순환골재 콘크리트의 휨강도는 천연골재 콘크리트에 비해 약 9%정도 낮은 휨강도를 보였으나 순환골재를 표면처리한 표면처리 순환골재 콘크리트의 휨강도는 천연골재콘크리트 보다 오히려 약 2% 정도 높게 나타났으며 강섬유를 혼입한 경우는 약 10% 정도 증진된 강도를 나타내어 순환골재의 표면처리와 동시에 강섬유의 혼입은 콘크리트의 휨강도 증진에 효과가 크다는 것을 알 수 있었다.

일반적으로 콘크리트에 섬유를 혼입하면 외부 하중에 대한 콘크리트의 저항성이 증가되는데 이는 섬유가 콘크리트 매트릭스 내에 분산되므로서 이로부터 파괴 경로가 증가되어 일어나는 것으로 알려져 있으며 일정 범위에서는 섬유의 혼입량의 증가에 비례하며 특히 휨하중에 대한 저항성이 우수하다. 본 연구의 경우도 강섬유를 보강한 경우에 특히 우수한 강도의 증진을 나타내고 있다. 한편, 휨강도의 결과 또한 압축강도나 인장강도의 결과와 같이 순환골재를 표면처리한 경우에서 높게 나타났는데 이는 표면처리로 인한 골재 자체의 물성의 증진 및 콜로이달 실리카 용액의 점성으로 인한 계면간의 부착력 증대 효과로 판단된다.

3.3. 하중 - 변위 특성

본 연구에서는 3점 휨시험을 실시한 후 얻어진 하중-변위 관계를 Fig. 9에 나타내었다. 결과에서 나타나듯이 강섬유를 보강하지 않은 천연골재 콘크리트, 순환골재 콘크리트 및 표면처리 순환골재 콘크리트는 모두 최대 하중 이후 바로 파괴에 이르는 취성적인 파괴거동을 나타내고 있으나, 강섬유를 혼입한 시험체인 강섬유보강 순환골재 콘크리트 및 강섬유보강 표면처리 순환골재

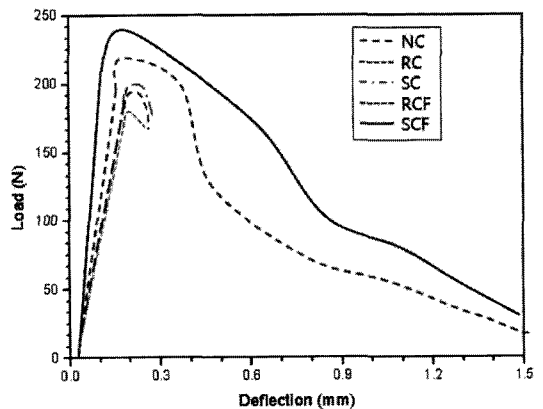


Fig. 9. Load-deflection curves by bending test.

콘크리트는 강섬유의 혼입으로 최대하중 이후에도 파괴되지 않고 균열에 저항하는 연성적인 파괴 거동을 보이고 있다. 또한 순환골재를 표면처리한 경우, 최대하중 이후의 연성적인 저항뿐만 아니라 최대하중 또한 증가되어 파괴에 대한 저항성이 향상됨을 알 수 있었다.

3.4. 가상균열모델에 기초한 파괴에너지

각 시험체의 최대하중 이후 연성거동과 에너지 흡수 능력에 미치는 영향을 평가하기 위하여 파괴에너지(G_F)를 계산하여 비교하였다. 파괴에너지는 Fig. 10과 같이 가상균열모델을 기초로 한 3점 휨시험의 하중-변위 곡선 아래의 면적으로 표현되는 것으로 Hillerborg에 의해 최초로 제안 되었으나 이 후 수정되어 본 연구에서는 자중의 영향이 고려된 RILEM 50-FMC의 방법인 다음의 식 (2)에 의해 산정하였다.

$$G_F = \int_0^{w_c} \sigma(w)dw = \frac{A+2 \cdot A_1}{(b-a_0) \cdot t} \quad (2)$$

Fig. 10과 식 (2)에서는 작용하중에 의한 하중-균열 개구변위 곡선 아래의 면적이며, A_1 은 자중의 영향을 고려하기위한 값으로 Swartz 및 Peterson 등의 연구결과에 따라 RILEM에서는 상수 2.0을 도입하여 자중을 고려하고 있으며, 본 연구에서는 이에 준하여 파괴에너지를 산정하였다.

Table 6 및 Fig. 11의 파괴에너지 측정결과로부터 천연골재 콘크리트에 대한 순환골재 콘크리트의 상대는 0.83으로 파괴에너지의 저하를 나타냈으나 강섬유보강 순환골재 콘크리트의 는 4.93으로 천연골재 콘크리트에 비해 약 5배 정도의 파괴에너지 증진을 보여 섬유보강이 주 균열 이후의 저항성의 증진에 효과적임을 알았

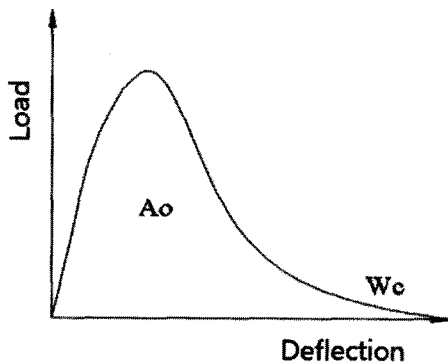


Fig. 10. Fracture energy conception of virtual crack model (A_0).

Table 6. Results of fracture energy(G_F) by virtual crack model

Specimens	Post peak A_0 (N·mm)	G_F (N/mm)	Relative ratio
NC	19.3	0.0029	1.00
RC	15.6	0.0024	0.83
SC	20.8	0.0031	1.07
RCF	112.4	0.0143	4.93
SCF	135.2	0.0171	5.89

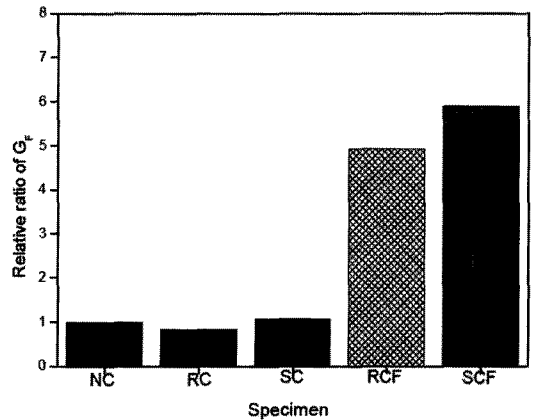


Fig. 11. Relative ratio of fracture energy(G_F).

다. 한편, 순환골재의 표면처리 전후의 파괴에너지의 비교로부터 순환골재의 표면처리에 따른 파괴에너지 증진 효과 또한 확인할 수 있었다. 이러한 이유는 먼저 콘크리트 내부의 결함이 주 균열로 발전하기 전에 강섬유의 혼입 효과로 인하여 응력의 재분배가 이루어졌으며 이후 균열들은 섬유의 브리징 효과에 의해 주 균열로 발달하기 보다는 다수의 미세균열로 형성되었으며 그 다음으로 순환골재 표면처리 효과로 골재와 시멘트 사이에 부착력이 증진되어 파괴의 한계상태에 이르기 전 큰 비선형영역을 형성하여 소성적인 변형을 연화현상 등이 발생되기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 결과로부터 순환골재에 표면처리와 동시에 강섬유를 혼입하면 파괴에너지 증진에 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 순환골재의 표면처리와 강섬유보강이 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 5종류 시험체의 압축강도, 인장강도 및 휨파괴 시험 결과

를 비교 고찰하였으며, 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 압축 및 인장강도 시험 결과, 표면처리 순환골재를 사용한 콘크리트의 강도가 표면처리 않은 경우보다 10~30% 정도 크게 나타나 순환골재의 표면처리는 강도 증진에 효과적임을 알 수 있었다.

2. 휨강도 측정 결과, 표면처리 순환골재 콘크리트의 휨강도가 천연골재콘크리트 보다 약 2% 정도 높았으며 강섬유를 혼입한 경우 약 10% 정도 더욱 증가한 것으로 나타나 순환골재의 표면처리와 동시에 강섬유의 혼입은 콘크리트의 휨강도 증진에 매우 효과적임을 알 수 있었다.

3. 휨파괴 시험에 의한 하중-변위특성 및 파괴에너지 측정 결과, 강섬유의 보강 및 순환골재의 표면처리는 강섬유의 브리징 효과 및 콜로이달 용액의 부착력 증대로 최대 약 5.89배 정도로 증가하여 콘크리트의 파괴하중 증가 및 연성적인 파괴거동에 크게 기여하였다.

4. 이상의 결과로부터, 콜로이달 실리카 용액을 이용한 순환골재의 표면처리 방법과 강섬유보강은 순환골재의 재활용과 콘크리트의 연성적인 파괴거동에 크게 기여할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2001: 천연골재의 현황보고서.
2. 대한건설폐기물공제조합, 2004: 건설폐기물의 발생현황 및 전망.
3. 한국도로공사 도로교통기술원, 2006: 표면처리에 의한 순환골재 품질향상 및 콘크리트 내구성 평가.
4. 박영준, 1999: 시멘트와 재생골재의 계면특성 및 미세구조, 포항공과대학교 공학석사 학위논문.
5. 김남욱, 박민욱, 배주성, 2008: 잔골재를 급냉제강슬래그로 대체한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구, 한국자원리사이클링학회논문집, 제17권 1호, pp. 73-79.
6. 이수남, 2005: 표면처리 재생골재 콘크리트의 파괴거동에 관한 연구, 전북대학교 공학석사 학위논문.
7. 박래선, 배주성, 2007: 코팅처리방법을 이용한 순환골재의 품질향상에 관한 실험적 연구, 대한토목학회 논문집, 제27권 제3-A호, pp. 421-426.
8. 정현수, 2004: 구조용 순환골재를 활용한 재생 콘크리트 구조물 실용화의 기술적 방향, 대한토목학회지 제52권 제9호, pp. 34-38.
9. 박래선, 2008: 코팅처리순환골재를 활용한 콘크리트의 특성에 관한 연구, 전북대학교 공학박사 학위논문.
10. 서치호, 2005: 순환골재 콘크리트의 내구성, 한국콘크리트학회 전문위원회 연구발표집, pp. 77-91.
11. S. P. Shah, 1991: Do Fibers Increase the Tensile Strength of Cement-Based Matrixes ?, ACI Materials Journal, Vol.86, No.6, pp. 595-602.
12. P. N. Balaguru and S. P. Shah, 1992: Fiber-Reinforced Cement Composites, New York, McGraw-Hill.

著 主 者

- 전북대학교 대학원 공학박사
- 현재 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수
- 당 학회지 제17권 1호 참조

金 南 旭

- 일본 북해도대학 대학원 공학박사
- 현재 전북대학교 공과대학 토목공학과 연구 조교수
- 당 학회지 제17권 1호 참조