Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection
Vol. 19, No. 2, March 2015, pp.117-124
http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2015.19.2.117

pISSN 2234-6937
eISSN 2287-6979

코코넛 섬유 혼입률에 따른 RHA 및 OPC 콘크리트의 역학적 특성

Mechanical Properties in Rice Husk Ash and OPC Concrete with Coconut Fiber Addition Ratios

이 민 희[1)] 권 성 준[2)*] 박 기 태[3)]
Min-Hi Lee Seung-Jun Kwon Ki-Tae Park

Abstract

Currently, Eco-friendly construction materials are widely utilized for reducing CO_2 emission in construction. Furthermore various engineering fibers are also added for improving a brittle behavior in concrete. In the paper, concrete specimens with 10% and 20% replacement ratio with RHA (Rice Husk Ash) are prepared, and engineering behaviors in RHA and OPC concrete are evaluated with different addition of coconut fiber from 0.125~0.375% of volume ratio. Several basic tests including compressive strength, tensile strength, flexural strength, impact resistance, and bond strength are performed, and crack width and deflections are also measured in flexural test. RHA is evaluated to be very effective in strength development and 0.125% of fiber addition leads significant improvement in tensile strength, ductility, and crack resistance. RHA and coconut fiber are effective construction material both for reutilization of limited resources and performance improvement in normal concrete.

Keywords : Rice ash husk, Coconut fiber, Crack, Compressive strength, Performance improvement

1. 서 론

콘크리트는 경제적이며, 고내구성을 가진 건설재료이므로 다양한 부재에 사용되어 왔다. 보통 콘크리트는 인장강도가 압축강도의 1/8~1/12 정도로 매우 약하고 취성거동을 보이므로 압축부에 주로 사용된다. 낮은 인장강도 및 취성파괴의 약점을 보완하기 위해 섬유재 (Fiber)를 이용하여 균열저항성을 개선하려는 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 일반적으로 강섬유가 가장 많이 활용되어왔는데, 이는 인장강도, 휨강도, 균열제어 성능에 매우 효과적으로 작용하고 있으며, 특히 연성거동을 유도하여 내진성능을 뛰어나게 향상시킨다 (ACI, 1999; Adsbar et al., 1997; Cho et al., 2012). 또한 고연성 복합재료 (ECC: Engineering Cementitious Composites)와 같은 섬유재는 인장연화뿐 아니라 RC 보강재와 같이 인장경화성능을 유도하므로 수요가 급증하고 있다 (Lee, 2012; Li, 1998). 이러한 섬유보강 콘크리트는 취성파괴의 단점을 개선하는데, 균열발생이후 미세균열이 넓게 분포하도록 하는 브리징효과 (Bridge effect)가 주된 균열저항 기구이다. 이러한 섬유재는 하중에 의한 균열저항 뿐 아니라 수화열, 건조/소성수축균열과 같은 재료적인 균열저항성에 더욱 효과적이다 (Choi et al., 2014a; Choi et al., 2014b).

또한 일부 수분을 포함한 섬유재를 활용하여 균열저항성을 증가시키고 내부양생 (Internal curing)을 통해 수화물을 더욱 풍성하게 형성시키는 연구도 수행되었다 (Shah, 1992).

현재 공학적 화두중 하나인 CO_2 저감 및 친환경 건설재료 개발은 지구온난화로 인해 더욱 중요하게 여겨지고 있으며 사회적, 공학적으로 많은 노력을 수행하고 있다. 1톤의 시멘트 생산시 0.9톤 정도 CO_2가 발생하므로, 혼화재료 (Mineral admixture)의 사용을 통해 시멘트 사용량을 줄이면서 콘크리트의 성능을 개선하려는 연구가 많이 진행되고 있다. 대표적인 혼화재료는 FA (Fly Ash)와 GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag)가 있는데, 포졸란 반응 및 잠재수경성

1) 호원대학교 건축공학과
2) 정회원, 한남대학교 건설시스템공학과, 교신저자
3) 정회원, 한국건설기술연구원 인프라구조연구실

* Corresponding author : jjuni98@hannam.ac.kr
• 본 논문에 대한 토의를 2015년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2015년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Copyright Ⓒ 2015 by The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

반응을 통하여 장기 내구성 향상에 대한 많은 연구가 보고되었다 (Song et al., 2005; Thomas and Bamforth, 1999; Kwon and Song, 2010).

최근 들어 왕겨회 RHA (Rcie Husk Ash)를 혼화재료로 사용하려는 연구가 시도되고 있는데, RHA 역시 소성과정과 $Ca(OH)_2$과의 반응을 통해 CSH를 형성하므로 인도 및 동남아 등지에서 많이 연구되고 있다 (Chindaprasirt et al., 2008; Ramznianpour et al., 2009; Rukzon et al., 2009). 특히, RHA의 뛰어난 포졸란 반응은 다량의 비정형 실리카 성분과 높은 비표면적에 기인하는 것으로 알려져 있다. 이를 혼입한 콘크리트의 장점은 1] RHA의 작은 평균공극크기, 2] 80Å 정도의 평균공극분포와 다량의 meso-pore에 흡수되는 자유수의 증가에 따른 실질적인 w/c 비의 감소효과, 3] 시멘트 수화반응의 활성화, 4] RHA내의 실리카 성분과 시멘트 내의 Ca^{2+}, OH^-, $Ca(OH)_2$의 수화반응에 따른 다량의 CSH의 형성 등으로 알려져 있다 (Sugita et al., 1997).

본 연구에서는 최근 활용되고 있는 RHA를 다양한 혼입비로 투입하여 OPC 및 RHA 콘크리트를 제조하였으며, 천연섬유인 코코넛 섬유를 혼입하여 역학적 성능 변화를 고찰하였다. 천연섬유를 혼입재로 활용한 연구는 일부 수행되었으나 (Ali and Chouw, 2013; Ali, 2014), RHA와 같이 결합재 특성을 고려한 배합에 코코넛 섬유를 혼입하여 실험한 연구는 매우 제한적이다. OPC 콘크리트 이외에 RHA를 10%, 20% 혼입한 배합에 코코넛 섬유를 0.125~0.375% 혼입하여, 압축강도, 휨강도, 쪼갬 인장강도, 내충격성, 부착성을 평가하였으며, RHA 콘크리트의 연장거동 및 균열저항성이 평가되었다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료 및 배합특성

본 연구에서는 OPC (Ordinary Portland Cement)가 사용되었으며, IS 383-1970에 맞는 잔골재 및 굵은 골재가 사용되었다. 배합수로는 적정 pH (7~8.5)를 가진 일반배합수가 사용되었으며, 열처리된 직경 12mm, 길이 70mm의 철근 (TMT: Thermo Mechanically Treated)이 부착성능평가를 위해 사용되었다. Table 1에서는 잔골재 및 굵은골재 특성을 나타내었으며, Table 2에서는 OPC 및 RHA의 화학적 성분을 나타내었다.

RHA는 인도산으로 650℃에서 소성된 일반 RHA를 사용하였다. Table 3에서는 코코넛 섬유의 물리적 특성을 나타내었으며, Table 4에서는 본 실험을 위한 배합을 나타내고 있다.

W/C를 0.55로 고정하고 물: 잔골재: 굵은 골재의 비를 1: 1.8: 3.69로 혼입한 콘크리트를 제조하였다. RHA의 중량 치환률을 0%, 10%, 20%로 변화시켰으며, 코코넛 섬유의 체적비를 0.125%, 0.250%, 0.375%로 변화시켰다. 코코넛 섬유는 일반 공학용으로 사용되는 섬유 (PE, PP)보다 엉김이 심하여 작업성에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 20mm, 40mm로

Table 1 Physical properties of fine and coarse aggregate

	F.M.	Density (g/cm^3)	Absorption (%)
Fine	2.2	2.41	1.2
Coarse	6.4	2.78	0.8

Table 2 Chemical composition of OPC and RHA

Compound (%)	OPC	RHA
SiO_2	20~21	85.49
Al_2O_3	5.2~5.6	0.13
Fe_2O_3	4.4~4.8	0.45
CaO	62~63	3.68
MgO	0.5~0.7	1.55
SO_3	2.4~2.8	0.05
Loss on ignition	1.5~2.5	3.02
Na_2O	-	0.23
K_2O	-	0.19

Table 3 Physical properties of coir fiber

Aspect ratio	Diameter (mm)	Specific gravity	Water absorption (%)
400, 800	0.48~0.50	0.87	210

Table 4 Mix proportions for RHA concrete with coconut fiber

Mixing cases	OPC (%)	RHA (%)	Coconut Fiber V_f (%)	w/c ratio
OPC	100	-		0.52
OPC+10 RHA	90	10		
OPC+20 RHA	80	20		
OPC+0.125%	100	-	0.125	
OPC+10 RHA+0.125%	90	10	0.125	
OPC+20 RHA+0.125%	80	20	0.125	
OPC+0.250%	100	-	0.250	
OPC+10 RHA+0.250%	90	10	0.250	
OPC+20 RHA+0.250%	80	20	0.250	
OPC+0.375%	100	-	0.375	
OPC+10 RHA+0.375%	90	10	0.375	
OPC+20 RHA+0.375%	80	20	0.375	

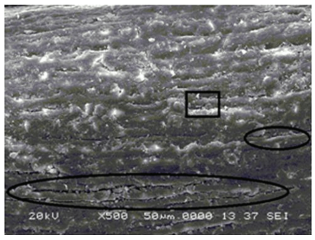


Fig. 1 Photo and SEM of coconut fiber (Abdullah et al., 2011)

분류하여 실험을 수행하였다. 코코넛 섬유는 24시간동안 수중 침지하였고, pH 8 이상을 만족하도록 NaOH 3% 처리를 하였으며 변색이 있는 섬유재의 경우는 실험에서 제외하였다. Fig. 1에서는 사용된 코코넛 섬유 및 동종 섬유의 SEM 사진을 나타내었다.

배합순서는 시멘트, 코코넛 섬유, RHA를 투입하고 이후 골재를 투입하여 건비빔을 수행하고 이후 정해진 배합수가 투입된 후 본 비빔을 수행하였다. 봉다짐 및 태핑을 하여 시편을 제조하였으며, 24시간 기건 양생 후 몰드를 해체하였다. 본 연구에서는 각 시편제조 후 28일 수중양생을 거친 뒤 시험을 수행하였다. 일반적으로 섬유재 혼입은 슬럼프를 저하시키는 데, 강섬유와 비슷한 수준의 저하로 알려져 있다 (Sivaraja, 2010).

2.2 실험항목 및 개요

압축강도시험의 경우, 100mm×100mm×100mm의 육면체 몰드가 사용되었으며, 각 경우에 대해 세 개의 시편을 제조하여 평균값을 사용하였다. 하중인가속도는 140kN/m를 준수하였다. 쪼갬인장강도 시험을 위해 지름 60mm, 높이 100mm가 제조되었고, 휨강도 평가를 위해서는 500mm×100mm×100mm의 보 몰드를 제조 후 휨시험을 수행하였다. 최종 파괴후의 하중 및 변위를 측정하였으며, 파괴된 시편에 대하여 균열폭이 측정되었다. 내충격성 시험 (Drop weight impact 시험)에 대해서는 높이를 500mm에서 시작하여 100mm씩 증가시키면서 560g의 무게추를 시편 (300mm×230mm×10mm)의 중앙에 낙하하여 균열 및 파괴양상을 평가하였다. 또한 Pull out test을 위해 100mm×100mm×100mm 시편이 준비되었으며 몰드 바닥면으로부터 10mm의 거리를 두어 중앙에 철근을 매립하였다. 시험을 위하여 60톤급의 UTM이 사용되었는데 최종 인발길이가 0.25mm일 때의 하중을 부착응력으로 평가하였다.

모든 시편은 전술한대로 제조 후 1일 기건 양생 후 몰드를 해체하였으며 4주간의 수중양생을 거친 뒤, 시험을 수행하였다. Table 5에서는 본 연구에서 수행한 시험과 시험에 관련된 따른 규격을 나타내었다.

Table 5 Tests and the related international standards

Items	Related standards
Compression test	ASTM C 109/C109M
Split tensile test	ASTM C 496-90
Flexural test	ASTM C78-09 Crack width and pattern evaluation
Impact resistance test	Non standard Still ball drop test
Pullout test	IS 2770-67

Fig. 2 Specimens for pull-out test

Fig. 2에서는 pull out 시편의 제조를 나타내고 있는데, IS 2700에서는 부착력 시편 제조시 국부파괴방지를 위해 내부에 코일을 설치하도록 권고하고 있다.

3. 천연섬유를 혼입한 RHA 콘크리트의 거동 평가

3.1 압축강도 평가

Fig. 3에서는 압축강도 시험 사진을 나타내고 있으며, Fig. 4에서는 RHA 첨가에 따른 압축강도의 변화를 나타내고 있다. RHA를 많이 혼입한 배합은 포졸란 반응에 의해 수화가 지연되므로 장기강도는 우수하지만 초기재령에서는 낮게 평가될 수 있으므로 적절한 RHA의 혼입비가 필요하다.

또한 Fig. 5 및 Fig. 6에서는 길이 20mm 및 40mm를 가지는 RHA 콘크리트의 압축강도 평가결과를 나타내었다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 섬유재의 혼입률에 대한 영향은 OPC인

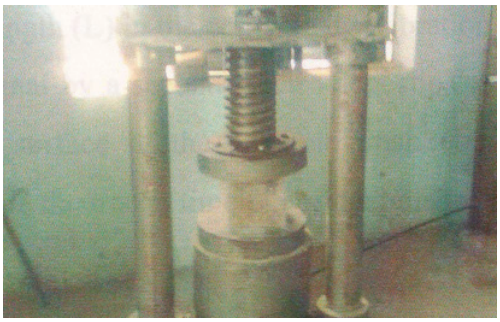


Fig. 3 Photo for compressive strength test

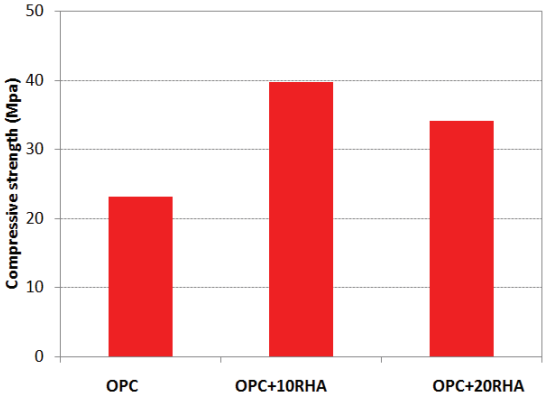


Fig. 4 Compressive strength with varying RHA addition

경우 0.125% 혼입할 경우 최대값을 보였으나 큰 영향은 없었으며, RHA 10% 및 RHA 20%를 혼입한 경우 강도가 크게 증가함을 알 수 있다. 섬유재의 길이가 40mm인 Fig. 6의 결과도 Fig. 5와 매우 흡사하다. 섬유재의 영향보다는 RHA의 첨가량이 지배적인 역할을 하였으며, 10% 혼입에서 40.0MPa을 나타내었다. 이는 OPC만을 사용한 콘크리트보다 강도보다 1.7배 가량 증가하였는데, 포졸란 반응에 따른 강도개선 효과 및 높은 분말도에 따른 Packing 효과라고 할 수 있다 (Ramznianpour et al., 2009). 일반적으로 섬유재의 혼입은 압축강도 개선효과는 크지 않으며, 인장강도 증진에 효과적으로 알려져 있다. 본 연구에서도 같은 경향을 나타내었다 (Choi et al., 2004a,b; Cho et al., 2012). Fig. 5~Fig. 6의 결과에서 10%의 RHA 혼입은 강도 개선에 큰 효과를 나타내고 있으며, 20mm 섬유혼입이 40mm 섬유 혼입보다 강도개선효과가 우수하게 평가되었다. 이는 섬유재가 긴 경우 엉김현상이 크므로 콘크리트 믹싱에 나쁜 영향을 주기 때문이며 특히 코코넛 섬유인 경우 흡수율이 매우 높으므로 짧은 섬유가 유리하다고 판단된다. 기존의 연구에서는 코코넛 섬유 혼입에 따라 1.5% 혼입까지 약간의 선형적인 증가를 보이고 있으나 큰 수준은 아니었다 (Sivaraja, 2010).

3.2 쪼갬인장강도 평가

Fig. 7 및 Fig. 8에서는 20mm 및 40mm 코코넛 섬유를 혼입한 OPC 및 RHA 콘크리트의 쪼갬 인장강도 결과를 나타내었다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 쪼갬 인장강도는 RHA 치환률에 의한 영향보다 섬유재의 혼입에 따른 영향이 지배적임을 알 수 있다. 섬유재가 20mm의 경우 0.125%와 0.250%의 혼입은 큰 차이를 나타내지 않았으나 0.375%인 경우는 편차가 증가하였다. 40mm의 경우 0.125%에서 최대값이 평가되었으며, 4.28MPa의 인장강도를 나타내었다. 40mm 섬유재의 경우 0.125% 혼입시 평균 3.64MPa을 나타내었는데, 이는 20mm 섬유재인 2.28MPa보다 우수하게 평가되었다. 0.250% 이상의 섬유재를 혼입할 경우 큰 인장강도 개선은 확인할 수 없었다. 인장강도의 개선은 초기균열제어에 효과적인 섬유재의 브리징 효과 (Bridging effect)로 알려져 있다.

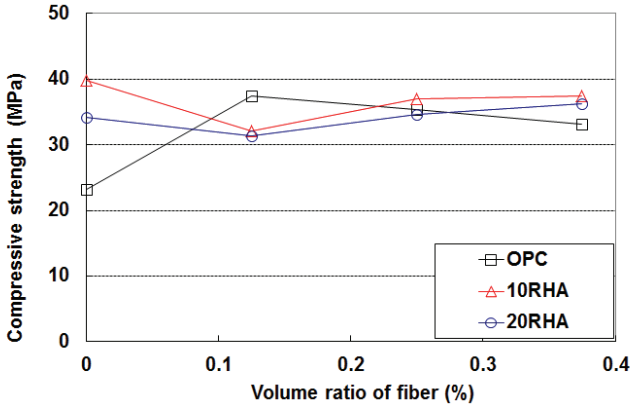


Fig. 5 Compressive strength of OPC and RHA concrete with fiber of 20mm length

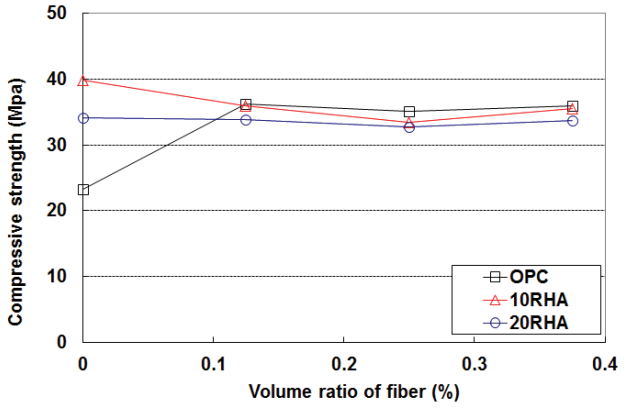


Fig. 6 Compressive strength of OPC and RHA concrete with fiber of 40mm length

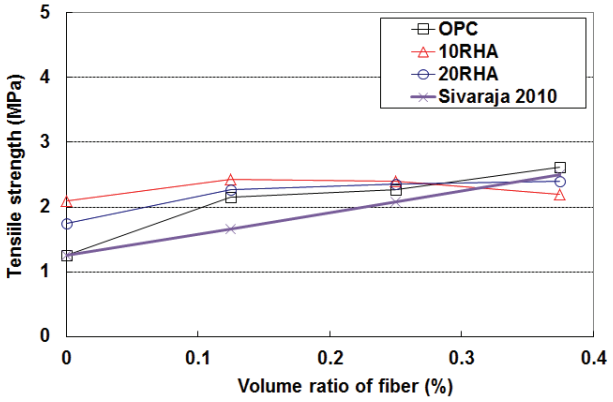


Fig. 7 Tensile strength of OPC and RHA concrete with fiber of 20mm length

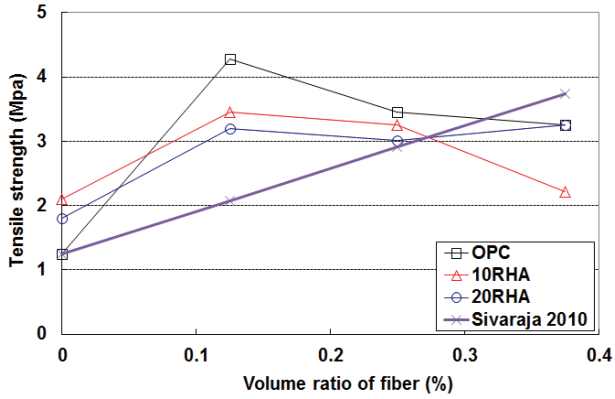


Fig. 8 Tensile strength of OPC and RHA concrete with fiber of 40mm length

인장강도 역시 코코넛 혼입률에 따라 선형적으로 증가하는데 (Sivaraja, 2010), 기존의 식과의 비교를 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 7에서는 비교적 기존의 연구와 비슷한 값의 변화를 보이고 있지만 Fig. 8에서는 차이가 크게 발생하였다. 이는 기존의 연구에서는 비교적 형상비 (l/d)가 작은 코코넛 섬유를 사용했기 때문이다.

3.3 휨강도 평가

3.3.1 휨강도 및 변위

본 절에서는 휨하중 재하에 따라 최대하중과 파괴시의 최대 변위를 분석하였다. Fig. 9에서는 휨파괴 시험시의 사진을 나타내고 있으며, 그 결과를 섬유재 길이 20mm 인 경우는 Fig. 10에, 40mm인 경우는 Fig. 11에 나타내었다. 처짐의 측정은 UTM의 재하지점에서 자동적으로 측정되는 값을 평균하여 사용하였다.

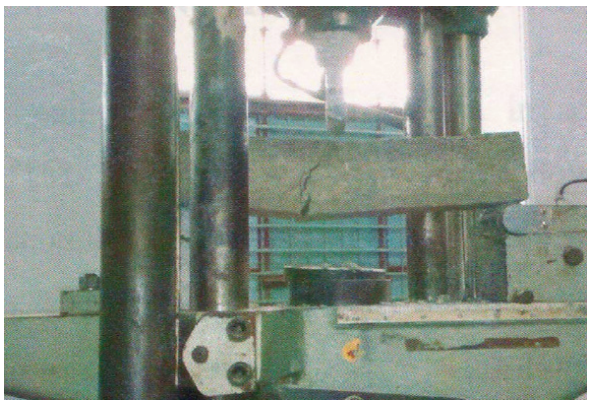


Fig. 9 Photo for compressive and tensile test

Fiber 길이가 20mm일 경우에는 코코넛 섬유의 첨가량에 따라 휨강도는 크게 달라지지 않았으나, 0.125%~0.250% 수

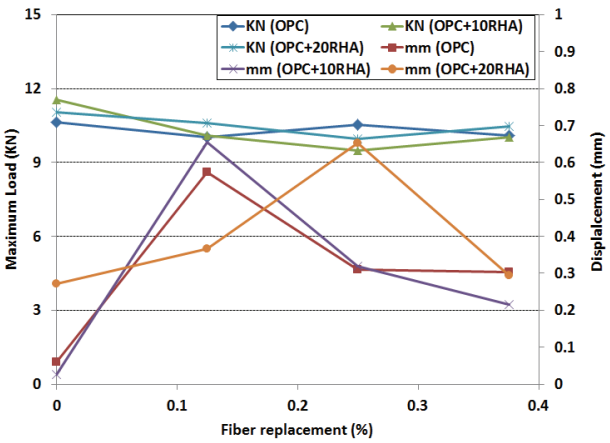


Fig. 10 Load and displacement with varying fiber reinforcement (l=20mm)

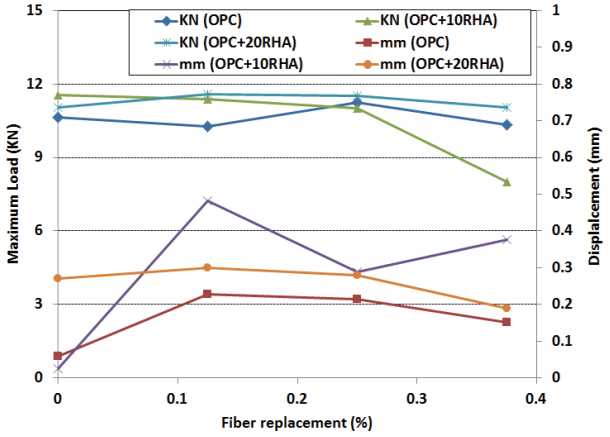


Fig. 11 Load and displacement with varying fiber reinforcement (l=40mm)

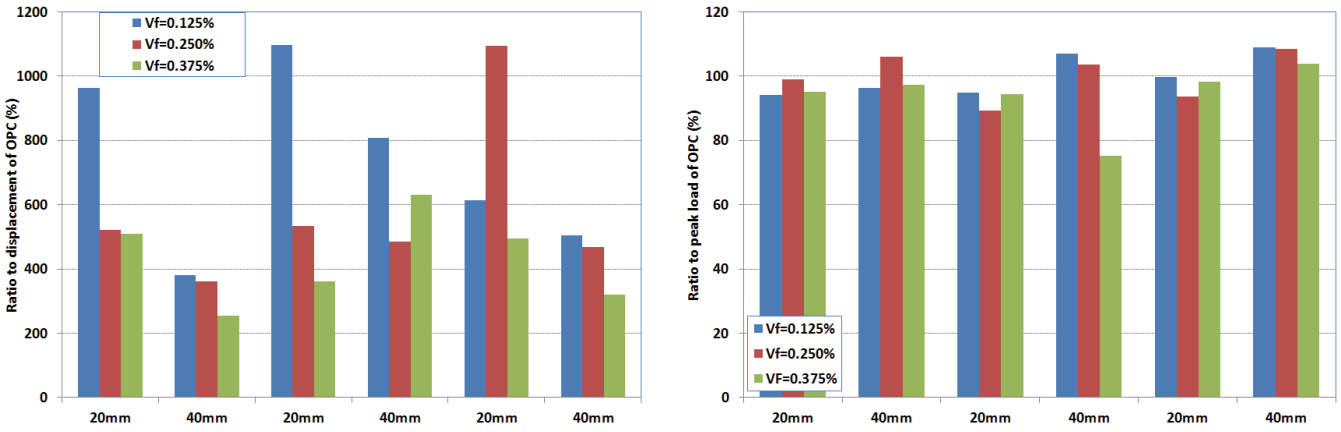
준에서 처짐이 크게 증가하여 연성을 크게 확보하고 있음을 알 수 있다. OPC 및 10 RHA에서는 0.125%에서 최대 처짐이, 20RHA에서는 0.250%에서 최대 처짐이 발생하였다. 그러나 첨가량이 0.375%에서는 모두 처짐의 감소가 발생하였다. 코코넛 섬유의 길이가 40 mm인 경우는 0.375%에서 10 RHA에서 강도 저하가 발생하였으며, 처짐에서는 비슷한 양상을 보이고 있다. 섬유재의 품질변동에 따라 성능변화가 발생하기도 하지만, 0.125~0.250% 첨가에 따라서 콘크리트의 취성파괴를 개선할 수 있다고 판단된다.

3.3.2 섬유재 길이에 따른 효과

섬유 길이에 따른 하중비 및 처짐비를 분석하면 Fig. 12와 같이 나타낼 수 있다. Fig. 12에서는 OPC에 대한 최대 하중비 및 변위비를 섬유재의 길이에 따라 비교한 것이다. 하중비에서는 큰 차이는 없으나 40 mm의 경우 0.375% 첨가시 강도저하가 상당히 발생하였으며, 전체적으로 20 mm의 경우 안정적인 보이고 있다. 변위의 경우 20 RHA의 경우 40 mm에서 큰 변위가 발생하였으나, 20 mm 경우 OPC와 10 RHA에서 안정적인 변위 증가를 보이고 있다.

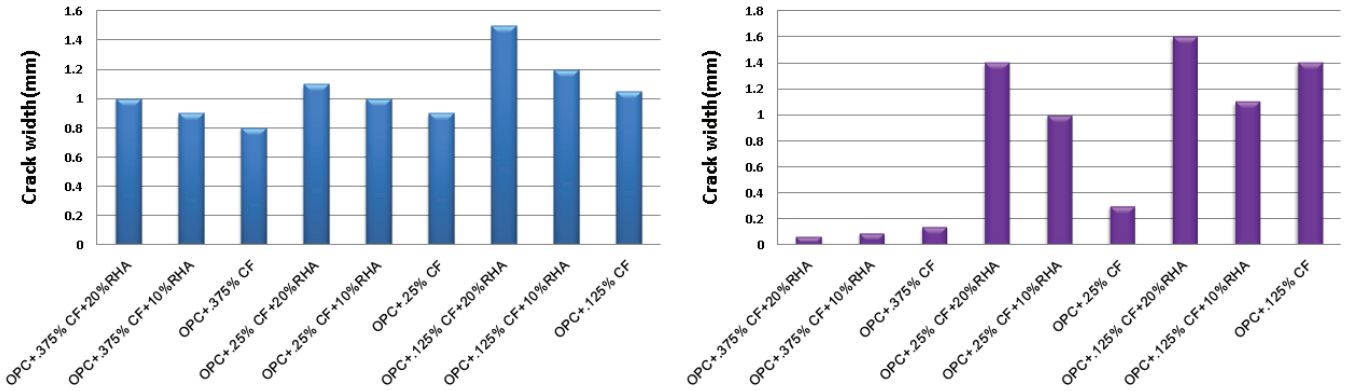
실험후 휨 구간 저면에서의 균열폭 측정결과는 Fig. 13(a)에 길이 20 mm를, Fig. 13(b)에 길이 40 mm의 결과를 나타내었다. 본 실험에서 코코넛 섬유를 넣지 않은 경우는 지나친 취성파괴이므로 휨 균열폭을 측정하지 못하였다.

최소 균열폭은 섬유재 첨가량이 많은 0.375% 그룹과 길이 40 mm에서 평가되었는데, 0.075 mm (20 RHA)와 0.082 mm (10 RHA) 수준이었다. 최대 균열폭은 섬유재 첨가량이 적은 길이 20 mm, 0.125% 그룹에서 평가되었고 20 RHA에서 1.802 mm가 측정되었다. 균열폭 특성만 보면 섬유재 첨가량이 많고 (V_f=0.375%), 길이가 긴 섬유재 (40 mm)가 효과적임을 알 수 있다.



(a) Comparison of peak load with different fiber length (b) Comparison of displacement with different fiber length

Fig. 12 Comparison of load and displacement ratio



(a) l=20mm (b) l=40mm

Fig. 13 Crack width after flexural test

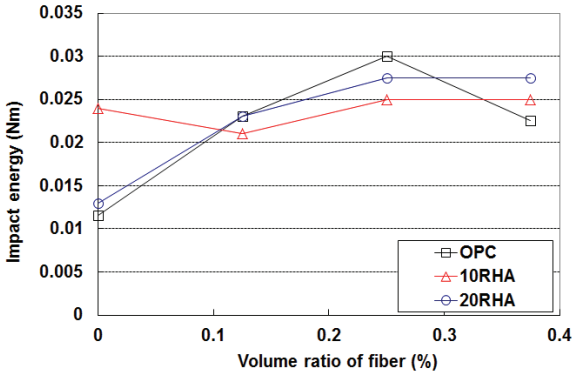


Fig. 14 Impact energy in OPC and RHA concrete with fiber

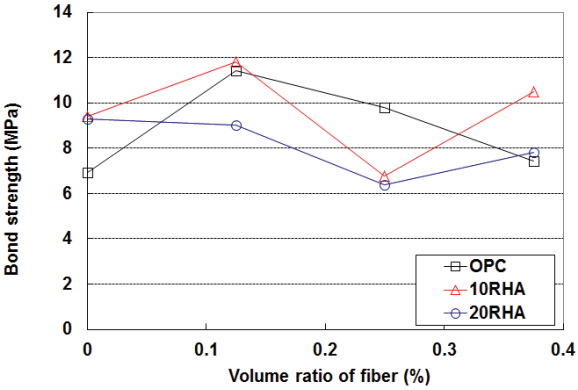


Fig. 15 Pull-out strength in OPC and RHA concrete with fibers

3.4 내충격성 평가

Fig. 14에서는 20 mm 섬유를 혼입한 시편의 내충격성 결과를 나타내고 있다. OPC + 0.250% 경우가 0.03 Nm로 가장 큰 에너지를 저항력을 가지고 있었으며, 10 RHA 및 20 RHA에서는 0.250% 이상의 섬유혼입비가 우수한 특성을 나타내었다. 충격에너지는 RHA 혼입 유무보다 섬유재의 혼입이 더욱 지배적인데, 이는 충격에 의한 초기 균열억제 효과에 기인한다고 할 수 있다. 섬유 혼입비 0.250%에서 모든 배합이 최대값을 나타내었다.

3.5 부착력 평가

섬유재 혼입이 0.125%일 모든 배합에서 부착력이 최대로 평가되었으며, 10 RHA 일 경우, 평균 부착력이 9.615 MPa로 OPC (8.890 MPa) 및 20 RHA (8.118 MPa)보다 큰 수준으로 평가되었다. 이는 10%의 RHA 첨가인 경우 가장 큰 압축강도를 가지고 있기 때문이다. Fig. 15에서는 부착력실험 결과를 나타내고 있다.

4. 결 론

코코넛 섬유 혼입률에 따른 RHA 및 OPC 콘크리트의 역학적 특성에 대한 연구를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

(1) 섬유재의 혼입률에 대한 영향은 OPC인 경우 0.125% 혼입시 최대값을 보였으나 큰 영향은 없었으며, RHA 10% 및 RHA 20%를 혼입한 경우 압축강도가 크게 증가하였다. 섬유재의 영향보다는 RHA의 첨가량이 압축강도에 지배적인 역할을 하였으며, 10% 혼입에서 압축강도는 OPC 대비 171% 증가하였다.

(2) 쪼갬 인장강도 평가에서는 섬유재 40 mm를 사용할 경우 0.125% 치환시 최대값이 평가되었으며, 그 이상의 혼입에 따라서 뚜렷한 강도개선효과를 확인할 수 없었다. 휨강도에서는 섬유재 증가에 따라 하중개선효과는 뚜렷하게 없었으나, 연성이 확보되어 처짐의 증가 및 균열폭 감소 등이 평가되었다. 내충격성 평가에서는 혼입량의 영향이 지배적이었으며, 0.125%에서 최대값이 평가되었다. 부착력 평가에서는 동일한 섬유혼입비에서 강도가 최대로 평가되었으며, 10% RHA 치환한 배합에서 최대값이 평가되었다. 부착력의 경우 압축강도가 지배적인 영향인자이기 때문이다.

(3) 전반적으로 천연섬유 혼입은 0.125% 수준이 적당한 것으로 판단되며, 10% RHA를 치환한 경우 가장 효과적인 역학적 특성을 나타내었다. 천연섬유와 RHA의 사용을 통한 건설재료의 개발은 친환경성 뿐 아니라, 콘크리트의 취성과 같은 약점을 보완할 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업 (FRP Hybrid Bar를 활용한 해양항만구조물 수명향상 기술 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 저자는 이에 감사드립니다.

References

1. Abdullah, A., Baharin, S., Noor, M. M., Hussin, K. (2011), Composite cement reinforced coconut fiber: Physical and mechanical properties and fracture behavior, *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 5(7), 1228-1240.
2. ACI Committee 544 (1999), Design Consideration for Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI 544.4R, 12-24.

3. Adebar, P., Mindess, S., St. Pierre, D., Olund, B. (1997), Shear tests of fiber concrete beams without stirrups, *ACI Structural Journal*, 94(1), 68-76.
4. Chindaprasirt, P., Rukzon, S. (2008), Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar, Construction and Building Materials, 22(8), 1601-1606.
5. Cho, C. G., Han, S. J., Kwon, M. H., Lim, C. K. (2012), Seismic performance evaluation of reinforced concrete columns by applying steel fiber-reinforced mortar at plastic hinge region, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 24(3), 241-248 (in Korean).
6. Choi, S. J., Ahn, J. K., Park, K. T., Kwon, S. J. (2014a), Experimental Study on Tension-Hardening and Softening Characteristics in Reinforced Mortar with CSA Expansion Agent, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 18(1), 101-110 (in Korean).
7. Choi, S. J., Park, K. T., Kwon, S. J. (2014b), Evaluation of Mechanical Properties and Crack Resistant Performance in Concrete with Steel Fiber Reinforcement and CSA Expansive Admixture, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 18(1), 75-83 (in Korean).
8. Kwon, S. J., and Song, H. W. (2010), Analysis of carbonation behavior in concrete using neural network algorithm and carbonation modeling, Cement and Concrete Research, 40(1), 119-127.
9. Lee, B. Y. (2012), Strain-Hardening Cementitious Composites with Low Viscosity Suitable for Grouting Application, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 16(1), 55-63 (in Korean).
10. Li, V. C. (1998), Engineered Cementitious Composites - Tailored Composites through Micromechanical Modeling, in Fiber Reinforced Concrete: Present and the Future, edited by N. Banthia, A. Bentur, A. and A. Mufti, Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, 64-97.
11. Majid, A. (2014), Seismic performance of coconut-fibre-reinforced-concrete columns with different reinforcement configurations of coconut-fibre ropes, Construction and Building Materials, 70(15), 681-690.
12. Majid, A., Nawawi, C. (2013), Experimental investigations on coconut-fibre rope tensile strength and pullout from coconut fibre reinforced concrete, Construction and Building Materials, 41, 681-690.
13. Ramznianpour, A., Mahdikhani, M., and Ahmadibeni, G. (2009), The effect of rice husk ash on mechanical properties and durability of sustainable concretes, *International Journal of Civil Engineering*, 7(2), 83-91.
14. Rukzon, S., Chindaprasirt, P., and Mahachai, R. (2009), Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash, *International Journal of Minerals*, Metallurgy and Materials, 16(2), 242-247.
15. Shah, S. P. (1992), Fiber reinforced cement composite, New York, McGraw-Hill, Inc.
16. Sivaraja, M. (2010), Application of Coir Fibers as Concrete Composites for Disaster Prone Structures - R&D Project Report, Kongu Engineering college, Perundurai.
17. Song, H. W., Kwon, S. J., Byun, K. J., Park, C. K. (2005), A Study on analytical technique of chloride diffusion considering characteristics of mixture design for high performance concrete using mineral admixture, *Journal of KSCE*, 25(1A), 213-223 (in Korean).
18. Sugita, S., Yu, Q., Shoya, M., Tsukinaga, Y., Isojima, Y. (1997), The Concrete Way to Development, FIP Symposium 1997, Johannesburg, South Africa, 2, 621.
19. Thomas, M. D. A., Bamforth, P. B. (1999), Modeling chloride diffusion in concrete: Effect of fly ash and slag, Cement and Concrete Research, 29(4), 487-495.

Received : 10/27/2014
Revised : 11/30/2014
Accepted : 12/26/2014

요 지

건설분야에서 이산화탄소를 저감하기 위해 최근들어 친환경 혼화재료가 많이 사용되고 있다. 또한 콘크리트의 취성파괴를 보완하기 위해 다양한 섬유재의 사용이 고려되고 있다. 본 연구에서는 Rice Ash Husk를 10% 및 20% 치환한 콘크리트를 제조하였으며, 천연섬유 (코코넛 섬유)를 0.125%, 0.250%, 0.375% 혼입하면서 역학적 특성을 평가하였다. 평가를 위해 압축강도, 쪼갬인장강도, 휨강도, 내충격성, 부착강도 등이 평가되었으며, 휨부재의 하중에 따른 균열 및 변위를 분석하였다. RHA를 첨가한 콘크리트는 압축강도를 효과적으로 개선하였으며, 섬유재를 0.125%를 첨가하였을 때, 인장강도, 연성증가 그리고 균열저항성 등이 뚜렷하게 개선되었다. RHA 및 첨연섬유는 자원의 재활용 뿐 아니라 콘크리트의 성능도 개선할 수 있으므로 효과적인 건설재료라고 판단된다.

핵심 용어 : RHA, 코코넛 섬유, 균열, 압축강도, 성능개선