韓國産業應用學會論文集, 제14권, 제1호, 1-7, 2011.02
J. Korean Society of Industrial Application, Vol.14, No.1, 1-7, Feb, 2011

Basalt 콘크리트 섬유보강 상판의 거동에 관한 기초적 연구
The Fundamental Study on the Behavior of Deck Slab Reinforced Basalt Fiber

서 성 탁‡
Seung-Tag Seo‡

<Abstract>

Basalt originates from volcanic magma and flood volcanoes, a very hot fluid or semifluid material under the earth's crust, solidified in the open air. Basalt is a common term used for a variety of volcanic rocks, which are gray, dark in colour, formed from the molten lava after solidification. Recently, attention has been devoted to continuous basalt fibers (CBF) whose primary advantage consists in their low cost, good resistance to acids and solvents, and good thermal stability. In order to investigate reinforcement effect, this paper did FEM analysis with shell element. The result were as follows; BCF deck plate did elastic behavior to 450 kN, reinforcement effect of basalt fiber (BF) was less. But BCF's perpendicular deflection occurred little about 23 mm comparing with RC deck plate in load 627 kN. Stiffness was very improved by basalt fiber reinforcement.

Keywords : Basalt, Fiber, Concrete, Strength, Fflexure stiffness

1. 서 론

건축물의 고층화라는 사회적 요구와 콘크리트 관련 재료의 기술개발을 통하여 고강도 콘크리트를 사용한 초고층 건축물은 1980대 중반부터 2000년대 중반 현재에 이르기까지 약 20년간 비약적으로 발전하였다. 고강도 콘크리트용 혼화제 개발로 대표되는 재료 기술의 발전으로 설계기준강도 100N/mm2 이상의 콘크리트를 초고강도 콘크리트라 한다. 초고강도콘크리트 재료 배합의 특징은 조직의 치밀화와 시공성 향상에 기여하는 실리카흄을 혼합재로 사용하며, 높은 강도를 얻을 수 있도록 석영계, 사암 계통, 석회암 계통, 안산암계와 같은 골재를 혼합한다. 또한 고성능 AE 감수방지제를 사용하며, 물-시멘트비를 최대한 낮게 한다. 물-시멘트 비율을 낮게 하기 위하여 단위시멘트량을 높게 한 초고강도콘크리트는 건축물의 실제 기둥(1m×1m정도)에 타설하는 경우, 시멘트의 수화열에 의해 부재의 중심 온도가 여름철에는 100℃ 가까이 상승하고 장기재령에서는 구조체 콘크리트가 표준양생 공시체의 압축 강도보다 적을 수도 있다. Table 1.과 Fig.1에 초고강도 콘크리트의 배합예와 물-시멘트비에 따른 콘크리트강도를 나타냈다. 여기서, 최근 고강도 콘크리트용 재료로 Basalt 콘크리트가 주목을 받고 있다.[1~3)]

또한, 콘크리트의 단점인 인장강도의 강화를

‡정회원, 혜천대학교 도시건설과 교수, 工博
E-mail : seosungtag@hu.ac.kr

‡Member, Prof. Dept. of Civil Engineering, Hyechon University, Ph. D.

위하여 Basalt 섬유를 이용한 보강효과를 얻기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

Table 1. The high strength concrete mix design

W/B	Weight(kg/m^3)				Target	
	Binder	Water	Coarse Aggregate	Fine Aggregate	Air (%)	Flow (mm)
15%	1000	150	835	501	1.0	700
17%	883	150	835	604	1.0	700
22%	682	150	835	755	2.0	600

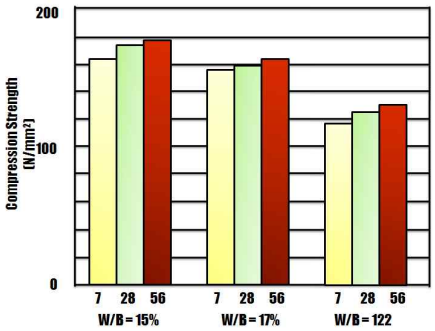

Fig.1. The strength of high strength concrete.

본 논문에서는 Basalt 콘크리트와 섬유를 이용한 합성상판에 대하여 Basalt 섬유의 적용성을 검토한다.

2. Basalt 콘크리트 섬유의 특성

굵은 골재를 배합하지 않고 시멘트 페이스트 및 모르타르만으로 충분한 강도는 얻을 수 있다. 즉, 콘크리트에서 굵은 골재의 역할은 충진재로 콘크리트의 강도를 저하시키지 않고 시멘트와 잔골재의 양을 줄여 비용을 저감할 수 있다. 콘크리트는 비교적 높은 압축강도, 저렴한 가격과 풍부한 원료로 널리 사용된다. 그러나 수축과 균열, 낮은 인장강도와 휨강도, 낮은 충격저항 등이 단점으로 여겨진다. 이러한 콘크리트의 단점을 보완하기 위하여 다양한 섬유들이 보강용 재료로 개발되었다. 섬유보강 콘크리트는 최근에 개발된 시멘트를 기초로 한 합성재료이다. 이는 높은 휨인장강성과 박리에 대한 저항성, 충격저항성, 우수한 침투성 등의 장점이 있다. 섬유보강 콘크리트 합성재료는 균열저항, 보강 및 인성의 증가와 콘크리트의 부착, 콘크리트와 결합특성뿐만 아니라 섬유의 분포 등 섬유의 기계적 성질에 의존한다. 탄성 계수와의 관련해서는 섬유는 두 가지 유형으로 나누어진다. 섬유의 탄성계수는 모재의 탄성계수보다 낮은 셀룰로오스 섬유, 폴리프로필렌 섬유 등이 있으며, 모제의 탄성 계수보다 큰 석면섬유, 유리섬유, 강섬유, 탄소섬유, 아라미드 섬유 등이 있다. 특히, 현무암 섬유는 최근 몇 년 동안 사용이 증가하고 있는 신소재이다. 현무암 섬유는 무기 섬유 재료로서 모두 천연 소재이며 화산 암석에서 유래한다. 현무암 암석이 높은 온도(1450°C)에서 녹게 되면 빠르게 연속 섬유가 뽑아져 다양한 길이로 만들 수 있다. 또한 갈색, 금색, 또는 회색 등 다양한 색깔이 있다. 높은 강도와 열적 안정성 현무암 재료의 기본 특성은 고온 저항성이며, 높은 내식성이 갖고 있다. 현무암 자료는 건설 산업에 대한 강화복합재료로서 탄소 섬유에 대한 저렴한 대안이 구체적으로 실현 될 수 있다. Fig.2와 Fig.3에 현무암과 현무암 섬유를 나타냈다. Table 2.와 Table 3. 및 Fig.4와 Fig.5에 Basalt 섬유의 특성을 나타냈다.[4~5)]

Fig. 2. Basalt rock.

Fig. 3. Continuous fibers from basalt.

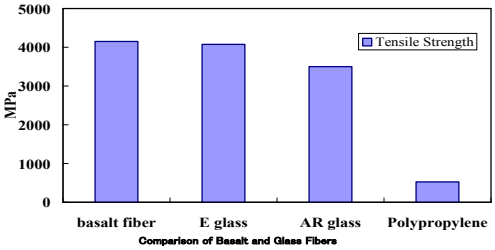

Fig.4. Tensile strength of fiber.

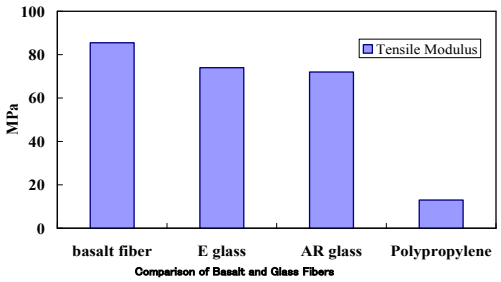

Fig.5 Modulus of fiber.

Table 2. Main technical indicators of BCF

Performance	Number
Thermo-physical properties	
working temperature(℃)	-269~700℃
bond temperature(℃)	1050℃
Thermal Conductivity, w/m.°K	0.03~0.038
physical properties	
filament diameter(μm)	7~15
density (kg/m^3)	2650
elastic modulus(kg/mm^2)	10000~11000
Tensile strength(MPa)	4150~4800

Table 3. Comparison of properties among basalt fiber and other fibers

Fibers	Density (g/cm^3)	Mechanical strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	elongation (%)
Glass fiber				
A-glass	2.46	3310	69	4.8
C-glass	2.46	3310	69	4.8
E-glass	2.60	3450	76	4.76
S2-glass	2.49	4830	97	5.15
silicon fiber	2.16	206~412		
quartz fiber	2.20	3438		
carbon fiber				
large-tow	1.74	3620	228	1.59
middle-tow	1.80	5100	241	2.11
small-tow	1.80	6210	297	2.20
Aromatic polyamide fiber		3620	41.4	3.6
Kevlar 29	1.44	3480		1.5
Kevlar 149	1.47			
polypropylene fiber	0.91	270~650	38	15~18
polyacrylonitrile fiber	1.18	500~910	75	15~18
basalt fiber	2.65	4150~4800	100~110	3.3

3. Basalt 섬유보강 상판의 거동

3.1 해석개요

Basalt 콘크리트에 섬유의 혼입량을 1.0%첨가한 콘크리트를 대상으로 하여 상판의 해석적 검토를 실시하였다. 해석에 사용한 공시체는 Fig.6에 나타낸 것과 같이 폭이 2800X280X5000 mm의 상판을 대상으로 하였으며, 상판지간은 5m의 실제의 교량과 동일하게 하였다.

Fig.7과 Table.4에 H-beam의 제원을 나타냈다. 상·하 플랜지의 두께 각각 10 mm와 25 mm이며, 웨브의 두께는 22 mm와 높이 600 mm를 사용하였다. 콘크리트상판(RC)과 플랜지는 Stud지벨(Φ16X110mm)에 의해 합성시켜 콘크리트 상판과 거더와의 강성을 높이도록 하였다. 또한, 해석에서 합성 후의 거더의 변형이나 여기에 따른 RC상판의 응력 및 변형에 따른 영향도 검토한다. 또한, Fig. 8 및 Fig.9에 나타낸 것과 같이 해석에 이용한 콘크리트의 재료특성은 콘크리트의 경우 압축변형율은 0.0035에서 파괴가 일어나는 것으로 하였다. 하중의 재하위치는 F중앙 지간에 등분포 집중하중을 작용시켰다.

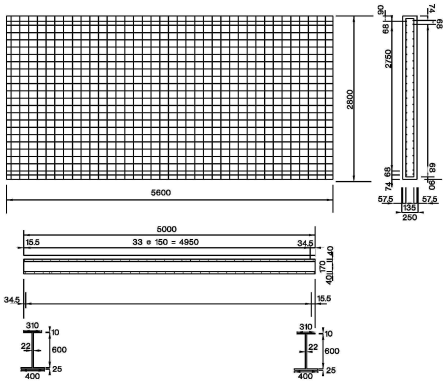

Fig. 6. The dimension of specimen.

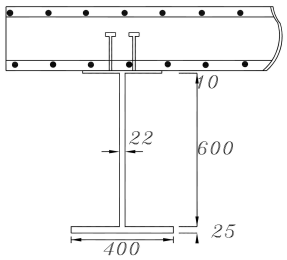

Fig. 7. The dimension of H-beam.

Table 4. Dimension of specimen

ITEM	Dimension
Top Flange	10 mm
Bottom Flange	25 mm
Web	22 mm
Stud	Φ16X110 mm
Space of Stud	125 mm
Space of Perpendicular Steel Bar	200 mm

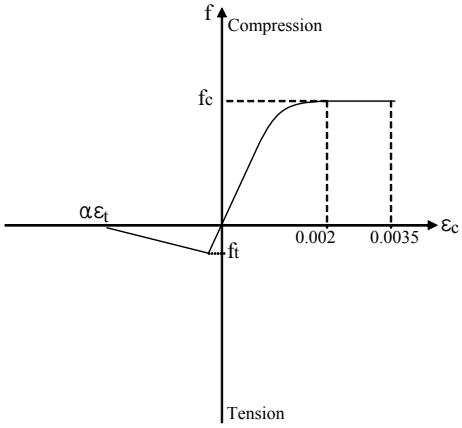

Fig. 8. Property of concrete material.

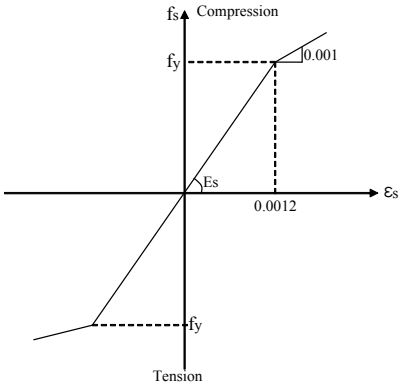

Fig. 9. Property of steel bar.

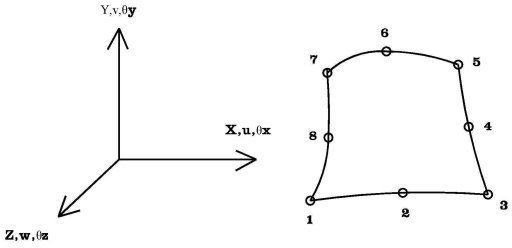

Fig. 10. Nodes and freedoms of shell element.

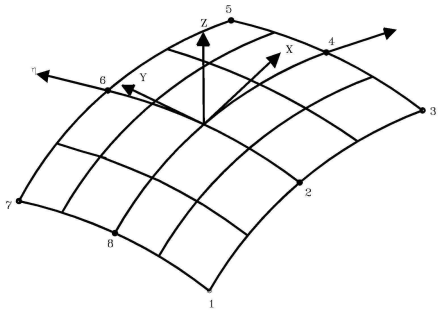

Fig. 11. Local axes of element.

3.2 해석모델

해석모델은 부재가 두개의 대칭면을 가지므로 각 대칭면에 대칭 경계조건을 부여한 1/4 모델을 해석모델로 사용하였다. 요소는 Fig.10 및 Fig.11과 같이 8 절점 셸 요소(Shell Element)를 사용하였다. 또한, 대칭조건외 모델의 강체운동(rigid body motion)을 방지하기 위하여 지점 H빔(H beam)에 대해서는 절점 y 변위를 구속하였으며, 모델 중앙부에서는 부재에 휨모멘트가 발생하도록 절점 X축과 Z축 중심으로 회전변위를 가하였다. Fig.12에 해석에 사용된 모델을 나타냈다.

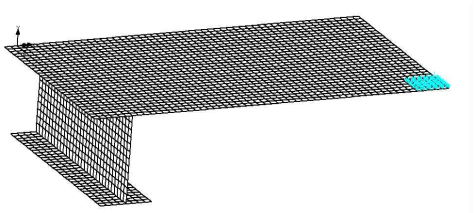

Fig. 12. The model mesh of analysis.

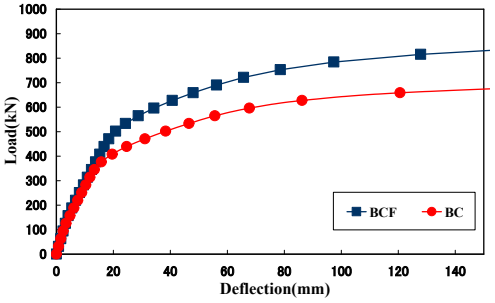

Fig. 13. The deflection curve of deck slab on the perpendicular direction of bridge.

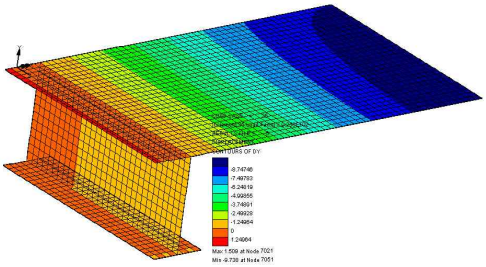

Fig. 14. Distribution of deflection on BCF.

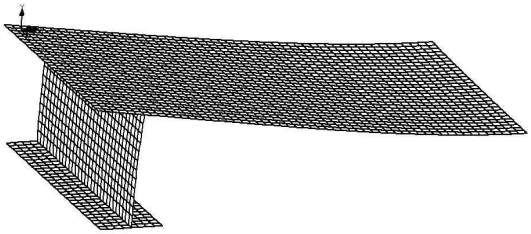

Fig. 15. Deformation characteristics of deck slab (Load:784kN).

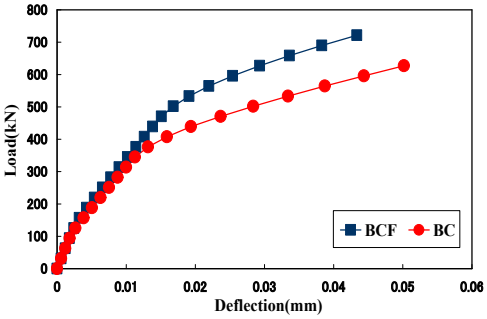

Fig. 16. The deflection curve of girder on the perpendicular direction of bridge.

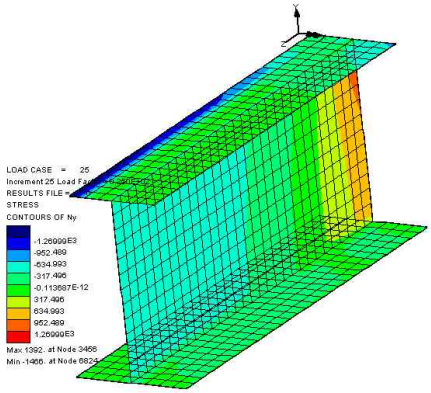

Fig. 17. The stress curve of girder on the perpendicular direction of bridge(Load : 784kN).

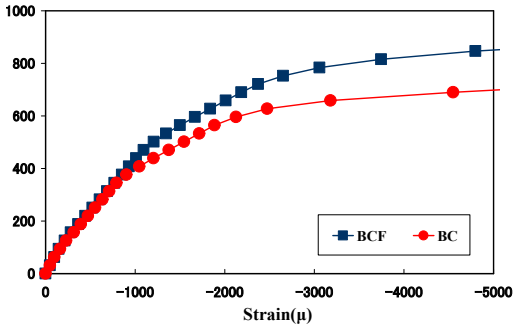

Fig. 18. The strain curve of concrete top on the perpendicular direction of bridge.

4. 실험결과

4.1 BCF상판의 변형

FEM 해석 결과 콘크리트 상판에 Basalt섬유 보강 유무에 따른 콘크리트 상판과 H-Gird의 강성에 대하여 비교하였다. Fig.13에 RC상판과 BCF상판의 하중-처짐 곡선을 나타냈으며, 약 하중 400kN까지는 탄성영역으로서 보강 유무에 따라 강성의 변화는 미소하나, 콘크리트가 종국 상태에 도달하는 하중은 보강효과에 의해서 200kN 정도 증가한다. 이는 섬유 보강에 의한 콘크리트의 진성이 향상되었음을 나타낸다.

Fig.14와 Fig.15은 하중 784kN에서 상판의 변위를 나타냈다. 등분포 하중이 작용하는 지간중앙에서 가장 큰 변위가 발생되며, 양 지점으로 갈수록 변위가 크게 감소한다. 특히, 최대 변위량 역시 교축직각 방향의 변위에 비해 교축 방향의 변위는 매우 작게 발생하였다. 이는 교축직각방향의 단면의 큰 강성에 기인된 결과라고 판단된다. Fig.16에 H-Girder의 변형을 나타냈으며, 종국상태의 하중 700 kN에서 H-Girder는 콘크리트 상판이 인장파괴에 도달할 때까지 플랜지 및 웨브의 변형은 발생하지 않았다.

4.2 응력변화

Fig.17은 하중 784kN에서 H-Girder에 발생되는 응력분포상태를 나타냈으며, 상단 플랜지의 지간 내부쪽에 국부적인 인장응력과 압축응력이 발생하고 있으나, 강재의 탄성영역 허용범위 내에 존재함으로 콘크리트 상판이 인장파괴에 도달할 때까지 플랜지 및 웨브의 변형은 미소

하며, 응력집중에 의한 영향은 발견되지 않았다. Fig.18은 콘크리트상판의 상부의 변형률을 나타냈다. 하중 400kN에서 BCF 및 BC 상판의 변형율은 1000μ정도로 보강의 효과는 미소하나, 그 후 하중이 증가함에 따라서 섬유의 보강유무에 따라 큰 종국하중에 큰 영향을 미친다. 하중이 400kN에서 수직변위는 20mm정도로 상판의 전반적인 강성저하는 크게 없으나, 콘크리트 상판하부 콘크리트의 균열이 진전되었으며 인장하중은 철근과 콘크리트 내부의 섬유가 분담하는 상태이다. 종국상태의 수직변위는 100mm 이상으로 매우 크게 나타난다. 섬유를 보강한 BCF상판의 경우 BC상판과 종국하중을 비교하면 약 1.2배 향상됨을 알 수 있다.

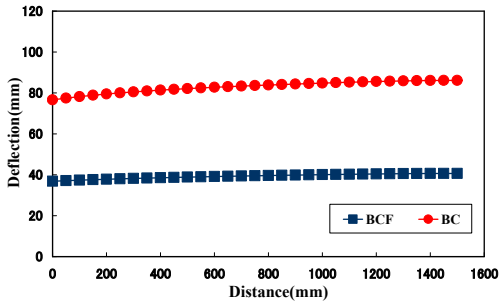

Fig. 19. The deflection curve of deck slab on the axis of bridge(Load:627kN).

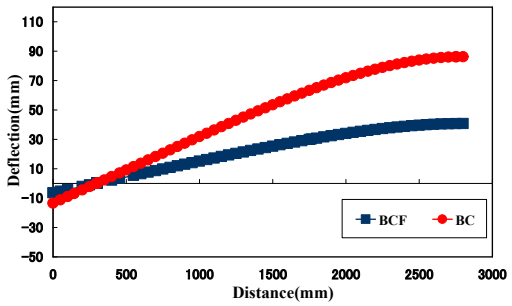

Fig. 20. The deflection curve of deck slab on the perpendicular direction of bridge(Load:627kN).

또한, Fig.19와 Fig.20에 상판의 교축방향 및 교축직각방향의 변형관계 곡선을 나타냈다. 상판중앙지점의 단면 하부에서 발생되는 교축방향의 콘크리트 변형률을 보면 교축 방향(Ez)으로 약간의 변형률의 변화를 보이고 있지만, 교축직각방향(Ex)와 비교하여 변화가 매우 작다. 이는 교축방향의 단면강성에서 기인한다. 실제로 교축직각방향(Ex)의 콘크리트가 항복에 도달하는 하중 627kN에서도 교축방향의 콘크리트 변형률은 2000μ이하로 작은 값을 나타낸다. 또한 최대 변위량 역시 교축직각 방향의 변위에 비해 교축 방향의 변위는 매우 작게 발생함을 확인 할 수 있었다.

따라서 설계시 발생휨모멘트를 충분히 고려하여 철근을 배근해야 하며, 또한 경제적인 설계가 이루어지기 위하여 이방향 설계가 이루어져야 한다. 하중 627kN에서 섬유보강 유무에 따른 상판의 변위를 나타냈다. 하중이 점점 증가하여 콘크리트가 종국상태에 도달하는 하중 627 kN 부근에서 SFRC의 연직변위는 RC상판과 비교하여 45 mm 정도 적게 발생하며, 섬유보강에 의한 강성증가와 콘크리트의 진성이 크게 향상되었음을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 Basalt 콘크리트의 섬유의 최적 혼입율에 따른 콘크리트 상판의 강도와 변형특성을 검토하였다. 이를 위하여 Shell 요소를 이용한 FEM해석을 실시하였다.

(1) RC 상판의 하중 400 kN까지는 탄성적 거동을 보이며, 섬유(BFC)의 보강 유무에 따른 효과는 적다. 그러나 하중이 점점 증가하여 콘크리트가 종국상태에 도달하는 하중 627 kN 부근에서 SFRC의 연직변위는 RC상판과 비교하여 45 mm 정도 적게 발생하며, 섬유 보강에 의한 강성증가와 콘크리트의 진성이 크게 향상되었음을 확인할 수 있었다.

(2) 종국상태의 하중 700 kN에서 H-Girder는 콘크리트 상판이 인장파괴에 도달할 때까지 플랜지 및 웨브의 변형은 발생하지 않았다.

(3) 섬유 보강 BCF상판은 종국하중은 RC상판의 약 1.2배 향상되었다.

(4) 상판중앙지점의 단면 하부에서 발생되는 교축방향의 콘크리트 변형률은 교축직각방향(Ex)의 콘크리트가 항복에 도달하는 하중 시 교축방향의 콘크리트 변형률은 매우 작은 값을 나타낸다.

참고문헌

1) 이권옥, 박경호, *대한건축학회 학술발표논문집*, 15, 2, 601, (1995)
2) 오병환, 이형준, 백신원, 임동환, *한국콘크리트학회 학술발표논문집,* 2, 2, 175, (1990)
3) Artemenko, S.E., *Fibre Chem.* 35, 226 (2003)
4) Bashtannik, P.I., Ovcharenko, V.G. and Boot, Y.A., *Mech. Compos. Mater.* 33, 600 (1997)
5) Yasar Ergul et al., Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash, 57, 15, 2267, (2003)

(접수:2010.06.08, 수정:2010.11.19, 게재확정:2011.02.18)