비소성 무기결합재를 사용한 무시멘트 다공성 식생콘크리트의 물리·역학적 특성 및 동결융해저항성 평가

Physical, Mechanical Properties and Freezing and Thawing Resistance of Non-Cement Porous Vegetation Concrete Using Non-Sintering Inorganic Binder

김황희* · 김춘수* · 전지홍** · 박찬기***,†

Kim, Hwang Hee · Kim, Chun Soo · Jeon, Ji Hong · Park, Chan Gi

Abstract

The physical, mechanical and freezing and thawing properties of non cement porous vegetation concrete using non-sintering inorganic binder have been evaluated in this study. Four types of porous vegetation concrete according to the binder type is evaluated. The pH value, void ratio, compressive strength, repeated freezing and thawing properties were tested.

The test results indicate that the physical, mechanical and repeated freezing and thawing properties of porous vegetation concrete using the non-sintering inorganic binder is increased or equivalent compared to the porous vegetation concrete using the blast furnace slag + cement and hwang-toh + cement binders. Also, Vegetation monitoring test results indicate the porous vegetation concrete using the non-sintering inorganic binder have increasing effects of vegetation growth.

Keywords: blast furnace slag, hwang toh, freezing and thawing, mechanical properties, non-sintering inorganic binder, non cement vegetation concrete

1. 서론

산업화로 인하여 환경파괴, 자원고갈 등 다양한 문제점이 발생하고 있다(Cho et. al., 2012a, b; Choi et. al., 2001; Kim et. al., 2013). 건설산업에서도 콘크리트의 생산중에 발생하는 이산화탄소의 배출량을 줄이고 폐자원을 이용한 친환경(eco-friendly) 콘크리트를 개발에 대한 연구가 진행되고 있다(Han and Yong, 2009; Kim et. al., 2013). 이런 연구에는 산업부산물인 고로슬래그 및 플라이애시 등으로 시멘트를 대체하는 것이다(Cho et. al., 2012a, b; Kim et. al., 2009; Mun et. al., 1997; Kim et. al., 2013). 최근에는 시멘트를 사용하지 않고, 무시멘트 콘크리트에 대한 연구가 진행되고 있다(Cho et. al., 2012a, b; Yang et. al., 2011; Kim et. al., 2013).

한편, 다공성 식생콘크리트에 대한 많은 연구가 진행되어

생태복원 등에 다양하게 적용되었다. 다공성 식생콘크리트는 다공성 내부에 보수성과 영양분의 충전 기술을 도입하여 식물의 성장을 원활하게 유도한 콘크리트이다(Sung and Kim, 2002, 2003; Park et. al., 2002; Kim et. al., 2013). 현재 다공성 식생콘크리트는 시멘트의 일정량을 고로슬래그 미분말 등 산업부산물로 치환하고, 잔골재를 사용하지 않고 굵은 골재를 사용하여 콘크리트의 공극을 형성시키는 연구가 진행되었다(Kim et al., 2010; Park and Lim, 2000). 또한 다공성 식생 콘크리트는 콘크리트에서 차지하는 공극량이 많기 때문에 역학적 성능 및 내구성이 감소하는 결과를 가지고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 폴리머 및 보강섬유의 첨가 등을 통하여 식생 능력과 함께 물리·역학적 특성 및 내구성을 향상시키는 방향으로 진행되었다(Youn et al., 2009; Kim, et. al., 2010; Kim et. al., 2013). 최근 들어서는 시멘트를 전혀 사용하지 않은 알칼리 활성 무시멘트 식생콘크리트에 대한 연구도 진행되고 있다(Kim et. al., 2013). 특히 시멘트를 사용하지 않는 무시멘트 콘크리트에 대한 연구는 이산화탄소 감축 측면과 친환경성 확보 측면에서 보다 많은 연구가 필요하다(Kim and Song, 2013). 본 연구에서는 시멘트를 사용하지 않고 비소성 무기결합재를 이용한 다공성 식생콘크리트의 성능을 평가하여 기존에 다공성 식생콘크리트에 사용되던 시멘트 사용재료를 대체하여 사용할 수 있는지를 평가하고자 한

* Research institute of technology, Nature and Environment Ltd.

** Department of environmental engineering, andong national university

*** Department of rural construction engineering, kongju national university

† Corresponding author

Tel.: +82-41-330-1266 FAX: +82-41-330-1269

E-mail: cgpark@kongju.ac.kr

Received: July 16, 2014

Revised: August 20, 2014

Accepted: August 26, 2014

다. 일반적으로 비소성 무기결합재는 순환자원의 소량, 단순 물리적 치환에 의한 원가절감 및 중량재 개념으로 사용된다 (Kim and Song, 2013). 그러나 본 연구에서는 자극제의 활성화 매커니즘을 이용한 화학적 결합 (geo-polymerization, 포졸란 반응유도)을 유도하여 제조한 비소성 무기결합재 제품을 적용함으로써 단순 치환재가 아닌 시멘트 대체재료로 적용 가능성을 평가하였다. 실험은 시멘트를 사용하지 않고 비소성 무기결합재만 적용한 다공성 식생콘크리트와 기존 다공성 식생콘크리트와 물리·역학적 특성, 동결융해 저항성 및 식생 성능을 비교 평가하였다.

II. 사용재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트, 고로슬래그 미분말 및 황토

본 연구에서는 국내 S사의 비중 3.14의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 또한 다공성 식생콘크리트에 적용하고 있는 고로슬래그 미분말과 황토를 사용하였으며, 고로슬래그 미분말, 황토의 물리적 성질 및 화학성분은 Table 1 및 Table 2와 같다.

나. 비소성 무기결합재

비소성 무기결합재는 이산화탄소 무배출형 재료로 핵심원료로는 열병합발전소의 노내탈황방식 석탄연소 보일러에서 발생하는 소각잔재 (Fly ash)인 고칼슘 플라이애시를 알칼리 자극제로 혼합함으로써 Free CaO의 성분에 의한 흡수, 발열 및 팽창성능을 가진다. 고칼슘 플라이애시 이외에 고로슬래그 및 기타 순환자원을 원료로 하여 분쇄, 분급, 혼합공정으로 제조된다. 또한 비소성 무기결합재는 고온의 소성과정이 필

요없기 때문에 CO₂의 배출이 없는 친환경 제품이다. 특히 콘크리트의 초기강도는 고로슬래그 시멘트 이상이며, 우수한 역학적 특성을 발휘한다. 또한 내산성 및 내해수성이 우수하며, 저알칼리 시멘트로 활용이 가능하고 염화물 고정화 및 유해중금속 고정화 성능이 우수하다. Table 3은 비소성 무기결합재의 특성을 나타낸다. 본 연구에서는 흰색과 회색의 비소성 무기결합재를 적용하였다. 흰색 무기결합재는 자극제 성분중에 산화철 성분이 제외된 것이며 회색 비소성 무기결합재는 산화철 성분을 포함하고 있는 것이다.

다. 굵은골재

본 연구는 다공성 식생콘크리트의 공극률을 증가시키기 위하여 잔골재는 사용하지 않고 굵은골재 최대 크기 25 mm의 부순돌을 적용하였다. 굵은골재의 물리적 성질은 Table 4와 같다.

2. 배합설계

본 연구에서는 시멘트를 사용하지 않고 비소성 무기결합재를 사용한 다공성 식생콘크리트의 성능을 평가하기 위하여 Table 5와 같은 배합을 실시하였다. 비소성 무기결합재는 흰색과 회색을 각각 적용하였고, 기존 다공성 식생콘크리트에 많이 적용하는 고로슬래그+시멘트 및 황토+시멘트를 결합재로 적용한 식생콘크리트 배합을 실시하였다. 물-시멘트비는 0.288를 적용하였고, 비소성 무기결합재를 사용한 배합은 흰색과 회색을 각각 NSB (W), NSB (G)로 표시하였다. 또한 고로슬래그+시멘트를 적용한 경우는 BSC, 황토+시멘트를 적용한 경우는 LOC로 표시하였다.

3. 실험방법

가. pH

비소성 무기결합재를 사용한 다공성 식생콘크리트의 pH

Table 1 Physical properties and chemical composition of blast furnace slag

Density (g/mm ³)			Fineness (cm ² /g)			Loss on ignition (%)	
2,8			4000~6000			3,0	
Chemical composition (%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO	S
33,1	13,9	0,29	42,4	6,1	0,4	0,96	0,66

Table 2 Physical properties and chemical composition of hwang-toh

Grading				Composition (wt, %)							Density (g/mm ³)
Cumulative percentage passing (%)											
0.6mm	0.3mm	0.15mm	0.08mm	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
100	100	99	88	40.0	7.79	32.9	0.39	1.54	0.76	1.73	2.72

를 측정하기 위하여 KSM 0011의 방법을 적용하였다. 시험은 직경 100 mm, 높이 200 mm 원주형 공시체를 제작하여 재령 28일 동안 양생한 다음 상부에서 60 ml의 증류수를 산포하여 하부에 흘러나온 증류수의 pH를 측정하였다.

나. 공극률

비소성 무기결합재를 사용한 다공성 식생콘크리트의 공극률을 측정하기 위하여 직경 100 mm, 높이 200 mm인 원주형 시험체를 일본콘크리트공업협회 에코콘크리트 연구위원회의 포러스콘크리트의 공극률 시험방법(안)중 용적법에 준하여 실시하였으며 재령 28일에 식 (1)을 이용하여 산출하였다.

$$P_o = \left(1 - \frac{W_2 - W_1}{V}\right) \times 100 \quad (1)$$

여기서, P_o : 콘크리트의 공극률 (%)

W_1 : 습윤 공시체의 중량 (g)

W_2 : 공기중 건조공시체의 중량 (g)

V : 공시체의 체적 (m^3)

Table 3 Properties of non-sintering inorganic binder

Properties	Value
Cement content	0 %
Compressive strength	40~80MPa
Resistance of chemical environment	Above 200% of type 1 cement
pH	9~11
Resistance of sulfate environment	Above 150% of type 1 cement

Table 4 Physical properties of coarse aggregate

Maximum size (mm)	Density (g/mm^3)	Absorption(%)	F.M
25	2.65	0.35	6.92

Table 5 Mix proportion of non cement porous vegetation concrete

Type of mix	W/C	Unit (kg/m ³)						
		Water (kg)	NSB* (kg)		Cement	BFS**	Hwang toh	Aggregate (kg)
			White	Gray				
NSB (W)	0.288	75	260	—	—	—	—	1,200
NSB (G)			—	260	—	—	—	
BSC			—	—	156	104	—	
LOC			—	—	208	260	52	

* NSB : non-sintering inorganic binder

** BFS: blast furnace slag

다. 압축강도

비소성 무기결합재를 사용한 다공성 식생콘크리트의 강도 특성을 평가하기 위하여 KS F 2405에 따른 압축강도 시험을 실시하였다. 시험은 직경 100 mm, 높이 200 mm의 공시체를 제작한 후 24 시간 동안 $20 \pm 2^\circ C$, 상대습도 약 58 %에서 초기 양생을 실시한 후에 탈형하여 $20 \pm 2^\circ C$ 의 양생실에서 28일 수중양생을 실시한 후 측정하였다.

라. 동결융해저항성

비소성 무기결합재를 사용한 다공성 식생콘크리트의 동결융해 저항성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 본 연구에서는 재령 28일 및 91일에 KS F 2456 「급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법 중 B 방법-공기중에서 급속 동결하여 수중에서 융해시키는 시험과정」에 따라 동결융해 반복시험을 실시하였다. 공시체 중심에서의 온도를 $4^\circ C$ 에서 $-18^\circ C$ 로 떨어뜨리는 동결 작용과 다시 $4^\circ C$ 로 올리는 융해작용을 반복을 100회 반복하였으며 그 후 압축강도 시험을 실시하여 잔류 압축강도를 측정하였다. 일반적으로 동결융해시험은 상대동탄성계수를 측정하나 다공성 식생콘크리트의 특성상 동탄성계수 측정이 어렵고, 환경표지인증 EL 245 투수콘크리트 제품, EL 745 용벽·타일·판재류, 한국콘크리트공업협동조합연합회의 단체표지인증 SPS-KCIC0001-0703에 동결융해 100회 반복 후 압축강도의 측정이라는 규정이 있어 이에 따라 평가하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. pH

일반적으로 콘크리트는 강알칼리성 제품이다. 따라서 식생콘크리트의 경우 pH 값을 감소시켜 식생에 보다 유리한 조건을 만들어야 한다 (Kim et al, 2013). 비소성 무기결합재를

사용한 다공성 식생콘크리트의 pH 시험결과는 Fig. 1과 같다. pH 시험결과는 한 재령 28일에서의 pH 값은 모든 배합에서 9.49~9.8 정도의 값을 나타냈다. 또한 재령 91일 양생 후 모든 배합에서 약 8.9~9.7의 값을 나타냈다. 비소성 무기결합재를 사용한 배합에서는 흰색 및 회색에서 모두 약 8.9 정도의 값을 나타내었고, 고로슬래그와 시멘트를 사용한 배합에서는 9.48, 황토 + 시멘트를 사용한 배합에서는 9.67의 값을 나타냈다. 비소성 무기결합재를 적용한 다공성 식생콘크리트가 고로슬래그 및 황토와 시멘트를 사용한 배합보다 pH 가 약간 감소하는 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 비소성 무기결합재는 pH가 약 9 정도로 시멘트의 약 12 정도의 pH 보다 작기 때문이다.

2. 공극률

다공성 식생콘크리트의 공극률은 식생과 밀접한 관계를 가지고 있으며 공극률이 증가할수록 식생에 보다 유리하다 (Park et al., 2002). 비소성 무기결합재를 사용한 다공성 식생콘크리트의 공극률 시험결과는 Fig. 2와 같다. 모든 배합의 공극률은 약 26~28%의 값을 나타냈다. 비소성 무기결합재를 사용한 다공성 식생콘크리트의 공극률은 고로슬래그 및 황토 + 시멘트와 비교하여 큰 차이를 나타내지 않았다. 이와 같은 결과는 공극률에 가장 큰 영향을 미치는 굵은골재의 크기, 결합재의 사용량은 동일하고, 결합재를 비소성 무기재료로만 치환하였기 때문에 공극률에 큰 영향을 미치지 않았다. 또한 공극률 시험결과와 기존 다공성 식생콘크리트에 적용되던 고로슬래그+시멘트, 황토+시멘트와 거의 유사하거나 동일한 공극률을 나타냄으로써 비소성 무기결합재가 기존 결합재를 대체하여 다공성 식생콘크리트의 적용이 가능할 것으로 판단된다 (Kim et al., 2013).

Fig. 1 pH value of non-sintering inorganic binder porous vegetation concrete

3. 압축강도

다공성 식생콘크리트는 식생을 위한 공극을 충분히 확보하여야 하기 때문에 압축강도는 일반 콘크리트와 비교하여 감소한다 (Park and Lim, 2000). 비소성 무기결합재를 사용한 다공성 식생콘크리트의 압축강도시험을 실시하였다. 압축강도는 재령 7일, 28일 및 91일에 측정하였다. 재령에 따른 압축강도 시험결과는 Fig. 3과 같다. 재령이 증가할수록 압축강도가 높게 나타났으며, 7일 강도에서는 황토 + 시멘트의 값이 가장 높게 나타났으나 재령 28일 및 91일에서는 다른 배합과 거의 유사한 강도 값을 나타냈다. 그러나 NSB(W) 배합은 재령 7일에서는 다른 배합과 거의 유사한 강도를 나타내었으나, 재령 28일 및 91일에서는 다른 배합과 비교하여 압축강도가 감소하는 결과를 나타냈다. 압축강도 시험결과를 살펴보면 비소성 무기결합재를 적용한 경우 회색을 적용한 NSB(G)

Fig. 2 Void ratio test results of non-sintering inorganic binder porous vegetation concrete

Fig. 3 Compressive strength test results of non-sintering inorganic binder porous vegetation concrete

는 다공성 식생콘크리트에 기존 결합재인 시멘트+고로슬래그 미분말, 시멘트+황토를 충분히 대체하여 적용할 수 있을 것으로 보인다. 다만 NSB (W)는 다공성 식생콘크리트에 적용하기 위해서는 보다 많은 연구 및 보완이 필요할 것으로 보인다.

4. 동결융해저항성

동결융해 저항성 (100 Cycle) 시험결과는 Fig. 4~5에 나타내었다. 28일 재령 후 100cycle의 동결융해 반복을 실시한 배합의 잔류압축강도는 황토+시멘트를 결합재로 사용한 LOC 배합의 60% 이하를 나타내 가장 작은 값을 나타냈다. 나머지 배합은 모두 60% 이상의 잔류 압축강도를 나타냈다. 특히 NSB (G) 배합의 잔류압축강도가 약 64%정도로 가장 크게 나타났다. 재령 91일 공시체의 동결융해 100cycle 후의 잔류압축강도를 살펴보면 모두 60%이상의 값을 보여 주었다. 이와 같은 결과는 본 연구에서 적용한 결합 재료는 모두 장기적으로 수화반응이 지속되어 장기강도가 우수한 재료들로

구성되어 있기 때문에 91일간 양생시킨 공시체의 동결융해 저항성이 더 우수하였다 (Kim et al., 2010). 또한 NSB (W), NSB (G) 배합이 상대적으로 BSC, LOC 배합과 비교하여 동결융해 반복 후 잔류압축강도가 크게 나타나 동결융해저항성이 상대적으로 우수한 것으로 판단된다. 따라서 동결융해 반복 시험결과 비소성 무기결합재는 다공성 식생콘크리트의 결합재로 사용되고 있는 고로슬래그 + 시멘트, 황토 + 시멘트를 충분히 대체하여 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 압축강도와 공극률과의 관계

압축강도와 공극률사이의 관계는 Fig. 6과 같다. 일반적으로 공극률이 증가하면 압축강도는 감소하는 결과를 나타낸다 (Kim et al., 2010). 본 연구에서는 모든 배합에서 공극률은 거의 비슷한 결과를 나타내었으나, 압축강도는 다른 배합에 비하여 NSB (W) 배합이 재령 28일 및 91일 모두 현저하게 낮은 결과를 나타냈다. 또한 NSB (G) 배합과 LOC 배합은 공극률은 유사하나 재령 91일 압축강도는 NSB (G) 배합이 약간 큰

Fig. 4 Compressive strength test results of non-sintering inorganic binder porous vegetation concrete after repeated freezing and thawing cycles

Fig. 5 Residual compressive strength test results of non-sintering inorganic binder porous vegetation concrete after repeated freezing and thawing cycles

Fig. 6 Relationship between compressive strength and void ratio of non-sintering inorganic binder porous vegetation concrete

결과를 나타냈다. 그러나 재령 28일 강도는 거의 동일한 값을 보여 주었다. BSC 배합은 공극률은 NSB (G) 배합보다 약간 크나 압축강도는 약간 감소한 결과를 보여 주었다. 그러나 압축강도, 공극률 모두 NSB (G), BSC 및 LOC 배합은 거의 큰 차이를 나타내지 않고 거의 동일한 값을 나타냈다. 이와 같은 결과로 볼 때 희색의 비소성 무기결합재는 공극률과 압축강도와와의 관계로 볼 때 고로슬래그 + 시멘트, 황토 + 시멘트를 충분히 대체하여 다공성 식생콘크리트에 적용할 수 있을 것으로 보인다. 다만, 흰색의 비소성 무기결합재는 공극률은 유사하나 압축강도가 작기 때문에 기존 다공성 식생콘크리트의 적용되는 결합재인 고로슬래그 + 시멘트, 황토 + 시멘트를 대체하기 위해서는 사용량을 증가시키는 등의 배합의 변화가 필요할 것으로 판단된다.

6. 공극률과 동결융해저항성과의 관계

동결융해 100cycle 반복 후 압축강도와 공극률사이의 관계는 Fig. 7과 같다. 공극률이 증가할수록 압축강도는 감소하는 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 모든 배합에서 거의 동일하게 나타났다. 다만 비소성 무기결합재를 적용한 다공성 식생콘크리트 배합인 NSB (W), NSB (G)와 같은 경우는 공극률이 증가할수록 동결융해 반복 후 압축강도가 감소하는 경향을 보였지만 공극률이 비슷한 황토+시멘트를 적용한 LOC 배합과 비교하여 압축강도의 감소는 크지 않았다. 하중을 받는 생태공원 도로 등에서는 겨울철을 지나고 나서 파괴현상을 많이 보이고 있다. 그러나 본 연구에서는 하중을 받지 않는

Fig. 7 Relationship between compressive strength and void ratio of non-sintering inorganic binder porous vegetation concrete after repeated freezing and thawing cycles

식생콘크리트이기 때문에 일반적이 도로포장에 사용되는 투수콘크리트 보다는 상대적으로 동결융해저항성이 작으며 기존 식생콘크리트에 적용되는 고로슬래그 + 시멘트 배합, 황토 + 시멘트 배합과 비교하여 동결융해 저항성이 우수하기 때문에 식생콘크리트에 적용에는 큰 문제가 없을 것으로 보인다. 따라서 공극률 및 동결융해저항성 시험결과를 볼 때 다공성 식생콘크리트 배합에서 비소성 무기결합재는 황토+시멘트, 고로슬래그 + 시멘트를 대체하여 적용할 수 있고, 적용시 동일한 공극률에서는 보다 우수한 동결융해 저항성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

7. 식생모니터링 결과

배합별로 식생을 파종한 후 모니터링을 실시하였으며, 식생은 한지형 양잔디인 티프타입 톨페스큐를 사용하였다. 모니터링 결과는 Fig. 8에 나타내었으며, 식생 파종 6일 후부터 싹이 나기 시작하였고, 10일 후에는 무성하게 자라났음을 알 수 있다. 배합별로 보면 식생 피복률이 BSC 및 LOC 배합 보다 NSB (W) 및 NSB (G) 배합이 보다 우수하게 나타났다. 따라서 비소성 무기결합재는 다공성 식생콘크리트의 결합재인 고로슬래그+시멘트와 황토+시멘트를 대체하여 적용할 수 있을 것으로 보인다. 즉 비소성 무기결합재를 다공성 식생콘크리트에 적용하여도 식생이 잘 자라기 때문에 녹화 적용이 가능할 것으로 판단된다.

(a) 1 day after seeds planted

(b) 6 day after seeds planted

(c) 10 day after seeds planted

Fig. 8 Vegetation monitoring of non-sintering inorganic binder porous vegetation concrete

IV. 결론

본 연구에서는 시멘트를 대체하여 비소성 무기결합재를 다공성 식생콘크리트에 적용하고자 현재 다공성 식생콘크리트에 적용하고 있는 고로슬래그 + 시멘트, 황토 + 시멘트와 비소성 무기결합재를 적용한 다공성 식생콘크리트의 물리·역학적 특성 및 동결융해저항성, 식생특성을 비교 평가하였다. 시험결과를 이용한 결론은 다음과 같다.

1. pH 및 공극률 시험결과 고로슬래그 + 시멘트, 황토 + 시멘트를 사용한 배합과 비교하여 비소성 무기결합재를 적용한 다공성 식생콘크리트의 pH가 약간 감소하였다.

그러나 공극률은 거의 유사한 결과를 나타냈다.

2. 재령별 압축강도 시험결과 흰색의 비소성 무기결합재는 기존 결합재로 사용되는 고로슬래그 + 시멘트, 황토 + 시멘트와 비교하여 28일 및 91일 강도가 낮게 나타났다. 그러나 회색의 비소성 무기결합재는 동등하거나 약간 압축강도가 크게 나타났다.
3. 동결융해저항성 시험결과 28일 및 91일 모두 비소성 무기결합재를 적용한 배합이 기존 다공성 식생콘크리트의 결합재로 사용되는 고로슬래그 + 시멘트, 황토 + 시멘트와 비교하여 우수한 잔류강도를 보였다.
4. 식생모니터링결과 비소성 무기결합재를 사용한 다공성

식생콘크리트의 피복율이 고로슬래그+시멘트 및 황토+시멘트를 적용한 다공성 식생콘크리트 보다 높게 나타나 녹화적용은 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Cho, C.G., H.J. Lim, K.H. Yang, J.K. Song, and B.Y. Lee, 2012. Basic mixing and mechanical tests on high ductile fiber reinforced cementless composites. *Journal of the Korea Concrete Institute* 24(2): 121-127 (in korean).
2. Cho, C.G., B.J. Kim, K.H. Yang, and J.K. Song, 2012. Strength development of blended sodium alkali-activated ground granulated blast-furnace slag (GGBS) mortar. *Journal of the Korea Concrete Institute* 24(2): 137-145 (in korean).
3. Choi, H.Y., M.H. Kim, H.Z. Hwang, and S.W. Choi, 2001. Experimental study on the properties of concrete by the kinds of admixture and the replacement ratios of activated hwangtoh. *Journal of the Korea Concrete Institute* 13(2): 123-129 (in korean).
4. Han, S.H., and M.J. Yong, 2009. The future of concrete admixture industry for low carbon, green growth. *Magazine of Concrete Research* 21(4): 41-43 (in korean).
5. Kim, D.H., C.S. Kim, and C.G. Park, 2013. Physical and mechanical properties of non-cement porous concrete with alkali-activator contents. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 52(3): 9-17 (in korean).
6. Kim, H.H., S.M. Kang, J.S. Park, S.W. Park, J.H. Jeon, J.H. Lee, S.S. Cha, and C.G. Park, 2010. Performance evaluation of porous hwang-toh concrete using blast furnace slag cement. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 52(3): 9-17 (in korean).
7. Kim, Y.R., and Y.C. Song, 2013. Manufacturing technology of mortar compound for floor using non-sintering inorganic binder. *Magazine of Recycled Construction Resource Institute* 8(2): 30-34 (in korean).
8. Mun, H.Y., S.J. Jung, and N.K. Lim, 1997. Blast furnace slag aggregate. *Magazine of the Korea Concrete Institute* 9(6): 18-22 (in korean).
9. Park, S.B., B.C. Lee, J.H. Kim, and D.Y. Yun, 2002. Planting-ability valuation of porous concrete using industrial by-products. *Journal of the Korea Concrete Institute* 14(4): 623-629 (in korean).
10. Park, S.B., and C.D. Lim, 2000. Concrete for planting. *Magazine of the Korea Concrete Institute* 12(5): 38-42 (in korean).
11. Sung, C.Y., and Y.I. Kim, 2002. Experimental study on pH reduction by neutralization treatment and curing methods of porous concrete for planting. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 44(2): 99-106 (in korean).
12. Sung, C.Y., and Y.I. Kim, 2003. Experimental study on development of plantable concrete block using rice straw ash and application for inclined plane. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 45(3): 107-114 (in korean).
13. Yang, K.H., J.K. Song, and K.H. Lee, 2011. A Stress-strain relationship of alkali-activated slag concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute* 23(6): 765-772 (in korean).
14. Youn, J.N., C.Y. Sung, and Y.I. Kim, 2009. Physical and mechanical properties of porous concrete using waste activated carbon. *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 51(2): 21-27 (in korean).