Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers
Vol. 52, No. 3, pp. 9~17, May, 2010

고로슬래그시멘트를 사용한 다공성 황토콘크리트의 성능 평가

Performance Evaluation of Porous Hwang-toh Concrete Using Blast Furnace Slag Cement

김황희* · 강수만* · 박종식** · 박상우*** · 전지홍**** · 이진형***** · 차상선***** · 박찬기******,†

Kim, Hwang Hee* · Kang, Su Man* · Park, Jong Sik** · Park, Sang Woo*** · Jeon, Ji Hong**** · Lee, Jin Hyung***** · Cha, Sang Sun***** · Park, Chan Gi******,†

ABSTRACT

This study aims to evaluate a porous concrete using hwang-toh, blast furnace slag and blast furnace slag (BFS) cement instead of type I cement. The tests that were carried out to analysis the properties of porous hwang-toh BFS cement concrete included compressive strength, continuous void ratio, absorption rate, and pH value, repeated freezing and thawing test were conducted. Test results indicated that the performance in porous hwang-toh concrete are effective on the kaoline based binder materials. The pH value were shown in about 9.5 ~ 8.5. The compressive strength was increased and void ratio was decreased with increasing the kaoline based binder materials, respectively. The void ratio and compressive strength were in the range of about 21 ~ 30 %, 8 ~ 13 MPa, respectively. The increased in void ratio of more than 25 % is showed to reduce the resistance of repeated freezing and thawing. Also, the resistance of repeated freezing of thawing and the compressive strength of porous hwang-toh BFS cement concrete are independent with hwang-toh content and BFS cement amount. But, the void ratio was decreased with increasing the high volume hwang-toh contents (more than 15 %).

Keywords: Blast furnace slag; Hwang-toh; Porous concrete; Strength; Void ratio

I. 서 론

최근 환경 문제를 의식한 재료에 관한 개념으로써 지속가능한 개발 재료인 친환경재료 (Environment Conscious Materials, 이하 에코재료)에 대한 연구가 지속적으로 증가하고 있다 (Park et al., 2000; Choi et al., 1998). 특히 재료적 측면에서의 다양한 요구 성능을 만족하기 위한 연구가 환경문제라는 시대적 요구와 맞물려 새로운 재료의 개발이라는 절실한 상황에 당면하게 되었다 (Youn et al., 2009). 하지만, 시멘트가 가지는 경제성과 구조적인 특성을 감안하여 볼 때 향후 시멘트를 대체할만한 재료의 발견이 용이하지 않다 (Choi et al, 2001). 이러한 관점에서 최근 대두되고 있는 자원의 재활용과 환경 친화적인 재료 개발 등에 대한 연구가 증가하고 있다 (Park et al., 2002; Won et al., 2002). 그러나 경제성 및 물성의 측면에서 기존의 보통 포틀랜드시멘트로 제작된 콘크리트 제품을 만족 시키는 데는 어려움이 있다. 또한 시멘트외의 결합재가 반드시 친환경적인 재료라고는 단언하기 어렵다. 이는 품질이 저하된 결합재의 사용에 의한 환경오염과 재료의 구조적 수명을 다한 뒤의 재활용 문제에 있어서는 어느 재료도 자유롭지 못하기 때문이다. 재료의 일면에서는 현실적으로 실시되는 모든 생산의 한 요소에 지나지 않으나 다른 면에서는 새로운 생산을 하기 위한 전제조건이기도 하다. 즉 새로운 대체 재료의 등장 없이 새로운 재료 기술의 개발은 생각하기 어려운 일이 되었다. 황토는 인류가 예로부터 사용해온 건축재료인 목재, 석재와 더불어 가장 많이 사용되어져 왔다. 황토는 예로부터 우리의 주거생활 뿐만 아니라 식생활이나 민간요법 등에서 다양하게 활용되어져 왔다 (Nature and environment Inc, 2006). 특히 최근 생활수준의 향상으로 건강에 대한 관심이 높아지며 점토분의 황토를 이용하여 시멘트 제품 구성재료 중 일부를 대체 하거나 복합재료나 혼화재료를 첨가함으로써 건설재료로의 활용에 대한 방안을 모색하고 황토가 인체에 미치는 영향에 대

* (주) 자연과환경 생태환경공학연구소
** 한화건설 건설기술연구소
*** 서남대학교 토목환경공학과
**** 안동대학교 환경공학과
***** 공주대학교 대학원
****** 공주대학교 지역건설공학전공
† Corresponding author. Tel.: +82-41-330-1266
Fax: +82-41-330-1269
E-mail address: cgpark@kongju.ac.kr
2010년 1월 6일 투고
2010년 4월 9일 심사완료
2010년 4월 19일 게재확정

한 연구가 현재 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 특히 황토에서 방사되는 원적외선이 인체의 신진대사를 원활하게 하여 건강에 좋다는 인식이 대중화되면서 황토에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다 (Kang et al., 2008; Yang et al., 2006).

고로슬래그시멘트 또한 시멘트의 대체재로써 건설재료로서의 활용이 증가하고 있다 (Won et al., 2003). 고로슬래그는 특히 콘크리트의 강알칼리성분 (pH 12 ~ 13)을 중성화시킬 수 있는 재료로 수생태계의 영향을 미치지 않으면서 성능을 발휘할 수 있는 수중콘크리트 구조물 등에 널리 적용되어왔으며 콘크리트의 알칼리 성분을 중성화시키는 많은 결과를 나타내고 있다 (Won et al., 2002).

자연형 하천공법이란 도시화와 산업화로 훼손된 하천을 원래의 모습에 가깝게 되돌리거나, 치수나 다른 목적으로 하천을 정비할 필요가 있을 경우, 치수와 이수의 수리 수문학적 고려를 바탕으로 치수적 안정성을 충분히 유지할 수 있는 친환경적인 소재를 최대한 활용하여 하천을 자연에 가깝게 관리하는 방법이라고 정의 할 수 있다 (Nature and Environment Inc,; 2002). 자연형 하천공법에 적용되는 소재로는 다공성 식생 콘크리트 등이 있다 (Shim et al., 2004). 국내에서 다공성 콘크리트를 이용한 식생 콘크리트는 상당히 많은 연구결과를 통해 제품화에 성공하여 적용되고 있다 (Sung et al., 2002, 2003, 2004). 특히 친환경 하천복원 사업 등에 다양한 제품이 적용되고 있는 실정이다 (Park et al., 2000). 친환경 식생 콘크리트에 대한 연구는 상당히 많으나 최근에 실시된 연구를 살펴보면 산업부산물을 적용하여 재활용 효과를 극대화할 수 있는 방향으로 연구가 진행되고 있다 (Park et al., 2002).

다공성 식생 콘크리트에 있어서 식물의 생육을 활성화하기 위해서는 콘크리트의 강 알카리 성분을 중성화시켜야 한다. 따라서 본 연구에서는 고로슬래그시멘트와 고로슬래그를 이용하여 pH를 중성에 가깝게 하고, 흙의 성분과 비슷한 특성을 가지게 하기 위하여 시멘트의 사용량을 최소로 억제하고 흙성분의 황토를 적용한 다공성 콘크리트의 특성을 평가하고자 한다. 그러나 최근 연구들은 이러한 다공성 콘크리트보다는 천연재료인 황토에 대한 활용성을 넓히기 위해, 황토를 콘크리트의 혼화재로 사용하여 압축강도, 건조수축, 수화열 등에 대한 평가를 실시한 연구가 주를 이루고 있다 (Yang et al., 2006). 또한 최근 들어 친환경 콘크리트제품에 황토를 적용하여 시멘트의 사용량을 감소시키는 연구가 주로 진행되고 있다 (Choi et al., 2001).

본 연구에서는 산업부산물인 고로슬래그, 고로슬래그시멘트와 천연재료인 황토를 적용한 다공성 콘크리트의 성능을 평가하고자 한다. 기존 보통 포틀랜드시멘트의 사용을 억제하기 위하여 카올린계 재료, 고로슬래그시멘트, 고로슬래그 및 황토로 보통 포틀랜드시멘트를 대체한 다공성 황토 콘크리트의 물리·역학적 특성을 평가하였다.

II. 실험계획

본 연구는 고로슬래그, 고로슬래그시멘트, 황토 및 카올린계 재료 등의 사용량에 다공성 콘크리트의 성능을 평가하고자 기존의 연구 동향을 파악 및 분석한 후 사용재료의 특성을 파악하고 황토가 첨가된 기본배합을 결정하였다. 기본 배합에 카올린계 재료를 사용하여 시멘트 사용량을 감소시키고자 보통 포틀랜드시멘트 치환율에 따른 다공성 황토콘크리트의 성능을 평가하였다. 평가결과 카올린계 재료의 치환율을 결정하였다. 두 번째로 보통포틀랜드시멘트를 사용하지 않고 고로슬래그시멘트를 적용하고자 전체 결합재를 고정하고 고로슬래그시멘트 및 황토의 사용량 변화에 따른 성능 평가를 실시하여 다공성 황토콘크리트의 성능에 미치는 고로슬래그시멘트 및 황토의 영향을 평가였다. 일반적으로 다공성 식생 콘크리트의 pH는 식물의 생육을 활성화하기 위하여 중성에 가깝도록 규정하고 있으며, 압축강도는 5 ~ 30MPa, 공극률은 5 ~ 30 %이다. 본 연구에서는 기존 다공성 식생콘크리트의 블록의 신기술자료를 이용하여 제품 특성을 고려한 Table 1과 같은 목표를 설정하였다 (Nature and environment Inc, 2006). 즉 pH는 중성에 가깝게, 압축강도는 설계기준강도로 본 연구에서 설정한 8 MPa, 공극률은 20 % 이상, 동결융해저항성은 상대 동탄성계수 60 % 이상을 설정하였다. 특히 동결융해저항성의 경우 다공성 콘크리트는 큰 저항성을 가지지 못한다. 그 이유는 콘크리트의 공극에 수분이 침투하여 얼게 되면 팽창하여 쉽게 파괴를 발생시키기 때문이다. 본 연구에서는 기존 연구결과를 바탕으로 동결융해저항성을 100회 반복 후 상대 동탄성계수 60 % 이상으로 설정하였는데 이는 다공성 식생 콘크리트의 경우 표면에 식생토를 덮고 있어서 동결융해효과가 표면에 노출되는 경우보다 작아진다는 것을 고려하였기 때문이다 (Nature and environment, 2006).

Table 1 Target properties of porous concrete

Properties	pH	Compressive strength	Void ratio	Repeated freezing and thawing (100cycles)
Value	about 8 ~ 10	more than 8 MPa	more than 20 %	more than 60 %*

*: Relative dynamic elastic modulus

1. 사용재료

가. 시멘트

본 연구에 사용된 보통 포틀랜드시멘트 및 고로슬래그시멘트는 S사에서 제조된 제품을 적용하였다.

나. 고로슬래그 (Blast Furnace Slag)

본 연구에 사용된 고로슬래그는 국내 전남 청해 소재에서 생산되는 고로슬래그 미분말을 사용하였으며 Table 2에 그 물리·화학적 성질을 나타내었다.

다. 황토

황토는 중국에서 생산되어 고온 소성된 활성 황토 미분말(1000 ℃ 이상)을 사용하였으며 Table 3에 그 물리·화학적 성질을 나타내었다.

라. 카올린계 혼화재료

카올린계 혼화재료는 소석회, 무수석고와 메타카올린으로 구성되어 있으며 소석회와 무수석고 및 메타카올린의 물리·화학적 특성은 각각 Table 4, 5 및 6과 같다.

마. 고성능감수제

본 연구에 사용된 혼화제는 국내 M사에서 생산되는 비중 1.20, pH 8.75의 나프탈렌계 고성능 감수제를 사용하였다.

Table 2 Physical and chemical properties of blast furnace slag

Physical properties		Chemical composition (%)		
Specific gravity	Fineness (cm^2/g)	MgO	SO_3	L.O.I
2.91	4481	4.73	0.08	0.02

Table 3 Physical and chemical properties of hwang-toh

Chemical composition (%)					Specific gravity
SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	L.O.I	
61.4	6.62	15.1	6.42	2.9	2.72

Table 4 Physical and chemical properties of Calcium hydroxide

Physical properties	Chemical composition (%)		
Specific gravity	SiO_2	CaO	MgO
2.70	0.54	70.04	0.97

2. 배합

카올린계 재료와 시멘트에 대한 다공성 황토 콘크리트의 물성에 대한 영향을 평가하기 위하여 총 5개의 배합을 도출하였다. 고로슬래그는 총 결합재 대비 58 %, 황토결합재는 15 %로 고정하였다. 카올린계 결합재료는 시멘트 중량의 0 %, 15 %, 20 %, 30 % 및 40 %를 치환하여 적용하였다. 고성능 감수제는 결합제 중량의 1 %를 사용하였으며 굵은 골재는 최대치수 25 mm의 부순 골재를 적용하였다. Table 7은 다공성 황토콘크리트의 배합비를 나타낸다. 다공성 황토콘크리트의 비빔은 팬형 믹서기에 골재를 넣고 분말 재료들을 따로 넣어서 비빔을 하였다. 그 다음 물, 고성능감수제와 함께 2 ~ 3분간 비빔을 실시하였다.

3. 시험방법

가. pH

pH 측정은 각 배합마다 분말로만 페이스트를 만들어 일반 수돗물에 침적하여 0, 24, 48, 72시간 및 5일, 6일, 8일에 pH를 측정하였다.

나. 흡수율 실험

시험용 공시체를 24시간 물에 침적 후 그 무게를 측정하여 실시하도록 하였으며 흡수율은 식 (1)로 산출하였다.

Table 5 Physical and chemical properties of anhydrite

Physical properties		Chemical composition (%)				
Specific gravity	Fineness (cm^2/g)	SiO_2	CaO	SO_3	$CaSO_4$	L.O.I.
2.93	4550	0.80	40.54	56.79	96.57	0.95

Table 6 Physical and chemical properties of metakaoline

Physical properties		Chemical composition (%)						
Specific gravity	Fineness (cm^2/g)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2
2.5	150,000	49.40	46.23	0.54	0.05	0.16	017	1.79

Table 7 Mix proportion of red soil poros concrete

No. of mix	Cement	BFS cement	BFS*	Hwang-toh	Kaoline based binder	Water	Coarse agg.	Admixture**
1	91	0	195.4	50.5	0	87.6	1534	3.4
2	77.5	0	195.4	50.5	13.5	87.6	1534	3.4
3	72.8	0	195.4	50.5	18.2	87.6	1534	3.4
4	63.7	0	195.4	50.5	27.3	87.6	1534	3.4
5	54.25	0	195.4	50.5	36.75	87.6	1534	3.4

*: Blast furnace slag
**: High performance water reducing admixture

$$Absorption rate = \frac{(A-B)}{B} \times 100\,(\%) \qquad (1)$$

여기서, A는 시료의 포화무게이며 B는 시료의 건조무게이다.

다. 공극률 측정

JCI 에코 콘크리트 연구위원회의 "포러스 콘크리트의 공극율 시험방법 (안)"에 준하여 용적법에 의한 전공극율 및 연속공극율을 측정하였다. 식 (2) 및 (3)은 전공극율 및 연속공극율 측정식을 나타낸다.

$$Total\ void\ ratio = [1-(W_2-W_1)/V_1] \times 100\ (\%) \qquad (2)$$

여기서, V_1 : 공시체의 용적
W_1 : 공시체의 수중중량
W_2 : 24시간 기중 방치후의 기중중량

$$Continuous\ void\ ratio = [W_1/V_1] \times 100\ (\%) \qquad (3)$$

여기서, V_1 : 공시체의 부피
W_1 : 늘어난 물의 부피

라. 압축강도 시험

KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법에 의해 재령 7일 및 28일에 각각 실시하였으며 모든 시편은 유황 캡핑을 하였다.

바. 동결융해시험

KS F 2456-93 (급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 -17.8 ℃에서 4.4 ℃ 온도범위에서 공시체의 동결융해시험을 실시하였다. 동결융해 0, 30, 60, 90회 반복 후에 동탄성계수를 측정한 후 상대 동탄성계수를 계산하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. pH 측정

pH측정결과는 Fig. 1과 같다. 시험결과 다공성 황토콘크리트의 pH는 72시간 까지는 조금씩 상승하여 pH 9.5 정도의 최대값을 나타내지만 이후 조금씩 감소하여 9일 후에는 pH 8.5 정도의 값을 모두 보여주었다. 이는 콘크리트의 일반적인 pH 값인 12.6정도 보다는 크게 감소한 결과이다. 그러나 시멘트를 일정량 카올린계 재료로 치환하여 사용하여도 다공성 황토콘크리트 배합의 pH에는 큰 영향을 미치지 않았다. 이와 같은 결과는 pH에 영향을 미칠 수 있는 고로슬래그의 양이 시멘트 사용량에 약 2.2배를 사용하였고 시멘트의 사용량이 상대적으로 작아 카올린계 재료의 치환양이 작았기 때문이다.

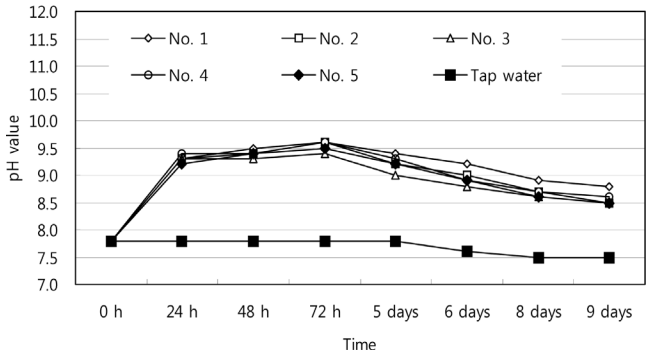

Fig. 1 pH value test results

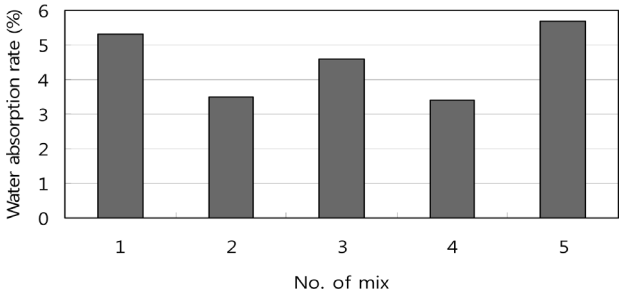

Fig. 2 Water absorption rate test results

2. 흡수율 시험

흡수율 시험결과는 Fig. 2와 같다. 시험결과 흡수율은 카올린계 재료의 치환율에 관계없이 일정한 경향을 나타내지 않았다. 그러나 모든 배합에서 약 3.5 ~ 5.5 정도의 값을 나타내었다. 따라서 카올린계 재료의 치환은 다공성 황토콘크리트 흡수율의 변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

3. 공극률

카올린계 재료의 치환율에 따른 공극률 시험결과는 Fig. 3과 같다. 시험결과 카올린계 재료의 치환율이 어느 정도 증가할 때까지는 공극률이 감소하는 결과를 보여주었으나 일정 치환율 이상이 되면 공극률이 증가하는 결과를 보여주었다. 치환율이 20 %치환일 때 (No. 3 배합) 공극률은 감소하나 치환율이 20 %를 초과 (No. 4 배합)하면 공극률이 증가하였다. 이와 같은 현상은 치환율이 20 %를 초과하는 카올린계 결합재료를 사용할 경우 시멘트 페이스트의 양이 감소하여 골재 및 황토와의 결합

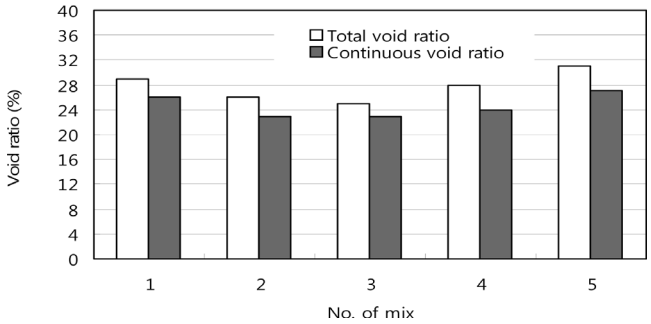

Fig. 3 Porosity test results

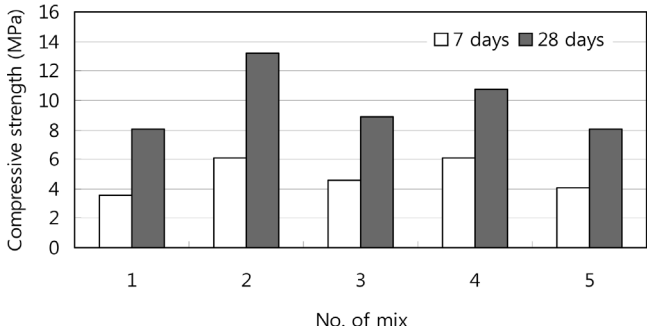

Fig. 4 Compressive strength test results

력이 감소하기 때문이다. 치환율 20%까지는 카올린계 재료의 사용에 따른 유동성의 증가로 공극을 채우는 효과와 골재, 황토, 시멘트 페이스트와의 결합력이 증가되어 공극률 감소가 발생한 것으로 보인다. 다공성 식생 콘크리트의 설계 목표와 비교하면 모든 배합에서 20% 이상 기준은 만족하였다.

4. 압축강도

카올린계 재료의 치환에 따른 압축강도 시험결과 치환하지 않은 다공성 황토콘크리트와 비교하여 압축강도는 7일 및 28일 모두 강도가 증가하는 것으로 나타났다 (Fig. 4). 특히 카올린계 재료를 15 % 치환한 No. 2 배합의 강도가 가장 크게 향상되었다. 그러나 카올린계 재료를 40 % 치환한 No. 5 배합에서는 치환하지 않은 No. 1 배합과 비교하여 압축강도 차이는 거의 발생하지 않았다. 따라서 카올린계 재료의 치환은 40 %를 초과하면 압축강도 향상에 큰 효과가 없는 것으로 보인다. 다공성 식생콘크리트의 설계기준 압축강도는 본 연구에서는 약 8 MPa 이상으로 설정하였으며 본 연구의 결과 모든 배합이 압축강도 기준을 만족하였다.

5. 압축강도와 공극률과의 관계

압축강도와 공극률과의 관계를 비교분석해보면 No. 2, No. 4

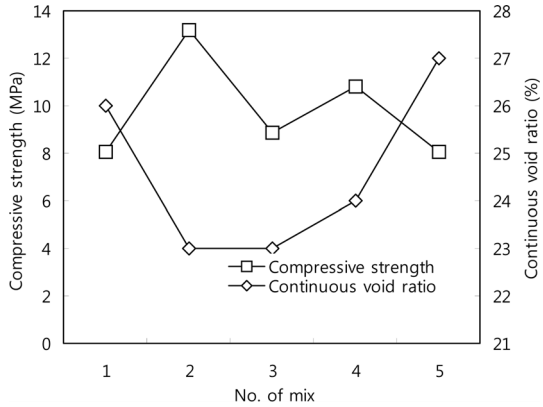

Fig. 5 Relationship compressive strength an continuous void ratio

Table 8 Dynamic elastic modulus (MPa)

No. of mix	0 Cycle	30 Cycle	60 Cycle	90 Cycle
No. 1	3260	2643	2090	Fracture
No. 2	3604	3557	3162	3017
No. 4	3030	2865	2554	2185
No. 5	3392	2907	Fracture	

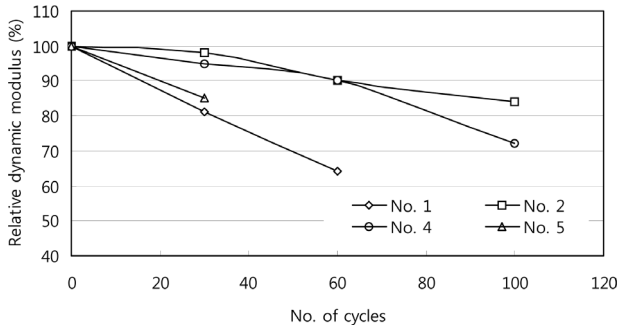

Fig. 6 Repeated freezing and thawing test results

및 No. 5 배합이 No. 1 배합과 비교하여 성능 향상효과가 있다 (Fig. 5). No. 3 배합은 압축강도 증가 없이 공극률만 크게 감소하기 때문에 다공성 황토 콘크리트의 목적에 적합하지 않으며, No. 2, 4 배합은 압축강도가 크게 증가하고 No. 5 배합은 압축강도의 증가는 크지 않으나 공극률이 크기 때문에 다공성 황토 콘크리트의 목적에 적합하다. 따라서 본 연구에서는 No. 3 배합을 제외한 나머지 배합을 이용하여 다공성 황토 콘크리트를 적용 할 때 성능에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 동결융해 저항성을 평가 하였다.

6. 동결융해 실험 결과

다공성 콘크리트는 상대 동탄성계수를 측정하는데 많은 어려

움이 있으며 측정되는 부분은 평행을 유지하여야 하고 주파수가 통과하는 부분은 일직선이 되어야하기 때문에 시편 모두 양면을 유황 캡핑 하여 측정하였다. Table 8은 동탄성계수를 나타내며, Fig. 6은 상대 동탄성계수 측정결과를 나타낸다. 시험결과 No. 5 배합은 30회 반복 후 파괴되었고, No. 1 배합은 60회 반복에서 모두 파괴되었다. 그러나 No. 2 배합과 No. 4 배합은 100회 반복에서 상대 동탄성계수 60 % 이상을 만족하였다. No. 2 배합은 80 %이상, No. 4 배합은 70 %이상의 값을 나타내었다. 동결융해시험결과를 보면 카올린계 재료를 시멘트 중량에 일정량을 치환하면 동결융해저항성이 우수해지지만 너무 많은 양을 치환하면 오히려 동결융해저항성이 떨어지는 결과를 보여주고 있다. 이는 압축강도, 공극률, 흡수율 등이 카올린계 재료의 치환으로 영향을 받기 때문이다.

7. 성능실험결과와 동결융해시험결과와 비교

압축강도와 동결융해반복시험결과 (100회 반복 후 상대 동탄성계수)를 비교해 보면 Fig. 7과 같다. 시험결과 압축강도시험결과가 가장 우수한 No. 2 배합이 가장 우수한 동결융해저항성

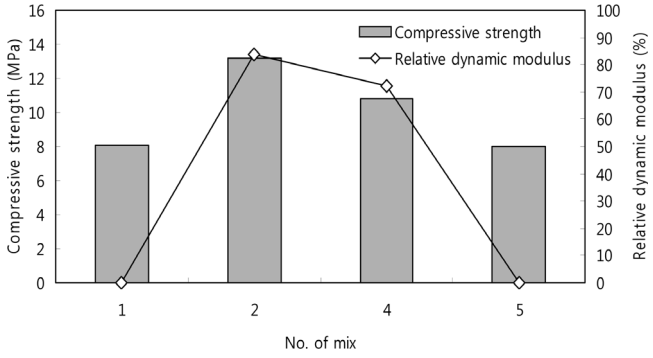

Fig. 7 Relationship compressive strength and relative dynamic modulus

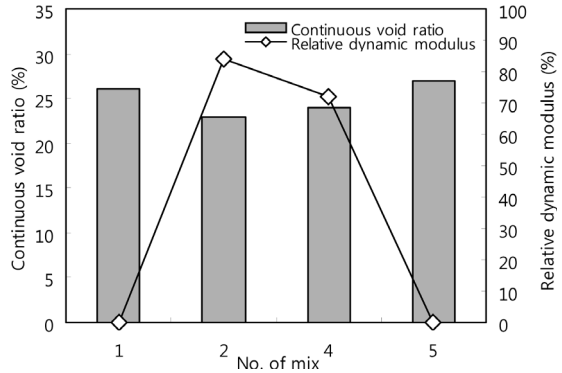

Fig. 8 Relationship continuous void ratio and relative dynamic modulus

을 나타내고 있으며, 압축강도가 8MPa 정도인 No. 1 배합과 No. 5 배합은 동결융해 저항성이 없는 결과를 보여주었다. No. 4 배합 역시 압축강도가 증가하기 때문에 상대 동탄성계수가 60% 이상을 나타내는 우수한 결과를 보여주고 있다.

다공성 황토콘크리트의 식생효과를 극대화할 수 있는 연속공극률과 동결융해저항성 시험결과를 비교해보면 Fig. 8과 같이 공극률이 증가하면 동결융해저항성이 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 시험결과를 비교해보면 다공성 황토콘크리트의 경우 연속공극률이 약 25 % 이상이 되면 동결융해저항성이 거의 없는 것으로 나타났다. 일반적으로 공극률이 증가하면 동결융해저항성은 크게 감소하는데 공극률이 20 % 이상이면 식생콘크리트의 기준을 만족하게 된다. 따라서 동결융해저항성을 확보하면서 식생조건을 만족시키기 위해서는 동결융해저항성을 향상시킬 수 있는 재료가 첨가되지 않는 한 20 ~ 25 %의 동 공극률을 가지게 하는 것이 바람직하다 (Nature and environment Inc, 2006).

다공성 황토 콘크리트의 카올린계 결합재의 치환율에 따른 성능시험 분석결과 No. 2 배합과 No. 4 배합이 가장 적정하다는 결과를 얻을 수 있었다. 특히 압축강도와 동결융해저항성이 우수한 No. 2 배합 (카올린계 재료 15 % 치환)을 본 연구에서는 적정배합으로 결정하여 이를 기준으로 보통 포틀랜드시멘트를 고로슬래그시멘트로 치환하는 동시에 황토의 사용량을 변화시켜 다공성 황토 콘크리트의 성능 변화를 평가하고자 한다.

8. 고로슬래그시멘트 및 황토 치환율에 따른 성능 평가

가. 고로슬래그시멘트 및 황토 사용량에 따른 배합

No. 2 배합을 기본으로 하여 보통 포틀랜드시멘트를 사용하지 않고 고로슬래그시멘트, 고로슬래그 및 황토의 사용량을 변화시켜 다공성 황토 콘크리트의 특성을 평가하였다. 황토의 양을 결합재 총량 (336.9 kg) 대비 0 %, 8 %, 10 %, 12 %, 15 %로 치환하고 고로슬래그는 117.9 kg으로 고정하였으며 나머지 양은 고로슬래그시멘트 양을 조절하였다. 배합비는 Table 9와 같다.

나. 공극률 측정결과

공극률 측정은 전공극률과 연속공극률의 두 가지 공극률을 측정하였으며 그 결과는 Fig. 9에 나타내었다. 전체 배합으로 보면 전공극률이 25 ~ 35 %, 연속 공극률이 23 ~ 29 % 정도를 공극률을 보여주었다. 또한 고로슬래그시멘트 및 황토의 사용량에 영향을 받고 있는데 황토의 사용량이 12 %일 때 까지는 거의 동일한 결과를 보여주다가 15 %일 때 공극률이 감소하는 결과를 나타내었다. 또한 고로슬래그 및 황토 사용량에 따른

Table 9 Mix proportion of hwang-toh poros concrete

No. of mix	Cement	BFS cement	BFS	Hawangtoh kg (%)	Kaoline based binder	Wate5r	Coarse agg.	Admixture (1 %)
BFS-1	-	205.5	117.9	0 (0 %)	13.5	87.6	1534	3.4
BFS-2	-	178.5	117.9	27 (8 %)	13.5	87.6	1534	3.4
BFS-3	-	171.8	117.9	33.7 (10 %)	13.5	87.6	1534	3.4
BFS-4	-	165.1	117.9	40.4 (12 %)	13.5	87.6	1534	3.4
BFS-5	-	155	117.9	50.5 (15 %)	13.5	87.6	1534	3.4

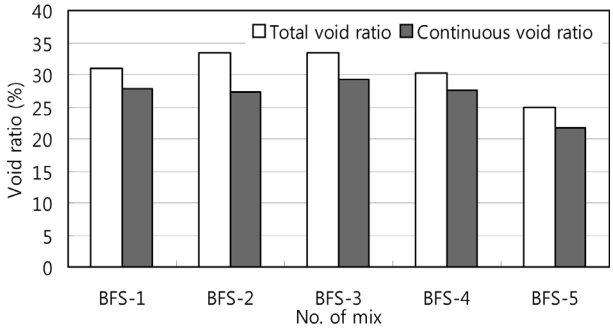

Fig. 9 Void ratio test results of BFS mix

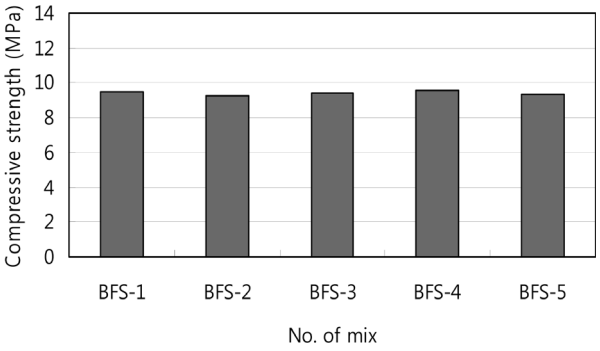

Fig. 10 Compressive strength test results of BFS mix

공극률은 일정한 경향을 나타내고 있지는 않다. 다만 결합재의 총량에서 고로슬래그시멘트 대신에 황토사용량을 증가시키면 적은 양을 치환했을 때는 큰 영향이 없지만 일정량 이상 황토가 추가되면 미분말 증가에 따른 공극률 감소가 발생하는 것으로 보인다. 그러나 본 연구의 설계 목표 공극률인 20 % 이상을 모두 만족하였다.

다. 압축강도 평가결과

압축강도시험결과를 살펴보면 Fig. 10과 같다. 시험결과 고로슬래그시멘트 및 황토사용량에 따른 압축강도의 변화는 크지 않았다. 압축강도는 약 9 MPa 정도를 나타내고 있다. 따라서 황토 사용량 및 고로슬래그 사용량에 따라 압축강도에는 큰 영향이 없었다. 또한 본 연구의 설계목표 압축강도인 8 MPa 이상을 만족하였다.

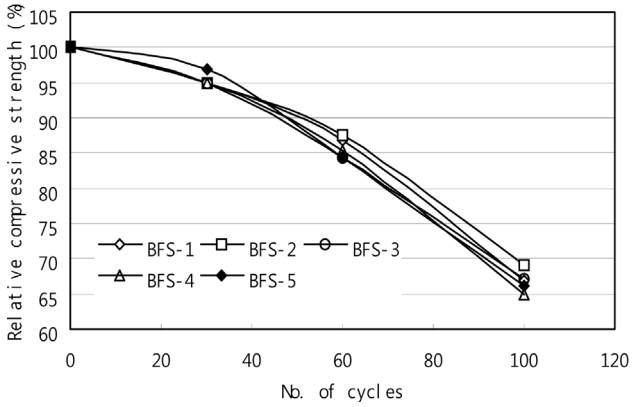

Fig. 11 Repeated freezing and thawing test results of BFS mix

라. 동결융해저항성 평가결과

황토 및 고로슬래그시멘트 사용량에 따른 동결융해저항성 시험결과는 Fig. 11과 같다. 본 연구에서는 동결융해저항성 시험에 적용되는 동탄성계수의 측정이 어려운 관계로 압축강도 공시체를 제작하여 30회, 60회 및 100회 반복 후 압축강도를 측정하여 상대 압축강도로 동결융해저항성을 평가하고자 하였다. 시험결과 모든 배합에서 65 % ~ 70 % 정도의 상대 압축강도를 보여주었다. 황토 및 고로슬래그시멘트 사용량에 따른 동결융해에 대한 저항성은 거의 비슷한 결과를 보여주어 이에 따른 영향은 적어 보인다. 또한 본 연구의 설계목표인 100회 반복 후 60 % 이상을 만족하였다.

마. 성능실험결과의 비교

압축강도와 연속공극률 시험결과 비교는 Fig. 12와 같다. 시험결과 BFS-5배합은 다른 배합과 강도는 큰 차이는 없으나 공극률이 감소하는 결과를 보여주고 있다. 그러나 공극률 감소 역시 설계목표 20 % 이상을 만족하고 있다.

Fig. 13은 압축강도와 동결융해반복 시험 후 상대압축강도시험결과와의 관계를 나타낸다. 시험결과 압축강도 및 상대압축강도의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 볼 때 황토 및 고로슬래그를 사용한 다공성 콘크리트의 경우 본 연구의 사용량에서는 압축강도와 동결융해 저항성 사이의 특

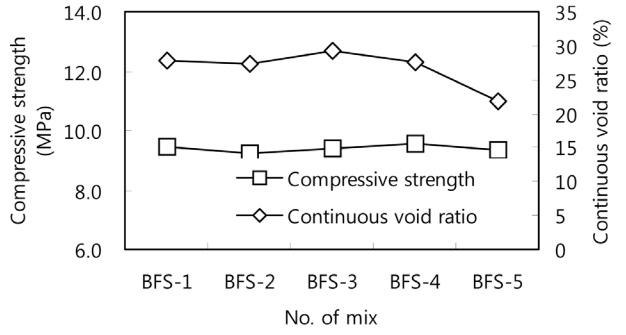

Fig. 12 Relationship compressive strength and continuous porosity

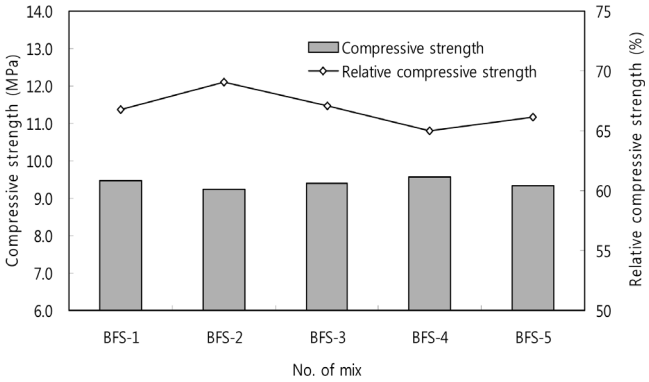

Fig. 13 Relationship compressive strength and relative compressive strength

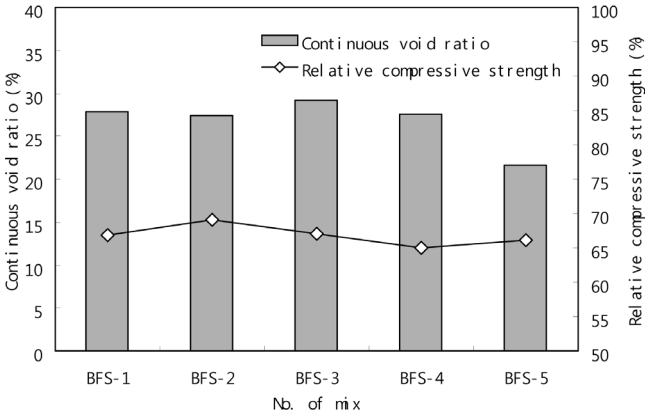

Fig. 14 Relationship continuous void ratio and relative compressive strength

별한 경향은 나타나지 않았다.

Fig. 14는 연속공극률과 동결융해 반복 후 상대압축강도 시험결과를 보여준다. 시험결과 상대압축강도는 모든 배합에서 큰 차이는 없었다. 또한 연속공극률은 BFS-5를 제외하면 큰 차이가 없었다. 이와 같은 결과로 볼 때 고로슬래그 및 황토를 사용한 배합의 경우 동결융해에 대한 저항성과 연속공극률사이에는 특별한 관계는 나타나지 않았다.

Ⅳ. 결 론

본 연구는 친환경재료로 최근 사용량이 증가하고 있는 황토와 고로슬래그, 고로슬래그시멘트 및 카올린계 재료 등으로 시멘트를 치환하여 친환경적인 다공성 콘크리트를 개발하고자 하였으며 이를 위하여 황토, 카올린계재료, 고로슬래그시멘트의 사용량에 따른 다공성 콘크리트의 성능을 평가하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 카올린계 재료의 치환율에 따른 pH, 흡수율 및 공극률 시험결과는 치환율에 관계 없이 모든 배합에서 pH 8.5, 공극률은 치환율 20 %까지는 감소하나 20 %초과를 하면 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 pH 및 공극률 모두 본 연구에서 설계한 목표를 만족하였다.

2. 카올린계 재료를 치환하면 압축강도는 증가하였으며 동결융해시험결과는 카올린계 재료를 일정량 사용하면 동결융해저항성이 우수해지지만 너무 많은 양을 치환하면 오히려 동결융해저항성이 감소하는 결과를 보여주었다.

3. 다공성 황토 콘크리트의 카올린계 결합재의 치환율에 따른 성능시험 분석결과 카올린계 재료를 15 % 치환한 배합이 우수한 성능을 보여주었다.

4. 시멘트를 고로슬래그시멘트로 치환하고, 황토 사용량에 따른 공극률시험결과 황토의 사용량이 12 %일 때 까지는 거의 동일한 결과를 보여주다가 15 %일 때 공극률이 감소하는 결과를 나타냈으며, 압축강도는 모든 치환율에서 약 9 MPa 정도를 보여주어 황토 사용량 및 고로슬래그 사용량에 따라 압축강도에 큰 영향은 없었다.

5. 황토 및 고로슬래그시멘트 사용량에 따른 동결융해저항성 시험결과 모든 배합에서 65 % ~ 70 % 정도의 거의 비슷한 상대 압축강도를 나타내어 큰 영향은 없는 것으로 보인다.

6. 황토 및 고로슬래그시멘트, 카올린계 결합재료의 사용에 따른 성능시험결과 본 연구의 설계목표를 모두 만족함으로써 황토 및 고로슬래그시멘트는 친환경재료로서 다공성 콘크리트에 적용이 가능할 것으로 보인다.

본 연구는 환경부 Eco-STAR project (수생태복원사업단)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. 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).

2. Choi, L., and J. C. Kim, 1998, Eco-Concrete, *Magazine of the korea concrete institute* 10(6): 11-21.
3. Kang, S. W., S. L. Lee., H. Z. Hwang., and M. C. Cho, 2008, Hydration Heat and Shrinkage of Concrete Using Hwangtoh Binder, *Journal of the korea concrete institute* 20(5): 549-555 (in Korean).
4. Nature and Environment Inc, 2002, A Study on Developing Porous Concrete using non-firing binder, Ecosystem Engineering Research Center, 2002 Research Development Project Report.
5. Nature and Environment Inc, 2006, Manufacturing Process of Porous Concrete Using Blast Furnace Slag, Hwangtoh, Recycling Aggregates, Report of construction new technology, 2006.
6. 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).
7. Park, S. B, and C. D. Lim, 2000, Concrete for Planting, *Magazine of the korea concrete institute* 12(5): 38-42.
8. 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).
9. 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).
10. Shim, K. Y., C. S. Kim, S. H. Lee, and Y. K. Joo, 2004. Effects of Sodding and Seeding Time and Rate of Seed Mixture on the Establishment of Cool-Season Turfgrasses, *Journal of the Korean Turfgrass Society* 18(4): 179-191 (in Korean).
11. 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).
12. Sung, C. Y., and Y. I. Kim, 2004, Engineering Properties for Planting of Porous Concrete Block Containing Rice Straw Ash, *Journal of the korea concrete institute* 16(3): 311-318 (in Korean).
13. Yang, K. H., H. Z. Hwang., S. Y. Kim., and J. G. Song, 2006, Effect of Superplasticizers and Admixtures on the Fluidity and Compressive Strength Development of Cementless Mortar Using Hwangtoh Binder, *Journal of the korea concrete institute* 18(6): 793-800 (in Korean).
14. Won, J. P., C. M. Lee., and C. G. Park, 2003, Durability characteristics of blended cement mortars, *Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers* 45(3): 41-49 (in Korean).
15. Won, J. P., Y. S. Kwon, and J. J. Lee, 2002, Properties of High-Performance Concrete Containing High - Reactivity Metakaolin, *Journal of the korea concrete institute* 14(3): 349-356 (in Korean).