

굴패각 및 고로슬래그 산업부산물을 재활용한 콘크리트 투수블록의 제조에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on Manufacturing Permeable Concrete Blocks from Recycled Industrial By-Products of Oyster Shell and Blast Furnace Slag

어석홍^{1*}, 허원석², 하상훈³, 이창열⁴

Seok-Hong Eo^{1*}, Won-Seok Huh², Sang-Hoon Ha³, Chang-Ryeol Lee⁴

〈Abstract〉

In this paper, bending strength and permeability tests were conducted on concrete permeable blocks manufactured by recycling industrial by-products of oyster shell and blast furnace slag to measure and compare bending strength and permeability coefficient, and present experimental research results. To this end, a total of 54 specimens with a size of 200x200x60mm for surface layer and base layer were manufactured, and bending strength and permeability test were carried out according to KS F 4419. Eighteen types of mixing designs were implemented by varying the mixing and replacement rates of oyster shells and blast furnace slag. As a result of the experiment, the higher the mixing ratio of oyster shell, the lower the bending strength and the permeability coefficient. Thereafter, a total of three permeable blocks with dimensions of 200x200x60mm were manufactured and subjected to bending strength and permeability tests according to KS F 4419. As a result of the test, the bending strength satisfies the standard of KS F 4419, and the permeability coefficient is 12 times higher than the standard of KS F 4419. It seems that the proper mixing of oyster shells and blast furnace slag increases the amount of air, and further research

1* 제1저자, 교신저자, 창원대학교 토목공학과, 정교수
E-mail: esh@changwon.ac.kr

1* Dept of Civil Engineering Changwon National University

2 제2저자, 부산광역시 동래구청, 건설과 주무관
E-mail: vv159855@naver.com

2 Busan Dongrae District Office

3 제3저자, 한국농어촌공사, 경남지역본부 수자원관리부 차장
E-mail: hsh1978@ekr.or.kr

3 Korea Rural Community Co. Gyeongnam Regional Headquarters

4 제4저자, (주)한국고서이엔지, 대표이사
E-mail: d970133@icloud.com

4 Hankook Koseo Engineering Co. Ltd.

on durability and economic feasibility of materials used to manufacture permeable blocks is required.

Keywords : Concrete Permeable Block, Bending Strength Test, Permeability test, Oyster Shell, Blast Furnace Slag, KS F 4419

1. 서론

각종 건축 및 토목 구조물에 널리 사용되고 있는 콘크리트의 구성 재료인 시멘트는 제조과정에서 지구온난화를 초래하는 엄청난 양의 이산화탄소를 내뿜는다는 사실은 알려져 있다. 그 양이 연간 22억 톤에 달해 세계 전체 이산화탄소 배출량의 8%를 차지하고 있다. 시멘트 산업 전체를 단일 국가로 환산하면 중국(27%), 미국(15%) 다음으로 많은 이산화탄소를 배출하고 있는 셈이다.^{1~2)} 이러한 대기 중 이산화탄소의 증가로 지구온난화가 가속화되고 있다. 지구온난화로 인해 지구 평균 기온이 1 °C 상승할 때마다 장마 강수량은 약 2~4%정도 증가할 수 있다. 또한 급격한 도시의 콘크리트화로 인해 불투수층이 증가하게 되며 표면 유출수가 증가하여 도시홍수의 빈도가 잦아지는 추세이다. 미국 하천복원연합기관의 보고서에 따르면 자연 상태에서는 빗물의 10%가 하천으로 흘러든다. 하지만 지표의 75~100%가 콘크리트와 아스팔트 등 물이 통과하지 못하는 불투수 재질로 덮인 도시에서는 하천 유입량이 55%로 급증하게 된다. 이러한 도시홍수를 방지하기 위해 현재 포장재료를 불투수성 블록에서 투수성 블록으로 교체하는 추세이다.^{3~9)}

본 연구에서는 이러한 지구온난화 및 도시홍수를 해결하기 위한 방안의 일환으로 시멘트 및 골재를 대체하여 산업부산물인 고로슬래그, 페로니켈슬래그, 굴폐각등을 재활용하여 KS F 4419 기준에 근거한 보도용 투수블록을 제조하고 그 강도

및 투수성능에 대한 실험적 연구를 수행하였다.

2. 실험

2.1 실험개요

다양한 배합비에 따른 투수블록의 휨강도 및 투수계수를 실험하기 위하여 골재 중량의 굴폐각 혼입률(0%, 10%, 20%), 시멘트 중량의 고로슬래그 치환율(0%, 30%, 50%)을 주요 배합변수로 설정하였다. 각 배합별 3개씩 총54개의 블록시험체를 제작하여 7일간 양생하였다. 각 배합비에 따른 시험체의 투수계수 및 휨강도의 변화를 측정하여 기준값과 비교 후 배합비에 따른 개선효과를 검토하였다. 본 실험에서 표층의 투수계수 기준은 KS F 4419 투수성 기준의 10배인 1 mm/sec로 설정하였으며, 기층의 투수계수 기준은 목표값인 2.5 mm/sec로 설정하였다. 표층의 휨강도 기준은 목표값인 2 MPa로 설정하였으며, 기층의 휨강도 기준은 KS F 4419 보도용 투수블록 기준 4 MPa로 설정하였다. 이후 각 기준값을 만족하는 표층 및 기층의 최적배합비를 도출하여 표층과 기층을 블록성형기로 압축제작한 투수블록을 제조 후 투수계수 및 휨강도 시험을 진행하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 밀도 3.14 g/cm³,

분말도 2,800 cm²/g, SiO₂ 21.8%, Al₂O₃ 5.8%, CaO 60.6%인 국내 D사 제품의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.2.2 골재

본 실험에 사용된 골재는 입도가 1~5mm인 페로니켈슬래그(FNS)와 5mm이하의 굴패각 분쇄시료 그리고 입도가 15~20mm인 자갈을 혼합하여 사용하였으며, 혼입에 사용된 각 골재의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2.2.3 혼화제

시멘트 분산작용에 의해 강도와 내약품성 등 투수블록의 성질을 개선시키기 위하여 혼화제로

Table 1. Properties of aggregates

Items	Specific gravity	Absorption (%)	Gmax (mm)
FNS	2.59	0.1	5
Coarse	2.67	0.4	20
Oyster shell	1.85	9.2	5

Table 2. Physical properties of silica fume

Specific gravity	Particle size (0-45 μm)	Loss ignition	Fineness (cm ² /g)
2.2	1 or less	3%max	150,000~300,000

Table 3. Physical properties of SBR

TSC (%)	pH	Specific gravity (kg/m ³)	Viscosity (cps)	Average size (A)
47.0	9~11	1090	<500	1600

Table 4. Physical properties of blaster furnace slag

Specific gravity	Loss ignition	Fineness (cm ² /g)	Chloride ion
2.80	3%or less	7,000~10,000	0.02

서, 실리카 흙, 라텍스 혼합물(SBR) 그리고 1종 고로슬래그 미분말을 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 2, 3, 4와 같다.

2.2.4 혼화제

굴패각의 대체시 발생할 예상되는 작업성의 저하와 강도감소 문제를 보완하기 위하여 국내 S사 제품의 고성능감수제를 사용하였다.

2.3 시험체의 제작

본 실험에 사용된 시험체는 Fig. 1(A)와 같이 단면이 200mm x 200mm, 두께 60mm 크기로 KS F 4419 규격에 의거하여 제조한 공시체이다. 표층 및 기층 각 9개의 배합비에 따른 시험체의 투수계수 및 힘강도를 시험하여 비교한 후 최적의 배합비를 선정하고 Fig. 1(B)와 같이 표층의 두께 6mm, 기층의 두께 54mm 크기로 단면이 200mm x 200mm인 투수블록을 제조하였다.

각각의 배합비에 대하여 동일한 3개씩 총 54개의 시험체를 제작하였다. Table 5, 6에 각 실험변

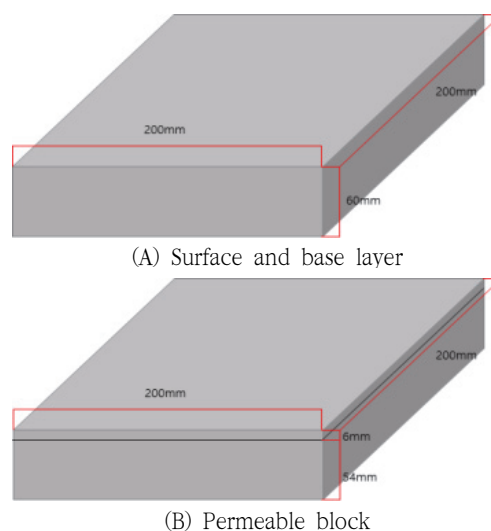


Fig. 1 Dimensions of specimen and permeable block

Table 5. Design of mix proportions

Spec.	W/B (%)	Aggregate particle size (mm)	Unit Weight (kgf/m ³)							Ad (%)
			W	C	A	OS	BFS	SF	SBR	
A	35	1~5	100	287	1084	-	-	15	30	0.8
B			100	287	1804	179	-	15	30	0.8
C			100	287	1804	327	-	15	30	0.8
D			100	199	1804	-	86	15	30	0.8
E			100	142	1804	-	142	15	30	0.8
F			100	199	1804	179	86	15	30	0.8
G			100	142	1804	179	142	15	30	0.8
H			100	199	1804	327	86	15	30	0.8
I			100	142	1804	327	142	15	30	0.8
J		15~20	151	433	1551	-	-	48	24	1.1
K			151	433	1551	179	-	48	24	1.1
L			151	433	1551	327	-	48	24	1.1
M			151	301	1551	-	129	48	24	1.1
N			151	215	1551	-	215	48	24	1.1
O			151	301	1551	179	129	48	24	1.1
P			151	215	1551	179	215	48	24	1.1
Q			151	301	1551	327	129	48	24	1.1
R			151	215	1551	327	215	48	24	1.1

Table 6. Experimental program

Spec.	Aggregate particle size (mm)	Contents of Oyster Shell (%)	Blaster Furnace slag replacement ratio (%)
A	1~5	0	0
B	1~5	10	0
C	1~5	20	0
D	1~5	0	30
E	1~5	0	50
F	1~5	10	30
G	1~5	10	50
H	1~5	20	30
I	1~5	20	50
J	15~20	0	0
K	15~20	10	0
L	15~20	20	0
M	15~20	0	30
N	15~20	0	50
O	15~20	10	30

Table 6. (Continued)

Spec.	Aggregate particle size (mm)	Contents of Oyster Shell (%)	Blaster Furnace slag replacement ratio (%)
P	15~20	10	50
Q	15~20	20	30
R	15~20	20	50



Fig. 2 Moulding and curing of test specimens

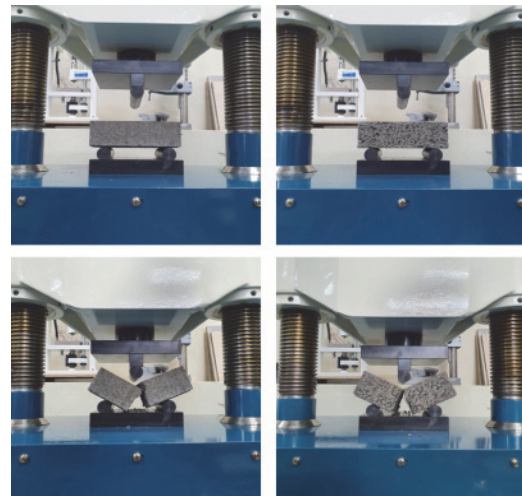


Fig. 4 Test for bending strength of the specimens



Fig. 3 Test for permeability of the specimens

수를 정리한 표와 구체적인 배합설계표를 나타내었고, Fig. 2~4에 시험체 제작 과정, 투수계수 및 휨강도 시험 과정을 나타내었다.

배합비에 따른 투수블록의 성능개선 효과를 알아보기 위한 실험은 3단계로 나누어 진행하였다. 1단계는 표층 및 기층 시험체를 각각 배합하여 항온항습 양생기를 이용하여 양생시켜 시험체를 제조하였다.

2단계에서는 휨강도 시험기 및 투수계수 시험

기를 이용하여 KS F 4419 기준에 의거하여 시험을 진행한 후 배합비에 따른 투수블록의 투수계수 및 휨강도 변화를 비교 분석하여 최적배합비를 도출하였다.

3단계에서는 도출된 최적배합비를 사용하여 투수블록을 제조한 후 KS F 4419 기준에 의거하여 투수계수 및 휨강도 시험을 진행한 후 KS F 4419 기준과 비교 분석 하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 배합비에 따른 투수계수 변화

표층시험체(A, B, C, D, E, F, G, H, I시리즈)

Table 7. Coefficients of permeability for mix proportions

Spec.	Permeability (mm/sec)			Avg. (mm/sec)
	1	2	3	
A	1.31	1.27	1.28	1.29
B	1.38	1.39	1.38	1.38
C	0.99	1.18	1.06	1.08
D	0.83	0.89	0.90	0.87
E	0.67	0.69	0.76	0.71
F	1.07	1.19	1.21	1.16
G	0.68	0.63	0.62	0.65
H	0.78	0.76	0.75	0.76
I	0.32	0.31	0.31	0.31
J	2.80	2.82	2.72	2.78
K	2.76	2.73	2.79	2.76
L	2.71	2.66	2.66	2.68
M	2.53	2.54	2.58	2.55
N	2.32	2.33	2.40	2.35
O	2.62	2.58	2.63	2.61
P	2.22	2.17	2.15	2.18
Q	2.51	2.48	2.53	2.51
R	2.04	2.03	1.99	2.02

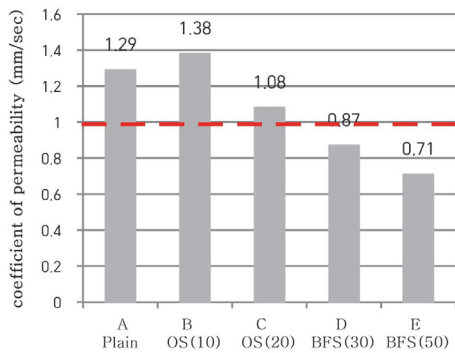


Fig. 5 Change of permeability coefficient for surface layer specimens with single use of oyster shell or blast furnace slag

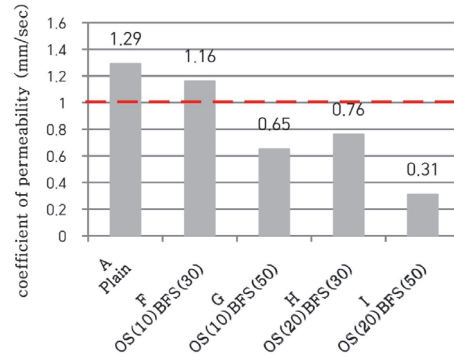


Fig. 6 Change of permeability coefficient for surface layer specimens with combined use of oyster shell and blast furnace slag

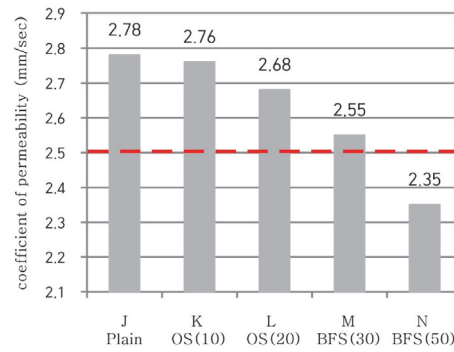


Fig. 7 Change of permeability coefficient for base layer specimens with single use of oyster shell and blast furnace slag

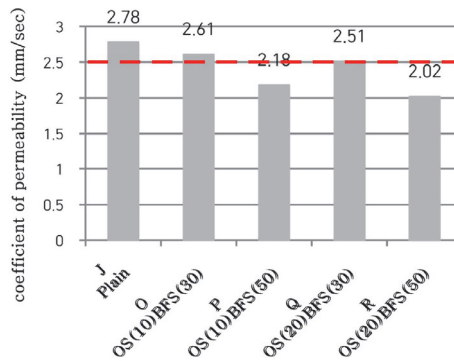


Fig. 8 Change of permeability coefficient for base layer specimens with combined use of oyster shell and blast furnace slag

그리고 기층시험체(J, K, L, M, N, O, P, Q, R 시리즈)를 이용하여 각 배합비에 따른 투수계수 시험 결과를 Table 7에 나타내었다. Fig. 5, 6은 표층시험체의 투수계수변화를 나타낸 것이다. Fig. 7, 8은 기층시험체의 투수계수변화를 나타낸 것이다.

표층시험체의 경우 투수계수 기준값을 KS F 4419 투수성 기준의 10배인 1mm/sec로 설정하였고, 기층시험체의 경우 목표기준값을 2.5mm/sec로 설정하였다.

Fig. 5와 같이 표층의 경우 굴패각 혼입률 10%인 B 시험체의 투수계수는 굴패각과 고로슬래그를 넣지 않은 표층의 기준이 되는 A 시험체와 비교하였을 때 평균 7.0%투수계수가 증가하였고 굴패각 혼입률 20%인 C 시험체와 A 시험체를 비교하였을 때 평균 16.3%감소하여 적절한 굴패각의 혼입은 투수계수 증진의 효과가 발생하는 것을 볼 수 있었다. 고로슬래그 치환율 30%인 D 시험체의 투수계수는 A 시험체와 비교하였을 때 평균 32.6%감소하였고 고로슬래그 치환율 50%인 E 시험체의 투수계수는 A 시험체와 비교하였을 때 평균 45.0%감소하여 고로슬래그 치환율이 커질수록 투수계수 감소 효과가 발생하는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 6과 같이 굴패각과 고로슬래그를 복합 혼입하였을 때 A 시험체와 비교하였을 때 F 시험체는 평균 10.1%감소, G 시험체는 평균 49.7%감소, H 시험체는 평균 41.1%감소, I 시험체는 평균 76%감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 7과 같이 기층의 경우 굴패각 혼입률 10%인 K 시험체의 투수계수는 굴패각과 고로슬래그를 넣지 않은 기층의 기준이 되는 J 시험체와 비교하였을 때 평균 0.8%투수계수가 감소하였고 굴패각 혼입률 20%인 L 시험체와 J 시험체를 비교하였을 때 평균 3.6%감소하여 기층의 경우 굴패각의 혼입이 투수계수에 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다. 고로슬래그 치환율 30%인 M 시험체의 투수계수는 K 시험체와 비교하였을 때

평균 8.3%감소하였고 고로슬래그 치환율 50%인 N 시험체의 투수계수는 K 시험체와 비교하였을 때 평균 15.5%감소하여 고로슬래그 치환율이 커질수록 투수계수 감소 효과가 발생하는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 8과 같이 굴패각과 고로슬래그를 복합 혼입하였을 경우 K 시험체와 비교하였을 때 O 시험체는 평균 7.1%감소, P 시험체는 평균 21.6%감소, Q 시험체는 평균 8.7%감소, R 시험체는 평균 27.3%감소하는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 배합비에 따른 휨강도 변화

표층시험체(A, B, C, D, E, F, G, H, I시리즈) 그리고 기층시험체(J, K, L, M, N, O, P, Q, R시

Table 8. Bending Strength according to mix proportions

Spec.	Bending Strength (MPa)			Avg. (MPa)
	1	2	3	
A	1.75	1.68	1.70	1.71
B	1.68	1.71	1.69	1.7
C	1.59	1.58	1.61	1.59
D	1.91	1.90	1.98	1.93
E	2.25	2.24	2.19	2.23
F	2.03	2.13	2.05	2.07
G	2.41	2.42	2.44	2.42
H	2.23	2.14	2.21	2.19
I	2.58	2.56	2.63	2.59
J	2.97	2.88	2.90	2.92
K	2.86	2.84	2.84	2.85
L	2.51	2.49	2.58	2.53
M	3.61	3.64	3.63	3.63
N	4.18	4.28	4.21	4.22
O	3.75	3.81	3.77	3.78
P	4.22	4.18	4.15	4.18
Q	4.13	4.11	4.11	4.12
R	4.52	4.64	4.49	4.55

리츠)를 이용하여 배합비에 따른 각각의 시험체의 휨강도 시험결과는 Table 8과 같다. Fig. 9, 10은 표층시험체의 휨강도변화를 Fig. 11, 12는 기층시험체의 휨강도변화를 각각 막대그래프로 나타낸 것이다.

표층시험체의 경우 휨강도 기준값을 MPa로 설정하였고, 기층시험체의 경우 기준값을 KS F 4419 보도용 투수블록 기준 4 MPa로 설정하였다.

Fig. 9와 같이 표층의 경우 굴패각 혼입률 10%인 B 시험체의 휨강도는 굴패각과 고로슬래그를 넣지 않은 표층의 기준이 되는 A 시험체와 비교

하였을 때 평균 0.6%휨강도가 감소하였고 굴패각 혼입률 20%인 C 시험체와 A 시험체를 비교하였을 때 평균 7.0%감소하여 굴패각의 혼입은 휨강도 감소의 효과가 발생하는 것을 볼 수 있었다. 고로슬래그 치환율 30%인 D 시험체의 휨강도는 A 시험체와 비교하였을 때 평균 12.9%증가하였고 고로슬래그 치환율 50%인 E 시험체의 휨강도는 A 시험체와 비교하였을 때 평균 42.0%증가하여 고로슬래그 치환율이 커질수록 휨강도 증진 효과가 발생하는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 10과 같이 굴패각과 고로슬래그를 복합 혼

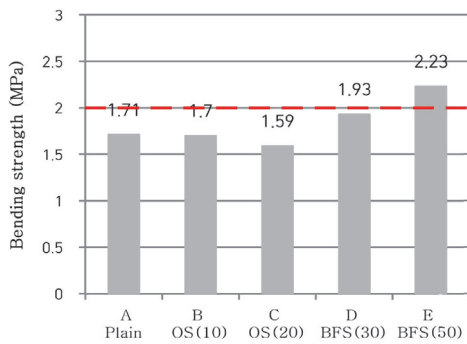


Fig. 9 Change of bending strength for surface layer specimens with single use of oyster shell or blast furnace slag

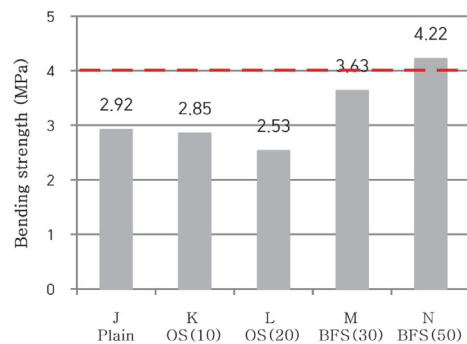


Fig. 11 Changes of bending strength for base layer specimens with single use of oyster shell or blast furnace slag

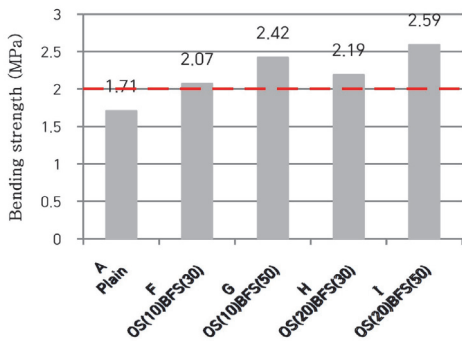


Fig. 10 Change of bending strength for surface layer specimens with combined use of oyster shell and blast furnace slag

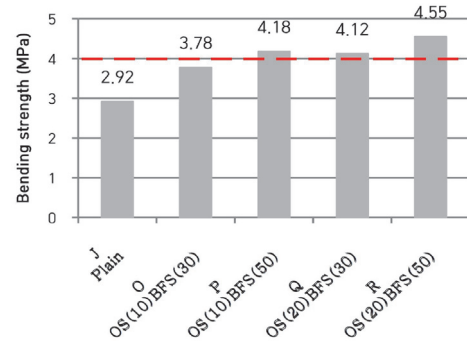


Fig. 12 Changes of bending strength for base layer specimens with combined use of oyster shell and blast furnace slag

입하였을 경우에는 A 시험체와 비교하였을 때 F 시험체는 평균 21.1%증가, G 시험체는 평균 41.5%증가, H 시험체는 평균 28.1%증가, I 시험체는 평균 51.5%증가하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 11, 12는 기층의 경우에 대한 시험결과로 먼저 단일 재료사용시 굴패각 혼입률 10%인 K 시험체의 휨강도는 굴패각과 고로슬래그를 넣지 않은 기층의 기준이 되는 J 시험체와 비교하였을 때 평균 2.4%휨강도가 감소하였고 굴패각 혼입률 20%인 L 시험체와 J 시험체를 비교하였을 때 평균 13.4%감소하여 굴패각의 혼입은 휨강도 감소의 효과가 발생하는 것을 볼 수 있었다. 고로슬래그 치환율 30%인 M 시험체의 휨강도는 K 시험체와 비교하였을 때 평균 24.3%증가하였고 고로슬래그 치환율 50%인 N 시험체의 휨강도는 K 시험체와 비교하였을 때 평균 44.5%증가하여 고로슬래그 치환율이 커질수록 휨강도 증진 효과가 발생하는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 12와 같이 굴패각과 고로슬래그를 복합 혼입하였을 때 K 시험체와 비교하였을 때 O 시험체는 평균 29.5%증가, P 시험체는 평균 43.2%증가, Q 시험체는 평균 41.1%증가, R 시험체는 평균 55.8%증가하는 것을 확인할 수 있었다.

3.3 투수블록의 투수계수 및 휨강도

표층의 경우 투수계수 및 휨강도 기준을 동시에 만족하는 배합비는 굴패각 10%, 고로슬래그 30% 대체혼입한 F 시험체이고 기층의 경우 굴패각 20%, 고로슬래그 30% 대체혼입한 Q 시험체로 확인하였다. 따라서 두 시험체를 Fig. 1과 같은 규격으로 블록성형기로 압력을 가하여 합성하여 제조한 후 KS F 4419에 의거하여 실시한 투수계수 및 휨강도 시험결과를 각각 Table 9 및 10에 나타내었다.

Table 9. Permeability coefficient of composite blocks

Spec.	Permeability (mm/sec)			Avg. (mm/sec)
	1	2	3	
F	1.07	1.19	1.21	1.16
Q	2.51	2.48	2.53	2.51
Block	1.18	1.22	1.19	1.20

Table 10. Bending strength of composite blocks

Spec.	Bending strength (MPa)			Avg. (MPa)
	1	2	3	
F	2.03	2.13	2.05	2.07
Q	4.13	4.11	4.11	4.12
Block	4.12	4.11	4.08	4.10

Table 9에서 표층 시험체의 투수계수는 1.16 mm/sec이며 기층 시험체의 투수계수는 2.51 mm/sec 이나 표층과 기층을 합성한 경우 KS F 4419 투수성 기준의 10배를 만족하는 1.20 mm/sec의 값을 얻었다.

Table 10에서 표층 시험체의 휨강도는 2.07 MPa이며 기층 시험체의 휨강도는 4.12MPa 이나 표층과 기층을 합성한 경우 KS F 4419 휨강도 기준인 4 MPa를 만족하는 4.10 MPa의 값을 얻었다. 결과적으로 투수계수는 표층에 의하여 좌우되며, 휨강도의 경우에는 기층에 의하여 좌우됨을 알 수 있었다.

4. 결론

지구온난화와 이상기후에 기인하는 도시홍수 해결방안의 일환으로 자원재활용과 에너지절감의 차원에서 산업부산물인 굴패각, 고로슬래그, 실리카흙, SBR 등을 치환 및 혼입하여 콘크리트 투수블록을 제조하여 휨강도 및 투수성 실험을 진행하고

KS F 4419의 기준과 비교검토한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 산업부산물인 굴패각과 고로슬래그를 재활용한 투수블록의 제조에 대한 연구 결과, 소요의 투수계수 및 휨강도를 얻기 위해서는 적절한 배합이 필수적인 것이라는 것을 확인할 수 있었다. 굴패각은 혼입률이 커질수록 투수계수와 휨강도는 감소하는 모습을 보이며, 고로슬래그는 치환율이 커질수록 투수계수는 감소하지만 휨강도는 증가하는 모습을 보였다.
- 2) 표층과 기층에 대하여 각각 배합비를 설정하고 그에 따른 투수계수 및 휨강도 시험을 실시한 결과로부터 얻은 각 층에 대한 최적 배합비를 사용하여 투수블록을 제조한 후 KS F 4419 기준에 따라 성능평가를 실시한 결과, 투수계수는 1.2 mm/sec으로 기준값보다 10배 이상 만족하는 것으로 나타났으며, 휨강도는 4.1 MPa으로 기준값을 약간 상회하여 만족하는 결과를 얻었다.
- 3) 추후 굴패각을 재활용한 투수블록의 정화 기능에 대한 연구 및 다른 산업부산물을 사용하여 실시하는 연구가 더 이루어져야 할 것이며, 나아가 실제 현장에 노출되는 투수블록의 내구성 및 경제성 등에 관한 연구가 더 이루어져야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 2023~2024년도 창원대학교 교내공모 과제 연구비지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

- [1] Gi Joon Park et al., "Trends in Carbon Dioxide Reduction Technology in Concrete Industry", 『Proceedings of the Korea Concrete Institute』, 2022, pp. 641~642.
- [2] Young Il Moon et al., "Development of Eco-Concrete Block Consider of Infiltration Effect", 『Proceedings of the Water Resources Institute』, 2011, pp.304-304.
- [3] KOREA STANDARD ASSOCIATIONS, "Concrete interlocking block for side walk and road", KS F 4419, 2016.
- [4] Seok Hong Eo et al., "Application of Oyster shells as Aggregates for Concrete", 『Journal of the Korea Concrete Institute』, 2001, pp. 540-548.
- [5] Jae Dang Ha et al., "Example of mix design method and construction of pervious concrete pavement", 『Journal of the Korean Geographical Society』, 2(2), p. 65-73, 2000.
- [6] Cheon Goo Han et al., "Engineering Characteristics Analysis of High Strength Concrete Followed in replacement ratio increase in Blast Furnace Slag", 『Journal of Korean Recycled Construction Resources Institute』, v.4. no.3, p. 62-68, 2009.
- [7] Bong Suk Cho et al., "A Study on Performance of Concrete using FeNi Slag Aggregate", 『한국콘크리트학회 학술대회 논문집』, p. 583-584, 2014.
- [8] Yu Chen, "Strength, fracture and fatigue of pervious concrete", 『Construction and Building Materials』, 42, p. 97-104, 2013.
- [9] Baoshan Huang et al., "Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete", 『Construction and Building Materials』, 24(5), p. 818-823, 2010.
- [10] Bashar S. Mohammed et al., "High Permeable Concrete Incorporating Pozzolanic Materials—An Experimental Investigation", 『IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium』, p. 657-661, 2013.