J Rec Const Resources 6(3)167-173(2018)
https://doi.org/10.14190/JRCR.2018.6.3.167

Print ISSN : 2288-3320
Online ISSN : 2288-369X

순환골재 공정부산물을 활용한 빗물저류블록의 성능평가

Evaluation of Rainwater Storage Block Using Recycled Aggregate By-product

김호규[1] · 김영안[2] · 최승용[3] · 조영근[4*]
Ho-Kyu Kim[1*] · Young-Ahn Kim[2*] · Seung-Yong Choi[3] · Young-Keun Cho[4*]

(Received September 4, 2018 / Revised September 13, 2018 / Accepted September 13, 2018)

In general, calcium is required for the reaction of blast furnace slag fine powder and fly ash. The by-products generated during the process of producing recycled aggregates have different calcium contents depending on the crushing stage and the possibility of using the process by-product as a concrete mixture is also different. In this study, the effect of the calcium content of the by-products on the compressive strength was investigated and the block was fabricated by using this. To utilize the by-products as an admixture, the calcium content was analyzed and the bending strength and surface temperature were measured according to the shape of the water storage block. As a result of this study, the possibility of making a block using recycled aggregate by-products was verified and arch type block was constructed to secure storage capacity and bending strength. Also, the surface temperature of the water storage block was reduced by 9°C or more than that of the general permeable block.

키워드 : 순환골재, 부산물, 저류블록, 압축강도, 표면온도

Keywords : Recycled aggregate, By-product, Water storage block, Compressive strength, Surface temperature

1. 서 론

도시의 인구 밀집화에 따라 도시 개발이 가속화 되면서 녹지공간 축소와 도로 등의 불투수면이 확대됨에 따라 도시 열환경이 더욱 악화되고 있으며, 도시열 순환에 영향을 주어 열섬현상이나 열대야 현상이 점차 늘고 있는 추세이다. 이러한 도시 열섬현상으로 인한 에너지 소비의 증가는 또 다른 환경문제를 발생시키고 있으며, 기후변화에 따라른 기습적인 폭우가 잦아지면서 도시의 재난 발생가능성도 커지고 있는 추세이다(Ko et al. 2017). 이에 기후변화에 대응하고 빗물의 투수, 저류 및 저장을 통해 빗물순환 체계를 고려한 환경복원 기술의 개발이 시급히 요구되고 있어 독일, 일본 등 선진국을 중심으로 도시 열환경 개선을 위한 정책 수립과 태양광 고반사 도료, 보수성 포장, 차열성 포장, 투수성 포장 등 관련 기술에 집중적으로 투자하고 있고 관련 블록 제품개발이 활발히 진행되어 일부 업체들이 판매하고 있다(Park et al. 2017). 국내에서는 투수성 포장의 경우 서울시 조례에서 규정하고 있지만, 빗물을 효율적으로 이용할 수 있는 포장블록에 대한 연구는 이제 개발단계로 빗물의 저류량이 적을 뿐만 아니라 고가인 점에서 경제적이지 못하다.

본 연구에서는 순환골재의 공정부산물을 활용하여 경제적이고, 자연친화적인 빗물저류블록의 압축강도, 휨강도, 공극률, 투수계수, 저류량 및 표면온도 저감평가 등의 실험을 통해 투수성과 최적 형상에 대한 저류량 확보 및 저류된 물의 증발산 효과에 의한 표면온도를 저감 성능을 평가하였다.

2. 실험 계획

2.1 사용재료

본 연구에 사용한 재료는 KS L 5201에서 규정하는 보통 포틀랜

* Corresponding author E-mail: young@kcl.re.kr

[1]한국건설생활환경시험연구원 선임연구원 (High-Tech Construction Materials Center, Korea Conformitiy Laboratories, Seoul, 08503, Korea)
[2]하나케이텍 기술연구소 연구소장 (Hana K-Tec, Kyonggi-do, 17402, Korea)
[3]하나케이텍 기술연구소 선임연구원 (Hana K-Tec, Kyonggi-do, 17402, Korea)
[4]한국건설생활환경시험연구원 책임연구원 (High-Tech Construction Materials Center, Korea Conformitiy Laboratories, Seoul, 08503, Korea)

Copyright ⓒ 2018 by Korean Recycled Construction Resources Institute

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

드 시멘트(OPC) 1종과 KS L 5405에 규정하는 플라이 애시(FA) 2종, KS F 2563에 규정하는 고로슬래그 미분말(GGBFS) 3종 및 순환골재 4~5차 파쇄단계에서 발생하는 공정부산물(WCP)을 사용하였으며 화학적 성질은 다음 Table 1과 같다.

또한, 골재는 KS F 2527에 규정하는 콘크리트용 골재 중 폐콘크리트 등과 같이 이미 경화된 콘크리트를 파쇄하여 가공한 순환굵은골재(RG) 및 순환잔골재(RS)를 사용하였으며 물리적 성질은 다음 Table 2과 같다.

Table 1. Physical properties and chemical components of binder

Chemical components(%)				
	OPC	FA	GGBFS	WCP
Type	I	II	III	-
SiO_2	25.0	60.2	34.8	60.2
Al_2O_3	4.37	20.0	14.1	10.5
Fe_2O_3	2.92	6.31	0.44	2.59
CaO	58.8	3.84	43.1	12.6
MgO	3.50	1.32	2.73	1.71
K_2O	1.07	0.57	0.22	1.73
Na_2O	0.12	1.24	0.53	2.50
SO_3	1.00	0.30	2.96	0.42
Ig.loss(%)	2.63	4.03	0.08	7.14

Table 2. Physical properties of aggregate

Type	Density(g/cm^3)	Absorption(%)
Recycled gravel(RG)	2.53	2.40
Recycled sand(RS)	2.38	3.80

2.2 배합 설계

배합은 시멘트 함량을 15%, 고로슬래그 미분말을 45%, 공정부산물 20%, 플라이애시 20%로 하였으며, 순환골재 공정부산물(WCP)는 생산공정 및 투입되는 폐콘크리트에 따라 공정부산물의 CaO 성분비의 변동이 크기 때문에, CaO 함량에 따른 강도발현 특성을 평가하기 위하여, 다양한 CaO 함량을 조정하여 실험하였다. CaO 함량은 폐콘크리트 1차파쇄에서 토사와 함께 배출되는 순환골재 공정부산물은 6.3%, 3차파쇄단계 9.2%, 5차파쇄(마쇄단계) 12.6%이었으며, 또한 경화된 시멘트 페이스트(CaO 함량 56.7%)를 분쇄하여 CaO 12.6%인 공정부산물에 혼합하여 CaO 함량을 15%와 20%로 조정하여 배합하였다. 각각의 모르타르의 배합인자 및 수준은 Table 3과 같다. 모르타르의 혼합은 바인더 450g, 물 225g, 표준사 1 350g을 기본배합으로 하고 KS L ISO 679에 따라서 혼합하였다.

순환자원을 90% 이상 활용하는 저류블록 배합은 단위결합재량은 300kg/m^{3}으로 하였으며, 잔골재율(s/a)은 10%, 물-결합재비는 0.23로 하였다. 결합재 치환에 따른 콘크리트 배합인자 및 수준은 Table 4과 같다.

Table 3. Mix design of mortar

	Binder(%)				W/B	CaO
	Cement	Slag	Fly ash	WCP		
Ca-6	15	45	20	20	0.5	6.3
Ca-9	15	45	20	20	0.5	9.2
Ca-12	15	45	20	20	0.5	12.4
Ca-15	15	45	20	20	0.5	15.0
Ca-20	15	45	20	20	0.5	20.0

Table 4. Mix design of concrete with various additive content

	Water	Binder(kg/m^3)						Recycled Fine	Recycled Coarse	W/B
		Fly Ash	Slag	Cement	Gypsum	$Ca(OH)_2$	WCP			
S90C10	69.0	-	270.0	30.0	-	-	-	194.6	1821.4	0.23
S90G10	69.0	-	270.0	-	30.0	-	-	194.4	1819.5	0.23
S50F40C10	69.0	120.0	150.0	30.0	-	-	-	191.9	1796.1	0.23
S50F40G10	69.0	120.0	150.0	-	30.0	-	-	191.7	1794.2	0.23
S50W40C10	69.0	-	150.0	30.0	-	-	120.0	192.5	1802.2	0.23
S50W40G10	69.0	-	150.0	-	30.0	-	120.0	192.3	1800.3	0.23
S90CH10	69.0	-	270.0	-	-	30.0	-	193.6	1811.9	0.23
S50F40CH10	69.0	120.0	150.0	-	-	30.0	-	190.9	1786.7	0.23
S50W40CH10	69.0	-	150.0	-	-	30.0	120.0	191.5	1792.7	0.23

2.3 실험방법

2.3.1 압축강도

모르타르의 압축강도는 각 실험재령에 따라 40×40×160mm 크기의 시험체를 제작하여, 24시간 동안 상대습도 95% 이상인 습기함에서 양생한 후, 탈형하여 (20±1)℃로 조절되는 수조에서 시험재령까지 양생하였다. 압축강도 측정은 KS L ISO 679에 따라 압축강도를 측정하였다. 또한, 압축강도 값은 6개의 시험체의 평균값으로 하였다.

콘크리트 압축강도는 KS F 2403의 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법에 따라 φ 100×200mm 크기의 시험체를 제작하여 온도 (50±3)℃의 양생실에서 10시간동안 양생한 다음, 해당 재령 일에 KS F 2405의 콘크리트 압축강도 시험방법에 따라서 구하였다.

2.3.2 공극률

공극률은 일본 JCI의 ECO콘크리트 연구위원회의 『포러스 콘크리트의 공극률시험방법(안)』을 참고하여 식 (2)에 의해서 구하였다.

$$A = 1 - \frac{m_h + m_w}{V} \times 100 \quad (2)$$

여기서, A는 공극률(%)이며, m_h은 공시체의 수중질량(g), m_w는 공시체를 24시간 침지시킨 후, 즉시 물에서 꺼내서 철망 위에 놓고 1분간 물기를 뺀 후, 젖은 헝겊으로 표면을 닦아 낸 표면 건조 포화 상태의 공시체의 질량(g), V은 공시체의 부피(cm^3)이다.

2.3.3 투수계수

투수계수는 KS F 4419의 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록에 따라 Fig. 1과 같은 실험 장치를 사용하여 측정하였으며, Darcy의 법칙에 근거하여 식 (3)에 의해 투수계수를 구하였다.

$$K = \frac{d}{h} \times \frac{Q}{A \times 30s} \quad (3)$$

여기서, K는 투수계수(mm/s)이며, Q는 배수되는 유출수량(mm^3), d는 블록의 두께(mm), h는 수위차(mm), A는 블록의 단면적(mm^2), $30s$는 측정시간이다..

2.3.4 저류량

저류량 평가는 Fig. 2과 같은 실험장치를 제작하여 측정하였다. 저류량 시험장치의 부피와 시험체의 부피를 계산하고 제작된 시험체를 저류량 실험장치에 넣고, 물을 주입하여 저류장치의 상단에서 물이 넘치기 직전까지 전체 저류수량을 측정하여 빗물저류블록의 저류량을 식(4)에 의해 구하였다.

Fig. 1. Measurement of water permeability

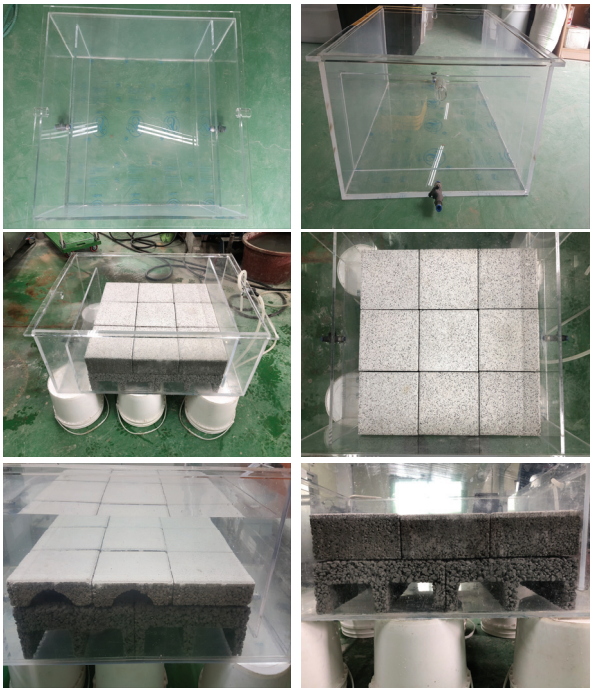

Fig. 2. Measurement of water storage capacity

$$Sc = \frac{Q_1 - Q_2}{V_2} \quad (4)$$

여기서, Sc는 저류량(L/m^3)이며, Q_1는 전체 저류수량용량(L), Q_2는 [$(V_1 - V_2) \times 1000$), (L)]로 구하며, V_1 는 저류량 시험장치의 부피(m^3), V_2는 시험체의 부피(m^3)이다.

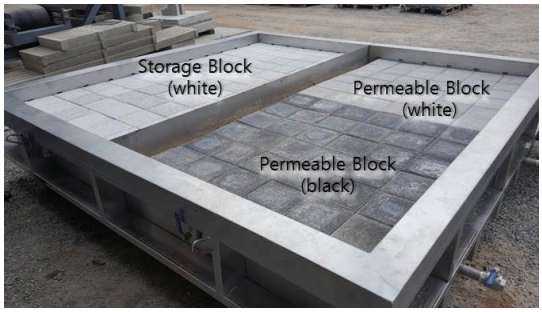

Fig. 3. Measurement of surface temperature

2.3.5 표면온도

표면온도는 Fig. 3과 시험장치 [2.4m(L)×2.4m(W)×0.3(H)]를 제작하여 측정하였으며, 평가에 사용된 블록은 일반투수블록(black), 일반투수블록(white)과 저류블록(white)의 3종류로 선정하였다.

또한, 온도측정은 열화상 카메라를 이용하여 오전 10시~오후 4시까지 1시간 시점으로 표면온도에 대한 비교평가를 진행하였다

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축강도

고로슬래그 미분말과 플라이애시의 경우 비정질 상에 존재하는 Si, Al 등의 성분이 OH^-에 의해 용출되고, Ca 성분과 결합하여 C-S-H 및 C-A-H를 생성하여 경화체를 치밀하게 하고, 강도발현 및 내구성 향상을 이룬다. 이와 같이 고로슬래그 미분말이나 플라이애시의 반응에 있어서 CaO는 매우 큰 영향을 미치고 있다 (Fraay et al. 1989; Shi et al. 2006).

순환골재 공정부산물의 CaO함량에 따른 강도 발현 특성에 대한 실험결과는 Fig. 4 같다. CaO 함량과 모르타르의 압축강도는 선형적인 관계를 이루고 있는 것을 확인하였다. CaO 함량이 가장 낮은 6% 배합(Ca-6)은 CaO에 의한 고로슬래그 미분말 반응 촉진이 약해서 28일 강도가 17.3MPa로 강도 발현이 매우 낮은 것으로 확인되었으며, CaO 함량에 따른 배합 결과 28일 강도는 21.2MPa (Ca-9), 23.6MPa(Ca-12), 26.3MPa(Ca-15), 29.6MPa(Ca-20)으로 CaO 함량이 증가할수록 28일 압축강도는 증가하는 경향을 나타내었다.

결합재 비율에 따른 기층블록의 압축강도 실험결과를 Fig. 5에 보인다. 콘크리트 압축강도 측정 결과 시멘트가 10% 혼입된 배합(S90C10, S50F40C10, S50W40C10)에서의 초기 1일 압축강도는 7.7MPa, 7.2MPa, 7.0MPa이며, 28일 압축강도는 11.2MPa, 9.8MPa,

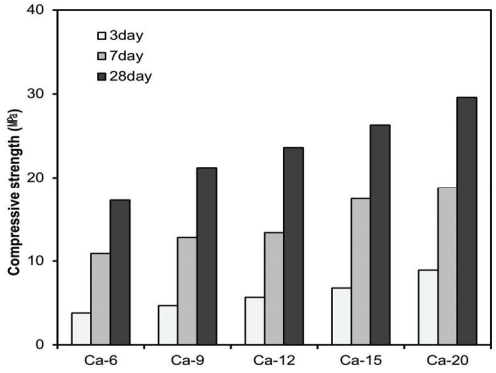

Fig. 4. Compressive strength of mortar with CaO content

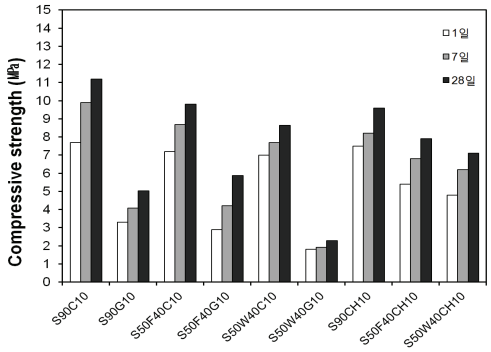

Fig. 5. Compressive strength of concrete with various additive type

8.6MPa로 나타나 모든 재령에서 7MPa이상의 강도 값을 나타내었으며, 시멘트 대신 석고가 혼합된 배합(S90G10, S50F40G10, S50W40G10)의 모든 재령에서 낮은 강도 값을 보이고 있다. 수산화칼슘 10% 배합(S90CH10, S50F40CH10, S50W40CH10)에서는 28일 강도가 9.6MPa, 7.9MPa, 7.1MPa이었다. 이러한 실험결과로부터 시멘트가 10% 혼합된 배합이 고로슬래그 미분말과 플라이애시 배합비율과 관계없이 가장 높은 강도를 보이고 있으며, 시멘트 또는 수산화칼슘 혼합 배합에서는 고로슬래그 미분말의 함량이 높을수록 높은 강도를 보이고 있다. 또한, 플라이애시를 대체하여 혼합된 공정부산물(WCP)의 경우 시멘트 10% 혼합된 경우에 재령 28일에 8.6MPa 압축강도를 얻어 블록의 제조가 가능한 것으로 판단된다.

3.2 투수계수

투수계수는 KS F 4419에서 투수성 블록제품은 0.1mm/s 이상을 규정하고 있다. 또한, 서울특별시의 「투수블록포장 설계, 시공 및 유지관리 기준」에서 자체 및 틈새 투수블록은 KS기준과 동일한 0.1 mm/s 이상, 투수기층은 1.0mm/s 이상의 값을 요구하고 있다. 콘크

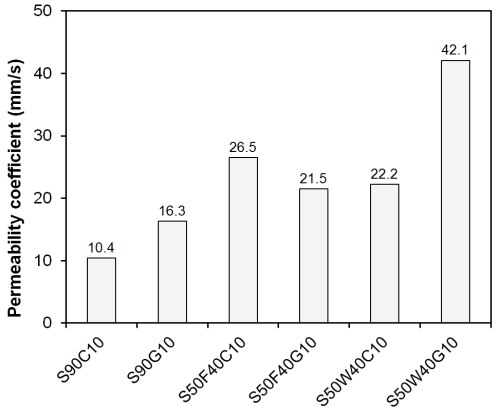

Fig. 6. Permeability of concrete block

리트 배합인자 및 수준은 Table 4에서 6개의 배합(S90C10, S90G10, S50F40C10, S50F40G10, S50W40C10, S50W40G10)에 대한 저류블록을 제작하여 투수시험을 진행하였다.

콘크리트 블록의 투수계수 측정 결과는 Fig. 6과 같다. 모든 배합에서 KS에서 규정하는 투수계수값을 모두 만족하고 있다. 압축강도가 가장 높은 S90C10 배합이 가장 낮은 투수계수로 14.4 mm/s이었으며, 압축강도가 가장 낮은 S50W40G10 배합은 42.1 mm/s로 가장 높은 투수계수를 보이고 있다. 이러한 결과로부터 압축강도와 투수계수는 반비례 관계를 형성하는 것을 확인하였다.

3.3 블록 형상에 따른 저류량 및 휨강도

S50W40C10 배합을 사용하여 자체 공극률이 15% 이상인 포러스 구조의 저류블록은 형상에 따라서 빗물을 저류할 수 있는 저류량이 다르게 되며, 하중을 지지하는 특성도 다르게 된다. 저류블록의 형상에 따른 저류량을 확인 하였으며, 저류량 평가를 통해 4가지 Type의 형상을 도출하게 되었다. 최소 저류량 60L를 확보할 수 있는 저류블록의 형상에 따른 저류량 및 휨강도는 Fig. 7과 같다.

형상에 따른 휨강도 측정결과를 Fig. 8에 보인다. 측정결과 Type 3가 가장 높은 휨강도 4.05MPa를 보이고 있으며, Type 4가 가장 낮은 휨강도 1.77MPa, 를 보이고 있다. 이는 동일한 배합에서도 형상적 특성으로, 인장응력의 발생이 적은 아치형 구조가 가장 높은 휨강도를 보이고 있다.

3.4 표면온도

표면온도 저감성능을 평가하기 위하여 [2.4m(L)×2.4m(W)×0.3m(H)]의 목업장치를 제작하여 빗물저류블록(white)은 2.88m^2(1.2m×2.4m)의 면적으로 시공하였으며, 비교대상으로 일반투수

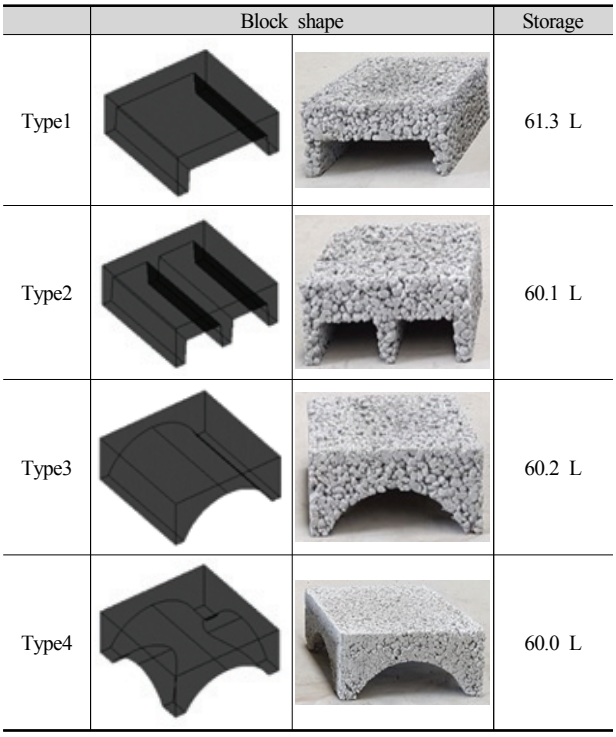

Fig. 7. Storage amount along the block shape

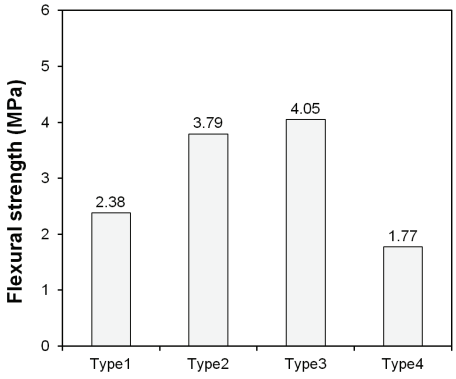

Fig. 8. Flexural strength of block

블록 2종(black, white)은 각각 1.44m^2(1.2m×1.2m)의 면적으로 시공하였다. 측정 1일전 우수환경 조건설정을 위하여 블록 표면 위치의 드레인홈 까지 물을 채운 뒤 하부 배수홀을 개방하여 블록표면에 고인물이 없어질 때까지의 조건으로 설정한 후에, 총 5일 동안 비접촉방식의 열화상 카메라를 사용하여 측정하였다.

열화상 카메라를 이용한 온도측정은 오전 10시부터 오후 4시까지 1시간 간격으로 각 시험체 별로 최고, 최소, 평균온도를 산출하였으며, 열화상 카메라를 이용한 온도측정결과 블록의 표면 온도가 가장 높은 5회차(오후 2시)에서의 일반투수블록(white)는 저류

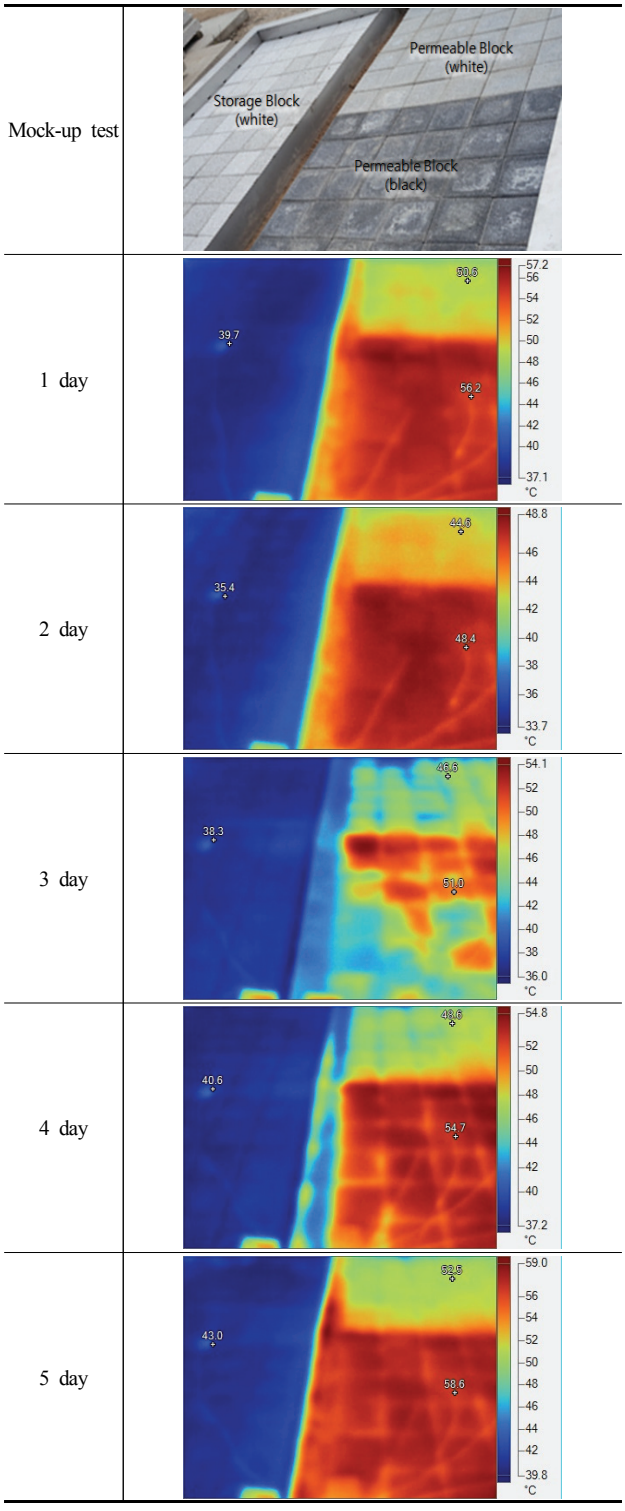

Fig. 9. Measurement of surface temperature(p.m 14:00)

블록(white)에 비하여 +10.9℃, +9.2℃, +8.3℃, +8.0℃, +9.5℃의 온도 차가 발생하여 표면온도차이는 평균 +9.2℃ 이었다. 일반투수블록(black)의 경우에는 +16.5℃, +13.0℃, +12.7℃, +14.1℃, +15.6℃의 표면 온도 차이가 발생하여 평균 온도차는 +14.4℃로 흰색 일반투수블록보다 저류블록과의 차이가 더 커졌다. 블록표면 온도가 최대일 때(오후 2시)의 열화상 시험결과는 Fig. 9 과 같으며 전체 시험결과는 Table 5와 같다.

Table. 5. Surface temperature of concrete block(℃)

	Time	Storage block (white)	Permeable block (white)	Permeable block (black)
1 day	10	31.1	34.7	36.2
	11	34.6	41.3	45.2
	12	39.2	47.2	52.2
	13	39.4	49.3	54.8
	14	39.7	50.6	56.2
	15	36.8	46.6	51.1
	16	37.0	46.5	50.4
2 day	10	29.6	33.0	34.5
	11	34.9	39.8	42.8
	12	35.2	42.4	45.7
	13	32.8	40.3	42.9
	14	35.4	44.6	48.4
	15	34.8	42.2	45.2
	16	31.2	34.2	37.9
3 day	10	31.6	32.1	33.6
	11	36.1	38.4	38.8
	12	38.1	42.7	44.3
	13	38.5	44.9	48.2
	14	38.3	46.6	51.0
	15	37.4	43.8	46.3
	16	38.7	44.6	48.1
4 day	10	33.6	35.6	37.8
	11	37.5	41.7	45.8
	12	35.7	41.3	44.8
	13	40.4	47.5	52.9
	14	40.6	48.6	54.7
	15	37.0	45.2	50.1
	16	37.1	45.2	49.8
5 day	10	33.4	37.3	40.1
	11	34.6	40.3	43.7
	12	38.6	45.7	51.4
	13	41.3	50.2	56.1
	14	43.0	52.5	58.6
	15	40.6	51.5	57.0
	16	39.5	50.0	55.3

4. 결 론

본 연구에서는 순환골재 공정부산물을 활용하여 빗물저류블록을 제작하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) CaO함량이 낮은 경우 고로슬래그 미분말의 반응 촉진이 약하게 일어나 강도 발현이 매우 낮은 결과를 보이고 있다. 공정부산물을 콘크리트 혼합재로 활용하기 위해서는 CaO함량은 최소 9% 이상이어야 한다.
2) 시멘트, 석고, 수산화칼슘을 반응 자극제로 사용하는 경우 시멘트가 가장 압축강도 발현이 좋고, 석고의 경우가 가장 낮은 강도를 발현하고 있다.
3) 최소 저류량 60L를 확보하기 위한 저류블록의 형상을 설계하였으며, 형상에 따라 다른 휨강도를 보이고 있다. 인장응력의 발생이 가장 아치형 구조가 가장 높은 휨강도를 보이고 있다.
4) 고로슬래그 미분말 50%, 공정부산물 40%, 시멘트 10% 배합에서 28일 압축강도 8.5MPa, 투수계수 26.5mm/s, 휨강도(Type 3) 4.05MPa로 기층용 저류블록의 제작이 가능한 것으로 판단된다.
5) 저류블록의 온도 저감효과는 같은 색상에서 약 9℃ 이상의 온도저감효과가 있는 것으로 측정 되었으며, 다른 색상에서는 약 14℃ 이상의 온도저감효과가 있는 것으로 측정되어 개발된 저류블록의 적용 시 도시 열섬현상 완화에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2015 에너지기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구과제(20155020301020)입니다. 이에 감사드립니다.

References

Code for Permeable Block Pavement Design, Construction and Maintenance, Road Management Division of Seoul (2011).

Fraay, A.L.A., Bijen, J.M., de Haan, Y.M. (1989). The reaction of fly ash in concrete a critical examination, Cement and Concrete Research, **19(2)**, 235-246.

Jeon, C.S., Song, T.H., Yoon, S.H. (2012). A study on the physical properties of interlocking block with the contents of the recycled aggregate, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **7(4)**, 71-78 [in Korean].

Ko, J.H., Bae, W.B., Shin, D.W., Kim, Y.G. (2017). Performance evaluation of evaporation and air temperature reduction of water-retentive block, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **37(2)**, 571-574 [in Korean].

Korean Standard Association, Korean Standard F 4419 Concrete Interlocking Block for Side Walk and Road (2016).

Park, K.M., Kim, H.S., Cho, Y.K. (2017). Evaluation of absorbent-pervious alkali-activated block using recycled aggregate, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **5(2)**, 160-167 [in Korean].

Shi, C., Krivenko, P.V., Roy, D. (2006). Alkali-Activated Cements and Concrete, Taylor & Francis, New York.

The Quality Standard and Test Method of Water-Retentive Concrete Block Pavement. (2005). Japan Interlocking Block Pavement Engineering Association, Japan.

순환골재 공정부산물을 활용한 빗물저류블록의 성능평가

일반적으로 고로슬래그 미분말 및 플라이애시의 반응에는 칼슘이 필요하게 된다. 순환골재를 생산하는 과정에서 발생하는 공정부산물은 파쇄단계에 따라 칼슘 함량이 다르며, 공정부산물의 콘크리트 혼합재로서의 활용 가능성도 다르게 된다. 본 연구에서는 공정부산물의 칼슘 함량이 압축강도에 미치는 영향을 확인하고, 이를 활용한 블록을 제작하였다. 공정부산물을 혼합재로 활용하기 위해 칼슘 함량을 분석하였으며 저류블록의 형상에 따른 휨강도 및 표면온도를 측정하였다. 연구 수행을 통해 순환골재 공정부산물을 활용한 블록 제작 가능성을 검증하였으며, 저류량 및 휨강도 확보를 위해 아치형의 저류블록을 제작하였다. 또한, 저류블록의 표면온도는 일반투수블록보다 9℃ 이상 저감되는 것을 확인하였다.