

순환자원을 활용한 환경친화형 콘크리트 블록 제조

Manufacturing of Eco-Friend Concrete Block using Recycled Materials

이재진^{1*} · 한천구²Jae-Jin Lee^{1*} · Cheon-Goo Han²

(Received September 6, 2017 / Revised December 8, 2017 / Accepted December 13, 2017)

The aim of the research is providing the application method of recycled materials to manufacture the low costed eco-friend block at currently operated concrete block plant. In this research, based on the previous research results on three types of slag cement with illite, desulfurized gypsum, and wasted refractory products, the actual block product was manufactured by the currently operated plant facility and evaluated their properties to suggest the optimal proportions. As an experimental results, in aspect of compressive strength, absorption ratio, freezing resistance, and pH, type III slag incorporating 5% desulfurized gypsum with 1% replaced illite as an aggregate could be suggested as an optimal proportion. In additionally, considering the high cost of the illite, it can be considered as an optimal proportion that type III slag incorporating 5% desulfurized gypsum for binder.

키워드 : 일라이트, 폐내화물, 탈황석고, 순환잔골재, 콘크리트 블록

Keywords : Illite, Wasted refractory powder, Desulfurization gypsum, Recycled of fine aggregate, Concrete block

1. 서론

최근 지구온난화 방지와 관련하여 CO₂ 저감 대책은 전 세계적으로 중요한 관심사항이다. 우리나라도 여기에 발 맞춰 다양한 CO₂ 저감 대책이 마련되어 시행중에 있다. 특히 건설산업에서는 CO₂ 발생량이 가장 많은 포틀랜드 시멘트의 사용량을 줄이는 노력이 중요시 되어, 포틀랜드 시멘트에 각종 산업부산물인 혼화재를 가능한 다량 치환하려는 노력이 경주되고 있다.

그런데 일반 철근 콘크리트 구조물인 경우는 혼화재의 치환율이 지나치게 많아지게 되면 응결시간이 지연되어 공기에 영향을 미치게 되고, 중성화를 촉진시켜 건설물의 수명을 단축시킬 수 있다. 따라서 Choi(2015)의 이론에 따르면 혼화재 치환율은 특별한 경우는 예외일 수도 있지만 대체적으로 플라이애시 10~20%, 고로슬래그 미분말(이하 BS)은 20~50% 정도를 일반적인 범위로 하여 활용되고 있는 것이 현실이다.

그러나 콘크리트 2차제품의 특징으로는 일반 철근 콘크리트 공사와 달리 철근이 배근되지 않아 중성화가 문제시되지 않으며, 양생방법은 증기양생으로 반응 촉진을 이용할 수 있으므로 단기간 내에 목표 강도를 발휘할 수 있다. 따라서 기존의 이론에 따르면 (Yang et al. 2011) 혼화재 다량치환 콘크리트의 활용은 환경적인 측면에서도 콘크리트의 중성화가 문제시 되지 않기 때문에 생태계에 주었던 알칼리 피해를 최소화 할 수 있으며, 이산화탄소 저감 및 경제성 성취에도 큰 도움이 될 수 있다. 또한 환경친화형 콘크리트 블록은 호안에 설치되는 것으로, 다공질 점토광물로 골재의 필터 겸 수질정화의 기능이 있는 것으로 알려진 일라이트(illite) 광물이 공장 인근에서 출토되어 생산되고 있음에, 이전 연구에서 콘크리트 제품에 피해가 없는 범위가 1% 전후로 밝혀짐도 참조하여 실제 블록 제작에 도입하여 확인할 필요가 있다.

그러므로 본 연구에서는 콘크리트 블록의 일종인 호안블록을 생산하는 공장에 경제적이면서도 산업부산물 자원을 효과적으로

* Corresponding author E-mail: jaejin17@naver.com

¹청주대학교 건축공학과 석사과정 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Master course, Cheongju, 28503, Korea)

²청주대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Professor, Cheongju, 28503, Korea)

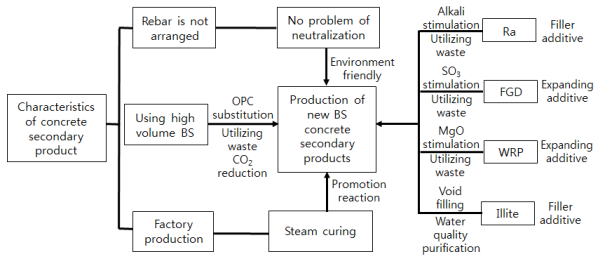


Fig. 1. Concept diagram of product development

Table 1. Experimental plan of mortar

Factor		Levels	
Mixture	B:S(Binder:Sand)	1	· 1:5
	W/B (%)		· 30
	Fine aggregate replacement ratio (%) ¹⁾		· 55
	Binder(%)	1	· OPC(35)+BS(65) → BS 65
	Illite replacement ratio(%) ²⁾	2	· 0, 1
	FGD replacement ratio(%) ³⁾⁴⁾	2	· 0, 5
	WRP replacement ratio(%) ⁵⁾	2	· 0, 2.5
Experiment	Hardened concrete	4	· Compressive strength (7, 28days)
			· Absorption(28days)
			· Freezing and thawing test (100cycle)
			· Water quality purification test

¹⁾Recycled fine aggregate(55%)+Crushed fine aggregate(45%)

²⁾Replacement of fine aggregate

³⁾Replacement of binder

⁴⁾Desulfurization gypsum

⁵⁾Wasted refractory powder

이용하는 방법을 Fig. 1과 같이 연구한 이전 결과를 실무에 적용하기에 앞서 양호한 것으로 밝혀진 몇 개 변수에 대하여 Mock-up 시험성격으로 실제 생산라인에서 호안블록을 시험 생산하여 그 특성을 분석하므로써 최적 조합을 확정하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

일라이트 및 순환자원을 활용한 환경친화형 콘크리트 블록 생산에 대한 실험계획은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와 같다.

먼저 결합재와 골재의 배합비는 1:5로 실제 콘크리트 블록 공장

Table 2. Mixture proportions of Concrete¹⁾

Binder (%)	Replacement ratio (%)			Unit volume weight(kg/m ³)								
	Illite	FGD	WRP	W	C	BS	Illite	FGD	WRP	Rf ²⁾	Cf ³⁾	
OPC	-	-	-	108	345	-	-	-	-	-	474	388
BS 65	0	-	-	111	108	201	-	-	-	-	474	388
		5	-	112	103	191	-	-	-	-	420	344
	1	5	-	107	103	191	5	-	-	-	420	344
		5	2.5	103	100	186	5	15	8	-	379	310

¹⁾B:S = 1:5, W/B = 30%

²⁾Recycled fine aggregate

³⁾Crushed fine aggregate



Fig. 2. Appearance of using material

에서 진행되는 배합비로 계획하였으며, W/B는 30%로 계획하였다. 결합재구성은 BSC 3종(BS 치환율 60~70%)을 고려하여 단위 결합재량에 대한 질량비로 BS를 65% 치환 사용하는 것으로 계획하였다. 기타재료의 실험 계획 비율은 이전 실험연구 결과를 참조하여 일라이트의 경우는 단위골재량에 대한 질량비로 0, 1%의 2수준으로 계획하였고, 정제된 탈황석고(이하 FGD)와 폐내화물 분말(이하 WRP)은 결합재에 대한 질량비로 각각 0, 5%와 0, 2.5%의 2수준씩을 치환하는 것으로 계획하였다.

실험사항으로는 경화 콘크리트에서 압축강도, 흡수율, 동결융해 후 압축강도(100cycle) 및 수질영향 실험을 실시하는 것으로 실험계획 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트, 일라이트, FGD, WRP 및 골재는 모두 국내산으로 콘크리트 블록 생산업체에서 이용하는 것을 사용하였는데, 그 모양은 Fig. 2와 같고, 그 물리·화학적 성질은 Table 3~8과 같다. 단, 일라이트는 입자의 크기가 2~4μm로 보통 건축 마감재로 사용되는 분말형을 사용하였으며, 탈황석고는 화력발전소 생

산품에서 0.3mm 체가름으로 활성탄을 제거한 정제 탈황석고를 사용하였으며, 폐내화물은 미분말로 분쇄하여 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 2차 제품 생산 공장의 생산 방식에 따라 진행하였다. 실험 진행을 위한 호안블록의 성형은 건식 진동성형으로 진행하였으며, 양생은 증기양생으로 진행하였다. 경화 콘크리트 실험 방법으로 공시체는 생산된 호안 블록에서 100X100X100mm 시편을 절단하여 제작 하였고, 압축강도,

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Setting time (min.)		Compressive strength (MPa)		
		Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	3 390	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 4. Physical and chemical properties of BS

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	Chemical components(%)					
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Others
2.89	4 520	1.50	34.2	14.6	0.32	42.3	6.4	0.68

Table 5. Physical and chemical properties of illite

Particle size(μm)	Density (g/cm ³)	Moisture (%)	Chemical components(%)			
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Others
2~4	2.80	0.37	76.35	8.17	7.26	8.22

Table 6. Physical and chemical properties of FGD

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	Chemical components(%)						
			SO ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	Others
2.97	3 820	4.3	42.5	32.0	4.1	0.1	6.0	1.4	9.6

Table 7. Physical and chemical properties of WRP

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	Chemical components(%)						
			SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Others
3.12	3 826	3.6	34.4	2.2	32.8	2.7	21.3	0.7	2.3

Table 8. Physical and chemical properties of fine aggregate

Type	Density (g/cm ³)	Water absorption ratio(%)	Fineness modulus	Passing ratio of 0.08mm sieve (%)
Recycled fine aggregate	2.43	5.20	2.62	8.86
Crushed fine aggregate	2.56	1.27	2.72	1.17

흡수율 및 동결융해 시험은 KS I 3304에 의거하여 실시하였다. 수질영향특성의 실험 방법은 3ℓ 플라스틱 용기에 100X100X100mm 시료 2개와 하천수 2ℓ를 넣고 밀봉한 뒤 온도 20±2°C에서 재령 14일 동안 침지한 후 침출 용액을 전문시험 기관에 의뢰하여 성분 검사를 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 경화 모르타르의 특성

3.1.1 호안블록의 품질규격

Table 9는 KS I 3304에 규정된 호안블록의 품질 규격을 나타낸 것이다.

3.1.2 제품외관

공장에서 생산된 호안블록의 대표적인 모습은 Fig. 3과 같다. 성형방식을 건식으로 진행함에 따라 전체적인 외관은 기존에 생산되고 있는 블록과 유사하게 양호한 형태를 나타내었다.

Table 9. Quality standard of concrete block

Type	Specimen size(mm)	Basic and special block
Compressive strength(MPa)	100×100×100	Average of samples: More than 20.6 Each sample: More than 17.6
Absorption(%)		Average of samples: Less than 7 Each sample: Less than 10
Compressive strength of freezing and thawing test(MPa)	100×100×100	Average of samples: More than 20.6 Each sample: More than 17.6



Fig. 3. Shape of concrete block after molding

3.1.3 압축강도

Fig. 4는 일라이트, 탈황석고 및 폐내화물 치환율 변화에 따른 콘크리트 블록의 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저 강도치는 실험체 3개의 평균값으로 진행하였으며, 다른 결과 값도 동일하게 진행하였다. 우선 Plain의 경우는 실제 공장에서 제조하고 있는 블록제품으로 재령 7일에서 약 16MPa, 재령 28일에서는 약 24MPa 정도를 나타낸 반면, 결합재를 BS 65% 치환한 경우는 7일에서는 약 13MPa로 29%, 28일에서는 약 20MPa로 15%, 저하하였다. 반면, 여기에 탈황석고를 5% 치환한 경우는 7일에서는 약 17MPa로 2%, 28일에서는 약 26MPa로, 6% 상승하는 결과를 나타내었다. 이는 탈황석고를 사용함에 따라 화학성분 중의 높은 함유량인 CaSO₄가 액상으로 공존하면서 SO₃의 BS 추가저극 역할 및 유효한 범위에서 에트링가이트 수화물이 다량 생성됨으로써(Han and Lee 2016), 압축강도가 최대한 발현된 것으로 판단된다. 단, BS 3종에 5%의 탈황석고를 치환한 배합을 기준으로 여기에 일라이트를 골재로 1% 치환하는 경우 및 여기에 추가적으로 폐내화물을

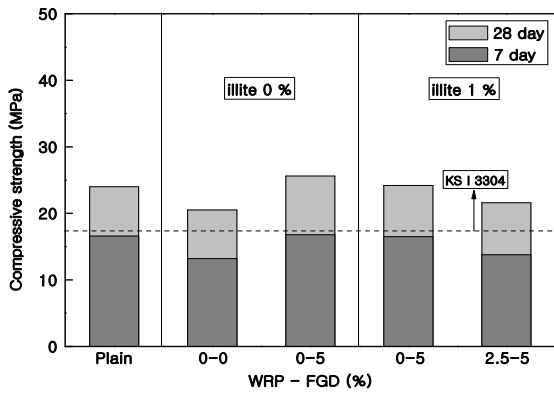


Fig. 4. Compressive strength in accordance with the binder replacement ratio

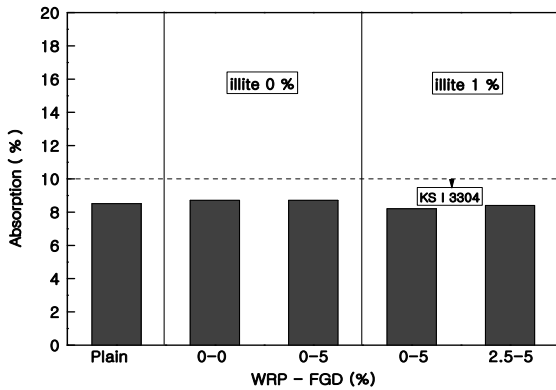


Fig. 5. Absorption in accordance with the binder replacement ratio

결합재로 2.5% 치환한 경우는 7일의 경우 약 17% 및 18%, 28일에 경우는 약 13% 및 16% 저하하는 것으로 나타났다. 이 중 일라이트는 점토광물의 일종으로 거의 강도에 기여하지 못함에 기인한 것으로 사료되고, 폐내화물의 경우는 탈황석고와의 복합적인 MgO의 팽창작용으로 강도가 오히려 저하한 것으로 분석된다.

3.1.4 흡수율

Fig. 5는 일라이트, 탈황석고 및 폐내화물 치환율 변화에 따른 콘크리트 블록의 흡수율을 나타낸 것이다. 전반적으로 모든 배합에서 10% 이하의 흡수율을 나타내었는데, 단 Plain의 경우 및 일라이트 치환 시는 여타의 배합에 비해 약 0.5%p 정도 낮은 흡수율을 나타내었다. 이는 일라이트를 사용함에 따라 내부의 공극충전에 기인하여 낮은 흡수율을 나타낸 것으로 사료된다.

3.1.5 내동해성

Fig. 6은 일라이트, 탈황석고 및 폐내화물 치환율 변화에 따른 콘크리트 블록의 100cycle 동결융해 후 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, Plain의 경우 동결융해 후 16MPa의 압축강도를 나타내었고, BS 65% 치환 배합의 경우는 약 17MPa의 강도로 규정치를 만족하지 못하는 값을 나타내었다. 반면, 탈황석고를 치환 사용한 배합의 경우는 Plain에 비해 약 39% 높은 압축강도를 나타내었는데, 이는 전술한 바와 같이 탈황석고가 BS의 잠재수경성 반응을 촉진시킨 결과 강도가 증진된 것으로 판단된다. 단, BS 3종에 5%의 탈황석고, 1%의 일라이트를 치환한 경우 및 여기에 추가적으로 폐내화물을 결합재로 2.5% 치환한 경우는 탈황석고만 5% 치환한 배합보다 약 6% 및 5% 저하하는 것으로 나타났다. 그 원인은 압축 강도에서 분석한 것과 동일하게 일라이트의 점토광물영향, 폐내화

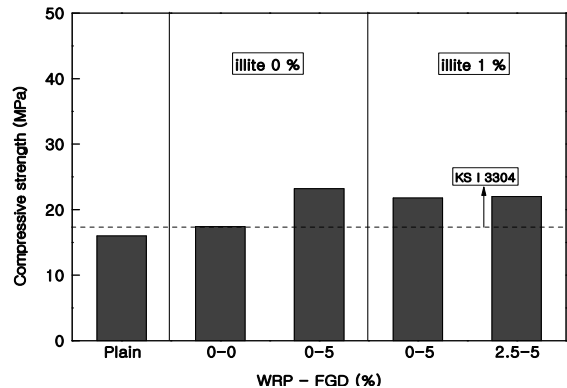


Fig. 6. Freezing and thawing test in accordance with the binder replacement ratio(100cycle)

Table 10. Result experiment of water quality

Type	pH	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
River water	8.5	2.5	5.0	0.730	0.047
Plain	12.4	1.1	7.4	1.104	0.056
0-0 ¹⁾	11.6	1.3	5.0	2.102	0.053
0-5 ¹⁾	11.8	3.3	4.2	1.997	0.031
0-5 ¹⁾ (illite 1%)	11.7	2.3	5.6	1.123	0.043
2.5-5 ¹⁾ (illite 1%)	12.3	2.3	7.0	2.285	0.072

¹⁾Wasted refractory powder - Desulfurization gypsum

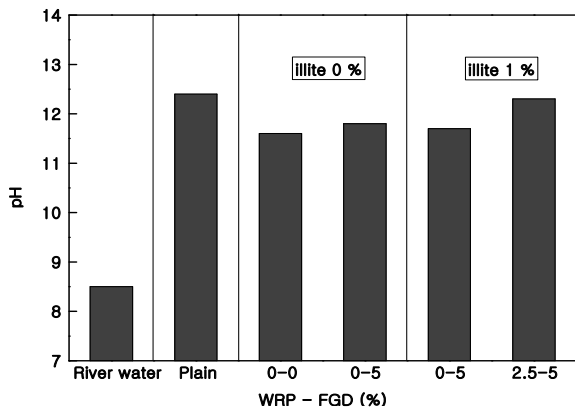


Fig. 7. pH test in accordance with the binder replacement ratio

물의 복합적인 MgO 팽창작용에 기인한 것으로 분석된다.

3.2 수질영향 특성

Table 10은 수질영향 특성을 나타낸 표이고, Fig. 7은 하천수와 일라이트, 탈황석고 및 폐내화물 치환율 변화에 따른 콘크리트 블록의 pH를 나타낸 것이다. 먼저, pH의 경우 하천수는 8.5를 나타내었고, 여기에 OPC만을 이용한 Plain을 침지한 경우는 12.4로 제일 큰 값을 나타내었다. 반면, BS 3종 단독인 경우, BS 3종에 탈황석고 5%를 결합재로 치환한 경우 및 여기에 일라이트를 골재로 1% 치환한 경우는 11.6, 11.8, 11.7로 OPC에 대한 BS의 치환율이 높음에 기인하여 낮은 값을 나타내어 수질오염이 적은 양호한 특성을 나타내었다. 단, 일라이트에 탈황석고 및 폐내화물을 치환한 경우는 폐내화물의 알칼리 영향으로 Plain과 유사한 12.3을 나타내어 수질오염 방지에 폐내화물은 거의 기여하지 못함을 알 수 있었다. 기타의 수질영향특성으로 BOD, COD, T-N, T-P의 경우는 일라이트 치환 시 약간 적어지는 경향도 있기는 하지만 그렇지 않은 경우

Table 11. Result of Comprehensive analysis

Type	Comp.str ²⁾	Absorption	R.F ³⁾	pH	Evaluation
Plain	24	8.5	16	12.4	-
0-0 ¹⁾	○	●	●	●	5
0-5 ¹⁾	●	●	●	●	6
0-5 ¹⁾ (illite 1%)	●	●	●	●	6
2.5-5 ¹⁾ (illite 1%)	○	●	●	●	4
Standard	Plain	Plain	Plain	Plain	Score
Good(●)	Standard value less than 5%	Standard value more than 5%	Standard value less than 5%	Standard value more than 5%	+2
Normal(●)	Standard value ±5%	Standard value ±5%	Standard value ±5%	Standard value ±5%	+1
Bad(○)	Standard value more than 5%	Standard value less than 5%	Standard value more than 5%	Standard value less than 5%	0

¹⁾Wasted refractory powder - Desulfurization gypsum

²⁾Compressive strength(28day)

³⁾Freezing and thawing test

도 존재하여 각 종 변수에 따른 특별한 영향은 없는 것으로 분석된다. 단, 본 연구에서는 실험하지 못하였지만 순환자원을 다량 치환하게 됨에 따라 중금속 함유량 혹은 중금속 용출시험도 검토할 필요가 있는 것으로 사료된다.

3.3 종합 분석

Table 11은 본 실험 결과에 대한 종합 분석을 나타낸 것이다. 품질 특성치 간에 정량적으로 비교하긴 어려울지라도 Plain 대비 ±5%를 기준으로 분석하였다. 분석결과, BS 3종 시멘트에 정제한 탈황석고를 5% 치환한 경우 및 이에 골재로서 일라이트를 1% 치환한 경우에서 가장 우수해지는 것을 알 수 있었다. 그러나 이 중 일라이트의 경우는 시멘트 보다 고가이므로 경제성까지도 고려하여 판단하면 BS 3종에 탈황석고를 5% 치환한 경우가 최적일 것임을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트 블록을 생산하는 공장에서 경제적이면서도 환경 친화적인 제품을 생산하기 위한 것이다. 즉, 산업부산물 자원을 효과적으로 이용하는 종전의 연구 결과를 실무에 적용하기

에 앞서 양호한 것으로 밝혀진 몇 개 변수에 대하여 Mock-up 시험 성격으로 실제 생산라인에서 호안블록을 제작하여 그 특성을 분석함으로써 최적 조합을 확정하고자 하였다.

1. 압축강도 특성으로 먼저, Plain의 경우는 재령 28일에서는 약 24MPa 정도의 강도를 발현한 반면에, BS 3종을 이용할 경우는 20MPa로 가장 낮은 압축강도를 나타내었으나, 여기에 탈황석고만을 5% 치환 사용할 경우 여타의 배합 중 가장 높은 26MPa의 강도치를 나타내었다. 일라이트 1%에 탈황석고 5%를 치환한 배합도 비교적 높은 강도치를 나타내었으나, 여기에 폐내화물을 2.5% 추가 치환할 경우는 복합된 MgO 팽창작용으로 강도가 저하하였다.
2. 흡수율 특성으로 전반적으로는 모든 배합에서 10% 이하의 값을 나타내어 KS 표준을 만족하였지만, 특히 Plain과 일라이트를 치환한 배합은 여타의 배합에 비해 약 0.5%p 정도 낮은 흡수율을 나타내었다.
3. 내동해성 특성으로 100cycle 동결융해 후 압축강도는 동결융해를 거치지 않은 것과 유사한 경향을 나타내었다. 특히, BS 3종에 탈황석고를 5% 치환 사용한 배합의 경우 여타의 배합보다 가장 높은 강도치를 나타내었다.
4. 수질정화성능 특성으로 pH의 경우는 OPC만을 이용한 Plain의 경우 12.4로 제일 큰 값을 나타내었고, BS 3종 단독인 경우와 BS 3종에 탈황석고 5% 및 여기에 일라이트 1%를 치환한 경우에 가장 낮은 pH를 나타내었다. 기타의 수질영향특성으로 BOD, COD, T-N, T-P의 경우는 각 종 변수에 따른 특별한 영향은 없는 것으로 분석되었다.

이상을 종합하여 볼 때 압축강도, 흡수율, 내동해성 및 수질영향의 pH 관점에서 고려하면 BS 3종에 정제 탈황석고 5% 치환 및 여기에 골재로서 일라이트를 1% 치환한 배합이 최적인 것으로 분

석되었다. 그러나 일라이트는 시멘트 보다 고가이므로 경제적인 측면까지도 고려하면 BS 3종에 5%의 정제 탈황석고를 결합재로 치환하는 배합이 최적 조합인 것으로 밝혀졌다.

감사의 글

이 논문은 2016. 09~2018. 08 청주대학교 연구장학 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Choi, H.B. (2015). "Application of waste refractory aggregate as aggregate for concrete," Proceedings of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **10(2)**, 295–296 [in Korean].
- Yang, K.H., Sim, J.I., Song, J.G., Lee, J.H. (2011). Material properties of slag-based alkali-activated concrete brick masonry, Journal of Architecture Institute of Korea, **27(1)**, 119–126 [in Korean].
- Han, C.G. (2013). Properties of high volume blast furnace slag concrete using recycled aggregate with incineration waste ash, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **1(2)**, 107–113 [in Korean].
- Han, C.G., Lee, D.Y. (2016). Quality of high volume blast furnace slag mortar depending on desulfurization gypsum treating methods and fine aggregate type, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **4(2)**, 157–165 [in Korean].

순환자원을 활용한 환경친화형 콘크리트 블록 제조

본 연구는 콘크리트 블록을 생산하는 공장에서 경제적이면서 환경 친화적인 블록을 생산하기 위해 산업부산물 자원을 효과적으로 이용하는 방안에 관한 것이다. 즉, BS 3종에 일라이트, 탈황석고 및 폐내화물을 치환하여 종전에 연구되었던 결과에서 양호한 것으로 밝혀진 몇 개 변수를 Mock-up 시험성격으로 실제 생산라인에서 호안블록을 생산하여 그 특성을 분석함으로써 최적 조합을 확정하고자 한다. 실험결과 압축강도, 흡수율, 내동해성 및 수질영향의 pH 관점에서 고려하면 BS 3종에 정제 탈황석고 5% 치환 및 여기에 골재로서 일라이트를 1% 치환한 배합이 최적인 것으로 분석되었다. 그러나 일라이트는 시멘트 보다 고가이므로 경제적인 측면까지도 고려하면 BS 3종에 5%의 정제 탈황석고를 결합재로 치환하는 배합이 최적 조합인 것으로 밝혀졌다.