J Rec Const Resources 2(2)137-144(2014)
http://dx.doi.org/10.14190/JRCR.2014.2.2.137

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

서냉 고로슬래그 굵은골재를 활용한 PHC 파일의 최적배합 및 물리적 특성

The Optimal Mixing Design of the PHC Piles Utilizing the Air Cooled Blast Furnace Slag as Coarse Aggregate

박용규[1]* · 김현우[1] · 김승일[2] · 허갑수[2] · 윤기원[1]
Yong-Kyu Park[1]* · Hyun-Woo Kim[1] · Seung-Il Kim[2] · Kab-Soo Hur[2] · Ki-Won Yoon[1]

(Received June 17, 2014 / Revised June 24, 2014 / Accepted June 27, 2014)

The PHC pile utilizing the air-cooled blast-furnace slag as coarse aggregate was studied. This research was progressed with the range from the indoor mixing design evaluation into the actual goods production. The physical properties of the PHC pile are determined to satisfy through the appropriate mixing design adjustments. However, it should eliminate the aggregates including CaO and MgO in SG when it utilize in an AC (autoclave) type manufacturing process. It satisfied the bending moment, shear strength, and compressive strength of KS F 4306 except the surface states of the pile.

키워드 : 서냉 고로슬래그, 굵은골재, PHC 파일, 내구성, B/P TEST
Keywords : Blast Furnace Air-Cooled Slag, Coarse Aggregate, PHC Pile, Durability, Batcher plant test

1. 서 론

세계 조강생산량 중 우리나라가 차지하는 비중은 1970년 0.1%에서 2011년에는 4.1%를 기록하며 세계 6위의 조강 생산국의 자리에 위치해 있다(Korea Iron & Steel Association). 이러한 철강산업의 발전과 동반하여 철강부산물의 양도 지속적으로 증가해 철강산업에서 발생하는 총 부산물은 연간 2 368만톤 정도이고, 이 중 고로슬래그는 1 390만톤으로 전체의 약 59%를 차지할 만큼 많은 양을 차지하고 있으며, 앞으로 고로 설비 증설로 인해 고로슬래그 발생량은 지속적으로 증가해 2014년에는 1 560만톤 수준에 이를 것으로 알려져 있다(Kim, 2013). 또한, 이러한 고로슬래그 발생량 중 약 80~85%는 급냉 수재슬래그로 발생되고 있으며, 20~15%는 고로 및 수재 생산 설비 대보수 및 적치장 공간 부족 등의 이유로 인해 서냉 고로슬래그로 발생하고 있다.

이렇게 발생하는 고로슬래그의 재활용율은 통계상으로는 거의 100% 수준에 이르고 있지만, 급냉 고로슬래그의 경우 주로 시멘트계 원료 등의 비교적 부가가치가 높은 쪽으로 재활용되고 있는 반면, 서냉 고로슬래그는 KS F 2544 "콘크리트용 고로슬래그 골재"(Korean Standards Association, 2002)의 규정을 만족하는 범위에서 콘크리트용 굵은골재로서의 활용이 가능하도록 규정되어 있으나 주로 도로기층재, 성토 및 매립재료 등으로 전로슬래그와 혼합되어 부가가치가 낮은 용도로 주로 활용되고 있는 실정이다. 또한, 국내 건설경기의 영향으로 그 시장 수요마저도 감소하고 있어 최근 서냉 고로슬래그의 고부가가치화 및 환경부하 감소를 위한 연구도 다각적으로 진행되고 있다.

한편, 건설 기초자재인 골재의 수요는 2013년에 약 201백만m^3가 공급되었으며, 앞으로도 5년간 연평균 1.2% 이상 수요가 증가할 것으로 전망되고 있다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2014). 특히, 콘크리트 제조용 골재는 철근·타일 등과 같은 여타 건설자재와는 달리 정책적 혹은 행정적 요인에 의하여 공급 부족이 심화되는 사례가 많고, 하천골재의 고갈과 골재 채취원의 원거리화 등으로 인하여 수급 환경이 날로 악화되어 가는 문제점이 있다. 한국건설기술연구원의 조사에 따르면 2002년 기준으로 천연골재의 최대 사용가능 부존량은 55억 3천만m^3로 향후 골재

* Corresponding author E-mail: ykp0305@aju.co.kr

[1]아주산업 기술연구소 (Aju Corporation Co., Ltd, 602-54, Gajwa-dong, Seo-Gu, Incheon, 404-250, Korea)
[2]극동건설 기술연구소 (Research Institute, Kukdong Engineering & Construction Co., Ltd, 60-1 Chungmuro 3-Ga, Chung-Gu, Seoul 100-705, Korea)

Copyright ⓒ 2014 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

수급 전망은 매년 1.5% 내외 수요량이 증가하여 2027년에는 골재 사용량이 누적량으로 56억m^3 소모가 예상되어 천연골재의 경우 개발 한계점에 도달할 것으로 예상하고 있으며(Park, 2007), 대부분의 공장에서 생산되는 건자재는 대체성이 높으나, 골재는 아직까지 뚜렷한 대체재를 찾기 어려운 점이 있어, 골재의 안정적인 수급을 위하여 골재의 대체 자원에 대한 연구가 절실히 필요한 시점이다(Choi, 2002).

따라서, 본 연구에서는 서냉 고로슬래그 굵은골재의 부가가치를 높이고, 적용대상의 확대 방안으로 PHC 파일용 콘크리트 원재료로의 활용성을 검증하기 위해 서냉 고로슬래그 굵은골재를 활용한 최적배합 및 시생산 평가를 실시함으로써 서냉 고로슬래그 굵은골재(이하 SG)의 활용에 대한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

우선, 실험계획으로 W/B 26, 28, 30%의 3수준에 대하여 SG의 치환율을 0, 25, 50, 75, 100%의 5수준으로 하여 총 15배치 실험계획하였으며, W/B 26-SG 50%에 대해서 실생산 제품 평가를 실시하는 것으로 하였다. 실험사항은 굳지 않은 상태에서 진동슬럼프를 측정하는 것으로 하였고, 경화상태에서는 제조된 시편에 대해 시편무게, 표면상태, 압축강도 및 내화학성 평가를 실시하고, B/P Test를 통해 실 제품의 압축강도, 휨강도 및 전단강도를 측정하는 것으로 하였다.

Table 1. Experimental Plan

Item		Contents
mixture	W/B(%)	26, 28, 30
	SG Replacement(%)	0, 25, 50, 75, 100
	Target slump (mm)	50±10
Test	Fresh concrete	vibration slump
	Hardened concrete	weight, surface state compressive strength, shearing strength[1], flexural strength[1], chemical durability[2]

1) Only B/P Test
2) Only 28-SG100, 26-SG50, 26-SG100

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내 A사 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 고활성 규사는 Y사, 골재는 국내산 부순잔골재 및 20mm 부순굵은골재를 사용하였으며, SG는 H사에서 골재용으로 파쇄하여 입도조정된 골재를 세척하여 사용하였다. 각각의 물리적 성질은 Table 2~4와 같다.

Table 2. Physical Properties of Cement

Density (g/cm^3)	Setting time (min)		Fineness (cm^2/g)	Compressive strength (N/mm^2)		
	Initial	Final		3days	7days	28days
3.15	215	325	3 390	30.0	41.5	56.5

Table 3. Physical & Chemical Properties of High Silica

Density (g/cm^3)	Moistu-re (%)	Ignition loss (%)	Fineness (cm^2/g)	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3
2.70	0.1	0.5	4 250	95.9	0.7	1.1

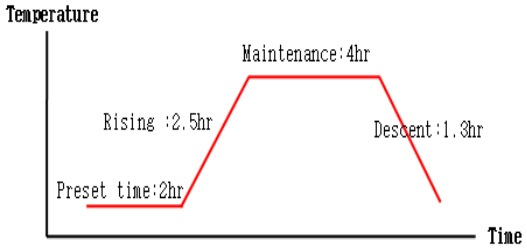
Table 4. Physical Properties of Aggregate

Kind	Density (g/cm^3)	F.M.	Absorp-tance (%)	Unit volume weight (kg/m^3)	0.08mm Sieve (%)
Fine aggregate	2.64	3.00	0.7	1 670	1.5
Coarse aggregate	2.64	6.65	1.0	1 570	0.1
SG	2.52	6.45	3.74	1 596	-

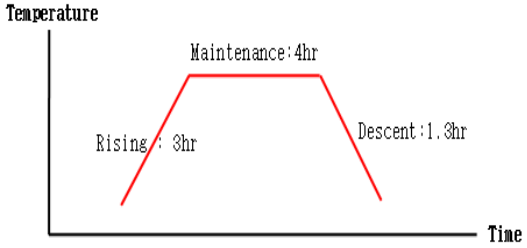
2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 PHC 파일의 양생은 Fig. 1과 같이 전치 2시간, 승온 2시간 30분, 유지 4시간, 감온 1시간 30분의 1차 증기양생(80℃, 95%이상)을 실시한 후 승온 3시간, 유지 4시간 감온 1시간 30분의 2차 고온고압양생(180℃, 10atm) 8시간 30분 실시하였다.

굳지 않은 콘크리트의 실험으로 유동성은 된비빔 슬럼프를 측정하기 위해 자체 시험 기준에 의거 Fig. 2와 같이 진동테이블에 100×200×200mm의 슬럼프 콘에 시료를 채우고 5초 진동 후 다시 콘에 시료를 채운 후 5초, 슬럼프 콘 제거 후 10초간 진동을 준 후 그 값을 측정하였다. 경화 콘크리트 실험으로 압축강도, 전단강도, 휨강도는 KS F 4306 규정에 의거 실시하였고, 내화학성 평가는 KS M ISO 2812-1에 의거 실시하였다.



1st steam curing



2nd high temperature and high pressure curing

Fig. 1. Auto-clave curing time

Fig. 2. Slump test

3. 실험 결과

3.1 굳지 않은 콘크리트 특성

Fig. 3은 W/B 및 SG 치환율에 따른 슬럼프를 나타낸 것이다. 슬럼프의 경우 목표 슬럼프 범위를 만족하도록 배합설계를 실시하여 모든 배합이 목표 범위를 만족하였다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

Fig. 4는 W/B 및 SG 치환율에 따른 시편의 무게를 나타낸 것이고, Fig. 5는 2차 고온고압 양생 종료 후 일부 시편의 표면에서 터짐 현상을 나타낸 것이며, Fig. 6은 W/B 및 SG 치환율에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

PHC 파일 무게의 증가는 운반차량에 상차할 수 있는 제품의 개수 감소로 인해 경제성과 큰 연관성을 가짐으로 SG 사용에 따른 무게를 검토한 결과, 2차 양생 후 시편의 터짐 현상으로 인해 측정

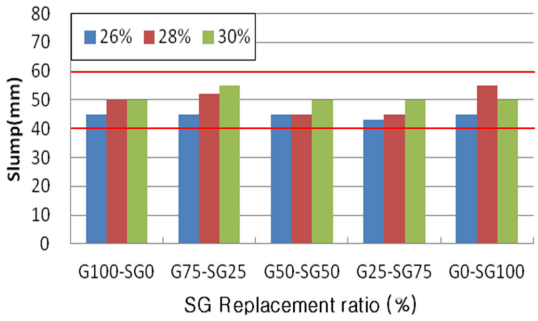


Fig. 3. Slump with W/B and SG Replacement

하지 못한 28-G0-SG100을 제외하고는 모든 W/B별로 SG 치환율이 증가할수록 미미하게 저하하는 경향을 나타내었는데, 이는 일반 부순골재보다 밀도가 낮은 SG의 치환율이 증가함에 따른 것으로 판단되며, 추후 제품 생산 시 제품 운반에 따른 경제성 차이는 없을 것으로 판단되었다.

제조된 시편의 표면 상태는 1차 증기양생 종료 후와 2차 고온고압양생 종료 후에 실시하였는데, SG 골재 치환에 따른 시편의 표면상태는 1차 증기양생 종료 후에는 표면에 특별한 이상은 나타나지 않았으며, 2차 고온고압 양생 완료 후에도 SG치환율 75%까지는 표면에 문제점은 나타나지 않았다. 다만, SG 100%의 경우 제조된 시편 2개에서 표면에 터짐현상이 발생하였고, 한 개의 시편에서는 터짐 부위에 흰색 분말가루가 모여져 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 2차 고온고압양생에서 높은 온도와 기압에 의한 내부 팽창 물질의 반응이 원인인 것으로 판단되나, 좀 더 세밀한 추가 분석이 필요할 것으로 판단된다.

압축강도의 경우는 SG 치환에 따라서는 치환율이 증가할수록 W/B에 관계없이 전반적으로 낮아지는 경향을 나타내었는데, 이는 기존 연구문헌(Choi, 2010)의 SG 골재의 거친 표면에 의해 페이스트와의 부착성능 향상으로 강도가 증진된다는 연구 결과와 상반된 경향으로, 일반강도 영역에서는 SG 골재의 거친 표면에 의한 부착

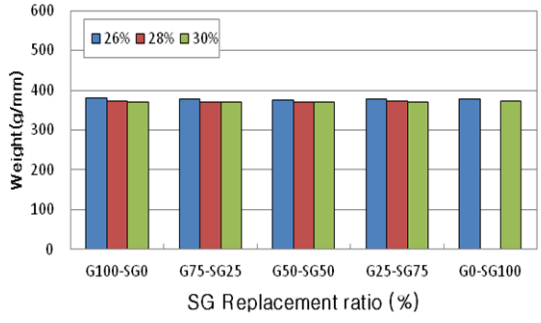


Fig. 4. Wight with W/B and SG Replacement

강도 증가로 강도 증진 효과가 발휘되나, 고강도 영역에서는 일반 부순골재 보다 낮은 밀도의 SG 골재 자체의 강도가 적으므로 고강도 영역에서의 골재와 페이스트 계면에서의 파괴보다 골재 자체가 먼저 파괴됨에 따른 것으로 판단된다.

W/B별로는 W/B 26%의 모든 배합이 치환율별로 81.8N/mm^2, 82.3N/mm^2, 79.0N/mm^2, 81.1N/mm^{2}로 측정되었고, 28-G100-SG0이 78.9N/mm^{2}로 측정되어 KS F 4306에서 규정하고 있는 PHC 파일용 콘크리트의 압축강도 78.5N/mm^{2}를 상회하는 것으로 확인되어, SG골재를 콘크리트용 골재를 사용하는 경우 적절한 배합조정이 이뤄진다면 압축강도 측면에서는 충분히 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 7과 8은 내화학성 평가에 따른 질량감소율 및 표면 상태를 나타낸 것이다.

PHC 파일의 경우 지반에 사용된다는 특성상 지반의 조건에 따른 화학적 부식에 대한 저항성을 평가하기 위해 황산 2% 수용액과 알칼리 포화 상태의 수용액에 28일간 침지하여 그 표면형상 변화 및 질량 감소율을 측정하였다. 그 결과 질량 감소율의 경우는 황산 2% 수용액에서는 28G100-SG0은 0.030%, 26G50-SG50은 0.017%, 26G0-SG100은 0.011%를 나타냈으며, 알칼리 포화 수용액에서는 Plain인 28G100-SG0은 0.026%, 26G50-SG50은 0.013%, 26G0-SG100은 0.000%를 나타내어, 내화학적 평가는 SG 치환에 비례하여 질량 변화율이 감소하는 것을 확인 할 수 있어 SG의 경우 화학적 안정성을 증가시켜 주는 것으로 판단된다. 또한, 표면현상의 경우는 28일 침지 후 겉모양 검토 결과 황산 2% 수용액의 경우 28G100-SG0, 26G50-SG50 및 26G0-SG100 모든 수준에서 부식발생 및 백색 변색 현상이 나타났는데, 이는 결합재인 시멘트가 알칼리성으로 알칼리와 황산의 강산성이 반응하여 나타난 것으로 판단되며, 알칼리 포화 수용액에서는 모든 수준에서 특별한 이상은 없는 것으로 나타나, SG 사용에 따른 화학적 저항성은 일반 부순골재를 사용한 제품과 동등의 성능이 확보되는 것을 확인하였다.

Fig. 5. Pop-out after 2nd High Temperature and High Pressure Curing

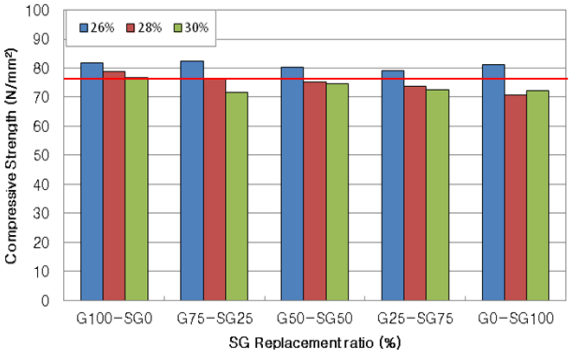


Fig. 6. Compressive Strength with W/B and SG Replacement

3.3 실생산 제품 평가

실내 배합 평가를 통해 SG 사용 시 압축강도 및 내구성이 확보되는 것을 확인하였고, 이를 토대로 실 공정에서의 시제품 생산을 통해 실생산 시 문제점을 검토하기 위해 SG 50%를 치환한 26G50-SG50으로 시제품 생산을 실시하였으며, PHC 파일 규격은 A종 ø400을 기준으로 하였다.

Fig. 9는 SG를 사용한 PHC 파일의 내면 상태를 나타낸 것이고, Fig. 10은 1차 증기양생 및 2차 고온고압 양생 후 시제품의 표면 상태를 나타낸 것이며, Fig. 11은 2차 양생 후 제품의 터짐 부위의 확대 모습을 나타낸 것이다.

SG를 50% 치환한 PHC 파일의 내면은 내부 골재 노출이 보였으나, 이는 일반 부순골재에서도 원심성형 시 골재의 분포, 입도 및 유동성적인 측면에 따른 부분적으로 골재 노출이 발생하는 일반적인 현상으로 유의할 만한 수준은 아닌 것으로 판단되었다.

양생에 따른 PHC 파일의 표면은 1차 증기양생 종료 후 제작된 2본의 표면에 유의할만한 터짐 현상은 나타나지 않았으나, 2차 고온

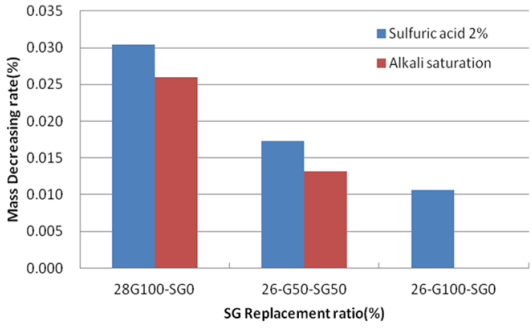


Fig. 7. Mass Decreasing Rate with Chemical Durability Test

Kind	28-G100-SG0-ssulfuric acid 2%	28-G100-SG0-aalkali saturation	26-G50-SG50-ssulfuric acid 2%	26-G50-SG50-aalkali saturation	26-G0-SG100-ssulfuric acid 2%	26-G0-SG100-aalkali saturation
Before						
After						
Result	erosion event and white discolor	negativeness	erosion event and white discolor	negativeness	erosion event and white discolor	negativenessa

Fig. 8. Surface Poperty with Chemical Durability Test

고압 양생 후에는 각 본당 5~7개의 POP-OUT 현상 및 터짐 현상이 발생한 것을 확인할 수 있었으며, 특히 터짐 부위에서 갈색, 흰색, 검은색의 분말가루가 형성되어 있는 모습을 확인할 수 있었다.

Fig. 12는 터짐 부위에서 채취한 분말의 XRD(X-ray Diffraction) 분석 결과를 나타낸 것이고, Table 5는 SEM-EDX(Energy dispersive X-ray spectroscopy)를 통한 분석한 결과를 나타낸 것이다.

XRD를 통한 터짐 부위에서의 광물분석을 실시한 결과, 하얀 분체의 경우는 $MgOH_2$ 수화물과 MgO 성분이 포함되어 있는 것을 확인 할 수 있었으며, 갈색분체의 경우 $CaOH_2$ 수화물과 CaO 성분이 포함되어 있는 것을 확인 할 수 있었고, 검은색 분체의 경우 MgO가 주 피크로 나타났다. 이는 유리되어 있는 MgO 및 CaO는 물과 반응하여 $MgOH_2$ 및 $CaOH_2$수화물로 변화하는 과정에서 팽창하는 특성이 있는 물질로 장기간에 걸쳐 발생하는 팽창 성능이 1차 증기양생에서 반응이 시작되어 2차 고온고압 양생 시 높은 압력에 의한 화학 반응이 촉진되어 PHC 파일 표면에 터짐현상을 일으킨 것으로 판단된다.

Fig. 9. Inner Side Condition of PHC PILE

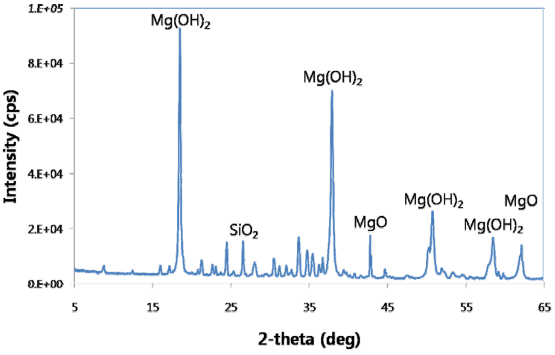
1st steam curing

2nd high temperature and high pressure curing

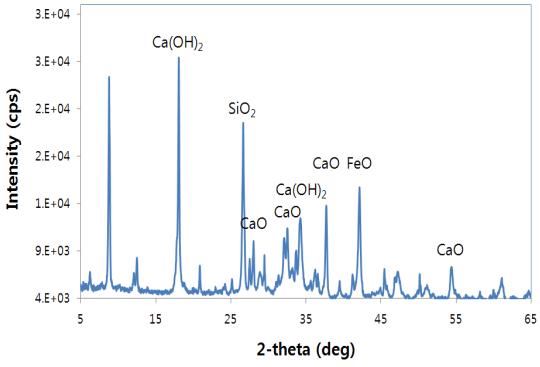
Fig. 10. Surface State of PHC PILE after 1st&2nd Curing

brown powder　　black powder　　white powder

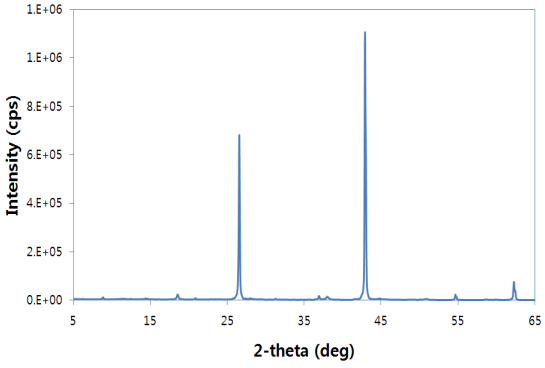
Fig. 11. Expansion Shape of PHC PILE Pop-out



white powder



brown powder



black powder

Fig. 12. XRD Analysis Result

Table 5. SEM-EDX Analysis Result (Composition of Mg & Ca)

kind	O	Ca	Mg	Si
brown	33.10	41.82	0.94	9.42
white	31.59	5.73	35.33	4.10
black	39.02	7.35	42.12	5.22

(Composition of Mg & Ca oxides)

kind	CaO	MgO	CaO+MgO
brown	58.52	1.55	60.07
white	8.02	58.59	66.61
black	10.28	69.84	80.12

특히, 갈색 및 흰색물질의 발생 원인은 기존의 연구 문헌(Park 2013)에 의하면 전로 슬래그 생산 시 투입되는 부재료인 경소백운석 성분이 완전히 슬래그화 되지 못하고 배출된 것으로 보고되고 있으며, MgO의 경우 로를 보호하기 위한 부정형 내화물인 마그네시아 계통의 물질이 원인인 것으로 보고되고 있다. 다만 고로 생성과정에서 현재는 경소백운석의 부재료를 사용하지 않기 때문에 소결 공정에서 투입되는 석회석에 의한 발생과 골재 생산 시 동일 파쇄 공정에서 전로슬래그와 고로슬래그를 파쇄하여 체가름하기 때문에 이러한 파쇄공정에서 전로 슬래그가 혼입되는 두 가지 원인을 고려할 수 있으나, 추가적인 검토는 필요할 것으로 판단된다.

또한, 터짐 부위에서 발견된 분체를 SEM-EDX 로 분석한 결과 갈색분체의 경우 Ca가 41.82%, 흰색분체는 Mg가 35.33%, 검은색도 Mg가 42.12%를 점유하여 주요 조성인 것으로 나타났으며, 이런 Ca와 Mg의 함량을 산화물인 CaO와 MgO로 환산하면 갈색 분체는 CaO가 58.52%, 흰색은 MgO가 58.59%, 검은색은 MgO가 69.84%에 상당하게 되어, KS F 2544의 화학성분 규정보다도 많은 양이 포함된 것임을 확인할 수 있어, PHC 파일용 굵은골재로 사용하기 위해서는 규정치 이상의 CaO 및 MgO과 함유된 골재의 선별이 반드시 이뤄져야 할 것으로 판단된다.

Fig. 13은 실 생산에서 제조된 시제품에 대한 물리적 특성을 실험

Fig. 13. Photo of PHC PILE Test

Table 6. Physical Properties of PHC PILE

Kind	unit	standard	result
crack bending moment	kN · m	54	54.0 no crack
fracture bending moment	kN · m	81.4	115.1
shearing strength	kN	148.1	162.7
compressive strength	N/mm^2	78.5	89.3

하는 모습을 나타낸 것이며, Table 6은 그 결과값을 나타낸 것이다.

KS F 4009에서는 PHC 파일의 바깥 지름을 300~1200mm로 구분하고 이에 따라 A, B, C종으로 나뉘어 각각의 균열 휨 모멘트와 파괴 휨모멘트를 규정하고 있으며, 전단강도의 경우 바깥지름 300~600mm를 대표하는 400mm와 700~ 1200mm를 대표하는 800m에 한해서 A, B, C종으로 나누어 전단강도를 규정하고 있다. 본 연구에서는 전술한 바와 같이 바깥지름 400mm에 대해서 휨모멘트와 전단강도를 검토하였으며, 실험에 사용된 파일은 일부 터짐현상이 발생한 파일을 그대로 사용하였다. 실험 결과, 균열 휨모멘트는 기준값인 54kN·m에서 균열이 발생하지 않았으며, 파괴 휨모멘트에서는 기준값은 81.4kN·m을 초과하여 115.1kN·m에서 균열이 발생하여 기준값을 만족하는 것으로 나타났으며, 전단강도의 경우도 기준값인 148.1kN을 초과한 162.7kN를 나타내어, KS 기준을 모두 만족하였으며, 표면의 일부 터짐현상은 PHC 파일의 성능에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 서냉 고로슬래그 굵은골재의 재활용에 대한 부가가치를 높이고 적용 범위 확대를 위해 PHC 파일 콘크리트용 굵은골재로의 활용성을 검토하기 위해 실내 배합 평가부터 실공정 제품 생산까지를 진행한 것으로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. SG를 사용하는 경우 제품 무게의 증진은 없어 PHC 파일의 운반에 따른 경제성은 문제가 되지 않을 것으로 판단되며, 압축강도는 Plain(28G100-SG0) 보다 낮은 W/B 26%의 배합에서 PHC 파일의 기준 압축강도를 만족하는 것을 확인할 수 있었다.
2. 화학적 저항성은 부순골재를 사용한 배합과 동등 이상의 수준을 나타내어 황산염 및 알카리 등의 화학적 저항성은 양호한 것으로 판단되었다.
3. 실공정 생산 결과, 내부는 약간의 골재 노출이 나타났으며, 표면 형상은 1차 증기양생은 특별한 이상을 나타내지 않았으나, 2차 고온고압 양생 후 시제품의 표면에 터짐 현상이 나타났으나, PHC 파일의 기준 성능은 만족하는 것으로 나타났다.
4. PHC 파일의 터짐 부위를 XRD 및 SEM-EDX 분석 결과 CaO와 MgO가 주요 조성물임을 확인할 수 있었으며, PHC 파일용 굵은골재로 사용하기 위해서는 규정치 이상의 CaO 및 MgO과 함유된 골재의 선별이 반드시 이뤄져야 할 것으로 판단된다.
5. SG 골재를 사용하는 경우 2차 고온고압 양생의 방법에서는 표면 불량에 따른 실용성이 떨어지는 것으로 판단되나, 1차 증기양생만으로 하는 제조방식에서는 충분히 가능성이 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업단지공단의 생태산업단지구축사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

Choi, D.K. (2010). An Experimental Study on the Concrete using the Blast-Furnace Slag Coarse Aggregate, Proceeding of Korean Institute of Construction Engineering and Management, 221-224.

Choi, M.S. (2002). Supply and Demand Stability Counter-measures of Aggregate Resources, Technology Information

of Korea ready-mixed concrete industry association, **73**, 55-58 [in Korean].

Kim, H.D. (2013). Generation and Recycling of Blast Furnace Slag. Proceeding of Korean Recycled Construction Resources Institute **13(2)**, 219-221.

Korea Iron & Steel Association. http://www.kisa.or.kr.

Korean Standards Association (2002). KS F 2544 Blast furnace slag aggregate for concrete.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2014). 5th (2014~2018) Aggregate Supply Basics Plan.

Park, H.I. (2013). Engineering Characteristics of the Electric Arc Furnace Oxidizing Slag as Concrete Aggregate, Master's thesis, Kongju National University [in Korean].

Park, J.H. (2007). Study on the Practical Recycling Strategy of Construction Wastes, Master's thesis, Chungang University [in Korean].

서냉 고로슬래그 굵은골재를 활용한 PHC 파일의 최적배합 및 물리적 특성

본 연구에서는 서냉 고로슬래그 굵은골재를 PHC 파일 콘크리트용 굵은골재로의 활용성을 검토하기 위해 실내 배합 평가부터 실공정 제품 생산까지를 진행하였다. PHC 파일의 기본 물성 및 압축강도는 적절한 배합 조정을 통해 충분히 확보 가능 할 것으로 판단된다. 다만 SG 내에 CaO와 MgO를 다량 포함한 골재의 선별을 반드시 진행되어야 AC(Auto-clave)방식의 PHC 파일 제조 공정에서의 사용이 가능할 것으로 판단되며, 파일의 표면 불량을 제외하고는 KS에서 규정하고 있는 휨모멘트, 전단강도, 압축강도를 모두 만족하는 것으로 나타났다.