

석탄가스화 용융슬래그를 혼합잔골재로 사용한 콘크리트의 기초적 특성 및 내구성 분석

Analysis of Fundamental Properties and Durability of Concrete Using Coal Gasification Slag as a Combined Aggregate

최 일 경¹

한 민 철^{2*}

Choi, Il-Kyung¹

Han, Min-Cheol^{2*}

Doctor's Course, Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea¹

Professor, Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea²

Abstract

The aim of the research is to evaluate the possibility of using coal gasification slag (CGS) as a combined aggregate for concrete mixture. To achieve this goal, the fundamental properties and the durability of concrete were analyzed depending on various combining ratio of CGS into both fine aggregate with favorable gradation and relatively coarse particles. According to the results of the experiment, slump and slump flow were increased with content of CGS regardless of crushed fine aggregate with good and poor gradations while the air content was decreased. For the compressive strength of the concrete, in the case of using the crushed aggregate with good gradation, increasing CGS content decreased compressive strength of the concrete, while when the concrete used crushed aggregate with poor gradation, the compressive strength was the maximum at 50% of CGS content. As a durability assessment, drying shrinkage was decreased and carbonation resistance was improved by increasing CGS content. On the other hand, for freeze-thawing resistance, CGS influenced adverse effect on freeze-thawing resistance. Therefore, it is known that an additional air entrainer is needed to increase the freeze-thawing resistance when CGS was used as a combined aggregate for concrete.

Keywords : integrated gasification combined cycle, coal gasification slag, mixed fine aggregate, durability of concrete

1. 서 론

최근 정부발표에 따르면 국내 대기오염에 영향을 미치는 원인으로 중국 발 초미세먼지의 비중은 30~50%인 반면, 국내에서 생성된 초미세먼지는 비중이 50~70%로 추정하고 있다. 특히, 국내 미세먼지 배출원인 중에는 68.2%의 가장 큰 비중을 차지하는 것이 제조업공장의 화석연료를 연소시키면서 배출하는 초미세먼지 입자들인 것으로 알려지고 있다[1,2].

이와 같이 제조업 공장 중 특히 석탄 화력발전소는 미세먼지 등 대기오염물질을 다량 배출시키는 주요 요인 중 하나로 밝혀지면서, 석탄 화력발전에 대한 부정적인 인식이 점차 높아지고 있다[3]. 하지만, 석탄 화력발전은 2018년 전체발전량 중의 약 41%를 차지하는 매우 중요한 전력공급원으로서, 유연탄의 경우 2019년 kWh당 정산단가가 77.8원에 불과해 52.6 원/kWh인 원자력 다음으로 경제성이 높은 발전원에 속하기 때문에 석탄 화력 발전을 무작정 줄이기에는 현실적이지 않다[4,5].

이에 따라 발전업계 및 관련 전문가들은 기존의 석탄화력의 대안으로 석탄 가스화 복합발전(Integrated Coal Gasification Combined Cycle, 이하 IGCC)을 제시하고 있다[6,7]. IGCC는 석탄을 고온고압 하에서 산소, 수증기와 반응시켜 발생한 합성가스를 연료로 활용하여 가스터빈과 아울러 증기터빈을 구동하는 복합발전시스템이다[8].

Received : February 4, 2020

Revision received : July 21, 2020

Accepted : August 11, 2020

* Corresponding author : Han, Min-Cheol

[Tel: 82-43-229-8484 E-mail: twhan@cju.ac.kr]

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

하지만, IGCC에서는 원료인 석탄화가 고온에서 용융되면서 슬래그 형태로 배출되는 석탄 가스화 용융 슬래그 (Coal Gasification Slag, 이하 CGS)는 기존 슬래그와 유사한 수냉 방식으로 슬래그의 입형이 구형에 가까운 잔골재 형태를 갖게 된다[9].

이와 같은 부산물인 CGS를 건설현장의 부족한 골재자원의 대체재로 혼합하여 사용한 콘크리트의 특성 연구는 활발하게 이루어졌다[10]. 하지만, 도입시기의 차이로 국외의 경우 CGS의 재활용에 관한 연구가 활발히 이루어졌으며, 일본은 2000년대 중반 이후부터 CGS를 콘크리트용 골재로 활용하는 연구를 진행하였고, 2012년에는 CGS를 활용하여 실제 콘크리트 2차 제품을 제조하는 연구를 수행한 바 있다 [11]. 하지만, 한국형 IGCC에 대한 국내 연구는 콘크리트의 기초적 특성이 대부분이며, 내구성 분석에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 CGS를 일반 잔골재에 혼합 활용하여 콘크리트에 미치는 기초적 특성과 더불어 내구성을 검토하여 효율적인 활용성을 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1, 배합사항은 Table 2와 같다. 먼저, 배합 요인으로 물시멘트비는 50%에 대하여 양호한 입도분포의 석산 부순잔골재(이하 CSa)를 사용하고 CGS를 치환하지 않은 경우를 Plain으로 하여, 목표 슬럼프 180 ± 20 mm, 목표 공기량은 4.5 ± 1.5%를 만족하도록 배합 설계한 다음 모든 수준에 동일하게 적용하였다. 결합재는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC)만을 사용하는 것으로 하였다.

Figure 1은 잔골재의 입도분포를 나타낸 것으로 양호한 입도분포인 CSa를 단독으로 사용한 경우와 가늘고 미세한 입자분포인 바다모래(이하 SS)와 다소 굵고 표준입도분포 범위를 벗어나는 입도분포인 부순잔골재(이하 CSb)를 5:5로 혼합한 혼합잔골재(이하 MS) 2수준으로 계획하였다. 이때, 각 골재 변수에 대하여 CGS를 0, 25, 50, 75, 100%인 5수준으로 치환함으로써 콘크리트에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

실험 사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 슬럼프 플로, 공기량을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 재령 별로 압축강도를 측정하였으며, 콘크리트의 내구성 평가로는 건조수축, 탄산화 깊이 및 동결융해 저항성을 측정하는

것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다. 골재로서 부순 굵은골재(이하 CG)와 CSa 및 CSb는 국내 석산에서 생산된 것을, SS는 배타적경제수역(EEZ)에서 채취된 것을, MS는 각각 별도 계량하여 믹서 내에서 혼합하여 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 1. Experimental plan

Factors		Levels
Mixture	W/C (%)	· 50
	Slump (mm)	· 180 ± 20
	Air content (%)	1 · 4.5 ± 1.5
	Binder (%)	· OPC
	Aggregate type	· Single · CSa ¹⁾
	CGS ⁴⁾ contents (%)	2 · MS(CSb ²⁾ :SS ³⁾ =5:5 · 0, 25, 50, 75, 100
Experiment	Fresh concrete	3 · Slump · Slump flow · Air content
	Hardened concrete	4 · Compressive strength (3, 7, 28day)
		· Drying Shrinkage (1~180 days)
		· Carbonation depth (1, 4, 8, 13, 26 week)
		· Freezing and Thawing (300 cycles)

- 1) High Quality Crushed Sand
- 2) Low Quality Crushed Sand
- 3) Low Quality Sea Sand
- 4) Coal gasification slag

Table 2. Mixture proportions of concrete

W/C Series (%)	CGS (%)	Unit weight (kg/m ³)					AE ⁴⁾ (C/%)	SP ⁵⁾ (C/%)	
		W ¹⁾	OPC	CG ²⁾	CSa	MS ³⁾			CGS
50	0				863		0	0.16	0.18
	25				646		215		
	50				430	0	430		
	75				214		643		
	100				0		856		
MS	0	180	360	904		840	0		
	25					634	211		
	50				0	424	424		
	75					214	639		
	100					0	856		

- 1) Water
- 2) Crushed gravel
- 3) Mixed sand (CSb:SS = 5:5)
- 4) Air entraining agent
- 5) Admixture

CGS는 국내 T화력 발전소에 건설된 IGCC에서 발생하는 것으로 주 1회씩 12주를 매주 샘플링하여 총 12회분을 1개 시료로 혼합하여 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 5와 같다. 이때, CGS는 KS의 입도기준에 만족하도록 체가름하여 사용하였다. 또한, CSa 및 MS에 대한 CGS 치환율에 따른 조립률은 Table 6과 같다. 화학혼화제는 국내 C사의 제품으로 폴리카본산계 일반 감수제를 사용하였으며, AE제는 음이온계를 사용하였으며, 그 물리·화학적 특성은 Table 7과 같다.

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L.O.I (%)	Setting time(min)		Compressive strength(MPa)		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	3 450	2.0	275	325	28.4	39.5	52.3

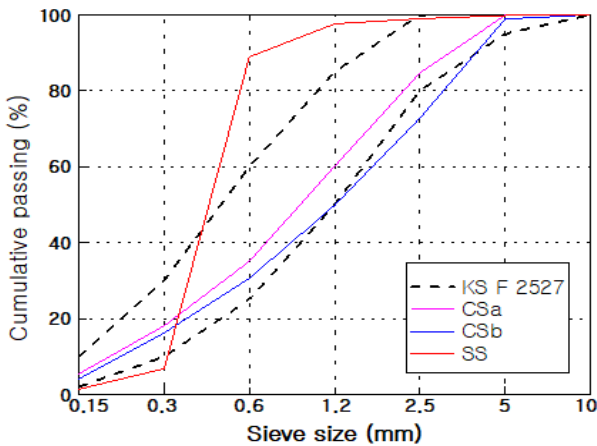


Figure 1. Cumulative distributions with type of fine aggregate

Table 4. Physical properties of aggregate

Type	Density (g/cm ³)	Water absorption ratio(%)	Passing ratio of 0.08 mm sieve(%)	Fineness modulus
CG ¹⁾	2.63	0.36	0.13	6.71
CSa ²⁾	2.61	1.57	3.44	2.71
SS ³⁾	2.62	1.54	5.42	1.68
CSb ⁴⁾	2.67	1.63	6.82	3.56
MS ⁵⁾	2.65	1.59	6.12	2.62

1) Crushed gravel 2) Crushed send 3) Sea send
4) Crushed send (Low quality) 5) Mixed sand (CSb:SS = 5:5)

Table 5. Physical properties of CGS

Density (g/cm ³)	Water absorption ratio(%)	Distribution of grain shape (%)	Safety test (%)	Expansion (%)	Passing ratio of 0.08 mm sieve(%)	Fineness modulus
2.62	3.49	62.35	3.5	0	2.28	3.23

Table 6. Fineness modulus of CGS mixed aggregate

Type	CGS replacement (%)				
	0	25	50	75	100
CSa	2.71	2.84	2.97	3.10	3.23
MS ¹⁾	2.62	2.77	2.92	3.07	3.23

1) CSb : SS = 5 : 5

Table 7. Chemical and physical properties of admixtures

Chemical admixture	Type	Phase	Color	Density (g/cm ³)
Water-reducing agent	Polycarboxylic	Liquid	Dark brown	1.05
Air-entraining agent	Anion	phase	White	1.04

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 굳지 않은 콘크리트의 실험중 슬럼프 및 슬럼프 플로는 KS F 2402 및 KS F 2594 공기량은 KS F 2421에 의거하여 실시하였고, 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2403의 규정에 의거 $\phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체를 제작하여, 수중양생 한 후, 3 MN UTM을 이용하여 KS F 2405의 규정에 의거하여 압축강도를 구하였다.

또한, 콘크리트의 내구성 평가로서 건조수축의 경우 길이 변화율 측정은 $100 \times 100 \times 400$ mm 휨몰드 공시체에 스트레인 게이지를 내부매립한 후 데이터 로거를 활용하여 계획된 재령의 콘크리트 수축량을 측정 분석하였다.

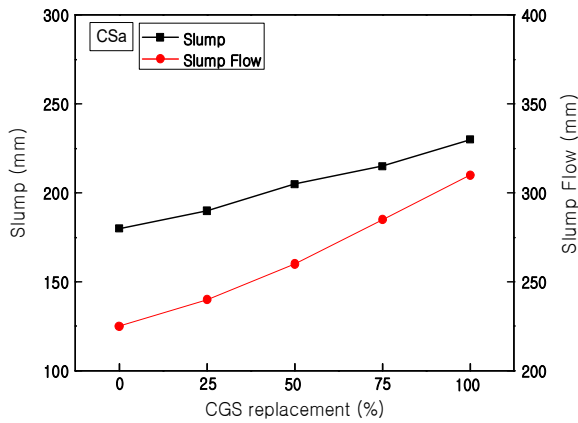
콘크리트의 축진 탄산화 시험의 경우는 KS F 2584에 의거하였고, 콘크리트 탄산화 깊이는 KS F 2596 규정에 맞추어 축진 시험 개시 후 축진 기간 1, 4, 8, 13, 26주가 되었을 때 페놀프탈레인을 이용하여, 탄산화 깊이를 측정하였다. 동결융해 저항성 평가 시험은 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법인 KS F 2456 중 A(수중 급속 동결 융해)방법으로 시험하였고, 동 탄성계수는 KS F 2437의 규정에 따라 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

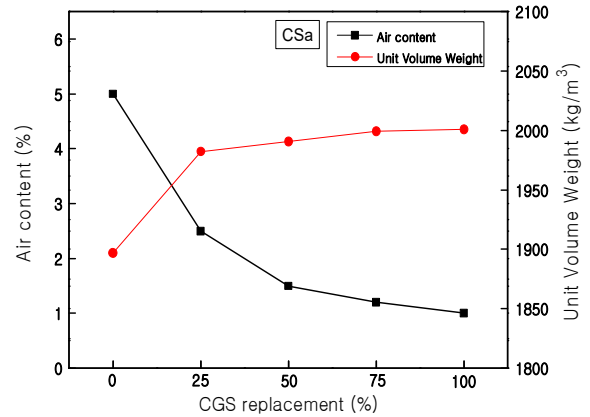
3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

3.1.1 유동성

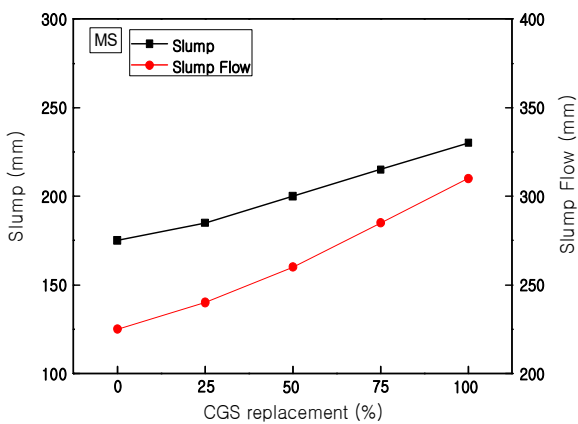
Figure 2는 골재 종류별 CGS 치환율 변화에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로치를 나타낸 것이다. 먼저, 모든 배합비에서 Plain(CG 0%)은 목표 슬럼프 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 또한, CSa 단일골재로 사용한 Plain과 비교하여 CGS 치환율이 증가할수록 높은 유동성을 발휘하였는데, 이와 같은 경향은 혼합골재(MS)의 경우에서도 유사하게 나타났다.



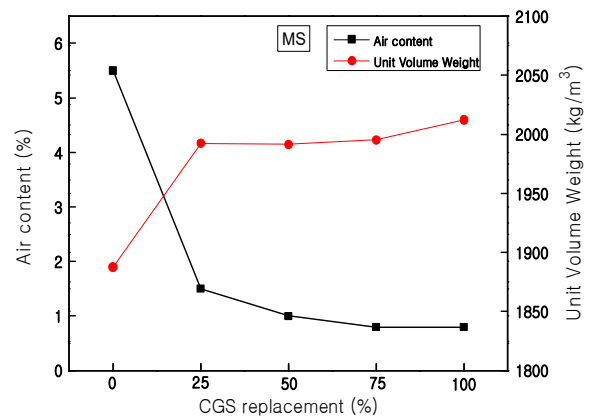
a) CSa+CGS



a) CSa+CGS



b) MS+CGS



b) MS+CGS

Figure 2. Slump & slump flow with fine aggregate type and CGS replacement

Figure 3. Air content with fine aggregate type and CGS replacement

이는 CGS의 입자 형태가 둥근 원형의 유리질로 이루어짐에 따라 불베어링 작용에 기인하여 유동성이 증가한 효과와 아울러, 잔골재와 혼합 시 적절한 입도 분포를 이루어 콘크리트의 유동성이 높게 나타난 것으로 사료된다[12].

3.1.2 공기량

Figure 3은 골재 종류별 CGS 치환율 변화에 따른 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다. 전반적으로 CSa와 MS의 경우 CGS의 치환율이 증가할수록 공기량이 큰 폭으로 감소하는 경향을 보였다. 반면, 단위용적질량의 경우는 공기량과 반비례 관계로 나타났는데, Plain(CGS 0%)를 제외하고 전반적으로 큰 변화 없이 유사한 경향을 나타내었다.

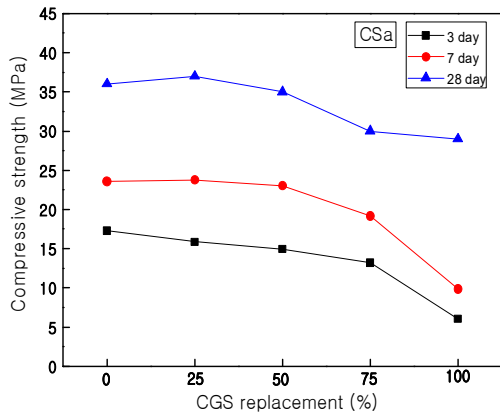
이는 CGS의 미연소탄분 및 골재 표면의 다공질 구조에 의한 AE제 흡착작용에 기인한 것으로서 콘크리트용 골재로 활용 시에는 공기량 감소를 보완할 수 있도록 AE제 추가 투입 등에 대한 대책이 필요한 것으로 판단된다[13].

3.2 경화 콘크리트의 특성

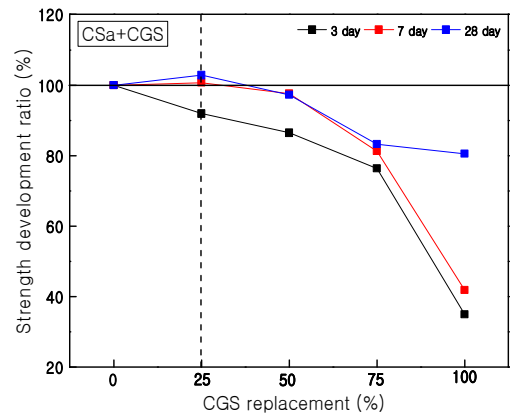
3.2.1 압축강도

Figure 4는 잔골재 종류 및 재령별 CGS 치환율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, Figure 5는 강도 변화에 비율을 나타낸 것이다. 먼저, CSa의 경우 재령에 관계없이 CGS 치환율 증가에 따라 재령별 압축강도는 점차 감소하는 경향을 보였는데, CGS 25%에서 가장 낮은 감소율로 나타났다. 특히, 28일 재령에서는 CGS 25%로 치환한 경우 CGS를 사용하지 않은 배합보다 소폭 증가하는 것으로 나타났다.

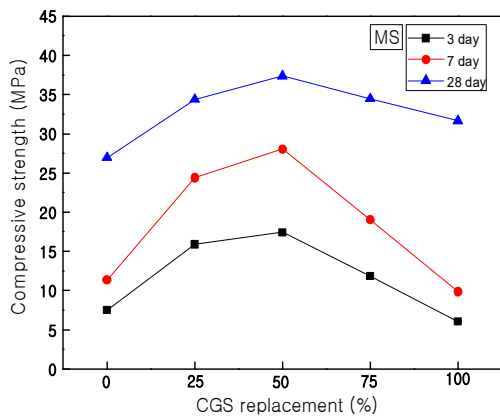
또한, CSb+SS를 사용한 경우는 CSa의 경향과 달리 포물선 그래프로 나타났는데, 모든 재령에서 CGS 50%의 경우 가장 높은 강도 값을 보였고, 치환율 50%이상은 저하하는 경향으로 나타났다. 이때, 강도 발현율로 CGS 0%와 비교하여 CGS 50%에서 3, 7일 재령은 약 200% 이상으로 강도가 크게 발현되는 것으로 나타났으며, 재령 28일은 32% 강도가 향상 발현되었다.



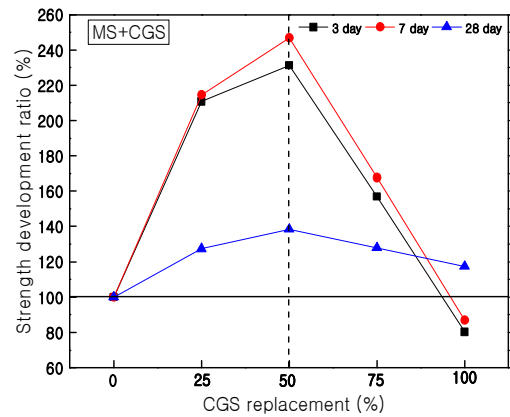
a) CSa+CGS



a) CSa+CGS



b) MS+CGS



b) MS+CGS

Figure 4. Compressive strength with fine aggregate type and CGS replacement

Figure 5. Strength development with fine aggregate type and CGS replacement

이는 Figure 1과 같이 CSa, CSb 및 SS 입자분포에 따라 CGS를 일정량 혼합하였을 때, 배합별로 입도 분포 변화에 따라 강도 발현성이 다르게 나타난 것으로 분석된다. 즉, CSa의 경우 Table 6과 같이 조립률 및 입도 분포가 다소 굵게 분포하여, CGS가 혼합됨에 따라 연속 입도 분포를 벗어남에 따라 강도 발현에 한계를 보인 반면, MS(CSb+SS)는 50% 전후에서 최적 입도를 보임에 기인하여 강도가 증진된 것으로 분석된다.

3.2.2 건조수축

Figure 6은 CGS 치환율별 재령 경과에 따른 건조수축 길이변화율 측정결과를 그래프로 나타낸 것이고, Figure 7은 Plain(CGS 0%) 대비 CGS 치환율에 따른 6개월 건조수축을 비율로 나타낸 그래프이다. 먼저, CSa를 사용한 경우 CGS 치환율에 따른 영향으로 치환율이 증가할수록 건조수축 길이변화율이 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 이는 CGS의 흡수율 및 CGS 혼합에 따른 조립률 및 입도분포 변화에 기인한 것으로 판단된다.

한편, MS를 사용한 경우는 CGS 치환율이 증가할수록 건조수축 길이변화율이 감소하는 것으로 나타났는데, CGS 치환율 50%에서 최대 16%로 우수한 건조수축 저감율을 나타냈다. 이는 CGS의 최밀충전에 따른 수축저감 효과에 기인한 결과로 판단된다. 특히 CGS의 유동성 향상 효과는 결국 콘크리트 단위수량을 작게 할 수 있게 되는데, 이는 추가적인 수축균열 방지 효과로 작용 될 수 있을 것으로 판단된다[14].

3.2.3 탄산화 깊이

Figure 8은 잔골재 종류 및 CGS 치환율별 재령 경과에 따른 탄산화 깊이의 측정결과를 나타낸 것이고, Figure 9는 26주 재령에서 Plain(CGS 0%) 대비 CGS 치환율에 따른 탄산화 깊이를 비율로 나타낸 그래프이다. 먼저, CSa를 사용한 경우 CGS 치환율에 따른 영향으로 치환율이 증가할수록 Plain(CGS 0%) 대비 탄산화가 저감되는 것으로 나타났는데, Figure 8과 같이 CSa에 CGS 치환율 25%에서 약 58%의 탄산화 저항성을 나타냈고, 또한 MS(CSb

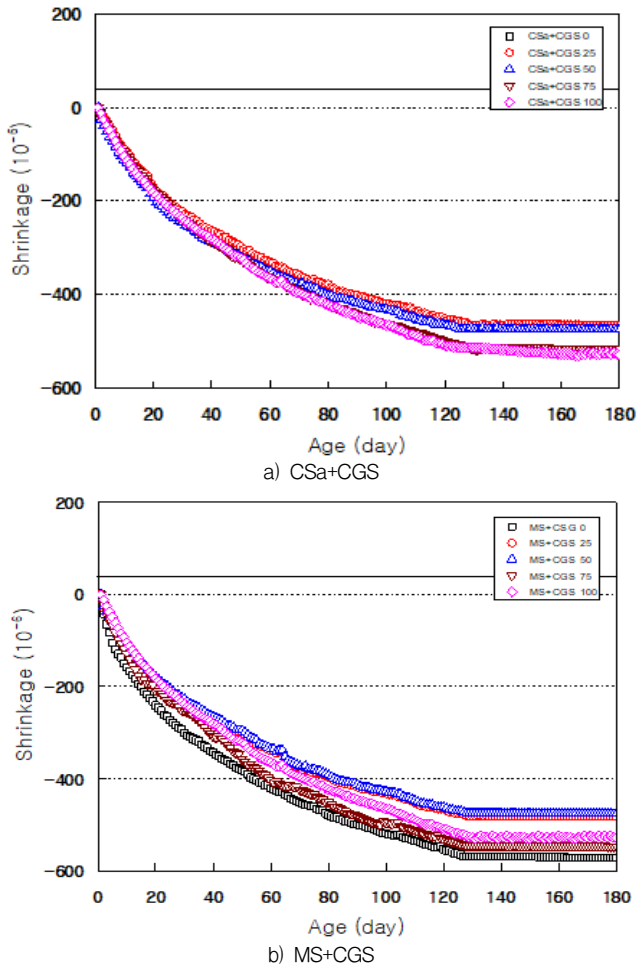


Figure 6. Shrinkage with fine aggregate type and CGS replacement

+SS)를 사용한 경우는 CGS 치환율 50%에서 60%의 탄산화 저항성을 나타냈으나 단, CGS 치환율이 증가할수록 탄산화 저항성이 계속 증가하지 않고 오히려 약간 감소하는 것으로 나타났다.

이는 전술한 바와 같이 일반 잔골재와 CGS 혼합에 따른 잔골재 입도분포의 충전 효과, 공기량 저하에 따른 탄산화 침투 공극의 감소와 복합적인 영향으로 탄산화 저항성이 증가한 것으로 사료 된다[15].

3.2.4 동결융해 저항성

Figure 10은 잔골재 종류 및 CGS 치환율 별 동결융해 사이클 변화에 따른 상대 동탄성 계수를 나타낸 것이다. 먼저, Plain(CGS 0%)의 경우 동결융해 300 cycles까지 상대 동탄성계수가 90%이상으로 우수한 반면, 잔골재 종류와 관계없이 CGS의 치환율이 증가함에 따라 전반적으로 동결융해 120 cycles 전후에서 상대 동탄성계수가 60%미만으로 감소하는 경향으로 나타났다.

이는 콘크리트의 동결융해 저항성은 소요 공기량(3~6%)에

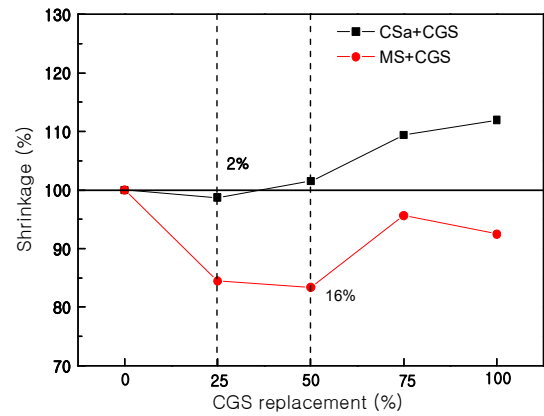
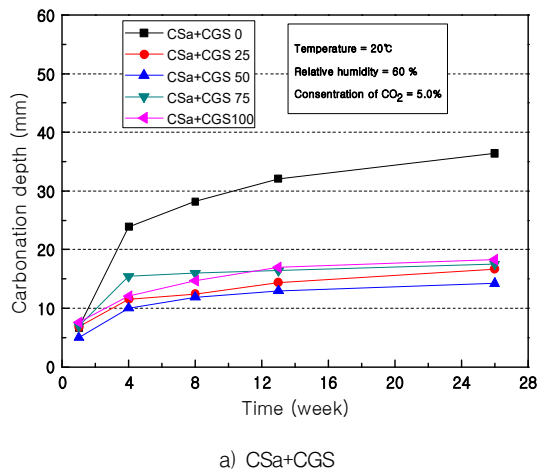
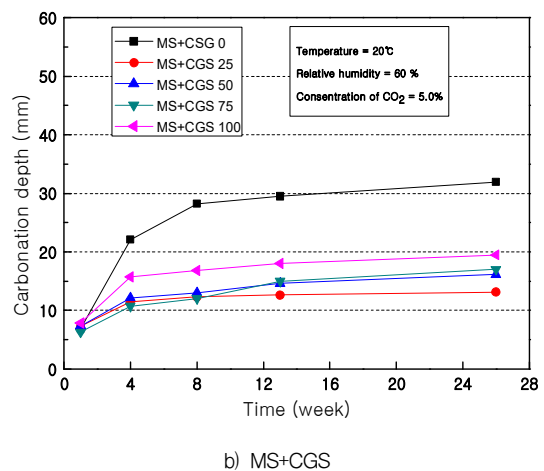


Figure 7. Resistance of shrinkage with fine aggregate type and CGS replacement



a) CSa+CGS



b) MS+CGS

Figure 8. Carbonation depth with fine aggregate type and CGS replacement

의존하므로 Figure 2와 같이 CGS 치환율에 증가에 따른 공기량이 감소에 기인하여 내동해성이 감소한 것으로 판단 된다. 따라서, 콘크리트 배합설계에서는 이와 같은 내동해성 경향을 반영할 수 있도록 공기량의 확실한 확보가 필수적인 것으로 사료 된다[16].

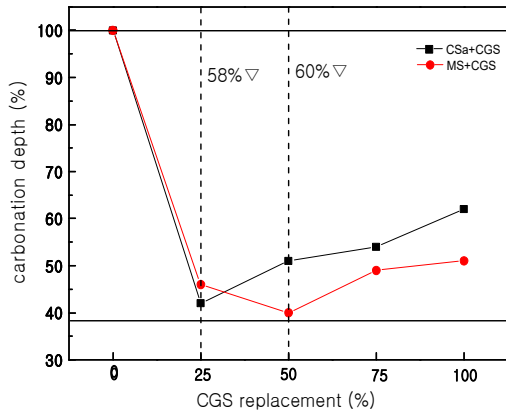
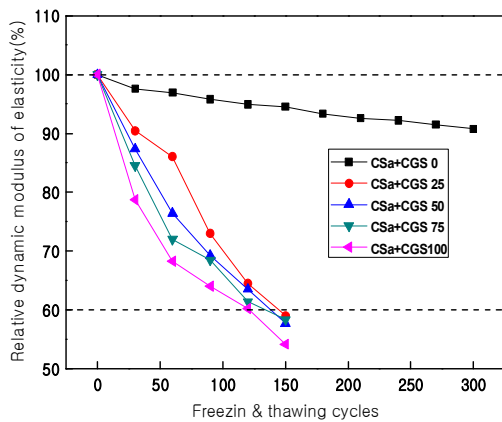
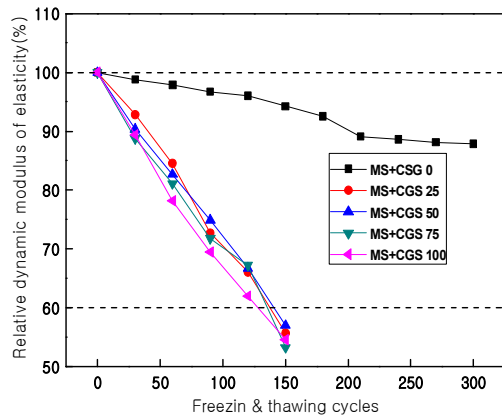


Figure 9. Resistance of carbonation depth development with fine aggregate type and CGS replacement



a) CSa+CGS



b) MS+CGS

Figure 10. Resistance of carbonation depth with fine aggregate type and CGS replacement

4. 결론

본 연구는 CGS를 콘크리트용 잔골재로의 활용성을 검토하기 위하여 양호한 입도의 부순잔골재(CSa)와 혼합잔골재

(MS)에 대하여 CGS를 치환율별로 혼합함에 따른 콘크리트의 기초적 특성 및 내구성을 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 슬럼프 및 슬럼프 플로는 CSa 및 MS 모두 CGS 치환율이 증가할수록 증가하였으나, 공기량의 경우는 반대로 크게 감소하였다.
- 2) 압축강도의 경우는 CSa 및 MS 입자분포에 따라 CGS를 일정량 혼합하였을 때, 입도분포 변화에 따라 강도 발현성이 다르게 나타나는데 즉, CSa의 경우는 전반적으로 감소하는 경향을 나타냈으나, MS의 경우는 50% 전후에서 연속입도분포 경향에 기인하여 가장 높은 강도발현을 나타내었다.
- 3) 건조수축 길이변화의 경우는 CSa 및 MS에 CGS를 치환함에 따른 영향으로 CSa의 경우는 CGS의 흡수율 및 혼합에 따른 조립률 및 낮은 강도발현에 기인하여 건조수축이 증가하는 것으로 나타났지만, MS를 사용한 경우는 CGS 치환율 50%에서 연속입도분포에 따라 최밀충전으로 건조수축 길이변화율이 감소하는 것으로 나타났는데, 최대 약 16%의 건조수축이 저감되었다.
- 4) 탄산화 깊이의 경우는 CSa 및 MS 모두 CGS 치환율이 증가할수록 Plain(CGS 0%) 대비 낮아진 공기량등에 기인하여 탄산화가 저감되는 것으로 나타났는데, 특히 MS에서 CGS 치환율 50%일 때 가장 큰 약 60%의 탄산화 저항성을 나타내었다.
- 5) 동결융해 저항성의 경우는 CSa 및 MS 모두 CGS치환율 증가에 따라 전반적으로 동결융해 사이클 120 cycles 전후에서 공기량 저하에 기인하여 상대 동탄성 계수가 60%미만으로 감소하였다.

이상을 종합하면 CGS를 잔골재와 혼합하여 사용하면 유동성 확보 및 입도보정에 따른 강도증진, 건조수축 및 탄산화 감소로 잔골재의 효용가치가 충분한 것으로 사료된다. 하지만, 내동해성 저하 문제를 해결하기 위해서는 콘크리트용 혼합골재로 활용 시에 공기량 감소를 보완할 수 있도록 AE제 추가 투입 등의 대책이 필요할 것으로 분석된다.

요 약

본 연구는 CGS를 콘크리트용 혼합골재로서 활용성을 검토하기 위하여 양호한 입도분포의 부순잔골재(CSa) 및 미립자인 해사와 굵은 입자의 부순잔골재를 혼합한 혼합골재(MS)에 CGS의 치환율 변화에 따른 콘크리트의 기초적 특

성 및 내구성을 분석하였다. 실험결과, 슬럼프 및 슬럼프 플로는 CSa 및 MS 모두 CGS 치환율이 증가할수록 증가하였으며, 공기량은 반대로 감소하였다. 압축강도는 CSa를 사용한 경우 CGS 치환율이 증가할수록 저하하였지만, MS를 사용한 경우는 CGS 50%에서 최대치를 나타내었다. 콘크리트 내구성을 검토한 결과로, 건조수축 및 탄산화 깊이측정의 경우는 CGS 치환율에 따라 양호한 성능을 나타내었다. 하지만, 내동해성에서는 전반적으로 CGS 치환율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, CGS를 치환 사용하는 혼합골재 콘크리트의 경우는 공기량 감소를 보완할 수 있도록 AE제 추가 투입 등의 대책을 수립한다면, 큰 문제 없을 것으로 판단된다.

키워드 : 석탄가스화 복합발전, 석탄가스화 용융슬래그, 혼합골재, 콘크리트의 내구성

Funding

This research was supported by the Korea Western Power Co., Ltd. in 2017. Task number: 20170151000

ORCID

Min-Cheol Han, <https://orcid.org/0000-0002-2555-673X>
Il-Kyung Choi, <https://orcid.org/0000-0002-7365-1272>

References

- Shim CS. Enrgy focus. 71th de. Korea: Shin Him Chul c2019. Chapter 2, Issues and Eyes; p. 12-6.
- Dan Z, Kang SM. PM2.5 Management in Suburbs of China: Focusing on The Capital of Beijing. Journal of the Environmental Economics Association Institute of Korea. 2017 Jun;2017(0):545-51.
- Kim SC. Integrated coal gasification combined cycle technology and CCS. Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers. 2011 May;29(5):600-4.
- Jo KD. Increase the Point tax Bituminous Coal for Power Generation LNG level [Internet]. Korea: Chosun Biz agency; 2018 Jul 03 [updated 2018 Jul 03]. Available from: https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2018/07/03/2018070302174.html
- Online Electric Power Statistics Information System [Internet]. Korea Power Exchange: Korea Electric Power Corporation. 200 1- [cited 2019 Oct 1]. Available from: <http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/selectEkmaUpsBftGrid.do?menuId=050701>
- Kim YG. Integrated coal gasification combined cycle(IGCC). Journal of Electrical World Monthly Magazine. 2014 Aug;(452):29-34.
- Woo SK, Kim SY, Hong KS. IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle) technology and ceramic materials. Journal of the Ceramic Society Institute of Korea. 2010 Apr;13(2):32-40 .
- Lee HD. Seoktaneneoji Iyong Gisulgwa Sijang Donghyang [Coal Energy Utilization Technology and Market Trends]. Journal of Electrical World Monthly Magazine. 2014 Apr;(448):45-51.
- Cho SH, Kim JM, Han KS, Kim MH. The properties of flow and compressive strength of mortar according to replacement ratio of rapidly-chilled steel slag fine aggregate. Journal of the Korea Concrete Institute 2005 Feb;17(1):77-84. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2005.17.1.077>
- Park KT, Han MC, Hyun SY. Engineering properties of concrete using of coal gasification slag as the fine aggregates. Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute. 2019 Sep;7(3):194-201. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2019.7.3.194>
- Horiguchi I, Shirai A, Watanabe M, Sugihara S. Fundamental study on oncrete with coal gasification slag. Cement Science and Concrete Technology. 2012 66(1):615-21. <https://doi.org/10.14250/cement.66.615>
- Park KT, Han MC, Hyun SY. Analysis the use of concrete fine aggregates of coal gasification slag. Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute. 2019 Jun;7(2):101-8. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2019.7.2.101>
- Park KT, Han MC, Hyun SY. Foundation properties of cement mortar in the use of fine aggregate of coal gasification slag. Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute. 2019 Jun;7(2):116-22. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2019.7.2.116>
- Park KT. Feasibility evaluation of application of coal gasification slag to concrete aggregates [doctor's thrsis]. [Cheongju (Korea)]: Cheongju University; 2018. 210 p.
- Kwon SJ, Song HW, Park SS. A study on change in cement mortar characteristics under carbonation based on tests for hydration and porosity. Journal of the Korea Concrete Institute. 2007 Oct; 19(5):613-21. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2007.19.5.613>
- Park SJ. The effect of entrained air contents on the properties of freeze-thaw deterioration and chloride migration in marine concrete. Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection. 2008 Aug;12(5):161-8.