

고로슬래그 혼입 콘크리트의 고온 조건에서의 열역학 성능

Thermal Characteristics of Concrete Fabricated with Blast Furnace Slag Subjected to Thermal Cycling Condition

양인환^{1*} · 박지훈¹In-Hwan Yang^{1*} · Ji-Hun Park¹

(Received September 22, 2017 / Revised December 13, 2017 / Accepted December 13, 2017)

The thermal characteristics of concrete fabricated with blast furnace slag were investigated in this paper. Test parameters included water-binder ratio and the content of furnace slag. Experimental program were performed to measure mechanical properties including compressive strength and split tensile strength under high-temperature thermal cycling, and to measure thermal properties including thermal conductivity and specific heat. Test results showed that the residual compressive strength of mixtures with blast furnace slag was greater than that of mixture without blast furnace slag. In addition, thermal conductivity of mixtures with blast furnace slag was greater than that of mixtures without blast furnace slag. It indicates that blast furnace slag was favorable for charging and discharging in thermal energy storage system. Test results of this study would be used to design concrete module system of thermal energy storage.

키워드 : 고로슬래그, 열에너지, 열에너지 저장, 열전도율, 비열

Keywords : Blast furnace slag, Thermal energy, Thermal energy storage, Thermal conductivity, Specific heat

1. 서론

신재생에너지 중 태양에너지를 활용하는 것이 가장 매력적인 대체에너지원 중의 하나이며, 이에 따른 경제적이고 효율적인 태양열 저장시스템의 개발은 주요 관심사이다.

태양열은 주간과 야간 시간 및 날씨 조건에 따라 지속적으로 열에너지를 획득할 수 없으므로 열에너지 저장 시스템(storage system) 또는 백업 시스템(back-up system)이 필수적이다. 태양열을 직접 활용하기 어려운 야간시간이나 날씨가 좋지 않은 시간대에 태양열 에너지를 활용하기 위해 주간 시간대에 태양열을 저장하고 야간 시간에 열을 방출하여야 한다. 따라서 열에너지 저장은 태양열 발전 분야에서 경제적 관점과 기술적 관점에서 주요한 요소이다(Faas 1983; Kolb and Hassani 2006; John et al. 2013).

고온의 태양열을 저장하는 대표적인 기법으로 현열저장기법과 잠열저장기법으로 구분된다. 현열저장은 열전달 유체를 통하여 열

저장 매체에 열을 전달하거나 열을 빼앗아 열저장 매체에 열을 저장하거나 추출하는 기법이다. 기존의 현열을 저장하는 대표적인 방법은 비압축성 물을 축열 매체로 이용하는 방법이다. 저온의 열에너지를 저장할 때 비압축성의 물을 이용하는 현열저장은 가능하나, 100°C를 초과하는 고온의 열을 저장할 때 비압축성 물을 열저장 매체로서 적용할 수 없다(Laing et al. 2010). 따라서, Laing et al.(2012)은 400°C 이상의 고온 태양열의 효율적 저장을 위해 고체 열저장 매체를 이용한 열저장기법에 주목한 바 있다. 고체 열저장 매체는 사공이 수월하고 비상시에 환경 위험이 작아야 하므로 콘크리트가 효과적인 대안 재료 중의 하나이다(Laing et al 2006). 한편, 잠열 저장을 위해 열에너지는 재료의 상(phase)이 변환하여 저장되거나 추출하며 재료의 온도변화는 거의 없다.

기존의 연구(Fernandez et al. 2010; Skinner et al. 2014; Yuan et al. 2012; Strasser and Selvam 2014)는 콘크리트를 이용한 두 가지 태양열에너지 저장 기법을 구분한다. 첫 번째 방법은 열저장

* Corresponding author E-mail: ihyang@kunsan.ac.kr

¹군산대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Jeonbuk, 54150, Korea)

탱크에 열저장 매체 물질로서 암석과 콘크리트 등의 고체 재질의 조합을 통한 열저장 기법이다. 태양열 집열장치에서 가열된 용융 염은 저장탱크의 상부로 들어가므로, 열저장 매체의 온도는 올라가고 냉각된 염은 탱크의 바닥으로 이동하여 탱크 내부에 온도구배를 형성하는 변온층 열저장 기법(thermocline system)이다(Fass 1983; Pacheco et al. 2002; Kolb and Hassani 2006). 또 다른 방법은 콘크리트 열저장 매체와 열교환 관을 적용한 기법이다. 콘크리트 블록 내에 열전달관을 매립하여 열전달관 내부로 열전달 유체가 순환하도록 한다. 열전달관이 열교환 장치의 역할을 하여 콘크리트 매체에 열을 저장하는 시스템이다. 콘크리트를 고온의 열저장 매체로 사용하기 위해서는 열사이클을 고려한 재료의 역학적 및 열적 특성의 파악이 필요하다(Yang et al. 2016; Yang and Kim 2016).

따라서, 이 연구에서는 400°C 이상 고온의 열을 콘크리트 매체에 저장하기 위해 고로슬래그를 바인더로 활용한 콘크리트의 열적 특성과 역학적 특성을 연구하였다. 고로슬래그는 경제적인 콘크리트 축열 모듈을 생산하기 위한 대안으로써 보통포틀랜드시멘트를 대체할 수 있는 혼화재료이다. 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 기본 바인더로 사용하고 고로슬래그의 혼입률에 따른 콘크리트의 열역학적 특성실험을 수행하고 실험결과를 분석하였다. 역학적 특성으로써 고온의 열사이클 적용 전후의 압축강도 및 인장강도 특성을 분석하고, 열적 특성으로써 고온의 열사이클 적용 전후비열과 열전도율 특성을 평가하였다.

2. 고로 슬래그 콘크리트 배합

이 연구에서는 보통포틀랜드시멘트와 고로슬래그 바인더로 사용하여 콘크리트 배합설계를 수행하였다. 7개의 배합을 대상으로 실험을 수행하였다. 배합별 단위체적당 배합표를 Table 1에 나타내었다. 콘크리트의 물-바인더 비(w/b)를 0.33과 0.31의 두 개의

Table 1. Mix proportions

Batch	Unit contents(kg/m ³)						
	w/b	Water	Cement	Slag	Fine agg.	HRWR	PP fiber
M1	0.33	350	1050		820	6.3	2.0
M2	0.33	350	840	210	820	6.3	2.0
M3	0.33	350	630	420	820	6.3	2.0
M4	0.33	350	420	630	820	6.3	2.0
M5	0.31	365	944	236	600	7.1	2.0
M6	0.31	365	708	472	600	7.1	2.0
M7	0.31	365	472	708	600	7.1	2.0

배합 시리즈로 구분하였다. 물-바인더 비(w/b)가 0.33인 배합에서 보통포틀랜드시멘트만을 사용한 경우를 기본 배합으로 하고, 보통포틀랜드 시멘트 중량의 20, 40 및 60%를 고로슬래그시멘트로 치환한 경우를 고려하였다. 또한 물-바인더 비(w/b)가 0.31인 배합에서 보통포틀랜드 시멘트 중량의 20, 40 및 60%를 고로슬래그시멘트로 치환한 경우를 고려하였다.

콘크리트는 고온의 환경에서 내부 증기압의 갑작스런 증가 때문에 폭발현상이 발생할 수 있다(Neville 2012). 이에 따라 콘크리트의 폭발을 방지하기 위해 콘크리트에 섬유를 혼입하여 보강하는 것이 유리하다(Hannant 1998; Bilodeau et al. 2004; Suhaendi et al. 2008). 고온에서 콘크리트의 폭발을 방지하기 위한 보강 섬유로서 폴리프로필렌(PP)섬유를 혼입하였다(Fig. 1). PP섬유의 배합별 단위중량은 2.0kg/m³이며, 이는 바인더 중량의 0.25% 혼입량이다. PP섬유의 지름은 21μm, 비중은 0.91, 길이는 12.7mm이다. 또한, PP섬유의 인장강도는 400MPa이다.

각 배합별로 콘크리트 제조는 바인더, 잔골재 및 PP섬유를 섞는 건비빔 단계, 배합수와 액상 혼화제 투입 후의 1차 믹싱단계, 유동성 확인 후의 2차 믹싱 단계로 순차적으로 진행하였다. 먼저 시멘트와 잔골재 투입하고 PP섬유는 분산성을 확보할 수 있도록 소량씩 나누어 투입하여 건비빔을 실시하였다. 이 후 배합수와 고성능감수제 등의 액상 재료를 투입하여 1차 믹싱을 완료하고 믹서 내부의 재료들이 배합수와 충분히 혼합되어 콘크리트 유동성능의 확보여부를 파악하였다. 이 후 2차 믹싱을 실시하여 믹싱을 완료하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도 성능

직경이 100mm이고 높이가 200mm인 원주형 공시체를 이용하여 열사이클 전과 후의 고로슬래그 혼입 콘크리트의 압축강도를 측정하였다. Table 2에 실험결과를 나타내었고 Fig. 2에 압축강도



Fig. 1. Polypropylene fibers

Table 2. Test results

Batch	Compressive strength(MPa)			Split tensile strength(MPa)			Thermal conductivity(W/mK)			Specific heat(J/gK)		
	Before thermal cycling	After thermal cycling	Retaining ratio (%)	Before thermal cycling	After thermal cycling	Retaining ratio (%)	Before thermal cycling	After thermal cycling	Retaining ratio (%)	Before thermal cycling	After thermal cycling	Retaining ratio (%)
M1	56.8	36.6	64.4	4.42	2.12	48.0	1.435	0.932	64.9	1181	1052	89.1
M2	67.1	32.0	47.7	4.50	1.45	32.2	1.211	0.717	59.2	1233	771	62.5
M3	70.9	33.7	47.5	3.75	1.56	41.7	1.481	0.919	62.1	1281	808	63.1
M4	70.4	35.5	50.4	4.54	1.62	35.7	1.574	1.024	65.1	1216	674	55.4
M5	73.4	33.7	45.9	3.63	1.35	37.1	1.174	0.674	57.4	1278	905	70.8
M6	83.4	40.2	48.3	5.24	1.55	29.6	1.179	0.657	55.7	1357	940	69.3
M7	77.2	37.9	49.1	3.93	1.05	26.7	0.902	0.456	50.6	1258	644	51.2

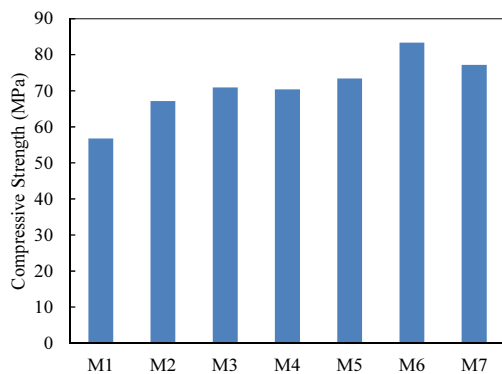


Fig. 2. Test results of compressive strength before thermal cycling

측정결과를 나타내었다.

보통포틀랜드시멘트(OPC)만을 바인더로 사용한 배합(M1)의 열 사이클 적용 전의 압축강도는 56.8MPa이다. 물-바인더 비를 0.33을 적용하여 OPC를 고로 슬래그로 20, 40 및 60% 치환한 배합(M2~M4)의 열사이클 적용 이전의 압축강도는 각각 67.1, 70.9 및 70.4MPa이다. 고로슬래그 치환률이 증가할수록 열사이클 전의 압축강도는 증가하는 경향을 나타낸다. 또한, 물-바인더 비를 0.31을 적용하여 OPC를 고로 슬래그로 20, 40 및 60% 치환한 배합(M5~M7)의 열사이클 적용 이전의 압축강도는 각각 73.4, 83.4 및 77.2MPa이다. M1 배합의 압축강도보다 M5~M7 배합의 압축강도는 증가하는 경향을 나타낸다.

3.2 잔류압축강도 성능

태양열저장 시스템은 주간에는 고온의 열에너지를 흡열하고 야간에는 주간에 흡열한 고온의 열에너지를 방열하는 과정을 거치게 된다. 고온의 열사이클 반복 조건에서의 고로슬래그 콘크리트 압축강도 성능을 평가하고자 하였다. 따라서, 고온 열사이클에 노출

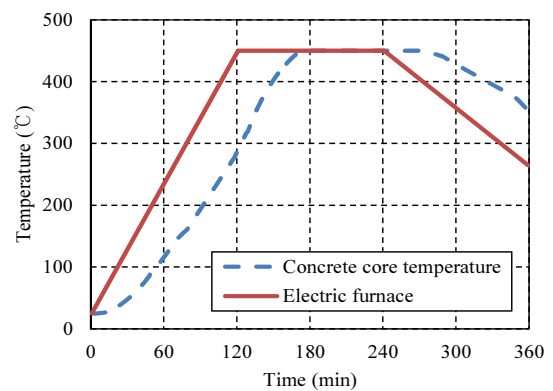


Fig. 3. Temperature history curve

된 후의 콘크리트 잔류압축강도를 측정하였다.

이 실험에서는 열사이클의 최대온도를 450°C로 설정하였다. 각 배합별 원주형 시편을 전기로 안에서 상온에서부터 3.75°C/min의 가열속도로 최대온도 450°C까지 가열하였다. 최대온도에 도달 후, 전기로 온도를 두 시간 동안 450°C로 유지하였다. 이후 오븐의 온도를 상온으로 서서히 낮추었다. 오븐의 온도를 상온에서 2시간 유지한 후, 다시 최대온도까지 가열하였다. 1회 열사이클 수행동안 측정된 온도이력곡선을 Fig. 3에 나타내었다. 이러한 열 사이클 절차를 8회 수행하였다. 기존연구결과(John et al, 2013)는 콘크리트가 2~3회의 고온의 열사이클에 노출되었을 때 압축강도가 감소하는 경향을 나타낸다. 또한 그 이후 열사이클 조건에서의 압축강도 감소는 작은 것으로 나타낸다. 8회의 열사이클 수행 후에 콘크리트의 잔류압축강도를 측정하였다. 열사이클 적용 전의 압축강도에 대해 열사이클 적용 후의 압축강도 비를 잔류강도비로 나타내었다. 잔류압축강도 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다.

OPC를 바인더로 사용한 배합(M1)의 열사이클 적용 후의 압축강도는 36.6MPa이고, 압축강도 잔류비는 64.4%이다. 물-바인더

비를 0.33으로 적용하여 OPC를 고로 슬래그로 20, 40 및 60% 치환한 배합(M2~M4)의 열사이클 적용 후의 압축강도는 각각 32.0, 33.7 및 35.5MPa이고, 잔류압축강도 비는 47.7, 47.5 및 50.4%이다. 또한, 물-바인더 비를 0.31로 적용하여 OPC를 고로 슬래그로 20, 40 및 60% 치환한 배합(M5~M7)의 열사이클 적용 이후의 압축강도는 각각 33.7, 40.2 및 37.9MPa이고, 잔류압축강도 비는 45.9, 48.3 및 49.1%이다. M6와 M7 배합의 잔류압축강도가 다른 배합의 잔류압축강도보다 크게 나타난다. 이러한 실험결과는 물-바인더 비를 작게 하고 고로슬래그 치환률을 40~60%일 때의 잔류압축강도가 유리한 것을 나타낸다.

3.3 쪼갬인장강도 성능

지름이 100mm이고 높이가 200mm인 원주형 공시체를 이용하여 쪼갬인장강도 실험을 수행하였다. Fig. 5에 쪼갬인장강도 측정 결과를 나타내었다.

보통포틀랜드시멘트만을 바인더로 사용한 배합(M1)의 열사이클 적용 전과 후의 쪼갬인장강도는 각각 4.42 및 2.12MPa이다.

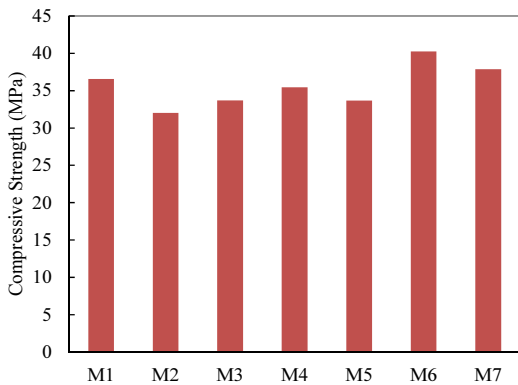


Fig. 4. Test results of compressive strength after thermal cycling

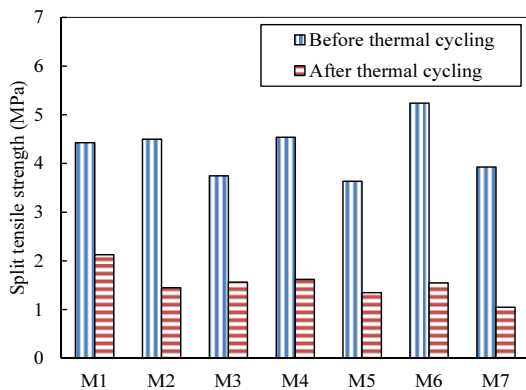


Fig. 5. Test results of split tensile strength

물-바인더 비를 0.33으로 적용한 M2, M3 및 M4 배합의 열사이클 적용 이전의 쪼갬인장강도는 각각 4.50, 3.75 및 4.54MPa이고, 열사이클 적용 이후의 쪼갬인장강도는 각각 1.45, 1.56 및 1.62MPa이다. 한편, 물-바인더 비를 0.31로 적용한 M5, M6 및 M7 배합의 열사이클 적용 이전의 쪼갬인장강도는 각각 3.63, 5.24 및 3.93MPa이고, 열사이클 적용 이후의 쪼갬인장강도는 각각 1.35, 1.55 및 1.05MPa이다. 모든 배합의 열사이클 적용 이후의 쪼갬인장강도는 뚜렷한 차이를 나타내지 않는다.

3.4 열전도율 성능

고온의 열에너지를 저장하기 위한 콘크리트 축열 블록의 열역학적 특성을 모사하기 위해서는 블록 제조에 사용되는 콘크리트 재료의 열전도율과 비열 등의 열적 특성 파악이 필요하다(Kodur and Sultan 2003). 콘크리트 축열 블록에서의 축열과 방열이 효과적으로 이루어지기 위해서는 콘크리트의 열전달률이 높을수록 유리하다.

콘크리트 시편의 열전도율을 측정하기 위하여 TPS-1500 장비(스웨덴 Hot Disk사 제품)를 이용하였다(Fig. 6). 먼저 크기가 직경 100mm×높이 200mm인 원주형 시편을 상온과 동일한 온도가 되도록 24시간 방치한다. 이후 온도평형이 이루어진 시편을 서로 맞닿게 배치하고 시편과 시편 사이에 측정센서가 맞물리도록 고정하여 열전도율을 측정하였다.

고로슬래그 콘크리트의 열사이클 적용 전과 후의 열전도율 측정결과를 Fig. 7에 나타내었다. 보통포틀랜드시멘트만을 바인더로 사용한 배합(M1)의 열사이클 적용 전과 후의 열전도율 측정결과는 각각 1.435 및 0.932W/m·K이다. 물-바인더 비를 0.33을 적용한 M2, M3 및 M4 배합의 열사이클 적용 이전의 열전도율은 각각



Fig. 6. Measurement of thermal conductivity

1,211, 1,481 및 1,574W/m · K이고, 열사이클 적용 이후의 열전도율은 각각 0.717, 0.919 및 1.024W/m · K이다. 한편, 물-바인더 비를 0.31을 적용한 M5, M6 및 M7 배합의 열사이클 적용 이전의 열전도율은 각각 1.174, 1.179 및 0.902 W/m · K이고, 열사이클 적용 이후의 열전도율은 각각 0.674, 0.657 및 0.456W/m · K이다. M3와 M4 배합의 열전도율이 다른 배합의 열전도율보다 크게 나타나므로, 물-바인더 비가 0.33이고 고로슬래그 치환률이 40 및 60%일 때 콘크리트의 열전도율이 우수하다고 판단된다.

3.5 비열 성능

태양열 저장시스템에 저장되는 현열 열용량은 콘크리트의 비열, 부피, 단위중량 및 온도차의 함수로 표현된다. 사용 재료의 비열이 높을수록 축열 시스템의 열저장 능력이 증가한다. 따라서 열저장 용량을 증가시키기 위해서는 비열이 높은 콘크리트의 사용이 필요하다.

비정상면가열법의 이론에 기초하여 이중나선형(double spiral)의 센서를 이용한 열물성 측정장비인 TPS-1500을 이용하여 원주

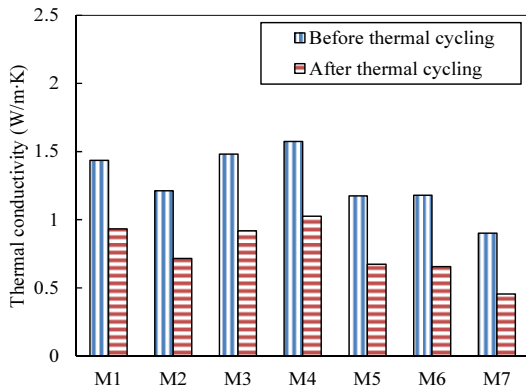


Fig. 7. Test results of thermal conductivity

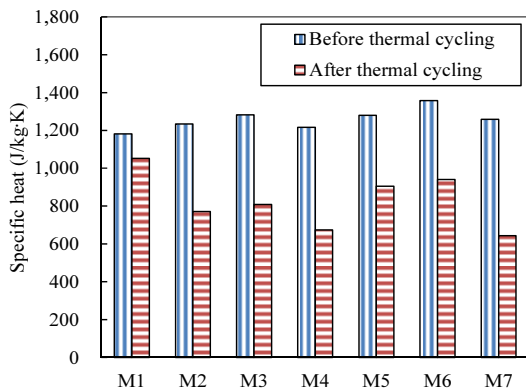


Fig. 8. Test results of specific heat

형 콘크리트 시편의 비열을 측정하였다.

고로슬래그 콘크리트의 열사이클 적용 전과 후의 비열 측정결과를 Fig. 8에 나타내었다. 보통포틀랜드시멘트만을 바인더로 사용한 배합(M1)의 열사이클 적용 전과 후의 비열 측정결과를 각각 1181 및 1052J/kg · K이다. 물-바인더 비를 0.33을 적용하고 고로슬래그로 바인더로 치환한 M2, M3 및 M4 배합의 열사이클 적용 이전의 비열은 각각 1233, 1281 및 1216J/kg · K이고, 열사이클 적용 이후의 비열은 각각 771, 808 및 674J/kg · K이다. 한편, 물-바인더 비를 0.31을 적용하고 고로슬래그로 바인더를 치환한 M5, M6 및 M7 배합의 열사이클 적용 이전의 비열은 각각 1278, 1357 및 1258J/kg · K이고, 열사이클 적용 이후의 비열은 각각 905, 940 및 644J/kg · K이다. 열사이클 적용 이후의 비열은 열사이클 적용 전의 비열에 비해 25% 이상의 감소율을 나타낸다. 고온 조건에서 콘크리트 내부의 자유수는 증발하므로 콘크리트의 단위 비열은 감소하는 것으로 판단된다.

4. 결론

이 연구에서는 고로슬래그 시멘트를 적용한 콘크리트의 열역학 특성에 대한 실험연구를 수행하였으며 주요 연구결과는 다음과 같다.

1. 고로슬래그 혼입 콘크리트를 고온 열사이클에 노출 시킨 후의 잔류압축강도 비는 50%이하이다. 또한, 고로슬래그를 40 및 60% 혼입한 배합의 잔류압축강도가 다른 배합의 잔류압축강도보다 크게 나타난다. 이러한 실험결과는 물-바인더 비를 작게 하고 고로슬래그 치환률을 40~60%일 때의 잔류압축강도가 유리한 것을 나타낸다.
2. 고로슬래그를 혼입한 콘크리트와 혼입하지 않은 콘크리트의 쪼갬인장강도는 뚜렷한 차이를 나타내지 않는다.
3. 물-바인더 비가 0.33인 고로슬래그 혼입 콘크리트의 열사이클 적용 이후의 열전도율은 0.717~1.024W/m · K이고, 고로슬래그 혼입에 따라 열전도율은 증가한다.
4. 물-바인더 비가 0.31인 고로슬래그 혼입 콘크리트의 열사이클 적용 이전과 이후의 열전도율 감소율은 43~49%를 나타낸다. 따라서 콘크리트 열저장 시스템 설계 시에 열사이클 적용에 따른 콘크리트의 열전도율 감소효과를 고려하여야 한다.
5. 열사이클 적용 이후의 비열은 열사이클 적용 전의 비열에 비해 29% 이상의 감소율을 나타낸다. 고온 조건에서 콘크리트 내부의 자유수는 증발하므로 콘크리트의 단위 비열은 감소하는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술평가원에서 지원하는 산업기술혁신 사업(과제번호 20143030081110)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Bilodeau, A., Kodur, V.K.R., Hoff, G.C. (2004). Optimization of the type and amount of polypropylene fibers for preventing the spalling of lightweight concrete subjected to hydrocarbon fire, *Cement and Concrete Composites*, **26(2)**, 163–174.
- Faas, S.E. (1983). 10–MWe Solar Thermal Central–Receiver Pilot Plant: Thermal–Storage–Subsystem Evaluation–Subsystem Activation and Controls Testing Phase, Report No. SAND–83–8015, Sandia National Labs, Livermore, California.
- Fernandez, A.I., Martinez, M., Segarra, M., Martorell, I., Cabeza, L.F. (2010). Selections of materials with potential in sensible thermal energy storage, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **94(10)**, 1723–1729.
- Hannant, D.J. (1998). Durability of polypropylene fibers in portland cement–based composites: eighteen years of data, *Cement and Concrete Research*, **28(12)**, 1809–1817.
- John, E., Hale, M., Selvam, P. (2013). Concrete as a thermal energy storage medium for thermocline solar energy storage systems, *Solar Energy*, **96**, 194–204.
- Kolb, G.J., Hassani, V. (2006). Performance analysis of thermocline energy storage proposed for the 1 MW saguaro solar trough plant, *ASME Solar Energy Division International Solar Energy Conference*, 1–5.
- Laing, D., Steinmann, W.D., Tamme, R., Richter, C. (2006). Solid media thermal storage for parabolic trough power plants, *Solar Energy*, **80(10)**, 1283–1289.
- Laing, D., Steinmann, W.D., Viebahn, P., Gräter, F., Bahl, C. (2010). Economic analysis and life cycle assessment of concrete thermal energy storage for parabolic trough power plants, *Journal of Solar Energy Engineering*, **132(4)**, 041013.
- Laing, D., Steinmann, W.D., Tamme, R., Wörner, A., Zunft, S. (2012). Advances in thermal energy storage development at the german aerospace center (DLR), *Energy Storage Science and Technology*, **1(1)**, 13–25.
- Neville, A. M. (2012). *Properties of Concrete*(5th Edition), Pearson Education.
- Pacheco, J.E., Showalter, S.K., Kolb, W.J. (2002). Development of a molten–salt thermocline thermal storage system for parabolic trough plants, *Journal of Solar Energy Engineering*, **124(2)**, 153–159.
- Skinner, J.E., Strasser, M.N., Brown, B.M., Selvam, R.P. (2014). Testing of high–performance concrete as a thermal energy storage medium at high temperatures, *Journal of Solar Energy Engineering*, **136(2)**, 021004.
- Strasser, M.N., Selvam, R.P. (2014). A cost and performance comparison of packed bed and structured thermocline thermal energy storage systems, *Solar Energy*, **108**, 390–402.
- Suhaendi, S.L., Horiguchi, T., Shimura, K. (2008). Effect of polypropylene fibre geometry on explosive spalling mitigation in high strength concrete under elevated temperature condition, *Concrete for Fire Engineering*, 149–156.
- Yang, I.H., Kim, K.C. (2016). Mechanical and thermal characteristics of cement–based composite for solar thermal energy storage system, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **20(4)**, 9–18 [in Korean].
- Yang, I.H., Kim, K.C., Choi, Y.C. (2016). Effect of cementitious composite on the thermal and mechanical properties of fiber–reinforced mortars for thermal energy storage, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **28(4)**, 395–405 [in Korean].
- Yuan, H.W., Lu, C.H., Xu, Z.Z., Ni, Y.R., Lan, X.H. (2012). Mechanical and thermal properties of cement composite graphite for solar thermal storage materials, *Solar Energy*, **86(11)**, 3227–3233.

고로슬래그 혼입 콘크리트의 고온 조건에서의 열역학 성능

이 연구에서는 고온의 태양열 에너지를 저장하기 위한 고로슬래그 콘크리트의 열역학적 특성을 파악하였다. 고로슬래그 콘크리트의 열역학적 특성에 미치는 영향을 파악하기 위한 실험연구를 수행하였다. 실험변수로써 고로슬래그 함유량과 물-바인더 비를 고려하였다. 고로슬래그 콘크리트의 역학적 특성으로써 열사이클 전과 후의 압축강도 및 인장강도를 측정하고, 열적 특성으로써 열전도율과 비열을 측정하였다. 고로슬래그를 포함한 콘크리트의 열사이클 적용 후의 잔류압축강도가 고로슬래그를 포함하지 않은 콘크리트의 잔류압축강도보다 크다. 또한, 고로슬래그를 혼입한 콘크리트의 열전도율이 고로슬래그를 포함하지 않은 콘크리트의 열전도율보다 더욱 크다. 이는 고로슬래그 콘크리트가 열에너지의 축열과 방열에 효과적인 것을 나타낸다. 실험연구 결과는 콘크리트 열저장 축열 모듈 설계에 효율적으로 활용될 수 있다.