

ORIGINAL ARTICLE

이산화탄소 저감형 시멘트 함량에 따른 경량기포 콘크리트의 물성평가

임동혁 · 이원기*

부경대학교 고분자공학과

Effect of Carbon Dioxide-reduced Cement on Properties of Lightweight-foamed Concrete

Donghyeok Im, Won-Ki Lee*

Department of Polymer Engineering Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Abstract

To improve the initial strength and stability of lightweight-foamed concrete, which shows suitable sound absorption and insulation characteristics, the effect of CO₂-reduced cement on the properties of the concrete was investigated. Various mixing ratios were applied by substituting a certain amount of slag and Calcium Sulfo Aluminate (CSA) in CO₂-reduced Ordinary Portland Cement (OPC) and the physical properties of the samples were examined using the Korean Standard. The kiln temperatures of the CSA were 100–200°C; these values are lower than those of OPC and can lead to energy saving. In addition, the low limestone content reduces greenhouse gas emissions by 20%. Adding a small amount of CSA in OPC content activates Ca-Al-H₂-based hydrates, and the initial compressive strength of the concrete is improved. As the CSA content increased, the thermal conductivity of the concrete decreased by up to 8% compared to plain concrete, thus indicating an improvement in its insulation. Therefore, the settlement stability was improved as the addition of CSA shortened the setting time.

Key words : Slag, Calcium sulfoaluminate, Portland cement, Settlement stability

1. 서론

산업이 발달함에 따라 공동주택 등 주거환경과 함께 건축자재도 큰 변화를 가져왔다. 그 중 콘크리트 내에 공극을 형성시켜 단열, 흡음특성을 지니도록 한 기능성 경량기포 콘크리트가 실용화 되고 있는 추세이다(Lee et al., 2015). 이러한 경량기포 콘크리트는 부에 무수한 기포를 독립적으로 분산시켜 증량을 가볍게 한 것으로 가

공이 용이하고 내화확성이 우수한 장점을 가지고 있어 건설재료로서 활용도가 넓혀지는 추세이다(Kim et al., 2016; Yoon et al., 2019). 경량기포 콘크리트의 대표적인 원료로 활용되고 있는 portland cement (OPC)의 경우, 물리·화학적 특성과 시공기술 발달로 급속도로 수요량이 증대되고 있다. 하지만 OPC는 에너지 소비가 크고 대기오염 등의 문제와 더불어 느린 경화속도와 건조수축에 의한 균열이 쉽게 발생하는 품질적인 문제도 가지고

Received 27 February, 2020; Revised 13 April, 2020;
Accepted 11 May, 2020

*Corresponding author: Won-Ki Lee, Department of Polymer Engineering Pukyong National University, Busan 48513, Korea
Phone : +82-51-629-6451
E-mail : wonki@pknu.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© 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.

있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 이산화탄소 저감형 시멘트인 칼슘설포알루미늄에이트($3\text{CSA} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$, CSA) 클링커를 제조하여 이를 활용한 특성연구가 활발히 진행되고 있다(Jeun et al., 2000; Joo et al., 2015). 건축재료로서 다방면에서 활용되고 있는 OPC 클링커는 $1,450^\circ\text{C}$ 정도의 고온에서 소성되고 있으며, OPC 원료 중 가장 큰 함량을 차지하는 석회석의 탈탄산 반응과 화석원료 사용으로 인해 온실가스의 주범인 CO_2 를 시멘트 1 톤당 0.8 톤을 배출하고 있다. 하지만 CSA 클링커의 경우, 소성온도가 $1,200 \sim 1,300^\circ\text{C}$ 내외로서 상용화 제품인 OPC 클링커에 비하여 소성온도가 $100 \sim 200^\circ\text{C}$ 가 낮아 에너지가 절감될 뿐만 아니라 성분 중 CaO, Al_2O_3 및 SO_3 함량에 따라서 속경성, 팽창성 등의 특성을 지니므로 기존의 OPC 클링커의 단점을 보완하는데 널리 활용될 수 있을 것으로 보고되고 있다(Cho et al., 2018). 따라서 CSA를 활용하기 위해 다양한 연구가 이루어지고 있으나 실제 현장에서 적용할 수 있는 연구는 부족한 실정이다.

고로슬래그는 제철 산업의 용광로에서 철광석, 석회석 등을 원료로 하여 철을 제조할 때 얻어지는 산업부산물로 최근 생산량 증가로 인해 고로슬래그 발생량이 급격히 증가되고 있다. 고로슬래그 발생량은 2010년도 1,100만 톤에서 2015년도에는 무려 1,400만 톤 발생하였으나, 시멘트 콘크리트 제품의 혼화재로 수화열 저감, 장기강도 증진, 수밀성 증대 등으로 사용되고 있다. 하지만 급격한 발생량 증가 대비 활용도가 미비한 실정이다. 따라서, 고로슬래그의 활용도를 높일 수 있는 제품 개발이 요구되고 있으며, 건설업계에서는 경쟁력 강화를 위한 공사비 절감과 성능향상을 위하여 지속적으로 기술개발을 진행하고 있다(Lee et al., 2000; Esmaily et al., 2012; Baek et al., 2015; Kim et al., 2016). 이러한 측면에서 기포 콘크리트는 비중이 낮은 경량재료로서 경제성, 단열성, 시공성 등이 우수하여 건설재료로서 다양한 장점들을 가지고 있는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2019). 그러나 기존 기포 콘크리트의 경우, 종결까지의 시간이 길고 응결이 진행되는 동안 내부 기포의 소포와 다량의 블리딩에 의해 침하가 발생되어 균열을 유발함으로써 적절한 단열능을 발휘하지 못하고 있다(Lee et al., 2015). 또한, 타설 후 더딘 강도발현으로 후속 작업 개시 시점이 늦어지는 문제를 가지고 있다. 현재 국내 공

동주택의 일반적인 바닥 구조는 콘크리트 슬래브, 단열 및 차음을 위한 층간 완충재, 경량기포 콘크리트, 바닥 마감용 모르타르 등으로 구성되고 되고 있다. 특히 국내 공동주택의 난방방식은 온수를 이용하는 바닥 난방을 기본으로 하고 있으며, 이러한 온수난방 방식은 마감, 단열 및 난방파이프 고정 등의 목적으로 경량기포 콘크리트를 타설한다(Lee et al., 2002). 경량기포 콘크리트는 기능공의 숙련도 및 현장 상황에 따른 품질 편차가 발생하며 혼입된 기포의 파포 현상 등에 의한 경량기포 콘크리트의 침하 현상으로 후속 공정인 바닥마감용 모르타르의 물량이 증가되어 경제적인 측면에서 문제점으로 지적되고 있다(Kim et al., 2016). 따라서, 경량기포 콘크리트의 침하 등 품질개선에 대한 다양한 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 경량기포 콘크리트의 경제성 측면과 침하 깊이를 저감을 위해 이산화탄소 저감형 시멘트인 CSA와 철강 산업 부산물인 고로슬래그의 혼입에 따른 특성을 고찰하여 이산화탄소 절감 및 철강 산업 부산물의 활용성을 연구하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

고화용 재료인 시멘트는 Table 1과 같이 KS L5201 (포틀랜드시멘트)의 규정에 만족하는 H사의 1종 OPC를 사용하였다. 산업부산물인 고로 슬래그는 철강 산업 부산물에서 발생하는 것을 사용하였다. 침하량 저감 및 초기강도 확보를 위해 사용된 CSA는 산업부산물을 활용하여 실험실에서 제조한 것을 사용하였다. CSA와 슬래그의 X-ray fluorescence spectroscopy (XRF)를 통해 화학성분 분석결과는 Table 2에 나타내었다. 기포제는 계면활성 작용에 의해 물리적으로 기포를 도입하는 것으로서 공기량은 최고 85%까지 생성할 수 있다. 본 연구에서는 동물성 기포제 대비 친환경적인 식물성 기포제를 사용하였다.

2.2. 실험방법 및 분석방법

경량기포 콘크리트의 침하깊이 감소 및 초기강도 확보 (Table 3)를 위해 기존 OPC에 일정 함량의 CSA와 슬래그로 치환한 배합비를 선정하고 기초물성을 확인하였다. 실험방법으로는 경량기포 콘크리트의 페이스트를 제조하기 위해 Table 4의 배합표를 바탕으로 배합수

Table 1. Physical properties of OPC

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)		
		Initial	Final	3day	7day	28day
3.15	3,475	235	340	25.0	40.9	58.7

Table 2. Physical and chemical properties of CSA and slag

	Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Chemical properties of BS					
			CaO	SiO ₂	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
CSA	2.83	4,150	54.23	19.59	1.04	10.02	0.98	15.82
slag	3.15	3,800	42.31	34.70	5.28	1.93	0.54	15.81

Table 3. Quality standard of concrete at hardened state (KS F4039)

Type	Apparent Density (g/cm ³)	Compressive strength (MPa)		Thermal conductivity W/(m·k)	Drying shrinkage (%)
		7 day	28 day		
0.5	0.40 more 0.50 under	0.9 more	1.4 more	0.160 under	0.40 under

Table 4. Compositions of lightweight-foamed concretes

No	Grade	W/B (%)	wt (%)				foam (%)
			OPC	CSA	slag	SUM	
F-1			100	-	-	100	8.7
F-2			85	-	15	100	8.4
F-3	0.5	63	80	5	15	100	8.8
F-4			75	10	15	100	8.7
F-5			65	20	15	100	8.5

63 wt%를 첨가하여 저속에서 약 3분간 혼합하여 제조하였다. 이후 제조된 페이스트에 선 발포된 기포를 넣고 리본믹서를 이용하여 90초간 혼합하였다. 0.5폼 기포 콘크리트를 제조하기 위해 단위중량을 측정하면서 기포제와 페이스트 비중을 조절하였다. 기포 콘크리트의 압축강도를 측정하기 위해 콘크리트실린더 몰드(Ø100×200 mm²)를 이용하여 시편을 제조하였다. 양생은 온도 20±4℃, 습도 60±5%의 항온항습실에서 3일간 양생하고 탈형 후 습윤양생을 실시하였다.

기포 콘크리트의 플로우는 KS F4039 (현장 타설용 기포 콘크리트)에 의거하여 진행하였다. 겉보기밀도 및

압축강도는 KS F2459(기포 콘크리트의 겉보기 밀도, 함수율, 흡수율 및 압축강도 시험방법)에 의거하여 진행하였다. 열전도율은 300×300×50 mm³ 형태로 성형한 아크릴 판넬을 이용하여 시편을 제조하고 열전도율 측정기(Netzsch사의 HFM436)를 활용하여 KS L9016(보온재의 열 전도율 측정방법)에 의거하여 재령 28일 경과 후 측정하였다. 평균온도 20±3℃ 범위에서 열류방향은 위쪽으로 향하게 하였다. 침하깊이 측정을 위해 투명한 아크릴 용기(Ø75×500 mm²)에 시료를 수평하게 상부 끝까지 채우고 건조한 뒤 상부의 침하깊이를 mm 단위로 측정하였다. 길이 변화측정을 위해 바(bar)형 시험체

(40×40×160 mm³)를 제작하였으며, KS F2460(기포 콘크리트의 길이 변화 시험방법)에 의거하여 1일 양생 후 탈형한 뒤 강도 발현을 위해 7일 동안 항온 항습실(20±3 °C, 60±5%)에서 봉함양생을 실시하고 항온 항습실에서 기건양생 후에 측정하였다.

3. 결과 및 토론

3.1. 경량기포 콘크리트의 유동성

경량기포 콘크리트의 유동성을 확인하기 위해 플로우를 측정하였다. 플로우는 경량기포 슬러리의 이송 및 타설 장소에서의 수평작업 시간 등과 관련이 있는 항목으로 현장에서의 시공성의 정도를 나타내는 척도로 활용되고 있다. 현장에서 시공하기 적합한 플로우로 KS F4039(현장 타설용 기포 콘크리트)의 기준에 의거하여 180 mm 이상을 요구하고 있다. 일반적으로 기포 콘크리트의 플로우는 단위결합재량과 기포율, 그리고 결합재 구성 원료의 특성에 영향을 받는다. 각 배합별 기포 콘크리트의 측정된 플로우를 Fig. 1에 나타내었다. 모든 배합의 경우 KS 기준인 180 mm 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 시멘트 100%를 사용한 배합은 248 mm로 가장 큰 플로우 값을 나타내었고, CSA 20%를 치환한 경우 188 mm로 가장 낮은 값을 나타내었다. 따라서 CSA의 치환량이 증가할수록 플로우는 감소하는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 Table 1과 2에서 확인할 수 있듯이 OPC의 분말도가 슬래그 및 CSA 대비 작은 것으로 인해 비표면적 차이로 흡수율이 순수 OPC를 사용한 F-1 대비 높은 것으로 판단된다. 또한, CSA를 치환하면 조기 수화생물로 ettringite(3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·32H₂O)가 빠르게 생성되는데 ettringite를 생성하기 위해서는 다수의 물 분자가 필요하게 된다(반응식 (1)). 따라서 CSA 함량이 증가할 경우, ettringite를 생성하기 위해 수분을 흡수하게 되고 이로 인해 플로우가 감소한 것으로 판단된다(Cho et al., 2019). 이러한 결과를 통해 CSA를 첨가할 경우, 작업성이나 시공성은 다소 떨어질 것으로 판단되나, KS에서 요구하는 180 mm 이상의 특성은 만족되는 것으로 판단된다.

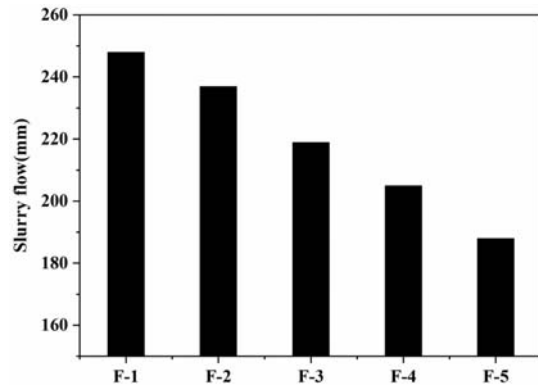
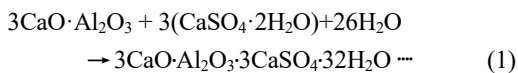


Fig. 1. Slurry flows of various lightweight-foamed concretes.

3.2. 경량기포 콘크리트의 압축강도 및 겉보기 밀도

경량기포 콘크리트의 압축강도는 품질특성을 판단할 수 있는 매우 중요한 요소인 것으로 알려져 있다(Cho et al., 2019). 일반적으로 KS F4039(현장 타설용 기포 콘크리트) 기준에 의거하여 현장 타설의 품질관리 차원에서 7일과 28일 압축강도 측정을 원칙으로 한다. 하지만 본 연구는 초기강도를 통해 후기 작업시작 시간 결정 등의 목적을 위해 3, 7 및 28일 압축강도를 측정하였다. Fig. 2는 경량기포 콘크리트의 재령별 압축강도 측정결과를 나타내었다. CSA가 5% 혼합된 경우, 기존 배합대비 초기 강도(3일)가 약 14% 향상된 것을 확인하였으며, CSA 함량이 10% 혼합된 경우는 약 28% 향상된 것을 확인하였다. 이러한 결과는 CSA의 주요성분 중 하나인 Al₂O₃와 H₂O가 반응하여 생성된 Ca-Al-H₂계 수화물을 생성시켜 OPC 100%를 혼합한 F-1 대비, 경화 시간이 단축되어 초기압축강도가 향상된 것으로 판단된다(Palglia et al., 2001). 반면 CSA를 20% 혼합한 F-5의 경우 초기강도가 급격히 감소하며 7일 및 28일 강도의 경우, KS에서 규정하고 있는 압축강도인 0.9 MPa(재령 7일) 및 1.4 MPa(재령 28일)에도 못 미치는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 팽창재로서도 활용되는 CSA를 과량 사용할 경우, 침상결정구조를 가지는 ettringite가 생성되고 이로 인해 과팽창에 의한 시편내부에서의 균열로 인해 압축강도가 크게 감소한 것으로 판단된다(Cho et al., 2019). 슬래그와 OPC만 활용한 F-2 배합의 경우, 초기 강도는 약 14% 감소한 것을 확인할 수 있지만 후기강도(28일)에서는 동등수준의 압축강도를 나타내었다. 슬래그의 경우, C-S-H 생성 등으로 인한 포졸란 반응이 진행

되는데 재령 7일 이후에 서서히 진행되는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2001). 따라서 재령 7일 이후에는 포졸란 반응이 활성화되어 F-1과 유사한 압축강도가 발현되는 것으로 판단된다.

경량기포 콘크리트의 겉보기 밀도는 물리적 특성과 관련되는데 적정량의 기포액을 혼합하여 경량기포 콘크리트 폼(0.4폼, 0.5폼, 0.6폼)의 특성을 판단할 수 있는 척도로 활용되고 있다. 0.5폼 경량기포 콘크리트의 경우, KS F4039(현장 타설용 기포 콘크리트)의 0.40 ~ 0.50 g/cm³의 기준치를 만족해야 한다. 겉보기 밀도 측정결과 Fig. 3에 나타내었으며, 모든 배합이 0.5폼 기준에 만족하는 것으로 판단된다.

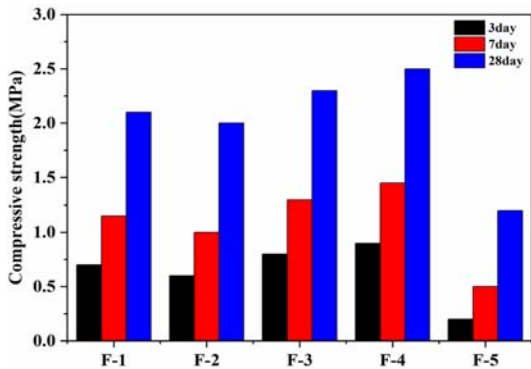


Fig. 2. Compressive strength of lightweight-foamed various concretes ($\pm 10\%$).

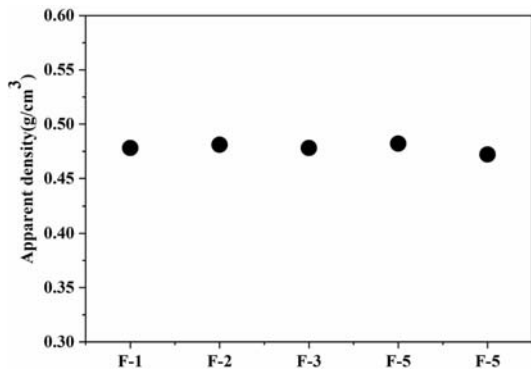


Fig. 3. Apparent densities of various lightweight-foamed concretes ($\pm 5\%$).

3.3. 경량기포 콘크리트의 열전도율

경량기포 콘크리트의 경우, 일정 수준의 단열성능을

지닌다면 열 손실이 적고 에너지 절감에도 영향을 미치므로 응용 분야에서 중요한 이점으로 평가되고 있다. 공기는 열전도율이 가장 낮으며(0.022 kcal/mh°C) 재료 중에 있는 기포 상태에서는 복사 및 대류에 의한 열 이동이 작은 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2016). 경량기포 콘크리트는 기포제의 계면활성제 영향으로 다량의 공기를 포함하고 있는데 콘크리트 내부의 많은 차단된 공기층에 의해 우수한 단열을 나타낸다. Fig. 4는 열전도율을 측정결과를 나타내었는데 모든 배합에서 KS F4039(현장 타설용 기포 콘크리트)의 기준인 0.16 W/mK(0.5폼) 이하의 열전도율을 나타내었다. CSA 함량이 증가할수록 OPC 100% 배합인 F-1대비 열전도율이 최대 약 8% 감소하여 단열성이 향상된 것을 확인하였다. 이러한 결과는 CSA를 혼합할 경우, 압축강도 측정결과에서도 확인할 수 있듯이 경화시간 단축으로 인해 기포 셀의 안정성 증가로 인하여 단열성능이 향상된 것으로 판단된다. CSA 10% 배합인 F-4와 CSA 20% 배합인 F-5의 경우, 압축강도는 유사하게 나타났는데 경량기포 콘크리트의 내부에 충분한 공기를 확보함으로써 셀 안정성에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단된다.

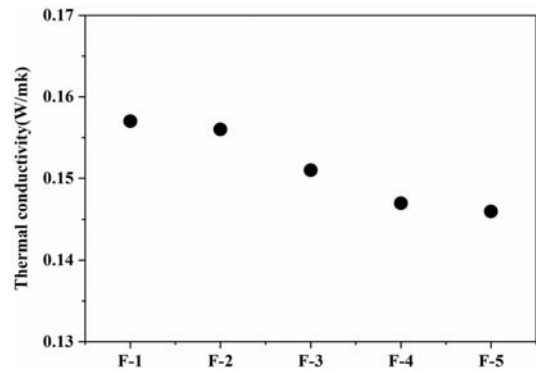


Fig. 4. Thermal conductivities of various lightweight-foamed concretes ($\pm 5\%$).

3.4. 경량기포 콘크리트의 침하깊이

경량기포 콘크리트의 침하 깊이의 경우, 체적의 감소에 따른 단열성능의 저하 및 현장 타설에서 후속 공정인 바닥용 마감 모르타르의 추가 타설량으로 인해 경제성과 품질 안정성에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Kim et al., 2009). 경량기포 콘크리트의 침하의 원인은 시공시 배합수량 및 침출수 과다로 인한 양생불량의

영향을 받기도 하지만, 응결지연에 따른 기포의 소포현상에 의해서도 침하가 일어난다. 경량기포 콘크리트는 겨울에 많이 발생되므로 겨울철 타설 현장의 평균온도인 $8\pm 3^{\circ}\text{C}$ 양생온도에서 침하깊이를 측정하였고 결과를 Fig.5에 나타내었다. 시멘트 100%를 배합한 F-1의 경우, 약 49 mm의 침하가 발생된 것을 확인할 수 있으며, CSA 5% 혼입한 F-3배합의 경우 약 9 mm의 침하가 발생하였으며, CSA 10 ~ 20% 혼입한 F-4와 -5 샘플의 경우 5 mm 수준의 침하가 발생한 것을 확인하였다. 이러한 결과는 앞서 설명된 바와 같이 CSA를 치환함에 따라 Al_2O_3 와 H_2O 와 반응하여 생성된 Ca-Al-H₂계 수화물의 생성 활성화로 인해 응결시간 단축으로 인해 기포가 소포되는 것을 방지하였기 때문으로 판단된다. 따라서 적정량의 CSA를 혼입할 경우 침하방지를 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

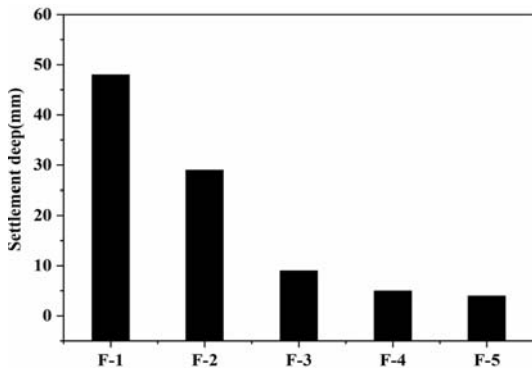


Fig. 5. Settlement deeps of various lightweight-foamed concretes ($\pm 10\%$).

3.5. 경량기포 콘크리트의 길이 변화율 측정

길이 변화율은 경량기포 콘크리트를 현장 타설할 경우, 수화 반응에 의한 건조수축변화가 일어나고 이에 따라 균열이 발생하는 중요한 요인으로 평가되고 있다 (Cho et al., 2019). 따라서 재령에 따른 체적 안정성을 확인하기 위해 경량기포 콘크리트의 길이 변화율을 측정하여 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 측정결과 모든 배합에서 KS 기준치인 0.40% 이하로 만족하는 결과를 나타내었다. 시멘트 100%인 배합인 F-1의 경우, 시멘트의 수화반응이 진행되면서, 시편이 점차 수축하게 되고 이로 인해 최대 약 -0.08% 수축이 발생되는 것을 확인하였다. 하지만 CSA를 첨가한 배합인 F-3, F-4와 F-5 샘플에서

는 CSA 함량이 증가할수록 팽창성은 비례하고 F-5의 배합의 경우 최대 0.2%까지 팽창되는 결과를 확인하였다. 이러한 결과는 CSA가 혼입될 경우, Ca로부터 충분한 양의 Ca_2^+ 이온의 공급으로 ettringite 상이 CSA 결정 입자를 둘러싸는 수화진행이 활성화되고, 이로 인해 침상 결정 성장 활성화로 인해 팽창성이 발현되는 것으로 판단된다(Seo, et al., 2008). 따라서 CSA를 과량 첨가하게 될 경우에도 과팽창에 의한 미세 균열이 발생하게 되고 압축강도 결과에도 확인할 수 있듯이 압축강도 저하로 인한 품질 안정성이 떨어지는 결과를 초래하기한다. 따라서 적정 CSA함량인 5 ~ 10% 혼입할 경우, 경량기포 콘크리트의 체적 안정성 향상에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

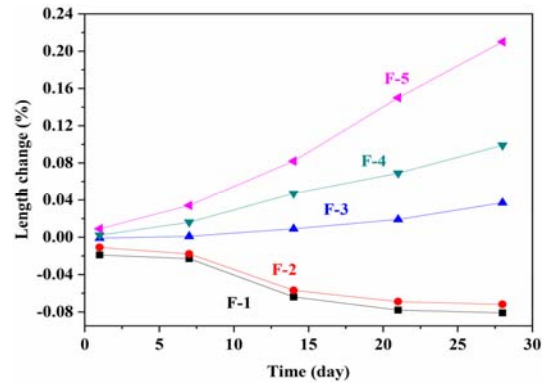


Fig. 6. Length changes of various lightweight-foamed concretes ($\pm 5\%$).

4. 결론

경량기포 콘크리트의 초기강도 향상 및 침하 안정성을 확보하기 위해 슬래그를 첨가하고, CSA함량에 따라 배합을 설계하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 경량기포 콘크리트의 유동성을 확인한 결과 CSA 함량이 증가할수록 ettringite 생성을 활성화하기 위해 다량의 수분을 흡수함에 따라 유동성은 감소하는 결과를 확인하였다.
2. 압축강도 측정결과 CSA에 의해 생성된 Ca-Al-H₂계 수화물이 초기경화시간을 단축시켜 CSA 함량이 10% 혼입할 경우 초기 압축강도가 약 28% 향상된 것을 확인하였다. 반면, CSA를 20% 이상 혼입할 경우 침상

결정구조를 가지는 ettringite가 생성되고 이로 인해 과팽창에 의한 시편의 내부 균열로 인해 압축강도가 크게 감소한 결과를 확인하였다.

3. 열전도율 측정결과 CSA 함량이 증가할수록 OPC 100% 배합대비 기포 셀 안정성으로 인해 열전도율이 최대 8% 감소하여 단열성이 향상된 것을 확인하였다.

4. 침하 안정성 확인결과 CSA를 혼입할 경우 Ca-Al-H₂계 수화물의 생성 활성화된다. 따라서, 응결시간 단축으로 인해 기포가 소포되는 것을 억제하여, 시멘트 100%를 배합의 경우 49 mm의 침하가 발생된 것을 확인한 반면, CSA 10 ~ 20% 혼입한 배합에서는 5 mm 수준의 침하가 발생한 것을 확인하였다.

5. 길이 변화를 확인결과 시멘트 100%의 배합의 경우 시멘트 수화반응이 활성화되면서 최대 -0.081% 수축이 발생하는 것을 확인하였다. 하지만 CSA를 혼입할 경우 침상 결정구조를 가지는 ettringite 수화물의 활성화로 인해 최대 0.21%까지 팽창되는 결과를 확인하였다.

본 연구결과를 바탕으로 경량기포 콘크리트의 CSA의 적정함량은 10%인 것을 확인하였으며, 기포제를 사용한 시멘트 관련 제품의 초기강도 향상 및 침하 안정성 연구에 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 한국연구재단(NRF-2017R1D1A1B 0303 2434)과 2020년도 Brain Busan 21+사업의 지원을 받아 연구되었음.

REFERENCES

- Baek, B. H., Han, C. G., 2015, Improving quality of eco-mortar incorporating blast furnace slag and recycled aggregate depending on replacement gypsum and cement, *Korea Inst. Build Const.*, 15(2), 193-199.
- Cho, Y. K., Kim, C. S., Nam, S. Y., Cho, S. H., Lee, H. W., Ahn, J. W., 2019, Characterization of foamed concrete using calcium sulfaluminate, *Journal of Energy Engineering*, 28(1), 10-16.
- Cho, Y. K., Nam, S. Y., Kim, C. S., Cho, S. H., Lee, H. W., Ahn, J. W., 2019, Characterization of shrinkage reducing type cement carbon dioxide-reducible CSA synthesis, *Journal of Energy Engineering*, 28(1), 17-21.
- Esmaily, H., Nuranian, H., 2012, Non-autoclaved high strength cellular concrete from alkali-activated slag, *Construction and Building Materials*, 26(1), 200-206.
- Jeun, J. Y., Song, J. T., 2000, Synthesis and properties of calcium sulfoaluminate type expansive, *Journal of the Korean Ceramic Society*, 37(4), 388-394.
- Joo, M. K., Lho, B. C., 2015, Evaluation of properties of polymer-modified mortar with CSA, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 19(1), 35-44.
- Kim, H. S., Lee, S. H., Sun, J. S., Kim, J. M., 2016, A Physical properties of lightweight foamed concrete according to lightweight aggregate types and foaming agent types, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 28(4), 435-444.
- Kim, J. M., Cho, S. H., Lee, D. K., 2001, High strengthening mechanism by blast furnace slag in concrete based products, *Clean Technology*, 7(2), 109-117.
- Kim, S. C., Ahn, S. K., 2009, Mix design and characteristics of compressive strengths for foam concrete associated with application of bottom ash, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 21(3), 283-290.
- Lee, D. H., Jun, M. K., Ko, J. S., 2001, Physical properties and quality control of foamed concrete with fly ash for cast-in-site, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 61(1), 69-76.
- Lee, K. H., Yang, K. H., 2015, Effect of fiber addition for improving the properties of lightweight foamed concrete, *J. Korea Inst. Build Const.*, 15(4), 383-389.
- Lee, K. I., Mun, J. H., Park, Y. S., Yang, K. H., 2019, A Fundamental study to develop low-CO₂-high-insulation lightweight concrete using bottom ash aggregates and air foam, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 31(3), 221-228.
- Lee, S. H., 2002, Effect of foaming agent on the continuous voids in lightweight cellular concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 14(5), 742-749.
- Palglia, C., Wombacher, F., Bohni, H., 2001, The influence of alkali-free and alkaline shotcrete accelerators within cement systems: I. Characterization of the setting behavior, *Cement & Concrete Research*, 31(6), 913-918.
- Seo, W. C., Kim, S. H., KO, S. J., Kim, S. H., Jo, K. Y., 2008, The synthesis and hydraulic properties of Calcium Sulfo Aluminate(CSA) derived from secondary refining slag, *J. Kor. Inst. Met & Mater*, 46, 437-442.

Yoon, H. S., Yang, K. H., 2019, Optimum mixture proportioning of autoclave lightweight aerated concrete considering required foaming rate and compressive strength, Journal of the Korea Concrete Institute, 31(2), 123-130.

-
- Master's course. Dong-Hyeok Im
Department of Polymer Engineering Pukyong National University
ehdgur5847@naver.com
 - Professor. Won-Ki Lee
Department of Polymer Engineering Pukyong National University
wonki@pknu.ac.kr