

자원순환형 선인장 줄기 분말을 혼입한 모르타르의 굳지 않은 특성과 강도

Fresh and Strength Properties of Mortar Produced with Recycled Cactus Stem Powder

김효정¹ · 권기성² · 이가연³ · 이금주⁴ · 김윤용^{5*}

Hyo-Jung Kim¹ · Ki-Seong Kwon² · Ka-Youn Lee³ · Geung-Joo Lee⁴ · Yun-Yong Kim^{5*}

(Received August 21, 2020 / Revised September 21, 2020 / Accepted September 22, 2020)

In this study, in order to recycle the stems of opuntia cactus discarded after harvesting the fruit, the cactus stems were powdered and applied as a cement-based admixture. The powder of cactus stem was mixed into the mortar, and its effect on the fresh properties and strength of the mortar was studied. The results were compared with the properties of mortars produced by mixing with a retarder sugar and a viscosity agent methyl-cellulose, which are conventional saccharide-based admixtures. Based on the test results, the cactus stem powder did not clearly show the effect as a retarding agent, whereas the flow and the air content were similar to those of the mortar mixed with methyl-cellulose. This indicated that the cactus stem powder can be used as a viscosity agent. It was found that the strength of the mortar tended to increase when the mixing ratio of the cactus stem powder was lower than 0.3%.

키워드 : 손바닥 선인장, 선인장 줄기, 설탕, 지연제, 증점제

Keywords : Palm cactus, Cactus stem, Sugar, Retarder, Viscosity agent

1. 서론

손바닥 또는 부채 선인장(*Opuntia ficus-indica*, Photo 1)은 선인장과에 속하는 열대성 식물이며, 우리나라의 제주도 등지에서 자생하고 있는 대표적인 귀화 선인장 식물로 널리 알려져 있다. 다른 종류의 선인장처럼 손바닥 선인장도 강인한 자생력으로 특별한 관리 없이도 오랜 기간 생육과 번식을 지속할 수 있는 특징을 가지고 있어 강수량이 적은 지역에서는 미래 사막화 방지와 생태적 중요성 때문에 최근 재배와 육종에 대한 관심이 커지고 있다 (Iqbal et al, 2020).

식용 및 지속 가능한 생태환경의 유지 등의 목적으로 흔히 쓰이는 손바닥 선인장의 큰 장점은 유전적으로 매우 다양한 종(species)을 보유하고 있고, 강우 또는 토양 비옥도가 낮은 지역에서도 높은

바이오매스 생산력을 보인다는 점이다(Castro et al, 2020).

하지만, 손바닥 선인장은 제초제에 대한 내성이 강해 농약으로도 제거가 쉽지 않다. 이러한 문제로 최근 제주도 일부 내륙에서는 재배된 후 사용하고 남은 죽지 않은 폐선인장이 늘어, 이를 처리할 수 있는 부산물 활용 방안이 필요한 실정이다.



Photo 1. The palm cactus

* Corresponding author E-mail: yunkim@cnu.ac.kr

¹충남대학교 토목공학과 박사과정 (Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea)

²충남대학교 토목공학과 박사후연구원 (Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea)

³충남대학교 원예학과 박사과정 (Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea)

⁴충남대학교 원예학과 교수 (Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea)

⁵충남대학교 토목공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea)

Copyright © 2020 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

손바닥 선인장의 열매와 줄기의 주성분은 당류와 같은 가용성 무질소물이며, 그 외의 성분으로는 수분, 조지방, 조단백질, 조회분, 조섬유, 무기질, 비타민 등이 주를 이루고 있다(Hong 2012).

Fig. 1(a)에 도시한 바와 같이, 손바닥 선인장의 당류 화학적 구조는 Flavonoid 계열 중 Flavanone 계열의 분자식 $C_{15}H_{12}O_7$ 에 분자량 304를 갖는 Taxifolin으로 수산기(OH)를 가지고 있어, 콘크리트 응결지연제로 활용되는 당류계 설탕의 분자식 $C_{12}H_{22}O_{11}$ (Fig. 1(b))과 유사한 당 성분을 지니고 있다(Lee 2004).

설탕은 시멘트의 응결지연 성능을 유지하는 유기계 화합물로 흔히 알려져 있으며, 유기계 화합물의 지연능이 일반적으로 무기계 화합물의 성능보다 우수하다고 알려져 있다(Sim 2001). 또한 기존의 연구(Cho et al. 2017)에서는 지연제의 수산기(OH)가 시멘트 입자 표면이나 초기 수화생성물에 흡착하여 물과의 접촉을 일시적으로 차단함으로써 수화반응을 지연시킨다는 연구결과가 보고된 바 있다.

또한, 손바닥 선인장은 대부분 점질다당류를 지니고 있으며 Fig. 1(c)와 같은 셀룰로오스계의 다당류 폴리머의 구조와 유사한 다량의 폴리머 구조성상을 가지고 있다. 셀룰로오스계 혼화제는 수중불분리성 혼화제로 많이 사용되며, 흔히 증점제로 통한다. 셀룰로오스 파생물과 같은 장쇄상 폴리머 분자들이 물의 일부를 흡수하고 고정시키며, 물 분자의 표면에 흡착하기 때문에 배합수의 점성을 증가시킨다. 또한, 인접한 장섬유상의 고분자 고리를 통해 시멘트 입자와 골재사이의 가교역할을 수반함에 따라 외부의 물과 접촉하여도 분리되지 않는 특징을 가진다(Lim 2000).

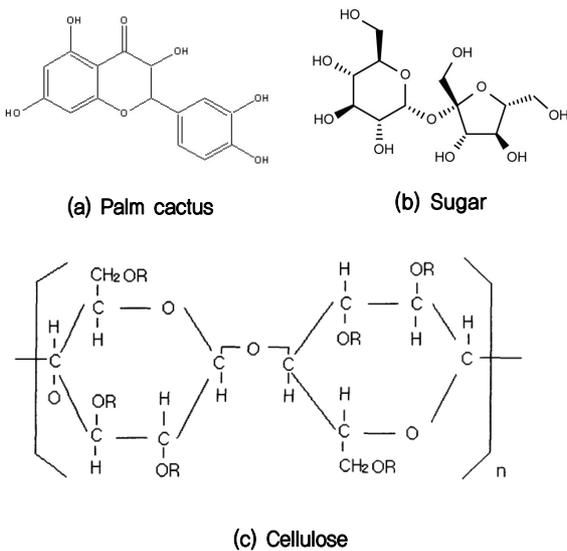


Fig 1. Schematic comparison of chemical structure

본 연구에서는 손바닥 선인장 열매를 수확한 후 폐기되는 폐선인장을 재활용하기 위해 시멘트계 재료의 혼화제로 활용하고자 하였다. 이를 위해 손바닥 선인장의 줄기를 분쇄하여 모르타르에 혼입하였으며, 선인장 줄기분말 혼입율에 따른 모르타르의 기초 성능 평가를 수행하였다. 또한 지연제, 증점제로 기존에 활용되고 있는 설탕 및 메틸셀룰로오스를 혼입한 모르타르와의 그 성능을 비교 및 평가하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구에서의 사용배합은 Table 1과 같이 KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험 방법」에 따라 시멘트와 표준사를 질량에 의한 비율 1:3, W/C 50%로 하였다. 혼화제로 손바닥 선인장의 당류 화학적 구조와 유사한 설탕과 메틸셀룰로오스를 혼입하였다. 설탕과 선인장 분말의 경우 시멘트 질량 대비 0~1.0% 혼입하였으며, 메틸셀룰로오스는 시멘트 질량 대비 0~0.1% 혼입하였다. 각 혼화제의 혼입율에 따른 굳지 않은 모르타르의 물리적 특징 및 재령에 따른 강도변화를 비교 분석하였다.

Table 1. Mix proportions of mortar

Mix	W/C (%)	S/C (%)	Cactus stem/C (%)	Sugar/C (%)	Methyl cellulose/C (%)
Plain	50	33.3	-	-	-
C-0.1%			0.1	-	-
C-0.3%			0.3	-	-
C-0.6%			0.6	-	-
C-1.0%			1.0	-	-
S-0.1%			-	0.1	-
S-0.3%			-	0.3	-
S-0.6%			-	0.6	-
S-1.0%			-	1.0	-
M-0.01%			-	-	0.01
M-0.03%			-	-	0.03
M-0.06%			-	-	0.06
M-0.1%			-	-	0.1

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트 및 잔골재

본 연구에서 사용한 시멘트는 밀도 $3.15g/cm^3$, 분말도 3,350

cm²/g인 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용하였고, 잔골재는 품질 기준용 일반 잔골재인 KS L 679에서 품질을 규정하고 있는 ISO 표준사를 사용하였다.

2.2.2 혼화제

본 연구에서 활용된 선인장 줄기 분말은(Photo 2, (a)) 제주도에서 자란 백년초 손바닥 선인장 줄기를 건조 분쇄하여 제조한 분말이며 화학적 조성은 Table 2와 같이 나타내었다. 지연제는 선인장 줄기와 성분이 유사하며, 대표적인 당류계인 주변에서 쉽게 구할 수 있는 백설탕(Photo 2, (b))으로 선정하였다. 기존연구(Moon et al, 2014)에 따르면 시멘트에 설탕을 혼입하였을 경우 시멘트의 수화는 비정상적으로 높은 Ca/Si의 비율에 의해 계속적인 C-S-H의 형성이 저해되어 응결이 지연되는 것으로 알려져 있다. 또한, 포도당 및 다른 성분은 시멘트의 수화를 지연시키는 메커니즘에 대해서는 명확하게 알려져 있지는 않으나, 설탕의 경우와 유사할 가능성이 높다고 보고된 바 있다. 증점제는 Photo 2(c)와 같이 셀룰로오스계 중 메틸셀룰로오스(Methyl cellulose, MC)를 사용하였다. MC는 셀룰로오스에서 파생된 화합물로서, 장섬유상의 분자구조를 가지고 있어 시멘트 입자간, 시멘트와 골재사이의 가교역할을 수반함에 따라 외부의 물과 접촉하여도 분리되지 않는다. 셀룰로오스계 혼화제는 물에 용해하는 것에 의해 물의 점성을 높이며 고점성의 시멘트 페이스트를 형성하게 된다(Kang 2003).



(a) Cactus stem (b) Sugar (c) Methyl cellulose

Photo 2. Chemical agent

Table 2. Chemical composition of cactus powder

Proximate	
Crude protein(%)	4.91 ± 0.003
Crude fat(%)	1.82 ± 0.001
Cellulose(mg/g)	15.4 ± 0.678
Starch(mg/g)	15.4 ± 0.046
Pectin(mg/g)	105.1 ± 1.336

2.3 시험방법

2.3.1 플로 및 공기량

모르타르의 배합은 KS L 5109 「수경성 시멘트 페이스트 및 모르타르의 기계적 혼합 방법」에 따라 혼합하였으며, KS F 2476 「플리머 시멘트 모르타르의 시험방법」에 준하여 배합 직후 플로와 플로 경시변화를 30분마다 측정하였다. 공기량은 KS F 2421 「플리머 시멘트 모르타르의 시험방법-수주 압력 방법」에 준하여 측정하였다.

2.3.2 시멘트 페이스트 점성평가

기존 연구(Jong et al, 2007)에 따라 시멘트 페이스트 점도를 측정하였다. 시멘트 페이스트 배합은 모르타르의 배합과 동일하게 W/B 50%로 하였으며, KS L 5109 「수경성 시멘트 페이스트 및 모르타르의 기계적 혼합 방법」에 따라 페이스트를 2분간 교반하였다. 교반된 시멘트 페이스트를 1분간 안정화 후 점도계(Brookfield DV II+, 100rpm, Spindle HB3)를 사용하여 점도를 측정하였다.

2.3.3 응결시간

응결시간 시험은 비카트 침에 의한 수경성 시멘트의 응결시간 시험 방법으로 측정하였다. 초결의 측정은 지름이 1.0mm인 초결침을 사용하여 10분 간격으로 측정하였으며, 종결의 경우 초결 측정 이후 종결침을 사용하여 종결시까지 15분 간격으로 측정하였다.

2.3.4 압축강도

압축강도 시험은 KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험 방법」에 준하여 40 × 40 × 160mm 공시체를 제작하여 재령 3일, 14일, 28일을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 플로 및 공기량

굳지 않은 모르타르의 플로 및 공기량 측정결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 플로 실험결과 Plain 배합의 플로값은 183mm로 측정되었으며, 선인장 줄기 분말을 혼입한 배합의 경우 C-0.1% 배합은 183mm로 Plain 배합과 동등한 결과를 보였으며, C-0.3% 배합에서 178mm, C-0.6% 배합에서 175mm, C-1.0% 배합에서 160mm로 선인장 줄기분말의 혼입율이 증가할수록 플로가 감소되는 경향을 보였다.

MC를 혼입한 배합의 경우 또한, M-0.01% 배합에서 181mm, M-0.03% 배합에서 176mm, M-0.06% 배합에서 160mm, M-0.1% 배합에서 139mm로 혼입율이 증가할수록 플로값은 감소하였다.

공기량의 경우 선인장 줄기 분말 C-0.1% 배합은 Plain 배합과 동등한 7%가 측정되었으나, 플로 결과값과 반대로 혼입율이 증가될수록 공기량이 증가하는 경향을 나타내었다. MC를 혼입한 배합 또한, 선인장 줄기 분말을 혼입한 배합과 유사하게 혼입율이 증가할수록 공기량이 증가하는 결과를 보였다. 이는 선인장 줄기분말 및 MC의 혼입율이 증가함에 따라 점성이 증가하여 유동성이 낮아지고, 갇힌공기가 증가하여 공기량이 증가하게 된 것으로 판단된다(Kim et al. 1999; Lim 2000).

한편, 설탕을 혼입한 배합의 플로 값은 S-0.1% 배합에서는 195mm, S-0.3% 배합 일 때 200mm, S-0.6% 및 S-1.0% 배합일 때 210mm로 설탕의 혼입율이 증가됨에 따라 유동성 또한 증가하였다. 공기량의 경우 혼입율이 증가됨에 따라 6.5~7%로 측정되어 공기량의 변화는 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 설탕의 혼입시 시멘트 입자의 표면에 흡착하여 결합재에 피막이 형성되어 물과의 접촉을 일시적으로 차단시켜 유동성을 증가하는 결과로 판단된다(Baek 2005).

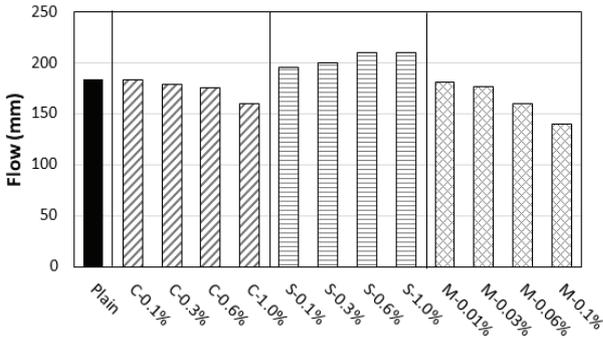


Fig 2. Flow measured immediately after mixing

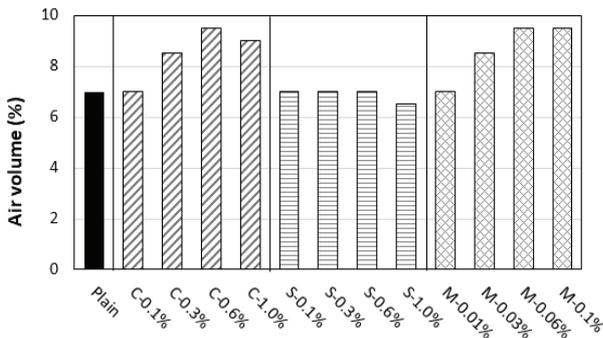
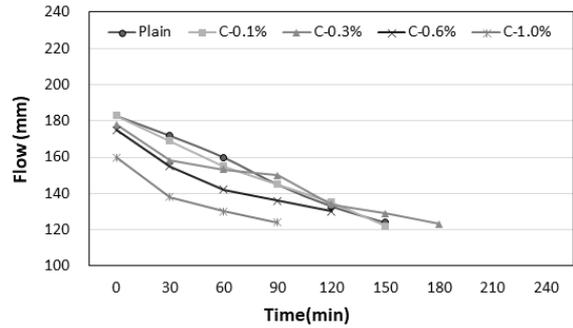


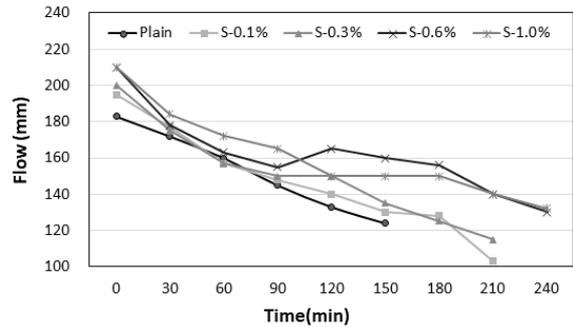
Fig 3. Air content

3.2 플로 경시변화

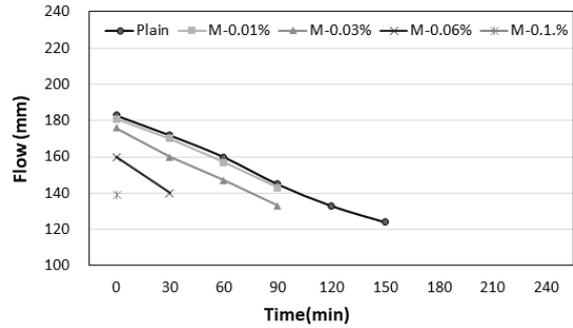
각 혼화제의 혼입율에 따른 굳지 않은 모르타르의 경시변화 특성을 확인하기 위하여 배합 후 30분마다 플로 값을 측정하였으며 그 결과는 Fig. 4와 같다. 시험결과 기준 배합인 Plain 배합의 경우 150분까지 유동성을 보였다. 선인장 줄기 분말을 혼입한 배합의 경우 C-0.1% 배합은 Plain 배합과 유사한 경시변화를 보였으며, C-0.3% 배합의 경우 180분까지 플로가 측정되었다. 그러나 C-0.6% 배합과 C-1.0% 배합의 경우 90분 이후 유동성을 상실하였다.



(a) Mortar produced with cactus stem powder



(b) Mortar produced with sugar



(c) Mortar produced with MC

Fig. 4. Change of flow over time

설탕을 혼입한 모든 배합들은 210~240분까지 플로 값이 측정되었으며, Plain 배합 대비 높은 유동성을 보였다. 이는 앞서 플로 및 공기량 시험결과에서 언급한 바와 같이 설탕을 혼입함에 있어 결합재 입자에 피막 형성으로 인해 유동성이 증가할뿐 아니라 수화반응이 지연된 결과로 판단된다. 반면, MC를 혼입한 경우 플로의 경시변화가 급격히 발생하여 모르타르 응결의 지연 효과가 있다고 볼 수 없음을 알 수 있다.

3.3 시멘트 페이스트 점도

선인장 줄기 분말 혼입에 따른 모르타르의 점성을 평가하기 위하여 시멘트 페이스트의 점도를 측정하여, MC를 혼입한 배합과 비교 분석하였으며 그 결과는 Fig. 5에 나타내었다.

시험결과 두 혼화제 모두 혼입율이 증가할수록 점도가 증가하는 결과를 나타냈다. 반면, 플로 경시변화 결과에서 선인장 줄기 분말보다 MC가 낮은 지연 효과를 보였기 때문에 MC의 점성이 높게 나타날 것으로 예상하였다. 그러나 점도 측정 결과 MC보다 선인장 줄기 분말을 혼입한 페이스트의 점도가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 두 혼화제의 화학적 구조 및 시멘트 수화반응과의 메커니즘 등의 차이가 있는 것으로 사료되며, 후속 연구를 통하여 상세히 구명하고자 한다.

3.4 응결시험

플로 경시변화 결과에 따르면 MC의 응결 지연 효과가 유의미하다 판단하기 어려우므로, 설탕과 선인장 줄기 분말의 혼입율에 따른 응결만을 비교하였다. 시험 결과, Fig. 6과 같이 Plain은 초결과 종결이 각각 270분, 360분에 측정되었고, 선인장 줄기 분말을 혼입한 배합의 경우 C-0.1% 배합의 초결과 종결은 415분, 445분, C-0.3% 배합은 515분, 545분으로 Plain 배합에 비해 응결시간이

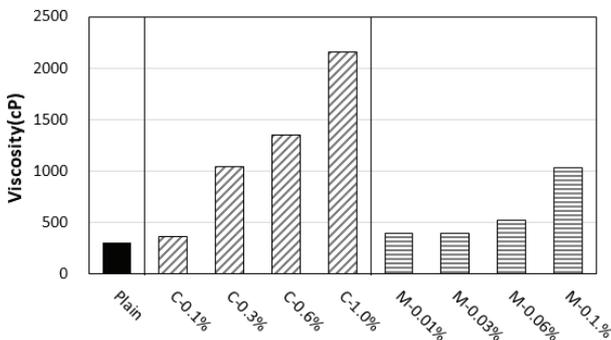


Fig. 5. Viscosity of cement paste

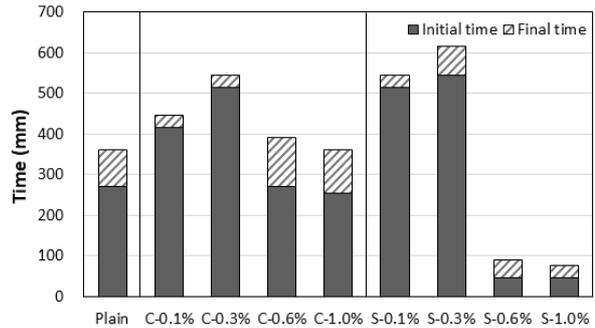


Fig. 6. Vicat test result

늦게 나타났다. 다만, C-0.6% 배합의 경우 초결과 종결이 270분, 390분, C-1.0% 배합은 255분, 360분으로 Plain 배합과 유사한 응결시간을 나타내어, 선인장 줄기 분말을 0.6% 이상 혼입시 지연 효과를 기대하기 어려운 것으로 확인되었다.

반면, 설탕은 S-0.1% 배합의 초결 및 종결 시간이 각각 515분, 545분, S-0.3% 배합의 경우 각각 545분, 615분으로 측정되어 Plain 배합대비 응결시간이 늦게 측정되었다. 이는 설탕 혼입율 0.1%, 0.3% 혼입시 시멘트 입자의 표면이나 시멘트와 물과의 수화 반응물에 흡착하여 수화생성물의 수화반응 속도를 지연시킨 것으로 판단된다. 이러한 결과는 기존연구(Han et al. 2002)에서처럼 지연제의 작용기구를 4가지의 가설로 분류하고 있으나, 정확한 화학적 메커니즘은 밝혀진바 없다.

그러나 S-0.6% 배합에서 초결과 종결이 각각 45분, 90분, S-1.0% 배합에서 45분과 75분으로 응결시간이 가장 빠른 결과를 나타냈다. 이는 기존연구(Khan and Baradan 2002)와 유사한 결과를 나타내었으며, 일정 혼입율 이후 혼입율이 증가할수록 응결 시간이 빠른 결과를 보였다.

3.5 압축강도

굳은 상태에서의 압축강도는 재령 3일, 14일, 28일을 측정하였으며, 시험결과를 Fig. 7과 같이 나타내었다. 시험결과, Plain 배합은 재령 3일, 14일, 28일에서 각각 24.41MPa, 32.34MPa, 36.72MPa로 측정되었고, 선인장 줄기 분말 혼입한 C-0.1% 배합은 재령 3일, 14일, 28일이 각각 25.97MPa, 35.50MPa, 37.16MPa로 측정되었고, C-0.3% 배합의 경우 각각 26.25MPa, 41.28MPa, 42.28MPa로 모두 Plain 배합 대비 압축강도가 높게 측정되었으며, 모든 배합 중 가장 높은 압축강도로 보였다. 하지만, C-0.6% 배합의 경우 재령일에 따른 압축강도가 각각 25.66MPa, 34.00MPa, 34.63MPa로 측정되었으며, C-1.0% 배합은 20.54MPa, 27.22MPa, 27.16MPa로

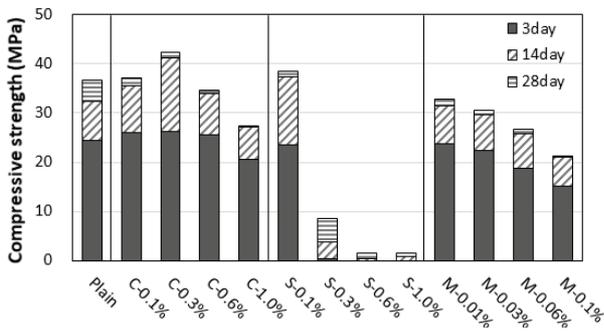


Fig. 7. Compressive strength

Plain에 비해 낮은 것으로 나타났다. 혼입율이 증가할수록 점성과 공기량이 증가하는데, 이 현상이 강도 저하와 깊은 관련이 있을 것으로 판단된다. 보다 구체적인 메커니즘은 후속 연구를 통하여 상세히 구명하고자 한다.

설탕을 혼입한 배합의 경우 S-0.1% 배합의 재령 14일 및 28일 강도가 각각 23.53MPa, 38.56MPa, 37.41MPa로 측정되어 Plain과 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 S-0.3%, S-0.6%, S-1.0% 배합의 경우 재령 14일, 28일 모두 5MPa 이하로 측정되어 강도발현이 안된 것으로 나타났다. 과도한 지연제 혼입에 의하여 당류 피막이 시멘트 입자 표면에 다량 형성되고, 이로 인하여 수화생성물 생성속도가 지연되어 모르타르의 강도가 저하된 것으로 판단된다 (Han et al., 2002).

MC를 혼입한 M-0.01% 배합의 압축강도는 재령 3일, 14일, 28일이 각각 22.33MPa, 31.57MPa, 32.84MPa, M-0.03% 배합의 경우 22.33MPa, 29.59MPa, 30.60MPa, M-0.06% 배합은 21.72MPa, 28.78MPa, 29.68MPa, M-0.1% 은 18.13MPa, 24.02MPa, 27.27MPa로 모두 기준 배합에 비해 낮은 압축강도를 나타냈으며, 혼입율이 증가할수록 압축강도가 감소하는 것을 확인하였다. 이는 혼입율에 따라 점성과 공기량이 증가하는 현상이 모르타르의 압축강도 저하로 나타난 것이라고 판단한다.

4. 결론

본 연구에서는 제주도의 폐선인장을 재활용하는 방안으로 선인장의 줄기 분말을 모르타르용 지연제 또는 증점제로 활용하는 기초 연구를 수행하였다. 이를 위하여 기존의 다당류계 혼화제 지연제와 증점제를 사용한 배합과 비교 연구를 수행하였다. 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 굳지 않은 상태의 플로와 공기량 측정결과, 선인장 줄기 분말

은 혼입율이 증가할수록 플로가 감소하고 공기량이 증가하여 증점제인 MC와 유사한 결과를 나타냈다. 이는 지연제인 설탕과 시멘트 입자의 표면에 흡착하여 피막을 형성하는 과정은 비슷하지만, 강한 보습력을 지니어 혼입율이 증가할수록 점성이 증가하여 유동성이 적어지고, 갇힌공기가 증가하여 공기량이 증가하는 증점제인 MC 특성과 유사한 결과라고 판단된다.

- 2) 플로 경시변화 시험 결과, 지연효과는 설탕 > 선인장 줄기 분말 > MC 순으로 나타났으며, 선인장 줄기 분말과 증점제인 MC는 혼입율이 증가할수록 점성효과가 증가되어 작업성 지연효과가 적어지는 것으로 판단된다. 반면, 플로 경시 변화 결과에서 선인장 줄기 분말보다 MC가 지연효과가 적은 것으로 나타나 점성이 높을 것으로 예상했으나 시멘트 페이스트 점도 측정 결과 MC 보다 선인장 줄기 분말의 경우가 점도가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 두 혼화제의 화학적 구조 및 시멘트 수화반응과의 메커니즘 등의 차이가 있는 것으로 보아 향후 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.
- 3) 응결시험 비교 결과, 설탕과 선인장 줄기 분말 모두 혼입율 0.1%와 0.3% 배합에서는 응결지연 효과가 있었으나, 설탕이 지연 효과가 큰 것으로 나타났다. 그러나 두 혼화제 모두 혼입율 많은 0.6%와 1.0%에서 응결지연 효과가 적어졌으며, 선인장 줄기 분말은 플로 경시 변화 결과와 같이 유사한 경향을 나타내었다.
- 4) 압축강도 결과, 선인장 줄기 분말은 혼입율 0.3%에서 혼화제 중 재령 14일과 28일 경우가 가장 높은 압축강도로 측정되었으나, 혼입율 0.6%, 1.0%에서 혼입율이 증가할수록 압축강도가 작아지는 경향이 나타났다. 이는 혼입율이 증가할수록 점성과 공기량의 증가로 인하여 강도가 저하된 것으로 판단되며, 향후 추가 연구를 통하여 원인을 구명할 것이다. 설탕을 혼입한 배합의 경우 혼입율 0.1%에서 Plain과 유사한 결과를 나타냈으나, 혼입율이 많을수록 피막 형성으로 수화생성물의 생성속도를 지연시켜 강도 발현이 적은 것으로 판단된다. MC를 혼입한 배합은 MC의 혼입율이 증가할수록 압축강도가 감소하는 것으로 확인되었다.
- 5) 선인장 줄기 분말은 혼입율 0.3%에서 지연제인 설탕 보다 지연효과는 적으나 증점제인 MC 혼입율 0.1%와 점도가 유사하여도 작업성과 강도가 증진되는 것으로 나타났다. 이를 통하여 지연제보다는 증점제로서 활용 가능성이 보다 높은 것으로 판단한다.

Conflict of interest

None.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1A5A1 037548).

References

Baek, B.H. (2005). Retarding property of cement mortar with gluconic acid type and additive ratio, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, **21(8)**, 89–96 [in Korean].

Castro, I.N.D., Santos, S.R.D., Kondo, M.K., Maia, V.M., Santos, C.C.R.D. (2020). Agronomic performance and water use efficiency of irrigated cactus pear cultivars, *Revista Caatinga*, **33(2)**, 529–540.

Cho, H.S., Paik, I.K., Lee, D.H., Roh, Y.S. (2017). Applicability of high-strength mass concrete through setting time and horizontally-divided placement, *Journal of the Korea Institute for Structural*, **21(2)**, 103–113 [in Korean].

Han, C.G., Han, M.C., Yoon, C.W., Sim, B.K. (2002). Setting and mechanical properties of concrete using saccharic type super retarding agent, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **14(4)**, 589–596 [in Korean].

Hong, S.J. (2012). The Effects of *Opuntia Ficus-Indica* var. *Saboten* Extract on the Skin Condition, Master's Thesis, Seokyeong University, 15–18 [in Korean].

Iqbal, M.A., Hamid, A., Imtiaz, H., Rizwan, M., Imran, M., Sheikh, U.A.A., Saira, I. (2020). Cactus pear: a weed of dry-lands for supplementing food security under changing climate, *Planta Daninha*, **38**, e020191761.

Jong, T.S., Chang, D.Y., Seung, H.B. (2007). Effect of blastfurnace slag fineness on the rheological properties of cement pastes, *Journal of the Korean Ceramic Society*, **44(2)**, 103–109 [in Korean].

Kang, H.J. (2003). Studies on the Developments Antiwashout Underwater Concrete Admixture using Synthesis Melamine, Ph.D Thesis, Myongji University, 5–15 [in Korean].

Khan, B., Baradan, B. (2002). The effect of sugar on setting-time of various types of cements, *Quarterly Science Vision*, **8(1)**, 71–78.

Kim, J.C., Ahn, T.S., Moon, H.Y. (1999). Fundamental properties of self-compacting concrete using viscosity modifying admixture, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **11(6)**, 69–78 [in Korean].

Lee, K.S. (2004). Antioxidant, Antimicrobial Effect of the Extracts of Cactus Cheonnyuncho(*Opuntia humifusa*) and Identification of Activity Substance, Master's Thesis, Hoseo University, 49–51 [in Korean].

Lim, K.H. (2000). Antiwashout underwater concrete : mix proportions, quality evaluation, and engineering properties, Master's Thesis, Konkuk University, 11–18 [in Korean].

Moon, H., Kim, J.H., Cho, Y.H., Lee, J.Y., Chung, C.W. (2014). Effects of sugar and hydrated cement powder on the reduction in heat of hydration, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, **14(2)**, 135–142 [in Korean].

Sim, B.K. (2001). A Study on the Development and Practical Use of Saccharic Type Super Retarding Agent, Master's Thesis, Cheongju University, 10–14 [in Korean].

자원순환형 선인장 줄기 분말을 혼입한 모르타르의 굳지 않은 특성과 강도

본 연구에서는 열매를 수확한 후 폐기되는 손바닥 선인장 줄기를 재활용하기 위하여 선인장 줄기 분말을 시멘트계 재료의 혼화제로 적용하고자 하였다. 이를 위해 선인장 줄기 분말을 혼입한 모르타르의 굳지 않은 특성과 강도에 대한 연구를 수행하였다. 또한 그 결과를 기존의 당류계 혼화제인 지연제 설탕과 증점제 메틸셀룰로오스를 혼입한 모르타르의 특성과 비교하였다. 연구 결과, 선인장 줄기 분말은 지연제로서 효과를 뚜렷하게 보여주지 못하였다. 반면, 선인장 줄기 분말 혼입율이 증가할수록 플로 및 공기량이 메틸셀룰로오스를 혼입한 모르타르와 유사한 경향을 나타내어 증점제로서 활용 가능성을 확인하였다. 또한 선인장 줄기 분말의 혼입율이 0.3% 이내일 때에는 모르타르의 강도가 증가하는 것으로 나타났다.