J Rec Const Resources 5(2)137-143(2017)
https://doi.org/10.14190/JRCR.2017.5.2.137

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

각종 유지류에 침지된 혼화재 치환 시멘트 모르타르의 열화특성

Degradation of Cement Mortar with Supplementary Cementitious Materials Submerged in Various Oils

한천구[1]* · 황찬우[1]
Cheon-Goo Han[1]* · Chan-Woo Hwang[1]

(Received March 27, 2017 / Revised May 31, 2017 / Accepted May 31, 2017)

There has been a number of research on concrete durability. specially, as a research on chemical ingression, the research on the degradation against acid, alkali, and sulfate has been conducted. On the other hand, for the research on oils, especially, the influence of various oils on cement mortar with Supplementary Cementitious Materials(SCMs) is not sufficiently studied. hence, in this research, the degradation of cement mortar incorporated fly ash and blast furnace slag is researched when the cement mortar is submerged in various oils. For the result of experiment, as the content of fatty acid in the oils, the degradation of cement mortar with SCMs was occurred more, and the cement mortar with SCMs suffered more degradation than the ordinary portland cement regarding the oil submerging.

키워드 : 각종 유지류, 혼화재, 열화특성, 상대동탄성계수

Keywords : Various oils, Supplementary cementitious materials, Degradation, Relative dynamic elastic modulus

1. 서 론

콘크리트의 내구성에 대한 연구는 오랜 시간동안 많이 진행되어 왔다. 그중에서도 화학적 침식과 관련하여 산, 알칼리 및 염, 그중에서도 황산염 침식에 관한 연구는 특히 활발히 진행되어(Lee 2012) KS L 5201(포틀랜드시멘트)의 제 5종에는 내황산염 포틀랜드 시멘트가 규격화 되어있다.

그런데 화학적 침식 중 유지류에 관해서는 콘크리트의 알칼리 성분인 수산화칼슘과 유지류의 주성분인 글리세린에스테르가 비누화 반응을 일으켜 모세관 공극에 지방산 칼슘염을 생성하여 팽창파괴를 일으킬 수 있다는 것과, 유지류의 주성분 중 하나인 유리지방산이 산과 유사한 역할을 하여 콘크리트를 열화 시킬 수 있다는 것이다(Han 2016). 특히 Fig 1에서 보면 포틀랜드시멘트에서 반응이 더 활발히 진행되는 것으로 나타났지만(Miz 1986), 이와 같은 유지류에 관련한 연구는 실무에서 자주 발생하는 상황이 아니므로 다른 연구에 비하여 미흡한 실정이다. 특히 어떠한 종류의 유지류가 모르타르에 영향을 미치고, 특히 플라이애시(FA) 및 고로슬래그 미분말(BS) 등 혼화재를 치환한 시멘트 모르타르의 영향성에 대하여서는 거의 연구된바가 없다.

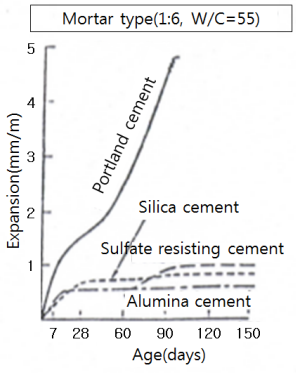


Fig. 1. Effect of cement type on expansion with ages(immersed in the fat and oils)(Mizgami 1986)

* Corresponding author E-mail: cghan@cju.ac.kr

[1]청주대학교 건축공학과 (Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Chungbuk, 28503, Korea)

Copyright ⓒ 2017 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

따라서 본 연구에서는 시중에서 유통되고 있는 유지류 및 유지류 가공품 등 다양한 종류의 유지류에 FA 및 BS의 혼화재 치환 시멘트 모르타르를 침지함에 따른 열화특성을 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 실험에서의 실험계획 및 배합사항은 Tables 1 및 2와 같다. 즉, 실험요인으로 모르타르 배합비(이하 B:S)는 1:3, 물결합재비(이하 W/B)는 60%로 고정하였으며. 결합재로는 보통 포틀랜드시멘트(이하 OPC) 100%, OPC에 BS를 60% 및 OPC에 FA를 30% 치환하는 시멘트 모르타르로 계획하였다. 또한 실무조건을 고려하여 각 결합재별 목표 플로는 150±25로 계획하였다. 유지류의 종류로는 Plain의 물(이하 WA)과 식물성인 들기름 (이하PO), 콩기름 (이하 SO), 옥수수유(이하CO), 포도씨유(이하 GO), 올리브유(이하 OO), 동물성인 돼지기름(이하 LA), 가공유인 바이오디젤(이하 BD) 및 유압작동유(이하 HF)로 계획하였다.

실험사항으로는 모르타르의 기초적 특성으로 플로, 단위 용적질량 및 압축강도를 계획하였으며, 유지류의 열화저항성으로는 상대동탄성계수, 길이변화율, 질량변화율, 잔존압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

Table 1. Experimental plan

Item	Factors	Levels	
Mixture and sub-merging oil	C : B	1	1:3
	W/B(%)		60
	Binder type(%)	3	OPC(100) = OPC 100 BS(60) = OPC 40 : BS 60 FA(30) = OPC 70 : FA 30
	Target flow(mm)	1	150 ± 25
	Fat and oils	9	Plain(water) (WA) Perilla oil (PO) Soybean oil (SO) Corn oil (CO) Grape seed oil (GO) Olive oil (OO) Lard (LA) Biodiesel (BD) Hydraulic fluid (HF)
Experi-ment	Fundamental properties	3	Flow Unit weight volume Compressive strength (3, 7, 28, 90, 180days)
	Oil resistance test	4	RDEM[1)] Length change Mass change Residual compressive strength (180days)

1) Relative dynamic elastic modulus

Table 2. Mixing proportions of mortar

Type	C:S	W/B (%)	W[1)] (kg/m^3)	Unit mass(kg/m^3)		
				OPC[2)]	Binder	S[3)]
OPC(100)	1:3	60	293	488	0	1,465
BS(60)			290	194	290	1,453
FA(30)			287	335	144	1,437

1) Water
2) Ordinary portland cement
3) Sand

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로 OPC는 국내산 1종을 사용하였고, 고로슬래그 미분말은 국내 3종을, 플라이애시는 국내산 2종을 사용하였으며, 잔골재는 국내산 석산의 부순 잔골재를 사용하였다. 이때 각 재료의 물리·화학적 특성은 Tables 3~6과 같다.

유지류의 경우는 국내에서 사용되고 있는 것을 시중에서 구입

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm^3)	Blaine (cm^2/g)	Loss on ignition (%)	Setting time (min)		Compressive strength(MPa)		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	3,450	2	275	325	28.4	39.5	52.3

Table 4. Physical and chemical properties of BS

Density (g/cm^3)	Blaine (cm^2/g)	Loss on ignition (%)	Chemical composition(%)				
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
2.89	4,520	1.5	34.2	14.6	0.32	42.3	6.40

Table 5. Physical and chemical properties of FA

Density (g/cm^3)	Blaine (cm^2/g)	Loss of ignition (%)	Moisture content (%)	SiO_2 (%)
2.27	3,850	2.50	0.10	51.3

Table 6. Physical properties of crushed fine aggregate

Density(g/cm^3)	Absorption ratio(%)	Fineness modulus(%)
2.70	1.13	2.60

Table 7. Physical properties of fat and oils

Type	Color	Form	Density (g/cm^3)	Viscosity (cP)	Saturated fat(%)
WA	Clear	Liquid	0.998(at 20℃)	1.0(at 20℃)	0
PO	Yellow	Liquid	0.928(at 20℃)	38(at 20℃)	10
SO	Yellow	Liquid	0.820(at 20℃)	51(at 20℃)	14
CO	Yellow	Liquid	0.918(at 20℃)	30(at 20℃)	17
GO	Yellow	Liquid	0.915(at 20℃)	12(at 20℃)	11
OO	Yellow	Liquid	0.910(at 20℃)	54(at 20℃)	18
LA	White	Solid	0.918(at 40℃)	65(at 40℃)	41
BD	Pale yellow	Liquid	0.884(at 20℃)	15(at 20℃)	97
HF	Pale yellow	Liquid	0.842(at 15℃)	146(at 15℃)	1.2

하여 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 7과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 모르타르의 혼합은 모르타르 믹서를 사용하여 KS L 5109의 방법에 의거 실험을 진행하였다. 실험법으로 플로는 KS L 5111, 단위용적질량은 KS F 2409, 압축강도는 KS L 5105에 의거하여 측정하였다.

유지류에 모르타르 침지는 40X40X160mm 공시체를 7일 수중양생 후 21일 기건 양생한 다음 침지하여 20±2℃의 온도에서 180일까지 관찰 및 열화를 측정하는 것으로 하였다. 단, 돼지기름의 경우는 60℃로 가열한 다음 액체 상태에서 침지하는 것으로 하였다.

유지류에 대한 열화저항성 시험으로 상대동탄성계수는 KS F 2473, 길이변화율은 KS F 2424에 의거하여 측정하였고, 질량변화율은 시멘트 모르타르의 질량변화량을 처음의 질량으로 나누어 백분율로 측정하였다. 이때 측정주기는 처음 4주는 1주 간격으로 그 이후는 1개월 간격으로 측정하였다. 단, 잔존압축강도의 경우는 180일 침지한 후 KS L 5105방법에 의거하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 모르타르의 기초적 특성

본 연구에 이용한 모르타르에 대한 기초적 특성으로, Table 8 및 Fig. 2는 혼화재 치환에 따른 플로, 단위용적질량 및 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저, 플로 값은 목표 값인 150±25mm를 만족하였고, 단위용적질량은 2,200kg/m^3 전후인데, 혼화재의 밀도가 OPC보다 작은 것

Table 8. Flow and unit weight volume with mortar type

Type	B:S	Flow(mm)	Unit mass(kg/m^3)
OPC(100)	1:3	158	2,248
BS(60)		165	2,162
FA(30)		160	2,172

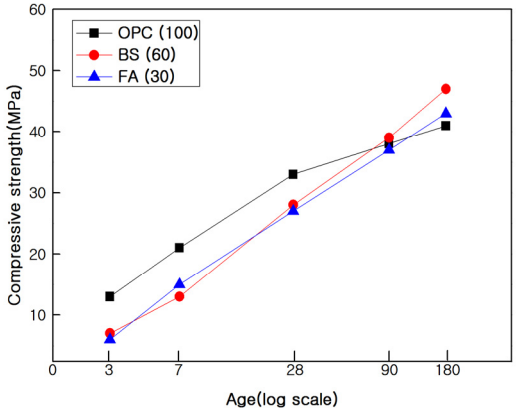


Fig. 2. Effect of mixture on compressive strength with age

과 치환율의 영향으로 FA(30), BS(60)의 순으로 혼화재 치환 모르타르에서 작게 나타났다.

압축강도는 전반적으로 재령의 log 함수에 비례하여 증가하는 경향이었는데, 재령 28일 이전에서는 OPC(100)이 가장 크고, BS(60)과 FA(30)은 유사한 경향을 나타낸 반면, 재령 91일 이후의 경우에는 BS의 잠재수경성 반응에 기인하여 BS(60)이 가장 크고, FA의 포졸란 반응에 기인하여 FA(30)이 다음이며, OPC(100)은 가장 작은 강도 값을 나타내었다.

3.2 유지류 침지에 따른 열화저항성 분석

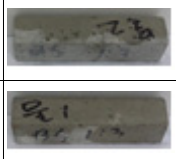
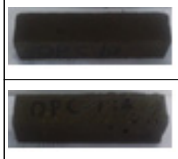
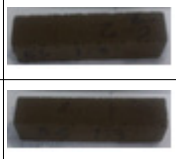
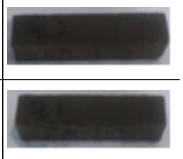
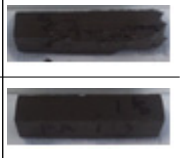
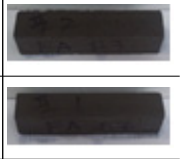
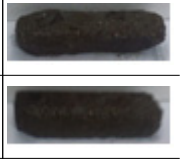
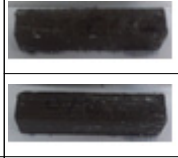
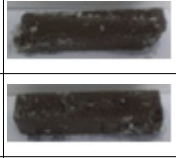
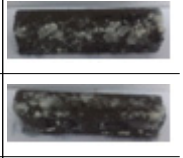
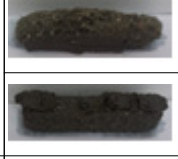
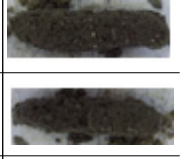
유지류 종류별 각종 모르타르 침지에 따른 열화저항성으로, 180일 침지 후 사진, 상대동탄성계수, 길이변화율 및 질량변화율은 Table 9 및 Figs. 3~5와 같다.

3.2.1 열화평가방법의 적용 및 개요

각종 유지류에 혼화재 치환 모르타르를 침지하여 열화시킬 경우에 나타나는 현상을 분석하기 위해서는 표준 및 정량적인 방법이 필요하다. 그러나 각종 유지류에 모르타르 및 콘크리트를 침지하였을 경우에 관한 시험규정은 없는 것이 현실이다.

따라서 콘크리트 내구성 중 동해의 판단척도에 이용되는 상대동탄성계수, 길이변화율 및 질량변화율을 열화평가에 적용하는 것

Table 9. Photo of fat and oils immersion(180days)

Fat and oils type	OPC(100)	BS(60)	FA(30)
WA			
PO			
SO			
CO			
GO			
OO			
LA			
BD			
HF			

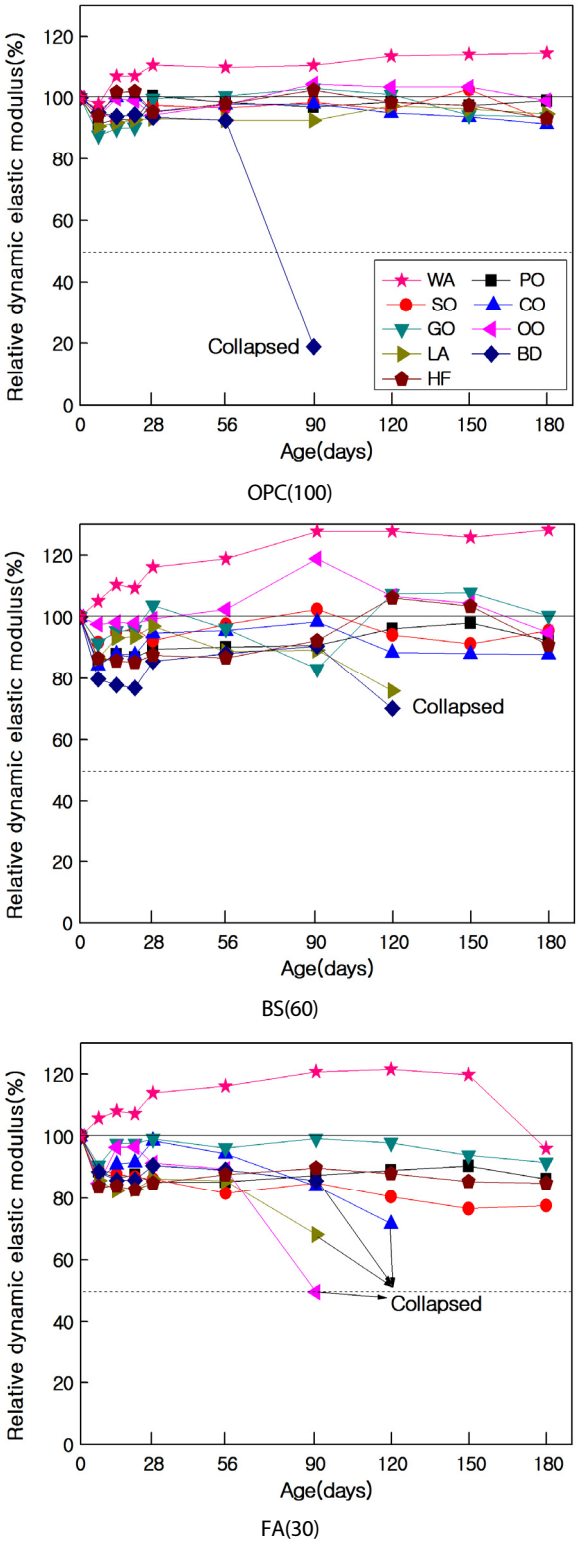
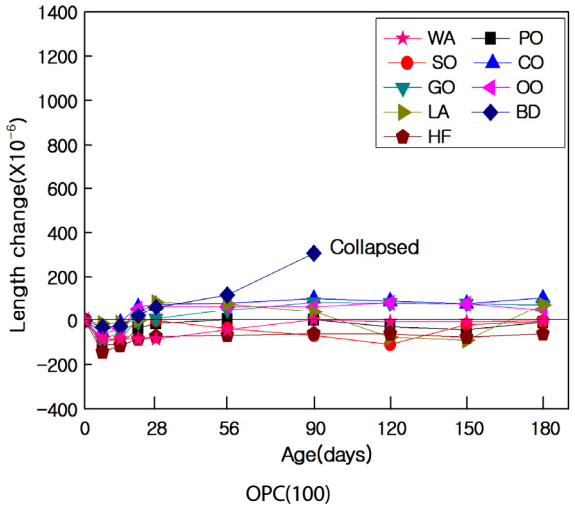
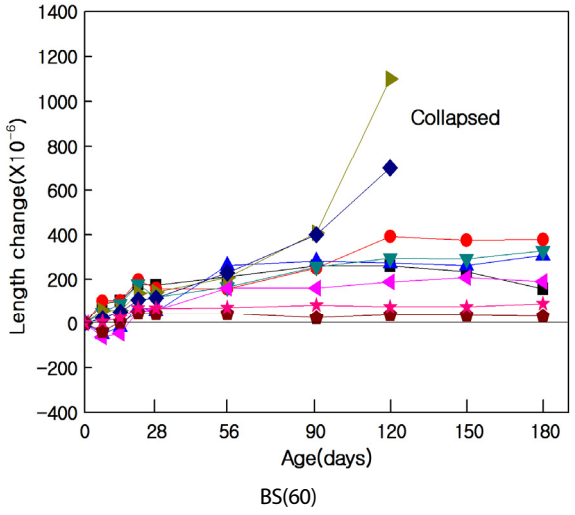


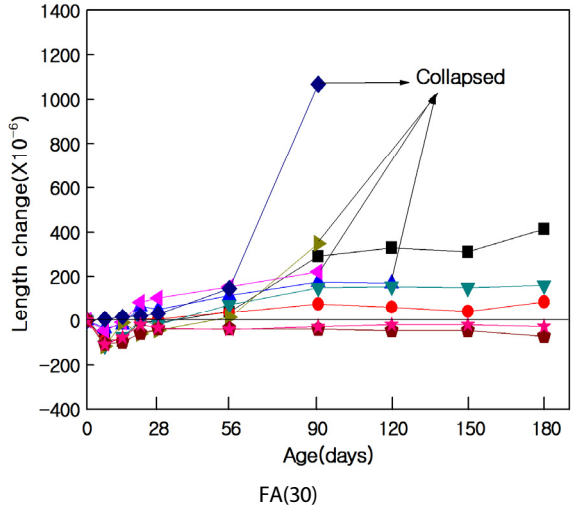
Fig. 3. Effect of submerging oils on RDEM with age



OPC(100)

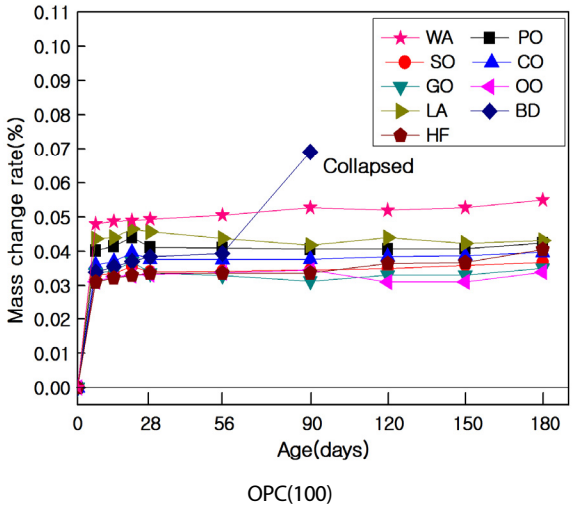


BS(60)

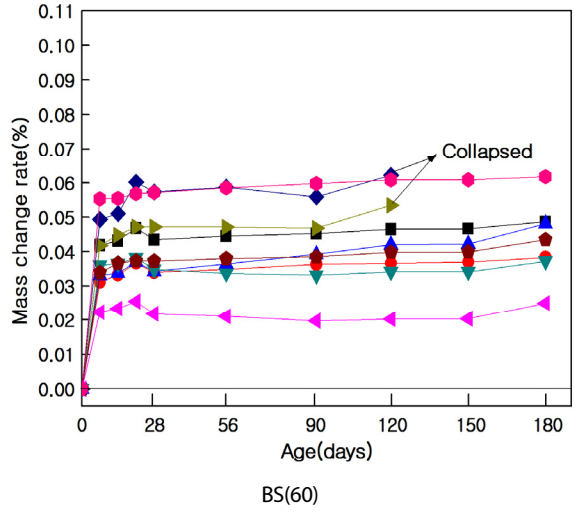


FA(30)

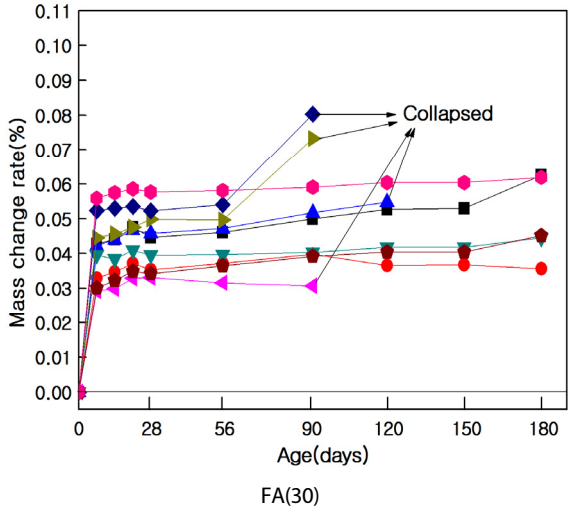
Fig. 4. Effect of submerging oil on length change with age



OPC(100)



BS(60)



FA(30)

Fig. 5. Effect of submerging oil on mass change with age

으로 하였다.

전반적으로 먼저, Table 9와 같이 각종 유지류에 180일 침지된 모르타르의 경우는 OPC 대비 혼화재 치환 모르타르의 경우 많은 종류의 유지류에서 파괴되는 것으로 나타났다.

또한 상대동탄성계수의 저하와 길이변화율 및 질량변화율이 증가하는 팽창열화현상이 나타났다. 이는 시멘트의 알칼리 성분인 수산화칼슘과 유지류의 글리세린에스테르가 비누화 반응하여 모세관공극 내부에 비누가 충전됨(Han and Woo 2013)에 기인하여 나타난 것으로 사료된다.

3.2.2 유지류 종류의 영향

본 실험에 사용된 Plain인 WA와 8가지 종류의 유지류에 침지시킨 혼화재 치환 모르타르에 대하여 특히 유지류 종류를 중심으로 분석한다. 먼저 BD의 경우는 OPC(100) 및 모든 혼화재 치환 모르타르에서 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이는 BD의 경우에 Table 7과 같이 점도가 15cP로 낮은 편이고, BD를 생성할 때 에스테르화 반응을 시켜 글리세린을 따로 제거하고 순수에스테르로 생성되어 지방산 함유량이 97%로 타 유지류에 비하여 많음으로서 더 많은 비누를 생성하여 팽창열화를 크게 일으킨 것이라 사료된다.

특히 혼화재 치환 모르타르에서는 LA에서 모두 파괴되는 것으로 나타났고, FA(30) 치환 모르타르에서는 CO 및 OO에서도 파괴되는 것으로 나타났다. LA의 경우는 침지 전 상온에서 고체 상태이기 때문에 가열하여 침지하였는데, 이때 온도가 60℃내외여서 타 유지류에 비하여 온도에 의한 침투성의 차이와 Table 7과 같이 지방산 함유량이 BD 다음으로 높음에 기인한 것으로 분석된다. 또한 Table 7과 같이 OO와 CO의 경우는 지방산 함유량이 3, 4번째로 많기 때문에 강도가 약한 FA(30)에서 팽창열화를 일으킨 것으로 사료된다.

3.2.3 혼화재 치환의 영향

전반적으로 유지류 침지에 대한 혼화재 치환 모르타르의 경우 상대동탄성계수에서는 저하하고, 길이변화율 및 질량변화율은 증가하는 것으로 나타났다.

특히 OPC 대비 혼화재 치환 모르타르에서는 유지류 종류에 따른 열화가 더 크게 발생되었는데, 이는 혼화재의 특성인 수화반응 지연으로 초기강도가 저하됨에 따라 비누화 반응에 의한 비누생성에 팽창압을 견디지 못하여 더 많은 유지류 종류에서의 팽창파괴가 나타난 것으로 판단된다. 단, BS의 경우는 FA보다 열화하는 유지류의 종류가 적었는데, 이는 BS 생산시 반응성을 증가시키기 위하여 석고를 넣어 제조되는 경우가 보고되고 있는데 이로 인한 잠재수경성 반응이 빨리 나타남에 기인한 것과 OPC 중 C_3A(알루미네이트상)과 석고가 반응하여 에트린가이트를 생성하여 약간의 팽창성으로 조직 치밀화를 이룸에 기인한 결과라 사료된다.

3.3 잔존압축강도 분석

각종 유지류에 침지한 혼화재 치환 모르타르에서 재령 180일의 잔존압축강도는 파괴되지 않은 경우 WA 대비 약 50~60%로 저하하게 나타났다. 특히 팽창열화를 일으켰던 유지류의 경우는 180일 이전에 파괴되어 잔존압축강도를 측정할 수 없었다.

이는 상기 열화저항성 분석에서 나타난 비누화 반응에 기인한 것으로 사료된다. 반면에 HF에 관하여는 약 75~85%의 잔존압축강도로 나타났다. 이는 Table 7과 같이 지방산함유량이 1.2%로 타 유지류에 비하여 가장 낮기 때문에 모세관 공극에서의 비누화 반응으로 인한 비누의 생성량이 적어 타유지류에 비하여 팽창압이 작게 작용하므로서 잔존압축강도가 가장 크게 나타난 것으로 분석된다.

4. 결 론

본 연구에서는 각종 유지류에 혼화재 치환 모르타르 공시체를 침지하여 어떤 종류의 유지류에 어떤 종류의 혼화재 치환 모르타르가 열화현상을 가장 크게 영향 받는지에 관하여 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전반적인 양상으로, 각종 유지류에 혼화재 치환 모르타르를 침지할 경우, 열화현상은 상대동탄성계수가 저하하고, 길이변화율 및 질량변화율이 증가하는 팽창열화 모습으로 나타났다.
2. 유지류 종류의 영향으로는 폐유지류를 가공하여 제조하는 BD의 경우 모든 혼화재 치환 모르타르에서 팽창열화를 가장 크게 일으키는 것으로 나타났는데, 이는 타 유지류에 비하여 낮은 점도와 높은 지방산함유량에 의한 비누화 반응에 기인한 것으로 판단된다. 다음으로 LA, CO 및 OO의 순으로 열화를 일으키는 것으로 나타났지만, HF에서는 약간의 열화경향은 존재하지만, 가장 양호하게 나타났다.
3. 혼화재 치환의 영향으로는 OPC 대비 BS 및 FA 치환한 모르타르에서 더 많은 종류의 유지류에서 열화를 일으키는 것으로 나타났다. 특히 FA에서 제일 큰 열화현상을 나타냈는데 이는 초기의 강도 발현성 저하에 기인한 것으로 사료된다.
4. 각종 유지류에 침지된 후 재령 180일 경과된 시점에서의 잔존압축강도는 파괴되지 않은 경우 WA대비 약 50~60%를 나타내었

다. 단, BD의 경우는 180일 이전에 모두 파괴되어 가장 열화에 취약한 것으로 나타났고, FA 및 BS 치환의 경우 LA에서도 모두 파괴되었고, FA에서는 CO 및 OO에서도 파괴되는 것으로 나타났다.

이상을 종합하면 각종 유지류에 혼화재 치환 모르타르를 침지시킬 경우는 유지류 종류 중 지방산 함유량이 많은, 특히 BD에서 가장 크게 열화되는 것으로 나타났고, 혼화재를 치환할 경우 BS보다 FA에서는 더 많은 종류의 유지류에 열화피해가 나타났다. 금후의 과제로는 유지류에 대한 열화저항성의 향상 대책 및 BD의 팽창작용을 타 용도로 활용하는 방안에 대한 연구가 요구된다.

References

Han, C.G. (2016). Chemical Corrosion of Concrete, Construction Media, Seoul, Korea, 62–63.

Han, M.C., Woo, D.H. (2013). Effects of waste cooking oil on durability of high volume mineral admixture concrete, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **1(3)**, 173–180 [in Korean].

KS L 5101. (2016). Portland Cement, Korean Agency for Technology and Standards [in Korean].

Lee, S.T. (2012). Evaluation on the sulfate attack resistance of cement mortars with different exposure conditions, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, **32(6A)**, 427–435 [in Korean].

Miz, G.G. (1986). Chemical Corrosion, Gihodobooks, Japan, 29.

각종 유지류에 침지된 혼화재 치환 시멘트 모르타르의 열화특성

기존의 경우 콘크리트 내구성에 관한 연구는 다양하게 많은 량이 진행된바 있다. 특히 화학적 침식에 관한 연구로는 산·알칼리, 황산염에 대한 침식저항성의 연구가 활발히 진행되었다. 하지만 유지류에 관한 연구로, 특히 각종 유지류의 종류가 혼화재 치환 모르타르에 어떠한 영향을 미치는지에 관해서는 거의 연구되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 FA 및 BS의 혼화재 치환 시멘트 모르타르가 각종 유지류에 침지될 경우 나타나는 열화특성에 관하여 연구하였다. 실험결과 유지류 종류 중에서는 지방산 함유량이 높을수록, 특히 BD(바이오디젤)의 경우가 모든 혼화재 치환 시멘트 모르타르의 열화를 가장 크게 일으키는 것으로 나타났고, 혼화재 치환을 한 모르타르의 경우는 OPC(보통포틀랜드시멘트)보다 BS 및 FA치환 모르타르의 경우에서 열화가 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.