

알파형 반수석고 기반 결합재의 pH 및 강도발현 평가

Evaluation of pH and Compressive Strength Development of Alpha-Calcium Sulfate Hemihydrate-based Binder

이 경 호¹양 근 혁^{2*}Lee, Kyung-Ho¹Yang, Keun-Hyeok^{2*}*Department of Architectural Engineering, Graduate School, Kyonggi University, Suwon, Kyonggi-do, 443-760, Korea¹**Department of Plant-Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon, Kyonggi-do, 443-760, Korea²*

Abstract

This study examined the compressive strength development and pH values of alpha-calcium sulfate hemihydrate(α -CH)-based binders developed for vegetation concrete with neutral pH between 6~7. Considering cost down and strength enhancement of the prepared binders, the α -CH was partially replaced by ground granulated blast furnace slag(GGBS), fly ash(FA), or ordinary Portland cement(OPC) by 25% and 50%. The compressive strength of mortars using 100% α -CH was 50% lower than that of 100% OPC mortars. With the increase of the replacement level of GGBS or FA, the compressive strength of α -CH-based mortars tended to decrease, whereas the pH values were maintained to be 6.5~7.5. The main hydration products of α -CH-based binders with GGBS or FA were a gypsum(CaSO_4), whereas portlandite($\text{Ca}(\text{OH})_2$) was not observed in such binders. Meanwhile, the pH values of α -CH-based binders with OPC exceeded 11.5 due to the formation of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ phase as a hydration product. From the thermogravimetric analysis, the amount of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in α -CH-based binders with OPC was evaluated to be approximately 10% of the cement content.

Keywords : vegetation concrete, neutral pH, compressive strength, alpha-calcium sulfate hemihydrate, portlandite

1. 서 론

최근 들어 친환경 생태 및 환경에 대한 사회적 관심이 커지면서 건물이 고밀집화된 도시에 자연생태에 가까운 기능을 가지는 생태공원, 건축물의 입면녹화 및 옥상녹화 등의 인공녹지 조성이 다양하게 이루어지고 있다. 건축물 또는 도심지에 식물이 자랄 수 있는 녹지를 조성하기 위해서는 식물이 뿌리 내릴 수 있는 흙이 필요하다. 건물 또는 도심지에서 흙을 사용하여 녹지를 조성할 경우 흙의 하중

으로 인해 구조물에 부가적인 균열 및 처짐 등의 구조적 문제점과 함께 비와 바람에 의한 흙의 유실 등의 유지관리 문제가 함께 고려되어야 한다[1].

식물은 생장 시 주변 환경과 함께 pH의 영향을 크게 받는다[2,3,4]. 식물생장에 최적인 pH의 범위는 일반적으로 5~7 정도인데, 최대 3~9까지는 식물생장이 가능하다. pH가 3 이하의 산성일 경우 화합물이 잘 녹지 않아 칼슘 및 인산의 흡수가 나빠지며, 9 이상의 알칼리성에서는 이산, 철, 붕소, 망간 및 아연 등의 흡수가 나빠진다. 이처럼 적정범위 이외의 pH 값에서는 식물 뿌리세포의 대사가 원활하게 이루어지지 않으며, 이는 식물의 생육장애의 주요 원인이 되기도 한다. 기존 식생용 포러스 콘크리트의 경우 결합재로 시멘트를 주로 사용하고 있는데, 시멘트는 100% 수화반응을 가정하였을 때 단위 시멘트 양의 약 30%의 수산화칼슘(portlandite, $\text{Ca}(\text{OH})_2$)을 생성한다

Received : November 26, 2015

Revision received : December 16, 2015

Accepted : January 22, 2016

* Corresponding author : Yang, Keun-Hyeok

[Tel: 82-31-249-9703, E-mail: yangkh@kgu.ac.kr]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

[5]. 수산화칼슘의 용해도는 0.126g/100g(20℃)로 낮지만 이온화도가 0.9로 높아 소량으로도 높은 pH를 나타낸다. 이로 인해 시멘트를 사용한 콘크리트의 pH는 11~13의 범위로 강 알칼리성을 띄게 되어 식물의 생장에 불리한 환경을 조성한다.

콘크리트의 높은 알칼리성을 제어하기 위한 한 방법으로 서 경화된 콘크리트를 산성인 인산암모늄 용액(pH4~5)에 침지시키는 공정도 제안되고 있다[6, 7]. 하지만 이 방법은 인산암모늄 용액과 접촉되는 콘크리트 표면부의 pH만을 중화시키며, 시간이 지남에 따라 시멘트 콘크리트에서 중화되지 않은 내부의 Ca(OH)₂의 용출로 다시 높은 pH가 상승되고 이로 인해 식물의 생장이 어려운 환경을 조성할 수 있다. 또한 현재 식생용 콘크리트에서 일반적으로 사용하고 있는 pH 측정법은 콘크리트의 상단에 물을 부은 후 하부로 흘러나온 물을 사용하거나, 콘크리트 시험편을 일정 시간 수중에 침지시켜 콘크리트의 성분을 용출시킨 수용액을 사용하는 KS M 0011[8]의 리칭법(Leaching method)을 이용하고 있다[9, 10]. 하지만 이 방법은 수분이 접촉하는 콘크리트 표면부의 pH 측정에 국한될 수 있으며, 내·외부의 정확한 pH 분포 값을 측정하는 것은 어렵다.

결국 콘크리트의 결합재로 시멘트를 사용할 경우 수화 생성물인 Ca(OH)₂의 높은 이온화 특성에 높은 수준의 pH를 나타내기 때문에 시멘트 기반의 결합재에서 중성화 수준의 pH를 얻기는 매우 어렵다. 이 연구에서는 콘크리트의 pH를 저감시키기 위해 높은 pH를 갖는 시멘트 대신 pH가 6~7로 중성에 가까우며 Ca(OH)₂의 생성없이 경화 특성을 나타내는 알파형 반수석고(α -calcium sulfate hemihydrate, α -CH)를 결합재의 원 재료로 사용하였다. 원재료의 단가저감 및 강도발현 향상을 고려하여 혼화재로서 고로슬래그(ground granulated blast furnace slag, GGBS), 플라이애쉬(fly ash, FA) 및 보통 포틀랜드시멘트(ordinary Portland cement, OPC)의 치환가능성을 평가하였다. 콘크리트에서 pH 상승의 주요 원인인 Ca(OH)₂의 생성은 X-ray 회절(X-ray diffraction, XRD) 분석 및 시차열분석(Differential thermal analysis, DTA)을 통해 평가하였다.

2. 실험상세

2.1 재료특성

pH 값이 중성에 가까운 결합재 개발을 위하여 사용된 시멘트계 재료들의 화학적 조성 및 물리적 특성을 Table 1 및 2에 각각 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of cementitious materials

Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO	K ₂ O	SO ₃	LOI
α -CH	0.40	0.24	54.40	0.13	0.07	-	0.12	44.28	-
GGBS	33.63	14.18	42.17	4.87	0.43	0.11	0.62	3.04	0.95
FA	55.37	26.83	4.21	0.67	5.08	1.53	0.57	0.68	4.81
OPC	19.60	5.10	62.80	3.90	2.90	0.18	0.89	2.50	2.64

Table 2. Physical properties of cementitious materials

Material	Specific surface area(cm ² /g)	Density(g/cm ³)
α -CH	1,400	2.67
GGBS	4,000	2.90
FA	3,300	2.20
OPC	3,412	3.15

원재료(Base material)로 사용된 α -CH는 천연 이수석고를 가압수용액법으로 약 130℃의 온도에서 생성된 반수석고이며, 황백색의 분말형태이다. α -CH의 경우 일반적으로 사용되는 베타형 반수석고대비 결정이 균질하여 혼합수량을 적게 요구하며, 강도 또한 베타형 반수석고 대비 높다[11]. 사용된 α -CH의 분말도는 1,400cm²/g이며 밀도는 2.67g/cm³이다. α -CH의 주요 화학적 조성은 54.4%의 CaO와 44.3%의 SO₃로 구성되어 있다.

혼화재로 사용된 GGBS는 KS F 2563[12]의 3종으로 비표면적은 4,000cm²/g이며, 밀도는 2.9g/cm³이다. GGBS의 주요 화학적 조성은 42.2%의 CaO, 33.6%의 SiO₂ 및 14.2%의 Al₂O₃로 구성되어 있으며, 산화마그네슘(MgO)의 함량은 4.9%, 삼산화황(SO₃)의 함량은 3%로 KS 규격을 만족한다. FA는 KS L 5405[13]의 2종으로 비표면적은 3,300cm²/g이며, 밀도는 2.2g/cm³이다. FA의 주요 화학적 조성은 55.4%의 SiO₂, 26.8% Al₂O₃, 5.1%의 Fe₂O₃ 및 4.2%의 CaO로 구성되어 있다. 보통 포틀랜드 시멘트는 KS L 5201[14]의 1종으로 비표면적은 3,412cm²/g이며, 밀도는 3.15g/cm³이다. 주요 화학적 조성은 62.8% CaO, 19.6% SiO₂ 및 5.1%의 Al₂O₃로 구성되어 있다. 모르타르 실험을 위해 사용된 모래는 최대직

경 5mm로서 KS L ISO 679[15]에서 규정한 표준사를 사용하였다.

2.2 배합 및 양생

페이스트 및 모르타르 실험의 배합상세를 Table 3에 나타내었다. 실험의 주요 변수는 GGBS, FA 및 OPC의 치환율로서, 결합재 대비 각각 25% 및 50%를 치환하였다. 실험은 pH, XRD 및 DTA 측정을 위해 물-결합재비 40%의 조건으로 페이스트를 제작하였으며, 재령별 압축강도 평가를 위해 KS L ISO679[15]에 따라 물-결합재비 50% 및 모래-결합재비 3의 모르타르 시험체(50 × 50 × 50mm)를 제작하였다. 페이스트 및 모르타르의 결합재로 2가지 이상의 재료가 사용될 시 배합실험 전 1분 이상 프리믹싱을 실시하여 사용하였다. 제조된 페이스트 및 모르타르는 항온습습(20℃, 상대습도 60%) 환경에서 재령 28일까지 양생을 하였다.

Table 3. Detail of prepared mixes

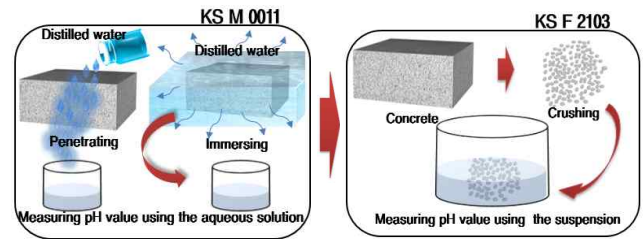
Specimens	W/B		S/B for mortar	Composition of cementitious materials (%)			
	Paste	Mortar		α-CH	GGBS	FA	OPC
α100				100	-	-	-
α75G25				75	25	-	-
α50G50				50	50	-	-
α75F25	40	50	3	75	-	25	-
α50F50				50	-	50	-
α75C25				75	-	-	25
α50C50				50	-	-	50

2.3 측정

식생용 콘크리트에서 pH 변화에 따른 식물의 성장성(뿌리 활착 및 영양소 흡수성)을 고려한다면 콘크리트 내·외부의 정확한 pH 측정 방법이 요구된다. 하지만 기존 연구에서 사용된 리칭법[9,10]의 경우 수분과 접촉하는 콘크리트

외부의 pH 측정에 국한될 수 있으며, 시간의 지남에 따른 알칼리성분의 용출로 인한 pH 변화가 발생할 수 있다(Figure 1 참조). 따라서 이 연구에서 pH 측정은 콘크리트 내·외부의 균질한 pH 값을 측정하기 위해 KS F 2103[16] 흙의 pH 값 측정방법에 따라 시료를 미분으로 분쇄 후 30 g을 채취하여 증류수 50 ml와 혼합하여 pH를 측정하였다. 페이스트의 pH는 재령 0, 1, 3, 7, 14, 21 및 28일에 측정하였다. 모르타르의 압축강도는 KS L 5105[17]에 따라, 재령1, 3, 7, 14, 21 및 28일에 측정하였다.

결합재의 Ca(OH)₂ 생성 여부 확인 및 생성된 Ca(OH)₂ 의정량적인 평가를 위해 XRD 및 DTA을 실시하였다. XRD 분석 및 DTA 평가를 위한 시료는 분쇄하여 분말형태로 제조 후 전처리 과정을 거쳐 사용하였다. 시료 채취는 재령 1, 7, 14, 21, 및 28일에 실시하였는데, 계획된 재령에서 채취된 시료들은 아세톤에 침지시켜 수화반응을 정지시켰다.



- Measuring pH value using the aqueous solution penetrating concrete or involving concrete
- The pH value varies according to the immersion time of concrete and sampling location
- Crushed concrete powder with not exceeding 1 mm is immersed into distilled water and then measure pH values using the suspension.
- Relatively low deviated pH values.

Figure 1. Method of pH test

Table 4. Summary of test results

Specimens	pH value						Compressive strength (MPa)						Amount of Ca(OH) ₂ (g/g)
	1 day	3 day	7 day	14 day	21 day	28 day	1 day	3 day	7 day	14 day	21 day	28 day	
α100	6.7	6.7	6.6	6.9	6.7	6.7	7.1	8.8	9.7	13.2	19.1	24.3	-
α75G25	7.0	7.0	6.7	6.7	6.6	6.6	6.3	6.6	7.5	13.7	17.1	18.3	-
α50G50	7.3	7.1	6.8	6.8	6.6	6.7	3.1	3.7	4.2	8.8	9.9	10.1	-
α75F25	7.4	7.3	6.6	6.8	6.5	6.6	5.1	5.5	5.6	6.4	8.1	12.0	-
α50F50	7.5	7.3	6.7	7.0	6.8	6.9	2.7	2.7	2.9	5.2	6.3	7.3	-
α75C25	12.1	12.0	12.1	11.9	11.9	11.8	9.7	10.7	11.4	14.7	18.5	23.2	0.023
α50C50	12.1	12.1	11.6	12.1	11.8	11.8	6.9	9.9	13.1	16.8	19.3	25.2	0.053

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도

α -CH 기반 모르타르의 재령별 압축강도를 Table 4 및 Figure 2에 나타내었다. α -CH 100%(α 100) 모르타르의 압축강도는 재령 7일에 9.7MPa, 재령 28일에 24.3 MPa이었다. KS L 5201[14]에서 1종 보통포틀랜드 시멘트의 경우 재령 28일 압축강도를 42.5MPa 이상으로 규정하고 있음을 고려하면, α -CH의 압축강도는 OPC 대비 약 57% 수준으로 있다.

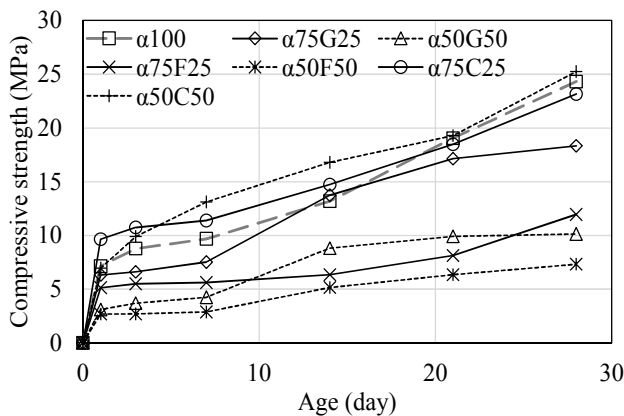


Figure 2. Compressive strength development of mortars

재령 7일 및 28일에서 α -CH 100% 결합재를 사용한 모르타르의 압축강도 대비 GGBS가 25% 치환된 모르타르(α 75G25)의 압축강도는 각각 78% 및 75%수준이었으며, GGBS 50% 치환 모르타르(α 50G50)은 각각 44% 및 42% 수준이었다. α -CH 기반의 모르타르 압축강도는 GGBS 양의 증가와 함께 감소하는 경향을 보였다. GGBS는 압축강도 발현을 위해 OH^- 의 촉매가 필요하다. 하지만 석고는 시멘트와 다르게 수화생성물로 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 포함한 알칼리성 수화물을 생성하지 않으므로 GGBS는 α -CH 기반의 결합재에서 활성화되지 않았다.

재령 7일 및 28일에서 α -CH 100% 모르타르의 압축강도대비 FA가 25% 치환된 모르타르(α 75F25)의 압축강도는 각각 58% 및 49%수준이었으며, FA 50% 치환 모르타르(α 50F50)는 재령 7일 및 28일에서 약 30% 수준을 나타내었다. 즉, α -CH 기반의 모르타르 압축강도는 FA 양의 증가와 함께 감소하는 경향을 보였는데, 이 감소비율은 GGBS 혼입 모르타르에 비해 더 컸다. FA는 GGBS와 달

리 포졸란계 재료로써, 시멘트의 수화로 생성된 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응하여 C-S-H gel 및 C-A-H gel을 생성하여 압축강도를 발현하게 된다. 하지만 석고는 수화생성물로 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 생성하지 않으며, 이로 인해 FA의 반응 메커니즘인 포졸란 반응이 발생하지 않아 재령에 따른 강도발현은 나타나지 않은 것으로 판단된다. 혼화제로 GGBS의 사용은 FA의 사용대비 높은 압축강도를 나타내었는데, 이는 GGBS의 비표면적($4,000\text{cm}^2/\text{g}$)이 FA의 비표면적($3,300\text{cm}^2/\text{g}$)에 비해 높아 미세공극의 채움효과에 의한 것으로 판단된다.

반면, OPC가 25% 치환된 모르타르(α 75C25)의 압축강도는 재령 7일 및 28일에서 α -CH 100% 모르타르 압축강도 대비 각각 118% 및 95% 수준이었으며, OPC 50% 치환 모르타르(α 50C50)는 각각 135% 및 104% 수준으로 α -CH 100% 대비 높게 나타났다. 이는 혼입된 OPC가 수화반응을 통해 자체적으로 압축강도를 발현하였기 때문이다.

α -CH가 원재료로 사용될 경우 재령에 따른 강도발현 특성은 OPC 모르타르의 일반적인 강도발현 특성과는 다소 달랐다. α -CH 기반의 모르타르의 압축강도는 재령 1일에서부터 7일까지 강도증가가 나타나지 않다가 재령 7일 이후 다시 강도가 상승하는 경향을 보였다. 예를 들어 α -CH 100% 모르타르에서 재령 28일 강도 대비 재령 1일 강도는 30%이며, 3일과 7일의 강도는 각각 36%와 40%이며 재령 14 및 21일에서는 각각 54% 및 74%이다. 즉 재령에 따른 강도발현 그래프는 재령 1일 이후 소성흐름과 같이 일정하게 있다가 재령 7일 이후 변형도 경화 현상과 같이 상승하였다.

3.2 pH

α -CH 100% 페이스트의 pH는 재령에 관계없이 약 6.7 수준이다(Table 3). 혼화제로서 GGBS 및 FA가 사용된 페이스트의 경우 pH 값은 재령 3일까지는 7.0~7.5이지만 재령 7일 이후에는 평균 약 6.7로 약 7% 감소하였는데, 이 비율은 매우 작았다(Figure 3). 즉, α -CH 기반 결합재의 pH 값에 대한 GGBS 및 FA의 혼입의 영향은 매우 작았다. 반면 혼화제로 OPC의 사용은 치환량에 관계없이 평균 약 12의 pH 값을 나타내었다. 이는 OPC의 수화로 인해 생성된 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 높은 이온화특성에 기인한 것이다.

3.3 X-ray 회절분석(XRD)

α -CH 기반 결합재의 수화 생성물 평가를 위해 α 100, α 50F50, α 50G50 및 α 50C50의 재령 28일 XRD 회절 분석 결과를 Figure 4에 나타내었다. 분석결과 α 100의 주요 수화생성물은 석고(주요 X선 회절 피크 : 11.6°, 20.7°, 29.1°)이며, 또한 혼화재로 GGBS가 사용된 경우에도 주요 수화생성물은 석고로 나타났다. 이는 GGBS가 물과의 반응성이 낮아 수화반응을 일으키지 않았으며, 결합재중 석고만이 물과 반응한 것으로 판단된다. 혼화재로 FA가 사용된 경우 주요 수화생성물은 석고로 나타났으며, FA의 주성분인 quartz와 mullite도 확인되었다. 대부분이 실리카로 구성되어있는 quartz와 알루미늄-실리카가 주요성분인 mullite는 FA의 주요 구성성분으로 물과 반응성이 낮아 수화반응을 발생시키지 않고 그대로 나타난 것으로 판단된다. 반면 혼화재로 OPC가 혼입된 경우 수화생성물로 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (주요 X선 회절 피크 : 18.1°, 28.6°, 34.1°)의 생성이 확인되었으며, C-S-H 겔 및 에트링가이트의 생성도 확인되었다. 또한 시멘트의 주요 구성성분으로 아직 미 수화된 alite 및 belite와 원재료(α -CH)의 수화생성물인 석고도 함께 존재하는 것으로 확인되었다.

3.4 시차열분석

재령 28일에서 시멘트 경화체중 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 생성비율을 Table 3에 나타내었다. 또한 OPC의 혼입으로 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 생성 시 열분해 구간 비교를 위해 OPC가 사용되지 않은 α 100 과 OPC가 50% 혼입된 α 50C50 배합의 DTA결과를 Figure 5에 나타내었다. 일반적으로 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 열분해는 400~500°C 범위에서 발생하며[18], 이 연구에서는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 열분해 구간은 열중량 및 DTA를 분석한 결과 400~450°C 범위로 결정하였다.

OPC가 없는 결합재들의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 열분해 구간(400~450°C)에서 손실된 질량 비율은 약 0~0.2%로 나타났는데 (Figure 5 (a) 참조), 이는 시료 전체의 흡열반응에 의한 질량 감소이다. 따라서 압축강도 및 pH 결과에서 설명한 바와 같이 원재료인 α -CH 및 혼화재인 GGBS와 FA는 수화생성물로서 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 생성하지 않음을 나타낸다. 반면 혼화재로 OPC가 사용된 경우 치환율 25% 및 50% 일 때 경화된 페이스트 질량 대비 각각 약 2.3% 및 5.3%의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 생성되었다(Figure 5 (b) 참조). 생성된 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 양은 OPC의 사용중량 대비 약 10% 수준으로 나타났다.

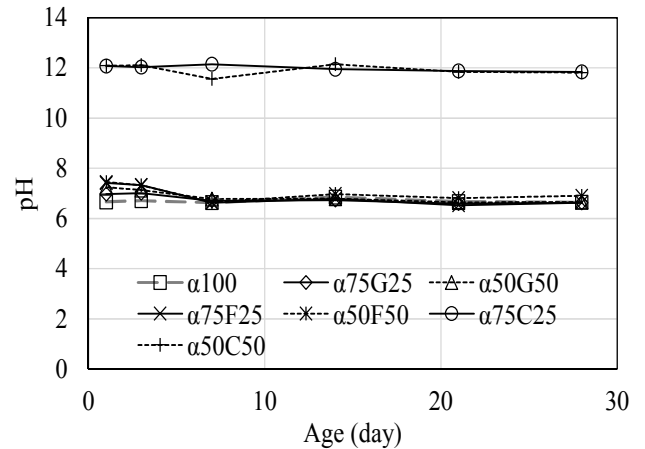


Figure 3. pH variation of pastes against age

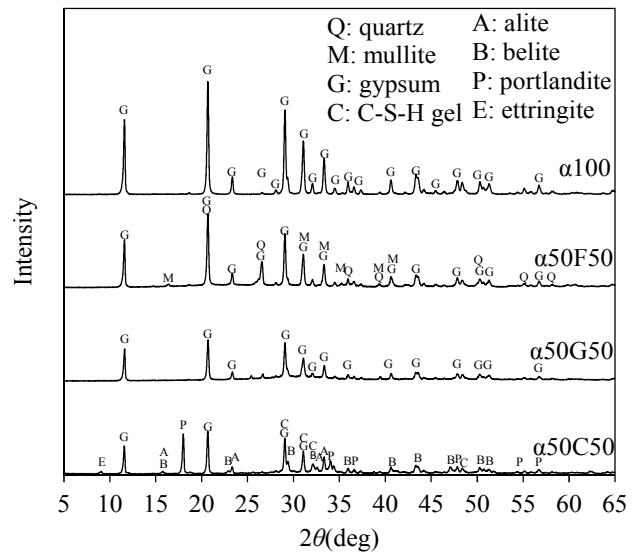


Figure 4. XRD analysis results of pastes at an age of 28 days

4. 결 론

이 연구에서는 식물생장에 이용될 수 있는 중성(pH 6~7) 수준의 결합재 개발을 위해 알파형 반수석고의 적용가능성을 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 알파형 반수석고를 결합재로 사용 시 OPC 대비 약 56%의 압축강도를 나타내며, pH는 6.6~6.7 수준이다. 반면, 혼화재로 OPC를 사용할 경우 알파형 반수석고 기반의 페이스트에서 pH는 OPC 양에 관계없이 약 11.5 이상을 나타내었다.
- 2) 알파형 반수석고 기반 결합재의 강도발현은 재령 1일에서부터 7일까지 강도증가가 나타나지 않다가 재령

- 7일이후 다시 강도가 상승하는 경향을 보였다.
- 알파형 반수석고 기반의 모르타르 압축강도는 GGBS 및 FA가 치환될 경우 감소하는 반면, OPC 치환량의 증가와 함께 증가하였다.
 - 알파형 반수석고 기반의 페이스트에서 주요 수화생성물은 FA 또는 GGBS 혼입에 관계없이 CaSO_4 이며, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는 생성되지 않았다. 반면, OPC가 혼입된 알파형 반수석고 기반의 페이스트에서 주요 수화생성물은 CaSO_4 와 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 이었는데, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 생성량은 단위 시멘트량의 약 10% 수준이었다.

들의 pH 값과 압축강도 발현을 평가하였다. 식생용 콘크리트를 위한 결합재의 경제성 및 강도발현을 고려하여, 알파형 반수석고는 GGBS, FA 및 보통포틀랜드 시멘트를 사용하여 25% 및 50% 치환하였다. 알파형 반수석고를 100% 사용한 모르타르의 압축강도는 시멘트 100% 모르타르에 비해 약 57% 수준으로 있었다. GGBS 및 FA 치환을 증가와 함께 알파형 반수석고 기반 결합재의 압축강도는 감소하였지만 pH 값은 재령에 관계없이 6.5~7.5 수준으로 일정하게 있었다. GGBS 및 FA가 치환된 알파형 반수석고 결합재의 주요 수화생성물은 석고(CaSO_4)이었으며, 수산화칼슘 [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]은 나타나지 않았다. 반면 시멘트가 치환된 알파형 반수석고의 pH 값은 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 생성으로 인해 약 11.5 이상이었는데, 생성된 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 양은 단위 시멘트 양의 약 10% 수준이었다.

키워드 : 식생 콘크리트, pH 저감, 압축강도, 알파 반수석고, 수산화칼슘

Acknowledgement

This research was supported by a grant(14CTAP-C078666-01) from Infrastructure and Transportation Technology Promotion Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

- Shin SM, Life Cycle Assessment and Improvement of Green-roof Considering Materials for Maintenance [Master's thesis], [Daejeon (Korea)]: Korea Advanced Institute of Science and Technology; 2008, 84 p.
- Kim JB, Cho HJ, Kim HY, Effects of Soil pH on the Growth and Antioxidant System in French Marigold(*Tagetes patula* L.), Korean Journal of Plant Resources, 2007 Aug;20(4):348-52.
- Zuo JH, Li JP, Yang F, Effects of Different Soil Types on the Panicle Traits and Yield Components of Northern Japonica Rice, Chinese Journal of Ecology, 2013;32(1):59-63.
- Han BH, Lee KJ, A Study on the Analysis of the Physiological Growth Condition and Improvement of Street Tree in Seoul, Korean Journal of Environment and Ecology, 1996;10(1):39-48.
- Park DC, Analytic Research about the Prediction of Long-term

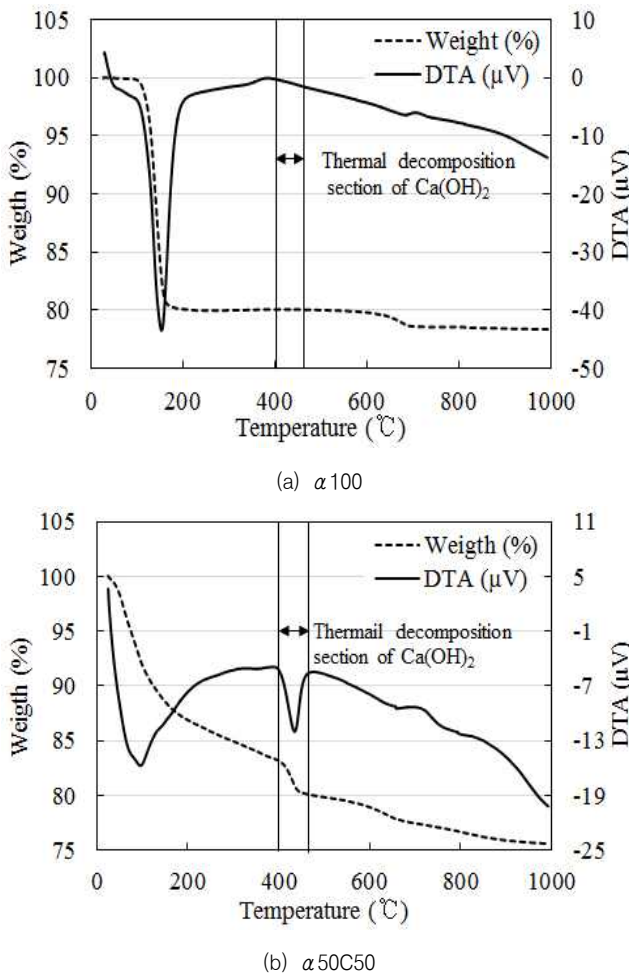


Figure 5. DTA results at an age of 28 days

요약

이 연구에서는 중성(pH 6~7) 수준의 식생용 콘크리트 결합재를 개발하기 위해 알파형 반수석고 기반의 결합재

-
- Neutralization Focused on the Reaction and Diffusion of Calcium Hydroxide, *Journal of the architectural institute of Korea : Structure & construction*, 2007 Aug;23(8):99–106.
6. Choi KY, Development of Porous Concrete Blocks and Their Applicability Experiment for the Environment Favorable Consolidation of Rivers and Channels [Doctorate thesis], [Seoul (Korea)]: Graduate School of Konkuk University; 2005, 204 p.
 7. Han CG, Kim JS, Hwang JH, Lee ST, Fundamental Properties of Planting Concrete on the Building Roof with the Kinds of Aggregate, *Journal of the Architectural Institute of Korea: Structure & Construction*, 2001;17(1):91–9.
 8. Korean Industrial Standards, Methods for Determination of pH of Aqueous Solutions [KS M 0011], Seoul: Korean Agency for Technology and Standards, 2013, 8 p.
 9. Lee JH, Park CG, Park JS, Effect of Reinforcing Fiber on Mechanical Properties and Chemical Resistance of Porous Concrete with Hwang-toh, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 2011 Mar;31(2):105–13.
 10. Kim HH, Kim CS, Jeon JH, Park CG, Physical, Mechanical Properties and Freezing and Thawing Resistance of Non-Cement Porous Vegetation Concrete Using Non-Sintering Inorganic Binder, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 2014 Sep;56(5):37–44.
 11. Park SS, Ki KH, An HS, Park KK, Preparation of Calcium Sulfate α -Hemihydrate from FGD Gypsum in the Autoclave, *Applied Chemistry for Engineering*, 2006;17(6):619–24.
 12. Korean Industrial Standards, Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete [KS L 2563], Seoul: Korean Agency for Technology and Standards, 2014, 8 p.
 13. Korean Industrial Standards, Fly Ash [KS L 5405], Seoul: Korean Agency for Technology and Standards, 2016, 17 p.
 14. Korean Industrial Standards, Portland Cement [KS L 5201], Seoul: Korean Agency for Technology and Standards, 2013, 13 p.
 15. Korean Industrial Standards, Methods of Testing Cement - Determination of Strength [KS L ISO 679], Seoul: Korean Agency for Technology and Standards, 2011, 17 p.
 16. Korean Industrial Standards, Standard Test Method fro pH of Soil [KS F 2103], Seoul: Korean Agency for Technology and Standards, 2013, 4 p.
 17. Korean Industrial Standards, Testing Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars [KS F 2103], Seoul: Korean Agency for Technology and Standards, 2012, 5 p.
 18. Kim MS, Jun YB, Lee CH, Oh JE, Use of CaO as an Activator for Producing a Price-Competitive Non-Cement Structural Binder Using Ground Granulated Blast Furnace Slag, *Cement and Concrete Research*, 2013;54:208–14.