

# 인공어초 3D 프린터 출력을 위한 저알칼리 모르타르의 강도와 내구성능

이병재<sup>1</sup>, 김봉균<sup>2</sup>, 김윤용<sup>3\*</sup>

## Strength and Durability Characteristics of Low-alkali Mortar for Artificial Reefs Produced by 3D Printers

Byung-Jae Lee<sup>1</sup>, Bong-Kyun Kim<sup>2</sup>, Yun-Yong Kim<sup>3\*</sup>

**Abstract:** Concrete prevents corrosion of reinforcing bars due to its strong alkalinity. However, in the sea, strong alkali components with a pH of 12 to 13 are eluted, which adversely affects the ecological environment and growth of marine organisms. In this study, the mechanical properties and durability of the low alkali mortar were evaluated for the development of a low alkali mortar for the 3D printed artificial reefs. As a result of evaluation of strength characteristics, the  $\alpha$ -35 mixture, which were produced with fly ash, silica fume and  $\alpha$ -hemihydrate gypsum, satisfied the strength requirement 27 MPa in terms of compressive strength. As a result of pH measurement, it was found that mixing with alpha-type hemihydrate gypsum resulted in minimizing pH due to the the formation of calcium sulfate instead of calcium hydroxide production. As a result of the chloride ion penetration resistance test, the  $\alpha$ -35 mixture exhibited the best performance, 3844C. As a result of measuring the length change over time, the  $\alpha$ -35 mixture showed the shrinkage 33.5% less compared to the Plain mix.

**Keywords:** Artificial reef, 3D Printing, Low alkali, Alpha-hemihydrate gypsum

### 1. 서 론

우리나라는 1971년부터 수산자원 증대 및 어족자원 보호를 목적으로 인공어초 사업을 실시하였으며, 2010년 이후 연간 3~4백억의 지원이 이루어져 1~2만개/year의 인공어초가 설치되고 있다.

현재 국내 해중립 및 인공어초 관련 특허는 약 1,000건 이상으로 최근 연간 100건 이상의 특허가 등록되고 있는 추세로 관련 연구가 활발히 진행되고 있으나, 여전히 바다의 갯녹음 현상 등이 발생할 뿐만 아니라 연안해역의 어획량도 꾸준한 감소 추세에 있는 실정이다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 해외에서는 해양생물의 서식환경에 보다 적합한 환경을 제공하기 위하여 인공어초를 통한 해양목장 조성사업을 추진하고 있다. 인공어초는 제작 단가 및 편의성을 고려하여 대형인 경우는 강재로 제작되고, 중소형의 인공어초는 대부분 철근콘크리트로 제작

되는데, 이러한 콘크리트의 특징 중에 하나인 강알칼리성으로 인해 철근의 부식을 방지하고 콘크리트의 높은 강도를 발현하는 장점이 있으나, 해중에 침지되면 해수의 평균 pH 8~9보다 높은 pH 12~13의 강알칼리 성분을 용출하여 주변의 미생물 및 해양생물의 생태환경 및 성장에 악영향을 미치게 된다(Kim et al., 2007; Park, 2007; Park, 2012). 특히 인공어초의 주요한 기능 중에 하나인 위집효과를 증대시키기 위해서는 해양생물의 서식환경에 적합한 크기와 형상이 제공되어야 할 뿐만 아니라 해양생물의 먹이원을 제공해주기 위한 저서생물의 서식환경이 먼저 제공되어야 하므로, 이를 위해서는 친환경적인 어초 소재의 개발이 중요하고 할 수 있다.

최근 3D 프린터를 건설 제품에 활용하기 위하여 3D 프린터용 모르타르를 개발하는 연구가 활발히 이루어지고 있다(Seo



Fig.1 Artificial reefs produced by 3D printers

<sup>1</sup>정회원, 대전대학교 토목공학과 조교수

<sup>2</sup>정회원, 동산콘크리트산업(주)기업부설연구소 책임연구원

<sup>3</sup>정회원, 충남대학교 토목공학과 교수, 교신저자

\*Corresponding author: yunkim@cnu.ac.kr

Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2022년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2022년 4월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

et al., 2019).

일반적으로 인공어초에는 포러스콘크리트를 적용하는 것이 많은 장점이 있으나(Kim et al., 2014; Lee et al., 2013; Lee et al., 2011), 기존의 공법으로는 제작이 힘든 다양한 형상을 구현하기에 유리한 3D 프린터용 모르타르를 인공어초에 적용하는 연구도 진행되고 있다(Kim et al., 2021).

3D프린터를 이용한 인공어초 제작은 크게 모르타르의 배합/믹싱부와 출력부로 구분할 수 있고, 이는 기존 모르타르의 재료저장/배합/믹싱 기술과 CNC가공기술의 결합으로 설명할 수 있다. 이러한 출력방식은 제품 모델링을 통해 좌표를 추출하고 해당좌표 지점에 적절한 배합비율로 믹싱된 모르타르를 압송하는 순서로 이루어진다.

한편, 온실가스 저감을 위한 장기 저탄소발전전략(LED)에 따라 시멘트 제조분야 및 산업분야에서의 탄소저감을 위하여 실리카폼, 플라이애시 등의 산업부산물 등의 활용이 기대되고 있으나, 이에 대한 연구는 단위시멘트량 저감 관점에서 접근할 뿐 주변 환경에 미치는 영향에 대한 연구는 전무한 실정이다.

이와 같이 시멘트의 강알칼리는 매우 중요한 특성이지만 환경에 미치는 악영향에도 불구하고 이에 대한 규제나 가이드라인은 없는 경우가 대부분으로, 해양생물에 적합한 해양 생태환경을 조성하기 위해서는 콘크리트 강알칼리성을 저감하는 연구가 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 3D 프린터로 제작되는 인공어초용 저알칼리 모르타르 배합을 도출하기 위하여 산업부산물의 적용 가능성을 평가하고 저알칼리 모르타르의 역학적 특성을 분석하고 평가하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험 재료

#### 2.1.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내 H사의 밀도 3.15g/cm<sup>3</sup>, 분말도 3,318cm<sup>2</sup>/g의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다

#### 2.1.2 실리카폼 및 플라이애시

본 실험에서 pH저감 및 내구성능 개선을 목적으로 G사의 실리카폼과 K사의 플라이애시를 사용하였으며 그 특성은 아래와 같다.

**Table 1** Physical properties of Silica fume

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	lg. loss (%)
2.10	180,000	87.0	1.48	1.45	0.46	0.71

**Table 2** Physical properties of Fly ash

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	lg. loss (%)
2.14	3,750	56.3	21.5	6.85	5.13	4.1

#### 2.1.3 알파형 반수석고

본 실험에서 시멘트의 수화반응으로 인한 알칼리 저감을 목적으로 시멘트 코팅 효과가 있어 pH 저감효과가 있는 Y사의 알파형 반수석고를 사용하였으며, 그 특성은 아래와 같다 (Jang et al., 2013).

#### 2.1.4 잔골재

본 실험에서 국내에서 생산되는 S사의 입도 0.7~1.4mm의 인조규사를 사용하였으며 골재의 물리적 성질을 Table 4에 나타내었다.

#### 2.1.5 혼화제

혼화제로는 시멘트 분리작용과 미세공기 연행으로 우수한 작업성과 안정성을 부여하고 초기 슬럼프 손실을 방지하는 국내 S사 제품의 고성능 유동화제(Super plasticizer)를 사용하였으며, 그 특성은 Table 5와 같다.

### 2.2 배합 및 시험체 제작

#### 2.2.1 배합

인공어초 적용을 위한 모르타르의 pH저감 성능 및 역학적

**Table 3** Physical properties of CH

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	lg. loss (%)
2.65	1,370	0.42	0.20	0.09	51.80	-

**Table 4** Physical properties of fine aggregate

Aggregate	FM <sup>1)</sup>	SSD <sup>2)</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption ratio (%)	Unit volume weight (kg/L)	#200 pass efficiency (%)
Silica sand	2.78	2.59	1.42	1.387	0.04

\*1) F.M : Finenes modulus, 2) SSD : Surface dried specific gravity of aggregate

**Table 5** Properties of chemical admixture

Appearance	Density (g/cm <sup>3</sup> )	pH value
Light yellow liquid	1.02±0.2	5±2

**Table 6** Mixing design of mortar

Type	Target flow(%)	S/B				
			C <sup>1)</sup>	SF <sup>2)</sup>	FA <sup>3)</sup>	α-CH <sup>4)</sup>
Plain			100	-	-	-
Nona-A			50	25	25	-
Nona-B			36	16	48	-
Nona-C			36	32	32	-
Nona-D	190±5	1.5	36	48	16	-
α-5			25	35	35	5
α-15			25	30	30	15
α-25			25	25	25	25
α-35			25	20	20	35

\*1) C : Cement, 2) SF : Silica fume, 3) FA : Fly ash,  
4) α-CH : α-calcium sulfate hemihydrate

성능평가를 위해서 실리카퓌름, 플라이애시, 알파형 반수석고를 사전실험에 의해 선택된 비율로 배합하여 시험하되, 모래/바인더비는 1.5, 반죽질기는 플로우 190±5%로 결정하였으며, 혼화제는 결합재량의 0.5%를 투입하였다. 이에 대한 배합표는 Table 6과 같다.

### 2.2.2 시험체 제작

공시체는 각 배합요인에 따라 40×40×160 mm의 공시체를 3개씩 제작하여 3시간동안 전양생을 실시한 후 온도 60℃, 습도 100% 조건으로 6시간동안 증기양생을 실시하였다.

## 2.3 실험방법

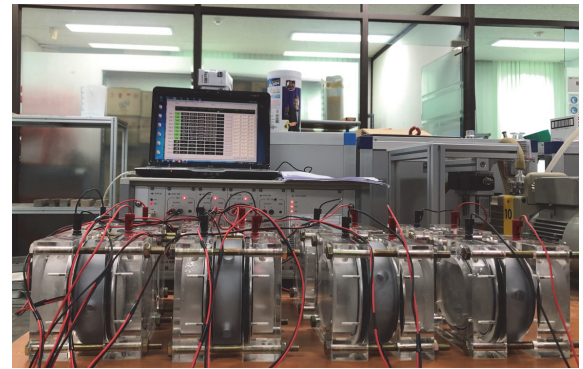
### 2.3.1 압축 및 휨강도 시험방법

휨 및 압축강도 시험은 KS L ISO 679(시멘트의 강도 시험방법)에 따라 1,000 kN 유압식 강도시험기를 사용하여 배합요인당 3회의 휨강도 시험과 6회의 압축강도 시험을 실시하여 평균값을 측정값으로 하였다.

### 2.3.2 pH 시험방법

현재 국내에서는 콘크리트의 pH측정을 위한 시험방법은 제시된 바 없다. 이에 본 연구에서는 폐기물공정시험기준 중 수소이온농도-유리전극법을 준용하여 시험을 하되, 해당 재령에서 압축강도 시험 후 파쇄된 모르타르 공시체를 무쇠절구를 이용하여 분쇄한 후 입경 0.06mm 체를 통과한 분말시료를 대상으로 pH를 측정하였다.

pH측정은 체를 통과한 시료 분말 10g과 증류수 25ml(pH 7~8)를 50ml Corning tube에 넣고 30분간 교반한 후 10분간 방치하여 그 현탁액을 여과지(7μm)에 통과시켜 시료 용액으로



**Fig.2** Chloride ion penetration resistance test



**Fig.3** Length change test over time

사용하였다. pH측정은 시료당 총 3회를 실시하여 평균값을 결과값으로 하였다.

### 2.3.3 염소이온 침투 저항성

시험체의 제작은 Ø 100 × 200mm 원주형 공시체를 제작하여 3시간동안 전양생을 실시한 후 온도 60℃, 습도 100% 조건으로 6시간동안 증기양생하였으며, 재령28일에 50mm길이를 4등분 절단하여 제작하였다. 제작된 시험체는 KS F 2711 「전기 전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성 시험방법」에 준하여 Fig. 2와 같이 실시하였다.

### 2.3.4 길이변화 시험방법

시험체의 제작은 40×40×160 mm 각주형 공시체 양쪽 끝에 스티드를 매립하여 제작하여 3시간동안 전양생을 실시한 후 온도 60℃, 습도 100% 조건으로 6시간동안 증기양생을 실시하였다. 길이변화 측정은 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법)에 따라 콘택트 게이지 방법으로 측정하였다.

## 2.4 실험결과

### 2.4.1 압축강도 및 휨강도

인공어초 적용을 위한 저알칼리 모르타르의 강도 특성 평가 결과는 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내었다. 보통포틀랜드시멘트만을 사용한 Plain의 경우, 28일까지 강도가 증가되어 46.8MPa까지 강도가 발현되었다. pH 저감을 목적으로 실리카폼 및 플라이애시의 혼입에 따라서는 강도 발현이 Plain 대비 27.99~67.31%로 혼입량 증가에 따라 강도 감소경향이 뚜렷하였다. 특히, 실리카폼 혼입에 따라 강도 감소경향이 더 커진 것으로 나타났다. 이는 동일 플로를 목표로 배합하였을 때, Plain 대비 분체량이 높은 배합에서 혼입수량 증가에 따라 강도가 감소된 것으로 판단된다.

알파반수석고는 시멘트와 초기에 결합하여 조기강도 확보가 유리한 것으로 보고되고 있다(Lee et al., 2016; Park et al., 2006; shin et al., 2019). 본 연구의 배합조건에서 동일 시멘트 대비 알파형반수석고 혼입량을 증가시켰을 때, 혼입량 증가에 따라 강도는 증가되는 것으로 확인되었다. 알파형반수석고를 혼입하지 않은 Nona-A 대비 시멘트 비율을 30% 감소시킨  $\alpha$ -25, 35 배합에서 동등이상의 강도가 확보되는 것으로 확인되었다.

배합조건별 휨강도 특성은 압축강도와 유사한 경향을 나타내었으며, 실리카폼, 플라이애시 및 알파형반수석고의 혼입이 휨강도 특성에 미치는 영향은 압축강도와 동일한 경향을

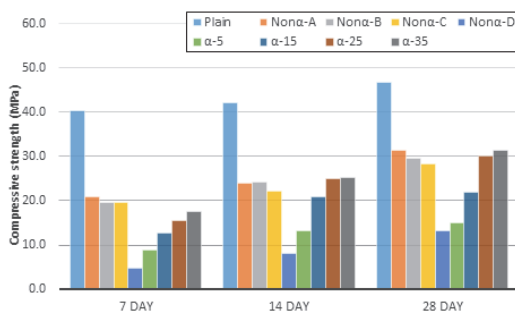


Fig.4 Result of Compressive strength test

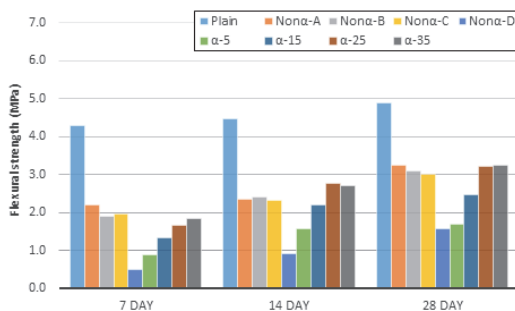


Fig.5 Result of Flexural strength test

나타내었다.

해양구조물에 대한 압축강도 규정을 살펴보면 ‘항만 및 어항 설계기준·해설(MOF, 2017)’에서 동결융해작용을 받지 않는 철근콘크리트의 해중환경하의 최소 설계기준압축강도는 27MPa 이상으로 제시하고 있고, ‘인공어초 표준설계 및 제작·설치 등에 관한 지침’에 따르면 콘크리트어초의 레미콘 기준강도는 21MPa 이상으로 규정되어 있다.

따라서 이를 고려하였을 때 수중에 설치되는 인공어초의 압축강도는 최소 27MPa 이상을 만족하는 것이 타당하므로,  $\alpha$ -25,  $\alpha$ -35 배합은 인공어초용 모르타르로 적용 가능할 것으로 판단된다.

### 2.4.2 pH 시험

인공어초용 콘크리트에서 pH 변화에 따른 해양식물의 성장성(뿌리 활착 및 영양소 흡수성)을 고려한다면 콘크리트 내·외부의 정확한 pH 측정 방법이 요구된다. 하지만 기존 연구에서 사용된 리칭법의 경우 수분과 접촉하는 콘크리트 외부의 pH 측정에 국한될 수 있으며(Lee et al., 2011; Kim et al., 2014), 시간의 지남에 따른 알칼리성분의 용출로 인한 pH 변화가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서 pH 측정은 콘크리트 내·외부의 균질한 pH 값을 측정하기 위해 KS F 2103 흙의 pH 값 측정방법에 따라 시료를 미분으로 분쇄 후 30 g을 채취하고 증류수 25 ml와 혼합하여 pH를 측정하였다.

알파형 반수석고 100% 페이스트의 pH는 재령에 관계없이 약 6.7수준으로 보고되고 있다. 이를 활용하면, 보통포틀랜드 시멘트만을 사용한 배합보다 우수한 pH 저감효과를 보일 수 있을 것으로 판단한다.

시험결과는 Fig. 6에 나타내었으며, 재령의 경과와 상관없이 Plain 배합에서는 12이상의 pH를 나타내었다. 보통포틀랜드시멘트의 배합비율 감소를 위해 실리카폼 및 플라이애시의 혼입을별 pH를 측정하였을 때, 일부 pH가 감소되는 경향을 나타내기도 하였지만, 대체적으로 11~12 정도의 pH를 나타내어 중성화는 되지 못하는 것으로 확인되었다. 알파형반수석고 혼입에 따른 pH변화량 분석결과, 재령의 경과에 따라

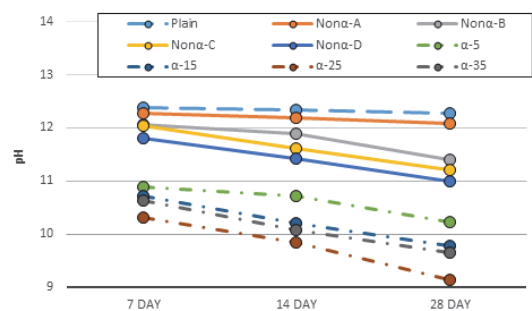


Fig.6 Result of pH variation



pH 감소 경향이 큰 것으로 나타났으며, 알파형 반수석고의 혼입량 증가에 따라서도 알칼리도가 감소되는 것으로 확인되었다. 이는 기존 연구결과와 유사한 경향으로서(Kim et al., 2007; Park et al., 2007), 시멘트 대체로 실리카폼, 플라이애시를 혼입한 상태에서 알파형반수석고 사용시 수산화칼슘 생성이 억제되고 황산칼슘이 생성됨에 따라 pH가 감소된 것으로 판단된다.

### 2.4.3 염소이온침투저항성

인공어초 제작용 모르타르의 알칼리저감을 위한 배합조건별 염소이온침투저항성 시험결과는 Fig. 7에 나타내었다.

시멘트 대체 혼화재를 혼합하지 않은 Plain 조건에서는 7620C의 높은 통과전하량 값을 나타내어 다소 높은 염소이온 침투저항성을 나타내었다. 실리카폼 및 플라이애시 혼입에 따른 염소이온침투저항성 값을 측정한 결과, 플라이애시의 비율이 조금 더 높은 경우에 통과전하량값이 상대적으로 낮게 나타났고, 실리카폼의 혼입비율 48%에서는 가장 높은 통과전하량을 나타내었다. 이는 블레인값이 높고 SiO<sub>2</sub> 함량이 높은 일반적인 실리카폼을 적정량 사용시 콘크리트 내부 매트릭스를 치밀하게 하여 염소이온침투저항성을 높게 하지만, 일정사용량 이상의 혼입은 모르타르 믹싱시 혼합수의 증가를 야기 시키고, 본 연구에 적용한 저품질 실리카폼의 경우 낮은 블레인값을 가지기 때문에 내구성이 낮은 경향을 나타낸 것

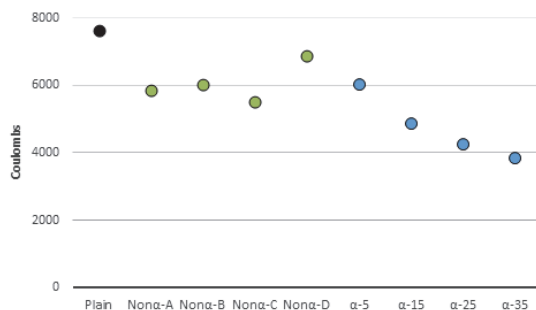


Fig.7 Result of chloride ion penetration resistance

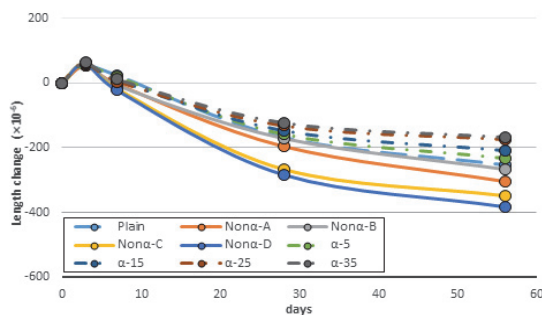


Fig.8 Result of Length change test over time

으로 판단된다.

알파반수석고의 혼입량 증가에 따라서는 통과전하량 값이 낮아지는 경향을 나타내어 α-35 배합에서 3844C의 가장 우수한 염소이온침투저항성을 나타냈다. 이러한 결과는 압축강도 시험결과와 유사한 경향으로서, 상관관계가 높은 것으로 판단된다.

### 2.4.4 길이변화

인공어초 제작시 적용되는 콘크리트의 pH저감을 목적으로 혼합되는 실리카폼 및 플라이애시는 재령에 따른 건조수축이 발생하는 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 모르타르의 수축에 따른 보상을 위해 경화시 팽창특성을 나타내는(Lee et al., 2015) 알파형 반수석고를 혼입하여 길이변화를 측정하였으며, 그 결과는 Fig 8에 나타낸바와 같다.

모든 배합조건에서 초기 미세한 팽창을 나타낸 후 28일까지 급격한 수축을 나타내었으며 56일 이후에는 완만하게 수렴하는 것으로 나타나 기존 연구결과(Shin et al., 2019)와 유사한 경향을 나타내었다.

보통포틀랜드시멘트를 단독으로 사용한 Plain배합 조건에서는 재령 56일에 254×10<sup>-6</sup>의 수축이 발생되었으며, 실리카폼 및 플라이애시 혼합시 268×10<sup>-6</sup> ~ 384×10<sup>-6</sup>의 수축을 나타내었다. 팽창특성을 가지는 알파형반수석고 혼입시 Plain보다 작은 수축량을 나타내어 124×10<sup>-6</sup> ~ 159×10<sup>-6</sup> 정도로서 수축량이 감소됨에 따라 균열저감 성능도 우수할 것으로 판단된다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 3D 프린터로 제작되는 인공어초용 저알칼리 모르타르 배합을 도출하기 위하여 보통포틀랜드시멘트 대체재 적용 가능성을 평가하고 저알칼리 모르타르의 역학적 특성 및 내구성능을 평가하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 인공어초 적용을 위한 저알칼리 모르타르의 강도 특성 평가결과 결합재로 시멘트만 사용한 경우 대비 실리카폼과 플라이애시 혼합시 혼입량 증가에 따라 강도는 감소되었지만, 알파형반수석고 혼입시 강도가 증가되어 인공어초 품질기준인 27MPa를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.
- 2) pH는 OPC의 수화로 인해 생성된 Ca(OH)<sub>2</sub>의 높은 이온화특성에 기인하여 Plain의 경우 12이상의 높은 pH를 나타내었고, 실리카폼 및 플라이애시 대체 혼입시 pH가 일부 감소되었다. 알파형반수석고 혼입시 수산화칼슘 생성 억제와 황산칼슘 생성으로 인해 pH저감 효과가 우수한 것으로 나타났다.
- 3) 해수중에 설치되는 인공어초의 내구성 확보를 위해 염

소이온침투저항성 실험결과, 실리카폼 및 플라이애시 혼입시 일부 내염성이 개선되었으며, 알파형반수석고를 혼합사용한  $\alpha$ -35 배합에서 통과전하량 3844C을 나타내, 가장 우수한 염소이온침투저항성을 확인하였다.

- 4) 실리카폼 및 플라이애시 다량 혼입에 따라 발생하는 수축 보상을 목적으로 팽창제인 알파형반수석고를 적용하여 길이변화율 측정결과, 알파형반수석고 35% 대체 혼입시 OPC배합조건보다 33.5% 개선된 수축저항성을 나타내었다.
- 5) 본 실험범위에서 강도 및 내구성을 확보하면서 pH저감 효과가 가장 우수한 배합은  $\alpha$ -25배합으로 판단되며, 추후 콘크리트 적용평가와 인공어초 시험체에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2020R1A2C1101465).

## References

1. Jang, H. S., Lim, Y. T., Lee, M. S., Soh, S, Y. (2013), Physical characteristics of steam curing low-alkali mortar, Proceedings of the Korea Concrete Institute, 25(1) ,337-338.
2. 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.
3. 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.
4. Kim, H. J., Hyun, C. J., Kim, B. K., Lee, B. J., Kim, Y. Y. (2021). Chloride Penetration Resistance of Mortar Mix 3D Printer, Proceedings of the Korea Concrete Institute, 33(2), 505-506.
5. 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.
6. Lee, B. J., Jang, Y. I., Kim, Y. Y. (2013), Engineering Performance and Applicability of Environmental Friendly Porous Concrete for a Marine Ranch Using Steel Industry By-products, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 25(1), 115-123.
7. Lee KH, Kim GY, Lee BK, Kim RH, Shin KS. Evaluation of hardening properties and dry shrinkage of non-sintered binder based floor mortar utilizing alpha-hemihydrate gypsum. Journal of The Korean Institute of Building Construction. 2015 Aug; 15(4):359-65.
8. Lee, K. H., Yang, K. H. (2016), Evaluation of pH and Compressive Strength Development of Alpha-Calcium Sulfate Hemihydrate-based Binder, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 16(1), 59-65.
9. Ministry of Oceans and Fisheries(2017), Harbor and Fishery Design Criteria and Commentary, Korea Ports & Harbours Association
10. Park SS, Ki KH, An HS, Park KK. Preparation of Calcium Sulfate  $\alpha$ -Hemihydrate from FGD Gypsum in the Autoclave. Applied Chemistry for Engineering. 2006;17(6):619-24.88.
11. Park DC. Analytic Research about the Prediction of Long-term 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.
12. Park, J. M. (2012). A Study on Properties of Low Alkali Concrete Using Green Tea and Inorganic." Masters dissertation, Chungju Univesity.
13. Seo, J.S., Lee, B. C., Kim, Y. Y. (2019), The Effects of Void Ratio on Extrudability and Buildability of Cement-based Composites Produced by 3D Printers, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 23(7), 104-112.
14. Shin, K. S., Kim, K. Y., Seong, K. M., Woo, S. K., Chu, I. Y., Lee, B. K. (2019), Mechanical Properties of Alpha-Calcium Sulfate Hemihydrate Replaced Concrete for Application to Box Culvert Power Transmission, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 19(1), 1-7.

Received : 01/10/2022

Revised : 01/17/2022

Accepted : 01/27/2022

**요 지 :** 콘크리트는 강알칼리성으로 인해 철근의 부식을 방지하는 장점이 있으나, 해중에 침지되면 해수의 평균 pH 8~9 보다 높은 pH 12~13의 강알칼리 성분을 용출하여 주변의 미생물 및 해양생물의 생태환경 및 성장에 악영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 3D 프린터로 제작되는 인공어초용 저알칼리 모르타르 배합을 도출하기 위하여 저알칼리 모르타르의 역학적 특성 및 내구성을 평가하였다. 강도 특성 평가결과 결합재료 실리카폼, 플라이애시, 알파형반수석고 모두 혼입한  $\alpha$ -35배합에서 Plain 을 제외하고 가장 우수한 특성을 나타내었으며, 인공어초 품질기준인 27MPa를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. pH는 알파형반수석고 혼입시 수산화칼슘 생성 억제와 황산칼슘 생성으로 인해 pH저감 효과가 우수한 것으로 나타났다. 염소이온침투저항성 실험결과, 실리카폼 및 플라이애시 혼입시 일부 내염성이 개선되었으며, 알파형반수석고 와 혼합사용한  $\alpha$ -35 배합에서 3844C의 가장 우수한 염소이온침투저항성을 확인하였다. 길이변화율 측정결과, 알파형반수석고 35%대체시 OPC배합조건보다 33.5% 개선된 수축저항성을 나타내었다.

**핵심용어 :** 인공어초, 3D 프린팅, 저알칼리, 알파형반수석고