

단위결합재량에 따른 고로슬래그 기반 옥성용 인공토양골재의 특성평가

문주현¹, 심재일^{2*}, 윤인구³

Evaluation of Properties of Artificial Soil Aggregate Based on Ground Granulated Blast-Furnace Slag According to Unit Binder Content

Ju-Hyun Mun¹, Jae-Il Sim^{2*}, In-Gu Yun³

Abstract: The eight mixes and artificial soil aggregates were prepared for evaluating the practical application of lightweight foamed concrete as soil aggregates. The main parameter was unit binder content ranged between from 100 to 800 kg/m³. In lightweight foamed concrete, flow, slurry and dried density, and compressive strength at different ages were measured. In Artificial soil aggregates crushed from lightweight foamed concrete, particle size distribution, pH, coefficient of permeability, cation exchange capacity(CEC), and ratio of carbon to nitrogen(ratio of C/N), were measured. The test results showed that flow, slurry and dried density, and compressive strength at different ages of lightweight foamed concrete increased with the increasing of unit binder content. Compressive strength at age of 28, of lightweight foamed concrete with unit binder of more than 500 kg/m³, was more than 4 MPa. The ammonium phosphate immersion time of more than age of 3, was effective to decrease pH of artificial soil aggregates. In addition, artificial soil aggregates was evaluated as high class in terms of cation exchange capacity(CEC), while satisfied with value of ratio of carbon to nitrogen(ratio of C/N) recommended by landscape specification.

Keywords: Artificial soil aggregates, Foamed concrete, Mechanical property, Physiochemical property, Unit binder contents

1. 서 론

인공지반녹화 조성을 위해 사용되는 식재기반 토양은 천연 토양, 인공경량토양 및 개량토양으로 구분할 수 있는데 식물의 성장성 측면에서는 천연토양이 일반적으로 사용된다. 하지만 천연토양은 인공경량토양 및 개량토양에 비해 낮은 보수성과 통기성으로 인해 수분공급이 원활하지 않다(Oh et al., 2013). 또한 천연토양의 높은 비중은 건물의 자중 증가 문제를 발생시켜 옥상녹화와 같은 인공지반에 사용하기에 한계가 있다(Lee et al., 2005). 이러한 문제점을 해결하기 위해서 자중에 민감한 구조물의 옥상녹화에는 천연토양 대비 비중이 낮고 배수가 용이한 펄라이트 인공경량토양이 주로 사용되고 있다. 하지만 펄라이트는 모재자체의 낮은 압축강도와 비중에 의해서 입자가 쉽게 분말화되고 비산이 발생하는 문제점이

있다(Shim et al., 1999). 특히 작은 입자로의 분말화는 토양골재의 배수능력을 저해하는 원인이 되고 있다(Shim et al., 1999).

경량기포콘크리트는 기포제의 발포 공정에 의해 콘크리트 내부에 무수한 기포가 독립적으로 형성되어 경량성과 단열성이 우수한 재료이다. 이러한 내부공극의 구조는 인공토양의 기본적 요구조건인 경량성, 통기성 및 보수력을 부여할 수 있다. 또한 경량기포콘크리트의 1 MPa 이상의 압축강도와 0.3~0.8의 비중은 조정공사표준시방서(2014)에서 제시하고 있는 옥상조경 옥성층의 요구성능을 만족시켜 기존 펄라이트의 분말화 및 비산의 문제점을 해결할 수 있다(Kim et al., 2014). 하지만 경량기포콘크리트는 수화생성물에 의해서 pH가 높고 식물생장에 필요한 유기물이 없는 문제점이 있다(Lee, 2010). 또한 경량기포콘크리트를 활용한 옥성토양의 특성평가에 대한 기초연구는 매우 미흡하다.

이 연구에서는 고로슬래그 기반 경량기포콘크리트를 이용하여 제조된 인공토양골재가 옥성용 토양으로서의 그 적용가능성을 검토하였다. 고로슬래그 기반 경량기포콘크리트는 비중과 역학적 특성에 중요한 인자인 단위결합재량을 주요변수로 제조하였다. 경량기포 콘크리트는 물리적·역학적 특성을 평가하기 위해서 슬러리 비중, 플로우, 침하깊이, 절건밀도 및 압축강도를 측정하였다. 인공토양골재는 로터리 커터방식의

¹정회원, 지엘기술(주) 기술연구소 과장

²정회원, 지엘기술(주) 기술연구소 소장, 교신저자

³정회원, 지엘기술(주) 대표이사

*Corresponding author: jisim1980@naver.com

Technology Research Laboratories, GL construction Co., Ltd., Gwangju, 61263, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2016년 10월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 11월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

건식분쇄기를 이용하여 최대 10 mm 이하의 입형으로 제조하였다. 제조된 인공토양골재는 육성용으로서의 그 요구성능을 평가하기 위해서 입도분포, pH, 투수계수, 양이온 치환용량(cation exchange capacity, 이하 ‘CEC’) 및 유기물 함유량(탄소/질소비, 이하 C/N 비)을 측정하였다.

2. 실험계획

2.1 사용재료

고로슬래그 기반 경량기포콘크리트의 결합재는 보통포틀랜드시멘트(ordinary portland cement, 이하 ‘OPC’)와 고로슬래그(ground granulated blast-furnace slag, 이하 ‘GGBS’)를 이용하였다. 보통포틀랜드시멘트(OPC)는 비표면적과 비중이 각각 3,400 cm²/g과 3.15인 1종을 이용하였다. 고로슬래그(GGBS)는 비표면적과 비중이 각각 4,400 cm²/g과 2.9인 3종을 이용하였다. Table 1에는 결합재로 사용된 OPC와 GGBS의 화학적 조성비를 나타내었다. 보통포틀랜드시멘트(OPC)의 주요 화학조성은 62.8%의 CaO와 19.6%의 SiO₂로, GGBS는 44.6%의 CaO, 34.7%의 SiO₂, 13.8%의 Al₂O₃로 구성되어 있다.

일반적으로 국내에서 사용하고 있는 식물성 기포제는 수용액상에서 기포를 안정시킬 수 있지만 시멘트 슬러리와 혼합 시 안정성이 저하되어 연속기포가 생성되는 단점이 있다. 또한 국내 동물성 기포제는 식물성기포제 보다 압축강도가 높

게 발현되지만 단백질계에서 발생하는 특유의 악취로 인해 국내에서 거의 사용되고 있지 않다. 이를 보완하기 위해서 기포제는 화학반응성이 낮아 독립기포형성이 우수하고 특유의 악취가 개선된 가수분해형 동물성계 제품을 사용하였다.

혼화제는 유동성을 확보하기 위해서 폴리카르본산계 감수제를 사용하였다. 인공토양골재의 pH 저감을 위해 사용된 인산일암모늄(NH₄H₂PO₄)은 질소 12%와 인산 61%인 화합물 산성용액으로서 pH가 4~4.5이다.

2.2 기포콘크리트의 배합상세

경량기포콘크리트의 배합표는 Table 2에 나타내었다. 주요 변수는 경량토양골재의 가장 기본적인 특성이면서 경량기포콘크리트의 역학적 특성에 중요한 영향을 미치는 비중(Lee, 2013)을 변화시키기 위해서 단위결합재량을 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 및 800 kg/m³으로 변화하였다. 모든 배합에서 결합재인 OPC와 GGBS는 각각 30%와 70%로 고정하였다. 또한 물-결합재비(W/B)는 30%이며, 유동성 확보를 위해 첨가된 폴리카르본산계 감수제는 결합재 대비 0.4%로 고정하였다.

경량기포콘크리트의 제조는 선기포방식을 이용하였다. 배합 시 OPC와 GGBS의 1분 30초간의 건비빔을 한 후, 물을 첨가하여 약 2분간 습비빔을 하였다. 이때 3%로 희석된 기포제를 기포발생기를 이용하여 생성된 기포균을 배합에 투입 후 약 4분간의 습비빔으로부터 기포슬러리를 제조하였다. 기포슬러리는 원형몰드인 φ100×200 mm에 제작되어 온도와 상대습도가 각각 20°C와 60%의 환경조건에서 재령 28일까지 양생하였다.

실험체명은 숫자로 단위결합재량의 변화를 나타내었는데, 숫자 ‘3’은 단위결합재량이 300 kg/m³임을 의미한다.

2.3 인공토양 골재화

인공토양 골재화의 순서는 Fig. 1에 나타내었다. 원형몰드인 φ100×200 mm로 제조된 경량기포콘크리트는 재령 28일 이후 로터리 커터방식의 건식분쇄기를 이용하여 파쇄하였다. 로터리 커터는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 여러개의 철판 형식의 커팅날이 일정한 속도로 회전하여 파쇄하는 방식이다. 인공토양 골재의 제조시 건식분쇄기의 회전속도는 640 rpm이었으며, 토출구의 체 크기는 10 mm이었다. 파쇄된 골재의 최대 및 최소 크기는 육성층의 배수능력을 고려하여 0.6~8 mm로 결정하였다(Kim et al., 2013). 이는 육성층 및 배수층에 사용되는 펄라이트 입도를 반영한 것이다. 골재의 선별은 0.6과 8 mm의 체가름 체를 이용하였다.

Table 1 Chemical composition of OPC and GGBS

Materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO	SO ₃	*LOI
OPC	19.6	5.1	2.9	62.8	3.9	0.89	0.18	2.5	2.64
GGBS	34.7	13.8	0.11	44.6	4.38	0.48	0.74	0.95	0.24

*LOI = Loss on ignition

Table 2 Mix proportions of foamed lightweight concrete

Specimens	W/B (%)	B (kg/m ³)	Addition ratios of binder (%)		A (%)	SP (%)
			C	GGBS		
1		100			86.14	
2		200			80.28	
3		300			74.42	
4	30	400	30	70	68.56	0.4
5		500			62.70	
6		600			56.84	
7		700			50.98	
8		800			45.12	

W/B = ratio of water-to-binder, B = unit binder content, C = cement, A = air content, SP = super plasticizer

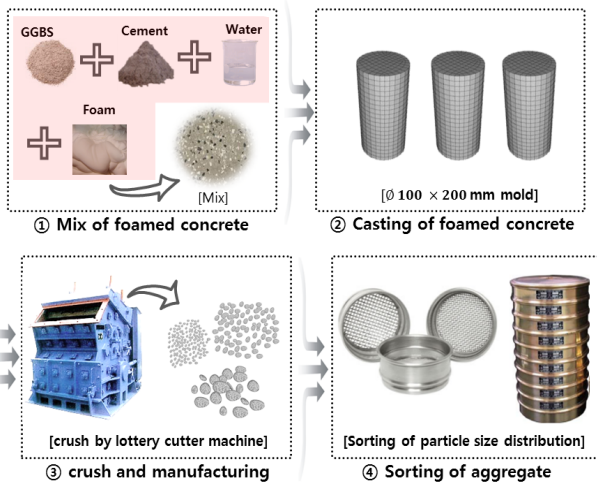


Fig. 1 Process of manufacture for artificial soil aggregate



Fig. 2 Machine of crush

2.4 인공토양 골재에 인산일암모늄의 침지

콘크리트의 pH는 일반적으로 약 12 이상으로 강알칼리성이다. 강알칼리성은 토양에서 투수속도를 느리게 하며, 이로 인해 토양내 수분의 이동이 차단되어 식물 뿌리의 성장을 방해한다(Kim, 2014). 이에 기존 식물생장용으로 제조된 포러스콘크리트는 제 1인산암모늄과 같은 인산염계 용액에 침지하여 강알칼리성인 콘크리트의 pH를 낮추고 있다(Lee and Yang, 2016). 또한 기존 Yang(2014)은 약 5~15%로 희석된 제 1인산암모늄은 콘크리트의 pH를 감소시키는데, 희석률 15%에서 pH의 감소가 가장 효과적이라고 보고하고 있다. 이러한 실험결과를 반영하여 파쇄된 인공토양 골재는 제 1인산암모늄이 15%로 희석된 용액에 최소 0.5일에서 최대 14일 동안 침지하였다.

2.5 평가항목

측정요소는 Table 3에 나타내었다. 골재화 이전의 경량기포콘크리트는 물리적·역학적 특성을 평가하기 위해서 슬러리 밀도, 플로우, 침하깊이, 절건밀도 및 압축강도를 측정하였다. 굳지 않은 콘크리트에서는 슬러리 비중, 플로우와 침하깊이

Table 3 List of testing for foamed concrete and artificial aggregates

Type	List
Foamed concrete	- Compressive strength at 7, 14 and 28days - Dried density at 28days
Artificial soil aggregate	- Particle size distribution - pH - Coefficient of permeability - Cation exchange capacity - Carbon/nitrogen

를 측정하였다. 슬러리 비중과 침하깊이는 기포슬러리가 제조된 직후 각각 체적 1000 ml인 몰드와 $\phi 150 \times 300$ mm 원형몰드를 이용하여 측정하였다. 굳은 콘크리트에서는 $\phi 100 \times 200$ mm 원형몰드를 이용하여 재령 28일에 절건밀도와 재령 7, 14 및 28일에 압축강도를 측정하였다. 이들 굳지 않은 콘크리트 및 굳은 콘크리트에서 평가된 실험들은 KS(KS F 4039, 2014; KS F 2505, 2012)에 준하여 수행하였다.

파쇄작업을 통한 인공토양 골재는 KS F 2502(2014)에서 제시하고 있는 흙의 체가름 방법에 준하여 입도분포를 평가하였다. 또한 인공토양 골재의 이화학적 특성을 평가하기 위해서 pH, 투수계수, 양이온 치환용량(cation exchange capacity, 이하 'CEC') 및 유기물 함유량(탄소/질소비, 이하 C/N 비)을 측정하였다. 인산염에 침지된 인공토양골재의 pH는 KS F 2103(2013)에서 제시하고 있는 흙의 pH값 측정방법에 따라 침지일수 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 및 14일에 측정하였다. 투수계수는 KS F 2322(2015)에서 제시하고 있는 정수위법을 이용하였다. 인공토양골재의 CEC와 C/N비는 토양화학분석법(2010)에 준하여 수행하였다.

3. 실험결과

3.1 경량기포콘크리트의 특성

3.1.1 플로우

고로슬래그 기반 경량기포콘크리트의 플로우는 단위결합재량이 증가함에 따라 증가하였는데, 그 증가 기울기는 단위결합재량 400 kg/m³ 이하에서 급격하였다(Table 4). 단위결합재량이 300 kg/m³ 이상에서 경량기포콘크리트의 플로우는 245 mm 이상으로 유동성이 우수하였다.

3.1.2 슬러리 밀도

고로슬래그 기반 경량기포콘크리트의 슬러리 밀도를 Fig. 3에 나타내었다. 슬러리 밀도는 단위결합재량이 증가함에 따라 증가하였는데 그 증가 기울기는 선형적이었다. 단위결합

Table 4 Summary of test results

Specimens	Lightweight foamed concrete					Artificial soil aggregate					
	Flow (mm)	Slurry density (kg/m ³)	Sink depth (mm)	Dried density (kg/m ³)	Compressive strength (MPa)			pH (14 day)	Coefficient of permeability	CEC (cmol+/kg)	C/N
					7 day	14 day	28 day				
1	150	222	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	180	312	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	245	464	4	375	0.8	1.0	0.9	7.43	0.72	22.22	215.080
4	270	588	2	520	1.1	1.3	1.4	7.54	1.18	24.64	144.778
5	280	690	9	598	3.3	3.8	3.9	8.41	1.23	26.62	153.444
6	greater than 300	845	3	714	3.8	3.7	4.8	8.17	2.40	27.50	167.844
7	greater than 300	954	9	832	3.7	4.8	6.4	8.36	2.62	29.48	233.962
8	greater than 300	1040	5	920	8.2	8.6	10.0	8.52	4.57	32.56	133.775

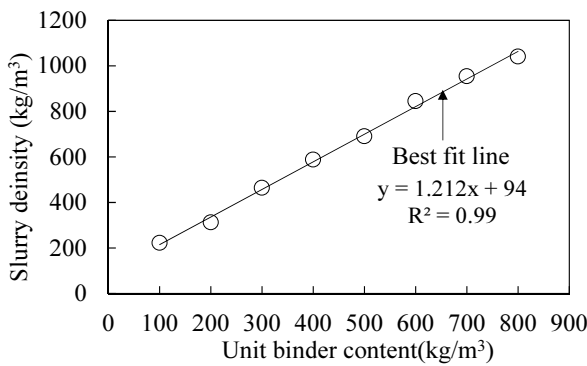


Fig. 3 Slurry density of foamed concrete

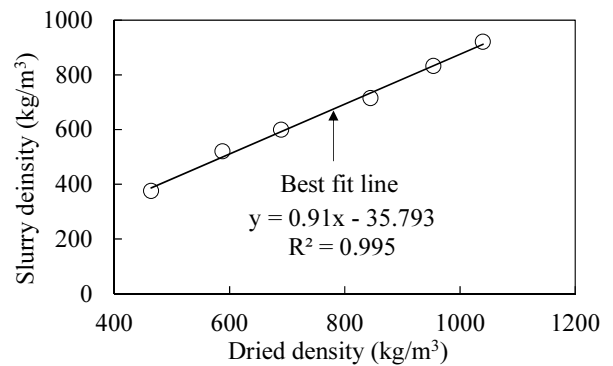


Fig. 5 Slurry density versus dried density

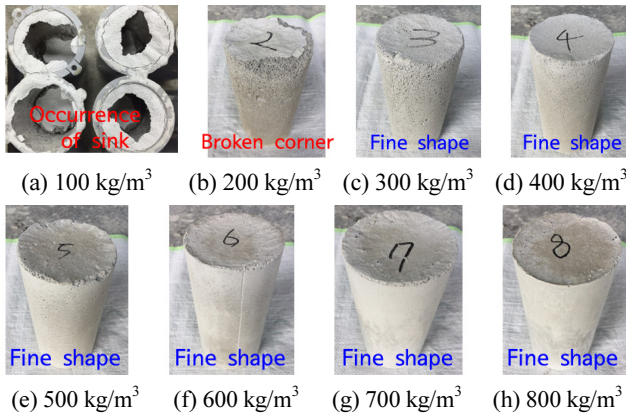


Fig. 4 Sink depth of foamed concrete

재량이 100 kg/m³으로 증가될 때 마다 슬러리 밀도는 평균적으로 약 1.28배 증가하였다. 이는 단위결합재량이 경량기포콘크리트의 밀도에 큰 영향을 미치는 인자임을 의미한다(Lee, 2013).

3.1.3 침하깊이

고로슬래그 기반 경량기포콘크리트의 침하깊이를 Fig. 4에 나타내었다. 단위결합재량이 100 kg/m³인 경량기포콘크리트는 침하가 심하게 발생하였으며, 200 kg/m³인 경량기포콘크리트는 몰드 탈형 중에 모서리가 심하게 손상되었다. 이는 단위결합재량이 너무 낮아 형상 유지를 위한 강도가 발생되지 않았기 때문이다. 그 외 300~800 kg/m³인 경량기포콘크리트는 침하깊이가 9 mm 이하이며, 탈형시 외형을 잘 유지하였다.

3.1.4 절건밀도

고로슬래그 기반 경량기포콘크리트의 절건밀도와 슬러리 밀도의 관계를 Fig. 5에 나타내었다. 단위결합재량이 100과 200 kg/m³인 경량기포콘크리트는 심한 침하와 탈형 중 몰드의 손상으로 절건비중을 측정하지 못하였다. 절건밀도도 슬러리 밀도와 마찬가지로 단위결합재량이 증가에 따른 증가기울기가 선형적이었다. 슬러리 밀도와 절건밀도의 관계는 선형적(Yang, 2014)이었는데, 슬러리 밀도가 절건밀도 보다 평균 1.16배 높았다(Fig. 5).

3.1.5 압축강도

고로슬래그 기반 경량기포콘크리트의 재령별 압축강도를 Fig. 6에 나타내었다. 경량기포콘크리트의 압축강도는 재령이 증가함에 따라 증가하였는데, 그 증가기울기가 단위결합재에 현저한 영향을 받았다. 단위결합재가 500 kg/m^3 이하로 배합된 기포콘크리트의 압축강도는 재령 7일에서 28일로 경과될 때에 평균 1.23배 증가하였다. 반면 단위결합재량이 $600\sim 800 \text{ kg/m}^3$ 로 배합된 기포콘크리트의 압축강도는 재령 7일에서 28일로 증가될 때에 평균 1.45배 증가하였다. 이는 경량기포콘크리트의 경우 낮은 단위결합재량에서 기포가 혼입율이 증가하게 되며, 기포혼입율의 증가는 소포 및 균열 등의 품질저하에 따른 것이다(Lee, 2013). 재령 28일 기포콘크리트의 압축강도는 단위결합재량이 증가함에 따라 현저하게 증가하였다. 단위결합재가 500 kg/m^3 이상으로 배합된 기포콘크리트의 재령 28일 압축강도는 4 MPa 이상이었다. 단위결합재량이 가장 높은 800 kg/m^3 로 배합된 기포콘크리트의 재령 28일 압축강도는 10 MPa 이었다.

3.2 인공토양 골재의 특성

단위결합재량이 100과 200 kg/m^3 로 배합된 경량기포콘크리트는 양생 단계에서 심한 침하와 탈형 중 몰드의 손상으로

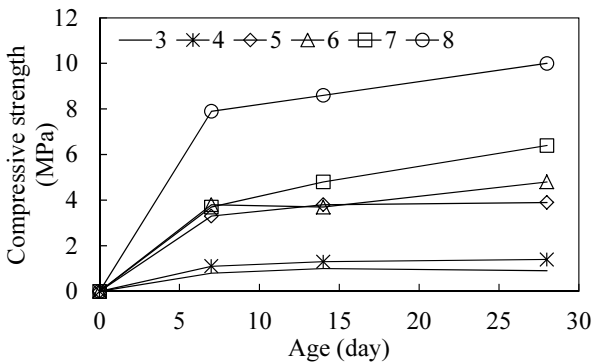


Fig. 6 Compressive strength at different ages

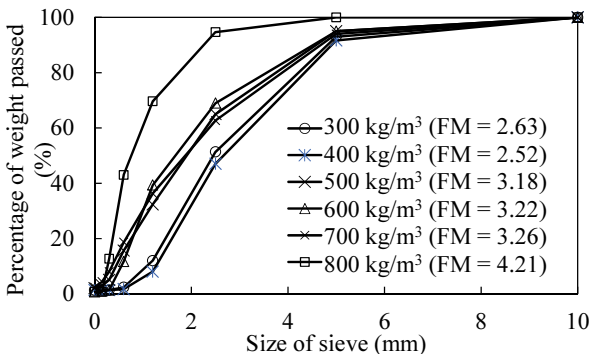


Fig. 7 Particle size distribution of artificial soil aggregate

육성용 인공토양 골재 제조에서 이 두 변수를 제외하였다.

3.2.1 입도분포

파쇄된 인공토양골재의 입도분포를 Fig. 7에 나타내었다. 단위결합재량이 500 kg/m^3 이하로 배합된 기포콘크리트로부터 제조된 인공토양골재는 10 mm에서 100%, 5 mm에서 93%, 2.5 mm에서 54%, 1.2 mm에서 17%, 0.6 mm에서 7%의 입도분포를 보였다. 반면, 단위결합재량이 $600\sim 800 \text{ kg/m}^3$ 로 배합된 기포콘크리트로부터 제조된 인공토양골재는 10 mm에서 100%, 5 mm에서 96%, 2.5 mm에서 75%, 1.2 mm에서 48%, 0.6 mm에서 24%의 입도분포를 보였다. 단위결합재량이 $600\sim 800 \text{ kg/m}^3$ 로 배합된 기포콘크리트로부터 제조된 인공토양골재는 단위결합재량이 500 kg/m^3 이하로 배합된 기포콘크리트로부터 제조된 인공토양골재보다 2.5 mm와 0.6 mm에서 약 40% 더 높았다. 이는 단위결합재량의 증가가 모재의 강도를 증가시켜 파쇄 시 크기가 큰 골재량을 증가시켰기 때문이다(Yang, 2014). 또한, 파쇄된 인공토양골재의 조립률도 단위결합재량이 증가할수록 증가하였다. 단위결합재량이 700 kg/m^3 이하로 배합된 기포콘크리트로부터 제조된 인공토양골재의 조립률은 2.52~3.26으로서 일반적으로 식생화분에서 사용되고 있는 토양(Yang, 2014)과 비슷한 수준에 있었다.

3.2.2 pH

Fig. 8에는 15%로 희석된 제 1인산암모늄의 수용액에 침지된 일수에 따른 인공토양골재의 pH를 나타내었다. 제 1인산암모늄의 침지 전 인공토양골재의 pH는 12.01~12.14이었지만, 침지일수가 증가함에 따라 감소하였다. 침지일수 증가에 따른 pH의 감소기울기는 침지 3일까지 급속하였지만, 그 이후 침지일에서 완만해져 일정한 값으로 수렴하였다. 최종적으로 침지 14일에 인공토양골재의 pH는 7.43~8.52의 범위에 있었다. 침지 14일에 인공토양골재의 pH는 단위결합재량이 증가함에 따라 증가하였다. 단위결합재량이 500 kg/m^3 이상으로

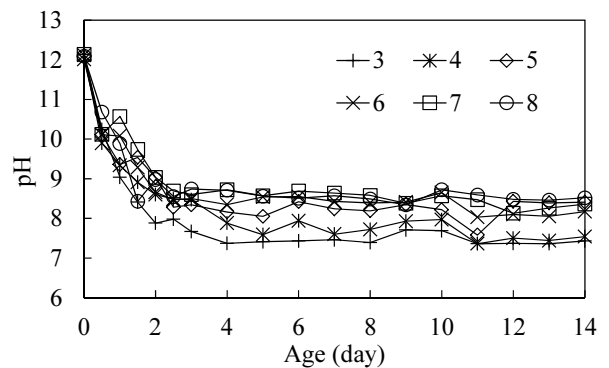


Fig. 8 pH at a times of ammonium phosphate immersion

배합된 기포콘크리트로부터 제조된 인공토양골재의 pH는 8.17~8.52이었지만, 단위결합재량이 300과 400 kg/m³으로 제조된 인공토양골재의 pH는 각각 7.43과 7.54이었다. 이와 같이 단위결합재량의 증가에 따른 pH의 증가는 단위결합재가 증가할수록 수화반응시에 생성되는 강알카리성인 수산화칼슘(Ca(OH)₂)의 양이 증가하기 때문이다(Lee and Yang, 2016).

3.2.3 투수계수

파쇄된 인공토양골재의 투수계수를 Fig. 9에 나타내었다. 파쇄된 인공토양골재의 투수계수는 단위결합재량이 증가할수록 증가하였는데, 그 증가 기울기는 급격하였다. 이는 단위결합재량의 증가로 모재의 강도가 증가되고 이로 인해 입도 분포에서 큰 골재량이 증가하기 때문이다(Yang, 2014). 결합재량이 300 kg/m³로 배합된 기포콘크리트로부터 제조된 인공토양골재의 투수계수는 0.72 mm/s이었다. 반면 400 kg/m³ 이상의 결합재로 배합된 기포콘크리트로부터 제조된 인공토양골재의 투수계수는 1.18~4.57 mm/s로서 조경시방서(2014)에서 제시하고 있는 기준을 만족하였다.

3.2.4 양이온 치환용량(CEC)

파쇄된 인공토양골재의 CEC를 Fig. 10에 나타내었다. 파쇄된 인공토양골재의 CEC는 단위결합재량이 증가할수록 선형

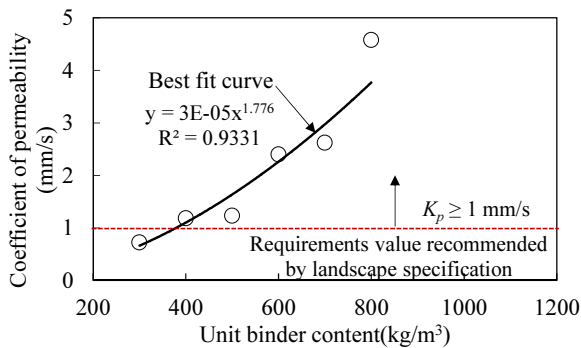


Fig. 9 Coefficient of permeability of artificial soil aggregate

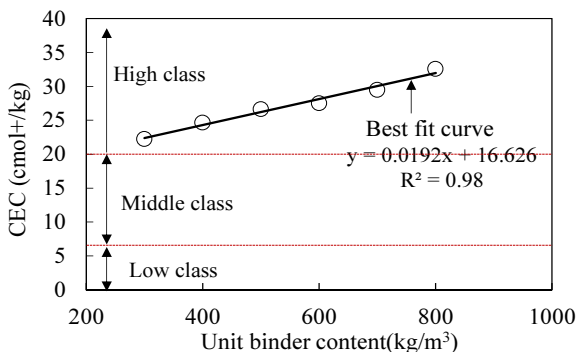


Fig. 10 Cation exchange capacity of artificial soil aggregate

적으로 증가하였지만, 그 증가기울기는 미미하였다. 이와 같은 단위결합재량의 증가에 따른 CEC의 증가는 토양의 pH 의존 전하에 따라 변화는 특성 때문이다(Kim, 2014). 일반적으로 토양의 CEC는 pH가 증가할수록 증가하는 특성을 가지고 있다(Kim, 2014). 파쇄된 인공토양골재의 CEC는 22.22~32.56 cmol⁺/kg으로서 조경시방서(2014)에서 제시하고 있는 토양등급에서 상급토양으로 분류될 수 있다. 조경시방서(2014)에서 제시하고 있는 토양등급은 저급, 중급 및 상급으로 구분될 수 있다. 또한 이들 분류의 지표는 CEC의 값에 따라 달라지는데, 값이 높으면 높을수록 양이온 교환 능력이 우수함을 의미한다. 따라서 고로슬래그 기반 기포콘크리트로부터 제조된 인공토양골재는 양이온 교환능력 측면이 우수한 등급으로 평가될 수 있다고 판단된다.

3.2.5 유기물 함유량(C/N비)

파쇄된 인공토양골재의 C/N비를 Table 5에 나타내었다. 또한 기존 토양골재와의 유기물 함유량을 비교하기 위해서 동일한 표에 기존 육성용 펄라이트 골재의 C/N비도 함께 나타내었다. 파쇄된 인공토양골재의 C/N비는 144~233 수준으로 기존 육성용 펄라이트 골재 보다 약 15배 높았다. 이는 인공토양골재의 탄소화합물(Carbon)이 0.52~0.60%에 비해 질소화합물(Nitrogen)이 0.0025~0.004%로 매우 낮게 검출되었기 때문이다. 기존 육성용 펄라이트 골재의 탄소화합물(Carbon)과 질소화합물(Nitrogen)은 각각 6.5%와 72.53%로 파쇄된 인공토양골재 보다 각각 139배 및 2,603배 높았다. 이는 GGBS 기반 기포콘크리트로부터 제조된 인공토양골재의 질소화합물이 매우 적음을 의미한다. 일반적으로 탄소화합물은 뿌리, 잎, 줄기 및 과실의 성장속도를 증가시키는 역할로서 비율이 높을수록 식물의 개화시기가 빨라진다. 또한 질소화합물은 줄기와 잎의 성장속도를 증가시키는 역할을 한다. 이와 같이 이들 탄소화합물 및 질소화합물은 식물의 개화 및 성장에 중요한 지표이기 때문에 조경시방서(2014)에서는 C/N비를 10~12 범위를 요구하고 있다. 따라서 고로슬래그 기반 기포콘크리

Table 5 Ratio of carbon to nitrogen for artificial soil aggregate

Specimens	Micro-elementary analysis		
	Carbon (%)	Nitrogen (%)	C/N
Pearlite	72.5299	6.5100	11.14
3	0.5377	0.0025	215.080
4	0.5212	0.0036	144.778
5	0.5524	0.0036	153.444
6	0.5371	0.0032	167.844
7	0.6083	0.0026	233.962
8	0.5351	0.0040	133.775

트로부터 제조된 인공토양골재를 육성용으로 활용하기 위해서는 식물의 생장이 필요한 질소화합물이 반드시 보충되어야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 고로슬래그 기반 경량기포콘크리트를 이용한 육성용 토양골재의 적용성 평가를 위해서 단위결합재량을 주요 변수로 기포콘크리트 및 인공토양골재를 제조하였다. 경량기포콘크리트의 역학적 특성과 제 1인산암모늄에 침지된 인공토양골재의 이화학적 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 고로슬래그 기반 경량기포콘크리트의 압축강도는 단위결합재량이 증가함에 따라 증가하였는데, 단위결합재량이 500 kg/m³ 이상인 배합의 28일 압축강도가 4 MPa 이상이었다.
- 2) 제조된 인공토양골재의 입도분포는 단위결합재량이 증가함에 따라 크기가 큰 골재량이 증가하였는데, 단위결합재량이 700 kg/m³ 이하로 제조된 토양골재에서 식생화분에서 사용되고 있는 토양과 비슷한 조립률을 보였다.
- 3) 제조된 인공토양골재의 투수계수는 결합재량이 400 kg/m³ 이상인 배합에서 조경시방서에서 제시하고 있는 기준을 만족하였다.
- 4) 15%로 희석된 제 1인산암모늄의 수용액에 3일 이상의 침지는 인공토양골재의 pH를 12에서 7.43~8.52 수준으로 낮추는데 효과적이었다.
- 5) 제조된 인공토양골재의 양이온 치환용량(CEC)에 대한 단위결합재량의 영향은 미미하였지만 조경시방서에서 제시하고 있는 등급 분류에서 상급으로 평가되었다.
- 6) 제조된 인공토양골재의 질소화합물(Nitrogen)은 0.0025~0.004%로 매우 낮아 조경시방서에서 요구하는 C/N(Carbon/Nitrogen)비의 추천범위를 만족시키지 못하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(14CTAP-C078666-01)에 의해 수행되었습니다.

References

Kim, G. H. (2014), *Soil Science*, Hyangmunsa, Korea, 90-105.

Kim, K. G., Park, D. H., Yoo, J. K., and Lee, J. G. (2013), Permeability and Consolidation Characteristics of Clayey Sand Soils, *Journal of Korean Geotechnical Society*, 29(3), 61-70.

Lee, K. H., and 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

Kim, J. G., Oh, J. H., Huh, Y. K., Moon, J. W., and Ahn, Y. C. (2014), Production and Construction Manual Development for Economical-Lightweight Green-Roof System using Lightweight Vegetative B.A Block, *Journal Architectural Institute of Korea*, 30(12), 61-68.

Korea Institute of Landscape Architecture (2014), Standard Specification of Landscaping Construction.

KS F 2103 (2013), standard test method for ph of soils, Korean Industrial Standards, Chungcheongbuk-do, Korea.

KS F 2322 (2015), Standard Test Method for permeability of saturated soils, Korean Industrial Standards, Chungcheongbuk-do, Korea.

KS F 2505 (2012), Testing Method for Bulk Density of Aggregates and Solid Content in Aggregates, Chungcheongbuk-do, Korea.

KS F 4039 (2014), Foamed concrete for cast-in-site, Korean Industrial Standards, Chungcheongbuk-do, Korea.

Lee, D. K., Yoon, S. W., OH, S. H., and Jang, S. W. (2005), The Effect of Temperature Reduction as Influenced by Rooftop Greening, *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 8(6), 34-44.

Lee, K. H. (2013), Development of mixture proportioning model for low-density high-strength foamed concrete, Master's thesis, Su-won, Kyonggi university, 31-43.

Lee, Y. J. (2010), Salinity Assessment Under Oversaturated, Saturated and Field Capacity Moisture Conditions in Salt-affected Soils, Master's thesis, Kangwon-do, Kangwon National University, 3-10.

Oh, J. H., Ahn, H. R., Kim, K. U., Ahn, Y. C., and Moon, J. W. (2013), Experimental Study on Planning Soil Depth of Green Roof System using Light-Weight Greening Block, *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 13(3), 105-110.

Shim, K. K., Huh, K. Y., and Kang, H. C. (1999), Developing Growth Media for Artificial Ground by Blending Calcined Clay and Coconut Peat, *Journal of the Korea Institute of Landscape Architecture*, 13(3), 105-110.

Yang, K. H. (2014), Development of Artificial Soil Aggregates using Bio-Terra-Con with Self Plant Growth Conditions and Specific Gravity below 0.3, Report No. 030403, University of Kyonggi Department of Plant-Architectural Engineering, Suwon, Korea, 25-63.

Received : 05/30/2016

Revised : 06/09/2016

Accepted : 06/13/2016

요 지 : 본 연구에서는 경량기포 콘크리트를 이용한 육성용 토양골재의 적용성을 평가하기 위해서 고로슬래그 기반 기포콘크리트의 총 8 배합과 인공토양골재를 제조하였다. 고로슬래그 기반 기포콘크리트 배합의 주요변수는 단위결합재량으로서 100에서 800 kg/m³으로 변화하였다. 경량기포콘크리트는 플로우, 슬러리 및 절건 밀도와 재령별 압축강도를 측정하였으며, 파쇄된 인공토양골재는 pH, 입도분포, 투수계수, 양이온치환용량(CEC), 유기물함유량(C/N비)을 측정하였다. 측정결과 경량기포콘크리트의 플로우, 슬러리 및 절건밀도와 재령별 압축강도는 단위결합재량이 증가함에 따라 증가하였다. 경량기포콘크리트의 단위결합재량이 500 kg/m³ 이상인 배합의 28일 압축강도는 4 MPa 이상이였다. 인공토양골재에 3일 이상의 15% 희석된 제1인산암모늄의 수용액침지는 pH를 저감시키는데 효과적이었다. 또한 제조된 인공토양골재는 양이온 치환용량(CEC) 측면에서 상급으로 평가되었지만 C/N비 측면에서는 조정시방서를 만족시키지 못하였다.

핵심용어 : 인공토양골재, 기포콘크리트, 역학적 특성, 이화학특성, 단위결합재량
