

바텀애시를 활용한 인공경량토양의 개발 및 성능 평가

Development and Evaluation of Artificial Lightweight Soil Using Bottom Ash

김철민^{1*} · 김민우² · 조근영³ · 최나래⁴

Chul-Min Kim^{1*} · Min-Woo Kim² · Gun-Young Cho³ · Na-Rae Choi⁴

(Received September 28, 2018 / Revised November 22, 2018 / Accepted November 26, 2018)

A larger energy consumption and concentration of population induced green house gas glowing and heat island effect in the urban space. Roof green system was a effect method to reduce green house gas and heat concentration in the city. Therefore, construction of this system was increasing. Most of lightweight soil used in roof green system was perlite, but this caused dust and skin disease. So it needed to develop another new lightweight soli for roof green system. Meanwhile, a thermoelectric power plant generated bottom ash as a by-product. According to previous research, bottom ash could be used for artificial lightweight soil with 60 wt% of mixing rate. But this study was proceed to develop a artificial lightweight soil using bottom ash with higher mixing rate by 65 wt% and different organic ingredients. First, physical and chemical properties of bottom ash was investigated. Then test according to landscaping design standard was proceeded for various artificial lightweight soil mix types using bottom ash, bark, compost and coco peat. As a result, the artificial lightweight soil with 65% of bottom ash, 30% of bark and 5% of compost was suitable for low and middle range of soil standard.

키워드 : 바텀애시, 인공경량토양, 옥상녹화, 토양 성능

Keywords : Bottom ash, Artificial lightweight soil, Roof green system, Soil property

1. 서론

도시는 인구 및 대규모 에너지 소비 등 탄소배출 원인이 집약되어 있는 공간으로 탄소 저감을 위한 저탄소 도시 구현을 위한 노력이 지속적으로 진행되고 있다. 도심지의 탄소저감 방안 중 도심지 녹지공간 확보가 중요한데, 공간이 협소한 도심지내에서는 건축물 옥상에 녹지공간을 조성하는 옥상녹화가 다양한 건축물에 적용되고 있다.

옥상녹화는 도시내에 다양한 효과를 주게 되는데, Kim et al.(2014b)은 도심지 내 옥상녹화가 탄소 흡수로 인한 저탄소 도시 구축에 기여함을 산술적으로 계산하였고, Lee et al.(2011)와 Kim et al.(2016)은 옥상녹화의 에너지 저감효과를 분석하였다. 또한 이상기온으로 인한 도심지 집중호우시 침수피해가 증가하는데,

Baek et al.(2016)은 옥상녹화의 우수유출저감 효과가 있음을 확인하였고, 건물로 둘러싸인 도심지 내의 거주자들의 심리적 안정 및 건강유지에 효과적임을 Kim(2012)이 연구한바 있다.

현재 현장에 시공하는 옥상녹화는 공법적으로 토양 및 식재물 현장에서 하는 현장포설형과 온실에서 생육 후 현장에 설치하는 박스유닛형으로 크게 두 종류로 구분할 수 있으며, 세부 구성자재에 따라 세분화된다(Oh et al. 2016).

그러나 토양은 경량성을 고려해야 하므로 옥상녹화에 시공하는 대부분의 인공토양은 펄라이트를 사용하고 있는데, 경량성이 우수한 반면 시공 중의 비산으로 인한 인접 건물의 피해나 분진 발생 등으로 인한 작업환경 악화 등으로 현장에서 사용을 피하고 싶으나 대체 경량토양이 없어 할 수 없이 사용하고 있는 상황이다.

한편 국내 화력발전소에서 발생하는 석탄재 중 바텀애시는 분

* Corresponding author E-mail: sp21kcm@hanmail.net

¹(주)한국도시녹화 대표이사 (Korea Urban Forestation Co. Ltd, Gyeonggi-dol, 13820, Korea)

²(주)한국도시녹화 차장 (Korea Urban Forestation Co. Ltd, Gyeonggi-dol, 13820, Korea)

³(주)한국도시녹화 실장 (Korea Urban Forestation Co. Ltd, Gyeonggi-dol, 13820, Korea)

⁴(주)한국도시녹화 대리 (Korea Urban Forestation Co. Ltd, Gyeonggi-dol, 13820, Korea)

말상의 플라이애시와 달리 다공성의 골재 형상을 가지고 있으나, 아직 품질 변동이 심하고, 폐기물로 인식되어 재활용하는데 다소 어려움이 있다. 가장 많은 재활용 용도는 해안 매립용 토양인데 Kim et al.(2013)은 플라이애시와 바텀애시가 혼합 매립된 매립 석탄회를 해안 매립용 토양으로 사용하기 위한 연구를 수행하였고, Koh(2013) 도 매립 석탄회를 해안 및 내륙 연약지반의 수평배수층 활용 연구를 진행하였다.

반면 가장 많은 연구가 수행되었으나 활용에 어려움이 있는 용도로는 콘크리트용 골재인데 Kim et al.(2014a)은 건식 바텀애시의 콘크리트 잔골재로의 활용 가능성을 연구하였고, Choi et al.(2015)는 경량 모르타르 잔골재로의 건식 바텀애시의 입형개선 및 최적 입도에 관한 연구를 수행하였고, Lee et al.(2015)는 습식 바텀애시를 시멘트 압축성형용 잔골재로 사용한 연구를 수행하였다.

최근 들어 바텀애시를 단순한 매립용 토양이 아닌 식재가 가능한 인공경량토양으로의 활용 연구를 수행이 일본 진행되었는데, Hong et al.(2015)은 건식 석탄저회를 중량비율 최대 60%까지 사용하고, 굴때각, 코코피트, 분변토, 피트머스, 암면 등의 다양한 토양재료를 혼합하여 식재용 토양기준에 적합한 인공경량토양을 개발, 실용화하지는 못하였으나 가능성을 확인할 수 있었다.

따라서 옥상녹화에 사용하는 인공경량토양인 펠라이트를 대체할 수 있는 바텀애시 재활용 인공경량토양을 경제적으로 개발한다면 실용화가 가능할 것으로 판단된다.

본 연구는 상기 Hong et al.(2015)에서 다양하게 사용한 토양재료와 달리 단순화하고, 건식 석탄저회의 사용비율을 65%로 높여 경제적인 인공토양 배합을 개발하고, 식재 시험까지 수행하여 실용화하기 위한 기반 자료로 활용하고자 수행하였다.

2. 바텀애시의 특성 분석

바텀애시는 화력발전소에서 배출되는 방식에 따라 보일러의 냉각수와 같이 배출되는 방식은 습식, 냉각수를 사용하지 않는 경우 건식으로 구분한다. 습식 바텀애시는 화력발전소에서 많이 사용하는 방식으로 해수나 담수를 사용, 수분, 미연탄소, 염화물 등이 다량 함유되어 재활용에 어려움이 있다. 그러나 최근 화력발전소에서는 건식방식으로 바텀애시를 배출하여 보다 다양한 용도로 활용이 가능하다.

본 연구에 사용하는 바텀애시는 건식 바텀애시로 인공경량토양으로의 활용을 위한 기본 특성을 검토하였다.

2.1 바텀애시 입도별 pH 및 단위용적질량 분석

2.1.1 실험 방법

토양에서 자라는 식물은 pH에 민감하므로 먼저 바텀애시를 활용한 인공토양 제조 시 바텀애시 입도별 함량비 및 pH 특성파악을 위한 실험을 실시하였다. 본 연구에 사용한 바텀애시는 B 화력발전소에서 배출된 것으로 먼저 바텀애시를 KS F 2502 굵은 골재 및 잔 골재의 체가름 시험방법에 따라 먼저 10mm 이하로 체가름한 시료 5kg을 준비하고 이 시료를 KS F 2511 골재에 포함된 잔입자(0.08mm 체를 통과하는) 시험방법에 따라 0.08mm 씻기 시험을 한 후 남은 시료를 5~10mm, 2.5~5mm, 1.2~2.5mm, 0.15~1.2mm, 0.08~0.15mm, 0.08mm 미만의 총 6개군으로 구분하여 체가름 시험을 실시, 분류하였다. 입도별 형상은 Fig. 1과 같다.

입형 크기에 따른 비율은 바텀애시 시료 중량 5kg에 대한 각 체가름 체에 남는 바텀애시의 중량을 백분율로 표시하여 Table 1에 정리하였다.

바텀애시의 각 입도별 pH 측정은 토양오염 공정시험에 따라 각 입도별 시료 5g, 이를 용출시킬 중류수 25ml를 준비, 용액 : 시료의 비는 1:5로 60분 동안 용출시킨 뒤 KS M 0011 수용액의 pH 측정방법에 따라 측정하였다.

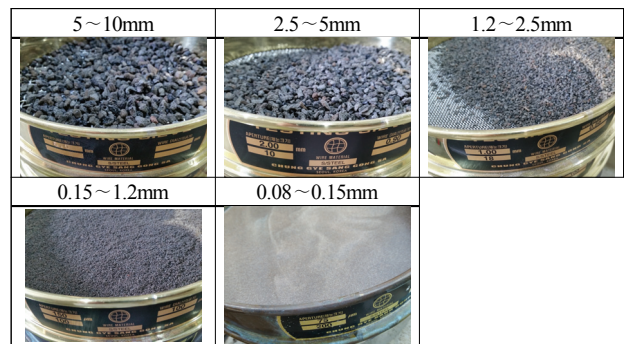


Fig. 1. Classification of bottom ash by size

Table 1. Weight rate & pH as bottom ash size

Size(mm)	Weight rate(%)	pH[1:5]
0~8	100.0	8.81
5~10	13.4	7.72
2.5~5	33.5	7.81
1.2~2.5	14.7	8.67
0.15~1.2	27.3	9.08
0.08~0.15	8.1	9.34
less than 0.08	3.0	-

또한 옥상에 사용하는 토양은 구조적 하중부담을 적게 하기 위해 경량성을 요구하므로 단위용적질량을 확인할 필요가 있다. 단위용적질량은 KS F 2505 골재의 단위용적 질량 및 실적을 시험방법에 따라 골재의 입도 범위에 따른 단위용적질량을 비교하고자 10mm 이하, 2.5~5mm, 1.2~5mm, 0.15~5mm, 0.08~5mm로 구분하여 측정하였다.

2.1.2 실험결과

입도별 중량비는 2.5~5mm 입도분포가 33.5%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 다음으로 0.15mm~1.2mm 입도분포가 27.3%로 높은 비율을 나타냈다. 1.2mm 미만 건식 바텀애시의 경우 파쇄에 의한 미립분이 38% 이상 차지하므로 이러한 결과는 인공토양의 기준인 투수계수와 보수율에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 시험체들의 투수계수결과를 측정하여 미세립분의 전체질량분의 가감을 통한 인공토양 기준에 적합하도록 입도 비율을 조정할 필요가 있다.

pH의 경우 입도 크기 2.5mm를 기준으로 입도가 큰 바텀애시는 7.72~7.81로 중성을 보이며, 2.5mm 보다 입도가 작은 바텀애시는 8.67~9.34로 알칼리성을 나타냈다. 바텀애시에는 CaO가 소량 포함되어 알칼리성을 띠게 되는데 입도가 작은 경우 용출이 용이하므로 pH가 약 알칼리를 띠게 된다. 따라서 인공토양 제조 시 이를 고려한 pH조절이 필요하다고 판단된다.

단위용적질량 측정결과, Fig. 2와 같이 인공경량골재로 현재 사용되는 펄라이트는 0.13kg/L로 측정되었고, 10mm 이하의 모든 입도를 포함하는 바텀애시는 0.62kg/L, 2.5~5mm 입도의 바텀애시는 0.61kg/L로 펄라이트보다 약 4.7배 무거운 것으로 나타났으나, 조경설계기준에서 제시한 경량토양의 분류 중 석탄재의 단위용적 질량 1kg/L, 화산모래 0.9kg/L와 비교하면, 경량성이 비교적 우수한 것으로 판단된다.

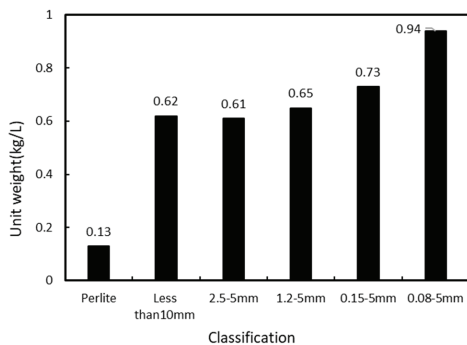


Fig. 2. Unit weight of bottom ash size classification

최대 입도의 크기를 5mm로 제한하고 최소입도 크기를 2.5mm, 1.2mm, 0.15mm, 0.08mm 로 달리하는 경우의 단위용적질량은 최소입도의 크기가 작아질수록 커지는 경향을 보여주었다. 이는 바텀애시 미세립자가 많을수록 입도가 큰 바텀애시 사이를 채우기 때문에 적정 경량성을 유지하기 위해서는 최소 입도크기를 제한할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2.2 바텀애시의 화학적 특성 분석

2.2.1 실험 방법

바텀애시를 인공경량토양으로 사용하기 위해서 조경설계기준에서 제시하는 토양의 화학적 특성 평가기준에 대한 바텀애시의 특성을 검토할 필요가 있다. 총 9가지의 항목에 대하여 시험을 실시하였다. 총 질소량(T-N)은 Block digester 법에 의해 건조시료 5g에 황산염 분말 5g과 H₂SO₄ 용액 25ml를 가한 후 플라스크에서 분해 후 적정하여 측정하였고, 유기물(Organic matter)은 Tyurin 법으로 정량하였으며, pH는 입도별 분석방법과 동일하게 측정하였다. 염기치환용량 시험(CEC)은 KS M ISO 23470 토양의 질산염화 핵사민코발트 용액을 이용한 유효 양이온 교환용량과 교환성 양이온의 측정방법을 통해 ICP-AES로 분석하였다. 전기전도도(EC)는 pH 측정과 동일하게 용액 : 시료의 비를 1:5로 60분 동안 용출시킨 뒤 토양용 Direct EC 실험기로 측정하였다. 염화물량은 KS F 2713 “콘크리트 및 콘크리트 재료의 염화물 분석 실험방법”에 준하여 pH시험과 동일한 시료를 이용, 측정하였다.

또한 일반적으로 재활용 재료를 토양 등에 활용하기 위해서는 환경문제를 고려하여 폐기물 관리법 시행규칙에서 정한 지정폐기물의 유해물질 함유기준 적합여부를 검토한다. 바텀애시의 경우 상기 규칙에 따라 Pb, Cu, As, Hg, Cd, Cr⁶⁺, CN의 7가지 유해물질 용출량을 확인하여 유해성을 확인할 필요가 있다. 시험은 폐기물 공정시험법에 따라 바텀애시와 물의 혼합 비율을 1 : 10으로 하여 500mL 이상 되도록 하고, 6시간 이상 진탕한 후 원심분리를 이용하여 20분 이상 원심분리한 후 상등액을 취하여 검액으로 하였다. 분석은 Cu, Cd, As, Pb, Cr의 경우 ICP, CN은 UV/Vis, Hg은 수은분석기를 이용하여 분석하였다.

2.2.2 실험결과

토양의 화학적 특성 평가기준 항목에는 성능에 따라 상급, 중급, 하급으로 구분하고 있다. 이 항목에 대한 바텀애시의 분석 시험결과와 등급 기준을 Table 2에 정리하였다.

토양의 화학적 특성 등급과 바텀애시를 비교하면, 먼저 1.2mm

Table 2. Result of bottom ash as soil chemical property

Items	Soil standard			Below 1.2mm	1.2~10mm
	Top grade	Middle grade	Low grade		
pH[1:5]	6~6.5	5.5~6.5~7	4.5~5.5 7~8	9.53	8.86
EC[1:5](dS/m)	Below 0.2	0.2~1	1~1.5	1.39	0.051
CEC(cmol/kg)	Over 20	20~6	Below 6	0.40	0.30
T-N(%)	Over 0.12	0.12~0.06	Below 0.06	N.D.	N.D.
NaCl(%)	Below 0.05	0.05~0.2	0.2~0.5	0.009	0.002
Organic matter(%)	Over 5	5~3	5~3	0.24	0.13

Table 3. Result of hazardous material in bottom ash eluate

	Test items(mg/L)						
	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr ⁶⁺	CN
Standard	3	3	1.5	0.005	0.3	1.5	1
Bottom ash	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

이하의 미립분 바텀애시는 전기전도도(EC)는 하급 기준, 염화물량(NaCl)은 상급기준에 포함되었고, 나머지 항목은 등급에 포함되지 않았다.

1.2~10mm 입도의 바텀애시는 전기전도도(EC), 염화물량(NaCl)은 상급기준인 반면 나머지 항목은 등급에 포함되지 않았다. 따라서 바텀애시만으로는 인공경량토양으로 사용하기에 부적합하므로 다른 유기물 등의 토양재료를 혼합해야 가능한 것으로 판단되었다.

바텀애시에서 유해물질의 용출여부를 확인한 결과, Table 3과 같이 7종류의 유해물질에 대해 모두 불검출 되었다. KS F 2527 “콘크리트용 골재”에서는 재활용 골재의 유해성 검토를 위해 동일한 폐기물 유해물질 용출시험을 실시하고, 중금속 검출이 되지 않으면 사용이 가능한 것으로 판단하고 있다. 따라서 바텀애시도 중금속이 검출되지 않으므로 재활용이 가능한 것으로 판단된다.

3. 인공경량토양 제조 및 특성분석

바텀애시의 입도 및 토양의 화학적 특성, 유해물질 등을 분석한 결과, 바텀애시 단독으로 인공경량토양의 활용은 불가능하나 다른 토양재료를 혼합할 경우 사용이 가능할 것으로 판단되었다.

따라서, 바텀애시를 주재료로 pH조절과 식물생장에 필요한 유기 영양 공급을 위해 바크, 퇴비, 코코피트 등의 혼합재료를 사용하였다.



Fig. 3. Feature of coco peat



Fig. 4. Feature of bark

3.1 실험재료

3.1.1 바텀애시(Bottom ash)

본 인공경량토양 제조에 사용하는 바텀애시는 B 화력발전소에서 배출되는 건식 바텀애시 중 채가름하여 1.2~10mm범위의 바텀애시를 사용하였다.

3.1.2 코코피트(Coco peat)

천연 코코넛 열매에서 섬유질을 추출하고 남은 부위를 가공 처리한 것으로 셀룰로오스 성분이 많이 함유되어 토양에 많이 사용되고 있다. 높은 보수력, 보비력, 통기성을 갖추고 있어 식물 성장에 매우 우수하고 토양의 미생물의 활동을 촉진시켜 토양개량제로 활용성이 크다. 수분을 흡수하면 부피가 팽창하는 특성을 가지며 약산성을 띠어 토양의 산도를 조절할 수 있다. 형상은 Fig. 3과 같다.

3.1.3 바크(Bark)

나무껍질을 바크라고 하는데 목재를 만드는 과정에서 생기는 부산물로 국내에서는 주로 난 재배 중에 많이 사용하며, 바크는 목재에 따라 그 독성이 있을 수 있어 퇴비화를 시킨 후에 사용한다. 본 연구에 사용한 바크는 1~15mm 사이의 입도를 가지며, 40일 이상 부숙과정을 거친 재료로 혼합재료로 첨가 시 배수, 통기, 보비력 향상을 위해 사용하였다.

바크의 형상은 Fig. 4와 같다.

3.1.4 퇴비

본 연구에 사용한 퇴비는 축분, 돈분 등의 가축분 슬러지에 톱밥, 수피 증의 여재와 미생물제제를 혼합하여 약 30일 이상 완전 발효시킨 후 사용하였다. 퇴비 형상은 Fig. 5와 같다.



Fig. 5. Feature of bark

3.2 실험방법

3.2.1 배합

기존 바텀애시 단독 사용 시 문제가 되는 pH조절과 식물생장에 필요한 유기계 영양 공급을 위해 바크, 퇴비, 코코피트를 혼합하였다.

혼합재료 별 특성비교를 위해 기초실험을 거쳐 인공경량토양 시험 배합을 4개 타입으로 Table 4와 같이 계획하였다. 시험배합의 바텀애시 사용량은 기존 Hong et al.(2015)보다 높은 65%로 고정하고, 수피는 25~35%까지 5% 단위로 증가시켰고, 퇴비와 코코피트는 수피 대체로 치환하였다.

인공경량토양의 제조는 인공경량토양 생산시설에 설치된 25 m³/h 혼합 속도를 갖는 연속혼합식 스크류식 믹서에 재료를 투입한 혼합 배출하였다(Fig. 6). 인공경량토양은 각 배합별로 1t을 제조하였고, 그 형상은 Fig. 7과 같다.

Table 4. Mixing rate of bottom ash artificial soil

Item	(unit : wt%)			
	Bottom ash	Bark	Compost	Cocopeat
65-A	65	20	5	5
65-B	65	25	10	-
65-C	65	30	5	-
65-D	65	35	-	-

3.2.2 시험항목 및 방법

먼저 배합에 따라 제조한 인공경량토양 중 시료를 채취하여 식생에 가장 민감한 pH 및 전기전도도(EC)를 분석하고 최종 배합을 선정한 후 선정한 배합의 인공경량토양의 토양 기준의 적합여부를 확인하였다.

토양의 적합여부는 물리적 특성과 화학적 특성으로 구분하여 조경설계기준에서 제시하는 항목 중 중요한 항목을 선별하여 각 항목별 토양등급과 비교하였다.

물리적 특성 중 투수계수는 KS F 2322 “흙의 투수실험”에 따라 일정한 수두차를 유지하면서 일정한 시간내에 침투하는 유량을 측정하는 정수위 투수실험법으로 측정하였다. 인공경량토양의 단위용적중량은 건조기에서 24시간 건조한 후 상온에 항량이 될 때까지 방치 한 건조 시료와 물을 살수 혼합하여 인공경량토양 표면에 수분이 보일 때 채취한 습윤 시료를 KS F 2505 “골재의 단위용적질량 및 실적을 시험방법”에 따라 측정하였다. 공극율은 건조시료의 단위용적중량 측정시 같이 측정을 하였다.

화학적 특성 시험방법은 바텀애시의 화학적 특성 분석방법과 동일하게 진행하였다.

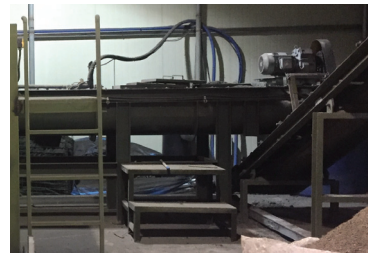


Fig. 6. Continuous screw mixer for artificial soil



Fig. 7. Manufactured artificial lightweight soil

3.3 실험결과 및 분석

먼저 각각 배합량을 달리한 4종류의 인공경량토양 시험체의 pH 및 전기전도도(EC)를 측정된 결과, Table 5와 같이 나타났다. 조경설계기준의 화학적 특성 평가항목 과 평가기준에서는 전기전도도(EC)는 낮을수록 우수하고, pH는 6~6.5 범위가 상급, 중급은 5.5~6 범위에 있어야 한다. 따라서, 65-C 배합이 본 연구에서 인공경량토양을 제조하기 위한 최적배합으로 판단되었다.

Table 5. Test result according to mixing rate

Item	pH	EC(dS/m)
65-A	5.73	1.01
65-B	6.57	1.83
65-C	5.65	0.833
65-D	5.19	0.896

Table 6. Soil property test result of artificial lightweight soil

Item	Soil standard			Artificial soil	
	Top grade	Middle grade	Low grade		
Physical property	Permeability (cm/sec)	Over 10-3	10-3 ~ 10-4	10-4 ~ 10-5	1.45×10-2
	Porosity(%)	Over 60	60~50	50~40	55.09
	Dry unit weight (kg/m ³)	Below 1,000*			530
	Wet unit weight (kg/m ³)	Below 1,450*			1,073.81
Chemical property	pH(1:5)	6~6.5	5.5~6.5 ~ 7	4.5~5.5 ~ 7~8	5.71
	EC(dS/m)	Below 0.2	0.2~1	1~1.5	0.75
	CEC(cmol+/kg)	Over 20	20~6	Below 6	5.40
	T-N(%)	Over 0.12	0.12~0.06	Below 0.06	0.36
	NaCl(%)	Below 0.05	0.05~0.2	0.2~0.5	0.056
	Organic matter(%)	Over 5	5~3	5~3	16.76

* Coal ash unit weight of lightweight soil in landscaping design standard

65-C 배합의 인공경량토양을 조경설계기준에서 제시한 토양의 성능항목과 비교한 결과, Table 6과 같이 물리적 특성의 경우 투수성은 상급, 공극율은 중급에 속하였고, 건조 단위중량과 습윤 단위중량은 조경설계기준에서 제시한 석탄회 경량토양과 비교할 때 건조상태에서는 약 46%, 습윤상태에서는 약 26% 경량성이 우수한 것으로 나타났다.

화학적 특성의 경우 전질소량, 유기물함량은 조경설계기준 중 상급기준, 전기전도도(EC), 염화물량은 중급에 포함되고, 염기치 환용량(CEC)는 하급으로 모두 조경설계기준의 토양 등급에 포함되었다.

4. 결론

본 연구는 바텀애시를 다량 인공경량토양으로 재활용하기 위해 입도 10mm 이하로 선별한 바텀애시의 물리적, 화학적 특성을 분석하고, 인공경량토양으로 활용하기 위한 유기재료를 혼합, 최적 배합을 선정하고 조경설계기준에서 제시한 토양기준의 적합여부

를 확인하였고 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 본 연구에 사용한 바텀애시를 총 6개군으로 체계화한 결과, 2.5~5mm 입도의 비율이 33.5%로 가장 높았고, 1.2mm 미만의 미립분도 38% 이상으로 높은 비율을 차지하였다. pH의 경우 입도 2.5mm를 기준으로 큰 경우 7.72~7.81, 작은 경우 8.67~9.34로 알칼리성을 나타냈다. 따라서 입도가 작은 바텀애시는 투수성, 보수율, pH에 영향을 주므로 비율 조절이 필요하다고 판단되었다. 단위용적중량은 10mm 이하 전체의 0.62kg/L,이며, 미세립자 혼합될수록 증가되는 추세를 보여주었다.
- 2) 바텀애시를 조경설계기준의 토양의 화학적 특성 평가항목에 따라 시험한 결과, 바텀애시만으로는 토양 등급에 포함되지 않아, 유기재료의 혼합이 필요하였다. 바텀애시의 환경성 평가에서는 7종류의 유해물질이 모두 검출되지 않아 사용에 큰 문제는 없는 것으로 판단되었다.
- 3) 바텀애시를 인공경량토양으로 활용하기 위해 65% 중량비율로 고정하고, 바크, 퇴비, 코코피트의 유기재료를 배합을 달리하여 혼합한 후 pH와 전기전도도(EC)를 측정하고, 바텀애시 65%, 바크 30%, 퇴비 5%의 배합이 토양의 화학적 특성 등급을 고려할 때 적절한 것으로 판단되었다.
- 4) 선정된 최적 배합의 인공경량토양을 조경설계기준에서 제시하는 물리적, 화학적 특성 평가 항목 중 중요항목을 선정 시험한 결과, 조경설계기준의 토양 기준에 포함됨을 확인하여 바텀애시를 중량비 65%로 혼합한 인공경량토양의 옥상 녹화 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부의 국토교통기술사업화지원사업(과제번호 18TBIP-C124446-02) 지원에 의해 수행되었습니다.

References

Baek, S.Y., Kim, H.W., Kim, M.K., Han, M.Y. (2016). Runoff reduction effect of rainwater retentive green roof, KIEAE Journal, **16(1)**, 67-71 [In Korean].
 Choi, H.B., Kim, J.M., Sun, J.S., Han, D.Y. (2015). Shape improvement and optimum gradation of dry processed bottom ash for lightweight mortar, Journal of Korean recycled

- construction resource institute, **3(1)**, 7–14 [In Korean].
- Hong, S.R., Park, H.I., Sun, J.S., Kim, J.M. (2015). Fundamental study for practical application of artificial soil using coal bottom ash fro, dry process, Journal of Korea society of waste management, **32(3)**, 289–296 [In Korean].
- Kim, J.H., Son, H.M., Kwon, H.S., Kim, J.G., Lee, B.S. (2016). An analysis of energy reduction effects in housing according to green roof, LHI Journal, **7(4)**, 299–305 [In Korean].
- Kim, K.O., Park, S.W. (2013). Shear strength characteristics of artificial soil mixture with pond ash, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, **14(10)**, 39–47 [In Korean].
- Kim, S.B. (2012). A research of the residents' availability and health effectiveness based on the types of green roof, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, **40(3)**, 60–68 [In Korean].
- Kim, S.H., Lee, J.B., Park, S.H. (2014a). Bottom ash on the application for use as fine aggregate of concrete, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **2(3)**, 173–179 [In Korean].
- Kim, Y.H., Park, S.J. (2014b). Low-carbon green planning elements and carbon reduction effect in urban regeneration project—with case study on the CBD of cheongju city, Journal of the Urban Design Institute of Korea, **15(1)**, 167–182 [In Korean].
- Koh, Y.I. (2013). The consideration work method of mixed coal ash in ash pond to recycle as a horizontal drain material, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, **14(4)**, 53–58 [In Korean].
- Lee, C.W., Kim S.B., Moon, H.S. (2011). A study of temperature reduction effect by the types of the green roof, Journal of the Korean Housing Association, **22(3)**, 25–33 [In Korean].
- Lee, M.J., Kim, J.M., Han, D.Y., Choi, D.J., Lee, K.W. (2015). Engineering performance of extruded fly ash cement panel with bottom ash, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **3(3)**, 252–260 [In Korean].
- Oh, C.W., Hong, J.C., Park, K.B. (2016). Performance evaluation for the application of roof green box unit system combined with engineering P.E. water proof and root penetration sheet, Journal of Korea Institute of Building Construction, **16(2)**, 125–131 [In Korean].

바텀애시를 활용한 인공경량토양의 개발 및 성능 평가

대규모의 에너지 소비 및 인구의 증가로 온실가스 증가 및 열섬 현상이 빈번한 도시는 녹지공간의 증대가 요구되었고, 한정된 도시 공간에서는 건축물 옥상에 녹지공간을 형성하는 옥상녹화가 증대되었다. 옥상녹화에 사용하는 경량토양은 주로 펄라이트를 사용하나 비산, 분진 등 작업환경의 악화로 다른 경량토양의 요구가 증대되었다. 한편 화력발전소에서 발생하는 바텀애시는 재활용을 위한 다양한 연구가 진행되었는데, 인공경량토양으로의 활용가능성도 확인된 바 있다. 본 연구는 기존의 바텀애시 활용 인공경량토양보다 혼합량이 높은 바텀애시를 사용한 인공경량토양을 개발하고자, 바텀애시의 물리적, 화학적 특성을 분석한 후 유기물의 필요성을 확인하고, 바크, 퇴비, 코코피트 등의 유기재료 배합을 달리하여 최적의 배합을 도출하였고, 이 배합을 조경설계기준에서 제시한 토양성능 항목에 적합여부를 확인한 결과, 중급 정도의 성능을 갖는 인공경량토양임을 확인하였다.