

Bottom Ash를 식생블록으로 활용하기 위한 배합비 연구

A Research of Bottom Ash as a Lightweight Vegetation Block to Take Advantage of the Mixing Ratio

문종욱* 오중근** 이태구***
Moon, Jong-Wook Oh, Jung-Keun Lee, Tae-Goo

Abstract

With the development of the industry, such as homes and industries of electric energy usage and thereby increase the supply of electrical energy for power generation facilities were also increased.

Among them an increase in thermal power plants, such as Bottom Ash was accompanied by an increase in industrial waste.

If fly ash is recycled, some ten thousand Fly Ash and Bottom Ash Landfill, the recycling rate is low in most.

In this study, in order to resolve the problem of fly ash recycling Bottom Ash to take advantage of low physical and chemical characteristics were analyzed.

Evaluation of Physical Properties of Bottom Ash In addition, through the evaluation of functional properties of additives chogyeol condensation of 1 hour or more, within 3 hours of closing, Flow has more than 190mm of wheel load resistance value is less than 3mm flooring developed to study the subsequent emphasis on the Properties is based.

Through these studies by developing a functional flooring help with the problem of resource depletion, and losses due to reclamation and pollution is to prevent.

키워드 : 바텀애쉬, 옥상녹화, 재활용소재, 경량식생블록, 배합비

Key words : Bottom Ash, Rooftop Greening, Recycled Materials, Lightweight Vegetation Block, Mixing Ratio

1. 서론

근대에 들어 빠른 속도로 산업화가 진행됨에 따라 도시가 점차 고밀도로 개발되고 녹지공간이 축소되면서 도심지로 갈수록 기온이 상승하고, 외곽으로 갈수록 낮아지는 이상기온현상 즉, 열섬현상이 발생되고 있다. 이는 과거에 비해 대기온도가 점차 상승하여 여름철 전력소비가 급증하는 현상으로 나타난다고 볼 수 있다. 또한 온실가스의 배출이 증가하여 지구온난화, 오존층 파괴, 기상재해, 생태계의 파괴 등의 많은 환경문제들이 발생하고 있는 실정이다.

이러한 문제점들로 인해 지구환경에 관한 국제적인 관심이 점점 증가하여 지구온난화 문제를 해결하기 위해

선진국을 중심으로, 국가 간 기후협약(교토프로토콜)을 체결하여 대응을 추진하고 있는 실정이다.

우리나라의 경우도 2020년까지 국가 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 30% 감축으로 최종결정하여 '저탄소 녹색성장'을 국가 아젠다로 추진하고 있으며 이러한 정책을 반영하여 건설폐기물 및 산업폐기물 등을 자원으로 인식하여 재활용함으로써 산업의 녹색화를 이루기 위해 노력하고 있다. 정부에서도 이와 같은 자원순환형 경제구조를 형성하기 위해 기본법을 제정하는 등 법령체계를 정비하고 있으며¹⁾, 2001년 환경부에서 제시한 건설폐기물에 대한 처리실태를 살펴보면 재활용률이 85%를 점유하고 있어 향후 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률에 의거하여 그 범위가 확대될 것으로 예상된다.

또한 건물녹화가 녹색도시 모델개발 및 조성과 녹색건축물 확대가 가능한 하나의 방안으로 제시되고 있어 이미 유럽을 비롯한 선진국에서는 많은 연구와 더불어 인

* 주저자, 한국국제대학교 소방방재학과 교수, 공학박사, (mc8126@naver.com)
** 교신저자, 건국대학교 건축대학 건축학부 교수, 공학박사, (jkoh@konkuk.ac.kr)
*** 세명대학교 건축공학과 교수, 공학박사, (tg_lee@semyung.ac.kr)

1) 건축물 옥상녹화의 건축계획 특성 및 개선방안에 관한 연구, 정미숙, 오덕성-대한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집

공지반에 의한 녹지조성이 실용화가 되어 사용되고 있는 추세이다. 우리나라 또한 많은 연구와 개발이 진행되고 있지만 녹지조성을 위해 사용되는 재료가 절대적으로 수입에 의존하고 있는 경량토양을 사용하고 있다. 또한 중량, 건축물 시공업무 분장(옥상공사용 시공업체와 조경업체와의 업무영역의 구분으로 인해 결합발생 시 책임소재 불명확 등), 보수의 어려움과 내구연한의 연장 등의 문제를 가지고 있다고 볼 수 있다. 그리고 일부 사용되고 있는 다공성 블록의 경우 함수율이 낮아 이를 해결하기 위한 추가비용이 발생하는 단점을 가지고 있다.²⁾

따라서 본 연구에서는 현재 문제되고 있는 건설폐기물 및 산업폐기물을 재활용하여 산업의 녹색화를 도모하며, 함수율과 중량 등의 문제점을 보완하는 식생소재 블록으로 활용하기 위한 배합비를 연구함으로써 기존의 녹지 조성 및 옥상녹화를 위해 사용되어지고 있는 수입산 경량토양을 대체하고 현재의 옥상녹화 공법을 간소화 할 수 있는 친환경 소재개발을 목적으로 한다.

이를 바탕으로 폐기물의 재활용 및 녹지조성을 통해 온실가스 배출을 감소시킬 수 있을 것으로 예상되며 환경적, 경제적, 사회적인 이점을 가질 것으로 예상된다.

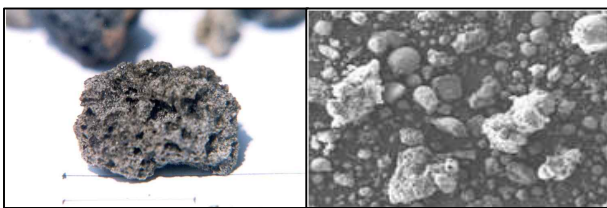
2. 석탄회의 특성

2.1 물리적 특성

1) 석탄회 입자의 모양과 크기

플라이애쉬(Fly Ash)는 미세분말의 무정형 또는 구형 입자로 이루어져 있으나 반면 바텀애쉬(Bottom Ash)는 직경 1~5cm의 비교적 굵은 입자를 형성하고 있다.

또한 함수율 31.55wt%로 환경부의 '폐기물 관리법 시행규칙'에 따라서 건축·토목 공사에서 성토재, 도로기층재 등으로 매립 가능한 무기성 오니의 수분함량 기준인 70% 이하이기 때문에 별도의 건조처리 없이 재활용이 가능하다고 판단되어진다.



a) 바텀애쉬 사진 b) 바텀애쉬 SEM 사진
그림 1. 바텀애쉬 입자 사진

2) 색깔

석탄회는 연한 황색으로부터 회색에 이르기까지 다양한데 일반적으로 탄소성분이 많을수록 황색에서 황갈색을 나타낸다. 종류별로는 플라이애쉬가 회색을 띠는 반면에 바텀애쉬는 갈색을 보인다.

2) 재활용 재료를 사용한 친환경 식생블록의 기초특성에 관한 연구, 한국건설순환자원학회 학술발표 논문집

2.2 화학적 특성

석탄회의 성분은 석탄의 종류(유연탄, 무연탄)에 따라 다르다. 또한 석탄의 질 또한 생산지에 따라서도 큰 차이를 나타낼 수 있다.

1) SiO₂(Silica)

석탄회성분의 반을 차지하고 있고 물과 접촉하면 미량의 SiO₂가 용출하며 CaO와 수화하여 플라이애쉬 표면에 치밀한 수화물을 형성한다. 일반적으로 발전소 회중의 SiO₂ 비율은 Cement 원료인 점토와 비슷하다.

2) Al₂O₃(Alumina)

플라이애쉬 중의 Al₂O₃는 18~29%의 비율로 국내 점토보다 약간 많이 함유되어 있으며, 점토에서의 SiO₂/Al₂O₃비는 3~5정도가 적정하다.

3) CaO(산화칼슘)

플라이애쉬가 Pozzolan 반응을 일으키는 주요인으로 Pozzolan 반응에 의해 수화생성물을 형성하여 플라이애쉬 입자 사이를 메우는 결합체로 되어 응결고화를 진행시킨다. CaO 함량에 비례하여 Pozzolan 반응의 속도가 빨라진다.

3. Bottom Ash 실험

3.1 Bottom Ash 배합비 예비 실험

본 연구는 전례가 거의 전무하여 유효한 식재용 콘크리트블록제작을 위한 배합비를 결정하기 위하여 예비실험을 실시하였다. 예비 시험의 콘크리트 배합사항은 표 1과 같다. 시멘트와 골재의 량은 질량비로 1:5에서 1:2까지 다양하게 설정하였다.

표 1. 예비실험 배합계획표

구분	Bottom Ash 입자 크기		시멘트 : B.A (질량비)	W/C (%)
	#8 (2.36mm)	#4 (4.75mm)		
1	-	100 %	1 : 5	30
2	-	100 %	1 : 4	30
3	-	100 %	1 : 3	30
4	25 %	75 %	1 : 3	30
5	-	100 %	1 : 2.5	10
6	-	100 %	1 : 2.5	20
7	-	100 %	1 : 2.5	25
8	-	100 %	1 : 2.5	30
9	-	100 %	1 : 2	30
10	-	100 %	1 : 1.5	30

물시멘트비는 옥상용 식재 콘크리트블록에 관한 기준이 없기 때문에 'KS F 4002 속 빈 콘크리트 블록'과 'KS F 4006 콘크리트 경계 블록'의 기준을 참고하여 30% 이하로 기준을 정하고 10%, 20%, 25%, 30%로 다양하게 설정하였다. 사용된 바텀애쉬의 입자크기는 체가름시험을 하여 가장 많이 발생하는 4mesh 체에 잔류하는 평균 4.75mm의 입자를 100% 사용한 경우와 발생량의 비율을 고려하여 4mesh 체에 잔류하는 입자 75%, 8mesh

(2.36mm)에 잔류하는 입자 25%를 혼합한 경우로 구분하였다. 혼화제를 식재용 콘크리트에 사용할 경우 식물의 생장에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 본 예비 실험에서는 사용하지 않았다.

계획한 배합비에 따라 배합을 한 후 50.8mm × 50.8mm × 50.8mm 의 입방형 공시체를 제작하였다. 식재용 콘크리트 블록을 옥상에 설치하기 위해서는 블록의 경량성과 식물이 생육 가능한 흡수율이 요구되어진다. 예비실험을 실시한 결과 물시멘트비가 작은 5번 공시체와 바텀애쉬의 비율이 높았던 1번, 2번 공시체의 경우 몰드에서 탈형 할 때 깨짐 현상이 발생하였다. 또한 시멘트의 비율이 가장 많았던 10번 공시체는 표면이 시멘트로 덮여 식물이 뿌리내리기에 적당하지 않고 배수도 원활히 되지 않을 것으로 예상되었다.

공시체의 기건비중을 측정한 결과 4번 공시체의 기건 비중이 1.16g/cm³으로 가장 높게 측정되었고 바텀애쉬의 비율이 낮을수록 그 비중은 낮게 측정되었다.

흡수율은 모두 15%이상의 값을 가졌으며 바텀애쉬의 비율이 줄어들면 흡수율 또한 줄어들었다. 물시멘트비가 작을수록, 크기가 다른 두 입자를 혼합하였을 경우 흡수율이 증가하는 것을 확인하였다.



a) 표면마함 발생 공시체 b) 깨짐현상 발생 공시체
그림 2. 표면마함이 발생한 공시체와 깨짐 현상이 발생한 공시체

3.2 본 실험계획

예비실험을 실시한 결과 바텀애쉬 입자를 8mesh와 4mesh의 입자를 1:3의 비율로 혼합하였으며, 시멘트와의 질량비는 1:3, 물시멘트비는 25%와 30%로 하였다.

또한, 식재용 블록의 물리적·역학적 특성을 파악하기 위하여 단위용적질량, 기건비중, 공극률, 흡수율, 함수율, 압축강도를 측정하여 식생블록으로서의 사용 가능성을 알아보았다.

표 2. 본 실험 배합 계획표

구분	시멘트 : 골재 (질량비)	물 : 시멘트비 (%)	단위중량 (kg/m ³)			
			Bottom Ash		시멘트	물
			#82.36mm	#44.75mm		
BWC25	1 : 3	25	286.05	858.15	381.4	95.35
BWC30	1 : 3	30	286.05	858.15	381.4	114.42

3.3 공시체의 제작 및 양생

블록의 단위용적질량, 압축강도 등 물리적·역학적 특성을 파악하기 위해 50.8mm × 50.8mm × 50.8mm의 입방형 공시체를 제작하고, 식물 뿌리의 활착을 관찰하기 위한 225mm × 225mm × 65mm 블록 공시체를 제작하였다. 블록은 블록의 틀에 골재를 다져넣고 시멘트페이스트를 부어 골재들을 결합하는데 1차 붓기 후 12시간 경과한 뒤 2차 붓기를 실시한다.

공시체의 양생은 공시체제작 24시간 뒤 몰드에서 탈형하고 물속에서 수중양생을 실시한다.

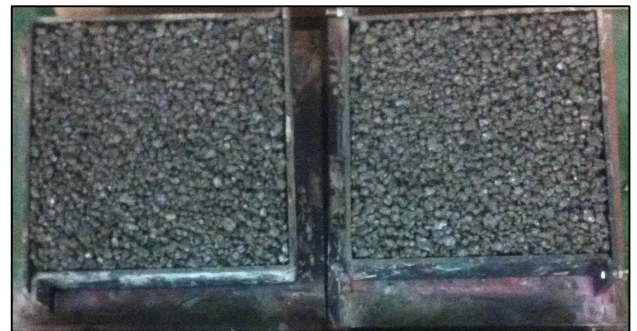


그림 3. 식재용 콘크리트 블록

4. 콘크리트 블록의 특성분석

4.1 시험결과

표 3. 은 물시멘트비 25% 와 30% 바텀애쉬 블록의 물리적·역학적 특성으로 단위용적질량, 기건비중, 흡수율 및 함수율, 공극률, 압축강도의 평균값을 나타낸 것이다.

표 3. Bottom Ash블록의 물리적·역학적 특성

No.	단위용적질량 (kg/m ³)	기건비중	흡수율 (%)	함수율 (%)	연속공극률 (%)	진공공극률 (%)	압축강도 (Mpa)	
							7일	28일
BWC25	1,144	1.14	22.3	10.5	35.4	39.9	1.666	3.038
BWC30	1,112	1.11	21.9	10.7	40.5	43.9	0.784	1.666

4.2 단위용적질량

바텀애쉬를 사용한 식생 블록의 단위용적질량은 물시멘트비가 30%일 경우 아래 그림 4와 같이 평균값인 BWC30는 1,112kg/m³, 물시멘트비가 25%인 경우 평균값인 BWC25는 1,144kg/m³으로 나타났다. 이는 무근 콘크리트가 2,300kg/m³, 일반적인 흙이 1,200 ~ 1,800kg/m³의 단위용적질량을 갖는 것을 고려해 보았을 때, 현재 사용하고 있는 옥상녹화 공법을 사용했을 때 보다, 바텀애쉬 블록을 이용하여 옥상녹화를 진행하였을 때 건물에 작용하는 하중을 상당히 감소시킬 수 있을 것으로 분석된다.

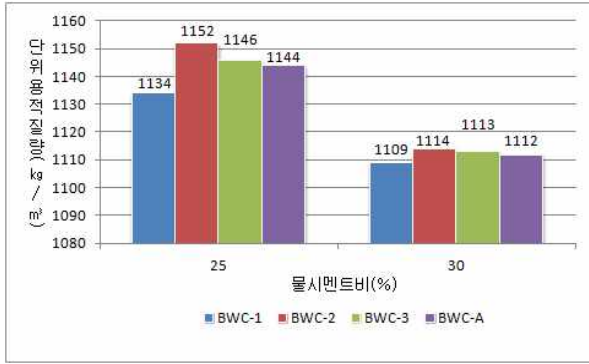


그림 4. 바텀애쉬 블록의 단위용적질량

4.3 기건비중

바텀애쉬 식생블록의 기건비중은 물시멘트비 25%일 때 아래 그림 5와 같이 평균값인 BWC-A는 1.14, 물시멘트비 30%일 때 1.11으로 비중 1.1의 나일론과 비슷한 수준으로 아주 경량한 블록이라는 것을 알 수 있다. 물시멘트비에 따른 블록의 비중차이는 0.03으로 미미한 것으로 나타났다.

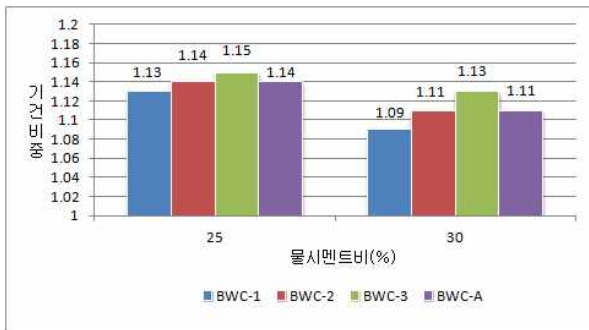


그림 5. 바텀애쉬 블록의 기건비중

4.4 공극률

식물재배에 적합한 토양의 공극률은 40~60%이지만 공극률이 클 경우 블록의 강도가 떨어진다는 단점이 있다. 선행되어진 연구들을 통하여 식재용 블록의 경우 20~40%정도의 공극률을 가지는 경우 식물의 성장에 별다른 무리가 없다는 것이 알려졌다. 바텀애쉬를 사용한 블록의 경우 물시멘트비 25%의 경우 연속공극률은 35.4%, 전공극률은 39.3%이고, 물시멘트비 30%일 때의 연속공극률은 31.1%이고 전공극률은 34.1%이다. 연속공극률보다 전공극률이 3~4% 정도 높은 값을 가지며 배합시물의 양을 줄였을 경우 공극률이 조금 더 낮게 나타난다는 것을 알 수 있었으나 그 차이가 미미하며 두 블록 모두 식물의 성장에 적절한 공극률을 가지는 것을 그림 6에 의해 확인 할 수 있다.

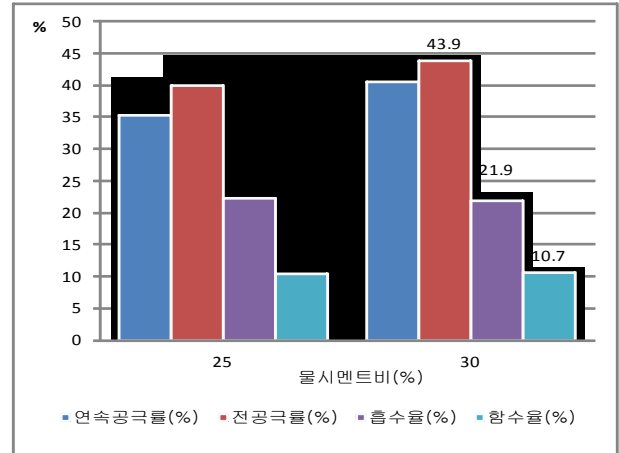


그림 6. 바텀애쉬 블록의 연속공극률, 전공극률, 흡수율, 함수율

4.5 흡수율 및 함수율

바텀애쉬 블록의 흡수율은 물시멘트비 25% 일 때 22.3%, 30% 일 때 10.7%로 배합 시 물의 양에 따른 큰 차이는 보이지 않는다. 흡수율은 블록이 물을 흡수하는 정도로 흡수율이 높을수록 식물의 수분공급이 원활할 것으로 예상되나, 너무 높을 경우 식물의 뿌리가 부식하거나 겨울철에 블록이 동파할 가능성이 높기 때문에 적절한 흡수율이 요구되어진다고 판단된다.

함수율은 바텀애쉬 블록의 물시멘트비가 25%의 경우 43.9%, 30%의 경우 21.9%로 흡수율 보다 약 10% 정도 낮은 값을 가졌으며 블록의 공극률이 높을수록 함수율도 높게 나타났다.

4.6 압축강도

식재용 콘크리트블록은 큰 하중이 가해지지 않기 때문에 압축강도의 기준이 따로 정해져 있지는 않다. 하지만 관목류의 식물을 식재할 경우 뿌리가 블록을 파괴할 가능성이 있고, 또한 기후변화에 영향을 많이 받는 옥상층에 설치되기 때문에 블록의 내구성을 위하여 일정 수준의 압축강도가 필요할 것으로 판단되어진다. 물시멘트비 25%의 바텀애쉬블록의 압축강도는 3.038MPa이고, 물시멘트비 30%의 블록의 경우는 1.666MPa으로 배합시물의 양이 감소할수록 압축강도가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 그림 7, 8에서 보는 것과 같이 7일 압축강도와 28일 압축강도를 비교해 보았을 때, 압축강도가 약 2배 정도 증가하여 재령기간이 길어질수록 압축강도가 증가하는 것을 알 수 있다.

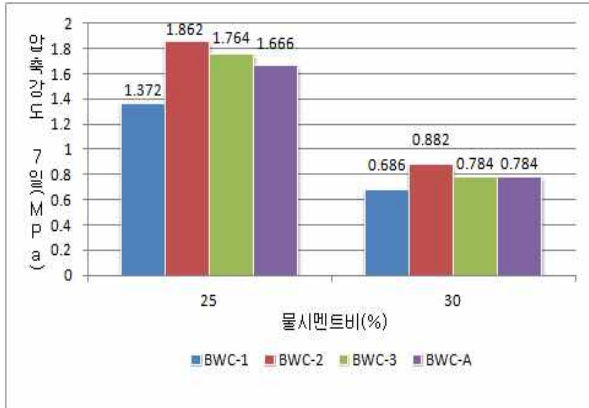


그림 7. 바텀애쉬 블록의 압축강도 (7일)

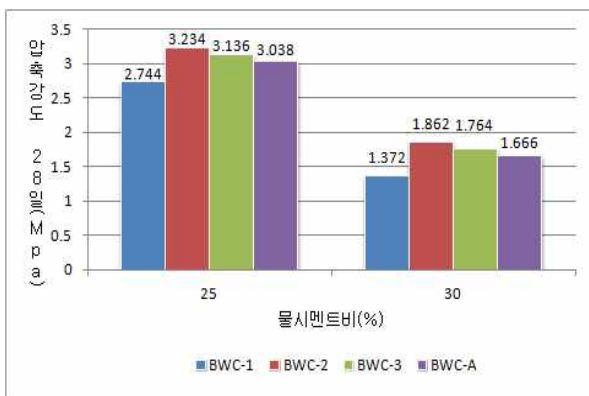


그림 8. 바텀애쉬 블록의 압축강도 (28일)

5. 결론

본 연구는 매립되어지고 있는 폐기물 중 하나인 바텀 애쉬를 식생블록으로 활용하기 위한 최적 배합비에 관한 연구로서, 바텀애쉬 블록의 특성들을 분석하고 그 분석을 통해 옥상녹화 및 벽면녹화 등에 적용 가능한 것으로 나타났으며 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

1) 바텀애쉬를 식생블록으로 활용하기 위한 특성으로서 직경 1~5cm의 굵은 입자를 형성하고, 함수율 31.55wt%로 별도의 건조처리 없이 재활용이 가능하다고 판단되며, 석탄회성분의 반을 차지하고 있고 물과 접촉하면 미량의 SiO₂가 용출하며 CaO와 수화하여 표면에 수화물을 형성한다. 일반적으로 발전소 회중의 SiO₂ 비율은 Cement 원료인 점토와 비슷하다.

2) 바텀애쉬를 이용한 식생블록에 관한 연구는 전무하여 본 배합비를 설정하기 전 배합비 예비실험을 통해 바텀애쉬 입자를 8mesh와 4mesh의 입자를 1:3으로 혼합하고, 시멘트와의 질량비 1:3, 물시멘트비는 25%로 하여 특성 분석한 결과 단위용적질량 1,144kg/m³, 기건비중 1.14, 함수율 22.3%, 함수율 10.5%, 연속공극률 35.4%, 전 공극률 39.9%, 압축강도 7일 1.666Mpa, 28일 3.038Mpa의 결과를 도출해 내었다.

3) 옥상에서 사용이 가능한 경량블록을 제조하기 위한 배합비는 Slag Cement 24%, CSA Cement 2%, Anhydrate 1.5%, Polycarboxlate power 0.2%, Litium Carbonate 0.1%, 바텀애쉬 72.2%로 하여 배합한 시험체의 결과 바텀애쉬 입자 5~10cm의 결과는 압축강도 5.5272 MPa, 건비중 1.14, 공극률 35.1%, 함수율 23.4%의 결과를 도출해 내었다.

본 연구에서와 같이 바텀애쉬를 활용하여 옥상녹화 및 벽면녹화를 하는데 있어 폐기물로 분류되는 바텀애쉬를 사용하여 경량식생블록 제조가 가능하리라 판단된다. 이러한 경량식생블록을 제조하여 제조단가 및 공정개선을 통한 가격경쟁력을 높이고, 품질의 우수성 및 공법개선이 가능한 도심지 녹화용 블록의 관련기술을 획득할 수 있을 것이라 여겨진다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 첨단도시개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 정상화 외, 저희의 성토재료 활용성에 대한 실험적 연구, 한국 건설순환자원학회지 제5권 제4호, 2010. 12 pp.89-98.
2. 재활용 재료를 사용한 친환경 식생블록의 기초특성에 관한 연구, 한국건설순환자원학회 학술발표 논문집, v.10 n.1, 2010-05, pp93~96.
3. 건축물 옥상녹화의 건축계획 특성 및 개선방안에 관한 연구, 정미숙 ; 오덕성 - 대한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집 : n.2005 v.01, 2005. 11
4. 한국과 중국의 옥상녹화 제도 비교연구, 조홍하(Zhao, Hong-Xia) ; 강태호 - 한국조경학회, 2011. 08
5. 공동주택의 옥상텃밭을 적용한 옥상녹화 활성화 방안 에 관한 연구, 이정민 ; 한동훈 ; 함계범 ; 신경호 ; 김창덕 - 전국 대학 생 학술발표대회 논문집, 2011. 11

투고(접수)일자: 2012년 4월 4일
수정일자: 2012년 4월 24일
게재확정일자: 2012년 4월 26일