제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "혁신적인 식생소재 개발을 통한 녹지공간조성 신기술 개발에 관한 연구"과제의 보고서로 제출합니다.

2014 . 12 .

주관연구기관명 : 한국국제대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 한국국제대학교 김 진 관
연구원 : 한국국제대학교 송 민 규
" : 한국국제대학교 강 동 익
" : 한국국제대학교 김 혜 림
협동연구기관명 : 부산대학교 산학협력단
협동연구책임자 : 부산대학교 안 영 철
" : 부산대학교 오 재 훈
" : 부산대학교 김 시 은

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11첨단도시
C12</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td colspan="2">2011.09.30.
~2014.09.29</td><td>단 계 구 분</td><td>최종보고</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="6">첨단도시개발사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최상위
과제명</td><td colspan="5">혁신적인 식생소재 개발을 통한
녹지공간조성 신기술 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>김 진 관</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 17명
내부 : 7명
외부 : 10명</td><td>총연구비</td><td>정부 :
380,000천원
기업 :
394,000천원
계 :
774,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">(주관)한국국제대학교
산학협력단
(공동) 부산대학교
산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주)유탑엔지니어링/
태영조경/주영STS</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="5">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>202page</td></tr>
<tr><td colspan="7">- 산업폐기물인 바텀 애쉬(Bottom Ash)를 활용한 혁신적인 친환경 식생소재 개발
◦ 국내외 식생소재의 기본 물성 분석
◦ 소재구성 및 보양재 조건을 고려한 최적의 배합설계 도출
◦ 식생소재의 제조기술 및 공정개발
- 국내환경을 고려한 식생소재 제품의 적층구조시스템 개발
◦ 자생식물 재배 및 육성 토양의 토심계획
◦ 식생층에 적합한 육성 토양층구조 설계
◦ 자생식물육성을 위한 적층구조시스템 개발
- 제품의 실용화를 위한 최적의 생산 및 시공 표준모델 개발
◦ 제품생산의 공정기법과 평면별 표준모델 개발
◦ 활용모델 실용화를 위한 배수층 및 방수층 설계
◦ 신개념 녹지공간 조성의 시스템 설계 및 시공 매뉴얼 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="5">식생소재, 녹화, 친환경, 바텀애쉬, 경량블록</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="5">vegetation material, planting system,eco-friendly,
Bottom Ash, Light-weight Block</td></tr>
</table>

요약문

Ⅰ. 제목

혁신적인 식생소재 개발을 통한 녹지공간조성 신기술 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요(목적, 필요성, 범위 등을 기술)

본 연구에서는 산업폐기물인 바텀 애쉬(Bottom Ash)를 사용하여 현재의 식생소재들의 여러 문제점들을 보완하는 획기적인 식생 블록을 개발함으로써 기존의 녹지 조성 및 옥상 조경을 위해 사용되어지던 수입산 경량 토양을 대체할 수 있는 친환경 소재 발굴 및 이를 통한 혁신적인 녹지조성 시스템을 개발하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

본 연구의 구체적인 연구내용은 아래와 같다.

- 산업폐기물인 바텀 애쉬(Bottom Ash)를 활용한 혁신적인 친환경 식생기반소재 개발
  - 국내외 식생기반소재의 기본 물성 분석
  - 소재구성 및 보양재 조건을 고려한 최적의 배합설계 도출
  - 식생기반소재의 제조기술 및 공정개발
- 국내환경을 고려한 식생기반소재 제품의 적층구조시스템 개발
  - 자생식물 재배 및 육성 토양의 토심계획
  - 식생층에 적합한 육성 토양층구조 설계
  - 자생식물육성을 위한 적층구조시스템 개발
- 제품의 실용화를 위한 최적의 생산 및 시공 표준모델 개발
  - 제품생산의 공정기법과 평면별 표준모델 개발
  - 신개념 녹지공간 조성의 시스템 설계 및 시공 매뉴얼 개발

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

- 연구개발을 통하여 2건의 국내학술발표와 2건의 해외학술발표, 4건의 국내논문 등재와, 1건의 sci논문 투고, 1건의 특허출원의 결과를 이루었다.
- 개발소재의 효과를 검증하기 위하여, 건물옥상 시제품설치를 통하여 식물의 생육상태, 유지관리 및 하자보수의 용의성 등을 검증하였다.
- 지속적으로 소재의 대량생산 및 시공을 할 수 있는 곳을 협의하여 실제 옥상녹화 현장에 개발된 소재와 공법을 제안 중에 있다.

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

주로 외국에 의존하고 있는 식생기반소재를 산업폐기물인 바텀애쉬(Bottom Ash)를 활용하여 국내기술로 개발하고 이를 다양한 녹지공간 조성을 위한 시스템으로 적용 가능하도록 함으로 공사원가 및 유지관리의 효율성등을 극대화할 수 있다.

경제적 기대효과는 부가가치 창출 및 온실가스 감축효과 (496억원), 폐기물처리비 절감비용(8,573억원), 원유대체 효과(4,304억원) 등을 포함한 수치로 10% 가량의 급성장을 기대할 수 있다. 또한 산업폐기물 에너지화에 따른 화석연료 사용 감소로 인한 온실가스 절감효과를 기대할 수 있다.

Ⅵ. 연구성과 활용계획

본 연구개발의 결과물로 기대되는 식생블록은 옥상 녹화는 물론이고 진흙 또는 뻘 지대의 잔디 및 녹화가 가능하며, 최근 문제가 되고 있는 학교 잔디 운동장의 편리한 유지보수관리가 이루어 질것으로 기대된다.

또한, 본 과제의 참여기업이 주도적으로 사업화를 진행함으로써 선진기술을 바탕으로 매출 증대 및 고용창출과 새로운 건설시장개척을 이루어 낼 것으로 판단되며, 향후 녹색성장 시장의 발전에 초석이 될 것으로 기대된다.

SUMMARY

This study shows that a kind of rejected material what is called as Bottom Ash was used as a new vegetation block. Meanwhile it is able to solve lots of problems what are caused by the present vegetation material. Moreover it also can replace the lightweight soil which was imported from foreign nations ago and this vegetation block is quite environmentally friendly. Therefore, the purpose of this research is to find a revolutionary green space making system.

The specific study contents as shown blew

- Development of revolutionary and environmentally friendly vegetation material by using the rejected material(Bottom Ash)
  - Analysis of the domestic and foreign vegetation material's basic characteristic
  - The best mixing design was proposed in consideration of the conditions of material constitution and nutritional agents
  - Manufacturing technology and working operation development of vegetation material
- Development of lamella construction system of vegetation material product in consideration of domestic environment
  - Planting of volunteer vegetation and plan of soil's depth
  - Design of appropriate plant soil structure for vegetation layer
  - Development of lamella construction system for volunteer vegetation rearing
- Development of the most appropriate production and construction standard model for practicality of products
  - Development of product's production technology and plane standard model
  - Design of drainage layer and waterproof layer for practicability of model
  - System Design of new concept green space constitution and construction manual development

Development of Eco-friendly Planting System Using Vegetation Material

2 domestic academic publication, 2 foreign academic publication, 4 domestic papers publishment, 1 SCI papers contribution and 1 result of application for a patent were be realized through research development.

In order to check the effect of development materia, propagation case, maintain management and ease of flaw reparation of vegetation was checked by the pre-industrial prototype installation of building roof.

Massive production of material and discussion of a place where is suit for construction, development of real roof greening construction site and technology was proposed.

By developing the cycle utilization of the rejected material(Bottom Ash) for various green space constitution, we are able to be expected to maximize the efficiency of systematical appliance, construction cost and maintain management.

Economical effect is that the creation of added value and the reduction of green-house gas(49.6 billion). The cost saving of treatment cost of waste material is (857.3 billion) and replacement effect of crude oil is (430.4 billion) and there is also a high speed increase by about 10%. In addition, green-house gas can be reduced because of the cycle utilization of waste material of industry.

The result of this study is that vegetation block can be used for not only roof greening but the clay zone greening. The recent problem of the guarantee repair of sports ground grassland on campus could be easily solved as well.

In addition, the participant companies of this research practiced industrialization and sale enlargement and employment creation all have been come true and a new construction market was developed on the foundation of advanced technology.

CONTENTS

Chapter 1. Abstract of Research Development Subject ·····1

Section 1. Background and Necessity of Research Development ····· 1

Section 2. Purpose and Assumption Basis of Research Development ····· 8

Section 3. Situation of Domestic and Foreign Technology Development of Relevant Field ····· 15

Section 4. Advantage of Research Development Result ····· 21

Chapter Two. Practice Contents and Results of Research Development ·····23

Section 1. Research Practice Strategy and Methodology ····· 23

Section 2. Research Practice Process and Contents ····· 30

Section 3. Research Practice Result ····· 89

Chapter Three. Final Research Result and Application Situation ·····135

Section 1. Instruction of Final Research Result ····· 135

Section 2. The Main Research Result ····· 140

Chapter Four Research Purpose Completion and Effect ·····151

Section 1. Completion Degree of Final Purpose of Research Development ····· 151

Section 2. Effect Analysis of Research Development Result ····· 154

Chapter Five. Plan of Application of Research Result ·····161

Section 1. Application Plan of Research Result ····· 161

목 차

제1장 연구개발과제 개요 ·····1

제1절 연구개발의 배경 및 필요성 ····· 3

제2절 연구개발의 목표 및 설정근거 ····· 10

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 17

제4절 연구개발결과의 우수성 ····· 23

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ·····25

제1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 27

제2절 연구수행과정 및 내용 ····· 34

제3절 연구수행결과 ····· 93

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ·····139

제1절 최종 연구성과 설명 ····· 141

제2절 주요연구성과 ····· 146

제4장 연구목표 달성 및 효과 ·····157

제1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 159

제2절 연구개발 성과의 효과분석 ····· 162

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ·····169

제1절 연구성과의 활용방안 ····· 171

참고문헌 ·····177

부 록 ·····181

표 목 차

[표 1.1] 국내 폐기물 처리 현황 (환경부) ····· 5
[표 1.2] 각 분야별 폐기물 활용 현황 ····· 7
[표 1.3] 각 분야별 폐기물 처리현황 ····· 7
[표 1.4] 연차별 연구목표 및 주요내용 ····· 12
[표 1.5] 연구의 목표 및 설정근거 ····· 15
[표 1.6] 연구결과의 성과지표 및 측정방법 ····· 16
[표 1.7] 국내의 관련 연구개발 실태 ····· 17
[표 1.8] 국내의 관련 연구개발 실태(계속) ····· 18
[표 1.9] 국내외 특허 동향 ····· 21
[표 1.10] 국내외 특허 동향(계속) ····· 22
[표 2.1] 연차별 연구내용 및 방법 ····· 33
[표 2.2] 옥상녹화의 유형구분 ····· 35
[표 2.3] 콘크리트에서 식물이 생육하기 위한 문제점 및 해결방법 ····· 42
[표 2.4] 기존 공법과의 비교분석 ····· 44
[표 2.5] S화력 석탄회 매립지 바텀애쉬의 입도 분석 결과 ····· 49
[표 2.6] 바텀애쉬의 물리적 특성 ····· 49
[표 2.7] XRF 분석결과 ····· 50
[표 2.8] 염화물 분석 결과 ····· 51
[표 2.9] 시멘트의 물리적 특성 ····· 51
[표 2.10] 예비실험 배합계획표 ····· 52
[표 2.11] Bottom Ash블록의 물리적·역학적 특성 ····· 57
[표 2.12] 바텀애쉬 비중 실험 결과 ····· 64
[표 2.13] 바텀애쉬 흡수량 실험 결과 ····· 64
[표 2.14] 바텀애쉬의 물리적 특성 ····· 65
[표 2.15] 바텀애쉬 입도별 배합시 첨가량 ····· 66
[표 2.16] 바텀애쉬 배합 계획표 ····· 67
[표 2.17] Bottom Ash블록의 물리적·역학적 특성 ····· 68
[표 2.18] 퍼라이트의 물리적 특성 ····· 75
[표 2.19] 바텀애쉬블록, 퍼라이트블록, 일반토양의 물리적 특성 ····· 76
[표 2.20] 식생블록의 경시변화 실험결과표 ····· 82
[표 2.21] 식생블록의 흡수량 경시변화 실험결과 ····· 85
[표 2.22] 실험에 사용된 식재의 종류 및 특성 ····· 90
[표 2.23] 옥상조경 및 인공지반의 식재토심 ····· 91
[표 2.24] 인공토양별 특징 비교 ····· 100
[표 2.25] 토심의 두께에 따른 뿌리내림 결과 ····· 101
[표 2.26] B.A블록을 이용한 옥상녹화 수질검사 성적서 ····· 104
[표 2.31] 바텀애쉬 배합 계획표 ····· 126
[표 2.32] B.A결량 식생블록의 물리적·역학적 특성 ····· 129
[표 3.1] 토양의 상태별 중량 ····· 149

[표 4.1] 기존 공법과 본 공법의 공사비 비교 ····· 163
[표 4.2] 기존 인공토양 대비 본 식생블록의 경제성 검토 ····· 164
[표 4.3] 옥상녹화를 통한 경제적 효과 ····· 165
[표 4.4] 옥상녹화를 통한 사회적 효과 ····· 166
[표 4.5] 옥상녹화를 통한 환경적 효과 ····· 166
[표 4.6] 옥상녹화의 효과 ····· 167

그 림 목 차

[그림 1.2] 연구의 목표 및 기대효과 ····· 10
[그림 1.3] 연구의 기술개발 세부목표 ····· 11
[그림 1.4] 혁신적인 식생기반소재개발에 대한 SWOT 분석 ····· 24
[그림 2.1] 옥상구축물의 고정 ····· 39
[그림 2.2] 식재용 콘크리트의 구성 ····· 42
[그림 2.3] 식재용 재생콘크리트 블록의 제작과정 ····· 42
[그림 2.4] 기존 옥상녹화공법의 개념도 ····· 43
[그림 2.5] 신공법의 개념도 ····· 43
[그림 2.6] 기존건물에 적용하는 경우 ····· 44
[그림 2.7] 신축건물에 적용하는 경우 ····· 44
[그림 2.8] 바텀애쉬 SEM 분석(×500) ····· 48
[그림 2.9] 바텀애쉬 SEM 분석(×5000) ····· 48
[그림 2.10] 표면막힘이 발생한 공시체 ····· 53
[그림 2.11] 깨짐현상이 발생한 공시체 ····· 53
[그림 2.12] 식재용 콘크리트 블록 ····· 54
[그림 2.13] 압축강도 시험기 ····· 56
[그림 2.14] 단위용적질량에 대한 주효과도 및 교호작용도 ····· 58
[그림 2.15] 기건비중에 대한 주효과도 및 교호작용도 ····· 58
[그림 2.16] 압축강도에 대한 주효과도 및 교호작용도 ····· 59
[그림 2.17] 공극률에 대한 주효과도 및 교호작용도 ····· 59
[그림 2.18] 흡수율에 대한 주효과도 및 교호작용도 ····· 60
[그림 2.19] 함수율에 대한 주효과도 및 교호작용도 ····· 60
[그림 2.20] 원뿔형 몰드 및 다짐봉 ····· 61
[그림 2.21] 플라스크 ····· 61
[그림 2.22] 바텀에쉬 비중 실험 ····· 62
[그림 2.23] 바텀애쉬 입도별 구분 ····· 65
[그림 2.24] 바텀애쉬 채가름 시험 ····· 65
[그림 2.25] w/c비 선정 과정 ····· 66
[그림 2.26] 배합된 시험체 및 배합재료 ····· 67
[그림 2.27] C/B.A 비에 따른 단위용적질량 변화 ····· 68
[그림 2.28] 바텀애쉬 블록 압축강도 측정 ····· 69
[그림 2.29] C/B.A 비에 따른 압축강도(3일) 변화 ····· 70
[그림 2.30] C/B.A 비에 따른 압축강도(7일) 변화 ····· 70
[그림 2.31] C/B.A 비에 따른 압축강도(28일) 변화 ····· 71
[그림 2.32] 바텀애쉬 블록 흡수율 측정 ····· 72
[그림 2.33] C/B.A 비에 따른 흡수율 변화 ····· 72
[그림 2.34] C/B.A 비에 따른 함수율 변화 ····· 73
[그림 2.35] C/B.A 비에 따른 공극률 변화 ····· 74

[그림 2.36] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 단위용적 질량 ····· 76
[그림 2.37] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 기건비중 ····· 77
[그림 2.38] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 공극률 ····· 77
[그림 2.39] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 흡수율 ····· 78
[그림 5.33] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 함수율 ····· 78
[그림 2.40] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 압축강도 ····· 79
[그림 2.41] 간이 온실 설치 ····· 80
[그림 2.42] 식재용 콘크리트블록 잔디 식재 ····· 80
[그림 2.43] 퍼라이트블록의 잔디뿌리 내림 ····· 80
[그림 2.44] 바텀애쉬블록의 잔디뿌리 내림 ····· 80
[그림 2.45] 바텀애쉬블록(좌)과 퍼라이트블록(우)의 잔뿌리 비교 ····· 81
[그림 2.46] 경량블록 물 투과 실험 ····· 82
[그림 2.47] 실험프로세스 및 투수량 경시변화 ····· 82
[그림 2.48] 활착형 블록과 생장형 블록의 투과량 및 흡수량 비교 ····· 83
[그림 2.49] B.A를 골재로한 경량식생블록 ····· 89
[그림 2.50] 기존옥상녹화 공법과 경량식생블록 옥상녹화 공법 비교 ····· 89
[그림 2.51] 텃밭적용 실험 사진 ····· 91
[그림 2.52] 토양두께별 적용 실험(1～5cm) ····· 92
[그림 2.53] B.A입자별 적용 실험 ····· 92
[그림 2.54] 화분형 경량블록 ····· 93
[그림 2.55] 단순형 경량블록 ····· 94
[그림 2.56] 한국형 야생화 종류 ····· 94
[그림 2.57] 표면강화형 이중경량블록 ····· 95
[그림 2.58] 본 연구개발에서 도출된 바텀애쉬 식생블록의 모식도 ····· 96
[그림 2.59] 두 가지 타입의 식생블록 모델 설계 및 제작된 금형 사진 ····· 97
[그림 2.60] 식생블록 모델별 사진 ····· 98
[그림 2.61] 식생블록 모델별 식재 사진 ····· 99
[그림 2.62] 바텀애쉬블록의 잔디뿌리 내림 ····· 101
[그림 2.63] 텃밭적용 실험 결과 ····· 102
[그림 2.64] 옥상녹화에 따른 온도변화 실험 사진 ····· 107
[그림 2.67] 채가름공정 및 선별된 바텀애쉬 ····· 125
[그림 2.68] 2Type으로 설계된 블록금형과 제작된 블록 ····· 127
[그림 2.69] 양생완료 후 식재를 한 블록 모습 ····· 128
[그림 3.1] 옥상조경 조립화 시스템 적용 사진 ····· 147
[그림 3.2] 식생블록 식재 사진 ····· 148
[그림 4.1] 기존 옥상녹화공법의 문제점 ····· 162
[그림 4.2] Bottom-Ash 매립지 및 선별기기 사진 ····· 174
[그림 4.3] 참여기업의 옥상조경 실시 설계도 ····· 175

제1장

연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 배경 및 필요성

1. 연구개발의 배경

- 급속하고 과밀한 도시화의 결과로 도시의 생태적 문제가 악화되고 있으며 이에 도시 내 동식물 서식공간의 감소 및 오염, 그리고 생물종의 감소로 인한 생태계의 안정과 균형이 파괴되어 복원력과 자생력이 상실되는 결과로 이어짐.

- 도시의 생태적 문제를 야기, 악화시키는 근본적 원인은 녹지공간의 감소라고 할 수 있는데, 녹지가 부족한 도시에서 대부분의 토지를 차지하고 있는 건축물 혹은 토목구조물 등을 녹지공간으로 활용하고자 하는 시도 및 노력이 늘어나고 있음.

- 이중 하나의 방법으로 활용되고 있는 인공지반은 주택이나 빌딩과 같은 개념으로 인간에 의해 조성되어진 공간으로써, 자연 상태의 녹지와 마찬가지로 주변의 동·식물이 서식할 수 있는 공간을 제공함.

  - 이러한 인공지반은 건물 옥상에 떨어지는 우수를 저장, 유출시간을 지연시켜 도시홍수의 예방책이 되며, 건축물의 냉·난방 에너지 소비를 절감시킴과 동시에 옥상부분의 축열 현상을 감소시켜 도시 열섬현상을 크게 완화 시킬 수 있음.
  - 또한 일반적으로 알려진 대기정화, 산소발생, 소음경량 등의 효과를 얻을 수 있음.

- 이에 따라 도심지 녹지 조성 및 옥상 녹지 조성에 대한 관심이 높아지고 있으며 이미 유럽을 비롯한 선진국에서는 많은 연구와 더불어 실용화되어 녹지 조성에 이용되고 있음.

- 우리나라에서도 많은 연구와 개발이 진행 되어왔지만, 기존의 녹지조성을 위해 절대적으로 수입에 의존하고 있는 경량 토양을 사용하고 있는 실정임.

  - 일부 사용되고 있는 다공성 블록으로 개발된 제품들은 재료의 조합상 불연속 다수층의 공극은 존재하지만, 불규칙한 공극구조가 아닌 연속공극으로 이루어져 수분의 함습율이 낮아 식물성장에 치명적인 악영향을 미치는 요인으로 작용하고 있어, 이를 보완하는 추가비용이 발생되는 단점을 지니고 있음.
  - 또한, 기존에 개발된 연구결과들은 제품의 중량, 내구연한의 연장, 건축물의 시공업무분장(옥상공사용 시공업체와 조경업체와의 업무영역의 구분으로 인해 결함발생시 책임소재 불명확 등) 등의 다양한 문제점을 해결하지 못하고 있음.

- 산업통계에 따르면, 국내 산업폐기물 중에서 석탄회 발생량은 최근 전력 수요량의 증가로 인해 꾸준히 증가하고 있으며, 2000년대 이후 국내에서 연간 발생되는 석탄회는 약

500만톤 이상임

- 특히, 무연탄 발전소의 용량이 유연탄 발전소의 용량에 비해 월등히 적음에도 불구하고 석탄회 발생량이 유사하며, 이는 무연탄 화력발전소의 석탄회 발생량이 석탄 사용량의 50%인데 비해 유연탄 발전소의 석탄회는 석탄 사용량의 15%정도이기 때문임

▪ 이에 본 연구에서는 산업폐기물인 석탄회의 일종인 바텀애쉬(Bottom Ash, 이하 바텀애쉬)를 재활용하여 상기와 같은 문제점을 획기적으로 보완할 수 있는 식생블록을 개발함으로써 기존의 녹지 조성 및 옥상조경을 위해 사용되어지던 수입산 경량 토양을 대체할 수 있는 친환경 제품 및 이를 통한 혁신적인 녹지조성 시스템을 개발하고자 함.

- 식생기반소재의 필수요건인 경량화 및 함습율을 높이고, 식물뿌리의 활착율을 높이기 위한 보완대책을 연구하고 내구성 향상을 위한 신소재 제품을 제안

2. 연구개발의 필요성

- 기존의 도심지 녹지공간 조성을 위해 사용되어지는 경량 토양의 경우 수입을 해야 하는 부담 및 연속공극으로 인한 수분이 일시에 빠져 나가 자체 포습력이 떨어지며, 동절기 동파의 우려가 큰 문제점들을 가지고 있음.
- 본 연구는 현재 사용되는 경량 토양의 문제점을 보완하고 현재 문제시 되고 있는 산업폐기물인 바텀애쉬를 원재료로 응용한 새로운 식생기반소재를 개발하고자 함.

(1) 재활용 및 친환경적 건자재 개발에 대한 현실적 수요 증가

- 국내 건축물에 사용된 건자재는 시멘트 및 콘크리트 관련제품으로 내화성 및 내구성은 뛰어나지만, 화학적 독성을 지니고 있어 인체에 미치는 악영향이 대두되고 있고, 이에 대한 대응책으로 도시환경개선을 고려한 보다 환경적인 소재개발에 대한 요구가 증가하고 있음.

- 대표적 사례로 대동 황토방 아파트 개발, 옥장판, 결로 방지용 페인트 등 건강 및 기능성 건자재 개발이 진행되고 있는 실정임.

- 또한, 환경부에서 제시한 건설폐기물에 대한 처리실태를 살펴보면, 2001년도 재활용은 85%를 점유하고 있어, 향후 건설폐기물 재활용 촉진에 대한 법률에 의거 그 범위가 계속 확대될 것으로 판단되어짐.

[표 1.1] 국내 폐기물 처리 현황 (환경부)

구 분 / 연도별	계(A)	매 립 (B)		소 각 (C)		재활용 (D)	
			B/A(%)		C/A(%)		D/A(%)
1996	28,425	10,988	38.7	848	3.0	16,589	58.4
1997	47,777	9,747	20.4	1,457	3.0	36,573	76.5
1998	47,693	7,112	14.9	1,007	2.1	39,574	83.0
1999	62,221	10,600	17.0	1,278	2.1	50,343	80.9
2000	78,777	10,021	12.7	2,071	2.6	66,685	84.7
2001	**108,520**	**12,943**	**11.9**	**2,424**	**2.2**	**93,153**	**85.9**

(2) 국내 발생 석탄회의 재활용 필요

▪ 화력발전소 부산물은 크게 플라이애쉬와 바텀애쉬로 구분할 수 있는데, 바텀애쉬의 대부분은 매립하고 있음

- 국내 화력발전에 의한 전기에너지의 생산이 전체 공급량의 일정비율을 지속적으로 담당하고 있으며, 전체 전기에너지 사용량이 경제 발전에 따라 자연히 증가함으로 석탄의 사용량 증가에 따른 석탄회의 발생량 역시 지속적으로 증가할 것임

▪ 국내 석탄회 재활용은 1995년까지도 재활용율이 20%를 밑도는 수준을 나타냈으나, 최근에는 선진국 수준인 54.6% 까지 증가 하였음.

- 정부에서는 산업부산물의 재활용을 촉진하고자 1993년부터 "철강슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용지침"을 제정, 용도별 규격에 따른 재활용법, 재활용계획의 수립, 재활용 목표율을 규정하여 매년 재활용 목표율을 설정·운영하면서 플라이애쉬(Fly Ash) 재활용에 앞장서고 있음

▪ 국내에서는 다년간의 연구결과와 규격제정을 통해 재활용이 되고 있는 석탄회는 플라이애시에 한정되어 있음.

- 석탄회의 경우 수요자의 부정적 인식은 물론 활용기반을 위한 기초연구의 필요성이 제대로 인식되어 있지 않아 관련기술자료 및 기술적 노하우가 전무한 상태이며, 관련법규 등의 제재 등으로 인해 석탄회의 활용에는 한계가 있음.

▪ 석탄회의 활용을 증대시키기 위해서는 매립지의 현황 파악을 통한 보다 체계적이고 실증적인 자료의 확보와 이를 토대로한 기술 개발과 관련규격의 제·개정을 통해 수요자의 신뢰를 도모하고 분야별 전문가들의 협의체를 구성하여 지속적이고 종합적인 관리시스템이 필요함.

(3) 기존 재활용 소재개발에 관한 기술의 한계성 극복

▪ 국내의 경우, 아래의 표에서와 같이 기존 재활용 소재를 통한 제품화가 초보적인 기술수준에 머물러 있고, 1차적인 제품개발에만 치중하는 기술적 한계성을 보이고 있음.

- 또한, 제조업체 및 현장여건의 비 현실화로 기술 개발의 한계성을 나타내고 있음.

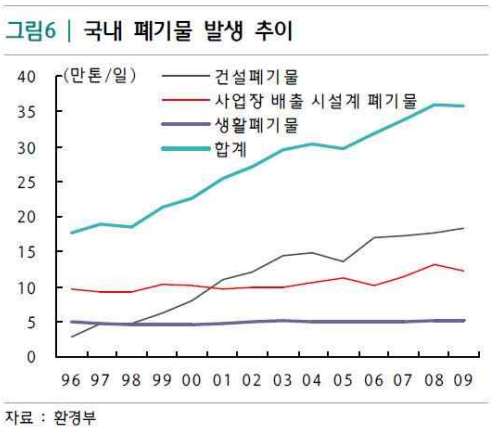
[표 1.2] 각 분야별 폐기물 활용 현황

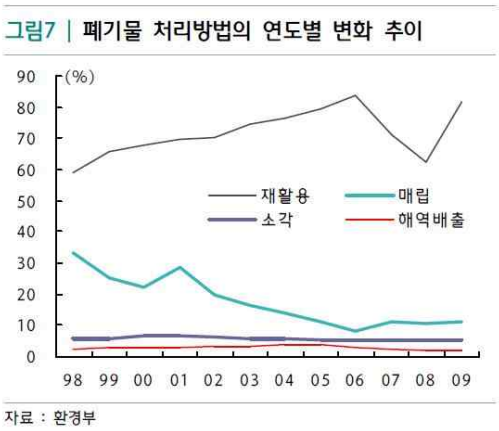
(단위 : 톤/일)

	96년	97년	98년	99년	2000년
생활폐기물	49,925	47,895	44,583	45,614	46,438
사업장일반폐기물	96,984	93,528	92,713	103,893	101,453
건설폐기물	28,425	47,777	47,693	62,221	78,777
지정폐기물	5,239	6,075	5,265	7,489	7,553

[표 1.3] 각 분야별 폐기물 처리현황

	재활용	소각	매립	해양투기	기타
일반폐기물	66%	8%	19%	7%	-
건설폐기물	85%	2%	13%	-	-
지정폐기물	50%	22%	12%	7%	9%
생활폐기물	41%	12%	47%	-	-





(4) 차별화된 옥상용 녹화 제품 및 기술 개발의 전문성 필요

▪ 도심지 및 녹지 조성에 효과적인 식생기반소재를 개발하고 이를 녹지공간 조성을 위한 시스템으로 적용하고자 함.

- 이는 기존 옥상녹화 기술을 수정·보완한 단편적인 녹화수법이 아닌 방음효과 및 단열효과, 그리고 생태적 서식공간기능, 시각적 안정화 기능, 도시전체 미관의 향상 기능을 모두 겸비한 총체적 실용화 기술로서의 개발을 말함.

▪ 옥상식재용 소재로 활용하기 위해서는 식물뿌리의 활착과 생장을 위한 충분한 함수율

확보 및 배수에 대한 고려 못지 않게 경량화를 통한 건물 하중부담의 최소화가 필요함

- 본 연구에서 사용하고자 하는 바텀애쉬는 입자가 0.1~100m까지 분포되어 있으며, 비중도 입자크기, 입형, 내부공극상태에 따라 매우 차이가 남
- 따라서, 기존에 수입되는 경량토양의 비중 0.4~0.8 범위를 맞추기 위해 바텀애쉬의 입자선별과 미연탄소분에 대한 처리방안이 간구되어야 함
- 다시말해, 시제작품 개발전 단계에 입자선별법 개발을 통한 경량화 방안을 체계화하고 토양층 두께를 최소화한 식생가능한 경량시스템 연구가 필요함



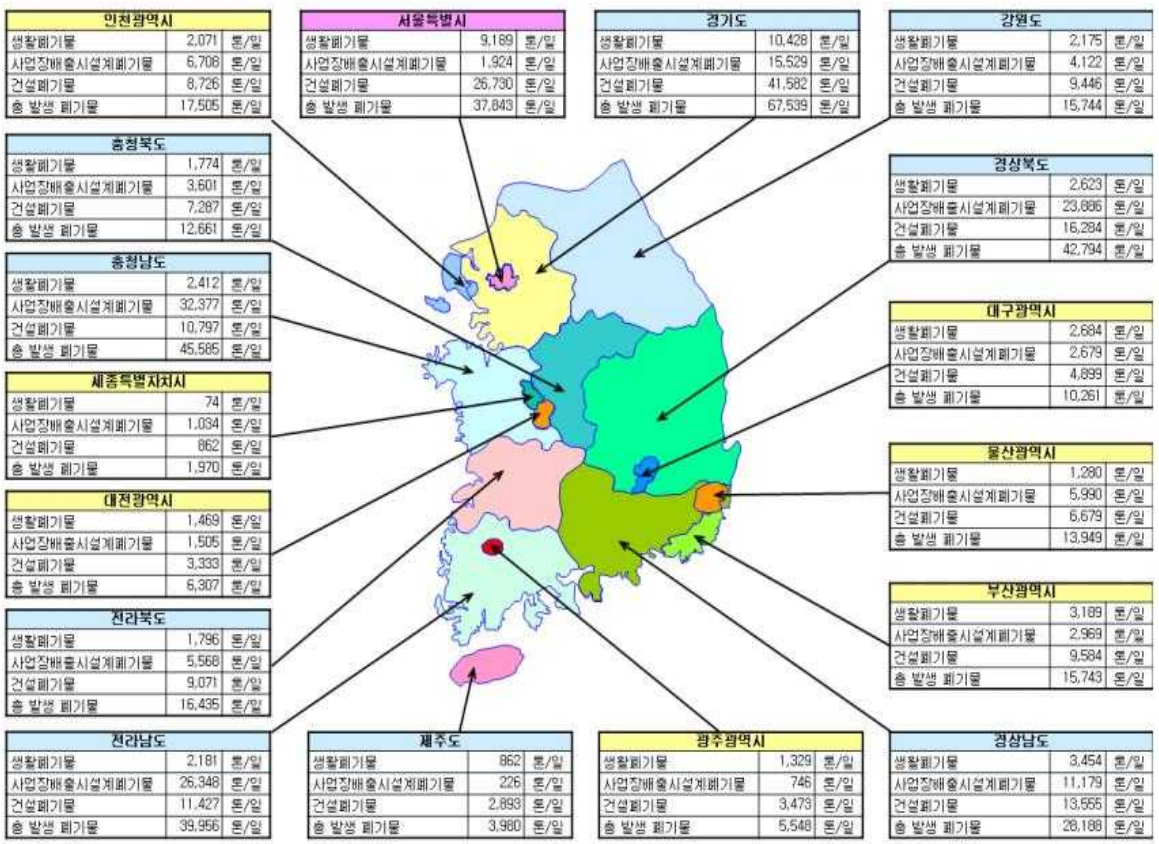


[그림 1.1] 바텀애쉬 사진

(5) 유지관리에 적합한 토양소재 및 토양 조제 기술, 활용범위 확대의 필요

- 현재 식생방음벽 공사를 위해서는 지반조성을 위한 콘크리트 기초공사가 필요하며, 이는 기초설치공간의 면적확보를 위해 필수적으로 요구되는 공종으로 인식하고 있어 추가적인 공사비 증대를 가져오는 문제점이 있음.
- 또한 현재 옥상조경 및 식생에 사용되고 있는 토양 소재가 고가의 인공경량토양이 주종을 이루고 있어 이에 따른 원가상승 및 수입증가를 초래하고 있음.

- 따라서 향후 재활용소재를 활용한 토양소재의 기술개발이 완료되면, 이에 대한 시너지 효과로 타 산업으로의 적용범위 확대가 예상되어짐.



[그림 1.2] 지역별 폐기물 발생량

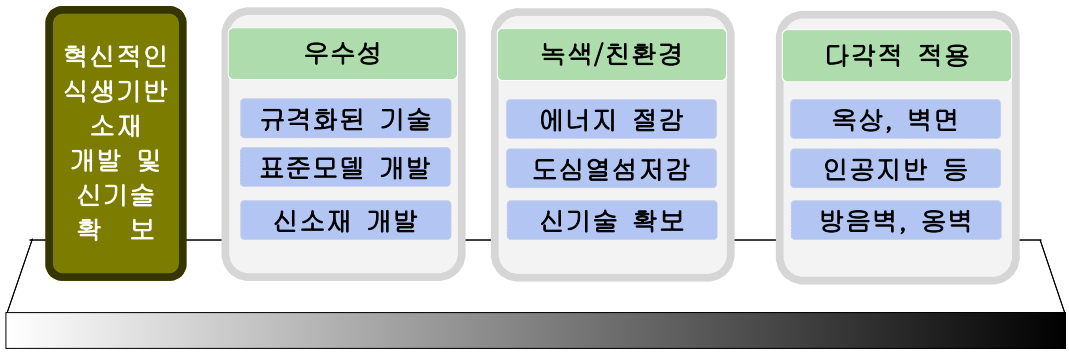
제2절 연구개발의 목표 및 설정근거

1. 연구개발의 목표

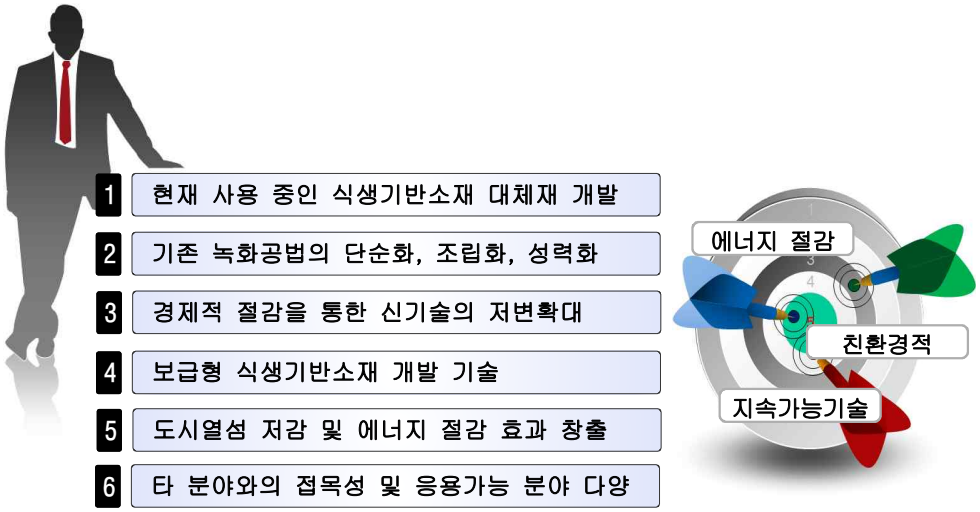
가. 최종목표

▪ 본 연구의 최종목표는 다음과 같음.

- 건설폐기물을 활용한 혁신적인 친환경 식생기반소재 개발
  - 국내외 식생기반소재의 기본 물성 분석
  - 소재구성 및 보양재 조건을 고려한 최적의 배합설계 도출
  - 식생기반소재의 제조기술 및 공정개발
- 국내환경을 고려한 식생기반소재 제품의 적층구조시스템 개발
  - 자생식물 재배 및 육성 토양의 토심계획
  - 식생층에 적합한 육성 토양층구조 설계
  - 자생식물육성을 위한 적층구조시스템 개발
- 제품의 실용화를 위한 최적의 생산 및 시공 표준모델 개발
  - 제품생산의 공정기법과 평면별 표준모델 개발
  - 활용모델 실용화를 위한 배수층 및 방수층 설계
  - 신개념 녹지공간 조성의 시스템 설계 및 시공 매뉴얼 개발



[그림 1.2] 연구의 목표 및 기대효과



[그림 1.3] 연구의 기술개발 세부목표

나. 연차별 연구목표 및 내용

(1) 연차별 연구목표 및 내용

- 연차별 연구목표를 정리하면 아래의 표에서와 같이, 1차년도에 관련분야의 기초조사를 근거로 기본적인 물성실험을 거쳐 친환경 식생기반소재를 개발하고, 2차년도에 적층구조시스템을 도입한 표준화 및 규격화가 가능한 시제품을 생산한 후 현장적용등을 거쳐 3차년도에 실용화 방안을 도출하는 것임.

[표 1.4] 연차별 연구목표 및 주요내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	건설폐기물을 활용한 혁신적인 친환경 식생소재 개발	◦ 식생소재의 기본 물성 분석
		◦ 소재구성 및 보양재 조건을 고려한 최적의 배합설계 도출
		◦ 식생소재의 제조기술 및 공정개발
2차년도	국내환경을 고려한 식생소재 제품의 적층구조시스템 개발	◦ 자생식물 재배 및 육성 토양의 토심계획
		◦ 식생층에 적합한 육성 토양층구조 설계
		◦ 자생식물육성을 위한 적층구조시스템 개발
3차년도	제품의 실용화를 위한 최적의 생산 및 시공 표준모델 개발	◦ 설계 반영 및 현장 적용
		◦ 제품생산의 공정기법과 평면별 표준모델 개발
		◦ 활용모델 실용화를 위한 배수층 및 방수층 설계
		◦ 신개념 녹지공간 조성의 시스템 설계 및 시공 매뉴얼 개발

2. 최종목표의 성격 및 설정근거

▪ 상기한 연구 목표들의 궁극적인 성격과 소요예산 등을 정리하면 아래의 표들과 같으며, 설정근거는 [표 6]의 내용과 같음.

[건설폐기물을 활용한 혁신적인 친환경 식생소재 개발]

성과물의 성격	☑ 이론적 아이디어 개발 ☑ 시작품 개발 □ 제품개발 □ 공정개발		
	◦ 국내외 식생소재의 기본 물성 분석 - 재활용소재의 공극구조 분석(SEM, X-회절분석, 열전도율 등) ◦ 소재구성 및 보양재 조건을 고려한 최적의 배합설계 도출 - 소재와 비료, 충전재의 조합구성 실험 ◦ 식생소재의 제조기술 및 공정개발		
연구기간	약 08 개월	연구비	262,000,000원
연구자 역량	◦ 문종욱, 염대봉, 신개념 옥상녹화 개발을 통한 건물 실온 저감효과에 관한 연구, 대한건축학회지회논문집 vol11.No3, 2009.09 ◦ 문종욱, 백민호, 지반의 동결저감 대책기술을 수립하기 위한 클링커애쉬 인공경량골재 개발에 관한 연구, 한국화재소방학회 논문집 vol23.No6, 2009.12		
자료수집 한계	◦ 녹지공간 확보를 위한 기존 소재들은 인공경량골재 및 수입용 골재가 대부분이기에 이에 대한 대체 재료 개발이 시급함. ◦ 식생소재 개발에 대한 대부분의 자료는 인공소재이며, 재활용 소재나 자연친화형 소재는 전무한 실정임.		
기술수준 한계	◦ 기존 자료는 옥상녹화 공법, 벽면녹화 공법에 대한 구법개발이나 시스템 개발이 대부분임.		

[국내환경을 고려한 식생소재 제품의 적층구조시스템 개발]

성과물의 성격	□ 이론적 아이디어 개발 ☑ 시작품 개발 □ 제품개발 □ 공정개발		
	◦ 자생식물 재배 및 육성 토양의 토심계획 ◦ 식생층에 적합한 육성 토양층구조 설계 ◦ 자생식물육성을 위한 적층구조시스템 개발		
연구기간	약 12 개월	연구비	263,000,000원
연구자 역량	◦ 문종욱, 김흥열, 재활용 소재를 이용한 건축용 숯보드 및 그 제조방법, 특허등록, 10--0695488, 2007. 05. 08 --> 기존 재활용 소재에 대한 건자재 개발 경력으로 인한 연구 접근가능성이 매우 긍정적임.		
자료수집 한계	◦ 국내 관련된 자료(한국건설기술연구원)에 의거한 식생소재를 접목한 혁신적인 녹화기술은 한국형 신기술에 개발이기에 이에 대한 새로운 연구가 필요함.		
기술수준 한계	◦ 국내 환경에 맞는 자생식물 관련 연구 및 육성토양층 연구는 기 진행되었으나, 신소재 개발을 통한 시스템화 된 공법에 맞는 조립화된 공법의 모델 개발(전문가 기술이 아닌 보급형 신기술)은 적용사례가 없음.		

[제품의 실용화를 위한 최적의 생산 및 시공 표준모델 개발]

성과물의 성격	□ 이론적 아이디어 개발 ☑ 시작품 개발 ☑ 제품개발 □ 공정개발		
	◦ 제품생산의 공정기법과 평면별 표준모델 개발 ◦ 활용모델 실용화를 위한 배수층 및 방수층 설계 ◦ 신개념 녹지공간 조성의 시스템 설계 및 시공 매뉴얼 개발		
연구기간	약 16 개월	연구비	262,500,000원
연구자 역량	◦ 문종욱, 하상욱, 화력발전소 바텀애쉬를 건자재로 활용하기 위한 물성평가, 한국폐기물자원순환학회지, 2011.04		
자료수집 한계	◦ 재활용 소재에 대한 활용기술, 즉 정부시책(건설폐기물 재활용 촉진에 대한 법률)의 필요성에 맞는 녹화기술 필요 ◦ 유닛화된 옥상녹화기술의 한계점(복합화, 다양화 등)에 대한 개선 기술의 필요성 시급		
기술수준 한계	◦ 국내 옥상녹화 시스템은 방수층, 발근층, 배수층 등의 세분화된 공정으로 구분되어 있지만, 이를 단순화, 규격화 하는 신기술 개발을 통해 표준모델을 쉽게 누구나 적용할수 있는 시공설계가 필요함.		

[표 1.5] 연구의 목표 및 설정근거

설 정 근 거	개 발 목 표
◦ 조경업체의 옥상녹화 사업이 활발하게 진행 중 ◦ 옥상녹화의 기본시스템은 방수공사를 재시공하고, 그 위에 부직포, 경량토 등을 적층하여 시공하지만, 자체 중량으로 건축물 적용시 사전 안전진단이 요구되고 공사기간이 길어지며, 공사비용이 증대되는 등 여러 가지 해결될 문제점을 내포하고 있음.	건축물 옥상층의 단열성능 및 휴식공간 확보를 통한 생활환경 품질개선
◦ 도심녹화에 일조할 것이며, 옥상녹화의 개념은 선진국에서 이미 실용화 단계임. ◦ 건축법규상 조경면적의 허용치로서 대기오염을 감소시킬 수 없으며, 가로수 식재 등 다양한 방안이 모색중임.	도심의 대기오염 감소 및 도시경관 개선
◦ 옥상용 조경토양의 대표적인 제품은 퍼라이트계(Perlite)로 이는 독일이나 유럽에서 수입되고 있는 실정이며, 원가 자체가 높아 공사비용 증대요인이 되고 있음. ◦ 열악한 블록 및 벽돌제조 업체의 경쟁력 강화 및 매출증가를 위한 대책방안 시급	옥상용 조경토양 소재개발로 인한 수입대체 효과 및 부가가치 최대화
◦ 기존의 보유 기술과 연구 경험을 바탕으로 제품화 가능하리라 판단됨. ◦ 폐기물 재활용으로 인한 각종 지원 등 정부차원에서 추진하고 있는 정책임.	재활용 소재를 활용한 대체소개 개발 및 관련분야 응용기술 개발
◦ 제품개발을 실용화 하기 위한 각종 규격 및 규정을 만들어 현장에서 쉽게 생산이 가능토록 최적의 공정기법이 절실히 요구됨. ◦ 국내 시공의 성력화와 지적재산권 및 신기술 신청 확보	실용화를 위한 식생용 경량블록의 시스템 설계, 시공 매뉴얼 개발

3. 정량적 성과목표

- 본 연구의 세가지 궁극적인 목표를 평가하기 위한 '성과지표'는 각 목표별로 중요성을 감안하여 연차별로 아래와 같이 선정하였으며 그 구체적인 방법은 별첨의 성과점검 기준표에 제시하였음.

[표 1.6] 연구결과의 성과지표 및 측정방법

연차	성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차년도	(질적지표) 친환경 식생소재 개발	개발 소재의 함습율	함습율 측정	기존제품 대비 20% 향상	40%
		개발 소재의 경량화	단위 용적 중량 측정	기존제품 대비 20% 향상	40%
		친환경재료 활용도	전체 구성비 측정	90% 이상	20%
	소 계				100%
	(양적지표) 사업연계지표	전문가 의견조사 건수	보고서	5건	20%
		시작품 제작 및 테스트 건수	보고서	3건	20%
		소재개발 건수	보고서	1건	60%
	소 계				100%
2차년도	(질적지표)제품의 적층구조시세템 개발	제품성능 목표 달성도	식생가능 토양층 두께 측정	기존제품 대비 15% 향상	40%
		제품성능 목표 달성도	제품의 내구성 측정	기존제품 대비 15% 향상	30%
		환경개선 효과	에너지 절감효과율 측정	10%향상	30%
					100%
	(양적지표) 사업연계지표	국내논문게제 건수	게제논문	1건	20%
		특허출원 건수	출원증	2건	20%
		시제품 테스트베드 구축건수	보고서 (사진등)	1건	60%
					100%
3차년도	(질적지표) 제품생산 및 시공 표준모델 개발	제품성능 목표 달성도	전문가 10인 이상 질적 점수평가	평균 80점 이상	30%
		제품성능 목표 달성도	경제성 평가	20% 향상	40%
		제품성능 목표 달성도	공기단축 또는 공정단순화	20% 향상	30%
					100%
	(양적지표)	국내논문게재건수	게제논문	1건	20%
		SCI(E)논문게재건수	게제논문	1건	20%
		특허등록 건수	등록증	1건	30%
		현장적용 건수	보고서	1건	30%
					100%

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내의 관련 연구개발 실태

▪ 도심지의 콘크리트 구조물 위에 녹지 공간을 창출하는 기술은 부족한 녹지를 확보해나가는 훌륭한 대안이 될 수 있으며, 최근에는 이러한 녹지공간조성에 대한 필요성이 도심지'녹화(綠化)'와 더불어 급격히 높아지고 있음.

- 그러나, 현재 국내의 옥상녹화 기술은 국내 환경에 적합한 배수시스템, 토양조건, 식물소재 등에 대한 명확한 규정이 전혀 없음.
- 특히, 최근 사용되고 있는 저관리 보급형의 옥상녹화시스템은 건물의 안정성 확보와 옥상녹화의 지속성을 유지하기 위해 상기한 실험적 자료가 절대적으로 필요하지만, 구체적인 연구결과를 통한 자료는 전무한 실정임.

▪ 아래 표에서 알 수 있듯이, 국내에서는 인공녹지지역에서의 식물의 성장과 그에 대한 특성에 관한 연구들만이 주로 이루어지고 있음.

- 인공녹지를 위한 토양 및 그에 대한 특징에 대한 연구는 극히 미비한 실정으로 관련연구의 시급성은 매우 높음.

[표 1.7] 국내의 관련 연구개발 실태

구분	연구내용	출처
옥상녹화	▪ 잔디식재블록에 의한 옥상녹화지에서의 실내외 온도변화	▪ 이상태·김진선, 2004, 한국환경복원녹화기술학회지
	▪ 한국의 옥상녹화 기술의 현황과 과제	▪ 양병이, 2003, 도시생태환경복원을 위한 옥상녹화기술에 관한 한일 세미나
	▪ 하늘동산 21과 환경운동역할에 적용된 옥상녹화기술의 고찰	▪ 박현준, 2003, 도시생태환경복원을 위한 옥상녹화기술에 관한 한일 세미나
	▪ 도시 건축물 옥상에 UNESCO 생물권 보전지역 개념의 도입: 유네스코 옥상 생태공원을 사례로	▪ 김귀곤, 2003, 도시생태환경복원을 위한 옥상녹화기술에 관한 한일 세미나

[표 1.8] 국내의 관련 연구개발 실태(계속)

구분	연구내용	출처
옥상녹화	▪ 옥상녹화를 위한 몇몇 야생초본류 선정에 관한 선정	▪ 문석기·이은엽·곽문기, 2002, 한국환경복원녹화기술학회지
	▪ 옥상녹화 식재기법에 따른 식생변화	▪ 최희선·안동만, 2004, 한국환경복원녹화기술학회지
	▪ 옥상녹화에 따른 콘크리트 건축물의 열환경 개선효과	▪ 박찬필, 2004, 한국환경복원녹화기술학회지
	▪ 서울의 옥상녹화지역 입지별 식물 귀화율 분석	▪ 오충헌·조치웅, 2004, 한국환경복원녹화기술학회지
벽면녹화	▪ 관리조방적 벽면녹화용 식물선정	▪ 이은회·남미아·신상희, 2004, 한국환경복원녹화기술학회지
	▪ 환경친화적 블록식 보강토옹벽의 설계 및 시공사례 연구	▪ 한중근, 2004, 한국환경복원녹화기술학회지
	▪ 식생블록(그린스톤)에서의 식물생육에 관한 연구	▪ 김남춘·한승호·강진형, 2003, 한국환경복원녹화기술학회지
	▪ 환경친화형 벽면녹화 시스템 개발	▪ 이은희·박화수·박명진, 2002, 한국환경복원녹화기술학회지
	▪ 서울시 벽면녹화사례 분석 및 개선방안	▪ 이은희·박화수, 2003, 한국환경복원녹화기술학회지
	▪ 고층 건축물 입면 녹화 방안 연구	▪ 김선혜·방광자, 2004, 한국환경복원녹화기술학회지
	▪ 서울시내 벽면녹화 장소에 따른 동물상 연구	▪ 이은희·장하경, 1999, 한국환경복원녹화기술학회지
	▪ 도시의 벽면녹화를 위한 벽면식생 조사연구	▪ 이숙미·심우경, 1994, 한국조경학회지

2. 국내외 관련 기술 및 산업 동향

가. 국내 기술 및 산업 동향

- 우리나라의 녹화관련 특허는 1987년 1건이 처음 출원된 이후 2004년까지 31건의 특허가 출원되었으며, 이중 식재기반에 관련한 것이 15건, 시스템에 관련한 것이 11건, 식생층에 관련한 것이 3건, 관리에 관한 것이 2건으로 보고되고 있음(옥상녹화 실용화 기술, 서울여자대학교 테크노바이오센타, 2004).
- 일반적으로 녹화 공사는 배수관/배수층, 필터층, 식재토양층, 식생층을 조성하는 방법으로 진행되기 때문에 출원된 특허는 이러한 공정을 간단하게 할 수 있게 하거나, 기능을 보강하는 자재를 고안하는 등의 내용을 담고 있음.

나. 국외 기술 및 산업 동향

- 유럽에서는 제한된 토지 자원과 고가의 에너지 비용을 절감하기 위한 필요성 때문에 옥상녹화가 성공적으로 산업화되고 있으며, 주로 독일에 의해 기술이 선도되고 있음.
  - 독일에서 옥상녹화가 모습을 드러낸 것은 18세기이지만, 1970년대가 되어서야 실질적인 관심과 보급이 이루어졌음.
  - 이러한 배경에는 FLL -"조경 개발 및 조경 건축 연구 협회"(The Landscape Development and Landscape Construction Reseach Society)의 가이드라인(Guideline for the Planning, Execution and Upkeep of Green-Roof Sites, 2002)을 통해 옥상녹화의 세부적인 기술 요소 및 소재에 대한 요구 조건을 물론 옥상녹화설치방법, 관리 방안 등 전반적인 부분에 대한 지침을 제시하고 있음.
  - 또한 독일에서는 옥상녹화는 1970년대부터 급속히 그 수가 증가하여 2003년까지 약 1,300만㎡의 옥상이 녹화되었으며, 이 면적은 독일 전체 평지붕 면적의 14%에 달함.
- 북미에서는 유럽의 기술이 도입되면서 라이센스를 체결하여 사업화하고 있는 회사가 생겨나고 있으며, 2003년에는 제1회 Green Roof Infrastructure Conference and Trade Show가 개최되면서 옥상녹화사업 활성화에 노력하고 있음.
- 한편 일본의 근대 건축물 중 옥상녹화의 효시는 1934년이며, 본격적으로 행해진 것은 1955년 후반부터이며, 1930년대 이후로 일부에서 경량인공토양이 사용되기 시작하여 옥상녹화로 발전하였는데, 특히 그 가운데 경량배수재, 경량토양재료 뿐만 아니라 방수공법 등이 발전하였음.

- 최근 개발된 인공토양과 관련 시스템이 도입되기 전까지 옥상녹화의 토양재료는 양질의 자연토양 혹은 개량 토양을 이용하여 배수층을 조성하였으나, 통기성과 보수성, 비보성 등 식물생육에 유효한 경량의 인공토양이 개발되고 난 이후로는 건물의 하중과 식물생육을 위해 인공토양재료의 사용이 대부분임.
- 또한 일본도 독일의 경우처럼 복합 기능의 생태적 옥상녹화시스템 기술 개발을 지향하고 있는 추세이며, 이러한 시스템적 접근에서는 유니트식, 조립식으로 탈부착이 간편하고 저관리, 경량형의 기술개발을 추진하고 있음.

(1) 북미/유럽의 옥상녹화 기술 동향

- 유럽의 옥상녹화 제품은 옥상녹화의 태생지답게 매우 다양하고 세세한 부분까지 고려한 제품들이 많이 출시되어 있으며, 플라스틱에서부터 발포 스티로폼과 폐스티로폼의 재활용 및 부직포섬유까지 여러 소재의 특성을 활용한 배수 및 저수 자재가 개발되어 있음.
- 유럽과 북미에서는 옥상녹화용 토양으로 일반적인 토양이라는 개념보다는 잔골재에 가깝다고 볼 수 있는 제품들이 대부분이며, 이들 배지(media or substrate)들은 shale, clay, slate 등을 rotary kyln으로 튀겨서 경량화시킨 제품들이었고, 다양한 입도의 재료들은 혼합하여 상품화하였음.

(2) 일본의 옥상녹화 기술 동향

- 일본의 옥상녹화제품은 관수시스템이 결합된 모듈형 옥상녹화 시스템으로 관리가 용이할 것으로 판단되나, 가격 경쟁력에 문제가 있음.
- 또한, 저배수 트레이, 식재모듈, 관수시스템으로 구성된 제품은 금속재질의 저배수 트레이에 식재모듈을 올리고, 관수시스템은 저배수 트레이로 연결되어 있어 저면 관수를 가능하게 한 것이 특징임.

다. 특허 동향

- 국내외 관련 특허를 살펴보면 아래의 표와 같으며, 본 연구에서 목표로 하고 있는 친환경 재료를 활용한 식생기반소재를 제품화하여 혁신적인 녹지조성 시스템을 개발한 내용은 없음.

[표 1.9] 국내외 특허 동향

특허	등록번호	기술요약
▪ 인공지반 녹화용 식생매트	▪ 10-0537293	▪ 코코아 섬유 외피에 경량혼합토양을 채운 식생매트 ▪ 천연접착제를 쓰지 않아 식물 생육에 유리 ▪ 저면부에 십자형의 홈을 형성해 배울림 현상을 방지함
	대한민국, 김영규/강태호, 2005.12.10	
▪ 송이를 사용한 옥상녹화공법	▪ 10-0426701	▪ 제주산 화산석인 송이를 이용해 황토가 첨가된 식생용 콘크리트 블록을 제조하는 방법과 이를 이용해 옥상을 녹화하는 기술 ▪ 송이 자체를 배수층 채움재로 쓸 수 있음
	대한민국, 김문훈/유병호, 2004.03.30	
▪ 세덤매트를 이용한 조경의 시공방법	▪ 10-0533336	▪ 배수공이 형성된 삽목상자에 부직포와 코이어 펠트를 깔고 상토를 채운 후 세덤류의 줄기를 뿌려 재배해서 세덤매트를 형성함 ▪ 현장에서는 부직포를 이용해 삽목상자로부터 세덤매트를 빼내서 정해진 위치에 설치함 ▪ 부직포와 삽목상자는 회수됨
	대한민국, 한수그린텍 주식회사, 2005.11.28	

[표 1.10] 국내외 특허 동향(계속)

특허	등록번호	기술요약
▪ 옥상의 녹화시공 시스템	▪ 10-0314544	▪ 부직포로 강화시킨 방수층 위에 고밀도 스티로폼과 PE필름으로 방근층을 형성하고 PE 재질의 투수용 매트에 매트에 통왕겨와 분쇄왕겨를 충진한 후 20메쉬 정도의 PE망사를 깔고 배양토를 적층함, 사면에는 개방된 U자형 관을 매립하여 수평배수를 촉진함
	대한민국, (주)그린피아, 2001.10.30	
▪ 옥상녹화시스템의 구조 및 그의 시공방법	▪ 10-0349557	▪ 옥상바닥면으로부터 순차적으로 PE필름, 단열용 판재, 구배조절용 EPS 판넬조립체, 양면이 PP 분리막으로 놓여진 PVC 또는 폴리올레핀 방수싵, EPS 재질의 고밀도 단열재로 흠을 갖춘 저배수용 단열판, 여과투수용 PP 부직포 및 화산석 토양으로 구성됨
	대한민국, 변동원, 2002.08.08	
▪ 식재용 콘크리트를 이용한 옥상식재공법	▪ 10-0337712	▪ 방수층을 도포하고 단열재를 시공한 후 PE필름 및 부직포를 순차적으로 적층하고 보승재와 비료가 충진된 식재용 콘크리트를 올리고 그 위에 일정두께의 토양을 포설하여 옥상녹화지 조성
	대한민국, (주)선진엔지니어링종합건축사사무소, 한천구, 황정하, 이상태, 오선교, 2002.05.10	
▪ 천연부식성의 무토양식 옥상녹화용 매트부재의 제조방법	▪ 10-0535225	▪ 코코넛 껍질로부터 추출한 섬유사를 적절히 배할하여 외피를 형성하고 내부에 미립자를 영양성분과 함께 충전한 매트부재의 제조 방법과 이를 이용해 조립식의 유니트화된 옥상녹화시스템을 제공 ▪ 적절히 매트 부재를 적층하여 평판형 뿐만 아니라 입체형 옥상녹화 시공 가능
	대한민국, 주식회사 케이.씨 리버텍, 2005.12.02	

제4절 연구개발결과의 우수성

▪ 국내환경은 지속가능한 발전을 지향하게 되면서 자원의 순환적 이용 인식이 제고되었으며, 화석연료 대체에너지원에 대한 수요가 증대하고 있음.

- 국외의 경우 국제환경규제(OECD 폐기물관리규정, Basel 협약, REACH 등)에 대응하는 기술의 적기 개발이 향후 국가경제 전반에 중요하다는 인식이 확산되고 있는 추세임.

▪ 국내 기업의 경우, 생활·건설폐기물을 활용한 기술을 일부 상품화하였으며, 선진국의 경우 열분해 유화 공정, 열분해 유화 설비 가동, 폐타이어 열분해 기술, 폐타이어 가스화 설비 도입 등 기술개발이 활발한 실정임.

- 2005년 기준 고기능 폐기물 처리설비의 국내 기술경쟁력은 산업폐기물 처리설비의 경우 선진국 대비 50%, 도시폐기물 처리설비, 파쇄·선별·감용 설비, 소각용융설비의 경우 60% 수준임.

▪ 국내의 관련 산업은 기존의 매립, 소각처리 산업에서 재활용 및 신재생에너지화 산업의 활성화로 발전할 것이며, 폐기물 자원회수 설비 및 용융 가스화 설비 등 고기능 설비 시장이 급격히 증가할 것으로 예상됨. 따라서 자원의 순환적 이용을 가능케 하는 혁신적인 기술 개발이 중요함.

▪ 서울시가 '10년 4월부터 12월까지 서울그린트러스트, 동국대학교(오충현교수)와 옥상공원 247개소를 현장모니터링을 실시한 결과, 옥상공원 면적을 1㎡씩 늘려갈 때마다 냉난방에너지를 연간 18,168원(월 평균 1,514원) 절감할 수 있는 것으로 나타남.

- 옥상공원을 조성하면 여름기간(6~9월) 동안 냉방비가 약 7,356원/㎡(월평균 1,839원/㎡) 가량 절감되고, 겨울기간(11~3월)에는 약 4,180원/㎡(월평균 836원/㎡) 가량의 난방비가 절감 될 수 있는 것으로 분석됨.

▪ 옥상녹화 건물은 조성면적이 1㎡씩 늘어날 때마다 연간 18,168원(월 평균 1,514원)의 에너지 비용이 절감되는 것을 감안하면, 서울시가 '10년까지 지원 조성한 옥상공원 202,449㎡에서는 연간 36억원 상당의 에너지 비용이 절감될 것으로 기대됨.

- 그러나, 국내의 폐기물 관련 기술경쟁력은 부족한 실정이며, 이에 관한 관련 인력도 절대적으로 부족한 실정임. 또한 국내 기업의 경우 폐기물을 활용한 상품화가 이루어졌으나, 사회전반에 활용도는 부족한 것으로 보여 짐. 이를 보완하기 위해서는 지속적인 지원과 전문 인력의 양성, 기술경쟁력 확보가 무엇보다 중요함.



[그림 1.4] 혁신적인 식생기반소재개발에 대한 SWOT 분석

- 본 연구에서 개발하고자 하는 신기술은 폐기물을 활용한 식생기반소재 개발로 이를 통하여 자원의 재활용 및 친환경 기술 개발이 가능하고, 무엇보다 신기술 개발을 통해 도시의 녹지공간을 확보하여 녹색국가로의 국가경쟁력 제고에 크게 이바지하리라고 기대됨.

제2장

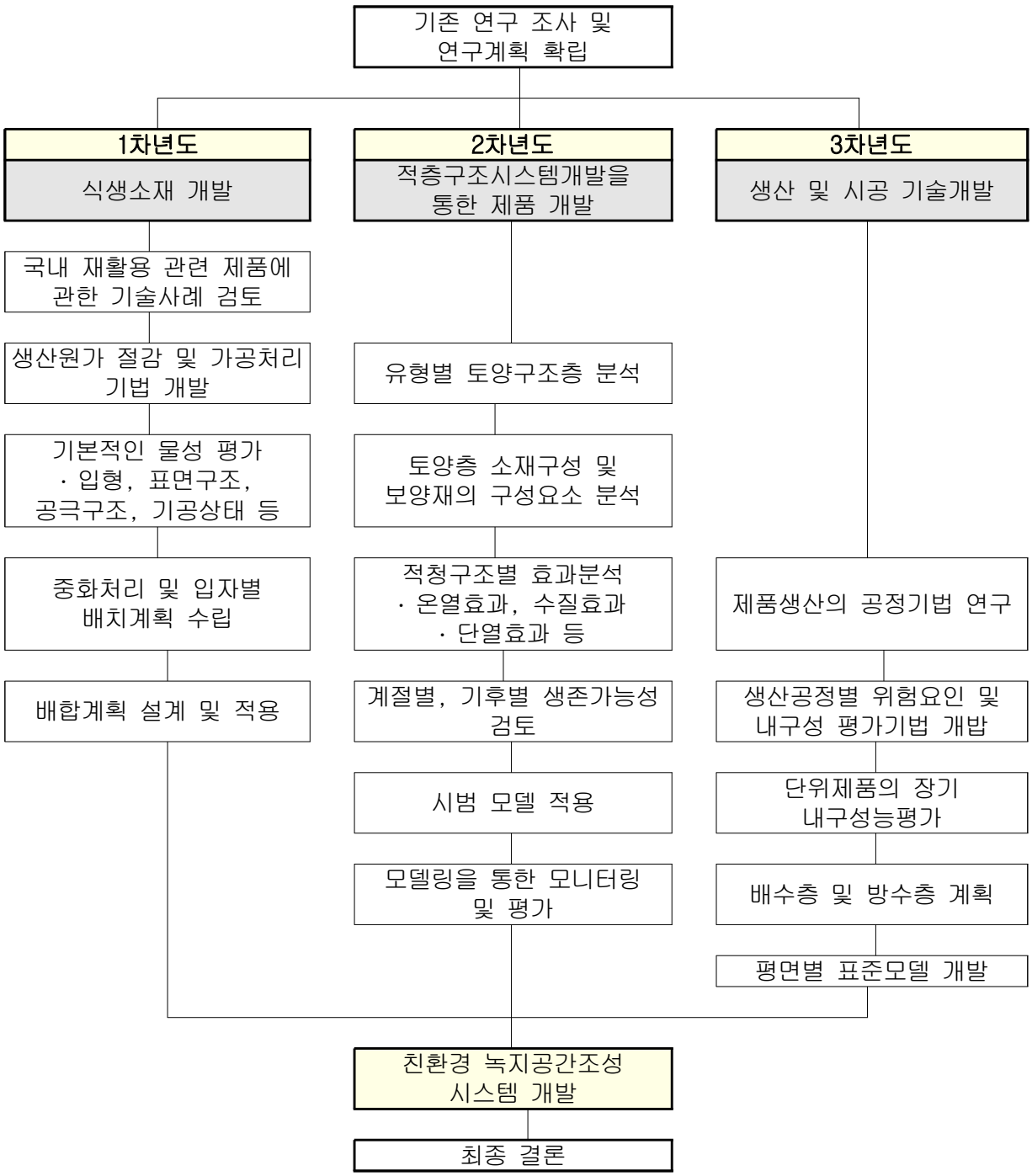
연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 연구수행 전략 및 방법론

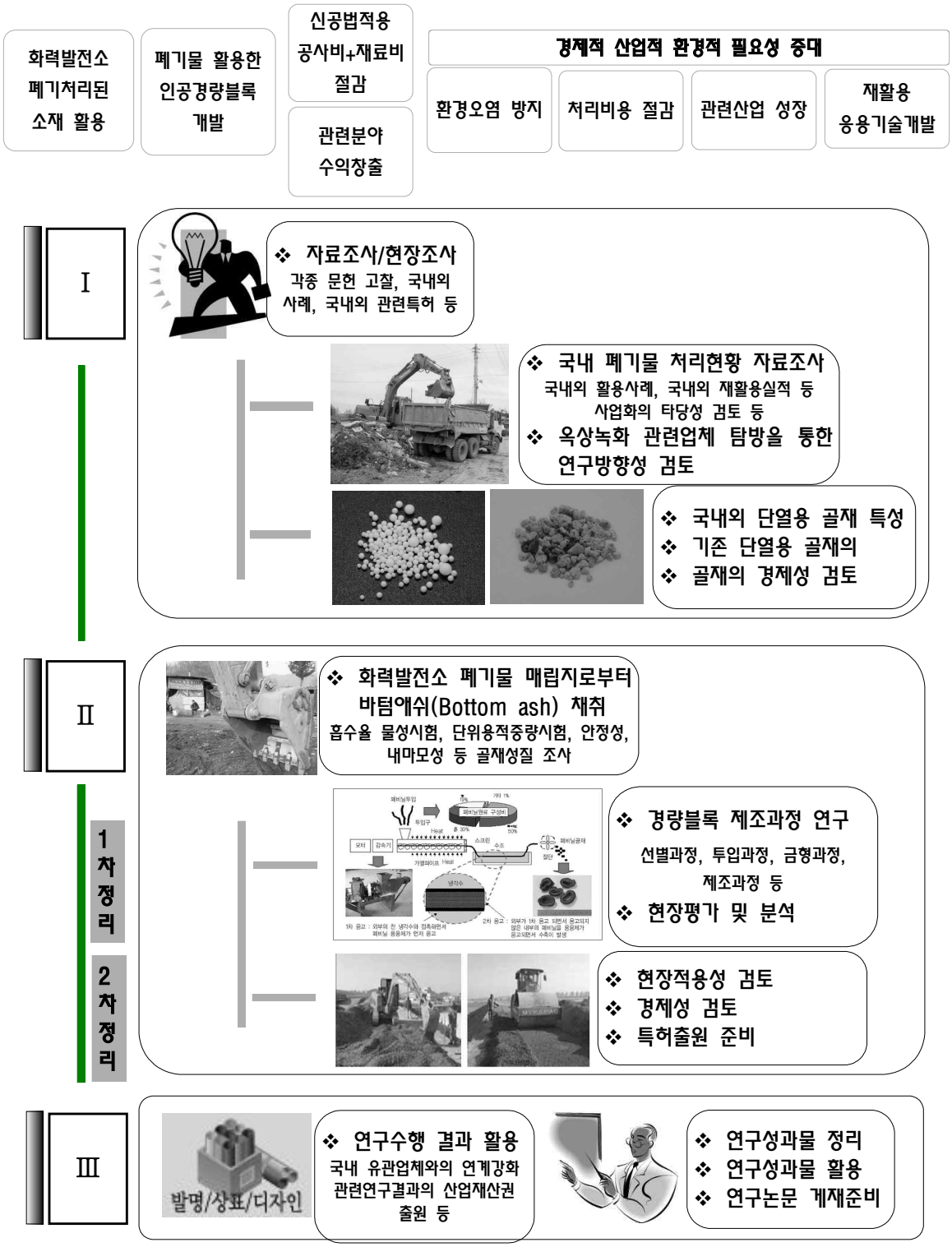
1. 연구수행 전략

가. 연차별 연구목표 및 연구절차

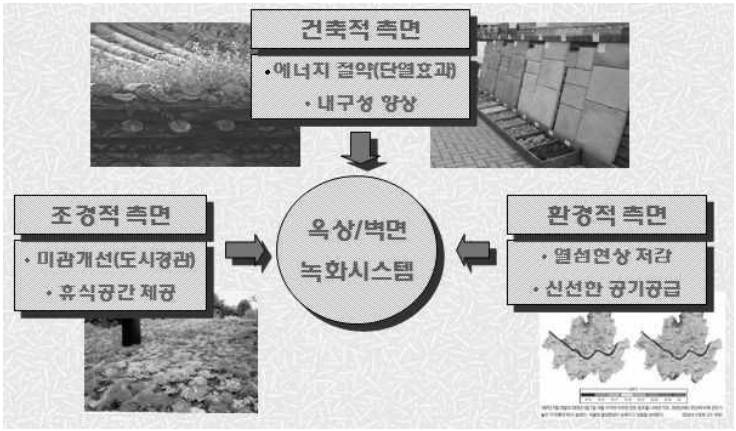
- 바텀애쉬소재를 활용한 옥상용 경량블록의 기술을 개발하기 위하여 다음과 같은 전략을 구상하였다.
- 연구추진은 1단계 자료조사 및 현장조사, 관련업체 탐방조사를 통해 기존 연구결과물의 타당성 및 단점을 분석한다.
- 2단계는 골재제조 과정을 새롭게 규명하고, 제작공정을 개선하여 가능성 여부를 타진한다. 3단계에서는 연구결과물의 특허출원 추진 및 연구논문 제출을 위한 보고서를 정리한다.


기존 연구 조사 및
연구계획 확립
1차년도
식생소재 개발
2차년도
적층구조시스템개발을
통한 제품 개발
3차년도
생산 및 시공 기술개발
국내 재활용 관련 제품에
관한 기술사례 검토
생산원가 절감 및 가공처리
기법 개발
기본적인 물성 평가
· 입형, 표면구조,
공극구조, 기공상태 등
중화처리 및 입자별
배치계획 수립
배합계획 설계 및 적용
유형별 토양구조층 분석
토양층 소재구성 및
보양재의 구성요소 분석
적청구조별 효과분석
· 온열효과, 수질효과
· 단열효과 등
계절별, 기후별 생존가능성
검토
시범 모델 적용
모델링을 통한 모니터링
및 평가
제품생산의 공정기법 연구
생산공정별 위험요인 및
내구성 평가기법 개밥
단위제품의 장기
내구성능평가
배수층 및 방수층 계획
평면별 표준모델 개발
친환경 녹지공간조성
시스템 개발
최종 결론

가. 본 연구는 화력발전소에 매립되고 있는 환경오염의 주범인 배텀애쉬(Bottom ash)를 새로운 개념의 경량블록 개발을 통한 성능평가를 하였다.



나. 바텀애쉬를 이용하여 블록제조를 위한 최소비용 선정을 기준으로 한 제조과정 규정 및 개발된 블록유형을 활용한 실물 평가를 통한 본 연구개발의 에너지 절감 등의 다양한 기대효과를 검토하였다.



다. 하중부담을 줄이기 위해 폴리스티렌비드와 바텀애쉬를 혼합 교반시켜 블록을 제조하였는데, 제조후 중화처리 과정과 골재 입자별 공극율 조절을 통해 조기 식생활착에 집중적으로 조사 검토하였다.

라. 이러한 목표를 달성하기 위하여 경량블록 개발을 위한 적합한 최적 혼합비율 및 제조방법을 제시하였고 용출시험을 수행하여 환경공학적으로 제품으로서 전혀 문제가 없음을 제시하였다.

마. 또한, 개발된 블록을 혼입한 시멘트매트릭스에 대한 물리적, 역학적 특성을 분석하여 현장사용 제품으로서의 사용여부를 검증하고자 하였다.

나. 연도별 주요 추진 일정

연차	연구목표	연구내용	추 진 일 정(월별)												비중 (%)
			1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
1차 년도	친환경 식생소재 개발	식생소재의 기본 물성 분석													10%
		소재구성 및 보양재 조건을 고려한 최적의 배합설계 도출													13%
		식생소재의 제조기술 및 공정개발													10%
2차 년도	제품의 적층구조 시스템 개발														10%
		자생식물 재배 및 육성 토양의 토심계획													4%
		식생층에 적합한 육성 토양층구조 설계													9%
		자생식물육성을 위한 적층구조시스템 개발													10%
3차 년도	생산 및 시공 표준모델 개발	제품생산의 공정기법과 평면별 표준모델 개발													21%
		활용모델 실용화를 위한 배수층 및 방수층 설계													6%
		신개념 녹지공간 조성의 시스템 설계 및 시공 매뉴얼 개발													6%
		최종보고서 작성													-

2. 연구개발 방법

가. 연구개발 추진전략

(1) 연구개발 추진체계

구 분	주관연구기관	협동(공동)연구기관
1차년도 (8개월)	▪ 소재구성 및 보양재 조건을 고려한 최적의 배합설계 도출	▪ 기술동향 분석 ▪ 소재구성 및 보양재 조건을 고려한 최적의 배합설계 도출
2차년도 (12개월)	▪ 자생식물 재배 및 육성 토양의 토심계획 ▪ 식생층에 적합한 육성 토양층구조 설계 ▪ 자생식물육성을 위한 적층구조시스템 개발	▪ 식생층에 적합한 육성 토양층구조 설계 ▪ 자생식물육성을 위한 적층구조시스템 개발
3차년도 (16개월)	▪ 제품생산의 공정기법과 평면별 표준모델 개발 ▪ 활용모델 실용화를 위한 배수층 및 방수층 설계	▪ 신개념 녹지공간 조성의 시스템 설계 및 시공 매뉴얼 개발

(2) 연차별 세부 추진계획 및 방법

[표 2.1] 연차별 연구내용 및 방법

연차	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간 (주)	해당 기관
1차년도	■ 식생 소재의 기본물성 분석 및 시험체 테스트	▪ 국내 관련 문헌 및 특허관련 내용조사 ▪ 기존 발표사례 분석 및 검토 ▪ 식생소재의 시험체 제작 및 물성분석	16	참여
	■ 배합설계 도출 - 소재 구성 및 보양재의 만족조건 분석	▪ 재활용소재의 공극구조 분석 ▪ 소재와 비료, 충전재의 조합구성 실험	20	주관/공동
	■ 제조기술 및 공정개발 - 중화처리 - 입도처리 등	▪ 단기간 내에 중화처리방법 선택적용(저비용, 고효율 고려한 약품처리 억제) ▪ 입자선별, 선별후 망처리 및 형틀구성등의 표준화된 공정개발	33	주관
2차년도	■ 식물 재배 및 토심계획 - 국내 환경에 맞는 자생식물 재배 - 육성 토양의 토심계획	▪ 돌나무과, 잔디류 등의 다양한 실험적용하여 국내환경에 적합한 식물선택 재배 ▪ 선택된 식물의 생장가능 범위 적용	33	참여
	■ 토양층구조 설계 - 식생층에 적합한 육성토양층 계획	▪ 재활용 소재의 조합분류 및 적용 ▪ 불연속 공극구조 형성으로 건조시 대비책 마련	38	주관/공동
	■ 적층구조시스템 개발 - 개발 제품의 적층 구조 시스템 모델 개발	▪ 개발된 소재의 블록과 하단부위 단열층, 그리고 배수판, 부직포의 조합 적용 후 선택 ▪ 4계절 적용 실험	25	주관/공동
3차년도	■ 제품의 표준 모델 개발 - 규격화 - 표준화	▪ 제품의 의장 및 디자인, 크기 등을 결정하여 단위 Unittlr 개발 ▪ 대량생산시 제조공정의 단순화로 생산원가 절감노력	38	주관/참여
	■ 활용모델 실용화 방안 - 배수층 및 방수층 계획	▪ 평면별 녹화시스템 설계 ▪ 방수층과 배수층의 세부디테일 설계 및 적용	32	주관
	■ 종합평가 및 매뉴얼개발 - 재활용 블록 적용	▪ 부위별 종합 구상도 작성 ▪ 관련산업에의 파급효과 및 활용가능 분야 검토	25	공동
	■ 종합 보고서 작성	▪ 연구결과 종합검증 및 보완사항 적용	8	주관

제2절 연구수행과정 및 내용

1. 이론적 고찰

가. 옥상녹화

(1) 옥상녹화의 정의

근래에 들어 대도시를 중심으로 도시녹화사업을 적극적으로 전개하고 도시녹지 보전에 역점을 두고 있으나 대도시의 경우 녹화가 가능한 토지를 확보하기가 어려운 실정이다.

특히 녹지가 절대적으로 부족한 도심부의 경우는 거의 모든 토지에 건물이 들어서 있어서 건물을 뜯어내지 않으면 녹지로 조성하기가 불가능하다. 도심부에서 녹지조성이 가능한 장소를 찾아보면 건물의 옥상을 비롯하여 건물부지 내에 확보된 옥외주차장 밖에 없다.

또한 도심부의 토지는 가용지가 있다 해도 워낙 땅값이 비싸 토지를 확보해 녹지를 조성하려면 고비용이 들기 때문에 토지를 다목적으로 쓸 수 밖에 없는 실정이다. 이러한 상황에서 도시 내에서 특히 도심부에서 녹지를 확보하기 위하여 건축물의 상부에 녹화를 하는 옥상녹화 방안이 그 대안 중의 하나라 할 수 있다.

옥상녹화의 개념은 협의적으로 건축물의 옥상에 녹화를 하는 것으로 생각할 수 있으나 여기에서 사용하고자 하는 개념은 광의의 개념으로서 건물의 옥상뿐만 아니라 주차장 등 인공지반을 녹화하는 개념으로 사용하고자 한다. 여기서 인공지반이란 자연지반과는 공간적으로 분리된 상태에서 인위적으로 조성된 인공구조물로서 별도의 조치가 없이는 생물이 서식할 수 없는 공간을 말하는데, 예를 들면 건물의 옥상이나 포장된 주차장, 교량상판, 전철역의 플래트 홈, 지하주차장 상부의 공간, 하천복개도로, 하수처리장 복개부, 지하시설물 복개공간 등을 말한다.

따라서 대상지에 적용할 옥상녹화의 정의는 인공적인 구조물위에 인위적인 지형, 지질의 토양층을 새로이 형성하고 식물을 주로 이용한 식재를 하거나 수 공간을 만들어서 녹지공간을 조성하는 것을 말한다. 대표적인 인공지반인 옥상에 녹화를 하는 것은 도심지역의 부족한 녹지공간을 확보하기 위한 인공대지의 활용이라는 측면과 함께 도시환경에 자연적인 요소를 도입함으로써 생물이 서식할 수 있는 공간을 마련해 주며, 도시미관을 증진시키고 여가공간을 확보해 주는 등 다양한 공익적 기능과 역할을 한다. 옥상녹화를 비롯한 인공지반상의 녹화는 자연적인 식재환경이 아닌 데서 조성되는 만큼 일반녹화와는 달리 식재 시 여러 가지의 보완적인 공법과 기술이 병행되어야만 성공적으로 활착할 수 있으며 지속적인 유지관리가 요구된다.

(2) 옥상녹화 공법의 종류

일반적으로 옥상녹화의 유형에는 3가지 종류가 있다.

옥상녹화의 세 가지 유형은 관리방식, 적용방식(옥상 전면에 적용하는가?, 부분적으로 적용하는가?), 대상건물, 기울기를 고려하여 결정하여야 한다. 특히 옥상녹화에 의한 무게를 건축물이 얼마나 견딜 수 있는가를 고려하여서 결정하여야 한다.

[표 2.2] 옥상녹화의 유형구분

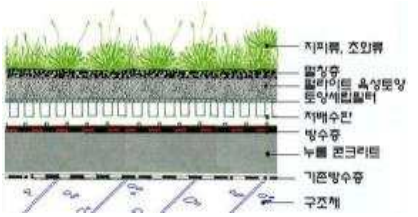
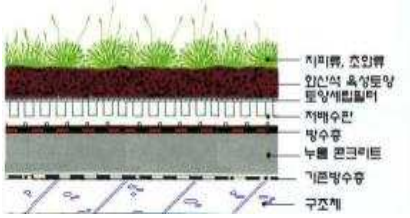
(범례 : ● : 적용 가능, ○ : 경우에 따라 적용가능)

구 분	내 용	저관리·경량형	혼합형	관리·중량형
유지관리	저관리	●	○	
	관리		●	●
적용방식	전면 녹화	●	●	●
	부분 녹화	○	○	○
적용대상건물	신축 건물	●	●	●
	기존 건물	●	○	○
건물 경사유무	평탄형	●	●	●
	경사형	●		
단열위치	내단열			
	외단열	●	●	●
	동적단열(D.I.S.)	●		
토양의 하중	경량	●	○	
	중량		●	●
토심	20cm 이하	●		
	20cm 이상		●	●
식생의 종류	잔디		○	●
	세덤류	●	●	●
	지피식물	●	●	●
	관목·저목		●	●
	교목		○	●

(3) 옥상녹화 공법의 종류별 특성

1) 저관리·경량형	토심 20㎝이하 녹화시스템

특 성	지피식물을 주로 식재 생태적 녹화시스템으로 관수, 예초, 시비 등 관리요구도를 최소화 한 것임, 주로 인공경량토양 사용 구조적 제약 있는 곳, 유지관리가 어려운 기존 건축물의 옥상이나 지붕에 주로 활용

사 례		
단면		

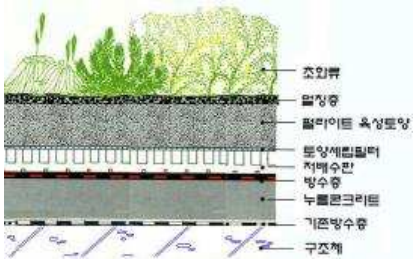
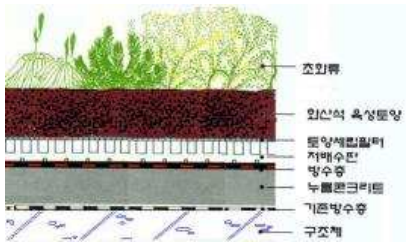
2) 관리·중량형	토심 20㎝이상 녹화시스템

특 성	이용과 관리가 전제가 되는 녹화시스템 지피식물, 관목, 교목을 활용한 다층구조의 식재가 바람직함 관수, 시비, 전정 등 이용요구에 부합되는 관리가 필수적임 구조적 문제가 없는 곳에 적용가능➜주로 신축건축물에 적용가능

사 례		

3) 혼합형	저관리·경량형과 관리중량형 시스템의 혼합형

특 성	이용요구는 높으나, 관리·중량형 시스템 도입이 어려운 공간에 적합 토심은 10~30㎝내외 지피식물과 키가 작은 관목위주로 식재함 저관리를 지향하는 것이 바람직함

사 례		
단면		

옥상녹화시스템의 유형을 결정하기 위해서는 옥상녹화 공간의 이용방안도 함께 검토되어야 한다. 옥상녹화 공간의 이용형태는 녹화 유형을 결정하는 중요한 변수일 뿐만 아니라 녹화가능 하중에도 영향을 미친다. 따라서, 기존 건물의 경우 적극적인 옥상공간의 이용은 허용적재하중의 제약으로 인해 어려운 경우가 많으므로 건축법상의 대피공간으로 설정되어 있는 경우는 이용과 관계없이 사람의 하중을 반영하여 녹화가능 하중을 산정하여야 한다.

옥상녹화의 적용될 시스템 유형이 결정된 후, 다음과 같은 요인을 고려하여 각 유형에 적합한 하부시스템의 구성 방향을 도출해야 한다.

◦ 옥상공간 이용방향

◦ 적용방식 : 전면녹화 또는 부분녹화

◦ 식재계획의 구성방향

(2) 건축물 녹화 설계 및 시공상의 유의사항

가) 구조물에 미치는 하중 영향 고려

옥상녹화 하중은 녹화 유형별로 시스템 구성에 필요한 실제 하중을 산정하여 고정하중으로 반영하여야 한다. 또한 녹화 공간의 이용에 필요한 인간 하중을 활하중으로 반영하여 구조적 안정성을 확보하여야 한다.

옥상녹화 적용을 위한 추가적으로 옥상녹화 유형별로 설계에 반영해야할 최소 하중은 다음과 같다.

◦ 중량형 녹화 [녹화 하중(D.L.) - 300 ㎏f/㎡ 이상, 사람 하중(L.L) - 200 ㎏f/㎡]
◦ 경량형 녹화 [녹화 하중(D.L.) - 120 ㎏f/㎡ 이상, 사람 하중(L.L) - 100 ㎏f/㎡]
◦ 혼합형 녹화 [녹화 하중(D.L.) - 200 ㎏f/㎡ 이상, 사람 하중(L.L) - 200 ㎏f/㎡]

특히, 기존 건축물의 경우 녹화 하중이 구조물에 미치는 영향을 사전에 분석하여, 그에 적합한 유형의 녹화 설계를 하여야 한다. 극한강도를 초과하는 녹화가 필요한 경우 반드시 상응하는 구조보강을 하여야 한다.

벽면녹화의 경우에도 시스템의 자중을 산정하여 합리적인 녹화보조재가 시스템 설계에 반영되어야 한다.

실내녹화의 구조보강이 어려운 현실을 고려하여 반드시 극한강도의 범위 내에서 녹화시설이 설치되어야 한다.

나) 옥상 안전 난간 높이 및 추락방지 안전장치의 고려

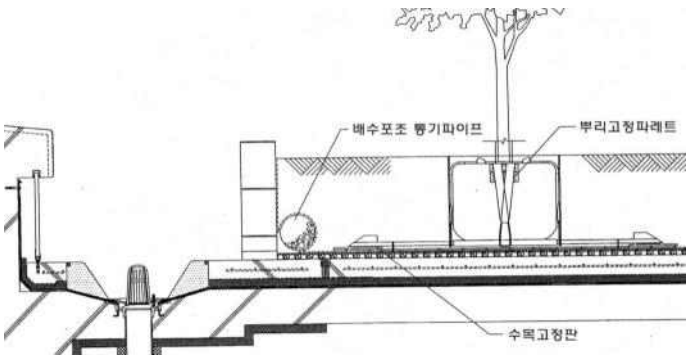
옥상녹화 설계시(신축 및 기존 건축물)에는 옥상의 가장자리 또는 파라펫 부위에 설치되는 안전난간의 법적 높이는 녹화층의 구성 후 법적높이를 유지하고, 부족할 경우 추가적인 조치를 취하여야 한다.

또한, 옥상녹화 시공 시 추락위험이 예상되는 장소는 사전에 통행을 차단하고, 추락 방지 안전장구류를 착용하여 안전사고를 미연에 방지하여야 하며, 특히 경사지붕에서의 작업시 안전 확보에 필요한 안전조치가 수반되어야 한다.

다) 풍압에 대한 대비

옥상이나 벽면은 강풍이나 빌딩풍으로 인한 풍압이 강하게 발생하기 때문에 바람에 의한 수목의 전도 방지 및 그늘막 또는 트렐리스 등 시설물 피해 방지를 위한 고정 방안을 마련할 필요가 있다. 앵커 또는 피스 등으로 방수층 또는 방근층 하부로 앵커나 피스 등을 관통시켜 수목이나 시설물을 고정하는 행위는 지양되어야 한다. 수목의 풍압 대책으로서 지중 지주를 설치하는 방식, 뿌리를 누를 수 있는 방식, 줄기를 누를 수 있는 방식, 토양의 중량을 이용하는 방식, 건축 구체를 이용한 방식 등이 있으므로 충분한 검토 후에 적절한 대응 방안으로 시공한다. 시공자는 필요에 따라서 시공계획서와 함께 고정 방법, 풍압력 대응 계획서를 제출한다.

옥상녹화를 조성할 때 일반적으로 층구성의 하중과 높이를 최소화하기 위해 노력하는데, 특별히 위험성이 높은 가장자리 및 모서리부의 안전을 위하여 층을 두텁게 조성하거나, 자체하중(건조상태의 층구성 하중)이 높은 재료를 사용하는 것이 필요할 수 있다. 필요한 경우에는 예를 들어 자갈골재나 판재의 바닥재를 조합하여 가장자리 및 모서리부를 보호해야 한다.



풍압대책으로써 흙두께를 이용. 수목은 기둥뿌리를 고정한다.

[그림 2.1] 옥상구축물의 고정

라) 자재의 양중 및 적재

건축물 녹화는 지상의 녹화와 달리 재료의 평면 이동만이 아닌 수직 이동도 필요하게 된다. 대규모 공사의 경우는 크레인을 사용하지만 소규모 공사의 경우는 계단 또는 엘리베이터를 이용하게 된다. 크레인의 사용이 용이하지 않을 경우 또는 크레인을 사용하여도 적재 장소가 옥상의 일부에 한정된 경우는 옥상에서 자재의 수평적 이동이 필요하기 때문에 자재의 이동 통로가 우선적으로 확보되어야 한다. 또한 엘리베이터를 이용할 수 없는 경우

는 인력에 의한 양중에 맡겨야 되기 때문에 반드시 현장에 대한 사전 확인이 필요하며, 공사기간내 자재의 집중적인 적재는 건축물 구조에 영향을 미칠 수 있으므로 주의하여야 한다.

마) 방수/방근층 손상 주의

옥상녹화에서는 방근층이 손상되면 방근층을 관통한 뿌리가 방수층을 손상시킬 위험성이 있으므로 설계단계에서 이에 대한 세심한 검토가 필요하다. 또한 옥상녹화 시공 과정에서 자재의 반입, 운반, 식재, 기반 조성 등의 작업 중 부주의로 인해 방수/방근층을 손상하지 않도록 세심한 배려가 필요하다. 방수/방근층 상부에 집중 하중을 유발하는 시설물 등을 두는 것만으로도 손상을 받을 수 있기 때문에 반드시 보호층을 설치하거나 별도의 보호설비를 하고 공사를 진행하는 것이 필요하다.

바) 토양의 비산

건축물 녹화의 적용공간인 옥상이나 벽면은 바람이 많아 건조하기 쉬운 환경이기 때문에 토양이 비산되기 쉽다. 특히 인공경량토양은 가벼워 비산이 쉽게 발생하기 때문에 주의를 요한다. 토양의 비산은 건축설비의 오염, 배수구로의 유입으로 인한 배수관 막힘 등의 원인이 된다.

시공 중 토양의 비산이 예상되는 경우 적절한 방지 대책을 수립하여야 하며, 이로 인한 민원발생의 요인을 원천적으로 차단하여야 한다. 또한 필요 없게 된 포장재 등은 즉시 수거한다. 하역한 자재의 보관에 있어서도 바람으로 비산/낙하하지 않도록 대책이 필요하고 경우에 따라서는 방풍네트를 펴고 나서 시공한다.

사) 식재 수종의 선택

시공시 수종의 선택은 기후변화에 대한 도시 열섬저감 효과를 높이기 위해 기후변화 적응과 탄소 흡수기능이 우수한 수종 및 자생종 등을 선택하는 것이 필요하다.

아) 토양층의 습윤상태 유지

반입된 토양은 일반적으로 수분량이 적어 토양입자 상호간의 결속이 약해 식재공사 전에 대량의 물을 사용하여 토양의 수분량을 확보함과 동시에 토양입자 상호간의 결속을 도

모할 필요가 있다. 특히 시공면적이 넓은 경우는 수분이 부족하기 쉽고, 건조 상태의 인공경량토양에서는 반입된 토양량과 같은 용량의 관수가 필요하며, 젖은 상태의 인공토양 또는 자연토양에서는 약1/3의 용량의 토양관수가 필요하다. 현장의 공정 또는 상황에 따라 식재단위마다 시트 또는 비닐 등으로 덮어 수분이 증발하지 않도록 관리가 필요하다.

입자가 큰 토양은 일시에 대량의 물을 뿌리면 미립자분이 씻겨 흘러가 낮은 부분에 퇴적해 필터 또는 배수구의 막힘을 유발하기 때문에 주의한다.

자) 청소

시공 중에 육성토양 또는 멀칭재 등이 주위에 산재되어 있는 상태로 물을 흘려보내면 배수구의 막힘을 유발할 수 있기 때문에 확실하게 청소한 후에 물을 사용하도록 한다. 시공 후, 토양이 정착할 때 까지는 관수, 강우, 약한 바람 등에도 비산하는 자재가 발생하기 때문에 일정 기간은 청소가 필요하다.

나. 신기술의 내용

(1) 신기술의 요약 및 범위

본 공법은 건축물 시공시 공정의 일부분으로 취급할 수 있도록 보수성 재료와 비료가 충전된 재생골재를 이용한 식재용 다공질 콘크리트로 대체하여 시공함으로써, 옥상녹화를 건축물 시공시 일체화할 수 있도록 하는 건물옥상의 잔디녹화공법이다. 본 공법에서의 식재용 콘크리트 블록은 강제식 믹서를 사용하여 콘크리트를 혼합하고 진동을 가하는 방법으로 제작한 후, 중화 처리 및 보수재와 양분을 충전한 것으로 콘크리트 블록 자체로써 식물의 생육기반과 보호누름 및 단열재로의 기능을 일체화할 수 있다.

본 신기술의 범위는 다음과 같다

- 식재용 재생콘크리트 블록(Recycon Block)의 제조 기술
- 항의 식재용 재생콘크리트 블록(Recycon Block)을 이용한 건물옥상 잔디녹화공법

(2) 원리 및 시공방법

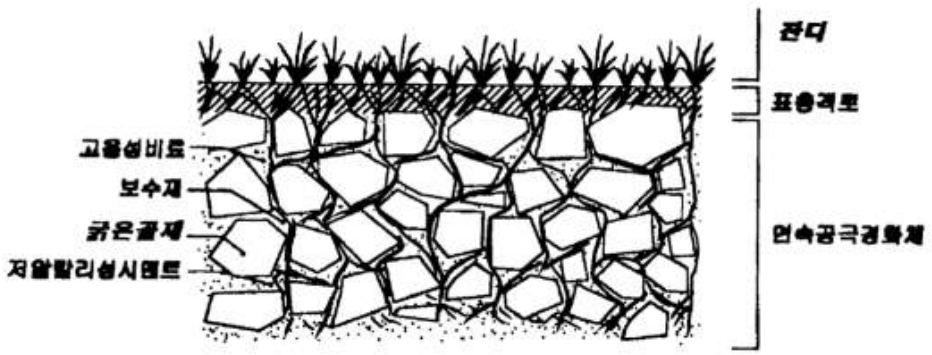
가) 콘크리트에서 식물이 생육하기 위한 조건

[표 2.3] 콘크리트에서 식물이 생육하기 위한 문제점 및 해결방법

문 제 점	해 결 방 법
① 식물뿌리의 활착공간이 없음 ② 보수성과 영양분이 없음 ③ 강알칼리성으로 식물생육이 곤란함	① 다공질 콘크리트로 제작 ② 보수성 재료와 영양분을 충전 ③ 중화처리

나) 식재용 콘크리트의 구성

본 식재용 콘크리트 블록은 그림 1과 같이 재생굵은골재와 고강도 시멘트 페이스트가 결합하여 다공질 콘크리트를 형성하고, 그 안에 보수성 재료와 양분을 충전한 후 표층객토를 함으로써 잔디를 생육할 수 있다.



[그림 2.2] 식재용 콘크리트의 구성

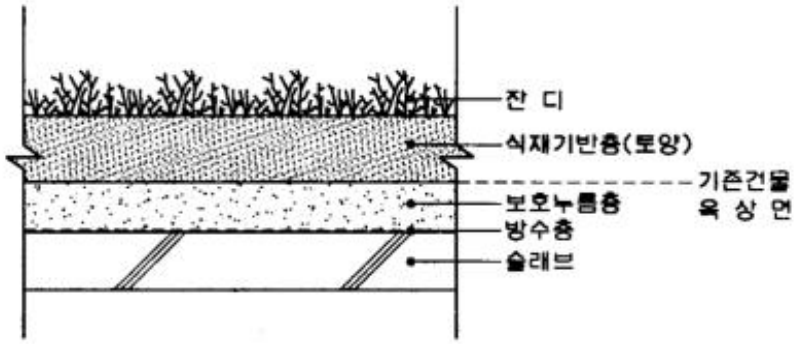
(3) 식재용 재생콘크리트 블록의 제작방법



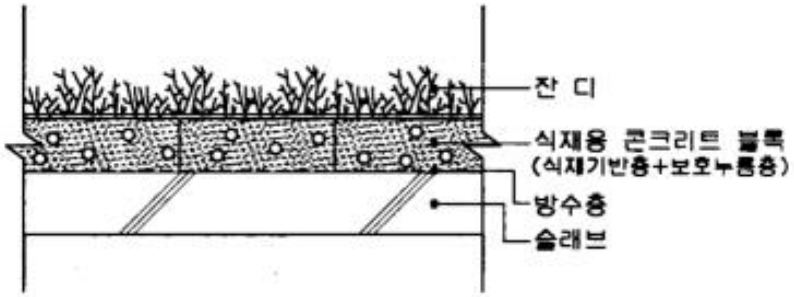
[그림 2.3] 식재용 재생콘크리트 블록의 제작과정

(4) 신공법의 원리

기존의 옥상녹화는 그림 3과 같이 방수층 보호누름인 옥상마감면위에 녹화구성층을 시공하고 있으나 본 신공법은 그림 4와 같이 보호누름층을 잔디의 뿌리가 활착할 수 있도록 다공질 콘크리트로 전환하고 콘크리트속에는 보수재와 양분을 충전한 식재용 콘크리트 블록으로 대체시공함으로써 보호누름과 식물생육층으로의 역할을 동시에 할 수 있다.



[그림 2.4] 기존 옥상녹화공법의 개념도

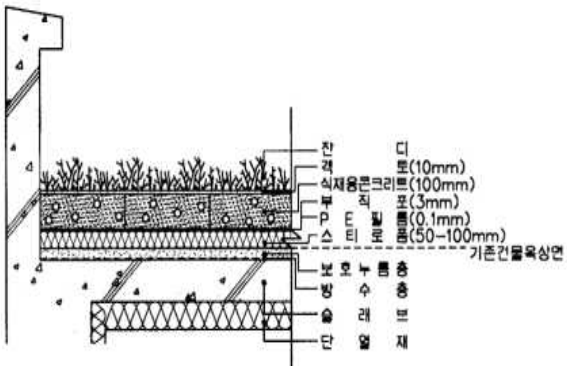


[그림 2.5] 신공법의 개념도

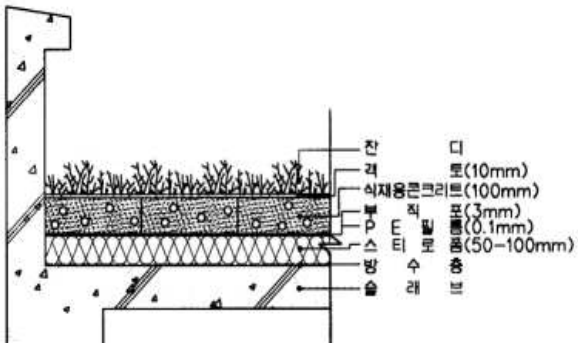
(5) 신공법의 시공방법

본 신공법을 기존건물에 적용하는 경우는 그림 5와 같이 옥상면 상부에스티로폼(50~100mm), 폴리에틸렌 필름(0.1mm), 부직포(3mm), 식재용 재생콘크리트 블록(300×300×100mm 혹은 395×195×100mm 유공블록), 객토층(10mm), 잔디를 순차적으로 시공한다.

신축건물에 적용하는 경우는 그림 6과 같이 슬래브 방수층 상부로부터 기존건물의 경우와 동일한 방법으로 시공한다.



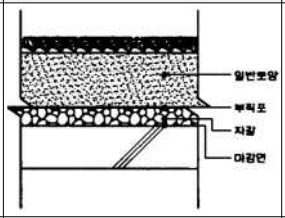
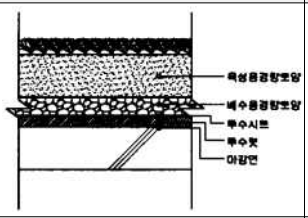
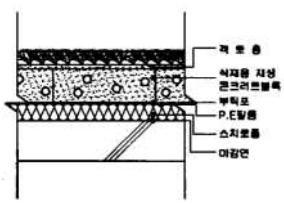
[그림 2.6] 기존건물에 적용하는 경우



[그림 2.7] 신축건물에 적용하는 경우

(6) 기존 기술과의 비교

[표 2.4] 기존 공법과의 비교분석

구 분		일반토양공법	경량토양공법	신공법
신규성	단면 구성			
진보성	하 중1)	약 500 kg/m2	약 320 kg/m2	약 410 kg/m2(기존건물) 약 180 kg/m2(신축건물)
	공사비	20,000 원/m2 정도	46,000 원/m2 정도	26,000 원/m2 정도
	잔디생육	보 통	양 호	양 호
	단열성	보 통	양 호	양 호
	배수성	보 통	양 호	양 호
	보수성	보 통	양 호	보 통
	국산화	재료 및 기술의 국산화	재료 및 기술의 국산화가 완벽하지 않음	재료 및 기술의 재활용 및 국산화
적용성	시공성	자갈 및 토양의 운반 및 시공이 용이하지 않음	경량이므로 운반 및 시공이 용이함	블록제품으로 운반 및 시공이 용이
	보수보강	작업성이 불량함	작업성이 다소 용이	분해결합이 용이함
	환경친화성	천연골재 사용	수입골재 사용	재생골재 사용
주 1) : 하중은 10cm 보호누름층을 포함한 수치임				

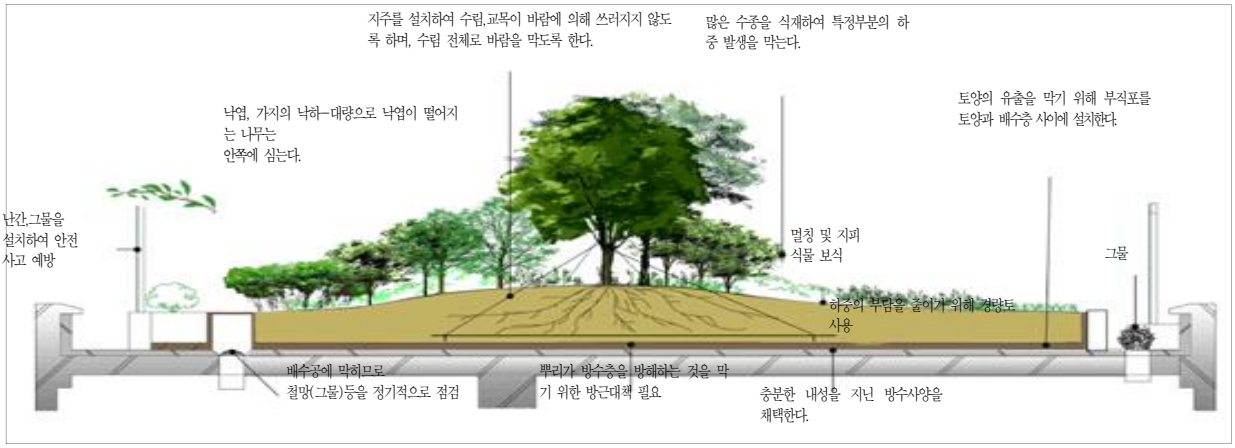
가) 유사과제와의 기술적 차별성

▪ 바텀애쉬를 활용한 옥상녹화용 경량블럭은 구조물의 보호기능과 단열기능을 추가적으로 부여할 뿐만아니라 안전진단, 방수층, 방근층, 배수층, 토양여과층이 최소화한 단순화된 공법임.

구 분	구성요소	기존 공법에서의 역활	**본 공법의 우수성**
건축물 외피	구조 안전진단	·인공지반으로서의 옥상녹화시스템을 지지하는 기능 ·옥상녹화시스템 적용이 전제 ·구조물의 허용응력 현장조사	·기존 건물이나 신축 건물에도 적용가능 ·신축건물 구조물의 안전진단 불필요 ·옥상녹화 추가설계 불필요 ·기존건물은 구조물의 허용응력 현장조사
	방수층	·옥상녹화시스템의 수분이 구조체로 전달되는 것을 차단 ·구조물의 내구성에 가장 중요한 영향을 미침 ·구조진단과 함께 반드시 검토해야 할 전제조건 ·옥상녹화 특유의 안정한 방수소재, 공법이 요구	·기존 방수층을 그대로 활용한 공법 ·방수층 파괴로 인한 누수공사시 표토를 제거하고 단위블럭을 제거하면 되는 간소화된 보수공법 ·추가적인 방수층 불필요(생장형 식생블럭 하단부에 방근시트 삽입하여 일체화 함)
식재 기반	방근층	·식물뿌리로부터 방수층과 구조물을 보호하는 기능 ·시공시 기계적, 물리적 충격으로부터 방수층 보호	·식물뿌리 활착이 경량블럭내에서 진행되므로 구조물 손상피해 최소 ·시공시 일체화한 공법을 적용하여 방근시트 부착하였음.
	배수층	·녹화시스템의 침수로 인해 식물이 익사하는 것을 예방 ·시공후 하자발생이 가장 많은 부분으로 신중하게 설계	·단위블럭은 투수성 블럭이기에 배수층 시공이 불필요 ·시공후 하자발생이 되면 공사의 책임한계가 분명하여 분쟁우려 감소
	토양 여과층	·빗물에 씻겨 내리는 세립토양이 시스템 하부로 유출되지 않도록 여과하는 기능 ·안전하고 내구성이 높은 소재요구	·빗물에 씻겨 내리는 세립토양이 단위블럭내에서 여과됨(빗물저감 효과평가 참조) ·토양여과층 불필요
	육성 토양층	·식물의 지속적 생장을 죄우하는 가장 중요한 하부기반 ·녹화시스템 중량의 대부분을 차지하므로 경량이 요구 ·토심 작은 경우→인공경량토양, 토심이 큰 경우→자연토양을 중심으로 육성토양층 구성	·저관리형 개념으로 야생화, 세덤류, 잔디류 등의 토양층 두께 최소화(5㎝ 이하) ·바텀애쉬를 비료화 하여 제조함으로써 경량토양 역할도 가능 ·영양토, 마사토 비율 최소화
식생층	식생층	·녹화시스템의 최상부 구성요소로 토양층을 피복하는 기능 ·유지관리프로그램, 토양층의 두께, 토양특성을 종합적으로 고려하여 식재소재 선택	·잔디류는 옥상층의 보호기능과 휴식기능을 동시에 제공 ·유지관리가 편하고 야외환경에 생명력이 강한 한국형 야생화의 식재소재 선택(돌단풍, 매발톱꽃, 불두화, 층층잔대, 헬레나, 무릇 꽃, 벌개미취 등 3년간 재배성공)

- 또한, 기존 옥상녹화에 비해 공정을 최소화 함으로써 옥상녹화 공사비 가격을 낮추어 가격 경쟁력과 품질경쟁력에서 우수한 결과를 얻었다.

▪ 서울시의 경우, 이미 옥상녹화 사업이 상당히 진척되고 있다. 지난 2000년부터 옥상녹



화 사업을 추진하고 있는 서울은 지난 2002년 조례를 제정, 옥상조경을 원하는 건물에 대해 지원을 하고 있다. 2007년 건물 옥상 55곳, 약 3만6000㎡(1만 평)의 옥상조경 사업을 지원하고 있다.

- 또한 부산시는 2008년부터 도심 녹지율을 높이기 위한 방안으로 기존 건물 중 옥상에 조경을 하는 건물에 대해 전체 공사비의 50% 범위 내에서 비용(㎡당 7만5000~9만원)을 반영해 직계는 20곳, 많게는 40곳의 민간 건축물에 옥상조경을 지원할 방침이다.
- 따라서, 본 연구의 개발 성공시 아직도 자방자치단체에서 시행되지 않는 상황을 고려해 볼때 적용범위가 매우 넓다고 할 수 있다.

구 분		기존 유사 공법	본 연구에서 개발된 공법
공법의 개략적 모식도			
적용 부위		호안부위 및 옥상녹화 일부 적용 베란다 녹화부분 적용가능	옥상녹화 전면 적용가능
안전 진단비		필요	기존 건물에만 필요 신규 건물의 조경설계 별도 필요없음
공사비	방수층 공사비	부분 필요	불필요(경량 식생유닛블록에 일체화 함)
	방근층 공사비	부분 필요	불필요(경량 식생유닛블록에 일체화 함)
	배수층 공사비	부분 필요	불필요(최종 4층 모델구조로 일체화 함)
인건비		동일	동일
식재 구입비		세덤류 (저관리형의 경우)적용 초목류(베란다용의 경우)적용	세덤류, 잔디류, 야생화 적용
토양 구입비		경량토양은 대부분 수입	바텀애쉬 경량토양으로 대체
하자 보수비		전면 보수	부분 보수 / 방수공사와의 공사 책임소재 구분 분명
유지관리비		하자발생율이 높아 유지관리시스템 도입	하자발생율 낮아 기존 관리인이 겸무 가능
평균 공사비(원/㎡)		160,000~180,000원	120,000원 전후
환경친화성비(CO2 환경부담)		수입산 골재를 사용하며 펄라이트 제조시 환경부담금 증대로 사용규제 강화	재활용 소재(바텀애쉬[1])를 활용한 보급형 옥상녹화 공법
기타		저관리경량형 옥상녹화는 식생층, 방근층, 방수층을 구분하여 공사진행	유닛화한 블록으로 일체화하여 작업하여 공기단축, 생산공정 개선

1) 한국건설생활환경시험연구원 박○○ 선임연구원은 “이 연구는 건식 바텀애시를 활용한 경량골재 가공 시 표면에서 탈락된 부산물들을 활용해 인공 토양으로 가공하는 연구”라고 소개하며, “실험 결과 현재 사용되고 있는 인공토양들과 비교해도 손색없을 정도의 때 물리적 가능성을 확보한 상태”라고 밝혔다. 특히, 이 인공토양은 수분의 유출입이 자연스럽게 이뤄져 식재들이 잘 살 수 있는 환경을 조성해 줄 수 있다. 박 박사는 “옥상녹화에 사용되는 경량 토양을 타깃으로 하고 있는 만큼 현실적으로 도로와 건물 등이 차지하고 있는 면적이 넓어 녹지 조성이 어려운 대도시 옥상 녹화에 적합하다”고 말하며, “특히, 옥상 녹화 시 녹지로 인한 건물 하중이 증가되지만, 개발 중인 경량 토양은 하중 부담을 최소화시킬 수 있는 만큼 가치가 높다”고 강조했다. 끝으로 그는 “향후 실내 인테리어나 실내 조경 시 현재 대부분 화산재나 화산석를 수입, 적용하고 있지만, 이 인공토양의 경우 모양도 흡

2. 실험내용

가. 식재용 블록의 최적배합 실험 및 분석

(1) 바텀애쉬의 특성 분석

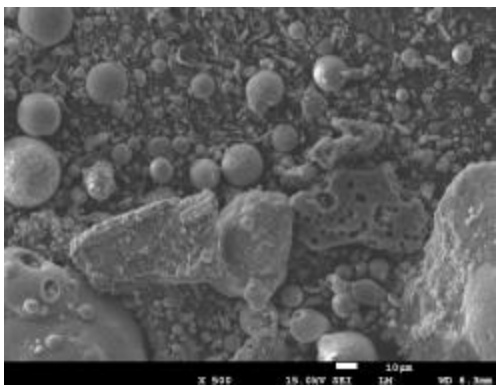
가) 물리적 특성

① SEM 분석

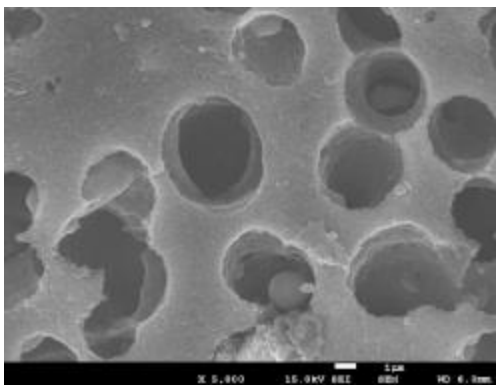
경상남도 S화력발전소의 석탄회 매립지에서 채취한 바텀애쉬의 입자 형상에 대해 자세히 관찰하기 위해 SEM 분석을 실시하였으며, 분석기기 JEOL 사 JSM 6360 (SEM) and Oxford Inca Energy (EDS) 사용 하였고 ×500 에서 ×10,000 까지 측정 하였다.

SEM 측정결과를 아래 그림 1.1 및 1.2에 나타내었다. 바텀애쉬의 SEM 분석 사진을 보면, 수 ㎛에서 수백 ㎛의 입자가 불규칙적으로 분포되어 있으며, 입자 표면에 불규칙적인 공극이 다수 포함된 다공성 형상임을 알 수 있었다.

일반적으로 공극구조에 따른 장·단점으로서는 연속공극의 경우, 수분이 일시에 빠져 나가 자체 포습력이 떨어지며 동절기에 동파의 우려도 매우 크지만 바텀애쉬와 같은 불규칙적인 공극구조는 수분의 함습량이 높아 직접적인 열표출이 어려운 것으로 판단된다.



[그림 2.8] 바텀애쉬 SEM 분석(×500)



[그림 2.9] 바텀애쉬 SEM 분석(×5000)

② 입도특성 분석

바텀애쉬는 경상남도 S화력 석탄회 매립지에서 채취하여 사용하였다. 함수율 31.55wt%로 환경부의 '폐기물 관리법 시행규칙'에 따라서 건축·토목 공사에서 성토재·도로기충재 등

사할 뿐만 아니라 성능도 우수해 시장에서 각광 받을 것"이라고 전망했다.

으로 매립 가능한 무기성 오니의 수분함량 기준인 70%이하이기 때문에 별도의 건조처리 없이 성토재 및 도로기충재 등으로 재활용이 가능하다고 판단되어 진다. 채취한 바텀애쉬 5kg을 잘 혼합한 후, 1kg을 완전건조시켜 체가름시험으로 입도를 분석한 결과는 표 1.1과 같다.

[표 2.5] S화력 석탄회 매립지 바텀애쉬의 입도 분석 결과

입도 (mesh)	중량 (단위 : wt.%)
+4	8.6
-4 / +8	8.5
-8 / +16	21.9
-16 / +30	12.9
-30 / +50	14.6
-50 / +100	31.2
-100 / +200	1.9
-200 / +270	0.2
-270	0.1
계	100.0

S화력 석탄회 매립지의 바텀애쉬의 입도분포 분석 결과 전 중량의 80wt%가 -8/+100의 입도 범위 사이에 존재하고 있음을 알 수 있다. 이는 콘크리트용 잔골재의 입도 범위를 만족하므로 추가 가공 없이 잔골재로서 사용할 수 있음을 나타낸다.

바텀애쉬의 경우 입형이 불규칙하고 탄종에 따라 그 물리적 특성이 달라지나 대표적인 값은 표 1.2와 같다.

[표 2.6] 바텀애쉬의 물리적 특성

비중	실적률 (%)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/㎤)	열전도율 (㎉/mh℃)	색상
1.48	64.46	24.07	1120	0.03	연회색

나) 화학적 특성

① XRF 분석 실험

X-선이 발생할 때 생기는 백색선을 이용하여 물질의 성분을 측정하는 방법으로 백색선은 X-선 영역의 전파장을 가지고 있으므로 물질에 백색선을 조사한 후 격자상수(d)를 알고 있는 결정(Crystal)을 이용하여 물질 성분을 분석하게 되며 재현성이 우수하여 분석자에 따른 오차가 없다는 큰 장점을 가지고 있다.

XRF 분석 결과 S화력에서 채취한 바텀애쉬의 무기성분을 분석하여 보면 다음의 표와 같다.

[표 2.7] XRF 분석결과

분석원소	단위	분석방법	분석결과			
			Run1	Run2	Run3	평균
Si	%	ED-XRF	35.54	39.45	38.26	37.8
Fe	%		34.13	32.53	29.30	32.0
Al	%		18.88	18.32	20.76	19.3
Ca	%		5.81	4.83	5.79	5.5
K	%		1.65	1.34	1.85	1.6
Ti	%		1.49	1.30	1.50	1.4
기타	%		2.50	2.23	2.54	2.4

주요성분은 Si(규소), Fe(철), Al(알루미늄)의 구성 함양이 높게 나타났으며 CA(칼슘), K(칼륨), Ti(티타늄)이 포함 되어있음을 알 수 있었다.

② Cl 함량 분석

S 화력 매립지에서 채취한 바텀애쉬는 바닷물에 침재되어 있어 식생블록으로 사용할 경우 식생블록에 영향을 미칠지에 관하여 분석한 결과 다음과 같다.

[표 2.8] 염화물 분석 결과

분석항목	단위	분석방법	검출한계	분석결과
Cl-	mg/L	IC	0.03	102.91

분석방법은 전처리 과정으로 시료의 25.4g을 증류수 50mL에 1간 용출 후, 필터하여 분석하였고 전처리된 시료 50mL에 25.4g의 시료가 함유되어 있기 때문에 희석배수는 50mL/25.4g 이되어 이것을 측정 결과 값에 곱해주었다.

분석결과 표 1.4의 분석결과의 값에 102.91mg/L가 검출 되었는데 이는 식물의 생장에 큰 영향이 없을 것으로 분석된다.

(2) 기타 주요재료 분석

가) 시멘트

시멘트는 KS L 5201에서 규정하는 것으로 H사의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용한다.

[표 2.9] 시멘트의 물리적 특성

밀도 (g/㎤)	분말도 (㎠/g)	응결		안정도 (%)	압축강도 (kgf/㎠)		
		초결(분)	종결(분)		3일	7일	28일
3.15	3.430	220	340	0.06	276	404	576

나) 물

콘크리트 배합수에 사용되는 물은 음료에 적합한 정도로 깨끗하며 기름, 산, 염류, 유기물 등 콘크리트에 영향을 미치는 유해물질을 유해량 함유하지 않아야 한다.

본 실험에서 사용한 물은 KASS 05010.2.1.3의 규정에 따라 상수도수를 사용하였다.

나. 식물활착형 바텀애쉬 식생블록

(1) 예비실험계획

본 연구는 전례가 거의 전무한 연구로 유효한 식재용 콘크리트블록제작을 위한 배합비를 결정하기 위하여 예비실험을 실시하였다. 예비시험의 콘크리트 배합사항은 표 2.1과 같다. 시멘트와 골재량은 질량비로 1:5에서 1:2까지 10가지로 설정하였다.

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.

[표 2.10] 예비실험 배합계획표

구분	시멘트 : B.A (질량비)	물시멘트비(W/C) (%)
No. 1	1 : 5	30
No. 2	1 : 4	30
No. 3	1 : 3	30
No. 4	1 : 3	30
No. 5	1 : 2.5	10
No. 6	1 : 2.5	20
No. 7	1 : 2.5	25
No. 8	1 : 2.5	30
No. 9	1 : 2	30
No. 10	1 : 1.5	30

혼화제를 식재용 콘크리트에 사용할 경우 식물의 생장에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 사용하지 않는다.

(2) 예비실험결과

계획한 배합비에 따라 배합을 한 후 50.8mm×50.8mm×50.8mm의 입방형 공시체를 제작한다. 식재용 콘크리트블록을 옥상에 설치하기 위해서는 블록의 경량성과 식물이 생육 가

능한 흡수율이 요구되어진다.

예비실험을 실시한 결과 물시멘트비가 작은 5번 공시체와 바텀애쉬의 비율이 높았던 1번, 2번 공시체의 경우 몰드에서 탈형할 때 깨짐현상이 발생하였다.



[그림 2.10] 표면막힘이 발생한 공시체



[그림 2.11] 깨짐현상이 발생한 공시체

또한 시멘트의 비율이 가장 많았던 10번 공시체는 표면이 시멘트로 덮여 식물이 뿌리내리기에 부적당하고 배수도 원활히 되지 않을 것으로 예상되었다.

공시체의 기건비중을 측정한 결과 4번 공시체의 기건비중이 1.16g/㎤으로 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. 이에 따라 그림 2.2와 같은 바텀애쉬 블록의 깨짐을 방지하며 식물의 활착이 가능하도록 시멘트와 바텀애쉬 비는 1:3과 1:2.5, 물시멘트비는 25％와 30％로 설정하였다. 또한, 식재용 블록의 물리적·역학적 특성을 파악하기 위하여 단위용적질량, 기건비중, 공극률, 흡수율, 함수율, 압축강도를 측정하여 식생블록으로써의 사용성을 평가해보았다.

(3) 실험방법

가) 공시체의 제작 및 양생

블록의 단위용적질량, 압축강도 등 물리적·역학적 특성을 파악하기 위한 50.8mm×50.8mm×50.8mm의 입방형 공시체를 제작하고, 식물의 뿌리의 활착을 관찰하기 위

한 225mm×225mm×65mm 블록 공시체를 제작하였다. 블록은 블록의 틀에 골재를 다져넣고 물과 혼합한 시멘트를 부어 골재들을 결합하는데 1차 붓기 후 12시간 경과한 뒤 2차 붓기를 실시한다.

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



[그림 2.12] 식재용 콘크리트 블록

나) 식재용 블록 특성실험

식재용 블록의 물리적·역학적 특성실험은 KS규격 및 포러스콘크리트의 공극률 시험방법(안)에 따라 실시한다.

- 기건비중

기건 비중은 'KS F 4002 속빈 콘크리트 블록'의 규정에 따라 사용하는 공시체는 블록 전체 모양 그대로를 사용하며, 공시체의 질량을 측정하여 기건 비중을 다음 식에 따라 계산한다.

$$\text{기건비중} = \frac{M}{V} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad \text{(식 2.1)}$$

M : 공시체의 질량(g)

V : 공시체의 순 체적(mL)

- 공극률

연속공극률 및 전공극률은 일본콘크리트공학협회 에코콘크리트연구위원회의 '포러스콘크리트의 공극률 시험방법(안)'중 용적법에 준하여 실험을 실시한다. 공극률 시험에 앞서 공시체의 용적을 계산한 후, 콘크리트를 경화시키고 탈형 후 24시간 이상 공시체를 수중에서 포수시킨 후 공시체 내에 공기가 남지 않도록 한 다음 수중중량을 측정한다. 그 후 공시체를 20±2℃, 상대습도 60%에서 24시간동안 항온 항습실내에서 표면건조포화상태로 만들어 표건중량을 측정하며, 마지막으로 24시간동안 건조로에서 절대건조상태인 공시체의 절건중량을 측정한다.

$$\text{연속공극률}(A_1) = \left(1 - \frac{W_2 - W_1}{V_1}\right) \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(식 2.2)}$$

$$\text{전공극률}(A_2) = \left(1 - \frac{W_3 - W_1}{V_1}\right) \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(식 2.3)}$$

A1 : 콘크리트의 연속공극률(%)

A2 : 콘크리트의 전공극률(%)

W1 : 수중중량(g)

W2 : 표건중량(g)

W3 : 절건중량(g)

V1 : 공시체의 용적(㎤)

- 함수율 및 흡수율

◦ 함수율

함수율은 용적 백분율로 표시하고 'KS F 2459 기포 콘크리트의 겉보기 밀도, 함수율, 흡수율 및 압축 강도 시험방법'에 따라 구한다. 공시체의 질량을 측정하고 양생이 끝난 공시체를 105±5℃중에서 일정 질량이 될 때까지 건조하고, 실온이 될 때까지 냉각하였을 때의 질량을 측정한다. 공시체의 체적은 원칙적으로 실제 치수를 측정하여 산출한다.

$$\text{함수율}(\%) = \frac{w_1 - w_0}{V} \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(식 2.4)}$$

W1 : 공시체의 질량(g)

W0 : 건조 후, 실온냉각 시 질량(g)

V : 공시체의 체적(㎤)

흡수율

흡수율은 양생이 끝난 직후의 블록의 함수율로 나타낸다.

- 압축강도

식재용 콘크리트 블록의 압축강도는 KS F 4002, KS F 4038을 참고하여 실시한다. 공시체는 가압 양면을 공시체 블록의 세로축에 직각이 되도록 평활하게 마무리 한다. 그 후 2시간이상 맑은 물속에 담가 흡수시켜서 실험한다. 디지털 압축강도 시험기를 사용하며 압축 방향은 실제로 하중을 받는 방향으로 하고 전체면에 고르게 가압한다.



[그림 2.13] 압축강도 시험기

$$\text{전단면적에 대한 압축강도}(N/mm^2) = \frac{\text{최대하중}}{\text{가압전단면적}} \quad \cdots\cdots\cdots \text{(식 2.5)}$$

(4) 실험 결과

가) 실험결과

표 2.2는 물시멘트비 25%와 30% 바텀애쉬 블록의 물리적·역학적 특성으로 단위용적질량, 기건비중, 흡수율 및 함수율, 공극률, 압축강도를 나타낸 것이다.

[표 2.11] Bottom Ash블록의 물리적·역학적 특성

No.	W/C (%)	C/ B.A	단위 용적 질량 (kg/㎥)	기건 비중	흡수율 (%)	함수율 (%)	공극률 (%)	압축강도 28일 (Mpa)
PB.A -01	30	1:3	1,115	1.08	21.92	10.7	43.9	2.97
PB.A -02			1,113	1.10	22.00	12.3	42.2	2.30
PB.A -03		1:2.5	1,140	1.12	18.1	9.01	39	5.64
PB.A -04			1,144	1.13	15.3	8.2	37.8	5.00
PB.A -05	25	1:3	1,120	1.13	22.3	10.5	39.9	7.86
PB.A -06			1,122	1.14	24	10	38.3	7.00
PB.A -07		1:2.5	1,150	1.16	9	9.1	35	11.35
PB.A -08			1,152	1.15	8.2	8.3	35.6	11.20

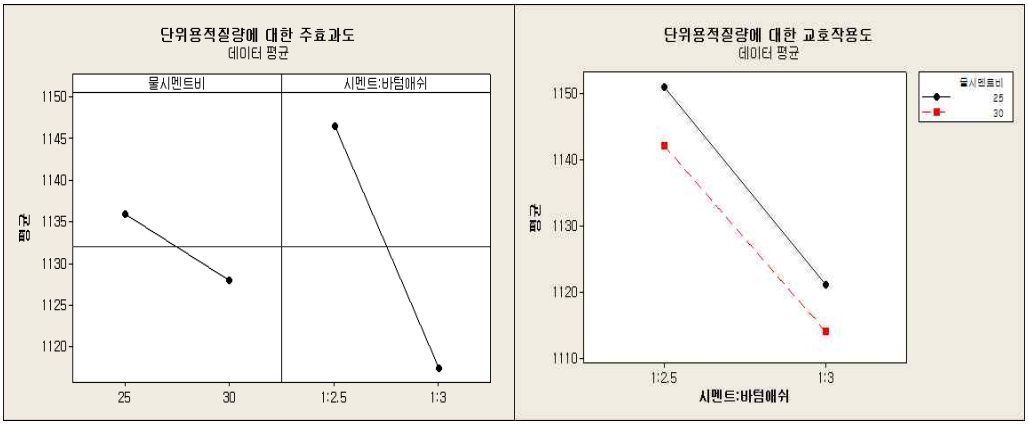
* W/C : 물시멘트비
C/B.A : 시멘트와 바텀애쉬의 비

변수로 W/C를 25%와 30%, C/B.A를 1:2.5와 1:3으로 설정하고, 바텀애쉬 블록의 물리적·역학적 특성으로 단위용적질량, 기건비중, 흡수율 및 함수율, 공극률, 압축강도를 나타낸 것이다.

나) 실험인자 분석

실험 데이터를 바탕으로 하여 실험인자들이 반응인자에 영향을 미치는 정도를 분석하기 위해 주효과도(Main Effects Plot)와 교호작용도(Interaction Plot)를 나타내었다.

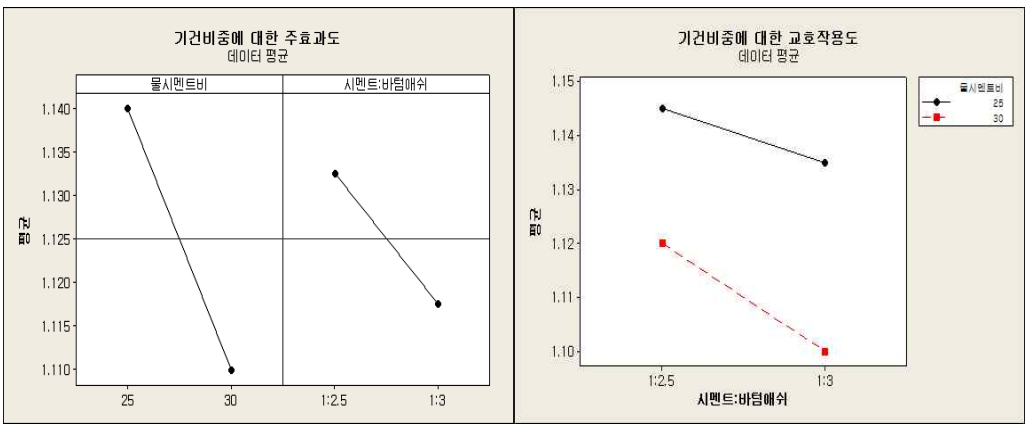
주효과도에서는 직선의 기울기가 클수록 반응인자에 영향을 많이 미치는 실험인자이다. 가운데 직선은 총 평균을 의미하며 각 지점은 수준별 평균을 나타낸다. 교호작용도는 2가지 인자 이상의 인자수준의 조합에서 발생할 수 있는 효과를 보여주며 인자에 대한 영향이 다른 한 인자의 수준에 따라 바뀌는 것을 교호작용이라 한다. 두 개의 선이 거의 평행선을 나타내면 교호작용은 없는 것으로 간주되지만 평행하지 않거나 교차하면 교호작용의 효과가 있는 것으로 판단할 수 있다.



[그림 2.14] 단위용적질량에 대한 주효과도 및 교호작용도

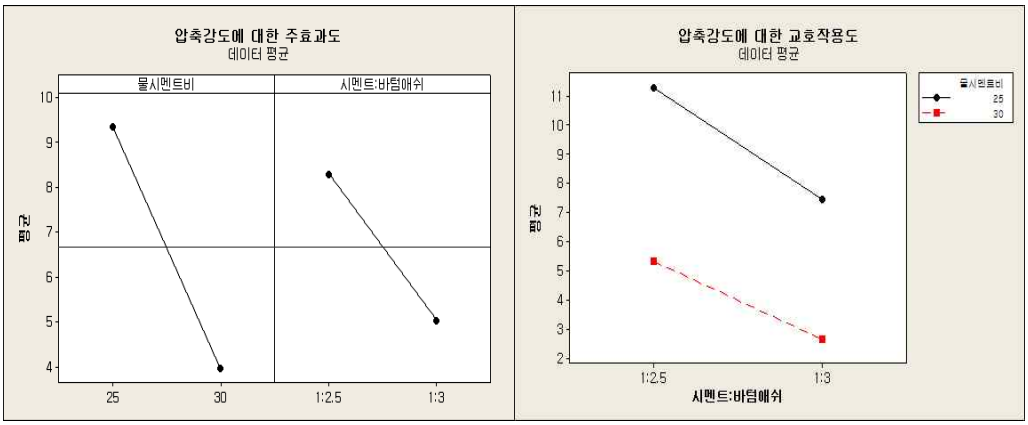
① 단위용적질량

바텀애쉬를 사용한 식생블록의 단위용적질량에서 영향을 많이 주는 실험인자는 C/B.A이다.



[그림 2.15] 기건비중에 대한 주효과도 및 교호작용도

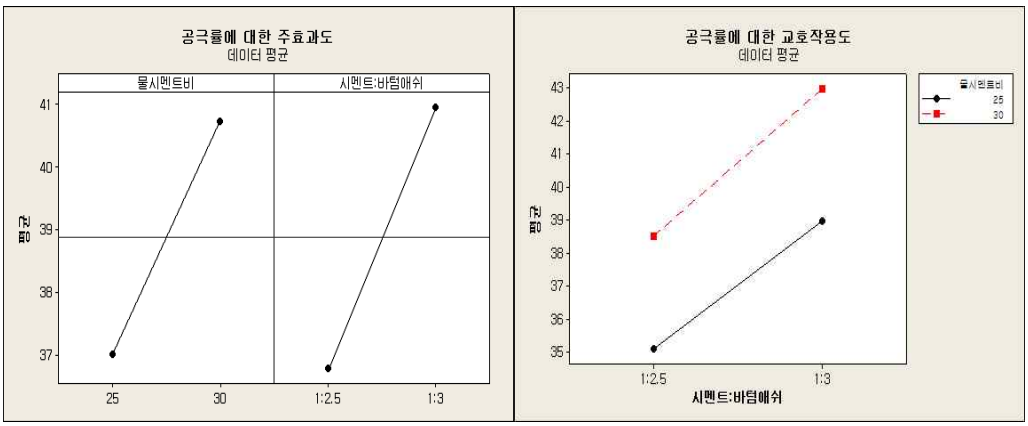
따라서 바텀애쉬의 양보다 시멘트의 양이 증가할수록 단위용적질량이 크게 증가되며 교호작용도의 두 직선은 평행이 되어 W/C, C/B.A 두 인자는 교호 작용이 일어나지 않음을 알 수 있다.



[그림 2.16] 압축강도에 대한 주효과도 및 교호작용도

② 기건비중 및 압축강도

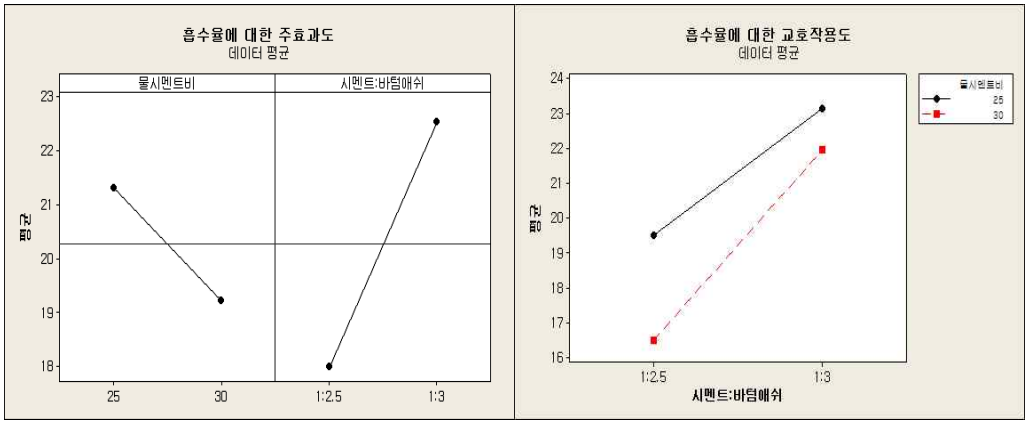
바텀애쉬 식생블록의 기건비중과 압축강도에서는 W/C와 C/B.A의 두 실험인자들이 반응인자에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 또한 실험인자들을 비교하였을 때 물시멘트비에 따른 기건비중의 차이가 C/B.A 보다 크며 두 인자 사이에서의 교호작용은 의심되지 않는다.



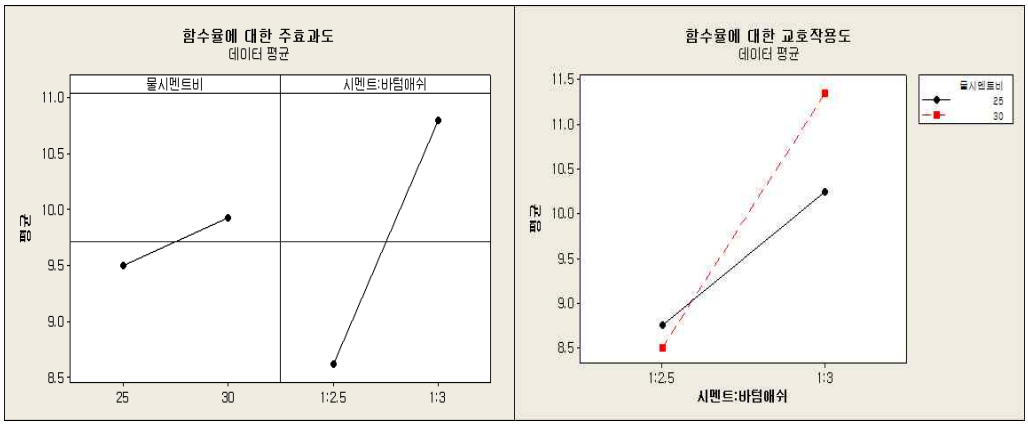
[그림 2.17] 공극률에 대한 주효과도 및 교호작용도

③ 공극률

선행연구를 통하여 식재용 블록의 경우, 20~40%정도의 공극률이면 식물의 생장에 큰 이상이 없다는 것을 알 수 있다. 본 실험에서의 바텀애쉬 블록의 공극률 평균값은 39%이므로 식물이 생장하기에 적정하다는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 공극률에 대한 주효과도에서는 두 가지의 실험인자들이 공극률에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 실험인자들 간의 교호작용은 발생하지 않았다.



[그림 2.18] 흡수율에 대한 주효과도 및 교호작용도



[그림 2.19] 함수율에 대한 주효과도 및 교호작용도

④ 흡수율 및 함수율

바텀애쉬 블록의 흡수율과 함수율은 C/B.A의 실험인자가 가장 많은 영향을 미치고 있으며 교호작용도는 두 인자의 선들이 평행하지 않고 교차하고 있음으로 교호작용이 있다. 즉, W/C와 C/B.A의 인자들 간에 상호효과가 존재함으로써 2개의 실험인자가 다른 실험결과보다 흡수율 및 함수율에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

예비실험을 통해 분석한 결과 W/C의 실험인자는 기건비중과 압축강도, 공극률에 큰 영향을 미치며 C/B.A의 실험인자는 단위용적질량과 공극률, 흡수율, 함수율에 큰 영향을 끼친다. 또한 흡수율과 함수율은 두 실험인자간의 교호작용이 일어남으로써 W/C와 C/B.A 간의 설정 또한 고려되어야한다

다. 식물생육형 식생블록

(1) 바텀애쉬 수급지 변경

1절에서 진행했던 예비실험의 바텀애쉬는 경상남도 H화력 발전소에서 지속적인 수급이 어려운 실정으로 본 실험을 위한 바텀애쉬는 경상남도 S화력 발전소에서 채취하였다.

(2) 바텀애쉬 비중 및 흡수량 실험

가) 실험목적

잔골재를 이용한 콘크리트의 배합과 설계에서 절대용적을 알기 위해 비중 실험을 실시한다. 잔골재 입자의 공극을 알고 콘크리트의 배합 계산에서 사용수량을 조절하기 위한 실험이다.

나) 실험기구



[그림 2.20] 원뿔형 몰드 및 다짐봉



[그림 2.21] 플라스크

- 원뿔형 몰드 : 윗지름 40±3, 아랫지름 29±3, 높이 75±3, 최소 두께 0.8㎜ 이상
- 다짐봉 : 무게 340±15g, 지름 25±3㎜ 의 평평하고 원형인 다짐면을 가진 것
- 건조기 : 105±5℃를 고르게 유지할 수 있는 것

※ 일반적으로 잔골재의 비중이란 표면건조포화상태의 비중

- 플라스크(비중병), 전자저울, 체, 데시케이터, 피펫, 시료 삽, 분무기



(a) 시료채취 600g



(b) 24±4시간 동안 물 속에 담금



(c) 습윤상태



(d) 표면건조포화상태

[그림 2.22] 바텀에쉬 비중 실험

<비중 실험>

a. 500ml 플라스크의 무게를 측정한 후 500g의 잔골재를 곧 플라스크에 넣는다.

b. 그 플라스크에 물을 용량의 90%까지 채운 후 플라스크를 굴려 기포를 모두 없앤다.

c. 플라스크를 23±1.7℃의 항온수조에 1시간 담근다

d. 물을 플라스크의 100%(검정용량)까지 채운 다음에 중량을 측정한다.

e. 비중은 다음과 같이 계산한다.

$$\text{표면건조포화상태 비중} = \frac{D}{A+D-C}$$

$$\text{겉보기 비중} = \frac{D}{A+B-C}$$

A : 표면 건조상태의 시료(500g)

B : 물을 500g 채운 플라스크의 중량(g)

C : 플라스크에 시료와 물을 100%(검정선)까지 채운 중량(g)

D : 절대 건조 상태의 시료의 무게(g)

다) 주의사항

- 잔골재의 비중이란 표면건조포화상태의 비중을 얘기한다
- 급히 건조시키면 시료의 일부가 절대 건조상태가 될 수 있다.
- 채취장소 및 풍화의 정도에 의해 비중과 흡수율이 변화한다
- 잔골재의 비중은 일반적으로 2.50~2.65 정도이다.

<흡수량 실험>

a. 시료를 건조로에 넣고 하루 동안 건조시켜 절대 건조 상태의 무게를 측정한다.

b. 표면 건조 상태의 시료 무게와 절대 건조 상태의 무게를 이용 흡수율을 계산한다.

$$\text{흡수율Q(\%)} = \frac{A-D}{D} \times 100$$

A : 표면 건조 상태의 시료의 무게(g)

D : 절대 건조 상태의 시료의 무게(g)

라) 실험결과

[표 2.12] 바텀애쉬 비중 실험 결과

실 험 결 과		2.36㎜	1.18㎜	0.6㎛
① 물과 빈플라스크 무게	g	1349.3	1349.3	1349.3
② (플라스크)+(물)+(시료)의 중량		1591.01	1590.08	1558.95
③ 표면 건조상태의 시료의 중량		500	500	500
④ 절대 건조상태의 시료의 중량		444.98	452.26	457.78
절대건조상태의 비중 $\frac{④}{①+④-②}$		2.0	1.7	1.6
표면건조상태의 비중 $\frac{③}{①+③-②}$		2.2	1.9	1.7
허 용 차		0.02		

바텀애쉬 입도별 비중을 측정한 결과 2.36mm는 2.0, 1.18mm는 1.7, 0.6μm는 1.6값으로 측정되었다. 입도가 작아질수록 바텀애쉬 비중은 작아진다.

[표 2.13] 바텀애쉬 흡수량 실험 결과

실 험 결 과		2.36㎜	1.18㎜	0.6㎛
① 표면건조 포상태의 중량	g	500	500	500
② 절대건조 상태의 중량		444.98	452.26	457.78
흡수율 = $\frac{①-②}{②}\times 100$	%	12.5	11	9

바텀애쉬 입도별 흡수율을 측정한 결과 2.36mm는 12.5%, 1.18mm는 11%, 0.6μm는 9% 값으로 측정되었다. 입도가 커질수록 바텀애쉬가 수분을 흡수하는 양은 증가한다.

(2) 배합계획

본 실험은 바텀애쉬 경량블록의 역학적 특성을 규명하고 더 나아가 옥상녹화 공법의 성능을 개선하기 위해 바텀애쉬 입자를 2.36mm, 1.18mm, 0.6μm로 구분하고 각각 블록을 제조하여 실험하였다. 바텀애쉬의 각 입도별 물리적 특성은 표 3.3과 같다.



[그림 2.23] 바텀애쉬 입도별 구분



[그림 2.24] 바텀애쉬 채가름 시험

[표 2.14] 바텀애쉬의 물리적 특성

	비중	실적률 (%)	공극률 (%)	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/㎤)	색상
2.36㎜	2.0	62%	38%	12.5%	1,260	연회색
1.18㎜	1.7	63%	37%	11%	1,100	연회색
0.6㎛	1.6	64%	36%	9%	1,011	연회색

이와 같이 바텀애쉬 입자를 구분하여 배합한 것은 블록의 공극율의 차이가 압축강도와 식물뿌리의 활착에 밀접한 연관성이 있다는 예측하에 배합계획을 세웠다. 바텀애쉬 입도별 비율을 표 3.4와 같이 구분하여 각 C/B.A 비에 적용하였다.

시멘트량과 바텀애쉬의 용적배합비 1:1, 1:2, 1:3, 1:5를 기준으로하고 W/C 비는 30%로 고정하여 제작하였다. 그림 3.6과 같이 시멘트와 바텀애쉬, 물의 배합과정에서 물 비율을 조정하여 플로우 값이 0에 가까운 비율을 가지는 물 비율을 선정하였다. 배합계획은 아래 표 3.5와 같으며 예비실험과 같이 혼화제를 식재용 콘크리트에 사용할 경우 식물의 생장에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 사용하지 않는다.



[그림 2.25] w/c비 선정 과정

[표 2.15] 바텀애쉬 입도별 배합시 첨가량

단위 : %

구 분	2.36㎜	1.18㎜	0.6㎛
CASE 1	100	0	0
CASE 2	80	10	10
CASE 3	60	20	20
CASE 4	40	30	30

[표 2.16] 바텀애쉬 배합 계획표

구분	C /B.A	W /C	용적 배합(ℓ/㎥)				단위용적중량 배합(kg/㎥)				
			C	B.A			C	B.A			W
				2.36 (㎜)	1.18 (㎜)	0.6 (㎛)		2.36 (㎜)	1.18 (㎜)	0.6 (㎛)	
BA-01	1:1	30	329	329	0	0	1038	659	0	0	311
BA-02				263	33	33	1038	527	56	53	
BA-03				198	66	66	1038	395	112	105	
BA-04				132	99	99	1038	263	168	158	
BA-05	1:2		246	492	0	0	775	984	0	0	232
BA-06				394	49	49	775	787	84	79	
BA-07				295	98	98	775	590	167	157	
BA-08				197	148	148	775	394	251	236	
BA-09	1:3		196	589	0	0	618	1177	0	0	185
BA-10				471	59	59	618	942	100	94	
BA-11				353	118	118	618	706	200	188	
BA-12				235	177	177	618	471	300	283	
BA-13	1:5		140	698	0	0	440	1397	0	0	132
BA-14				559	70	70	440	1118	119	112	
BA-15				419	140	140	440	838	237	224	
BA-16				279	210	210	440	559	356	335	


(a) 물


(b) 시멘트


(c) 바텀애쉬


(d) 배합된 시험체

[그림 2.26] 배합된 시험체 및 배합재료

(3) 실험결과 및 분석

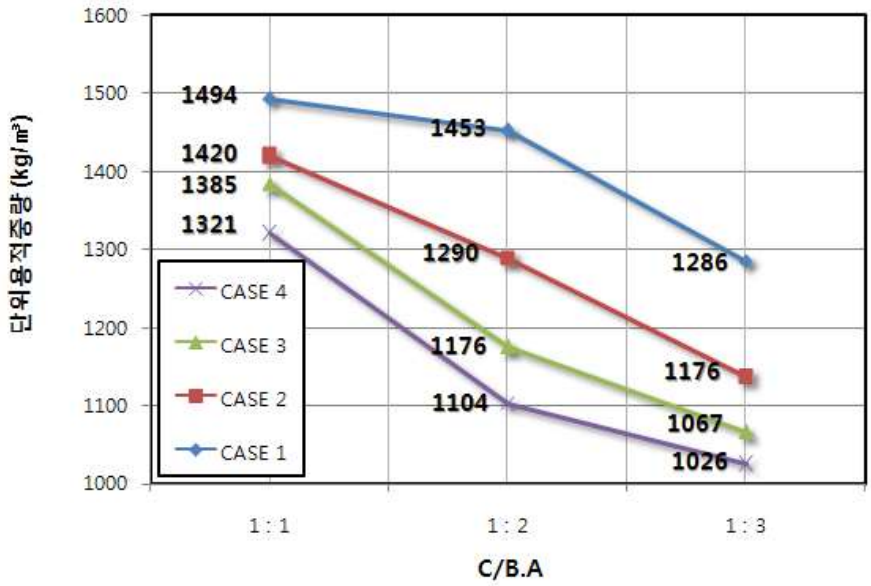
본 실험에서는 바텀애쉬의 입도 크기, C/B.A 비를 변수로 하여 실험을 수행하였다. 이에 따른 분석은 다음 표 3.6과 같다. C/B.A 비가 1:5인 변수의 실험은 시멘트 함유량이 극소량이기 때문에 바텀애쉬 블록의 물리적·역학적 특성을 측정하기 어려울 만큼 쉽게 파손되어 결과 값에서 배제하였다.

[표 2.17] Bottom Ash블록의 물리적·역학적 특성

공시체	C/B.A	W/C (%)	단위용적질량 (kg/㎥)	압축강도 (3일)	압축강도 (7일)	압축강도 (28일)	흡수율 (%)	함수율 (%)	공극률 (%)
				(Mpa)					
BA-01	1:1	30	1,494	14.53	18.14	20.1	4	10	17
BA-02			1,420	12.56	15.63	17.4	4	12	18
BA-03			1,385	11.33	14.36	16.7	4	13	20
BA-04			1,321	10.25	13.49	14.8	5	13	22
BA-05	1:2	30	1,453	6.44	7.97	17.2	11	15	17
BA-06			1,290	5.29	3.03	15.8	12	15	20
BA-07			1,176	4.17	2.85	12.3	15	20	23
BA-08			1,104	2.16	1.17	9.7	18	23	26
BA-09	1:3	30	1,286	1.5	0.86	7.6	16	20	22
BA-10			1,138	0.94	0.71	6.6	17	22	24
BA-11			1,067	1.37	0.78	3.4	19	22	24
BA-12			1,026	2.01	0.6	3.1	20	26	27

가) 단위용적질량

바텀애쉬 입도별 함유량에 따른 CASE 1, CASE 2, CASE 3, CASE 4를 C/B.A 비의 변화에 따라 단위용적질량을 측정하였다.



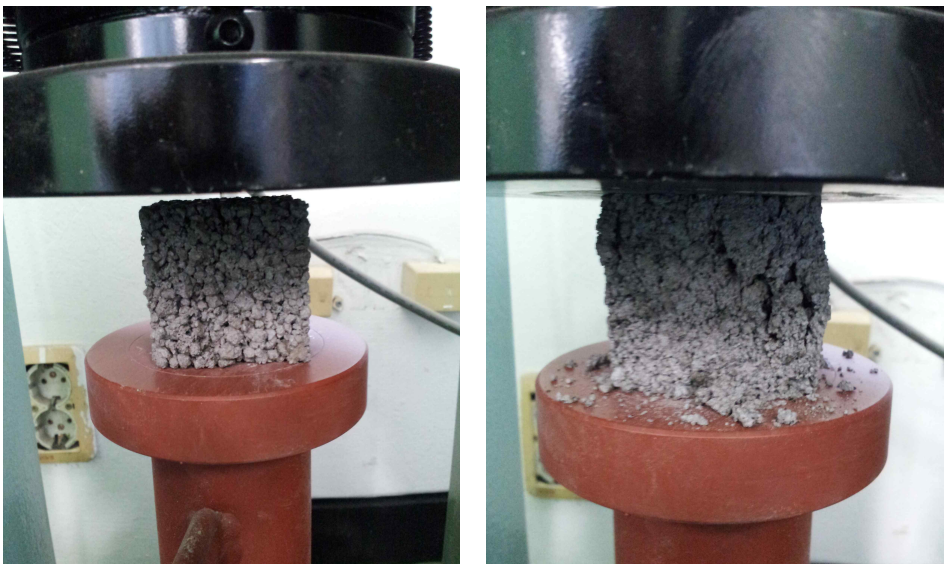
[그림 2.27] C/B.A 비에 따른 단위용적질량 변화

C/B.A의 비가 증가 할수록 단위용적질량은 전체적으로 줄어들며 바텀애쉬의 입도별 함유량이 증가 할수록 단위용적질량 또한 감소한다. 이는 바텀애쉬 비중이 시멘트 보다 작으며 바텀애쉬 입도가 작아질수록 비중이 작아지기 때문에 C/B.A의 비 1:3에서 CASE 4에서 1026kg/㎥으로 가장 작은 값이 나타난다.

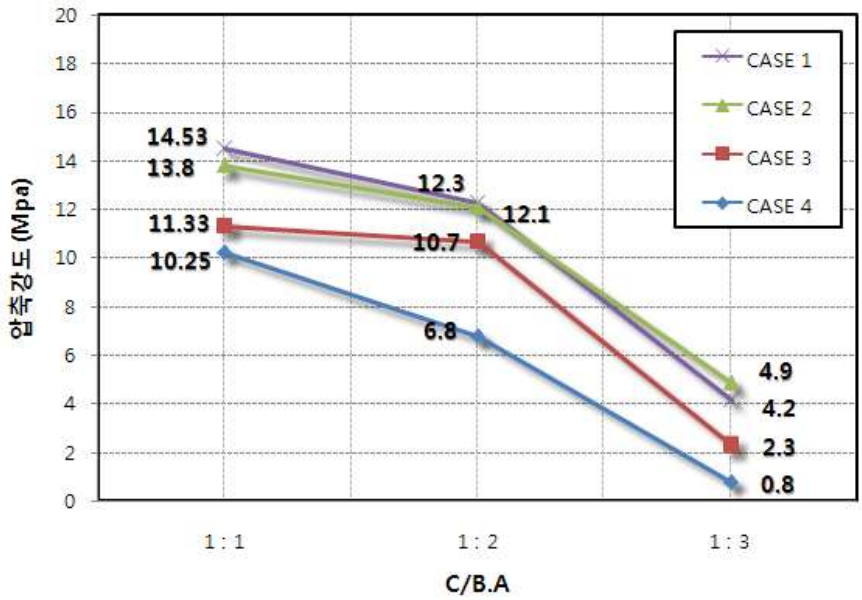
이는 무근 콘크리트가 2,300kg/㎥, 일반적인 흙이 1,200~1,800kg/㎥의 단위용적질량을 갖는 것을 고려해 보았을 때, 현재 사용하고 있는 옥상녹화 공법을 사용했을 때 보다, 바텀애쉬블록을 이용하여 옥상녹화를 진행하였을 때 건물에 작용하는 하중을 상당히 감소시킬 수 있을 것으로 분석된다.

나) 압축강도

바텀애쉬 입도별 함유량에 따른 CASE 1, CASE 2, CASE 3, CASE 4를 C/B.A 비의 변화에 따라 양생기간 3일, 7일, 28일 압축강도 실험을 수행하였다.



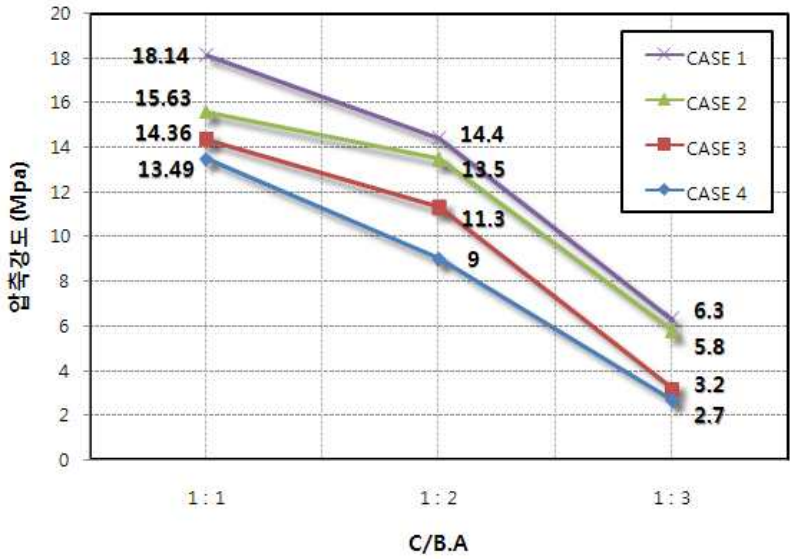
[그림 2.28] 바텀애쉬 블록 압축강도 측정



[그림 2.29] C/B.A 비에 따른 압축강도(3일) 변화

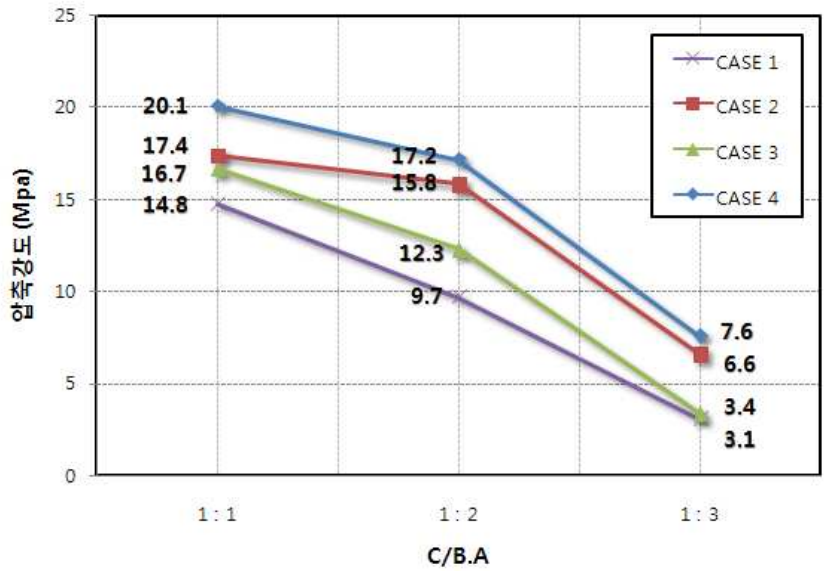
압축강도(3일)의 변화는 C/B.A 비가 증가할수록 강도의 값이 감소하게 된다. 각 C/B.A 비에서 바텀애쉬 입도별 함유량이 증가 할수록 압축강도도 작아졌음을 알 수 있다.

C/B.A 비 1:1에서 시멘트 비율이 가장 크기 때문에 14.53 Mpa으로 가장 큰 값을 보였으며 바텀애쉬 비율이 커질수록 급격하게 압축강도가 줄어들었다.



[그림 2.30] C/B.A 비에 따른 압축강도(7일) 변화

압축강도(7일)의 변화는 C/B.A 비가 증가할수록 압축강도는 작아지며 CASE 1, CASE 2, CASE 3, CASE 4 순으로 작아졌음을 나타낸다.



[그림 2.31] C/B.A 비에 따른 압축강도(28일) 변화

압축강도(28일)의 변화 또한, C/B.A 비인 1:1, 1:2, 1:3 모두 CASE 1, CASE 2, CASE 3, CASE 4의 순으로 크게 나타났으며, 1:2에서 1:3으로 바터애쉬가 증가할수록 급격하게 압축강도가 줄어들었다.

양생기간 (3일, 7일, 28일)에 따른 압축강도 변화를 살펴보면, 기간이 길어짐에 따라 압축강도는 전체적으로 증가하였으며 C/B.A 비와 압축강도의 관계는 반비례함을 알 수 있다.

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 판단되어 진다.

다) 흡수율

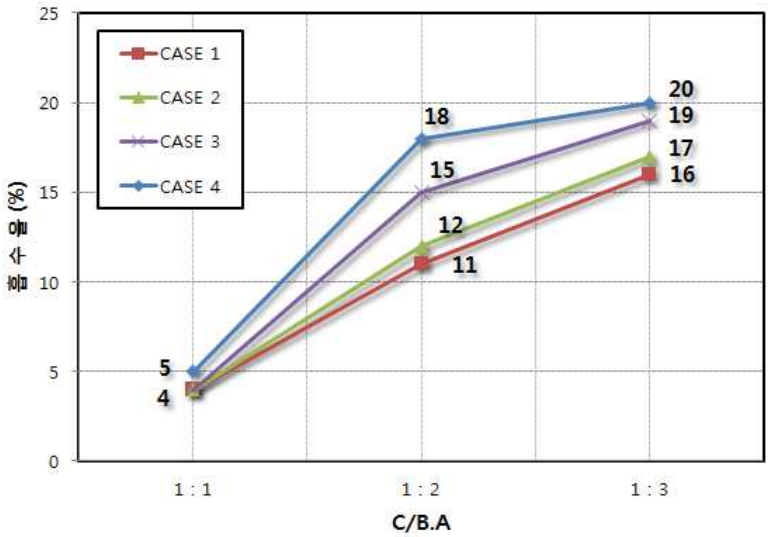
바텀애쉬 입도별 함유량에 따른 CASE 1, CASE 2, CASE 3, CASE 4를 C/B.A 비의 변화에 따라 흡수율 실험을 수행하였다.



[그림 2.32] 바텀애쉬 블록 흡수율 측정

바텀애쉬 블록의 흡수율 변화는 C/B.A 비가 증가 할수록 흡수율도 증가함을 알 수 있다. C/B.A 비인 1:1, 1:2, 1:3에서 CASE 4의 흡수율 큰 값을 보였으며 흡수율이 20%로 가장 큰 값을 가진다.

C/B.A 비에 따른 흡수율의 변화를 살펴보면, 바텀애쉬 양이 증가할수록 흡수율이 커지며 바텀애쉬의 작은 입도 함유량이 증가 할수록 흡수율 값이 커짐을 알 수 있다. 따라서 바텀애쉬 입도의 크기가 작을수록 흡수율이 크기 때문에 식물이 생장할 수 있는 조건을 가지는 것으로 판단된다.

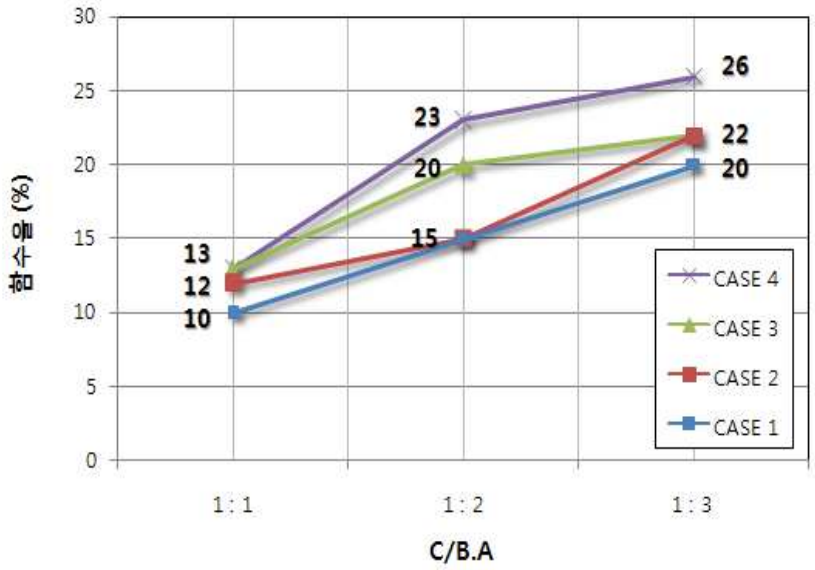


[그림 2.33] C/B.A 비에 따른 흡수율 변화

또한, 흡수율이 높을수록 식물에의 수분공급이 원활할 것으로 예상이 되나, 너무 높을 경우 식물의 뿌리가 부식하거나 겨울철에 블록이 동파할 가능성이 높기 때문에 적정한 흡수율이 요구되어진다.

라) 함수율

바텀애쉬 입도별 함유량에 따른 CASE 1, CASE 2, CASE 3, CASE 4를 C/B.A 비의 변화에 따라 함수율을 측정하였다.

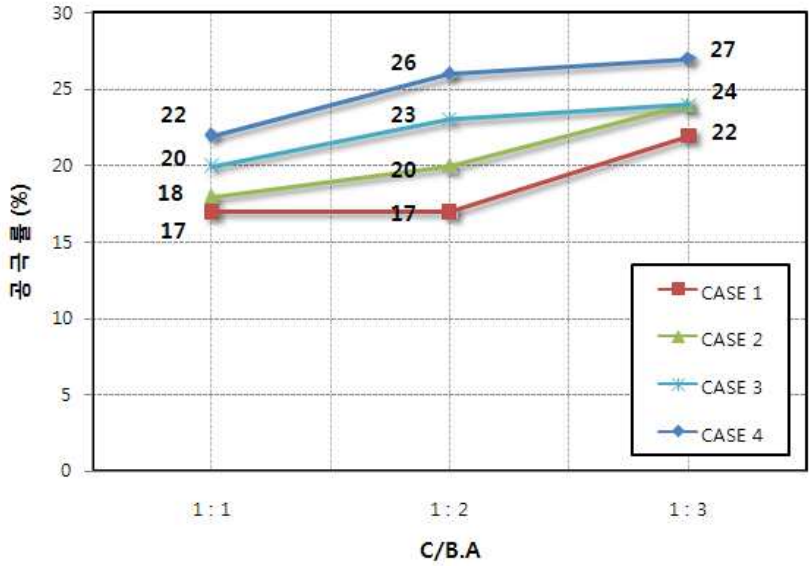


[그림 2.34] C/B.A 비에 따른 함수율 변화

바텀애쉬 블록의 함수율 변화는 C/B.A 비가 증가 할수록 함수율도 증가함을 알 수 있으며 C/B.A 비인 1:1, 1:2, 1:3에서 CASE 4의 흡수율 큰 값을 보였으며 함수율이 26%로 가장 큰 값을 가진다.

마) 공극률

바텀애쉬 입도별 함유량에 따른 CASE 1, CASE 2, CASE 3, CASE 4를 C/B.A 비의 변화에 따라 공극률을 측정하였다.



[그림 2.35] C/B.A 비에 따른 공극률 변화

바텀애쉬 블록의 공극률 변화는 C/B.A 비가 증가 할수록 공극률도 증가함을 알 수 있으며 C/B.A 비인 1:1, 1:2, 1:3에서 CASE 4의 흡수율 큰 값을 보였으며 공극률이 27%로 가장 큰 값을 가진다.

C/B.A 비에 따른 흡수율의 변화를 살펴보면, 바텀애쉬 양이 증가할수록 흡수율이 커지며 바텀애쉬의 작은 입도 함유량이 증가 할수록 흡수율 값이 커짐을 알 수 있다. 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 생장에 별다른 무리가 없다는 것이 알려졌다.

라. 기존 옥상녹화재료와의 비교분석 실험

(1) 퍼라이트

퍼라이트는 화산 활동으로 발생한 용암이 급속히 냉각되어 생성된 유리질 암석으로 약 3~5%의 결정수를 함유하고 있다. 보통 회색 또는 푸른색을 띄지만 갈색이나 청색 혹은 적색을 띄는 경우도 있다. 퍼라이트 광물에는 흑요석, 진주암, 송지암 등이 있다.

일반적인 퍼라이트는 이러한 암석을 정석 가공 후 약 1200℃의 온도에서 급속히 가열하여 결정수를 기화시켜 만드는 팽창 퍼라이트라는 가벼운 다공성의 입자를 말한다. 결정수가 기화하면서 입자 속에 수많은 미세 기공을 형성하게 되어 매우 가벼울 뿐만 아니라 단열성, 불연성, 방음성, 내화성, 통기성, 보습성 등의 특성을 가진다. 퍼라이트는 단열재, 흡음재, 몰탈, 내화물, 경량콘크리트뿐만 아니라 인공토양 등으로 사용된다.

[표 2.18] 퍼라이트의 물리적 특성

밀도 (g/㎤)	실적률 (%)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/㎥)	입자크기 (㎜)
0.87	30.92	87.53	1,200	2.5이하 (혼합중립)

입자가 굵은 퍼라이트는 주로 배수용으로 사용하고 입자가 식물의 육성용으로 사용되는 퍼라이트는 입자가 작은 것을 사용한다.

(2) 실험결과

본 실험에서 적용된 바텀애쉬블록을 다른 인공토양의 한 종류인 퍼라이트블록과 일반토양의 물리적 특성을 다음 표 4.2와 같이 나타내어 서로 비교분석하였다.

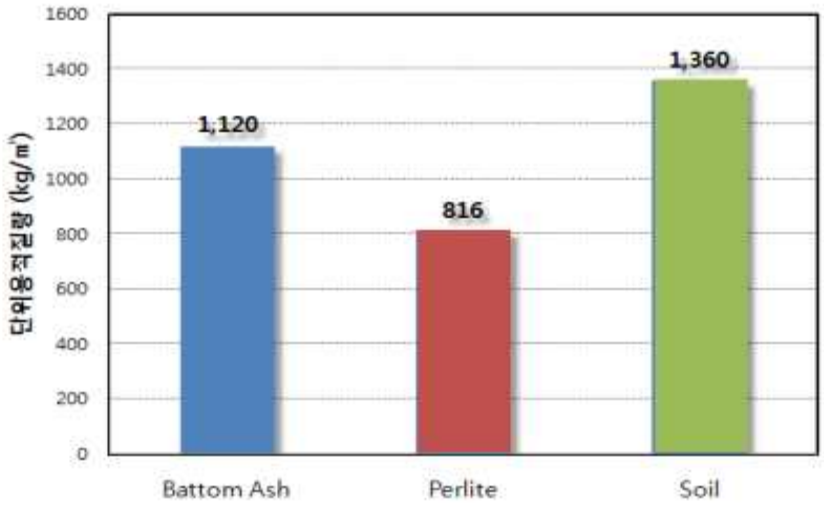
인공토양인 바텀애쉬블록, 퍼라이트블록과 일반토양의 물리적 특성을 서로 비교분석하기 위하여 단위용적질량, 기건비중, 흡수율, 함수율, 공극률, 양생기간 28일의 압축강도를 그림 4.1~4.6에 나타내었다.

[표 2.19] 바텀애쉬블록, 퍼라이트블록, 일반토양의 물리적 특성

No.	단위 용적질량 (kg/㎥)	기건비중	흡수율 (%)	함수율 (%)	공극률 (%)	압축강도 28일 (Mpa)
Battom Ash Block	1,120	1.13	23.3	10.5	39.9	7.86
Perlite Block	816	0.82	53.8	43.5	69.9	1.27
인공토양	1,360	1.37	42.3	37.7	48.3	-

가) 단위용적질량

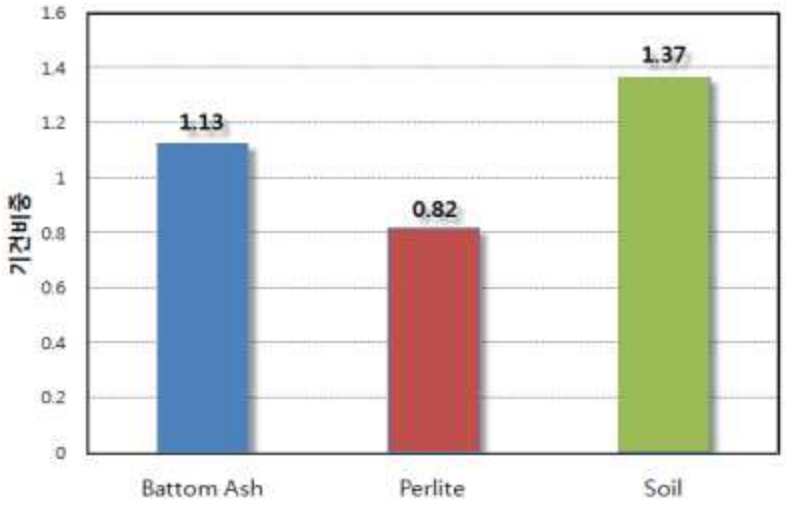
퍼라이트블록의 단위용적질량은 1,120kg/㎥으로 바텀애쉬블록과 비교해 보았을 때 약 300kg/㎥정도 작은 값을 가져 더욱 경량한 것을 알 수 있으며 일반토양은 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록 보다 높게 나타났다.



[그림 2.36] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 단위용적 질량

나) 기건비중

퍼라이트블록의 기건비중은 0.82, 바텀애쉬블록이 1.3의 값을 가지는 것에 비해 가벼운 것을 알 수 있다. 하지만 물의 비중인 1보다 작은 값으로 물에 뜨는 성질을 가지기 때문에 옥상층에 설치되었을 경우 물의 배수 등 이에 대한 대책이 필요한 것으로 보인다.

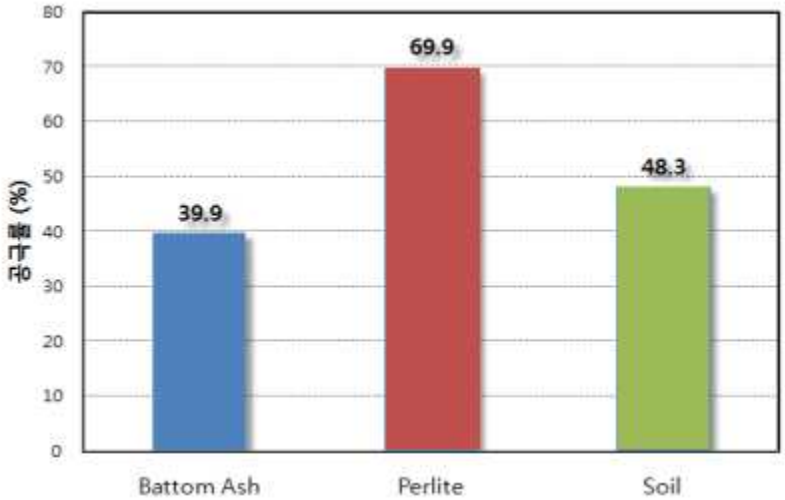


[그림 2.37] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 기건비중

다) 공극률

퍼라이트블록의 공극률이 69.9%이고 바텀애쉬블록에 비교해 보았을 때 공극률이 20~25%정도 높은 값을 나타내고 있다. 또한 바텀애쉬블록은 일반토양의 공극률과 차이가 적은 약 40% 값을 가지고 있다.

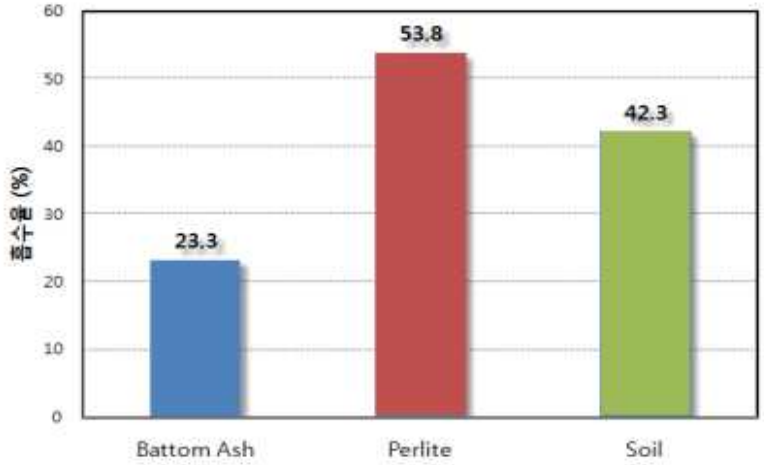
공극률이 60%이상의 값을 가져 식물이 뿌리내리기 위한 충분한 공극을 가지는 것으로 보이나 압축강도가 낮아질 가능성이 높다.



[그림 2.38] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 공극률

라) 흡수율

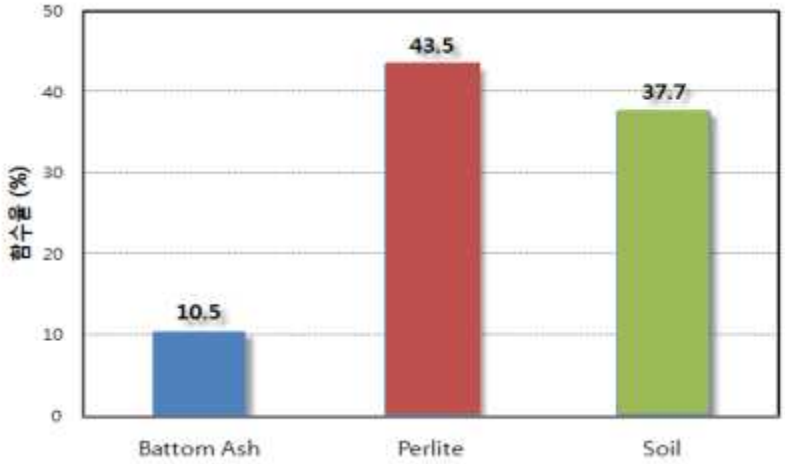
퍼라이트블록의 흡수율은 53.8%이며 바텀애쉬블록의 흡수율이 22%정도인 것에 비하여 퍼라이트를 사용한 블록이 약 30% 높은 흡수율을 나타낸다. 하지만 흡수율이 50%이상의 값을 가져 높다고 판단되기 때문에 옥상층에 실제로 설치를 하여 식물의 뿌리의 부식 발생이나 동절기 중 블록의 동파 발생을 관찰할 필요가 있다.



[그림 2.39] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 흡수율

마) 함수율

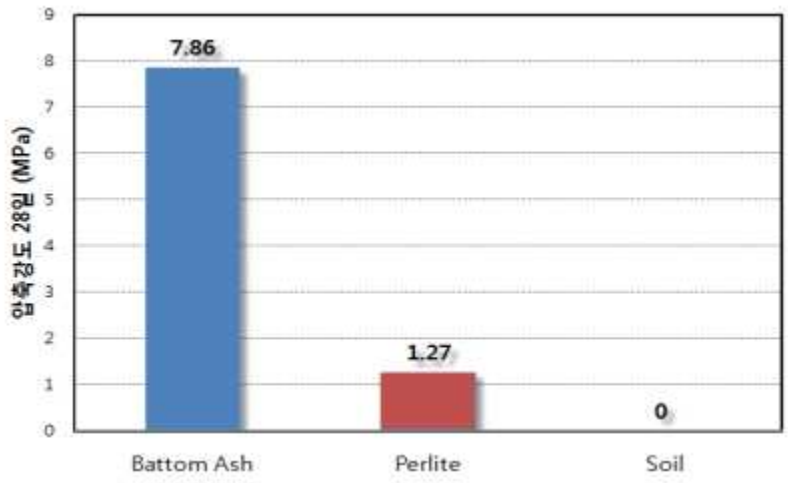
함수율의 경우 바텀애쉬블록과 마찬가지로 흡수율보다 약 10% 낮은 값이며 퍼라이트블록은 43.5%의 값을 가진다. 바텀애쉬블록과 비교하였을 때 퍼라이트, 일반토양의 흡수율과 마찬가지로 약 30%, 20%정도 높은 값을 가지는 것을 알 수 있다.



[그림 5.33] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 함수율

바) 압축강도

퍼라이트블록의 압축강도는 1.27로 그 강도가 바텀애쉬블록의 압축강도와 큰 차이값을 가져 공극률이 증가할 경우 발생할 수 있는 문제점인 강도의 감소현상이 측정되었다. 점착력이 없는 일반토양은 성형이 되지 않으므로 압축강도의 측정이 불가하여 인공토양인 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록만 압축강도를 측정하였다.



[그림 2.40] 바텀애쉬블록과 퍼라이트블록의 압축강도

사) 식물의 활착실험

식물의 활착을 관찰하는 실험은 225mm×225mm×65mm 블록 공시체를 사용한다. 블록은 7일 이상 물속에 두어 식물의 생장에 방해가 되는 알칼리성분을 제거한다. 원활한 뿌리 활착을 위하여 동절기에는 식재한 블록을 간이 온실에 두고 잔디가 블록에 뿌리를 내리도록 관리하고 20일 이상 경과한 후 블록에 내린 잔디의 뿌리를 관찰하여 식물의 활착을 확인한다. 온실내부의 온도는 36~37℃, 습도는 26%를 유지하였다.



[그림 2.41] 간이 온실 설치



[그림 2.42] 식재용 콘크리트블록 잔디 식재

바텀애쉬블록과 퍼라이트블록에 잔디를 식재하여 20일 경과 후 블록을 쪼개어 잔디의 뿌리내림을 관찰한 결과 바텀애쉬블록은 밑으로 내린 뿌리가 눈으로 관찰이 되었으며 1~3cm등 내린 뿌리의 길이가 다양하게 관찰되었다. 퍼라이트블록의 잔디는 표면의 콘크리트로 인하여 블록의 표면근처에서만 관찰되었으며 길이도 0.5cm미만으로 바텀애쉬블록과는 큰 차이를 보였다.



[그림 2.43] 퍼라이트블록의 잔디뿌리 내림



[그림 2.44] 바텀애쉬블록의 잔디뿌리 내림

큰 뿌리에서 뻗은 잔뿌리 관찰결과 바텀애쉬블록에는 많은 잔뿌리들이 뻗어나가고 있는 것을 알 수 있었으나 퍼라이트블록에서는 관찰이 되지 않아 바텀애쉬블록에서 식물이 더욱 원활하게 식재되고 있는 것을 알 수 있다.



[그림 2.45] 바텀애쉬블록(좌)과 퍼라이트블록(우)의 잔뿌리 비교

아) 경량블록 물 투과 실험

제작한 블록의 물 투과 실험을 알아보기 위하여 예비실험 배합 비 결과에서 제작한 300mm×300mm×55mm의 크기를 가진 블록(PB.A-07)과 최종배합 비 결과에서 제작한 블록(B.A-12)으로 물 투과 실험을 진행하였다. 다음 그림<4.12>과 같이 제작한 블록에 물 2,000㎖를 투과하여 보았다.

블록은 2가지 타입인 활착형 블록과 생장형 블록을 대상으로 실험하였으며, 실험결과를 볼 때 식물뿌리 활착을 위한 상부층 블록(활착형 블록)과 함수율 유지 및 태양열 복사에너지 감소를 위한 하부층 블록(생장형 블록)으로서의 적용이 가능함을 확인할 수 있었다.

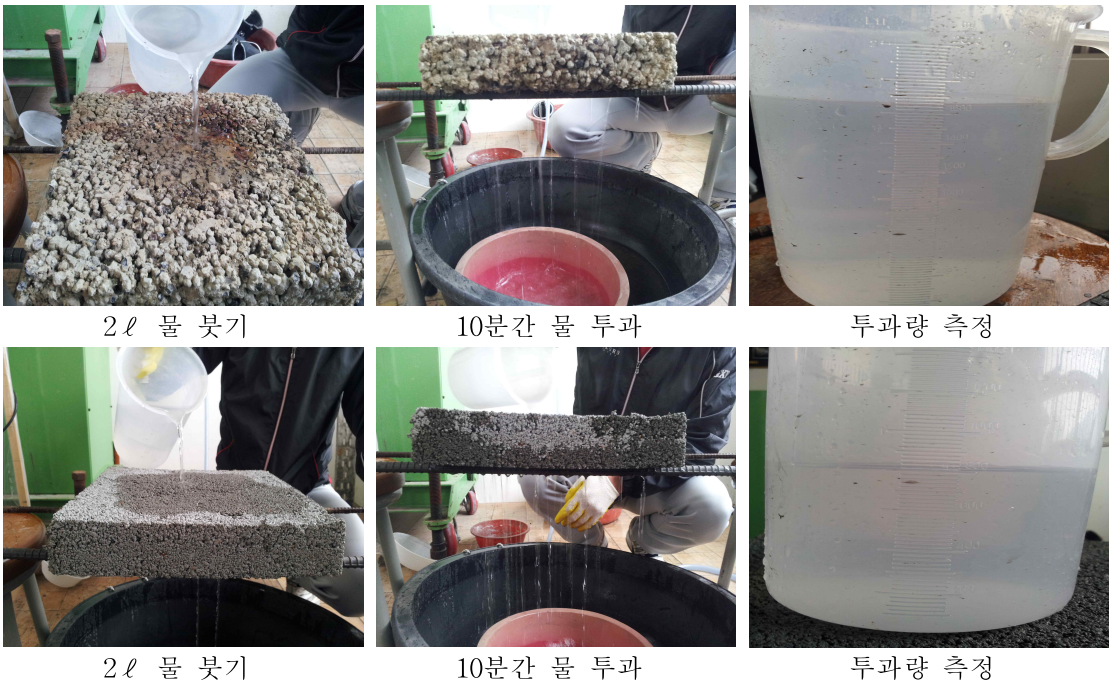
[실험조건]

- a type : 4.75mm 이상 골재 블록(식생활착형)
- b type : 4.75mm 이하 골재 블록(식생생장형)
- 물 투입량 : 2ℓL 1분에 걸쳐 붓고 2분간 기다림 Type별 3회실시



식생활착형 블록　　식생생장형 블록　　물 2ℓ　　TEST 준비

[그림 2.46] 경량블록 물 투과 실험



2ℓ 물 붓기　　10분간 물 투과　　투과량 측정

2ℓ 물 붓기　　10분간 물 투과　　투과량 측정

[그림 2.47] 실험프로세스 및 투수량 경시변화

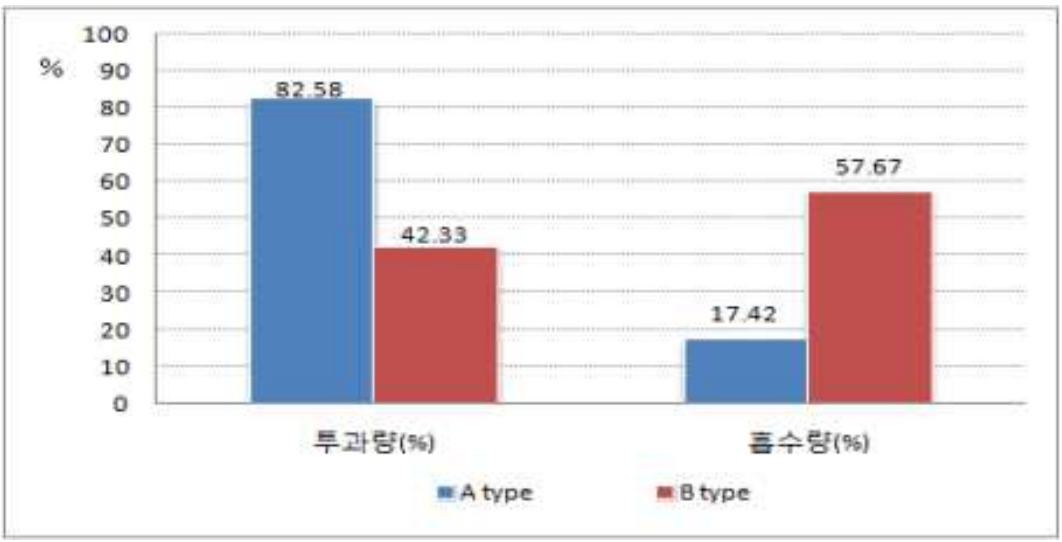
[표 2.20] 식생블록의 경시변화 실험결과표

구분		1		2		3		평균	
		mℓ	%	mℓ	%	mℓ	%	mℓ	%
A type (활착형)	투과량	1,646	82.3	1,658	82.9	1,651	82.55	1,651.67	82.58
	흡수량	354	17.7	342	17.1	349	17.45	348.33	17.42
B type (생장형)	투과량	843	42.15	850	42.5	847	42.35	846.67	42.33
	흡수량	1,157	57.85	1,150	57.5	1,153	57.65	1,153.33	57.67

옥상녹화의 경우 배수의 문제점과 함수(식물생장용 물공급)의 문제점으로 인해 적층형 시공법을 선택하고 있는 실정이다.

본 연구에서 개발된 2가지 Type(활착형과 생장형)은 압축강도의 조절과 흡수율의 적정치를 배합설계 및 바텀애쉬 입자크기의 조절로 제조하였다. 즉 활착형 블록은 흡수율이 낮지만, 투과율은 높은 배합을 선택하였지만, 생장형 블록은 흡수율을 높여 장기간 물공급이 되지 않아도 식물이 생장해 나갈 수 있는 배합설계를 완성한 것이다.

이를 통해 활착형 블록은 상부에 설치하고 중간에 부직포를 배치하고 바로 하단부위에 생장형 블록을 부착하고 최하단부위에 방근시트를 접착하여 일체화된 제품을 제조할 수 있었다. 이는 기존 옥상녹화의 시공비 및 재료비 부담을 완화하고 누구나 손쉽게 저관리형 옥상조경을 완성할 수 있다는 우수한 장점을 내포하고 있다는 것이다.



[그림 2.48] 활착형 블록과 생장형 블록의 투과량 및 흡수량 비교

마. 자생식물 재배 및 토양의 토심계획

(1) 옥상녹화용 식생블록의 빗물저감 효과 평가

옥상녹화란 건물의 구조 등에 영향을 미치지 않고 건물의 지붕이나 옥상 등 인공지반 상부에 잔디나 초목을 식재하는 것을 말한다. 최근 들어 옥상녹화는 도시지역에 발생하는 열섬효과 및 도심홍수의 문제 등을 해결하기 위한 방법으로써 다양한 기능성이 강조되어 많은 관심을 받고 있다. 본 연구에서는 경량형 옥상녹화를 통한 우수유출수 경감효과 및 수질의 변화를 보고자 4가지 종류의 집수시스템을 사용하여 7가지 강우사상에 대하여 연구결과를 얻었다. 실험대상 옥상녹화시스템 모델은 토양층 및 식생층이 지닌 보습능력과 증발산 효과 등에 의해 실험기간 동안 총 강우량의 약 84~91 %의 빗물유출저감효과를 지닌 것으로 분석되었다.

또한 각각의 강우사상에 대해서도 토심이 10 cm인 경우에는 약 23~95 %, 토심이 20 cm인 경우에는 약 24~100 %까지 빗물유출저감효과를 나타내었다. 최대유출량면에서는 강우강도에 따라 1/12~1/3 정도 밖에 유출이 되지 않았고, 최대유출량 발생시간면에서도 강우강도에 따라 2~14 시간의 지연효과를 나타내어 홍수 방지에 많은 효과를 나타내었다. 옥상녹화시스템을 통한 우수유출은 pH 4~5인 약산성의 비를 pH 7~7.5로 중성화 시킬 수 있었다.

또한 EC와 탁도의 측정결과 콘크리트면을 거친 유출수보다는 높은 수치를 나타내었지만 중수도로 사용하기에는 적합한 정도의 수질이었다. 연구결과를 통해 옥상녹화는 빗물 유출수 경감면에서는 뛰어난 효과가 있는 것으로 나타났으며, 이를 또한 빗물저장시설과 연계할 경우 도심홍수저감면에서 상당한 효과가 있을 것으로 기대된다. EC나 탁도 같은 수질인자에서는 떨어지는 면이 있었으나, 만약 유출수를 저장하여 이용하려 할 경우 화장실 용수나 조경용수로 사용하기에는 별 무리가 없다.

제작한 블록의 물 투과 실험을 알아보기 위하여 예비실험 배합 비 결과에서 제작한 300mm×300mm×55mm의 크기를 가진 블록(PB.A-07)과 최종배합 비 결과에서 제작한 블록(B.A-12)으로 물 투과 실험을 진행하였다. 다음 그림<4.12>과 같이 제작한 블록에 물 2,000㎖를 투과하여 보았다.

블록은 2가지 타입인 활착형 블록과 생장형 블록을 대상으로 실험하였으며, 실험결과를 볼 때 식물뿌리 활착을 위한 상부층 블록(활착형 블록)과 함수율 유지 및 태양열 복사에너지 감소를 위한 하부층 블록(생장형 블록)으로서의 적용이 가능함을 확인할 수 있었다.

[실험조건]

- a type(식생활착형) : 4.75mm 이상 골재 블록
- b type(식생생장형) : 4.75mm 이하 골재 블록
- c type(식물 식재한 블록) : 식생활착형 블록에 식물을 식재하여 제작한 블록
- 물 투입량 : 2ℓL 1분에 걸쳐 붓고 2분간 기다림 Type별 3회실시

[표 2.21] 식생블록의 흡수량 경시변화 실험결과

구분		1		2		3		평균	
		mℓ	%	mℓ	%	mℓ	%	mℓ	%
A type (활착형)	투과량	1,646	82.3	1,658	82.9	1,651	82.55	1,651.67	82.58
	흡수량	354	17.7	342	17.1	349	17.45	348.33	17.42
B type (생장형)	투과량	843	42.15	850	42.5	847	42.35	846.67	42.33
	흡수량	1,157	57.85	1,150	57.5	1,153	57.65	1,153.33	57.67
C type	투과량	621	31.1	634	31.7	628	31.4	627	31.4
	흡수량	1,379	68.9	1,366	68.3	1,372	68.6	1,373	68.6


SKB
Q-REX
1000ml
APPROX. VOL
900
800
700
600
500
400
300
200
100




투수율 실험을 하기위해 식물이 없는 B.A 블록과 식물이 있는 B.A 블록을 각각 다른 실험장치에 놓아두고 똑같은 양의 물(1L)를 부었을 경우 어느 정도 투수가 가능한지를 알아보았다.



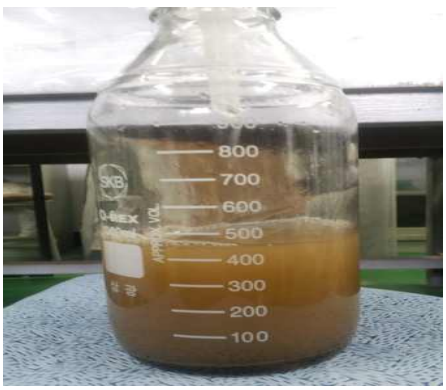

먼저 식물이 없는 B.A 블록에 물(1L)를 천천히 부어 어느 정도 투수가 되는지를 확인 해 보았다.




그 결과 물(1L)를 전부 부은 다음 투수되어 나온 물의 양은 약 720ml였고, 혹시나 아직 투수 되지 않은 물이 있을 것 같아 1시간가량 뒤에 다시 확인을 해보았을 때 물의 양은 약 810ml정도로 최종 투수된 물의 양이다.




다음으로 식물이 있는 B.A 블록에 식물이 없는 B.A 블록에 부었던 양의 물(1L)를 똑같이 천천히 물을 부어 얼마나 투수가 되는지를 알아보았다.




그 결과 식물이 있는 B.A 블록에 물(1L)를 부었을 때 투수된 물의 양은 약 480ml정도 였으나 혹시나 투수가 덜된 물이 있을 수 있을 것 같아 1시간가량 후에 다시 확인 해 본 결과 투수된 물의 양은 약 680ml정도로 최종 투수된 물의 양이다.

같은 양의 물(1L)을 미 식생블록에 부었을 때 투수된 물의 최종 양은 810ml정도로 나왔으며, 식생블록의 경우는 투수된 물의 최종 양은 680ml정도로 나왔다.

바. B.A 경량식생블록의 적정토심설계

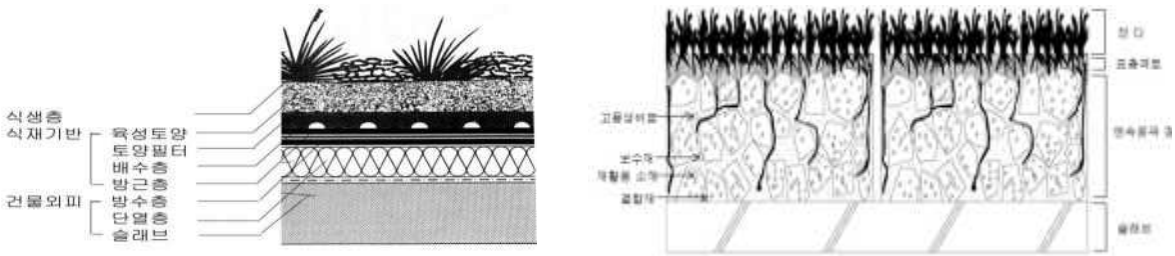
(1) Bottom Ash를 이용한 경량식생블록

본 연구에서 사용된 경량식생블록은 재활용 소재인 B.A(Bottom Ash)를 이용하여 제조된 블록을 대상으로 하였다. 경량식생블록은 B.A를 주 골재로 하고 시멘트, 물, 혼화제를 믹싱하여 만든 경량식생블록으로서 기존의 옥상녹화공법의 단열층, 방수층, 방근층, 배수층의 기능을 대체 할 수 있는 기능을 부여하고자 하였다.



[그림 2.49] B.A를 골재로한 경량식생블록

또한, 인공토양의 기능도 일부분 가지고 있어 저관리·경량형 옥상녹화에 효과적인 공법의 새로운 공법 제안이 가능하였다. 특히 제조된 경량식생블록은 B.A의 특성상 배수가 원활하며 토양의 유실이 거의 없어 조립화와 이동가능한 단순화를 꾀하고자 하였다.



a) 기존의 옥상녹화 방법

b) 경량식생블록을 이용한 옥상녹화 기법(Unit별 적용)

[그림 2.50] 기존옥상녹화 공법과 경량식생블록 옥상녹화 공법 비교

B.A를 이용한 경량식생블록은 공법의 단순화를 통해 잔디류, 세덤류 등의 식물 뿌리를 블록에 직접 활착시켜 식물과 블록을 일체화시켜 시공이 가능하다는 점에서 기존 공법과 차이가 있으며, 또한 식물고사 및 하자발생시 이동이 가능하도록 설계하였다.

B.A 경량식생블록은 입자에 따라 차이는 있지만 단위중량이 1.58~1.65로 기존 소재보다 약 40% 감소하여 기존 건물에도 적용이 가능하며, 공극율이 약 27%로서 복사열에 의한 열 차단 및 수분저장 효과가 있으며, 내구성 지표인 압축강도가 67~75Mpa 옥상녹화용 식생블록으로서 매우 뛰어난 성능을 가지고 있다.

(2) 저관리·경량형 식재 선택

저관리·경량형 옥상녹화에 B.A 경량식생블록으로 시공을 할 경우 적정토심을 측정하기 위해 표 6과 같이 목본류, 세덤류, 잔디류 세가지 종류의 5개 식재(잔디, 상록패랭이, 황금주목, 세덤, 솔세덤)를 선정하였다.

[표 2.22] 실험에 사용된 식재의 종류 및 특성

구분	사진	특징
잔디		난지형 잔디로 관리가 쉬우며 공해에도 잘 견디므로 다양한곳에 많이 사용된다. 높이가 거의 20㎝이하로 유지된다.
상록패랭이		숙근성 다년초로서 양지바른 곳을 좋아하며, 토질은 가리지 않으나 유기질이 많은 사양토 또는 양토가 좋다. 배수가 잘되는 사질토양에서 잘 자란다. 크기는 30㎝까지 자란다.
황금주목나무		원예종으로 새로 돋는 잎이 황금색을 띄는 매혹적인 고급수중으로, 최소의 면적에 알맞은 최적의 조경소재이며 생장이 매우 느리다.
솔세덤		다년초 돌나물과, 상록 다년초로서 크기가 10~15㎝정도 자란다. 건조 지역에서도 매우 강하며 강사지에서도 많이 이용 된다.
세덤		다년초 돌나물과, 상록 다년초로서 크기가 10~15㎝정도 자란다. 건조 지역에서도 매우 강하며 강사지에서도 많이 이용 된다.

이와 함께 최근 도심옥상텃밭사업도 활발히 이루어짐에 따라, 시금치, 돌산갓, 상추, 부추, 중엽쑥갓, 월동춘채 등을 텃밭형태로 식재하여 적용가능성을 실험하였다.



a) 텃밭형태로 제작된 옥상녹화　　b) 겨울철 적용시험

[그림 2.51] 텃밭적용 실험 사진

(3) 적정토심 측정실험

국토해양부의 '조경설계기준'에 따르면 '옥상조경 및 인공지반의 식재토심'에 관한 기준은 아래 표 7과 같다. 잔디·초본류에 필요한 최소 두께는 인공토양과 사용시 10cm이상, 자연토양일 경우 15cm이상으로 규정하고 있다. 이는 식물생육에 필요한 최소 조건이며, 토양의 종류에 따라 약간의 두께차이가 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 토양은 주위에서 흔히 구할 수 있는 자연토양으로 진행하였으며, 비료나 인공토양은 섞지 않았다. 텃밭의 경우에는 토양의 두께를 10~15cm로 적용을 하였다.

[표 2.23] 옥상조경 및 인공지반의 식재토심

(배수구배 : 1.5~2.0%)

형태상 분류	자연토양 사용시(cm 이상)	인공토양 사용시(cm이상)
잔디 · 초본류	15	10
소관목	30	20
대관목	45	30
교목	70	60

또한, 본 연구에서는 경량식생블록의 공극을 활용하여 토양의 두께를 최소화 하는데 목적이 있고, 경량식생블록이 인공토양의 기능을 대체하므로 토양의 두께를 1, 3, 5cm로 최소화 하여 기존 공법에서 토양의 두께를 현저히 감소시키고자 하였다.



a) 1cm　　b) 3cm　　c) 5cm

[그림 2.52] 토양두께별 적용 실험(1~5cm)

경량식생블록에 사용된 B.A골재의 크기에 따른 뿌리내림 정도를 파악하기 위해 3가지 Type(4.75㎜, 2.36㎜, 1.18㎜)의 블록을 대상으로 실험을 진행하였다. 기온은 20℃, 습도는 60%를 최대한 유지하고 겨울철에 실험이 진행되어 햇볕이 잘 들고 외기가 통하는 실내에서 실시하였다. 식물의 뿌리내림 정도는 한쪽 면을 들어서 육안으로 관찰을 하였으며, 1일 1회 관찰을 실시하였다.



a) 4.75㎜이상　　b) 2.36㎜이상　　c) 1.18㎜이상

[그림 2.53] B.A입자별 적용 실험

제3절 연구수행결과

1. B.A경량식생블록개발

가. B.A 경량블록

(1) 화분형 경량블록

바텀애쉬 5mm~10mm의 입자를 선별하여 높이 30cm, 벌집모양으로 제작하였다. 식재가능 식물은 잔디류, 세덤류와 같은 뿌리활착 깊이가 20cm 이하인 지피식물과 영산홍과 같은 관엽식물까지 식재가 가능한 유형결정이다.



[그림 2.54] 화분형 경량블록

이러한 화분형 경량블록은 이동이 쉽고 관리가 쉬우며 기존건축물에도 쉽게 적용할 수 있으며 일반 관산용 및 옥상녹화용으로 두루 사용할 수 있는 장점이 있다.

(2) 단순형 경량블록

바텀애쉬 10mm 이하인 입자를 사용하여 블록을 제조한 이후 중화처리를 통해 식생활착이 가능하도록 pH 7~8로 맞추었다. 블록의 두께는 10cm 전후로 결정하였는데, 이는 지피식물과 같은 식물뿌리 활착깊이가 크게 요구되지 않는 저관리형 건축물 옥상에 적용하여 하중부담을 줄이기 위한 선택이었다.

식물과 같은 식물뿌리 활착깊이가 크게 요구되지 않는 저관리형 건축물 옥상에 적용하여 하중부담을 줄이기 위한 선택이었다.

식재 가능한 식물은 주로 한국형 야생화를 선택하여 생명력 강화를 고려하였다.



[그림 2.55] 단순형 경량블록



[그림 2.56] 한국형 야생화 종류

단점으로서는 표면약화 또는 노화로 인해 내구성이 떨어지며, 동결융해에 대한 저항성이 약하다는 단점이 있으므로 옥상녹화시스템 설계시 이를 고려한 배치계획이 중요하다.

(3) 표면강화형 이중경량블록

바텀애쉬의 단점은 여러 가지 장점에 비해 내마모성이 떨어지고 흡수율이 높으며 입형이 불규칙하다는 것이다. 또한 골재로 사용할 경우 경도가 떨어져 현재 콘크리트용 골재로는 사용실적이 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 식생용 경량블록의 표면을 강화하는 이중표피형 블록을 고안하였다. 즉 두께 1cm 정도를 시멘트 모르터로 표피를 구성하고 내부를 알루미늄 망을 삽입하고 그 내부에 바텀애쉬 5~10cm 입자로 충전하여 제조하였다.



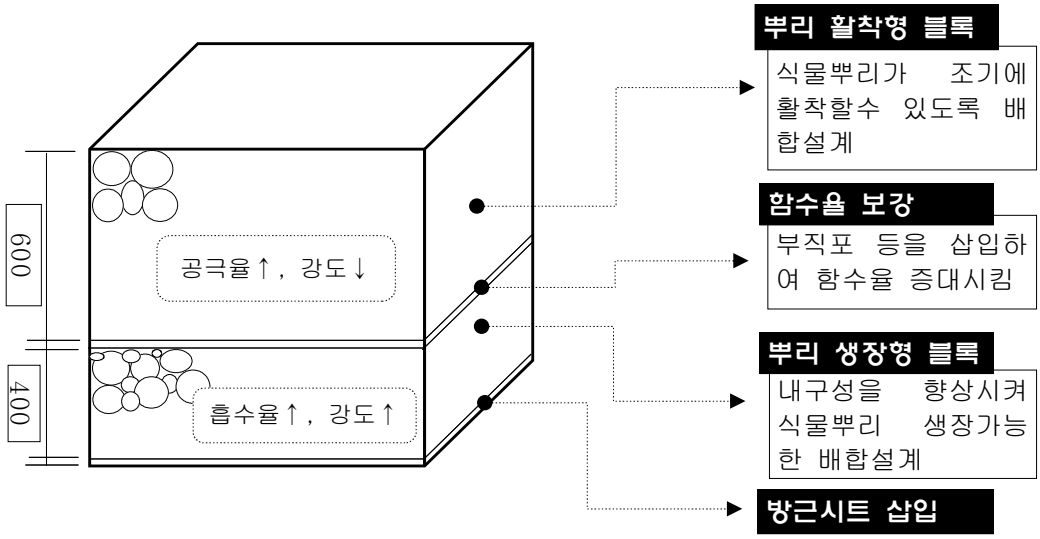
[그림 2.57] 표면강화형 이중경량블록

단위 블록의 중량은 다소 증가하는 약점이 있으나 지피식물을 식재하기 위한 최소한의 토양층 도포가 가능하며, 표면이 강화되어 동결융해의 저항성을 높였다는 특성을 보유한 옥상 전용 경량블록의 유형이다.

블록의 두께는 20cm 전후가 적당하며, 철망은 부식방지를 위해 알루미늄 소재로 제작하였다. 첨가한 색소의 색깔에 따라 블록의 다양한 색상까지 제작이 가능하며, 측면의 시멘트 모르터 보강, 하단의 알루미늄 망 보강으로 기존 단순형 경량블록의 단점을 개선시켰다.

나. 최종 식생모델 개발

(1) 식생모델의 상세도 및 생산금형

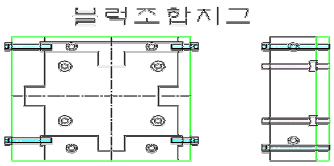


[그림 2.58] 본 연구개발에서 도출된 바텀애쉬 식생블록의 모식도

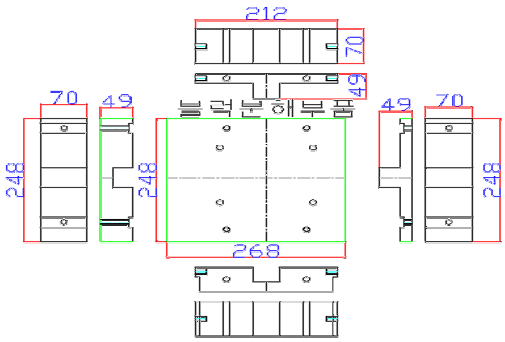
A 타입 금형몰드



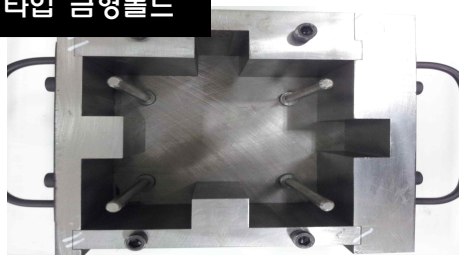


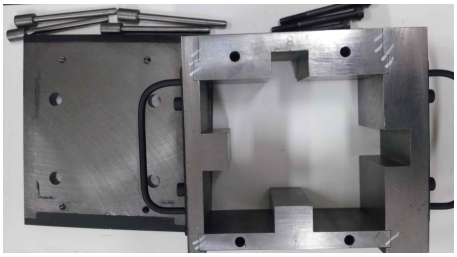


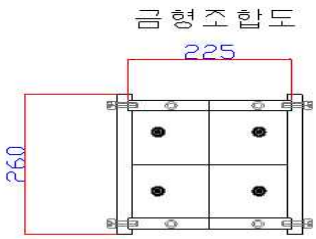


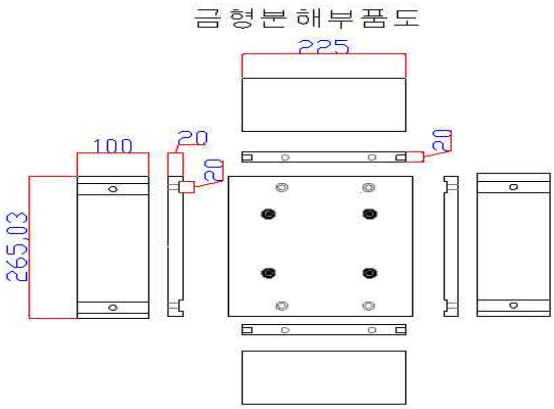


B 타입 금형몰드









[그림 2.59] 두 가지 타입의 식생블록 모델 설계 및 제작된 금형 사진

(2) 식생블록 제작유형

본 연구에서 개발된 2가지 Type으로 식생블록을 제조하였다. 식물 활착형과 식물 생장형의 각 유형은 압축강도의 조절과 흡수율의 적정치를 배합설계 및 바텀애쉬 입자크기의 조절로 제조하였다.



a) 식생블록 모델 A



b) 식생블록 모델 B



c) 식생블록 모델 C



d) 식생모델 전체사진



e) 식생블록 제작툴박스



f) 식생블록 모델 C-1



g) 식생블록 모델 C-2



h) 식생블록 모델 C-3

[그림 2.60] 식생블록 모델별 사진

식물 활착형 블록은 흡수율이 낮지만, 투과율은 높은 배합을 선택하였으며, 식물 생장형 블록은 흡수율을 높여 장기간 물 공급이 되지 않아도 식물이 생장해 나갈 수 있는 배합설계를 완성한 것이다.



a) 식생블록 모델 C-4



b)식생블록 모델 C-5



c) 식생블록 모델 제작후 식재



d) 식생블록 모델 제작후 식재



e) 식생블록 모델 제작후 이끼류식재



f) 식재된 모델에서 뿌리활착 모습

[그림 2.61] 식생블록 모델별 식재 사진

2. 적층구조시스템 개발

(1) B.A경량식생블록의 토심계획

이를 통해 식물 활착형 블록은 상부에 설치하고 그 하단부위에 식물 생장형 블록을 부착하고 최하단 부위에 방근시트를 접착하여 일체화된 제품을 제조할 수 있었다.

식생블록 모델중에서 모델 A, B는 옥상조합시 식물의 활착을 위한 배합조정을 하였으며, 모델 C는 표면의 강화를 위해 모델 A에서 변형하여 제조하였다.

[표 2.24] 인공토양별 특징 비교

종 류	원 재 료	함습비중	특 징	비 고
바이오그로콤포스트 (Bio-Gro-compost)	자연토양+토양 개량제	0.5~0.8 (건비중)	텃밭 등에 활용	함습비중이 높음
배스토 (besto)	화산석(lava)+ 유기물(25%)	0.8~0.85	배수성능 우수 멀칭 불필요	
세라소일 (cera-soil)	세라믹+유기물	0.65~0.78	배수성능 우수 멀칭 불필요	
파라소 (paraso)	펄라이트 (perlite)+액비	0.65~0.76	가장많이 생산	시비 필요 멀칭 필요
바텀애쉬 토양	자연토양+바텀애쉬 미립문	0.8~0.9	자연토양과 바텀애쉬 1㎜ 이하의 조합분	식물생장 가능성 확인

또한 이들 모델에서 표면두께의 변화를 조금씩 두어 모델 C-1, 2, 3를 제조하여 평가하였으며, 최종적으로 색소를 첨가하여 식생블록 모델 C-4, 5의 다양화를 꾀하였다.

식생모델에서 적용된 토양은 일반토양(자연토양)과 토양개량제를 투입하였으며, 바텀애쉬가 토양으로서의 적용가능성을 검증하기 위해 실험용으로 자연토양과 바텀애쉬 미립분을 6:4 범위에서 혼합 후 사용하였다.

본 실험에 사용된 경량식생블록의 경우 블록의 공극에 식물뿌리의 활착여부가 가장 중요하다고 할 수 있다. 또한 얕은 토심에서도 식물의 생육이 가능한지를 확인하는데 주된 목적이 있었다. 실험관찰은 약 6개월 정도 실시하였다.



[그림 2.62] 바텀애쉬블록의 잔디뿌리 내림

토심별 뿌리 활착정도를 관찰한 결과, 두께 1cm의 경우는 얕은 토심으로 인해 뿌리내림이 평균 5일 정도에 이루어 졌으며, 3cm일 경우 약 8일 5cm일 경우 약 12일 정도에 이루어 졌다. 이는 토심이 깊을수록 경량식생블록의 공극에 뿌리내리는 소요시간이 길어졌다는 것을 알 수 있다. 또한, 작은 입자보다 굵은 입자의 B.A를 사용한 경량식생블록에서 뿌리내림이 보다 활발함을 알 수 있었다. 이는 공극이 클수록 뿌리내림의 속도가 더 빠르다는 것을 설명한다.

[표 2.25] 토심의 두께에 따른 뿌리내림 결과

구분	1cm	3cm	5cm
A	5일	8일	13일
B	4일	8일	12일
C	6일	7일	12일

텃밭 적용 실험의 경우에도 얕은 토심에도 불구하고 일반상황과 큰 차이 없는 식재의 성장속도를 보여 주었다.



a) 식재 후 b) 10일 경과 c) 20일 경과

[그림 2.63] 텃밭적용 실험 결과

이러한 토심설계를 바탕으로 하여 건물 옥상에 B.A를 주 골재로 한 경량식생블록을 설치하였다. 식생의 생육을 관찰하기 위해 설치 후 6개월의 경과를 지켜봤으며, 배수, 유지관리, 생육, 식물고사 등의 다양한 육안 관찰을 통해 얕은 토심에도 불구하고 잔디류, 세덤류 등의 식물들이 잘 자라는 것을 확인할 수 있었다.

이는 기존 저관리·경량형의 지피식물 토심 10cm에 비해 약 1/2 수준으로서 식물성장이 토심을 최소화 한 경우에도 식생이 가능함을 입증하는 결과이며, 토양의 일부가 경량식생블록에 투입되어 일체화된 결과물이라 판단할 수 있다.

(2) 결론

도시의 열섬현상 해결을 위해 건축법과 각 지자체에서 건축물에 조경면적을 일정이상 확보하도록 규정을 두고 있다. 지상에 조경을 확보할 경우 건축주의 입장에서는 건축물의 면적감소로 인해 경제성에 문제가 발생하므로 대부분 옥상에 조경을 설치하고 있는 것이 현실이다. 이로 인해 설계부터 조경으로 인한 하중을 고려하여 시공이 되고 있다.

하지만 신규건축물에 옥상조경이 활발히 적용되고 있는 반면 기존건물의 경우 옥상조경을 설치하기엔 많은 문제가 있다. 방수 및 배수, 하중 등 건물의 설계과정에서 고려되지 않은 문제로 인하여 옥상조경설치가 힘든 것이 사실이다. 따라서 모든 건축물에 옥상녹화가 이루어지기 위해선 하중이 작고 유지관리가 용이한 저관리·경량형 옥상녹화가 이루어져야 할 것이다.

이를 위해 본 연구에서는 블록화된 공법으로 복잡한 옥상조경 시공단계를 간소화 할 수 있는 B.A를 주 골재로한 경량식생블록을 옥상조경에 설치하여 적정토심설계 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻게 되었다.

식물생육에 필요한 육성토양의 두께 또한 최소화 할 수 있다는 것이 실험으로 증명하였으며, 지나친 두께는 식물이 블록의 공극에 침투하여 일체화 되는데 오랜 시간이 걸려 식물의 조기 활착에 악영향을 미치며, 이로 인한 유지관리 비용 증대를 초래하는 것으로 분석되었다.

최근 유행하는 도심옥상텃밭사업에서의 적용가능성을 실험한 결과 일반토양과 동일한 식물의 생장속도를 나타내었는데 이는 구근류 채소보다는 상추, 부추, 쑷갓류가 적당하였으며, 이러한 채소의 성장을 위한 토심은 10cm 정도인 것으로 나타났다.

B.A 경량식생블록에 복토를 하여 토양의 영양분 유실정도를 관찰한 결과 첫 주수 후 흙탕물이 발견되지 않았으며, 식물 생육에도 이상변화가 없었는데, 이는 B.A 경량블록내 공극기공 부위에 미세입자인 토양성분이 충전되어 블록과 토양이 일체화 되었기에 가능한 결과물이라 판단되었다.

가. 옥상녹화 빗물 및 에너지 절감효과

(1) 빗물의 수질개선의 옥상녹화

최근 친환경 건축물(Green building)의 확산에 따라서 옥상녹화 및 기타 녹화시설의 설치가 확대되고 있다. 그러나 옥상 녹화면에서 나오는 유출수의 경우 토양으로부터 용출되는 영양염류와 유기물 및 무기염이 다량으로 포함될 수 있다. 이 경우 녹화면 유출수는 도시의 전체에서 오염물을 가지고 배출되므로, 녹화된 토양층이 오염물질을 제어할수 있는 자체적인 생태계를 구축하기 전까지는 비점오염원으로 작용하게 된다. 따라서 녹화유출수의 성상 분석 및 이의 효율적인 처리 혹은 방지 대책이 필요하다.

[표 2.26] B.A블록을 이용한 옥상녹화 수질검사 성적서

검사항목	기 준			빗물	식생블록	식새한 식생블록
	생활용수	농업.어업용수	공업용수			
수소이온농도	5.8~8.5	6.0~8.5	5.0~9.0	4.5	4.5	7.1
대장균군수	5,000(mpn/100ml)이하	-	-	0	0	1700
질산성질소	20mg/l이하	20mg/l이하	40mg/l이하	0.2	0.7	2.2
염소이온	250mg/l이하	250mg/l이하	500mg/l이하	불검출	1	3
카드뮴	0.01mg/l이하	0.01mg/l이하	0.02mg/l이하	불검출	불검출	불검출
비소	0.05mg/l이하	0.05mg/l이하	0.1mg/l이하	불검출	불검출	불검출
시안	0.01mg/l이하	0.01mg/l이하	0.2mg/l이하	불검출	불검출	불검출
수은	0.001mg/l이하	0.001mg/l이하	0.001mg/l이하	불검출	불검출	불검출
유기인	0.0005mg/l이하	0.0005mg/l이하	0.0005mg/l이하	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005mg/l이하	0.005mg/l이하	0.01mg/l이하	불검출	불검출	불검출
납	0.1mg/l이하	0.1mg/l이하	0.2mg/l이하	불검출	불검출	불검출
6가크롬	0.05mg/l이하	0.05mg/l이하	0.1mg/l이하	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	0.03mg/l이하	0.03mg/l이하	0.06mg/l이하	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	0.01mg/l이하	0.01mg/l이하	0.02mg/l이하	불검출	불검출	불검출
1.1.1-트리클로로에탄	0.15mg/l이하	0.3mg/l이하	0.5mg/l이하	불검출	불검출	불검출
벤 젠	0.015mg/l이하	-	-	불검출	불검출	불검출
톨루엔	1mg/l이하	-	-	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	0.45mg/l이하	-	-	불검출	불검출	불검출
크실렌	0.75mg/l이하	-	-	불검출	불검출	불검출

녹화면을 거치기 전과 거친 후의 빗물의 수질을 비교한 결과이다. 녹화면을 거친 후 질소나 인 화합물뿐만 아니라 중금속류의 농도도 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 오염물들은 용존성이기 때문에 일반적인 여과방법으로는 쉽게 제거하기 어려운 문제를 안고 있다. 따라서 이러한 녹화면 유출수의 경우 단순한 여과나 소독만으로는 유입되는 오염물을 막을 수 없고 추가적인 처리가 요구된다.

수처리 기능을 부여하기 위해 적용된 여재층은 보크사이트 계통의 광물로서 이온교환 등의 기작을 통해 중금속이나 기타 용존성 미량 오염물을 제거할 수 있는 것으로 알려져 있다. 보크사이트의 중금속 처리 기능을 평가하기 위해 빗물에 중금속을 spiking한 후 보크사이트의 주입량을 변화시킨 결과, Fe, Cu 및 Zn의 처리능이 뛰어난 것으로 평가되었다.

본 연구에서 바텀애쉬의 공극구조는 공극율 약 30~40%의 다공성의 미세 기공이 고열에서 생긴 것이기에 식물의 생육시 조기 뿌리활착에도 도움을 줄 수 있지만, 여과기능을 가지고 있기 때문에 여과층의 보크사이트 추가광물 투입 없이 중금속 처리 기능이 뛰어 나다고 할 수 있다.

나. 에너지 절감효과

최근 남아공에서 제 17차 UN기후변화협약 당사국총회가 개최되어 교토의정서 연장시행과 칸쿤합의에 따른 개도국 기후변화대응을 위한 기술메카니즘에 대한 안건으로 총회가 이루어진다고 한다. 국내 환경부에서는 한반도 생태계 변화 관리체계를 마련하고 생물 다양성 보전 대책을 수립하기 위해 2004년부터 생태계 변화를 모니터링 한 결과 '2010년 국가장기생태연구사업'란 연구 보고서를 발표, 60년 뒤 2071년 이후 한반도 전역이 연평균 기온 16~18℃인 아열대 기후로 바뀔것으로 전망했다. 보고서 발표 이전에 국내 자연 생태계는 이미 기후변화 등의 요인으로 이상 징후가 나타나기 시작했다. 이에 대응하기 위해서는 시급히 자연 생태계를 유지·확대가 이루어져야 하는데 건축 분야에서는 그에 대한 대안으로 옥상녹화 조성이 떠오르고 있다.

서울시에서는 부족한 녹지 공간을 만들기 위해 '옥상공원 지원 사업'으로 50에서 최대 70%까지의 조성비용을 지원하여 올해 말까지 총 104개소의 녹색공원을 조성할 계획이다. 이러한 관점에서 우리나라는 경제·환경의 조화·균형 성장의 개념인 녹색한국이라는 국가발전 패러다임에 맞추어 옥상녹화의 개발과 보급에 노력을 기울이고 있고, 이를 통해 온실가

스 감축과 에너지 자원절약, 기후변화의 적응과 함께 녹색성장 활성화를 위한 효율적인 시스템 구축이 진행 된다고 할 수 있다.

- 서울시 현장모니터링은 지금까지 알려진 옥상공원화의 효과를 실질적으로 분석하기 위해 시행한 것으로, 이번 결과는 주거·상업·녹지지역에서 녹화건물과 비녹화건물을 각1개소씩 선정해 정밀모니터링을 실시해 온도와 습도를 측정·비교분석해 나온 것이다.
  - 옥상녹화된 건물의 아래층 실내온도는 비녹화건물의 아래층보다 0.2~0.5℃가량 낮고, 습도는 2.6~3.1% 정도 높아 옥상녹화가 쾌적한 실내환경을 제공하는 효과가 있는 것으로 나타났다.
  - 또한 녹지지역 주변의 옥상녹화 건물이 주거 및 상업지역에 옥상녹화된 건물보다 실내온도 저감효과가 높은 것으로 나타나, 녹지의 연결이 기후변화 대응에 매우 효과적인 것으로 확인됐다.
  - 옥상공원을 조성하면 여름기간(6~9월) 동안 냉방비가 약 7,356원/㎡(월평균 1,839원/㎡) 가량 절감되고, 겨울기간(11~3월)에는 약 4,180원/㎡(월평균 836원/㎡) 가량의 난방비가 절감 될 수 있는 것으로 분석됐다.

- 옥상녹화 건물은 조성면적이 1㎡씩 늘어날 때마다 연간 18,168원(월 평균 1,514원)의 에너지 비용이 절감되는 것을 감안하면, 서울시가 '10년까지 지원 조성한 옥상공원 202,449㎡에서는 연간 36억원 상당의 에너지 비용이 절감되는 것이다.
- 서울시는 옥상공원이 경제적 효과 외에 생물다양성 확보, 비오톱 형성, 생물 서식처 제공 효과가 있는 것으로 나타나 향후 어린이 및 청소년들의 자연학습장소로 적극 활용할 계획이다.

이에 본 연구는 이론적 문헌 고찰을 통해 적용할 수 있는 옥상녹화를 조사하고 비 옥상녹화면과 옥상녹화면의 온도변화를 측정과 비교분석하여 건물의 열 저감에 열섬현상 완화의 가능성을 예측 확인하고자 한다. 이를 통해 국내 옥상녹화 확산에 필요한 이론적 기초자료를 마련하는데 있다.



a) 실내온도 측정(피크시간)　　b) 실내천정 온도 측정　　c) 실내 바닥온도 측정

[그림 2.64] 옥상녹화에 따른 온도변화 실험 사진

2012년 여름철에 측정한 경우, 옥상녹화된 실내의 아래층 실내온도는 비녹화 실내의 아래층보다 0.2~1.0℃가량 낮고, 습도는 0.1~2.7% 정도 높아 옥상녹화가 쾌적한 실내환경을 제공하는 효과가 있는 것으로 나타났다.

또한, 가을철에 측정한 두 실의 비교에서 비녹화 실내에서 여름철에 비해 두 실의 온도차와 습도차는 차이가 별로 없었는데, 이는 한국의 가을철 기온변화가 완만하고 극한기와 혹서기의 계절에 비해 녹화여부와 상관없이 비슷한 경향을 보인 것으로 판단된다.

(1) 4계절 온도 및 습도 분석

가) 봄 (3월 25, 27, 28, 29일)

03월 25일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
06H	2.9	71	4.35	50	5.88	42	5.87	24.58	5.72	41.38	5.63	41.30
07H	2.6	56	3.90	39	5.27	33	5.26	19.38	5.13	32.64	5.18	19.35
08H	5	38	7.50	27	10.14	22	10.12	13.15	9.86	22.15	9.96	13.13
09H	6.9	27	10.35	19	13.99	16	13.97	9.35	13.60	15.74	13.74	9.33
10H	8.4	24	12.60	17	17.04	14	17.00	8.31	16.56	13.99	16.73	8.29
11H	9.6	21	14.40	15	19.47	12	19.43	7.27	18.92	12.24	19.12	7.25
12H	10	18	15.00	13	20.28	11	20.24	6.23	19.71	10.49	19.92	6.22
13H	11.4	16	17.10	11	23.12	9	23.07	5.54	22.47	9.32	22.70	5.53
14H	10.8	14	16.20	10	21.90	8	21.86	4.85	21.29	8.16	21.51	4.84
15H	11.2	12	16.80	8	22.71	7	22.67	4.15	22.08	6.99	22.31	4.15
16H	10.7	19	16.05	13	21.70	11	21.66	6.58	21.09	11.07	21.31	6.56
17H	10.5	23	15.75	16	21.29	14	21.25	7.96	20.70	13.40	20.91	7.95
18H	9.4	27	14.10	19	19.06	16	19.03	9.35	18.53	15.74	18.72	9.33

03월 27일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
06H	3.7	91	5.55	64	7.50	54	7.49	31.50	7.29	53.03	7.18	52.93
07H	4.2	81	6.30	57	8.52	48	8.50	28.04	8.28	47.21	8.36	27.98
08H	5.9	75	8.85	53	11.97	44	11.94	25.96	11.63	43.71	11.75	25.91
09H	8.3	67	12.45	47	16.83	39	16.80	23.19	16.36	39.05	16.53	23.15
10H	12.3	60	18.45	42	24.94	35	24.89	20.77	24.25	34.97	24.50	20.73
11H	14.4	56	21.60	39	29.20	33	29.14	19.38	28.39	32.64	28.68	19.35
12H	15.2	46	22.80	32	30.83	27	30.76	15.92	29.96	26.81	30.27	15.89
13H	15.1	41	22.65	29	30.62	24	30.56	14.19	29.77	23.89	30.07	14.16
14H	17.3	35	25.95	25	35.08	21	35.01	12.11	34.10	20.40	34.45	12.09
15H	17.6	33	26.40	23	35.69	19	35.62	11.42	34.69	19.23	35.05	11.40
16H	17.1	38	25.65	27	34.68	22	34.61	13.15	33.71	22.15	34.06	13.13
17H	16	41	24.00	29	32.45	24	32.38	14.19	31.54	23.89	31.86	14.16
18H	14.5	50	21.75	35	29.41	29	29.35	17.31	28.58	29.14	28.88	17.27

03월 28일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
06H	3.9	98	5.85	69	7.91	58	7.89	33.92	7.69	57.11	7.56	57.00
07H	4.2	95	6.30	67	8.52	56	8.50	32.88	8.28	55.36	8.36	32.82
08H	5	90	7.50	63	10.14	53	10.12	31.15	9.86	52.45	9.96	31.09
09H	8.5	86	12.75	61	17.24	51	17.20	29.77	16.76	50.12	16.93	29.71
10H	13.2	54	19.80	38	26.77	32	26.72	18.69	26.02	31.47	26.29	18.65
11H	15.3	38	22.95	27	31.03	22	30.97	13.15	30.16	22.15	30.47	13.13
12H	17.7	27	26.55	19	35.90	16	35.82	9.35	34.89	15.74	35.25	9.33
13H	19.5	26	29.25	18	39.55	15	39.47	9.00	38.44	15.15	38.84	8.98
14H	20.6	25	30.90	18	41.78	15	41.69	8.65	40.61	14.57	41.03	8.64
15H	20.8	24	31.20	17	42.18	14	42.10	8.31	41.00	13.99	41.42	8.29
16H	20	26	30.00	18	40.56	15	40.48	9.00	39.42	15.15	39.83	8.98
17H	18.8	27	28.20	19	38.13	16	38.05	9.35	37.06	15.74	37.44	9.33
18H	16.7	29	25.05	20	33.87	17	33.80	10.04	32.92	16.90	33.26	10.02

03월 29일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
06H	5.3	72	7.95	51	10.75	42	10.73	24.92	10.45	41.96	10.28	41.88
07H	7.8	54	11.70	38	15.82	32	15.79	18.69	15.38	31.47	15.53	18.65
08H	8	45	12.00	32	16.22	26	16.19	15.58	15.77	26.23	15.93	15.55
09H	9.2	28	13.80	20	18.66	16	18.62	9.69	18.14	16.32	18.32	9.67
10H	10.8	25	16.20	18	21.90	15	21.86	8.65	21.29	14.57	21.51	8.64
11H	12.5	26	18.75	18	25.35	15	25.30	9.00	24.64	15.15	24.89	8.98
12H	14.3	13	21.45	9	29.00	8	28.94	4.50	28.19	7.58	28.48	4.49
13H	15.3	12	22.95	8	31.03	7	30.97	4.15	30.16	6.99	30.47	4.15
14H	16.4	11	24.60	8	33.26	6	33.19	3.81	32.33	6.41	32.66	3.80
15H	17.5	10	26.25	7	35.49	6	35.42	3.46	34.50	5.83	34.85	3.45
16H	16.6	16	24.90	11	33.66	9	33.60	5.54	32.72	9.32	33.06	5.53
17H	16.7	26	25.05	18	33.87	15	33.80	9.00	32.92	15.15	33.26	8.98
18H	12.9	30	19.35	21	26.16	18	26.11	10.38	25.43	17.48	25.69	10.36

나) 여름 (8월 20~24일)

08월 20일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
07H	26.3	93	39.45	66	32.04	73	32.06	74.04	33.06	71.04	33.13	72.33
08H	27.8	85	41.70	60	33.86	67	33.88	67.67	34.95	64.93	35.02	66.10
09H	27	82	40.50	58	32.89	64	32.91	65.28	33.94	62.63	34.01	63.77
10H	27.8	79	41.70	56	33.86	62	33.88	62.90	34.95	60.34	35.02	61.44
11H	29	75	43.50	53	35.32	59	35.35	59.71	36.45	57.29	36.53	58.33
12H	30	73	45.00	51	36.54	57	36.57	58.12	37.71	55.76	37.79	56.77
13H	29.2	74	43.80	52	35.57	58	35.59	58.91	36.71	56.52	36.78	57.55
14H	29.2	74	43.80	52	35.57	58	35.59	58.91	36.71	56.52	36.78	57.55
15H	28.9	75	43.35	53	35.20	59	35.23	59.71	36.33	57.29	36.40	58.33
16H	29	77	43.50	54	35.32	60	35.35	61.30	36.45	58.81	36.53	59.88
17H	28.5	79	42.75	56	34.72	62	34.74	62.90	35.83	60.34	35.90	61.44
18H	28.2	80	42.30	56	34.35	63	34.37	63.69	35.45	61.11	35.52	62.22

08월 21일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
07H	24.4	97	36.60	68	29.72	76	29.74	77.23	30.67	74.09	30.74	75.44
08H	27.5	85	41.25	60	33.50	67	33.52	67.67	34.57	64.93	34.64	66.10
09H	27.3	82	40.95	58	33.25	64	33.28	65.28	34.32	62.63	34.39	63.77
10H	26	84	39.00	59	31.67	66	31.69	66.88	32.68	64.16	32.75	65.33
11H	27.8	85	41.70	60	33.86	67	33.88	67.67	34.95	64.93	35.02	66.10
12H	26.4	88	39.60	62	32.16	69	32.18	70.06	33.19	67.22	33.26	68.44
13H	28.7	75	43.05	53	34.96	59	34.98	59.71	36.08	57.29	36.15	58.33
14H	28.5	72	42.75	51	34.72	57	34.74	57.32	35.83	55.00	35.90	55.99
15H	30	69	45.00	49	36.54	54	36.57	54.93	37.71	52.70	37.79	53.66
16H	29.9	71	44.85	50	36.42	56	36.44	56.53	37.59	54.23	37.66	55.22
17H	28.2	73	42.30	51	34.35	57	34.37	58.12	35.45	55.76	35.52	56.77
18H	27.5	75	41.25	53	33.50	59	33.52	59.71	34.57	57.29	34.64	58.33

08월 22일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
07H	23.4	96	35.10	68	29.70	71.30	29.80	72.30	30.63	71.70	30.73	73.70
08H	24.6	93	36.90	66	30.07	70.67	30.13	71.30	31.10	69.70	31.13	71.00
9H	25.4	90	38.10	63	30.50	70.00	30.57	71.60	31.43	68.70	31.47	70.70
10H	27	86	40.50	61	31.37	69.00	31.27	70.30	32.30	68.00	32.27	69.00
11H	26.5	84	39.75	59	30.93	70.00	30.89	71.00	31.90	68.00	31.87	69.67
12H	27.4	81	41.10	57	31.03	70.67	30.87	71.70	31.97	68.70	31.93	70.00
13H	25.2	86	37.80	61	30.53	71.30	30.60	72.00	31.47	69.00	31.50	70.30
14H	24.3	90	36.45	63	30.10	72.00	30.17	73.00	31.17	69.30	31.23	70.70
15H	23.5	94	35.25	66	29.97	72.67	30.00	73.00	30.93	70.00	31.10	70.67
16H	24	93	36.00	66	29.97	71.00	30.00	73.00	31.00	69.00	31.07	70.30
17H	24.4	93	36.60	66	30.13	71.67	30.10	72.67	31.10	69.00	31.20	70.30
18H	24.5	91	36.75	64	29.87	71..67	29.97	73.00	30.93	70.00	30.97	70.67

08월 23일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
07H	23	95	34.50	67	28.02	75	28.03	75.63	28.91	72.56	28.97	73.88
08H	23.2	95	34.80	67	28.26	75	28.28	75.63	29.16	72.56	29.22	73.88
09H	23.6	95	35.40	67	28.75	75	28.77	75.63	29.67	72.56	29.73	73.88
10H	23.4	94	35.10	66	28.50	74	28.52	74.84	29.41	71.80	29.48	73.10
11H	22.9	94	34.35	66	27.89	74	27.91	74.84	28.79	71.80	28.85	73.10
12H	23.4	94	35.10	66	28.50	74	28.52	74.84	29.41	71.80	29.48	73.10
13H	23.1	94	34.65	66	28.14	74	28.16	74.84	29.04	71.80	29.10	73.10
14H	22.7	94	34.05	66	27.65	74	27.67	74.84	28.53	71.80	28.59	73.10
15H	22.4	94	33.60	66	27.29	74	27.30	74.84	28.16	71.80	28.22	73.10
16H	22.1	95	33.15	67	26.92	75	26.94	75.63	27.78	72.56	27.84	73.88
17H	21.7	95	32.55	67	26.43	75	26.45	75.63	27.28	72.56	27.33	73.88
18H	21.2	95	31.80	67	25.82	75	25.84	75.63	26.65	72.56	26.70	73.88

08월 24일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
07H	21.1	95	31.65	67	25.70	75	25.72	75.63	26.52	72.56	26.58	73.88
08H	21.5	95	32.25	67	26.19	75	26.21	75.63	27.03	72.56	27.08	73.88
09H	21.2	95	31.80	67	25.82	75	25.84	75.63	26.65	72.56	26.70	73.88
10H	21.8	96	32.70	68	26.55	75	26.57	76.43	27.40	73.33	27.46	74.66
11H	22	96	33.00	68	26.80	75	26.82	76.43	27.65	73.33	27.71	74.66
12H	22.8	95	34.20	67	27.77	75	27.79	75.63	28.66	72.56	28.72	73.88
13H	23.6	94	35.40	66	28.75	74	28.77	74.84	29.67	71.80	29.73	73.10
14H	24.4	93	36.60	66	29.72	73	29.74	74.04	30.67	71.04	30.74	72.33
15H	24.7	91	37.05	64	30.09	71	30.11	72.45	31.05	69.51	31.11	70.77
16H	25.1	91	37.65	64	30.57	71	30.59	72.45	31.55	69.51	31.62	70.77
17H	25.2	91	37.80	64	30.70	71	30.72	72.45	31.68	69.51	31.74	70.77
18H	25	91	37.50	64	30.45	71	30.47	72.45	31.43	69.51	31.49	70.77

다) 가을 (10월29~31, 11월 1~2일)

10월 29일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
06H	4.3	96	6.45	68	8.72	57	8.70	33.23	8.48	55.95	8.34	55.84
07H	3.9	89	5.85	63	7.91	52	7.89	30.81	7.69	51.87	7.77	30.74
08H	7	81	10.50	57	14.20	48	14.17	28.04	13.80	47.21	13.94	27.98
09H	11.5	66	17.25	47	23.32	39	23.28	22.85	22.67	38.46	22.90	22.80
10H	12.5	59	18.75	42	25.35	35	25.30	20.42	24.64	34.38	24.89	20.38
11H	14.9	52	22.35	37	30.22	31	30.16	18.00	29.37	30.30	29.67	17.96
12H	16.5	47	24.75	33	33.46	28	33.40	16.27	32.53	27.39	32.86	16.24
13H	18.2	42	27.30	30	36.91	25	36.84	14.54	35.88	24.48	36.25	14.51
14H	18.8	37	28.20	26	38.13	22	38.05	12.81	37.06	21.56	37.44	12.78
15H	19.6	33	29.40	23	39.75	19	39.67	11.42	38.64	19.23	39.03	11.40
16H	19.7	42	29.55	30	39.95	25	39.87	14.54	38.83	24.48	39.23	14.51
17H	17.6	52	26.40	37	35.69	31	35.62	18.00	34.69	30.30	35.05	17.96
18H	12.8	69	19.20	49	25.96	41	25.91	23.88	25.23	40.21	25.49	23.84

10월 30일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
06H	9	94	13.50	66	18.25	55	18.22	32.54	17.74	54.78	17.92	32.47
07H	9.2	81	13.80	57	18.66	48	18.62	28.04	18.14	47.21	18.32	27.98
08H	13.2	61	19.80	43	26.77	36	26.72	21.11	26.02	35.55	26.29	21.07
09H	14.2	53	21.30	37	28.80	31	28.74	18.35	27.99	30.89	28.28	18.31
10H	15.2	45	22.80	32	30.83	26	30.76	15.58	29.96	26.23	30.27	15.55
11H	16.1	38	24.15	27	32.65	22	32.59	13.15	31.74	22.15	32.06	13.13
12H	16.5	32	24.75	23	33.46	19	33.40	11.08	32.53	18.65	32.86	11.05
13H	16.8	31	25.20	22	34.07	18	34.00	10.73	33.12	18.07	33.46	10.71
14H	17.6	31	26.40	22	35.69	18	35.62	10.73	34.69	18.07	35.05	10.71
15H	17.5	31	26.25	22	35.49	18	35.42	10.73	34.50	18.07	34.85	10.71
16H	17.2	29	25.80	20	34.88	17	34.81	10.04	33.90	16.90	34.25	10.02
17H	15.4	24	23.10	17	31.23	14	31.17	8.31	30.36	13.99	30.67	8.29
18H	13.2	44	19.80	31	26.77	26	26.72	15.23	26.02	25.64	26.29	15.20

10월 31일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
06H	3.6	90	5.40	63	7.30	53	7.29	31.15	7.10	52.45	7.17	31.09
07H	3.4	81	5.10	57	6.90	48	6.88	28.04	6.70	47.21	6.77	27.98
08H	5.7	71	8.55	50	11.56	42	11.54	24.58	11.24	41.38	11.35	24.53
09H	9.3	59	13.95	42	18.86	35	18.82	20.42	18.33	34.38	18.52	20.38
10H	11.6	51	17.40	36	23.52	30	23.48	17.65	22.87	29.72	23.10	17.62
11H	12.7	39	19.05	27	25.76	23	25.70	13.50	25.03	22.73	25.29	13.47
12H	14	35	21.00	25	28.39	21	28.34	12.11	27.60	20.40	27.88	12.09
13H	14.7	30	22.05	21	29.81	18	29.75	10.38	28.98	17.48	29.28	10.36
14H	15.6	25	23.40	18	31.64	15	31.57	8.65	30.75	14.57	31.07	8.64
15H	15.2	27	22.80	19	30.83	16	30.76	9.35	29.96	15.74	30.27	9.33
16H	14.5	31	21.75	22	29.41	18	29.35	10.73	28.58	18.07	28.88	10.71
17H	13.6	34	20.40	24	27.58	20	27.53	11.77	26.81	19.81	27.09	11.75
18H	12.3	39	18.45	27	24.94	23	24.89	13.50	24.25	22.73	24.50	13.47

11월 01일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
06H	5.20	82	3.10	49	8.32	48.22	8.22	48.99	8.09	48.50	7.96	49.66
07H	5.80	65	4.51	50	9.28	38.22	9.17	38.83	9.02	38.44	8.88	39.37
08H	9.20	45	13.50	54	14.72	26.46	14.54	26.88	14.31	26.61	14.08	27.25
09H	10.30	31	15.34	43	16.48	18.23	16.28	18.52	16.02	18.33	15.76	18.77
10H	10.00	29	24.50	36	16.00	17.05	15.81	17.32	15.55	17.15	15.30	17.56
11H	11.00	27	28.15	31	17.60	15.88	17.39	16.13	17.11	15.97	16.83	16.35
12H	11.60	25	29.24	19	18.56	14.70	18.34	14.94	18.04	14.79	17.75	15.14
13H	12.00	24	31.78	16	19.20	14.11	18.97	14.34	18.66	14.19	18.36	14.54
14H	12.30	25	32.47	15	19.68	14.70	19.44	14.94	19.13	14.79	18.82	15.14
15H	12.70	23	28.40	17	20.32	13.52	20.08	13.74	19.75	13.60	19.44	13.93
16H	12.60	24	26.75	20	20.16	14.11	19.92	14.34	19.60	14.19	19.28	14.54
17H	11.80	25	23.47	27	18.88	14.70	18.65	14.94	18.35	14.79	18.06	15.14
18H	10.80	25	21.64	30	17.28	14.70	17.07	14.94	16.80	14.79	16.53	15.14

11월 02일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
06H	-0.1	87	1.7	54	17.76	33.2	17.5	34	18.96	31.6	19.1	32
07H	-0.2	81	1.9	55	17.6	33.2	17.72	33	17.4	30.3	17.6	31
08H	2.5	75	4.1	59	19.1	32	18.8	33	17.72	31.3	17.7	32.6
09H	6.9	69	11.1	48	20.6	31	20.3	32	19.23	30.6	19.3	31.3
10H	10.1	45	26.0	41	21.7	29.9	20.8	30.2	20.23	31	20.13	31
11H	11.4	34	32.3	36	22.6	30.1	22.5	30.6	21.6	30.3	21.46	31
12H	13.6	26	32.5	24	22.8	29	22.63	28.6	22	29.8	21.9	30.3
13H	14	24	30.4	21	23.16	29	22.43	29	22.5	29	22.36	30
14H	14.9	24	30.3	20	22.83	28	22.5	28.6	22.3	27.6	22.23	29
15H	15.4	22	24.2	22	22.1	28	22	28.6	21.8	28	21.86	29
16H	15	22	21.6	25	21.9	28.3	21.56	29.36	21.2	28	21.3	29
17H	12.7	32	8.8	32	20.73	29.3	20.7	30	20.6	28	20.63	29
18H	9.2	51	4.2	35	20.06	28.63	20.23	29	19.8	30.3	19.86	30

라) 겨울 (1월 22~26일)

01월 22일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
07H	3	98	8.90	77.19	16.06	71.30	16.16	71.18	17.30	74.34	17.22	75.18
08H	3.1	98	8.30	77.19	16.40	71.30	16.33	71.18	17.15	74.34	17.23	75.18
09H	3	98	3.10	77.19	12.13	71.30	11.92	71.18	13.02	74.34	12.96	75.18
10H	6.9	84	8.10	66.17	16.00	61.11	16.05	61.01	16.80	63.72	16.90	64.44
11H	7	75	7.30	59.08	15.36	54.56	15.30	54.48	15.76	56.89	15.74	57.53
12H	7.8	63	7.10	49.62	15.50	45.83	15.53	45.76	16.20	47.79	16.06	48.33
13H	7.3	69	17.00	54.35	15.06	50.20	15.10	50.12	15.52	52.34	15.36	52.93
14H	6.9	72	16.90	56.71	14.46	52.38	14.40	52.30	14.70	54.62	14.66	55.23
15H	6.4	77	16.30	60.65	13.33	56.02	13.26	55.93	13.56	58.41	13.50	59.07
16H	6.2	82	5.40	64.59	12.90	59.66	12.86	59.56	13.56	62.20	13.40	62.90
17H	6.1	86	5.90	67.74	12.00	62.57	12.02	62.47	12.80	65.24	12.60	65.97
18H	4.7	93	-0.20	73.26	10.80	67.66	10.78	67.55	11.46	70.55	11.26	71.34

01월 23일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
07H	2.3	96	8.20	75.62	15.36	69.84	15.46	69.73	16.60	72.82	16.52	73.64
08H	2.2	95	7.40	74.83	15.50	69.11	15.43	69.00	16.25	72.06	16.33	72.88
09H	2.6	94	2.70	74.04	11.73	68.39	11.52	68.28	12.62	71.31	12.56	72.11
10H	3	92	4.20	72.47	12.10	66.93	12.15	66.83	12.90	69.79	13.00	70.58
11H	3.6	91	3.90	71.68	11.96	66.20	11.90	66.10	12.36	69.03	12.34	69.81
12H	3.6	90	2.90	70.89	11.30	65.48	11.33	65.37	12.00	68.27	11.86	69.04
13H	3.6	90	13.30	70.89	11.36	65.48	11.40	65.37	11.82	68.27	11.66	69.04
14H	4.1	98	14.10	77.19	11.66	71.30	11.60	71.18	11.90	74.34	11.86	75.18
15H	4.3	88	14.20	69.32	11.23	64.02	11.16	63.92	11.46	66.75	11.40	67.51
16H	4.2	91	3.40	71.68	10.90	66.20	10.86	66.10	11.56	69.03	11.40	69.81
17H	4.1	93	3.90	73.26	10.00	67.66	10.02	67.55	10.80	70.55	10.60	71.34
18H	3.6	95	-1.30	74.83	9.70	69.11	9.68	69.00	10.36	72.06	10.16	72.88

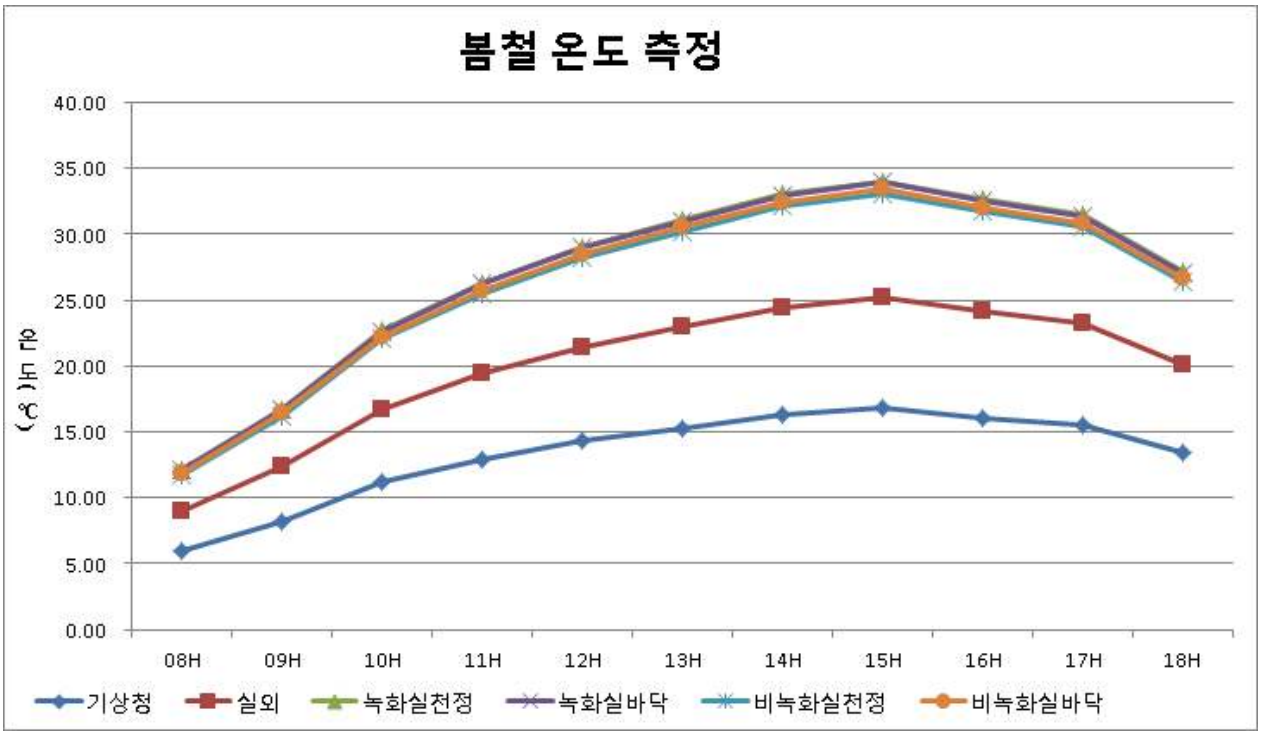
01월 24일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
07H	-2.5	99	3.40	77.98	10.56	72.02	10.66	71.91	11.80	75.10	11.72	75.94
08H	-2.3	99	2.90	77.98	11.00	72.02	10.93	71.91	11.75	75.10	11.83	75.94
09H	-2	99	-1.90	77.98	7.13	72.02	6.92	71.91	8.02	75.10	7.96	75.94
10H	-1.7	95	-0.50	74.83	7.40	69.11	7.45	69.00	8.20	72.06	8.30	72.88
11H	0.6	94	0.90	74.04	8.96	68.39	8.90	68.28	9.36	71.31	9.34	72.11
12H	4.2	82	3.50	64.59	11.90	59.66	11.93	59.56	12.60	62.20	12.46	62.90
13H	6.1	74	15.80	58.29	13.86	53.84	13.90	53.75	14.32	56.13	14.16	56.77
14H	6.6	65	16.60	51.20	14.16	47.29	14.10	47.21	14.40	49.31	14.36	49.86
15H	6.3	57	16.20	44.90	13.23	41.47	13.16	41.40	13.46	43.24	13.40	43.73
16H	5.9	56	5.10	44.11	12.60	40.74	12.56	40.68	13.26	42.48	13.10	42.96
17H	5.4	55	5.20	43.32	11.30	40.01	11.32	39.95	12.10	41.72	11.90	42.19
18H	4.8	54	-0.10	42.54	10.90	39.29	10.88	39.22	11.56	40.96	11.36	41.42

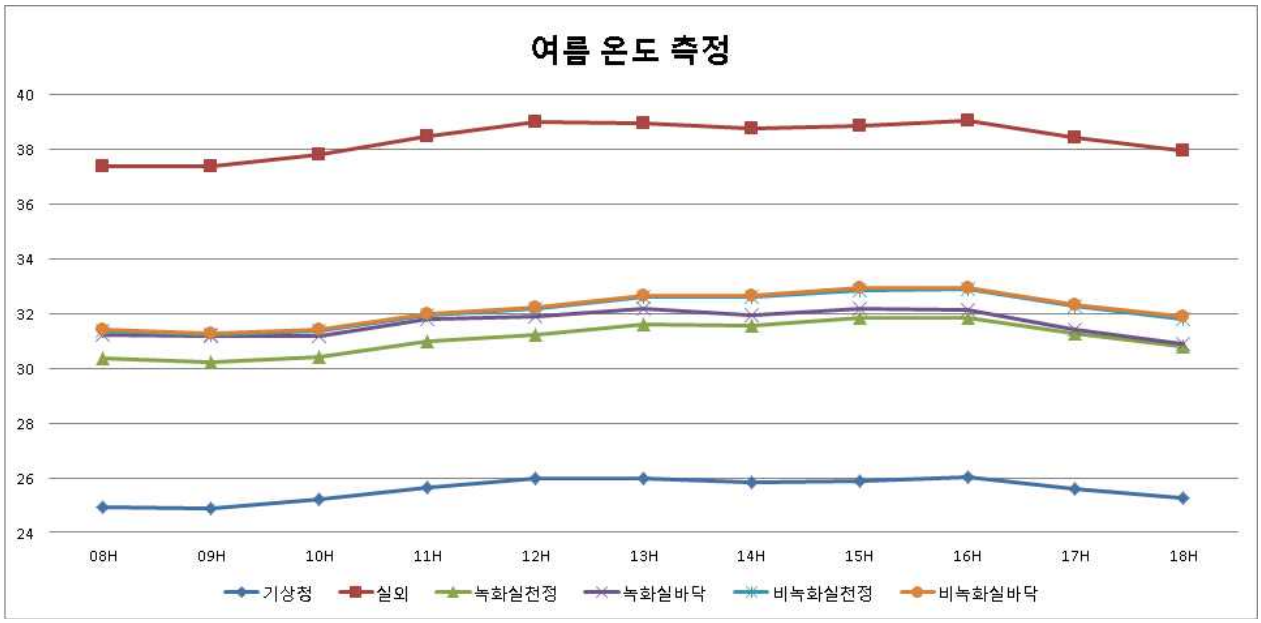
01월 25일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
07H	-1.8	32	4.10	30.00	11.26	43.99	11.36	43.92	12.50	24.27	12.42	24.55
08H	-1.7	32	3.50	30.00	11.60	43.99	11.53	43.92	12.35	24.27	12.43	24.55
09H	-0.7	29	-0.60	28.00	8.43	39.86	8.22	39.80	9.32	22.00	9.26	22.25
10H	0.9	26	2.10	29.00	10.00	35.74	10.05	35.68	10.80	19.72	10.90	19.95
11H	0.8	24	1.10	25.00	9.16	32.99	9.10	32.94	9.56	18.21	9.54	18.41
12H	2.4	21	1.70	22.00	10.10	28.87	10.13	28.82	10.80	15.93	10.66	16.11
13H	2.1	18	11.80	19.00	9.86	24.74	9.90	24.70	10.32	13.65	10.16	13.81
14H	2.7	15	12.70	20.00	10.26	20.62	10.20	20.59	10.50	11.38	10.46	11.51
15H	2.1	25	12.00	22.00	9.03	34.36	8.96	34.31	9.26	18.96	9.20	19.18
16H	1.4	26	0.60	20.00	8.10	35.74	8.06	35.68	8.76	19.72	8.60	19.95
17H	0.9	27	0.70	19.00	6.80	37.11	6.82	37.06	7.60	20.48	7.40	20.71
18H	-0.1	28	-5.00	20.00	6.00	38.49	5.98	38.43	6.66	21.24	6.46	21.48

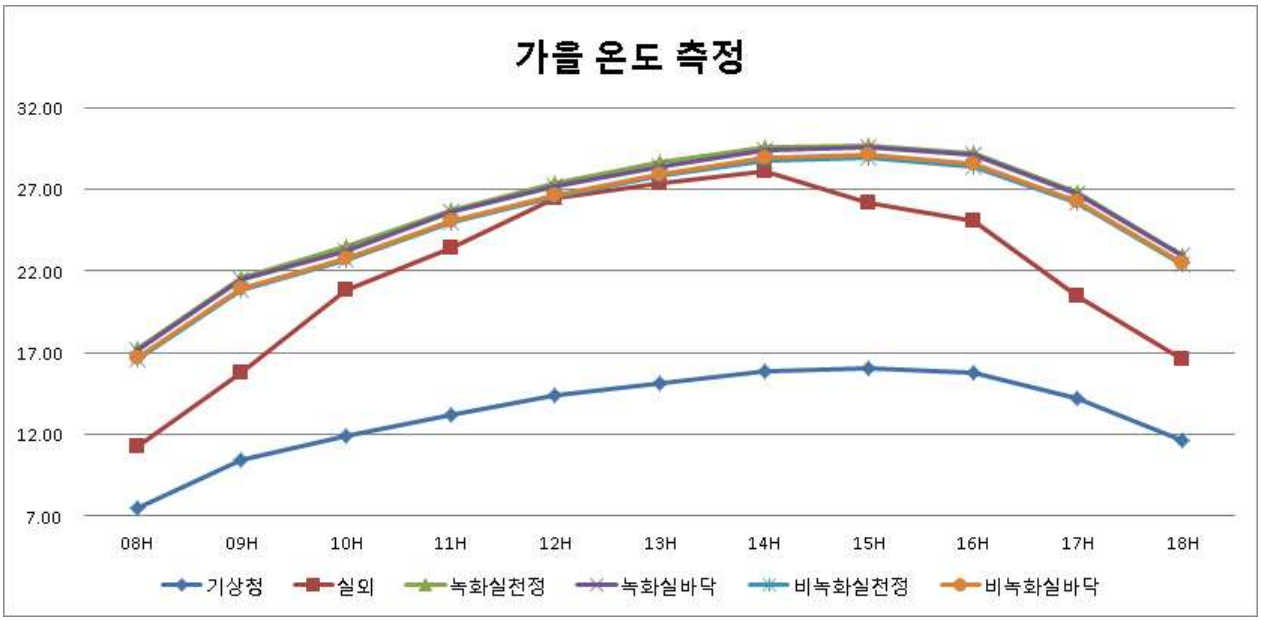
1월 26일	기상청 (온도)	기상청 (습도)	실외 (온도)	실외 (습도)	녹화실 천정 (온도)	녹화실 천정 (습도)	녹화실 바닥 (온도)	녹화실 바닥 (습도)	비녹화 실천정 (온도)	비녹화 실천정 (습도)	비녹화 실바닥 (온도)	비녹화 실바닥 (습도)
07H	-7.9	71	-2.00	47.00	5.16	36.00	5.26	35.63	6.40	34.30	6.32	34.30
08H	-7.7	51	-2.50	46.00	5.60	36.00	5.53	36.00	6.35	34.63	6.43	34.00
09H	-3.2	28	-3.10	42.00	5.93	35.00	5.72	34.63	6.82	35.00	6.76	34.60
10H	-1.8	22	-0.60	32.00	7.30	33.00	7.35	32.63	8.10	32.00	8.20	33.30
11H	-0.4	15	-0.10	25.00	7.96	33.00	7.90	32.63	8.36	30.20	8.34	30.00
12H	0.7	14	0.00	31.00	8.40	33.63	8.43	34.00	9.10	31.30	8.96	30.63
13H	1.1	14	10.80	21.00	8.86	34.60	8.90	34.63	9.32	32.30	9.16	31.63
14H	1.7	15	11.70	16.40	9.26	34.00	9.20	34.63	9.50	31.76	9.46	30.96
15H	1.9	15	11.80	26.00	8.83	34.00	8.76	35.00	9.06	33.00	9.00	32.63
16H	1.4	17	0.60	31.00	8.10	34.63	8.06	35.00	8.76	34.63	8.60	33.00
17H	0.8	19	0.60	33.00	6.70	35.26	6.72	35.63	7.50	34.00	7.30	34.00
18H	-0.5	21	-5.40	33.00	5.60	36.00	5.58	35.36	6.26	35.00	6.06	34.63

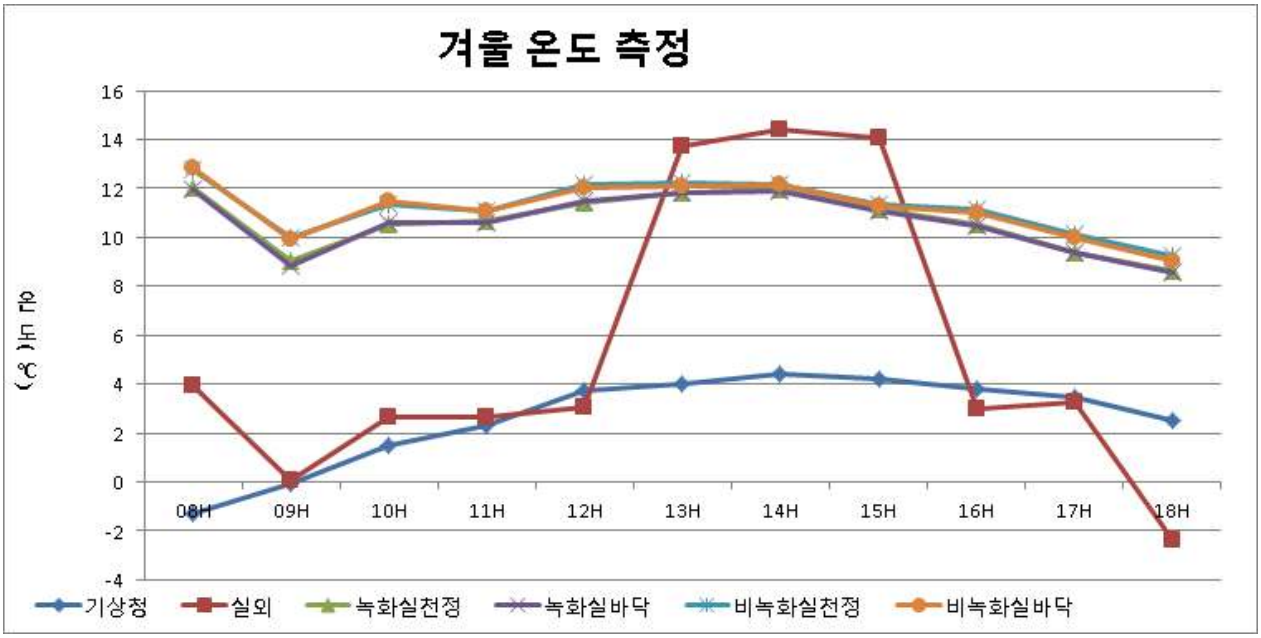
라) 온도 요약

◦ 아래 그래프는 각 계절별 온도를 평균으로 나타낸 그래프 이다.






가을 온도 측정
32.00
27.00
22.00
17.00
12.00
7.00
08H
09H
10H
11H
12H
13H
14H
15H
16H
17H
18H
기상청
실외
녹화실천정
녹화실바닥
비녹화실천정
비녹화실바닥


겨울 온도 측정
16
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
08H
09H
10H
11H
12H
13H
14H
15H
16H
17H
18H
기상청
실외
녹화실천정
녹화실바닥
비녹화실천정
비녹화실바닥

(2) 에너지 절감효과

현장모니터링을 결과 “일반 도시공원이 수목 위주로 식재된 반면 옥상공원에는 다양한 초화류가 식재된 초지가 넓고, 병충해 방제약 사용이나 제초작업이 적어 곤충이 정착하기에 좋은 환경”이라고 말했다. 이 밖에 옥상공원은 시민 휴게 및 커뮤니티공간 제공, 경관 개선 등의 효과가 있으며, 도심에서 토지보상비 없이 녹지를 확충할 수 있는 것이 장점이 부각되어 전국 지자체에서 옥상녹화에 많은 관심을 가지고 있다.

실내온도를 1℃ 낮추기 위해서는 에어컨의 전력량의 평균 7%정도의 전력을 더 소비하게 된다. 만약 100W의 에어컨이라면 1℃를 낮추기 위해 7W의 전력을 더 소비하게 된다.

에어컨 1대는 30대 정도의 선풍기 만큼의 전력량을 소비한다.

일반 가정에서 쓰이는 주택용 요금의 경우에는 다소비 가구의 소비절약 유도 및 저소득층 보호를 위해 많이 쓰면 쓸수록 단가가 비싸지는 누진요금 제도를 적용하고 있다. 이는 전략사용량에 따라 기본요금과 전력량 요금이 총 6단계로 나뉘어져 있는데, 처음 100kWh까지는 기본요금은 370원·전력량 요금 55.10원이나 500kWh를 초과하여 사용시에는 기본요금 1만 1750원·전력량 요금 643.90원이 적용됨으로 최고 11배까지 차이가 난다.

예를 들어 일반 한 가정의 월 평균 사용량이 300kWh 정도일 경우에 한달에 내는 전기요금은 3만 9960원 정도이다.

하지만 이 가정에서 여름철에 15평형짜리 스탠드형 에어컨(소비전력 1700W, 1일 3시간씩 한달 사용)을 사용하여 153kWh 추가 사용량이 발생 하였다면, 한달 전체 사용량은 453kwh 이고 전기요금은 9만 5970원이 되어 전기사용량은 1.5배 증가한 반면, 전기요금은 2.4배 정도 증가하게 된다.

소 비 전 력	3시간×30일		5시간×30일		7시간×30일		9시간×30일	
1.7kw (15평형)	453kw	95,970원	555kw	161,880원	657kw	236,550원	759kw	311,230원
2℃감소	516.4kw	133,630원	632.7kw	218,760원	748.9kw	303,890원	865.3kw	389,020원
2.2kw (18평형)	498kw	114,710원	630kw	216,790원	762kw	313,420원	894kw	410,070원
2℃감소	567.7kw	171,200원	718.2kw	281,360원	868.7kw	391,530원	1,019kw	501,700원
3.25kw (28평형)	592.5kw	189,340원	787.5kw	332,100원	982.5kw	474,860원	1,177kw	617,620원
2℃감소	675.5kw	250,060원	897.8kw	412,810원	1120.kw	575,570원	1342kw	738,310원

주) 한국전력 홈피 주택용(저압)으로 계산, 일반 사용전력 300kw를 더한 값임.

▪ 에너지 절감효과 검토 및 평가

본 연구에서는 제조된 바텀애쉬 경량블럭으로 옥상녹화 공사를 마친 후 301호와 비 녹화층의 실내인 302호 실을 비교 분석하였는데, 실내 온도측정을 한 결과 천장부위와 바닥부위에서 각각 약 2℃ 차이를 보이고 있었다. 이는 냉방부하가 그 정도의 차이를 보여주고 있다는 결과로 판단되었다.

따라서, 실내온도를 2℃ 낮추기 위해 기본적인 전력 사용량를 계산 하면 다음과 같은 에너지 절감효과를 가져올 수 있다는 결론을 얻었다.

본 분석은 한국전력 홈페이지 전력 사용량 계산방식을 활용하였으며, 냉방용 에어컨은 K사의 원격 제어 에어컨을 사용하였을 경우를 가정하였다.

▪ 15평형짜리 스탠드형 에어컨(아파트의 경우 약 99㎡, 30평형)을 소비전력 1.7Kw, 1일 5시간 씩 한달 사용을 사용하였다면, 한달 전체 사용량은 555kwh 이고 전기요금은 161,880원이 된다.(월 평균 사용량이 300kWh 정도일 경우에 한달에 내는 전기요금은 3만 9960원 정도) 여기서 실내온도를 2℃ 낮추기 위해서는 에어컨의 전력 사용량이 평균 14% 증가하기 때문에 632.7kw로 계산되며 전기요금은 218,760원이 계산된다. 즉, 추가적인 비용은 한달에 56,880원이 더 필요한 결과값이 나온다. 이는 전략 사용량은 14% 증가한 반면 전기요금이 35.14% 더 소비되는데, 여름철 3개월을 감안한다면 전기요금은 161,880×3개월로서 485,640원이 되며, 2℃ 실내온도를 내리기 위해서는 추가적인 비용이 170,640원이 더 필요하게 된다.

- 따라서 여름철 옥상녹화를 하지 않는 실내보다 170,640원을 절약할 수 있다는 결론이다.
- 한편, 겨울철 난방비 또한 절감되는 효과를 예측할 수 있다. 겨울철을 4개월 정도로 감안하고 여름철 3개월 더하면 1년에 약 7개월 정도를 에너지 절감효과를 가져올 수 있을 것이라 판단된다.
- 건축물의 수명을 30년만 계산한다고 해도 (170,640+227,520)×30년으로 계산하면 1억1천9백여만을 절약할 수 있다는 산술적인 계산 값이 나온다.
- 향후 전기세 및 유류세 인상을 예상한다면 그 값은 더욱 더 높게 나타나 추가적인 비용이 더 발생할 것이다.

▪ 상기 계산은 1세대를 기준으로 산출한 값이며, 현재의 아파트 주거형태가 전체 주거에 약60% 이상을 차지하고 있는 현실을 감안한다면 전력 및 전기요금 등의 에너지 절감효과는 국가경제에 상당한 일조를 하리라 판단된다.

3. B.A경량식생블록 생산 및 시공 매뉴얼

가. 경량블록 생산공정의 개요

1) 제조공정 및 방법

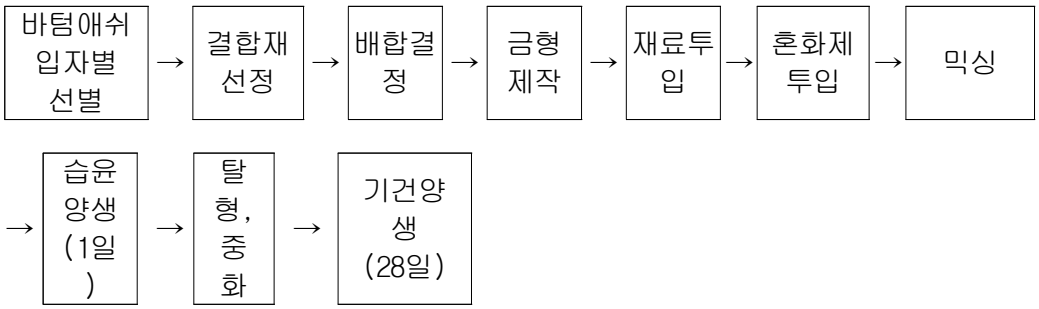
본 실험에서 제조한 경량블록을 대상으로 는 각 조성물질의 특성 차이가 크기 때문에 그 조성비에 따라 물성치가 급격히 변화하였다.

특히, 화분형 경량블록은 유동성을 증가시켰으며 단위시멘트량을 높여 제조하여 내구성이 뛰어난 반면 단순형 경량블록은 바텀애쉬 골재의 첨가량에 따른 물성변화를 측정하기 위해 첨가재료를 가급적 배제하였기에 역학적 성능이 다소 떨어지는 결과를 얻었다.

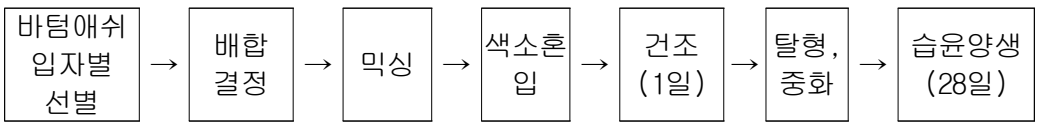
또한, 표면강화형 경량블록의 경우, 제조공정을 외피와 내피로 구분하여 배합을 달리하였으며, 외피 양생을 응결경화 단계인 12시간을 기준으로 결정하였고 내피와의 부착성능을 증대시키기 위해 알루미늄 망을 삽입하여 일체성 블록으로 제조하였다.

각 유형별 제조공정을 정리하면 다음과 같다.

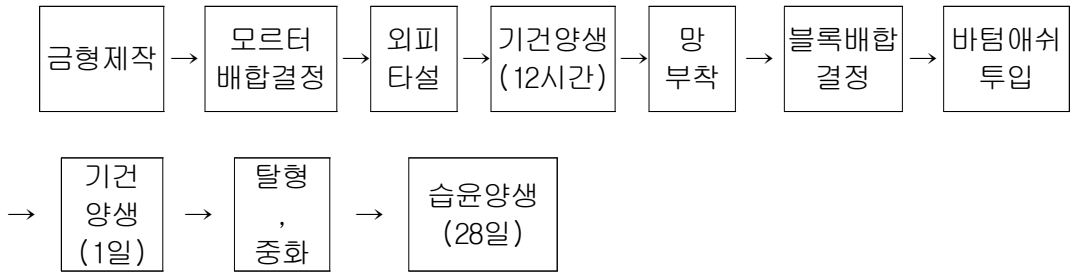
가) 화분형 경량블록



나) 단순형 경량블록



다) 표면강화형 이중 경량블록



나. 단순형 B.A경량식생블록의 생산 매뉴얼

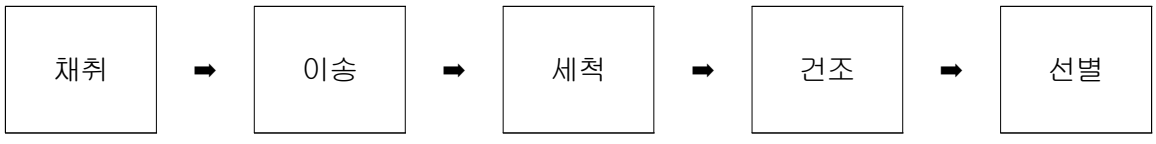
B.A경량식생블록 생산 프로세스틑 그림 3과 같이 크게 5단계로 이루어지며, 옥상녹화 설계에 따라 세부적으로 골재의 크기, 배합 비율, 블록의 모양, 양생처리 과정, 출하시 식재 여부 등이 달라진다.



(1) 골재선별공정

가) 일반사항

바텀애쉬(B.A)는 화력발전소 가열로 바닥에 떨어지게 되면 전량 매립지로 송출하여 바닷물에 잠기게 되어 높은 염분을 함유하게 된다. 따라서 충분한 세척과정이 필요하며, 건조된 후 골재 채가름 공정을 통해 입자별로 선별하여 각각의 블록의 type에 맞게 사용될 수 있도록 한다.



나) 선별조건

바텀애쉬의 골재분류는 크게 활착형 블록에 사용되는 굵은 골재(4.75㎜이상)와 생육형 블록에 사용되는 중간골재(1.18~4.75㎜)로 나누어 2가지 Type의 블록에 사용할 수 있도록 구분하여 선별하며, 그 1.18㎜이하의 골재는 다른용도(인공토양 대체)로 사용을 위하여 따로 저장한다.



[그림 2.67] 채가름공정 및 선별된 바텀애쉬

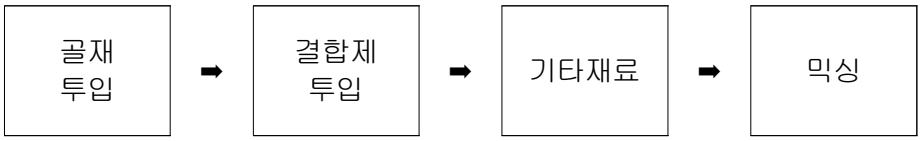
다) 주의사항

또한, 바텀애쉬는 석탄의 원산지 및 화력발전소 설비에 따라 골재의 크기, 모양, 성분 등에 조금씩 차이가 있으므로, 일정기간 마다 성분분석 및 용출수 시험을 통하여 식재에 영향을 미치지 않도록 하여야 한다.

(2) 배합공정

가) 일반사항

B.A경량식생블록은 옥상녹화 설계시에 고려한 식재 및 토양의 종류, 건물의 하중, 디자인 등을 고려하여 주재료인 바텀애쉬의 크기에 따라 결합제 및 기타 재료(중화제, 감수제, 색소 등)들이 투입되어야 한다.



나) 배합조건

배합은 석탄의 원산지 및 발전소의 설비에 따른 바텀애쉬의 특성과 시멘트의 종류에 따라 차이가 있으나 식물활착형, 식물생육형의 대표적인 배합비는 표 4와 같다. 시멘트와 바텀애쉬의 비에서 시멘트의 배합이 증가할수록 압축강도는 증가하나 흡수율과 공극률 단위중량이 나빠지게 되며, 시멘트의 비가 감수할수록 압축강도가 떨어져 식물뿌리 활착 과정에서 발생할 수 있는 내구성문제가 발생할 수 있다.

[표 2.31] 바텀애쉬 배합 계획표

구분	C /B.A	W /C	단위용적중량 배합(kg/㎥)				
			C	B.A			W
				4.75 (㎜)	2.36 (㎜)	1.18 (㎜)	
활착형	1:3	30	618	1177	0	0	185
생육형			618	0	942	227	185

다) 주의사항

바텀애시와 시멘트, 물을 제외한 감수제, 혼화제 및 색소는 전체중량의 3% 미만으로 하는 것이 공극률, 흡수율, 압축강도, 식물의 생육 등에 크게 영향을 미치지 않는다.

(3) 성형공정

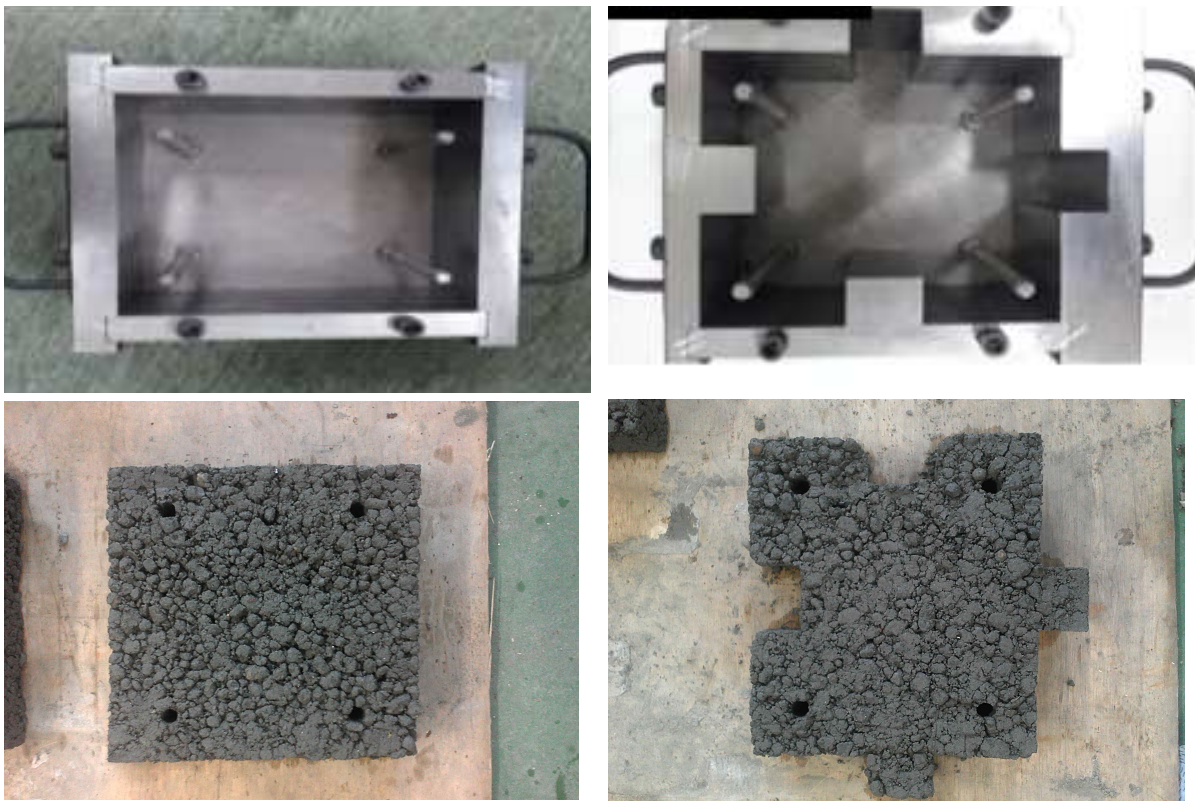
가) 일반사항

설계에 맞게 제작된 금형에 골재와 결합제등이 배합된 재료를 투입한 후 진동을 통하여 금형안에 재료들이 빈틈이 없이 채워지도록 한다. 또한, B.A경량식생블록은 매우 낮은 슬럼프값을 가지고 있으며, 공극의 최대화를 위하여 최소한의 결합제 등을 사용하기 때문에 생산성을 위하여 빠르게 탈형이 가능하다.

금형 ➡ 투입 ➡ 진동 ➡ 탈형

나) 용도별 맞춤성형

설계시 선정된 식재의 종류에 따라 식물활착형과 식물생육형블록의 두께를 조절하여 생산할 수 있도록 하며, 그림 과 같이 다양한 형태의 금형의 제작으로 인해 원하는 형태의 블록 생산이 가능하여야 한다.



[그림 2.68] 2Type으로 설계된 블록금형과 제작된 블록

다) 주의사항

바텀애쉬의 배합특성상 물과 시멘트의 투입비율이 적어 배합직후 슬럼프값이 매우 낮아 복잡한 디자인의 블록의 경우 모서리부분의 강도가 현저하게 떨어질 수 있어 최대한 단순한 형태의 디자인 설계가 이루어져야 한다. 또한, 옥상녹화 설계시 계산된 블록의 크기보다 생산성을 높이기 위한 블록의 모양 및 크기가 우선시 되어야 한다.

(4) 양생공정

가) 일반사항

경량화를 위하여 바텀애쉬 대비 시멘트와 물의 투입비율이 낮으므로, B.A경량식생블록은 20±3℃의 온도를 유지하면서 습도는 60%이상을 유지할 수 있도록 한다.

나) 주의사항

B.A경량식생블록의 장점인 높은 함수율을 유지하기 위해 건조가 매우 중요하다. 제대로 건조되지 않으면 설계보다 높은 하중이 발생될 수 있으며, 중화처리를 통하여 결합제에서 나올 수 있는 성분에 의한 식재의 영향을 줄이도록 한다.

(5) 출하공정

가) 일반사항



[그림 2.69] 양생완료 후 식재를 한 블록 모습

출하시 각 시공현장의 옥상녹화 설계에 따라 보수성 재료와 영양분 충전 유·무, 토양 및 식재 포함여부 등을 결정한다. 짧은 시공기간이 필요한 현장의 경우 방수, 방근층 작업기간 동안 공장에서 사전에 토양과 식재를 설치하여 시공기간을 단축시킬 수 있다.

나) 기본물성시험

출하전에 골재시험의 주의사항과 마찬가지로 골재의 상태에 의한 블록의 기본 물성이 조금씩 다를 수 있으므로 표 x와 같은 기본물성을 만족하는지 일정한

[표 2.32] B.A결량 식생블록의 물리적·역학적 특성

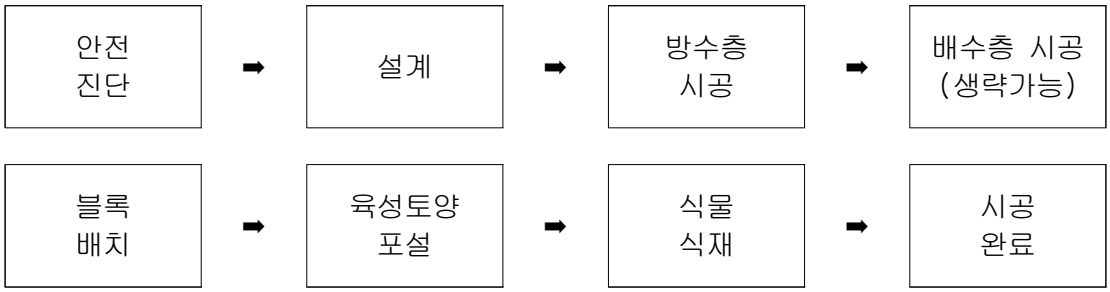
	단위용적질량 (kg/㎥)	흡수율 (%)	함수율 (%)	공극률 (%)	압축강도28 (Mpa)
생육형	1000이하	20~30	5이상	35이상	3이상
활착형	1200이하	10~20	10이상	25이상	3이상

다) 주의사항

배합의 특성상 모서리 부분의 강도가 약하여 손상이 갈 경우 우기에 블록의 틈새로 토양의 유실이 우려되므로 출하시 적재나 이송과정에서 과한 충격이 가해지 않도록 유의한다.

다. B.A경량식생블록의 시공 매뉴얼

B.A경량식생블록을 이용한 옥상녹화 시공 프로세스는 그림 7과 같으며, 블록의 두께에 따라 배수층 시공이 불필요 할 수 있다. 본 시공 프로세스에 비해 포설형 시스템에서는 추가로 방근층 시공이 필요하며, 인공토 포설과정이 추가 될 수 있다. 또한, 유니트형과의 비교에서도 하부 합판 및 레일 설치 등이 생략 될 수 있어 공정이 매우 간소하다는 것을 알 수 있다.



(1) 설계기준 및 시공

면적이 분할 구획된 옥상의 방수는 방수공학적 관점에서 총체적으로 방근조치가 이루어져야 하며, 방근이 단지 식생으로 구성되는 부분에만 제한적으로 적용되어서는 안 된다.

특히 방근재의 접합부, 끝단부, 차단부, 지붕 관통부 및 이음매 등에서의 뿌리 침입을 방지하도록 시공되어야 한다.

방근층의 시공은 봉제된 이음매가 재료특성에 맞게 접합될 경우에만 방근기능을 수행할 수 있으므로 재료공학적 특성에 따라 봉제선에 대한 추가봉합이 요구될 수 있다. 이는 예를 들어 그 직조를 보강처리한 부분에서 발생하는 모세관 현상으로 인한 수분의 침투로 인해 방근성능의 저하를 방지하기 위함이다.

특별한 방근층을 깔 경우 옥상 방수의 거친 표면의 방근층에 대한 물리적 손상을 방지하기 위해 방근층에 물리적 충격을 흡수할 수 있는 보호층이 있거나, 별도의 보호막이 요구된다.

자외선에 대해 내구성이 없는 방수나 방근층은 광선으로부터 차단되어야 한다. 공사기간 중방근층은 손상 되어서는 안 되며, 공사가 중단 됐을 때는 한시적 보호조치로서 보호방법

을 강구해야 한다.

방근층의 설치시 수직면(벽체 또는 파라펫)과의 접합면에서 방근층 올림부의 높이는 식생기반의 구성에 따라 다음의 상세도와 같이 구성한다. 즉, 수직면 주변에 식재기반이 존재할 경우 마감면 상부로 5㎝ 이상 노출시키고, 배수로 등과 같이 식재기반이 아닌 소재가 존재할 경우 10㎝ 이내로 올림높이를 조정 가능하다. 이는 불필요한 노출로 인한 방근층의 손상과 경관저해 요소를 최소화 하고자 함이다.

일반적인 시공조건에서 부직포형 보호층으로는 최소 300g/㎡ 이상의 섬유를 사용하고 시공조건이 까다롭거나 방수층 또는 방근층 상부에 놓여지는 후속 재료로 인한 손상이 예상되는 경우에는 패널형태의 소재를 사용하여 보호층을 구성할 수 있다. 이때는 이음매의 접합부사이로 토양골재가 들어오는 것을 방지해야 한다.

배수층형 보호층 또는 방근층형 보호층의 경우는 방수 및 방근층과의 접합면에 모서리가 없이 평활하여 보호층으로 인한 손상이 발생하지 않는 형태의 제품을 사용하여야 하며, 배수층 및 방근층으로서의 요구조건을 충족하여야 한다. 콘크리트나 시멘트 방수로 보호층을 조성할 때는 추가적으로 발생하는 하중에 유의한다.

부적절하게 조성되거나 사후 처리가 누락되었을 경우 탄산이 분리되거나 배수시설의 석회화가 나타날 위험이 있으므로 유의하여야 하며, 아스팔트 포장재로 보호층을 구성할 때는 추가 하중 외에도 온도친화성 및 재료친화성에 유의한다. 이러한 보호층은 옥상녹화 조성시 통행가능성을 보장하는 목적으로 요구될 수 있다.

콘크리트나 시멘트 방수로 보호층을 조성할 때는 추가적으로 발생하는 하중 및 균열 발생에 유의하고, 아스팔트 포장재로 보호층을 구성할 때는 추가 하중 외에도 온도친화성 및 재료친화성에 유의한다.

재료는 지붕의 경사도, 지붕의 요철 및 건축공법상의 특수요구사항을 고려하여 표층면이 평평하게 조성되어야 한다. 불균일한 수치는 측정길이 4m 당 높이 차이가 1㎝를 넘지 않도록 한다. 제시된 최소 층 두께는 어느 지점에서나 준수되어야 한다. 그 상부 조성되는 층으로 인해 배수기능이 지장 받지 않도록 한다.

배수매트와 배수판을 사용할 때는 그 면의 평평함이 옥상의 평평한 정도에 따라 달라진다. 2% 이하의 지붕경사에는 평평하지 못한 부분이나 정체수가 발생하는 부위는 건축적 차원에서 적합한 방식을 통해 보완되어야 한다.

여과층의 조성을 위해 사용되는 부직포나 직조는 별도의 부착방식이 없는 한 접합면을 따라 최소 10㎝ 이상 겹쳐져 시공되어야 한다. 또한 모서리에서는 식재기반층의 표층부까지 높여서 놓도록 한다.

조성된 부직포나 직물로 이루어진 여과층이 시공된 후 조속히 토양이 포설되어야 한다. 그 이전에는 풍압으로부터 보호해줘야 하며 지붕모서리나 수직으로 올라가는 건축부재에 올려서 깔리는 부직포로 된 배수매트는 기상 영향으로부터 장기적으로 보호되어야 한다.

정체수를 통한 관수가 계획된 경우에는 입자의 크기가 일정한 소재를 사용하여 여과를 위한 공극이 확보되도록 한다. 여과층은 최고 적체수위와 접촉해서는 안 된다.

또한, 부직포 여과층의 경우 인장강도 · 신도 등을 고려하여 KS 규격 제품을 사용하여야 한다.

일반적으로 식재기반층은 토양마운딩이 계획되지 않는 한 하부층과 수평되게 조성한다. 앞서 제시된 최소 층두께는 모든 항목에서 지켜져야 한다. 식재기반층의 토양 및 토양골재는 토양이 습윤한 상태에서 조성되어야 하며, 재료의 특수 조성밀도는 압착하여 만든다. 가능한 초기침하는 조성높이를 계산할 때 고려한다. 특히 펄라이트 등을 사용시 충분히 습윤상태를 유지하여 충분히 침하된 상태의 식재기반층

수치가 준공도서와 일치하여야 한다. 필요한 경우, 식재기반층을 표면 건조와 바람에 의한 비산을 방지하기 위해 지속적으로 물을 공급하여 습윤한 상태를 유지한다. 녹화의 조성과 반입 사이의 기간이 길어질 경우 유실방지를 위해 추가 조치가 요구될 수 있다. 관목 및 수목식재면적은 식재 이후 적합한 재료로 피복하여 보호해 주어야 한다.

또한 토양의 종류에 따라 겨울철 동결 시 토양 수분에 의한 부피팽창으로 건축물의 측하부에 압이 가해질 수 있으므로, 구조체의 파손의 위험을 경감할 수 있는 토양의 선택이 고려되어야 한다.

옥상녹화의 생태적 가치 보전을 위하여 전체 옥상녹화 조성면에서 시설물 및 포장면의 설치면적을 최소화하도록 계획하여, 시설물의 하부에서 원활한 배수가 이루어지도록 배수층 또는 배수로를 확보한다. 또한 방수공사 이전에 시설물의 고정을 위한 기초 또는 앵커 등의 작업을 완료하여 이러한 돌출부의 방수보강이 방수층 시공과 동시에 이루어지도록 시공계획을 수립한다.

풍압에 의한 시설물의 피해가 예상되는 경우는 방수공사 이전에 앵커의 설치를 통해 방수층의 손상 없이 고정할 수 있는 방안 등을 사전에 마련하여야 한다.

안전난간의 경우 법적높이(120㎝, 건축법 시행령 40조) 이상이 확보되도록 설계하되, 녹화시스템 상부 표면에서부터 노출된 높이가 법적높이를 확보할 수 있도록 설치되어야 한다.

(2) 모듈/플랜트/유니트 시스템

가) 일반사항

일정 크기의 패널 또는 박스 형태 단위 유니트의 형상과 소재를 이용하여 녹화시스템 구성요소의 일체화를 도모한 녹화시스템으로 제품에 따라 저수와 배수, 여과와 방근 등의 다양한 성능을 통합하여 일체화한 시스템을 지칭한다.

▪ 장점

- 녹화 공정의 단순화를 통한 시공기간의 단축
- 원활한 식생의 생장조건에 적합하도록 제작된 보수 및 배수성능의 균일화
- 출하시 높은 녹피율을 확보하여 시공 후 초기 녹화효과가 빗물
- 높은 보수능력과 단위별 녹화로 인해 경사형 지붕 녹화에도 적용이 가능하다.

▪ 단점

- 적용 가능한 녹화유형의 다양성 부족
- 개별 유니트 간의 접합 불량시 틈새 발생 가능성 내포
- 선재배 등으로 인한 주문생산 방식으로 가격 상승

나) 성능조건

기본적으로 유니트 녹화시스템은 유니트와 유니트, 유니트와 구조체를 고정시키는 방안을 동시에 제안하는 시스템이어야 한다. 시스템 특성상 개별적인 운반과 조립을 통해 녹화면을 완성하게 되므로 준공 후 풍압이나 기계적 충격 등으로 인해 유니트의 이동이나 탈락이 발생할 가능성이 있으므로 상호간의 견고한 고정방안을 포함하여야 한다.

또한 유니트의 구성 소재와 형상에 따라 차이는 있지만 유니트의 측면부가 노출되지 않도록 마감하는 공법이나 소재를 제시하여야 하며, 장기적인 일사 노출에 의해 구조와 형상이 변화되지 않아야 한다.

녹화유니트 시스템은 시공법상 유니트 단위의 운반 등이 빈번하게 발생하므로 개별 유니트의 중량은 녹화가 모두 이루어진 최종 상태에서 단위 유니트당 최대 25㎏을 넘지 않아야 한다.

다) 설계기준 및 시공

녹화유니트 시스템은 구조적 특성으로 인해 경량형 녹화에 적합한 시스템으로 이용이 제한되는 대면적 옥상면의 녹화나 발코니 또는 캐노피 상부녹화 등에 적합하고 구조에 따라 혼합형 녹화유형으로 관목류의 식재까지도 가능하다.

녹화유니트의 사용시 초기 녹피율이 높기 때문에 유지관리 등을 위해 녹화조성면 상부로 이동이 필요할 때 유니트 상부나 모서리부를 밟을 경우 유니트의 파손이나 식재 생장에 영향을 끼칠 수 있으므로 설계단계에서 별도의 동선을 마련하는 것이 유지관리에 유용하다

(3) 녹화시설관리

가) 배수설비관리

- 배수구, 드레인에 점검구의 설치 및 점검을 통해 낙엽이나 쓰레기 등 이물질로 인한배수구의 막힘현상을 사전에 예방하여 원활한 배수상태를 유지한다.

- 월 1회 이상의 정기적 점검을 실시한다.
- 호우가 예상되는 시기는 오후시간대로 반드시 점검을 실시한다.

나) 방수층 관리

- 배수드레인과의 접합부를 비롯한 방수재의 접합부의 점검 등을 통해 누수의 우려가 있는지 정기적으로 점검한다.
- 노출방수의 경우에는 다른 시설 관리 시 에도 충분한 주의를 기울여 진행한다.
- 필요에 따라 방수성능에 문제가 있을 경우 추가 방수 또는 보수 공사를 실시한다.
- 연1회 정도 전체적으로 점검을 실시한다.

다) 관수시설관리

- 정기적인 장치의 점검 요망
- 전지식의 경우 정기적인 전지 성능 확인이 필요하다.
- 중수, 빗물을 이용할 경우에 단말장치 등의 눈막힘에 주의하여 말단의 거름망을 청소하여야 한다.
- 급수시설은 펌프를 연 1회 분해하여 월 1회 이상 작업현황을 점검한다.

라) 토양관리

- 전체적으로 고른 토심을 이루고 있는지 점검이 필요하다.
- 봄철에 기온이 올라가면서 토양이 들뜨는 현상이 발생하는데, 이는 겨울철 토양동결이 반복되어 생기는 것으로 식물생육에 지장을 줄 수 있으므로 가볍게 눌러 주는 등의 점검을 실시한다.
- 보수성이 지나치게 높으면 생육에 지장을 초래하므로 항상 토양의 습기상태 등을 점검한다.
- 토양층 표면이 비산에 의해 날릴 경우 이에 대한 대책을 수립한다.
- 인공토양의 노출여부를 정기적으로 점검하여 멀칭 등의 대책을 수립한다.

마) 구조안전관리

- 건축물 녹화의 유형이 어떤 것인지를 먼저 파악하여 그에 맞는 적절한 관리를 해 주어야 한다. (녹화유형 및 특성에 대한 기본사항 숙지)
- 건축물 녹화 시공 이후 구조체의 균열 또는 외장재의 탈락 등의 구조적 하자가 발생시 즉각적으로 관계 전문가의 점검을 통해 부가적으로 발생 가능한 하자를 예방하여야 한다.
- 식물이 지나치게 성장하여 하중이 증가하는 현상은 구조적으로 바람직하지 못하므로 전지 · 전정관리를 하여야 한다.
- 식물이 고사하여 보식을 하고자 할 경우 녹화지역에 적합한 수종을 선정하여야 하며, 전문가의 자문을 받는 것이 바람직하다.
- 사람에 의한 이동하중도 지나치게 높을 경우 구조적으로 바람직하지 못하므로 적절하게 조절해 주어야 한다.
- 기타 구조안전과 관련된 관리사항은 무엇보다도 중요하므로 필요할 시 관계 전문가의 자문을 받아 해결하는 것이 바람직하다.

(4) 식재관리

가) 관수관리

① 유의사항

▪ 기상조건, 토양조건, 식물종, 용도, 건축물녹화면의 특성, 관리요구도, 무강 일수, 우량, 토양의 보수성 등을 고려하여 관리조건을 결정한다.

▪ 토심이 낮고 경량토양을 주로 사용하는 저관리 · 경량형 옥상녹화에서는 강우량이 적은 건조시기가 계속될 때 적절한 관수관리가 필요하다.

② 관수시기

▪ 저관리 · 경량형 옥상녹화 식물은 어느 정도 건조에 내성이 있으므로 건조기후가 지속되는 갈수기에만 유의하고 그 밖에 다른 계절은 상황에 따라 적절히 조절한다.

- 갈수기가 2주 이상 지속되는 경우에는 관수를 고려한다.

▪ 관수는 한낮은 피하고 겨울철에도 따뜻한 날을 택해 가끔 관수한다.

▪ 관수시간

- 일반적으로 기온이 낮을 때는 오전 10시경, 기온이 높을 때는 오전 8~9시경 또는 오후 4~5시경 관수하는 것이 보통이나 우리나라와 같은 조건에서는 저녁에 관수하는 것이 유리하다.

▪ 중량형일 경우 수목이식 직후의 관수관리가 특히 중요하며 정기적인 관수관리가 필요하다.

③ 관수방법

▪ 인력관수의 경우 한군데만 집중적으로 살수하지 말고, 넓은 면적을 반복하면서 살수한다.

▪ 경량형 토양일 경우 살수에 의해 토사가 유출되지 않도록 한다.

▪ 토압이 강한 토양에서는 토양이 날아가거나 토양표면이 함몰되므로 수량과 수압을 주의하여 실시한다.

나) 시비관리

① 유의사항

▪ 건축물 녹화용 자생초본류는 대부분 척박지에서 생육하는 식물로서 시비관리에 그다지 많은 노력을 기울이지 않아도 가혹한 조건에 적응이 가능하다.

- 오히려 과다한 시비는 악영향을 가져올 수 있으므로 필요한 경우에만 실시하되, 가능한 한 약간 부족한 정도로 주는 것이 바람직하다.

② 시비시기

- 식물의 종류, 토양의 특성을 고려하여 비료를 주는 횟수와 시비량을 조절하되 1년에 1회 정도가 적당하다.
- 시기는 4~6월 또는 8월 하순~10월경에 시비하는 것이 일반적이다.
- 질소, 인산, 칼리를 적절히 배합하여 시비하며 장마철, 한여름이나 한겨울, 이식직후는 피하는 것이 바람직하다.

③ 시비방법

- 속효성 화학비료보다는 완효성 비료가 안전하다.
- 보통 시비가 용이한 고형비료를 주고 식물체의 뿌리상태가 좋지 않거나 빠른 효과를 위해서는 엽면시비를 병행한다.
- 중량형일 경우에는 수목 식재 시 부숙퇴비를 섞어 넣어주는 정도로 충분하며 그 후
- 활착이 완전히 끝난 뒤, 시비하는 것이 바람직하다.

다) 제초 및 전지/전정

① 제초시 유의사항

- 경량형 옥상녹화의 경우 잡초로 인해 식재식물의 성장이나 생육을 저해 받을 때 제거한다.
- 일반적으로 대규모의 녹화지가 아니면 잡초가 발생했을 때 곧바로 인력으로 제거하는 것이 농약사용에 비해 안전하다.
- 대규모 면적의 제초작업이 필요할 때는 제초제를 사용할 수 있으나 농약의 대부분이 독성이 강하며 환경오염의 우려가 있으므로 가급적 사용을 자제한다.
- 그러나 농약사용이 불가피 할 시에는 반드시 주의사항을 이해하고 사용농도를 지켜야 한다.

(5) 배수층의 성능

배수에 대해서는 다음과 같은 사항을 확인한다.

- 평지붕의 배수구배는 루프드레인을 향해 구배가 되어 있는지의 여부. 보호층(콘크리트 등)의 경우 1/50-1/100, 노출공법의 경우 1/20-1/50의 구배 확보 여부 확인.
- 루프드레인은 1배수공간에서 최저2개소이상 설치되어 있는지 확인한다. 루프드레인의 구경은 막힘을 고려해서 여유있는 관경이어야 한다.
- 녹지 조성면 내부에 드레인이 위치하는 경우는 토양의 유입 또는 낙엽에 의한 막힘을 방지하기 위해 반드시 점검 가능한 형태의 점검구를 설치하고 있는지의 여부를 확인한다.
- 벽면의 우수를 빠르게 배수시킬 수 있도록 벽면에 직접토양이 접하는 경우는 유속이 붙은 우수에 의한 토양의 유실, 루프드레인의 배수장애를 막기 위해 벽면과 토양 사이에 배수공간을 만들어 벽면수의 배수로를 확보하고 있는지의 여부를 확인하고, 표준상세를 참고한다.
- 녹화성이 배수구배와 직교 혹은 배수로를 분단하는 경우는 우수가 정체하지 않도록 배수로가 확보되어 있는지 검토한다.
- 토양의 종류에 따라 집중호우시 빗물이 토양층을 침투해 들어가지 못하고 넘쳐, 표면을 흐르는 경우가 있기 때문에 측구 또는 배수원관 등의 표면배수 및 측면배수설비가 제시되었는지 검토한다.

▪ 관수장치의 설치

관수장치가 특기(시방)되어 있는 경우, 관수관을 끌어 들이는 개소, 관수장치, 관수량, 관수방법 등이 적절한지에 대한 여부를 확인한다. 옥상녹화에 있어서는 식재 후의 초기관수, 장기간의 무강우에 의한 생육불량 또는 고사를 막기 위한 관수, 장기간 안정한 생육을 확보하기 위한 관수용에 관수장치는 필요하다.

▪ 유지관리통로의 확보

쿨링타워 등의 옥외기에의 유지관리 통로의 안전성이 확보되고 있는지 확인한다. 또한 옥상녹화의 유지관리 통로의 안전성이 확보되어 있는지의 여부도 확인한다.

제3장

최종 연구성과 및 적용실적

제1절 최종 연구성과 설명

1. 연구성과 소개

가. 건설폐기물을 활용한 혁신적인 친환경 식생기반소재 개발

본 연구는 매립되어지고 있는 폐기물 중 하나인 바텀애쉬를 식생블록으로 활용하기 위한 최적 배합비에 관한연구로서, 바텀애쉬 블록의 특성들을 분석하고 그 분석을통해 옥상녹화 및 벽면녹화 등에 적용 가능한 것으로 나타났으며 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

- 바텀애쉬를 식생블록으로 활용하기 위한 특성으로서 직경 1~5㎝의 굵은 입자를 형성하고, 함수율31.55wt%로 별도의 건조처리 없이 재활용이 가능하다고 판단되며, 석탄회 성분의 반을 차지하고 있고 물과 접촉하면 미량의 SiO2 가 용출하며 CaO 와 수화하여 표면에 수화물을 형성한다. 일반적으로 발전소 회중의 SiO2 비율은Cement 원료인 점토와 비슷하다.
- 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 1,144㎏/㎥, 기건비중 1.14, 흡수율 22.3%, 함수율 10.5%, 연속공극률 35.4%, 전 공극률 39.9%, 압축강도 7일 1.666Mpa, 28일 3.038Mpa의 결과를 도출해 내었다.
- 옥상에서 사용이 가능한 경량블록을 제조하기 위한배합비는 Slag Cement 24%, CSA Cement 2%,Anhydrate 1.5%, Polycarboxlate power 0.2%, LitiumCarbonate 01.%, 바텀애쉬 72.2%로 하여 배합한 시험체의 결과 바텀애쉬 입자 5~10㎝의 결과는 압축강도 5.5272 MPa, 건비중 1.14, 공극률 35.1%, 흡수율 23.4%의 결과를 도출해 내었다.

본 연구에서와 같이 바텀애쉬를 활용하여 옥상녹화 및벽면녹화를 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.

나. 국내환경을 고려한 식생기반소재 제품의 적층구조시스템 개발

Bottom Ash를 입자별로 분류한 후 식생유닛의 적용 대상에 따른 형상으로 제작하고 그 특성을 분석한 결과 다음과 같다.

- Bottom Ash 화분형 식생 경량유닛의 경우 식물의 뿌리 활착 깊이가 20cm 이하인 식물에 적용 가능하며 이동이 쉬고 관리가 쉽다는 점과 기존의 건축물에 쉽게 적용할 수
- 있고 관상용과 옥상녹화용을 두루 사용이 가능하나 유닛의 형상의 특성상 파손의 우려가 높다고 판단된다.
- 단순형 경량유닛의 경우 중화처리를 통해 식생활착이 가능하도록 pH 7~8로 맞췄으며 두께는 10㎝ 전후로 제작하여 식물뿌리 활착깊이가 크게 요구되지 않는 저관리형 건축물의 옥상에 적용하여 하중부담을 줄일 수 있다는 장점이 있으나 표면약화 및 노화로 인해 내구성이 떨어지며, 동결융해에 대한 저항성이 약하다는 단점이 있다.
- 표면 강화형 경량유닛은 단순형 경량유닛의 단점을 보완하여 제조한 것으로 두께 1cm 정도의 시멘트 모르타르로 표피를 구성하여 제조 되는데 동결융해의 저항성을 높였으나 중량이 증가한다는 단점이 있는 것으로 분석되었다.

종합적으로 분석하여보면 Bottom Ash는 식생유닛 제조에 있어 경량성, 다공성, 함수성 등으로 인해 적합하다고 판단다.

적합한 토심은 식물생육에 필요한 육성토양의 두께 또한 최소화 할 수 있다는 것이 실험으로 증명하였으며, 지나친 두께는 식물이 블록의 공극에 침투하여 일체화 되는데 오랜 시간이 걸려 식물의 조기활착에 악영향을 미치며, 이로 인한 유지관리 비용 증대를 초래하는 것으로 분석되었다.

- 최근 유행하는 도심옥상텃밭사업에도 적용가능성을 실험한 결과 일반토양과 같은 식물의 생장속도를 보여 주었는데 이는 구근류 채소보다는 상추, 부추, 쑷갓류가 적당하였으며, 채소성장을 위한 토심은 10cm 정도가 적당함을 확인하였다.
- B.A 식생경량블록에 복토를 하여 토양의 영양분 유실을 관찰한 결과 첫 주수후 흙탕물이 발견되지 않았으며, 식물 생육에도 이상변화가 없었는데, 이는 B.A 경량블록내 공극 기공 부위에 미세입자인 토양성분이 충전되어 블록과 토양이 일체화 되었기에 가능한 결과물이라 판단되었다. 결과적으로 기존 공법에서 배수층과 단열층, 방수층의 추가공사를 생략할 수 있었다.

다. 제품의 실용화를 위한 생산 및 시공 표준모델 개발

(1) B.A경량식생블록 생산 매뉴얼

B.A경량식생블록 생산 프로세스틑 골재선별, 배합, 성형, 양생 출하 5단계로 이루어지며, 옥상녹화 설계에 따라 세부적으로 골재의 크기, 배합 비율, 블록의 모양, 양생처리 과정, 출하시 식재 여부 등이 달라진다.

가) 골재선별공정

- 바텀애쉬(B.A)는 화력발전소 가열로 바닥에 떨어지게 되면 전량 매립지로 송출하여 바닷물에 잠기게 되어 높은 염분을 함유하게 된다. 따라서 충분한 세척과정이 필요하며, 건조된 후 골재 채가름 공정을 통해 입자별로 선별하여 각각의 블록의 type에 맞게 사용될 수 있도록 한다.

- 바텀애쉬의 골재분류는 크게 활착형 블록에 사용되는 굵은 골재(4.75㎜이상)와 생육형 블록에 사용되는 중간골재(1.18~4.75㎜)로 나누어 2가지 Type의 블록에 사용할 수 있도록 구분하여 선별하며, 그 1.18㎜이하의 골재는 다른용도(인공토양 대체)로 사용을 위하여 따로 저장한다.
- 또한, 바텀애쉬는 석탄의 원산지 및 화력발전소 설비에 따라 골재의 크기, 모양, 성분 등에 조금씩 차이가 있으므로, 일정기간 마다 성분분석 및 용출수 시험을 통하여 식재에 영향을 미치지 않도록 하여야 한다.

나) 배합공정

- B.A경량식생블록은 옥상녹화 설계시에 고려한 식재 및 토양의 종류, 건물의 하중, 디자인 등을 고려하여 주재료인 바텀애쉬의 크기에 따라 결합제 및 기타 재료(중화제, 감수제, 색소 등)들이 투입되어야 한다.

- 시멘트와 바텀애쉬의 비에서 시멘트의 배합이 증가할수록 압축강도는 증가하나 흡수율과 공극률 단위중량이 나빠지게 되며, 시멘트의 비가 감수할수록 압축강도가 떨어져 식물뿌리 활착 과정에서 발생할 수 있는 내구성문제가 발생할 수 있다.
- 바텀애시와 시멘트, 물을 제외한 감수제, 혼화제 및 색소는 전체중량의 3% 미만으로 하는 것이 공극률, 흡수율, 압축강도, 식물의 생육 등에 크게 영향을 미치지 않는다.

다) 성형공정

▪ 설계에 맞게 제작된 금형에 골재와 결합제등이 배합된 재료를 투입한 후 진동을 통하여 금형안에 재료들이 빈틈이 없이 채워지도록 한다. 또한, B.A경량식생블록은 매우 낮은 슬럼프값을 가지고 있으며, 공극의 최대화를 위하여 최소한의 결합제 등을 사용하기 때문에 생산성을 위하여 빠르게 탈형이 가능하다.

- 설계시 선정된 식재의 종류에 따라 식물활착형과 식물생육형블록의 두께를 조절하여 생산할 수 있도록 하며, 그림 과 같이 다양한 형태의 금형의 제작으로 인해 원하는 형태의 블록 생산이 가능하여야 한다.
- 바텀애쉬의 배합특성상 물과 시멘트의 투입비율이 적어 배합직후 슬럼프값이 매우 낮아 복잡한 디자인의 블록의 경우 모서리부분의 강도가 현저하게 떨어질 수 있어 최대한 단순한 형태의 디자인 설계가 이루어져야 한다. 또한, 옥상녹화 설계시 계산된 블록의 크기보다 생산성을 높이기 위한 블록의 모양 및 크기가 우선시 되어야 한다.

다) 양생공정

▪ 경량화를 위하여 바텀애쉬 대비 시멘트와 물의 투입비율이 낮으므로, B.A경량식생블록은 20±3℃의 온도를 유지하면서 습도는 60%이상을 유지할 수 있도록 한다.

▪ B.A경량식생블록의 장점인 높은 함수율을 유지하기 위해 건조가 매우 중요하다. 제대로 건조되지 않으면 설계보다 높은 하중이 발생될 수 있으며, 중화처리를 통하여 결합제에서 나올 수 있는 성분에 의한 식재의 영향을 줄이도록 한다.

라) 출하공정

▪ 출하시 각 시공현장의 옥상녹화 설계에 따라 보수성 재료와 영양분 충전 유·무, 토양 및 식재 포함여부 등을 결정한다. 짧은 시공기간이 필요한 현장의 경우 방수, 방근층 작업기간 동안 공장에서 사전에 토양과 식재를 설치하여 시공기간을 단축시킬 수 있다.

▪ 출하전에 골재시험의 주의사항과 마찬가지로 골재의 상태에 의한 블록의 기본 물성이 조금씩 다를 수 있으므로 기본물성을 만족하는지 시험을 실시 하여야 한다.

- 특히, 배합의 특성상 모서리 부분의 강도가 약하여 손상이 갈 경우 우기에 블록의 틈새로 토양의 유실이 우려되므로 출하시 적재나 이송과정에서 과한 충격이 가해지 않도록 유의한다.

(2) 시공 매뉴얼

B.A경량식생블록을 이용한 옥상녹화 시공 프로세스는 안전진단, 설계, 방수층시공, 배수층시공(생략가능), 블록배치, 육성토양포설, 식물식재, 로 이루어지며, 블록의 두께에 따라 배수층 시공이 불필요 할 수 있다. 본 시공 프로세스에 비해 포설형 시스템에서는 추가로 방근층 시공이 필요하며, 인공토 포설과정이 추가 될 수 있다. 또한, 유니트형과의 비교에서도 하부 합판 및 레일 설치 등이 생략 될 수 있어 공정이 매우 간소하다는 것을 알 수 있다.

라. 본 연구결과의 정량적 비교

- 본 공법은 기존 인공토양 공법에 비해 다소 녹하 하중은 증대되지만, 공사의 용이성, 보수의 탁월성 등을 종합적으로 고려해 볼 때 기존 공법에 단점을 개선시키고자 하였다.

<table>
<tr><th colspan="2">공법 구분</th><th>녹화하중
(kgf/㎡)</th><th>식재의 종류에 따른 녹하층의 적재하중</th></tr>
<tr><td rowspan="9">인공토양</td><td>세덤(50주)류</td><td>0.25</td><td rowspan="10"><table><tr><th>식재의 종류</th><th>적재하중</th></tr><tr><td>세덤류</td><td>60~90kgf/㎡</td></tr><tr><td>잔디류</td><td>120kgf/㎡</td></tr><tr><td>작은나무류 녹화</td><td>180kgf/㎡</td></tr><tr><td>큰나무류 녹화</td><td>300kgf/㎡</td></tr></table>적재하중 180kg/㎡을 넘는 경우는 구조계산이 필요

※ 인공토양에 비해 바텀애쉬 유닛블록의 녹하하중이 약 4~5kgf/㎡ 증가됨.
※ 그러나 시공의 단순화를 통해 하자보수가 용이하며, 누구나 쉽게 옥상조경 공사를 할 수 있는 장점이 있음.</td></tr>
<tr><td>인공토</td><td>49.00</td></tr>
<tr><td>직물필터(180g/㎡)</td><td>0.18</td></tr>
<tr><td>배수판</td><td>9.45</td></tr>
<tr><td>방수층</td><td>4.00</td></tr>
<tr><td>부직포(300g/㎡)</td><td>0.30</td></tr>
<tr><td>최대수분흡수량</td><td>16.80</td></tr>
<tr><td>단열재</td><td>1.25</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>81.23</td></tr>
<tr><td rowspan="8">바텀애쉬</td><td>세덤+야생화</td><td>0.45</td></tr>
<tr><td>바텀애쉬(활착+생육)</td><td>63.00</td></tr>
<tr><td>부직포(300g/㎡)</td><td>0.30</td></tr>
<tr><td>방근시트</td><td>4.75</td></tr>
<tr><td>최대수분흡수량(활착형)</td><td>7.30</td></tr>
<tr><td>최대수분흡수량(생육형)</td><td>9.50</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>85.3</td></tr>
</table>

제2절 주요연구성과

1. 학술적 성과

가. 학술발표대회 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2012.05.	6시그마 기법을 적용한 식재용 경량콘크리트 골재로서의 바텀애쉬 배합설계 기초적 연구	안혜련	한국건설시공학회	국내
2012.09	11A Feasibility Study on the Development of Eco-Planting Blocks using Bottom Ash	오재훈	11th International Conference on Sustainable Energy technologies(SET-2012)	국외 (캐나다)
2012.11	6시그마 기법을 적용한 식생경량블록 개발에 관한 연구	안혜련	한국건설관리학회	국내
2014.7	A STUDY ON THE THERMAL EFFECTS OF GREEN ROOF SYSTEM IN AN EXISTING BUILDING	김시은	The 13th International Conference on Indoor Air Quality and Climate	국외 (홍콩)

나. 논문등재

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2012.04	Bottom Ash를 식생블록으로 활용하기 위한 배합비 연구	문종욱			한국생태환경건축학회 (등재지)	12(2)	국내	
2012.06	옥상녹화용 경량유닛 제조 및 공정연구	문종욱			한국생태환경건축학회 (등재지)	12(3)	국내	
2013.04	경량식생블록을 이용한 옥상녹화 공법의 토심계획에 관한 연구	오재훈	문종욱	안혜련 김경욱 안영철	한국생태환경건축학회	13(3)	국내	
2013.04	A Feasibility Study on the Development of Eco-Planting Blocks using Bottom Ash	문종욱	안영철	오재훈 허영기	Building and Environment		국외	SCI
2014.08	저관리·경량형 옥상녹화를 위한 B.A경량 식생블럭 생산 및 시공 매뉴얼 개발 연구	김진관	안영철	오재훈 문종욱	대한건축학회		국내 (2차 심사중)	

2. 기술적 성과

▪ 특허 성과

출원된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호
2013. 03.14	식생블록용 콘크리트 조성물 및 그로부터 제조된 식생블록	한국국제대학교 산학협력단	대한민국	10-2013-0027443

2. 적용사례

▪ 옥상조경 조립화 시스템 적용

식생녹화를 위한 옥상조경 모델의 단순화를 위해 블록의 상단부위와 하단부위의 배합을 달리하였으며, 모델의 최하단부는 방근시트를 접착하여 일체화된 단일블록 모델을 개발하였다. 시공을 위해 옥상부위에 단위블록을 포설하고 최상단부에 토양을 식물뿌리 활착깊이에 따라 달리하였다.

본 옥상녹화용 식생의 종류는 크게 2종류로 적용하였다.



[그림 3.1] 옥상조경 조립화 시스템 적용 사진

첫째로는 관산용 식물로 토양깊이 20cm이하에서 자랄 수 있는 저관리형 식생으로 한국형 야생화를 20종 선별하여 식재하였다.



잔디가 식생블록에 착근하여 식생블록과 일체화 (40일 경과)

[그림 3.2] 식생블록 식재 사진

두 번째로는 인도용으로 적용한 국산 잔디를 식재하였는데, 이들 식재계획을 적용한 이유는 한국형 옥상녹화 시스템을 개발하기 위함이고, 실물적용 테스트(MOCK-UP)를 하기 전에 단위 블록에서 식생의 활착을 각각 확인한 후 적용함으로써 실험의 오차를 줄이고 계절별 꽃들의 만개를 1년 내내 관상할 수 있는 옥상녹화의 미적 디자인을 고려하였다.

이에 따라 잔디의 식생블록에 착근하는 경과를 40일 이후 관찰 한 결과 아래와 같은 현상을 관찰할 수 있었다.

- 생장이 빠른 잔디의 경우, 식생블록에 뿌리가 착근하여 식생블록과 일체화 된 것을 확일할 수 있었으며, 식생블록 자체의 배수능력이 우수하여, 우수의 막힘 현상이 없으며, 이로 인한 식물뿌리가 부식되는 사례는 관찰할 수 없었음.
- 야생화류의 경우, 뿌리활착시 생장기간이 소요되므로 뿌리활착이 이루어지려면 약 식생식물 종류에 따라 차이가 있겠지만 약 6개월에서 12개월 기간이 소요될 것으로 예상되며, 식생 활착을 위한 복토의 두께는 10cm 이내로 하여 옥상층의 하중경감을 도모함.

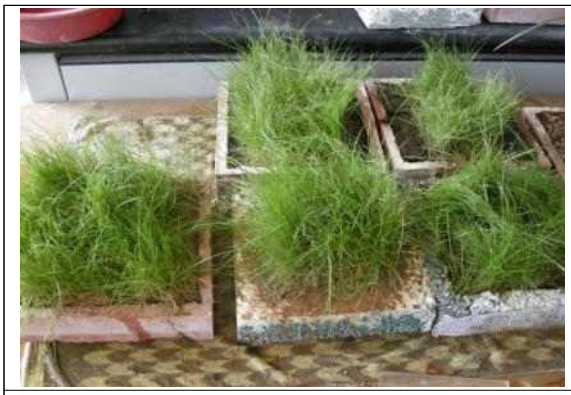
또한, 옥상층의 토양은 보통흙(자연토양)과 바텀애쉬 토양을 혼합하여 사용하였는데, 옥상층의 하중경감을 위해 바텀애쉬 미립분을 토양으로 활용하였다. 아래 표는 토양의 종류에 따른 단위중량을 표기한 것으로 토양의 경량화에 탁월한 효과와 수분흡착 및 보습능력 등에서 효과가 있는 것으로 나타났다.

[표 3.1] 토양의 상태별 중량

종류	단위용적중량(kg/㎥)		
	건조상태	보통상태	수분포화상태
점토	1,200~1,700	1,700~1,800	1,800~1,900
보통 흙	1,300~1,600	1,400~1,700	1,500~1,800
모래	1,500~1,700	1,700~1,800	1,800~2,000
자갈	1,600~1,800	1,700~1,800	1,800~1,900
바텀애쉬	950~1,050	1,050~1,150	1,150~1,250

또한, 옥상층의 적층구조에서 적용한 토심별 식생종류는 10cm 이내에서는 기린초, 태백기린초, 애기기린초, 바위솔, 돌나물, 땅채송화, 사철채송화, 섬백리향, 세덤, 둥근잎꿩의비름, 제주양지꽃, 두메부추, 종지나물, 조개나물, 아쥬가, 상록패랭이, 매발톱꽃, 한라구절초 등이 주로 식재되고 있지만, 본 연구에서는 국내산 야생화의 번식력과 생명력을 평가하기 위해 세덤류와 야생화를 위주로 식재하였다.

▪ 옥상조경 식재완성(공사과정 및 식재장면)

	
양잔듸 식재후 1개월 장면	식생블록위 토양층 포설
	
야생화 식재장면	옥상조경 야상화 전체 식재장면
	
야생화 식재후 장면	야생화 식재후 장면
	
잔디식재 장면	옥상조경 전체 식재후 모습

▪ 옥상조경 식재후 생육모습(3개월 후)

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>야생화가 식재된 옥상조경 모습</td><td>세덤 번식 모습</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>돌단풍 활착 및 번식 모습</td><td>잔디 및 국화 활착 모습</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>매발톱꽃 개화 모습</td><td>야생화 및 세덤류 활착 모습</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>돌단풍 생육과정 모습</td><td>돌단풍 활착과정 모습</td></tr>
</table>

▪ 옥상조경 식재후 생육모습(4개월 후)

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>다육식물 번식 및 활착모습</td><td>수염패랭이 꽃</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">야생화(불두화)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">층층잔대 꽃</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>옥상조경 4개월 이후 모습</td><td>다육식물(헬레나)</td></tr>
</table>

▪ 옥상조경 식재후 생육모습(5개월 후)

	
야생화	무릇 꽃
	
왕원추리 꽃	관엽식물(칼리디움)
	
난초	다육식물(헬레나)
	
인도용으로 활용예정인 잔디광장	벌개미취 꽃

▪ 옥상조경 식재후 수질(빗물)개선 효과 관련 사진

	
식생 6개월 이후 옥상조경의 빗물 개선	옥상녹화 블록에서 흙탕물 발견되지 않음.
	
우천 시 흙탕물 발생되지 않음.	옥상조경 생육 6개월 이후 모습
	
식재 후 비가 오는 1일째 흙탕물 배출됨	식재 후 비가 오는 2일째 흙탕물 배출 안됨

▪ 식생블록 옥상조경의 텃밭 적용평가

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>옥상텃밭 재배를 위한 고랑작업</td><td>시금치, 돌산갓, 상추 등 식재</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>겨울철 온실효과를 위해 설치한
비닐하우스</td><td>씨앗 식재후 2주 경과</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>씨앗 식재후 3주 경과</td><td>씨앗 식재후 4주 경과</td></tr>
</table>

서울시가 2020년까지 가구당 3.3㎡의 도시텃밭을 보유한다는 목표로 생활공간 중심의 도시농업 활성화에 나선다. 목표가 현실화되면 현재(2012년 12월) 가구당 면적보다 10배 이상의 도시텃밭을 일구게 된다. 현재 가구당면적은 0.3㎡이다.

주로 시민이 직접 집주변 공터·자투리 공간을 텃밭으로 만들거나 시·구가 국공유지나

활용 가능한 사유지 등을 임차해 주변 시민들에게 제공하는 방식이 될 예정이다.

본 연구에서도 신개념의 재활용 소재인 바텀애쉬를 사용하여 제조된 경량 식생블록에서 텃밭으로의 활용가능성을 직접 관찰하였다.

생육 1주일 이후부터 발아되기 시작하여 1주일 간격으로 매일 채소재배 요령에 의거하여 일반 토양(밭)에서 재배하듯이 키워서 결과적으로 식생블록의 텃밭사용시 채소 뿌리의 근입장이 얕은 상추, 부추, 시금치류, 채송화가 적당할 것이며 구근류나 근입장이 깊은 채소류는 토양의 두께조절이 필요할 것이라 판단된다.

제4장

연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 1차년도 목표 달성도

연차	성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성도	증빙
1차년도	(질적지표) 친환경 식생소재 개발	개발 소재의 함습율	함습율 측정	기존제품 대비 20% 향상	40%	40%	재료시험 연구원 시험성적서
		개발 소재의 경량화	단위 용적 중량 측정	기존제품 대비 20% 향상	40%	40%	재료시험 연구원 시험성적서
		친환경재료 활용도	전체 구성비 측정	90% 이상	20%	20%	바텀애쉬 사용
	소 계				100%	100%	
	(양적지표) 사업연계지표	전문가 의견조사 건수	보고서	5건	20%	20%	보고서 사진첨부
		시작품 제작 및 테스트 건수	보고서	3건	20%	20%	보고서 사진첨부
		소재개발 건수	보고서	1건	60%	60%	보고서 사진첨부
	소 계				100%	100%	

2. 2차년도 목표 달성도

연차	성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성도	증빙
2차년도	(질적지표)제품의 적층구조시세템 개발	제품성능 목표 달성도	식생가능 토양층 두께 측정	기존제품 대비 15% 향상	40%	40%	실험 사진 보고서 첨부
		제품성능 목표 달성도	제품의 내구성 측정	기존제품 대비 15% 향상	30%	30%	보고서 기술
		환경개선 효과	에너지 절감효과율 측정	10%향상	30%	30%	실내온도 data 보고서 첨부
	소 계				100%	100%	
	(양적지표) 사업연계지표	국내논문게제 건수	게제논문	2건	20%	20%	생태환경건축학회수록
		특허출원 건수	출원증	1건	20%	20%	특허출원 2013.3
		시제품 테스트베드 구축건수	보고서 (사진등)	1건	60%	60%	국제대학교 옥상사진 보고서 포함
	소 계				100%	100%	

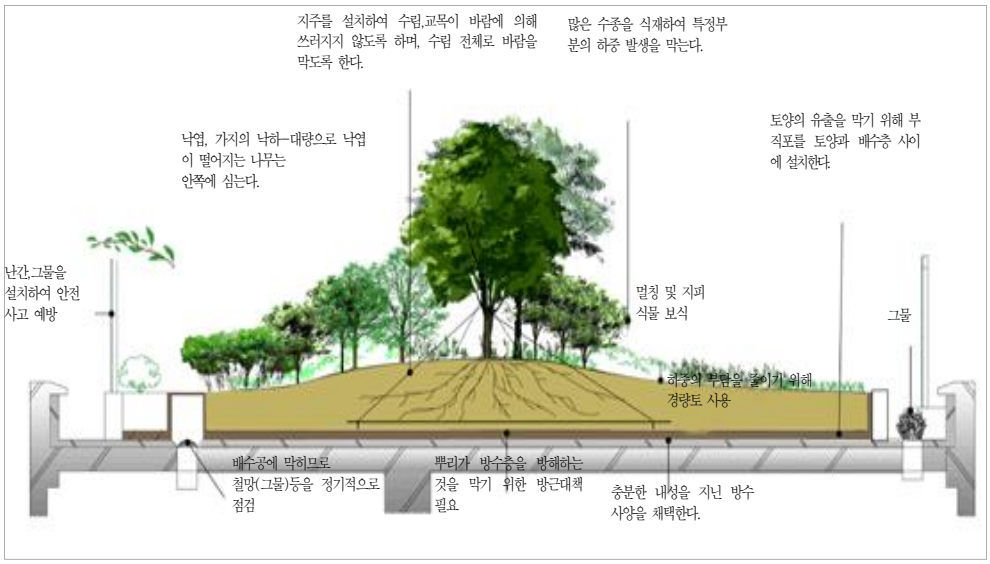
3. 3차년도 목표 달성도

연차	성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성도	증빙
3차년도	(질적지표) 제품생산 및 시공 표준모델 개발	제품성능 목표 달성도	전문가 10인 이상 질적 점수평가	평균 80점 이상	30%	30%	진행중
		제품성능 목표 달성도	경제성 평가	20% 향상	40%	40%	보고서
		제품성능 목표 달성도	공기단축 또는 공정단순화	20% 향상	30%	30%	보고서
	소 계				100%	100%	
	(양적지표)	국내논문게재건수	게제논문	1건	20%	10%	투고중(2차심사중)
		SCI(E)논문게재건수	게제논문	1건	20%	10%	부록
		특허등록 건수	등록증	1건	30%	15%	등록완료
		현장적용 건수	보고서	1건	30%	30%	보고서에 수록된 현장사진
	소 계				100%	100%	

제2절 연구개발 성과의 효과분석

1. 기술적·경제적 효과분석

바텀애쉬를 활용한 옥상녹화용 경량블록은 구조물의 보호기능과 단열기능을 추가적으로 부여할 뿐만아니라 안전진단, 방수층, 방근층, 배수층, 토양여과층이 불필요한 단순화된 공법이다.



[그림 4.1] 기존 옥상녹화공법의 문제점

또한, 기존 옥상녹화에 비해 공정을 최소화 함으로써 옥상녹화 공사비 가격을 낮추어 가격 경쟁력과 품질경쟁력에서 우수한 결과를 얻었다.

서울시의 경우, 이미 옥상녹화 사업이 상당히 진척되고 있다. 지난 2000년부터 8년째 옥상녹화 사업을 추진하고 있는 서울은 지난 2002년 조례를 제정, 옥상조경을 원하는 건물에 대해 지원을 하고 있다. 2007년 건물 옥상 55곳, 약 3만6000㎡(1만 평)의 옥상조경 사업을 지원하고 있다.

또한 부산시는 2008년부터 도심 녹지율을 높이기 위한 방안으로 기존 건물 중 옥상에 조경을 하는 건물에 대해 전체 공사비의 50% 범위 내에서 비용(㎡당 7만5000~9만원)을 반영해 직계는 20곳, 많게는 40곳의 민간 건축물에 옥상조경을 지원할 방침이다.

따라서, 본 연구의 개발 성공시 아직도 자방자치단체에서 시행되지 않는 상황을 고려해 볼때 적용범위가 매우 넓다고 할 수 있다.

[표 4.1] 기존 공법과 본 공법의 공사비 비교

구 분	구성요소	기존 공법에서의 역활	본 연구의 우수성
건축물 외피	구조안전 진단	·인공지반으로서의 옥상녹화시스템을 지지하는 기능 ·옥상녹화시스템 적용이 전제 ·구조물의 허용응력 현장조사	·기존 건물이나 신축 건물에도 적용 가능 ·구조물의 안전진단 불필요 ·옥상녹화 설계 불필요
	방수층	·옥상녹화시스템의 수분이 구조체로 전달되는 것을 차단 ·구조물의 내구성에 가장 중요한 영향을 미침 ·구조진단과 함께 반드시 검토해야 할 전제조건 ·옥상녹화 특유의 안정한 방수소재, 공법이 요구	·기존 방수층을 그대로 활용한 공법 ·방수층 파괴로 인한 누수공사시 표토를 제거하고 단위블록을 제거하면 되는 간소화된 보수공법 ·추가적인 방수층 불필요
식재 기반	방근층	·식물뿌리로부터 방수층과 구조물을 보호하는 기능 ·시공시 기계적, 물리적 충격으로부터 방수층 보호	·식물뿌리 활착이 경량블록내에서 진행되므로 구조물 손상피해 최소 ·시공시 조립공법을 적용함으로써 방근층 불필요
	배수층	·녹화시스템의 침수로 인해 식물이 익사하는 것을 예방 ·시공후 하자발생이 가장 많은 부분으로 신중하게 설계	·단위블록은 투수성 블록이기에 배수층 시공이 불필요 ·시공후 하자발생이 되면 공사의 책임한계가 분명하여 분쟁우려 감소
	토양 여과층	·빗물에 씻겨 내리는 세립토양이 시스템 하부로 유출되지 않도록 여과하는 기능 ·안전하고 내구성이 높은 소재 요구	·빗물에 씻겨 내리는 세립토양이 단위블록내에서 여과됨. ·토양여과층 불필요
	육성 토양층	·식물의 지속적 생장을 죄우하는 가장 중요한 하부기반 ·녹화시스템 중량의 대부분을 차지하므로 경량이 요구 ·토심 작은 경우➜인공경량토양, 토심이 큰 경우➜자연토양을 중심으로 육성토양층 구성	·저관리형 개념으로 야생화, 세덤류, 잔디류 등의 토양층 두께 최소화 ·바텀애쉬를 비료화 하여 제조함으로써 경량토양 역할도 가능 ·영양토, 마사토 비율 최소화
식생층	식생층	·녹화시스템의 최상부 구성요소로 토양층을 피복하는 기능 ·유지관리프로그램, 토양층의 두께, 토양특성을 종합적으로 고려하여 식재소재 선택	·잔듸류는 옥상층의 보호기능과 휴식기능을 동시에 제공 ·유지관리가 편하고 야외환경에 생명력이 강한 한국형 야생화의 식재소재 선택

[표 4.2] 기존 인공토양 대비 본 식생블록의 경제성 검토

구 분		경제성	
		기존 공법	본 연구에서 개발된 식생블록
안전진단비		필요	경우에따라 필요
공사비	방수층 공사비	필요	필요
	방근층 공사비	필요	불필요
	배수층 공사비	필요	불필요
인건비		동일	낮음
식재 구입비		세덤류, 잔듸류 적용(저관리형의 경우)	잔디류, 야생화 적용
토양 구입비		경량토양은 대부분 수입	바텀애쉬 경량토양으로 대체
하자 보수비		전면 보수	부분 보수
유지관리비		하자발생율이 높아 유지관리시스템 도입	하자발생율 낮아 기존 관리인이 겸무 가능
총 공사비 (원/㎡)		140,000~160,000원	100,000원 전후
지방자치단체 지원비		공사비의 50% (일부지자체)	전액 건물주 부담

2. 경제적·사회적 효과분석

가. 경제적 효과

건축물 옥상녹화를 조성함으로써 얻어지는 경제적 효과로는 건축물의 임대료 수입의 증대, 지상의무 조경면적을 대체할 수 있으며, 에너지 비용의 절감 및 건축물의 보호효과를 가지고 있다.

[표 4.3] 옥상녹화를 통한 경제적 효과

구 분	효 과
건축물 임대료 수입의 증대	·옥상녹화로 인한 쾌적한 환경조성으로 건물의 가치 증대 ·지방자치단체 세입증대 및 인접지역 활성화 촉진
지상의무 조경 면적대체	·도심부 지상조경면적을 확보하는데는 비용이 많이 소요되고, 일부지역에서는 확보가 거의 불가능함 ·이러한 경우 지상의무 조경면적을 대체함으로써 경제적인 효과를 달성
에너지 비용절감	·건축물의 단열효과 증진 ·냉·난방을 위한 에너지 비용절감
건축물 보호효과	·산성비, 자외선 등에 의한 방수층과 벽면 열화현상 경감 ·온도변화에 따른 손상예방➔건물 내구성 향상
생산단가 감소효과	·재활용 소재를 활용한 경량블록 제조로 원가 절감 ·공법의 간소화로 인건비 및 녹화용 재료비 절감

나. 사회적 효과

건축물 옥상녹화를 조성함으로써 얻어지는 사회적 효과로는 도시경관의 향상, 도시민의 휴식공간 제공, 시민환경교육 등이 있다.

[표 4.4] 옥상녹화를 통한 사회적 효과

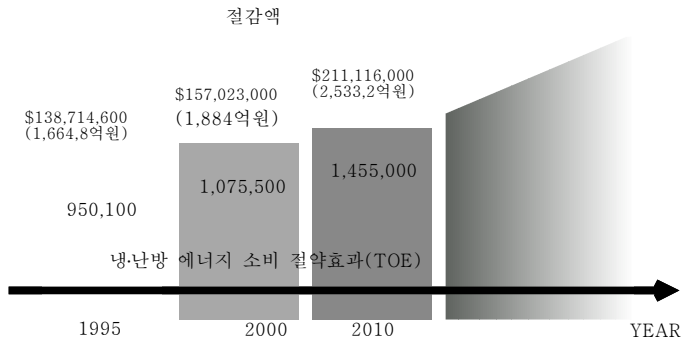
구 분	효 과
도시경관의 향상	·불량경관을 노출시켰던 건물옥상에 녹화를 통한 도시경관 향상
도시민의 휴식공간 제공	·옥상정원은 도시의 복잡한 환경으로부터 격리된 공간제공 ·쾌적한 녹지를 통한 건물이용자들에게 휴식공간 제공
시민환경교육	·복원된 생태계를 활용한 환경교육의 장 제공

건축물 옥상녹화를 함으로써 얻어지는 환경적 효과로는 환경오염방지, 도시생태계 복원, 기후조절, 에너지 절약, 소음감소 등이 있다.

[표 4.5] 옥상녹화를 통한 환경적 효과

구 분	효 과
환경오염 방지	·이산화탄소, 아황산가스 등 대기오염물질을 흡수 ·녹화식물을 통한 산소공급으로 대기오염 완화
도시생태계의 복원	·인공지반녹화로 생물서식공간을 조성함으로써 녹지와 생태계 복원 ·새나 곤충의 서식지가 되고 야생동물이동통로 역할 담당
기후조절	·도시 열섬 현상 완화 및 대시 습도조절 효과 ·인공지반 녹지가 우수를 일시저장➜도시홍수 예방
에너지 절약	·옥상녹화의 토양층➜단열효과 ·에너지 소비감소➜대기오염물질의 배출 저감
소음감소	·옥상녹화의 토양층은 소리파장을 흡수하여 분쇄시킴으로서 소음을 감소시키는 효과 - 실제로 20㎝토양층➜46dB의 소음을 감소

[표 4.6] 옥상녹화의 효과

<table>
<tr><td rowspan="4">환경적 효과</td><td>환경 오염 저감</td><td>·CO2, NO2, SO2, 등의 흡수 및 산소 방출
·오염 물질 흡착
·우수 정화 작용</td><td rowspan="5">직접적인 효과</td></tr>
<tr><td>도시생태계 복원</td><td>·토양 생태계 보전
·새나 곤충의 서식지, 먹이제공
·새와 곤충의 이동로 형성, 휴식 거점의 창출</td></tr>
<tr><td>기후 조절</td><td>·온도, 습도 조절, 기온상승 억제
·반사방지, 방풍효과
·우수 일시 저장으로 도시 홍수 예방</td></tr>
<tr><td>생태 심리적 효과</td><td colspan="2">·장식, 외관의 미화 및 경관 향상
·피로감의 회복 및 안락감 조성
·화초재배, 채소 수확과 같은 다양한 취미생활 확보
·차폐, 은폐, 차음 효과</td></tr>
<tr><td>경제적 효과</td><td colspan="2">·건축물의 단열효과
·냉·난방의 절감 → CO2 발생 억제
[옥상녹화에 대한 건물 냉·난방 에너지 절약 효과 기대치]
 

- TOE 에너지 가격 환산기준 1TOE - $146(1barrel = $20 기준)
- 국내전체 건물 옥상을 30% 녹화할 경우
자료 : 환경부(1999) 보급형 옥상녹화 가이드 북</td></tr>
<tr><td>환경저부하형 지역 구현</td><td colspan="2">• 지역의 대기 정화 효과
• 도시 및 지역기후의 개선 효과(열섬현상의 경감, 과잉건조의 방지)
• 자원절약효과(에너지부하절감을 통해 자원절약형사회 창출)</td><td rowspan="3">지속가능한 지역구현 효과</td></tr>
<tr><td>순환형 도시 및 지역 구현</td><td colspan="2">• 우수유출의 완화효과</td></tr>
<tr><td>자연공생형 도시 및 지역 구현</td><td colspan="2">• 지역의 자연성 향상효과
• 지역미관 향상효과
• 도심 및 지역의 어메니티 증진(심리적 안정감, 정서함양)
• 여가 공간의 창출</td></tr>
</table>

제5장

연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과의 활용방안

가. 관련 산업발전에의 기여 및 적용범위 확대

(1). 재활용 토양소재 개발을 통한 수입대체 효과

국내 옥상조경의 대부분은 수입산 경량토양을 사용하고 있지만, 비중이 너무 작고, 자체 단위용적중량의 감소로 불충분한 다짐불량 현상과 약한 표면경도로 인해 미분말 발생량이 많다는 단점이 있으며, 단위면적당 재료원가가 높아 전체공사비 증가를 초래하고 있다. 따라서, 재활용 소재를 이용하여 토양소재 개발 및 제조기술이 선결 과제이며, 이는 국내 관련분야의 기술력 제고에 일조할 것으로 판단된다.

(2) 자생식물 소재 산업의 활성화에 기여

생태적 관점에서 외래 식물종자 및 식물체의 수입에 대체하기 위해 자생식물의 개발을 장려하고 있으나 적용 가능한 수요처의 미확보로 자생식물 산업의 성장에 장애가 되고 있는 실정이다.

이런 관점에서 식생용 경량블럭의 개발은 돌나물과 식물을 비롯한 자생 지피식물의 산업화를 위한 수요 확대에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 조립화된 시공으로 인력감소, 공기단축 등 가격경쟁력제고

건축 구조물로서의 식생용 경량블럭의 요구성능은 구조적 안전성, 내구성 확보, 용이한 시공성, 향후 유지관리 등 크게 4가지로 대별할 수 있는데, 무엇보다 국내 적용된 식생용 경량블럭은 전문화되지 않은 시공성과 시방규정이 각 시공사마다 달라 이에 대한 개선 대책이 시급한 실정이다.

따라서 공종별 작업구분(공장 및 현장작업)이 명확하여야 하며, 옥상방수공사와 별개의 공정으로 식재공법 또한 식생판을 활용할 수 있으며, 이는 인건비를 감소시키며, 단위 Unit의 조립화 공법 및 토양층의 기계화 시공으로 전체 공사비 절감효과가 가능할 것이다.

(3) 국내외 식생용 경량블럭 관련 기술개발 우선권 확보

국내외 식생용 경량블럭에 대한 여러 종류의 특허권, 실용신안 등이 출원되어 있지만, 옹

벽이나, 경사지 사면, 보도용으로 개발되어 있으며, 실질적으로 현장 적용성에 문제점이 있어 그 활용도는 매우 저조한 실정이다.

옥상 조경용 식생용 경량블럭은 개발사례가 없으며, 이는 옥상뿐만 아니라 기존 사용범위까지 다양하게 적용할 수 있어 기술경쟁력에서 우선권을 확보 할 수 있다.

따라서 시스템 개발, 폐기물을 활용한 기술개발, 식재관련 기법개발, 토양소재 개발 등 전반적인 시스템의 각 요소별 기술확보가 시급한 실정이다.

나. 타연구로의 확대효과

우리 나라는 4계절이 뚜렷한 기후였지만 지구 온난화의 영향으로 근래 들어서는 2계절, 즉 여름과 겨울의 기후로 변화되고 있다.

따라서 이러한 추세는 에너지 과다 소비로 이어지며, 환경파괴의 원인, 대기중 CO2 배출량 증가, 실내공기질 악화 등의 피해로 이어지며, 이는 개선하기 위해 국가 예산을 별도로 투입해야 하므로 국가적으로 많은 경제적 손실을 입게 됨으로 다양한 적용방안이 모색되어야 할 것이다.

화력발전소의 부산물인 바텀애쉬는 본 연구에서 수행된 옥상녹화용 경량블럭을 위한 소재 뿐만아니라 아래와 같은 구체적인 활용분야에 접목될 수 있으며 이를 살펴보면 다음과 같다.

(1). 콘크리트용 골재

콘크리트는 일반적으로 시멘트, 물, 골재(자갈, 모래)로 이루어지는데, 화력발전소에서 발생하는 애쉬는 규사분(실리카)의 함량이 높은 모래로서 골재로 이용 가능하다.

(2) 건축용 골재

기존 골재의 환경파괴 요인으로 사용규제가 뒤따르고 있는 상황에서 점결재와의 첨가방법에 따른 다양한 성능을 개선시키고 포졸란 반응오로 필요한 강도를 갖는 인공골재가 생

산되는데, 이렇게 생산된 신개념의 골재는 레미콘 등의 대용으로서 사용할 수 있다.

(3) 매립재

건설공사에는 각종 공사후에 성토재, 매립재, 뒷채움재 등의 많은 흙이 필요한데, 주로 자연적인 흙(점토, 모래, 물로 구성됨)이 사용되고 있다. 바텀애쉬는 자연 흙의 성분과 거의 같은 3~7 %의 점토를 함유하고 있으므로 많은 건설공사 현장에서 사용되어 왔으며 매립재로서 재활용 가능한 품목으로 사용된다.

(4) 비료화 기술

매립지 현장을 가면 잡초나 작은 수목이 성장하는 것을 볼 수 있는데, 지체 애쉬의 추가 영향분 공급이 없는 상태에서 발생하여 향후 이 분야의 기술개발이 필요함을 입증해 주고 있다.

바텀애쉬의 경우, 질소, 인, 칼륨 등의 성분이 함유시키면, 토비화물로 개량화로 가능하며, 자체 높은 배수성을 가지고 있어 경량화가 가능하다.

(5) 경량골재 생산기술

경량 골재를 제조하는 기술은 일본에서 1974년부터 연구를 시작하여 현재 하루 3톤 규모의 경량골재 생산시설이 가동되고 있다.

미국 Illinois Clean Coal Institute의 bottom Ash를 이용한 첫 번째 프로젝트(콘크리트 도로 300피트 2차선 시험적용(미국 일리노이)을 하고 있다.

바텀애쉬는 외관이나 경도면에서 자연산 모래의 특성과 유사하여 개발 가능성을 입증하는 연구가 진행중이며, 기타 지반개량재, 수질정화재, 성토재 등의 활용분야에 대한 생산기술을 향상시키고 있다.

다. 향후 활용계획

(1) Bottom-Ash 수급계획



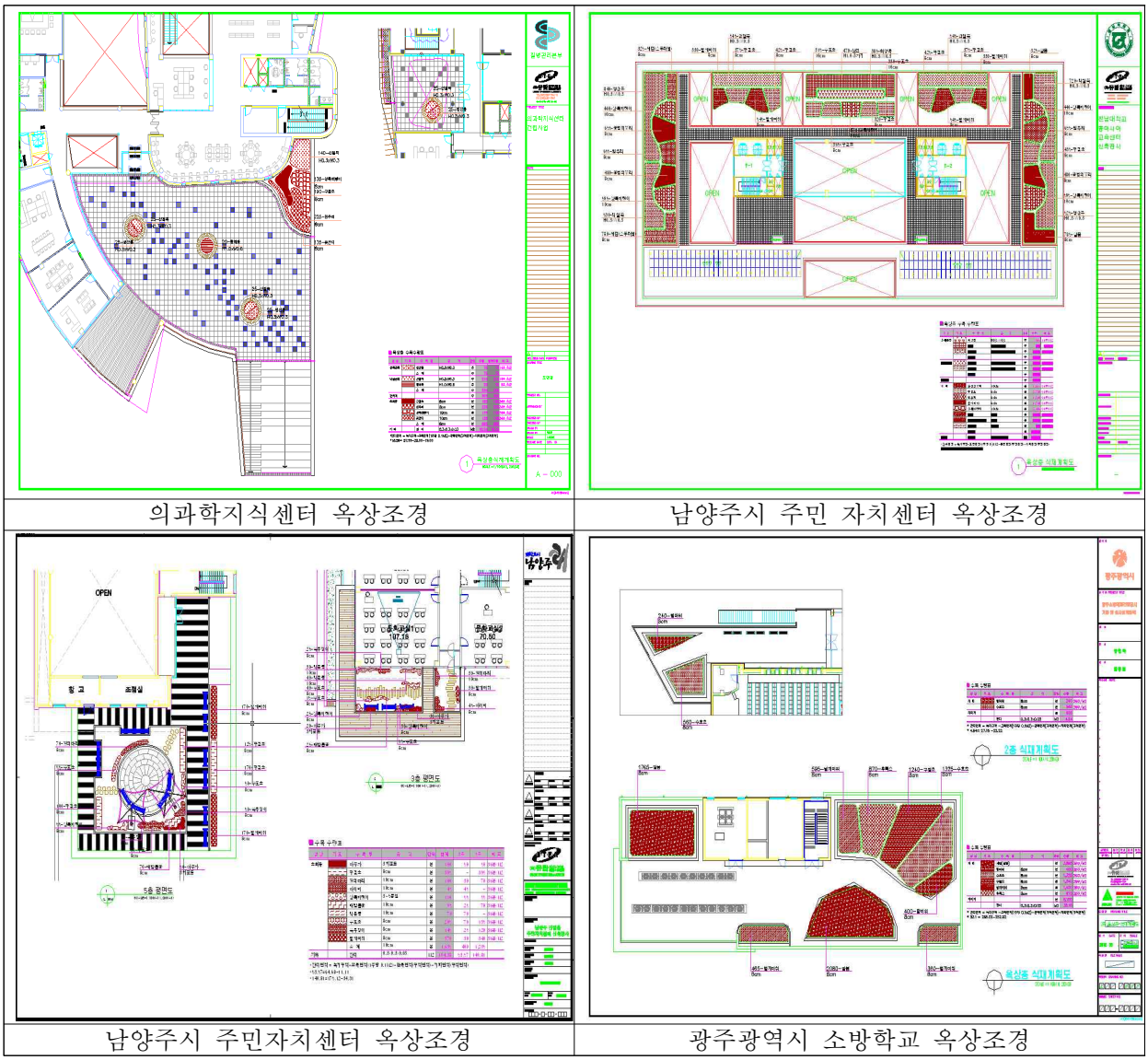
[그림 4.2] Bottom-Ash 매립지 및 선별기기 사진

현재 국내 화력발전소에서 매립되는 Bottom-Ash는 로에서 떨어지면 해수를 이용하여 압송한 후 매립지로 보내지고 있다. 본 연구이후에 발전소와의 연계를 통하여 해수와 만나기전에 미리 B.A를 확보한 후 현장에서 위 그림과 같이 선별기를 통하여 입자별로 분류를 하여 재료를 확보할 예정이다.

발전소에서는 이송 및 매립비용을 절감할 수 있으며, B.A식생블럭을 생산하는 측면에서는 세척, 분류 과정을 생략할 수 있어 보다 큰 경제성이 있을 것으로 판단된다.

(2) 대규모 현장 적용 계획

참여기업에서는 아래와 같이 무수히 많은 조경실적을 가지고 있으며, 본 연구기간이 종료되고 생산이 이루어질 시에 현장에 적용을 적극적으로 검토하여 실시할 것이다.



의과학지식센터 옥상조경 | 남양주시 주민 자치센터 옥상조경

남양주시 주민자치센터 옥상조경 | 광주광역시 소방학교 옥상조경

[그림 4.3] 참여기업의 옥상조경 실시 설계도

참고문헌

1. (재) 도시녹화기술개발기구 특수녹화공동연구회, “알아야 할 옥상녹화의 Q&A”, 2009
2. 울산발전 연구원, “도심옥상녹화를 통한 온실가스 저감방안” 김석택, 2010
3. 서울특별시 “옥상녹화시스템 상세설계 및 관련도서 작성지침”, 한국건설기술연구원, (사) 한국인공지반녹화협회, 2011
4. 국토해양부, “건축물 녹화설계기준”, 2012
5. 산업안전관리(주), “정밀안전진단보고서(수연특수아어린이집)”, 2012
6. 산림교육원, “생태도시조성과정”,2012
7. 박희령, “옥상녹화 활용을 위한 허브식물 선발 시험”, 성균관대학교 일반대학원, “녹화를 위한 식물선정 가이드라인 설정”, 계명대학교 대학원 2011
8. 유시진, “저관리 · 경량형 옥상녹화지의 식물상 변화에 대한 연구”, 대구대학교 대학원, 2011
9. 차은정, “저권리 옥상녹화 식물소재의 적합성 및 실내온도 조절효과에 관한 연구 : 백리향, 아이비, 꼬리조팝나무, 금달맞이꽃 피라칸다를 대상으로”, 계명대학교 대학원, 2010
10. 김형태, “옥상녹화에서 토양종류에 따른 자생초화류 생육에 관한 연구”, 성균관대학교 일반대학원, 2011
11. 황정숙, “서울시 지원으로 조성된 옥상녹화의 현황 및 관리방안”, 서울시립대학교 대학원, 2010
12. 배억환, “들잔디 식재옥상녹화의 관수주기 및 관수량 산정”, 건국대학교 대학원, 2009
13. 이영찬, “도심그린어메니티 창출을 위한 상업시설 옥상녹화 디자인의 가능성 연구”, 영남대학교 대학원, 2010
14. 이기덕, “옥상녹화 활성화 방안 연구”, 경원대학교 환경대학원, 2011
15. 경기도, 경기농림진흥재단, “하늘에 정원이 생겼어요”, 2010
16. 박미영, “저탄소 녹생도시 지향을 위한 옥상녹화 조성 활성화방안”, 2009
17. 성북구 “환경보전계획”, 2009

18. 유영석 “환경친화적 인공지반 녹화향상 소재개발, 한국건설기술연구원”, 2009

19. 박지혜 “옥상녹화시스템의 차이가 식물생육에 미치는 영향”, 건국대학교 석사학위 논문, 2010

20. 노한규 “국내 도심 옥상녹화의 현황과 발전방향에 관한 연구”, 한양대학교 산업경영디자인대학원 석사학위논문, 2010

21. 김창환, 명현 “주암호 복내천 인공습지 조성 후 식물의 생활형에 대한 4년간의 변화 연구”, 환국환경생태학회지 23(1):30-40, 2009

22. 김현, 이관류 “옥상녹화지의 생태적 효과와 이용효과의 상관성”, 한국 환경복원녹화학회지, 2008

23. 최재영, 이종국 “친환경 주택에서 옥상녹화 시스템의 가치에 관한 연구, 한국주거학회 춘계학술발표대회 논문집”, 2009

24. 박지영, 정응호, 김대욱, 차재규, 시미즈 아키, “옥상녹화 조성에 따른 열환경 변화분석”, 한국주거학회 학술발표대회 논문집, 2009

25. 이춘우, 김수봉, 문혜식, 전은정, “옥상녹화의 녹화유형별 기온저감효과 및 시민의식 분석”, 한국주거학회 학술발표대회논문집, 2009

26. 김신원, 허준, 황현정 “서울 및 경기소재 백화점 옥상정원의 실태 및 시각적 선호도 분석”, 한국인간·식물·환경학회지 12(4):37-47, 2009

27. 김인혜, 허근영, 허무룡 “저토심·저관리형 옥상녹화 시스템을 위한 Sedum속 식물의 내한성 평가”, 원예과학기술지 28(1):22-30, 2010

28. 김인혜, 허근영, 신현철, 박남창 “영산홍을 이용한 저관리 옥상녹화 시스템의 식물생육 및 토양특성 평가”, 원예과학기술지 28(6):1057-1065, 2010

29. 남기준 “하늘과 가까운 옥상으로의 초대”, 조경생태시공 058. p,38-43, 2010

30. 박현준 “옥상녹화용 식재기반층과 토양”, 조경생태시공 058. p.66-77, 2010

31. 심태섭 “옥상녹화 연간 유지관리”, 조경생태시공 058. p78-83, 2010

32. 조용현, 한규희 역 “알아야 할 옥상녹화의 Q&A”, (재)도시녹화기술개발기구 특수녹화공동연구회, 기문당. p,85-86, 2009

33. 서울시(2008), 2008 옥상아카데미 교재

34. 서울시 품질시험소(2008), 알기 쉬운 건설공사 품질관리

35. 서울시, 한국건설기술연구원, (사) 한국인공지반녹화협회(2008), 옥상녹화시스템 설계지침 및 관련도서 작성 지침

36. 남선영, 윤재욱 “국내·외 옥상녹화 공법 및 제도의 비교 분석 연구, 대한건축학회 제4회 우수졸업논문전 수상논문 개요집” 4(1) : p.105”, 2008

37. 경기농림진흥재단 http://www.ggaf.or.kr/

38. 서울특별시 http://www.seoul.go.kr/

39. 부산광역시 http://www.busan.go.kr/

40. 창원시 http://www.changwon.go.kr/

41. 대구광역시 http://www.daegu.go.kr/

42. 한국도시녹화 http://www.biotope.co.kr/

43. 한국인공지반녹화협회 http://www.ecoearth.or.kr/

44. 법제처 http://www.moleg.go.kr/

45. 성남시 http://www.seongnam.go.kr/

46. 통계청, e-나라지표 http://www.index.go.kr/

47. 松藤 泰典 ほか、 石炭灰のコンクリートの大量使用に關する硏究, 日本建築學會學術講演梗槪集, 1999. 9, pp.437～454

48. (財) 都市綠化開發機構, 1995, NEO-GREEN SPACE DESING ①

49. (財) 都市綠化開發機構, 1996, NEO-GREEN SPACE DESING ②

50. (財) 都市綠化開發機構, 1996, NEO-GREEN SPACE DESING ③

51. (財) 都市綠化開發機構, 1993, 都市綠化技術, No.10, 特集 海外特殊綠化事情

52. Burel, F. & J. Baudry, 1995, Social, aesthetic and ecological aspects of hedgerows in rural landscapes as a framework for greenways. Landscape and Urban Planning 33:327-340.

53. Staveley Glover, 1990, Building Surveys, Butterworth-Heinemann

54. R.C. de Vekey, 1988, Non-destructive evaluation of structural concrete - A review

of European practice and developments, BRE

55. Nikolaj Tolstoy, 1994, The condition of buildings - Investigation methodology and applications, The Royal Institute of Technology

56. Nader Ghafoori, Yuzheng Cai, Laboratory-Made Roller Compacted Concretes Containing Dry Bottom Ash, ACI Material Journal, 1998.5, pp.224~251

57. Andrew short and William Kinniburgh, Lightweight Concrete, Applied Science Publishers Ltd, 1978

58. A. M. Neville., Properties of Concrete, Longman, 1995.

59. ACI Committee 213, Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete, American Concrete Institute, 2002

부 록

1. 시험성적서

가. 한국건설시험연구소 품질시험·검사 성적서

나. 수질검사 시험 성적서

2. 학술성과

가. 국내학술대회

나. 국외학술대회

다. 국내등재논문

라. SCI논문

3. 특허출원

가. 한국건설시험연구소 품질시험·검사 성적서

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	바텀애쉬 골재 4.75mm이상	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 13일
02.채취장소 Location	삼천포화력발전소내	08.시험번호 Test №	14-0565
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	2012년 4월 13일
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	한국국제대학교 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시험·검사결과	책임기술자		
				자격종목	성 명	서 명
01.밀 도(절대건조)	g/cm^3	KSF-2503-2007	2.21	건설재료 시험기사	이찬우	
02.밀 도(표면건조포화)	g/cm^3		2.30			
03.밀 도(진밀도)	g/cm^3		2.44			
04.흡 수 율	%		4.3			

· 성과이용목적 : 품질시험

· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 18일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

4페이지중4페이지

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	바텀애쉬 잔골재 2.36mm	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 13일
02.채취장소 Location	삼천포화력발전소내	08.시험번호 Test №	14-0565
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	2012년 4월 13일
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	한국국제대학교 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시험·검사결과	책임기술자		
				자격종목	성 명	서 명
01.밀도(절대건조)	g/cm^3	KSF 2504-2002	1.97	건설재료 시험기사	이찬우	
02.밀 도(표면건조포화)	g/cm^3		2.16			
03.밀 도(진밀도)	g/cm^3		2.45			
04.흡수율	%		9.9			

· 성과이용목적 : 품질시험

· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 18일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

4페이지1페이지

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	바텀애쉬 잔골재 1.18mm	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 13일
02.채취장소 Location	삼천포화력발전소내	08.시험번호 Test №	14-0565
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	2012년 4월 13일
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	한국국제대학교 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시험·검사결과	책임기술자		
				자격종목	성 명	서 명
01.밀도(절대건조)	g/cm^3	KSF 2504-2002	1.84	건설재료 시험기사	이찬우	
02.밀 도(표면건조포화)	g/cm^3		2.05			
03.밀 도(진밀도)	g/cm^3		2.33			
04.흡수율	%		11.5			

· 성과이용목적 : 품질시험

· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 18일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

4페이지2페이지

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	바텀애쉬 잔골재 0.6mm	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 13일
02.채취장소 Location	삼천포화력발전소내	08.시험번호 Test No	14-0565
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	2012년 4월 13일
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	한국국제대학교 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시험·검사결과	책임기술자		
				자격종목	성 명	서 명
01.밀도(절대건조)	g/cm^3	KSF 2504-2002	1.73	건설재료시험기사	이찬우	
02.밀 도(표면건조포화)	g/cm^3		1.96			
03.밀 도(진밀도)	g/cm^3		2.25			
04.흡수율	%		13.4			

· 성과이용목적 : 품질시험

· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 18일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

4페이지3페이지

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	Bottm-Ash 골재를 사용한 원통형공시체	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 23일
02.채취장소 Location	삼천포화력내	08.시험번호 Test №	12-0613
03.공 사 명 Project Name	-	09.시 험 일 Test Date	2012년 4월 27일
04.발 주 자 Client	-	10.시 험 자 Tested by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	경남 진주시 문산읍 상문리 산 270번지 한국국제대학교 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드니다.

결 과

시험·검사종목		단위	시험·검사방법	시험·검사결과	책임기술자		
					자격종목	성 명	서 명
1.염소 이온량(Cl^-)		%	KSF 2713	0.013	건설재료 시험기사	이찬우	
2.압축강도	시료1번	Mpa	KSF 2405	27.6			
	시료2번			5.6			
	시료3번			3.3			

· 시료의 크기는 100 x 200mm 임

· 성과이용목적 : 품질시험

· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 27일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	Bottom-Ash 골재를 사용한 시험편(BA01)	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 23일
02.채취장소 Location	삼천포화력내	08.시험번호 Test No	14-0613
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	-
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	경남 진주시 문산읍 상문리 산 270 한국국제대학교산학협력단 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

연 번	시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시료번호	시험·검사결과			책임기술자 자격종목	책임기술자 성 명	책임기술자 서 명
1	압축강도	Mpa	KSL 5105	1	35.6	평균	33.5	건설재료시험기사	이친우	
				2	34.5					
				3	30.3					
2	흡 수 율	%	KSF 4006	1	10.3	평균	10.1			
				2	10.2					
				3	9.9					
3	밀 도	g/cm^3	KSF 2446	1	1.933	평균	1.927			
				2	1.920					
				3	1.927					

· 시료의 크기는: 50x50x50mm 임
· 성과이용목적 : 품질시험
· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 26일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	Bottom-Ash 골재를 사용한 시험편(BA02)	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 23일
02.채취장소 Location	삼천포화력내	08.시험번호 Test No	14-0613
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	-
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	경남 진주시 문산읍 상문리 산 270 한국국제대학교산학협력단 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

연 번	시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시료번호	시험·검사결과			책임기술자 자격종목	성 명	서 명
1	압축강도	Mpa	KSL 5105	1	29.0	평균	31.4	건설재료 시험기사	이찬우	
				2	29.5					
				3	35.7					
2	흡 수 율	%	KSF 4006	1	11.2	평균	11.3			
				2	11.4					
				3	11.1					
3	밀 도	g/cm^3	KSF 2446	1	1.835	평균	1.830			
				2	1.822					
				3	1.834					

· 시료의 크기는: 50x50x50mm 임
· 성과이용목적 : 품질시험
· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 26일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	Bottom-Ash 골재를 사용한 시험편(BA05)	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 23일
02.채취장소 Location	삼천포화력내	08.시험번호 Test №	14-0613
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	-
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	경남 진주시 문산읍 상문리 산 270 한국국제대학교산학협력단 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

연 번	시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시료번호	시험·검사결과			책임기술자		
								자격종목	성 명	서 명
1	압축강도	Mpa	KSL 5105	1	14.5	평균	15.8	건설재료 시험기사	이찬우	
				2	16.2					
				3	16.8					
2	흡 수 율	%	KSF 4006	1	9.9	평균	9.4			
				2	9.3					
				3	9.1					
3	밀 도	g/cm^3	KSF 2446	1	1.876	평균	1.926			
				2	1.956					
				3	1.947					

· 시료의 크기는: 50x50x50mm 임
· 성과이용목적 : 품질시험
· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 26일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	Bottom-Ash 골재를 사용한 시험편(BA06)	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 23일
02.채취장소 Location	삼천포화력내	08.시험번호 Test №	14-0613
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	-
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	경남 진주시 문산읍 상문리 산 270 한국국제대학교산학협력단 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

연 번	시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시료번호	시험·검사결과			책임기술자		
								자격종목	성 명	서 명
1	압축강도	Mpa	KSL 5105	1	15.8	평균	17.2	건설재료시험기사	이찬우	
				2	19.6					
				3	16.2					
2	흡 수 율	%	KSF 4006	1	10.3	평균	9.9			
				2	9.7					
				3	9.6					
3	밀 도	g/cm^3	KSF 2446	1	1.868	평균	1.884			
				2	1.891					
				3	1.891					

· 시료의 크기는: 50x50x50mm 임
· 성과이용목적 : 품질시험
· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 26일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	Bottom-Ash 골재를 사용한 시험편(BA07)	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 23일
02.채취장소 Location	삼천포화력내	08.시험번호 Test No	14-0613
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	-
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	경남 진주시 문산읍 상문리 산 270 한국국제대학교산학협력단 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

연 번	시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시료번호	시험·검사결과			책임기술자 자격종목	성 명	서 명
1	압축강도	Mpa	KSL 5105	1	12.3	평균	12.3	건설재료 시험기사	이찬우	
				2	13.6					
				3	10.9					
2	흡 수 율	%	KSF 4006	1	10.7	평균	10.8			
				2	11.3					
				3	10.4					
3	밀 도	g/cm^3	KSF 2446	1	1.797	평균	1.791			
				2	1.780					
				3	1.795					

· 시료의 크기는: 50x50x50mm 임
· 성과이용목적 : 품질시험
· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 26일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	Bottom-Ash 골재를 사용한 시험편(BA08)	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 23일
02.채취장소 Location	삼천포화력내	08.시험번호 Test №	14-0613
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	-
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	경남 진주시 문산읍 상문리 산 270 한국국제대학교산학협력단 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

연 번	시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시료번호	시험·검사결과			책임기술자 자격종목	성 명	서 명
1	압축강도	Mpa	KSL 5105	1	9.7	평균	9.7	건설재료 시험기사	이찬우	
				2	10.1					
				3	9.3					
2	흡 수 율	%	KSF 4006	1	12.9	평균	12.7			
				2	12.5					
				3	12.8					
3	밀 도	g/cm^3	KSF 2446	1	1.663	평균	1.672			
				2	1.681					
				3	1.672					

· 시료의 크기는: 50x50x50mm 임
· 성과이용목적 : 품질시험
· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 26일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	Bottom-Ash 골재를 사용한 시험편(BA09)	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 23일
02.채취장소 Location	삼천포화력내	08.시험번호 Test No	14-0613
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	-
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	경남 진주시 문산읍 상문리 산 270 한국국제대학교산학협력단 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

연 번	시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시료번호	시험·검사결과			책임기술자		
								자격종목	성 명	서 명
1	압축강도	Mpa	KSL 5105	1	3.2	평균	3.1	건설재료시험기사	이찬우	
				2	2.5					
				3	3.7					
2	흡 수 율	%	KSF 4006	1	11.8	평균	10.2			
				2	9.6					
				3	9.3					
3	밀 도	g/cm^3	KSF 2446	1	1.692	평균	1.773			
				2	1.808					
				3	1.819					

· 시료의 크기는: 50x50x50mm 임
· 성과이용목적 : 품질시험
· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 26일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	Bottom-Ash 골재를 사용한 시험편(BA10)	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 23일
02.채취장소 Location	삼천포화력내	08.시험번호 Test No	14-0613
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	-
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	경남 진주시 문산읍 상문리 산 270 한국국제대학교산학협력단 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

연 번	시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시료번호	시험·검사결과			책임기술자		
								자격종목	성 명	서 명
1	압축강도	Mpa	KSL 5105	1	3.7	평균	3.4	건설재료시험기사	이찬우	
				2	3.1					
				3	3.4					
2	흡 수 율	%	KSF 4006	1	11.2	평균	11.7			
				2	12.1					
				3	11.8					
3	밀 도	g/cm^3	KSF 2446	1	1.707	평균	1.699			
				2	1.692					
				3	1.698					

· 시료의 크기는: 50x50x50mm 임
· 성과이용목적 : 품질시험
· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 26일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	Bottom-Ash 골재를 사용한 시험편(BA11)	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 23일
02.채취장소 Location	삼천포화력내	08.시험번호 Test No	14-0613
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	-
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	경남 진주시 문산읍 상문리 산 270 한국국제대학교산학협력단 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

연 번	시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시료번호	시험·검사결과			책임기술자 자격종목	성 명	서 명
1	압축강도	Mpa	KSL 5105	1	7.9	평균	6.6	건설재료 시험기사	이찬우	
				2	6.8					
				3	5.1					
2	흡 수 율	%	KSF 4006	1	11.6	평균	11.6			
				2	11.5					
				3	11.7					
3	밀 도	g/cm^3	KSF 2446	1	1.677	평균	1.677			
				2	1.682					
				3	1.671					

· 시료의 크기는: 50x50x50mm 임
· 성과이용목적 : 품질시험
· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 26일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR. GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

관리-081-1(품)

품질시험·검사성적서

TEST DATA SHEET FOR QUALITY INSPECTION

01.시 료 명 Sampled Name	Bottom-Ash 골재를 사용한 시험편(BA12)	07.접 수 일 Accept Date	2012년 4월 23일
02.채취장소 Location	삼천포화력내	08.시험번호 Test No	14-0613
03.공 사 명 Project Name	-	09.채 취 일 Sampled Date	-
04.발 주 자 Client	-	10.채 취 자 Sampled by	한국국제대학교 오재훈
05.시 공 자 Constructor	-	11.입 회 자 Observer	-
06.의 뢰 자 Requested by	경남 진주시 문산읍 상문리 산 270 한국국제대학교산학협력단 오재훈	12.생 산 자 Producer	-

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험방법에 따라 시험·검사한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

결 과

연 번	시험·검사종목	단위	시험·검사방법	시료번호	시험·검사결과			책임기술자		
								자격종목	성 명	서 명
1	압축강도	Mpa	KSL 5105	1	5.5	평균	7.6	건설재료시험기사	이찬우	
				2	9.8					
				3	7.4					
2	흡 수 율	%	KSF 4006	1	12.8	평균	12.8			
				2	12.6					
				3	13.1					
3	밀 도	g/cm^3	KSF 2446	1	1.627	평균	1.623			
				2	1.633					
				3	1.608					

· 시료의 크기는: 50x50x50mm 임
· 성과이용목적 : 품질시험
· 이시험·검사 결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

2012년 4월 26일

한 국 건 설 시 험 연 구 소 이 사 장

KOREA RESEARCH INSTITUTE FOR CONSTRUCTION TESTING DIRECTOR, GENERAL

우641-815 경남 창원시 의창구 명서2동 202-2 / 전화 (055)238-6200 / 전송 238-6765

· 유의사항 : 책임기술자의 성명과 서명이 없는 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

관리-081-1(품)

나. 수질검사 시험 성적서

국가공인 수질검사기관
경남과학기술대학교 수질검사센터
GYEONGNAM NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY WATER QUALITY RESEARCH CENTER
우) 660-758 경남 진주시 칠암동 150번지, 전화 055)751-3545
전송 055)751-3548, Email : water@jinju.ac.kr
센터장:박헌건, 부센터장:이춘식, 실장:김대민, 담당:정선선

맑은물! 맑은환경! 수질검사센터의 목표입니다.

시행일자 : 2012년 11월 14일
보 냄 : 수질검사센타

제 목 : 수질검사성적서 교부
받 음 : 경남 진주시 문산읍 동부로 965번지
한국국제대학교 산학협력단 황상규 귀하 660-759

시 험 성 적 서

1. 검 체 내 용

검 체 명	지하수 생활용수	검사목적	참고용	접수번호	1289-1
의 뢰 인	한국국제대학교	채수일시	2012년 10월 29일	접수일자	2012년 10월 29일
채수장소	BA-1				

귀하께서 우리 수질검사센터에 의뢰한 검체에 대한 검사결과는 다음과 같습니다.

2. 시 험 결 과

검사항목	기 준			결 과
	생활용수	농업,어업용수	공업용수	
수소이온농도	5.8 ~ 8.5	6.0 ~ 8.5	5.0 ~ 9.0	4.5
대장균군수	5,000(MPN/100㎖)이하	-	-	0
질산성질소	20 ㎎/ℓ이하	20 ㎎/ℓ이하	40 ㎎/ℓ이하	0.2
염소이온	250 ㎎/ℓ이하	250 ㎎/ℓ이하	500 ㎎/ℓ이하	불검출
카드뮴	0.01 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	0.02 ㎎/ℓ이하	불검출
비 소	0.05 ㎎/ℓ이하	0.05 ㎎/ℓ이하	0.1 ㎎/ℓ이하	불검출
시 안	0.01 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	0.2 ㎎/ℓ이하	불검출
수 은	0.001 ㎎/ℓ이하	0.001 ㎎/ℓ이하	0.001 ㎎/ℓ이하	불검출
유기인	0.0005 ㎎/ℓ이하	0.0005 ㎎/ℓ이하	0.0005 ㎎/ℓ이하	불검출
페 놀	0.005 ㎎/ℓ이하	0.005 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	불검출
납	0.1 ㎎/ℓ이하	0.1 ㎎/ℓ이하	0.2 ㎎/ℓ이하	불검출
6가크롬	0.05 ㎎/ℓ이하	0.05 ㎎/ℓ이하	0.1 ㎎/ℓ이하	불검출
트리클로로에틸렌	0.03 ㎎/ℓ이하	0.03 ㎎/ℓ이하	0.06 ㎎/ℓ이하	불검출
테트라클로로에틸렌	0.01 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	0.02 ㎎/ℓ이하	불검출
1,1,1-트리클로로에탄	0.15 ㎎/ℓ이하	0.3 ㎎/ℓ이하	0.5 ㎎/ℓ이하	불검출
벤 젠	0.015 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출
톨 루 엔	1 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출
에틸벤젠	0.45 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출
크실렌	0.75 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출

판정	상기항목 부적합
수질기준초과항목	수소이온농도

비고 : 판정은 지하수법 제20조 지하수의 수질보전등에 관한 규칙 11조 별표4에 의한 지하수수질기준에 의거합니다. 본 성적서는 시험의뢰목적 이외의 용도로 사용할수 없습니다.

2012년 11월 14일

경남과학기술대학교 수질검사센터 소장

국가공인 수질검사기관
경남과학기술대학교 수질검사센터
GYEONGNAM NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY WATER QUALITY RESEARCH CENTER
우) 660-758 경남 진주시 칠암동 150번지, 전화 055)751-3545
전송 055)751-3548, Email : water@jinju.ac.kr
센터장:박현건, 부센터장:이춘식, 실장:김대민, 담당:정선선

맑은물! 맑은환경! 수질검사센터의 목표입니다.

시행일자 : 2012년 11월 14일
보 냄 : 수질검사센터

제 목 : 수질검사성적서 교부
받 음 : 경남 진주시 문산읍 동부로 965번지
한국국제대학교 산학협력단 황상규 귀하 660-759

시 험 성 적 서

1. 검 체 내 용

검 체 명	지하수 생활용수	검사목적	참고용	접수번호	1289-2
의 뢰 인	한국국제대학교	채수일시	2012년 10월 29일	접수일자	2012년 10월 29일
채수장소	BA-2				

귀하께서 우리 수질검사센터에 의뢰한 검체에 대한 검사결과는 다음과 같습니다.

2. 시 험 결 과

검사항목	기 준			결 과
	생활용수	농업.어업용수	공업용수	
수소이온농도	5.8 ~ 8.5	6.0 ~ 8.5	5.0 ~ 9.0	6.3
대장균군수	5,000(MPN/100㎖)이하	-	-	0
질산성질소	20 ㎎/ℓ이하	20 ㎎/ℓ이하	40 ㎎/ℓ이하	0.7
염소이온	250 ㎎/ℓ이하	250 ㎎/ℓ이하	500 ㎎/ℓ이하	1
카드뮴	0.01 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	0.02 ㎎/ℓ이하	불검출
비 소	0.05 ㎎/ℓ이하	0.05 ㎎/ℓ이하	0.1 ㎎/ℓ이하	불검출
시 안	0.01 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	0.2 ㎎/ℓ이하	불검출
수 은	0.001 ㎎/ℓ이하	0.001 ㎎/ℓ이하	0.001 ㎎/ℓ이하	불검출
유기인	0.0005 ㎎/ℓ이하	0.0005 ㎎/ℓ이하	0.0005 ㎎/ℓ이하	불검출
페 놀	0.005 ㎎/ℓ이하	0.005 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	불검출
납	0.1 ㎎/ℓ이하	0.1 ㎎/ℓ이하	0.2 ㎎/ℓ이하	불검출
6가크롬	0.05 ㎎/ℓ이하	0.05 ㎎/ℓ이하	0.1 ㎎/ℓ이하	불검출
트리클로로에틸렌	0.03 ㎎/ℓ이하	0.03 ㎎/ℓ이하	0.06 ㎎/ℓ이하	불검출
테트라클로로에틸렌	0.01 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	0.02 ㎎/ℓ이하	불검출
1,1,1-트리클로로에탄	0.15 ㎎/ℓ이하	0.3 ㎎/ℓ이하	0.5 ㎎/ℓ이하	불검출
벤 젠	0.015 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출
톨 루 엔	1 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출
에틸벤젠	0.45 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출
크실렌	0.75 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출

판정	상기항목 적합
수질기준초과항목	

비고 : 판정은 지하수법 제20조 지하수의 수질보전등에 관한 규칙 11조 별표4에 의한 지하수수질기준에 의거합니다. 본 성적서는 시험의뢰목적 이외의 용도로 사용할수 없습니다.

2012년 11월 14일

경남과학기술대학교 수질검사센터 소장

국가공인 수질검사기관
경남과학기술대학교 수질검사센터
GYEONGNAM NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY WATER QUALITY RESEARCH CENTER
우) 660-758 경남 진주시 칠암동 150번지, 전화 055)751-3545
전송 055)751-3548, Email : water@jinju.ac.kr
센터장:박현건, 부센터장:이춘식, 실장:김대민, 담당:정선선

맑은물! 맑은환경! 수질검사센터의 목표입니다.

시행일자 : 2012년 11월 14일
보 냄 : 수질검사센타

제 목 : 수질검사성적서 교부
받 음 : 경남 진주시 문산읍 동부로 965번지
한국국제대학교 산학협력단 황상규 귀하 660-759

시 험 성 적 서

1. 검 체 내 용

검 체 명	지하수 생활용수	검사목적	참고용	접수번호	1289-3
의 뢰 인	한국국제대학교	채수일시	2012년 10월 29일	접수일자	2012년 10월 29일
채수장소	BA-3				

귀하께서 우리 수질검사센터에 의뢰한 검체에 대한 검사결과는 다음과 같습니다.

2. 시 험 결 과

검사항목	기 준			결 과
	생활용수	농업.어업용수	공업용수	
수소이온농도	5.8 ~ 8.5	6.0 ~ 8.5	5.0 ~ 9.0	7.1
대장균군수	5,000(MPN/100㎖)이하	-	-	1700
질산성질소	20 ㎎/ℓ이하	20 ㎎/ℓ이하	40 ㎎/ℓ이하	2.2
염소이온	250 ㎎/ℓ이하	250 ㎎/ℓ이하	500 ㎎/ℓ이하	3
카드뮴	0.01 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	0.02 ㎎/ℓ이하	불검출
비 소	0.05 ㎎/ℓ이하	0.05 ㎎/ℓ이하	0.1 ㎎/ℓ이하	불검출
시 안	0.01 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	0.2 ㎎/ℓ이하	불검출
수 은	0.001 ㎎/ℓ이하	0.001 ㎎/ℓ이하	0.001 ㎎/ℓ이하	불검출
유기인	0.0005 ㎎/ℓ이하	0.0005 ㎎/ℓ이하	0.0005 ㎎/ℓ이하	불검출
페 놀	0.005 ㎎/ℓ이하	0.005 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	불검출
납	0.1 ㎎/ℓ이하	0.1 ㎎/ℓ이하	0.2 ㎎/ℓ이하	불검출
6가크롬	0.05 ㎎/ℓ이하	0.05 ㎎/ℓ이하	0.1 ㎎/ℓ이하	불검출
트리클로로에틸렌	0.03 ㎎/ℓ이하	0.03 ㎎/ℓ이하	0.06 ㎎/ℓ이하	불검출
테트라클로로에틸렌	0.01 ㎎/ℓ이하	0.01 ㎎/ℓ이하	0.02 ㎎/ℓ이하	불검출
1.1.1-트리클로로에탄	0.15 ㎎/ℓ이하	0.3 ㎎/ℓ이하	0.5 ㎎/ℓ이하	불검출
벤 젠	0.015 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출
톨 루 엔	1 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출
에틸벤젠	0.45 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출
크실렌	0.75 ㎎/ℓ이하	-	-	불검출

판정	상기항목 적합
수질기준초과항목	

비고 : 판정은 지하수법 제20조 지하수의 수질보전등에 관한 규칙 11조 별표4에 의한 지하수수질기준에 의거합니다. 본 성적서는 시험의뢰목적 이외의 용도로 사용할수 없습니다.

2012년 11월 14일

경남과학기술대학교 수질검사센터 소장

2. 학술성과

가. 국내학술대회

(1) 6시그마 기법을 적용한 식재용 경량콘크리트 골재로서의 바텀애쉬 배합설계 기초적 연구, 한국건설시공학회, 2012.05.

6시그마 기법을 적용한 식생경량블록 개발에 관한 연구

A Study on the development of Planting Concrete Aggregate through Applications of 6 Sigma Technique

안혜련* 오재훈** 문종욱*** 허영기****
Ahn, Hye-Ryeon, Oh, Jae-Hoon, Moon, Jong-Wook Huh, Young-Ki

키 워 드 : 6시그마, 바텀애쉬, 옥상녹화, 경량블록
Keywords : 6 Sigma, Bottom Ash, Rooftop Greening, Lightweight Block

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대 도심에서 옥상녹화의 필요성과 효과는 많은 연구와 언론 등을 통하여 알려져 왔고, 옥상녹화의 중요성을 인식하고 있다. 그 결과 일부 대도시에서는 옥상녹화 사업을 추진하고 신축 건물에 설치를 법적으로 규정하고 있다.

더불어 옥상녹화 재료와 시공기술 등이 발전하고 저비용 옥상녹화 기술도 개발되고 있으나 유지관리가 제대로 되지 않아 누수발생, 배수불량, 물 공급부족으로 인한 식재 관리의 문제점이 발생하고 있다. 따라서 기존의 녹지 조성 및 옥상녹화를 위해 사용하는 수입산 경량 토양을 대체하고 유지관리가 쉬운 식생경량블록 시스템의 개발과 실용화할 수 있는 프로세스 구축이 필요하다.

본 연구에서는 6시그마를 적용하여 식생경량블록 개발의 프로세스 구축하고자한다. 바텀애쉬의 배합설계에 영향을 미칠 수 있는 변수요소를 통한 배합비를 선정해 실험을 수행하고, 실험결과를 통하여 산출된 결과값에 대하여 통계 계산 프로그램인 Minitab 16을 이용하여 식생경량블록에 영향을 미치는 실험인자들의 관계를 파악하는 것을 연구의 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 6시그마 기법을 적용하여 식생경량블럭 개발의 정의를 내리고, 실험을 위한 최적의 조건을 제시한다. 옥상녹화 시공 후 지속적으로 유지관리 할 수 있는 프로세스를 제시하고자 한다.

그러나 현재 진행되어진 연구는 바텀애쉬의 물성분석과 식생블록의 배합실험을 완료하였다. 본 연구에서는 개발의 정의를 제시하고 식생경량블럭 제작에 영향을 미치는 유효인자 분석으로 측정 단계까지 기술하였으며 본 연구의 방법은 다음과 같다.

1) 6시그마의 개념과 추진단계에 대한 이론적 고찰을 실시한다.

2) 식생경량블록 개발에 대한 정의 선정과 바텀애쉬, 시멘트, 물의 배합비를 선정해 실험을 진행한다.

3) 실험을 통하여 산출 된 결과값을 토대로 Minitab 16을 사용하여 식생경량블록에 영향을 미치는 실험인자들의 관계를 파악한다.

2. 6시그마의 개념과 추진단계

6시그마는 고객의 관점에서 품질에 결정적인 요소를 찾고 과학적인 기법을 적용하여 100만개 중 3, 4개의 결점수준인 무결점 품질을 달성하는 것을 말한다. 이와 같이 6시그마 운동의 출발점이며, 그 목적 달성을 위해 필요한 도구를 사용하여 기업 전체가 하나가 되어 추진하는 활동을 6시그마 활동이라 한다.

6시그마의 진행 방법론 중 품질 향상, 비용절감, 고객만족도 향상 등과 같은 프로세스 개선의 목적을 가지며 제조 프로세스에 적용되는 DMEDI 방법을 본 연구에 적용하였다.

1) Define은 정의 단계로, 비즈니스 개선 기회를 정의하고, 프로젝트 계획을 수립한다.

2) Measure는 측정 단계로, 고객 needs를 확인하고, 전문지식을 통해 설계의 판단 기준 및 규격을 설정한다.

3) Explore는 조사 단계로, 최선의 설계 컨셉을 선택 및 평가하고 최적 설계를 개발한다.

4) Develop는 개발 단계로, 제품, 서비스, 프로세스 설계를 상세하게 개발하고, 조사 단계에서 시작된 성능예측을 재확인한다.

5) Implement는 이행 단계로, 시험적용을 통한 계획, 실시 및 결과를 분석하고 프로세스의 평가 및 보완을 시행한다.

3. 6시그마를 적용한 식생 경량블록

3.1 정의

식생경량블록 개발을 위한 정의 단계에서는 산업폐기물 기본 물성 분석에서 녹지공간조성 시스템 개발까지를 연구의 범위로 한다. 브레인스토밍을 통해 도출된 식생경량블록의 개발에 영향을 미치는 요소들을 정리하면 그림 1과 같다. Input요인에 영향을 주는 대상은 소재 공급지인 화력발전소의 시스템이며, Output요인으로 인하여 옥상녹화공법의 단순화, 조립화 및 경제적 절감의 효과를 기대할 수 있다.

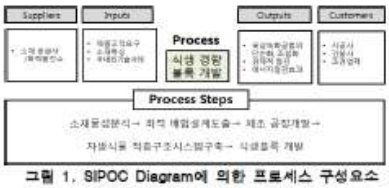


그림 1. SIPOC Diagram에 의한 프로세스 구성요소

3.2 측정

본 연구에서는 식생경량블록 개발을 위한 배합비를 설정하여 실험을 수행하였으며 C/B.A는 1:3과 1:2.5, W/C는 25 %와 30 %로 설정하였다.

표 1은 설정된 W/C와 C/B.A를 통하여, 단위용적질량, 기건비중, 흡수율 및 함수율, 공극률, 압축강도로 바텀애쉬 블록의 물리적·역학적 특성을 나타낸 것이다.

* 일반회원, 부산대학교 대학원 건축공학과 석사과정, withyou2529@nate.com
** 일반회원, 부산대학교 대학원 건축공학과 박사과정, hunny34@nate.com
*** 일반회원, 한국국제대학교 소방방재공학과 교수, 공학박사, mt8126@naver.com
**** 종신회원, 부산대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자), ykhuh@pusan.ac.kr

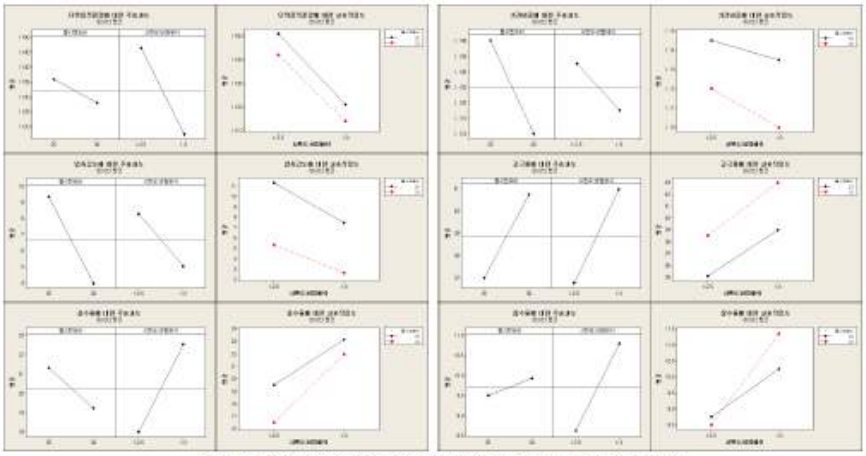


그림 2. 바텀애쉬(Bottom Ash)블록의 주효과도 및 교호작용도 분석

표 1. Bottom Ash블록의 물리적·역학적 특성

No.	W/C (%)	C/B.A	단위용적질량 (kg/m³)	기건비중	흡수율 (%)	함수율 (%)	공극률 (%)	압축강도 28일 (N/mm²)
B.01	30	1:3	1,115	1.08	21.92	10.7	43.9	2.97
B.02			1,113	1.10	22.00	12.3	42.2	2.30
B.03		1:2.5	1,140	1.12	18.1	9.01	39	5.64
B.04			1,144	1.13	15.3	8.2	37.8	5.00
B.05	25	1:3	1,120	1.13	22.3	10.5	39.9	7.86
B.06			1,122	1.14	24	10	38.3	7.00
B.07		1:2.5	1,150	1.16	9	9.1	35	11.35
B.08			1,152	1.15	8.2	8.3	35.6	11.20

* W/C : 물시멘트비, C/B.A : 시멘트와 바텀애쉬의 비

그림 2는 실험을 통하여 산출된 결과 값으로 반응인자에 미치는 영향을 파악하였다. 실험인자들의 관계를 파악하기 위해 주효과도[1]와 교호작용도[2]를 나타내었다. 주효과도에서는 직선의 기울기가 클수록 반응인자에 영향을 많이 미치는 실험인자이다. 교호작용도는 2가지 인자 이상의 인자수준의 조합에서 발생할 수 있는 효과를 보여주며 인자에 대한 영향이 다른 한 인자의 수준에 따라 바뀌는 것을 교호작용이라 한다. 두 직선이 거의 평행선을 나타내면 교호작용은 없는 것으로 간주되지만 평행하지 않거나 교차하면 교호작용의 효과가 있는 것으로 판단할 수 있다.

1) 단위용적질량

식생경량블록의 단위용적질량에서 영향을 많이 주는 실험인자는 C/B.A이다. 따라서 바텀애쉬 보다 시멘트의 양이 증가할수록 단위용적질량이 크게 증가되며 교호작용도의 두 직선은 평행으로 W/C, C/B.A 두 인자는 교호 작용이 일어나지 않음을 알 수 있다.

2) 기건비중 및 압축강도

기건비중과 압축강도에서는 W/C와 C/B.A가 반응인자에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 또한 W/C에 따른 기건비중의 차이가 C/B.A 보다 크며 두 인자 사이에서의 교호작용은 의심되지 않는다.

3) 공극률

선행연구결과를 통하여 식생블록의 경우, 20－40%의 공극률이면 식물의 생장에 큰 영향이 없다는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 공극률 평균값은 39%으로 식생에 적정하다는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 주효과도에서는 두 인자들이 공극률에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있으나, 교호작용은 발생하지 않았다.

4) 흡수율 및 함수율

흡수율과 함수율은 C/B.A의 인자가 가장 많은 영향을 미치고 있으며, 교호작용도는 직선들이 교차하고 있음으로 교호작용이 있다. 즉, 2개의 실험인자가 다른 결과보다 흡수율 및 함수율에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

5. 결론

옥상녹화는 환경적인 특수성이 있으므로 설계에서부터 시공, 유지관리까지 기존공법과는 다른 프로세스가 요구된다. 본 연구에서는 시공초기단계인 재료개발에 관한 연구내용으로 폐기물 중 하나인 바텀애쉬를 활용한 식생블록 개발 연구이다. 옥상녹화에 사용 되어질 식생블럭 개발을 위해 6시그마를 적용하여 실험인자들 사이의 특성 및 상관관계를 파악하였다. 이를 통하여 옥상녹화 적용에 적합한 단위용적질량, 압축강도, 흡수율 및 함수율 등 산출하여 최적의 배합을 도출 할 수 있다.

향후 연구에는 식생블록 개발에 실험인자의 설정 및 배합비를 보다 다양하게 적용하고 6시그마의 조사단계에서 최적의 배합비를 산출하여 개발단계에서부터 식생블록을 건물옥상에 적용할 수 있는 설계를 상세하게 계획해야 한다. 그 후 마지막 단계인 이행단계에서 프로세스의 평가 및 보완을 시행하여야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(국토해양부)의 재원으로 첨단도시개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

이정민, 한동훈, 함세빈, 신경호, 김창덕, 공동주택의 옥상텃밭을 적용한 옥상녹화 활성화 방안에 관한 연구, 전국 대학생 학술발표대회 논문집, 2011

정상화 외, 저회의 성토재료 활용성에 대한 실험적 연구, 한국건설순환자원학회지 제5권 제4호, 2010

1) 주효과도: 주 인자의 주 효과를 파악하기 위한 그림

2) 교호작용도: 상호인자의 상호효과를 파악하기 위한 그래프

(2) 6시그마 기법을 적용한 식생경량블록 개발에 관한 연구, 한국건설관리학회, 2012.11

6시그마 기법을 적용한 식생경량블록 개발에 관한 연구

A Study on the development of Planting Concrete Aggregate through Applications of 6 Sigma Technique

안혜련* 오재훈** 문종욱*** 허영기****
Ahn, Hye-Ryeon, Oh, Jae-Hoon, Moon, Jong-Wook Huh, Young-Ki

키 워 드 : 6시그마, 바텀애쉬, 옥상녹화, 경량블록
Keywords : 6 Sigma, Bottom Ash, Rooftop Greening, Lightweight Block

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대 도심에서 옥상녹화의 필요성과 효과는 많은 연구와 언론 등을 통하여 알려져 왔고, 옥상녹화의 중요성을 인식하고 있다. 그 결과 일부 대도시에서는 옥상녹화 사업을 추진하고 신축 건물에 설치를 법적으로 규정하고 있다.

더불어 옥상녹화 재료와 시공기술 등이 발전하고 저비용 옥상녹화 기술도 개발되고 있으나 유지관리가 제대로 되지 않아 누수발생, 배수불량, 물 공급부족으로 인한 식재관리의 문제점이 발생하고 있다. 따라서 기존의 녹지 조성 및 옥상녹화를 위해 사용하는 수입산 경량 토양을 대체하고 유지관리가 쉬운 식생경량블록 시스템의 개발과 실용화할 수 있는 프로세스 구축이 필요하다.

본 연구에서는 6시그마를 적용하여 식생경량블록 개발의 프로세스 구축하고자한다. 바텀애쉬의 배합설계에 영향을 미칠 수 있는 변수요소를 통한 배합비를 선정해 실험을 수행하고, 실험결과를 통하여 산출된 결과값에 대하여 통계 계산 프로그램인 Minitab 16을 이용하여 식생경량블록에 영향을 미치는 실험인자들의 관계를 파악하는 것을 연구의 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 6시그마 기법을 적용하여 식생경량블럭 개발의 정의를 내리고, 실험을 위한 최적의 조건을 제시한다. 옥상녹화 시공 후 지속적으로 유지관리 할 수 있는 프로세스를 제시하고자 한다.

그러나 현재 진행되어진 연구는 바텀애쉬의 물성분석과 식생블록의 배합실험을 완료하였다. 본 연구에서는 개발의 정의를 제시하고 식생경량블럭 제작에 영향을 미치는 유효인자 분석으로 측정 단계까지 기술하였으며 본 연구의 방법은 다음과 같다.

1) 6시그마의 개념과 추진단계에 대한 이론적 고찰을 실시한다.

2) 식생경량블록 개발에 대한 정의 선정과 바텀애쉬, 시멘트, 물의 배합비를 선정해 실험을 진행한다.

3) 실험을 통하여 산출 된 결과값을 토대로 Minitab 16을 사용하여 식생경량블록에 영향을 미치는 실험인자들의 관계를 파악한다.

2. 6시그마의 개념과 추진단계

6시그마는 고객의 관점에서 품질에 결정적인 요소를 찾고 과학적인 기법을 적용하여 100만개 중 3, 4개의 결점수준인 무결점 품질을 달성하는 것을 말한다. 이와 같이 6시그마 운동의 출발점이며, 그 목적 달성을 위해 필요한 도구를 사용하여 기업 전체가 하나가 되어 추진하는 활동을 6시그마 활동이라 한다.

6시그마의 진행 방법론 중 품질 향상, 비용절감, 고객만족도 향상 등과 같은 프로세스 개선의 목적을 가지며 제조 프로세스에 적용되는 DMEDI 방법을 본 연구에 적용하였다.

1) Define은 정의 단계로, 비즈니스 개선 기회를 정의하고, 프로젝트 계획을 수립한다.

2) Measure는 측정 단계로, 고객 needs를 확인하고, 전문지식을 통해 설계의 판단 기준 및 규격을 설정한다.

3) Explore는 조사 단계로, 최선의 설계 컨셉을 선택 및 평가하고 최적 설계를 개발한다.

4) Develop는 개발 단계로, 제품, 서비스, 프로세스 설계를 상세하게 개발하고, 조사 단계에서 시작된 성능예측을 재확인한다.

5) Implement는 이행 단계로, 시험적용을 통한 계획, 실시 및 결과를 분석하고 프로세스의 평가 및 보완을 시행한다.

3. 6시그마를 적용한 식생 경량블록

3.1 정의

식생경량블록 개발을 위한 정의 단계에서는 산업폐기물 기본 물성 분석에서 녹지공간조성 시스템 개발까지를 연구의 범위로 한다. 브레인스토밍을 통해 도출된 식생경량블록의 개발에 영향을 미치는 요소들을 정리하면 그림 1과 같다. Input요인에 영향을 주는 대상은 소재 공급지인 화력발전소의 시스템이며, Output요인으로 인하여 옥상녹화공법의 단순화, 조립화 및 경제적 절감의 효과를 기대할 수 있다.



그림 1. SIPOC Diagram에 의한 프로세스 구성요소

3.2 측정

본 연구에서는 식생경량블록 개발을 위한 배합비를 설정하여 실험을 수행하였으며 C/B.A는 13과 12.5, W/C는 25 %와 30 %로 설정하였다.

표 1은 설정된 W/C와 C/B.A를 통하여, 단위용적질량, 기건비중, 흡수율 및 함수율, 공극률, 압축강도로 바텀애쉬 블록의 물리적·역학적 특성을 나타낸 것이다.

* 일반회원, 부산대학교 대학원 건축공학과 석사과정, wdhyun2009@nate.com
** 일반회원, 부산대학교 대학원 건축공학과 박사과정, horm94@nate.com
*** 일반회원, 한국국제대학교 소방방재공학과 교수, 공학박사, mc8206@naver.com
**** 종신회원, 부산대학교 건축공학과 교수, 공학박사(교신저자), yhuh@pusan.ac.kr

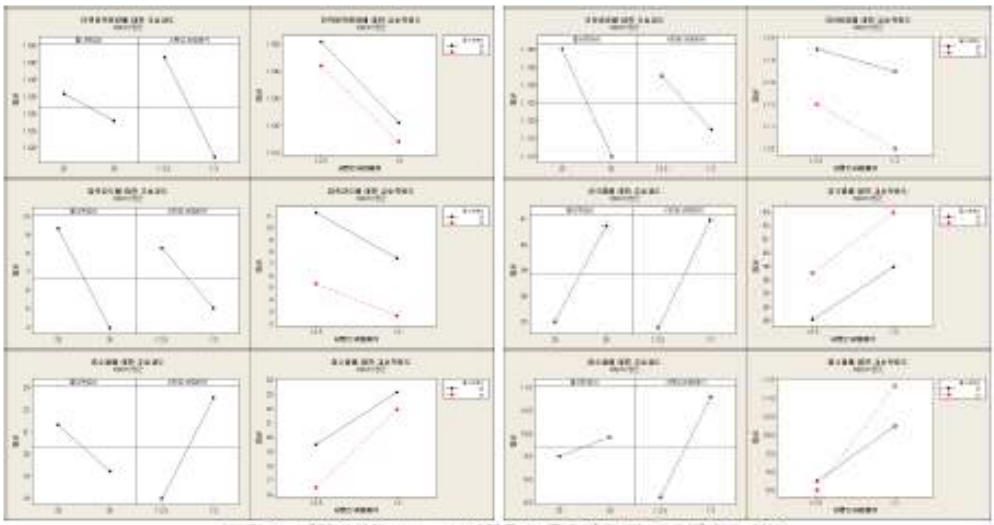


그림 2. 바텀애쉬(Bottom Ash)블록의 주효과도 및 교호작용도 분석

표 1. Bottom Ash블록의 물리적·역학적 특성

No.	W/C (%)	C/B.A	단위용적질량 (kg/m3)	기건비중	흡수율 (%)	함수율 (%)	공극률 (%)	압축강도 28일 (N/mm)
B01	30	13	1,115	1.08	21.92	10.7	40.9	25.7
B02			1,113	1.10	22.00	12.3	42.2	23.0
B03		12.5	1,140	1.12	16.1	9.01	39	56.4
B04			1,144	1.13	15.3	8.2	37.8	50.0
B05	25	13	1,100	1.13	22.3	10.5	39.9	7.80
B06			1,122	1.14	24	10	38.3	7.00
B07		12.5	1,150	1.16	9	9.1	35	11.35
B08			1,152	1.15	8.2	8.3	33.6	11.20

* W/C : 물시멘트비, C/B.A : 시멘트와 바텀애쉬의 비

그림 2는 실험을 통하여 산출된 결과 값으로 반응인자에 미치는 영향을 파악하였다. 실험인자들의 관계를 파악하기 위해 주효과도[1]와 교호작용도[2]를 나타내었다. 주효과도에서는 직선의 기울기가 클수록 반응인자에 영향을 많이 미치는 실험인자이다. 교호작용도는 2가지 인자 이상의 인자수준의 조합에서 발생할 수 있는 효과를 보여주며 인자에 대한 영향이 다른 한 인자의 수준에 따라 바뀌는 것을 교호작용이라 한다. 두 직선이 거의 평행선을 나타내면 교호작용은 없는 것으로 간주되지만 평행하지 않거나 교차하면 교호작용의 효과가 있는 것으로 판단할 수 있다.

1) 단위용적질량

식생경량블록의 단위용적질량에서 영향을 많이 주는 실험인자는 C/B.A이다. 따라서 바텀애쉬 보다 시멘트의 양이 증가할수록 단위용적질량이 크게 증가되며 교호작용도의 두 직선은 평행으로 W/C, C/B.A 두 인자는 교호 작용이 일어나지 않음을 알 수 있다.

2) 기건비중 및 압축강도

기건비중과 압축강도에서는 W/C와 C/B.A가 반응인자에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 또한 W/C에 따른 기건비중의 차이가 C/B.A 보다 크며 두 인자 사이에서의 교호작용은 의심되지 않는다.

3) 공극률

선행연구결과를 통하여 식생블록의 경우, 20~40%의 공극률이면 식물의 생장에 큰 영향이 없다는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 공극률 평균값은 39%으로 식생에 적정하다는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 주효과도에서는 두 인자들이 공극률에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있으나, 교호작용은 발생하지 않았다.

4) 흡수율 및 함수율

흡수율과 함수율은 C/B.A의 인자가 가장 많은 영향을 미치고 있으며, 교호작용도는 직선들이 교차하고 있음으로 교호작용이 있다. 즉, 2개의 실험인자가 다른 결과보다 흡수율 및 함수율에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

5. 결론

옥상녹화는 환경적인 특수성이 있으므로 설계에서부터 시공, 유지관리까지 기존공법과는 다른 프로세스가 요구된다. 본 연구에서는 시공초기단계인 재료개발에 관한 연구내용으로 폐기물 중 하나인 바텀애쉬를 활용한 식생블록 개발 연구이다. 옥상녹화에 사용 되어질 식생블럭 개발을 위해 6시그마를 적용하여 실험인자들 사이의 특성 및 상관관계를 파악하였다. 이를 통하여 옥상녹화 적용에 적합한 단위용적질량, 압축강도, 흡수율 및 함수율 등 산출하여 최적의 배합을 도출 할 수 있다.

향후 연구에는 식생블록 개발에 실험인자의 설정 및 배합비를 보다 다양하게 적용하고 6시그마의 조사단계에서 최적의 배합비를 산출하여 개발단계에서부터 식생블록을 건물옥상에 적용할 수 있는 설계를 상세하게 계획해야 한다. 그 후 마지막 단계인 이행단계에서 프로세스의 평가 및 보완을 시행하여야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(국토해양부)의 재원으로 첨단도시개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

이정민, 한동훈, 함제범, 신경호, 김창덕, 공동주택의 옥상텃밭을 적용한 옥상녹화 활성화 방안에 관한 연구, 전국 대학생 학술발표대회 논문집, 2011

정상화 외, 지회의 성토재료 활용성에 대한 실험적 연구, 한국건설순환자원학회지 제5권 제4호, 2010

1) 주효과도: 주 인자의 주 효과를 파악하기 위한 그림

2) 교호작용도: 상호인자의 상호효과를 파악하기 위한 그래프

나. 국외학술대회

(1) 11A Feasibility Study on the Development of Eco-Planting Blocks using Bottom Ash, 11th International Conference on Sustainable Energy technologies, SET. 2012.

11th International Conference on Sustainable Energy technologies (SET-2012)
September 2-5, 2012
Vancouver, Canada

A Feasibility Study on the Development of Eco-Planting Blocks using Bottom Ash

Jae-Hun Oh[1], Hye-Ryeon Ahn[1], Soon-Chang Yang[1], Yu-Mi Song[1], Young-Ki Huh[1], Young-Chull Ahn[1*]
[1] Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Busan, Korea
*Corresponding Author: ycahn@pusan.ac.kr

ABSTRACT

The building green movement is not new, nor is the practice of using natural resources responsibly to sustain life and encourage the regeneration of natural resources. In recent, many European municipalities have mandated the incorporation of green roof systems as standard building practice. Green roof systems are usually built as stormwater management systems and as comfortable, accessible, open spaces over structure. And also it is very useful to reduce building thermal energy, so they are adopted in many buildings. Artificial soils have been developed and used in developed countries and light soils are commonly used for green roof system, however, they are imported and constructed from foreign countries in Korea. The light soils have some problems of weight, maintenance, and durability. In this study, concrete blocks made of bottom ashes are designed and evaluated as environmentally friendly materials. The blocks are very chief, light and have high moisture contents. The specific gravity is 1.11~1.14 which are lower than normal ground soil and the compressive strength of cement block shows up to 3.03 MPa which is more suitable than normal soil for resisting plant roots.

1. INTRODUCTION

For our country, policy for low carbon green growth is being reflected and basic laws are being enacted to form this economic structure. Especially, building planting by using construction and industrial waste as resources is being proposed as a plan. Already, many leading countries such as Europe are commercializing building planting using artificial ground with many researches.

Our country is also conducting several researches and development, but it is absolutely depending on imports. Light soil is mostly being used by imports has problems such as weight, difficulty of repair, extension of persisting period. Also, most porous blocks which are used in some places has low moisture content and has the disadvantage additional cost occurs to solve.

Therefore, in this study evaluated to develop planting eco-blocks to supplement problems such as moisture content and weight and also analyzed the possibility for the application of the recycles construction and industrial waste.

2. EXPERIMENTAL MATERIALS

2.1 Bottom Ash

Bottom ashes collected from Hadong coal fired power plant in Korea are used in this experiment. Fig. 1 shows photograph of the bottom ash particles. Usually fly ashes are spherical due of vapor condensation and bottom ashes are irregular shapes with large and small pores. The left side figure shows a 7 mm diameter bottom ash particle and the right side figure shows a mixture of spherical fly ash and irregular bottom ash particles. **Table 1 shows particle size distributions of the bottom ashes. Most particles are ranged from 100~8 meshes. Table 2 shows chemical compositions of bottom ashes and washed water of bottom ashes. Cu and Cd are detected in bottom ash and Cr^{6+}, Cu, and Pb are detected in washed water, but they are acceptable level of environmental criteria.**

2.2 Perlite

Perlite is glassiness rock made from lava rapidly frozen which contains 3-5% of crystal water. It generally shows gray or blue color but sometimes has bright blue or red color. Generally after standard procedure, perlite is rapidly heated in 1200 ℃ to evaporate crystal water which makes expanded light porous particles. As crystal water evaporates, several fine stoma are made to be very light and has features of insulation, non-flammability, fire resistance, sound-proof, fire-proof, breathability, moisture, and etc. Perlite is used not only in insulation materials, sound absorbers, mortar, refractory, lightweight concrete but also in artificial soil.

Thick perlite is mainly used in drainage and perlite used for plant fertilizer has small particles. Table 3 shows physical characteristics of perlite.

2.3 Cement

Cement which is in accordance with KS L 5201 "Portland cement" is used and its physical characteristics are shown in Table 4.

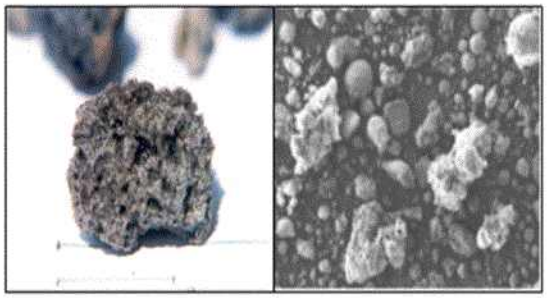


Fig. 1 Photograph of the Bottom Ash particles.

Table 1. Size distribution of bottom ashes.

Mesh	*Weight (:wt%)*
+4	8.6
-4 / +8	8.5
-8 / +16	21.9
-16 / +30	12.9
-30 / +50	14.6
-50 / +100	31.2
-100 / +200	1.9
-200 / +270	0.2
-270	0.1
Sum	100.0

Table 2. Chemical compositions of bottom ashes and washed water.

Chemical composition	*Unit*	*Bottom Ash*	*Bottom Ash Washed water*	Environmental Criteria for Water *(mg/l)*
Cu	mg/kg	16.3	0.38(mg/L)	3
CN^-	mg/kg	No	No	1
Cr^{2+}	mg/kg	No	0.07(mg/L)	1.5
Pb	mg/kg	No	0.06(mg/L)	3
Cd	mg/kg	0.14	No	0.3
As	mg/kg	No	No	1.5
Hg	mg/kg	No	No	0.005

Table 3. Physical characteristics of Perlite.

Density (g/㎤)	Solid volume ratio(%)	Absorption (%)	Unit Cubic Mass (kg/m^3)	particle size *(mm)*
0.58	30.92	87.53	0.12	2.5↓

Table 4. Physical characteristics of cement.

Density (g/㎤)	Blaine *(㎠/g)*	solidification		stability (%)	Compressive strength (MPa)		
		initial set (min)	final set (min)		3days	7days	28days
3.15	3.430	220	340	0.06	27.04	39.59	56.44

3. EXPERIMENTAL METHODS

3.1 Manufacturing of Testing Block

Two types of testing blocks are made. One testing block which has dimensions of 50.8 mm × 50.8 mm × 50.8 mm is made for measuring physical properties such as density, compressive strength, and other properties. The other testing block which is 225 mm × 225 mm × 65 mm in size is used for actual planting and investigation of root settlement. Water and cement mixture is poured on the aggregates which are packed in the block frame. The pouring of the water and cement mixture is performed twice in 12 hours time interval. After 24 hours, the testing blocks are

separated from the mold and cured in a water bath.

3.2 Specific Gravity

For specific gravity, it is measured using a whole testing block in accordance with KS F 4002 "Hollow concrete blocks" and calculated by Eq. (1).

$$Specific\ Gravity = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Where "M" is the mass[g] of the testing block and "V" is a volume[cm^3] of the testing block.

3.3 Porosity

The porosity of the concrete block is suitable for maintaining water and the plant roots are spread out through the pores. Continuous void ratio and total void ratio was conducted by volume method among 'Void ratio experiment methods of porous concrete.' Before void ratio experiment, volume was calculated to strengthen concrete, keep in water for 24 hours after taking out of mold, and water weight was calculated so air wasn't left inside the test piece. After that, the test piece was made to surface dry saturated condition under 20±2 ℃, relative humidity 60%, isothermal-isohumidity condition for 24 hours to measure surface dry weight. Lastly, absolute dry weight of the absolute dry condition test piece was measured which was dried in the drying room for 24 hours. Continuous void ratio and total void ratio was calculated following eq 2 and eq 3.

$$Continuous\ Pore\ Ratio\ (A_1) = (1 - \frac{W_2 - W_1}{V_1}) \times 100 \quad (2)$$

$$Total\ \ Porosity\ (A_2) = (1 - \frac{W_3 - W_1}{V_1}) \times 100 \quad (3)$$

A_1: Continuous void ratio of concrete, %
A_2: Total void ratio of concrete, %
W_1: Water weight, g
W_2: Surface dry weight, g
W_3: Absolute dry weight, g
V_1: Volume of test piece, cm^3

3.4 Water Content

Water content is measured and calculated by KS F 2459 "Testing methods for bulk specific gravity, water content, absorption and compressive strength of cellular concrete". The testing block is dried under the 105±5 ℃ circumstances until maintaining constant mass after curing and cooled by ambient air and then the mass is measured. The water content can be calculated by Eq. (4).

$$Water\ Content\ (\%) = (\frac{W_1 - W_0}{V}) \times 100 \quad (4)$$

W_1 : Mass of testing block, [g]

W_0 : Mass after drying at 105±5 ℃ and cooling by ambient air, [g]

V : Volume of testing block, [㎤]

3.5 Compressive Strength

Compressive strength of testing block for planting is measured by 'KS F 4002 "Hollow concrete blocks" and KS F 4038 "Decorated concrete blocks" . The both sides of the testing block where acts the vertical loads are flattened and the block is dipped in water for 2 hours. The test is performed using a digital compressive tester(Hansin Kumpung, Korea) and Fig. 2 show the tester. The compressive strength is calculated by Eq. (5).

$$Compressive\ Strength\ (N/mm^2) = \frac{Maximum\ load}{Area\ before\ loading} \quad (5)$$



Fig. 2 A photograph of the compressive strength tester.

3.6 Rooting of Plants

The experiment for observing of plant rooting uses a 225 mm×225 mm×65 mm testing block. The blocks are dipped in water for more than 7 days to remove alkali components that prohibit plant growth. The planting blocks are kept in a green house where the temperature is 36-37 ℃ and the relative humidity is 26% to improve rooting. After 20 days they are observed to confirm rooting and growth.

4. FEASIBILITY TEST FOR BOTTOM ASH PROPORTION

This study to find optimal bottom ash to cement proportion doesn't have much previous studies, so many specimens are made and tested by combination of each experimental parameters such as water content and bottom ash content. Table 5 shows various experimental conditions. Two sizes of bottom ashes are used and the mass ratio between cement and bottom ash are ranged from 1:1.25 ~ 1:1.5. The water to cement ratios are varied from 10% to 30%. The No. 5 specimen which has little water considering cement content and the No. 1 and the No. 2 specimens which have high content of bottom ashes are broken when they are separated from the mold. The No. 10 specimen which has highest cement content is covered with cement and it looks not suitable for water drain and rooting.

Table 5. Mass ratio of cement combination of this experiment.

No.	Particle sizes of Bottom Ashes (mm)		Cement : Bottom Ash (mass ratio)	Water to Cement (%)
	#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



(a) Blocks covered with cement. (b) Broken blocks.

Fig. 3 Testing blocks which are not proper to planting blocks.

From the feasibility tests, the 8 mesh(2.36 mm) and the 4 mesh(4.75 mm) bottom ashes are mixed with 1:3 ratio. The 1:3 of cement to bottom ash ratio is selected for best condition and water to cement ratios are selected as 25% and 30%.

5. CHARACTERISTIC ANALYSIS OF TESTING BLOCKS FOR PLANTING

There are 4 samples are tested using 2 types of bottom ash blocks and 2 types of perlite blocks according to the water cement contents of 25% and 30%. Table 6 shows the characteristics of bottom ash blocks with comparison of perlite blocks. The BWC25 sample which has bottom ash and 25% of water to cement ratio shows 1,144 kg/m^3 of density which is lower than normal soils range of 1,200~1,800 kg/m^3. The bottom ash block can reduce the soil load to a building. The perlite blocks has about 800 kg/m^3 and very right but compressive strength is not so high.

Table 6. Physical and dynamic characteristics of bottom ash blocks and perlite blocks.

Sample	Density (kg/m^3)	Specific Gravity (kg/m^3)	Water Content (%)	Continuous pore ratio (%)	Total Porosity (%)	Compressive Strength (kgf/cm^2 (MPa))	
						7Days	28 Days
BWC 25	1,144	1.14	10.5	35.4	39.9	17 (1.66)	31(3.03)
BWC 30	1,112	1.11	10.7	40.5	43.9	8(0.78)	17(1.67)
PWC 25	816	0.82	43.5	61.3	69.9	9(0.88)	13(1.27)
PWC 30	799	0.80	44.2	59.4	68.5	7(0.68)	7(0.68)

Proper porosity range of soil is 40~60% for planting, however it can cause decrease of strength of planting block. In the previous studies, rooting in a planting block is possible at the 20% of porosity. Continuous pores are developed in the perlite blocks more than bottom blocks. The continuous pores can help to spread out roots but act as a passage of drain water if they are too much. Increases of total porosity of perlite blocks are much higher than bottom ash blocks, and the porosity decreases when the water content increases even in the bottom ash blocks the porosity increases.

The water content of two bottom ash block and perlite block show similar results regardless of water to cement ratio. But perlite block shows almost 4 times higher. The high water content is good for planting and growth but it can cause breakage of planting block during winter season. So there needs much more attention.

There isn't standard value for compressive strength for a planting block because there doesn't act heavy load, however shrubbery plants can destroy the planting block by their strong roots. The planting blocks are affected by weather change due to installing on top of a roof. In bottom ash blocks, 25% of water to cement ratio sample shows

3.03 MPa and 30% sample shows 1.66 MPa. It represents excess water contents reduce the strength of a cement block. The compressive strength becomes almost double when it is compared with curing period. The 28th days strength is higher than 7th days strength. In perlite blocks, the compressive strength is very small comparing to bottom ash planting blocks. Also if the water contents is high the strength decreases. The PWC25 sample shows increase of compressive strength according to the curing period but it doesn't in the PWC30 sample.

6. ADHESION OF PLANT ROOTS

In 20 days after planting grasses on bottom ash block and perlite block, adhesion of roots are investigated. Fig. 4 shows adhesion states in bottom ash blocks and perlite blocks. The roots in the bottom ash block can be seen by eye and the lengths are ranged 1~3 cm. In perlite block, the roots spread out on the block surfaces and the lengths are less than 0.5 cm. Strong and fine roots are developed very well in bottom ash block but they cannot be found in perlite blocks, so the bottom ash blocks are more suitable for planting blocks.



(a) Perlite blocks. (b) Bottom ash blocks.

Fig. 4 Adhesion of grass roots in perlite blocks and bottom ash blocks.

7. CONCLUSIONS

This is a feasibility study for the development of green roof system using bottom ash planting blocks. Various proportions to make planting block are investigated and physical properties are examined comparing with perlite blocks. The main research results are as follows.

1) 25% and 30% of water to cement ratio are selected and tested for planting blocks. Samples in other proportions are broken and covered by cement film so they are inappropriate for the planting blocks.

2) The density and the specific gravity for 25% and 30% of water to cement ratio bottom ash blocks are 1,144 kg/m^3, 1,112 kg/m^3, 1.14 kg/m^3 and 1.11 kg/m^3, respectively. And perlite blocks are 816 kg/m^3, 799 kg/m^3, 0.82 kg/m^3 and 0.80 kg/m^3, respectively. Compressive strengths are 3.03 MPa, 1.67 MPa, 1.27 MPa,and 0.68 MPa, respectively. The bottom ash blocks are slightly heavier than perlite blocks but strengths which is essential property for supporting the plants are higher.

3) By planting grasses to compare adhesion of roots during 20 days, development of strong and fine roots and growth are better in the bottom ash planting blocks. This shows possibilities of usage of bottom ashes for planting blocks.

Acknowledgement

This research was supported by a grant (No. 11-CHUD-C12) from Cutting-Edge Urban Development Program funded by the Korean MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime) Affairs.

REFERENCES

Journal: Abdu-Khader, M. M. and J. G. Speight. 2004. The concepts of energy, environment, and cost for process design. *International Journal of Green Energy* 1:137-151.

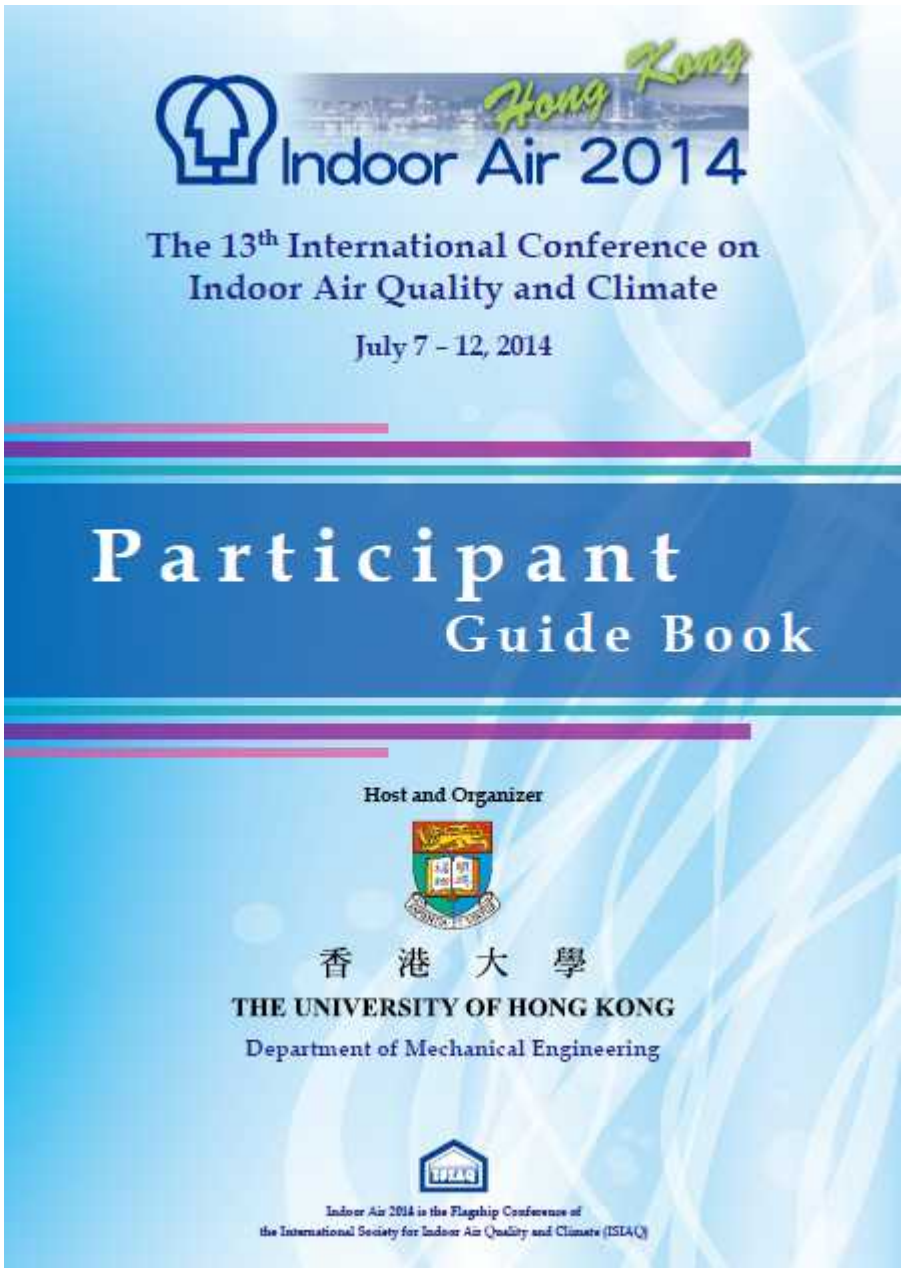
Book: Cantor, S. 2008. Green Roofs – In Sustainable Landscape Design. W. W. Norton & Company.

Book: Luckett, K. 2009. Green Roof Construction and Maintenance. McGraw-Hill.

Book: Sondgrass, E. C. and L. McIntre 2010. The Green Roof Manual – A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance. Timber Press.

Book: Weiler, S. K. 2009. Green Roof Systems – A Guide to the Planning, Design, and Construction of Landscapes over Structure. John Wiley & Sons, Inc.

(2) A STUDY ON THE THERMAL EFFECTS OF GREEN ROOF SYSTEM IN AN EXISTING BUILDING, The 13th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 2014.7



17:37 HP1346 ***Christian Heschl,*** *Peter Klanatsky*
P Influence of the moisture storage capacity of building materials on relative humidity in indoor environments

17:38 HP0350 ***Ludmila Meciarova,*** *Eva Kridlova Burdova*
P Evaluation of social aspects and indicators in residential buildings

17:39 HP1028 ***Jiying Liu***
P The impact of surface convective heat transfer coefficients on the simulated building energy consumption and surface temperatures

17:40 HP1119 ***Kunming Li,*** *Lihua Zhao*
P Study on outdoor thermal environment of village in pearl river delta region

17:41 HP1135 ***Si eun Kim***
P A study on the thermal effects of green roof system in an existing building

17:42 HP1226 ***Charlene Bayer***
P Materials transparency programs, emissions testing, and health impacts

17:43 HP1006 ***Yu Huang***
P Effect of NH3 on the formation of indoor secondary pollutants from ozone/monoterpenes reactions

Room III: LG.18 | (A9) Indoor air acoustics and lighting

Chairs: Jørn Toftum, Toshie Iwata

16:30 HP0251 ***Jørn Toftum***
Association between noise levels and CO2 concentrations in classrooms

16:45 HP0476 ***Chanjuan Sun***
The effect of lighting conditions on visual comfort

17:00 HP0734 ***Toshie Iwata***
Change in office lighting from new construction to existing building

17:15 HP1039 ***Tomoko Taniguchi***
Effect of living room LED lighting controlled by occupants on circadian rhythm and energy saving

17:30 HP1245 ***Jeehwan Lee***
Influence of vent perforation on the ventilation and acoustical performances of double skin facades

17:45 HP0224 ***Kazuo Nagano***
P Development of equi-comfort charts constituted with temperature and noise at 150 and 31x

17:46 HP0682 ***Ruey-lung Hwang,*** *Huey-Yan Liao*
P Indoor environmental quality in green buildings under energy-efficient power management

17:47 HP0972 ***Miwa Fukuda***
P What kind of residents' motivations to improve lighting environment leads to energy-saving at home?

17:48 HP0017 ***Sandra Walser***
P Comparative measurements of bacteria and molds in indoor air

17:49 HP0189 ***John Sebroski***
P Evaluation of modified flec® cell and micro chamber prototype for monitoring Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI) emissions

17:50 HP0398 ***Arnaud Dallongeville***
P The asthm'child project: study of indoor exposure to chemical and biological air contaminants known or suspected to affect respiratory health

Topic E: Others

A STUDY ON THE THERMAL EFFECTS OF GREEN ROOF SYSTEM IN AN EXISTING BUILDING

Si Eun Kim[1], Jae Hun Oh[1], Young Ki Huh[1], Young Chull Ahn[1,*] and Jong Wook Moon[2]

[1]Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Busan, Korea
[2]School of Disaster Prevention Engineering, International University of Korea, Jinju, Korea

*Corresponding email: ycahn@pusan.ac.kr

Keywords: Green roof, Bottom ash vegetation block, Temperature reduction, Design Builder

SUMMARY

Needs of greening in the city are increased to solve the urban environmental problems. The green roof system is considered as a process to improve the quality of urban environment. And it can reduce thermal energy of a building. To collect base data concerning green roof system in an existing building, this study compared indoor temperature of two classrooms. The one has green roof system(R301) and the other hasn't(R302). The digital thermo-hygrometer is installed in the ceiling of each classroom. According to the measurement, the indoor temperature of R301 is 0.7~0.9 °C lower than that of R302. It is considered that green roof system act as a heating insulating material and a blocking material of direct solar radiation. It is shown that green roof can reduce indoor temperature in summer.

INTRODUCTION

Recently, the building space is increased while the green space of the city is decreased. Needs of greening in the city is increased to solve the urban environmental problems. The green roof system is considered as a process to improve the quality of urban environment. And it can reduce thermal energy of the building. So far, there are many studies about effect of green roof system. However, studies regarding interior thermal environment and effect of temperature reduction about existing building are insufficient. To collect base data concerning green roof system in an existing building, this study compared indoor temperature two classrooms. The one has green roof system and the other hasn't.

METHODOLOGIES

The design of green roof

The experimental target building is a building belongs to the International University of Korea. It is located in Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Korea. The extensive green roof system was chosen. It is suitable for apply old building owing to low dead load. The vegetation layer consists of mosses and succulent plants. They are possible to grow under the condition of below 20cm soil. And bottom ash vegetation blocks are used to substitute soil in the green roof.

Experiment materials

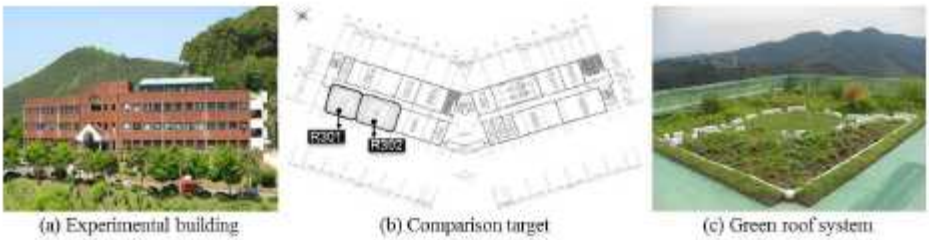
Jae-Hun Oh et. al. (2012) have reported that the bottom ash vegetation block had a density of 1,144kg/m^3, which is lower than that of normal soils, with a typical range of 1,200~1,800 kg/m3. This means that the bottom ash vegetation block can reduce the soil weight load of a building.

Table 1. Physical properties of the bottom ash vegetation blocks

Sample	Density (kg/m^3)	Water content (%)	Continuous pore ratio (%)	Total pore ratio (%)	Compressive strength (MPa)	
					7 Days	28 Days
BWC 25	1,144	10.5	35.4	39.9	1.66	3.03
BWC 30	1,112	10.7	40.5	43.9	0.78	1.67

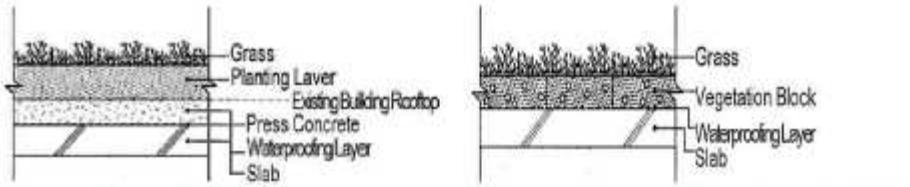
Experimental methods

We measured indoor temperature of the classroom which is on the top floor. Because green roof has a considerable influence on the top floor. The one classroom(R301) has green roof system but the other(R302) hasn't green roof system. The digital thermo-hygrometer is installed in the ceiling of each classroom. And then indoor temperature is measured every hour from 10:00 A.M to 6:00 P.M for a week. The data from rainy days are removed to clarify the effects.



(a) Experimental building (b) Comparison target (c) Green roof system

Figure 1. The experimental building and green roof system.



(a) Normal green roof system (b) Green roof system which used vegetation block

Figure 2. Each components of two types of green roof systems.

Program of the Design Builder

Design Builder combines rapid building modelling and ease of use with state of the art dynamic energy simulation. It is suitable for thermal simulation of naturally ventilated buildings. And it is possible for calculation of temperature, velocity and pressure distribution

in and around buildings using CFD. Design Builder uses the latest Energy Plus simulation engine to calculate the energy performance of the building.

The purpose of the simulation is to examine whether green roof can reduce indoor temperature. International University of Korea was used as simulation model. Show conditions of the construction in Table 2. And Table 3 is activity factor of the building. Table 4 shows conditions of the window.

Table 2. Specifications of the construction

	Layers	Thickness (mm)	U-Value ($W/m^2 \cdot k$)
External walls	Brickwork	100	0.431
	XPS Expanded Polystyrene	50	
	Concrete Block (Lightweight)	100	
	Gypsum Plastering	13	
Partition	Concrete Block (Medium)	100	1.202
	Air gap	100	
	Concrete Block (Medium)	100	
Floor	Limestone, hard	20	0.544
	Mortar	20	
	XPS Expanded Polystyrene	50	
	Cast Concrete (Dense)	80	
Roof	Asphalt	10	0.510
	Cast Concrete (Dense)	100	
	XPS Expanded Polystyrene	50	
	Cast Concrete (Lightweight)	20	
	Air gap	75	
	Gypsum Plastering	13	
Green Roof	Cultivated Peat Soil	50	0.469
	Asphalt	10	
	Cast Concrete (Dense)	100	
	XPS Expanded Polystyrene (Standard)	50	
	Cast Concrete (Lightweight)	20	
	Air gap	75	
	Gypsum Plastering	13	

Table 3. Conditions of the activity factor

Activity Factor		
Metabolic	Activity factor	0.90
Clothing (clo)	Winter	1.0
	Summer	0.5
Environmental Control	Heating Setpoint Temperature	22.0
	Cooling Setpoint Temperature	26.0
Ventilation	Natural Ventilation (l/s-person)	10.0
Lighting	Target illuminance (lux)	300

Table 4. Conditions of the window

Layer	Outermost pane	3mm
	Air	13mm
	Innermost pane	3mm
Total solar transmission (SHGC)		0.691
Direct solar transmission		0.624
Light transmission		0.774
U-Value (W/m^2k)		1.960

RESULTS AND DISCUSSION

The raw data of hourly indoor temperature

In the results of measurement, the lowest indoor temperature was 31.5℃(R301) and 32.3℃(R302) at 10:00 A.M. The highest outdoor temperature was 31.5℃ at 1:00 P.M. However, both classrooms are measured at the highest indoor temperature was 32.9℃(R301), 33.7℃(R302) at 3:00 P.M. It is considered that result of storage effect of the building.

Table 5 is indoor daily average temperature. Show result of the hourly indoor temperature in Figure 3. The indoor temperature of R301 is 0.7~0.9℃ lower than that of R302. This result means that green roof can reduce indoor temperature.

Table 5. Indoor daily average temperature

Date	R301 (℃)		R302 (℃)	
22nd July	Average	31.9	Average	32.8
	Maximum	32.4	Maximum	33.4
	Minimum	31.1	Minimum	32.0
23rd July	Average	32.1	Average	32.8
	Maximum	32.7	Maximum	33.5
	Minimum	31.2	Minimum	31.8
24th July	Average	32.9	Average	33.8
	Maximum	33.5	Maximum	34.3
	Minimum	32.2	Minimum	33.2

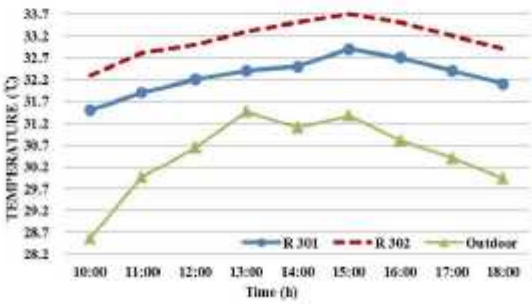


Figure 3. Indoor temperature variations with time.

Result of the simulation

The result of the simulation correspond well those found in the previous experiment in our measurement.
The lowest indoor temperature was 32.76℃, 32.53℃ at 9:00 A.M. The highest indoor temperature was 34.60℃, 34.35℃ at 3:00 P.M. Figure 4 shows indoor temperature per hour. It shows that line(apply green roof system) is 0.2~0.41℃ lower than dotted line(not apply green roof system).

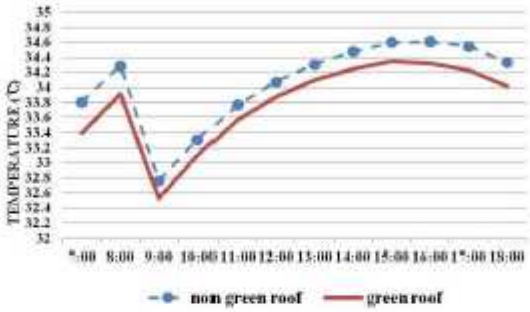


Figure 4. Comparison of hourly indoor temperature with and without green roof.

In case of the building installed green roof, daily average indoor temperature was 33.81℃. The case of the building which hasn't green roof, daily average indoor temperature was 34.08℃. Show comparison of indoor average temperature in Figure 5. It is imply that green roof system can reduce indoor temperature.

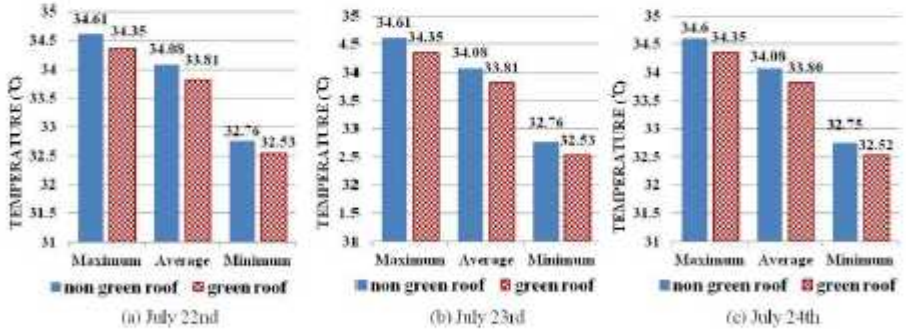


Figure 5. Comparison of daily indoor temperature.

CONCLUSIONS

In conclusion, this study confirms that green roof can reduce indoor temperature in the building.

According to the measurement, the lowest indoor temperature was 10:00 A.M and the highest indoor temperature was 3:00 P.M. But the highest outdoor temperature was 1:00 P.M. It is

considered that result from the storage effect of the building. And the indoor temperature of R301 is 0.7~0.9℃ lower than that of R302.

The result of simulation is similar to the result of this experiment. The lowest indoor temperature was 32.76℃, 32.53℃ at 9:00 A.M. The highest indoor temperature was 34.60℃, 34.35℃ at 3:00 P.M. And in case of the building installed green roof is 0.2~0.41℃ lower than the case of the building which hasn't green roof.

It is considered that green roof system act as a heating insulating material and a blocking material of direct solar radiation. It is shown that green roof can reduce indoor temperature in summer.

REFERENCES

Jeong DU (2009) A study on the improvement of the energy performance through the case study university building.

Kim KH (2008) Analysis of the roof landscaping status and improvement method for metropolitan.

Lee CW (2009) A study on the analysis of temperature reduction effect by the types of green roofs and public awareness for activation of green roof technology : focused on the city of Daegu.

Ahn TK (2003) Evaluation for thermal performance of apartment house top floor using roof planting system, Journal of the Korean society of living environmental system, Vol. 10 No. 3, pp. 182-186.

Oh JH, Ahn HR, Kim KU et al (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, Vol. 13 No. 3, pp. 105-10.

Jung JW (2008) A study on the evaluation of energy performance due to green walls and green roofs in education buildings, The regional Association of Architectural institute of Korea, Vol. 2008 No. 1, pp647-652.

Oh JH, Ahn HR, Yang SC et al (2012) A feasibility study on the development of eco-planting blocks using bottom ash, In : Proceeding of 11th International Conference on Sustainable Energy Technologies, Vancouver, Canada, 2-5 September 2012.

다. 국내등재논문

(1) Bottom Ash를 식생블록으로 활용하기 위한 배합비 연구, 한국생태환경건축학회,2012.04.

옥상녹화용 경량유닛의 블록제조 공법 및 공정 연구

A Study on Manufacturing and Processes of the Lightweight Block Unit for Roof Greening with Bottom ash

문 종 욱* 오 중 근** 이 태 구***
Moon, Jong-Wook Oh, Jung-Keun Lee, Tae-Goo

Abstract

Thermal phenomena has caused abnormal weather phenomena due to the lack of urban green spaces

To solve these problems, the country of recorded a city business is actively evolving trends. but in all the land, most built-up city's green buildings unless the demolition of the composition is an impossible situation, green space in urban areas, with emphasis on composition.

In this study, thermal power plants that occured in the evolution of vegetation by utilizing Bottom Ash was tried to develop a lightweight block.

Bottom Ash block to take advantage of vegetation is focused create green space in urban areas

Vegetation in the block was carried out manufacturing lightweight, porous, lightweight water ratio suitable for three types of blocks selected according to its kind study on the manufacturing and process.

Bottom Ash from this study at the time of disposal of coal ash generated by recycling the landfill shortages, loss of landfill costs, environmental pollution and are trying to solve the same problem at the same time.

키워드 : 경량유닛, 바텀애쉬, 제조공정, 옥상녹화
Keywords : Lightweiht Unit, Bottom Ash, Manufacturing Processes, Rooftop Greening

1. 서 론

1.1 연구의 목적

현대 도시는 환경오염으로 인한 이상기온현상이 발생하고 있으며 실 예로 도시지역에 나타나는 이상기온 현상 중에서 도시지역의 온도가 타 지역에 비하여 높게 나타나는 열섬현상을 대표적으로 들 수 있다.

최근 이러한 문제점을 해결 하기위해 도시녹화사업을 적극적으로 전개하고 있는 추세로 도시지역의 녹지 공간 조성에 역점을 두고 있으나 도시지역의 경우 녹화가 가능한 토지를 확보하기가 어려운 실정이며 도심부 경우는 더욱 심각하다 할 수 있는데 그 이유는 대부분의 모든 토지에 건물이 들어서 있어 건물을 철거하지 않으면 녹지의 조성이 거의 불가능하기 때문이다.

도시지역의 녹지조성이 가능한 장소를 분석하여 보면 건물부지내의 옥외주차장 정도로 극히 부족하다 할 수 있으며 가용 가능한 토지가 존재한다고 하여도 고가의 토지 비용으로 녹지조성을 위한 토지확보가 어려운 실정이다. 이러한 상황에서 도시지역의 녹지조성을 위해 건물 상부의 옥상 녹화가 주목을 받고 있는데 옥상녹화의 개념은 일반적인 관점에서 협의적으로 건축물의 옥상에만 녹화 조성을 하는 것으로 볼 수 있으나 본 연구에서는 도시지역의 효율적인 녹지조성을 위해 녹화의 범위를 옥상뿐만 아니라 주차장과 건물 벽면 등 광범위한 개념으로 인공지반을 녹화하고자 한다.[1]

인공지반은 자연지반과는 공간적으로 분리된 상태에서 인위적으로 조성된 인공구조물로 별도의 조치가 없이는 생명이 서식할 수 없는 공간을 말하는데, 예를 들어 건물의 옥상이나 포장된 주차장, 교량상판, 전철역의 플랫트 홈, 지하주차장 상부의 공간, 하천복개도로, 하수처리장 복개부위, 지하시설물 등의 공간을 의미한다.[2]

따라서 대상지에 적용할 녹화의 정의로 인공적인 구조물 위에 인위적인 지형, 지질의 토양층을 새롭게 형성하고 식물 등을 주로 이용하여 식재를 하거나 수용공간을 만들어서 녹지공간을 조성하는 것을 말하며 대표적으로 인공지반인 건축물의 옥상에 녹화조성을 하는 것은 도심지역의 부족한 녹지공간을 확보하기 위한 인공대지의 활용이라는 측면과 도

* 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) 재활용재료를 사용한 친환경 식생블럭 기초특성에 관한 연구, 이건철, 한국건설순환자원학회 논문집 : v.10 n.1 2010. 05
2) 정상희 외, 지회의 성토재료 활용성에 대한 연구, 한국건설순환자원학회지 제5권 제4호 (2010.12) pp.89-98

(2) 옥상녹화용 경량유닛 제조 및 공정연구, 한국생태환경건축학회, 2012.06

옥상녹화용 경량유닛의 블록제조 공법 및 공정 연구

A Study on Manufacturing and Processes of the Lightweight Block Unit for Roof Greening with Bottom ash

문 종 욱* 오 중 근** 이 태 구***
Moon, Jong-Wook Oh, Jung-Keun Lee, Tae-Goo

Abstract

Thermal phenomena has caused abnormal weather phenomena due to the lack of urban green spaces

To solve these problems, the country of recorded a city business is actively evolving trends. but in all the land, most built-up city's green buildings unless the demolition of the composition is an impossible situation, green space in urban areas, with emphasis on composition.

In this study, thermal power plants that occured in the evolution of vegetation by utilizing Bottom Ash was tried to develop a lightweight block.

Bottom Ash block to take advantage of vegetation is focused create green space in urban areas

Vegetation in the block was carried out manufacturing lightweight, porous, lightweight water ratio suitable for three types of blocks selected according to its kind study on the manufacturing and process.

Bottom Ash from this study at the time of disposal of coal ash generated by recycling the landfill shortages, less of landfill costs, environmental pollution and are trying to solve the same problem at the same time.

키워드 : 경량유닛, 바텀애쉬, 제조공정, 옥상녹화
Keywords : Lightweiht Unit, Bottom Ash, Manufacturing Processes, Rooftop Greening

1. 서 론

1.1 연구의 목적

현대 도시는 환경오염으로 인한 이상기온현상이 발생하고 있으며 실 예로 도시지역에 나타나는 이상기온 현상 중에서 도시지역의 온도가 타 지역에 비하여 높게 나타나는 열섬현상을 대표적으로 들 수 있다.

최근 이러한 문제점을 해결 하기위해 도시녹화사업을 적극적으로 전개하고 있는 추세로 도시지역의 녹지 공간 조성에 역점을 두고 있으나 도시지역의 경우 녹화가 가능한 토지를 확보하기가 어려운 실정이며 도심부 경우는 더욱 심각하다 할 수 있는데 그 이유는 대부분의 모든 토지에 건물이 들어서 있어 건물을 철거하지 않으면 녹지의 조성이 거의 불가능하기 때문이다.

도시지역의 녹지조성이 가능한 장소를 분석하여 보면 건물부지내의 옥외주차장 정도로 극히 부족하다 할 수 있으며 가용 가능한 토지가 존재한다고 하여도 고가의 토지 비용으로 녹지조성을 위한 토지확보가 어려운 실정이다. 이러한 상황에서 도시지역의 녹지조성을 위해 건물 상부의 옥상 녹화가 주목을 받고 있는데 옥상녹화의 개념은 일반적인 관점에서 협의적으로 건축물의 옥상에만 녹화 조성을 하는 것으로 볼 수 있으나 본 연구에서는 도시지역의 효율적인 녹지조성을 위해 녹화의 범위를 옥상뿐만 아니라 주차장과 건물 벽면 등 광범위한 개념으로 인공지반을 녹화하고자 한다.[1]

인공지반은 자연지반과는 공간적으로 분리된 상태에서 인위적으로 조성된 인공구조물로 별도의 조치가 없이는 생명이 서식할 수 없는 공간을 말하는데, 예를 들어 건물의 옥상이나 포장된 주차장, 교량상판, 전철역의 플랫트 홈, 지하주차장 상부의 공간, 하천복개도로, 하수처리장 복개부위, 지하시설물 등의 공간을 의미한다.[2]

따라서 대상지에 적용한 녹화의 정의로 인공적인 구조물 위에 인위적인 지형, 지질의 토양층을 새롭게 형성하고 식물 등을 주로 이용하여 식재를 하거나 수용공간을 만들어서 녹지공간을 조성하는 것을 말하며 대표적으로 인공지반인 건축물의 옥상에 녹화조성을 하는 것은 도심지역의 부족한 녹지공간을 확보하기 위한 인공대지의 활용이라는 측면과 도

* 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) 재활용재료를 사용한 친환경 식생블럭 기초특성에 관한 연구, 이건철, 한국건설순환자원학회 논문집 : v.10 n.1 2010. 05
2) 정상희 외, 지회의 성토재료 활용성에 대한 연구, 한국건설순환자원학회지 제5권 제4호 (2010.12) pp.89-98.

(3) 경량식생블록을 이용한 옥상녹화 공법의 토심계획에 관한 연구, 한국생태환경건축학회, 2013.04

http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2013.13.3.105

경량식생블럭을 이용한 옥상녹화 공법의 토심계획에 관한 실험적연구

Experimental Study on Planning Soil Depth of Green Roof System using Light-Weight Greening Block

오 재 훈* 안 혜 련** 김 경 욱*** 안 영 철**** 문 종 욱*****
Oh. Jae-Hun Ahn. Hye-Ryeon Kim. Kyoung-Uk Ahn. Young-Chull Moon. Jong-Wook

Abstract

Green roof system is classified as intensive greening, extensive greening or mix of intensive-extensive greening. Recently, light-weigh green roof has been performed actively, because buildings have been considered loads, design and maintenance. This study was conducted to design soil depth for light-vegetation block with using bottom-ash. As a result, it was found that growth of plant had no direct effect on soil depth even it was less than 10cm. Soil depth having under 5cm could be integration of plant roots and vegetation blocks. It was also possible to grow organic vegetables through the experiment of planting. According to this experiment, as light-vegetation block with bottom-ash was used for planting, it makes design shallow soil depth. The results will help install green roof system conveniently not only new buildings but also used buildings.

키워드 : 바텀애쉬, 옥상녹화, 경량식생블럭, 식재, 토심
Key words : Bottom Ash, Green Roof, Light-weight Greening Block, Planting, Soil Depth

1. 서 론

기후변화협약 및 교토 의정서 발효로 선진국을 중심으로 온실가스 배출 및 에너지 소비 감소를 위한 합리적인 기준이 강화되기 시작하였다. 2012년에 끝나기로 한 교토의 정서의 효력을 2020년 까지 연장키로 합의됨에 따라 우리나라도 지속적인 온실효과 저감 대책이 필요한 실정이다.

국내에서도 온실가스저감 대책으로 다양한 연구개발이 이루어지고 있으며, 여러 산업분야에서의 규제와 자동차산업에서의 배기가스 저감, 건축물에서 에너지소비량 감소를 위해 단열재 및 친환경, 신재생에너지 사용 등의 국내에서도 온실가스저감 대책이 활발히 연구되고 있다.

특히, 도시의 열섬현상 및 건축물의 에너지소비 감소를 위해 정부는 옥상녹화 시공을 의무화 하거나 장려하고 있어 많은 건물에 옥상녹화가 이루어지고 있는 실정이다. 또한, 지상에 조경면적을 확보하는 것보다 옥상에 조경을 설치하는 것이 건물주의 입장에서는 공간을 활용하는 최선의 방법이므로 옥상녹화에 대한 관심과 시공이 갈수록 늘어가고 있다. 하지만 대부분의 옥상녹화는 건물의 특성을 제대로 고려하지 않은 채 형식적으로만 시공되어 건물의 안전성, 유지관리 등에 많은 문제를 초래하고 있다. 옥상녹화가 시공된 후 관리부실 및 옥상층 누수, 하중증가로 인한 건물의 균열 등으로 인해 재시공 또는 해체로 이어지고 있다. 따라서 옥상녹화는 건물의 특성과 구조, 기대효과, 유지관리적인 측면 등이 모두 고려된 공법을 채택하여 시공 되어야 한다.

즉, 신규 건축물뿐만 아니라 기존건축물에 옥상녹화를 유도하기 위해서는 하중에 미치는 영향과 옥상녹화 시공에 드는 경제적인 측면을 모두 만족하는 새로운 개념의 옥상녹화가 필요하다.

본 연구에서는 저관리·경량형 옥상녹화의 장점을 극대화하기 위하여 시공이 편리하고 유지관리가 용이한 B.A (Bottom Ash)를 이용한 경량식생블럭을 사용하여 하였다. 저관리·경량형 옥상녹화에 적합한 식물을 식재함에 있어 이에 필요한 적정 토심설계를 제안하고자 한다.

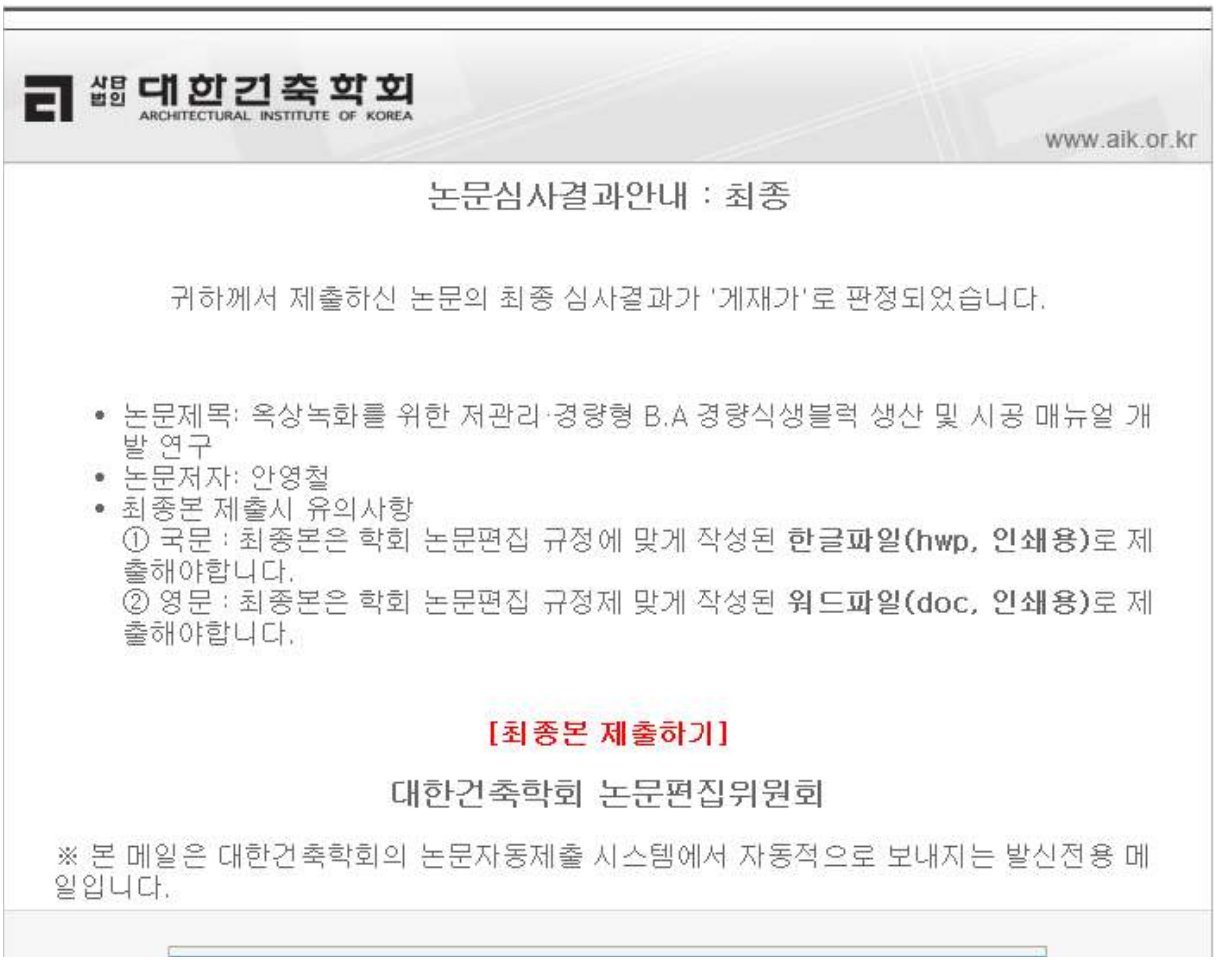
2. 옥상녹화공법에 관한 이론 연구

2.1 옥상녹화의 유형

옥상녹화는 크게 저관리·경량형, 관리·중량형, 혼합형으로 구분되며, 표 1에서 보는바와 같이 각 유형에 따라 다른

* 주저자, 부산대학교 대학원 박사과정(hoony14@nate.com)
** 부산대학교 대학원 석사과정(withyou2329@nate.com)
*** 부산대학교 대학원 박사과정(arch-uk@hanmail.net)
**** 부산대학교 건축공학과 교수(yeahn@pusan.ac.kr)
***** 교신저자, 한국국제대학교 소방방재학과 교수
(mc8126@naver.com)

(4) 경량식생블록을 이용한 옥상녹화 공법의 토심계획에 관한 연구, 대한건축학회, 2014.10 (게재가)



사단법인 대한건축학회
ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA
www.aik.or.kr

논문심사결과안내 : 최종

귀하께서 제출하신 논문의 최종 심사결과가 '게재가'로 판정되었습니다.

- 논문제목: 옥상녹화를 위한 저관리·경량형 B.A 경량식생블럭 생산 및 시공 매뉴얼 개발 연구
- 논문저자: 안영철
- 최종본 제출시 유의사항
  ① 국문 : 최종본은 학회 논문편집 규정에 맞게 작성된 **한글파일(hwp, 인쇄용)**로 제출해야합니다.
  ② 영문 : 최종본은 학회 논문편집 규정제 맞게 작성된 **워드파일(doc, 인쇄용)**로 제출해야합니다.

[최종본 제출하기]

대한건축학회 논문편집위원회

※ 본 메일은 대한건축학회의 논문자동제출 시스템에서 자동적으로 보내지는 발신전용 메일입니다.

라. SCI논문

A Feasibility Study on the Development of Eco-Planting Blocks using Bottom Ash

J. W. Moon[1], J. H. Oh[2], Y. K. Huh[2], Y. C. Ahn[2*]

[1]School of Disaster Prevention Engineering, International University of Korea, San 270, Sangmun-dong, Munsan-eup, Jinju, Gyeongnam, 660-759, Korea

[2]Department of Architectural Engineering, Pusan National University, San 30, Jangjeon-dong, Keumjeong-ku, Busan, 609-735, Korea

[*]Corresponding Author: Y. C. Ahn

Tel: +82-51-510-2492

Fax: +82-51-514-2230

e-mail: ycahn@pusan.ac.kr

Submitted to

Building and Environment

April 15, 2013

Abstract

The building green movement is not new, nor is the practice of using natural resources responsibly to sustain life and encourage the regeneration of natural resources. In recent, many European municipalities have mandated the incorporation of green roof systems as standard building practice. Green roof systems are usually built as stormwater management systems and as comfortable, accessible, open spaces over structure. And also it is very useful to reduce building thermal energy, so they are adopted in many buildings. Artificial soils have been developed and used in developed countries and light soils are commonly used for green roof system, however, they are imported and constructed from foreign countries in Korea. The light soils have some problems of weight, maintenance, and durability. In this study, concrete blocks made of bottom ashes are designed and evaluated as environmentally friendly materials. The blocks are very cheap, light and have high moisture contents. The specific gravity is 1.11~1.14 which are lower than normal ground soil and the compressive strength of cement block shows up to 3.03 MPa which is more suitable than normal soil for resisting plant roots.

Keywords: Planting block, Bottom ash, Roof greening, Moisture content

3. 특허

(1) 출원증

식생블록용 콘크리트 조성물 및 그로부터 제조된 식생블록,한국국제대학교 산학협력단, 2013.03.14.

관인생략

출원번호통지서

출원일자	2013.03.14
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호	10-2013-0027443 (접수번호 1-1-2013-0223019-27)
출원인 명칭	한국국제대학교 산학협력단(2-2004-042750-8)
대리인 성명	특허법인필앤온지(9-2007-100001-1)
발명자 성명	문종욱 안영철 허영기 정우정 백봉순 오재훈 박효석 송민규
발명의 명칭	식생블록용 콘크리트 조성물 및 그로부터 제조된 식생블록

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
＊납부자번호 : 0131(기관코드)+접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
＊특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

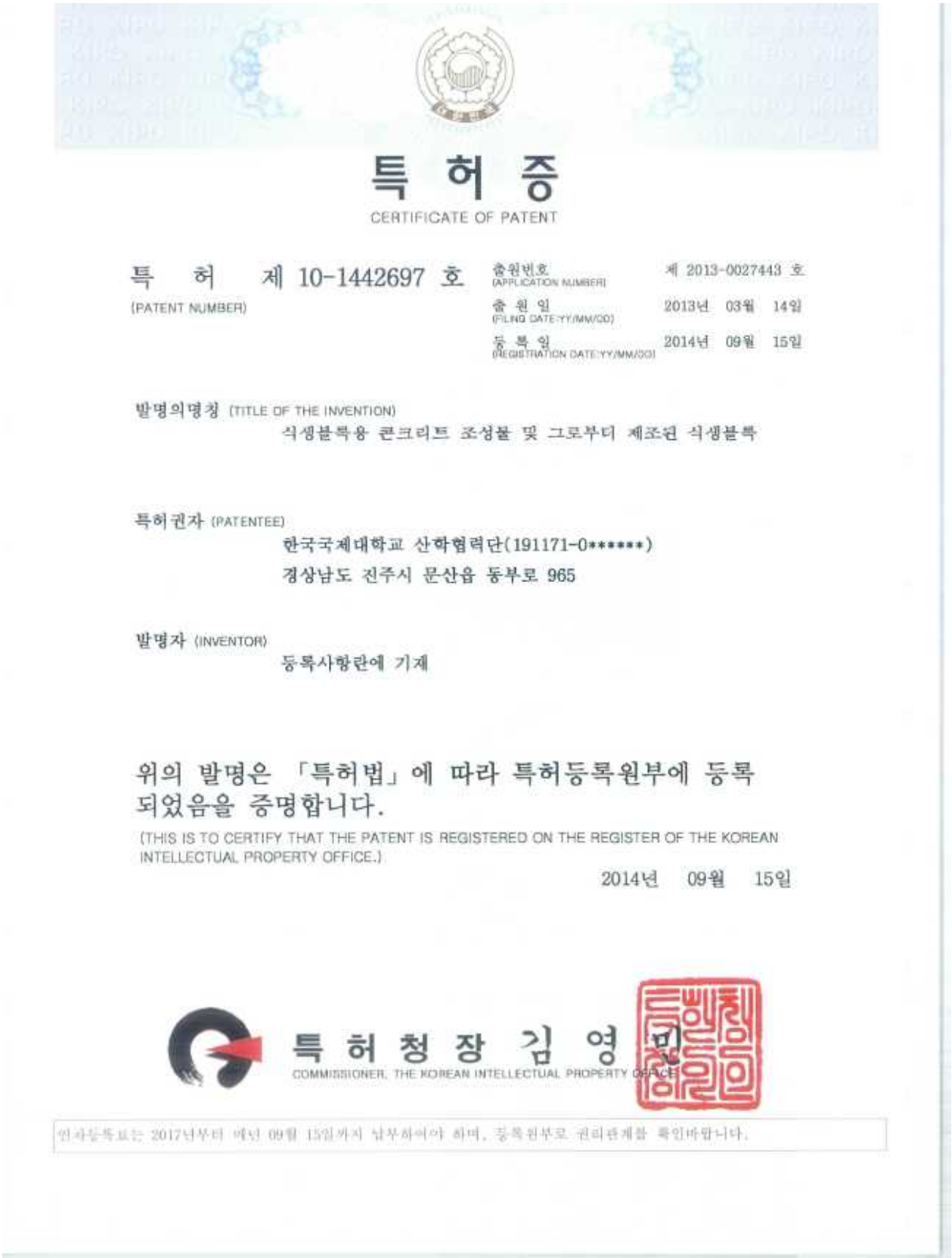
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허 실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
＊제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
＊우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
＊미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
＊특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

(1) 등록증



특 허 증

CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-1442697 호 (PATENT NUMBER)

출원번호 (APPLICATION NUMBER) 제 2013-0027443 호

출 원 일 (FILING DATE:YY/MM/DD) 2013년 03월 14일

등 록 일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD) 2014년 09월 15일

발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)

식생블록용 콘크리트 조성물 및 그로부터 제조된 식생블록

특허권자 (PATENTEE)

한국국제대학교 산학협력단(191171-0******)

경상남도 진주시 문산읍 동부로 965

발명자 (INVENTOR)

등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2014년 09월 15일

특허청장 김 영 비

COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

연차등록료는 2017년부터 매년 09월 15일까지 납부하여야 하며, 등록원부로 권리관계를 확인바랍니다.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 첨단도시개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.