

엔지니어링 PE방수.방근시트가 결합된 박스 유닛형 옥상 녹화 시스템 적용을 위한 성능평가

Performance Evaluation for the Application of Roof Green

Box Unit System Combined with Engineering P.E.Waterproof and Root Penetration Sheet

오 창 원¹

홍 종 철²

박 기 봉^{3*}

Oh, Chang-Won¹

Hong, Jong-Chul²

Park, Ki-Bong^{3*}

Doctor's course of KNU, Executive Director, Daegun Chemical Company, Gwangju, Gyeonggi-Do, 464-874, Korea ¹

Senior Chief, R&D center, Hyundai Development Company, GyangJu, Gyeonggi-Do, 464-100, Korea ²

Professor, Department of Architectural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, Kangwon-Do, 200-701, Korea ³

Abstract

According to the increment of urban buildings, the demand of eco-environment space will be also increased. Therefore, the artificial ground green system on a roof will be supplied gradually. In this study, the concept of simplification, unification and prefabrication was widely applied to supply green system. Consequently, the box unit system with a continuous soil layer was developed, and adhesive property, wind resistance and insulation property of this system were evaluated for site application. As a results of adhesive property and wind resistance test, comparing with design wind pressure and wind velocity, this system was safe at the height of 100m building located in urban. In addition, results of temperature measurement for 120 days showed 17% higher insulation property at daytime and 45% higher insulation property at night than normal box unit system owing to continuous soil layer.

Keywords : artificial ground green system, box unit system, adhesive property, wind resistance, insulation property

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

도시 건축물의 녹지공간 확보, 및 아파트 단지 내 조경 면적 확대, 친환경 주거문화의 시대적 요구 등에 의해 옥상층 등 인공지반 녹화의 보급이 급속히 증가되고 있다. 이 인공녹화 시스템은 일반적으로 Figure 1과 같이 구조체 슬래브 상부에 방수층, 방근층, 배수층, 필터층, 토양층, 식생층으로 다양하게 구성된다.



Figure 1. Composition of typical green roof system

녹화시스템은 다양한 층의 구성 및 시공으로 인하여 하자 발생 가능성이 높고, 공사기간 또한 증가할 수 있다. 그러나, 대부분의 기존 연구는 녹화 시스템의 일부인 방수층 또는 방근층에 한정하여 다양한 재료 및 공법에 대한 연구가 대부분이며, 배수층, 필터층, 토양층, 식생층을 모

Received : January 18, 2016

Revision received : March 4, 2016

Accepted : March 28, 2016

* Corresponding author : Park, Ki-Bong

[Tel: 82-33-250-6225, E-mail: kbpark@kangwon.ac.kr]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

두 포함한 연구가 부족하다[1,2,3,4].

따라서, 옥상 녹화시스템의 보급 확대를 위해서는 공법의 단순화, 일체화, 프리웹브화에 의한 하자 저감 및 공사기간을 단축할 수 있도록 전체 녹화시스템 구성을 포함한 공법의 개발이 요구된다.

단순화, 일체화된 녹화시스템 개발의 일환으로 기존 연구에서는 방수방근 일체형 시트를 개발하고, 성능을 평가하여 적용가능성을 제안한 바 있다[5].

본 연구는 상기 기존 연구에 추가하여, 기존 현장 녹화시스템 에서 이루어지는 토양 포설 및 식생층 시공을 프리웹브화하여 현장 시공을 최소화할 수 있는 박스 유닛형 옥상 녹화시스템을 사용하되, 연속된 토양층의 구성이 가능하도록 개량된 박스 유닛형 옥상 녹화시스템의 부착성, 내풍성, 단열성을 평가, 현장적용 가능성을 검토하였다.

1.2 연구범위 및 방법

박스유닛 이용 녹화공법을 현장에 적용하기 위해서는 적용 가능성을 확인할 필요가 있다. 이를 위해 현장 적용을 고려한 요구 성능 항목을 선정하고, 항목별 성능기준을 설정하며, 성능시험 방법을 정하여 시험 평가한 결과기준을 충족할 경우 현장 적용이 가능한 것으로 판단할 수 있다.

Table 1. Establishment of test methods

Performance	Estimation criteria
Adhesive property	Considering building roof installed with green system, on the assumption that location is in a capital area, and building height is 50m and 100m, to compare calculated wind pressure with adhesive strength by adhesive test
Wind resistance	Considering building roof installed with green system, on the assumption that location is in a capital area, and building height is 50m and 100m, to compare calculated wind velocity with results of wind velocity test
Insulation property	To calculate difference temperature in normal unit box system and developed unit box from temperature of ambient air

박스유닛 녹화공법은 건물의 옥상층에 설치하므로 구조적으로 부담을 주지 않기 위하여 경량토양을 사용하고, 토양층이 20cm 이하로 낮으므로 식생 종류도 뿌리가 깊지 않은 세덤 및 초화류를 식재하므로, 바람의 영향을 받는 경우가 발생하고 있다.

이 경우 박스 유닛과 구조체와의 부착성능을 검토할 필요가 있다. 또한, 박스 유닛내의 경량토양, 식재류도 바람

에 의한 영향을 받으므로 확인할 필요가 있다.

마지막으로 옥상녹화는 구조물이 외기에 직접 노출되지 않도록 층을 형성하므로 단열효과가 있다 . 따라서 개량 박스 유닛형 옥상 녹화시스템을 설치하여 연속된 토양층을 구성할 경우 단열효과의 차이를 확인할 필요가 있다.

본 연구 진행을 위한 요구성능 항목 및 평가기준을 Table 1과 같이 정리하였다.

2. 시 험

2.1 개량 박스 유닛형 옥상 녹화시스템의 개요

본 연구에 적용되는 박스 유닛은 H사와 공동 개발한 것으로 Figure 2와 같이 기존의 녹화용 박스 유닛에 탈착형 측면 날개를 추가하여 시공 후 이를 제거하면 토양층이 연속되어 구성되도록 개량한 것이다.

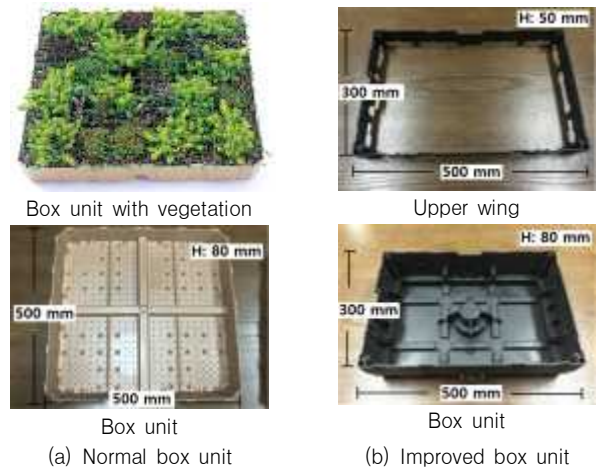


Figure 2. Comparison between Improved box unit and normal box unit

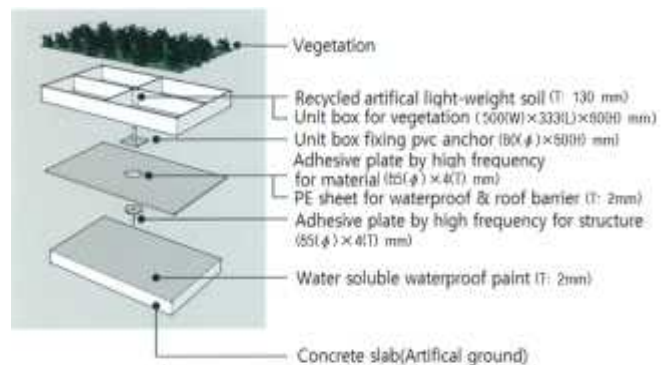


Figure 3. Composition of developed green roof system

상기의 개량된 박스 유닛형을 사용한 옥상 녹화시스템은 기존 연구 결과인 방수방근 일체화 시트를 포함하여 Figure 3과 같이 구성되며, 공법 정립을 위해 수행한 시험 시공은 Figure 4와 같은 순서로 진행하였다. 박스 유닛형 옥상 녹화시스템은 식생층을 시공 전에 온실에서 발육시키므로 설치 후 초기 피복율이 높고, 시공이 용이하며, 유지보수가 용이한 장점이 있다[5,6].



Figure 4. Construction process of vegetation box unit system

Figure 5는 기존 박스 유닛과 개량 박스 유닛을 사용한 옥상 녹화시스템을 옥상공간에서 비교한 것으로 개량 박스 유닛형 옥상 녹화시스템의 식생이 우수함을 확인할 수 있다. 연속된 토양층은 외부와 녹화시스템 내부와의 차단층 역할을 하므로 옥상녹화 시스템 설치시 단열효과가 있음이 기존 연구에서 보고된 바 있다[7,8,9].

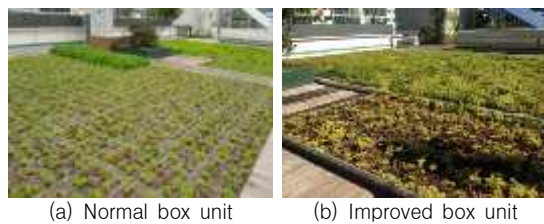


Figure 5. Difference of showing

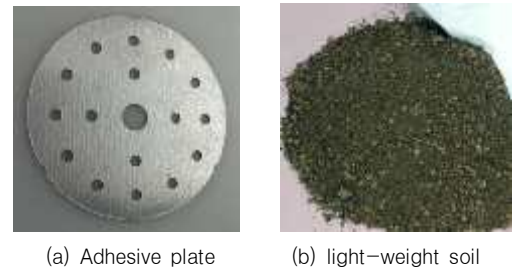
2.2 시험재료

개량 박스 유닛형 옥상 녹화시스템은 PE 방수방근 복합 시트, 식생용 유닛 박스, 인공경량토양, 시트 및 식생 박스 유닛을 상호 고정하는 고주파 가열 용착식 고정구를 사용한다. 이중 PE 방수방근 복합시트는 이전 논문에서 성능을 확인한 바 있다[10].

녹화시스템의 성능 평가를 위한 시험체는 Table 2와 같이 부착성능은 가열 용착식 고정구, 내풍성은 인공경량토양 및 식생이 식재된 박스 유닛, 단열성은 옥상층에 설치한 박스 유닛 시스템을 대상으로 시험하였다. Figure 6은 시험에 사용한 고정구와 경량토양, 그리고 식재된 박스 유닛을 보여주고 있다.

Table 2. Specimens for test

Performance list	Specimen for test
Adhesive property	Adhesive plate - Size: 85(φ)×4(T) mm - Plate material: Stainless steel - Adhesive material: thermoplastic resin
Wind resistance	A unit box with light-weight soil and vegetation - Unit box size: 500(W)×333(L)×80(H)×2(T) mm - Unit box material : high density polyethylene - Soil density : 0.874g/cm ³
Insulation property	Unit box system which has already installed on the roof slab for durability test



(c) Unit box system with light weight soil and vegetation
Figure 6. Materials and unit box system

2.3 시험방법

개량 박스 유닛형 옥상 녹화 시스템은 건축물의 옥상에

설치되므로 설치 높이에 대하여 풍압 및 풍속에 대한 안전성을 검토할 필요가 있다.

따라서, 중층과 고층 건축물의 높이를 고려하여 50m, 100m 높이에서의 풍압력과 풍속을 계산하고, 이 결과를 개량 박스 유닛의 부착시험과 내풍성 시험결과와 비교하여 구조적 안전성을 검토하고자 하였다.

또한, 박스 유닛을 연속 설치시 간격이 노출되는 기존 시스템과 달리 연속된 토양층의 구성으로 유닛 박스 간격이 노출되지 않는 개량 박스 유닛형 옥상 녹화시스템의 단열성능 검토를 위하여 기존 박스 유닛 시스템과 개량 박스 유닛 시스템의 mock-up 시험체를 대상으로 장기간의 온도 변화를 측정하고 비교 평가하고자 하였다.

2.3.1 부착성 및 내풍성 평가를 위한 풍압, 풍속의 계산

개량 박스 유닛 시스템의 부착성 및 내풍성 평가를 위해 먼저 Table 4와 같이 계산 대상 건물을 가정하였다. 적용 변수는 건축구조기준 2009를 참고하여 Table 5와 같이 적용하였고[11], Midas set 3.3.4를 이용하여 계산하였다.

Table 3. Building outline by wind pressure and velocity

Building location	Seoul, Gyeong-gi do
Target	Roof
Height	GL+50m, GL+100m

Table 4. Variable value by calculation

Item	Variable value
Ground surface roughness	B : congested area involving 3.5m high houses, area scattered with middle height building
Velocity Pressure Exposure Coefficient (K_{ze})	$0.45Z^a$
importance factor (I_w)	1.0

* Z : Height from ground
a : Power law exponent

압력계수는 건축구조기준 2009[11]에서 제시한 계수값 중 파라펫이 있는 밀폐형 건축물의 옥상 기준으로 최대값을 Table 5와 같이 적용하였고, 이를 적용하여 계산한 풍압 및 풍속은 Table 6과 같다.

Table 5. Pressure coefficient by wind pressure calculation

Item	value
Peak external pressure coefficient	-2.6
Peak internal pressure coefficient	0.0

Table 6. Results of calculation

classification	Wind velocity	Positive wind pressure value Negative wind pressure value	
		H=50m	31.92m/sec
H=100m	37.18m/sec		440.32N/m ² -2,201.67N/m ²

풍압 계산결과, 부압이 크므로, 50m 높이에서는 1,622N/m², 100m 높이에서는 2,201N/m²를 개량 유닛 박스시스템의 부착성능 평가를 위한 구조안전 기준값으로 정하여 시험결과와 비교하고, 내풍성 평가를 위한 기준 풍속은 30m/sec, 40m/sec의 풍속 개량 유닛박스 시스템을 노출시 변화 등을 관찰하고자 하였다.

2.3.2 부착성 평가

개량 박스 유닛은 500×333×80mm 크기로 제작되며 1 m²당 6개의 박스유닛이 설치된다. 따라서 박스 유닛 1개당 스테인레스 부착 고정구 1개로 고정하므로 총 6개의 고정구를 1m²당 설치하므로 부착시험 결과값의 6배가 1m² 당 부착하중 값이며, 이 값이 Table 6의 계산 풍압보다 클 경우 구조적으로 안전한 것으로 평가할 수 있다.

부착시험은 KS F 4715 “얇은 마무리용 벽 바름재”의 부착강도시험방법을 참고하여 시험하였다. 스테인레스제 부착 고정구의 하단은 개량 박스형 옥상 녹화시스템에 사용하는 PE 방수방근 복합시트와, 상단은 유닛 박스와 동일한 재료인 고밀도 P.E.재질의 플라스틱 판을 고주파 가열 용착한 뒤 24시간 이후 이를 지름 85 mm 크기의 인장용 강재 어태치먼트에 부착하고, 다시 24시간 이후 UTM을 이용하여 10mm/min의 속도로 잡아 당겼을 때, 파단 하중값을 3번 측정하여 하한값을 부착하중으로 정하였다.

2.3.3 내풍성 평가

내풍성 시험은 AAMA 501.1 “Standard Test Method for Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors for Water Penetration Using Dynamic Pressure” 시험방법을 참고하여 수행하였다. 먼저 Table 2 및 Figure 7과

같이 인공경량토양을 포설하고 식생이 식재된 박스유닛 시험체 4개를 2×2 형태로 고정용 거치대에 고정하고, 규격 성능을 만족하는 직경 2m의 대형 풍력기를 이용하여, Figure 7과 같이 30m/sec, 40m/sec의 속도로 1분간 강풍에 노출시켰을 때, 식생의 전도, 뽑힘, 골재의 훔날림 등 속도별 형상별 변화를 육안으로 확인하였다.



Figure 7. Wind resistance test

2.3.4 단열시험

단열시험은 개량 박스 유닛 시스템과 기존 박스 유닛 시스템을 mock-up 시공한 옥상층에서 2015년 9월 17일부터 2016년 01월 16일까지 120일간의 온도를 Figure 8과 같이 기존 및 개량 박스 유닛 시스템 내부 2개소 및 비교를 위한 외기 1개소에 k type의 열전대를 설치하고 데이터 로거로 1시간 단위로 측정하여 일최고온도 및 일최저온도, 온도차에 따른 단열효과 등을 평가하였다.

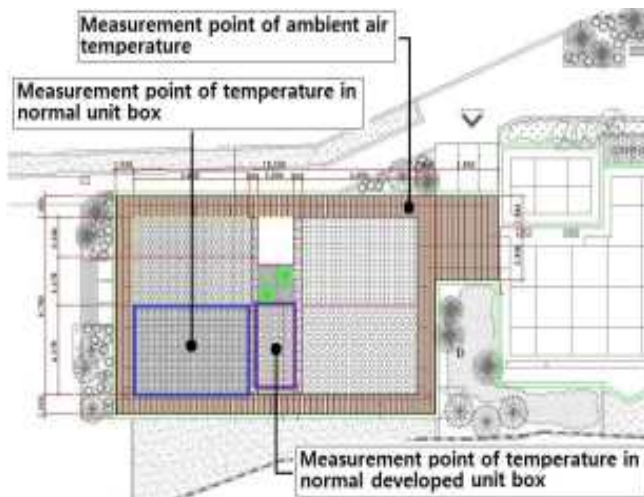


Figure 8. Temperature measurement point

3. 시험결과 및 분석

3.1 부착성 평가결과

3개 시험체의 부착하중을 시험한 결과, Table 7과 같이 최저값은 3,562N으로 측정되었으므로 개량 박스 유닛 시스템은 21,372N/m²의 부착강도를 갖게 된다.

Table 7. Test results of Adhesive load

specimen	1	2	3
Adhesive load	3,617 N	3,562 N	3,595 N
Adhesive strength	3,592 N/(500×333 mm)×6= 21,372N/m ²		

따라서 개량 박스 유닛 시스템을 설치하는 건축물의 옥상 설계 풍압이 21,372N/m²보다 낮을 경우 안전한 것으로 평가할 수 있다. Table 6에 따르면, 50m 높이에서는 1,622N/m², 100m 높이에서는 2,201N/m²의 풍압에 견뎌야 한다. 따라서 개량 박스 유닛 시스템은 100m 높이 건축물 옥상에 설치하더라도 풍압에 의한 탈락 등은 없는 것으로 판단되었다.

3.2 내풍성 평가결과

대형 풍력기를 이용하여 인공경량토양 및 식생이 포함된 박스 유닛에 먼저 풍속 30m/sec의 인공 강풍을 직접 노출시킨 결과, 인공경량토양 및 식생, 박스 유닛에 어떠한 변화 등도 육안으로 확인할 수 없었다. 또한 풍속을 40m/sec로 올렸을 때도 어떠한 형상 변화 없이 처음의 상태를 유지하였다. 따라서 최대 설계 풍속이 40m/sec인 건축물의 옥상에 개량 박스형 유닛 옥상 녹화시스템을 설치할 경우 안전하게 유지되는 것으로 판단되었다.

3.3 단열성 평가결과

개량 박스 유닛 시스템의 특징은 박스 유닛 설치 후 탈착형 날개를 제거하여 연속된 토양층을 구성할 수 있다는 것이다. 이는 단열성에 긍정적 효과를 줄 것으로 예상되며, 따라서 토양층까지 박스 유닛으로 구분되는 기존 박스 유닛 시스템과 개량 박스 유닛 시스템의 단열성 차이 평가를 위해 120일간의 온도를 측정하여 정리한 결과를 Table 8에 나타냈다.

본 시험 결과에서 주간 일 최고온도는 개량 박스 유닛 시스템이 가장 낮고, 야간 일 최저온도는 개량 박스 유닛

시스템이 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 이는 기온이 높은 주간에는 외부 열을 8.2℃ 더 낮게 차단하여 기존 박스유닛 시스템의 7.0℃보다 17% 우수하고, 기온이 낮은 야간에는 외기 온도보다 7.1℃ 높게 유지시켜 기존 박스 유닛 시스템의 4.9℃보다 45% 우수한 단열성능을 갖고 있음을 알 수 있었다.

Table 8. Results of temperature measurement

Item	Temperature in normal box unit	Temperature in developed box unit	Ambient air temperature
Average Temp.	18.6	19.5	18.3
Standard deviation	3.4	2.8	6.9
Average of the highest temp. at daytime	22.3	21.2	29.4
Average of the lowest temp. at night	15.9	18.2	11.0
Difference between day and night	6.4	3.0	18.3
Insulation property [*] Daytime	-7.0	-8.2	-
Night	4.9	7.1	-

* Daytime : Average ambient air temp. at daytime-Average of the highest temp. at daytime
 Night : Average of the lowest temp. at night-Average ambient air temp. at night

Figure 9는 측정기간 동안 일 최고온도와 일 최저온도의 차를 나타낸 것으로 외부 기온이 평균 18.3℃의 일온도 편차를 보일 때, 기존 박스 유닛 시스템은 6.4℃, 개량 박스 유닛 시스템은 3.0℃로 가장 낮은 일온도 편차를 보여 주고 있다. 이는 개량 박스 유닛 시스템의 단열효과로 외부 온도의 높고 낮음에 상관없이 일정하게 지속적으로 유지하기 때문이다.

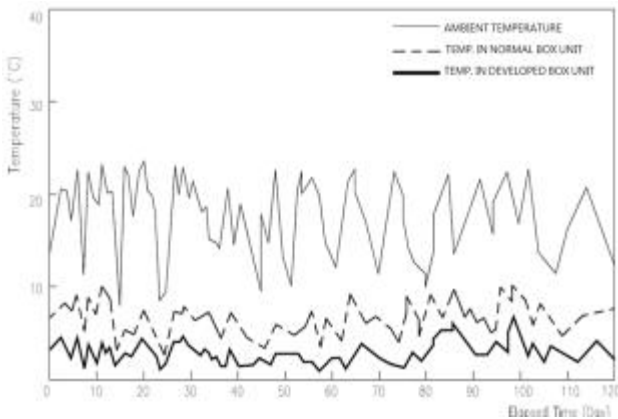


Figure 9. Difference of temperature variation

4. 결 론

연속토양층을 형성하는 박스 유닛 옥상 녹화시스템의 부착성, 내풍성 및 단열성을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

건축구조기준 2009에 따라 50m 및 100m 높이, 수도권에 위치한 건축물을 가정하여 Midas set 3.3.4로 계산한 옥상층의 풍속은 31.92m/s, 37.18m/s이고, 풍압은 -1622.88N/m², -2,201.67N/m²로 나타났다.

개량 박스 유닛 시스템의 부착을 위한 부착 고정구의 최소 부착하중은 3,595N으로 이는 21,372N/m²에 해당되며, 계산 풍압값과 비교할 때 안전성을 확인할 수 있었다.

또한 계산 풍속을 고려하여 30m/s, 40m/s의 강풍에 노출한 실험에서도 개량 박스 유닛 시스템은 경량토양 및 식생과 박스 유닛에 어떠한 변화도 육안으로 확인되지 않았다. 따라서 개량 박스 유닛 시스템은 100m 높이에서도 사용이 가능한 것으로 판단되었다.

개량 박스 유닛 시스템의 단열성을 평가하기 위하여 120일 간의 온도변화를 측정된 결과, 더운 주간에는 외부 열을 외기보다 8.2℃ 더 낮게 차단하여, 기존 박스 유닛 시스템의 7.0℃보다 17% 우수하고, 차가운 야간에는 외기 온도보다 7.1℃ 높게 유지시켜 기존 박스 유닛 시스템의 4.9℃보다 45% 우수한 단열성능을 확인하였다.

요 약

도심지 건물의 증가는 친환경 공간에 대한 요구를 발생시키고, 이에 따라 옥상 및 인공지반 녹화의 보급이 급속히 증가되고 있다. 본 연구는 녹화시스템의 보급 확대를 위해 공법의 단순화, 일체화, 프리휠브화 개념을 적용, 연속 토양층 형성 박스 유닛형 녹화시스템을 개발하고, 이 시스템의 주요 성능으로 부착성, 내풍성, 단열성을 평가하여 적용 가능성을 검토하였다. 부착성 및 내풍성 시험결과, 설계 풍압 및 풍속과 비교하면 100m 높이의 건물에 설치해도 안전한 것을 확인하였고, 단열성 평가를 위해 120일간 측정된 내부 온도의 변화를 분석한 결과, 개발 시스템이 연속된 토양층을 형성하여 기존 유닛박스 시스템보다 주간은 17%, 야간은 45% 우수한 단열성능을 보여주었다.

키워드 : 인공 녹화시스템, 박스유닛 시스템, 부착성, 내풍성, 단열성

waterproof-roof barrier layer for green system on artificial ground, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2015 Aug;15(4):391-6.

References

1. Jang DH, Kim HS, Choi SK. Greenhouse test results for two years of sheet shaped root barrier materials apply to green roof system for sustainable building construction, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2011 Nov 20;11(6):634-44.
2. Kim HS, Jang DH, Choi SK. Resistance to root penetration of root barrier for green for system, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2008 Dec 20;8(6):123-9.
3. Kwon SW, Jo IG, Bea KS, Oh SK. The necessity analysis of development waterproofing materials and methods of construction technologies for green roofs, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2004 Mar 20;4(1):111-8.
4. Park CH, Oh SK, Lim NG. Performance evaluation system for construction environment of the unified waterproofing-root resistance membrane layer of the green roof system, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2011 Apr 20;11(2):189-99.
5. Jang DH, Kim HS. New technology of lightweight roof green structure using unit box green system, *Proceedings of Journal of the Korea Institute of Building Construction*; 2011 May 12; Busan, Korea. Seoul (Korea): Korea Institute of Building Construction; 2011. p. 57-8.
6. Kang TH, Zaho HX, Li H, Kang SH. Roof greening applied a sallow green roof module system out of management -Focused on the effects on the growth of plants by difference of soil mixture ratio-. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*. 2012 Jun;40(3):91-9.
7. Kang JS, Kim HS. An analysis of the thermal characteristics of roof-plating system in summer and winter, *Journal of gional Association of Architectural Institute of Korea*, 2001 Nov;17(11):215-22.
8. Kim YM, Nam MA, Jang DH, Kim HS, Kim HO. Reduction potential for thermal load by extensive green roofs, *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 2013 Oct;13(5):67-77.
9. Moon JW, Yeom DB. A study on indoor temperature reduction effect through new green roof system, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 2009 Sep;11(3):161-7.
10. Oh CW, Hong JC, Park KB. Assessment of evaluation by hybrid

11. AIK. Korea Building Code 2009. Seoul (Korea): Kimoodang; 2010. 94 p. Korean.