

# 인공지반 녹화시스템 활용을 위한 일체형 방수·방근 시트의 성능평가

## Assessment of Evaluation by Hybrid Waterproof-Roof Barrier Layer for Green System on Artificial Ground

오 창 원<sup>1</sup>                      홍 중 철<sup>2</sup>                      박 기 봉<sup>3\*</sup>

Oh, Chang-Won<sup>1</sup>            Hong, Jong-Chul<sup>2</sup>            Park, Ki-Bong<sup>3\*</sup>

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

Senior Chief, R&D center, Hyundai Development Company, Gwangju, Gyeonggi-Do, 464-100, Korea <sup>2</sup>

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

### Abstract

The demands about eco friendly space are increased as buildings are denser in downtown, and green system on the roof and the artificial ground are widely being applied. The construction of green system applies a waterproof layer, a root barrier and a protection concrete layer. Assembly of these many layers leads to a long construction term, and cause many defects. This study is to evaluate one layer-hybrid sheet which gets waterproof and root barrier performance simultaneously, which is developed to use in the new green system. As results, the performances of physical properties, durability, waterproof and root barrier not only exceeded quality standards but also showed excellent durability. In addition, mock-up test would be proceed to certify long term performance.

Keywords : artificial ground green system, waterproof root-barrier sheet, performance

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근, 도심 건축물의 녹지공간 확보, 아파트 단지 내 조경 면적 확대, 친환경 주거문화의 시대적 요구 등에 의해 옥상 및 인공지반 녹화의 보급이 급속히 증가되고 있다. 인공녹화 공법은 방수층, 방근층 및 보호콘크리트 등과 같이 다양한 재료로 구성되므로 각 재료별 시공의 정확성이 요구되며, 특히 방수층의 성능 저하에 따른 누수발생이 매우 많아 문제점으로 지적되고 있다[1]. 이러한 시공 및 누수에 따른 하자는 건축구조물의 내구성 저하에 영향을 미치며 또한 유지관리측

면에서 많은 비용을 발생시킬 수 있다. 따라서 적절한 방수·방근재료의 선택 및 공법의 개발은 녹화공법에 있어 무엇보다 중요하다[2]. 그러나 녹화공법에 사용되는 방수 및 방근재료는 시공 시 우수한 방수·방근성능을 보유할지라도 수분, 열, 온도변화 등 환경적 열화요인 뿐만 아니라 구조체의 열팽창 및 균열 등 구조·재료적 열화요인에 의해 서서히 방수·방근성능을 상실 할 수 있다. 따라서 녹화공법에 있어서는 방수 및 방근재료의 성능확보 뿐만 아니라 여러 열화요인으로부터의 보호가 가능한 공법의 개발이 필요하다[3,4,5].

현재, 일반적으로 시공되고 있는 인공지반 녹화공법은 방수층, 방근층, 보호콘크리트 등 다양한 층으로 구성되며 단계별로 각각 시공되므로 시공시간과 인력이 많이 소요된다. 특히 최근에는, 식생뿌리에 의한 파손이 누수의 주요원인으로 보고되고 있다[6].

본 연구에서는 기존 공법에서 별도로 적용하는 방수 및 방근재료의 성능 저하를 줄이기 위하여 방수·방근 복합시트를 개발하고 Figure 1과 같이 자재 복합화를 통하여 시공

Received : April 16, 2015

Revision received : April 29, 2015

Accepted : May 11, 2015

\* Corresponding author : Park, Ki-Bong

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

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

단계를 단축하기 위해 개발한 인공지반 녹화시스템의 성능 평가 및 실제 사용가능성을 확인하고자 하였다.

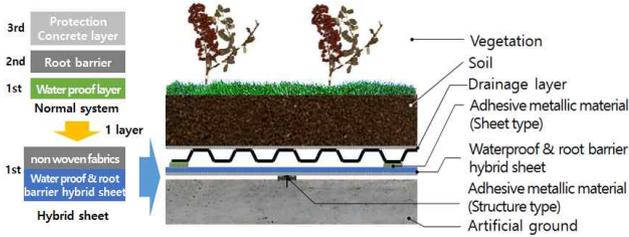


Figure 1. Concept and s developed green system

### 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 개발한 방수·방근 일체화 시트 및 시트 접합부위의 물리적 성능, 내구성, 방수·방근시트의 방수성 및 종합적 방근성능을 평가하기 위해 Table 1과 같이 성능평가항목 및 대상을 설정하였다.

Table 1. Required performance items of the research

Items	Content	Target
Physical performance	Basic performance check like tensile stress	- Waterproof and Root barrier hybrid sheet - Sheet connection part
Durability	Performance decrease like tensile stress, expansion ratio by acid, alkali and time elapse	- Waterproof and Root barrier hybrid sheet - Sheet connection part
Waterproof Performance	Water leak check	- Waterproof and Root barrier hybrid sheet
Root barrier Performance	Damage check by grown root	- System of Waterproof and Root barrier hybrid sheet with drainage layer

## 2. 시험

### 2.1 시험재료 및 시험방법

본 연구에서 개발한 방수·방근복합시트는 PE (Polyethylene) 에 EVA(Ethylene vinyl acetate)를 혼합하여 2mm 두께로 제조하였으며, 접합부는 300℃ 이상의 고온으로 가열되는 열풍기를 이용하여 용융접착한 후 시험방법에 적합하게 시험체를 절단, 준비하였다.

본 연구에서 적용한 시험방법 및 항목은 Table 2와 같다.

특히 KS F 4911 “합성고분자계 방수시트”에는 방수시트의 물리적 성능 기준이 제시되어 있어 이를 기준으로 설정하고, 물리적 성능 및 장시간의 산, 알칼리 장기 침지 및 실제 2년간 방근 시험한 시험체에 대한 내구성을 평가하였다.

Table 2. Test methods

Test items	Test standards	Test contents
Physical performance	KS F 4911 [7]	Tensile performance(Tensile strength and expansion ratio) Internal tearing strength
		Temperature dependance(Tensile strength and expansion ratio at 60℃ and -20℃)
		Tensile strength of connection part
Durability	KS F 4911 [7]	Tensile performance(tensile strength, elongation ratio) after alkali, acid long term immersion(56, 112 days) and 2 years installed
		Internal tearing strength
		Tensile strength of connection part
Waterproof	ASTM D 5385 [9]	Water pressure resistance(Water leak check from 103kPa to 690kPa by the 1hour)
Root barrier	KS F 4938[8]	Confirmation of root penetration by the 6 months for 2 years

### 2.2 물리적 특성

#### 2.2.1 방수·방근 하이브리드 시트의 인장성능

방수·방근 하이브리드 시트 인장성능은 KS M 6518에 서 규정하는 아령형 3호로 길이 및 나비 방향으로 각각 시험편을 절취하고[10], 인장시험기에 고정하여 200mm/min의 속도로 시험편이 파단될 때까지 인장하였다. 인장 강도는 최대 하중을 읽고, 신장률은 파단 시 표선간의 신장률로 측정하였다.

#### 2.2.2 방수·방근 하이브리드 시트의 인열성능

방수·방근 하이브리드 시트의 인열성능은 KS M 6518에 규정하는 B형으로 길이 및 나비 방향으로 시험편을 절취한 후[10], 표준 상태에서 1시간 이상 정치하고 인장 시험기에 고정하여 200mm/min의 속도로 시험편이 파단될 때까지 인장하였다.

#### 2.2.3 방수·방근 하이브리드 시트의 온도의존성

온도의존성은 인장성능 시험방법과 같으나 시험편을 항온습습이 가능한 인장시험기를 이용, (60±2)℃ 및(-20±

2)℃의 시험 온도에서 1시간 이상 정치한 후 각각 인장강도 및 신장률을 측정하였다.

### 2.2.4 방수·방근 하이브리드 시트의 접합인장강도

접합인장강도 시험은 KS F 4911에 따르면 복합형 시트를 대상으로 하며, 시험 대상인 개발기 방수·방근 하이브리드 시트는 균질형 시트로 대상이 아니다. 그러나 접합부의 정량적 평가가 필요하므로 시험방법을 준용하여 수행하였다.

시험은 방수·방근 하이브리드 시트의 접합폭인 50mm를 중심에 포함한 30mm×200mm 크기의 시험편을 절취한 후 인장시험기에 고정하고 200mm/min의 속도로 시험편이 파단될 때까지 인장하였다.

## 2.3 내구성

방수 및 방근 재료는 시간이 경과함에 따라 바탕면의 균열, 거동, 식물의 뿌리에 의한 물리적 열화뿐만 아니라 화학적 요인으로서 수분, 열, 화학비료, 콘크리트에 의한 알칼리 용출 등의 열화요인이 작용하여 점차 방수·방근 성능이 저하되면서 재료가 파단에 이르게 된다. 따라서 내구성능 평가는 재료의 장기간 방수·방근 성능 유지를 위하여 매우 중요하다.

본 평가에서는 시공 현장을 고려하여 녹화시스템의 비노출 환경에서 발생될 수 있는 열화인자(알칼리 및 황산) 및 2년간 식물식재에 따른 영향을 받은 방근 시험체를 대상으로 인장강도, 신장률, 인열강도, 접합강도, 접합부 내피로성능 시험을 실시, 방수·방근층의 내구성을 평가하였다.

### 2.3.1 내구성 시험체의 준비

방수·방근 시험체의 장기간의 화학적 열화를 고려하여 시험편을 Table 3과 같이 알칼리, 황산 용액에 침지하고, 또한 2년간 장기 경과 시험편을 준비하였다.

Table 3. Condition of deterioration

Method	Solution condition	Immersion period (day)
Alkali immersion	saturated solution of Ca(OH) <sub>2</sub> (20℃)	56, 112
Acid immersion	2% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> solution (20℃)	56, 112

### 1) 알칼리 처리

방수·방근층은 대부분 강알칼리성인 콘크리트 상부에

설치하기 때문에 알칼리 침출에 의해 성능이 저하될 수 있다. 이에 따라 알칼리 열화에 의한 영향을 검토하기 위해 0.1% 수산화나트륨 수용액에 수산화칼슘을 포화시킨 (20±2)℃의 수용액에 56일, 112일 동안 시험체를 침지한 후 1주일간 건조하였다.

### 2) 황산처리

산성비, 산성눈, 안개 등에 의해 식물 및 토양의 산성화에 노출되어 있는 방수·방근층의 영향을 검토하기 위해 (20±2)℃의 황산 2% 수용액에 56일, 112일 동안 시험체를 침지한 후 1주일 간 건조하였다.

### 3) 장시간 경과 시험체

장시간 경과된 시험체는 본 연구에서 KS F 4938 방근성능 시험방법[8]에 따라 2년 동안 수행한 방근 시험체에서 시험편을 절취하여 1주일간 건조하여 준비하였다.

### 2.3.2 내구성 시험방법

내구성 시험방법은 방수·방근 시트의 물리적 성능과 비교하기 위하여 인장성능, 인열성능, 접합인장강도와 동일한 시험체에 상기의 열화처리를 하고, 또한 장기 방근시험체에서도 동일한 시험편을 절취하여 각 해당 시험방법에 따라 성능을 평가하였다.

## 2.4 방수성 및 방근성

방수성 시험은 ASTM D5385 “Standard test methods for hydrostatic pressure resistance of waterproofing”에 따라 Figure 2와 같이 191×394×51mm의 크기에 뒤편에 폭 3.2mm, 깊이 44mm의 홈이 있는 콘크리트 블록에 방수·방근 하이브리드 시트를 대고, 누수가 되지 않도록 가스켓을 강제 챔버 사이에 두고 볼트로 단단히 조인 후 내부에 물을 채웠다. 이후 공기압력을 103kPa 단위로 넣으면서, 1시간동안 유지시켜 블록 뒤편의 홈에서 누수여부를 관찰하였다. 압력은 최대 690kPa까지 가압시에 누수여부를 확인하였다[9].

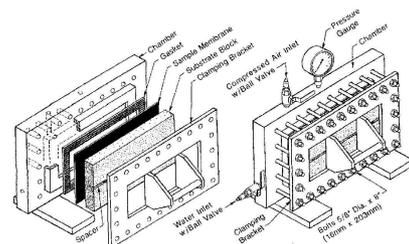


Figure 2. Waterproof test equipment

방근성능은 KS F 4938 “인공지반녹화용 방수 및 방근 재료의 방근성능 시험방법”에 따라 14~35℃의 유리온실에서 Figure 3과 같이 방근시험 용기에 펀칭메탈로 제작된 내부용기 안쪽에 방근재료를 시공하고, 내부에 시험식물을 식재하여 식물 뿌리가 방근재료의 침입 또는 관통여부를 24개월간 평가하였다[7].

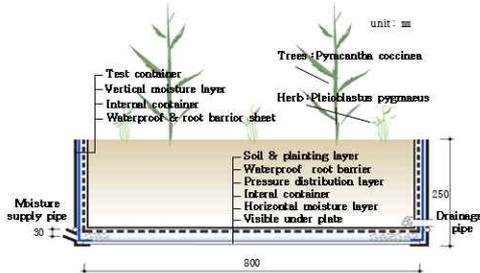


Figure 3. Schema of roof barrier specimen

시험식물은 높이 (170±30)mm의 초본식물 사사조릿대 (Pleioblastus pygmaeus) 9주와 높이 (700±100)mm의 목본식물 피라칸타(Pyracantha coccinea) 4주를 식재하였고, 시험토양은 피트모스 70%와 펄라이트 30%를 부피비로 혼합하여 사용하였다.

방근성 시험체의 구성 및 접합방법은 Figure 4와 같다. 방수·방근 하이브리드 시트 및 배수보드의 접합부는 열풍 용착으로 50mm 겹침이음을 기본으로 하여, 들뜸이 생기지 않도록 하였다.

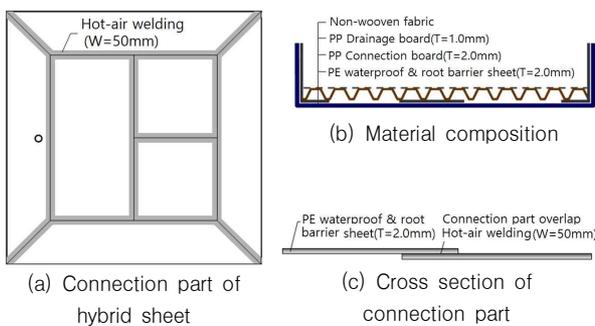


Figure 4. Set up of the roof barrier test specimen

### 3. 시험결과 및 분석

#### 3.1 물리적 성능 시험결과

방수·방근 하이브리드 시트 및 부착철물의 물리적 성능은 Table 4와 같다.

#### 3.1.1 방수·방근 하이브리드 시트의 인장성능

인장강도는 길이방향 17.2N/mm<sup>2</sup>, 나비방향 15.3N/mm<sup>2</sup>, 신장률은 길이방향 844%, 나비방향 734%로 KS F 4911의 품질기준인 인장강도 10N/mm<sup>2</sup> 이상, 신장률 450% 이상을 모두 충족하였다.

#### 3.1.2 방수·방근 하이브리드 시트의 인열성능

인열강도는 길이방향 95N/mm, 나비방향 90N/mm로 KS F 4911의 품질기준인 40N/mm를 충족하였다.

#### 3.1.3 방수·방근 하이브리드 시트의 온도의존성

시험온도 60℃에서 인장강도는 길이방향 8.6N/mm<sup>2</sup>, 나비방향 4.8N/mm<sup>2</sup>, -20℃에서 신장률은 길이방향 294%, 나비방향 271%로 KS F 4911의 품질기준인 인장강도 1.5N/mm<sup>2</sup> 이상, 신장률 200% 이상을 모두 충족하였다.

#### 3.1.4 방수·방근 하이브리드 시트의 접합인장강도

방수·방근시트 접합부의 인장강도를 측정된 결과, 42.6N/mm으로 나타났다. 이는 KS F4911의 보강 복합형 시트의 품질기준인 24N/mm과 비교할 때 약 77% 이상 우수한 성능이다.

Table 4. Physical performance test results

Test item	Quality standard	Result
Tensile Performance	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	L* W* above 10 17.2 15.3
	Elongation ratio(%)	L W above 450 844 734
Internal tearing strength(N/mm)	L W	above 40 95 90
Temperature dependance	60℃ Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	L W above 1.5 8.6 4.8
	-20℃ Elongation ratio(%)	L W above 200 294 271
Tensile strength of connection part(N/mm)	Standard	- 42.6

\*L : Length, \*\*W : width

### 3.2 내구성

내구성 시험결과는 Table 5와 같다. 인장성능, 인열성능, 접합인장강도는 Table 4의 표준 시험조건에서 시험한 표준 시험체의 성능과 비교하여 분석하였다.

**Table 5. Durability test result**

		Test item		Result			
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Alkali	56days	L*	W*	16.8	14.8	
		112days	L	W	16.2	14.1	
	Acid	56days	L	W	16.2	15.0	
		112days	L	W	15.5	13.5	
	2 years elapse		L	W	13.9	13.4	
	Elongation ratio(%)	Alkali	56days	L	W	837	730
			112days	L	W	792	693
		Acid	56days	L	W	815	704
			112days	L	W	777	663
		2 years elapse		L	W	692	609
Internal tearing strength (N/mm)	Alkali	56days	L	W	91	89	
		112days	L	W	90	84	
	Acid	56days	L	W	90	89	
		112days	L	W	88	81	
	2 years elapse		L	W	86	87	
Tensile strength of connection part(N/mm)	Alkali	56일			41.3(97)		
		112일			40.2(94)		
	Acid	56일			42.0(99)		
		112일			41.2(97)		
	2 years elapse				38.1(89)		

\*L : Length, \*\*W : width

**3.2.1 방수·방근 하이브리드 시트의 인장성능**

각 열화 처리 조건별 인장강도 시험결과, 열화처리 기간이 증가할수록 대부분 감소되었으며, 112일 알칼리 처리시 표준시험체에 비해 92%, 황산처리시 88%, 2년 경과시 81% 이상 성능을 유지하는 것으로 나타났고, 신장률은 감소되어 알칼리 처리시 94%, 황산처리시 90%, 2년 방근 생육시험시 82% 이상 성능을 유지하는 것으로 나타났다.

또한 모든 시험편에서 KS F4911의 품질기준인 인장강도 10N/mm<sup>2</sup>과 신장률 450%를 충족하였으며, 특히 2년 경과시에도 품질기준 대비 35% 이상 우수한 성능을 유지함을 확인하였다.

**3.2.2 방수·방근 하이브리드 시트의 인열성능**

각 열화 처리 조건별 인열강도 시험결과, 열화처리 기간이 증가할수록 대부분 감소되었으며, 표준시험체와 비교하여 112일 알칼리 처리시 94%, 황산처리시 90%, 2년 경과시 91% 이상 성능을 유지하는 것으로 나타났다.

또한 모든 시험편에서 KS F4911의 품질기준인 40N/mm<sup>2</sup>를 충족하였으며, 특히 2년 경과시에도 품질기준 대비 115% 이상 우수한 성능을 유지함을 확인하였다.

**3.2.3 방수·방근 하이브리드 시트의 접합인장강도**

각 열화 처리 조건별 접합부의 접합인장강도 시험결과,

열화처리 기간이 증가할수록 대부분 감소되었으며, 112일에 알칼리 처리시 무처리에 비해 94%, 황산처리시 96%, 2년 경과시 89% 이상 성능을 유지하는 것으로 나타났다.

KS F4911에서는 열화 처리 후 인장성능 비의 품질은 표준 시험체 대비 80% 이상으로 제시하고 있다. 이를 준용하면 가장 낮은 성능을 나타낸 2년 경과 후 접합부 시험편도 성능을 충분히 만족함을 알 수 있다.

**3.3 방수성 및 방근성**

방수성 및 방근성 시험결과는 Table 6과 같다.

**Table 6. Waterproof and root barrier test results**

Test item		Quality standard	Result
Water pressure resistance	103kPa, 1hour	Non water leak	OK
	206kPa, 1hour		
	309kPa, 1hour		
	413kPa, 1hour		
	517kPa, 1hour		
	620kPa, 1hour		
Root barrier	690kPa, 1hour	Non root intrusion or penetration	OK
	1st(6 months after)		
	2nd(12months after)		
	3rd(18months after)		
	4th(24months after)		

**3.3.1 방수성**

ASTM D 5385에 따라 챔버 내부에 물을 채워넣고 공기압력을 103kPa 간격으로 1시간동안 누수여부를 관찰하면서 최고 690kPa에서 1시간을 유지하였을 때까지 누수여부를 확인한 결과, 뒷면에 누수는 발생하지 않았다.

특히 690kPa의 수압은 수두높이로 환산시 70m에 해당되며, 녹화시스템의 최대 토양깊이를 고려해도 최대 70cm를 넘지 않으므로 개발 녹화시스템은 우수한 방수성을 갖는 것으로 판단되었다.

**3.3.2 방근성**

KS F 4938 시험방법에 따라 혼합식재(피라칸타+사사조릿대) 후 6개월 단위로 24개월간 14℃~35℃의 온실 내에서 육안조사를 한 결과, Figure 5와 같이 시험체내의 배수관은 물론 방수·방근 하이브리드 시트에도 뿌리 관통 및 침입이 없는 것을 확인하였다. 따라서 개발 녹화시스템은 실제 현장에 적용이 가능한 성능을 갖는 것으로 판단되었다.



Figure 5. Root barrier test result

#### 4. 결 론

인공지반 녹화시스템 사용을 위해 개발한 방수·방근 하이브리드 시트의 현장적용을 위해 성능을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

개발한 방수·방근 하이브리드 시트는 KS F4911에서 방수시트 사용을 위해서는 갖추어야 할 기본 물리적 성능항목인 인장성능, 인열성능, 온도의존성, 접합인장강도에 있어서 모두 품질기준을 넘어서는 우수한 성능을 보여주었다.

장시간의 내구성 확인을 위해 실시한 장기간 산, 알카리 열화처리 및 장기 경과 시험체에 대한 인장성능, 인열성능, 접합인장강도 시험결과도 품질기준을 만족하였으며, 특히 가장 취약부위로 판단되는 접합부의 인장성능도 표준 시험체 대비 80% 이상의 성능을 발휘하여, KS 4911의 열화처리 후 인장성능 기준을 충족하므로 우수한 내구성을 갖는 것으로 판단되었다.

방수성 시험결과에서는 최대 690kPa의 수압에서도 누수되지 않는 우수한 방수성을 보여주었으며, 방근성 시험은 2년 경과 후에도 뿌리의 침입이 없는 것을 확인하였다.

이상에서 개발 방수·방근 하이브리드 시트의 성능을 평가한 결과, 현장 적용이 가능한 것으로 판단하였으며, 향후 현장시공에 따른 mock-up test 및 장기성능 검증 중이다.

#### 요 약

도심지 건물의 증가는 친환경 공간에 대한 요구를 발생시키고, 이에 따라 옥상 및 인공지반 녹화의 보급이 급속히 증가되고 있다. 녹화시공은 방수층, 방근층, 보호콘크리트 등과 같이 다양한 재료를 시공하므로 시공시간이 길고, 하자 발생가능성이 높아진다. 본 연구는 기존의 녹화시스템 시공단계를 단축, 시공성을 향상시킨 새로운 녹화시스템에 사용하는 일체화된 방수·방근 하이브리드 시트의 물리적

성능, 내구성, 방수성, 방근성을 평가함으로써 성능수준을 확인하고, 현장 적용 여부를 판단하고자 하였다. 시험결과, 우수한 물리적 성능 및 내구성, 방수성, 방근성을 확인하였으며, 향후 mock-up 시험을 수행하여 장기성능을 검증 중이다.

**키워드** : 인공지반 녹화시스템, 방수·방근시트, 성능

#### References

1. 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, 2010 Mar;4(1):111-8.
2. Seon, YS, Song JY, Kim SR, Oh SK, An analysis of patterns on the waterproofing and root penetration resistance membrane system used for green roof in Korea, Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2012 Nov;28(11):191-8.
3. 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;11(6):634-44.
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;11(2):189-44.
5. 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;8(6):123-9.
6. Kwon YH, Oh SK, Ahn YS, Performance evaluation on the waterproofing and root penetration resistance membrane formed by combing the fiberglass reinforced plastic and the self adhesion butyl rubber sheet for green roof system, Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2011 Sep;27(9):117-24.
7. K.S.A, KS F 4911 Water Proofing sheets of synthetic polymer, 2012
8. K.S.A, KS F 4938 Test methods for the resistance to root penetration of water proofing and root resistance materials for green roof system, 2010
9. ASTM International, ASTM D 5385 Standard test methods for hydrostatic pressure resistance of waterprofing, 2014
10. K.S.A, KS M 6518 Physical test methods for vulcanized rubber, 2011