

용설시스템을 이용한 조립식 보도포장 기술 개발

박경모¹ · 이정욱² · 김창덕*

¹한양대학교 에리카산학협력단 · ²그린라이프 이노베이션

Development of block-type sidewalk pavement system using snow-melting system

Park, Kyungmo¹, Lee, Jeonguk², Kim, Changduk*

¹ERICA Industry-University Cooperation Foundation, Hanyang University

²Green Life Innovation Co., Ltd.

Abstract : Snow-melting system has been applied not only to roads for car traffic but also to pavement for the pedestrians safety reason in some of the developed countries such as USA and Canada based on countermeasures against Natural Disasters Act revised in 2000. Even though this system was introduced in Korea in 2006 and has been partly applied to car traffic roads, there is few places that the system has been applied. Therefore, in this research a snow-melting system with a block-type to cover a pavement that efficiently transfers heat form heat rays to the top of a pavement and protects the heat rays. A quality check showed that compression and bending strength was improved approximately 5 times stronger and 7 to 10 times more absorption rate than the KS(Korea Industrial Standard) requirement. Moreover, only 10 minute was required to increase temperature above zero with a block-type snow-melting system whereas approximately 180 minute was spent with the existing system. This research is expected to contribute to environmental issues and reduce accidents on a slippery road.

Keywords : Snow-melting, Block-type snow melting system, Environmental-friendly, Safety

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

19세기 산업혁명 이후 산업 발달로 인해 석유·석탄과 같은 화석연료 사용량 증가는 지구 온난화 현상의 발생 원인이 되었고, 1997년 12월 교토의정서 채택과 2005년 2월 발효에 따라 전 세계적으로 온실가스 감축 및 에너지 소비 저감에 대한 관심이 증가하였다(Baek et al. 2011, Hong et al. 2014). 또한 세계 각 국은 지속가능하면서 환경오염 유발을 방지하는 발전모델을 추구하고 있으며, 대한민국 정부도 개도국 녹색성장 지원을 위해 글로벌녹색성장연구소(Global Green Growth Institute)설립을 통한 녹색성장 노력에 동참하고 있다.

또한 대한민국 정부는 지구 온난화로 인한 기상이변 중 태풍·홍수 등으로 인해 생기는 자연재해로부터 국민의 생명

과 신체를 보호하기 위한 자연재해대책법을 1995년 12월 제정하였고, 2012년 4월에는 설해에 관한 법이 개정됨으로써 자연재해의 예방 및 복구에 관한 정부의 노력과 국민의 제설책임에 대해 법제화 하였다(Countermeasures against natural disasters act 2014). 해외 선진국에서는 2000년 자연재해대책법을 일부 개정함으로써 차도 중심의 용설시스템에서 인권 위주의 보행자 전용시스템으로 확대 적용하고 있으나, 국내에는 2006년 선진국형 용설시스템이 도입되어 도로 부문에 일부 시공(Choi and Hwang 2012) 되었지만 여러 가지 문제점들로 인해 설해에 대한 적절한 대응책으로 사용되지 못하고 있는 실정이며 용설시스템을 보행자 도로에 설치하여 보행자 낙상방지 및 환경오염 방지를 위한 사례는 전무하다. 도로에 적용되었던 기존 용설시스템은 열선을 땅에 매립하여 지면을 데우는 방식으로 지표면에 빼앗기는 열을 방지하지 못하고, 예열시간이 길고, 외부 충격에 약하며, 유지관리 시 많은 비용과 시간이 걸리는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 열선의 열이 보도블록 상부로 효율적으로 전달되도록 함으로써 지반으로 손실되는 열을 최소화하고, 충격에 따른 열선의 손상 방지, 시공 및 유지관리 시 공정을 단순화하여 공기를 줄이고 원가를 절감할 수 있는 블록

* Corresponding author: Kim, Changduk, Department of Architectural Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea
E-mail: stpkim@kw.ac.kr
Received September 30, 2015; revised October 27, 2015
accepted November 2, 2015

형 보도포장 기술을 개발하고자 한다. 또한 개발된 기술을 현장 적용 및 성능시험을 통해 기술에 대한 검증을 하고자 한다. 본 연구를 통해 개발된 기술을 통해 겨울철 보행자 낙상방지를 통해 국민안전 확보 및 화학제설제 또는 친환경제설제 사용 억제 등을 통해 환경오염을 방지할 수 있을 것으로 기대한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 융설시스템을 이용한 조립식 보도포장 기술 개발을 위해서 다음과 같은 절차를 통해 연구를 진행하였다.

- (1) 융설시스템에 관한 기존 연구를 검토하여 조립식 보도포장 기술에 대해 정의하였다.
- (2) 설해에 대한 피해 현황 및 문제점 분석을 통해 본 연구에서 제안하는 기술과 기존 융설시스템과의 차별성에 대해 분석하였다. 또한 조립식 보도포장 융설시스템의 구조도 및 시공방법 등에 대해 제시하였다.
- (3) 조립식 보도포장 융설시스템을 현장 적용 및 성능시험 평가를 통해 본 연구에서 제안하는 기술에 대해 검증을 하였다.

2. 기존연구 고찰

2.1 융설시스템

융설이란 동절기 서울, 경기, 강원 등 눈이 많이 내리는 지역에서 눈으로 인해 발생하는 운전자 및 보행자의 위험과 경제적·사회적 기회 손실을 해결하기 위해 눈을 녹이는 것을 의미한다. 가장 많이 사용되고 있는 융설기술은 염화칼슘과 수화발열체를 이용하고 있으며 최근에는 친환경제설제로 대체되고 있으나 가격 및 성능에 대한 문제 때문에 대체 속도는 늦은 편이다. 또한 이러한 방법들은 초기 투자비가 저렴하나 수질 및 토양오염 그리고 도로 포트 홀 발생에 원인이 되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 열선을 이용한 융설시스템을 도로에 적용하고 있다. 기존 도로 융설시스템은 기층에 마운팅 밴드를 고정하고 히팅케이블 포설 후 마감층을 포장하는 구조로 되어 있다(Fig. 1).

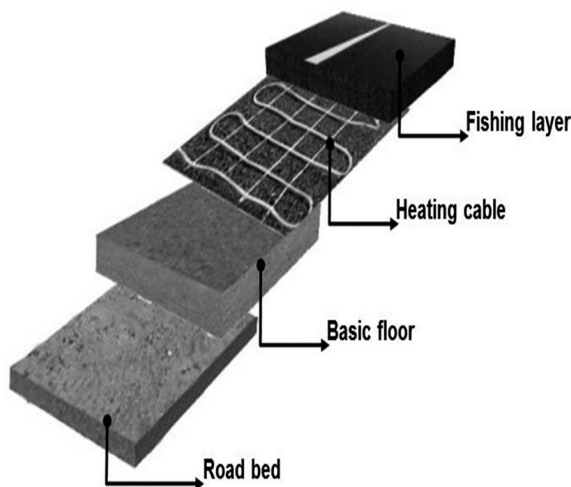


Fig. 1. Snow-melting system in the road

2.2 융설시스템 관련 기존 문헌고찰

융설시스템 관련 연구는 2000년대 들어 국내외 연구자들에 의해서 다양한 연구가 진행되어 왔다.

최덕인(2012)는 신재생에너지 중 지열시스템을 이용하여 냉방과 난방의 열원으로 이용하고 남은 열원을 지열원히트펌프 열원으로 사용하여 이를 도로 융설시스템에 적용할 수 있는 방안을 제시하고, 현장 실측을 통해 도로융설 성능을 평가하고 이를 기초로 수치해석을 통해 다른 구조의 도로에 적용할 수 있는 방안을 제시하였다. 김진호(2009)는 지열을 이용한 도로 융설시스템은 도로에 난방배관을 설치하고 배관 내에 온수를 공급함으로써 배관이 전기히터의 역할을 하는 방식으로 이를 이용하여 도로마감재질의 종류 및 두께에 의한 도로 표면온도의 변화를 확인하여 설계의 타당성을 확인하였다. 이철우(2012)는 지열, 강변수열 그리고 터널 유출수열을 기반으로 도로 융설시스템을 개발하여 현장 적용을 통해 기존 전열선 방식의 융설시스템에 비해 약 75%의 에너지를 절약할 수 있으며, 시스템 적용 시 도로 천공이 필요 없어 경제적인 시스템을 구현을 제시하였다. Wu et al.(2011)과 Wu(2013)는 기존 제설제 사용으로 인해 도로의 부식 및 환경에 부정적 영향을 주었다. 이에 비 염화물 및 친환경 재료로 만든 친환경 제설제 개발을 통해 고속도로의 부식 방지 및 환경 피해를 최소화 시킬 수 있는 친환경 제설제를 개발하고 현장 검증을 통해 안정성을 확인하였다. Hossain et al.(2015)는 고속도로의 제설을 위해 많은 양의 제설제가 사용되고 있는데 이는 인프라 및 환경에 심각한 영향을 주고 있다고 분석하였다. 이에 2011년부터 2014년까지 최근 3년간 현장의 유지 보수 실태 및 눈이 녹는 성능 데이터 등을 분석하여 소금 응용 프로그램 개발하였으며 겨울철 도로 제설을 위한 최적의 염분 살포량을 제시하였다.

이처럼 융설시스템을 기반으로 하는 다양한 연구가 진행되었으나 대부분 신재생에너지를 기반으로 도로에 적용한 연구가 주를 이루고 있으며 보행자를 위한 융설시스템 개발과 보행자 도로에 적용한 사례는 부족하였다. 따라서 본 연구에서는 융설시스템을 이용한 조립식 보도포장 기술을 개발하여 현장 적용 및 성능시험 평가를 통해 본 연구에서 제안하는 기술에 대해 검증을 하고자 한다.

3. 융설시스템을 이용한 조립식 보도포장 기술 개발

3.1 조립식 보도포장 기술 개발배경

보도블록이란 노면에 블록 모양의 판재를 덮어 비로 인해 보도의 흠이 유실되거나 손상되는 것을 방지하고, 보행자의 보행을 편하게 하기 위한 것으로 도로 가의 보도 등에는 동일한 형상을 가진 보도블록이 연속되게 설치된다. 기존의 보도

블록은 모래와 시멘트 및 안료를 혼합하여 제조한 시멘트 블록이 주로 사용되고 있는데, 시멘트 블록은 단단하기 때문에 보행자의 발바닥과 발목에 충격을 주게 된다. 최근에는 보행자에게 가해지는 충격을 완화하기 위해 페비닐이나 페타이어 등을 이용한 보도블록을 설치하고 있다.

하지만 기존의 보도블록은 표면이 비교적 매끄러워 겨울철 눈이 쌓이거나 결빙된 경우 보행자가 미끄러져 상해를 입을 수 있는 문제가 있다. 이를 대비하기 위해 통상적으로 겨울철 보행자의 안전을 확보하기 위해 보도블록에 염화칼슘을 살포하여 제빙 작업을 하거나, 보도블록 하부에 열선을 설치하여 보도블록 상의 눈이나 결빙을 제거하고 있다. 그러나 염화칼슘을 사용하여 제설작업 시 기존 시설물 내구성에 영향을 주거나 환경오염을 일으키는 주요 원인이 되고 있으며, 종래의 보도블록 하부에 열선을 설치한 구조는 열선의 열이 상부의 보도블록으로 모두 전달되지 못하고 지면으로 흡수되어 버리고 열선이 보도블록과 지면 사이에 설치되기 때문에 열선이 손상되는 단점이 있었다.

따라서 본 연구에서 제시하는 조립식 보도포장 기술 개발에 따른 장점은 다음과 같다.

첫째, 지면에 설치되는 하부 블록의 상면에 형성된 홈부에 완충판의 홈부 및 상부 블록의 돌출부를 순차로 삽입하여 적층 결합함으로써 조립을 용이하게 할 수 있다.

둘째, 상부 블록과 하부 블록 사이에 완충판을 적층하여 상부 블록과 하부 블록 사이의 충격에 의한 파손을 방지하며 보행자에게 가해지는 충격을 완화할 수 있다.

셋째, 상부 블록의 상부면으로 열이 효율적으로 전달되도록 하여 제빙 효율을 높일 수 있다.

넷째, 하부 블록과 완충판의 홈부 둘레를 빗면으로 형성하여 하중을 분산시켜 과도한 하중에 의한 파손을 방지하여 보도블록 수선주기를 연장시킬 수 있다.

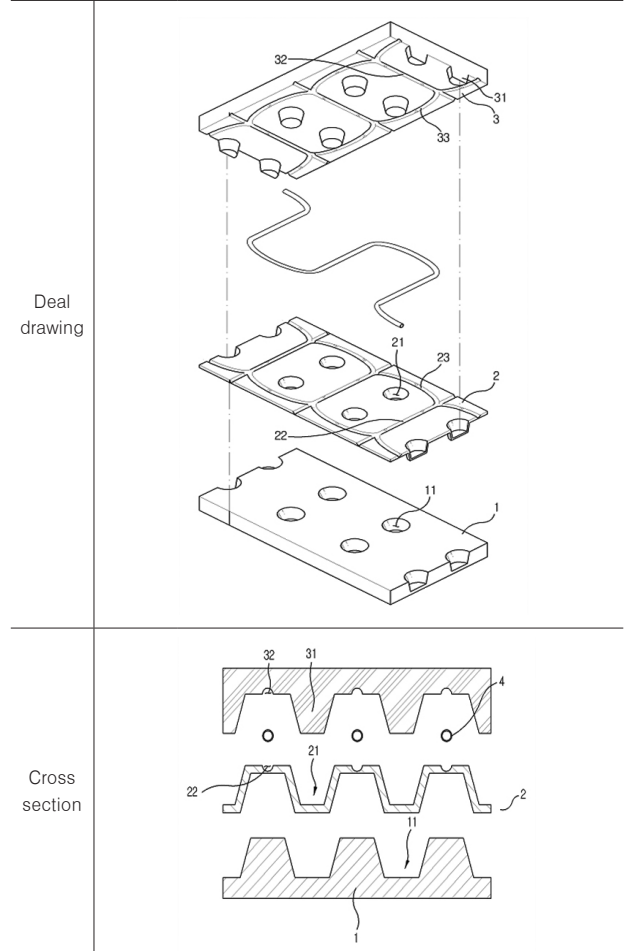
3.2 조립식 보도포장 기술 구조도 및 시공방법

조립식 보도포장 기술은 열선이 구비된 조립식 보도블록을 기본원리로 하고 있으며 다음과 같은 구성요소를 가지고 있다. 첫째, 상면에 다수의 홈이 형성된 상부 블록 둘째, 하부 블록의 홈부에 삽입 결합되도록 하면에 돌출된 다수의 홈과 상면에 열선이 삽입될 수 있도록 삽입홈이 형성된 완충판 셋째, 하면에 완충판의 홈에 삽입 결합되도록 하부에 다수의 돌출부가 형성된 상부 블록 넷째, 완충판과 상부 블록 사이 열선 삽입 홈 사이에 삽입되는 열선으로 구성된다(Table 1). 또한 홈부의 둘레는 빗면을 갖으며 완충판은 EPDA(Ethylene Propylene Dimer Monomer)재질로 이루어진다. 그리고 이웃하는 열선 삽입홈의 단부 및 이웃하는 다른 열선 삽입홈의 단부는 곡선형 삽입홈을 통해 연결되고, 상부 블록은 열선에서 발열되는 열이 상부로 원활하게 전달되도록 20~30mm의

두께로 설계하였다.

Table 1. Structure drawing of block-type sidewalk pavement system

Number	Component
I	1 Under block
	11 The first bezel
II	2 Dead block
	21 The second bezel
	22 Insertion bezel of the first hot-wire
III	23 Insertion bezel of the first curve type
	3 Top block
	31 Protrusion
	32 Insertion bezel of the second hot-wire
IV	33 Insertion bezel of the second curve type
	4 Hot-wire


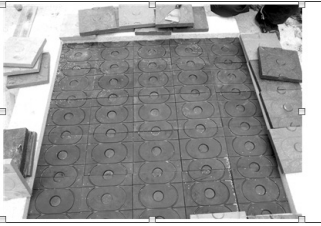

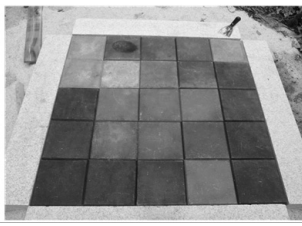


조립식 보도블록의 조립과정은 첫째, 하부 블록 상면에 형성된 제1홈부에 완충판 하면으로 돌출 형성된 제2홈부를 삽입하여 하부 블록 상부에 완충판을 적층 결합시키고, 완충판의 상면에 형성된 제1열선 삽입홈과 제1곡선형 삽입홈에 열선을 삽입하게 된다. 둘째, 완충판의 제2홈부에 상부 블록 하면으로 돌출 형성된 돌출부를 삽입하여 완충판 상에 상부 블록을 적층 결합시키며 이 때 완충판과 상부 블록을 적층 조립

하면 제1열선 삽입홈에 삽입된 열선의 상부가 제2열선 삽입홈에 삽입된다. 이처럼 조립식 보도포장 융설시스템 기술은 상부 블록의 하면 및 하부 블록의 상면에 각각 형성된 제1홈부에 대응하는 형상의 돌출부에 따라 이를 순차 적층함으로써 조립을 용이하게 할 수 있게 설계하였다.

조립식 보도포장 기술은 4단계의 시공단계를 거치게 된다 (Table 2).

Table 2. Construction method

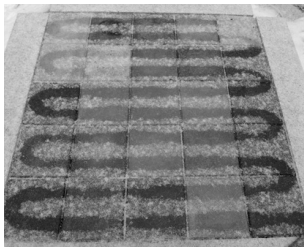

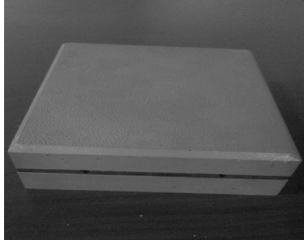
Step	Work	Photo
Step 1	Ground compaction and flatness work	
Step 2	Work of under block	
Step 3	Insertion of hot-wire	
Step 4	Work of top block	

첫째, 기초지반 다짐 및 평탄 작업에서는 원지반의 조성 최대 건조 밀도의 90%이상 다짐 실시 및 보조기층 포설 최대 건조 밀도 95%이상 다짐을 실시한다. 그리고 모래를 도포하고 제어판을 설치하게 된다. 둘째, 하부 블록 설치시공 단계에서는 융설시스템 하부 설치 및 완충판을 설치하게 된다. 셋째, 열선 설치 시공단계에서는 히팅케이블 설치 및 제어판을 연결하게 된다. 넷째, 상부블록 설치 시공단계에서는 융설시스템 상판을 설치하게 된다. 설치 공사 전 지반조사를 통해 연약지반일 경우 마른 비빔 모르타르 시공을 통해 침하현상을

방지해야 한다.

현장 설치 전 2012년 12월 15일 개발된 제품의 성능검사를 위해 경기도 수지구에 위치한 공장에서 현장시험을 실시하였으며 그 결과, 10분경과 후 제설이 가능해지며 30분경과 후 부터 노면 눈 제거가 가능하다는 것을 확인하였다(Table 3).

Table 3. Mock up test

Separation	Photo
After 10minute	
After 30minute	
Sample	

4. 조립식 보도포장 기술 성능 시험평가 및 현장 적용

4.1 조립식 보도포장 기술 성능 시험평가

현장 적용 전 조립식 보도포장 기술의 품질 및 성능(치수, 휨강도, 흡수율)에 대한 성능 시험을 위해 2013년 3월 A건설 자재시험연구원에 품질시험을 의뢰하였다. 시험방법은 KS F 4419(보도차용 콘크리트 인터로킹 블록)를 적용하였으며 총 3회에 걸쳐 시험을 하였고 결과는 아래와 같다(Table 4).

Table 4. Results of efficiency analysis

Separation	Measure	Examination result			KS standard		
		S1	S2	S3	Side work	Road	
Size	Wide	mm	199.5	199.7	199.9	-	-
	High	mm	199.6	199.6	199.8	-	-
	Thickness	mm	29.7	29.9	29.7	-	-
Bending strength	N/mm ²	25	24	25	Over 5.0	Over 5.0	
Absorptance	%	1	1	1	Below 10	Below 7	

성능 시험 평가결과 휨강도는 KS기준보다 약 5배 정도 성능이 향상되었고, 흡수율은 7~10배 정도 성능이 우수한 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서 제안한 시스템의 내구성능은 기존 제품에 비해 월등히 높은 것으로 평가할 수 있으며 이는 제품 수명 향상 및 보행자 안전에 효율적이라고 분석되었다.

4.2 현장 적용

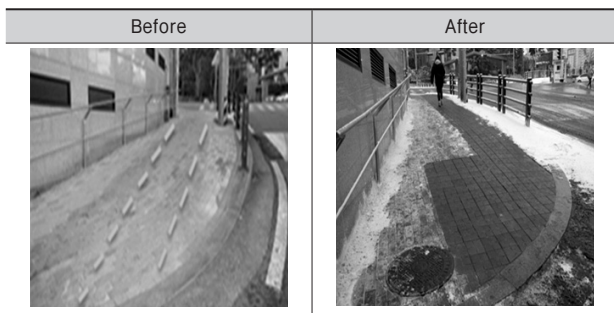
본 기술에 따른 시제품 설치 후 단위 시간당 노면 온도 변화를 기존 제품과 비교 측정함으로써 본 연구에서 제안한 보도포장 기술의 성능을 평가하고자 하였다. 시범 적용 현장은 경기도 용인시 A주민센터 진입로에 설치하였으며 현장 적용 개요는 다음과 같다(Table 5).

Table 5. Field test

Separation	Efficiency test
Purpose	Temperature measurement per hour
Period	December 29th, 2012 to February 10th, 2013
Inspector	A testing laboratory

현장 설치한 곳은 주변 건축물에 의해 햇빛이 들지 않고 경사지로 되어 있어 겨울철 폭설 시 낙상사고가 빈번히 발생되어 민원이 지속적으로 발생하는 곳이다. 시험방법은 낙상사고가 빈번히 일어나는 곳에 본 연구에서 제안하는 조립식 보도포장 기술과 기존 개발된 용설시스템¹⁾을 설치 후 총 4회에 걸쳐 단위 시간당 노면 온도의 변화를 비교 분석하였다(Table 6).

Table 6. Block-type sidewalk pavement system applied to sidewalk



시범 적용한 구간은 측정 당시 11cm의 강설량을 기록하였으며, 설치 전 구간과 설치 후 구간을 비교해 보면 확연한 차이를 비교할 수 있다. 또한 기존 제품과의 단위 시간당 노면 온도 변화를 4회에 걸쳐 측정하였다(Table 7).

1) 기존 개발된 용설시스템은 열선이 보도블록과 지면 사이에 설치되어 있는 구조로 되어 있어 열선의 열이 상부의 보도블록에 효율적으로 전달되지 못하며, 상부 블록으로 전달된 열은 지속적으로 열을 유지하지 못하고 외기로 열이 손실되고 있다.

Table 7. Results of the field test

(Unit : °C)

Separation	Minute	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
		First test	A	-2.0	-2.0	-1.9	-1.8	-1.7	-1.6	-1.2	-0.5	2.6
	B	-2.0	2.9	2.8	3.1	3.0	3.2	3.2	3.0	3.1	3.1	3.1
Second test	A	-1.8	-1.8	-1.7	-1.6	-1.6	-1.4	-1.2	-0.5	2.4	2.9	3.0
	B	-1.8	3.0	2.8	3.1	3.1	3.0	3.1	3.0	3.1	3.1	3.1
Third test	A	-2.5	-2.5	-2.6	-2.3	-2.4	-2.0	-1.5	-0.5	0.2	2.8	3.1
	B	-2.5	2.7	2.8	2.8	2.7	2.6	2.8	2.9	2.7	2.8	3.1
Fourth test	A	-1.0	-0.9	-0.8	-0.8	-0.4	-0.1	-0.9	1.5	3.3	3.5	3.8
	B	-1.0	3.3	3.5	3.5	3.6	3.7	3.6	3.8	3.6	3.9	3.7

※ A: Existing good, B: Block-type sidewalk pavement system

단위 시간당 노면 온도 변화에 대해 기존 제품과 비교 분석한 결과, 기존 제품은 열선이 가열된 후 노면의 온도가 영상으로 올라가는데 까지 걸리는 평균 시간은 180분이며 240분 정도 경과가 되어야 조립식 보도포장 기술과 비슷한 온도를 유지할 수 있는 것으로 분석되었다. 하지만 본 연구에서 개발한 보도포장 기술은 가열된 후 10분경과 후부터 노면의 온도가 영상으로 올라가기 시작하며 30분경과 후에는 노면의 평균 온도를 3.5°C를 유지하고 있는 것으로 분석되었다.

4.3 기존 용설시스템과의 성능 비교 분석

4.3.1 유지관리 및 내구성

기존 용설시스템과의 성능 비교를 위해 유지관리, 내구성, 에너지 효율분야를 중심으로 비교 분석하였으며, 성능 기준은 KS(Korean Industrial Standard)를 적용하여 실험하였다(Table 8).

Table 8. Results of maintenance and durability test

No	Item	Block-type	Existing good	Note
1	Ability to react for snow	20~30 minute	4 hours	-
2	Bending strength	Over 24	Over 5	Ks standard : over 5.0
3	Absorptance	1%	7%	Ks standard : blew 7.0
4	Maintenance	Easy	Difficulty	-
5	Heat conductivity	High	Low	-
6	Energy efficiency	High	Low	-
7	Recycling	High	Low	-
8	Water permeability	Yes	No	-
9	Nonskid	Implementation	Implementation	-

분석 결과 본 연구에서 제안하는 조립식 보도포장 기술은 적설대응에 필요한 시간은 약 20~30분 이내이며 휨강도 및 흡수율은 KS 기준을 상회하고 있다. 또한 열전도율 및 에너지 효율 그리고 유지관리 관련에서도 기존 제품보다 좋은 성

능을 유지하고 있다. 반면 기존 응설시스템은 적설 대응능력에 필요한 시간은 약 4시간 정도 소요되며 휨강도 및 흡수율은 KS 기준을 충족하나 본 연구에서 제안하는 시스템의 기준에는 못 미치고 있다. 그리고 열전도율 및 에너지 효율 그리고 유지관리 관련 항목에서도 성능이 부족한 것으로 분석되었다.

4.3.2 전력사용량

기존시스템과의 전력사용량과 단가를 비교하여 에너지 성능을 분석하였다(Table 9).

Table 9. Results of electricity consumption

Item	Block-type	Existing good	Note
Preheating time	20~30 minute	4 hours	-
Power usage(W)	200~220(W)	350~400(W)	15 hours
Unit cost	450,000(won)	600,000(won)	-

적설 시 대응능력을 분석한 결과 기존 시스템은 평균 예열 시간이 4시간에 달하며 사용되는 전력은 350~400W로 분석되었으며 적설 대응에 필요한 평균 시간을 15시간으로 본다면 사용전력 비용은 약 60만원 정도 소요된다. 반면 조립식 보도포장 기술은 평균 예열시간은 20~30분 이내이며 이때 사용되는 전력은 200~220W로 분석되었다. 또한 사용되는 전력비용은 약 45만원 정도 소요되는 것으로 분석되었다.

4.4 개발 기술의 활용 전망

4.4.1 기술적 파급효과

첫째, 재해 예방기술 보급을 통한 안전사고 예방

본 연구에서 제안한 조립식 보도포장 기술은 동절기 강설 등으로 보행용 도로 노면에 쌓이는 눈을 제설·용해하고 2차적으로 발생하는 결빙 현상을 사전 예방함으로써 보행자의 미끄러짐에 의한 낙상을 방지하고, 상·하부 보도블록 사이에 완충판을 적층하는 3층 완충구조로 구성되어 보행 시 보행자의 다리 관절에 가해지는 충격을 완화시켜 줌으로써 동절기 안전사고에 따른 재해를 예방이 가능하다.

둘째, 보도전용 보도포장 기술의 내구성 증대

상부 블록과 하부 블록 사이에 완충판을 적용하여 충격을 효과적으로 흡수하여 보도전용 보도포장 기술은 상판 또는 열선의 파손을 방지함으로써 내구성을 증대시키는 효과가 있다.

셋째, 친환경 제설·응설 기술에 따른 효과

본 시스템은 염수 및 염화칼슘을 사용하지 않고 눈을 녹일 수 있어 100%친환경과, 40%의 저탄소 운용이 가능하며 고품화 사회로 접어든 지금 노인 및 아동의 낙상사고 예방이 가능하다.

넷째, 시공성 향상

지면에 설치되는 하부 블록 상면에 형성된 홈부에 완충판의 홈부 및 상부 블록의 돌출부를 순차적으로 적층 결합함으로써 조립을 용이하게 하여 설치 및 유지보수 시 시공성을 향상시키는 효과가 있다. 또한 유지관리 시 상판만 교체가 가능하여 유지관리 비용을 절감할 수 있다.

4.4.2 경제적 파급효과

첫째, 효율성 제고로 인한 전력사용 절감

열선에서 발열된 열이 상부 블록의 상부 면으로 열이 효율적으로 전달되도록 하여 예열시간을 줄이고 제설·제빙에 대한 효율성을 높일 수 있다. 이에 따라 기존 응설시스템에 비해 약 65%의 에너지 절감 효과를 가져 올 수 있다.

둘째, 공사비 및 유지관리비 절감 효과

모듈화 된 완제품 형태로 제작되어 시공 시 전문 인력이 기존 기술에 비해 적게 소요되며, 콘크리트 타설 시 사전 정지작업 없이 설치할 수 있으므로 시공성 향상에 따른 공사비 절감 및 공기 단축 효과를 통해 경제적인 시공이 가능하다. 또한 강한 내구성과 충격흡수 기능으로 인해 상판 및 열선의 파손을 감소시켜 유지관리 비용을 절감 효과를 가져 올 수 있다.

셋째, 사회적 비용 감소

일반 시민들이 많이 사용하는 보도블록에 적용하여 노약자 및 아동의 낙상사고 방지를 통해 사회경제적 기회비용 증대 요인을 줄일 수 있다.

4.4.3 현장 적용성

첫째, 기술의 경제성

현장 적용 시 기존 응설시스템은 열선 매립을 위해 전문 인력이 필요하고 콘크리트 양생 및 건조, 철망 설치 등에 따라 공사기간이 장기간 소요되는데 비해 조립식 보도포장 기술은 모듈화된 완제품 형태의 조립식 시공으로 전문 인력이 필요 없고 콘크리트 타설이 불필요하여 공사기간을 획기적으로 단축시킬 수 있어 경제적 시공이 가능하다. 또한 보도블록 및 열선 파손에 따른 하자 발생 시 작업이 간단하여 유지관리에 따른 공사비 경감 효과가 있다. 그리고 관련 시설물의 관리 책임이 있는 측에서 입게 될 보행자 재난에 따른 소송비용 등 사회적 비용도 줄일 수 있다.

둘째, 유지관리 편의성

기존 응설시스템은 열선 파손 시 해당 부위만 절개하여 보수하는 것이 불가능하고 지반공사 콘크리트 타설 등 전 부분에 대해 새로 시공해야 한다. 이에 반해 조립식 보도포장 기술은 규격화된 보도전용 응설시스템 상판을 사용하여 하자보수 및 유지관리 시 편리하고 공사비 부담이 적다. 또한 열선 매립 후에 열선이 배치되어 열선 파손이 현저히 줄어들고 응설시스템 상판의 충격흡수 기능으로 인해 보도전용 응설 시스템 자체의 파손이 줄어 유지관리에 대한 부담이 줄어든다.

5. 결론

전 세계적으로 온실가스 감축 및 에너지 소비 저감에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있으며 이러한 영향은 건설산업에 지속적으로 영향을 미치고 있다. 이러한 영향으로 인해 현대 건설산업은 에너지 절감·친환경 건축·지속가능한 건축에 관해 지속적으로 관심을 갖고 이를 고려한 요소를 건축물에 적용할 수 있도록 노력하고 있다. 이러한 노력에도 불구하고 지구 온난화로 인한 기상이변은 지속적으로 일어나고 있어 자연대책법을 제정하고 2012년 4월에는 설해에 관한 법이 개정됨으로 제설책임에 대해 법제화 하였다. 해외 선진국에서는 2000년 자연재해대책법 개정을 통해 차도 중심의 용설시스템에서 인권위주의 보행자 전용시스템으로 확대 적용하고 있으나, 국내에 2006년 선진국형 용설시스템이 도입되어 도로 부문에 일부 시공 되었지만 보행자를 위한 용설시스템 적용 사례는 전무한 편이다.

따라서 본 연구에서는 열선의 열이 보도블록 상부로 효율적으로 전달되도록 함으로써 지반으로 손실되는 열을 최소화하고 충격에 따른 열선의 손상 방지, 시공 및 유지관리 시 공정을 단순화하여 공기를 줄이고 원가를 절감할 수 있는 블록형 보도포장 기술을 개발하고 이를 현장 적용 및 성능시험을 통해 블록형 보도포장 기술에 대한 검증은 실시하였으며 본 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 이러한 필요성을 기반으로 조립식 보도포장 용설시스템은 열선이 구비된 보도블록을 기본 원리로 하고 있으며 충격을 흡수할 수 있는 소재를 적용한 상판 및 하판 그리고 열선으로 구성된 보도블록 기술을 제안하였다.

둘째, 조립식 보도포장 기술의 시공방법은 기초지반 다짐 및 평탄화 작업, 모래를 도포하고 제어판 설치, 하부 블록 및 완충판 설치, 히팅케이블 설치 및 제어판 설치 그리고 상부블록을 설치하게 된다. 이처럼 간편한 시공방법을 통해 공기 및 원가절감이 가능하고 유지관리 비용을 절감할 수 있는 장점이 있다.

셋째, 조립식 보도블록 기술의 성능을 평가하기 위해 A건 설자재시험연구원에 품질시험을 의뢰하였으며 기존 용설시스템보다 힘강도는 KS기준보다 약 5배, 흡수율은 7~10배의 성능이 향상된 것으로 분석되었다. 또한 경기도용인시에 기존 용설시스템과 조립식 보도블록 기술을 적용 하였으며 단위 시간당 노면 온도 변화를 비교 분석하였다. 분석 결과 기존 용설시스템은 노면의 온도가 영상으로 올라가는데 평균 180분이 소요되며 240분 정도 경과 후 조립식 보도포장 기술과 비슷한 온도를 유지할 수 있는 것으로 분석되었다. 하지만 본 연구에서 제안한 시스템은 가열 후 10분 경과 후 노면 온도가 영상으로 올라갔으며 30분 경과 후 노면 평균 온도는 3.5℃를 유지하고 있는 것으로 분석되었다.

넷째, 기존 용설시스템의 전략 사용량은 예열 시간이 4시간에 달하며 사용 전력은 350~400W를 사용하고 있으며, 반면 본 연구에서 제안한 시스템은 평균 예열시간은 20~30분 내외이며 사용되는 평균 전력은 200~220W로 약 15만원의 전기료를 절약할 수 있다.

이처럼 조립식 보도블록 기술 개발을 통해 첫째, 재해 예방 기술 보급 가능, 보도전용 용설시스템 내구성 증대, 친환경 제설·용설 기술에 따른 친환경적인 효과 그리고 보도전용 기술의 시공성 향상을 통해 기술적 파급 효과를 가져올 수 있다. 둘째, 기술의 경제성, 기술의 안전성 그리고 유지관리 편의성에 의한 현장 적용성 증가 효과를 가져올 수 있다. 본 연구를 통해 개발된 기술은 겨울철 보행자 낙상방지를 통한 국민안전 확보 및 화학제설제 또는 친환경제설제 사용 억제를 통한 환경오염을 방지할 수 있을 것으로 기대한다. 향후 에너지 절약을 위한 친환경적이고 안전한 용설시스템 그리고 에너지를 자동 제어할 수 있는 안전장치 개발에 관한 연구를 지속적으로 수행하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1A5A1037548)

References

- Baek, C., Tae, S., Lee, J., and Shin, S. (2011). "A Study in the Requisite Elements of LCCO2 Evaluation system at Planning Stage of Building." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 12(3), pp. 31-41.
- Hong, T., Jeong, K., and Ji, C. (2014). "Comparison of Environmental of Green and Traditional Buildings using Life Cycle Assessment." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 15(3), pp. 58-66.
- Ministry of Government Legislation (2014). *Countermeasures against natural disasters act*, <<http://www.law.of.kr>> (Aug. 15, 2015).
- Choi, T. I., and Hwang, K. I. (2012). "An Evaluation and Prediction of Performance of Road Snow-melting System Utilized by Ground Source Heat Pump." *Journal of the Korea Solar Energy Society*, 32(3), pp. 138-145.
- Kim, J. H., Kim, J. H., and Lee, G. T. (2009). "Design

- of Road Snow Melting system Using Piping System.” *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, pp. 1251-1256.
- Lee, C. W., and Seo, Y. K. (2012). “Snow melting system using Renewable Energy.” *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 13(3), pp. 34-37.
- Wu, Y., Wan, C., and Wang, J. (2011). “Applicability of Highway snow-Melting Agents.” *ICTE 2011*, pp. 2985-2990.
- Wu, Y. (2013). “Performance Comparison of Different Highway Snow-Melting Agents.” *ICTE 2013*, pp. 590-595.
- Hossain, s., Fu, L., and Li, S. (2015). “Modeling the Snow Melting Performance of Salt: A Mechanistic Empirical Approach.” *Cold Regions Engineering 2015*, pp. 464-475.

요약 : 해외 선진국에서는 2000년 자연재해대책법 개정을 통해 차도 중심의 융설시스템에서 인권위주의 보행자 전용시스템으로 확대 적용하고 있으나, 국내에는 2006년 선진국형 융설시스템이 도입되어 도로 부문에 일부 시공 되었지만 보행자를 위한 융설시스템 개발 및 적용 사례는 전무한 편이다. 따라서 본 연구에서는 열선의 열이 보도블록 상부로 효율적으로 전달되도록 함으로써 지반으로 손실되는 열을 최소화하고 충격에 따른 열선의 손상 방지 및 공정을 단순화하여 원가 및 공정을 절감할 수 있는 블록형 보도포장 기술을 개발하고 이를 현장 적용하였다. 품질시험 결과 휨강도는 KS기준보다 약 5배, 흡수율은 7배~10배의 성능이 향상된 것으로 분석되었다. 또한 현장 시험결과 기존 융설시스템은 노면의 온도가 영상으로 올라가는데 약 180분이 소요되었으나 블록형 보도포장 기술은 약 10분 정도 소요되었으며 30분 경과 후 노면 평균 온도는 3.5℃를 유지하였다. 이처럼 조립식 보도블록 기술 개발을 통해 겨울철 보행자 낙상방지를 통한 국민안전확보 및 화학제설제 사용 억제를 통한 환경오염 방지에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

키워드 : 융설시스템, 블록형 보도포장 기술, 친환경, 안전성
