

## 도로복구를 위한 레고식 차도블록 시스템의 기초성능에 관한 연구

# A Study on the Fundamental Performance of a Lego Block System for Road Recovery

Sunwoo Lim<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Civil Engineering, University of Seoul, 90 Dongdaemun-gu, Seoul 130-743, Republic of Korea

---

### ABSTRACT

Lego block system forms a temporary pavement area using the assembled structure block in the road excavation work for the maintenance and installation of facilities. This system was developed for a safe passage of vehicles and pedestrians. A study on the fundamental performance of a lego block system was performed through material quality, sliding resistance and compression tests. And compaction performance of ground on the road was reviewed and evaluated through field tests. As a result, a lego block system for road recovery showed the excellent performance and compaction effect.

---

### KEYWORDS

Lego block system  
Road recovery  
Fundamental performance  
Compaction performance

---

레고식 차도블록 시스템은 시설물의 설치 및 유지보수를 위한 도로굴착공사지에서 조립된 구조블록을 사용한 임시포장면을 형성하여 차량 및 보행자의 안전한 통행이 가능하도록 개발된 시스템이다. 레고식 차도블록 시스템의 재료적 품질시험, 미끄럼저항시험 및 압축시험을 통해 기초성능에 대한 연구를 수행하였으며, 현장시험을 통해 레고식 차도블록 시스템의 도로지반 다짐성능을 검토하고 평가하였다. 그 결과, 도로복구를 위한 레고식 차도블록 시스템의 성능 및 다짐 효과는 우수한 것으로 나타났다.

---

레고식 차도블록 시스템  
도로복구  
기초성능  
다짐성능

---

© 2017 Society of Disaster Information All rights reserved

---

\* Corresponding author. Tel. 82-31-769-7258. Fax. 82-31-769-7288.  
Email. [limsunwoo@hanmail.net](mailto:limsunwoo@hanmail.net)

---

### ARTICLE HISTORY

Received May. 17, 2017  
Revised May. 18, 2017  
Accepted Jun. 30, 2017

# 1. 서론

현재 복잡한 도심지 도로 복구공사에서는 Fig. 1.과 같이 당일 굴착 및 복구로 인한 조급한 시공으로 다짐이 완벽하지 않아 부설시공의 발생 위험이 존재하며, 일일 복구공사 투입대비 복구수량 감소로 인해 시공적자가 증가하고 있다. 그리고 일일 복구공사 후 임시포장으로 인한 이중굴착으로 이중 공사비 발생 및 산업폐기물 발생으로 환경오염 등에 따른 국가적 예산이 낭비되고 있다. 또한, 안전시설물 설치를 통한 시공으로 인해 공사구간 차량혼잡·체증으로 환경오염(비산먼지, 이산화탄소 등)이 증가되어 국민의 안전 및 건강에 많은 영향을 미치고 있다. 특히, 공사 주변 비산먼지로 인한 민원이 급증하고 있어 이에 대한 대책이 시급한 상황이다.

이러한 현 문제점들을 해결하기 위한 대책으로 세계 최초로 복잡한 도심지 도로 복구공사에서 교통 혼잡 및 정체, 비산먼지의 발생을 방지하고, 부설공사를 예방하여 경제적 효과를 획기적으로 창출하는 선진국형 기술개발의 일환으로써 신개념·신기술의 도로복구를 위한 레고(Lego)식 차도블록 시스템을 개발하였다(Lim, 2016). 차도블록은 Fig. 2와 같이 각각 3가지 형태의 기술적 기능을 부분별로 발휘하는 금형 설계로 제작되어 조립한 기술 집약형 블록으로써 통행 차량의 운하중에 의한 진동을 흡수하고 미끄럼 방지와 우수 배출 홈이 형성된 고무의 경도를 조정한 상판 블록, 포장재와 토사(또는 보조기층)면에서 토사층의 다짐에 필요한 강도와 요철을 형성한 하판(다짐판) 블록, 상판과 하판의 사이에 각 두 판을 연결하고 걸림턱과 돌기, 결속 돌기와 홈을 형성한 블록 전체의 기능을 좌우하는 중요한 핵심기술 형태로 제작된 중간판(연결판) 블록, 이 3가지 형태와 기능을 조합하여 사각형 형태의 단일 고무블록을 구성한다. 그리고 이와 같이 구성된 시작블록, 표준블록, 측면블록 그리고 마감블록 등을 조합하여 상하·좌우를 연결하는 레고 형식의 지그재그 결합 및 결속 방법으로 다양한 임시 도로 포장면을 형성하게 된다.



Fig. 1. Excavation-recovery method and problem of the current road

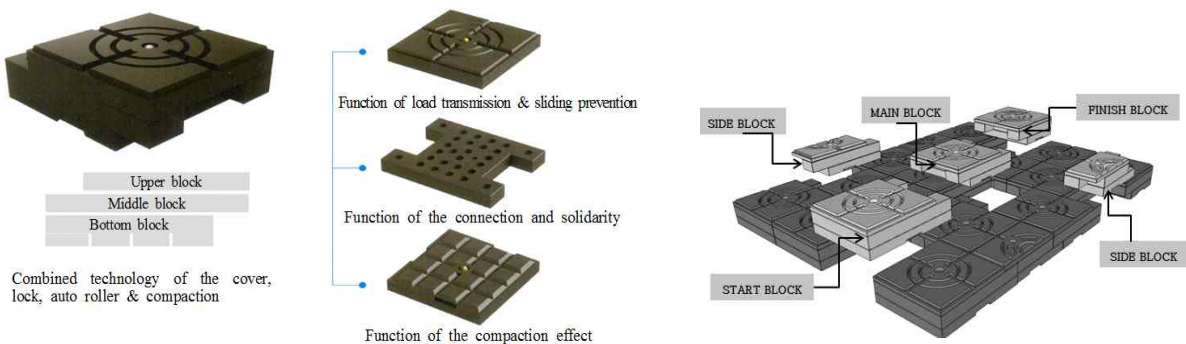


Fig. 2. Lego block system

레고식 차도블록은 고무재료를 활용하여 제작되었으며, 이와 관련된 연구로써 P.K. Freakley(1978)는 고무재료에 대한 하중과 변형이 비선형 관계를 보이며 대변형 변위에서도 탄성거동을 나타내는 초탄성(hyper-elastic) 특성과 시간에 따라 재료의 물성치가 변하는 점탄성(visco-elastic) 특성을 나타내는 거동에 대한 연구를 수행하였다. L. Mullins(1969)는 고무재료에 하중

을 가하고 제거하는 과정이 반복될 때, 응력은 초기 하중을 가한 것이 비해 작아지게 되는 응력 연화현상, 이른바 Mullins 효과라는 현상을 규명하였다. 또한, Woo C.S.(2004)는 고무부품의 피로수명 예측 및 평가에 관한 연구를 통해 온도 변화에 따른 고무물성 데이터베이스를 구축하고 기존의 피로수명시험에 적합한 시편을 설계, 제작하여 다양한 시험조건에서 피로시험을 통해 고무부품의 피로수명을 예측하고 평가하는 시스템을 구축하였다.

한편, 국내외 도로굴착 및 복구와 관련하여 고무재료를 적용한 연구는 전무한 실정이나 기술(특히)동향을 살펴보면 다음과 같다. Kim J.G.(2009)은 ‘재생고무매트를 이용하여 상하수관거가 매설되는 도로의 가포장방법’, Kim Y.Y.(2012)은 ‘도로 가포장용 재생고무매트’ 그리고 Sekine S.(2013)는 ‘노면 가복구용 부재 및 노면 가복구공법’을 개발하였으며, 이 기술들은 시공성의 저하 및 유지관리 문제 등 실효성이 떨어지고, 폐기물 저감 및 시공품질 개선 등의 효과가 미미한 문제들을 가지고 있으므로 시공성 및 유지관리가 양호하고 시공품질을 개선시킬 수 있는 굴착복구공사 관련 기술이 요구되는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 선진국형 도로복구를 위해 개발된 레고식 차도블록 시스템의 기초성능에 대한 연구로써, 재료적 품질시험 및 미끄럼저항시험을 수행하였으며, 압축시험을 통해 재료적 특성을 분석하였다. 또한, 현장시험을 통해 레고식 차도블록 시스템의 도로지반 다짐성능을 검토하고 평가하였다.

## 2. 레고식 차도블록 시스템의 재료적 기초성능

### 2.1 재료적 품질시험 및 결과

레고식 차도블록은 재활용 고무를 활용하여 제작되었으며, 이에 대한 재료적 품질시험을 한국건설생활환경시험연구원에 의뢰하여 관련 기준과 비교 및 검토를 수행하였다. Table 1과 2는 한국산업표준(KS) 품질기준과 레고식 차도블록의 품질시험을 실시한 결과이다.

한국산업표준(KS)의 재활용 고무(KS M 6951)에서 규정한 품질 기준은 보도용 바닥재에 관한 규정으로 차도용은 제외시키고 있어 레고식 차도블록과 관련된 규정은 없는 상태이다. 그러나 본 레고식 차도블록의 품질은 Table 1과 같이 KS M 6951에서 규정한 기준대비 인장강도 208%, 신장률 353%, 경도 140%로 성능이 월등히 상회하고 있고, 시험시공을 통한 안전성을 확보하여 차도용으로 사용이 가능한 우수한 성능을 확보한 것으로 나타났다.

또한, 레고식 차도블록의 고무재료는 Table 2과 같이 한국산업표준(KS) 환경 유해물질인 중금속(납, 카드뮴, 수은, 6가크로뮴) 및 유해화학물질(총휘발성유기화합물, 다환방향족탄화수소)이 전혀 검출되지 않아 환경에 대한 안전성을 충분히 확보하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 레고식 차도블록 설치시에는 도로의 종류에 따른 포장두께에 특화된 블록을 제공함으로써 블록 해체 후 별도의 조치 없이 해체 직후 기층포장과 표층포장을 순차적으로 진행 가능하여 폐기물이 발생하지 않는다. 그리고 다짐강화 기능을 제공하여 우수한 시공품질을 제공함으로써 하자보수에 따른 폐기물 발생을 억제한다. 따라서, 레고식 차도블록 시스템은 재료 자체뿐만 아니라 폐기물 발생을 원천적으로 억제시키는 친환경적인 특성을 가지고 있다.

Table 1. Material quality test results of lego block about the quality standards

Test item	Test results		
	KS M 6951	Lego block	For standard
Tensile strength(MPa)	5 over	10.4	Above 208%
Coefficient of expansion(%)	150 over	530	Above 353%
Solidity(non-unit)	55 over	77	Above 140%

Table 2. Material quality test results of lego block about the environmental standards

Test item		Test results	
		KS M 6951	Lego block
Heavy metal (mg/kg)	Pb	90 below	Non-detection
	Cd	50 below	Non-detection
	Hg	25 below	Non-detection
	Cr <sup>6+</sup>	25 below	Non-detection
Toxic chemical (mg/kg)	T-VOCs	50 below	Non-detection
	PAHs	10 below	Non-detection

※ Korea Conformity Laboratories

## 2.2 미끄럼저항시험 및 결과

도로굴착 및 복구 공사지에서 레고식 차도블록은 도로포장이 제거된 굴착면에 설치되어 차량 및 보행자의 통행이 가능한 시스템으로 레고식 차도블록에 의해 형성된 임시포장면이 주변도로와 동일한 성능을 가져야 한다. 그 성능과 관련된 중요한 요소 중 하나인 노면의 미끄럼저항시험을 한국도로공사 도로교통연구원에 의뢰하여 관련 기준과 비교 및 검토를 수행하였다.

도로안전시설 설치 및 관리지침(국토해양부) 제 4편 기타 안전시설에서의 최소 마찰계수 기준에서, 노면이 제공해야 할 최소한의 마찰력은 도로 및 교통조건에 따라 S1~S4 4개 등급으로 분류하고 있다. 또한, 보도의 경우는 미끄럼방지 기준이 없었으나 2010년 서울시에서 국내 최초로 서울형 보도포장 미끄럼저항 기준을 수립하여 2011년부터 시행하고 있다.

레고식 차도블록 시스템의 미끄럼저항시험 결과는 Table 3과 같으며, 최소 마찰계수 기준과 비교한 결과는 Table 4와 같다. 레고식 차도블록 시스템은 차도 및 보도의 모든 구간에서 최소 마찰계수 기준 대비 미끄럼저항에 대한 성능을 충분히 확보한 것으로 나타났다.

Table 3. Sliding resistance test result

Test item	Unit	Test method	Test result
Sliding resistance	BPN	ASTM E 303:2008	56
		KS F 2375:2001	

※ Korea Expressway and Transportation Research Institute

Table 4. Sliding resistance test results of lego block about the minimum friction coefficient standards

Classification		Lego block system	Standard	For standard
Road	S1 (Very important section)	56	57	Same level
	S2 (Important section)		47	Above 19%
	S3 (Average condition)		32	Above 75%
	S4 (Unimportant section)		32	Above 75%
Sidewalk	0~2% slope below		40	Above 40%
	2%~10% slope below		45	Above 24%
	10% slope over		50	Above 12%

### 2.3 압축시험 및 결과

#### (1) 시험방법 및 절차

레고식 차도블록 시스템으로 형성된 임시포장면에 차량의 윤풀하중이 작용할 때, 차도블록들의 레고식 결속으로 인해 수평방향으로는 모두 구속되어 있으므로 수직방향 하중에 대한 영향이 가장 지배적일 것으로 판단된다. 따라서, 레고식 차도블록에 대한 압축시험을 수행한 후 수직방향 하중에 대한 재료적 특성을 분석하였다. 레고식 차도블록의 압축시험을 위해 UTM(Universa Testing Machine) 장비를 사용하였으며, 하중 및 결과(압축력, 변위)는 UTM에 설치된 로드셀을 통해 재하 및 출력하였다. 레고식 차도블록의 제원 및 로드셀의 직경은 Fig. 4와 같으며, 차도블록 상하부 엇배치 형상으로 인해 중심부에 압축하중을 재하하였다. 그리고 압축시험은 1차, 2차, 3차 순차적으로 수행하여 결과값을 측정하였다.



Fig. 4. Compression test of lego block system

#### (2) 시험결과 및 분석

레고식 차도블록의 1차, 2차, 3차 압축시험에 대한 하중-변위 선도는 Fig. 5와 같으며, 시험초기 비선형 거동 이후 고무재료의 비압축성의 특성으로 인해 하중이 증가함에 따라 선형으로 지속적으로 강성이 일정함을 알 수 있다. 변위 7mm 부근에서 강성이 한차례 변화된 것은 레고식 차도블록의 상하부 면의 돌기형상으로 인한 영향으로 판단된다.

고무재료는 변형을 받으면 초기 상태의 분자구조가 수정 및 재배치로 인하여 강성이 낮아지는 물린스(Mullins) 효과 발생한다. 레고식 차도블록의 압축시험의 경우도 반복횟수가 증가할수록 하중-변위 선도에서의 초기에 강성이 점점 완화되는 물린스 효과가 발생한다는 것을 알 수 있다. 그러나 전체적인 강성의 변화 및 소성변형은 미미하므로 차량에 의한 수직방향 하중이 레고식 차도블록의 재료적 특성변화에 주는 영향은 매우 작을 것으로 판단된다.

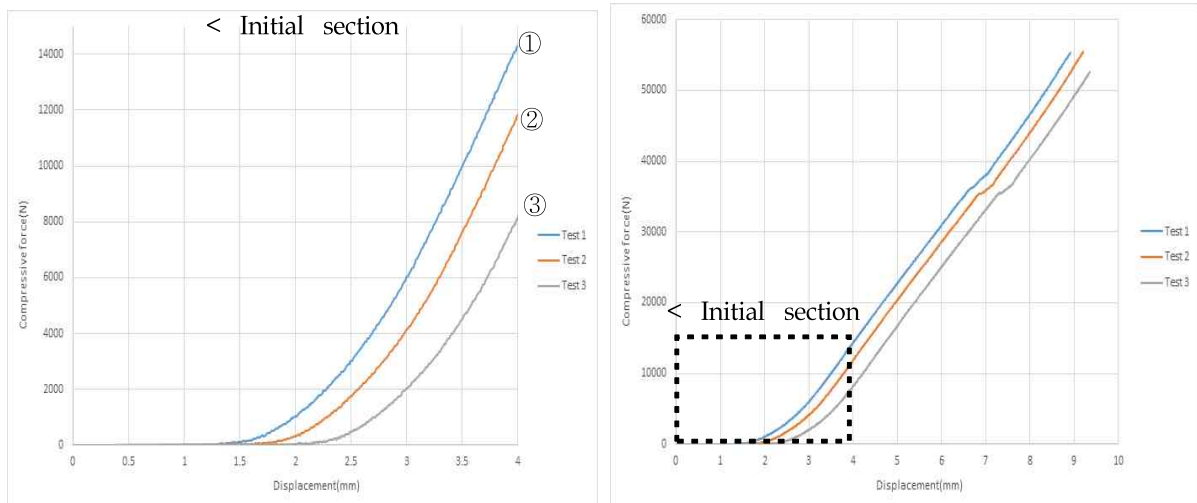


Fig. 5. Load-displacement curve of lego block system about the compression tests

### 3. 레고식 차도블록 시스템의 도로지반 다짐성능

#### 3.1 시험방법 및 절차

레고식 차도블록 시스템의 도로지반 다짐성능을 평가하기 위한 현장시험은 Fig. 6과 같이 포장된 도로를 보조기층 개착 및 재포설하고, 레고식 차도블록을 설치한 후 5ton 덤프트럭 실차량 하중으로 총 1000회 반복 재하하였다. 또한, 하부지반의 초기 다짐도에 따른 다짐도 변화를 검토하기 위해 다짐방법을 달리한 3구간(Section 1: 소형컴팩터, Section 2: 롤러, Section 3: 롤러 진동)을 각각 설정하여 시험을 수행하였다. 시험결과는 Fig. 7과 같이 재하 전·후 들밀도시험을 통해 다짐도를 측정하였으며, 동평판재하시험(LWDT) 및 소형충격재하시험(LFWD)을 통해 강성 변화를 분석하였다.

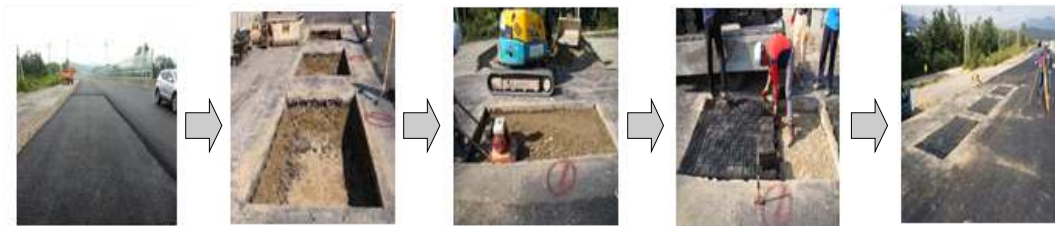


Fig. 6. Test method and procedure



<Field density test>

<LWDT>

<LFWD>

Fig. 7. Measurement of test results

#### 3.2 시험결과 및 분석

실차량 반복하중에 대한 들밀도 시험결과, 반복재하횟수(N) 1,000회 일 때를 기준으로 최종 다짐도를 살펴보면 1구간(소형 컴팩터) 90.72%, 2구간(롤러) 92.07%, 3구간(롤러 진동) 93.48%로 측정되었으며, 초기 진동다짐에 의한 3구간의 다짐도가 동일한 재하횟수에서 가장 크게 발생한 것으로 나타났다. 또한, 차량하중 반복재하에 따른 다짐도 변화를 살펴보면, Fig. 8과 같이 초기에 급격히 다짐도가 증가하였으며, 반복재하횟수(N) 200회에서 다짐도 총 증가율의 80% 정도가 발현되었다.

동평판재하 시험결과, 반복하중 1000회 재하 후 변형계수(ELWDT)는 다짐도가 가장 낮은 1구간 43.8MPa, 2구간 46.0MPa 그리고 다짐도가 가장 큰 3구간 48.3MPa로 측정되었다. 초기 동평판재하시험 변형계수 측정값은 큰 차이가 없었으나 반복재하가 진행됨에 따라 변형계수는 초기 다짐도와 연동되는 경향을 보였다.

소형충격재하 시험결과, 반복하중 1000회 재하 후 변형계수(ELFWD)는 1구간 87.4MPa, 2구간 92.0MPa, 3구간 96.4MPa로 측정되었다. Fig. 10과 같이 모든 구간에서 변형계수의 증가율이 200% 이상이며, 초기 변형계수가 작을수록 반복재하가 진행됨에 따라 변형계수의 증가율이 더 크게 발생한 것으로 나타났다.

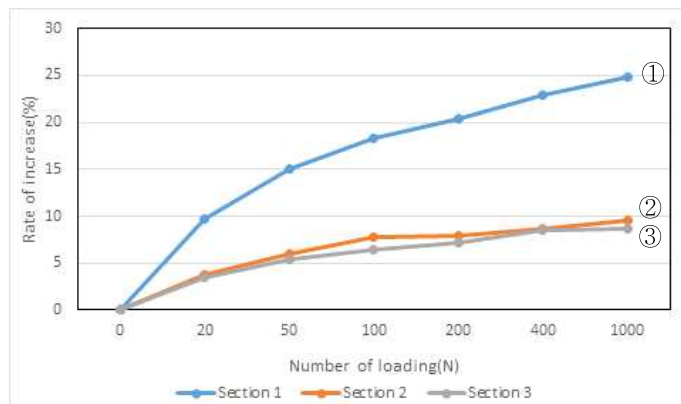


Fig. 8. Compaction Change about field density test

차량하중 반복재하에 따른 변형계수(ELWDT, ELFWD)의 발생치 및 증가율은 Fig. 9~10과 같이 초기 강성값에 상관없이 재하초기에 급격한 강성의 증가를 보였으며, 반복재하횟수 200회를 지나면서 완만한 증가추세를 보였다. 또한, 초기 변형계수에 대한 1000회 반복재하 후의 증가율을 살펴보면 3구간 모두 상당한 크기의 증가를 보였으며, 차량하중 반복재하에 의해 200% 이상의 강성증가를 유도한다는 것은 레고식 차도블록의 강성유발효과가 매우 큰 것을 의미한다.

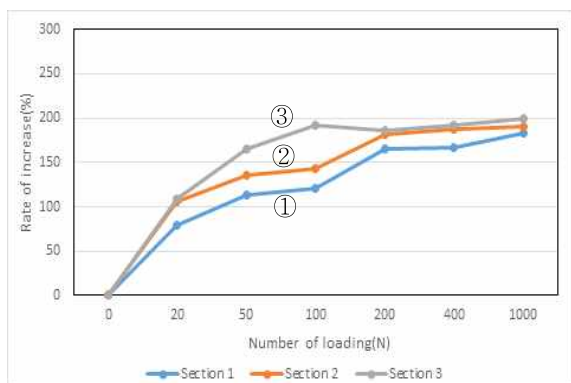


Fig. 9. Stiffness change about LWDT

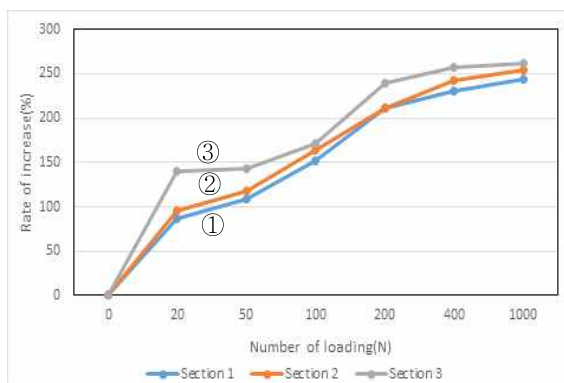


Fig. 10. Stiffness change about LFWD

#### 4. 결론

본 연구에서는 선진국형 도로복구를 위해 개발된 레고식 차도블록 시스템의 기초성능에 대한 연구로써, 재료적 품질시험 및 미끄럼저항시험을 수행하였으며, 압축시험을 통해 재료적 특성을 분석하였다. 또한, 현장시험을 통해 레고식 차도블록 시스템의 도로지반 다짐성능을 검토하고 평가하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 레고식 차도블록 시스템의 품질시험 결과, KS M 6951에서 규정한 기준대비 인장강도 208%, 신장률 353%, 경도 140%로 성능이 월등히 상회하고 있고, 시범시공을 통한 안전성을 확보하여 차도용으로 사용이 가능한 우수한 성능을 확보한 것으로 나타났다. 또한, 레고식 차도블록의 고무재료는 환경 유해물질인 중금속 및 유해화학물질이 전혀 검출되지 않아 환경에 대한 안전성을 충분히 확보하고 있는 것으로 나타났다.

(2) 레고식 차도블록 시스템의 미끄럼저항시험 결과, 레고식 차도블록의 마찰계수는 56BPN으로 측정되었으며, 차도 및 보도의 모든 구간에서 최소 마찰계수 기준 대비 미끄럼저항에 대한 성능을 충분히 확보한 것으로 나타났다.

(3) 레고식 차도블록의 압축시험 결과, 하중-변위 선도는 초기 비선형 거동 이후 고무재료의 비압축성의 특성으로 인해

하중이 증가함에 따라 선형으로 지속적으로 강성이 일정하게 나타났다. 또한, 레고식 차도블록에서도 반복횟수가 증가할수록 하중-변위 선도의 초기에 강성이 점점 완화되는 Mullins(Mullins) 효과가 발생하였지만, 전체적인 강성의 변화 및 소성변형은 미미한 것으로 나타났다. 따라서, 차량에 의한 수직방향 하중이 레고식 차도블록의 재료적 특성변화에 주는 영향은 매우 작을 것으로 판단된다.

(4) 레고식 차도블록 시스템의 도로지반 다짐성능시험 결과, 현장에 설치된 레고식 차도블록 시스템에 대해 차량하중 반복 재하에 따른 도로지반 다짐도 및 강성 증가율은 재하초기 급격한 증가를 보였으며, 반복재하횟수(N) 200회를 지나면서 안정된 상태의 다짐도 및 강성을 유지하였다. 그리고 반복재하횟수(N) 1,000회일 때 다짐도가 90% 이상, 강성 증가율은 200% 이상으로 나타났으며, 레고식 차도블록 시스템의 도로지반 다짐성능은 우수한 것으로 평가되었다.

(5) 레고식 차도블록 시스템은 도로 굴착복구 방법에서 세계 최초로 개발한 신개념·신기술의 선진국형 건설 시스템으로 긴급(상·하수도, 전기, 통신 등)도로 복구공사, 관로(상·하수도, 전기, 통신, 가스 등) 굴착공사, 임시 우회도로 및 가설도로 그리고 임시 및 상설 주차장 등 다양하게 사용됨에 따라 국민과 국가와 기업이 상생하고, 저탄소 녹색성장을 주도하는 미래의 친(건설)환경을 제공할 것으로 전망된다. 또한, 향후 레고식 차도블록 시스템의 실제 도로복구 현장적용을 위해 기존 도로 굴착복구 방법들과의 경제성 분석 및 평가에 대한 연구가 더욱 필요할 것으로 사료된다.

## References

- Ministry of Land (2012), "Installation and Management Guidelines for Road Safety Facilities", Transport and Maritime Affairs in Korea.
- Kim, J.G. (2009), "Method for temporary pavement road laid water supply and drain pipe using reclaimed", Korean Intellectual Property Office, 1008895210000.
- Kim, Y.Y. and Kang, S.M. (2012), "Recycling rubber mat for temporary paving", Korean Intellectual Property Office, 1012055530000.
- L. Mullins, (1969), "Softening of rubber by deformation", Rubber Chem. Tech., 42, 339
- Lim, S.W., Kim, J.H. and Lee, C.S. (2016), "Dynamic Analysis of Lego Block System for the Road Recovery", J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol.16, No.1, pp.29-35.
- P.K. Freakley, A.R. Payne (1978), "Theory and Practice of Engineering with Rubber", Applied Science Publishers LTD, London
- Sekine S. (2013), "Member for temporarily recovering road surface and method for temporarily recovering road surface", Korean Intellectual Property Office, 1012584170000.
- Seoul (2011), "Sliding Limit Criteria for Sidewalk Pavement in Seoul", Korea.
- Woo, C.S. (2004), "A Study on the Fatigue life Prediction and Evaluation of the Rubber Components", Yeungnam University, Ph.D. thesis