

침투도랑 인접도로 하부구조의 함수비 측정 및 공용성 분석

Analysis of Performance and Measurement of Water Contents for Road Substructures with an Infiltration Trench

공석준	Kong, Seokjun	토지주택연구원 연구원 (E-mail : sjkong@lh.or.kr)
정종석	Jung, Jongsuk	정회원 · 토지주택연구원 수석연구원 (E-mail : pobyasu@lh.or.kr)
연규민	Yeon, Gyumin	정회원 · 명지대학교 교통공학과 · 교신저자 (E-mail : bx1002@nate.com)
김인태	Kim, In Tai	정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수 (E-mail : kit1998@mju.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study mechanically analyzed the performance of road substructures with focus on infiltration trenches of pavement substructures.

METHODS : Water contents and response times for precipitation of pavement substructures were investigated via sensors buried near the infiltration trench to measure water contents.

RESULTS : The results of the water contents of pavement systems constructed with an infiltration trench yield levels that were slightly increased by approximately 2% compared to those measured from general pavement systems. This water content difference of 2% resulted in a decrease in service life of less than two years.

CONCLUSIONS : Service life reduction due to an infiltration trench is minimal, particularly when the trench is installed with proper caution.

Keywords

LID, Road serviceability, Infiltration trench, Water content

Corresponding Author : Yeon, Gyumin
Myongji Univ., 116, Myongji-ro, Cheoin-gu, Yongin-si,
Gyeonggi-do, 17058, Korea
Tel : +82.10.6362.3074 Fax : +82.31.336.2885
E-mail : bx1002@naver.com

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Oct. 13, 2016 Revised Jan. 25, 2017 Accepted Jan. 25, 2017

1. 서론

산업화에 따른 급격한 도시화는 자연생태계의 훼손뿐 아니라 지표면의 불투수층을 증가시켜 자연적인 물 순환 환경을 파괴하고, 빗물의 토양침투를 감소시켜 유출량의 증가로 인한 도시지역의 침수피해를 야기한다. 또한 하천의 건천화, 도시 열섬현상, 홍수 및 비점오염부하 증가, 지하수위 저하 등 각종 문제를 초래하고 있다 (Moon et al., 2006; Lee et al., 2009). 이러한 문제

를 해결하기 위하여 도시 개발 이전의 물 순환 환경의 개선을 통하여 수자원 확보 및 미기후 향상 등의 환경 문제를 개선할 수 있는 저영향개발(Low Impact Development: LID) 기법이 주목받고 있다.

LID 기법은 도시의 불투수층에 의한 강우의 영향을 최소화하기 위하여 저류, 침투, 여과, 증발산 등 자연상태의 물순환 기능을 구현하는 기술이다(US EPA, 2007). 이는 기존 관리중심의 관리시스템과는 다른 새

로운 형식의 자연친화적 접근기법으로 미국은 1990년대 이후 LID개념을 도입하여 자연형 배수로의 보전 및 복원, 강우유출수의 분산 관리, 강우유출량 저감을 위한 토지관리 등 도시의 건전한 물순환 및 그린인프라를 강조하고 있으며(Foster et al, 2011), 특히 미국 시애틀의 SEA(Street Edge Alternative)프로젝트, 독일의 DUD(Decentralized Urban Design), 호주의 WSUD(Water Sensitive Unban Design), 일본의 SWCNP(Sound Water Cycle) 등 미국을 비롯한 많은 선진국들은 LID개념을 도시계획에 도입하고 있다. 우리나라 또한 도시계획 단계에서 도시개발 이전의 물순환 환경 복원을 위하여 LID 개념을 도입하고 있으며, 특히 아산신도시는 종합적인 빗물관리 방안을 추진하여 아산탄정지구에는 840개의 침투도랑을 도로인접부에 설치하였다(Hyun et al., 2012; Hyun et al., 2013).

도로 LID 시설과 관련한 주요연구에는(Lee et al, 2012) 투수블록의 투수효과를 분석하기 위하여 강우강도의 모사를 통해 우수유출의 저감 효과를 연구한 바 있으며, Koo et al.(2013)의 투수성 포장에서 투수효과의 정량적 분석을 통하여 도시구역의 유출변화를 연구하였고, Kim et al.(2015)은 LID 효율성 검증기기를 이용하여 강우검증을 통해 투수성블록의 수문순환 효율성을 검증한바 있다. 또한 Lee et al.(2010)은 침투도랑의 기술개발을 통하여 포장지역의 강우유출수의 오염물질 저감효과에 대한 연구를 하였으며, Precious Eureka D.F. et al.(2015)는 LID 기법인 침투도랑과 나무여과상자의 적용 후 수문학적 효과를 평가하는 등의 연구가 있었다. 그러나 이러한 연구들은 LID시설의 설치를 통하여 수문학적 효과를 평가하기 위한 연구들로 도로에 인접한 LID시설(침투도랑)에 의한 우수의 침투가 도로 공용성에 미치는 영향에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 침투도랑으로 인한 수분침투가 도로 공용성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 침투도랑의 모사실험 및 현장실험을 실시하여 우수 침투에 따른 노상의 함수비 변화를 분석하여 수분침투에 의한 도로 공용성에 미칠 영향을 분석하고자 한다.

2. 연구방법

LID 시설인 침투도랑이 도로 공용성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다음과 같은 연구를 진행하였다. 우선 침투수 유입에 따른 도로하부구조의 유체거동과 포장골재 및 노상의 함수비 변화를 역학적으로 예측하기

위하여 Geo-studio사의 Vadose/W 유한요소 해석프로그램을 이용하여 침투도랑이 도로포장 하부 함수비 변화에 미치는 영향을 분석하였다(Jung et al, 2015). 유한요소 해석결과 침투도랑은 4~5mm/hr의 약한 강우에서도 도로포장하부의 함수비에 영향을 미치며, 100mm/day 이상의 강우강도에서 침투도랑에 우수의 지속적인 유입으로 도로구조에 악영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 바탕으로 실제 강우에 따른 도로인접에 설치된 침투도랑으로 유입된 우수가 도로하부구조에 미치는 영향을 분석하고자 모사도로와 실제도로에 현장 실험을 설계하고 함수비를 계측할 수 있도록 센서를 매설하여 노상의 함수비 변화를 모니터링 하였다. 그리고 피로모형 AI Fatigue model을 활용하여 침투도랑 설치에 따른 도로의 기대수명을 예측하였다. Fig. 1은 연구의 흐름을 요약하여 보여준다.

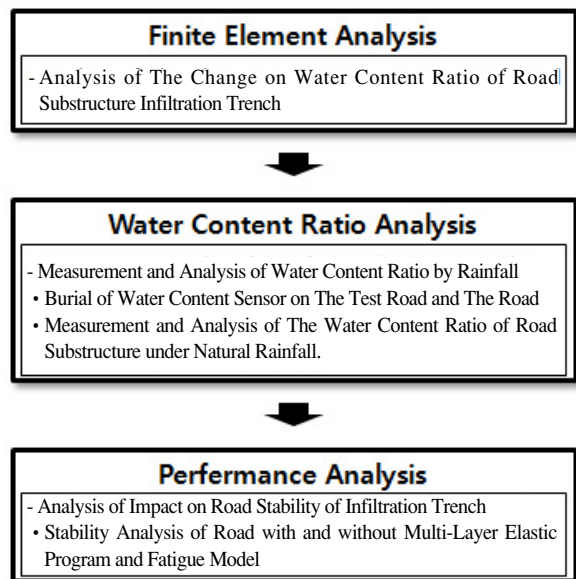


Fig. 1 Research Process

2.1. 침투도랑의 현장실험 설계

침투도랑에 유입되는 우수로 인한 도로구조 하부의 함수비변화가 도로구조 안정성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 모사도로와 실제도로에 현장 실험을 설계하였다.

모사도로와 실제도로의 함수비를 계측하기 위한 센서는 TSE사의 MTS와 MTA 함수비 계측기를 현장실험지역에 매설하여 함수비 변화를 관측하였다.

현장실험의 모사도로는 한차로만으로 모사하여 전체 폭은 4m(도로포장 3m, 침투도랑 1m), 길이 10m, 편경사 2%로 시공하였으며, 도로의 각층은 일반적인 아스

팔트 도로와 같은 표층, 기층, 보조기층으로 구성하고 침투도랑은 도로의 편경사를 통해 모여진 우수를 처리할 수 있도록 도로 갓길에 붙여 설치하였다. 또한 함수비 센서는 도로 중앙 하부에 2개, 침투도랑 옆 도로 하부에 2개, 총 4개의 함수비 센서를 설치하였다.

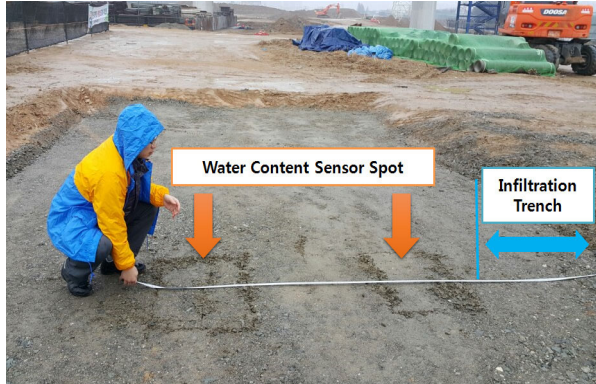


Fig. 2 Water Content Sensor Spot (Test Road)

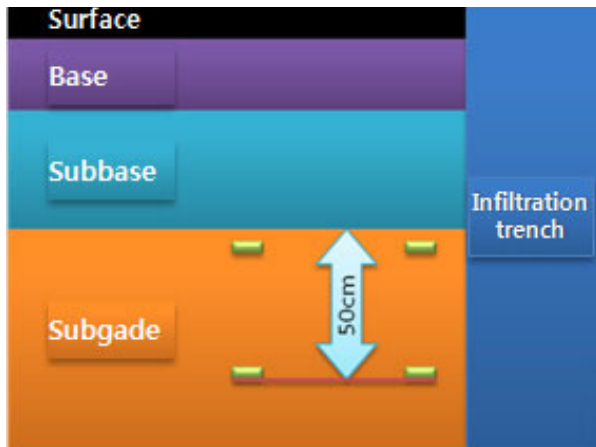


Fig. 3 Water Content Sensor Spot (Test Road) : Cross-Section

현장실험에 사용된 실제도로는 폭 12m, 침투도랑 간의 간격 20m, 편경사 2%이며, 표층, 기층, 보조기층으로 구성된 일반적인 아스팔트 도로에 현장 실험지를 설계하였으며, 강우 시 침투도랑의 우수 유입으로 인한 수분 침투가 도로 공용성에 미치는 영향을 분석하였다.

함수비 센서는 침투도랑에서 50cm 떨어진 도로구조

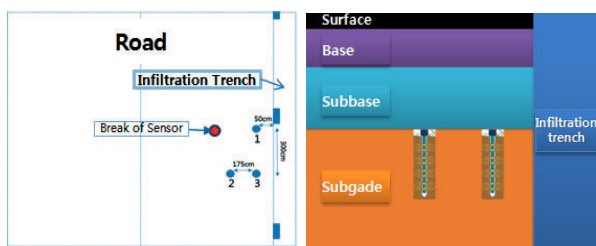


Fig. 4 Water Content Sensor Spot

하층부(노상)에 2개, 255cm, 300cm 떨어진 위치에 각각 1개씩 총 4개의 센서를 설치하여 우수 침투에 따른 함수비 변화를 측정하고자 하였으나 침투도랑에서 300cm 위치의 센서의 경우 시공 당시 파손되어 분석에 활용할 수 없었다.

2.2. 함수비 계측

실제도로와 모사도로에 매립된 함수비 센서를 데이터 로거와 유선으로 연결하여 함수비 데이터를 30분 간격으로 측정하였으며, 살수 및 기타 상황에 따라 10분 간격으로 측정하여 함수비 데이터를 수집하였다. 수집된 함수비 데이터는 기상청의 일별 강우량과 비교 분석하였다.

2.3. 함수비 변화에 따른 도로 공용성 분석

도로인접에 설치된 침투도랑으로 인한 도로의 공용수명을 예측하기 위하여 다층 탄성프로그램인 KENPAVE의 ASPALT KENLAYER에 Table 1과 같은 기본 입력 변수를 설정하고 노상 탄성계수에 따른 Critical responses를 산정하여 도로 포장체의 거동특성을 분석하였다.

프로그램에 사용된 포장의 두께는 실제 현장에서 시공된 값을 활용하였으며, 포아송비는 각 층별 일반적인 값을 가정하여 사용하였고(Huang, 1993) 노상의 탄성계수는 함수비에 따라 다르게 적용하였다(Table 1).

Table 1. Pavement Thickness and Poisson's Ratio Input Variables

Layer	Thick	Possion ratio	E(psi)
Surface	50 mm	0.3	300,000
Base	140 mm	0.3	200,000
Subbase	160 mm	0.35	21,030
Subgrade	-	0.4	

일반적인 포장의 공용성을 산정하기 위하여 표층과 기층의 탄성계수는 국내 아스팔트 포장 물성의 기준을 활용하였다. 또한 보조기층의 경우 시공 시 주로 사용되는 골재 SB-2를 기준으로 탄성계수를 설정하였으며, 실제차량이 유발하는 구속응력과 축차응력을 고려하여 SB-2의 3단계에 해당하는 응력상태 145MPa를 적용하였다.

노상토는 국내에서 가장 흔하게 분포하고 있는 SG-5(111.2MPa)와 SG-7(136MPa)을 각각 세립질과 조립질 토양으로 가정하고, 보조기층과 마찬가지로 실제차

량이 유발하는 구속응력과 축차응력을 고려하여 13단계의 탄성계수를 이용하였다.

포장의 공용성 모형은 도로 포장의 Critical Responses를 통해 포장체의 거동 특성을 분석하여 포장의 설계 수명을 예측한다. 본 연구에서는 AASHO road test(Huang, 2004)를 통해 개발된 AI Fatigue model을 활용하여 도로의 공용수명을 예측하였다(Eq. (1)).

$$N_f = 0.0796 \times \epsilon^{-3.291} \times E^{-0.854} \quad (1)$$

N_f = 반복하중허용횟수

E = 탄성계수(psi)

ϵ = 인장변형률(in/in)

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 함수비 분석 결과

3.1.1. 모사도로 함수비 계측 결과

모사도로에 설치된 데이터 로거의 수집된 함수비를 분석하기 위하여 함수비 계측이 실시된 기간동안 천안 기상대에 관측된 기상청의 기후데이터를 수집하였다.

모사도로의 실험기간 동안(2015년 3월 18일~2015년 10월 13일) 강우일수는 50일로 총 강우량은 400mm, 평균 강우량은 8mm로 나타났다.

강우에 따른 함수비 변화를 계측한 결과 모든 함수비 계측 센서의 초기 함수비는 16~19%로 일반적인 노상토의 초기함수비보다 높게 나타났다. 이는 모사도로의 노상토의 재질이 점토질에 가깝고, 함수비 계측 센서 매설 시 주변의 다짐상태와 노상토의 입자가 완전히 동질된

상태가 아니기 때문에 생기는 차이로 판단된다.

또한 강우에 의한 함수비 변화율은 실험기간 동안 내린 모든 강우에 대하여 2번 센서의 평균 함수비 변화율이 다른 센서보다 0.15% 높은 것으로 나타났다. 이는 침투도랑을 통하여 들어온 수분이 노상 골재의 모세관력에 의해 흡수됨에 따라 침투도랑과 인접하고 노상 상부에 위치한 2번 센서의 함수비 변화율이 크게 나타났다.

모사도로의 함수비 분석은 토양조건과 도로의 구조가 분석에 적합하지 않았으나 강우 강도가 크고, 배수가 용이하지 않은 지역에서의 침투도랑으로 인하여 발생할 수 있는 영향을 예측할 수 있는 자료로 확보할 수 있었다. 강우로 인한 최고 함수비는 22.35%로 나타났으며, 침투도랑과 인접한 지역(2번 센서)이 강우로 인한 영향이 가장 큰 것으로 나타났다.

3.1.2. 실제도로 함수비 계측 결과

실제도로의 실험기간 동안(2015년 10월 13일~2015년 12월 4일) 강우일수는 22일로 총강우량은 174mm, 평균 강우량은 8mm이었으며, 11월 6일부터 11월 22일 까지의 기간 동안 강우(127mm)가 집중되는 것으로 나타났다.

실제도로에서의 강우에 따른 함수비 변화를 분석한 결과 모든 센서에서 공통적으로 10mm 이상의 강우에서 함수비 변화를 보였다. 초기 함수비의 차이로 인하여 1, 2번 센서가 3번 센서보다 함수비 변화 폭이 크게 나타났다.

각 센서의 초기함수비는 12.45%~16.05%(센서 1번 12.45%, 센서 2번 13.25%, 센서 3번 16.05%)로 최소 0.8%, 최대 3.5%의 차이를 보였다. 이러한 초기 함수비의 차이는 앞선 모사도로에서와 마찬가지로 함수비 센서의 설치 시 센서 주변의 다짐상태와 노상토의 입자가 동질한 상태가 아니기 때문에 나타나는 차이로 판단된다.

강우에 따른 최대 함수비는 16.5%로 나타났다. 또한 초기 함수비를 기준으로 강우 시 각 센서들의 함수비 변화 폭은 최저 0.45%, 최대 2.1%로 변화폭을 보였다. 이는 실험대상지가 된 실제도로가 신설도로로서 도로표층의 파손이 작아 도로로 침투하는 우수의 양이 적고, 침투도랑을 통하여 유입된 우수가 노상의 함수비에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

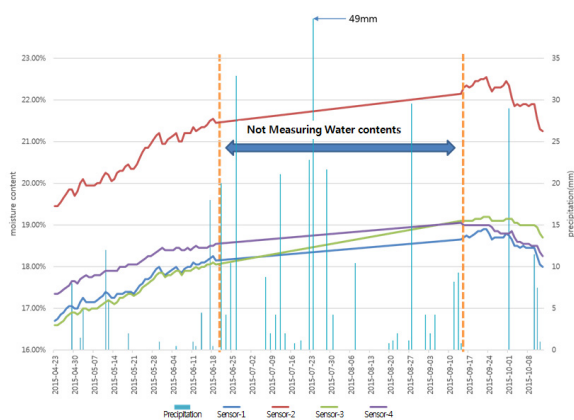
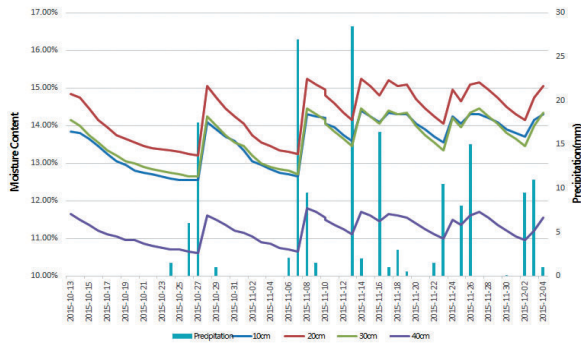
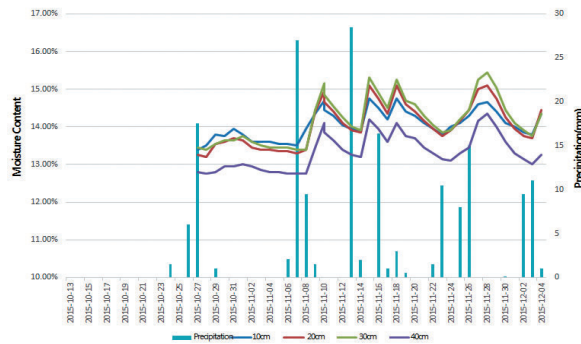


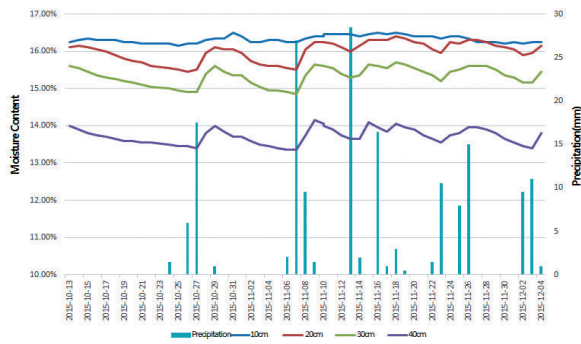
Fig. 5 Water Content Changes in Precipitation (Test Road)



(a) Water Content Sensor Data(1)



(b) Water Content Sensor Data(2)



(c) Water Content Sensor Data(3)

Fig. 6 Water Content Changes in Precipitation

Table 2. Low-Peak Water Content in Precipitation

Sensor	Depth(cm)	Low WC(%)	Peak WC(%)
Sensor(1)	10	12.45	14.4
	20	13.2	15.3
	30	12.65	14.5
	40	10.55	11.85
Sensor(2)	10	13.25	14.75
	20	13.15	15.15
	30	13.4	15.5
	40	12.75	14.35
Sensor(3)	10	16.05	16.5
	20	15.35	16.4
	30	14.85	15.7
	40	13.35	14.2

3.1.3. 함수비 변화에 따른 도로 공용성 분석 결과

함수비 변화에 따른 도로 공용성 분석은 일반도로와 도로인접에 침투도랑이 설치된 도로의 공용성을 비교 분석하였다. 일반적인 도로포장의 노상 탄성계수는 국내에 가장 넓게 분포되어 있는 SG-5와 SG-7을 세립집, 조립질 토양으로 구분하여 최적 함수비 상태의 탄성계수를 일반적인 노상의 탄성계수로 가정하였다(Table 3). 또한 침투도랑과 인접하여 설치된 함수비 계측 센서의 최대 함수비 변화율(2.1%)을 반영하여 강우 시 침투도랑이 도로에 미치는 영향으로 설정하였다. 일반도로와 침투도랑이 시공된 도로의 함수비 변화에 따른 노상의 탄성계수를 예측하여 Kenpave 프로그램을 통해 도로의 축하중반복허용 횟수를 비교 분석하였다.

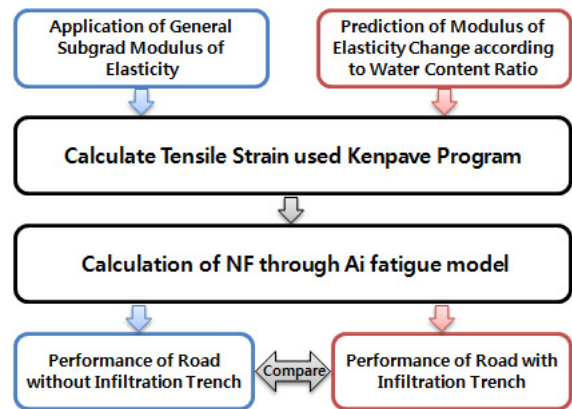


Fig. 7 Road Serviceability Analysis Process

노상의 함수비 증가에 따른 탄성계수의 변화를 살펴본 결과 0%의 함수비 변화율은 노상 함수비가 최적 함수비 상태를 보여준다. 본 연구에서는 일반도로의 현장 실험 시 관측된 최소함수비이다. 탄성계수는 한국형포장설계법의 함수비-탄성계수 모형에 따라 산정하였다. 분석 결과 일반도로의 노상함수비에 따른 노상탄성계수는 평균 19,725psi로 함수비가 0.5% 증가할 경우 노상탄성계수는 평균 300psi 감소하였다.

따라서 일반도로와 침투도랑이 시공된 도로의 공용성 분석에 사용된 탄성계수는 함수비 변화율 2.1%의 노상탄성계수에 해당하는 9,941psi로 설정하였다.

Table 3. Subgrade Elastic Modulus

Road	Road (Infiltration trench)
19,725psi	9,941psi

다층 탄성프로그램인 Kenpave의 ASPALT KENLAYER를 이용하여 노상 탄성계수에 따른 Critical

responses를 구했다. 도로 포장 공용성 분석을 위한 Critical responses는 아스팔트 기층의 하부 인장 변형률로 Kenpave 프로그램을 활용하여 분석하였다. 노상의 탄성계수는 최적 함수비 상태의 탄성계수 19,725psi와 함수비 변화율 2.1%의 노상탄성계수 9,941psi를 사용하였다. 또한 도로의 등급에 따라 일반적인 포장층의 두께를 선정하여 고속국도, 일반국도, 지방도의 도로 등급에 따른 포장의 Critical responses를 분석하였다.

공용성 분석에 활용된 도로등급은 일반적인 도로의 층 두께로 일반국도 및 지방도의 층 두께는 현장실험 도로의 층 포장층 두께보다 5cm 정도 두꺼운 것으로 나타났다.

Table 4. Pavement Thickness

Road	Layer	Thickness
Highway	Surface	10cm
	Base	25cm
	Subbase	25cm
Road, Local	Surface	5cm
	Base	20cm
	Subbase	25cm

분석 결과 침투도랑을 설치하지 않은 도로보다 침투도랑을 설치한 도로가 인장 변형률이 높게 분석됐으며, 포장두께가 증가할수록 인장 변형률이 낮아졌다.

Table 5. Pavement Critical Responses

Road conditions	Road	Road (Infiltration trench)
Water content	0%	2.1%
Subgrade elastic modulus	19,725psi	9,941psi
Tensile strain	Highway	1.179E-04
	Local	1.992E-04
		1.225E-04
		2.127E-04

도로에 인접하여 설치된 침투도랑이 도로 공용성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 피로모형을 이용하여 포장의 공용성을 예측하였다. 피로모형은 Ai Fatigue Model을 활용하였으며, 주요변수 중 탄성계수는 아스팔트 기층의 일반적인 값인 200,000psi를 적용하였으며, 인장변형률은 이전 분석절차에서 계산된 함수비와 도로등급에 따른 인장변형률을 활용하였다. Ai Fatigue Model을 통하여 산정된 축하중반복허용횟수를 도로등급에 따른 일평균교통량에 따라 등가단축하중횟수로 환산하여 도로 등급에 따른 공용년수를 예측하였다.

분석에 사용된 일평균 교통량은 국내의 고속국도, 일

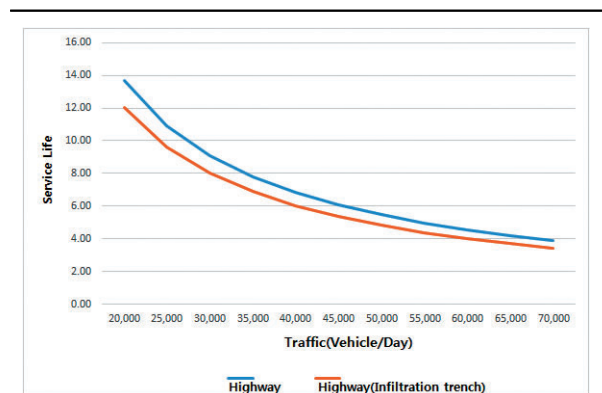
반국도, 지방도의 일평균교통량을 사용하였다(국토부, 2014). 또한 교통량에 대한 도로 공용성 민감도를 분석하기 위해 도로등급에 따라 국내 일평균교통량을 기준으로 11개의 교통량을 가정하여 도로 공용년수를 분석하였다.

Table 6. Average Daily Traffic

Road	Traffic (Vehicle/Day)	Percent trucks(%)
Highway	46,403	26.3
Road	11,587	22.9
Local	5,566	27.7

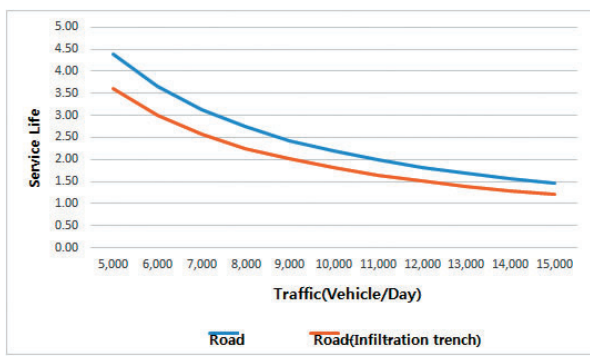
등가단축하중은 임의포장구조에 대한 표준단축하중의 1회 통과당 피해도와 동일포장구조에 임의크기를 가지는 단축하중의 1회 통과에 따른 피해도의 비로 정의되는 값으로 본 연구에서는 ACPA(American Concrete Pavement Association)에서 제공하는 등가단축하중 웹 프로그램을 사용하여 국내 도로등급에 따른 일평균 교통량을 등가단축하중횟수로 변환하여 산정하였다.

Table 7. Highway Road Serviceability Analysis



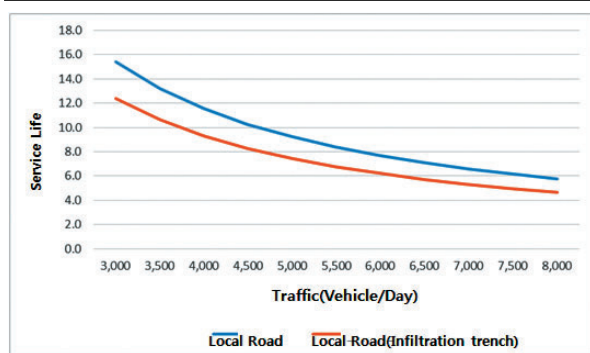
Traffic (Vehicle/Day)	ESALS	Road condition	
		Highway	Highway (Infiltration trench)
		Service life	
20,000	1,468,724	13.7	12.0
25,000	1,835,905	10.9	9.6
30,000	2,203,086	9.1	8.0
35,000	2,570,267	7.8	6.9
40,000	2,937,448	6.8	6.0
45,000	3,304,629	6.1	5.4
50,000	3,671,810	5.5	4.8
55,000	4,038,991	5.0	4.4
60,000	4,406,172	4.6	4.0
65,000	4,773,353	4.2	3.7
70,000	5,140,534	3.9	3.4
Nf		20,066,957	17,692,027

Table 8. Road Serviceability Analysis



Traffic (Vehicle/Day)	ESALS	Road condition	
		Highway	Highway (Infiltration trench)
		Service life	
5,000	319,713	11.2	9.0
6,000	383,656	9.3	7.5
7,000	447,598	8.0	6.4
8,000	511,541	7.0	5.6
9,000	575,483	6.2	5.0
10,000	639,426	5.6	4.5
11,000	703,369	5.1	4.1
12,000	767,311	4.7	3.8
13,000	831,254	4.3	3.5
14,000	895,196	4.0	3.2
15,000	959,139	3.7	3.0
Nf		3,571,678	2,878,396

Table 9. Local Road Serviceability Analysis



Traffic (Vehicle/Day)	ESALS	Road condition	
		Highway	Highway (Infiltration trench)
		Service life	
3,000	232,036	15.4	12.4
3,500	270,709	13.2	10.6
4,000	309,381	11.5	9.3
4,500	348,054	10.3	8.3
5,000	386,727	9.2	7.4
5,500	425,399	8.4	6.8
6,000	464,072	7.7	6.2
6,500	502,745	7.1	5.7
7,000	541,417	6.6	5.3
7,500	580,090	6.2	5.0
8,000	618,763	5.8	4.7
Nf		3,571,678	2,878,396

침투도랑의 유무와 도로등급에 따른 도로의 공용년수를 분석한 결과 모든 도로에서 침투도랑의 설치에 따라 2년 이하의 공용년수가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 고속도로의 경우 침투도랑 미설치 도로와 침투도랑이 설치된 도로의 공용년수는 약 12% 감소했으며, 일반국도와 지방도의 경우 약 20%의 차이가 나타났다. 이러한 결과는 도로 등급이 높은 고속도로의 경우 표층의 두께가 일반국도나 지방도보다 두꺼워 도로하중을 지지하는 노상에 영향이 적기 때문이라 판단된다.

따라서 도로포장의 두께가 두꺼워질수록 침투도랑의 설치에 따른 도로 공용성에 미치는 영향이 적을 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구는 도로인접에 설치된 침투도랑에 의한 도로 하부구조 함수비 변화를 분석하고 이에 따른 도로 공용성에 대한 영향을 역학적으로 규명하고자 하였다. 이를 위해 도로포장 하부 함수비 예측, 함수비 변화에 따른 도로 공용성 분석을 통한 도로 안정성을 평가하였다.

1. 함수비 분석 결과,

- 도로에 인접하여 설치된 침투도랑을 통하여 도로포장 하부구조에 일정량의 우수가 침투하는 것으로 나타났다.
- 분석 기간 중 자연강우에 의한 최대 함수비는 모사도로 22.35%, 현장도로 16.5%로 예측되었다. 특히 모사도로의 경우 높은 초기 함수비와 도로의 배수조건이 좋지 않아 함수비 변화율이 1% 이하로 예측되었으며, 현장도로의 경우 최대 2.1%의 함수비 변화율을 보였다.

2. 도로 공용성 분석 결과,

- 침투도랑 미설치 도로와 침투도랑이 설치된 도로의 공용년수는 2년 이하의 감소가 나타났다.
- 침투도랑 미설치 도로와 침투도랑이 설치된 도로의 공용년수는 감소는 고속국도 : 약 12%, 일반국도 및 지방도 : 약 20%로 포장의 두께에 따라 차이가 커지는 것으로 분석되었다.

위 결과를 통해 침투도랑으로 인한 우수의 포장하부 침투가 노상 함수비변화에 일정 수준 영향을 주는 것으로 분석되었으나 모사실험과 현장실험에서 관측된 함수비 변화율이 약 1%~2% 수준으로 나타났다. 또한 배수

환경 악화, 강우량의 증가에 따라 침투도랑으로 인하여 도로 공용성에 미치는 영향이 커질 수 있으나 관측된 합수비 변화율에 따른 공용년수 감소는 약 2년 이하로 분석되었다.

침투도랑 설치 시 분석된 포장 두께에 따른 공용년수 감소를 고려하여 고속국도의 경우 일 교통량 25,000대 이하(침투도랑 설치 시 공용년수 약 10년), 일반국도의 경우 일 교통량 9,000대 이하(침투도랑 설치 시 공용년수 약 5년)의 지역에 설계해야 될 것으로 판단된다. 또한 일 교통량 8,000대 이하의 지방도의 경우 공용년수가 약 5년 이상으로 분석됨에 따라 설계자의 요구에 따라 침투도랑을 설치해도 될 것이라 판단되며 추후 침투도랑 설치에 따른 공용년수 감소와 오염물 유출 처리비용 등 시설 및 환경적인 측면을 모두 고려한 경제성 분석을 통해 실용적인 침투도랑 설치 기준을 수립해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 1615007273).

REFERENCES

Foster, j., A. Lowe., S. Winkelman. (2011). "The Value of Green Infrastructure for Urban Climate Adaptation." The Center for Clean Air Policy.

Huang, Y.H. (1993). Pavement Analysis Design 2nd.

Hyun, K.H., Kim, J.G., Lee, J.M., Lee, E.Y., Kim, S.G., Choo, Y.W., and Yoo, J.E. (2012). "Installation Manual and Monitoring of LID - Decentralized Rainwater Management Facilities in Asan Tangjung." Land & Housing Institute, Daejeon.

Hyun, K.H., Lee, J.-M., Jung, J.-S., and Lee, Y.-G. (2013). LID

Applications and Standards in Korea's New City. In: 2013 International Low Impact Development Symposium, Saint Paul, Minnesota, USA.

Jung, J.S., Hyun, K.H., Kim, I.T., Song, J.W. (2015). "The Finite Element analysis on Structural Stability of Road with Infiltration Trench." Journal of Korean Society of Water and Wastewater, Vol. 29, No. 1, pp. 107~122.

Koo, Y.M., Jo, J.A., Kim, Y.D., Park, J.H. (2013). "A Study on Runoff Analysis of Urban Watershed by Hydrologic Infiltration Experiment of Permeable Pavement." Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 33, No. 2, pp 559~571.

Kim, M.E., Jang, Y.S., Nam, C.H., Shin, H.S. (2015). "A Study on the Effectiveness Verification of Hydrological Cycle of Pervious Pavement Using LID Simulator." Journal of Korea Water Resour. Assoc. Vol. 48, No. 5, pp. 321~330.

Lee, H., Jung, D.J., Kim, Y.B., Kim, Y.T. (2009). "An Experimental Study on the Analysis of Infiltration Capacity of the Permeable Block." Journal of KOSHAM, Vol. 9, No. 4, pp.99-106.

Lee, J.Y., Maria C.M., Lee, S.Y., Kim, L.H. (2010). "Development of Infiltration System for Stormwater Management from Paved Area." Journal of Korea Wetland Society, Vol. 12, No. 3, pp. 165~175.

Lee, S.H., Kim, J.W, Yoo. I.K. Kim, N.S. (2012). "Analysis on Runoff Reduction Effects of Detachable Permeable Block" Journal of KOSHAM, Vol. 12, No. 6, pp. 157~162.

Moon, Y.I., Yoon, S.K., Kim, J.S., Ahn, J.H. (2006). "A Study on the Change of Runoff Characteristics due to the Urbanization." Conference of Korea Water Resources Association, May 18, pp. 730-734.

Precious Eureka D.F., Marla C.M., Jevelyn Ann S.T., Lee, H.Y. (2015). "Evaluation on the Hydrologic Effects after Applying an Infiltration Trench and a Tree Box Filter as Low Impact Development (LID) Techniques." Journal of Korea Society on Water Environment, Vol. 31, No. 1, pp. 12~18.

US EPA 2007 (<http://www.lowimpactdevelopment.org/index.html>.)