

함수비에 따른 노상에서의 탄성계수변화

Stiffness Variation in Subgrade with Change of Water Contents

임유진* · 이성준** · 임광수*** · 조윤호**** · 박희문***** · 박경수***** · 황정규*****

Lim, Yu Jin · Lee, Sung jun · Lim, Kang Soo · Jo, yun Ho · Park, Hee Mun · Park, Kyung Su · Hwang, Jung Kyu

1. 서 론

노상토의 함수량 변화는 기상요소 중 강수량, 대기온도 및 풍속과 밀접한 상관관계가 있으며, 흙의 종류에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 아울러 동일 지역에서도 성토부 노상에 비해 절토된 원지반노상 또는 절성경계부에 있는 노상에서 그 영향이 더 큰 것으로 알려져 있다. 이 중에서도 강수량, 흙의 종류, 절·성토 여부가 노상토의 함수량변화에 가장 큰 영향을 준다. 그러나 우리나라처럼 산지지역이 많은 지역에서 설계시 1개 노선에서도 절·성토 구간이 계속 반복되므로 절·성토 여부에 따른 노상토의 함수량변화를 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한, 흙의 분류에 따른 노상토의 함수량변화도 제한된 범위의 측정 자료를 토대로 상관관계를 구하기 어려움이 있는 바, 본 연구에서는 노상토의 함수량 변화에 가장 영향을 많이 미치는 강수량과 미세립분 함유량(P_{200}) 및 온도(T)에 국한하여 함수비 영향인자로 삼고 이들 사이의 회귀분석을 실시함으로써 함수비 예측모형을 제시하였다. 또한 새롭게 개발된 함수비 예측모형을 이용하여 예측된 함수비 결과를 기존 모형에 의한 예측값 및 실측값과 비교, 검토하여 그 신뢰수준을 확인하였으며 해당 모형을 사용하여 함수비가 포장하부구조의 탄성계수 변화에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 함수비 예측식

한국형포장설계법에서는 년강수량을 기준(년강수량 1000mm이하, 1000mm ~ 1500mm, 1500mm이상)으로 하여 온도(T)와 월평균강수량(P_{month})의 함수로만 노상토의 함수비를 예측할 수 있는 식을 아래 표 1과 같이 제시한 바 있다(건설교통부, 2007).

표 1. 구 한국형포장설계법 함수비 예측식

년 강수량(mm)	함수비 예측식 (%)
(1) 년 강수량 1500mm 이상인 경우	$W=20.1021 + 0.18354T_{avg} + 0.91230\log(P_{month})$
(2) 1000mm <년강수량 < 1500mm 경우	$W=17.7475 + 0.1163T_{avg} + 0.79537\log(P_{month})$
(3) 년 강수량 1000mm 이하인 경우	$W=14.3066 + 0.0654T_{avg} + 0.61668\log(P_{month})$

* 정회원 · 배재대학교 건설환경공학과 부교수 · 공학박사(E-mail : yujin@pcu.ac.kr)
 ** 정회원 · 국토해양부 간선도로과 과장(E-mail : sungjlee@mltm.go.kr)
 *** 정회원 · 국토해양부 간선도로과 서기관 · 공학석사(E-mail : lim579@mltm.go.kr)
 **** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 부교수 · 공학박사(E-mail : yhcho@cau.ac.kr)
 ***** 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원(E-mail : hpark@kict.re.kr)
 ***** 비회원 · 배재대학교 건설환경공학과 석사과정(E-mail : kyungsoo0514@hanmail.net)
 ***** 비회원 · 배재대학교 건설환경공학과 학사과정(E-mail : zzon202@naver.com)



W : 함수비
 T_{avg} : 월평균 온도
 P_{month} : 월평균 강수량

그러나 해당식은 국내 LTPP 데이터를 활용할 수 있는 충분한 시간과 데이터의 축적이 부족한 상태에서 개발된 것이어서 일반적으로 국내 도로현장의 함수비 변화를 예측하기에는 한계가 있었다. 따라서 국내 국도 LTPP에서 추진하고 있는 노상토 및 보조기층 등의 함수비 측정 누적데이터와 각 함수비 측정기(TDR)가 매설된 도로현장의 기본 재료물성치를 이용하여 개선된 함수비 예측모델을 개발하였다. 새롭게 개발된 함수비 예측모델은 한반도 남부의 함수비 발생 형태를 대전을 기점으로 남부지방과 북부지방으로 구분하고 별도로 적용 가능하도록 표 2와 같이 제시하였다.

표 2. 새로 개발된 함수비 예측식

지역	함수비 예측식(%)
남부지방	$\omega = 21.84699 + 0.09598 \times Temp + 0.00064287 \times Prec + 0.29130 \times p_{200}$
북부지방	$\omega = 23.54759 + 0.15216 \times Temp + 0.00070721 \times Prec + 0.17990 \times p_{200}$

여기서, Temp. = 월평균온도 (°C), Prec. = 월평균강수량 (mm), P_{200} = 노상토의 세립분 (<0.075 mm)

위의 함수비 예측식은 각각 표 3 및 표 4와 같이 회귀분석에 의해 각 변수사이의 상관성이 수립되었으며 결정계수는 각각 0.8123 및 0.6347로서 기존의 예측식에 비하여 크게 개선되었다.

표 3. 회귀계수값(대전 이남지방)

설명변수	회귀계수값	표준화된 회귀계수값	표준오차	t-값	P-value	R2
절편	21.84699	0	0.81638	26.76	<0.0001	0.8123
온도	0.09598	0.60314	0.02082	4.61	0.0002	
강수량	0.00064287	0.04211	0.00200	0.32	0.7519	
Passing_200	0.29130	0.64778	0.04612	6.32	<0.0001	

표 4. 회귀계수값(대전 이북지방)

설명변수	회귀계수값	표준화된 회귀계수값	표준오차	t-값	P-value	R2
절편	23.54759	0	0.67265	35.01	<0.0001	0.6347
온도	0.15216	0.55537	0.03466	4.39	<0.0001	
강수량	0.00070721	0.03506	0.00255	0.28	0.7830	
Passing_200	0.17990	0.51912	0.03198	5.62	<0.0001	

3. 예측모형의 한 함수비 예측값과 실측값의 비교

3.1 신개발 함수비 예측모형의 특성

새롭게 개발된 함수비 예측식을 국도 구간과 인접한 측후소의 강수데이터(Prec.)와 온도(T) 및 해당 도로 하부구성재료의 물성치인 노상도 세립분(P_{200})을 이용하여 함수비의 변화추이를 시간축에 대하여 그리면 그림 1과 같이 건기와 우기의 특성을 적절히 표현한다. 즉, 새롭게 개발된 함수비 예측모델에 의한 국내 노상도의 함수비 변화는 일정간격을 따라 주기함수의 형태를 띌 수 있다.

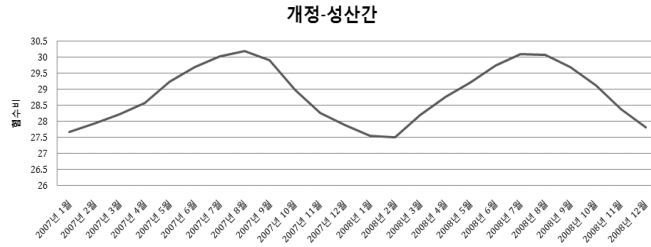


그림 1. New 모델 함수비 모형

3.2 현장 실측값과 모델예측값의 비교

새롭게 개발된 함수비 예측모델의 신뢰성과 정확도를 평가하기 위하여 기존 함수비 예측모델과 임의로 선택된 국내 도로현장의 실측함수비 변화추이를 비교하여 보았다. 비교를 위하여 선택된 구간은 국도 LTPP구간중 개정-성산, 두촌-어른, 신북-양구 구간으로서 각 현장은 각각 군산, 흥천, 춘천 측후소의 기상데이터를 활용하였다. 그림 2 ~ 그림 3 및 표 5 ~ 표 6은 비교대상 구간에서의 함수비 예측결과와 실측데이터의 변화 추이를 비교 도시한 것이다.

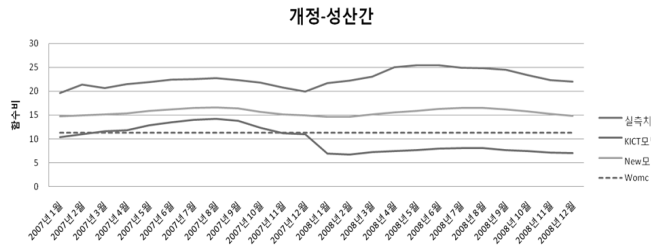


그림 2. 현장실측값과 함수비 모델 비교(개정-성산)

표 5. 노상의 최적함수비(OMC) 및 측정함수비의 최대, 최소값 비교(개정-성산)

	OMC(%)	실측함수비(%)	OMC 대비 차이(%)
실측치	$\omega_{omc} (\theta_{omc})$ 11.31 (22.72)	Max : 25.39 Min : 19.59	Max : +14.08 Min : +8.28
KICT Method		Max : 14.25 Min : 6.71	Max : +2.94 Min : -4.60
New Method		Max : 16.62 Min : 14.59	Max : +5.31 Min : +3.28

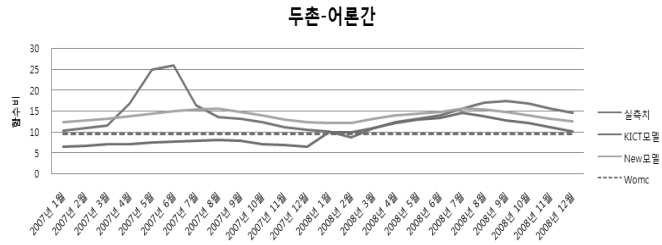


그림 3. 현장실측값과 함수비 모델 비교(두촌-어른)

표 6. 노상의 최적함수비(OMC) 및 측정함수비의 최대, 최소값 비교 (두촌-어른)

	OMC(%)	실측함수비 (%)	OMC 대비 차이(%)
실측치	$\omega_{omc} (\theta_{omc})$ 9.7 (20.14)	Max : 40.39 Min : 18.68	Max : +20.25 Min : -1.46
KICT Method		Max : 27.57 Min : 14.7	Max : +7.43 Min : -5.44
New Method		Max : 29.01 Min : 24.20	Max : + 8.87 Min : +4.06

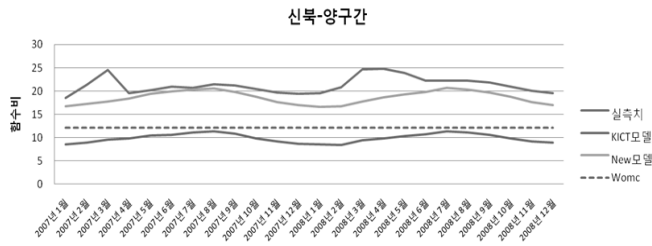


그림 4. 현장실측값과 함수비 모델 비교 (신북-양구)

표 7. 노상의 최적함수비(OMC) 및 측정함수비의 최대, 최소값 비교(신북-양구)

	OMC(%)	실측함수비(%)	OMC 대비 차이(%)
실측치	$\omega_{omc} (\theta_{omc})$ 12.1 (23.93)	Max : 24.77 Min : 18.55	Max : +12.67 Min : +6.45
KICT Method		Max : 11.41 Min : 8.43	Max : -0.69 Min : -3.67
New Method		Max : 20.67 Min : 16.61	Max : +8.57 Min : +4.51

LTPP 실측 함수비 데이터 중 에러가 발생하거나 강수의 급격한 변화(집중강우 등)에 따른 추세변화는 전체 변화추세그래프선상에서 제외하였다. 함수비의 실측데이터 추세분석 결과 대부분의 우리나라 국도 구간에서의 함수비(무게)는 현장 다짐에 의한 시공시 함수비보다 시공후 크게 증가한 것으로 나타났으며 이는 포장 공용에 따라 포장 내부로 다양한 형태의 침투가 발생하고 침투된 물의 배수불량에 의하여 계속적으로 함수

비가 증가된 결과로 판단된다. 따라서 이와 같은 조건을 방지하기 위한 도로 하부구성층에서의 배수층 설계가 도입될 필요가 있다.

4. 함수비 변화에 따른 탄성계수 변화

함수비 예측식인 구 한국형포장설계법모델과 New모델식을 이용한 함수비 예측값을 인공지능망을 이용(level 2)한 하부구조 탄성계수(E) 결정정모형식(식 1)을 사용하여 각 월마다 함수비의 변화에 따른 탄성계수의 변화추세를 추적조사하여 보았다. 대상 도로 현장은 남해안(부산), 서해안(목포) 구간을 임의로 선정하였으며 함수비의 변화에 따른 탄성계수 변화는 아래 그림 5와 같다.

$$E = k_1 \theta^{k_2} \sigma_d^{k_3} 10^{k_w(\omega - \omega_{opt})} \quad (1)$$

여기서, k1, k2, k3 = 탄성계수 결정모델의 모델계수

θ = 체적응력 (= $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$) (kPa)

σ_d = 축차응력 (= $\sigma_1 - \sigma_3$) (kPa)

w_{opt} = 최적함수비 (%)

w = 함수비 (%)

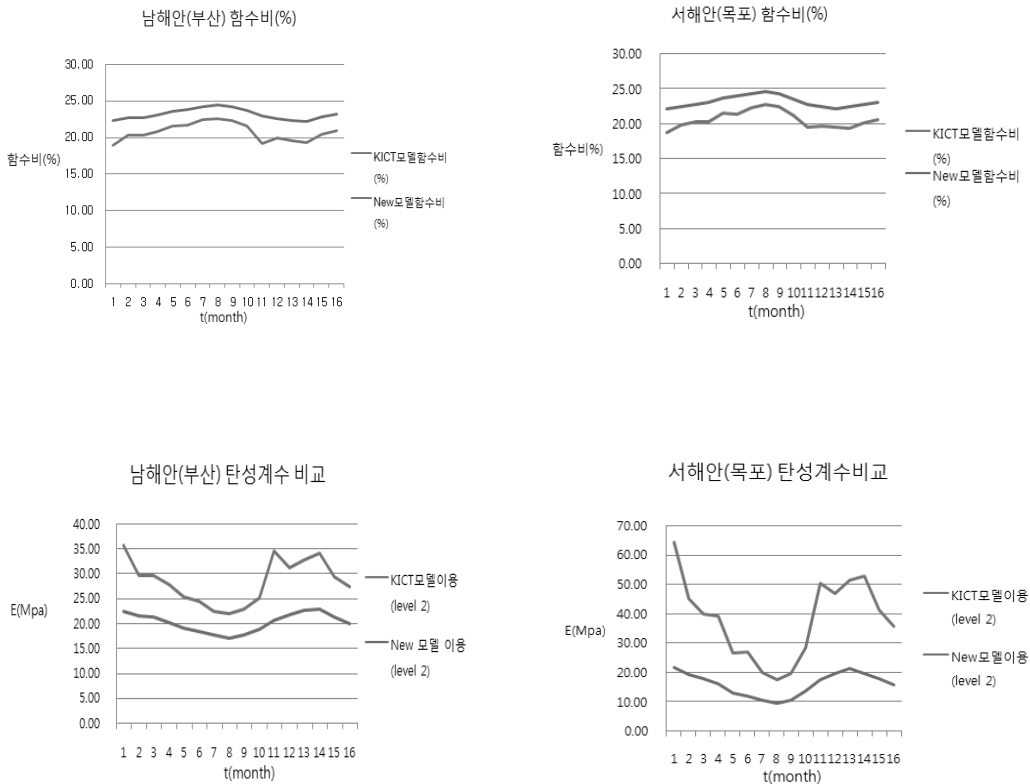


그림 5. 함수비 변화에 따른 탄성계수 변화

국내 노상에서의 함수비 변화에 따른 탄성계수 변화폭이 예상보다 매우 큰 것이 확인되었다. 특히, 최적함수비에 대한 현장에서의 함수비 증가는 그림 6과 같이 급격한 탄성계수의 감소가 있을 수 있음에 유의하여야 한다. 이는 함수비의 미세한 변화에 따라 탄성계수가 크게 변화할 수 있음을 의미하며 현장 다짐조건이 가급적 건조측이 되어야 함을 재확인해 준다고 할 수 있다. 또한 공용에 따라 도로 균열면을 통한 침투수에 의해 하부구조층의 강성이 심각하게 열화 될 수 있음을 알 수 있다. 따라서 포장 하부구조에 대한 적절한 배수설계가 도입되어야 할 필요가 있음이 재차 확인되었다.

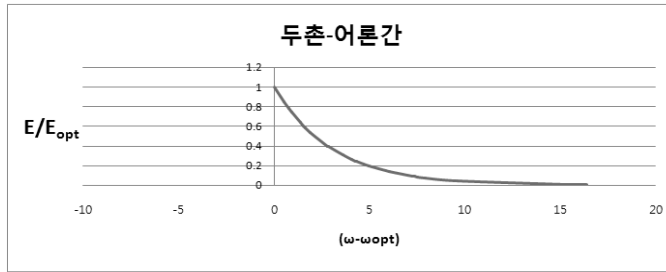


그림 6. 최적함수비에 대한 현장함수비 증가에 따른 탄성계수 변화추세

5. 결 론

기존에 사용하던 함수비 예측식 구모델보다 새로 개발된 함수비 예측식이 현장 실측값에 더욱 근접함을 확인 할 수 있었다. 또한 함수비의 미세한 변화에 따라 탄성계수 변화폭이 상당히 커지는 양상을 확인 할 수 있었으며 이는 포장체의 내구성 확보 및 도로수명의 연장을 위해서 포장 하부구조에 대한 배수 시스템의 적절한 설계 및 적용이 매우 중요함을 의미한다.

감사의 글

본 연구는 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구의 일부로 본 연구를 지원하여준 국토해양부 및 한국건설기술연구원, 한국도로공사에 감사드립니다.

참고 문헌

- 건설교통부 (2007) “한국형포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”
- 한국도로공사, “도로설계실무편람”, 1996
- Fredlund, D.G, and Rahardjo, “Soil Mechanics for Unsaturated Soils”, 1993
- Moulton, L.K. “Highway Subdrainage Design”, FHWA, 1980