

궤도설계용 상부 흙노반 재료의 기초물성과 변형계수 상관성 분석

Analysis of Correlation between Soil Properties and Modulus of Subgrade Soils to Design of Trackbed Foundation

박재범*[†], 최찬용** , 정영남* , 지상현* , 임상진* , 임유진*

Jaebeom Park*[†], Chanyong Choi** , Yeungnam Jeong* , Sanghyun Ji* , Sangjin Lim* , Yujin Lim*

Abstract The soils used as trackbed in Korea are classified based on USCS using maximum particle diameter, P_{200} , P_4 , C_u , C_c . Degree of compaction of the soils is evaluated by maximum dry density and E_{v2} . However, since the most important factor that is critical to stability and deformation of the compacted soils is stiffness, it is required to find out a relation between modulus and soil properties of trackbed soil. To construct a better relationship, a lot of basic soil test data is collected as a database including GSD, maximum dry unit weight, OMC, P_{200} , P_4 , C_u , C_c etc. and mechanical properties such as deformation modulus (E_{v2} , E_{vd}) obtained from ten railway construction sites in Korea. A regression analysis is performed again using SPSS (IBM, 2010) to obtain a finer relationship between the soil properties and deformation modulus. Using the relationship and the obtained various test data, a new soil classification system is going to be provided as a guideline for construction and design of trackbed foundation in the future.

Keywords : Basic properties, Modulus of deformation, Soil subgrade, Correlation Model

초 특 현재 국내 궤도 흙노반재료 선정기준은 통일분류법에 근거한 기초물성 값에 의존하고 있으며, 흙노반 다짐도 품질기준은 현장시험인 반복평판재하시험과 들밀도시험으로 파악한다. 따라서 흙노반 다짐 후 발생하는 변형 및 안정성 파악을 위해서 다짐에 사용되는 흙재료의 기초물성 값과 현장시험에서 얻어진 변형계수와 상관성을 명확히 밝히는 것이 중요하다. 본 연구에서는 궤도 상부 흙노반 재료의 기초물성과 변형계수와의 개선된 상관식 도출을 위하여 보다 많은 여러 현장시험에 의한 변형계수(E_{v2} , E_{vd})와 실내시험에 의한 기초물성 값(P_{200} , P_4 , C_u , C_c 등)을 이용, 둘 사이의 상관성을 분석하였다. 이를 통하여 향후 국내 고유의 흙 분류기준 수립뿐만 아니라 역학적 특성에 기반한 궤도노반 설계에 필요한 중요 정보 획득이 가능할 것이다.

주요어 : 기초물성, 변형계수, 흙노반, 상관식

1. 서 론

현재 일본 및 독일 등 철도 선진국은 자국 내 철도 궤도 전용 흙노반 분류기준을 제정하여 궤도설계에 사용하고 있다. 그러나 국내의 경우에는 흙노반 전용의 분류 기준이 없으며, 통일분류법에 의존하여 노반에 사용 가능한 재료를 구분하고 있다. 이는 국내 고유의 토공 노반설계 기준의 부재로 연결, 국내 실정에 맞는 철도궤도설계에 적합한 효과적인 설계방법

† 교신저자 : 배재대학교 공과대학 건설환경철도공학과 (passion@pcu.ac.kr)

* 배재대학교 건설환경철도공학과

** 한국철도기술연구원

과 기준을 제시하지 못하고 있는 상황이다. 철도궤도 설계시 각 구성층 재료 특성화에 사용하는 가장 중요한 물성 값은 변형계수이다. 변형계수는 응력수준에 의존하므로 다짐 후 노반 흙재료의 거동 분석이 매우 중요하다. 상부 흙노반 재료의 기초물성과 변형계수의 상관성 분석을 위해 본 연구에서는 철도궤도 상부노반에서 직접 실시한 실내/현장시험 데이터를 분석하여 기초물성과 변형계수와의 상관성을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 기초물성데이터를 고려한 탄성계수 구성모델

기존 문헌에 따르면 흙재료의 기초물성 데이터(P_{200} , P_4 , C_u , C_c , γ_{dmax} , OMC등)를 이용, 탄성계수(변형계수)를 산출하려는 시도가 진행되어 왔다. 미국 플로리다 주 도로국(FDOT)의 경우 식(1)과 같은 회복탄성계수(변형계수) 추정식을 제안하였다.

$$\ln(M_R) = 2.01 - 0.014(\omega) + 0.0108(\rho) + 0.0243(C_u) - 0.119(C_c) \quad (1)$$

여기서, M_R =회복탄성계수(ksi), ω =함수비(%), ρ =최대건조단위중량(pcf), C_c =곡률계수, C_u =균등계수

Ping과 Ling(2007)은 점토함량(Clay, %)을 포함시켜 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$\ln(M_R) = 9.87 - 0.0593(C_c) + 0.0118(C_u) - 0.0414(\omega) + 0.0337(Clay) \quad (2)$$

여기서, Clay=점토함량(%)

Ashraf와 George(2004)는 미국 Mississippi주에서 실시한 시험결과 데이터를 분석하여 세립성과 조립성 노상재료에 대한 회복탄성계수 예측식을 아래와 같이 각각 제시하였다.

$$\text{세립성 노상재료} : M_R = 16.75((LL/\omega_c\gamma_{dr})^{2.06} + (P_{200}/100)^{-0.59}) \quad (3)$$

$$\text{조립성 노상재료} : M_R = 307.4(\gamma_{dr}/\omega_c)^{0.86} + (P_{200}/\log(C_u))^{-0.46} \quad (4)$$

여기서 LL=액성한계, ω_c =함수비(%), γ_{dr} =최대건조단위중량

노반 흙재료 분류기준 적용타당성 분석을 위하여 신설 철도부설현장에서 사용되는 흙재료의 물리적, 역학적 특성을 포괄적으로 수집, 분석할 필요가 있다. 이런 특성들은 국내 철도 설계기준(한국철도시설공단, 2013)의 쌓기재료 분류규정으로 사용되기도 하지만, 실제 흙노반의 안정성에 미치는 가장 큰 영향요소는 강성(stiffness)이므로 재료의 다짐 후 변형계수 분포 범위와 변화정도를 보다 명확히 밝히기 위해서는 기초물성 데이터(입도분포, 최대건조다짐 밀도, 최적함수비, P_{200} , P_4 , C_u , C_c 등)와 변형계수와의 상관관계 분석이 필요하다.

2.2 흙노반 재료의 기초물성과 변형계수와의 상관식 도출

기초물성 데이터와 현장시험을 통해 측정된 변형계수와의 상관관계 분석을 위하여 국내 철도 노반 신설구간 시공현장 10개 공구의 상부노반에서 실시한 반복평판재하시험(RPBT), 동평판재하시험(LWDT) 결과 데이터와 현장에서 사용된 흙재료에 대한 기초물성 데이터를 Table 1에 정리하였다. 정리된 데이터를 이용하여 선형 회귀분석을 실시, 기초물성데이터와 흙노반 변형계수(E_{v2} , E_{vd})간의 상관식을 다음과 같이 각각 식(5), 식(6)으로 도출하였다.

Table 1 Basic soil properties of soil and deformation modulus

Division	Basic soil properties								Modulus of deformation	
	$P_{200}(\%)$	$P_4(\%)$	C_u	C_c	G_s	$\gamma_{dmax}(kN/m^3)$	OMC(%)	USCS	$E_{v2}(MPa)$	$E_{vd}(MPa)$
Field A	0.55	84.95	7.92	0.87	2.69	2.19	8.7	SP	72.40	39.98
Field B	0.35	74.85	10.00	1.01	2.65	2.15	8.0	SW	86.76	72.67
Field C	0.40	76.00	6.77	0.75	2.65	2.09	9.8	SP	80.13	51.24
Field D	0.35	98.55	5.10	0.78	2.56	2.08	10.3	SP	173.06	115.19
Field E	0.10	89.50	4.66	1.01	2.53	2.07	10.5	SP	227.12	137.65
Field F	1.35	75.55	11.50	1.04	2.64	2.07	9.8	SW	99.80	58.74
Field G	1.40	74.55	11.67	0.47	2.66	2.05	9.8	SP	94.32	68.94
Field H	0.50	92.10	5.00	1.30	2.65	2.11	7.4	SP	91.97	56.46
Field I	0.60	98.60	5.14	1.10	2.64	2.02	9.5	SP	63.70	32.26
Field J	0.25	99.05	3.67	1.13	2.60	2.05	9.7	SP	131.61	59.62

$$E_{v2} = 2834.502 - 4.004P_{200} - 0.5P_4 + 2.068C_u - 12.6C_c - 1143.75G_s + 159.097\gamma_{d \max} - 0.814OMC \quad (R^2=0.85) \quad (5)$$

$$E_{vd} = 2285.729 - 1.007P_{200} - 0.249P_4 + 1.107C_u - 34.753C_c - 858.787G_s + 43.638\gamma_{d \max} + 3.515OMC \quad (R^2=0.68) \quad (6)$$

위의 상관식은 국내 신설 철도시공 현장 10개소에 대한 분석결과를 이용하여 도출된 매우 제한적인 시험데이터이다. 향후 다수의 현장시험(반복평판재하시험 및 동평판재하시험)을 추가로 실시할 것이며, 철도노반 신설현장에서 채취한 노반 흙재료를 이용하여 기초물성시험 및 역학적시험을 지속적으로 진행할 예정이다. 시험결과를 이용하여 데이터베이스(D/B)를 구축 및 확충하고 이를 통하여 국내 궤도 흙노반 재료의 기초물성/역학시험 데이터와 현장 시험에서 측정된 흙노반 변형계수와의 상관성을 도출할 예정이다.

3. 결 론

철도궤도 설계시 각 구성층 재료 특성화에 사용하는 가장 중요한 물성 값은 변형계수다. 변형계수는 응력수준에 의존하므로 다짐 후 노반 흙재료의 거동 분석이 매우 중요하다. 또한 변형계수는 궤도하부 구조 층이 경험할 수 있는 응력수준의 변화를 고려하는 모델에 기반하여야 한다. 본 연구에서는 궤도 상부 흙노반 재료의 기초물성과 변형계수와의 상관식 도출을 위하여 국내 철도 노반 신설구간 시공현장 10개 공구의 상부노반에서 실시한 반복평판재하시험과 동평판재하시험 결과 데이터 및 현장 채취 흙재료에 대한 기초물성시험데이터를 이용하여 선형 회귀분석을 실시, 기초물성데이터와 흙노반 변형계수(E_{v2} , E_{vd})간의 상관성을 분석하였다. 분석을 통해 산출된 개선된 상관식은 제한된 시험데이터 분석결과로서 추후 보다 많은 현장시험을 추가로 실시하고 현장에서 채취된 노반 흙재료를 이용, 기초물성시험 및 역학적시험을 지속적으로 진행할 예정이다. 이를 통해 국내 고유의 흙 분류기준 수립뿐만 아니라 역학적 특성에 기반한 궤도노반 설계에 필요한 중요 정보 획득이 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(15RTRP-B067919-03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Korea Rail Network Authority (2013) Design Specification for Railroad: Road bed
- [2] AASHTO (2002) 2002 Design Guide of New and Rehabilitated Pavement Structures, Research Report, National Cooperative Highway Research Program, USA.
- [3] R.F. Pezo, D.S. Kim, K. H. Stoke and W. R. Hudson (1991) Developing a Reliable Resilient Modulus Testing System, Transportation Research Record 1307, Washington D. C, pp. 98-99
- [4] D.S. Kim (2012) Evaluation of Modulus and Load-Settlement Characteristics of Subgrade Soil used in Track Foundation, Master's Thesis, PaiChai University.
- [5] C.Y. Choi, E.C. Shin, H.H. Kang (2012) Prediction of Plastic Settlement of Roadbed Materials through Cyclic Loading Test, Korea Geosynthetics Society, pp.1-9
- [6] Y.J. Lim, D.S. Kim, H.J. Cho, M. Sagong (2013) Investigation of Stiffness Characteristics of Subgrade Soils under Tracks Based on Stress and Strain Levels, *Journal of the Korean Society for Railway*, 16(5), pp. 386-393
- [7] K.R. Massarsch (2004) Deformation properties of fine-grained soils from seismic test, Keynote lecture, International Conference on site Characterization, ISC 2, 19-22 Sept, Porto, pp. 14