

역학적 정수를 이용한 다짐관리기법에 관한 연구

Soil Compaction Management Methodology using Mechanical Property

강규진¹⁾, Gyu-Jin Kang, 최준성²⁾, Jun-Sung Choi, 김종민³⁾, Jong-Min Kim, 노한성⁴⁾, Han-Sung Roh, 김태수⁵⁾, Tae-Soo Kim

¹⁾ 연세대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Yonsei Univ.

²⁾ 인덕대학 토목환경공학과 전임강사, Full-Time Instructor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Induk Institute of Technology

³⁾ 세종대학교 토목공학과 전임강사, Full-Time Instructor, Dept. of Civil Engineering, Sejong Univ.

⁴⁾ 한국도로공사 연구개발실 지반연구그룹 책임연구원, Chief Researcher, Geotechnical Research Group, Highway Research Center, Korea Highway Corporation

⁵⁾ 한국도로공사 연구개발실 지반연구그룹 연구원, Researcher, Geotechnical Research Group, Highway Research Center, Korea Highway Corporation

개요(SYNOPSIS) : While the pavement design is based on mechanical property such dynamic elastic modulus, the quality of highway subgrade during construction is controlled by the optimum moisture content(OMC) and maximum dry density(γ_{dmax}). However, since the quality control based on the OMC and maximum dry density does not consider the mechanical characteristics, there is a conceptual gap between design and PMS(pavement management system). Therefore, it is necessary to develop a new quality control system using mechanical property for highway construction in more rational way. To achieve this goal, it is planned to perform various laboratory tests to collect mechanical properties of subgrade soil samples from several highway construction sites and to propose the relationship between dry unit weight (or OMC) and mechanical parameters. In this paper, the experimental data so far obtained are presented and analyzed. In addition, further research plan is presented and discussed.

주요어(Key words) : Compaction, Quality control, Mechanical property, Subgrade

1. 서론

현재 국내의 도로 설계는 흙의 동탄성계수와 같은 역학적 정수를 기준으로 하고 있지만 고속도로 노상의 시공관리에 있어서는 최적함수비와 최대건조단위중량을 이용한 다짐도를 이용하고 있다. 다짐도를 이용한 시공관리는 흙의 역학적 특성을 고려하지 않고 있어 노상의 설계와 탄성계수 등을 이용한 관리기법(PMS)과는 개념적인 차이가 크다. 따라서 고성능의 도로건설과 설계에서 시공까지 도로의 역학적 정수를 이용한 현장관리기법 개발을 위해서는 현재의 다짐평가방법을 개선해야 할 필요성이 있다. 이를 위하여 현재 일곱 지역의 현장시료를 채취하여 삼축압축시험, 공진주시험 등을 시험을 수행할 예정이며 건조단위중량(또는 최적함수비)와 역학적 정수간의 상관관계를 제안할 것이다.

본 논문에서는 역학적 정수를 이용한 다짐도 관리기법을 제안하고자 수행한 실내시험 및 그 분석결과

중 일부와 추후연구계획을 소개하고자 한다.

2. 연구방향과 진행사항

다짐도를 이용한 설계와 탄성계수를 이용한 도로의 관리기법에는 개념적인 차이가 크게 존재한다. 따라서 설계단계부터 탄성계수와 같은 역학적 정수를 이용함으로써 설계와 관리의 개념적인 차이를 줄이고 체계적인 다짐관리기법 개발을 목적으로 하며 이를 위하여 삼축압축시험, 공진주시험, 진동삼축시험, 탄성과 시험 등을 7개 지역에서 채취한 360개의 공시체를 이용하여 실내시험을 수행할 예정이다. 그리하여 추후 실내시험 결과를 이용하여 다짐도에 영향을 주는 지반의 물성치를 파악하고 다짐도와 지반의 역학적 정수와의 상관관계를 분석함으로써 추후 역학정수를 이용한 다짐관리기법을 제안하고자 한다.

본 논문에서는 전체 7개 지역중에서 우선적으로 대구, 무안, 영광, 중부내륙의 네 지역에서 채취한 48개 시료에 대해 실내시험을 수행하였으며 그 결과를 우선 소개하고자 한다. 실내시험은 크게 기초물성시험, 삼축압축시험, 기타 시험으로 나누어 수행하였으며 각각의 시험종류는 다음과 같다.

- 기초물성시험 : 비중시험, 입도분석, 액성한계 및 소성한계시험
- 삼축압축시험 : 비압밀비배수, 압밀비배수, 압밀배수
- 기타 : 다짐시험

2.1 기초물성시험

대구, 무안, 영광, 중부내륙 시료를 대상으로 하여 비중시험을 각각 2회, 입도분포 시험 각각 2회, 액성한계시험과 소성한계 시험을 각각 2회씩 수행하였으며 그 결과를 표 1에 나타내었다.

비중 및 흙의 분류상태를 보면 네 지역이 시료가 대체로 비슷한 상태를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 액성한계 시험의 경우 1회 시험에 함수비를 변화시켜가며 5회씩 실시하였다. 2회 시험실시에 따른 액성한계와 소성한계 값과 평균값 그리고 평균값을 이용한 소성지수를 표 1에 함께 나타내었다.

표 1 기초물성시험결과

지역명		대 구	무 안	영 광	중부내륙 노상토
시험종류	비 중	2.72	2.64	2.66	2.63
흙의 분류	통일분류법	SW	SW	SP-SM	SW
	AASHTO	A-2-6	A-2-6	A-2-7	A-2-6
200번체 통과량(%)		5.44 %	7.02 %	3.45 %	2.77 %
액성한계		37.0	31.0	44.0	26.7
소성한계		21.6	12.4	27.5	14.5
소성지수		15.4	18.6	16.5	12.2

2.2 실내다짐시험

대구, 무안, 영광, 중부내륙 노상토 시료에 대해 실내 다짐시험을 실시하였다. 다짐방법은 노상의 다짐에 이용되는 한국공업규격(KS F-2312)의 수정다짐방법 중 D-다짐방법을 채택하였으며 각 사이트 별로 4회의 다짐시험을 실시하여 최대건조단위중량(V_{dmax})과 최적함수비(OMC)를 산정하였다. 실내다짐 시험 결과중 대표적인 하나를 그림 1에 나타내었으며 실내다짐시험 결과를 표 3에 정리하였다.

표 2 실내 다짐시험 결과 ($v_{dmax}(g/cm^3)$ =최대건조 단위중량, OMC(%)=최적함수비)

	대구		무안		영광		중부내륙 노상토	
	v_{dmax}	OMC	v_{dmax}	OMC	v_{dmax}	OMC	v_{dmax}	OMC
1	1.66	20.0	1.68	18.6	1.67	19.7	1.93	11.0
2	1.69	19.3	1.67	19.4	1.67	18.5	1.95	10.0
3	1.66	19.2	1.68	18.6	1.66	18.5	1.96	10.5
4	1.64	20.9	1.68	18.6	1.66	19.2	1.96	10.5
평균	1.66	19.9	1.68	18.8	1.67	19.0	1.95	10.5

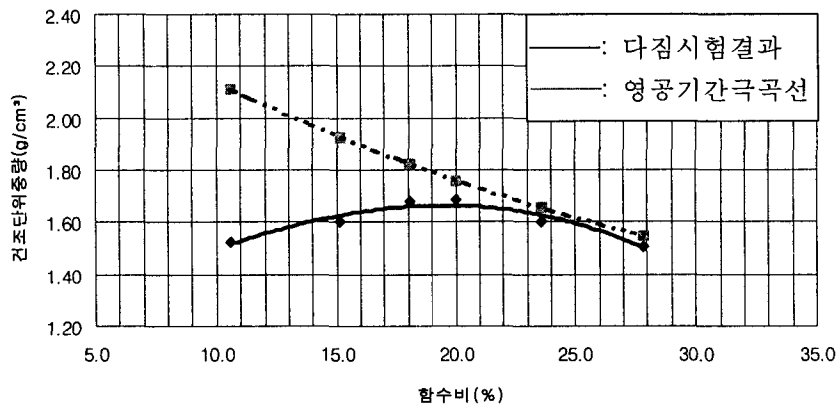


그림 1 대구지역 시료에 대한 다짐시험결과

2.3 삼축압축시험과 탄성계수 산정

대구, 무안, 영광, 중부내륙 노상토 시료에 대한 삼축압축시험을 수행하였다. 삼축압축시험은 비압밀 비배수, 압밀비배수, 압밀배수 시험을 각각 수행하였으며 각 시험별로 구속압을 50kPa, 100kPa, 150kPa, 200kPa로 변화시켰다. 삼축압축시험 수행시의 시료는 다짐시험결과를 바탕으로 최적함수비와 그 때의 최대건조단위중량을 기준으로 성형함으로써 최적다짐상태의 시료의 상태를 고려할 수 있도록 하였다. 시료의 성형은 여러 층으로 형성된 몰드의 다짐 정도를 균일하게 하기 위하여 under-compaction 방법을 적용하였다.

$\sigma_d - \epsilon$ 삼축압축시험 결과를 이용하여 각 지역별 시료에 대한 탄성계수값을 산정하였으며 그 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3을 보면 압밀배수시험에 의해 산정된 탄성계수의 값이 압밀비배수 시험에 의해 산정된 값보다 다소 크게 산정되는 결과를 보이고 있으며 구속압의 변화에 따른 탄성계수의 값을 보면 구속압이 증가할수록 탄성계수의 값이 커지고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 비압밀비배수시험의 결과는 다른 시험결과와 일정한 관계를 보이고 있지 않고 있으며 구속압이 증가할수록 탄성계수가 증가하는 경향을 보이고 있지 않고 있다.

몇몇 결과에서 압밀배수시험에 의해 구한 탄성계수의 값과 압밀비배수시험에 의한 탄성계수의 값이 큰 차이를 보이고 있지만 대체적으로 비슷한 범위를 보이고 있는 것을 알 수 있으며 구속압이 커질수록 두 시험에 의해 구해진 탄성계수의 차이는 점점 커지고 있는 것을 알 수 있다.

삼축압축시험을 한번씩 수행한 결과를 이용하여 구한 탄성계수에서는 특별한 경향을 찾기가 힘들었다. 현재 추가로 진행중인 삼축압축시험이 종료되어 더 많은 실험결과를 얻어내었을 때 합리적인 상관관계를 찾아낼 수 있을 것으로 생각된다.

표 3 삼축압축시험을 이용한 탄성계수 산정 결과

시험종류	구속압(kPa)	대구	중부내륙	영광	무안
		탄성계수(kPa)	탄성계수(kPa)	탄성계수(kPa)	탄성계수(kPa)
UU	50	1734.40	5576.72	3640.80	5304.49
	100	3335.52	5313.52	3763.48	6207.59
	150	4412.68	6094.32	3805.26	5533.97
	200	3613.54	6363.90	3992.27	499.45
CD	50	7171.96	7189	971.38	328.72
	100	7296.14	12275	3491.28	546.62
	150	7923.81	16648	4827.59	772.87
	200	15070.00	19939	9191.70	1229.03
CU	50	5890.64	1971	2834.50	1619.95
	100	9609.17	7183	3970.50	1872.87
	150	10941.43	9120	5088.65	2928.45
	200	10796.90	10256	6517.08	4801.32

3. 탄성계수와 다짐도와의 상관관계

그림 2에서 그림 5까지는 표 3의 삼축압축시험 결과중 압밀배수시험 결과를 이용하여 산정한 탄성계수의 값과 표 2의 다짐시험결과를 이용하여 탄성계수-최대건조단위중량의 관계를 구속압별로 나타낸 것이다. 탄성계수의 단위는 kPa, 최대건조단위중량의 단위는 g/cm^3 으로 하여 나타내었다.

그림 2에서 그림 5의 결과를 보면 구속압별로 분류했을 때의 탄성계수와 최대건조단위중량과의 관계가 R^2 값이 0.20에서 0.35사이로 큰 상관관계를 보이고 있지 않은 것을 알 수 있다. 따라서 실무적용이 가능한 수준의 신뢰성 있는 상관관계를 추정하기 위해서는 보다 많은 시험자료의 수집이 필요할 것으로 여겨지며 이를 위해서 추가 삼축압축시험 및 공진주시험을 수행하고 있다.

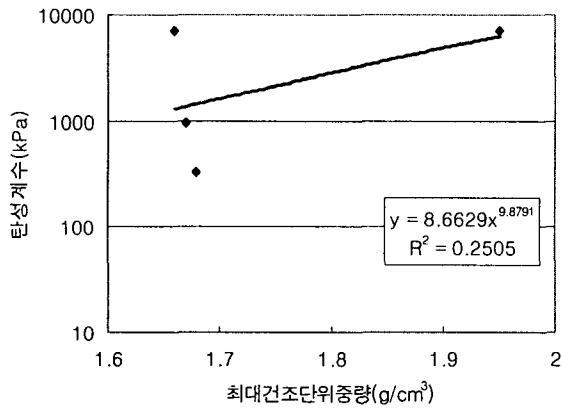


그림 2 탄성계수- γ_{dmax} (구속압 50kPa)

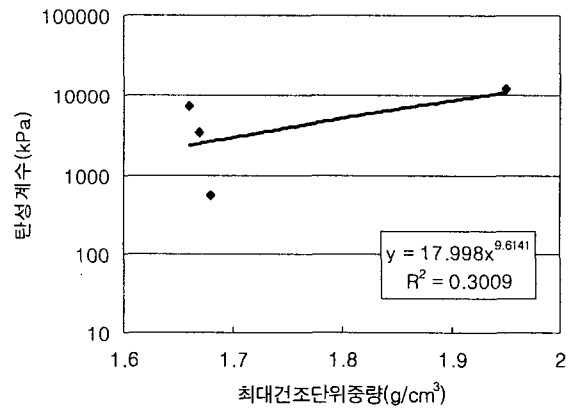


그림 3 탄성계수- γ_{dmax} (구속압 100kPa)

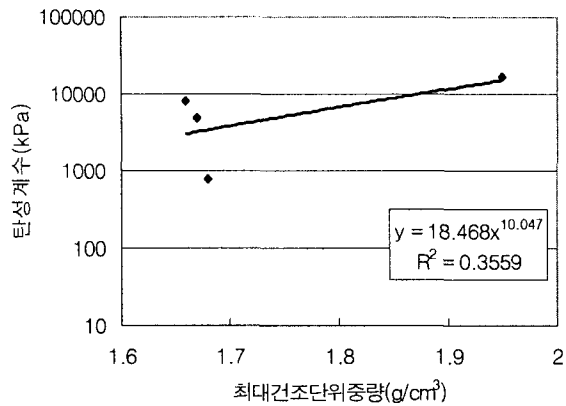


그림 4 탄성계수- γ_{dmax} (구속압 150kPa)

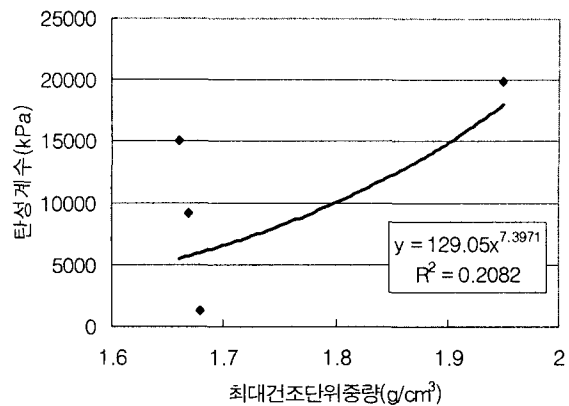


그림 5 탄성계수- γ_{dmax} (구속압 200kPa)

4. 추후연구과제

계획중인 7개의 사이트중에서 현재 네 개의 사이트에 대해 구속압별로 한번씩 수행한 삼축압축시험결과로는 탄성계수와 다짐도와의 상관관계를 맺을 수가 없었으며 이에 대한 보완사항으로 현재 추가 삼축압축시험과 함께 보완적으로 공진주시험 및 진동삼축시험을 수행중에 있다. 이 때 지역별로 대표적인 일부의 시료에 대해서만 공진주시험을 수행하고 나머지 시료에 대해서는 실내 탄성과 시험을 수행하여 탄성계수를 구함으로써 실내 탄성과 시험을 공진주 시험의 대체시험으로 수행할 예정이다.

그리하여 추가로 진행중에 있는 삼축압축시험과 공진주시험, 그리고 진동삼축시험 등을 통해서 저변형율에서 고변형율까지의 탄성계수의 값을 구한 후 그림 6과 같은 건조밀도-탄성계수-함수비와의 상관관계를 맺음으로써 이를 이용한 다짐관리기법을 제안코자 한다.

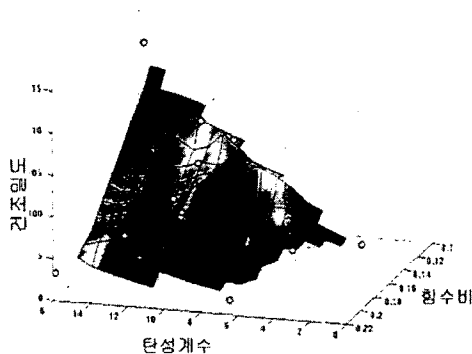


그림 6 다짐도-탄성계수 상관관계(예)

5. 결론

본 논문에서는 역학적 정수를 이용한 다짐관리기법을 제안하기 위해 필요한 탄성계수와 다짐도 간의 상관관계를 맺어 보았다. 그러나 실험결과의 개수와 시험을 수행한 사이트의 수의 부족으로 인하여 특별한 상관관계를 찾을 수 없었다. 그래서 현재 보다 신뢰성있는 상관관계 획득을 위하여 나머지 잔여 삼축압축시험 및 공진주시험과 진동삼축시험을 수행중에 있으며 이를 통하여 합리적인 역학적 정수를 이용한 다짐관리기법을 제안코자한다.

1. Mayne, P. W., Jones, J. s., Jr., Dumas J. C.,(1984). "Ground response to dynamic compaction", The Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 110, No. 6, June, 1984.
2. Kocher M. F., Summers J. D., (1988), "Wave Propagation Theory for Evaluating Dynamic Soil Stress-Strain Models", ASAE Paper, Vol. 31(3),No. 86-1053
3. Youd, T. L.,(1972), "Compaction of sands by repeated shear straining", Journal of the Soil Mechanics And Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 98, No. SM7, July, 1972.