한국지반공학회논문집 제29권 10호 2013년 10월 pp. 67 ~ 74
JOURNAL OF THE KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY
Vol.29, No.10, October 2013 pp. 67 ~ 74

ISSN 1229-2427
http://dx.doi.org/10.7843/kgs.2013.29.10.67

세립토의 회복탄성계수(M_r)에 대한 지반물성치의 영향

Effect of Engineering Properties on Resilient Modulus of Cohesive Soil as Subgrade

김 동 규[1] Kim, Dong-Gyou　　이 주 형[2] Lee, Ju-Hyung
황 영 철[3] Hwang, Young-Cheol　　장 범 수[4] Chang, Buhm-Soo

Abstract

The objective of this study was to identify the effect of engineering properties on the resilient modulus (M_r) of cohesive soils as subgrade. Eight representative cohesive soils representing A-6, and A-7-6 soil types collected from road construction sites, were tested in the laboratory to determine their basic engineering properties. The laboratory tests for the engineering properties were Atterberg limits test, sieve analysis, hydrometer test, Standard Proctor compaction test, and unconfined compressive strength test. Resilient modulus test and unconfined compressive strength test were conducted on unsaturated cohesive soils at three different moisture contents (dry of optimum moisture content, optimum moisture content, and wet of optimum moisture content). The increase in moisture content considerably affected the decrease in the resilient modulus. The resilient modulus increased with an increase in maximum unconfined compressive strength, percent of clay, percent of silt and clay, liquid limit and plasticity index. The resilient modulus decreased with an increase in percent of sand.

요 지

본 연구의 목적은 노상토로 사용되는 세립토의 회복탄성계수(M_r)에 대한 지반물성치의 영향을 평가하는 것이다. A-6그룹과 A-7-6그룹에 해당하는 8개의 세립토를 도로건설현장의 노상토에서 수집하여 지반물성치를 결정하였다. Atterberg 한계실험, 체분석, 비중계 분석, 다짐실험, 일축압축강도 실험은 세립토의 지반물성치를 결정하기 위해 수행되었다. 각 흙 시료에서 3가지 조건의 함수비(최적함수비보다 낮은 함수비, 최적함수비, 최적함수보다 높은 함수비)를 가진 시편에 대하여 M_r실험과 일축압축강도실험을 수행하였다. 세립토의 M_r은 함수비에 가장 큰 영향을 받았으며 함수비가 증가할수록 M_r은 감소하는 경향을 보였다. 세립토의 M_r은 일축압축강도, 점토 함유량, 실트와 점토 함유량, 액성한계, 소성지수가 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 또한, 모래의 함유량이 증가할수록 세립토의 M_r은 감소하는 경향을 보였다.

Keywords : Cohesive soil, Engineering properties, Resilient modulus, Subgrade

1 정회원, 한국건설기술연구원 Geo-인프라연구실 연구위원 (Member, Research Fellow, Geotechnical Eng. Research Division, Korea Institute of Construction Technology)
2 정회원, 한국건설기술연구원 Geo-인프라연구실 수석연구원 (Member, Senior Researcher, Geotechnical Eng. Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Tel: +82-31-910-0563, Fax: +82-31-910-0561, leejh73@kict.re.kr, Corresponding author, 교신저자)
3 정회원, 상지대학교 건설시스템공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Construition System Eng., Sangji Univ.)
4 정회원, 한국시설안전공단 시설안전연구소 연구소장 (Member, Chief, Institute of Infrastructure Safety, Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation)
* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2014년 4월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서 론

아스팔트 포장설계를 위한 노상토의 회복탄성계수(M_r)는 1962년 Seed 등에 의해 처음으로 제안되으며 1986년 미연방도로청(AASHTO)은 연성포장설계법에서 포장의 두께를 결정하는데 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나로 채택하였다. 연성포장체에 발생하는 균열파괴는 반복교통하중에 의해 포장에 압축과 인장이 반복하여 일어나서 발생한다. 포장에 압축과 인장을 일으키는 원인은 반복교통하중에 의한 노상토의 탄성변형 또는 회복탄성변형때문이라고 정의하였다.

이러한 노상토의 회복탄성거동은 50년 넘게 수많은 연구자들에 의해 연구되어지고 문서화되었다. 이들의 연구는 노상토의 Mr과 노상토의 지반물성치와 관계 또는 응력상태와의 관계를 밝히는데 있었다. 이러한 연구 결과로 뚜렷하게 드러난 성과로는 세립토의 Mr은 축차응력이 증가 할수록 비선형적으로 감소하는 것으로 판명되었다(Seed et al., 1962; Fredlund et al., 1977; Woolstrum, 1990; Drumm et al., 1990; Li and Selig, 1994; Pezo and Hudson, 1994; Lee et al., 1995; Mohammad et al., 1995; Masada and Sargand, 2002). 세립토의 Mr은 주로 노상토의 함수비와 밀접한 관련이 있는 것으로 판명되었는데 함수비가 증가 할수록 세립토의 Mr은 비선형적으로 감소하는 것으로 나타났다(Seed et al., 1962; Chu et al., 1977; Fredlund et al., 1977; Woolstrum, 1990; Burczyk et al., 1994; Li and Selig, 1994; Pezo and Hudson, 1994; Mohammad et al., 1995; Lee et al., 1995; Thadkamalla and Geogre, 1995; Drumm et al., 1997; Kim, 1999; Muhanna et al., 1999; Masada and Sargand, 2002; Li and Qubain, 2003). 세립토의 Mr은 일축압축강도과 상당한 연관성을 보여준다는 연구결과도 있다(Lee et al., 1995, 1997). 또한, 세립토의 Mr은 소성지수가 증가할수록 증가하는 경향을 보여준다는 연구결과도 있다(Woolstrum, 1990; Pezo and Hudson, 1994).

일반적으로 노상토의 M_r은 노상토에서 채취된 불교란 시료나 실험실에서 다져진 시료에 대하여 삼축진동실험을 수행하여 결정한다. 그러나, M_r실험은 숙련된 전문가에 의해 수행되어야 최대한 객관적인 결과를 도출할 수 있을 뿐만 아니라 실내실험시 상당한 시간이 필요하다. 도로설계를 위한 지반조사시 획득할 수 있는 노상토, 특히 세립토의 지반물정치를 사용하여 노상토의 M_r을 추정할 수 있으면 효율적이고 객관적인 도로포장설계를 수행할 수 있을 것이다. 그러므로, 본 연구의 목적은 노상토의 지반물성치를 활용하여 노상토로 사용되는 세립토의 M_r을 추정하기 위한 기법개발에 앞서 노상토로 사용되어지는 세립토의 지반 물성치와 M_r과의 상관관계를 알아보기 위한 것이다.

2. 시험시료 및 실내실험

2.1 시험시료 및 실내실험 방법

본 연구를 위해 아스팔트 포장 건설현장에서 노상토로 사용되는 8개의 세립토 시료를 수집하였다. 수집된 흙 시료를 대상으로 체분석, 비중계분석, Atterberg 한계실험, 다짐실험 및 일축압축강도를 수행하였다.

흙 시료의 입도분포곡선을 결정하기 위한 체분석과 비중계분석은 AASHTO T88-97, ASTM D422-62 및 ASTM D422-63에 근거하여 실시되었다. 액성한계, 소성한계 및 소성지수를 결정하기 위한 Atterberg 한계실험은 AASHTO T89-96, T90-96와 ASTM D4318-95a에 근거하여 수행되었다. 입도분포곡선과 Atterberg 한계실험결과를 Unified Soil Classification(ASTM D2487-93)과 AASHTO Soil Classification(AASHTO M145-91)에 적용하여 각 흙 시료를 분류하였다. 흙의 함수비에 따른 건조단위중량을 결정하기 위한 다짐실험은 AASHTO T99-97 및 ASTM D698-91에 근거하여 수행되었다. 다짐실험에 의해 결정된 흙 시료의 함수비와 건조단위중량곡선으로부터 각 흙 시료의 최적함수비와 최대건조단위중량을 결정하였다. 또한, 각 흙 시료의 일축압축강도를 결정하기 위하여 AASHTO T208-96 및 ASTM D2166-91에 근거하여 각 흙 시료의 일축압축강도를 측정하였다. 일축압축강도를 측정하기 위하여 각 흙 시료에서 동일한 시편 3개를 제작한 후 실험을 수행하였다. 일축압축강도실험을 위한 시편은 지름이 3.3cm이고 높이가 7.1cm인 원기둥 형태이다. 또한, 함수비와 건조단위중량에 대한 일축압축강도의 영향을 평가하기 위하여 최적함수비보다 약 2% 감소(다짐곡선형태에 따라 1.5% 또는 3% 감소)시키고 거기에 대응하는 건조단위중량을 가지는 경우(DRY), 최적함수비와 최대건조단위중량을 가지는 경우(OMC)와 최적함수비보다 약 2% 증가(다짐곡선형태에 따라 1.5% 또는 3% 증가)시키고 거기에 대응하는 건조단위중량을 가지는 경우(WET)에 대하여 일축압축강도를 측정하였다.

2.2 실내실험 결과

아스팔트 포장 건설현장에서 채취한 8개 시료에 대한 흙의 종류, 액성한계, 소성한계, 소성지수, 모래 함유량, 실트 함유량 및 점토 함유량을 Table 1에서 보여주고 있다. Sample 1에서 Sample 4는 AASHTO Soil Classification에 의해 A-6 그룹으로 분류되었고, Unified Soil Classification에 의해서는 CL로 분류되었다. Sample 5에서 Sample 8은 AASHTO Soil Classification에 의해 A-7-6 그룹으로 분류되었고, Unified Soil Classification에 의해서는 2개 시료는 CH로 나머지 2개 시료는 CL로 분류되었다.

Table 2는 8개 흙 시료의 최적함수비와 최대건조단위중량을 보여주고 있다. 또한, 앞에서 언급한 바와 같이 함수비와 단위중량 변화에 대한 일축압축강도 변화를

Table 1. Soil Type and Engineering Properties

Sample Name	Soil Type		Liquid Limit	Plastic Limit	Plasticity Index	% of sand	% of silt	% of clay
	AASHTO	USCS						
Sample 1	A-6	CL	28	17	11	23	49	12
Sample 2	A-6	CL	32	21	11	13	55	21
Sample 3	A-6	CL	35	24	11	4	72	19
Sample 4	A-6	CL	33	20	13	8	45	39
Sample 5	A-7-6	CH	59	27	32	0	66	34
Sample 6	A-7-6	CH	55	19	36	7	53	39
Sample 7	A-7-6	CL	41	20	21	7	81	12
Sample 8	A-7-6	CL	41	21	20	5	55	40

Table 2. Compaction test and Unconfined Compressive Strength Test Results

Soil Type	Sample Name	Optimum Moisture Content (%)	Maximum Dry Density (kN/m^3)	Sample Moisture Content (%)	Sample Dry Density (kN/m^3)	q_u (kPa)
A-6	Sample 1	14	18.79	DRY: 12.0	18.53	347.6
				OMC: 14.0	18.79	192.0
				WET: 16.0	18.48	92.1
	Sample 2	14.8	18.60	DRY: 10.8	18.24	399.1
				OMC: 14.8	18.60	215.2
				WET: 17.8	18.04	108.0
	Sample 3	13.8	18.29	DRY: 11.3	18.22	364.1
				OMC: 13.8	18.29	316.3
				WET: 15.8	18.14	259.1
	Sample 4	16	18.43	DRY: 14.0	18.04	688.8
				OMC: 16.0	18.43	409.7
				WET: 18.0	18.04	223.6
A-7-6	Sample 5	24.2	14.82	DRY: 21.2	14.84	320.6
				OMC: 24.2	15.11	264.5
				WET: 27.2	14.79	200.4
	Sample 6	18.6	15.61	DRY: 17.1	15.80	340.4
				OMC: 18.6	15.92	304.3
				WET: 20.1	15.87	282.8
	Sample 7	17.7	16.88	DRY: 15.7	16.51	348.1
				OMC: 17.7	16.88	329.3
				WET: 19.7	16.53	218.7
	Sample 8	19.6	16.53	DRY: 17.6	16.02	549.3
				OMC: 19.6	16.53	450.4
				WET: 21.6	16.16	365.0

측정하기 위하여 각 흙 시료에서 3가지 조건의 함수비(DRY, OMC, WET)와 그에 대응하는 건조단위중량을 가지는 시편에 대하여 수행한 일축압축강도를 보여주고 있다.

3. 회복탄성계수(M_r)실험

3.1 회복탄성계수(M_r)실험 방법

Fig. 1은 8개 흙 시료에 대한 M_r실험을 위한 장비와 삼축압축챔버를 보여주고 있다. 삼축압축챔버에서 시편에 가해지는 진동축차하중을 측정하기 위해 Loadcell을 챔버내부에 장착하였다. 축하중에 의해 발생하는 시편의 축변형을 측정하기 위해 챔버 외부상단에 LVDT을 설치하였다. M_r실험에 사용된 흙 시편크기는 지름이 72.8cm이고 높이가 152.2cm이다. 본 연구에서는 앞에서도 언급한 바와 같이 함수비와 건조단위중량의 변화가 M_r에 미치는 영향을 평가하기 위하여 각 흙 시료에서 3가지 조건의 함수비와 건조단위중량을 가지는 시편을 제작한 후 M_r실험을 수행하였다. M_r실험은 3가지 구속응력 조건에 따라 각 5단계의 진동축차응력을 가하는 AASHTO T294-94에 근거하여 실시되었다.

3.2 회복탄성계수(M_r)실험 결과

8개 흙 시료에 대한 M_r실험결과는 Table 3에서 보여주고 있다. 각 흙 시료에서 3가지 조건의 함수비와 건조단위중량을 가지는 시편에 대한 M_r실험결과를 보여주고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 M_r실험에서는 3가지 구속응력(σ_3)을 적용하고 각각의 구속응력에서 5가지 크기의 진동축차응력(σ_d)을 가한다. 따라서, 한 개의 시편에 대하여 M_r실험을 수행하면 15개의 M_r값이 측정된다. 3가지 구속응력중 중간에 해당하는 구속응력 21kPa과 5가지 진동축차응력중 중간에 해당하는 41kPa을 적

Table 3. Mr results (σ_d of 41 kPa and σ_3 of 21 kPa)

Sample Name	Moisture Content (%)	Dry Density (kN/m^3)	Resilient modulus (MPa)
Sample 1	12.00	18.53	80.39
	14.00	18.79	41.42
	16.00	18.48	12.90
Sample 2	10.80	18.24	82.35
	14.80	18.6	55.89
	17.80	18.04	26.42
Sample 3	11.3	18.22	77.43
	13.8	18.29	59.26
	15.8	18.14	31.57
Sample 4	14.00	18.04	94.60
	16.00	18.43	83.53
	18.00	18.04	39.44
Sample 5	21.2	14.84	90.27
	24.2	15.11	77.77
	27.2	14.79	59.55
Sample 6	17.1	15.8	91.39
	18.6	15.92	83.85
	20	15.87	72.19
Sample 7	15.7	16.51	85.99
	17.7	16.88	59.07
	19.7	16.53	33.93
Sample 8	17.60	16.02	91.67
	19.60	16.53	72.88
	21.60	16.16	41.62

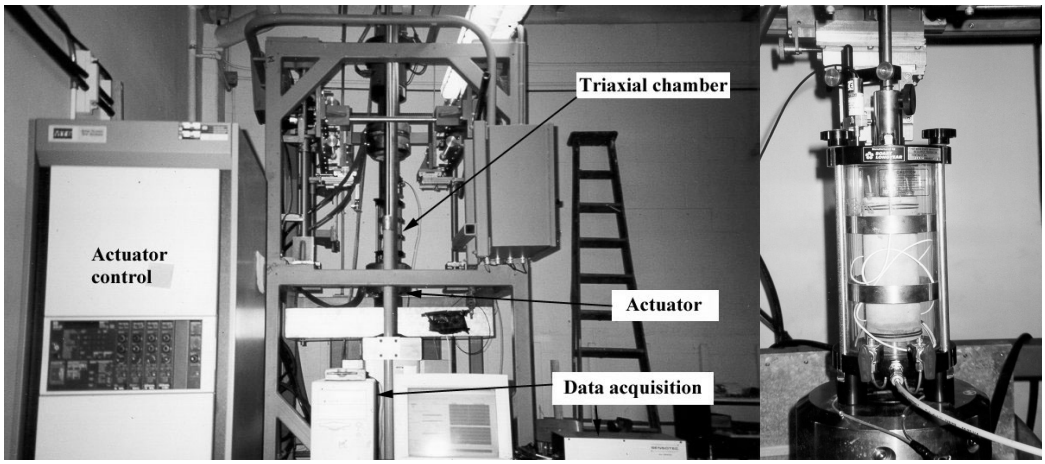

Fig. 1. Mr test system and Triaxial Chamber

용하였을 때 측정된 M_r값을 Table 3에 표시하였다. 구속응력 21kPa과 진동축차응력 41kPa를 적용하여 측정된 M_r값이 일반적으로 노상토의 대표적인 M_r값이므로 이 M_r값들을 이용하여 흙 시료의 지반물성치와 상관관계를 도출하였다.

4. 회복탄성계수(M_r)와 지반물성치 관계

8개 흙 시료에서 수행된 실내실험과 M_r실험으로부터 측정된 결과를 바탕으로 세립토의 지반물성치와 M_r의 상관관계를 도출하였다. 본 연구에서 사용된 지반물성치는 함수비, 건조단위중량, 일축압축강도, 액성한계, 소성한계, 소성지수, 모래함유량, 실트함유량, 점토함유량, 실트와 점토함유량이다.

4.1 회복탄성계수(M_r)와 함수비

Fig. 2는 함수비 변화에 따라 측정된 M_r값(구속응력 21kPa과 진동축차응력 41kPa 적용)들을 보여주고 있다. 각 흙 시료에서 3가지 조건의 함수비(DRY, OMC, WET)를 가지는 시편들에서 측정된 3개의 M_r값들을 선으로 연결하여 표현하고 있다. 실선으로 연결된 흙 시료는 A-6그룹에 해당하고 일점쇄선으로 연결된 흙 시료는 A-7-6그룹에 해당한다. 일반적으로 함수비가 증가 할수록 M_r값이 감소하는 경향을 보여주고 있다. 각각의 흙 시료에서 M_r값의 감소비율은 약간씩 상이하나 최적함수비(OMC)에서 최적함수비보다 높은 함수비(WET)로 증가할 때의 M_r값 감소비율은 최적함수비보다 낮은 함수비(DRY)에서 최적함수비(OMC)로 함수비가 증가할 때의 M_r값 감소비율보다 큰 경향을 보여주고 있다. 이것은 각각의 흙 시료에서 M_r값과 함수비가 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있는 것이다. 또한, 최적함수비를 기준으로 함수비의 증감비율이 M_r값 증감비율과도 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있는 것이다. 그러므로, 함수비 및 최적함수비는 세립토의 M_r값을 추정하는데 가장 중요한 요소로 작용할 것으로 판단된다.

4.2 회복탄성계수(M_r)와 건조단위중량

Fig. 3은 건조단위중량 변화에 따라 측정된 M_r값(구속응력 21kPa과 진동축차응력 41kPa 적용)들을 보여주고 있다. 각 흙 시료에서 3가지 조건의 함수비(DRY, OMC, WET)에 해당하는 건조단위중량을 가지는 시편에서 측정된 3개의 M_r값들을 선으로 연결하여 보여주고 있다. 실선으로 연결된 흙 시료는 A-6그룹에 해당하고 일점쇄선으로 연결된 흙 시료는 A-7-6그룹에 해당한다. 3개의 M_r값으로 연결된 각각의 흙 시료에서 가장 높은 M_r값은 최적함수비보다 낮은 함수비(DRY)와 건조단위중량을 가지는 시편에서 측정된 것이고, 가장 낮은 M_r값은 최적함수비보다 높은 함수비(WET)와 건조단위중량을 가지는 시편에서 측정된 것이다. 중간 M_r값은 최적함수비(OMC)와 최대건조밀도를 가지는 시편에서 측정된 M_r값이다. Fig. 3에서 보여주듯이 건조단위중량의 증감과 M_r은 전혀 상관관계가 없는 경향을 보여주고 있다. 또한, 최대건조단위중량과 M_r도 전혀 상관관계가 없는 경향을 보여주고 있다.

4.3 회복탄성계수(M_r)와 일축압축강도

Fig. 4는 M_r값(구속응력 21kPa과 진동축차응력 41kPa

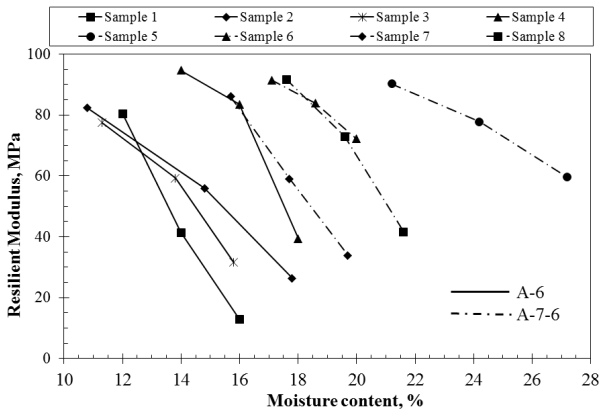

Fig. 2. M_r (σ_d of 41 kPa and σ_3 of 21 kPa) versus Moisture Content

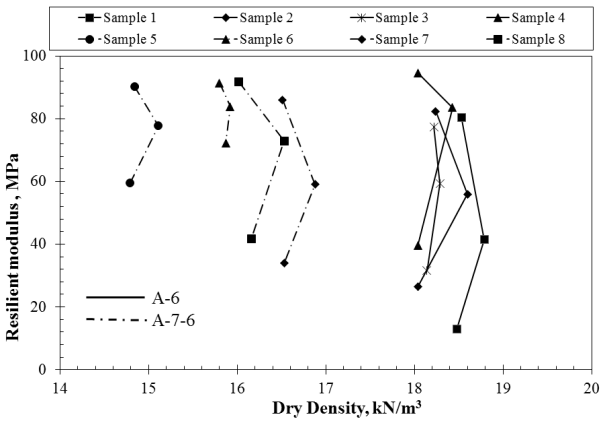

Fig. 3. M_r (σ_d of 41 kPa and σ_3 of 21 kPa) versus Dry Density

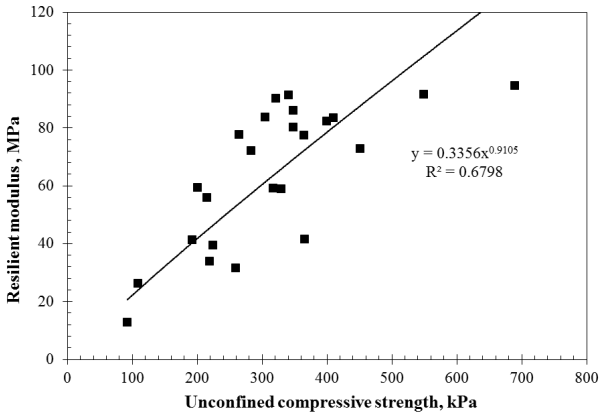

Fig. 4. M_r (σ_d of 41 kPa and σ_3 of 21 kPa) versus unconfined compressive strength

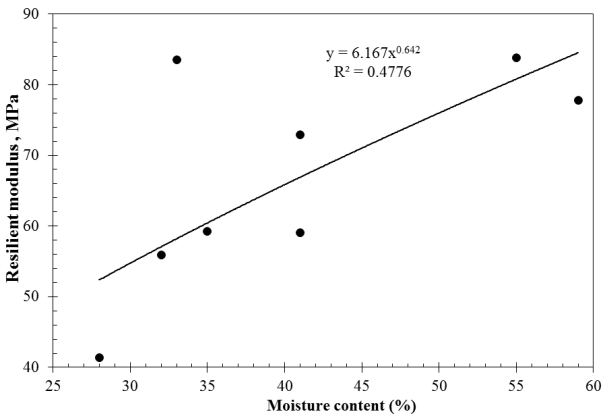

Fig. 5. M_r (σ_d of 41 kPa and σ_3 of 21 kPa) versus liquid limit

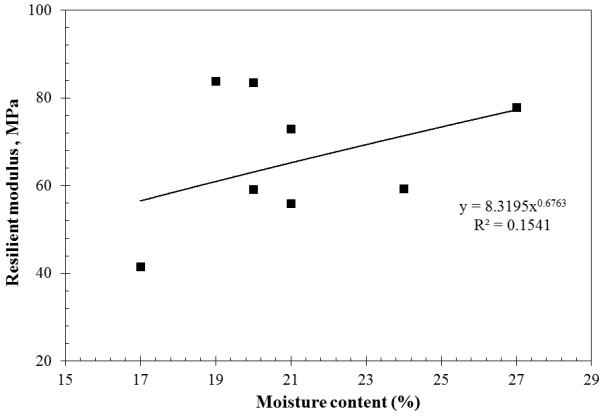

Fig. 6. M_r (σ_d of 41 kPa and σ_3 of 21 kPa) versus Plastic limit

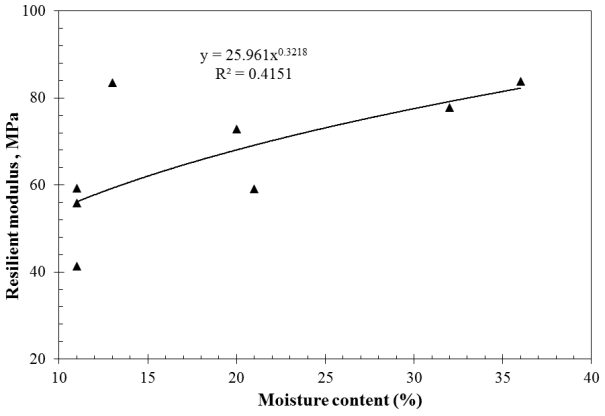

Fig. 7. M_r (σ_d of 41 kPa and σ_3 of 21 kPa) versus Plasticity Index

적용)과 일축압축강도와의 관계를 보여주고 있다. 각각의 흙 시료에서 3가지 조건의 함수비(DRY, OMC, WET)를 갖는 시편에서 측정된 모든 M_r값들과 일축압축강도들을 나타내고 있다. 그림에서 보여주듯이 추세선과 각 점들의 상관관계를 나타내는 R^2값이 0.6798이므로 일축압축강도와 M_r은 어느 정도 상관관계를 가지고 있다고 볼 수 있다. 일축압축강도가 거듭제곱으로 증가 할수록 M_r값도 증가하는 경향을 보여주고 있다. 세립토의 M_r값 예측시, 일축압축강도를 입력변수로 놓고 거듭제곱식으로 표현하면 M_r값을 비교적 정확하게 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

4.4 회복탄성계수(M_r)와 Atterberg 한계

Fig. 5, 6 및 7은 최적함수비를 갖는 시편에서 측정된 M_r값(구속응력 21kPa과 진동축차응력 4 kPa 적용)과 액성한계, 소성한계 및 소성지수와의 관계를 보여주고 있다. 액성한계와 M_r의 관계를 보여주는 Fig. 5에서 추세선과 각 점들의 상관관계를 나타내는 R^2값이 0.4776이지만 액성한계와 M_r은 어느 정도 상관관계를 보여주고 있다. 액성한계가 거듭제곱으로 증가 할수록 M_r값도 증가하는 경향을 보여주고 있다. 소성한계와 M_r값의 관계를 보여주는 Fig. 6에서 추세선과 각 점들의 상관관계를 나타내는 R^2값이 0.1541이므로 소성한계와 M_r은 상관관계가 거의 없는 것으로 볼 수 있다. 소성지수와 M_r값의 관계를 보여주는 Fig. 7에서 추세선과 각 점들의 상관관계를 나타내는 R^2값이 0.4151이지만, 소성지수와 M_r은 어느 정도 상관관계를 보여주고 있다. 소성지수가 거듭제곱으로 증가 할수록 M_r값도 증가하는 경향을 보여주고 있다. 세립토의 M_r값 예측시, 액성한계와 소성지수를 입력변수로 놓고 거듭제곱식으로 표현하면 M_r값들을 예측하는데 도움이 될 수 있다.

4.5 회복탄성계수(M_r)와 세립자 함유량

Fig. 8, 9, 10 및 11은 최적함수비를 갖는 시편에서 측

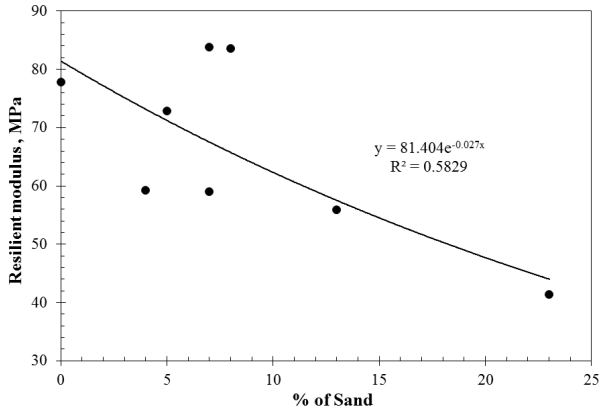

Fig. 8. M_r (σ_d of 41 kPa and σ_3 of 21 kPa) versus % of Sand

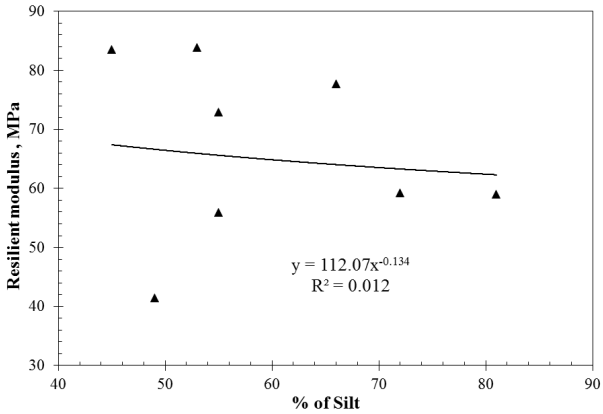

Fig. 9. M_r (σ_d of 41 kPa and σ_3 of 21 kPa) versus % of Silt

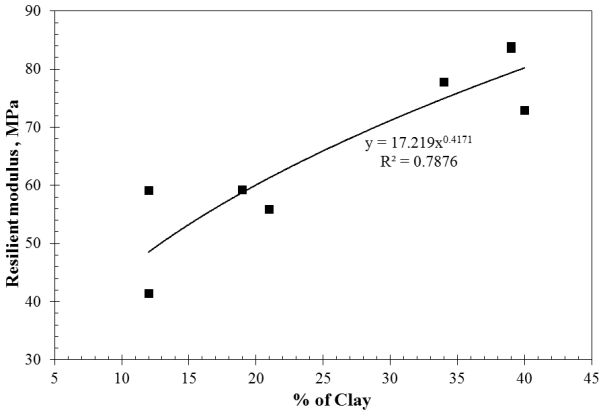

Fig. 10. M_r (σ_d of 41 kPa and σ_3 of 21 kPa) versus % of Clay

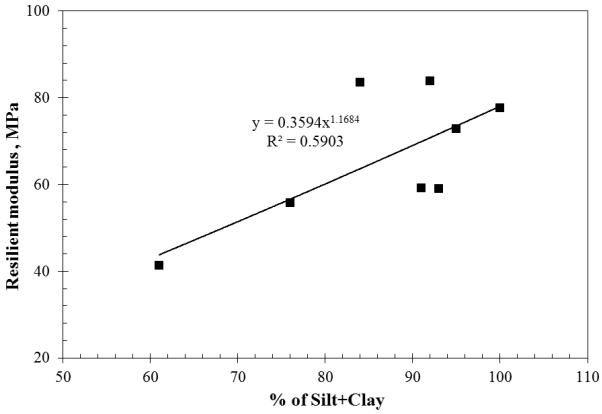

Fig. 11. M_r (σ_d of 41 kPa and σ_3 of 21 kPa) versus % of Silt + Clay

정한 M_r값(구속응력 21kPa과 진동축차응력 41kPa 적용)과 모래 함유량, 실트 함유량, 점토 함유량 및 #200체를 통과한 실트와 점토함유량과의 관계를 보여주고 있다. 모래 함유량과 M_r값의 관계를 보여주는 Fig. 8에서 추세선과 각 점들의 상관관계를 나타내는 R^2값이 0.5829이지만 모래 함유량과 M_r은 어느 정도 상관관계가 있음을 보여주고 있다. 모래 함유량이 증가할수록 M_r값은 감소하는 경향을 보여주고 있다. 실트 함유량과 M_r값의 관계를 보여주는 Fig. 9에서 추세선과 각 점들의 상관관계를 나타내는 R^2값이 0.012이므로 실트 함유량과 M_r값은 거의 상관관계가 없는 것을 보여주고 있다. 점토 함유량과 M_r값의 관계를 보여주는 Fig. 10에서 추세선과 각 점들의 상관관계를 나타내는 R^2값이 0.7876이므로 점토 함유량과 M_r값은 상당한 상관관계가 있음을 보여주고 있다. 점토 함유량이 거듭제곱으로 증가 할수록 M_r값도 증가하는 경향을 보여주고 있다. #200체를 통과한 실트와 점토 함유량과 M_r값의 관계를 보여주는 Fig. 11에서 추세선과 각 점들의 상관관계를 나타내는 R^2값이 0.5903이지만 실트와 점토 함유량은 M_r값과 어느 정도 상관관계가 있음을 보여주고 있다. 실트와 점토 함유량이 거듭제곱으로 증가 할수록 M_r값도 증가하는 경향을 보여주고 있다. 세립토의 M_r값 예측시, 점토 함유량을 입력변수로 놓고 거듭제곱식으로 표현하면 M_r값은 비교적 정확하게 예측할 수 있을 것이다. 또한, 세립토의 M_r값 예측시, 모래 함유량과 #200체를 통과한 실트와 점토 함유량을 입력변수로 놓고 거듭제곱식으로 표현하면 M_r값을 예측하는데 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

아스팔트 포장건설에 사용되는 노상토중 세립토에 해당하는 흙의 지반물성치가 M_r에 미치는 영향을 평가하기 위하여 노상토로 사용되는 8개의 세립토 시료를 수집하였다. 수집된 흙 시료의 지반물성치를 측정하기 위하여 체분석, 비중계분석, Atterberg 한계실험, 다짐실험, 및 일축압축강도실험을 수행하였다. 또한, 세립토의 M_r값 측정을 위하여 M_r실험을 수행하였다.

노상토로 사용되는 세립토의 M_r과 지반물성치, 즉 함수비, 건조단위중량, 일축압축강도, 액성한계, 소성한계, 소성지수, 모래 함유량, 실트 함유량, 점토 함유량, 실트와 점토 함유량과의 관계를 평가하였다.

(1) 세립토의 M_r값은 함수비, 일축압축강도, 점토 함유량과 밀접한 상관관계가 있다. 함수비가 증가할수록 세립토의 M_r값은 감소하는 경향을 보였다. 또한, 최적함수비를 기준으로 최적함수비보다 낮은 함수비(DRY)에서 최적함수비(OMC)로 함수비가 증가할 때의 M_r값 감소비율은 최적함수비(OMC)에서 최적함수비보다 높은 함수비(WET)로 증가할 때의 M_r값 감소비율보다 작은 경향을 보여주었다. 일축압축강도 및 점토 함유량이 증가하면 세립토의 M_r값이 일축압축강도 및 점토 함유량의 거듭제곱으로 증가하는 경향을 보였다.

(2) 세립토의 M_r값은 액성한계, 소성지수, 모래 함유량과 실트와 점토 함유량과 어느 정도 상관관계가 있는 것으로 판단되었다. 액성한계, 소성지수 및 실트와 점토 함유량이 거듭제곱으로 증가 할수록 M_r값도 증가하는 경향을 보였다. 모래 함유량이 증가할수록 Mr값은 감소하는 경향도 보였다.

(3) 세립토의 M_r값은 건조단위중량, 소성한계 및 실트 함유량과는 전혀 상관관계가 없음을 보여주었다.

본 연구를 통하여 아스팔트 포장에서 사용되는 노상토가 세립토인 경우, 세립토의 M_r은 최적함수비를 기준으로 한 함수비의 변화, 일축압축강도, 점토 함유량, 액성한계, 소성지수, 모래 함유량 및 #200체를 통과한 실트 및 점토 함유량을 가지고 예측할 수 있을 것을 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업인 맞춤형 지지 모듈러 시스템 개발 과제의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌 (References)

1. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1986), American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
2. AASHTO T294-94 “Standard Method of Test for Resilient Modulus of Subgrade Soils and Untreated Base/Subbase Materials – SHRP Protocol P46”, American Association of StateHighwayandTransportation Officials,Washington,D.C. (1995).
3. Burczyk, J. M., Ksaibati, K., Anderson-Sprecher, R., and Farrer, M.J. (1994), “Factors Influencing Determination of a Subgrade Resilient Modulus Value”, *Transportation Research Record No 1462*, Transportation Research Board, National Research Council, pp.72-78.
4. Chu, T. Y., Humphries, W. K., Stewart, R. L., Guram, S. S., and Chen, S. N. (1977), “Soil moisture as a factor in subgrade evaluation”, *Transportation Engineering, Journal of ASCE*, ASCE, Vol.103, No.1, pp.87102.
5. Drumm, E. C., Boateng-Poku, Y., and Pierce, T. J. (1990), “Estimation of Subgrade Resilient Modulus from Standard Tests”, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.116, No.5, May, pp.774-789.
6. Drumm, E. C., Reeves, J. S., Madgett, M. R., and Trolinger, W. D. (1997), “Subgrade Resilient Modulus Correction for Saturation Effects”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol.123, No.7, July, pp.663-670.
7. Fredlund, D. G., Bergan, A. T., and Wong, P. K. (1977), “Relation between Resilient Modulus and Stress Research Conditions for Cohesive Subgrade Soils”, *Transportation Record No 642 Transportation Research Board, National Research Council*, pp.73-81.
8. Lee, W. J., Bohra, N. C., Altschaeffl, A. G., and White, T. D. (1995), “Resilient Modulus of Cohesive Soils and the Effect of Freeze-Thaw”, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.32, pp.559-568.
9. Lee, W. J., Bohra, N. C., Altschaeffl, A. G., and White, T. D. (1997), “Resilient Modulus of Cohesive Soils”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol.123, No.2, pp.131-136.
10. Li, D. and Selig, E. T. (1994), “Resilient Modulus for Fine-grained Subgrade Soil”, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.120, No.6, pp.939-957.
11. Masada, T. and Sargand, S. M. (2002), “Laboratory Characterization of Materials and Data Management for Ohio-SHRP Projects (U.S. 23)”, *Job No. 14695(0), Final Report, Ohio Department of Transportation and Federal Highway Administratio*n, Ohio University, Athens, Ohio.
12. Mohammad, L. N., Puppala, A. J. and Alavilli, P. (1995), “Resilient Properties of Laboratory Compated Subgrade Soils”, *Transportation Research Record No 1504*, Transportation Research Board, National Research Council, pp.87-102.
13. Pezo, R. and Hudson, W. R. (1994), “Prediction Models of Resilient Modulus for Nongranular Materials”, *Geotechnical Testing Journal*, GTJODJ, Vol.17, No.3, pp.349-355.
14. Seed, H. B., Chan, C. K., and Lee, C. E.(1962), “Resilience Characteristics of Subgrade Soils and Their Relation to Fatigue Failure in Asphalt Pavement”, *Proc., International Conference on Structural Design of Asphalt Pavement*, University of Michigan, Ann Arbor, pp.611-636.
15. Thadkamalla, G. B. and George, K. P. (1995), “Characterization of Subgrade Soils at Simulated Field Moisture”, *Transportation Research Record No 1481*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, pp.21-27.
16. Woolstrum, G. (1990), “Dynamic Testing of Nebraska Soils and Aggregates”, *Transportation Research Record No 1278*, Transportation Research Board, National Research Council, pp.27-34.

(접수일자 2013. 10. 18, 수정일 2013. 10. 21, 심사완료일 2013. 10. 21)