

# 캐나다 오일샌드 분포지역에서의 유체기계 주행성능 평가를 위한 지반공학 특성 분석

홍승서\* · 김영석\*†

## Geotechnical Properties of Muskeg Soil for Construction Machinery Distributed in Oil-sand Areas

Seung-Seo Hong\*, YoungSeok Kim\*†

*Key Words* : Construction Machinery(건설기계), Oil-sand(오일샌드), Muskeg Soil(특수토), Organic Soil(유기질토), Geotechnical Properties(지반공학 특성)

### ABSTRACT

A series of laboratory tests were conducted to investigate the geotechnical engineering characteristics of muskeg soil for construction machinery widely distributed in cambridge region in Canada which makes problems in construction works. Physical characteristics of cambridge region muskeg soil were measured in terms of such categories as nature water content, organic content, specific gravity, liquid limit, and plasticity index. As the test result, it was found that nature water content, organic content, specific gravity, liquid limit, plasticity index, and compression strength were 50.8~343.8%, 12.1~42.5%, 1.76~2.57, 46.6~440.2%, 25.6~280.5, 0.665~1.537 kg/cm<sup>2</sup>, respectively.

### 1. 서 론

극한지대인 캐나다 오일샌드 분포지역의 지반은 유기질 함량이 높은 특수토(예를 들어 muskeg soil)가 널리 분포하는 것으로 알려져 있다(Mesri, 1977). 이러한 환경에 존재하는 특수토에서는 겨울철 동결, 여름철 융해에 따른 대규모 변형이 발생하여 유체기계(특히, 건설기계)의 작업능력 및 주행능력을 저하시킬 우려가 있다. 특히, 캐나다 오일샌드 매설지역에 분포된 muskeg soil은 주로 미분해된 섬유질로 구성되어 있어 보수력 및 팽창성이 크며, 탈수시에는 수축성이 큰 특징을 가지고 있어 거동예측이 어려운 토양이다. 따라서 muskeg soil로 구성된 지반 위에 플랜트 구조물을 건설한다면 건설기계의 주행성능을 저하시킬 수 있으며, 침하량이 과대해지고 지지력이 부족하여 구조물의 안전에 심각한 문제가 발생할 수도 있다. 지반변형 중 가장 큰 요인인 압밀(Consolidation)현상에서도 muskeg soil은 일반적

인 점토에 비해 침하량이 크고, 입자 자체 압축성을 가지고 있다고 알려져 있다. 또한, 캐나다 알버타 지역을 중심으로 토양 내 존재하는 유기질 함량은 대부분 10% 이내로 그리 높지 않다. 하지만 지역에 따라 유기질 함량이 20% 이상 되는 곳도 다수 있으며, 깊이에 따라 유기질 함량이 다른 것으로 알려져 있다(Arman, 1969). 이러한 유기질 함량에 따라 흙의 역학적 거동은 전혀 달라질 수 있으므로 Hanrahan (1954)는 유기질 함량에 따른 삼축압축시험과 압밀시험을 실시하여 역학적 거동을 분석하였고, Adams(1961)는 유기질 함량에 따른 압밀특성을 연구하였다. 그러나 기존 연구들은 제한적인 조건에서 수행된 결과이며, 건설기계의 작업능력 평가 및 지반공학적인 문제해결을 위해서는 보다 많은 실험 데이터 축적과 다양한 분석이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 극한지 오일샌드 현장에서 자주 분포하고 있는 muskeg soil의 공학적 특성을 분석하기 위해 일련의 실내실험을 수행하였다. 또한, 실내실험으로부터 도출된 결

\* 한국건설기술연구원 지반연구소(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

† 교신저자, E-mail : kimys@kict.re.kr

Table 1 Tests results

Contents	A			B			C			D		
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2	D-3
w <sub>n</sub> (%)	246.1	62.8	68.6	203.3	124.4	179	262.3	346.5	101.3	112.2	50.8	225.5
G <sub>s</sub>	2.02	2.42	2.03	2.57	2.35	2.46	1.76	1.83	2.11	2.31	1.95	1.92
LL (%)	264.5	158.6	86.6	182.5	130.5	126.6	154.2	440.2	115.2	130.6	66.5	285.3
PI	100.5	35.9	26.2	48.5	35.6	78.5	77.5	180.5	25.6	41.5	35.2	70.5
γ <sub>t</sub> (kg/cm <sup>3</sup> )	0.854	1.537	1.125	0.995	1.235	1.261	0.852	0.665	0.952	1.052	1.354	0.822
Li (%)	38.4	19.8	16.5	21.8	12.1	17.2	34.2	42.5	20.1	26.3	14.3	38.9

과를 바탕으로 각각의 유기질 함량에 따른 영향인자들의 변화를 비교하고 분석하였다.

## 2. 캐나다 muskeg soil의 기본물성 특성

본 시험에 사용한 시료는 캐나다 앨버타주의 아사바스카 지역에서 일반적인 표층지반 채취법을 활용하여 확보 (Andersland와 Ladanyi, 2004; KS F 2319)한 흙이다. 유기물이 함유된 것으로 총 4개 지점(A, B, C, D)에서 각각 3개의 시료를 채취하여 공학적 특성 시험을 실시하였다. table 1의 시험결과에서 muskeg soil의 자연함수비(w<sub>n</sub>)는 50.8~346.5%, 유기물 함유량(Li)은 12.1~42.5%, 액성한계(LL)는 66.5~440.2%, 소성지수(PI)는 25.6~180.5, 비중(G<sub>s</sub>)은 1.76~2.57, 건조밀도(γ<sub>t</sub>)는 0.065~0.506 g/cm<sup>3</sup>의 범위로 나타났다.

## 3. 캐나다 muskeg soil의 공학적 특성

### 3.1 물리적 특성과 상관관계

#### 3.1.1 muskeg soil의 컨시스턴시

한국산업규격(KS F2324)과 ASTM(D 2487)에서는 노건조 후의 액성한계가 건조 전에 측정된 자연상태의 액성한계의 3/4보다 작은 경우에는 유기질 실트 또는 유기질 점토로 분류한다. 채취한 시료에 대한 자연상태에서 실시한 액성한계는 노건조 후 실시한 액성한계의 1.9~3.2배로 나타났으며 이는 시료가 건조되면 상대적으로 표면수량이 감소하므로 노건조 상태의 액성한계가 적은 것으로 판단된다.

김상규 등(1996)은 함수비와 액·소성한계의 관계는 자연함수비 상태의 액성한계가 노건조 상태에서 실시한 것 보다 1.5~4배이고 함수비가 높을수록 커지는 경향을 있다고 하였다.

채취한 캐나다 muskeg soil도 이러한 경향이 나타났고, 함수비에 따른 컨시스턴시 한계인 액성한계, 소성한계를 보면 Fig. 1, Fig. 2와 같다.

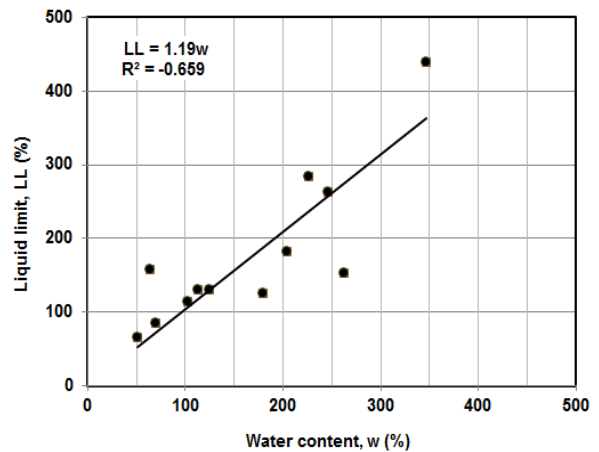


Fig. 1 Correlation with the water content and liquid limit

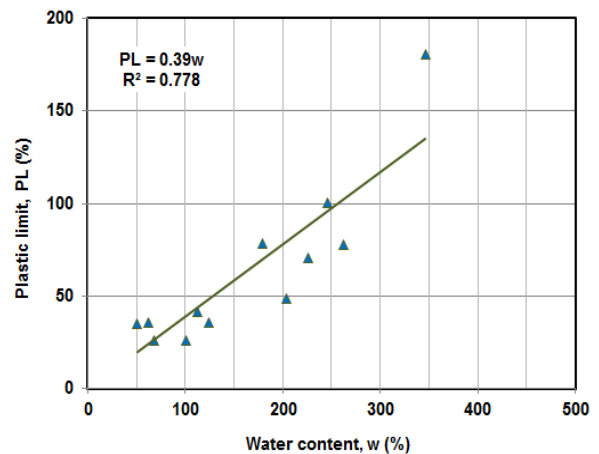


Fig. 2 Correlation with the water content and plastic limit

#### 3.1.2 유기물 함유량과 자연함수비의 관계

Ozen과 Wilson(1970)은 유기물 함유량이 10%이내에서는 자연함수비가 급격히 증가하고, 10~30%에서는 함수비 증가율이 완만하며 40%가 넘으면 다시 급격히 증가한다고 하였다.

Fig. 3에서 캐나다 muskeg soil의 자연함수비와 유기물 함유량과의 관계를 보면 유기물 함유량이 많을수록 자연함수비는 증가하였다.

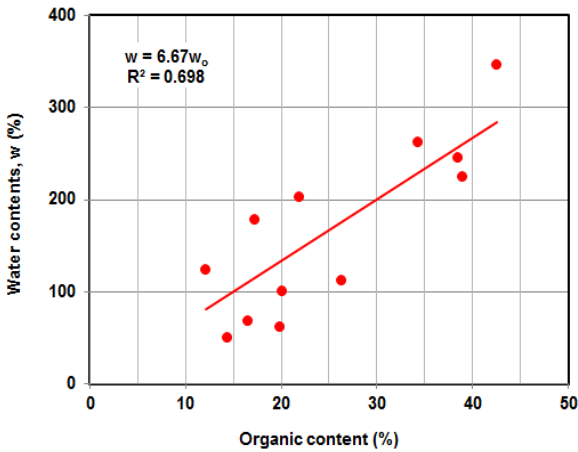


Fig. 3 Correlation with the organic content and water content

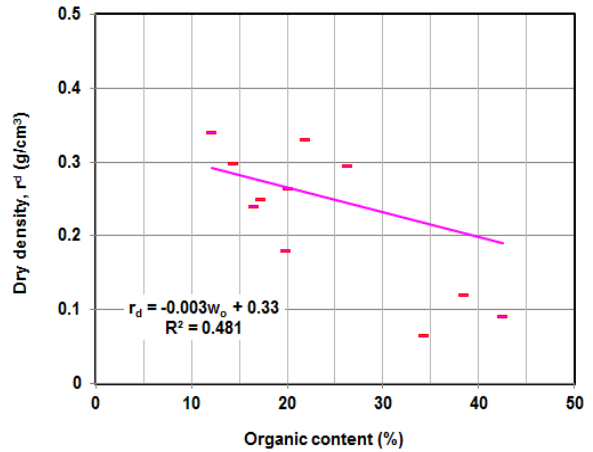


Fig. 5 Correlation with the organic content and dry density

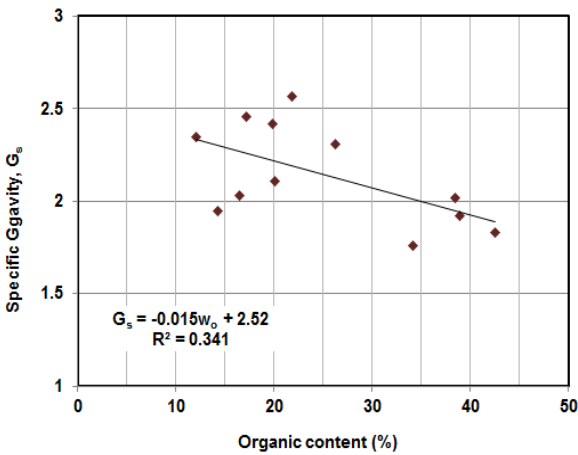


Fig. 4 Correlation with the organic content and specific gravity

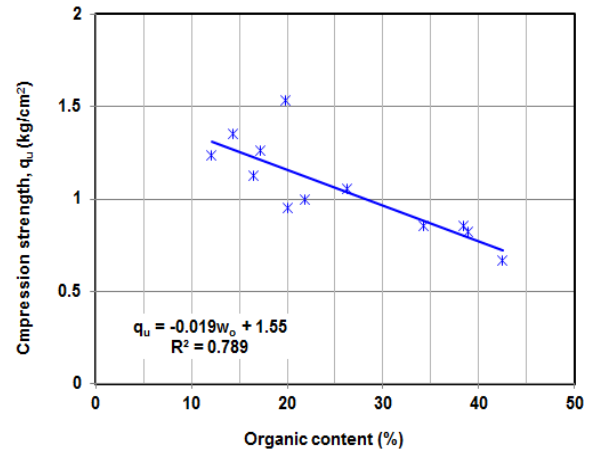


Fig. 6 Correlation with the organic content and compression strength

### 3.1.3 유기물 함유량과 비중, 건조단위중량의 관계

본 연구에서 사용된 muskeg soil은 대부분이 유기물 함유량 12.1~42.5이며 비중은 1.76~2.57로 나타났다. muskeg soil의 비중은 유기물 함유량과 밀접한 관계가 있다. 유기물 함유량이 증가함에 따라 비중은 감소하고 유기물 함유량이 동일하더라도 분해도에 따라 그 값은 차이가 있지만 Ozen과 Wilson(1970)은 유기물 함유량이 증가함에 따라 쌍곡선 형태로 감소한다고 하였다.

실험결과에 의하면 Fig. 4와 같이 유기물 함유량이 증가함에 따라 유기질토의 비중은 감소하였고 이는 기존의 시험결과와 유사한 경향을 나타냈다.

Fig. 5는 캐나다 muskeg soil 대한 유기물 함유량과 건조단위중량과의 관계이다. muskeg soil 내의 유기물은 분해되어 흙의 단립구조를 형성하므로 흙의 보수성이 증대되어 자연함수비가 커지고 상대적으로 건조단위중량은 유기물 함유량이 증가함에 따라 감소하였다.

### 3.2 일축압축강도 특성

Ozen과 Wilson(1970)은 유기물 함유량이 많을수록 단립 구조 발달이 양호하고 간극비가 크므로 일축압축강도는 감소하며, 축변형량에 비례하여 응력이 증가한다고 하였다. 유기물 함유량에 따른 muskeg soil의 일축압축강도 상관관계 곡선은 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 muskeg soil의 일축압축강도( $q_u$ )는 0.665~1.537 kg/cm<sup>2</sup>으로 나타났으며, 유기물의 함량에 따라 일축압축강도는 최대 43.2%로 감소하였다.

## 4. 결론

캐나다 극한지 오일샌드 매장지역인 엘버타 아사카사 지역에서 채취한 muskeg soil을 대상으로 건설기계의 작업능력(주행성능) 평가를 위한 대상지반의 공학적 특성을 분석하였다. 도출한 주요결과는 다음과 같다.

- 1) muskeg soil은 자연 함수비가 50.8~346.5%, 유기물 함유량이 12.1~42.5%, 액성한계가 66.5~440.2%, 소성지수가 25.6~180.5, 비중은 1.76~2.57이었다. 또한, 건조밀도는 0.065~0.506 g/cm<sup>3</sup>, 일축압축강도는 0.665~1.537 kg/cm<sup>2</sup>의 범위로 나타났다.
- 2) muskeg soil의 자연함수비와 유기물 함유량과의 관계를 보면 유기물 함유량이 많을수록 자연함수비는 증가하였다.
- 3) 또한, 유기물 함유량이 증가함에 따라 비중과 단위중량은 감소하였는데, 이는 흙 속의 유기물이 분해되어 흙의 단립구조를 형성하므로 흙의 보수성이 증대되어 자연함수비가 커지고 상대적으로 비중과 건조단위중량은 유기물 함유량이 증가함에 따라 감소한 것으로 판단된다.
- 4) muskeg soil의 일축압축강도는 0.665~1.537 kg/cm<sup>2</sup>으로 나타났으며, 유기물의 함량에 따라 일축압축강도는 최대 43.2%로 감소하였다.

이상의 실험결과는 극한지 특수토 지반위에서의 유체계의 주행성능 평가 및 개선을 위한 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 플랜트연구개발사업의 연구비지원(151FIP-B089069-02)에 의해 수행되었습니다.

## References

- (1) Mesri, G., 1977, "Time and stress compressibility inter relationship," Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 103, Issue. 5, pp. 417~429.
- (2) Arman, A., 1969, "Engineering Classification of Organic Soils," Highway Research, No. 310, Highway Research Board, National Research Council, pp. 75~89.
- (3) Hanrahan, T. E., 1954, "An Investigation of Physical Properties of Peats," Geotechnique, Vol. IV, No. 3, pp. 108~123.
- (4) Adams. J. I., 1961, "Laboratory Compression Tests on Peat," Proc. Seventh Muskeg Res. Conf. NRC. ACSSM, Tech, Vol. 71, pp. 36~54.
- (5) Andersland, O. B. and Ladanyi, B., 2004., "Frozen Ground Engineering," 2nd Ed., ASCE Press and Jhon Wiley & Sons, Inc. pp. 254~256.
- (6) KS F 2319, Auger boring에 의한 표층시료 채취방법.
- (7) 김상규, 최인철, 박영목, 1996, "삼척 유기질토의 공학적 특성," 한국지반공학회지, 제12권, 제1호, pp. 21~33.
- (8) Ozen Z. S. and Wilson, N. E., 1970, "Shear Strength Characteristics and Structure of Organic Soils," Proc. 13th Muskeg Res. Conf., pp. 8~26.