

林道設計에의 應用을 위한 흙의 土質 力學的 特性¹

金 基 源²

A Soil Mechanical Study for a Practical Application to Forest Road Construction¹

Ki Weon Kim²

要 約

본 연구의 내용은 林道建設 豫定地域의 흙을 어떻게 土質 力學的으로 실험하여 실제적으로 응용할 수 있는가를 다루는 것이다. 이를 위해 8개 플롯에서 각 플롯 당 2개씩 총 16개의 土壤試料를 채취하였다. 실험내용은 흙이 흩어지기 전후의 單位重量, 含水量, 液性 및 塑性限界, 다짐도 試驗, 粒度試驗 등이다.

흩어지기(攪亂) 전후의 전체 단위중량(ρ_t)은 각각 $1.69g/cm^3$ 과 $1.19g/cm^3$ 이었으며, 含水量은 21.0%와 20.5%였다. 체분석과 比重計에 의한 입도시험결과 얻은 均等係數 U 와 曲率係數 C 는 각각 125와 0.42를 보이고 있어 전체적으로 좋은 입도분포는 아니었다. USCS에 의한 토양분류는 SM (실트질 모래 내지 모래실트 혼합토)으로서 盛土材料로서는 좋지 않은 것으로 보인다. 다짐시험결과 자연상태의 단위중량(ρ)과 最適 單位重量(ρ_{pr})은 각각 $1.40 \pm 0.065g/cm^3$ 과 $1.88 \pm 0.049g/cm^3$ 로 나타났다. 이것은 ρ_{pr} 에 도달하기 위해 盛土時 더 많은 다짐작업과 土量이 필요함을 의미한다.

ABSTRACT

This study was carried out to discuss how soils in the area planned for a forest road construction can be mechanically tested and practically applied. For this, 16 soil test samples from 8 plots(2 samples per plot) were used. The major tests are focused on unit weight before and after cut, water content, liquid and plastic limits, sieve and hydrometer analysis etc.

The total unit weight(ρ_t) before and after cut are $1.69g/cm^3$ and $1.19g/cm^3$, respectively. Their water contents are 21.0% and 20.5%. The coefficient of uniformity U and coefficient of curvature C obtained from sieve and hydrometer analysis are 125 and 0.42, which mean generally not well graded. On the soil classification by USCS, SM (silty sand or silt - sand mixed soil) is a Key soil, but it seems to be not good for fill material. From the standard proctor test are resulted $1.40 \pm 0.065g/cm^3$ for the unit weight(ρ) in the nature and $1.88 \pm 0.049g/cm^3$ for the optimum proctor unit weight(ρ_{pr}) each. With this to say, it is necessary more powerful compaction work at earth filling, with which this soil reaches enough the ρ_{pr} , and more earth.

Key words: soil mechanical test, unit weight, sieve and hydrometer analysis, standard proctor test, liquid and plastic limits, coefficient of uniformity, coefficient of curvature, optimum proctor unit weight.

¹ 接受 1994年 11月 26日 Received on November 26, 1994

² 국민대학교 산림과학대학 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, College of Forest Science, Kookmin Uni., Seoul, Korea.

緒 論

해를 거듭할수록 증가하는 삼림개발 사업 중에서 가장 중요한 비중을 차지하는 것은 산림도로 건설, 휴양림 개발, 산사태지 등 훼손지 복구, 차량에 의한 임내 산림작업 등이다. 이러한 과정에서 필수적으로 따르는 것은 土木工事인데 이의 갈갈못에 따라 전체 시설공사의 성패가 판가름되기도 한다.

토목공사를 위해 기본적으로 파악해야 하는 것은 공사현장의 흙에 대한 土質 力學的 特性이다. 흙의 역학적 특성은 계획, 설계, 시공, 토목공사의 방법 선택에 큰 영향을 미치게 되며, 구조물의 안정을 좌우한다. 특히, 흙길이나 자갈길이 대부분인 임도의 경우에는, 공사중 토공량의 과부족, 미미한 노면 다짐과 그로 인한 노면침하, 기초지반의 함몰, 비탈면의 붕괴 등이 자주 발생한다. 이것은 물론 路體에 가해지는 교통하중, 기상인자 등이 외적 원인일 수 있지만 흙이 가진 力學的 特性을 충분히 고려하여 설계한다면 이와 같은 현상들에 대해서는 사전에 기술적으로 대처할 수 있다.

공공 도로일 경우에는 토질시험이 행해지고 있으나 林道의 경우에는 여러 제약으로 그렇지 못할 경우가 많다. 또, 山林土壤의 조사에 있어서도 조사 목적상 거의 대부분 物理 化學的 特性에 한정되어 있다.

임도건설과 관련하여 흙을 工學的(토질 역학적)으로 연구한 예는 임학분야에서는 내용의 전문성으로 별로 크게 나타나고 있지 않은 것 같다. 중부유럽의 경우에는 오랜동안 이 분야에 전문지식이 축적되어 왔다. 독일의 경우에는 이론과 실험 및 현장 응용이 많이 다뤄졌으며, 오스트리아에서는 1975년 Eisbacher가 山林工學에서 다뤄야 할 토질역학실험 내용을 발표한 바 있다. 精密性을 앞세우는 스위스의 경우는 임도건설의 경우에도 예외는 아니어서 과학적인 계획, 설계, 시공에 초점을 맞추고 있는 바 최근까지도 흙의 공학적 실험과 응용이 이뤄지고 있다.

Eisbacher가 연구한 내용은 임도건설에 토질 시험 방법을 실제적으로 응용하는 것이었으며, 물리 화학적 토양관별 및 토질 역학적 실험법과 응용에 대해서 이 분야에서는 처음으로 자세히

언급하고 있다(Eisbacher, 1975). 임도계획과 설계, 시공에 많은 공헌을 해온 Sedlak은 일찍이 1973년에 임도와 관련한 지방도로의 走行性에 대해 언급하면서 흙의 토질 역학적 특성에 근거한 임도의 설계와 시공을 강조한 바 있다(Sedlak, 1973). 스위스의 Kuonen은 흙의 토질 역학적 특성에 기초하여 임도를 완벽에 가깝도록 견고하고 이상적으로 건설하기를 주장한 이론가이자 현장주의자로서 路床設計에 이를 직접 응용하여 왔다(Kuonen, 1970, 1984).

본 연구는 임도건설에 있어서 이와 같은 흙의 工學的 特性의 중요성을 인식하면서, 임도건설 예정지역의 흙을 어떻게 토질 역학적으로 실험하여 실제적으로 응용할 수 있는가를 다루는 것이다. 이를 통하여 임도건설 및 기타 산림토목공사에 있어 좀더 공학적 측면에서 접근하고 응용력을 얻으므로써 土木 構造物의 安定과 堅固性을 높이는 데 기여하고자 한다.

材料 및 方法

1. 연구개요

임도건설이 예정되어 있는 비인 농대 연습림(Offenbach)을 연구지역으로 정하였다. 사례지역의 토양은 지금까지 거의 대부분 삼림 생태적 관점에서만 연구되어 왔으나, 1973년(Glatzel과 Sieghardt)과 1983년-1986(Krapfenbauer, Gasch, Weidinger)에 立地 조사와 立地圖 제작을 목적으로 토양의 물리적 화학적 특성들이 조사되었다.

이미 측량이 끝난 路線地域에 대하여 토질 역학적인 특성들을 평가할 목적으로 토양을 조사하게 되었다. 1989년 9월, 8개 플롯에서 각 플롯당 2점씩(교란전후 각 1점씩) 총 16개 시료를 해발고도 440m와 470m 사이에서 채취하였으며, 이들 시료에 대한 역학실험은 비인 농대 토질역학 실험실에서 실시되었다. 분석된 것은 흙이 흠어지기 전(교란전)과 흠어진 후(교란후)의 단위중량(밀도), 함수량 그리고 아터버그 한계 등이다. 그외에도 다짐도(Proctor) 시험, 粒度分布 분석을 위한 체분석 및 비중계 분석이 실시되었다. 이들 분석에 쓰인 供試材料는 모두 같은 노선에 시 채취되었다.

시료채취나 분석의 기준 등은 시료 채취 및 실험

험 장소의 특성상 독일표준(DIN)과 오스트리아의 표준(ÖNORM)에 따른 것임을 밝혀둔다.

2. 연구방법

- 1) 흙어지기 전의 흙의 單位重量 ρ_1 (密度)을 결정하기 위한 試料採取

흙이 切土作業 등으로 흙어지기 전후의 단위중량(g/cm^3)을 결정하는데 필요한 시료들은 이에 적합한 기구들을 사용하여 외부로부터 방해받지 않는 상태에서 채취되었다(독일 DIN 4021-1부, 한국 KS F 2301). 채취방법에는 고정 피스톤식과 모래치환법 등 두 가지가 있는데, 흙이 흐트러지기 전의 밀도를 계산하기 위한 試料²⁾는 특별시료로서 고정 피스톤식을 이용하여 채취하였다.

시료채취 전에, 형성된 腐植 등 표토층은 옆으로 멀리 완전히 제거한다. 이것은 채취작업 중에 실린더 안으로 표토가 들어가서 시료의 組成에 영향을 줄 수 있는 가능성을 배제하기 위함이다. 시료는 林道測量 路線을 따라, 충분한 작업 공간의 확보와 실질적인 토공재료로 쓰이는 시료를 얻고자 적어도 너비와 깊이 각각 1m 이상을 판 구덩이에서 채취하였으며, 채취장소의 간격은 약 50m였다. 시료가 차지하고 있는 실린더의 체적과 시료의 질량으로부터 단위중량을 계산할 수 있다.

- 2) 흙어진 후의 흙의 단위중량 ρ (밀도)을 결정하기 위한 시료채취

절토작업 등으로 흙어진 후의 흙의 단위중량을 결정하기 위한 시료는 모래 치환법을 이용하여 채취하였다. 이 실험을 통해서 얻은 결과로 입도 건설 현장에서 절토 후의 흙어진 흙의 양을 추정할 수 있다.

이 방법의 적용에서 사용되는 치환용 표준모래(단위중량 $1.491g/cm^3$)는 플라스틱 통에 담겨 시험전에 미리 용기와 모래의 무게를 계량해 놓아야 하는데 본 시험에서는 7000g을 기준으로 준비한 것을 사용하였다.

시료 채취현장은 전기한 고정 실린더식으로 흐트러지기 전의 시료를 채취한 장소에서 나온 흙

을 쌓아 놓은 흙더미인데, 切土로 나온 흙 등 흙어진 흙이 쌓여 있는 장소라면 어디라도 이 방법이 적용될 수 있다.

흙더미 위에 鋼製盤의 구멍난 부분 밑으로 퍼낸 흙을 플라스틱 容器에 담아 밀폐시키고, 퍼낸 후 생긴 구덩이에 표준모래를 채워 넣는다. 모래로 채워진 구덩이의 체적은 이미 정해진 단위중량을 가진 소모된 모래의 양으로부터 계산될 수 있으며, 시료의 단위중량 역시 구덩이 체적과 시료의 질량으로부터 산출될 수 있다.

- 3) 전체단위중량(습윤밀도/생밀도) ρ_t 와 건조단위중량(건조밀도) ρ_d 의 개념

濕潤土壤(자연상태의 토양)의 全體單位重量 혹은 濕潤密度 ρ_t 는, 濕潤試料의 질량 m 을 시료의 부피 V (고정 실린더식 방법에서는 시료로 채워진 실린더의 부피, 모래 치환법에서는 모래로 채워진 구덩이의 부피)로 나누어 계산한다. 즉, $\rho_t = m/V(g/cm^3)$. 그리고 시료의 건조단위중량 ρ_d 는 오븐에서 $105^\circ C$ 의 상태로 건조한 시료의 질량 m_d 을 시료의 부피 V 로 나누어 계산한다: $\rho_d = m_d/V = \rho_t/(1+w)$. (w 는 소수로 나타낸 함수비)

- 4) 표준 다짐시험(Standard Proctor Compaction Test)

다짐시험에는 標準 다짐시험(Standard Proctor Test)과 修正 다짐시험 (Modified Proctor Test)이 있으나 전자를 택하였다. 흙의 다짐(Compaction)시험을 위해서 추가적인 토양시료를 채취하였는데 간단한 다짐시험을 위해서 필요한 시료의 양은 약 $2,000g^3$ 이다.

간단한 표준다짐시험은 최대허용 초과입도비율(잔량체 직경 d_{18mm})이 25%(Siedek, Voss and Floss, 1963), 혹은 20%(Pregl, 1986)를 넘지 않을 경우에만 실시할 수 있다(Table 3과 비교). 다짐할 때 사용하는 실린더(혹은 몰드)는 직경이 10cm이며, 실린더 안에 들어갈 시료의 最大粒徑은 실린더 내경의 1/5을 초과해서는 안 된다. 이러한 점에서 프로क्टर 시험은 실제적으로는 d_{18mm} 의 체를 통과한 것만을 가지고 실시된다.

¹⁾ 單位重量(Unit Weight)이란 흙의 密度를 말하는 것으로서 자연상태에 있는 흙의 중량을 이에 부응하는 容積(V)으로 나눈 것이다(단위는 g/cm^3 , 혹은 ton/m^3) (김상규, 1991). 濕潤密度, 生密度 등으로도 불리운다.

²⁾ 자연상태의 시료, 젖은 시료, 혹은 濕潤試料 등으로 불리운다.

³⁾ 다짐 시험에 필요한 시료의 양은 다짐 방법에 따라서 각기 다르다.

5) 含水量 결정을 위한 오븐건조

함수량 결정을 위해서는 전체시료나 혹은 그 중 일부분인 부분시료를 오븐에 105℃로 건조시킨다. 흙의 含水比 w 는 건조중량에 대한 함수량으로 표시한다. 즉, $w = (m - m_d)/m_d$.

6) 粒度試驗: 체 분석과比重計 분석

粒度分布는 하나의 토양중에 있는 토양입자 크기의 중량비율을 제시한다. KS F 2302에서는 '흙입자의 크기가 분포하는 상태를 중량 백분율로 나타낸 것'이라고 정의 되어 있다. 입도시험은 입자들의 크기에 따라 체가름과 비중계(Hydrometer) 분석으로 실시할 수 있으며 결과로 얻은 입도 분포 곡선으로부터 壓縮性, 透水性, 結水에 대한 성질, 그리고 토양중의 정확한 명명과 기타 토양의 중요한 특성들의 규명에 관한 기초정보가 산출된다.

밀도결정과 다짐시험을 실시한 후 체분석을 위해서 총시료가 大-中 체분석에 최소한으로 요구되는 건조시료의 양을 고려하면서 모아지고, 그리고 0.4mm 체에 의한 가름으로 남은 잔량 R0.4와 통과한 양 D0.4로 분류되었다. 여기서 각각의 시료(R0.4, D0.4)는 注水瓶(Handbrause)을 이용하여 0.4mm 체에서 씻겨 갈라지게 되고, 이와 동시에 통과되는 시료의 양 D0.4는 플라스틱 용기속에 받아들인다.

용기 속으로 걸러진 시료(D0.4)는 하루정도 완전히 침전시킨 후에는 沈澱物이 요동치 않도록 맑은 물을 조심스럽게 따라낸다. 시료 R0.4와 D0.4는 건조되고 R0.4는 大(체직경 8mm까지), 中間체분석(체직경 0.4mm까지), D0.4의 일부분을 가지고, 小체분석(체직경 0.1mm까지)과 이어서 小체분석으로 남은 D0.1을 가지고 비중계 분석(Hydrometer)을 실시한다. 여기서는 Bouyoucos/Casagrande에 의한 비중계 분석법을 적용하였다.

시료는 증류수로 채워진 메스실린더 속에서懸濁液 상태로 희석되며, 여러 입경을 가진 토양입자들이 빠른 속도로 침전되는데 이 과정에서 현탁액의 화학적 組成 상태와 밀도가 계속적으로 변화한다. 이때 일정한 시간간격으로 측정되게 될 밀도의 변화로부터 粒度分布가 산출된다. 여기서 입경 d , 動的 粘度(dynamic viscosity), 현탁액의 밀도, 입자들의 침전속도와 낙하높이 사이의 관계가 Stokes의 법칙(4)으로 규명된다.

7) 아터버그 한계(Atterberg Limits) 시험: 液性限界, 塑性限界

토양의 컨시스턴시(Consistency, 狀態試驗) 시험을 위해서는 0.4mm의 체를 통과한 입자인 D0.4(실제로는 단지 D0.06의 細粒子 미만 가치)를 사용하고 式 $w_w = w/D0.4$ 으로 自然含水比(w_w)을 계산한다(우리나라의 경우 KS F 2303, 2304에 규정).

이 시험을 할 때는 매번 서로 다른 함수량으로 반죽하는 시료를 가지고 하는 多點方法의 경우에는 5회(PREGL, 1986; 기타 서적엔 4회)를 반복해야 하며 타격회수(落下回數)가 10회에서 40회 범위에 있어야 한다. 결과(함수비 w 및 타격회수 n)는 半對數 눈금으로 된 다이어그램에 圖解할 수 있으며, 이어서 각 점 주위를 통과하는 직선이 그려질 수 있다. 이 직선을 流動曲線이라 한다. 液性限界(Liquid Limit)란 x축에 표시된 타격회수 25회와 유동곡선이 만나 y값을 나타내는 함수비(w_L)를 말한다.

소성한계(Plastic Limit)의 결정을 위해 액성한계시험 후에 남은 시료를 흡습성이 있는 깔개 위에서 3mm의 두께로 토막토막 부스러지기 시작할 때까지 반죽하고 굴려서 흙실로 만든다. 직경 3mm의 흙실이 부스러지기 시작한 시점에서의 함수량이 塑性限界(w_p)이다. 소성한계 시험은 각 시료 당 2-3회 반복한다.

*) Stokes 법칙: 하나의 球가 無限 深이의 液體에 沈降할 때 구는 중력가속도와 액체의 점성저항으로 일정한 速度를 가지는데 속도 v (cm/sec)와 粒徑 d (cm)는 다음 식으로 구해진다:

$$v = \frac{\rho - \rho_w}{18\eta} d^2$$

여기서,

- ρ : 粒子的 단위체적 중량(g/cm³)
- ρ_w : 液體의 " (g/cm³)
- η : 液體의 粘性係數(포아즈)
- d : 球의 직경(cm)

또, 현탁해 있는 입자의 최대입경 d 는 다음 식으로 구한다:

$$d = \left[\frac{30\eta}{980(G_s - G_T)\rho_w} \cdot \frac{L}{t} \right]^{1/2}$$

여기서,

- η : 물의 粘性係數(포아즈)
- L : 비중계의 유효깊이(cm)
- G_s : 흙입자의 비중
- G_T : T °C의 물의 비중
- t : 침강시간(분)
- ρ_w : 물의 단위체적중량(g/cm³)

結果 및 考察

含水量: Table 1과 2에서 볼 수 있듯이, 시료 6358은 다른 시료에 비하여 상대적으로 높은 함수량을 보이고 있다. 그에 대한 한가지 이유로서 그 시료가 채취된 장소가 다른 장소는 가파른 경사지에 위치하였던 반면에 대단히 평탄한 지역에 있었던 점을 제시할 수 있다. 비록 시료들이 동일한 장소에서 채취되었다 할지라도 Table 1과 2에 제시된 두 시험결과에서 함수량은 서로 매우 다른 결과를 보이고 있다. 이것은 자연상태의 흙이 절토작업 후 교란되어 粒度分布가 달라진 데에 원인이 있음을 추정할 수 있다. 시료 6353, 6357, 6359는 매우 낮은 함수량을 나타내는 데, 이것은 이 시료가 가진 입도분포에 있어서 $d_{0.06}$ mm 이하의 細粒質 土壤의 비율이 상대적으로 낮은 데 기인한다고 보여진다(Table 3과 Fig. 1).

토양의 흠어짐 정도: Table 1과 2에 제시된 밀도(ρ)로 토양의 흠어짐 정도(ρ_a)가 어느 정도인가를 판단할 수 있는데 여기에서는 이 수치가 33.8% (시료6359)와 51.6%(시료6353)(평균 41.5%) 사이에 놓여 있음을 알 수 있다. 이것은 토양이 절토후에는 밀도가 낮아져 부피가 그 비율만큼 더 늘어나는 것을 의미한다. 다른 연구 결과와 비교하면 이 토양은 꽤 높은 값을 보이고 있다 (SCHLICK, 1978). 시료 6353의 흠어짐 정도가 높은 이유는, Table 3과 Fig. 1에서 보는 것처럼, 세립 토양 구성비가 낮아서 그런 것이 아닌가 생각된다.

입도分布: 粒度分布 曲線에서 통과 중량 백분율 10%에 대응하는 입경을 有效徑(Effective Size)이라고 정의하고 D_{10} 으로 표시한다. 均等係數 U (Coefficient of Uniformity, Ungleichförmigkeitszahl)는 유효경에 대한 중량 백분율 60%에 대응하는 입경 D_{60} 의 비⁶⁾를 말한다. 균등계수는 75-185의 범위에 있는데 이것은 토양이 '대단히 불균등한' 것임을 시사하고 있다. 체직경 10mm 통과분 D_{10} 과 60mm 통과분 D_{60} 의 구간 범위에 있는 입도분포곡선의 흐름을 특성짓기 위하여 曲率係數 $C^7)$ (Coefficient of Curvature, Krümmungszahl)를 사용한다. U 와 C 의 指數에

따라서 입도분포의 양부를 알 수 있는데 이 토양은 대체로 '간헐적으로 分等된'(계단형 입도분포) 것으로 평가할 수 있다.

토양 粘性度: 粘性度(Bindigkeit)에 있어서는 체직경 0.06mm 통과분 $D_{0.06}$ 가 15% 이상이기 때문에 본 토양이 '점성이 있는' 토양으로 평가할 수 있다. 점성토양이란 예를 들면 낮은 透水性和 높은 壓縮性を 나타내며, 비점성토양은 그와 반대로 높은 투수성과 낮은 압축성을 가지고 있다. 이와 같은 토양특성들은 집재작업시 습윤 토양에 있어서 트랙터 通行性에 결정적인 역할을 한다.

토양 상태: Table 5와 Fig. 2에 나타난 결과를 가지고 이 토양은 '流動性이 있는' (flüssig)이라고 표시할 수 있는데, 이것은 콘시스턴시 指數 $I_c^8)$ (Consistency Index)가 0이하에 놓여 있기 때문이다. 여기서 '유동성이 있는'이라는 표시는 '흐르는'이라는 뜻인데, 그렇다고 해서 액체를 의미하는 것은 아니다.

塑性指數 I_p (Plasticity Index)라는 것은 액성한계(w_L)와 소성한계(w_p)와의 차이를 말하는데 이것은 거의 '약한 소성이 있는' (35%이하의 w_L) 것과 '중간강도 소성이 있는' (35-50% 사이의 w_L) 것의 경계부근에 위치한다. 평균은 34.4%이므로 '약한 소성이 있는' 것이라고 할 수 있으나, 중앙값(Median)이 35.4%이기 때문에 소성여부에 대한 판정에 있어서 공술에 유효성을 부여할 수 있다.

액성한계 w_L 과 소성한계 w_p 및 소성지수 I_p 를 위한 수치들은 토양이 어떤 含水狀態에서 소성한계에서 액성상태로 변화하는가에 대한 유효한 기

⁶⁾ 均等係數의 기호를 U 혹은 C_u 로 표시하는 데 U 를 사용하기로 한다.

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

⁷⁾ 曲率係數의 기호를 C_c 혹은 U_c 등으로 사용하고 있으나 여기서는 C 를 사용하기로 한다. 곡률계수 C 는 다음과 같이 정의하는데 D_{30} 은 통과중량 백분율 30%에 해당하는 粒徑이다.

$$C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

⁸⁾ 콘시스턴시 지수 I_c 는 液性限界 w_L 와 $D_{0.4}$ 의 자연 함수량 w_n 의 차이를 塑性指數 I_p 로 나눈 값을 말하며 다음 식으로 나타낸다. 단, w_p : 塑性限界

$$I_c = \frac{w_L - w_n}{w_L - w_p} = \frac{w_L - w_n}{I_p}$$

⁵⁾ 교란 후의 흙의 흠어짐 정도: (교란전의 건조밀도 - 교란 후의 건조밀도) / 교란 후의 건조밀도 $\times 100$ (%)

Table 1. Unit weight ρ_t , ρ_d and water contents w before cut(undisturbed soil)

Sample Nr.	6352	6353	6354	6355	6356	6357	6358	6359	Average $\pm s$
$\rho_t(g/cm^3)$	1.728	1.669	1.687	1.768	1.736	1.734	1.578	1.614	1.69 \pm 0.066
w(%)	23.47	20.29	20.88	20.44	18.71	21.85	25.55	17.13	21.0 \pm 2.63
$\rho_d(g/cm^3)$	1.399	1.387	1.395	1.468	1.462	1.423	1.257	1.378	1.40 \pm 0.065

Table 2. Unit weight ρ_t , ρ_d and water contents w after cut(disturbed soil)

Sample Nr.	6352	6353	6354	6355	6356	6357	6358	6359	Average $\pm s$
$\rho_t(g/cm^3)$	1.232	1.087	1.154	1.325	1.214	1.199	1.054	1.240	1.19 \pm 0.087
w(%)	22.45	18.84	19.91	21.68	18.82	16.45	25.43	20.45	20.5 \pm 2.72
$\rho_d(g/cm^3)$	1.006	0.915	0.962	1.089	1.021	1.029	0.840	1.030	0.99 \pm 0.078

Table 3. General Analysis of the corn distribution for soil classification

	6352		6353		6354		6355		6356		6357		6358		6359		
	d(mm)	D(%)	d(mm)	D(%)	d(mm)	D(%)	d(mm)	D(%)	d(mm)	D(%)	d(mm)	D(%)	d(mm)	D(%)	d(mm)	D(%)	
sieve analysis	56	-	56	-	56	-	56	-	56	-	56	-	56	-	56	-	100.0
	45	100.0	45	-	45	-	45	-	45	-	45	-	45	-	45	-	96.9
	35.5	97.0	35.5	100.0	35.5	98.1	35.5	95.6	35.5	100.0	35.5	97.9	35.5	100.0	35.5	95.1	95.1
	25	95.1	25	98.4	25	97.5	25	94.5	25	98.9	25	96.4	25	95.7	25	93.2	93.2
	18	94.1	18	96.1	18	96.7	18	93.6	18	98.5	18	95.3	18	95.2	18	92.6	92.6
	12.5	92.9	12.5	93.1	12.5	95.0	12.5	92.1	12.5	98.1	12.5	95.0	12.5	93.4	12.5	91.3	91.3
	8	88.6	8	88.1	8	92.7	8	90.5	8	96.9	8	93.0	8	90.5	8	89.4	89.4
	4	78.9	4	68.7	4	86.1	4	85.5	4	88.2	4	83.4	4	81.0	4	81.4	81.4
	2	68.4	2	55.3	2	76.9	2	77.5	2	71.4	2	65.1	2	67.0	2	65.5	65.5
	1	59.2	1	43.9	1	67.8	1	67.7	1	57.0	1	50.6	1	54.8	1	50.9	50.9
	0.4	52.7	0.4	35.8	0.4	60.2	0.4	59.2	0.4	47.2	0.4	41.6	0.4	46.3	0.4	41.8	41.8
	0.2	49.4	0.2	28.2	0.2	56.0	0.2	54.3	0.2	41.7	0.2	36.7	0.2	43.3	0.2	36.3	36.3
	0.1	43.8	0.1	22.6	0.1	49.4	0.1	50.1	0.1	35.5	0.1	31.7	0.1	37.9	0.1	31.4	31.4
	hydrometer analysis	0.0756	38.1	0.0791	20.4	0.0758	42.3	0.0729	43.9	0.0762	32.8	0.0760	27.1	0.0766	33.9	0.0773	26.8
0.0550		33.0	0.0569	18.2	0.0548	37.5	0.0529	39.1	0.0551	29.3	0.0541	26.5	0.0554	29.8	0.0559	23.7	23.7
0.0395		29.6	0.0413	15.3	0.0394	33.7	0.0382	35.4	0.0398	25.5	0.0398	21.3	0.0400	26.2	0.0405	20.6	20.6
0.0249		24.7	0.0260	11.9	0.0247	28.9	0.0242	29.3	0.0252	19.7	0.0253	16.3	0.0256	18.6	0.0256	16.1	16.1
0.0148		18.9	0.0154	8.5	0.0148	21.7	0.0146	20.7	0.0149	15.6	0.0151	11.8	0.0154	12.2	0.0155	9.9	9.9
0.0088		12.6	0.0090	6.8	0.0088	14.6	0.0087	14.2	0.0088	10.7	0.0089	8.5	0.0090	9.0	0.0091	7.3	7.3
0.0055		9.7	0.0056	5.1	0.0055	10.3	0.0055	9.8	0.0055	7.8	0.0056	6.1	0.0056	6.9	0.0056	5.0	5.0
0.0039		7.8	0.0040	4.4	0.0039	8.3	0.0039	7.3	0.0039	6.1	0.0040	4.9	0.0040	5.9	0.0040	4.3	4.3
0.0032		6.8	0.0033	4.0	0.0032	6.9	0.0032	6.9	0.0032	5.3	0.0033	4.1	0.0033	5.1	0.0033	3.9	3.9
0.0016		4.4	0.0016	3.1	0.0016	4.8	0.0016	4.7	0.0016	3.5	0.0016	3.0	0.0016	3.6	0.0017	2.8	2.8

Table 4. ρ_{pr} and optimal water contents(wpr) for Dpr 97%

Sample Nr.	6352	6353	6354	6355	6356	6357	6358	6359	Average $\pm s$
w(%)	23.38	14.93	20.99	21.07	19.05	16.96	24.46	21.29	20.3 \pm 3.17
$\rho_{pr}(g/cm^3)$	1.878	1.989	1.835	1.862	1.864	1.906	1.839	1.880	1.88 \pm 0.049
wpr(%)	12.93	10.40	13.86	12.61	12.80	11.90	13.60	12.14	12.5 \pm 1.08
$\rho_d(g/cm^3)$	1.823	1.929	1.780	1.806	1.808	1.849	1.784	1.824	1.83 \pm 0.047
w1(%)	9.34	7.70	10.83	9.64	9.50	9.40	9.60	8.69	9.3 \pm 0.89
w2(%)	15.38	12.90	16.40	15.73	15.51	14.60	16.30	14.99	15.2 \pm 1.12

Table 5. ATTERBERG's test results

Sample Nr. Coefficients	6352	6353	6354	6355	6356	6357	6358	6359	Average $\pm s$
wL(%)	28.74	29.72	35.48	31.90	35.58	35.32	42.20	36.50	34.4 \pm 4.29
wp(%)	25.41	24.34	27.13	24.80	28.69	27.79	31.63	29.53	27.4 \pm 2.52
Ip(%)	3.33	5.38	8.35	7.10	6.89	7.42	10.57	6.97	7.0 \pm 2.10
*wn(%)	43.87	50.34	34.21	35.60	39.95	44.31	54.35	46.99	43.7 \pm 6.95
Ic	-4.54	-3.83	0.15	-0.52	-0.63	-1.21	-1.15	-1.50	-1.65 \pm 1.65

* remarks : w value for wn-calculation(w/D0.4 \times 100) is average of w in Table 1,2,4.

By DIN 1022

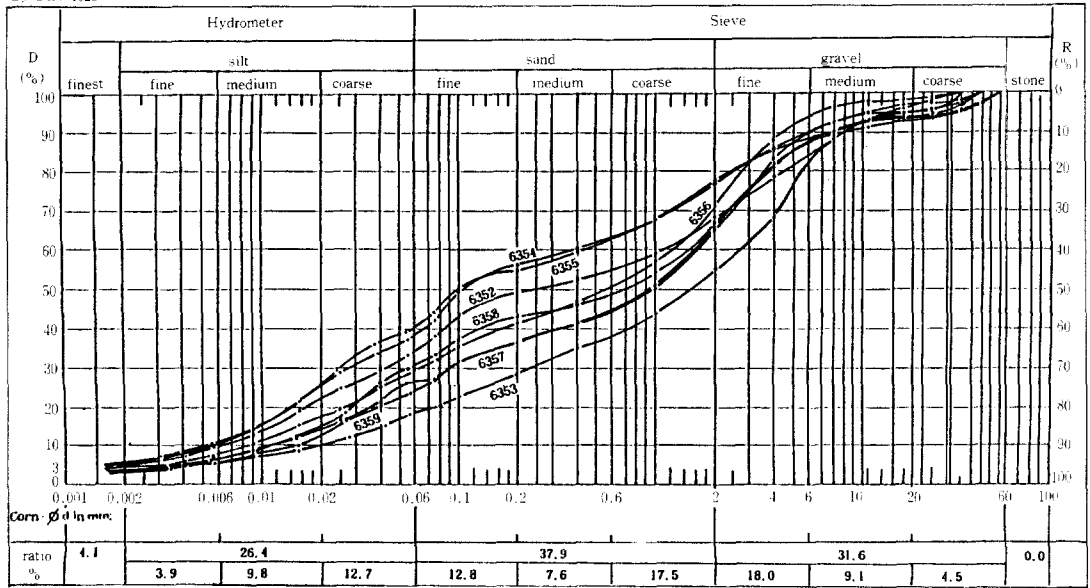


Fig. 1. Corn distribution curve

Table 6. Soil classification by several mechanical factors

soil name	sample Nr. categories d	6352 D(%)	6353 D(%)	6354 D(%)	6355 D(%)	6356 D(%)	6357 D(%)	6358 D(%)	6359 D(%)	average
Stone	> d60(mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
gravel	d2 - d60	31.58	44.72	23.06	22.47	28.63	34.89	33.04	34.47	31.61
coarse	d20 - d60	5.64	3.26	3.09	6.13	1.40	4.41	4.66	7.26	4.48
medium	d6 - d20	10.57	18.35	7.52	5.91	6.05	7.43	9.56	7.35	9.09
fine	d2 - d6	15.37	23.12	12.44	10.43	21.18	23.06	18.82	19.86	18.03
sand	d0.06 - d2	34.21	36.79	38.22	36.73	41.22	38.40	36.26	41.20	37.88
coarse	d0.6 - d2	13.57	16.76	14.22	15.52	20.89	20.53	17.84	20.73	17.51
medium	d0.2 - d0.6	5.48	9.70	6.77	7.70	8.78	7.90	5.84	8.49	7.58
fine	d0.06 - d0.2	15.16	10.33	17.23	13.52	11.55	9.97	12.58	11.97	12.79
silt	d0.002 - d0.06	29.23	15.22	33.46	35.59	26.19	23.48	26.74	21.34	26.41
coarse	d0.02 - d0.06	12.36	8.50	13.24	15.26	12.50	12.74	15.64	11.66	12.74
medium	d0.006 - d0.02	11.72	4.68	14.51	14.99	9.40	7.59	7.87	7.41	9.77
fine	d0.006 - d0.002	5.16	2.03	5.70	5.34	4.29	3.15	3.23	2.28	3.90
clay	< d0.002	4.98	3.27	5.27	5.21	3.96	3.22	3.96	2.99	4.11
factors										
* d60	(mm)	1.085	2.702	0.391	0.459	1.207	1.649	1.426	1.622	1.318
* d10	(mm)	0.006	0.020	0.005	0.006	0.008	0.012	0.011	0.016	0.010
* d30	(mm)	0.041	0.247	0.028	0.026	0.059	0.091	0.056	0.093	0.080
* D0.06	(%)	34.21	18.49	38.72	40.80	30.15	26.70	30.70	24.33	30.51
* d50	(mm)	0.238	1.534	0.109	0.100	0.570	0.962	0.661	0.940	0.640
* U		185	135	75	82	151	140	130	104	125
* C		0.27	1.13	0.39	0.26	0.36	0.43	0.20	0.34	0.42
wL	(%)	28.74	29.72	35.48	31.9	35.58	35.32	42.2	36.5	34.43
Ip	(%)	3.33	5.38	8.35	7.10	6.89	7.42	10.57	6.97	7.00
site related to A-line		under	under	under	under	under	under	under	under	under
classification by										
U and C		ig	sg	ig	ig	ig	ig	ig	ig	ig
USCS		SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
DIN 18 196(1970)		SU	GU	SU	UL	SU	SU	SU	SU	SU

* remarks : * ig : occasionally graded, sg : very wide graded *D(%) means the passed percentage.
 * SM : silty sand - "bad" corned sand-silt-mixed soil
 * SU : sand-silt-mixed soil, GU : gravel-silt-mixed soil, UL : light plastic silt
 * di(10,30,60) means the corn size, on which the corn distribution gives the passed particles of i %
 * D0.06 is the passed D% with the corn diameter d0.06mm
 * U(coefficiency of Uniformity)=(d60/d10, C(coefficiency of curvature)=(d30)²/(d60*d10)

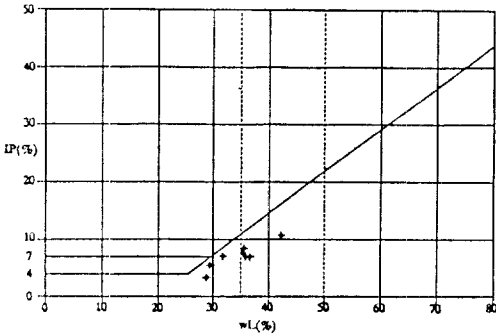


Fig. 2. Relationship between plasticity Index (Ip) and Liquid limit (wL) (total samples)

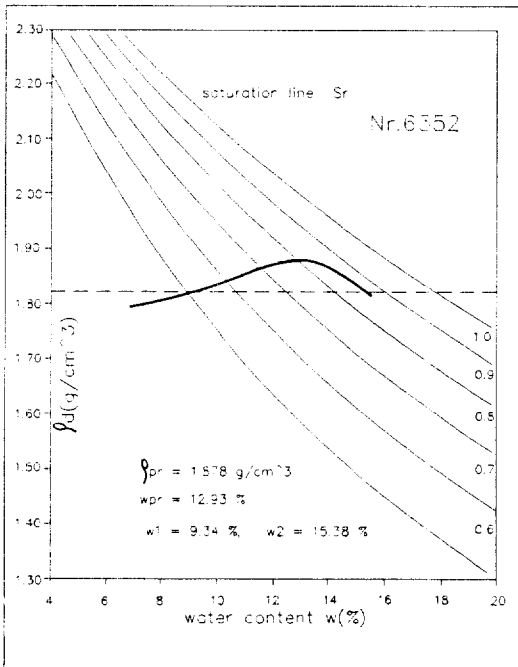


Fig. 3. Standard proctor test for Nr.6352

준이 되는 정보를 제공한다(만약 硬度에 함수량 변화가 영향을 미친다고 판정해야 된다면 이것은 대단히 중요하다).

약한 소성의 토양인 경우를 예로 들면, 미미한 함수량의 변화가 토양상태를 변화시킨다. 이러한 토양은 그 변화때문에 물의 침투로부터 반드시 보호되어야 한다. 바로 이러한 점에 주의하여 林道の 토사도(흙길)나 사리도(자갈길)의 路面은 강우가 한 곳에 고여서 침투될 수 없도록 비스듬하게 축조되어야 한다(Simmer, 1987).

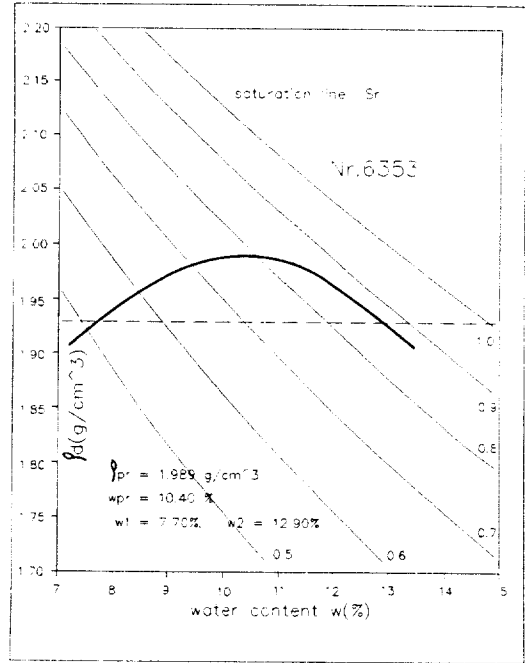


Fig. 4. Standard proctor test for Nr.6353

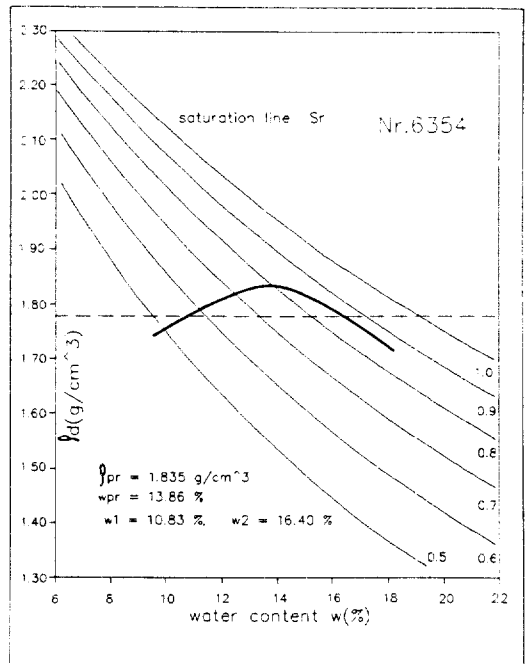


Fig. 5. Standard proctor test for Nr.6354

한편, 砂質土는 액성한계와 소성지수가 粘土보다 작다. 따라서, 큰 강도가 필요한 도로의 路盤

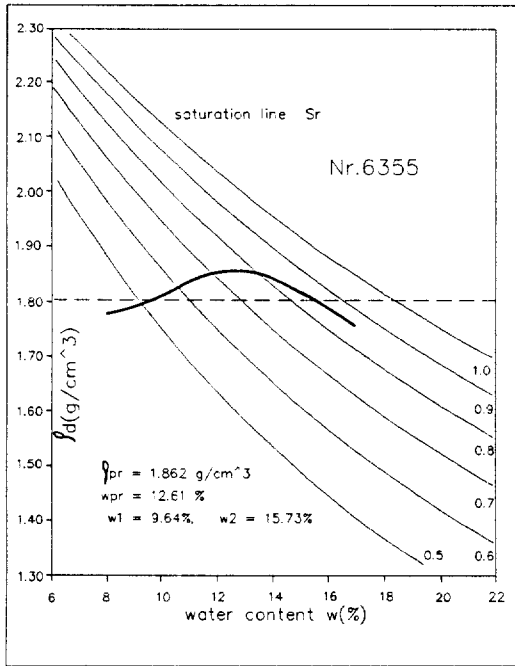


Fig. 6. Standard proctor test for Nr.6355

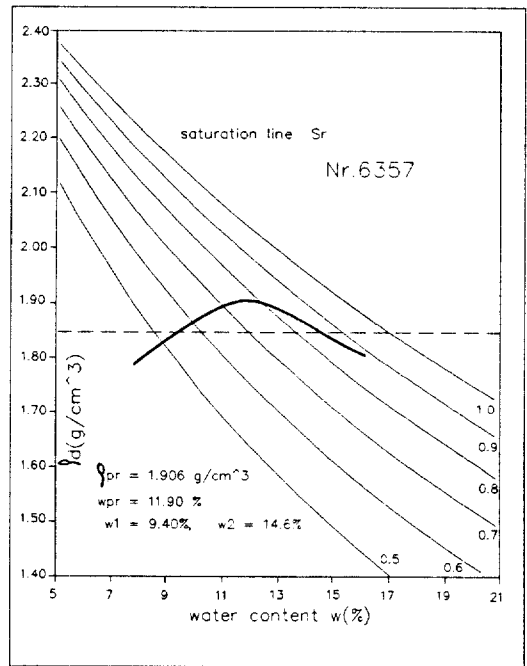


Fig. 8. Standard proctor test for Nr.6357

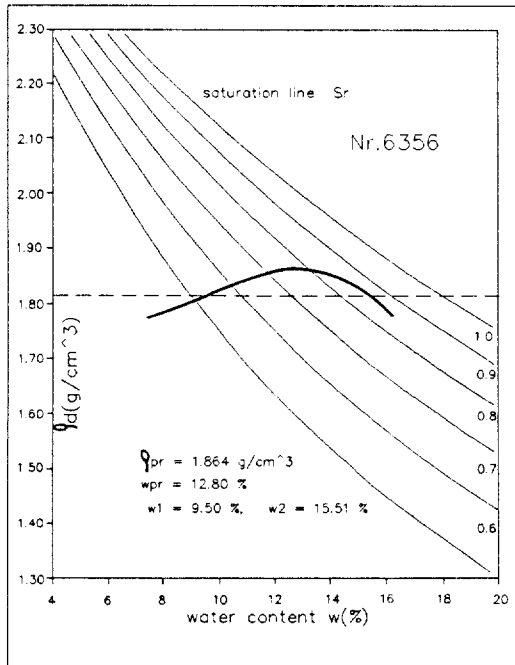


Fig. 7. Standard proctor test for Nr.6356

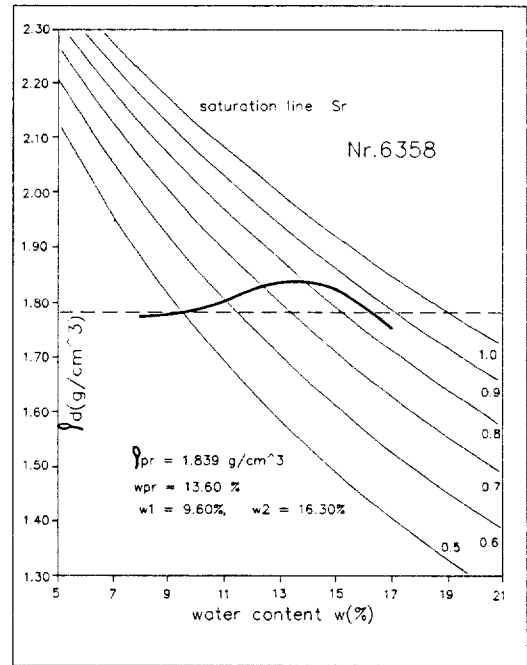


Fig. 9. Standard proctor test for Nr.6358

材料 및 각종 安定處理를 할 때 사용하는 골재의 적부를 결정하는데 소성지수 I_p 를 사용하여 규제⁹⁾하고 있다(林과 金, 1991). 이 실험결과에 의하면

⁹⁾ 도로의 路盤 材料가 요구하는 塑性指數 I_p

상층노반 하층노반 시멘트/역청 안정 처리토의 노반

$I_p < 4$ $I_p < 6$ $I_p < 9$

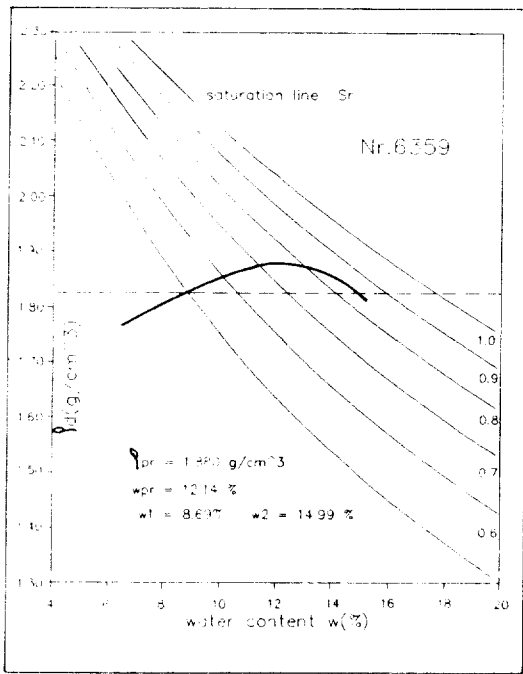


Fig. 10. Standard proctor test for Nr.6359

Ip가 7.0±2.1 정도로서 일부구간을 제외하고는 노반 상하층 재료로서 적당하지 않아 안정조치가 필요하다고 말할 수 있다.

프로क्टर 시험의 결과(Table 4, Fig. 3-10)를 근거로 보면, 최적 함수비 w_{pr}은 10.4%~13.9% (평균 12.5%)의 범위에 있고, 다짐도 D_{pr} 97%에서 산출된 한계치는 9.3%와 15.2% 사이에 놓여 있다. 다짐도 97%를 기준한 것은 Table 6에서와 같이 토양분류가 대체로 S_U로 분류된 결과를 고려한 것으로, 基層 혹은 路盤을 위해서 독일 도로규정(ZTVE-StB)에 따라 공시 재료로 쓴 본 토양중 S_U에 최소 한도로 요구되는 다짐도 D_{pr}은 95%이다(Dachroth, 1990; Kühn, 1987).

Table 4와 7로부터 알 수 있는 것은, 현재의 다짐도 D_{pr}(74.2%: Table 7)과 최소요구 다짐도 D_{pr}(본 토양의 경우 97%), 자연 함수비(w_n)와 최적 함수비(w_{pr}) 내지는 한계치 사이에는 얼마간의 차이가 있다라는 사실이다. 이것은 이 토양이 최소한 요구되는 합당한 다짐도 D_{pr} 내지는 함수비에 도달할 수 있도록 토공작업시 추가적인 다짐 내지는 토양개선대책이 필요하다는 점을 시사하고 있다.

土壤分類: 이상의 분석된 자료를 이용하여 토양을 두 가지 체계 속에서 분류하였다(Table 6). 統一 分類法(USCS)에 의하면 실트질 모래 혹은 모래 실트 혼합토인 SM으로 분류될 수 있고(Bowles, 1984; Muhs & Soos, 1980), 독일 표준(DIN)과 오스트리아 표준(ÖNORM)에 의하면 S_U(모래-실트 혼합토)로 분류된다(DIN 18196 과 ÖNORM 4400).

흙의 공학적 성질을 道路 및 滑走路用으로 분류하는데 많이 이용하는 통일 분류법에 의하면, 본 토양 SM의 특성은 凍結作用을 받지 않을 경우의 鋪裝基礎로서의 가치는 良 내지 可로서 良好하나 역청층 아래의 路盤으로는 부적당하다. 排水性은 불량하여 엄격한 含水量 管理가 요망되며, 다짐할 때는 고무타이어 롤러나 洋足롤러를 사용해야 한다.

문제점: 본 연구를 진행하면서 나타난 문제점으로는 우선, 固定式 실린더를 이용하여 시료를 채취할 때 늘 제기되는 조건으로서, 試料의 最大 粒徑이 실린더 내경의 약 1/5를 초과하지 말아야 한다는 점을 준수할 수 있으나 하는 것이다. 아터버그 시험에서는 D_{0.4}의 自然含水量(w_n)의 결정이 대단히 문제가 되는 것으로서 암시되고 있다. Table 5에서 보듯이, 자연함수비(w_n)는 대단히 높다. 또한, 전체시료의 D_{0.4}로부터 하나의

Table 7. Major factors for soil mechanical interpretation

Sample Nr.	6352	6353	6354	6355	6356	6357	6358	6359	Average ±s
ρ d before cut(g/cm³)	1.399	1.387	1.395	1.468	1.462	1.423	1.257	1.378	1.40 ± 0.065
ρ pr(g/cm³)	1.878	1.989	1.835	1.862	1.864	1.906	1.839	1.880	1.88 ± 0.049
Dpr = ρ d / ρ pr × 100(%)	74.52	69.74	76.04	78.82	78.45	74.65	68.35	73.30	74.2 ± 3.74
*w(nat. water contents: (%))	23.10	18.02	20.59	21.06	18.86	18.42	25.15	19.62	20.6 ± 2.47
wpr(%)	12.93	10.40	13.86	12.61	12.80	11.90	13.60	12.14	12.5 ± 1.08
w1(%) for Dpr 97%	9.34	7.70	10.83	9.64	9.50	9.40	9.60	8.69	9.3 ± 0.89
w2(%) for Dpr 97%	15.38	12.90	16.40	15.73	15.51	14.60	16.30	14.99	15.2 ± 1.12

* w : average of w in Table 1,2,4.

시료를 사용하지 말고, 거기에 사용해야 할 시료가 자연상태에서 채취되어 시험된다면, 좀더 좋은 결과가 나올 수도 있을 것이다. 이와 같은 관점에서 자연함수비(w_n)가 의문시 된다는 점을 밝히지 않을 수 없다.

다른 문제점으로는 多點方法일 것이다. 시료가 실트질을 많이 함유하고 있어서 흠파기가 여러 번 시도되어야만 했고 흠 자체도 주격으로 다듬어야 했다. 가끔 打擊回數가 이미 세번째 점에서 40회를 초과하였다. 그로 인해서 타격회수가 적합한 범위에 놓일 수 있도록 약간씩의 물을 더 부어야만 했다. 이와 같은 사실은 역시 결과에 영향을 끼칠 수 있었을 것이다. 이런 의미에서 여러 회 반복하는 多點方法보다는 一點方法을 이용하여 시험을 시행하는 것이 더 의미가 있었을 것이다. 더 나은 실험결과를 위해서 시료를 좀더 깊은 위치에서 채취하기를 권한다.

結 論

이상 임도건설 예정지의 흙에 대한 토질 역학적 특성을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다 :

1. 흠어지기 전과 후의 全體 單位重量(ρ_t)은 각각 $1.69 \pm 0.066 g/cm^3$ 과 $1.19 \pm 0.087 g/cm^3$ 이었으며, 含水比는 $21.0 \pm 2.63\%$ 와 $20.5 \pm 2.72\%$ 였다.
2. 체분석과 比重計分析으로 粒度試驗을 한 결과 얻은 均等係數 U와 曲率係數 C는 각각 평균 125와 0.42를 보이고 있어 대체로 간헐적으로 分等된 粒度分布를 나타내고 있다.
3. 토양분류상 USCS로는 실트질 모래 내지는 모래실트 혼합토인 SM으로 분류될 수 있다. 이 흙의 경우 路盤材料로는 과히 적당하지 않으며, 고무타이어 롤러나 양축롤러 등으로 다짐해야 하고, 排水性이 나빠 엄격한 含水比 관리와 함께 排水 施設에 특별한 조치가 요망된다.
4. 아터버그 시험결과 소성지수 I_p 가 7.0 ± 2.1 의 범위에 있어서 역시 路盤 上下層의 재료로서는 不良한 것으로 나타났다.
5. 다짐시험결과 最適含水比(w_{pr})가 $12.5 \pm 1.08\%$ 의 범위를 보이고 있다. 自然含水比가 최적함수비보다 높아 w_{pr} 에 도달하기 위한 조치가 필요하다.
6. 자연상태의 單位重量(ρ : 밀도, Table 7)이 $1.40 \pm 0.065 g/cm^3$ 이고 最適 單位重量 ρ_{pr} 은 $1.88 \pm 0.049 g/cm^3$ 로 나타났는데, 이것은 ρ_{pr} 에 도달하기 위해 더 많은 다짐과 土量이 필요함을 의미한다.

引用 文 獻

1. 金翔圭, 1991. 土質力學. 청문각, 434p.
2. 林炳祚·金泳壽 공역, 1991. 土質試驗法. 형설출판사, 523p.
3. 朴性裁 譯, 1988. 土質力學(Braja, M. Das, Principles of Geotechnical Engineering), 회성출판사, 554p.
4. 토목공학연구회편, 1991. 토목실험. 형설출판사, 607p.
5. Bowles, J.E. 1984. Physical and Geotechnical Properties of Soils. Second Edition. International Student Edition. McGraw-Hill Book Co.: Ham-burg, London und Singapore: 26-60, 119-135
6. Dachroth, W.R. 1990. Baugelologie in der Praxis. 531p.
7. Eisbacher, J. 1975. Die praktische Anwendung der Bodenprüfverfahren im forstlichen Wegebau. Forstarchiv. F.10: 204-210
8. Glatzel, G. und SIEGHARDT, M. 1980. Die Böden des Lehrforstes. ÖFZ. F.3.: 53-54
9. Kühn, H. 1987. Strassenbau AZ. Vol. 1-9. Erich Schmidt Verlag.
10. Kuonen, V. 1970. Der Vertikalaufbau von Wald- und Güterstraasen. Bündner Wald, Chur. 3/4: 105-116.
11. ————. 1984. Wald- und Güterstrasse.
12. Krapfenbauer, A., Gasch, J. und Weidinger, H. 1986. Beschreibung zu Standortstypenkarte des Lehrforstes Ofenbach. Universität für Bodenkultur Wien.
13. Muhs, H. and von Soos, P. 1980. Grundbautaschenbuch. Teil. 3. Auflage. Hrsg. SMOLTCZYK, U. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn: Berlin, München und Düsseldorf:

- 13-33, 59-90
14. Pregl, O. 1985. Bodenmechanik I. Reihe Geotechnik. Universität für Bodenkultur Wien: 47-99
 15. Schlick, 1978. Auflockerungs- und Verdichtungs-faktor von Locker und Felsböden. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik. Heft 259. Hrsg. von Bundesministerium für Verkehr Bonn - Bad Godesberg: 46-87
 16. Sedlak, O. 1973. Zur Tragfähigkeit des ländlichen Wegenetzes. ÖFZ. 84: 116-118
 17. Siedek, P., Voss, R. and Floss, R. 1982. Die Bodenprüfverfahren bei Strassenbauten. Hrsg. von Brüggemann, K. Werner - Verlag. Düsseldorf: 236 S.
 18. Simmer, K. 1987. Grundbau I. Bodenmechanik. Erdstatische Berechnungen. B.G. Teubner Stuttgart: 27-41, 68-95.
 19. Voss, R. and Floss, R. 1986. Die Bodenverdichtung im Verkehrswege-, Grund- und Dammbau. 6. Auflage. Hrsg. von BRÜGGEMANN, K. Werner - Verlag. Düsseldorf. 3-26, 105-117.
 20. DIN 18196
 21. KSF 2300
 22. ÖNORM 4400
 23. ZTVE - stB