

## 春川 加里山 地域의 林道 盛土斜面の 土質力學的 特性\*

車斗松<sup>1)</sup> · 全槿雨<sup>1)</sup> · 池炳潤<sup>2)</sup> · 吳宰憲<sup>2)</sup>

### Soil Mechanical Properties for Fill Slope of Forest Road in Mt. Gari\*

Du Song Cha<sup>1)</sup>, Kun Woo Chun<sup>1)</sup>, Byoung Yun Ji<sup>2)</sup> and Jae Heun Oh<sup>2)</sup>

#### 요 약

본 연구는 춘천 가리산 지역의 상굴임도를 대상으로 성토사면의 토질력학적 특성을 파악하여 사면안정해석 및 대책공법의 수립을 위한 기초자료를 제공하고자, 겉보기 토질분류기준인 토사, 호박돌토사, 풍화암 사면에서 토사를 채취하여 시험을 실시하였다. 각 토양시험으로부터 흙의 입도분석(KS F 2302), 흙의 액성한계시험(KS F 2303), 흙의 소성한계시험(KS F 2304), 흙의 함수량시험(KS F 2306), 흙의 비중시험(KS F 2308)을 실시하였다. 또한 각 사면에 대해 흙의 입도분석을 통하여 입경분포, 균등계수, 곡률계수를, 흙의 함수량시험과 흙의 비중시험을 통하여 흙의 건조밀도와 비중을 산출하였다. 그 결과, 통일분류법에 의한 토질분류는 SW, SP, GP로, 건조밀도는 2.52~2.60 g/cm<sup>3</sup>, 비중은 1.39~1.43으로 나타났으며, 소성지수는 비소성 상태인 것으로 나타났다.

#### ABSTRACT

This study was carried out to analyze the mechanical properties of soil for counterplan of recovery construction and the slope stability on fill slope of Sang-gul forest road in Mt. Gari. To analyze the mechanical properties of apparent soil on fill slope in forest road, various soils such as soil, gravelly sandy soil, weathered rock were used as experimental sample in this study. In each experimental sample, particle size distribution test, liquid limit test, plastic limit test, and specific gravity test were carried by Korean industrial standards(KS F 2302, KS F 2303, KS F 2304, KS F 2306, KS F 2308). Through the results of soil particle size distribution analysis, soil moisture

1) 강원대학교 산림과학대학 : College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

2) 강원대학교 대학원 : Graduate School, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

\* 이 논문은 1998년도 강원도 지원으로 수행된 「강원 민유임도의 문제점과 개선방안에 관한 연구」의 연구 결과의 일부임.

content analysis, and specific gravity analysis, soil texture, uniformity coefficient, curvature coefficient, dry density and specific gravity were able to be determined in sampling site. As a results in this study, soil was classified as SP, SW, GP by Unified Soil Classification Standard(USCS), specific gravity and dry unit weight of soil have the value range of 2.52~2.60 and 1.39~1.43, respectively. Also plastic index showed non plastic condition.

**Key words :** soil mechanical property, forest road, fill slope, Unified Soil Classification Standard(USCS).

## I. 서 론

우리나라에서는 산림의 집약적인 관리와 경영을 위하여 1984년부터 본격적인 임도사업이 착수한 이래, 1997년말 현재 총 임도연장 12,413 km(민유임도 8,751km, 국유임도 3,662km)로서 임도밀도는 1.9m/ha(국유임도 2.6m/ha, 민유임도 1.7m/ha)이며, 2007년까지 총 29,100km를 시설하여 임도밀도를 4.6m/ha로 계획을 수립하고 있다.

임도는 산악지에 대부분 토공작업으로 시설되고 있기 때문에 임도의 절·성토사면의 구조적인 안정문제는 임도 고유의 기능에 매우 큰 영향을 끼치게 된다. 또한 사면붕괴 및 토사유출 등과 같은 재해와 직접적인 관련이 있기 때문에, 안전진단 및 복구에 대한 신중한 검토가 요구된다. 특히, 임도사면에 있어서 절토부보다는 성토사면에서의 구조적 안정문제가 일반적으로 더 문제시되고 있으며, 사면붕괴의 발생규모도 크게 때문에 성토사면에 대한 사면안정 대책이 시급한 실정이다. 성토사면붕괴의 메카니즘은 여러 가지 복합적인 요인이 사면에 작용하고 있지만, 비교적 지반이 연약한 성토사면의 경우는 집중호우로 인해 유출수가 성토내부로 침투하여 사면내부의 간극수압 및 土塊 자체의 중량을 증가시킴으로써 성토부분의 전단저항력이 감소되는 결과를 초래한다. 또한 이와 같은 현상은 임도시공상에서 성토사면 원지반의 식생 및 유기물 층을 제거한 후 임도성토사면을 구축하여야 하나 그렇지 않을 경우 성토사면과 원지반과의 토질의 異質化로 인한

전단저항력의 감소가 야기될 수 있다. 따라서 임도노선 선정에서부터 시공 및 사후관리에 이르기까지 사면의 토질 역학적 특성을 정확히 파악하여 그 대응책을 수립하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다. 이에 대한 기존의 연구로서 木村 等(1972)은 임도노면의 토질역학적 특성을 세립토와 조립토로 구분하고, Caterpillar tractor를 사용하여 노면다짐을 실시하여 다짐회수에 의한 Cone Index를 산출 후 건조밀도와와의 관계식을 유도하였고, 日浦(1992)은 인공강우 장치를 장착한 실험사면을 만들어 사질토를 대상으로 강우강도를 시간당 39mm~78mm 범위 변화시키면서 Type I(소규모 붕괴), Type II(활동)시의 건조밀도를 Type I은 1.373~1.519 g/cm<sup>3</sup>, Type II는 1.347~1.401 g/cm<sup>3</sup> 라고 하였다. 또한 上飯坂(1953)은 사질양토와 사질토를 대상으로 토양수에 의한 토층내부의 침투현상을 실내실험을 통하여 연구한 바 있으며, 金基源(1995)이 오스트리아 비인 농대 연습림을 대상으로 임도건설예정지역의 토질을 통일분류법(USCS)에 의하여 분류하고, 노면시공시 적절한 다짐의 필요성을 강조한 바 있다. 그러나 우리나라 임도사면의 토질역학적 특성에 관한 연구는 거의 수행되고 있지 않아 이에 대한 연구가 시급한 실정이며, 임도사면의 토질역학적 특성이 정확히 구명되어야 사면의 안정해석 및 붕괴방지대책을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 춘천 가리산 지역의 상질 임도를 대상으로 성토사면의 토질역학적 특성을 파악하여 사면안정해석 및 대책공법의 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1) 대상지역

연구지역으로는 춘천 가리산 지역의 1997년에 개설한 상결임도를 대상으로 하였으며, 총 임도 연장은 9.33km이다.

### 2) 공시재료의 채취

임도성토사면의 토질분류는 일반적으로 보통토사, 견질토사, 고사점토 및 자갈섞임토사, 호박돌토사, 풍화암, 연암, 보통암, 경암, 극경암(임업연수원, 1997)으로 분류하고 있으나, 본 연구에서는 보통토사, 호박돌토사, 풍화암 인 3개소의 성토사면을 대상으로 공시토양을 채취하였다. 시료의 채취는 3개 사면의 원지반 1개소와 성토사면 3개소에서 시료를 채취 하였다. 성토사면의 3개소는 성토사면도피의 중심선을 지나는 깊이에서 상(4m)·중(8m)·하(12m)로 구분하여(Fig. 1), 각 장소별로 토양칸을 이용하여 3회 반복한 총 36 지점에서 不攪亂 시료를 채취하였다. 또한 입도분석 및 물리적 성질파악을 위한 攪亂시료는 성토사면 3개소(상·중·하)에 대해 비닐 봉지를 사용하여 총 15 지점에서 채취하였다.

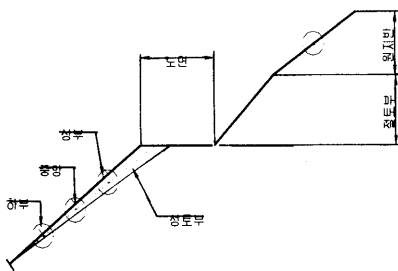


Fig. 1. Sampling position of disturbed and undisturbed soil in fill slope of forest road.

### 3) 시험 및 분석 방법

임도 성토사면의 토질역학적 특성을 구명하기 위해 다음과 같이 토질실험을 실시하였다.

#### (1) 흙의 기본적 성질 시험

흙의 三相構造인 고상, 액상, 기상의 관계를 규명하기 위한 시험으로 흙의 함수량시험(KS F 2306), 흙의 비중시험(KS F 2308)을 실시하였다. 흙의 함수량시험은 각 조사지점별로 임도성토사면부 3개소 및 원지반 1개소에서 토양칸으로 채취된 토양시료를 精度가 0.01g인 저울을 사용하여 무게를 측정 한 후 110±5℃의 Dry Oven에서 24시간 이상으로 건조 시켜 무게를 측정 한 후 흙의 함수량과 건조중량과의 비를 백분율로 표시하여 흙의 함수비( $w$ )를 산출하였다.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100(\%)$$

여기서,  $W_w$  : 토양중의 수분의 무게(g),

$W_s$  : 건조된 토양시료의 무게(g)

흙의 비중시험은 각 조사지점별로 임도성토사면 3개소에서 채취한 교란시료를 건조시켜 No 4번체를 통과한 시료를 사용하였다. No 4번체를 통과한 10g 정도 취하여 비중병에 넣고, 토양공극사이의 기포를 완전히 제거한 후 4℃ 물의 단위중량과의 비를 산출하였다. 이때 비중은 다음식에 의하여 산출하였다.

$$G_s = \frac{W_s \times k}{W_s + (W_a - W_b)}$$

여기서,  $W_s$  : 비중병 + 흙의 건조무게(g),

$W_a$  : 비중병 + 증류수의 무게(g),

$W_b$  : 흙의 건조무게 + 증류수의 무게(g)

또한 흙의 함수비와 비중시험의 결과로부터 간극비( $e$ ), 건조단위중량( $\gamma_d$ ), 포화단위중량( $\gamma_{sat}$ ) 등의 산출은 다음 식과 같다.

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1, \quad \gamma_d = \frac{G_s}{1 + e} \gamma_w$$

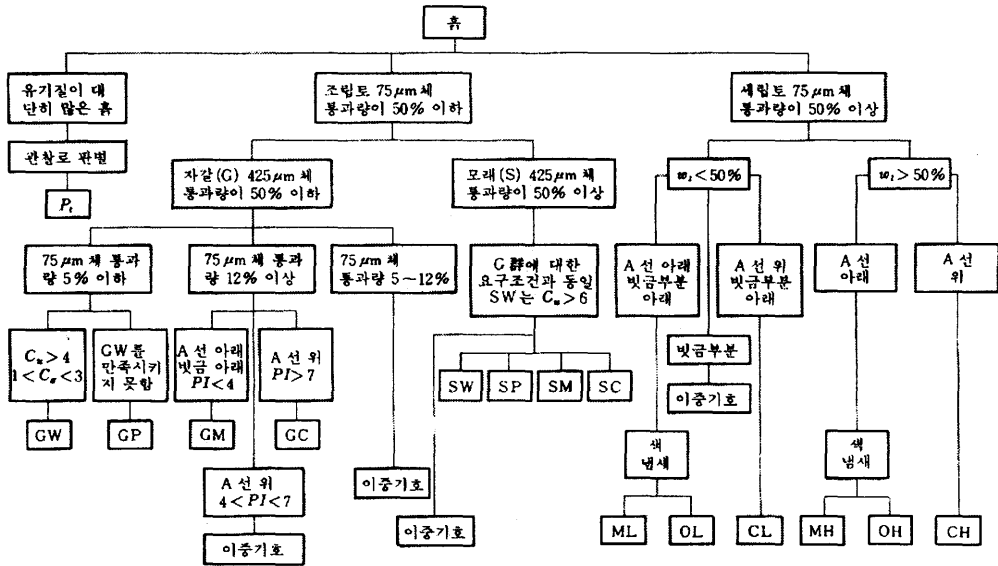


Fig. 2. Unified Soil Classification Standard(USCS).

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w$$

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

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

계산된 건조단위중량 ( $\gamma_d$ )은 SAS(Statistical Analysis System)의 분산분석(ANOVA)을 실시하여 각 조사지점별, 조사지점내의 위치별 건조단위중량에 대한 유의성 검정을 실시하였다.

여기서,  $D_{10}$  : 통과중량 백분율 10%의 입경의 유효지름(mm),

$D_{30}$  : 통과중량 백분율 30%의 입경의 유효지름(mm)

$D_{60}$  : 통과중량 백분율 60%의 입경의 유효지름(mm)

(2) 흙의 분류를 위한 시험

임도 성토사면에서 채취한 토양의 특성과 공학적 분류를 위해 흙의 입도시험(KS F 2302)을 실시하였다. 흙의 입도시험을 위해 No. 4, 10, 20, 40, 60, 200 체를 사용하여 각 체에 남은 토양시료의 중량비로서 각체의 통과백분율을 구한 뒤, 粒徑加積曲線을 그려 각 조사지점별로 삼각좌표법에 의한 토성과 균등계수( $C_u$ ), 곡률계수( $C_g$ )를 산출한 후 ASTM(American Society for Testing Materials)에서 흙의 공학적 분류법으로 채택하고 있는 통일분류법(USCS)에 의하여 토질을 분류하였다(Lambe, 1959).

통일분류법에 의한 토질의 결정방법은 Fig. 2와 같다.

또한 흙의 연·경도 성질을 측정하기 위하여 각 사면의 조사지점별 토양을 No. 40체로 체가름한 후 각각 100g, 15g을 취하여 흙의 액성한계시험(KS F 2303), 흙의 소성한계시험(KS F 2304)을 실시하였다.

흙의 액성한계시험과 흙의 소성한계시험 후, 흙의 액성한계  $W_L$ 와 소성한계  $W_P$ 와의 차에 의해 소성지수  $I_P$ 를 산출하였다. 액성한계가 소성

한계와 동일하든가, 또는 소성한계가 액성한계보다 큰 경우에는 비소성(Non Plastic : NP)으로 표시한다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 임도성토사면의 흙의 기본적 성질

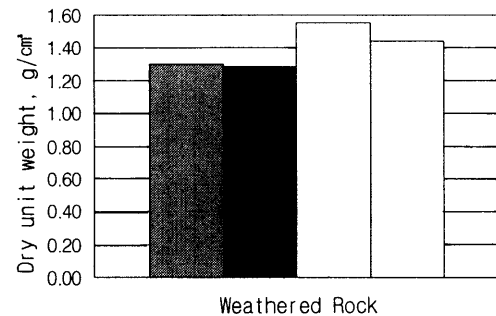
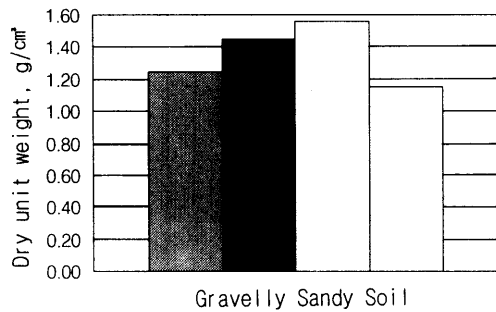
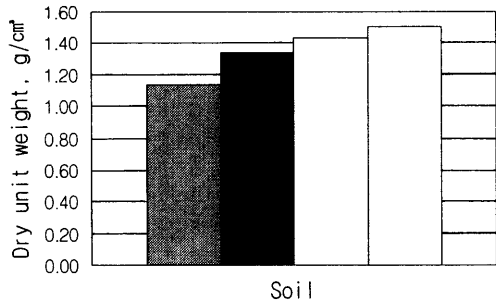
흙의 기본적인 성질을 알기 위하여 건조밀도를 산출한 결과는 Table 1 및 Fig. 3과 같다. 건조밀도는 원지반은 풍화암 사면에서, 임도성토사면 상부는 호박돌토사, 중간부는 호박돌토사, 하부는 토사사면에서 높게 나타났으며, 각 조사사면의 건조밀도와 위치별 건조밀도의 차이를 파악하기 위해 조사사면의 종류와 토양채취장소를 변수로 하여 분산분석을 실시하였다(Table 1). 분석 결과 사면의 종류별 건조밀도는 유의수준 5%에서 모두 차이가 없는 것으로 나타났고, 토양 샘플위치별 건조밀도는 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 사면의 종류와 토양샘플위치의 상호작용에 대한 차이도 있는 것으로 분석되었다. 따라서 사면의 건조밀도는 토양샘플위치에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. Fig. 3은 각 조사사면 위치별 건조밀도 차이를 파악하기 위해 5% 유의수준에서 Duncan의 다중검정을 실시한 결과이

다. 토사사면에서는 사면의 상·중·하부에서 건조밀도가 동일한 것으로 분석되었고, 호박돌토사 사면에서는 상·중부의 건조밀도가 같았고, 하부와 원지반에서 건조밀도가 같게 나타났다. 또한 풍화암 사면에서는 원지반과 사면의 상부에서 건조밀도가 같게 분석되었다. 그러나 일반적인 경향이 사면의 중앙부에서 건조밀도가 큰 것으로 보아 성토상부의 토괴중량으로 인한 자연다짐효과가 나타난 것으로 사료되며, 토사사면의 경우, 하부에서 건조밀도가 큰 것은 임도의 구조적인 요인으로 인해 상대적으로 성토량이 많아져 하부까지 다짐효과가 미친 것으로 판단된다. 그러나 일반적으로 자갈질 및 사질토는 최적함수비 조건에서 다졌을 때의 건조밀도가 일반적으로 1.60~2.16(임업연수원, 1997)임을 고려한다면, 전체적으로 낮은 수준이므로 임도사면의 안정성을 위하여 충분한 다짐이 필요할 것으로 판단된다. 일반적으로 다짐의 회수가 증가할수록 효과가 크고(木村 等, 1972), 같은 에너지로 다짐을 실시할 때, 조립이고 입도분포가 양호할수록 최대 건조단위 중량은 크고 최적함수비는 작아지므로(金翔圭, 1996), 임도사면은 약간의 물을 사면에 뿌린 후 다짐을 실시한다면 보다 낮은 다짐효과가 나타날 것으로 사료된다.

Table 1. Analysis of variance for dry unit weight of fill slope in forest road

Source	DF	SS	MS	F
Model	11	0.70332	0.06393	5.85
Apparent soil type	2	0.01399	0.00699	0.64
Sampling position	3	0.37543	0.12514	11.45*
Apparent soil type×Sampling position	6	0.31389	0.05231	4.79*
Error	24	0.26233	0.01093	
Total	35	0.96565		

\*means significant at the 5% level



(■ : Original, ■ : Upper, □ : Middle, □ : Low)

\* the same letters are not significantly different by Duncan's multiple range test, at the 5% level

Fig. 3. Comparison of soil dry unit weight of soils of each sampling position at apparent soil type.

비중시험 결과는 Fig. 4와 같이 토사지역이 2.52로 가장 작았으며, 호박돌토사에서는 2.60으로 가장 큰 것으로 나타났다. 포화단위중량와 간극비는 건조밀도와 비중과의 관계식으로부터 산출되어진 값으로 Fig. 5, 6과 같다. 간극비는

호박돌토사의 경우에 0.88, 포화단위중량은 풍화암에서 1.88으로 가장 크게 나타났다. 이상과 같이 건조밀도가 크고 비중이 크다는 것은 포화단위중량이 크게 나타나므로 강우로 인하여 流水가 임도 성토사면으로 침투할 경우 단위중량이 가장 큰 풍화암에서의 토괴중량이 가장 크게 되므로 임도붕괴의 가능성이 커진다고 할 수 있다. 따라서 포화단위 중량이 작은 경우, 상대적으로 포화단위중량이 큰 사면보다 안정할 것으로 판단된다. 이는 본 연구지역에 대하여 붕괴발생 위험도를 진단한 車斗松과 池炳潤(1999a, b)의 연구결과에서 성토사면 붕괴요인중 풍화암 토질에서 붕괴위험도가 가장 높은 것과 일치하는 것으로 나타나 성토사면의 토질특성으로 사면붕괴의 특성을 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

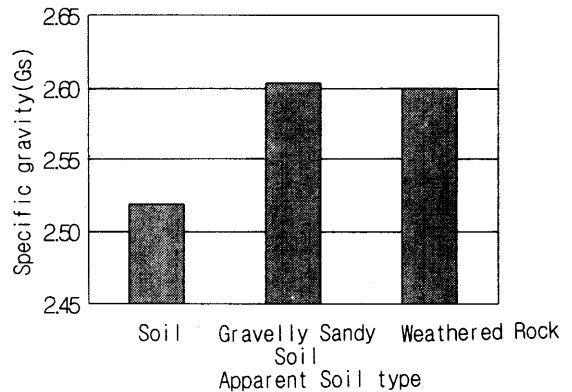


Fig. 4. Specific gravity of sampling soil.

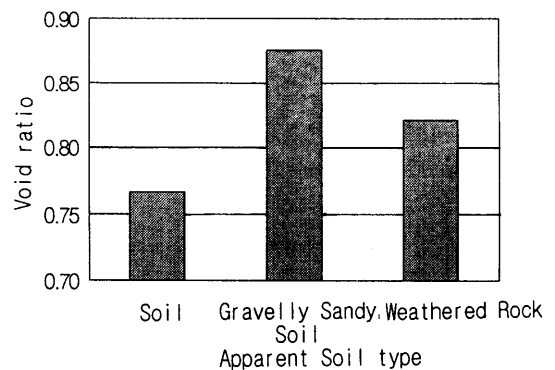


Fig. 5. Void ratio of sampling soil.

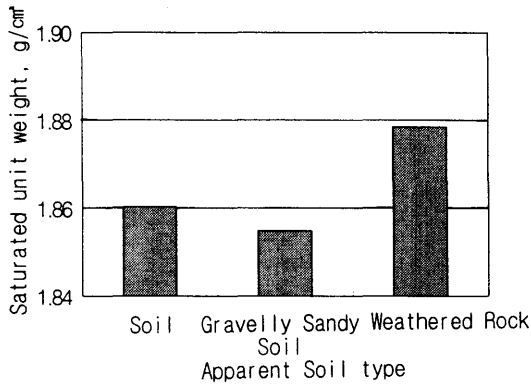


Fig. 6. Saturated unit weight of sampling soil.

2. 입도성토사면의 흙의 분류

성토사면의 흙의 분류는 입도시험 분석결과에 따라 삼각좌표에 의한 미농무성(USDA)분류법에 의해 3개소 모두 사질토로 분류되었으며, Table 2, 3와 같이 균등계수 및 곡률계수를 기준으로, ASTM(American Society for Testing Materials) 의해 채택되고 있는 통일분류법으로 토질의 분류한 결과, 토사사면은 Fig. 7과 같이 상(SW), 중(SW), 하(SP), 호박돌토사 사면은 Fig. 8과 같이 상(SP), 중(GP), 하(GP), 풍화암 사면은 Fig. 9와 같이 상(SP), 중(SP), 하(GP)로 나타났다. 본 연구에서는 이를 기준으로 하여 토사사면은 SW, 호박돌토사 사면은 GP, 풍화암 사면은 SP로 재분류하여 사면의 특성을 파악하였

다. 여기서 나타난 SW는 모래질 흙으로, 세립이 거이 없고 입도분포가 좋은 깨끗한 흙이며, SP는 모래질 흙으로, 세립이 거이 없고 입도분포가 불량한 깨끗한 흙, 또한 GP는 자갈질 흙으로, 세립이 거이 없고 입도분포가 불량한 깨끗한 흙으로 판정한다.

일반적으로 입도분포가 불량한 흙인 경우에 균등계수와 곡률계수가 작으므로 土粒子的 크기가 비교적 비슷한 것으로써 토립자끼리의 접촉면적이, 균등계수와 곡률계수가 큰 것에 비해 작아지지만 강우에 의해 성토내부 土壤가 포화될 경우, 토립자 사이의 수분에 의해 토립자간의 마찰저항이 줄어들어 토피자체에 전단파괴가 일어날 가능성이 커진다고 할 수 있다.

또한 건조밀도가 최적함수비 조건에서 다짐을 실시할 경우, SW인 경우 1.76~2.03사이이고, SP인 경우 1.60~1.92사이이며, GP인 경우 1.84~2.00사이(임업연수원, 1997)인 점을 감안한다면, 본 연구결과와 성토사면 건조밀도를 위 수준의 95% 정도(金翺圭, 1996)까지 다짐을 실시하여 높여줌으로써 입도성토사면 내부로 침투되는 수분의 경로를 어느 정도 차단한다면, 성토내부의 포화를 방지할 수 있으므로 전단파괴에 대한 안정성을 도모할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 흙의 공학적분류법에 의해 성토사면의 안정성을 상대적으로 평가할 수 있으며, 입도개설시 노선선정 및 既設林道の 사면안정공법의 설계에 흙의 토질역학적 특성을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

Table 2. Uniformity coefficient of sampling soil at each sampling point.

	Upper	Middle	Low
Soil	19.57	14.16	13.02
Gravelly Sandy Soil	16.61	56.88	110.27
Weathered Rock	24.36	21.65	56.15

Table 3. Curvature coefficient of sampling soil at each sampling point.

	Upper	Middle	Low
Soil	2.00	1.56	0.74
Gravelly Sandy Soil	0.57	0.50	0.94
Weathered Rock	0.58	0.40	0.59

#### IV. 결 론

본 연구에서는 춘천 가리산 지역의 상결임도를 대상으로 임도사면의 안정해석 및 대책공법의 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 임도성토사면의 토질역학적 특성을 파악하였다. 그 결과는 다음과 같다.

임도성토사면의 흙의 일반적인 비중은 2.52~2.60으로 나타났고, 간극비는 0.76~0.88, 건조밀도는 1.39~1.43, 포화단위중량은 1.85~1.88 g/cm<sup>3</sup>으로 나타났다. 또한 임도성토사면의 흙의 분류는 삼각좌표법을 기준으로는 모두 사질토로 분류되었으며, 통일분류법에 의한 분류는 토사사면은 SW, 호박돌토사 사면은 GP, 풍화암 사면은 SP로 분류되었다. 소성지수는 비소성(NP) 상태로 나타났다.

따라서 본 연구의 결과는 토질역학적인 측면에서의 사면안정해석의 실시 및 적절한 사면안정공법의 적용성에 대한 기초자료로서 매우 유용하게 제공될 것으로 판단되며, 금후 이들에 대하여 검토할 예정이다.

#### 참 고 문 헌

1. 金基源. 1995. 林道設計에의 應用을 위한 흙의 土質 力學的 特性. 韓林誌 84(2) : 166-177.
2. 金翔圭. 1996. 土質力學的 基本原理. 東明社. 371pp.
3. 임업연수원. 1997. 임도(신규)반 '97교육교재-. 임업연수원. 622pp.
4. 차두송, 지병윤. 1999a. 춘천 가리산지역 임도성토사면의 붕괴위험 예측. 한국임학회 학술발표회 : 168-169.
5. 車斗松, 池炳濶. 1999b. 數量化Ⅱ類에 의한 林道 盛土斜面的 崩壞要因 評價 및 豫測. 韓林誌 88(2) : 240-248.
6. 木村和弘, 干野敦義, 酒井信一. 1972. 林道에關する研究(Ⅲ)-盛土工法에關する研究(第一報)-. 信州大學農學部演習林報告 第9号 : 71-97.

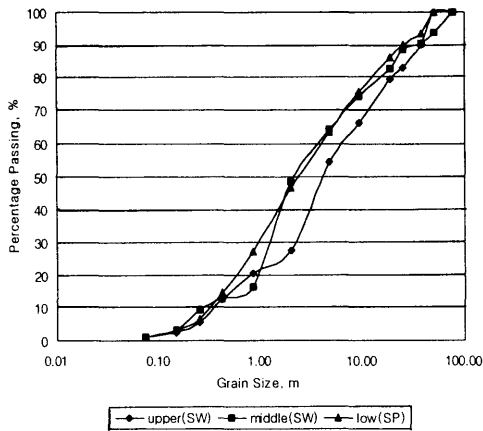


Fig. 7. Grain size distribution of soil.

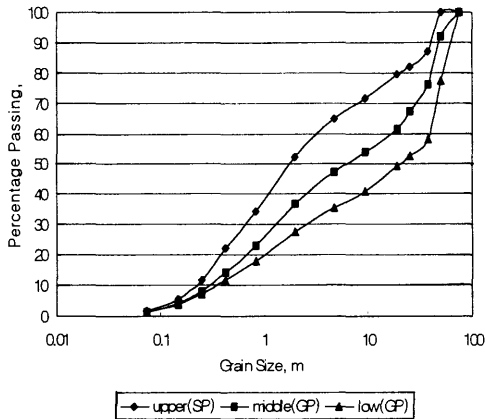


Fig. 8. Grain size distribution of gravelly sandy soil.

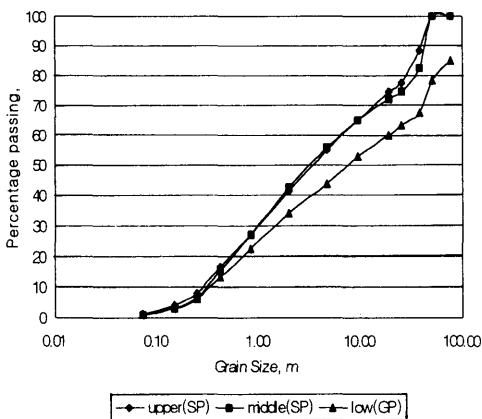


Fig. 9. Grain size distribution of weathered rock.



7. 日浦啓全. 1992. 斜面崩壊に関する研究 -崩壊タイプと斜面内水収支について-. 高知大學演習林報告 第9号 : 53-62.
8. 上飯坂 實. 1953. 林道の破壊防止に関する研究. 岩手大學農學部報告 1: 255-260.
9. 土質工學會 編. 1983. 土の試験實驗書. 土質工學會. 267pp.
10. KS F 2302
11. KS F 2303
12. KS F 2304
13. KS F 2306
14. KS F 2308
15. T. William Lambe. 1951. Soil testing for Engineers. John Wiley & Sons, Inc. 165pp.