



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

제주도내 분포하는 흙의 노상재료
적합성에 관한 연구



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學 專攻

金南植

2007

碩士學位論文

제주도내 분포하는 흙의 노상재료
적합성에 관한 연구

指導教授 南正萬



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

金南植

2007

제주도내 분포하는 흙의 노상재료 적합성에 관한 연구

指導教授 南正萬

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2007年 8月

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科 土木工學 專攻

金南植의 工學 碩士學位 論文을 認准함

2007年 8月

委員長 _____ 印

委 長 _____ 印

委 長 _____ 印

A study on the Suitability as a Subgrade Soil
Materials for the Soils distributed in Jeju area

NAM-SIK KIM

(Supervised by Professor Jung-Man Nam)

A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirements for the degree of Master of Engineering

2007. 8.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Nam-Hyeong Kim, Prof. of Civil engineering

Thesis director, Byung-Gul Lee, Prof. of Civil engineering

Thesis director, Jung-Man Nam, Prof. of Civil engineering

August. 2007

Department of Construction and Environmental Engineering
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

표 차 례	iii
그림 차 례	iv
Summary	v
I. 서 론	1
II. 이론적 배경	3
2.1 화산재의 특성	3
2.1.1 화산분출물	3
2.1.2 화산쇄설물의 퇴적	5
2.2 제주도에 분포하는 화산재의 특성	8
2.3. 노상재료	9
2.3.1 도로의 구조	9
2.3.2 도로 노상재료의 기준	11
2.4 흙의 공학적 분류에 의한 노상재료	14
2.4.1 통일분류법(USCS)	14
2.4.2 AASHTO 분류법	20
III. 시험방법	23
3.1 시료채취	23
3.2 기본 물성시험	25
3.2.1 액성한계시험	25
3.2.2 소성한계시험	25
3.2.3 입도분석시험	26
3.3 역학적 특성	27

3.3.1 다짐시험	27
3.3.2 노상토 지지력시험(CBR Test)	30
IV. 결과 및 고찰	35
4.1 흙의 공학적 분류	35
4.1.1 통일분류법(USCS)	36
4.1.2 AASHTO 분류법	37
4.2 흙의 공학적 분류에 의한 노상재료등급	38
4.2.1 통일분류법(USCS)	38
4.2.2 AASHTO분류법	40
4.2.3 분류법의 비교	42
4.3 노상재료설계 적합성 분석	43
4.3.1 연경도와 체입경에 의한 분석	43
4.3.2 설계항목에 대한 적합성 분석	46
4.4 노상재료 지지력개선	48
V. 결론	50
참 고 문 헌	52
부 록(분석자료)	
1. 통일분류법	1
2. AASHTO 분류법	5
3. 하부노상 적합시료(CBR 비시험)	8

표 차 례

Table 2.1 Design standards of non-susceptible base and subbase course	12
Table 2.2 Design standards of road bed and subgrade	13
Table 2.3 Explanation of classification symbol	15
Table 2.4 Classification method of soil with USCS (KS F 2324)	16
Table 2.5 Classification of soil with USCS(The use of road and runway)17	17
Table 2.6 Standards of filling materials(Yang, 2005)	18
Table 2.7 Classification method of soil with AASHTO	21
Table 3.1 Test location	23
Table 3.2 Classification by grain sizes	26
Table 3.3 The sort of laboratory compaction method with KS F 2312 ...	29
Table 3.4 The standard unit load	31
Table 3.5 d ₂ value by the number of different soils	33
Table 4.1 Classification of soil with USCS	36
Table 4.2 Classification of soil with AASHTO	37
Table 4.3 Subgrade soil grade with USCS	39
Table 4.4 Subgrade soil grade with AASHTO	41
Table 4.5 Comparison between Subgrade soil grade with USCS and Subgrade soil grade with AASHTO	42
Table 4.6 The locations to satisfy lower subgrade soil standard	43
Table 4.7 Comparison of classification grade as subgrade soil materials	45
Table 4.8 Test results	46
Table 4.9 CBR values according to the mixing waste aggregate ratio ...	49

그림 차례

Fig. 2.1 Title of each parts for earth work	10
Fig. 2.2 Standard composition of banking section	10
Fig. 2.3 Classification graph of silt-clay with AASHTO	22
Fig. 3.1 Test location	24
Fig. 3.2 Compaction-density curve of cohesive soil	28
Fig. 3.3 Compaction-CBR relation curve	34
Fig. 4.1 Plasticity graph by subgrade soil grade with USCS	39
Fig. 4.2 Plasticity graph by subgrade soil grade with	41
Fig. 4.3 Location presented in table 4.6	44
Fig. 4.4 Five groups to satisfaction standards for subgrade materials	44
Fig. 4.5 Location to satisfaction standards for subgrade materials	47
Fig. 4.6 CBR values according to the mixing waste aggregate ratio	49

Summary

The soils distributed in Jeju area are volcanic ash soils generated from the basalts. volcanic ash soils are consisted of volcanic ash, volcanic sand, lapilli and scoria, and they are varied with clay and gravel. The purpose of this study is to indicate the area which can be utilized as subgrade soil materials After comparing the soil test results of 167 soils sampled from 39 areas with the road design criteria of subgrade soil materials.

For the classification results of USCS, 114 samples in 24 areas, 68% of total samples could be utilized as the subgrade soil. And for the classification results of AASHTO, 68 samples in 29 areas, 40.7% of total samples could be utilized as the subgrade soil. Also for the analysis results of consistency of soil and sieve analysis, 45 samples in 23 areas, 26.9% of total samples could be utilized as the subgrade soil and when considering the number of area rate, 59% of total area could be utilized as the subgrade soil. When the test results of soils sampled from Jeju area compare with the road design criteria of subgrade soil materials, although soils sampled from Jeju area aren't suitable as the upper subgrade soil materials, for lower subgrade soil materials about 30% utilization are indicated. This results present that for the classification of the soils distributed in Jeju area as the subgrade soil material AASHTO is more suitable than USCS.

I. 서론

산업의 발달과 도시의 수평적 팽창에 따른 도시개발, 택지개발 등의 토목사업 증가에 따라 교통량이 증가하고 있다. 최근 교통량이 대도시뿐만 아니라 읍, 면 지역에서도 날로 증가되고 있으며, 이러한 교통량의 증가에 대응하기 위하여 도로의 확장 및 선형개량, 도로의 신설 등이 활발하게 이루어지고 있다.

현재 도로공사에서 가장 큰 문제로 대두되고 있는 것은 노상토 재료를 얻기 위한 토취장의 확보이다. 하지만 국내 지형 특성상 산지가 70%이상을 차지하다 보니 절·성토 문제는 필연적이다. 고속도로의 경우에는 절·성토 구간의 적절한 분배로 성토량을 확보할 수 있으나, 짧은 구간으로 나누어 건설되는 일반국도와 지방도로는 주변 여건상 토공의 균형을 맞추기가 어려워 토취장의 확보가 필연적이다. 그러나 토취장의 확보는 환경문제와 관련되어 적절한 시기에 양질의 재료를 충분히 확보하기가 매우 어려운 실정이다.

따라서 성토 재료의 하위 기준에 겨우 부합되는 재료를 사용하는 경우가 빈번하다. 도로 건설 시 흙 재료에서 가장 중요한 요소는 도로 축조용 재료의 강도 즉 지지력이다. 적정 수준의 지지력을 얻기 위해서는 이에 부합되는 흙을 시험을 통해 선정하여 사용하게 되며 부적당한 재료는 다른 재료를 혼합하는 등의 필요한 조치를 취하여 적정 지지력이 확보될 수 있는 경우에만 사용하게 된다.

도로에서 상부의 교통하중을 지지하는 층은 노상층으로 노상토의 지지력에 따라 상부 노면의 두께가 결정되므로 흙 선정에 많은 주의를 기울여야 한다. 그러나 일정수준의 지지력이 확보되었다 하더라도 도로 완공 후 발생할 수 있는 문제점 즉 세립토를 사용할 경우 모세관 현상으로 노상층까지 지하수가 상승할 가능성이 있다. 이와 같이 도로 공사의 계획·설계에 있어서 노상재료의 선정은 시공이 난이와 완공에 큰 영향을 미치기 때문에 양질의 성토재료를 선택할 필요가 있다.

제주도의 지질은 후기 화산활동에 의해 형성되어 현무암과 조면 안산암, 화와 이아이트, 응회암 등의 암반층과 화산쇄설물이 반복적으로 지질을 구성하고 있다. 그리고 제주도에 분포하고 있는 흙은 화산·쇄설물의 1차적인 산물의 토양

으로 현무암에서 유래된 화산회토이다. 토사층을 이루는 화산쇄설물은 화산재·화산사·화상력 및 스크리아 등으로 구성되며 이들은 점토 내지 자갈 형태로 다양하게 나타나며, 이런 토사층 강도는 크지 않는 특성을 가지고 있다.

그러나 현재는 제주도에 분포하는 흙에 대한 도로의 노상재료로 적합성에 관한 연구가 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 제주도 전역의 39개 지역, 167개 시료를 채취하였다. 시료를 공학적으로 분류하였고, 분류된 시료의 노상재료 등급을 나누기 위해 USCS와 AASHTO 분류법을 이용하였다.

그리고 시료의 공학적 분류에 의한 노상 재료 설계 적합성 분석을 위해 연경도와 체분석에 의한 분석을 실시하였고 또한 CBR시험을 하였다. 실내 시험에 의한 물리적 특성을 파악하여 이들 특성을 자료화시킴으로서 지역적으로 흙이 갖는 공학적 특성, 특히 토목공사 시 노상재료로서 적합성 여부를 제시하여 건설토목현장에 참고자료를 제시하고, 건설폐기물인 폐골재를 재활용하여 자연시료와 일정비율로 혼합하였을 때의 지지력 개선 정도를 확인 하였다.



Ⅱ. 이론적 배경

2.1 화산재의 특성

2.1.1 화산분출물

화구로부터 가스·용암·암편(岩片) 또는 암분(岩粉) 등을 통틀어 화산분출물이라고 한다. 어떤 화산에서는 화산쇄설물 또는 화산가스만을 분출하는 경우도 있으나, 흔히 여러 가지 분출물들이 복합적으로 분화한다. 본 연구에서는 이들 화산분출물 중 화산재 퇴적층에 관한 것이며, 이에 따라 화산재를 포함한 화산쇄설물의 특징을 살펴보고자 한다.

1) 화산가스

지하의 마그마가 지표 가까이 올라오는 도중 압력이 제거됨으로써 마그마에 용해되어 있던 휘발성 물질이 유리되어 큰 압력이 생긴다. 화산가스의 주성분은 수증기로, 흔히 50% 내외이나, 90% 이상에 달하는 경우도 있다. 분출되는 가스 중에는 수소와 산소도 있으며, 그 중의 일부는 화합하여 물을 만든다. 다음으로 많은 양을 차지하는 것은 이산화탄소이다.

이 밖에 일산화탄소·이산화황·황화수소·염소·플루오르·질소·수소 등을 함유한다. 화산가스의 화학조성은 화산에 따라 다르다. 화산가스 중의 염소와 염화수소는 바다 소금의 근원이 된다. 화산가스 중에는 극히 적지만 플루오르·붕소·질소·헬륨 등도 있다.

2) 용암

마그마가 지표 또는 그 가까이에서 분출할 때에는 휘발성분의 대부분은 가스로 일출되고 용암으로 된다. 용암이 굳어지면 고체용암 또는 화산암이 된다. 용암은 화학조성을 달리하며 특히 SiO₂ 성분의 함유량에 따라 66% 이상의 산성인 유문암질, 53~66%의 중성인 안산암질, 45~52%의 염기성인 현무암질 용암으로 나뉜다. 용암의 화학조성은 화산에 따라 다르고, 같은 화산에서도 화산활동의 시기에 따라 다르다. 화구로부터 흘러내리는 용암을 용암류라 한다. 점성이 낮은 현무암질 용암은 유동성이 커서 멀리 흘러내리나, 점성이 높은 유문암질 용암은 흔히 화구 가까이에서 굳어져 플러그 돔(plug dome) 또는 용암탑을 만들기도 한다. 안산암질 용암류의 표면에서는 먼저 고결된 표층이 용암류 내부에서의 유동이나 가스의 방출에 의하여 파괴되어 예리한 각을 가진 암괴 때문에 울퉁불퉁한 괴상용암이 나타난다. 점성이 낮은 한 층의 현무암질 용암류의 두께는 수십 cm~수십 m이나, 점성이 높은 유문암질 용암류에서는 두께가 고르지 못하다.

3) 화산쇄설물

폭발형 화산에서는 용암이 크고 작은 파편으로 화산가스와 함께 분출한다. 이 때 화산의 기반을 이루고 있던 기존암의 암편도 함께 분출한다. 이들을 총괄하여 화산쇄설물 또는 화산포출물이라 한다. 그 중 지름 32mm 이상인 것을 화산암괴라 하며, 무게가 60t 이상에 달하는 것도 있다. 지름 4~32mm인 것을 화산력 또는 분석, 4mm 이하인 것들은 화산재, 특히 0.25mm인 미세한 가루를 화산진이라 한다. 화산암괴와 화산력 중 특정한 모양을 나타내는 것들을 화산탄이라 한다.

화산쇄설물 중에는 화산재·화산력·화산괴 등이 일단이 되어 빠른 속도로 화산의 사면을 흘러내리는 경우가 있는데 이를 화산쇄설류라 한다. 화산쇄설류에는 수백℃ 이상의 암편과 화산가스가 뒤섞여 있다. 산사면을 흘러내리는 화산쇄설류의 속도는 1,000km/h에 달하는 경우도 있다. 화산쇄설암은 구성물의 암

편 또는 알갱이의 크기와 성질에 따라 분류된다. 응회암은 화산재가 모여 만들어진 암석이고, 화산괴·화산탄·화산력 등이 무질서하게 모여 화산재나 용암으로 고결된 것은 집괴암이라 한다.

2.1.2 화산쇄설물의 퇴적

화산폭발이나 분출의 양상은 마그마의 휘발성분과 점성도에 따라 달라진다. 지하 깊은 곳에서는 이러한 휘발성분들이 마그마 내에 용해된 상태로 존재하지만 지표 가까이 마그마가 올라오면 가스 성분들이 마그마로부터 분리되어 팽창하게 된다. 이렇게 마그마가 다량의 기포를 포함하게 되어 거품 덩어리 같은 형태를 띠며 지표로 나와 식으면 부석을 형성하게 된다. 주로 화산재로 구성된 화산쇄설성 퇴적물은 응회암(tuff)이라 하고, 화산력으로 이루어진 화산쇄설성 퇴적물은 lapilli-stone, 화산탄이나 block으로 이루어진 퇴적물은 집괴암(agglomerate) 또는 화산각력암이라고 한다. 화산쇄설성 퇴적물은 형성 기원에 따라 분류하여 그 특성을 기술하는 것이 일반적이는데, 대표적 형태로는 화성쇄설성 낙하퇴적물(pyroclastic-fall deposits), 화산쇄설류 퇴적물(volcaniclastic flow deposits), 그리고 hyaloclastites 등이 있다.

1) 화성쇄설성 낙하 퇴적물

이러한 형태의 퇴적물은 화산분출구를 통해 분출된 암석 파편들이 낙하하여 형성된 것으로, 대부분의 경우 공기 중에서 형성되어 air-fall 응회암을 이루나 때로는 물속으로 낙하하여 퇴적층을 형성하기도 한다. 육상에서 형성된 퇴적물들은 대개 분출구에서 멀어질수록 층의 두께나 입자의 크기가 감소하는 것이 특징이다. Block이나 화산탄 크기의 퇴적물은 주로 분출구 주변에 쌓이나, 화산재 같은 입자들은 분출구로부터 수십 km까지, 화산진은 수천km 이상 운반되기도 한다. 육상에서 형성된 화성쇄설성 낙하 퇴적층들은 특징적으로 점이층리를 보이거나 어떤 경우에는 부석이나 암편 조각들에 의해 역점이층리를 보여주시기도 한다.

2) 화산쇄설류 퇴적물

지표에서 형성되는 두 가지 주요한 형태의 화산쇄설류 퇴적물은 마그마 내부의 가스에 의해 유동성을 가지고 분출되어 형성된 ignimbrite와 화산재의 매우 빠른 흐름에 의해 생성된 기저와류(base surge)층이며, 그 외의 형태로 lahar와 화산이류(volcanic mudflow)가 있다.

① ignimbrite

가스나 물이 상승하여 입자들의 운동을 유체와 비슷한 형태로 만드는 유동화 과정(fluidization)은 마그마 속에 녹아있던 가스가 팽창하거나 또는 분출물이 지상에서 이동하면서 흡수한 공기에 의해 이루어진다. 이러한 흐름은 100km까지 이동하기도 하며, 평탄한 대지 위를 흐를 수도 있다. 이러한 과정에 의해 형성된 퇴적물인 ignimbrite는 분급은 좋지 않으나 균질하게 보이는 특징이 있으며 세립의 화산재로 이루어져 있다. 암석편들이 섞여있는 경우에는 보통 암석편들이 점이층리를 보이며, 부석이 섞이는 경우에는 부석들이 역점이층리를 이룬다.

② 기저와류 퇴적물

기저와류는 마그마가 지표면 부근 지하수에서 물을 공급받으면서 또는 마그마가 지표면의 물과 접촉하면서 분출한 뒤 형성된 흐름이다. 기저와류는 지표면을 매우 빠르게 이동하는 화산쇄설물과 물, 가스(수증기)의 혼합체이다. 기저와류 퇴적물의 특징으로는 층리면의 발달을 들 수 있는데 평면층리와 사층리를 보인다. 층의 두께나 입자의 크기는 근원지로부터 멀어질수록 감소하는 경향을 보이고, 최대 층후는 대개 1m 이내이다.

③ Lahar 퇴적물

Lahar, 즉 화산이류는 지표에서 분출된 화산의 사면에서 발달하는데, 미고화된 화산재 위로 폭우가 쏟아져 형성된 이류는 찬 Lahar(cold lahar)라 하고, 화구호 내에서 화산재가 분출하여 만든 이류는 더운 Lahar(hot lahar)라 한다. Lahar 퇴적물은 선상지에서 이류에 의해 생성되는 퇴적물과 유사한 구조의 퇴적

층을 형성하는데, 분급이 불량하며 기질에 의해 지지되는 조직을 보인다.

④ Hyalocastite

분출된 용암이 물과 만나서 급속히 냉각되면 잘게 부서진다. 용암류의 표면부가 냉각되면서 계속 이동하면 표피부근이 부서지면서 작은 입자로 떨어져 나오고, 보다 깊숙한 내부의 마그마가 차츰 냉각되며 쪼개지게 된다. 이러한 과정을 통해 생성된 화산쇄설성 퇴적물을 통칭하여 hyaloclastite, 혹은 수성기원(aquagene) 응회암이라고 부른다. 이런 종류의 응회암은 용암이 직접 물속에서 분출되거나, 용암이 지표면에서 분출되어 물속으로 흘러 들어갈 때 형성된다. 이때 생성된 암석이 다공질의 작은 용암 조각들로 구성된 hyaloclastite인데, 조각들 각각의 크기는 수 mm에서 수 cm 정도이다.



2.2 제주도에 분포하는 화산재의 특성

제주도에 분포되는 흙은 대부분 화산기원의 화산재 퇴적층이다. 화산재 퇴적층은 대·소규모 화산분출 시 생성된 화산재가 퇴적된 원지형일 수도 있으나, 1차적으로 퇴적된 화산재가 재 이동되어 퇴적되기도 하며, 화산재 또는 그 외의 화산분출물이 물리·화학적 풍화를 받고 이들에게서 유래된 입자가 퇴적된 부분도 있다. 하지만 본 연구에서는 화산재 퇴적층의 형성원리에 대해서는 구분하지 않았다.

제주도는 토사층 발달이 미약하며, 화산재층 또한 그 두께는 1~5m 정도의 두께로 대부분 얇게 형성되고 있다. 표층부에 이들 화산재 퇴적층이 분포되지 않고 암반이 노출되거나 곳자왈, 클링커 등의 파쇄암이 분포되는 부분이 많다. 흙이 두껍게 분포되는 지역에 대한 절취 단면에서 확인된 바에 의하면, 일부 위치에서는 상부는 세립질, 하부로 갈수록 조립질을 이루는 정점이 형태를 나타내기도 하나, 일반적인 퇴적암에 비해 분급이 불량한 상태로 나타나는 것이 대부분인 것으로 확인된다.

2.3 노상재료

2.3.1 도로의 구조

Fig. 2.1은 토공구간 도로각부의 명칭을 나타내며, 도로는 포장층, 기층, 보조기층, 동상방지층, 노상, 노체 등으로 Fig. 2.2와 같이 구성되어 있으며, 이러한 도로의 성토재료는 각 층의 기능에 따라 설계기준을 달리하고 있다.

노체는 노상 및 포장을 시공할 때 작용하는 교통하중을 지지해야 하므로 작고 가벼운 타이어 로울러로 전압할 수 있는 재료를 사용하고, 노상은 포장층을 통해 전달되는 교통하중을 지지하고 대형 시공기계가 진입할 수 있도록 균질하게 조성될 수 있는 재료를 사용하여야 한다.

노상은 보통 100cm 두께로 건설되며, 상부와 하부 노상으로 나누어진다. 상부 노상은 노상 마무리 면에서 40cm 깊이까지를 말하고, 그 이하를 하부 노상이라 한다.

동상방지층은 노상이 연약할 경우에 반복하중을 받은 노상토가 보조기층 내로 스며드는 것을 방지하고 지하수위가 침투하는 것을 방지하기 위해 조립토로 조성되는 차단층이다. 또한 동결의 우려가 있는 지방에서는 동결융해 작용으로 인한 포장층의 파손을 방지하고 모관수의 상승을 차단하는 역할도 한다.

보조기층은 표층이나 기층에 전달되는 하중을 더욱 분산시켜서 노상층에 전달하는 역할을 하도록 조성하는 층이므로 전달되는 하중에 저항할 수 있는 강도를 발휘할 수 있는 재료라야 한다.

기층은 표층에 가해지는 하중을 분산시켜 보조기층에 전달하며 교통하중으로 발생하는 전단력에 저항하는 역할을 하므로 지지력과 내구성이 큰 재료라야 한다.

포장층은 노출면으로서 고속도로는 강성 재료인 콘크리트 포장이 일반적이며, 일반국도와 지방도는 주로 연성 재료인 아스팔트 포장을 한다.

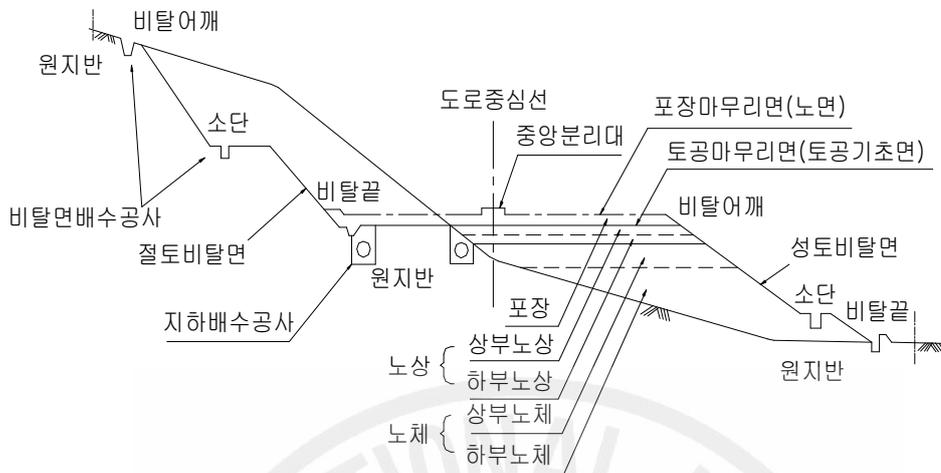


Fig. 2.1 Title of each parts for earth work

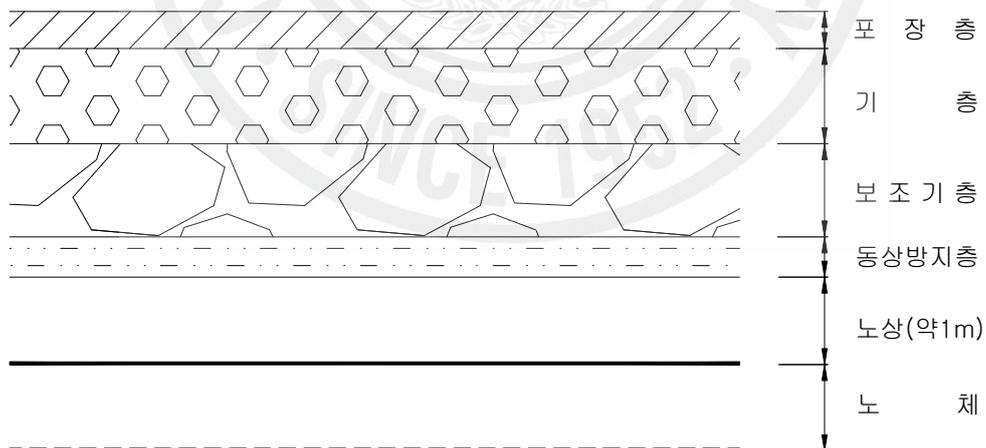


Fig. 2.2 Standard composition of banking section

2.3.2 도로 노상재료의 기준

도로를 구성하는 각 층은 구조체의 역할을 원활하게 수행할 수 있는 재료를 사용하여 구축되어야 한다. 일반적으로 적용되는 기준은 Table 2.1, 2.2와 같다. Table 2.1은 동상방지층과 보조기층 재료의 설계기준이고 Table 2.2는 노체와 노상재료의 설계기준이다.

재료의 역학적 특성을 나타내는 수정 CBR은 노체 2.5 이상, 하부노상은 5 이상, 상부노상은 10이상, 동상방지층은 10이상, 보조기층은 30이상을 기준으로 하고 있다. 토공의 품질관리에 사용되는 다짐도 기준은 노체와 하부노상은 90% 이상, 상부노상, 동상방지층 및 보조기층은 95% 이상이나, 다짐방법은 노체는 A,B이고 노체보다 상층 구조는 C, D, E 방법으로 다짐도를 구하도록 규정하고 있다.



Table 2.1 Design standards of non-susceptible base and subbase course
(Standard Specifications for Road Construction Works, 2003)

Items	Non-frost susceptible base	Subbase course
Working moisture content	Optimum moisture content $\pm 2\%$	Optimum moisture content $\pm 2\%$ (some dry side)
Liquid limit(%)	-	less than 25
Sand equivalent(%)	more than 20	less than 25
Abrasion loss(%)	-	less than 50
Plastic index(%)	less than 10	less than 6
modified CBR(%)	more than 10	more than 30
Compaction thickness(cm)	less than 20	less than 20
Degree of compaction(%)	more than 95	more than 95
Evenness	-	Asphalt : less than 2cm Concrete : less than 1cm
Maximum size(mm)	less than 100	-
Percent finer than No.200 size (%)	less than 15	-
Percent finer than No.4 size(%)	30~70	-
Finish (cm)	less than 15	less than 3
Bearing capacity factor	K_{30} is over 30 kgf/cm ³ (settlement = 0.25cm)	30 kgf/cm ³ (asphalt)
	K_{30} is over 20 kgf/cm ³ (settlement = 0.125cm)	20 kgf/cm ³ (asphalt)
Benkelman beam	-	less than 3mm

Table 2.2 Design standards of road bed and subgrade
(Standard Specifications for Road Construction Works, 2003)

Items	Road bed		Subgrade	
	Lower	Upper	Lower	Upper
Maximum size (mm)	rock : 600 soil : 300	less than 150	less than 150	less than 100
liquid limit (%)			cut : less than 30	cut: less than 30
plastic index (%)			less than 10	less than 10
percent finer than No.200 size(%)			less than 50	0~25
modified CBR(%)	more than 2.5		more than 5	more than 10
compaction thickness (cm)	rock : 60 soil : 30	less than 30	less than 20	less than 20
methods of compaction test	A,B	A,B	C,D,E	C,D,E
degree of compaction (%)	more than 90	more than 90	more than 90	more than 95
percent finer than No. 4 size (%)			less than 50	25~100

2.4 흙의 공학적 분류에 의한 노상재료

2.4.1 통일분류법(USCS)

통일 분류법은 Casagrande가 제안한 것으로 1969년에는 ASTM에 의하여 흙을 공학적 목적으로 분류하는 표준방법으로 채택되었다. 통일 분류법은 도로, 비행장 또는 흙 댐의 건설과 같이 주어진 공학적 목적에 따라 흙의 종류, 성질, 용도를 판단할 수 있다. 통일 분류법은 0.074mm체를 기준으로 통과율이 50%이하이면 조립토이고, 통과율이 50%이상이면 세립토로 구분한다. 또한, 조립토는 4.76mm체 통과율이 50%이하이면 자갈 또는 자갈질 흙으로 분류하고 기호 G를 붙인다. 4.76mm체 통과율이 50%이상이면 모래 또는 모래질 흙으로 분류하고 기호 S를 붙인다.

통일 분류법에 사용된 기호의 설명은 Table 2.3과 같다. Table 2.4는 통일 분류법이며, Table 2.5는 도로, 활주로 용도로 사용할 때 흙의 분류를 나타낸 것이다. 세립토의 분류는 Table 2.4의 소성도를 이용한다. 이 소성도에서 액성한계와 소성지수가 A선 아래에 있으면 실트 또는 유기질토 그 선 위에 있다면 점토임을 알 수 있다. 또한 액성한계가 높고 낮은 것은 액성한계 50%를 기준으로 구분한다.

예를 들면, 액성한계와 소성지수가 A선 위에 있으며 소성지수가 4 이하이면 ML, 7이상이면 CL로 구분되고 그 사이의 빗금 친 구역 안에 들어가면 이중기호(CL-ML)로 분류된다. 그리고, U선 바깥쪽은 점이 찍힐 수 없으므로, 만일 그렇다면 토질시험의 결과를 재검토한다.

도로의 성토재로 사용할 흙을 선정하기 위해서는 흙의 물리·역학적 특성을 알아야 한다. 일반적으로 통일 분류법(USCS, unified soil classification system)을 이용하여 적정 재료를 선정하고 있다.

Table 2.3 Explanation of classification symbol

구분	제 1 문자		제 2 문자	
	기호	설 명	기호	설 명
조립토	G	자갈	W	양호한 입도의
	S	모래	P	불량한 입도의
			M	실트를 함유한
			C	점토를 함유한
세립토	M	실트	L	소성 또는 압축성이 낮은
	C	점토	H	소성 또는 압축성이 높은
	O	유기질토		
고유기질토	pt	이탄	-	

Table 2.4 Classification method of soil with USCS (KS F 2324)

구 분		분류 기호	대 표 명	분 류 방 법			
조립토 (0.074 mm체 통과율 50%이하)	자갈 (4.76 mm체 통과율 50% 이하)	깨끗한 자갈	GW	입도분포 양호한 자갈, 자갈 모래 혼합토	입도곡선으로 모래와 자갈의 비율을 결정	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1 \sim 3$ GW 분류기준에 맞지 않는 경우	
			GP	입도분포 불량한 자갈, 자갈 모래 혼합토			
	세립분 을 함유한 자갈	함유한 자갈	GM	실트질 자갈, 자갈 모래 실트 혼합토	세립분(0.074mm 이하)의 백분율에 따라 다음과 같이 분류	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1 \sim 3$	소성도에서 A선 아래 또는 PI < 4 소성도에서 사선 부분은 이중기호로 분류
			GC	점토질 자갈, 자갈 모래 점토 혼합토		5% 이하 : GW, GP, SW, SP 5% ~ 12% : 경계선에서 이중기호 사용 12% 이상 : GM, GC, SM, SC	소성도에서 A선 위 또는 PI > 7 SW 분류기준에 맞지 않는 경우
	모래 (4.76 mm체 통과율 50% 이상)	깨끗한 모래	SW	입도분포 양호한 모래, 자갈섞인 모래	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1 \sim 3$	소성도에서 A선 아래 또는 PI < 4 소성도에서 A선 위 또는 PI > 7	소성도에서 사선 부분은 이중기호로 분류
			SP	입도분포 불량한모래, 자갈섞인 모래			
세립분 을 함유한 모래		SM	실트질 모래, 실트섞인 모래	SM 분류기준에 맞지 않는 경우	소성도에서 사선 부분은 이중기호로 분류		
SC	점토질 모래, 점토섞인 모래	SC 분류기준에 맞지 않는 경우					
세립토 (0.074 mm체 통과율 50%이상)	실트 및 점토 액성한계 < 50%	ML	무기질 점토, 극세사, 암분, 실트 및 점토질 세사		소성도	주) C_u : 균등계수 , C_c : 곡률계수 , PI : 소성지수(%)	
		CL	저-중소성의 무기질 점토, 자갈 섞인 점토, 모래섞인 점토, 실트섞인 점토, 점성이 낮은 점토				
		OL	저소성 유기질 점토, 유기질 실트 점토				
	실트 및 점토 액성한계 > 50%	MH	무기질 실트, 운모질 또는 규조질 세사 또는 실트, 탄성있는 실트				
		CH	고소성 무기질 점토, 점질많은 점토				
		OH	중 또는 고소성 유기질 점토				
유 기 질 토	pt	이탄토 등 기타 고유기질토					

Table 2.5 Classification of soil with USCS(The use of road and runway)
(Highway Design Manual, 2000)

분류 기호 (1)	동결작용 을 받지 않는 포장기초 (2)	역청 포장의 노반 (3)	동결작용 의 가능성 (4)	압축성 및 팽창성 (5)	배수성 (6)	다짐기계 (7)	건조 밀도 (8)	현장 CBR (9)	지반계수 K(kg/cm ²) (10)	
GW	우	양	무~ 아주약간	거의 무	우	크롤러트랙터 고무타이어 진동롤러	2.00 ~ 2.24	60 ~ 80	>8.3	
GP	양~우	불가~ 가	무~ 아주약간	거의 무	우	크롤러트랙터 고무타이어 진동롤러	1.76 ~ 2.08	25 ~ 60	>8.3	
GM	d	양~우	가~양	약간~ 보통	아주 약간	가~불가	고무타이어 쉬프트롤러 엄밀한 함수량관리	2.08 ~ 2.32	40 ~ 80	>8.3
	u	양	불가	약간~ 보통	약간	불가~ 불투수성	고무타이어 쉬프트롤러	1.92 ~ 2.24	20 ~ 40	5.5 ~ 8.3
GC	양	불가	약간~ 보통	약간	불가~ 불투수성	고무타이어 쉬프트롤러	1.92 ~ 2.24	20 ~ 40	5.5 ~ 8.3	
SW	양	불가	무~ 아주약간	거의 무	우	크롤러트랙터 고무타이어	1.76 ~ 2.08	20 ~ 40	5.5 ~ 8.3	
SP	가~양	불가~ 부적	무~ 아주약간	거의 무	우	크롤러트랙터 고무타이어	1.60 ~ 1.92	10 ~ 25	5.5 ~ 8.3	
SM	d	양	불가	약간~ 대	아주 약간	가~불가	고무타이어 쉬프트롤러 엄격한 함수량관리	1.92 ~ 2.16	20 ~ 40	5.5 ~ 8.3
	u	가~양	부적	약간~ 대	약간~ 보통	불가~ 불투수성	고무타이어 쉬프트롤러	1.68 ~ 2.08	10 ~ 20	5.5 ~ 8.3
SC	가~양	부적	약간~ 대	약간~ 보통	불가~ 불투수성	고무타이어 쉬프트롤러	1.68 ~ 2.08	10 ~ 20	5.5 ~ 8.3	
ML	가~불가	부적	보통~ 극대	약간~ 보통	가~불가	고무타이어 쉬프트롤러 엄밀한 함수량관리	1.60 ~ 2.00	5 ~ 1 5	2.8 ~ 5.5	
CL	가~불가	부적	보통~ 대	보통	불가~ 불투수성	고무타이어 쉬프트롤러	1.60 ~ 2.00	5 ~ 1 5	2.8 ~ 5.5	
OL	불가	부적	보통~ 대	보통~ 대	불가	고무타이어 쉬프트롤러	1.44 ~ 1.68	4 ~ 8	2.8 ~ 5.5	
MH	불가	부적	보통~ 극대	대	가~불가	쉬프트롤러	1.28 ~ 1.60	4 ~ 8	2.8 ~ 5.5	
CH	불가~ 극히불가	부적	보통	대	불투수성	쉬프트롤러	1.44 ~ 1.76	3 ~ 5	1.4 ~ 2.8	
OH	불가~ 극히불가	부적	보통	대	불투수성	쉬프트롤러	1.28 ~ 1.68	3 ~ 5	1.4 ~ 2.8	
pt	부적	부적	약간	극대	가~불가	다짐은 비실용적	-	-	-	

(주) 1. (1)의 d 및 u는 아더버그한계에 따른 세분류이며, d는 $w_L \leq 28$ 및 $I_p \leq 6$ 이고, u는 $w_L > 28$ 인 경우임.
 2. (3)에서 "우"에 해당하는 것은 양질의 최석 다짐의 노반임.
 3. (7)은 함수조건과 다짐두께를 적당히 선정하여 해당 기종으로 적당한 회수를 다지면 소요의 밀도를 얻을 수 있음. 경우에 따라 수종의 다짐기계를 나타낸 것은 이에 속하는 여러 가지 흙의 성질이 각기 다른 기종에 적합하기 때문이며, 두 가지의 기종을 조합하는 경우도 있음.
 가. 선정된 노반재료 및 기타의 모난 재료, 세립분 또는 선별된 견고하고 모난 재료에 대하여는 진동롤러가 적합하며, 품질이 저하하기 쉬운 연약한 재료에 대하여는 고무타이어기계가 적합함.
 나. 나무리 작업 대부분의 흙과 선별재료에 대한 나무리 성형작업에 대하여는 고무타이어롤러가 적합함.
 다. 기계의 용량 비행장 공사에 요구되는 높은 밀도를 확보하기 위해 다음과 같은 용량의 기계가 필요함.
 트롤러트랙터 : 15t이상의 전용량, 고무타이어기계 : 율하중 7.5t이상, 재료에 따라 20t의 율하중의 소요될 때도 있음.(집지압은 약 4.5 ~ 10.5kg/cm²).쉬프트롤러 : 일반적으로 단위압은 17.5kg/cm²(40 ~ 80cm²의 발톱에 대하여) 정도이지만, 재료에 따라 소요의 밀도를 얻기 위하여 45kg/cm²의 단위압이 소요될 때도 있음. 발톱의 면적은 드림의 주변면적(발톱의 면적을 포함함)의 5%이상 되어야 함.
 4. (8)은 최적함수량으로 AASHTO의 표준다짐법에 의하여 다진 값임

Table 2.6 Standards of filling materials (Yang, 2005)

USCS	Typical names	General rating as subgrade
GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	Excellent
GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixture little or no fines	Good
GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Good
GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	Good-Fair
SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines	Excellent
SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines	Good
SM	Silty sands, sand-silt mixture	Good
SC	Clayey sands, sand-clay mixture	Good-Fair
ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands, or clayey silts with slight plasticity	Fair
CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays	Fair
OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity	Poor
MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sands of silty soils, elastic silts	Fair-Poor
CH	Inorganic clays of medium to high plasticity organic silts	Poor
OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts	Poor
P _t	Peat and other highly organic soils	-

통일 분류법은 흙의 입경과 consistency를 이용하여 유사한 공학적 특성이 유사한 흙에 동일 기호를 부여하는 분류법으로 분류 기호만으로 그 흙의 개략적인 성질을 알 수 있어 재료 선정에 널리 이용되고 있다. Table 2.6은 통일 분류법으로 분류된 흙의 도로노상 재료로서의 사용 가능성을 나타낸 것이다.

일반적으로 알려져 있는 것과 같이 Table 2.6은 입도 배합이 좋은 조립토 (GW, SW)가 노상토의 최적 재료이고, 입도 배합이 나쁘거나 약간 함유한 조립토는 양호하고, 세립토는 보통으로 평가되고 있다. 그러나 유기질 흙이나 압축성이 높은 흙은 사용하지 않는 것이 좋다.



2.4.2 AASHTO 분류법

AASHTO 분류법은 미국의 연방도로국에서 1929년에 발표되었으나, 그 후 여러 번 수정을 하여 현재 이것을 AASHTO 분류법으로 불리워지고 있다. 이 분류법은 입도분석, 아터버그 한계 및 균지수를 기초로 한다.

AASHTO 분류법에서 사용되는 균지수(GI)는 다음과 같다.

$$GI=0.2a+0.005ac+0.01bd \quad (1)$$

- 여기서, a : 0.074mm체 통과중량백분율에서
35%를 뺀 값(0~40의 정수만 취급)
b : 0.074mm체 통과중량백분율에서
15%를 뺀 값(0~40의 정수만 취급)
c : 액성한계에서 40%를 뺀 값
(0~20의 정수만 취급)
d : 소성지수에서 10%를 뺀 값
(0~40의 정수만 취급)

AASHTO 분류법은 0.074mm체 통과율을 구하여 그 값이 35%이하이면 입상토(*granular materials*), 35%이상이면 실트-점토(*silt-clay materials*)로 분류한다. 그리고 균지수를 이용하여 Table 2.7에서 소성지수, 액성한계, 0.074mm체, 0.42mm체의 통과율과 대조하면서 어느 분류기호에 해당하는가를 판별한다.

A-1에서 A-7까지 흙을 분류하는데 분류기호는 입경과 아터버그 한계에 의존하여 더 세분되어 있다. Fig. 2.3은 실트~점토인 A-4로부터 A-7까지 액성한계와 소성지수를 기초로 하여 분류할 수 있는 도표이며 통일 분류법을 위한 소성도의 U선과 A선을 함께 표시하였다.

Table 2.7 Classification method of soil with AASHTO
(Highway Design Manual, 2000)

일반적인 분류		입상토 (0.074mm체 통과율 35%이하)							실트-점토 (0.074mm체 통과율 35%이상)			
분류 기호		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 -5 A-7 -6
		A-1 -a	A-1 -b		A-2 -4	A-2 -5	A-2 -6	A-2 -7				
체 통과분 (%)	0.2mm체	50 이하										
	0.42mm체	30 이하	50 이하	51 이상								
	0.74mm체	15 이하	25 이하	10 이하	35 이하	35 이하	35 이하	35 이하	36 이상	36 이상	36 이상	36 이상
0.42mm체 통과분의 성질	액성한계	6 이하		N.P	40 이하	41 이상	40 이하	41 이상	40 이하	41 이상	40 이하	41 이상
	소성지수				10 이하	10 이하	11 이상	11 이상	10 이하	10 이하	16 이하	11 이상
균지수		0		0	0		4 이하		8 이하	12 이하	16 이하	20 이하
주요구성재료		석편자갈 모래		세사	실트질 또는 점토질 자갈 모래				실트질 흙		점토질 흙	
노상토로서의 일반적 등급		매우 우수 ~ 우수					양호		가능		불가	

- (주) ① A-7-5군의 소성지수는 액성한계에서 30을 뺀 값과 같거나 그보다 작아야 한다.
 ② A-7-6군은 이보다 커야 한다.
 ③ N.P 는 비소성(Non Plastic)을 의미함.

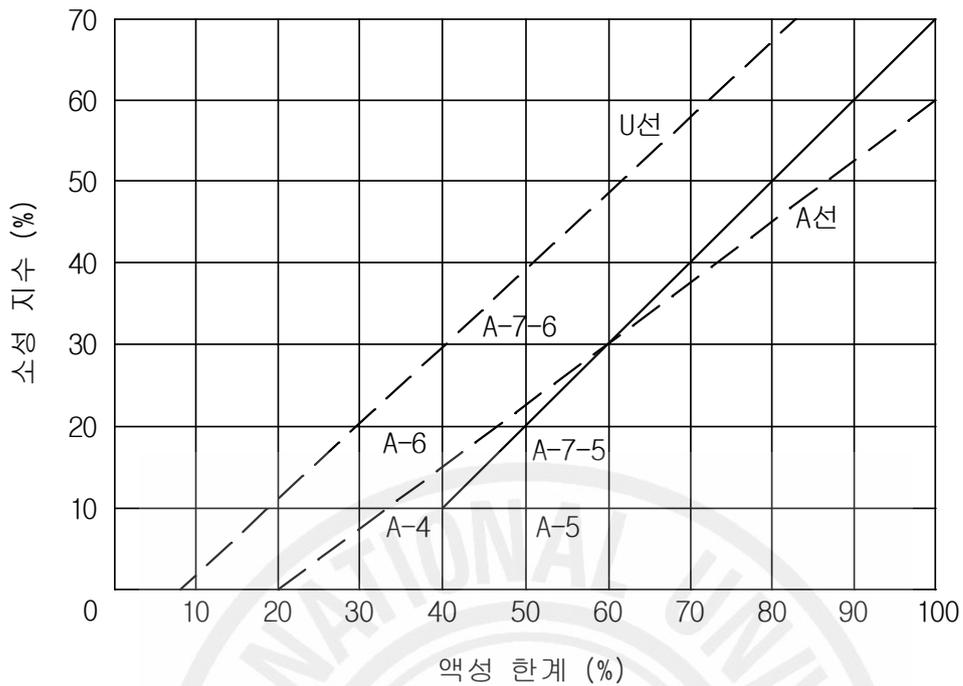


Fig. 2.3 Classification graph of silt-clay with AASHTO
(Highway Design Manual, 2000)

AASHTO 분류법에서는 그 성질을 A-1에서 A-7까지로 분류한다. 이중 A-1, A-2, A-3을 조립토로 분류하고, A-4, A-5, A-6, A-7을 세립토로 분류한다. 세립토는 양호하지는 않으나 A-4와 A-5는 노상토로 사용 가능하다.

토공, 필댐 등 흙 구조물의 시공에 있어서 다짐작업은 중요한 과정이며 다짐의 정도가 흙 구조물 축조 후까지 영향을 끼치므로 사용하는 흙과 전압장비의 선택을 적절히 해야 한다.

Ⅲ. 시험방법

3.1 시료채취

본 연구에서는 제주도 전역 39개 지역 167개 지점의 시료를 대상으로 하였으며 대상지역을 Table 3.1에서와 같이 지역에 지역번호를 부여하고 Fig. 3.1에 도시하였다.

Table 3.1 Test location

지역번호	시험지역	지역번호	시험지역
1	구좌	21	애월읍 하귀 1리
2	서성로	22	서귀포 색달동
3	아라지구	23	한림읍 금악리(A)
4	토평	24	조천읍 와흘리
5	묘산봉	25	조천읍 대흘리 봉개동
6	남원	26	봉개동
7	표선	27	애월~광령
8	비자림	28	교래
9	하귀	29	대정읍 보성리
10	예래	30	봉성
11	삼화지구	31	성읍
12	도남	32	용수
13	제대위 영평	33	중문
14	세화	34	충혼각
15	수망리	35	탐라(법전사)
16	구좌읍	36	토산
17	한림읍 월림리	37	안덕 서광(A)
18	표선 성읍리	38	안덕 서광(B)
19	애월읍 어음리	39	한림읍 금악리(B)
20	남원 위미		



Fig. 3.1 Test location

3.2 기본 물성시험

현장에서 채취된 교란시료에 대하여 다음과 같은 물리적 특성시험을 KS F 규정에 의거하여 수행하였다.

3.2.1 액성한계시험

액성한계는 세립토의 판별분류 및 공학적 성질을 판단하는 데에 이용된다.

액성한계는 흙의 유동성을 나타내는 최소의 함수비로 본 시험은 KS F2303에 의거하였으며, 시료를 담은 접시를 1cm 높이에서 1초간 2회의 비율로 25회 떨어뜨렸을 때, 양분된 부분의 흙의 흠 양측으로부터 흘러내려 약 1.5cm의 길이로 합쳐졌을 때의 함수비를 말한다. 시료는 자연함수비의 약 40%정도로 공기 건조한 No. 40체 통과시료 약 100g을 증류수와 잘 혼합하며 낙하횟수 10~25회 범위 내에서 2개, 25~50회 범위 내에서 2개 등 최소한 4개의 시료에 대해서 함수비를 조절해가면서 시험을 수행한다.

3.2.2 소성한계시험

소성한계는 흙의 소성상태와 반고체 상태의 경계를 나타내는 함수비로 본 시험은 KS F 2304에 의거해서 실시하였다. 흙덩어리를 손으로 밀어 직경3mm의 국수 모양으로 만들어 부슬부슬해질 때의 함수비를 소성한계라고 한다. 소성지수 $PI=LL-PL$ 로 나타내며 소성한계를 구할 수 없는 경우, 소성 한계가 액성 한계와 동일하거나 액성 한계보다 큰 경우 비소성(N.P)상태라고 한다. 일반적으로 자연 함수비가 소성한계보다 작거나 같을 때 그 흙은 비교적 안정한 상태로 예상할 수 있다. 소성한계의 시험결과는 노반재료의 적부판정에 주요한 요소이며, 소성 지수가 크면 클수록 흡수에 의한 강도가 저하되며 팽창, 침하 등이 커진다.

3.2.3 입도분석시험

입도 시험은 토질시험의 기본이 되는 것으로 KS F 2302에 의거해서 흙의 입도를 결정하는 방법으로서 입자간의 입도분포를 각 크기의 집단으로 분류하고, 건조중량에 의해서 각 입자크기의 상대적인 비율을 결정하며, 입도분포곡선에서 누가 통과율을 구하여 입도분포의 좋고 나쁨을 판단하고 자갈, 모래, 실트, 점토의 구성 비율을 결정하여 공학적 재료의 분류를 한다.

Table 3.2 Classification by grain sizes

기관명	직 경 (mm)			
	자갈	모래	실트	점토
AASHTO	76.2 ~ 2	2 ~ 0.075	0.075 ~ 0.002	< 0.002
USCS	76.2 ~ 4.75	4.75 ~ 0.075	< 0.075	
KS F2320-64	76.2~ 2.01	2 ~ 0.075	0.075 ~ 0.005	< 0.005

흙은 입도에 따라 크게 조립토와 세립토로 나눈다. 조립토는 표력, 자갈 및 모래로 이루어진 흙을 말하며 일반적으로 점착력이 없는 비점토성이고, 세립토는 실트 및 점토로 이루어진 흙을 말하며 일반적으로 점착력이 커서 점성토라 불린다. 흙을 구성하는 흙입자 크기에 범위는 광범위하다. 일반적으로 흙은 흙속에 주축을 이루는 입자의 크기에 따라 자갈, 모래 또는 점토로 불린다. 입자의 크기에 따라 흙을 구분하기 위하여 여러 기관들이 입도 분류법을 개발하였으나, Table 3.2에 일반적으로 사용되는 미국도로협회(AASHTO), 통일 분류법(USCS) 및 한국산업규격(KS)를 제시하였다.

3.3 역학적 특성

기본물성 시험과 마찬가지로 현장에서 채취한 교란 시료로 다짐시험은 KS F 2320, 2321과 CBR 시험은 KS F 1991, 2313을 이용하여 시험을 실시하였다.

3.3.1 다짐시험

흙의 실내 다짐시험 방법은 한국산업규격(KS F 2313, 1991)에 규정되어 있으며, 이 시험은 램머로 흙을 규정된 몰드 속에 넣어 다졌을 때 다져진 흙의 함수비(w)와 건조밀도(Γ_d)의 관계로부터 최대건조밀도(Γ_{dmax})와 최적함수비를 구하는 것을 목적으로 한다. Fig. 3.2는 건조밀도와 함수비의 관계를 나타낸 점성토의 대표적인 다짐곡선이고, 건조밀도의 산정은 식 (2)에 나타내었다.

$$\Gamma_d = \frac{\Gamma_t}{1 + \frac{w}{100}} = \frac{\Gamma_t}{\frac{1}{G_s} + \frac{w}{S_r}} = \frac{\Gamma_t(100 - V_a)}{\frac{100}{G_s} + w} \quad (2)$$

여기서, Γ_t : 흙의 습윤밀도(gf/cm³), Γ_d : 흙의 건조밀도(gf/cm³),
 Γ_w : 물의 단위중량(gf/cm³), w : 흙의 함수비(%),
 G_s : 비중, S_r : 포화도(%), V_a : 공기간극률(%)이다.

$$\Gamma_d = \frac{G_s \cdot \Gamma_w}{1 + e} = \frac{\Gamma_w}{\frac{1}{G_s} + \frac{w}{100}} \quad (3)$$

주어진 함수비에 대한 이론적인 최대건조밀도(Γ_{dmax})는 영공기간극(zeroair void)인 상태 즉, 포화도가 100%일 때이며 영공기간극 상태에서 주어진 함수비에 대한 최대건조밀도(Γ_{dzav})는 식 (3)과 같다.

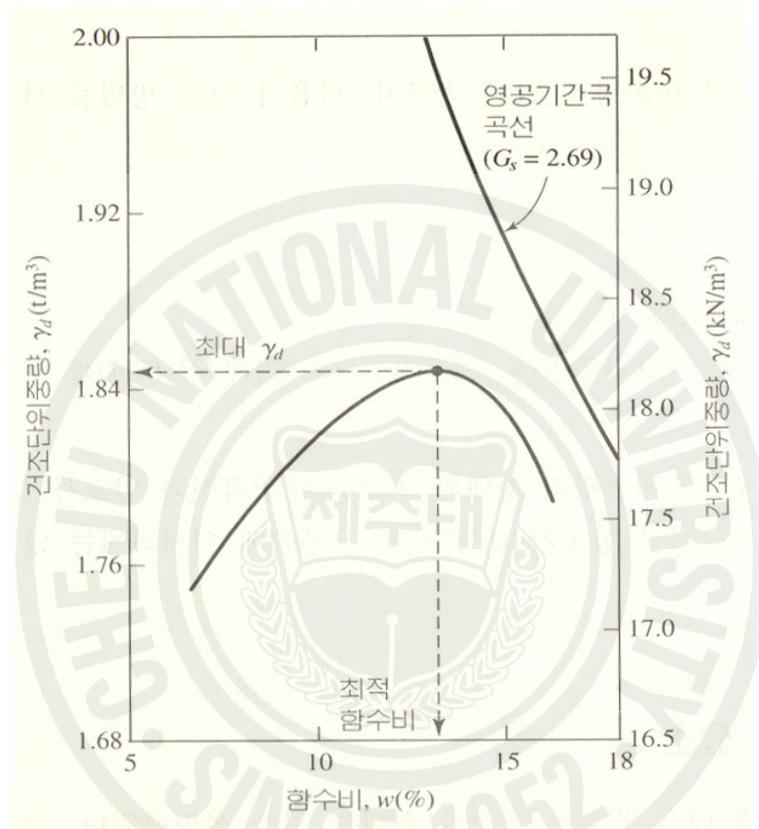


Fig. 3.2 Compaction–density curve of cohesive soil

어떠한 조건에서도 다짐곡선이 영공기간극 곡선의 오른쪽으로는 위치하지 않으며, 또한 다짐시험에 영향을 주는 중요한 요인 중의 하나는 식 (4)에 나타내는 다짐에너지(E_c)이다.

$$E_c = \frac{W_R \cdot H \cdot N_B \cdot N_L}{V} \quad (4)$$

여기서, E_c : 다짐에너지(kgf·cm/cm³), W_R : 램머 중량(kgf),
 H : 램머낙하고(cm), N_B : 각 층당 다짐회수,
 N_L : 다짐층수, V : Mold의 체적(cm³)이다.

다짐방법의 종류는 Table 3.3과 같이 5종류가 있다. 여기서 A와 B방법은 표준다짐이고, C, D 및 E 방법은 수정다짐이다. 본 연구에서는 표준다짐인 D방법을 수행하였다.

Table 3.3 The sort of laboratory compaction method with KS F 2312

구 분	A	B	C	D	E
래 머 무 게 (kg)	2.5	2.5	4.5	4.5	4.5
낙 하 높 이 (cm)	30	30	45	45	45
매 층 타 격 회 수 (회)	25	55	25	55	92
층 수 (층)	3	3	5	5	3
몰 드 치 수 (cm)	100	150	100	150	150
허 용 최 대 입 경 (mm)	19	37.5	19	19	37.5

3.3.2 노상토 지지력시험(CBR Test)

1) 개 요

노상토 지지력 시험(CBR 시험)은 도로나 활주로의 포장두께를 결정하기 위하여 포장을 지지하는 노상토의 강도, 압축성, 팽창성, 수축성 등을 결정하는 시험으로 미국 California 도로국에서 개발하여 전 세계적으로 널리 쓰이는 시험법이며 우리나라에서도 KS F 2320(실내 CBR 시험)과 KS F 2321(현장 CBR 시험)에 규정되어 있다.

2) 시험방법

CBR 시험에서는 직경 5 mm 인 관입피스톤을 일정한 속도 1.25mm/min 로 현장지반이나(현장시험) 직경 150mm 인 CBR 몰드에(실내시험) 총 12.5 mm를 관입시키면서 관입피스톤이 0.625mm (또는 0.5mm) 관입될 때마다 하중과 관입피스톤에 걸리는 힘을 측정하고 표준하중과 비교하여 지반의 지지력을 판정한다. 관입피스톤의 주변지반은 납으로 된 재하링을 써서 차후 도로포장부에 작용할 하중에 해당하는 크기만큼 쌓아서 재하한다. CBR 값은 관입량 2.5mm 나 5.0mm 에 대한 시험 단위 하중의 표준 단위 하중에 대한 백분율인 지지력비로 정의한다. 즉, CBR 치는 관입피스톤에 걸리는 시험단위하중의 표준단위하중에 대한 백분율이며, 대개 표준단위하중으로 2.5mm 관입에 대한 표준 단위 하중($p_I = 7.0\text{kgf/mm}$)이나 5.0mm 관입에 대한 표준 단위 하중($p_{II} = 10.55\text{kgf/mm}$)을 적용한다. 보통 5mm 관입에 대한 지지력비가 더 크면 시험을 다시 하고 그래도 같은 결과가 나오면 5mm 에 대한 값을 택한다. 표준 단위 하중은 표준쇄석에 대해 실험한 값으로 여러 가지 관입량에 대한 표준단위 하중은 Table 3.4와 같다.

Table 3.4 The standard unit load

관입량(mm)	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5
단위하중(kgf/cm ²)	70	105	134	162	183
전하중(kgf)	1370	2030	2630	3180	3600

CBR 값은 도로나 비행장과 같은 가요성 포장의 설계나 지반의 지지력을 판정하는 데에 이용된다. 이것은 포장 아래에 있는 기층이나 보조기층 또는 노상재료의 강도, 압축성, 팽창성 및 포화로 인한 강도손실 등과 같은 특성을 표시하는 반경험적 수치이므로 예상되는 차륜하중과 관련시켜서 각 재료의 두께를 결정하는 자료가 된다. 또 도로교 표준시방서에서는 기층이나 보조기층에 대한 CBR의 최소값을 규정하고 있으며, 재료에 따라 그 값을 얻을 수 있는 대략적인 범위가 있다.

3) 결과의 정리 및 이용

① 팽창비의 결정

$$\Gamma_e = \frac{\text{최종변위} [mm] - \text{최초변위} [mm]}{\text{공시체 초기 높이}} \times 100 \quad (5)$$

② 습윤단위중량 Γ_t

$$\Gamma_t = \frac{W_{mv}}{V_m} (gf/cm^3) \quad (6)$$

③ 건조단위중량 Γ_d

$$\Gamma_d = \frac{100\Gamma_t}{100 + \Gamma_e} \text{ (gf/cm}^3\text{)} \quad (7)$$

④ 함수비

$$w = \left(\frac{\Gamma_d}{\Gamma_t} - 1 \right) (\%) \quad (8)$$

⑤ CBR값 결정

보정관입곡선에서 2.5mm 와 5.0mm 관입량에 대한 각각의 하중강도를 구하여 다음과 같이 $CBR_{2.5}$ 와 $CBR_{5.0}$ 을 구한다.

$$CBR_{2.5} = \frac{\text{시험하중강도}}{\text{표준하중강도}} \times 100 \quad (9)$$

$$CBR_{5.0} = \frac{\text{시험하중강도}}{\text{표준하중강도}} \times 100 \quad (10)$$

- $CBR_{2.5} > CBR_{5.0}$ 이면 $CBR_{2.5}$ 를 값으로 한다.
- $CBR_{2.5} < CBR_{5.0}$ 이면 재시험한다. 재시험하여도 결과가 같으면 $CBR_{5.0}$ 을 CBR값으로 한다.
- 두께 H인 노상이 여러개의 수평층으로 구성된 경우에는 각 층에 대한 CBR값의 평균치를 구하여 대표 CBR값으로 한다.

가. 임의의 n개 지층의 평균 CBRm은 다음과 같다.

$$CBR_m = \left(\sum_{i=1}^n h_i CBR_i \right) \frac{1}{H} (\%) \quad (11)$$

여기서, h_i : i번째층의 두께 (m)
 CBR_i : i번째층의 값

나. 노상이 위치에 따라 다른 토질로 된 경우

$$\text{설계 } CBR = \text{각 점의 } CBR \text{ 평균} - \frac{CBR_{\text{최대값}} - CBR_{\text{최소값}}}{d_2} (\%) \quad (12)$$

여기서, d2는 이질토층의 개수에 따라 Table 3.5와 같이 결정된다.

Table 3.5 d2 value by the number of different soils

갯수	2	3	4	5	6	7	8	9	10이상
d_2	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18

⑥ 설계 CBR

포장의 두께와 구성을 결정할 경우에 사용하는 노상토의 CBR을 설계 CBR이라 하고, 설계 CBR을 결정하기 위한 공시체의 제작조건은 일본 아스팔트 포장요강에는 최대입경 40 mm의 시료를 자연함수비에서 15 cm 몰드, 4.5 kgf 래머로 3층 67회 다지도록 정해져 있다.

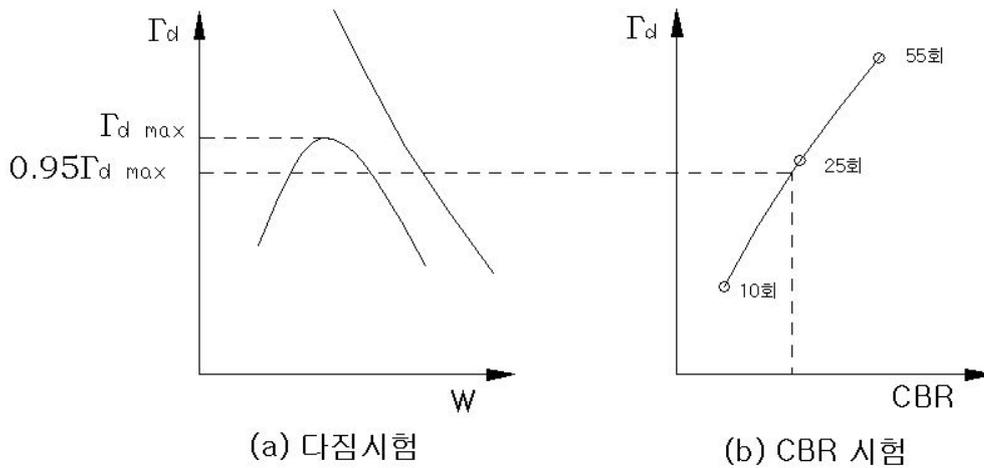


Fig. 3.3 Compaction-CBR relation curve

⑦ 수정 CBR

현장에서 기대할 수 있는 노반재료의 강도를 나타내는 CBR을 수정 CBR이라 하며 최대입경 38.1 mm인 경우는 3층 92회의 다짐으로 얻어지는 최대 건조밀도에 소요의 다짐도를 곱한 건조밀도에 대응하는 3일 수침후의 CBR값이다. 최적함수비에서 3층 92회, 42회, 17회의 다짐에 의한 공시체를 제작하고, 이들의 건조밀도와 3일 수침후의 CBR을 측정하여 구하며, 최대입경 19 mm인 경우는 5층 55회, 25회, 10회 다짐하여 Fig. 3.3과 같이 수정 CBR을 구한다.

IV. 결과 및 고찰

4.1 흙의 공학적 분류

입자크기에 의한 흙 분류법은 소성을 고려하고 있지 않기 때문에 여러 가지 매우 중요한 흙의 성질을 전적으로 설명할 수 없다. 따라서, 이 방법은 대부분의 공학적 목적으로 사용되기에는 부적합하다. 현재 더 진보된 두 가지의 흙 분류법이 토질 공학자들에 의해 빈번히 사용되고 있다. 두 가지 방법 모두 입도분포와 아터버그 한계(Atterberg limit)를 고려하였다. 이들 방법은 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)분류법과 통일 분류법(USCS, Unified Soil Classification System)이다. 세계 도처에서는 통일 분류법이 널리 사용되고 있는데, AASHTO 분류법은 주정부 도로국에서 사용되며, 일반적으로 지반공학자들은 통일 분류법을 선호한다(Braja M. Das, 1998). AASHTO 분류법은 1929년에 미국 공립 도로국 분류법(Public Road Administration Classification System)으로 개발되었다. 이 분류법은 여러 차례 수정을 거쳐 1945년 연방 도로 연구위원회의 노상토 및 기층 형태 도로용 재료 분류위원회에 의하여 현재의 분류법이 제시되었다(고영실, 2004).

흙이 대부분 도로공사 시의 포장 및 노상재료로 이용되고 있으며, 본 연구의 목적은 제주도에 분포하고 있는 흙이 노상재료에 적합하게 이용되기 위한 지표를 제시하는데 있음에 따라, USCS 분류법 및 AASHTO 분류법에 의한 분류 특성을 분석하였다.

4.1.1 통일분류법(USCS)

통일분류법에서는 No.200체 통과량 50%를 기준으로 하여 이상이면 조립토, 이하이면 세립토로 나뉘는데 세립토에 해당되는 흙은 소성도표에서 세분되어 지며 고소성과 저소성은 액성한계 50%를 기준으로 구분되어 진다. Table 4.1에서 보여지는 바와 같이 시험지역의 조립토는 36.5%이며 이 조립토 안에 자갈질이 7.2%로 낮은 비율을 차지하고 있으며 나머지는 모래질이 29.3%를 차지하고 있다. 그리고 점토·실트의 세립토가 63.5%로 반 이상을 차지하고 있으며 이중에 서도 ML, CL, MH가 53.3%로 대부분을 차지하고 있다.

Table 4.1 Classification of soil with USCS

분류기준	분류기호	개수(EA)	비율(%)
No.200 체 통과량 50%미만	GM	2	1.2
	GC	10	6.0
	SW	9	5.4
	SP	1	0.6
	SM	22	13.2
	SC	11	6.6
	SM-SC	2	1.2
	SW-SC	4	2.4
No.200 체 통과량 50%이상	ML	23	13.8
	CL	36	21.6
	MH	30	18.0
	CH	14	8.4
	OH	3	1.8
	합계	167	100

4.1.2 AASHTO 분류법

AASHTO 분류법에서는 그 성질을 크게 A-1에서 A-7까지로 분류한다. 이중 A-1, A-2, A-3을 조립토로 분류하고, A-4, A-5, A-6, A-7을 세립토로 분류한다. AASHTO 분류법은 No.200체 통과율을 구하여 그 값이 35%이하이면 입상토(granular materials), 35%이상이면 실트-점토(silt-clay materials)로 분류한다. 그리고 균지수(GI)를 이용하여 소성지수, 액성한계, No.200체, No.40체의 통과율과 대조하면서 어느 분류기호에 해당하는가를 판별한다.

Table 4.2에서 보여지는 바와 같이 시험지역의 조립토는 29.3%이며 A-2-4와 A-2-7이 대부분을 차지하고 있으며, 세립토는 70.7%로 A-7인 점토질 흙에 집중되어 있다.

Table 4.2 Classification of soil with AASHTO

분류기준	분류그룹	개수(EA)	비율(%)
No.200 체 통과량 35%이하	A-1-a	1	0.6
	A-1-b	1	0.6
	A-3	0	0.0
	A-2-4	13	7.8
	A-2-5	5	3.0
	A-2-6	4	2.4
	A-2-7	25	15.0
No.200 체 통과량 35%이상	A-4	6	3.6
	A-5	14	8.4
	A-6	9	5.4
	A-7-5	32	19.2
	A-7-6	57	34.1
	합계	167	100.0

4.2 흙의 공학적 분류에 의한 노상재료등급

4.2.1 통일분류법(USCS)

통일 분류법에서는 분류 기호에 따라 노상토 등급을 Excellent, Good, Good-Fair, Fair, Fair-Poor, Poor로 6단계로 구분을 하는데 시험지역의 시료를 Table 4.3과 같이 각각의 등급별로 구분하였다.

Excellent, Good, Good-Fair, Fair의 등급을 노상재료로서 사용가능한 등급으로 볼 때 전체 시험시료의 69.2%가 노상재료로서 사용가능하고 Fig. 4.1과 Table 4.3에서 보면 각 등급별로 Excellent는 5.4%로 소성지수가 대부분 10% 이하이며, Good은 15.0%로 액성한계 $50 \pm 20\%$ 사이에 분포하며, Good-Fair는 12.6%이며 소성지수 30이하 그리고 액성한계는 30~50% 사이에 분포한다. 이중 하위등급인 Fair 등급이 전체의 35.3%를 차지하고 있으나 ML(저소성실트), CL(저소성점토)이 전체를 차지하고 있어 노상재료의 사용 시 주의하여야 한다.

사용 불가능한 시료는 31.8%이며 각 등급별로 Fair-Poor는 21.6%이며 MH(고소성실트)이고, Poor는 10.2%로 CH(고소성점토), OH로 분류 되어있다.

Table 4.3 Subgrade soil grade with USCS

	Excellent	Good	Good-Fair	Fair	Fair-Poor	Poor
GM		2				
GC			10			
SW	9					
SP		1				
SM		22				
SC			11			
SM-SC					2	
SW-SC					4	
ML				23		
CL				36		
MH					30	
CH						14
OH						3
합 계	9	25	21	59	36	17

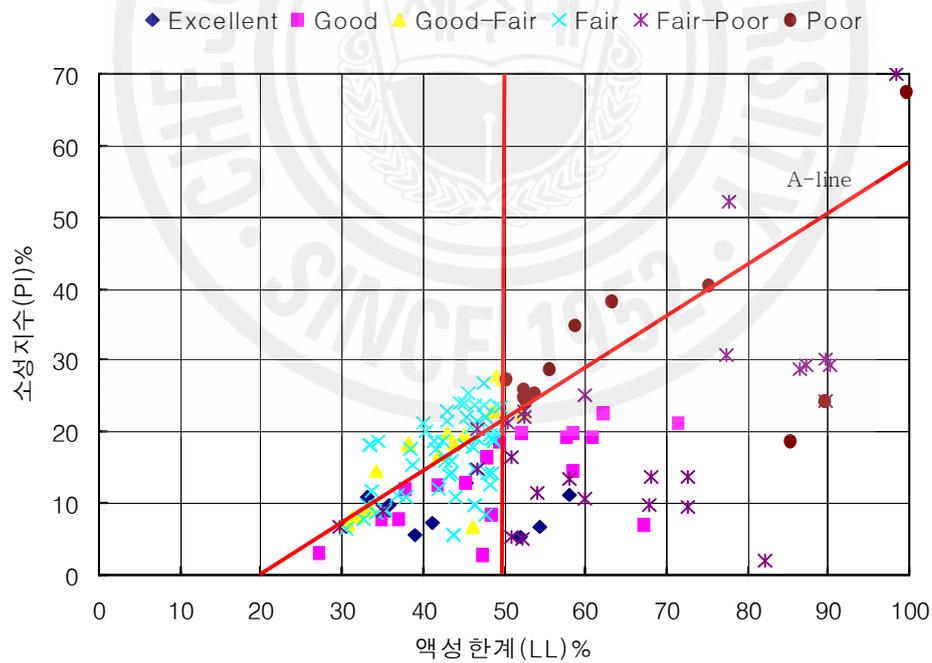


Fig. 4.1 Plasticity graph by subgrade soil grade with USCS

4.2.2 AASHTO분류법

AASHTO에서는 분류그룹에 따라 노상토 등급을 매우우수~우수, 양호, 가능, 불가로 4단계로 구분을 하는데 시험지역의 시료를 Table 4.4와 같이 각각의 등급별로 구분하였다.

매우우수~우수, 양호, 가능의 등급을 노상재료로서 사용가능한 등급이므로 전체 시험시료의 40.7%가 노상재료로서 사용가능하고 Fig. 4.2와 Table 4.4에서 보면 각 등급별로 매우우수~우수는 12%로 소성지수가 대부분 10%이하이며, 양호는 17.4%로 액성한계 30~60%사이 그리고 소성지수는 25%이하에 분포하며, 가능은 11.4%이며 소성지수 10이하이고 액성한계의 범위가 크다.

사용 불가능한 시료는 59.3%이며 불가등급은 소성지수가 10%이상인 점토질 흙으로 되어있으며 불가등급의 A-5그룹은 균지수(GI)가 20으로 노상재료로 사용할 수 없다.

Table 4.4 Subgrade soil grade with AASHTO

	매우 우수~우수	양호	가능	불가
A-1-a	1			
A-1-b	1			
A-3				
A-2-4	13			
A-2-5	5			
A-2-6		4		
A-2-7		25		
A-4			6	
A-5			13	1
A-6				9
A-7-5				32
A-7-6				57
합계	20	29	19	99

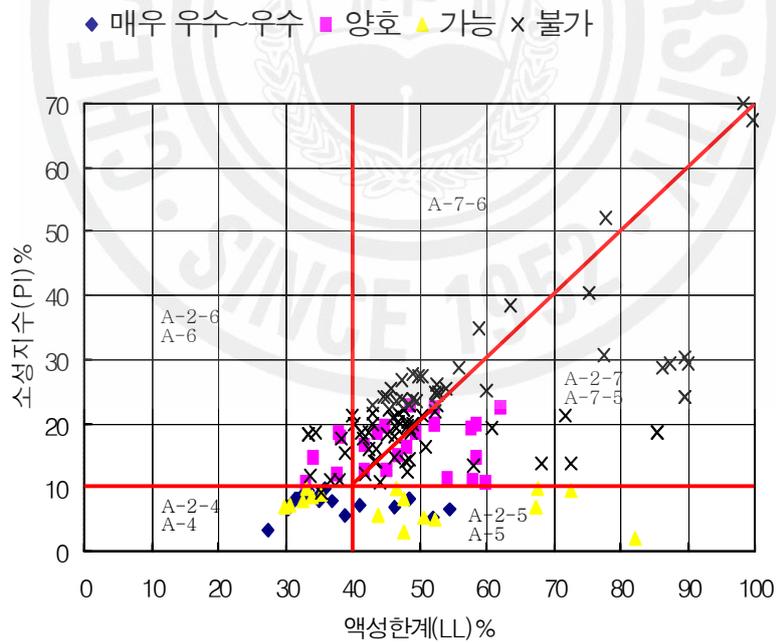


Fig. 4.2 Plasticity graph by subgrade soil grade with AASHTO

4.2.3 분류법의 비교

시험지역의 시료를 통일 분류법에 의한 등급분류와 AASHTO 분류법에 의한 등급분류를 비교해 Table 4.5와 같이 나타내어 노상토 재료로 사용가능한 지역과 시료의 수를 파악해 보면 전체 167개 시료 중 통일 분류법에서는 114개 시료 68.3%의 시료가 사용 가능하고, AASHTO 분류법에서는 68개 시료 40.7%의 시료가 사용 가능한 등급으로 분류 되었다.

일반적으로 지반공학자들이 통일 분류법을 더 선호하는 경향가지고 있는데 이번 시험에서 각 분류등급에 따른 결과는 통일 분류법에 의한 노상재료 등급분류가 시험지역의 노상재료 활용률이 더 크게 나타났다.

Table 4.5 Comparison between Subgrade soil grade with USCS and Subgrade soil grade with AASHTO

분류법	분류등급						비 고
	Excellent	Good	Good-Fair	Fair	Fair-Poor	Poor	
USCS	9	25	21	59	36	17	39개 지역 167개 시료
AASHTO	매우우수~우수		양호	가능	불가		
	20		29	19	99		

4.3 노상재료설계 적합성 분석

4.3.1 연경도와 체입경에 의한 분석

CBR 시험 값을 제외하고 상부노상과 하부노상으로 나누어 도로설계지침의 노상재료기준에 적합한지를 확인해 보았다. 모든 시험시료가 상부노상재료의 연경도 기준을 만족하면 체통과량 기준을 만족하지 못하고 또는 그 반대의 결과로 인해 기준을 만족하지 못하였고, 하부노상재료의 기준에 대해서는 Table 4.6의 지역에서 부분적으로 만족하여 23개 지역 45개 시료 26.9%가 기준에 적합하였으며 Fig. 4.3에 Table 4.6의 지역을 도시하였으며, 만족하는 지역을 다시 A, B, C, D, E 다섯 개의 그룹으로 묶을 수 있었고 Fig. 4.4에서처럼 대체적으로 제주도 동·서지역과 서귀포시의 동·서지역 일부가 기준에 적합함을 알 수 있다.

Table 4.6 The locations to satisfy lower subgrade soil standard

지역 번호	시험지역	지역 번호	시험지역	지역 번호	시험지역	지역 번호	시험지역
1	구좌	10	예래	19	애월읍 어음리	30	봉성
3	아라지구	11	삼화지구	21	애월읍 하귀 1리	32	용수
5	묘산봉	14	세화	22	서귀포 색달동	33	중문
7	표선	16	구좌읍	23	한림읍 금악리	35	탐라(법전사)
8	비자림	17	한림읍 월림리	26	봉개동	36	토산
9	하귀	18	표선 성읍리	27	애월		



Fig. 4.3 Location presented in table 4.6



Fig. 4.4 Five groups to satisfaction standards for subgrade materials

하부노상재료의 기준을 만족하는 시료에 대해서 각 분류법의 노상토 재료 등급 분류 결과를 Table 4.7에서 비교해보면 일반적으로 통일 분류법과 AASHTO 분류법에 의한 노상토 재료 등급을 만족하였고 노상토 재료로 사용해서는 안되는 등급에 있는 통일 분류법의 Fair-Poor가 4개 시료, AASHTO 분류법의 불가등급이 6개 시료가 기준을 만족하였는데 이는 두 개의 분류법이 분류기준이 일치하지 않는데서 발생한 결과로 AASHTO 분류법에 의한 불가등급의 시료가 통일 분류법에서는 SC와 GC로 양질의 노상재료로 분류되어 있으며, 통일 분류법의 Fair-Poor등급의 시료는 AASHTO 분류법의 A-2 그룹에 속해 있다.

Table 4.7 Comparison of classification grade as subgrade soil materials

	분 류 등 급						비 고
	Excellent	Good	Good-Fair	Fair	Fair-Poor	Poor	
USCS	6	14	20	1	4	0	23개 지역 45개 시료
AASHTO	매우우수~우수		양호	가능	불가		
	18		17	4	6		

4.3.2 설계항목에 대한 적합성 분석

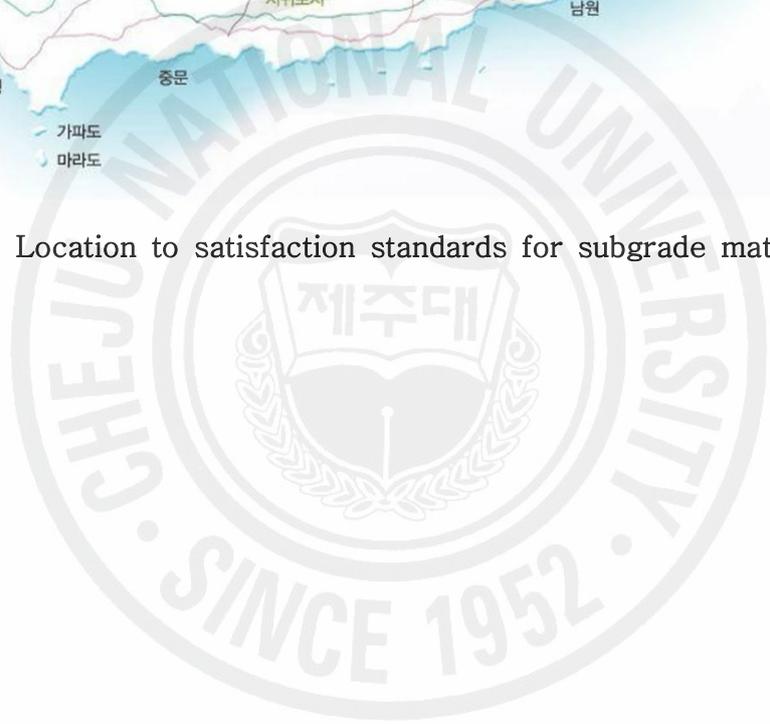
상부노상과 하부노상으로 나누어 도로설계지침의 노상재료기준 항목인 수정 CBR 값, 액성한계, 소성지수, No. 4체 통과량, No. 200체 통과량에 적합한지를 확인해 보았다. 모든 시험시료가 수정 CBR 값은 만족하여도 상부노상재료의 연경도 기준을 만족하면 체통과량 기준을 만족하지 못하고 또는 그 반대의 결과로 인해 기준을 만족하지 못하였고, 하부노상재료의 기준에 대해서는 Table 4.8에서 보는 바와 같이 부분적으로 만족하여 CBR 시험지역 21개 지역 37개 시료에 대하여 노상재료기준을 적용한 경과 9개 지역 11개 시료 29.7%가 기준에 적합하며 그 지역을 Fig. 4.5에 도시하였으며 보는 바와 같이 노상재료의 기준을 만족하는 지역이 북쪽에 많이 분포되어 있다.

Table 4.8 Test results

지역 번호	시험지역	시료번호	액성한계 (%)	소성지수 (%)	수정CBR	체통과율(%)		
						4	40	200
7	표선	7-2	47.6	2.8	10.3	87.4	72.5	48.1
8	비자림	8-1	46.2	6.7	11.9	53.1	39.6	25.7
		8-2	48.5	8.3	11.2	50.5	38.0	20.0
11	삼화지구	11-3	49	27.8	9.6	82.3	67.8	48.8
		11-4	46.8	20.3	5.9	75.5	54.4	40.8
17	한림읍 월림리	17-6	35.1	7.8	10.8	68.2	38	23.9
26	봉개동	26-1	38.90	5.53	26	69.5	8.5	3.2
27	애월	27-1	35.90	9.74	10.5	51.7	8.8	3.8
32	용수	32-1	30.40	6.78	12	76.9	15.8	1.9
35	탐라(법전사)	35-1	41.10	7.18	5	73.6	17.5	3.0
36	토산	36-1	46.80	14.88	11.5	72.6	22.1	7.3



Fig. 4.5 Location to satisfaction standards for subgrade materials



4.4 노상재료 지지력개선

도로설계지침에 의해 지지력이 부족해 노상재료 품질기준에 미달된 세 개의 시료 봉개(26-2), 성읍(31-1), 중문(33-1)의 지지력 개선을 위해 폐골재를 혼합하여 지지력 개선시험을 시행하였는데 건설폐기물은 건설에 따라 발생하는 건설잔사와 기존건물의 해체로 인한 기존건물의 폐재화로 대별할 수 있다. 건설폐기물은 건설 및 해체의 장소와 시기 등에 따라 발생하므로 일률적으로 폐재량을 산정하기는 어려운 실정에 있으나 건설에 따른 폐기물 발생은 필연적이라 이를 재활용할 수 있는 방안을 찾아 재활용한다면 국가자원의 효율적 이용과 폐기물 처리에 따른 부대비용의 발생을 억제 할 수 있다. 이중 한 가지 재활용 방안으로 폐골재나 폐콘크리트등을 토목공사의 성토재료로 활용하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

이에 본시험에서 자연시료와 폐골재를 일정비율로 혼합하여 지지력개선 정도를 알아보고자 자연시료와 폐골재의 비를 10:0, 9:1, 8:2, 7:3 네 가지의 조건으로 CBR시험을 시행하여 지지력 개선 정도를 알아본 결과 Table 4.9와 Fig. 4.6에서 보는 바와 같이 성읍(31-1)과 중문(33-1) 시료는 AASHTO 분류법의 노상재료 등급이 “A-2-6, 양호”, “A-2-7, 양호”한 흙으로 분류되며 지지력 개선정도는 중문(33-1) 시료는 폐골재와 7:3으로 혼합하였을 때 자연 상태에서 보다 6.4배 정도가 증가하였고 성읍(31-1) 시료는 4.9배 증가 하였다. 그리고 봉개(26-2)의 시료는 AASHTO 분류법의 노상재료 등급이 “A-7-5, 불가”한 흙으로 분류되며 폐골재와의 혼합비율이 7:3인 경우에 자연 상태에서 보다 3배 증가 하였지만 상부노상재료 기준을 약간 넘었으며 혼합비율에 따른 지지력증가의 정도가 작다.

Table 4.9 CBR values according to the mixing waste aggregate ratio (%)

지역시료번호 혼합비율	봉개(26-2)	성읍(31-1)	중문(33-1)
10 : 0	4.1	5	4.4
9 : 1	5.4	10	9
8 : 2	8.2	18.2	20.3
7 : 3	12.3	24.7	28

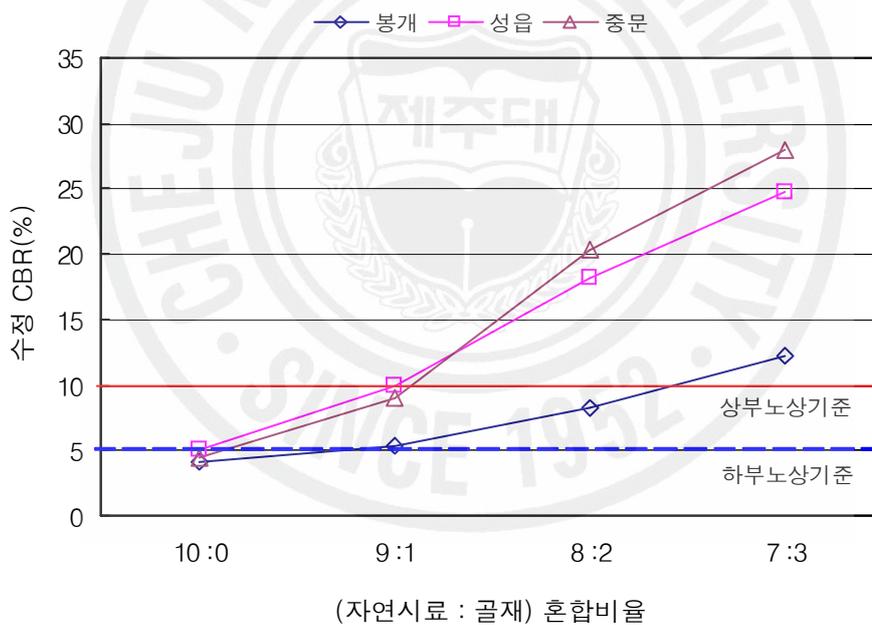


Fig. 4.6 CBR values according to the mixing waste aggregate ratio

V. 결 론

본 연구는 제주도내 분포하는 노상토 재료 39개 지역 167개의 시료에 대한 토질 시험 결과를 노상토 재료 도로 설계기준과 비교하고 재료의 적합성을 파악하여 제주지역에서 노상재료로 활용할 수 있는 지역을 선별하여 활용할 수 있도록 제시하고, 건설 폐기물인 폐골재를 재활용하여 지지력이 노상재료 품질기준을 만족하지 못하는 지역시료에 혼합하여 지지력개선 효과를 제시하였다.

1. 제주도에 분포하는 흙은 세립토가 약 60%이상을 차지하고 있어 노상재료로서의 활용에 적합하지 않으며 노상재료로 직접 사용 시 가능지역을 선별하여야 한다.

2. 연경도와 체입경만으로 분류한 결과는 시료 수 45개로 약 27%의 활용성을 제시하나 지역에 대한 비율은 39개 대상지역 중 23개 지역 약 59%의 활용성을 보인다.

3. 제주도에 분포하고 있는 흙을 노상토 재료 도로설계지침과 비교한 결과 자연 상태에서는 상부노상재료로 적합하지 않지만 하부노상재료로서의 활용에는 21개 지역 37개 시료 중 9개 지역 11개 시료의 활용성을 제시 하였다.

4. 두 가지 분류법의 노상토 재료 등급 분류에 의하면 통일 분류법은 114개 시료68.3%가 노상토 재료로서 사용 가능하고, AASHTO 분류법은 68개 시료 40.7%가 사용가능하다고 제시하였는데 도로설계기준에 적용한 결과 약 30%가 사용될 수 있다는 결과와 비교해보면 AASHTO 분류법이 제주도내 분포하는 흙의 분류에 더 적합하다.

5. 노상재료에 적합한 지역은 지역을 남북으로 구분하면 북쪽에 많이 분포되어 있다.

6. 노상재료로서 지지력이 부족해 품질이 떨어지는 경우 폐골재와 일정비율로 혼합하여 지지력개선 시험을 한 결과 노상재료기준을 만족하는 품질을 얻을 수 있었다. 폐골재 등을 품질 관리하여 도로의 성토재료로서 노상재료 뿐만 아니라 용도별 기준에 적합하게 활용한다면 자원의 재활용가치를 높일 수 있을 것이다.



참 고 문 헌

- 강병익. 1985, 도로공학, 창지사, pp.178~192.
- 강재구. 2005, 도로성토재의 종류 및 입도에 따른 다짐특성 연구, pp.28~38.
- 건설교통부. 2003, 도로공사 표준시방서
- 고영실. 2004, 제주도에 분포하는 세립 화산재의 공학적 특성, pp.
- 김창용, 2004, 건설폐기물 재활용에 관한 연구, pp.
- 남영국, 최한중. 1997, 최신 도로공학 총론, 청문각, pp.155~164.
- 민원. 2001, 도로공학, 구미서관, pp.224~321.
- 손태균, 군무남. 1995, 농촌도로 노상토 재료의 공학적 특성과 CBR값의 관계 분석, 한국농공학회지, 제38권 제4호, pp.89~98.
- 양희성. 2005, 흙의 노상토 재료로서의 적합성에 관한 연구, pp.10~23.
- 이상덕. 1996, 토질시험 원리와 방법, 새론출판사, pp.282~291.
- 이선주, 2004, 도로 성토재로서 건설폐기물의 적용성 평가, pp.
- 제주도, 1998, 제주.애월도폭 지질보고서, pp.1~10.
- 제주도, 2000, 서귀포.하효리도폭 지질보고서, pp.1~3.
- 한국도로공사. 2000, 도로설계 실무편람 - 토공 및 배수, 포장공
- Clark, B. E. (1961), "Symposium on Grouting", ASCE, Journal of the SM&FE, Civ. Apr., pp.33~42.
- Ingles, O .G. and Metcalf, J. B. (1972), "Soil Stabilization", Butterworths, Australia, pp.127~143.
- Rodriguez, A.R., del Castillo, H. and Sowers, G.F.(1988) : Soil Mechanics in Highway Engineering, pp.117~185.
- R.R.L(Road Research Laboratory) (1952), "Soil Mechanics for Road Engineers".
- Singh, Bharat., and Varshney, R.S.(1995) : Engineering for Embankment Dams, pp.480~530.

부 록

(분석자료)



1. 통일분류법

연번	지역번호 -시료번호	액성한계 (%)	소성지수 (%)	체통과량			흙의 분류	노상토 등급
				4	40	200		
1	1-1	52.8	24.6	94.1	80.6	64.3	CH	Poor
2	1-2	48.1	16.4	72.3	45.3	25.4	SM	Good
3	1-3	47.8	22.1	88.1	65.1	52.3	CL	Fair
4	1-4	49.7	18.6	84.3	50.1	30.1	SM	Good
5	1-5	45.3	12.7	89.1	58.4	34.9	SW	Excellent
6	1-6	48.6	19.1	94.2	75.8	57.1	CL	Fair
7	1-7	52.3	19.7	74.6	48.3	24.1	SM	Good
8	1-8	58.5	14.6	84.1	56.1	31.4	SM	Good
9	1-9	62.3	22.6	92.3	48.7	29.9	SP	Good
10	2-1	58	11.02	66.3	7.3	0.9	SW	Excellent
11	2-2	52	5.37	63.8	9.6	1.7	SW	Excellent
12	3-1	34.3	14.5	37.4	30.0	22.0	GC	Good-Fair
13	3-2	38.3	18.0	46.8	34.4	26.7	GC	Good-Fair
14	3-3	38.1	18.5	43.5	33.2	24.3	GC	Good-Fair
15	3-4	46.5	23.6	100	96.9	81.5	CL	Fair
16	3-5	45.2	24.0	100	96.0	86.8	CL	Fair
17	3-6	43.0	22.9	100	97.4	80.4	CL	Fair
18	3-7	45.7	25.3	100	98.1	83.2	CL	Fair
19	3-8	47.4	26.7	100	95.3	87.6	CL	Fair
20	4-1	60.9	19.2	97.5	68.9	45.7	SM	Good
21	4-2	58.6	19.77	96.8	77.1	33.5	SM	Good
22	4-3	71.7	21.19	100	78.2	41.9	SM	Good
23	4-4	57.83	19.37	94.5	82.0	33.0	SM	Good
24	5-1	44.1	10.9	86.3	69.8	58.4	ML	Fair
25	5-2	48.6	14.3	90.8	74.9	63.8	ML	Fair
26	5-3	67.8	9.8	88.1	62.3	50.8	MH	Fair-Poor
27	5-4	68.3	13.6	86.5	73.1	59.7	MH	Fair-Poor
28	5-5	41.8	11.9	90.1	64.8	51.3	ML	Fair
29	5-6	47.9	14.1	82.3	66.3	54.1	ML	Fair
30	5-7	43.6	14.1	88.7	71.2	53.8	ML	Fair
31	5-8	48.3	12.5	87.4	72.6	58.9	ML	Fair
32	5-9	37.1	7.9	80.9	52.5	34.8	SM	Good
33	5-10	72.7	13.6	91.8	72.3	54.3	MH	Fair-Poor
34	5-11	67.5	6.91	88.2	65.1	40.9	SM	Good
35	5-12	72.7	9.57	93.2	72.6	57.2	MH	Fair-Poor
36	5-13	82.2	2.04	87.6	68.5	51.8	MH	Fair-Poor
37	6-1	58	13.3	98.5	94.2	86.9	MH	Fair-Poor
38	7-1	43.7	5.5	85.2	75.3	67.1	ML	Fair
39	7-2	47.6	2.8	87.4	72.5	48.1	SM	Good
40	7-3	46.5	9.8	98.5	90.1	72.3	ML	Fair
41	7-4	85.4	18.6	100	99.6	88.9	OH	Poor
42	7-5	48.6	22.9	62.4	55.2	47.7	GC	Good-Fair
43	8-1	46.2	6.7	53.1	39.6	25.7	GC	Good-Fair
44	8-2	48.5	8.3	50.5	38.0	20.0	GM	Good
45	9-1	52.4	24.9	82.3	71.5	55.6	CH	Poor
46	9-2	53.9	25.4	79.6	78.9	60.1	CH	Poor
47	9-3	48.9	22.8	40.9	28.4	22.7	GC	Good-Fair
48	9-4	41.9	16.7	25.7	20.9	21.5	GC	Good-Fair
49	9-5	43.7	18.4	35.5	18.5	13.6	GC	Good-Fair
50	10-1	52.4	21.9	88.7	82.1	73.7	MH	Fair-Poor
51	10-2	50.4	21.3	85.0	79.3	71.2	MH	Fair-Poor
52	10-3	37.9	12	80.0	74.2	19.9	SM	Good

53	10-4	36.8	11.2	86.6	81.4	77.0	ML	Fair
54	10-5	34.1	8.6	86.6	78.1	73.2	ML	Fair
55	10-6	32.6	7.8	82.4	73.4	68.6	ML	Fair
56	11-1	45.4	22	81.3	71.6	56.6	CL	Fair
57	11-2	49.8	27.3	81.0	64.1	49.0	SC	Good-Fair
58	11-3	49	27.8	82.3	67.8	48.8	SC	Good-Fair
59	11-4	46.8	20.3	75.5	54.4	40.8	SM-SC	Fair-Poor
60	12-1	38.8	15.2	96.5	91.2	65.2	CL	Fair
61	12-2	33.1	9.8	90.2	84.2	55.5	CL	Fair
62	12-3	63.5	38.3	87.9	77.6	62.2	CH	Poor
63	12-4	58.9	34.8	100	97.1	79.2	CH	Poor
64	13-1	48.2	19.6	82.7	80.1	69.4	ML	Fair
65	13-2	75.4	40.4	87.8	77.2	65.7	CH	Poor
66	13-3	47.8	8.3	99.9	97.5	77.2	ML	Fair
67	13-4	52.7	24.4	99.8	96.8	74.5	CH	Poor
68	13-5	52.3	4.9	98.0	97.4	73.4	MH	Fair-Poor
69	13-6	50.8	5.2	94.1	91.1	69.3	MH	Fair-Poor
70	14-1	48.5	8.3	50.5	38	20.2	GM	Good
71	15-1	46.2	17.9	89.5	83.4	54.1	CL	Fair
72	15-2	40.1	21.3	96.3	90.4	65.1	CL	Fair
73	15-3	41.4	18.6	90.3	86.5	51.8	CL	Fair
74	15-4	43.6	15.9	92.5	81.3	51.8	CL	Fair
75	16-1	52.8	24.6	94.1	80.6	64.3	CH	Poor
76	16-2	48.1	16.4	72.3	45.3	25.4	SM	Good
77	16-3	47.8	22.1	88.1	65.1	52.3	CL	Fair
78	16-4	49.7	18.6	84.3	50.1	30.1	SM	Good
79	16-5	45.3	12.7	89.1	58.4	34.9	SM	Good
80	16-6	48.6	19.1	94.2	75.8	57.1	CL	Fair
81	16-7	52.3	19.7	74.6	48.3	24.1	SM	Good
82	16-8	58.5	14.6	84.1	56.1	31.4	SM	Good
83	16-9	62.3	22.6	92.3	48.7	29.9	SM	Good
84	17-2	46.4	14.8	83.5	74.1	58.7	ML	Fair
85	17-3	41.9	12.6	76.6	39.1	18.7	SM	Good
86	17-4	38	11	99	74.9	60.2	ML	Fair
87	17-5	35.4	8.9	90	64.9	54.6	ML	Fair
88	17-6	35.1	7.8	68.2	38	23.9	SM	Good
89	18-1	85.4	18.6	100	99.6	88.9	OH	Poor
90	18-2	48.6	22.9	62.4	55.2	47.7	GC	Good-Fair
91	18-3	43.7	5.5	85.2	75.3	67.1	ML	Fair
92	18-4	47.6	2.8	87.4	72.5	48.1	SM	Good
93	18-5	46.5	9.8	98.5	90.1	72.3	ML	Fair
94	19-1	46	20.7	78	75	73	CL	Fair
95	19-2	27.4	3.1	100	76	35	SM	Good
96	19-3	45	19.5	44	37	35	GC	Good-Fair
97	19-4	52.6	25.9	100	100	97	CH	Poor
98	19-5	49.1	23.7	83	72	63	CL	Fair
99	19-6	35.4	9.2	97	72	53	ML	Fair
100	20-1	108.6	89.5	92.5	73.5	58.4	MH	Fair-Poor
101	20-2	97.5	71.3	100	75.3	54.2	CH	Poor
102	20-3	114.5	83.9	94.7	72.9	52.4	CH	Poor
103	20-4	77.8	52.1	100	83.1	63.7	MH	Fair-Poor
104	20-5	110.5	72.9	89.5	69.5	53.1	MH	Fair-Poor
105	20-6	99.7	67.4	95.4	74.8	54.9	CH	Poor
106	20-7	98.4	69.9	92.5	71.2	55.7	MH	Fair-Poor
107	20-8	107.5	82.8	94.1	75.6	58.9	MH	Fair-Poor
108	20-9	110.8	84.2	100	77.7	52.6	MH	Fair-Poor
109	20-10	130.8	95.8	100	82.1	62.5	MH	Fair-Poor

110	20-11	115.2	88.8	100	76.8	58.6	MH	Fair-Poor
111	20-12	115.7	84.8	100	80.9	57.9	MH	Fair-Poor
112	21-1	49.6	23.4	92.6	75.9	67.4	CL	Fair
113	21-2	43.1	21.6	94.7	71.1	59.9	CL	Fair
114	21-3	48.2	20.3	90.6	63.5	50.4	CL	Fair
115	21-4	43.1	19.8	88.4	58.7	41.9	SC	Good-Fair
116	21-5	47.5	23.7	94.9	74.9	65.8	CL	Fair
117	21-6	46.8	21.6	91.6	64.3	52.9	CL	Fair
118	22-1	30.7	7.1	94.6	64.1	47	SC	Good-Fair
119	22-2	55.8	28.7	100	97.6	92.1	CH	Poor
120	22-3	29.8	6.8	81.7	57.2	40.6	SM-SC	Fair-Poor
121	22-4	33.7	11.8	80.9	73.5	61.6	CL	Fair
122	22-5	42.4	18.7	100	82.7	67.7	CL	Fair
123	22-6	50.3	27.4	100	94.8	90.9	CH	Poor
124	23-1	89.6	24.2	89.5	89.6	84.8	OH	Poor
125	23-2	33.5	18.1	69.4	63.6	56.2	CL	Fair
126	23-3	32.2	8.5	80.88	79.58	27.07	SC	Good-Fair
127	23-4	30.5	6.4	61.85	59.47	20.54	ML	Fair
128	23-5	31.7	8	67.25	60.83	18.81	SC	Good-Fair
129	23-6	33.4	9.5	97.38	96.73	26.24	SC	Good-Fair
130	23-7	31.4	8.2	86.7	85.24	20.84	SC	Good-Fair
131	23-8	32.8	8.8	99.85	99.31	28.54	SC	Good-Fair
132	23-9	30.6	7.1	96.09	92.8	22.79	SC	Good-Fair
133	24-1	149.1	20.5	98.54	87.68	62.5	MH	Fair-Poor
134	24-2	143.3	2.3	99.71	94.23	68.2	MH	Fair-Poor
135	24-3	59.95	24.99	96.75	94.29	81.42	MH	Fair-Poor
136	24-4	87.35	29.26	100	93.61	83.09	MH	Fair-Poor
137	24-5	77.45	30.55	96.51	93.72	81.07	MH	Fair-Poor
138	24-6	51	16.36	97.45	90.95	78.05	MH	Fair-Poor
139	24-7	90.15	29.34	97.54	92.34	82.74	MH	Fair-Poor
140	24-8	89.59	30.18	96.6	91.86	87.84	MH	Fair-Poor
141	24-9	86.41	28.8	94.81	88.66	81.81	MH	Fair-Poor
142	25-1	45.1	18.2	82.3	67.5	56.9	ML	Fair
143	25-2	42.6	15.8	78.9	63.5	52.3	CL	Fair
144	26-1	38.90	5.53	69.5	8.5	3.2	SW	Excellent
145	26-2	105.5	32.8	98.6	98.4	97.7	ML	Fair
146	27-1	35.90	9.74	51.7	8.8	3.8	SW	Excellent
147	28-1	54.2	11.42	77.7	15.1	7.5	SW-SC	Fair-Poor
148	29-1	41.7	17.6	100	92.5	80	CL	Fair
149	29-2	46.6	19.1	100	95	72.3	CL	Fair
150	29-3	43.2	13.9	100	97.5	68.7	CL	Fair
151	29-4	40.3	20	100	95	85.6	CL	Fair
152	29-5	38.4	17.7	100	97.6	94.4	CL	Fair
153	30-1	35.00	8.80	62.4	10.7	5.4	SW-SC	Fair-Poor
154	31-1	59.90	10.64	97.0	32.3	5.0	SW-SC	Fair-Poor
155	32-1	30.40	6.78	76.9	15.8	1.9	SW	Excellent
156	33-1	33.10	10.87	80.0	26.2	3.5	SW	Excellent
157	34-1	54.50	6.60	73.6	18.2	1.2	SW	Excellent
158	35-1	41.10	7.18	73.6	17.5	3.0	SW	Excellent
159	36-1	46.80	14.88	72.6	22.1	7.3	SW-SC	Fair-Poor
160	37-1	49.1	19.7	79.5	65.2	51.7	CL	Fair
161	37-2	52.3	22.6	74.3	60.8	27.6	SC	Good-Fair
162	38-1	34.6	18.6	82.4	64.6	51.3	CL	Fair
163	38-2	52.6	22.8	82.4	65.7	54.2	MH	Fair-Poor
164	38-3	48.7	18.6	80.4	63.1	52.1	ML	Fair
165	38-4	44.6	24.1	83.7	69.3	56.2	CL	Fair
166	39-1	89.6	24.2	89.5	87.5	84.8	MH	Fair-Poor

167	39-2	33.5	18.1	69.6	63.8	56.2	CL	Fair
-----	------	------	------	------	------	------	----	------



2. AASHTO 분류법

연번	지역번호 -시료번호	액성한계 (%)	소성지수 (%)	체통과량			분류그룹	GI	노상도 등급
				4	40	200			
1	1-1	52.8	24.6	94.1	80.6	64.3	A-7-6	15	불가
2	1-2	48.1	16.4	72.3	45.3	25.4	A-2-7	0	양호
3	1-3	47.8	22.1	88.1	65.1	52.3	A-7-6	9	불가
4	1-4	49.7	18.6	84.3	50.1	30.1	A-2-7	0	양호
5	1-5	45.3	12.7	89.1	58.4	34.9	A-2-7	1	양호
6	1-6	48.6	19.1	94.2	75.8	57.1	A-7-5	9	불가
7	1-7	52.3	19.7	74.6	48.3	24.1	A-2-7	0	양호
8	1-8	58.5	14.6	84.1	56.1	31.4	A-2-7	0	양호
9	1-9	62.3	22.6	92.3	48.7	29.9	A-2-7	0	양호
10	2-1	58	11.02	66.3	7.3	0.9	A-2-7	0	양호
11	2-2	52	5.37	63.8	9.6	1.7	A-2-5	0	매우 우수~우수
12	3-1	34.3	14.5	37.4	30.0	22.0	A-2-6	0	양호
13	3-2	38.3	18.0	46.8	34.4	26.7	A-2-7	0	양호
14	3-3	38.1	18.5	43.5	33.2	24.3	A-2-6	0	양호
15	3-4	46.5	23.6	100	96.9	81.5	A-7-6	20	불가
16	3-5	45.2	24.0	100	96.0	86.8	A-7-6	22	불가
17	3-6	43.0	22.9	100	97.4	80.4	A-7-6	18	불가
18	3-7	45.7	25.3	100	98.1	83.2	A-7-6	21	불가
19	3-8	47.4	26.7	100	95.3	87.6	A-7-6	25	불가
20	4-1	60.9	19.2	97.5	68.9	45.7	A-7-5	6	불가
21	4-2	58.6	19.77	96.8	77.1	33.5	A-2-7	1	양호
22	4-3	71.7	21.19	100	78.2	41.9	A-7-5	5	불가
23	4-4	57.83	19.37	94.5	82.0	33.0	A-2-7	1	양호
24	5-1	44.1	10.9	86.3	69.8	58.4	A-7-5	6	불가
25	5-2	48.6	14.3	90.8	74.9	63.8	A-7-5	9	불가
26	5-3	67.8	9.8	88.1	62.3	50.8	A-5	5	가능
27	5-4	68.3	13.6	86.5	73.1	59.7	A-7-5	10	불가
28	5-5	41.8	11.9	90.1	64.8	51.3	A-7-6	4	불가
29	5-6	47.9	14.1	82.3	66.3	54.1	A-7-5	6	불가
30	5-7	43.6	14.1	88.7	71.2	53.8	A-7-6	6	불가
31	5-8	48.3	12.5	87.4	72.6	58.9	A-7-5	7	불가
32	5-9	37.1	7.9	80.9	52.5	34.8	A-2-4	0	매우 우수~우수
33	5-10	72.7	13.6	91.8	72.3	54.3	A-7-5	8	불가
34	5-11	67.5	6.91	88.2	65.1	40.9	A-5	1	가능
35	5-12	72.7	9.57	93.2	72.6	57.2	A-5	8	가능
36	5-13	82.2	2.04	87.6	68.5	51.8	A-5	4	가능
37	6-1	58	13.3	98.5	94.2	86.9	A-7-5	17	불가
38	7-1	43.7	5.5	85.2	75.3	67.1	A-5	5	가능
39	7-2	47.6	2.8	87.4	72.5	48.1	A-5	1	가능
40	7-3	46.5	9.8	98.5	90.1	72.3	A-5	9	가능
41	7-4	85.4	18.6	100	99.6	88.9	A-7-5	29	불가
42	7-5	48.6	22.9	62.4	55.2	47.7	A-7-6	7	불가
43	8-1	46.2	6.7	53.1	39.6	25.7	A-2-5	0	매우 우수~우수
44	8-2	48.5	8.3	50.5	38.0	20.0	A-2-5	0	매우 우수~우수
45	9-1	52.4	24.9	82.3	71.5	55.6	A-7-6	11	불가
46	9-2	53.9	25.4	79.6	78.9	60.1	A-7-6	14	불가
47	9-3	48.9	22.8	40.9	28.4	22.7	A-2-7	0	양호
48	9-4	41.9	16.7	25.7	20.9	21.5	A-2-7	0	양호
49	9-5	43.7	18.4	35.5	18.5	13.6	A-2-7	0	양호
50	10-1	52.4	21.9	88.7	82.1	73.7	A-7-5	17	불가
51	10-2	50.4	21.3	85.0	79.3	71.2	A-7-6	15	불가
52	10-3	37.9	12	80.0	74.2	19.9	A-2-6	0	양호
53	10-4	36.8	11.2	86.6	81.4	77.0	A-6	8	불가

54	10-5	34.1	8.6	86.6	78.1	73.2	A-4	6	가능
55	10-6	32.6	7.8	82.4	73.4	68.6	A-4	4	가능
56	11-1	45.4	22	81.3	71.6	56.6	A-7-6	10	불가
57	11-2	49.8	27.3	81.0	64.1	49.0	A-7-6	9	불가
58	11-3	49	27.8	82.3	67.8	48.8	A-7-6	9	불가
59	11-4	46.8	20.3	75.5	54.4	40.8	A-7-6	4	불가
60	12-1	38.8	15.2	96.5	91.2	65.2	A-6	8	불가
61	12-2	33.1	9.8	90.2	84.2	55.5	A-4	3	가능
62	12-3	63.5	38.3	87.9	77.6	62.2	A-7-6	22	불가
63	12-4	58.9	34.8	100	97.1	79.2	A-7-6	29	불가
64	13-1	48.2	19.6	82.7	80.1	69.4	A-7-6	14	불가
65	13-2	75.4	40.4	87.8	77.2	65.7	A-7-5	27	불가
66	13-3	47.8	8.3	99.9	97.5	77.2	A-5	9	가능
67	13-4	52.7	24.4	99.8	96.8	74.5	A-7-6	19	불가
68	13-5	52.3	4.9	98.0	97.4	73.4	A-5	7	가능
69	13-6	50.8	5.2	94.1	91.1	69.3	A-5	6	가능
70	14-1	48.5	8.3	50.5	38	20.2	A-1-b	0	매우 우수~우수
71	15-1	46.2	17.9	89.5	83.4	54.1	A-7-6	8	불가
72	15-2	40.1	21.3	96.3	90.4	65.1	A-6	12	불가
73	15-3	41.4	18.6	90.3	86.5	51.8	A-7-6	7	불가
74	15-4	43.6	15.9	92.5	81.3	51.8	A-7-6	6	불가
75	16-1	52.8	24.6	94.1	80.6	64.3	A-7-6	15	불가
76	16-2	48.1	16.4	72.3	45.3	25.4	A-2-7	0	양호
77	16-3	47.8	22.1	88.1	65.1	52.3	A-7-6	9	불가
78	16-4	49.7	18.6	84.3	50.1	30.1	A-2-7	0	양호
79	16-5	45.3	12.7	89.1	58.4	34.9	A-2-7	1	양호
80	16-6	48.6	19.1	94.2	75.8	57.1	A-7-6	9	불가
81	16-7	52.3	19.7	74.6	48.3	24.1	A-2-7	0	양호
82	16-8	58.5	14.6	84.1	56.1	31.4	A-2-7	0	양호
83	16-9	62.3	22.6	92.3	48.7	29.9	A-2-7	0	양호
84	17-2	46.4	14.8	83.5	74.1	58.7	A-7-6	8	불가
85	17-3	41.9	12.6	76.6	39.1	18.7	A-2-7	0	양호
86	17-4	38	11	99	74.9	60.2	A-6	5	불가
87	17-5	35.4	8.9	90	64.9	54.6	A-4	3	가능
88	17-6	35.1	7.8	68.2	38	23.9	A-2-4	0	매우 우수~우수
89	18-1	85.4	18.6	100	99.6	88.9	A-7-5	29	불가
90	18-2	48.6	22.9	62.4	55.2	47.7	A-7-6	7	불가
91	18-3	43.7	5.5	85.2	75.3	67.1	A-5	5	가능
92	18-4	47.6	2.8	87.4	72.5	48.1	A-5	1	가능
93	18-5	46.5	9.8	98.5	90.1	72.3	A-5	9	가능
94	19-1	46	20.7	78	75	73	A-7-6	15	불가
95	19-2	27.4	3.1	100	76	35	A-2-4	0	매우 우수~우수
96	19-3	45	19.5	44	37	35	A-2-7	2	양호
97	19-4	52.6	25.9	100	100	97	A-7-6	29	불가
98	19-5	49.1	23.7	83	72	63	A-7-6	13	불가
99	19-6	35.4	9.2	97	72	53	A-7-6	3	불가
100	20-1	108.6	89.5	92.5	73.5	58.4	A-7-6	47	불가
101	20-2	97.5	71.3	100	75.3	54.2	A-7-6	33	불가
102	20-3	114.5	83.9	94.7	72.9	52.4	A-7-5	38	불가
103	20-4	77.8	52.1	100	83.1	63.7	A-7-6	32	불가
104	20-5	110.5	72.9	89.5	69.5	53.1	A-7-5	34	불가
105	20-6	99.7	67.4	95.4	74.8	54.9	A-7-5	33	불가
106	20-7	98.4	69.9	92.5	71.2	55.7	A-7-6	35	불가
107	20-8	107.5	82.8	94.1	75.6	58.9	A-7-6	45	불가
108	20-9	110.8	84.2	100	77.7	52.6	A-7-6	38	불가
109	20-10	130.8	95.8	100	82.1	62.5	A-7-5	59	불가
110	20-11	115.2	88.8	100	76.8	58.6	A-7-6	48	불가

111	20-12	115.7	84.8	100	80.9	57.9	A-7-5	45	불가
112	21-1	49.6	23.4	92.6	75.9	67.4	A-7-5	15	불가
113	21-2	43.1	21.6	94.7	71.1	59.9	A-7-5	11	불가
114	21-3	48.2	20.3	90.6	63.5	50.4	A-7-5	7	불가
115	21-4	43.1	19.8	88.4	58.7	41.9	A-7-5	4	불가
116	21-5	47.5	23.7	94.9	74.9	65.8	A-7-5	14	불가
117	21-6	46.8	21.6	91.6	64.3	52.9	A-7-5	9	불가
118	22-1	30.7	7.1	94.6	64.1	47	A-4	1	가능
119	22-2	55.8	28.7	100	97.6	92.1	A-7-6	30	불가
120	22-3	29.8	6.8	81.7	57.2	40.6	A-4	0	가능
121	22-4	33.7	11.8	80.9	73.5	61.6	A-6	5	불가
122	22-5	42.4	18.7	100	82.7	67.7	A-7-6	12	불가
123	22-6	50.3	27.4	100	94.8	90.9	A-7-6	27	불가
124	23-1	89.6	24.2	89.5	89.6	84.8	A-7-5	32	불가
125	23-2	33.5	18.1	69.4	63.6	56.2	A-6	7	불가
126	23-3	32.2	8.5	80.9	79.6	27.1	A-2-4	0	매우 우수~우수
127	23-4	30.5	6.4	61.9	59.5	20.5	A-2-4	0	매우 우수~우수
128	23-5	31.7	8	67.3	60.9	18.8	A-2-4	0	매우 우수~우수
129	23-6	33.4	9.5	97.4	96.7	26.2	A-2-4	0	매우 우수~우수
130	23-7	31.4	8.2	86.7	85.2	20.9	A-2-4	0	매우 우수~우수
131	23-8	32.8	8.8	99.9	99.3	28.5	A-2-4	0	매우 우수~우수
132	23-9	30.6	7.1	96.1	92.8	22.8	A-2-4	0	매우 우수~우수
133	24-1	149.1	20.5	98.5	87.7	62.5	A-7-6	25	불가
134	24-2	143.3	2.3	99.7	94.2	68.2	A-5	20	불가
135	24-3	59.95	24.99	96.8	94.3	81.4	A-7-6	24	불가
136	24-4	87.35	29.26	100	93.6	83.1	A-7-6	34	불가
137	24-5	77.45	30.55	96.5	93.7	81.1	A-7-6	31	불가
138	24-6	51	16.36	97.6	90.9	78.1	A-7-6	15	불가
139	24-7	90.15	29.34	97.5	92.3	82.7	A-7-6	35	불가
140	24-8	89.59	30.18	96.6	91.9	87.8	A-7-6	38	불가
141	24-9	86.41	28.8	94.8	88.7	81.8	A-7-6	33	불가
142	25-1	45.1	18.2	82.3	67.5	56.9	A-7-6	8	불가
143	25-2	42.6	15.8	78.9	63.5	52.3	A-7-5	6	불가
144	26-1	38.90	5.53	69.5	8.5	3.2	A-1-a	0	매우 우수~우수
145	26-2	105.5	32.8	98.6	98.4	97.7	A-7-5	52	불가
146	27-1	35.90	9.74	51.7	8.8	3.8	A-2-4	0	매우 우수~우수
147	28-1	54.2	11.42	77.7	15.1	7.5	A-2-7	0	양호
148	29-1	41.7	17.6	100	92.5	80	A-7-5	14	불가
149	29-1	46.6	19.1	100	95	72.3	A-7-5	14	불가
150	29-1	43.2	13.9	100	97.5	68.7	A-7-5	9	불가
151	29-1	40.3	20	100	95	85.6	A-7-5	17	불가
152	29-1	38.4	17.7	100	97.6	94.4	A-6	18	불가
153	30-1	35.00	8.80	62.4	10.7	5.4	A-2-4	0	매우 우수~우수
154	31-1	59.90	10.64	97.0	32.3	5.0	A-2-7	0	양호
155	32-1	30.40	6.78	76.9	15.8	1.9	A-2-4	0	매우 우수~우수
156	33-1	33.10	10.87	80.0	26.2	3.5	A-2-6	0	양호
157	34-1	54.50	6.60	73.6	18.2	1.2	A-2-5	0	매우 우수~우수
158	35-1	41.10	7.18	73.6	17.5	3.0	A-2-5	0	매우 우수~우수
159	36-1	46.80	14.88	72.6	22.1	7.3	A-2-7	0	양호
160	37-1	49.1	19.7	79.5	65.2	51.7	A-7-6	8	불가
161	37-2	52.3	22.6	74.3	60.8	27.6	A-2-7	0	양호
162	38-1	34.6	18.6	82.4	64.6	51.3	A-6	6	불가
163	38-2	52.6	22.8	82.4	65.7	54.2	A-7-6	10	불가
164	38-3	48.7	18.6	80.4	63.1	52.1	A-7-6	7	불가
165	38-4	44.6	24.1	83.7	69.3	56.2	A-7-6	11	불가
166	39-1	89.6	24.2	89.5	87.5	84.8	A-7-6	32	불가
167	39-2	33.5	18.1	69.6	63.8	56.2	A-6	7	불가

3. 하부노상 적합시료(CBR 비시험)

연 번	지역 번호 - 시료 번호	액성한 계(%)	소성지 수(%)	체통과량			흙의 분류		GI	노상토 등급	
				4	40	200	USCS	AASHTO		USCS	AASHTO
1	1-2	48.1	16.4	72.3	45.3	25.4	SM	A-2-7	0	Good	양호
2	1-4	49.7	18.6	84.3	50.1	30.1	SM	A-2-7	0	Good	양호
3	1-5	45.3	12.7	89.1	58.4	34.9	SW	A-2-7	1	Excellent	양호
4	3-1	34.3	14.5	37.4	30.0	22.0	GC	A-2-6	0	Good-Fair	양호
5	3-2	38.3	18.0	46.8	34.4	26.7	GC	A-2-7	0	Good-Fair	양호
6	3-3	38.1	18.5	43.5	33.2	24.3	GC	A-2-6	0	Good-Fair	양호
7	5-9	37.1	7.9	80.9	52.5	34.8	SM	A-2-4	0	Good	매우 우수 ~우수
8	7-2	47.6	2.8	87.4	72.5	48.1	SM	A-5	1	Good	가능
9	7-5	48.6	22.9	62.4	55.2	47.7	GC	A-7-6	7	Good-Fair	불가
10	8-1	46.2	6.7	53.1	39.6	25.7	GC	A-2-5	0	Good-Fair	매우 우수 ~우수
11	8-2	48.5	8.3	50.5	38.0	20.0	GM	A-2-5	0	Good	매우 우수 ~우수
12	9-3	48.9	22.8	40.9	28.4	22.7	GC	A-2-7	0	Good-Fair	양호
13	9-4	41.9	16.7	25.7	20.9	21.5	GC	A-2-7	0	Good-Fair	양호
14	9-5	43.7	18.4	35.5	18.5	13.6	GC	A-2-7	0	Good-Fair	양호
15	10-3	37.9	12	80.0	74.2	19.9	SM	A-2-6	0	Good	양호
16	11-2	49.8	27.3	81.0	64.1	49.0	SC	A-7-6	9	Good-Fair	불가
17	11-3	49	27.8	82.3	67.8	48.8	SC	A-7-6	9	Good-Fair	불가
18	11-4	46.8	20.3	75.5	54.4	40.8	SM-SC	A-7-6	4	Fair-Poor	불가
19	14-1	48.5	8.3	50.5	38	20.2	GM	A-1-b	0	Good	매우 우수 ~우수
20	16-2	48.1	16.4	72.3	45.3	25.4	SM	A-2-7	0	Good	양호
21	16-4	49.7	18.6	84.3	50.1	30.1	SM	A-2-7	0	Good	양호
22	16-5	45.3	12.7	89.1	58.4	34.9	SM	A-2-7	1	Good	양호
23	17-3	41.9	12.6	76.6	39.1	18.7	SM	A-2-7	0	Good	양호
24	17-6	35.1	7.8	68.2	38	23.9	SM	A-2-4	0	Good	매우 우수 ~우수
25	18-2	48.6	22.9	62.4	55.2	47.7	GC	A-7-6	7	Good-Fair	불가
26	18-4	47.6	2.8	87.4	72.5	48.1	SM	A-5	1	Good	가능
27	19-2	27.4	3.1	100	76	35	SM	A-2-4	0	Good	매우 우수 ~우수
28	19-3	45	19.5	44	37	35	GC	A-2-7	2	Good-Fair	양호
29	21-4	43.1	19.8	88.4	58.7	41.9	SC	A-7-5	4	Good-Fair	불가
30	22-1	30.7	7.1	94.6	64.1	47	SC	A-4	1	Good-Fair	가능
31	22-3	29.8	6.8	81.7	57.2	40.6	SM-SC	A-4	0	Fair-Poor	가능
32	23-3	32.2	8.5	80.9	79.6	27.1	SC	A-2-4	0	Good-Fair	매우 우수 ~우수
33	23-4	30.5	6.4	61.9	59.5	20.5	ML	A-2-4	0	Fair	매우 우수 ~우수
34	23-5	31.7	8	67.3	60.8	18.8	SC	A-2-4	0	Good-Fair	매우 우수 ~우수
35	23-6	33.4	9.5	97.4	96.7	26.2	SC	A-2-4	0	Good-Fair	매우 우수 ~우수
36	23-7	31.4	8.2	86.7	85.2	20.8	SC	A-2-4	0	Good-Fair	매우 우수 ~우수

37	23-8	32.8	8.8	99.9	99.3	28.5	SC	A-2-4	0	Good-Fair	매우 우수 ~우수
38	23-9	30.6	7.1	96.1	92.8	22.8	SC	A-2-4	0	Good-Fair	매우 우수 ~우수
39	29-1	38.90	5.53	69.5	8.5	3.2	SW	A-1-a	0	Excellent	매우 우수 ~우수
40	27-1	35.90	9.74	51.7	8.8	3.8	SW	A-2-4	0	Excellent	매우 우수 ~우수
41	30-1	35.00	8.80	62.4	10.7	5.4	SW-SC	A-2-4	0	Fair-Poor	매우 우수 ~우수
42	32-1	30.40	6.78	76.9	15.8	1.9	SW	A-2-4	0	Excellent	매우 우수 ~우수
43	33-1	33.10	10.87	80.0	26.2	3.5	SW	A-2-6	0	Excellent	양호
44	35-1	41.10	7.18	73.6	17.5	3.0	SW	A-2-5	0	Excellent	매우 우수 ~우수
45	36-1	46.80	14.88	72.6	22.1	7.3	SW-SC	A-2-7	0	Fair-Poor	양호



감사의 글

본 논문이 완성되기까지 여러 차례 검토하고 학문에 대한 많은 지도와 격려를 아끼지 않으신 남정만교수님께 진심으로 감사드립니다.

그리고 논문 심사과정에서 세심하게 검토하고 지적해 주신 김남형교수님을 비롯한 이병걸교수님, 양성기교수님, 박상렬교수님, 김상진교수님, 이동욱교수님 등 여러 교수님들께도 심심한 사의를 표합니다.

돌이켜 보면 배움의 길을 걷기에 턱없이 부족할 뿐 아니라 직장인의 시간적 한계를 극복하고 학업에 정진한다는 것은 결코 쉬운 일이 아니었습니다만, JIBS사장겸 유성건설(주) 오현봉회장님과 김영철사장님 두 분께서 각별한 애정으로 채찍하고 성원해 주셨기에 이 논문이 탄생 될 수 있었습니다.

두 분께서 베풀어 주신 사랑 평생 마음속 깊이 간직하리라 다짐하면서 진심으로 고마운 말씀 드리고 싶습니다.

또한 본 논문이 완성되기까지 많은 시간과 노력을 함께 해준 지반공학 연구실 김승현님을 비롯한 홍종완님, 김도형님 등 모든 분들께도 감사드립니다.

그리고 대학원 과정을 보람있고 활기차게 보낼 수 있도록 항상 따뜻하게 배려해준 건축공학 강철호 원생(9기 원우회장) 토목공학 양재수 원생(8기 원우회장), 오영진동창 등 여러 선후배들께도 진심으로 감사드리며, 여러분들과의 끈끈한 우정을 영원히 함께 하기를 소망합니다.

또한 넉넉지 못한 삶의 고비고비마다 용기를 잃지 않도록 따뜻한 정으로 힘과 용기를 북돋아 주신 지역 선후배, 직장동료 등 주변 모든 분들께도

머리 숙여 고마운 말씀 드립니다.

끝으로 때늦은 나이에든 당당하게 학문의 길을 갈 수 있도록 깨우치고 지켜봐주신 어머니와 한결 같은 사랑으로 뒷바라지에 헌신해준 사랑하는 아내 혜숙, 그리고 우리가정의 영원한 희망이요 보배인 지창, 은영, 현주 등 사랑하는 가족과 함께 이 조그만 결실의 기쁨을 나누고자 합니다.

2007년 7월

김 남 식

- 의리를 지키고 주변 어려운 이웃과 함께하는 사람이 되고자 노력합니다 -