

碩士學位論文

폐콘크리트잔분 · 현무암석분 혼합토의  
도로 성토재료로서 적용성 평가



濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

金 兌 建

2010 年 2 月

폐콘크리트잔분 · 현무암석분 혼합토의  
도로 성토재료로서 적용성 평가

指導教授 李 東 昱

金 兌 建

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2010 年 2 月

金兌建의 工學 碩士學位 論文으로 認准함

審査委員長 이 병 건

委 員 박 상 련

委 員 이 등 욱



濟州大學校 大學院

2010 年 2 月

Applicability of the Waste Concrete Powder  
mixed with the Powdered Basalt for Road  
Embankment Materials.

Tae-Geon Kim

(Supervised by Professor Dong Wook Lee)

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

2010. 2

This thesis has been examined and approved

Thesis director, Sang-Yeol Park, Prof. of Civil engineering

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

Thesis director, Dong-Wook Lee, Prof. of Civil engineering

*February. 2010*

Department of Civil & Ocean Engineering  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	v
Summary .....	vii
<b>I. 서 론</b> .....	1
1. 연구배경 및 목적 .....	1
<b>II. 기존이론</b> .....	3
1. 도로의 구조 및 재료의 품질기준 .....	3
1) 노상 .....	5
(1) 노상재료의 품질기준 .....	5
2) 노체 .....	7
(1) 노체재료의 품질기준 .....	7
3) 보조기층 .....	9
(1) 보조기층재료의 품질기준 .....	9
4) 뒤택움재 .....	11
(1) 뒤택움재료의 품질기준 .....	11
2. 폐콘크리트잔분과 현무암석분의 발생 과정 및 현황 .....	14
1) 폐콘크리트잔분 .....	14
2) 현무암석분 .....	19
<b>III. 실험재료</b> .....	23
1. 폐콘크리트잔분 .....	23
1) 물리적특성 .....	23
2) 화학적특성 .....	25

2. 현무암석분 .....	29
1) 물리적특성 .....	29
2) 화학적특성 .....	31
<b>IV. 폐콘크리트잔분-현무암석분 혼합토의 공학적 특성 .....</b>	<b>36</b>
1. 실험개요 .....	36
2. 입도분포변화 .....	37
3. 액·소성 한계시험 .....	40
4. 다짐밀도변화 .....	41
5. CBR시험 .....	42
6. 대형전단시험 .....	44
<b>V. 도로성토용 재료로서 적용성 평가 .....</b>	<b>50</b>
1. 노상(상·하부)층 재료 .....	50
2. 뒤채움재용 재료 .....	52
3. 보조기층용 재료 .....	53
<b>VI. 결    론 .....</b>	<b>58</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>60</b>

## List of Tables

Table 2.1 Design standards of subgrade .....	6
Table 2.2 Design standards of roadbed .....	8
Table 2.3 Design standards of sub-base .....	10
Table 2.4 Design standards of particle size distribution of sub-base .....	10
Table 2.5 Design standards of backfills. (도로공사 표준시방서, SB-1) .....	11
Table 2.6 Backfill Selection standard of various nations(이은수, 1997) .....	13
Table 2.7 Construction Waste production present condition of Jeju Island (Korea Environment & Resources Corporation. 2007) .....	16
Table 2.8 Construction Waste dispose present condition of Jeju Island (Korea Environment & Resources Corporation. 2007) .....	16
Table 2.9 Construction Waste carry present condition in J' Company .....	17
Table 2.10 Construction Waste dispose present condition in J' Company (2006 year) .....	18
Table 2.11 The Current Status of the Stone Sludge Production Amount and Treatment Expensess .....	21
Table 2.12 The Present Status of the Scrapped Stone Material Disposal .....	22
Table 2.13 The Production Amount of the Powdered Basalt .....	22
Table 3.1 The Test Methods for the Waste Concrete Powder .....	23
Table 3.2 The physical properties of the Waste Concrete Powder .....	24
Table 3.3 Chemical composition of Waste Concrete Powder .....	26
Table 3.4 The Analysis of the Harmful Chemistry Ingredient Content .....	28
Table 3.5 The Test Methods for the Powdered Basalt .....	29
Table 3.6 The physical properties of the Powdered Basalt .....	30
Table 3.7 Chemical composition of Powdered Basalt .....	33

Table 3.8 The Analysis of the Harmful Chemistry Ingredient Content .....	35
Table 4.1 Mixed ratio between Waste Concrete Powder and Powdered Basalt .....	36
Table 4.2 Test item and test method .....	37
Table 4.3 Standard particle size distribution of sub-grade layer, backfills materials and particle size distribution of Sample A,B,C,D .....	38
Table 4.4 Standard particle size distribution of sub-base layer materials and particle size distribution of Sample A,B,C,D .....	39
Table 4.5 Standard plastic index value of sub-grade, backfills, sub-base materials and plastic index value of Sample A,B,C,D .....	40
Table 4.6 Result of compaction test .....	41
Table 4.7 Standard CBR value of sub-grade, backfills, sub-base materials and CBR value of Sample A,B,C,D .....	43
Table 4.8 Standard angle of shear resistance value of backfills and angle of shear resistance value of Sample A,B,C,D .....	45
Table 5.1 Comparison with standard value of Upper part 1m of road materials .....	51
Table 5.2 Comparison with standard value of Lower part 60 of road materials .....	52
Table 5.3 Comparison with standard value of Backfills materials .....	53
Table 5.4 Standard particle size distribution of sub-base layer materials and particle size distribution of Sample A(2), B(2), C(2) .....	54
Table 5.5 Comparison with standard value of sub-base layer materials .....	57

## List of Figures

Fig. 2.1 Title of each parts for earth work .....	4
Fig. 2.2 Standard composition of banking section .....	4
Fig. 2.3 The photo of the Waste Concrete Powder Production (1) .....	14
Fig. 2.4 The photo of the Waste Concrete Powder Production (2) .....	15
Fig. 2.5 The photo of the Powdered Basalt Production (1) .....	19
Fig. 2.6 The photo of the Powdered Basalt Production (2) .....	20
Fig. 3.1 Grain-size distribution curve of Waste Concrete Powder .....	24
Fig. 3.2 Compaction curve of Waste Concrete Powder .....	25
Fig. 3.3 Chemical composition of Waste Concrete Powder .....	27
Fig. 3.4 SEM result of Waste Concrete Powder ( $\times 10,000$ ) .....	27
Fig. 3.5 Photograph of pH test about Waste Concrete Powder .....	28
Fig. 3.6 Grain-size distribution curve of Powdered Basalt .....	31
Fig. 3.7 Compaction curve of Powdered Basalt .....	31
Fig. 3.8 Chemical composition of Powdered Basalt .....	33
Fig. 3.9 SEM result of Powdered Basalt (6,000:12,000) .....	34
Fig. 3.10 Photograph of pH test about Powdered Basalt .....	34
Fig. 4.1 Grain-size distribution curve of Sample A,B,C,D .....	38
Fig. 4.2 Standard particle-size distribution of sub-base layer and grain-size distribution of Sample A,B,C,D .....	39
Fig. 4.3 Compaction curve of Sample A,B,C,D .....	42
Fig. 4.4 CBR value according to the mixing condition .....	43
Fig. 4.5 Test result of compaction and C B R in Sample A,B,C,D .....	44
Fig. 4.6 Photograph of Large scale direct shear test .....	45



Fig. 4.7 Relationship between Shear stress and Horizontal displacement ( compaction test result OMC, Sample A ) .....	46
Fig. 4.8 Relationship between Shear stress and Normal stress ( compaction test result OMC, Sample A ) .....	46
Fig. 4.9 Relationship between Shear stress and Horizontal displacement ( compaction test result OMC, Sample B ) .....	47
Fig. 4.10 Relationship between Shear stress and Normal stress ( compaction test result OMC, Sample B ) .....	47
Fig. 4.11 Relationship between Shear stress and Horizontal displacement ( compaction test result OMC, Sample C ) .....	48
Fig. 4.12 Relationship between Shear stress and Normal stress ( compaction test result OMC, Sample C ) .....	48
Fig. 4.13 Relationship between Shear stress and Horizontal displacement ( compaction test result OMC, Sample D ) .....	49
Fig. 4.14 Relationship between Shear stress and Normal stress ( compaction test result OMC, Sample D ) .....	49
Fig. 5.1 Standard particle-size distribution of sub-base layer and grain-size distribution of Sample A(2) ,B(2), C(2) .....	55
Fig. 5.2 Result of compaction test and modified CBR .....	55

## Summary

There has been a gradual increase in waste from the industrial development and bountiful life. The control problem of the waste is rising to the surface with an environmentally huge problem point. Reduction of resource and environment pollution as the serious concern recycling the waste resource is best bet it will be able to solve the problem points of environment pollution and decreased resources. The objectives of the present study lie in understanding engineering properties identifiably varying when mixing powdered basalt gainable from stone-processing with constructional waste soil (less than 5mm) generable as by-product during production of recycling construction aggregates using concrete wastes, the results of which are compared and analyzed with the now-applying Standard of Road Embankment Materials so as to verify that they are reusable applicable for road embankment materials. In this study, the mixed ratio between Waste Concrete Powder and powdered basalt is classified into 4 groups. The engineering and environmental properties of 4 groups are investigated, and the applicability as the road embankment materials is evaluated. Sample A, B, C, D are suitable for the road material standard of sub-grade layer. Sample D is not suitable for the road material standard of backfills. Sample A, B, C, D are not suitable for the road material standard of sub-base layer. Sample A, B, C, D cannot be applied to the material of sub-base layer. If, the mixed 13mm aggregate and the modified CBR(California Bearing Ratio) value of the Sample A, B, C will be improved, Sample A, B, C can be used the road material of sub-base layer. If the result from the study is proven to bear engineering-based physical properties and reliability, few denies that the reusable application to the field sites will surely reduce the volume of normal soils and crushed stones, to some extent, as an alternative road embankment material. Furthermore, the recyclable use of industrial wastes as the resource for new constructional materials will lead to economical effectiveness as well as the environmental values.

# I. 서 론

## 1. 연구배경 및 목적

최근 국내에서는 산업의 급속한 성장으로 인하여 물질적·경제적으로 풍요롭게 되었으나 자원의 고갈과 더불어 산업현장에서 발생하는 각종 산업폐기물의 처리 및 환경오염이 심각한 사회적 문제로 대두 되고 있다.

산업의 발달과 생활의 풍요로움 속에 배출되는 폐기물의 양은 증가하고 있으며 폐기물의 처리 문제는 환경적으로 커다란 문제점으로 부상하고 있다. 한정적인 자원의 감소와 폐기물에 의한 환경오염은 심각한 문제로 폐자원의 재활용은 환경오염 및 한정적인자원 감소의 문제점들을 해결할 수 있는 최선의 방법이다.

국내의 기술 발전방향은 현존 자원을 이용하여 생산하는 기술을 발전하여 왔지만 이를 적절하게 처리하여 재자원화 하는 기술의 발전 속도는 낮은 실정이다. 대부분의 자원을 해외로부터 의존하고 있는 우리나라의 경우 이러 한 문제를 해결하기 위해 폐기물의 재활용 방법들이 추진되고 있다.

우리나라 건설폐기물은 2006년도 발생량 61,679천톤/년으로 2005년 49,241천톤/년에 비해 약 25.3%가 증가하였으며, 건설폐기물 중에서 폐콘크리트가 2006년 40,258천톤/년으로 전년도 28,655천톤/년에 비해 40.5% 증가하였고, 2020년에는 1억 톤 이상으로 급격히 증가할 것으로 예상된다. 건설폐기물의 처리방법으로 2000년에는 매립 12.7%, 소각 2.6%, 재활용 84.7%였으며, 2006년에는 매립이 2.3%, 재활용 97%로 재활용이 급격히 증가함을 알 수 있다(한국자원공사). 폐콘크리트의 재활용을 위해 순환골재가 실용화 되었고, 순환골재 생산과정에서 발생하는 5mm이하의 폐콘크리트잔분은 폐콘크리트 발생량의 9%를 차지하며 처리방안이 미비한 실정이다.

그리고, 석·골재 산업은 여러 산업분야의 급속한 성장과 더불어 꾸준하게 발전하여 왔다. 최근 석·골재 자원의 수요가 점점 증가함에 따라 개발과 가공 시

발생되는 분진과 폐수, 석분 및 슬러지등이 각종 환경오염 문제를 야기 시켜, 이와 관련된 업체의 존폐에 적지 않은 영향을 미치고 있다.

우리나라의 경우 석재자원은 전국토의 약 25%에 석재가 매장되어 있으며 추정매장량은 70억톤으로 가채년한은 약 160년이다. 현재 제주도내 현무암을 가공 생산하는 공장들이 수십 개소가 있다. 이 채석장에서 원석을 채굴하여 건축용 석재 등으로 가공하는 과정에서 석재의 약 60% 정도가 폐석이나 석분 슬러지로 손실 되고 있다. 이 중 폐석의 일부분만이 도로 포장용 쇄석골재로 재활용 되고 있을 뿐 대부분의 폐석 및 석분 슬러지는 방치, 노적되어 주위환경을 훼손 및 오염시켜 주된 민원대상이 되고 있다. 각 사업장에서는 이들을 자체적으로 처리하기 위하여 매립용 부지의 확보 및 처리시설의 설치에 막대한 비용이 소요되어 업체에 큰 부담이 되고 있는 실정이다. 석분 슬러지는 국내 현행 폐기물 관리법에서는 사업장내에서 발생하는 산업폐기물로 분류되고 있어 별도의 처리방법이나 재활용 방법이 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 폐콘크리트 재활용 골재 생산과정에서 발생하는 산업 부산물 폐콘크리트잔분과 석재 가공 시 발생하는 현무암석분을 혼합하여 도로성토용 재료로 적합한지에 대하여 환경적·공학적 특성을 분석하기위해 XRF 분석, 유해물질 함유량 분석, 입도분석시험, 비중시험, 다짐시험, CBR시험, 대형전단시험, 등의 일련의 실내시험을 실시하였다. 산업부산물 재활용차원에서 폐콘크리트 잔분과 현무암석분을 도로성토용 재료로 활용할 수 있다면, 현재 막대하게 투여되는 일반토사 및 쇄석을 다소 줄일 수 있으며, 또한 산업부산물이 단순한 폐기물이 아니라 새로운 자원의 발생원으로 매립비용을 감소시키며 경제적 가치를 얻을 수 있을 것이다.

## II. 기존이론

### 1. 도로의 구조 및 재료의 품질기준

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.

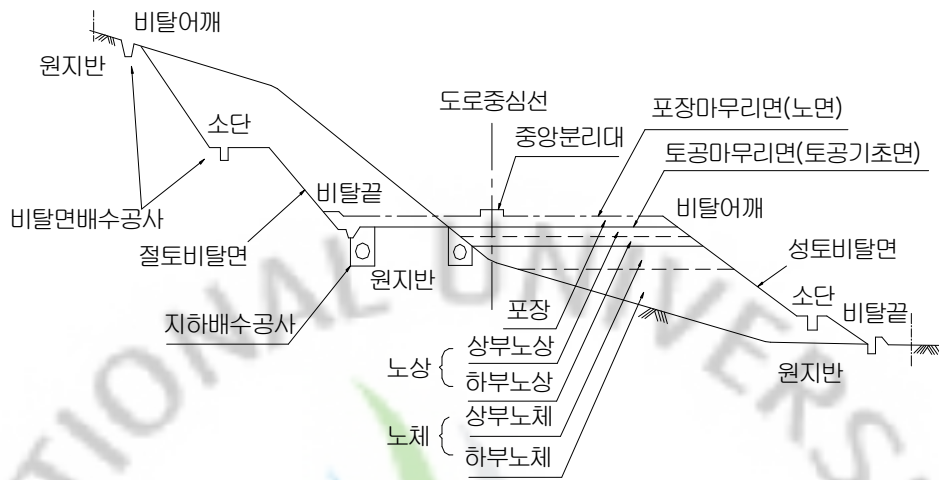


Fig 2.1 Title of each parts for earth work

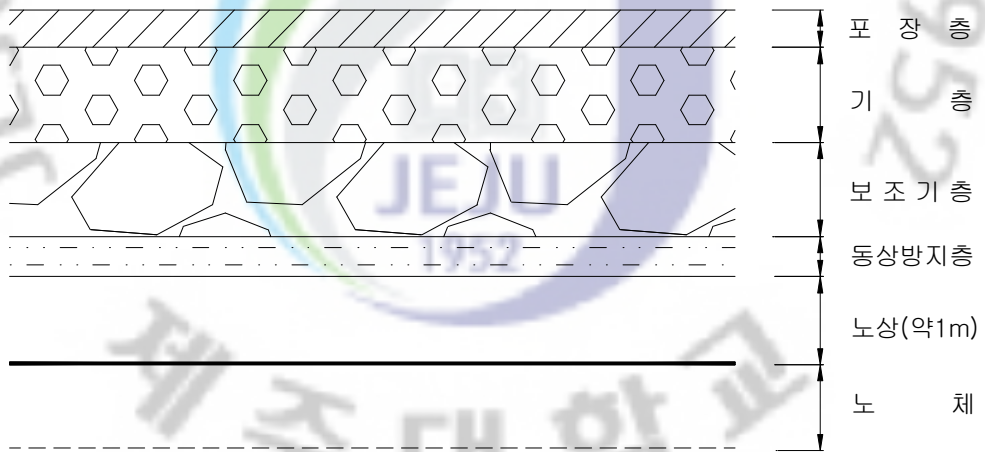


Fig 2.2 Standard composition of banking section

## 1) 노상

노상(subgrade)은 포장층의 기초로 노면에 작용하는 모든 하중을 최종적으로 지지해야 하는 부분이다. 노상은 다층구조의 포장층을 통하여 전달하는 하중에 의해서 노상층에서 과잉변형 또는 변위를 일으키지 않는 최적지지조건을 제공할 수 있어야 한다.

노상층은 흙쌓기부에서는 토공 끝마무리 면에서, 땅깁기부에서는 굴착마무리 면에서 아래로 약 1m 부분이 이에 해당되며, 흙쌓기부의 노상층 아래 부분을 노체라 한다. 노상의 마무리 표면을 노상면(subgrade)이라 한다.

노상면에 균등한 지지력을 얻기 위하여 일정한 두께를 유지시킬 필요가 있고, 동결작용을 완화시킨 동상방지층, 조상층의 세립토가 보조기층에 침입을 방지시키는 차단층을 둘 수가 있다.

노상층은 노체위에 약 1m두께의 토층이며, 노상토가 보조기층에 침입하거나 노상층이 동결하는 것을 방지하기 위하여 차단층 또는 동상방지층을 노상의 일부로서 설치하며, 그 기능을 강화시키기 위한 별개층을 설치하는 경우도 있다. 표층은 원활한 주행표면을 제공하고, 미끄럼과 마모저항 및 하중분산 기능을 가지는 표층의 최상부에 위치하는 마모층(wearing course)과 하중을 기층에 균일하게 전달하고 전다층(transitional layer)기능을 가지는 중간층(binder course)으로 구분하여 설치할 수도 있다.

### (1) 노상재료의 품질기준

노상에 사용하는 재료의 품질은 Table. 2.1과 같으며 폐콘크리트 사용시 최대 입경이 100mm로 하고, 기타 품질항목은 표 에서 제시한 값을 사용한다.

Table. 2.1 Design standards of subgrade

구 분	상 부 노 상	하 부 노 상	시험법
최대치수 <sup>1)</sup>	100mm 이하	150mm 이하	-
5mm 체 통과량	25~100%	-	-
0.08mm 체 통과량	0~25%	50% 이하	-
소성지수 (PI,%)	10 이하	20 이하	-
다짐도 (%)	95% 이상	90% 이상	KS F 2312
시공시의 함수비(%)	다짐도 및 수정CBR 10 이상을 얻을 수 있 는함수비 , 최적함수비 $\pm 2\%$	다짐도 및 수정CBR 5 이상을 얻을 수 있 는 함수비	KS F 2306 KS F 2312
시공층 두께	20cm 이하	20cm 이하	한층당 마무리 두께
수 침 CBR <sup>2)</sup>	일반 노상	안정 처리 노상	일반노상 안정처리노상 <sup>3)</sup>
	10 이상	20 이상	

주 1) 시험시공을 통하여 노상의 최종 마무리 조건(마무리면의 평탄성, 처짐 허용치 내에 있고 공사용 차량의 주행에 대해서 표면의 유동이 생기지 않을 것)을 만족하는 것이 확인되면 최대치수 규정을 완화할 수 있다.

주 2) CBR시험의 공시체 함수비는 자연함수비  $W_n$ 이 최적함수비  $W_{opt}$  이상의 경우,  $W_n$ 이  $W_{opt}$  미만의 경우에는  $W_{opt}$ 로 한다.  $W_n$ (자연함수비)은 계절, 기상조건 등에 따라 항상 변화하지만 우기, 동결융해기 등을 제외하면 지표로부



터 50cm 아래의 시료로 측정된 함수비로 한다.

주 3) 안정치리노상의 수침CBR은 공기 중 양생후 수침한 공시체에 대하여 결정된 CBR 로 한다.

## 2) 노체

노체는 상부에 놓이게 되는 포장층을 지지하면서 환경과 외력에 대하여 안정적인 구조물로 설계되도록 하여야 한다. 노체는 대부분 흩쌓기에 의한 흩 구조물로 형성되는데 다음사항을 충분히 고려해서 경제적인 설계가 되도록 한다.

### (1) 노체 재료의 품질관리

토사 또는 암괴를 재료로 노체를 형성하는 경우에는 다음의 Table. 2.2 규정에 적합한 것이어야 한다.

Table. 2.2 Design standards of roadbed

구 분 항 목	토 사 <sup>1)</sup>	암버럭	시험법
기본사항	초목, 그루터기, 덤불,뿌리, 쓰레기, 유기질토 등의 유해물질이 함유되지 않아야 한다.	노체 완성면 60cm 이하에만 적용할 수 있다.	-
다짐도	90%이상	시험시공에 의해 결정	KS F 2312 A,B 방법
수침 C B R	2.5 이상	-	-
시공시의 함수비	다짐시험방법에 의한 최적함수비 부근과 다짐곡선의 90%밀도에 대응하는 습윤 측 함수비 사이	자연함수비	-
다짐후의 건조밀도	1.5t/m <sup>3</sup> 이상	1.5t/m <sup>3</sup> 이상	-
최대치수	30cm이하	시험시공에 의해 결정	한층당 마무리 두께

주1) 토사란 암버럭에 해당하지 않는 일반적인 흙쌓기 재료를 말함.

주2) 풍화암 이암, 세일, 실트질암, 천매암, 편암 등 암석의 역학적 특성에 의하여 쉽게 부서지거나 수침반복시 연약해지는 암버럭의 최대치수는 30cm 이하로 한다.

주3) 수침 C B R이 2.5이하인 토사의 경우라도 안정처리대책을 강구하여 사용할 수 있다.

주4) 폐콘크리트 등 건설폐기물은 최대입경 100mm이하로 파쇄하여 사용한다.

### 3) 보조기층

보조기층은 교통하중을 분산시켜서 노상에 균일하게 전달하는 중요한 역할을 하는 부분이다. 따라서 충분한 지내력을 지니고 있어야 하고 내구성이 큰 재료로 유기불순물, 기타 유해물 등을 함유하지 않아야 한다.

보조기층으로 필요한 두께는 경제적 또는 역학적 기능에 따라 상층보조기층과 하층보조기층으로 구분한다. 하층보조기층은 비교적 지지력이 작고 값싼 재료를 사용하고, 상층보조기층은 지지력이 큰 양질의 재료를 사용한다.

보조기층재료의 품질기준은 강도, 소성도, 입도에 대하여 기층재료에 비해 다소 덜 엄격한 재료 사용이 가능하므로 현장부근의 재료 확보 가능성 및 경제성을 고려하여 선택한다. 그러나 경제적인 면에서 노상 층의 품질이 아주 우수하여 지지조건이 충분하고 배수기능이 양호한 경우, 특히 통행 교통량이 적은 경우에는 보조기층을 생략할 수 있다(한국도로교통협회,1997).

보조기층 재료는 막자갈, 철강슬래그, 모래 등의 비교적 강도가 적고, 현장부근에서 구하기 쉬운 경제적인 재료를 사용하는데, 보조기층의 구조적 기능을 고려하여

- ① 기층 속으로 세립토사의 침입 방지
- ② 동결작용에 따른 손상효과의 극소화
- ③ 포장층내 또는 하부층에 침투수의 고임 방지
- ④ 시공장비를 위한 작업로의 제공등을 고려한다.

#### (1) 보조기층 재료의 품질기준

보조기층 재료는 막자갈, 철강슬래그, 모래 등의 비교적 강도가 적고, 현장부근에서 구하기 쉬운 경제적인 재료를 사용한다. 다음의 표 와 표 는 보조기층에 적용되는 재료에 대하여 품질기준과 표준입도를 나타낸 것이다.

도로의 보조기층재료에 대한 표준입도는 Table. 2.4에 의한다. 폐콘크리트를 제공하는자는 Table. 2.4의 입도분포곡선(SB-1, SB-2)의 범위에 속하는 폐콘크리트를 제공하며, 사용자도 이 표준입도에 속한 재료를 원칙적으로 사용한다. 표

준입도를 원칙으로 하나 도로의 중요성, 재료의 조건 등을 감안하여 골재의 최대 입경이 표준크기 이상인 경우에는 연속입도로서 보조기층의 품질과 시공 상에 문제가 없을 경우 사용할 수가 있다.

보조기층재료는 수정 CBR이 50이상의 재료를 사용하지만, 수정 CBR이 50이하이거나 소성지수(PI)가 6이상인 재료는 소량의 시멘트 또는 소석회 등으로 안정처리하여 사용한다.

또한 사용재료에 대하여 입경이 0.08mm체를 통과하는 점토질토의 함유한도는 대략 10% 정도이고, 0.4mm체 통과분이 소성지수(PI)가 아스팔트 포장의 경우 6 이하, 시멘트 포장의 경우 10 이하로 규정하고 있으며, 최대입경은 50mm이하가 바람직하다(Table. 2.3 참조).

**Table. 2.3 Design standards of sub-base**

구 분	시험방법	기 준
액성한계	KS F 2303	25이하
소성지수	KS F 2303	6이하
마모감량	KS F 2503	50이하
모래당량	KS F 2340	25이상
수정 C B R	KS F 2320	50이상

**Table. 2.4 Design standards of particle size distribution of sub-base**

입 도 번 호	통 과 중 량 백 분 율 (%)							
	75mm	50mm	40mm	20mm	5mm	2mm	425 $\mu$ m	75 $\mu$ m
SB-1	100	-	70-100	50-90	30-65	20-55	5-25	2-10
SB-2	-	100	80-100	55-100	30-70	20-55	5-30	2-10

#### 4) 뒤채움재

뒤채움재(보강토 옹벽의 재료)로 사용되는 흙은, 주위에서 구득이 용이해야 하며, 적절한 강도를 발현해야 하고, 배수가 잘되는 흙이려야 한다. 따라서 흙 재료를 선정하기에 앞서 국내·외의 뒤채움재 선정기준을 살펴보았다.

##### (1) 뒤채움재료의 품질기준

한국 건설기술연구소(1983)에서는 뒤채움재 선정기준으로 최대입경 25.4cm 이하이며, 200번체 통과량이 15%이내려야 한다고 규정하고 있으며, 최소기준으로서 마찰각이 25°보다 커야한다고 규정하고 있다.

한국도로공사 표준시방서에서는 구조물 뒤채움 재료는 보조기층재료 SB-1 품질기준에 적합해야 하는 것으로 규정하고 있으며, SB-1 품질기준은 1층 다짐 완료 후 두께가 20cm 이하이고, 최대건조밀도의 95%이상 다짐을 요구하고, 평판재하시험에서 콘크리트포장 지지력계수 20kg/cm<sup>3</sup>이상(침하량 0.125cm)이며, 아스콘포장 지지력계수 30kg/cm<sup>3</sup>이상(침하량 0.25cm)으로 규정되어 있다. 그 내용은 다음 Table. 2.5와 같다.

Table. 2.5 Design standards of backfills. (도로공사 표준시방서, SB-1)

항 목	최대치수	4.75mm체 통과량	0.075mm체 통과량	소성지수	수정 CBR
규 정	100mm 이하	20~100%	15% 이하	10 이하	10 이상

또한, 성토재료로서 사용가능한 건조단위중량의 한계는 1.0tf/m<sup>3</sup>(수침에 대하여 안전한 조건)이상으로 규정하고 있다.

한편, 국내 특별시방서 규정(지하철 6호선)에서 뒷채움재 기준으로, 유효직경 5cm이상의 자갈과 날카로운 잡석이 없어야 하고, 적당한 함수비를 유지하며, 나무나 쓰레기등은 포함되지 않아야 한다고 규정하고 있다.

각국의 뒷채움재 선정기준을 아래 Table. 2.6에 기술하였다.

각국의 일반기준에서는 대부분 200번체 통과량이 15%이내가 되어야 한다고 규정하고 있다.



Table. 2.6 Backfill Selection standard of various nations(이은수, 1997)

구 분	입도크기 및 특성	
	일반기준	최소기준
프랑스 (M.O.T, 1980)	125mm 100% 80 $\mu$ m $\leq$ 15%	80 $\mu$ m > 15% 경우 1.15 $\mu$ m $\leq$ 10% 2.15 $\mu$ m = 10~20% $\psi \geq 25^\circ$ (돌기형) $\delta \geq 22^\circ$ (관형)
영국 (D.T.P, 1983)	125mm 100% 90mm 85~100% 100mm 25~100% 600 $\mu$ m 10~65% 63 $\mu$ m 0~10%	425 $\mu$ m 통과율의 LL $\leq$ 45% PI $\leq$ 20% 2 $\mu$ m $\leq$ 10%
미국 (F.H.W.A, 1974)	254mm(10in) 100% 101.6mm(in) 100~75% 200번체(75 $\mu$ m) 0~15%	PI : 벽체 $\leq$ 6% 경사면 $\leq$ 20% 안정성소실율 $\leq$ 30% $\psi \geq 25^\circ$
일본	최대입경 350mm 150mm $\leq$ 25% 74 $\mu$ m $\leq$ 15%	최대입경 350mm 150mm $\leq$ 25% 74 $\mu$ m $\leq$ 15% 5 $\mu$ m $\leq$ 7%
한국 (국립건설연구소, 1983)	최대입경 254mm(10in) 101.6mm(in) 100~75% 74 $\mu$ m 0~15%	$\psi \geq 25^\circ$

## 2. 폐콘크리트잔분과 현무암석분의 발생 과정 및 현황

### 1) 폐콘크리트잔분

폐콘크리트 재활용 과정은 1차 폐콘크리트 선별을하고, 2차 크라샤과정을 통해 3차 순환골재와 폐콘크리트잔분으로 분류된다. 이때, 폐콘크리트의 최대 90% 이상은 순환골재로 재활용되고 나머지 폐콘크리트잔분은 매립 처리하는 실정이다.

Fig. 2.3~2.4는 폐콘크리트잔분이 발생하는 과정의 단계별 사진촬영 자료이다.



Fig. 2.3 The photo of the Waste Concrete Powder Production (1)





③ Crusher Process



④ Recycled Aggregates



⑤ Waste Concrete Powder

Fig. 2.4 The photo of the Waste Concrete Powder Production (2)

전국적으로 건설폐기물 총 발생량은 연간 61,679천톤 그 중 폐콘크리트 40,258천톤, 폐아스팔트 7,911천톤, 기타 13,511톤으로 제주도의 발생량은 321,616톤으로 총 발생량의 0.5%을 차지한다. Table. 2.7과 Table. 2.8은 제주도 건설폐기물 발생현황과 제주도 건설폐기물 처리현황을 나타내었다(한국환경자원공사.2007).

**Table. 2.7 Construction Waste production present condition of Jeju Island  
(Korea Environment & Resources Corporation. 2007)**

Region	Production place (EA)	Production place (More than 100 ton)	Production Quantity ( ton/year )
Jeju City	248	34	168,300
Seogwipo City	267	27	153,316
Total	515	113	321,616

**Table. 2.8 Construction Waste dispose present condition of Jeju Island  
(Korea Environment & Resources Corporation. 2007)**

Section	Total	Concrete Waste ( ton/year )	Asphalt Waste ( ton/year )	Others ( ton/year )
Production Quantity	321,616	177,485	99,533	44,598
Disposal Method	13,543	9,750	-	-
	849	-	-	849
	307,224	167,735	99,533	43,749

제주도에서 발생하는 폐콘크리트잔분은 제주도 전체 건설폐기물의 약41.98%를 처리하는 업체(J사)에서 입고된 폐기물의 양을 근거로 추정하여 산출하였다.

Table. 2.9과 Table. 2.10은 J사의 건설폐기물 반입현황과 2006년도 기준 추정치로 건설폐기물처리현황을 통해 제주도 폐콘크리트잔분 예상처리량과 처리비용을 나타내었다.

Table. 2.9 Construction Waste carry present condition in J' Company

Section	Concrete Waste ①	Asphalt Waste ②	①+②
2005	227,567.93	55,510.20	283,078.13
2006	156,990.40	57,955.51	214,945.91
2007	157,825.73	63,479.79	221,305.52
Total	542,384.06	176,945.50	719,329.56

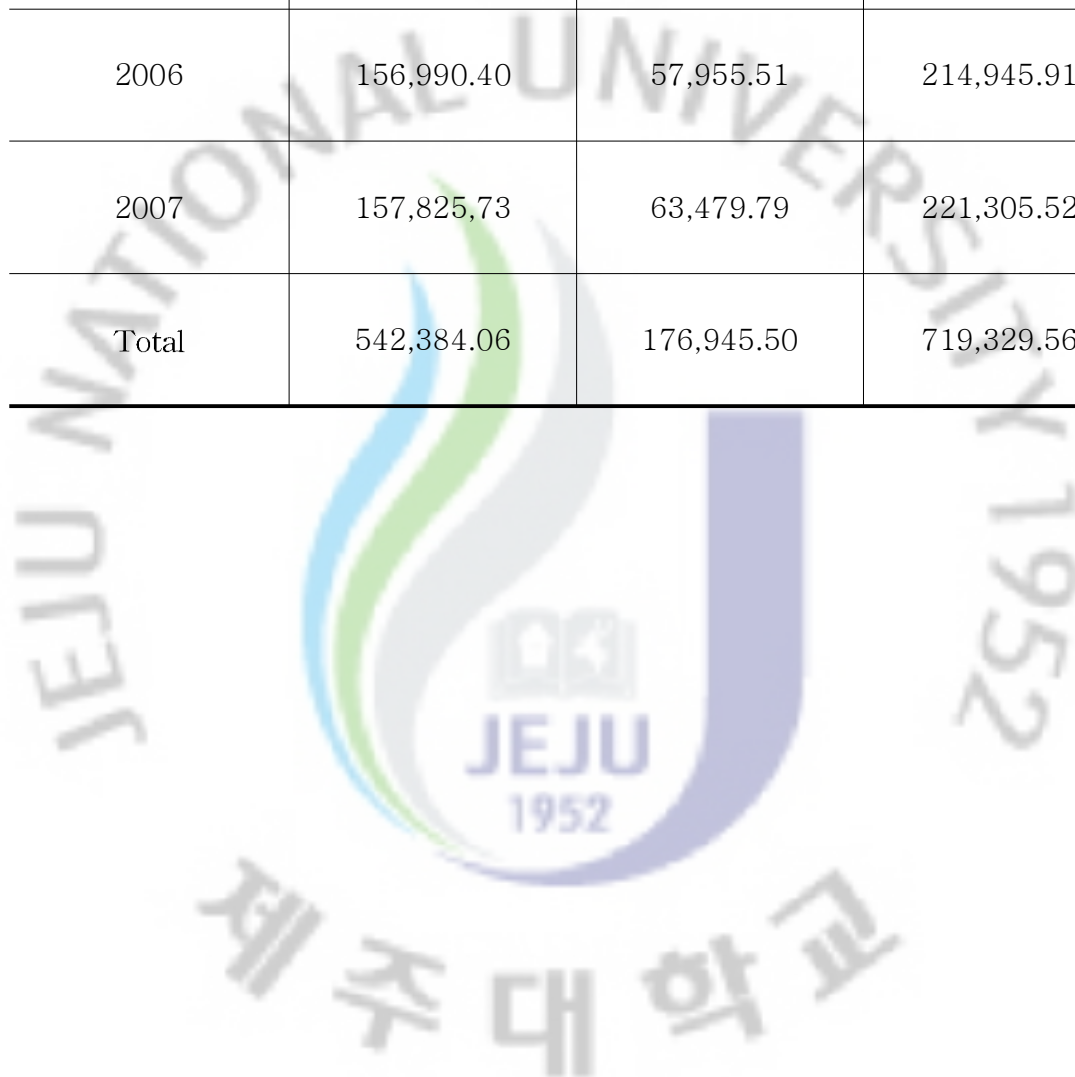


Table. 2.10 Construction Waste dispose present condition in J' Company (2006 year)

Section		Total	Cost of Disposal
Total Dispose Quantity		156,990.4 ton (88.4% of total production quantity in Jeju )	-
Disposal Method	Recycled Aggregates	109,893.28 ton	-
	Waste Concrete Powder -Landfill-	47,097.12 ton (Carry Concrete Waste in J' Company of max 30%)	when landfill dispose : 27,000(won/ton)×47,097.12 (ton/year)=1,271,622,240 (won/year) <b>※ Cost of Disposal : 1,220,000,000 (won/year)</b>
<b>Estimated Total Disposal Quantity of Waste Concrete Powder in Jeju Island</b>		47,097.12+9,750+3,223.38 = 60,070.5 ton	when landfill dispose : 27,000(won/ton)×60,070.5 (ton/year) = 1,621,903,500(won/year) <b>※ Cost of Disposal : 1,620,000,000 (won/year)</b>

## 2) 현무암석분

석재 가공과정에서 발생하는 현무암석분은 기계의 냉각수로 사용되는 물과 절삭 및 연마시 발생하는 석분이 혼합되어 현탁액으로 분출되는데 원폐수인 현탁액이 기계하부의 수로와 공장내부에서 외부로 보내지는 수로를 통해 이동하여 1, 2, 3차 침전지와 저수조 중화및 응집조, 농축 및 침전조를 거친 후 탈수과정 이후 현무암석분이 발생하며, Fig. 2.5과 Fig. 2.6은 현무암석분이 발생하는 과정의 단계별 사진촬영 자료이다.



① Wastewater



② Collecting Water



③ 1st Settling



④ 2nd Settling

Fig. 2.5 The photo of the Powdered Basalt Production (1)



⑤ 3rd Settling



⑥ Dewatering



⑦ Powdered Basalt Sludge



⑧ Piling

Fig. 2.6 The photo of the Powdered Basalt Production (2)

전국적으로 석재 가공과정에서 발생하는 현무암석분의 연간 발생량 및 처리비용은 Table. 2.11에 나타내었다. Table. 2.11에서 보는 바와 같이 현무암석분 발생량은 2003년을 기준으로 약 80만톤으로 톤당 처리 비용을 15,000원 정도로 계산할 때 연간 처리 비용은 약 120억원 정도 소요되고 있다.(하은용, 2005)

**Table. 2.11 The Current Status of the Stone Sludge Production Amount and Treatment Expenses**

Section	'97	'99	'00	'01	'02	'03	Note
Stone Sludge (ton)	987,200	983,800	780,000	733,500	790,300	787,800	
Cost of Disposal (one hundred million won)	148	147.6	117	110	118.5	118.2	15,000 won/ton

제주도에서 발생하는 현무암석분양은 현재 정확한 집계가 어려우며, 폐기물을 처리하는 업체에서 입고된 폐기물의 양을 근거로 추정하여 산출하였다. 제주도는 현무암석분을 처리할 수 있는 면허를 가진 폐기물처리업체는 한군데로 여기에 집하되는 현무암석분은 2개의 석재 가공공장에서 나오는 수량이 집하되고 있는 실정이다. 제주도내 석재가공공장이 13개소 정도이므로 공장마다 규모가 조금씩 다르지만 개략 추정하여 발생량을 추정하면 Table. 2.12와 Table. 2.13과 같다.

**Table. 2.12 The Present Status of the Scrapped Stone Material Disposal**

Section	'03	'04	'05	'06. 9	Note
Amount of Construction Wastes (ton)	169	4,380	6,524	2,493	①
Amount of Basalt Stone Sludge Wastes(ton) (two plants)	68	1,752	2,610	997	About 40% of ①
Amount of Production per Industry (ton)	34	876	1,305	499	
Amount of Estimated Production (ton)	442	11,388	16,965	6,481	13 Plants

**Table. 2.13 The Production Amount of the Powdered Basalt**

Section	'03	'04	'05	'06. 9	Note
Basalt Stone Sludge(ton)	442	11,388	16,965	6,481	
Cost of Disposal (one million won)	6.6	170	254	97	15,000 won/ton

현무암석분의 발생의 추정은 '03년도부터 조사가 되었으나, '03년도의 조사는 신뢰성이 없으며, '04년도와 '05년도의 발생량을 표에서 보는 것과 같이 50%정도가 늘어났다. 실제 폐기물처리 업체를 통해 처리되는 현무암석분은 1년에 약 15,000톤으로 추정되지만, 2005년도 관급자재와 사급자재 생산량을 기준으로 산출한다면 생산량 45,530톤의 40%정도로 약 18,000톤 이상이 발생하는 것으로 추정되어진다.



### III. 실험재료

#### 1. 폐콘크리트잔분

##### 1) 물리적 특성

실험에 사용된 시료는 제주도 봉개동에 위치한 폐기물사업장에서 폐콘크리트 순환골재 가공과정에서 재활용이 되고 있지 않은 5mm이하의 폐잔토를 사용하였으며, 대상 시료의 물리적 특성을 파악하기 위하여 각종 실험을 실시하였다.

Table. 3.1은 폐잔토의 기본 물성을 파악하기 위해 실시한 실험의 한국산업규격(Korea Industrial Standards)을 나타내었다.

**Table. 3.1 The Test Methods for the Waste Concrete Powder**

Item	Korean Industrial Standards
비중시험	KS F2308
액·소성한계 시험	KS F2303, KS F2304,
입도분석	KS F2309, KS F2302
다짐시험	KS F2312

실험결과는 Table. 3.2에 제시하였다. 각 측정치는 3회 측정치의 평균값이다.

Fig. 3.1은 연구에 사용된 폐콘크리트잔분의 입도분포곡선을 나타내었다. 입도 분포곡선에서 실트(M) 4~5%, 모래(S) 95~96%의 입자상태를 나타내었다.

폐콘크리트잔분은 토양과 다르므로 토양의 분류기준을 적용하기는 어려우나 통일분류법(Unified Soil Classification System)에 의하여 분류하면 SW입도분포

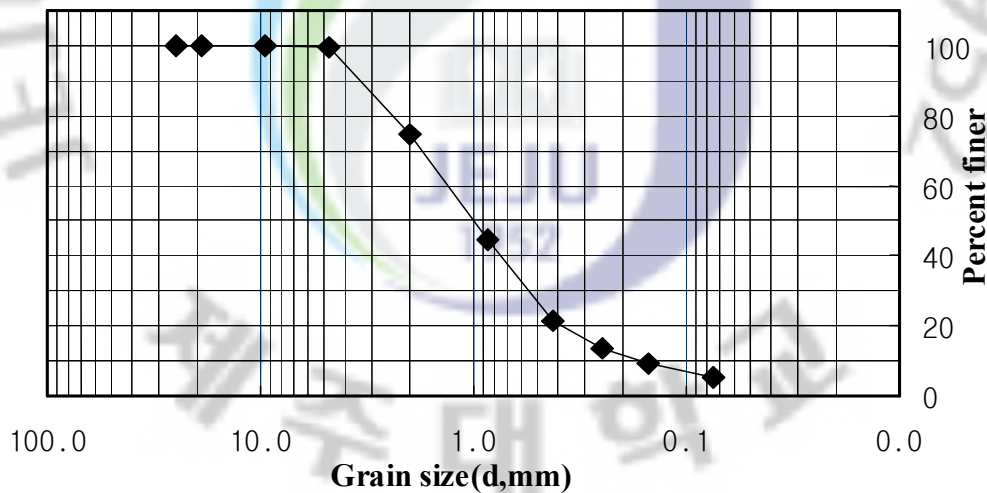
가 좋은 모래와 유사한 것으로 나타났다.

비중은 2.84로서 일반적인 토사의 비중값 2.65~2.7에 비해 크다.

Fig. 3.2는 폐콘크리트잔분의 다짐곡선을 보여주고 있다. E다짐 시험결과 최적 함수비는 11%~12%에 분포하며, 최대건조단위중량은  $1.97\text{g/cm}^3$ 의 범위에 분포하고 있다.

**Table. 3.2 The physical properties of the Waste Concrete Powder**

Tests	Test Result	
	Contents	Powdered basalt
Specific gravity	Specific gravity(Gs)	2.84
Liquid & Plastic Limits	Liquid limit (LL,%)	NP
	Plastic limit (PL,%)	NP
Compaction	Optimum moisture content(%)	11.6%
	Maximum dry unit weight ( $\text{g/cm}^3$ )	1.97



**Fig. 3.1 Grain-size distribution curve of Waste Concrete Powder**

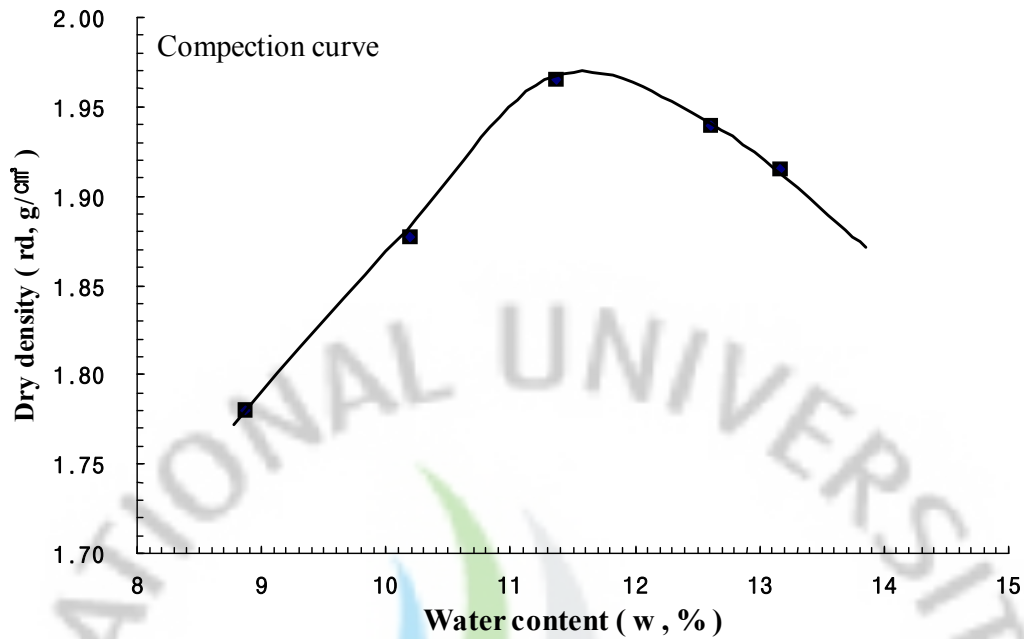


Fig. 3.2 Compection curve of Waste Concrete Powder

## 2) 화학적특성

폐콘크리트잔분의 화학적 특성을 알아보하고자 서울대학교 기초과학 교육연구 공동기기원에 의뢰 X선 형광분석기(X-Ray Fluorescence, XRF)를 통해 40kv의 전류와 30mA 전압으로 Rh target를 사용하여 X선을 주사하여 주요성분을 분석하였다.

Table. 3.3과 Fig. 3.3은 XRF를 통해 분석한 폐콘크리트잔분의 화학적 조성 분석결과를 나타내었다. 화학적 조성을 보면 실리카성분인  $SiO_2$ 의 함량이 42.76%로 나타나 가장 큰 비율을 나타내었으며  $CaO$ 의 함유율은 16.39%로  $Al_2O_3$ 가 11.02%,  $Fe_2O_3$ 가 7.87%로 나타났다. 일반적으로 쓰이는 잔골재와 비교 하였을 때 폐콘크리트잔분은 폐콘크리트 순환골재 가공과정에서 발생하므로  $CaO$ 의 함량이 높음을 알 수 있다.

폐콘크리트잔분의 입자모양과 상태를 살펴보기 위하여 장방출주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, SEM JSM-6700F JEOL

CO.LTD)사진을 통해 관찰한 결과는 Fig. 3.4와 같고, 표면은 불규칙하고 미세 입자들로 이루어져 있으며 기공이 분포 하지 않는 것으로 관찰되었다.

Fig. 3.5는 폐콘크리트잔분의 pH를 측정하는 모습이다. 폐콘크리트잔분에 일정한 증류수를 혼합한 현탁액의 pH를 폐콘크리트잔분의 pH로 정의 하였다. pH측정은 유리전극을 이용한 전위차 측정법(KS F 2103)을 적용하였다.

pH를 측정한 결과 9.0의 값을 가지므로 알칼리성분임을 알 수 있다. 이러한 원인은 콘크리트의 주성분인 시멘트가 알칼리 성분을 가지고 있기 때문으로 판단된다.

Table. 3.3 Chemical composition of Waste Concrete Powder

Sample constituent	폐잔토 Contents(%)	잔골재 Contents(%)
$SiO_2$	42.76	46.29~62.18
$Al_2O_3$	11.02	13.90~19.65
$TiO_2$	1.42	0.26~3.51
$Fe_2O_3$	7.87	4.25~13.59
$MgO$	3.57	0.1~8.69
$CaO$	16.39	1.02~10.32
$Na_2O$	1.67	2.70~6.54
$K_2O$	1.30	0.85~3.83
$MnO$	0.16	0.09~0.23
$P_2O_5$	0.26	0.10~0.29
LOI	0.83	0.25~10.97

※ LO.I : Loss of Ignition

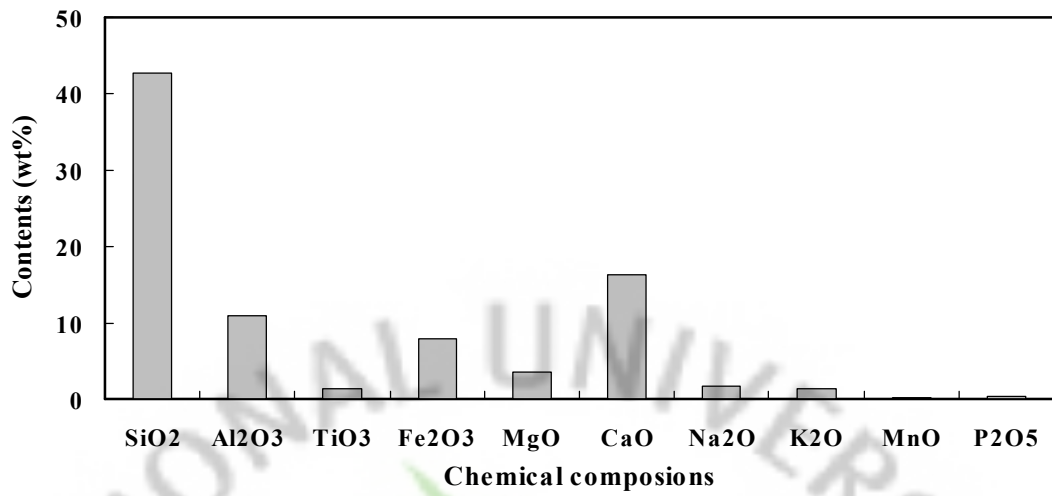


Fig. 3.3 Chemical composition of Waste Concrete Powder

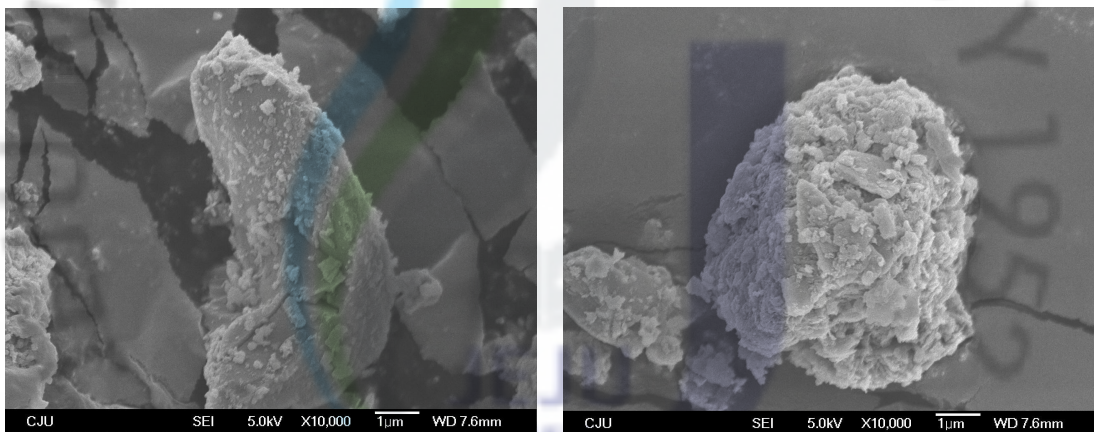


Fig. 3.4 SEM result of Waste Concrete Powder ( $\times 10,000$ )



Fig 3.5 Photograph of pH test about Waste Concrete Powder

폐콘크리트잔분에 대하여 용출시험을 실시하여 화학적 농도를 분석하였다. 분석 결과는 Table. 3.4와 같으며, 폐콘크리트잔분에 대한 화학적 농도는 폐기물관리법 기준치를 모두 만족하는 것으로 나타났다(폐기물관리법,2000).

Table. 3.4 The Analysis of the Harmful Chemistry Ingredient Content

Item	Standard	Result	Item	Standard	Result
Pb	3 or above	0.27	Cr <sup>+6</sup>	1.5 or above	not-detected
Cu	3 or above	0.273	CN	1 or above	not-detected
As	1.5 or above	0.042	Aerobic(P)	1 or above	not-detected
Hg	0.005 or above	not-detected	PCE	0.1 or above	not-detected
Cd	0.3 or above	not-detected	TCE	0.3 or above	not-detected

※ Unit: mg/ℓ

## 2. 현무암 석분

### 1) 물리적 특성

실험에 사용된 시료는 제주시 함덕에 위치한 석재 가공공장에서 나온 현무암 석분을 사용하였으며, 대상 시료의 물리적 특성을 파악하기 위하여 각종 실험을 실시하였다.

100℃ 이상으로 24시간 이상 완전 건조 한 다음 재 분쇄하여 No.4번체를 통과한 시료를 사용하였다.

Table. 3.5는 폐석분의 기본 물성을 파악하기 위해 실시한 실험의 한국산업규격(Korea Industrial Standards)을 나타내었다.

**Table. 3.5 The Test Methods for the Powered Basalt**

Item	Korean Industrial Standards
비중시험	KS F2308
액·소성한계 시험	KS F2303, KS F2304,
입도분석	KS F2309, KS F2302
다짐시험	KS F2312

실험결과는 Table. 3.6에 제시하였다. 각 측정치는 3회 측정치의 평균값이다.

Fig. 3.6은 연구에 사용된 현무암석분의 입도분포곡선을 나타내었다. 입도분포 곡선에서 미세입자들의 함량이 비교적 크게 나타났다. 입자의 직경이 0.002mm보다 작은 부분이 약 20%정도로 나타나고 있다.

현무암석분은 토양과 다르므로 토양의 분류기준을 적용하기는 어려우나 통일분류법(Unified Soil Classification System)에 의하여 분류하면 무기질의 실트 및 매

우 가는 모래의 ML과 소성이 보통이하인 무기질 점토인 CL과 유사한 것으로 나타났다.

비중은 2.97로서 일반적인 토사의 비중값 2.65~2.7에 비해 크다.

액성한계(LL)는 22.3%~23.00, 소성한계(PI)는 3.46%~5.73%로 소성이 작은 것으로 나타났다.

Fig. 3.7은 현무암석분의 다짐곡선을 보여주고 있다. E다짐 시험결과 최적함수비는 16~17%에 분포하며, 최대건조단위중량은 1.735g/cm<sup>3</sup>의 범위에 분포하고 있다.

**Table. 3.6 The physical properties of the Powered Basalt**

Tests	Test Result	
	Contents	Powdered basalt
Specific gravity	Specific gravity(Gs)	2.97
Liquid & Plastic Limits	Liquid limit (LL,%)	22.3
	Plastic limit (PL,%)	16.57
	plastic index (PI)	5.73
Compaction	Optimum moisture content(%)	16%
	Maximum dry unit weight (g/cm <sup>3</sup> )	1.735



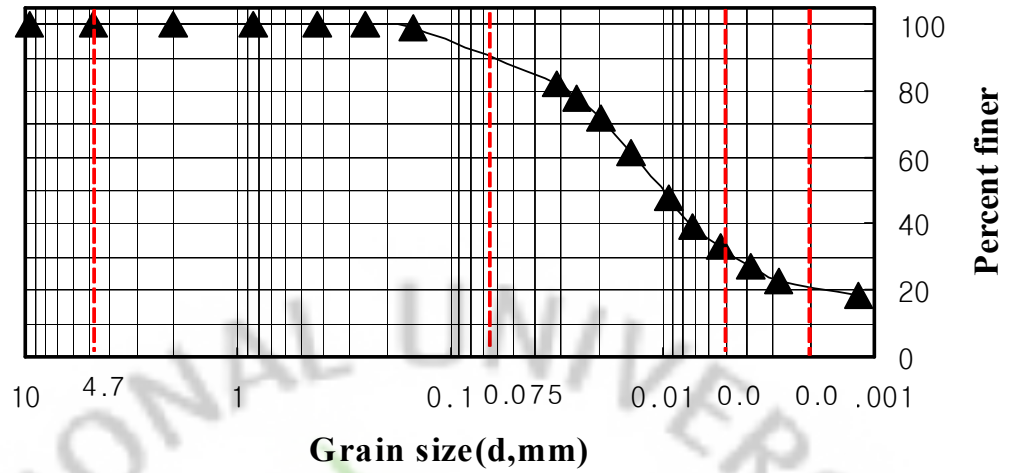


Fig. 3.6 Grain-size distribution curve of Powered Basalt

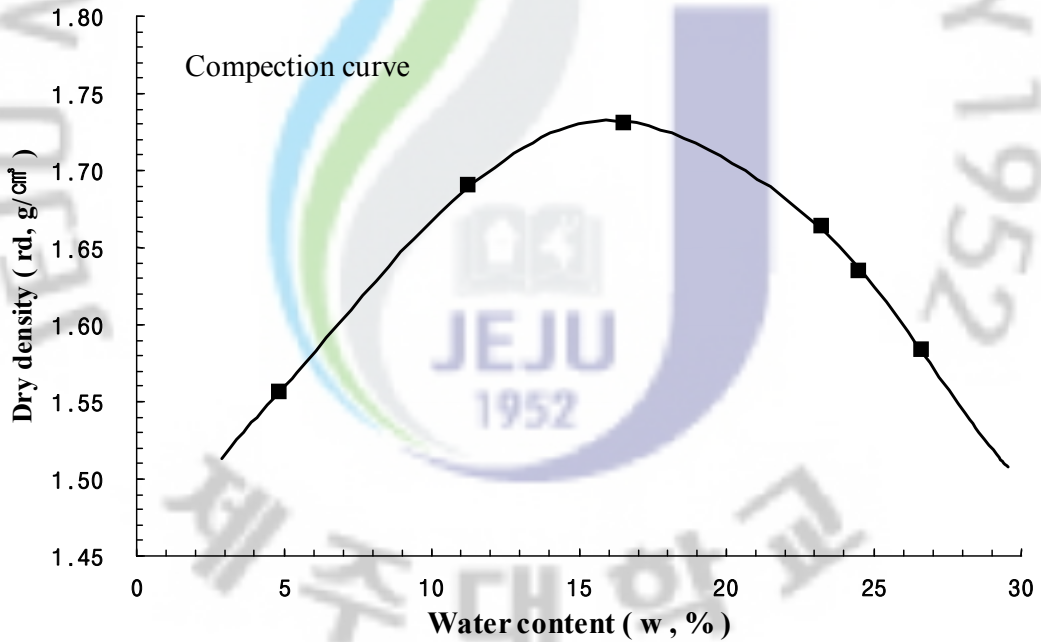


Fig. 3.7 Compaction curve of Powered Basalt

## 2) 화학적 특성

현무암 석분의 화학적 특성을 알아보하고자 서울대학교 기초과학 교육연구 공동

기기원에 의해 X선 형광분석기(X-Ray Fluorescence, XRF)를 통해 40kv의 전류와 30mA 전압으로 Rh target를 사용하여 X선을 주사하여 주요성분을 분석하였다.

Table. 3.7과 Fig. 3.8은 XRF를 통해 현무암 석분에 대하여 분석한 현무암 현무암석분의 화학적 조성 분석결과를 나타내었다. 화학적 조성을 보면 실리카성분인  $SiO_2$ 의 함량이 52.66%로 나타나 가장 많은 비율을 나타내었으며  $CaO$ 의 함유율은 8.31%로  $Al_2O_3$ 가 14.67%,  $Fe_2O_3$ 가 11.06%로 나타났다.

현무암석분의 입자모양과 상태를 살펴보기 위하여 장방출주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, SEM JSM-6700F JEOL CO.LTD)사진을 통해 관찰한 결과는 Fig. 3.9와 같다.

Fig. 3.10은 현무암 석분의 pH를 측정하는 모습이다. 현무암 석분에 일정한 증류수를 혼합한 현탁액의 pH를 현무암 석분의 pH로 정의 하였다. pH측정은 유리전극을 이용한 전위차 측정법(KS F 2103)을 적용하였다. pH를 측정한 결과 9.3의 값을 가지므로 알칼리성분임을 알 수 있다.

Table. 3.7 Chemical composition of Powered Basalt

Sample Constituent	Contents(%)
<i>SiO<sub>2</sub></i>	52.66
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	14.67
<i>TiO<sub>2</sub></i>	1.93
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	11.06
<i>MgO</i>	6.33
<i>CaO</i>	8.31
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	2.84
<i>K<sub>2</sub>O</i>	0.98
<i>MnO</i>	0.14
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	0.34
<i>LOI</i>	-
<i>total</i>	99.26

※ LO.I : Loss of Ignition

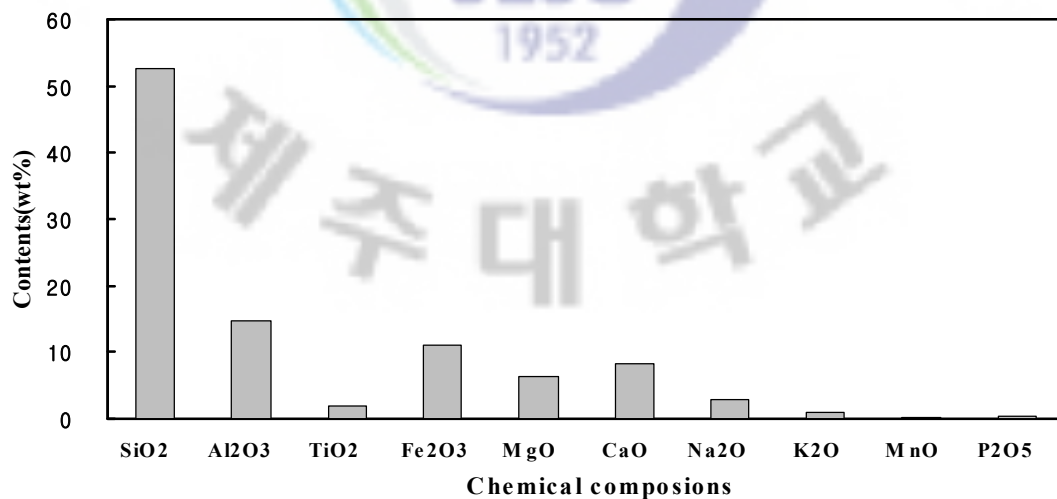
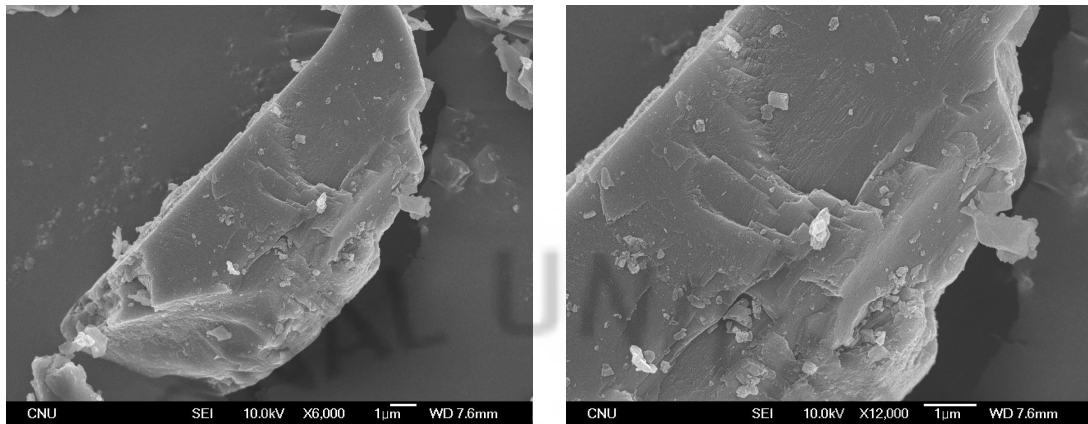


Fig. 3.8 Chemical composition of Powered Basalt



**Fig. 3.9 SEM result of Powdered Basalt (6,000:12,000)**



**Fig 3.5 Photograph of pH test about Powdered Basalt**

현무암석분에 대하여 용출시험을 실시하여 화학적 농도를 분석하였다. 분석 결과는 Table. 3.8과 같으며, 현무암석분에 대한 화학적 농도는 폐기물관리법 기준치를 모두 만족하는 것으로 나타났다(폐기물관리법,2000).

**Table. 3.8 The Analysis of the Harmful Chemistry Ingredient Content**

Item	Standard	Result	Item	Standard	Result
Pb	3 or above	not-detected	Cr <sup>+6</sup>	1.5 or above	not-detected
Cu	3 or above	0.163	CN	1 or above	not-detected
As	1.5 or above	not-detected	Aerobic(P)	1 or above	not-detected
Hg	0.005 or above	not-detected	PCE	0.1 or above	not-detected
Cd	0.3 or above	0.027	TCE	0.3 or above	not-detected

※ Unit: mg/ℓ

## IV. 폐콘크리트잔분-석분 혼합토의 공학적 특성

### 1. 실험개요

폐기물로 처리되어지는 폐콘크리트잔분과 현무암 석분의 재활용을 목적으로 건설폐잔토와 현무암석분을 일정한 비율로 배합한 혼합토를 제작하여 물성과 공학특성을 분석함으로써, 혼합토가 성토재료로서 적합한지를 판단하기 위하여 실시하였다. 혼합토는 아래 Table. 4.1과 같이 각각의 배합비율을 달리한 총 4개 시료로 구분된다.

Table. 4.1 Mixed ratio between Waste Concrete Powder and Powdered Basalt

Mixed Sample	Waste Concrete Powder (%)	Powdered Basalt (%)
A	100	0
B	90	10
C	80	20
D	70	30

실내 실험은 입도분석, 소성지수, 다짐시험, CBR, 대형직접전단 시험을 수행하였다.

**Table. 4.2 Test item and test method**

Test item	Unit	Test standard
입도분석시험	-	KS F 2302
소성지수	-	KS F 2303
다짐시험	t/m <sup>3</sup>	KS F 2312
수정C.B.R	%	KS F 2320
대형직접전단	°	KS F 2343

## 2. 입도분포변화

입도분석시험은 KS F 2302에 의해 실시하였다. 아래 Table 4.3와 4.4는 폐콘 크리트잔분과 현무암석분의 혼합비에 대한 입도분석시험 결과이다.

성토재료로서 노상과 뒤택움재의 입도분포 기준은 상부노상은 4.75mm체 통과 25~100% 0.075mm체 통과 0~25%, 하부노상은 4.75mm체 통과 25~100% 0.075mm체 통과 50%이하, 뒤택움재는 4.75mm체 통과 25~100% 0.075mm체 통과 15%이하를, 보조기층은 표준입도 SB-1과 SB-2를 만족하여야 한다(도로설계 편람 2000, 건설교통부 1997). Table. 4.3에서 보는바와 같이 시험결과 모든 배합 비율에 대하여 노상 상·하부 입도기준항목에 모두 만족하는 것으로 나타났으나, Sample D의 경우 뒤택움재 기준항목에 만족하지 못하는 것을 알 수 있다.

Table. 4.4는 보조기층재의 입도기준을 나타내었으며 Sample A,B,C,D 모두 기준을 만족하지 못하는 것을 알 수 있다. 이러한 경우 도로의 보조기층용 표준 입도를 만족하기 위해 골재를 일부 혼합하여 사용하는 것이 바람직하다.

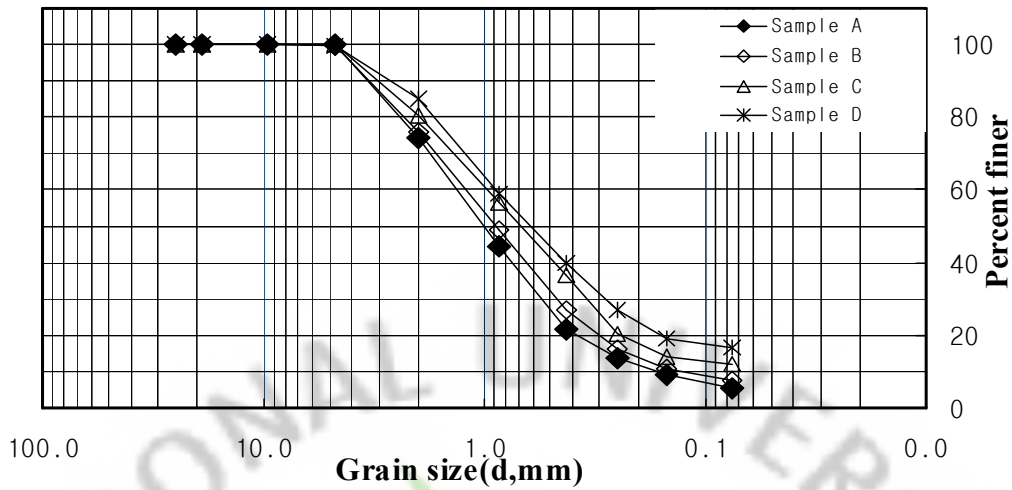


Fig. 4.1 Grain-size distribution curve of Sample A,B,C,D

Table. 4.3 Standard particle size distribution of sub-grade layer, backfills materials and particle size distribution of Sample A,B,C,D

Sample name	Sub-grade		Backfills	A	B	C	D
	Upper part 1m of road	Lower part 60 of road		100:0	90:10	80:20	70:30
Maximum dimension (mm)	100	150	100	5	5	5	5
Percent passing 4.75mm sieve(%)	25~100	25~100	25~100	99.62	99.75	99.8	99.83
Percent passing 0.075mm sieve(%)	0~25	<50	<15	5.4	7.5	12	16.8



Table. 4.4 Standard particle size distribution of sub-base layer materials and particle size distribution of Sample A,B,C,D

Particle size		Percentage passing by mass (%)							
		75m m	50m m	40mm	20mm	5mm	2mm	425 $\mu$ m	75 $\mu$ m
Standar d	SB-1	100	-	70-100	50-90	30-65	20-55	5-25	2-10
	SB-2	-	100	80-100	55-100	30-70	20-55	5-30	2-10
A 100:0		100	100	100	100	99.62	74.5	21.47	5.4
B 90:10		100	100	100	100	99.75	76	27	7.5
C 80:20		100	100	100	100	99.8	80.49	36.5	12.1
D 70:30		100	100	100	100	99.83	85	40	16.8

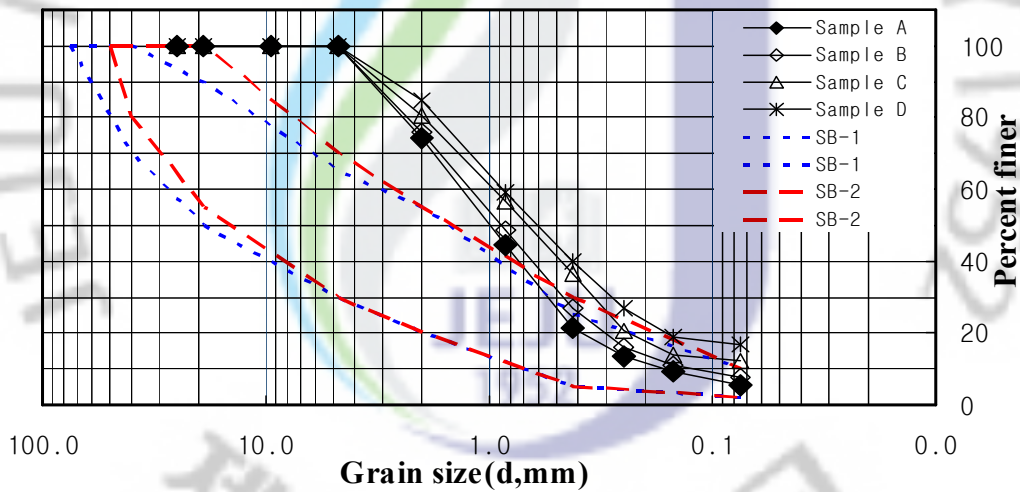


Fig. 4.2 Standard particle-size distribution of sub-base layer and grain-size distribution of Sample A,B,C,D

### 3. 액·소성 한계 실험

액·소성 한계 시험은 KS F 2303에 의해 실시하였다. 아래 Table. 4.5는 폐콘크리트잔분과 현무암석분의 혼합비에 대한 액·소성 시험 결과이다.

성토재료로서 노상과 뒤택움재의 소성지수 기준은 상부노상은 10이하, 하부노상은 20이하, 뒤택움재는 10이하, 보조기층은 6이하를 만족하여야 한다(도로설계편람). 시험결과 모든 배합비율에 대하여 N.P로서 기준항목에 모두 만족하는 것으로 나타났다.

Table. 4.5 Standard plastic index value of sub-grade, backfills, sub-base materials and plastic index value of Sample A,B,C,D

Sample name	Mixed ratio	Plasticity index
Sub-grade	Upper part 1m of road	< 10
	Lower part 60 of road	< 20
Backfills		< 10
Sub-base		< 6
A	100:0	N.P
B	90:10	N.P
C	80:20	N.P
D	70:30	N.P

#### 4. 다짐밀도 변화

폐콘크리트잔분과 현무암석분의 혼합비율에 따른 단위중량을 산정하기 위하여 다짐시험(KSF 2312)을 실시하였다. 혼합비율에 따른 혼합토의 전체 단위중량을 직접적으로 산정하기 어려우므로, 다짐시험을 통하여 최적함수비와 최대건조단위중량을 산정하였다. 아래 Table. 4.6은 폐콘크리트잔분과 현무암석분의 혼합비에 따른 최대건조단위중량을 정리한 것이다.

Table. 4.6에서 보는바와 같이 현무암석분의 혼합비율의 증가로 인해 최대건조단위중량은 감소하고 최적함수비는 증가하는 것으로 나타났다.

**Table. 4.6 Result of compaction test**

Mixed ratio (폐콘크리트잔분:현무암석분)	Dry unit weight (t/m <sup>3</sup> )	OMC (%)	비고
A (100:0)	1.97	11.6	E다짐
B (90:10)	1.964	11.8	
C (80:20)	1.96	12.0	
D (70:30)	1.942	12.3	

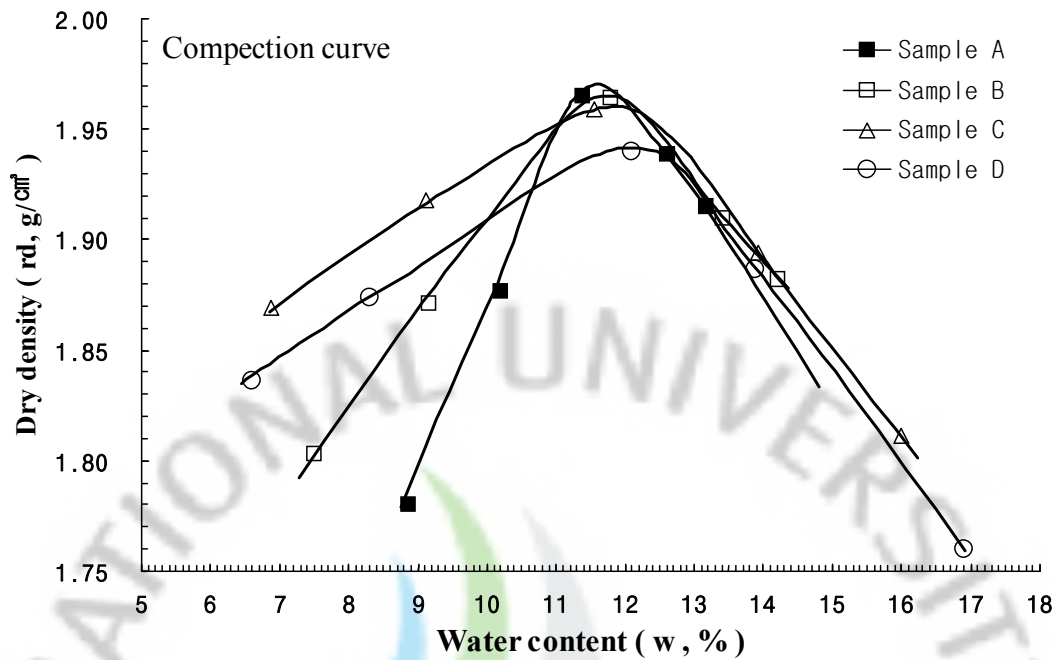


Fig. 4.3 Compaction curve of Sample A,B,C,D

## 5. CBR실험

CBR 시험은 KS F 2320에 의하여 실시하였다. 아래 Table. 4.7과 Fig. 4.4~4.5 는 수정 CBR 시험의 결과를 나타낸 것이다. 혼합비율이 Sample B에서 Sample D로 증가할 때 수정 CBR값은 33%에서 26.5%로 약 20%감소하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 정리하면, 폐콘크리트잔분에 현무암석분 혼합비율이 증가할수록 수정 CBR값은 감소하는 것으로 나타났다. 도로성토용 재료로써 노상과 뒤펀재, 보조기층의 수정 CBR 기준을 살펴보면, 상부노상은 10% 이상, 하부노상은 5% 이상, 뒤펀재는 10% 이상, 보조기층은 50% 이상을 만족하여야 한다(도로 설계편람 2000, 한국도로공사 2009).

시험결과 모든 배합비율에 대하여 보조기층용 품질기준을 제외하고 노상 및 뒤펀재용 품질기준항목을 모두 만족하는 것으로 나타나 노상 과 뒤펀재료로

서 활용이 가능한 것으로 판단된다.

Table. 4.7 Standard CBR value of sub-grade, backfills, sub-base materials and CBR value of Sample A,B,C,D

Sample name	Mixed ratio	Correction of CBR
Sub-grade	Upper part 1m of road	> 10
	Lower part 60 of road	> 5
Backfills		> 10
Sub-base		> 50
A	100:0	35
B	90:10	33
C	80:20	28
D	70:30	26.5

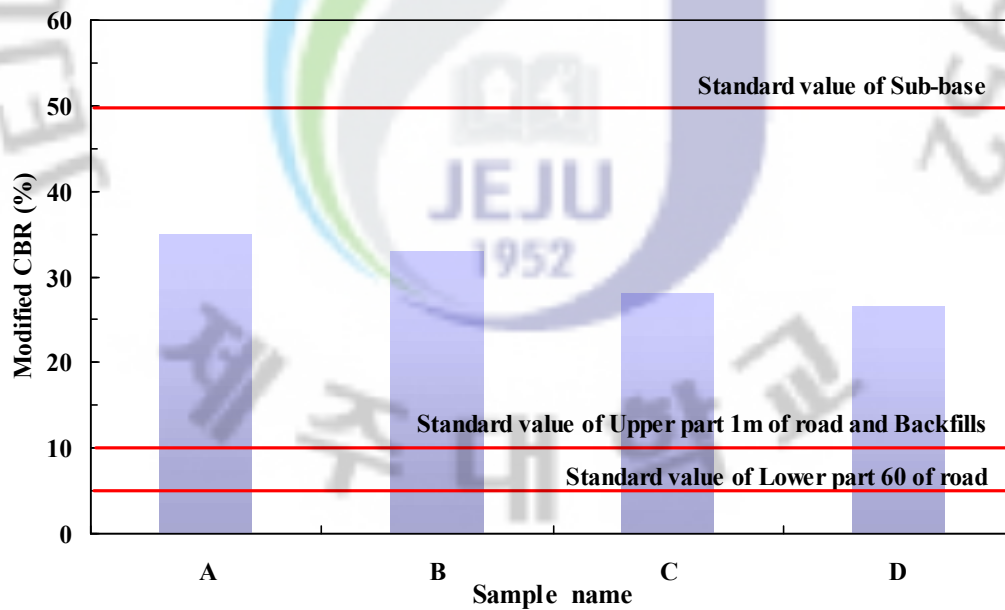


Fig. 4.4 CBR value according to the mixing condition

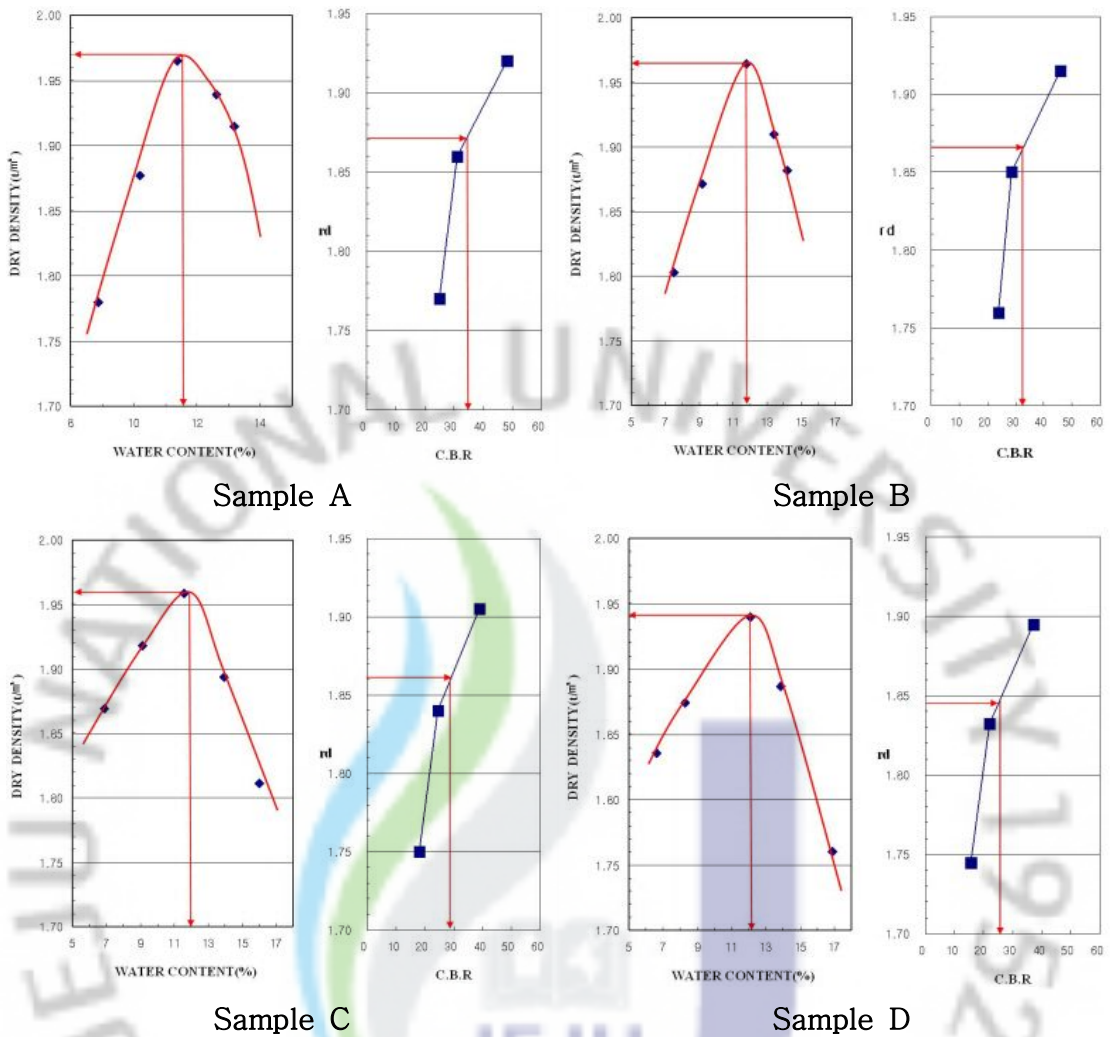


Fig. 4.5 Test result of compaction and C B R in Sample A,B,C,D

## 6. 대형전단 시험

대형직접전단 시험은 KS F 2343에 의해 실시하였다. 아래 표와 그림은 폐콘크리트잔분과 현무암석분의 혼합비율에 따른 대형직접전단시험 결과이다. 시험체는 혼합비율에 따른 E다짐시험결과 최적함수비(OMC)상태로 시료를 성형하여 실험을 실시하였으며, 이때 대형전단 시료박스는 E다짐 시험몰드와 동일하게 제작하였다.

혼합비율이 Sample B에서 Sample D로 증가할 때 내부마찰각은 54.8°에서 51.6°로 약 6%감소하는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 정리하면, 폐콘크리트잔분에 현무암석분 혼합비율이 증가할수록 내부마찰각은 감소하는 것으로 나타났다. 성토재료로서 뒤채움재의 수정 CBR 기준을 살펴보면, 뒤채움재는 30°이상을 만족하여야 한다(대한주택공사 전문시방서). 시험결과 모든 배합비율에 대하여 기준항목을 모두 만족하는 것으로 나타나 뒤채움재료로서 활용이 가능한 것으로 판단된다.

**Table. 4.8 Standard angle of shear resistance value of backfills and angle of shear resistance value of Sample A,B,C,D**

Sample name	Mixed ratio	Angle of shear resistance ( $\phi$ )
Backfills		>30°
A	100:0	58°
B	90:10	54.8°
C	80:20	53.4°
D	70:30	51.6°



**Fig. 4.6 Photograph of Large scale direct shear test**

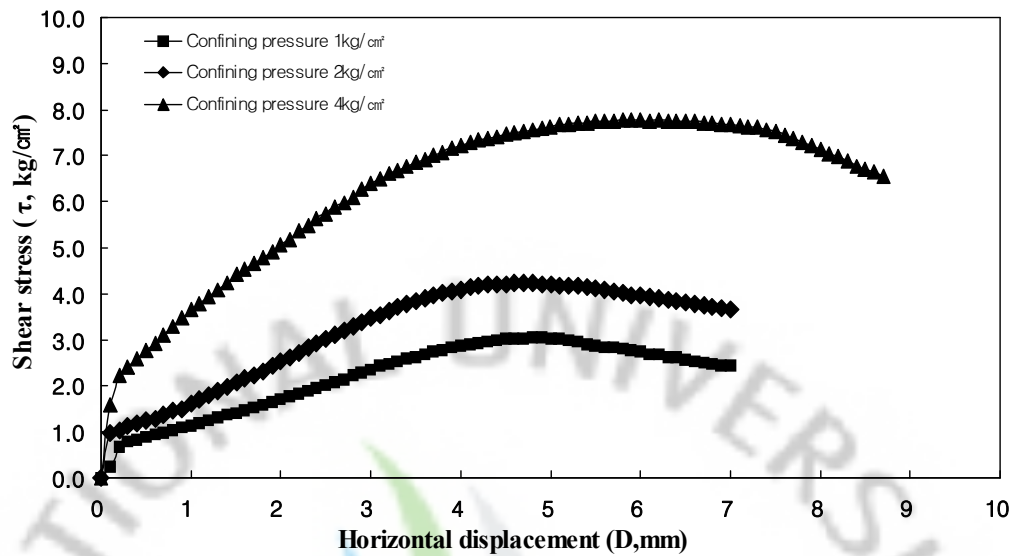


Fig. 4.7 Relationship between Shear stress and Horizontal displacement ( compaction test result OMC, Sample A )

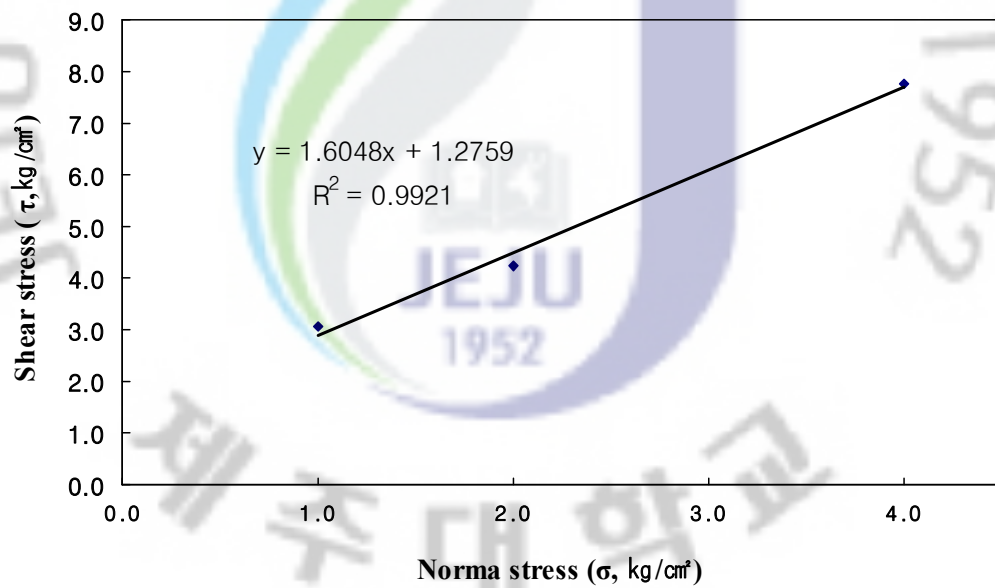


Fig. 4.8 Relationship between Shear stress and Normal stress ( compaction test result OMC, Sample A )



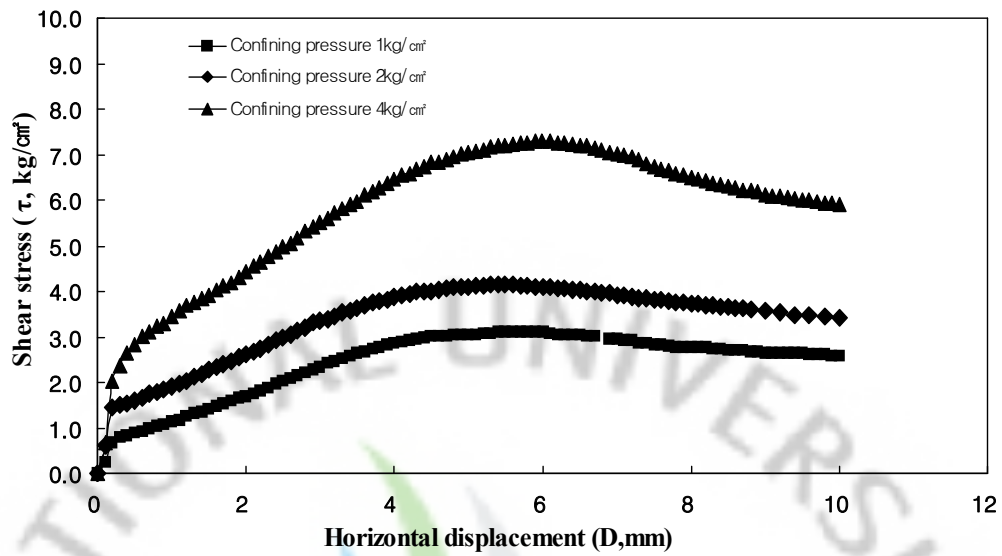


Fig. 4.9 Relationship between Shear stress and Horizontal displacement ( compaction test result OMC, Sample B )

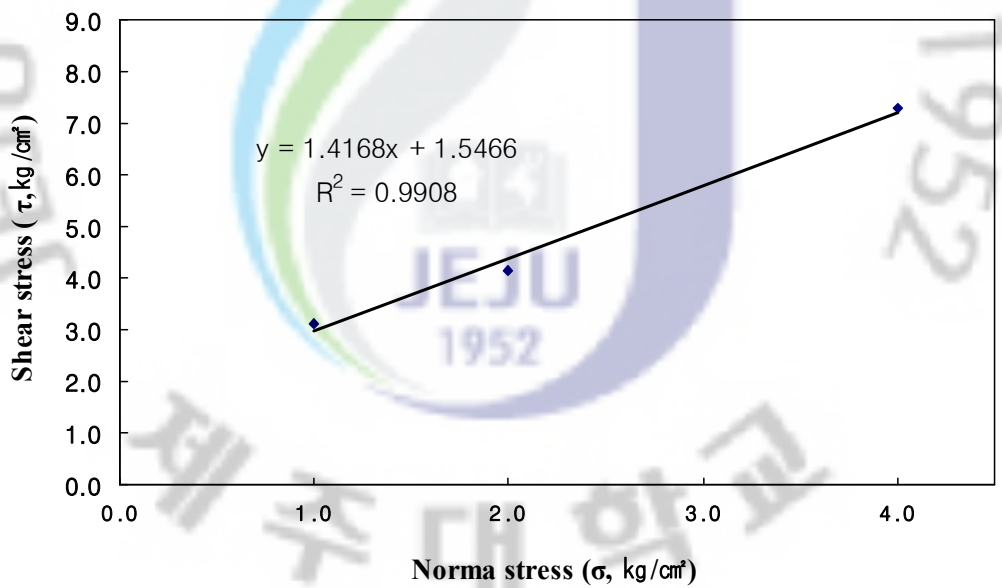


Fig. 4.10 Relationship between Shear stress and Normal stress ( compaction test result OMC, Sample B )

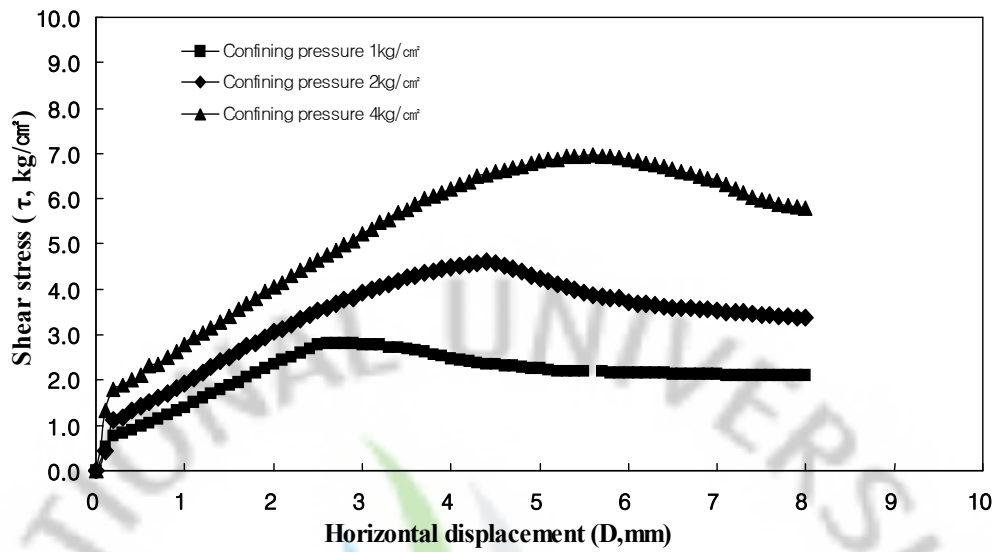


Fig. 4.11 Relationship between Shear stress and Horizontal displacement ( compaction test result OMC, Sample C )

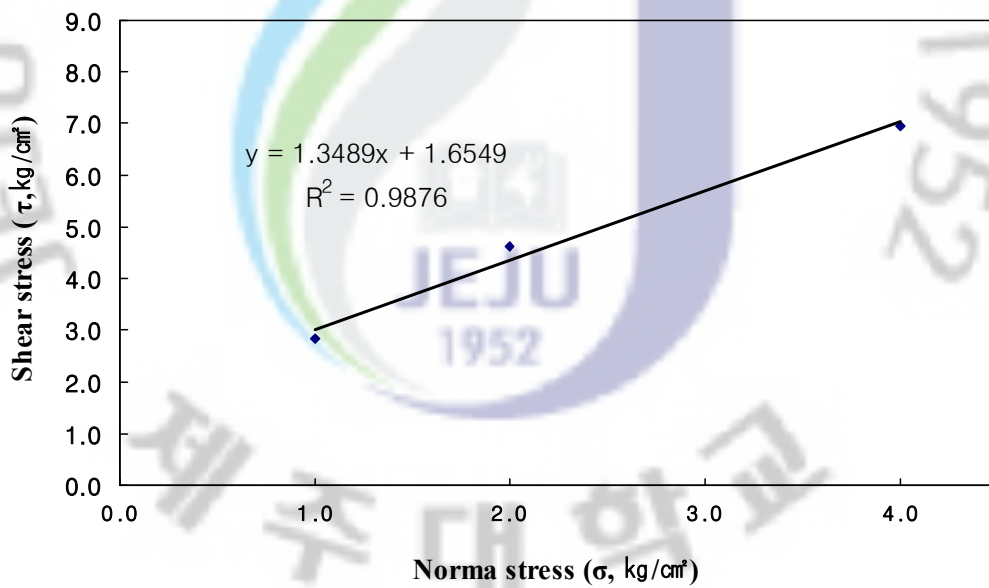


Fig. 4.12 Relationship between Shear stress and Normal stress ( compaction test result OMC, Sample C )

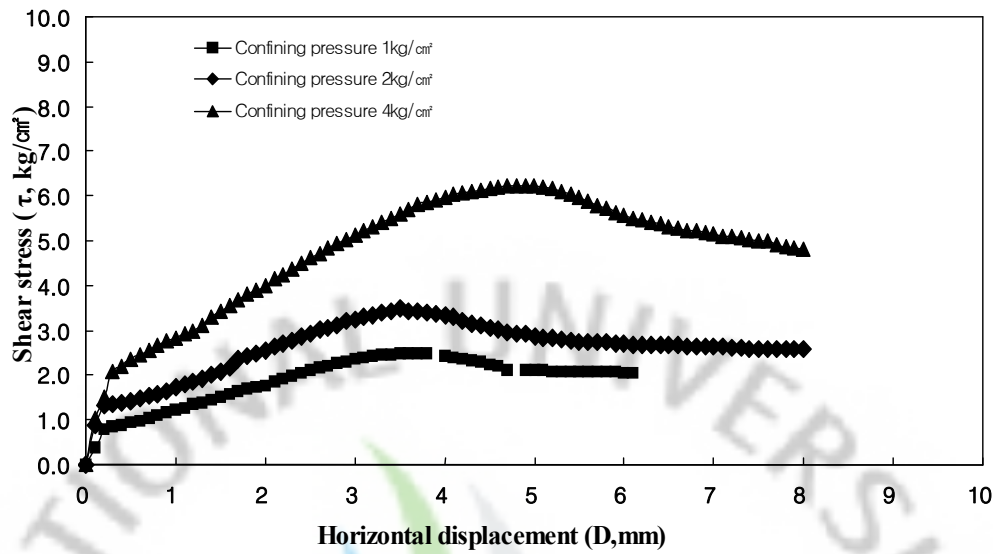


Fig. 4.13 Relationship between Shear stress and Horizontal displacement ( compaction test result OMC, Sample D )

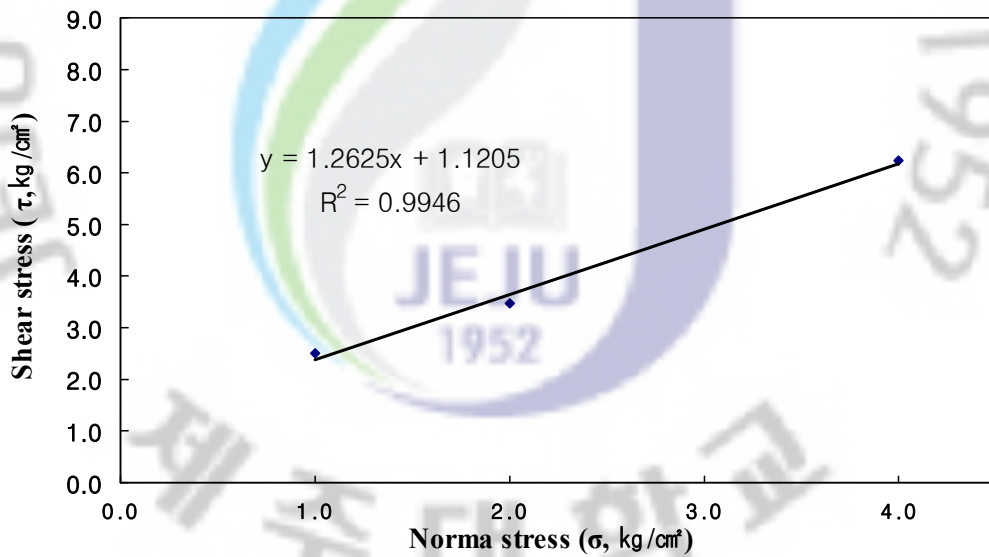


Fig. 4.14 Relationship between Shear stress and Normal stress ( compaction test result OMC, Sample D )

## V. 도로성토용 재료로서 적용성 평가

### 1. 노상(상·하부)층 재료

본 절에서는 Sample A,B,C,D가 노상재료 및 뒤펀층재료로서 적합성 여부를 판단하고자 한다. Table. 5.1와 Table. 5.2는 노상(상·하부)층 재료로서의 공학적 특성 검토결과를 나타낸 것이다. Table. 5.1와 Table. 5.2에서 보는 바와 같이 Sample A,B,C,D 모두 최대치수, 소성지수, 수정 CBR, No.200 및 No.4 통과율이 노상(상·하부)층 재료로서 적합함을 알 수 있다.

Table. 5.1 Comparison with standard value of Upper part 1m of road materials

Contents	Standard value	A		B		C		D	
		Result	Judge	Result	Judge	Result	Judge	Result	Judge
Maximum particle size	less than 100mm	5	OK	5	OK	5	OK	5	OK
Percentage passing No.4	25~100%	99.6	OK	99.7	OK	99.8	OK	99.8	OK
Percentage passing No.200	0~25%	5.4	OK	7.5	OK	12	OK	16.8	OK
Plastic index	less than 10%	N.P	OK	N.P	OK	N.P	OK	N.P	OK
Modified CBR	more than 10%	35	OK	33	OK	28	OK	26.5	OK
Applicability as Upper part 1m of road materials		Yes		Yes		Yes		Yes	

Table. 5.2 Comparison with standard value of Lower part 60 of road materials

Contents	Standard value	A		B		C		D	
		Result	Judge	Result	Judge	Result	Judge	Result	Judge
Maximum particle size	less than 150mm	5	OK	5	OK	5	OK	5	OK
Percentage passing No.4	25~100%	99.6	OK	99.7	OK	99.8	OK	99.8	OK
Percentage passing No.200	< 50%	5.4	OK	7.5	OK	12	OK	16.8	OK
Plastic index	less than 20%	N.P	OK	N.P	OK	N.P	OK	N.P	OK
Modified CBR	more than 5%	35	OK	33	OK	28	OK	26.5	OK
Applicability as Lower part 60 of road materials		Yes		Yes		Yes		Yes	

## 2. 뒤채움재용 재료

Table. 5.3은 뒤채움재용 재료로서의 공학적 특성 검토결과를 나타낸 것이다.

Table. 5.3에서 보는 바와 같이 Sample A,B,C,는 최대치수, 소성지수, 수정 CBR, 내부마찰각, No.200 및 No.4 통과율이 뒤채움재용 재료로서 적합하지만

Sample D는 No.200 통과율이 품질기준을 만족하지 못하여 뒤채움재용 재료로서 부적합함을 알 수 있다.

**Table. 5.3 Comparison with standard value of Backfills materials**

Contents	Standard value	A		B		C		D	
		Result	Judge	Result	Judge	Result	Judge	Result	Judge
Maximum particle size	less than 100mm	5	<b>OK</b>	5	<b>OK</b>	5	<b>OK</b>	5	<b>OK</b>
Percentage passing No.4	25~100%	99.6	<b>OK</b>	99.7	<b>OK</b>	99.8	<b>OK</b>	99.8	<b>OK</b>
Percentage passing No.200	<15%	5.4	<b>OK</b>	7.5	<b>OK</b>	12	<b>OK</b>	16.8	<b>Not Good</b>
Plastic index	less than 10%	N.P	<b>OK</b>	N.P	<b>OK</b>	N.P	<b>OK</b>	N.P	<b>OK</b>
Modified CBR	more than 10%	35	<b>OK</b>	33	<b>OK</b>	28	<b>OK</b>	26.5	<b>OK</b>
Angle of shear resistance( $\phi$ )	more than 30°	58°	<b>OK</b>	54.8°	<b>OK</b>	53.4°	<b>OK</b>	51.6°	<b>OK</b>
Applicability as Backfills materials		<b>Yes</b>		<b>Yes</b>		<b>Yes</b>		<b>No</b>	

### 3. 보조기층용 재료

폐콘크리트잔분과 현무암석분을 일정한 비율로 배합한 혼합토를 제작하여 물성과 공학특성 분석결과 보조기층재료로써 품질기준을 만족하지 못함을 알 수 있었다.

본 절에서는 혼합토를 보조기층재료로서 사용하고자 13mm이하 골재를 혼합토 Sample A에 전체중량의 25%, Sample B에는 30%, Sample C에는 35% 만큼 혼합하여 입도를 조정하여 보조기층용 품질기준을 만족시키고자 품질기준에 해당하는 다짐시험, 소성지수, 수정 CBR, 마모감량시험, 모래당량 등 일련의 실험을 실시하였다.

Table. 5.4와 Fig. 5.1은 보조기층용 표준입도(SB-1, SB-2)와 입도를 조정한 Sample A(2), B(2), C(2)에 대한 검토를 실시하였으며, 검토결과 보조기층 표준입도를 만족함을 확인하였다.

**Table. 5.4 Standard particle size distribution of sub-base layer materials and particle size distribution of Sample A(2), B(2), C(2)**

Particle size Contents		Percentage passing by mass (%)							
		75mm	50mm	40mm	20mm	5mm	2mm	425 $\mu$ m	75 $\mu$ m
Standard	SB-1	100	-	70-100	50-90	30-65	20-55	5-25	2-10
	SB-2	-	100	80-100	55-100	30-70	20-55	5-30	2-10
Sample A (2)		100	100	100	100	60	46	18.3	4.3
Sample B (2)		100	100	100	100	67	49.5	22.5	7.2
Sample C (2)		100	100	100	100	70	53	27	9.8



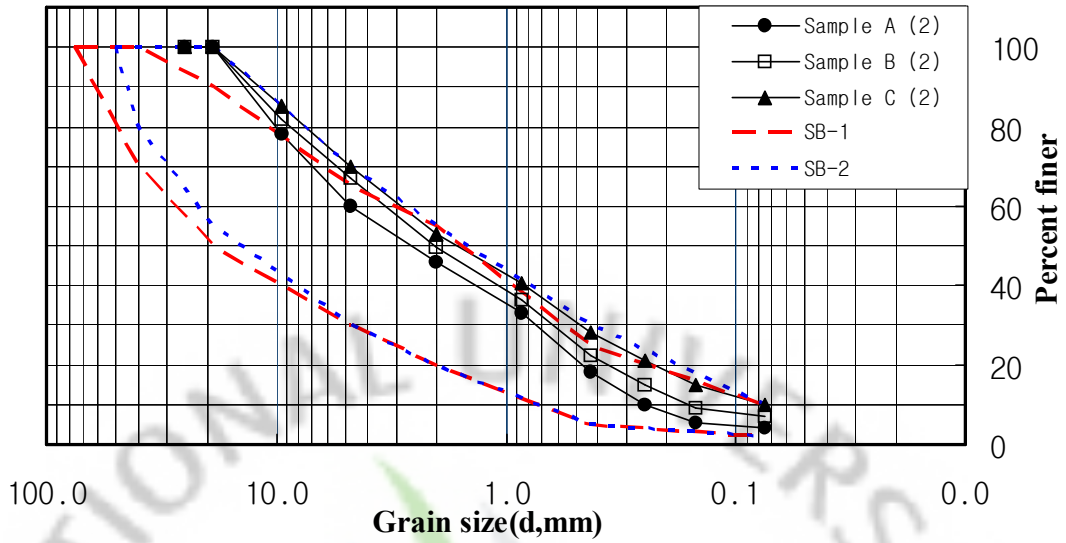


Fig. 5.1 Standard particle-size distribution of sub-base layer and grain-size distribution of Sample A(2) ,B(2), C(2)

Fig. 5.2는 입도를 조정한 Sample A(2), B(2), C(2) 의 다짐시험결과와 수정 CBR 결과이다.

Sample A(2)의 수정 CBR값은 58으로 나타났으며, Sample B(2)의 수정 CBR값은 55, Sample C(2)의 수정 CBR값은 53.5로 나타났다. 이러한 수정 CBR값은 보조기층재료의 품질기준(CBR>50)을 만족하는 것으로 나타났다.

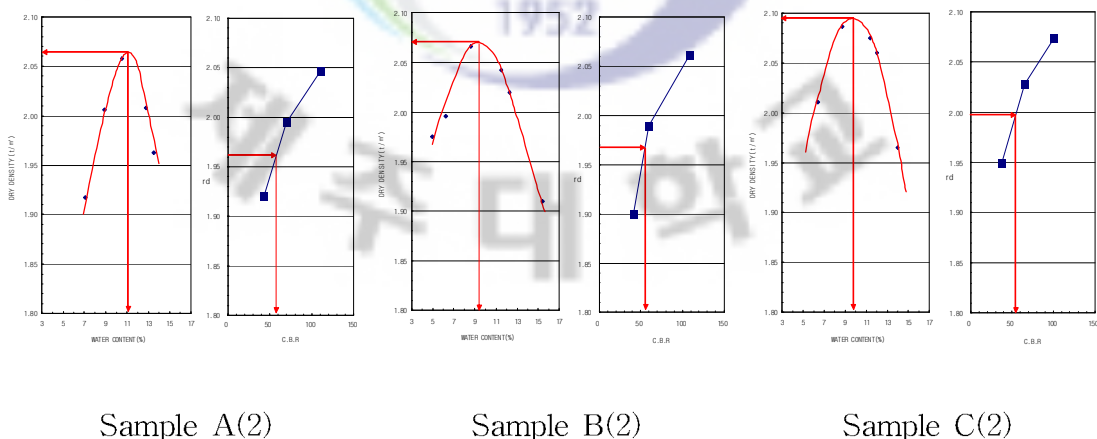


Fig. 5.2 Result of compaction test and modified CBR

마모감량을 조사하기 위해 로스엔젤레스 마모시험기를 이용하여 마모감량시험 (KS F 2508)을 실시하였다. 마모감량에 대한 도로의 보조기층용 재료의 품질기준은 50%이하로써 시험결과 마모감량 33%로 품질기준에 만족하였다.

모래당량은 No.4(4.75mm)체를 통과한 것 중 모래와 점토조성, 잔입자 및 먼지의 상대비율을 나타낸 것이다. KS F 2340에 따라 시험을 실시하였으며 시험결과 Sample A(2), B(2), C(2) 각각 모래당량 70%, 64%, 60%로 보조기층재료용 품질기준 25%이상을 만족하였다.

Table. 5.5는 보조기층용 재료로서 Sample A(2), B(2), C(2) 의 공학적 특성 검토결과를 나타낸 것이다. Table. 5.5에서 보는 바와 같이 Sample A(2), B(2), C(2) 모두 보조기층재료 품질기준인 액성한계, 마모감량, 수정 CBR, 모래당량 및 소성지수를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 이처럼 일정량의 골재를 혼합하여 보조기층재료 표준입도를 만족시켜 공학적인 특성을 우수하게 증대시킨다면 충분히 보조기층용 재료로서 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Table. 5.5 Comparison with standard value of sub-base layer materials

Contents	Standard value	Sample A (2)		Sample B (2)		Sample C (2)	
		Result	Judge	Result	Judge	Result	Judge
Liquid limit	less than 25%	-	OK	-	OK	-	OK
Abrasion loss contents	less than 50%	33%	OK	33%	OK	33%	OK
Plastic index	less than 6%	N.P	OK	N.P	OK	N.P	OK
Modified CBR	more than 50%	58	OK	55	OK	53.5	OK
Sand equivalent	more than 25%	70	OK	64	OK	60	OK
Applicability as sub-base layer materials		OK		OK		OK	

## VI. 결 론

본 연구에서는 폐기물로 처리되어지는 폐콘크리트잔분과 현무암석분을 일정한 비율로 배합한 혼합토에 대한 공학적 및 환경적 특성시험을 수행하였다. 이를 통하여 폐콘크리트잔분과 현무암석분을 도로의 성토재료로서 재활용할 수 있는지 여부를 조사하였으며, 이들 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 폐기물공정시험법에 의한 용출시험결과, 폐콘크리트잔분과 현무암석분에 대한 화학적 농도는 폐기물관리법 기준치를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 따라서, 폐콘크리트잔분과 현무암석분이 환경적으로 영향이 적은 것으로 판단된다.

2. 본 연구에서 사용한 폐콘크리트잔분과 현무암석분 혼합토는 도로의 노상(상·하부)층 재료의 품질기준을 만족하므로 노상재료로 사용할 수 있다.

3. 폐콘크리트잔분과 현무암석분 혼합토는 뒤펀재료의 품질기준인 200번체 통과량 기준을 만족시키지 못한 Sample D(석분함유량 30%)를 제외하고 모두 품질기준을 만족하므로 뒤펀재료로서 사용할 수 있다.

4. 폐콘크리트잔분과 현무암석분 혼합토를 도로의 성토재료로서 범용적으로 사용하기 위해서는 골재 등과 같은 다른 재료들과 혼합하여 공학적 특성 및 품질을 개선시켜야 할 것이다.

이상의 일련의 실험을 통한 폐콘크리트잔분과 현무암석분 혼합토의 일정한 배합비율에 관하여 도로성토재료 사용할 경우, 공학적 기준에 적합하며, 환경적으로 그 유해성이 적은 것으로 생각된다. 따라서 폐콘크리트잔분과 현무암석분이 단순한 폐기물이 아닌 자원으로 재활용 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 건설교통부(1997) 건설폐기물 처리 및 재활용 요령
- 건설교통부(2000) 도로설계편람(I),(II)
- 국토해양부(2009) 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구, 포장하부 구조 시공기준 정립
- 김경수, 송영석(2007) 도로 보조기층재로서 채석장 석분토의 재활용가능성 분석, 지반공학회논문집, 지반공학회, 제17권 2호, pp.279~287
- 김무한(1998) 건설폐기물 및 재생골재 콘크리트, 한국콘크리트학회지, 제10권 6호, pp.52~60.
- 김규용, 이정울, 박유신, 임정수, 김무한(1998) 폐기콘크리트를 활용한 재생 골재의 각종 물성에 관한 실험적 연구, 한국폐기물학회지, 제15권 3호, pp.203~209.
- 남상일, 1995, 재생골재 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 박사학위 논문, 충남대학교, 대전
- 남정만, 윤중만, 김기영, 김광일, 2005, 현무암석분슬러지를 이용한 차수재의 적합성에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 22권 5호, 464~471.
- 서영찬, 박광현, 남영국, 이성희, 1995, 석분 Screenings 기층의 아스팔트포장 상대강도계수 결정 연구, 대한토목학회논문집, 15권 5호, 1233~1239.
- 송영석, 윤중만, 2005, 폐콘크리트의 도로 건설재료로서 적용성 평가, 한국지구시스템학회지, Vol.42, No.2, pp.79~87
- 이선주, 2004, 도로성토재로서 건설폐기물의 적용성 평가, 연세대학교, 석사학위 논문.pp
- 이진용, 1998, “재생콘크리트의 강도발현 특성 및 동결융해 저항성 특성”, 한국콘크리트학회 논문집, 제10권4호, pp.163~169.
- 한국도로공사 도로교통연구원, 고속도로 공사용 건설재료 품질 및 시험기준(9차 개정), 2009

Buck, A.D., 1973 Recycled Concrete, Highway Research Record 430, HRB, pp. 1-8

