

碩士學位論文

친환경 투수성탄성포장재
개발에 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 榮 一

2 0 0 8

碩士學位論文

친환경 투수성탄성포장재

개발에 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

金榮一

2008

친환경 투수성탄성포장재 개발에 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

2008年 12月

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科 土木工學 專攻

金榮一의 工學 碩士學位 論文을 認准함

2008年 12月

委員長 _____ ①

委員 _____ ①

委員 _____ ①

**A Study on the Development of Environment-Friendly
Porous Elastic Pavement Materials**

YOUNG-IL KIM

(Supervised by Professor Jung-Man Nam)

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

2008. 12.

This thesis has been examined and approved.

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

목 차

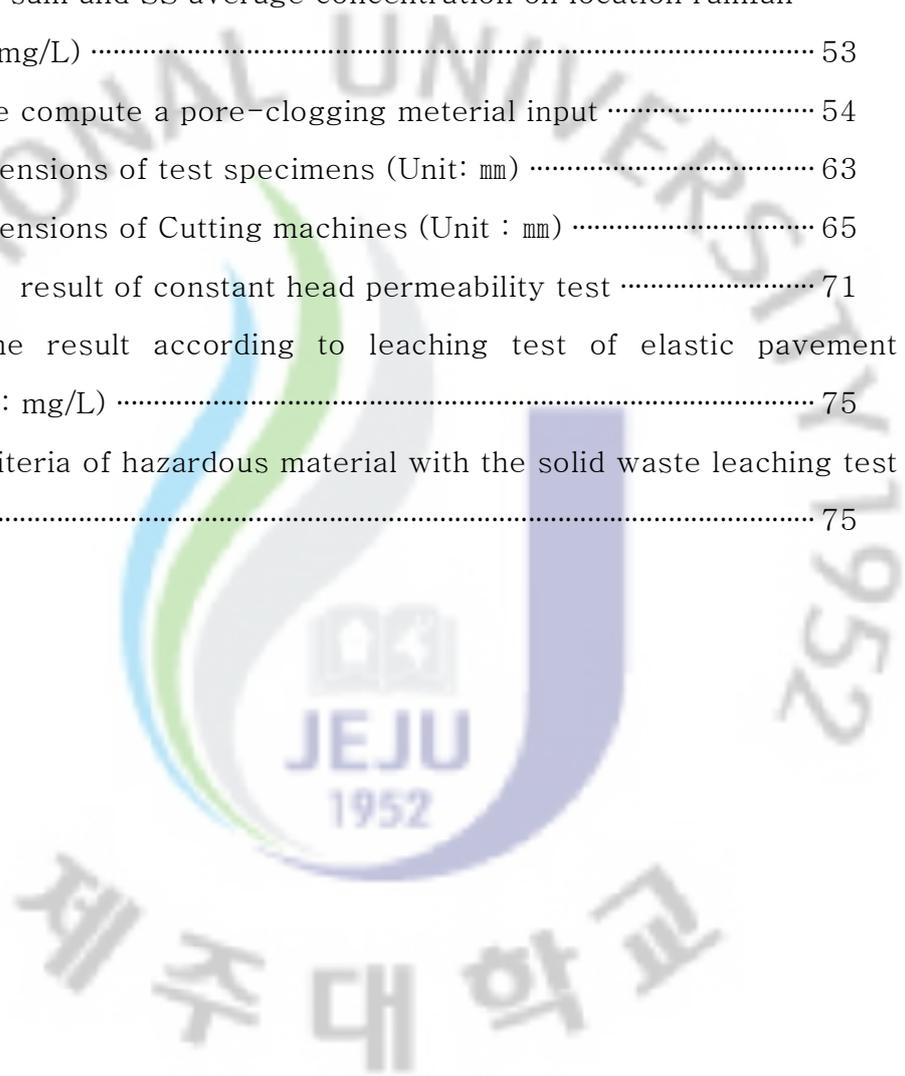
List of Tables	iii
List of Figures	v
Summary	viii
I. 서 론	1
1. 연구배경 및 목적	1
2. 연구내용 및 범위	3
II. 기존이론	4
1. 투수콘크리트	4
1.1 투수콘크리트 포장	4
1.2 투수콘크리트의 구조	4
1.3 투수콘크리트의 특성	5
2. 탄성포장재	10
2.1 타이어 구조	10
2.2 페타이어 고무분말 제조	15
2.3 페타이어 칩을 활용한 탄성포장재	18
2.4 탄성포장재의 문제점	19
III. 재료성질	20
1. 투수콘크리트	20
1.1 시멘트	20
1.2 골 재	21
1.3 혼화제 및 배합비	22
2. 페타이어칩	24
2.1 페타이어칩의 화학적 성질	24

3. 안료	28
3.1 안료의 정의	28
3.2 안료의 화학적 성질	29
4. 첨가제	32
4.1 송이(Scoria)	32
4.2 현무암 석분슬러지(Powdered basalt sludge)	37
IV. 시험방법 및 결과	43
1. 투수콘크리트	43
1.1 강도시험	43
1.2 투수시험	48
1.3 공극막힘시험	51
1.4 현장투수시험과 공극막힘시험 비교	58
2. 탄성포장재	59
2.1 탄성포장재의 인장강도 및 신장률시험	61
2.2 탄성포장재 투수시험	71
2.3 탄성포장재 용출시험	72
3. 첨가제	76
3.1 흡착시험	76
4. 투수성탄성포장	89
4.1 투수성탄성포장의 현장투수시험	89
V. 결 론	91
참 고 문 헌	93

List of Tables

Table. 2.1 Properties of porous concrete	6
Table. 2.2 Composition ratio according to the use purpose (나대엽, 2000)	13
Table. 2.3 A mount of production and recycling of the waste tires (KTMA)	15
Table. 2.4 The present situation of recycling of the waste tires (KTMA)	16
Table. 2.5 The application with the sizes of rubber chip	17
Table. 2.6 The current status of elastic pavement construction in Jeju	19
Table. 3.1 (a) Chemical composition of cement	20
Table. 3.1(b) Physical composition of cement	20
Table. 3.2 The measured results according to KS F 2503	21
Table. 3.3 Cemical composition of quick setting admixtures	23
Table. 3.4 Mix proportion ratio of porous concrete	23
Table. 3.5 Total concentration of discarded automotive tires	24
Table. 3.6 The result according to leaching test of the waste tire chips	27
Table. 3.7 Chemical composition of mordant dyes	29
Table. 3.8 The result according to leaching test of mordant dyes	31
Table. 3.9 The sampling location and each colors of scoria	34
Table. 3.10 Chemical composition of scorias	35
Table. 3.11 The current status of the stone sludge production amount and treatment expenses (김기영, 2007)	39
Table. 3.12 The present status of the scrapped stone material disposal (김기영, 2007)	39
Table. 3.13 The production amount of the Powdered basalt sludge (김기영, 2007)	40
Table. 3.14 Chemical composition of Powdered basalt	41

Table. 4.1 The place in field permeability test	49
Table. 4.2 Uniformity Coefficient(Cu) and Coefficient of Gradation(Cg) in Fields	51
Table. 4.3 Investigation location and section in Jeju	53
Table. 4.4 The rainfall property with rainfall event	53
Table. 4.5 The sum and SS average concentration on location rainfall runoff (Unit : mg/L)	53
Table. 4.6 The compute a pore-clogging material input	54
Table. 4.7 Dimensions of test specimens (Unit: mm)	63
Table. 4.8 Dimensions of Cutting machines (Unit : mm)	65
Table. 4.9 The result of constant head permeability test	71
Table. 4.9 The result according to leaching test of elastic pavement materials(Unit : mg/L)	75
Table. 4.10 Criteria of hazardous material with the solid waste leaching test (Unit : mg/L)	75

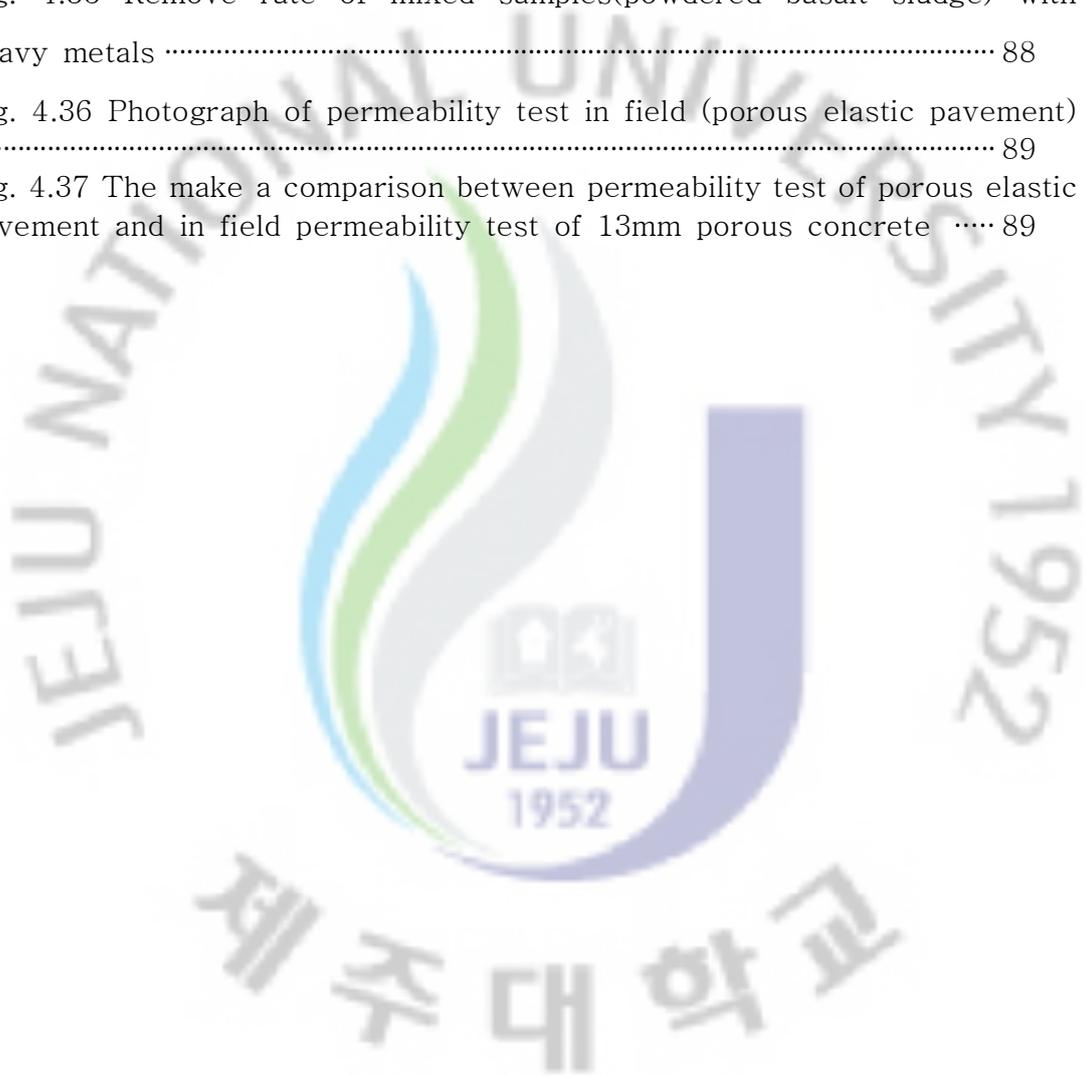


List of Figures

Fig.2.1 The concept map of porous concrete	5
Fig.2.2 Relation between compressive strength and porosity (김선태, 2002)	7
Fig. 2.3 The mimetic diagram of normal and water permeability concrete	9
Fig. 2.4 General structure of the tire	11
Fig. 2.5 Structure of carbon black	14
Fig. 2.6 The basic section of elastic pavement	19
Fig. 3.1 Grain size distribution curve according to aggregate (a) 10mm aggregate (b) 13mm aggregate (c) 19mm aggregate (d) 25mm aggregate (e) 40mm aggregate	22
Fig. 3.2 X-ray diffractogram of Discarded automotive tires	26
Fig. 3.3 SEM photogram of Discarded automotive tires	26
Fig. 3.4 X-ray diffractogram of mordant dyes	30
Fig. 3.5 Colorific Distribution of Scorias in Jeju(윤정수, 1995)	33
Fig. 3.6 The sampling location of scorias	34
Fig. 3.7 SEM results of each colors of scoria	37
Fig. 3.8 The Flow chart of the Powdered Basalt Sludge Production	38
Fig. 3.9 SEM results of Powdered basalt sludge	42
Fig. 4.1 Photograph of compression test	44
Fig. 4.2 A diagram of flexural strength test	46
Fig. 4.3 Photograph of flexural strength test	46
Fig. 4.4 The result of compressive strength and flexural strength with aggregate	47
Fig. 4.5 A diagram of variable head permeability test apparatus in field	48
Fig. 4.6 The result of field permeability test	50
Fig. 4.7 Photograph of permeability test in field (13mm porous concrete)	

.....	50
Fig. 4.8 Grain-size distribution curve of samples in Jeju	52
Fig. 4.9 The diagram of constant head permeability test apparatus	55
Fig. 4.10 Produced constant head permeability test appara	55
Fig. 4.11 Produced constant head permeability test apparatus	56
Fig. 4.12 The test piece of permeability test	56
Fig. 4.13 The result of pore-clogging test with field grain size	57
Fig. 4.14 The make a comparison between pore-clogging test and in field permeability test	58
Fig. 4.15 The result of aggregate size in accordance with coefficient of permeability	59
Fig. 4.16 The result of aggregate size in accordance with coefficient of permeability	60
Fig. 4.17 Dimensions and forms of test specimens	63
Fig. 4.18 Forms of Cutting machines	64
Fig. 4.19 Tensile strength of mixed samples	70
Fig. 4.20 Percentage of elongation of mixed samples	70
Fig. 4.21 Elastic pavement sample of permeability test	71
Fig. 4.22 Diagram by the KSLP	74
Fig. 4.23 Adsorbed amount of Cu(copper) with samples	81
Fig. 4.24 Adsorbed amount of Pb(lead) with samples	81
Fig. 4.25 Adsorbed amount of Cd(cadmium) with samples	82
Fig. 4.26 Adsorbed amount of Cr(chrom) with samples	82
Fig. 4.27 Remove rate of Cu(copper) with mixed samples	84
Fig. 4.28 Remove rate of Pb(lead) with mixed samples	84
Fig. 4.29 Remove rate of Cd(cadmium) with mixed samples	85
Fig. 4.30 Remove rate of Cr(chrom) with mixed samples	85
Fig. 4.31 Remove rate of mixed samples(reddish brownscoria) with heavy metals	86
Fig. 4.32 Remove rate of mixed samples(black scoria) with heavy metals	

.....	86
Fig. 4.33 Remove rate of mixed samples(yellowish brown scoria) with heavy metals	87
Fig. 4.34 Remove rate of mixed samples(dark gray scoria) with heavy metals	87
Fig. 4.35 Remove rate of mixed samples(powdered basalt sludge) with heavy metals	88
Fig. 4.36 Photograph of permeability test in field (porous elastic pavement)	89
Fig. 4.37 The make a comparison between permeability test of porous elastic pavement and in field permeability test of 13mm porous concrete	89



Summary

The purpose of the study was to develop the Environment-Friendly Porous Elastic Pavement Materials. To do it, this thesis has attempted as the following three.

Firstly, this research thesis has changed the size of thick aggregates of 10mm, 19mm, 25mm and 40mm, besides the aggregates of 13mm used for pore concrete, as a whole, and then this thesis has made the analytic test on the required strength as the structure. The result indicates that the aggregates of 10, 13, 19 and 25mm have lived up to the required strength.

Secondly, this research thesis judged that the functional deficiency of pore concrete resulted from clogged pore, So this thesis has attempted to make pore clogged through indoors test. The result shows that the life of permeability has spanned from 13, 20 months to 40 and 48 months. The aggregates of 25mm have had the longest life. Also, through spot porous test, this thesis has estimated at 22 months the life of porous concrete of 13mm built in Jeju Island.

Thirdly, this thesis has analyzed the removal effect of heavy metal iron(Cu, Pb, Cd, Cr)with the mixture of Scoria 4 Powdered Basalt Sludge 1 with elasticity pavement, in an effort to have the removal effect of heavy metal pollution source to arise from raindrop-runoff of elasticity pavement. This result reveals that heavy metal iron have had the tendency of being removed in order of $Pb > Cd > Cu > Cr$. Additives have been analyzed of having the removal rate in order of yellowish brown scoria > dark gray scoria > black scoria > reddish brown scoria > powdered basalt sludge.

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

국내 자동차의 보급률의 증가에 비례하여 도로망 확충도 급격하게 진행되었는데 국도 및 고속도로는 물론 보도, 자전거 도로, 공원 산책로 등 이제는 비포장도로를 발견할 수 없을 정도로 도로포장의 개념이 생활 깊숙이 자리를 잡고 있다.

이러한 양적인 성장 이면에 기존의 도로포장에 있어서의 문제점은 도로포장으로서의 역학적인 특성만을 중시한 결과, 도로를 이용하는 사용자에게 편리하고 환경과 친화적인 측면에 있어서는 소홀했던 것이 사실이다.

현재까지 도로포장의 주재료로서 사용되는 불투수성포장인 아스팔트 및 콘크리트 포장은 빗물을 침투시키지 못하고 포장 면을 흘러 배수구로 유입되고, 배수 시설이 부실하거나 강우량이 많을 경우 도로 포장을 넘어 하수관, 하천, 강, 등으로 흘러 들어가면서 도시하천의 범람과 미생물의 서식을 저해하는 등 자연생태계 보호차원에서 많은 문제점이 제기되고 있다.

그리고 우리나라 자동차산업의 급격한 발달로 국내의 자동차 보유대수는 '97년 7월에 천만대를 돌파 하였으며, '99년에는 1,164만대, '2001년에는 1291만대 이상이 되었다. 이에 발생하는 폐타이어의 양 또한 지속적으로 증가 하는 추세이며, 근래에는 매년 27만톤 이상의 폐타이어가 발생하고 있다.(대한타이어공업협회지 2005) 이는 여러 가지 환경적 문제점을 야기 시키고 있으며, 효과적인 폐타이어 처리에 대한 대책이 절실히 필요한 실정이다.

2003년부터 시행된 자원의 절약과 재활용촉진에관한법률(생산자책임재활용제도)에 따라 환경부는 폐타이어의 재활용 의무량을 산정·고시 하게 이르렀으며, 우리나라 50여개의 폐타이어 재활용업체를 활용하여 환경부의 물질회수 재활용 정책방향에 맞추어 보다 부가가치가 높은 재활용제품 및 신제품의 개발 등을 통

해 가공이용 비중을 높여 매년 발생하는 폐타이어를 자원으로 활용하고 있다.
(고득영, 2007)

본 연구에서는 투수콘크리트의 구조체로서 요구하는 강도를 만족하고 현장투수시험결과를 바탕으로 실내 공극막힘 투수시험을 통하여 공극막힘현상을 해석해 구조체의 수명을 연장하고, 제주도에 많이 분포하고 중금속제거 능력이 우수한 것으로 알려진 천연재료(송이)와 현무암 석재 가공 공정에서 발생하는 부산물인 현무암 석분슬러지를 폐타이어칩과 혼합하여 투수콘크리트기층 위에 공극이 있는 탄성포층부를 갖는 2층 구조로 만들어 자원의 재활용과 우수유출저감효과는 물론 우수유출시 발생할 수 있는 중금속오염원을 저감시켜 친환경적인 투수성 탄성포장재를 개발하고자 한다.



2. 연구내용 및 범위

2.1 연구내용

본 연구에서는 골재별 투수콘크리트로서 요구되는 강도를 만족하는 시험체를 제작하여 현장투수시험을 바탕으로 공극막힘시험을 통해 투수콘크리트의 문제점으로 지적 되어 지는 공극막힘현상을 재현하여 구조체 수명을 산정·해석하고, 현재 사용되고 있는 페타이어칩을 활용한 탄성포장재의 원재료인 페타이어칩과 안료에 대한 XRF, XRD, SEM분석 및 함유되어 있는 유해성분(Cu,Pb,Cr,Cd 등)들의 용출 및 흡착 특성을 조사하고, 이후 첨가제(송이4종, 석분)를 혼합하였을 때의 용출 및 흡착특성 변화를 분석하였다.

다음과 같은 범위의 연구를 수행 하였다.

(1) 단입도 골재 별 투수콘크리트 분석

- 투수콘크리트 구조체로서의 기능을 유지하는 압축강도와 휨강도 분석
- 기존 시공된 13mm 투수콘크리트 현장투수시험을 통한 수명 산정
- 단입도 골재별 투수성과 막힘현상 재현하여 수명을 산정, 비교·분석

(2) 탄성포장재의 인장강도 및 신장율 시험

(2) 페타이어 칩과 첨가시료들의 혼합특성 분석, 용출 및 회분식 흡착실험

- 페타이어 및 첨가제(송이4종, 석분)의 XRF분석, SEM분석
- 페타이어 및 안료의 XRD분석
- 페타이어 및 안료, 탄성포장재의 용출실험
- 중금속이온의 농도 변화에 따른 등온흡착실험
- 탄성포장재 및 첨가제를 혼합한 탄성포장재의 흡착실험

II. 기존이론

1. 투수콘크리트

1.1 투수콘크리트 포장

도시의 포장면 중 가장 많은 비율을 차지하는 곳이 도로이다. 도시에서 도로의 투수성을 유지하는 것은 매우 중요하다. 도로 포장 구조체는 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 그 하나가 아스팔트 포장인 가형성 포장(Flexible Pavement)이고, 다른 하나는 콘크리트 포장인 강성 포장(Rigid Pavement)이다. 투수콘크리트를 적용하게 될 포장형식은 무근 콘크리트 포장에 적용될 수 있다. 이러한 무근 콘크리트 포장은 현재 국내에서도 가장 많이 사용되는 포장형식이나 차량의 주행안정성이나 도로주변의 환경보전 등의 문제점을 내포하고 있으며 투수콘크리트포장이 이의 해결방안으로 제시되고 있다.

이와 같이 통상의 콘크리트와는 달리 다공질 콘크리트의 제조방법을 응용하여 물을 통과하기 쉽게 만든 것이 투수콘크리트이다. 그러나 국내의 투수콘크리트 포장에 대한 기술은 초보적인 단계라 할 수 있어 일반적인 포장재와 비교할 때 강도가 떨어진다. 이러한 문제 때문에 주차장, 보도, 자전거도로 등으로 사용이 제한되어 왔지만 최근 투수성 포장재의 강도를 높이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 한편 투수성 아스팔트 콘크리트가 개발되어 사용되고 있으나 여름철 노면의 온도 상승으로 아스팔트의 점성으로 인한 공극 막힘과 차량의 하중으로 노면이 변형, 투수기능이 상실되는 단점이 있다.

1.2 투수콘크리트의 구조

일반적으로 콘크리트는 굵은 골재의 공극을 시멘트, 물, 잔골재로 혼합된 모르타르로 채우고 있으며 밀실하게 채워질수록 좋은 콘크리트로 평가하지만 투수콘

콘크리트는 모르타르 부분을 최소화하여 콘크리트내부에 투수성을 갖는 콘크리트로서 일명 포러스(Porous)콘크리트 또는 잔골재가 거의 사용되지 않았다 하여 No-Fines Concrete라고도 불린다. Fig.2.1 는 투수콘크리트의 개념도이다.

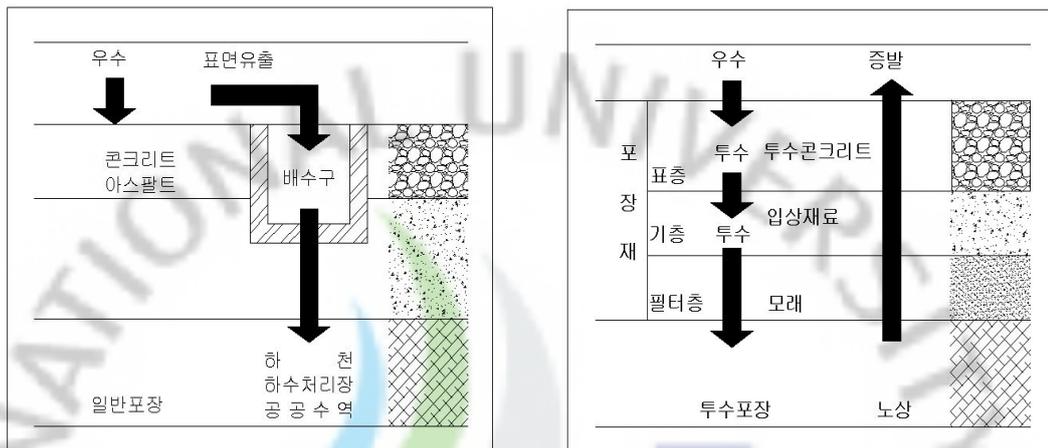


Fig.2.1 The concept map of porous concrete

1.3 투수콘크리트의 특성

일반적인 아스팔트 및 시멘트콘크리트 포장은 표층 및 기층이 불투수성이므로 강우 시 빗물이 표면의 횡단구배에 의하여 배수구로 배출하도록 되어있다. 그러므로 배수시설이 좋지 못한 포장도로에서는 차량주행 및 제동 시 미끄러지기 쉬우며 물보라 현상으로 인하여 시계의 불량 등 사고의 위험요소가 많다.

또한 지하수유입을 차단하여 지하수위 저하를 초래하며 우기 시 저지대로의 빠른 우송이동으로 인한 홍수피해를 야기 시킨다.

그러나 투수성콘크리트 포장은 불투수성 콘크리트 포장과 달리 콘크리트 내부에 연속된 공극을 계획적으로 형성하여 투수가 용이하도록 만든 구조이다.

다시 말해서 투수성 콘크리트 포장은 빗물등 표면수의 일부를 배수시켜 수막 현상으로 생기는 자동차의 미끄럼을 감소시켜 제동거리를 짧게 확보할 수 있을

뿐만 아니라 난반사에 의한 운전자나 보행자의 시계를 좋게 할 수 있다. 포장체 밑의 지중에 수분과 산소를 공급함으로써 미생물의 서식이 가능함은 물론이고 홍수피해를 줄일 수 있는 환경친화적인 효과를 얻을 수 있다. 하지만 투수콘크리트는 연속된 공극을 형성하다보면 콘크리트에 요구되는 강도 및 역학적 특성이 저하되므로 투수콘크리트 제조에 있어서의 핵심은 구조체로서의 요구 특성을 만족함과 동시에 투수성을 확보하여야 하는 것이다.

Table 2.1 은 일반적으로 투수콘크리트에 요구되는 물성 값으로서 강도와 공극률과의 조화가 요구되는 콘크리트라 할 수 있다.

Table 2.1 Properties of porous concrete

물성항목	물성값의 범위
비중	1.6~2.0
공극률	5~35 %
압축강도	5~30 MPa
인장강도	압축강도의 1/7~1/14
휨 강도	1~5 MPa
부착강도	1.5~6 MPa
투수성	10^{-2} cm/s 이상
단열성	$0.3 \text{ kg} \cdot \text{cal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

1.3.1 투수콘크리트의 강도

투수콘크리트의 강도는 보통 콘크리트에서와 마찬가지로 시멘트와 같은 사용 재료 또는 시멘트 페이스트의 양, 공극률 및 물-시멘트비 등의 배합조건과 다짐의 시공조건 등에 의해 결정된다고 할 수 있다. 이중 공극률의 영향이 가장 크다고 할 수 있으며 특히 투수성 확보를 위해서는 투수콘크리트의 공극률이 20~30%가 적절한 것으로 알려져 있다. 이때 공극률의 증가에 따른 강도의 저감 및

단위 시멘트량의 증가에 따른 공극률의 감소는 배합측면에서 충분히 고려하여야 한다.

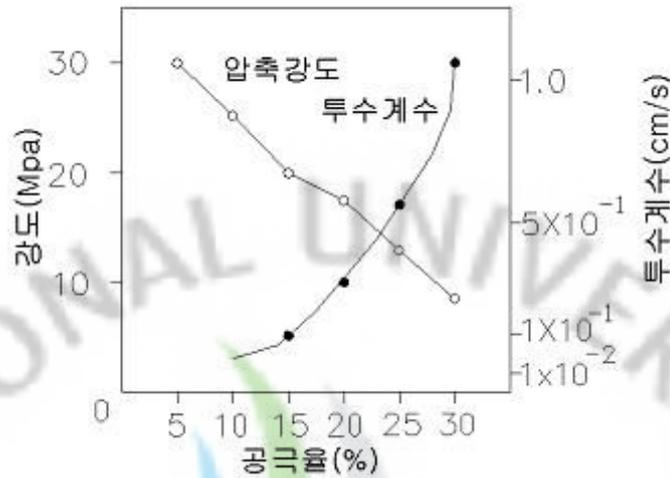


Fig.2.2 Relation between compressive strength and porosity(김선태, 2002)

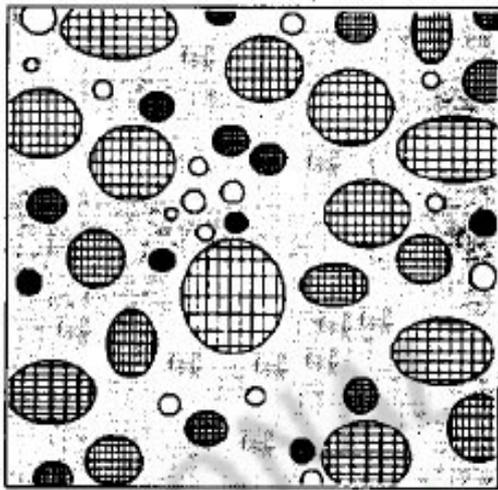
Fig. 2.2는 동일한 골재를 사용하고 공극률을 5~30%까지 6단계로 변화시켰을 때의 투수콘크리트의 압축, 휨, 및 인장강도의 측정결과를 나타낸 것이다. 이 결과에서도 투수콘크리트의 강도는 공극률의 증가에 직선적으로 감소함을 확인할 수 있으며 20~30%의 공극률에서도 투수콘크리트가 약 10~20MPa의 압축강도를 발휘함을 알 수 있다. 일반적으로 시공되고 있는 투수콘크리트의 골재크기는 골재최대 치수 13mm이하의 골재를 사용하고 있는데 이는 투수콘크리트를 표층으로 직접 노출시키기 때문으로 그 이상의 골재를 사용하면 포설 후 전압을 하여도 노출면이 거칠기 때문이다.

1.3.2 투수콘크리트의 내구성

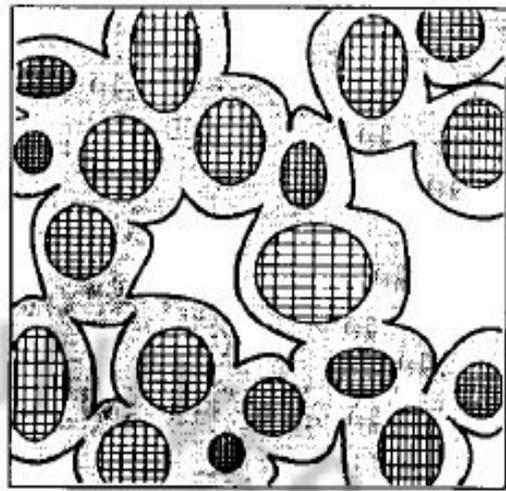
투수콘크리트의 내구성에 대한 연구는 현재로서는 활발하게 진행되지 않은 상태지만 내구성에 관한 동결융해 저항성 실험으로 ‘수중동결 수중 용해법’과 ‘공기 중 동결 수중 용해법’에 의한 보고가 있다. 투수콘크리트는 다량의 연속된 공극이 존재하므로 이 공극내로 수분이 쉽게 유입되어 동결 팽창함으로써 일반 콘크리트에 비해 동결융해 저항성이 낮은 것으로 알려져 있다. 하지만 골재 크기가 비교적 큰 쇄석을 사용한 투수콘크리트의 경우 ‘수중동결 수중 용해법’에 의한 결과 공극 내 얼음의 팽창압을 직접받기 때문에 열화가 빠르나 ‘공기 중 동결 수중 용해법’에 의한 시험처럼 공극이 물로 가득 차 있지 않은 경우 실내 동결융해 시험에서는 200회를 반복시키더라도 탄성계수의 저하는 없는 것으로 나타났다.

그리고 적설량이 많은 한랭지에서의 옥외 폭로시험결과에 의하면 물-시멘트비가 낮다면 투수콘크리트의 내구성도 양호한 것으로 나타나 있고, V. M. Malhotra의 연구보고서에서도 이런 구조의 콘크리트는 AE제의 첨가로 인하여 내동해성을 향상시킬 수 있다고 한다. 그러므로 이러한 결과들을 종합해보면 투수콘크리트를 호안 등의 수면하의 부위에 적용하는 경우에는 주의가 요망되지만 기타의 경우는 한랭지에 대해서도 내구성이 있는 것으로 생각된다.

또한 단위 시멘트량이 적은 투수콘크리트의 경우 건조수축 면에서 보통콘크리트에 비하여 약 60%의 수준으로 낮고 건조수축의 속도도 완만한 것으로 알려져 있다. 보통콘크리트는 골재와 조밀한 구성으로 일정한 수준의 강도를 유지할 수 있으나 투수콘크리트는 골재와 골재를 연결하는 시멘트가 공극을 갖고 있어 공극을 통해 유수를 침투시키는 것이다. Fig. 2.3에서 보듯이 단위 시멘트량이 적은 투수콘크리트의 경우 건조 수축 면에서 보통콘크리트의 보통콘크리트에 비하여 약 60%의 수준으로 낮고 건조수축의 속도도 완만한 것으로 알려져 있다. 보통콘크리트는 골재와 조밀한 구성으로 일정한 수준의 강도를 유지할 수 있으나 투수콘크리트는 골재와 연결하는 시멘트가 공극을 갖고 있어 공극을 통해 유수를 침투시키는 것이다.



(보통 콘크리트)



(투수성 콘크리트)

Fig. 2.3 The mimetic diagram of normal and water permeability concrete



2. 탄성포장재

2.1 타이어 구조

공압식 타이어는 고성능의 고분자 복합체이며, 그것은 도로주행 능력과 도로에 대한 탄성력 그리고 도로에서 핸들링 능력을 동시에 가지는 유연한 멤브레인 압력용기의 특성을 가지고 있다. 이와 같은 타이어의 복합적인 성능을 최대화하기 위해서는 타이어에 함유된 각 성분의 성질들이 복잡한 체계의 상호작용으로 공존하고 있다.

타이어는 카카스를 구성하는 코드가 타이어의 원주방향에 대해 직각으로 즉 타이어의 측면에서 보면 원의 중심에서 방사상(radial)으로 비드에서 비드를 직각 원주 방향에 가까운 각도로 코드를 배치한 벨트로 단단히 조여져 있다. 강성을 높이고 있는 것과 카카스 코드가 래디알 구조인 것에 의해 고속타이어로서의 성능을 발휘한다.

공압식 타이어는 타이어의 전체 성능을 최적화하기 위해 여러 종류의 고무성분으로 이루어져 있다. 고무화합물은 hardness, 신율, 탄성률, 굴곡도(flex property) 그리고 내구성과 같은 요구되는 물성에 따라 제조된다. 공압식 타이어의 일반적인 제조방법은 잘 알려져 있으나 배합조성은 타이어 제조회사의 기술력에 따라 다양하다고 알려져 있다. 최소의 성분으로 간단하게 경화하여 타이어를 제조하는 것이 가장 합리적이지만 더 나은 내구성, 핸들링, 승차감과 같은 요구 조건은 타이어 제조회사로 하여금 타이어의 구조에 점점 더 복잡한 체계를 갖도록 하고 있다. 승용차에 사용되는 래디알 타이어의 가장 일반적인 단면구조는 Fig.2.4와 같다. 구조를 살펴보면 트레드(tread), 사이드월(sidewall), 카카스(carcase), 비드(bead), 벨트(belt), 캡플라이(caply), 숄더(shoulder), 그루브(grove), 에이펙스(apex), 체파(chafar) 그리고 인너라이너(inner liner)로 구성되어 있다(나대엽, 2000).



Fig. 2.4 General structure of the tire

1) 트레드(tread)

트레드는 타이어의 여러 고무 성분 중 도로면과 직접 접촉하는 주요한 타이어 구조의 한 성분이다. 이것은 도로면에서 가해지는 충격과 전단력으로부터 타이어 몸체를 보호하기 위하여 질기면서도 탄성을 지녀야 한다. 대부분의 승용차 트레드는 styrene-butadiene rubber(SBR), 천연고무 그리고 비닐기를 많이 가지고 있는 polybutadiene으로 구성되어 있다. 트레드는 높은 마모성과 내커팅성이 양호해야 하며 외부 충격에도 견딜 수 있고 발열이 적어야 한다. 따라서 최적의 성능을 가지기 위해서는 적당한 고분자 블렌드를 선택하는 것이 중요하다.

2) 사이드월(sidewall)

사이드월은 타이어의 옆 부분을 지칭하는 것으로 카카스를 보호하고 굴신운동을 통해 승차감을 좋게 한다. 타이어의 사이드월에서 직접적으로 상호 작용하는 요소는 브레이크 쿠션(breaker cushion), 블랙사이드월(black sidewall), 차퍼(chaffer) 또는 림플렌지(rimflange)등의 세요소로 구성되어 있다.

브레이크 쿠션은 와이어 브레이크 하에서 와이어가 고무에 접촉하는 것을 방지하고 블랙사이드월은 내마모성, 내오존크래킹성 그리고 좋은 유연성을 갖게 하며 차퍼 또는 림플렌지는 타이어에 안정성을 부여하고 비드차핑에 대해 내마모

성을 갖게 한다. 외부 환경에 드러나 있는 사이드월과 림플렌지의 성분은 오존이나 산화에 의한 분해 등에 견딜 수 있는 물질들로 이루어져 있다. 사이드월과 림플렌지 속에는 내오존 크래킹성을 높이기 위해 소량의 6PPD와 IPPD와 같은 alky1 ary1 paraphenylene diamine이 블렌드 된 왁스 속에 사용되어진다. 일반적으로 사이드월은 천연고무와 cis-BR이 블렌드 되어 있다. 이것은 유연성을 제공하기 위해 탄성율을 낮추어주고 낮은 온도에서의 내커팅성과 히스테리시스를 개선한다.

3) 기타요소

카카스는 타이어 내부의 코드층을 가리키는 것으로 하중을 지지하고 충격을 흡수하는 역할을 하므로 주행 중 굴신운동에 대한 내피로성이 강해야 한다.

그리고 비드는 코드의 끝부분을 감아주어 타이어를 림에 장착시키는 역할을 하며 비드와이어(강성)와 코야고무 등으로 구성되어 있고 벨트는 스틸와이어 또는 직물 섬유로 구성되며 주행시 노면 충격을 감소시키고 노면에 닿은 트레드 부위를 넓게 하여 주행안정성을 좋게 하는 역할을 한다. 캠프라이는 벨트위에 부착되는 특수코드지로 주행시 성능을 향상시켜주며 벨트의 이탈현상을 방지하고 트레드에 패인 홈을 지칭하는 그루부는 조종 안정성, 견인력, 제동성을 높이는 기능을 한다. 그리고 에이팩스는 비드의 흐트러짐(분산)을 최소화 할 수 있도록 하며 비드가 받는 충격을 완화시켜 준다. 인너 라이너는 튜브대신 타이어 안쪽에 붙어 있는 것으로 공기가 통하기 어려운 특수 고무층을 가리키며 체과는 림과 코드간의 직접 접촉을 방지하며 코드를 보호하는 기능을 한다.

타이어의 조성은 제조회사에 따라 다르고 배합비와 타이어의 용도에 따라 변화하며 화학 성분에서 부분적인 차이가 있을 수 있다. 가장 일반적으로 사용되는 타이어고무는 styrene-butadiene 공중합체(SBR)이며, butadene과 styrene을 약 3:1비로 혼합하여 중합한다. 천연고무(NR)와 IR 고무 그리고 BR 고무등이 SBR 고무와 다양한 조성으로 타이어 제조에 사용되며 용도에 따른 조성을 Table 2.2에 나타내었다.

Table 2.2 Composition ratio according to the use purpose(나대엽, 2000)

Tire type	Composition(wt%)	
	Synthetic rubber	Natural rubber
Passenger vehicle	55	45
Light truck	50	50
Race car	65	35
Heavy-duty truck	20	80
Aircraft	0	100

황성분은 인접한 고무 분자의 이중결합과 반응하며 이러한 것을 가황(vulcanization)이라 한다. 그것은 탄성체 분자 골격사시의 가교를 일으켜 탄성체의 성질을 좌우한다. 승용차 타이어의 트레드 화합물은 마찰저항과 회전저항을 최적화하고 글루브 현상을 방지하기 위해 일반적으로 SBR-BR 블렌드를 사용한다. 승용차 사이드월은 굴신율, 내커팅성, 내오존성에 잘 견디어야 하므로 사이드월은 원칙적으로 SBR을 많이 함유한다. 그리고 주행 중 굴곡운동에 대한 내피로성이 강해야 하는 카카스는 천연고무를 반드시 사용하여야 한다. 코드의 끝부분을 감아주어 타이어를 림에 장착시키는 역할을 하는 비드 부분에서는 SBR과 NR을 함께 사용한다. 카본블랙은 타이어의 중요한 부분이며 탄성율, 내마모성, 인열강도 등을 증가시킨다. Fig. 2.5는 carbon black의 화학구조를 나타내고 있다. 보통 20~30 μm 의 미립자가 내마모성과 인열강도를 높이기 위해 트레드에 사용되고 50~100 μm 의 비교적 큰 입자들이 비용을 줄이기 위해 그 외 부분에 사용되고 있다. Extender oil은 고무를 부드럽게 하는 일차적인 기능을 가진 방향족 탄화수소 화합물로서 대체로 고무의 작업성을 좋게 하고 zinc oxide는 고무를 딱딱하게 하는데 일찍부터 사용되어 왔으며 여전히 타이어 제조에 널리 사용되고 있다. 그리고 accelerator는 2-mercaptobenzothiazole 같은 organic 화합물로서 가황공정의 촉매로 사용된다. zinc oxide 와 steric acid 는 고무의 물리적 성질을 향상시키는 것 외에도 가황공정을 제어하기 위해 accelerator와 함께 사용된다.

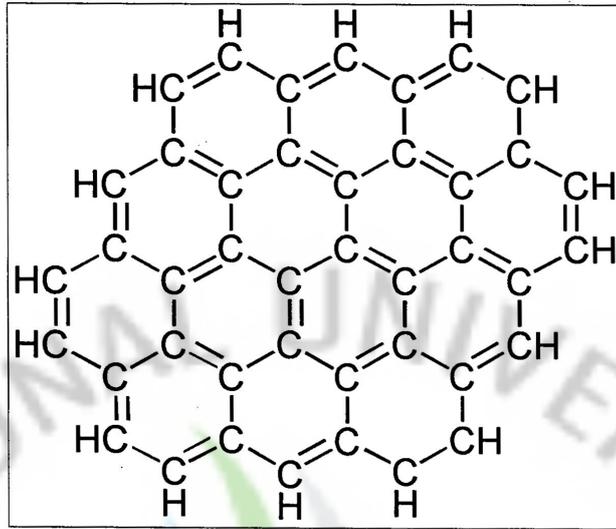
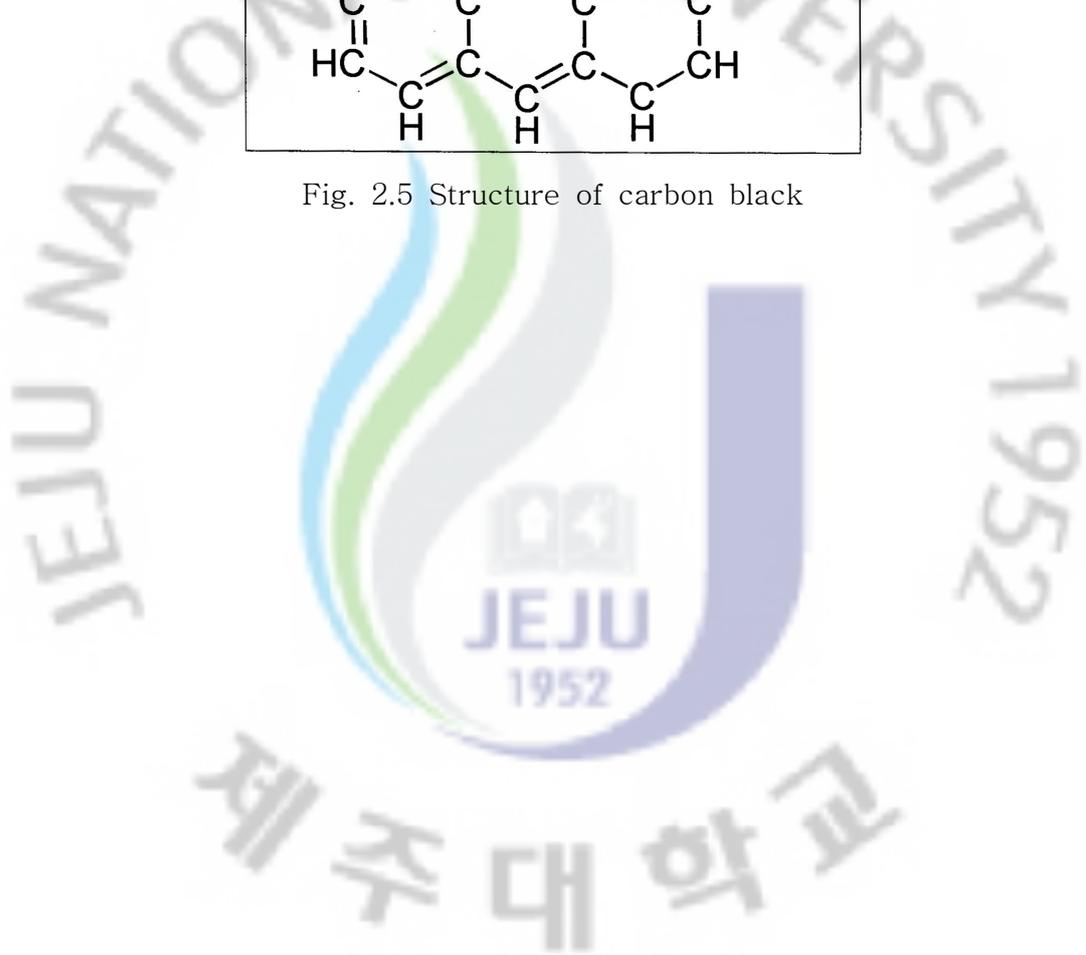


Fig. 2.5 Structure of carbon black



2.2 폐타이어 고무분말 제조

2.2.1 국내 폐타이어 발생 및 처리 현황

자동차 보급대수의 증가로 폐타이어의 발생량은 꾸준히 증가하고 있으며, ‘자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률’에 따라 재활용 실적은 폐타이어 발생량 증가율을 상회하며 증가하고 있다(남명식, 2006) 국내의 폐타이어 발생량 및 재활용량은 다음의 Table 2.3과 같다.

Table 2.3 A mount of production and recycling of the waste tires(KTMA)

구 분	2003년	2004년	2005년	2006년
폐타이어 발생량(ton)	272,280	260,266	275,072	282,990
재활용량(ton)	239,870	246,101	267,351	272,066
재활용률(%)	88.1	94.5	97.2	96.1

이용방법별 재활용 현황은 Table 2.4와 같이 나타내었다. 주종이 열 이용이며 2006년 전체 재활용 방법 중 63.3%를 차지하였고, 그 밖에 고무 칩이나 밧줄을 만드는 가공이용이 12.6%, 폐타이어를 그대로 사용하는 원형이용이 3.1%, 그리고 기타 이용이 17.1%를 차지하였다.

이 가운데 폐타이어 고무 칩의 활용현황은 지속적으로 증가하여 2006년도 기준 33,092ton 약 12.6% 정도를 보이고 있다.

폐타이어 고무 칩 활용분야가 향후 폐타이어의 가공 이용 시장에서 주도적인 역할을 할 것으로 예상되지만 전체의 폐타이어 발생량에 대해서는 여전히 한계가 있을 것이며, 외국처럼 폐타이어 고무 칩 시장의 고부가 가치의 상품 개발이 전제되면 활용처가 급격히 늘어날 것으로 예상된다.

Table 2.4 The present situation of recycling of the waste tires(KTMA)

구 분		2003		2004		2005		2006		
		중 량 (ton)	구성비 (%)							
협 회 재 활 용 실 적	가공 이용	고무 칩	21,766	8.0	20,629	7.9	25,008	9.1	33,092	11.7
		बाट 줄 등	2,913	1.1	1,156	0.5	1,396	0.5	2,538	0.9
		소계	24,679	9.1	21,785	8.4	26,404	9.6	35,630	12.6
	열 이용	시멘트 킬른	153,675	56.4	152,392	58.6	170,521	62.0	173,299	61.2
		건류 조각	7,465	2.8	8,625	3.3	5,425	2.0	5,922	2.1
		소계	161,140	59.2	161,017	61.9	175,946	64.0	179,221	63.3
	원형 이용	매립장	4,383	1.6	5,275	2.0	7,939	2.9	7,075	2.5
		공사용								
		수출	4,204	1.5	2,414	0.9	2,862	1.0	1,762	0.6
		소계	8,587	3.1	7,689	2.9	10,801	3.9	8,837	3.1
	합계		194,406	71.4	190,491	73.2	213,151	77.5	223,688	79.0
	기 타	재생타이어	20,937	7.7	24,054	9.2	26,445	9.6	23,759	8.4
중고차수출장착		24,528	9.0	31,556	12.1	27,755	10.1	24,619	8.7	
합계		45,465	16.7	55,610	21.3	54,200	19.7	48,378	17.1	
총재활용량		239,870	88.1	246,101	94.5	267,351	97.2	272,066	96.1	
미확인량		32,410	11.9	14,165	5.5	7,721	2.8	10,924	3.9	
발생량		272,280	100	260,266	100	275,072	100	282,990	100	

한편 선진국에서는 폐타이어 고무 칩을 재활용하는 기술을 각 회사별로 꾸준히 개발하고 있으며 대표적인 예로 미국, 일본, 독일, 네덜란드 등에서 볼 수 있다. Table 2.5는 선진국에서의 고무 칩이 활용되는 용도를 고무분말 크기별 활용도로 나타낸 것이다.

Table 2.5 The application with the sizes of rubber chip

고무 칩 크기	용도
4~10mesh	승마장 표면, 운동장 표면, 고무 아스팔트
10~20mesh	산업 및 소비재 몰드, 고무아스팔트, 경기장 표면, 카펫갈개, 비피로 매트
20~30mesh	자동차 매트, 접착제 지붕, 고무 아스팔트
30~40mesh	플라스틱/ 고무 제품, 크랙접착제, 카펫갈개
40~60mesh	경화방지, 고무/플라스틱 압출, 브레이크 패드, 고무제품의 고급 확장재, 고무 아스팔트, 카펫갈개
60~80mesh	플라스틱 주입몰딩, 경화방지, 고무제품용 고급 확장재, 표면처리 고무
80mesh이하	타이어 제조, 플라스틱 주입몰딩, 경화방지, 고무제품용 고급 확장재, 표면처리 고무, 스프레이 코팅

2.2.2 페타이어 칩 제조방법

1) 상온 분쇄(Ambient Process)

가장 오래된 분쇄 방법으로 생산된 고무 칩의 입도는 대략 6mm~0.6mm (30mesh)이고, 수율은 50~65%로 다른 고정예 비해 비교적 낮다. 생산된 칩은 비교적 순도가 낮고, 고무 칩이 마찰열에 의한 열 변성을 겪게 되므로 물리적 특성이 변하는 등의 단점이 있으나 시설 투자비가 상대적으로 저렴한 장점이 있다.

2) 냉동 분쇄(LN2 Cryogenic Process)

비교적 최근에 상용화된 기술로 생산되는 고무 칩의 입도는 대략 50mesh 이하이고, 수율은 70~80%정도로 상온분쇄의 경우보다 미세한 칩을 얻을 수 있다. 사용되는 냉각열원은 액체질소로 페타이어 1kg을 분쇄시키는데 약 0.5~1kg 정도가 소비된다. 이 방법은 1977년에 오사카가스(주)에서 개발되었으며 공정의 특징은 액체질소를 사용하기 때문에 분쇄 시 열 발생에 의한 고무의 물리적 성질 변화를 억제할 수 있을 뿐 아니라 냄새 및 가스등의 공해물질이 발생하지 않는다.

냉동분쇄기술은 최근에 실용화되었지만 과다하게 사용된 액체질소를 다시 회수할 수 없기 때문에 시설운영비가 많이 드는 단점이 있다.

3) 공랭식 분쇄

러시아에서 개발된 기술로서 최근 국내에 소개되었으며 공랭식 분쇄 고무 칩 제조기술은 찬 공기로 페타이어를 $-60\sim -90^{\circ}\text{C}$ 까지 냉각시킨 후 페타이어의 취성을 이용하여 분쇄하는 기술이다. 페타이어를 냉각시키기 위해 공랭식 터빈 냉각기 TXM1-25P와 연속가동 냉각실을 이용하는 기존의 액체질소를 사용하는 것보다 에너지비용이 2~3배 절감된다. 현재 기술적 단계는 실험실 수준을 넘지 않은 것으로 상용화까지는 시간이 필요하다.

4) LNG 냉열이용 분쇄

K건설에서 개발한 기술로 LNG의 유효에너지를 페타이어의 동결열원으로 이용하는 공정으로 페타이어를 유리전이온도 이하로 냉각하여 분쇄하는 동결분쇄공정과 분쇄된 페타이어로부터 철분, 섬유 등 이물질을 제거하는 선별공정, LNG로부터 냉열을 회수하는 열교환 및 열교환매체 순환공정으로 이루어진다.

2.3 페타이어 칩을 활용한 탄성포장재

본 연구대상인 페타이어칩을 활용한 탄성포장은 노상, 투수콘크리트, 프라이머, 탄성포장의 순서로 시공되어지며 Fig. 2.6은 탄성포장공법의 기본단면이다. 탄성포장은 구조체의 특성상 큰 하중을 지지해야하는 지역의 포장으로 이용하기에는 적절하지 않으나 탄성을 가지고 있기 때문에 사람의 보행 시 피로도가 적고 여러 가지의 색상을 선택할 수 있어 어떤 공간에서도 자유로운 연출이 가능하다. Table. 2.6는 제주도내 탄성포장시공현황을 나타낸 것이며 인도, 공원 산책로, 학교 체육 시설, 골프장 카트도로, 어린이 놀이터 등 이용성이 매우 다양하다. 사용되는 장소가 인체와의 접촉이 직접적으로 이루어질 수 있는 곳이므로 인체에 유해성이 없어야하며 환경적인 측면에서 또한 우수유출로 인해 발생할 수 있는 오염원들을 제거할 수 있다면 활용적인 측면에서 우수한 제품이 되리라 사료된다.

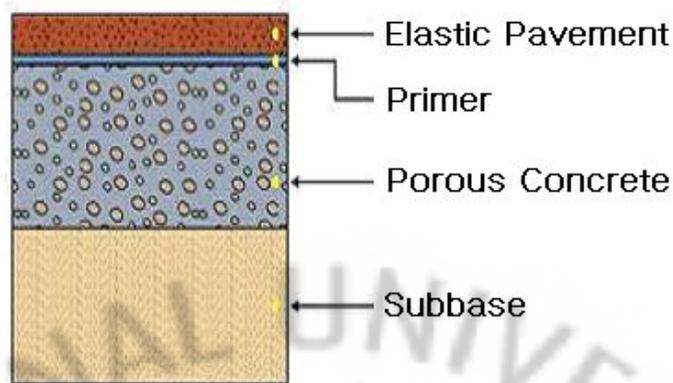


Fig. 2.6 The basic section of elastic pavement

Table. 2.6 The current status of elastic pavement construction in Jeju

Constituent	School	Nursery	Golf course	Other
Total (Place)	264	394	20	-
construction (Place)	80	119	15	500

2.4 탄성포장재의 문제점

최근 폐타이어의 재활용방법으로 보편화된 폐타이어칩을 활용한 탄성포장재는 폐타이어의 수량은 줄일 수 는 있으나 우수유출시에는 우수가 혼합물질의 용매 재로서 역할을 하여 Cu, Pb, Cd, Cr등의 중금속화합물이 지표면과 지하수로 유입되어 2차적인 환경오염발생의 원인이 될 우려가 있다. 또한 탄성포장재의 착색제로서 사용되는 안료는 Cu, Pb, Cd, Cr 등의 중금속화합물을 주원료로 하여 만든 것이며, 이 또한 2차적인 환경오염발생의 원인으로 근본적인 해결책이 필요한 실정이다.

Ⅲ. 재료성질

1. 투수콘크리트

1.1 시멘트

시험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 화학적·물리적 특성은 Table 3.1(a)과 Table 3.1(b)에 나타내었다.

Table 3.1 (a) Chemical composition of cement

constituent	chemical composition (%)
SiO_2	30~36
Al_2O_3	12~18
Fe_2O_3	0.25~0.35
CaO	38~45
MgO	10.0이하
SO_3	2.74
S(황분)	1.0

Table3.1(b) Physical composition of cement

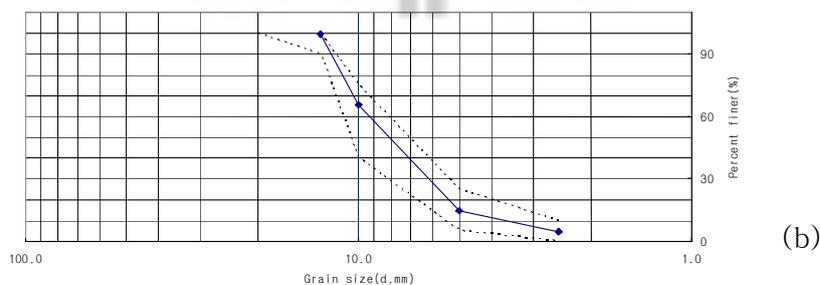
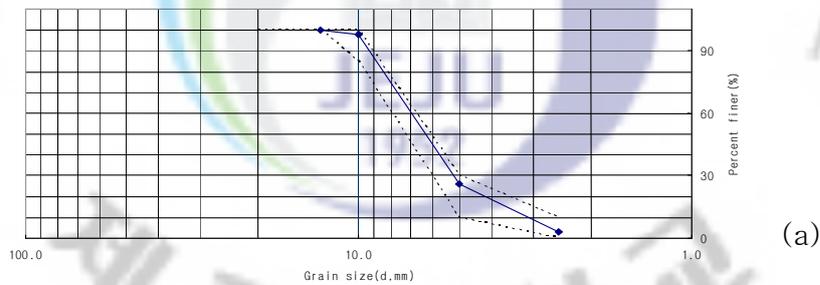
Contents	Physical composition
강열감량 (%)	0.99
밀도(kg/m^3)	2.9~2.95
잔분(>45 μm)	2.0 이하
평균입경(μm)	10~13
비표면적(cm^2/g)	4,210
모르터의 공기함유량(%)	3.46
비 중	3.04

1.2 골재

본 연구에서는 투수콘크리트에 일반적으로 사용되는 13mm골재와 10mm, 19mm, 25mm, 40mm의 골재를 각각 비교 분석하였고 사용된 골재의 물리적 특성으로 Table 3.2는 KS F 2503(굵은 골재 밀도 및 흡수율 시험방법)에 의해 측정된 결과이고 Fig. 3.1은 KS F 2502(골재의 체가름 시험방법)에 의해 측정된 입도분포곡선이다.

Table 3.2 The measured results according to KS F 2503

굵은골재 최대치수(mm)	밀도(g/cm^3)	흡수율(%)	비고
10	2.43	1.25	단입도
13	2.43	1.99	단입도
19	2.62	1.90	단입도
25	2.64	2.24	단입도
40	2.64	2.21	단입도



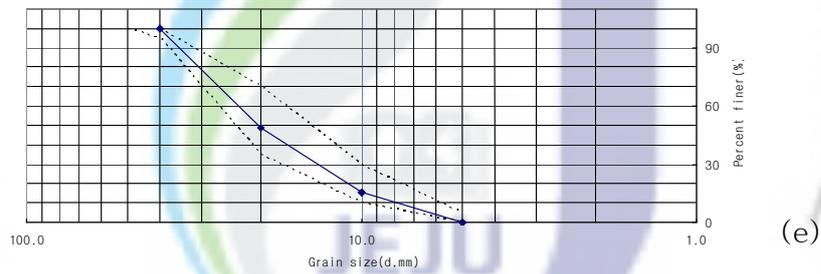
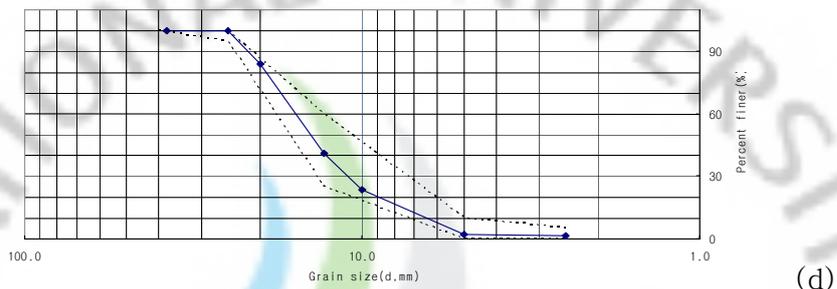
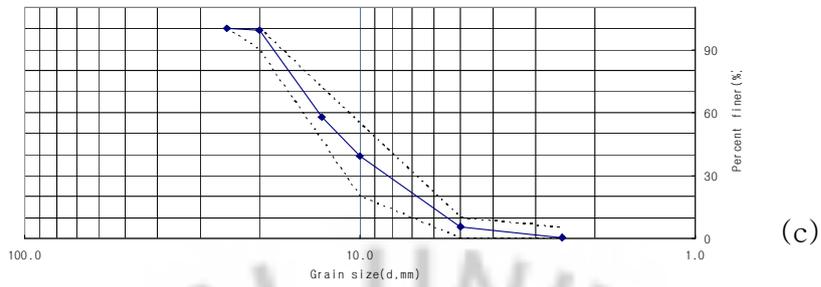


Fig. 3.1 Grain size distribution curve according to aggregate
 (a) 10mm aggregate (b) 13mm aggregate
 (c) 19mm aggregate (d) 25mm aggregate (e) 40mm aggregate

1.3 혼화제 및 배합비

시험에 사용한 혼화제는 D사 제품을 사용하였으며, Table.3.3은 혼화제의 화학적 특성을 나타내었다.

Table 3.3 Cemical composition of quick setting admixtures

constituent	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MnO	P_2O_5	LOI	total
Contents (%)	-	6.59	-	-	36.41	-	-	-	37.87	80.86

LOI : Loss of Ignition

일반적인 콘크리트는 시멘트+ 굵은 골재+ 잔골재+ 물+ 혼화제의 적정비율로 물-시멘트 비의 범위가 40~60%이고 공극이 매우 작은 수밀한 상태를 요구한다. 그러나 투수성을 갖기 위한 투수콘크리트의 배합은 시멘트+ 굵은 골재+ 물+ 혼화제로 잔골재를 제외한 배합을 주로 사용하고 물-시멘트 비의 대단히 작으며 불규칙한 연속공극을 필요로 한다. 본 연구는 잔골재를 제외한 배합으로 Table 3.4와 같은 배합비를 사용하였으며 이 배합비는 반복적인 실험에 의해서 얻은 배합비이다.

Table 3.4 Mix proportion ratio of porous concrete

설 계	W (물)	C (시멘트)	W/C	G (굵은골재)	단위중량 (kg/m ³)
10-180-0	100	256	0.39	1264	2106
13-180-0	105	284	0.37	1370	2063
19-180-0	110	314	0.35	1320	1993
25-180-0	115	348	0.33	1230	1972
40-180-0	108	372	0.29	1387	1864

2. 폐타이어칩

2.1 폐타이어칩의 화학적 성질

본 실험에서 사용된 폐타이어는 기계식 파쇄방법으로 1~2mm, 2~5mm크기로 파쇄 된 두 타입의 폐타이어 분말을 액체질소를 이용해 잘게 부순 뒤 체로 쳐서 0.3mm이하의 폐타이어 분말을 사용하였다.

2.1.1 XRF 분석

폐타이어 분말의 X-Ray Fluorescence Spectrometer(XRF, SHIMADZU, XRF-1700)로 화학성분 분석 결과는 Table.3.5와 같다. Glass bead 시편은 10 0℃의 온도에서 건조시킨 시료 0.5g과 용제(Li2B5O7, lithium tetraborate) 5g 을 혼합하여 제작하였으며 검량선을 작성하여 정량하였다.

Table. 3.5 Total concentration of discarded automotive tires

Element	Zn	Cl	D	Ca	Fe	Si	Br	K	Ti	Co	Ni	Al	Cu
Ratio(%)	47.36	33.74	5.81	4.76	4.48	1.35	0.49	0.44	0.44	0.31	0.28	0.27	0.24

분석결과 탄소(C)가 전체 성분의 약 83%를 차지하고 있으며 그 외에 수소(H) 7.0%, 산소(O) 2.5%가 차지하고 있다. 또한 Ash부분을 따로 분석한 결과 아연(Zn)이 47.4%, 염소(Cl) 33.74%로 대부분을 차지하고 있으며, 그 외에 황(S) 5.8%, 철(Fe) 4.5%, 칼슘(Ca) 4.8%를 차지하고 있다. 이 외에도 니켈(Ni), 알루미늄(Al), 구리(Cu), 코발트(Co)도 아주 낮지만 폐타이어 구성성분으로 분석되었다.(고득영, 2007)

2.1.2 XRD 분석

페타이어칩의 결정 구조를 알아보기 위해 X-Ray Diffractometer(XRD, PHILIPS X'pert-MPD System)을 통하여 알아보았다. 시료들의 최적의 입도와 균질성을 위해서 액체질소를 이용하여 분말상태로 준비 하였고, 분석은 구리 X-선 튜브(CuK α)를 사용하였고 가속 전압은 40Kv, 가속전류 주사 방법은 2°/min의 속도로 연속 주사방법을 사용 하였다.

그 결과 Fig.3.2와 같다. 페타이어칩은 주로 Zinc Oxide(Zno) 와 Iron(Fe)으로 구성된 구조임을 알 수 있으며, 비결정질 상태인 것으로 볼 수 있다.

2.1.3 SEM 분석

페타이어칩의 입자 모양과 상태를 살펴보기 위하여 장방출주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, SEM JSM-6700F JEOL Co.Ltd)사진을 통해 관찰한 결과는 Fig.3.3과 같다. 그림에서 보는 것과 같이 페타이어 표면은 매우 불규칙하며 또한 기공이 고루 분포하지 않은 것으로 관찰되었다.

Fig 3.2 X-ray diffractogram of Discarded automotive tires

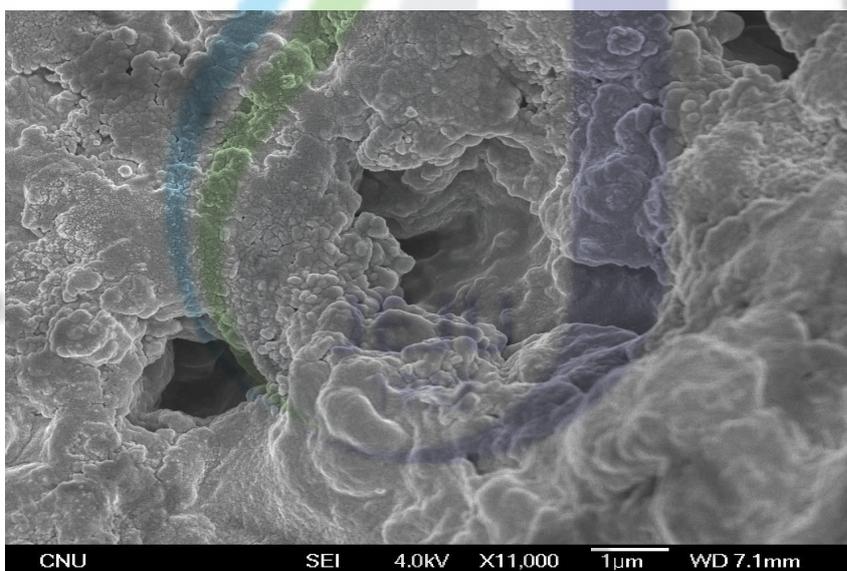


Fig 3.3 SEM photogram of Discarded automotive tires

2.1.4 페타이어의 중금속 용출

기계식 파쇄방법으로 1~2mm, 2~5mm크기로 파쇄된 페타이어칩을 액체질소를 이용하여 동결시킨 후 잘게 분쇄 하였다. 이렇게 분쇄된 0.3mm이하의 페타이어분말 1g에 Ph5~6인 증류수 25mL를 가하여 2시간 교반 후 중금속(Cu, Pb, Cr, Cd) 함유량을 분석(AAS: Atomic Absorption Spectrometer) 하였으며, 그 결과는 Table.3.6 과 같다.

Table. 3.6 The result according to leaching test of the waste tire chips

Element	Cu	Pb	Cr	Cd	Zn
Concentration (mg/L)	0.1690	0.2060	0.0013	0.0369	4.1560

페타이어의 중금속 용출실험결과 Zn이 4.156mg/L로 다량 검출되었으며, 이것은 XRD분석결과에서 주 구성성분이 아연인 것으로 관찰된 것과 일치 하는 것이다. 이외에 Cu, Pb, Cr, Cd은 0.1690mg/L, 0.2060mg/L, 0.0013mg/L, 0.0369mg/L의 중금속 이온이 검출되었다.

3. 안료

3.1 안료의 정의

안료(Pigments)란 물 또는 그 밖의 용매에 녹지 않는 입자로 이루어진 물질로 물리 화학적으로 안정하며 주로 색채 물질로 사용된다. 항부식성(anticorrosion)이나 magnetic pigments 같은 특별한 목적을 위해 사용되기도 한다. 안료는 색, 화학구조, 형태, 용도 등 다양한 기준에 따라 나뉘지는데, 화학구조에 따라서는 무기안료(inorganic pigments)와 유기안료(organic pigments)로 나눌 수 있으며, 그 기원(origin)에 따라 천연안료(natural pigments)와 합성안료(synthetic pigments)로 나눌 수 있다(이기만, 1995: Volz, 1995). 용도에 따라 도료용, 플라스틱용, 화장품용, 요업용, 제지용, 문구용, 고무용, 건축용, 기타(피혁, 안료수지프린트 등)로 나뉜다.

3.1.1 무기안료

무기안료(inorganic pigments)는 화학적으로 무기질(inorganic matter)인 안료를 가리키는데 광물성 안료라고도 한다. 천연광물 그대로, 또는 이것을 가공 분쇄하여 만드는 것과 아연, 티탄, 납, 철, 구리, 크롬 등의 금속화합물을 원료로 하여 만드는 것이 있다.

유기안료(organic pigments)에 비해 일반적으로 불투명하고 농도도 불충분하지만, 내광성 내열성이 양호하고 유기용제(organic solvent)에 녹지 않는다. 또 가격이 저렴하고 사용량도 많다. 여러 가지의 종류가 있으며 색별로 나누면, 백색 안료(산화아연, 산화티탄, 연백 등), 적색안료(벵갈라, 버밀리온, 카드뮴레드 등), 황색안료(황연, 황토, 카드뮴옐로 등), 녹색안료(에메랄드록, 산화크롬녹 등), 청색안료(프러시안블루, 코발트청 등), 자색안료(망간자, mars자 등), 흑색안료(카본블랙, 철흑 등), 투명성 백색안료(체질안료라고도 한다. 실리카백, 알루미늄나백, 백토, 탄산칼슘 등)가 있다. 도료, 인쇄잉크, 회화용 크레용, 고무, 통신기계, 건축재료, 요업제품, 합성수지 등 그 용도가 넓다.

3.1.2 유기안료

유기안료(organic pigments)는 물에 녹지 않는 금속화합물의 형태로 한 레이 크안료와 물에 녹지 않는 염료를 그대로 사용한 색소안료로 크게 구별된다. 유기 안료는 유기합성 화학의 발달과 함께, 특히 제2차 세계대전 후에 출현하였다.

유기안료는 무기안료에 비해서 빛깔이 선명하고 착색력도 크며, 임의의 색조를 얻을 수 있으나 내광성·내열성이 떨어지고, 유기용제에 녹아 색이 번지는 것이 많다. 종류는 수백 종 있으나, 공업적으로 제조되는 것은 이 중에서 수십 종에 지나지 않는다.

유기안료를 그 원료인 염료와 화학구조에 따라 분류하면 용도 중에서 가장 큰 것은 인쇄잉크이고, 다음으로 도료·섬유수지·염(염료의 염색성을 이용하는 대신 염색성이 없는 합성수지의 작용으로 섬유에 고착시키는 방법)·플라스틱 착색 등이 주요한 것들이다. (두산백과사전)

3.2 안료의 화학적 성질

3.2.1 매염(媒染)안료의 XRF분석

X-Ray Fluorescence Spectrometer(XRF, SHIMADZU, XRF-1700)로 화학성분 분석 결과는 Table.3.7과 같다. Glass bead 시편은 100℃의 온도에서 건조시킨 시료 0.7g과 용제(Li₂B₅O₇, lithium tetraborate) 7g을 혼합하여 제작하였으며 검량선을 작성하여 정량하였다.

Table. 3.7 Chemical composition of mordant dyes

Constituent	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	LOI
Contents (%)	-	0.37	0.08	0.66	0.50	0.68	1.70	-	-	0.01	-

분석결과 일반원소에 대한 전체 성분중 Al_2O_3 (0.37%) , TiO_2 (0.08%), Fe_2O_3 (0.66%), MgO (0.50%), CaO (0.68%), Na_2O (1.720%), P_2O_5 (0.01%)를 차지하고 있으며, 이것은 전체 성분의 4%를 차지하고 있는 것으로 아주 낮은 안료의 구성 성분으로 분석되었다.

3.2.2 매염안료의 XRD분석

안료의 결정 구조를 알아보기 위해 X-Ray Diffractometer(XRD, PHILIPS X'pert-MPD System)을 통하여 알아보았다. 시료들의 최적의 입도와 균질성을 위해서 막자사발을 이용하여 분말상태로 준비 하였고, 분석은 구리 X-선 튜브(CuK α)를 사용하였고 가속 전압은 40Kv, 가속전류 주사 방법은 2°/min의 속도로 연속 주사방법을 사용 하였다. 그 결과는 Fig.3.4와 같다. 안료는 주로 Pb로 구성된 구조임을 알 수 있으며, 비결정질 상태인 것으로 볼 수 있다.

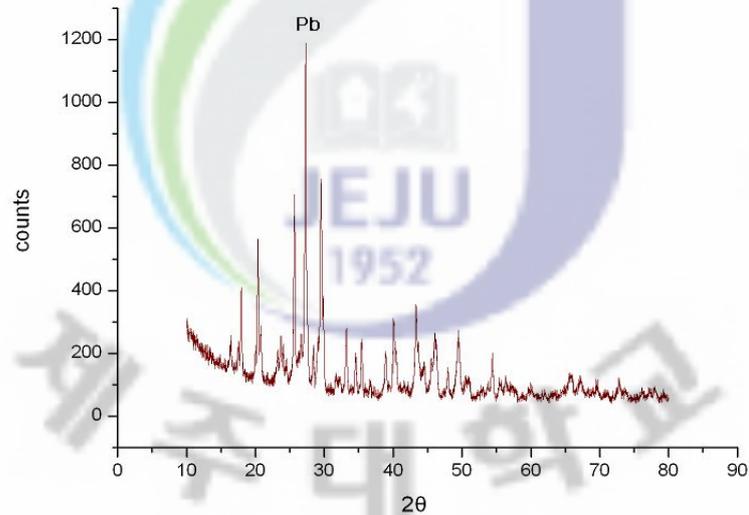


Fig. 3.4 X-ray diffractogram of mordant dyes

3.2.3 매염안료의 중금속 용출

현재 탄성포장에 사용중인 안료는 대부분이 중금속을 주원료로 하는 안료가 사용되고 있으며, 본 연구에서는 탄성포장재의 착색제로 주로 사용되고 있는 유기안료 중 납(Pb)을 주원료로 하는 매염안료를 사용하여 실험 하였다.

탄성포장에 사용되고 있는 매염안료 1g에 Ph5~6인 증류수 25mL을 가하여 2시간 교반 후 중금속(Cu, Pb, Cr, Cd) 함유량을 분석(AAS: Atomic Absorption Spectrometer) 하였으며, 그 결과는 Table.3.8과 같다.

Table. 3.8 The result according to leaching test of mordant dyes

Element	Cu	Pb	Cr	Cd
Concentration (mg/L)	0.1202	294.7735	0.1288	0.1255

안료의 중금속 용출실험 결과 Pb이 297.7735mg/L로 다량 검출되었으며, 이것은 XRD분석결과에서 주 구성성분이 Pb인 것으로 관찰된 것과 일치 하는 것이다. 이외에 Cu, Cr, Cd은 0.01202mg/L, 0.1288mg/L, 0.1255mg/L의 중금속이 온이 검출되었다.

4. 첨가제

4.1 송이(Scoria)

4.1.1 송이의 정의

화산분출물 중 다공질이며 암색(검정, 적갈색, 암회색 등)인 암괴(岩塊)로 암재라 한다. 마그마가 대기 중으로 방출되어 그 속의 휘발성 성분이 빠져나가 많은 기공(氣孔)이 생긴 것으로 부석(浮石)보다 무겁고, 염기성 또는 중성의 마그마에서 유래된 것을 스킨리아(scoria)라 한다. 이러한 암재를 제주도방언으로 “송이”라 한다. 한라산 화산체의 국부적인 지형의 특징은 중심 화산의 활동이 정지된 후 그 주변의 틈을 이용하여 분출 생성된 360여개의 기생화산과 깊은 관련이 있다. 제주도에 기생화산이 널리 분포되어 있으며 장축과 일치하는 방향으로 집중적으로 배열되어 있고 제주도에서는 이를 “오름”이라 한다. 이러한 기생화산은 현무암구(Basalt cone)와 분석구(Cinder cone)의 두 종류로 크게 분류할 수 있으며, 전자는 성산층 및 화순층 퇴적기에 형성된 화산구(Volcanic cone)로서 10여개에 불과하고 대부분은 후기 화산활동 후에 형성된 분석구이다.

화산의 화구로부터 분출되는 암편과 화산회를 총칭하여 화산쇄설물이라고 하는데, 그 중 직경이 32mm 이상인 것이 화산암괴(Volcanic block)라 하며, 이 중 어느 정도 둥글거나 방추형으로 생긴 것을 화산탄(Volcanic bomb)이라고 하며 이는 용암이 공중에서 회전하면서 냉각되어 만들어진 것이다. 모양이 불규칙하고 직경이 4~32mm 사이에 있는 것을 화산력(lapilli) 또는 분석(cinder)이라고 하고, 4mm 이하의 세편을 화산회(Volcanic ash), 0.25mm 이하의 가루를 화산진(Volcanic dust)이라 하며 이러한 화산쇄설물이 낙하하여 퇴적되어 있는 지층을 스킨리아(Scoria)층이라 한다. 스킨리아로 구성된 분석구는 분출 퇴적 범위는 수 km이며, 분화구에서 3km 지점에는 1cm 크기의 스킨리아가 10cm 두께로 층을 이룬다고 한다. 스킨리아로 구성된 분석구 분포지역은 스킨리아의 물성에 좌우된다. 스킨리아는 기공의 함량이 높고 각력상으로 산출된다. 이러한 조립질 층 상위에는 미립질 스킨리아가 협재되어 층리를 형성하고 있다.

4.1.2 제주도내 송이의 분포 및 채취지역

송이는 색상에 있어서 검정색, 적색, 황갈색등으로 크게 세 가지로 구별하고, 적갈색(Redish-Brown), 황갈색(Yellow-Brown), 흑색(Black) 및 암회색(Dark-Grey) 등으로 세분할 수 있으며 송이는 원 지반이 크고 많은 기공을 가지고 있는 연속체인 덩어리로 되어있어 채취 시 다양한 입도로 분해되므로 흙으로 분류되기에는 다소 문제를 내포하고 있으나 흙으로 간주하여 이에 대한 물리·화학적 특성 등에 대한 연구를 한다. 제주도내 송이의 분포는 문헌(윤정수, 1995)을 참고하였다. Fig.3.6은 북제주군 지역을 위주로 하였지만 일반적으로 적갈색 송이가 20개 지역으로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났으며 이들은 특히 중산간 지역에 많이 있는 것으로 나타났다. 다음으로는 황갈색 송이가 9개 지역, 흑색 송이가 5개 지역 그리고 암회색 송이가 6개 지역에 분포하는 것으로 나타났으며 암회색 송이는 주로 해안 지역에서 분포하고 있는 것으로 나타나고 있다.

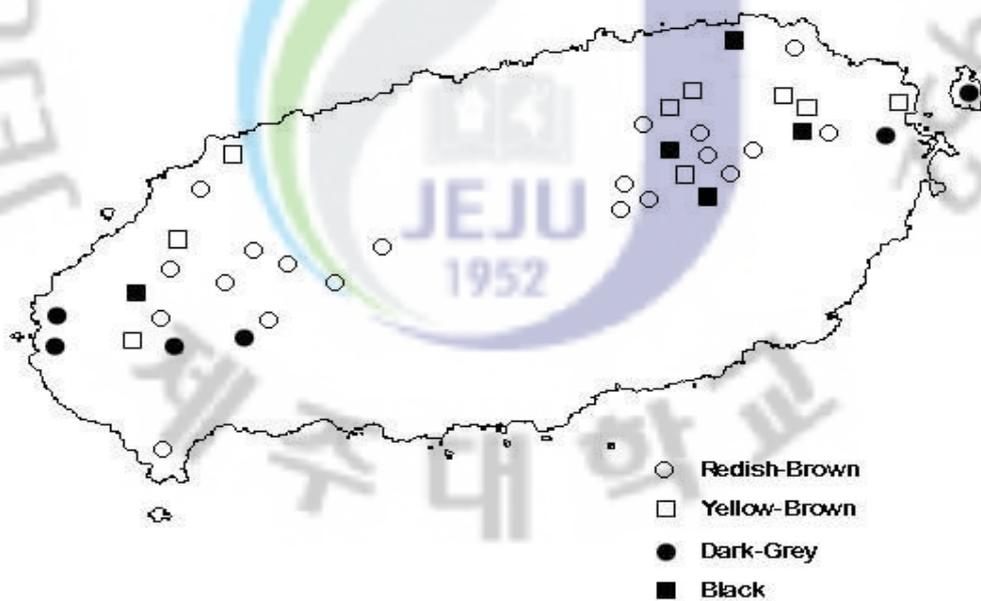


Fig 3.5 Colorific Distribution of Scorias in Jeju(윤정수, 1995)

본 연구에서 사용된 송이의 채취장소별 색상은 Table.3.5와 같고, 대표적인 네 가지의 색상 적갈색(Redish-Brown), 황갈색(Yellow-Brown), 검정색(Black) 그리고 암회색(Dark-Grey)을 한 가지 씩 채취하여 사용하였으며 Fig.3.9는 연구에 사용된 송이의 채취위치이다.

Table 3.9 The sampling location and each colors of scoria

No.	Color	Place
①	Dark gray	지미봉
②	Black	월랑봉 (A)
③	Reddish brown	월랑봉 (B)
④	Yellowish brown	월랑봉 (C)



Fig 3.6 The sampling location of scorias

4.1.3 송이의 화학적 성질

본 실험에서 사용된 송이는 기계식 파쇄방법으로 0.3mm이하 크기로 파쇄 된 송이분말을 사용하였다.

4.1.3.1 XRF 분석

X선 형광분석기(X-Ray Fluorescence, XRF)를 이용해 화학분석을 실시한 결과 Table.3.10와 같다. 여기서 단위는 무게의 비(Ratio of Weight)이며, LOI(Loss of Ignition)는 950도의 온도에서 시료를 태운 후의 무게를 측정하여 950도의 온도에서 태우기 전의 무게의 비이다.

Table. 3.10 Chemical composition of scorias

Constituent	SiO ₂ wt(%)	Al ₂ O ₃ wt(%)	TiO ₂ wt(%)	Fe ₂ O ₃ wt(%)	MgO wt(%)	CaO wt(%)	Na ₂ O wt(%)	K ₂ O wt(%)	MnO wt(%)	P ₂ O ₅ wt(%)	LOI wt(%)	Total wt(%)
Reddish brown	48.60	14.28	2.38	12.30	7.46	8.21	3.02	1.63	0.15	0.52	0.83	99.37
Black	48.99	14.53	2.42	12.27	7.93	8.73	2.67	1.33	0.15	0.45	0.14	99.62
Yellowish brown	43.45	15.63	2.79	14.62	8.25	6.99	1.42	0.58	0.18	0.49	5.82	100.22
Dark gray	43.51	20.82	2.87	12.61	4.06	5.32	2.12	1.68	0.19	0.48	6.24	99.90

주성분은 SiO₂+ Al₂O₃+ Fe₂O₃로 함량이 약 75%에 달하며, 색상에 따른 산화물의 조성비를 보면 SiO₂는 검정색과 적갈색 송이가 높은 함량을 보이며, Al₂O₃는 암회색, Fe₂O₃는 황갈색, CaO는 검정색과 적갈색, MgO는 황갈색, Na₂O는 적갈색, K₂O는 암회색, TiO₂는 암회색 송이가 각각 높은 함량을 보인다. SiO₂는 흡착제로 Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO는 응집제로 작용할 수 있으며, 색상에 따른 Al₂O₃+ Fe₂O₃+ MgO의 조성비를 보면 적갈색송이가 34.04%, 검정색송이가 34.73%, 황갈색송이가 38.5%, 암회색송이가 37.49%로 황갈색송이>암회색송이>

검정색송이>적갈색송이>현무암석분슬러지의 순으로 함량을 보인다.

4.1.3.2 SEM 분석

송이4종의 입자 모양과 상태를 살펴보기 위하여 장방출주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, SEM JSM-6700F JEOL Co.Ltd)사진을 통하여 관찰한 결과는 Fig.3.7과 같다. 그림에서 보는 것과 같이 송이의 표면은 매우 거칠고 불규칙하며, 일부분에서 $0.25\sim 0.33\mu\text{m}$ 크기의 아주 조밀한 기공을 가지고 있는 것으로 관찰되었다. 기공의 분포는 황갈색송이>암회색송이>검정색송이>적갈색송이의 순으로 넓게 분포되어 있는 것으로 나타났다.



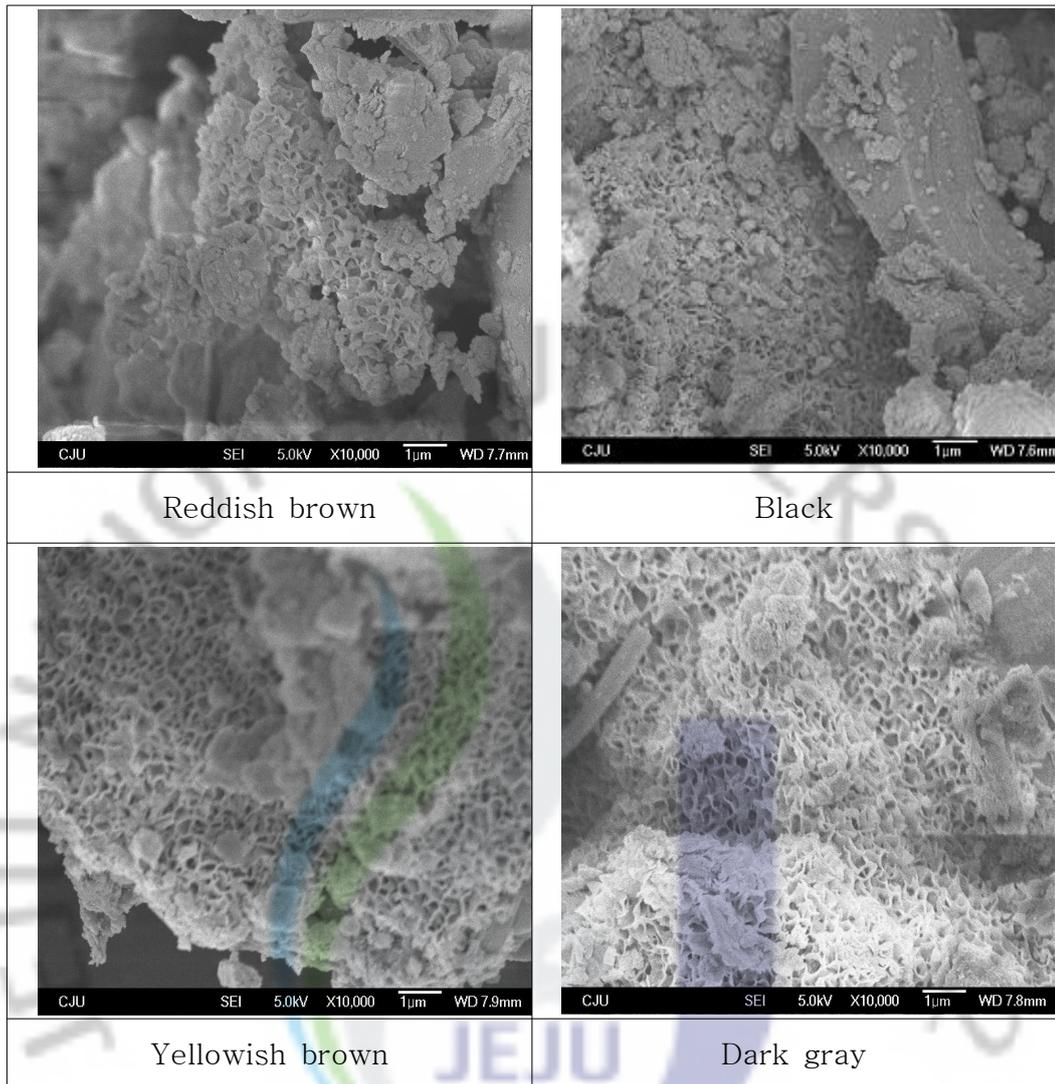


Fig 3.7 SEM results of each colors of scoria

4.2 현무암 석분슬러지(Powdered basalt sludge)

4.2.1 현무암 석분슬러지의 발생 과정 및 현황

석재 가공과정에서 발생하는 석분슬러지는 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 중화 및 응집조, 농축 및 침전조를 거친 후 탈수과정

이후 석분슬러지가 발생하게 된다. Fig.3.8은 계통에 따라 처리과정에서 석분슬러지가 발생하는 과정이다.

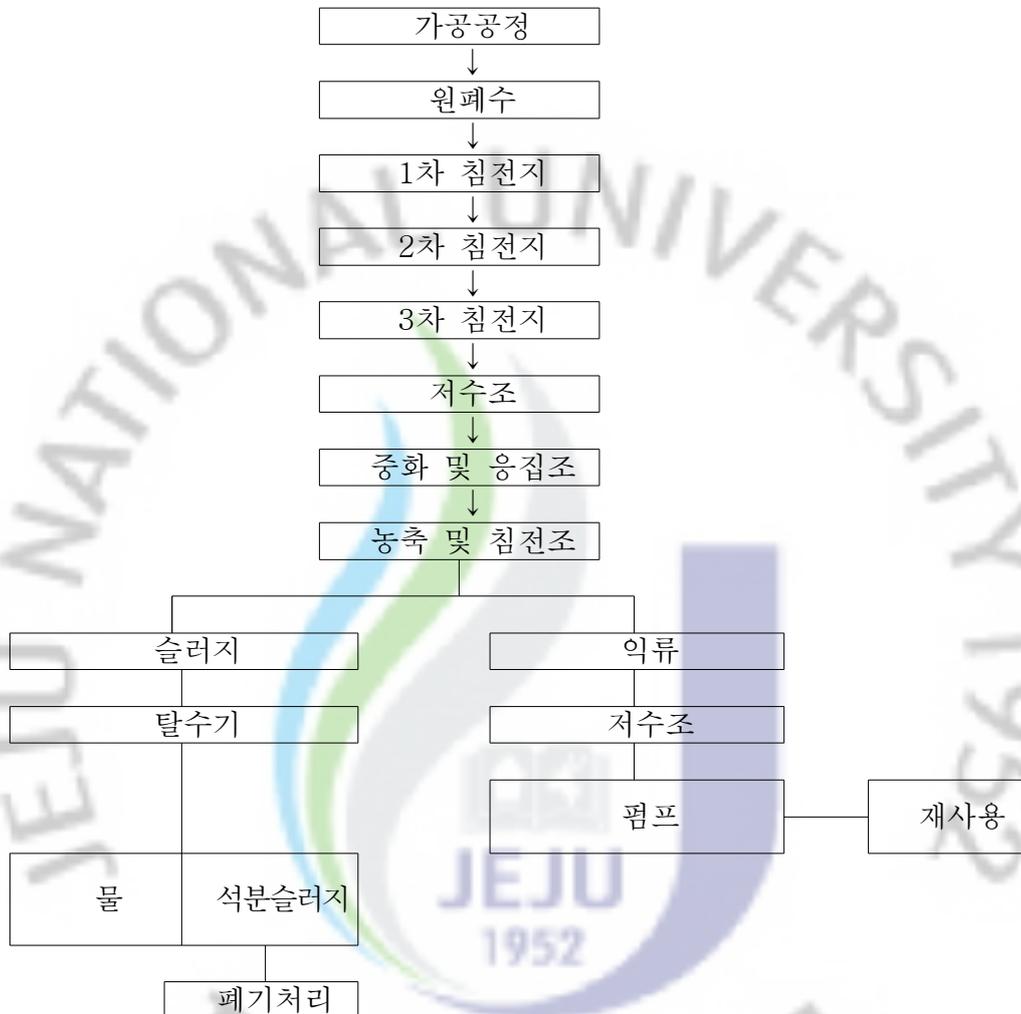


Fig. 3.8 The Flow chart of the Powdered Basalt Sludge Production

전국적으로 석재 가공과정에서 발생하는 석분슬러지의 연간 발생량 및 처리비용은 Table.3.11에 나타내었다. 석분슬러지 발생량은 2003년을 기준으로 약 80만톤(톤당 처리 비용 15,000원)으로 계산할 때 연간 처리 비용은 약 120억원 정도 소요되고 있다.

Table. 3.11 The current status of the stone sludge production amount and treatment expenses (김기영, 2007)

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

전국적으로 발생하는 석분 슬러지의 발생량에 비해 제주도에서 발생하는 석분 슬러지량은 현재 정확한 집계가 어려워 폐기물을 처리하는 업체에서 입고된 폐기물의 양을 근거로 추정하여 산출하였다. 제주도에 석재 가공 공장에서의 발생량을 추정하면 Table.3.12와 Table.3.13과 같다.

Table. 3.12 The present status of the scrapped stone material disposal (김기영, 2007)

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. 3.13 The production amount of the Powdered basalt sludge
(김기영, 2007)

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

석분슬러지의 발생의 추정은 '03년도부터 조사가 되었으나, '03년도의 조사는 신뢰성이 없으며, '04년도와 '05년도의 발생량을 표에서 보는 것과 같이 50%정도가 늘어났다. 실제 폐기물처리 업체를 통해 처리되는 석분슬러지는 1년에 약 15,000톤으로 추정되지만, 2005년도 관급자재와 사급자재 생산량을 기준으로 산출한다면 생산량 45,530톤의 40%정도로 약 18,000톤 이상이 발생하는 것으로 추정되어진다.(김기영, 2007)

4.2.2 현무암 석분슬러지의 화학적 성질

4.2.2.1 XRF 분석

X선 형광분석기(X-Ray Fluorescence, XRF)를 이용해 화학분석을 실시한 결과 Table.3.11과 같다. 주성분은 $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ 가 78.39%로 주종을 이루고 있는 것으로 나타났다. 현무암 석분슬러지의 pH는 약 8.67로 나타나 약알카리성을 띠고 있다. pH 상승물질인 CaO 와 MgO , K_2O , Na_2O 가 약 18%를 차지하고 있어 이들의 가수분해 작용에 의해 생성된 2 mole 의 OH^- 에 의해 알카리성 상태를 나타내는 것으로 판단된다.

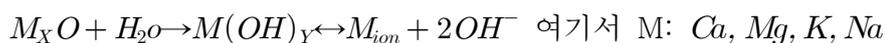


Table 3.14는 XRF를 통해 현무암 석분에 대하여 분석한 현무암 석분슬러지의 화학적 조성 분석결과를 나타내었다. 화학적 조성을 보면 실리카성분인 SiO_2 의

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.

Table. 3.14 Chemical composition of Powdered basalt

constituent	Sample	Contents(%)
SiO_2		52.66
Al_2O_3		14.67
TiO_2		1.93
Fe_2O_3		11.06
MgO		6.33
CaO		8.31
Na_2O		2.84
K_2O		0.98
MnO		0.14
P_2O_5		0.34
LOI		-
total		99.26

* LOI : Loss of Ignition

4.2.2.2 SEM 분석

현무암석분슬러지의 입자 모양과 상태를 살펴보기 위하여 장방출주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, SEM JSM-6700F JEOL Co.Ltd)사진을 통해 관찰한 결과는 Fig.3.10과 같다. 그림에서 보는 것과 같이 현무암석분슬러지의 표면은 매우 불규칙하며 또한 기공이 고루 분포하지 않은 것으로 관찰되었다.

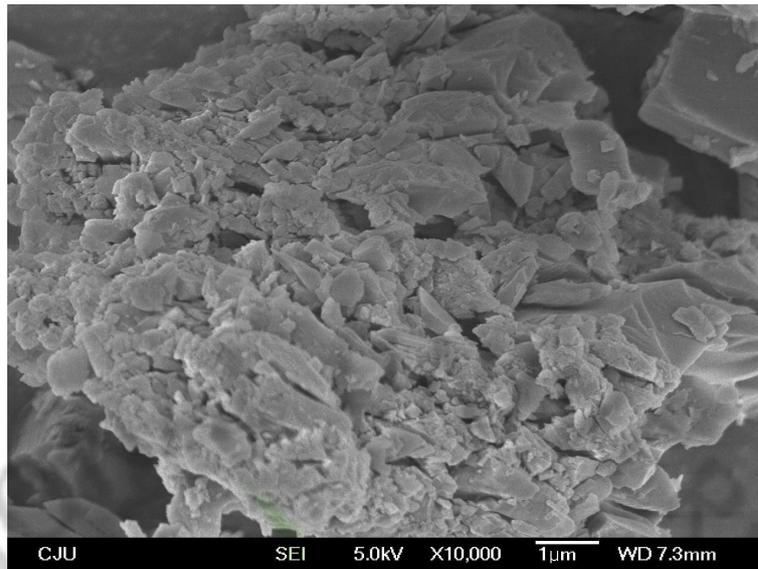


Fig 3.9 SEM results of Powdered basalt sludge



IV. 시험방법 및 결과

1. 투수콘크리트

1.1 강도시험

1.1.1 압축강도

본 실험에서는 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법)을 따라서 실시하였으며 방법은 아래와 같다.

(시험방법)

- ① 공시체의 상하 끝면 및 상하의 가압판의 압축면을 청소한다.
- ② 공시체를 지름의 1% 이내의 오차에서 그 중심축이 가압판의 중심과 일치하도록 놓는다.
- ③ 시험기의 가압판과 공시체의 끝면은 직접 밀착시키고 그 사이에 쿠션체를 넣어서는 안 된다. 다만 언본드 캐핑에 의한 경우는 제외한다.
- ④ 공시체에 충격을 주지 않도록 똑같은 속도로 하중을 가한다.
하중을 가하는 속도는 압축응력의 증가율이 매초(0.6±0.4)Mpa이 되도록 한다.
- ⑤ 공시체가 급격한 변형을 시작한 후에는 하중을 가하는 속도의 조정을 중지하고 하중을 계속 가한다.
- ⑥ 공시체가 파괴될 때까지 시험기가 나타내는 최대 하중을 유효 숫자 3자리까지 읽는다.

골재 최대치수 10mm, 13mm, 19mm, 25mm는 10×20cm 공시체를 제작하고, 40mm의 골재는 15×30cm 공시체를 제작하여 20±2℃에서 양생하였으며 만능

재료시험기를 이용하여 압축강도를 측정하였고, 공시체 평균값을 시험결과로 채택하였으며 압축강도 산정식은 식 4.1과 같으며, Fig. 4.1은 압축강도시험기이다.

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (4.1)$$

f_c = 콘크리트 압축강도 (MPa)

P = 최대하중 (N)

A = 공시체의 단면적 (mm^2)



Fig. 4.1 Photograph of compression test

1.1.2 휨강도

휨강도시험은 KS F 2408(콘크리트 휨강도 시험방법)을 따라서 실시하였으며 방법은 아래와 같다.

(시험방법)

- ① 시험기는 시험시의 최대 하중이 용량의 $\frac{1}{5}$ 에서 용량까지의 범위에서 사용한다. 같은 시험기에서 용량을 바꿀 수 있는 경우는 각각의 용량을 별개의 용량으로 간주한다.
- ② 지간은 공시체 높이의 3배로 한다.
- ③ 공시체는 콘크리트를 몰드에 채웠을 때의 옆면을 상하면으로 하며, 나비의 중앙에 놓고 지간의 3등분점에 상부재하 장치를 접촉시킨다. 이 경우, 재하 장치의 접촉면과 공시체 면과의 사이 어디에도 틈새가 없도록 한다.
- ④ 공시체에 충격을 가하지 않도록 일정한 속도로 하중을 가한다. 하중을 가하는 속도는 가장자리 응력도의 증가율이 매초 $0.06\pm 0.04\text{Mpa}$ 이 되도록 조정하고, 최대 하중이 될 때까지 그 증가율을 유지 하도록 한다.
- ⑤ 공시체가 파괴될 때까지 시험기가 나타내는 최대 하중을 유효 숫자 3자리까지 읽는다.

Fig.4.2의 3등분점 재하시험방법을 이용하고 골재 치수 10mm, 13mm, 19mm, 25mm는 $B\times H\times L=10\times 10\times 40\text{cm}$ 공시체를 제작하고, 40mm의 골재는 $B\times H\times L=15\times 15\times 60\text{cm}$ 공시체를 제작하여 $20\pm 2^\circ\text{C}$ 에서 양생하였으며 만능재료 시험기를 이용하여 휨강도를 측정하였고, 공시체 평균값을 시험결과로 채택하였으며 휨강도 산정식은 식 4.2와 같다.

$$f_b = \frac{Pl}{bh^2} \quad (4.2)$$

f_b = 휨강도(MPa)
 P = 최대하중(N)
 l = 지간(mm)
 b = 파괴 단면의 폭(mm)
 h = 파괴 단면의 높이(mm)

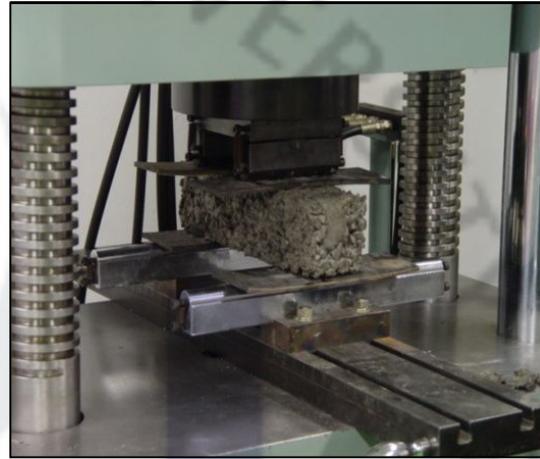
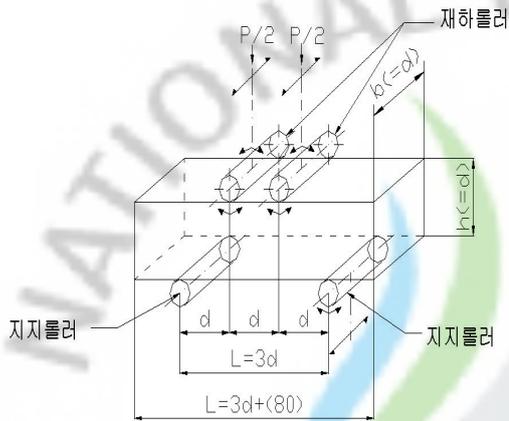


Fig. 4.2 A diagram of flexural strength test

Fig. 4.3 Photograph of flexural strength test

1.1.3 강도시험 결과

투수콘크리트가 인도 및 자전거도로 포장에 적용되는 경우 일반적인 압축강도는 18MPa이상 그리고 휨강도는 4MPa이상을 발휘하는 것이 바람직하다. 다섯 가지의 골재최대치수별로 압축강도 및 휨강도를 산정하여 소요강도를 만족하는 지 실험을 통하여 알아보았다.

압축강도는 Fig. 4.4와 같은 결과를 얻었으며 골재 최대치수 10mm, 13mm, 19mm, 25mm의 공시체는 소요압축강도 18MPa이상을 만족하였고, 휨강도는 Fig. 4에 나타내었으며 골재 최대치수 10mm, 13mm, 19mm, 25mm의 공시체는 소요휨강도 4MPa이상을 만족하였고, 그리고 골재최대치수 40mm인 공시체의 경우는 재령 28일의 압축강도가 약 14.3MPa, 휨강도가 약 2.1 MPa로 소요강도를 만족하지 못하였는데 이는 공시체의 공극이 너무 크기 때문으로 사료 된다. 그러므로 40mm골재를 제외하고는 일반적으로 사용되는 13mm골재 외에 19mm, 25mm의 골재도 투수콘크리트로서 사용에 무리가 없다고 사료된다. 골재가 커질수록 노출면이 거칠어진다는 단점을 가지고 있으나 투수콘크리트층 위에 공극을 갖는 탄성층으로 된 2층 구조의 투수성포장일 경우 노출면이 탄성층이므로 단점을 충분히 보완할 수 있다.

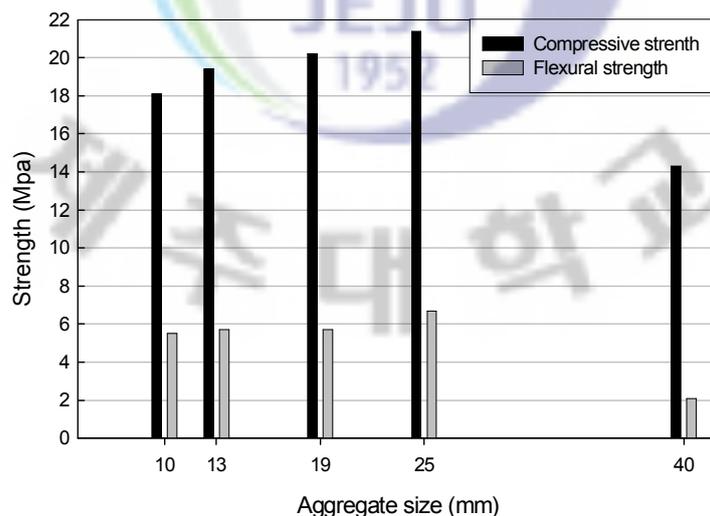


Fig 4.4 The result of compressive strength and flexural strength with aggregate

1.2 투수시험

1.2.1 현장투수시험

현장투수시험은 현장여건상 변수위투수시험을 행하였고 변수위투수시험은 다져진 점토와 같이 투수성이 작은 시료에 대하여 행한다. Fig. 4.5는 현장변수위투수시험기의 모식도이고 투수계수의 산정은 식 4.3을 이용하여 구한다.

시험방법은 유점토나 실리콘을 시험기 저면에 미리 부착시켜 노면과 접촉면에서의 누수를 방지한 다음 아크릴 몰드 안에 물을 일정한 높이만큼 채워 넣은 후 물이 투수 되는 시간과 투수 된 물의 양을 측정하여 시험이 이루어진다.

$$K = 2.3 \frac{aL}{AT} \cdot \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad (4.3)$$

K : 투수계수 (cm/sec)

a : 몰드의 단면적 (cm^2)

L : 투수콘크리트의 두께 (cm)

A : 시료의 단면적 (cm^2)

h_1 : 측정개시 수위 (cm)

h_2 : 측정종료 수위 (cm)

T : 시험동안 측정된 시간 (sec)

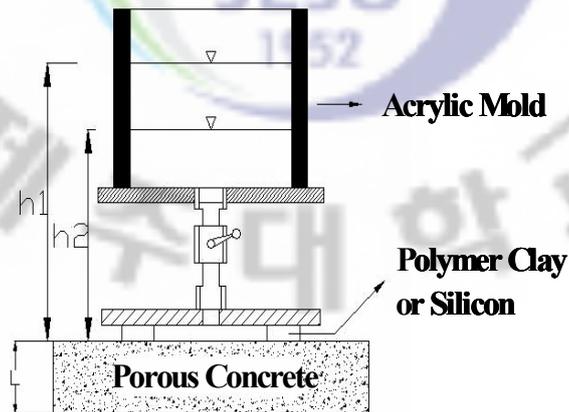


Fig. 4.5 A diagram of variable head permeability test apparatus in field

1.2.2 현장투수시험결과

시험대상지역은 투수콘크리트가 시공된 제주지역 37곳에서 실시하였으며, Table 4.1에 나타내었다. 시험결과는 시공년수(사용기간)와 현장변수위시험을 통해 측정된 현장투수계수값을 이용하여 그래프로 나타내었으며 Fig. 4.6과 같다. 투수성포장 시공시 투수계수는 $10^{-2}cm/sec$ 이상을 기준으로 하므로 본 시험에서도 공극막힘시험과 동일하게 투수계수 $10^{-2}cm/sec$ 을 투수성 포장의 수명한계로 보았으며, 현장투수시험에서 수명한계는 수명한계선인 $10^{-2}cm/sec$ 에 근접한 약 22개월의 한계를 보였다.

Table 4.1 The place in field permeability test

위치 No.	지역	위치 No.	지역	위치 No.	지역	위치 No.	지역
1	서귀포 걸매 축구장	10	한림 KT지점	19	여객선터미널 (보수)	28	서귀포 신시가지 가스충전소
2	중문 천제교	11	태흥리 3거리	20	신촌 마을회관	29	서귀포 신시가지 버스정류장
3	화북주공 맞은편	12	태흥리 마을회관	21	조천 입구	30	중문상고 입구
4	곽지	13	연북로(1)	22	귀덕	31	제주FC 숙소 입구
5	한림초등학교	14	연북로(2)	23	고산 환경체육관	32	관광고 맞은편
6	안덕계곡	15	서귀포이마트 주차장입구	24	한림 킹마트	33	관광고 주도로
7	봉개동	16	표선면사무소	25	여객선터미널	34	서귀농고 주변
8	남원하나로 마트	17	증흥S클래스	26	외도부영아파트	35	JIBS 맞은편
9	종합청사	18	중문하나로마 트 마트	27	월드컵경기장	36,37	제주여고, 해안도로

Fig. 4.6 The result of field permeability test



Fig. 4.7 Photograph of permeability test in field
(13mm porous concrete)

1.3 공극막힘 시험

투수성 포장의 강도증진에 대한 연구는 많이 이루어져 있고 현재도 이루어지고 있는 상태이지만 공극막힘(투수성 한계)에 대한 연구는 미비한 실정으로 이에 대한 검증이 필요하다. 이에 본 연구에서는 실내투수시험(정수위투수시험)법을 이용하여 공극막힘현상을 연구하였다.

1.3.1 공극막힘재 입경분석

투수성 포장재는 도시에서 발생한 우수의 지하침투, 도시유출에서 용해성 오염물질과 미세한 오염물질의 제거, 지하수 함량 등의 기능을 가지고 도시 지역 즉, 시가지에서 불투수성 포장면을 줄이기 위해서 사용이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 사용될 공극막힘재의 입경을 산정하기 위하여 제주도 제주시 일원 다섯 개의 지역(제주대, 관덕정, 연복로, 중앙로, 서사라)에서 노면 위의 시료를 채취해 입도분석한 결과 Table. 4.2 와 Fig. 4.8과 같다. 시가지의 일반적인 시료는 조립토이고 시가지에서 외각으로 벗어난 제주대에서는 약 45%정도의 세립토를 가지고 있었다.

아래 다섯 개의 지역의 입경분포를 이용하여 대표입경을 산정하였으며 실내시험 시 사용할 공극막힘재를 만들었다. 공극막힘재는 조립토와 세립토를 적절히 섞어 아래 Fig. 3.9와 같은 입도분포곡선을 갖는 시료를 만들어 시험에 사용하였다

Table. 4.2 Uniformity Coefficient(Cu) and Coefficient of Gradation(Cg) in Fields

	제주대학교	관덕정	연복로	중앙로	서사라
Cu	18.89	6.67	16.44	6.43	3.81
Cg	0.55	1.07	1.1	1.03	0.95

Table 4.3 Investigation location and section in Jeju

구분	위치	유역면적(m^2)
아파트지역	제주시 일도 2동 유역	62,811
단독주거지역	제주시 연동 1519번지 유역	75,218
공원지역	제주시 일도 2동 신산공원 유역	38,400
공업지역	제주시 화북 1동 지역	148,286

Table 4.4 The rainfall property with rainfall event

강우 사상	발생일시	강우량 (mm)	지속시간 (hr)	선행무강우일 수 (day)
강우.1	2005.10.28 05시~06시	5.5	2	6(14)
강우.2	2005.11.05 10시~24시	29.0	14	1(5)
강우.3	2005.11.28 16시~19시	0.5	3	1(16)

: () : 강우유출특성이 잘 나타나는 강우량 0.5mm 이상을 고려한 선행무강우일수

2) 조사방법 및 결과

우수유출수의 수질 조사 분석을 위해 채수 빈도는 강우 발생 시 초기 0분, 15분, 30분, 1시간, 2시간 간격으로 현장 강우조건에 따라 유동성 있게 시료를 채취 하였고 조사 결과는 Table 4.5과 같다.

Table 4.5 The sum and SS average concentration on location rainfall runoff (Unit : mg/L)

구분	단독주거지역	아파트지역	공원지역	공업지역
강우.1	-	11	194	-
강우.2	13.1	11.3	42.1	205.3
강우.3	13.8	16	-	160.6

위 Table 4.5의 자료를 이용하여 공극막힘재량을 산정하기 위해 비점오염원의 원단위산정법을 사용하였다.

비점오염원의 원단위를 간단히 정의하면 단위시간당 단위 면적에서 배출되는 오염물질량을 말한다. 현재 사용되고 있는 원단위 산정법으로는 경험식 등을 이용한 계산법과 유역에서 유량과 오염부하량을 실측해서 산정하는 실측법이 있다. 본 시험에서는 공극막힘재량 산정을 위하여 경험식을 사용하였으며, 아래 식 4.4와 같다.

$$\text{원단위 (Kg/ha/yr)} = P \times P_j \times C \times EMC$$

P = 연평균강수량 (1704.1mm/yr)
 P_j = 강우 보정치
 C = 유출계수
 (아파트, 단독주거지역 0.65, 공원 0.35, 공업지역 0.5)
 EMC = 유량가중평균농도

(4.4)

식 (3.4)에 각 강우사상에 대하여 연평균강수량, 강우보정치, 각 지역별 유출계수, 유량가중평균농도 (EMC)를 각각에 대입하여 원단위를 산정하였으며 네 개 지역의 산정 값을 평균을 내어 실내 정수위시험 시 투수시험체의 면적에 상응한 12개월에 해당되는 막힘재량을 산정하였으며, Table 4.6에 나타내었다.

Table. 4.6 The compute a pore-clogging meterial input

	kg/ha/yr	g/m ² /yr	4개지역 평균 (g/m ² /yr)	투수시험체 면적 0.0177m ² 대입
아파트	14,141	1,414.1	6,383.28	112.98g
공원	70,409	7,040.9		
단독	14,898	1,489.8		
거주지				
공업지 역	155,883	15,588.3		

1.3.3 공극막힘시험

정수위투수시험은 상류 측의 수위를 일정하게 유지하고 일정 두께의 시료를 통과하는 침투수량에 의하여 투수계수를 측정하는 시험방법으로 일반적으로 투수성이 작은 흙에 대해서는 침투수량이 작기 때문에 부정확하게 되어 비교적 투수성이 큰 흙에 사용되어진다.

본 연구에서는 공극막힘현상을 해석하기 위해서 실내정수위투수시험법을 사용하였고 정수위투수시험 장치는 Fig. 4.9과 같은 구조로 되어 있으며, Fig. 4.12 $\Phi 15 \times 10 \text{cm}$ 의 투수콘크리트 공시체를 Fig. 4.11와 같이 제작한 투수시험기를 이용하여 실험하였으며 식 4.5에 의해 투수계수를 산정하였다.

$$K = \frac{QL}{Ah(t_2 - t_1)} \quad (4.5)$$

- K : 투수계수 (cm/sec)
- L : 시료의 높이 (cm)
- A : 시료의 단면적 (cm^2)
- h : 수두 (cm)
- Q : ($t_2 - t_1$)시간내에 월류한 수량 (cm^3)

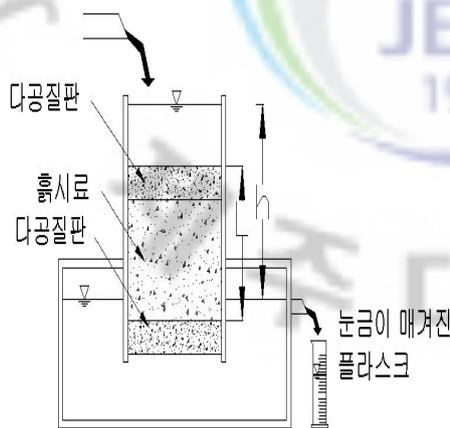


Fig. 4.9 The diagram of constant head permeability test apparatus

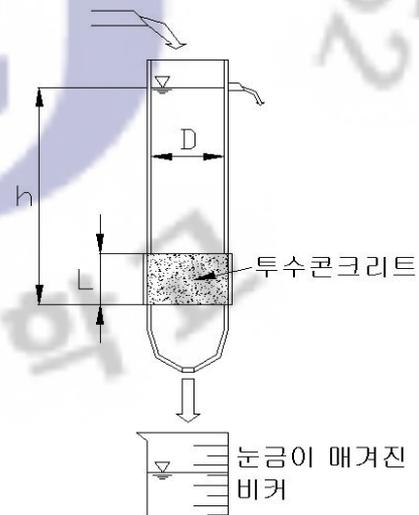


Fig. 4.10 Produced constant head permeability test apparatus



Fig. 4.11 Produced constant head permeability test apparatus



Fig 4.12 The test piece of permeability test



1.3.4 공극막힘시험 결과

본 연구에서는 투입되는 막힘재농도를 개월(Month)로 표현하여 투수계수와 비교 하였으며, 여기서 4가지의 농도는 Table. 4.6에서 산정된 시험체 면적에 상응한 12개월에 해당하는 막힘재량을 1개월, 3개월, 4개월, 6개월로 각각 나누어 막힘재를 정량의 35L의 물과 함께 1회씩 누적 통과 시켰으며 이것을 농도로 환산한 것이다. 본 연구에서도 투수계수 10^{-2}cm/sec 을 투수성 포장의 수명한계로 보았다.

농도 0.27g/L로 총 67회 누적 통과 실시한 결과, 수명한계는 약 37.5개월의 한계를 보였으며, 농도 0.80g/L로 총 19회 누적 통과 실시한 결과, 수명한계는 약 24개월, 그리고 농도 1.07g/L로 총 13회 누적 통과 시킨 결과는 약 20개월, 농도 1.61g/L로 총 7회 누적 통과 시킨 결과 수명한계는 약 11개월의 한계를 보였다. 시험결과는 Fig 4.13에 나타내었으며, 현장입경의 막힘재를 사용한 결과이다.

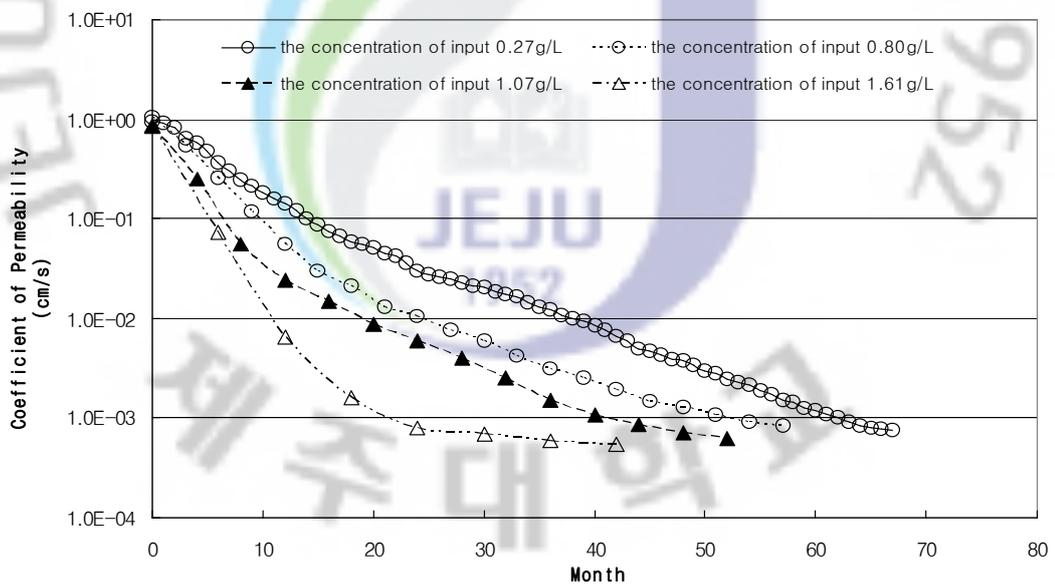


Fig 4.13 The result of pore-clogging test with field grain size

1.4 현장투수시험과 공극막힘시험 비교



Fig 4.14 The make a comparison between pore-clogging test and in field permeability test

Fig 4.14는 본 연구에서 실시한 현장시험과 공극막힘시험 결과의 유사성을 찾기 위해 비교한 결과이며, 투수시험체에 1회 통과시키는 막힘재의 농도를 1.07g/L로 총 13회 누적 투수시킨 경우, 수명한계가 현장시험에서의 수명한계와 유사한 결과를 보였다.

현장시험과 공극막힘시험의 비교를 통하여 골재 13mm입경의 투수시험체에 1회 통과시키는 막힘재의 농도를 1.07g/L로 정하고, 골재입경이 각기 다른 10mm, 19mm, 25mm 투수시험체에 동일한 방법으로 공극막힘시험을 실시하여 Fig 4.15과 같은 결과를 나타내었다. 본 시험에서도 동일하게 투수계수 10^{-2}cm/sec 을 투수성 포장의 수명한계로 보았다. 10mm 입경 골재의 투수시험체는 총 11회 누적 통과 실시한 결과 약 12개월의 한계를 보였으며, 13mm는 총 13회 누적 통과 실시한 결과 약 20개월 그리고, 19mm는 총 22회 누적 통과 실시한 결과 약 38개월의 한계를 보였으며, 25mm는 총 24회 누적 통과 실시한 결과 약 48개월의 한계를 보였다.

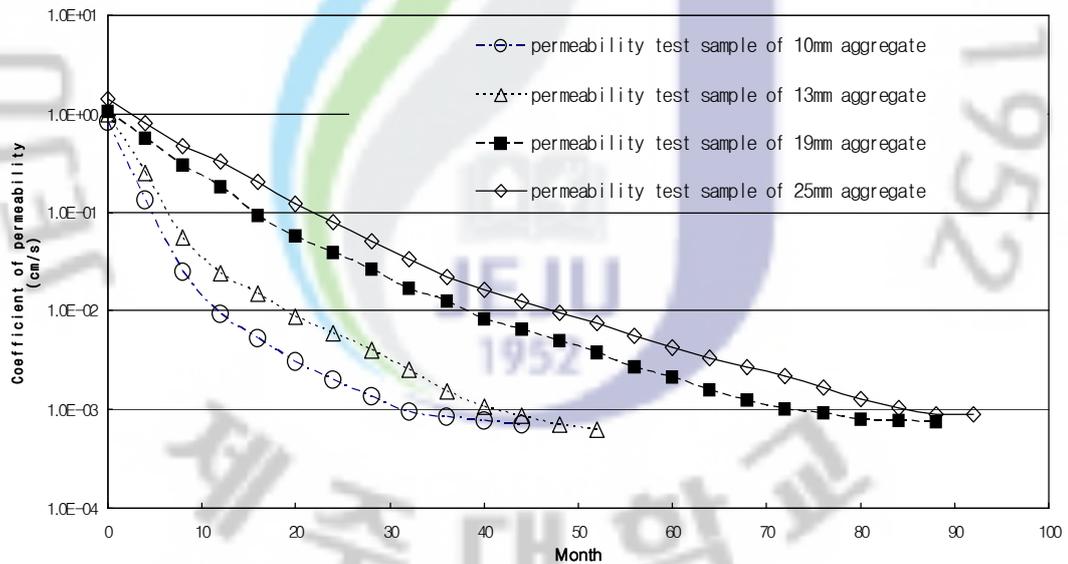


Fig 4.15 The result of aggregate size in accordance with coefficient of permeability

집중호우 등 순간적으로 많은 양의 비가 내려 유출량이 많은 경우를 고려한 막힘현상을 재현하기 위해 막힘재를 1회 투입농도 1.61g/L으로 정하고, 10mm, 13mm,

19mm, 25mm 투수시험체에 동일한 방법으로 공극막힘시험을 실시하여 Fig 4.16와 같은 결과를 나타내었다.

10mm 입경 골재의 투수시험체는 총 5회 누적 통과 실시한 결과 약 10개월의 한계를 보였으며, 13mm는 총 7회 누적 통과 실시한 결과 약 11개월, 19mm는 총 11회 누적 통과 실시한 결과 약 26개월, 25mm는 총 13회 누적 통과 실시한 결과 약 44개월의 한계를 보였다. 투수콘크리트의 중요한 기능적 요소는 투수성이다. 투수성으로 투수콘크리트의 수명을 이야기하여도 무리가 없다고 사료되며, 위 결과로부터 25mm 골재입경의 경우 13mm 골재입경보다 2.4배 이상의 수명을 보였다. 투수콘크리트는 일반적으로 13mm입경의 골재를 사용하는데 13mm골재보다 수명이 긴 25mm골재의 사용이 적절하다고 판단된다.

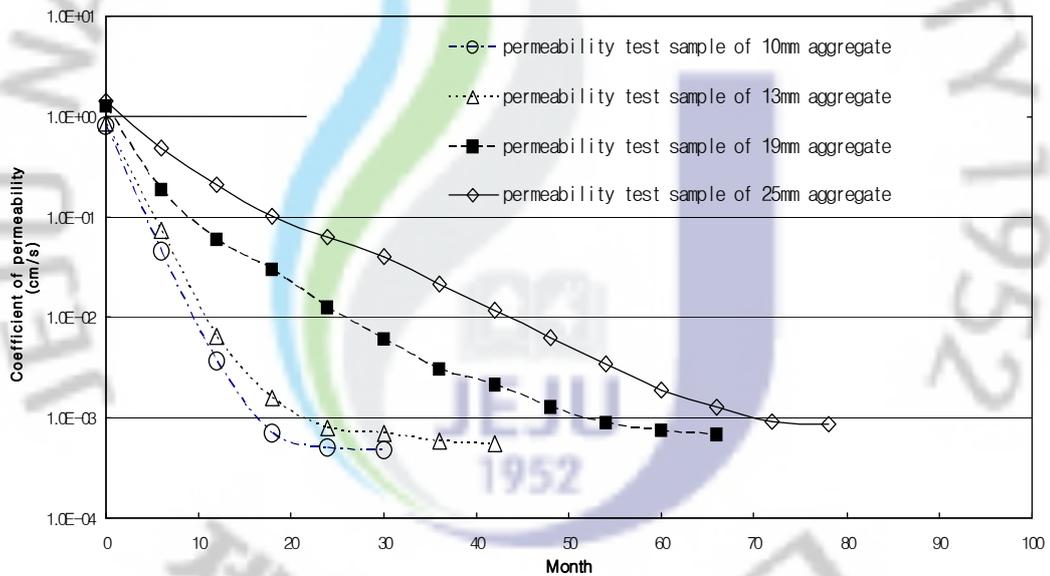


Fig 4.16. The result of aggregate size in accordance with coefficient of permeability

2. 탄성포장재

2.1. 탄성포장재의 인장강도 및 신장률실험

2.1.1 실험 장치

① 실험기의 구조: 실험기는 최대 인장력을 지시하는 장치를 갖추고 아령형 실험편에 대해서는 자동적으로 죄는 물림구를, 고리형 실험편에 대해서는 실험편을 잡아당기면서 회전시키는 장치를 갖추어야 한다.

② 실험기의 칭량: 실험기의 칭량은 실험할 때 최대 인장력이 그 칭량의 20~80%의 범위에 있는 것을 사용하여야 한다.

③ 실험기의 인장 속도: 실험기의 인장 속도는 실험편 물림구의 이동 속도가 6.1d)에 적합한 것이어야 한다.

④ 폴리 지름: 고리형 실험편을 설치할 때의 폴리(pulley) 지름은 다음과 같다.

고리 1호형 실험편: 지름 25mm

고리 2호형 실험편: 지름 4.5mm

⑤ 실험기의 허용차: 실험기의 인장력 눈금의 허용차는 각 지시값의 $\pm 1\%$ 로 한다.

2.1.2 실험편

① 실험편의 모양 및 치수: 실험편의 모양 및 치수를 Fig 4.17 및 Table 4.7에 따른다.

비고: ㉠ 아령형 실험편 가운데 3호형 실험편 및 5호형 실험편을 표준 실험편으로 한다. 1호형 실험편은 신장률이 작은 시료에, 2호형 실험편은 인장 강도가 작은 시료에, 4호형 실험편은 순수 고무 배합 시트용에, 6호형 실험편은 폭이 좁아서 표준 시료를 채취할 수 없는 시료에, 7호형 실험편은 미세한 시료용에 각각 적합하다. 고리 모양 실험편에서는 1호형 실험편을 표준 실험편으로 한다. 2호형 실험편은 표준 실험편을 채취할 수 없을 때 사용한다.

㉔ 실험편의 모양 및 치수가 다르면 반드시 같은 데이터를 얻을 수 있다고는 할 수 없으므로 비교 실험의 경우에는 같은 형의 실험편을 사용하여야 한다.

단위 mm

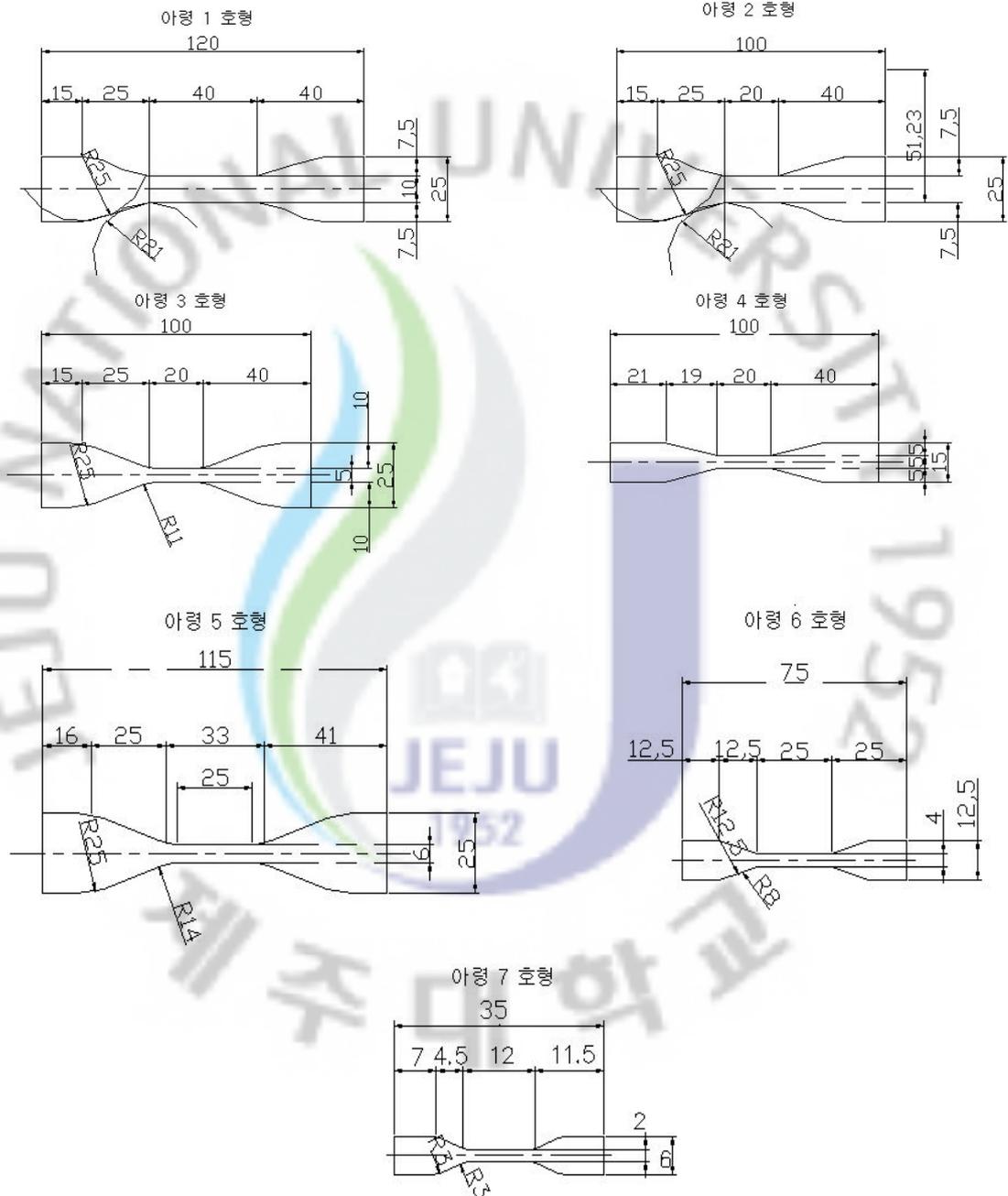




Fig. 4.17 Dimensions and forms of test specimens

Table. 4.7 Dimensions of test specimens (Unit: mm)

모 양	주요 부분의 치수			
	평형 부분의 나비	평행 부분의 길이	평행 부분의 두께	눈금 사이의 거리
아령 1호형	10±0.1	40	2.0±0.2	40
아령 2호형	10±0.1	20	2.0±0.2	20
아령 3호형	5±0.1	20	2.0±0.2	20
아령 4호형	5±0.1	20	1.0 이하	20
아령 5호형	6	33	2.0±0.2	25
아령 6호형	4±0.1	25	2.0±0.2	20
아령 7호형	2±0.1	12	1.0±0.1	10

모 양	바깥지름	안 지름	나 비	두께	실험편의 안둘레
고리 1호형	52.6	44.6	4.0±0.2	4.0±0.2	70
고리 2호형	10.0	8.0	1.0±0.1	1.0±0.1	12.6

② 실험편의 채취: 실험편의 채취 제작은 위의 조건에 따른다. 이렇형의 실험편은 원칙적으로 고무의 결(그레인) 방향과 평행하게 채취한다.

③ 실험편의 수: 실험편의 수는 3개 이상으로 한다.

④ 실험편의 커트기: 커트기로 제작하는 실험편은 Fig 4.18 및 Table 4.8과 같은 모양의 커트기로 제작하여야 한다. 고리형 실험편에 대해서는 회전 날을 사용해도 무방하다.

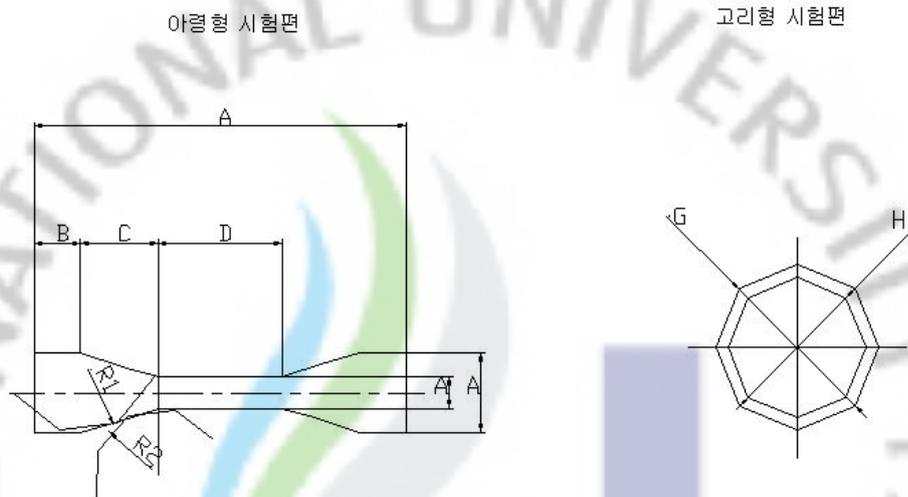


Fig. 4.18 Forms of Cutting machines

Table 4.8 Dimensions of Cutting machines

(Unit : mm)

모양	치수 측정 위치							
	A	B	C	D	E	F	R ₁	R ₂
아령	120			40±	10.0±0.			21±2.0
1호형				2				
아령	100	15	25	20±	1	25.5±0.	25.5±2.	11±1.0
2호형					2	5	0	
아령				21	19	5.0±0.1	15.0±0.	-
4호형					5			
아령	115	16	25	33±	6.0±0.4	25±1.0	25±2.0	14.0±1.
5호형				2				0
아령	75	12.5	12.5	25±	4.0±0.1	12.5±1.	12.5±1.	8.0±0.5
6호형				1		0	0	
아령	35	7.0	4.5	12±	2.0±0.1	6.0±0.5	3.0±0.1	3.0±1
7호형				0.5				

모양	치수 측정 위치		
	G	H	I
고리	52.6	44.6	4.0±0.2
1호형			
고리	10.0	8.0	1.0±0.1
2호형			

⑤ 실험편의 두께 및 나비의 측정 실험을 하기 전에 실험편의 두께 및 나비를 측정한다. 실험편의 두께 및 나비의 측정은 위의 조건에 따라 측정한다. 실험편의 단면적(A)은 다음과 같이 산출한다.

아령형 실험편인 경우 : 두께(mm) × 평행부의 나비(mm)

고리형 실험편인 경우 : 두께(mm) × 나비(mm)

⑥ 실험편의 신장률 측정용의 눈금 아령형 실험편에는 다음 방법으로 신장률 측정용의 눈금(이하 눈금이라 한다.)을 부여 한다

a) 눈금간 거리는 표 .1과 같다

b) 눈금은 실험편의 평행 부분에 그 중앙 부분을 중심으로 정확하고 선명하게 그어야 한다.

⑦ 실험편의 선별 아령형 실험편에서는 평행 부분, 고리형 실험편에서는 전체에 대하여 두께 및 나비가 0.1mm이상 틀리는 것, 이물이 섞여 있는 것, 기포가 있는 것 및 흠이 있는 실험편은 실험에 사용해서는 안 된다.

2.1.3 실험방법

2.1.3.1 실험조건

인장속도는 다음과 같다.

1) 아령형 실험편 1~6호형: 500 ± 50 mm/min

아령형 실험편 7호형: 100 ± 10 mm/min

2) 고리형 실험편 1호형: 300 ± 30 mm/min

고리형 실험편 2호형: 100 ± 10 mm/min

비고: 인수·인도 당사자간의 협정에 따라 규정 이외의 인장 속도를 사용해도 무방하다.

2.1.3.2 조작방법

a) 실험편의 부착 실험편은 실험 중에 뒤틀리거나 물림구 고장, 그 밖의 지장이 생기지 않도록 정확하게 물림구에 부착하여야 한다.

비고: 4호형 실험편의 경우는 활석이나 스테아린산 아연 같은 활제를 실험편 물림부에 도포하는 것이 좋다.

b) 인장 강도 및 절단시 신장률의 측정 인장강도의 측정은 실험 장치로 실험편이 끊어질 때까지의 최대 하중을 읽는다. 절단시 신장률의 측정은 아령형 실험편의 경우는 적당한 방법으로 절단할 때의 눈금간 거리를 측정한다. 고리형 실험편의 경우에는 절단할 때 물림구 거리를 측정하고 눈금간의 거리에 해당하는 것을 구한다.

c) 인장 응력의 측정 인장 응력의 측정은 아령형 실험편의 경우는 적당한 방법으로 눈금간 거리가 규정의 길이에 이르렀을 때의 인장력을 읽는다. 고리형 실험편의 경우에는 물림구의 거리가 소정의 길이에 이르렀을 때의 인장력을 읽는다.

2.1.4 인장강도 및 신장률의 계산

2.1.4.1 인장강도

인장 강도는 다음 식 4.6 및 식 4.7에 따라 산출한다.

$$\text{아령형 실험편: } T_B = \frac{F_B}{A} \dots\dots\dots (4.6)$$

$$\text{고리형 실험편: } T_B = \frac{F_B}{2A} \dots\dots\dots (4.7)$$

여기에서 T_B : 인장강도(MPa)
 F_B : 최대 인장력(N)
 A : 실험편의 단면적(mm²)

2.1.4.2 절단시 신장률

절단시 신장률은 다음 식 4.8 및 식 4.9에 따라 산출한다.

$$\text{아령형 실험편: } E_B = \frac{L_1 - L_0}{L_0} * 100 \dots\dots\dots (4.8)$$

여기에서 E_B : 절단시 신장률(%)
 L_0 : 눈금간 거리(mm)
 L_1 : 절단시 눈금간 거리(mm)

$$\text{고리형 실험편: } E_B = \frac{I_1 - I_0}{I_0} * 100 = \frac{2I + I_2 - I_0}{I_0} * 100 \dots\dots\dots (4.9)$$

여기에서 EB : 절단시 신장률(%)

I : 절단시 폴리의 중심 이동 거리(mm)

I_0 : 실험편의 초기 안둘레 (mm)

I_1 : 절단시 실험편 안둘레 (mm)

I_2 : 폴리의 원둘레 (mm)

2.1.4.3 인장 응력

인장 응력은 다음 식 4.10 및 식 4.11에 따라 산출한다.

아령형 실험편: $M_N = \frac{F_n}{A}$ (4.10)

고리형 실험편: $M_n = \frac{F_n}{2A}$ (4.11)

여기에서 $M_n(2)$: n% 신장시켰을 때 인장 응력(MPa)

$F_n(2)$: n% 신장시켰을 때 인장력(N)

A : 실험편의 단면적(mm²)

M_n , F_n 의 n은 특정한 신장률 n(%)의 수치를 나타낸다. 보기를 들면 M300, F300은 각각 신장률 300%일 때의 인장응력, 인장력을 나타낸다.

2.1.5 실험결과의 맺음법

① 실험편의 수 실험편의 수는 4개로 한다. 다만, 4개를 채취할 수 없을 때는 3개 또는 2개로 한다. 이 때에는 실험편의 수를 기록하여야 한다.

② 실험 성적

a) 인장 강도 및 신장률은 측정값이 큰 것로부터 차례로 놓고 각각 $S_1 > S_2 > S_3 > S_4$ 로 하여, 다음 식에 따라 계산한 것으로 표시한다.

- 실험편이 4개일 때

$$T_B \text{ 또는 } E_B = 0.5S_1 + 0.3S_2 + 0.1(S_3 + S_4)$$

- 실험편이 3개일 때

$$T_B \text{ 또는 } E_B = 0.7S_1 + 0.2S_2 + 0.1S_3$$

- 실험편이 2개일 때

$$T_B \text{ 또는 } E_B = 0.9S_1 + 0.1S_2$$

b) 인장 응력은 측정값의 산술 평균값으로 표시한다.

2.1.6 인장강도 및 신장률실험 결과

탄성포장재의 일반적인 인장강도는 0.35MPa, 신장률은 30%로 ‘2007년 스포츠복합탄성바닥재 성능 및 품질 평가 기준 제정에 관한 연구’ 기준을 적용하여 실험 하였다. 이러한 기준에 적용한 탄성포장재의 결과는 Fig 4.19~Fig 4.20과 같다.

- ① 시편 종류 : 직사각형 (180×30×15mm)
- ② 인장 속도 : 50±2.5mm/min
- ③ 시편 제작시 압력 : 62.5±0.5kgf/m²

적갈색송이와 현무암 석분슬러지를 wt(%)별로 0, 5, 10, 20, 30%를 혼합한 결과 혼합물의 5wt%이전부터 탄성포장재의 인장강도 기준치인 0.35MPa을 넘었으며 혼합량이 증가할수록 인장강도 역시 증가하는 경향을 보였다. 신장률의 경우는 혼합물 5%까지는 기준치인 30%를 만족하였으며 혼합량이 증가할수록 신장률은 낮아지는 것으로 나타났다.

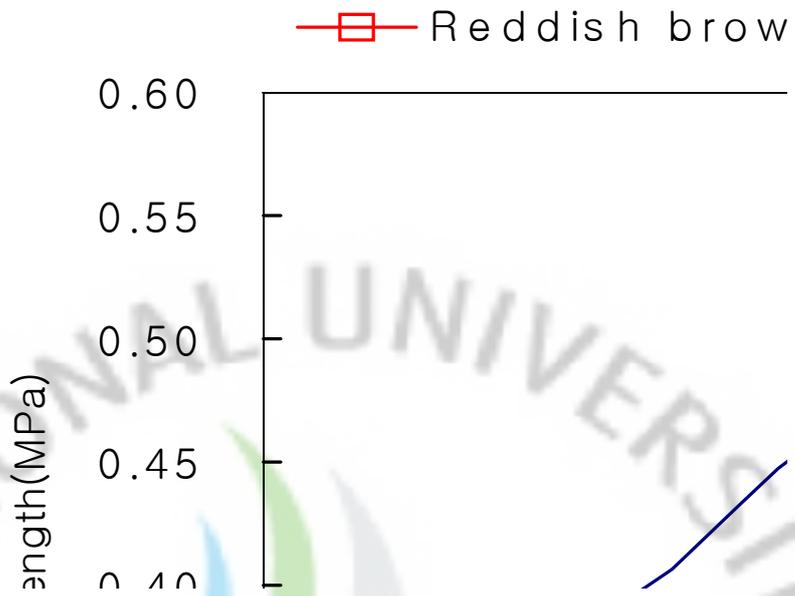


Fig. 4.19 Tensile strength of mixed samples

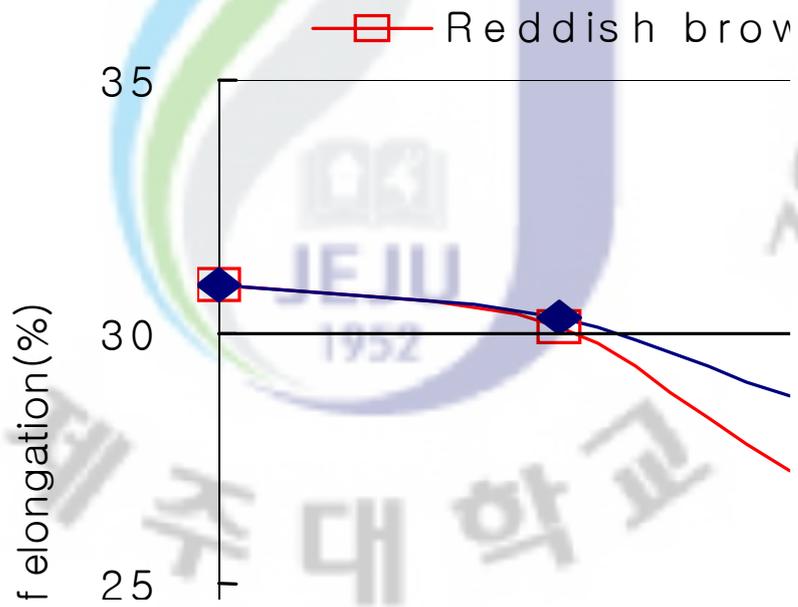


Fig. 4.20 Percentage of elongation of mixed samples

2.2 탄성포장재 투수시험

2.2.1 탄성포장재 투수시험방법 및 결과

본 시험에서는 페타이어칩을 이용한 탄성포장재의 투수성을 확인하고자 1.3.3항 투수콘크리트의 공극막힘시험에서 시험방법으로 사용된 실내정수위투수시험법을 사용하였으며, 직사각형의 투명 아크릴에 실제 투수성탄성포장의 시공 시 탄성포장과 동일조건으로 시험을 실시하였으며, Fig. 4.21 은 실험에 사용된 직사각형 투명아크릴로 제작한 12×12×12cm의 탄성포장 투수시험공시체이고, 1.3.3항 식 4.5에 의해 투수계수를 산정한 결과는 Table. 4.9 에 나타내었다.

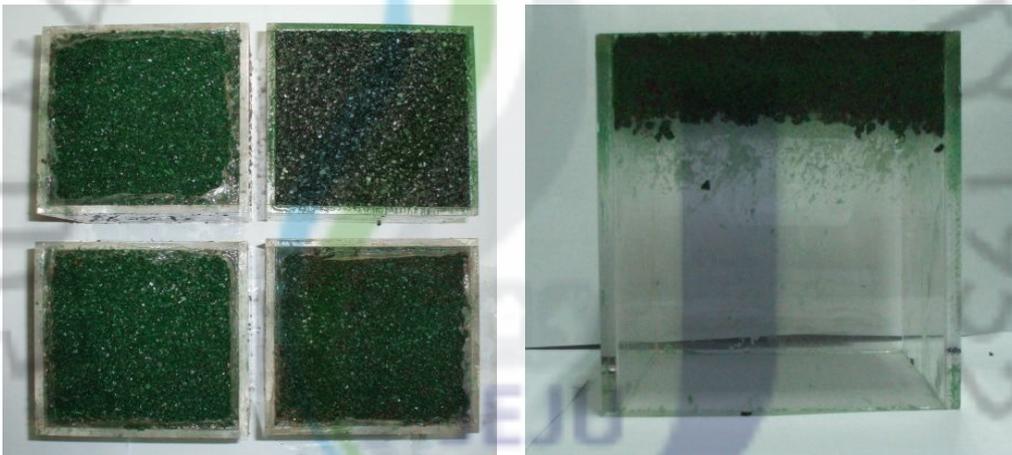


Fig. 4.21 Elastic pavement sample of permeability test

Table. 4.9 The result of constant head permeability test

투수시험공시체	Sample No. 1	Sample No. 2	Sample No. 3	Sample No. 4
투수계수 (cm/sec)	1.03E+ 00	1.10E+ 00	1.09E+ 00	1.05E+ 00

2.3 탄성포장재 용출실험

2.3.1 우리나라의 용출 실험법

우리나라에서 시행되고 있는 폐기물 관리법에서 지정폐기물은 “사업장 폐기물 중 폐유, 폐산등 주변 환경을 오염시킬 수 있거나 감염성 폐기물 등 인체에 위해를 줄 수 있는 유해한 폐기물로서 대통령령이 정하는 폐기물을 말한다.” 라고 정의하고 있다. 또한, “폐기물로 인한 위해성의 판단 및 폐기물의 처리 방법의 결정에 필요한 기초 자료가 되는 폐기물의 성상 및 오염 물질의 배출 등을 분석함에 있어서 그 분석의 정확과 통일을 기하기 위해 폐기물 공정 실험 방법을 정하여 공표하였다”라고 되어있다(환경부, 1991). 즉, 광재, 분진, 폐주물사, 폐사, 폐내화물, 도자기 편류, 소각 잔재물, 안정화 또는 고형화 처리물, 폐촉매, 폐흡착제, 폐흡수제, 오니에 함유되어 있는 유해 물질은 공정실험방법에서 명시되어 있는 실험 방법을 통해 그 유해성이 평가된다.

우리나라 용출 실험법은 1991년에 제정되어 고시 후, 1994년에 일부 개정되어 현재 이용되고 있다. 또한, 용출 실험을 위한 시료는 진처리하여, 난분해성의 착화합물이나 착이온 상태로 존재하는 물질들은 필히 제거되어야한다. 한편, 유기염소계물질에 대한 우리나라 용출 실험법상의 기준이나 항목은 존재하지 않으며, 다만 유기인, TCE, PCE에 관한 기준은 존재할 뿐이다. 참고적으로 Eldrin, Lindane등의 유기염소계물질 즉, 내분비계장애물질에 대한 국제적 동향에 관하여 별첨에 수록하였다.

2.3.2 KSPL 용출실험 방법

우리나라 폐기물 관리법에서 정하고 있는 용출 실험법은 다음과 같다. 시료를 100g이상 정밀히 측정하여 용출 용매(D.W + HCl : pH 5.8 ~ 6.3)와의 비율을 1:10으로 하여 혼합하는데, 총 부피가 500ml이상 되게 한다. 이것을 2L추출 용기에 넣어 6시간 동안, 매분 200회정도, 진폭이 4~5cm된 상태를 유지하여 진탕한다. 이것을 여과하여 그 상등액을 이용하여 측정하거나, 여과가 어려울 경우

3000rpm이상, 20분정도 원심 분리하여 그 상등액을 가지고 검액으로 이용한다. 용출 실험에서는 시료를 원료물질로 한 흡착제 이용을 위한 기본실험으로 일반 시료의 화학적 조성을 조사하고 시료 자체의 중금속 함유량을 분석(AAS: Atomic Absorption Spectrometer)하였다. 폐기물 및 이를 원재료로 재활용할 경우 수용액과 접촉시 고려되는 환경유해성을 조사하기위한 국내 폐기물 공정실험법에 따른 용출실험(KSLP)은 Fig 4.22와 같다.



KSLP(용출실험)



Fig. 4.22 Diagram by the KSLP

2.3.3 탄성포장재의 용출실험 결과

탄성포장재 자체에서 발생하는 환경유해성을 조사하기 위해 국내 지정 폐기물 공정 실험법에 따른 용출 실험 (KSLP)을 통해 중금속 함유량을 분석(AAS: Atomic Absorption Spectrometer)하였다. 탄성포장재의 용출 실험 결과와 각 국의 지정폐기물 용출 기준을 Table 4.9, Table 4.10에 나타내었다.

Table 4.9 The result according to leaching test of elastic pavement materials

(Unit : mg/L)

Constituent	Cu	Pb	Cr	Cd
KSLP	0.2012	5.8460	0.0843	0.0945

Table 4.10 Criteria of hazardous material with the solid waste leaching test (Unit : mg/L)

Constituent	Cu	Pb	Cr	Cd	As	Se	Zn	Ba
Korea	3	3	1.5	0.3	1.5	-	-	-
Japan	-	3	1.5	0.3	1.5	0.3	-	-
U.S.A	-	5	5	1	5	1	-	100

Pb의 경우 5.8460mg/L로 지정폐기물 용출기준 이상으로 검출됐으며, 이것은 안료의 구성성분이 Pb를 주원료로 하는 유기안료 중 매염안료를 사용했기 때문인 것으로 사료 된다. 그 외에 지정폐기물 항목들인 Cu, Cr, Cd는 KSLP에서 0.2012mg/L, 0.0843mg/L, 0.0954mg/L으로 검출한계 이하의 값으로 검출되었다. 이와 같이 중금속을 주성분으로 하는 안료를 사용한 경우 중금속이 검출 될 것이라는 가정 하에 지정폐기물 용출기준 항목 중 As를 제외한 Cu, Pb, Cr, Cd에 대하여 중금속 흡착실험을 행하였다.

3. 첨가제

3.1 흡착실험

3.1.1 회분식 흡착실험

3.1.1.1 흡착평형

(1) 일반적 이론

흡착에 관한 많은 자료는 대체로 흡착평형상태에서 측정된 것이다. 흡착현상의 해석에 따라 제안된 흡착이론을 확인하기 위해서 이들 평형시의 자료가 응용된다. 기상흡착(gas-phase adsorption)과 액상흡착(liquid-phase adsorption)에서는 피흡착성분(adsorbate, 흡착질)의 종류, 크기 및 구조 등이 현저히 다르다는 것 외에 확산속도(diffusion velocity)에 큰 차이를 볼 수 있다. 또 액상흡착의 경우, 점도가 높은 액체에 있어서 물질이동을 촉진할 목적으로 교반하거나, 온도를 올린다거나 분말상에 가까운 흡착제가 사용되는 것이 일반적이다. 액상흡착에 사용되는 흡착제의 세공구조(pore structure)는 기상흡착에 사용하는 것에 비해서 병진세공(transitional pores) 및 마이크로 세공(micropores)이 발달해 왔다. 기상흡착에서는 분자가 독립해서 자유로이 운동하기 때문에 분자간의 상호작용은 무시할 수가 있고 취급은 훨씬 간단해진다.

(2) 흡착평형식

활성탄을 냉장고속에 넣을 경우, 초기에는 냄새나는 물질을 흡착하는 능력이 크지만 시간이 경과함에 따라 탈취능력이 점차로 감소하고 결국에 흡착성능은 거의 소실된다. 고도로 분한한 고체가 어느 일정 압력하에 밀폐용기 속에서 기체 또는 증기와 접촉하면 흡착이 시작된다. 빠른 속도의 초기 흡착이 일어나고 그에 따라서 기체압력이 서서히 감소하고 고체의 중량은 증가해간다. 어느 시간을 경과하면 압력은 일정하게 되고 중량은 증가하지 않게 된다. 이 시점에서 온도를

변화시키면 흡착 또는 탈착이 일어나고 재차 그 온도에서의 평형에 도달한다. 이와 같은 평형상태를 흡착평형(adsorption equilibrium)이라 하며, 그 때의 흡착량을 평형흡착량이라 한다. 이 관계는 액상흡착의 경우에서도 동일하다. 흡착평형의 일반식을 다음의 식 4.12 와 같이 표현할 수 있다.

$$f(V,P,T) = 0 \dots\dots\dots(4.12)$$

단위중량당 고체의 흡착량 V는 식 4.13 에 나타낸 바와 같고 기체 및 고체의 종류에 따라서 변화한다.

$$V = f(P,T, \text{gas}, \text{solid}) \dots\dots\dots(4.13)$$

- 단 V : 흡착량
- P : 평형압
- T : 절대온도

흡착식의 일반형은 식 4.12 에서 어떤 기체로 일정 온도하에서 어느 고체에 흡착시켰을 경우, 그 때의 흡착량과 평형압과의 관계를 도식한 것을 흡착등온선(식) (adsorption isotherm)이라 하고, 이것의 일반적 평형식은 식 4.14 와 같이 표현한다.

$$V=f(P)_T \quad T=\text{일정} \dots\dots\dots(4.14)$$

또 어떤 기체가 일정 압력하에서 어떤 고체에 흡착된 경우, 그 때의 흡착량과 온도와의 관계를 플로트한 것을 흡착등압선(식)(adsorption isobar)이라 하고, 이것의 일반적 평형식은 식 4.15 와 같이 표현한다.

$$V=(T)_p \quad P=\text{일정} \dots\dots\dots(4.15)$$

그리고 흡착량이 일정한 경우, 온도와 분압(또는 농도)과의 관계를 플로트한 것을 흡착등량선(식) (adsorption)이라 하고, 이것의 일반적 평형식은 식 4.16

과 같이 표현한다.

$$P = f(T), V = \text{일정} \dots\dots\dots (4.16)$$

이들 흡착평형식은 각각 공업적으로 중요한 역할의 결과이다. 흡착등압선은 어느 1개의 흡착현상에 대한 온도의 영향을 나타내는 것이며, 또 흡착등량선은 흡착열의 계산에 응용된다.

흡착은 발열현상이며 온도가 낮은 쪽이 흡착에 좋은 조건이라는 것은 열역학적으로 밝혀졌다. 기체나 용질이 계면에 접촉하여 흡착이 일어나는 경우, 흡착되는 분자는 흡착 전에는 3차원 공간을 자유로이 운동하고 있는 예이지만 흡착 후에는 2차원의 평면상이라든가 또는 그 부근의 좁은 공간에 포착된다. 흡착의 열역학적 표현을 사용하면 엔트로피(entropy)의 큰 상태에서부터 엔트로피가 작은 상태로 이동한 것이 되며, 이러한 것으로부터 흡착은 발열현상(exothermic phenomena)이라는 것을 입증할 수가 있다.

(3) 흡착평형 실험

흡착실험에 적용할 흡착제와 용액과의 교반시간을 결정하기 위하여 흡착제를 이용하여 흡착평형 실험을 실시한다. 흡착평형실험은 항온교반기를 이용하여 25℃의 일정 온도에서 수행하였으며 동일한 조건으로 흡착제와 용액을 교반시킨 후 일정한 시간 간격을 두고 용액 내에 남아 있는 중금속의 농도를 측정 한다.

실험은 시료별로 1g을 각각 만들어 250mL 삼각 플라스크에 취하고 5mg/L의 각 금속용액 25mL를 가해 200rpm에서 120분 교반하며, 교반 후 10mL를 취하여 여과지를 사용하여 흡착제 입자를 여과시킨 후 중금속의 잔류농도를 원자흡광분광계(AAS: Atomic Absorption Spectrometer)를 사용해 측정한다. 흡착률(%)의 계산은 식 4.17, 흡착량(mg/g)은 식 4.18 을 사용한다.

$$\text{흡착률}(\%) = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \dots\dots\dots (4.17)$$

C_i = 중금속 초기농도(mg/L)

C_f = 잔류중금속농도(mg/L)

$$\text{흡착량}(mg/g) = \frac{V(C_i - C_f)}{M} \dots\dots\dots(4.18)$$

C_i = 중금속 초기농도(mg/L)

C_f = 잔류중금속농도(mg/L)

V = 중금속이온의 부피(L)

M = 시료중량(g)

3.1.1.2 등온흡착 실험

등온흡착실험은 시료의 양을 일정하게하여 수행하며, 각각의 중금속 초기농도를 5mg/L, 10mg/L, 20mg/L, 30mg/L등의 여러 농도로 만든 혼합 중금속용액 25mL에 흡착제 주입하여 200RPM에서 2시간 교반한다. 흡착이 끝난 후 분취한 현탁액을 5B 여과지를 사용하여 흡착제 입자를 여과시킨 후 중금속의 잔류 농도를 (AAS: Atomic Absorption Spectrometer)로 측정한다.

3.1.2 중금속이온의 농도별 흡착실험 결과

첨가제의 초기중금속이온 농도에 따른 영향을 살펴보기 위해서 첨가제(적갈색 송이, 검정색송이, 황갈색송이, 암회색송이, 석분)의 양을 1g으로 고정시키고 중금속이온의 농도를 5, 10, 20, 30mg/L로 증가시켜 보았으며, 중금속혼합용액 (Cu, Pb, Cr, Cd)의 초기농도가 높을수록 첨가제의 단위 무게당 흡착량은 증가함을 알 수 있었다. 중금속 농도에 따른 흡착량은 Fig 4.23~Fig 4.26에 나타내었다.

이 때 Pb은 모든 첨가제에서 90%이상의 중금속 이온이 흡착되었으며, $Pb > Cd > Cu > Cr$ 의 순으로 흡착 하는 경향을 보이고 있다. 이는 수화 이온의 반경이 작아지는 순서와 대체로 잘 일치하였으며, 일반적으로 수화 이온 반경이 작아짐에 따라 이온 흡착량이 커지며 수화 이온의 반경이 커짐에 따라 3차원 구조 내로 들어가지 못하고 표면에서만 흡착이 일어남으로써 제거율이 낮아지는 것으로 사료된다.(Volesky,1990)

초기중금속이온의 농도가 높아질 경우에 흡착제 단위 무게당 중금속 이온의 흡착량이 증가 하는 결과는 용액내 중금속 이온이 증가함에 따라 물질 전달의 구동력(driving force)이 되는 농도차가 상대적으로 높아짐에 따른 결과로 보여지며 또한 음전하를 띤 첨가제의 표면에 양전하를 띤 중금속 이온의 농도가 증가함에 따라 확산 이중층으로 두께가 얇아지고 각 중금속 이온들은 가동수분층 (Mobile layer, Helmholtz double layer) 표면 가까이 접근 하여 상호간의 정전기적 인력이 증가하여 흡착이 용이 하게 되며, 이에 따라서 중금속 농도가 증가할수록 흡착량 역시 증가 하게 되는 것으로 판단된다.(고등영, 2007)

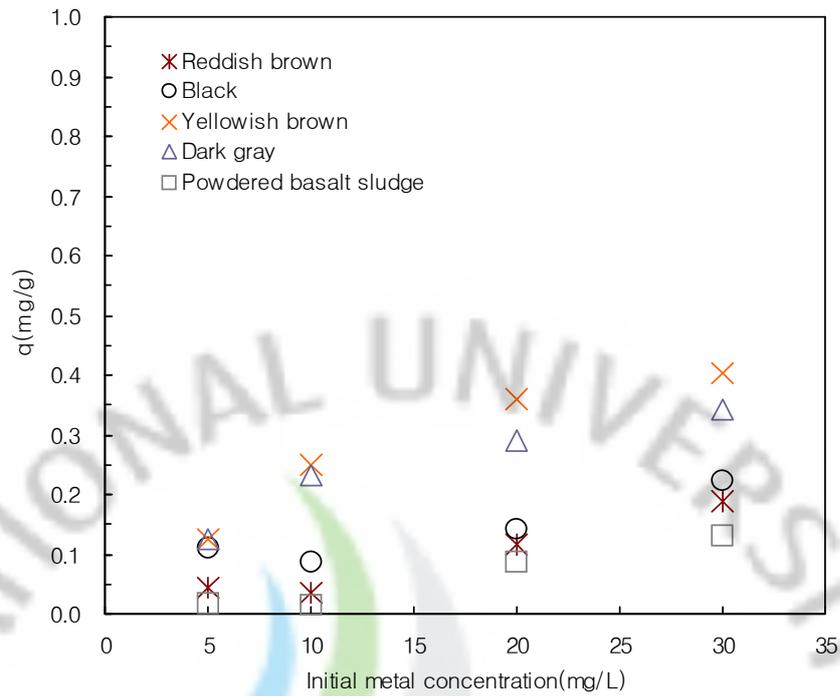


Fig. 4.23 Adsorbed amount of Cu(copper) with samples

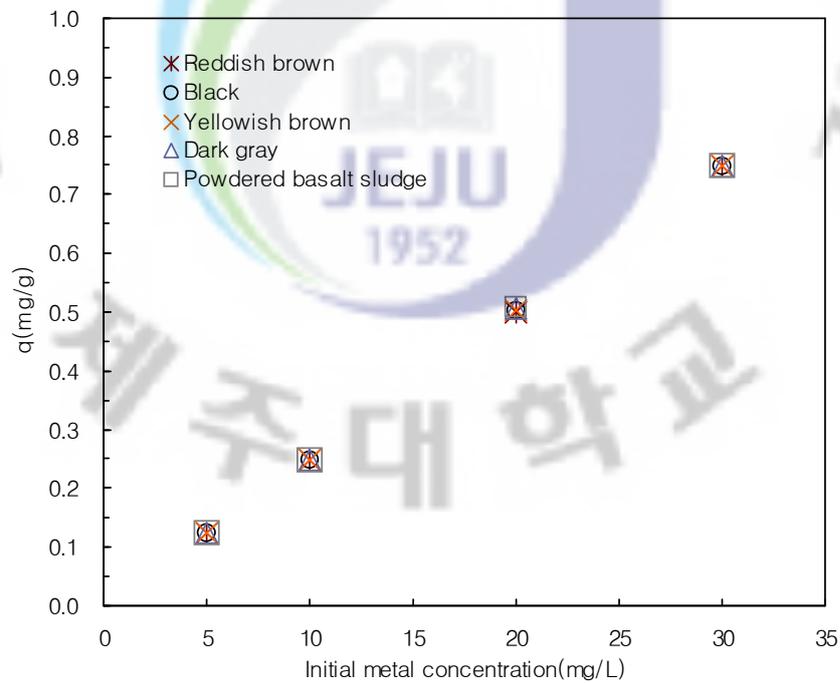


Fig. 4.24 Adsorbed amount of Pb(lead) with samples

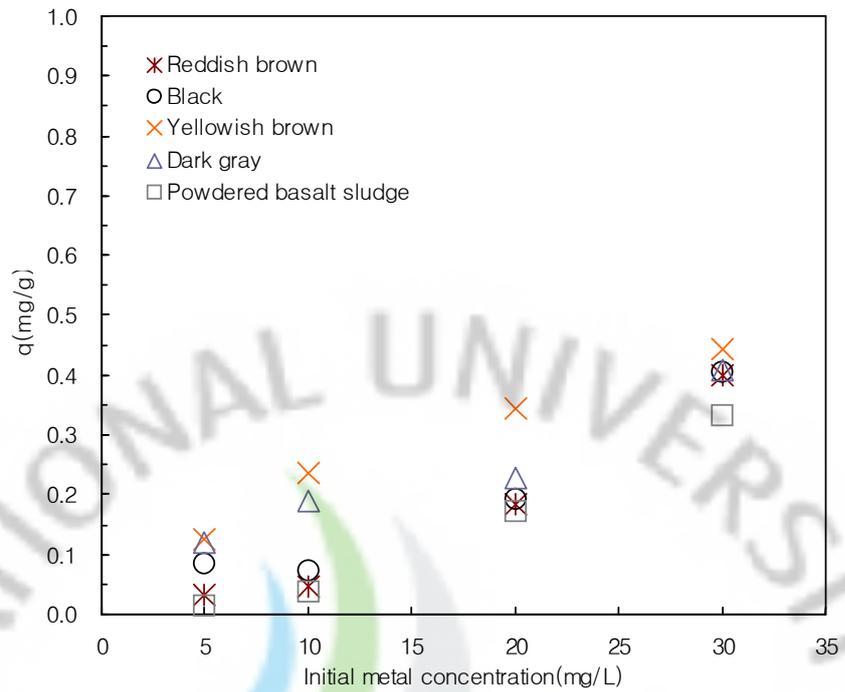


Fig. 4.25 Adsorbed amount of Cd(cadmium) with samples

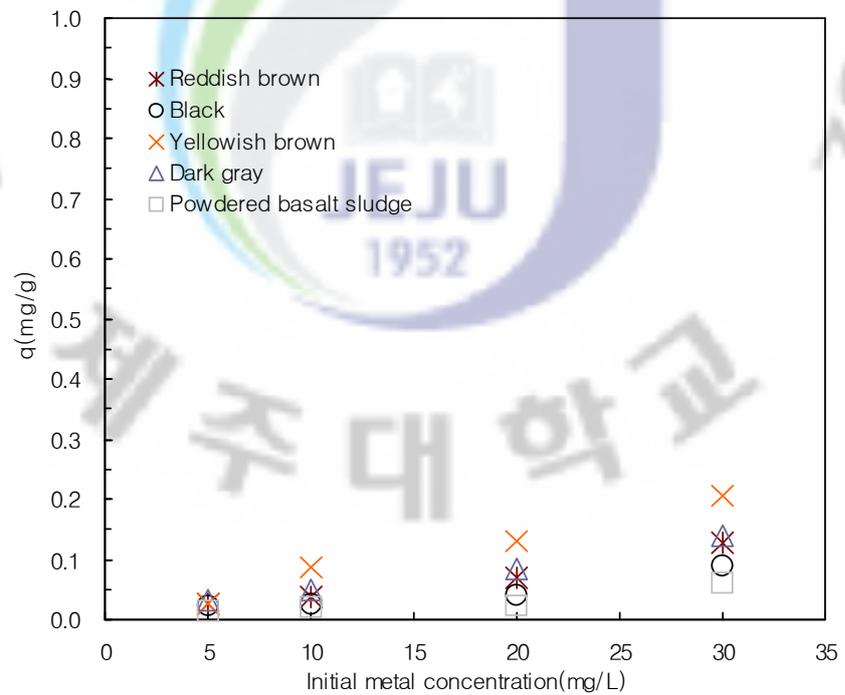


Fig. 4.26 Adsorbed amount of Cr(chrom) with samples

3.1.3 흡착실험 결과

첨가제를 혼합한 탄성포장재의 첨가제(송이4종, 현무암 석분슬러지1종) 혼합량에 따른 영향을 살펴보기 위해서 전체투입량 1g중 첨가제를 wt%(weight percent)별로 0, 2, 5, 10, 20, 30%까지 단계적으로 변화시키면서 혼합 성형한 탄성포장재를 액체 질소를 이용하여 동결시킨 후 0.3mm이하로 분쇄된 시료를 5mg/L농도의 중금속용액 25mL에 투입하여 흡착률을 구하였으며, Fig 4.27~Fig 4.35에 나타내었다. 실험 결과 모든 첨가제의 혼합량이 증가할수록 흡착률도 증가하였다. 이는 Gadd와 de Rome(1988)이 흡착제의 양이 많아질수록 정전기적 인력이 높아져서 중금속 이온이 더 많이 흡착된다고 한 가설과 같은 결과를 보이고 있다.

흡착률이 혼합량의 초기 0~5wt%까지는 일정하게 증가하다 5~10wt%사이에서 기울기가 줄어들어 변곡점을 형성하고 있다. Cu, Pb, Cd, Cr의 흡착실험결과에서 황갈색송이>암회색송이>검정색송이>적갈색송이>현무암석분슬러지의 순으로 흡착률을 보이고 있으며, 황갈색송이와 암회색송이는 혼합량 10wt%에서부터 Cr을 제외한 모든 중금속이온의 흡착이 80%이상 되고 있다. 이것은 III.장 실험 재료 및 특성에서 XRF분석결과 황갈색송이와 암회색송이에 응집제로 작용하는 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO 의 함량과 조밀한 기공이 상대적으로 많이 분포되어 있기 때문에 응집작용과 비표면적의 영향으로 다른 첨가제에 비하여 흡착이 잘되는 것으로 사료된다. 또한 SiO_2 는 흡착제로 작용하며, 석분이 SiO_2 의 함량은 많으나 송이보다 흡착률이 낮은 것은 SEM분석결과에서 표면이 매우 불규칙하며 기공이 분포하지 않기 때문인 것으로 사료된다.

Fig 4.27~Fig 4.30에서와 같이 각 중금속 이온의 제거율은 Pb의 경우가 가장 높은 것으로 나타났으며, 흡착률은 Pb > Cd > Cu > Cr의 순으로 나타났다. Pb의 경우 5종의 첨가제 모두가 혼합량 5wt%에서 90%이상의 흡착률을 보였으며, 이외에 Cd은 혼합량 10wt%에서 50%이상의 흡착률을, Cu는 석분을 제외한 모든 시료에서 50%이상의 흡착률을, Cr은 10%미만의 흡착률을 보이고 있다. 이것은 등온흡착에서 언급한 것과 같이 수화 이온의 반경이 작아지는 순서와 대체로 일치하는 것이며, 이온반경이 작을수록 흡착이 잘되는 것으로 사료된다.

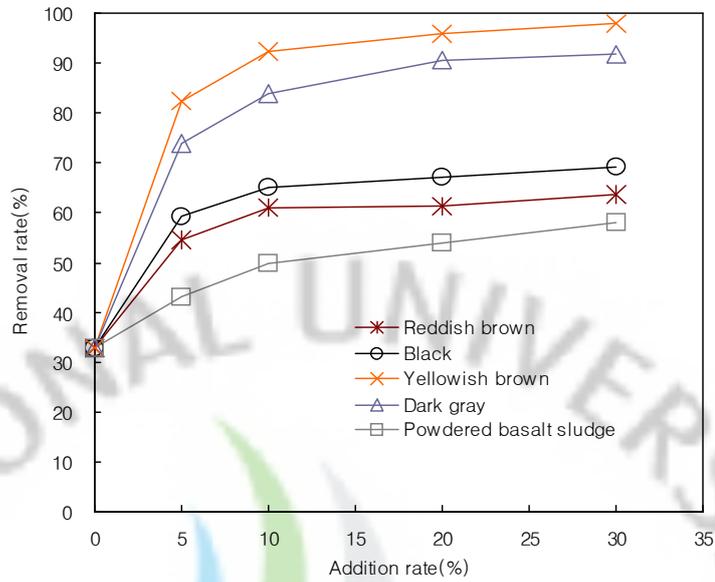


Fig. 4.27 Remove rate of Cu(copper) with mixed samples

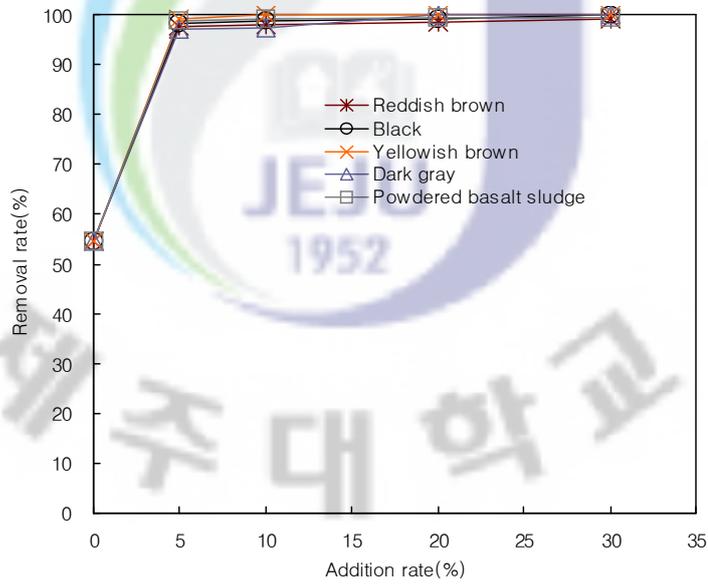


Fig. 4.28 Remove rate of Pb(lead) with mixed samples

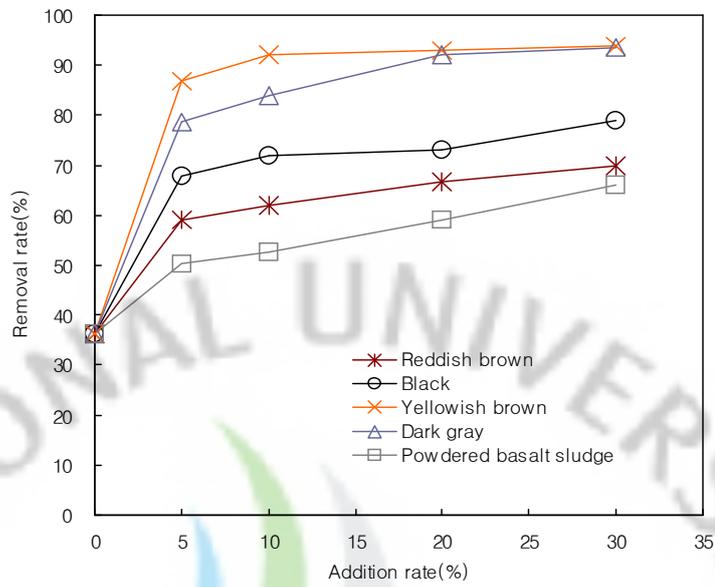


Fig. 4.29 Remove rate of Cd(cadmium) with mixed samples

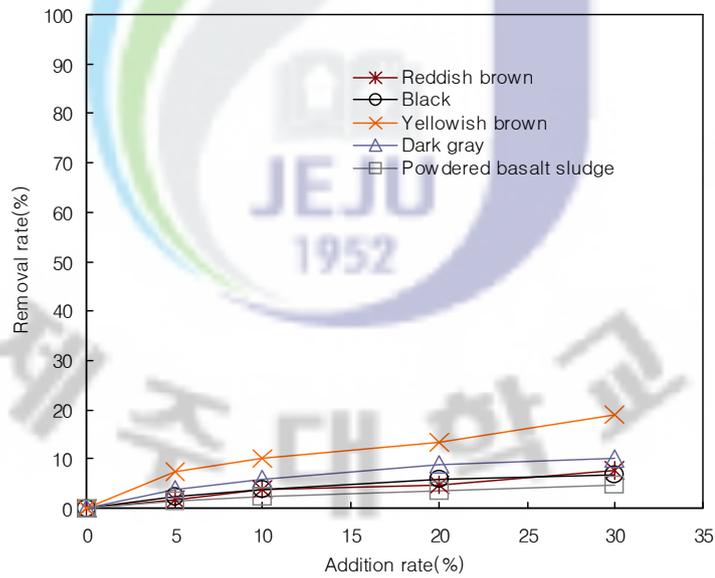


Fig. 4.30 Remove rate of Cr(chrom) with mixed samples

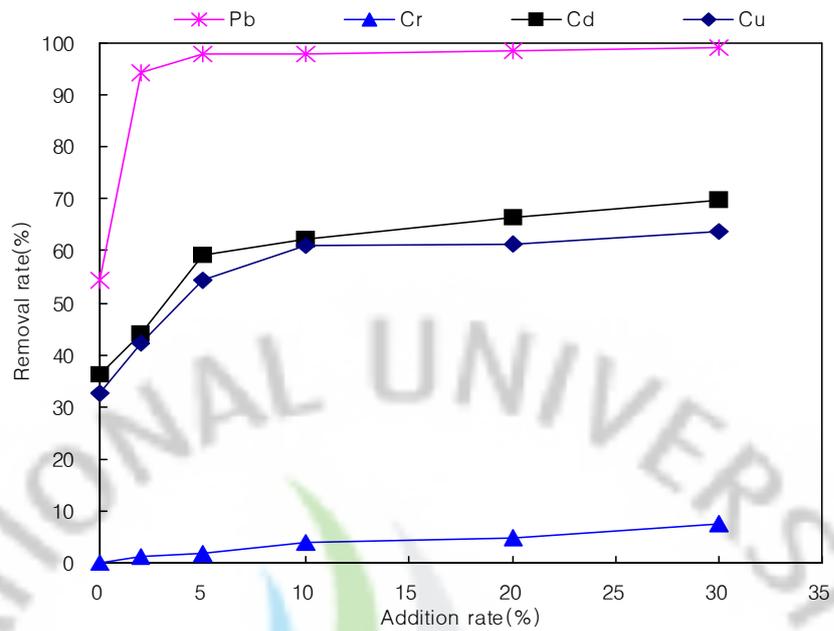


Fig. 4.31 Remove rate of mixed samples(reddish brown scoria) with heavy metals

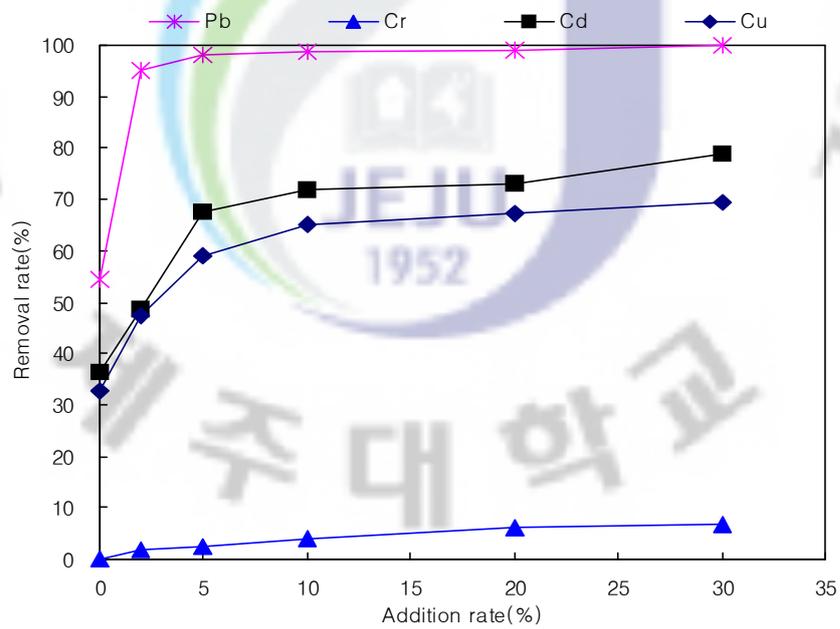


Fig. 4.32 Remove rate of mixed samples(black scoria) with heavy metals

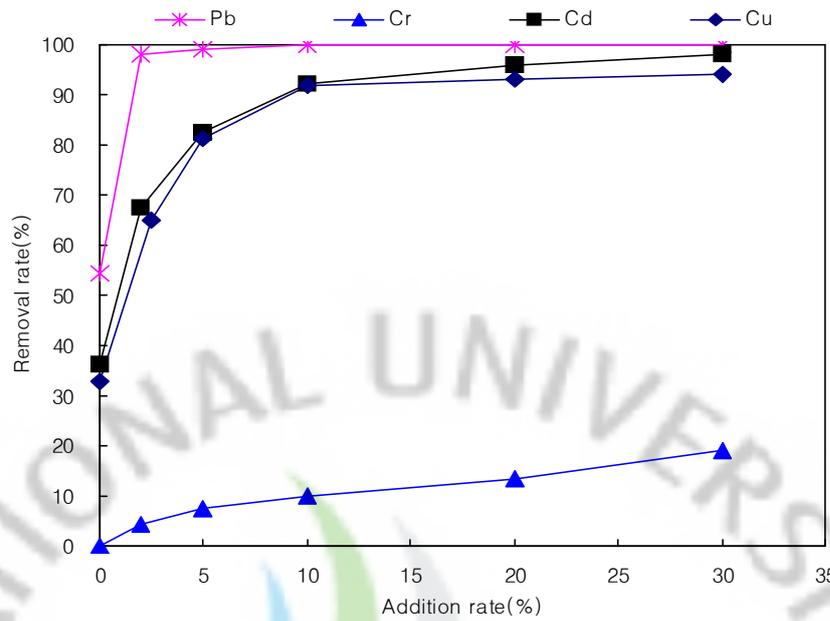


Fig. 4.33 Remove rate of mixed samples(yellowish brown scoria) with heavy metals

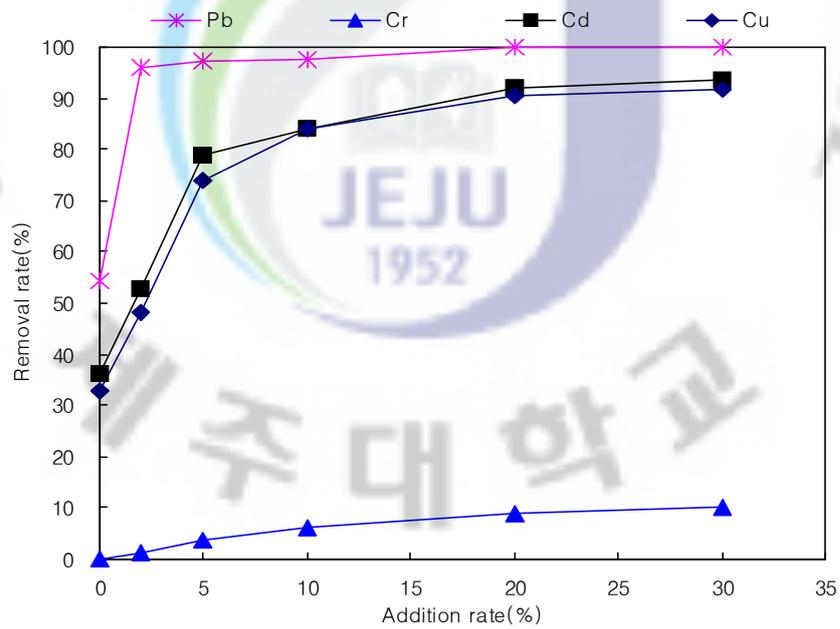


Fig. 4.34 Remove rate of mixed samples(dark gray scoria) with heavy metals

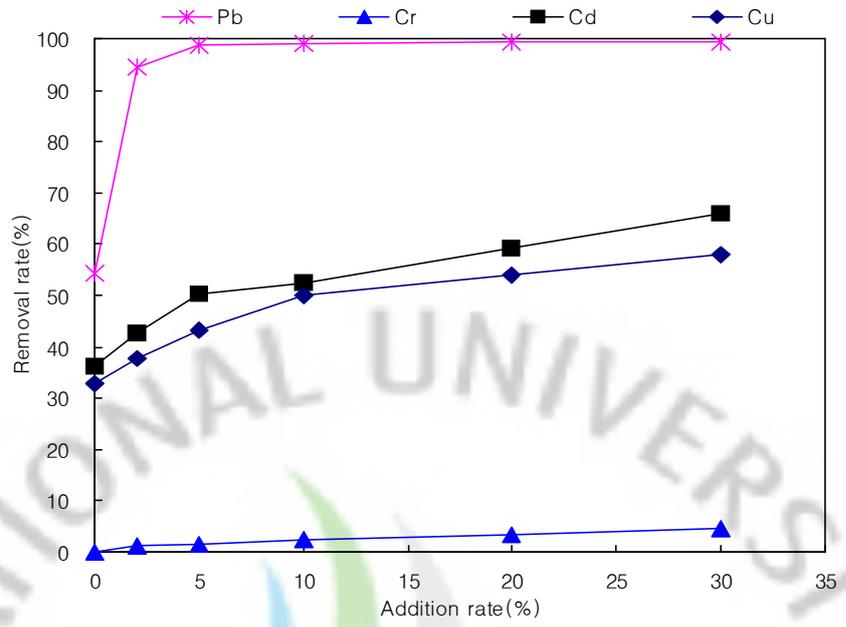
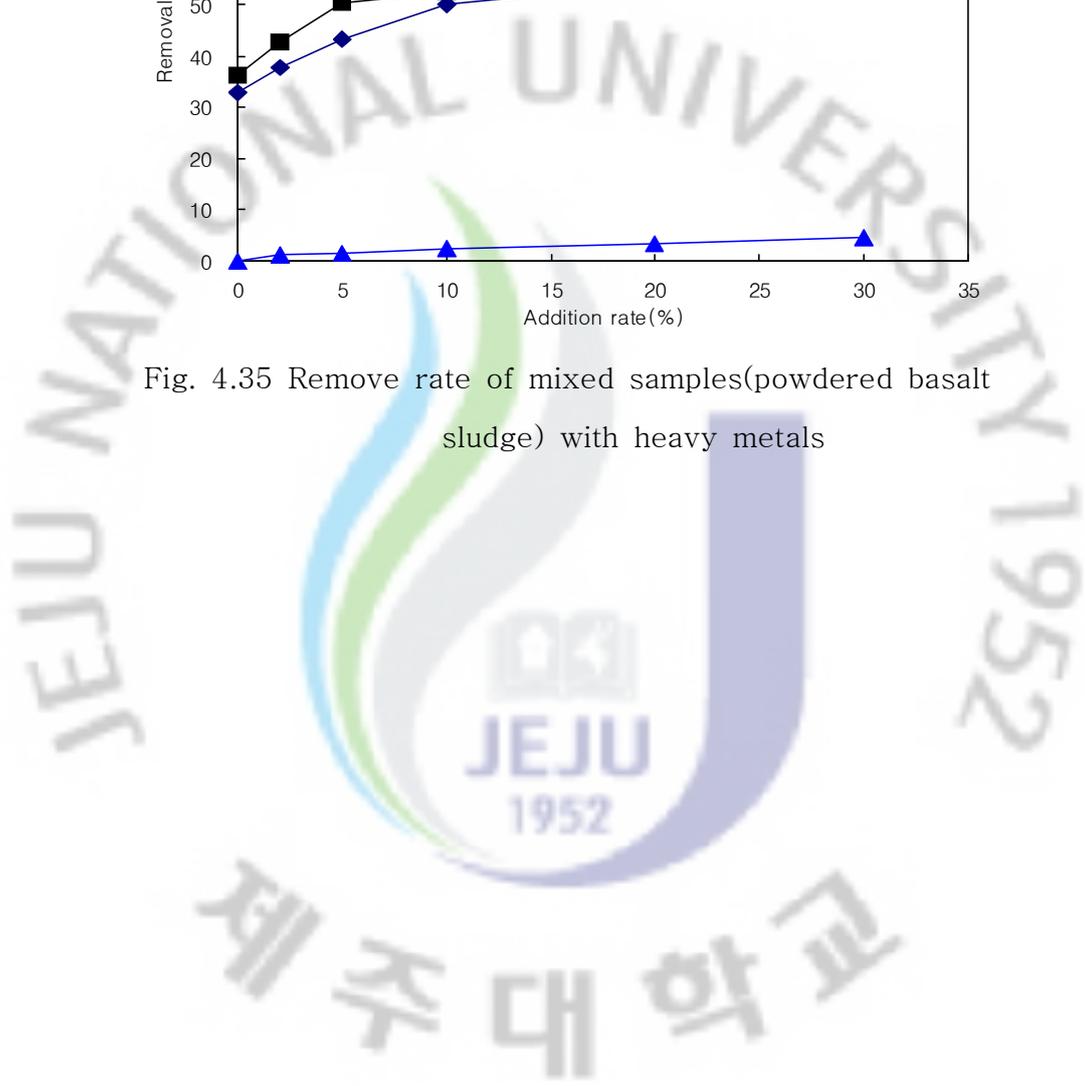


Fig. 4.35 Remove rate of mixed samples(powdered basalt sludge) with heavy metals



4. 투수성탄성포장

4.1 투수성탄성포장의 현장투수시험



Fig. 4.36 Photograph of permeability test in field (porous elastic pavement)

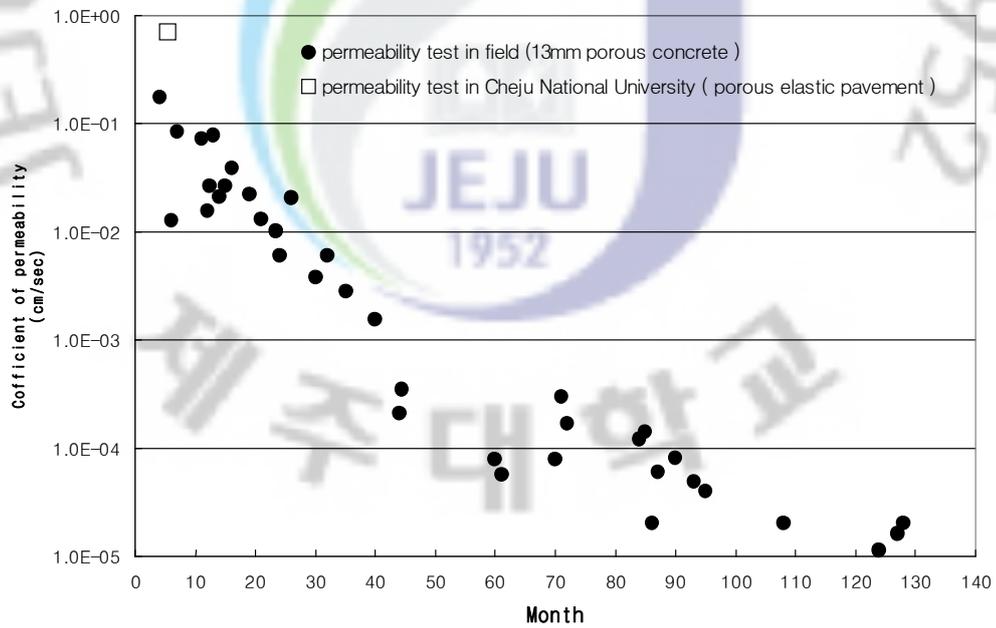


Fig. 4.37 The make a comparison between permeability test of porous elastic pavement and in field permeability test of 13mm porous concrete

시험대상지역은 제주대학교 본관 옆 인도구간이며, 약 6개월 전 시공된 하부 25mm골재 투수콘크리트와 상부 송이를 첨가한 탄성포장재로 이루어진 2층 구조의 투수성탄성포장으로 4곳에 시험기를 설치하여 실시하였다.

시험방법은 1.2.1항과 동일한 방법으로 실시하였고, 시험결과는 1.2.2항의 결과와 비교하였으며 Fig. 4.37과 같다. 시공일수 약 6개월로 동일조건의 투수콘크리트 현장투수시험결과보다 투수성이 우수함을 확인하였다. Fig. 4.36는 현장투수시험 계측사진이다.



V. 결 론

본 연구에서는 투수콘크리트에 대하여 첫째 투수콘크리트를 골재별로 구조체로서 요구하는 소요강도에 대한 분석을 실내시험을 통하여 확인하였고, 두 번째 투수콘크리트의 기능성 상실의 원인을 공극막힘현상으로 판단하여 제주지역에 시공 된 투수콘크리트를 현장시험을 통해 사용기간과 투수계수를 이용하여 그래프를 산정하고, 실내시험을 통해 공극막힘현상을 재현해 보았으며, 현장시험과 비교 분석해 보았다. 세 번째 페타이어분말을 활용한 탄성포장재의 우수유출시 발생할 수 있는 탄성포장재내의 중금속 검출을 실험을 통하여 확인하였고, 탄성포장재의 구성 재료로 송이 및 현무암 석분 슬러지를 첨가하여 중금속(Cu, Pb, Cd, Cr) 제거효과를 분석하였다. 본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 공시체들의 압축강도 및 휨강도시험결과 40mm 골재를 제외하고 일반적으로 투수콘크리트로 사용되는 13mm 골재와 시험에서 비교한 10mm, 19mm, 25mm 골재가 구조체로서의 사용에 무리가 없음을 확인하였다.

2. 현장 투수시험을 통하여 제주지역에 시공되어 있는 13mm입경의 투수콘크리트 수명을 약 22개월로 추정하였으며 대부분이 공극이 막혀 투수성포장으로서의 기능이 상실 된 것을 확인하였다.

3. 현장투수시험과 공극막힘현상의 비교를 통하여 각 골재들의 투수성 수명한계를 분석한 결과 25mm골재의 투수시험체는 13mm골재의 투수시험체 보다 수명한계가 약2.4배 길게 추정되었다.

4. 적갈색 송이와 현무암 석분 슬러지를 혼합한 탄성포장재의 인장강도 및 신장율은 혼합량 5wt%에서 인장강도와 신장율 기준치를 만족하였다.

5. 본 실험에 사용된 일반 탄성포장재에서 Pb이 지정폐기물 기준 이상으로 용

출 되었으며, 용출특성은 Pb, Cu, Cd, Cr 순으로 용출되는 경향을 보였다.

6. 실험에 사용된 송이 4종과 현무암 석분 슬러지는 모두 중금속 용액 Cu, Pb, Cd, Cr에 대해 Pb, Cd, Cu, Cr의 순으로 흡착률이 높아지는 경향을 보였다.

7. 실험에 사용된 중금속 용액 Cu, Pb, Cd, Cr에 대하여 시료별 흡착률은 황갈색송이, 암회색송이, 검정색송이, 적갈색송이, 현무암 석분 슬러지의 순으로 분석되었다.

8. 실험에 사용된 송이 4종과 현무암 석분 슬러지는 Cr을 제외한 Cu, Pb, Cd에서 흡착이 우수하여 흡착제로 활용이 가능 하다고 판단된다.

9. 현무암 석분 슬러지를 탄성포장의 흡착제로 활용할 경우에 경제성과 환경적인 측면까지 만족하는 우수한 제품이 될 수 있다고 판단된다.

10. 2층 구조를 갖는 투수성 탄성포장재는 공극막힘시험결과 투수콘크리트층의 골재를 25mm로 사용할 경우 효과적이고, 공극을 갖고 있는 탄성포장층은 석분슬러지와 쉽게 구할 수 있는 적갈색송이를 중금속흡착제로 활용해 탄성포장재를 제품화 할 경우에 경제성과 환경적인 측면들을 만족하는 우수한 제품이 될 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- 강기원, 2007, 스포츠복합탄성바닥재 성능 및 품질 평가 기준 제정에 관한 연구, 국민 체육 진흥 공단 체육과학연구원, pp
- 고득영, 2007, 페타이어 표면에 형성되는 Functional group을 이용한 중금속 (Cu,Cd, Pb)제거에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, pp.
- 김기영, 2007, 현무암석분슬러지의 공학적 특성 및 활용방안 연구, 제주대학교 박사학위논문, pp.
- 김덕수, 2005, 전처리에 의한 제올라이트의 중금속 이온 제거능 개선, 제주대학교 기초 과학연구소, Vol. 18, No. 2, pp.129-143
- 김선태, 2002, 투수성 포장공법의 시공실태 및 개선방안에 관한연구, 한양대학교석사학위논문, pp.
- 김승범, 2006, 현무암 석분슬러지의 공학적 특성 및 활용 방안 연구, 제주대학교 석사학위논문, pp.20-21
- 김승현, 2007, 투수성 탄성포장재의 투수성 향상 및 친환경적 개발에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, pp.
- 김인석, 2004, 송이의 쇄석다짐말뚝에 대한 재료 적합성 연구, 제주대학교 석사 학위 논문, pp.33-35
- 김현서, 2004, 잔골재를 사용한 포러스콘크리트의 공극률과 투수계수에 관한 연구, 영남대학교 석사학위논문, pp.
- 나대엽, 2000, 페타이어 분해에 대한 아임계 및 초임계유체의 영향, 부산대학교 석사학위논문, pp.
- 남명식, 2006, 페타이어 미세분말을 이용한 개질아스팔트 혼합물의 성능평가에 관한 연구, 서울산업대학교 석사학위논문, pp.
- 류남형, 강호철, 1998, 투수성 포장재의 물리적 특성에 관한 연구(I), 진주대학교 건설기술연구소보, Vol. 1, pp.243-250
- 문한영, 1999, 전기로슬래그 골재를 투수콘크리트 포장용으로 활용하기 위한 기초적 연구, 대한토목학회논문집, Vol. 19, No. 1, pp.111-121

- 박주량, 이수구, 2004, 페타이어 재활용을 위한 GRT/PE 복합체에 대한 연구(IV), 환경관리학회지, Vol,10, No.3, pp.
- 서범석, 2002, 고성능 투수콘크리트의 역학적 특성, 공주대학교 산업대학원 석사학위논문, pp.7-20
- 오세종, 2007, 도시지역 하수관거 월류수에 의한 비점오염원의 유출특성에 관한연구, 진주산업대학교 석사학위논문, pp. 33-35
- 오현수, 홍영근, 2007, 투수성도로 포장재의 내구성 향상에 관한 연구, 엘라스토머, Vol. 42, No. 2, pp.93-101pp.111-121
- 이기만, 1995, 안료 입문, 한국플라스틱 기술정보, pp.
- 이민규, 서근학, 1996, 제주(송이)를 이용한 중금속 흡착에 관한 연구, 한국환경학회지, Vol, 5, No. 2, pp.195~201
- 이재응, 여운광, 심재현, 강태호, 2001, 투수성 포장재를 사용한 호우시 우수유출 저감효과 분석, 대한토목학회논문집, Vol.21, No.6B, PP.645-654
- 윤정수, 1991, 북제주군 지역 기생화산(오름)에 관한 보고서, 북제주군, pp.
- 윤정수, 1995, 제주도 북사면의 기생화산체에 관한 연구, 제주대학교 해양과환경 연구소, Vol. 19, pp.25-38
- 전상미, 2006, 투수성 포장의 수문학적 침투 특성에 관한 연구, 인제대학교 석사학위논문, pp.
- 조은일, 2005, 제주지역에서 배출되는 비점오염원 관리방안 연구 보고서, pp.
- 최규형, 2005, 고성능 콘크리트 개발, 상지대학교 석사학위논문, pp
- 최지용, 신창민, 2002, 비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리방안 보고서, 한국환경정책·평가연구원, pp.
- 하재담, 하상옥, 2000, 투수콘크리트 포장의 배합설계 및 시공사례, 한국도로포장공학회 제2권2호 pp.65-68
- 한국자원재생공사, 1998, 폐기물 재활용 통계, 페타이어 발생 및 재활용 현황 , pp
- 현성수, 2000, 제주 스코리아로부터 합성된 제올라이트를 이용한 폐수 중 중금속제거에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, pp.

홍종현, 김문훈, 양철신, 2006, 친환경 도로포장용 투수콘크리트의 제조와 이를이용한 도로포장시스템의 수질정화특성, 한국환경과학회지, Vol. 15, No. 11, pp.1045-1052

Miklas Scholz, Jing Xu, 2002, Comparison of constructed reed beds with different filter media and macrophytes treating urban stream contaminated with lead and copper, Ecological Engineering 18, pp.385~390



감사의 글

본 논문이 완성되기까지 많은 관심과 애정을 갖고 끝까지 저를 지도하여 주신 남정만 교수님께 먼저 머리 숙여 깊은 감사를 드립니다.

아울러 논문심사과정에서 세심한 배려와 조언을 아끼지 않으신 박상렬교수님, 김상진 교수님, 이동욱 교수님께도 진심으로 감사를 드립니다.

그리고, 대학원 시절부터 지금까지 부족한 저에게 학업을 무사히 마칠 수 있도록 오랜 기간 동안 많은 격려와 지도를 하여 주신 양성기 교수님, 김남형 교수님, 이병결 교수님들에게도 깊이 감사드리며,

또한, 본 논문의 완성될 때까지 실험과정 및 자료 정리 등에 휴일 및 저녁 늦은 시간까지 많은 노력을 하여 주신 지반공학연구실 김태건 대학원생 및 김승현 씨를 비롯하여, 논문에 매진할 수 있도록 시간적인 배려를 하여 주신 하수시설과 직원 여러분께도 감사를 표합니다.

끝으로, 오늘이 있기까지 많은 어려움과 고통이 있어도 묵묵히 참고 나를 내조하여 주신 내 사랑하는 아내 임근재에게 항상 고마움 마음을 전하고, 아울러 아직까지 큰 문제없이 잘 자라준 지훈, 소연에게 늘 고마움 마음과 이 작은 보람을 가족들과 함께 나누고자 합니다.

그리고 오늘이 있기까지 저를 낳아주시고 자식만을 위하여 헌신하고 사랑과 정성으로 길어주시다가 먼저 이 세상을 떠나신 부모님께 미력하나마 이 논문을 바칩니다.

감사합니다.

2008년 12월

金 榮 一