

碩士學位論文

투수콘크리트의 공극막힘현상에  
의한 투수성 검토



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學 專攻

李 勇 男

2 0 0 8

碩士學位論文

투수콘크리트의 공극막힘현상에  
의한 투수성 검토

指導教授 南正萬



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

李勇男

2008

# 투수콘크리트의 공극막힘현상에 의한 투수성 검토

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 7月

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科 土木工學 專攻

李勇男의 工學 碩士學位 論文을 認准함

2008年 7月

委員長 印

委員 印

委員 印

Reviews on Permeability of Porous Concrete of  
Which Pore is Clogged

YONG-NAM LEE

(Supervised by Professor Jung-Man Nam)

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

2008. 7.

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 .....	iv
Summary .....	vi
<b>I. 서 론</b> .....	<b>1</b>
1. 연구배경 및 목적 .....	1
2. 연구내용 및 범위 .....	3
<b>II. 기존이론</b> .....	<b>4</b>
1. 투수성포장공법 .....	4
1.1 투수성 포장공법의 정의 .....	4
1.2 투수성 포장공법과 배수성 포장공법 .....	5
1.3 투수성 포장공법의 구성 .....	8
1.4 투수성 포장공법의 유형 .....	11
1.5 투수성 포장공법의 문제점 .....	16
2. 환경친화형 콘크리트 .....	17
2.1 환경친화형 콘크리트의 개요 .....	17
2.2 환경친화형 콘크리트의 용도 및 적용 .....	22
3. 투수콘크리트 .....	28
3.1 투수콘크리트 포장 .....	28
3.2 투수콘크리트의 구조 .....	28
3.3 투수콘크리트의 특성 .....	29
<b>III. 시험방법</b> .....	<b>33</b>
1. 시험재료 .....	33
1.1 시멘트 .....	33
1.2 골 재 .....	34

1.3 혼화제 및 배합비 .....	36
2. 강도시험 및 공극률시험 .....	37
2.1 강도시험 .....	37
2.1.1 압축강도 .....	37
2.1.2 휨강도 .....	39
2.2 공극률시험 .....	41
3. 투수시험 .....	43
3.1 공극막힘 시험 .....	43
3.1.1 공극막힘재 입경분석 .....	43
3.1.2 공극막힘재량 산정 .....	45
3.1.3 공극막힘시험 .....	48
3.2 현장투수시험 .....	50
<b>IV. 시험결과 .....</b>	<b>51</b>
1. 강도시험과 공극률시험 .....	51
1.1 강도시험 .....	51
1.2 공극률시험 .....	54
2. 공극막힘시험 .....	55
3. 현장투수시험 .....	57
4. 공극막힘시험과 현장시험 비교 .....	59
<b>V. 결 론 .....</b>	<b>63</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>65</b>

## List of Tables

Table. 2.1 Features comparison of porous pavement & drainage pavemen (김선태, 2002) .....	7
Table. 2.2 The type of water permeability pave method of construction .....	12
Table. 2.3 The using purpose and use of porous concrete .....	24
Table. 2.4 The purpose and performance value assessment of porous concrete .....	25
Table. 2.5 The planning using an index .....	27
Table. 2.6 Properties of porous concrete .....	30
Table. 3.1 (a) Chemical composition of cement .....	33
Table. 3.1 (b) Physical composition of cement .....	33
Table. 3.2 The measured results according to KS F 2503 .....	34
Table. 3.3 Cemical composition of quick setting admixtures .....	36
Table. 3.4 Mix proportion ratio of porous concrete .....	36
Table. 3.5 Uniformity Coefficient(Cu) and Coefficient of Gradation(Cg) in Fields .....	44
Table. 3.6 Investigation location and section in Jeju .....	45
Table. 3.7 The rainfall property with rainfall event .....	45
Table. 3.8 The sum and SS average concentration on location rainfall runoff (Unit : mg/L) .....	46
Table. 3.9 The compute a pore-clogging meterial input .....	47
Table. 4.1 The result of porosity test with aggregate .....	54
Table. 4.2 The place in field permeability test .....	57

## List of Figures

Fig. 2.1 The rainfall flow of porous pavement & drainage pavement .....	6
Fig. 2.2 The basis diagram of water permeability pave method of construction .....	8
Fig. 2.3 The diagram of water permeability pave .....	11
Fig. 2.4 A general diagram of hollow block .....	14
Fig. 2.5 An execution case of hollow block .....	14
Fig. 2.6 A gap permeability under the tree in Mooju country office .....	15
Fig. 2.7 The stone gap permeability in Mooju country office .....	15
Fig. 2.8 The position of porous concrete .....	26
Fig. 2.9 The concept map of porous concrete .....	27
Fig. 2.10 Relation between compressive strength and porosity (김선태,2002) .....	31
Fig. 2.11 The mimetic diagram of normal and water permeability concrete .....	32
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 .....	35
Fig. 3.2 Photograph of compression test .....	38
Fig. 3.3 The diagram of flexural strength test .....	40
Fig. 3.4 Photograph of flexural strength test .....	40
Fig. 3.5 Continuity and irregularity of open pore .....	41
Fig. 3.6 The production of test piece for porosity measurement .....	42
Fig. 3.7 Perfect impregnate a test piece with water .....	42
Fig. 3.8 Grain-size distribution curve of samples in Jeju .....	44



Fig. 3.9 Grain-size distribution curve of the pore-clogging materials .....	44
Fig. 3.10 The diagram of constant head permeability test apparatus .....	48
Fig. 3.11 Produced constant head permeability test apparatus .....	48
Fig. 3.12 Produced constant head permeability test apparatus .....	49
Fig. 3.13 The test piece of permeability test .....	49
Fig. 3.14 The diagram of variable head permeability test apparatus in field .....	50
Fig. 4.1 The result of compressive strength .....	52
Fig. 4.2 The result of flexural strength .....	52
Fig. 4.3 The result of compressive strength and flexural strength with aggregate .....	53
Fig. 4.4 The result of porosity test with aggregate .....	54
Fig. 4.5 The result of pore-clogging test with field grain size .....	56
Fig. 4.6 The result in field permeability test .....	58
Fig. 4.7 Photograph of permeability test in field .....	58
Fig. 4.8 The make a comparison between pore-clogging test and in field permeability test .....	59
Fig. 4.9 The result of aggregate size in accordance with hydraulic conductivity .....	60
Fig. 4.10 The result of aggregate size in accordance with hydraulic conductivity .....	61

## Summary

This research thesis is aimed at reviewing on permeability of 'porous concrete' of which pore is clogged. To do it, this thesis has attempted as the following two.

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. And, it has measured the graph of pore concrete, which was constructed in Jeju Island, with the aid of use period and coefficient of permeability, and then it has conducted the comparative analysis on the test on clogged pore. The result shows that the durability of permeability has spanned from 13, 22 months to 40 and 48 months. The aggregates of 25mm have had the longest durability. Also, through spot porous test, this thesis has estimated at 22.7 months the durability of porous concrete of 13mm built in Jeju Island. In conclusion, porous concrete is deemed to be appropriate for using thick aggregate of 25mm. This has the weakness to make exposure surface rough. But, two tier- structured permeability pavement of elasticity stratum with pore on the surface of porous concrete is deemed to improve such weakness.

# I. 서 론

## 1. 연구배경 및 목적

지난 과거 우리는 생산 중심의 산업발전을 이루어 왔고 빠른 기간 내에 큰 성과를 달성하기 위한 양적인 성장이 주된 목표였으며 이러한 현상은 사회간접자본 시설을 비롯한 여러 건설 분야에서도 동일한 결과로 나타났다. 일례로 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 있다고 할 수 있겠다.

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.

1980년대부터 선진국에서는 투수성 아스팔트가 개발된 이래 투수성 포장공법에 관한 투수성 시멘트 콘크리트의 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 투수성 포장은 보도를 중심으로 한 생활관련 도로, 광장 및 주차장 등의 포장에 사용하고 있다.

새로이 등장하게 된 투수성 포장은 빗물을 침투시켜 지하수가 고갈되는 문제를 방지하고 흙속에서 미생물이 잘 서식할 수 있는 환경을 만들어 가로수가 잘 자라게 하는 등 자연환경의 측면에서도 여러 가지의 장점이 있는 것으로 평가되고 있다.

하지만 보도 및 자전거 도로, 공원의 산책로, 주차장에 많이 포장되는 투수콘크리트의 경우 13mm입경의 골재를 이용한 투수 콘크리트를 포설하는데 시공 후 일정 기간의 시간이 지나면 공기 중 오염물질과 다양한 일상의 이물질로 인해 표면의 공극이 막혀 제 기능을 상실하여 강우 시 포장 면을 따라 유출하는 현상을 보인다.

본 연구에서는 투수콘크리트 구조체로서 요구하는 적절한 강도를 만족하고, 막힘 현상으로 인한 투수기능 상실을 실내 투수시험을 통하여 재현하여 구조체의 기능을 연장하는 방안을 모색하고, 현재 제주 지역에 시공된 투수콘크리트의 현장 투수시험을 통해서 실내 투수시험과 비교·분석하여 효율적인 유출억제 시설로서의 투수콘크리트를 개발하고자 한다.



## 2. 연구내용 및 범위

### 2.1 연구내용

본 연구는 골재별 투수콘크리트로서 요구되는 강도를 만족하는 시험체를 제작하여 공극막힘시험을 통해 투수콘크리트의 문제점으로 지적 되어지는 공극막힘 현상을 재현하여 구조체의 수명을 산정·해석하고, 현장 투수시험을 통하여 공극막힘시험과 비교·해석하여 투수성을 검토하였다.

### 2.2 범위

투수성포장의 구조 해석

- 투수콘크리트의 구조

골재별 투수콘크리트의 물리적 시험

- 투수콘크리트로서 요구되는 압축강도와 휨강도 분석

- 골재별 투수성과 막힘현상을 재현하여 수명을 산정, 비교, 해석

- 기존 시공된 투수콘크리트의 현장 투수시험을 통한 실내시험과의 비교

## II. 기존이론

### 1. 투수성 포장 공법

#### 1.1 투수성 포장공법의 정의

투수성 포장공법은 도시에서 발생한 우수의 지하 침투, 도시유출에서 용해성 오염물질과 미세한 오염물질의 제거, 지하수 함양, 제방 세굴 조절 등의 기능을 가지고 있다. 투수성 포장재의 사용은 일반 포장재와 비교할 때 강도가 떨어지기 때문에 주차장, 보도 등으로 사용이 제한되어 왔지만 최근강도를 높이기 위한 활발한 연구가 진행되고 있다. 투수성 포장은 경사가 완만하고, 토양의 투수성이 양호하며, 지하수위가 깊은 장소에 비교적 적합하다.

미국 펜실바니아주 월로우 그로브, 메릴랜드주의 락빌, 버지니아주의 프린스 윌리엄 카운티 등의 투수성 포장공법으로 시공한 지역에서 수행한 물 수지 연구에 따르면 연 강우량의 60~90% 가 지하수로 침투된다고 한다. 식물이 없으므로 증산이 발생하지 않기 때문에 자연 조건에서보다 투수성 포장재를 설치했을 경우 지하수 함양율은 약간 더 큰 것으로 연구되었다. 약간의 개발이 진행되어도 중·소하천에서 여름철의 기저유량이 급격하게 감소하여 수질이 악화되고 생태계가 파괴되는 것을 고려할 때, 지하수 함양율이 증가하면 갈수기에 하천 유량을 유지할 수 있다.

또한, 저류지나 우수지와는 달리, 투수성 포장재를 사용하면 우수유출량을 감소시킨다. 월로우 그로브, 락빌, 프린스 윌리엄에서 발생한 우수유출의 약 20-40% 만이 지표수 유출로 나타났다. 나머지는 투수성 포장재 내에 존재하다 증발하거나 지하로 침투하여 지하수를 함양시킨다. 따라서 투수성 포장공법은 우수나 기타 유수를 표층과 기층을 통해 침투시키고 노상과 기층을 분리하는 필터층을 통과하여 노상으로 침투하며 투수계수  $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$  이상인 포장공법을 말하는 것이다.



투수성 포장재의 유출은 6~10cm 두께의 공극 아스팔트 층을 통하여 기층으로 침투하므로 결국 침투성 포장재의 저류 능력은 기층의 두께와 밀접한 관계가 있다. 침투성 포장재를 사용하면 설계강우 보다 작은 강우에 대해 침투유량을 개발 전 단계까지 조절할 수 있다. 투수성 포장 시스템의 유일한 한계는 큰 설계강우로부터 유출량을 수용할 수 있는 기층의 깊이가 충분하지 않을 수 있다는 것이다.

## 1.2 투수성 포장공법과 배수성 포장공법

침투성 포장공법은 노상까지 우수를 침투시키는 투수성 포장공법과 노상까지 침투시키지는 않지만 표층과 기층에서 침투된 우수를 트렌치로 배수시키는 배수성 포장공법으로 구분한다.

지금까지의 포장은 그 내구성을 향상시키기 위해 수밀성이 우수한 구조를 가지는 콘크리트와 아스팔트로 진보되어 왔다. 이에 반해 투수성 포장은 지금까지의 포장기술과는 완전히 반대의 발상에 의해 우수를 공극이 많은 다공질 표층부에서 노상으로 침투시키는 구조로 되어 있다. 따라서 일반 포장의 우수처리는 도로경사에 의해 포장표면을 따라 집수구나 배수구로 흘러가는데 대하여 투수성 포장은 포장체의 공극속을 통과시킴으로써 바로아래의 노상에 침투시킨다. 노상 아래에 우수를 침투시킴으로써 투수성 포장공법에는 강우의 표면배수 억제, 식생, 흙 속 생태의 개선, 지하수의 보존 등 본래자연이 가지는 물 순환에 가까운 효과를 얻을 수 있게 된다.

그런데 표층을 침투한 물이 기층과 차단층을 통과하여 노상이 과잉의 수분을 포함하게 되면 강도의 저하를 초래하기 때문에 투수성 포장은 큰 하중을 받는 포장에는 사용하는데 신중하여야 한다. 이에 대한 보완책으로 포장의 표층부에는 투수성의 콘크리트 또는 아스팔트를 사용하나 노상 이하로 물을 침투시키지 않는 구조를 가지는 배수성 포장공법이 제안되고 있다. 배수성 아스팔트 포장에서는 표층부의 두께를 4~5cm 정도로 한다. 이배수성 포장은 표층부 바로 밑의 불투수성 층의 위를 약 2%의 횡단기울기에 의해 노견방향으로 물을 유하시켜 측구로 배수시키는 포장구성으로 이루어진다. 이때 어느 정도의 강우강도까지는 노

면에 우수면이 생기지 않고 투수층 내에서 물이 흘러 배수된다.

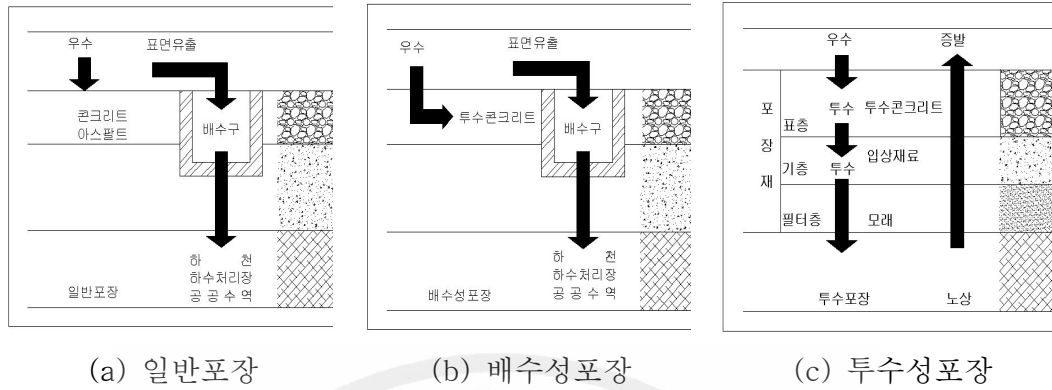


Fig. 2.1 The rainfall flow of porous pavement & drainage pavement

배수성 포장공법은 표층의 공극 특성으로부터 소음 감소효과와 주행 안전성의 효과를 기대 할 수 있지만 우수를 흡 속으로 환원시킬 수 없어 배수성 포장과 투수성 포장공법은 기능과 포장구성이 다르다. Table 2.1은 보행자용 도로에 적용한 투수성 포장공법과 차도에 적용시킨 배수성 포장공법의 효과를 비교한 것이다.



Table 2.1 Features comparison of porous pavement & drainage pavement(김선태, 2002)

분류	적용 장소 항 목		투수성	배수성	일반 포장
			포장 보행자 용	포장 차도	
자연환경	표면배수의 억제	도시하천의 범람방지	○		
		하수도 부담 경감	○		
		공공수역의 오염 경감	○		
		배수시설의 부담경감	○		
	식생, 흙 속 생태의 개선	가로수의 육성	○		
		토양의 산소결핍방지	○		
		흙 속 온도의 상승억제	○		
	지하수 보전	지반 침하의 억제	○		
		지하수의 저장	○		
	노면 온도의 저하	열섬(heat island)현상의 억제	○		
사회환경	주행소음의 감소	엔진음 등의 흡음		○	
		에어 펌핑음의 제거		○	
	주행안전성	물이 튀는 것을 방지		○	
		스모킹 방지		○	
		hydroplaning의 방지		○	
		미끄럼 저항의 증대		○	
	유지보수의 감소	포장의 내구성			○
유지관리의 용이성				○	

### 1.3 투수성 포장공법 구성

#### 가. 투수성 포장공법의 구성

투수성 포장은 노상 위에 필터층, 기층, 표층의 순서로 시공되어진다. 이들 각 층 어느 한 부분이라도 투수능력이 저하되면 전체투수성 포장의 투수기능이 마비된다. 따라서 어느 한 부분이라도 소홀히 여겨서는 안 되며, 특히 각층마다 다음과 같은 사항을 염두에 두어야한다

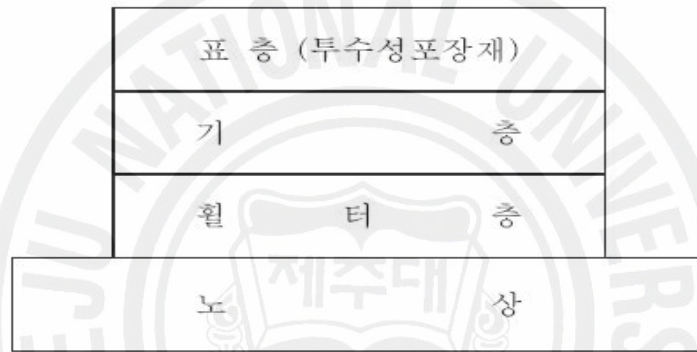


Fig. 2.2 The basis diagram of water permeability pave method of construction

#### 1) 노 상

노상은 포장의 두께를 결정하는 기초가 되는 흙의 부분으로 포장 밑 약 1m의 층을 말한다. 투수성포장공법의 적용시에는 원지반의 투수계수, 즉 노상의 투수 정도를 고려해야 한다. 우리나라 대부분의 지층은 충적층으로서 모래와 자갈 성분의 퇴적층이라고 할 수 있다. 지층을 구성하는 성분의 배합 비율과 층의 깊이 에 따라 투수계수가 달라지는데 충적층만 해도 그 범위가 크다. 투수성 포장을 적용할 경우에는 우수가 투수포장체인 표층을 거쳐 기층과 보조기층, 필터를 통과하여 노상에 도달하게 되는데 이 부분에서 구조체를 통과한 유수를 모두 침투 시킬 수 있는 성질의 지반인가 하는 점을 고려해야 한다. 만약 원래의 노상 자체가 투수능력이 낮다면 이층에 모인 우수를 유도하여 배수시킬 다른 공법이 도입

되어야 한다. 또한 노상은 충분한 지지력을 확보하여야 하며, 물이 침투되더라도 쉽게 연약화 되는 지반은 곤란하다. 노상이 연약할 경우에는 양질의 재료로 치환하는 등의 개량작업이 필요하게 된다. 그리고 노상의 배수성능이 좋지 않을 경우 침투된 우수에 의해 동해의 가능성이 있으므로 동해 방지층을 추가로 설치하여야 이에 대비해야 한다. 동해 방지층은 보통 보조기층으로 구성된다.

## 2) 월 터 층

노상토가 노반으로 침투하는 것을 방지하며, 미세 입도의 불순물이 노상에 침투하여 연약화 시키는 것을 방지하고, 노반에 미치는 하중을 등분포로 노상에 전달할 목적으로 설치하여야 한다.

월터층은 균일하게 인력, 도우져 또는 모터그레이드 등으로 포설하고 정돈한다. 노상이 약한 경우 노반재(기층)를 깔고 동시에 전압해도 되며, 노상토와 섞이지 않도록 포설하고, 다짐은 로울러나 콤팩터 등을 사용한다.

## 3) 기 층

기층은 상부의 표층을 지지하고, 하중을 분산하며, 표층 시공을 위한 작업대 역할을 제공하는 중요한 부분이다. 그리고 표층에서 침투된 우수가 머물러 있지 않도록 기층에서 원활한 구배를 확보해 주어야 한다. 이러한 물리적 기능 외에 기층은 침투된 우수를 노상으로 전달하는 중간역할을 하게 되므로, 투수계수의 확보라는 기본적인 기능을 지니고 있다. 이러한 이유로 투수성 포장에서의 기층은 일반 포장과 달리 기층의 재료로 막부순돌(크러셔런), 입도조정쇄석, 재생콘크리트 등 입자가 입상재료를 주로 사용하고 있다.

그러나 투수성능의 확보는 기층의 두께나 공극으로만 이루어지는 것이 아니라 적용 현장의 조건에서 요구되는 투수계수를 확보하는 것이 더욱 중요하다. 그런데 국내 투수성 포장 계약에서는 표층 시공만 하고, 기층시공과는 별도로 이루어지는 경우가 많다. 이는 결국 투수성 포장에 적합하지 않은 기층의 시공으로 인해 기층이 투수성능 확보가 어려워지게 된다.

따라서 투수성 포장에서의 기층은 계획초기부터 상부의 표층에 따라 적절한 투수계수를 확보하도록 설계되고, 적합한 재료의 선택이 이루어져야 한다. 시공

측면에서도 기층과 표층을 함께 발주하여 투수성에 대한 책임소재를 분명하게 하고, 투수성능을 확보할 수 있는 여건을 마련하여야 한다. 또한 시공이 진행되면서 표층의 미분이 섞여 투수성능을 떨어뜨리지 않도록 해야 한다.

그리고 기층과 노상 사이에는 필터층을 조성하여 노상의 흙이 노반으로 침투하거나 미세입도의 불순물이 노상에 침투하여 침투성능을 악화시키거나 지반을 연약화 시키는 것을 방지하도록 한다. 필터층으로는 일반적으로 모래를 사용한다. 한편, 국내 주거단지의 외부공간은 대부분이 인공지반이기 때문에 일단 침투시킨 물이 인공지반 하부까지 도달이 가능하도록 중간 단계의 기층과 보조기층의 투수성 확보가 더욱 중요하게 된다. 이 경우 인공지반 하부까지 내려온 우수가 신속하게 배수되도록 인공지반 내에 트랜치를 설치하는 유도 공법 적용이 고려된다.

#### 4) 표 층

표층은 외부 하중을 직접 받는 층으로서 적용하고자 하는 지역에 따라 평탄성, 안정성, 보행감 등을 고려하여 요구되는 투수성능 및 물리적 성능을 만족시켜야 한다. 일반적으로 투수성포장은 일반포장에 비해 휨강도가 약하기 때문에 보행로 자전거도로, 광장, 주차장, 공원길 등으로만 한정되어 적용되고 있다. 각 공간에 따라 다음 Fig. 2.3에서 보는 바와 같이 포설형의 콘크리트 및 아스팔트 포장을 비롯하여 각종 블록형을 적용할 수 있으나 국내의 경우는 포설형을 주로 이용하고 있는 실정이다.

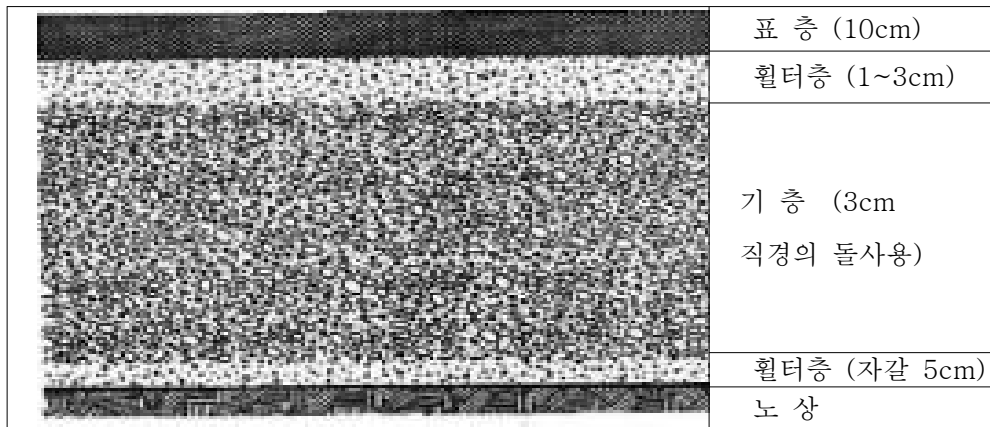


Fig 2.3 The diagram of water permeability pave

표층은 시공상의 투수계수 확보등도 중요하지만 시공 후의 철저한 유지관리가 반드시 지속되어야 한다. 유지관리 측면에서 보다 비용을 줄일 수 있는 대안 중의 하나가 틈새투수 공법이다. 틈새투수의 경우에는 기존의 블록을 이용하여 간격을 확보하여 투수성을 창출시키므로 자재의 재활용 측면이나 유지관리 측면에서 경제성이 높은 공법이다.

#### 1.4 투수성 포장공법의 유형

투수성 포장공법의 유형은 표층 구성에 따라 크게 포설형과 블록형으로 구분할 수 있는데 블록형에서도 블록자체에 투수기능을 지닌 투수블록형 포장공법, 식생과 함께 적용되는 중공 블록형 포장 공법, 기존의 블록을 활용, 틈새를 만들어 투수 시키는 틈새 투수 공법등으로 세분할 수 있다.

포설형은 국내에서 많이 적용되는 것으로 일반적으로 자전거도로나 광장, 주차장에서 흔히 볼 수 있다. 시공은 간편한 편이나 각층의 시공에 있어 투수성능이 저해되지 않도록 고려하여 시공하여야 하며 공극이 막히지 않도록 지속적인 유지관리가 필요하다.

투수블록은 블록 자체로도 투수가 가능하고 블록과 블록사이의 틈새로도 투수가 되므로 포장 구조체 전체로 투수성이 확보되는 공법이다. 틈새로나마 토양이 노출되므로 블록의 공극이 막힌다 해도 포설형의 경우와 같이 투수성능이 완전

히 상실되지 않는다는 점에서 약간 유리하지만 국내에서 생산되는 종류가 다양하지 않고 또한 내구성 측면에서 제약이 따른다.

중공블록은 국내에서 식생블록이라 불리는 것과 유사하며 잔디 등 식생과 같이 적용되기 때문에 보다 자연적인 미관을 창출할 수 있다. 기본적인 블로고간리 외에 식생관리도 지속적으로 되어야 한다는 점에서 경제성이 떨어지지만 최근 주차장, 광장 등에 많이 도입되고 있다. 틸새투수는 기존의 인터록킹(interlocking) 투수성 블록을 재활용하여 투수성능을 창출할 수 있다는 점에서 보다 유리한 대안이며 유지관리 측면에서도 다른 공법에 비해 경제성을 높일 수 있는 적용 공법이다.

Table. 2.2 The type of water permeability pave method of construction

유 형	성 격 및 특 징	적용부분
포 설 형	포장재 내에 공극을 지니게 하여 투수시킴	도로, 광장, 주차장
투수블럭	블록자체가 투수성을 지님	주차장, 인도
중공블럭	유공블록을 식생과 함께 적용	주차장, 광장
틈새투수	블록, 포장재 사이의 간격을 확보하여 투수성을 지님	인도, 주차장

#### 가. 포설형공법

투수성능을 가진 포설형 포장재로 투수콘크리트, 투수아스팔트, 세골재다짐포장, 마사토포장등이 있다. 각 층은 시공에 있어서 투수성능을 해치지 않도록 고려하여 작업이 진행되어야 한다.

물리적인 특성인 휨강도는  $30\text{kg/m}^2$  이상이며 공극율은 10% 이상, 투수계수는  $1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$  이상, 투수아스콘의 투수계수는  $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$  이상의 탄력성이 있다. 또한 포설된 구조체의 전체로 투수가 가능하고 차량 주행시 수막 현상이 절감되어 미끄럼현상을 방지 할 수 있다. 공극의 소음흡수로 차량등의 마찰음이 흡수되어 소음의 절감효과가 있다. 그러나 시간이 경과함에 따라 구멍이 막힐 우려가 있고, 동절기 투수포장재 내부의 수분동결로 인한 동해의 우려가 있



다. 또한 기존의 구조체에 비해 다소 강도가 떨어질 수 있어 시공되는 곳은 주로 보도, 경차도, 주차장, 자전거도로, 산책로 등에 시공이 되고 있다.

#### 나. 투수블록공법

투수블록은 다양한 칼라와 다공성이며 블록자체가 투수성을 가지고 있어 간극이 막히지 않도록 정기적인 유지관리가 필요하다. 재활용소재인 폐타이어, 폐아스콘, 폐유리 등을 활용한 제품이 가능하며 내구성과 강도면에서 다소 불투수성 블록에 비해 떨어지며, 미세분진이나 황사, 토사 등으로 인한 공극막힘이 우려된다. 블록형태로 시공성이 높고 다양한 패턴으로 미적인 효과가 크다. 주로 주차장용, 자전거도로 등에 쓰인다.

#### 다. 중공블록공법

중공블록이라 블록사이에 식재가 가능하도록 되어 있어 잔디의 식재나 종자과중으로 피복을 하면 기존 포장면에 비해 자연스런 분위기를 연출하며 토양의 직접노출로 인한 미기후의 조절기능도 있다. 그러나 식생을 위해서 정기적으로 유지관리가 별도로 필요하고 적용범위에 한계가 있다.

Fig. 2.4에서 중공블록공법은 많은 차량이 이용하게 되면 이용로를 따라 잔디의 생육이 약하다는 단점이 있다. 그러나 투수성능 면에서는 매우 우수하며 자연스런 투수가 이루어져 환경친화적인 포장공법이라 할 수 있다.

Fig. 2.5는 시공 사진으로 주차장등에 시공하면 자연미를 연출하고 투수기능까지 유지되므로 최근에 많은 시공이 이루어지고 있는 실정이다. 또한 블록과 블록 사이에 잔디를 식재하여 블록에 의해 잔디를 보호하게 되지만 블록의 관리 외에 식생관리까지 병행하여야 하므로, 여건에 맞는 신중한 판단이 요구된다.

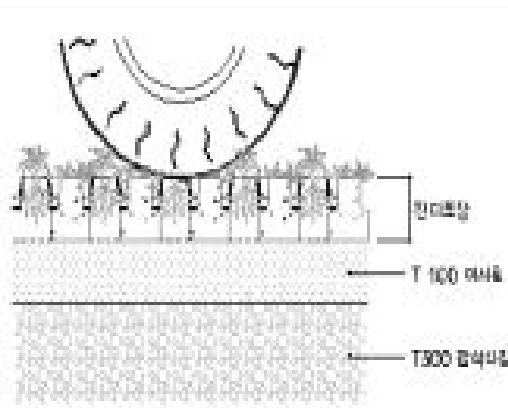


Fig. 2.4 A general diagram of hollow block



Fig. 2.5 An execution case of hollow block

#### 라. 틈새투수공법

틈새를 주는 방법은 블록형에서 보조재를 삽입하는 형태와 블록자체의 돌출로 틈새를 유지하는 방법이 있다. 보조재로는 재활용 플라스틱이나 철물재 활용이 가능하고 블록자체의 틈새유지는 톱니형태의 표준화된 이형블록을 포장하는 공법이다. 그러나 보행감이 다소 떨어지고 국내의 사례는 없어 실질적인 효과의 인지도는 낮은 편이다.

국내 틈새투수의 사례는 불규칙한 사고석 포장공법으로 시공된 사례가 있다. 석재투수포장은 석재의 면을 불규칙하게 다듬어서 틈새는 잔골재를 이용해서 투수의 침투를 용이하게 한다. 아래의 그림은 무주시의 무주군청(2001) 외부 마감을 점토블럭과 사고석 포장을 환경친화적인 소재를 이용해서 시공된 틈새투수의 사례이다. 수목을 답압에서 보호하는 수목보호틀의 역할 사고석 포장으로 대신하는 시공방법이다.

또한 블록형에서 보조재를 삽입하는 방식은 기존블록을 보완하는 방법으로 투수성능을 창출하므로 경쟁력이 있고 토양의 직접노출로 인한 지역적 미기후 조절효과가 있다. Fig. 2.6과 Fig. 2.7은 무주군에서 2000년에 시공한 무주군청 주변도로 정비공사의 일환으로 군청의 전정을 무주일대에서 채취한 화강석으로 시공한다. 표층으로 이용된 석고석은 불규칙한 면을 유지하여 각각 석재의 틈을 잔골재를 이용해서 공극을 형성하여 우수의 침투를 유도한다.



또한 수목보호덮개의 역할을 대신하여 수목의 뿌리분 주위로 우수의 침투를 유도하여 수목생장에 유리한 조건을 조성할 수 있다.



Fig. 2.6 A gap permeability under the tree in Mooju country office



Fig. 2.7 The stone gap permeability in Mooju country office

## 1.5 투수성 포장공법의 문제점

최근 이상기후로 인한 집중 강우, 홍수 등의 수해가 많이 발생하고 있어 도시에서의 물 순환 체계의 하나로서 대기에서 토양으로 물을 전달하는 표층의 기능이 더욱더 중요시되고 있다. 그러나 현실적으로 도심지 주거환경 대부분이 불투수층으로 피복되어 있고, 표층은 투수층이라 하더라도 토양층이 깊지 않은 인공지반으로서, 투수포장을 적용할 시에도 많은 제약이 따르고 있다.

우리나라는 80년대에 일본에서 처음으로 투수콘크리트, 투수아스팔트 등의 기술을 도입하여 왔으나 제조기술에 치중하여 시공에 있어서 기층의 중요성 및 유지관리측면을 감안한 시공 상세 기술이 미비한 실정이다. 또한 시공 후의 공극 막힘 방지를 위한 정기적인 청소작업이 필수적인데 현재 국내에서 제조, 시공의 유지관리체제가 완벽하게 이루어진 현장은 거의 찾아볼 수 없다. 국내에서 가장 많이 적용하는 공법 또한 이 포설형 방법인데 투수포장면적 증가라는 점에서 상당한 성과를 이루었지만, 포장재의 구조적 문제를 비롯하여 투수성능의 확보 등 많은 문제점이 발생하였다.

투수성 포장은 시공 후 사후관리가 매우 중요한데, 특히 포설형 공법의 경우가 더욱 그러하다. 외국의 경우는 사후관리를 위한 유지관리 매뉴얼이 보급되어 철저한 유지관리가 이루어지고 있는 실정이나, 국내에서는 유지관리를 위한 청소차량을 비롯한 사후관리 대책이라 할 수 있는 어떠한 관리도 이루어지지 않고 있는 실정이다. 국내 시공업체에서는 시공 초기에 목표 투수계수보다 높게 시공하여, 하자보수기간이 지나면 투수성능을 확보하지 못한다는 결론이다.

투수성 포장을 청소하는 방법으로는 기계를 이용하는 경우와 인력으로 하는 경우가 있다. 기계를 이용하는 경우는 수압을 이용하는 방법과 압축공기를 이용하는 방법이 있다. 두 방법 모두 수압 또는 압축공기의 압력을 이용하여 포장표면에 끼어 있는 미분을 제거하는 것이다. 인력을 이용하는 방법은 포장 표면에 물을 뿌린 후 사람이 블러싱 하면서 청소하는 방법이다.

## 2. 환경친화형 콘크리트

### 2.1. 환경친화형 콘크리트의 개요

환경친화형 콘크리트라고 하는 용어는 (주)일본콘크리트공학협회의 환경친화형 콘크리트연구위원회가 처음으로 이용한 것으로서 「환경친화형 콘크리트 (Environmentally Friendly Concrete/Eco-concrete)」란 지구환경의 부하저감에 기여함과 동시에 생태계와 조화 또는 공생을 도모하는 것이 가능하고, 쾌적한 환경을 창조하는 데에 유용한 콘크리트를 말한다. 그 주요한 사용목적에서부터 환경부하저감형 환경친화형 콘크리트와 생물대응형 환경친화형 콘크리트로 분류할 수 있다. 콘크리트는 도로, 철도, 항만, 호안, 상하수도 등 토목구조물에의 적용과 각종 구조물 등에 적용하여 많은 경제적, 문화적 가치를 나타내고 있으며 여러 가지 구조물의 중요한 건설재료로써 많이 이용되고 있다. 그러나 콘크리트는 그 대부분이 자연과 직접 대치하여 사용되고, 대량으로 사용되기 때문에 환경문제에 있어서 콘크리트가 우선 부정적으로 보여지는 직접적인 원인으로 되고 있다. 최근 지구의 온난화·사막화라고 하는 지구규모의 환경문제에 관한 의식이 높아지고 있는 가운데 도시개발에 대하여 경관과 환경중시의 지향이 강하게 되고 있다. 이와 같은 움직임 가운데, 환경보전과 경관향상을 전제로 한 도시·지구개발이 진행되고 있으며, 자연환경과 콘크리트 구조물과의 조화가 요구되고 있다.

1971년 로마클럽이 “성장의 한계”를 보고했었던 것을 시작으로 우리들이 현재의 상태로 유한한 자원과 에너지를 낭비하고 지구환경을 파괴하는 것이 계속되면 가까운 장래에 인류의 생존을 위태롭게 한다“라는 것이 국제적인 과제가 되어 왔다.

재료의 생산이나 이용은 자원이나 에너지의 소비, 불필요한 물질이나 열의 배출 등 어떠한 형태로 환경에 부하를 주고 있다. 환경부하 항목으로는 대기오염, 수질오염, 에너지 소비, 폐기물질 등을 들 수 있다. 지구환경에 좋은 재료로는 자원·에너지의 사용량이 적고, 동시에 사용 후에 발생하는 문제가 적은 것이라고 할 수 있다. 종래의 재료개발은 인류의 활동권을 넓히고 활동환경을 확장하며,

생활환경에 풍요를 주는 것에 중점을 두었던 것이었으나, 최근에는 에너지 다소비형의 고성능 재료에서 구하지 않고, 환경부하의 저감을 제일 중요시하여 연구·생산 활동을 하는 추세에 있다.

이러한 요구조건에 부합되는 재료가 바로 에코재료(Eco-Material)이다. 환경친화형 콘크리트란 지구환경부하의 저감에 기여하는 것과 동시에 인간을 포함하는 모든 생물과의 인터페이스에 논리적인 배려가 이루어진 콘크리트로 정의할 수 있다. 즉 에코 콘크리트는 2가지로 크게 대별되는데 폐기물, 오염, 오락, 온난화, 자연고갈 등의 환경에의 부하를 저감시키는 환경부하저감형 에코콘크리트와 생물계와의 조화 또는 공존을 꾀하는 생물대응형 에코콘크리트가 있다.

지구환경문제에 있어서 가장 중요한 것은 물질의 순환을 제어하는 것이다. 즉 인류를 포함한 생태계에서의 물질순환의 사조만을 또한 가치기준으로 그것을 실현하는 사회시스템을 구축하고 있는가에 있다.

콘크리트는 강도, 내구성, 수밀 등 강한 특성을 가지며, 경제적인 면도 우수하고, 구조물의 건설재료로써 유효함과 동시에 대량으로 사용되고 있다. 이 콘크리트의 강하고 견고한 특성은 물질순환이라는 면에 있어서는 장기간사용 가능하다는 것에서 환경의 부하가 크지 않다고 하는 장점으로 될 수 있지만, 자연의 순환, 예를 들면 물, 공기와 그 이외의 물질의 순환, 생물서식장의 확보라는 면에 있어서는 종래의 일반적인 사용방법으로는 단점이 된다. 그러나 콘크리트 구조물을 될 수 있는 한 장기간 사용한다고 하는 배려가 부족한 경우에는 그 철거, 재건축이라 하는 것에서 환경부하량이 크게 되고, 이것은 단점으로 된다. 또한 종래, 콘크리트 구조물을 건조하는 경우, 일반적으로는 자연의 순환과 생물의 배려, 경관의 배려 등의 개선노력이 결국 없게 된다고 말할 수 있다.

따라서 콘크리트가 이후에도 유용한 건설재료로써 사용되기 위해서는 이 자연의 순환과 생물의 배려, 경관의 배려라고 하는 것을 콘크리트 재료면에서의 특성으로써 부가시키거나, 콘크리트의 사용방법과 구조형식의 선정에서 배려하는 것이 불가결하게 된다. 또한 자연 순환, 생물의 배려 등이 현상의 재료와 구조형식으로는 실현 불가능할 때에는 환경의 부하를 보상하는 정책을 실시하는 것이 중요하다. 이상의 것을 생각해보면 환경친화형 콘크리트란 지구환경에로의 부하저감에 기여함과 동시에 인류를 포함한 모든 생물과의 인터페이스에 환경적인

배려를 한 콘크리트라 정의하는 것이 가능하고, ①환경부하저감형 환경친화형 콘크리트와 ②생물대응형 환경친화형 콘크리트 2가지로 대별할 수 있다.

### 2.1.1 환경부하저감형 환경친화형 콘크리트

환경부하저감형 에코콘크리트란 콘크리트 제조시의 환경부하를 저하하는 것, 콘크리트의 사용에 있어서 환경부하저감을 고려한 것 및 콘크리트를 사용하여 환경부하의 저감을 도모하는 것(환경부하저감이 가능한 콘크리트) 3가지로 대별할 수 있다.

#### (1) 콘크리트 제조시의 환경부하를 저감하는 것

이 콘크리트는 콘크리트의 제조에 있어서 재료와 혼화재 등을 이용하여 CO<sub>2</sub>, 폐기물, 자원고갈, 지형변형, 에너지 문제 등의 환경부하의 저감이 가능한 것으로 다음과 같은 것이 있다.

##### ① 에코시멘트를 이용한 콘크리트

여기에서의 에코시멘트는 각종 도시마다의 소각회, 하수오물, 산업폐기물을 원재료로써 제조한 시멘트를 말한다. 이 시멘트를 이용한 콘크리트는 폐기물처분 및 석회석자원문제, 에너지의 유효이용 등에 유효하다.

##### ② 혼화재를 이용한 콘크리트

플라이애시, 고로슬래그 등의 산업부산물을 혼화재로서 이용한 콘크리트이다. 성자원화, 폐기물처분, CO<sub>2</sub>배출량의 억제에 대해 유효하다.

##### ③ 리사이클 콘크리트

리사이클콘크리트로는 사용이 끝난 콘크리트를 파쇄하여 주로 골재로써 재생 사용하는 콘크리트, 결합재, 혼화재 및 골재가 시멘트의 원료로 될 수 있는 성분이거나, 경화 후 몇 번으로도 시멘트원료 및 재생골재로써 사용 가능하도록 제안되어 있는 콘크리트 등이 있다. 폐기물처분, 골재자원, 석회석자원, CO<sub>2</sub>배출 등의 모든 문제의 해결에 유효하다.



(2) 콘크리트의 사용에 있어서 환경부하저감을 고려한 것

이 콘크리트는 콘크리트 자체에 의한 환경부하저감은 기대할 수 없고, 그 사용 방법에 있어서 환경부하저감을 도모하는 것이며 다음과 같은 것이 있다.

① 장수명콘크리트

장수명콘크리트는 주로 콘크리트의 내구성을 종래의 것보다 대폭적으로 장기화시키고, 구조물의 내용년수를 장기화시킨 것이다. 이 경우는 콘크리트 자체의 내구성을 주로 장기화시킨 것(초내구성콘크리트)이지만, 그것 이외에 종래의 콘크리트와 같은 정도 내구성의 콘크리트를 이용한 구조물에 있어서도 설계, 유지 관리 등에 배려하여 내용년수를 장기화시키는 것도 있다. 콘크리트 구조물을 장기간 사용함에 의해서 시멘트 제조시의 CO<sub>2</sub>와 에너지량의 삭감, 골재자원, 붕괴시의 에너지, 처분문제, 재건설에 필요한 자원 등의 경감에 유효하다.

(3) 콘크리트를 사용하여 환경부하저감을 도모하는 것

이 콘크리트는 콘크리트를 사용하여 환경부하저감을 도모하는 것이고, 콘크리트 자체에 환경부하저감기능을 대비한 것이고, 현재 다공질콘크리트가 실용화되고 있다.

① 다공성콘크리트

콘크리트를 다공질로 하는 데에는 콘크리트 내에 연속공극, 독립공극 또는 이양자를 다량으로 도입하는 것이 있다. 공극특성에 의해서 콘크리트의 특성은 크게 다르지만, 여기서는 연속공극을 많이 포함한 콘크리트에 관해서만 다룬다. 연속공극을 많이 포함한 다공성콘크리트는 경화체 속을 물과 공기가 자유롭게 통과할 수 있거나 식수에 필요한 양분과 뿌리가 침입할 수 있거나, 내부를 포함하여 넓은 표면을 가지고 있다. 이 때문에 투수성이 있고, 흡음성을 가지며, 수질정화능이 있고, 식수가 가능하며, 열특성이 일반 콘크리트와 다르다는 것 등에 의해서 환경부하저감을 위해 많은 이용방법이 있다.

### 2.1.2 생물대응형 환경친화형 콘크리트

생물대응형 환경친화형 콘크리트는 ① 생물의 생식장을 확보하는 콘크리트 및 콘크리트구조, ② 생물의 생식에 악영향을 미치지 않는 콘크리트 및 콘크리트 구조 등의 2가지로 대별할 수 있다.

#### (1) 생물의 생식장 확보

콘크리트 구조물이 생물이 생식하는 장소를 확보하는 기능을 가지도록 고안된 경우 여기에 사용된 콘크리트를 에코콘크리트라 불린다.

#### (2) 생물생식에 악영향을 미치지 않는 것

콘크리트 구조물의 설치나 콘크리트를 사용하는 것이 직접 생물에 악영향 (생식장의 파괴 등)을 미치며 이 영향을 저감시키려고 고안된 콘크리트를 에코콘크리트라 불린다.

## 2.2. 환경친화형 콘크리트의 용도 및 적용

### 2.2.1 환경친화형 콘크리트의 용도

#### (1) 우수의 지하침투·저류공법

도시가 아스팔트와 콘크리트로 뒤덮여 우수가 지하로 침투하지 못하게 됨에 따라, 여러 가지 환경문제의 발생이 지적되고 있다. 예를 들면, 도시하천의 범람, 지하수위의 저하, 용수의 고갈과 염수화(바닷물화) 현상, 지반침강, 열선현상 등이다. 이 때문에 최근에는 이들의 문제에 대하여 각종의 노력이 행해지고 있다. 그 하나로써 투수콘크리트에 의한 우수의 지하침투공법을 들 수 있다.

1980년경에 투수콘크리트가 지하침투시설로써 설치되기 시작하여, 그 후 추적 조사와 침투실험에 의해 효과가 확인되어지고 있다. 이 공법에 있어서 투수콘크리트는 탁수가 유입하기 때문에 막히기 쉽다. 거기에서 비교적 입경이 큰 조골재를 사용하여 투수콘크리트의 공극직경을 크게 하여 작은 흙입자가 통과하기 쉽게 하도록 되어 있다. 그렇지만 침투시설 앞에 진흙 저장고를 설치하는 등의 배려가 필요하다. 투수콘크리트의 주변에는 단입도쇄석을 배치하여 효율적으로 저류량과 침투량이 확보할 수 있는 구조로 한다. 또한 투수콘크리트에 의한 현장포장재료의 검토도 같은 시기에 개시되고 있다. 당초에는 고속보행차량에 있어서 시멘트콘크리트 포장의 마모·미끄러짐 저항을 개선시키기 위한 재료의 하나로써 검토가 가해졌다.

노면의 우수를 표층만에 침투시켜 배제하는 아스팔트 배수성 포장이 물뒹김 방지의 안전면과 소음의 저감에 효과가 있는 차도포장으로써 최근에 급속히 시공실적이 늘고 있다. 이 경우 표면배수 외에 포장면보다 5cm정도 낮은 위치에서의 배수가 필요로 되기 때문에 투수콘크리트 블록과 함께 사용되고 있다.

#### (2) 수질정화공법

투수콘크리트의 특징 중 하나로써 다공질인 것에서 표면적이 큰 것이 거론된다. 표면적이 큰 것은 표면에 부착할 식생 플랑크톤, 세균이 보다 많이 부착할 수 있어 수질정화의 측면에서도 유효하다. 하천과 호수 등의 물은 거기서 생식



하는 미생물과 생물의 작용에 의해 유기배수가 흘러들어오 배수 유입 전의 수질로 회복되는 자정작용이라 불리는 기능을 가지고 있다. 그렇지만 가정배수 등이 포함된 다량의 인과 질소원이 호수로 유입됨에 의해 물의 부영양화가 문제로 되고 있고, 환경보전의 입장에서 물의 자연정화작용의 향상 방안이 필요하다. 종래에 행해지고 있는 돌벼락과 목탄 등에 의한 수질정화를 물과의 접촉면적을 많은 투수콘크리트 블록을 사용하여 보다 효율적으로 행해진다고 하는 방식이 실시되고 있다.

또한 폐쇄성 해역에 있어서 적조, 홍조가 빈번히 발생하고 있는데 그 주요 원인은 연안의 콘크리트 구조물의 증대에 의해 모래사장과 간석지 등이 감소하여 자연 정화능력이 감소하였기 때문이다. 이와 같은 해역에 투수콘크리트를 이용하여 다종다양한 해양생물의 서식지를 확보하여, 해양생물의 식물연쇄를 이용하여 해수의 정화를 행하도록 하는 방식도 실시되고 있다.

또한 수초를 재배하여 인과 질소를 흡수하도록 함과 함께 수질정화에 효과가 있는 것이기 때문에 식재용으로써 이용되고 있다. 통상의 콘크리트를 이용하여 원지반과 식재부를 분단하는 구조물을 설치한 경우에는 토양 중의 수분이동이 방해되지만, 투수성이 좋기 때문에 수분의 이동이 분단되지 않고 통상의 지반과 같이 식생이 생육하여, 자연형 공원 등에 있어서 필요이상으로 식물이 번식하는 것을 방지하여 식생의 범위를 제한하는 것이 가능하다.

### (3) 녹화공법

최근 콘크리트에 직접식물을 번식시켜 콘크리트구조물의 경관을 향상시키도록 하는 공법이 크게 주목받고 있다. 녹화기법으로써는 공극에 토양과 종자를 충전시켜, 이 표면에 식물을 살게 하도록 한 것이다.

녹화공법을 실제구조물에 적용할 경우, 살수가 행해지는 상황에 있다면 여러 가지 식물의 식재가 가능하지만, 원래 보수성이 나쁜 재료이면, 식생을 실시할 식물의 종류와 적용할 장소의 선정 및 토양재의 선정이 중요하다. 현재 시험설치 후 6년을 경과한 투수콘크리트 관에서는 당초 식생을 실시한 이외의 식물도 번무하고 있고, 저류지 등의 물과 접하는 표면보호공법에 유용하다고 사료된다.

#### (4) 흡음재

고속도로와 철도에 있어서 차량 및 기계가 일으키는 소음을 감소시키기 위한 흡음재의 하나로써 환경친화형 흡음콘크리트를 이용하도록 하는 방식도 행해지고 있다. 흡음콘크리트의 흡음특성은 600~1,000Hz, 2,500~4,000Hz의 음원에 대하여 70%이상의 흡음효과를 나타내지만, 2000Hz부근의 주파수에 대해서는 흡음률이 40%정도로 되어, 특정 주파수의 음원에 대한 효과를 발연한다. 그러나 유리섬유 등의 흡음재는 흡수하는 것에 의해 현저하게 흡음율이 저하하지만, 흡수콘크리트는 배수성이 양호하기 때문에 흡수의 영향을 거의 받지 않는다. 따라서 옥외에서의 사용에는 적당한 재료라 할 수 있다.

#### 2.2.2 환경친화형 콘크리트의 적용

##### (1) 다공성콘크리트의 사용목적

다공질이고 투수성이 좋은 다공성콘크리트는 통상의 구조용 콘크리트와는 다른 용도·분야에 이용되고 있다.

Table 2.3에 나타난 것처럼, 다공성콘크리트의 사용목적은 환경부하저감(a~b) 및 생태계와의 조화·보호(c~d)에 관한 것이 많다. 예를 들면, 환경 등을 고려한 설계의 관점에서 다공성콘크리트의 성능을 평가하는 데에는 우선 그 사용목적·용도를 정할 필요가 있다. 또한 다공성콘크리트는 용도뿐만 아니라 제조에서 공용 후의 처리에 이를 때까지 극력환경부하를 저감하는 것을 그 특징으로 하고 있다.

Table. 2.3 The using purpose and use of porous concrete

사용목적	용도
a. 물의 제어	우수의 지하침투 · 저류재료
b. 수질정화	폐쇄성 수역의 해수정화재료
c. 흡음, 방음	도로 등에 있어서 흡음재료
d. 식수콘크리트	녹화공법의 하나로써 직접적인 식수가 가능한 재료
e. 생물의 생식	어초 (생물부착/생물보호)

(2) 성능을 파악하기 위한 시험항목의 추출

시험항목을 공통시험항목과 용도·목적별의 특정시험항목으로 분류한다.

① 공통시험항목(압축강도 및 휨강도시험)

다공성콘크리트를 이용한 부재를 제조·운반하여 현지에 설치할 때까지의 과정에서 다양한 하중상태가 생기게 된다. 이들 운반시, 매달을 때, 설치할 때에 있어서 손상을 방지하기 위해서는 적절한 강도를 필요로 한다. 또한 공용기간에 작용하는 열화외력(상재하중, 기상·해상 등에 의한 열화)에 대하여 필요최소한의 저항력을 가질 필요가 있다. 이들의 요구항목은 반드시 높은 강도를 필요로 하는 것은 아니다. 그러나 사용목적에 증시한 나머지 취약한 다공성콘크리트를 이용하면 공용기간이 짧게 될 염려가 있기 때문에, 이들을 방지하기 위해서 압축시험을 행하며, 그 강도를 체크할 필요가 있다고 사료된다. 또한 필요에 대응하여 휨강도에 관해서도 조사할 필요가 있다.

② 특정시험항목

각 용도·목적에 대한 성능을 평가하기 위해서 행하는 것이며. 일반적으로 Table 2.4에 나타난 것처럼, 목적별로 시험항목이 이용되고 있다.

Table. 2.4 The purpose and performance value assessment of porous concrete

목적	성능평가항목
a. 물의 제어	투수계수, 연속공극률
b. 수질정화	투수계수, 연속공극률
c. 흡음, 방음	연속공극률
d. 식생콘크리트	연속공극률, 화학물성

(3) 시험결과와 설계에서의 적용

다공성콘크리트의 성능은 보통 콘크리트와는 매우 달라 그 연장선상에서 성능을 평가하는 것이 부적합한 경우가 많기 때문에 다공성콘크리트가 가져야할 기능을 감안하여 적당한 평가항목을 선정할 필요가 있다.

종래에 이용되고 있는 콘크리트는 일반적으로 구조재료로서의 기능을 보증하

기 위해서 주로 강도나 내구성에 관한 것이다. 한편 다공성콘크리트는 생태계와 조화를 도모하기 위한 기능을 주체로 설계항목을 설정하는 것이 양호한 경우가 있다. 더욱이 용도에 따라서는 경시적인 변화(보통 콘크리트에서는 열화에 해당)에 의해 자연계의 토양에 가까운 상태로 환원되는 경우도 고려된다.

다공성콘크리트의 설계상 위치를 개념적으로 명확히 하기 위해 암반, 구조용 콘크리트, 지반에 대한 비교를 Fig. 2.8에 나타내었다. 강도와 투수성 2차원으로 표현되는 공간에서 다공성콘크리트의 위치는 중간적 영역에 속하며 또한 생물의 생식환경에 일치하는 것을 알 수 있다. 이 그림은 반드시 정확한 것은 아니지만 다공성콘크리트의 특징과 성능을 평가하기 위한 방안을 이해하는 데에 일조할 것이다.

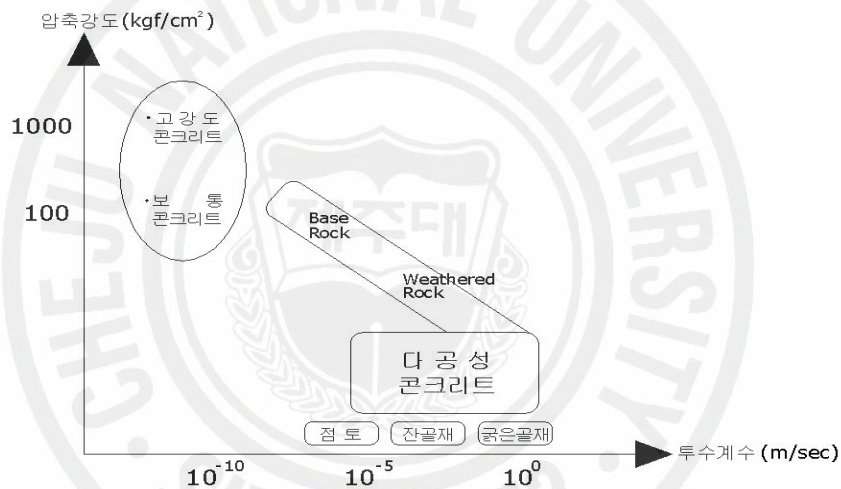


Fig. 2.8 The position of porous concrete

① 설계에 이용되는 지표와 성능과의 관계

다공성콘크리트의 설계에 이용되는 지표로서 압축강도, 투수계수, 공극율이 요구되며, Table 2.5와 같은 상관관계가 있다.

소요의 목적을 만족하기 위해서는 우선 이들의 기본특성을 파라미터한 성능을 파악하여 둘 필요가 있다. 예를 들면, 식생콘크리트에 있어서 공극율과 발아개체수의 관계 등이다. 그러나 사용하는 재료에 의해 성능이 크게 변화하는 경우도 있기 때문에, 사전에 실험에 의해 성능을 확보할 필요가 있다.

Table. 2.5 The planning using an index

설계지표	압축강도	투수계수	공극률
개략치	10~30 Mpa	1cm/sec ~ 10-2 cm/sec	5%~30%

② 시험결과에 관한 고려사항

다공성콘크리트는 통상의 구조용 콘크리트에 비하여 개개의 성능에 대한 편차가 크기때문에 이후, 아래의 각 항목에 대하여 목표로 하는 데이터의 축적이 필요하다.

- 재료시험 데이터의 편차  
재료 자체 및 배합이 가지는 편차의 정도를 파악한다.
- 공시체와 실구조물과의 차이  
공시체를 이용한 시험결과와 실구조물에서의 현지 실측정결과와의 차이를 파악한다.
- 물성의 경시변화  
공용기간 중에 있어서 물성(특히 공극율/투수계수)의 변화를 파악한다.

### 3. 투수콘크리트

#### 3.1 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.

#### 3.2 투수콘크리트의 구조

일반적으로 콘크리트는 굵은 골재의 공극을 시멘트, 물, 잔골재로 혼합된 모르타르로 채우고 있으며 밀실하게 채워질수록 좋은 콘크리트로 평가하지만 투수콘크리트는 모르타르 부분을 최소화하여 콘크리트내부에 투수성을 갖는 콘크리트로서 일명 포러스(Porous)콘크리트 또는 잔골재가 거의 사용되지 않았다 하여 No-Fines Concrete라고도 불린다. Fig.2.9 는 투수콘크리트의 개념도이다.



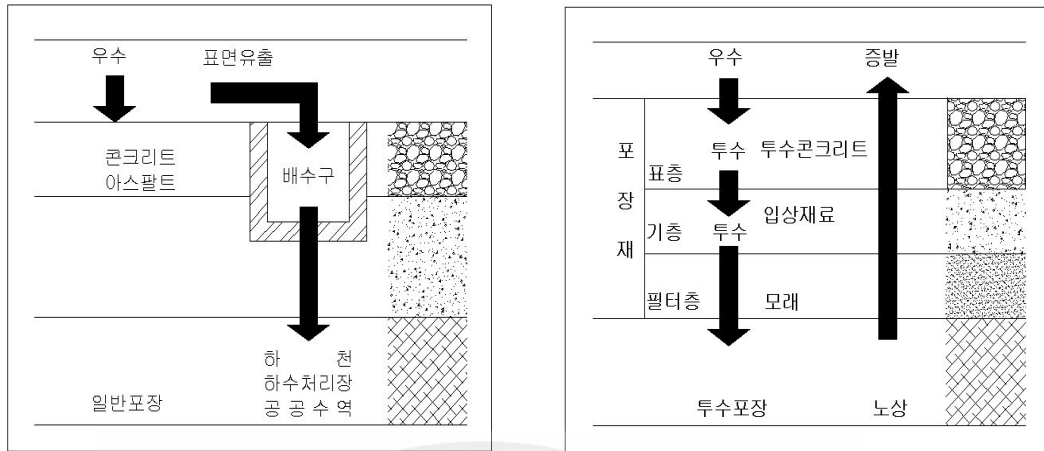


Fig.2.9 The concept map of porous concrete

### 3.3 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 2.6 은 일반적으로 투수콘크리트에 요구되는 물성 값으로서 강도와 공극률과의 조화가 요구되는 콘크리트라 할 수 있다.

Table 2.6 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	$0.3 \text{ kg} \cdot \text{cal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

### 3.3.1 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.



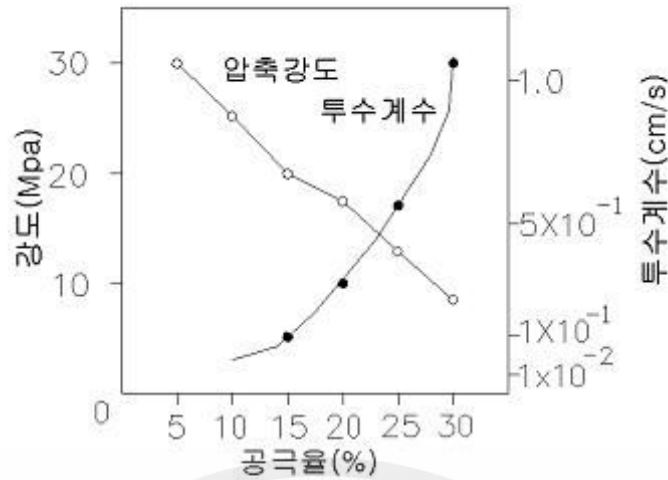


Fig.2.10 Relation between compressive strength and porosity(김선태, 2002)

Fig. 2.10는 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 압축 강도를 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.

### 3.3.2 투수콘크리트의 내구성

투수콘크리트의 내구성에 대한 연구는 현재로서는 활발하게 진행되지 않은 상태지만 내구성에 관한 동결융해 저항성 실험으로 ‘수중동결 수중 융해법’과 ‘공기 중 동결 수중 융해법’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 동결용해 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. 2.11에서 보듯이 단위 시멘트량이 적은 투수콘크리트의 경우 건조 수축 면에서 보통콘크리트의 보통콘크리트에 비하여 약60%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.

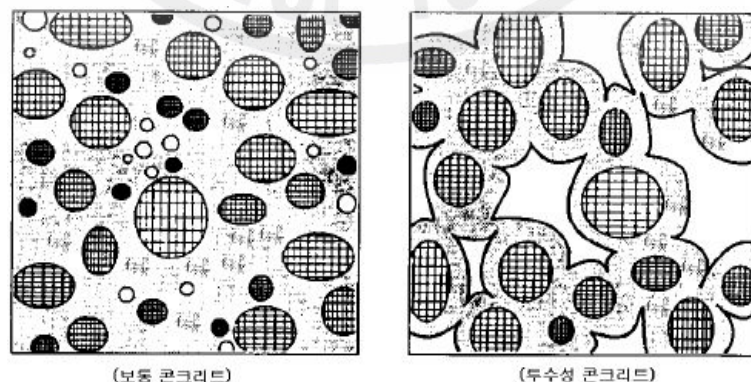


Fig. 2.11 The mimetic diagram of normal and water permeability concrete

### Ⅲ. 시험방법

#### 1. 시험재료

##### 1.1 시멘트

시험에 사용한 시멘트는 국내에서 생산되는 D사 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

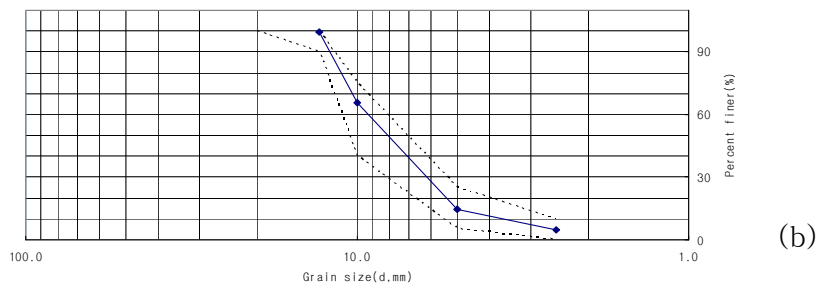
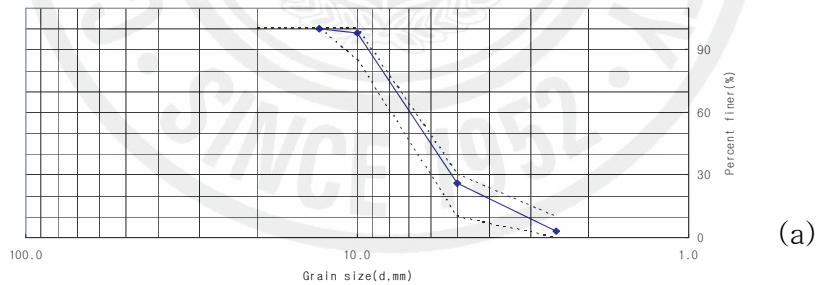
Contents	Physical composition
강열감량 (%)	0.99
밀도( $kg/m^3$ )	2.9~2.95
잔분(>45 $\mu m$ )	2.0 이하
평균입경( $\mu m$ )	10~13
비표면적( $cm^2/g$ )	4,210
모르터의 공기함유량(%)	3.46
비 중	3.04

## 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



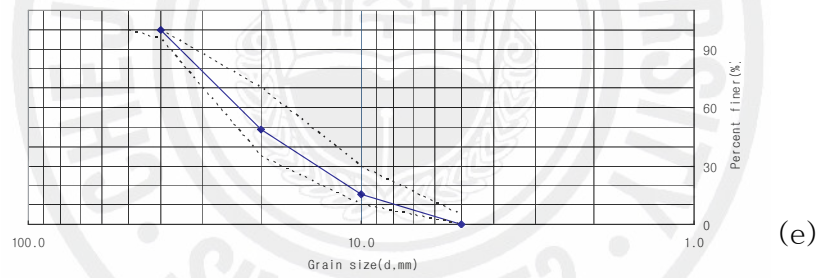
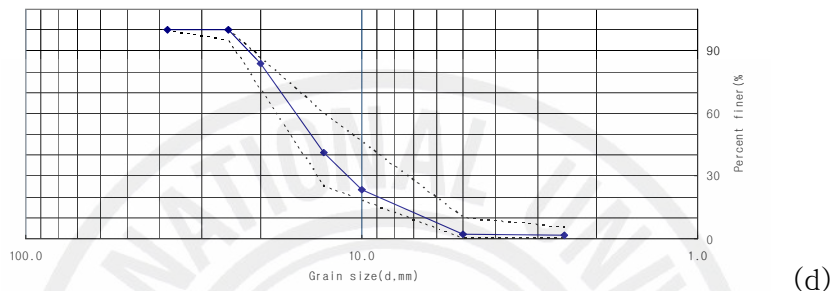
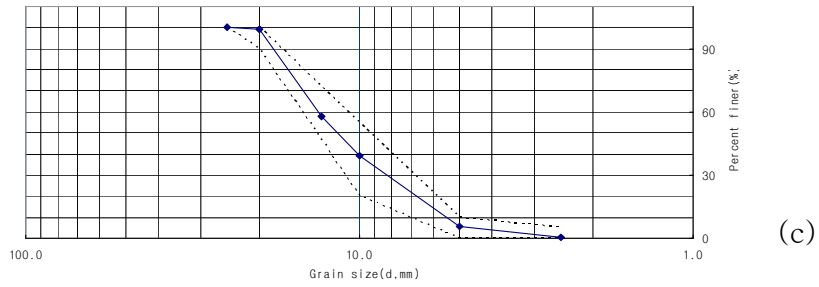


Fig. 3.1 Grain size distribution curve according to aggregate

(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 <sup>3</sup> )
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. 강도시험 및 공극률시험

### 2.1 강도시험

#### 2.1.1 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 쿠션재를 넣어서는 안 된다. 다만 언본드 캐핑에 의한 경우는 제외한다.
- ④ 공시체에 충격을 주지 않도록 똑같은 속도로 하중을 가한다.  
하중을 가하는 속도는 압축응력의 증가율이 매초( $0.6 \pm 0.4$ )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 (3.1)과 같으며, Fig. 3.2는 압축강도시험기이다.

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

$f_c$  = 콘크리트 압축강도(MPa)  
 $P$  = 최대하중(N)  
 $A$  = 공시체의 단면적(mm<sup>2</sup>)



Fig. 3.2 Photograph of compression test

## 2.1.2 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.3.3의 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 (3.2)와 같다.

$$f_b = \frac{Pl}{bh^2} \quad (3.2)$$

$f_b$  = 힘강도(MPa)  
 $P$  = 최대하중(N)  
 $l$  = 지간(mm)  
 $b$  = 파괴단면의 폭(mm)  
 $h$  = 파괴단면의 높이(mm)

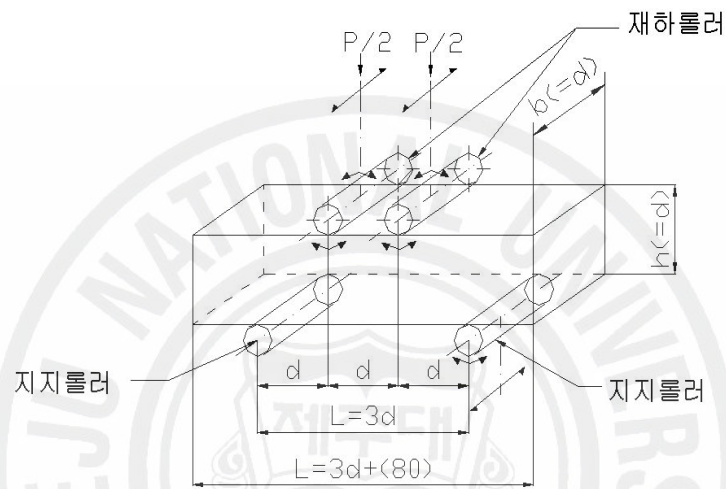


Fig. 3.3 A diagram of flexural strength test

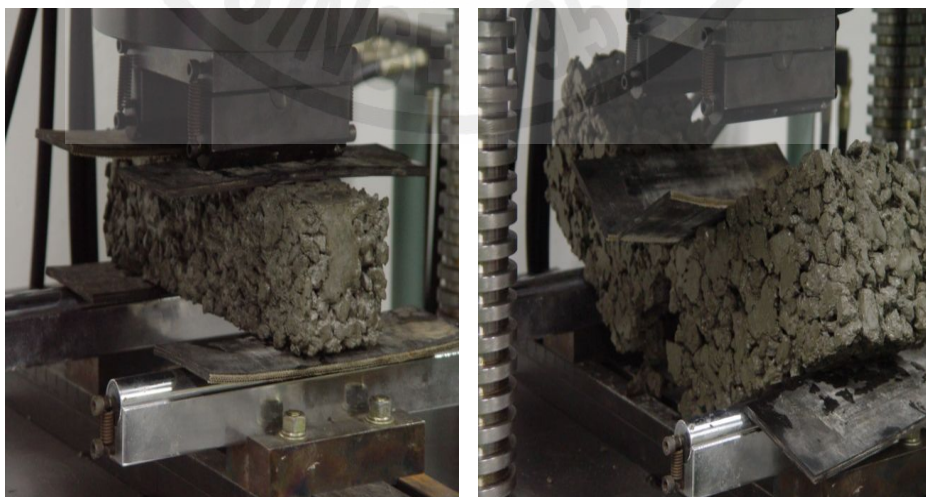


Fig. 3.4 Photograph of flexural strength test

## 2.2 공극률시험

투수콘크리트는 공극의 확보와 더불어 공극이 지닌 특성이 중요하다. 투수콘크리트가 투수성 포장으로 기능을 발휘하기 위해서는 공극은 Fig. 3.5와 같이 연속성과 불규칙성, 그리고 개방형을 확보하고 있어야 투수콘크리트로서의 기능을 수행할 수 있다. 투수콘크리트의 공극은 우수 등이 관통하여야 하므로 공극은 연속적이 되어야 한다. 그러나 연속성만을 위해 공극이 일직선으로 조성되는 경우 포장면의 다른 임의의 하중에 의해 포장층 하부의 재료들이 역류할 우려가 있으므로 반드시 연속적이면서 동시에 불규칙적으로 연결되어야 할 것이다. 공극이 개방형이 되어야 하는 이유는 폐쇄형이 될 경우 지면의 우수를 빠르게 저면으로 흡수할 수 없기에 많은 양의 우수로 인한 물고임 현상 등을 막기 위해서는 개방형 공극이 되어야 할 것이다(최규형, 2005). 그리고 일반적인 불투수성콘크리트 포장은 내부의 공극을 최소화하여 밀실하게 제조하는 반면 투수성콘크리트 포장의 경우, 소요의 투수성을 유지하기 위하여 공극률 15% 정도 및 연속공극률이 최소한 확보되어야 한다는 연구를 발표하였다(문한영, 1999).

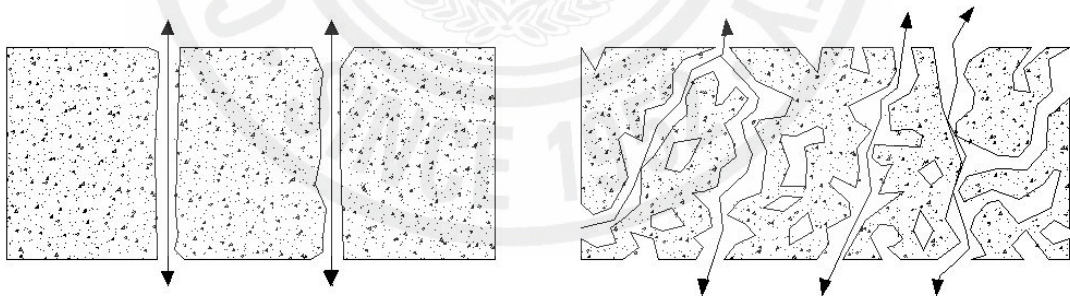


Fig. 3.5 Continuity and irregularity of open pore



### 2.2.1 공극률실험방법

Fig. 3.6과 같이 원주형 공시체의 표면건조상태 중량과 원주형 공시체의 측면과 바닥 면을 완전히 밀봉하고 상부에서 물을 주입하여 공시체를 완전히 포수시킨 중량을 측정하여 식 (3.3)에 의해 계산하였다.

$$P_0 = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \times 100 \quad (3.3)$$

여기서,  $P_0$  : 공극률 (%)

$W_1$  : 공시체 표면건조상태의 중량 (g)

$W_2$  : 공극을 채운 물의 중량 (g)



Fig. 3.6 The production of test piece porosity measurement



Fig. 3.7 Perfect impregnate for a test piece with water



### 3. 투수시험

#### 3.1 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.

##### 3.1.1 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, 연북로, 중앙로, 서사라)에서 노면 위의 시료를 채취해 입도분석한 결과 Table 3.5 와 Fig. 3.8과 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 3.5 Uniformity Coefficient(Cu) and Coefficient of Gradation(Cg)  
in Fields

	제주대	관덕정	연복로	중양로	서사라
Cu	18.89	6.67	16.44	6.43	3.81
Cg	0.55	1.07	1.1	1.03	0.95

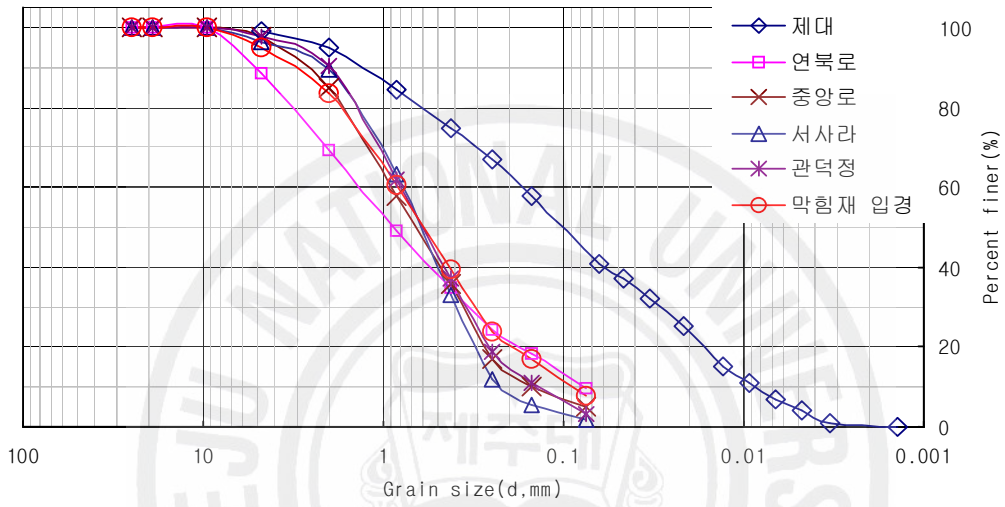


Fig. 3.8 Grain-size distribution curve of samples in Jeju

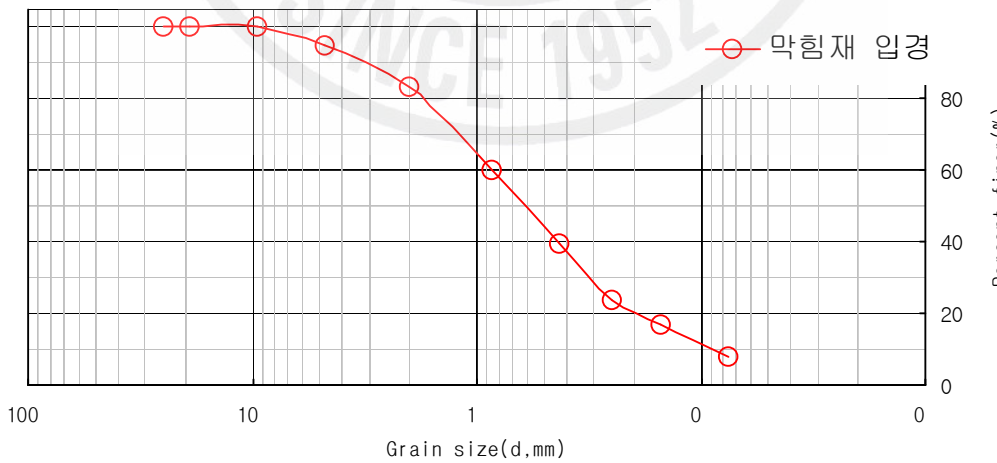


Fig. 3.9 Grain-size distribution curve of the pore-clogging materials

### 3.1.2 공극막힘재량 산정

투수콘크리트의 막힘현상을 재현하기 위해 공극막힘현상은 빗물과 비점오염원이 함께 투수콘크리트 표면으로 유입되어 누적으로 인한 공극막힘이 발생하게 된다고 판단되어 시험 시 투입되는 부유물질량(공극막힘재량) 산정을 위해 최근 보고된 2005년 조은일, 제주지역에 배출되는 비점오염원의 관리방안 연구보고서의 연구 자료를 활용하였다. 보고서의 내용을 간략히 정리하면,

#### 1) 조사지점 및 강우사상

조사지점을 제주시지역 내 분류식 하수관거가 설치되어 강우 시 하수에 의한 영향을 배제할 수 있는 지역 내에서 Table 3.6과 같은 네 개의 지역으로 구분하여 조사대상지역으로 선정하고 Table 3.7과 같은 강우사상들에 대하여 강우유출수의 비점오염원에 대하여 조사를 하였다.

Table 3.6 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 3.7 The rainfall property with rainfall event

강우사상	발생일시	강우량 (mm)	지속시간 (hr)	선행무강우일수 (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 3.8과 같다.

Table 3.8 The sum and SS average concentration on location rainfall runoff (Unit : mg/L)

구 분	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 3.8의 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 (3.4)와 같다.

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

$$P = \text{연평균강수량 (1704.1mm/yr)}$$

$$P_j = \text{강우 보정치}$$

$$C = \text{유출계수}$$

$$(\text{아파트, 단독주거지역 } 0.65, \text{ 공원 } 0.35, \text{ 공업지역 } 0.5)$$

$$EMC = \text{유량가중평균농도} \quad (3.4)$$

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 3.9에 나타내었다.

Table. 3.9 The compute a pore-clogging meterial input

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

### 3.1.3 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. 3.10과 같은 구조로 되어 있으며, Fig. 3.14  $\Phi 15 \times 10 \text{cm}$ 의 투수콘크리트 공시체를 Fig. 3.11과 Fig. 3.12와 같이 제작한 투수시험기를 이용하여 실험하였으며 식 (3.5)에 의해 투수계수를 산정하였다.

$$K = \frac{QL}{Ah(t_2 - t_1)} \quad (3.5)$$

$K$ : 투수계수 ( $\text{cm/sec}$ )  
 $L$ : 시료의 높이 ( $\text{cm}$ )  
 $A$ : 시료의 단면적 ( $\text{cm}^2$ )  
 $h$ : 수두 ( $\text{cm}$ )  
 $Q$ : ( $t_2 - t_1$ )시간내에 월류한수량 ( $\text{cm}^3$ )

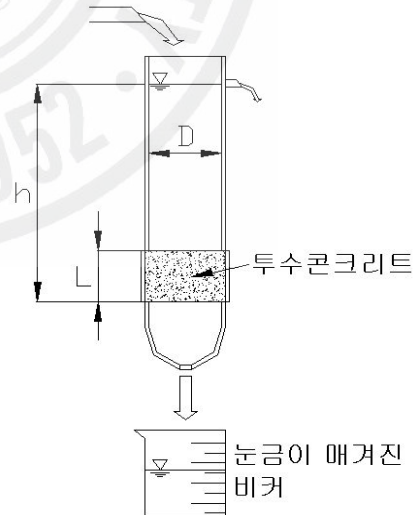
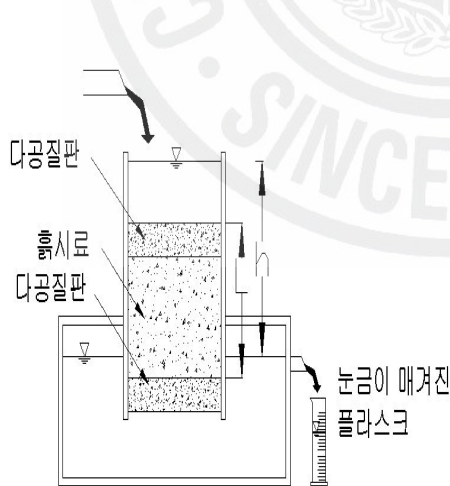


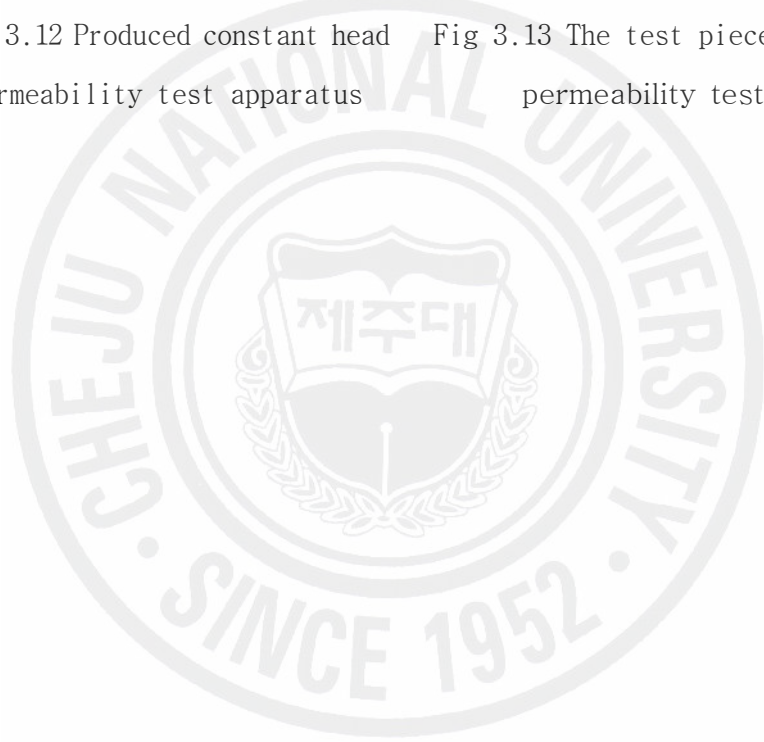
Fig. 3.10 The diagram of constant head permeability test apparatus

Fig. 3.11 Produced constant head permeability test apparatus





Fig. 3.12 Produced constant head permeability test apparatus      Fig 3.13 The test piece of permeability test



### 3.2 현장투수시험

현장투수시험은 현장여건상 변수위투수시험을 행하였고 변수위투수시험은 다져진 점토와 같이 투수성이 작은 시료에 대하여 행한다. Fig. 3.14는 현장변수위투수시험기의 모식도이고 투수계수의 산정은 식 (3.6)을 이용하여 구한다.

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

$$K = 2.3 \frac{aL}{AT} \cdot \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad (3.6)$$

- $K$ : 투수계수 ( $cm/sec$ )
- $a$ : 몰드의 단면적 ( $cm^2$ )
- $L$ : 투수콘크리트의 두께 ( $cm$ )
- $A$ : 시료의 단면적 ( $cm^2$ )
- $h_1$ : 측정개시수위 ( $cm$ )
- $h_2$ : 측정종료수위 ( $cm$ )
- $T$ : 시험동안 측정된 시간 ( $sec$ )

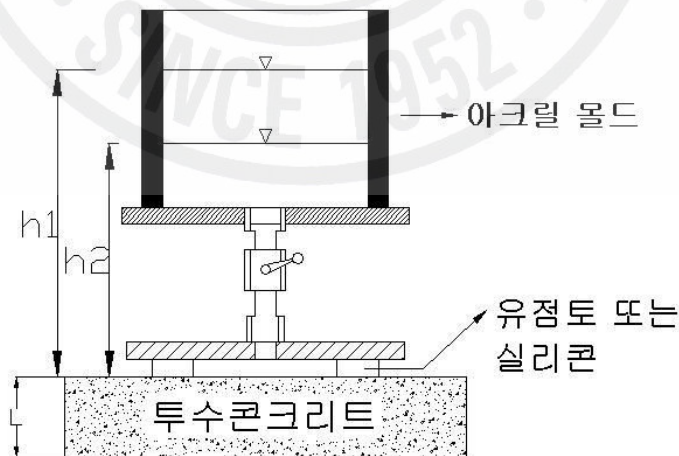


Fig. 3.14 A diagram of variable head permeability test apparatus in field

## IV. 시험결과

### 1. 강도시험과 공극률시험

#### 1.1 강도시험

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. 4.1과 같은 결과를 얻었으며 골재 최대치수 10mm, 13mm, 19mm, 25mm의 공시체는 소요압축강도 18MPa이상을 만족하였고, 골재 최대치수 10mm인 공시체의 재령 28일 압축강도는 18.1MPa로 기준에 약간 상회하였고, 13mm인 공시체의 재령 28일 압축강도는 19.4MPa이고, 19mm인 공시체의 재령 28일 압축강도는 20.2MPa이고, 골재 최대치수 25mm인 공시체의 재령 28일 압축강도는 약 21.4MPa로 소요압축강도보다 약 3MPa정도 더 크게 나타났다.

휨강도는 Fig. 4.2와 같은 결과를 얻었으며 골재 최대치수 10mm, 13mm, 19mm, 25mm의 공시체는 소요휨강도 4MPa이상을 만족하였고 골재 최대치수 10mm인 공시체의 재령 28일 휨강도는 5.5MPa이고, 13mm인 공시체의 재령 28일 휨강도는 5.7MPa이고 19mm, 골재 최대치수 25mm인 공시체의 재령 28일 압축강도는 각각 5.7MPa, 6.7MPa의 강도를 나타냈다. 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.

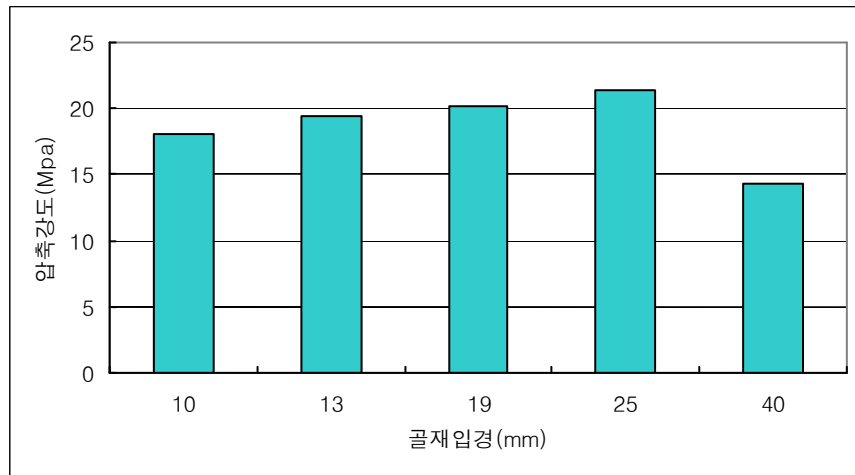


Fig. 4.1 The result of compressive strength

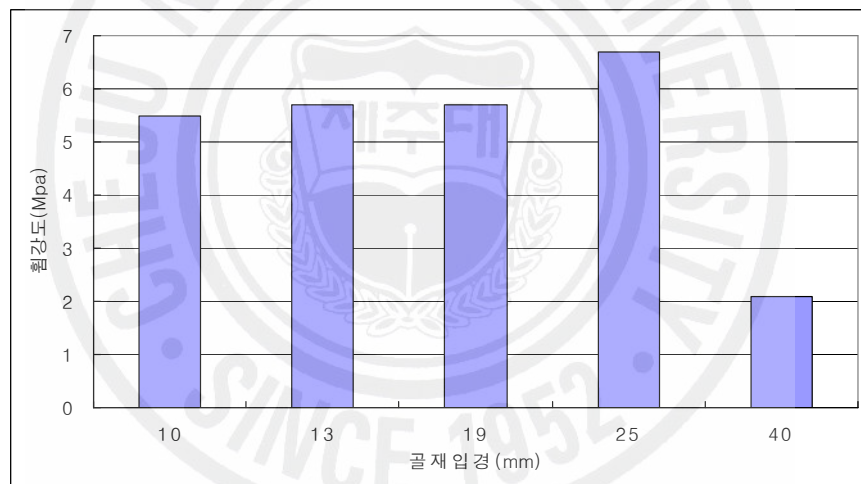


Fig. 4.2 The result of flexural strength

굵은 골재치수별 압축강도 및 휨강도는 Fig. 4.3에서처럼 40mm골재를 제외하고는 10mm, 13mm, 19mm, 25mm골재 전부가 인도 및 자전거 도로에서 요구하는 구조체로서의 시방기준(압축강도 18MPa이상, 휨강도 4MPa이상)을 기준치 이상으로 만족하므로 일반적으로 사용되는 13mm골재 외에 19mm, 25mm의 골재도 투수콘크리트로서 사용에 무리가 없고 골재가 커질수록 노출면이 거칠어진

다는 단점을 가지고 있으나 투수콘크리트층 위에 공극을 갖는 탄성층으로 된 2층 구조의 투수성포장일 경우 노출면이 탄성층이므로 단점을 충분히 보완할 수 있다.

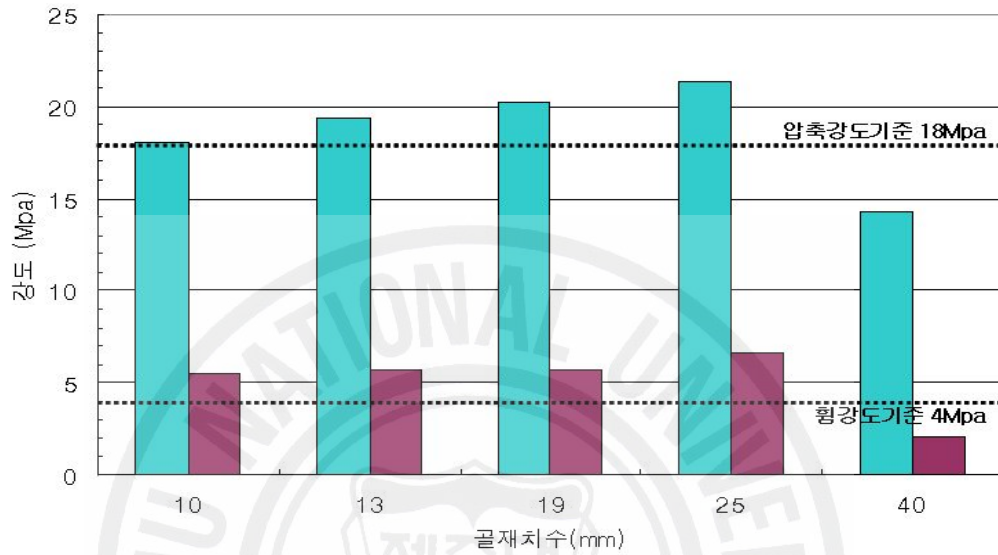


Fig. 4.3 The result of compressive strength and flexural strength with aggregate

## 1.2 공극률시험

Fig. 4.4와 Table 4.1은 골재 치수별 공극률 시험결과로 10mm골재의 공시체는 공극률은 18.9%로 가장 낮은 결과를 보이고, 13mm골재의 공시체는 공극률은 20.5%, 19mm골재의 공시체는 공극률 22.3%의 결과를 보이고 25mm의 공시체는 공극률 24.6%로 가장 높은 결과를 보였다. 이는 공극률이 커질수록 투수 계수 값도 커지는 결과와 상응하고, 단입도 골재의 경우는 공극률이 증가할수록 압축강도가 저하된다는 연구결과가 보고되었는데 시험에 사용된 골재는 네 종류의 다른 입도를 가지는 골재이므로 연구결과의 적용은 적절하지 않다.

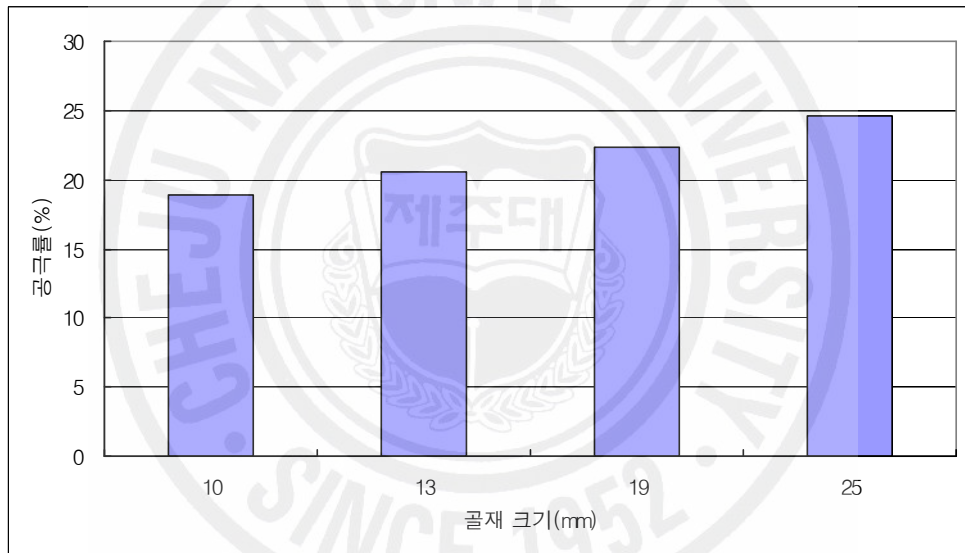


Fig. 4.4 The result of porosity test with aggregate

Table 4.1 The result of porosity test with aggregate

	10mm	13mm	19mm	25mm
공극률(%)	18.9	20.5	22.3	24.6



## 2. 공극막힘시험

시험방법에서 산정된 막힘재를 이용하여 1회 투입농도 0.27g/L, 0.80g/L, 1.07g/L, 1.61g/L를 각각 투수콘크리트로 일반적으로 사용되는 13mm 입경의 투수 시험체에 누적 통과시켜 막힘재의 농도에 따른 시험체의 투수계수 값을 산정하고 막힘현상을 재현해 보았다.

본 연구에서는 투입되는 막힘재농도를 개월(Month)로 표현하여 투수계수와 비교 하였으며, 투수성 포장의 시공 시 투수계수는  $10^{-2} \text{cm/sec}$  이상을 기준으로 하므로 본 연구에서도 투수계수  $10^{-2} \text{cm/sec}$ 을 투수성 포장의 수명한계로 보았다.

투수시험체에 막힘재를 1회 투입 농도 0.27g/L로 누적 통과 시켰을 때, 총67회 누적 통과 실시한 결과, 수명한계는 공극막힘재 투입에 따라 서서히 감소하여 약 37.5개월의 한계를 보였다.

투수시험체에 막힘재를 1회 투입 농도 0.80g/L로 누적 통과 시켰을 때, 총19회 누적 통과 실시한 결과, 수명한계는 약 24개월의 한계를 보였다.

투수시험체에 막힘재를 1회 투입 농도 1.07g/L로 누적 통과 시켰을 때, 총13회 누적 통과 시킨 결과 수명한계는 급격히 감소하여 약 20개월의 한계를 보였다.

투수시험체에 막힘재를 1회 투입 농도 1.61g/L로 누적 통과 시켰을 때, 총7회 누적 통과 시킨 결과 수명한계는 급격히 감소하여 약 11개월의 한계를 보였다.

시험결과는 Fig 4.5 에 나타내었으며, 현장입경의 막힘재를 사용한 결과이다.

더 작은 입경을 사용하면 투수성 수명의 한계치가 다른 결과를 보일 것으로 사료된다.

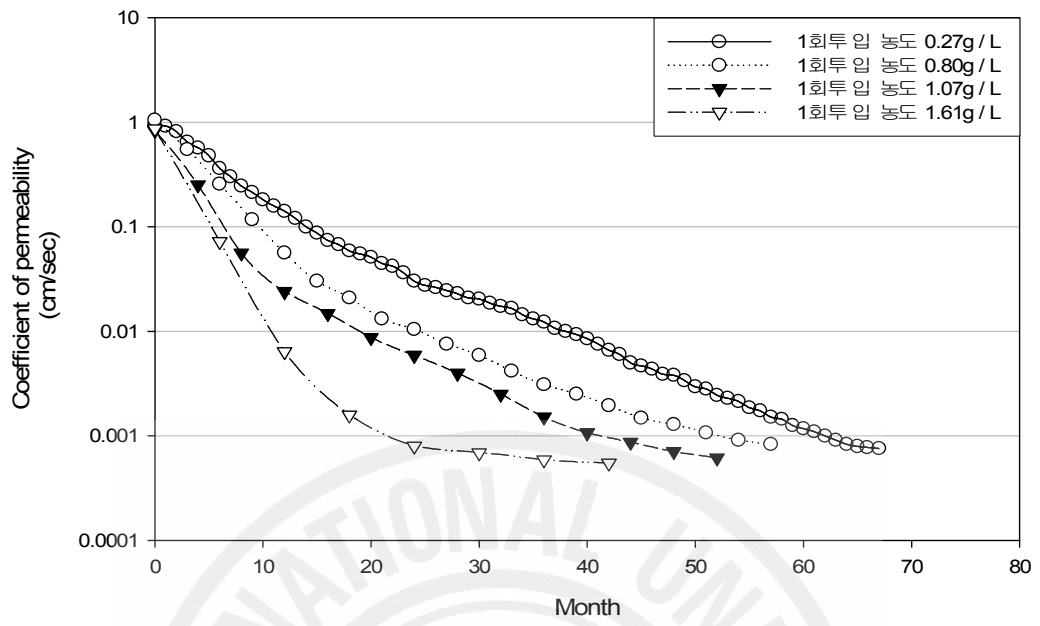


Fig. 4.5 The result of pore-clogging test with field grain size

### 3. 현장투수시험

시험대상지역은 투수콘크리트가 시공된 제주지역 37곳에서 실시하였으며, Table 4.2 에 나타내었다. 시험결과는 시공 년수(사용기간)와 현장 변수위험을 통해 측정된 현장 투수계수 값을 이용하여 그래프로 나타내었으며 Fig. 4.6과 같다. 투수성포장 시공 시 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 4.2 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	곽 지	13	연복로(1)	22	귀 덕	31	제주FC 숙소 입구
5	한림초등학교	14	연복로(2)	23	고산 환경체육관	32	관광고 맞은편
6	안덕계곡	15	서귀포이마트주 차장입구	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	중문하나로마트 마트	27	월드컵경기장	36,37	제주여고, 해안도로

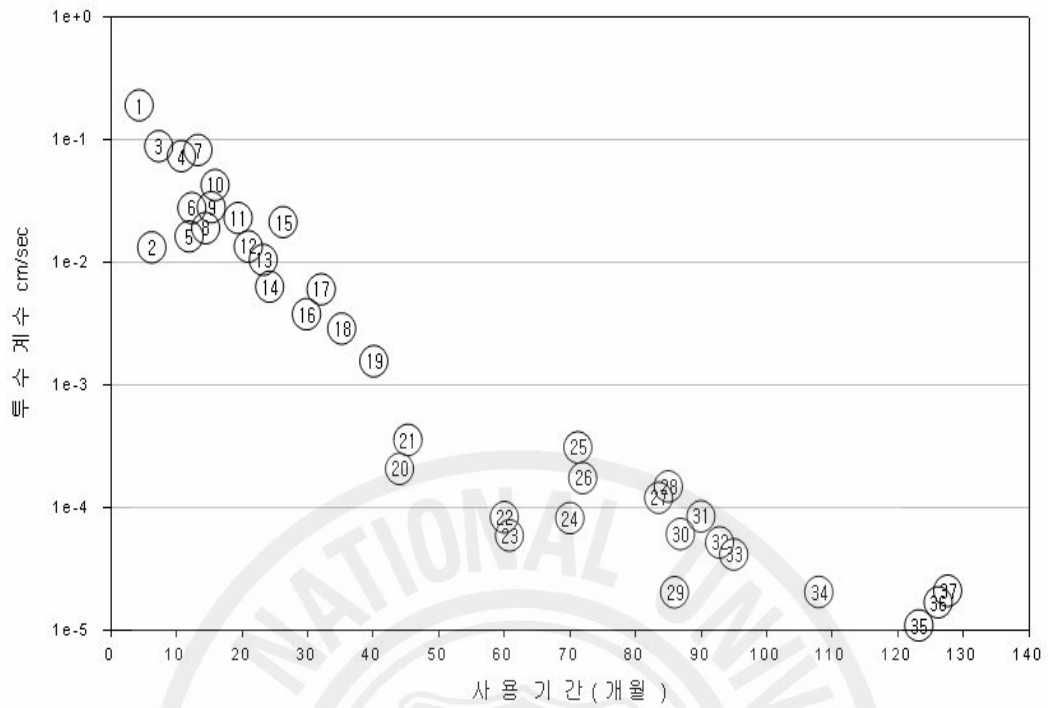


Fig. 4.6 The result in field permeability test



Fig. 4.7 Photograph of permeability test in field

#### 4. 공극막힘시험과 현장시험 비교

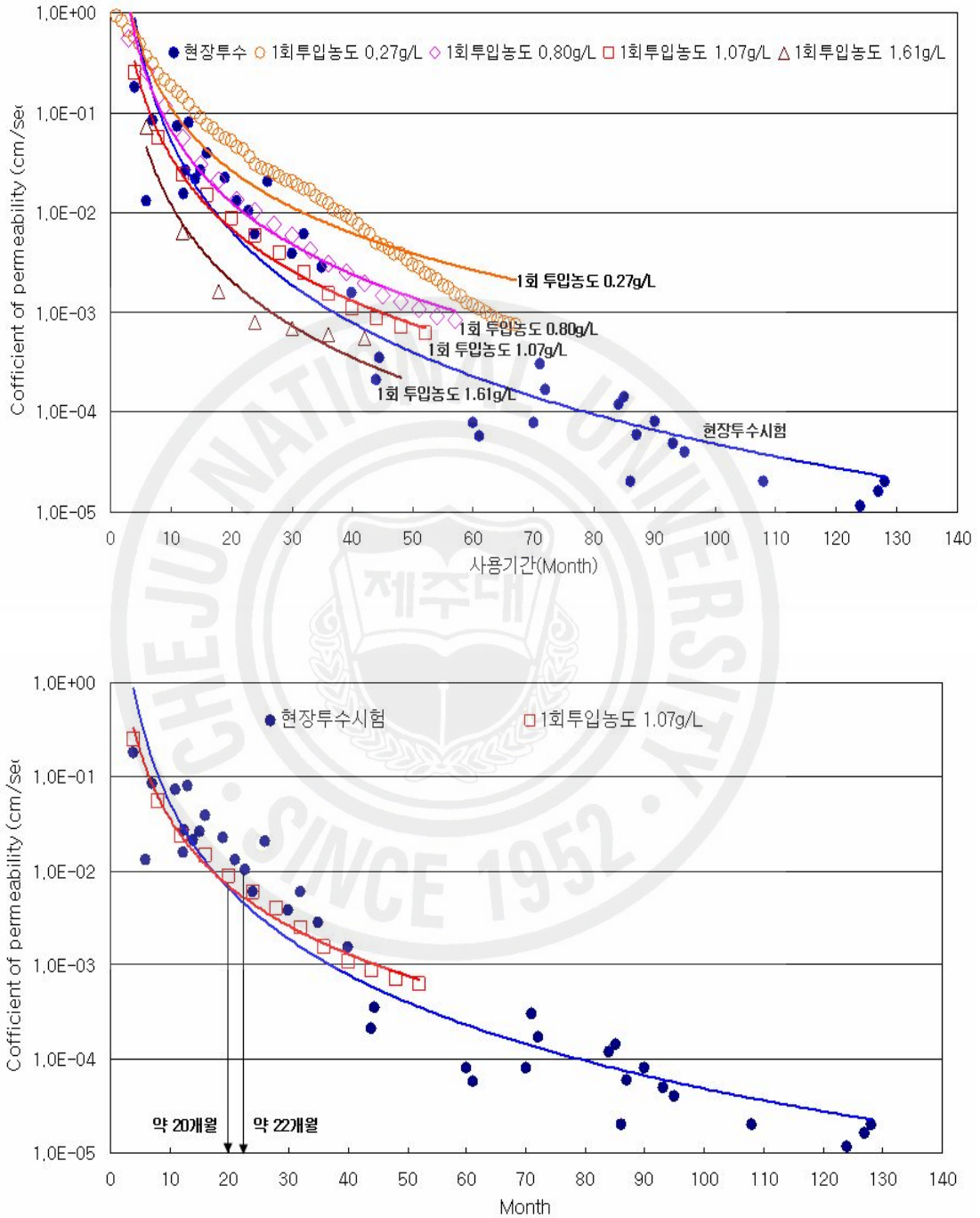


Fig. 4.8 The make a comparison between pore-clogging test and in field permeability test



Fig 4.8 은 본 연구에서 실시한 공극막힘시험 결과와 현장 시험과의 유사성을 찾기 위해 비교한 결과, 투수시험체에 1회 통과시키는 막힘재의 농도를 1.07g/L로 총 13회 누적 투수시킨 경우, 수명한계가 현장시험에서의 수명한계와 거의 일치한 결과를 보였다

공극막힘시험과 현장시험의 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 4.9와 같은 결과를 나타내었다.

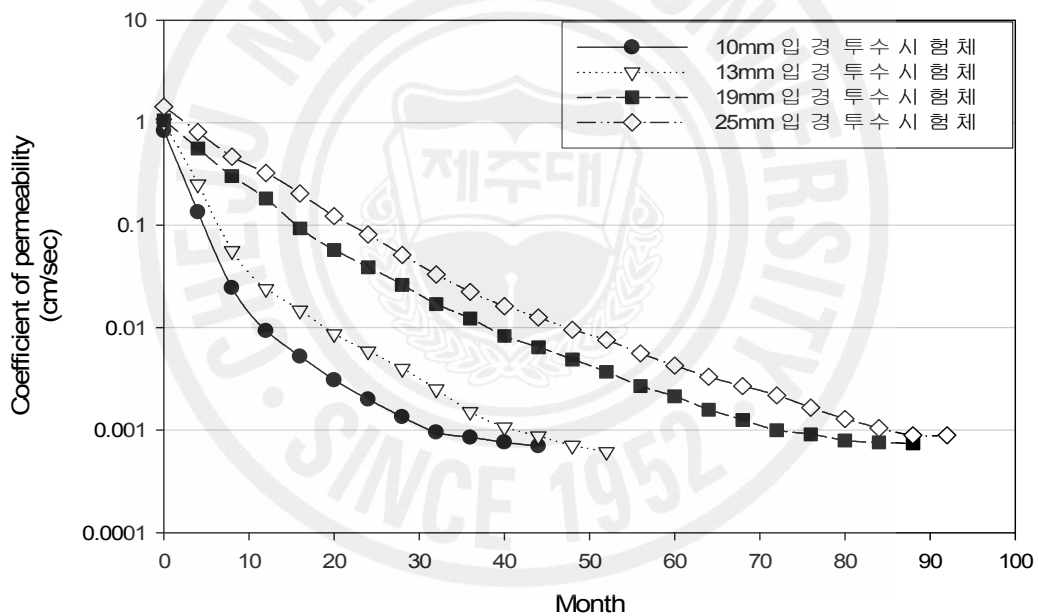


Fig. 4.9 The result of aggregate size in accordance with coefficient of permeability

본 시험에서도 동일하게 투수계수  $10^{-2} \text{ cm/sec}$ 을 투수성 포장의 수명한계로 보았다.

10mm 입경 골재의 투수시험체는 막힘재를 1회 1.07g/L로 총 11회 누적 통과 실시한 결과, 막힘재의 투입에 따라 급격하게 투수계수가 감소하여 수명한계는



약 12개월의 한계를 보였다.

13mm 입경 골재의 투수시험체는 막힘재를 1회 투입농도 1.07g/L로 총 13회 누적 통과 실시한 결과, 수명한계는 약 19개월의 한계를 보였다.

19mm 입경 골재의 투수시험체는 막힘재를 1회 투입농도 1.07g/L로 총 22회 누적 통과 실시한 결과, 수명한계는 약 38개월의 한계를 보였다.

25mm 입경 골재의 투수시험체는 막힘재를 1회 투입농도 1.07g/L로 총 24회 누적 통과 실시한 결과, 수명한계는 약 48개월의 한계를 보였다.

집중호우 등 순간적으로 많은 양의 비가 내려 유출량이 많은 경우를 고려한 막힘현상을 재현하기 위해 막힘재를 1회 투입농도 1.61g/L으로 정하고, 골재입경이 각기 다른 10mm, 13mm, 19mm, 25mm 투수시험체에 동일한 방법으로 공극막힘시험을 실시하여 Fig 4.10과 같은 결과를 나타내었다.

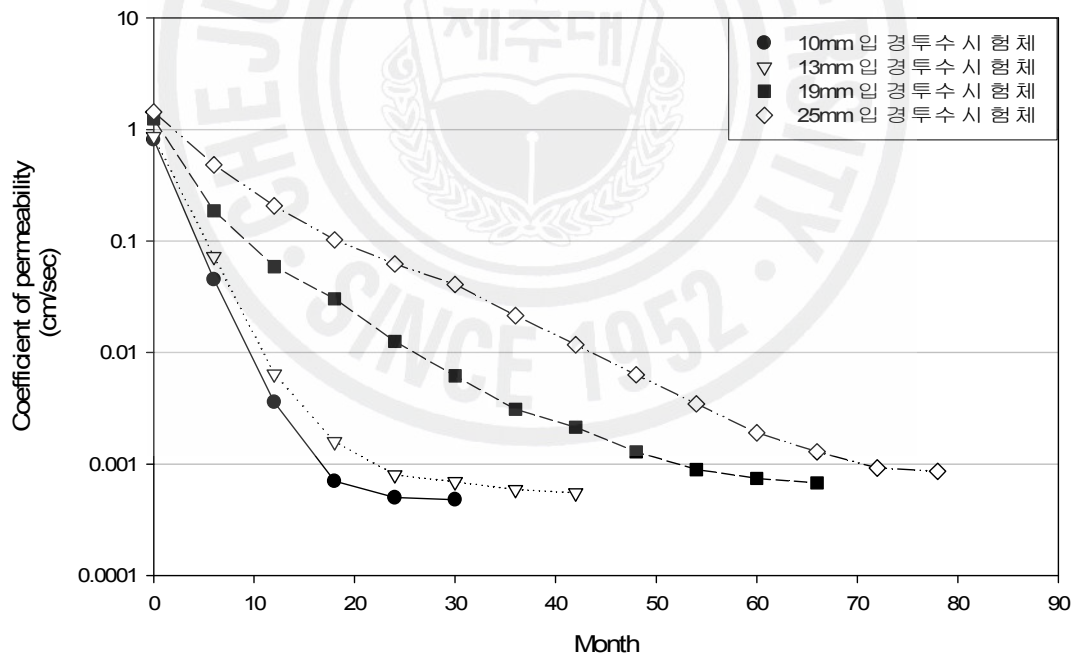


Fig. 4.10 The result of aggregate size in accordance with coefficient of permeability

10mm 입경 골재의 투수시험체는 막힘재를 1회 투입농도 1.61g/L로 총 5회 누적 통과 실시한 결과, 수명한계는 약 10개월의 한계를 보였다.

13mm 입경 골재의 투수시험체는 막힘재를 1회 투입농도 1.61g/L로 총 7회 누적 통과 실시한 결과, 수명한계는 약 11개월의 한계를 보였다.

19mm 입경 골재의 투수시험체는 막힘재를 1회 투입농도 1.61g/L로 총 11회 누적 통과 실시한 결과, 수명한계는 약 26개월의 한계를 보였다.

25mm 입경 골재의 투수시험체는 막힘재를 1회 투입농도 1.61g/L로 총 13회 누적 통과 실시한 결과, 수명한계는 약 44개월의 한계를 보였다.

투수콘크리트의 중요한 기능적 요소는 투수성이다. 투수성으로 투수콘크리트의 수명을 이야기하여도 무리가 없다고 사료되며 위 결과로부터 25mm 골재입경의 경우 13mm 골재입경보다 2.5배 이상의 수명을 보였다. 투수콘크리트는 일반적으로 13mm입경의 골재를 사용하는데 13mm골재보다 수명이 긴 25mm골재의 사용이 적절하다고 판단된다.

그리고 투수콘크리트의 장점들로 인해 투수콘크리트 포장면이 지속적으로 늘어나고 있지만 아직 국내에는 유지관리 시스템이 정착되지 않아 시공 후 몇 개월만 지나면 투수성 원래의 기능을 상실하여 불투수성포장과 다를 바 없게 된다. 조속히 유지관리 체계를 구축하여 사용취지를 살려야 할 것으로 사료된다.

## 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 실내시험을 통해 공극막힘현상을 재현해 보았으며, 제주지역에 시공 된 투수콘크리트를 사용 기간과 투수계수를 이용하여 그래프를 산정하고 실내 공극막힘시험과 비교 분석해 보았다. 본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

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

2. 현장투수시험과 공극막힘현상의 비교를 통하여 각 골재들의 투수성 수명한계를 분석한 결과 13mm골재의 투수시험체에 비해 19mm골재의 투수시험체는 약 2배 그리고 25mm골재의 투수시험체는 2.5배 길게 추정되었다.

3. 현장투수시험과 공극막힘현상의 비교를 통하여 집중호우등 순간적으로 많은 비가 내려 유출량이 많은 경우를 재현하여 각 골재들의 투수성 수명한계를 분석한 결과 13mm골재의 투수시험체에 비해 19mm골재의 투수시험체는 약 2.3 배 그리고 25mm골재의 투수시험체는 4배 길게 추정되었다.

4. 현장 투수시험을 통하여 제주지역에 시공되어 있는 투수콘크리트의 수명한계를 약 22개월로 추정하였으며 대부분이 사용기간이 오래되었고 유지관리가 되지 않기 때문에 공극이 막혀 투수성포장으로서의 기능을 상실함을 확인하였다.

5. 투수콘크리트는 일반적으로 13mm골재를 사용하는데 13mm골재보다 수명이 긴 25mm골재의 사용이 적절하다고 판단되고, 25mm골재의 사용 시 골재가 커질수록 노출면이 거칠어진다는 단점을 가지고 있으나 투수콘크리트층 위에 공극을 갖는 탄성층으로 된 2층 구조의 투수성포장일 경우 단점을 충분히 보완할 수 있다.



## 참고문헌

- 김선태, 2002, 투수성 포장공법의 시공실태 및 개선방안에 관한연구, 한양대학교 석사학위논문, pp.
- 김승현, 2007, 투수성 탄성포장재의 투수성 향상 및 친환경적 개발에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, pp.
- 김현서, 2004, 잔골재를 사용한 포러스콘크리트의 공극률과 투수계수에 관한 연구, 영남대학교 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
- 서범석, 2002, 고성능 투수콘크리트의 역학적 특성, 공주대학교 산업대학원 석사학위논문, pp.7-20
- 오세중, 2007, 도시지역 하수관거 월류수에 의한 비점오염원의 유출특성에 관한 연구, 진주산업대학교 석사학위논문, pp. 33-35
- 오현수, 홍영근, 2007, 투수성도로 포장재의 내구성 향상에 관한 연구, 엘라스토머, Vol. 42, No. 2, pp.93-101pp.111-121
- 이재웅, 여운광, 심재현, 강태호, 2001, 투수성 포장재를 사용한 호우시 우수유출 저감효과 분석, 대한토목학회논문집, Vol.21, No.6B, PP.645-654
- 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

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





## 감사의 글

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

그리고 논문 심사과정에서 세심하게 검토하고 지적해 주신 김상진교수님을 비롯한 김남형교수님, 양성기교수님, 박상렬교수님, 이병걸교수님, 이동욱교수님 등 여러 교수님들께도 삼가 머리숙여 감사드립니다.

돌이켜 보면, 배움의 길을 걷기에 직장인이 시간적 한계를 극복하고 학업에 정진한다는 것은 결코 쉬운 일이 아니었습니다만, (주)웅진건설 송승천 사장님께서 늘 각별한 애정으로 채찍하고 성원해 주셨기에 이 논문이 좋은 결실이 될 수 있었습니다. 사장님께서 베풀어 주신 사랑 평생 마음속 깊이 간직하리라 다짐하면서 진심으로 고마운 말씀 드리고 싶습니다.

또한 본 논문이 완성되기까지 많은 시간과 노력을 함께 해준 지반공학연구실 김태건님을 비롯한 김승현님, 홍종완님, 강영민님, 이창선님 등 모든 분들께도 감사드립니다.

그리고 대학원 과정을 보람있고 활기차게 보낼 수 있도록 항상 따뜻하게 배려해준 9기원우, 10기동기원우, 11기원우 등 여러 선후배님들께도 진심으로 감사드리며, 여러분들과의 끈끈한 우정을 영원히 함께하기를 소망합니다.

또한 넉넉지 못한 삶의 고비마다 용기를 잃지 않도록 따뜻한 정으로 힘과 용기를 북돋아 주신 지역 선후배, 직장동료 등 주변 모든 분들께도 이 글을 통하여 머리 숙여 고마운 말씀 드립니다.

끝으로 때늦은 나이에 학문의 길을 갈 수 있도록 힘과 용기를 주신 아버지, 어머니와 장인, 장모님 그리고 한결 같은 사랑으로 뒷바라지에 헌신해준 사랑하는 아내 정희, 그리고 선희, 성현, 미선, 우리가정의 영원한 희망이요 보배인

진혁이와 진석이 등 사랑하는 가족과 함께 이 조그만 결실의 기쁨을 나누고자 합니다.

2008년 7월

이용남 올림

- 서로 도우면서 살아간다는 것을 보람이라 여기고 항상 성실하고 노력하는 사람이 되겠습니다. -

