

## 송이를 이용한 친환경적인 투수성 보도블럭 개발

주관연구기관	제주대학교
연구책임자	남정만
발행년월	2007-12
주관부처	중소기업청
사업관리기관	중소기업기술정보진흥원
NDSL URL	<a href="http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201100008642">http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201100008642</a>
IP/ID	14.49.138.138
이용시간	2017/11/03 10:31:40

### 저작권 안내

- ① NDSL에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, KISTI는 복제/배포/전송권을 확보하고 있습니다.
- ② NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 상업적 및 기타 영리목적으로 복제/배포/전송할 경우 사전에 KISTI의 허락을 받아야 합니다.
- ③ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 보도, 비평, 교육, 연구 등을 위하여 정당한 범위 안에서 공정한 관행에 합치되게 인용할 수 있습니다.
- ④ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우 저작권법 제136조에 따라 5년 이하의 징역 또는 5천만 원 이하의 벌금에 처해질 수 있습니다.

## 『산학연 공동기술개발컨소시엄사업』 개 발 결 과 의 견 서

◆ 주관기관(대학/연구기관) : 제주대학교 산학협력단

개발과제명	송이를 이용한 친환경적인 투수성 보도블록 개발		
사업비	과제개발비	집행 내역	
		계	현금
주관기관 과제책임자	소속 : 토목환경공학전공 직위(급) : 교수      성명 : 남 정 만		
개발결과  (과제책임자 작성)	가) 공정개선 실적(개선내용 요약 작성) ○ ○		
	나) 특허(실용신안, 의장 등)출원 및 등록 : 2건(진행중) ① 출원(등록)명 및 번호(출원일자) : ② 출원(등록)명 및 번호(출원일자) : ※ 지적재산권명 및 출원, 등록 구분은 명확히 하고 건별로 모두 작성		
	다) 시제품 제작 및 상품화 실적 ○ 기존의 투수성 보도블록에 송이 및 석분슬러지를 첨가한 시제품 제작		
	라) 기타 실적(신기술로 인정될 수 있는 각종 품질인증 마크 획득건수 및 내용) ○ ○		
◎ 개발목표 달성도에 대한 종합의견(참여기관 대표가 작성)			
개발목표	○ 자연재료인 송이를 다양한 방법으로 활용 할 수 있는 방법개발 ○ 석분과 같은 폐기용 슬러지를 재료로 사용함으로써 기업에 도움 ○ 송이와 석분을 첨가 함으로써, 탈취와 악취제거		
개발목표달성에 대한 종합의견 (□에√로 표기 하고 의견 작성)	<input checked="" type="checkbox"/> 매우 만족 <input type="checkbox"/> 만족 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡 <input type="checkbox"/> 불만족		
	제주에서 자연재료인 송이와 석분으로 다양한 기술개발에 우리 기업에 많은 도움이 될것 같다.		
확 인	업체명 : (주)한라환경    직위(급) : 대표이사    성명 : 오태흠 (인)		

## 『산학연 공동기술개발컨소시엄사업』 최 종 보 고 요 약 서 ( 초 록 )

과 제 명	송이를 이용한 친환경적인 투수성 보도블록 개발		주관기관명	제주대학교 산학협력단	
참여기업명	(주)한라환경		대표자	오 태 흠	
전화번호			E-mail		
과제책임자	소 속	직 위	성 명	전 화	
	토목환경공학전공	교수	남정만	E-mail	
협약기간	2007년 7월 1일 ~ 2007년 12월 31일				
사 업 비	과제개발비	집행 내역			
		계	현금	현물	

### 1. 최종목표

페타이어를 이용한 투수성 보도블록에 첨가제로 자연재료인 송이와 재활용 재료인 석분슬러지를 혼합함으로써 중금속 오염원을 저감시키고, 송이와 석분슬러지에서 방출하는 원적외선과 탈취효과를 이용하여 친환경적인 보도블록 제품을 생산하였다.

### 2. 개발내용 및 결과

#### ○ 개발 내용

기존의 페타이어를 이용한 투수성 보도블록은 인체에 유해한 성분이 검출되어 이에 인체에 무해하고 제주도내에서 용이하게 확보될 수 있는 자연재료인 송이와 재활용할 수 있는 석분슬러지를 혼합하여 중금속 오염원을 저감시킬 수 있는 블록을 제작하고자 한다.

#### ○ 결과

기존의 페타이어를 이용한 투수성 보도블록의 경우 Cu가 0.2012ppm, Pb이 5.8460ppm, Cr이 0.0843ppm, Cd이 0.0945ppm 검출되었다. 이러한 보도블록에 송이나 석분슬러지를 혼합하여 중금속 검출량을 측정된 결과 Cu, Cr, Cd의 경우 모두 제거되었고 Pb의 경우 첨가제의 혼합비율을 5%로 혼합시 약 3.5ppm 까지 감소함을 볼 수 있었다.

### 3. 사업성과

#### ○ 기술적 성과

- 폐기물인 폐타이어를 재활용 할 수 있는 기술의 개발
- 송이의 역학적 성질을 이용하여 친환경적인 투수성 보도블록을 개발함으로써 환경오염을 줄일 수 있는 기술 개발
- 지하수의 의존도가 높은 제주도 지역에 적합한 제품의 기술 개발
- 자연재료인 송이를 다양한 방법으로 활용할 수 있는 기술의 개발

#### ○ 경제적 성과

- 산업 폐기물인 폐타이어의 가공 재활용
- 제주 지역에 널리 분포되어 있는 재료의 사용으로 원가 절감
- 자연 재료를 사용함으로써 지하수 오염의 최소화
- 제주 지역에 분포하는 송이를 이용한 제품의 개발로 제주도만의 브랜드화
- 석분과 같은 재활용 재료를 사용함으로써 관련 기업들의 활성화

#### ○ 활용 성과

- 폐타이어에 송이를 접목한 보도블록의 개발로 지하수 보존에 탁월한 친환경적인 보도블록 개발
- 폐타이어 및 석분 슬러지의 재활용으로 환경 오염 최소화
- 제주 지역에 분포하는 송이를 이용하여 인체에 이로운 제품의 개발

### 4. 향후추진계획

- 첨가제로 사용하는 송이와 석분 슬러지를 건축 외내장재에 첨가하는 등 여러 제품에 활용
- 폐타이어와 석분슬러지와 같은 폐기물을 재활용함으로써 친환경적인 제품개발
- 원적외선 방사와 탈취 효과가 우수한 송이와 석분슬러지를 이용하여 인체에 이로운 제품 생산



사진 1. 블록 성형틀

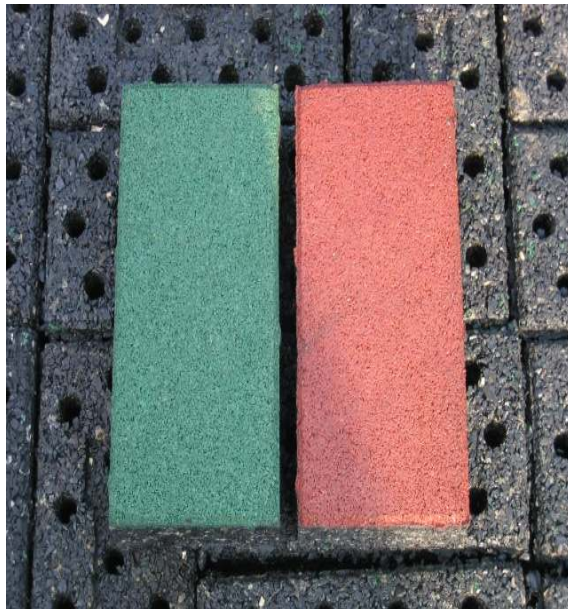


사진 2. 송이와 석분슬러지 첨가한 투수성 보도블록

# 목 차

## 제 1 장 서 론

제 1 절 기술개발의 필요성 .....	1
제 2 절 기술개발의 목적 .....	1

## 제 2 장 과제개발 내용 및 방법

제 1 절 개발내용 .....	2
제 2 절 개발방법 .....	2
제 3 절 사용재료의 물리·화학적 특성 .....	3
제 4 절 역학적 특성 결과 .....	11

## 제 3 장 사업성과

제 1 절 기술적 성과 .....	21
제 2 절 경제·산업적 성과 .....	21
제 3 절 기타 성과 .....	21

## 제 4 장 결 론

제 1 절 물리·화학적 특성 .....	22
제 2 절 향후 계획 .....	23

## 부 록

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 기술개발의 필요성

1980년대 이후 급속히 도시화가 진행됨에 따라 불투수 면적이 증가하여 방재측면에서 불리한 여건이 심화되고 있다. 그런데 종래의 보통 콘크리트 블록은 불투성이므로 우수는 표면을 통해 배수구로 일시에 유출되어 도심지내 지하 생태계와 지하수 유입에 장애 요인으로 지적되고 있다.

이러한 이유로 국내외적으로 페타이어를 이용한 투수성 보도블록이 사용되고 있지만, 여기서 발생하는 유해성분을 제거하는 데는 아직 미비한 실정으므로 친환경적 기능성 자연 재료인 송이(화산쇄설물)와 재활용으로 얻을 수 있는 현무암석분슬러지를 접목한 친환경 투수성 보도블록의 기술 개발은 인체뿐만 아니라 지하수의 의존도가 높은 제주도의 특성에 잘 부합된다. 그리고 친환경적인 기능성 자연 재료인 송이를 사용함으로써 기존의 제품들과 차별화된 제품의 생산으로 경제적인 가치가 있으며 제주 지역에 널리 분포되어 있는 재료의 사용으로 원가절감이 가능하다. 또한, 투수성 보도블록의 주재료인 페타이어의 재활용으로 환경공해를 최소화할 수 있으며, 송이의 우수정화능력을 이용함으로써 청정 지하수의 개발과 이용을 도모할 수 있다.

## 제 2 절 기술개발의 목적

본 연구의 목적은 기존의 콘크리트 블록의 투수성을 보완하고 페타이어를 이용한 투수성 보도블록의 유해물질이 지하수로 유입되는 것을 방지하기 위해 재활용재료(페타이어)에 송이를 접목한 투수성 보도블록을 개발함으로써 현재 사용되고 있는 투수성 보도블록에서 발생하는 유해성분들을 제거할 수 있고, 송이의 우수정화능력을 이용함으로써 인체에 이로운 뿐만 아니라 지하수 보존에도 탁월한 친환경적인 투수성 보도블록의 개발을 하는 것이 이 과업의 목적이다.

## 제 2 장 과제개발 내용 및 방법

### 제 1 절 개발내용

기존의 페타이어를 이용한 투수성 보도블록은 인체에 유해한 성분이 검출되며, 이에 인체에 무해하고 제주도내에서 용이하게 확보될 수 있는 친환경적인 자연재료로 송이와 석재산업의 부산물로 발생돼 폐기물로 처리되어 현재 재활용에 대한 연구가 진행 중인 석분슬러지를 혼합하여 기존의 투수성 보도블록에 요구되는 투수성은 유지하면서 우수유출시 발생할 수 있는 중금속오염원을 저감시켜 친환경적인 투수성 보도블록을 개발하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 제주도에서 발생량이 많은 동부지역의 적갈색 송이와 석재 가공시 발생하는 석분슬러지를 대표재료로 하여 중금속 용출실험, 강도 및 신장률 실험, 투수실험을 수행하였다.

### 제 2 절 개발방법

개발 방법은 현재 사용되고 있는 투수성 보도블록의 원재료와 첨가제로 사용되는 재료에 대한 기본 물성을 파악한 후 이들 재료를 이용하여 투수성 보도블록의 강도 및 신장률, 투수실험, 투수성 보도블록의 딱딱한 정도를 측정하는 경도 실험, 첨가제로 사용되는 송이와 석분 슬러지의 원적외선 방출량 측정을 비롯하여 첨가제로 사용되는 송이와 석분슬러지의 유해물질의 검출에 대한 용출 실험을 실시하였다. 또한 온도 변화에 따른 보도블록의 형태 변화를 관찰하기 위한 동결 융해 실험을 첨가하여 실험을 실시하였다.



### 제 3 절 사용재료의 물리·화학적 특성

#### 3.1 물리적 특성

##### 3.1.1 기층재료

기층재료는 기층으로서의 지지력 외에 높은 투수성과 보수용량이 요구되기 때문에 입도조정쇄석 보다도 오히려 크럿샤런 C-40 또는 C-30의 사용이 바람직하며 일반적으로 크럿샤런 C-40 또는 C-30을 사용하며, 투수계수가  $1.0E10^{-2}cm/sec$  이상이 되도록 한다.

아래표는 기층재료로 쓰이는 크럿샤런의 입도범위를 나타낸 것이다.

표 3.1 크럿샤런의 입도 범위

호 칭 \ 체 크기 (mm)	통과중량백분율(%)						
	50	40	30	20	13	5	2.5
C-30	-	100	95~100	55~85	-	15~45	3~30
C-40	100	95~100	-	50~80	-	15~40	5~25

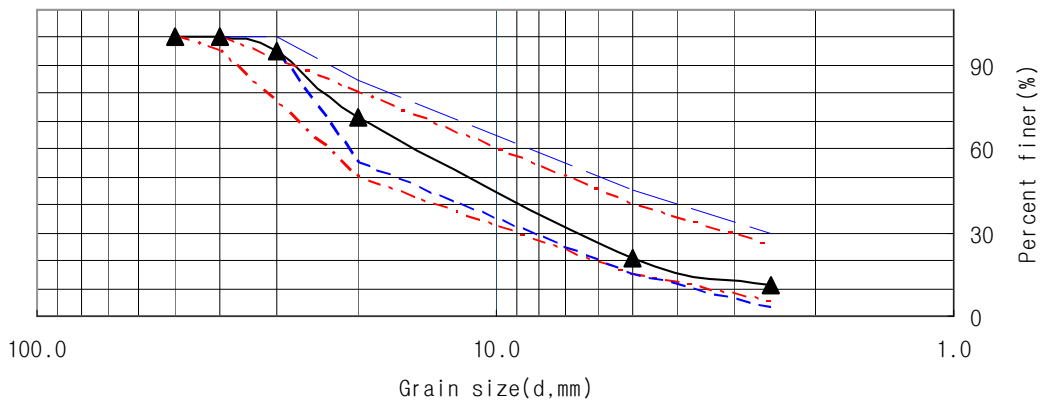


그림 3.1 기층 재료의 입도 분포

본 연구에서는 위 그림과 같은 입도분포를 보이는 기층재료를 사용하였으며, 위 그림에서 점선은 C-30, C-40의 범위를 나타낸 것이다.

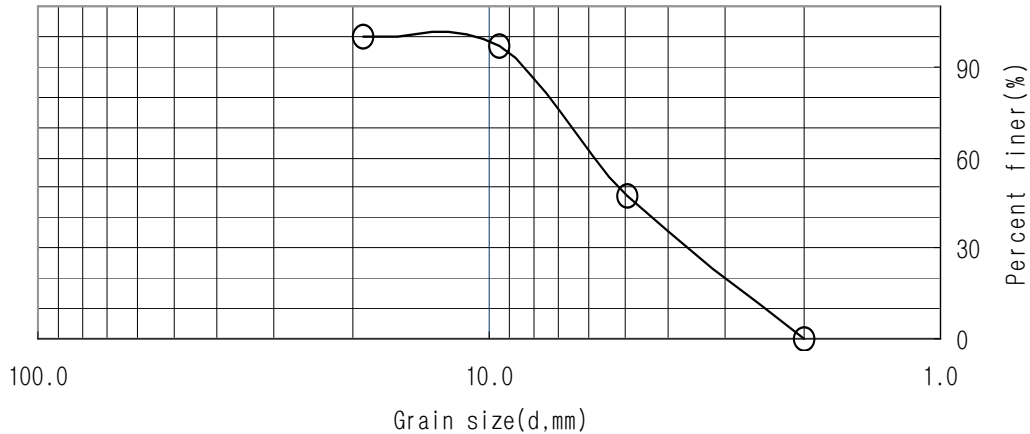
### 3.1.2 필터층

기층의 상부에 있는 필터층은 기층의 상부를 말하며 모래층과 석분층으로 구성되며 미세 입도의 불순물이 노상에 침투하여 연약화 시키는 것을 방지하고 노반에 미치는 하중을 등분포로 노상에 전달할 목적으로 설치하여야 한다. 이러한 필터층은 체가름 분석과 비중 실험을 통해 필터재료인 모래와 석분의 기본 물성치를 파악하고, 투명 원형 관에 각각 시료 길이 10cm로 넣어 정수위 실내실험을 실시하여 투수계수를 산정한다. 투수계수 값은 보통  $1.0E10^{-3}$ cm/sec이상이 가장 이상적이다.

다음의 표와 그림은 필터층 재료로 사용된 석분의 입도 분포이다.

**표 3.2 실험에 사용된 필터층 재료 (석분)**

체 크기 (mm)	통과중량백분율(%)			
	19	9.5	4.95	2.0
C-30	-	97.2	47.2	0



**그림 3.2 석분의 입도 분포**

다음의 표와 그림은 필터층 재료인 모래의 기본 물성치이다.

**표 3.3 실험에 사용된 필터층 재료 (모래)**

재 료	비중	Cu	Cg
모 래	2.7	12.22	0.88

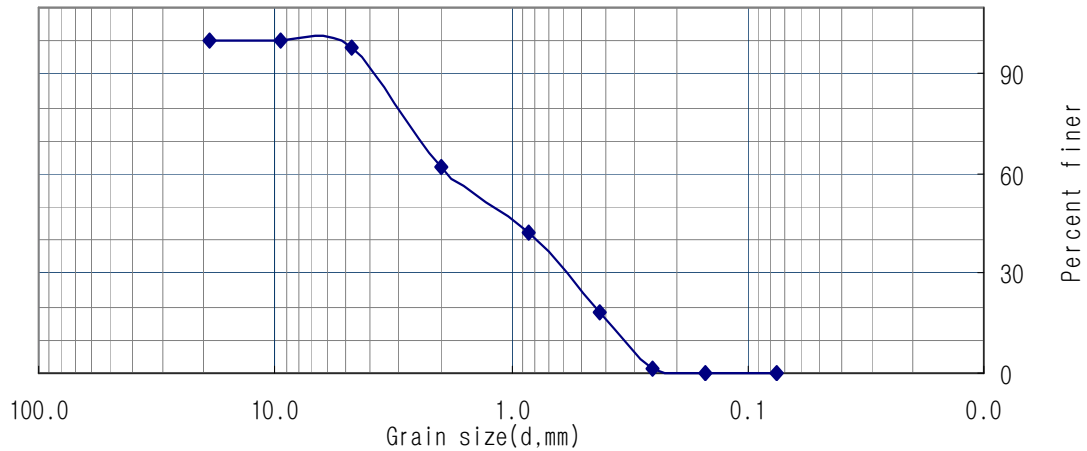


그림 3.3 모래의 입도 분포

### 3.1.3 수정 CBR

수정 CBR은 기층 및 보조 기층용 재료나 성토 재료의 품질 기준을 나타내는 지표로서 규정된 다짐도에 상응하는 CBR을 말한다. 이러한 수정 CBR은 다짐 실험을 실시한 후, 최대 건조 밀도와 최적 함수비를 구하고, 최적 함수비를 적용하여 가장 낮은 횡수, 중간, 그리고 가장 많은 횡수로 다짐한 공시체의 CBR값을 구하여 시공 대상에 따라 최대건조 밀도의 95%를 적용하기도 하고, 90%를 적용하기도 하는 등 실험자가 응용하여 변경할 수 있는 응용 방법의 하나이다. 이러한 재료의 역학적 특성을 나타내는 수정 CBR은 일반적으로 노체 2.5 이상, 하부노상은 5 이상, 상부노상은 10이상, 동상방지층은 10이상, 보조기층은 30이상을 기준으로 하고 있다.

다음의 결과는 다짐도를 95%를 기준으로 CBR 값을 구한 것이다.

표 3.4 수정 CBR 결과

	비 중	건조단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	최적함수비 (%)	수정 CBR (%)
기 층	2.59	1.62	21	27

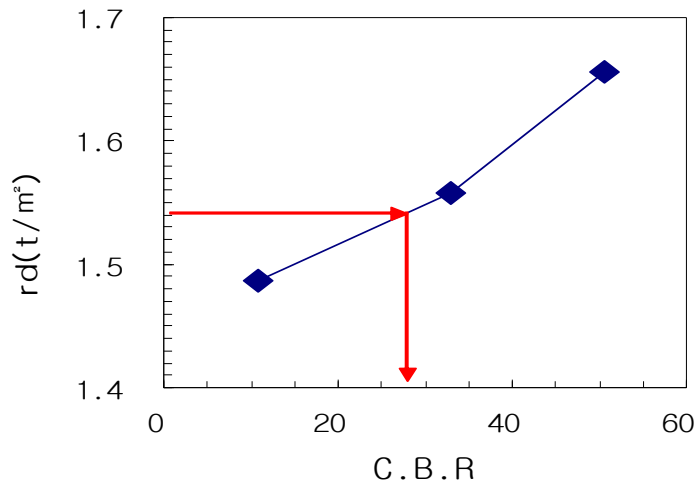


그림 3.4 수정 CBR

위 결과를 보면 다짐도 95%에 상응하는 수정 CBR 은 27%로 나타났다. 현재 수정 CBR의 기준이 20%이기 때문에 기층의 수정 CBR 값은 만족하는 것으로 판단된다.

### 3.2 화학적 특성

투수성 보도블록의 원재료인 페타이어와 첨가제로 사용되는 친환경 재료인 송이와 석재 가공과정에서 발생하는 현무암석분슬러지의 XRF, XRD, SEM분석을 나타내었다.

#### 3.2.1 XRF 분석

다음의 표는 원재료인 페타이어와 첨가제로 사용하는 송이와 석분슬러지의 XRF 분석결과를 나타낸 것이다.

표 3.5 페타이어칩의 XRF분석 결과

원 소	Zn	Cl	D	Ca	Fe	Si	Br	K	Ti	Co	Ni	Al	Cu
비율(%)	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

표 3.6 첨가제의 XRF분석 결과

재 료	원소비율(%)										
	Si	Al	Ti	Fe	Mg	Ca	Na	K	Mn	P	LOI
적갈색 송이	48.6	14.28	2.38	12.3	7.46	8.21	3.02	1.63	0.15	0.52	0.83
석 분	52.66	14.67	1.93	11.06	6.33	8.31	2.84	0.98	0.14	0.34	-

분석 결과 페타이어칩은 탄소(C)가 전체 성분의 약 83%를 차지하고 있으며 그 외에 수소(H) 7.0%, 산소(O)가 2.5%를 차지하고 있다. 그리고 첨가제로 사용되는 송이와 석분슬러지 모두 주성분이  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 로 함량이 송이는 75%, 석분슬러지는 78.39%에 달하며, 송이와 석분슬러지 모두  $\text{SiO}_2$  이 높은 함량을 보인다.

### 3.2.2 XRD 분석

다음의 표는 원재료인 페타이어와 첨가제로 사용하는 송이와 석분슬러지의 XRD 분석결과를 나타낸 것이다.

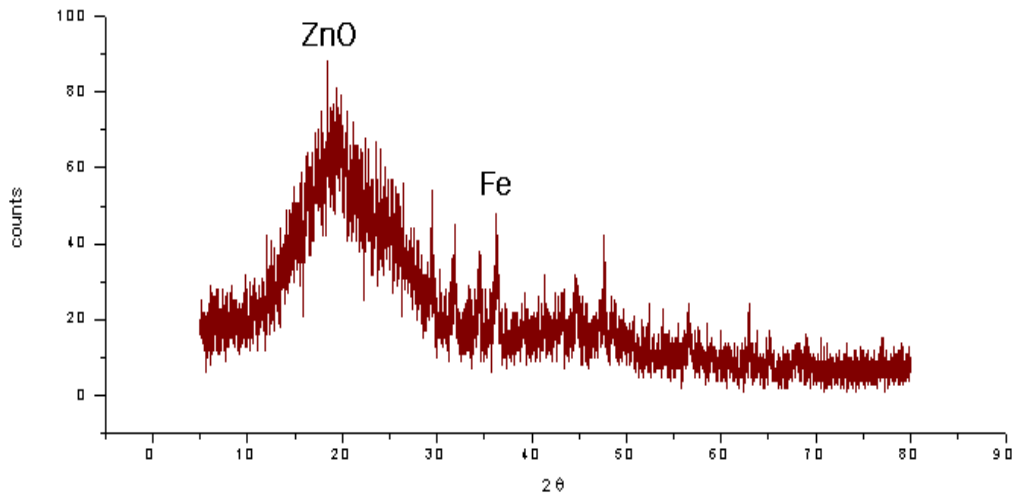


그림 3.5 페타이어칩의 XRD분석 결과

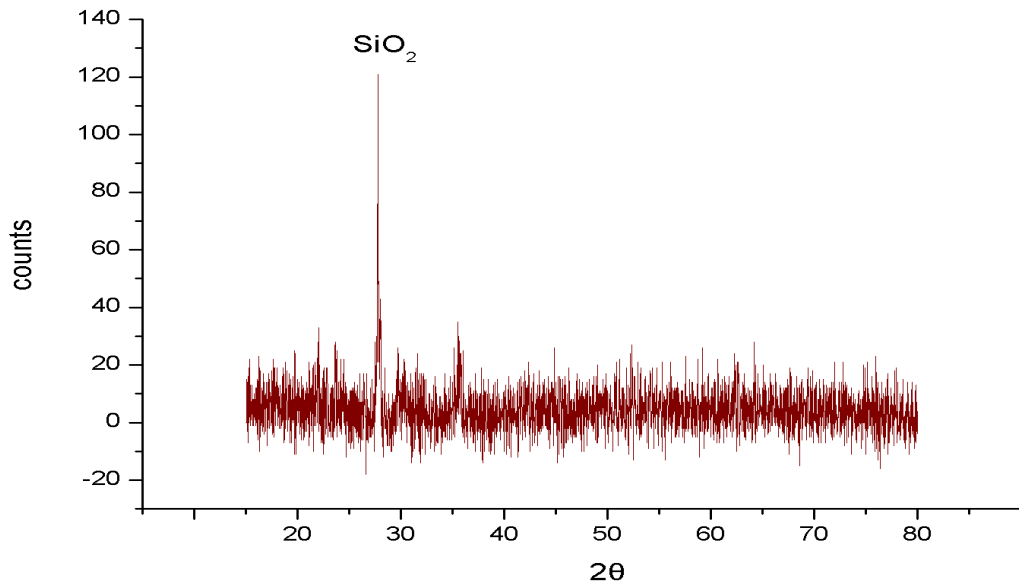


그림 3.6 적갈색 송이의 XRD분석 결과

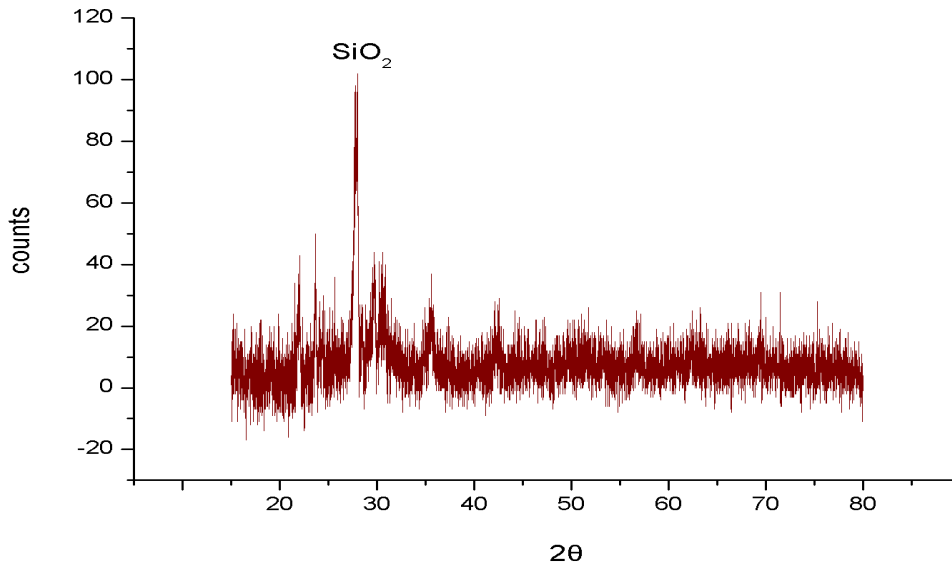


그림 3.7 석분슬러지의 XRD분석 결과

분석 결과를 보면 페타이어칩은 주로 Zinc Oxide(ZnO)와 Iron(Fe)으로 구성된 구조임을 알 수 있으며 비 결정질 상태임을 알 수 있다.

### 3.2.3 SEM 분석

다음의 표는 원재료인 페타이어와 첨가제로 사용하는 송이와 석분슬러지의 SEM 분석결과를 나타낸 것이다.

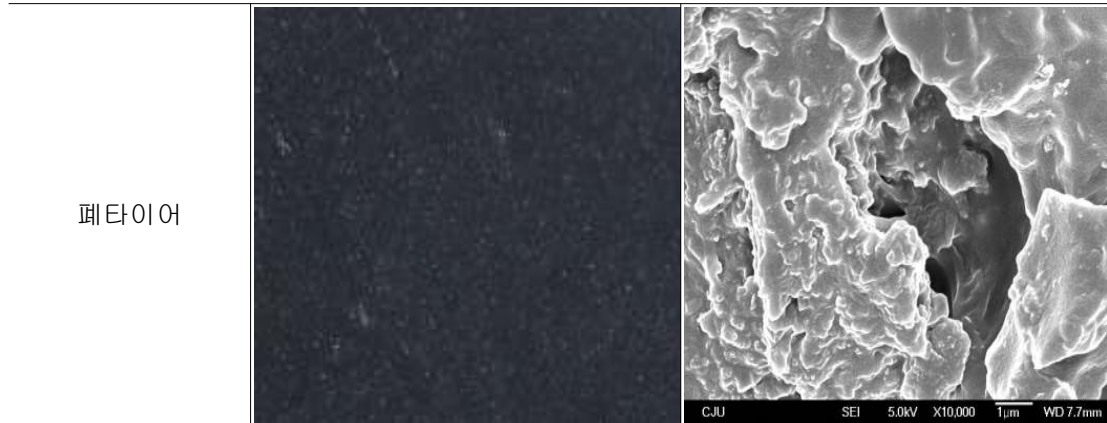


그림 3.8 페타이어 SEM분석 결과

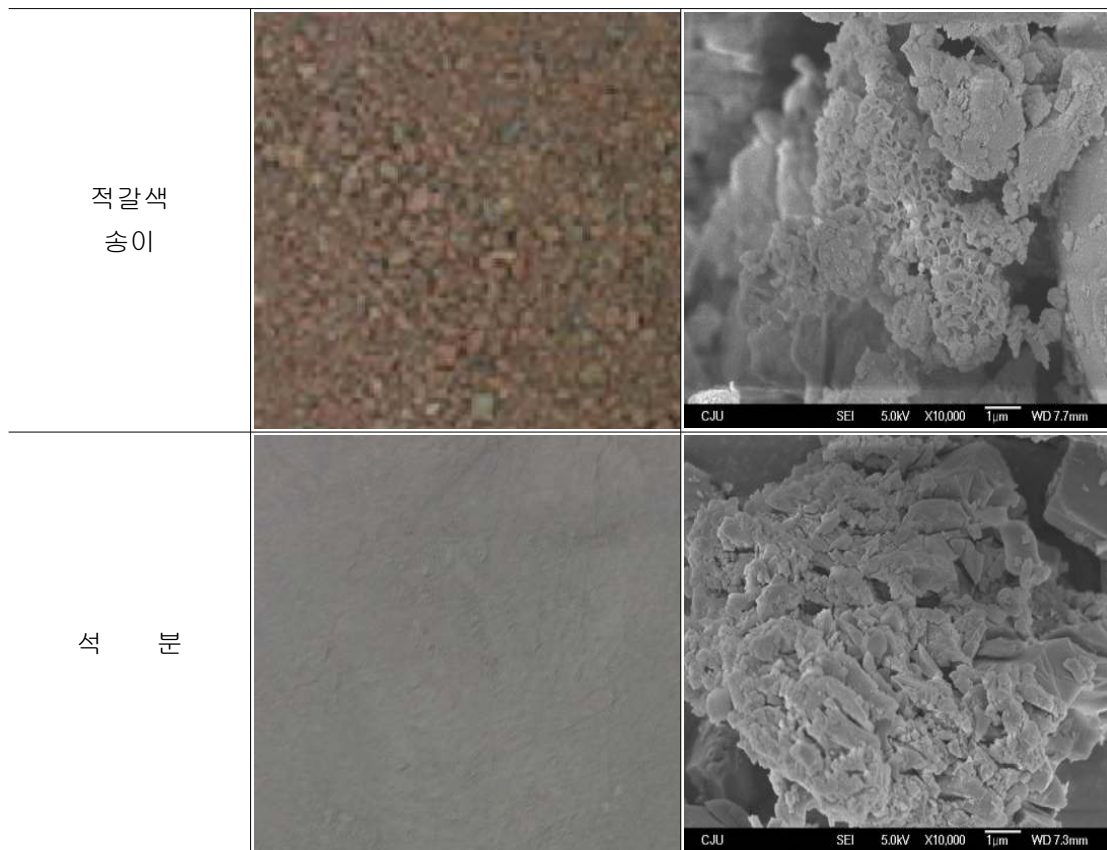


그림 3.9 첨가제의 SEM분석 결과

페타이어분말 및 첨가제로 사용하는 송이와 석분슬러지의 입자 모양과 상태를 분석한 결과 페타이어칩의 표면은 매우 불규칙하며 또한 기공이 고루 분포하지 않은 것으로 관찰되고 첨가제로 사용하는 송이의 표면은 매우 거칠며 일부분에서 아주 조밀한 기공들을 가지고 있다.



## 제 4 절 역학적 특성 결과

표 4.1 투수성 보도 블록의 기준

평가항목	단위	기준치	비고
인장강도	MPa	2.45	
신장률	%	120	
경도	Hs	55	
중금속 검출		검출 여부	
인장 강도 변화율	%	±20	
원적외선 방출		방출 여부	

### 4.1 인장 강도 및 신장률

친환경적인 재료인 송이와 현재 재활용하여 사용 중인 석분슬러지를 첨가제로 사용하여 인장강도와 신장률을 측정하였다. 측정시 첨가제의 혼합비율은 페타이어칩의 중량비에 따라 3, 5, 7 wt%에 따라 혼합하였다. 첨가제 혼합 비율에 따른 결과는 다음 그림과 같다.

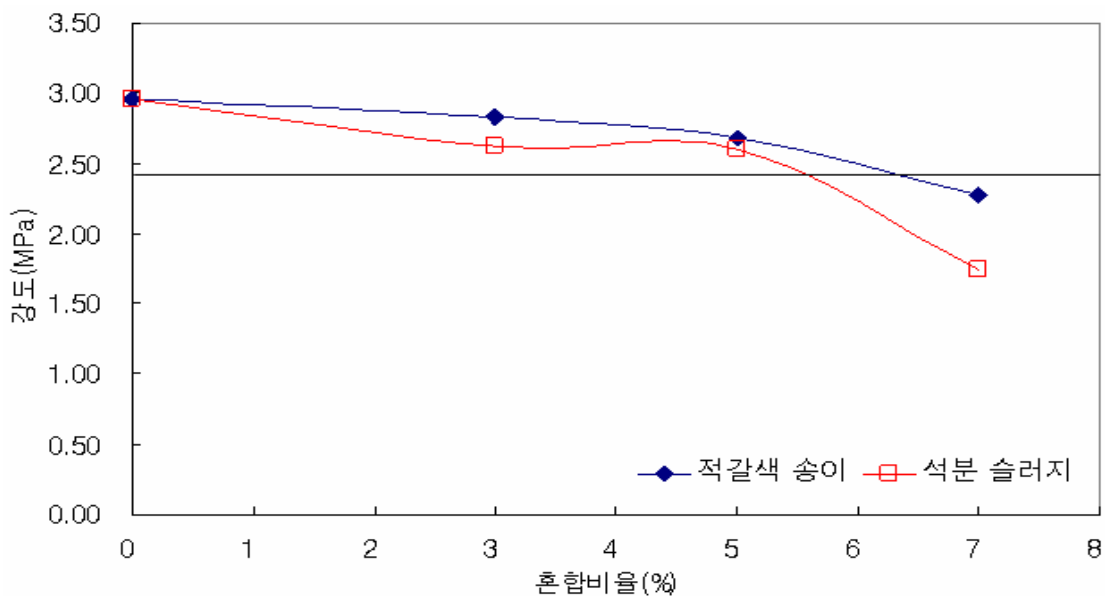


그림 4.1 첨가제의 혼합비율에 따른 인장강도

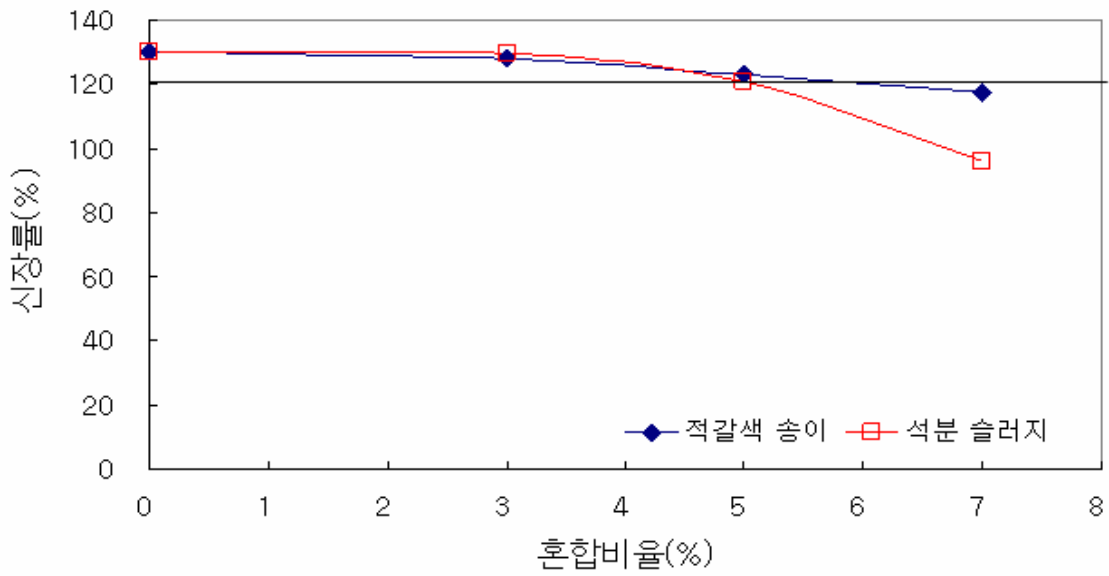


그림 4.2 첨가제의 혼합비율에 따른 신장률

위 결과를 보면 첨가제로 사용하기 전 인장강도는 2.96MPa, 신장률은 130%의 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 첨가제인 송이와 석분슬러지를 혼합할수록 인장 강도나 신장률이 떨어지는 경향을 보이고 5% 이상 혼합시에는 기준치에 미치지 못하는 결과를 볼 수 있었다.

#### 4.2 경도

투수성 보도블록은 페타이어를 원재료로 이용하여 사용하는 것으로 탄성을 가지고 있다. 이러한 보도블록에 첨가제를 혼합한 경도의 결과는 다음과 같다.

표 4.2 첨가제를 혼합한 블록의 경도 결과

혼합 비율(%)	경도 측정(Hs)	
	적갈색 송이	석분 슬러지
0	70	70
5	69	69
10	68.5	68
20	70.6	66
30	71	69

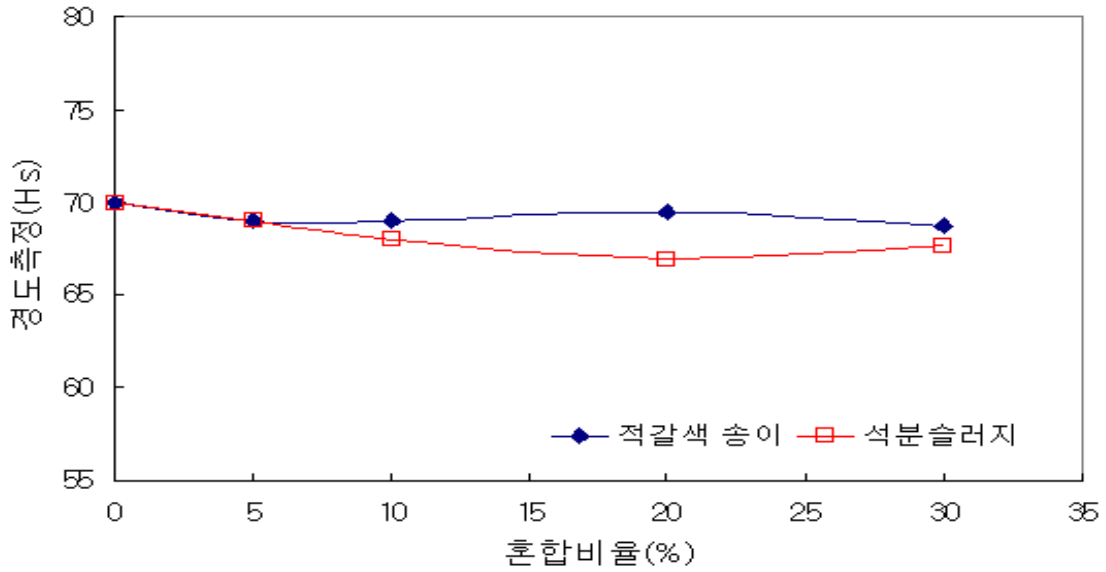


그림 4.3 첨가제를 혼합한 블록의 경도 결과

경도 실험의 기준은 55 이상이다. 위 그림을 보면 첨가제를 사용하지 않은 기존 블록의 경도 결과는 70 이지만 첨가제를 사용함으로써 탄성이 조금씩 감소하는 경향이 있다. 하지만 기준이 되는 값보다는 상위에 있기 때문에 기준에는 만족할 것으로 판단된다.

#### 4.3 중금속 검출 여부

현재 사용하는 보도블록은 페타이어를 재활용하고 색을 나타내기 위해 안료를 혼합하여 보도블록을 생산하는데 사용되는 재료와 첨가제로 사용하는 재료에 대해 중금속의 검출여부를 조사하였다.

표 4.3 재료에 대한 중금속 검출 (단위 : mg/l)

재 료	중 금 속			
	Cu	Pb	Cr	Cd
페 타 이 어	0.1690	0.2060	0.0013	0.0369
안 료	0.1202	294.7735	0.1288	0.1255
적갈색 종이	0.000	0.000	0.000	0.000
석분 슬러지	0.000	0.000	0.000	0.000

위 표를 보면 원재료인 페타이어에서는 많은 양은 아니지만 소량의 중금속들이 검출되지만 사용하는 유기 안료인 매염 안료에서 다량의 Pb이 검출됨을 알 수 있다. 이러한 원재료를 혼합하여 첨가제를 제외하고 제품 생산이 사용되는 재료를 이용하여 제작한 투수성 보도블록으로 중금속 검출 여부를 측정해 보았는데 그 결과는 다음과 같다.

표 4.4 블록의 중금속 용출실험 결과 단위(mg/l)

재 료	중 금 속			
	Cu	Pb	Cr	Cd
투수성 보도 블록	0.2012	5.8460	0.0843	0.0945

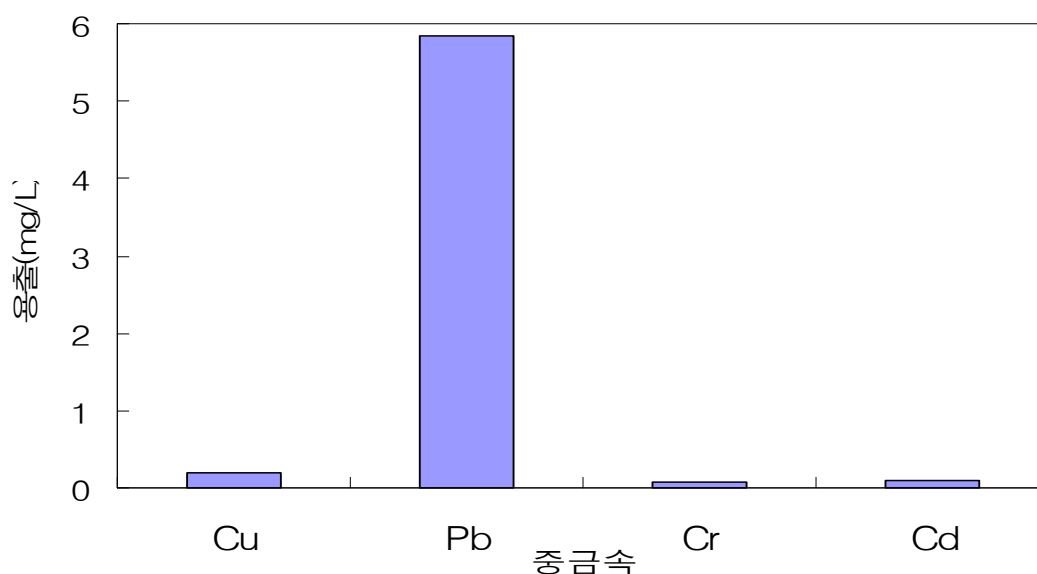


그림 4.4 첨가제 무배합시 중금속 용출실험 결과

위 결과를 보면 현재 사용하는 블록은 각 재료의 중금속 검출결과보다는 줄어들었지만 이 중 많은 양의 Pb이 함유되어 있음을 알 수 있다. 이렇게 많은 양의 Pb 함유량을 줄이기 위해 첨가제를 사용하였는데 첨가제를 혼합비율에 따라 혼합한 블록의 중금속 검출실험 결과는 표 4.5와 그림 4.5 와 같다.

표 4.5 투수성 보도블록의 중금속 용출실험 결과

단위(mg/l)

첨가제	혼합비율(%)	중금속			
		Cu	Pb	Cr	Cd
적갈색 송이	5	0.000	3.8230	0.000	0.000
	10	0.000	2.9362	0.000	0.000
	20	0.000	2.4400	0.000	0.000
	30	0.000	1.8000	0.000	0.000
석분 슬러지	5	0.000	4.0800	0.000	0.000
	10	0.000	3.3400	0.000	0.000
	20	0.000	2.7500	0.000	0.000
	30	0.000	2.2338	0.000	0.000

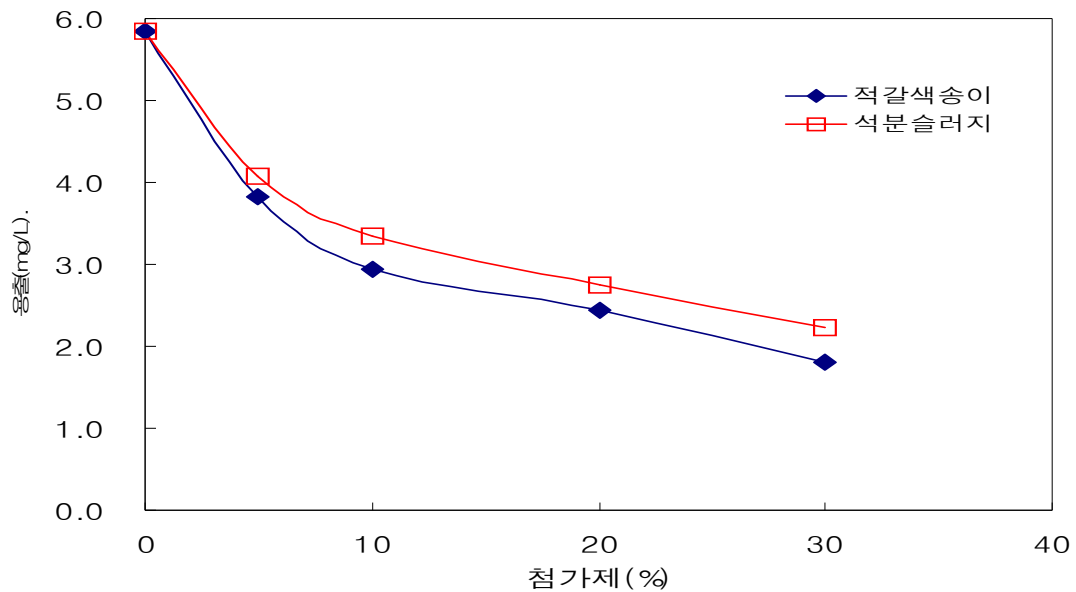


그림 4.5 첨가제 무배합시 Pb 용출실험 결과

위 결과를 보면 첨가제로 사용하는 적갈색 송이와 석분슬러지의 혼합비율에 따라 중금속의 검출량이 줄어드는 경향을 볼 수 있다. 그리고 석분슬러지보다는 적갈색 송이를 첨가제로 사용하였을 때 더 적은 양이 검출됨을 알 수 있다. 그리고 첨가제를 5% 사용시 가장 크게 줄어드는 경향을 볼수 있었다.

#### 4.4 노화 실험

보도블록의 원재료가 타이어칩을 재활용한 고무이기 때문에 열에 의한 변형이 생긴다. 이러한 노화 실험은 70℃의 온도로 48시간동안 노화 후 실온까지 방랭 후 인장강도 또는 신장률의 변화율을 측정한다. 이러한 인장강도 변화율의 계산은 다음 식으로 산출한다.

$$A_c = \frac{X_1 - X_0}{X_0} \times 100$$

여기에서,  $A_c$  : 노화 전의 인장 강도 또는 신장률에 대한 노화 후의 변화율(%)

$X_0$  : 노화 전의 인장 강도 또는 신장률

$X_1$  : 노화 후의 인장 강도 또는 신장률

위 식을 이용하여 노화 실험을 한 결과는 다음 표와 같다.

**표 4.6 노화실험 결과** (단위 : %)

첨가제 종류	혼합비율	변화율	
		인장 강도	신장률
적갈색 송이	0	3	-5
	3	7	-5
	5	4	-6
	7	7	-8
	10	6	-6
석분 슬러지	0	3	-5
	3	4	-5
	5	2	-7
	7	3	-9
	10	4	-7

투수성 보도블록의 노화 실험의 결과 첨가제를 혼합하지 않은 결과나 첨가제를 혼합한 결과 모두 변화율이 ±9% 이내의 결과를 얻었다. 이는 노화 실험의 기준으로 정한 ±20% 이내의 결과를 얻을 수 있었다.

#### 4.5 원적외선 방출 여부

원적외선은 공기 정화 및 수질 정화 기능이 뛰어나고 인체의 혈액 순환을 돕는다. 그 밖에도 탈취 효과가 있어 악취를 제거할 수 있다. 이러한 이점으로 원적외선 방사율이 뛰어난 송이와 석분을 사용하였다. 다음은 송이와 석분슬러지의 원적외선 방출량이다.

**표 4.7 원적외선 방출량(40℃)**

시 료 명	시 험 항 목	시 험 결 과	비 고
적갈색 송이	방사율 (5~20 $\mu$ m)	0.926	
	방사에너지 (W/m <sup>2</sup> )	$3.74 \times 10^2$	
석분 슬러지	방사율 (5~20 $\mu$ m)	0.927	
	방사에너지 (W/m <sup>2</sup> )	$3.74 \times 10^2$	

위 결과를 보면 우리가 첨가제로 사용하는 송이와 석분 슬러지에서 0.92 정도의 원적외선이 방사됨을 알 수 있다. 이는 원적외선 방사율이 뛰어나다고 알고 있는 옥과 맥반석, 황토와 비슷한 방사율을 갖고 있다. 이러한 결과로 투수성 보도블록에 사용시 원적외선의 방출량을 실험해 보았다. 다음은 블록에 혼합시 원적외선의 방출량이다.

**표 4.7 블록에 혼합시 원적외선 방출량(40℃)**

시 료 명	시 험 항 목	시 험 결 과	비 고
적갈색 송이	방사율 (5~20 $\mu$ m)	0.900	
	방사에너지 (W/m <sup>2</sup> )	$3.63 \times 10^2$	
석분 슬러지	방사율 (5~20 $\mu$ m)	0.902	
	방사에너지 (W/m <sup>2</sup> )	$3.64 \times 10^2$	

위 결과를 보면 송이와 석분 슬러지 모두 원재료에서 방출되는 방사율보다는 적은 양이지만 블록에 혼합시에도 송이는 0.900, 석분은 0.902로 거의 비슷한 결과를 보인다. 이는 블록에 송이와 석분 혼합시에도 원적외선 방사율이 우수함을 나타낸다.

다음은 송이와 석분의 암모니아 탈취 실험이다.

**표 4.9 적갈색 송이의 탈취실험(NH<sub>3</sub>)**

실험항목	경과시간(분)	Blank 농도(ppm)	시료농도(ppm)	탈취율(%)
실험결과	0	200	200	-
	30	194	90	63.9
	60	188	61	67.6
	90	183	55	69.9
	120	178	50	71.9

**표 4.10 석분슬러지의 탈취실험(NH<sub>3</sub>)**

실험항목	경과시간(분)	Blank 농도(ppm)	시료농도(ppm)	탈취율(%)
실험결과	0	200	200	-
	30	194	67	65.5
	60	188	59	68.6
	90	183	51	72.1
	120	178	47	73.6

위 결과를 보면 첨가제로 사용하는 송이와 석분 슬러지의 탈취율이 2시간을 기준으로 볼 때 약 72%의 탈취 효과를 볼 수 있는 것으로 나타난다. 이는 첨가제를 사용함으로써 도로의 악취를 제거할 수 있음을 보여준다.



## 4.6 동결 용해 실험

현재 사용중인 블록의 경우 온도 변화에 따른 변화 발생의 유무를 확인하기 위해 온도를  $-20^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 로 얼렸다다가 풀었다가를 반복하였다. 그리고 이러한 실험을 실시하기 전 블록을 24시간 수침시켜 충분히 포화시킨다. 이러한 블록의 질량과 두께, 길이 변화율을 구하는 방법은 다음과 같다.

### 4.6.1 질량 변화율

동결용해 시험전의 물 속 침지가 끝난 시험편의 질량( $M_0$ ) 및 동결 용해 시험의 정해진 사이클(n) 종료 직후의 시험편의 질량( $M_n$ )를 측정하여 다음 식으로 질량 변화율을 구한다.

$$\text{질량 변화율}(\%) = \frac{M_n - M_0}{M_0} \times 100$$

### 4.6.2 두께 변화율

동결용해 시험 전의 물 속 침지가 끝난 시험편의 두께( $t_0$ ) 및 동결 용해 시험의 정해진 사이클(n) 종료 직후의 시험편 두께( $t_n$ )를 다이얼 게이지로 0.005mm까지 측정하여 다음으로 두께 변화율을 구한다.

$$\text{두께 변화율}(\%) = \frac{t_n - t_0}{t_0} \times 100$$

### 4.6.3 길이 변화율

동결용해 시험 전의 물 속 침지가 끝난 시험편의 길이( $l_0$ ) 및 동결용해 시험의 정해진 사이클(n) 종료 직후의 시험편 길이( $l_n$ )를 다이얼 게이지 0.05mm까지 측정하여 다음 식으로 길이 변화율을 구한다.

$$\text{길이 변화율}(\%) = \frac{l_n - l_0}{l_0} \times 100$$

이러한 방법에 따라 1개의 블록당 200사이클을 반복하였는데 이에 따른 블록의 변화율은 다음과 같다.

**표 4.11 블록의 동결융해 실험 결과**

제 품	변 화 율 (%)		
	질 량	두 겜	길 이
1	-7.39	-0.25	-0.09
2	-6.96	-0.21	-0.10
3	-7.11	-0.33	-0.08

위 결과를 보면 수침 전과 실험 후 블록을 비교하는 실험이므로 두께나 길이와 같은 형태의 변화는 거의 변화가 없는 것으로 판단된다. 그러나 온도변화에 따라 질량은 줄어드는 결과를 보이는데 이는 온도변화에 따라 블록 속의 공극이 팽창하여 커지는 것으로 사료된다.

## 제 3 장 사업성과

### 제 1 절 기술적 성과

- 폐기물인 페타이어를 재활용 할 수 있는 기술의 개발
- 송이의 역학적 성질을 이용하여 친환경적인 투수성 보도블록을 개발함으로써 환경오염을 줄일 수 있는 기술 개발
- 지하수의 의존도가 높은 제주도 지역에 적합한 제품의 기술 개발
- 자연재료인 송이를 다양한 방법으로 활용할 수 있는 기술의 개발

### 제 2 절 경제 · 산업적 성과

- 산업 폐기물인 페타이어의 가공 재활용
- 제주 지역에 널리 분포되어 있는 재료의 사용으로 원가 절감
- 자연 재료를 사용함으로써 지하수 오염의 최소화
- 제주 지역에 분포하는 송이를 이용한 제품의 개발로 제주도만의 브랜드화
- 석분과 같은 재활용 재료를 사용함으로써 관련 기업들의 활성화

### 제 3 절 기타 성과

- 투수성 보도블록의 사용으로 가로수의 원활한 수분 공급
- 산책로 시공시 블록 속의 송이와 석분의 투입으로 원적외선 방사율이 뛰어나 인체에 이로움
- 송이와 석분의 탈취 효과로 시공시 악취 제거

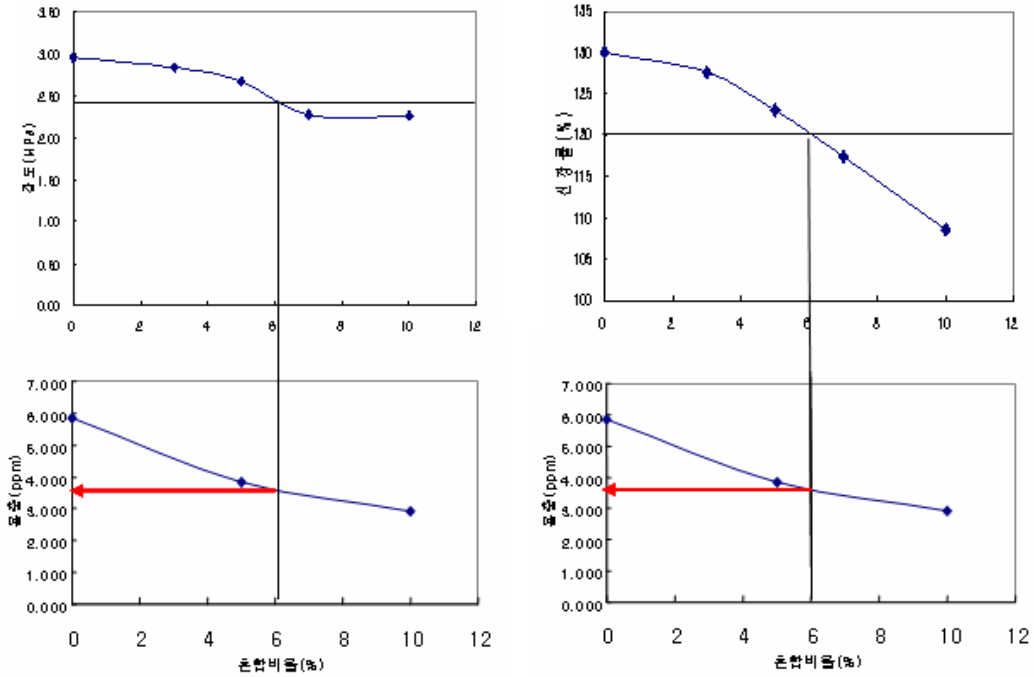
## 제 4 장 결 론

### 제 1 절 물리 · 화학적 특성

1. 친환경적인 재료인 송이와 석재산업의 부산물로 재활용하여 사용하는 석분 슬러지를 첨가제로 사용함으로써 페타이어 중량비를 기준으로 혼합비율을 5%로 하여 기준 강도와 신장률을 만족시킬 수 있었다.
2. 기존 사용하고 있는 블록의 경도 결과가 70이나 첨가제를 혼합한 블록에서도 값이 조금씩 감소하는 경향이 있지만 경도 값 모두 기준치 상위에 있기 때문에 블록의 경도 실험 기준이 55임을 감안해 볼 때 첨가제를 혼합한 블록의 경도 실험에 만족할 것으로 사료되었다.
3. 현재 사용하고 있는 블록의 경우 중금속의 검출량이 Cu이 0.2012ppm, Pb이 5.8460ppm, Cr이 0.0843ppm, Cd이 0.0945ppm을 나타내었다. 그러나 첨가제를 사용하여 Cu, Cr, Cd의 경우 모두 제거되었고 Pb의 경우 첨가제의 양이 증가될수록 중금속 검출량은 점점 감소함을 보였다.
4. 열에 따른 투수성 보도블록의 인장강도의 변화율을 보면 첨가제를 혼합하였을 때나 혼합하지 않았을 때 모두  $\pm 9\%$  이내의 결과를 얻을 수 있었다.
5. 첨가제로 사용하는 적갈색 송이와 석분슬러지의 원적외선 방사율을 측정한 결과 적갈색송이에서 0.926, 석분슬러지에서 0.927의 방사율을 보였다. 이러한 첨가제를 블록에 혼합시 방출되는 방사율은 원재료보다는 적은 양이지만 송이는 0.900, 석분슬러지는 0.902로 거의 유사한 결과를 보였다. 이는 블록에 혼합시에도 원적외선 방사율이 우수함을 나타낸다. 탈취 효과 또한 2시간을 기준으로 보았을 때 약 72%의 탈취율을 볼 수 있다.
6. 현재 사용되고 있는 블록의 경우 온도 변화에 따라 200사이클 반복하였는데 원상태의 형태에서는 변화가 1% 미만으로 보였지만 온도변화에 따라 블록

속에서의 공극이 커져 질량의 변화는 약 7% 정도 작아짐을 보였다.

7. 첨가제의 혼합 비율을 산정하기 위해 중금속의 용출 실험과 인장강도 및 신장률의 실험 결과를 비교하여 산정하였다. 첨가제로 송이를 사용한 실험 결과를 비교해 보면,



< 인장강도와 용출 실험 비교 >

< 신장률과 용출 실험 비교 >

첨가제로 송이를 사용한 결과 인장강도와 신장률을 기준으로 용출 실험 결과와 비교하여 혼합 비율을 보면 6% 이내에서 기준을 만족하는데 조금의 여유를 두고 생각한다면 5% 이내의 혼합 비율을 사용하는 것이 경제적인 면에서도 적절하다고 사료된다.

**제 2 절 향후 계획**

- 첨가제로 사용하는 송이와 석분 슬러지를 건축 외내장재에 첨가하는 등 여러 제품에 활용
- 폐타이어와 석분슬러지와 같은 폐기물을 재활용함으로써 친환경적인 제품개발
- 원적외선 방사와 탈취 효과가 우수한 송이와 석분슬러지를 이용하여 인체에 이로운 제품 생산

## 부 록

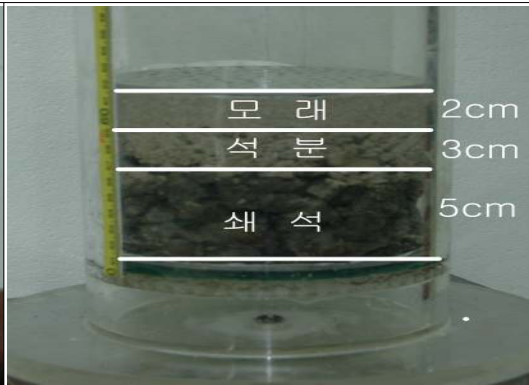
- 관련사진 모음

1. 실내 실험





경도 실험



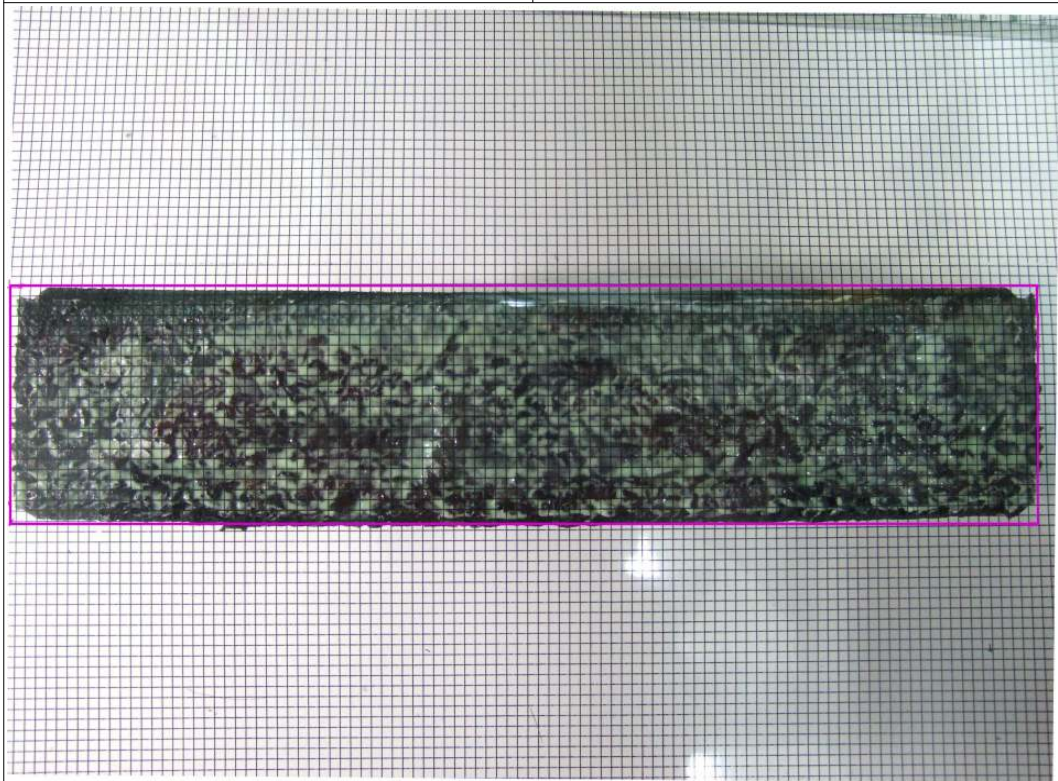
투수실험



CBR 실험



교반기



동결 융해 실험시 블록의 변화