

# 특 집

|| 콘크리트의 리사이클링 ||

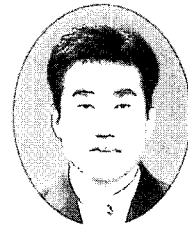
## 재생골재를 이용한 포러스 콘크리트

- Porous Concrete Using Recycled Aggregate -



한천구\*

Han, Cheon Goo



이상태\*\*

Lee, Sang Tae

### 1. 서 언

최근들어 환경친화적인 재료로서 포러스 콘크리트에 대한 관심이 높아지고 있다. 포러스 콘크리트란 내부에 다량의 연속공극을 확보하여 투수성, 투기성, 흡음성, 단열성 등 일반 콘크리트와는 매우 다른 기능성을 확보하여 식물녹화공법, 수질정화공법, 투수 포장공법, 흡음공법 등 여러 용도로 이용되고 있다.

따라서 본 장에서는 포러스 콘크리트의 배합 및 제조특성, 용도 등에 대하여 소개하고, 또한, 재생골재를 사용한 포러스 콘크리트의 강도, 내구성 등의 각종 물리적 특성에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. 포러스 콘크리트의 배합 및 제조특성

#### 2.1 사용재료의 특징

포러스 콘크리트의 사용재료는 보통 콘크리트에서 사용하는 시멘트, 잔골재, 굵은골재, 혼화제, 혼화제 및 물에서 잔골재를 사용하지 않고 경우에 따라서는 혼화제와 혼화제를 사용하지 않는다.

이러한 포러스 콘크리트는 사용재료로 굵은골재가 중요한 의미를 지니며, 콘크리트 제조시 여러 가지 크기를 가진 굵은골재가 사용된다. 결국 용도와 목적에 따라 적당한 골재를 선정할 필요

가 있다. 일례로 식생을 목적으로 한 경우에는 공극률과 공극의 직경이 중요한 요소로 되며 이것이 식물의 뿌리 신장에 영향을 미치기 때문에 이것을 고려하여 식물의 종류에 따라 재료, 배합 등을 선정하게 된다. <그림 1>은 6호 쇠석(5 ~ 13 mm)을 사용한 포러스 콘크리트의 절단면 공극의 모식도를 나타낸 것이다.

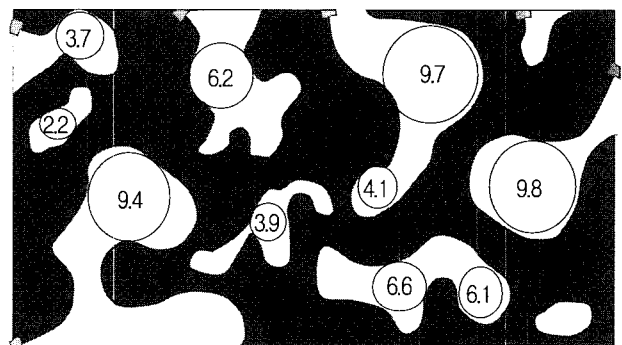


그림 1. 포러스 콘크리트의 절단면 공극모식도

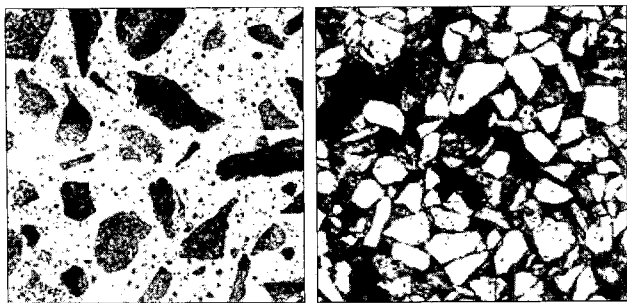
#### 2.2 배합의 특성

<그림 2>에서와 같이 포러스 콘크리트는 입도를 한정시킨 골재주변을 시멘트 혼합물로 덮어 개개의 골재를 접착한 것으로, 굵은골재로는 단입도 쇠석이 주로 이용된다.

단위시멘트량에 있어서는 시멘트 페이스트에 의해 골재가 형성하는 공극을 전부 충전해서는 안되며 모든 골재가 시멘트 페이스트로 균일하게 덮여지는 양이 필요하기 때문에 약 200 ~ 400

\* 정희원, 청주대 건축공학과 교수

\*\* 정희원, 청주대 환경조경학과 박사과정



a. 보통 콘크리트                      b. 포러스 콘크리트

그림 2 포러스 콘크리트의 개념도

kg/m<sup>3</sup> 정도가 사용된다. 또한, 물-시멘트비 최적치는 대략 30 ~ 40 %의 범위이며 이보다 큰 범위의 물-시멘트비를 사용하면 강도저하는 물론 시멘트 페이스트의 점성저하로 과도한 유동성을 가지게 되어 밀면으로 흐르기 때문에 하부가 폐색되어 투수성이 크게 저하하게 된다. 한편 지나치게 낮은 물-시멘트비에서는 시멘트 페이스트가 균일하게 비벼지지 않고 골재주변에 균일하게 분포되지 않아 다짐이 불균일하게 되어 강도가 저하한다.

이처럼 포러스 콘크리트의 배합은 시멘트 콘크리트의 혼합물로서 공극을 적당하게 형성하는 것이 중요하며 골재의 입도, 물-시멘트비, 시멘트량이 서로 관련되어 있기 때문에 사용하는 골재에 대하여 시험비법에 의해 최적의 배합을 결정할 필요가 있다. 또한, 공극률은 배합조건뿐만 아니라 다짐방법에 의해서도 큰 영향을 받기 때문에 주의를 요한다.

### 2.3 제조방법의 특성

포러스 콘크리트는 일반적으로 공장에서 프리캐스트 제품으로 제조된다. 즉, 믹서를 사용하여 비비는데, 먼저 물 이외 소정의 재료를 믹서 내에 일괄적으로 투입하여 건비빔을 행한 후 물을 투입하여 비벼 굵은골재 주변에 시멘트 페이스트를 부착시킨다. 그 후 형틀에 부어넣고 진동을 가하여 성형한다. 성형 후 양생은 증기양생을 행한다. 참고적으로 <그림 3>은 보통 콘크리트와 포러스 콘크리트에 의해 형성된 2층 구조를 가진 식생용 포러스 콘크리트를 나타낸 것이다.

### 2.4 적용의 특성

포러스 콘크리트의 성능은 보통 콘크리트와는 매우 달라 그 연장선상에서 성능을 평가하는 것이 부적합한 경우가 많기 때문에 포러스 콘크리트가 가져야할 기능을 감안하여 적당한 평가항목을 선정할 필요가 있다. 종래의 콘크리트는 구조재료로서 강도나 내구성을 위주로 한 반면 포러스 콘크리트는 생태계와 조화를 도모하기 위한 기능을 주체로 설계항목을 설정하는 것이 옳을 것이다.

포러스 콘크리트의 설계상 위치를 개념적으로 명확히 하기 위

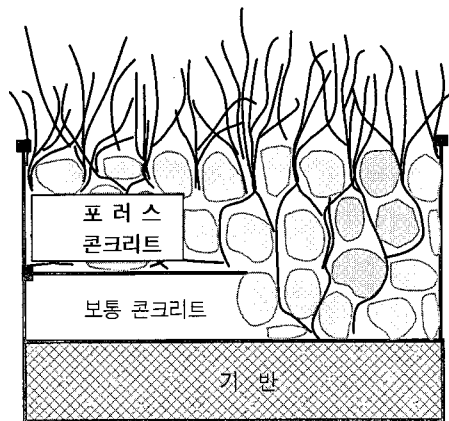


그림 3. 식생용 포러스 콘크리트의 2층구조

해 암반, 구조용 콘크리트, 지반에 대한 비교를 <그림 4>에 나타낸다. 강도와 투수성의 2차원으로 표현되는 공간에서 포러스 콘크리트의 위치는 중간적 영역에 속하고 있어, 생물의 생식환경에 보다 근접하는 것을 알 수 있다.

## 3. 포러스 콘크리트의 용도

### 3.1 수질정화

포러스 콘크리트의 수질정화 기능은 콘크리트 표면에 형성되는 생물막의 작용에 의한다. 생물막에는 박테리아에서부터 대형 동물까지 다양한 미생물이 환경조건에 대응하여 생식하고 있으며 생물막 위에서는 일종의 생태계가 만들어진다.

미생물에 의한 수질정화 원리는 생물적 고정과 대사분해이다. 따라서 포러스 콘크리트의 정화능력은 이 콘크리트에 기생하는 미생물의 양과 종류, 미생물의 대사기능을 활성화시키는 배양조건과 같은 설치환경조건에 의존한다. 이러한 포러스 콘크리트의 특징인 공극성과 수질정화에 관여하는 항목관계를 <표 1>에 나타낸다.

이와 같이 한정된 입도의 골재를 이용하여 만들어진 포러스 콘크리트는 보통 콘크리트에 비하여 표면적이 크게 되어 생물막(生物膜)이 발달하기 쉽다. 해수중에 설치한 경우에는 호기성 미생물과 혐기성 미생물의 세균류, 조류, 미소동물, 대형해조류, 패류가 상호 복층화해서 조기에 부착하고(<그림 5> 참조), 세균류와 미소동물에 의한 생물적 고정과 대사분해에 의해 수질정화와 각종 생물의 육성 재료로서의 가능성이 있다. 이와 같이 포러스 콘크리트를 해역으로 적용하면 수질보존을 위한 하나의 방법으로 발휘될 수 있다.

### 3.2 녹화 콘크리트

포러스 콘크리트는 재료특성인 연속공극과 그것에 기인하는 투수성을 이용하여 하천, 호안 등의 경사면이나 건물옥상을 녹화하

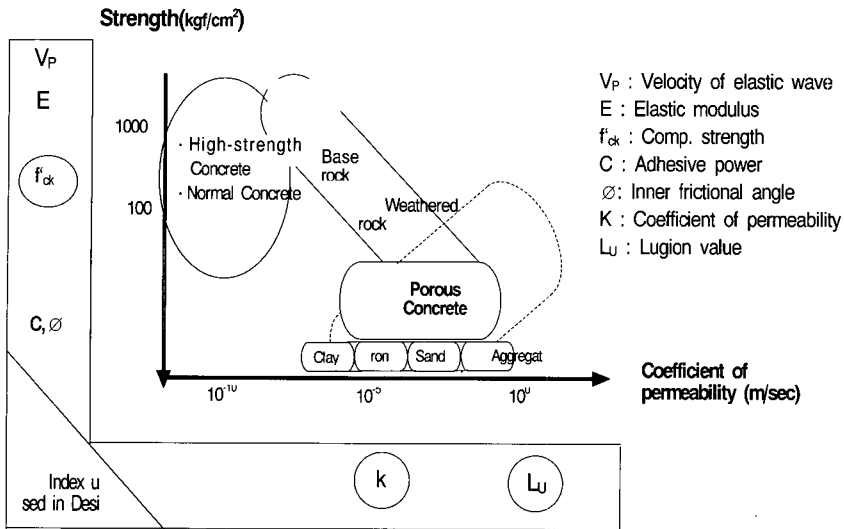


그림 4. 포러스 콘크리트의 강도와 투수성의 위치

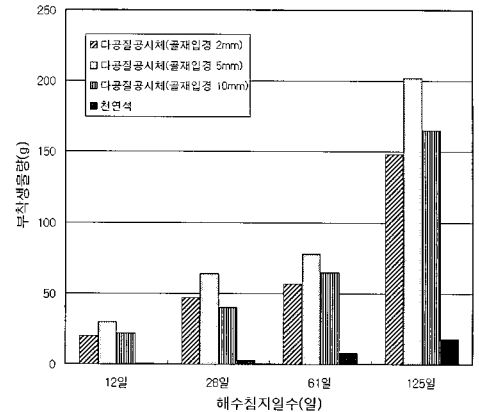


그림 5. 포러스 콘크리트의 미생물 부착량

표 1. 공극성과 수질정화에 관여하는 항목의 관계

공극의 크기	$\mu$	mm	cm	m	km	기능
재	(인공)	콘크리트		섬유, 기포 콘크리트	소파(消波) 블록	생물의 우수 (공극)
료	(자연)		모래사장		암초	
생물		... 원생 ... ... 환형 ... ... 박테리아 ...	동물 ... 동물(다모류) ...	... 연체 동물 ... ... 절족 동물 ...	... 어류 ... ... 조류 ...	
이용형태 (생물공생)		... 서식지 ... ... 소생활권 ...	..... 서식지 .....	... 소생활권 ...	... 서식지 ...	
투명도		.....	.....	.....	.....	투수성
광 (투과, 반사)		합성세포 식물 플랑크톤		해조(초)류		N.P의 제거부착 기반의 조도
집적(集積)		영양염류				투수성, 표면조도 형상(배치)
유속			잔류시간, 와(渦)의 형성, 박리			

여 미관향상, 도시생태계 보호 및 각종 도시의 환경문제를 개선할 수 있다.

### 3.2.1 콘크리트에서 식물이 생육하기 위한 조건

콘크리트에서 식물이 생육하기 위해서는 콘크리트에 토양과 같은 기능이 필요하다. 따라서 콘크리트에서 식물이 생육하기 위한 문제점 및 해결방법은 <표 2>와 같다. 첫째, 일반 콘크리트에서는 식물의 뿌리가 활착할 수 있는 공간이 없기 때문에 식재용 콘크리트는 다공질 콘크리트로 제작하여 뿌리의 활착공간을 인위적으로 만들어 주어야 한다. 둘째, 식물이 양호하게 생육하기 위해서는 수분과 영양분을 식재기반으로부터 흡수해야 하기 때문에 다공질 콘크리트 속에 인위적으로 보수성 재료와 영양분을 충전시켜야 한다. 셋째, 일반 콘크리트는 강알칼리성으로 식물의 생육이 곤란하므로 식물의 생육에 적당한 pH가 확보되도록 중성화시킨다.

표 2 콘크리트에서 식물이 생육하기 위한 문제점 및 해결방법

문 제 점	해 결 방 법
① 식물뿌리의 활착공간이 없음	① 다공질 콘크리트로 제작
② 보수성과 영양분이 없음	② 보수성 재료와 영양분을 충전
③ 강알칼리성으로 식물생육이 곤란함	③ 중화처리

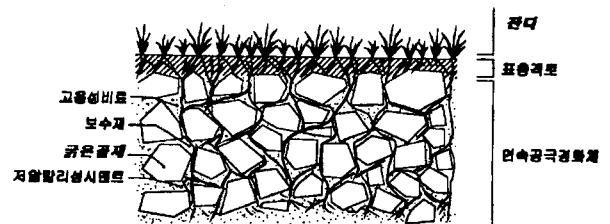


그림 6. 식재용 콘크리트의 구성

### 3.2.2 녹화 콘크리트의 구성

식재용 콘크리트에서의 식물생육은 <그림 6>과 같이 다공질 콘크리트속에 보수재와 비료를 충전하고, 그 위에 객토층을 형성한 후 식물을 생육시킨다.

#### (1) 다공질 콘크리트

다공질 콘크리트는 재생굼은골재와 소량의 고강도 시멘트 페이스트 또는 모르타르에 의해 형성된 콘크리트로서, 식재블록의 골격을 형성하고 있다. 표면적이 큰 다공질 콘크리트에서는 알칼리 성분의 용출이 많기 때문에 감소책으로 일정기간 대기중에서 탄산화시키거나, 수중에서 알칼리 성분의 용출을 촉진시키거나, 잠재수경성과 포졸란 반응으로 수산화칼슘을 감소시키는 방법 및 인위적인 중화처리를 실시하는 방법 등이 있다.

#### (2) 보수성 충전재와 비료

다공질 콘크리트의 공극에는 내부로 활착한 식물의 뿌리에 수분과 영양을 공급할 수 있는 보수성 재료와 비료가 충전된다. 보수성 충전재료는 각종 토양입자와 무기질의 인공토양, 흡수성 고분자, 피트머스 등이 이용된다.

#### (3) 표층객토

다공질 콘크리트의 표면에는 식물의 발아공간 형성과 경화체안의 수분 건조를 방지하며, 발아 후 초기 비료공급원으로써의 기능을 발휘할 수 있도록 객토층을 형성한다.

### 3.2.3 적용 사례

#### (1) 경사면에 시공

녹화 콘크리트를 하천, 호안, 도로 등의 경사면에 시공하여 경관향상과 생태계를 회복할 수 있다. 이때 녹화 콘크리트는 다공성을 기본으로 한 포러스 콘크리트를 골격으로 하고 그 공간 안에 토양재, 보수재, 양분 등을 충전하여 식물의 뿌리활착을 촉진하고, 토양의 소생물이 서식할 수 있도록 하고 있다.

일본에서는 녹화콘크리트를 경사면에 시공하여 경사면의 보호와 녹화가 동시에 가능하도록 실무에서 적용한 사례가 많이 보고

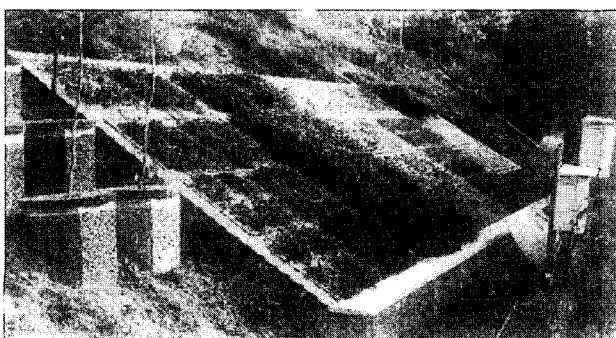


사진 1. 사면안정용 식재용 포러스 콘크리트

되고 있고, 국내의 경우도 몇 개의 업체에서 실무적용을 하고 있다. <사진 1>은 경사면에 식재용 포러스 콘크리트를 프리캐스트 제품으로 시공한 광경이다.

#### (2) 건물옥상에 시공

<사진 2>는 식재용 포러스 콘크리트를 이용하여 건물옥상을 녹화한 광경이다. 시공방법은 식재용 콘크리트 블록을 공장에서 제작한 후 시공장소인 옥상으로 운반하여 현장에서 조립 시공하는 방식이다. 즉, 옥상마감면 위에 스티로폼(두께는 현장조건을 고려하여 결정)을 깔고 스티로폼 위에 폴리에틸렌 필름(0.1 mm)을 설치한 후, 그 위에 부직포(3 mm)를 위치시킨다. 그 후 부직포 위에 식재용 콘크리트 블록을 시공하고, 객토를 한 후, 잔디 및 지피류를 시공하여 옥상녹화공사를 완료한다.



사진 2 식재용 포러스 콘크리트를 이용한 건물옥상녹화

### 3.3 투수성 포장

포러스 콘크리트에 의한 투수성 포장은 지하수의 보급·함양이라고 하는 기능을 기본으로 하고, 여기에 추가적으로 열수지도 개선하는 효과가 있다. 열수지 개선 효과에 영향을 미치는 요인으로서 색, 열특성(열전도율, 열용량), 간극률과 공극직경의 분포(투수성, 보수성, 흡수율)가 중요한 것으로 확인되고 있다.

또한, 포러스 콘크리트는 투수성 포장이 포장체 온도변화에 미치는 효과나 열의 이동특성에 미치는 효과도 보고되고 있다.

투수성 포장을 위한 포러스 콘크리트로서는 다공질 세라믹 블록이 이용되며 비교 대상으로는 통상 아스팔트 포장이 이용된다. 실험 변수로서는 포장재료의 열전도율, 열용량, 체적포화함수율 등이다. 그에 반해 다공질 세라믹은 모래와 동등한 간극률, 체적포화함수율을 가지고 있다. 이때 8월, 9월 주간에 측정된 노면최고온도는 통상의 아스팔트 포장이 약 60°C인 것에 비해 붉거나 푸른 세라믹 포장은 약 50°C, 또한 흰색의 세라믹 포장은 약 40°C로 세라믹 포장의 온도저감효과가 인정되고 있다. 또한 깊이 방향의 온도분포특성에 대해서는 아스팔트 포장이 지하 20 cm 까지 다량의 열을 축적하고 있는데 비하여 세라믹 포장은 세

라믹 블록에만 축척되고 있다. 한편 노면에서 대기로 방출되는 열(습열운송량)은 아스팔트 포장에 비해 세라믹 포장이 낮은 값을 가지며 대기를 가열하는 양이 적다. 이것은 특히 여름철 야간의 열섬현상을 저감시키기 위해 바람직한 현상이다.

### 3.4 지하침투공법

최근 도시화에 따라 도로, 광장 등의 포장이 증대하고 있으며 지하로 침투하는 우수의 양이 적어지고 있다. 그 결과 지하수의 함유량이 감소하여 지하수위의 저하, 지반침하, 토양의 건조화에 의한 생태계로의 악영향 등이 일어나고 있다. 또한, 지하 침투량의 감소는 강우시 표면유출량의 증대를 의미하며 배수대책에도 영향을 크게 미친다.

도시화가 진행됨에 따라 열발산이 감소하여 습기가 손실되고 불투수면의 증가에 의해서 직접유출수량이 현저하게 증가하는 반면, 지하유출수량이 감소하는 것으로 밝혀졌다. 이와 같은 도시화에 따른 물처리를 자연환경에 가깝고 환경보전대책 및 배수대책에 이용하는 공법으로서 지하침투공법이 적용되고 있다.

지하침투공법은 우물법과 확수법으로 크게 구분된다. 우물법은 지하의 침투층까지 도달하는 침투우물에 빗물을 인도·처리하는 것이며 우수가 정화작용을 받지 않아 직접 지하수로서 취급하기에는 수질을 악화시키는 것이 염려된다. 한편 확수법은 투수성 포장, 침투층구, 침투트렌치 등을 이용하여 지표 또는 지표 근처의 흙 속에 빗물을 분산침투시키는 공법이며 자연(비포장 환경)에 가까운 형태의 우수처리가 가능하게 된다. 환경의 물처리 제어를 목적으로 한 투수성 포장, 침투트렌치, 침투층구 등은 아스팔트계의 투수성 포장을 제외하면 다공질 콘크리트의 이용이 불가피하다.

일반적으로 이와 같은 용도로 사용되는 포러스 콘크리트는 0.5 ~ 0.8 mm 정도의 연속공극을 가지며 공극률 15 ~ 20 %, 투수계수 0.3 ~ 1.0 cm/sec 정도이고, 공극막힘 현상에 저항성을 가지며, 우수한 침투성능을 가지고 있다. 압축강도는 200 kgf/cm<sup>2</sup> 이상, 휨강도는 25 kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 가지고 있어, 보도용 및 경교통용으로서도 적용 가능하다. 침투트렌치, 침투층구 등에는 프리캐스트 제품의 포러스 콘크리트 제품이 이용된다.

## 4. 재생골재를 사용한 포러스 콘크리트의 물리적 특성

### 4.1 공극률 및 단위용적중량

포러스 콘크리트의 공극률이란 골재와 소량의 시멘트 페이스트 또는 모르타르에 의해서 얻어진 구조적인 공극률 대상으로 하고 있다. 이는 콘크리트의 배합과 사용하는 골재의 실적을 차이에 의해서 변화하고, 또한 사용하는 골재의 입경에 의해 공극직경도 영향을 받는다.

공극에는 연속적인 공극과 독립된 공극 2종류가 있으며 현재 포러스 콘크리트에 있어서 연속적인 공극과 독립된 공극을 합한 전공극률이 측정되고 있는데, 양자를 구별하여 취급하는 연구보고는 상대적으로 적다. 특히, 생물과의 공생을 고려할 때에는 연속적인 공극률이 중요한 요인이다. 포러스 콘크리트의 공극률은 약 5 ~ 35 % 범위이다. 이러한 공극률과 공극구조는 콘크리트의 강도, 흡수율 및 투수성과 같은 물리적 특성뿐만 아니라 생물의 부착, 수질정화, 투수, 식생 등의 효과에 영향을 미친다.

포러스 콘크리트의 단위용적중량은 1.5 ~ 2.0t/m<sup>3</sup> 정도이며, 특히 동일한 배합조건(페이스트 골재비, 골재크기)에서 재생골재를 사용한 경우가 부순돌을 사용한 경우보다 가격이 저렴하면서 단위용적중량이 약 10 % 작게 나타남이 확인된 바 있다.

### 4.2 압축강도

포러스 콘크리트의 압축강도는 사용재료, 시멘트 페이스트의 양, 공극률, 물-시멘트비 등의 배합조건, 다짐방법 등에 의하여 결정된다. 특히, 공극률의 영향이 가장 크다고 할 수 있다.

또한, 다양한 입경의 굵은골재를 이용한 포러스 콘크리트의 공극률과 압축강도시험에서는 공극률이 동일하더라도 콘크리트 제조에 사용되는 골재의 입경이 작아짐에 따라 압축강도는 상대적으로 증가한다. 이러한 포러스 콘크리트의 압축강도는 일반적으로 50 ~ 200 kgf/cm<sup>2</sup> 정도이고, 동일배합조건에서 재생골재를 사용한 경우가 부순돌에 비하여 압축강도는 약 30 ~ 40 % 정도 작게 나타난다.

### 4.3 동결융해저항성

포러스 콘크리트의 동결융해저항성에 대해서는 ASTM C 666의 A법(수중동결 수중융해법) 및 B법(기중동결 수중융해법)에 의한 실험보고가 있다. 포러스 콘크리트는 A법에 의해서는 다량의 연속된 공극 내로 수분이 쉽게 출입하여 동결 팽창함으로써 동결융해저항성이 낮은 것으로 알려지고 있다. 하지만, B법에 의한 시험에서는 동결융해 200회를 반복하더라도 상대 동탄성계수의 저하가 없는 것으로 보고된 바 있다.

<그림 7>은 A법에 의한 연구보고자료로서 부순굵은골재를 이용한 식재용 콘크리트는 80 사이클에서, 재생굵은골재를 이용한 식재용 콘크리트는 60 사이클에서 상대 동탄성계수가 60 % 이하를 나타내어 내동해성이 약함을 알 수 있었다.

### 4.4 건조수축

포러스 콘크리트의 건조수축은 단위시멘트량이 적기 때문에 일반 콘크리트의 약 60% 정도이고 건조수축의 속도도 완만한 것으

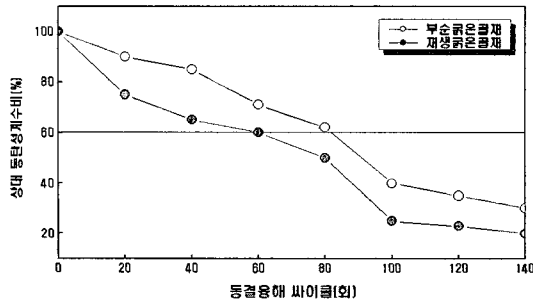


그림 7. 포러스 콘크리트의 동결융해시험결과

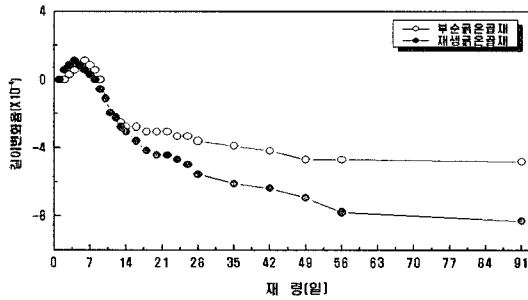


그림 8. 포러스 콘크리트의 길이변화율

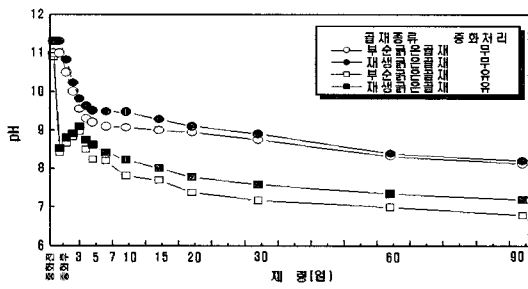


그림 9. 포러스 콘크리트의 알칼리용출량

로 알려져 있다.

〈그림 8〉은 재령 7일까지는 수중양생, 그후로는 기중양생을 실시하여 건조수축 길이변화율을 측정된 연구자료이다. 전반적으로 수중양생까지는 증가하였으나 기중양생부터는 감소하였는데, 건조수축 길이변화의 폭은 부순골은골재보다 재생골은골재의 경우가 더 크게 나타났다.

#### 4.5 알칼리용출량

포러스 콘크리트의 알칼리용출량에 관한 연구자료로서 〈그림 9〉는 재령경과에 따른 알칼리용출량을 중화처리 유무 및 골재 종류별로 나타낸 것이다.

전반적인 경향으로 중화처리를 하지 않은 경우의 pH는 재령 5일까지는 급격히 감소한 후, 재령경과에 따라서 완만히 감소하였다. 중화처리를 실시한 경우는 pH가 8.5 전후로 급격히 감소하였고, 그 후로 재령경과에 따라 일정범위까지는 증가하다가 감소하는 결과를 나타내었다. 골재 종류별 pH는 재생골은골재를 사용한 경우가 부순골은골재의 경우보다 약간 크게 나타났다.

### 5. 결 언

이상에서와 같이 포러스 콘크리트의 재료적 특성과 사용용도에 대하여 살펴보고, 재생골재를 사용한 포러스 콘크리트의 물리적 특성을 비교하였다.

포러스 콘크리트는 내부에 다량의 공극을 인위적으로 형성시킨 것으로서, 건설분야에서 환경친화적인 용도로의 사용이 확대되고 있고, 이에 대한 연구도 국내외에서 활발히 진행중이다.

이러한 포러스 콘크리트는 압축강도가 50 ~ 150 kgf/cm<sup>2</sup> 정도인 점을 고려할 때 콘크리트의 품질에 미치는 골재의 영향력이 비교적 작아 천연골재를 대신하여 건축폐기물인 재생골재를 사용하게 되면 가격도 저렴하고, 폐기물 처리문제도 해결하면서 그 기능을 충분히 발휘할 수 있는 것이 확인되고 있다. 따라서 재생골재를 포러스 콘크리트 제조에 이용하는 방안은 그 의미가 매우 크다고 할 수 있다. □

### 참고문헌

1. 日本コンクリート工學協會, “エココンクリート特輯”, 콘크리트工學, 第 36卷, 第 3號, 1998, pp.6~62.
2. 吉森和人, “植生ポラスコンクリートの製造と耐久性に關する實驗的研究”, 自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現象と將來展望に關するシンポジウム, 日本 콘크리트工學協會, 1995, pp.39~46.
3. 近藤, 益山; 建築物の屋上・壁面を綠花することによる夏季の室温の上昇抑制効果について, 芝草研究, 第 16卷, 第 2號, 1987, pp.13~18.
4. 原菌, 池田; 屋上での簡易養液栽培による室内熱環境への影響, 農業氣象 46(1), 1990, pp.9~17.
5. 柳橋邦生, 池尾陽作, 佐久間護, 米澤敏男; 綠化コンクリートの研究, 連續空隙硬化体の壓縮強度, 空隙率およびアルカリ溶出量の評價, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1993, pp.933~934.
6. 한국자원재생공사, “건설폐기물 재활용 가이드라인 설정 및 재활용 촉진 방안”, 1995.
7. 김무한, “재생골재의 현황 및 재활용방안”, 한국콘크리트학회지, 제 9권 6호, 1997, pp.11~17.
8. 이상태, 김진선, 황정하, 한천구, “건물옥상 식재용 콘크리트 공법의 개발”, 한국조경학회지, 제 28 권 제 5호, 2000, pp.48~57.
9. 한천구, 오선교, 이상태, 김정진, “재생골재를 이용한 식재용 콘크리트의 물리적 특성”, 한국콘크리트학회논문집, 제 14권 1호, 2002, pp.16~23.
10. 한천구, 김진선, 황정하, 이상태, “골재의 종류에 따른 건물옥상 식재용 콘크리트의 기초적 특성”, 대한건축학회논문집, 제 17권 1호, 2001, pp.91~98.
11. 신동인, “폐콘크리트의 품질이 재생콘크리트의 특성에 미치는 영향”, 명지대학교 박사학위논문, 1998.