

# 제올라이트 굵은골재 대체율에 따른 조경포장 콘크리트의 흡수 및 강도 특성

나옥빈<sup>1</sup>, 이기열<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>현대건설 기술연구소, <sup>2</sup>전남대학교 조경학과

## Absorption and Strength Properties of Landscape Paving Concrete According to Zeolite Coarse Aggregate Replacement Rate

Ok-Pin Na<sup>1</sup>, Gi-Yeol Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>R&D Division, Hyundai Engineering & Construction

<sup>2</sup>Department of Landscape Architecture, Chonnam National University

**요약** 이 논문은 흡수율이 높은 제올라이트를 일반 굵은골재의 대체재로 보도용 조경포장 콘크리트에 적용하기 위한 기초 연구로서, 제올라이트 굵은골재 대체율에 따른 포장 콘크리트의 흡수성과 강도 특성을 파악하였다. 제올라이트 굵은골재의 흡수율은 약 14%로서 일반 굵은골재와 비교하여 흡수능이 2.5배 증가하였다. 그리고, 제올라이트 굵은골재를 포장 콘크리트에 혼입하면 굵은골재 대체율에 따라 흡수율이 증가하고, 최대 대체율 50%에서 5.2%로 일반 포장 콘크리트와 비교하여 약 42% 증가하였다. 제올라이트 혼입 포장 콘크리트의 압축강도는 대체율 20%까지 증가한 후 감소하였지만 건설기준코드에서 규정하는 압축강도 기준은 모두 충족하였다. 휨강도는 대체율 10%까지 기준강도를 만족하였으나 대체율에 따라 강도가 감소하였으며, 포장 콘크리트의 균열저항성에 영향을 주는 쪼갬인장강도는 대체율 20%까지 일반 포장 콘크리트의 강도보다 크게 나타났다. 제올라이트 혼입 포장 콘크리트의 흡수성과 강도 특성에 대한 연구결과로부터 제올라이트 굵은골재를 일반 굵은골재의 대체재로 적용이 가능함을 확인하였다.

**Abstract** This study assessed the use of zeolite with high absorption performance in landscape paving concrete as a substitute for aggregate. The absorption performance and strength properties of paving concrete were investigated according to the replacement rate of the zeolite coarse aggregate, and the mechanical properties were investigated through strength tests. The absorption rate of the zeolite aggregate was 14%, which is 2.5 times higher than that of general aggregate. When zeolite coarse aggregate is applied to paving concrete, the absorption rate increases according to the replacement rate. The absorption rate was 5.2% at a replacement rate of 50%, which was 42% higher than that of general paving concrete. The compressive strength increased to 20% of the replacement rate and decreased at a higher replacement, but all the strengths in the construction standard code were satisfied. The flexural strength satisfied the code up to a replacement rate of 10%, but the strength decreased with increasing replacement rate, and the splitting tensile strength was greater than that of paving concrete using general aggregate up to a 20% replacement rate. Overall, zeolite coarse aggregate can be applied as a substitute.

**Keywords** : Absorption, Coarse Aggregate, Concrete, Landscape Paving, Mechanical Properties, Zeolite

\*Corresponding Author : Gi-Yeol Lee(Chonnam National Univ.)

email: gylee@jnu.ac.kr

Received February 22, 2021

Accepted April 2, 2021

Revised March 23, 2021

Published April 30, 2021

## 1. 서론

조경포장은 보행자 및 자전거 통행과 차량통행의 원활한 기능유지를 목적으로 지표면과 도로의 선형을 유지하기 위한 포장 및 경계블록으로 정의한다[1]. 조경포장의 종류에는 보행자 중심의 보도용 포장, 최대 적재량 4톤 이하 차량 중심의 차도용 포장 및 교통량이 적은 도로의 노면을 보호·강화하기 위한 간이포장으로 구분하며, 이들 대부분은 콘크리트를 주재료로 하는 강성포장에 해당한다. 조경포장을 규정하는 건설기준코드인 보도포장 코드(KDS 34 60 10)에 의하면 포장용 콘크리트는 재령 28일 압축강도 17.64 MPa 이상, 굵은골재 최대치수 40 mm 이하로 규정한다[1].

최근 기후변화에 따른 집중호우가 빈번히 발생함에 따라 불투수층에 의한 지표수 유출이 도심 지역 홍수의 주요한 원인이라고 할 수 있는데, 조경분야에서는 보도와 차도를 구성하는 콘크리트 포장이 대표적인 사례라고 할 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 포장체를 통해 빗물이 노상으로 침수되도록 공극률이 크고 투수계수가 높은 투수성 포장이나 배수성 포장을 적용하고 있다[2]. 그러나, 이들 포장은 대부분 투수 콘크리트 또는 아스팔트 혼합물에 의한 것으로서, 단입도의 일반골재 사용에 따른 재료분리와 투수성이 저하되고 역학적으로도 취약하여 초기균열 및 파손에 의한 내구성이 취약한 단점이 있다[3-5].

이와 함께 2014년부터 건전한 물순환 체계 구축을 목표로 강우 체류시간을 확보하여 홍수를 예방하기 위한 저영향개발(Low Impact Development, 이하 LID) 방식을 국내 주요 도시에 시범적으로 도입하고 있다. LID 방식의 핵심은 강우에 따른 빗물의 우수관 유입을 지연시켜 홍수 발생 가능성을 낮추는 것으로서, 투수 또는 흡수성 포장을 적용하여 도심지의 불투수 면적을 감소시키는 것이라고 할 수 있다. 최근 조경분야에서도 LID 방식을 적극적으로 도입하고 있는데, 옥상정원, 저류지 등과 함께 도심지 보도 또는 보행자 통로에 대한 불투수성 포장의 개선이 대표적이라고 할 수 있다.

제올라이트는 다공성 구조를 갖는 광물로서 수분 흡착 및 흡수력이 높은 특징을 갖고 있으며, 특히 포항, 울산 등 동해안 지역을 중심으로 매장량이 풍부하다고 알려져 있다[6]. 제올라이트가 갖는 특성에 따라 환경, 수처리 등 다양한 산업분야에서 활용되고 있다[7, 8]. 특히, 조경을 포함한 건설산업의 콘크리트 재료분야에서는 주로 미분말 형태의 혼화재료 또는 시멘트와의 결합재로서 강도증

진과 알칼리-골재반응 개선을 목적으로 사용되며, 경량 골재로도 일부 사용되고 있다[9-11]. 그러나, 제올라이트의 높은 흡수능을 활용하거나 지름이 5 mm 이상인 굵은골재로 콘크리트에 활용하는 연구는 진행되지 않고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 콘크리트용 일반 골재와 비교하여 흡수율이 높은 제올라이트를 보도용 포장 콘크리트에 적용하기 위한 기초 연구의 일환으로, 포장 콘크리트의 구성 재료 중 단위 사용량이 약 40%로서 가장 많은 굵은골재를 제올라이트 굵은골재로 대체하는데 따른 흡수성능 및 강도 특성에 대한 파악을 목적으로 한다. 이를 위하여 현행 포장 콘크리트 배합설계를 기준으로 사용 굵은골재의 50%까지 10%씩 제올라이트 굵은골재로 대체한 총 6가지 배합설계에 따른 콘크리트로 정사각형, 원주형 및 휨 물드를 제작하여 흡수성능 및 강도 특성을 파악하기 위한 기초 물성실험을 실시하였다.

## 2. 실험

### 2.1 사용재료

보도용 조경포장 콘크리트의 흡수성능 향상을 위하여 포장 콘크리트에 주로 사용하는 굵은골재를 흡수율이 높은 제올라이트 굵은골재로의 대체 가능성을 확인하기 위한 기초적인 물성 및 강도실험에 사용된 재료들의 특성은 다음과 같다.

#### 2.1.1 시멘트

국내 S사에 생산한 비중 3.15의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 화학조성은 Table 1.과 같다.

Table 1. Chemical compositions of cement

CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	MgO (%)
61.42	21.52	5.77	3.25	2.41	3.45

#### 2.1.2 골재

일반 굵은골재는 최대치수 8 mm, 조립율 2.35인 쇄석골재를 사용하였고, 잔골재는 포장 콘크리트의 품질변동성을 최소화하기 위하여 KS L ISO679 기준에 따른 ISO 표준모래를 사용하였으며, 굵은골재 및 잔골재의 물리적 특성은 Table 2.와 같다[12,13].

Table 2. Physical properties of normal aggregates

Aggregate	Size (mm)	Specific gravity	Finess Modulus	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
Fine	0.08-2.0	2.63	2.48	1,600
Coarse	8	2.61	2.35	1,678

### 2.1.3 제올라이트 굵은골재

경상북도 포항시 소재의 K사에서 생산하는 평균 지름 8mm인 천연 제올라이트를 사용하였으며, 화학적 조성은 Table 3., 물리적 특성은 Table 4.와 같다.

Table 3. Chemical compositions of natural zeolite

pH	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)
6.81	66.8	13.2	1.68	3.02	1.16

Table 4. Physical properties of zeolite coarse aggregates

Size (mm)	Specific gravity	Finess Modulus	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
8	2.16	2.31	1,390

### 2.2 배합설계

콘크리트의 배합은 시멘트 콘크리트 포장과 관련된 최근의 연구성과를 반영하고 국내 현장의 기술여건을 고려하여 2011년 국토해양부에서 발간한 시멘트 콘크리트 포장 배합설계 지침을 기준으로 하였다[14]. 콘크리트 포장은 작용하는 하중 특성에 따라 압축이 아닌 휨작용을 주로 받게 되므로 이 지침에서는 배합기준 강도를 설계 기준압축강도( $f_{ck}$ )가 아닌 휨강도를 설계기준으로 규정한다. 따라서, 설계기준 휨강도( $f_{bk}$ )를 4.5 MPa로 하며, 굵은골재 최대치수( $G_{max}$ ) 8 mm, 물-결합재 비( $W/B$ ) 0.45, 잔골재율( $S/a$ ) 39%를 기준으로 단위량을 결정하였다. 단, 지침에서는  $G_{max}$ 를 30 mm로 제시하였으나, 본 연구에서는 제올라이트 제조사의 공급 한계 및 실험 조건을 고려하여 평균지름 8 mm의 제올라이트 굵은골재와 이에 대응하는  $G_{max}$ 를 갖는 일반 굵은골재를 사용하였다.

이와 함께 제올라이트 굵은골재는 굵은골재 단위량을 기준으로 0%에서 50%까지 10% 단위로 대체하였으며, 이상의 조건들과 일반 및 제올라이트 굵은골재의 비중 차이에 따른 단위량을 고려한 표면건조포화상태 기준의 제올라이트 굵은골재 혼입 포장 콘크리트의 배합설계는 다음 Table 5.과 같다.

Table 5. Mixture design of paving concrete

Mixture type	Zeolite Content (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				
		Water	Cement	Aggregate		
				Fine	Coarse	Zeolite
GRZ0	0	140	311	708	1,112	0
GRZ10	10				1,001	92
GRZ20	20				900	184
GRZ30	30				778	276
GRZ40	40				667	368
GRZ50	50				556	460

### 2.3 실험체 제작 및 방법

제올라이트 굵은골재 혼입 포장 콘크리트의 흡수성능 및 강도 특성을 파악하기 위하여 50×50×50 mm의 정사각형 몰드, Ø50mm×100mm인 원주형 몰드 및 40×40×160mm의 휨 몰드를 각 배합별로 제작하였다. 실험체 제작 시 시멘트 모르타르용 몰드를 사용한 이유는 본 연구에서 사용하는 굵은골재 최대치수 및 제올라이트 굵은골재의 평균 지름이 8 mm인 특성을 고려하였기 때문이다. 실험체 제작 전에 배합된 콘크리트의 작업성과 유동성을 파악하기 위하여 KS L 5111에 의한 플로우 실험을 실시하였다[15].

흡수 및 건조특성은 정사각형 몰드를 각각 3개씩 이용하여 수중 침수 및 대기 중 건조를 실시하였다. 강도 특성은 수중양생을 실시한 정사각형 몰드 6개, 원주형 몰드 3개 및 휨 몰드 3개를 100 kN 용량의 UTM (Universal Testing Machine)을 이용하여 KS L 5105에 의한 압축강도 실험, KS F 2408 부록에 의한 3점 재하 방식의 휨강도 실험 및 KS F 2423에 의한 좌꺾인장강도 실험을 실시하였다[16-18].

## 3. 실험결과

### 3.1 골재 흡수 및 건조실험

제올라이트 굵은골재 혼입 포장 콘크리트의 흡수 및 건조 특성은 사용재료 중 사용량과 흡수율이 가장 높은 굵은골재가 지배한다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 Fig. 1.에 보인 것과 같이 KS F 2503에 따른 시험방법을 준용하여 시간대별 일반 굵은골재와 제올라이트 굵은골재의 흡수율과 건조율을 파악하기 위한 실험을 실시하였다[19]. 흡수율은 100℃ 건조로에서 24시간 건조시킨 절

대건조상태의 골재를 Fig. 1. (a), (b)와 같이 침수를 시킨 후, 초기 1시간 동안은 10분 간격, 다음 2시간까지는 30분 간격, 이후 6시간까지는 1시간 간격으로 물속에서 꺼낸 후 표면수를 최대한 빨리 제거하여 정밀도 0.01g인 전자저울을 이용하여 무게를 측정하였다. 건조율은 20℃ 온도의 물속에 24시간 침수시킨 후 실험 직전에 표면수를 제거한 표면건조포화상태 골재를 기준으로 20℃ 상온의 실내에서 자연건조시키면서 흡수율과 동일한 시간간격과 저울을 이용하여 골재의 무게를 측정하였다. 골재의 흡수실험에 따른 일반 굵은골재와 제올라이트 굵은골재의 흡수율을 Fig. 2.에 정리하였다. 이 그림을 살펴보면 일반적인 포장 콘크리트에 사용하는 굵은골재는 침수 후 30분이 경과하였을 때 최대 5.3%의 흡수율을 나타낸 후, 시간의 경과에 상관없이 흡수율이 약 5%로 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 제올라이트 굵은골재는 침수 후 30분까지 흡수가 계속 증가하여 최대 13.9%의 흡수율을 나타낸 후, 1시간까지는 일정하게 유지되다가 이후부터는 흡수율이 약 1% 정도 감소하여 13% 수준에서 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

골재의 건조실험에 따른 일반 굵은골재와 제올라이트 굵은골재의 건조율을 Fig. 3.에 정리하였다. 이 그림을 살펴보면 제올라이트 굵은골재는 건조 후 10분만에 2.9%의 건조율을 나타냈으며, 이후 시간이 증가함에 따라 건조가 지속되어 8시간이 경과하였을 때 약 9%까지 건조율이 증가하는 것으로 나타났다. 이와는 다르게 일반 굵은골재는 건조 후 10분에 약 1.4%의 건조율을 나타냈으며, 이후 3시간까지 건조가 지속되어 약 3%까지 건조율이 증가하고 이후부터는 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

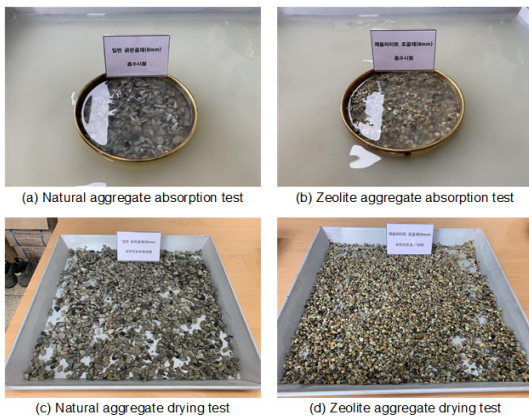


Fig. 1. Absorption and drying test of aggregate  
 (a) Aggregate absorption (b) Zeolite absorption  
 (c) Aggregate drying (d) Zeolite drying

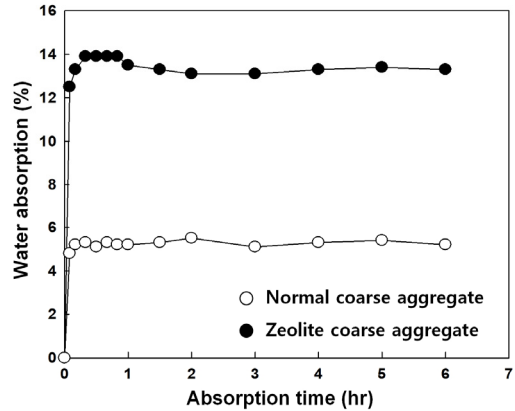


Fig. 2. Comparison of aggregate and zeolite absorption

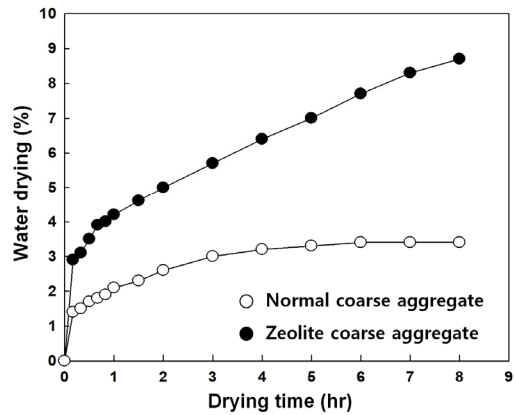


Fig. 3. Comparison of aggregate and zeolite drying

이상의 실험결과로부터 제올라이트 굵은골재의 흡수 및 건조율이 일반 굵은골재와 비교하여 약 3배 정도 크다는 것을 확인하였으며, 포장 콘크리트의 흡수성능 향상을 위해 제올라이트 굵은골재의 사용 가능성을 확인하는 결과라고 할 수 있다.

### 3.2 플로우실험

콘크리트의 작업성은 일반적으로 슬럼프 값을 이용하지만, 포장 콘크리트에서는 슬럼프 40 mm 이하를 적용하므로 측정값의 신뢰도가 낮다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 제올라이트 굵은골재 혼입 콘크리트의 배합에 따른 작업성을 파악하기 위하여 각 배합별로 Fig. 3.과 같이 플로우실험을 실시하고, 이들 결과를 Fig. 4.에 정리하였다.

이 그림을 살펴보면, 현재 포장 콘크리트에 주로 사용하는 일반 굵은골재만으로 배합된 GRZ0의 플로우값은 147 mm로 나타났다. 그리고, 일반 굵은골재를 제올라이트 굵은골재로 대체한 배합의 경우에는 대체율이 10%인 GRZ10의 플로우값이 143 mm로서 일반 굵은골재 배합과 차이가 발생하지 않았으며, 대체율이 증가함에 따라서 플로우값은 제올라이트 굵은골재로 30% 대체한 GRZ30에서 최소 136 mm까지 감소하였고, 제올라이트 굵은골재를 50%까지 대체한 GRZ50에서는 142 mm로 GRZ0과 비교하여 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 제올라이트 굵은골재를 혼입한 콘크리트의 플로우값을 기준으로 보통 콘크리트와 비교하여 10% 미만의 감소가 발생하므로 작업성의 저하가 크게 발생하지 않는다고 할 수 있다.

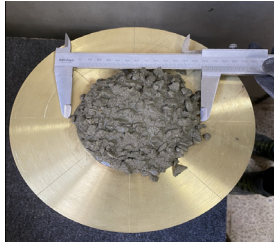


Fig. 3. Flow test of paving concrete

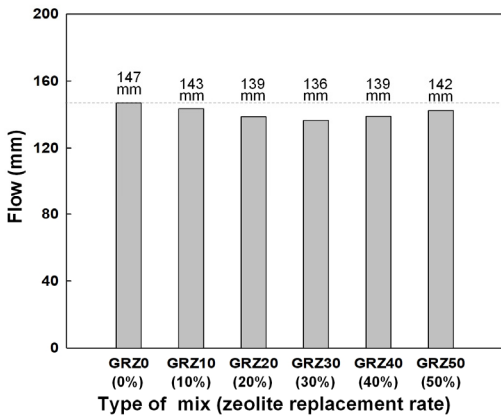


Fig. 4. Comparison of concrete flow with zeolite replacement

### 3.3 콘크리트 흡수/건조실험

포장 콘크리트에 주로 사용하는 일반 굵은골재를 제올라이트 굵은골재로 대체하여 Table 5.와 같은 배합으로 제작한 콘크리트의 흡수 및 건조 특성을 파악하기 위하여 Fig. 5에 보인 것과 같은 흡수 및 건조실험을 실시하

였다.

흡수실험에 따른 제올라이트 굵은골재 혼입 포장 콘크리트의 흡수율을 각 배합별로 Fig. 6.에 정리하였다. 이 그림을 살펴보면, 모든 배합에서 흡수 후 1시간동안 흡수율이 크게 증가하고 이후 3시간까지 계속 증가하였으나, 이후부터는 흡수율의 변화가 거의 없는것으로 나타났다. 제올라이트 대체율에 따른 각 배합별 24시간 흡수율은 일반 굵은골재만을 사용한 GRZ0에서 약 3.6%, 제올라이트를 10%에서 30%까지 대체한 GRZ10, GRZ20, GRZ30에서 각각 3.8%, 4.1% 및 4.2%로 나타났다. 그러나, 제올라이트 대체율이 40% 이상인 GRZ40과 GRZ50 배합에서는 흡수율이 약 5.2%까지 비교적 크게

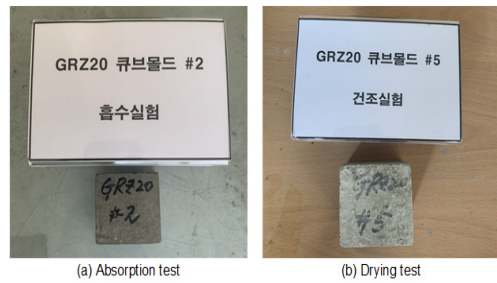


Fig. 5. Absorption and drying test of paving concrete (a) Absorption test (b) Drying test

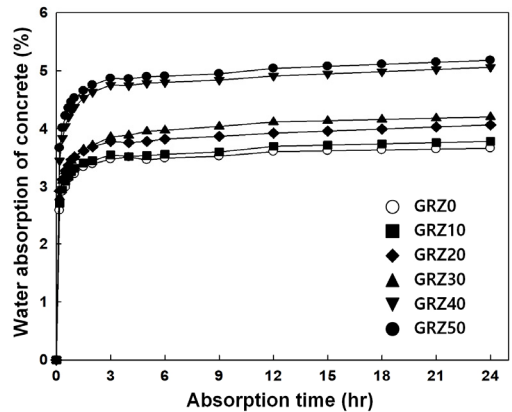


Fig. 6. Comparison of concrete absorption with zeolite replacement

증가하는 것으로 나타났다. 제올라이트 굵은골재 대체에 따른 흡수율 증가는 GRZ0을 기준으로 10%를 대체한 GRZ10은 3% 증가한 반면, 30%를 대체한 GRZ30에서 14.8%, 본 실험의 최대인 50%를 대체한 GRZ50에서는 41.5%로 흡수능력이 크게 증가하였다.

건조실험에 따른 제올라이트 혼입 포장 콘크리트의 건조율을 각 배합별로 Fig. 7.에 정리하였다. 이 그림을 살펴보면, 흡수율과는 다르게 모든 배합에서 건조시간에 비례하여 건조율이 증가하는 것으로 나타났다. 일반 굵은골재를 사용한 GRZ0에서는 24시간 후 건조율이 1.5%였지만, 제올라이트 굵은골재를 10%와 20%로 대체한 GRZ10, GRZ20에서는 초기에 GRZ0 보다 건조가 작게 발생하는 것을 확인하였으며, 24시간 후 건조율 또한 작거나 비슷한 1.45% 및 1.61%로 나타났다. 이와는 다르게 제올라이트 굵은골재를 30% 이상 대체한 GRZ 30과 GRZ50에서는 건조율이 증가하여 24시간 후 1.9%, 2.2%로 나타났다. 제올라이트 굵은골재 대체에 따른 건조율 증가는 GRZ0을 기준으로 10%를 대체한 GRZ10에서는 6% 감소한 반면, 30%를 대체한 GRZ30은 24%, 본 실험의 최대인 50%를 대체한 GRZ50에서는 44%까지 증가하는 것으로 나타났다.

이 결과로부터 제올라이트 굵은골재로 대체한 포장 콘크리트의 흡수성은 일반 굵은골재와 비교하여 크게 향상된다는 것을 확인하였으며, 제올라이트 굵은골재의 최대 흡수율이 14%인 것을 고려하면 흡수성의 추가적인 개선이 가능할 것으로 판단된다.

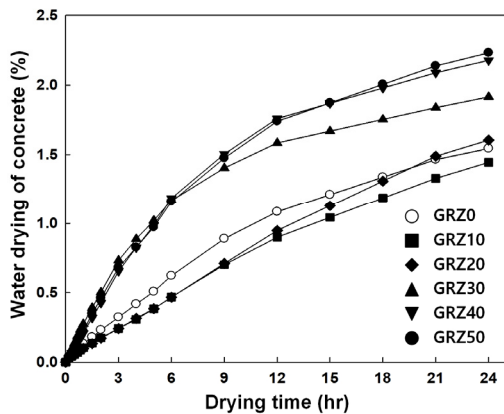


Fig. 7. Comparison of concrete drying with zeolite replacement

### 3.4 콘크리트 강도실험

제올라이트 굵은골재 혼입 포장콘크리트의 강도 특성을 파악하기 위하여 Fig. 8.에 보인 것과 같이 압축, 쪼갬인장 및 휨 강도실험을 실시하였다. 각 배합별로 제작한 정사각형 몰드 6개의 압축실험에 따른 평균 압축강도를 Fig. 9.에 정리하였다. 이 그림을 살펴보면, 일반 굵은골재만을 사용한 GRZ0 실험체의 평균 압축강도는 36.7

MPa로 측정되었으며, 제올라이트 굵은골재로 대체한 GRZ10, GRZ20 및 GRZ30 실험체의 압축강도는 GRZ0과 비교하여 증가하거나 2%의 감소가 발생하는 것으로 나타났다. 그러나, 제올라이트 굵은골재 대체율이 40% 이상이 되는 GRZ40과 GRZ50 실험체는 평균 압축강도가 최소 26.7 MPa로서 약 20% 이상 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나, 보도포장 코드에서 규정하는 조경포장 콘크리트의 압축강도 한계인 17.86 MPa은 모든 배합에서 만족하였다. 단, 제올라이트 굵은골재를 40% 이상 대체할 경우에는 압축강도가 감소하는 영향을 고려할 필요가 있다.

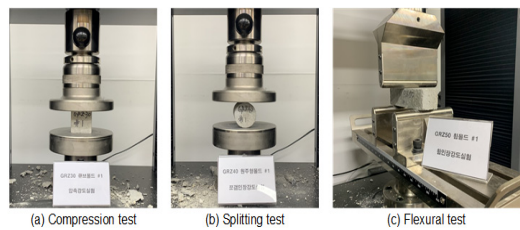


Fig. 8. Strength test

(a) Compression test (b) Splitting test (c) Flexural test

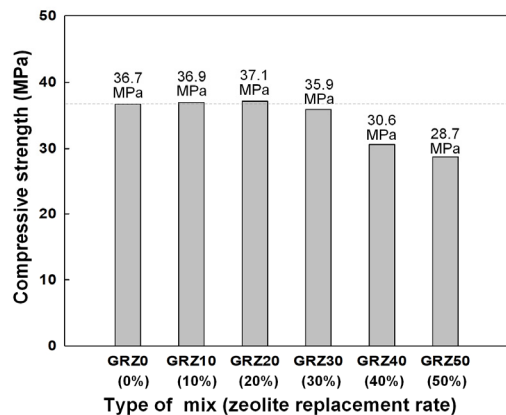


Fig. 9. Comparison of compressive strength with zeolite replacement

압축실험과 동일한 배합으로 제작한 휨 몰드 3개의 휨 실험에 따른 평균 휨강도를 Fig. 10.에 정리하였다. 이 그림을 살펴보면, 현행 포장 콘크리트의 배합에 따른 일반 굵은골재만을 사용한 GRZ0 실험체의 평균 휨강도는 4.78 MPa로 측정되었으며, 제올라이트 굵은골재를 10% 대체한 GRZ10 실험체도 4.67 MPa로 포장 콘크리트 설계기준 휨강도인 4.5 MPa을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나, 제올라이트 굵은골재 대체율이 20% 이상인 나머지

지 배합에서는 기준 휨강도를 만족하지 못하였으며, 특히 대체율이 증가할수록 휨강도는 13%에서 GRZ50 실험체의 경우 최대 35%까지 감소하는 것으로 나타났다.

이 결과를 종합하면 제올라이트 굵은골재를 포장 콘크리트 배합에 적용할 경우에는 굵은골재의 10%까지 대체가 가능하며, 포장콘크리트의 흡수성을 위하여 제올라이트 굵은골재를 20% 이상 대체하여 사용할 경우에는 휨강도의 감소에 따른 영향을 고려할 필요가 있다.

제올라이트 굵은골재 혼입 포장 콘크리트의 균열 저항성에 영향을 주는 변수인 쪼갬인장강도를 확인하기 위하여 동일한 배합을 적용하여 제작한 원주형 몰드 3개의 쪼갬인장실험에 따른 평균 쪼갬인장강도를 Fig. 11.에 정리하였다. 이 그림을 살펴보면, 일반 굵은골재를 사용한 포장 콘크리트의 평균 쪼갬인장강도는 3.22 MPa로 측정되었으며, 제올라이트 굵은골재로 일반 굵은골재를 10% 대체한 GRZ10 실험체의 평균 쪼갬인장강도는 약 14% 증가한 3.68 MPa, 20%를 대체한 GRZ20 실험체는 약 6% 증가한 3.42 MPa로 측정되었다. 그러나, 제올라이트 굵은골재의 대체율이 30% 이상으로 증가하면 쪼갬인장강도는 GRZ30 실험체에서 4.7% 감소한 3.07 MPa, GRZ40 실험체에서 11.5% 감소한 2.85 MPa, GRZ50 실험체에서 20.5% 감소한 2.56 MPa로 측정되었다.

이상과 같은 제올라이트 굵은골재 혼입 포장 콘크리트의 강도별 특성 및 상관관계를 파악하기 위하여 압축강도를 기준으로 하는 인장강도의 비와 휨 및 쪼갬인장강도의 비를 Table 6.에 정리하였다. 휨 및 쪼갬 인장강도의 비를 살펴보면, 휨강도 비는 제올라이트 굵은골재 대체율에 따라 9.8~12.7%로서 일반 굵은골재를 사용하는 콘크리트의 휨강도가 압축강도의 1/5~1/7(14~20%)임을 고려하면 휨강도는 크게 감소한다는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 제올라이트 혼입율에 따라 휨강도가 감소한다는 Semsetin(2011)의 연구결과와 일치함을 확인할 수 있다[20].

이러한 이유는 다공성을 특징으로 하는 제올라이트 굵은골재의 역학적 성질에 따라 일반 굵은골재와 비교하여 인장강도가 작기 때문이라고 판단된다. 이와는 다르게 쪼갬인장강도 비는 굵은골재 대체율에 따라 8.6~ 9.9%로서 보통 콘크리트의 쪼갬인장강도가 압축강도의 1/9~1/13(7.7~11.1%)임을 고려하면 휨강도와는 다르게 보통 콘크리트의 쪼갬인장강도 비와 차이가 없음을 확인할 수 있다. 그리고, 휨강도와 쪼갬인장강도의 비는 제올라이트 굵은골재 대체율에 따라 보통 콘크리트와 다르게 감소하고 있음을 확인할 수 있다.

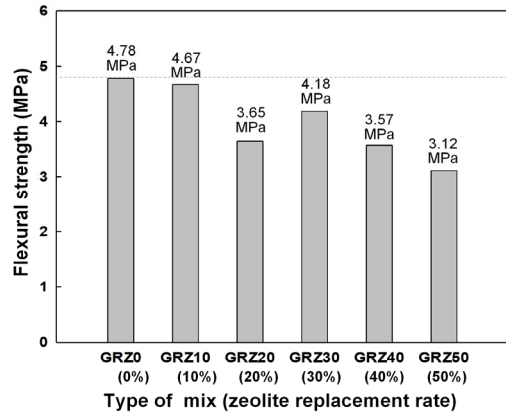


Fig. 10. Comparison of flexural strength with zeolite replacement

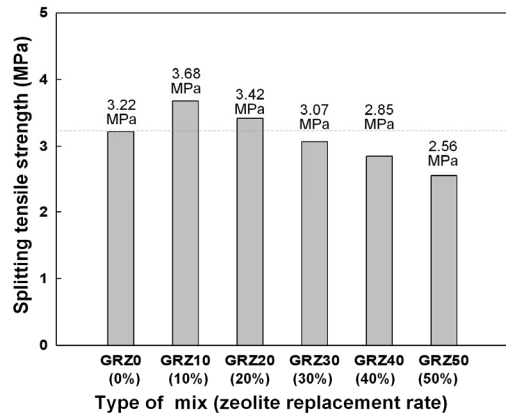


Fig. 11. Comparison of Splitting tensile strength with zeolite replacement

Table 6. Strength relationships of paving concrete

Mixture type	Compressive strength (MPa) (1)	Flexural strength (MPa) (2)	(2) / (1)	Splitting strength (MPa) (3)	(3) / (1)	(2) / (3)
GRZ0	36.7	4.78	0.130	3.22	0.088	1.48
GRZ10	36.9	4.67	0.127	3.68	0.099	1.27
GRZ20	37.1	3.65	0.098	3.42	0.092	1.07
GRZ30	35.9	4.18	0.116	3.07	0.086	1.36
GRZ40	30.6	3.57	0.117	2.85	0.093	1.25
GRZ50	28.7	3.12	0.109	2.56	0.089	1.22

이상과 같은 연구결과를 종합하면 제올라이트 굵은골재를 일반 굵은골재의 10~20%까지 대체하여도 포장 콘

크리트의 균열저항성능은 감소하지 않거나 개선될 수 있음을 확인하였으며, 제올라이트 굵은골재를 30% 이상 대체할 경우에는 휨 및 조깅인장강도의 감소에 대한 영향을 고려할 필요가 있다.

#### 4. 결론

이 연구는 일반 굵은골재를 주로 사용하는 현행 보도용 조경포장 콘크리트의 흡수성능 향상을 위하여 흡수율이 높은 제올라이트 굵은골재를 굵은골재의 대체재로 사용하기 위한 기초 연구의 일환으로, 제올라이트 굵은골재 대체율에 따른 보도용 포장 콘크리트의 흡수성능 및 강도 특성을 파악하기 위하여 각 배합별로 흡수 및 건조실험과 강도실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 평균지름 8 mm인 제올라이트 굵은골재의 최대 흡수율은 13.9%로서, 동일한 지름을 갖는 일반 굵은골재의 최대 흡수율인 5.3%와 비교하여 흡수성능이 2.6배 이상 증가하는 것으로 나타났다.
- (2) 제올라이트 굵은골재를 혼입한 보도용 조경포장 콘크리트의 흡수성능은 일반 굵은골재의 대체율에 비례하여 증가하였으며, 최대 50% 대체 시 흡수율은 5.2%로서 일반 굵은골재를 사용한 콘크리트의 흡수율인 3.6%와 비교하여 흡수성능이 41.5% 증가한 것으로 나타났다.
- (3) 일반 굵은골재를 대체하여 제올라이트 굵은골재를 혼입한 보도용 조경포장 콘크리트의 강도 특성은 대체율이 증가할수록 감소하는 경향을 보이지만, 대체율에 따라서 압축, 휨 및 조깅인장강도는 서로 다른 특성을 갖는 것으로 나타났다.
- (4) 휨강도를 기준으로 하는 배합설계지침과 압축강도를 기준으로 하는 보도포장 코드에서 규정하는 포장 콘크리트의 강도와 비교하여 휨강도는 대체율 10%, 압축강도는 대체율 50%까지 기준을 만족하는 것으로 나타났으며, 균열저항성과 관련된 조깅인장강도는 대체율 30%까지 3 MPa 이상을 확보하는 것으로 나타났다.
- (5) 흡수 및 강도실험을 통하여 제올라이트 굵은골재를 혼입한 보도용 포장 콘크리트의 적용 가능성을 확인하였으며, 향후 흡수성능의 향상과 인장강도의 개선을 통한 일관된 역학적 특성의 확보를 위한 연구가 계속 수행될 필요가 있다.

#### References

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), Sidewalk Pavement Code(KDS 34 60 10), Korean Construction Standards Center, 2016.
- [2] J. J. Choi, W. T. Park, "Physical Properties of Permeable Concrete Using Slag as an Aggregate", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.4, No.4, pp.404-408, 2003.
- [3] H. B. Ko, M. Y. Ko, "An Experimental Study on the Basic Properties of Elastic Paving Materials", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.16, No.7, pp.5021-5028, 2015.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.7.5021>
- [4] Y. S. Kim, D. U. Lee, "Plastic Shrinkage Cracking Reduction of Press Concrete Using Admixtures in Basement", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.20, No.11, pp.416-424, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.11.416>
- [5] J. S. Park, "Experimental Study on Fatigue Strength of Continuously Reinforced Concrete Pavements with Initial Transverse Cracks", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.8, No.5, pp.1173-1178, 2007.
- [6] J. J. Choi, "A Study on the Properties of Concrete Using Zeolite", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.10, No.5, pp.205-216, 1998.
- [7] M. J. Choi, N. K. Sung, S. J. Park, J. A. Lee, H. S. Yun, I. K. Hong, "Water Purification Properties of Porous Zeolite Concrete", *Applied Chemistry for Engineering*, Vol. 22, No. 3, pp. 332-335, 2011.
- [8] C. Y. Lee, Y. C. Kim, J. J. Lee, "Hydration Characteristics of Cement Containing Zeolite", *Applied Chemistry for Engineering*, Vol. 22, No. 4, pp. 423-428, 2011.
- [9] N. Feng, C. Ma, X. Ji, "Natural Zeolite for Preventing Expansion due to Alkali-Aggregate Reaction", *Cement Concrete Aggregates*, Vol.12, No.2, pp.93-96, 1992.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.22636/MKCI.1998.10.5.205>
- [10] B. W. Jo, J. S. Choi, "An Experimental Study on the Fundamental Properties of Zeolite Concrete", *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol.16, No.1, pp.1-8, 2012.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.1112/JKSMI.2012.16.1.001>
- [11] B. W. Jo, S. W. Kang, S. K. Park, J. S. Choi, "A Fundamental Study on the Characteristics of Zeolite Cement Mortar", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.23, No.2, pp.203-209, 2011.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2011.23.2.203>
- [12] Korean Standards Association, Methods of Testing Cements-Determination of Strength(KS L ISO679), Korean Agency for Technology and Standard, 2016.
- [13] Societe Nouvelle du Littoral(SNL), Safety data sheet for Siliceous Standard Sand, Sable Normalise CEN,



2020.

- [14] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), Guide for Design and Proportioning of Cement Concrete Mixtures for Pavement, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011.
- [15] Korean Standards Association, Flow table for use in tests of hydraulic cement(KS L 5111), Korean Agency for Technology and Standard, 2017.
- [16] Korean Standards Association, Testing method for compressive strength of hydraulic cement mortar (KS L 5105), Korean Agency for Technology and Standard, 2017.
- [17] Korean Standards Association, Standard Test method for flexural strength of concrete(KS F 2408), Korean Agency for Technology and Standard, 2016.
- [18] Korean Standards Association, Standard Test method for Tensile Splitting strength of concrete (KS F 2423), Korean Agency for Technology and Standard, 2016.
- [19] Korean Standards Association, Testing Method for Density and Absorption of Coarse Aggregate(KS F 2503), Korean Agency for Technology and Standard, 2016.
- [20] K. Semsettin, "The Effect of Zeolite Amount on the Physical and Mechanical Properties of Concrete", *International Journal of the Physical Sciences*, Vol.6, No.13, pp.3041-3046, 2011.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.5897/IJPS10.164>

이 기 열(Gi-Yeol Lee)

[종신회원]



- 2001년 2월 : 전남대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 전남대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 전남대학교 조경학과 조교수

<관심분야>

콘크리트구조, 건설재료, 조경공학

나 옥 빈(Ok-Pin Na)

[정회원]



- 2002년 2월 : 한양대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2011년 8월 : Univ. of Colorado Boulder 토목공학과 (공학박사)
- 20113년 6월 : 철도기술연구원 박사후 연구원
- 2013년 7월 ~ 현재 : 현대건설 기술연구소

<관심분야>

콘크리트 내구성, 조경건설재료, 공기단축 공법