

# 결합재량 및 다짐에너지에 따른 포러스콘크리트의 특성에 관한 연구

## A Study on the Properties of Porous Concrete according to Volume of Binder and Compaction Energy

이 준\*\*      박 승 범\*      김 정 환\*\*      서 대 석\*\*\*      김 범 규\*\*      김 형 석\*\*  
Lee, Jun    Park, Seong Bum    Kim, Jeong Hwan    Seo, Dae Seuk    Kim, Bum Kyou    Kim, Hyung Seok

### ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate properties of porous concrete according to volume of binder and compaction energy. The result of this study, as compaction energy goes on increasing, the actual measured void ratio is decreased according as a change of compaction energy and volume of binder. The compaction energy has a very near value by target void ratio on the whole when it is  $50\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2$ ,  $50\sim 75\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2$  in case of target void ratio is 15% and 25%. As compaction energy goes on increasing, compressive strength of specimens picked up when target void ratio is 20% and 25%. Also, compressive strength of specimens bluntly picked up when compaction energy is over  $50\sim 75\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2$ .

### 1. 서 론

사회기반시설인 도로, 철도, 항만, 상하수도 등의 토목구조물과 건축구조물에 사용되어온 콘크리트는 경제와 문화 발전에 크게 공헌하여 왔다. 그러나 기존의 콘크리트는 그 구조적 기능성만을 추구하는데 그쳐 설치지역의 주변 자연환경을 파괴하고 동식물의 서식을 방해하여 환경문제에 있어서 부정적으로 인식되고 있다. 따라서 건설기술자들은 주재료인 콘크리트를 이용하여 주변 자연환경과 조화를 이룰 수 있고 나아가 훼손된 주변 자연환경을 복원시킬 수 있는 용도개발에 관심을 집중하고 있으며, 이러한 측면에서 콘크리트에 다량의 연속공극을 형성시켜 투수성, 투기성, 수질정화, 식생 및 조장조성 능력을 갖는 포러스콘크리트에 대한 개발 및 적용연구<sup>1~3)</sup>가 활발히 진행되고 있다. 그러나 포러스콘크리트의 기능성 확보와 현장적용을 위해서는 적정 공극의 형성 및 소요강도의 확보라는 상반되는 기능을 동시에 만족해야하는 문제점을 가지고 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 결합재량 및 다짐에너지 변화에 따른 포러스콘크리트의 연속공극형성 및 강도특성에 대하여 검토해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 포러스콘크리트의 현장적용을 위한 기초적 자료를 확보하기 위하여 표면진동다짐기를 이용하여 결합재량 및 다짐에너지 변화에 따른 포러스콘크리트의 위치별 공극률과 압축강도 특성을 검토하였다.

### 2. 사용재료 및 시험방법

#### 2.1 사용재료

##### 2.1.1 시멘트

본 연구에서 사용된 시멘트는 KS L 5210의 규정에 적합한 고로시멘트 B종으로 밀도  $3.12\text{g}/\text{cm}^3$ , 분말도  $4,091\text{cm}^2/\text{g}$ 의 것을 사용하였다.

\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수  
\*\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 공·박  
\*\*\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 대학원

### 2.1.2 골재

본 연구에서 사용된 굵은골재는 충남 H사에서 생산되는 최대치수 13mm의 부순돌을 사용하였으며, 골재의 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 골재의 물리적 성질

골재입도	밀도(g/cm <sup>3</sup> )	흡수율(%)	실적률(%)	단위용적질량(t/m <sup>3</sup> )
5~13mm	2.7	1.06	58.2	1.57

### 2.1.3 혼화제

본 연구에 사용된 혼화제는 시멘트의 분산작용에 의해 콘크리트의 작업성을 개선시키는 일본 K사 제품의 나프탈렌 설본산염 고축합물계인 Mighty-150을 사용하였다.

### 2.2 배합 및 공시체 제작

배합은 물-시멘트비를 25%로 설정하고, 결합재량을 변화시키기 위하여 일정한 단위골재량에 대하여 목표공극률을 15%, 20%, 25%로 설정하여 결합재량을 변화시켰다. 또한, 목표흐름값(200%)을 확보하기 위하여 사전에 흐름시험을 통하여 혼화제의 첨가량을 결정하였다. 혼합방법은 시멘트 페이스트의 분산성을 향상시키기 위해 용량 30ℓ의 옴니믹서를 사용하여 먼저 고로슬래그 시멘트, 혼합수(물+혼화제)를 투입하여 200rpm으로 시멘트 페이스트의 유동성이 안정화 되는 시간인 240초 동안 혼합한 후 골재를 투입하여 다시 90초 동안 혼합하는 페이스트 Pre-Mixing 방법으로 하였다. 공시체 제작은 ø 10×20cm 몰드에 시료를 1층으로 타설하고 표면 진동형 바이브레이터를 이용하여 다짐(진동)에너지를 25, 50, 75, 100kN·m/m<sup>2</sup>로 하여 다짐을 실시하였으며, 다짐에너지 산출식<sup>2)</sup>은 다음과 같다.

$$E = 2a(W+F/2) \cdot n \cdot t \cdot 1/S,$$

여기서 : E : 다짐(진동)에너지(kN·m/m<sup>2</sup>),  
a : 진폭(m), n : 진동수(Hz), W : 진동기의 하중(kN)  
S : 가압면적(m<sup>2</sup>), F : 기진력(kN), t : 다짐시간(sec)

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 공극률 시험

공극률 시험은 일본 콘크리트공학협회 예코 콘크리트위원회의 포러스콘크리트의 공극률 시험방법(안)중 용적법<sup>3)</sup>에 준하여 다음의 식에 의하여 측정하였다.

$$A(\%) = (1 - (W_2 - W_1)/V) \times 100$$

여기서, A : 콘크리트의 전공극률(%), W<sub>1</sub> : 공시체의 수중질량(g)  
W<sub>2</sub> : 24시간의 자연건조후 기건질량(g)  
V : 공시체의 체적(cm<sup>3</sup>)

#### 2.3.2 시멘트 페이스트의 흘러내림 측정시험

공시체 저면부의 시멘트 페이스트 흘러내림 측정은 공시체 밀면을 연마한 후 평탄부위에 페인트를 도포하고 디지털 카메라를 이용하여 화상 촬영하여 측정하였다.

#### 2.3.3 압축강도 시험

압축강도는 재령 28일의 공시체를 KS F 2405에 준하여 유압식 만능시험기를 사용하여 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 공극률 시험

결합재량(목표공극률) 및 다짐에너지 변화에 따른 포러스콘크리트의 부위별(상, 중, 하) 공극률 측정 결과는 다음의 그림 1~4와 같다. 이를 고찰하여 보면, 결합재량(목표공극률)에 관계없이 다짐에너지가 25~100kN·m/m<sup>2</sup>으로 증가함에 따라 공시체의 전체 공극률은 감소하는 경향을 나타냈다. 목표공극률 15%의 경우 다짐에너지 25kN·m/m<sup>2</sup>에서는 공시체 하부로 갈수록 공극률이 증가하는 경향을 나타냈으며 공시체 전체 공극률 또한 목표로 했던 공극률보다 1.4배 정도 높게 나타났다. 이는 과소한 다짐 에너지로 인하여 공시체 하부까지 다짐에너지가 충분하게 전달되지 않았기 때문으로 판단된다. 또한, 50kN·m/m<sup>2</sup>에서는 공시체 전부위에 걸쳐 목표공극률과 근사한 실측공극률값을 나타냈으며 그 이상의 다짐에너지에서는 공시체 하부로 갈수록 공극률이 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 목표공극률 20%의 경우에는 다짐에너지가 50~75kN·m/m<sup>2</sup>에서 공시체 전부위에 걸쳐 고른 공극률 특성을 나타냈으며 100kN·m/m<sup>2</sup>에서는 공시체 하부로 갈수록 공극률이 감소하였다. 이는 과도한 다짐에너지로 인하여 시멘트 페이스트가 공시체 하부로 침하하여 공극률이 감소한 것으로 판단된다. 목표공극률 25%의 경우에는 다짐에너지가 50kN·m/m<sup>2</sup>까지는 공시체 하부로 갈수록 공극률은 증가하는 경향을 나타냈으나, 다짐에너지 75kN·m/m<sup>2</sup>에서는 전 부위에서 목표 공극률과 근사한 값을 나타내 다짐에너지가 공시체 전부에 고르게 전달됨을 확인할 수가 있었으며, 다짐에너지 100kN·m/m<sup>2</sup>의 경우에는 공시체 하부로 갈수록 공극률이 다소 감소하는 것으로 나타났다. 그림 5는 결합재량(목표공극률) 및 다짐에너지 변화에 따른 포러스콘크리트 공시체의 저면부를 화상처리한 그림으로서 검은 부분은 시멘트 페이스트이며 하얀 부분은 공극을 나타낸 것이다. 이를 고찰하여 보면 모든 공극률에서 다짐에너지가 증가함에 따라 시멘트 페이스트의 점유면적이 증가하는 것으로 나타났으며, 동일 다짐에너지에서는 결합재량이 증가(목표공극률 감소)함에 따라 시멘트 페이스트의 점유면적이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 소정의 다짐에너지 이상에서는 시멘트 페이스트가 공시체 하부로 다량 침하하여 공시체 저면 전체를 차지하는 것을 확인할 수 있었다.

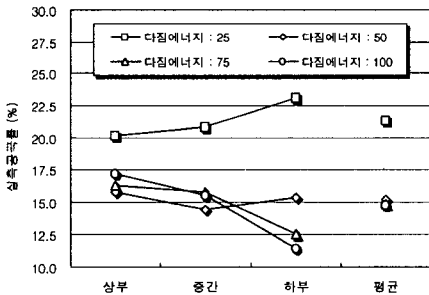


그림 1 공시체 부위별 실측공극률(목표공극률 : 15%)

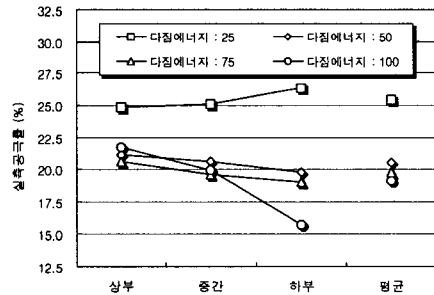


그림 2 공시체 부위별 실측공극률(목표공극률 : 20%)

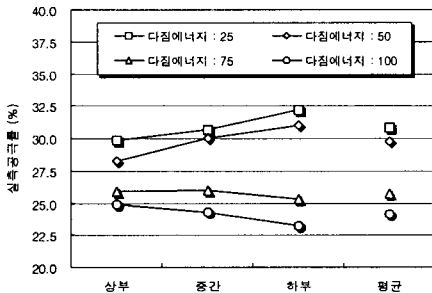


그림 3 공시체 부위별 실측공극률(목표공극률 : 25%)

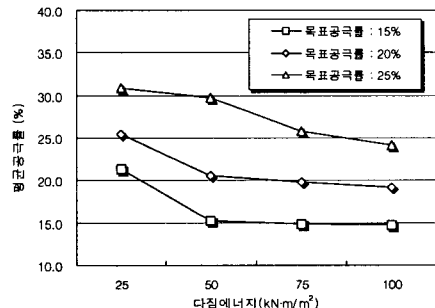


그림 4 다짐에너지에 따른 공시체 전체 평균공극률

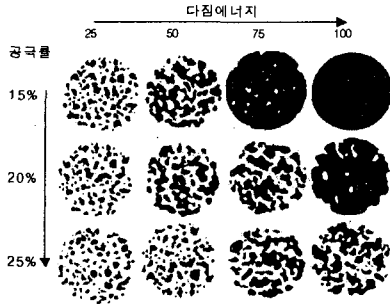


그림 5 공시체 저면의 공극분포

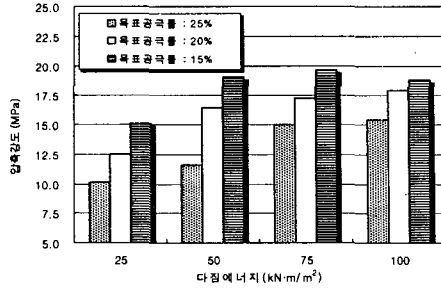


그림 6 목표공극률 및 다짐에너지에 따른 압축강도

### 3.2 압축강도

결합재량(목표공극률) 및 다짐에너지 변화에 따른 포러스콘크리트의 압축강도 측정결과는 그림 6과 같다. 이를 고찰하여보면 모든 목표공극률에서 다짐에너지가 증가함에 따라 압축강도는 증가하는 경향을 나타냈다. 목표공극률 15%의 경우 다짐에너지가 25, 50, 75, 100kN·m/m<sup>2</sup>로 증가함에 따라 가장 낮은 다짐에너지인 25kN·m/m<sup>2</sup>에 대한 강도비가 각각 1.26, 1.30, 1.25로 나타나 다짐에너지가 50kN·m/m<sup>2</sup>이상에서는 강도 증가경향이 둔화되는 것으로 나타났으며 다짐에너지 100kN·m/m<sup>2</sup>에서는 75kN·m/m<sup>2</sup>보다 작은 압축강도 특성을 나타냈다. 이러한 경향은 과도한 다짐에너지를 가할 경우 공시체 상부의 시멘트 페이스트가 하부로 침하함으로써 압축강도 시험시 상대적으로 시멘트 페이스트량이 적은 상부에서 파괴가 일어나 강도가 감소한 것으로 판단된다. 목표공극률 20%의 경우에는 다짐에너지가 증가함에 따라 가장 낮은 다짐에너지인 25kN·m/m<sup>2</sup>에 대한 강도비가 각각 1.32, 1.38, 1.40로 나타났으며 목표공극률 25%의 경우에는 1.14, 1.48, 1.51의 강도비를 나타나 목표공극률 20%의 경우에는 다짐에너지가 50~75kN·m/m<sup>2</sup>에서 목표공극률 25%의 경우에는 75kN·m/m<sup>2</sup>이상에서 강도 증가경향이 둔화되는 것으로 나타났다.

### 4. 결 론

결합재량(목표공극률) 및 다짐에너지 변화에 따른 포러스콘크리트의 부위별 공극분포 및 압축강도 특성을 평가한 결과는 다음과 같다.

- (1) 결합재량 및 다짐에너지 변화에 따른 실측공극률은 다짐에너지가 증가할수록 감소하는 경향을 나타났으며, 공시체 전부위에서 목표공극률과 가장 유사한 값을 나타낸 다짐에너지는 목표공극률 15% 경우에는 50kN·m/m<sup>2</sup>, 목표공극률 20%에서는 50~75kN·m/m<sup>2</sup>, 목표공극률 25%는 75kN·m/m<sup>2</sup>에서 가장 근사한 값을 나타냈다. 또한 소정의 다짐에너지 이상에서는 시멘트 페이스트의 침하가 발생하였다.
- (2) 목표공극률 20%와 25%의 경우 다짐에너지가 증가함에 따라 압축강도는 증가하였으며, 다짐에너지 50~75kN·m/m<sup>2</sup>이상에서는 강도 증가경향이 둔화되는 것으로 나타났다. 목표공극률 15%의 경우 상대적인 결합재량의 증가로 다짐에너지가 100kN·m/m<sup>2</sup>에서는 시멘트 페이스트가 공시체 하부로 침하하여 75kN·m/m<sup>2</sup>에 비하여 강도가 작게 나타났다.
- (3) 따라서, 포러스콘크리트 제조시 결합재량 및 다짐에너지가 포러스콘크리트의 공극형성 및 강도 발현에 영향을 미치는 중요한 요소임을 확인할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 건설핵심기술연구개발사업의 지원에 의해 수행되었으며, 관계자 여러분께 깊은 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 박승범, “환경친화콘크리트”, 콘크리트학회지, Vol.12, No.5, pp. 33~42, 2000.
2. “超硬練りコンクリート研究委員会報告書”, 日本コンクリート工學協會, pp.155-162, 1998.
3. “エココンクリート(ECO Concrete)研究委員会報告”, 日本 콘크리트工學協會, 1995.