

결합재의 유동특성 및 다짐에너지에 따른 포러스콘크리트의 특성에 관한 연구

A Study on the Properties of Porous Concrete according to Rheological Property of Binder and Compaction Energy

이 준**
Lee, Jun

박 승 범*
Park, Seong Bum

김 정 환***
Kim, Jeong Hwan

김 범 규**
Kim, Bum Kyou

김 형 석**
Kim, Hyung Seok

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate properties of porous concrete according to rheological properties of binder and compaction factor. The results of this study, the rheological property of binder is stabilized when a mixing time is over 240 seconds in case of target flow values are 175% and 200%. The void ratio of specimen has a very near value by target void ratio on the whole according as the rheological properties of binder and compaction energy are changed when target flow value is 200%, compaction energy is $75\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2$. The specimen has the excellent compressive strength when compaction energy and target flow value are $100\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2$ and 200% respectively.

1. 서 론

최근 전 세계적으로 지구의 온난화 및 환경오염으로 인하여 자연환경보전에 대한 관심이 고조됨에 따라 환경을 고려한 신개념·신기술에 대한 연구개발이 요구되고 있는 실정이다. 건설 분야에서도 주재료인 콘크리트를 이용하여 주변 자연환경과 조화를 이룰 수 있고 나아가 훼손된 주변 자연환경을 복원시킬 수 있는 용도개발이 요구되고 있으며, 이러한 측면에서 콘크리트에 잔골재를 사용하지 않고 단일 입도의 굵은골재를 사용하여 인위적으로 연속공극을 형성시켜 투수성, 투기성, 흡음성능, 수질정화 및 식생능력 등을 갖는 다기능 포러스콘크리트에 대한 연구·개발^{1,2)}이 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 결합재의 유동특성 및 다짐에너지 등이 포러스콘크리트에 미치는 영향들을 검토해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 포러스콘크리트를 이용한 건재용 2차 제품 제조방법에 대한 기초적 자료를 확보하기 위하여 표면 진동형 다짐기를 이용하여 시멘트-페이스트의 유동성 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 비중 3.12, 분말도 $4,091\text{cm}^3/\text{g}$ 의 것을 사용하였다.

* 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수
** 정희원, 충남대학교 토목공학과
*** 정희원, 한일에코산업(주) 연구팀장

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 ³)	흡수율(%)	실적률(%)	단위용적질량(t/m ³)
5~13mm	2.7	1.06	58.2	1.57

2.1.3 혼화제

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

2.2 배합 및 공시체 제작

배합은 물-시멘트비 25%, 목표공극률을 25%로 설정하였고, 목표흐름값(175%, 200%, 225%)을 확보하기 위하여 사전에 플로시험을 통하여 혼화제의 첨가량을 결정하였다. 혼합방법은 시멘트 페이스트의 분산성을 향상시키기 위해 용량 30ℓ의 옴니믹서를 사용하여 먼저 고로슬래그 시멘트, 혼합수(물+혼화제)를 투입하여 200rpm으로 결합재의 유동성이 안정화 되는 시간 동안 혼합한 후 골재를 투입하여 다시 90초 동안 혼합하는 페이스트 Pre-Mixing 방법으로 하였다.

공시체 제작은 $\phi 10 \times 20$ cm 몰드에 시료를 1층으로 타설하여 표면 진동형 바이브레이터를 사용하여 다짐(진동)에너지를 25, 50, 75, 100 kN·m²로 변화시켜 다짐을 실시하였으며, 다짐에너지 산출식³⁾은 다음과 같다.

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

여기서 : E : 다짐(진동)에너지(kN·m²) ,
a : 진폭(m), n : 진동수(Hz), W : 진동기의 하중(kN)
S : 가압면적(m²), 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 용적법⁴⁾에 준하여 측정하였으며, 결합재의 유동성 및 다짐에너지 변화에 따른 공시체의 층별 공극분포를 검토하기 위하여 공시체를 3등분하여 각각의 층에 대한 공극률을 측정하였다.

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

여기서, A : 콘크리트의 전공극률(%), W₁ : 공시체의 수중질량(g)
W₂ : 24시간의 자연건조후 기건질량(g)
V : 공시체의 체적(cm³)

2.3.2 압축강도 시험

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

3. 실험결과 및 고찰

3.1 믹싱시간에 따른 결합재의 유동특성

그림 1은 분당회전속도가 200인 옴니믹서를 이용하여 믹싱시간에 따른 결합재의 유동특성을 나타낸 것이다. 이를 고찰하여 보면 목표흐름값에 관계없이 믹싱시간이 증가함에 따라 결합재의 유동성이 향상되는 것으로 나타났으며, 목표흐름값 175%와 200%에서는 믹싱시간이 240초 이상, 목표흐름값 225%의 경우에는 180초 이상에서 결합재의 유동성이 안정화되는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 각각의 목표 흐름값을 만족시키고, 결합재의 유동성이 안정되는 믹싱시간을 각각의 목표흐름값마다 각각 선정하였다.

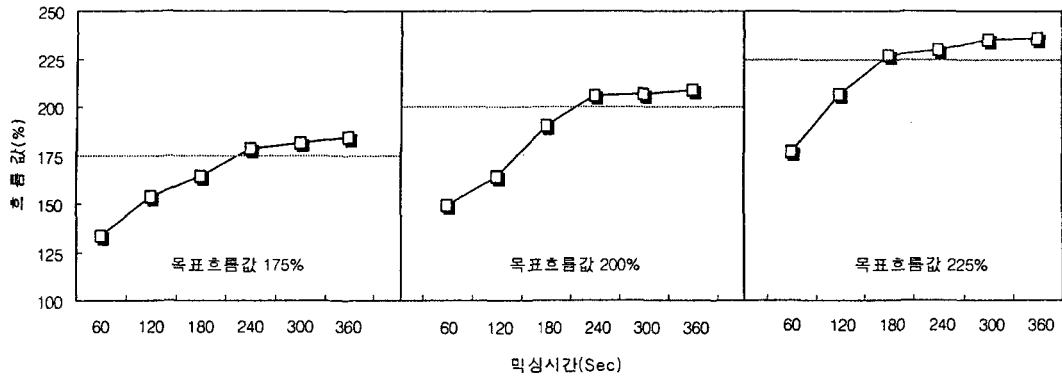


그림 1 믹싱시간에 따른 결합재의 유동특성

3.2 공극률

목표공극률 25%에 대하여 결합재의 유동성(흐름값) 및 다짐에너지 변화에 따른 포러스콘크리트의 부위별(상, 중, 하) 공극률 측정결과는 다음의 그림 2~4와 같다. 이를 고찰하여 보면, 목표흐름값에 관계없이 다짐에너지가 25~100kN·m²으로 증가함에 따라 공시체의 전체 공극률은 감소하는 경향을 나타냈다. 공시체 부위별에 따른 실측공극률은 목표흐름값이 175%의 경우 모든 다짐에너지 조건에서 하부로 갈수록 공극률이 증가하는 경향을 나타냈으며 이러한 원인은 결합재의 유동성이 작아짐에 따라 포러스콘크리트의 전체적인 유동성 또한 감소하여 공시체 하부까지 다짐에너지가 충분하게 전달되지 않아 하부로 갈수록 공극률이 증가되는 것으로 판단된다. 목표흐름값 200%의 경우에는 다짐에너지가 50kN·m²까지는 공시체 하부로 갈수록 공극률은 증가하는 경향을 나타냈으나, 다짐에너지 75kN·m²에서는 전 부위에서 목표 공극률과 유사한 값을 나타내 다짐에너지가 공시체 전부에 고르게 전달됨을 확인할 수가 있었으며, 다짐에너지 100kN·m²의 경우에는 공시체 하부로 갈수록 공극률이 다소 감소하는 것으로 나타났다. 목표 흐름값 225%의 경우에는 다짐에너지 50kN·m² 이상에서는 공시체 하부로 갈수록 공극률이 감소하는 경향을 나타냈으며, 특히 75kN·m² 이상에서 하부로 갈수록 공극률이 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 과도한 결합재의 유동성으로 인하여 일정한 다짐에너지 이상에서는 시멘트 페이스트가 공시체 하부로 침하되어 공극률이 감소하는 것으로 판단된다.

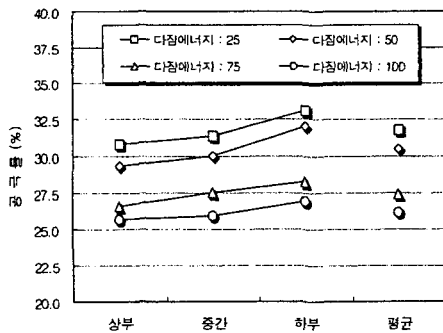


그림 2 공시체 부위별 공극률(목표흐름값 : 175%)

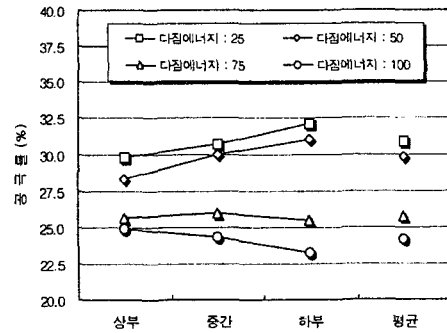


그림 3 공시체 부위별 공극률(목표흐름값 : 200%)

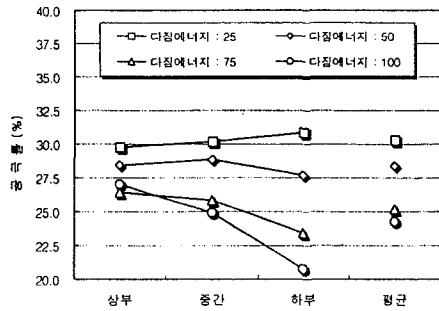


그림 4 공시체 부위별 공극률(목표흐름값 : 225%)

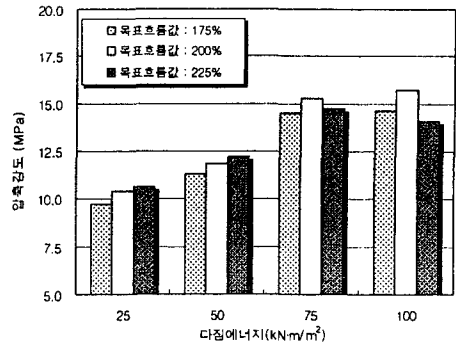


그림 5 다짐에너지에 따른 압축강도

3.3 압축강도

목표공극률 25%에 대하여 결합재의 유동성(흐름값) 및 다짐에너지 변화에 따른 포러스콘크리트의 압축강도 시험결과는 그림 5와 같다. 이를 고찰하여보면 목표흐름값 175%와 200%의 경우에는 다짐에너지가 증가할수록 압축강도는 증가하는 경향을 나타냈다. 목표흐름값 175%의 경우 다짐에너지가 25, 50, 75, 100kN·m/m²로 증가함에 따라 가장 낮은 다짐에너지인 25kN·m/m²에 비하여 각각 1.16배, 1.49배, 1.60배 증가하는 것으로 나타났으며, 목표흐름값 200%의 경우에는 각각 1.14배, 1.47배, 1.51배 증가하는 것으로 나타나, 다짐에너지가 75kN·m/m² 이상에서는 강도증가 경향이 둔화되는 것으로 나타났다. 목표흐름값 225%의 경우에는 다짐에너지가 75kN·m/m²까지는 압축강도가 증가하는 경향을 나타냈으나 다짐에너지가 100kN·m/m²인 경우에는 75kN·m/m²의 경우에 비하여 감소하는 것으로 나타났다. 이는 과도한 결합재의 유동성으로 인하여 소정의 다짐에너지 이상에서는 시멘트 페이스트가 하부로 침하하여 상대적으로 상부는 공극률이 증가하고 하부는 공극률이 감소하여 하중 재하시 결합재량이 상대적으로 적은 상부에서 파괴가 먼저 일어나 강도가 저하되는 것으로 판단된다.

4. 결 론

결합재의 유동특성 및 다짐에너지 변화에 따른 포러스콘크리트의 부위별 공극분포 및 압축강도 특성을 평가한 결과는 다음과 같다.

- (1) 믹싱시간에 따른 결합재의 유동특성은 목표흐름값이 175%, 200%인 경우에는 240초 이상, 225%의 경우에는 180초 이상에서 결합재의 유동성이 안정화되는 것으로 나타났다.
- (2) 결합재의 유동성 및 다짐에너지 변화에 따른 공극률은 다짐에너지가 증가할수록 공시체 전체 공극률은 감소하는 것으로 나타났으며, 목표 흐름값 200%, 다짐에너지 75 kN·m/m²일 경우가 공시체의 모든 부위에서 목표 공극률과 가장 근접한 공극률을 나타냈다. 또한 목표 흐름값이 225%의 경우에는 과도한 결합재의 유동성으로 인하여 일정 다짐에너지 이상에서 시멘트 페이스트의 침하가 발생하였다.
- (3) 목표 흐름값 175%와 200%의 경우 다짐에너지가 증가함에 따라 압축강도는 증가하였으며, 다짐에너지 75kN·m/m²이상에서는 증가경향이 둔화되는 것으로 나타났다. 목표 흐름값 225%의 경우 과도한 결합재의 유동성으로 인하여 다짐에너지가 100kN·m/m² 이상에서는 시멘트 페이스트의 하부 침하로 강도가 감소하는 것으로 나타났다.
- (4) 따라서, 포러스콘크리트 제조시 결합재의 유동성과 다짐에너지가 포러스콘크리트의 기능성과 강도 특성에 영향을 미치는 중요한 요소임을 확인하였다.

참고문헌

1. 박승범. "환경친화콘크리트", 콘크리트학회지, Vol.12, No.5, pp. 33~42, 2000.
2. 박승범. "폐기물을 이용한 환경친화형 시멘트/콘크리트의 개발", 청정생산기술개발사업 연구보고서, 2002.
3. "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.
4. "エココンクリート(ECO Concrete)研究委員会報告", 日本コンクリート工學協會, 1995.