

결합재 페이스트 충전에 따른 포러스콘크리트의 물성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Basis Properties Matter of Porous Concrete According to Filling Binder Paste

윤상혁* 김영진* 박희곤** 정근호*** 이영도**** 정상진*****

Yoon, Sang-Hyuck Kim, Young-Jin Park, Hee-Gon Jung, Keun-Ho Lee, Young-Do Jung, Sang-Jin

ABSTRACT

Although porous concrete is resently used as a pavement at a parking lot, a public squire and a bicycle road, we use without enough examining. most the maintenance of quality for porous concrete is only dealt with strength and color tone. also, there is not yet enough fundamental data about dynamical properties for strength, rate of void and water permeability. even when it is applied to at the scene, it is been a matter.

Accodingly in this study analyzed influences through the dynamical properties, combination, and time to vibration. After the analyzation, they investigated peculiar dynamics which are strength of porous concrete, rate of void, and water permeability follow the rate of increase on an admixture making pozzolan reaction. This is purpose to improve capacity of the sidewalk permeable concrete and development of the economical technique for pavement.

1. 서 론

최근 우리나라에서도 자전거 도로, 주차장, 광장 등의 포장재료로서 포러스콘크리트가 이용되고 있으나, 포러스콘크리트에 대한 충분한 이해·검토 없이 사용되고 있으며, 강도나 색상 등으로 품질관리가 이루어지고 있다. 또한, 포러스콘크리트는 결합재의 성질, 제조방법에 따라 콘크리트의 성능에 차이가 생길 수 있고, 투수성능을 위주로 포러스콘크리트의 2차제품 개발을 위한 역학적 특성 등의 기초적 자료가 부족한 실정이므로, 현장 적용 시 문제점이 발생할 것으로 판단된다.

포러스콘크리트는 굵은 골재에 결합재 페이스트를 점조하여 제조되는 콘크리트이며, 제조방식에는 프리캐스트방식과 현장에서 직접타설하여 제조하는 방식으로 구분되는데, 대부분 진동다짐에 의해 제작된다. 포러스콘크리트는 보통콘크리트와 달리 연속된 공극을 다량으로 포함하고 있어 투수성능이 양호하므로 이에 큰 효과를 얻을 것으로 생각되나 이로 인해 강도는 크게 저하 할 것으로 사료되며, 진동다짐 시 유동성 있는 결합재 페이스트와 굵은 골재의 분포상태의 변화로 인해 콘크리트의 공극과 투수량에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구는 포러스콘크리트의 진동다짐시간에 따른 공극률 및 투수성능의 영향을 검토·분석하고 혼화재 첨가율에 따른 포러스콘크리트의 강도를 검토하여, 이를 이용한 2차제품의 성능향상과 경제적인 포장기술의 개발에 대한 기초적 자료로 제시하는데 그 목적이 있다.

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 단국대학교 대학원 박사수료

**** 정회원, 경동대학교 건축공학부 교수

***** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

2. 실험재료 및 계획

2.1 사용재료 및 실험방법

사용재료 및 실험방법은 표 1, 2와 같다

표 1 사용재료

| 사용재료 | 물리적성질 |
|-------|---|
| 시멘트 | · 고로슬래그시멘트, · 비중: 3.04 · 비표면적: 4,091cm ² /g |
| 굵은 골재 | · 비중: 2.60 · 최대치수: 19mm이하 · 실적율: 57.5% · 흡수율: 2.00% |
| 실리카폼 | · 비중: 2.2 · 비표면적: 200,000cm ² /g |
| 혼화제 | · 고성능AE감수제 |

표 4 실험방법

| 실험항목 | 실험방법 |
|-------------|---|
| 플로우 | KS L 5111(시멘트 시험용 플로 테이블) |
| 전공극률, 연속공극률 | 일본콘크리트공학협회 에코콘크리트 연구위원회의 [포러스콘크리트의 제조·물성·시험방법(안)] |
| 투수계수 | KS F 2322 (4. 정수위 투수 시험 방법) |
| 흡수율 | KS F 2459(기포콘크리트의 흡수율 시험 방법) |
| 압축강도 | KS F 2405 |
| 인장강도 | KS F 2423 |

2.2 배합

본 실험에 사용한 배합은 목표플로우를 170~225(mm), 목표공극률을 20~30%로 하였으며, 배합사항은 표 3과 같다.

2.3 시험체 제작 및 양생

콘크리트의 혼합은 KS F 8009에 규정된 강제 혼합믹서를 사용하였다. Ø10×20cm 몰드에 탁상바이브레이터(진동수 3000vpm, 진폭 1.5mm)를 사용하여, 진동다짐시간 0, 4, 8, 12, 24, 40초의 6단계로 진동 시 결합재의 분포상태를 변화시키며, 제작하였다.

표 3 배합표

| W/B (%) | BP/Gv (%) | 진동다짐시간 (sec) | 실리카폼대율 (%) | 단위용적증량 (kg/m ³) | | | | 절대용적증량 (ℓ/m ³) | | | |
|---------|-----------|--------------|------------|-----------------------------|-----|-----|------|----------------------------|------|-----|-----|
| | | | | C | SF | W | G | C | SF | W | G |
| 25 | 30 | 0 | - | 229 | 0 | 56 | 1495 | 75 | 0 | 56 | 575 |
| | | 4 | - | 229 | 0 | | | 75 | 0 | | |
| | | 8 | - | 229 | 0 | | | 75 | 0 | | |
| | | 12 | 0 | 229 | 0 | | | 75 | 0 | | |
| | | | 5 | 217 | 11 | | | 70 | 5 | | |
| | | | 10 | 206 | 23 | | | 65 | 10 | | |
| | | 15 | 194 | 34 | 60 | | | 16 | | | |
| | | | 24 | - | 229 | | | 0 | 75 | | |
| | | 40 | - | 229 | 0 | | | 75 | 0 | | |
| | | 25 | 40 | 0 | - | | | 294 | 0 | | |
| 4 | - | | | 294 | 0 | 97 | 0 | | | | |
| 8 | - | | | 294 | 0 | 97 | 0 | | | | |
| 12 | - | | | 294 | 0 | 97 | 0 | | | | |
| 24 | 0 | | | 295 | 0 | 97 | 0 | | | | |
| | 5 | | | 271 | 23 | 86 | 10 | | | | |
| | 10 | | | 264 | 29 | 83 | 13 | | | | |
| 15 | 255 | | | 39 | 79 | 18 | | | | | |
| 40 | - | | | 295 | 0 | 97 | 0 | | | | |
| 25 | 50 | | | 0 | - | 391 | 0 | 96 | 1495 | 129 | 0 |
| | | 4 | 0 | 391 | 0 | 129 | 0 | | | | |
| | | | 5 | 357 | 34 | 113 | 16 | | | | |
| | | | 10 | 347 | 44 | 109 | 20 | | | | |
| | | 15 | 332 | 59 | 102 | 27 | | | | | |
| | | 8 | - | 391 | 0 | 129 | 0 | | | | |
| | | 12 | - | 391 | 0 | 129 | 0 | | | | |
| | | 24 | - | 391 | 0 | 129 | 0 | | | | |
| | | 40 | - | 391 | 0 | 129 | 0 | | | | |

* W/B : 율결합재비

BP/Gv : 굵은골재 공극에 대한 시멘트-결합재 페이스트의 충전율

3. 실험결과 및 고찰

3.1 충전율에 따른 포러스콘크리트 실험

3.1.1 결합재 플로우

결합재의 유동성을 파악하기 위하여 플로우를 측정하였다. 결합재 페이스트 충전율 30%, 40%, 50%로 증가함에 따라 결합재 페이스트 플로우는 175mm, 200mm, 220mm로 증가하는 것으로 나타났으며, 결합재 페이스트 충전율 30%, 40%보다는 50%가 높은 플로우를 나타냈다. 이는 결합재 페이스트량의 증가에 따른 고성능감수제가 증가하여, 목표플로우를 만족하는 유동성을 확보한 것으로 사료된다. 측정 결과는 그림 1에 나타내었다.

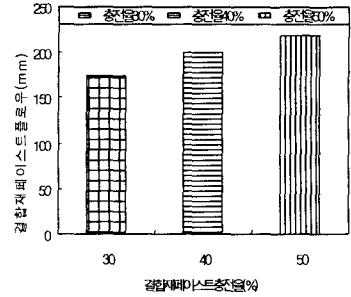


그림 1 충전율에 따른 플로우

3.1.2 전공극률 및 연속공극률

그림 2는 충전율과 진동다짐시간의 증가에 따라 전공극률 및 연속공극률의 분포 변화를 나타낸 것이며, 충전율 및 진동다짐시간이 증가함에 따라 공극률의 분포 변화는 저하하는 것으로 나타났다. 충전율 30%일 때 12초, 충전율 40%일 때 24초, 충전율 50%일 때 4초에 나타난 각각의 전공극률은 29%, 26%, 20%로 목표공극률에 만족하는 것을 확인할 수 있었다. 연속공극률 또한, 충전율과 진동다짐시간이 증가할수록 공극률은 감소하는 것으로 나타났으며, 전공극률과 유사한 경향을 나타내었다. 충전율 30%가 40%와 50%보다는 공극률이 높은 것으로 나타났으며, 이는 결합재 페이스트량이 증가함에 따라 진동다짐시간이 증가하면서 굵은 골재 공극에 대한 충전성능이 향상되는 것으로 판단된다.

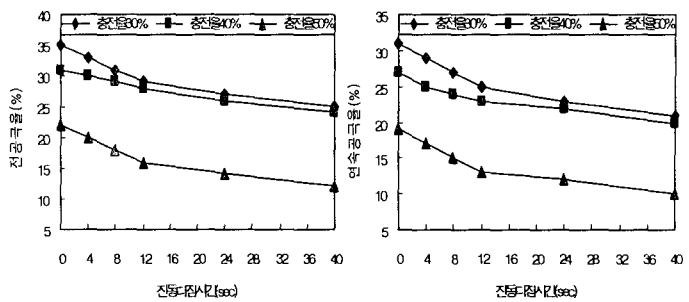


그림 2 충전율 및 진동다짐시간에 따른 전공극률과 연속공극률

3.1.3 투수계수

충전율 및 진동다짐시간에 따른 투수계수 시험결과는 그림 3에 나타내었다. 충전율과 진동다짐시간이 증가함에 따라 투수계수는 다소 감소하는 것으로 나타났다. 투수계수는 충전율 30%일 때 0.131~0.182cm/s, 40%일 때 0.108~0.143cm/s, 50%일 때 0.063~0.138cm/s로 나타났고, 충전율이 증가할수록 투수계수는 감소하는 것으로 나타났다. 충전율 30%, 40%일 때는 규정치인 0.1cm/s의 범위 내에 만족하는 것으로 나타났으며, 충전율 50%일 때 24, 40초는 규정치에 만족하지 못 하였다. 이는 결합재 페이스트의 유동성과 진동다짐시간이 증가하면서, 굵은 골재의 공극에 결합재 충전성능이 향상되어 연속공극을 감소시켰기 때문이라고 사료된다.

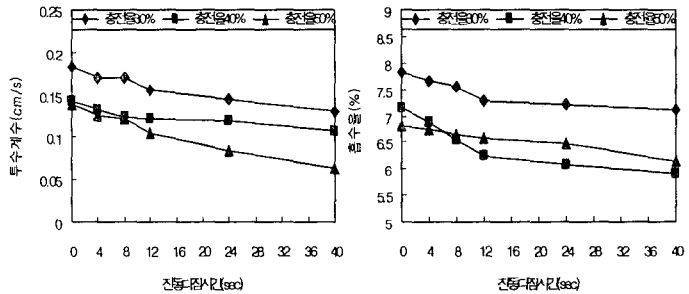


그림 3 충전율 및 진동다짐시간 따른 투수계수와 흡수율

3.1.4 흡수율

충전율과 진동다짐시간에 따른 콘 크리트의 흡수율의 변화는 충전율 30%일 때 진동다짐시간에 따라 7.1~7.83%, 충전율 40%일 때 5.92~7.16%, 충전율 50%일 때 6.15~6.82% 수준으로 나타났고, 모든 충전율에 따라 진동다짐시간 40초가 흡수율은 낮게 나타났으며, 0초일 때 가장 높은 흡수율을 보였다. 충전율과 진동다짐시간이 증가할수록 흡수율은 저하하는 것으로 나타났으며, 이는 결합재의 유동성을 확보한 페이스트량이 진동다짐 시 진동다짐시간이 증가함에 따라 상부의 공극 보다는 하부의 공극으로 흘러들어 밀실하게 충전되기 때문으로 판단되며, 그림 3과 같다.

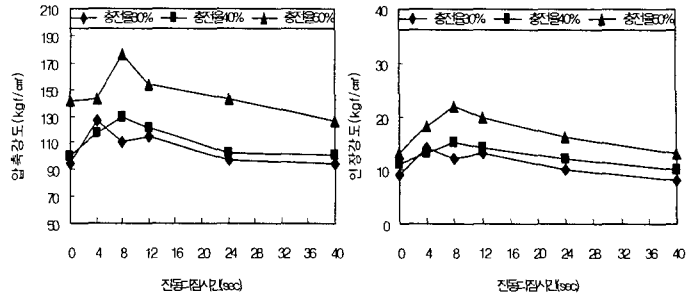


그림 4 충전율 및 진동다짐시간에 따른 압축강도와 인장강도

3.1.5 압축강도와 인장강도

재령 28일의 압축강도와 인장강도의 결과를 그림 4에 나타내었다. 충전율 30%일 때 진동다짐시간 0, 4, 8, 12, 24, 40초의 변화에 따른 압축강도발현은 94~126kgf/cm²였고, 충전율 40%일 때 100~130kgf/cm², 충전율 50%일 때 127~177 kgf/cm²로 나타났다. 진동다짐시간에 따른 강도발현은 충전율 30%일 때 진동다짐시간 4초는 126kgf/cm², 충전율 40%일 때 진동다짐시간 8초는 130kgf/cm², 충전율 50%일 때 진동다짐시간 8초는 177kgf/cm²로 나타났다. 모든 충전율에 따른 압축강도는 진동다짐시간 8초 이전에는 다소 급격한 증가가 있었으며, 8초 이후에는 저하하는 것으로 나타났다. 인장강도는 충전율 30%일 때 진동다짐시간에 따라 8~14kgf/cm²로, 40%일 때 10~15kgf/cm²로, 충전율50%일 때 13~22kgf/cm²로 나타났으며, 압축강도와 마찬가지로 강도가 가장 높게 나타난 시험체는 충전율 30%일 때 진동다짐시간 4초, 충전율 40%일 때 진동다짐시간 8초, 충전율 50%일 때 진동다짐시간 8초로 나타났다. 압축강도와 인장강도의 발현은 결합재의 페이스트량의 증가와 고로슬래그시멘트의 특성인 미분쇄된 시멘트 분말이 물리적으로 콘크리트내부의 공극을 충전하고 화학적으로 유리수산화칼슘(Ca(OH)₂)과의 반응으로 새로운 수화물인 칼슘실리케이트를 생성시켜 밀실한 조직을 형성하기 때문으로 사료된다.

3.2 실리카폼 대체율에 따른 포러스콘크리트 실험

3.2.1 결합재 플로우

충전율 30%, 40%, 50%의 목표공극률을 20~30%를 만족하는 진동다짐시간은 충전율 30%일 때 12초, 충전율 40%일 때 24초, 충전율 50%일 때 4초의 배합을 도출하였으며, 포졸란 반응을 일으키는 혼화재 첨가율에 따른 플로우 및 강도 증가의 여부와 이로 인한, 투수성, 흡수, 공극의 성능을 파악하기 위해 실리카폼 대체율을 5%, 10%, 15%로 하였다. 실리카폼 대체율 증가에 따른 플로우는 충전율 30%일 때 160~170mm, 충전율 40%일 때 170~190mm, 충전율 50%일 때 198~210mm로 나타났다. 이는 분말도가 높은 실리카폼의 증가로 페이스트의 점성이 좋아져 페이스트의 유동성이 저하하는 것으로 사료되며, 그림 5와

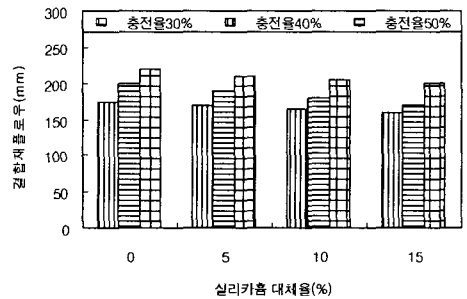


그림 5 실리카폼 대체율에 따른 플로우

같다.

3.2.2 전공극률 및 연속공극률

그림 6은 실리카폼 대체율에 따른 전공극률과 연속공극률의 측정결과를 나타낸 것이다. 전공극률은 실리카폼 대체율에 따라 충전율 30%일 때 25.4~28.1%, 40%일 때 21.7~24.2%, 50%일 때 17.9~19.8%로 나타났으며, 연속공극률은 충전율 30%일 때 21~23%, 충전율 40%일 때 17.4~20.1% 충전율 50%일 때 14~16.5%로 나타났고, 충전율 30%, 40%보다는 50%가 다소 낮게 나타났다. 이는 실리카폼 대체율 5~15%로 증가할수록 단위결합량이 증가함에 따라 공극을 충전하면서, 포졸란 반응으로 인해 공극의 수가 저하하기 때문으로 판단된다.

3.2.3 투수계수

실리카폼 대체율 5~15%로 증가함에 따른 투수계수를 그림 7에 나타내었다. 충전율 30%일 때 0.106~0.13cm/s, 충전율 40%일 때 0.094~0.117cm/s, 충전율 50%일 때 0.098~0.115cm/s로 실리카폼 대체율에 따라 저하하는 것으로 나타났으며, 충전율 40%, 50%보다는 30%가 다소 높게 나타났다. 이는 공극률과 같이 페이스트의 유동성이 좋아짐에 있어 공극의 충전성이 향상되고 진동다짐시간이 길기 때문에 공극률을 저하시키는 것으로 판단된다.

3.2.4 흡수율

흡수율은 실리카폼 대체율에 따라 충전율 30%일 때 4.69~7.06%, 충전율 40%일 때 4.68~6.01%, 충전율 50%일 때 4.21~6.49%로 나타났으며, 모든 충전율에 있어서 실리카폼 대체율 15%가 낮게 나타났고, 충전율 30%, 50%보다는 진동다짐시간 24초인 충전율 40%가 다소 낮게 나타났다. 이는 실리카폼 대체율이 증가할수록 결합재 용적이 증가하였으며, 이로 인해 굵은 골재 사이의 공극이 충전되었고, 충전율 40%일 때 흡수율의 감소는 과도한 진동다짐시간 때문에 공극이 감소하여, 흡수율이 감소된 것으로 사료되며, 그림 7에 나타내었다.

3.2.5 압축강도와 인장강도

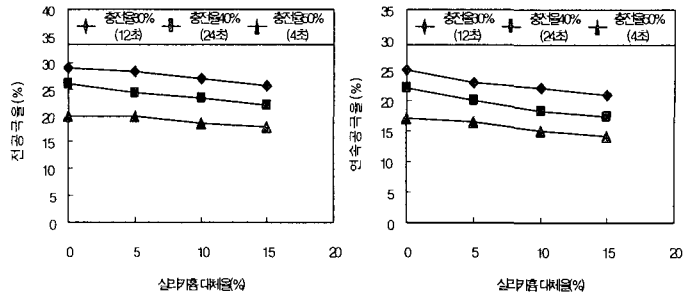


그림 6 실리카폼 대체율에 따른 전공극률과 연속공극률

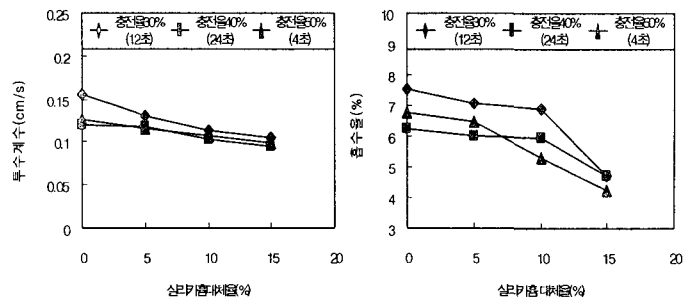


그림 7 실리카폼 대체율에 따른 투수계수와 흡수율

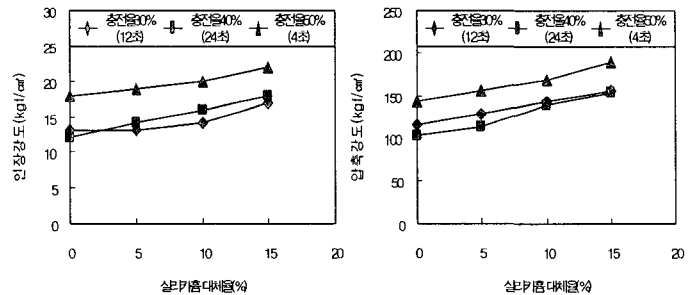


그림 8 실리카폼 대체율에 따른 압축강도와 인장강도

그림 8은 실리카폼 대체율에 따른 압축강도와 인장강도의 결과이며, 압축강도는 충전율 30%일 때 129~155kgf/cm², 충전율 40%일 때 114~154kgf/cm², 충전율 50%일 때 156~189kgf/cm²로 나타났으며, 실리카폼 대체율이 증가할수록 충전율 50%에서 높은 강도발현이 나타났다. 인장강도는 충전율 30%일 때 13~17kgf/cm², 충전율 40%일 때 14~18kgf/cm², 충전율 50%일 때 19~22kgf/cm²로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 포졸란 반응을 일으키는 실리카폼 대체율이 증가함에 따라서 강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 충전율에 따라 실리카폼 대체율 15%가 높은 강도의 변화를 나타냈다.

4. 결 론

본 연구에서는 시멘트·결합재페이스트의 충전율 및 진동다짐시간에 따른 물성변화와 혼화재 첨가율에 따른 포러스콘크리트의 강도, 공극률, 투수성능 등의 역학적 특성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 충전율이 증가할수록 시멘트페이스트 플로우는 증가하였으며, 이는 단위시멘트량과 단위수량이 증가하여, 콘크리트의 유동성이 증가하였기 때문으로 판단된다.

(2) 공극률(전, 연속)은 진동다짐시간 및 충전율의 증가로 인해 콘크리트 내부에 공극분포상태를 저하시켰으며, 투수성능 또한 저하하는 것으로 나타났다. 이는 페이스트의 증가와 진동다짐시간이 증가함에 따라 불규칙한 굵은골재의 분포상태를 변화시키고, 과도한 진동다짐으로 인한 것으로 판단된다.

(3) 포러스 콘크리트의 압축강도와 인장강도는 진동시간의 증가에 따라 8초 이전에는 급격한 증가로 나타났고, 8초 이후에는 다소 저하하는 것으로 나타났으며, 충전율의 증가가 강도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

(4) 흡수율의 분포상태는 진동다짐시간이 증가할수록 저하하는 것으로 나타났다. 이는 단위페이스트량의 증가와 과도한 진동다짐시간의 증가로 인해 공극의 상태가 충전되었기 때문으로 판단된다.

(5) 포러스콘크리트의 물성은 실리카폼 대체율이 증가할수록 공극률, 투수계수, 흡수율은 감소하였으며, 강도는 증가하는 것으로 나타났다. 이는 결합재충전율이 증가함에 따라 공극이 충전되면서, 포졸란 반응 일으키는 실리카폼이 굵은 골재사이에 부착성능을 증가시키기 때문으로 사료된다.

이상에서와 같이 포러스콘크리트의 강도와 공극률 및 투수성능 등의 역학적 특성을 검토하였으며, 적합한 배합 수준을 도출할 수 있었다. 향후, 보도용 투수콘크리트판을 제작하여 성능을 검토·분석 후 보도용 투수콘크리트판 제작과 경제적인 포장기술의 개발에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

1. 日本コンクリート工學, ポーラスコンクリートの製造・物性・試験方法. Vol.36. No.3. 1998. pp.52~62.
2. 日本コンクリート工學, ポーラスコンクリートの再生骨材の適用性に關する. Vol.20. No.2. 1998. pp.1117~1122.
3. 日本コンクリート工學, ポーラスコンクリートの緑化コンクリートの空隙性狀. Vol.18. No.1. 1996. pp.999~1004.
4. 김무한 외6인, 포러스콘크리트의 강도증진에 미치는 이온공극률 및 실리카폼의 영향에 관한 실험적 연구. 2000.4