골재 입형 및 크기에 따른 포러스 콘크리트의 특성에 관한 연구

Study on the Properties of Porous Concrete According to the Aggregate Shape and Size

임 서 형* 강 현 식** 지 남 용***
Lim, Seo-Hyung Kang, Hyun-Sik Jee, Nam-Yong

Abstract

The purpose of this study is to investigate the physical properties of porous concrete according to the aggregate shape and size which is produced by con crusher and impact crusher. For this purpose, the selected test variables were the aggregate size and shape, the ratio of water to cement and the ratio of paste to aggregate. The results of this study showed that its economic performance and physical properties were improved using the aggregate made by impact crusher. The coefficient of permeability and compressive strength of porous concrete had a close correlationship with the void ratio, and it was suggested as a function of void ratio.

요 지

본 연구는 con crusher와 impact crusher로 생산된 골재의 입형과 크기에 따른 포러스 콘크리트의 특성을 파악하는데 있으며, 이를 위한 실험인자로는 골재의 입형과 크기, 물시멘트비 그리고 페이스트 굵은골재비이다. 연구결과, 포러스 콘크리트는 impact crusher로 생산한 골재를 사용할 경우 경제성은 물론 물리적 특성이 향상되었다. 또한, 포러스 콘크리트의 투수계수와 압축강도는 공극율과 매우 높은 상관성을 보이며, 공극율의 함수로서 제시할 수 있었다.

Keywords : Porous Concrete, Void Ratio, Coefficient of Permeability, Compressive Strength
핵심 용어 : 포러스 콘크리트, 공극율, 투수계수, 압축강도

1) 2)

* 국립진주산업대학교 건축학부 부교수
** 국립진주산업대학교 건축학부 부교수
*** 한양대학교 건축공학부 부교수

E-mail : shlim@jinju.ac.kr 055-751-3403

?본 논문에 대한 토의를 2005년 9월 30일까지 학회로 보내주시면 2006년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

지구환경 문제를 의식한 재료에 관한 개념으로서 현재는 지구상의 자원이나 에너지 한계성을 고려하고, 각종 재료를 사용할 때 지구환경과의 조화나 환경부하를 적게 하도록 배려한 재료의 개발 및 사용이 불가피하게 되었다.

포러스 콘크리트는 굵은 골재에 주로 시멘트페이스트를 코팅하여 부착시킨 것으로 연속 또는 독립된 공극을 다량 포함하고 있는 것을 말한다. 이러한 포러스 콘크리트는 5~35% 정도의 공극을 함유하고 있으므로 투수성과 투기성이 뛰어나 생물의 생식 공간을 제공할 수 있고, 수질정화에도 유용하게 쓰이며 나아가 흡음효과도 지니고 있어 환경문제에 폭넓게 적용시킬 수 있는 콘크리트로서 주목받고 있다.

상기한 포러스 콘크리트의 기능을 만족시키기 위해서는 용도와 목적에 맞게 포러스 콘크리트를 제조 특히 굵은골재를 적절하게 선정할 필요가 있다. 천연골재의 부족으로 보통 콘크리트용 골재는 주로 부순자갈을 사용하며, 이 부순자갈은 파쇄기의 종류, 습식과 건식의 분급방법 등에 따라 입도, 입형 등의 품질에 차이가 생긴다. 포러스 콘크리트의 강도는 보통 콘크리트에 비해 물시멘트비의 영향을 적게 받으며, 주로 페이스트양과 공극율과의 관계에 의해서 결정되며, 공극율이 증가함에 따라 강도는 직접적으로 저하된다. 또한, 굵은골재를 덮고 있는 시멘트페이스트의 두께와 점도는 물시멘트비의 작은 변화에 의해서도 크게 변하기 때문에 소정의 강도 확보는 물론 필요한 공극율을 얻기 위해서도 골재의 표면수 관리가 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 포러스 콘크리트의 제반 성질에 큰 영향을 미치는 요인을 골재의 입형 및 입도로 설정하고, 각각의 요인들에 따른 포러스 콘크리트의 공극율과 투수계수, 강도 등의 특성을 정량적으로 평가하여 포러스 콘크리트의 실용화 자료를 제시하고자 한다.

2. 실 험

2.1 사용재료

본 실험에 사용한 골재는 진주 소재의 S산업에서 Con Crusher(이하 C.C)와 Impact Crusher(이하 I.C)로 생산한 부순자갈로서 최대크기, 입형, 비중, 단위용적중량 등의 물리적 성질은 Table 1과 같다. Photo 1, 2에서와 같이 I.C형의 골재가 C.C형에 비해 입형이 양호하여 실적율이 1.0~5.1% 크다. 또한, 시멘트는 KS L 5201에 규정된 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

Table 1 골재의 물리적 특성

생산 방식	입도	비중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위 용적중량 (kg/m³)
C.C	13~20㎜	2.72	1.04	57.2	1555
I.C		2.76	1.01	61.2	1688
C.C	5~13㎜	2.73	0.97	54.9	1500
I.C		2.69	1.56	60.0	1614
C.C	5㎜이하	2.56	2.50	59.8	1532
I.C		2.64	1.77	60.8	1605

Photo 1 Con Crusher로 생산한 골재

2.2 배합

콘크리트의 배합은 물시멘트비(w/c)를 0.36 ~ 0.24, 그리고 페이스트 굵은골재비(p/g)를 0.25 ~ 0.50으로 변화시킨 상태에서 골재의 단위용적중량과 실적율을 이용하여 목표공극율이 10 ~ 25%가 되도록 하였다. 또한, 굳지 않은 포러스 콘크리트의 품질을 일정하게 유지하기 위한 일환으로 페이스트의 연도가 플로우 값으로 230±10㎜가 되도록 하였다. 이에 대한 콘크리트 배합표는 Table 2와 같다.

2.3 시험체 제작 및 양생

콘크리트 배합량은 1batch당 35ℓ를 기준으로 하였으며, 혼합은 시멘트와 배합수를 용량 60ℓ의 강제식 믹서에 넣고 90초 그 다음 굵은골재를 넣고 90초 동안 혼합하여 총 180초로 하였다. 시험체를 제작하기 위한 몰드는 공극율, 투수계수, 압축강도 및 인장강도 측정용 시험체는 Φ10×20㎝를 그리고 휨강도 측정용 시험체는 10×10×40㎝를 각각 사용하였다. 각 시험체는 국내의 규격 및 일본콘크리트공학협회의 ?포러스 콘크리트의 시험체 제작 방법(안)?(11)에 준하여 제작하였다. 각 시험체는 3층으로 분할하여 타설하였으며, 각 층마다 다짐봉으로 25회씩 다짐하였다.

제작이 완료된 시험체는 폴리에틸렌으로 밀봉한 후 상온에서 24시간 양생하였으며, 그 후 탈형하여 강도측정용 시험체는 20±3℃의 항온수조에서 소정의 재령까지 양생하였다.

Table 2 콘크리트 배합표

굵은골재 최대크기 (㎜) (생산방식)	물 시멘트비 (w/c)	페이스트굵은골재비 (p/g)	목표 공극율 (%)	단위중량 (kg/m³)		
				물	시멘트	굵은 골재
13(I.C)	0.36	0.50	10	159	443	1614
		0.42	15	133	369	1614
		0.33	20	106	295	1614
		0.25	25	80	221	1614
13(I.C)	0.32	0.33	20	100	314	1614
	0.28			94	334	1614
	0.24			86	358	1614
20(C.C)	0.36	0.40	20	121	337	1555
20(I.C)		0.31		100	278	1688
13(C.C)		0.46		133	370	1500
13(I.C)		0.33		106	295	1614
5(C.C)		0.34		107	298	1532
5(I.C)		0.32		102	284	1605

2.4 측정방법 및 기기

공극율은 일본콘크리트공학협회의 ?포러스 콘크리트의 공극율 시험방법(안)?(11)에 준하여 용적법으로 측정하였다. 시험체의 체적 V1을 산출한 다음 시험체를 24시간 이상 수중에 침지시키고 수중중량 W1을 측정하였다. 그 후 20±2℃, 상대습도 60%에서 24시간 자연방치하여 표건상태로 하고 기중중량 W2를 또한, 105±5℃의 건조노에서 항량이 될 때까지 절건시킨 후 절건중량 W3을 측정하였다. 전공극율(Va)과 연속공극율(Vc)은 다음 식(1), (2)로 산출하였다.

$$\text{전공극율}(\%) = (1-(W3-W1)/V1)\times 100 \quad (1)$$

$$\text{연속공극율}(\%) = (1-(W2-W1)/V1)\times 100 \quad (2)$$

투수계수는 일본콘크리트공학협회의 ?포러스 콘크리트의 투수계수 시험방법(안)?(11)에 준한

Photo 2 Impact Crusher로 생산한 골재

정수위 시험법(Fig. 1 참조)을 적용하였으며, 식 (3)과 같이 산출하였다. 이 때 수위차는 공통적으로 10㎝로 하였지만, 수위차에 따른 투수계수의 변화를 파악하기 위해 5, 15㎝에 대해서도 각각 측정하였다.

$$K=(H/h)\times(Q/(A\times(t2-t1))) \quad (3)$$

여기서, K : 투수계수(㎝/s)
H : 시험체의 높이(㎝)
Q : 시각 t_1, t_2사이의 배수량($㎝^3$)
h : 수위차(㎝)
t_2-t_1 : 측정 시간(s)
A : 단면적($㎝^2$)

압축강도는 KS F 2405, 인장강도는 KS F 2423에 준하였으며, 휨강도는 KS F 2408 에 따라 3등분점 재하시험으로 각각 구하였다. 시험기기는 최대하중 100t의 日本 S社 U.T.M.(UH-100A型)을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공극율

굵은골재의 입도 및 입형에 따른 포러스 콘크리트의 연속공극율 및 전공극율은 Fig. 2와 같으며, 이 때 배합으로 설정한 목표공극율은 모두 20%이였다. 포러스 콘크리트의 연속공극율은 굵은골재의 최대크기가 클수록 특히 13㎜에서 20㎜로 커질수록 급격히 증가되는 경향을 보이고 있으며, 또한 동일 입도의 골재에서는 I.C형이 C.C형보다 더 높은 공극율을 보이고 있으나 그 차이는 0.39~1.73%로 매우 작다고 할 수 있으며, 전공극율도 그 경향은 비슷하다. 따라서, 최대크기 20㎜의 굵은골재를 사용하여 포러스 콘크리트를 제조할 경우에는 다짐 정도에 따라 설정한 목표공극율과 실제의 공극율과의 차이가 크기 때문에 향후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

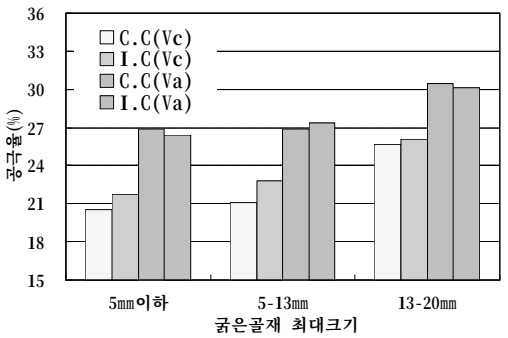

Fig. 2 굵은골재 입도, 입형과 공극율

Photo 3은 I.C형 골재를 사용한 포러스 콘크리트의 공극 모습을 나타낸 것으로 골재크기가 클수록 공극이 크고, 공극양도 많다는 것을 알 수 있다.

그러나, Table 2의 콘크리트 배합표에서와 같이 굵은골재의 최대크기가 같아도 설정한 공극율을 맞추기 위한 I.C형과 C.C형의 배합비 특히 페이스트 굵은골재비는 매우 다르게 된다. 즉, 최대크기 20, 13, 5㎜에서의 I.C형과 C.C형의 페이스트 굵은 골재비 차이는 0.09, 0.13, 0.02이며, 단위시멘트량의 차이로 보면 59, 75, 14kg/m3이 된다.따라서, 굵은골재의 최대크기가 같아도 동일 공극율의 포러스 콘크리트를 제조하는데 있어서 I.C형이 C.C형보다 매우 경제적이라 할 수 있다. 이는 Table 1에 나타낸바와 같이 I.C형 골재의 입형이 양호하여 실적율과 단위용적중량이 C.C형보다 크기 때문이다. 포러스 콘크리트의 연속공극율과 전공극율과의 관계는 Fig. 3과 같다.

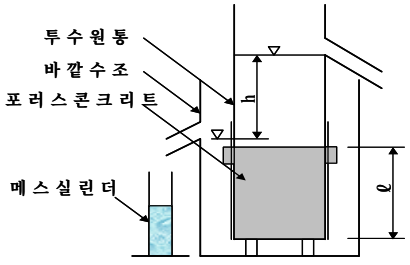

Fig. 1 투수계수 시험 장치

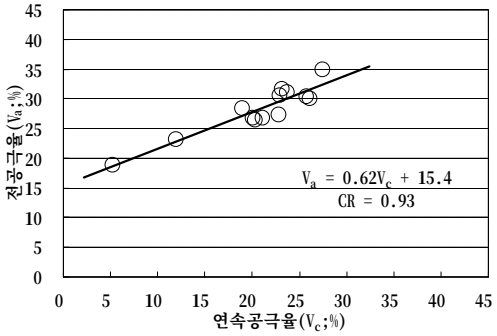

Fig. 3 연속공극율과 전공극율

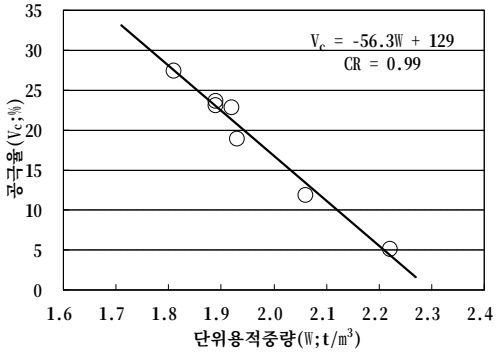

Fig. 4 단위용적중량과 공극율

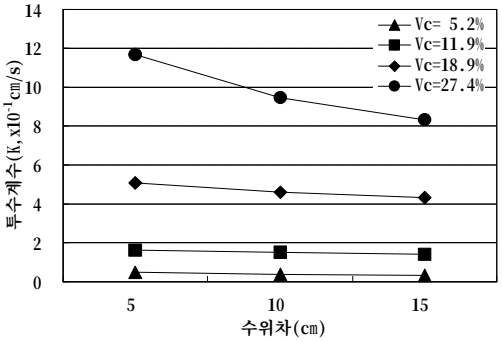

Fig. 5 수위차에 따른 투수계수

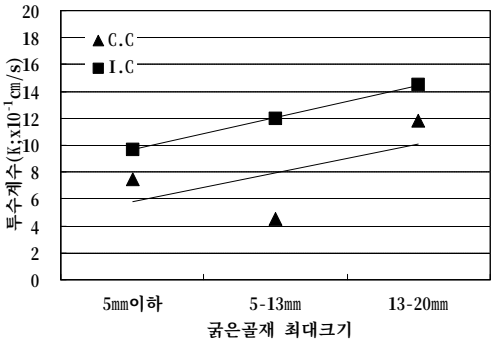

Fig. 6 굵은골재 입도, 입형과 투수계수

20mm 13mm 5mm

Photo 3 굵은골재 최대크기별 포러스 콘크리트의 단면 상황

전공극율은 연속공극율에 비하여 4.0~6.8% 정도 크며, 이는 굵은골재의 최대크기가 클수록 그리고 I.C형 보다 C.C형 골재일수록 더 크게 나타나고 있다.

포러스 콘크리트의 단위용적중량은 Fig. 4에서와 같이 1.8~2.2t/m3으로 보통콘크리트보다 상당히 작다. 또한, 공극율과의 관계는 단위용적중량이 작아짐에 따라 직선적으로 증가하며, 그 상관계수는 0.99로 나타나 매우 상관성이 높은 것으로 나타났다.

3.2 투수계수

수위차와 투수계수와의 관계는 Fig. 5와 같다. 그림에서와 같이 수위차가 5㎝에서 10, 15㎝로 커짐에 따라 투수계수는 작아지는 경향이 있으며 그 경향은 공극율이 클수록 현저하다. 이는 투수계수를 다르시의 법칙(Darcy's law)에 따른다고 했을 때 수위차가 커질 때 즉, 동수구배가 증가함에 따라 침투유량이 많아지기 때문이다.(11)

수위차가 작으면 시험할 때 투수량에 편차가 생기기 쉽다는 것을 고려하면 수위차 10㎝가 투수계수를 측정할 때 실용적이라 판단된다.

골재입도 및 입형에 따른 포러스 콘크리트의 투수계수는 Fig. 6과 같다. 공극율과 직접적인 관계가 있는 투수계수는 굵은골재의 최대크기가 커질수록 공극율도 커지며 이에 따라 투수계수 또한 커지고 있다. I.C형의 경우 굵은골재의 최대크기가 5㎜에서 13, 20㎜로 커짐에 따라 투수계수는 각각 2.8, 3.4배 증가하고 있다. 또한, 굵은골재의 최대크기가 동일하여도 그 입형 즉, I.C형과 C.C형의 투수계수도 큰 차이를 나타내고 있으며, I.C형의 골재가 C.C형보다 약 1.5~7.5(×10-1㎝/s)크다. 연속공극율과 수위차 10㎝에서 측정한 투수계수와의 관계는 Fig. 7과 같다. 투수계수와 공극율과의 관계는 공극율이 많아질수록 투수계수가 커지며 특히 연속공극율과 투수계수와의 관계는 식 (4)와 같으며, 상관계수가 0.96으로서 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

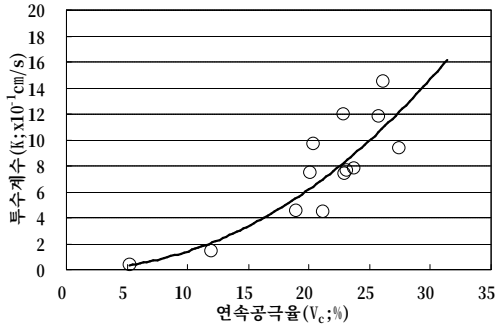

Fig. 7 공극율과 투수계수

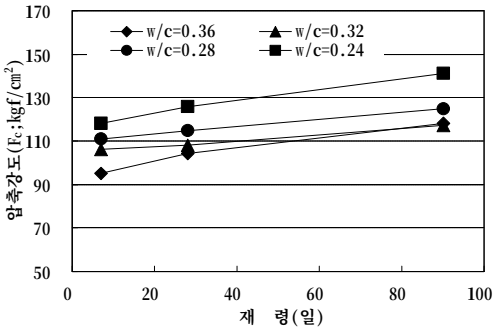

Fig. 8 w/c에 따른 압축강도 발현

$$K = 0.0104Vc^{2.1} \quad (4)$$

여기서, K : 투수계수 (×10-1㎝/s)
Vc : 연속공극율(%)

3.3 강도 성상

페이스트 굵은골재비(p/g) 0.33 그리고 물시멘트비(w/c) 0.24~0.36인 포러스 콘크리트의 재령별 압축강도 발현 성상은 Fig. 8과 같다. 재령 7일의 압축강도는 재령 28일의 0.91~0.98로서 보통 콘크리트의 약 0.67보다 상당히 높으며, 재령 90일의 압축강도는 재령 28일의 1.08~1.13로서 보통 콘크리트의 약 1.17보다 다소 낮게 나타났다. 포러스 콘크리트의 압축강도는 결합재의 강도를 좌우하는 물시멘트비보다 공극율의 영향을 더 크게 받기 때문인 것으로 추정된다.

물시멘트비 0.36 그리고 페이스트 굵은골재비 0.25~0.50인 포러스 콘크리트의 재령별 압축강도 발현 성상은 Fig. 9와 같다. Fig. 9의 범례에 표시한 것처럼 페이스트 굵은골재비가 클수록 포러스 콘크리트의 공극율은 작다. Fig. 9처럼 페이스트 굵은골재 비가 클수록 압축강도가 크며 또한, 각 재령별 압축강도 발현 비율도 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 페이스트 굵은골재비가 클수록 즉, 공극율이 작을수록 포러스 콘크리트의 압축강도는 공극율보다 결합재의 영향을 더 받는 것으로 추정된다. 향후 포러스 콘크리트의

압축강도에 영향을 미치는 결합재의 강도와 공극율 사이의 관계에 대하여 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 포러스 콘크리트의 연속공극율, 전공극율과 압축강도와의 관계는 Fig. 10과 같다.

압축강도는 공극율이 커질수록 작아지는 부의 상관성을 나타내고 있으며, 공극율이 커질수록 연속공극율과 전공극율에 따른 압축강도의 차이도 작아지고 있다. 연속공극율과 압축강도와의 관계는 식(5)와 같으며, 상관계수는 0.90, 전공극율과 압축강도와의 관계는 식(6)과 같으며, 상관계수는 0.94로 나타나 공극율과 압축강도와의 관계는 그 상관성이 매우 높은 것을 알 수 있다.

$$Fc = -9.0Vc + 334 \quad (5)$$

$$Fc = -14.0Va + 543 \quad (6)$$

여기서 Fc : 압축강도(kgf/㎠)
Vc : 연속공극율(%)
Va : 전공극율(%)

포러스 콘크리트의 압축강도와 인장강도 및 휨강도의 관계는 Fig. 11과 같다. Fig. 11처럼 인장강도는 압축강도의 평균 1/13로서 보통콘크리트와 비교하여 비슷하지만, 휨강도는 압축강도의 평균 1/4로서 보통콘크리트에 비하여 다소 크게 나타났다. 압축강도에 따른 인장강도와 휨강도

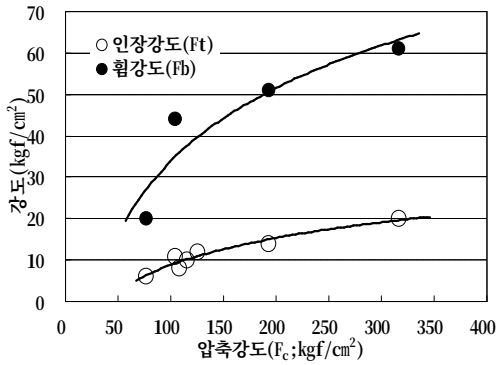

Fig. 11 압축강도와 인장강도 및 휨강도

추정식은 식(7), (8)과 같으며, 상관계수는 각각 0.97, 0.92로서 그 상관성이 매우 높게 나타났다.

$$Ft = 9.4Ln(Fc) - 34 \quad (7)$$

$$Fb = 25.42Ln(Fc) - 105 \quad (8)$$

여기서 Ft : 인장강도(kgf/㎠)
Fb : 휨강도(kgf/㎠)
Fc : 압축강도(kgf/㎠)

4. 결 론

골재 입도와 입형 등에 따른 포러스 콘크리트의 공극율, 투수계수, 강도 등의 성상을 파악하고자 하는 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) I.C형의 골재를 사용할 경우 C.C형에 비해 동

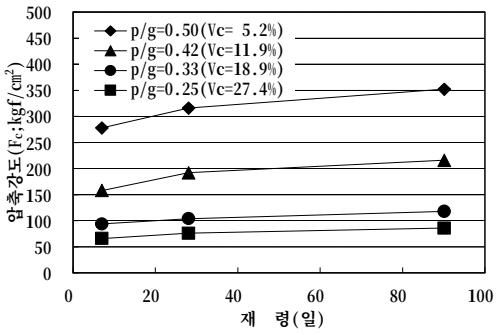

Fig. 9 p/g에 따른 압축강도 발현(w/c=0.36)

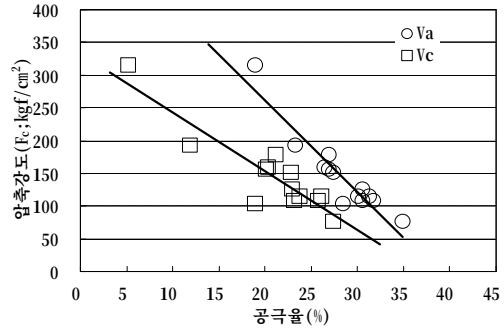

Fig. 10 공극율과 압축강도

일 공극율의 포러스 콘크리트를 제조할 때 단위시멘트량을 4.7~20.2% 절감할 수 있다. 단, 이는 사용하는 골재의 입형 및 비중, 실적율 등의 물리적 성질에 따라 변한다.

2) 포러스 콘크리트의 공극율은 굵은골재의 최대치수가 클수록 목표로 설정한 공극율보다 커지는 경향이 있다. 또한, I.C형의 골재를 사용할 경우 C.C에 비해 공극율은 0.2~1.7%크다.

3) 포러스 콘크리트의 투수계수는 I.C형의 골재를 사용할 경우 C.C에 비해 2.2~7.5×10-1㎝/s 크다. 또한, 투수계수는 공극율이 많아질수록 2차 함수적으로 증가되는 경향이 있으며, 본문에 제시된 바와 같이 그 상관성도 매우 높다.

4) 포러스 콘크리트의 압축강도는 결합재의 강도보다 공극율의 영향을 더 크게 받으며 또한, 본문에 제시된 바와 같이 공극율과의 상관성도 매우 높게 나타났다. 포러스 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 평균 1/13, 휨강도는 평균 1/4이다.

감사의 글

본 연구는 국립진주산업대학교 기성회 연구비 지원으로 수행된 연구의 일부임.

참고문헌

1. 반성수 외, 물시멘트비 및 페이스트공극비에 따른 포러스콘크리트의 기초적 성질에 관한 실험적 연구, 대한건축학회학술발표논문집, 제19권 제1호, 1999.4, pp.463~46.
2. 김진춘 외, 다공성 콘크리트의 기초적 특성과 녹화실험, 한국콘크리트학회 봄학술발표대회논문집, 1996, pp.153~159.
3. 채창우 외, 투수 콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄학술발표대회논문집, 1999, pp. 166~171.
4. 백용관 외, 배합요인에 따른 포러스콘크리트의 강도향상에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표대회논문집, 1999, pp.255~258.
5. 이영열, 단입도(6~10㎜쇄석 골재)투수 콘크리트 비차도용 포장 시공법, 한국콘크리트학회 가을학술발표대회논문집, 1999, pp.829~836.
6. 김재환 외, 골재의 혼합비율에 따른 포러스 콘크리트의 강도증진을 위한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄학술발표대회논문집, 2000, pp.253~256.
7. 심종우 외, 고로슬래그를 혼화재로 혼입한 투수콘크리트의 물리적 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표대회논문집, 2000, pp.144~149.
8. 김재환 외, 이론공극율, 골재입도 및 양생방법이 포러스콘크리트의 강도 및 투수성능에 미치는 영향, 한국콘크리트학회 가을학술발표대회논문집, 2000, pp.373~378.
9. 박연동 외, 폐기물의 유효 이용과 콘크리트, 한국콘크리트학회지, 제12권 제5호, 2000. 9, pp.23~28.
10. 김무한 외, 포러스 콘크리트의 배합요인 및 골재 혼합비율이 강도 및 투수성능에 미치는 영향, 한국콘크리트학회논문집, 제12권 제6호, 2000.12, pp.91~98.
11. コンクリ-ト工學, Vol.36, No.3, 1998.3.

(접수일자 : 2004년 10월 14일)