

이론공극율, 골재입도 및 양생방법이 포러스콘크리트의 강도 및 투수성능에 미치는 영향

Influence of Theoretical Void Ratio, Grading of Aggregate and Curing Method on Strength and Water Permeability of Porous Concrete

○ 김 재 환*	유 범 재*	최 세 진*
Kim, Jae Hwan	Yu, Beom Jae	Choi, Se Jin
백 용 관*	박 정 호**	김 무 한***
Baik, Yong Kwan	Park, Jung Ho	Kim, Moo Han

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the influence of theoretical void ratio(T.V.R), grading of aggregate and curing method on the strength and water permeability of porous concrete, and the reduction proportion of water permeability by these factors.

The results of the study showed that its strength and water permeability were greatly depended on the T.V.R and grading of aggregate, but didn't on the curing method. And, when the T.V.R and grading of aggregate were increased, the reduction proportion of water permeability was small. As the relationship between its physical properties and non-destruction test values was very high, its use for the estimation of the physical properties will be useful.

1. 서론

포러스콘크리트는 연속된 공극을 가지고 있어 경화체 내에 물과 공기 등이 자유롭게 통과하는 등 다양한 기능을 가진 콘크리트로 이용되고 있으며, 특히 환경부하저감에 적합한 건설재료로서 주목받고 있다. 이러한 포러스콘크리트는 굵은골재에 시멘트페이스트 또는 모르터를 피복시켜 부착한 것이기 때문에 강도와 내구성은 일반 콘크리트에 비해 열악하며, 그 사용범위가 제한되고 있다.^{1),2),5)}

이에 본 연구에서는 이론공극율, 골재입도 및 양생방법이 포러스콘크리트의 강도 및 투수성능에 미치는 영향을 파악하여 강도 및 투수성능 향상을 위한 기초적 자료를 제시하고자 하였다. 또한, 단위용적중량, 초음파속도 및 동탄성계수와 포러스콘크리트의 기초물성과의 상관관계를 검토하여 이의 추정가능여부를 확인하고자 하였으며, 골재입도 및 이론공극율이 혼탁액 투과에 따른 투수계수의 감소율에 미치는 영향에 대하여 검토하고자 하였다.

* 충남대학교 대학원 건축공학과

** (주)한수도로산업, 대표

*** 충남대학교 건축공학과 교수, 공·박

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 연구의 실험계획 및 콘크리트의 배합은 Table 1에 나타난 바와 같이, 포러스콘크리트의 강도 및 투수성능에 미치는 골재입도, 이론공극율 및 양생방법의 영향을 파악하기 위해서 골재입도는 2.5~5mm와 2.5~8mm, 이론공극율은 12, 14, 16, 18, 20%(단, 12%는 2.5~8mm에서만 실시), 양생방법은 수중양생과 기중양생(단, 2.5~5mm에서만 실시)으로 구분하여 실시하였다.

Table 1. Experimental plan and mix-proportion

W/C (%)	Grading of Agg. (mm)	Curing Method	T.V.R ³⁾ (%)	Unit weight (kg/m ³)			Measuring Items
				Water	Cement	Agg.	
25	2.5~5	Water ¹⁾ Air ²⁾	14	109	436	1582	<ul style="list-style-type: none"> · Comp. strength (kgf/cm²) · Ultra-sonic pulse velocity (km/s) · D.M of elasticity ($\times 10^3$kgf/cm²) · Unit weight (t/m³) · Continuous void ratio (%) · All void ratio (%) · Coefficient of permeability (cm/s) · Reduction proportion of coefficient of permeability (%)
			16	100	401	1582	
			18	91	365	1582	
			20	83	330	1582	
	2.5~8	Water ¹⁾	12	118	470	1582	
			14	109	435	1582	
			16	100	400	1582	
			18	91	364	1582	
			20	82	329	1582	

1) Water curing condition : 20±2℃

2) Air curing condition : 20±2℃, RH 60%

3) T.V.R : Theoretical Void Ratio

2.2 사용재료

본 실험에 사용된 재료의 물리적 성질은 Table 2에 나타난 바와 같으며, 포러스콘크리트의 작업성을 확보하기 위해 소정의 고성능감수제를 사용하였다.

Table 2. Properties of materials

Cement	<ul style="list-style-type: none"> · Type I Ordinary portland cement · Specific Gravity : 3.15 · Blaine's value : 3,265cm²/g
Aggregate	<ul style="list-style-type: none"> · Specific Gravity : 2.58, · Crushed stone · Ratio of absolute volume : 61.26%(2.5~5mm), 61.32%(2.5~8mm)
Superplasticizer	<ul style="list-style-type: none"> · Polycarboxylic ether

2.3 시험체 제작 및 양생방법

시험체 제작은 비빔직후 포러스콘크리트를 소요의 몰드에 1/2 채운 후 25회 붕다짐을 실시하였으며, 이를 2회 반복하여 제작하였다. 제작한 시험체는 20±2℃ 기중에서 24시간 방치 후 탈형하였으며, 소정의 재령까지 각 양생방법에 준하여 양생을 실시하였다.

2.4 시험방법

포러스콘크리트의 압축강도는 KS F 2405, 초음파속도는 ASTM C 900, 동탄성계수는 공명진동법에 의해 측정하였으며, 단위용적중량은 압축강도시험용 시험체에 대하여 체적에 대한 중량으로 나타내었다. 또한, 연속(진)공극율과 투수계수는 일본콘크리트공학협회 에코콘크리트 연구위원회의 【포러스콘크리트의 공극율 시험방법(안)】 중의 용적법, 【포러스콘크리트의 투수계수 시험방법(안)】에 준하여 측정하였다. 또한, 혼탁액 투과에 따른 투수계수의 감소율을 평가하기 위해, 물에 대해 분말상의 물질을 2% 용적비율로 혼합한 일정량의 혼탁액을 투수시험체에 일시적으로 투과시켰으며, 투수시험체 위에 잔류하는 잔류물을 경화시킨 후, 투수계수 시험방법에 준하여 투수계수를 측정하였으며, 이를 9회 반복하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축강도에 대한 검토 및 분석

Fig. 1은 압축강도의 변화를 나타낸 것으로, 동일 이론공극율에 있어서 압축강도는 2.5~5mm가 2.5~8mm보다 전반적으로 약 160%정도 높게 나타났다. 이는 골재입도가 작아질수록 골재간의 접촉수가 증가하여 압축강도가 향상된 것으로 판단된다.¹⁾ 또한, 동일 골재에서 이론공극율이 감소할수록 압축강도는 증가하고 있으며, 이는 이론공극율이 감소할수록 시멘트페이스트량이 증가하여 압축강도가 향상된 것으로 사료된다.¹⁾ 또한, 2.5~5mm의 포러스콘크리트에 있어서 양생방법을 변화시킨 결과, 양생방법에 의한 압축강도는 유의할만한 차이를 나타내지 않았다.

3.2 단위용적중량, 초음파속도 및 동탄성계수에 대한 검토 및 분석

Fig. 2는 단위용적중량의 변화를 나타낸 것이다. 배합상 설계된 단위용적중량은 골재의 실적율이 유사하므로 이론공극율에 의해 좌우되며, 이론공극율이 증가할수록 단위용적중량은 감소한다. 본 실험에서도 제작된 포러스콘크리트의 단위용적중량은 이론공극율의 영향을 크게 받는 것으로 나타났으며, 또한 골재입도의 영향도 다소 받는 것으로 나타났다. 이는 포러스콘크리트 시험체 제작시 골재입도에 따른 다짐 성능의 차이에 의해 나타난 것으로 사료되며, 본 실험에서는 2.5~5mm를 사용한 경우가 다소 높게 나타났다.

Fig. 3은 초음파속도의 변화를 나타낸 것이다. 초음파속도는 공극 이외의 부분을 통과하여 최단회전경로의 길이에 의해 전파속도가 결정되며, 최단회전경로는 시험체 표면부 공극에 거의 영향을 받지 않고 내부 공극량에 크게 지배되는 것³⁾으로 알려져 있다. 본 실험에서도 이론공극율이 감소할수록 초음파속도는 증가하는 것으로 나타났으며, 또한 동일 공극율에서도 골재입도에 따라 다르게 나타나 골재입도의 영향도 받는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 동탄성계수의 변화를 나타낸

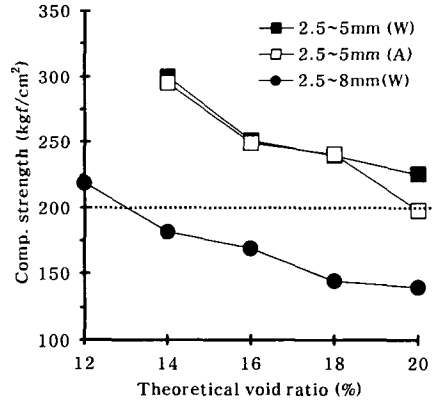


Fig. 1 Variation of compressive strength

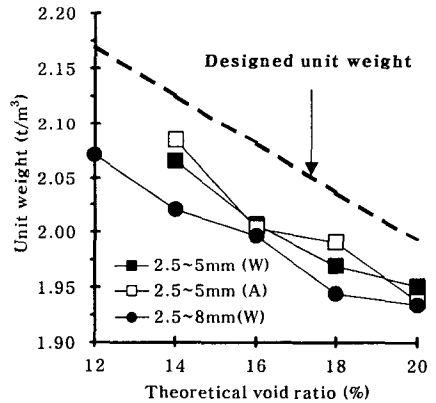


Fig. 2 Variation of unit weight

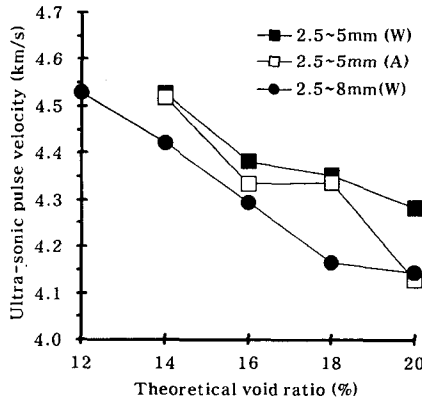


Fig. 3 Variation of ultra-sonic pulse velocity

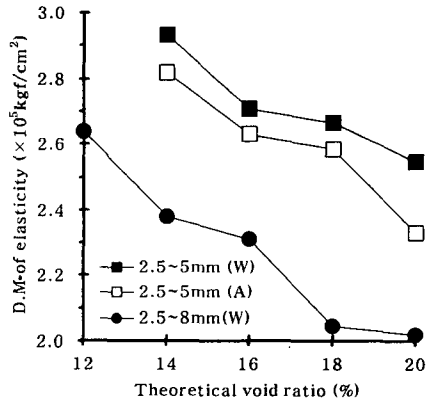


Fig. 4 Variation of D.M of elasticity

것으로, 동탄성계수는 이론공극율이 감소할수록 증가하고 있으며, 동일 이론공극율에 있어서 2.5~5mm가 2.5~8mm보다 높게 나타나 골재입도의 영향도 받는 것으로 나타났다. 또한, 양생방법에 따라 다르게 나타나 동탄성계수는 양생방법의 영향을 받는 것으로 나타났다.

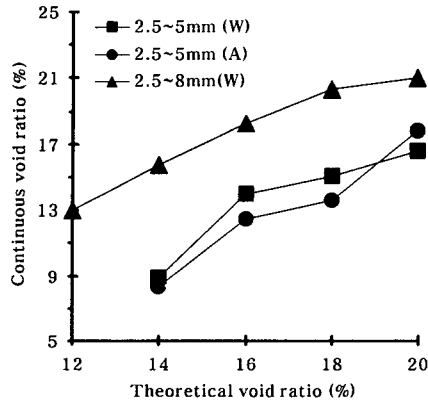


Fig. 5 Variation of continuous void ratio

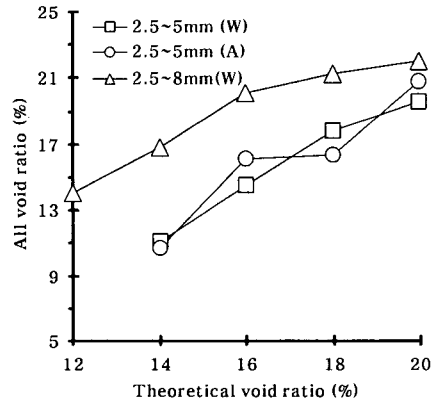


Fig. 6 Variation of all void ratio

3.3 공극율에 대한 검토 및 분석

Fig. 5는 연속공극율의 변화를 나타낸 것으로, 이론공극율이 증가할수록 연속공극율은 증가하며, 동일 이론공극율에서 2.5~8mm가 2.5~5mm보다 높게 나타나, 연속공극율은 이론공극율 및 골재입도의 영향을 받는 것으로 나타났다. 반면, 양생방법에 따른 연속공극율의 차이는 유의할만한 경향을 보이고 있지 않아 연속공극의 형성에 미치는 영향은 작은 것으로 나타났다.

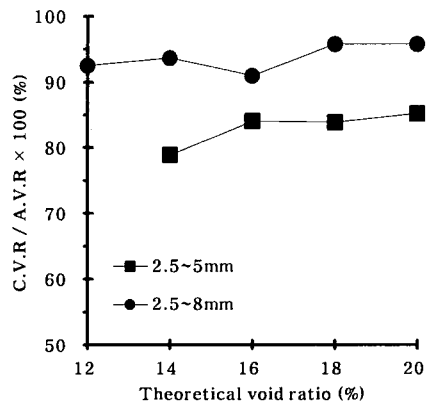


Fig. 7 Proportion of C.V.R to A.V.R

Fig. 6은 전공극율의 변화를 나타낸 것으로, 전공극율은 연속공극율과 유사한 경향을 나타내고 있으며, 전공극율도 이론공극율과 골재입도에 따라 큰 영향을 받으며, 반면 양생방법의 영향은 작은 것으로 나타났다.

Fig. 7은 전공극율(A.V.R)에 대한 연속공극율(C.V.R)의 비율을 나타낸 것이다. 동일 이론공극율에서 연속공극의 형성비율은 2.5~8mm를 사용한 포러스콘크리트가 2.5~5mm보다 높게 나타났으며, 이는 골재자체의 공극율은 2.5~5mm가 38.74%, 2.5~8mm가 38.78%로 유사하지만, 골재입경이 클수록 내부에 형성되는 공극의 크기가 커져, 동일 이론공극율에 있어서 연속공극 형성비율이 높은 것으로 판단된다.

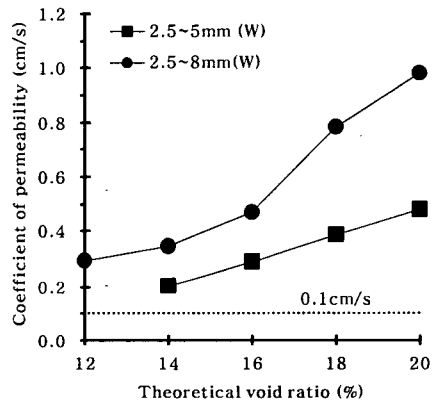


Fig. 8 Variation of coefficient of permeability

3.4 투수계수에 대한 검토 및 분석

Fig. 8은 투수계수의 변화를 나타낸 것이다. 투수계수는 이론공극율이 증가할수록 증가하고 있으며, 그 증가비율은 2.5~5mm보다 2.5~8mm가 높게 나타났다. 또한, 동일 이론공극율에 있어서 2.5~8mm가 2.5~5mm보다 높게 나타나 포러스콘크리트의 투수계수는 이론공극율 및 골재입도의 영향을 받는 것으로 나타났다.

3.5 혼탁액 투과에 따른 투수계수 감소율에 대한 검토 및 분석

Fig. 9는 혼탁액 투과에 따른 투수계수의 감소율을 나타낸 것으로, 이론공극율이 증가할수록 투수계수의 감소율은 상대적으로 완만하게 나타났으며, 이는 이론공극율이 증가할수록 투수계수가 증가하고 이로 인해 투수유속이 증가하여 투수와 동시에 분말상의 물질이 투과되어 나타난 현상으로 판단된다. 또한, 동일 이론공극율에서도 2.5~8mm가 2.5~5mm보다 투수계수 감소율이 완만하게 나타났으며, 이는 동일 이론공극율에 있어서 골재입도가 클수록 연속공극율의 형성비율이 크고, 또한 형성된 연속공극의 크기가 크게 되어 나타난 현상으로 판단된다.

3.6 상관관계에 대한 분석 및 검토

Fig. 10은 압축강도와 초음파속도의 관계를 나타낸 것으로, 압축강도와 초음파속도는 비례관계를 나타내고 있으며, 동일 압축강도에서 2.5~8mm가 2.5~5mm보다 높게 나타나 골재입도의 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 실험에서 압축강도와 초음파속도의 상관계수 R은 0.9595 및 0.8604로 높게 나타나 포러스콘크리트에서도 비파괴시험으로 응용 가능할 것이다.

Fig. 11은 압축강도와 동탄성계수의 관계를 나타낸 것으로, 압축강도와 동탄성계수는 비례관계를 나타내고 있으며, 그 경향은 골재입도에 따라 다르게 나타났으나, 초음파속도에 비하여 골재입도의 영향이 작은 것으로 나타났다. 본 실험에서 압축강도와 동탄성계수의 상관계수 R은 0.9165, 0.9579로 높게 나타나 포러스콘크리트에서도 비파괴시험으로 응용 가능할 것이다.

Fig. 12는 단위용적중량과 전공극율과의 관계를 나타낸 것으로, 단위용적중량과 전공극율은 반비례관계를 나타내고 있으며, 그 경향은 골재입도에 따라 다소 다르게 나타났다. 본 실험에서 단위용적중량과 전공극율과의 상관계수 R은 0.9694, 0.9690로 매우 높게 나타나, 포러스콘크리트의 공극율은 단위용적중량에 의해 추정 가능할 것으로 판단된다.

그림 13은 압축강도

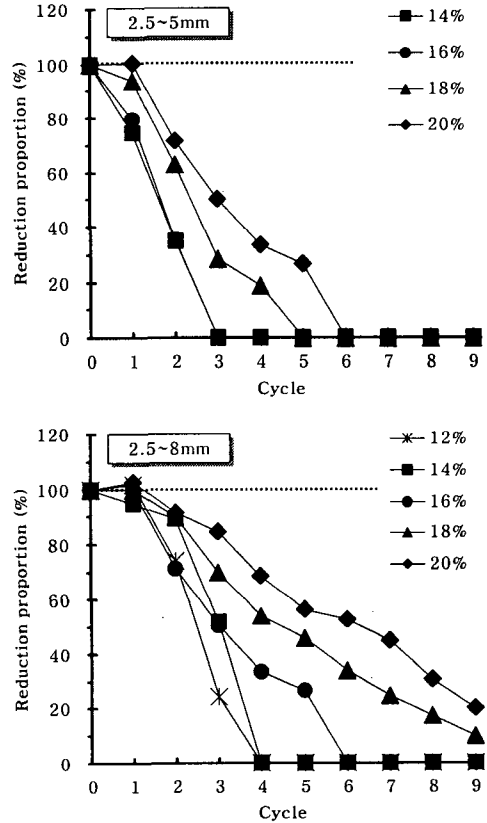


Fig. 9 Reduction proportion of coefficient of permeability

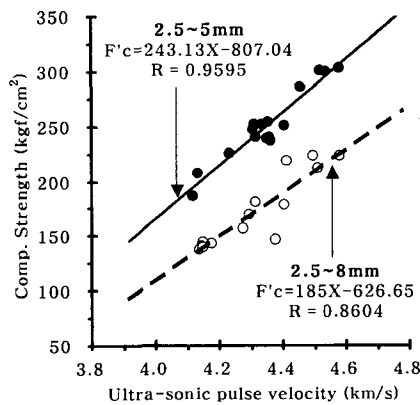


Fig. 10 Relation between comp. strength and ultra-sonic pulse velocity

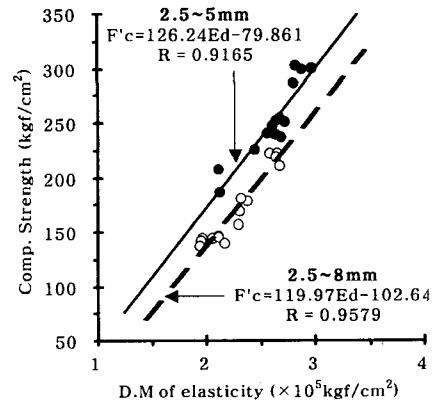


Fig. 11 Relation between comp. strength and D.M of elasticity

와 투수계수의 관계를 나타낸 것으로, 압축강도가 증가할수록 투수계수는 급격히 저하하는 것으로 나타났다. 또한, 투수계수는 동일 압축강도에 있어서도 골재입도에 따라 다르게 나타나며, 2.5~5mm가 2.5~8mm보다 높게 나타났다.

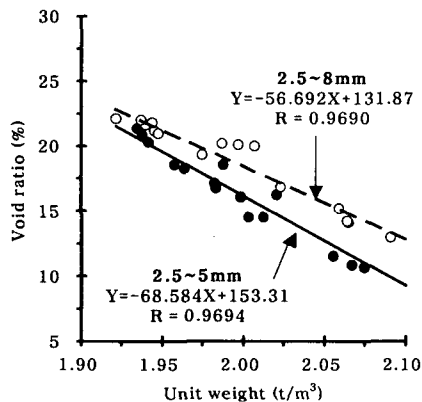


Fig. 12 Relation between unit weight and void ratio

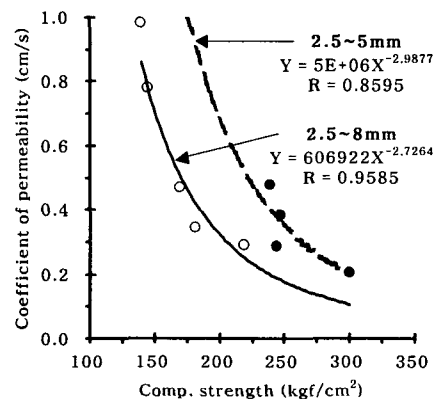


Fig. 13 Relation between comp. strength and coefficient of permeability

4. 결론

이론공극율 및 골재입도, 양생방법이 포러스콘크리트의 강도 및 투수성능에 미치는 영향에 대해 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 골재입도가 작을수록, 이론공극율이 감소할수록 압축강도는 증가하고 투수성능은 감소하는 것으로 나타나, 포러스콘크리트의 압축강도, 공극율 및 투수계수는 골재입도 및 이론공극율에 의해 큰 영향을 받으며, 반면 양생방법의 영향은 작은 것으로 나타났다.
2. 초음파속도 및 동탄성계수와 압축강도의 관계는 동일 입도의 골재를 사용할 경우, 1차 선형관계를 나타내고 있으며, 비파괴시험으로 응용 가능할 것으로 판단된다. 또한, 단위용적중량과 공극율 사이에도 동일 입도의 골재를 사용할 경우, 1차 선형관계를 나타내고 있으며, 단위용적중량에 의한 공극율 추정이 가능할 것으로 판단된다.
3. 이론공극율이 증가할수록, 골재입도가 커질수록 혼탁액 투과에 따른 투수계수 감소율은 완만하게 나타나 장기 투수성능을 고려할 경우, 이론공극율 및 골재입도를 크게 하는 것이 유리할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 산학협동재단의 지원을 받아 수행되었으며, 과제에 도움을 주신 관계자 여러분 및 (주)한수도로산업에 감사드립니다.

참고문헌

1. 日本コンクリート工学協会, エココンクリート研究委員会報告書, 1995
2. 吉森 和人ほか, ポーラスコンクリートの強度と耐久性に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.49, pp. 650~665, 1995
3. 鎌田敏限ほか, 超音波によるポーラスコンクリート内部組織の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.733~738, 1998
4. 玉井ほか, まぶりコンクリートの動弾性係数と凍結融解に関する抵抗性, セメント・コンクリート論文集, No.43, pp. 376~381, 1989
5. ZOUAGHI and NAKAZAWA, Effect of aggregate shape and mixture proportion on permeability and strength of porous concrete, JCA Proceedings of CEMENT & CONCRETE, No.51, pp.882~887, 1997