

폐석회석 굵은골재를 사용한透水 콘크리트의空隙 및强度特性

崔然汪·林鶴相·鄭址承·文大重·申和哲

世明大學校 土木工學科, *東洋大學校 地球環境시스템工學科

Porosity and Stength Properties of Permeable Concrete Using Limestone Mine Wastes as Coarse Aggregate for Concrete

Yun-Wang Choi, Hak-Sang Lim, Jee-Seung Chung, Dae-Joong Moon and Hwa-Cheol Shin

Dept. of Civil Engineering, Semyung University

*Dept. of Civil and Environmental Engineering, Dongyang University

요 약

폐석회석을 투수 콘크리트용 골재로 활용하여 콘크리트의 공극률, 연속공극률, 투수계수, 압축강도 및 휨강도 등을 측정하였으며, 투수 콘크리트의 공극특성과 강도와의 관계에 대하여 고찰하였다. 투수 콘크리트의 공극 및 강도특성은 폐석회석 혼합률에 의한 영향 보다는 골재입자의 크기 및 골재입자 사이의 공극에 의한 영향이 크게 작용하였다. 투수 콘크리트의 공극률과 연속공극률과의 관계 및 공극특성과 강도와의 관계도 양호한 선형관계를 나타내었다. 또한, 폐석회석을 사용한 투수 콘크리트의 투수계수는 0.2 cm/sec 이상의 양호한 결과로 보통골재에 비하여 투수성능이 우수하였으며, 강도결과와 종합해 보면 폐석회석을 보도용 콘크리트 또는 식생, 수자원 정화 콘크리트 등으로 활용될 수 있을 것으로 기대되었다.

주제어 : 폐석회석, 공극충진율, 연속공극률, 투수계수, 투수 콘크리트

ABSTRACT

Limestone mine waste was used as a aggregate for permeable concrete. Void ratio, continuous void ratio, coefficient of permeability, compressive strength and flexural strength of concrete were measured and then the relationship between porosity and strength properties was investigated. Void ratio, continuous void ratio and strength properties of permeable concrete were greatly influenced by the grain size of aggregate and void filling ratio in comparison with the containing ratio of limestone mine waste. Furthermore, void ratio showed a good relation with continuous void ratio, and porosity of permeable concrete indicated a good relation with strength properties also. The coefficient of permeability of permeable concrete using limestone waste was over 0.2 cm/sec and was excellent result in comparison with normal concrete. Therefore, it could be expected that the limestone mine waste would be utilized as aggregate for pavement concrete, green concrete and water resource specie concrete in the results of this study.

Key words : limestone mine waste, void filling ratio, continuous void ratio, coefficient of permeability, permeable concrete

1. 서 론

석회석은 콘크리트의 구성재료인 시멘트의 가장 중요한 원료로서^{1,2)} 남한강 상류지역인 제천, 단양, 영월 지역은 지질분포상 대석회암군으로 형성된 부분이 많아

양질의 석회암층이 발달되어 석회석 광산이 집중되어 있는 곳이다.^{3,4)} 이러한 석회석은 주성분이 CaCO₃로서 그 제조방법에 따라 시멘트 및 철강산업을 비롯하여 토목, 건축, 화학공업, 농업, 공해방지 산업 등 다양한 용도로 전 산업에서 활용되는 원료이다. 국내 총 매장량은 1998년도 기준에 의하면 400억톤으로 풍부한 양이 매장되어 있는 그 활용성이나 부가가치성을 높일 수 있

* 2002년 12월 3일 접수, 2003년 2월 19일 수리

* E-mail: crete77@semyung.ac.kr

는 소재로 인식되고 있다.⁵⁾

한편, 채굴과정에서 탄산칼슘(CaCO₃)의 순도가 75%~85%이상인 석회석은 시멘트 원료로 사용되고 있으나, 점판암이나 백운석과 같은 광물이 혼합되어 탄산칼슘의 순도가 떨어질 경우 폐석으로 분류되며, 본 논문에서는 폐석회석(Limestone Mine Waste, LSW)이라 명칭하였다. 이들 폐석회석은 대부분이 매립, 폐기되거나 품질확인을 하지 않고 레미콘 골재로 사용되는 경우도 종종 발생하고 있다.

그러나, 폐석회석을 콘크리트용 골재로 사용할 경우 폐석회석 중에 함유되어 있는 용해성 MgO가 시멘트와 수화반응을 하면 시멘트경화체가 팽창을 일으켜 손상을 받게 되므로 강도 및 내구성이 저하되는 문제점이 발생할 수 있다.^{1,2)} 그러므로 석회석을 구조용 콘크리트 골재로서가 아니라 산성 하천의 정화, 녹화 및 보도용 포장 콘크리트 등의 투수 콘크리트에 활용하면 기대효과가 클 것이다.⁶⁾

투수 콘크리트는 잔골재를 혼합하지 않고 제조한 콘크리트⁷⁾로서 콘크리트내에 물 또는 공기를 자유롭게 통과시킬 수 있는 연속공극을 갖는 다공질 콘크리트를 말한다.⁸⁾ 이러한 투수 콘크리트는 빗물을 배수시켜 지반 침하 방지, 쾌적한 도로 시공, 각종 동식물이 서식할 수 있는 친환경적 요인 조성, 자동차, 철도 및 공장에서 발생하는 소음 저감효능 및 태양열, 각종 폐축물의 소각열 등을 일시적으로 축적 및 방출 등 다양한 기능⁹⁾을 가지고 있어 광범위한 범위의 환경문제에 적용할 수 있는 환경보존 콘크리트로 국내외적으로 많은 연구가 진행되고 있다.¹⁰⁻¹²⁾

본 연구에서는 석회석 채굴과정에서 발생하는 폐석회

석을 투수 콘크리트용 굵은골재를 활용하기 위한 기초 자료를 얻고자 하였다. 콘크리트의 투수성능 및 강도특성은 폐석회석 혼합률, 골재 입자 사이의 공극충전율, 굵은골재의 최대치수를 변화시켜 콘크리트의 공극률, 연속공극률 및 투수계수와 압축강도, 휨강도를 측정하여 고찰하였다.

2. 실험개요

2.1. 사용재료

(1) 시멘트

시멘트는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

(2) 골재

굵은골재는 부순돌(이하 G로 약함)과 폐석회석(이하 WLS로 약함)로서 골재의 입도를 5~10 mm 및 10~20 mm로 분류하여 사용하였으며, 잔골재는 사용하지 않았다. 굵은골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

(3) 화학혼화제

화학혼화제는 시멘트 페이스트의 유동성을 향상시키기 위하여 나프탈린계 고유동화제를 사용하였다.

2.2. 실험방법

(1) 콘크리트 제조 및 공시체 제작방법

콘크리트는 용량 50l의 강제식 믹서를 사용하여 시멘트와 물을 투입하여 2분간 믹싱한 후, 굵은골재를 투입하여 약 90초간 믹싱하여 제조하였다. 공극률, 연속공극률 및 압축강도용 공시체는 $\phi 10 \times 20$ cm 원주형 공시체를 2일간 습윤양생(20°C, 80% R.H.)한 후, 26일간 수중양생

Table 1. Chemical composition and physical properties of cement

Items Type	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Sepecific gravity (%)	Specific sufgace area(cm ² /g)
OPC	21.6	6.0	3.1	61.4	3.4	2.5	3.15	3.539

Table 2. Physical properties of coarse aggregate

Items Type	G _{max} (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Percentage of solids (%)
G	10	2.65	0.78	1.549	58.45
	20	2.65	0.78	1.498	56.53
LSW	10	2.69	0.51	1.438	53.45
	20	2.69	0.51	1.468	54.57

하였다. 輻강도용 공시체는 15×15×55 cm 각주형 공시체를 제작하여 원주형 공시체와 동일하게 양생하였다.

(2) 공극률 시험

투수 콘크리트의 공극률은 콘크리트의 1 m³중 공극이 없다고 가정한 상태의 절대단위용적중량과 투수 콘크리트의 단위용적 중량의 관계로 식 (1)에 의해 계산하였다. 여기서, 절대단위용적중량은 콘크리트 구성재료의 비중에 의해 계산한 중량으로 단위용적중량시험은 KS F 2409에 의해서 측정하였다.

$$V_R = 100 - \left(\frac{W_s}{W_v} \times 100 \right) \quad (1)$$

여기서, V_R: 공극률(%)

W_s: 투수 콘크리트의 단위용적 중량(g)

W_v: 공극이 없다고 가정한 상태의 절대단위용적중량(g)

(3) 연속공극률 시험

투수 콘크리트의 연속공극률은 φ10×20 cm의 원주형 공시체를 측면과 바닥면을 실리콘으로 밀봉한 후, 상부에서 물을 주입하여 공시체를 완전히 포수시킨 중량 및 표면건조상태의 중량을 측정하여 식 (2)로 계산하였다.

$$CV_R = \frac{W_1 - W_2}{V} \times 100 \quad (2)$$

여기서,

CV_R: 연속공극률(%)

W₁: 물을 주입하여 공시체를 완전히 포수 시킨 중량(g)

W₂: 공시체의 표면건조상태의 중량(g)

V: 공시체의 용적(cm³)

(4) 콘크리트 강도시험

압축강도는 KS F 2405에 준하여 측정하였으며, 輻강

Table 3. Mixture proportions of concrete

NO	G _{max} (mm)	VF(%)	LSW/(LSW+G)(%)	Unit Weight(kg/m ³)			
				W	C	G	LSW
1	10	40	0	73	293		
2			50	73	293	775	719
3			100	73	293	-	1438
4		50	0	91	367	1549	-
5			50	91	367	775	719
6			100	91	367	-	1438
7		60	0	110	439	1549	-
8			50	110	439	775	719
9			100	110	439	-	1438
10	20	40	0	77	307	1498	-
11			50	77	307	749	734
12			100	77	307	-	1468
13		50	0	96	383	1498	-
14			50	96	383	749	734
15			100	96	383	-	1468
16		60	0	115	460	1498	-
17			50	115	460	749	734
18			100	115	460	-	1468

Remarks: G_{max}: Maximum size of coarse aggregate, VF: Void filling ratio
 LSW/(LSW+G): Containing ratio of waste lime stone, W: Mixing water
 C: Cement, G: River gravel, LSW lime stone

도는 KS F 2407에 따라 중앙집중 재하(在荷)방법으로 측정하였다.

(5) 투수시험

투수시험은 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형 공시체를 중앙부위를 절단한 두께 10 cm의 샘플을 이용하였으며, 수두차(水頭差)는 15 cm로 한 시험장치를 제작하여 KS F 2322 『흙의 정수위 투수시험방법』에 의하여 재령 28 일에서 측정하였다.

투수계수는 식 (3)과 같은 Darcy식에 의하여 계산하였다.

$$K = \frac{\Delta h \times Q}{A \times t \times l} \quad (3)$$

여기서,

K : 투수계수(cm/sec), Δh : 수두, l : 시료의 길이(cm)

A : 시료의 단면적 $\frac{\pi d^2}{4}$, cm², t : 시간(sec), Q(cm³):

시간에 따른 배수량

2.3. 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 골재의 입도는 5~10 mm 및 10~20 mm의 두 가지를 사용하였으며, 폐석회석을 부순 돌과 0, 50 및 100%의 3단계, 공극 충전율을 40, 50 및 60% 3단계로 변화시켜 Table 3과 같이 18 종류의 배합을 결정하였다. 이 때, 물-시멘트비는 25%, 고성능 유동화제는 시멘트 중량의 1%로 고정하였다. 여기서 공극충전율(Void Filling Ratio) 또는 VF은 골재사이의 공극을 채운정도를 말하며, 다음 식 (4)로 나타낸다.

$$VF = \frac{V_w + V_c}{G_{Void}} \times 100 \quad (4)$$

여기서,

V_w : 혼합수의 단위용적

V_c : 시멘트의 단위용적

G_{Void} : 굵은 골재의 공극률

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 공극률과 연속공극률

폐석회석을 5~10 mm 및 10~20 mm의 입도로 조절하여 제조한 콘크리트의 폐석회석 혼합률 및 공극충전율에 따른 콘크리트의 공극률을 정리한 것이 Fig. 1 및 Fig. 2이다.

Fig. 1은 폐석회석 혼합률에 따른 투수 콘크리트의 공극률을 나타낸 것으로 강자갈만을 사용한 콘크리트의

공극률은 굵은골재 최대치수 및 공극충전율에 따라 약 17~26% 범위였으며, 폐석회석을 사용한 콘크리트의 공극률은 굵은골재 최대치수 20 mm, 공극충전율 40%의 경우에서 폐석회석을 100% 혼합할 경우에서만 강자갈만을 사용한 콘크리트에 비하여 약 5% 정도 증가하였다. 그 이외의 배합에 대해서는 폐석회석 혼합률에 따라 공극률의 변화는 크게 나타나지 않았다. 또한, 동일한 배합의 콘크리트 공극률은 폐석회석 혼합률이 100% 일 때, 굵은골재 최대치수를 20 mm로 한 경우가 10 mm에 비하여 약 7% 정도 큰 값을 나타내었다.

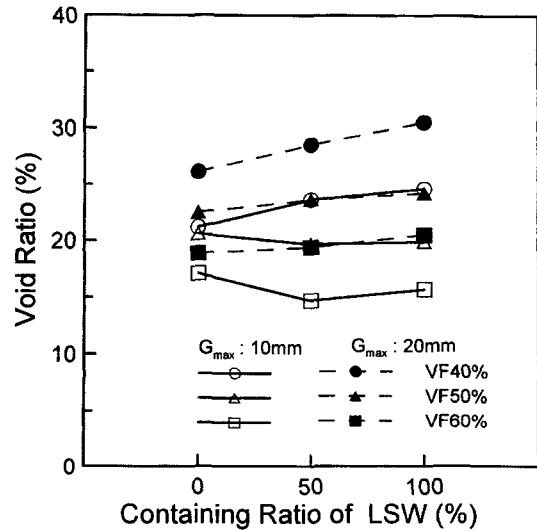


Fig. 1. Void ratio of concrete versus containing ratio of LSW

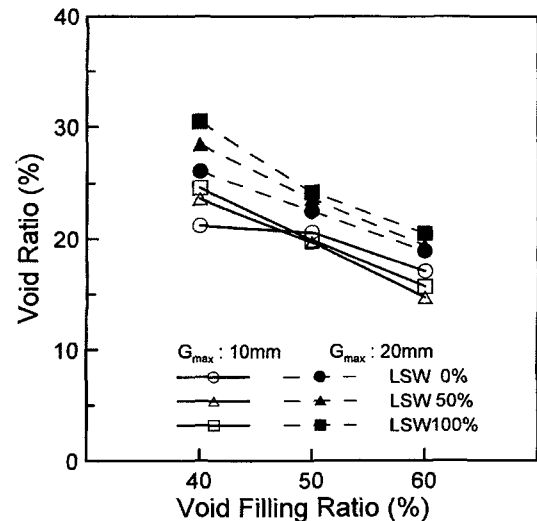


Fig. 2. Void ratio of concrete versus void filling ratio

Fig. 2는 골재입자 사이의 공극충전율에 따른 투수 콘크리트의 공극률을 정리한 것으로, 콘크리트의 공극률은 공극충전율이 증가할수록 감소함을 알 수 있다. 즉, 콘크리트의 공극률은 굵은골재 최대치수를 10 mm 및 20 mm로 한 경우 공극충전율을 60%로 증가시키므로써 공극충전율 40%의 콘크리트에 비하여 약 4~10% 정도 감소하였다.

폐석회석 혼합 콘크리트의 공극률과 연속공극률의 관계를 정리한 것이 Fig. 3이다. 이 그림에서 공극률과 연속공극률의 관계는 굵은골재 최대치수 10 mm 및 20 mm에 따라 결정계수(r^2)가 각각 0.89 및 0.99로 연속공극률이 증가함에 따라 공극률이 선형적으로 증가하는 관계를 나타내었다. 즉, 폐석회석 혼합 콘크리트의 공극률과 관계는 굵은골재 최대치수에 관계없이 비슷한 선형적인 관계식을 얻었다. 콘크리트의 공극률이 20% 정도일 때 연속공극률은 약 17% 정도의 값을 나타내었다.

이상의 결과로서 폐석회석을 사용하여 콘크리트의 연속공극률을 충분히 확보할 수 있었으며, 투수 콘크리트의 공극률을 20% 이상 확보하기 위해서는 공극충전율을 50% 이하로 하고 굵은골재의 최대치수를 크게 하는 경우가 유리할 것으로 생각된다.

3.2. 투수계수

폐석회석의 혼합률 0, 50 및 100%, 공극충전율 40, 50 및 60%로 변화시켜 제조한 콘크리트와 강자갈을 사용한 콘크리트의 투수계수와 비교하여 정리한 것이 Fig.

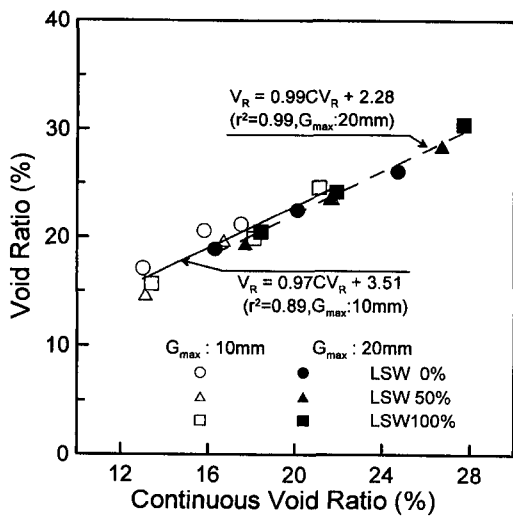


Fig. 3. Relationship between void ratio and continuous void ratio

4 및 Fig. 5이다.

Fig. 4는 폐석회석 혼합물에 따른 콘크리트의 투수계수를 정리한 것으로 콘크리트의 투수계수는 폐석회석의 혼합률에 큰 영향이 미치지 않음을 알 수 있다. 굵은골재의 최대치수가 10 mm일 때 콘크리트의 투수계수는 약 0.2~0.42 cm/sec의 범위였으며, 굵은골재의 최대치수가 20 mm일 때 콘크리트의 투수계수는 약 0.4~0.7 cm/sec로 굵은골재의 최대치수가 큰 경우 약 1.7~2 배 정도 큰 값이었다.

Fig. 5는 공극충전율에 따른 콘크리트의 투수계수를

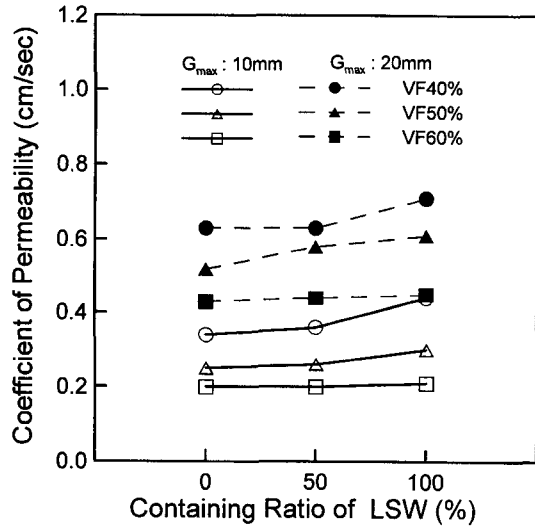


Fig. 4. Coefficient of Permeability versus containing ratio of LSW

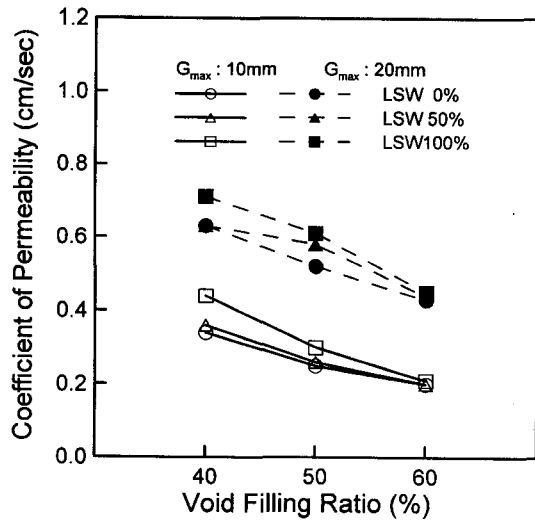


Fig. 5. Coefficient of Permeability versus void filling ratio

정리한 것으로 공극충전율이 커질수록 투수계수가 작아졌으며, 투수계수의 범위도 감소하였다. 즉, 굵은골재 최대치수가 10 mm일 때 투수계수가 공극충전율 40%에서 0.3~0.41 cm/sec 정도였으나, 공극충전율 60%에서는 0.2 cm/sec로 감소하였으며, 굵은골재 최대치수 20 mm 일 때 투수계수는 공극충전율 40%에서 0.6~0.7 cm/sec 정도였으며, 공극충전율 60%에서는 0.42 cm/sec 정도로 감소되었다.

이상의 결과로서 콘크리트의 투수계수는 모든 배합에서 0.2 cm/sec 이상으로 건설교통부 제정 도로포장설계 시공지침의 투수성 아스팔트 포장의 투수계수 0.1 cm/sec 이상을 만족하는 값을 얻었다.¹⁰⁾

3.3. 강도특성

폐석회석 혼합물에 따른 콘크리트의 재령 28일 압축 강도를 정리한 것이 Fig. 6이다. 이 그림에서 굵은골재 최대치수 20 mm, 공극충전율을 40%로 제조한 콘크리트의 압축강도는 폐석회석 혼합물에 따라 약 80 kgf/cm²로 거의 변화가 없었다. 그러나, 굵은골재 최대치수 10 mm, 공극충전율을 40%로 제조한 콘크리트의 압축 강도는 폐석회석을 혼합하지 않은 경우 134 kgf/cm²에서 폐석회석을 100% 혼합하므로써 81 kgf/cm²로 떨어지는 등 굵은골재 최대치수 10 mm, 공극충전율 60%로 제조한 이외의 나머지 콘크리트의 압축강도는 폐석회석의 혼합률이 커짐에 따라 감소되었다.

이상의 결과는 田中 등의 연구결과¹³⁾와 비슷한 결과로 폐석회석의 혼합률이 커짐에 따라 콘크리트의 압축

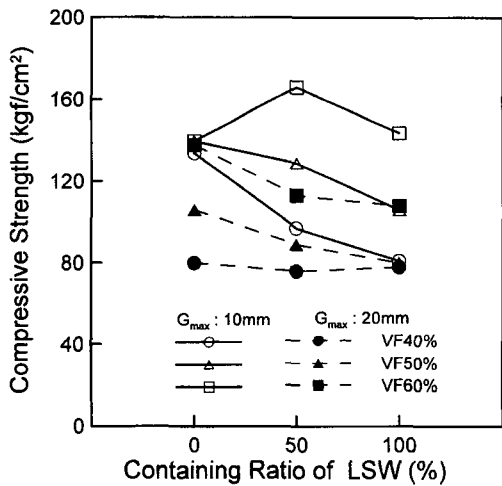


Fig. 6. Compressive strength versus containing ratio of LSW (28days)

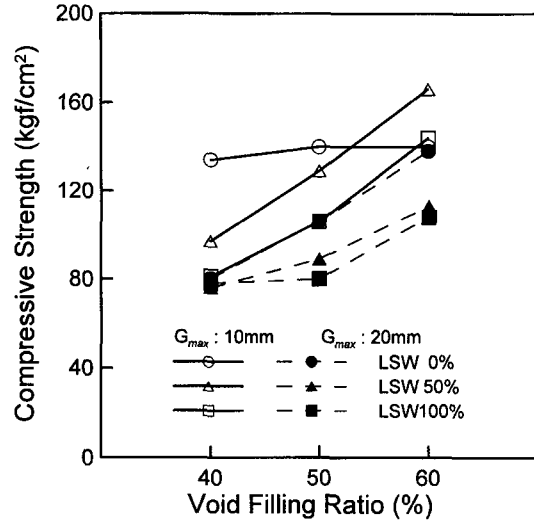


Fig. 7. Compressive strength versus void filling ratio (28days)

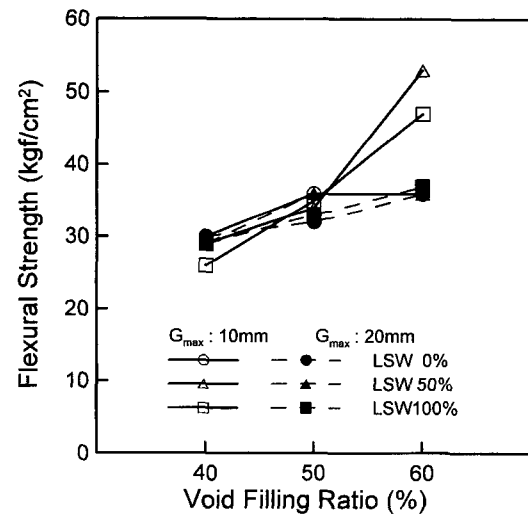


Fig. 8. Flexural strength versus void filling ratio (28days)

강도가 감소하는 이유는 폐석회석의 강도가 보통골재보다 작을 뿐만 아니라 실적률이 작아 콘크리트의 공극률이 증가하였기 때문으로 생각된다. 공극충전율과 재령 28일 압축강도와의 관계를 정리한 것이 Fig. 7이다. 이 그림에서 폐석회석을 혼합하지 않고 굵은골재 최대치수 10 mm로 제조한 콘크리트의 압축강도는 공극충전율에 관계없이 비슷한 값이었으나, 나머지 배합의 콘크리트는 공극충전율이 증가함에 따라 압축강도가 증가하였다. 폐석회석을 50% 혼합한 콘크리트의 압축강도는 굵은골재 최대치수 20 mm일 경우 공극충전율 40%에서 60%로

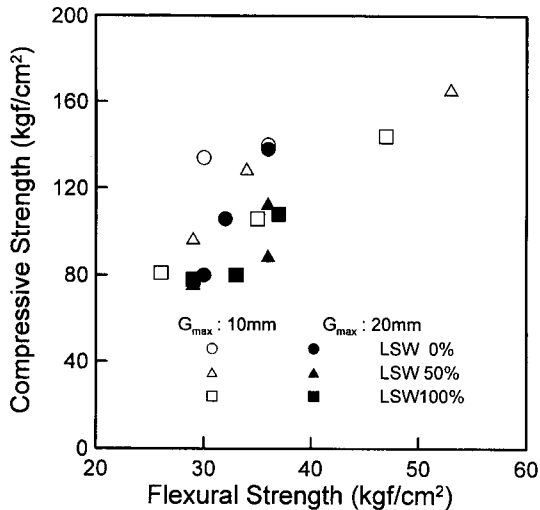


Fig. 9. Relationship between compressive strength and flexural strength

커짐에 따라 76 kgf/cm²에서 113 kgf/cm²으로 약 49% 강도증진이 있었으며, 굵은골재 최대치수 10 mm일 경우 공극충전을 40%에서 60%로 커짐에 따라 97 kgf/cm²에서 166 kgf/cm²로 71%의 강도증진이 있었다. 즉, 폐석회석을 혼합한 투수 콘크리트의 경우 공극충전율이 증가함에 따라 골재와 시멘트페이스트 피복두께가 증가하므로 골재입자 사이의 공극이 감소하여 콘크리트의 압축강도가 증가하였다고 생각되며, 굵은골재 최대치수가 작을수록 공극충전율에 따른 강도증진율이 크게 나타남을 알 수 있었다.

폐석회석 사용 투수 콘크리트의 공극충전율에 따른 재령 28일 휨강도를 정리한 것이 Fig. 8이며, 재령 28일 압축강도와 휨강도와의 관계를 정리한 것이 Fig. 9이다.

Fig. 8에서 공극충전율이 증가함에 따라 콘크리트의 휨강도가 증가하여 대체적으로 공극충전율 40%에서는 약 30 kgf/cm², 공극충전율 60%에서 36 kgf/cm² 정도로 약 20% 정도 증가한 값으로 安藤 등 연구¹⁴⁾와 같이 투수 콘크리트의 휨강도는 보통콘크리트와 비슷한 값을 얻었다. 굵은골재 최대치수 10 mm, 공극충전율 60%, 폐석회석 혼합률 50 및 100%로 혼합한 배합을 제외하고는 건설교통부 제정 도로포장설계시공지침의 콘크리트 포장설계 휨강도 45 kgf/cm²에 못 미치는 작은 값을 나타내었다.

Fig. 9에서 폐석회석 사용 투수 콘크리트의 압축강도와 휨강도와의 선형적인 관계는 성립되지 않았으며, 콘

크리트의 압축강도가 80~130 kgf/cm² 정도 범위에서 휨강도는 대략적으로 30~36 kgf/cm² 범위의 값을 가짐을 알 수 있었다. 콘크리트의 압축강도와 휨강도의 비(f_{ck}/f_b)는 2.8~4.5 범위로 보통콘크리트에 비하여 작은 값을 나타내었다.

3.4. 공극특성과 투수계수 및 강도와의 관계

폐석회석 사용 투수 콘크리트의 공극률, 연속공극률, 투수계수 및 압축강도와의 관계를 정리한 것이 Fig. 10이다. 이 그림에서 공극률 및 연속공극률이 증가함에 따라 콘크리트의 투수계수는 증가하고 압축강도는 감소하였다. 동일한 공극률에서 콘크리트의 투수계수는 굵은골재 최대치수 20 mm인 경우가 10 mm인 경우에 비하여 약간 큰 값이었으며, 압축강도는 비슷한 값을 나타내었다. 공극률 20%의 경우 굵은골재 최대치수 10 mm에서 콘크리트의 투수계수는 0.3 cm/sec 정도, 압축강도는 125 kgf/cm² 정도, 연속공극률은 17% 정도를 나타내었다. 공극률 30%의 경우 굵은골재 최대치수 20mm에서 콘크리트의 투수계수는 0.7 cm/sec, 압축강도는 75 kgf/cm² 정도, 연속공극률은 28% 정도를 나타내었다.

폐석회석 사용 투수 콘크리트의 공극률, 연속공극률 및 투수계수와 휨강도와의 관계를 정리한 것이 Fig. 11이다. 이 그림에서 동일한 휨강도에서는 굵은골재 최대치수가 큰 경우 공극률, 연속공극률 및 투수계수가 큰 값을 나타냄을 알 수 있었다. 휨강도 30 kgf/cm²일 때 굵은골재 최대치수 10 mm에서는 공극률, 연속공극률 및 투수계수가 각각 약 23%, 20% 및 0.35 cm/sec이며, 굵은골재 최대치수 20 mm에서는 공극률, 연속공극률 및 투수계수가 각각 약 28%, 26% 및 0.7 cm/sec를 나타내었다.

이상의 실험결과를 종합해 보면, 폐석회석 사용 투수 콘크리트의 휨강도는 건설교통부 제정 콘크리트 도로포장 설계시공지침의 설계 휨강도를 만족하지 않으나, 투수계수는 투수 아스팔트 포장의 설계 투수계수 조건을 만족하므로 폐석회석을 강도가 크게 요구되지 않는 보도용 투수 포장콘크리트용 골재로 사용이 가능할 것으로 판단된다. 아울러 기존연구에 의하면 폐석회석을 녹화콘크리트 및 산성하천 등의 수질정화 콘크리트용 골재로도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.^{11~13)}

4. 결 론

이상으로 본 연구의 실험결과를 요약하여 정리하면

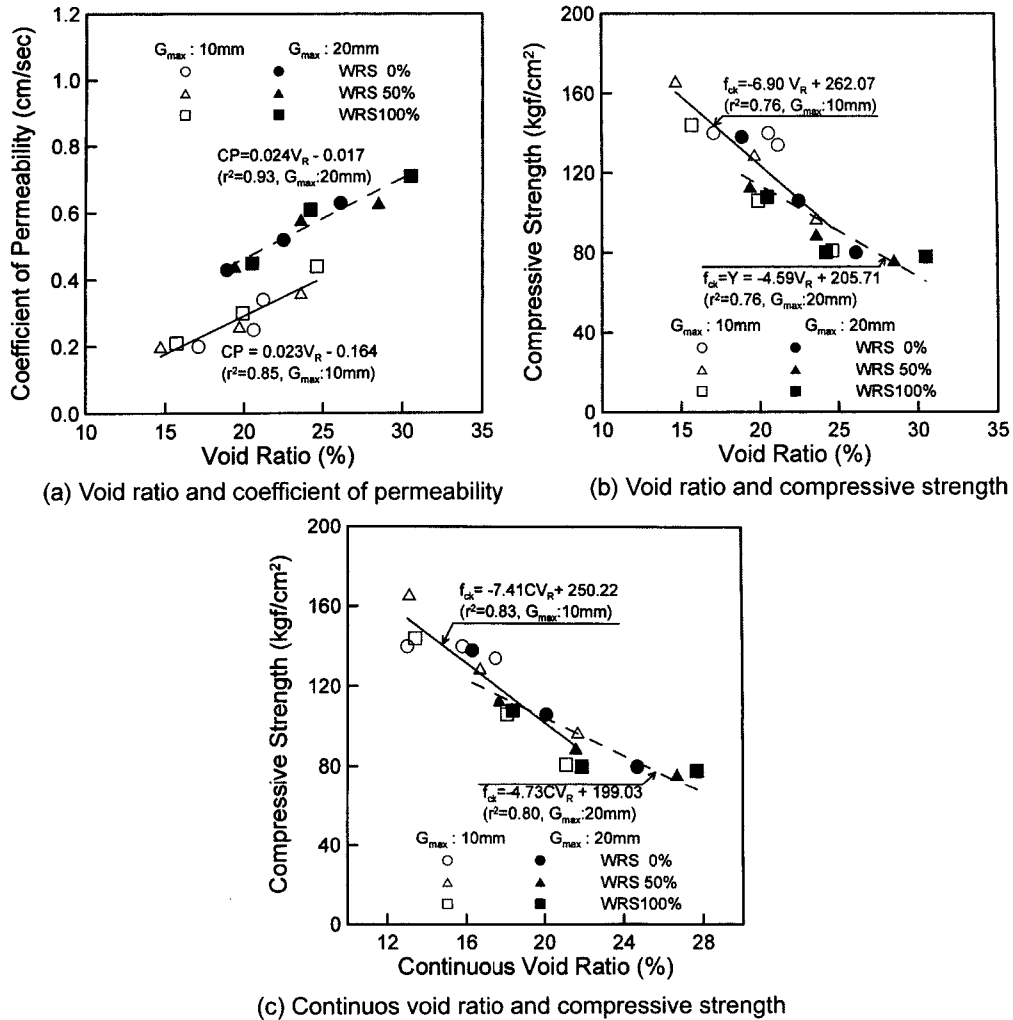


Fig. 10. Relationship between porosity and compressive strength

다음과 같다.

(1) 투수 콘크리트의 공극률 및 연속공극률은 폐석회석 혼합물 보다는 오히려 공극충전을 및 굵은골재 최대치수에 의한 영향이 크며, 공극률과 연속공극률과의 관계는 굵은골재 최대치수에 관계없이 양호한 선형관계를 나타내었다. 즉, 공극률 및 연속공극률은 공극충전율이 작고 및 굵은골재 최대치수가 클수록 증가할 것으로 판단된다.

(2) 폐석회석 사용 투수 콘크리트의 투수계수는 0.2cm/sec 이상으로 공극충전율이 40%에서 60%로 커짐에 따라 1~1.5% 감소하였으며, 동일한 공극충전율에서 굵은골재 최대치수 20 mm의 경우 10 mm에 비하여

약 2배 정도 크게 나타났다. 즉, 도로포장설계시공지침의 투수계수 0.1 cm/sec 이상을 만족하는 투수계수를 얻기 위해서는 공극충전율을 60% 이하로 하는 것이 바람직하다.

(3) 폐석회석 사용 투수 콘크리트의 압축강도 및 휨강도는 폐석회석 골재의 강도 및 실적률이 보통골재에 비하여 작기 때문에 폐석회석 혼합률이 증가할수록 약간 감소하였으며 공극충전율이 커질수록 골재 입자사이의 공극이 감소하여 증가하였다. 즉, 투수 콘크리트의 휨강도는 45 kgf/cm² 이하인 값으로 보도용 포장 콘크리트에 사용 가능할 것으로 판단된다.

(4) 폐석회석 사용 콘크리트의 공극률, 연속공극률, 투

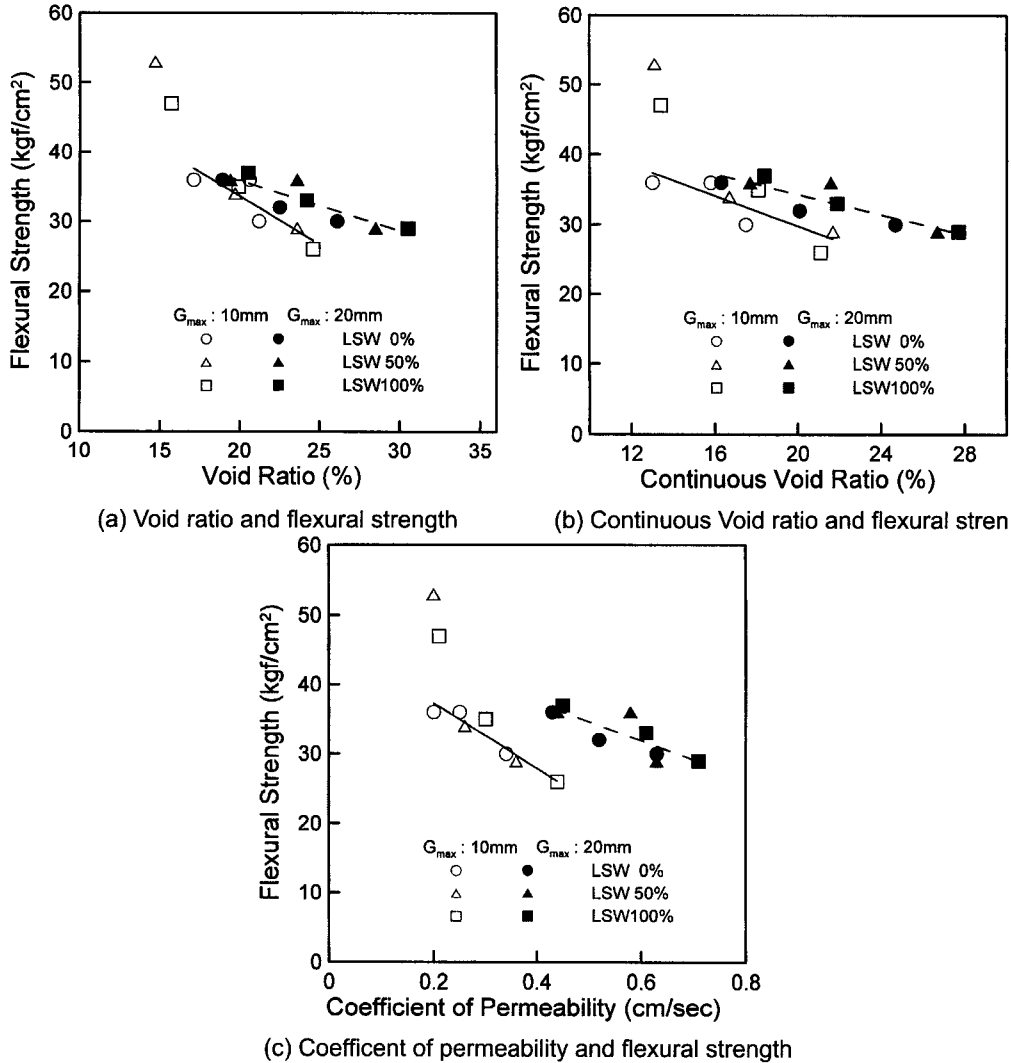


Fig. 11. Relationship between porosity and flexural strength

수계수 및 압축강도, 휨강도와의 선형적인 관계로서 공극률 및 연속공극률이 증가함에 따라 투수계수가 커지고 압축강도 및 휨강도는 감소함을 알 수 있었다. 이와 같은 선형관계로서 소요의 강도에서의 공극률, 연속공극률 및 투수계수 뿐만 아니라 목표 공극률에서의 연속공극률, 강도 및 투수계수를 간단히 추정하는데 활용 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 최재진, 최연왕, 김기형: “최신 토목재료학”, 기문당, 25-30 (2000).
2. ACI Manual of concrete practice Part I: "Materials and General Properties of Concrete" (1999).
3. 장병두, 손길상: “국내 고품위 석회석의 부존특성 및 개발 현황”, 석회석과 그 응용, 제 3회 산업광물 심포지움 논문 요약집, 15-31 (2002.4).
4. 충청북도교육위원회: “충북의 자연(지질, 광물자원편)”, 11-18 (1986).
5. 류필조: “석회석 및 석회 활용의 최근 동향”, 한국석회석 가공업 협동조합 여름호, 42-53 (1998).
6. 大塚孝義, 富塚一壽, 金井誠一郎, 岡本亨久: 石灰石骨材を用いたポーラスコンクリートの酸性河川への中和材料としての適用, 콘크리트工學年次論文報告集, 19(1), 1027-

- 1032 (1997).
7. R. Zhang, T. Nakazawa, F. Imat and N. Shinnsihi: "Void Content of No-Fines Concrete", 콘크리트工學年次論文報告集, 19(1), 1051-1055 (1997).
 8. 越健, 島崎磐, 國枝稔, 六郷惠哲: "ポーラスコンクリートの空隙率と空隙分布の評価", 콘크리트工學年次論文報告集, 21(1) 259-264 (1999).
 9. 玉井元治: "透水性콘크리트", 콘크리트工學, 32(7), 134-138 (1994.7).
 10. 문한영, 김성수, 정호섭: "투수성 콘크리트포장의 실용화를 위한 실험적 연구", 한국콘크리트학회지 10(3), 165-173 (1988).
 11. 최룡, 김진춘: "식생 콘크리트", 한국콘크리트학회지 10(6) 11-21 (1988).
 12. 足立憲彦, 米澤敏男, 柳橋邦生, 中西康博: "綠化콘크리트に生育した植物の冠水抵抗に關する研究", 콘크리트工學年次論文報告集, 19(1), 1033-1038 (1997).
 13. 田中博一, 今井 實: "綠化콘크리트の強度特性", 콘크리트工學年次論文報告集, 21(1), 283-288 (1999).
 14. 安藤貴宏, 栗原鐵彦, 內田裕市, 六郷惠哲: "ポーラス콘크리트の曲げ破壊性狀", 콘크리트工學年次論文報告集, 17(1), 765-770 (1995).



崔 然 汪

- 1994년 한양대학교 토목공학과 공학 박사
- 현재 세명대학교 건설공학부 토목공학과 부교수



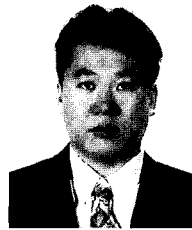
林 鶴 相

- 1985년 일본오사카대학 대학원 이학 박사
- 현재 세명대학교 환경공학과 부교수



鄭 址 承

- 2000년 한양대학교 토목공학과 공학 박사
- 현재 동양대학교 지구환경시스템공학과 전임강사



文 大 重

- 1998년 한양대학교 토목공학과 공학 박사
- 현재 동양이엔씨 기술연구소 선임연구원



申 和 哲

- 2002년 한양대학교 토목공학과 공학 박사
- 현재 대신구조엔지니어링 기술연구소 소장