

동제련 슬래그를 혼입한 포러스 콘크리트의 강도 및 투수성능에 관한 연구

A Study on Strength and Permeability of Cooper Slag mixed Porous Concrete

심 병 주* 김 영 수**

Shim, Byung-Ju Kim, Young-Soo

Abstract

The purpose of this study is to identify basic property of porous concrete using cooper slag as fine aggregate. The specimens were made with cooper slag with various mixing ratio(10, 20, 30, 50%), porous concrete and porous concrete containing river fine aggregate and crushed fine aggregate, which W/B ratio fixed 0.25. Compressive strength, Flexural strength, coefficient of permeability. From the test results, various fine aggregate mixing ratio improves compressive strength and flexural strength, but cooper slag fine aggregate mixing ratio over 20%, concrete indicates trend to decrease performance of permeability. Concrete containing fine aggregate is improved the performance of permeability and strength compared to other specimen, when age 28days, and cooper slag mixing ratio less than 20% concrete indicates better performance than cooper slag mixing ratio 20% over.

키 워 드 : 동제련 슬래그, 포러스 콘크리트, 강도, 투수성
Keywords : Cooper Slag, Porous Concrete, Strength, Permeability

1. 서 론

1.1 연구의 목적

포러스 콘크리트(Porous Concrete)는 무세골재 콘크리트(No-Fines Concrete)로도 불리어 지며 조직 내부에 다량의 연속성 공극이 형성되어 있어 투수성과 투기성이 우수하다. 이를 이용하여 투수콘크리트나 소음을 흡수하는 기능을 가진 흡음콘크리트, 지중생물 생태계의 보호, 정원수의 발육을 돕는 식생콘크리트나 수질정화 기능을 가진 에코콘크리트 등과 같이 다양한 용도에 활용되고 있다.

그러나 포러스 콘크리트의 강도는 5~8MPa에 불과하여, 이와 같은 단점을 보완하기 위하여 잔골재를 소량 사용하여 투수계수는 유지되면서, 성능을 개선시키는 방안이 연구되고 있다.

특히 동제련 슬래그의 경우 입형이 강모래와 유사한 둥근 형태이고, 낮은 흡수성을 가지고 있어 공극특성이 중요한 포러스 콘크리트에 적합할 것으로 예상된다.

이러한 관점에서, 본 연구는 산업부산물인 동제련 슬래그의 유효재활용과 동제련 슬래그를 잔골재로 사용한 포러스 콘크리트의 적용가능성을 평가하기 위하여 플레인 투수 콘크리트 및 강모래,

부순모래를 혼입한 포러스 콘크리트와 비교분석함으로써 동제련 슬래그를 혼입한 포러스 콘크리트의 기초적 특성을 평가하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 동제련 슬래그를 잔골재로 사용한 포러스 콘크리트의 강도 및 투수성능에 대한 특성을 알아보기 위해 아래와 같은 방법으로 연구를 수행하였다.

콘크리트의 기본적인 물성을 평가하기 위하여 각각의 경화콘크리트의 압축강도와 휨강도를 측정하였으며, 포러스 콘크리트의 투수성능을 관찰하기 위해 일본 에코 콘크리트학회에서 제안한 식을 통하여 투수계수를 측정하였다.

2. 실험계획

2.1 실험재료

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트이며, 굵은 골재는 포러스 콘크리트의 최대 허용치수인 19mm이하의 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 국내에서 생산된 강모래, 부순모래와 L사의 동제련 연속로 공법을 통해 생산된 동제련 슬래그를 사용하였다. 골재의 물리적 특성은 표 1에 나타내었으며, 동제련

* 부산대학교 건축공학과 석사과정

** 부산대학교 건축공학과 정교수

슬래그의 물리적 성질과 화학적 성분은 표 2에 나타내었다.

표 1. Physical Characteristic of Aggregate

Type of Aggregate	Coarse Aggregate	River Fine Aggregate	Crushed Fine Aggregate
Maximum Size(mm)	19	5	5
Fineness Modulus(F.M)	6.8	2.85	3.25
Density(g/cm ³)	2.67	2.60	2.63
Percentage of Water Absorption(%)	1.32	2.33	2.54
Unit Volume Weight(kg/m ³)	1700	1750	1790

표 2. Physical Characteristic and Chemical Composition of Cooper Slag

Physical Characteristic	Maximum Size(mm)	5
	Percentage of Water Absorption(%)	0.26
	Specific Gravity	3.0
	Unit Volume Weight(kg/m ³)	2400
Chemical Composition(%)	SiO ₂	33.05
	Al ₂ O ₃	4.46
	Fe ₂ O ₃	7.29
	CaO	5.48
	MgO	0.73
	Cu	1.0
	FeO	39.51
L.O.I	8.48	

2.2 시편계획

2.2.1 실험인자 및 수준

본 실험은 동제련 슬래그를 혼입한 포러스 콘크리트의 강도 및 투수성능을 확인하기 위하여 동제련 슬래그 혼입률을 주요 실험 인자로 하였으며, W/C는 예비실험에 의하여 0.25로 하였다. 동제련 슬래그의 혼입률에 대한 평가를 하기 위하여 동제련 슬래그를 10, 20, 30, 50% 혼입한 포러스 콘크리트를 제작하였으며, 동제련 슬래그 혼입 포러스 콘크리트의 상대비교를 위하여 강모래와 부순모래를 각각 10, 20% 혼입한 콘크리트를 제작하였다. 실험인자, 평가항목 및 배합설계는 표 3 및 4와 같다.

표 3. Experiment Factor and Assessment

Experiment Factor and Standard	W/C	0.25
	Cooper Slag (%)	10, 20, 30, 50
	River Fine Aggregate (%)	10, 20
	Crushed Fine Aggregate (%)	10, 20
Assessment	Compressive Strength (Day)	3, 7, 14, 28
	Flexure Strength (Day)	14, 28
	Coefficient of Permeability (Day)	14, 28

표 4. Mixing Design of Concrete

Kind of Mixture	W/C	단위중량(kg/m ³)					
		Unit Water	Cement	Fine Aggregate			Coarse Aggregate
				Cooper Slag	Crushed Sand	River Sand	
P	25	87.5	350	-	-	-	2020
RF10				-	-	197	1818
RF20				-	-	393	1616
CF10				-	202	-	1818
CF20				-	404	-	1616
CSF10				227	-	-	1818
CSF20				454	-	-	1615
CSF30				681	-	-	1414
CSF50				1135	-	-	1010

주) P(RF, CF, CSF) (0, 10, 20, 30, 50)

amount of containing
 P : Porous Concrete(No fines Concrete)
 RF : Substitute River Sand Fine Aggregate
 CF : Substitute Crush Sand Fine Aggregate
 CSF: Substitute Cooper Slag Fine Aggregate

2.2.2 시편의 제작

콘크리트의 비빔은 굵은 골재와 잔골재를 투입하여 30초간 건비빔하고 난 후 시멘트와 물의 순으로 투입하였으며, 3분비빔(1분비빔→1분휴지→2분비빔) 방식으로 혼합하였다.

압축강도 측정을 위하여 Ø100×200mm인 원주형 시편을 각 배치당 15개씩 제작하였으며, 휨강도 측정을 위하여 100×100×400mm 시편체를 각 배치당 6개씩 제작하였다.

투수성능을 평가하기 위하여 Ø150×150mm인 원주형 시편을 배치당 6개씩 제작하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 압축강도

경화 콘크리트의 역학적 특성을 알기 위한 콘크리트 압축강도

시험은 KS F 2405 ‘콘크리트의 압축강도 시험방법 규정’에 따라 측정하였다.

2.3.2 휨강도

공시체의 휨강도 시험은 KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험)에 준하여 재령 14, 28일에서 시험하였다. 중앙법 재하법에 따라 경화 콘크리트 공시체의 휨 강도 시험을 하는 경우의 재하장치, 휨 강도의 산출 방법에 따라 계산하였다.

2.3.3 투수계수 측정방법

투수계수는 일본콘크리트공학협회 에코콘크리트연구위원회의 『포러스 콘크리트의 투수계수 시험방법(안)』에 준하여 그림 1과 같은 장치를 사용하여 측정하였다.

먼저 투수계수 측정용 공시체의 단면적과 공시체의 높이를 구한다. 그리고 투수시험에 앞서 공시체를 24시간이상 포수시킨 다음 시험체를 장치에 설치하고, 월류수조에 물을 채운다. 급수측 수조에 물을 부어 배수구에서 배수하여 급수측의 수위일정하게 유지시킨다. 급수측 수조에서 물이 거의 일정하게 되도록 하고, 시간 t1에서 t2까지 흘러나온 물의 양을 메스실린더로 측정한다. 급수측 수조의 수위와 월류수조의 수위차(h)를 측정한 후, 식 1에 의해서 투수계수를 계산하였으며, 같은 공시체에 대해서 3회 측정을 하였다.

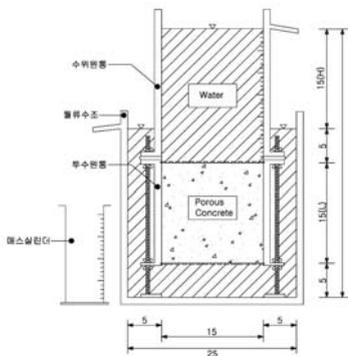


그림 1. measuring device of coefficient of permeability

$$K = \frac{H}{h} \times \frac{Q}{A \times (t_2 - t_1)} \text{ (cm/sec) (1)}$$

K : T℃의 투수계수 (cm/sec)

H : 시험체의 높이 (cm)

Q : 시각 t1에서 t2까지의 월류량 (cm³)

h : 수위차(cm)

t2 - t1 : 측정시간(sec)

A : 시험체의 단면적(cm²)

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 압축강도

그림 2는 경화된 포러스 콘크리트의 압축강도를 시편종류에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 잔골재의 양이 0, 10, 20%로 증가함에 따라 강도는 RF 시험체의 경우 약 8~17%의 강도증진을 보였으며, CF 시험체의 경우 약 14~22%의 강도증진을 나타내었다. 그리고 CSF 시험체의 경우 약 14~34%의 강도증진을 나타내었다. 이는 잔골재의 투입으로 인한 공극의 감소로 인해 강도가 증진된 것으로 판단된다.

또한 초기에 CF시험체의 강도가 다른 시험체의 강도보다 증진이 높은 이유는 부순모래의 입형이 모가 나고 표면이 거칠어 골재와 페이스트간의 접착력이 증대된 것으로 판단된다.

재령의 증가함에 따라 CSF시험체의 강도가 다른 시험체의 강도증진보다 증가하는 이유는 동제련 슬래그의 포졸란 반응으로 인해 강도가 증진된 것으로 판단된다.

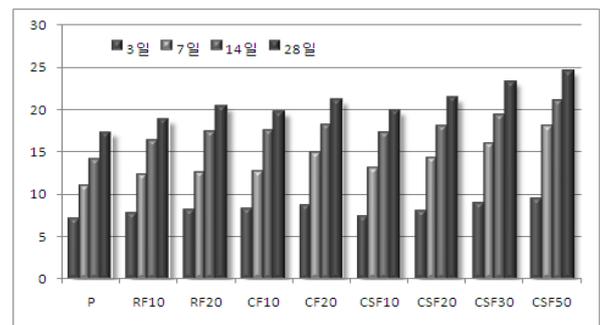


그림 2. Compressive Strength of specimen type

3.2 휨강도

그림 3은 시편종류에 따른 재령별 휨강도를 나타낸 것이다. 휨강도의 시험결과는 잔골재의 혼입량이 증가할수록 높은 휨강도를 나타내었으며, 재령 28일의 경우 동일한 혼입률에서 동제련 슬래그를 혼입한 시험체의 강도가 가장 높은 특성을 나타내었다.

이는 앞서 서술한 바와 같이 동제련 슬래그의 포졸란 반응성으로 인해 콘크리트 내부 공극의 충전효과가 우수하여 압축강도가 향상된 것으로 판단된다.

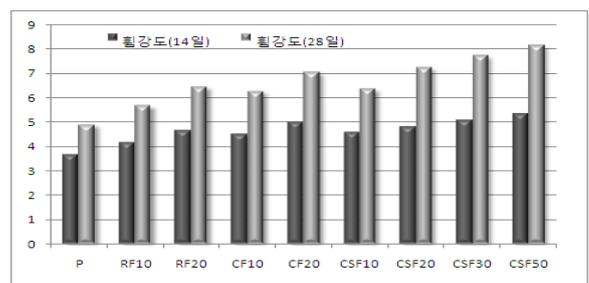


그림 3. Flexure Strength of specimen type

3.3 투수성능

그림 4는 시편의 종류에 따른 재령별 투수계수를 나타낸 것이다. 재령이 지나감에 따라 투수계수는 감소하였으나 잔골재를 20%이하로 혼입한 시험체에서 일본콘크리트공학협회 에코콘크리트 연구위원회에서 규정하는 0.1cm/sec의 값을 만족시키고 있었다.

P의 경우 28일 투수계수가 0.489cm/sec로 나타났고, CSF20 시험체의 경우 0.161cm/sec로 나타나 투수계수의 수치는 줄어들었으나 일본콘크리트공학협회 에코콘크리트 연구위원회에서 규정하는 값 이상의 수치를 나타내어 포러스 콘크리트로서의 사용은 문제가 없을 것으로 판단된다.

하지만 잔골재 혼입률이 30% 이상인 시험체는 재령 28일에는 만족할 만한 투수계수 값을 나타내지 못하고 있어 투수계수 값을 고려한다면 잔골재 혼입률을 20%이하로 제한하는 것이 바람직하다고 생각된다.

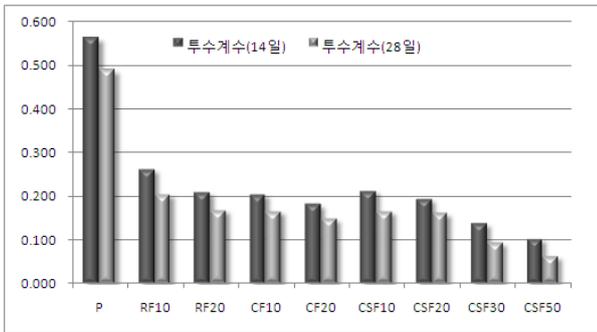


그림 4. Permeability coefficient of specimen type

4. 결 론

본 연구에서는 동제련 슬래그를 혼입한 포러스 콘크리트의 강도와 투수성능을 알아보기 위하여 경화 콘크리트의 압축강도와 휨강도, 그리고 투수계수 측정을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 포러스 콘크리트에서 잔골재의 혼입률이 증가할수록 압축강도는 증가하는 경향을 확인하였다. 이는 잔골재의 혼입으로 인해 포러스 콘크리트의 공극이 메워져 강도가 증진된 것으로 판단된다.
- 2) 포러스 콘크리트의 휨강도를 측정해본 결과 압축강도와 유사하였으며, 잔골재의 혼입이 포러스 콘크리트의 강도증진에 도움이 되는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 투수계수를 측정된 결과 포러스 콘크리트의 공극특성을 고려할 때 잔골재의 혼입률은 20%까지는 일본콘크리트공학협회 에코콘크리트위원회의 기준인 0.1cm/sec에 적합하였으나 혼입률이 20%를 초과하는 시험체의 경우는 기준에 적합하지 않은 경향을 나타내었다. 따라서 포러스 콘크리트의 잔

골재 혼입률은 20% 이하로 사용하여야 함을 알 수 있었다.

향후 연구과제로는 동제련 슬래그를 혼입한 포러스 콘크리트의 내구성에 대한 명확한 규명을 위하여 동결융해 실험 및 중성화에 대한 연구가 필요하다. 또한, 포러스 콘크리트의 활용가능성이 다양한 방향으로 연구되고 있지만, 현장적용에 대한 연구가 부족한 실정이므로 현장적용성에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 문한영, 김성수, 정호섭, 안기용, 전기로슬래그 골재를 활용한 투수성 콘크리트의 기초적 성질에 대한 연구, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제10권 제1호, pp.227~230, 1998
2. 최룡, 김진춘, 식생 콘크리트, 한국콘크리트학회 논문집, 제10권 제6호, pp.11~21, 1998,12
3. LG-Nikko 동제련(주) 제련기술연구소, 동슬래그의 물성 파악 및 개선을 위한 용도개발 청정생산 기술 개발 사업진행, LG-Nikko 동제련(주),1999
4. A. M. Neville, Properties of Concrete, Fourth Edition
5. 日本7コンクリート工學&協會, エココンクリート研p究委員會報告書, 1995
6. 武田 字浦, 田中 周平, 高木 宣章, 兒島 孝之, “ポーラスコンクリートを用いたヨシの琵琶湖への植栽”, 콘크리트工學年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1175~1180, 2003