

# 수쇄 페로니켈슬래그 잔골재를 이용한 콘크리트의 최적 혼합률 및 내구 특성 평가

## Evaluation of Optimum Mixing Rate and Durability of Concrete Using Water Granulated Slag Fine Aggregate

(Received March 21, 2011 / Revised March 30, 2011 / Accepted March 31, 2011)

최연왕<sup>1)</sup>\* 박만석<sup>1)</sup> 이광명<sup>2)</sup> 배수호<sup>3)</sup> 김지상<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>세명대학교, 토목공학과

<sup>2)</sup>성균관대학교 건설환경시스템공학과, <sup>3)</sup>안동대학교 토목공학과, <sup>4)</sup>서경대학교 도시환경시스템공학과

Yun-Wang Choi<sup>1)</sup>, Man-Seok Park<sup>1)</sup>, Kwang-Myong Lee<sup>2)</sup>, Su-Ho Bae<sup>3)</sup>, Jee-Sang Kim<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Civil Engineering, Je-Cheon, 390-711, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

<sup>3)</sup>Dept. of civil Engineering, Andong National University, Andong 760-749, Korea

<sup>4)</sup>Dept. of Urban and Environmental System Engineering, SeoKyeong University, Seoul 136-704, Korea

### Abstract

Recently, there are problems due to the exhaustion of natural aggregate resources, and strict restrictions. In this study, the possibility of using Water Granulated Ferro-Nickel slag as a substitutive material of fine aggregate is determined from the properties of mechanical and durability for the concrete that is made with Water Granulated Ferro-Nickel slag.

According to the test results, when the mixing rate of Water Granulated Ferro-Nickel Slag aggregates concrete is adjusted, up to 50% of its aggregates by mixing rate can be mixed with general aggregates. The optimum mix ratio is considered to be 40%. The freezing and thawing resistance of Water Granulated Ferro-Nickel Slag aggregates concrete is identical to that of general aggregates concrete, while the carbonation resistance is found to be same as or lower than that of general aggregates concretes.

**키워드** : 페로니켈슬래그, 산업부산물, 잔골재, 내구성, 최적혼합률

**Keywords** : Ferro-Nickel Slag, Industrial By-products, Concrete, Fine Aggregate, durability, Optimum Mixing Rate

### 1. 연구의 목적

최근 국내 콘크리트용 골재의 부족 현상은 심각한 상황에 직면해 있으며, 향후 20년 이내에 천연골재가 고갈될 것으로 예측됨에 따라 부순골재 및 순환골재의 사용량은 점차 증가하고 있다. 그러나, 부순골재의 경우 환경보호에 대한 문제를 수반하며, 순환골재의 경우 재활용 과정에서 가공처리비용의 발생 및 품질 유지의 어려움이 발생하고

있다(최연왕, 2010). 이에 따라 순환골재와 같은 대체골재를 콘크리트의 품질 변화 없이 안정적으로 사용하기 위하여 대체골재의 품질확보 및 개발이 필요한 실정이다.

한편, 국내에서는 페로니켈 원료 공급사의 과점화 및 중국의 수요급증으로 인하여 주원료인 니켈가격의 급상승에 따른 대책으로 2008년 페로니켈 제련소가 설립되면서 연간 15만톤의 페로니켈 생산체재를 갖추었으며, 2012년 연간 7만 5000톤의 새로운 페로니켈 제련공장을 설립하기로 예정되고 있다. 따라서 페로니켈 생산 시 발생하는 페로니켈슬래그의 처리가 자원 재활용 및 페로니켈의 안정

\* Corresponding author  
E-mail: crete77@semyung.ac.kr

적인 공급을 위하여 중요한 문제로 대두되고 있다 (한국건설자재 시험연구원,2009).

일본의 경우 페로니켈슬래그 발생 초기에는 대부분 매립 및 노반재로 주로 활용되었지만 1992년 JIS A 5011 콘크리트용 슬래그 골재 표준에 페로니켈슬래그 잔골재가 추가되었으며, 1994년 일본 토목학회 콘크리트 위원회에서 페로니켈슬래그 잔골재 콘크리트 시공지침을 개발함으로써 페로니켈슬래그가 적극적으로 활용되고 있다(이상홍, 2010).

국내의 경우 2009년 한국산업규격 KS F 2790 “콘크리트용 페로니켈 슬래그 골재” 규정이 제정되었지만 현재까지 관련연구, 시공지침 및 적용실적이 미비하여 콘크리트용 골재로 페로니켈슬래그를 재활용 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 발생하는 수쇄 페로니켈슬래그를 콘크리트용 잔골재로 대체사용하기 위한 연구의 일환으로 수쇄 페로니켈슬래그를 활용한 콘크리트의 최적배합 도출 및 역학적, 내구적 특성을 검토하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

시멘트는 밀도 3.15 g/cm<sup>3</sup>인 보통포틀랜드시멘트(이하, OPC)를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

#### 2.1.2 골재

잔골재는 낙동강산 강모래(이하, RS로 약함) 및 국내 S사에서 발생하는 수쇄 페로니켈슬래그(이하, WFS로 약함)를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수가 20 mm의 화강암질 부순골재(이하, G로 약함)를 사용하였다. 골재의 물리적 성질 및 페로니켈 슬래그의 화학성분은 Table 2 및 Table 3과 같다.

#### 2.1.3 화학혼화제

화학혼화제는 국내 H사의 리그닌계 감수제(이하, WRA로 약함) 및 공기 연행제(이하, AE로 약함)를 사용하였으

Table 1 Chemical composition and physical properties of cement

Type	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Specific Surface Area (cm <sup>2</sup> /g)
OPC	21.60	6.00	3.10	61.40	3.40	2.50	3.15	3,539

Table 2 Physical properties of aggregate

Type	G <sub>max</sub> (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Water Absorption(%)	F.M.	Organic impurities	Unit Mass (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of solids (%)	Material finer than 0.08mm sieve(%)
RS	-	2.55	1.37	2.53	OK	1,684	65.00	2.43
WFS Original	-	2.74	2.47	4.47	OK	1,701	60.70	0.85
WFS 5	-	2.87	1.18	3.21	OK	1,951	63.50	3.61
WFS 5-0.3	-	2.80	0.96	4.27	OK	1,707	60.50	0.19
Coarse agg.	20	2.67	1.01	6.97	-	1,626	59.90	-

\* WFS Original : 어떠한 가공처리도 거치지 않은 원석

WFS 5 : 표준 입도 공정 처리된 페로니켈슬래그

WFS 5-0.3 : 5 mm 이하로 유리질이 제거된 페로니켈슬래그

며, 밀도는 각각  $1.10 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$  및  $1.04 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 인 액상용액을 사용하였다.

Table 3 Chemical composition of WFS

Type	SiO <sub>2</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO (%)
WFS	57.5	31.34	0.26	1.90	5.24

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 골재의 품질시험

골재의 밀도 및 흡수율 시험은 KS F 2504에 준하여 실시하였으며, 골재의 체가름 및 단위 용적 질량 시험은 KS F 2505 및 KS F 2502에 준하여 실시하였다.

### 2.2.2 슬럼프, 공기량 및 블리딩 시험

콘크리트의 슬럼프 및 공기량 시험은 각각 KS F 2402 및 KS F 2421에 준하여 실시하였으며, 콘크리트의 블리딩은 KS F 2414에 준하여 실시하였다.

### 2.2.3 콘크리트의 강도 시험

$\phi 100 \times 200 \text{ mm}$  원주형 공시체를 제작하여  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  수중에서 표준양생을 실시하였으며, 압축강도는 재령 3일, 7일 및 28일에서 KS F 2405에 의하여 측정하였다. 또한 정

탄성계수는 재령 28일에서 KS F 2438에 의해 측정하였다.

### 2.2.4 콘크리트의 내구성 시험

동결융해 시험은  $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$ 의 각주형 공시체를 제작하여 재령 14일까지 표준양성한 후 KS F 2456에 준하여 실시하였다.

탄산화 시험은  $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$  원주형 공시체를 제작하여 반으로 절단하여 절단면과 타설면에 에폭시 수지로 공극이 없도록 제작하였으며, 온도  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , CO<sub>2</sub> 농도 10% 및 습도  $60 \pm 5\%$ 로 일정하게 유지할 수 있는 촉진 탄산화시험기를 이용하여 촉진시켰다. 탄산화 깊이의 측정은 촉진 개시부터 1주, 4주, 8주, 13주 및 20주에 측정하였으며, 콘크리트 쪼갬 인장 후에 할렬면에 1%의 페놀프탈레인 용액을 분무하고 미착색의 콘크리트 탄산화 부분을 측정하였다.

### 2.2.5 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 최적 혼합물을 도출하기 위하여 기준 배합의 용적에 대하여 WFS 5-0.3을 6수준(0,20,30,40,50 및 100%)으로 혼합하여 목표 슬럼프  $150 \pm 20 \text{ mm}$  및 목표 공기량  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 배합을 실시하였으며, 페로니켈슬래그 콘크리트의 내구성을 평가하기 위하여 WFS 5-0.3 혼합물 40% 콘크리트의 물-시멘트 및 단위수량을 변화시켜 목표 슬럼프  $150 \pm 20 \text{ mm}$  및 목표 공기량  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 콘크리트 배합을 실시하였다. Table 4는 WFS를 혼합한 콘크리트 배합표이다.

Table 4 Mix design of WFS fine aggregate concrete

Type	WFS Mixing Rate (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Mass(kg/m <sup>3</sup> )					Chemical Admixtures (×C%)	
				W	C	S	WFS	G	WRA	AE
Mixing Rate	0	50	41	175	350	710	0	1057	0.5	0.045
	20		41	175	350	568	154	1057	0.3	0.045
	30		41	175	350	497	232	1057	0	0.045
	40		44	175	350	457	339	1004	0	0.035
	50		48	175	350	415	452	932	0	0.025
	100		48	165	330	0	905	976	0	0.015
W/C	40	35	165	44	471	438	325	961	0	0.035
		40			413	451	334	989		0.020
		45			367	461	341	1011		0.035
		45	175	389	449	332	985	0.035		
		50		350	457	339	1004	0.035		
		55		318	464	344	1019	0.035		

### 3. 실험결과에 대한 고찰

#### 3.1 WFS 잔골재의 품질 특성

##### 3.1.1 밀도 및 흡수율

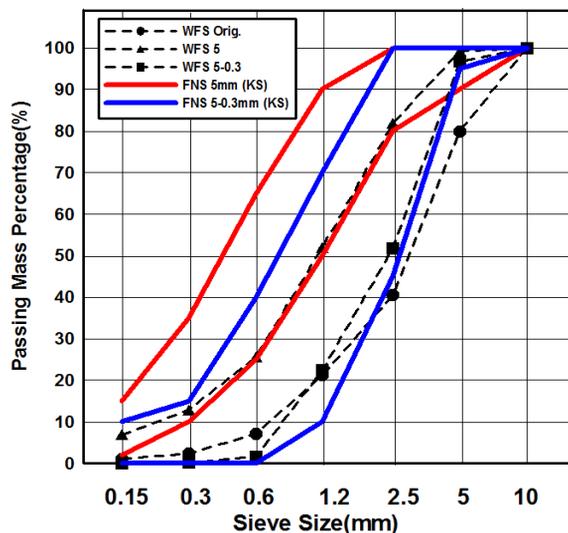
Table 2의 결과 WFS가 RS보다 절건밀도가 8~12% 정도 크게 나타났으며, KS F 2790에서 규정한 2.70 g/cm<sup>3</sup> 이상을 모두 만족하였으며, WFS의 흡수율은 KS F 2790에서 규정한 흡수율 3.0% 이하 규정을 모두 만족하였다.

##### 3.1.2 단위 용적 질량 및 실적률

단위 용적 질량은 WFS가 RS보다 1~3% 정도 크게 나타났으며, KS F 2790에서 규정한 1,500 kg/m<sup>3</sup> 이상을 모두 만족하였으며, 실적률은 KS F 2790에서 제한규정이 제시되어 있지 않지만 KS F 2505의 일반잔골재 실적률 규정범위인 53~73%를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

##### 3.1.3 입도 및 입형

WFS의 입도분포를 알아보기 위하여 KS F 2790에서 제시한 입도분포와 비교하여 나타낸 것이 Fig. 1이다. Fig. 1의 결과 WFS는 원석을 제외한 WFS 5 및 WFS 5-0.3은 KS F 2790에서 규정한 입도범위를 만족하였다.



또한, 광학현미경을 이용하여 WFS의 입형특성을 나타낸 것이 Fig. 2이다. Fig. 2의 결과 100배 확대 촬영한 WFS의 입형은 구형(100배 확대촬영)을 포함하고 있지만 대부분 각이진 형태를 나타내고 있다. 표면조각은 기공을 포함하는 경우가 있어 치밀하지 못하지만 대부

분 매끄러운 상태임을 확인 할 수 있으며, 급냉 과정에서 발생하는 비결정유리질(200배 확대촬영)을 미량 포함하고 있는 것으로 나타났다.

##### 3.1.4 0.08 mm체 통과량

WFS의 0.08 mm체 통과량은 WFS 5를 제외한 WFS 원석 및 WFS 5-0.3의 경우 RS보다 각각 92 및 65% 적게 나타났다. 이러한 원인은 WFS는 용융 슬래그를 물로 급냉하여 얻은 것으로 미립분을 거의 포함하지 않는 것으로 나타났다으며, WFS 5의 경우 입도 조정 공정으로 인하여 미립분이 발생한 것으로 판단된다. 그러나, KS F 2527의 부순잔골재의 0.08 mm 체 통과량 규정인 7% 이하를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

#### 3.2 WFS 잔골재 콘크리트의 최적 혼합률

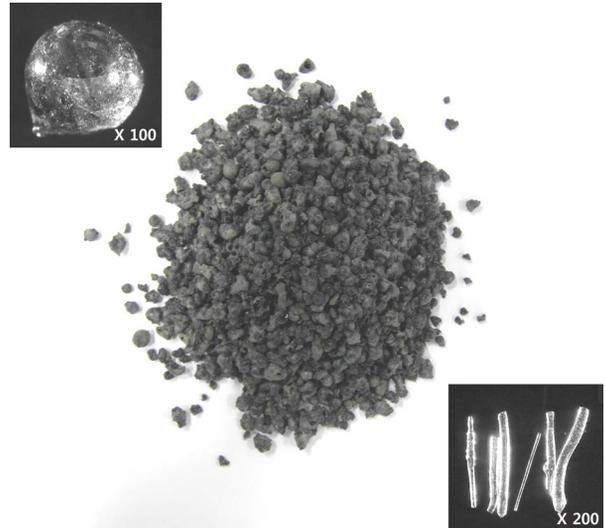


Fig. 2 Grain shape of WFS

##### 3.2.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

콘크리트 배합에 사용된 WFS 잔골재는 기초물성 시험 결과를 통하여 WFS 5-0.3(이하 WFS로 약함)을 선정하여 사용하였다.

WFS 잔골재를 혼합한 콘크리트의 목표 슬럼프 150±20 mm를 만족시키는 WRA 사용량 및 잔골재율(S/a) 변화를 나타낸 것이 Fig. 3이다. Fig. 3의 결과 WFS 잔골재는 혼합률이 증가할수록 감수제의 사용량이 감소하여 혼합률 50 및 100%인 경우 WRA를 사용하지 않고 잔골재율을 상향 조절하여 목표 슬럼프를 만족시켰다. 이러한 원인은 WFS 잔골재는 구상의 입자를 포함하며, 입자표면이 매끄

럽기 때문에 골재와의 접촉면에서 볼 베어링(Ball-bearing) 효과 및 마찰 저항을 줄여주는 역할을 하는 것으로 판단되며, WFS 잔골재의 낮은 흡수율로 인한 잉여수량이 페이스트에 공급되기 때문인 것으로 판단된다.

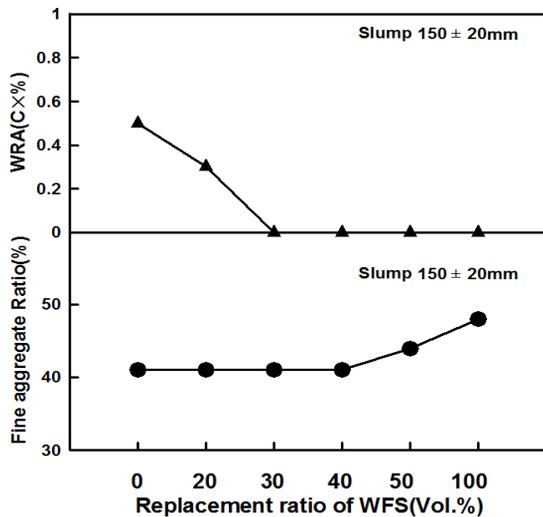


Fig.3 WRA amount and S/a with varying mixing rate of WFS

WFS를 혼합한 콘크리트의 목표 공기량  $4.5 \pm 1.5$ 를 만족시키는 AE제 사용량 및 이에 따른 공기량을 나타낸 것이 Fig. 4이다. Fig. 4의 결과 WFS은 혼합률이 증가함에 따라 목표 공기량을 얻기 위한 AE제 사용량은 감소하는 경향이 나타났으며, 특히 단독 사용한 경우 AE제를 사용하지 않았음에도 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 WFS의 경우 입경 중 1.2~2.5 mm 크기를 가지는 입자가 70% 이상으로 편중됨에 따라 공기량이 증가한 것으로 판단되며, 증가된 공기량은 연행 공기량뿐만 아니라 갇힌 공기량이 증가할 수도 있으므로 주의하여야 할 것으로 판단된다.

다음은 WFS를 혼합한 콘크리트의 블리딩량을 나타낸 것이 Fig.5이다. Fig.5의 결과 WFS 5-0.3은 동일한 잔골재율인 혼합률 40%까지는 혼합률 증가에 따라 블리딩량이 증가하는 것으로 나타났으며, 잔골재율을 증가시킨 50 및 100%에서는 블리딩량이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 WFS의 밀도가 RS와 비교하여 약 10% 정도 크며 골재의 표면이 유리질로 보수성이 나쁘기 때문으로 판단된다. 또한, 잔골재율 증가에 따라 블리딩량이 감소되지만 잔골재율 증가의 동일 슬럼프를 얻기 위하여 단위수량을 증가시키는 원인이 되기 때문에 과도한 잔골재율의 증가보다는 블리딩량을 억제 시킬 수 있는 실리카 폼과 같

은 혼화재료를 혼합하여 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

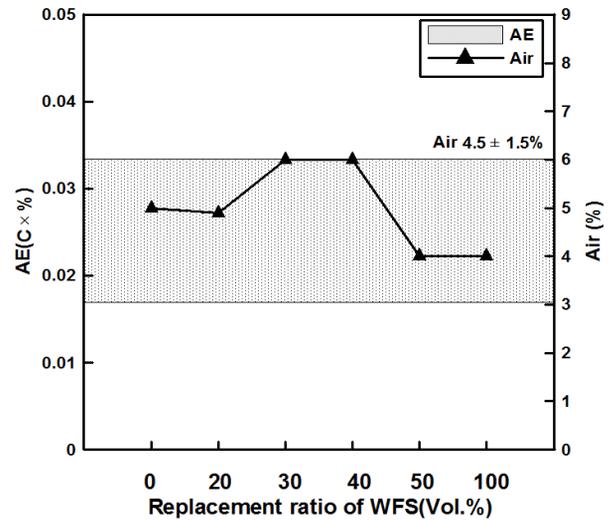


Fig.4 AE amount and Air with varying mixing rate of WFS

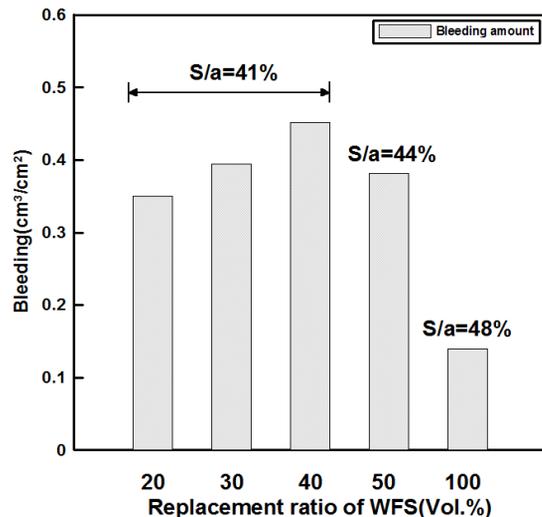


Fig.5 Bleeding amount with varying mixing rate of WFS

### 3.2.2 경화된 콘크리트의 특성

WFS을 혼합한 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이 Fig.6이다. Fig. 6의 결과 WFS의 압축강도는 혼합률의 증가에 따라 혼합률 50%까지는 약 10% 정도 감소하는 경향이 나타났으며, 혼합률 100%인 경우 약 40% 정도 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 WFS 혼합률 50% 범위내의 콘크리트 압축강도 발현특성은 일반 콘크리트와 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 판단되며, 혼합률 변화에 따른 압축강도의 감소가 크지 않기 때문에 물-

시멘트비 등의 배합비 조절을 통하여 보정이 가능할 것으로 판단된다.

WFS 콘크리트의 압축강도와 정탄성계수와의 관계를 나타낸 것이 Fig.7이다. Fig.7의 결과 WFS를 혼합한 모든 콘크리트 배합에서 국내 콘크리트 구조설계기준에서 제시한 범위사이의 값으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 WFS를 혼합한 콘크리트의 압축강도와 정탄성계수와의 관계는 일반 잔골재를 이용한 콘크리트와 거의 동일한 것으로 판단된다.

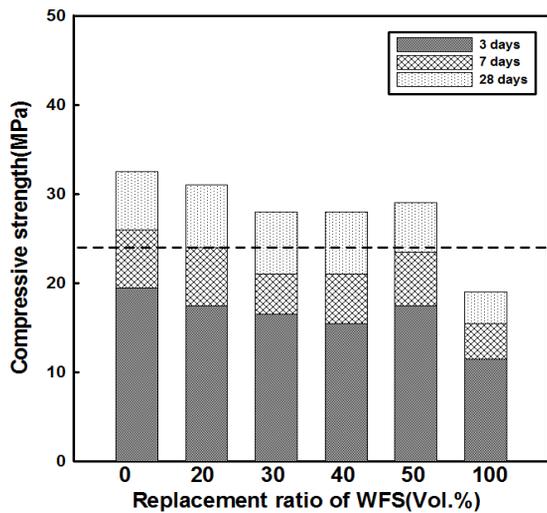


Fig.6 Compressive strength with varying mixing rate of WFS

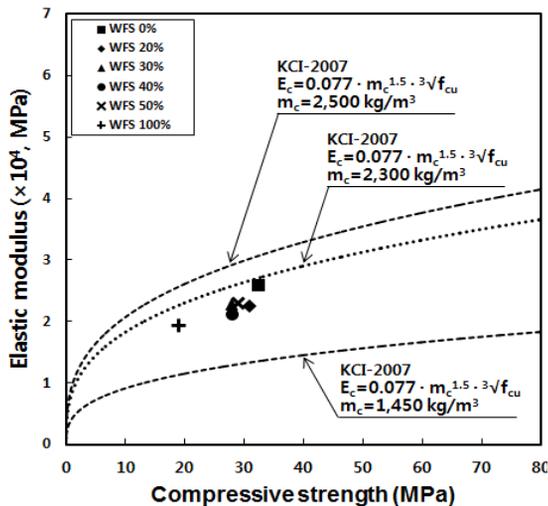


Fig.7 Relationship of compressive strength and Elastic modulus with varying mixing rate of WFS

### 3.3 WFS 잔골재 콘크리트의 내구특성

#### 3.3.1 동결융해 저항성

WFS 콘크리트의 단위수량 165 및 175 kg/m<sup>3</sup>에서 단위수량 및 물-시멘트비 변화에 따른 동결융해 저항성을 나타낸 것이 Fig.8이다. Fig.8의 결과 WFS은 단위수량 165 kg/m<sup>3</sup>에서 물-시멘트비를 3수준 35,40 및 45%로 변화시킨 결과와 단위수량 175 kg/m<sup>3</sup>에서 물-시멘트비를 3수준 45, 50 및 55%로 변화시킨 결과 300사이클까지 모두 일반 잔골재 콘크리트와 동등한 결과를 나타냈다. 이러한 결과를 통하여 페로니켈슬래그 잔골재 콘크리트의 배합 시 AE제사용량 조절을 통하여 4.5±1.5%의 공기량을 확보할 경우 동결융해 저항성은 물-시멘트비의 변화에 상관없이 일반 잔골재 콘크리트와 동등하다고 판단된다.

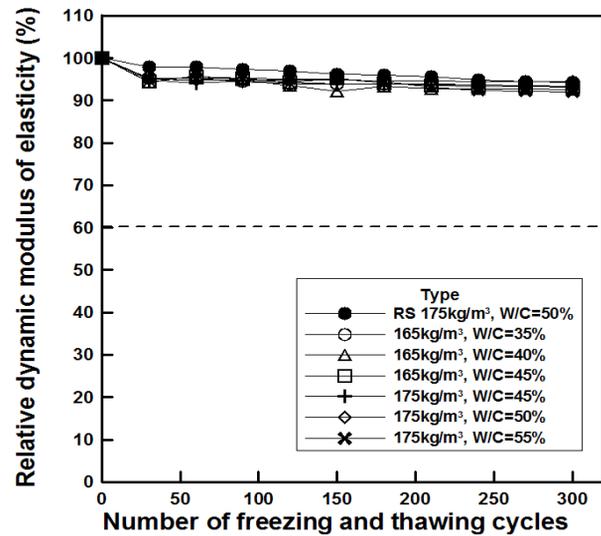


Fig.8 Freezing and thawing resistance of WFS

#### 3.3.2 탄산화 저항성

WFS 콘크리트의 단위수량 165 및 175 kg/m<sup>3</sup>에서 물-시멘트비 변화에 따른 탄산화 저항성을 나타낸 것이 Fig.9이다. Fig. 9의 결과 단위수량 165 kg/m<sup>3</sup>에서 물-시멘트비를 3수준 35, 40 및 45%로 변화시킨 WFS 잔골재 콘크리트는 물-시멘트비 변화에 상관없이 20주 경과하는 동안 탄산화는 진행되지 않았으며, 단위수량 175 kg/m<sup>3</sup>에서 물-시멘트비 50%의 경우 강모래만을 사용한 RS 콘크리트의 경우 20주 경과하는 동안 탄산화는 진행되지 않았지만 WFS 잔골재 콘크리트는 20주 경과 후 탄산화 깊이가 4.30 mm로 측정되었다. 이러한 원인은 WFS 잔골재가 일반 잔골재와 비교하여 밀도차가 크기 때문에 부분적인 재료분리에 의

하여 표면조직이 치밀화 되지 못한 것이 원인이라고 판단 된다.

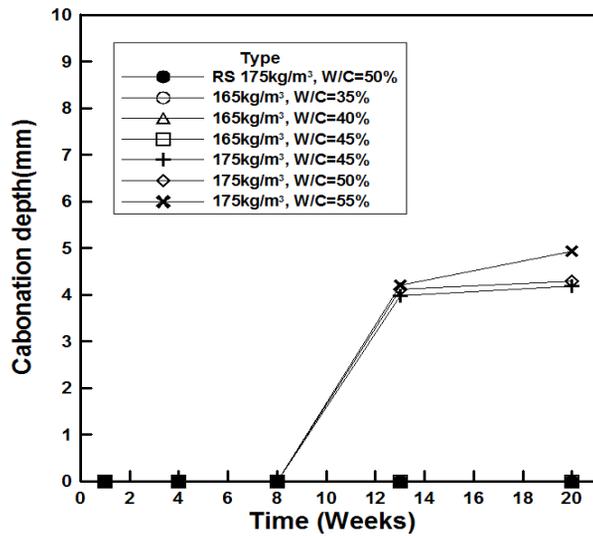


Fig.9 Carbonation resistance of WFS

Table 5 Carbonation depth of WFS

Type	W=165 kg/m <sup>3</sup>		
	W/C=35%	W/C=40%	W/C=45%
침투깊이 (mm)			
	0	0	0
Type	W=175 kg/m <sup>3</sup>		
	W/C=45%	W/C=50%	W/C=55%
침투깊이 (mm)			
	4.19	4.30	4.93

#### 4. 결론

1) WFS의 입형은 구형을 포함하며 표면조직은 매끄러운 상태를 나타내었다. 또한 미량의 비결정유리질을 포함하고 있음을 알 수 있었다. 또한 WFS의 절건밀도는 기준 강모래보다 8~12% 정도 크며, 단위 용적 질량은 강 모래보다 1~3% 정도 크게 나타났으며, WFS 원석을 제

위한 WFS 5 및 WFS 5-0.3은 KS F 2790에서 규정한 입도범위를 만족하였다.

2) WFS 잔골재 혼합률 증가에 따라 콘크리트의 공기량, 유동성 및 블리딩량은 비례적으로 증가하는 경향이 나타났으며, 콘크리트 압축강도는 WFS 혼합률 50%까지는 동등하거나 최대 14% 정도 감소하였다. 또한 WFS를 혼합한 콘크리트의 압축강도와 정탄성계수와의 관계는 일반 잔골재를 이용한 콘크리트와 거의 동일한 것으로 판단된다.

3) WFS 잔골재는 혼합률 50%까지는 일반 잔골재와 혼합하여 사용할 수 있을 것으로 판단되며, 품질특성과 WFS 잔골재를 혼합한 콘크리트의 내구성 및 경제성을 고려할 경우 최적 혼합률은 40% 정도가 적당할 것으로 판단된다.

4) WFS 잔골재 40%를 혼합한 콘크리트의 내구특성 중 동결융해 저항성은 일반 잔골재 콘크리트와 동등하며, 탄산화 저항성은 일반 잔골재 콘크리트와 동등하거나 떨어지는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 통하여 수쇄 페로니켈슬래그 잔골재 50%까지 혼합한 콘크리트는 일반 잔골재 콘크리트와 거의 동등한 성질을 가지고 있으므로 자원의 재활용을 통한 순환 사회 구축을 위하여 활용성을 증진시켜야 할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 (재)포항산업과학연구원의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) 최연왕, 박만석, 배수호, 이훈하, 조봉석, 콘크리트용 잔골재로서 수쇄페로니켈 슬래그의 품질 특성, 대한토목학회 정기학술발표회 학술발표논문집, pp. 1462~1465, 2010.
- 2) 이상홍, 페로니켈슬래그 활용을 위한 기술 연구, 순천대학교, 석사논문, pp. 17~19, 2010.
- 3) 엄주한, 급속염화물 침투시험에 의한 고유동 콘크리트의 내구성 평가, 세명대학교, 석사논문, pp 12~29, 2010.

- 4) 조봉석, 이훈하, 류명찬, 백계생, 황철원, 이동건, 페로니켈슬래그 골재를 활용한 로반재 성능평가, 한국부산물자원순환학회 추계학술연구회발표논문집, 2009권, 1호, pp.267~270, 2009.
- 5) 한국산업규격, KS F 2790 콘크리트용 페로니켈 슬래그 잔골재, 2009.
- 6) 한국산업규격, KS F 2527 콘크리트용 부순 골재, 2007.
- 7) 한국전자재 시험연구원, 콘크리트용 페로니켈 슬래그 골재의 규격화 기술개발, pp.1, 2009.
- 8) Kazuo Togawa, Masami Shoya, Katuru Kokubu, Characteristics of Bleeding, Freeze-Thaw Resitance and Water-tightness of Concrete with Ferro-Nickel Slag Fine Aggregates, The society of Material Science, Japan, Vol.45, No.1, pp. 101~109, 1996.
- 9) 秋山淳·山本泰彦料, 콘크리트用細骨材としてのフェロニッケルスラグの利用, 土木学会論文集, 第366号/V-4, pp. 603-608, 1985.
- 10) フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針, 日本土木學會, pp. 5-8 1994.

#### **수쇄 페로니켈슬래그 잔골재를 이용한 콘크리트의 최적 혼합률 및 내구 특성 평가**

최근 천연골재는 점차 고갈되고 그 채취에 대한 엄격한 환경적인 규제 때문에 골재의 부족이 건설분야의 큰 문제로 대두되고 있어 이를 대체할 수 있는 대체재의 개발이 시급한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 페로니켈 생산 과정에서 부산물로 발생하는 수쇄 페로니켈슬래그를 잔골재의 대체재로 활용하기 위하여 콘크리트의 역학적 특성 및 내구 특성 시험결과를 비교 고찰하여 그 활용 가능성과 적정 대체율 및 페로니켈슬래그 콘크리트의 내구특성을 검토하였다. 실험결과, 수쇄 페로니켈슬래그의 품질특성과 내구성능 및 경제성을 고려할 경우 최적 혼합률은 40% 정도가 적당할 것으로 판단된다. 또한 수쇄 페로니켈슬래그 잔골재 혼합률 40% 콘크리트의 내구특성 중 동결융해 저항성은 일반 잔골재 콘크리트와 동등하며, 탄산화 저항성은 일반 잔골재 콘크리트와 동등하거나 떨어지는 것으로 나타났다.