

전로슬래그를 이용한 콘크리트의 강도에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Concrete mixed with the Converter furnace Slag

곽기주*

손순종**

김기성***

Kwack, Kee Ju Son, Soon Jong Kim, Ki Sung

요 약

본 연구는 전로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용할 수 있는 가를 검토하기 위해서 수쇄슬래그에 전로슬래그를 중량비로 20%, 40%, 60%, 80%씩 혼합한 골재로 공시체를 제작하여 강도특성을 고찰하였다. 전로슬래그로 제작한 콘크리트의 슬럼프 값은 천연골재로 제작한 슬럼프 값보다 더 크게 나타났다.

또 수쇄슬래그에 전로슬래그를 혼입하여 제작한 콘크리트는 전로슬래그의 혼입율이 20%, 40%, 60%, 80%로 높아짐에 따라 팽창율도 0.007%, 0.014%, 0.043%, 0.19%로 각각 증가되었다. 따라서 비교적 안정성을 갖는 콘크리트를 제작하기 위해서는 수쇄슬래그와 전로슬래그의 혼입율을 60 : 40으로 하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 또, 수쇄슬래그에 전로슬래그를 혼입하여 만든 콘크리트의 압축강도(σ_c), 인장강도(σ_t), 휨강도(σ_f) 간의 상관관계를 회귀분석하여 도출한 인장강도와 휨강도의 예측공식은 다음과 같다.

$$\sigma_t = 0.16952\sigma_c - 4.9313$$

$$\sigma_f = 0.25727\sigma_c + 6.0528$$

Abstract

To examine the applicability of the converter furnace slag from iron-works as concrete aggregate respective concrete furnace slag with contents of 20%, 40%, 60%, 80% were mixed with granulated slag, and the strength and stability tests for these specimens were followed. The slump value of the concrete mixed with converter furnace slag was higher than that of the conventional concrete. Furnace slag and granulated slag was increased as the increase of converter furnace content. The strength of the concrete mixed with converter furnace slag and granulate slag increased as an increase of converter furnace content and age. The expansion rate of the concrete mixed with converter furnace slag and granulated slag increased from 0.007% to 0.19% as the converter furnace content changed from 20% to 80%. From the above results in the strength and expansion rate, the concrete with the converter furnace content of 40% was considered to be recommendable for the stable construction of the concrete. Calculated formulas for tensile strength(σ_t) and flexural strength(σ_f) from the regression analysis of the correlations among these compressive strength (σ_c), tensile strength and flexural strength are as follows.

$$\sigma_t = 0.16952\sigma_c - 4.9313$$

$$\sigma_f = 0.25727\sigma_c + 6.0528$$

Keywords : converter furnace slag, concrete aggregate, granulated slag, calculation formulas, regression analysis

* 정회원, 순천대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 순천대학교 공과대학 토목공학과 교수

*** 순천대학교 공과대학 토목공학과 교수

• 본 논문에 대한 토의를 1994년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 1994년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

1.1 연구목적

콘크리트 제작에 사용되는 재료는 주로 시멘트, 모래, 자갈 및 혼화제인데 이들중 가장 많이 사용되는 재료는 골재라 할 수 있다.

최근에는 토목기술이 발달하여 건설공사가 활발하게 진행됨에 따라 천연적으로 채취되어 사용되던 골재는 물론 시멘트도 품귀현상이 생기게 되어 이에 대한 대책이 시급하게 요구되고 있다. 제철소에서 산업부산물로 생산되는 대표적인 슬래그는 고로슬래그와 전로슬래그를 들 수 있다. 고로에서 선철을 만들 때 나온 광제를 고로슬래그라 하고 또 용융된 선철을 전로속에 넣고 공기를 보내어 규소와 망간을 산화시킬 때 생긴 광제를 전로슬래그라 한다. 전로슬래그는 팽창붕괴하는 불안정성 때문에 건설재료로 거의 사용되지 않고 있는 실정이다⁽⁹⁾. 고로슬래그에 대해서는 많은 연구결과^(1,12) 시멘트와 매우 유사한 물질로서 무해성 물질임이 확인되었고 또 자원으로서의 유용성이 입증되어 도로용 골재, 시멘트 원료, 성토용 골재 및 시멘트 원료나 혼화제⁽⁷⁾로 널리 사용되고 있으며, 일본을 비롯한 여러 선진국에서도 이를 건설재료로 널리 활용하고 있다. 그러나 전로슬래그는 그 자신이 갖고 있는 팽창 자연붕괴성 때문에 콘크리트용 골재로 사용되지 못하고 거의가 공지 매립용으로 사용되고 있다. 또 전로슬래그에 대해서는 토질안정재료로서의 적용성^(2,3,13), 결합재⁽⁴⁾ 및 팽창재⁽⁶⁾로서의 이용법에 대한 약간의 연구 보고는 있으나 콘크리트용 골재로서의 이용법에 대한 연구는 별로 많지 않다. 이 전로슬래그에 대한 연구경향을 살펴보면 전로슬래그의 탄산화경화에 대한 연구⁽⁴⁾, 수경성에 관한 연구⁽¹⁰⁾ 또는 전로슬래그에 석고, 수쇄슬래그 또는 염화칼슘을 가하면 상당히 큰 수경성을 나타낸다고 보고⁽⁹⁾된 바 있다. 최근의 전로슬래그에 대한 연구경향을 보면 전로슬래그의 팽창 자연붕괴성을 줄이기 위해서 약 6개월 이상 옥외에 방치(에이징)해 두었다가 이것을 콘크리트용 골재로 사용하고 있으나 이 방법은 많은 시간과 넓은 공간을 필요로 하기 때문

에 경제성이 없어서 큰 실효를 거두지 못하고 있다. 본 연구는 아직 에이징 되지 않은 전로슬래그에 잠재 수경성을 많이 함유하고 있는 수쇄슬래그와 석고를 어떤 비율로 혼합하여 사용함으로써 전로슬래그 콘크리트의 풍화에 의한 팽창을 어느 정도 완화시킬 수 있는 가를 검토하고, 또 전로슬래그의 혼입율과 재령이 전단강도, 압축강도 및 인장강도에 미치는 영향을 고찰하였다.

1.2 연구배경

제강슬래그는 일반적으로 전로, 평로, 전기로 등에 의하여 생산되는데 이들은 그 처리과정에 따라 그 성분이 다른 제강슬래그가 배출된다. 이 제강슬래그중 전로슬래그는 철강의 생산과정에서 생산되는 산업부산물이다. 이 전로슬래그는 일반적으로 염기도가 높고 비중이 큰 철, 망간, 등의 유가금속을 함유하고 있기 때문에 여러 슬래그들 중에서 그 자체의 경도가 대단히 높은 편이다. 그러나 전로슬래그는 풍화에 의해서 붕괴가 잘 되는 결점이 있어서 건설재료용 골재로 이용하기가 곤란하다. 이 전로슬래그의 풍화붕괴는 전로슬래그중의 $f \cdot \text{CaO}$ 相의 수화반응이 주된 원인으로 보고되고 있다. 최근에는 전로슬래그의 풍화붕괴로부터 오는 악영향을 없애기 위해서 실외에 장기간 방치(에이징)해 두었다가 이것을 콘크리트용 골재로 이용하는 방법을 연구중에 있다. 또 전로슬래그는 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 를 주성분으로 함유하고 있기 때문에 수경성은 약한 편이다. 그러나 전로슬래그중의 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 의 수경성에 대해서도 불명확한 점이 있다고 한다. 즉 전로슬래그 중에는 어떤 자속에 의한 수경성을 발휘할 相도 존재 한다고 보고되고 있다⁽¹²⁾. 또 전로슬래그의 풍화의 중요한 원인은 CaO 의 함량이 서로 유리된 경우라고 생각된다.

전로슬래그는 이외에도 마그네사이트의 수화에 의해서도 팽창은 되고 있으나 $f \cdot \text{CaO}$ 에 의한 팽창량 보다는 극히 적다고 한다. 전로슬래그는 CaO 의 함유량이 많아서 그 중 많은 양이 유리되어 팽창을 일으켜 풍화의 원인이 된다. 따라서 이 전로슬래그 속에 수쇄슬래그를 혼합시키면 $f \cdot \text{CaO}$ 가 자극제가 되어서 수쇄슬래그가 갖고 있는

Table 1 Physical properties of cement

Gravity	Fineness (cm ² /g)	Setting Time		Soundness	Compressive Strength (kg/cm ²)			Tensile Strength (kg/cm ²)		
		Initial Setting (min)	Last Setting (hr)		3 day	7 day	28day	3 day	7 day	28day
3.05	2,950	230	6.20	Quietly	162	245	340	21	24	30

잠재 수경성을 충분히 발휘시키거나 또는 비결정질의 수쇄슬래그가 전로슬래그의 팽창을 흡수할 수 있어서 보다 안정된 콘크리트를 제작할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 시멘트

시멘트는 시판하고 있는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적인 성질은 Tab.1과 같다.

2.2 잔골재

잔골재는 전남 순천지방에서 채취한 모래를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Physical properties of sand

Gravity	Absorption Ratio (%)	No.200 Seive(%)	Fineness Modulus (FM)	Unit Weight (kg./ ³)
2.68	0.56	0.09	2.33	1,450

2.3 굵은골재

굵은 골재는 전남 승주군 서면지방에서 채취한 자갈을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Tab.3과 같다.

Table 3 Physical properties of gravel

Gravity	Absorption Ratio (%)	Abrasion Ratop (%)	Fineness Modulus (FM)	Unit Weight (kg./ ³)
2.63	0.73	5.4	6.62	1,590

2.4 슬래그

슬래그는 광양제철소에서 산업부산물로 생산한 전로슬래그와 수쇄슬래그를 잔골재로 사용하였으며, 그 화학적인 성분과 물리적인 성질은 Tab.4와 같다.

Table 4(a) Chemical composition of slags

Kinds of Slag	CaO	SiO ₂	MnO	MgO	FeO	f·CaO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅
Converter Furnace Slag	47.2	12.5	5.6	5.5	13.2	2.3	12.2	1.9
Granulated Slag	41.8	34.2	0.42	7.2	0.48	-	-	-

Table 4(b) Physical properties of slags

Kinds of Slag	Sand Max. (mm)	Gravity	Absorption Ratio(%)	Fineness Modulus	Unit Weight (kg./ ³)
Converter Furnace Slag	2.4	3.3	1.9	2.7	2,150
Granulated Slag	2.3	3.0	1.6	2.5	2,042

일반적으로 Tab.4(b)와 Tab.3에서 보는 바와 같이 슬래그의 비중과 단위용적중량이 천연골재보다 더 크게 나타난 것은 제강과정에서 철의 일부가 산화되어 슬래그에 유입되었기 때문으로 분석되었다.

2.5 콘크리트 배합

콘크리트 배합에 사용된 골재의 최대치수는

Table 5 Mixed design

Gravel Max. (mm)	Slump (cm)	Unit Water (kg./ ³)	Unit Cement (kg./ ³)	W/C (%)	G/S	Unit Sand (kg./ ³)	Unit Gravel (kg./ ³)	Air Content (%)
25	5~7	150	325	49	1.75	701	1,228	-

25mm로 한정하였고, 물-시멘트 비는 49%로 일정하게 하였으며, 여기에 사용된 콘크리트의 배합은 Tab.5와 같다.

2.6 잔골재의 혼합비율

콘크리트 배합에 사용된 재료중 모래, 전로슬래그, 수쇄슬래그 등의 중량혼합비율은 Tab.6과 같다. 또 콘크리트를 배합할 때 비표면적이 4,250cm²/g인 석고를 중량비로 10%씩 일률적으로 혼합시켰다.

Table 6 Mixing ratio

Kinds of Specimen	Converter Furnace Slag(%)	Sand(%)	Granulated Slag(%)	Remarks
A	0	100	0	100%
B	20	0	80	100%
C	40	0	60	100%
D	60	0	40	100%
E	80	0	20	100%

2.7 시편제작

시편은 콘크리트 배합에 사용된 모래, 전로슬래그, 수쇄슬래그 등의 중량 혼합비율에 따라 5종류로 구분하여 제작하였는데 그 종류는 Tab.7과 같다.

Table 7 Kinds of specimen

Size of Specimens	Kinds of Specimen	Quantity	Remarks
∅15cm × 30cm	Compressive Strength Test	15	Converter Furnace Slag Content 0%, 20%, 40%, 80%
∅15cm × 30cm	Tensile Strength Test	15	
10cm×10cm×50cm	Flexural Strength Test	15	
25.4mm×25.4mm×254mm	Expansion Test	15	
∅4cm × 4cm	Crack Test	150	

2.8 워커빌리티 측정

아직 굳지 않은 콘크리트의 워커빌리티를 판단하기 위하여 전로슬래그 혼입율별로 배합된 5종의

콘크리트에 대하여 KSF-2402에 준하여 슬럼프값을 측정하였다.

2.9 콘크리트의 안정성 시험

콘크리트 안정성 시험에 대한 별도의 규정이 아직 나와 있지 않기 때문에 본 연구에서는 편의상 시멘트 안정성 시험법을 써서 콘크리트의 팽창량을 구했다.

Tab.6의 배합 비율에 의하여 배합된 모르타르로 KSL 5107에 준하여 제작된 공시체에 대하여 90℃의 수중에서 소정의 시간 동안 양생시킨 후 물 속에서 꺼내어 약 15분간 23℃의 온도를 유지하면서 시편에 물기가 없도록 한 뒤 길이 측정용 콤팩테이터와 표준막대를 이용해서 유효표점거리를 정밀도 0.01% 까지 측정하였다. 이때 한개의 공시체에 대하여 3회 이상 측정하여 그 평균값을 그 공시체의 팽창량으로 취했다. 또 균열시험용 공시체를 이용하여 그 균열 발생사항을 관찰한 후 다음의 식을 써서 균열 발생율을 구했다.

$$C_p = \frac{\text{균열이 발생한 공시체 수}}{\text{공시체 전체의 수}} \times 100 (\%)$$

2.10 강도측정

소정의 기간동안 양생이 끝난 강도시험용 공시체를 이용하여 압축강도, 인장강도 및 휨강도를 KSF-2405, KSF-2423, KSF-2408에 준하여 만능시험기로 각각 측정하였다. 이때 압축강도는 매초 1.5~3.5 kg/cm²의 속도로 가압하여 정밀도 1.0 kg/cm²까지 측정했고, 인장강도는 매초 7~14 kg/cm²의 속도로 가압하여 정밀도 0.1 kg/cm²까지 측정했다. 또 휨강도는 3점 재하법을 써서 매분 10 kg/cm²의 일정한 속도로 가압하여 정밀도 0.1 kg/cm²까지 측정했다.

3. 휨강도와 인장강도의 예측공식 도출

압축강도와 인장강도와의 상관도 및 압축강도와 휨강도와의 상관도를 각각 그린 후 이 그림을 이용하여 회귀분석법을 써서 압축강도 값으로 부

터 인장강도와 휨강도를 구할 수 있는 공식을 각각 도출하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 전로슬래그 혼입율이 콘크리트의 워커빌리티에 미치는 영향

잔골재로써 전로슬래그를 사용했을 때 전로슬래그 혼입율이 콘크리트의 워커빌리티에 미치는 영향을 조사하기 위해서 전로슬래그 혼입율의 변화에 따른 슬럼프값의 변화상태를 조사했는데 그 결과는 Fig.1과 같다.

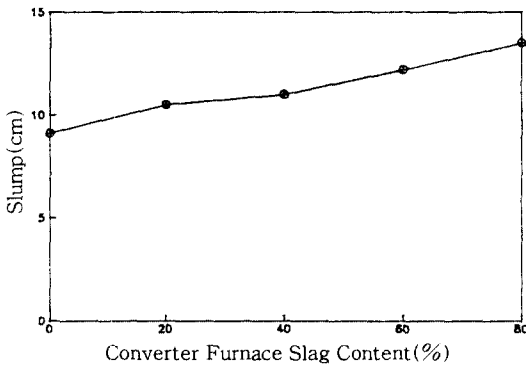


Fig.1 Relationship between converter furnace slag content and slump

Fig.1에서 보는 바와 같이 수쇄슬래그에 전로슬래그를 혼입한 콘크리트의 슬럼프값은 순수한 모래만을 사용한 콘크리트의 슬럼프값 보다 더 크게 나타났고 또 전로슬래그 혼입율이 증가할수록 슬럼프값도 증가되었다. 그 이유는 전로슬래그 자체의 모양이 모래알의 모양보다 구형에 가깝고, 또 각이나 모가 모래보다 더 둥글기 때문으로 분석되었다. 또 전로슬래그의 비중이 모래 보다 크기 때문에 워커빌리티에 영향을 미쳐서 슬럼프 값이 크게 나타난 것으로 생각되었다. 전로슬래그와 유사한 특성을 가진 크린커를 골재로 사용한 콘크리트의 경우도 순수한 모래만 사용한 콘크리트 보다 슬럼프값이 약 50% 정도나 더 크다는 사실이 이미 연구 보고⁽¹⁸⁾ 되었는데 이것은 본 실험에서 얻

은 결과와도 거의 일치됨을 알 수 있었다.

4.2 전로슬래그 혼입율이 콘크리트의 균열에 미치는 영향

전로슬래그 혼입율이 콘크리트의 균열에 미치는 영향을 조사하기 위해서 전로슬래그 혼입율의 변화에 따른 균열발생 사항을 조사했는데 그 결과는 Fig.2와 같다.

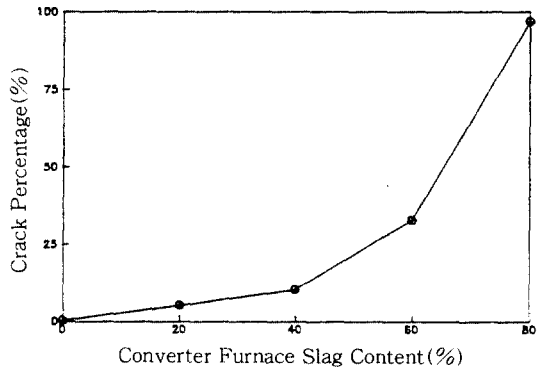


Fig.2 Relationship between converter furnace slag content and crack percentage

Fig.2에서 보는 바와 같이 전로슬래그의 혼입율이 높아질수록 콘크리트의 균열발생율도 증가되었으며, 또 전로슬래그의 혼입율이 높을수록 균열이 빨리 생겼다. 즉 전로슬래그 혼입율이 20%인 경우 콘크리트의 균열은 42일만에 처음으로 생기기 시작했으며, 이때 균열의 발생율은 약 5.9%로서 가장 낮았다. 또 전로슬래그 혼입율이 80%인 경우 콘크리트의 균열은 7일만에 처음으로 생기기 시작했으며, 이때 균열 발생율은 94%로서 가장 높았다. 또 전로슬래그 혼입율이 40%, 60%인 경우는 각각 21일, 9일만에 균열이 처음으로 생기기 시작했으며, 이때 균열의 발생율은 각각 9.4%, 32%이었다. 따라서 균열에 대한 안정성을 유지하기 위해서는 전로슬래그 혼입율을 40% 이내로 해야 할 것으로 생각되며, 앞으로 이에 대한 많은 연구가 필요하다고 생각되었다.

4.3 전로슬래그 혼입율이 콘크리트의 팽창에 미치는 영향

전로슬래그 혼입율이 콘크리트의 안정성에 미치는 영향을 조사하기 위해 전로슬래그 혼입율의 변화에 따른 팽창율의 변화상태를 조사하였는데 그 결과는 Fig.3과 같다.

Fig.3에서 보는 바와 같이 전로슬래그 혼입율의 변화에 따른 팽창율의 변화하는 상태를 살펴보면 전로슬래그 혼입율이 20%, 40%, 60%, 80%로 높아짐에 따라 팽창율도 각각 0.007%, 0.014%, 0.043%, 0.19%로 증가되었다. 그 이유는 전로슬래그 중에는 팽창을 수반하는 수화반응과 또 다른 요인들이 있는 것으로 추측된다.

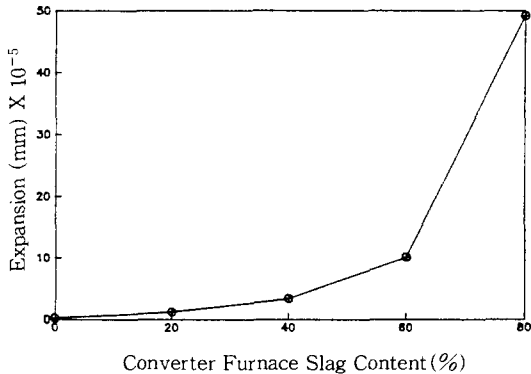


Fig.3 Relationship between converter furnace slag content and expansion

다시 말하면 팽창이 생기는 중요한 원인은 전로슬래그 자신의 팽창보다 반응생성 물질중에 팽창성 물질이 함유되어 있기 때문으로 분석된다. 이 팽창량을 줄이기 위해서는 전로슬래그 혼입량을 조정하거나 또는 다른 재료를 적당히 혼합하여 콘크리트를 배합함으로써 팽창량을 줄일 수 있을 것으로 생각된다. Fig.3에서 보는 바와 같이 전로슬래그 혼입율을 40% 이하로만 혼입한다면 팽창량을 크게 줄일 수 있기 때문에 어느 정도 안정성이 있는 콘크리트를 제작할 수 있을 것으로 생각되었다.

4.4 전로슬래그 혼입율이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향

재령 28일된 콘크리트의 전로슬래그 혼입율이 콘크리트 압축강도에 미치는 영향을 검토하기 위해 전로슬래그 혼입율의 변화에 따른 압축강도의 변화상태를 조사하였는데 그 결과는 Fig.4와 같다.

Fig.4에서 보는 바와 같이 전로슬래그와 수쇄슬래그를 혼입한 콘크리트의 압축강도는 순수한 골재로 만든 콘크리트의 압축강도 보다 감소되는 양상을 보여주고 있었다. 또 전로슬래그의 혼입율이 증가됨에 따라 압축강도가 증가되는 양상을 보여 주었다.

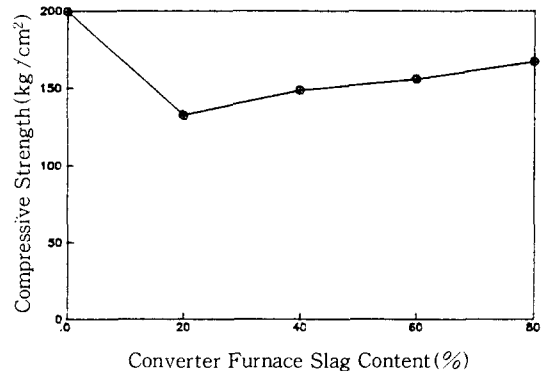


Fig.4 Relationship between converter furnace slag content and compressive strength

Fig.4에서 보는 것처럼 전로슬래그 혼입율이 40%, 60%, 80%인 콘크리트의 압축강도는 전로슬래그 혼입율이 20%인 콘크리트 압축강도의 약 1.12배, 1.17배, 1.26배로 각각 증가되었다. 이와 같이 전로슬래그의 혼입율이 증가할수록 압축강도가 증가되는 이유는 전로슬래그에는 철과 망간 등의 금속성 성분을 많이 함유하고 있어서 Tab.4 (b)에서 보는 것처럼 단위용적중량과 비중이 크기 때문에 강도도 증가되는 것으로 분석되었다.

4.5 전로슬래그 혼입율이 콘크리트의 인장강도에 미치는 영향

재령 28일된 콘크리트에서 전로슬래그 혼입율이 인장강도에 미치는 영향을 검토하기 위해 전로슬래그 혼입율의 변화에 따른 인장강도의 변화상태를 조사 했는데 그 결과는 Fig.5와 같다.

Fig.5에서 보는 바와 같이 전로슬래그와 수쇄슬래그를 이용한 콘크리트의 인장강도는 순수한 골재만 사용한 콘크리트의 인장강도 보다 약하게 나타났다. 그러나 전로슬래그 혼입율이 높아짐에 따라 콘크리트의 인장강도도 점점 높아짐을 알 수 있었다. 또 전로슬래그 혼입율이 40%, 60%, 80%인 콘크리트의 인장강도는 전로슬래그 혼입율이 20%인 콘크리트 인장강도의 약 1.05배, 1.14배, 1.34배로 증가됨을 알 수 있었다.

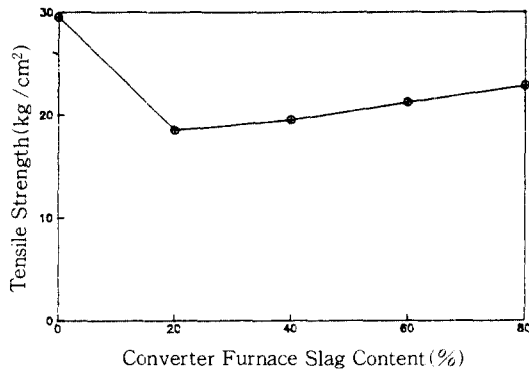


Fig.5 Relationship between converter furnace slag content and tensile strength

4.6 전로슬래그 혼입율이 콘크리트 휨강도에 미치는 영향

재령 28일된 콘크리트의 전로슬래그 혼입율이 콘크리트의 휨강도에 미치는 영향을 조사하기 위해 전로슬래그 혼입율의 변화에 따른 휨강도의 변화상태를 조사했는데 그 결과는 Fig.6과 같다.

Fig.6에서 보는 바와 같이 전로슬래그와 수쇄슬래그를 사용한 콘크리트의 휨강도는 전로슬래그 혼입율이 증가됨에 따라 휨강도도 증가되는 양상을 보여주고 있다. 또 전로슬래그 혼입율이 80%

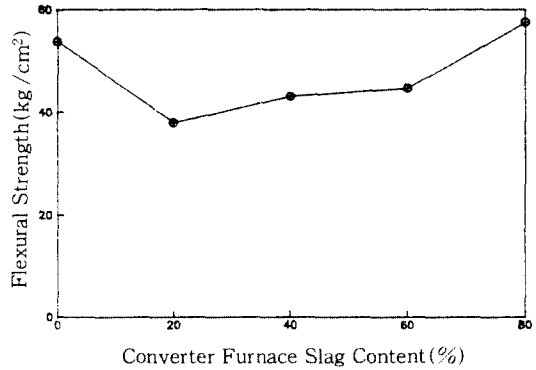


Fig.6 Relationship between converter furnace slag content and flexural strength

인 콘크리트의 휨강도는 순수한 골재만 사용한 콘크리트의 휨강도와 거의 같은 값을 표시하고 있었다. 또 전로슬래그 혼입율이 40%, 60%, 80%인 콘크리트 휨강도는 전로슬래그 혼입율이 20%인 콘크리트 휨강도의 약 1.14배, 1.18배, 1.52배로 증가되고 있음을 알 수 있었다. 위의 Fig.4 5 6에서 보는 바와 같이 수쇄슬래그에 전로슬래그를 혼합하여 제작한 콘크리트의 강도는 전로슬래그 혼입율이 높아짐에 따라 강도도 약간씩 증가의 양상을 보여 주었다. 그 이유는 Tab.4(b)에서 보는 바와 같이 전로슬래그의 비중과 단위용적중량은 수쇄슬래그의 비중과 단위용적보다 더 크기 때문에 강도가 점점 커진 것으로 분석되었다. 다시 말하면 전로슬래그 혼입율이 높아짐에 따라 균열 발생률과 팽창량이 커지는 이유는 팽창자괴성에 영향을 미치는 $f \cdot CaO$ 의 함량이 증가되기 때문이며, 또 전로슬래그 혼입율이 증가됨에 따라 강도가 증가되는 이유는 압축강도에 영향을 미치는 철분, 망간 등의 함량이 높아져서 강도가 증가하는 것으로 분석되었다.

4.7 콘크리트 재령이 압축강도, 인장강도 및 휨강도에 미치는 영향

산업부산물로 만든 콘크리트의 재령이 압축강도, 인장강도 및 휨강도에 미치는 영향을 검토하기 위해 전로슬래그 혼입율이 20%, 40%인 콘크리트에 대해서 콘크리트 재령의 변화에 따른 콘크

리트 강도의 변화상태를 각각 조사했는데 그 결과는 Fig.7(a), Fig.7(b), Fig.7(c)와 같다.

Fig.7(a), (b), (c)에서 보는 바와 같이 일반적으로 압축강도, 인장강도 및 휨강도는 재령기간이 길어질수록 강도도 증가되는 양상을 보여주고 있

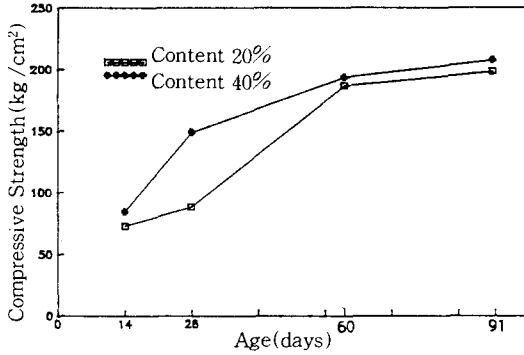


Fig.7(a) Relationship between compressive strength and age

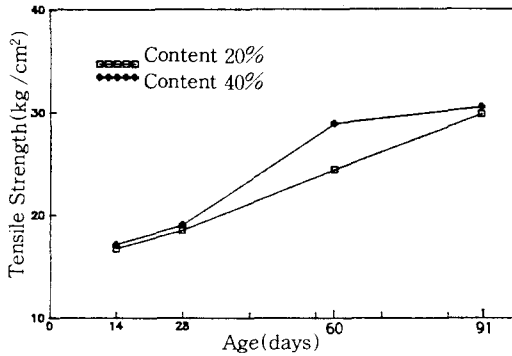


Fig.7(b) Relationship between tensile strength and age

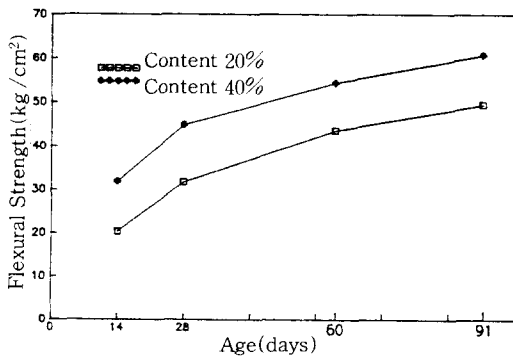


Fig.7(c) Relationship between flexural strength and age

었다. 특히 콘크리트 휨강도는 압축강도나 인장강도에 비하여 재령이 커질수록 강도 증가율도 커졌다. 또 전로슬래그 혼입율이 높아질수록 강도 증가율도 높아졌으며, 그 증가율은 압축강도나 인장강도에 비하여 휨강도의 증가율이 현저하게 높게 나타났다.

5. 강도의 예측공식 도출

5.1 압축강도를 이용해서 인장강도를 구하는 식의 도출

재령 28일된 콘크리트의 압축강도를 알고 있을 때 실험을 하지 않고도 인장강도를 추정할 수 있는 공식을 유도하기 위해 압축강도와 인장강도와 의 상관관계를 조사했는데 그 결과는 Fig.8과 같다.

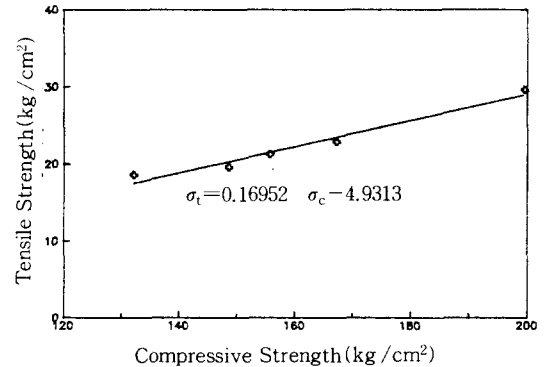


Fig.8 Relationship between compressive strength and tensile strength

Fig.8에서 나타나 있는 인장강도와 압축강도와 의 상관도를 회귀분석하여 인장강도를 구할 수 있는 식을 도출하였는데 그 결과는 다음과 같다.

$$\sigma_t = 0.16952\sigma_c - 4.9313$$

본 연구에서 얻은 압축강도와 인장강도의 실험치를 상관계수 공식에 대입하여 계산된 상관계수는 $r=0.9836$ 이었다. 이 상관계수는 양수이므로 정비례 상관관계 이고, 이 값은 유의 수준표에 따

르면 고도의 상관관계라 사료되었다.

5.2 압축강도를 이용해서 휨강도를 구하는 식의 도출

압축강도를 알고 있을 때 실험을 하지 않고도 휨강도를 예측할 수 있는 공식을 도출하기 위해 압축강도와 휨강도와의 상관관계를 조사했는데 그 결과는 Fig.9와 같다.

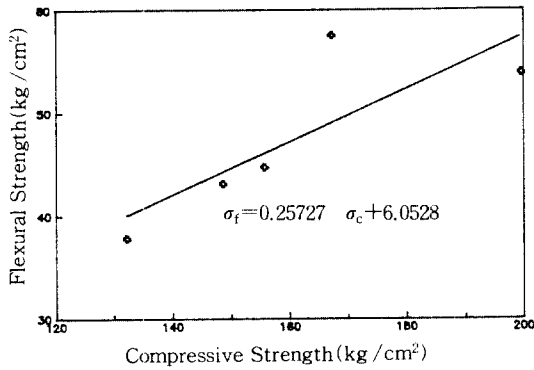


Fig.9 Relationship between compressive strength and flexural strength

Fig.9에서 나타나 있는 바와 같이 압축강도와 휨강도의 상관도를 회귀분석하여 휨강도를 구할 수 있는 공식을 도출했는데 그 결과는 다음과 같다.

$$\sigma_f = 0.25727\sigma_c + 6.0528$$

본 실험에서 얻은 압축강도와 휨강도 값을 상관계수 공식에 대입하여 계산된 상관계수는 $r=0.80346$ 이었다. 이 상관계수는 양수이므로 정비례 상관관계에 있으나 실험 표본수가 적으므로 상관계수의 유의 수준표에 의하면 고도의 상관관계로 인정하기는 어렵다고 생각되었다.

6. 결 론

본 연구는 제철소에서 생산된 전로슬래그를 콘크리트용 골재로 사용할 수 있는가를 검토하기 위

해서, 수쇄슬래그에 전로슬래그를 20%, 40%, 60%, 80%씩 혼합한 콘크리트로 공시체를 각각 제작하여 강도특성과 안정성을 고찰하였는데 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있었다.

1) 전로슬래그로 제작한 콘크리트의 슬럼프 값은 보통골재로 제작한 콘크리트의 슬럼프 값 보다 더 높았다. 또 수쇄슬래그에 전로슬래그를 혼합하여 만든 콘크리트의 슬럼프 값은 전로슬래그의 혼입율이 증가됨에 따라 그 슬럼프 값도 증가되었다.

2) 수쇄슬래그에 전로슬래그를 혼입하여 만든 콘크리트는 전로슬래그 혼입율이 20%, 40%, 60%, 80%로 높아짐에 따라 그 팽창율도 0.007%, 0.014%, 0.043%, 0.19%로 각각 증가하였다. 따라서 비교적 안정된 콘크리트를 제작하기 위해서는 수쇄슬래그와 전로슬래그의 혼입비를 60 : 40으로 하는 것이 좋을 것으로 사료되었다.

3) 수쇄슬래그에 전로슬래그를 혼입하여 만든 콘크리트의 압축강도, 인장강도 및 휨강도는 전로슬래그 혼입율이 높을수록, 또 재령기간이 길수록 그 강도도 각각 커졌다.

4) 수쇄슬래그에 전로슬래그를 혼입하여 제작한 콘크리트의 압축강도(σ_c), 인장강도(σ_t), 휨강도(σ_f) 간의 상관관계를 회귀분석하여 도출된 인장강도와 휨강도 예측공식은 각각 다음과 같다.

$$\sigma_t = 0.16952\sigma_c - 4.9313$$

$$\sigma_f = 0.25727\sigma_c + 6.0528$$

감사의 글

이 논문은 1993년도 산·학·연 컨소시엄 사업 연구과제로서 상공자원부, 전라남도청 및 호남콘크리트(주)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 川村滿紀 外2名: 轉爐슬래그의 콘크리트用骨材としての適用性, セント 技術年報 36, pp. 146-155, 1982.

2. 川村満紀, 烏居和之他1名:土質安定處理劑としての轉爐スラグの有効利用に於いて, セメント技術年報 Vol.34, pp.468-471, 1980.
3. 鈴木健夫:轉爐スラグのコンクリート用骨材としての通用性, 第34回土木學會講演概要集, 第3部門, pp.183-184, 1979.
4. 下田努, 渡邊明, 松田浩:轉爐スラグの綜合材としての利用, 第35回土木學會講演概要集, 第5部門, pp.209-210, 1979
5. 河内陸雄 外2名:電氣爐スラグコンクリートの自然崩壊性に於いて, セメント 技術年報 Vol.33, pp.184-188, 1979.
6. 成田他:轉爐スラグの風化崩壊機構に於いて, 鐵と鋼, No.282, 1979.
7. 宮入英彦, 近藤連一先生追悼記念誌, pp.139, 1981.
8. 近藤連一:せつこう形態かセメントの流動性に及ぼす影響, 石膏と石灰, No.141, 1977.
9. 野村高照 外1名:轉爐スラグの水和反應, 鐵と鋼, 66, 1980.
10. 坪井龍明, 君鳥健之, 小出儀治:轉爐スラグの水硬性について, セメント 技術年報, 28, 98, pp.131-133, 1974.
11. 川村他:土質安定性處理劑としての轉爐スラグの有効利用について, セメント 技術年報 No.72, pp.468-471, 昭和55年.
12. 坪井他:轉爐滓の水硬性, セメント 技術年報 No.28, pp.98-103, 昭和49年.
13. I.Jawed, S.Goto, and R.Kondo : On The Studies of Utilisation of Converter Furnace Slag in Road Bases, Cement and Concrete Research, pp.441, 1976.
14. M.Kawamura, S.Hasaba, K.Torii and N.Nicho : A Study on the Utilisation of Steel. Proc. 2nd Australian Conference on Eng. Materials, pp. 285-296, 1981.
15. M.Kawamura, S.Hasaba, K.Torii and N.Nicho : First International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Furne, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete(Ottawa, Canadaにて開催)にて發表.
16. M.R. カルマチャリヤ他:轉爐スラグの路盤材への利用について, 土木學會論文報告集, No.282, pp.101-113, 1979.
17. Parker and Ryder : Investigation on "Folling" of Blast Furnace Slag, Jour. of Iron and Steel Institute, Vol. 146, No. 1, 1942.
18. R.L.Berger : A Study on the General Character of Steel Slag Aggregate. Cement and Concrete Research, Vol. 4, No. 1, pp.99-112, 1974.
19. 土木學會編製:鋼슬래그를 사용한 아스팔트鋪裝設計施工指針, 社團法人 大韓土木學會, 1985.

(접수일자 : 1994. 5. 12)