

미분말 고로슬래그를 사용한 콘크리트의 강도특성

이 봉 학* · 홍 창 우** · 김 동 호***

Strength Characteristics of Blast Furnace Slag Concrete

Lee, Bong-Hak* · Hong, Chang-Woo** · Kim, Dong-Ho***

ABSTRACT

The objective of this study is to find the strength properties of concrete using blast furnace slag. Its mechanical strength properties investigated include compressive strength, flexural strength, and tensile strength. The main experimental variables were cement type, coarse aggregate size(19, 25mm), and water/cement ratio(28, 32, 36%). The principal results obtained from this study are as follows ; it was possible to obtain the compressive strength of 500~700kg/cm² concrete by using the blast furnace slag. Therefore, blast furnace slag was proved to be superior to ordinary portland cement in manufacturing the high strength concrete with the same mix conditions. In the near future, concrete using blast furnace slag is expected to be practically used in the field.

1. 서 론

제철소의 선철 과정에서 생성되는 산업 부산물인 고로 슬래그는 불과 몇 년 전까지만 해도 활용에 대한 연구가 미흡해 매립용 재료, 도로 포장재료 등으로만 사용되어졌다. 그러나, 최근 선진 각국에서는 미분말 고로슬래그를 이용한 콘크리트의 제조 연구 및 실용화 방안이 활발히 진행되고 있는 실정이다.⁵⁾

우리나라에서도 연간 생산되는 슬래그는 6,000만톤에 이른다고 발표되고 있으며 폐기물의 자원화 및 활용화 방안이 환경영향 측면에서 큰 관심거리가 되고 있다.⁴⁾ 최근에는 분쇄기술의 발전으로 비표면적 6,000-8,000 cm²/g, 평균입경 4 μ m 정도까지 생산이 가능해져 슬래그의 잠재수경성과 우

수한 내화화성을 이용함으로써 고성능, 고강도 콘크리트의 개발이 진행되고 있다.¹⁾ 미분말 고로슬래그를 사용한 콘크리트는 보통콘크리트에 비해 장기강도의 증진효과를 얻을수 있으며 수화열로 인한 온도상승을 억제시키고 황산염이나 해수 등에 대한 화학저항성²⁾의 향상과 알칼리 골재반응의 억제 등의 효과를 얻을 수 있다. 고로 슬래그는 최근 골재 사정의 악화로 해사의 사용이 일반화되고 이에 따른 염해에 의한 구조물의 염화가 사회 문제로 대두되면서 고품질 및 고내구성 콘크리트가⁶⁾ 요구되고 있는 실정이며, 이러한 염해를 억제할 수 있는 콘크리트용 시멘트로써는 고로슬래그가 효과적³⁾이지만 조기 강도발현율이 떨어지는 단점을 지니고 있다.

따라서, 이 논문에서는 기존의 슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트의 조기 강도발현이 떨어지는 문제점을 보완하기 위하여 고로슬래그의 분말도를 높여 사용하였으며, 이에 따른 콘크리트의 강도발현, 유동성 등의 특성을 알아보기 위하여 시멘트 종류, 물/시멘트비 및 굵은골재의 최대치수를 주요

* 강원대학교 토목공학과 교수

** 강원대학교 토목공학과 박사과정

*** 강원대학교 토목공학과 석사과정

변수로 하여 굳지않은 콘크리트의 특성과 경화후 콘크리트의 특성을 고찰하고자 하였다.

2. 실험 개요

미분말 고로슬래그를 혼입하여 제조된 콘크리트의 역학적 특성을 알아보고자 굳지않은 콘크리트의 특성과 굳은 콘크리트의 특성 실험을 수행하였다. 실험의 주변수로는 시멘트 종류로 미분말 고로슬래그를 혼입한 시멘트와 보통포틀랜드 시멘트를 채택하였으며, 배합계획으로 물/시멘트비의 변화 및 굵은 골재의 최대치수를 19mm, 25mm로 하여 실험을 수행하였다. 경화전 콘크리트의 실험으로는 슬럼프 경시변화, 공기량측정 및 응결실험을 실시하였으며, 경화후 압축강도, 인장강도, 휨강도를 측정하여 굳은 콘크리트의 역학적 특성에 대한 고찰을 하였다.

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

슬래그 시멘트는 국내 S사의 슬래그계 시멘트를 사용하였으며, 보통 포틀랜드 시멘트는 시중의 H사 제품을 비교용으로 사용하였다. 슬래그 및 보통 포틀랜드 시멘트의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical Properties of Cement

Type	Average Size	Specific Gravity	Specific Surface Area
Slag Cement	7.3 μ m	3.02	5,950cm ² /g
Normal Portland Cement	16.8 μ m	3.15	2,800cm ² /g

2.1.2 골재

굵은골재는 춘천시 남산면 광관리산 채석 19mm와 25mm를 사용하였으며, 잔골재는 홍천강 유역에서 채취된 강모래를 사용하였다. Table 2는 골재의 물리적 특성을 나타낸 것이다.

2.1.3 화학 혼화제

슬래그 미분말의 분말도가 클수록 소정의 공기

량을 얻기 위해서는 공기량 조정제의 첨가량을 증가 시켜야 하며, 고강도 콘크리트의 유동성을 확보하기 위하여 고유동화제를 첨가하였다. 공기연행제는 비중 1.025 \pm 0.005의 액상 담갈색으로 레진 (RESIN)을 주성분으로하는 콘크리트용 화학혼화제와 고유동화제로는 비중 1.20 \pm 0.05의 액상 음록색이며 ASTM C 1017 Type 1의 RHEOBUILD 1000으로 국내 K사 제품을 사용하였다. 혼화제의 물리적 특성은 Table 3과 같다.

Table 2. Physical Properties of Aggregate

Type	Max. Size	Specific Gravity	Absorption (%)	F.M
Fine Aggregate	-	2.61	0.87	2.52
Coarse Aggregate	19mm	2.61	0.98	5.86
	25mm	2.65	1.01	7.00

Table 3. Physical Properties of Admixture

Admixture	Specific Gravity	Type	Color	Remark
Air entraining agent	1.025 \pm 0.005	Fluid	Red Brown	KS F 2560
Superplasticizer	1.20 \pm 0.05	Fluid	Dark Brown	ASTM C 1017 Type 1

2.2 실험방법

2.2.1 콘크리트 제조방법

콘크리트의 제조방법은 최적의 재료투입순서와 혼합시간을 실험적으로 판단하여 굵은골재와 잔골재를 먼저 투입하여 30초간 견비빔을 실시한 후 시멘트와 결합수 그리고 AE감수제를 첨가후 90초간 비빔을 실시하고 고유동화제를 넣은후 120초간 비빔을 실시하여 전 재료가 충분히 혼합이 되도록 유도하였다.

2.2.2 실험항목

굳지않은 콘크리트의 특성을 파악하기 위해 Slump 및 이에 대한 경시변화, 공기 함유량, 응결시간을 KS F 2402, 2421, ASTM C의 방법에 따라 실험을 실시하였다. 경화된 콘크리트에 있어서는 콘크리트 배합후 ϕ 10 \times 20cm 원주형 공시체를 제조한후, 24시간 후 탈형하여 1일 4회

Table 4. Mix Proportions of Concrete

Specimen	Coarse Aggregate Max. size(mm)	Water/Cement Ratio (%)	Fine Aggregate Ratio (%)	Unit Weight (kg/m ³)						Remark
				Water	Cement	Fine Aggregate	Coarse Aggregate	AE	SP	
S1-28	19	28	38	160	571	616	1,005	0.114	5.710	AE =C*0.02 %
S1-32	19	32	38	160	500	639	1,043	0.100	5.000	
S1-36	19	36	38	160	444	658	1,073	0.089	4.440	
S2-28	25	28	38	160	571	616	1,020	0.114	5.710	
S2-32	25	32	38	160	500	639	1,059	0.100	5.000	
S2-36	25	36	38	160	444	658	1,089	0.089	4.440	
N1-32	19	32	38	160	500	646	1,054	0.100	5.000	SP =C*1.00 %
N1-36	19	36	38	160	444	664	1,083	0.089	4.440	

Notation

S : 슬래그시멘트 1 : 19mm골재 28, 32, 36 : W/C AE : 공기연행제
 N : 보통포틀랜드시멘트 2 : 25mm골재 SP : 고성능유동화제

살수양생을 하여 재령 3, 7, 28일의 압축강도를 KS F 2405에 의하여 측정하였다. 또한, 재령 28일에 있어서는 인장강도 및 휨강도를 각각 KS F 2423, 2408에 의하여 측정하였다.

2.3 배합계획

본 실험은 콘크리트의 유동성을 확보하기 위해 고유동화제를 첨가하여 콘크리트의 배합직후 슬럼프를 15cm 이상이 되도록 하고 또한 배합 후 1시간이 경과한 후 슬럼프가 8cm 이상이 되도록 하여 현장에서 운반 타설시간이 지연되더라도 충분한 작업성을 확보할 수 있도록 조절하였고, 그 첨가량은 Table 4에 나타내었다.

위의 배합계획은 단위수량이 최소로 되는 잔골재율과 적정 슬럼프와 공기량 및 최적의 작업성을 도출하기 위하여 예비실험을 수행하여 Table 4와 같이 배합계획을 정하였다. 배합계획에 있어서 N1-28은 S1-28과 동일한 조건의 배합시 슬럼프가 배합직후 5cm로 목표 슬럼프를 만족시키지 못하여 제외하였다. 배합변수는 시멘트(슬래그 및 보통포틀랜드 시멘트), 굵은골재의 최대치수와 물/시멘트비로 하여 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 경화전 콘크리트의 특성

3.1.1 슬럼프 손실률

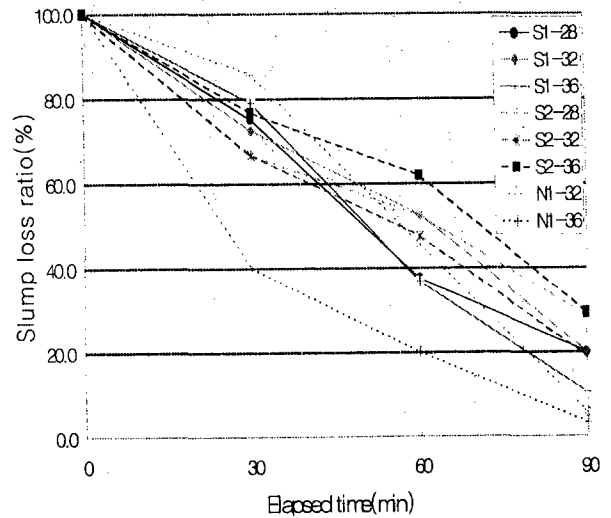


Fig. 1 Results of Slump Loss Ratio

보통 포틀랜드 시멘트와 미분말 고로슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트에 대한 경화전 특성으로서 슬럼프 값을 경과시간별로 측정하여 믹싱직후의 측정값 100에 대한 경과시간별 슬럼프 변화율을 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1에서 경과시간 90분까지 슬럼프 손실률은 미분말 고로슬래그 시멘트를 사용하고 굵은골재 최대치수가 25mm인 콘크리트의 경우가 가장 적게 나타났으며, 미분말 고로슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트는 일반적으로 보통 시멘트를 사용한 콘크리트에 비하여 양호한 경향을 나타내었다. 따라서 서중콘크리트 시공시나 공사가 지연 또는 중단되어 큰 슬럼프 손실이 예상되는 공사현장등의 시공면에서 유효할 것으로 사료된다.

3.1.2 공기량

미분말 고로슬래그를 사용한 S1 콘크리트는 물/시멘트 비가 낮을수록 공기량이 감소하는 경향을 나타냈고, 굵은골재의 최대치수가 증가할수록 물/시멘트비가 32, 36인 경우에는 공기량이 감소하는 것으로 나타났다. 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하면 대체적으로 미분말 고로슬래그를 사용한 시멘트가 공기량이 적게 나타났다. 이것은 시멘트 분말도에 관계된 것이며, Fig. 2는 실험인자에 따른 공기량 측정결과를 나타낸 것이다.

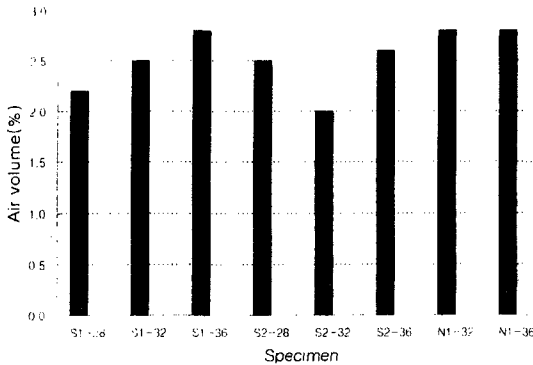


Fig. 2 Results of Test for Air Content of Fresh Concrete

3.1.3 응결특성

초결과 종결의 시간차는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트가 미분말 고로슬래그를 사용한 콘크리트에 비해 짧게 나타났으며, S1, S2 콘크리트에 있어서 물/시멘트비가 낮을수록 초결은 감소하고 종결은 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 3은 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트와 미분말 고로슬래그를 혼입한 콘크리트의 초결 및 종결시간을 비교하였다.

리트와 미분말 고로슬래그를 혼입한 콘크리트의 초결 및 종결시간을 비교하였다.

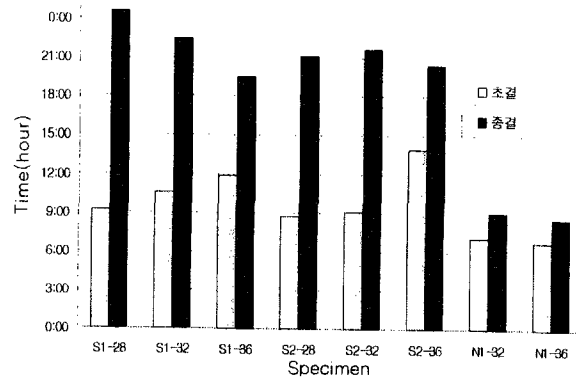


Fig. 3 Results of Test for Time of Setting of Concrete Mixtures

3.2 경화후 콘크리트의 특성

3.2.1 압축강도

재령별 압축강도를 측정한 것이 Table 5이며, N1-32의 각 재령별 압축강도 100에 대한 상대적인 압축강도비로 정리한 것이 Fig. 4이다. Fig 4에 의하면 S1콘크리트는 N1콘크리트에 비해 압축강도가 재령이 증가할수록 상대적으로 더욱더 증진됨을 알 수 있으며 S2콘크리트는 N1콘크리트에 비해 초기재령에서는 낮은 압축강도 발현을 나타내었다. Table 5에서 S1-32 콘크리트의 압축강도는 3, 7, 28일에 251, 377, 513kg/cm²으로서 N1-32 콘크리트와 비교해서 7일 이후의 압축강도가 증진됨을 알 수 있었다.

Table. 5 Compress Strength by Curing Age [Unit : kg/cm²]

Specimen	3 Day	7 Day	28 Day
S1-28	346	469	624
S1-32	251	377	513
S1-36	210	344	492
S2-28	289	391	544
S2-32	242	352	443
S2-36	189	261	314
N1-32	252	355	438
N1-36	201	295	378

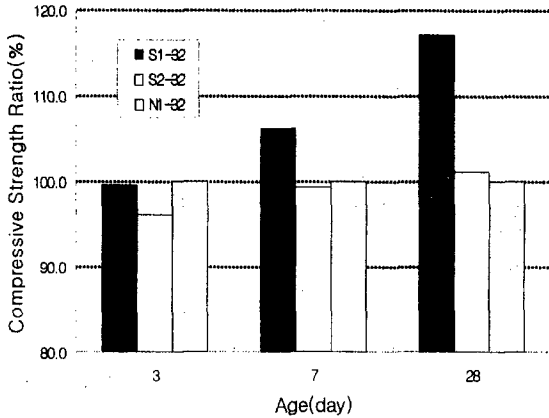


Fig. 4 Compressive Strength Ratio Based on N1-32 by Age.

또한 S1-28 콘크리트의 경우는 재령 초기 및 28일 압축강도에 있어서도 우수함을 나타내었으며, 굵은골재 최대치수가 작아질수록 강도증진이 큰 경향을 나타내었다. Fig. 5는 미분말 고토슬래그를 사용한 콘크리트의 압축강도에 있어서 굵은골재 최대치수의 영향을 나타낸 것이다.

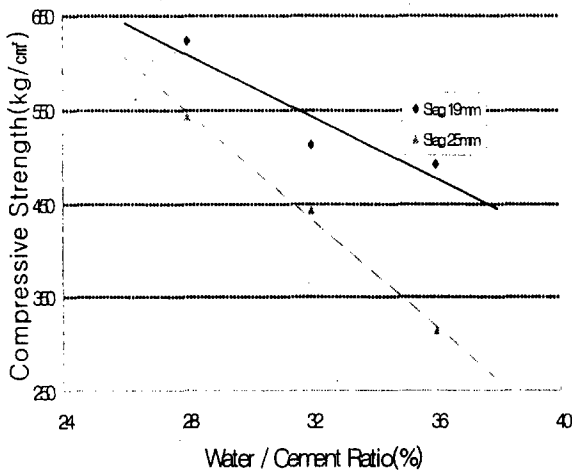


Fig. 5 Relationship of Compressive Strength and Water/Cement Ratio

3.2.2 활렬인장강도

물/시멘트비 및 굵은골재 최대치수의 변화에 따른 활렬인장강도시험 결과를 Table 6에 나타내었다. 압축강도가 증가할수록 인장강도는 증가하는 경향을 나타내며 미분말 슬래그를 사용한 시멘트의 경우에 있어서 보통 포틀랜드 시멘트의 경향과 유사함을 알 수 있었다.

3.2.3 휨강도

재령 28일에 있어서 콘크리트의 휨강도 특성을 Table 6에 나타내었다. 휨강도 특성에 있어서 미분말 고토 슬래그를 혼입한 S1, S2 콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트의 경우보다 높은 휨강도 특성을 나타내었다. 동일조건의 S1-32인 경우 93.9kg/cm^2 으로서 N1-32의 73.1kg/cm^2 보다 28%정도 크게 나타났다.

Table 6. Test Results for Splitting Tensile Strength and Flexural Strength

[Unit : kg/cm^2]

Specimen	S1-28	S1-32	S1-36	S2-28	S2-32	S2-36	N1-32	N1-36
Splitting Tensile strength	75.0	60.0	50.0	57.5	47.5	35.5	44.2	37.4
Flexural strength	121.5	93.9	84.8	99.9	75.6	53.2	73.1	61.8

3.3 압축강도와 인장강도 및 휨강도와의 관계

Fig. 6은 슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트의 압축강도에 대한 인장강도 및 휨강도를 각 배합별 상관관계를 보여주고 있다. 일반적으로 압축강도가 증가함에 따라 인장강도 또한 높아짐을 알 수 있는데 본 연구에서는 25mm 굵은골재를 사용한 콘크리트에 비하여 19mm의 굵은골재를 사용한 콘크리트가 다소 인장강도가 큰 것으로 나타났다.

한편, 콘크리트의 휨강도는 보통 압축강도의 약 1/5~1/8 정도로 알려져 있는데, 본 연구에서는 미

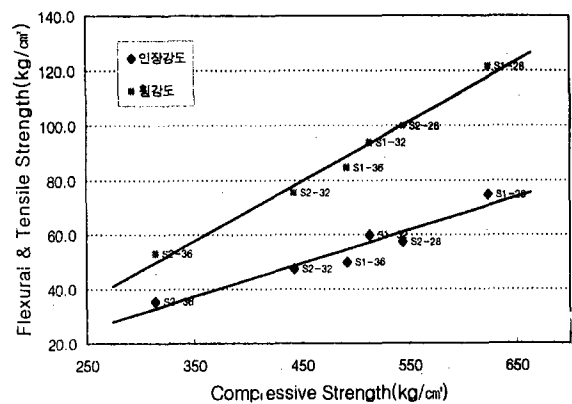


Fig. 6 Relationship of Tensile Strength, Flexural Strength and Compressive Strength

분말 고로슬래그 시멘트를 이용한 콘크리트가 약 1/5~1/6 정도의 범위로 비교적 높은 휨강도를 나타내어 휨부재의 재료로서 활용성이 양호할 것으로 보여진다. 미분말 고로슬래그를 사용한 콘크리트의 굽은골재 최대치수 및 물/시멘트비 변화에 따른 휨강도에 대한 인장강도의 관계를 Fig.7에 나타내었다. S1-28 배합조건이 휨강도 및 인장강도에서 최대의 값을 나타내었으며, 회귀분석결과 선형적으로 증가함을 알 수 있었다.

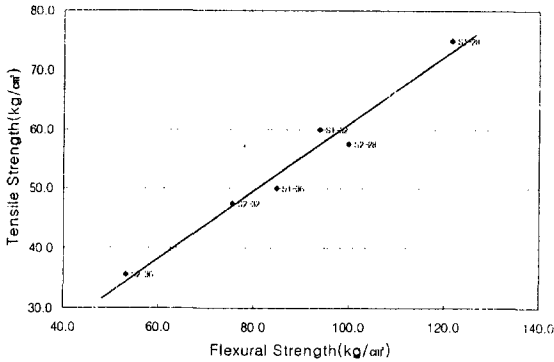


Fig. 7 Relationship of Tensile Strength and Flexural Strength.

4. 결 론

본 논문에서는 미분말 슬래그를 사용한 콘크리트와 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여 제조된 콘크리트의 역학적 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 미분말 고로슬래그를 혼입한 콘크리트는 슬럼프 경시변화에 있어서 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트에 비해 슬럼프 손실률이 적어 현장타설시 우수한 작업성을 나타낼 수 있음을 알 수 있었다.
2. 미분말 고로슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트에서 S1-28 배합은 재령 3일에서 346kg/cm^2 , 28일에서 압축강도가 624kg/cm^2 수준이 발현되므로 조기강도가 요구되는 P.C구조물이나 고층건물에 활용될수 있을 것이다.
3. 미분말 고로슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트(S1)는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트(N1)에 비해 물/시멘트비가 32인 경우 압축강도에 대한 인장강도의 비율이 16% 높게

나타났으며, 휨강도의 비율은 10% 정도 증가된 경향을 나타내었다.

4. 미분말 고로슬래그를 사용한 콘크리트는 물/시멘트비가 28인 경우에도 15cm이상의 슬럼프 확보가 가능하며, 재령 28일의 휨강도가 보통포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트에 비해 비교적 높은 경향을 나타내어 실용화 측면에서 충분히 장점을 발휘할것으로 생 각된다.

감 사

“ 본 연구는 강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.”

참 고 문 헌

- [1] 대한토목학회, “고로슬래그 시멘트 및 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 설계·시공 지침”, 1995. 8.
- [2] 한국도로공사, “1996년도 실용화 연구보고서”, 1996. 12.
- [3] 건설교통부, “고품질 시공을 위한 고내구성 콘크리트의 개발 및 실용화 연구”, 1996. 10.
- [4] 신성우, “고강도 콘크리트의 개발현황과 방향”, 한국레미콘공업협회지, 제40호, 1994. 7, pp. 18-26.
- [5] 대우엔지니어링 기술연구소, “고강도 콘크리트의 경제적 배합비 결정 및 실용화에 관한 연구”, DW ERI-CE-10, 1988.4.
- [6] 삼성건설(주) 중앙시험실, “고강도 콘크리트의 최적배합비에 관한 연구”, 기술보고서, 1992.
- [7] 한국콘크리트학회, “고성능 유동화제를 이용한 고강도 콘크리트의 제조와 특성 및 활용”, KCI International Workshop Proceeding, 1993. 10, Seoul, pp. 359.
- [8] 박철립, 권영호, “ 700 kg/cm^2 고강도 콘크리트 현장적용”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회

- [9] 오병환, “내구성 향상을 위한 고성능 콘크리트의 개발과 활용”, 한국콘크리트학회지, 제6권 1호, pp. 44-51, 1994. 2.
- [10] Godfrey, K.A., “Concrete Strength Record Jump 36%”, Civil Engineering, 1987. 10, pp. 84-88.
- [11] R.C Carrasquillo, “The Production of High Strength Concrete”, Cornell University, 1978. 5.
- [12] Blick, Ronald, L., Peterson, C.F., and Winter, M.E., “Proportioning and Controlling High Strength Concrete”, Paper for Presentation to the American Concrete Institute Annual Convention, 1972.
- [13] ACI-363, “State of the Art Report on High-Strength Concrete”, ACI 363R-92, American Concrete Institute, Detroit 1992.
- [14] ACI 363R-84 : State of the Art Report on High Strength Concrete.