

# 高強度콘크리트의 流動性 損失에 影響을 미치는 要因에 대한 實驗的 研究

An Experimental Study on the Factors Influencing on the Slump Loss of High Strength Concrete

문 한 영\*      김 기 형\*\*      문 대 중\*\*\*  
Moon, Han Young      Kim, Ki Hyung      Moon, Dae Joong

## ABSTRACT

In this study, some factors such as mix proportion, type and dosage of high range water reducing admixture(HRWR) and natural pozzolanas influencing on the slump loss of high strength concrete(H.S.C) using HRWR were investigated for reducing the slump loss.

The acquired results indicated that the slump loss of H.S.C was affected according to cement content, sand percentage and type and dosage of HRWR and fly ash was superior to ground granulated blast furance slag in reducing the slump loss of H.S.C.

## 1. 서 론

고성능감수제를 사용하여 물-시멘트비를 대폭 감소시켜 제조한 굳지않은 콘크리트의 경우 주지하는 바와같이 믹싱후 시간이 경과하는데 따라 유동성이 급격하게 저하하는 특성 때문에 장시간 운반하는 레디믹스트 콘크리트나 펌프 콘크리트로써 타설하는 경우 시공상의 제약을 크게 받게 되는 문제점이 지적되고 있다.

그러므로 고성능감수제를 사용한 굳지않은 콘크리트의 큰 유동성 손실(slump loss)을 저감시킬수 있다면 고강도콘크리트의 적용범위가 훨씬 확대될 뿐만 아니라 콘크리트 구조물의 高品質化, 高機能化에 기여하는 바가 클 것으로 예상되므로 고강도콘크리트의 유동성 손실을 최소화하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. (1-3)

본 연구에서는 고강도콘크리트의 유동성

손실에 영향을 미치는 많은 요인 중에서 배합조건, 혼화제 및 고성능감수제의 종류와 사용량이 유동성 손실에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실시한 실험 결과에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험 개요

### 2-1. 사용 재료

(1) 시멘트 및 혼화제 : 보통포틀랜드시멘트와 혼화제는 보령 화력발전소와 광양 제철소에서 발생하는 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말(이하 슬래그 미분말)로서 화학성분 및 물리적 성질은 표 1.과 같다.

(2) 고성능감수제 : 주성분이 나프탈린계인 고성능감수제로서 표준형과 슬럼프 손실 저감형의 2종류를 사용하였으며 주성분 및 물리적 성질은 표 2.와 같다.

(3) 골재 : 한강산 강모래와 강자갈로서 물리적 성질은 표 3.과 같다.

\* 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 정희원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 정희원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

표 1. 시멘트 및 혼화제의 화학성분 및 물리적 성질

종 류 \ 항 목	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> (%)	Ig. loss (%)	비 중	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)	비 고
보통포틀랜드시멘트	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112	OPC
플 라이 에 쉬	68.00	25.00	2.85	2.00	0.90	-	3.47	2.15	4,546	F
고로슬래그 미분말	31.12	14.24	0.51	41.40	6.14	4.36	0.63	2.80	4,880	S

표 2. 고성능감수제의 주성분 및 물리적 성질

종 류 \ 항 목	주 성 분	색	비 중	PH
표 준 형	나프탈린술폰산 포르말린 고축합물	흑갈색	1.190-1.210	9±1
슬럼프 손실 저감형	나프탈린술폰산 포르말린 고축합물	흑갈색	1.175-1.195	9±1

표 3. 골재의 물리적 성질

종 류 \ 항 목	굵은 골재 최대 치수(mm)	비 중	흡수율 (%)	조립률	유 기 불순물	단위 용적 중량(kg/m <sup>3</sup> )	실적률 (%)
잔 골 재	-	2.60	2.0	2.67	양 호	1,620	62.3
굵은 골재	19	2.67	1.13	7.0	-	1,725	66.1

## 2-2. 실험기구 및 방법

(1) 믹서 및 믹싱 : 용량 60L의 강제식 믹서와 용량 50L의 가경식 믹서를 사용하였으며, 가경식 믹서는 믹서의 회전을 가변식으로 개조하여 드럼의 회전수를 레디믹스트 콘크리트 운반용 트럭의 에지테이터와 같은 원리로 사용하였다.

믹싱은 강제식 믹서에 시멘트, 잔골재를 먼저 투입하여 1분간 dry mixing한 다음 혼합수와 굵은 골재를 넣고 2분간 믹싱한 후 고성능감수제를 첨가하여 1분간 혼합, 슬럼프 15±1cm의 콘크리트를 제조하였다.

(2) 유동성 손실 시험 : 강제식 믹서로 제조한 콘크리트를 가경식 믹서로 옮겨 믹서입구는 비닐로 막아 수분의 증발을 방지한 다음 2 rpm속도로 교반하면서 경과시간 120분까지 30분 간격으로 KS F 2402에 의하여 슬럼프 값을 측정했다.

(3) 강도 시험 : Ø10x20cm 원주형공시체를 제조한 후 KS F 2403과 KS F 2423의 규정에 따라 압축강도와 인장강도 시험을 실시하였다.

## 2-3. 콘크리트 배합

고강도콘크리트를 제조하기 위하여 표 4.의 콘크리트의 배합표에서와 같은 조건으로 베이스 콘크리트의 슬럼프 값 3±1cm를 목표로 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3-1. 유동성 손실에 영향을 미치는 배합조건에 대한 고찰

고강도콘크리트 제조를 위한 배합과 관련된 조건 중 단위시멘트량, 잔골재율, 혼화제의 종류 및 사용량이 균치 않은 콘크리트의 유동성 손실에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실시한 실험결과를 정리한 것이 그림 1, 2, 및 3.이다.

단위시멘트량 3종류, 잔골재율 2종류, 슬럼프 15±1cm의 균치않은 콘크리트를 제조하여 경과시간 120분 동안 30분 간격으로 슬럼프 값을 측정하여 정리한 것이 그림 1.이다.

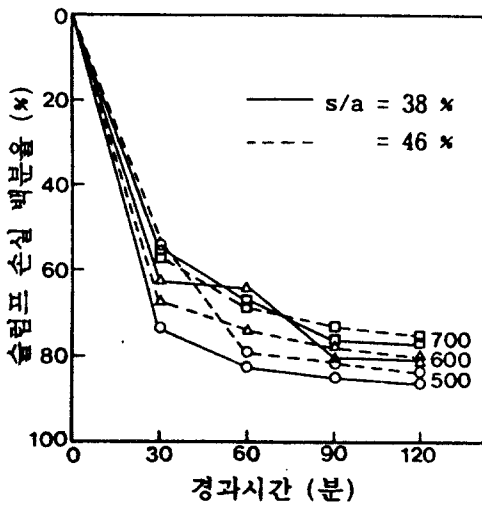


그림 1. 굳지않은 콘크리트의 경과시간에 따른 유동성 손실 (OPC)

이 그림에서 알 수 있듯이 고성능감수제를 사용한 굳지않은 콘크리트는 믹싱후 경과시간 30분정도에서 슬럼프 값의 55~75%정도 120분에서 80%전후의 큰 슬럼프 손실률을 나타내었다. 이때 슬럼프 손실 경향은 단위시

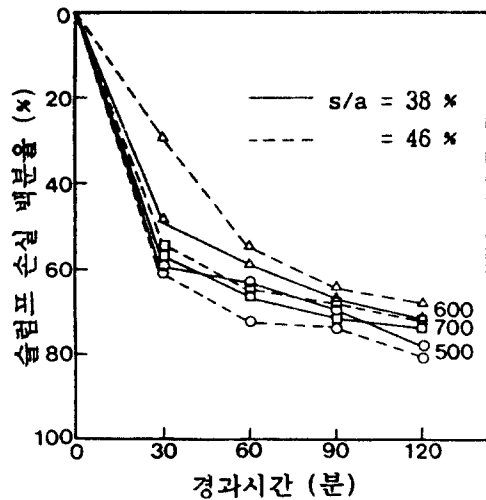


그림 2. 굳지않은 콘크리트의 경과시간에 따른 유동성 손실 (F/(C+F)=10%)

표 4. 콘크리트의 배합표

굵은 골재 최대치수 (mm)	물-시멘트비 (%)	슬럼프 (cm)	잔골재율 (%)	고성능감수제 사용량 (C%)	단위시멘트량 (kg/m³)
19	30±1.5	15±1	38	0.5~0.6	500
			42		600
			46		700

멘트량 500kg, 잔골재율 38%의 콘크리트가 가장 크게 나타난 반면 단위시멘트량 700kg의 콘크리트가 작은 슬럼프 손실을 나타내었다.

그런데 그림 2.에서 보통포틀랜드시멘트에 플라이애쉬를 10% 혼합한 시멘트로 제조한 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 값을 측정해 본 결과 그림 1.과 유사한 유동성 손실 경향을 나타내었으나, 전반적으로 보통포틀랜드시멘트보다 유동성 손실이 작음을 알 수 있다.

이번에는 보통포틀랜드시멘트와 플라이애쉬 10% 혼합시멘트로 제조한 2종류의 굳지않은 콘크리트의 믹싱후 경과시간 120분에서 슬럼프 손실률을 측정하여 잔골재율 3종류로 정리한 것이 그림 3.이다.

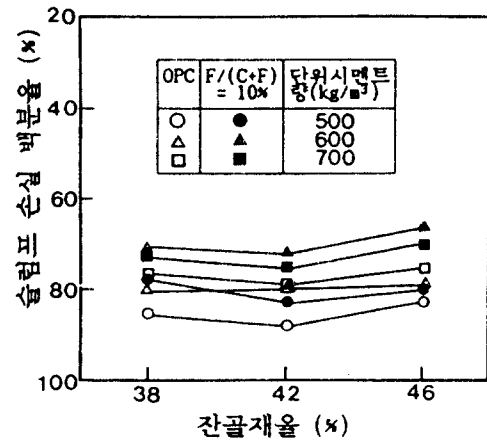


그림 3. 잔골재율 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실량 (경과시간 120분)

이 그림에서 잔골재율의 변화에 따른 슬럼프 손실률의 차이가 약간 있음을 알 수 있으며 잔골재율이 클수록 대체로 슬럼프 손실률이 작은 경향을 나타내었으며, 일반적으로 굳지않은 콘크리트의 잔골재율이 작을수록 슬럼프 손실이 큰 경향을 나타낸다는 연구 결과와도 거의 비슷함을 알 수 있다. (4)

### 3-2. 유동성 손실에 영향을 미치는 고성능감수제의 종류와 사용량에 대한 고찰

굳지않은 콘크리트의 유동성 손실은 사용한 고성능감수제의 종류와 사용량에 따라 크게 변화한다고 한다.(5)

여기서는 최근 개발된 슬럼프 손실 저감형 고성능감수제의 효과를 확인하기 위하여 주성분이 동일한 나프탈린 슬폰산계의 표준형과 비교 실험한 결과를 나타낸 것이 그림 4.이다.

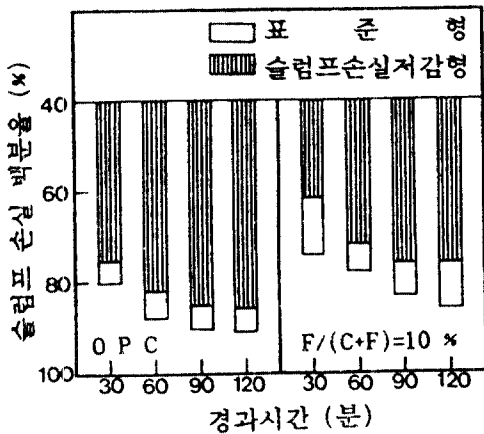


그림 4. 고성능감수제의 종류에 따른 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실

이 그림에서 표준형 고성능감수제를 사용한 보통포틀랜드시멘트 콘크리트의 경과시간 120분에서 슬럼프 손실률이 약 90% 정도로 크게 나타났다.

반면에 슬럼프 손실 저감형 고성능감수제를 사용한 굳지않은 콘크리트의 경우 표준형을 사용한 경우보다 보통포틀랜드시멘트 콘크리트에서 약 5~7% 정도, 플라이애쉬 10% 혼합시멘트 콘크리트에서 약 10~15% 정도 유동성 손실을 저감시키는데 효과가 있음을 알 수 있었다.

이번에는 표준형 고성능감수제의 사용량을 단위시멘트량에 대하여 0.5, 0.8 및 1.1%로 제조한 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 손실률을 경과시간별로 정리한 것이 그림 5.이다.

이 그림에서 고성능감수제 사용량의 대소에 따라 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 손실률이 크게 상이함을 알 수 있으며, 믹싱후 경과시간 120분에서 비교해 보면 고성능감수

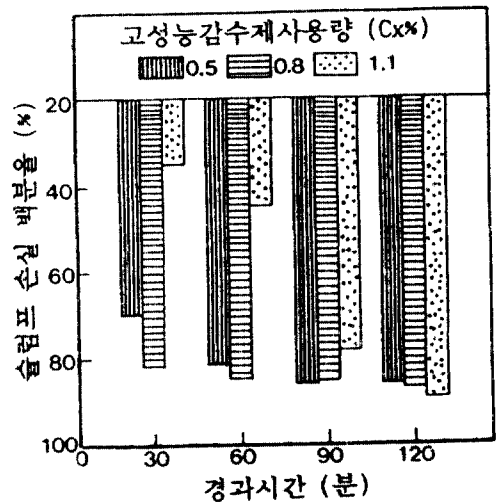


그림 5. 고성능감수제의 사용량에 따른 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실

제의 사용량이 많을수록 슬럼프 손실률이 크게 나타났으며, 이러한 경향은 고성능감수제의 사용량이 많을수록, 콘크리트 온도가 높을수록 유동성 손실이 크다는 연구(6)와도 유사한 결과로 생각된다.

다시 말해서 고성능감수제의 사용량이 적정량을 초과하게 되면 슬럼프 손실률이 커질 뿐만 아니라 블리딩, 재료분리 등을 일으켜 고강도콘크리트의 품질에 유해한 요인으로 작용하게 되므로 고성능감수제의 적정 사용량을 검토한 후에 사용함이 바람직하다고 생각된다.

### 3-3. 유동성 손실에 미치는 혼화제의 영향에 대한 고찰

고성능감수제를 사용한 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실이 크기 때문에 야기되는 문제점을 줄이기 위한 한 방안으로 플라이애쉬 및 슬래그미분말을 3단계로 변화시켜 보통포틀랜드시멘트에 혼합하여 제조한 콘크리트의 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 손실률을 정리한 것이 그림 6, 7, 및 8.이다.

그림 6.에서 플라이애쉬를 30%까지 혼합하는데 따라 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실이 상당량 저감됨을 알 수 있다.

그림 7.에서 슬래그미분말의 혼합비율에 따른 유동성 손실의 저감효과가 명확하지 않으며, 古川茂의 연구 보고서에 의하면(7) 슬

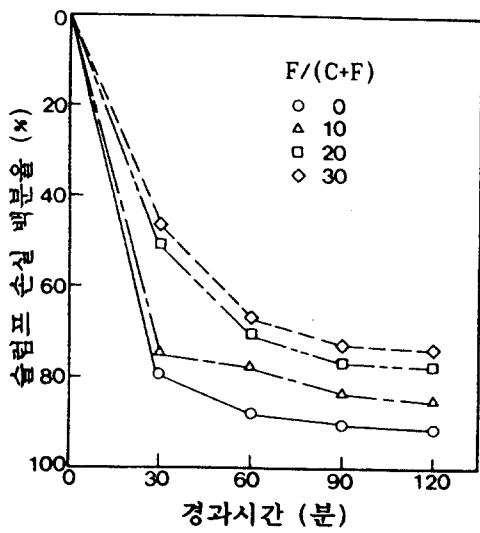


그림 6. 플라이애쉬의 혼합비에 따른 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실

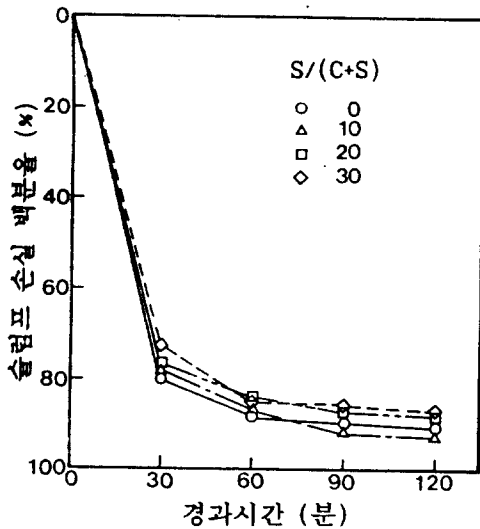


그림 7. 슬래그미분말의 혼합비에 따른 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실

래그분말의 혼합비율이 현저하게 클 경우에는 오히려 유동성 손실이 커진다고 한다.

그래서 두 종류의 혼화재를 혼합한 콘크리트의 경과시간 120분에서 비교, 정리한 것이 그림 8.이며, 플라이애쉬 30% 혼합시멘트 콘크리트의 경우, 보통포틀랜드시멘트 콘크리트의 슬럼프 손실보다 약 15%정도 작음을 알 수 있으며, 슬래그미분말을 혼합한 콘크리트의 경우에는 보통포틀랜드시멘트 콘크리트와 큰 차이가 없으며, 슬래그미분말을 30%정도 혼합하는데 따라 유동성 손실을 줄이는데 일

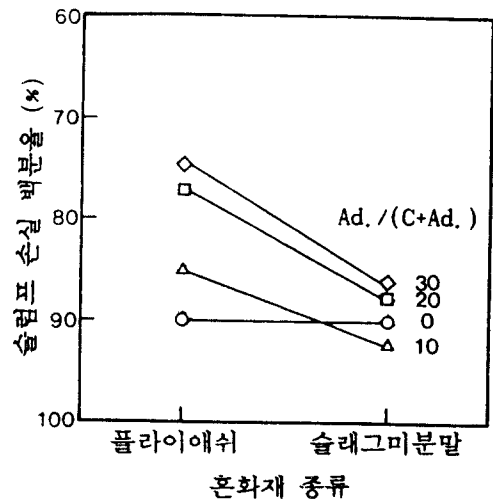


그림 8. 혼화재의 종류와 사용량에 따른 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실

마간 유효한 경향을 나타내었다.

그래서 슬래그미분말 입자를 현미경으로 관찰해 보면 시멘트 입자와 비슷한 각이진 형태를 나타냄을 알 수 있으며, 시멘트 수화 반응시에는 잠복기가 짧고 Alite의 수화반응을 촉진하기 때문에 유동성 손실이 보통포틀랜드시멘트콘크리트에 상응하다고 생각된다.

이번에는 최근 레디믹스트 콘크리트등에 일반적으로 많이 사용하고 있는 플라이애쉬를 보통포틀랜드시멘트에 10% 혼합한 콘크리트 배합에 대하여 믹싱후 경과시간 120분까지의 슬럼프 손실률로써 정리한것이 그림 9.이다.

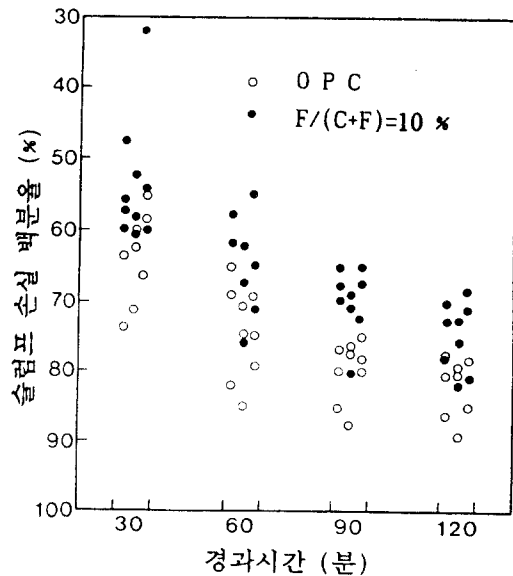


그림 9. 경과시간에 따른 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실

이 그림에서 알 수 있듯이 보통포틀랜드시멘트 콘크리트와 비교해 볼 때 플라이애쉬를 10% 혼합한 콘크리트의 슬럼프 손실률이 대체적으로 약 15%정도 작은 효과가 있었다.

플라이애쉬를 혼합하므로써 유동성 손실을 저감시키는데 유리한 이유는 플라이애쉬 입자의 형상이 구형이며 표면이 매끄러운 탓으로 시멘트풀 속에서 입자간의 물리적인 마찰저항을 저감시키고 시멘트 입자의 응집을 파괴하여 분산시키는 효과가 있을 뿐만 아니라 (8) 보통포틀랜드시멘트를 사용한 보통포틀랜드시멘트 콘크리트보다 수화반응을 지연시키는 등의 이유로 인하여 유동성 손실을 저감시키는데 유리하다고 생각되었다.

끝으로 본 실험에 사용한 고강도콘크리트의 단위시멘트량별 압축 및 인장강도 실험결과를 정리한것이 표 5.이다.

표 5. 경화한 콘크리트의 강도 실험결과

시멘트 종 류	단위시멘트량 (kg)	잔골재율 (%)	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )			인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )
			7	28	91	
보통포틀랜드시멘트	500	42	345	441	550	29.6
	600		405	520	612	33.1
	700		495	628	650	40.0
Flyash 10%혼합 시멘트	500	42	384	440	534	30.0
	600		403	510	590	34.1
	700		410	580	680	40.6

앞의 표 4.의 조건으로 동일한 슬럼프 값과 물-시멘트비일때 단위시멘트량 3종류로써 비교해보면 단위시멘트량이 클수록 강도가 크게 나타났으며, 재령 91일에서 단위시멘트량 700 kg, 플라이애쉬 10% 혼합 콘크리트의 압축강도는 680 kg/cm<sup>2</sup> 정도였다.

#### 4. 결 론

1) 고성능감수제를 사용한 굳지않은 고강도 콘크리트에서 배합조건이 상이한 경우 믹싱 후 경과시간에 따라 유동성 손실이 상이하였으며, 플라이애쉬를 혼합하고, 잔골재율이 큰 배합일수록 유동성 손실이 저감되는 효과를 얻었다.

2) 고성능감수제를 사용한 굳지않은 고강도 콘크리트에서 슬럼프 손실 저감형 고성능감수제가 믹싱후 경과시간에 따른 유동성 손실을 얼마간 저감시켰으며, 고성능감수제 사용량이 많을수록, 경과시간이 길수록 유동성 손실이 크게 나타나므로 적정 사용량의 검토가 필요하였다.

3) 고성능감수제를 사용한 굳지않은 고강도 콘크리트의 믹싱후 경과시간에 따른 유동성 손실이 큰 문제점을 해결하기 위한 한 방안으로 슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 적정량 혼합하여 콘크리트를 제조하므로써 유동성 손실을 줄이는데 유효한 결과를 얻었다.

#### 참 고 문 헌

1. 文輪英, 金基亨, "高性能減水劑를 사용한 시멘트 複合體의 流動性 損失에 대한 研究", 콘크리트 학회지, 제4권 2호, 1992.6.
2. 長瀧重義 外 2名, "高性能減水劑를 添加した 콘크리트의 슬럼프 로스", 세멘트·콘크리트, No.416, Oct.1981.
3. V.Penttala, "Possibilities of Increasing the Workability time of High Strength Concrete", Properties of Fresh Concrete, Edited by H-J Wierg Chapman and Hall, 1990.10.
4. 文輪英, "流動化 콘크리트에 관한 基礎 研究", 大韓土木學會 論文集, 제2권 2호, 1982.6.
5. 青木茂 外, "各種 슬럼프 로스 低減型 流動化劑를 用いた 高強度 콘크리트", 콘크리트 工學 年次 論文 報告集, 9-1, 1987.
6. 柿崎正義 外, "現場で 減水劑를 混入した 콘크리트의 特性", 鹿島建設技術研究所 年報, 1977.6.
7. 古川茂 外, 高爐 슬라크 微粉末의 콘크리트의 適用에 關する シンポジウム, 論文集.1, 1987.
8. 探谷泰文, "세멘트·콘크리트의 流動 特性", 세멘트·콘크리트, No.541, Mar.1992.