

# 초유동 콘크리트의 개발에 관한 기초적 연구

## - 제 1보 : 모르타의 레올로지 시험 -

### A Fundamental Study on development of Ultra-Flow Concrete

#### - part 1. The rheology test of mortar -

김 화 중*	김 재 훈**	박 정 먼***	최 신 호****	이 승 조****	김 태 곤****
W.J.Kim	J.H.Kim	J.M.Park	S.H.Choi	S.J.Lee	T.G.Kim

## Abstract

The flow properties of concrete depend on form of fine aggregate, the ratio of voids and flow properties of mortar filling between these void

Also, To know for flow properties of paste is required essential to know flow properties of concrete because of the flow properties of mortar depend on the ratio of voides of fine aggregate and cement paste

So, in this study, investigated for the improvement of rheology properties on mortar and paste replaced by Zeolite

① The slump flow have to do with correlation on yielding value of mortar respectirely.

② The increase ratio of strength Mortar and paste 10% replaced by Zeolite was presented significantly but the slump flow was decreased stiffly as the increase of plastic viscosity at the ratio of replacement over 10%

## 1. 서론

콘크리트의 유동성은 조골재의 형상, 공극율과 모르타의 유동성에 의존하고 모르타의 유동성은 세골재의 공극율과 시멘트 페이스트의 유동성에 의존한다. 그러므로 콘크리트의 유동성을 안다는 것은 그의 페이스트와 모르타의 유동성을 파악함이 필연적이다. 제올라이트는 입경이 작아 시멘트 페이스트의 내부공극사이를 충전하여 강도를 높일 수 있다고 보고되고 있으며, 고성능 감수제를 계면활성효과로 역중에 분산하는 경우 모르타의 증점효과와 고밀도 충전성으로 콘크리트의 성능개선이 가능하다. 제올라이트의 콘크리트용 혼화재료로의 사용은 Fresh콘크리트의 재료분리저감성과 경화시의

강도증진에 효과가 있다고 보고되고 있으므로 본 연구에서는 콘크리트의 유동성의 개선을 목적으로 제올라이트를 치환한 시멘트 페이스트와 모르타의 레올로지적 성질개선에 관한 실험적 고찰을 행한다.

## 2. 실험 계획 및 방법

### 2.1. 실험 개요

종래, 콘크리트 및 모르타에 대한 유동성의 평가는 각종 컨시스턴시 시험을 사용하였는데, 그의 성상을 명확히 알기 위해서는 그것을 구성하는 페이스트와 모르타의 레올로지적 평가가 유효하다고 생각되어진다. 그러나 일반적으로 생콘크리트를 유체로서 평가하는 것은 어려운 일이나 슬럼프시험은 유동학적으로 말하면 항복치를 측정하는 시험이라 할 수 있고 근년省力化와 펌프시공의 관점에서 많이 사용되는 고유동 콘크리트는 사용되는 페이스트와 모르

\* 경북대학교 건축공학과 부교수  
\*\* 경민전문대학교 건축공학과 전임강사  
\*\*\* 경북대학교 건축공학과 박사과정  
\*\*\*\* 경북대학교 건축공학과 석사과정

터를 고유동체로 제안되고 그의 점도 및 항복치는 각종의 점도계로 측정이 가능하다.

본 연구는 페이스트와 모르터의 점도, 항복치를 B형점도계로 측정하고 제올라이트·증점제 치환 효과와 유동성과의 관계를 고찰한다. 제올라이트 치환의 범위는 경제성과 강도 발현성을 고려하여 유동성에 요구되는 시멘트량의 0, 10, 20%범위로 하였고 고성능 감수제는 3%로 고정 고성능 감수제의 과다 사용으로 인한 재료분리를 막기 위해서 아크릴계의 증점제를 0, 1, 2% 범위로 사용하였다.

실험에 사용되는 변화 인자와 수준은 표 1에 모르터의 배합비는 표 2에 나타내고, 시멘트 페이스트의 배합은 모르터 배합에서 세골재를 뺀 배합으로 한다.

<표 1. 변화 인자 및 수준>

변화 인자	水準	水準數
물-시멘트 비	40%	1
시멘트 : 모래 비	1 : 2	1
혼화재(제올라이트)혼합비	0, 10, 20%	3
고성능 감수제	3%	1
증점제	0, 1, 2%	3

## 2.2. 사용 재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트 1種이며, 그 화학조성 및 시멘트의 물리적 성질은 각각 표 3, 표 4와 같고 혼화재료로서의 제올라이트는 경북 포항산으로

<표 2. 모르터 실험의 배합비>

구분	물-시멘트비 (W/C)	결합재량 (C×%)	시멘트:모래	고성능AE감수제 (C×%)	증점제 (W×%)		
Z0-0	40%	0%	1 : 2	3%	0%		
Z0-1					1%		
Z0-2					2%		
Z10-0		10%			3%	0%	
Z10-1						1%	
Z10-2						2%	
Z20-0		20%				3%	0%
Z20-1							1%
Z20-2							2%

주) Z 0 - 0

L 0 : 증점제 0%    1 : 증점제 1%    2 : 증점제 2%  
 0 : 제올라이트 치환율 0%    10 : 제올라이트 치환율 10%    20 : 제올라이트 치환율 20%  
 제올라이트

서 원석을 분쇄한 후 체가름을 통하여 No.200체를 통과한 미분말로 화학조성 및 비중은 표 5에 나타내는 것과 같다. 또한 모래는 입형에 따른 플로우의 영향을 최대한 줄이기 위하여 주문진산 표준사를 사용하였다. 그리고 낮은 물시멘트비, 고분말도의 혼화재료의 사용 등으로 인한 슬럼프 저하를 감안하여 각 배합당 나프탈렌 설폰산염계의 고성능 감수제를 사용하였고(참조 표6) 고성능 감수제의 과다 사용으로 인한 재료분리를 막기 위해서 아크릴계의 증점제를 사용하였다.

## 2.3. 시험 방법

### 2.3.1. 유동성의 평가

페이스트와 모르터의 제작은 결합재(시멘트, 제올라이트), 물(고성능감수제, 증점제 함유)을 넣고 제1속으로 1분간, 제2속으로 2분간 혼합한다. 유동성 평가는 사진 1에 나타난 소형 슬럼프 플로우 시험기를 사용한다. 이 기구는 플로우 시험에 사용되는 콘에 모르터를 주입하고 다짐이 없이 서서히 들어 올려 퍼지는 거리를 측정하여 가장 긴 길이와 짧은 길이의 평균치를 소형 슬럼프 플로우치(sSf)로 하고 플로우 판은 슬럼프 플로우 테스트 판을 이용하였다.

### 2.3.2. 레올로지 특성의 평가

#### 2.3.2.1. 페이스트의 레올로지 시험

<표 3. 시멘트의 화학 조성>

성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Igloss
조성비(%)	21.4	7.0	2.9	3.1	1.7	60.8	0.72	0.12	1.2

<표 4. 시멘트의 물리적 성질>

비중	안정성	분말도	응결시간(h-m)		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	양호	3140	3-45	7-20	210	280	376

<표 5. 세올라이트의 물리적 성질>

종류	화학조성						비중
	화학조성 조성비(%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	
세올라이트		84.40	12.61	1.88	0.28	0.83	2.22

<표 6. 고성능감수제의 물리적 성질>

SP제	유형	색상	주성분	비중
NN-1000	액상	암갈색	나프탈렌포름알데히드축합물	1.20±0.02(20℃)

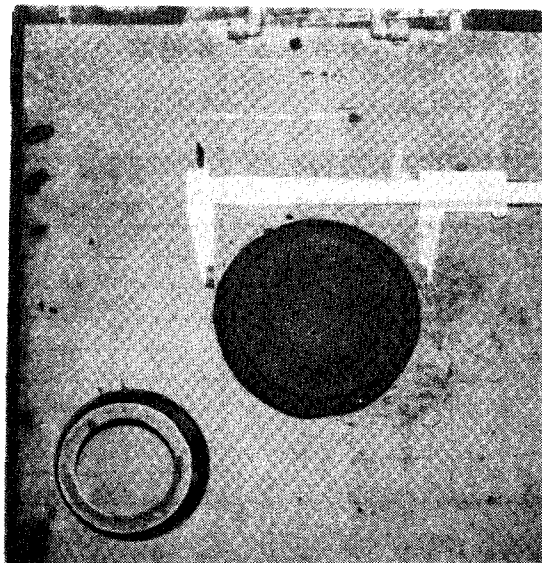
<표 7. 증점제의 물리적 성질>

증점제	유형	색상	주성분	비중
		액상	우유빛	아크릴 아스테르 및 초산비닐

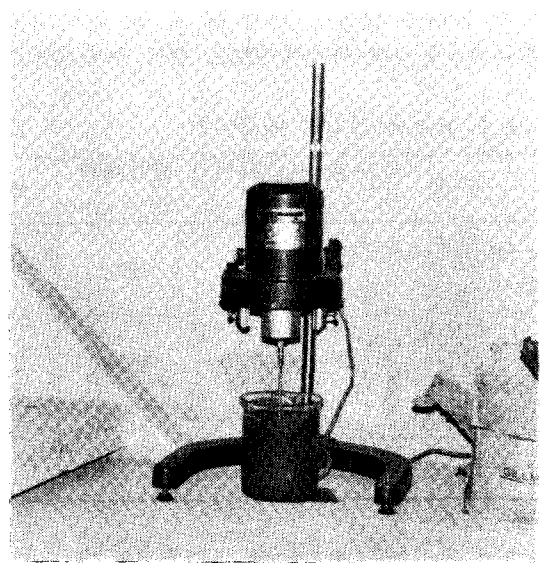
점도계를 사용하여 시멘트 페이스트의 유동성을 측정할 경우 전단 속도와 전단응력의 관계는 일반적으로 비-뉴턴 유체와 비카유체(bingham)의 중간 성상을 표시한다. 적절한 유동성을 가지는 콘크리트는 회전자의 회전수를 8단계로 변화시켰을 때 전단속도와 전단응력과의 관계를 직선으로 보아 그의 기울기 및 y절

편치로서 소성점도 및 항복치를 구한다.

아래의 사진 2에 나타난 원판회전식(東機産業製 R형점도계 BH5번 회전자)회전 점도계를 사용하여 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 20, 50, 100rpm의 회전 속도에 대하여 각 10초 간격으로 회전속도를 상승시켜 측정한다.



<사진 1. 소형 슬럼프 플로우 시험기>



<사진 2. 회전 점도계>

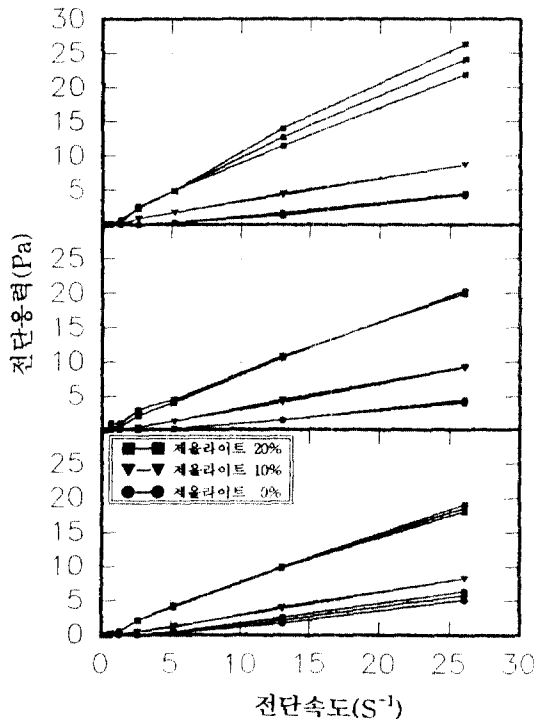
### 2.3.2.2. 모르타의 레올로지 시험

모르타의 레올로지 시험은 페이스트의 레올로지 시험과 동일한 측정을 행하고 배합은 페이스트에 세골재를 추가하여 모르타를 제작한다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 페이스트의 레올로지 특성과 유동성

그림-1은 물/미분말(시멘트·제올라이트) 40%의 조건에 고성능 감수재 3%를 사용한 제올라이트 치환 페이스트의 레올로지 곡선으로 증집제량을 일정하게 한 경우 제올라이트 치환율 증가로 인한 구배(소성점도)가 증가하는 경향들을 나타내고 있다.

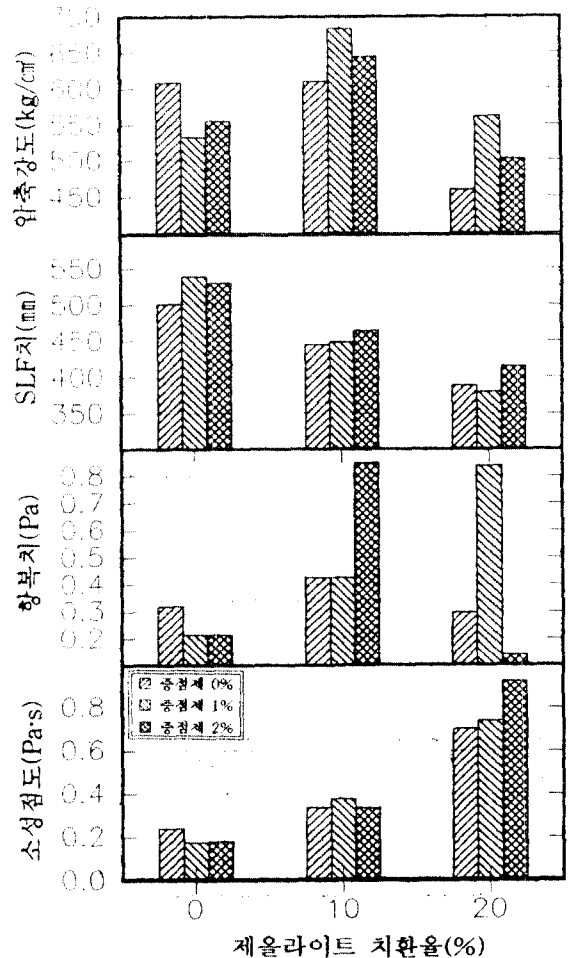


<그림 1. 페이스트의 레올로지 유동곡선>

그림-2의 제올라이트 치환에 따른 슬럼프 플로우치의 관계에서 증집제 첨가량을 변화시킨 경우 제올라이트 0%치환시는 슬럼프 플로우치가 높게 나타났으나 재료분리현상이 발생하였으

<표 8. 제올라이트·증집제 치환 페이스트의 레올로지 특성과 유동성>

구분	소성점도 (Pa·s)	항복치 (Pa)	소형 슬럼프 플로우치(mm)
Z0-0	0.236	0.318	501
Z0-1	0.171	0.212	539
Z0-2	0.176	0.212	530
Z10-0	0.334	0.424	445
Z10-1	0.375	0.424	448
Z10-2	0.334	0.848	464
Z20-0	0.699	0.295	388
Z20-1	0.736	0.837	379
Z20-2	0.920	0.138	415



<그림 2. 제올라이트 치환량에 따른 페이스트의 소성점도, 항복치, 소형 슬럼프 플로우치, 압축강도의 관계>

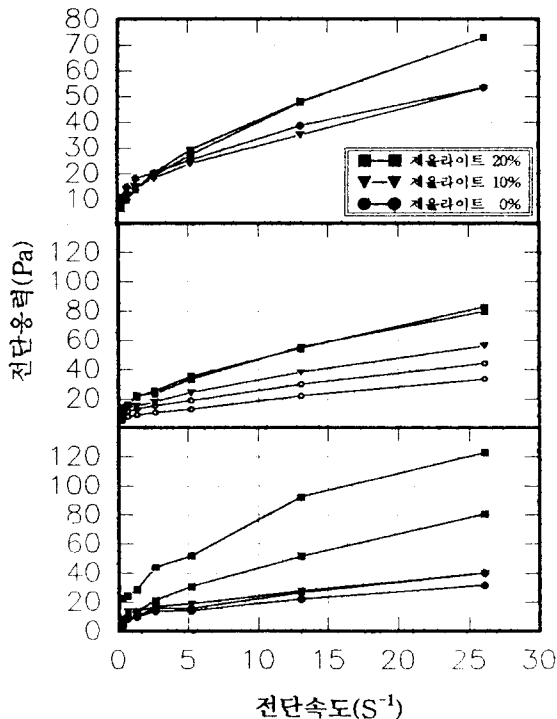
므로 재료분리가 발생하지 않은 제올라이트 10,

20% 치환시의 슬럼프 플로우치를 비교해 봤을 때 제올라이트 10% 치환이 양호하게 나타났고 압축강도 면에서도 10%치환이 가장 좋은 값을 얻을 수 있다.

또한 제올라이트 치환에 따른 소성점도의 관계에서 증점제량을 일정하게 한 조건에서 제올라이트 치환율을 증가시킬 경우 소성점도는 증가하나 항복치는 증점제 1% 치환시 증가하는 경향을 나타내고 증점제 0, 2% 치환시 감소하므로 항복치와 소성점도에 대한 적절한 제올라이트 치환량이 존재함을 알 수 있다.

### 3.2.모르터의 레올로지 특성과 유동성

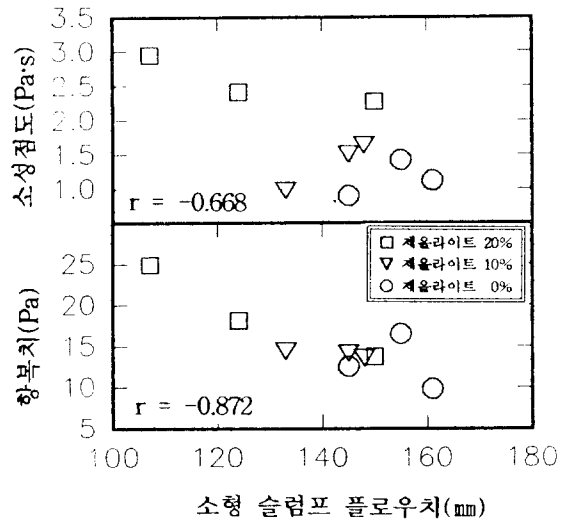
그림-3은 모르터의 유동곡선으로서 페이스트 레올로지 유동곡선에서 보다 모르터의 유동곡선이 더욱 비감(bingham)유체에 가까운 거동을 나타내고 있다. 또한 모르터의 레올로지 유동곡선에서도 페이스트와 같이 증점제량이 일정한 경우 제올라이트의 치환량 증가에 따라 소성점도(구배)가 증가하는 것을 유동곡선상에서 볼 수 있다.



<그림 3. 모르터의 레올로지 유동곡선>

<표 9. 제올라이트·증점제 치환 모르터의 레올로지 특성과 유동성>

구 분	소성점도 (Pa·s)	항복치 (Pa)	소형 슬럼프 플로우치(mm)
Z0-0	0.894	12.500	145
Z0-1	1.110	9.822	161
Z0-2	1.416	16.442	155
Z10-0	0.975	14.416	133
Z10-1	1.634	13.544	148
Z10-2	1.498	14.109	145
Z20-0	2.947	24.851	107
Z20-1	2.410	18.091	124
Z20-2	2.270	13.686	150

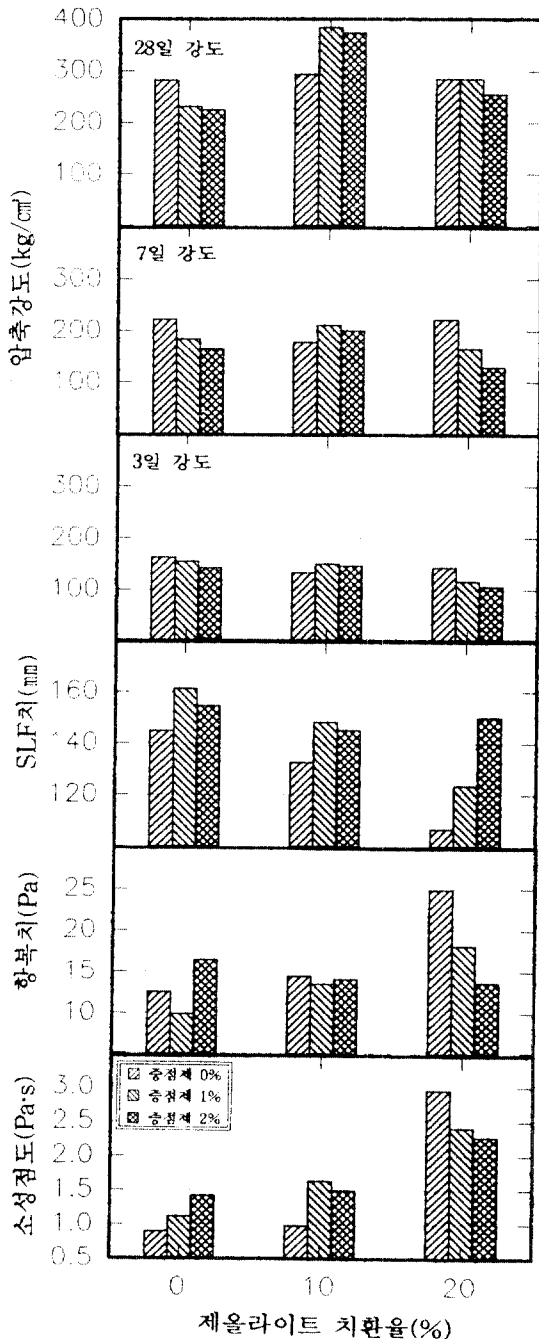


<그림 4. 모르터의 소형 슬럼프 플로우치와 레올로지 정수>

그림-4는 소형 슬럼프 플로우치와 레올로지 정수와의 관계를 나타내었다. 소형 슬럼프 플로우와 소성점도와의 상관관계는 미약한 것으로 나타났다. 슬럼프 플로우치와 항복치와는 비교적 양호한 상관관계를 갖는데 항복치가 작을수록 슬럼프 플로우치는 증가한다.

그림 5에서 제올라이트 치환율과 소성점도의 관계를 보면 증점제량이 일정한 경우에 제올라이트의 증가는 소성점도를 높이고 특히 제올라이트 10~20%치환 사이에서 소성점도의 증가 폭이 높게 나타난다. 또한 제올라이트 치환율에 따른 소형 슬럼프 플로우치의 관계에서 증점제 치환량이 일정할때 제올라이트 치환에 따라 소

형 슬럼프 플로우치가 감소하는 경향을 보인다. 제올라이트 치환율에 따른 압축강도면에서도 페이스트실험과 같이 10%치환시에 가장 좋은 결과를 볼 수 있다.



<그림 5. 제올라이트 치환량에 따른 모르타의 소성점도, 항복치, 소형 슬럼프 플로우치, 압축강도의 관계>

<표 10. 페이스트와 모르타의 압축강도 결과>

구 분	압축강도(kg/cm²)			
	페이스트		모르타	
	28일	3일	7일	28일
Z0-0	608	162	222	281
Z0-1	533	154	183	231
Z0-2	555	142	164	224
Z10-0	610	133	177	293
Z10-1	683	149	210	383
Z10-2	644	146	200	373
Z20-0	459	143	222	284
Z20-1	561	115	165	284
Z20-2	502	105	129	254

#### 4. 결론

1. 모르타의 슬럼프 플로우치와 항복치는 비교적 양호한 상관성을 가지며 항복치가 작으면 슬럼프 플로우치는 증가한다. 항복치가 작아지면 슬럼프 플로우치는 비교적 양호한 상관성을 가진다.
2. 페이스트와 모르타 시험에서 제올라이트 치환율의 증가에 의해 소성점도가 증가하며 특히 제올라이트 10~20%치환 사이에서 소성점도 증가 폭이 크다.
3. 페이스트와 모르타시험에서 제올라이트 10% 치환시에 압축강도가 가장 좋게 나타난다.

#### <참고문헌>

1. 강석화, 박칠림, "초유동 콘크리트의 메카니즘", 콘크리트학회지, 1994.2, pp32-41
2. 泉 達男 外3人, "高流動コンクリートのレオロジ-特性に関する基礎的研究", 콘크리트工學年次論文報告集, 1994, Vol.16, No.1, pp177~182
3. 寺田謙一 外2人, "超流動コンクリートの各種コンシステンシ-評價試驗方法に関する研究(その9:모르타의 레오로지-試驗(1)(2))", 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1994.9, PP495-498
4. 小野山貫造 外6人, "超流動コンクリートの調合に関する實驗的研究(その3: 모르타層의 레오로지-특성)", 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1994.9, PP 577-578
5. 枝松良展 外2人, "모르타의 플로-値に及ぼす粉體特性の影響", 콘크리트工學年次論文報告集, 1994, Vol.16, No.1, pp77~82