

고로슬래그미분말을 혼입한 고유동콘크리트에서 골재조합이 콘크리트 유동성상에 미치는 영향에 관한 실험 연구

The Effect of Combined Aggregates on Fluidity of the High Fluid Concrete Containing GGBFS

김재훈* 윤상천** 지남용***
Kim, Jae-Hun Yoon, Sang-Chun Jee, Nam-Yong

Abstract

The purpose of study is to offer base data for high fluid concrete mix property, as grasp effect of aggregate to reach much more effect for producing high fluid concrete. For this study, there are three types of combined aggregates, river sand + river aggregate(type A), river sand + crushed aggregate(type B), washed sea sand + crushed aggregate(type C) and take a factor, water-contents, water-binder ratio and S/a. And so, we had following conclusion, resulting application-ability of high fluid mortar by K-slump tester to use a handy consistency measuring instrument. And so, we had following conclusion, resulting application-ability of high fluid concrete by K-slump tester to use a handy consistency measuring instrument.

- 1) In case of regular water binder ratio, high fluid concrete suffered much effect of combined aggregates and water binder ratio. Range of water binder ratio by combined aggregates is w/b 0.4 downward(type A and B), w/b 0.35 downward(type C).
- 2) Water contents to need for producing high fluid concrete is minimum 170kg/m³ without regard to combined aggregates.
- 3) The effect of S/a on high fluid concrete by combined aggregates is approximately S/a 50% (type A and B), s/a 50-55% (type C).
- 4) Consistency measuring of high fluid concrete by K-slump tester is possible and first indication value, high fluid concrete can be produced, is 6~10.5cm.

키워드 : 고유동콘크리트, 고로슬래그미분말, 물결합재비, 단위수량, 골재조합, K-슬럼프 테스터

key word : High Fluid Concrete, Ground Granulated Blast Furnace Slag(GGBFS), Water-Binder Ratio, Water Contents, Combined Aggregates, K-slump tester

1. 서론

고유동콘크리트는 자기충전성이 우수하고 다짐없이 콘크리트를 타설할 수 있지만¹⁾ 굳지않은 콘크리트의 유동성상이나 충전성이 경화콘크리트의 품질에 영향을 미치기 때문에 굳지않은 콘크리트의 품질관리가 중요하다. 그러나 고유동콘크리트는 유동성과 재료분리 저항성을 높이기 위하여 보통콘크리트 배합보다 결합재량이나 고성능 감수제의 사용량을 많게 하고 잔골재율을 크게 한다. 따라서 굳지않은 고유동콘크리트의 성상은 혼화제 종류나 골재의 입도, 표면수율 등의 변동에 의한 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다²⁻⁶⁾. 고유동콘크리트에 관한 국내 연구의 대부분은 콘크리트의 유동특성 등에 관한 연구⁵⁾를 진행하고 있으며 일부는 실용화 단계에 있지만 골재 변동을 대상으로 한 연구는 매우 적은 실정⁸⁾이다. 특히, 오늘날 국내 골재의 현실은 지역마다 사용되는 골재가 매우

상이한 점을 고려할 때 고유동콘크리트의 실용화를 위해서는 골재변화에 따른 고유동콘크리트의 유동성상에 관한 자료가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 국내의 콘크리트 제조시 사용되는 골재의 경우수를 결정하여 동일한 배합에서의 골재의 조합이 고유동콘크리트의 유동성상 및 경화특성에 미치는 영향을 파악하여 고유동콘크리트 배합에 관한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험개요

본 연구의 실험인자 및 수준은 잔골재의 조립률, 단위수량, 물결합재비 및 잔골재율로서 표 1과 같다. 각 배합의 목표 슬럼프 플로우는 예비시험결과 및 문헌조사⁹⁾로 얻어진 65±5cm를 만족하도록 고성능감수제(SP-8N)를 첨가하였다. 결합재는 고로슬래그미분말(광양산)을 사용했으며, 혼입률은 배합종류에 관계없이 50%로 정했다. 한편, 잔골재의 조립률

* 한양대학교 대학원 건축공학과, 공학박사
** 경주대학교 건축공학과 조교수 공학박사
*** 한양대학교 건축공학부 조교수, 공학박사

변화가 고유동콘크리트의 유동성상에 미치는 영향을 파악하기 위하여 조립률 2.26, 2.65, 3.19를 갖는 강모래를 대상으로 실험하였다. 잔골재 조립률 변화 이외의 시험에서는 조립률 2.45의 강모래와 2.91의 세척사를 사용했으며 굵은 골재는 최대치수 25mm인 강자갈과 부순자갈을 사용하였다.

2.1 사용재료 및 배합표

본 실험에 사용된 재료의 물성 및 잔골재(강모래, 세척사)와 굵은골재(강자갈, 부순자갈)의 입도분포를 표 2와 그림 1에 각각 나타냈다.

표 1. 실험인자 및 수준

실험	실험인자	사용 골재	수 준	비고
I	잔골재 조립률	Rfm	2.26, 2.65, 3.19	W/B=0.35, S/a=50 W=170(kg/m ³)
II	W (단위수량) (kg/m ³)	Rs+Ra	165, 171, 178	W/B=0.35, S/a=50
		Rs+Ca	165, 171, 178	W/B=0.35, S/a=50
		Ss+Ca	165, 171, 178	W/B=0.35, S/a=50
III	W/B (물결합재비)	Rs+Ra	0.3, 0.4, 0.45	S/a=50, W=170(kg/m ³)
		Rs+Ca	0.3, 0.4, 0.45	S/a=50, W=178(kg/m ³)
		Ss+Ca	0.28, 0.3, 0.32	S/a=50, W=178(kg/m ³)
IV	S/a (잔골재율)	Rs+Ra	45, 50, 55	W/B=0.32, W=170(kg/m ³)
		Rs+Ca	45, 50, 55	W/B=0.32, W=178(kg/m ³)
		Ss+Ca	45, 50, 55	W/B=0.32, W=178(kg/m ³)

※ Rfm : 강모래+강자갈 (FM : 2.26, 2.65, 3.19)
Rs+Ra : 강모래+강자갈, Rs+Ca : 강모래+부순자갈,
Ss+Ca : 세척사+부순자갈
각 항목에서 고로슬래그 미분말은 50% 혼입함.

표 2. 사용재료의 물성

재료구분	종 류	재 료 물 성
분 체	OPC	포틀랜드시멘트 비중:3.15 분말도 : 3,190cm ³ /g
	Sg	고로슬래그 미분말(광양산) 비중: 2.90 분말도: 4,560cm ³ /g
혼 화 제	Sp	고성능감수제 폴리칼본산계(SP-8N)
잔 골 재	S	강화산 (5mm) 비중: 2.51 조립률: 2.26
		강화+평택(5mm) 비중: 2.54 조립률: 2.65
		평택산 (5mm) 비중: 2.57 조립률: 3.19
		한강산 (5mm) 비중: 2.57 조립률: 2.45
		세척사 (5mm) 비중: 2.57 조립률: 2.91
굵은골재	G	강자갈 평택산 25(mm) 비중: 2.61 조립률: 6.49
		부순자갈 안양산 25(mm) 비중: 2.70 조립률: 6.86

2.2 콘크리트 혼합 및 측정방법

1) 콘크리트 혼합

콘크리트는 표 4의 배합표에 따라 강제식 믹서(팬타입 : 60 l, rpm조절 가능)를 사용하여 1batch 당 약 25 l 를 혼합하였다.

혼합방법은 그림 2와 같이 시멘트와 고로슬래그 미분말 및 잔골재를 건비빔하여 고르게 분포시킨 다음 혼합수(고성능감수제 첨가)를 투입하여 모르타 상태로 만든 후 굵은골재를 투입하여 2분 30초간 혼합하여 총 4분 30초 동안 혼합하였다. 이때 잔골재의 표면수율 변화에 따른 콘크리트의 유동성 변화를 방지하기 위하여 신속수분계(SMT)를 이용하여 모든 배합의 표면수율을 동일하게 유지시키면서 혼합하였다.

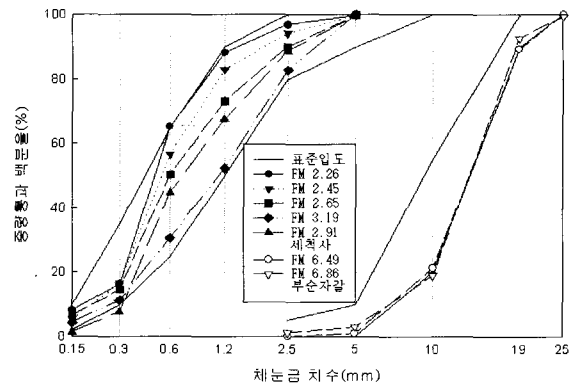


그림 1. 사용골재의 입도분포 곡선

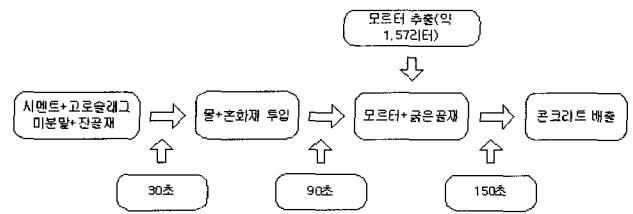


그림 2. 콘크리트 혼합방법

2) 측정방법

본 실험의 측정항목 및 측정방법은 표 3과 같다.

표 3. 실험항목 및 방법

측정항목	비 고
1 슬럼프플로우	KSF 2402에 의거 붕다짐없이 한번에 투입후 플로우 50cm 도달까지의 시간 측정
2 V형깔때기 낙하시험	깔때기 안에 콘크리트 한번에 투입후 콘크리트가 토출구를 완전히 빠져나갈때까지의 시간 측정 (그림 3)
3 L-플로우 시험	연직부에 콘크리트를 다짐 없이 투입한 후, 수직판을 들어올려 콘크리트가 L-플로우 50cm를 통과할 때의 시간을 측정 (그림 4).
4 공기량 측정	KSF 2421에 의거 실시
5 K-Slump시험	Ø15×30cm의 원주형 압축물드에 콘크리트를 넣은 후 중심부에 K-시험기를 꽂은 후 1분 후 시험기의 지지자의 높이 및 인발 후의 지지자 위치를 측정 (사진 1).
6 압축강도/탄성계수	KSF 2403, 2405에 의거 실시

표 4. 배합계획표 및 실험결과

항목	W/B	S/a (%)	슬래그 치환율 (%)	중량배합(kg/m³)					Sp (B×%)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	V깔대기 (sec)	L-Flow (sec)	K슬럼프 (cm)	압축강도 (kg/cm²)	
				W	C	Slag	S	G								
강모래 I + 강자갈	I	0.35	50	50	170	243	243	799	821	0.75~1.00	53.5~64.0	3.50~4.00	15.50~20.93	7.16~11.35	5.25~ 8.00	554~613
										0.75~1.10	42.0~66.0	1.00~1.90	12.19~26.14	3.67~ 5.63	4.30~10.75	487~587
										0.75~1.20	29.0~67.0	0.90~2.50	11.72~26.80	5.56~13.48	1.25~10.50	496~570
	II	0.35	50		165	236	236	821	834	0.85~1.00	60.5~69.0	1.10~1.90	14.00~23.29	7.18~23.29	5.00~ 6.00	528~630
					171	244	244	806	819	0.75~0.90	60.5~63.5	1.70~2.00	11.23~13.18	8.37~13.80	5.75~ 8.50	505~601
					178	254	254	788	801	0.70~0.80	60.5~68.5	1.25~1.50	8.69~ 9.18	5.47~ 9.43	6.75~10.25	540~615
	III	0.3	50		170	283	283	774	786	0.80~1.00	66.0~73.5	0.90~1.60	12.90~20.60	7.72~11.02	8.50~10.75	603~747
					170	213	213	834	847	0.84~0.95	58.5~64.5	1.20~2.35	10.40~18.60	5.82~13.37	5.00~ 7.00	473~512
					170	189	189	854	868	0.87~0.94	51.0~58.5	1.10~3.40	25.79~폐쇄	8.35~14.98	4.50~ 8.50	379~457
	IV	0.32	50		170	266	266	710	882	0.75~0.80	69.0~70.0	1.00~1.55	9.27~24.48	4.35~ 8.20	9.00~10.50	580~631
					170	266	266	789	801	0.85~0.90	63.0~69.0	1.60~1.90	9.79~27.58	7.19~13.17	7.50~ 9.50	588~710
					170	266	266	868	721	1.00~1.15	69.0~70.0	1.40~2.95	12.00~33.51	5.94~12.20	5.00~10.25	583~730
강모래 + 부순모래	I	0.35	50	165	236	236	821	863	1.2~1.28	65~68.5	2~2.7	21.83~29.8	12.05~19.85	3~3.25	598~659	
				171	244	244	887	762	1.18~1.22	64.5~69.5	1.4~3.2	19.3~27.72	5.83~6.39	5~6.5	593~620	
				178	254	254	710	911	1.05~1.15	60~70	1~1.8	15.84~22.42	4.9~5.43	5.25~7	600~609	
	III	0.4	55	178	297	297	752	791	1.1~1.14	63~70	1~1.5	9.38~12.67	4.77~6.01	7.75~8.5	710	
				178	254	254	789	828	1.05~1.24	38~59	1.3~1.6	8.66~15.33		2.75~6.25	523~549	
				178	223	223	816	857	1.2~1.3			57.3	0.5		452	
	IV	0.32	50	178	278	278	691	888	1.08~1.15	65.5~68.5	1.3~2.8	3.74~6.04	6.86~8.47	7~8.25	601~635	
				178	278	278	768	807	1.1~1.14	63~67.5	1.1~1.6	20.64~28.89	6.16~8.47	9.5~10.5	588~623	
				178	278	278	845	726	1.12~1.22	64~69	1.4~2.8	9.77~10.3	5.6~6.58	3.75~9	617~654	
	바다모래 + 부순모래	I	0.35	50	165	236	236	885	863	0.87~0.96	65.6~68	1.1~1.8	47.5~84	7.19~9.26	7.1~7.5	494~566
					171	244	244	869	847	0.8~0.89	65.5~66	1.1~1.7	45.5~57	8.05~8.69	7~8.25	503~544
					178	254	254	850	828	0.72~0.85	66~70.5	1.1~1.9	13.85~16	5.67~6.57	7.75~8.5	543~601
III		0.3	50	185					0.66~0.75	70	0.9~1.4	15.2~40.38	3.96~5.46	8.25~8.5	552~616	
				178	318	318	792	772	0.8	71	1.5	16.25	6.53		577~601	
				178	297	297	811	791	0.69	65	3.5	14.72	6.61		527~552	
IV		0.32	50	178	278	278	828	806	0.6	57.5	1.3	28.5	13.91		564	
				178	278	278	745	888	0.7~0.72	61.5~67	1.4~1.9	51.24~62	7.89~10.88	8~9.25	604~653	
				178	278	278	828	806	0.7~0.72	63.5~65	1.6~2.3	12.69~23.79	7.64~8.99	7.5~8	618~683	
IV		0.32	55	178	278	278	911	725	0.7~0.715	58.5~67	1.5~2.1	9.67~13.7	7.02~8.19	7.25~7.5	566~662	

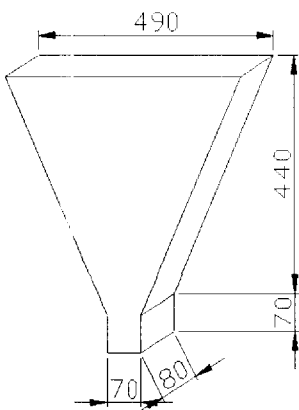


그림 3. V형 깔대기

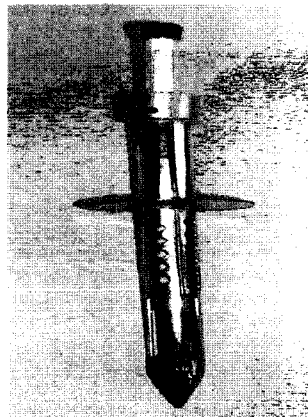


사진 1. K-슬럼프 시험기

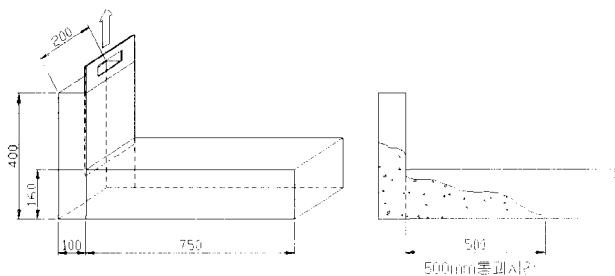


그림 4. L-플로우 시험 장치

3. 실험결과 및 고찰

3.1 조립물의 영향

잔골재의 조립물 변화가 고유동콘크리트의 슬럼프 플로우 및 혼화제 첨가율에 미치는 영향을 그림 5에 나타냈다.

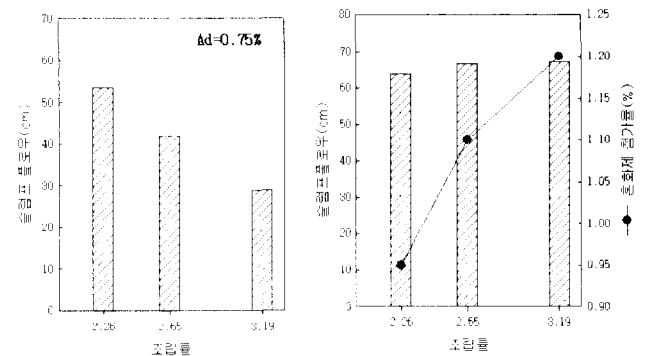


그림 5. 잔골재의 조립물 변화에 따른 고유동콘크리트의 슬럼프 플로우 변화

고유동콘크리트의 슬럼프 플로우는 동일한 혼화제 첨가율 (Ad=0.75%)에서 조립물이 커질수록 저하되는 것으로 나타났다. 또한 목표 슬럼프 플로우(65±1cm)를 얻기 위한 혼화제 첨가율은 조립물이 커질수록 증가되는 것으로 나타났다. 이것

은 조립률이 클수록 슬럼프 플로우가 증가된다는 기존연구와 상이한 결과4)로서 본 실험에 사용된 잔골재는 기존연구와 같이 동일한 골재를 체가름하여 조립률을 인위로 조정된 것이 아니기 때문에 콘크리트의 유동성에 영향을 크게 미치는 0.15~0.3mm의 미립분 범위가 사용골재별로 11.3~16.5%로서 상대적으로 조밀하여 미립분의 영향을 적게 받기 때문에 조립률이 클수록 잔골재내에 굵은 입자가 많이 포함되어 모르터의 점성저하에 기인하는 것으로 판단된다. 한편,五味⁴⁾(Sudo)의 결과에 의하면 물결합재비가 적으면(W/B=0.4 이하) 조립률 변화에 따른 혼화제 첨가량의 차이가 없다고 하였으나 본 실험결과에 의하면 적은 물결합재비(W/B=0.35)에서도 조립률이 클수록 혼화제의 첨가량이 증가됨으로 잔골재의 입형 영향도 큰 것으로 판단된다. 따라서 잔골재의 조립률 및 입형이 고유동콘크리트의 유동성상에 미치는 영향에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

3.2 단위수량

단위수량변화에 따른 혼화제 첨가율과의 관계(W/B: 0.35, S/a: 50%)는 그림 6과 같다.

고성능감수제의 첨가율은 단위수량이 증가됨에 따라 감소되었으며 이것을 사용된 골재 조합별로 살펴보면 강모래+강자갈 (이하 A형 조합으로 표기), 강모래+부순자갈(이하 B형 조합), 세척사+부순자갈(이하 C형 조합으로 지칭함)에서 단위수량이 165 kg/m³에서 178 kg/m³로 증가됨에 따라 각각 평균 16%, 9.2%, 23.9%정도 혼화제 첨가율이 감소되는 것으로 나타났다.

한편, 골재조합에 따른 혼화제 첨가량은 C형, A형, B형 조합 순으로 증가되었으며 동일한 잔골재를 사용한 A, B형 조합을 비교하면 굵은골재로서 강자갈을 사용한 경우에 부순자갈을 사용한 것보다 혼화제 감소율 폭이 컸으며, 굵은골재가 동일한 경우에는 세척사가 강모래보다 혼화제 감소율 폭이 큰 것으로 나타났다.

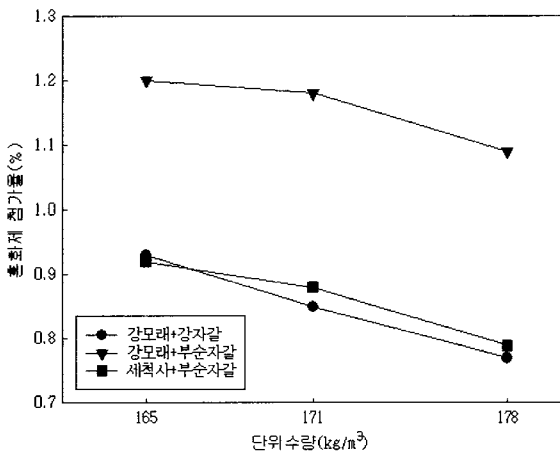


그림 6. 단위수량 변화에 따른 혼화제 첨가율 관계

3.3 물결합재비(W/B)

그림 7은 단위수량을 일정하게 유지한 상태(A형 조합 :

170 kg/m³, B형 조합 및 C형 조합 : 178 kg/m³)에서의 물결합재비(이하 W/B로 표기) 변화에 따른 혼화제 첨가율과의 관계를 나타낸 것이다.

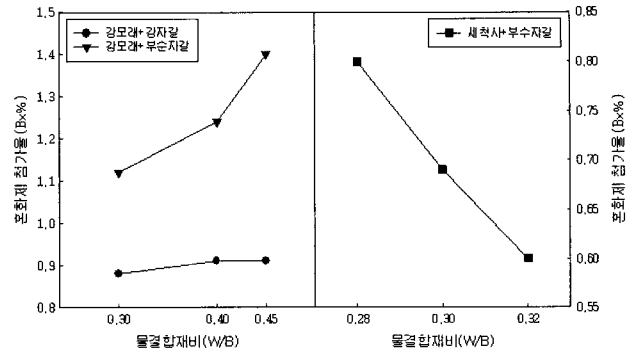


그림 7. 물결합재비에 따른 혼화제 첨가율 관계

혼화제 첨가율은 A, B형 조합에서는 W/B비가 커질수록 증가하는 경향을 보였으나 C조합에서는 감소하는 경향을 나타냈다. 한편 W/B비 변화에 따른 슬럼프 플로우 결과(표 4)를 살펴보면 A형 조합에서는 W/B비 0.45정도에서 목표 슬럼프 플로우 범위에 근접하지만 일부 폐색현상 등의 발생을 고려할 때 W/B비는 0.4정도가 바람직한 것으로 생각된다. B형 조합에서는 W/B비 0.45에서는 고유동콘크리트를 만들 수 없었으며 W/B비 0.4인 경우는 고유동 범위에 도달하지 못하는 배합도 있었다. 또한, C형 조합도 W/B비 0.35이상에서는 B형 조합과 같이 고유동콘크리트를 얻기 어려운 것으로 나타났다 (예비실험으로 확인 함). 이러한 현상은 A, B형 조합의 W/B비 0.45인 경우, 단위 결합재량 378 kg/m³(A형) 및 446kg/m³로서 분체계 고유동콘크리트 제조에 요구되는 단위 결합재량 500 kg/m³ 이상을 만족하지 않기 때문에 콘크리트내 점성 부족으로 발생된 것으로 생각된다. 따라서 고로슬래그 미분말 50% 혼입한 배합에서 콘크리트의 유동성을 고려할 때, A형 및 B형 조합은 W/B비 0.4이하, C형 조합인 경우는 W/B비 0.35이하인 것으로 판단된다.

3.4 잔골재율

일정한 조건(W/B : 0.32, 단위수량 : A형 조합-170 kg/m³, B, C형 조합-178 kg/m³)하에서 잔골재율 변화에 따른 혼화제 첨가율과의 관계를 사용골재의 조합별로 나타낸 것이 그림 8이다.

고유동콘크리트를 얻기 위한 혼화제 첨가율은 잔골재율이 커짐에 따라 A, B형 조합에서는 증가하였으나 C형 조합에서는 약간 감소하거나 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 A, B형 조합인 경우 잔골재율이 커질수록 콘크리트내의 잔골재의 미립분 용적의 증가로 콘크리트 점성이 증가되고 골재내의 흡착수 증가가 콘크리트의 유동성을 저하시키기 때문에 혼화제 첨가율이 증가되는 것으로 생각된다. 반면 C형 조합에서는 세척사 내의 미립분이 적기 때문에 잔골재율이 증가하여도 목표 슬럼프 플로우를 얻기 위한 혼화제량의 변화는 거의 없는 것으로 판단된다.

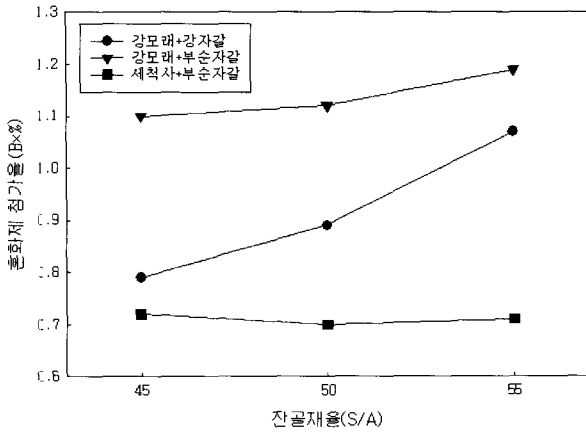


그림 8. 잔골재율 변화와 혼화제 첨가율과의 관계

3.5 측정방법에 따른 고유동콘크리트의 유동성 평가

1) 단위수량

그림 9~11은 단위수량 변화에 따른 고유동콘크리트의 유동 시간을 측정기기별로 나타낸 것으로 단위수량이 증가함에 따라 모든 측정기기의 측정시간이 감소하는 경향을 보이고 있으나 골재조합에 따라서 다소 차이가 있었다.

이를 측정기기별로 보면 슬럼프플로우 시간은 단위수량 변화에 따라 약 4~9초 정도의 값을 보였으며 L 플로우 시간은 약 20초~8초 정도의 값을 나타냈다. V갈때기 시간 측정의 경우에는 골재조합에 따라 70초~12초 정도로 걸려 다른 측정기기보다 단위수량 변화에 따른 영향을 판단하기가 용이했다. 특히 단위수량 165 kg/m³인 경우 일부 배합에서 폐색현상이 나타나기도 했다. 따라서 V갈때기 측정시간 결과와 3.2절의 결과로 볼 때 본 실험조건에서의 고유동콘크리트를 얻기 위한 최소 단위수량은 170 kg/m³이상으로 판단된다.

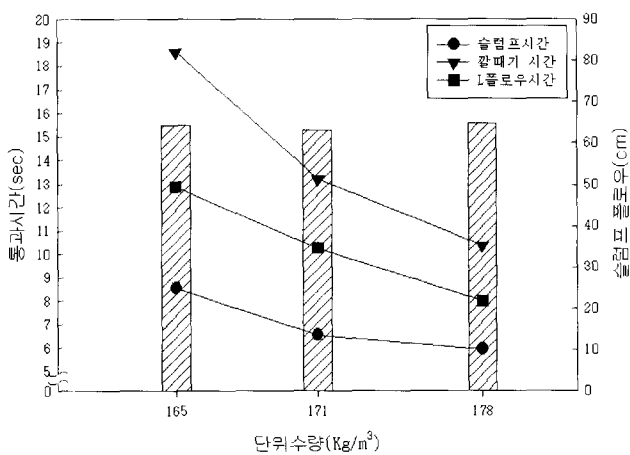


그림 9. 단위수량과 콘크리트 유동성 측정방법의 측정시간과의 관계 (강모래+강자갈)

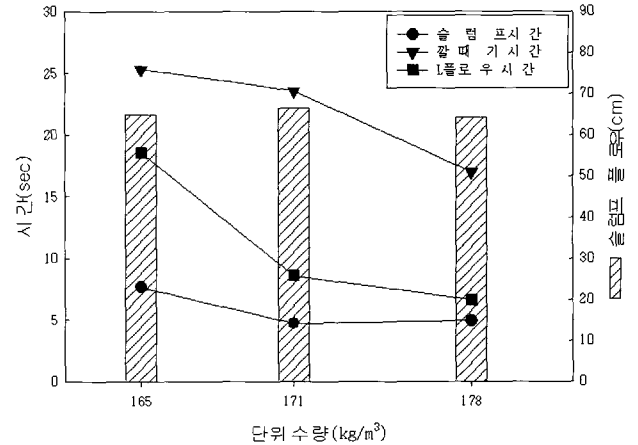


그림 10. 단위수량과 콘크리트 유동성 측정방법의 측정시간과의 관계 (강모래+부순자갈)

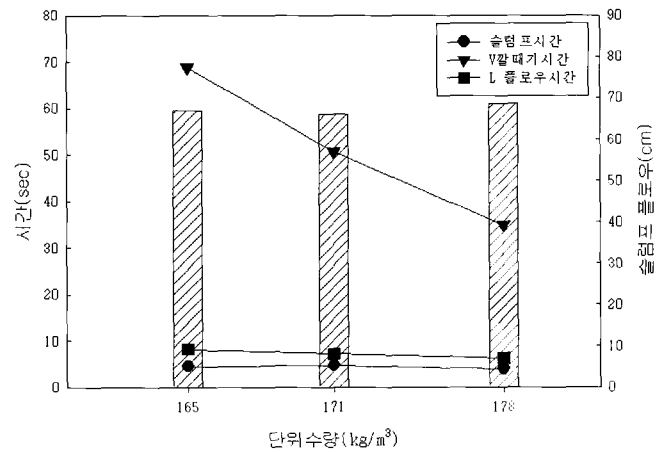


그림 11. 단위수량과 콘크리트 유동성 측정방법의 측정시간과의 관계 (세척사+부순자갈)

2) 물결합재비(W/B)

그림 12~14는 물결합재비 변화와 고유동콘크리트의 측정방법과의 관계를 골재 조합별로 나타낸 것이다.

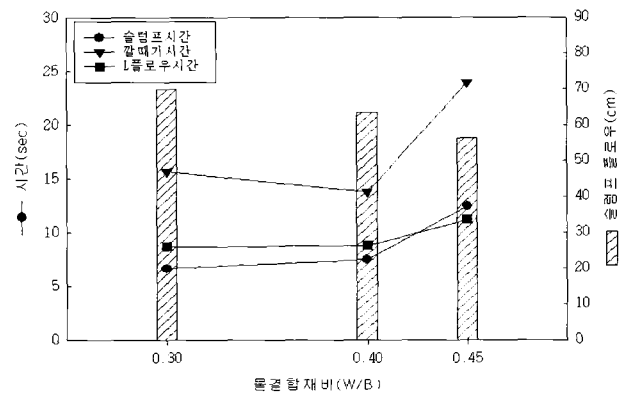


그림 12. 물결합재비와 콘크리트의 유동성 측정방법의 측정시간과의 관계(강모래+강자갈)

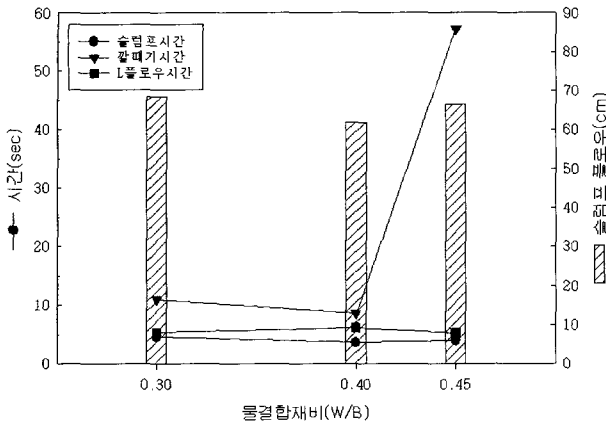


그림 13. 물결합재비와 콘크리트의 유동성 측정방법의 측정시간과의 관계 (강모래+부순자갈)

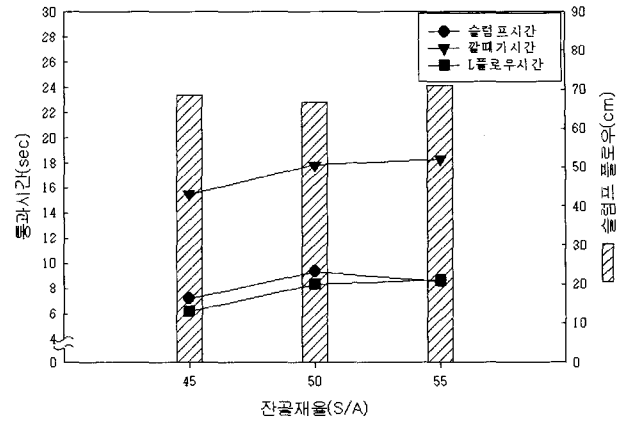


그림 15. 잔골재율과 콘크리트 유동성 측정방법의 측정시간과의 관계 (강모래+강자갈)

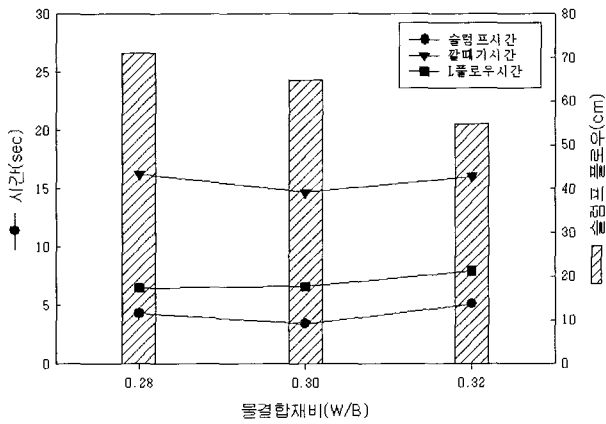


그림 14. 물결합재비와 콘크리트의 유동성 측정방법의 측정시간과의 관계 (세척사+부순자갈)

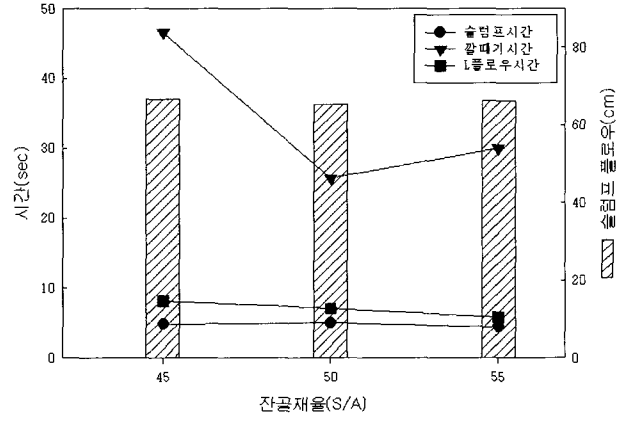


그림 16. 잔골재율과 콘크리트 유동성 측정방법의 측정시간과의 관계 (강모래+부순자갈)

고유동콘크리트의 유동시간은 골재 조합 및 측정기기에 따라 약간 다르게 나타나 A형 조합에서는 W/B비가 높아짐에 따라 측정방법 모두 약간 증가했으나 B, C형 조합에서는 깔때기 낙하시간 이외에는 큰 차이가 없었다. 그러나 A, B형 조합의 W/B비 0.45인 경우 목표 슬럼프 플로우값에 미치지 못했으며, V깔때기 낙하시간은 25~58초 정도 걸렸으며, 일부에서는 폐색현상도 보여졌다. 반면 C형 조합에서는 A, B형 조합과 같이 V깔때기 낙하시간의 급격한 증가는 보이지 않았다. 이것은 C형 조합인 경우 A, B형 조합의 W/B비가 0.3~0.45의 범위에 위치하지만 C형 조합에서는 W/B비가 0.28~0.32로서 상대적으로 W/B 위치범위가 적기 때문에 나타난 것으로 생각된다.

3) 잔골재율

그림 15~17은 잔골재율 변화에 따른 고유동콘크리트의 유동성 측정시 평가방법의 영향을 나타낸 것으로 측정시간은 사용된 골재의 조합에 따라 차이가 발생했다.

A형 조합인 배합에서는 잔골재율이 증가할수록 측정 측정 시간이 길어졌으나 B, C형 조합에서는 잔골재율이 증가할수록 측정시간이 감소했다. 측정기기의 종류별로 보면 슬럼프 플로우나 L플로우 측정법은 잔골재율 변화에 대하여 명확한 차이를 보이지 않았으나 V깔때기 낙하시간 결과는 잔골재율 45%인 경우 폐색되거나 상당한 시간이 소요되었으며, 잔골재율이 증가할수록 측정시간이 감소되는 것을 알 수 있었다. 따라서 고유동콘크리트의 유동성은 슬럼프 플로우 이외에 V깔때기 통과시간의 측정을 병행하는 것이 바람직한 것으로 사료되며, 측정시간 및 표 3의 결과로 볼 때 본 실험조건에서의 고유동콘크리트의 잔골재율은 A형 조합인 경우 약 50%정도, B형 및 C형 조합에서는 50~55% 정도로서 A형 조합보다 약 10% 정도 높이는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 이것은 굵은골재로 부순자갈을 사용한 경우 콘크리트 유동시 발생되는 골재간의 마찰력을 감소시키기 위해서는 잔골재량의 증가가 필요하며, 세척사인 경우에는 잔골재내의 미입자 부족으로 콘크리트 점성이 감소되기 때문에 잔골재율을 증가시켜 점성을 확보하기 위한 것이다.

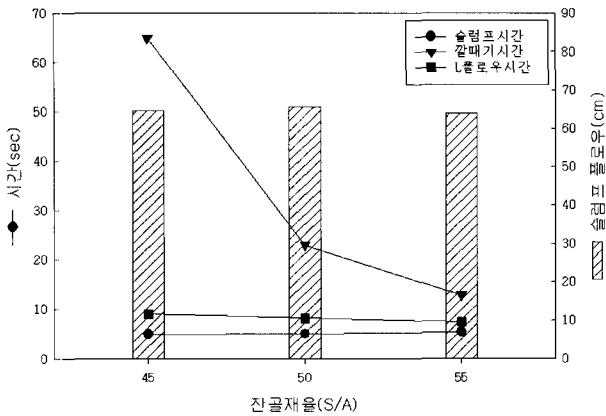


그림 17. 잔골재율과 콘크리트 유동성 측정방법의 측정시간과의 관계 (세척사+부순자갈)

3.6 K-슬럼프 시험기기의 적용성 평가

그림 18~20은 콘크리트의 컨시스턴시(Consistency)를 측정하기 위한 K-slump 시험기의 고유동콘크리트에 대한 적용 가능성을 검토한 것이다.

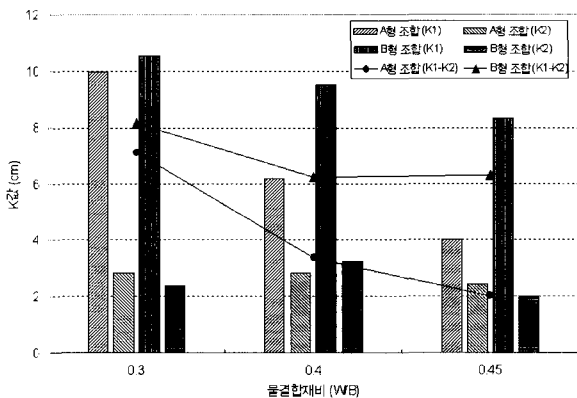


그림 18. 물결합재비 변화와 K-slump 시험값의 관계

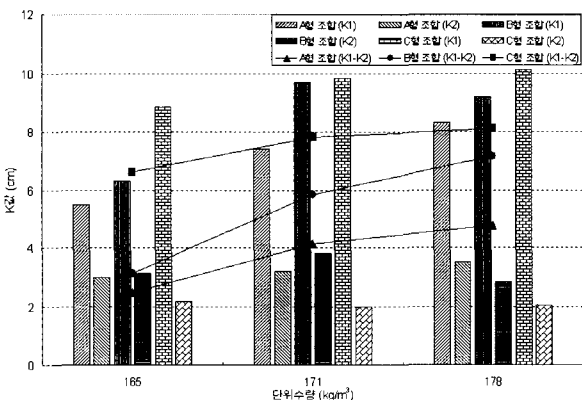


그림 19. 단위수량 변화와 K-slump 시험값의 관계

K-slump 시험기로 대상 콘크리트를 측정된 결과, 시험기의 초기값(K1)이 6cm이하에서는 고유동콘크리트를 얻을 수 없었으며 슬럼프 플로우 65±5cm를 만족하기 위한 K1값의 범위는 6~10.25cm이었으며 K-slump 시험기 인발 후의 값(K2)은

0.5~4cm의 값을 나타냈다. 이것으로 시험기의 초기값(K1)은 콘크리트의 유동성을 나타내고, K2값은 콘크리트의 점성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 따라서 고유동콘크리트의 유동성의 간이 측정방법으로 K-slump 시험기를 이용할 수 있지만, 이를 정량적으로 적용하기 위해서는 추후 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

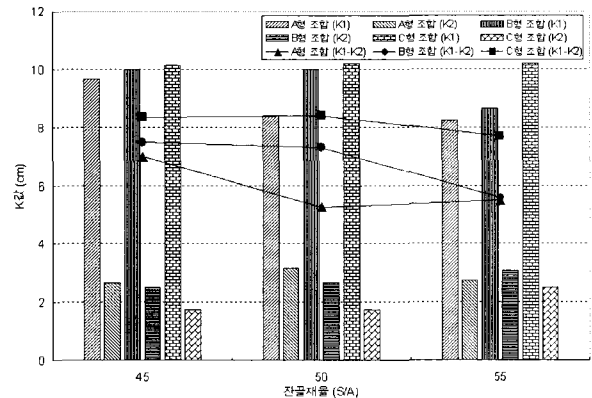


그림 20. 잔골재율 변화와 K-slump 시험값의 관계

3.7 콘크리트의 역학적 특성

그림 21은 W/B와 고유동콘크리트의 압축강도 관계를 나타낸 것으로, 고유동콘크리트의 압축강도는 보통콘크리트와 같이 W/B에 반비례하는 것을 알 수 있었다. 본 실험조건에서 콘크리트 압축강도는 재료분리가 발생된 W/B 0.4 이상을 제외한 배합에서는 487~730 kg/cm²를 나타내어 고로슬래그 미분말의 치환에 의한 고강도가 가능한 것을 확인하였다. 한편, 콘크리트 압축강도를 각 실험인자별로 분석하면, 조립률이 적을수록 압축강도가 크며 단위수량에 의한 압축강도 차이(표 3)는 약 5~7%로서 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 본 연구범위에서의 고유동콘크리트의 단위수량 범위는 실험결과(표 3)을 고려할 때 일본의 고유동콘크리트 배합기준안의 175 kg/m³보다 다소 높은 180 kg/m³까지 가능할 것으로 생각된다.

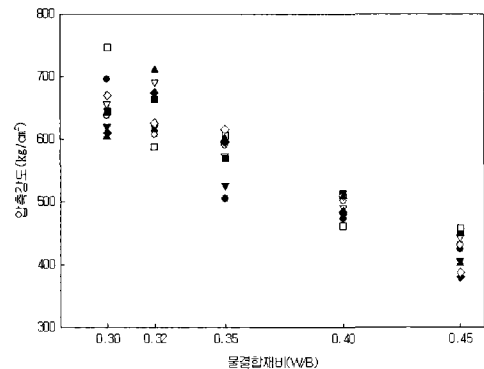


그림 21. 물결합재비에 따른 압축강도

잔골재율 변화에 따른 압축강도는 표 3과 같이 잔골재율이 높을수록 큰 것으로 나타났다. 이러한 현상은 잔골재율이 높을수록 콘크리트 내에서 굵은골재는 감소되고 모르타르 부분이

증가되기 때문에 강도가 크게 되는 것으로 판단되며, 잔골재율 55%에서 약간의 재료분리 현상이 보여졌으나 강도시험결과 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

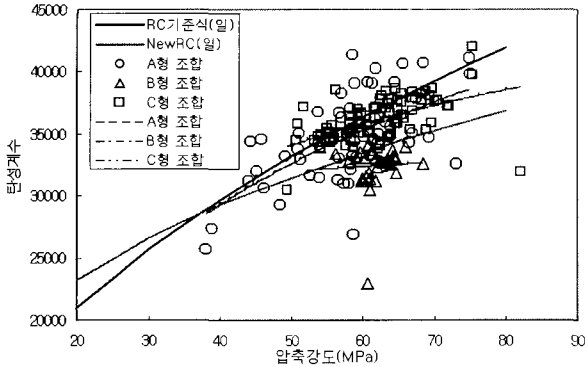


그림 22. 고유동콘크리트의 압축강도와 탄성계수의 관계

한편, 고유동콘크리트의 탄성계수와 압축강도와의 관계를 골재조합에 따라 나타낸 것이 그림 22으로 A,C형 조합은 RC 기준식 및 New RC 기준식 범위에 위치하고 있으나 B형 조합인 경우 New RC 기준에 미달한 것으로 나타났다 또한, 이 결과를 ACI(318-9510)의 탄성계수 규정값($E_c=4,731\sqrt{f'_c}$: 29,150~40,960 MPa)과 비교할 경우 A형 조합은 25,600~41,000 MPa(87.8~100%), B형 조합은 30,000~34,000 MPa(103~83%), C형 조합은 30,000~37,000 MPa(103~87%)로서 500kg/cm³ 이상의 강도에서 13~17%정도 낮은 값을 나타냈다. 이러한 결과는 사용된 굵은골재(부순자갈)의 영향으로 판단된다.

4. 결 론

결합재로서 고로슬래그미분말을 치환한 고유동콘크리트를 대상으로 사용골재 종류에 따른 유동성상 및 역학적 성질에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

- 1) 고유동콘크리트의 유동성은 잔골재의 조립률의 변화에 따라 차이가 발생하며 0.15~0.3mm의 잔입자 분포 범위에 큰 차이가 없을 때는 조립률이 클수록 유동성은 감소된다.
- 2) 고로슬래그미분말 50% 첨가한 경우 슬럼프 플로우 65±5cm를 얻기 위한 고유동콘크리트의 물결합재비는 사용된 골재 종류마다 다르다. 이것은 사용된 골재에 따라 고유동을 얻기 위한 콘크리트의 점성 차이로 판단되며, 본 실험에서의 물결합재비는 강모래+강자갈, 강모래+부순자갈의 경우 물결합재비 0.4 이하, 세척사+부순자갈의 경우에는 0.35 이하가 바람직하다.
- 3) 잔골재율 변화에 의한 고유동콘크리트의 유동성은 잔골재율이 증가할수록 목표 슬럼프 플로우(65±5cm)를 얻기 위한 고성능감수제의 사용량은 증가하나, 이것은 사용한 골재에 따라 다소 상이하여 세척사+부순자갈의 경우에는 잔골재율

55%에서 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 이것은 잔골재율이 증가하면 상대적으로 미립분이 많은 결합재량 감소로 인한 콘크리트 점성이 저하되기 때문에 고성능감수제의 첨가율이 저하된 것으로 생각되며, 고유동콘크리트를 얻기 위한 잔골재율 범위는 강모래+강자갈의 경우에는 45~50%, 강모래+부순자갈과 세척사+부순자갈을 사용할 경우에는 50~55%의 범위로 나타났다.

- 4) 고유동콘크리트의 유동성 평가를 기존의 슬럼프 플로우, V형 깔대기 낙하시험, 및 L 플로우 시험을 적용하여 평가한 결과 콘크리트 유동성은 슬럼프 플로우와 V형 깔대기를 병용하여 측정하는 것이 타당하다
- 5) 고로슬래그미분말 치환 50%에서 고유동콘크리트의 압축강도는 물결합재비에 따라 차이가 있으나, 슬럼프 플로우 65±5cm의 범위에서는 약 487~730 kg/cm³로서 고강도의 고유동콘크리트를 제조할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅, “하이퍼퍼포먼스콘크리트,” 技報堂, 1993. 9
2. 竹内博幸, 吉井一郎 “高流動コンクリートの配合設計および製造に関する研究”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 18, No.1, 1996, pp.39~44
3. 山口昇三, 松枝良展, 岡村甫, “モルタルフロ-値に及ぼす細骨材特性の影響”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.16, No. 1, 1994, pp. 83~88
4. 岩井信彰, 梶田佳寛 阿部道彦, “高流動コンクリートのフレッシュ性狀に及ぼす骨材の性狀・寸法の影響”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.18, No. 1, 1996, pp. 117~122
5. 須藤榮治, 梶田佳寛, 五味信治, “細骨材の組立率が高流動コンクリートのフレッシュ時の性狀におよぼす影響”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.18, No. 1, 1996, pp. 123~128
6. 平田隆祥, 竹田宣典, “高流動コンクリートのフレッシュ性狀に及ぼす骨材粒度の影響”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 17, No.1, 1995, pp.81~86
7. 강병희의 2인, “고유동콘크리트의 현장 적용성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, Vol 14., No7 구조계, 1998. 7, pp.77-78
8. 김무한의 3인, “고유동콘크리트의 제조시스템 및 개발에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집, Vol 14., No5 구조계, 1998. 5, pp.341-348
9. 김재훈의 2인, “문헌조사를 통한 한일간의 고유동 콘크리트 사용재료의 구성에 관한 비교 연구”, 대한건축학회 논문집, 제 14권 12호, 1998.12, pp.111~118
7. P.C.AITCIN, “High Performance Concrete”, 1998, pp.269
8. ACI Committee 233, “Ground Granulated Blast Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete”, 1995