고로슬래그 미분말을 함유한 고유동 모르터의 유동성상에 미치는 영향 요인에 관한 연구

A Study on the Factors Affecting the High Fluid Mortar Containing Ground Granulated Blast-furnace Slag

김 재 훈* 윤 상 천** 지 남 용***
Kim, Jaehun Yoon, Sangchun Jee, Namyong

Abstract

High fluid concrete unlike OPC concrete is made with various material, and the phase of fresh concrete is considerably different. In order to understand fluidity phase and mix properties of high fluid concrete, concrete is required to access as suspension structure which consists of aggregate and paste.

The focus of this paper is to analyze the test results and quantify the effect of mix proportions of mortar and fineness modulus of sand on the properties of fresh mortar. The effect of water-binder ratio, sand-binder ration, contents of ggbs (by mass of total cementitious materials), and various contents of water reducing agent on the yield stress and plastic viscosity of the mix is studied.

Based on the experimental results, the following conclusions can be drawn:

(1) The mixing time needed for high fluid mortar was approximately two times more than that of ordinary portland mortar.

(2) The fluidity phase of mortar could be explained by yield stress of mix and the fluidity of mortar.

(3) As the content of ggbs increased, yield stress of mortar was decreased and plastic viscosity of it was increased.

(4) For the high fluid mortar, it was appeared that sand-binder ratio should be below 1.5.

키워드 : 고유동 모르터, 고로슬래그 미분말, 레올로지, 항복값, 소성점도, 잔골재-결합재비, 물결합재비
keywords : High Fluid Mortar, Ground Granulated Blast furnace Slag(GGBS), Rheology, Yield Stress, Plastic Viscosity, Sand-Binder ratio, Water-Binder ratio.

1. 서 론

사회기반시설 구축에 필수 불가결한 구조재료인 콘크리트는 적절한 설계와 시공에서는 안전하고 내구성이 우수한 것으로 알려지고 있다. 그러나 최근 건설현장에서의 숙련기능공의 부족과 현장 문화의 변화는 3D 업종인 건축현장의 합리화로 인하여 구조물의 고성능화가 필요한 실정에 이르게 되었다.

이에 따라 콘크리트도 고강도, 고내구성, 고유동이라고 하는 고품질화[1]가 이루어지고 있으며, 고품질화 방법 중 숙련기능공의 부족 등의 현장 여건을 감안할 때 고유동화가 가장 합리적인 방안으로 생각된다.

그러나, 고유동 콘크리트는 보통콘크리트와 달리 사용재료의 종류가 다양하고, 굳지않은 상태의 성상이 매우 상이하여 슬럼프 시험만으로는 고유동 콘크리트의 유동특성의 정확한 평가가 어렵기 때문에 콘크리트를 골재와 페이스트로 이루어진 2상 재료(Suspension)로 간주하여 레올로지적으로 접근하려는 방법[2]이 시도되고 있다.

이것은 콘크리트의 슬럼프가 주로 모르터의 항복값과 모르터 용적에 의존하며, 슬럼프 플로우 속도는 모르터의 점도에 의해 좌우된다고 하는 것으로, 콘크리트의 유동성은 배합된 모르터의 유동특성에 큰 영향을 받는다고 할 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 고유동 콘크리트의 배합 설계에 관한 기초 자료를 제시하고자 이미 실험된 페이스트의 실험결과[3]를 바탕으로, 혼합시간과 고로슬래그 미분말 치환율 및 조립률을 변화시켜 모르터의 유동성상을 레올로지적으로 해석하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험개요

2.1 실험인자 및 수준

일반적으로 고유동 모르터는 적당한 변형성과 점성이 필요하며, 변형성은 플로우, 점성은 V형 깔때기 낙하시간과 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 고유동 모르터의 유동성에 미치는 영향 요인을 분석하기 위하여 표 1과 같이 실험 인자 및 수준을 설정했다. 실험 I 에서는 고유동

* 한양대학교 대학원 건축공학과, 박사수료
** 경주대학교 건설환경공학부, 공박
*** 한양대학교 건축공학부 조교수, 공박

모르터를 제조하기 위한 혼합시간의 영향을 검토하였으며, 실험Ⅱ는 실험Ⅰ의 결과를 기초로 물결합재비, 고로슬래그 미분말 치환율 및 잔골재-결합재비(S/B)의 변화에 따른 모르터의 플로우 및 V형 깔때기 낙하시간과 모르터의 레올로지 특성을 고찰하였다. 실험 Ⅲ에서는 잔골재 조립률이 모르터의 유동성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 실험Ⅲ-1에서는 강모래(해평산 : FM-2.58)의 조립률을 2.2, 2.61, 3.0으로 조정하였으며, 실험 Ⅲ-2에서는 입도조정한 골재와 비슷한 조립률을 갖는 잔골재를 대상으로 조립률 차이에 의한 영향을 검토하였다.

표 1. 실험인자 및 수준

실 험		실험인자	실험수준	비 고	
Ⅰ		혼합시간	1분, 2분30초, 4분, 7분	W/B=0.3 Sp=1.0, 1.25	Slag= 50%, S/B= 1.5 F.M=2.58
				W/B=0.35 Sp=0.5, 0.75	
Ⅱ	1	물결합재비 (W/B)	0.3, 0.35, 0.4	S/B=1.5, Slag=50%	FM =2.58, Ad=0.5, 0.75, 1.0, 1.25%
	2	슬래그 미분말 치환율 (%)	0, 30 ,50 ,70	W/B=0.35, S/B=1.5,	
	3	잔골재-결합재비 (S/B)	1.3, 1.5, 1.7, 1.9	W/B=0.3, Slag=50%	
	4	혼화제 첨가율	0.5, 0.75, 1.0, 1.25	W/B=0.3~0.4, Slag=30%, S/B=1.3	
Ⅲ	1	조립률 (FM)	2.2, 2.61, 3.0	입도조정 (○)	W/B=0.35 S/B=1.5, Slag=50%
	2		2.26, 2,65, 3.19,	입도조정 (×)	

※ Sp : 고성능 감수제, 실험 Ⅲ-1에서 조립률 2.58은 제외

2.2 사용재료 및 혼합

1) 사용재료

재료의 물리적 특성 및 잔골재의 입도분포 곡선은 표 2 및 그림 1~2와 같다. 또한, 각 실험인자에 따른 배합표는 표 3과 같다.

표 2. 사용재료의 물성

종 류			물 성	비 고
결합재	포틀랜드시멘트		비 중: 3.15 분말도: 3,190㎠/g	실험Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ
	고로슬래그 미분말(광양산)		비 중: 2.90 분말도: 4,560㎠/g	실험Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ
잔골재	강모래	해평산(5㎜)	조립률: 2.58	실험Ⅰ,Ⅱ
			조립률: 2.2, 2.61, 3.0	Ⅲ-1 (입도조정○)
		강화산(5㎜)	조립률: 2.26	실험 Ⅲ-2 (입도조정×)
		강화+평택(5㎜)	조립률: 2.65	
		평택산(5㎜)	조립률: 3.19	
혼화제	고성능감수제 (SP-8N)		폴리카본산계 비 중: 1.04	실험Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ

표 3. 배합표

실험 구분		W/B	GGBS (%)	S/B	W	C	GGBS	S	AGENT (%)	비고
					(kg/㎥)					
Ⅰ	a	0.30	50	1.5	250	417	417	1251	1.0, 1.25	혼합시간 (1분~7분)
	b	0.35	50	1.5	280	400	400	1205	0.5, 0.75	
Ⅱ-1	a	0.30	50	1.5	250	417	417	1251	0.5, 0.75, 1.0, 1.25	-
	b	0.35	50	1.5	280	400	400	1201		
	c	0.40	50	1.5	308	385	385	1154		
Ⅱ-2	a	0.35	0	1.5	280	800	0	1201		
	b	0.35	30	1.5		560	240			
	c	0.35	50	1.5		400	400			
	d	0.35	70	1.5		240	560			
Ⅱ-3	a	0.30	50	1.3	267	446	446	1159		
	b	0.30	50	1.5	250	417	417	1251		
	c	0.30	50	1.7	235	392	392	1331		
	d	0.30	50	1.9	221	369	369	1403		
Ⅱ-4	a	0.30	30	1.3	268	624	268	1159		
	b	0.35	30	1.3	299	598	256	1109		
	c	0.40	30	1.3	328	573	246	1064		
Ⅲ-1		0.35	50	1.5	280	400	400	1201		F.M =2.2~3.0
Ⅲ-2	a	0.35	50	1.5	277	395	395	1186		F.M=2.26
	b				280	400	400	1201		F.M=2.65
	c				278	397	397	1192		F.M=3.19

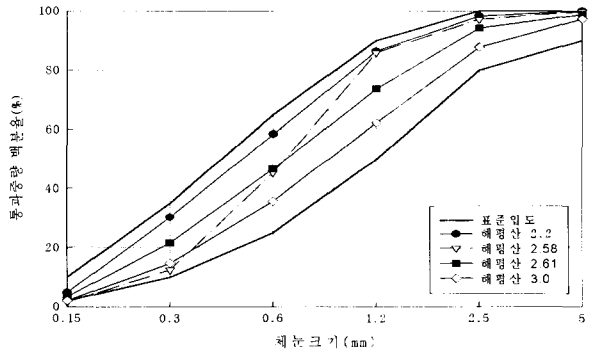

그림 1. 잔골재의 조립률별 입도분포곡선
(해평산 : 입도조정○)

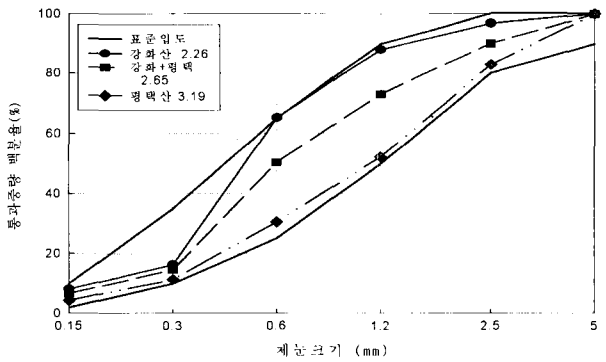

그림 2. 잔골재의 조립률별 입도분포곡선
(입도조정×)

2) 모르터 혼합

모르터 혼합은 항온·항습실(온도 20±2 ℃, 습도40 %)에서 KS L 5109에 규정된 모르터 믹서를 이용하였다.

모르터 혼합은 그림 3과 같이 실험 I 에서는 건비빔(1속-30초간) 후 고성능 감수제 및 물을 투입하고 1속-30초로 혼합한 다음 2속으로 30초, 120초, 190초, 390초 혼합하여 유동성에 미치는 혼합시간의 영향을 검토하였다. 또한 실험 II,III에서는 실험 I 의 결과를 근거로 건비빔 후 총 혼합시간을 150초(1속-30초 및 2속-120초)로 하였다.

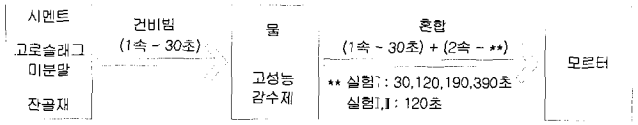

그림 3. 모르터 혼합방법(실험II,III)

2.3 측정 방법

1) 유동성

모르터의 유동성은 플로우 시험과 V형 깔때기 시험9)으로 측정하였다.

플로우는 KS L 5111에 규정되어 있는 플로우콘을 이용하여 들어 올렸을 때의 퍼진 넓이의 최대길이와 최소길이의 평균을 취하였다.

V형 깔때기 시험기의 형상과 크기는 그림 4와 같으며, 모르터가 토출구를 완전히 빠져나가는데 소요되는 시간을 측정했다.

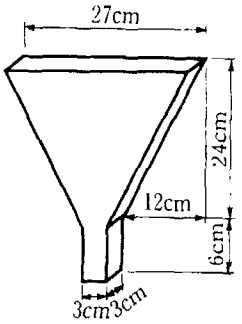

그림 4. V형 깔때기

2) 레올로지

모르터의 레올로지 정수는 사진 1에 나타낸 내원통형 회전점도계 (Brookfield HADV DII+)를 이용하여 점도계의 회전속도를 0.5~100 으로 변화시켜 전단응력과 전단속도를 측정한 후 계산했다. 시료의 온도는 Temperature bath(사진 1)를 이용하여 20 ℃로 유지했다. 본 실험에 사용된 점도계의 스핀들(Spindle SC4-29)형상과 치수는 그림 5와 같다.

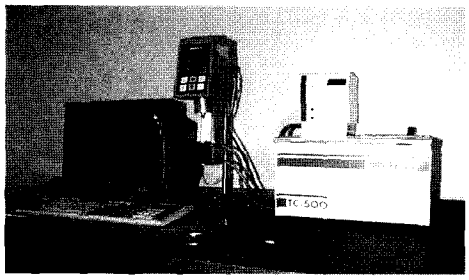

사진 1. 회전점도계 및 Temperature Bath

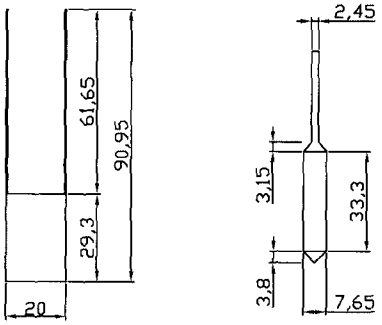

그림 5. 스핀들 형상과 치수(㎜)

표 4. 실험결과

실험 \ 측정항목	혼화제	플로우(㎜)				V형 깔때기낙하시간(sec)				항복값(Pa)				소성점도(Pa·s)			
		0.5%	0.75%	1.0%	1.25%	0.5%	0.75%	1.0%	1.25%	0.5%	0.75%	1.0%	1.25%	0.5%	0.75%	1.0%	1.25%
II-1	a	100	149	205	270.5	폐색	23.19	10.15	5.31	19.54	10.10	6.23	2.37	2.56	2.05	1.82	1.41
	b	114.5	215.5	268.5	277.5	14.56	5.65	4.03	3.41	8.71	4.61	2.13	2.73	1.51	1.67	0.99	0.99
	c	202.5	279.5	303.5	302	3.57	2.53	1.97	1.95	2.86	1.74	1.62	1.25	1.18	0.87	0.71	0.71
II-2	a	100	137	179	210.5	폐색	7.9	5	4.74	14.4	9.88	5.36	5.23	1.57	1.06	0.83	0.78
	b	139	188.5	242.0	263.5	9	5.53	4.35	4.09	7.24	5.99	3.62	2.63	1.27	1.15	1.11	1.15
	c	114.5	215.5	268.5	277.5	14.56	5.65	4.03	3.41	8.71	4.61	2.13	2.73	1.51	1.67	0.99	0.99
	d	156	263.5	288.5	281	9.37	4.74	3.63	3.16	6.24	2.76	1.74	1.24	1.46	1.34	1.06	1.06
II-3	a	100	189	236.5	284.5	폐색	11.3	6.89	4.64	15.6	7.37	4.73	2.23	2.22	1.62	1.63	1.23
	b	100	149	205	270.5	폐색	23.19	10.15	5.31	19.54	10	6.23	2.37	2.56	2.05	1.82	1.41
	c	100	100	129.5	171.5	폐색	폐색	폐색	12.51	측불	19.99	14.24	8.38	측불	2.75	2.66	1.69
	d	100	100	100	167.5	폐색	폐색	폐색	35.39	측불	측불	18.66	7.75	측불	측불	3.12	2.28
II-4	a	100	100	199	227	폐색r	폐색	8.56	6.83	12.97	11.50	5.74	5.23	2.26	2.31	1.27	1.23
	b	160.5	232	269	292	5.94	3.98	3.45	3.27	5.98	2.87	2.86	1.73	1.13	0.97	0.89	0.83
	c	235.5	279.5	298.5	312	2.58	1.94	2.09	1.86	2.74	1.5	1.23	0.76	0.85	0.8	0.83	0.71
III-1	a	100	100	184.5	256.5	폐색	측불	18.49	6.74	측불	22.32	6.05	1.99	측불	2.6	2.04	1.34
	b	100	133.5	250.5	267.5	폐색	37.13	9.19	6.08	측불	11.69	3.11	1.87	측불	1.85	1.67	1.41
	c	100	214.5	281.5	279.5	폐색	8.11	5.95	5.43	측불	7.34	2.13	2	측불	1.68	1.39	1.2
III-2	a	100	105	246.5	300	폐색	24.7	5.62	3.75	미측정				미측정			
	b	100	100	247.5	288.5	폐색	25.63	5.55	3.84								
	c	100	100	180	255	폐색	25.63	7.18	5.19								

※ 측불 : 모르터의 유동성 부족으로 측정이 불가능한 경우, 폐색 : V형 깔때기의 토출구를 빠져나오지 않는 경우

3. 실험결과 및 고찰

고로슬래그 미분말을 함유한 모르터의 유동성 및 레올로지 특성에 대한 실험결과는 표 4와 같다.

3.1 혼합시간 변화에 따른 유동성 및 레올로지

혼합시간 변화에 따른 고유동 모르터의 플로우 및 레올로지와의 관계는 그림 6~7과 같다.

모르터의 플로우는 일반적으로 혼합시간 경과와 함께 증가하였으며 150초 이후에는 감소되는 경향이 나타났다.이는 고유동 콘크리트의 경우 기존의 보통 콘크리트에 비하여 혼합시간이 증가된다는 결과4)와 유사한 것으로 생각된다.

또한, 혼합시간 150초(1속-30초, 2속 120초)이후의 플로우 감소 현상은 Ekuchi(江口)의 연구결과에서와 같이 혼합시간이 증가됨에 따라 시멘트내 C3A 분산 증대 및 C3S의 흡착량 감소에 의해 유동성이 저하되기 때문인 것으로 생각된다.

혼합시간 변화에 따른 모르터의 레올로지는 플로우와 같이 혼합시간 150초(1속-30초, 2속 120초)에서 항복값과 소성점도가 최소로 나타났으며, 150초(1속-30초, 2속 120초)를 초과한 경우에는 W/B 0.3, 고성능 감수제 첨가율 1.25 %를 제외한 배합에서 항복값과 소성점도가 증가되는 경향을 보였다. 이것은 모르터의 초기 유동의 어려움으로 인해 레올로지 정수가 증가하기 때문으로 생각된다.

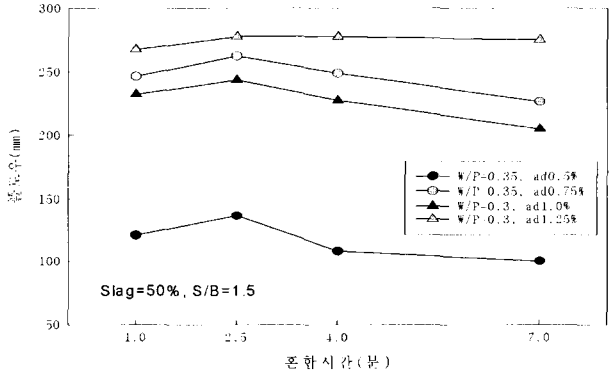

그림 6. 혼합시간과 모르터 플로우의 관계

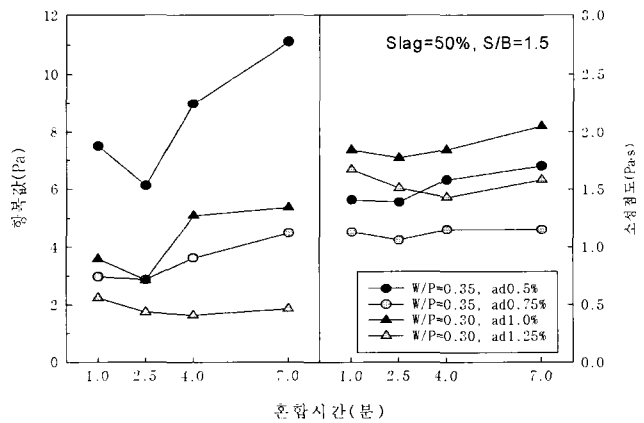

그림 7. 혼합시간 변화에 따른 모르터의 레올로지

따라서, 위의 결과를 종합할 때, 본 실험조건에서 고유동 모르터의 혼합시간은 150초가 적당한 것으로 판단된다.

3.2 배합요인 변화에 따른 유동성 및 레올로지

1) 물결합재비(W/B)

W/B와 모르터의 플로우 및 V형 깔때기의 낙하시간과의 관계를 나타낸 것이 그림 8이다. 모르터의 플로우는 W/B가 클수록 증가하지만, W/B 0.35~0.4에서는 혼화제 첨가율이 많을수록 플로우 증가폭이 감소되는 경향을 보였으며 270 ㎜를 초과하는 경우에는 재료분리 현상도 나타났다. 이것은 W/B가 작은 범위에서는 혼화제 첨가가 시멘트 입자의 분산에 효과적이지만 W/B가 큰 경우에는 과도한 잉여 수량의 발생으로 혼화제의 반발작용이 감소되어 시멘트 페이스트와 잔골재가 분리되기 때문인 것으로 생각된다.

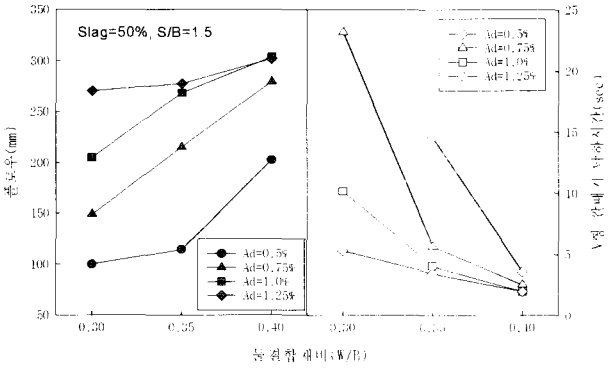

그림 8. W/B와 모르터의 플로우 및 V형 깔때기 낙하시간 관계

W/B 변화에 따른 V형 깔때기 낙하시간은 W/B가 클수록, 동일한 W/B에서는 혼화제 첨가율이 많을수록 적어지는 것으로 나타났다. W/B 0.3에서 혼화제 첨가율 0.5%인 경우 깔때기 입구가 폐색되는 현상이 발생되어 낙하시간을 측정할 수 없었으며, W/B 0.4에서는 혼화제 첨가율 증가에 따른 낙하시간의 변화가 매우 적은 것으로 나타났다. 이것은 W/B가 작고 혼화제 첨가율이 적은 상태에서는 모르터의 점성증가로 인하여 모르터의 유동이 어렵기 때문에 폐색현상이 일어나며, W/B가 크고 혼화제 첨가율이 적은 상태에서는 모르터내의 시멘트 입자간 응집력이 감소로 인한 재료분리현상으로 V형 깔때기의 낙하속도가 일정하게 되기 때문인 것으로 생각된다. 따라서, 본 실험조건에서의 경우 고로슬래그 미분말을 함유한 고유동 모르터를 만들기 위한 최대 W/B는 0.4 이하로 생각된다.

그림 9에서와 같이 W/B가 모르터의 항복값과 소성점도에 미치는 영향은 W/B가 커짐에 따라 감소되는 경향을 보였다. 그러나, W/B 0.4에서 고성능감수제 첨가율 변화에 따른 항복값은 2.86~1.25 Pa로 변화폭이 작은 것으로나타났다.

소성점도는 W/B 0.3에서 혼화제 첨가율에 따라 1.3~2.6 Pa·s로 나타났으나, W/B 0.35~0.4, 혼화제 1.0% 이상에서는 혼화제 첨가율에 관계없이 동일한 점도를 나타냈다. 이것은 W/B 및 혼화제 첨가율이 어느 한도 이상의 범위를 초과하면 항복값에는 차이가 있어도 콘크리트의 재료분리 저항성에 영향을 미치는 모르터의 점성 저하 및 시멘트 입자간의 반발작용 저

로 시멘트 페이스트와 잔골재가 분리되기 때문인 것으로 생각된다.

따라서, 동일한 플로우를 나타내는 배합이라도 레올로지(항복값 및 소성점도)를 도입하여 분석하면 플로우만으로는 평가할 수 없는 유동성상 파악이 가능할 것으로 생각된다.

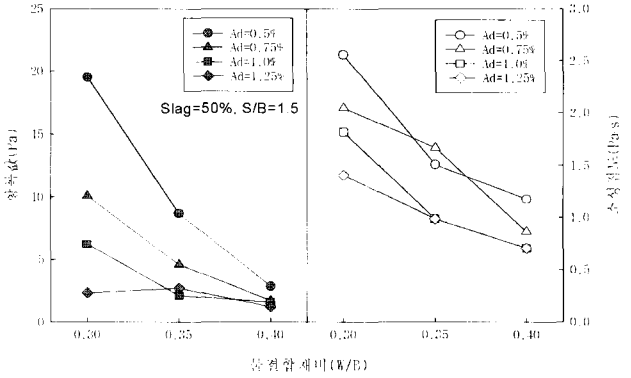

그림 9. W/B변화에 따른 모르터의 레올로지

2) 고로슬래그 미분말 치환율

고로슬래그 미분말 치환율 변화에 따른 모르터의 플로우 및 V형 깔때기 낙하시간은 그림 10에서와 같이 고로슬래그 미분말 치환율이 클수록 플로우가 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 고로슬래그 미분말 치환율 70 %, 혼화제 첨가율 0.75 %이상에서 재료분리 현상이 나타났으며, 1.25 %에서는 재료분리현상과 함께 플로우가 감소되었다.

또한, 고로슬래그 미분말을 치환하지 않은 경우에는 혼화제 첨가율 0.5 %에서 V형 깔때기 낙하시간 시험시 폐색현상으로 낙하시간을 측정하지 못했다. 그러나, 고로슬래그 미분말 치환율이 증가할수록 낙하시간이 빨라지는 경향을 나타냈다. 이러한 현상은 고로슬래그 미분말의 표면구조가 매끄럽기 때문에 시멘트 입자의 마찰력을 저하시켜 플로우가 증가5)되는 것으로 생각된다.

고로슬래그 미분말 치환율에 따른 모르터의 레올로지는그림 11과 같다. 항복값은 혼화제 첨가율 0.5 %에서 고로슬래그 미분말을 치환하지 않은 경우 14.4 Pa, 고로슬래그 미분말을 치환한 경우에는 8.71~6.24 Pa로 낮아졌다.

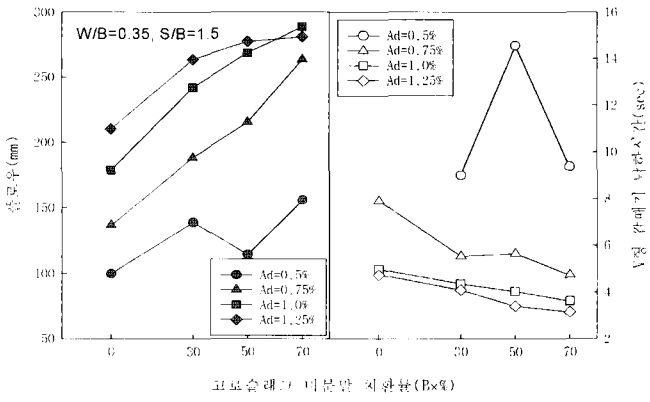

그림 10. 고로슬래그 미분말 치환율 변화에 따른 플로우 및 V형 깔때기 낙하시간 관계

그러나 소성점도는 항복값과 달리 혼화제 첨가율 0.5 %를 제외한 나머지 배합에서 고로슬래그 미분말 치환율이 증가할수록 다소 증가되는 현상을 보였다. 모르터의 레올로지 특성을 고려해 볼 때, 고로슬래그 미분말은 항복값은 저하시키고 소성점도는 증가시킬 수 있기 때문에 재료분리저항성과 변형성이 요구되는 고유동 콘크리트용 결합재로써 활용이 가능한 것으로 판단된다.

따라서 본 실험 결과와 페이스트를 대상으로 한 실험 결과[3]를 고려할 때, 본 실험 범위에서의 모르터 유동성에 적합한 고로슬래그 미분말 치환율은 50 %가 적당한 것으로 생각된다.

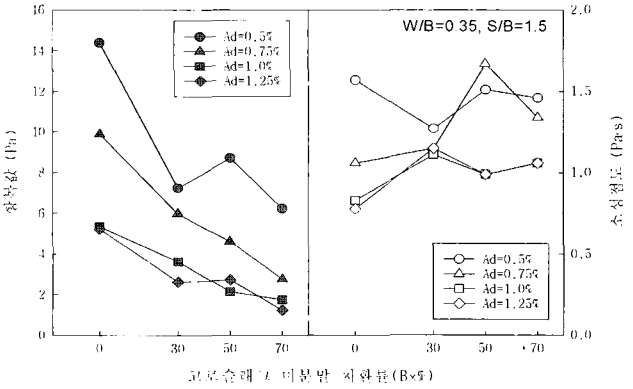

그림 11. 고로슬래그 미분말 치환율 변화에 따른 모르터의 레올로지

3) 잔골재-결합재비(S/B)

S/B가 모르터의 플로우 및 V형 깔때기 낙하시간과 레올로지에 미치는 영향을 살펴보면, 모르터 플로우는 S/B가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈으며, S/B 1.7 이상에서는 고성능감수제 1.25 % 첨가에서도 200 ㎜이하의 플로우와 함께 약간의 재료분리 현상이 발생되었다. 그러나 S/B 1.3~1.5범위에서는 고성능감수제 1.0 %첨가로 200㎜이상의 플로우를 나타냈으며, 고성능감수제를 1.25 % 첨가하여도 재료분리 현상이 나타나지 않았다. 이것은 S/B가 낮을수록 결합재량이 증가되어 모르터 점성이 증가되기 때문에 일어나는 현상으로 생각된다. 한편 고성능감수제 첨가율 0.5%에서는 S/B 변화에 관계없이 모든 모르터가 유동이 불가능한 플로우 100㎜를 나타내 고유동 모르터를 제조함에 있어서 고성능감수제의 첨가범위가 존재하는 것을 알 수 있었으며, 본 실험에서는 물결합재 및 S/B에 따라 차이가 있지만 최소 0.75 % 이상이 고성능감수제가 필요한 것으로 나타났다.

S/B변화에 따른 V형 깔때기 낙하시간은 S/B가 증가됨에 따라 길어지는 현상을 나타냈으며, S/B 1.7 이상에서는 플로우가 100 ㎜이상되어도 토출구가 막혀 낙하시간을 측정할 수 없었다. 이것은 S/B가 증가함에 따라 모르터 내의 골재의 체적이 증가되어 혼화제의 시멘트 입자 분산 능력저하 및 입자간의 마찰때문인 것으로 판단된다.

S/B변화에 따른 모르터의 항복값과 소성점도는 S/B 1.5 이상에서 급격한 증가가 나타났으며, S/B 1.7~1.9, 혼화제 첨가율 0.5~0.75 %인 경우 항복값과 소성점도의 측정이 불가능하였다.

이것은 혼화제 첨가율 0.5~0.75% 이하에서는 모르터의 유동이 거의 없는 플로우 100 ㎜가 되어, 본 실험에 사용된 점도계의 전단응력 범위를 초과하기 때문에 측정이 불가능한 것으로 생각된다.

따라서, 보통 콘크리트의 잔골재-시멘트비가 2.0 이상인 것을 고려할 때 고유동모르터 및 콘크리트는 다량의 결합재가 필요함을 알 수 있다. 특히, 기존의 플로우 시험으로는 고유동 모르터의 성질을 명확하게 규명하는 것이 어려우며 고유동 모르터 및 콘크리트의 유동성상을 정량적으로 파악하기 위해서는 레올로지 개념을 도입할 필요가 있는 것으로 생각된다.

위의 결과로부터 본 실험조건에서 고유동 모르터를 제조하기 위한 S/B는 1.3~1.5 정도로 판단되며, 이 범위는 고유동콘크리트 배합 분석결과[5]와 유사한 것으로 나타났다.

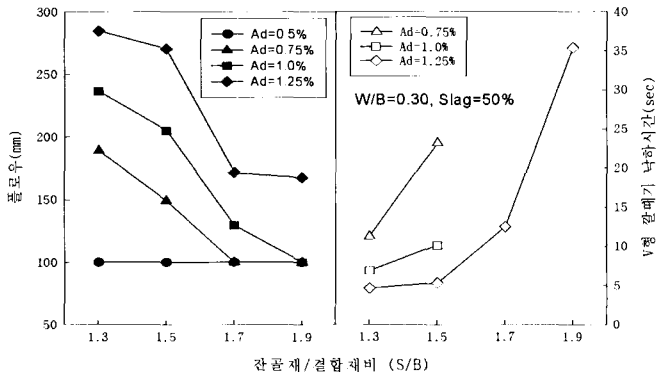

그림 12. 잔골재/결합재비(S/B) 변화에 따른 플로우 및 V형 깔때기 낙하시간 관계

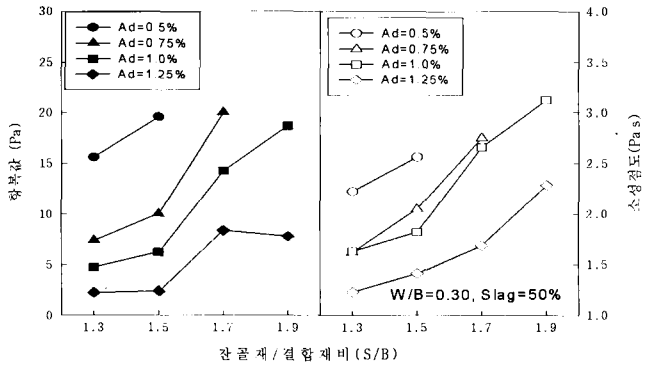

그림 13. 잔골재/결합재비(S/B) 변화에 따른 모르터의 레올로지

4) 혼화제 첨가율

고성능감수제 첨가율 변화에 따른 플로우 및 V형 깔때기 낙하시간과의 관계는 그림 14와 같다.

모르터 플로우는 고성능감수제 첨가율이 높아짐에 따라 증가되었으나 플로우 270 ㎜정도에서는 재료분리 현상이 나타났다. 이 값은 고유동 모르터의 플로우로 알려진 Okamura(岡村)교수의 245 ㎜보다 약 10%정도 큰 값으로 고유동 콘크리트가 모르터의 유동성에 영향을 많이 받는 것을 고려할 때, 고유동 모르터의 플로우 범위 설정에 대한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

V형 깔때기 낙하시간은 고성능감수제 첨가율이 클수록감소하는 것으로 나타났다. 또한, 혼화제 첨가율 0.5%, 물결합재비 0.3에서는 폐색현상이 일어났으나 물결합재비 0.35~0.4, 혼화제 첨가율 1.0% 이상에서는 혼화제 첨가율 증가에 따른 낙하시간의 차가 크게 나지 않았다.

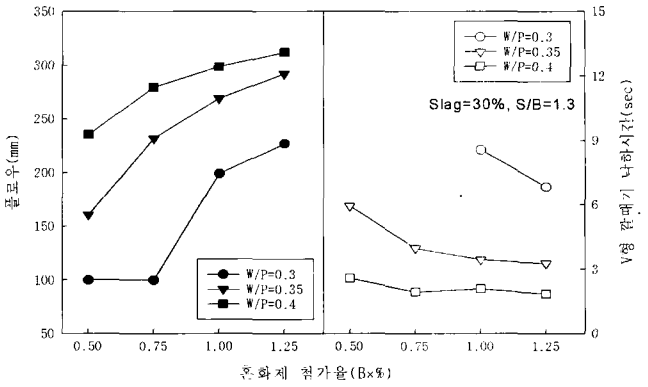

그림 14. 혼화제 첨가율 변화에 따른 플로우 및 V형 깔때기 낙하시간 관계

그림 15는 혼화제 첨가율 변화에 따른 모르터의 레올로지 관계를 나타낸 것으로 항복값과 소성점도 모두 혼화제 첨가율이 커짐에 따라 감소되는 경향을 나타냈다.

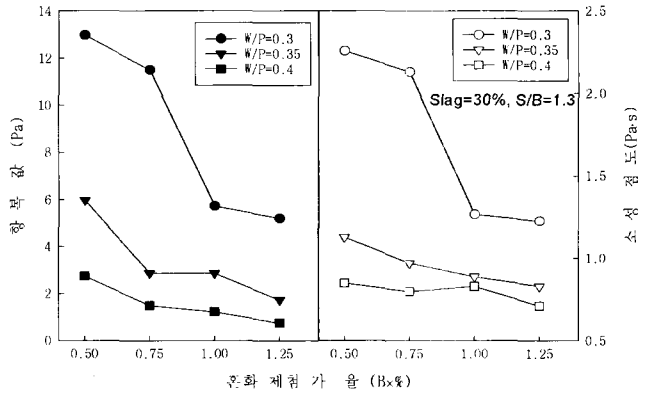

그림 15. 혼화제 첨가율변화에 따른 모르터의 레올로지

3.3 조립률 변화에 따른 유동성 및 레올로지

그림 16~17은 조립률과 모르터 플로우 관계를 나타낸 것으로, 그림 16은 입도 조정한 잔골재에 대한 실험 결과이며, 그림 17은 입도 조정하지 않은 산지와 조립률이 각기 다른 잔골재에 대한 실험 결과이다.

입도 조정한 잔골재를 사용한 모르터의 플로우는 조립률이 클수록 증가되는 것으로 나타났다. 이것은 동일한 골재를 입도조정하여 만든 조립률을 대상으로 한 기존의 연구 결과[7,8]와 일치하는 것이다. 그러나 입도 조정하지 않은 잔골재의 실험에서는 조립률이 클수록 모르터의 플로우가 감소되는 것으로 나타났다.

이것은 잔골재를 체가름한 경우에는 0.15~0.3 ㎜ 입자가 14.7~30.2%범위에 고르게 분포하고 있지만, 입도 조정하지 않은 잔골재에서는 11.3~16.3%범위에 분포하고 있어 상대적

으로 미립분의 영향을 적게 받기 때문에 조립률이 작을수록 플로우가 크게 되는 것으로 생각된다. 그림 18은 입도 조정한 골재를 사용한 모르터의 항복값과 소성점도 관계를 나타낸 것으로 조립률이 클수록 항복값 및 소성점도가 저하되는 것으로 나타났다. 이것은 입도 조정한 잔골재를 사용한 모르터에서 조립률이 클수록 플로우가 증가하는 현상을 설명할 수 있는 것으로 생각된다.

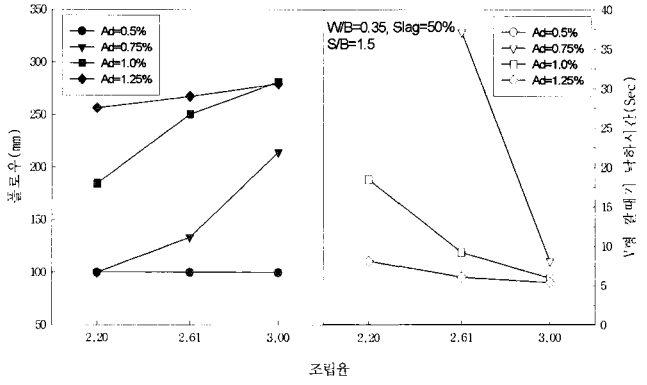

그림 16. 조립률변화에 따른 플로우 및 V형 깔때기 낙하시간(체가름한 조립률)

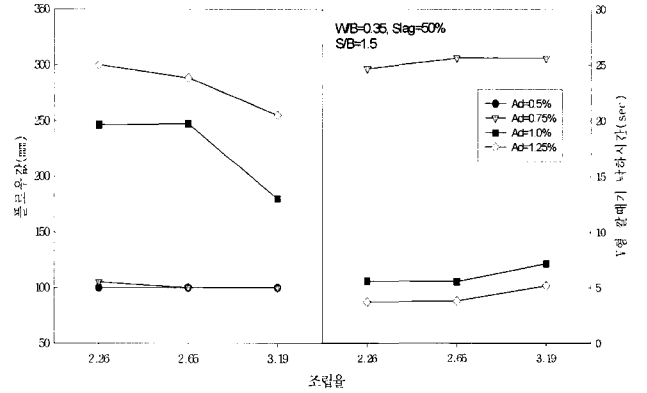

그림 17. 조립률변화에 따른 플로우와 V형 깔때기 낙하시간(산지별로 다른 조립률을 갖는 잔골재의 경우)

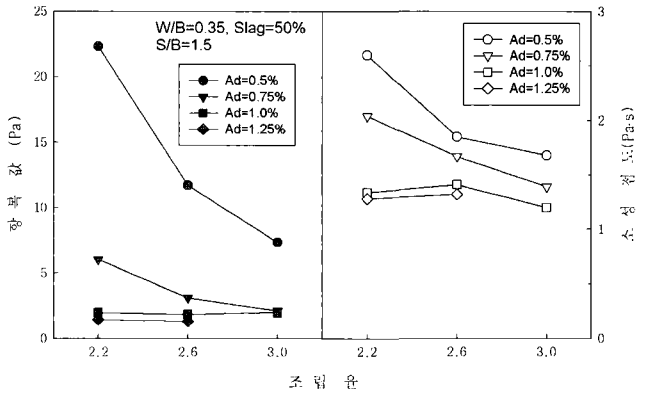

그림 18. 조립률 변화에 따른 모르터의 항복값과 소성점도(체가름한 잔골재)

3.4 모르터의 유동성과 레올로지와의 관계

모르터의 플로우와 레올로지의 상관관계는 그림 19~20과 같다.

모르터의 플로우와 항복값은 그림 19와 같이 비교적 높은 상관성(R2=0.8341)을 갖는 것으로 나타났으며, 소성점도는 V형 깔때기 낙하시간과 상관성이 큰 것(R2=0.6658)으로 나타났다. 이것으로 모르트의 플로우로는 항복값을 V형 깔때기 낙하시간으로는 소성점도를 추정할 수 있는 것으로 생각된다.

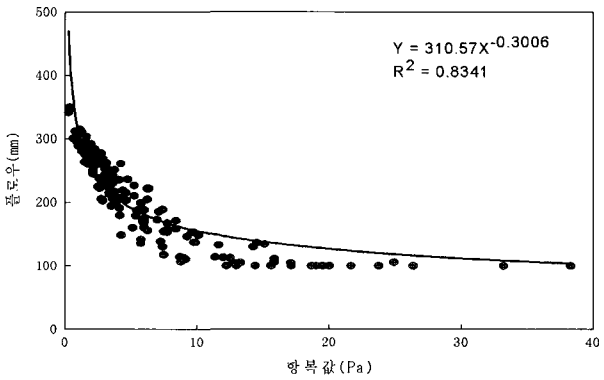

그림 19. 모르터 플로우와 항복값의 상관관계

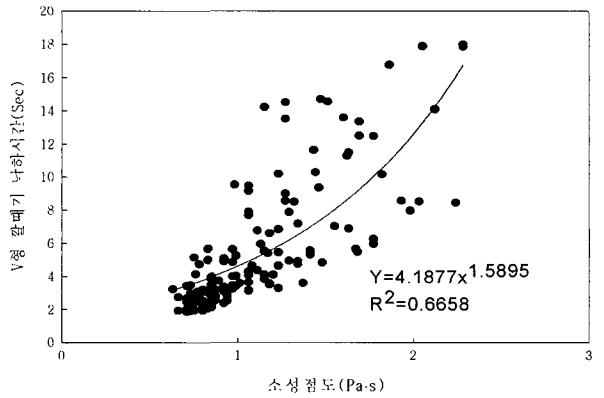

그림 20. V형 깔대기 낙하시간과 소성점도의 상관관계

4. 결론

고로슬래그 미분말을 함유한 고유동 콘크리트의 배합에 관한 기초자료의 제공을 목적으로 혼합시간 및 배합인자에 따른 모르터의 유동성 및 레올로지 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 재료분리 없이 최대 플로우를 얻기위한 모르터의 적정 혼합시간은 본 실험배합의 경우 150초(1속-30초, 2속-120초)로, 일반 모르터보다 혼합시에 많은 시간이 소요된다. 또한 이 결과는 콘크리트가 모르터 유동성의 영향을 많이 받는 것을 고려할 때 고유동 콘크리트 혼합시간도 보통 콘크리트보다 많은 시간이 필요할 것으로 유추된다.

2) 고유동 모르터의 W/B 0.35~0.4에서 혼화제 첨가율이 1.0~1.25%를 초과할 경우 재료분리 현상을 나타내고 있으며, 항복값과 소성점도의 차가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 모르터의 유동성과 레올로지 정수를 고려할 때 본 실험 조건에서 W/B는 0.4이하가 적당한 것으로 판단된다.

3) 모르터에 고로 슬래그 미분말을 치환한 경우 무치환한 경우보다 동일한 고성능감수제의 첨가율에서 항복값은 감소되고, 플로우 및 소성점도는 증가되는 것으로 나타나 고로슬래그 미분말이 고유동 모르터 제조에 적합한 결합재임을 알 수 있다.

4) 잔골재-결합재(S/B)비가 증가할수록 플로우는 감소되며 S/B 1.5 이상에서는 유동성이 크게 저하되며, 항복값 및 소성점도의 측정도 곤란하게 된다. 따라서 본 실험에서 고유동 모르터 범위는 재료분리현상을 고려 할 때 최대 260±10㎜로 나타났으며, 이 범위를 얻기 위한 S/B는 W/B 0.3일 때 1.5 정도이다.

5) 모르터의 유동성은 동일한 형상의 잔골재를 입도조정한 경우에는 조립률이 클수록 플로우가 증가되지만, 입도조정을 하지 않은 잔골재를 사용한 모르터의 플로우는 조립률이 작을수록 증가된다.

6) 모르터 플로우는 항복값과 관계가 있으며, 소성점도는 V형 깔때기의 낙하시간으로 추정이 가능한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅, "ハイパフオ‥マンスコンクリート," 技報堂, 1993. 9
2. 村田二郎 "まだ固まらないコンクリートのレオロジーに關する基礎的研究", コンクリート工學, Vol.15, No. 1, Jan. 1977, pp. 25~34
3. 김재훈 외 3인, " 플라이애쉬 및 고로슬래그를 사용한 시멘트페이스트의 레올로지 특성에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, Vol 14., No.6 구조계, 1998. 6, pp.105-115
4. P.C.Aitcin, "High Performance Concrete", 1998. pp.269
5. ACI Committee 233, "Ground Granulated Blast Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete", 1995.
6. 김재훈 외 2인, "문헌조사를 통한 한·일간의 고유동 콘크리트 사용재료의 구성에 관한 비교 연구", 대한건축학회 논문집, 제 14권 12호, 1998.12, pp.111~118
7. 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",コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 17, No.1, 1995, pp.81~86
8. 須藤榮治, 五味信治, "細骨材の粗粒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",コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 18, No.1, 1996, pp.123~128
9. 竹內博幸, 吉井一郎 "高流動コンクリートの配合設計および製造に關する研究", コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 18, No.1, 1996, pp.39~44