

# 석고 종류에 따른 시멘트 물성변화의 통계적 검토

송용순\* · 유영호 · 박수정 · 이근성  
<동양시멘트>

## 1. 서 론

최근 고유동 및 고내구성을 갖는 콘크리트가 본격적으로 적용되면서 일반적인 콘크리트의 사양에서 성능 규정으로 변화가 일어나고 있고, 동시에 혼합재의 사용이 점차 증가함에 따라 시멘트에 요구하는 물성도 다양화되고 있다. 특히 시멘트의 초기물성 즉, 응결과 유동성, 초기 강도부분은 혼합재 사용을 증가하는 고객의 요구와 맞물려 상대적으로 중요한 물성으로 대두되고 있다.

석고는 대부분 응결조절제로 사용되고 있으나 시멘트 제조공정 혹은 이송중 탈수에 의한 석고의 특성 변화가 시멘트의 초기물성에 중요한 역할을 함으로써 콘크리트의 작업성과 강도변화를 주고 있으며<sup>(1)</sup> 석고의 종류에 따라 석고결정의 입자 크기 및 형태가 차이가 있기 때문에 시멘트 물성에 다른 경향을 나타내는 것으로 보고 되고 있어<sup>(2)</sup>, 시멘트 초기의 다양한 요구에 적합한 제품을 설계하기 위해서는 석고의 최적 사용비율 도출이 필요하다. 또한, 천연석고 이외에 다양한 화학 석고가 사용되고 있기에 석고종류에 따라서 시멘트 물성에 미치는 영향을 재정립할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 석고의 종류와 형태에 따라서 초기 시멘트의 물성에 미치는 요인을 분석하고 시멘트의 요구 물성에 따른 공정에서의 관리 방안과 석고의 최적 배합 비율 도출을 위해 통계적 실험계획을 이용하여 검토하였다.

## 2. 시험 및 분석방법

### 2.1 시험방법

#### 2.2.1 시멘트 제조 및 물리시험방법

본 연구용 시멘트는 목표 블레인 3400cm<sup>2</sup>/g으로 고정시키고, 시멘트 베이스로 SO<sub>3</sub>=2.35%가 되게 각각의 석고를 첨가하여 Test Mill로 분쇄 제조하였다. 시멘트 제조 후 KS L 5105에 의거하여 주도, 응결, 압축강도, 분말도 등을 측정하였다. 또한, 이수석고를 dry oven에서 120℃, 24시간 열처리하여 반수석고를 제조하였다.

#### 2.2.2 간이유동성

실내 및 시멘트 페이스트의 온도는 23±3℃의 조건에서 시멘트의 유동 성능을 <표 1>과 같은 방법에 의해 간이적으로 측정하였으며, 경시변화에 따른 유동성 변화도 동시에 비교 평가하였다.

<표 1> 간이유동성 평가 방법

구분	W/C (%)	혼화제 첨가율 (Cxwt.%)	혼합방법	측정항목 (주도용 몰드사용)
NSF계	30.0	1.50	시멘트+물+혼화제 동시투입후 기계비빔 2분	펴진 길이 (mm)
PC계	30.0	1.15	시멘트+물+혼화제 동시투입후 기계비빔 4분	

&lt;표 2&gt; factor simplex-lattice design(mixture component method)

Standard Run	8 factor simplex-lattice design (Degree m=2)							
	Sum total of all mixture components: 1.							
	천연 이수	천연 반수	화학A 이수	화학A 반수	화학B 이수	화학B 반수	화학C 이수	화학C 반수
25	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
30	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5
14	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
26	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
3	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
13	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
34	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0
10	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
17	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
33	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5
21	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
15	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0
36	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
9	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0
35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5
11	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
19	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
23	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0

## 2.2 통계적 분석 방법

석고의 종류 및 석고의 존재형태에 따라 시멘트의 물성에 미치는 영향을 검토하고 최적의 물성을 만족시키는 석고의 배합비를 설계하고자 실험계획법중 혼합물 설계 방법을 사용하였다.

위의 <표 2>는 석고종류 4개와 각 석고의 형태 2개 즉, 8인자에 대해서 simplex-lattice 방법으로 실험 배합을 산출한 것으로 각 석고의 배합비에 따라 시멘트를 T/M로 제작하고 물성시험을 실시하였다. 통계분석은 statsoft사의 statistica 7.1를 사용하였다.

&lt;표 3&gt; 클링카 화학성분

클링카	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>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	T.A	f-CaO
#6	21.51	4.72	3.25	64.53	4.64	0.52	1.12	0.068	0.81	1.35

<표 4> 석고종류 및 화학성분

구분	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>	수분	LOI
천연	5.43	0.82	0.33	30.31		45.30	4.50	20.7
화학 A	6.03	0.57	0.39	30.97	0.76	40.48	17.3	19.1
화학 B	6.14	0.66	1.05	29.12	0.80	43.51	14.9	20.0
화학 C	4.31	0.78	0.41	30.98	1.45	44.05	11.2	19.4

### 3. 사용재료

#### 3.1 클링카

본 연구에서 사용된 클링카는 당사 #6K에서 1월24일 제조된 클링커를 사용하였으며, 화학 분석 결과는 <표 3>과 같다.

#### 3.2 석고

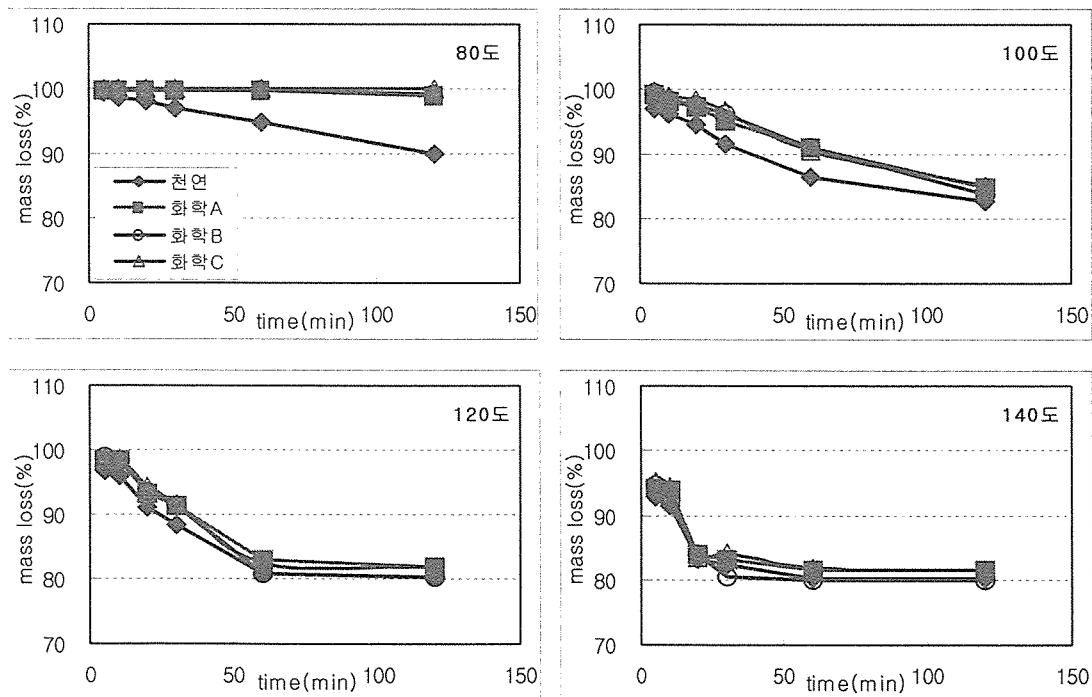
##### 3.2.1 석고종류별 성분조성

당사에서 사용하고 있는 석고의 종류 및 화학 성분은 다음 <표 4>와 같다. 석고종류별 SO<sub>3</sub>는

화학 A가 낮은 반면 다른 석고는 비슷한 수준을 나타냈고, 부착 수분함량은 천연석고가 4.5%로 가장 낮은 값을 나타내었다.

##### 3.2.2 온도에 따른 석고 증량 변화

온도 및 유지시간에 따른 석고의 증량변화율은 <표 5> 및 <그림 1>과 같다. 천연의 경우 80°C에서부터 탈수가 진행되어 120°C 30분 이내까지 탈수속도가 빠르게 진행되는 반면 화학석고의 경우 90~100°C 이상부터 탈수가 진행되기 시작하였다. 또한, 화학석고 C의 탈수가 약간 적게 나타났으나 화학석고 종류별로는 큰 차이를 보이지 않았다.



<그림 1> 온도별 유지시간에 따른 석고의 증량 감소율 비교

&lt;표 5&gt; 온도별 중량감소율 비교(20분)

석고 종류	중량감소율(wt.%)			
	80℃	100℃	120℃	140℃
천연	2.03	5.34	9.02	16.80
화학A	0.39	2.58	6.80	16.08
화학B	0.26	2.40	6.37	15.95
화학C	0.11	1.55	5.74	16.68

### 3.2.3 석고종류에 따른 용해도 비교

천연석고 용해도는 이수대비 반수시 4배 이상 높게 나타났고, Ca(OH)<sub>2</sub> 포화 용액에서의 절대 농도는 증류수에서보다 낮았으나 석고형태에 따른 용해도비는 반수에서 4배이상 높게 나타났다. 또한, 화학 석고 A에서도 이수 대비 반수에서 2~3배 용해가 빠르게 진행되었으며, Ca(OH)<sub>2</sub> 포화용액에서도 동일한 경향을 보였다. 화학석고 대비 천연석고가 용매종류 및 석고형태에 상관 없이 용해도가 빠른 것으로 나타났으며, 그 상대 비율은 Ca(OH)<sub>2</sub> 포화용액에서 약간 높은 경향을 보였다.

### 3.3 고성능감수제

고성능감수제는 D사의 나프탈렌계(이하 NSF계, 고흡분 40%)와 L사의 폴리카본산계(이하 PC계, 고흡분 20%)를 사용하였다.

## 4. 시험결과 및 고찰

### 4.1 물리·화학적 특성

분쇄 후 시멘트의 화학성분 및 물리적 특성은 각각 <표 7, 8>과 같다. 화학성분 결과에서 처럼 각 시멘트의 화학적 성분은 편차가 거의 없이 동일한 것으로 나타나 이에 대한 물성 변화는 없을 것으로 사료된다.

### 4.2 분쇄성

석고의 종류 및 존재형태가 분쇄에 미치는 영향은 <그림 2>와 같다.

목표 블레인 3400cm<sup>2</sup>/g에 소요되는 분쇄시간은

&lt;표 6&gt; 석고 용해속도 상대비교(온도 20±2℃)

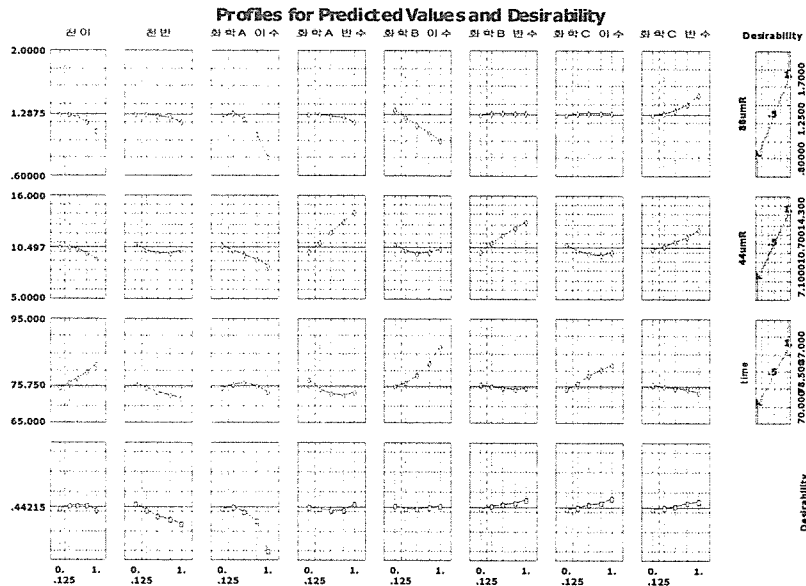
석고종류 및 형태		용해도SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> 농도(wt.%)		상대 용해도비			
		증류수	Ca(OH) <sub>2</sub>	석고종류별 이수대비		천연/중화	
천연	이수	0.15	0.12	1.00	0.80	1.154	1.500
	반수	0.65	0.48	4.33	3.20	1.857	2.182
화학 A	이수	0.13	0.08	1.00	0.63		
	반수	0.35	0.22	2.60	1.61		

&lt;표 7&gt; 시멘트의 화학성분

실험번호	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>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	T.A	f-CaO
6	20.76	4.51	3.27	62.63	4.62	2.32	1.03	0.06	0.74	1.07
13	20.70	4.51	3.25	62.58	4.58	2.38	1.03	0.06	0.74	1.05
19	20.70	4.52	3.25	62.56	4.59	2.42	1.04	0.06	0.74	1.04
34	20.70	4.49	3.26	62.62	4.57	2.37	1.04	0.06	0.74	1.09
평균	20.72	4.51	3.26	62.60	4.59	2.37	1.04	0.06	0.74	1.06

<표 8> 시멘트의 물리적 특성

Standard Run	8 factor simplex-lattice design (Degree m=2) (Spreadsheet1)																
	Sum total of all mixture components: 1.																
	88	44	time	주도	flow	초결	종결	안정도	3D	7D	28D	NSF-0	NSF-30	NSF-60	PC-0	PC-30	PC-60
	umR	umR															
11	1.2	11.5	73	23.0	108	2:50	5:21	0.15	204	279	341	214	181	165	240	279	287
18	1.0	8.6	77	22.7	108	2:35	4:37	0.17	230	297	380	226	181	159	270	300	293
22	1.3	12.3	75	22.7	109	3:33	6:11	0.15	221	294	363	208	171	155	253	293	300
16	1.3	8.6	70	23.0	109	3:20	5:14	0.15	244	306	376	211	172	155	246	280	294
24	1.3	10.8	75	22.8	109	2:57	5:16	0.17	221	291	351	204	170	150	242	266	269
31	1.1	11.0	74	22.7	109	2:45	4:50	0.18	217	285	349	204	173	158	248	267	270
23	1.0	8.6	81	22.2	108	2:50	5:34	0.15	230	297	367	205	190	173	231	245	255
12	1.2	9.5	83	22.2	107	2:50	4:45	0.16	225	298	371	234	192	172	238	260	265
20	1.0	7.1	78	23.4	110	2:40	4:55	0.15	240	306	382	205	149	123	238	285	300
13	1.2	13.6	75	22.8	108	3:00	5:13	0.18	215	284	351	211	180	162	244	300	300
27	1.2	12.1	73	22.9	108	3:30	5:56	0.15	213	287	361	211	171	158	252	300	305
4	1.2	14.3	74	22.4	103	3:35	6:01	0.15	211	288	359	205	155	135	217	287	292
33	1.2	11.1	80	22.6	109	3:22	5:17	0.15	239	305	387	203	161	140	250	262	280
17	1.3	11.6	70	23.1	104	2:43	5:17	0.15	229	302	373	213	164	151	202	294	280
29	1.3	12.4	75	22.7	110	3:21	5:50	0.15	223	302	361	202	178	161	244	279	290
2	1.2	10.1	72	23.7	106	3:07	5:12	0.17	235	304	381	196	121	116	192	272	281
25	1.2	8.9	82	22.6	112	3:15	5:50	0.15	219	289	357	219	184	159	220	235	250
34	1.7	11.8	80	22.9	108	2:55	5:05	0.17	222	291	358	208	184	165	267	286	288
6	1.3	13.2	75	23.2	100	2:43	4:50	0.17	221	288	343	197	119	112	189	295	308
32	1.2	8.9	83	22.5	110	2:57	5:01	0.17	238	306	378	241	201	176	250	280	285
26	1.3	10.4	73	23.1	109	3:50	5:46	0.15	227	294	372	212	169	150	238	292	292
5	1.0	10.4	87	22.3	112	2:50	5:01	0.16	225	301	372	222	196	174	247	256	262
14	1.2	9.2	80	22.3	111	2:43	4:51	0.16	216	291	356	209	190	172	233	246	257
9	1.3	9.8	77	22.9	109	2:40	4:43	0.16	235	304	379	223	177	152	250	290	300
35	1.2	11.8	76	23.4	100	3:17	5:29	0.18	229	309	375	200	118	109	194	282	277
8	1.5	12.4	74	23.3	100	2:40	4:50	0.16	228	306	363	215	129	115	209	288	295
7	1.3	10.0	82	22.3	113	2:37	4:40	0.16	229	304	378	221	188	160	235	250	258
3	0.8	8.5	74	22.8	111	4:07	6:40	0.15	214	290	365	219	186	159	214	228	245
19	1.3	12.2	75	23.7	104	3:21	5:26	0.17	227	303	390	203	139	131	186	268	275
28	1.1	13.2	73	22.8	104	3:06	5:20	0.17	212	287	359	205	141	125	211	264	291
21	1.5	11.6	74	23.5	104	2:31	4:30	0.15	224	298	375	204	154	134	193	270	283
36	1.3	10.8	75	22.7	111	2:58	5:11	0.15	235	296	376	204	181	157	259	260	288
1	1.1	9.2	82	22.0	109	2:30	4:27	0.16	224	302	374	243	202	178	244	268	271
30	1.3	12.8	75	22.7	109	2:56	5:01	0.16	215	288	365	219	149	133	205	264	291
10	1.2	9.6	83	22.1	108	2:45	5:35	0.15	226	302	373	205	185	168	229	250	257
15	1.3	10.3	77	22.9	107	2:26	4:30	0.14	239	315	380	205	180	158	242	264	262



<그림 2> 분석성 비교

화학 A 이수가 가장 짧고, 기타 이수석고의 경우 첨가량(SO<sub>3</sub> 2.35%이내에서)이 증가할수록 길어지는 경향을 보였는데, 이는 표-4에서 보는 것처럼 천연 또는 화학 B, C의 경우 화학 A 석고 대비 상대적으로 석고 함유량이 많아 절대 첨가량이 적기 때문인 것으로 파악된다. 또한, 석고 존재형태에 따른 분쇄시간은 석고종류에 상관없이 이수석고에 비해 반수석고가 짧아 탈수된 석고는 입자의 응집으로 인해 분쇄성을 저하시킨다는 자료<sup>(3)</sup>와 다른 경향을 보였는데 반수석고 제조시 탈수를 용이하게 하기위한 전 처리과정의 영향을 받은 것으로 보인다.

44 및 88 $\mu$ m 잔사의 경우 화학 A 이수석고를 제외하고 분쇄시간의 변화와 거의 유사한 결과를 보였으며, 가장 양호한 분쇄성과 잔사를 보이고 있는 석고는 화학 A 이수석고로 판단되었다.

### 4.2 응결

<그림 3>은 석고에 의한 응결의 특성을 나타낸 것으로 화학 A 석고의 경우 초결 및 종결 모두 타 석고에 비하여 매우 지연되는 경향을 나타내고 있는데 이는 화학 A 석고 성분 중 수용성 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 calcium 이온과 반응하여 불용성인

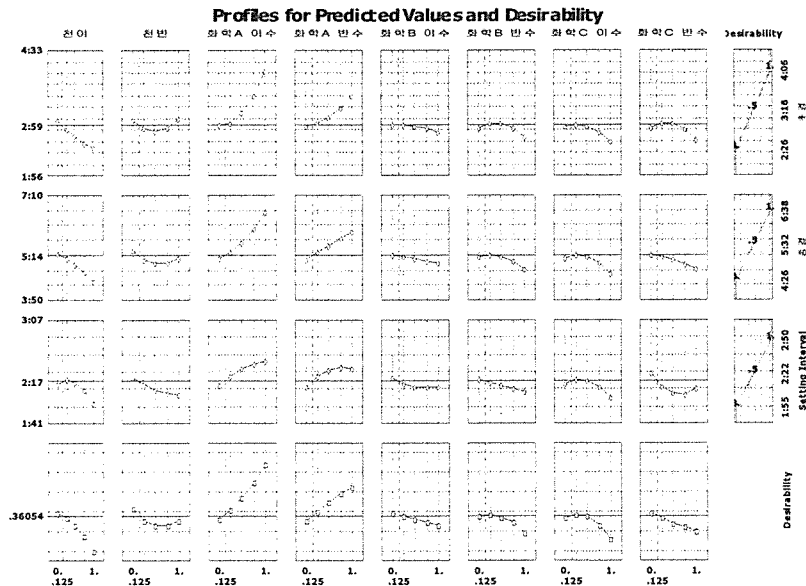
tri calcium phosphate(Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>)를 형성하며 이 반응물은 C<sub>3</sub>A나 C<sub>3</sub>S의 표면에 불용성 피막을 형성하여 ettringite 형성시 보다도 더욱 지연시키는 효과<sup>(4)</sup>로 판단된다. 또한, 천연이수석고의 경우 천연이수석고비율 증가에 비례하여 응결이 짧은 경향을 보인 것은 표-6에서 처럼 용해속도가 화학석고대비 높기 때문인 것으로 판단되며, 화학석고와 달리 천연반수석고의 경우 일정이상 증가시 응결이 지연되는 변곡점이 발생하였다. 따라서, 응결 단축시 천연, 화학 B, C가 효과적이고 콘크리트 작업성을 고려한 응결 조절 필요시 화학 A 석고가 매우 효과적인 것으로 알 수 있다.

### 4.3 유동성

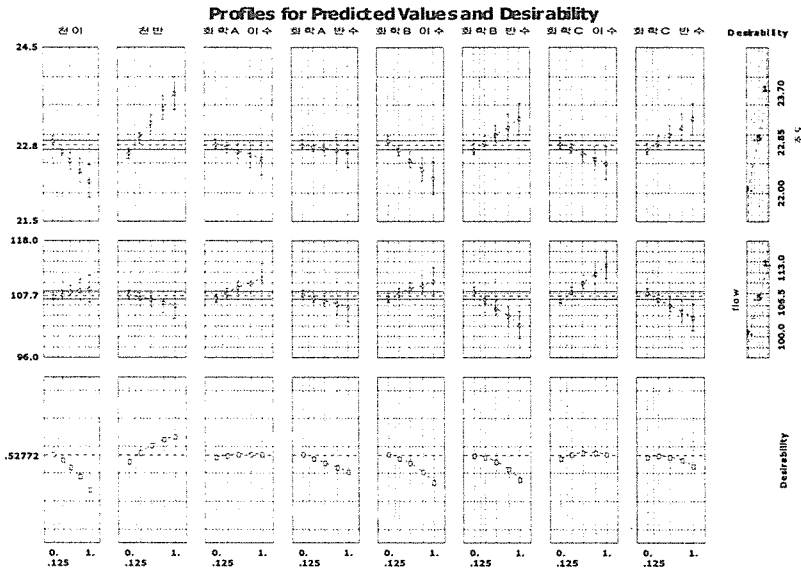
혼화제 사용시의 간이유동성을 포함한 석고의 종류 및 존재형태에 따른 유동성 특성은 각각 <그림 4, 5>와 같다.

#### 4.3.1 주도 및 몰탈 플로우

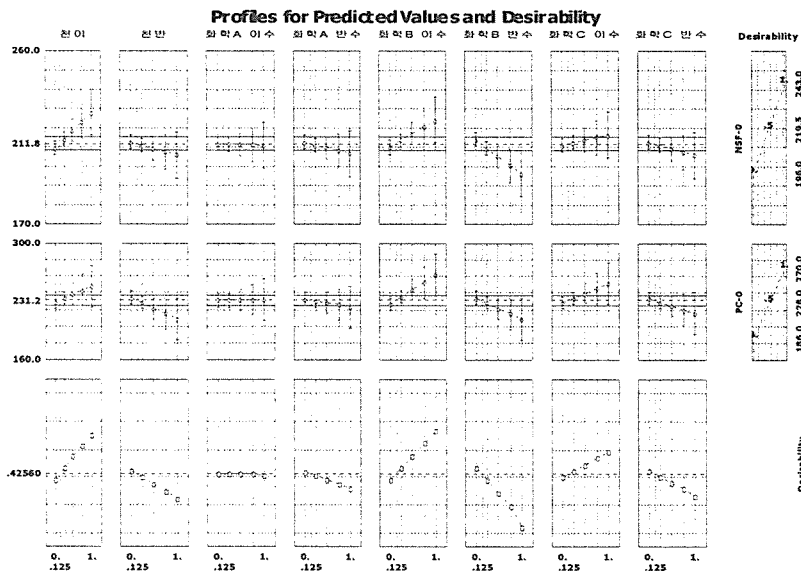
Normal consistency(주도)에 가장 큰 영향을 미치는 석고는 석고종류보다 존재형태가 더 크고, 화학 A 석고의 경우 첨가비율 변화에 민감



<그림 3> 응결 특성



<그림 4> 주도 및 몰탈 플로우



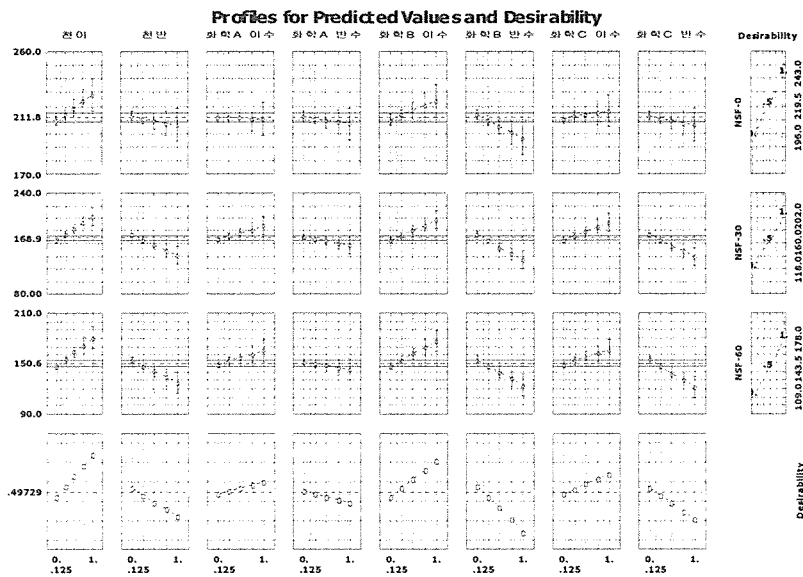
<그림 5> 간이유동성

하지 않은 것으로 나타났다. 즉, 이수석고로 존재시 화학 A 석고를 제외한

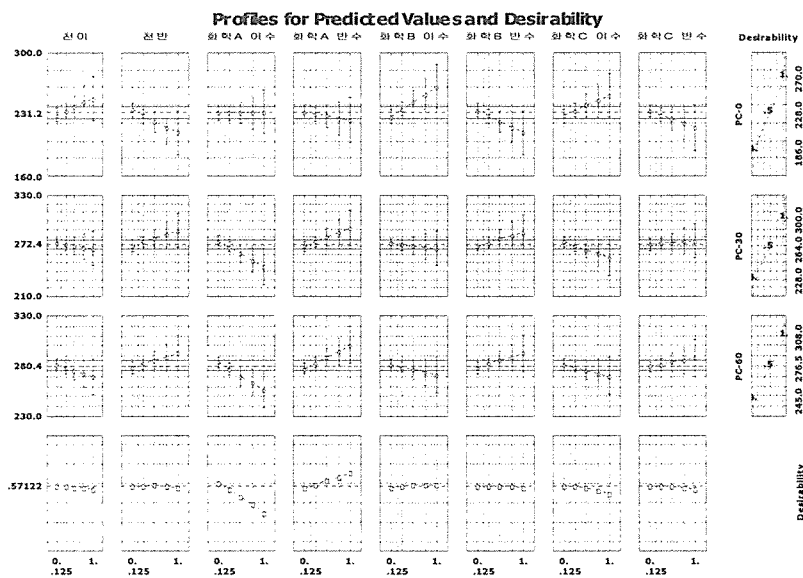
전 석고에서 감소하는 경향을 보임과 동시에 몰탈 플로우에서도 동일한 경향을 나타내어 석고종류보다 석고의 존재형태가 더 중요한 역할을 하고 있는 것으로 보이며, 이수석고 함량에 비례하고 반수석고와는 반비례 관계로 반수석고 양이 증가할수록 유동성은 저하될 것으로 예상된다.

#### 4.3.2 간이유동성

혼화제와 시멘트의 상호 적합성은 시멘트 구성광물 및 미량성분 등 주요인자이외에 석고의 존재형태의 영향도 매우 밀접한 것으로 보고 되고 있는바와 같이<sup>(5)</sup> 본 연구에서도 유사한 경향을 보였다. 즉, 석고종류에 상관없이 이수석고 존재시 유동성은 전반적으로 향상되었으나 반수로 전환시 유동성은 현격히 저하되는 것으로 나타났는데 이는 시멘



(a) NSF계



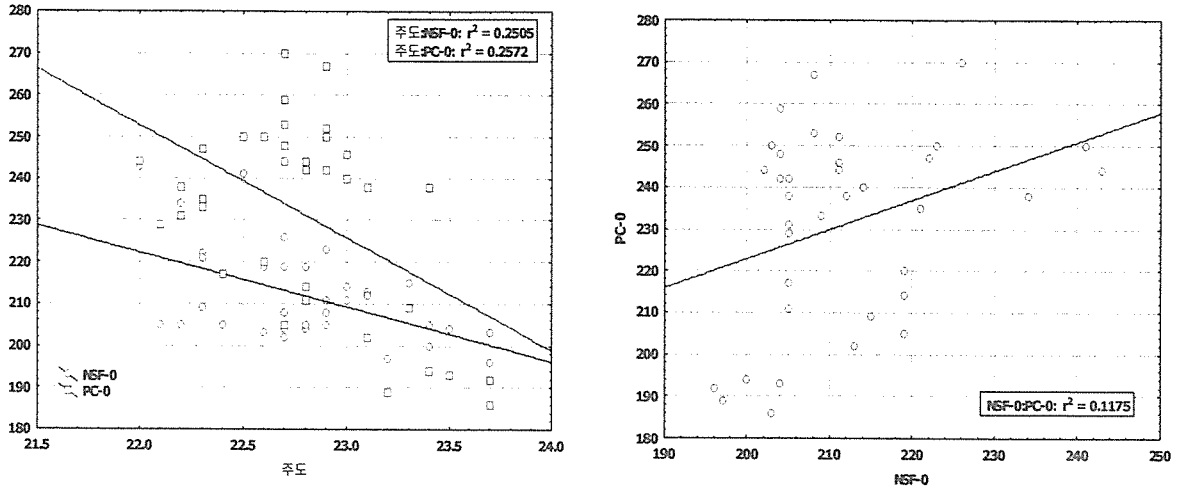
(b) PC계

<그림 6> 혼화제 종류에 의한 경시변화 비교

트 광물조성중 C<sub>3</sub>A와 C<sub>4</sub>AF에 대한 혼화제 및 석고의 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온의 선택적 흡착이 유동성에 영향을 미치는 것으로 즉, 용해속도와 관련이 있는 것으로 판단된다. 또한, 화학 A 석고의 경우 이수반수에 따른 유동성은 타 석고에 비해 적게 영향을 받는 것으로 나타나 탈수가 심한 하절기의 경우 유동성의 관리에 매우 유리할 것으로 보인다. 혼화제

종류 및 경과시간에 따른 유동성 변화는 <그림 6>과 같다. NSF계는 초기 유동성과 동일한 경향을 보이고 있는 반면 PC계에서는 초기 유동성이 나쁜 경우에 시간경과와 더불어 급속히 증가하였다. 특히, 반수의 경우 유동성이 급격히 증가하는 경향을 보여 PC계를 사용하는 경우에 있어서 석고의 탈수 관리에 대해 충분히 검토할 필요가 있다.





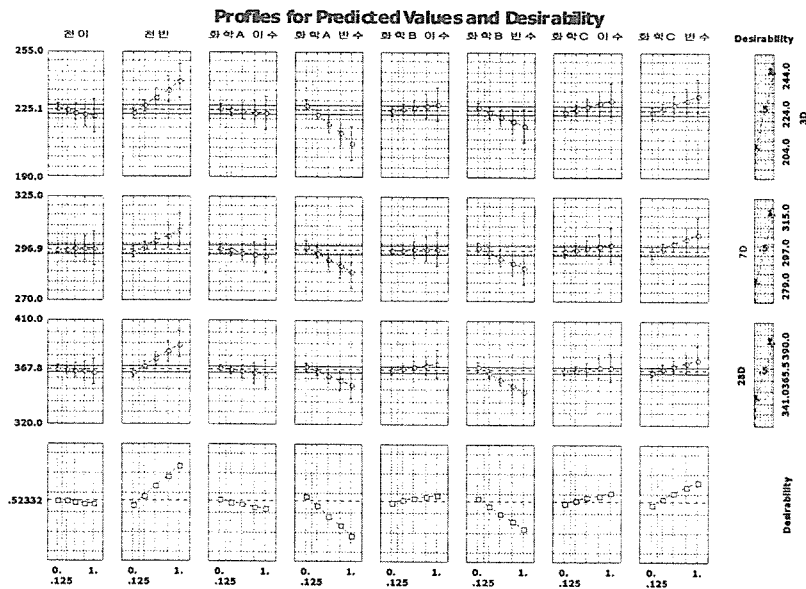
<그림 7> 주도 및 혼화제 종류별 상관성 비교

<그림 7>은 주도와 간이유동성과의 상관성을 나타낸 것으로 상관계수  $R^2 = -0.25$ 로 높은 상관성을 보이지 않았으며, 혼화제 종류별 상관성도 크지 않는 것으로 나타나 혼화제와 시멘트와의 상호 적합성이 일부 존재하는 것으로 보인다.

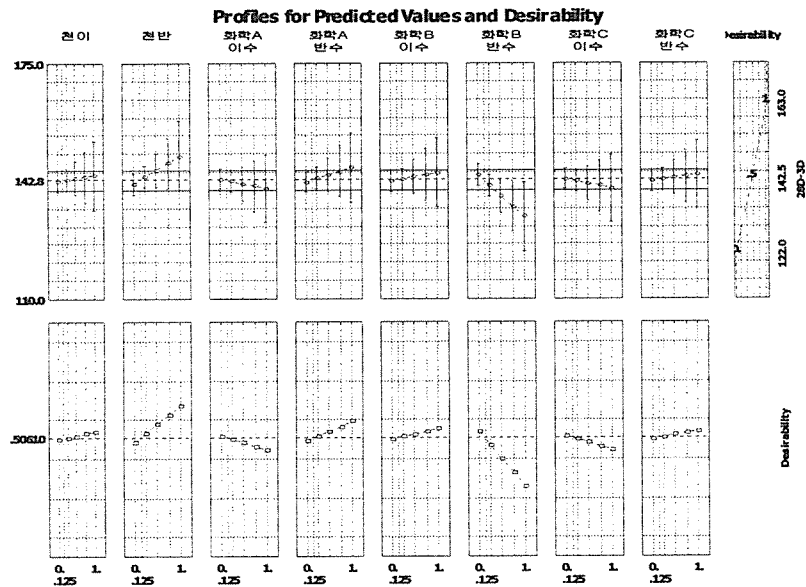
#### 4.4 압축강도

재령별 및 강도 증진율에 미치는 석고의 종류

및 형태는 <그림 8>에서와 같이 천연 및 화학 C의 경우 첨가비율이 증가할수록 증가하는 반면 화학 A와 B는 약간 감소하는 반대의 경향을 나타냈다. 또한, 천연 및 화학 C는 재령에 상관없이 이수 대비 반수석고가 더 증가하였으나 화학 A와 B의 반수는 이수에 비해 감소하였다. 강도 증진을 측면에서는 천연석고가 양호한 반면 화학 B 반수의 경우 가장 저조한 것으로 나타나 석고 종류 및 형태에 따라 매우 다른 경향을 보



(a) 재령별



(b) 강도 증진율

<그림 8> 압축강도 경향

이고 있어 이의 특성을 고려한 석고 배합비 조절이 필요한 것으로 나타났다. 특히 화학 A 석고의 경우 석고존재 형태에 상관없이 전반적으로 강도가 저하되는 것은 응결의 특성과 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

4.5 시멘트 물성에 따른 석고 배합 추정

<그림 9>에서와 같이 혼합물 시험법에 의한 통계적 방법으로 석고의 배합비를 각 물성에 맞게 추정할 수 있다. 당사 공정(투입라인, 탈수율 등)과 석고의 수급 등을 고려하여 사용할 석고가 결정되거나 수요자의 다양한 요구 물성에 맞게 본 통계 분석 결과를 바탕으로 석고 배합비 도출이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

석고의 종류와 형태에 따라서 시멘트의 물성에 미치는 요인을 분석하고 석고의 최적 배합비율 도출을 위해서 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 석고 종류별 탈수 및 용해도 특성

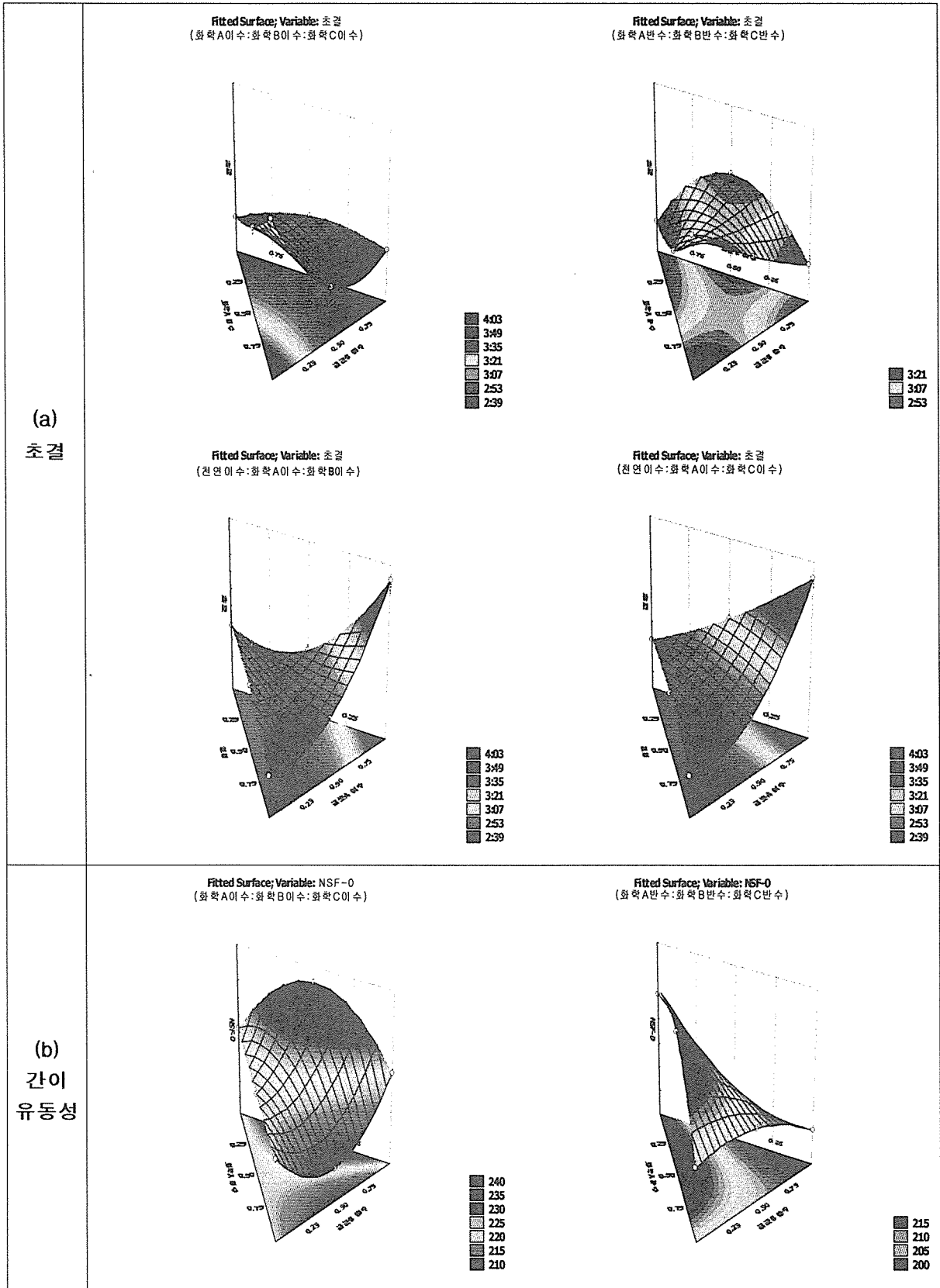
천연의 경우 80℃에서부터 탈수가 진행되어 120℃ 30분이내까지 탈수속도가 빠른 반면 화학 석고의 경우 90~100℃이상부터 탈수가 진행되어 화학석고에 비해 천연석고의 탈수가 빨리 일어남을 확인할 수 있었다. 석고의 용해속도는 이수석고의 종류에 따라서 거의 차이가 없고 석고 존재형태에 의한 차이가 큰 반면 Ca(OH)<sub>2</sub> 포화 용액에서의 용해도는 전반적으로 감소하는 것으로 나타났다.

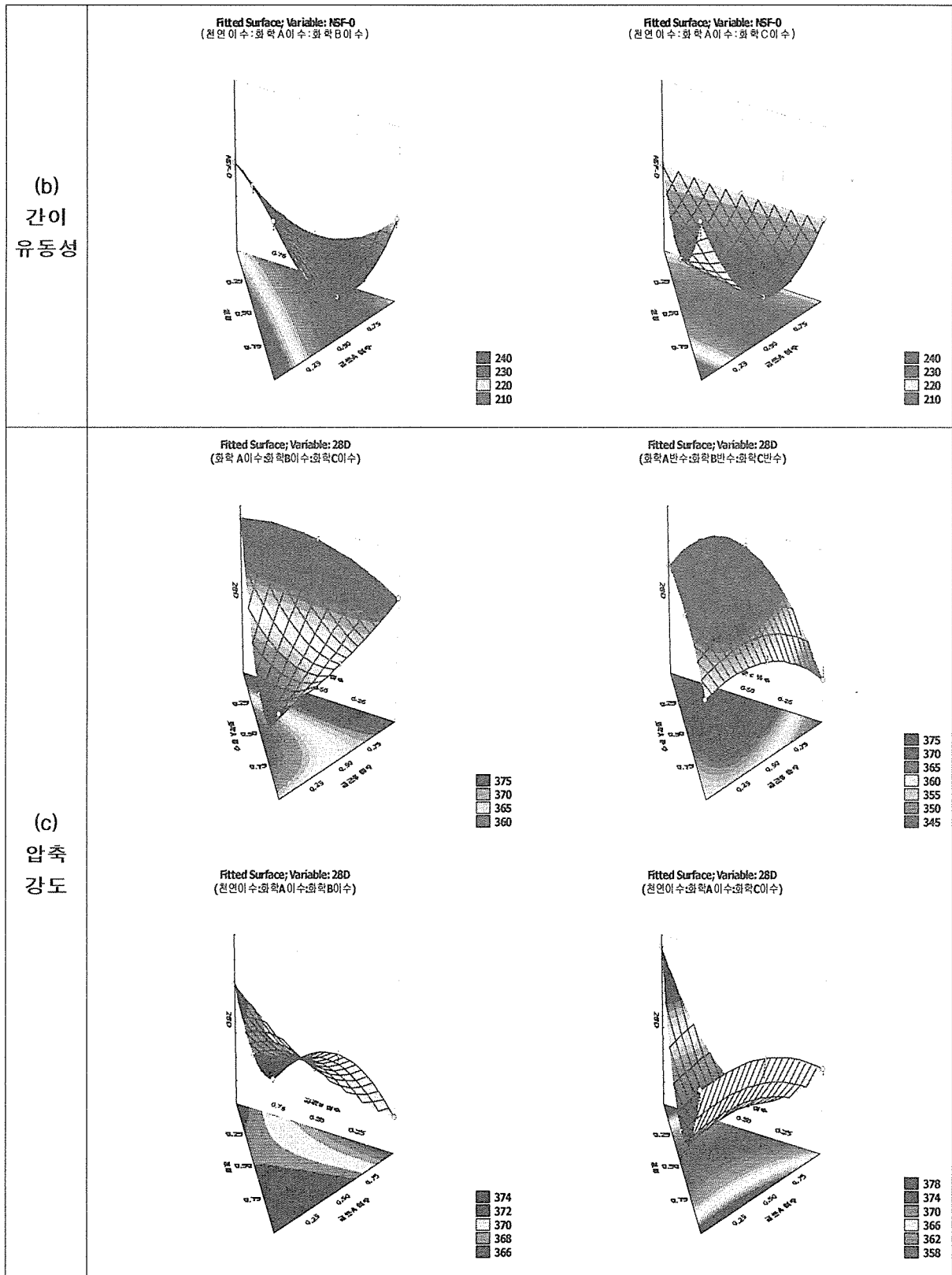
(2) 분쇄성

목표 블레인 3400cm<sup>2</sup>/g에 소요되는 분쇄 시간은 화학 A의 이수석고가 가장 짧고, 기타 이수 석고의 경우 첨가량(SO<sub>3</sub> 2.35%이내에서)이 증가할수록 길어지는 경향을 보였으며, 가장 양호한 분쇄성과 잔사를 보이고 있는 석고는 화학 A 이수석고로 판단되었다.

(3) 응결

화학 A 석고가 초결 및 종결 모두 타 석고에 비하여 매우 지연되는 경향을 보인 반면 천연이수석고의 경우 천연이수석고비율 증가에 비례하





<그림 9> 석고종류 및 형태에 따른 반응 표면 특성 예

여 응결이 짧은 경향을 보였다. 또한, 화학석고와 달리 천연반수석고의 경우 일정이상 증가시 응결이 지연되는 변곡점이 발생하였다.

(4) 유동성

주도에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 이수석고로써 화학 A 석고를 제외한 전 석고에서 감소하는 경향으로 석고종류보다 석고의 존재형태가 더 중요한 역할을 하고 있는 것으로 나타났다. 이수석고 함량에 비례하고 반수석고와는 반비례 관계로 반수석고 량이 증가할수록 유동성은 저하될 것으로 예상된다.

간이유동성은 주도와 비슷하게 석고종류에 상관없이 이수석고 존재시 전반적으로 향상되었으나 반수로 전환시 유동성은 현격히 저하되는 것으로 나타났다. 또한, 화학 A 석고의 경우 이수 반수에 따른 유동성은 타 석고에 비해 적게 영향을 받는 것으로 나타나 탈수가 심한 하절기의 경우 유동성의 관리에 상대적으로 유리할 것으로 판단된다. 또한, PC계와 반수의 경우 유동성이 급격히 증가하는 경향을 보여 석고의 탈수 관리에 대해 충분히 검토할 필요가 있다.

(5) 압축강도

천연 및 화학 C의 경우 첨가비율이 증가할수록 증가하는 반면 화학 A와 B는 약간 감소하는 반대의 경향을 나타냈다. 또한, 천연 및 화학 C는 재령에 상관없이 이수 대비 반수석고가 더 증가하였으나 화학 A와 B의 반수는 이수에 비해 감소하였다. 강도 증진을 측면에서 천연석고가 양호한 반면 화학 B 반수의 경우 가장 저조한 것으로 나타나 석고 종류 및 형태에 따라 매우 다른 경향을 보이고 있어 이의 특성을 고려한 석고 배합비 조절이 필요할 것으로 판단된다.

(6) 석고 최적 배합비 도출

석고의 특성을 고려하여 요구되는 시멘트의 물성에 맞게 석고의 배합비 도출이 통계적으로 추정 가능하였으며, 각 석고의 최적배합비가 존재하는 것으로 판단할 수 있었다.

본 연구에서는 석고 종류의 다변화에 따른 시멘트의 물성을 전반적으로 검토하였으나 석고 종류 및 형태이외의 석고 함량과 블레인 분포, 알카리양 등에 따라 시멘트 기초물성에 복합적으로 변동하기 때문에 이들 변수를 고려한 추가적인 물성 검토가 필요하다. 또한, 다양한 소비자의 구매 요구에 맞는 시멘트 물성을 정확히 파악하기 위해서는 신뢰도가 높고 신속한 방법의 수단으로 통계적 방법의 실험 및 해석이 매우 유용할 것으로 판단된다.

< 참고 문헌 >

1. 김종오 외 3인 “태국산 천연무수석고 (Anhydrite II)가 시멘트 품질에 미치는 영향에 관한 연구”, 제24회 시멘트 심포지움, 한국요업학회 · 한국양회공업협회, pp.67-74, 1996
2. 강승규 외 4인, “석고의 종류 및 분쇄, 저장온도가 시멘트 특성에 미치는 영향”, 제27회 시멘트 심포지움, 한국요업학회 · 한국양회공업협회, pp.48-53, 2000
3. S.N Ghosh, “Advances in Cement Technology”, pp.485-535
4. 한국과학기술연구소 정형진외 2인, “국산 인산폐석고 중에 함유된 불순물의 정도가 Portland Cements의 수경성 및 특성에 미치는 영향에 대한 연구”, 1980.12
5. 名和豊春, “분산제를 사용한 모르타의 유동성에 미치는 시멘트 특성의 영향”, 1992.4