

시멘트중 최적 석고량에 관한 연구

정현일 · 차완호* · 김철민

<아세아시멘트>

1. 서 론

시멘트에 첨가하는 석고는 C₃A의 급결을 방지하여 응결시간을 확보하는 것이 주목적이며, 그 외에도 단기강도 상승, 건조수축 감소, 화학적 저항성 향상, 수중팽창 및 안정성의 향상, 클링커 분쇄성 향상등 시멘트 품질측면에서도 중요한 역할을 한다.

시멘트중 최적 석고량 검토에 대하여는 오래 전부터 많은 연구가 진행되어, 주로 시멘트의 분말도와 클링커중 알카리량, C₃A 함량과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 최대 강도를 얻기 위한 석고 첨가량은 C₃A가 모두 Ettringite로 변화되는데 필요한 양의 약 1/4 수준이고, Monosulfate로 변화되는데 필요한 양의 약 3/4 수준이지만 강도외의 품질측면까지 고려하면 첨가량을 보다 증가시켜야 한다는 의견도 있다.²⁾

최근 시멘트 유동성이 중요한 품질항목으로 대두되면서 석고첨가량과 관련된 클링커, 시멘트

품질 인자가 크게 변화되고 있으며, 이로 인해 시멘트중 SO₃ 관리함량도 점차 감소되고 있는 실정이다. 뿐만 아니라 원가절감 및 산업부산물의 활용 측면에서 기존의 화학석고를 가격이 저렴한 탈황석고로 대체 사용하고 있어, 최적 석고량에 대한 개념을 재정립할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 클링커 및 시멘트 제조 환경의 변화에 대응하고 시멘트 Mill 공정에서의 석고량 관리에 참고자료로 활용하고자, 석고의 종류, 시멘트 분말도, 클링커 C₃A 함량, 석고 형태에 따른 품질영향을 검토함으로써 최대 품질을 발휘하기 위한 최적 석고량을 종합적으로 검토하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 석고의 형태

석고는 포함된 結晶水에 따라서 이수, 반수, 무수석고의 세가지 형태가 존재하며, 일반적으로

Table 1. 석고의 형태별 특징³⁾

	이수석고	반수석고		III형(가용성)무수석고		II형(불용성)무수석고		I형(고온형)무수석고
		α형	β형	α형	β형	亂溶性	不溶性	
공업적 생성 온도(°C)	-	105~150	125~160	110~220	180~220	350이상	400이상	(1180이상)
화학식	CaSO ₄ · 2H ₂ O	αCaSO ₄ · 1/2H ₂ O	βCaSO ₄ · 1/2H ₂ O	IIIαCaSO ₄	IIIβCaSO ₄	II CaSO ₄		I CaSO ₄
용해도	3°C	0.1810	0.825	1.006		1.15		0.377
	50°C	0.2038	0.426	0.426		0.48		0.184
특징		β보다 α형의 강도가 높다.	고온시 시멘트 Mill內 생성		고온시 시멘트 Mill內 생성	시멘트 초기 응결지연이 어려움.		

석고라 하면 이수석고를 의미한다.

이수석고를 乾式가열하면 약 130℃에서 1/2의 결정수를 가지는 반수석고($\beta\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)가 되고, 약 180℃까지 가열하면 가용성무수석고(βCaSO_4)가 되며, 다시 고온으로 가열하면 不活性으로서 반수석고로 되돌아가기 어려운 무수석고(CaSO_4)가 되는데 이를 不溶性無水石膏라 한다. 이에 대하여 이수석고를 濕式으로 가열하면 약 100℃ 이상에서 반수석고($\alpha\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)가 되고 이후 可溶性無水石膏(αCaSO_4), 최종적으로 不溶性無水石膏가 생성된다. 즉 乾式가열하면 β 형석고가, 濕式가열하면 α 형석고가 생성되며, 일반적인 시멘트 제조조건에서는 β 형석고가 형성된다. 각 석고 형태별 특징을 Table 1에 나타내었다. 물과 접촉시 석고의 특성을 결정하는 용해도는 반수(β 형)석고와 Ⅲ형무수석고가 상대적으로 높은 것이 특징이다.

2.2 시멘트중 석고의 주요 역할

2.3.1 응결조절 작용

석고의 가장 중요한 역할은 시멘트의 응결시간을 조절하는 것이다. 석고는 주수시 C_3A 와 반응하여 Ettringite($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)를 형성, C_3A 표면을 피복함으로써 응결을 지연시킨다. 석고의 응결지연 특성을 예로서 Fig. 1에 나타내었다. 이수석고는 약 2.5% 이상 첨가하면 응결시간이 거의 일정하게 유지된다. 반면 반수

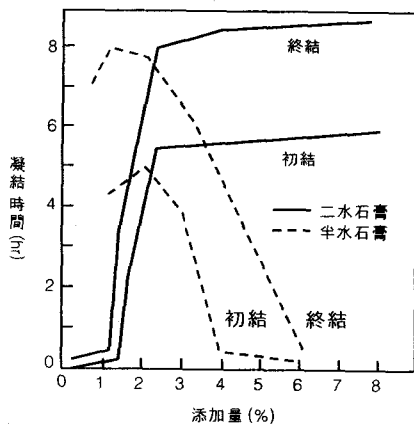


Fig. 1. 응결시간과 석고첨가량의 관계 ⁵⁾

석고는 용해도가 크기 때문에 약 2% 첨가만으로도 이수석고와 동일한 지연작용을 나타내며, 5%수준으로 증가시키면 과포화용액으로부터 이수석고가 석출되어 응결이 오히려 빨라지며 심한 경우 위응결을 일으킨다.⁵⁾

2.3.2 강도발현

석고가 존재하는 경우 Alite의 수화를 촉진시키는 작용이 있으며, 특히 초기강도가 증가한다. 그러나 석고를 과다하게 첨가하면 Ettringite 생성량이 증가하고 수화생성물의 치밀한 구조를 와해시켜 장기재령에서 강도발현을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 실험 예에서는 시멘트중 SO_3 를 1.5%에서 3%로 증가시킴에 따라 3일강도가 25% 상승한다고 하는 연구보고도 있다.⁴⁾

2.3.3 클링커 분쇄성

이수석고는 클링커 분쇄시 분쇄조제로 작용하여 분쇄성을 향상시킨다. 그러나 시멘트 Mill내 온도상승으로 반수석고로 탈수되면 분쇄조제의 효과가 없어진다. 석고의 종류와 분쇄성 측면에서 천연석고는 품위가 낮을수록 분쇄성은 향상되지만 시멘트 품질(강도)하락의 우려가 있으며, 분쇄온도의 영향을 거의 받지 않는다. 반면 화학석고는 Mill내 온도가 상승하면 반수석고로 탈수되어 분쇄성 하락의 요인이 될 수 있다.⁴⁾

2.3 시멘트중 석고량 관리

Lerch에 따르면 가장 양호한 28일 압축강도를 발휘하기 위해 필요한 석고량은 시멘트의 분말도, 클링커의 알카리 및 C_3A 함량에 좌우된다고 하였으며, Ost는 C_3A 대신 Fe_2O_3 를 포함하는 최적석고량식을 제안하였다.¹⁾

$$\begin{aligned} \text{Optimum}(\text{SO}_3\%) &= 0.556(\text{equivalent Na}_2\text{O}\%) \\ &+ 0.017659(\text{Cement fineness Blaine m}^2/\text{kg}) \\ &- 0.1072(\text{Fe}_2\text{O}_3\%) - 3.6004 \end{aligned}$$

그러나 최적 석고량은 시멘트 품질과 생산공

Table 2. 사용재료 화학성분

	수분	화학성분(%)								Modulus			광물량(TOPAS)			
		LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	LSF	SM	IM	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
클링커	-	0.55	22.39	5.16	3.65	64.96	1.98	0.46	0.73	90.83	2.54	1.42	60.9	15.2	3.1	13.9
화학석고	10.6	20.35	3.44	0.62	0.56	33.75	0.12	40.84	tr	-	-	-	-	-	-	-
탈황석고	8.6	21.11	0.99	0.49	0.23	32.77	0.12	44.01	tr	-	-	-	-	-	-	-

정등 공장여건에 따라서 달라질 수 있기 때문에 이에 대한 종합적인 검토가 필요하다. 본 연구에서는 석고량에 영향을 미치는 각 인자를 변화시키면서 최적 석고량을 검토하고자 하였다.

3. 실험재료 및 방법

3.1 실험재료

본 실험에 사용한 재료의 화학성분을 Table 2에 나타내었다. 클링커는 당사 공정에서 채취한 1종 포틀랜드시멘트 제조용 클링커이며, XRD TOPAS를 이용한 클링커 광물량 분석결과 C₃A 함량이 3.1%로서 비교적 소량으로 존재하였다. 석고는 국내 T사 화학석고 및 탈황석고를 사용하였으며, XRD 분석결과 모두 이수석고로 존재하였다. 반수석고는 이수석고를 105°C에서 24시간 건조시켜 제조하였다.(Fig. 2 참조)

3.2 실험방법

석고의 최적첨가량을 검토하기 위해 Table 3

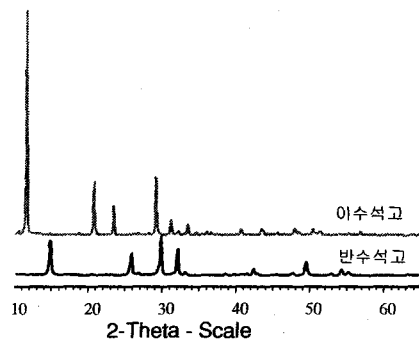


Fig. 2. 석고의 XRD 패턴

과 같이 단계별로 나누어 실험을 실시하였다. 실험 수준은 먼저 석고종류의 영향을 검토하고, 석고 투입량, 시멘트 粉末度, 클링커 C₃A 함량, 석고 형태에 따른 적정 석고량을 검토하였으며, 마지막으로 석고와 분쇄성의 관계를 검토하였다.

시멘트 제조는 실험실 소형 Test Mill(305mm φ×305mmL, 강구량 33kg)을 사용, 석고와 클링커를 혼합분쇄 하였으며, 각각에 대하여 SO₃ ±0.1%, Blaine ±100cm³/g의 범위로 제조하였다.

실험항목은 기본물성으로서 시멘트 분말도와 SO₃ 함량을 측정하였고, KS L 5105에 의한 압

Table 3. 실험수준

구분	검토 항목	실험 변동인자	비 고
1	· 석고 종류	· 化學石膏, 脫黃石膏, 혼합분(1:1)	※ 공통사항 · 혼합석고(化學+脫黃) · SO ₃ 1.8%, 2.0% · Blaine 3200cm ³ /g
2	· 석고 투입량	· SO ₃ 1.4~3.0%	
3	· 시멘트 분말도	· Blaine 2800, 3200, 3600cm ³ /g	
4	· 클링커 C ₃ A 함량	· C ₃ A 5.7%, 3.1%	
5	· 석고 형태	· 이수(반수) 100(0)~0%(100%)	
6	· 석고와 분쇄성	· 화학, 탈황, 이수, 반수	

Table 4. 석고 종류에 따른 시멘트 물리성능 실험결과

구분	SO ₃ (%)	Blaine (cm ² /g)	44 μ mR (%)	주도 (%)	Vicat 초결(분)	Gillmore(분)		압축강도(kg/cm ²)				Paste Flow (mm)
						초결	종결	1일	3일	7일	28일	
화학석고	1.81	3285	15.7	23.6	215	215	310	99	217	323	414	225
탈황석고	1.79	3282	17.8	23.4	170	180	275	103	227	317	412	236
석고혼합분	1.74	3293	17.3	23.2	190	195	295	107	220	325	406	235

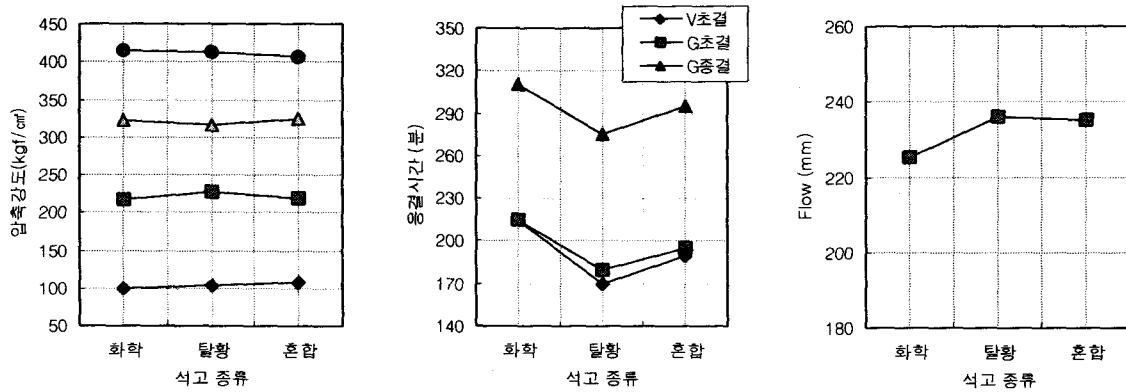


Fig. 3 석고 종류에 따른 시멘트 물리성능

축강도와 KS L 5103, 5108에 의한 응결시간을 측정하였다. 유동성은 간이실험방법인 페이스트 Flow 실험을 채택하였다. 실험방법은 W/C 30%에서 혼합한 페이스트를 100ml 용기에 채운후 조용히 들어올려 퍼진 원의 직경으로서 Flow로 하였다. 분쇄성 실험은 실험실 Test Mill과 Vibrating Mill로 분쇄하여 Blaine 및 44 μ m잔사로서 분쇄성을 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 석고 종류에 따른 시멘트 물성 변화

석고 종류에 따른 시멘트 압축강도, 응결시간 및 페이스트 Flow 실험결과를 Table 4 및 Fig. 3에 나타내었다. 압축강도 실험결과 초기강도 및 후기강도에서 석고 종류에 따라 큰 차이를 나타내지는 않았으나, 응결시간 실험결과 화학석고에 비하여 탈황석고의 응결시간이 단축되는 것으로 나타났다. 이것은 일반적으로 탈황석고가 화학석고에 비하여 硬度가 높고, 불순물 함유량이 많으

며 용해속도가 느리기 때문으로 판단된다. Flow 실험결과 화학석고에 비해 탈황석고에서 약간 높은 Flow를 나타내었는데 44 μ m잔사 증가에 의한 영향으로 생각된다.

4.2 석고 첨가량에 따른 시멘트 물성 변화

시멘트중 석고 첨가량을 SO₃ 1.4%에서 3.0%까지 증가시키면서 시멘트의 물리성능을 측정할 결과를 Table 5 및 Fig. 4에 나타내었다.

압축강도 실험결과 석고첨가량이 증가함에 따라 3일까지의 초기강도가 크게 증가하였으며, 28일 강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 SO₃ 1.8%를 기준으로 3.0%까지 석고첨가량을 증가시키는 경우, 1일강도는 38% 증가, 3일강도는 11% 증가하는 것이 되며, 28일 강도에서는 약 9% 감소되는 것이 된다. 28일 강도의 하락은 Fig. 4에서와 같이 7일~28일 강도 증진폭의 감소에 기인한다. 석고 첨가량 증가에 따라 후기강도가 하락하는 원인은 시멘트 내에 석고 함량비가 과다한 경우 Ettringite의 생성량이 증가되어

Table 5. 석고 첨가량에 따른 시멘트 물리성능 실험결과

구분	SO ₃ (%)	Blaine (cm ³ /g)	44 μ mR (%)	주도 (%)	Vicat 초결(분)	Gillmore(분)		압축강도(kg/cm ²)				Paste Flow (mm)
						초결	종결	1일	3일	7일	28일	
SO ₃ 1.4%	1.39	3229	17.0	23.6	180	180	285	84	219	311	411	243
SO ₃ 1.8%	1.74	3306	15.9	23.2	190	185	290	96	221	308	415	234
SO ₃ 2.2%	2.18	3303	18.3	23.0	185	205	290	122	247	317	406	235
SO ₃ 2.6%	2.58	3240	21.7	23.0	190	200	285	112	233	299	385	229
SO ₃ 3.0%	2.93	3318	21.1	22.8	225	215	315	132	246	313	379	231

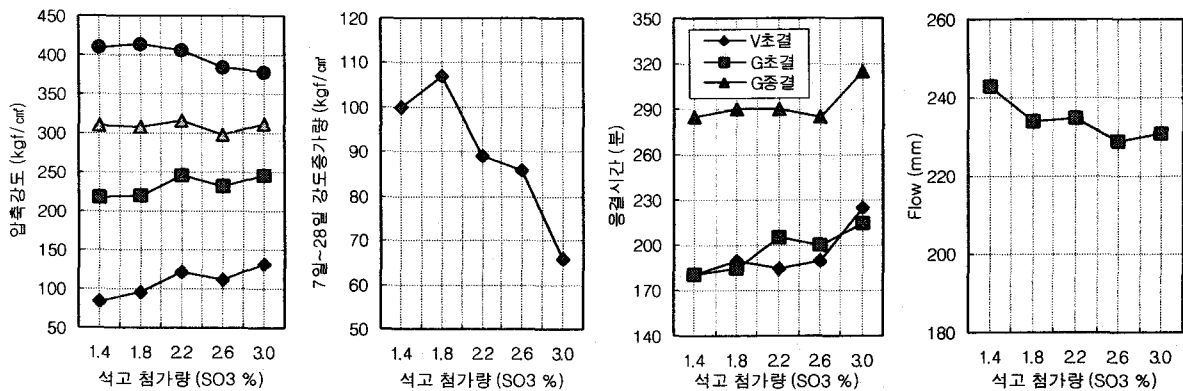


Fig. 4 석고 첨가량에 따른 시멘트 물리성능

수화생성물의 치밀한 구조를 와해시키는 것과 초기에 대량으로 생성된 수화물들이 장기강도에 기여하는 Calcium Silicate 수화물의 충전 및 성장을 저해함으로써 후기강도가 하락하는 것으로 해석된다.

응결시간 실험결과 석고첨가량 증가에 따라 응결시간이 지연되어 석고가 C₃A의 반응을 효과적으로 조절함을 알 수 있다. 또한 페이스트 Flow는 석고첨가량 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

실험결과로부터 28일 압축강도, Flow 측면에서는 석고량을 낮게 관리하는 것이 유리하고, 초기 강도 측면에서는 높이는 것이 유리한 것으로 나타났는데, 석고 첨가량 조절을 통해 원하는 방향으로 시멘트 품질을 조절할 수 있음을 알 수 있다.

4.3 시멘트 분말도의 영향

시멘트 Blaine을 2,800~3,600cm³/g까지 증가시킨 경우 석고 첨가량에 따른 시멘트 물리성능

실험결과를 Table 6 및 Fig. 5에 나타내었다.

압축강도는 전체적인 경향으로서 Blaine 증가에 따라서 증가하였으며, 석고 첨가량 증가에 따라 3일 이내 초기강도가 상승하고 28일 강도가 하락하는 경향을 나타내었다. 최고강도를 나타내는 석고 첨가량은 Blaine 2,800cm³/g에서 1.8%, Blaine 3,600cm³/g에서 2.2% 수준으로서 시멘트 분말도 상승에 따라 적정 석고량이 증가됨을 알 수 있다.

응결시간은 Blaine이 증가함에 따라 초결, 종결 모두 단축되는 경향을 나타내었다. 특히 Blaine 3,600cm³/g에서는 1.8% 이하에서 응결이 크게 단축되어, Blaine이 증가하는 경우 응결시간 측면에서도 석고량 증가가 필요하다.

페이스트 Flow 실험결과 전체적인 경향으로서 Blaine 증가 및 석고 첨가량 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 압축강도와 응결시간을 고려한 적정 석고량은 1.8~2.0% 수준으로 고려되며, Blaine이 증가되는 경우 석고 첨가량도 높은 쪽으로 유지시킬 필요가 있다.

Table 6. 석고 첨가량에 따른 시멘트 물리성능 실험결과

구 분	SO ₃ (%)	Blaine (cm ³ /g)	44 μ mR (%)	주도 (%)	Vicat 초결(분)	Gillmore(분)		압축강도(kg/cm ²)				Flow (mm)	
						초결	종결	1일	3일	7일	28일		
Blaine 2800	SO ₃ 1.4%	1.38	2788	26.5	22.6	185	190	290	67	196	306	397	247
	SO ₃ 1.8%	1.72	2878	26.7	22.6	195	195	295	80	197	302	403	239
	SO ₃ 2.2%	2.15	2896	23.9	23.0	185	190	295	99	217	294	390	237
	SO ₃ 2.6%	2.61	2890	23.2	23.4	215	220	340	106	217	287	375	237
	SO ₃ 3.0%	2.99	2872	24.9	23.2	210	215	300	103	232	290	367	241
Blaine 3600	SO ₃ 1.4%	1.45	3611	13.6	23.2	120	120	145	93	217	358	388	231
	SO ₃ 1.8%	1.76	3669	14.1	23.2	125	135	175	116	233	347	424	228
	SO ₃ 2.2%	2.15	3602	16.9	23.4	145	150	190	122	238	327	424	232
	SO ₃ 2.6%	2.57	3634	17.9	23.2	155	150	190	134	247	334	394	238
	SO ₃ 3.0%	3.04	3625	18.4	23.4	160	155	195	159	276	345	417	231

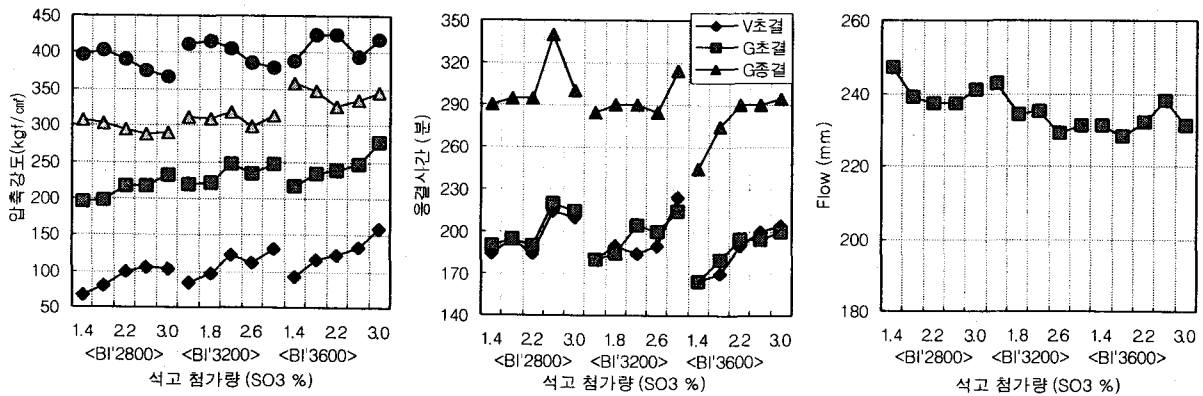


Fig. 5 시멘트 분말도에 따른 시멘트 물리성능

Table 7. 클링커 C₃A 함량에 따른 시멘트 물리성능 실험결과

구 분	SO ₃ (%)	Blaine (cm ³ /g)	44 μ mR (%)	주도 (%)	Vicat 초결(분)	Gillmore(분)		압축강도(kg/cm ²)				Flow (mm)	
						초결	종결	1일	3일	7일	28일		
C ₃ A 少	SO ₃ 1.4%	1.36	3205	17.5	23.4	185	175	275	77	217	332	414	242
	SO ₃ 1.8%	1.77	3314	14.8	23.4	185	175	280	104	243	330	403	234
	SO ₃ 2.2%	2.13	3284	17.8	23.2	190	195	285	126	250	335	400	226
	SO ₃ 2.6%	2.52	3200	20.9	23.2	225	200	285	119	241	319	381	229
	SO ₃ 3.0%	2.96	3329	19.6	23.4	185	175	280	126	256	313	377	237
C ₃ A 多	SO ₃ 1.4%	1.37	3213	19.4	23.0	170	155	270	68	202	301	393	246
	SO ₃ 1.8%	1.72	3182	20.5	23.2	190	185	285	83	212	295	388	246
	SO ₃ 2.2%	2.24	3208	22.1	23.2	195	185	295	108	205	297	386	243
	SO ₃ 2.6%	2.53	3200	20.6	23.0	205	195	300	106	219	299	378	243
	SO ₃ 3.0%	3.00	3197	22.7	22.8	215	190	300	115	231	294	357	242

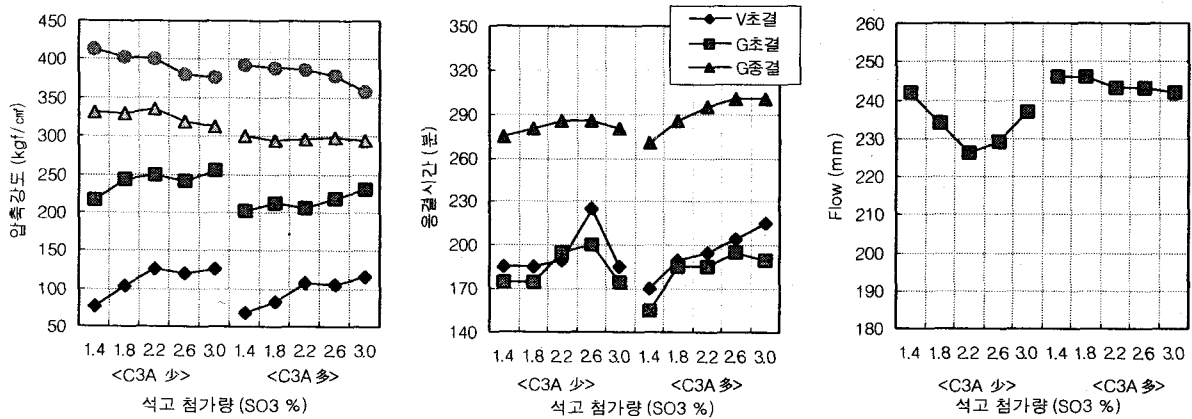


Fig. 6 클링커 C₃A 함량에 따른 시멘트 물리성능

4.4 클링커 C₃A 함량의 영향

C₃A 함량이 3.1% 및 5.7%인 두종류의 클링커에 대하여 석고 첨가량을 변경시켜 물리성능을 측정하였다(Table 7. 및 Fig. 6 참조).

압축강도 실험결과 앞의 실험결과와 동일하게 석고 첨가량이 증가할수록 초기 3일이내 강도가 증가하고 후기강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 7일 및 28일 압축강도 추이를 고려할 때, 동일조건에서 클링커내 C₃A 함량이 증가하는 경우 석고량 증가가 필요한 것으로 판단된다.

페이스트 Flow 실험결과 석고첨가량이 증가함에 따라 전반적으로 Flow가 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나, C₃A 함량 차이에 따라서는 C₃A 함량이 높은 클링커에서 높은 Flow를 나타내어 이론과 상반된 결과를 나타내었는데, 이것은 클링커 소성이력 및 시료 제조시 44 μ m잔사량 차이에 기인하는 것으로 추정된다.

4.5 석고 형태의 영향

반수석고를 105 $^{\circ}$ C에서 24시간 건조하여 제조하고, 각각 0~100%까지 비율별로 이수석고를 치환 첨가하여 시멘트 물리성능 실험을 실시하였다.(Table 8 및 Fig. 7 참조)

압축강도 실험결과 이수석고를 반수석고로 75% 치환한 경우에서 최대강도를 나타내어 강도측면에서는 이수석고와 반수석고가 적정 혼합된 경우가 우수한 것으로 나타났다. 이것은 초기 수화에서 석고의 용해도 차이가 시멘트의 수화 반응을 적절히 제어함으로써 안정상의 C-S-H 상이 생성됨에 기인한다. 이러한 경향은 응결실험 결과에서도 알 수 있는데 이수석고를 단독으로 투입한 시료에 비하여 반수석고를 혼합한 경우 응결이 지연되는 현상을 나타내었다. 이것은 용해속도가 빠른 반수석고를 첨가함으로써 상대적으로 적은 석고량에서도 효과적으로 응결을

Table 8. 석고 형태에 따른 시멘트 물리성능 실험결과

구분 (이수 : 반수)	SO ₃ (%)	Blaine (cm ² /g)	44 μ mR (%)	주도 (%)	Vicat 초결(분)	Gillmore(분)		압축강도(kg/cm ²)				Flow (mm)
						초결	종결	1일	3일	7일	28일	
100 : 0	1.75	3247	24.2	23.2	195	195	295	108	224	281	381	248
75 : 25	1.77	3220	24.0	23.0	185	190	290	102	230	302	390	250
50 : 50	1.78	3260	23.9	23.0	230	210	290	101	233	313	407	254
25 : 75	1.80	3293	23.9	23.0	235	225	315	105	241	332	421	254
0 : 100	1.78	3243	24.4	22.8	230	220	305	95	230	326	407	249

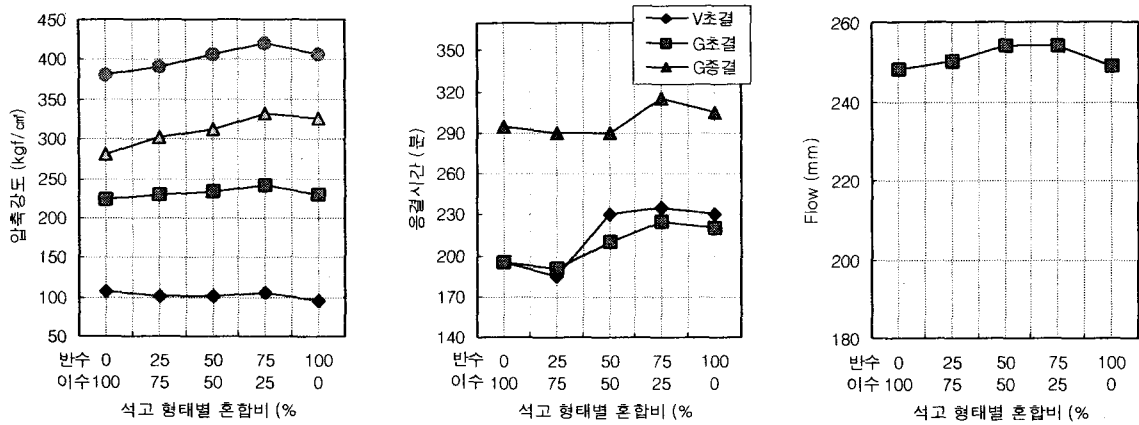


Fig. 7 석고 형태에 따른 시멘트 물리성능

지연시키는데 기인하는 것으로 생각된다. 한편 페이스트 Flow는 응결시간과 거의 유사한 패턴을 나타내었으나 시료간 차이는 크지 않았다.

참고실험으로서 Fig. 8에 공정시멘트 중에 존재하는 이수 및 반수석고의 비율과 페이스트 Flow의 관계를 조사한 결과를 나타내었다. 그림에서와 같이 Flow는 이수석고 함량에 비례하고 반수석고와는 반비례하는 관계로서, 반수석고 함량이 증가할수록 시멘트 유동성이 저하는 것으로 나타났다.

4.6 클링커 분쇄성

석고형태와 종류에 따른 분쇄성 실험을 각각 실험실 Vibrating Mill과 Test Mill에서 실시하고 그 결과를 Table 9 및 Fig. 9, 10에 나타내었다. 클링커 내에 이수석고를 혼입한 경우 반수석

고에 비하여 분쇄성이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 이수석고가 클링커 분쇄시 분쇄조제의 역할을 하기 때문이며, Mill 내부 온도상승으로 반수석고로 탈수되는 경우 분쇄성 하락에 주의할 필요가 있다. 본 실험결과에서 이수석고와 반수석고의 분쇄성 차이는 Vibrating Mill은 Blaine 103cm²/g, Test Mill은 Blaine 211cm²/g의 차이를 나타냈다. 석고의 종류에 따라서는 탈황석고에 비하여 화학석고의 분쇄성이 전반적으로 양호한 것으로 나타났다.

5. 결론

이상과 같이 시멘트에 첨가되는 석고의 종류와 형태, 시멘트의 분말도, C₃A 함량에 따른 석고 첨가량의 영향에 대하여 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

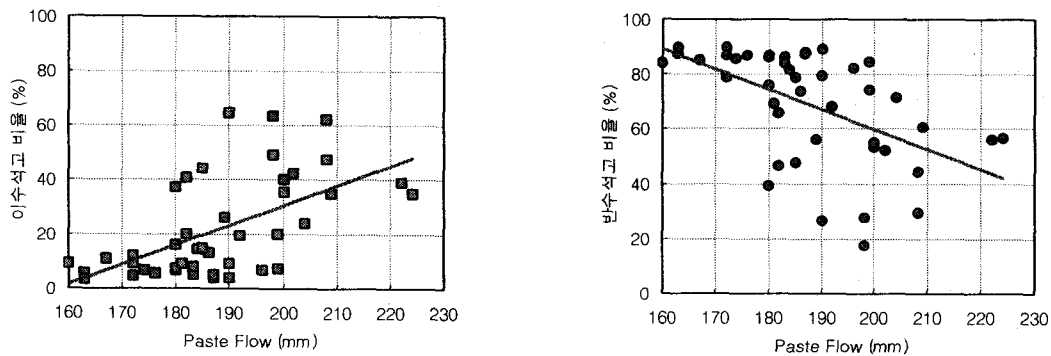


Fig. 8 공정시멘트에 있어서 석고 형태와 시멘트 유동성의 관계(n=43EA)

Table 8. 분쇄성 실험결과

석고형태	석고종류	Vibrating Mill		Test Mill	
		Blaine(cm^2/g)	44 μmR (%)	Blaine(cm^2/g)	44 μmR (%)
이수석고	화학석고	3,258	26.7	3,158	30.26
	탈황석고	3,237	26.7	3,260	30.40
반수석고	화학석고	3,200	27.0	3,019	36.79
	탈황석고	3,090	28.8	2,977	38.37

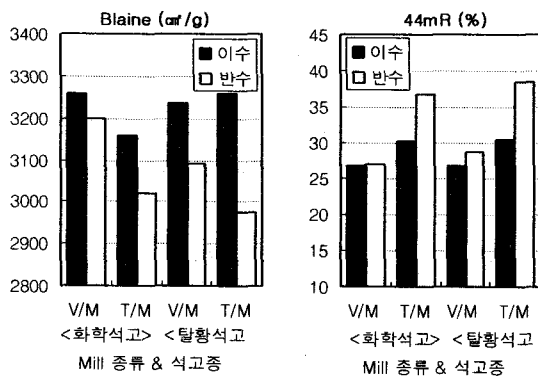


Fig. 9 석고 형태에 따른 클링커 분쇄성

(주) V/W : Vibrating Mill, T/M : Test Mill을 의미함

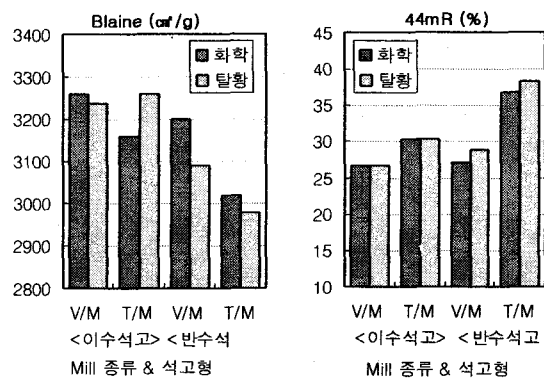


Fig. 10 석고 종류에 따른 클링커 분쇄성

1. 석고 종류에 따라서는 화학석고와 탈황석고 종류에 관계없이 유사한 압축강도를 나타내었으나, 탈황석고에서 응결이 다소 단축되는 현상을 나타내었다.
2. 석고 첨가량이 증가할수록 초기 3일 재령까지의 압축강도는 증가하고 28일 재령에서의 강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 본 실험에서는 SO_3 를 1.8%에서 3.0%로 증가시키는 경우 1일강도는 38% 증가하였고 28일강도는 9% 감소하였다. 또한 석고첨가량 증가에 따라 응결시간이 지연되고 시멘트 유동성은 감소되었다.
3. 시멘트의 분말도와 C_3A 함량이 증가할수록 최대강도를 나타내는 석고 첨가비는 증가하고 응결시간은 단축되는 것으로 나타났다. 따라서 시멘트의 분말도와 C_3A 가 증가하는 경우 석고첨가량을 증가시킬 필요가 있는 것으로 검토되었다.
4. 석고 형태의 영향으로서 이수석고 단독인 경우보다 이수석고와 반수석고가 공존하는 경우에서 높은 압축강도를 나타내었다. 또한 참고실험으로 석고형태와 유동성의 관계를 조사한 결과 이수석고 함량이 증가하고 반수석고 함량이 감소할수록 시멘트 유동성이 향상되는 것으로 나타났다.
5. 클링커 분쇄성 실험결과 반수석고에 비하여 이수석고를 첨가하는 경우 분쇄성이 향상되어 이수석고가 분쇄조제의 역할을 하는 것으로 확인되었다. 본 실험결과에서는 이수석고를 첨가한 시멘트에서 반수석고 첨가시에 비하여 Blaine 100~200 cm^2/g 정도 증가하는 것으로 나타났다.
6. 이상과 같은 실험결과로부터 응결시간등 기타 물성에 미치는 영향을 고려하면서 최대 압축강도를 발휘하는 석고 첨가량은 SO_3 1.8~2.0% 수준인 것으로 검토되었으며, C_3A 나 분

말도 등과 같은 시멘트 품질과 제조공정에 따라 적정하게 변화시켜 관리할 필요가 있다. 또한 석고 첨가량이 시멘트 품질에 미치는 영향과 정도를 파악함으로써, 초기강도 또는 후기강도를 높이거나 유동성 및 응결시간을 조정하는 등 현장의 요구에 적합한 품질관리가 가능한 것으로 나타났다.

< 참고 문헌 >

1. S. N. Ghosh, "Advances in Cement Technology(2ed)", P130 (2002)
2. 荒井 康夫, "セメントの 材料化學", P173 (1984)
3. 山下 純成, "天然石こうと 化學石こう", セメント・コンクリート No 655, Sep, P74 (2001)
4. "Cement 技術總論", 産業圖書株式會社, P73 (1980)
5. 稱田 信彦, "セメント中の 石こうの 役割", セメント・コンクリート No 677, Jul, P60 (2004)
6. K. Theisen, "Relationship between gypsum dehydration and strength development in portland cement", ZKG 1983. 10, P571