

태국산 천연무수석고(Anhydrite II)가 시멘트 품질에 미치는 영향에 관한 연구

김종오* · 장봉규 · 이상윤 · 하승수 · 장종태

<동양시멘트 삼척공장>

1. 서론

시멘트밀내의 온도상승으로 인해 천연이수석고(Dihydrate, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)가 hemihydrate($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) 및 anhydrite III (CaSO_4)로 탈수되어 위응결 등으로 인한 콘크리트의 작업성 저하 및 강도저하 등의 품질개선대책으로서 천연무수석고(anhydrite II, CaSO_4)가 시멘트 물성에 미치는 영향에 관한 연구를 통하여 천연무수석고의 사용 가능성을 검토하였다.

실험은 test mill에서 blaine을 3,300 cm^2/g 으로 분쇄하여 고정시키고, 클링커에 4.4%의 석고를 혼합하여 수행하였고, 탈수로 인한 시멘트 품질 변화의 영향을 관찰하기 위해 태국산 천연이수석고를 전기로에서 120 $^\circ\text{C}$ 에서 2시간 탈수시킨 시료(hemihydrate, $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)와 180 $^\circ\text{C}$ 에서 2시간 탈수시킨 시료(anhydrite III, CaSO_4), 그리고 탈수시키지 않은 시료로 구분하여 수행하였다. 천연이수석고와 천연무수석고의 혼합비의 경우, dihydrate는 0, 20, 30, 40, 50, 100%의 무수석고를 혼합하였고, hemihydrate와 anhydrite III는 10~90%까지 10%씩 증가시키면서 실험을 수행하였고, 각 실험변수에 따른 시멘트 물리성능으로서 위응결 유무 및 압축강도, 주도, 응결시간, 분쇄시간, 잔사율 등을 검토하였다.

탈수되지 않은 천연이수석고와 천연무수석고를 혼합한 경우는 본 실험의 조업조건 범위 내에서 위응결이 발생되지 않았으며, Hemihydrate는 천연무수석고 혼합비가 40% 이상에서, anhydrite III는 70% 이상에서 각각 위응결이 나타나지 않았다. 천연무수석고를 혼입한 시멘트의 분쇄성은 위응결이 발생되지 않는 범위에서부터 탈수되지 않은 석고의 분쇄성과 비슷하게 나타나고 있으며 위응결이 나타나는 범위에서는 분쇄성이 천연이

수석고와 천연무수석고만이 혼입된 경우보다 떨어지는 것으로 나타났다.

압축강도에 있어서는 천연이수석고와 천연무수석고가 혼입된 시멘트의 경우 3일, 7일 및 28일 강도는 천연무수석고의 증가에 따라 변화가 없었고, 반수석고 및 천연무수석고 또는 무수석고(Anhydrite III) 및 천연무수석고가 혼입된 시멘트의 경우 3일 및 7일 강도는 천연무수석고의 증가에 따라 증가하였으며, 28일 강도는 천연무수석고의 증가에 따라 증가하고, 위응결이 나타나지 않을 때의 천연무수석고 혼입함량 이상의 값에서부터는 천연이수석고와 천연무수석고만이 혼입된 시멘트의 강도값과 유사한 값을 나타냈다.

2. 석고의 특성

2.1 시멘트 중의 석고의 역할^{(1),(2),(3)}

포틀랜드시멘트가 대량 생산되기 시작한 이후, 석고는 클링커와 함께 분쇄하여 시멘트를 제조하는데 사용되어 왔다. 시멘트에서 석고가 하는 역할은 매우 다양하며, 주로 응결시간의 조절 및

- False setting 방지
- 콘크리트의 Workability 향상
- 내황산염의 증가
- 분쇄성, 저장성, 안정도, 강도 등

기타 시멘트 물성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

2.1.1. 응결에 미치는 영향

시멘트에 물을 첨가하면 석고가 존재하지 않는 시멘트의 경우는 aluminate(C_3A)와의 반응에 의해 급결이 일어나고, 적정량의 석고가 존재하면 석고는 즉시 용해하여 aluminate와 반응하여 ettringite를 형성한다.

- Calcium sulfate가 없을 경우(급결발생)
 $2C_3A + 21H \rightarrow C_4AH_{13} + C_2AH_8$
- Calcium sulfate가 존재할 경우
 $C_3A + 3\overline{CS}H_2 + 26H \rightarrow C_3A(\overline{CS})_3H_{32}$
 (ettringite)

침상결정을 지닌 ettringite는 aluminate 입자 주위에 얇은 막을 형성하여 수화반응을 지연시키고, 특별한 화학반응 없이 수시간 동안 지속된 후, 결정화압에 의해 ettringite 막이 깨지고 새로운 ettringite가 생성되며, 이 반응은 SO₃가 모두 소모될 때까지 계속된다. 이때 시멘트 내에 존재하는 이수, 반수 및 III형 무수석고가 적정혼합비율로 존재치 않을 경우 각각의 용해속도의 차이에 의하여 일시적으로 굳어버리거나, 반수 또는 III형 무수석고가 이수석고(secondary gypsum)로 또는 시멘트를 장기간 저장할 경우 시멘트중의 알칼리와 대기중의 CO₂가 반응하여 Na₂CO₃로 변하고 물을 가하면 응결하는 위응결(false setting) 현상이 발생한다. 이러한 위응결현상은 콘크리트의 작업성 저하 및 강도에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

2.1.2. 분쇄성에의 영향

석고는 클링커보다 분쇄성이 좋기 때문에 클링커만을 분쇄하는 경우보다 쉽게 분쇄되지만, 밀 내의 높은 온도로 인하여 탈수된 석고(hemihydrate or anhydrite III)는 입자의 응집으로 인해 시멘트 분쇄성과 유동성을 저하시키며, 시멘트 입자는 미분에 집중되는 경향이 있다(Fig.1).

2.1.3. 유동성과 lump 형성에의 영향

대형 사일로의 높은 온도에서 발생하는 석고의 탈수는 클링커의 표면수화를 일으킨다. 표면수화

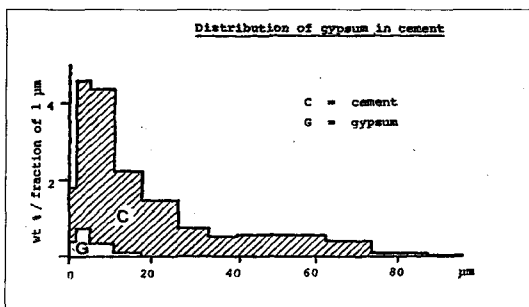


Fig.1 Distribution of gypsum in cement

반응이 빠르게 진행되어 시멘트의 표면적이 증가하고, 유동성이 저하되며 사일로 내의 시멘트는 굳어지게 되고 lump가 형성된다.

2.1.4. 강도 및 안정도에 미치는 영향

일정 한계치까지 석고를 첨가하면 일반적으로 압축강도는 증가하고, 수축을 방지할 수 있다. 그러나 한계치 이상의 석고를 첨가하면 팽창이 발생한다(Fig.2).

2.2 석고의 종류⁽¹⁾

일반적으로 석고의 형태는 Table 1에 보이는 것처럼 5가지 형태로 존재한다. 각각의 석고의

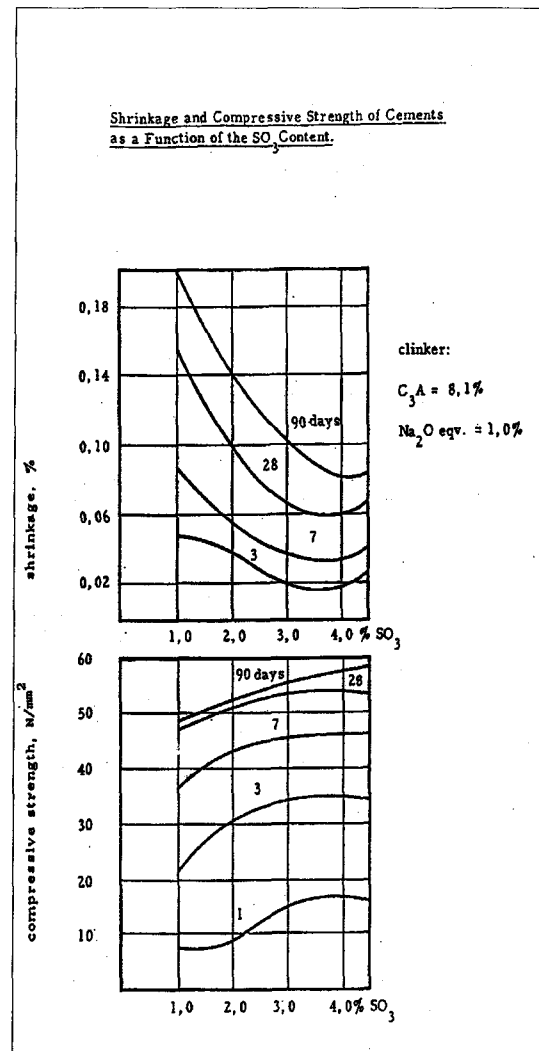


Fig.2 Shrinkage and Compressive Strength of Cements as a Function of the SO₃ content

CaSO₄-H₂O system의 존재형태별 구분

Table 1

Designation	Formula	Crystal water (%)	Density (g/cm ³)	Range of stability (°C)	Solubility at 20°C (%)	Occurrence	
						in nature	in cement
Dihydrate	CaSO ₄ · 2H ₂ O	20.92	2.32	< 40	0.2	yes	yes
Hemihydrate	CaSO ₄ · ½H ₂ O	6.21	2.7	metastable	0.95	no	yes
Anhydrite III	CaSO ₄	0	2.5	metastable	0.95	no	yes
Anhydrite II	CaSO ₄	0	2.98	40 - 1180	0.2	yes	yes
Anhydrite I	CaSO ₄	0	-	> 1180	-	no	(clinker)

형태에 따른 화학식, 결정수의 함량, 밀도는 Table 1과 같고 Dihydrate 와 Anhydrite II는 안정된 형태로서 자연계에 존재하며, 클링커와 함께 분쇄하여 시멘트 제조의 용결지연제로 사용하고 있는 물질이며, Hemihydrate와 Anhydrite III는 불안정한 형태로서 자연계에 존재하지 않고 시멘트의 분쇄 및 저장 중에 온도가 상승 (120°C 이상)하면 Dihydrate의 탈수에 의해 생성된다.

Anhydrite I은 고온 형태로서 킬른 내에서 소성 중에 발생하여 클링커에 용융 되어 나타나는 형태를 말한다.

Table 1에서 보는 바와 같이 Hemihydrate와 Anhydrite III의 용해도가 Dihydrate와 Anhydrite II의 용해도보다 높음을 알 수 있다. 각 형태의 석고가 시멘트 물성에 다른 양상을 보이는 것은 각각의 용해도 차이에 의한 것으로 알려져 있다.

3. 실험배경

하절기 밀내 온도상승(130°C 이상)으로 인해 천연이수석고 (Dihydrate, CaSO₄ · 2H₂O)가 Hemihydrate(CaSO₄ · ½H₂O) 및 Anhydrite III(CaSO₄)로 탈수되어 위용결 등으로 인한 콘크리트의 작업성 저하 및 강도저하 등의 품질개선대책으로서 천연무수석고(Anhydrite II, CaSO₄)가 시멘트 물성에 미치는 영향에 관한 연구를 통하여 천연무수석고의 사용가능성을 검토하고자 하였으며, 본 연구결과를 토대로 적정 천연무수석고의 혼입비율을 도출함으로써 하절기 당사 시멘트의 품질개선을 도모하고자 본 연구를 수행하였다.

4. 실험

실험은 천연이수석고와 천연무수석고를 혼합하여 클링커와 혼합, 분쇄하여 수행하였다. 실험에 사용된 클링커는 당사 #6K 에서 2월 21일에 제조된 클링커를 사용하였다. 천연이수석고는 탈수시키지 않은 시료(Dihydrate, CaSO₄ · 2H₂O, Type I), 전기로에서 120°C에서 2시간 탈수시킨 시료(Hemihydrate, CaSO₄ · 1/2H₂O, Type II)와 180°C에서 2시간 탈수시킨 시료(Anhydrite III, CaSO₄, Type III)로 구분하여 천연무수석고와 혼합하여 실험하였다.

천연무수석고의 혼합비율은 Type I의 경우 0, 20, 30, 40, 50, 100% 혼합하였고, Type II와 Type III의 경우 10 - 90%까지 10%씩 증가시키면서 실험하였다.

혼합된 시료는 클링커와 함께 Test mill에서 분쇄하여, Blaine을 3,300cm²/g으로 고정시키고 혼합된 석고는 4.4%를 첨가하였다. 혼합 분쇄하여 시멘트 제조후 각 실험변수에 따른 시멘트 물리 성능으로서 시멘트 압축강도, 주도, 용결시간, 분쇄성, 분말도 및 위용결 유무 등을 검토하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 물리적 특성 (Table 2)

5.2 화학적 특성 (Table 3)

5.3 실험결과 및 고찰

5.3.1 위용결에 미치는 영향

Table 4.는 석고의 형태(이수, 반수 및 III형 무수석고)에 따라 천연무수석고의 혼입비율에 따른

실험변수에 따른 시멘트의 물리적 특성 변화

Table 2

석고첨가(%)	시험항목		분쇄시간 (분)	BLAINE (cm/g)	분말도		용결시간		표준주도 (%)	압축강도(kg/cm ²)			위용결 상태	비고
	천연이수석고	천연무수석고			R88 μ m	R44 μ m	초결	종결		3일	7일	28일		
100			47	3299	0.3	9.9	2:51	5:16	23.3	252	330	424	없음	
	100		52	3326	0.3	10.3	2:40	5:03	23.5	261	325	420	"	
50	50		50	3299	0.3	10.9	2:45	5:10	23.3	266	319	416	"	
60	40		50	3333	0.3	9.7	2:50	5:15	23.2	268	337	420	"	
70	30		49	3299	0.3	10.2	2:53	5:25	23.1	252	336	421	"	
80	20		49	3333	0.3	10.1	2:56	5:23	23.1	247	328	423	"	
100%탈수 90	10		65	3299	1.2	16.9	2:46	4:50	22.0	204	268	348	있음	
80	20		65	3272	1.1	15.9	2:50	4:56	21.8	230	281	366	"	
70	30		59	3279	1.1	16.3	2:41	4:49	21.7	226	280	367	"	
60	40		59	3299	1.1	15.6	2:43	4:40	21.7	220	276	370	"	
50	50		57	3313	0.7	15.5	2:31	4:41	21.7	230	283	384	"	
40	60		57	3299	0.6	12.5	2:27	4:32	21.7	236	299	383	"	
30	70		56	3299	0.3	10.4	2:23	4:30	21.9	236	309	389	없음	
20	80		53	3299	0.3	10.3	2:20	4:27	22.0	223	308	413	"	
10	90		53	3279	0.3	10.2	2:27	4:30	22.1	236	316	425	"	
50%탈수 90	10		51	3299	0.8	15.7	2:56	5:12	21.6	214	278	369	있음	
80	20		52	3299	0.9	16.1	2:59	5:06	21.7	205	277	368	"	
70	30		51	3279	0.9	16.0	2:48	5:01	21.7	212	278	371	"	
60	40		50	3320	0.3	10.7	2:45	5:03	21.8	222	297	385	없음	
50	50		49	3313	0.3	8.9	2:50	4:59	22.0	221	310	412	"	
40	60		48	3299	0.4	10.5	2:46	4:56	22.1	216	307	410	"	
30	70		49	3313	0.3	10.2	2:49	5:01	22.2	225	306	415	"	
20	80		49	3301	0.3	10.1	2:43	5:01	22.1	222	318	418	"	
10	90		49	3299	0.3	9.8	2:48	4:53	22.1	222	313	420	"	

- 천연석고 100% 탈수시료는 전기로(몰리실)의 180℃에서 2시간 탈수한 것임
- 천연석고 50% 탈수시료는 전기로(몰리실)의 120℃에서 2시간 탈수한 것임

위용결 유무를 나타내고 있다. Table 4.에서 볼 수 있듯이 Type I(천연이수석고와 천연무수석고 혼입시멘트)의 경우 모든 실험범위내에서 위용결은 나타나지 않았고, Type II(반수석고와 천연무수석고 혼입시멘트) 및 Type III(III형 무수석고와 천연무수석고 혼입시멘트)의 경우는 천연무수석고 혼입비율이 40% 및 70%이상에서 위용결 현상이 각각 나타나지 않았다.

Ranc⁽⁴⁾는 시멘트 중에 존재하는 이수, 반수 및 무수석고의 양에 따른 시멘트의 유동성 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 용결속도 = f(용액중 SO_4^{2-})

- 용결속도 조절

▷ 초기 : 용해도가 큰 석고 성분에 영향을 받는다.(반수석고, 수용성 무수석고)

▷ 후기 : 용해도가 작은 석고 성분에 영향을 받는다.(이수석고, 천연무수석고)

- 연구결과 용해도가 큰 성분과 작은 성분이 1:1의 비율일 때 가장 이상적임

본 연구결과 및 Ranc의 연구결과에서 알 수 있듯이 시멘트중의 이수석고 탈수로 인한 위용결 현상과 이로 인한 콘크리트의 작업성 저하 개선을 위해서는 적정량의 천연무수석고 혼입을 통하여 가능해질 것으로 사료된다.

실험변수에 따른 시멘트의 화학적 특성변화

Table 3.

석고첨가(%)		화학성분		LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Free-CaO	HM	SM	IM	LSF
천연이수석고	천연무수석고	천연이수석고	천연무수석고														
단미 클링커		0.15		21.75	5.46	3.17	64.90	3.10	0.34	0.89	0.10	0.90	2.14	2.52	1.72	93.57	
천연이수석고									45.14								
천연무수석고									57.72								
천연이수석고 100%탈수									57.73								
천연이수석고 50%탈수									52.06								
100		1.31	21.33	5.14	2.98	63.24	2.92	2.29	0.82	0.10	1.02	2.15	2.62	1.72	91.09		
	100	0.57	21.19	5.13	2.96	63.14	2.93	2.85	0.81	0.10	1.02	2.16	2.62	1.73	90.91		
50	50	0.90	21.27	5.12	2.96	63.26	2.92	2.61	0.82	0.10	1.04	2.16	2.63	1.73	91.08		
60	40	0.85	21.27	5.13	2.97	63.21	2.92	2.60	0.82	0.09	1.02	2.15	2.63	1.73	90.98		
70	30	0.91	21.28	5.13	2.97	63.28	2.91	2.51	0.82	0.09	1.03	2.15	2.63	1.73	91.13		
80	20	1.13	21.32	5.15	2.98	63.34	2.92	2.41	0.82	0.09	1.02	2.15	2.62	1.73	91.13		
100% 탈수 90	10	0.60	21.26	5.13	2.96	63.26	2.92	2.72	0.82	0.09	1.08	2.16	2.63	1.74	90.95		
	80	0.55	21.23	5.12	2.96	63.19	2.91	2.76	0.82	0.10	1.08	2.16	2.63	1.73	90.96		
	70	0.44	21.25	5.13	2.95	63.25	2.92	2.83	0.82	0.10	1.09	2.16	2.63	1.74	90.87		
	60	0.55	21.25	5.14	2.95	63.29	2.91	2.85	0.82	0.10	1.07	2.16	2.63	1.74	90.92		
	50	0.57	21.23	5.13	2.95	63.23	2.92	2.89	0.82	0.10	1.07	2.16	2.63	1.74	90.85		
	40	0.43	21.21	5.13	2.94	63.16	2.91	2.93	0.82	0.10	1.09	2.16	2.63	1.75	90.82		
	30	0.35	21.24	5.14	2.94	63.29	2.93	2.93	0.82	0.10	1.09	2.16	2.63	1.75	90.87		
	20	0.36	21.19	5.13	2.94	63.20	2.92	2.95	0.82	0.10	1.08	2.16	2.62	1.74	90.88		
	10	0.39	21.22	5.13	2.94	63.34	2.93	2.94	0.82	0.10	1.07	2.16	2.63	1.74	91.00		
50% 탈수 90	10	0.61	21.30	5.16	2.97	63.37	2.92	2.68	0.82	0.10	1.09	2.15	2.62	1.74	90.98		
	80	0.49	21.28	5.14	2.96	63.30	2.92	2.70	0.81	0.10	1.09	2.15	2.63	1.74	90.94		
	70	0.51	21.27	5.14	2.96	63.27	2.91	2.78	0.82	0.10	1.09	2.15	2.63	1.74	90.85		
	60	0.72	21.28	5.13	2.97	63.30	2.92	2.64	0.83	0.10	1.09	2.15	2.63	1.73	91.00		
	50	0.72	21.26	5.14	2.97	63.35	2.92	2.66	0.82	0.10	1.09	2.16	2.62	1.73	91.13		
	40	0.39	21.28	5.13	2.95	63.38	2.93	2.80	0.81	0.10	1.09	2.16	2.64	1.74	91.00		
	30	0.31	21.24	5.12	2.94	63.30	2.92	2.85	0.82	0.10	1.09	2.16	2.63	1.74	90.99		
	20	0.34	21.22	5.12	2.95	63.25	2.91	2.88	0.81	0.10	1.09	2.16	2.63	1.73	90.97		
	10	0.39	21.22	5.13	2.94	63.30	2.93	2.96	0.82	0.10	1.09	2.16	2.63	1.75	90.94		

5.3.2 분쇄시간에 미치는 영향

Fig.3은 시멘트 중의 석고의 형태(이수, 반수 및 III형 무수석고)에 따라 II형 무수석고의 첨가에 따른 분쇄시간(Blaine 3,300cm²/g 일정조건)의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 각 시료에 따른 분쇄시간은 Type I 시료는 II형 무수석고 혼합비가 증가할수록 증가하고 있지만, Type II와 Type III시료는 II형 무수석고 혼합비가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구결

과는 Holderbank자료⁽¹⁾에서 밀 내의 높은 온도로 인하여 탈수된 석고(Hemihydrate or Anhydrite III)는 입자의 응집으로 인해 시멘트의 분쇄성을 저하시킨다는 결과와도 일치한다.

5.3.3 분말도에 미치는 영향

Fig.4는 석고의 혼입 Type별 II형 무수석고 첨가에 따른 R44 μ m 및 R88 μ m의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 Type I 시료는 II형 무수

천연무수석고 혼입비율에 따른 위응결 유무

Table 4.

천연무수석고 혼입비율(%)	Type I (Dihydrate, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	Type II (Hemihydrate, $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)	Type III (Anhydrite III, CaSO_4)
0	×		
10		○	○
20	×	○	○
30	×	○	○
40	×	×	○
50	×	×	○
60		×	○
70		×	×
80		×	×
90		×	×
100	×		

○ : 위응결 발생
 × : 위응결 없음

석고 혼입비에 따라 거의 일정한 분말도를 보이고 있으며, Type II와 Type III는 무수석고 혼입비가 적을 때는 상당히 높은 분말도의 값을 가지고, II형 무수석고가 증가할수록 위응결이 나타나지 않는 II형 무수석고의 혼입비 범위에서 Type I 시료와 거의 같은 분말도를 보이고 있다. 이러한 결과는 석고의 탈수정도와 II형 무수석고의 혼입비의 변화에 따른 시멘트의 분쇄시간의 변화와 거의 유사한 결과에 기인된 것으로 사료된다.

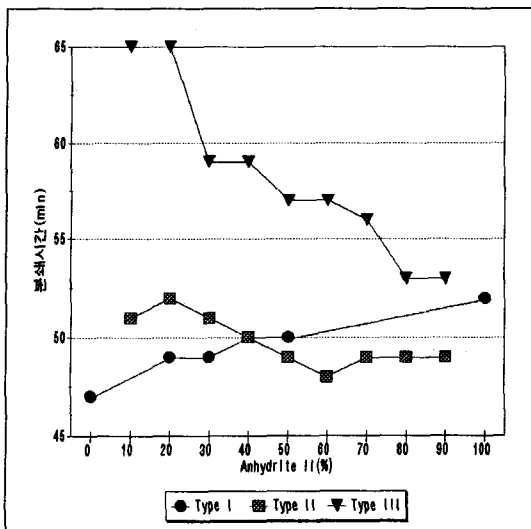


Fig.3 석고의 혼입 Type별 II형 무수석고 첨가에 따른 분쇄시간의 변화추이

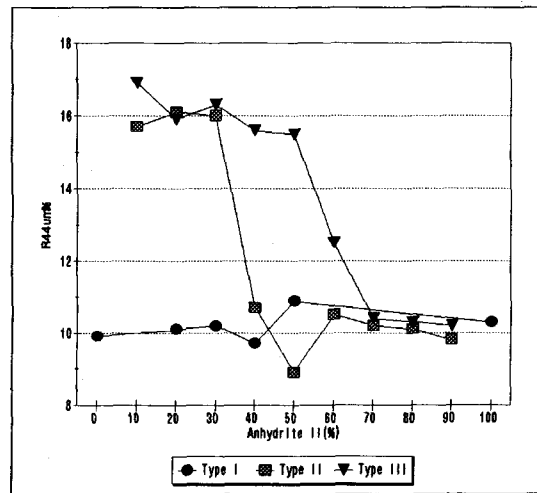
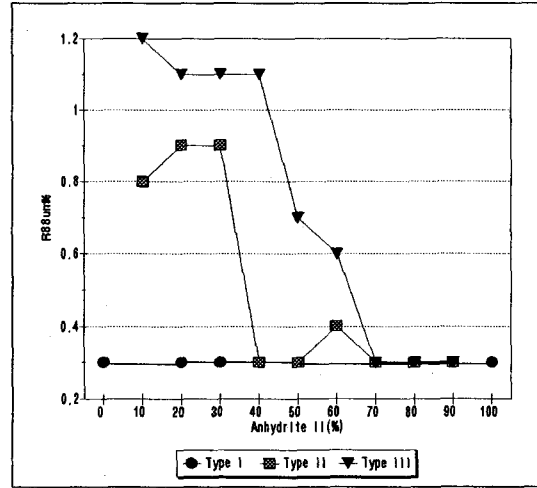


Fig.4 석고의 혼입 Type별 II형 무수석고 첨가에 따른 R44μm 및 R88μm의 변화추이

5.3.4 압축강도에 미치는 영향

Type I 시료의 압축강도(3일, 7일 및 28일 강도)는 무수석고 혼입에 따른 영향을 거의 받지 않고 일정하게 나타나고 있음을 Fig.5를 통하여 알 수 있고, 이러한 결과를 통하여 II형 무수석고가 압축강도에 미치는 영향은 천연이수석고와 거의 유사한 역할을 하는 것으로 사료된다.

외국의 경우 무수석고를 첨가함으로써 일반 OPC에 비해 고강도를 발현하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.⁽⁵⁾⁻⁽⁸⁾ 본 연구결과에 의하면 II형 무수석고 첨가에 따라 ettringite의 생성이 활발하였으며 그에 따른 감수효과 및 조직의 치밀화로 인해 강도증가에 기여하며, 순수한 C₃S의 수화가 촉진되었고, OPC중의 alite광물의 수화가 촉진되

어 강도증가에 기여한다고 발표하였다. 또한 이수석고의 탈수(Hemihydrate or Anhydrite III)정도에 따라 II형 무수석고 혼합비 증가에 따른 압축강도 변화는,

① 3일 강도의 경우는 II형 무수석고가 증가할수록 압축강도는 증가하지만 Type I 보다 약간 낮은 수준을 보이고 있다(Fig.6).

② 7일 강도와 28일 강도의 경우, II형 무수석고 혼합비가 증가할수록 증가하며, 위응결이 나타나지 않는 II형 무수석고의 혼합범위에서의 압축강도는 Type I 의 경우와 비슷한 압축강도를

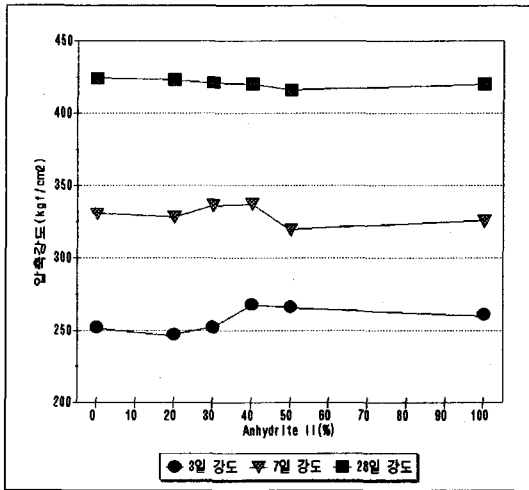


Fig.5 Type I 시료의 무수석고 첨가에 따른 압축강도의 변화추이

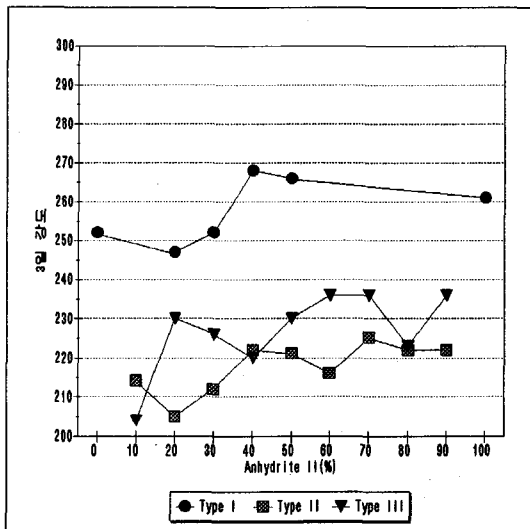


Fig.6 석고의 혼입 Type별 II형 무수석고 첨가에 따른 3일 강도의 변화추이

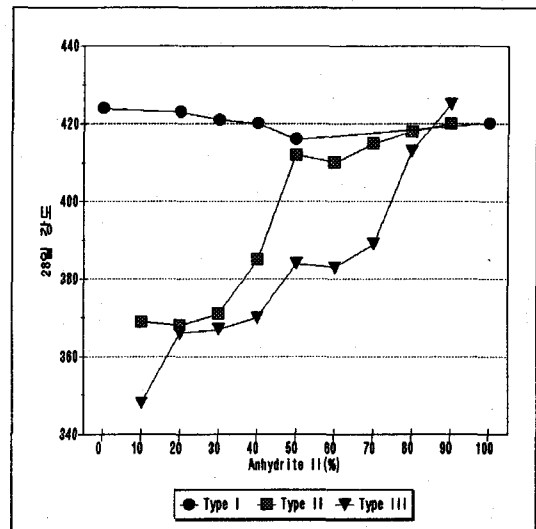
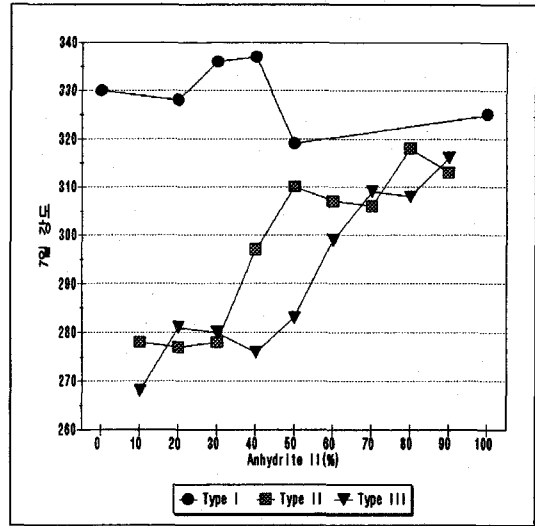


Fig.7 석고의 혼입 Type별 II형 무수석고 첨가에 따른 7일 강도 및 28일 강도의 변화추이

보이고 있다(Fig.7).

Sato와 Kanaya⁽⁹⁾는 1962년에 DTA를 이용하여 석고농도와 면적의 직선관계를 얻었고, 석고의 종류 및 DTA의 조건에 따른 영향을 보고하였으며, 같은 방법으로 당사 및 국내 타사 시멘트의 시멘트 중에 존재하는 이수, 반수 및 무수석고의 양을 계절별로 측정된 결과⁽¹⁰⁾, 하절기 시멘트의 경우 이수석고의 탈수정도가 현저히 증가하는 연구결과를 보고한 바 있다.

Dodson과 Hayden^{(11),(12)}은 고강도 콘크리트에 사용하는 감수제와 시멘트 paste 및 mortar, 그리고 콘크리트에 존재하는 석고간의 상관성연구를

통하여 고강도 콘크리트 감수제로 사용하는 CLS (calcium ligno sulfonate)를 사용한 경우, 시멘트 중에 존재하는 이수석고/무수석고의 비가 2.0보다 적을 경우에는 콘크리트의 작업성에 악영향을 미친다고 보고하였다.

이러한 연구결과 및 본 연구결과를 토대로 하여 천연무수석고의 혼합비, 시멘트의 탈수정도 및 콘크리트 사용 혼화제간의 상관성을 추가 분석하여 적정 II형 무수석고의 혼합비율을 도출, 실 공정 투입을 통하여 석고 탈수에 따른 시멘트의 품질저하를 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

6. 결론

- (1) Type I의 경우 모든 실험범위내에서 위응결은 나타나지 않았고, Type II와 Type III의 경우는 천연무수석고 혼합비율이 40% 및 70%이상에서 위응결 현상이 각각 나타나지 않았다.
- (2) Type I은 천연무수석고 혼합비가 증가할수록 분쇄시간이 길어지고, Type II와 Type III는 짧아지고 있는 것으로 나타났다.
- (3) Type I은 천연무수석고 혼합비 증가에 따라 거의 일정한 분말도를 보이고 있으며, Type II와 Type III는 천연무수석고 혼합비가 적을 때는 분말도가 증가하지만, 위응결을 나타내지 않는 천연무수석고 혼합범위 내에서는 Type I과 거의 유사한 분말도를 나타냈다.
- (4) Type I 시료의 압축강도는 천연무수석고 혼합에 따른 영향을 거의 받지 않고 일정하게 나타나고 있다. Type II와 Type III의 경우, 3일 강도는 천연무수석고가 증가할수록 압축강도는 증가하지만 Type I보다 약간 낮은 강도발현을 보이고 있으나, 7일 강도와 28일 강도는 천연무수석고 혼합비가 증가할수록 압축강도는 증가하고 위응결이 나타나지 않는 천연무수석고 혼합범위 내에서는 Type I의 경우와 거의 유사한 강도발현을 나타냈다.

< 참고 문헌 >

1. HOLDERBANK "Cement Seminar, Material Technology III", pp.16/19~16/29
2. H.F.W.Taylor, "Cement Chemistry", Academic Press, (1990)
3. Carmel Jolicoeur and Marc-Anre Simard, Pierre-Claude Aitcin and Moussa Baalbaki "Cement-Superplasticizer Compatibility in High performance Concrete: The Role of Sulfates", Network Proceedings-Half-day Open Presentations, pp.10, Toronto, (1992)
4. Ranc.R "Interactions entre les réducteurs d'eau plastifiants et les ciments", Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux, no.782-1/90, pp.19-21, (1990)
5. "무수석고가 시멘트 경화체의 강도특성에 미치는 영향", 제23회 시멘트 심포지엄, 한국요업학회 및 한국양회공업협회, pp.156-164, (1995)
6. Etsou Sakai, Yoshiharu Watanabe, Seiichi Nakaya, "Relation Between the Application of Ettringite Based Additives for Concrete Products and It's Microstructures", the 3rd Beijing Int. Sym. Cem. Conc., 908-912 (1993)
7. K.Nakagawa, K.Isozaki, Y.watanabe, Cement Admixed with Anhydrous Calcium "Hydration and Strength of Normal Portland Sulfate", the 7th ICCS, Paris, Vol.2, II-192 (1980)
8. 高橋和雄, 重倉祐光, 棚野博之, "高強度 콘크리트用混和材料の利用に關する研究", セメントコンクリート, No.466, pp.7-15, (1985)
9. Sato and Kanaya, Cement 기술연보, XIV, pp.70, (1962)
10. "시차열분석기(DTA)를 이용한 시멘트 함유 석고의 정량분석", 동양중앙연구소 분석실 연구 보고집, (1995.10.25)
11. Dodson, Fance, Hand Hayden, Thomas D., "Another Look at the Portland Cement/chemical Admixture Incompatibility Problem", Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP, V.11, no.1, Summer 1989, pp. 52-56
12. "Cement and Superplasticizer compatibility", High-performance Concrete Seminar, National Taiwan University, pp.41-55, (1992)