

# 석회석 분말을 시멘트에 혼합했을때 석회석 품위가 시멘트 물성에 미치는 영향

박용오 \* · 고승용 · 유상경

〈 한일시멘트(주) 단양공장 〉

## 1. 머릿말

시멘트에 Clinker보다 원가가 저렴한 광물을 첨가함으로써 얻을 수 있는 효과는 제조 원가 절감을 통하여 기업의 수익성을 확대할 수 있다는 점일 것이다. Clinker는 원재료(석회석, 점토, 철광석, 경석, Fly Ash...)를 시멘트 특성을 발휘할 수 있는 적정 Modulus에 맞추어 K/L에 투입, 고온소성에 의해 생산되는 광물로서 원료 배합에서 소성에 이르기까지 다양한 공정을 거치면서 전력과 열소모가 많고 제품 특성상 대량생산체제로 이루어져 있으며 대규모 설비에 의해 제품생산이 이루어지는 특징을 가지고 있다.

따라서 시멘트 제조시 Clinker 생산이 차지하는 원가 비용은 매우 크며 품질에 문제가 없는 조건에서 Clinker 일부를 대체할 수 있는 값싼 광물을 시멘트 제조시 Clinker와 혼합하여 사용할 경우 원가 절감에 큰 기여를 할 수 있다는 장점이 있다.

시멘트에 첨가할 수 있는 물질에 대해선 그간 다양한 물질들이 실험을 통하여 사용 가능성이 검토되었고 현재까지 알려진 대표적 물질은 포졸란, 고로슬래그, 석회석 등이다. 여기서 다룰 내용은 시멘트에 석회석 분말을 혼합했을 때 나타나는 시멘트 제반 물성 변화를 간략히 살펴보고 혼합하는 석회석의 품위( $\text{CaCO}_3\%$ 기준)를 달리 했을 때 나타나는 시멘트 품질특성에 초점을 맞추어 살펴보았다.

시멘트에 석회석 분말을 첨가할 경우 석회석의 역할은 시멘트 광물처럼 직접적인 수화 작용은 미약하고 non-hydraulic filler로 작용하여 시멘트의 초기

수화를 촉진, 초기 강도를 상승시키는 것으로 알려져 있지만 석회석 품위를 변화시켰을 때 나타나는 특성은 시멘트에 소량으로 투입된 석회석 성분 변화가 시멘트 수화반응에 끼치는 영향을 규명하는 것과 관련이 있다.

시멘트에 첨가하는 석회석 품위에 대한 기준은 국가 및 학자에 따라 조금씩 차이가 있는데 일본의 경우  $\text{CaCO}_3 \geq 95\%$ , 루마니아  $\text{CaCO}_3 \geq 90\%$ , 중국은  $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 2.5\%$ 로 알려져 있으며 Liversey는  $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$ , 점토  $\leq 1.2\%$ 로 제안했고 Baron & Douvre는  $\text{CaCO}_3 \geq 90\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 2\%$ ,  $\text{MgO} \leq 5\%$ ,  $\text{SO}_3 \leq 0.5\%$ 가 적당하다고 주장했다. 이처럼 국가 및 학자에 따라 공통된 의견이 정립되어 있지 않은 것은 각 국가별 실정을 감안하여 시멘트에 투입하는 석회석의 품위를 결정하기 때문이며 학자에 따라서도 의견 차이가 나타나는 것은 실험 조건, 시멘트의 물리, 화학적 특성 등 다양한 변수가 존재하기 때문이라 판단된다.

석회석의 품위는  $\text{CaCO}_3$  함량에 따라 결정되는데 품위가 높을수록  $\text{CaCO}_3$  성분 함량이 많으며 나머지 잔여 성분은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 로 존재한다. 품위가 낮은 석회석의 경우  $\text{CaCO}_3$  외 잔여 성분은 대부분  $\text{SiO}_2$  형태로 존재하게 되며 따라서 품위가 낮은 석회석을 투입할 경우  $\text{CaCO}_3$ 와  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  등 나머지 잔여 성분이 시멘트 광물과 반응하는 Mechanism을 간접적으로 규명해 볼 수 있는 기회가 될 것이다. 즉 실험을 통하여  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  성분이 시멘트내에 다른 비율로 존재할 때 시멘트 수화반응 및 수화 생성물에 어떠한 영향을 끼치는가에 대해 알

출발시료 물질의 화학성분

〈표 1〉

출발시료 \ 성분	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>	Ig-loss	CaOC <sub>3</sub>	Sum	HM	SM	IM
시멘트(0%:Plain)	21.36	5.08	3.59	62.25	2.72	2.31	1.26		98.57	2.02	2.46	1.42
석회석 A(CaCO <sub>3</sub> 70% ↓)	31.34	2.88	2.28	33.93	0.60		26.18	60.40	97.51	0.92	6.13	1.26
석회석 B(CaCO <sub>3</sub> 70~80%)	16.86	1.55	0.82	43.46	0.91		35.38	77.58	98.98	2.26	7.11	1.89
석회석 C(CaCO <sub>3</sub> 80~90%)	8.87	1.11	0.62	47.81	1.21		39.03	85.34	98.65	4.51	5.13	1.79
석회석 D(CaCO <sub>3</sub> 90 ↑ %)	0.76	0.20	0.08	55.10	0.10		43.50	98.35	99.74	52.98	2.71	2.50

아보고 아울러 석회석 품위가 분쇄능에 미치는 영향에 대해서도 살펴보았다.

## 2. 실험

### 2.1 시료조제

실험에서 출발물질로 사용한 시료(시멘트, 석회석)의 화학조성은 표 1과 같으며 시험용 시멘트는 당사에서 생산하는 보통포틀랜드시멘트를 적용했다. 시멘트에 분말상태로 혼합할 석회석의 Sampling은 당사 석회석 광산에서 4가지 품위(CaCO<sub>3</sub>% 기준:90%이상, 80~90%, 70~80%, 70%이하)의 석회석 시료를 채취하여 사용했다. Sampling한 석회석은 분말상태로 시멘트와 혼합하기 위하여 Disk mill로 Blaine 3200cm<sup>2</sup>/g 정도로 분쇄하였으며 분쇄한 석회석을 시멘트:석회석 중량비로 100:0, 98:2, 96:4, 94:6, 92:8, 90:10의 비율로 시멘트와 골고루 섞일수 있도록 충분히 혼합하여 시료를 조제하였고 조제한 시료의 종류와 물리특성은 표 2와 같다. 수화생성물의 TG-DTA 분석, XRD 분석, Porosity측정, SEM 관찰용 시료는 응결이 끝난 시멘트를 수조에 3일, 28일 각각 양생시킨 후 아세톤으로 수화 정지시킨 시편을 분석 및 관찰하였다.

### 2.2 측정 및 분석

시료시멘트(plain)에 석회석을 정해진 중량비로 평량후 충분히 혼합하여 각 시료를 조제한 후 응결시간, 안정도, Mortar 압축강도(3,7,28일)를 측정하였으며 수화시멘트의 특성을 파악하기 위하여 TG-

DTA분석, 미소수화열량분석, Porosity, XRD, SEM 분석과 관찰을 하였다. 그리고 각 시료별 분쇄능 측정을 위하여 석회석을 Jaw crusher로 1차 분쇄하여 5~10mm size를 체거름으로 고른 후 4가지 품위의 시료를 일정량, 일정시간 Disk mill로 분쇄하여 분쇄

시험 시료의 종류 및 분말도

〈표 2〉

시료	혼합율(%)		석회석 품위	잔사(%)		Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
	시멘트	석회석		88μm	44μm	
(Plain)	100	-	-	1.0	12.1	3380
A-2	98	2		0.9	11.0	3360
A-4	96	4		1.2	11.4	3360
A-6	94	6	70%	0.8	10.4	3320
A-8	92	8	이하	0.7	10.7	3330
A-10	90	10		1.2	11.7	3280
B-2	98	2		1.4	12.0	3370
B-4	96	4		1.0	12.5	3350
B-6	94	6	70~	1.8	11.7	3340
B-8	92	8	80%	1.8	12.0	3300
B-10	90	10		1.0	12.0	3290
C-2	98	2		0.8	10.1	3360
C-4	96	4		0.9	10.9	3340
C-6	94	6	80~	1.1	11.2	3300
C-8	92	8	90%	1.8	12.0	3290
C-10	90	10		1.5	11.8	3280
D-2	98	2		1.0	10.5	3350
D-4	96	4		1.1	12.1	3300
D-6	94	6	90%	1.2	11.8	3320
D-8	92	8	이상	1.3	12.0	3340
D-10	90	10		1.2	11.8	3340

능을 측정하였다. 각 시험의 조건은 KS규격에 준했으며 응결시간은 길모어 침을 이용, 물시멘트비를 25wt%로 고정하여 측정하였다. 수화생성물의 TG-DTA 분석, XRD 분석, Porosity 측정, SEM 측정용 시료는 응결이 끝난 시멘트를 수조에 각각 3일, 28일 양생 후 아세톤으로 수화 정지시킨 각각의 시편을 분석 및 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 물리 시험 결과

##### 3.1.1 응결시간(초결, 종결)

시험시료의 압축강도

(표 3)

시료	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
	3일	7일	28일
(%)	218	252	366
A-2	214	256	362
A-4	212	256	348
A-6	216	256	348
A-8	210	254	322
A-10	198	242	324
B-2	218	258	336
B-4	220	252	342
B-6	206	250	314
B-8	206	256	332
B-10	210	258	334
C-2	212	248	344
C-4	216	252	342
C-6	208	238	306
C-8	186	238	316
C-10	204	236	314
D-2	202	248	352
D-4	202	244	344
D-6	206	246	342
D-8	194	238	304
D-10	200	236	316

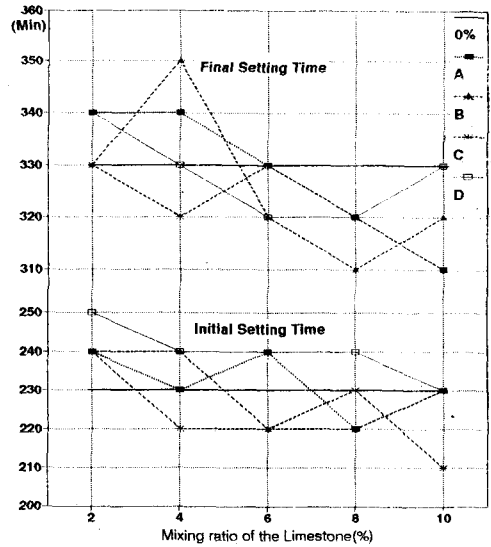


Fig. 1 setting time of cement pastes with various limestone

품위 변동에 따라 나타나는 응결시간을 Fig 1에 나타내었다.

품위 변동에 따른 응결 시간은 초결, 종결 모두 특별한 변화가 없는 것으로 나타났고 석회석 투입비에 따른 응결 시간 변화는 뚜렷한 경향은 없지만 전반적으로 석회석 투입비가 많을수록 응결시간이 짧아지는 것으로 나타났다.

##### 3.1.2 압축강도

(표 3)은 각 시료별 Mortar 압축강도를 나타낸 것이며 각 시료들의 재령별 강도 발현 경향을 비교해 보기 위하여 3일 강도, 7일 강도, 28일 강도(Fig. 2)로 구분하여 그래프로 나타내었다.

3일 강도 발현을 살펴보면 석회석을 많이 첨가한 시료의 강도가 전반적으로 낮게 나타나고 있지만 품위 변동에 따른 강도 차이는 석회석을 4% 이하로 투입할 경우엔 품위가 높은 D시료의 강도가 낮게 나타나고 있는 반면 나머지 시료는 유사한 경향을 보이고 있다. 석회석을 4% 이상 투입한 시료의 강도는 석회석 품위가 낮은 A,B 시료가 품위가 높은 C,D 시료에 비해 높게 나타났다.

품위 변동에 따른 7일 강도 발현 또한 석회석 품위가 낮은 A,B 시료의 강도가 품위가 높은 C,D 시료에

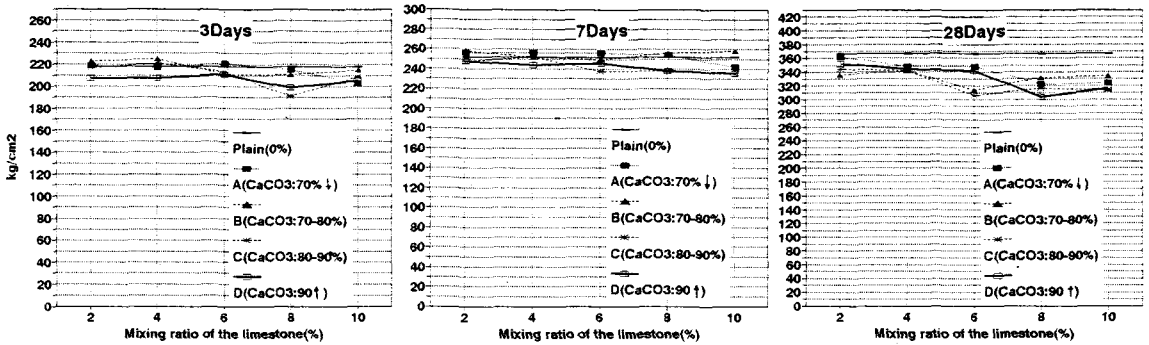


Fig. 2 Compressive strength of the mortar

비해 높은 경향을 보이고 있다.

28일 강도는 석회석 투입비에 별 상관없이 품위가 제일 낮은 A시료의 강도가 타시료에 비해 높게 나타났다.

강도 발현 경향에 대해 종합해 보면 석회석 품위가 낮은 석회석을 첨가한 시료의 강도가 전체적으로 높게 나타나고 있으며 각 재령별 강도를 석회석을 첨가하지 않은 시멘트와 비교해 볼때 3일, 28일 강도는 석회석을 첨가한 시료가 석회석 혼합비에 상관없이 낮게 나타났지만 7일 강도는 석회석 품위가 낮은 석회석을 혼합한 시료의 강도가 높게 나타났다.

### 3.1.3 안정도 (Autoclave)

안정도(Avutoclave)는 석회석을 첨가한 시료가 팽창성이 적고 안정성이 좋은 것으로 나타났지만 석회석 품위 변동에 따른 안정도 차이는 특별한 변화가 없는 것으로 나타났다 (Fig. 3).

## 3.2 수화 생성물의 관찰

### 3.2.1 DTA 분석

Fig. 4는 품위별로 석회석을 4% 혼합한 시료를 3, 28 수화시킨 상태에서 DTA 분석한 결과이며 각 온도별 수화 흡열 peak를 살펴보면 전반적으로 peak 차이가 크게 나타나지 않고 있다. 450℃ 부근에서 Ca(OH)<sub>2</sub> 분해에 의한 흡열 peak를 살펴보면 거의 동일하게 나타나고 있는데 이것으로 보아 석회석 품위와 생성된 수화물의 양과는 뚜렷한 상관 관계가 없음을 알 수 있다. 그러나 CaCO<sub>3</sub> 성분의 탈탄산으로 인해 Plain

Cement보다 석회석을 첨가한 시료에서 700~800℃ 부근의 흡열 Peak가 높게 나타나고 있다.

28일 수화시킨 시료들의 수화 흡열 peak 또한 3일 수화시킨 시료와 유사한 peak를 보이고 있으며 석회석의 품위변동에 의한 흡열 peak 차이가 나타나고 있지 않다.

수화시멘트의 수화흡열 peak의 전반적인 경향은 석회석 품위와 무관한 것으로 나타나고 있으며 단지 Plain Cement와 비교해 볼 때 석회석을 혼합한 시료가 700~800℃ 부근에서 CaCO<sub>3</sub>의 탈탄산에 의해 흡열 peak가 크게 나타나고 있다.

### 3.2.2 XRD 분석

Fig.5는 석회석을 혼합하지 않은 시료와 석회석을 품위별로 4% 첨가한 시료의 cement pastes를 3일,

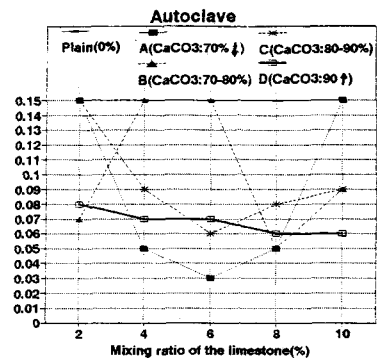


Fig. 3 Autoclave of cement pastes with various limestone ratio

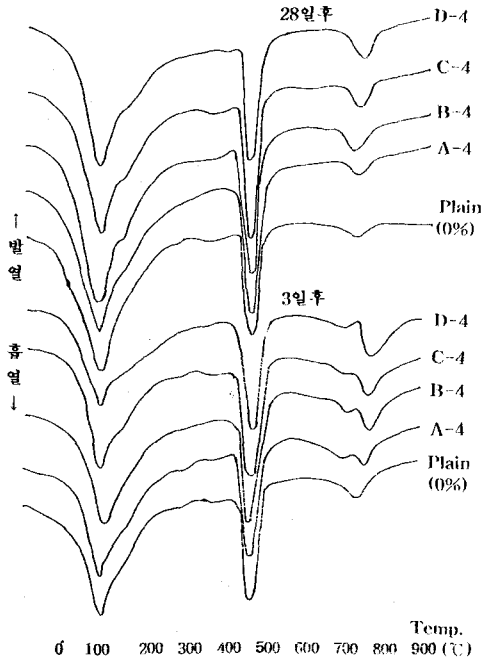


Fig. 4 수화 3, 28일후 시료별 DTA 분석 결과

28일 수화시킨 후 아세톤으로 수화정지 시킨 다음 XRD 분석을 실시한 것이다. 석회석 품위가 다른 cement pastes의 3일 수화후 수화생성물을 살펴볼 때  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{C}_3\text{S}$  peak는 품위에 따라 특별한 차이는 없지만 석회석을 첨가하지 않은 시료에 비해 석회석을 첨가한 시료에서  $\text{CaCO}_3$  성분이 많이 검출되었다.

28일 수화시킨 cement pastes 역시 각 품위별로  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{C}_3\text{S}$  peak는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았고 품위가 높은 시료에서  $\text{CaCO}_3$  peak가 조금 높게 나타났다.

XRD 분석 결과로 판단해 볼 때 석회석을 소량(4%) 첨가했을 경우 품위변동에 따른 시료별 수화생성물의 특이한 변화는 발견할 수 없었고 석회석을 첨가한 시료와 첨가하지 않은 시료간의 차이는 석회석을 첨가한 시료에서  $\text{CaCO}_3$  성분이 많이 검출되었는데 이는 석회석이 시멘트의 수화반응에서 시멘트 광물과 직접적인 수화작용은 일으키지 않거나 수화반응에 관여하더라도 수화반응속도가 매우 느리다는 사실을 알려주고 있다.

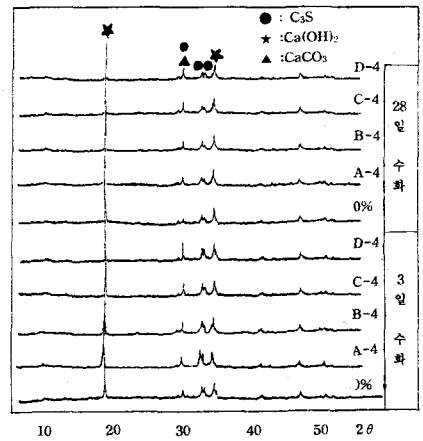


Fig. 5 XRD patterns of hydrated cement pastes

### 3.2.3 미소수화열량 분석

석회석 첨가량에 따른 수화 발열 peak를 살펴보면 수화 peak가 발생하는 시점은 석회석 첨가량에 관계없이 거의 동일하며 석회석 첨가량에 따른 peak의 크기는 석회석 첨가량이 많을수록 발열 peak가 낮아지고 있지만 peak 차이는 미미한 것으로 나타났는데 이것으로 보아 석회석 첨가량이 10% 이하일 경우엔 수화반응시간과 수화열 발생량에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

석회석을 각 품위별로 시멘트에 4% 혼합한 시료의 수화발열 peak를 살펴보면 수화발열 peak 발생 시점은 Fig. 6에서 보는바와 같이 품위에 별다른 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며 수화발열 peak 크기 역시 변동이 거의 없는 것으로 나타났다. 이와 같은 사실로 판단해 볼 때 품위 변동에 따라 석회석 성분의 대다수를 차지하는  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  성분 변동이 일어나지만 그 변동폭이 미미하고 시멘트 전체 성분중 석회석이 차지하는 비중(4%)이 소량이므로 석회석 품위 변동이 시멘트의 수화발열 시간과 발열 peak에 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 아울러 석회석 품위가 낮아짐에 따라 상대적으로 많아지는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  성분이 분말 상태로 시멘트에 미량 존재할 경우 시멘트의 수화발열 peak에 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

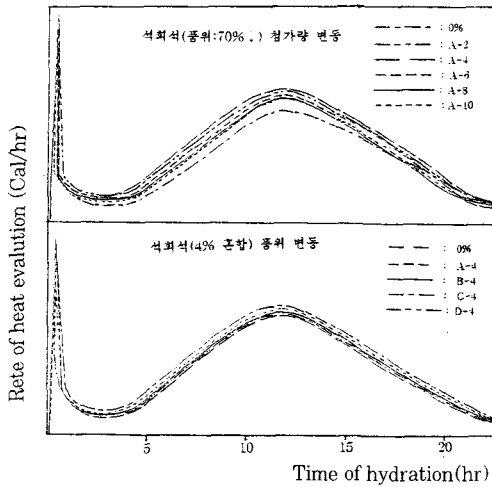


Fig.6 석회석 첨가량 및 품위변동에 따른 미수화열량 peak

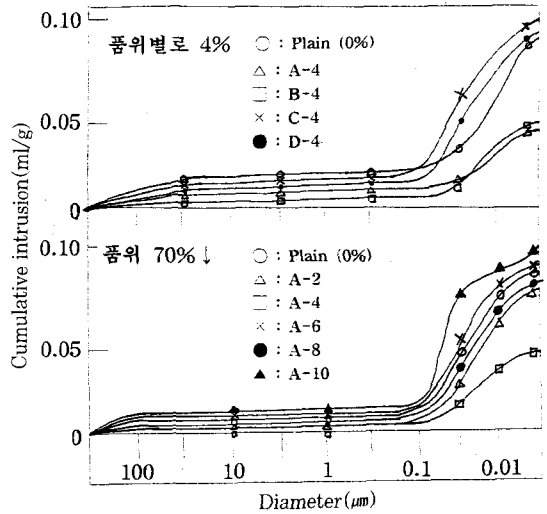


Fig.7 수화 28일후 시료별 Porosity 분석 결과

### 3.2.4 Porosity

Fig.7에서와 같이 석회석을 품위별로 4%씩 동일하게 첨가한 시료의 시멘트 pastes를 28일 수화시킨 후 각 시료간 공극율을 살펴보면 석회석 품위가 높은 C,D 시료의 공극율이 높게 나타나고 있다.

또한 석회석 품위 70%↓를 2,4,6,8,10% 혼합했을 때 각 시료간 공극율은 석회석 혼합비에 별 영향을 받지 않고 있지만 석회석을 혼합하지 않은 시료에 비해 높게 나타나고 있다. 이것은 석회석을 혼합하지 않은 시료와 석회석을 혼합한 시료간 공극율 차이는 다소 발생하지만 혼합량이 10%이하로 소량 혼합될 경우 수화시멘트의 공극 형성에 끼치는 영향이 아주 적다는 사실을 알려주고 있다.

### 3.2.5 SEM 사진 관찰

Fig.8, Fig.9는 각 시편의 Cement Pastes를 3일, 28일 수화시킨 후 아세톤으로 수화 정지시킨 시료의 SEM 사진이다.

3일, 28일 수화시킨 후 각 시편들의 SEM 사진을 살펴보면 석회석 첨가량에 관계없이 동일한 모습을 보이고 있으며 석회석 품위 변동에 따른 SEM 사진 역시 품위와 별 상관없이 비슷한 모습을 띄고 있다. 이와 같은 사실은 시멘트에 석회석을 10%이하로 첨가할 경우 석회석 첨가량과 석회석 품위가 시멘트 수

화반응속도 및 수화생성물에 별다른 영향은 미치지 않음을 시사해 주고 있다.

### 3.3 분쇄능 시험

석회석 첨가량과 석회석 품위 변동이 분쇄능에 미치는 영향을 알아보기 위해 Disk mill로 분쇄능 시험을 하였다. 시료 조제는 Clinker와 품위별 석회석을 Jaw crusher로 1차 분쇄, 4~10mm size를 체로 고른 후 clinker와 품위별 석회석을 정해진 중량비로 혼합하여 시료를 조제하였다. 조제한 각각의 시료 200g을 Disk mill로 60초 동안 분쇄하였으며 분쇄한 시료는 Blaine과 잔사 (44μm체 잔사, 88μm체 잔사)를 측정하여 분쇄능을 비교하였다.

<표 4>와 Fig.10은 분쇄한 각 시료들의 잔사와 Blaine 측정 결과를 수치와 그래프로 나타낸 것이다.

분쇄능 시험 결과를 살펴보면 품위에 관계없이 석회석 첨가량이 많을수록 분쇄능이 좋은 것으로 나타났고, 석회석 품위 변동에 따른 분쇄능 변화는 뚜렷한 경향은 없지만 Clinker에 석회석 첨가량이 적을수록 품위가 낮은 석회석을 첨가한 시료의 분쇄능이 좋은 것으로 나타났고, 석회석 첨가량이 많을 경우엔 분쇄능이 떨어지는 것으로 나타났다. 일반적으로 석회석에 경도가 낮은 CaCO<sub>3</sub> 성분이 많을수록 분쇄능이 뛰

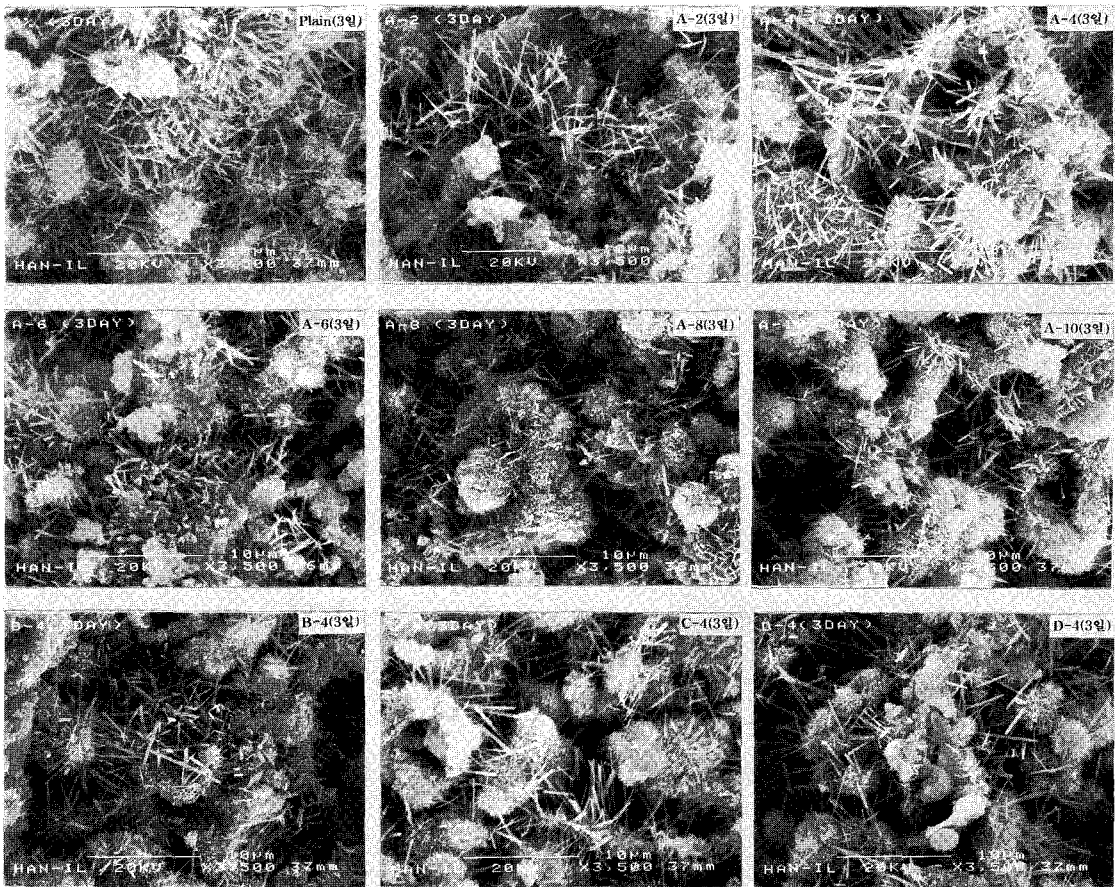


Fig.8 SEM micrographs of hydrated products of cement pastes (3 Days)

어디지만 본 실험에 나타난 결과는 석회석을 적게 투입할 경우엔 석회석 품위가 낮은( $\text{CaCO}_3$  성분이 적음) 시료의 분쇄능이 좋은 것으로 나타났는데 석회석을 10% 투입했을 경우 품위가 가장 높은 D 시료와 품위가 가장 낮은 A 시료간 분말도 차이가 석회석을 2% 첨가했던 시료에 비해 매우 줄어든 것을 알 수 있다. 이에 대한 원인을 추정해 보면 석회석을 소량 투입할 경우 석회석의 간극 물질로 존재하는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  성분이 초기분쇄시 쪼개역할을 하여 품위가 낮은 석회석을 첨가할 때 경도 상승으로 인한 분쇄능 하락을 상쇄하는 효과가 있기 때문이라 판단된다. 그러나 석회석 첨가량이 많으면 많을수록  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  성분이 많을 경우 쪼개 역할에 의한 분쇄능 상승 효과 보다 경도 상승에 의한 분쇄능 하락 효과가 크기 때문에 분쇄능이 떨어지는 것으로

추정된다. 그러나 석회석 광물 자체의 생성과정과 구조적인 결합 형태에 따라 분쇄능은 영향을 받을 수 있으므로 본 실험 결과는 당사에서 특정 시점 및 특정 장소에서 생산된 석회석에 한하여 적용하는 것이 타당하리라 판단된다.

#### 4. 맺음말

(1) 석회석을 10% 이하로 시멘트와 혼합할 경우 석회석 품위 변동이 시멘트의 수화응결시간에 미치는 영향은 미미했으며 압축강도는 전반적으로 품위가 낮은 A,B시료가 C,D시료에 비해 높은 경향을 보였으나 품위 변동에 따른 압축강도 발현차가 크지 않으므로 실험오차를 감안할 때 품위변동이 압축강도에 미치는 영향은 크지 않으리라 판단된다. 안정도는 석회석

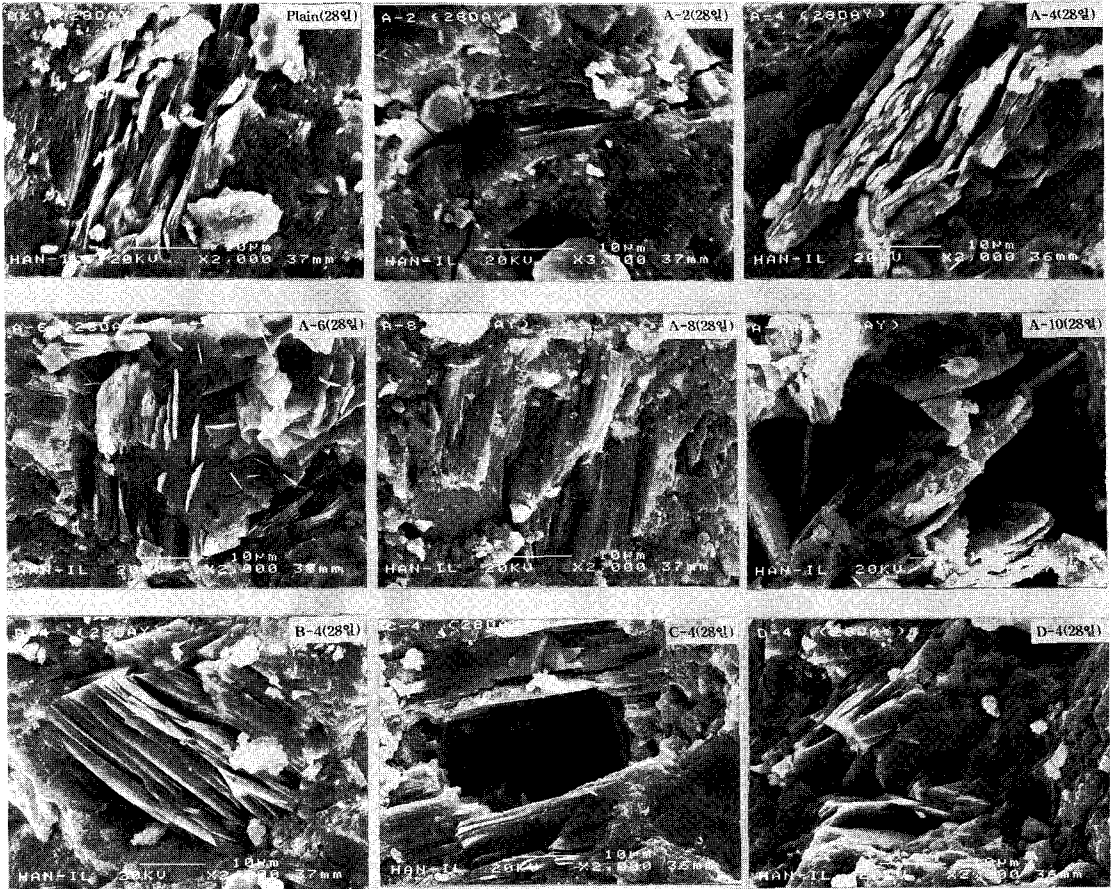


Fig.9 SEM micrographs of hydraton products of cement pastes (28 Days)

혼합비가 많을수록 좋아지는 것으로 나타났지만 석회석 품위 변동에 따른 특별한 경향은 없었다.

(2) 각종 기기분석을 통해 수화생성물을 분석해 본 결과 석회석품위 변동에 따라 특별한 변화는 없었으며 수화발열량과 수화속도 역시 석회석 품위변동에

뚜렷한 영향을 받지 않았다.

(3) Clinker에 석회석을 품위별로 10%까지 혼합하여 Disk mill로 분쇄능을 측정해 본 결과 석회석 혼합량이 적을수록 품위가 낮은 석회석을 혼합한 시료의 분쇄능이 뛰어났고 석회석 첨가량이 많을수록

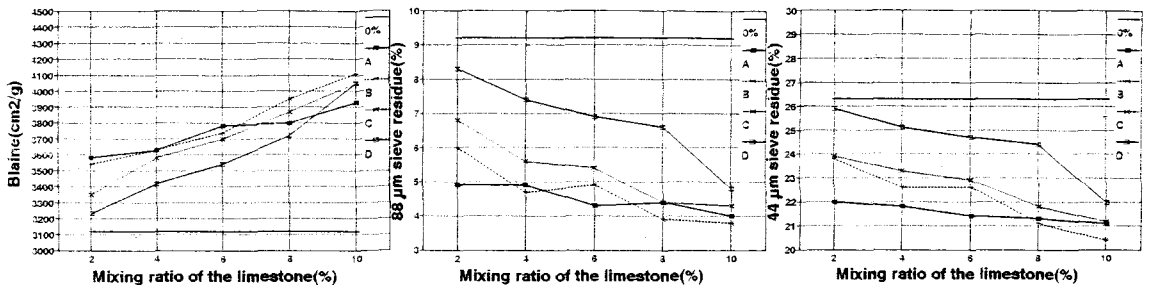


Fig.10 품위별 석회석 첨가에 따른 Blaine(cm²/g) 변화



## 시료별 분쇄능 비교

〈표 4〉

시 료	Blaine ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	잔사(%)	
		88 $\mu\text{m}$	44 $\mu\text{m}$
(%)	3120	9.2	26.3
A-2	3580	4.9	22.0
A-4	3630	4.9	21.8
A-6	3780	4.3	21.4
A-8	3800	4.4	21.3
A-10	3930	4.0	21.1
B-2	3540	6.0	23.8
B-4	3630	4.7	22.6
B-6	3740	4.8	22.6
B-8	3950	3.9	21.1
B-10	4110	3.8	20.4
C-2	3350	6.8	23.9
C-4	3580	5.6	23.3
C-6	3700	5.4	22.9
C-8	3870	4.4	21.8
C-10	4050	4.3	21.2
D-2	3230	8.3	25.9
D-4	3420	7.4	25.1
D-6	3540	6.9	24.7
D-8	3720	6.6	24.4
D-10	4050	4.8	22.0

품위가 높은 석회석을 혼합한 시료의 분쇄능이 좋아지는 경향을 보였다.

(4) 본건과 관련된 실험 가운데 물리시험 부분은 실험자, 실험조건 등에 영향을 받기 쉬우므로 향후 좀더 정밀한 실험을 실시하여 검증해 볼 필요가 있고 다음과 같은 일련의 관련 실험을 통하여 석회석을 시멘트 첨가재로 혼합할 때 석회석 품위가 시멘트 물성에 미치는 영향에 대해 보다 폭넓은 접근이 필요하리라 판단된다.

- ① 석회석 첨가량을 10% 이상 과량 투입할 경우 품위 변화가 시멘트에 미치는 영향
- ② 석회석 첨가시 품위 변동이 시멘트 장기강도에 미치는 영향 (6 개월, 1 년...)

- ③ 시멘트에 순수  $\text{SiO}_2$  첨가시 시멘트 물성 변화 검토(첨가 석회석의 구성 물질로  $\text{SiO}_2$ 가 존재할 때와 비교)

## 〈참 고 문 헌〉

1. Jacques Baron & Christian Douvre, "Technical and economical aspects use of limestone filler addition in cement", WORLD CEMENT APRIL 1987, pp.100~104
2. Tong Sanduo, "Limestone addition to portland cement", Standardization Institutue, SAMBI Beijing, China, 100024, pp.667~672
3. Walter. A. Gutteridge&John A. Dalziel, "Filler Cement: The effect of the secondary component on the hydration of portland cement Part I .A Fine Non-hydraulic Filler" CEMENT and CONCRETE RESEARCH, Vol.20, pp.778~782, 1990.
4. "석고 대응으로 석회석을 사용하는 시멘트의 수화에 관한 연구", WORLD CEMENT 12/83
5. Y.Totani, Y.Saito, M.Kageyama & H.Tanaka, "The hydration of blast furnace slag cement", Proc. 7th International Congress on the Chemistry of Cement. Paris III-95 (1980)
6. Bryan K.Marsh & Robert L. Day, "Pozzolanic and Cementitious Reactions of Fly Ash In Blended Cement Pastes", CEMENT and CONCRETE RESEARCH, Vol.18, pp.301~310, 1988.
7. 下林清一 外:セメントの強さにおよぼす石灰石粉末の影響, セ技年報 33 昭54, pp.84~87
8. 竹内昭治 外:高爐セメントの諸特性におよぼす石灰石粉末の影響, セ技年報 XXXII 昭53, pp.104~107
9. 仲野三郎 外:高爐セメントコンクリートの強度と耐久性におよぼす石灰石粉末の影響, セ技年報 XXXII 昭53, pp.297~299