



## 저품위 석회석의 특성과 분쇄 분급에 따른 입도별 성분분포

임영진\* · 유동우 · 이승현 · 진형채 · 김경호

<군산대학교 신소재공학과>,  
<고려시멘트(주)>

### 1. 서 론

석회석의 주성분은 Calcite이며, Calcite는 56%의 CaO와 44%의 CO<sub>2</sub>로 되어 있다. 그러나 시멘트 산업에서 사용되어지는 석회석 광산의 원석은 다양한 불순물을 포함하고 있으며, 이러한 불순물들의 함량에 따라 Calcite의 함량이 변화되다, 이들 불순물들은 주로 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO 등이며, 이들이 클린커 소성 공정에 미치는 영향에 대한 연구는 다수 보고 되어 있으며, 특히 불순물중 SiO<sub>2</sub>의 함량과 결정크기나 형태가 석회석의 피분쇄성과 반응성에 영향을 미친다는 보고 있다.<sup>1-6)</sup> 석회석이 불순물중 Quartz는 결정의 크기가 클수록 석회석의 피분쇄성을 저하하고, Alite(C<sub>3</sub>S)의 생성이 고온에서 이루어져 소성성의 저하를 나타낸다.

반면, 석회석 품위별로 분쇄성의 차이가 없다는 보고도 있으며, 이는 저품위 석회석 일수록 결정 입자가 작았기 때문으로 해석한 보고도 있다.<sup>6)</sup>

시멘트용으로 사용되어지는 석회석은 각 산지 별로 광물의 조성, 결정도가 다르기 때문에 이들이 함유한 불순물의 형태도 각기 다르게 나타나고 있다.<sup>7)</sup> 따라서 석회석의 품위가 낮아지는 경우 이들이 포함하고 있는 불순물 량이 증가 하게 되며, 이들 불순물의 존재형태와 분포형태가 저품위 석회석의 활용에 매우 중요한 요소라고 할 수 있겠다.

최근에 진행되어진 연구에서는 저품위 석회석 활용을 위하여 저품위 석회석을 고품위화하거나, 저품위 석회석을 사용하여 수경성 재료를 제조하는 등의 연구가 진행되고 있다.<sup>8-9)</sup> 이러한 이유는 국내의 석회석의 매장량은 81억 톤에 이르고 있지만, 대부분 중 저품위의 석회석이 주류를 이루고 있기 때문이다.<sup>9)</sup> 또한 시멘트 산업에서 사용하는 석회석도 품위가 점차 낮아지는 경향을 나타내고 있으며, 석회석 광산의 폐석의 재활용 및 처리가 불가결한 시점이다.

본 연구에서는 저품위 석회석을 시멘트 산업에서 클린커의 소성 원료로 사용시 필요한 석회석 내의 불순물의 분포 형태와 석회석 분쇄시 불순물의 입도별 분포형태를

파악하여, 시멘트 산업에서 저품위 석회석의 활용성을 높이는 방안을 모색 하고자 하였다.

### 2. 실험

저품위 석회석의 피분쇄성과 분쇄 후 입도별 성분의 분포를 파악하기 위하여 Jaw Crusher를 사용하여 2차에 걸쳐 조분쇄한 시료를 망체(45, 90, 250 μm)를 사용 입도 분리하여 화학성분을 분석하였고, 조분쇄한 석회석 시료는 Ball Mill을 사용하여 8min간 분쇄하였으며, Ball Mill 분쇄한 시료들을 망체(45, 90, 250 μm)를 사용하여 입도 분리한 후 화학성분 및 광물형태 등을 분석하였다. 본 실험에서는 분쇄 후 각 입도별 성분의 분포를 파악하고자 하였기에 예비 시험을 실시하여, Ball Mill 내부의 분쇄 매체에 석회석 미립의 코팅이 발생하지 않는 분쇄시간인 8min으로 분쇄시간을 고정하여 실시하였다.

석회석의 광물 분포 형태의 파악은 조분쇄된 석회석시료를 색상별로 분류하고 이 시료를 SEM의 BSE 이미지 분석을 통하여 각 성분의 분포형태를 파악하였다.

석회석의 화학성분은 XRF(Rigaku사-ZSX Primus2)를 사용하였고, 광물상의 분석은 XRD(PANalytical사-EMPYREAN)의 장비를 사용하였다. 각 성분의 분포형태는 SEM(HITACHI사-SU8220)의 장비를 사용하여 관찰하였다.

#### 2.1 사용원료

사용원료인 석회석은 전남 장성군 소재의 석회석을 사용하였으며, 대상 시료의 화학성분은 Table 1에 나타내었다. CaO 함량은 35.4~48.4%의 분포를 보이는 석회석 23종에 대하여 실시하였으며 SiO<sub>2</sub>의 분포 범위는 3.4~18.5%였다.

#### 2.2 분쇄 입도 변화

각 시료의 조분쇄 2회 후의 입도별 시료함량을 Table 2에 나타냈으며, Ball Mill 분쇄 후 입도별 시료 함량을 Table 3에 나타냈다.

Table 1. 석회석의 화학성분

No.	CHEMICAL COMPONENT (%)								
	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	SUM
1	18.49	5.45	2.67	35.41	2.27	0.20	2.15	0.02	66.66
2	17.96	3.89	2.05	37.38	1.80	0.05	2.80	0.04	65.97
3	14.01	2.98	1.85	39.96	1.91	0.07	1.46	0.00	62.24
4	15.00	2.72	1.76	40.27	1.57	0.04	1.19	0.00	62.55
5	14.13	2.40	1.30	40.29	2.67	0.00	1.09	0.00	61.88
6	15.29	3.91	1.70	40.46	1.41	0.24	1.16	0.21	64.38
7	10.11	3.74	2.05	41.19	2.15	0.20	1.13	0.00	60.57
8	9.44	2.84	1.66	41.40	3.40	0.21	0.74	0.02	59.71
9	1.06	2.22	1.74	41.89	2.66	0.07	0.71	0.00	50.35
10	8.55	2.35	1.21	42.13	4.10	0.19	0.65	0.00	59.18
11	10.80	2.39	1.65	42.34	2.39	0.13	0.82	0.00	60.52
12	7.97	2.25	1.64	42.47	1.72	0.19	0.58	0.00	56.82
13	8.00	2.21	1.66	43.72	2.26	0.18	0.65	0.00	58.68
14	7.69	2.35	1.18	44.04	1.70	0.19	0.84	0.00	57.99
15	8.06	1.86	1.30	44.07	2.79	0.17	0.50	0.00	58.75
16	7.58	1.85	1.29	44.36	2.92	0.20	0.40	0.00	58.60
17	8.27	2.37	1.86	44.54	1.38	0.26	0.47	0.08	59.23
18	7.70	2.14	1.59	44.62	1.58	0.19	0.40	0.00	58.22
19	6.28	1.68	0.95	44.66	2.46	0.19	0.39	0.00	56.61
20	7.44	2.38	1.15	44.69	1.53	0.19	0.84	0.00	58.22
21	5.98	1.86	1.12	46.31	1.16	0.19	0.35	0.00	56.97
22	4.22	1.30	1.49	46.76	2.58	0.26	0.03	0.00	56.64
23	3.40	1.03	0.64	48.41	1.55	0.22	0.00	0.01	55.26

Table 2. 조분쇄 석회석의 입도별 함량

No.	비율 (μm, %)			
	under	45~90	90~250	over
1	16.6	11.7	15.9	55.8
2	16.0	10.4	12.5	61.1
3	14.9	11.8	15.0	58.3
4	14.8	10.3	12.6	62.2
5	12.8	9.2	11.3	66.8
6	10.3	13.0	13.4	63.4
7	7.2	16.4	14.0	62.5
8	10.6	12.7	11.2	65.5
9	12.6	9.8	12.6	65.1
10	12.8	12.1	12.7	62.3
11	12.6	10.2	11.8	65.3
12	8.9	14.8	13.8	62.5
13	8.5	13.4	12.7	65.3
14	11.2	14.5	19.5	54.8
15	10.7	12.0	12.7	64.6
16	8.0	14.0	11.3	66.8
17	13.6	10.2	13.8	62.3
18	11.4	14.4	15.2	59.0
19	9.1	15.6	11.9	63.4
20	14.6	14.1	19.7	51.6
21	8.3	17.1	16.1	58.5
22	7.8	13.5	11.9	66.7
23	7.7	12.8	14.5	64.9

Table 3. Ball Mill 분쇄 석회석의 입도별 함량

No.	비율 (μm, %)				90 over 감소비율	250 over 감소비율
	under	45~90	90~250	over		
1	24.2	30.2	16.0	29.6	26.1	26.2
2	26.3	32.2	14.3	27.2	32.0	33.9
3	31.2	32.5	16.4	19.8	37.1	38.5
4	31.1	27.5	15.6	25.8	33.5	36.5
5	20.5	32.3	15.7	31.5	30.9	35.3
6	21.6	34.7	18.1	25.6	33.1	37.8
7	8.1	40.9	18.4	32.5	25.5	29.9
8	13.1	41.7	14.8	30.4	31.5	35.1
9	21.0	31.6	16.4	31.0	30.2	34.1
10	18.7	40.8	16.7	23.9	34.6	38.5
11	25.8	27.4	16.4	30.4	30.4	34.9
12	12.9	43.2	21.5	22.4	32.4	40.1
13	13.3	38.7	18.8	29.3	29.9	36.0
14	15.8	47.1	22.5	14.7	37.2	40.1
15	19.3	32.6	18.1	29.9	29.2	34.7
16	10.6	39.5	17.0	32.9	28.2	33.9
17	26.8	31.6	19.4	22.2	34.5	40.1
18	15.9	46.3	19.3	18.5	36.5	40.5
19	9.0	47.1	16.7	27.1	31.4	36.3
20	18.8	48.0	19.4	13.8	38.1	37.8
21	9.0	47.4	20.2	23.3	31.0	35.2
22	11.7	40.5	19.7	28.1	30.9	38.6
23	8.6	49.1	27.4	14.9	37.1	50.0

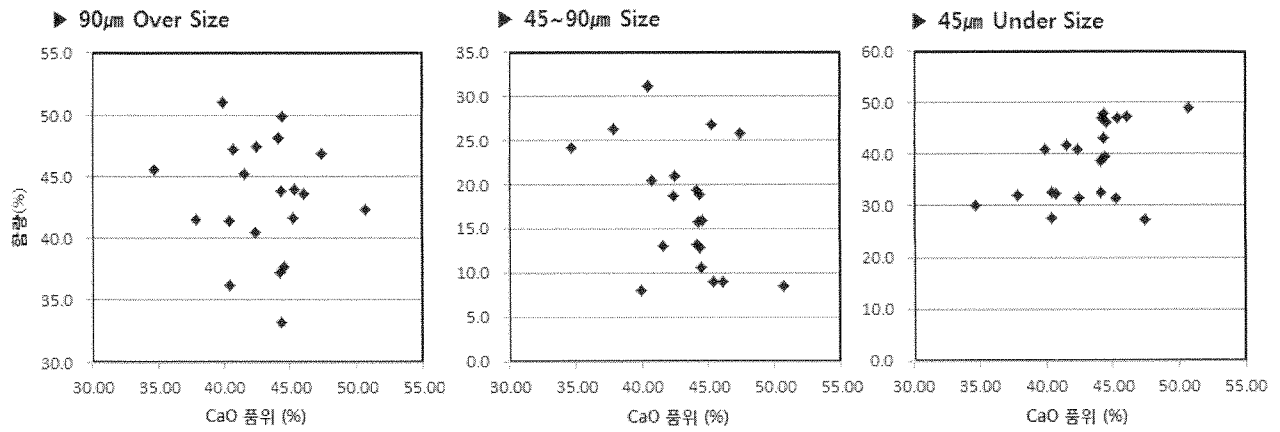


Fig. 1 석회석의 CaO 함량별 입도별 함량

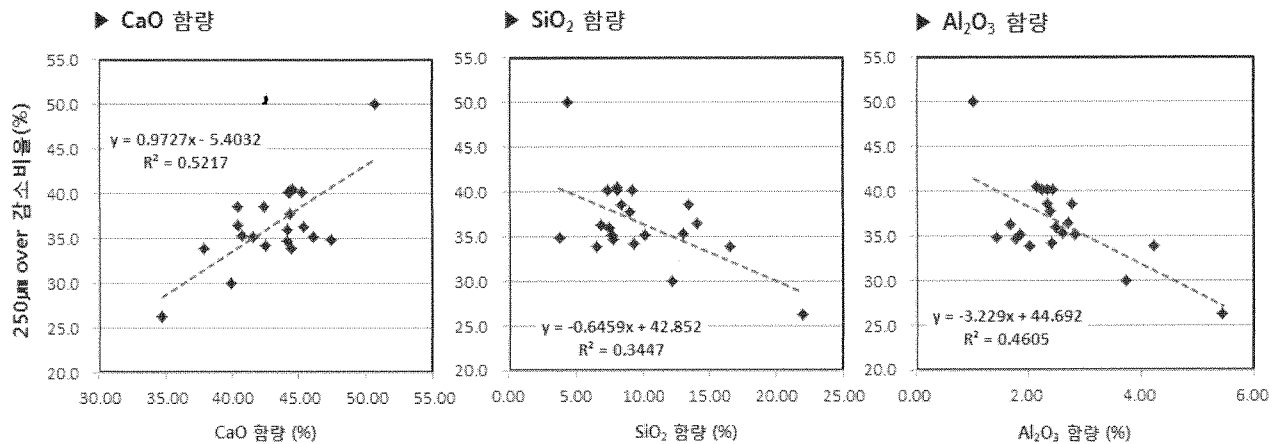


Fig. 2 Ball Mill 분쇄에서 각 성분 함량별 250 µm 이상 입자의 감소 비율

Table 3의 90over 감소비율과 250over 감소비율은 조분쇄 시료를 Ball Mill 분쇄시 각각 90 µm 이상 입자의 감소 비율과 250 µm 이상 입자의 감소 비율을 나타낸다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 피분쇄 특성

Ball Mill 분쇄 후, 각 석회석의 CaO 함량에 대하여 각 입도별 함량은 경향성을 나타내지 않았다(Fig. 1). 그러나 250 µm 입자의 감소비율을 기준 평가시 CaO 함량에는 피분쇄성이 비례를 하였고, SiO<sub>2</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량에는 반비례 하는 경향성을 나타냈다(Fig. 2). 이는 석회석의 품위에 따라 구성 광물의 형태가 변화 되며, 이러한 광물 조성의 변화가 조분쇄 공정에서도 피분쇄성의 차이를 나타내기 때문으로 생각된다.

저품위의 석회석일수록 불순물의 함량이 증가하며, Ball Mill 분쇄공정에서 조립(250 µm 이상)의 감소율은 불순물(SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)의 함량 증가에 반비례하는 경향을 나타냈고, 이는 시멘트 Raw Mill 공정의 효율 감소를 나타낼 것으로 생각된다.

#### 3.2 균등분쇄성

석회석의 CaO 함량에 따라 Ball Mill에서의 균등 분쇄성을 확인하고자 분쇄 후, 입도 분리된 시료의 화학성분 분석수치에서 각각 성분에 대하여 백분율로 환산하여 이론상 균등 분쇄된 값과의 차이를 그래프화한 것을 Fig. 3에 나타냈다.

CaO 품위가 낮을수록 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 성분이 조립(250 µm 이상)에 편중되는 것이 나타나며, CaO 성분은 90 µm 이하의 입자에 함량이 증가되는 것이 나타났다. CaO 성분 함량이 높을수록 이러한 편차는 감소하였다. 즉, CaO 함량이 낮을수록 분쇄공정에서 불균등 분쇄가 이루어지며, 조립과 미립의 성분 편차가 심화되는 것이 나타났다. 이는 석회석의 불순물 성분을 포함한 광물이 경도가 높은 광물의 형태로 형성되기 때문으로 추측된다.

#### 3.3 석회석의 광물분석

Table 1의 시료중 3가지 시료(CaO 37.4%, 40.3%, 46.8%)에 대하여, XRD를 사용하여 Rietveld법으로 광물량을 정량분석 한 결과를 Table 4에 나타냈다. 시료는

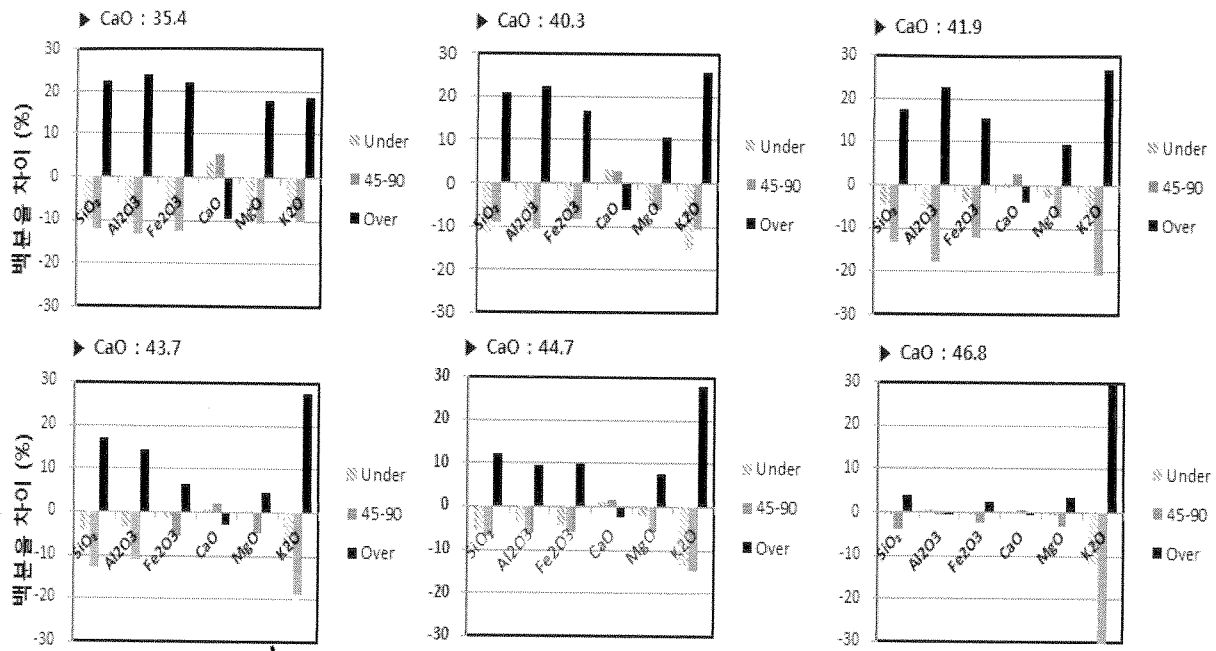


Fig. 3 CaO 함량별 균등 분쇄성

Table 4. 석회석의 광물 분석

구 분	구성광물 (%)							
	Calcite	Quartz low	Dolomite (1)	Dolomite (2)	Cordierite	Microcline	Annite	Total
CaO 37.4%	Total	77.4	3.4			5.2	14.0	100.0
	Over	66.3	7.5			5.4	20.7	99.9
	90-45	82.0	2.7			4.9	10.3	99.9
	Under	86.4	2.0			2.3	9.3	100.0
CaO 40.3%	Total	73.5	8.6	10.1	1.7		5.1	100.0
	Over	60.6	10.0	21.9	1.3		5.5	100.0
	90-45	75.1	8.6	13.3	2.4			100.1
	Under	76.8	7.8	11.2	3.7		0.6	100.1
CaO 46.8%	Total	72.5	1.6	25.6			0.3	100.0
	Over	78.3	2.2	18.9			0.6	100.0
	90-45	83.7	1.7	14.2			0.4	100.0
	Under	82.5	1.7	15.8				100.0

Ball Mill 분쇄 후 체거름으로 입도분리한 시료를 분석하여, 각 입도 별로 광물의 분포 비율을 파악하고자 하였다.

CaO 품위가 높은 시료의 경우 Si의 성분은 Quartz와 Annite의 형태로 존재하며, CaO 성분 중 일부가 MgO 성분을 포함하는 Dolomite 형태로 포함 되는 것이 나타났다. 입도분리 시료에서 조립에 Annite, Dolomite, Quartz의 함량이 증가하는 것이 확인 되었다. 반면 중간 입도와 미립의 분말에는 Calcite의 함량이 높았다.

CaO 품위가 40.3%인 시료의 경우 Si 성분은 Quartz, Annite, Microcline의 형태로 존재하며, 250 μm 이상의 입자에 Quartz와 Dolomite의 함량이 높았으며, Microcline의 형태는 250 μm 이상의 조립 분말에만 약 5%가량 함

유 되어 있었다. Dolomite의 총 함량은 CaO 함량 46.8%인 시료와 거의 동등 수준이었으나, Dolomite의 함량이 약 14%가량 낮았다.

CaO 품위가 낮은 37.4%의 시료의 경우 Si 성분을 포함하는 광물은 Quartz, Microcline, Cordierite의 형태로 있었으며, Quartz의 형태는 3.4%로서 비교적 낮았다. Microcline과 Cordierite은 전입도 범위에서 관찰 되었으며, Annite는 관찰 되지 않았다. 250 μm 이상의 입자에 Quartz, Microcline, Cordierite의 광물량이 증가하여 Si, Al등의 성분이 조립에 증가하는 것이 나타났으며, Dolomite는 관찰 되지 않았고, CaO 함량이 높은 시료에 비하여 미립에 Calcite의 함량이 높게 증가하는 것으로

나타났다. 이는 Mg성분이 Cordierite 형태로 존재하여, Ca와 Mg를 포함하는 Dolomite 성분이 없기 때문에 보여진다.

분쇄 후 입도 분리를 하여 광물 분석을 실시한 결과 경도가 높은 광물인 Quartz, Cordierite, Microcline 등의 광물은 조립의 입자에 함량이 증가하였고, Ca 성분을 포함하는 Calcite는 미립의 입자에 함량이 증가 하였다. 그러나 Ca성분을 포함하는 Dolomite의 경우 조립에 함량이 편중되는 경향이 있었으며, Dolomite의 경우 CaO 품위가 비교적 높은 시료에서 함량이 높게 나타났다. CaO 품위가 낮은 시료의 경우, 경도 차이가 큰 광물 형태를

포함하고 있어 분쇄공정에서 불균등 분쇄가 이루어질 소지가 높으며, 피분쇄성의 저하와 더불어 다량의 미립과 조립을 가지는 형태로 분쇄 될 것으로 예상 된다.

### 3.4 석회석 색상별 성분분포 형태

Table 1의 시료 중 2, 5, 22번의 3가지 시료(CaO 37.4%, 40.3%, 46.8%)에 대하여, 조분쇄 2회 시료의 조립분(250 μm 이상)을 색상 별로 구분하고 함량을 측정 하였다(Fig. 4). CaO 함량이 낮은 시료의 경우 어두운색을 나타내는 시료의 양이 많았으며, CaO 함량이 높을수록 밝은색의 시료량이 많았다.

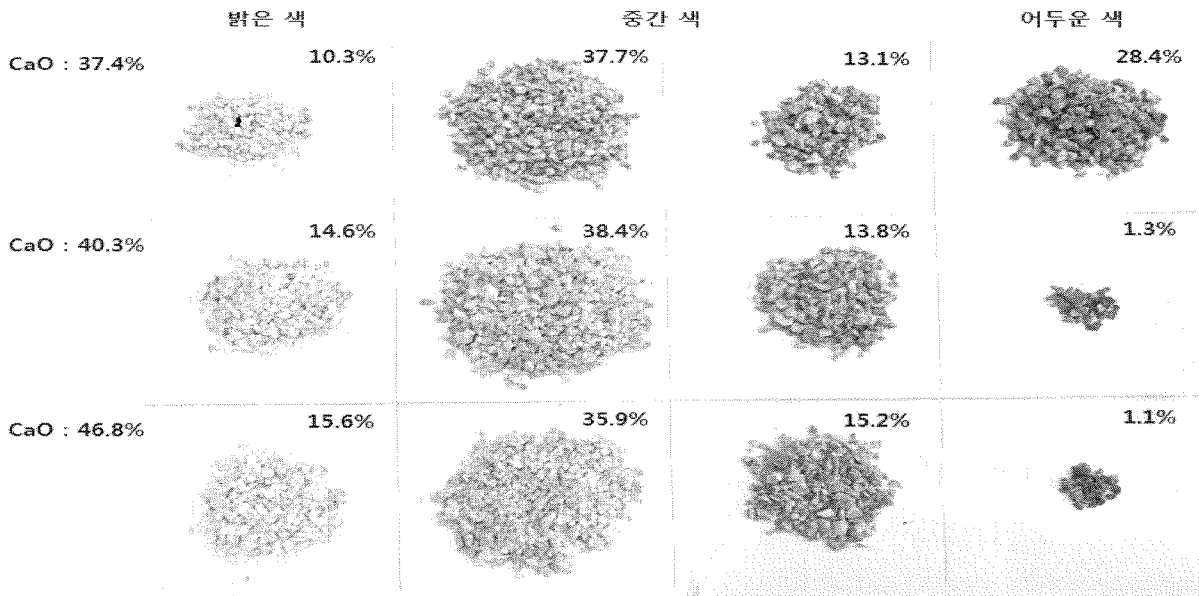


Fig. 4 조분쇄 석회석 조립분(250 μm 이상)의 색상별 함량

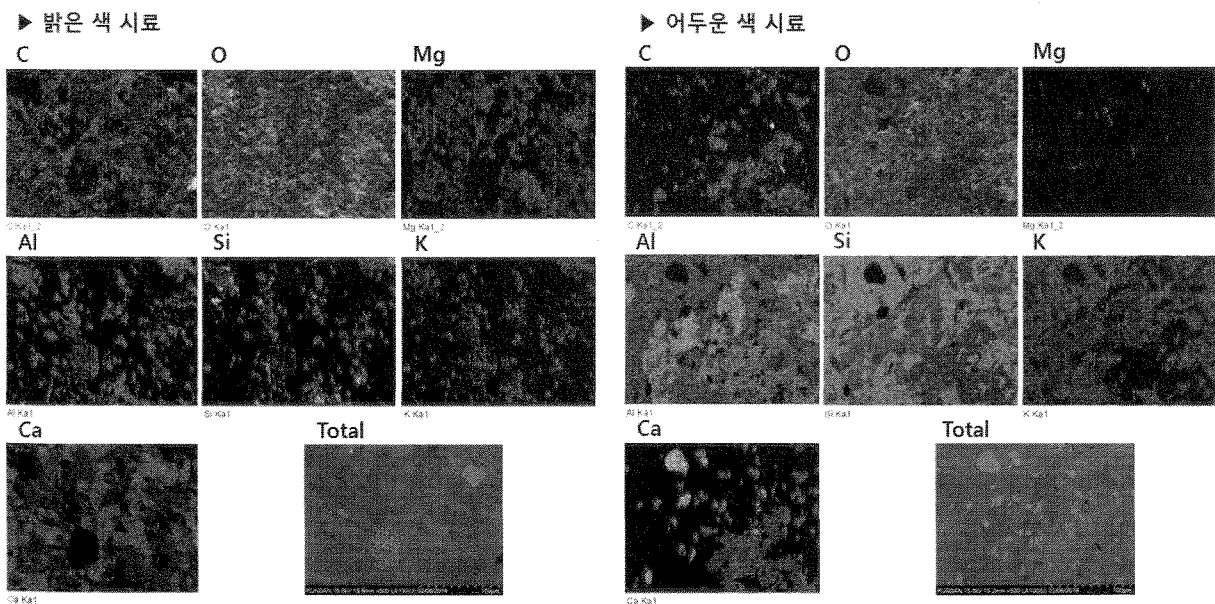
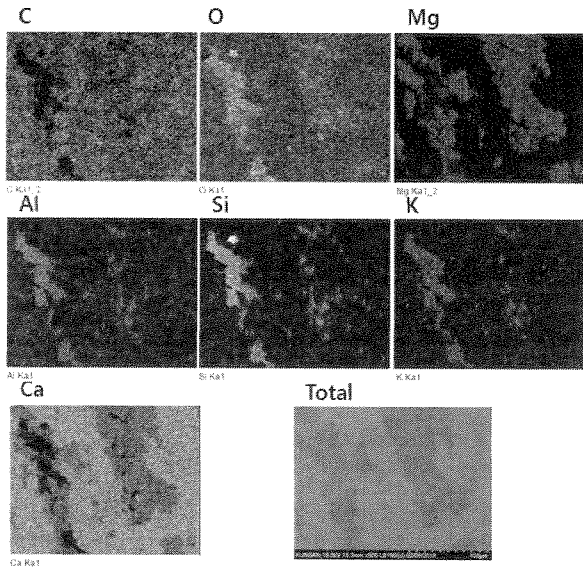


Fig. 5 CaO 함량 37.4% 시료의 색상별 화학성분 분포

▶ 밝은 색 시료



▶ 어두운 색 시료

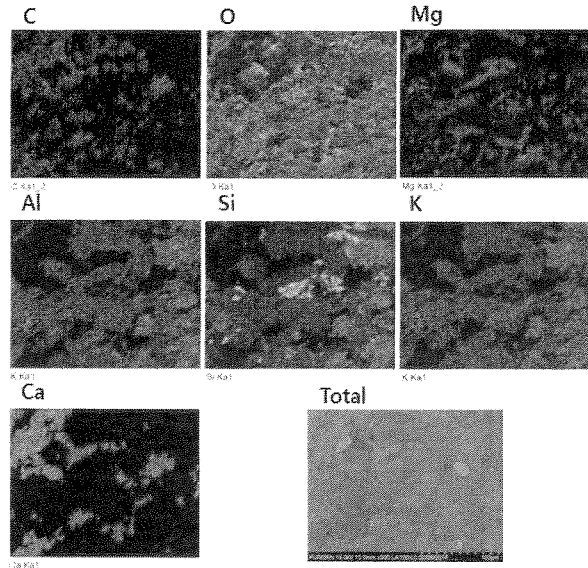
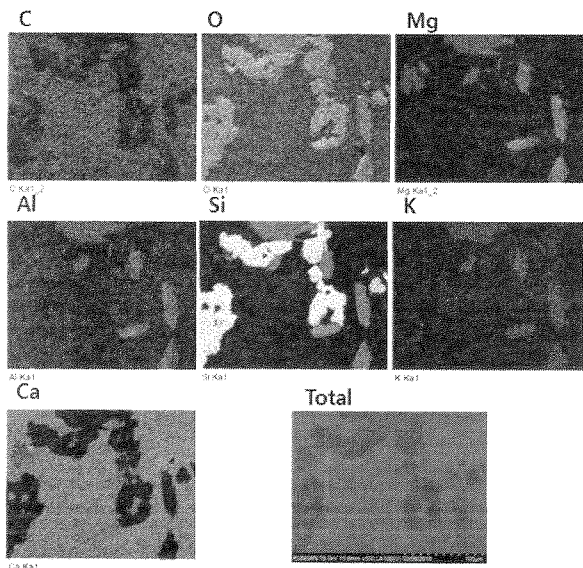


Fig. 6 CaO 함량 40.3% 시료의 색상별 화학성분 분포

▶ 밝은 색 시료



▶ 어두운 색 시료

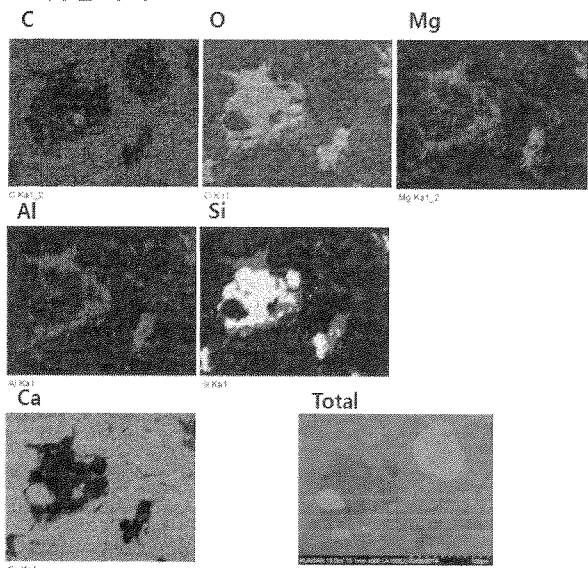


Fig. 7 CaO 함량 46.8% 시료의 색상별 화학성분 분포

조분쇄된 시료의 250  $\mu\text{m}$  이상 조립분은 CaO 함량 37.4%인 것이 61.1%, CaO 함량 40.3%인 것이 66.8%, CaO 함량 46.8%인 것이 66.7%로서 CaO 품위가 낮은 36.9%의 것이 약 6%가량 작았다. 이는 조분쇄에서 비교적 미립(250  $\mu\text{m}$  이하)으로 발생하는 CaO 성분의 광물 형태의 차이에서 나타난 것으로 생각되며, CaO 품위가 높은 경우 CaO 성분 중 일부가 Calcite 보다 다소 경도가 높은 Dolomite의 형태로 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 4의 시료 중 밝은 색을 나타내는 시료와 어두운 색을 나타내는 시료를 SEM의 BSE 이미지를 이용하여 성분분포 분석한 결과를 Fig 5, 6, 7에 각각 나타냈다.

전반적으로 밝은 색상을 나타내는 시료의 경우 Ca 성분이 넓게 분포하고 Si, Al, K 등의 성분이 부위별로 분포하는 형태를 나타내고 있다. 반면 CaO 함량이 37.4%와 40.3%로서 CaO 함량이 비교적 낮은 어두운색 시료의 경우 Si 성분의 분포 넓게 분포되어 있고, 부위별로 Ca 성분의 분포가 나타나는 것이 보여진다. CaO 함량 46.8%의 어두운 색 시료의 경우는 Si 성분의 분포가 비교적 적으며, 넓은 Ca 성분 분포를 나타내고 있다. 또한 Si 성분과 O 성분만이 일치하는 영역이 뚜렷하게 나타나, Si 성분이  $\text{SiO}_2$ 의 형태로 구성 되어 있음을 짐작하게 한다. CaO 함량이 낮은 어두운 색 시료에서는 Si, Al, K의 성분의 분포가 중첩되는 부분이 다수 나타나며, 이

는 Microcline 등의 Si, Al, K의 성분을 포함하는 광물의 형태가 존재하는 것으로 추측 되어 진다. CaO 함량 40.3%와 46.8%의 시료에서 Ca와 Mg 성분이 중첩되는 부위가 일부 관찰되며, 이는 Ca와 Mg의 성분이 Dolomite 등의 광물형태로서 존재하는 것으로 예상된다.

조분쇄 후의 조립분 시료(250 μm 이상)을 색상별로 구분하여 성분 분포를 파악한 결과 석회석의 CaO 성분 함량에 따라 성분분포는 큰 차이를 나타내며, CaO 함량이 낮은 경우 조립분에 불분물의 성분인 Si, Al, K Mg의 분포가 증가하는 것이 나타났다. 반면 CaO 함량이 높은 경우는 어두운 색의 시료에서도 Ca 성분의 분포가 높게 나타났다.

### 3.5 입도별 화학성분의 변화 경향성

석회석의 분쇄 공정에서 입도별 성분 변화 경향성을

파악하고자, 각 CaO 함량별 석회석의 Ball Mill 분쇄 시료를 45, 90 μm 망체를 사용하여 입도 분리하고, 이들 시료를 각각 입도별로 성분분석을 하였다. 화학성분 분석값에 입도분리시의 각 입도별 함량 비율을 곱하여 입도별 화학성분 량을 파악하였다.

석회석의 CaO 함량 변화에 따른 CaO 및 SiO<sub>2</sub>의 입도별 함량 변화 경향성을 Fig. 8에 나타냈다. SiO<sub>2</sub>의 함량은 석회석의 CaO 함량에 반비례 경향성을 나타냈으며, 조립 영역(90 μm 이상)에서 석회석의 CaO 함량 변화에 급격한 함량 변화 경향성을 나타냈다. 미립의 입자로 갈수록 석회석의 CaO 함량 변화에 변화폭이 감소하였다. 각 입도별 CaO 성분은 석회석의 CaO 함량에 비례하는 경향성을 나타냈으나, 45 μm 이하의 입자에서는 석회석의 CaO 함량에 다소 반비례하는 경향성을 나타냈다. 이는 석회석의 CaO 함량이 높은 시료에서 미립의 발생량

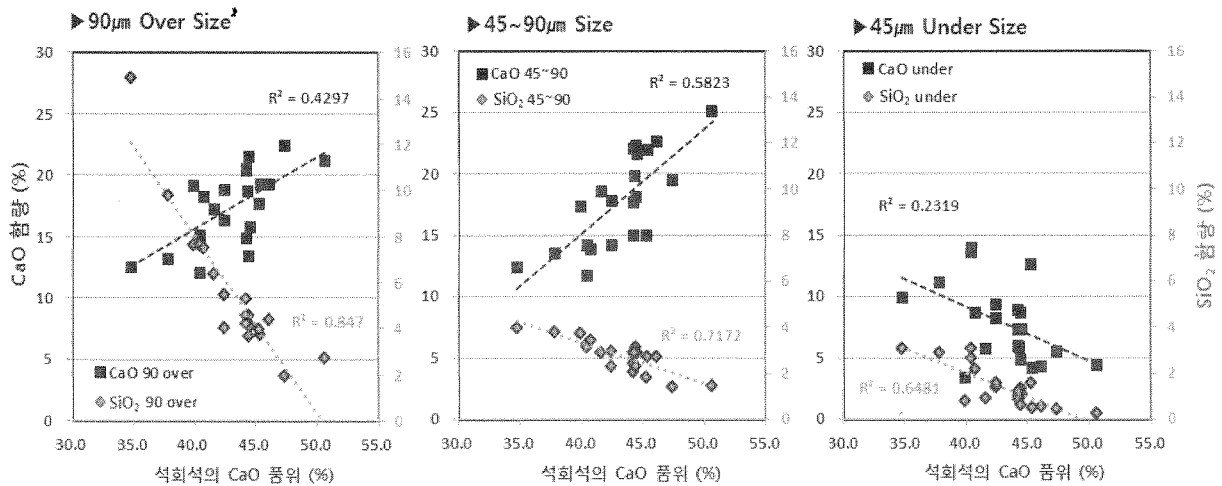


Fig. 8 CaO 함량에 따른 각 입도별 CaO, SiO<sub>2</sub>의 함량 변화

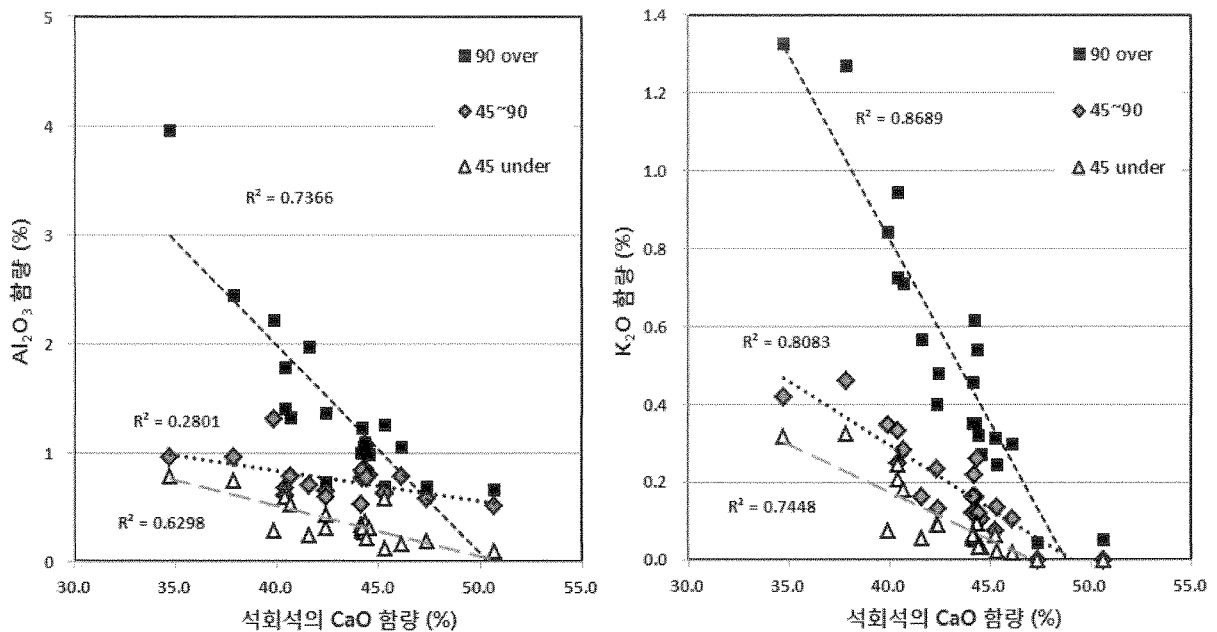


Fig. 9 CaO 함량에 따른 각 입도별 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O의 함량 변화

이 적게 나타난 것에 기인하는 것으로, 각 입도별 함량 비율을 곱하지 않은 경우는 비례하는 경향성을 나타냈다.

Fig. 9에 나타난 것은 석회석 CaO 함량 변화에 따른 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 입도별 함량 변화를 나타낸 것으로 SiO<sub>2</sub>와 같이 조립 입자(90 μm 이상)에서 석회석의 CaO 함량 변화에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량 변화 경향성이 큰 폭으로 변화였으며, 미립의 입자로 갈수록 변화 폭은 감소하였다. 입자가 미립일수록 함량도 감소했다.

석회석 CaO 함량에 따른 K<sub>2</sub>O의 함량 변화 또한 SiO<sub>2</sub>나 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량 변화와 동일한 경향성을 나타냈다. K<sub>2</sub>O의 경우는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량과 직선 비례하는 경향성을 나타내어 Al 성분과 K 성분을 함께 포함하는 광물이 증감하는 것으로 예상되었다.

#### 4. 결 론

저품위 석회석의 특성과 분쇄 시에 입도별 화학성분의 변화를 파악하기 위하여, 석회석 CaO 함량별 시료를 분쇄하여 각 입도별 화학성분과 광물 형태를 파악하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) Ball Mill 분쇄에서 조립(250 μm 이상)감소 비율을 기준으로 석회석의 불순물의 함량 증가에 따라 피분쇄성은 감소하였으나, 각 입도별 분말의 함량은 CaO 함량과 상관관계가 없었다.

2) 석회석의 CaO 성분의 함량에 따라 포함하는 광물의 형태가 일부 다르게 나타났으며, CaO 함량이 낮을수록 경도가 높은 Microcline, Codierite 등이 증가하였고, CaO 함량이 높은 석회석에서 Dolomite가 일부 나타났다. 또한, 조립일수록 경도가 높고 불순물 성분을 포함하는 Microcline, Codierite 등의 함량이 높아 졌다. 이러한 영향으로 Ball Mill 분쇄에서 CaO 함량이 낮을수록 불균등 분쇄가 나타났다.

3) 조분쇄된 조립입자(250 μm 이상)의 색상별 성분분포는 CaO 성분이 낮은 석회석에서 석회석의 색상별 성분 분포의 변화가 크게 나타났다. 석회석의 CaO 함량이 낮고 어두운색을 나타내는 시료에서 불순물 성분인 Si, Al, K가 넓게 분포되어 있었으며, 이들 성분은 중첩된

부위에 분포하였다. CaO 함량이 높고, 밝은 색 시료의 경우 Ca 성분이 넓게 분포 된 부위에 부분적으로 불순물 성분이 일부 분포하고 있었다.

4) 석회석의 CaO 함량에 대하여 CaO 성분은 비례, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O 성분은 반비례하는 경향을 나타내었다. 조립일수록 불순물(SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O)의 성분은 석회석의 CaO 성분 함량에 큰 변화 폭을 나타냈다.

이상의 결과에서 CaO 함량이 낮은 저품위 석회석을 클린커 소성원료로 사용하거나 일부 혼용하는 경우에는 균등분쇄 조건 또는 불순물의 미립화를 고려하여야 소성 공정 및 클린커 품질에 악영향을 방지 할 수 있을 것으로 생각된다.

#### <참고문헌>

1. 노성호, 광복환, “석회석의 구성광물과 그 반응성에 대하여”, 시멘트 심포지엄 제19회 pp.70~77, (1991)
2. 박해경, 정현일, 임영수, “저품위 석회석과 규석중의 SiO<sub>2</sub> 성분이 소성성에 미치는 영향”, 시멘트 심포지엄 제21회 pp.51~59, (1993)
3. 이우용, 이광식, 민경소, 윤호현, “산지별 석회석의 특성이 시멘트 물성에 미치는 영향”, 시멘트 심포지엄 제31회 pp.254~263, (2004)
4. 유창진, 이용성, 김진욱, 전준영, 이의학, “SiO<sub>2</sub>원이 소성성 및 시멘트 물성에 미치는 영향”, 시멘트 심포지엄 제31회 pp.22~28, (2004)
5. 김성진, 이민석, 박동수, “석회석 품위에 따른 열분해성 및 상변화 특성”, 시멘트 심포지엄 제35회 pp.143~151, (2008)
6. 최룡, 안영필, “삼태산 석회석의 품위별 특성에 관한 연구”, Journal of the Korean Ceramic Society Vol. 18, No. 4, pp. 262~268, (1981)
7. 노진환, 오성진, 김경진, “국내산 고품위 석회석의 광물상 및 광물특성에 관한 응용광물학적 연구”, 한국광물학회지, 제 17권 제 4호 pp. 339~355, (2004)
8. 김형석, “분리 선별을 통한 저품위 석회석의 고품위화 연구”, 시멘트 심포지엄 제40회 pp.20~28, (2013)
9. 진상, 문기연, 최문관, 조계홍, 안지환, 연구석, “국내 저품위 석회석의 소성조건에 따른 광물상 및 미세구조 거동”, Journal of the Korean Ceramic Society Vol. 51, No. 2, pp. 88~96, (2014)