J Rec Const Resources 9(1)20-25(2021)
https://doi.org/10.14190/JRCR.2021.9.1.20

Print ISSN : 2288-3320
Online ISSN : 2288-369X

저품위 석회석이 원료밀의 분쇄성과 시멘트 클링커 소성성에 미치는 영향

Effect of Low-grade Limestone on Raw Mill Grinding and Cement Clinker Sintering

유동우[1*] · 박태균[2] · 최상민[3] · 이창현[4]
Dong-Woo Yoo[1*] · Tae-Gyun Park[2] · Sang-Min Choi[3] · Chang-Hyun Lee[4]

(Received November 6, 2020 / Revised November 17, 2020 / Accepted November 18, 2020)

The cement clinker, the main raw material of cement, is manufactured using limestone as the main material. Depending on the quality of limestone, the use of subsidiary materials changes, and has a great influence on the production of cement clinkers. In this study, the effect of CaO content of limestone, a cement clinker material, on Raw Mill grinding and sintering of cement clinker was investigated. The grinding time of the union materials changed in the content of limestone CaO was measured to identify the grinding properties. The raw material combination was cleaned within a range of 1,350-1,500°C. The sintering performance of cement clinker by Burnability index calculation was identified. The lower the grade of limestone, the lower the grinding quality of the raw material combination. The lower the CaO content of limestone, the greater the variation in F-CaO for sintering temperature. The lower the class of limestone, the higher B.I. value was calculated, indicating the lower cement clinker sintering. In addition, the mineral analysis results of cement clinker showed that if the F-CaO value was low due to the increase in sintering temperature, the Belite content decreased and the Alite content increased. In the case of Alite, the ratio of R-type decreased and that of M-type increased as the content of limestone CaO increased.

키워드 : 시멘트 클링커, 저품위 석회석, 소성, Rietveld법

Keywords : Cement clinker, Low grade limeston, Sintering, Rietveld method

1. 서 론

포틀랜드 시멘트의 원료로는 석회석, 규산질 원료 및 철질원료가 사용되며 이들 원료성상에 따라 생산성, 제조원가, 품질 수준에 영향을 미치게 된다. 특히 시멘트의 원료는 크게 구분하여 주원료인 석회석과 부원료로서 철질, 알루미나질 규석질 원료로 구분되어 진다. 주원료인 석회석의 품질에 따라 부원료의 사용량 및 종류에 지대한 영향을 주게 되며, 석회석의 품위가 낮을수록 석회석에 포함되어 있는 불순물의 함량의 증가로 부원료의 사용이 제한된다. 국내의 석회석은 가능 채광량이 81억톤에 이르러 자급자족이 가능한 천연자원으로 알려져 있으나, 생성연대의 특성상 중·저품위 석회석이 대부분을 이루고 있다(Cho et al. 2014). 시멘트 부원료는 대부분 산업 부산물의 재활용이 적용되고 있는 실정으로 산업부산물의 재활용적인 면에서 석회석의 품위는 중요한 요소로 작용한다.

Choi and Ahn(1981)은 석회석 품위가 낮아지는 경우 SiO_2, Al_2O_3, MgO와 알카리의 함량이 증가한다고 하였다. 석회석 내의 이러한 불순물의 함량 증가는 석회석의 구성 광물의 형태가 변화를 초래하여, 시멘트 공정 중 원료 분쇄 밀의 분쇄효율과 시멘트 클링커의 소성성에 영향을 미칠 수 있다.

시멘트 제조공정은 주로 분쇄와 소성의 공정으로 이루어져 있

* Corresponding author E-mail: rdw0112@naver.com

[1]군산대학교 신소재공학과 연구원 (Department of Materials Science & Engieering, Kunsan National University, Kunsan, 54150, Korea)
[2]재단법인 영월산업진흥원 본부장 (Yeongwol Industrial Promotion Agency, Yeongwol, 26240, Korea)
[3]군산대학교 신소재공학과 박사과정 (Department of Materials Science & Engieering, Kunsan National University, Kunsan, 54150, Korea)
[4](주)삼표시멘트 생산기술 고문 (Manufacturing Technology, Sampyo Cement, Gangwon-do, 25930, Korea)

Copyright ⓒ 2021 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

Table 1. Chemical composition of raw materials.

Raw materials	Chemical composition(wt. %)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	Sum
Limestone(44.4)	9.52	2.57	1.33	44.40	2.26	0.49	0.87	0.02	61.46
Limestone(43.7)	10.45	2.71	1.45	43.70	2.31	0.45	0.93	0.01	62.01
Limestone(43.0)	11.35	2.93	1.65	43.00	2.35	0.22	1.01	0.02	62.53
Quartzite	93.90	1.50	0.94	3.00	0.00	0.12	0.20	0.11	99.77
Iron ore	5.84	5.40	49.50	12.25	0.00	0.18	2.30	0.27	75.74
Plaster	1.55	1.08	0.38	36.02	0.00	42.50	0.00	0.51	82.04
Ash	54.50	23.80	6.80	9.50	1.95	0.68	0.56	1.06	98.85
Ca Sludge	2.84	1.87	2.78	50.02	0.69	0.14	0.08	0.00	58.42

으며, 그중 원료밀(Raw Mill)은 시멘트 클링커의 소성을 위하여 조합된 원료를 소성에 적합한 일정의 분말로 분쇄하는 공정으로 원료밀에서의 분쇄성은 시멘트 클링커의 소성과 시멘트 품질에 직접적인 영향을 미치게 된다. 시멘트 생산 공정 중 많은 에너지를 소비하며, 가장 중요한 공정은 시멘트 클링커를 소성하는 Rotarry Kiln을 사용하는 소성 공정이다. 시멘트 클링커의 특성은 출발물질인 원료의 구성 성분과 이들의 함량, 소성조건 등의 영향을 받는다(Alsop and Smith 1998b). 따라서 시멘트 클링커의 주원료인 석회석의 품질의 영향이 크게 나타나며, 소성조건은 시멘트 클링커의 물리 화학적 특성을 좌우하는 중요한 요소 중의 하나이다(Japan Cement Association 1999).

따라서 본 연구에서는 석회석의 품질에 따른 시멘트 클링커 소성 원료의 분쇄성 변화를 검토하고자 하였으며, 시멘트 클링커의 조합원료 변화에 따른 시멘트 클링커의 소성성을 평가하기 위하여, 1,350~1,500°C의 범위에서 시멘트 클링커를 소성하여 광물변화를 검토하고, 시멘트 클링커의 소성성을 평가하고자 하였다.

2. 원재료 및 실험방법

2.1 실험재료

시멘트 클링커 원료로서 석회석, 규석질, 철질원료와 알카리 제어를 위한 석고를 소량 사용하였으며, 점토질 원료로서석탄재를 사용하였다. 석회석의 경우 CaO 함량 44.4, 43.7, 43.0%의 3종으로 구분하여 실험하였다. 이들의 화학성분은 Table 1에 나타내었다. 또한 이들의 배합표와 계수를 Table 2에 나타내었다. 클링커 계수 중 LSF는 Lime Saturation Factor (1)(Lea 1970), SM은 Silica Moduls (2), IM은 Iron Modulus (3), HM은 Hydraulic Modulus (4)를 의미한다(Jang et al. 1998a).

$$LSF = \frac{100 \times CaO}{2.8 \times SiO_2 + 1.18 \times Al_2O_3 + 0.65 \times Fe_2O_3} \quad (1)$$

$$SM = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (2)$$

$$IM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (3)$$

$$HM = \frac{CaO - 0.7 \times SO_3}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (4)$$

시멘트 클링커의 소성에 적합하도록 클링커 계수는 LSF는 ±0.02, SM은 ±0.03, IM은 ±0.01, HM은 ±0.01의 범위로 하였으며, 총 CaO 함량은 42.10~42.17%가 되도록 시멘트 클링커 원료배합을 하였다. 그에 따라 낮은 품위의 석회석을 적용하는 경우 부족한 CaO 함량을 보충하기 위하여 Ca Sludge를 일부 적용하였다. 규석질 원료로서는 규사를 적용하였고, 철질 원료로서는 철광석을 적용하였다.

석회석 품위가 낮아질수록 석회석의 배합량이 감소하였음에도 불구하고, 석회석 내의 소량 화학성분의 비율이 증가되어 클링커 배합에서 규석, 철광석, 석탄재의 배합량이 감소하였다.

Table 2. Mixing ratio and modulus of raw materials.

	Mixing ratio(wt. %)						Modulus			
	Limestone	Quartzite	Iron ore	Plaster	Ash	Ca Sludge	LSF	SM	IM	HM
Limestone(44.4)	93.20	4.10	1.15	0.10	1.45	0.00	95.20	2.53	1.40	2.17
Limestone(43.7)	92.40	3.45	1.00	0.10	1.00	2.05	95.08	2.50	1.38	2.16
Limestone(43.0)	91.95	3.00	0.70	0.10	0.30	3.95	94.86	2.47	1.38	2.15

2.2 실험 과정

시멘트 클링커의 원료 배합비에 따라 준비된 원료를 혼합하고, 분쇄하여 90㎛ 잔사를 11~12%가 되도록 준비하였다. 각 원료는 건조 후, Jaw Crusher를 사용하여 조분쇄를 실시하고, 혼합하여 준비하였다. 이때의 각 시료별로 90㎛ 잔사 목표 수치에 이르는 시간을 측정하여 Raw Mill에서의 분쇄성을 판단하였다.

분쇄하여 준비된 원재료를 혼합수와 25%의 비율로 혼합하고 일정 무게의 성구로 제조하였다. 제조된 성구는 102°C에서 2시간 건조하였다. 이를 각 온도별로 소성 후, 공기중에 급냉하여 시멘트 클링커를 제조하였다. 실험 흐름도를 Fig. 1에 나타내었다.

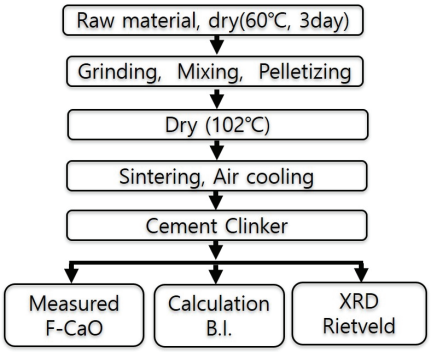

Fig. 1. Experimental procedure

2.3 소성 방법

시멘트 클링커의 소성성을 판단하기 위하여 Polysius 법을 사용하여 측정하였으며, 소성의 최고온도는 1,350°C, 1,400°C, 1,450°C, 1,500°C의 온도로 15분간 유지하여 소성하였고, 승온속도를 10°C/min으로 하였으며, 소성된 시료는 공기중에 급냉하여 시멘트 클링커를 제조하였다. 제조된 시멘트 클링커는 F-CaO를 측정하여, 소성성 지수(B.I., Burnability Index, (5)값을 계산하였다. 이때 B.I.값이 낮을수록 소성성이 높다(Ahn et al. 2003). 소성 스케줄은 Fig. 2에 나타내었다.

$$B.I. = \frac{3.73 \times (F1 + F2 + 2F3 + 3F4)}{(F1 - F4)^{1/4}} \quad (5)$$

$$F1 = F-CaO\ (1350℃)$$
$$F2 = F-CaO\ (1400℃)$$
$$F3 = F-CaO\ (1450℃)$$
$$F4 = F-CaO\ (1500℃)$$

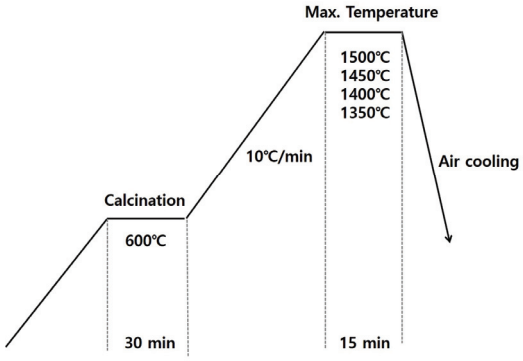

Fig. 2. Sintering schedule of cement clinker

2.4 시멘트 클링커의 광물 분석

시멘트 클링커의 광물 분석은 XRD분석 결과를 Rietveld법으로 분석하여 정량 분석하였다. 사용 XRD는 PANALYTICAL Co. EMPYREAN의 기기를 사용하였다. XRD-Rietveld 분석을 위한 측정조건은 Generator 40kV, 30mA에서 측정각도(2θ)는 5~75°이며, step size는 0.026°, step scan speed는 2°/min으로 측정하였다. Rietveld 해석은 HighScore Plus(PANALYTICAL Co. ver 3.0c(3.0.3))를 사용하여 해석하였다. Goodness of fit은 35 이하 기준으로 하였고, 신뢰도 기준인 Rwp는 6 이하로 설정하여 분석하였다. 사용한 XRD-Rietveld Reference code는 Table 3에 나타내었다(Aranda et al. 2012).

2.5 유리 산화칼슘의 측정

제조된 시멘트 클링커의 소성성을 평가하기 위하여 유리 산화

Table 3. XRD-Rietveld reference code

ICSD Codes	Chemical name	Mineral name	Chemical formula	Crystal system	Space group
98-002-2501	C_3S(R)	Alite	Ca_3O_5Si	Hexagonal/R	R3m
98-009-4742	C_3S(M)	Alite	Ca_3O_5Si	Monoclinic/M3	C1m1
98-007-9550	C_2S(M)	Belite	Ca_2O_4Si	Monoclinic	P1 21/c1
98-000-1841	C_3A(Cubic)	Aluminate	$Al_6Ca_9O_{18}$	Cubic	Pa-3
98-000-1880	C_3A(Ortho)	Aluminate	$Al_6Ca_{8.5}NaO_{18}$	Orthorhombic	Pbca
98-000-9197	C_4AF(Ortho)	Ferrite	$AlCa_2FeO_5$	Orthorhombic	1ma2
98-007-5785	Lime	Lime	CaO	Cubic	Fm-3m
98-007-9674	Calcite	Calcite	$CCaO_3$	Hexagonal	R-3c

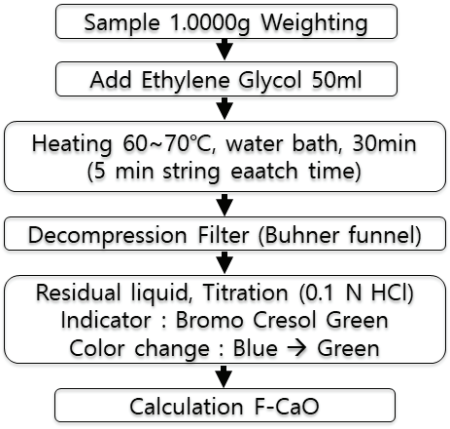

Fig. 3. The method of measurement F-CaO

칼슘(F-CaO)을 Ethylene Glycol법(ASTM STP 985)에 의하여 측정하였으며, 시험 방법은 Fig. 3에 나타내었다. F-CaO는 시멘트 클링커의 소성성 판단의 한 척도로 사용되고 있으며(Lee et al. 2014), 실제 시멘트 클링커의 소성공정에서도 중요한 공정관리 요인으로 사용하고 있다. 본 실험에서는 각 소성온도별 F-CaO의 변화량을 파악하고, 소성성 평가를 위한 B.I. 값을 계산하였다.

$$F-CaO = \frac{0.1N\,HCl\,(ml) \times factor \times 0.002804\,(g/ml)}{Used\ \ sample\ \ weight\,(g)} \quad (6)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 Raw Mill 분쇄성 검토

석회석의 CaO 함량별로 준비된 시료 분쇄성을 검토하기 위하여 동일 조건에서 Ball Mill에서 90㎛ 잔사가 11~12%에 도달할 때까지의 분쇄시간을 측정하여 Fig. 4에 나타내었다.

실험 결과 목표 잔사율에 도달하는 시간이 석회석의 CaO 함량 44.4%의 시료는 1,090초, 43.7%의 시료는 1,150초, 43.0%의 시료는 1,250초가 소모되어, 44.4%의 시료에 비하여 43.0%의 시료가 160초가량 더 필요하였고, 석회석의 CaO 함량이 낮은 저품위 석회석을 사용 할 수록 분쇄시간이 더 소모되는 결과를 얻었다. 이는 석회석의 품위가 낮을수록 SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3양이 증가하고, 이들의 성분이 포함된 광물이 석회석내에 증가하기 때문인 것으로 판단되며, SiO_2는 대부분 석회석 내에서 Quarze 형태로 존재하고, Al_2O_3, Fe_2O_3는 소량의 알카리를 포함하는 장석류의 광물로서 존재하게 된다.

이들 광물은 석회석의 주성분인 탄산칼슘보다 높은 경도를 나타내는 광물들로 분쇄공정에서 피분쇄성이 낮아 분말의 조립쪽에 분포하게 된다. 시멘트 제조공정에서 탄산칼슘은 약 800℃ 부근에서 열분해하여 탈탄반응을 하게 되며, 이때 탈탄반응에 의한 화학분쇄 작용이 나타나 수㎛의 크기로 부서지게 된다. 그러나 이러한 반응을 나타내지 않는 광물량의 증가는 시멘트 클링커의 소성성에 좋지 않은 영향을 미칠 것으로 예상된다.

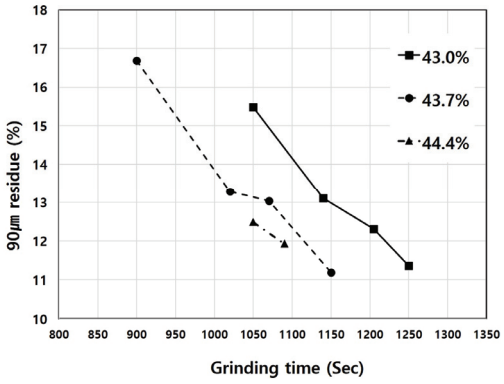

Fig. 4. Grinding properties of raw mill materials

3.2 유리 산화칼슘의 측정

석회석의 CaO 함량별 소성 온도별 유리 산화칼슘(F-CaO)량을 측정한 결과를 Fig. 5에 나타내었으며, 소성온도가 증가 할 수록 F-CaO의 함량은 낮아지며, 석회석 내의 CaO 함량이 낮을수록 낮은 소성온도에서 F-CaO의 변동 폭이 크게 나타났다. 통상의 시멘트 제조공정에서 소성온도는 1,450℃ 전·후에서 소성하여 시멘트 클링커를 생산한다. CaO 함량 43.0%의 석회석을 사용한 경우, 1,450℃에서도 1.63%의 비교적 높은 F-CaO를 나타내어 소성성이 낮게 나타나고 있으며, CaO 함량 43.7%, 43.0% 두 시료

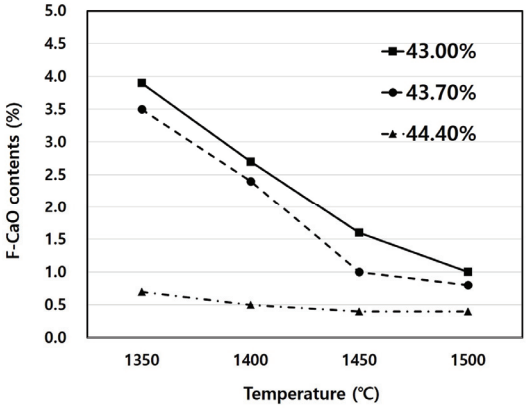

Fig. 5. F-CaO of cement clinker

모두 소성온도 변화에 대하여 큰 폭의 F-CaO 변화를 나타내어, 시멘트 클링커 소성반응이 원활하게 나타나지 않는 것으로 생각된다. 반면 CaO 함량 44.4%의 시료는 1,400℃ 부터 F-CaO가 0.48%로 나타나 소성온도 변화에 큰 변화를 나타내지 않았다. 이는 석회석 내의 CaO 함량이 높을수록 시멘트 클링커의 소성성이 높은 것을 알 수 있다.

3.3 시멘트 클링커의 소성성 평가

각 온도 및 석회석의 CaO 함량별로 측정한 F-CaO 값(Fig. 5)을 식 (5)에 대입하여, 온도별로 소성한 시멘트 클링커의 소성성 지수(B.I.)를 구한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 원료 석회석의 CaO 함량이 44.4%인 시료는 33.4, CaO 함량이 4.37%의 시료는 27.8, CaO 함량이 43.0%의 시료는 13.7의 소성성 지수를 나타내었다. 이는 소성온도별 F-CaO의 변화가 적은 44.4%의 시료가 낮은 소성성 지수를 나타내고, 소성 온도별 F-CaO 변화가 큰 43.0%의 시료가 높은 소성성 지수를 나타내어, 원료 석회석의 CaO 함량이 높을수록 시멘트 클링커의 소성성이 높은 것을 확인하였다.

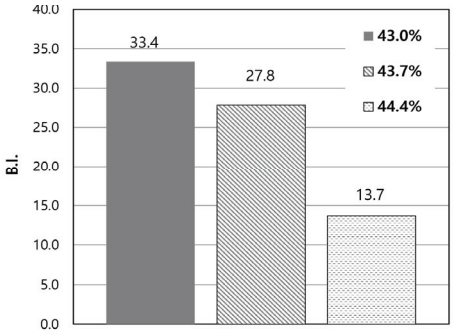

Fig. 6. B.I. of cement clinker

3.4 시멘트 클링커의 광물 분석

석회석의 CaO 함량별, 소성 온도별로 소성된 시멘트 클링커를 XRD-Rietveld법에 의하여 광물량을 정량분석한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 시멘트 클링커의 4대 광물인 Alite(C_3S, $3CaO \cdot SiO_2$), Belite(C_2S, $2CaO \cdot SiO_2$), Aluminate(C_3A, $3CaO \cdot Al_2O_3$), Ferrite (C_4AF, $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$)가 온도별로 변화되는 것을 확인 할 수 있다. 또한 원료 석회석의 CaO 함량이 높을수록 Blite 함량이 높았다. 이는 시멘트 클링커의 소성반응이 1,100~1,200℃ 온도에서 간극상인 Aluminate와 Ferite는 생성이 종료되고, Belite의 최대량이 생성된다. 또한, Alite상이 생성되며, F-CaO(Lime)이 감소하기 시작한다(Lee and Kim 2018). 1,250℃ 부근에서 부터 고상-액상 반응이

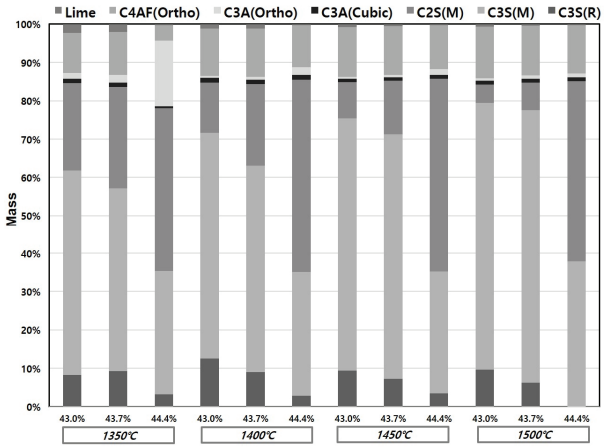

Fig. 7. Rietveld analysis of cement clinker

시작되면, Belite의 유리 CaO와의 반응이 촉진되어 Alite양이 증가하게 되고, 1,450℃에서 유리 CaO가 없어질 때 반응이 끝나게 된다.

본 실험에서도 석회석의 CaO 함량이 낮은 시료의 경우 소성온도가 증가함에 따라 F-CaO의 감소와 같이 Belite의 양의 감소하고 Alite의 증가하는 경향을 나타내나, 석회석의 CaO 함량이 높은 시료의 경우, 낮은 소성 온도에서도 낮은 F-CaO 함량의 영향으로 소성 온도 변화에 따른 Alite와 Belite의 변화가 거의 나타나지 않았다. 반면, 석회석의 CaO 함량이 낮은 시료의 경우 원료 분쇄성의 저하로 시멘트 클링커의 소성 반응성 저하가 나타나게 되며, 이에 의한 소성성 저하가 나타나게 되는 것으로 예상된다.

Alite는 크게 M형(Monclinic 구조)과 R형(Hexagonal 구조)으로 구분 할 수 있으며, 시멘트 클링커에 포함되어 있는 Alite는 대부분 M형의 형태를 나타낸다. 본 실험의 결과에서도 Alite의 경우 석회석의 CaO 함량이 높을수록 R형이 비율이 감소하고 M형의 비율이 증가하는 것이 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 시멘트 클링커의 원료 중 석회석의 CaO 함량 44.4%, 43.7%, 43.0%을 사용하여 원료조합을 하고, 이들 시료의 분쇄성과 소성성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시멘트 클링커의 원료 중 석회석의 CaO 함량이 낮은 경우 조합 원료에서 석회석과 부원료의 사용량이 감소하였다. 이는 석회석의 CaO 함량 저하에 따라 석회석 내의 소량성분인 SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3함량 증가가 발생하였고, 이에 따라 시멘트 클링커 소성에 필요한 시멘트 계수 확보를 위한 별도의 CaO 공급 원료 도입 및 증가에 기인한 것이다.

2. 석회석 품위가 낮을수록 시멘트 클링커 소성원료의 분쇄시간이 증가하여, Raw Mill의 분쇄성이 저하 될 것으로 예상되며, 이는 시멘트 생산성 저하와 소성성 저하로 이어 질 것으로 예상된다.
3. 원료 석회석의 CaO 함량이 높은 석회석을 사용한 시료가 낮은 B.I. 수치를 나타내어 시멘트 클링커의 소성성이 높은 것으로 나타났다.
4. F-CaO는 석회석의 CaO 함량이 낮을수록 소성온도에 대한 변화 크게 나타났고, 그에 따른 B.I.값이 높게 계산되어 소성성이 낮은 것으로 검토되었다.
5. Alite는 소성온도가 상승할수록 R형 구조의 양은 감소하고, M형 구조의 함량이 증가하는 것으로 나타났으며, 석회석의 CaO 함량이 높을수록 M형의 비율이 높았다.
6. 석회석의 CaO 함량이 증가할수록 Belite의 양은 증가하고 Alite의 양은 감소하였다. 이는 Belite와 F-CaO와의 반응으로 생성되는 Alite생성 반응에 기인하는 것으로 생각되며, 소성 온도 상승에 따라 F-CaO가 감소하는 시료의 경우 소성온도 상승에 따른 Alite의 함량 증가가 나타났다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 연구는 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가원(KEIT)의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

Ahn, J.W., Kim, H.S., Cho, J.S., Han, G.C., Han, K.S., Kim, H. (2003). Manufacture of ordinary portland cement clinker using cement paste of the weste concrete, Journal of the Korean Ceramic Society, **40(8)**, 804-810 [in Korean].

Alsop, P.A., Smith, F.L. (1998b). The Cement Plant Operations Handbook, 2nd Edition, Denmark.

Aranda, M.A., De la Torre, A.G., León-Reina, L. (2012). Rietveld quantitative phase analysis of OPC clinkers, cements and hydration products, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, **74(1)**, 169-209.

Cho. J.S., Mon, K.Y., Choi, M.K., Cho, K. H., Ahn, J. W., Yeon, K.S. (2014). Mineral phase and microstructure behaviors on burning condition of domestic low-grade limestone, Journal of the Korean Ceramic Society, **51(2)**, 88-96 [in Korean].

Choi, L., Ahn, Y.P. (1981). Charateristicg of Various Grade Limestones in Samtaesan Formation, Journal of the Korean Ceramic Society, **18(4)**, 262-268 [in Korean].

Jang, B.G., Jeong, C.J., Lee, J.H., Im, Y.M., (1998a). Cement Material Chemistry, 2nd Edition, Chonnam National University Press, 145-149 [in Korean].

Japan Cement Association (1999). C&C Encylopedia 60-61, Japan.

Lea, F.M. (1970). The Chemistry of Cem & Concr, Third edition, Chemical Publishing Company, Inc., 158-76.

Lee, S.H., Kim, W.K., (2018). Portland cement manufacturing process and clinker formation mechanism, Magazine of Korea Concrete Institute, **30(3)**, 22-26 [in Korean].

Lee, S.H., Lee, S.J., Woo, Y.Y., Park, J.S. (2014). Properties of portland cement clinker using polysilicon sludge, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **2(4)**, 328-333 [in Korean].

저품위 석회석이 원료밀의 분쇄성과 시멘트 클링커 소성성에 미치는 영향

시멘트의 주 원료인 시멘트 클링커는 주원료로서 석회석을 사용하여 제조되며, 석회석의 품위에 따라 부원료의 사용이 변화되고, 시멘트 클링커의 생산에도 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 시멘트 클링커 원료인 석회석의 CaO 함량의 변화가 Raw Mill 분쇄성과 시멘트 클링커의 소성성에 미치는 영향성을 파악하기 위하여, 석회석 CaO 함량을 변화시킨 조합원료의 분쇄시간 측정으로 분쇄성을 비교 검토하였고, 분쇄된 조합원료를 1350~1500°C의 범위에서 소성하여 소성성 지수 계산에 의한 시멘트 클링커의 소성성을 파악하였다. 석회석의 품위가 낮을수록 조합원료의 분쇄성은 저하하였고, 석회석의 CaO 함량이 낮을수록 소성온도에 따른 F-CaO의 변화가 크게 나타났다. 그에 따라 높은 B.I. 값이 계산되어, 낮은 시멘트 클링커 소성성을 나타내었다. 또한, 시멘트 클링커의 광물분석 결과에서는 소성온도의 증가로 F-CaO 값이 저하하는 경우, Belite 함량의 감소와 그에 따른 Alite 함량의 증가가 관찰되었다. Alite의 경우 석회석 CaO 함량이 증가함에 따라 R형의 비율은 감소하고 M형의 비율이 증가하였다.