

熔融轉爐슬래그와 CaO펠렛의 相互反應에 미치는 Al₂O₃의 影響[†]

金永煥* · *高仁用

全北大學校 新素材工學部, *新素材開發研究center

An Effect of Al₂O₃ on the Reaction between Molten Converter Slag and CaO pellet[†]

Young-Hwan Kim* and *In-Yong Ko

Department of Metallurgical Engineering, Research Center of Advanced Materials Development,
Chonbuk National University

요 약

용융전로슬래그로부터 일반 포틀랜드 시멘트로의 전환에 관한 기초 연구의 일환으로, 전로슬래그의 Al₂O₃ 농도에 따른 고체 CaO 입자와 용융슬래그간의 계면반응을 알아보려고 하였다. 염기도(B=CaO/SiO₂)를 1과 2로 조정된 전로슬래그에 소정의 SiO₂와 5~15 wt% Al₂O₃를 첨가제로 첨가하여 MgO도가니에 넣고 1500°C에서 30분간 가열·용해하여 균질화 한 후, 같은 온도의 소결 CaO펠렛을 투입하여 10~30분간 반응시켰다. 반응 후 급냉한 시편을 도가니의 직경방향으로 절단해서 펠렛 단면의 CaO직경 변화를 측정하여 슬래그중 Al₂O₃첨가에 따른 CaO의 용해속도를 조사하고, 계면 생성층을 SEM/EDX로 관찰하였다. 그 결과, 슬래그의 염기도가 2인 경우, 염기도가 1인 경우 보다 생성층 C₃S상의 두께는 Al₂O₃를 15 wt.%까지 첨가함에 따라 3.5배 증가하였으며, C₆AF₂ 또는 C₄AF양도 2배 정도 증가됨을 알 수 있었다.

주제어 : 전로슬래그, 소결 CaO 펠렛, 계면반응, Al₂O₃ 첨가

Abstract

As a basic study on the conversion of molten converter slag to the ordinary portland cement, the effects of Al₂O₃ addition on the interface reaction between solid CaO and molten converter slag has been studied. Alumina added converter slag whose basicity was controlled to 1 and 2 was melted and hold for 30 minutes in MgO crucible at 1500°C. Then sintered CaO pellet heated at the same temperature was dipped into the molten slag and held for 30minutes. After the reaction, the crucible was cooled in air and the specimen was cut off to the horizontal direction of the crucible. The dissolution rate of CaO pellet with the addition of Al₂O₃ was measured by the change of the radius of sintered CaO pellet and the interface layer was observed by SEM/EDX. As a result, At the basicity 2 slag, thickness of created C₃S layer increased 3.5 times and quantity of C₆AF₂ or C₄AF phase increase 2 times than basicity 1 slag.

Key words : Converter slag, Sintered CaO pellet, Interface reaction, Al₂O₃ addition.

1. 서 론

보통 포틀랜드 시멘트는 CaO 63~66%, SiO₂ 21~22%, Al₂O₃ 5~6%, MgO 1~3%정도 함유하고 있다.

전로슬래그는 CaO 50%, SiO₂ 12%, Fe 22% 정도 및 소량의 Al₂O₃, MgO 등을 함유되어 있어 보통 포틀랜드 시멘트와 유사한 성분 함량을 보유하고 있다. 따라서 전로슬래그CaO, SiO₂를 첨가하고 Fe 함량을 낮추며 기타 성분들을 조절하여 보통 포틀랜드 시멘트로 활용할수 있다면, 시멘트 클링커 제조시 필요한 원료 절

[†] 2005년 4월 1일 접수, 2005년 11월 28일 수리

*E-mail: plasma@chonbuk.ac.kr

감 및 CO₂의 배출을 감소시킬 수 있다는 장점이 있다.

포틀랜드 시멘트는 45~60%의 C₃S(3CaO·SiO₂)와 20~25%의 C₂S(2CaO·SiO₂), 그리고 각각 5~10%의 C₃A(3CaO·Al₂O₃)와 C₄AF(4CaO·Al₂O₃·FeO)의 클링커 화합물로 이루어져 있다. 시멘트 클링커를 소성할 때 CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 사이의 고상반응으로 C₂S와 calcium aluminate와 calcium aluminoferrite 등이 용융하여 용액상이 생겨난다. 계속 온도가 높아짐에 따라 액상을 동반한 고상반응으로 C₃S가 생성되고, 1,450°C의 온도에서 클링커의 소결반응은 거의 완결된다. 냉각 과정에서 용액상에서 C₃A, C₄AF가 다시 결정화 된다.

시멘트의 주요 상인 C₃S는 액상이 존재할 때 C₂S와 CaO와의 고상 확산반응에 의해 생성되므로 액상의 양이나 출현 온도 및 액상의 성질 즉 표면 장력과 점도 등이 변화하면 C₃S의 생성에 영향을 미치게 된다¹⁾. 용제(flux)는 용액 생성을 돕는 물질로 Al₂O₃와 Fe₂O₃ 등이 여기에 속한다. 알루미늄이나 클링커와 반응하고, 액상의 양을 증가시키고 소결 온도를 낮추고, C₄AF와 C₃A상을 증가시킨다²⁻⁴⁾고 보고되고 있다.

저자들은 기존 보고에서 용융 전로슬래그에 소결한 CaO 펠렛을 침적하여 반응시킨 후, 계면에서 시멘트 주요 구성상인 C₃S, C₂S 등이 생성되며 반응온도와 시간에 따라 생성층의 두께가 증가함을 확인한바 있다.⁵⁾ 이 보고와 관련하여 Al₂O₃를 용융슬래그에 첨가하면 고체 CaO와의 상호 반응 시 C₃S, C₂S의 생성과 더불어 C₄AF의 형성을 촉진할 것으로 생각된다.

따라서 본 연구는 용융전로슬래그를 이용한 시멘트 제조에 관한 기초연구의 일환으로서, Al₂O₃를 첨가한 용융슬래그와 소결 CaO 펠렛 사이의 상호반응 시, CaO의 슬래그로의 용해속도 및 시멘트 구성상인 C₃S, C₂S, Ca₂(Al_xFe_{1-x})O₃의 생성속도에 미치는 Al₂O₃ 첨가의 영향을 슬래그의 염기도 1과 2의 조건에서 살펴보았다.

2. 실험방법

2.1. 시편제조

CaO 원료는 국내 1사의 석회석을 사용하였다. 먼저,

석회석을 100 μm 이하로 분쇄한 후 1,000°C에서 2시간 동안 하소하였다. 하소된 분말을 소형 유압프레스(3t)를 사용하여 12 kgf/mm²의 압력으로 원주형(φ10 mm×h6 mm) 펠렛을 성형하였다. 성형한 CaO 펠렛을 전기로(Super Kanthal로)에 넣고 1,600°C에서 1시간 동안 소결하였다. 소결된 CaO 펠렛은 평균 직경 7 mm×높이 4 mm, 겉보기 비중 3.02, 겉보기 기공율 10.2%이었다. 겉보기 기공율은 아르키메데스법을 사용하여 측정하였다.

실험에 사용된 전로슬래그의 화학조성은 Table 1의 조성과 같으며, 슬래그는 볼밀을 사용하여 0.5 mm 이하로 균일하게 분쇄된 것을 사용하였다. 슬래그의 용융점을 낮추고 염기도에 따른 계면반응층의 형성을 관찰하기 위해, SiO₂를 첨가하여 슬래그의 염기도를 1과 2로 조절하였다. 또, 슬래그중의 Al₂O₃의 농도에 따른 CaO 용해의 영향을 조사하기 위해 염기도를 조정하여 혼합한 슬래그에 대해 시약급 Al₂O₃를 각각 5 wt.%, 10 wt.%, 15 wt.% 첨가하였다.

마그네시아 도가니(φ11 mm×h50 mm)에 소정의 Al₂O₃가 첨가된 슬래그를 장입하여 1,500°C에서 30분간 용해한 후 같은 온도로 가열된 CaO 펠렛을 투입하여 반응시킨 후 공냉하였다. 이때 마그네시아 도가니의 슬래그에 대한 용해는 거의 일어나지 않아 슬래그 조성에 영향을 주지 않았다. 냉각된 시편은 펠렛의 직경에 수직 또는 수평방향으로 자른 후 연마하여 반응후 CaO 펠렛의 반경 감소를 상분석기로 측정하였고, CaO와 슬래그사이의 계면의 미세조직을 SEM 및 EDX로 관찰하였다.

2.2. 분석방법

슬래그의 미세조직 분석은 SEM (JEOL Co. JSM-5800), 성분분석은 EDX(Link ISS 3.0, Oxford)를 사용하였다. CaO의 반경감소 및 생성층의 두께 및 체적분율을 광학현미경(Olympus Co.) 및 상 분석프로그램(Image Pro plus v 2.0)를 사용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. CaO의 용해속도에 미치는 Al₂O₃ 첨가의 영향

슬래그 중 Al₂O₃ 첨가에 따른 CaO의 반경감소를

Table 1. Composition of converter slag

components	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	T.Fe	MgO	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	SO ₃
wt%	49.14	12.31	1.98	22.0	1.67	0.43	0.2	0.3	3.61

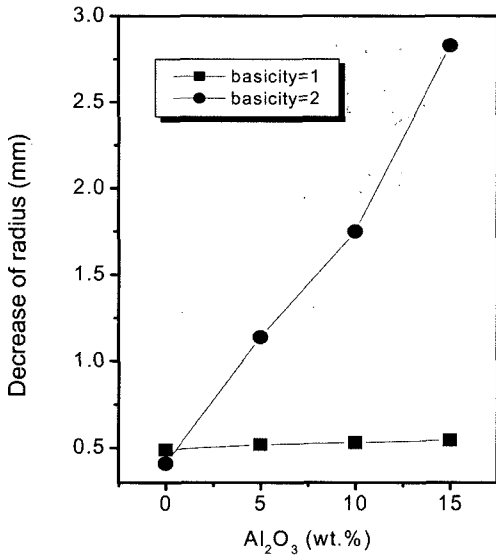


Fig. 1. Decrease of the radius of CaO pellet with Al₂O₃ addition into the slag at 1,500°C for 30 min.

Fig. 1에 나타내었다.

염기도 1 슬래그의 경우, 슬래그와 1,500°C에서 30분간 반응한 CaO펠렛의 반경감소량은 Al₂O₃ 첨가량이 5 wt.%일 때 0.52 mm이었고, Al₂O₃의 첨가량이 15 wt.%에서 0.54 mm로 CaO의 반경의 변화가 거의 없었다.

염기도 2 슬래그의 경우, Al₂O₃의 첨가량이 5 wt.%에서 1,500°C에서 30분간 반응한 CaO의 반경감소는 1.14 mm이었고, 15 wt.%에서는 2.83 mm이었다. 염기도 1인 슬래그와 비교하여 조건에 따라 2.5배~6배 정도 반경감소량이 현저하게 증가함을 알 수 있다.

Al₂O₃의 첨가량에 따른 CaO의 용해속도(-dr/dt) 및 물질유속(J)을 Table 2에 나타내었으며, 용해속도는 시간에 따른 반경감소량으로 측정하였고, 물질유속(J)은 용

Table 2. Dissolution rate of CaO pellet into the molten slag with Al₂O₃ addition (at 1,500°C 30 min, pellet : porosity = 10.45%, ρ_{app} = 3.02 g/cm³).

Al ₂ O ₃ addition (wt%)	basicity = 1		basicity = 2	
	-dr/dt (cm/s)	J(g/s)	-dr/dt (cm/s)	J(g/s)
5	2.44×10 ⁻⁵	7.37×10 ⁻⁵	6.33×10 ⁻⁵	1.91×10 ⁻⁴
10	2.50×10 ⁻⁵	7.55×10 ⁻⁵	9.72×10 ⁻⁵	2.94×10 ⁻⁴
15	2.58×10 ⁻⁵	7.79×10 ⁻⁵	15.70×10 ⁻⁵	4.74×10 ⁻⁴

해속도(-dr/dt)에 (펠렛의 밀도)를 곱한 값이다. Table 2에서 볼 수 있듯이 염기도 1슬래그의 경우, Al₂O₃의 첨가량이 5 wt.%에서 15 wt.%로 높아짐에 따라 CaO의 용해속도가 2.36×10⁻⁵(cm/sec)에서 2.58×10⁻⁵(cm/sec)로 조금 증가하는 경향을 보였다. 이때 물질유속은 7.13×10⁻⁵(g/cm²·s)에서 7.79×10⁻⁵(g/cm²·s)으로 약간 증가함을 알 수 있다.

이와는 달리, 염기도 2 슬래그의 경우, Al₂O₃의 첨가량이 5 wt.%에서 15 wt.%로 증가됨에 따라 CaO의 용해속도는 2.27×10⁻⁵(cm/sec)에서 15.7×10⁻⁵(cm/sec)로 현저하게 직선적으로 증가하였다. Al₂O₃를 5 wt.%에서 15 wt.%까지 첨가함에 따라 CaO의 용해속도가 증가하는데, 이것은 Al₂O₃가 C₂F(2CaO·FeO)에 고용되어 저융점의 액상을 형성하여 CaO의 용해를 촉진하는 역할을 하기 때문이다. 그러나 Al₂O₃첨가에 따른 CaO의 용해속도는 슬래그중 FeO의 함량 변화에 따른 영향⁵⁾과 비교할 때 크지 않다.

3.2. 계면반응층의 미세조직

염기도 1 슬래그의 경우, 1,500°C에서 CaO와 30분간 반응시켰을 때 CaO와 슬래그 사이 계면의 미세조직을 Fig. 2의 (A), (B), (C)에 나타내었다. CaO와 슬래그 사이의 계면에 C₂S와 C₃S층이 생성되고 C₃S층 사이의 밝은 부분은 C₆AF₂이었다. Al₂O₃를 슬래그에 5 wt% 첨가한 경우, 계면의 SEM사진을 Fig. 2(A)에 나타내었고, EDX분석 결과를 Table 3에 나타내었다. C₃S층 사이의 밝은 부분인 point 1은 C₆AF₂ 조성, point 2부분은 C₃S, point 3는 C₂S상을 나타낸다. Al₂O₃를 슬래그에 10 wt% 첨가한 경우, 계면의 SEM사진을 Fig. 2(B)에 나타내었고, EDX분석 결과를 Table 4에 나타내었다. point 1은 C₃S, C₃S층 사이의 밝은 부분인 point 2는 C₆AF₂, point 3는 C₂S를 나타낸다. Al₂O₃를 슬래그에 15 wt.% 첨가한 경우, 계면의 SEM사진을 Fig. 2(C)에 나타내었고, EDX분석 결과를 Table 5에 나타내었다. point 1은 C₃S, point 2는 C₆AF₂, point 3는 C₃S₂M, point 4는 C₄AF상을 나타낸다.

염기도 2 슬래그의 경우, 1,500°C에서 CaO와 30분간 반응시켰을 때 CaO와 슬래그 사이 계면의 미세조직을 Fig. 2의 (D), (E), (F)에 나타내었다. CaO와 슬래그 사이의 계면에 C₃S층이 생성되었고 C₃S층사이의 밝은 부분은 C₆AF₂이었다. Al₂O₃를 슬래그에 5 wt.% 첨가한 경우, 계면의 SEM 사진을 Fig. 2(D)에 나타내었

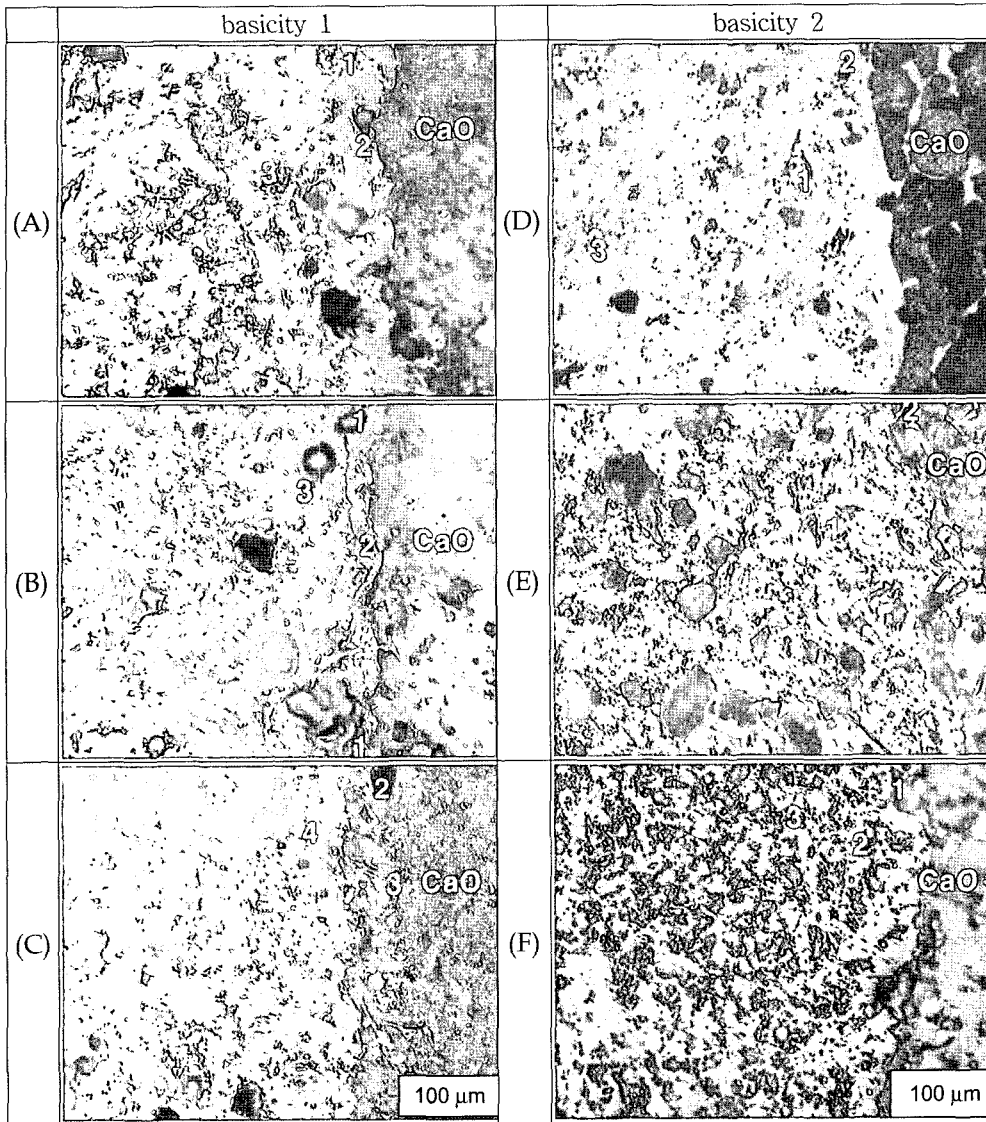


Fig. 2. Optical Micrographs showing the interface reaction of molten slags and CaO pellet with Al_2O_3 addition at $1,500^\circ\text{C}$, 30 min. Basicity 1, Al_2O_3 added (A) 5%, (B), 10%, (C) 15%; basicity 2, Al_2O_3 added (D) 5%, (E) 10%, (F) 15%.

Table 3. EDX analysis data for the interface between CaO and slag (Al_2O_3 added 5%), at basicity 1.

	(wt. %)					
point	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Expected compounds
1	70.63	26.42	0.51	1.29	1.47	C_3S
2	44.10	4.03	7.09	39.17	5.59	C_6AF_2
3	62.1	34.69	0.78	2.39	0.14	C_2S

Table 4. EDX analysis data for the interface between CaO and slag (Al_2O_3 added 10%), at basicity 1.

	(wt. %)					
point	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Expected compounds
1	71.94	26.69	0.40	1.06	0.79	C_3S
2	47.82	5.98	12.73	31.96	1.51	C_6AF_2
3	60.41	35.15	2.14	1.83	0.46	C_2S

고, EDX분석 결과를 Table 6에 나타내었다. 밝은 회색 부분인 point 1은 C₆AF₂, 진한 회색 point 2의 각진 모양은 C₃S, 진한 회색의 구형 모양은(point 3) C₂S이었다. Al₂O₃를 슬래그에 10 wt.% 첨가한 경우, 계면의 SEM 사진을 Fig. 2(E)에 나타내었고, EDX분석 결과를 Table 7에 나타내었다. CaO사이의 밝은 회색부분 point 1은 C₆AF₂, point 2의 각진 회색 부분은 C₃S로 Al₂O₃를 5 wt.% 첨가하였을 때와 유사한 경향을 보인다. Al₂O₃를 슬래그에 15 wt.% 첨가한 경우, 계면의 SEM 사진을 Fig. 2(F)에 나타내었고, EDX분석 결과를 Table 8에 나타내었다. point 1의 진한 회색은 C₃S, point 2는 C₆AFS, point 3의 밝은 회색부분은 C₄AF이었다.

이상의 미세조직사진 관찰 결과, 슬래그와 CaO 펠렛에 Al₂O₃를 첨가하여 반응 시키면 염기도가 1인 때는 CS(FeO, Al₂O₃ 고용)가 CaO와 반응하여 C₂S, C₃S,

Table 5. EDX analysis data for the interface between CaO and slag (Al₂O₃ added 15%), at basicity 1. (wt. %)

point	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Expected compounds
1	68.05	29.36	0.50	0.92	1.17	C ₃ S
2	47.36	5.18	12.65	32.99	1.83	C ₆ AF ₂
3	51.66	37.85		0.94	9.53	C ₃ S ₂ M
4	50.55	7.21	12.13	28.83	1.83	C ₄ AF

Table 6. EDX analysis data for the interface between CaO and slag (Al₂O₃ added 5%), at basicity 2. (wt. %)

point	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Expected compounds
1	73.34	22.59	0.47	1.02	1.58	C ₃ S
2	47.45	3.90	8.77	37.70	1.88	C ₆ AF ₂
3	65.93	32.36	0.13	1.13	0.45	C ₂ S

Table 7. EDX analysis data for the interface between CaO and slag (Al₂O₃ added 10%), at basicity 2. (wt. %)

point	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Expected compounds
1	70.50	24.56	1.40	2.04	1.51	C ₃ S
2	43.93	4.24	9.24	41.44	1.14	C ₆ AF ₂

Table 8. EDX analysis data for the interface between CaO and slag (Al₂O₃ added 15%), at basicity 2. (wt. %)

point	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Expected compounds
1	71.50	1.69	1.84	3.79	1.17	C ₃ S
2	54.21	6.74	14.48	23.35	1.22	C ₆ AFS
3	48.22	6.92	18.07	25.18	1.21	C ₄ AF

C₆AF₂ 등이 형성되고, 슬래그의 염기도가 2인 때는 (C₂S + 2FeO + Al₂O₃)가 CaO와 반응하여 C₃S, C₆AF₂, C₄AF 등이 형성됨을 확인하였다.

3.3. 반응시간에 따른 계면 생성층의 두께 변화

염기도 1 슬래그의 경우, Al₂O₃ 첨가량에 따른 C₂S 및 C₃S 생성층의 두께를 Fig. 3에 나타내었다. 염기도 1 슬래그의 경우, Al₂O₃를 5 wt.% 첨가 시에는 첨가하지 않을 때보다 C₃S 층의 두께가 약간 감소하였고 그 후로 다시 증가하는 경향을 보이는데, 이는 3CaO·SiO₂ + Al₂O₃ = 2CaO·SiO₂ + 3CaO·Al₂O₃의 역반응⁽²⁾이 일어나기 때문인 것으로 생각된다. 반면에 C₂S층의 두께는 Al₂O₃ 첨가량의 증가에 따라 5 wt.% 첨가할 때까지 증가하였다가 다시 감소하였다. 한편, C₂S + C₃S층을 합한

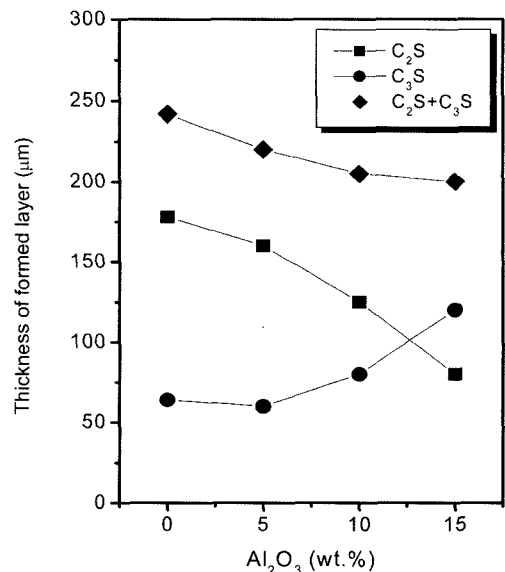


Fig. 3. Thickness of C₂S, C₃S and C₂S+C₃S layer on the amount of Al₂O₃ addition to the slag at 1,500°C reacted for 30 min. at basicity 1.

두께는 Al_2O_3 의 첨가량의 증가에 따라 감소하는데, 이는 C_3S 층의 생성이 증가하고 반대로 C_2S 층이 감소하기 때문이다.

염기도 2 슬래그의 경우, Al_2O_3 첨가량에 따른 C_2S 및 C_3S 생성층의 두께를 Fig. 4에 나타내었다. 또한 Fig. 2에서 보듯이 같이 슬래그의 염기도가 2인 때는 슬래그의 염기도가 1인 때에 비해 생성된 ($\text{C}_3\text{S} + (\text{C}_6\text{AF}_2 \text{ or } \text{C}_4\text{AF})$)층의 두께가 Al_2O_3 의 첨가량이 15 wt.%까지 증가함을 보인다.

3.4. 슬래그중 Al_2O_3 첨가에 따른 CaO와 반응기구

염기도 1 슬래그의 경우, Al_2O_3 첨가에 따라 CaO의 용해속도가 거의 증가하지 않는데, 이와 같은 이유는 첨가된 Al_2O_3 와 FeO와 함께 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 상에 고용된 형태로 슬래그 중에 존재하여 저융점 액상의 형성이 어려우며, C_2S 와 CaO사이에 연속적으로 형성된 C_3S 층이 슬래그와 CaO와의 반응을 방해하기 때문인 것으로 생각된다.

이에 반해 염기도 2 슬래그에서는 Al_2O_3 첨가량의 증가에 따라 CaO의 용해속도가 거의 직선적으로 증가한다. 이는, 염기도 2 슬래그는 C_2S 와 FeO의 혼합 상으로 존재하여, 저융점 액상이 CaO와 C_2S 상 사이에 불연속적으로 생성되어 CaO와 C_2S 사이에 C_3S 상의 형성이 쉬우며, C_3S 상이 석출이 불연속적으로 생성되기

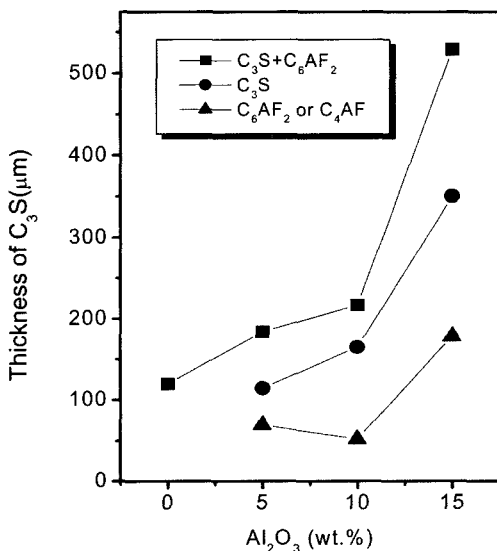


Fig. 4. Thickness of C_3S , $\text{C}_3\text{S} + \text{C}_6\text{AF}_2$ and C_6AF_2 layer on the amount of Al_2O_3 addition into the slag at $1,500^\circ\text{C}$ reacted for 30 min. at basicity 2.

때문에, 그사이를 통하여 CaO와 슬래그의 반응이 계속 이루어지기 때문으로 생각된다.

Al_2O_3 를 10wt.% 첨가할 때까지는 주로 C_6AF_2 상이 형성되고, 15 wt.% 첨가하면 C_4AF 도 생성되었다. 이는 시멘트 화학에서 CaO, Al_2O_3 와 Fe_2O_3 만 이루어진 어떤 조성을 갖는 ferrite상은 $2\text{Ca}(\text{Al}_x\text{Fe}_{1-x})\text{O}_3$ 고용체로 나타낼 수 있는데, $2\text{Ca}(\text{Al}_x\text{Fe}_{1-x})\text{O}_3$ 에서 Al_2O_3 의 첨가량이 증가함에 따라 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 물비가 1:2정도에서 1:1정도로 바뀌기 때문이다⁶⁾.

4. 결 론

용융슬래그와 소결 CaO 펠릿을 $1,500^\circ\text{C}$ 에서 10~30 분간 서로 반응시켰을 때, 계면 생성상에 미치는 슬래그중의 Al_2O_3 의 첨가의 영향을 조사하고, 계면생성상인 $\text{Ca}_2(\text{Al}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{O}_5$ 의 형성을 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 전로슬래그에 Al_2O_3 를 첨가하는데 따른 CaO의 용해속도는 염기도 1 슬래그의 경우는 거의 변화가 없지만, 염기도 2의 경우, Al_2O_3 의 농도증가에 따라 현저하게 증가한다. 이는 Al_2O_3 가 고용되는 슬래그의 구성상과 반응생성물의 차이에 기인된다.
2. 계면의 미세조직 관찰 결과, CaO와 염기도 1 슬래그 사이에는 C_2S 및 C_3S 상이 형성되었으며, CaO와 염기도 2 슬래그 사이에는 C_3S 상이 형성되었다. 그리고, CaO와 슬래그사이의 계면에는 저융점 상인 C_6AF_2 또는 C_4AF 상이 형성되었는데 이것은 슬래그중의 Al_2O_3 가 C_2F 상과 반응하여 생성된 것으로 판단된다.
3. 슬래그중 Al_2O_3 첨가에 따른 생성층의 두께는 슬래그의 염기도가 1인 경우, Al_2O_3 의 첨가에 따라 C_3S 층이 증가하고, C_2S 층은 감소하며 전체적으로 반응생성층의 두께는 감소하였다. 그러나 염기도 2 슬래그의 경우, C_3S 상 층의 두께는 Al_2O_3 를 15 wt.%까지 첨가함에 따라 3.5배 증가하였으며, C_6AF_2 또는 C_4AF 양도 2배 정도 증가되었다.

참고문헌

1. 정해문, 최상훈, 1994: "저에너지 시멘트", 요업재료의 과학과 기술, 9(4), pp.367-378.
2. Anton, N. and Gamboa, R., 2000: "Liquid Phase Sintering of CMCs based on Clinker Portland", Journal of European Ceramic Society, 20(12), pp.2215-2224.

3. Liza Elliot, Sehm Mao Wang, Terry Wall et al., 1998: "Disoluiton of lime into synthetic coal ash slags", Fuel Processing Technology, **56**, pp.45-53.
4. 이희수, 정윤중, 이형복, 1986: "Al₂O₃ 및 Fe₂O₃가 doping된 CaO-SiO₂ 고상반응의 상형성 기구", 연세대 논문집.
5. 김영환, 고인용, 2004 : "용융전로슬래그와 소결 CaO펠렛 사이의 계면반응", 자원리싸이클링, 한국자원리싸이클링학회, **13**(1), pp.47-53.
6. Denisa V. Ionescu, 1999 : Hydration Potential of High Iron Glasses : Criteria for the recycling of steel slag as a portland cement additive, University of British Columbia.

金 永 煥

- 1995 전북대학교 금속공학과 학사
- 1997 전북대학교 대학원 금속공학과 석사
- 2004 전북대학교 대학원 금속공학과 박사
- 현재 전북대학교 신소재공학부 조교

高 仁 用

- 1981 연세대학교 금속공학과 박사
- 1986 동경대학교 금속공학과 방문교수
- 현재 전북대학교 금속공학과 교수
- 본 학회지 제9권 1호 참조

學 會 誌 投 稿 安 內

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展 望, 解 說	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解說, Review
技 術 報 告	實際의인 試驗, 調查의 報告
技 術, 行 政 情 報	價値있는 技術, 行 政 情 報를 간결히 解說하고, comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會義의 報告, 國内外의 研究 幾關의 見學記 등
書 評	
談 話 室	會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 隋霜 등
Group 紹介	企業, 研究幾關, 大學 등의 紹介
研究論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 揭戴하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.