

# 철질원료 종류에 따른 조합원료 소성성 및 시멘트 품질에 미치는 영향 연구

차완호\* · 권오봉

<아세아시멘트>

## 1. 서 론

시멘트 조합원료중 2% 전후를 차지하는 철질원료는 시멘트 소성시 용제로서 작용하여 소성온도를 낮추고 소성을 용이하게 할뿐만 아니라, MgO와 함께 시멘트 특유의 색을 부여하는 재료로서 시멘트 제조에 필수적인 원재료의 하나이다.

근래 원가절감 차원에서 동슬래그, 제강철, 분철, 자로사이트등 수종의 철질원료가 사용됨으로

서 균일한 투입관리가 어려울 뿐만 아니라, 철질원료 종류별로 Fe함량과 존재형태, 동반되는 소량·미량성분 등의 특성이 달라서 소성성 및 시멘트 품질에 미치는 영향에도 차이가 있을것으로 예상된다(<표 1> 철질원료의 발생이력과 품질특성 참조).

본 연구에서는 각 철질원료의 품질특성을 파악하고, 철질원료 종류에 따른 소성성 및 품질에 미치는 영향과 자로사이트 투입비 증가에 따른 영향을 검토하였다.

<표 1> 철질원료의 발생이력과 재료특성

구 분	발생 이력	주요 화학성분	구성광물
동슬래그	- 고로슬래그처럼 원광석으로부터 동을 제련하는 과정에서 자용로 및 전기로로부터 분리된 슬래그를 水碎한 재료	· Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 55~70% · SiO <sub>2</sub> 25~35% · 미량성분 ZnO 1.5%수준	· 비정질 재료 · Iron Oxide(FeO)
제강철	- 제철소에서 발생하는 여러가지 부산물을 혼합한 재료로서, 고로의 (고로Dust + 고로슬러지), 전로의 제강슬러지를 혼합한 재료	· Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 65~75% · 알카리, 미량성분 적음	· 비정질 재료 · Magnetite(Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) · Hematite(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) · Wuestite(FeO), Iron
분 철	- 철강업체에서 副産되는 여러가지 철질 부산물을 수집하여 중간처리 과정에서 혼합한 재료	· Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50~80% · SiO <sub>2</sub> 5~30% · 미량성분 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1.3%수준	· 비정질 재료 · Quartz 존재 · Magnetite(Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) · Hematite(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
자로사이트 (Jarosite)	- 아연 제련공장 부산물로서 아연의 습식제련 공정에서 침출액 중에 포함되어 있는 철분을 불용성화합물로 만들어 침전시켜 분리한 재료 - 700mesh 정도의 고운입자이며 제련공법상 암모니아 냄새가 남.	· Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 20~30% · SO <sub>3</sub> 25~32% · 미량성분 높음 - ZnO 8.6%수준 - PbO 5.9%수준	· Ammonium Jarosite (NH <sub>4</sub> Fe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> )

이를 통하여, 동슬래그를 제강철, 분철, 자로사이트로 대체 사용시 또는 자로사이트 투입비 증가시 조합원료 소성성 및 시멘트 품질에 미치는 영향을 검토함으로써, 철질원료의 경제적인 투입비 관리와 품질관리를 위한 참고자료로 활용하고자 하였다.

## II. 사용재료 및 시험방법

### 2.1 시험계획

본 과제의 시험계획을 요약하여 <표 2>에 나타냈다. 철질원료가 조합원료 소성성 및 시멘트 품질에 미치는 영향을 종합적으로 검토하기 위하여, 철질원료 종류에 따른 영향 검토와 자로사이트 투입비 증가시 영향 검토의 두가지 시험으로 실시하였다. 자로사이트 증가시 영향 검토에서는 제강철을 대체하여 자로사이트를 0.2~0.8%까지 증가시키는 경우를 검토하는 것으로 하였다.

<표 2> 시험 계획

검토사항	조합원료 배합			기준
	시료명	원재료	철질원료	
철질원료 종류별 영향 검토	DS	석회석 마사토 규 석	동슬래그	· LSF : 90±1 · 88 $\mu$ mR : 20%↓
	JG		제 강 철	
	BC		분 철	
	JS		자로사이트	
자로사이트 투입비 증가 영향 검토	JS0.2	규 석	자로사이트0.2%	
	JS0.4		“ 0.4%	
	JS0.6		“ 0.6%	
	JS0.8		“ 0.8%	

### 2.2 사용재료

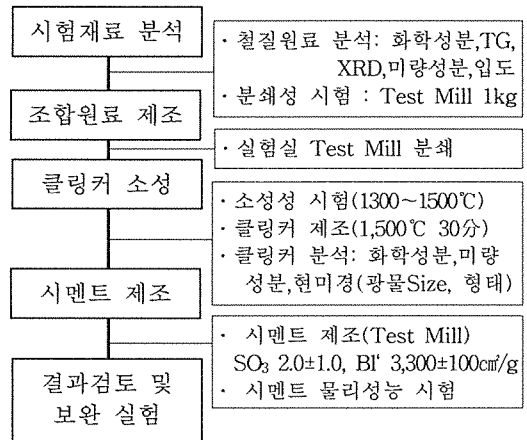
조합원료 제조를 위한 원재료의 화학성분을 <표 3>에 나타냈다. 원재료는 당사 사용원료 또는 관련 업체로부터 대표 샘플을 구하여 사용하였으며, 철질원료의 영향을 검토하기 위하여 원재료 종류를 가능한 최소화 하였다. 사용한 철질원료의 화학성분은 3.1항의 <표 4>에 나타냈다.

### 2.3 시험 절차 및 방법

시험절차를 <그림 1>에 요약하였다.

LSF 90±1 수준으로 각각의 원재료를 조합하고, 실험실 Test Mill을 이용해서 88 $\mu$ mR 20% 이하가 되도록 분쇄하여 조합원료를 제조하였다.

제조된 조합원료를 실험실 고온전기로에서 1,500 $^{\circ}$ C 30분간 소성하여 클링커를 제조하였다. 클링커는 현미경에 의한 광물상 관찰 및 XRD (TOPAS)에 의한 광물량 분석, 미량성분 분석 등 각종 분석을 실시하였다.



<그림 1> 시험절차 및 방법

<표 3> 원재료 화학성분

구 분	화학성분(%)							
	LOI	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
석 회 석	37.84	9.38	2.17	1.10	47.41	1.36	0.11	0.60
마 사 토	2.91	66.13	19.10	4.22	1.87	0.65	0.00	3.03
규 석	0.29	91.18	4.01	1.26	0.75	0.12	0.20	2.19

<표 4> 철질원료 화학성분

구 분	화학성분(%)								주요 미량성분(%)				
	LOI	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	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	ZnO	PbO
동슬래그	-4.95	39.84	3.87	55.44	2.75	1.68	0.89	0.48	0.11	0.28	0.16	1.45	0.09
제강철	12.60	4.01	2.10	72.49	6.02	0.84	1.70	0.24	0.20	0.31	0.65	0.89	0.14
분철	14.02	22.69	3.46	53.11	3.47	0.71	2.09	0.45	0.79	0.73	0.53	1.63	0.34
자로사이트	36.05	2.92	0.94	24.93	3.59	0.41	30.00	0.08	0.04	0.02	0.40	8.62	5.93

또한 실험실 Test Mill에서 SO<sub>3</sub> 2.0±1.0%, Blaine 3,300±100cm<sup>3</sup>/g로 분쇄하여 시멘트를 제조하고, KS 관련규격에 규정된 시멘트 물리성능 시험방법에 따라 압축강도, 응결시간, Flow 시험을 실시하였다.

### III. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 철질원료의 기본 물성

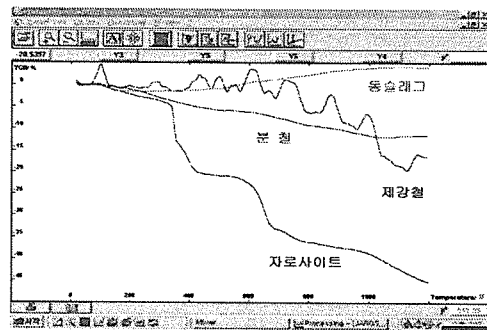
철질원료의 화학성분을 <표 4>에 나타냈다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량은 제강철이 가장 높고 자로사이트가 낮았다. LOI는 동슬래그가 철의 산화에 의하여 ‘-’값을 나타냈고, 제강철, 분철은 높게 나타났다. 자로사이트 역시 결정수 및 암모늄 성분의 이탈과 휘발성분 영향으로 LOI가 높았다.

철질원료에 공통적으로 포함된 소량·미량성분은 SO<sub>3</sub>, ZnO, PbO 이며 이들 영향에 주의할 필요가 있다.

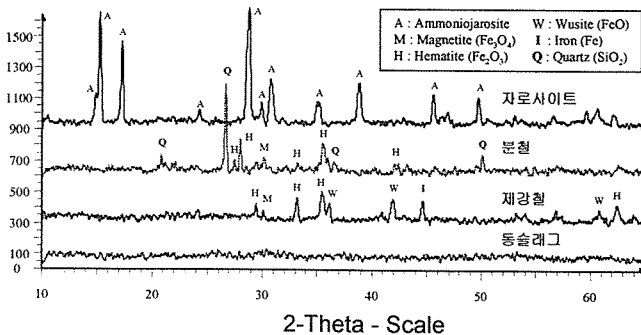
XRD 분석결과(<그림 2> 참조) 철질원료는 공히 높은 Background를 포함하여 비정질로

존재하는 것으로 추정되며, 제강철은 환원성 철인 FeO, Fe가 존재하였다. 분철은 Quartz 피크가 존재하여 점토질 재료의 혼합이 의심되며, 자로사이트는 Ammoniojarosite[(NH<sub>4</sub>)Fe<sub>3</sub>·3(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)] 단일광물로 존재하였다.

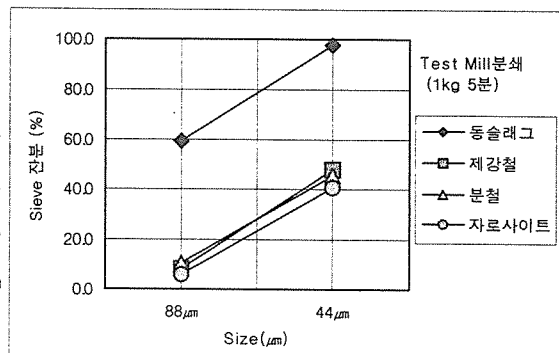
TG/DTA 분석결과(<그림 3>참조), 동슬래그는 약 4% 중량이 증가한 반면, 제강철과 분철은 10~15%, 자로사이트는 40~45% 중량이 감소하였다. 동슬래그는 1,060℃, 제강철은 1,120℃, 분철은 1,050℃, 자로사이트는 960℃부근에서 상전이(중량감소, 흡열)가 나타나, 자로사이트의 전이



<그림 3> 철질원료 TG/DTA 분석결과



<그림 2> 철질원료 광물구성(XRD 분석)



<그림 4> 철질원료 분쇄성 시험결과

&lt;표 5&gt; 조합원료 및 클링커 화학성분 분석결과

시료명	사용재료 (철질원료)	조합원료							클링커					
		Module			미량성분(%)			88 $\mu$ mR (%)	Module			미량성분(%)		
		LSF	SM	IM	SO <sub>3</sub>	ZnO	PbO		LSF	SM	IM	SO <sub>3</sub>	ZnO	PbO
DS	동슬래그	90.40	2.94	1.24	0.05	0.03	0.01	14.13	90.28	2.79	1.35	0.00	0.02	0.00
JG	제강철	90.66	2.91	1.20	0.05	0.02	0.01	12.78	89.93	2.78	1.35	0.00	0.02	0.00
BC	분철	90.10	2.96	1.25	0.07	0.04	0.02	12.73	90.00	2.79	1.40	0.00	0.03	0.00
JS	자로스ایت	89.24	2.65	1.01	1.60	0.40	0.28	13.13	88.85	2.55	1.13	1.09	0.21	0.00
JS0.2	자로스ایت0.2%	90.43	2.89	1.20	0.11	0.03	0.02	13.25	90.23	2.78	1.31	0.00	0.02	0.00
JS0.4	자로스ایت0.4%	90.22	2.87	1.18	0.17	0.05	0.04	13.50	90.06	2.77	1.30	0.00	0.03	0.00
JS0.6	자로스ایت0.6%	90.26	2.87	1.18	0.24	0.07	0.05	13.37	90.88	2.75	1.29	0.05	0.04	0.00
JS0.8	자로스ایت0.8%	90.92	2.85	1.15	0.31	0.08	0.06	13.09	89.81	2.74	1.28	0.13	0.05	0.00

온도가 가장 낮았다.

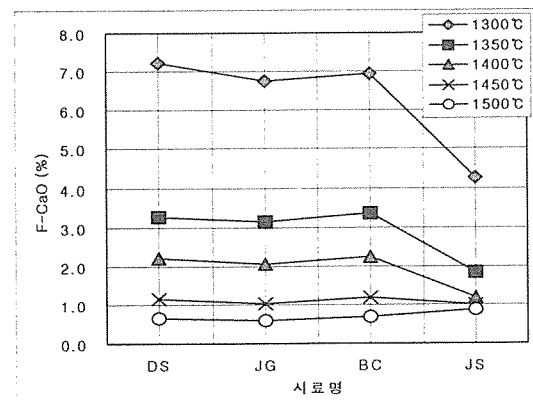
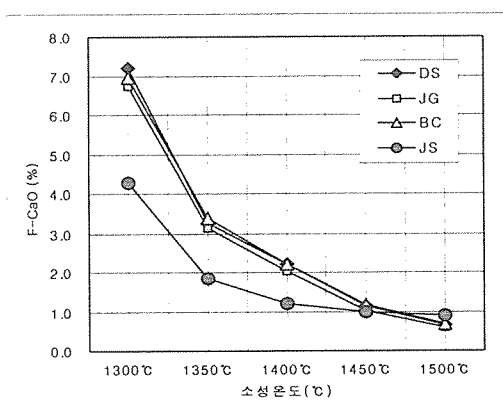
실험실 Test Mill을 이용한 분쇄성 시험결과를 <그림 4>에 나타냈다. 일반적으로 철질원료는 분쇄가 어려운 재료에 속하기 때문에 투입비가 적어도 Raw Mill 생산성 및 88 $\mu$ m 잔사 등에 영향을 미칠 수 있다. 시험결과 철질원료의 분쇄성은 자로스ایت > 분철 ≒ 제강철 > 동슬래그 순으로 나타났다. 자로스ایت는 성상이 미세입자이고 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 낮아 분쇄가 용이한 특성을 가지고 있다.

### 3.2 조합원료 및 클링커 제조 결과

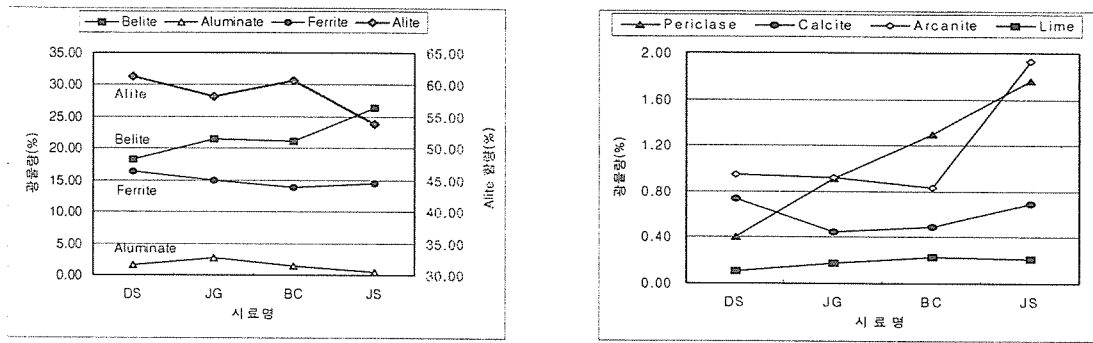
제조한 조합원료 및 클링커의 화학성분, 미량성분 분석결과를 <표 5>에 나타냈다. 분석결과

전체 조합원료는 목표로 하는 Module(LSF 90 $\pm$ 1)을 만족하는 범위 내에서 제조되었으나, 자로스ایت 사용 시료(JS)에서는 SM, IM이 낮아 철질원료로서 자로스ایت를 단독으로 사용하는 경우 Module 조정이 어려웠다. 특징적으로 동슬래그 사용(DS) 시료는 분쇄성 불량 영향으로 88 $\mu$ m 잔사가 높았고, 자로스ایت 사용시에는 SO<sub>3</sub>, ZnO 및 PbO의 증가경향이 뚜렷하였다.

클링커 분석결과 Module은 조합원료와 유사한 수준을 나타냈다. 그러나 SO<sub>3</sub> 및 ZnO는 조합원료에 비하여 감소되었고, PbO는 존재하지 않는 것으로 나타나 소성과정에서 이들 성분들이 상당부분 휘발된 것으로 판단된다.



&lt;그림 5&gt; 조합원료 소성성 시험결과(철질원료 종류별)



<그림 6> 클링커 광물조성(철질원료 종류별)

3.3. 철질원료 종류별 소성성 및 품질 영향 검토

(1) 조합원료 소성성

철질원료 종류별 소성성 시험결과(<그림 5> 참조), 소성온도 1,300~1,450°C의 低溫에서는 제강철(JG) > 분철(BC) > 동슬래그(DS) 순으로 양호하였으며, 1,450°C 이상에서는 소성성에 큰 차이가 없어 동슬래그를 제강철 및 분철로 대체하여 사용해도 소성성 문제는 없는 것으로 나타

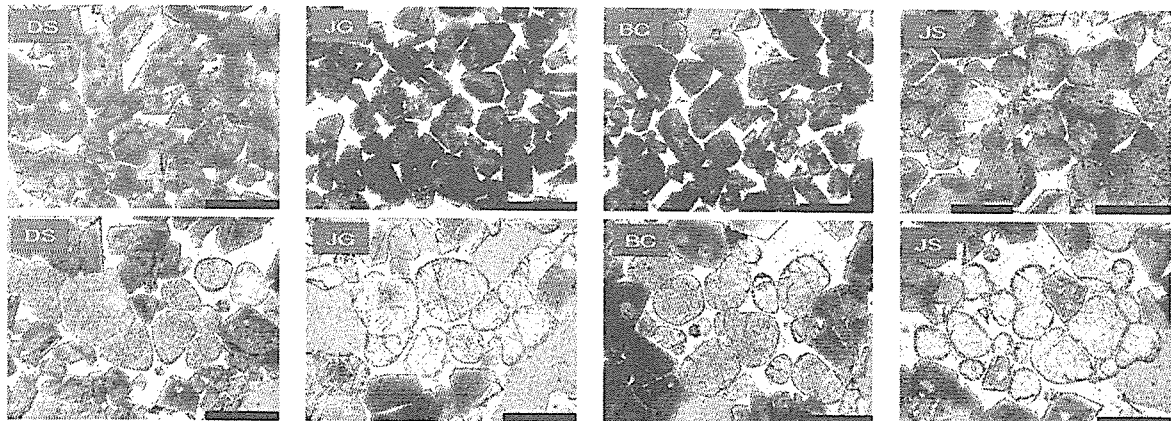
났다. 동슬래그(DS)를 사용한 경우는 분쇄성 불량에 의한 조립입자의 영향으로 저온에서 소성성이 불량하였고, 고온으로 갈수록 양호한 소성성을 나타냈다. 자로사이트(JS)는 소성성이 가장 양호하였는바, 낮은 Module 및 다량으로 포함된 SO<sub>3</sub>, ZnO, PbO가 Mineralizer로써 작용하여 소성온도를 저하시킨 것으로 추정된다.

(2) 클링커 광물조성

XRD TOPAS에 의한 광물량 측정결과(<그림

<표 6> 클링커 현미경 분석결과(철질원료 종류별)

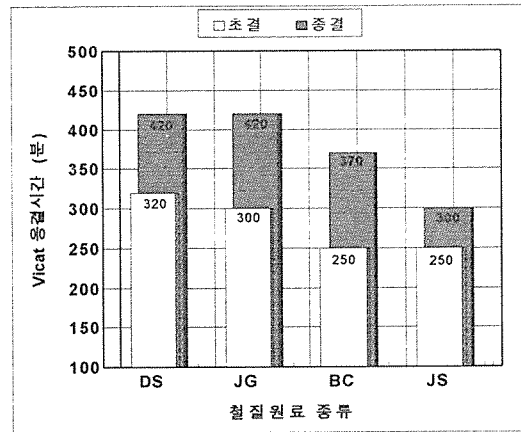
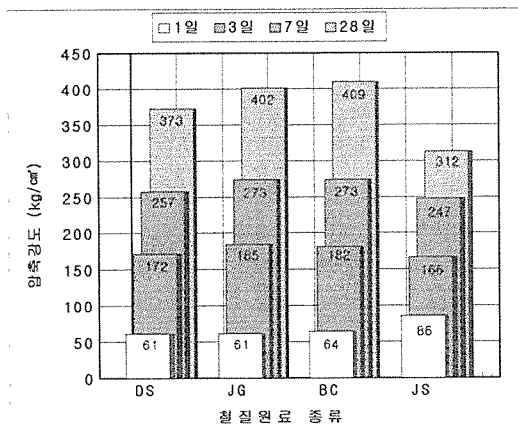
시료명	간극질 상태		③ Periclase (f-MgO)	④ Alite 분해	⑤ 2次 Belite	Belite 균정수	결정Size(μm)		판정 기준
	① 알카리 알루미늄에이트	② 간극질 조립도					Alite	Belite	
DS	0	1~2	1	1	1	60	36	29	① 0.없음 1.정후 2.극소 3.약간 4.다량 ② 0.구멍없음 1.극세립 2.세립 3.중립 4.조립 5.극조립 ③ 0.없음 1.소량 2.약간 3.다량 ④ 0.없음 1.극소 2.약간 3.다량 4.심각 ⑤ 0.없음 1.극소 2.약간 3.다량 4.심각
JG	0	2	0~1	1	1	55	37	28	
BC	0	1	1	1	1	78	35	28	
JS	0	2	1	2	2	134	37	27	



<사진 1> 클링커 현미경 사진(철질원료 종류별)

&lt;표 7&gt; 시멘트 물리성능 시험결과(철질원료 종류별)

시료명	SO <sub>3</sub> (%)	44 $\mu$ mR (%)	Blaine (cm <sup>3</sup> /g)	주도 (%)	응결시간(분)		Paste Flow (mm)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			
					초결	종결		1일	3일	7일	28일
DS	1.96	21.0	3,340	24.4	320	420	237	61	172	257	373
JG	2.00	21.8	3,308	24.0	300	420	241	61	185	273	402
BC	2.02	19.7	3,337	23.4	250	370	243	64	182	273	409
JS	2.02	19.0	3,306	23.2	250	300	224	86	166	247	312



&lt;그림 7&gt; 시멘트 압축강도 및 응결시간 시험결과(철질원료 종류별)

6> 참조), Alite량은 동슬래그(DS) > 분철(BC) > 제강철(JG) 순으로 높았고, Belite는 반대의 경향을 나타냈다. 제강철 사용시료(JG)는, 사방정계(Orthorhombic) C<sub>3</sub>A 량이 높았는데, 앞의 분석결과에서 제강철에 포함된 환원성 철(FeO, Fe)의 영향으로 추정된다. 자로사이트 사용시료(JS)는, Belite 양이 크게 증가하고 Alite양이 감소하였으며, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Arcanite)와 fMgO(Periclase)가 다량으로 생성되었다.

### (3) 클링커 광물 Size 및 특성

현미경에 의한 클링커 관찰결과(<표 6> 참조) 전체시료 공히 공정에서 생산된 클링커 대비 Alite, Belite 결정 Size가 증가하였으며, 광물형태가 비교적 양호하였다. 또한 각 시료간 현미경적 특징의 차이가 크지 않아 실험실 전기로의 양호한 소성조건(고온, 급냉)에서 동시에 소성되었기 때문으로 생각된다.

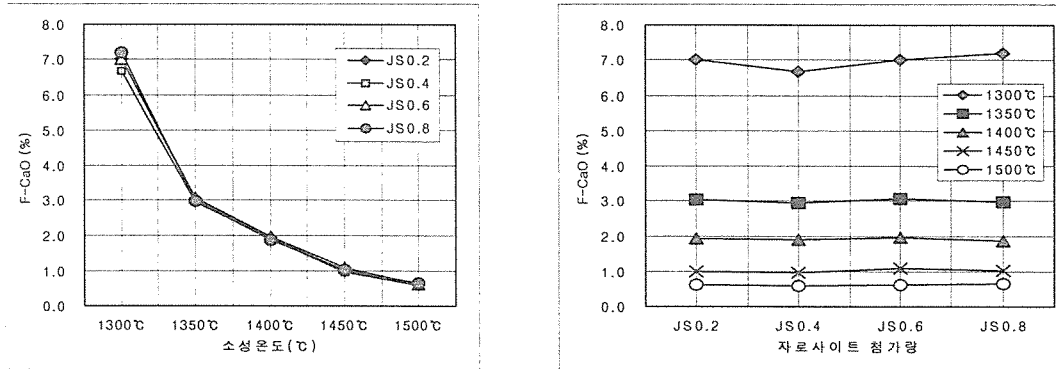
자로사이트 사용시료(JS)는 Belite 균정이 크게 증가하여 앞의 광물량 측정결과에서 Belite량

증가와 일치하였다. 또한 <사진 1>에서와 같이 Alite 결정은 결정 내에 물질의 용출로 인한 작은 점이 형성되고 전반적으로 분해현상과 에칭(Etching) 비활성을 나타냈으며, Belite는 무라멜라(Lamella)에 가까운 구조를 나타내어, 과소된 클링커의 특징을 나타냈다.

### (4) 시멘트 물리성능 시험

철질원료 종류별 시멘트의 압축강도 시험결과(<표 7>,<그림 7> 참조), 분철(BC)는 제강철(JG) > 동슬래그(DS) 순으로 높은 강도를 나타냈다. 자로사이트 사용시료(JS)는 다른 시료대비 1일강도는 높으나 28일 강도가 크게 하락하였는데, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 증가, 광물특성의 불량, 낮은 Module 등의 영향으로 생각된다.

응결시간은 동슬래그(DS)는 제강철(JG) > 분철(BC) 순으로 응결이 지연되었다. 따라서, 분철 사용시는 제강철 대비 응결시간이 단축되어, 석고 투입비가 증가가 예상된다. Paste Flow는 동슬래그(DS), 제강철(JG), 분철(BC) 모두 유사



<그림 8> 조합원료 소성성 시험결과 (자로사이트 투입비 증가시)

한 수준을 나타냈다.

철질원료의 종류별 품질영향을 검토한 결과, 압축강도, 광물조성, 소성성 등 품질측면에서 현재 사용중인 동슬래그와 함께 제강철, 분철의 대체사용이 가능한 것으로 나타났다. 또한 금번 시험조건에서는, 압축강도 측면에서는 분철 ≒ 제강철 > 동슬래그 순으로 양호하고, 응결시간 측면에서는 제강철 ≒ 동슬래그 > 분철 순으로 우수한 것으로 검토되었다.

3.4. 자로사이트 투입비 증가 영향 검토

(1) 조합원료 소성성

자로사이트 투입비 증가에 따른 조합원료 소성성 시험 결과(<그림 8> 참조), 자로사이트 투입비 0.4%에서 가장 양호하였으며, 이를 초과하면 역으로 소성성이 악화되었다.

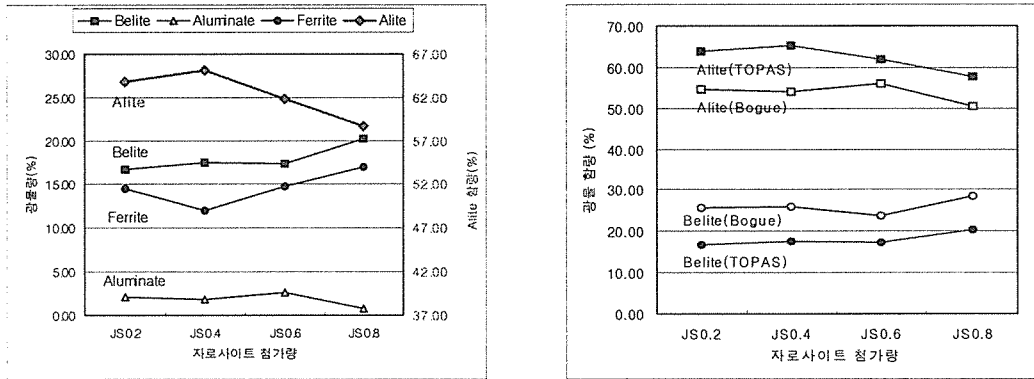
참고시험으로써, 자로사이트 투입비를 (0~3%)까지 증가시 소성성 시험결과를 <표 8>에 나타냈다. 소성온도 1,400℃ 이하에서는 자로사이트 첨가에 따라 fCaO가 감소하여 소성성 향상이 확인되었으나, 1,500℃의 고온소성에서는 소성성에 큰 차이가 없었다. 이것은 자로사이트로부터 증가된 소량·미량성분이 고온에서 휘발됨으로서 더 이상 Mineralizer로서의 기능이 상실됨에 기인하는 것으로 추정된다. 따라서 고온소성인 공정조건에서는 자로사이트 투입비 증가시 SO<sub>3</sub>, ZnO, PbO 등의 휘발에 의하여 Preheater, Kiln 공정에서 Coating Trouble 발생에 주의할 필요가 있다.

(2) 클링커 광물조성

XRD TOPAS에 의한 클링커 광물량 측정결과, 자로사이트 투입비 0.4% 이내에서는 Alite

<표 8> 조합원료 소성성 시험결과 (자로사이트 투입비 증가시)

시료명	자로사이트 투입비(%)	저 온				고 온		소성조건
		1,300℃		1,400℃		1,500℃		
		LSF	fCaO(%)	LSF	fCaO(%)	LSF	fCaO(%)	
JS0.0	0.0	89.48	9.25	89.66	2.60	90.52	0.86	소성온도 에서 30분 유지
JS0.5	0.5	90.03	6.99	90.08	2.52	90.11	0.88	
JS1.0	1.0	89.68	6.97	89.75	2.34	90.28	0.96	
JS2.0	2.0	89.32	6.52	88.63	2.08	89.18	1.07	
JS3.0	3.0	88.63	6.36	88.08	2.04	89.01	1.16	



<그림 9> 클링커 광물조성 (자로사이트 투입비 증가시)

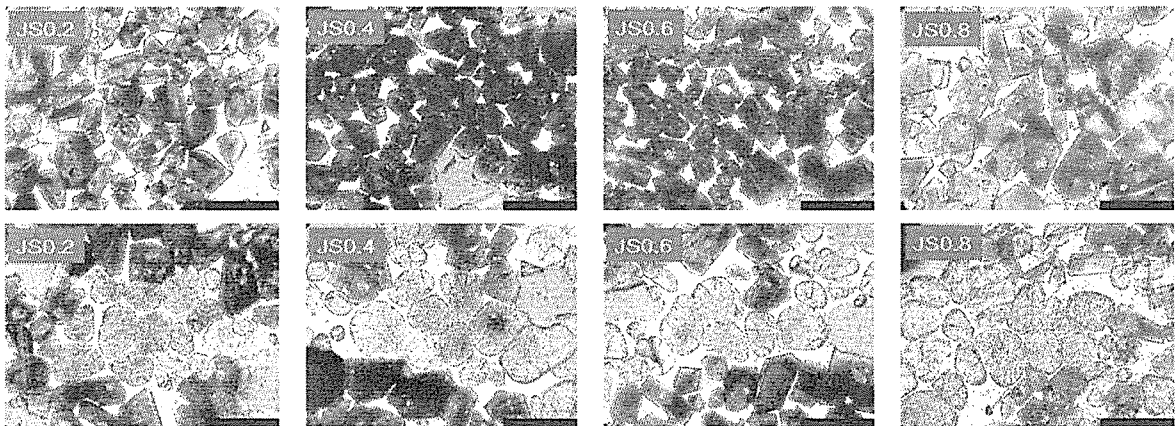
및 Belite 함량이 증가하고, Aluminate, Ferrite 함량은 감소하지만, 그 이상 투입하는 경우에는 반대로 Alite 함량이 감소하고 Belite, Ferrite 양이 증가하는 경향을 나타냈다.

또한 <그림 9>의 우측 그래프에서와 같이 자로사이트 투입비 증가에 따라 계산값(Bogue)과

실제값(TOPAS)의 차이값이 점차 작아져, 자로사이트 첨가가 광물생성량에 직간접적으로 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 자로사이트 투입비 증가시 SO<sub>3</sub>의 영향으로 소량광물인 Arcanite (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 함량이 증가하였다.

<표 9> 클링커 현미경 분석결과(자로사이트 투입비 증가시)

시료명	간극질 상태		③ Periclase (f-MgO)	④ Alite 분해	⑤ 2次 Belite	Belite 균정수	결정Size(μm)		판정 기준
	① 일카리 알루미네이트	② 간극질 조립도					Alite	Belite	
JS0.2	0	1	1	1	1	61	34	28	① 0없음 1.정후 2.극소 3.약간 4.다량 ② 0.구별량됨 1.극세립 2.세립 3.중간 4.조립 5.극조립 ③ 0없음 1.소량 2.약간 3.다량 ④ 0없음 1.극소 2.약간 3.다량 4.심각 ⑤ 0없음 1.극소 2.약간 3.다량 4.심각
JS0.4	0	2	1	1	1	64	36	29	
JS0.6	0	2	1	1	1	75	38	30	
JS0.8	0	2	0	1	1	61	38	29	

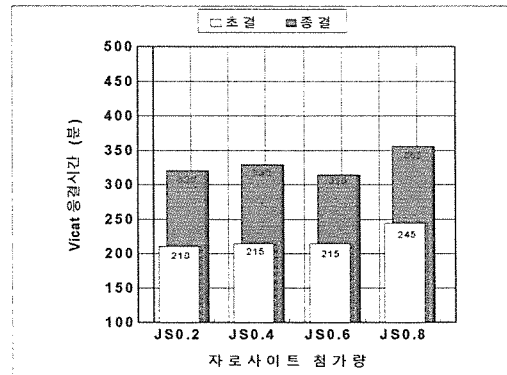
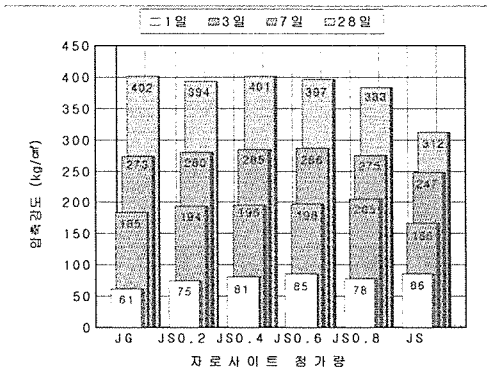


<사진 2> 클링커 현미경 사진(자로사이트 투입비 증가시)



<표 10> 시멘트 물리성능 시험결과(자로사이트 투입비 증가시)

시료명	SO <sub>3</sub> (%)	44μmR (%)	Blaine (cm <sup>3</sup> /g)	주도 (%)	응결시간(분)		Flow Paste (mm)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			
					초결	종결		1일	3일	7일	28일
JS0.2	2.01	19.4	3,317	23.2	210	320	250	75	194	280	394
JS0.4	1.98	18.1	3,305	23.2	215	330	253	81	196	285	401
JS0.6	1.98	17.9	3,345	23.2	215	315	255	85	198	286	397
JS0.8	1.99	18.8	3,322	23.2	245	355	258	78	205	275	383



<그림 10> 시멘트 압축강도 및 응결시간 시험결과 (자로사이트 투입비 증가시)

(3) 클링커 광물 Size 및 특성

현미경 분석결과를 <표 9>, <사진 2>에 나타냈다. 시험결과, 자로사이트 투입비가 증가함에 따라 Alite 및 Belite 결정 Size가 증가하였으며, 에칭(Etching) 비활성과 Belite 라멜라(Lamella) 구조의 손상 경향이 관찰되어 광물 생성상태가 불량하였다. 그 외 Alite 분해, 2차 Belite 생성 등의 특징은 시료간 차이가 미세하여 감지되지 않았다.

(4) 시멘트 제조 및 물리성능 시험결과

자로사이트 투입비별 시멘트의 압축강도 시험결과(<표 10>, <그림 10> 참조), 자로사이트 투입비 증가에 따라 초기강도는 증가하지만, 28일 강도는 자로사이트 투입비 0.4% 까지 증가 후 감소하는 경향을 나타냈다. 응결시간은 약간 지연되는 경향으로써, SO<sub>3</sub> 증가에 의한 알카리황산염 증가의 영향으로 생각된다. Paste Flow는 소폭 증가하여 그 영향이 적었다.

이상의 시험결과로부터, 금번 시험조건에서 자로사이트의 최대 투입비는 0.4% 수준이며, 그

이상 첨가하는 경우 압축강도, 광물조성, 소성성 등에서 품질하락의 우려가 있는 것으로 나타났다. 그러나 0.4% 이내의 사용에서도 실제 공정 조건에서는 소량·미량성분의 증가(누적)와 이로 인한 Coating 형성 등 공정불안정 요인이 될 수 있기 때문에 이를 함께 고려하여야 한다.

IV. 결 론

이상과 같이 철질원료 종류에 따른 영향을 검토한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 철질원료에 공통으로 포함된 미량성분은 ZnO 및 PbO 이다. 자로사이트는 SO<sub>3</sub>와 미량성분이 높고, 제강철은 환원성 철이, 분철은 Quartz 광물이 존재하는 특징이 있다. 분쇄성은 자로사이트의 분쇄성이 가장 양호하고 동슬래그가 상대적으로 불량하였다.

(2) 철질원료 종류에 따른 영향 검토결과, 조합원료 소성성은 자로사이트를 제외한 철질원료 종류별 차이는 미미한 수준이었다. 시멘트 물리성능 시험결과 압축강도는 분철 ≧ 제강철 > 동슬래그 순으로 높았고, 응결 시간은 동슬래그 ≧ 제강철 > 분철 순으로 지연되었다.

(3) 자로사이트 투입비 증가에 따른 영향 검토결과, 소성성은 자로사이트 투입비 0.4%에서 가장 양호하고, 이를 초과하면 소폭 하락하였다. 특히 1,500℃ 고온소성 조건에서 자로사이트를 다량 투입시 소성성이 오히려 악화되었다. 클링커 분석결과 자로사이트를 0.4% 이상 투입시 Alite량이 감소하고 Belite량이 증가하였으며, Alite 결정 Size가 증가하였다. 시멘트 물리성능 시험결과, 초기강도는 자로사이트 투입비 증가시 증가하지만, 28일강도는 0.4%에서 최대강도를 나타냈고 그 이상 투입시 하락하였다.

(4) 실험결과, 소성성, 광물조성, 압축강도 등 소성성과 품질측면에서 동슬래그를 대체하여 제강철, 분철의 사용이 가능한 것으로 나타났다. 또한 금번 시험조건에서 품질문제 없이 사용가능한 자로사이트의 최대사용량은 0.4% 수준인 것으로 검토되었다. 다만 실제 공정조건에서는 자로사이트 사용량 증가시 소량·미량성분의 증가와 Coating 형성 등 공정 불안정 요인이 될 수 있기 때문에 확인시험이 필요하다.

## < 참고 문헌 >

1. "Innovations in Portland Cement Manufacturing", PCA, 2004
2. "Understanding Clinker Liquid Phase", Cementamericas, 2000. 4
3. Sayed Horkoss, "OPC Clinker with high SO<sub>3</sub>", World Cement 2004. 6
4. "Cement 기술총론", p70
5. 노재성외, "전로슬래그가 시멘트의 제조공정 및 물성에 미치는 영향", J. of Korean Inst. of Resources Recycling, Vol. 6, No4, 1997
6. 近藤連一 外, "高爐スラグ・電爐スラグを原料とする鐵セメント", セメント技術年報28(1974)
7. 吳熙鉀, "티탄 철광석 사용 가능성 검토", 시멘트심포지엄, 1975
8. 內藤降一 外, "セメント成分としてのFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>がクリンカの鑛物組成及びセメント強度に及ぼす影響", 少野田セメント研究報告,(1989)
9. 近藤連一, "ポルトランドセメントクリンカーの鑛物組成におよぼす特殊成分の影響", セメント技術年報17(1963)
10. 大野喜好 外, "セメント鐵原料としての平爐ダストについて", セメント技術年報17(1963)