

## 高爐 急冷슬래그를 添加한 非燒成 펠릿의 強度 舉動

皮勇進 · 潘奉贊\* · 金台東

浦項綜合製鐵株式會社, \*順天大學校 材料金屬工學科

### Influence of Blast Furnace Slag Addition on the Strength of Cold Bonded Pellet

Yong-Jin Pi, Bong-Chan Ban and Tai-Dong Kim

Pohang Iron & Steel Co. Ltd., Kumhodong 699, Kwangyang, Chonnam, 545-090, Korea

\*Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, Suncheon National University, Suncheon, Chonnam, 540-742, Korea

**요 약:** 비소성 펠릿법은 종래의 소성 펠릿법의 대체 공정으로, 합철더스트류를 고로에서 재활용하기 위한 피상화공정이다. 비소성 펠릿의 결합제로 사용되는 시멘트를 저가의 소재로 대체함으로써 펠릿의 제조원가 절감을 목적으로 하였다. 본 논문에서는 결합제로서 고로 슬래그를 이용한 비소성 펠릿의 강도변화를 고찰하였다. 비소성 펠릿의 결합제인 고로 슬래그를 사용함에 따라 종래의 시멘트 첨가량의 약 절반으로서도 강도는 150 kgf에 도달하는 것을 확인하였으며, 그에 따른 결합제들의 물리화학적 특성들에 대하여도 조사하였다.

**주제어:** 비소성펠릿, 더스트, 산화철, 결합제, 압축강도.

**ABSTRACT:** Utilization of iron bearing dusts has been needed agglomeration prior to use as a burden in blast furnace. The cold bonded pellet process using iron bearing dusts has been developed as an alternative to the conventional heat indurated pelletizing process. Partial substitution of cements with cheaper materials would decrease the production cost of pellet. This paper discusses the strength of pellet containing blast furnace slag as a bonding material in pelletizing a cold bonded agglomerates. Depending upon the quality, half of the cement required may be replaced by slag in the pellets with a strength of around 150 kgf. Some of the physicochemical properties of the bonding materials are also investigated in the present work.

**Key words:** Cold bonded pellet, dust, iron oxide, binder, compression strength.

#### 1. 서 론

철광석을 고로 장입물로 제조하기 위한 사전처리법으로 소결법과 소성 펠릿법이 일반화되어 있으며, 이들의 차이는 원료의 입도 차이에 기인한다. 즉 소결법의 원료 철광석 입경이 대체적으로 8~0.125 mm 범위인 분광과 피광석의 파쇄나 정립과정의 산물인 체밀광(篩下粉)인 반면, 펠릿법에서의 입도는 보다 미세한 정광이나 극미분광(0.044 mm > 70~80%)을 사용하고 있다. 소결법이나 종래의 소성 펠릿법으로 제조하는 피상화물은 고로 장입물로서의 강도

를 확보하기 위하여 각각 약 1350°C 이상과 약 1250°C 이상의 고온에서 소성처리하게 되며, 따라서 이들 공정은 연료비 및 대기 오염 등의 측면에서 해결해야 할 문제점들이 지적되고 있다.

이러한 소성 공정에 비하여 비교적 최근에 개발된 비소성 펠릿법<sup>1,2)</sup>은 시멘트류를 결합제로 사용하여 일정한 양생 시간이 소요되는 특징이 있다. 이 공정은 설비가 단순하고 투자비가 저렴하며 2차 대기 오염을 발생치 않는다는 등의 장점으로 인하여 최근 제철소에서 발생하는 분진류의 리사이클링 방법으로 적용<sup>3,4)</sup>되고 있으나, 비소성 펠릿 제조공정에서 시멘트류를 저가의 결합제로 대체하는 것이 큰 관심사가 되어 왔다. 대체제로서는 제철소의 고로공정에서 발생

\* 1998년 10월 28일 접수, 12월 21일 수리

하는 용융슬래그를 물로 급냉한 슬래그(water quenched slag)를 사용할 수 있는데, 이는 급냉슬래그 입자가 비정질이며 잠재수정성을 갖고 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 합철분진류를 원료로 한 비소성 펠릿에 첨가하는 시멘트류를 저가의 고로 급냉슬래그로 대체하는 적정 결합제 사용조건에 관한 일련의 실험을 수행하였다. 본보에서는 시멘트 첨가량의 약 50%를 급냉슬래그로 대체하면서 비소성 펠릿의 목표 강도에 도달하는 양생 시간을 동등하게 유지할 수 있는 경화촉진제의 사용조건을 도출하였기에, 이를 보고하고자 한다.

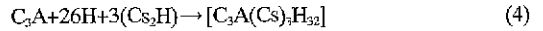
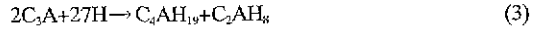
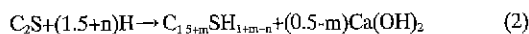
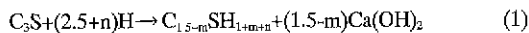
2. 이론적 배경

시멘트는 물과 공존할 때 경화 반응이 진행되는데, 고로 급냉슬래그는 물만으로는 경화하지 않고 알칼리 첨가물이 공존할 때 경화 반응을 나타내는 잠재수정성의 특징<sup>5,6)</sup>을 나타낸다. 시멘트와 슬래그의 이러한 차이는, 시멘트는 이온 결합의 조직으로 되어 있기 때문에 물이 존재하면 용출하여 수화물의 석출이 가능하지만, 슬래그는 유리질 조직으로 [SiO<sub>2</sub>]<sup>4+</sup> 사면체가 정점으로 결합된 것으로, 불규칙적인 3차원 쇄상 또는 망목상 구조로 되어 있으며, 이러한 구조 사이에 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> 등이 침입한 상태이므로 물에 용출되지 않기 때문이다.<sup>6)</sup>

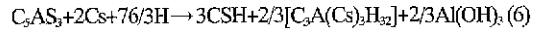
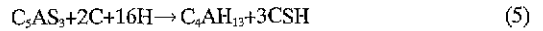
일반적으로 고로 슬래그의 수화 반응은, 알칼리성 용액에서 슬래그 유리상의 SiO<sub>2</sub>와 AlO<sub>3</sub> 체인 구조가 OH<sup>-</sup>의 공격에 의해서, Si-O 및 Al-O의 결합구조가 파괴됨으로써 시작된다. 이후, 액상에서의 Si, Al 이온 농도가 증가함에 따라 calcium silicate 및 calcium aluminate 의 수화물이 형성된다. 따라서 슬래그의 빠른 수화 반응을 위해서는 슬래그 자체에서 용해되는 Ca<sup>2+</sup> 및 OH<sup>-</sup>가 충분해야 하지만, 실제적으로는 불충분 상태이기 때문에 외부에서 공급된 Ca<sup>2+</sup>나 OH<sup>-</sup>에 의해 슬래그 입자의 구조 연화에 관한 구동력이 요구된다. 즉 슬래그 입자가 수화반응을 일으키기 위하여는 pH가 약 12정도가 되도록 알칼리 자극제를 첨가하는 것이 필요하다. 그 이후에는 알칼리성 성분 용출에 의해 pH가 유지되므로 일정량 이상의 자극제는 필요하지 않게 되며, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 액상에 공존하면 더욱 발달된 결정의 aluminatc 수화물이 생성된다.<sup>7)</sup>

시멘트와 슬래그의 대표적인 수화 반응식<sup>8)</sup>은 아래와 같다.

<시멘트의 경우>



<슬래그의 경우>



여기서, C는 CaO, A는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S는 SiO<sub>2</sub>, H는 H<sub>2</sub>O, Cs는 CaSO<sub>4</sub>를 나타낸 것이다.

시멘트에 포함된 규산칼슘은 (1), (2), (3)식에 나타난 바와 같은 수화 반응을 일으킨다. 이 반응 속도는 매우 펠라 급결현상을 나타내므로 (4)식에 나타난 것처럼 시멘트에 첨가된 석고에 의해 ettringite와 CSH가 생성되는 반응을 주체로 하여 급결현상을 완화한다.

한편, 슬래그의 경우는 알루미늄을 포함한 규산칼슘에 의한 수화 반응이 주된 반응이지만, 그 반응 생성물은 (5)식에 나타난 것과 같이 시멘트와 같은 CSH와 알루미늄산칼슘 수화물이다. 슬래그의 경우도 알루미늄산칼슘은 CSH 수화물의 형성을 방해하기 때문에 시멘트의 경우와 마찬가지로 석고를 첨가하여 (6)식을 주체로 한다.

이 반응식들로부터 시멘트 및 슬래그의 반응 생성물은 기본적으로는 동일한 것이고, 슬래그 입자의 수화 반응을 촉진할 수 있는 조건을 부여한다면 비소성 펠릿의 결합제로서 시멘트를 대체하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있다.

3. 실험 방법

3.1. 시료

본 실험에서 제조한 비소성 펠릿의 구성 원료는 제철소의 제선공정에서 발생하는 합철분진류-고로 원료집진(E/P)분진, 고로 주상집진(C/H)분진, 고로 dust catcher(D/C)분진, 고로 슬러지 및 고로 노저부 보호를 위해 사용하는 합티탄 칠광석(소연평도산)의 체밀광들이다. 이들 각종 분진류 및 칠광석은, Table 1에 나타난 배합비에 따라 사전에 혼합한 혼합분진으로 사용하였다. 한편 시멘트계 결합제로는 포틀랜드 시멘트(PC), 초조강시멘트(HC)를, 미시멘트 결합제로는 고로 급냉슬래그를 사용하였고, 슬래그의 잠재수정성을 촉진하기 위한 경화촉진제<sup>9,10)</sup> 즉, 알칼리 자극제(alkali activator)-로는 시약급 생석회, 공업용 석고 및 스테인리스 제조공정에서 발생하는 슬래그(STS slag) 등을 사용하였다. 스테인리스 슬래그의 구성 광물상은 3CaO · 2SiO<sub>2</sub>, γ-2CaO · SiO<sub>2</sub>와 Ca<sub>3</sub>Mg(SiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 들이다. 혼합분진과 각종 결합제의 화학 성분을 Table 2에 나타내었다. 고로공정에서 발

**Table 1.** Mixing ratio of iron-bearing dusts and titaniferous ore. (unit : wt.%)

BF-E/P dust	BF-C/H dust	BF-D/C dust	BF sludge	TiO <sub>2</sub> ore	Total
9.4	13.6	38.0	18.6	20.4	100.0

Note : BF(blast furnace), E/P(electrostatic precipitator), C/H(cast house), D/C(dust catcher)

생되는 급냉슬래그는 평균 입경이 1.0~1.3 mm 범위의 입자이므로, 이를 비소성 펠릿의 수경성 결합제로 사용하기 위해서는 최소한 포틀랜드 시멘트 이상의 미세한 분말도로 처리해야 한다. 따라서 슬래그를 200 mm dia × 300 mm H 인 룯드 밀에서 4~16시간 분쇄하여 비표면적이 다른 분말을 조제하였다. 분쇄 시료의 비표면적은 공기투과 장치에 의한 포틀랜드 시멘트의 분말도 시험방법<sup>13)</sup>에 따라 측정하였다. 한편 슬래그를 결합제로 사용하는 실험에서 알칼리 자극제로 첨가한 생석회, 석고 및 스테인리스 슬래그의 비표면적도 동일한 방법으로 측정하였다.

**3.2. 비소성 펠릿의 제조**

펠릿 제조시 배합원료 중 혼합분진과 알칼리 자극제를 포함한 수경성 결합제의 첨가비는 90:10으로 일정하게 유지하였다. Table 3에 결합제 및 알칼리 자극제의 첨가 조건을 나타내었다

혼합분진과 결합제류는 미리 105°C에서 2시간 이상 건조한 후 V형 락서에서 30분간 혼합하였고, 이를 직경 60 cm. 경사각 48°, 회전수 18 rpm인 디스크형 펠리타이저에 소량씩 분할 투입하면서 9.5~10.0%의 물을 실수하여 조립하였다. 조립 초기, 미분상의 원료는 수분 및 입자의 전동에 의해 상호 결합하면서 수 많은 핵입자로 응집된다. 이러한 핵입자가 직경 15.9~19.1 mm 크기의 펠릿으로 성장할 때까지 단계별로 체질(sieving)함으로써, 최종 입도와 형상을 균일하게 하였다. 한 종류의 펠릿을 조립하는데 사용한 배합원료의 양은 약 2 kg 이었으며, 이를 최종 크기의 생펠릿으로 조립하는데 소요된 시간은 약 30분 이었다.

**Table 2.** Chemical composition of mixed dust and binders for cold bonded pellet. (unit : wt.%)

Sample	T. Fe	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S
Mixed dust	42.9	3.4	5.3	1.5	1.4	0.28
Portland cement	2.2	60.6	20.6	3.5	5.3	1.15
High early strength cement	2.2	60.8	19.0	2.8	4.8	1.88
BF water-quenched slag	0.9	41.8	32.7	6.6	12.8	0.89
STS slag	1.9	53.5	25.7	7.0	2.1	0.14
Gypsum	0.1	38.4	0.2	0.2	0.1	5.06
Cyclone dust	0.3	77.4	1.0	3.8	0.4	0.18

**Table 3.** Adding condition of binder and alkaline activator for dust pelletizing. (unit : wt.%)

Sample	Binder			Alkaline activator			Remarks
	PC	HC	BF slag	lime	gypsum	STS slag	
A-01	8.0	2.0	-	-	-	-	
A-02	10.0	-	-	-	-	-	
B-01	5.0	-	5.0	-	-	-	S.S.A 2875 cm <sup>2</sup> /g
B-02	5.0	-	5.0	-	-	-	S.S.A 3977 cm <sup>2</sup> /g
B-03	5.0	-	5.0	-	-	-	S.S.A 5045 cm <sup>2</sup> /g
B-04	5.0	-	5.0	-	-	-	S.S.A 5318 cm <sup>2</sup> /g
C-01	7.5	-	2.5	-	-	-	
C-02	5.0	-	5.0	-	-	-	
C-03	2.5	-	7.5	-	-	-	
D-01	4.0	-	5.0	1.0	-	-	
D-02	4.0	-	5.0	-	1.0	-	
D-03	4.0	-	5.0	-	-	1.0	
E-01	3.0	1.0	5.0	0.5	0.5	-	
E-02	3.0	1.0	4.6	0.7	0.7	-	
E-03	3.0	1.0	5.0	-	0.5	0.5	

**3.3. 펠릿의 양생 및 물성 조사**

조립 직후의 생펠릿은 25°C로 유지되는 밀폐 용기내에서 약 28일 까지 양생하였으며, 양생 중 압축강도 측정을 위하여 밀폐 용기내에서 꺼낸 습윤 펠릿은 105°C에서 4 시간이 상 충분히 건조시켰다. 한 조건에 대한 펠릿의 압축강도는 10개의 측정치에 대한 평균 값으로 나타내었으며, 압축강도 측정기에 펠릿을 한 개씩 올려 놓은 후 가압반의 하중속도를 20 mm/min.로 하였다. 또한 양생에 따른 수화물 생성을 확인하기 위하여 주사전자현미경으로 펠릿의 파단면을 관찰하였다.

**3.4. 실기에서 비소성 펠릿의 시험제조**

실험실적 연구결과들을 실증하기 위하여 연산 18만ton 규모의 비소성 펠릿공장에서 고로 급냉슬래그를 첨가한 펠릿을 시험제조하였다. 이때의 원료 배합비와 결합제 첨가조건을 Table 4, 5에 나타내었는데, 결합제 첨가방법을 달리 한 시험 조업은 기존 조업방법에 의한 배합 원료를 약 4ton 준비하여 이를 교반 믹서에 장입하고, 고로 급냉슬래그 및 생석회원인 사이클론 분진은 수작업으로 소정량을 투입하는 방법을 택하였다. 이때 생석회원으로 사용한 사이클론 분진은 석회석을 소성하여 생석회를 제조하는 과정에서 발생한 분진을 집진한 것으로, Table 2에 나타낸 바와 같이, 생석회보다는 품위가 다소 낮지만 생석회를 대체하는 물질로 사용하였다. 가동 중인 펠리타이저 내에서 소정의 배합비로 조립된 생펠릿 약 100 kg을 채취하여, 강도측정용의 입도인 15.9~19.1 mm 로 정립하였다. 이들 펠릿은 밀폐 용기내에서 양생하면서 시간에 따른 압축강도를 비교하였다. 이때 사용한 급냉슬래그 분말과 사이클론 분진의 비표면적은 각 3715 cm<sup>2</sup>/g, 3022 cm<sup>2</sup>/g 이었다.

**Table 4.** Mixing ratio of raw materials for test operation in pelletizing plant. (unit : wt.%)

BF-E/P dust	BF-C/H dust	BF-R/C dust	BF-sludge	LD-E/C dust	TiO <sub>2</sub> ore	Total
13.8	28.7	8.4	14.8	22.8	11.5	100.0

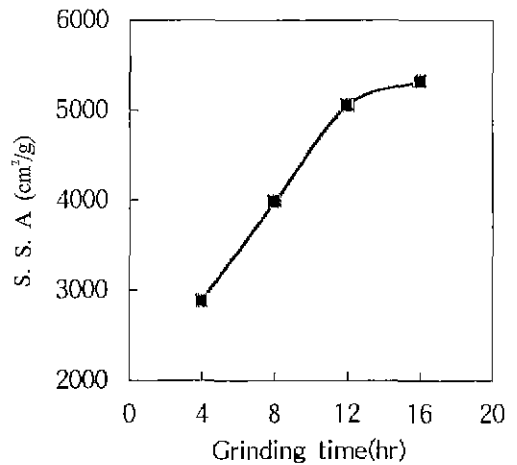
**Table 5.** Adding condition of binder for test operation in pelletizing plant. (unit : wt.%)

Sample	PC	HC	BF slag	Cyclone dust
Standard	8.0	2.0	-	-
Test A	3.5	2.0	3.5	1.0
Test B	3.75	2.0	3.75	0.5

**4. 실험 결과 및 고찰**

**4.1. 급냉슬래그 및 알칼리 자극제의 물성**

초기 평균 입경이 1.0~1.3 mm 인 급냉슬래그 입자를 룯드 밀에서 소정의 조건으로 분쇄하였을 때, 분쇄 시간에 따른 슬래그의 비표면적을 Fig. 1에 나타내었다. 슬래그를 4시간 분쇄하면 비표면적이 2,875 cm<sup>2</sup>/g에 도달하는데 이러한 비표면적은 시판되는 포틀랜드 시멘트와 유사한 수준의 분말도이다. 한편 분쇄 시간 12시간 까지는 비표면적이 직선적으로 증가하다가 그 이후에는 분쇄시간이 증가하여도 비표면적은 완만하게 증가하는 경향을 보이고 있다. 급냉슬래그를 포함한 각종 결합제와 알칼리 자극제의 비표면적과 비중을 Table 6에 나타내었다.



**Fig. 1.** Specific surface area of blast furnace slag with grinding time.

**Table 6.** Specific surface area and specific gravity of various binders and alkali activators.

	Specific surface area, (cm <sup>2</sup> /g)	Specific gravity, (-)
Portland cement	2,845	3.13
High early strength cement	4,629	3.06
BF slag (grinding)		2.92
4 hr	3,164	
8 hr	4,270	
12 hr	4,913	
16 hr	5,608	
STS slag	3,439	2.81
Lime	7,485	3.03
Gypsum	8,567	2.45

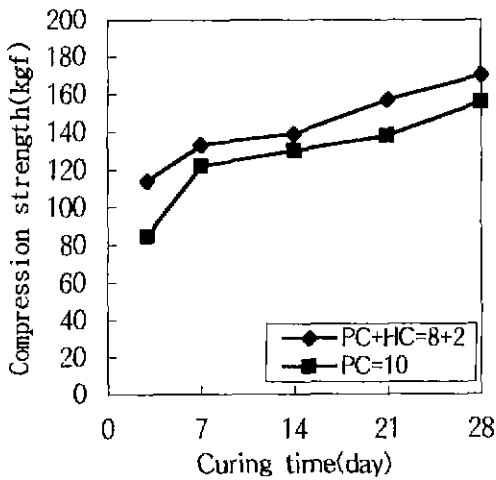


Fig. 2. Compression strength of dust pellet added cementitious binder.

#### 4.2. 급냉슬래그를 첨가한 비소성 펠릿의 강도

혼합분진에 포틀랜드 시멘트 혹은 포틀랜드 시멘트와 초조강 시멘트를 첨가한 비소성 펠릿(A 시리즈)의 강도발현 거동을 Fig. 2에 나타내었다. 통상적으로 고로장입용 펠릿에 요구되는 압축강도<sup>12)</sup>가 약 150 kgf인 것을 고려하면, 이러한 비소성 펠릿을 고로에 사용하기 위해서는 초조강 시멘트를 첨가한 경우에는 약 3주 이내, 포틀랜드 시멘트만 사용한 경우에는 3주 이상의 양생 시간이 요구되었다. 그러나 원료배합비와 결합제의 첨가조건이 유사한 실기 작업에서는 펠릿의 압축강도가 150 kgf 이상 도달하는데 약 10여 일 소요되었다. 이와 같이 실험실에서 제조한 펠릿의 강도발현이 늦은 이유는 수분침투 방법과 장치의 규모에 기인하는 것이라고 생각된다. 즉 실험실에서는 배합 원료의 칭량과 균일한 혼합을 위하여 강제로 건조시킨 원료를 사용하고 수분을 펠리티이저에서만 전량 공급하고 있으나, 실기에서는 습윤 원료를 직접 건조 원료와 혼련하여 사용함으로써 조립과정에서 구멍 입자 간의 충전상태가 조밀해져 성품 펠릿의 강도를 개선하는 효과가 있는 것으로 보고<sup>13)</sup>된 바 있으며, 또한 장치의 대형화에 따른 원료의 대량 처리과정도 펠릿의 강도를 증진하는데 유효할 것으로 생각된다. 따라서 이후의 여러 조건변화에 따른 비소성 펠릿의 강도발현 거동은 Fig. 2의 데이터를 기준으로 하여 비교 검토하는 것이 필요하다.

시멘트를 대체하여 첨가하는 슬래그 입자의 분말도를 잠정적으로 선정하기 위하여, 포틀랜드 시멘트+슬래그=5%+5%인 결합제 첨가조건에서 슬래그의 비표면적을 2875~

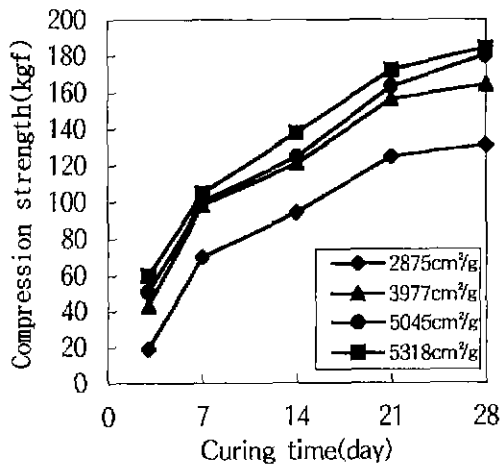


Fig. 3. Compression strength of dust pellet containing BF slag with specific surface area.

5318 cm<sup>2</sup>/g 범위로 조정하여 첨가한 펠릿(B 시리즈)의 압축강도를 Fig. 3에 나타내었다. 비표면적이 2875 cm<sup>2</sup>/g인 슬래그를 첨가한 펠릿의 경우에는 28일 양생 후에도 130 kgf 수준의 압축강도를 나타내고 있으나, 비표면적이 약 4000 cm<sup>2</sup>/g 이상인 경우에는 21일 이내에 150 kgf 이상의 강도수준에 도달하고 있으며, 이러한 비표면적 증가에 따른 강도발현 촉진 효과는 비표면적이 4000 cm<sup>2</sup>/g 이상인 경우에는 다소 완만해지는 것을 알 수 있다. 한편 슬래그 분쇄열체로부터 입수한 고로 슬래그 분말의 비표면적을 측정된 결과 약 4000 cm<sup>2</sup>/g로 나타났다. 따라서 실용적으로 입수 가능하면서도 시멘트를 대체할 수 있는 슬래그의 비표면적이 거의 일치하므로, 이후의 비소성 펠릿 제조시에는 비표면적이 3977 cm<sup>2</sup>/g인 슬래그를 사용하였다.

본 실험조건에서의 원료배합 여건하에서 수경성 결합제로 첨가하는 고로 슬래그의 적정 첨가범위를 설정하기 위하여 결합제 첨가량 10% 범위 내에서 포틀랜드 시멘트와 슬래그의 첨가량을 증감시킨 펠릿(C 시리즈)의 강도발현 곡선을 Fig. 4에 나타내었다. 전체적으로는 결합제로 첨가하는 슬래그의 양이 증가할 수록 상대적으로 시멘트의 양이 감소하기 때문에 압축강도가 낮은 수준으로 저하되었으나, 시멘트의 50%를 슬래그로 대체한 경우에는 특이한 현상이 나타났다. 즉 펠릿의 양생 초기인 3일 후 강도측면에서는 기준 첨가조건-즉 포틀랜드 시멘트와 초조강 시멘트를 복합첨가한 경우에 비하여 슬래그를 첨가한 경우의 강도가 약 1/2 수준에 머물렀으나, 양생 시간이 약 21일 정도 지나면 슬래그를 결합제의 50% 정도로 첨가한 펠릿의 강도가 시멘트만 첨가한 펠릿의 강도와 거의 대등한 수준에 도달하였다. 이

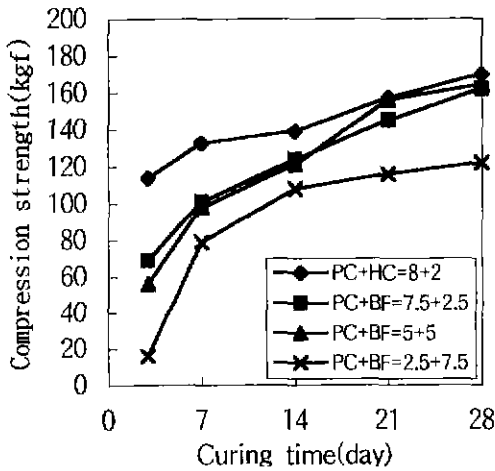


Fig. 4. Compression strength of dust pellet with amount of BF slag.

는 고로 슬래그의 잠재수경성에 의해 장기 강도가 포틀랜드 시멘트에 비하여 우수하다는 점과 본 실험에서 사용한 슬래그 입자의 분말도가 포틀랜드 시멘트 입자의 분말도보다 현저하게 컸다는 점이 상호 작용했기 때문인 것으로 추정된다

따라서 본 실험의 원료배합 조건에서는 기존의 결합제 첨가량의 약 50% 까지를 고로 슬래그로 대체하는 것이 가능하다고 판단된다. 다만, 이러한 실험실적인 결과의 차이가 실기의 대량 생산체제에서 어느 정도 차이를 나타낼지에 대하여는 추후 확인이 필요하다.

4.3. 슬래그첨가 더스트 펠릿의 강도에 미치는 알칼리 자극제의 영향

전술한 결과들로부터 비소성 더스트 펠릿 제조시 기존에 첨가하던 시멘트류의 약 50%를 슬래그로 대체할 경우 초기 강도는 현저히 낮은 수준이었으나, 그 후기 강도는 거의 대등한 수준임을 알 수 있었다. 따라서 수경성 결합제와 알칼리 자극제의 첨가량을 10%로 일정히 한 조건에서, 포틀랜드 시멘트를 4%, 알칼리 자극제를 1% 첨가한 펠릿(D 시리즈)을 제조하여 그 강도를 조사하였다. 알칼리 자극제를 단독으로 첨가한 펠릿은, Fig. 5에 나타난 바와 같이, 석회, 석고, 스테인리스 슬래그를 첨가한 순으로 강도가 높았으나, 그 첨가 효과는 무시할 수준이었다.

알칼리 자극제의 단독첨가 효과가 없었기 때문에, 자극제를 생석회+석고, 석고+스텐레스 슬래그의 상태로 복합첨가한 펠릿(E 시리즈)의 강도는, Fig. 6에 나타난 바와 같이, 현저히 개선되었다. 자극제의 복합첨가시 7일 후 강도발현이

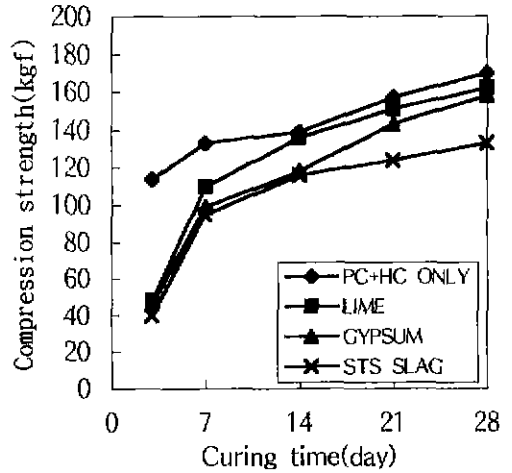


Fig. 5. Effect of mono-phase alkaline activator on compression strength of dust pellet

우수하였으며, 자극제의 첨가량이 동일한 경우 생석회+석고의 경우 보다는 석고+스텐레스 슬래그의 경우에 강도가 더욱 크게 나타났다.

또한 결합제의 첨가조건에 따른 비소성 펠릿의 수화물 생성 조직을 관찰하기 위하여 초조강 시멘트첨가(A-01), 생석회와 석고첨가(E-01) 및 석고와 스테인리스 슬래그첨가(E-03) 펠릿을 14일간 양생한 후 펠릿의 파단면에 대한 SEM 사진을 Photo 1에 나타내었다. 펠릿에 따라 조직이 다소 다르지만 복잡한 덩어리 형태의 수화물 외에 관찰 및 침상의 결정질 수화물들이 잘 발달된 조직을 관찰할 수 있었다.

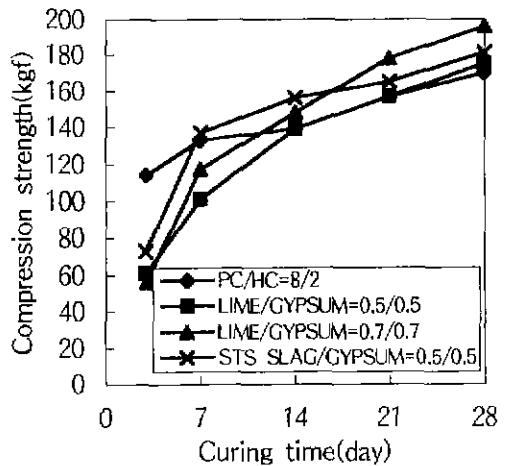


Fig. 6. Effect of binary-phase alkali activator on compression strength of dust pellet.

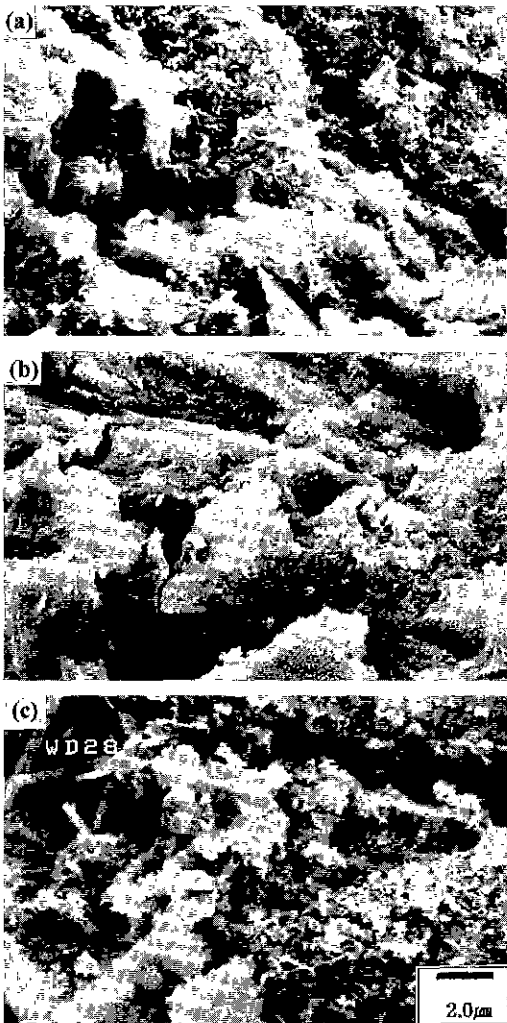


Photo. 1. SEM photographs of dust pellets cured for 14 days. (a) A-01, (b) E-01, (c) E-03

4.4. 펠릿 공장에서 시험제조한 비소성 펠릿의 강도

시험제조한 비소성 펠릿의 압축강도는, Fig. 7에 나타난 바와 같이, 결합제 첨가 패턴에 따라 그 차이가 뚜렷하게 나타났다. 즉 포틀랜드 시멘트와 고로 급냉슬래그를 각 3.75%, 초조강 시멘트를 2%, 생석회원으로 사이클론 분진을 0.5% 첨가하여 제조한 펠릿(test B)은 약 7일 간의 양생 처리에 의하여 목표 강도인 150 kgf 수준에 도달하였으나, 종래의 결합제 첨가조건(standard)이나 포틀랜드 시멘트와 슬래그의 첨가량을 감소시키고 사이클론 분진의 첨가량을 증가(test A)시킨 펠릿의 압축강도는 양생 시간에 따라 완만하게 증가하는 경향을 나타내었다. 시험조업 시간이 단시간이었기 때문

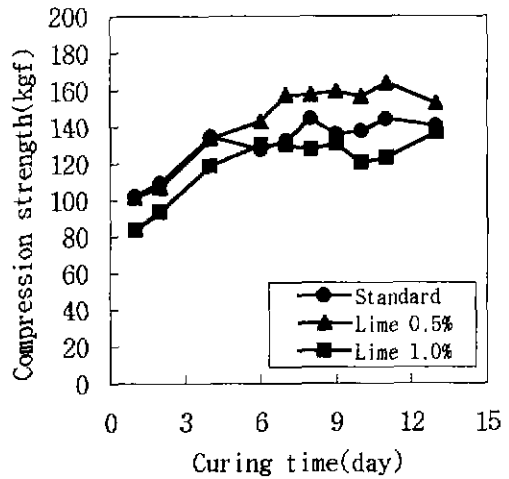


Fig. 7. Compression strength of cold bonded pellet manufactured at pelletizing plant.

에 결합제 첨가패턴의 변경에 따른 펠릿의 강도 발현 거동을 정확히 비교하기는 어려웠으나 결합제인 시멘트의 약 50%까지는 고로 급냉슬래그로 대체할 수 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 추후로는 본 시험조업 기간 중에는 확인하지 못하였던 석고와 STS 슬래그 등의 영향을 실기에서 확인하는 것과 또한 장기간에 걸친 일련의 시험조업을 통해 결합제 사용 조건을 최적화하는 것이 필요하다. 한편 사이클론 분진을 0.5% 첨가한 펠릿의 목표 강도 도달 기간이 약 7일로 실험실 제조시의 약 21 일에 비하여 양생 기간이 단축된 것은 펠리 타이저의 스케일 업 효과에 의한 것으로 생각된다.

5. 결 론

분진류를 원료로 한 비소성 펠릿의 결합제로 사용되는 시멘트류를 고로 급냉슬래그와 같은 저렴한 수경성 결합제로 대체하기 위하여, 슬래그의 수화기구를 고찰하고 슬래그와 알칼리 자극제의 적정 첨가조건을 설정하기 위한 일련의 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 비소성 펠릿에 첨가하는 고로 급냉슬래그의 비표면적은 약 4000 cm<sup>2</sup>/g 이상으로 하는 것이 펠릿의 강도 확보에 유리하였다.
2. 비소성 펠릿의 결합제로 적정 분말도의 고로 급냉슬래그를 추가하여 사용하면 종래 포틀랜드 시멘트 사용량의 약 50%를 대체할 수 있었다.
3. 비소성 펠릿의 결합제로 사용되는 포틀랜드 시멘트의 50%를 고로 급냉슬래그로 대체하고 알칼리 자극제로

생석회 물질 혹은 스테인리스 슬래그 0.5%와 석고를 0.5% 첨가하면, 종래의 시멘트계 비소성 펠릿보다 고강도의 펠릿을 제조할 수 있었다.

4. 시멘트 첨가량의 50%를 고로 급냉슬래그로 대체하고, 생석회원으로 사이클론 분진을 0.5% 첨가한 펠릿에 대한 실기에서의 시험조업 결과는 실험실적 연구 결과와 잘 일치하는 것을 확인하였다.

### 참고문헌

1. M.A. Goksel : "Fundamentals of Cold Bond Agglomeration Processes", Proc. 2nd Int'l. Symp. Agglom., 877-900 (1977)
2. 金台東 : "製鐵所內 發生 副産物의 活用に 관한 考察(II)", 浦項製鐵(株) 研究技報, 6(3), 126-135 (1984).
3. 天野繁, 谷口 正彦, 高野正市 外 : "セメントレスコールドペレット의 强度發現に關する檢討", CAMP-ISIJ, 3(4), 1055 (1990).
4. N. Shivacmakrishna, P. Kumar, K.K. Prasad et al. : "Curing of Cement Bonded Blue Dust Pellets with Steam at Normal Pressure", SEASIS Quart., Jan, 67-71 (1994).
5. 宋宗澤, 大門正機, 近藤連一 : "NaOH 刺戟에 依한 高爐水碎슬래그의 水和反應", 窯業學會誌, 17(3), 158-162 (1980).
6. 阪本好史 : "高爐水碎슬래그 粉末", 콘크리트工學, 16(3), 54-57 (1979).
7. S.N. Ghosh : "Mineral Admixtures in Cement and Concrete", ABI 4, 84-117 (1993).
8. 金昌殷 : "高爐 水碎슬래그를 添加한 含鐵 非燒成펠릿의 硬化機構", 浦項製鐵(株) 委託研究報告書, 9-11 (1996).
9. 崔相紘, 吳熙鉀, 池政植 外 : "슬래그-石膏系 시멘트 開發研究", 窯業學會誌, 17(4), 217-221 (1980).
10. 近藤連一, 宋宗澤, 後藤誠史 外 : "種種의 刺激劑による 高爐水碎슬래그의 潛在水硬性", 鐵と鋼, 65(13), 1-5 (1979).
11. 空氣透過 裝置에 依한 포틀랜드 시멘트의 粉末度 試驗方法, KS L 5106 (1978).
12. 佐藤勝彦, 榎井哲, 澤村靖昌 外 : "セメント・ボンド系 コールドペレット製造法の開發", 製鐵研究 (299), 35-51 (1979).
13. 天野繁, 阿部幸弘, 山口一成 外 : "セメントレスコールドペレット의 開發", 鐵と鋼, 77(6), 45-52 (1991).