

## 페타이어를 이용한 製鋼粉塵 處理를 위한 基礎研究

황용길 · 이상화 · 이성룡 · 정석수\* · 최재신 · 조충형  
동아대학교 금속공학과. \*대원환경(주)

### A Basic Study for Treating E.A.F. Dust by use of Waste Tire

Young-Gil Hwang, Sang-Hwa Lee, Sung-Riong Lee, \*Suk-Soo Jung, Jae-Sin Choi and Chung-Hyung Joh  
Dept. of Metallurgical Engin., Dong-A University \*Daewon Environmental Industry Co., Ltd

#### 요 약

분진 중에 함유된 Zn, Pb, Fe 등의 유가 금속을 회수하기 위해 페타이어를 건류하여 만든 건류탄소를 환원제로 이용하여 재활용하고자 하였으며 또한 분진을 Pelletizing 하거나 Briquetting 해서 환원 처리할 때, 공해 발생과 작업상의 단점을 보완하기 위하여 제지공장에서 발생하는 페펄프와 분진 및 건류탄소를 소정의 비율로 혼합한 후 성형한 다음 통기도 및 압축강도실험 등을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

동일한 건류탄소 첨가량에서 결합제로 사용한 페펄프의 첨가량이 증가할수록 통기도는 증가하며 이는 시편내 Porosity에 기인한 영향이라 생각되며, 동일 첨가량의 페펄프에서 건류탄소의 첨가량이 증가할수록 통기도는 증가하는 경향을 보이며 압축강도는 건류탄소의 비율과 소결온도에 따라 증가 감소의 현상이 다소 상반되는 결과가 나타났다 건류탄소 20%, 페펄프 10%를 첨가하여 만든 Briquetting 시료를 X-선 회절분석 결과 800℃에서는 ZnO와 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>가 조사되었으나 1000℃ 이상에서는 ZnO와 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>를 확인할 수 없었다. 1000℃에서 소결실험을 한 결과 아연, 철산화물이 분해 증발하여 아연풍위가 62%인 조산화아연물을 얻을 수 있었다.

#### Abstract

Distillation of the dust generated during waste tire pyrolysis was performed to recover valuable metal such as zinc, lead and iron. Permeability and compressive tests were pursued to obtain the basic data for extraction of zinc from the sintering property of steel making dusts and distilled carbon of waste tires as well as waste pulp sludge mixture briquet were investigated at various sintering temperatures.

Permeability increased with increasing amount of waste pulp in specific distilled carbon due to the formation of porosity in the sample. The compressive strength showed the various values with different amount of distilled-carbon additions and at different sintering temperatures.

X-ray diffraction analysis of a briquet mixture of steelmaking dusts(20% distilled carbon and 10% waste pulp sintered at 800℃) showed that the briquet consisted of ZnO and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, but was not found at the briquet sintered at over 1000℃. Crude zinc oxide sintered at 1000℃ contained 62% Zn.

## 1. 서론

전기로 제강에서 발생하는 분진은 0.2 $\mu$ m 정도의 미립자로서 공해성 분진이다. 화학적 조성으로는 아연(Zn) 25~30%, 철(Fe) 30~40%, 납(Pb) 5~7%등의 공해성 원소가 상당히 함유되어 있을 뿐만 아니라 아연, 납 등은 비철 금속 자원으로 활용할 수 있는 품위이므로 이들을 배립 등에 의해 처리하는 것은 2차 공해를 유발시키고 있다.<sup>4,5,6,7)</sup> 이들 분진은 고철 1톤당 약 1%가 발생하는데 국내에서는 연간 약 10만톤이 발생하는 실정이다. 이 제강 분진을 일본, 미국, 독일 등 선진국에서는 주로 코크스로 환원 해서 Zn, Pb를 휘발 제련하고 있는 실정이며 우리 나라에서는 무연탄 및 코크스에 의한 환원휘발제련 연구가 발표되고 있는 실정이다.

그런데 우리 나라에서는 유연탄을 수입해서 코크스로 건류한 것을 사용<sup>10,11,12)</sup>하기 때문에 환원제 및 연료의 경제적 부담이 많아지며 무연탄을 환원제 및 연료로 사용<sup>13,14)</sup>하였을 때는 코크스에 비하여 경제적 부담이 적으나 환원율이 감소되는 경향이 있으므로 본 실험에서는 환원제 및 연료의 대용으로 페타이어를 건류해서 사용하고자 하였다.<sup>15)</sup> 이 페타이어는 현재 우리 나라에서 연간 약 1,000만개가 발생하고 있으므로 공해에 막대한 영향을 끼치게 되므로 우선 페타이어를 처리해서 공해를 방지하여야 할 시급한 문제가 대두되고 있는 실정이다.

그러므로 본 실험은 특정 폐기물인 제강 분진과 공해 발생원인 페타이어를 동시에 처리해서 제강 분진 중에 포함되어 있는 유가 금속을 휘발 제련하고 또, 수입에만 의존하는 코크스 대용으로 페타이어를 이용해서 제련할 수 있기 때문에 이러한 폐기물을 자원화 함과 동시에 공해를 방지하는 일석이조의 효과를 위한 목적으로 본 실험을 하고자 하였다.

제강 분진 중에 Zn, Pb 등의 유가 금속을 휘발 제련하는 방법으로 Rotary Kiln Process, Elkem Process, Inmetco Process, Flame Reactor Process, 반응광로 Process, 전기로 Process, Plasma Process 등이 있다. 이 중에서 Briquet나 Pellet를 사용하는 Process로는 Rotary Kiln Process, Elkem Process, Inmetco Process, 반응광로 Process 등이다.

어느 방법이나 장입시에는 Pellet와 Briquet가 환원 반응한 후에도 원래 상태를 유지한 잔사(Residue)가 배출되는 것을 이상적 조업의 목적으로 삼고 있다.

그러므로 본 실험에서는 Pellet와 Briquet가 휘발 제련에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 사료되어 Briquet 형성의

기초적 물성을 조사하고자, 제강 분진과 페타이어 건류탄 및 제지 폐필프 등을 혼합해서 Briquet를 제조하였다.

특히 Briquet 제조시에 제강 분진이나 페타이어 건류탄 분진의 발생을 방지하고자 하였으며, 제조된 Briquet의 가열 온도에 따르는 물성을 전자현미경, X-선 회절 분석, 통기도 시험, 압축 강도 시험 등을 통해서 조사한 결과를 보고하고자 한다.

## 2. 실험 방법

제강분진과 건류탄과 그리고 폐필프를 혼합하여 제작한 Briquet가 휘발 제련시에 미치는 기초적 물성을 조사하기 위하여 Fig.1과 같은 방법으로 실험하였다.

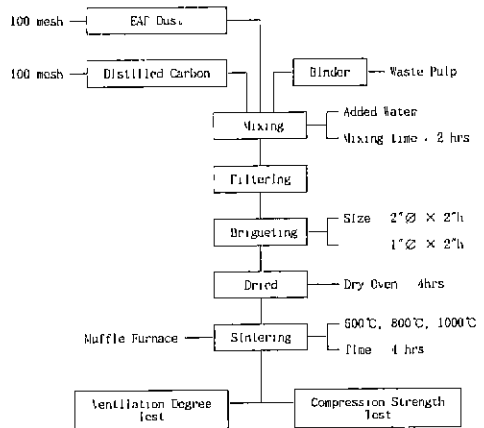


Fig. 1. Schematic diagram of experimental procedure.

### 2.1. 제강 분진과 결합제

실험에 사용한 전기로 제강시에 집진한 분진의 화학 조성은 Table 1과 같이 Fe 31.8%, Zn 28.3%, Pb 6.73%의 조성을 갖고 있으며 제강 분진을 구성하고 있는 화합물을 알기 위한 X-선 회절 분석한 결과는 Fig. 2와 같이 ZnO · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 ZnO로 구성되어 있다.

환원제로 사용한 탄소는 페타이어를 건류하여 얻은 건류탄이며 그 화학 조성은 Table 2와 같다. 그리고 결합제로는 제지 공장에서 탈수 공정을 거친 함수율 66%정도의

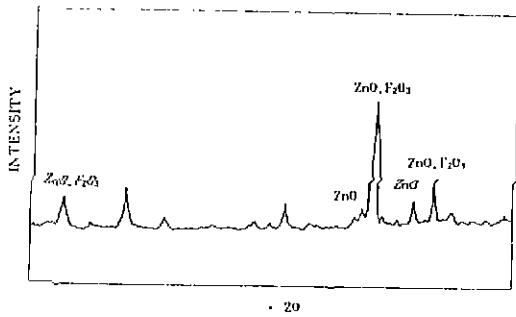


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of EAF dust sample.

Table 1. Chemical composition of EAF Dust.

Composition	Mg	Al	Zn	Cu	Fe	Cr	Cd	Pb	Ca	Cl	Others
%	0.95	0.92	28.3	0.49	31.8	0.33	0.05	6.73	2.63	5.20	22.6

Table 2. Chemical composition of distilled waste tires.

Composition	C	Zn	Sulphur	Chlorine	Others
%	91.0	2.8	2.3	0.1	3.8

Table 3. Composition of waste pulp.

Composition	Carbon	Ash	Volatile substance
%	5	64	31

페펄프를 사용하였으며, 이 펄프를 100℃에서 3시간 건조시킨 후 분석한 결과는 Table 3과 같이 탄소 함량은 다소 적으며 휘발분과 회분이 주성분을 이루고 있다.

2.2. 건류탄제조

페타이어를 이용한 건류탄을 제조하기 위하여 Fig. 3에서 보는바와 같이 밀민이 뚫어져 있고 윗면에 작은 구멍이 있는 챔버내에 페타이어를 가득 채운 후 밀면의 바깥부분을 흙으로 메우고 챔버의 바깥 부분에 폐유를 사용한 버너에 불을 가하여 챔버내부의 온도가 약 600℃정도 되도록 조절한 뒤 2시간 동안 연소하였다. 연소시 발생하는 가연성 가스는 챔버 윗면의 구멍을 통하여 다시 재연소시켜서 연료 절감의 효과를 얻을 수 있도록 고안되었다. 여기서 추출된 건류탄을 Ball Mill을 이용하여 분쇄한 뒤 100Mesh의 sieve에 걸러서 건류탄으로 사용하였다

이러한 장치를 이용하여 얻어진 건류탄소의 화학적 조성은 Table 2에 나타낸 바와 같이 C 91%, Zn 2.8%가 함유되어 있음을 알 수 있었다.

2.3. Briquetting

Briquet를 제조하기 위하여 전기로 제강시에 집진한 제강 분진과 페타이어를 건류하여 만든 건류탄과 결합제로 사용한 페펄프의 비율을 Table 4에서 보는 바와 같이 EAF Dust 100gr에 대해서 건류탄을 30%, 25%, 20% 및 15%로 첨가하였고 점결제로 사용한 페펄프를 EAF Dust 100gr에 대하여 5%, 7%, 10% 및 12% 조성이 되도록 첨가하여 혼합한 것을 분진 발생을 방지하기 위하여 물을 첨가해 Stirrer를 이용하여 1시간 동안 혼합하였고 감압여

Table 4. Chemical composition of briquet

Sample no	Dust	Distilled carbon	Waste pulp
1-1	100	30	5
1-2			7
1-3			10
1-4			12
2-1	100	25	5
2-2			7
2-3			10
2-4			12
3-1	100	20	5
3-2			7
3-3			10
3-4			12
4-1	100	15	5
4-2			7
4-3			10
4-4			12

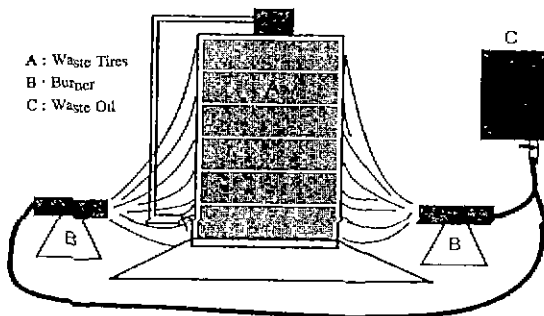


Fig. 3. Schematic equipment producing distilled carbon with waste tires

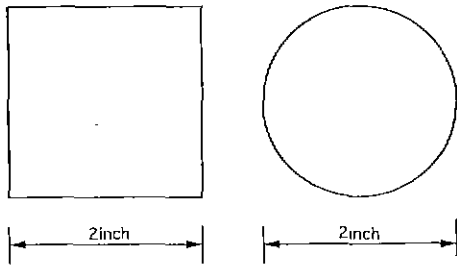


Fig. 4. Specimen for ventilation degree test.

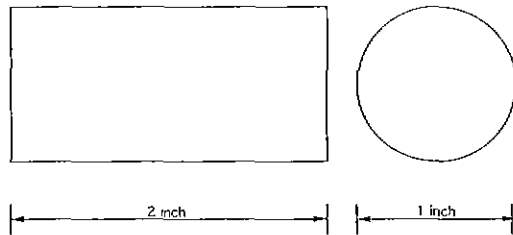


Fig. 5. Specimen for compressive strength test.

과 Flask를 사용하여 Filtering한 것을 Dry Oven에서 24시간 건조한 후 Fig.4와 Fig.5에서 보는 바와 같이 통기도 시험과 압축 강도 시험을 하기 위한 표준시편의 크기로 제작하였다.

2.4. 소결

소정의 조성으로 Briquetting한 시편을 Dry Oven에서 4시간 건조한 후 Muffle Furnace를 사용하여 소결시켰다. 소결온도는 500℃, 800℃ 그리고 1000℃에서 행하였으며 충분한 반응시간을 고려하여 4시간씩 소결하였다.

2.5. 조직 검사 및 기초적물성시험

가. TG-DTA 분석 시험

온도에 따른 시료의 무게 변화와 열적 변화를 확인하기 위하여 TG-DTA(model : Rigaku CN8078B2)에 의한 열분석 실험을 하였다

나. 통기도 시험

시료의 반응에 미치는 통기성의 정도를 알기 위하여 통기도 시험을 실시하였다. 사용된 시험기는 주물사용 통기도 측정기로 미국 HARRY W.DIERTER Co.사의 시험기

를 사용하여 측정하였으며, 통기도 측정의 시편은 주물사 표준시험편의 크기로 제작(2" φ × 2" h)하여 실온에서 일정 압력하에 있는 2000cc의 공기가 시험편을 통과 배출하는 시간과 압력에 의하여 통기도는 다음식과 같이 표현된다.

$$\text{통기도(permeability P)} = V \times h / (P \times A \times t)$$

여기서 V : 시험편을 통과하는 공기량 (일반적으로 실온 대기압에서는 2000cc)

h : 시험편의 높이

p : 시험편의 상면과 하면의 압력차

A : 시험편의 단면적

t : 2000cc의 공기량을 배출하는데 걸리는 시간 (min)

American Foundry Standard (A.F.S.)의 식에 의하면 다음과 같다.

$$\text{A.F.S. Perm.} = 3007.2 / \text{second}$$

그리고, 통기도 시험에 사용한 시편의 크기는 Fig.4 에 나타내었다.

다. 압축 강도 시험

일반적으로 Briquetting된 시편은 외부의 충격과 또한 장입시 붕괴되지 않을 정도의 일정한 크기의 강도를 가져야 함으로 시료의 구성 성분비 즉 제강 분진에 혼합한 건류탄과 페펄프의 영향과 온도별 영향을 알아보기 위하여 압축 강도를 측정하였다. 사용한 압축 강도 측정기는 미국 HARRY W.DIERTER Co. 사의 Universal sand strength machine에 의해 측정했다

사용한 압축강도시험편의 크기는 Fig.5에 표시했다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. X-선 회절 분석 시험 결과

온도에 따른 시료의 화합물의 구성 상태를 확인하기 위하여 각 온도에서 X-회절 분석 시험을 한 결과를 Fig.6 및 Fig.7에 나타내었다. Fig.6은 건류탄 30%와 페펄프 10%를 혼합하여 Briquetting한 시편을 800℃에서 4시간 소결한 후 X-선 회절 분석한 결과로 제강분진내에 존재하였던 ZnO Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 C와 CO에 의해 분해되어 ZnO와 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>로 분해되었지만 Fig.8에 나타난 아자가미 타게시(阿上竹四)의 상태도를 참고하게 되면 ZnO는 800℃에서 C와 CO에 의해 P<sub>CO2</sub> / P<sub>CO</sub>가 큰 범위에서는 Zn으로 환원되지 못함을

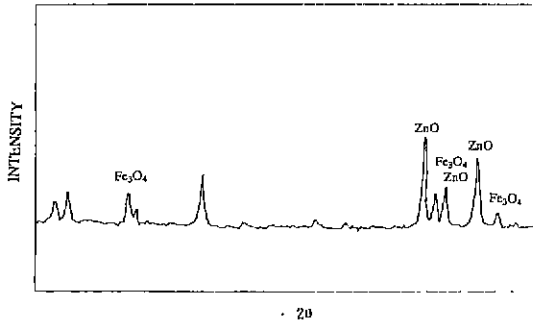


Fig. 6. X-ray diffraction patterns of 30% distilled carbon and 10% waste pulp content specimen sintered at 800°C for 4hrs.

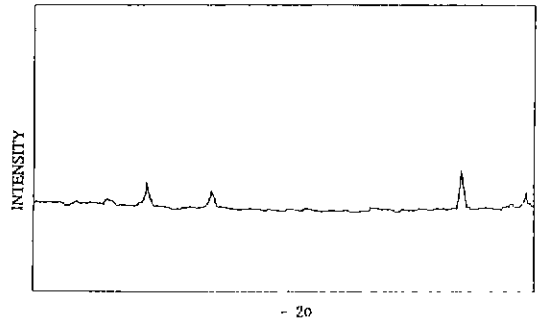


Fig. 7. X-ray diffraction patterns of 30% distilled carbon and 10% waste pulp content specimen sintered at 1000°C for 4hrs.

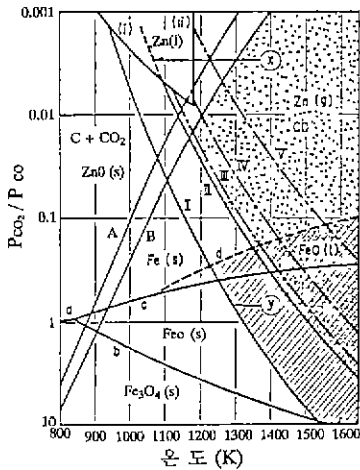


Fig. 8. Equilibrium phase diagram of ZnO reduced by carbon.

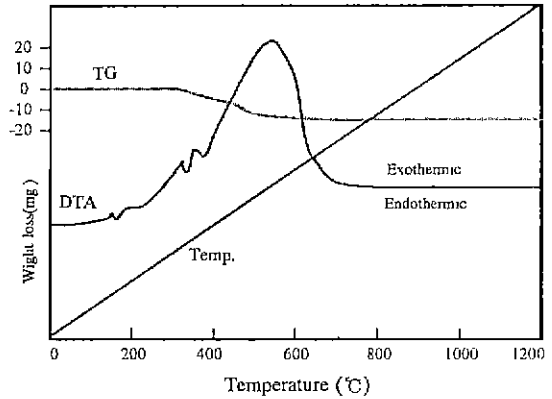


Fig. 9. TG-DTA curves of 30% distilled carbon and 10% waste pulp content EAF dust dried at 100°C for 4hrs

알 수 있었으나 X-선 회절 분석에 나타난 주Peak의 물질은 확인하지 못했다.

Fig.7은 1000°C에서 4시간 소결한 후 X-선 회절 분석한 결과로서 대부분의 물질이 비정질형태이기 때문에 X-선 회절 Peak의 조성은 확인할 수 없었으나 강자성을 띠고 있는 철계산화물임을 알 수 있었다.

### 3.2. TG-DTA분석 시험결과

전기로 제강 분진과 페타이어 건류탄 및 폐펄프를 혼합한 시료의 온도에 따른 무게변화와 열적변화를 확인하기 위하여 TG-DTA(Model : Rigaku CN8078B2)에 의해 열분석 시험을 하였다. Fig.9는 제강 분진 100gr에 대하여 건

류탄 30%와 폐펄프 10%의 조성을 갖는 시료를 1200°C까지 열분석한 결과를 나타낸 그림이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 150°C의 흡열반응은 시료내에 존재하는 수분의 증발로 인한 반응이며, 350°C에서 흡열반응을 일으키는 것은 폐펄프내에 함유되어 있던 유기물질과 결정수의 증발로 인하여 일어나는 반응이며 이때부터 급격한 무게감량이 일어나기 시작한다. 그리고 550°C에서 급격한 발열반응이 일어나는 것은 시료내에 함유되어 있던 가연제인 Carbon과 펄프의 연소 반응에 의하여 일어나는 발열반응 곡선이라 생각되며 600°C에서 1100°C까지 소량의 무게감량을 보이고 있었는데 이것은 아연이 휘발 감소되는 곡선이라 생각된다.

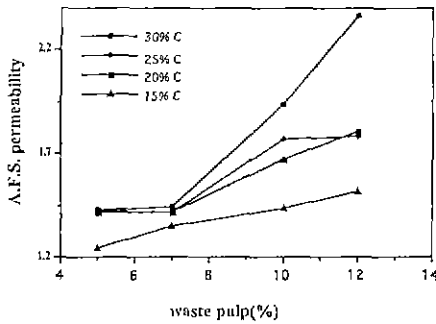


Fig. 10. Effect of various distilled pulp content on A.F.S permeability of specimen dried at 100°C for 4hrs.

### 3.3. 통기도 시험

제강 분진과 건류탄 그리고 페펄프를 Table 3에 나타낸 바와 같이 소정의 비로 혼합하여 시료를 제작한 후 100°C에서 4시간 건조시킨 각각의 시료의 통기도 시험을 한 결과 Fig.10과 같은 결과를 얻었다. 그림에서 알 수 있듯이 시편내에 페펄프의 양이 많을수록 통기성이 증가하게 되는데 이는 점결제로 사용한 페펄프가 온도 가열시 환원반응 중 시편내에 기공을 형성하여 재료내의 반응을 활발히 일으키는 역할을 하므로 페펄프의 첨가량에 따라 통기성이 변화함을 알 수 있으며, 페펄프의 첨가량이 7% 미만에서는 통기성에 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 그리고 동일한 페펄프가 함유되었을 때에는 건류탄의 첨가량이 증가할수록 통기성이 향상됨을 알 수 있다.

Fig. 11은 제강 분진 100gr에 대하여 건류탄 25%, 30% 및 페펄프 7%, 10%의 비로 혼합해서 제작한 시료의 온도 변화에 따른 통기성을 알고자 100°C, 500°C 그리고 800°C에서 4시간씩 소결한 후 통기도의 변화를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 가열 온도가 증가함에 따라 건류탄과 페펄프의 함유량에 관계없이 통기도가 증가함을 알 수 있으며, 동일한 건류탄의 조성에서는 페펄프의 첨가량이 많을수록 통기도가 증가함을 알 수 있고, 동일한 페펄프의 첨가량에서는 건류탄의 첨가량이 많을수록 통기도가 증가함을 알 수 있지만 건류탄의 첨가량이 통기도에 미치는 영향보다는 점결제인 페펄프가 통기도에 미치는 영향이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

그리고 1000°C에서 소결한 시편을 통기도 시험을 하려고 하였으나 소결 후 시편의 변형이 심하게 일어나기 때문에 통기도의 측정이 불가능하였다.

Photo 1은 20%의 건류탄과 10%의 페펄프를 첨가하여

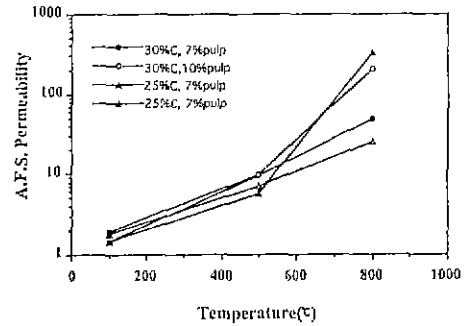


Fig. 11. Variation of A.F.S permeability of briquetting specimen fabricated with various contents of distilled carbon and waste pulp with sintering temperature for 4hrs.

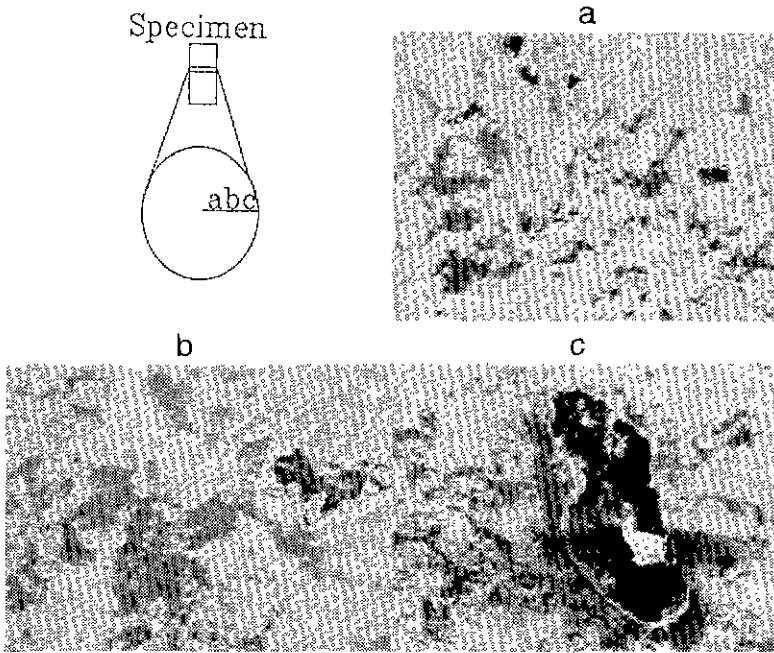
제작한 시편을 800°C에서 4시간 소결한 후 시편의 단면을 절단하여 시편의 중심부와 가장자리를 전자현미경으로 관찰한 사진으로서 (a)는 중심부이며 (c)는 가장자리의 사진이다. Photo.1에서 보여주듯이 시편의 중심부 보다 외부가 기공이 크게 형성되어 있음을 알 수 있고 높은 온도에서 소결하게 되면 시편내에 있던 자연수와 유기물질이 증발하기 위하여 시편의 표면으로 빠져나간 경로와 가연제인 Carbon과 페펄프가 인소되면서 외부로 빠져나간 경로를 보여주고 있다.

Photo.2는 건류탄 20%, 페펄프 10%를 첨가하여 제작한 시료를 100°C에서 4시간 건조시킨 것과 500°C, 800°C 그리고 1000°C에서 4시간씩 소결한 후 시편의 단면을 전자현미경으로 촬영한 것으로 100°C에서 건조시킨 것은 진흙 형태로서 기공이 거의 없으나 온도가 상승함에 따라 기공이 조대해 짐을 알 수 있으며, 이는 재료내의 porosity 증가에 따라 Fig.10과 Fig.11에서 보여준 바와 같이 통기도의 변화에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

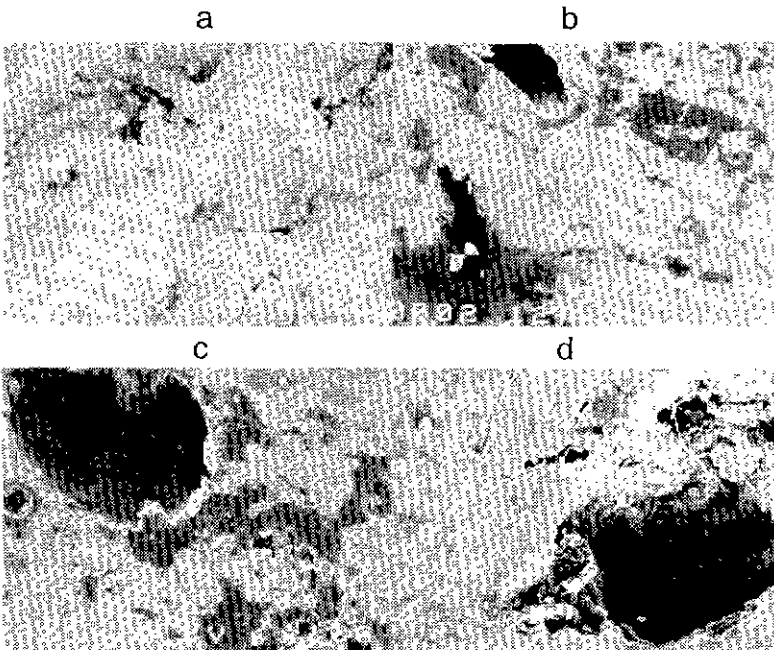
### 3.4. 압축강도시험

제강 분진과 각각의 조성의 건류탄, 페펄프의 양에 따라 압축강도를 측정된 결과를 Fig.12, Fig.13, 및 Fig.14에 나타내었으며, 가열 온도에 따른 압축강도의 변화를 Fig. 15에 나타내었다.

Fig.12는 Briquetting한 시편을 100°C에서 4시간 건조시킨 후 압축강도를 측정된 것으로 그림에서 알 수 있듯이 건류탄의 첨가량이 15%, 25%일때 압축강도가 다소 높음을 나타내고 있으며, 동일한 건류탄의 조성에서는 점결제인 페펄프의 첨가량이 많을수록 압축강도가 감소하고 있음을 나타내고 있다.



**Photo. 1.** Scanning electron microphotographs of 20% distilled carbon and 10% waste pulp contented specimen sintered at 800°C for 4hrs.



**Photo. 2.** Scanning electron microphotographs of 20% distilled carbon and 10% waste pulp contented specimen sintered at 100°C, 500°C, 800°C and 1000°C for 4hrs.

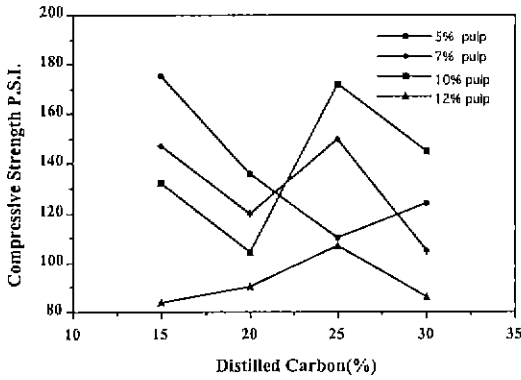


Fig. 12. Effect of distilled carbon content on compressive strength of various pulp content specimen dried at 100°C for 4hrs.

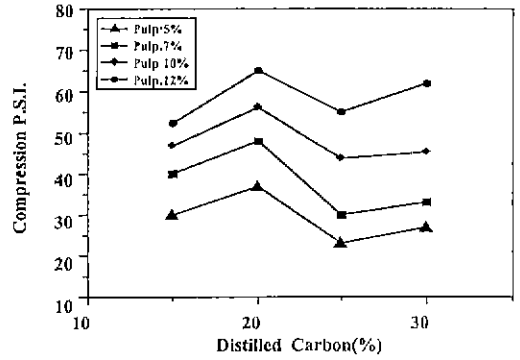


Fig. 13. Effect of distilled carbon content on compressive strength of various pulp content specimen sintered at 500°C for 4hrs.

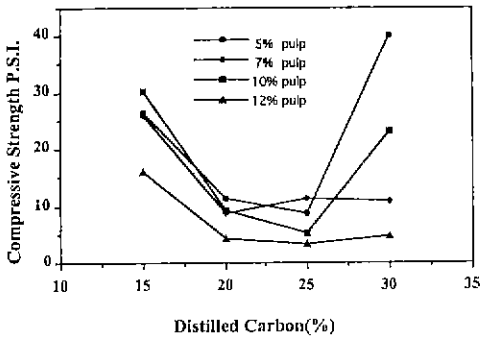


Fig. 14. Effect of adding distilled carbon content on compressive strength of various pulp content specimen sintered at 800°C for 4hrs.

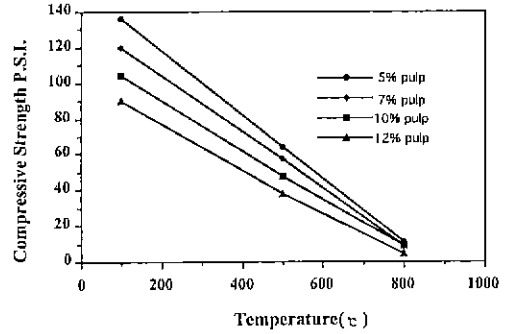


Fig. 15. Effect of 20% distilled carbon content on compressive strength of various waste pulp content specimen at 100°C, 500°C and 800°C for 4hrs.

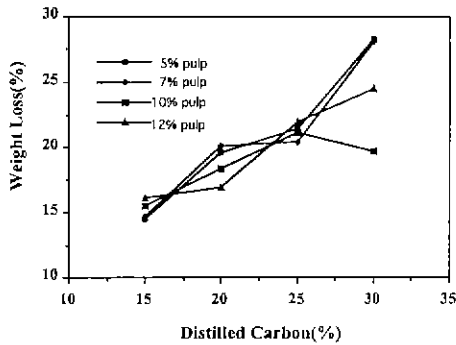


Fig. 16. Effect of distilled carbon content on weight loss of various waste pulp content specimen sintered at 800°C for 4hrs.

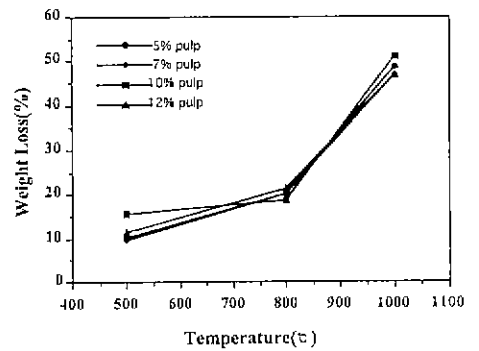


Fig. 17. Effect of 20% distilled carbon content on weight loss of various pulp content specimen at 500°C, 800°C and 1000°C for 4hrs.



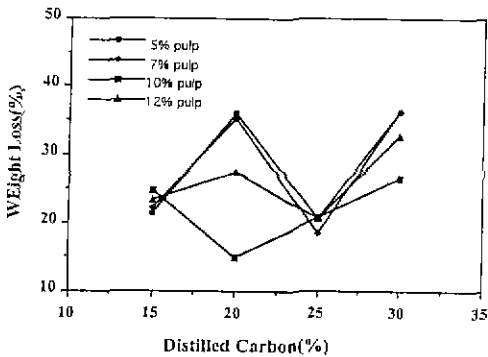


Fig. 18. Effect of distilled carbon content on weight loss of various waste pulp content specimen sintered at 1000°C for 4hrs.

Fig.13은 500°C에서 4시간 소결한 후 압축강도를 측정 한 것으로 Carbon의 첨가량에 따른 압축강도와와의 관계는 Fig.12에서 보여준 것과는 반비례적인 관계를 보여주고 있으며, 페펄프의 첨가량에 따른 압축강도의 변화는 Fig. 12에서와 동일하게 페펄프의 첨가량이 많을수록 압축강도가 감소함을 보여주고 있다.

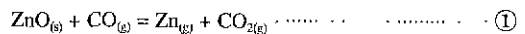
Fig.14는 800°C에서 4시간 소결한 후 압축강도를 측정 한 것으로 건류탄의 첨가량이 15%에서 25%까지에서는 압축강도가 전체적으로 감소하고 있으나 건류탄의 첨가량이 30%이상에서는 압축강도가 다소 증가함을 나타내고 있는데 이는 건류탄의 첨가량이 많아짐에 따라 환원제인 Carbon이 극부적으로 반응이 일어나게 되고 이 때문에 압축강도가 다소 높게 나타남을 보여 주고 있으며, 각 시료가 휘발되어 나감에 따른 중량 감소를 측정한 결과 Fig. 16과 같이 나타났으며 건류탄 30%의 조성에서 중량 감소가 다소 낮게 나타난 것은 극부적 반응에 의해서 기공의 함몰이 일어나므로 미처 휘발하지 못한 입자들 때문인 것으로 사료된다.

Fig.15는 가열 온도에 따르는 압축강도의 변화를 나타 낸 것으로 가열 온도가 증가할 수록 압축강도가 거의 일 직선으로 감소하고 있음을 나타내고 있음을 알 수 있고, Fig.17은 가열 온도에 따르는 중량의 감소를 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 가열 온도의 증가에 따라 중량의 감소가 많이 일어남을 알 수 있으며, Fig.15와 Fig. 17을 비교해 볼 때 가열 온도의 증가에 따라 중량의 감소와 압축강도가 서로 반비례적인 관계임을 알 수 있었다.

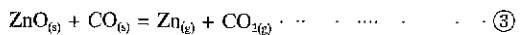
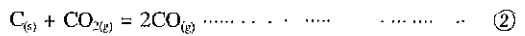
Fig.18은 1000°C에서 4시간 소결한 후 무게의 감량을 알 기 위한 것으로 그림에서 보는 바와 같이 건류탄의 첨가 량이 20%미만일 때가 25%이상일 때보다 무게의 감량이 많은 것으로 볼 때, 1000°C에서는 건류탄이 20%미만일시 시료의 휘발이 훨씬 잘된다는 것을 알 수 있다.

### 3.5. Zn 환원반응의 열역학적 이론

증기압이 큰 금속의 휘발 제련으로서 산화물을 탄소 질의 환원제로 환원시킴으로써 생성되는 금속증기를 포 집하는 것이 일반적인 방법이다. 금속 또는 그 화합물을 고체에서나 액체에서도 일정한 온도 하에서는 일정한 증 기압을 나타낸다. 증기압은 온도의 상승과 함께 증가하는 데, 일반적으로 Log P와 1/T사이에는 거의 직선 관계 를 나타내게 된다. 이와 같이 금속 또는 그 화합물의 증기압 이 비교적 큰 것을 이용하여 정제를 실시하는 것을 휘발 제련(vaporization metallurgy)이라고 한다. Zn등은 증기압 이 크므로 고온에서 환원 또는 분해하여 금속 상태로 되 며, 금속 증기로서 얻어지게 되는데 이것을 응축 포집하 여 목적 금속을 얻게 된다. 이때, 불순물로서 존재하는 금 속의 증기압이 서로 큰 차이를 나타낼수록 목적 금속은 고순도의 것이 얻어지게 된다. Zn과 같이 증기압이 큰 금 속의 휘발 제련으로서 산화물을 탄소질의 환원제로 환 원시킴으로써 생성되는 금속 증기를 포집하는 방법이 가 장 일반적이며 이때, ZnO는 C에 의해 환원되지만, 실제 의 반응에서는 C와 CO가스 혼합 상태에서 환원이 잘 진 행된다.



이때 평형상수  $K = P_{Zn} \cdot P_{CO_2} / a_{ZnO} \cdot P_{CO}$ 로 나타나고 온도 상승에 따라 평형상수 K가 증가한다는 뜻은  $P_{CO_2} / P_{CO}$  값이 일정하면 Zn의 발생량이 증기함을 보여주고 있 다. 이 반응의 평형 gas 조성은 직접 구할 수 없기 때문에 게스 중의 CO와 CO<sub>2</sub>의 분압비  $P_{CO_2} / P_{CO}$ 와 온도 T사 이의 관계를 아래에 표시했다.



위①식과 ③식을 결합하면 C에 의한 환원을 나타내는 식이 얻어진다.