

## 有價金屬 回收를 위한 重油灰의 燃燒舉動에 관한 研究<sup>†</sup>

崔榮允 · 南哲祐 · <sup>‡</sup>金炳圭

韓國地質資源研究院

## Study on Incineration Behavior of Heavy Oil Fly Ash for Valuable Metal Recovery<sup>†</sup>

Young-Yoon Choi, Chul-Woo Nam and <sup>‡</sup>Byoung-Gyu Kim

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Gajeong-dong 30, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350 Korea

### 要　　約

중유회를 효율적으로 소각 처리할 수 있는 이동상식 스토파로를 설계, 제작하기 위해 중유회가 노상을 이동하면서 겪는 조건들을 회분식 노에서 모사(模寫)하여 열중량분석법으로 중유회의 소각실험을 수행하였다. 이 결과로부터 이동상식 스토파로의 운전조건 및 노상면적 등을 구하였다. 중유회의 연소과정은 연소속도 차이에 의해 3단계로 구별되며, 각 단계별로 효과적인 연소가 이루어질 수 있도록 해야 한다. 비산방지 및 체적감소를 위하여 소각 전 첨가되는 수분 함량은 20 wt.%가 적절하였다. 중유회의 연소속도는 산소농도에 크게 의존하므로, 소각로는 연소공기의 조절 기능이 필요하다. 저용접 금속화합물의 용착 및 증발을 방지하고, 소각잔사의 불용화 및 유가금속 회수를 위해 소각온도는 750°C~800°C가 적절하고, 중유회의 균일한 연소반응과 연소속도의 향상을 위해 소각 중 중유회의 교반이 요구된다. 최적 조건에서 단위면적당 소각속도는 12.53 kg/m<sup>2</sup>hr이며 1일 18 ton의 중유회를 소각처리하기 위해서는 60 m<sup>2</sup>의 노상면적이 필요하다.

주제어 : 중유회, 소각처리, 이동상 스토파로, 유가금속회수

### Abstract

To design and construct a moving bed stoker incinerator for incineration treatment of the domestic oil fly ash, operating condition and moving bed area of incinerator were determined by performing incineration experiment of the oil fly ash in the muffle furnace which simulates moving bed stoker incinerator in all conditions. Incineration process of the oil fly ash could be divided into 3 stages, every stage needs the appropriate operating condition for effective incineration. The optimum content of water in the heavy oil fly ash was found to be 20 wt% to prevent the ash from flying and reduce the volume. Since combustion rate of oil fly ash depends on the oxygen content, the incinerator must have a equipment to control the oxygen content in the combustion air. The optimum temperature was 750~800°C in order to prevent adhesion to the stoker and evaporation of metal compounds of low melting point. Uniform combustion reaction and acceleration of combustion rate required agitation during the combustion of oil fly ash. The incineration rate was 12.53 kg/m<sup>2</sup>hr and the working area of moving bed incinerator was found to be 60 m<sup>2</sup> to incinerate 18 tons of oil fly ash per day.

Key word : heavy oil fly ash, incineration treatment, moving bed stoker incinerator, valuable metal recovery

### 1. 서　　론

중유(Bunker-C Oil)를 연료로 하는 화력발전소의 집

<sup>†</sup> 2008년 10월 9일 접수, 2008년 11월 10일 수리

<sup>‡</sup>E-mail: kgbkim@kigam.re.kr

진기에서 포집되는 중유회는 바나듐, 니켈 등 유가 금속을 함유하고 있다. 중유회의 처리방법으로는 단순매립, 고형화후 매립, 습식처리, 건식처리 등이 고려되지만, 단순매립은 불가능하고, 고형화 매립은 중유회에 함유된 바나듐과 니켈 등의 유가금속을 자원으로서 재활

용할 수 없다는 문제점이 있다.<sup>1-5)</sup> 이를 해결하기 위한 방법으로 중유회의 습식처리법 및 건식처리법 등을 고려할 수 있다. 이중 습식처리법은 습식처리 후에 발생되는 미연탄소 등을 재처리하여야 한다. 그러나 건식처리법은 중유회중의 미연탄소를 전문 소각로에서 소각시키는 방법으로 소각로 설치에 따른 초기 투자비용이 필요하지만, 최종 소각잔사의 양을 1/10~1/20으로 줄일 수 있어 매립지 확보의 어려움을 극복할 수 있고, 소각한 잔사는 미연탄소가 거의 없고 바나듐(V)과 니켈(Ni) 등의 금속성분이 농축되어 있으므로 폐자원으로부터의 유기금속을 전량 회수, 재활용이 가능하다는 이점도 있다.<sup>6-10)</sup> 또한, 소각조건에 따라 소각잔사가 유리질화되어 중금속을 불용화 시킬 수 있어, 매립처리 시에 발생하는 2차적인 환경오염을 방지할 수도 있다. 이러한 소각에 의한 처리방법은 국토가 작고 자원이 빈곤한 국가에서 많이 쓰고 있는데, 국토면적이 작고 V, Ni 등 금속을 전량 수입에 의존하고 있는 우리나라의 실정에도 가장 적합한 방법으로 판단된다.

국내 중유회의 특성 및 소각 기초실험 결과,<sup>11)</sup> 국내 중유회의 성상은 발전소별로 크게 다르며, 주요 구성성분은 미연탄소와 금속 황산염들이고  $V_2O_5$ 와 같은 저융점 금속화합물이 다량 함유되어 있다. 걸보기 비중은 0.24~0.69로 매우 작고 입도분포가 넓으며, 발열량은 70 kcal/kg에서부터 6,510 kcal/kg 까지 큰 차이를 보인다. 중유회의 소각 후 최대 감량율은 93.9%, 최대 감용율은 96.2%이다. 소각잔사 중의 V는 12~16%, Ni는 10~15% 정도로 소각전 중유회 조성에 비하여 약 3~8 배 농축되었고 소각잔사의 연화점은 750°C였다. 중유

회의 연소과정은 수분과 유리 황산의 분해단계, 미연탄소의 연소단계, 잔여미연탄소의 연소와 금속황산염 분해단계의 3단계로 나눌 수 있으며, 중유회의 연소속도는 산소의 농도에 크게 의존하였다. 이러한 국내 중유회를 처리하기 위한 소각로는 연소 능력 면에서는 발열량이 현격히 다른 중유회를 균질화시켜서 완전 소각할 수 있어야 하고, 시설 면에서 환경보호를 위해 환경보전법에 적합한 공해방지 설비를 장치한 시설로 향후 공해방지에 대처할 수 있어야 한다. 그리고 건설공사비와 유지관리비가 저렴하고, 운전관리가 용이하며 중유회의 반입, 처리관리 등을 원활히 수행할 수 있는 방식으로 소각로의 내구성이 양호하며 장기적으로 성능을 유지할 수 있는 형식을 선정하여야 한다.

이와 같은 국내 중유회의 물리적·화학적 특성, 소각기초실험 결과 및 국외의 중유회 소각로에 대한 문헌자료 및 현지 방문조사를 수행하여 얻어진 결과, 국내에서 발생하는 중유회의 소각로 형식은 이동로상식 스토카로가 적합하다는 결론을 얻었다. 본 연구에서는 국내 중유회를 효율적으로 소각처리할 수 있는 이동상 소각로의 설계조건을 확립하기 위하여 중유회의 소각온도, 연소속도 및 중유회 소각잔사의 성상을 검토하여 소각로의 운전조건 및 노상면적을 결정하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

Fig. 1은 연소시험장치의 개략도를 나타낸 것이며, Table 1에는 노에 대한 사양을 나타내었다. 중유회 연

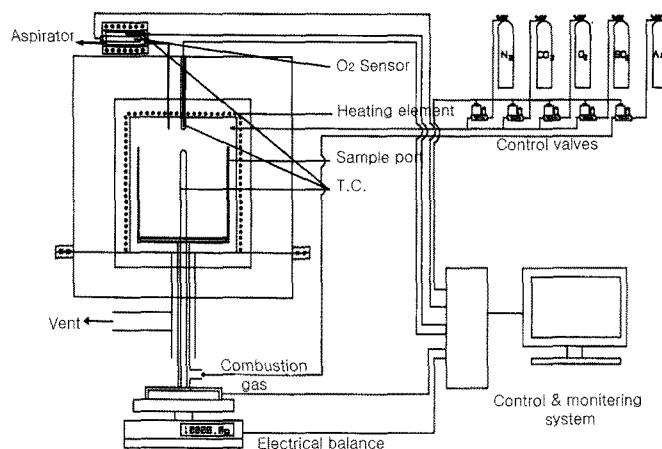


Fig. 1. Schematic diagram of the incineration experiment apparatus.

**Table 1.** Characteristics of the incineration experimental apparatus

Size	internal	21 × 21 × 28 (cm)
	external	50 × 50 × 60 (cm)
Power		220 V, 12 kw
Thermocouple		Kantal, K-Type
Heat Insulator		Ceramic Wool
Max. Temp.		1100°C

소실험 시 노내의 연소분위기를 일정하게 유지하기 위한 공기, 질소( $N_2$ ), 산소( $O_2$ ), 이산화탄소( $CO_2$ ) 등 가스의 유량은 Teledyne 사의 Mass control valve를 사용하여 자동 조절하였으며, 노내의  $O_2$  분압 측정을 위하여 지르코니아  $O_2$  센서를 사용하였다. Sample port는 교반형( $\phi 13$  cm, 높이 15 cm, 원통형)과 비교반형(15 cm × 15 cm × 15 cm, 정육방체) 2가지로 재질은 모두 내열강(STS 310)으로 되어 있다. 중유회가 연소할 때 온도를 측정하기 위하여 열전대를 시료 위치별로 설치하였고, port 밑바닥에 분산판을 설치하여 표면확산 연소실험은 물론 연소용 가스가 시료를 통과할 수도 있도록 하였다. 연소속도의 측정은 전자식 저울을 사용하여 실시간으로 무게를 측정하고 무게변화로부터 구하였다. Control software는 미국 Intellution사의 FS MMI를 사용하였고 데이터 처리 및 조절 장치로는 Texas Instrument사의 TI 525 PLC(programmable logic controller)를 사용하였다.

## 2.2. 시료 전처리

중유회는 1  $\mu m$ 에서 100  $\mu m$ 정도의 폭넓은 입도분포를 가지고 있으며, 평균입경은 10~30  $\mu m$ 이다. 포집과정에서 분진의 비산을 방지하고 부피를 줄이기 위하여 전기집진기 하부에서 첨가하는 물의 양은 발전소별로 다르므로, 채집된 시료는 비닐봉지에 보관하였다가 사용전에 105°C에서 중량변화가 없을 때까지 완전 건조한 다음 실험조건에 따라 적당한 전처리를 거친 후 소각시료로 사용하였다.

Table 2는 표준혼합시료의 발전소별 혼합비를 표시한 것이며, 발전소별로 중유회 발생 비율에 따른 무게비로

균일하게 섞은 다음 적당량의 물을 첨가하여 표준혼합시료로 사용하였다.

## 2.3. 실험방법

소각실험은 Fig. 1과 같은 소각장치를 사용하였으며, 연소용 공기 공급은 시료의 상부에서 공급하는 표면확산과, 시료의 하부에서 공급하는 분배판을 통한 강제통풍의 2가지 방식으로 하였다. 일반적으로 소각로에서의  $O_2$ 농도는 12-15 vol%정도로 알려져 있으며, 본 실험에서는 소각로의  $O_2$ 농도는 15 vol%하였다. 소각실험은 중유회의 수분함량(0~40 wt%), 성상(조성 및 성분), 시료량(두께)과 소각온도(500~800°C), 산소농도(0~21 Vol%) 등을 변화시키고, 각 조건에서의 시간당의 중량변화로부터 연소속도를 산출하였다.<sup>2,12)</sup>

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 비교반형 port에서 표면확산에 의한 연소

#### 3.1.1. 수분함량에 의한 영향

연소온도 700°C,  $O_2$ 농도 15 vol%로 일정하게 유지하고, 수분함량을 0 wt%에서 40 wt%까지 변화시킨 혼합표준시료 20 g에 대한 연소시간과 무게변화와의 관계를 Fig. 2에 나타내었고, 이 때의 중유회 내부온도 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 일반 Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 수분함량이 변하여도 중유회의 연소속도는 거의 일정하였다. 그러나 Fig. 3의 소각 중 중유회의 내부온도는 수분함량에 따라서 차이를 나타내었는데, 수분을 첨가하지 않은 경우 중유회 내부온도의 상승속도가 빠르고 최고도달온도도 높았다. 한편, 수분함량이 증가할수록 수분의 증발에 의한 열손실로 인하여 중유회 내부온도의 상승속도는 늦어지고 최고도달온도도 낮아지는 경향을 보였으나, 수분함량이 20 wt%이상이 되면 내부온도의 상승속도 및 최고도달온도는 거의 같은 값을 보였다. 따라서 중유회 소각 시 중유회의 비산방지와 체적감소, 내부온도의 조절(급격한 상승 방지) 및 수분의 증발에 의한 열손실의 최소화를 위해서는 소각 전 중유회중 수분함량은 20 wt% 정도가 적절하다고 생각된다.

**Table 2.** Mixing ratio of standard blending specimen

	U123	U4	U5	U6	Y1	Y2	P12	P34
Generation (ton/year)	967	1392			814		1850	
		31%	32%	37%	50%	50%	50%	50%
Mixing ratio (%)	19.3	8.6	8.9	10.3	8.1	8.1	18.4	18.4

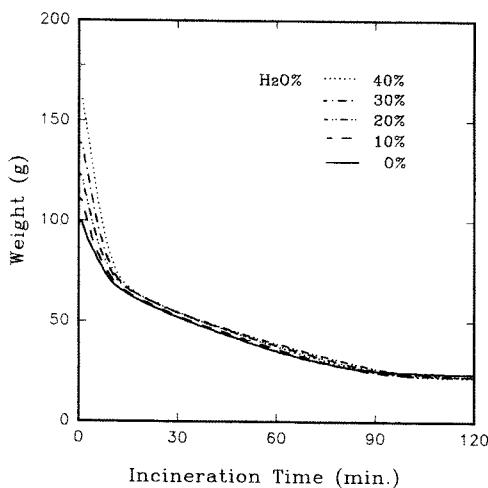


Fig. 2. Effect of moisture content in oil fly ash on the incineration rate. ( $O_2$ : 15 vol%, 700°C)

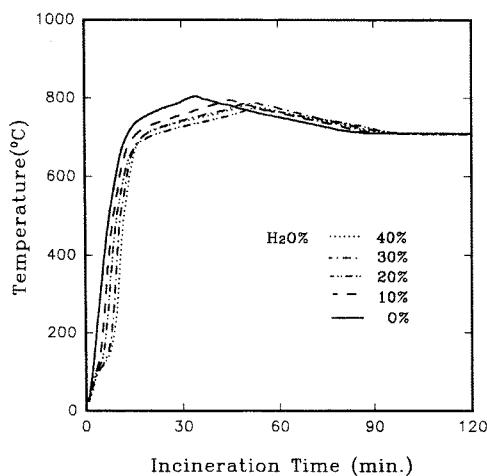


Fig. 3. Effect of moisture content of oil fly ash on the incineration temperature in ash layer. ( $O_2$ : 15 vol%, 700°C)

### 3.1.2. 시료 두께에 의한 영향

혼합표준시료 20 g(수분함량 20 wt%), 산소농도 15 vol%, 소각온도 700°C에서 중유회 층의 두께를 2.6~13.4 mm로 변화시켜 소각하였을 때의 소각시간에 따른 무게변화를 Fig. 4에 표시하였고, Table 3은 Fig. 4의 결과로부터 수분증발속도와 연소속도를 계산한 값이다. 여기서 수분증발속도와 연소속도는 단위면적당 1시간동안 증발되는 수분의 양 및 연소되는 중량이다. Fig. 4와 Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 시료 층이 얇은 10 mm 이하에서는 단위면적당의 수분증발속도와 연소속도가 시

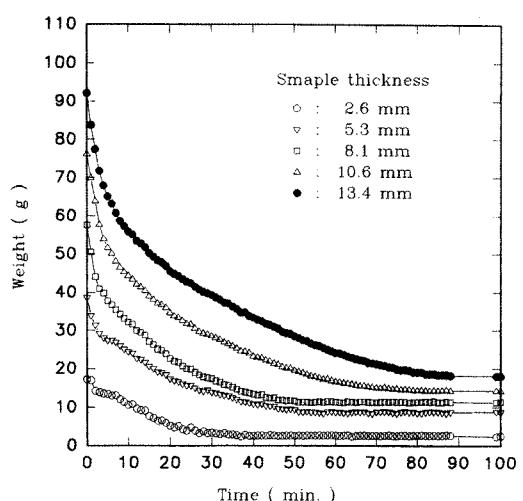


Fig. 4. Effect of thickness of oil fly ash layer on the incineration rate. ( $O_2$ : 15 vol%, 700°C)

Table 3. Variation of moisture evaporation rate and incineration rate on with thickness of oil fly ash layer in the incinerator. ( $\text{g}/\text{cm}^2\text{hr}$ )

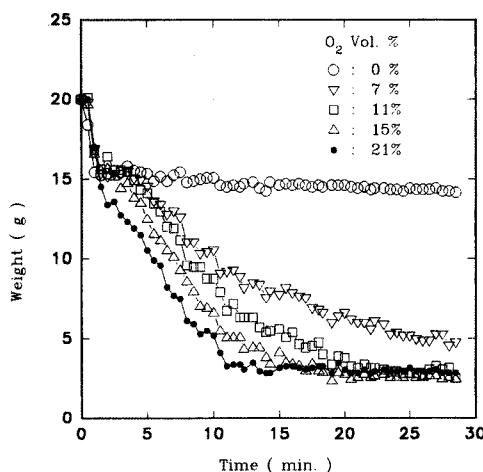
Ash layer thickness (mm)	Evaporation rate	Incineration rate
2.6	1.05	0.213
5.3	1.99	0.267
8.1	2.20	0.304
10.6	1.80	0.280
13.4	2.00	0.285

료 층의 두께가 두꺼워 질수록 증가하지만, 시료 층의 두께가 10 mm 이상으로 두꺼워질 경우에는 시료의 두께에 관계없이 거의 일정한 값을 갖는다는 것을 알 수가 있다. 이와 같은 결과는 시료 층이 충분히 얇을 때에는 연소용 가스 중 산소가 시료 층의 최하단부까지 확산 가능하기 때문에 탄소와 산소의 반응에 의한 연소반응 속도가 전체 연소속도를 지배하지만, 시료 층이 10 mm 이상으로 되어 산소가 확산이 불가능한 두께에서는 내부 탄소와 산소의 반응에 의한 연소반응이 일어날 수 없다. 결과적으로 연소속도는 공간에서의 산소의 확산에 의한 전달속도에 의해서 지배를 받는다고 말할 수 있다.

산소농도 15 vol%에서 표면 확산에 의한 단위면적당 연소속도는  $2.8 \text{ kg}/\text{m}^2\text{hr}$ 정도이며, 이 값이 표면연소에서의 최대 연소속도이므로 연소속도를 보다 크게 하기 위해서는 연소용 가스의 공급방법을 바꾸지 않으면 안 된다.

**Table 4.** Rate of moisture evaporation and incineration for oxygen content and incineration temperature (g/cm<sup>2</sup>hr)

Rate Oxygen content (%) Temp.	Moisture evaporation				Incineration			
	7	11	15	21	7	11	15	21
500°C	0.65	0.68	0.70	0.67	0.15	0.18	0.23	0.29
600°C	0.83	0.84	0.85	0.86	0.16	0.22	0.28	0.35
700°C	1.09	0.96	1.05	1.04	0.19	0.22	0.28	0.39
800°C	1.52	1.35	1.53	1.50	0.19	0.24	0.27	0.37

**Fig. 5.** Effect of oxygen content in the incinerator on the incineration rate. (H<sub>2</sub>O; 20 wt%, 700°C)

### 3.1.3. 산소농도 및 소각온도에 의한 영향

혼합 표준시료 20 g(수분함량 20 wt%), 산소농도 15 vol%에 대하여 소각온도 700°C에서 소각하였을 때의 소각시간에 따른 무게변화를 Fig. 5에 표시하였고, Table 4는 각 소각온도에서의 수분증발속도 및 산소농도에 따른 연소속도를 표시한다. Fig. 5에서 알 수 있는 것처럼 연소반응은 크게 2가지 단계로 구분할 수 있으며, 제1단계는 중유회에 함유된 수분 및 유리된 황산의 증발건조, 제2단계는 미연탄소의 연소, 3단계는 황산염 등의 분해 반응이 일어난다. 따라서 제1단계 반응은 산소의 농도에 관계없이 다만 연소 분위기 온도에만 의존한다. 그러나 제2단계반응은 산소농도에 크게 의존하여 산소농도가 증가할수록 반응속도는 증가하나, 제3 단계반응은 산소농도에 관계없이 반응속도가 일정하게 된다. 이와 같이 제2단계와 제3단계의 연소속도가 서로 다른 이유는 제2단계인 480°C에서 520°C까지는 탄소의 발화에 의한 연소로 중유회층을 통한 산소의 전달속도

가 연소속도를 지배하는 영역이고, 제3단계는 보다 높은 온도에서 유리질화된 회층(ash layer)을 통한 산소의 전달속도가 연소속도를 지배하는 영역이다. 따라서 산소전달은 유리질화된 회층을 통하는 것 보다는 다공성의 중유회층을 통하는 것이 훨씬 용이하기 때문에 제2 단계반응의 연소반응이 제3단계반응 보다 빠르다고 생각된다. 한편, Table 4를 보면, 미연탄소의 연소속도가 소각온도가 500°C에서 800°C까지는 온도에 크게 영향을 받지 않는다는 것이 확실하다.

#### 3.1.4. 발전소별 중유회 성상에 의한 영향

Table 5에는 발전소별 미연탄소와 유황(S)분의 함량, 연소속도 및 감량률을 나타낸 것이다. Table 5에서 알 수 있는 것처럼 미연탄소량이 많은 Y-1, 2, P-1, 2호기의 중유회는 연소속도가 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 연소속도를 크게 하기 위해서는 미연탄소가 많을수록 연소에 필요한 산소 공급량은 많아져야 하는데, 이때 미연탄소의 연소열로 인하여 실제 소각온도는 상승하게 된다. 그러나 소각온도는 850°C이하로 유지하면서 연소시켜야하므로 소각 층에서 탄소의 연소에 의해서 발생되는 연소열을 방출시켜야만 하며, 소각 층이 두꺼워지면 연소열을 방출시키기가 어려우므로 소각 층의 두께를 얇게 할 수밖에 없다. 결과적으로 단위면적당 소각능력은 미연탄소의 양이 많으면 떨어진다고 말할 수 있다.

그러나 중유회중의 미연탄소량이 너무 작을 경우 자체의 연소열로는 연소용 가스와 중유회 자신을 소각온도(발화온도)까지 올릴 수 없으므로 외부에서 열을 공급해 주어야한다. 이 경우에도 외부에서 공급할 수 있는 열량에는 제한이 있어서 소각 시 중유회 층을 얇게 유지할 수밖에 없으므로 소각로 단위면적당 소각능력은 떨어질 수밖에 없다. 이러한 까닭으로 이론적으로 소각처리가 가장 용이한 중유회의 미연탄소량은 자체의 연소열로 연소용 공기와 자신을 소각온도까지 올리는데 필요한 만큼만 들어 있는 경우이다.

Table 5. Incineration rate and reduction ratio depending on content of unburned-carbon and sulfur

	U123	U4	U5	U6	Y1	Y2	P12
C(%)	39.7	16.3	5.2	13.6	79.0	79.0	81.1
S(%)	12.0	16.2	20.7	15.3	6.50	6.30	5.60
Incineration rate	0.35	0.53	0.97	0.95	0.16	0.16	0.15
Reduction ratio	1/3.3	1/2	1/1.7	1/2.3	1/23	1/23	1/26

### 3.2. 강제통풍에 의한 연소

#### 3.2.1. 연소용 공기의 유량에 의한 영향

교반형 sample port에 혼합시료 100 g을 균일한 두께(약 35 mm)로 장입하고, 800°C까지 예열한 노를 sample port의 위쪽으로부터 하강시켜 시료를 가열연소시켰다. 시료의 온도가 600°C에 도달하고 시료가 연소하기 시작하여 시료내부의 온도 상승이 빨라지면 시료 내부의 과열을 방지하기 위하여 노의 설정온도를 700°C로 내렸다. 공기유입량은 10, 20, 30, 40 NL/min으로 변화시켜 실험하였으며 이때의 연소속도와 연소 총 온도를 Fig. 6에 나타내었다.

40 NL/min의 유속에서는 중유회의 30~40%가 날아가 버려 소각실험을 수행할 수가 없었다. 결과적으로 800°C에서 혼합시료는 40 NL/min 정도에서 유동이 시작되는 것으로 판단되며, 이때 걸보기속도는 20 cm/sec로 이 값이 최소유동화속도( $U_{mf}$ )로 생각된다. 그런데, 이때의 입자크기( $d_p$ )가 20 μm라고 할 때 아래 식으로부터 이론상의 최소유동화속도를 구해보면,<sup>12)</sup>  $U_{mf} = 22.1 \text{ cm/sec}$ 가 되어 실험값과 커다란 차이를 보이지 않았다.

$$Re_p > 1000 \text{ 일 때},$$

$$U_{mf} = \{d_p(\rho_s - \rho_g)g/(24.5g)\}^{1/2}$$

$Re_p$  : 입자의 레이놀즈 수

$d_p$  : 입자크기 (20 μm)

$\rho_s$  : 입자의 밀도 (2 g/cm<sup>3</sup>)

$g$  : 중력가속도 (980 cm/sec<sup>2</sup>)

$\rho_g$  : 공기의 밀도 ( $3.27 \times 10^{-4}$  g/cm<sup>3</sup>)

한편, 시료의 두께가 35 mm일 때 공기유입량이 10 NL/min인 경우의 연소시간과 20 NL/min인 경우의 연소시간을 비교해 보면, 10 NL/min일 때가 두배 크게 나타나지만, 유량이 20 NL/min일 때와 30 NL/min일 때는 거의 같다. 즉, 20 NL/min 이상에서는 중유회의 연소속도가 일정한 값에 접근함을 알 수 있다. 이것은 연소속도가 연소공기의 공급이 많아져도 소각된 재중의 확산속도 혹은 연소반응에 제한을 받는 것으로 보여 진다. 다

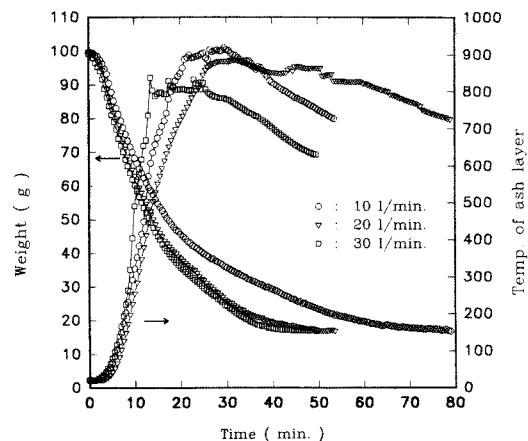


Fig. 6. Effect of flow rate of combustion air on the incineration rate and ash layer temperature. ( $H_2O$ ; 20 wt%, ash layer thickness; 35 mm, 700°C)

Table 6. Relation between maximum temperature and flow rate of combustion air

Flow rate of combustion air	10 NL/min (5 cm/sec)	20 NL/min (10 cm/sec)	30 NL/min (15 cm/sec)
Maximum temp.	885	915	846

시 말하면, 20 NL/min의 유량까지는 단위 부피당 연소속도는 공기유입량에 비례하지만 그 이상에서는 공기 유입량에 관계없이 일정한 값을 가짐을 알 수 있다.

또한, Table 6의 유입공기의 유속에 따른 중유회 내부의 최고도달온도에서 알 수 있듯이 20 NL/min까지는 공기 유입량이 많아짐에 따라 소각중인 중유회의 내부온도가 올라가지만, 30 NL/min에서는 온도가 감소하는데, 이것은 유량이 20 NL/min일 때나 30 NL/min일 때의 연소속도는 거의 일정하지만, 유량이 많아지면 유입공기에 의한 중유회의 냉각효과가 커지기 때문이라고 생각된다.

#### 3.2.2. 시료의 두께(량)에 의한 영향

Fig. 7은 하부 공기유입량을 30 NL/min으로 고정하고

시료두께에 따른 무게감소변화와 중유회 층의 온도변화를 나타낸 것이다. 시료의 두께에 상관없이 연소시간은 30~35분 정도로 비슷하다. 즉, 시료의 두께가 2배가 되면 연소속도도 2배가 됨을 알 수 있는데, 이것은 단위부피당 연소속도는 일정함을 시사해 준다. 그러나 최고온도는 시료두께가 두꺼워질수록 높아지는데 이는 열방출이 잘 안되어 연소열이 계속 축적되기 때문이다.

공기의 유입량이 30 Nl/min이고 시료두께가 70 mm(시료무게 200 g)일 때 수분증발과 연소온도까지 도달하는데 걸리는 시간은 약 10분 정도로 볼 때, 소각에 소요되는 시간은 약 25분이다. 이 소각시간 동안에 공급되는 공기 중의 산소는 시료 200 g에 들어있는 탄소 83.2 g을 태울 수 있는 화학 당량이다. 따라서 시료 층을 더 두껍게 할 경우 연소시간만 늘어날 뿐 단위 면적당 소각속도는 변하지 않는다.

Table 7은 Fig. 7의 시료두께별 최고도달온도와 소각속도를 나타낸 것이다. 이 Table에서 알 수 있는 것처럼 시료두께가 70 mm까지는 두꺼워질수록 단위면적당 소각속도는 선형적으로 증가하나 연소열 방출이 어려우므로 중유회 층의 온도가 상승한다. 중유회 두께가

70 mm 이상일 경우에는 전술한 바와 같이 최대 공기 유입량이 30 Nl/min으로 제한을 받기 때문에 단위 면적당 연소속도는 일정하게 된다. 즉, 실험에 사용한 혼합시료의 경우, 단위 면적당 최대 소각속도는 25.4 kg/m<sup>2</sup>hr 정도가 된다. 그러나 연소온도가 850°C 이상이 되면 소각재가 녹아 분산 판(스토카판)에 용착되어 조업을 어렵게 하므로 소각온도를 850°C 이하로 낮춰야 한다. 연소 층의 온도를 낮추기 위해서는 연소열의 방출을 신속하게 해야 되는데, 여기에는 두 가지 방법이 이용될 수 있다. 하나는 연소층을 얇게 하여 방열면적을 넓히는 것이고, 두번째는 교반을 행하는 방법이다. 연소 층을 얇게 할 경우 단위 면적당 소각속도가 떨어지므로 소각능력을 높이기 위해서는 가능한 한 중유회 층을 두껍게 하고 교반을 통하여 열의 발산속도를 높이는 것이 바람직하다 할 수 있겠다.

본 실험장치에서는 35 mm 정도에서 최고도달온도가 846°C이었고 이때의 연소속도는 12.53 kg/m<sup>2</sup>hr이였다. 그런데 실제 스토카로에서는 연소용 공기가 상부에서 유입되나 연소ガ스는 상부로 빠져나가고, 냉각용 공기 주입도 자유로우므로 연소열 방출은 본 실험장치보다 용이할 것으로 생각된다. 따라서 연소층의 두께도 높아져 소각속도는 12.53 kg/m<sup>2</sup>hr 이상이 될 것이다. 따라서 소각속도를 12.53 kg/m<sup>2</sup>hr로 놓고 노상면적을 구하면 충분할 것으로 생각된다. Table 8에 1일 18 ton을 처리할 수 있는 노상면적을 조업시간별로 나타내었다. 8시간조업의 경우는 작업의 용이성 및 작업자의 편의성 등 여러 가지 면에서 이점이 있으나 노상면적이 상당히 커지고 스토카로의 특성상 start up에 많은 시간이 소요되므로, 24시간 조업이 필수적이며 하루 18 ton을 처리하기 위한 노상면적은 약 60 m<sup>2</sup>가 필요할 것으로 사료된다.

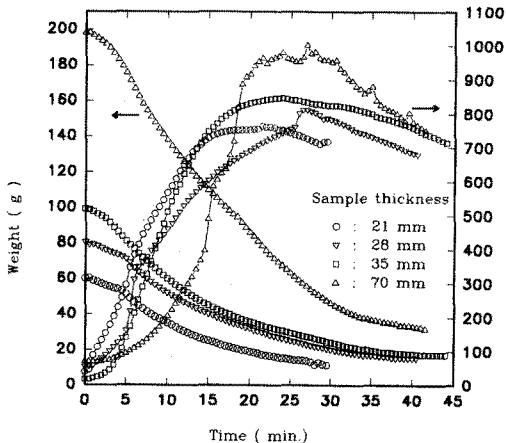


Fig. 7. Effect of ash layer thickness on the incineration rate ( $H_2O$ ; 20 wt%, flow rate of combustion air; 30 Nl/min, 700°C)

Table 8. Furnace area for incineration treatment of oil fly ash(18 ton/day)

Operation time (hr)	furnace area ( $m^2$ )
8	179.6
24	59.9

Table 7. Relation between maximum temperature and incineration rate with ash layer thickness

Ash layer thickness	21	28	35	70
Maximum temp. (°C)	759	807	846	1002
Incineration rate per unit area (g/cm <sup>2</sup> hr)	0.762	1.022	1.253	2.541
Incineration rate per unit volume (g/cm <sup>3</sup> hr)	0.363	0.365	0.365	0.363

#### 4. 결 론

이상과 같이 회분식로에서 중유회의 소각실험을 수행한 결과로부터, 국내 중유회를 효율적으로 소각처리할 수 있는 이동상식 스토카로의 설계, 제작을 위한 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 중유회의 연소과정은 연소속도 차이에 의해 3단계로 구별되며, 각 단계별로 효과적인 연소가 이루어질 수 있도록 조업 변수를 조절해야 한다.

2) 중유회 비산 방지와 감용을 목적으로 첨가할 수분 함량은 20 wt%가 적당하였다.

3) 중유회의 연소속도는 산소농도에 크게 의존하므로, 소각로는 연소공기의 조절 기능이 있어야 하며, 다양한 성상의 중유회 소각에 대처하기 위해서는 보조연소 기능을 갖추어야 한다.

4) 저용점 금속화합물의 용착 및 증발을 방지하고, 소각잔사의 불용화 및 다양한 유가금속 회수를 위해 소각 온도는 750°C~800°C로 유지해야 하고, 중유회의 균일한 연소반응과 연소속도의 향상을 위해 소각 중 중유회의 교반이 요구된다.

5) 중유회의 단위면적당의 소각속도는 12.53 kg/m<sup>2</sup>hr로 1일 18 ton의 중유회를 소각처리하기 위해서는 60 m<sup>2</sup>의 노상면적이 필요하다.

#### 참고문헌

- 尹許燮, 1992 : 最新廢棄物處理, P. 49, 進路研究社.
- 產業技術情報院, 1991 : 產業廢棄物의 處理와 資源化 技術

---

#### 崔 榮 尤

- 한국지질자원연구원 책임연구원
  - 당 학회지 16권 4호 참조
- 

---

#### 金 炳 圭

- 한국지질자원연구원 책임연구원
  - 당 학회지 16권 4호 참조
- 

動向(調査研究報告書 59號).

3. T. Ono, K. Hoshizaki, and J. Suzuki, 1973 : 重油灰處理に關する基礎的検討その2 -重油灰焼却方法の検討-, 電力中央研究所 技術第一研究所報告, 研究報告:72120.
  4. T. Ono, K. Hoshizaki, J. Suzuki, and Y. Ishihara, 1973 : 重油灰焼却方法の検討, 火力原子力發電, **24**, p. 15.
  5. 荒川義光, 1975 : NGK 移動床式重油灰燒却爐, 研究報告.
  6. Adnan Aydin, 1988 : Recovery of Vanadium Compositions from the Slags and Fly Ashes of Power Plants, Chimica Acta Turcica, **16**, 155.
  7. D. J. Eatough, N. L. Eatough, M. H. Hill, N. F. Mangelson, and L. D. Hansen, 1984 : Identification of VO<sub>2</sub><sup>+</sup> in Particles from the Flue Lines of Oil-Fired Power Plants, Environ. Sci. Technol., **18**, p. 124.
  8. Y. Mamane, J. L. Miller, and Y. G. Dzubay, 1986 : Characterization of Individual Fly Ash Particiles Emitted from Coal- and Oil-Fired Power Plants, Atmospheric Environment, **20**, p. 2125.
  9. Ishwar P. Murarka, 1987 : Chemical Characterization of Fossil Fuel Combustion Wastes, Electr. Power. Rs. Inst. Rep. Epri. EA5321, p. 148.
  10. G. L. Fisher, K. L. McNeill, B. A. Prentice, C. J. Democko, A. R. McFarland, and G. L. Finch, 1984 : Comparison of Environmental Particulate Matter Derived From Stationary Sources, Particulate Science and Technology, **2**, p. 75.
  11. 柳然太, 金炳圭, 崔榮允, 朴種鉉, 洪性雄, 黃善國, 1996 : 국내 중유회의 소각처리에 관한 기초 연구(I), 한국폐기 물학회지, **13**(2), p. 236.
  12. J. J. Moore, 1981 : Chemical Metallurgy, Butterworths, London, p181.
  12. D. Kunii, and O. Levenspil, 1969 : Fluidazation Engineering, p. 72, John Wiley & Sons. Inc., New York.
- 

---

#### 南 哲 祐

- 한국지질자원연구원 책임연구원
  - 당 학회지 16권 4호 참조
-