

# 유 동 층 연 소

채 재 우

〈한국동력자원연구소 에너지분소·工博〉

광물질(회분, 석회석 또는 모래) 입자의 “유동층”(fluidised bed)에 연료를 유입하여 연소시키는 소위 “유동층 연소” 기술은 최근 몇년동안 상당한 발전을 보이고 있다. 왜냐하면 유동층 연소는 특히 저발열량 연료(저질탄, 쓰레기 등)의 연소에 있어서 여러 가지 장점을 갖고 있기 때문이다.

저질탄\*의 연소에 있어서 이 유동층 연소 기술이 갖는 장점을 열거하면 다음과 같다.<sup>7,8,9)</sup>

- a) 회분성분이나 비활성(inert)성분의 조성이 균일하지 않은 저질탄의 연소능력
- b) 열전달 면에서 부식문제의 저하
- c) 보통 미분연소때보다 입도가 커도 완전연소가 가능하므로 분탄제조비가 저렴

여기서는 이러한 장점을 가진 저질탄의 유동층 연소에 대해서, International Energy Agency에서 1978년 발행된 Combustion of low grade coal 보고서<sup>10)</sup>를 중심으로 살펴보기로 한다.

## 1. 유동층 연소 기술의 개발

이 기술에 대한 초기 연구는 미분탄 연소에 따르는 고가의 분탄제조비를 절약하면서 저질탄을 연소시킬 수 있는 방법으로서 수행되었다.

그 후에 연구 내용은 유동층 연소의 높은 열

전달 특성을 이용하는 것이었으며, 현재의 관심은 대기 오염을 줄일 수 있다는 장점의 연구에 집중되고 있다.

처음으로 상용화된 유동층 연소기의 하나인 Ignifluid boiler<sup>17)</sup>는 1950년대 초반에 프랑스의 SA. Activit에 의해 개발된 것으로 주로 35%의 회분과 30%의 수분을 포함한 무연탄을 연소하기 위해 만들어진 것이었다. (Fig. 1)

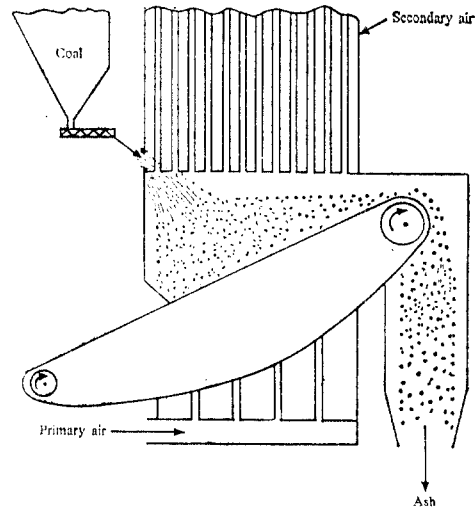


Fig. 1 Ignifluid fluidized bed combustor.<sup>11)</sup>

유동층의 온도는 980~1,200°C에서 운전되며 ash는 작은 덩어리로 되어 경사진 체인식 받침쇠 위에 있는 bed를 통해 이송된다.

체인식 받침쇠는 공기를 유통시키는 역할을 하나 연료가 완전 연소하기에는 불충분하여 bed

\* 국내 저질탄(≈2,500kcal/kg)도 아직 적절한 연소 기술이 없어 사용되고 있지 않다.

위에서 빠른 연소가 일어날 수 있도록 2차 공기가 공급되고 있다. 더운 공기는 수관 보일러의 복사와 대류 공간을 거쳐 내 보내지며 carry-over 되는 입자는 bed로 다시 순환된다. Ignifluid 시스템은 수관보일러의 스팀 발생량을 0.76에서 13.89kg/s로 올릴 수 있도록 상용화된 공정이다.

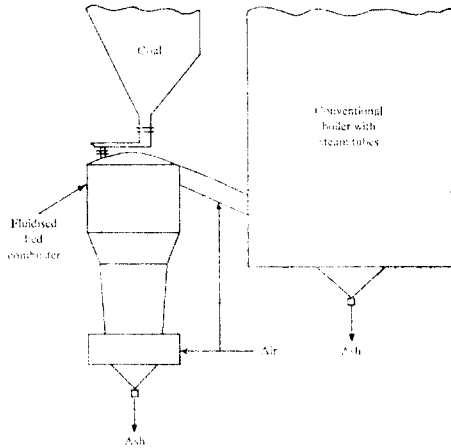


Fig. 2 Czechoslovakian two-stage fluidized bed combustor.<sup>11)</sup>

체코슬로바키아의 연료 연구소에서 행한 2단 연소 시스템 (Fig. 2)은 수분과 회분의 비율이 높은 갈탄을 1,000°C<sup>16)</sup> 이하의 1단 유동층 연소기에서 덩어리가 생기지 않는 상태로 부분 연소시키며 완전히 타지 않은 가스 및 입자들은 cyclone furnace와 같은 2단 연소기에서 980~1,870°C로 연소된다.

초기의 실험실적 결과를 토대로 교체와 액체의 저발열량 연료를 연소시키기 위해 4.4kg/s의 파이롯트 프란트가 건설되었으며 35.4kg/s 용량을 갖는 공장도 계획되었다.

루마니아에서도 48%의 높은 회분과 32%<sup>16)</sup>의 높은 수분을 포함하는 갈탄의 연소에 대한 공정이 개발되었다. 이 시스템에서는 덩어리진 회분은 피스톤 작용에 의해 bed의 바닥에서 물로 차단된 회분층 안으로 제거되고 있다.

위에 열거한 유동층 연소 시스템과 재래식 산철체 보일러와의 성능 데이터가 Table 1에 표

시되어 있다.

일본에서도 미분탄 연소와 dilute phase 유동층 연소를 조합한 pilot scale 연소기가 개발되었다. 건조된 무연탄 (60%회분 <1mm)이 1.1m × 0.5m × 5.5m의 네모진 수직 water-cooled chamber에서 연소되고 큰 입자들은 원통형 모양의 바닥에서 dilute phase 유동층으로 되기 위해 chamber를 통해 아래로 떨어진다.

약 80%의 연소 공기는 유동층을 통해 위로 들어가고 나머지는 미분탄 버어너에서 1차와 2차공기로 사용한다. 유동화 부분의 온도는 850~900°C이며 버어너부분은 1,100~1,200°C에 달한다.

파이롯트 플랜트의 석탄 주입속도는 170~250 μg/h이며 Table 1에 나와있는 높은 연소 효율을 고려하면 파이롯트 규모를 넘어선 공장 건설이 아직 안된 점은 놀라운 일이다.

위에 열거한 모든 공정들은 재래식 연소 기술로는 다루기 어려운 낮은 발열량의 연소를 태우기 위해 개발되었으며 유동층을 통하여 직접 열을 회수하는 것이 알려진 것은 Badische Anilin, Standard Oil Lurgi, Combustion Engineering & Union Carbide등이 특허를 받은 공정이 출현한 1980년 이후의 일이다. Lurgi 공정은 비록 저질의 oil shale을 연소시키기 위해 개발되었지만 저질의 갈탄과 세척폐기물에도 적용되고 있다. 이 시스템은 독일에 있는 세계의 발전소에 설치되었으나 오랜동안 운전되지 못하였다. 그 이유는 50년대말 전후 연료부족 현상이 사라짐으로써 저질탄 사용에 대한 이 공정의 강점이 줄어들었다.

유동층 연소에 대한 연구와 개발은 영국에서 많이 수행되어 왔다. 기초 시험은 1950년대 후반에 Central Electricity Generating Board Marchwood Laboratories에서 행하여지고 개발은 National Coal Board에 의해 수행되었다. 대형의 파이롯트 플랜트가 세워지고 17,000시간 이상 운전되고 있다.

미국에서도 광범위한 연구, 개발, 설계, 계획이 ERDA 와 EPA에 의해 추진되고 있다.

Table 1. Performance data for early fluidised bed combustion processes.<sup>16)</sup>

	Fluidised combustion process						Water-tube	economic boiler	
	Ignifluid	Yokoyama	Romanian	Lurgi	Belgian	Czech	PF fired	PF fired twin furnace tubes	Chain-G-rate single furnace tube
Coal type	anthracite	'hard coal'	lignite	oil shale	washery	lignite	bituminous	bituminous	bituminous
Heating value, MJ/kg	23.3-31.4	10.0-14.7	10.7-17.4	3.7-4.2	3.3-4.7	7.0-24.7	20.9-27.9	27.9-30.2	23.3-32.6
Particle size, mm	0-10.2	0.0-10.2	0.0-10.2	0.0-10.2	0.1-10.2	0.0-3.0	0.0-0.4	0.0-0.4	0.0-12.7
ash, % as-fired	10-35	55-67	18-48	88	88	5-62	14-19	5-10	7-15
total moisture, % as-fired	>30	2-3	10-32	—	10	1-38	3-9	3-9	5-15
fluidisation air, % of total air	—	80-83	18-55	100	100	15-32	—	—	—
CO, at furnace exit, %	12-16	13-14.5	9-19	—	10-12	7-15	14-15.5	11-15	12-14
Specific* rating, kW/m <sup>2</sup>	3.8-4.6	0.6-0.8	2.3-6.0	—	0.9-1.7	—	—	—	1.3-1.6
Heat release rate W/m <sup>3</sup>	0.18-0.21	0.10-0.14	0.75-2.39	—	—	0.18-0.84	0.21-0.26	0.30-0.59	0.83-0.93
	(a)	(b)	(b)			(b)		(c)	(d)
	,W			129	61.5-117.2	3.7	14.7-14654	32.3-67.4	26.4
Combustion efficiency, % $\pm$	75-82	95-98	63-89	—	—	—	96-99	95-97	95-99
Temp. of secondary combustion, °C	1,200	1100-1200	970-1,150	—	1,050	630-1,170	—	—	980-1,370
Bed temp., °C	—	850-900	500-1000	760-820	800-1040	680-950	—	—	—
Bed depth, m	>0.51	dilute phase	0.53	1.0	—	0.51-0.61	—	—	—

\* based on maximum area of fuel bed + deduced

$\pm$  defined as : Heat in - (unburnt carbon loss + unburnt gas loss)

(a) based on volume of combustion space before H.T. surfaces

(b) based on total volume of combustion space

(c) based on total volume of both furnace tubes

(d) based on half the furnace tube plus combustion chamber volume.

국제 에너지 기구에 의해 미국, 영국 사이에 실험데이터를 얻기 위한 4m<sup>2</sup>, 85MW의 연소장치에 대해 협력방식의 공동 발기인이 될 것을 결정하였다. 현재 상압 유동층 연소에 대한 계획은 Babcock & Wilcox Ltd<sup>17)</sup>의 Renfrew 공장에 17.6MW의 수관 부일러를 설치하는 것을 포함하고 있다. 이 보일러의 크기는 9.29m<sup>2</sup>으로서 5.8kg/s의 수증기 용량으로 잘 운영되고 있으며 상용화 규모의 공장을 건설하는데 필요한 데이터를 얻는 것으로도 이용되고 있다.

여기에 사용된 회분을 많이 포함하는 석탄에 대한 분석과 성능 데이터가 table 2, 3에 표시되어 있다. 미국에서는 이외에도 30MW의 실용화 유동층 공장이 West Virginia의 Rivesville

에서 건설되고 있다.<sup>8,10)</sup>

미국과 영국의 연구내용은 주로 연소효율을 높이고 대기 오염을 줄이는 데 있다.<sup>6)</sup> 비록 폐기물과 폐수처리, 탄갱쓰레기 등에 대한 연구는 진전을 보았으나 저질탄에 대한 연구는 많이 수행되지 못한 실정이다.

## 2. 비활성 함량이 높은 석탄의 연소

유동층 연소의 주요 장점중의 한가지는 비활성분의 함량이 높거나 여러 혼합성분의 회분을 갖는 석탄을 연소시킬수 있다는 점이다. 미국 석탄에 대한 USBM 연구 결과에 의하면 20% 이상 회분을 포함하는 석탄에 있어 반 정도의 회분은 bed 물질로 작용할 수 있다고 한다.<sup>2)</sup>

**Table 2** Analyses of coals fired in the Renfrew fluidised bed combustor.<sup>1)</sup>

Proximate analysis	Scottish coal	Irish coal
Moisture, %	6.5	2.0
Volatile matter, %	29.7	13.3
Fixed carbon, %	45.8	25.9
Ash, %	18.0	58.7
Heating value, MJ/kg	25.28	11.42

**Table 3** Performance data for the Renfrew fluidised bed combustor.<sup>1)</sup>

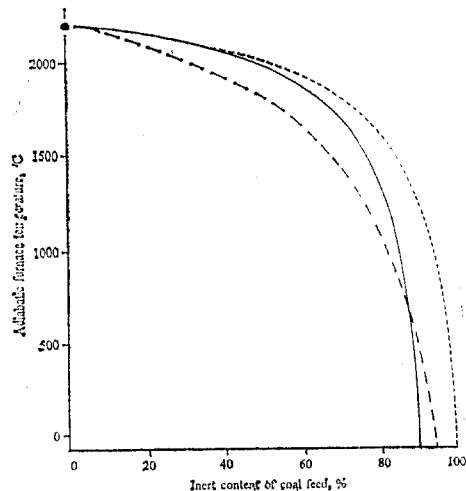
	Scottish coal	Irish coal	
Steam generated at 28 bar and 270°C, kg/s	2.76	4.43	2.79
Coal fired, kg/s	0.345	0.556	0.851
Air to bed, kg/s	3.635	5.48	4.091
Excess air, %	27.4	14.3	19.7
Average bed temp., °C	933	877	930
Fluidising velocity, m/s	1.34	1.82	1.38
Heat balance:			
to steam, %	79.2	79.8	70.5
to dry gas loss, %	6.3	7.0	5.6
to H <sub>2</sub> O in stack gas, %	4.5	4.3	5.4
to unburnt C, %	3.7	4.0	10.5
to heat transfer probe in bed, %	1.9	0.6	1.7
to blowdown, %	1.7	1.5	1.5
to radiation and unaccounted, %	2.7	2.8	4.8

Ash retention에 대한 연구는 스코틀랜드<sup>1)</sup>의 Renfrew의 유동층 연소기를 통해 수행되었다. 스코틀랜드의 18%의 회분을 갖는 석탄에 대해 1.3m/s의 유동화 속도와 95% <3mm의 입자크기로 공급할 때 총 ash의 30%가 bed에 남으며, 유동화 속도를 2m/s, 입자의 크기를 95% <6mm로 했을 경우 총 ash의 25%가 bed에 남았으며, 60%의 회분을 포함하는 아일랜드의 석탄을 1.3m/s의 유동화 속도와 95% <3mm의 입자크기로 연소시키면 총 ash의 35%가 bed에 유지된다. 이 정도의 retention 이 될 때 아일랜드 석탄의 ash에 포함된 열함량은 보일러에 들어가는 열의 1.4%를 차지하게 된다. Ash의 retention을 증가시킨다는 것은 ash의 열함량

을 증가시키는 결과를 가져오며, 이 열은 연소 공기를 사용하여 쉽게 ash를 냉각시킴으로써 제거될 수 있다. Bed를 통해 열의 방출이 일어나려면 들어가는 열이 나오는 열보다 많아야 한다.

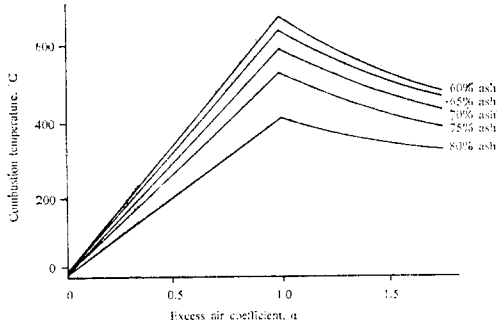
나오는 열중에서 손실은 주로 배기 가스의 엔탈피, 수분, ash, 과량공기에 포함된 엔탈피가 차지하며 약 65~70%에 해당한다.<sup>18)</sup> 보통 불활성의 양이 70% 이하인 석탄의 경우는 bed의 온도는 1,700°C 이상 이론적으로 가능하며, 85%의 불활성을 포함하는 경우에는 1,000°C 정도의 온도유지가 가능하다. (Fig. 3)<sup>18)</sup>

인도의 Central Fuel Research Institute의 보고에 의하면 공기의 공급량의 조절에 의해 bed의 온도를 900~950°C로 유지할 수 있는 저발열량 석탄의 회분 함량은 약 75%에 해당하며 (Fig. 4)<sup>19)</sup> 회분의 함량이 80% 이상되면 연소 영역의 온도는 800°C를 초과할 수 없다고 밝히고 있다. (Fig. 3)



※ Pure coal. —Ash. ---Water.···Mineral matter  
**Fig. 3** Effect of inerts on furnace temperature of a fluidised bed combustor *After Waters*.<sup>18)</sup>

영국에서는 유동층에 의한 석탄 채광업에 딸린 폐기물의 연소에 대해 집중적으로 연구가 수행되었다.<sup>3)</sup> 석탄 채광의 기계화에 의해 석탄생산량중에서 미세한 부분의 비율은 늘어나게 되



**Fig. 4** Dependence of fluidised bed combustion temperature on ash content of fuel and excess air coefficient, *a* After Rama Prasad 15)

있으며 이것은 다시 시장의 수요에 부응하기 위하여 froth floatation에 의한 세척의 필요성이 생겼으며 이에 의한 많은 세척(세광)폐기물(96% water, 3% fine shale, 1% fine coal)이 발생하였던 것이다. 이러한 폐기물을 처리하기 위해 여러 가지 방법이 사용되었으며 그 중에 가장 많이 이용되는 것은 thickner & filter press이다.

이러한 방법을 이용할 경우에도 아주 미세한 고체입자 (40% minus 0.005mm)는 다루기 쉬운 상태로 만드는 어려움이 따른다.

그 결과 시간과 경비가 들고, 이러한 물질은 물리적 변화를 일으키지 않으므로 물에 녹였을 때 불안정한 상태로 된다.

유동층 연소를 이용한 또 다른 방법으로 개발 중에 있는 것은 폐기물을 원통형의 농축기 속에서 폐기물의 농도를 50~60%로 농축시키는 방법이 있다. 농축된 폐기물은 분무기로 연소기 안으로 흡입되어 수분을 증발시키는데 필요한 충분한 양의 열을 발생하면서 연소된다.

형성된 ash는 흡수제로 작용하여 농축된 폐기물과 섞여 안정된 물질을 이룬다. 열은 회수되지 않으며 단지 안전하게 버려질 수 있도록 위험한 슬러리를 처리하는 것이 주요 목적이었다.

미국에서는 처음에 채광업의 폐기물로 간주되던 물질이 지금은 저발열량의 석탄으로 이용되고 있다.<sup>12)</sup> 그 물질은 펜실베이니아 동북부에서 나오는 석탄의 채광과 세척과정에서 생긴 무연

탄 폐기물과 침전층이다. 이 광산지대는 1,250 km<sup>2</sup> 넓이의 꽤 조밀한 지역이다.

USBM의 조사에 따르면 침전층의 숫자는 800 개 정도이며 양은 7억m<sup>3</sup>의 폐자원에 해당한다고 한다. 이러한 물질은 채광작업과 세척과 전처리 과정에서 나오는 성분 물질로 구성되어 있다. 층의 깊이는 백여년에 걸쳐 누적된 것으로 오래된 층의 몇 개는 향상된 세척 방법에 의해 석탄을 회수하기 위해 다시 작업되고 있으며 층별 폐기물의 조성은 상당한 차이를 보이고 있다.

Lucerne County에 있는 Butler Colliery 층에 대한 4m<sup>2</sup>의 유동층에서 행한 4가지 연소실험의 결과는 다음과 같다.

● 폐기물 성분

수 분	2.11%wt
회 분	60.34%
유 황 분	0.45
수 소	2.04
탄 소	29.56
질 소	0.62
산 소	4.88
열 함 량	11.51MJ/kg
회 용 점	1,430°C

● 작업조건

온 도	790, 870, 955°C
superficial Vel	0.9, 1.8m/s
feed rate	40.9, 43.2kg/h

이 실험을 확대하여 18인치의 유동층 연소기에서 수행하여 oil shale과 아역청탄 연소에 대한 타당성을 검토해 보는 것이 바람직하다.

3. 연소 효율

세척물 폐기물과 폐수에 대한 0.1m<sup>2</sup> 연소로 실험에서 water는 94%의 연소 효율을 얻었다<sup>13)</sup> 주요 연료 손실은 들어가는 열량기준으로 entrained carbon 5%, over flow carbon 0.7%, 배기 가스 내의 CO 함량 0.2%이며 entrained carbon은 air의 속도가 0.5m/s를 넘을수록 급

**Table 4.** Comparison of Renfrew fluidised bed boiler performance with that obtained with original spreader stoker.<sup>1)</sup>

	spreader	fluidised bed
Boiler output at 28 bar and 270°C, kg/s	5.06	4.43
Coal fired, kg/s	0.689	0.556
Proximate analysis		
Moisture, %	17.7	5.2
Volatile matter, %	26.0	28.6
Fixed carbon, %	43.6	44.5
Ash, %	12.7	21.4
Heating value, MJ/kg	23.6	24.6
Grading through 6mm, %	68	90
Gas analysis at economiser exit		
CO <sub>2</sub> , %	11.2	12.7
O <sub>2</sub> , %	8.2	6.5
N <sub>2</sub> , %	80.6	80.8
Air pressure under grate or bed, kPa	0.27	7.45
Grit collection		
Economiser hopper, kg/h	11	NIL
Interceptors, kg/h	Refired	142
Prat-Daniel precipitator, kg/h	98	96
Stack, kg/h	17	80
Heat balance		
To steam, %	77.3	79.8
To dry gas loss at stack, %	8.2	7.0
To water vapour loss at stack, %	5.9	4.3
To unburned carbon, %	4.4	4.0
To radiation, blowdown, %	4.2	4.3
To heat transfer probe, %	—	0.6

증하고 있다. 한편 손실은 bed의 온도가 증가하고 파잉공기의 비율이 높고, 유동과 속도가 낮으면 burn-out을 용이하게 함으로 감소하게 된다.

CFRI의 연구에 의하면 열효율이 떨어지는 주원인은 entrained carbon에 기인한다고 보고 있으며 또한 석탄의 등급도 손실에 많은 영향을 주

고 있는데 갈탄은 1~5% 중간정도 회분 함량의 non-coking coal은 10% 회분 함량이 높은 by-product는 15~25%에 달하고 있다.<sup>5)</sup> CFRI는 높은 온도에서 작용하여 손실을 줄이고자 하였으나 이러한 값에 대한 설명은 되어 있지 않다.

Renfrew의 유동층 연소 실험에서 사용한 스코틀랜드의 18% 회분을 포함하는 석탄은 단지 손실이 3.5~4%에 달하며 grit에 의한 refiring 없이도 높은 연소 효율을 얻고 있는 것이다.<sup>1)</sup>

그러나 아일랜드산 58.7%의 회분을 포함하는 석탄은 다 타지 못한 탄소의 손실은 10% 이상 되고 있다. 높은 회용점은 bed의 온도를 높일 수 있으며 손실을 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 이 유동층 연소와 초기의 분무식 stoker와의 성능 데이터가 table 4에 표시되어 있다.

열효율면에 있어 석탄의 수분과 유동층 연소에 따르는 전처리상의 차이점을 제외하고는 거의 보일러의 성능은 동일하다고 볼 수 있다.

#### 4. 부식과 침식

또 다른 유동층 연소의 장점은 보일러 관의 부식과 침식을 줄일 수 있다는 것이다. 미분탄을 태우는 보일러에서의 ash 침적은 비교적 낮은 온도의 열교환기 표면에 응축한 알칼리 금속 황산염과 염화물의 기화에 기인하는 것인데 유동층 연소에 있어 온도는 대개 800~900°C에 해당하므로 1,400~1,600°C에 해당하는 재래식 보일러<sup>4)</sup>에 비해 알칼리 금속의 황산염과 염화물의 증기압이 상당히 낮아 이러한 염의 기화를 상당히 낮추게 되어 알칼리 금속의 침적을 막고 부식문제를 적게 초래하게 되는 것이다.

언뜻 보기에는 유동층 안에 설치된 열전달 표면은 부식률이 높을듯 하나 그렇지 않은 이유는 유동층 연소기에서의 속도는 5m/s 이하로 되므로 30m/s 이상되는 재래식 보일러 보다 입자의 충격에 의한 부식의 영향을 거의 받지 않기 때문이다. 그리고 입자들의 scouring action에 의해 침적을 막는 효과도 유동층 연소에서 배

□ 解 說

놓을 수 없는 것이다.

Renfrew에 있는 유동층 연소기에 대한 3,000 시간 동안의 운전결과 부식에 대한 문제는 별로 발견되지 않았다.

대우 얇은 검은 에나멜 층이 bed의 관에 보였으나 더이상의 관 금속과 열전달의 영향없이 중지되었다. 침적된 성분에 대한 분석은 table 5와 같다.

NCB의 Coal Research Establishment의 조사에 의하면 유동층에서의 불붙는 쪽의 부식문제는 별로 없는 것으로 알려져 있다.<sup>4)</sup> 석탄의 유형, 시간, 연소조건, 여러 금속에 침적되는 현상에 대한 유동화 속도와 압력의 영향등 여러 작동 변수의 효과가 기록되어 있다. 증기 발생용 연소로의 부식문제를 고찰하기 위해 0.3m의 정사각형의 연소로에 대한 많은 연구가 수행되었다.

여러 가지 금속에 대해 400~850°C 범위에서 100~1,000hr로 다음과 같은 석탄을 써서 시험되었다.

1. Welbeck untreated small (ash 24% sulphur 1.3% chlorine 0.65%)

2. Newstead blended small (ash 18% sulphur 0.7% chlorine 0.26%)

3. Humphrey No. 7 (ash 14% sulphur 2.8% chlorine 0.1%)

여덟개의 합금관에 대한 성분분석이 table 6에 표시되어 있다.

모든 종류의 시험결과 침적된 양은 거의 무시할 정도로 적었다. Bed에 설치된 관은 대부분 얇고 딱딱한 접착물질(<0.1mm, 1.5mm 두께)이었다.

Table 5 Analysis of boiler tube deposits at the Renfrew fluidised bed combustor,<sup>1)</sup>

Silica (SiO <sub>2</sub> ), %	24.0
Iron oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %	3.0
Aluminium oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %	23.0
Calcium oxide (CaO), %	1.0
Magnesium oxide (MgO), %	1.0
Sulphate (SO <sub>3</sub> ), %	1.0
Carbon (determined), %	35.0
Ignition loss at 800°C %	47.0

Table 6 Nominal compositions of iron alloys used in NCB corrosion tests. (Iron to 100%)<sup>4)</sup>

Alloy	Carbon Max. %	Chromium %	Nickel %	Molybdenum %	Manganese %	Niobium %
Medium Carbon Steel	0.25					
1% Cr, 1/2% Mo Steel	0.15	1.0		0.5	0.7max.	
2 $\frac{3}{4}$ % Cr, 1% Mo Steel	0.15	2.25		1.0	0.7max.	
12% Cr Steel	0.15	12			1.0max.	
Type 316	0.09	17	12	2.5	2.0max.	
Type 347	0.08	18	11		2.0max.	0.8
Esshete 1250	0.15	15	10	1.0	6.0	1.0
Nimonic P.E. 16	0.10	17	43	3.0		

1.5mm에 달하는 좀더 험령한 ash-type의 침적은 400°C 혹은 500°C로 낮은 관의 밀부분과 석탄 주입부분에서 볼 수 있었다.

0.3m 연소기의 윗 부분에 있는 관의 밀 부분은 험령하고 미세한 ash 입자의 침적층이 형성되며 거칠은 ash 입자는 관의 상단에 험령한 층을 이룬다. 침적된 층의 두께는 시간에 큰 영향

을 받지 않아 500~1,000hr 작동에 의한 침적층의 두께는 변화가 별로 나타나지 않는다.

여러종류의 분석결과 ash 입자에 의한 scouring action은 산화피막을 침식시키는데 충분치 않은 것으로 밝혀졌다. 즉 시간이 지남에 따라 부식이 감소하여 중량감소율이 줄어드는 것은 안정된 산화피막의 형성을 나타낸다고 볼 수 있

Table 7 Analyses of product ash and deposits in NCB corrosion tests.<sup>4)</sup>

Test	Sample description	Carbon %	Sulphur %	Chlorine %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
1000h, Newstead Coal (oxidising conditions)	Product ash	0.2	2.2	0.0	10.4	1.0	1.8	8.8
	Deposit A	*	2.2	0.0	6.9	1.7	1.5	*
	Deposit B	*	3.9	0.1	8.0	0.9	1.7	6.7
485h, Newstead coal (substoichiometric conditions)	Product ash	1.4	0.3	0.0	3.1	1.2	2.0	5.9
	Deposit A	24.8	1.6	0.1	4.9	0.7	1.3	7.2
	Deposit B	30.3	*	*	6.2	0.5	1.0	4.6
500h, Humphrey coal (without limestone)	Product ash	0.5	2.8	0.0	8.1	0.6	1.4	11.8
	Deposit A	*	*	*	*	*	*	*
	Deposit B	*	3.9	0.0	7.6	0.6	1.7	18.0
465h, Humphrey coal (with limestone)	Product ash	0.4	8.0	0.0	35.8	0.5	0.6	3.7
	Deposit A	*	*	*	14.0	1.5	1.1	13.0
	Deposit B	1.8	8.5	0.0	37.0	0.5	0.4	9.7
100h, Welbeck coal (Oxidising conditions)	Product ash	0.3	0.9	0.0	4.3	2.6	3.2	5.0
	Deposit A	*	2.4	0.1	4.5	3.9	3.0	11.0
	Deposit B	*	1.3	0.1	4.0	2.3	1.9	*

Deposit A—taken from tubes, at 400°C, near coal feed nozzle

Deposit B—taken from tubes, at 400°C, above the bed

\* Insufficient sample

다.

보통의 작업조건하에서 최고온도 이하로 유지되는 물질은 심각한 유황분에 의한 침투를 받지 않는다. 높은 비율의 칼슘 함량은 400~600°C에서 0.01mm 정도의 얇은 산화막을 형성하며 700°C에서는 유황분의 침투현상이 관찰된다.

100hr시험의 분석결과 대부분의 금속은 0.015mm의 산화막을 형성하고 있으며 몇개의 금속은 0.01~0.025mm의 유황분의 침적층을 보여 주었다. 석회석을 넣을 경우 이 효과는 증대 되었다. 석회석을 첨가한 Newstead 석탄과 Humphrey 석탄에 있어 700°C에서의 황화작용은 훨씬 크게 나타나고 있다.

## References

1. Babcock Product Engineering LTD., Fluidised bed firing in boilers, Publicity brochure. 12pp. Reprinted from a paper given by McKenzie, E.C. at CEA Conference, East bourne

- UK (1976).
2. Coates, N.H. ; Rice, R.L., Fluid-bed combustion of various U.S. coals, Proceedings : second International conference on fluidised-bed combustion. U.S. Environmental Protection Agency, paper I-2, 15pp (4 October 1970).
3. Cooke, M.J. ; Hodgkinson, N., The Fluidised combustion of low grade materials, Institute of Fuel Symposium No. 1 : Fluidised Combustion, Imperial College London. paper C2, p. C2-1-C2-9 (16-17 September 1975).
4. Cooke, M.J. ; Rogers, E.A., Investigations of fire-side corrosion in fluidised combustion systems, Institute of Fuel Symposium No. 1 : Fluidised Combustion, Imperial College London. paper B 6, p. B6-1-B6-10 (16-17 September 1975)
5. Das Gupta, S.K., Combustion of coal for process and power, Journal of Mines, Metals and Fuels, Vol. 23, No. 6, p.251-261 (June 1975)
6. Elliott, D.E., Exploiting fluidized-bed combu-



□ 解説

- stion, Proceedings : second International Conference on fluidised-bed combustion. U.S. Environmental Protection Agency, paper 0-2, 10pp(4. October 1970)
7. Gibson, J., : Recent developments in fluidised bed combustion and potential benefits to the coal industry, *Mining Engineer*, Vol. 136, No. 194, p.599-606 (July 1977)
  8. Gibson, J., Present status of fluidised bed combustion, paper presented at the Third International Conference on Coal Research, Sydney, Australia (1976)
  9. Gibson, J, Fluidised bed Combustion, *Coal and Energy Quarterly*, No. 7. P. 9-17(Winter 1975)
  10. Goblirsch, G.M. ; Sondreal, E.A., Fluidised Combustion of North Dakota lignite, paper presented at the Ninth Annual Lignite Symposium, Grand Forks, North Dakota (18-19 May 1977)
  11. Kiang, K.D. ; Nack., H. ; Oxley, J.H. ; Reid, W.T., Fluidised-bed Combustion of coals,U.S. Energy Research and Development Administration. GFERC/IC-75/2 Technology and Use of Lignite Proceedings : Symposium Sponsored by U.S. ERDA and the University of North Dakota, Grand Forles, North Dakota, p.36-65 (14-15 May 1975)
  12. Morgan town Energy Research Center, Anthracite refuse utilisation, coal, Power and combustion, quarterly report, p.33-35 (July~ September 1976)
  13. Morrison, G.F., Combustion of low grade coal, ICTIS/TRO 2, IEA Coal Research London (June 1978)
  14. Raask, E., Tube errosion by ash impaction, *Wear*, Vol. 13, No. 4/5, p.301-315 (Apr.~ May 1969)
  15. Rama Prasad, V.R., Coal in the energy scene of India, *Journal of Mines, Metals and Fuels*, Vol. 23, No. 6, p. 262-269 (June 1975)
  16. Skinner, D. G., The Fluidised Combustion of coal, National coal Board, London (January 1970)
  17. Svoboda, J.J., Ignifluid contribution to air pollution control, proceedings : second International conference on fluidised-bed combustion, U.S. Environmental Protection Agency, Paper 1-6, 8pp (4 October 1970)
  18. Waters, P.L., Factors influencing the fluidised combustion of low-grade solid and liquid fuels, Institute of fuel symposium series No. 1 : fluidsed combustion, Imperial College, London, Paper C 6 12pp(16-17 September 1975).

