

탄화실 부착카본의 생성 및 연소특성

김기홍[†] · 이용국

포항산업과학연구원 에너지연구팀
(1997년 3월 24일 접수, 1997년 8월 27일 채택)

Combustion Characteristics and Growth of Carbon Deposited on the Coke Oven Wall

Ki-Hong Kim[†] and Yong-Kuk Lee

Energy Research Team, Research Institute of Industrial Science & Technology
(Received 24 March 1997; accepted 27 August 1997)

요 약

석탄을 건류시 탄화실에 부착되는 카본의 생성 메커니즘을 규명하고 생성량 예측과 연소특성에 관한 실험을 하였다. 탄화실내의 여러 위치에서 채취한 카본 분석을 통해 미분탄과 타르 증기가 응축되어 핵을 생성하고 열분해에 의해 핵이 성장되어 카본이 형성됨을 알 수 있었다. 소형 실험로에서 카본부착표면의 온도와 석탄의 수분변화에 따라 부착되는 카본의 양을 측정하여 카본부착속도식을 유도하였다. K_2CO_3 촉매를 이용한 부착카본의 연소실험결과 최적 촉매 loading 양은 6.0 wt%이었고 무촉매에 의한 연소보다 연소속도가 1.4배 증가하였다. 1회에 석탄 약 33톤을 건류하는 실제 코크스 공정에서 탄화실에 부착되는 카본의 양은 4.56 kg으로 추정되었으며 연소에 필요한 공기를 공급하는 fan의 용량은 70 Nm^3/min 이상이어야 했다.

Abstract—The purposes of this study were to understand the growth of carbon and a combustion characteristics and to estimate the carbon quantity deposited on the coke oven wall. The growth mechanism of deposited carbon sampled in the different positions of coking chamber was examined. A pulverized coal and tar vapor were condensed to form a nuclei test produced then it was grown by pyrolysis, resulting in forming a carbon. The deposition test was carried out in a small carbonization oven in order to predict the deposition rate of carbon. The deposition rate of carbon was strongly dependent on the carbonization temperature and the moisture content of coal. By means of catalytic combustion, which used K_2CO_3 , the optimum loading quantity was 6.0 wt% and catalytic combustion rates were increased more two times than noncatalytic combustion rates. It was assumed that the carbon deposition in coke oven wall carbonizing about 33 ton of coal was 4.56 kg and the capacity of fan supplying air for combustion was over 70 Nm^3/min .

Key words: Carbon Deposition, Growth Mechanism, Combustion Characteristics

1. 서 론

코크스오븐에서 석탄을 1,200-1,300 °C로 18-19시간 가열하면 코크스가 된다. 코크스는 용광로라 불리우는 고로에 넣어 철광석과 함께 철을 생산하는 원료로 사용되며 코크스 품질에 따라 생산되는 철의 품질에 큰 영향을 준다. 따라서 제철산업에서 코크스오븐의 역할은 상당히 중요하다고 볼 수 있다. Fig. 1은 코크스오븐의 구성을 나타낸 그림으로서 탄화실과 연소실로 구성되어 탄화실에 석탄을 넣고 건류시 발생하는 부생가스를 연소실에서 연소시켜 발생하는 열을 탄화실로 전달시키는 방법으로 건류를 시킨다. Fig. 2는 탄화실의 구성을 나타낸 그림으로서 각 탄화실은 석탄을 넣는 입구인 장입구 4개와 건류시 발생하는 가스가 배출되는 상승관으로 구성되어 있다. 코크스오븐에서 석탄을 건류할 때 생성되는 휘발분 중 탄소성분

이 열분해되어 일부는 코크스 중에 침착되고 일부는 탄화실에 부착된다[1]. 이렇게 부착되는 카본은 건류가 진행되면서 계속 발생 성장하여 로체에 손상을 줄 뿐만 아니라 석탄을 탄화실에 넣는 것을 방해하고 가스흐름 공간을 좁게 하여 건류시 발생하는 가스의 방출을 방해한다[2]. 또한 많은 양의 카본이 벽부에 부착되면 연소실에서 탄화실로의 열전달을 방해하여 탄화실 상부의 품질이 나빠지게 되며 또한 소비열량 상승의 한 요인이 된다[3,4]. 따라서 건류 중에 발생 부착되는 카본을 제거하기 위해 지금까지는 인력에 의한 작업, 상승관 및 장입구를 열어 부착된 카본을 대기 중에 노출시켜 공기에 의해 소각하는 방법, 건류가 완료된 코크스를 압출 중에 카본 제거용 공기를 분사시키는 방법 및 카본 cutter에 의한 기계적 방법을 이용하여 카본을 제거하였다. 그러나 인력에 의한 카본제거 방법은 열과 분진 때문에 작업이 어렵고 인력확보가 어려우며 연화에 손상을 가져오기도 한다.

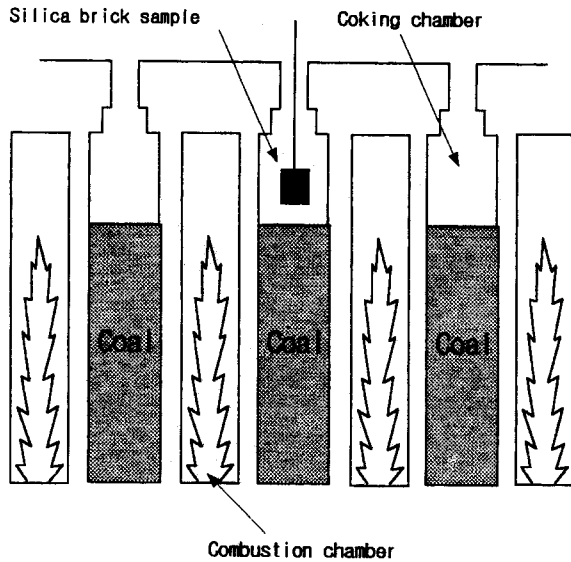


Fig. 1. Schematic diagram of coke oven.

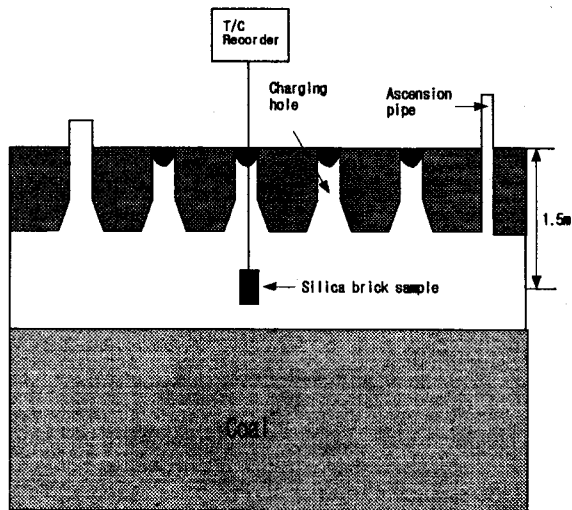


Fig. 2. Schematic diagram of coking chamber.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로서 효율적으로 카본을 제거할 수 있는 장치의 개발이 필요하다. 부착카본 제거장치 개발에 필요한 사항은 석탄 건류시 탄화실에 부착되는 카본의 생성메카니즘, 카본의 생성량 및 공기에 의한 카본의 연소특성 등이다. 본 연구에서는 향후 탄화실 부착카본 제거장치 개발을 위해 탄화실에 부착되는 카본의 생성메카니즘을 규명하고 생성되는 양의 예측 및 공기에 의한 연소특성에 관한 연구를 하였다.

2. 실험

2-1. 실험방법

Fig. 3은 부착카본량 예측을 위한 열분해 실험로를 나타낸 것이다. 하부 가열로에는 내용적이 12.6 L, 내경 195 mm, 높이 400 mm의 원통형 석탄 장입통이 위치하며 상부 가열로에는 카본이 부착되는 시편의 온도를 일정하게 유지하기 위해 내경 42 mm, 길이 450 mm의 sus310 파이프가 내장되어 있다. 하부 가열로와 상부 분해로의 용량은 각각 12 KW와 4 KW이다.

실험은 먼저 하부 석탄 장입통에 일정량의 석탄을 채워놓고 상부

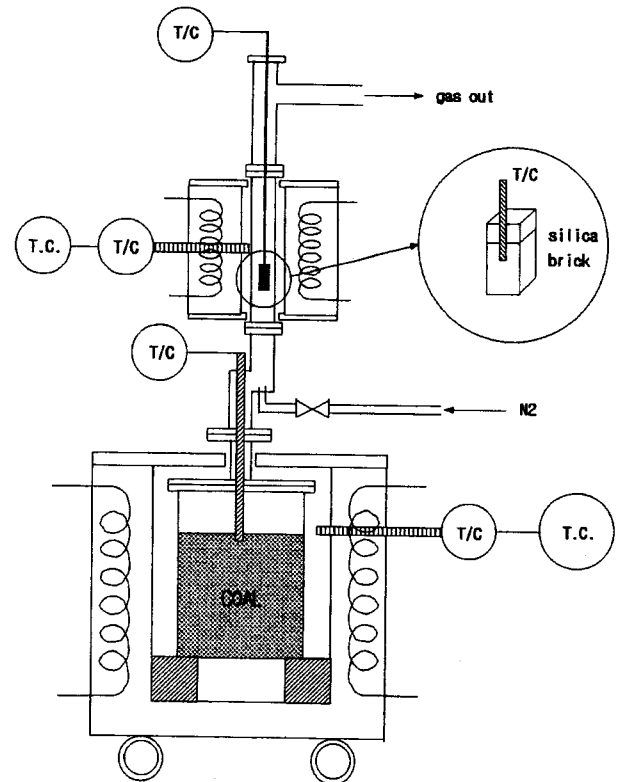


Fig. 3. Experimental apparatus for measuring of the carbon growth.

가열로의 파이프내에는 카본 부착량을 예측하기 위한 시편을 로의 중간부에 매달았다. 시편은 실제 코크스오븐의 내부연와와 같은 실리카연와를 사용하였으며 크기는 10×10×50 mm의 직육면체로 만들었다. 또한 시편의 표면온도를 알기 위해 T/C를 부착시켰었다. 실험순서는 먼저 상부 가열로의 시편 표면온도를 원하는 실험온도에 도달시킨 후 하부의 석탄을 승온시켜 건류를 시작하였다. 이때 상부 시편의 온도를 일정하게 유지시키기 위해 상부가열로의 승온조절을 계속적으로 행하였다. 건류가 종료되면 실리카 연와시편 표면에 부착된 카본의 소각을 방지하기 위해 질소가스를 10 L/min 정도 흘리면서 시편을 냉각시켰었다. 냉각된 시편은 에폭시 마운팅 후 T/C가 부착된 면을 자른 후 연마하여 부착카본의 두께를 광학현미경을 사용하여 측정하였다. Fig. 4는 석탄 건류시 하부 가열로의 승온 패턴을 나타낸 그림이다. 장입탄 중앙부에 설치된 T/C의 온도가 1,100 °C가 되게 유지하고 건류가스가 더 이상 발생하지 않을 때까지 건류를 진행시켰었으며 총 건류시간은 3시간 정도이다. 본 실험에서 사용된 석탄은 휘발분 26.8 %, 수분 8.0 %, 회분 8.2 %, 고정탄소 57.1 %인 성

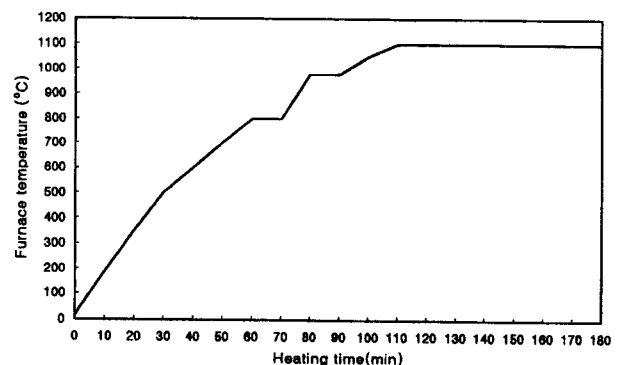


Fig. 4. Heating pattern of furnace.

Table 1. Analysis of composition for different catalysts

Catalyst	K ₂ CO ₃ (%)	CaO(%)	K(%)	Ca(%)
K-0	0.00	0.00	0.00	0.00
K-2	3.34	0.00	1.95	0.00
K-5.6	9.85	0.00	5.58	0.00
K-10.4	18.41	0.00	10.42	0.00
K-5.8(KOH)	8.26	0.00	4.75	0.00
K-5.4Ca-2.8	9.47	3.85	5.36	2.75
K-9.5Ca-6.5	16.74	9.09	9.47	6.49

상을 나타낸다. 부착되는 카본의 양에 영향을 주는 요인은 석탄의 휘발분, 수분, 입도, 건류온도, 부착표면의 온도 등 여러 가지이지만 실제 조업에서는 휘발분과 입도는 거의 일정하기 때문에 본 실험에서는 부착면의 온도변화에 따른 실험과 수분변화의 경우에 대해서만 카본부착량 예측실험을 행하였다. 1회 열분해 실험시 사용된 석탄의 양은 5 kg이다.

실제 조업로에서 부착되는 카본의 양을 측정하기 위해 실리카연와 시편을 탄화실의 상부에서 1.5 m 지점에 매달아 건류가 완료된 후 카본이 부착된 시편을 에폭시 마운팅하여 부착된 카본의 두께를 측정하였다(Fig. 1과 2 참조). 건류시간은 19시간이었으며 건류 중 시편의 평균온도는 700 °C이었다.

부착카본에 대한 연소실험은 TGA/DTA(SEICO SSC 5200)를 이용하여 수행하였으며 시료는 실제조업로에서 채취한 장입구 주변 부착카본과 로의 천정부 부착카본에 대한 연소실험을 하였다. TGA에서 사용되는 시료의 양은 10 mg이었으며 시편온도를 원하는 온도까지 가열시키는데는 불활성 가스인 He를 흘려보내면서 승온시켰다. 실험온도에 도달되면 연소용 공기를 주입시키면서 부착카본의 연소에 의한 중량감소를 측정하였다. 부착카본의 연소온도는 700, 800, 900, 1,000 °C이고 연소공기의 공급량은 100, 200, 300 cc/min이고 산소함량은 5, 10, 21 vol%이다. 부착카본의 시료는 100 mesh로 파쇄하여 사용하였으며 연소용 공기의 산소함량은 순공기와 질소를 혼합하여 산소함량을 조정하였다. 시료를 담은 백금도가니의 크기는 내경이 0.52 cm, 길이 0.25 cm의 원통으로 분위기에 노출되는 단면적은 0.212 cm²이 된다. 부착카본시료의 시료충진 겉보기밀도는 0.6 g/cm³, 시료의 무게는 10 mg, 시료의 두께는 0.86 mm이다.

또한 촉매를 첨가하였을 때 부착카본의 연소성을 얼마나 개선할 수 있는지를 알아보기 위해 알칼리 촉매인 카본화합물과의 반응시 활성이 좋은 것으로 알려진 K₂CO₃의 촉매 부하량을 변화시켜 가면서 연소 실험을 하여 촉매를 사용하지 않고 연소시키는 경우와 비교해 보았다. 부착카본 시료를 100 mesh로 분쇄하고 K₂CO₃를 용해시킨 증류수와 혼합시킨 후 100 °C에서 건조시킨 후에 다시 분쇄하여 사용하였다. Table 1에 사용된 촉매의 종류와 특성을 나타내었다. 촉매는 K 또는 Ca의 함량을 기준으로 구분한 것이다. K₂CO₃의 양은 0.0-18.4 wt%이었으며 K의 손실을 막아서 K의 촉매효과를 어느 정도 보상시키는지 알아보기 위해 CaO를 0.0-9.9 wt% 첨가하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 탄화실 부착카본의 생성 메카니즘

탄화실의 여러 위치에 부착된 카본시료를 채취하여 성분 분석 및 조직관찰을 통하여 부착카본의 생성 메카니즘을 알아보았다. Table 2는 탄화실의 장입구, 천정부, 벽부에서 채취한 카본에 대한 공업분석치를 나타내었다. 장입구에서 채취한 부착카본이 다른 부위보다 회분이 많게 나타나는 것은 석탄을 탄화실내로 넣는 동안 미분석탄 일부가 장입구 주변에 부착되거나 건류초기에 미분석탄과 건류가스

Table 2. Industrial analysis of deposited carbon

Position	Comp.(wt%)	Carbon	Volatile matter	Ash
Charging entrance		88.22	2.33	9.45
Ceiling		95.20	2.70	2.10
Wall		95.60	2.10	1.30

가 가스공간을 빠져나가다가 상대적으로 다른 부위보다 흐름정체역이 형성될 수 있는 부위에 부착된다고 볼 수 있다. 또한 천정부나 벽부 부착카본의 회분성분이 적은 것은 회분성분의 원류가 되는 미분석탄의 부착이 미미한 반면에 타르나 탄화수소류의 순수 열분해에 의한 부착 때문이다.

Fig. 5의 (a)는 장입구 주변의 부착카본을 에폭시 마운팅한 후 연하여 광학 현미경으로 조직을 관찰한 것으로 전체적인 형상은 다공성을 나타내고 있다. 이것은 타르 응축물과 미분석탄이 장입구 주변

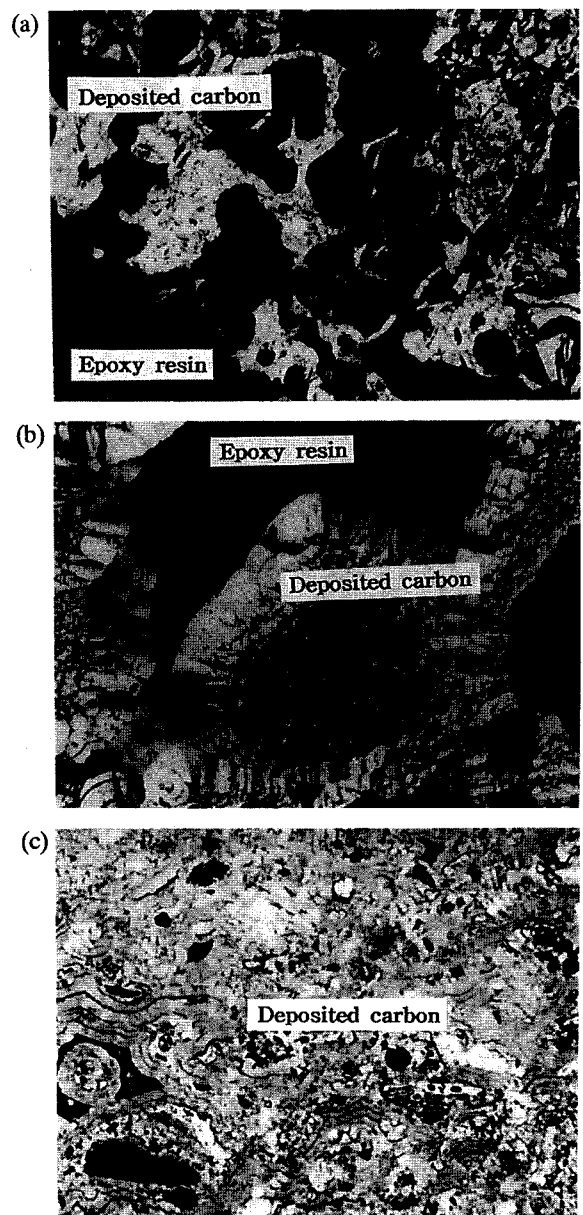


Fig. 5. Microstructures of carbon deposited.

(a) Charging hole, (b) Oven deck(gas side), (c) Oven deck(wall side).

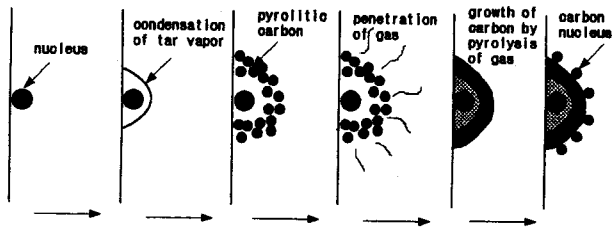


Fig. 6. Mechanism of the growth of carbon deposition.

에 부착된 후 열분해되는 과정에서 발생가스가 빠져 나가는 과정에 생성된 것임을 알 수 있다. 또한 온도가 높은 영역에서 볼 수 있는 열분해 카본의 성장은 전혀 나타나지 않는다. (b)는 탄화실 천정부의 부착카본으로 (b)보다는 훨씬 기공이 없으며 군데군데 미분석탄이나 고분자 응축물 등이 열분해된 것이 보이며 이를 핵으로 하여 열분해 카본이 연결되어 있다.

이러한 결과를 근거로 탄화실내 부착카본의 생성기구를 요약하여 Fig. 6에 카본부착 메커니즘을 개념적으로 나타내었다. 장입구 주위의 카본부착은 건류가스 정제 부위에 장입초기 다량의 가스 발생 시 타르증기 자체의 응축과 미분석탄 표면에 타르증기가 응축된 상태로 연화표면에 부착되어 열분해가 진행된다. 벽부와 천정부 부착 카본은 상대적으로 적은 양의 미분석탄과 타르증기가 연화표면에 부착되어 짧은 시간에 열분해가 진행되고 이런 부위를 핵으로 열분해 카본이 그 위에서 계속 성장해 나간다고 볼 수 있다. 또한 초기의 다공성의 조직은 건류가스의 침투에 의한 열분해 카본의 생성과 성장에 의해 치밀한 조직으로 바뀌어간다.

탄화실의 위치에 따라 부착된 카본의 조사를 통해 부착초기의 카본은 상당히 기공이 많으며 강도가 낮아져 제거가 용이하리라 판단되지만 부착시간이 경과할수록 기공사이로 침투되어 들어오는 탄화수소류의 열분해에 의한 카본이 생성 성장되어 조직이 치밀해지고 강도도 강해져 제거하기가 어려워짐을 알 수 있다. 따라서 부착카본의 제거는 부착초기에 제거되어야 한다.

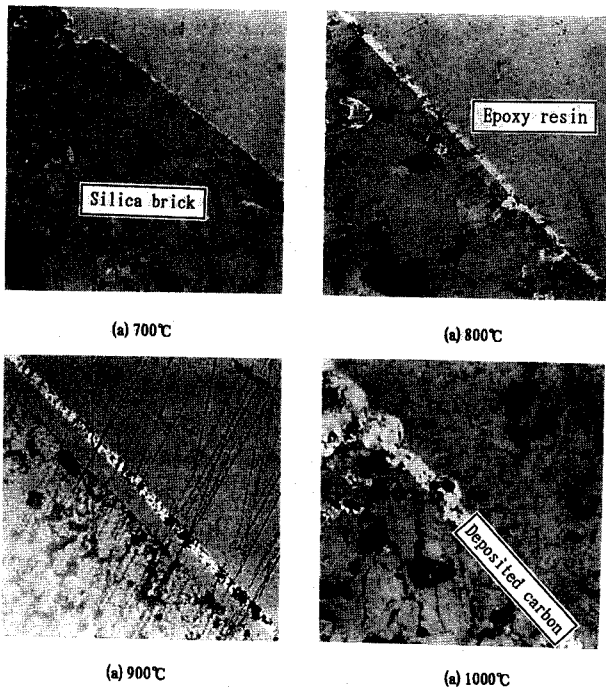


Fig. 7. The type of deposited carbon on the sample surface($\times 200$).

화학공학 제35권 제6호 1997년 12월

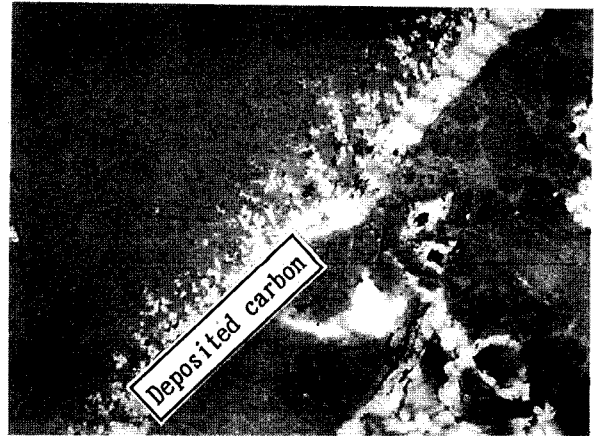


Fig. 8. The growth of deposited carbon on the surface of silica brick ($\times 500$).

3-2. 부착카본 생성량에 대한 부착표면온도의 영향

부착표면온도가 탄화실에 부착되는 카본의 양에 미치는 영향을 Fig. 3의 소형실험로를 통해 알아보았다. Fig. 7은 카본이 부착되는 시편의 온도를 700, 800, 900, 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지시켜 열분해를 행한 후 시편 표면의 카본이 부착된 상황을 광학현미경을 사용하여 200배로 찍은 사진이다. 사진에서 흰 띠로 나타나는 부분이 실리카 연화 시편 표면에 부착된 카본을 나타낸다. 이 흰 띠가 카본임을 확인하기 위해 900 $^{\circ}\text{C}$ 일 때 부착된 카본을 500배로 확대하여 찍은 것이 Fig. 8이며 columnar 열분해 카본이 표면에서 성장되어 가는 것을 확인할 수 있다. Table 3은 부착시편의 온도변화에 대한 부착된 카본의 두께를 측정한 결과이며 건류시간은 3시간이다. Fig. 9는 Table 3에서 구한 부착된 카본의 양을 시간당 부착카본량으로 나타낸 그림으로 카본부착량은 부착면의 온도 증가에 의해 지수함수적으로 증가함을 알 수 있으며 특히 부착면의 온도가 800 $^{\circ}\text{C}$ 정도를 넘어서면 급격히 증가한다. 이것은 탄화실 상부의 연화 표면온도가 높을 때 카본부착량이 많았던 실제 조업로 조사결과와 일치하였다. 부착량이 온도변화에 따라 지수함수적으로 나타나기 때문에 Arrhenius형의 속도식

Table 3. Effect of sample temperature on the carbon quantity deposited

Sample temperature($^{\circ}\text{C}$)	Carbon quantities(mm)
700	0.002
800	0.006
900	0.010
1,000	0.018

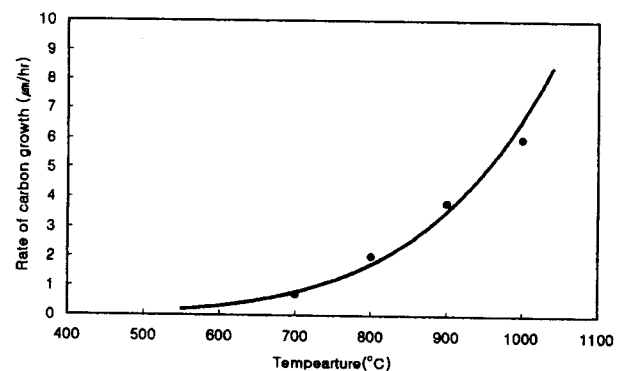


Fig. 9. Relation between temperature and rate of carbon growth.

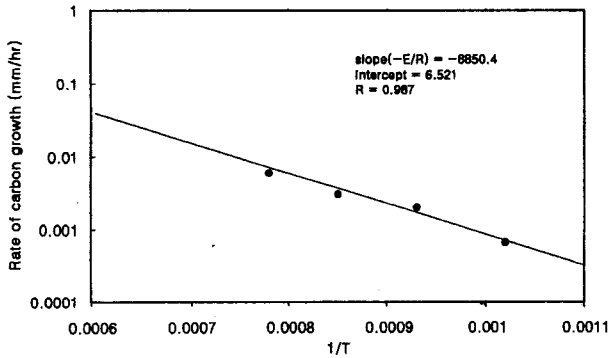


Fig. 10. Arrhenius plots for carbon growth rate.

으로 표현이 가능하다. Fig. 10은 Fig. 9의 결과를 $1/T$ 에 대하여 Arrhenius plot을 한 결과를 기울기가 -8850.4 이고 y절편이 6.521 로 부착 카본 생성시의 겉보기 활성화에너지(E_1)는 17585.7 cal/mole 이 된다. 따라서 부착시편온도만을 고려한 카본부착 반응속도에 대한 Arrhenius식은 다음과 같이 표현된다.

$$D_1(\text{카본부착속도, mm/hr}) = 6.521 \cdot \text{EXP}(-17585.7/RT) \quad (1)$$

3-3. 수분에 대한 영향

석탄의 수분에 대한 영향을 고려한 카본부착량 예측식을 만들기 위해 수분함량을 변화시켜 부착량 측정실험을 행하였다. 석탄을 건조기에 일정시간 방치한 후 꺼내어 중량을 측정하여 원중량과의 차이만큼 수분이 빠진 것으로 계산하여 수분함량을 결정한 후 실험에 사용하였다. 본 실험에서는 시편온도를 800°C 로 고정하고 수분함량 변화에 따른 카본부착량을 측정하였다. 석탄의 수분함량은 8.0 wt\% 이며 5 kg 의 석탄을 80°C 건조기에 넣어 20시간 정도 건조시켰을 때 수분함량은 2.0 wt\% 이다. Fig. 11은 석탄의 수분변화에 따른 부착 카본량 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 석탄의 수분이 작아질수록 오히려 카본부착량은 증가하는 것으로 나타난다. 이 현상은 수분이 스팀 가스화반응을 촉진시켜 부착된 카본과 반응하여 부착량을 줄이는 효과가 있는 것으로 판단된다. 본 실험에서 행한 수분함량이 $0.0-8.0 \text{ wt\%}$ 범위에서 부착카본 두께와 수분함량과는 거의 직선적인 관계로 회귀식은 다음과 같이 나타난다.

$$D'(\text{카본부착속도, mm/hr}) = -0.000157 \times W(\text{석탄수분함량, wt\%}) + 0.00315 \quad (2)$$

3-4. 실로에서의 부착카본량 측정

Fig. 12는 실제 조업로에서 건류가 완료된 후 카본이 부착된 시편을 광학현미경을 사용하여 찍은 것으로 소형실험로에서 측정된 시편의 형상과 동일하게 나타나고 있다. 건류가 진행되는 동안 카본이 부

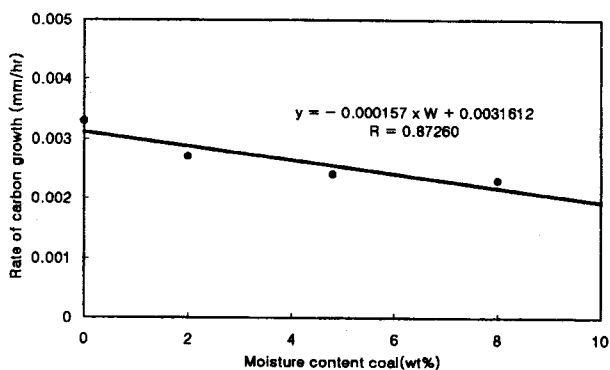


Fig. 11. Relation between coal moisture and carbon growth rate.

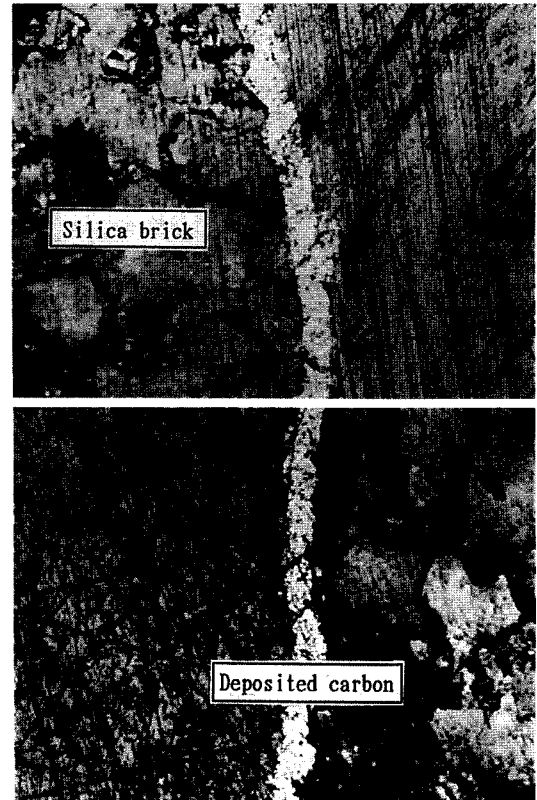


Fig. 12. The type of deposited on the surface of carbon brick at the real coke oven.

착되는 정도는 시간에 따라 다르지만 시간별로 균일하게 부착된다는 가정하에 시간당 부착속도로 나타내면 $0.0011-0.0014 \text{ mm/hr}$ 이다. 이것은 소형 실험로에서 시편의 부착면 온도가 700°C 일 때의 0.00067 mm/hr 보다 2배 정도 높다.

3-5. 무촉매 하에서의 부착카본 연소실험

온도가 $700, 900, 1,000^\circ\text{C}$ 일 때 300 cc/min 의 공기를 흘리면서 탄 화실 천정부와 장입구 부위의 부착카본 시편에 대한 연소실험을 한 결과를 Fig. 13에 나타내었다. 두 시료에 대한 연소속도의 차이는 거의 없으며 온도가 높을수록 지수함수적으로 연소속도가 증가하였다. 연소공기의 산소함량을 변화시키면서 부착카본의 연소실험결과를 Fig. 14에 나타내었다. 산소함량이 증가함에 따라 연소속도가 비례적으로 증가하였다.

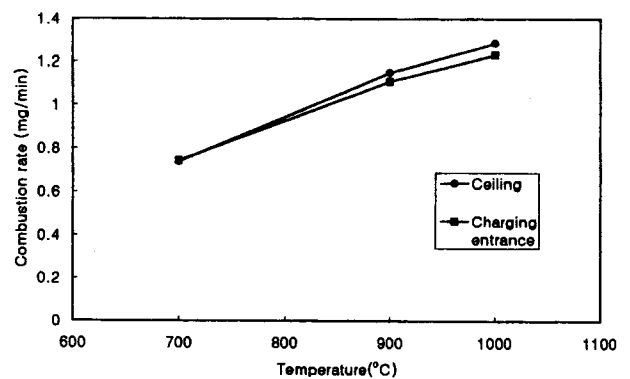


Fig. 13. Effect of temperature on the combustion rate.

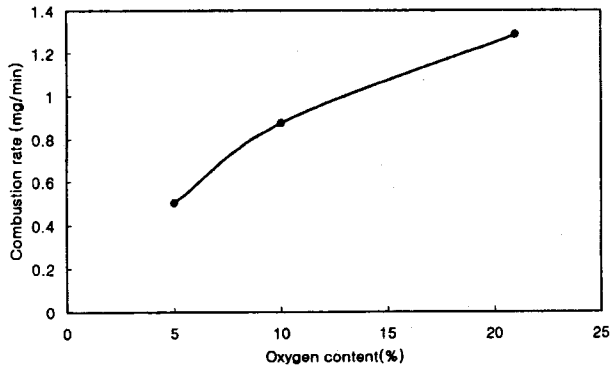


Fig. 14. Effect of oxygen content on the combustion rate.
(oxygen contents 5 %=combustion time 20.1 min
oxygen contents 5 %=combustion time 20.1 min
oxygen contents 5 %=combustion time 20.1 min).

Table 4. Effect of catalysts on combustion rates

Catalyst	Combustion times(min)	Combustion rates(mg/min)
K-0	8.21	1.31
K-2	7.18	1.49
K-5.6	5.54	1.74
K-10.4	4.85	1.80
K-5.8(KOH)	5.36	1.88
K-5.4Ca-2.8	5.18	1.77
K-9.5Ca-6.5	3.90	1.96

3-6. 촉매를 이용한 부착카본의 연소실험

Table 4에 촉매를 이용한 부착카본의 연소실험결과를 나타내었다. K의 함량이 6%까지 연소속도가 증가하다가 그 이상에서는 일정하였다. 이때 연소속도는 촉매를 첨가하지 않은 원시료보다 1.4배 증가하였다. 또한 같은 양일 때 KOH가 K_2CO_3 보다 약간 연소속도가 빠르게 나타났다. Ca를 첨가하면 연소속도가 약간 증가하는 경향을 나타내는데 이는 CaO가 부착카본의 ash 성분 중 주로 Si, Al 등과 선택적으로 반응하여 K의 손실원이 되는 $KAlSiO_4$ 의 생성을 억제시키기 때문이다. 촉매 loading량이 6.0 wt%일 때를 최적으로 가정하고 온도에 대한 연소속도를 측정하여 Fig. 15에 나타내었다. 촉매를 사용하지 않을 때보다 촉매를 사용하였을 때 연소속도가 1.04-1.43배 향상되었으며 반응속도가 높을수록 촉매에 의한 연소속도 증진 효과가 더욱 커짐을 알 수 있다. 따라서 K_2CO_3 를 카본부착 부위에 효과적으로 분산시켜 부착카본 위에 침착시킬 수 있다면 공기와 연소반응을 보다 활발하게 진행시켜 카본제거속도를 증진시킬

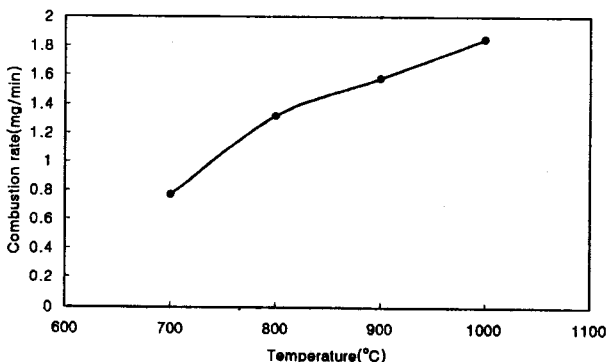


Fig. 15. Effect of K_2CO_3 (6 wt%) on the combustion rate.

수 있을 것으로 판단된다.

3-7. 실로에서의 부착카본 제거를 위한 공기유량 산정

공기소각에 의한 탄화실내 부착카본 제거장치 개발을 위한 기본 사항인 소각용 공기 공급장치(fan, blower)의 용량을 결정하는 문제를 해결하기 위해 탄화실 전체 1 cycle 건류 동안 부착되는 카본량을 구해야 하며 부착된 카본을 공기소각에 의해 제거시킬 때 필요한 공기유량을 산출하여야 한다. 카본부착 정도는 부착위치의 가스흐름 상황과 부착면의 온도에 따라 다르게 나타나기 때문에 다음과 같은 가정하에 필요한 공기량을 산출하였다. 첫째, 실제로 카본부착이 이루어지는 곳은 석탄이 건류된 후 코크스와 접촉하지 않는 벽부와 천정부, 장입구 주변으로 본다. 둘째, 카본부착부위의 온도는 800°C 이며 열분해 실험로에서 행한 카본부착량보다 실로에서 측정한 부착량이 두 배 많게 측정되었으므로 실제 추정 부착량은 $(0.006/3) \times 2 \times 19 = 0.076 \text{ mm}$ 이다. 셋째, 건류가 완료된 후 코크스가 채워지지 않은 탄화실 상부의 높이는 1.5 m, 탄화실의 폭은 450 mm이다. 넷째, 부착카본의 겉보기밀도는 10 g/cm^3 이다. 다섯째, 부착카본의 탄화실내 연소효율은 70%이다. 이와같은 가정하에 탄화실 내부에 카본부착이 가능한 면적은 60 m^2 이며 1회 건류시 탄화실 내부에 부착되는 카본의 양은 4.56 kg으로 판단된다. 이 양은 순카본 380 mole이며 산소와 반응하여 전부 이산화탄소로 되기 위해 필요한 산소량은 380 mole이고 공기의 양은 1,900 mole이다. 이 공기를 연소효율 100%일 때의 부피로 환산하면 42.56 Nm^3 이며 연소효율 70%일 때의 부피는 60.8 Nm^3 이다. 공기분사장치의 탄화실 내부로의 이동속도는 25 m/min 이고 탄화실 폭이 16.4 m이므로 이 장치의 탄화실 내 체류시간은 $16.4 \times (2/25) = 1.3$ 분이다. 따라서 이 장치가 탄화실 내부를 전 · 후진하며 부착카본을 소각하기 위해 분사해야 할 공기의 유량은 $60.8/1.3 = 46.7 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 이다. 효율을 67%로 볼 때 약 $70 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 정도의 연소공기를 공급할 수 있는 fan이 사용되어야 적합하다고 판단된다.

4. 결 론

탄화실내 부착카본을 위치별로 채취하여 광학현미경 관찰 및 성분분석을 한 결과 미분탄과 타르중기가 응축되어 핵을 생성하고 열분해에 의해 핵이 성장되어 카본이 형성됨을 알 수 있었다. 실험에 의한 카본부착량 예측실험을 하여 카본부착 부위의 온도와 석탄 수분함량에 따른 각각의 카본부착량 예측식을 유도하였다.

K_2CO_3 촉매를 이용한 부착카본의 연소실험결과 최적 촉매 loading량은 6.0 wt%이었고 무촉매에 의한 연소보다 연소속도가 1.4배 증가하였다. 1회에 석탄 약 33톤을 건류하는 실제 코크스공정에서 탄화실에 부착되는 카본의 양은 4.56 kg으로 추정되었으며 연소에 필요한 공기를 공급하는 fan의 용량은 $70 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 이상이어야 했다.

사용기호

- D1 : rate of carbon growth [mm/hr]
- D' : rate of carbon growth [mm/hr]
- E1 : activation energy [Kcal/mole]
- R : gas constant [cal/mole · K]
- T : temperature [K]
- W : moisture contents [wt%]

참고문헌

1. Notych, A. G.: *Coke and Chem.*, 12, 19(1963).

2. Shemeryankin, B. V. and Chebotarev, V. P.: *Coke and Chem.*, **5**, 15(1964).
3. Nakazaki, A. and Matsuo, T.: *Ironmaking Proceedings*, Pittsburgh Meeting, March, **46**, 261(1987).
4. Yoshida, S. and Tomiyama, H.: *2nd International Cokemaking Congress*, London, UK, September, 1, 129(1992).