

## 최종온도 변화에 따른 코크스 품질 특성

윤경호<sup>†</sup> · 김기홍 · 이용국

포항산업과학연구원 에너지화성연구팀  
(2000년 4월 18일 접수, 2000년 9월 4일 채택)

## The Effect of End Temperature on Coke Qualities

Kyong-Ho Yoon<sup>†</sup>, Ki-Hong Kim and Yong-Kuk Lee

Energy & Chemical Process Research Team, Research Institute of Industrial Science & Technology  
(Received 18 April 2000; accepted 4 September 2000)

### 요 약

일반탄의 배합비 15-40% 범위에서 석탄 20 kg을 사용하여 일반탄 배합비 변화에 따른 코크스 최종온도와 코크스 품질과의 관계를 실험적으로 고찰하였다. 일정량의 일반탄을 배합한 경우 코크스 최종온도를 높인다고 코크스 강도가 같이 상승하는 것은 아니었고 특정온도 이상에서 코크스 강도가 오히려 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 이것은 건류시간은 충분하나 석탄의 코크스화 진행속도가 너무 빨라 휘발분의 급속한 발생으로 인해 코크스 내부 기공이 커지는 현상과 함께 높은 온도에서의 코크스의 열충격에 의한 현상에 원인이 있는 것으로 보인다. 또한 가장 코크스 강도가 높게 나타나는 코크스 최종온도가 존재하며, 코크스 최종온도가 같을지라도 일반탄 배합비가 증가할수록 코크스 강도는 낮아지고, 코크스 강도가 최대가 되는 코크스 최종온도 범위가 더 높은 온도 쪽으로 이동하는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 코크스화 열량과 석탄 중심온도로 설명할 수 있었다.

**Abstract** – This study was performed to investigate the relationship between the coke end-temperature and coke quality by blending 20 kg low cost coal in the range of 15-40 wt%. Increasing the coke end temperature did not necessarily improve the coke quality at constant mixing ratios of low cost coal. Both inner pore of coke, produced by rapid evaporation of volatile matter caused by fast coking rate, and the thermal stress in high temperature resulted in deterioration in coke quality. There was the coke end-temperature for coke quality to be the most qualified within studied temperatures. As portion of low cost coal in the mixture increased, coke quality decreased and the range of coke end-temperature in which coke quality became maximum transferred to higher temperature. These observations could be explained in terms of coke heat quantity and coal mid-temperature.

**Key words:** Coke Oven, Low Cost Coal, Coke End Temperature, Coke Quality

### 1. 서 론

제철공정의 한 부분인 코크스 오븐에서 석탄을 1,200-1,300°C로 18-19 시간 가열하면 코크스가 된다. 코크스는 고로에 넣어 철광석과 함께 철을 생산하는 원료로 사용되며 코크스 품질에 따라 생산되는 철의 품질에 큰 영향을 준다. 따라서 제철산업에서 코크스 오븐의 역할은 상당히 중요하다고 볼 수 있다. 코크스 오븐은 석탄을 가열하여 코크스를 제조하는 설비로서 연소실과 탄화실로 이루어져 있다. 탄화실에 석탄을 넣고 연소실에서 열원인 연료가스를 연소시켜 발생된 열을 탄화실에 전달시켜 코크스를 제조한다. 따라서 코크스 오븐의 연소실 온도와 탄화실내의 코크스 온도를 어떻게 관리하느냐에 따라 코크스 품질 및 연료사용량을 결정하게 된다. 코크스 오븐은 일반적으로 가동율 및 석탄의 성상에 따라 연소실 온도를 수시로 변화시키며 조업을 하게 된다. 연소실 온도를 변화시키기 위해서는 공급되는 연료가스의 양을 변화시킨 후 연소실 온도를 측정하여

원하는 온도가 될 때까지 계속 공급열량을 변화시킨다.

제철용 코크스 제조공정에서 사용되는 석탄은 역청탄이며, 역청탄 중에서도 코크스가 되는 성질인 점결성이 많은 석탄을 사용할수록 품질이 우수한 즉, 강도가 높은 코크스가 생산된다. 그러나 점결성이 많은 석탄은 그만큼 가격이 높기 때문에 점결성이 거의 없어서 코크스 제조에 적합하지 않은 저가의 석탄(이하 일반탄)을 점결성이 많은 석탄에 일부 혼합하여 사용함으로써 원료비를 낮출 수 있다. 그러나 이에 수반하여 코크스 강도가 하락하기 때문에 코크스 제조공정에서는 석탄조습설비인 CMCP(Coal Moisture Control System)와 CDQ(Coke Dry Quenching) 등의 코크스 오븐 부대설비를 도입하여 코크스 강도를 보강하고 있다. 그러나 이러한 고가의 부대설비에 대한 투자에 의해서가 아닌 코크스 오븐 자체에서도 일반탄 사용량을 증가시키고 동시에 원하는 코크스 강도를 확보할 수 있는 방안이 필요하다. 이에 본 연구에서는 일반탄 사용량 증대에 따른 코크스 강도 하락을 최소화하는 방안으로 일반탄 사용량에 따른 코크스 최종온도와 코크스 품질과의 관계를 규명함으로써 원료비 및 에너지 절감에 기여하고자 하였다.

<sup>†</sup>E-mail: khyoon@rist.re.kr

제철공정에서 사용되는 석탄은 역청탄으로서 호주, 미국, 캐나다 등 특정지역에 주로 매장되어 있다. 따라서 자국에서 생산되지 않는 석탄을 수입에 의존하여 코크스 제조에 사용하는 경우 산지 특성과 운송비용 등을 고려하여 특정 지역의 석탄만을 사용하지 않고 여러 지역에서 생산되는 석탄을 혼합하여 사용한다. 따라서 수입에 의존하는 국가는 보다 고품질의, 그리고 저가의 석탄을 사용함으로써 원가를 절감하려는 노력을 기울이고 있으나, 자국에서 제철용 석탄을 자급하는 대부분의 국가에서는 문제가 되지 않아 이에 대한 연구가 미미하다. 특히 코크스가 되려는 성질인 점결성이 거의 없는 석탄을 코크스 제조에 사용하려는 연구실적은 거의 없는 실정이다.

일반적으로 석탄의 점결성에 영향을 미치는 석탄의 특성은 석탄에 함유된 휘발분(volatile matter)과 유동도(fluidity)라 보고되어 있다[1]. 휘발분은 석탄 중에 함유되어 있는 분자량이 작은 물질이 코크스와 과정에서 열분해되어 생성되는 기체상태의 혼합물이다. 석탄 분석에 있어서 적용되는 휘발분은 항습시료를  $900 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 7분간 가열하였을 때 발생하는 물질 중 수분을 제외한 나머지를 백분율로 표시한다. Thijssen 등의 보고자료에 따르면 휘발분과 코크스 강도와의 관계를 휘발분의 양이 증가할수록 코크스 강도는 떨어지는 것으로 보고되어 있다[2]. 이러한 현상은 코크스 품질이 석탄입자의 연화, 용융속도가 분해가스의 생성속도와 균형을 이루는 영역에서 비교적 작고 균일한 기공을 가지면서 기공 벽이 두꺼운 코크스가 생성되기 때문이다.

석탄은 온도가 상승함에 따라 연화, 용융, 고화 단계를 거치면서 가스와 코크스를 생성하게 되는데 이 과정에서 용융된 석탄입자의 상대적인 점도를 유동도로 표시하고 석탄의 점결성을 나타내는 지수의 하나로 사용한다[3]. 석탄의 유동도는 주로 Gieseler Plastometer로 측정하는데 이는 용융된 석탄 입자 중앙에 stirrer를 설치하여 일정한 힘을 가할 때 stirrer의 회전속도를 Dial Gauge 지시침의 분당 회전속도(DDPM: Dial Division Per Minute)로 표시하며 이를 유동도라 한다. 일반적으로는 DDPM의 대수값인 LMF(Logarithm Maximum Fluidity)를 사용한다. Chen 등[4]은 휘발분과 최고유동도가 코크스 강도에 미치는 영향을 등강도 곡선으로 표시하고 유동도가 낮은 영역에서는 최고 유동도의 변화가 코크스 강도 변화에 크게 영향을 미치고 있으며, 유동도가 높은 영역에서는 유동도 변화에 따른 영향은 거의 없고 단지 휘발분의 변화에 의해서만 좌우되는 것을 보고하고 있다.

## 2. 실험

코크스 품질의 척도인 코크스 강도와 코크스 최종온도와의 관계를 알아보기 위하여 모의 건류 실험장치를 Fig. 1과 같이 제작하였다. 석탄

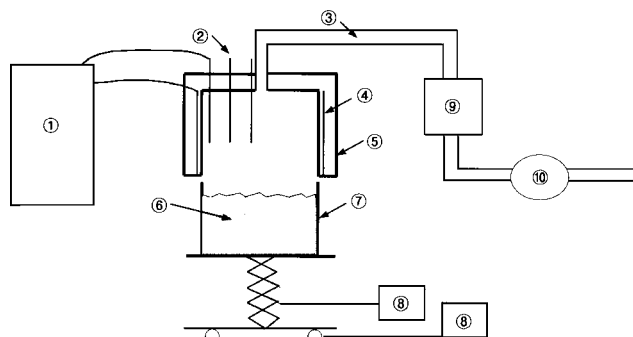


Fig. 1. Schematic diagram of test coke oven.

- |                    |                    |            |
|--------------------|--------------------|------------|
| 1. Control panel   | 5. Heating furnace | 8. Motor   |
| 2. R-type T/C      | 6. Coal            | 9. Tar     |
| 3. Gas outlet pipe | 7. Coal bucket     | 10. Blower |
| 4. Heater          |                    |            |

Table 1. Mixing ratios of coal for test

Coal	Mixing ratios(%)					
CW	15	15	12	10	8	6
FR	15	13	13	13	13	13
LC	8	7	7	7	6	5
GC	17	17	17	15	14	14
GY	20	18	17	16	15	14
GP	10	10	9	9	9	8
KW	5	10	10	15	15	20
MW	10	10	15	15	20	20
Mixing ratios of low cost coal(%)	15	20	25	30	35	40

장입용 box는 위 부분이 개방된 5 mm 두께의 SUS 재질로  $200 \times 400 \times 400$  mm의 크기인 사각 box형 type으로 석탄 20 kg(수분 포함)을 담을 수 있게 제작하였다. 가열용 로 역시 사각 box 형태로 아래 부분이 개방된 형태이다. 양쪽에 SiC 히터를 6개씩 총 12개를 부착하였으며 양쪽에 R-Type 열전쌍을 부착하여 가열온도를 조절할 수 있도록 하였다. 또한 히터를 보호하기 위하여 히터 앞에 SiC plate를 부착하였다. 노의 온도를 원하는 온도로 상승 유지시킨 후 장입용 box에 석탄 20 kg을 wet 기준 장입밀도  $715 \text{ kg/m}^3$ (dry 기준  $625 \text{ kg/m}^3$ )으로 넣은 후 승강기를 사용해 로 안에 장입시켰다. 장입 직후 노 상부에서 3개의 K-Type T/C를 장입 box 벽부 쪽, 탄 중심 쪽, 그리고 그 중간에 각각 삽입하여 3개의 T/C 평균온도를 코크스 최종온도로 간주하였다. 건류 중 발생하는 가스는 송풍기를 사용하여 발생하는 가스량의 정도에 따라 서서히 뽑아낸 후 냉각수와 열 교환시켜 타르 및 수분을 정제한 후 외부로 방출시켰다. 건류 완료 후 승강기를 하강 및 이동시켜 질소 냉각시스템에서 약 18시간 정도 냉각시켰다. 냉각된 코크스는 입도 15 mm 이상 10 kg을 선별하여 JIS 규격의 드럼에 넣어 150 회 회전시킨 후 15 mm 이상의 코크스 무게를 측정하여 코크스 강도(DI150)를 측정하였다[5].

일반탄의 배합비가 증가할수록 석탄의 휘발분과 유동도가 변화하는 경우를 고려하였다. 먼저 Table 1에 나타난 바와 같이 총 8개 종류의 석탄을 혼합하여 사용하였으며, CW, FR 등 석탄의 종류는 산지 또는 공급사의 이름을 따서 약어로 표시한다. 일반탄인 KW와 MW의 양을 15-40%를 배합함으로써 일반탄 배합비를 조절하였다. 배합안의 석탄의 특성은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 일반탄 배합비가 증가할수록 휘발분의 양이 증가하는 경향을 보이고, 유동도가 감소하는 경향을 보이도록 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 코크스 최종온도 변화에 따른 코크스 품질

Table 1의 석탄시료를 가지고 코크스 최종온도 변화에 따른 코크스 강도를 측정하였다. 먼저 일반탄 15% 배합 시 코크스 최종온도와 코크스 강도와의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 코크스 최종온도가  $900^\circ\text{C}$  이하일 때는 상당히 낮은 코크스 강도를 보이나, 점차 코크스 최종온도가 증가하여  $900^\circ\text{C}$  이상이 되면 코크스 강도가 높게 나타나고 있다.  $1,000^\circ\text{C}$  이상일 경우 코크스 강도는 오히려 점차 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상을 고려할 때 일정량의 일반탄을 배합한 경우 가장 코크스 강도가 높게 나타나는 코크스 최종온도가 존재하는 것으로 보인다.  $900^\circ\text{C}$  이하에서 코크스 강도가 상당히 낮다가  $900^\circ\text{C}$  부근에서 급속히 강도가 증가하는 것은  $900^\circ\text{C}$  이하에서는 완전한 코크스가 형성되기에는 건류시간(반응시간)이 부족하여 코크스 강도가 낮은 것으로 보이며, 건류시간이 충분한 것으로 보이는  $900^\circ\text{C}$ 에서는 거의 건류

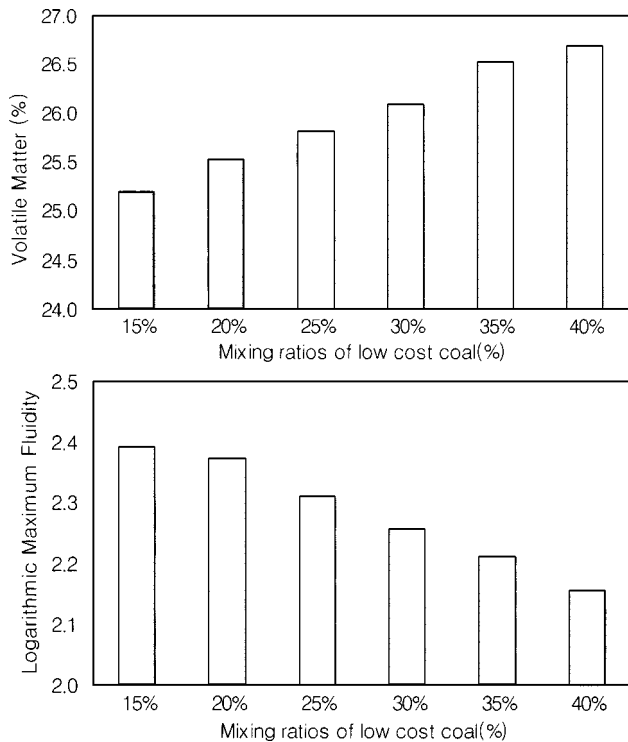


Fig. 2. Characteristics of volatile matter and fluidity of coal as a function of mixing ratio(see text).

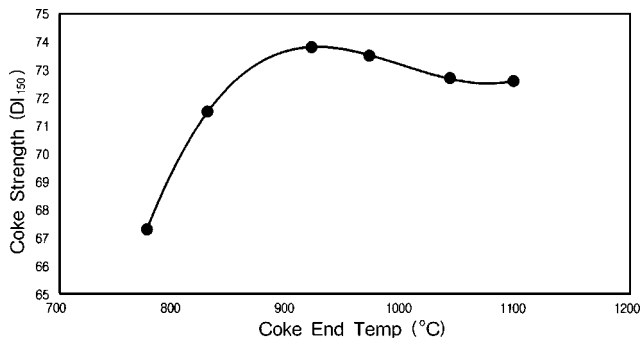


Fig. 3. The effect of coke end temperature on coke quality for 15% low cost coal.

가 완료되어 완전한 코크스가 생성됨으로서 코크스 강도가 증가하는 것으로 보인다. 1,000 °C 이상에서 코크스 강도가 오히려 떨어지는 것은 건류시간은 충분하나 석탄의 코크스화 진행속도가 너무 빨라 휘발분의 급속한 발생으로 인해 코크스 내부 기공이 커지는 현상과 함께 높은 온도에서의 코크스의 열충격에 의한 현상에 원인이 있는 것으로 보인다[6]. 따라서 일반탄을 15% 배합할 경우 굳이 1,000 °C 이상으로 건류시킬 필요가 없이 코크스 최종온도를 950 °C 전후로 관리하는 것이 에너지절감과 코크스 강도확보 면에서 모두 효율적인 것으로 판단된다.

### 3-2. 일반탄 배합비 변화에 따른 코크스 최종온도와 품질

Fig. 4는 일반탄 배합비 15, 20, 25, 30, 35, 40%인 경우의 코크스 최종온도와 코크스 강도와와의 관계를 나타낸 그림이다. 위에서 설명한 일반탄 15% 배합의 경우와 마찬가지로 모든 배합에서 코크스 강도가 최대가 되는 코크스 최종온도가 존재함을 알 수 있으며, 코크스 최종온도가 같을지라도 일반탄 배합비가 증가할수록 코크스 강도는 낮아짐을 알 수 있다. 또한 일반탄 배합비가 증가할수록 코크스 강도가 최대가

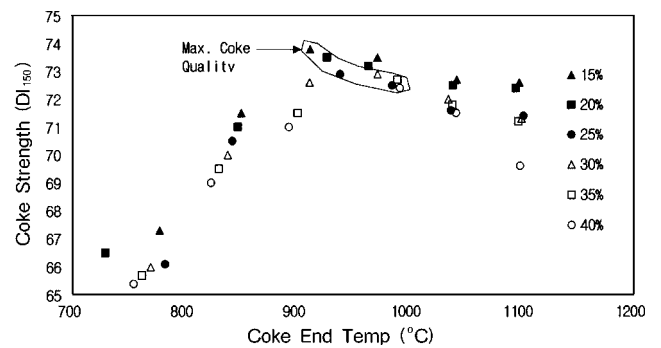


Fig. 4. The effect of coke end temperature on coke quality for 15-40% low cost coal.

되는 코크스 최종온도 범위가 더 높은 온도 쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 코크스화 열량과 석탄 중심온도 변화로 설명될 수 있다. 코크스화 열량이란 석탄 1kg을 건류하여 코크스의 최종온도를 특정온도(예, 1,000 °C)까지 도달시키는데 공급한 열량을 말하며, 코크스화 열량은 석탄에 함유된 수분의 양이 일정할 경우 주로 휘발분의 양에 의해 결정된다[7]. 석탄 건류 중 발생하는 휘발분은 연소실에서 전달되는 열량을 함유한 상태로 탄화실을 빠져나감으로서 석탄 또는 코크스로의 열전달을 방해하여 건류 진행속도를 늦추는 작용을 하기 때문이다. 따라서 일반탄 배합비가 증가할수록 휘발분의 양이 증가하기 때문에 특정 온도에 도달하기 위해서는 필요한 코크스화 열량을 증가시키거나, 더 오랜 시간을 건류해야 할 것으로 판단된다. 이것을 확인하기 위해 일반탄 배합비 변화에 따른 코크스화 열량을 측정 한 결과를 Table 2에 나타내었고 일반탄 배합비가 증가할수록 코크스화 열량이 증가하는 것을 알 수 있었다. Fig. 5는 heating 온도를 1,050 °C, 건류시간을 4.0시간으로 일정하게 유지했을 때의 일반탄 배합비 변화에 따른 석탄 중심온도 변화를 나타낸 그림이다. 일반탄의 양이 많을수록 일정한 열량을 일정한 건류시간 동안 공급하면 도달하는 코크스 최종온도는 낮아짐을 알 수 있다. 따라서 일반탄 배합비를 증가시키기 위해서는 코크스 최종온도를 기존보다 높게 하는 것이 코크스 강도를 확보하는데 적합한 것으로 판단된다.

Table 2. The effect of mixing ratios of low cost coal on coke heat quantities

Mixing ratios of low cost coal(%)	Coke heat quantities(kcal/kg)
15	369
20	374
25	376
30	380
35	382
40	385

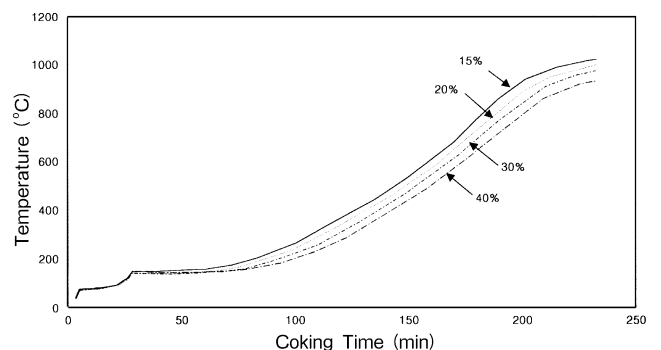


Fig. 5. The effect of ratios of low cost coal on coal mid-temperature.

#### 4. 결 론

#### 참고문헌

일반탄의 배합비 15-40% 범위에서 일반탄 사용량이 증가할수록 휘발분이 증가하고, 유동도가 감소하는 배합 특성을 가진 8개 종류의 석탄 20 kg을 사용하였다. 일정량의 일반탄을 배합한 경우 코크스 최종온도를 높인다고 코크스 강도가 동반하여 상승하는 것은 아니었고, 특정 온도 이상에서 코크스 강도가 오히려 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 이것은 건류시간은 충분하나 석탄의 코크스화 진행속도가 너무 빨라 휘발분의 급속한 발생으로 인해 코크스 내부 기공이 커지는 현상과 함께 높은 온도에서의 코크스의 열충격에 의한 현상에 원인이 있는 것으로 보인다. 또한 가장 코크스 강도가 높게 나타나는 코크스 최종온도가 존재하며, 코크스 최종온도가 같을지라도 일반탄 배합비가 증가할수록 코크스 강도는 낮아지고, 일반탄 배합비가 증가할수록 코크스 강도가 최대가 되는 코크스 최종온도 범위가 더 높은 온도 쪽으로 이동하는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 코크스화 열량과 석탄 중심온도 변화로 설명할 수 있었다.

1. Kazuma, A.: *Fuel*, **76**, 17(1997).
2. Thijssen, N. J. W and Vander, T.: *I&SM*, **April**, 20(1984).
3. Ranajit, C.: *Journal of Mines, Metals & Fuels*, **February-March**, 52 (1987).
4. Chen, C. W., Shen, J. F., Hong, M. T., Chung, K. A. and Yen, H. J.: 3rd International Cokemaking Congress, September 16-18, 69(1996).
5. Sacher, J., Panzer, H. and Kandler, W.: 3rd International Cokemaking Congress, September 16-18, 77(1996).
6. Palmu, P., and Swanljung, J.: 3rd International Cokemaking Congress, September 16-18, 64(1996).
7. Yoon, K. H., Kim, K. H. and Lee, Y. K.: *HWAHAK KONGHAK*, **35**, 585(1997).