

코크스로 연소실내 연료가스 분배특성

윤경호[†] · 김기홍 · 이용국

포항산업과학연구원 에너지화성연구팀
(1999년 9월 21일 접수, 2000년 1월 4일 채택)

Characteristics of Fuel Gas Distribution in Combustion Chamber of Coke Oven

Kyong-Ho Yoon[†], Ki-Hong Kim and Yong-Kuk Lee

Energy & Chemical Process Research Team, Research Institute of Industrial Science & Technology
(Received 21 September 1999; accepted 4 January 2000)

요 약

모의 실험장치를 이용하여 연료가스 유량 및 노즐플레이트 크기변화에 따른 코크스로내 연소실 각 flue에서의 연료가스 분배특성을 고찰하였다. 공급유량을 95-205 Nm³/hr의 범위로 변화시켰으며, nozzle plate size는 1-3 mm 변화시키며 실험을 하였다. 모든 노즐플레이트를 같은 크기로 유지하고 연료가스를 공급했을 때 입구쪽 flue의 유량이 출구쪽 유량보다 적었다. 노즐플레이트의 크기가 클수록 연료가스유량이 많았으며, 노즐플레이트 크기가 증가할수록 유량구배도 증가하였다. 따라서 노즐플레이트의 크기가 커져도 크기변화가 같으면 유량구배에 거의 변화가 없음을 알 수 있었다. 또한 출구쪽 유량을 적게 할수록 유량구배도 감소하였다. End flue의 노즐플레이트를 완전히 열었을 때 end flue의 유량이 급격히 증가하였다. Nozzle plate의 크기가 커져도 크기변화가 같으면 유량구배에 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

Abstract – The effect of flow rate and nozzle plate size on distribution of fuel gas in combustion chamber of coke oven was investigated experimentally by means of simulator. As experimental conditions, flow rates are 95-205 Nm³/hr and differences of nozzle plate size are 1-3 mm. When the nozzle plate opening areas were equal, the flow rates at entrance were more little than those at outlet by flow in a sudden enlargement. The gas flow rates were proportional to the nozzle plate opening areas and the gradient of flow rate increased with increasing the gradient of nozzle plate opening areas. Even if the nozzle plate opening areas increased and the gradient of nozzle plate opening areas was equal, the gradient of flow rate was not affected. The gradient of flow rate decreased with decreasing the flow rate of outlet. When the nozzle plate opening areas of end flue were full open, flow rates to end flue were suddenly increased.

Key words: Coke Oven, Fuel Gas Distribution, Nozzle Plate, Combustion Chamber

1. 서 론

코크스오븐에서 석탄을 1,200-1,300 °C로 18-19시간 가열하면 코크스가 된다. 코크스는 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.

코크스로의 연소관리는 로체, 생산량, 품질, 작업의 난이 등에 영향을 주어 코크스 생산가격에 직접적인 관련을 가지며 공정의 조업성적을 좌우하는 중요한 부분이다. 특히 연소관리의 목적은 전 연소실의 온도와 연소상태를 최상의 상태로 유지하려는 것으로 최상의 상태를 장기적으로 지속하고 이것에 영향을 주는 변화에 즉각적으로 대응할 수 있어야 한다. 이렇게 하기 위해서는 합리적이고 용이한 관리방법과 관리 기준을 정해 그 기준에 따라 적절한 조치를 취해야 한다. 비합리적 관

리는 단지 경제적 손실뿐만 아니라 로환의 변화에 대응하지 못하고 현재와 같이 가동률, 로온 등의 변동이 심한 상황에서 소요 코크스 품질의 확보가 어려울 뿐만 아니라 로체에도 중요한 손상을 초래하므로 합리적인 연소관리가 요구된다.

코크스 제조공정은 제철공정의 생산량에 비례하여 가동률이 수시로 변화될 수 있다. 이와 같이 수시로 변화하는 조업상황에서 코크스로의 연소관리상 문제로 대두될 수 있는 것은 연료가스 분배 문제이다. 즉, 가동률 변화에 따라 연소실에 공급되는 연료가스의 유량이 변화되면 효율적인 연소실 온도관리가 어렵다. 코크스오븐은 한 개의 탄화실 양 옆에 2개의 연소실로 구성되며 탄화실에 석탄을 넣고 건류시 발생하는 부생가스를 연소실에서 연소시켜 발생하는 열을 탄화실로 전달시켜 건류를 시킨다. 분배관에서 공급된 연료가스는 sole flue 상단에 설치된 크기가 다른 34개의 nozzle plate를 통해 축열실을 거쳐 각 연소실의 flue로 공급된다. 각 연소실은 다시 34개의 flue로 구성되어 한쪽 연소실에서 흡수된 flue가 연소되면 짝수면 flue는 폐가스 통로로 사용되며, 다른쪽 연소실은 짝수면 flue가 연소된다. 각 flue의 온도는 분배관에서

[†]E-mail: khyoon@rist.re.kr

sole flue로의 공급유량을 변화시키거나 해당 nozzle plate의 크기를 변화시켜 flue에 공급되는 연료가스의 유량을 변화시켜 조절할 수 있다 [1]. 따라서 본 연구에서는 분배관에서의 연료가스 공급유량을 변화시키거나 nozzle plate의 크기를 변화시킬 때 각 flue내 공급되는 연료가스의 유량 특성에 대한 실험적 자료를 얻음으로서 코크스로의 조업시 가동률 변화 및 조업환경 변화시 문제가 될 수 있는 연료가스 분배 문제를 해결하고 최적의 코크스로 연소관리 기술을 정립하고자 하였다.

2. 실험

연료가스 유량변화와 nozzle plate 크기 변화에 따른 연소실내 각 flue의 연료가스 유량변화를 알아보기 위해 실제 코크스로의 연료가스 유로를 실험실적인 크기의 축소 모형으로 제작하였다[2]. 시뮬레이터에 공급되는 가스는 실제 코크스로에서 사용되는 연료가스 대신 공기를 사용하였으며 제작된 시뮬레이터의 구성을 Fig. 1에 나타내었다. 시뮬레이터의 축소규모를 결정하기 위해 실제 코크스로내에서의 연료가스의 Reynolds number와 시뮬레이터내에서 사용된 공기의 Reynolds number를 일치시켜 축소규모를 결정하였다.

분배관 입구에 blower를 부착하여 연료가스 역할을 하는 공기를 불어넣었다. 주입된 공기는 sole flue전에 부착된 유량계를 통해 유량이 측정되었으며, 연소실 각 flue의 연료가스가 나오는 34개의 port에 압력계를 부착하여 압력을 측정할 수 있게 하였으나 본 실험은 짝수번 flue에 설치된 압력계의 데이터만 나타내었다. Nozzle plate는 가로 20 mm, 세로 50 mm의 크기로 세로 방향으로 0-50 mm의 크기를 조절할 수 있게 제작하였다. 또한 공기가 빠져나가는 폐기변 쪽에 유량조절 밸브를 부착하여 나가는 공기유량을 조절할 수 있게 하였다.

Nozzle plate 크기에 따른 flue내 연료가스유량 분포를 알아보기 위해 분배관으로 공급하는 유량을 95-205 Nm³/hr의 범위로 변화시켰으며, nozzle plate size는 1-3 mm 간격으로 34번까지 변화시키거나 1, 2, 33, 34번을 완전히 50 mm open시키기도 하였다. 측정 압력은 왼쪽 연소실

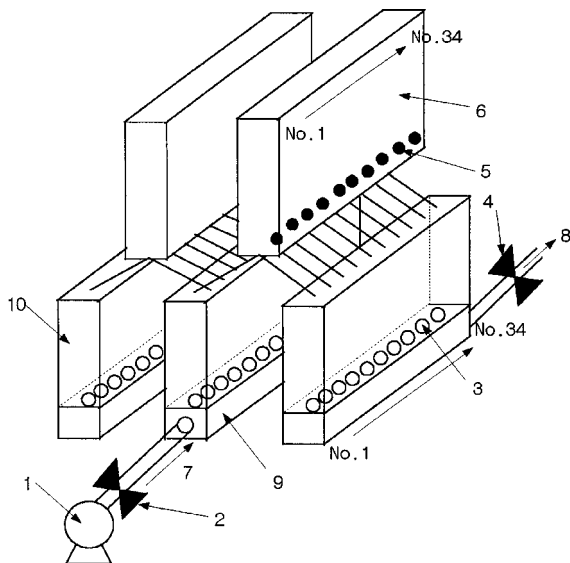


Fig. 1. Schematic diagram of coke oven simulator.

- | | |
|---|--------------------------|
| 1. Blower | 6. Combustion chamber |
| 2. Air flow rate control valve of distribution pipe | 7. Air inlet |
| 3. Nozzle plate | 8. Air outlet |
| 4. Air flow rate control valve of outlet | 9. Sole flue |
| 5. Pressure gauge | 10. Regenerative chamber |

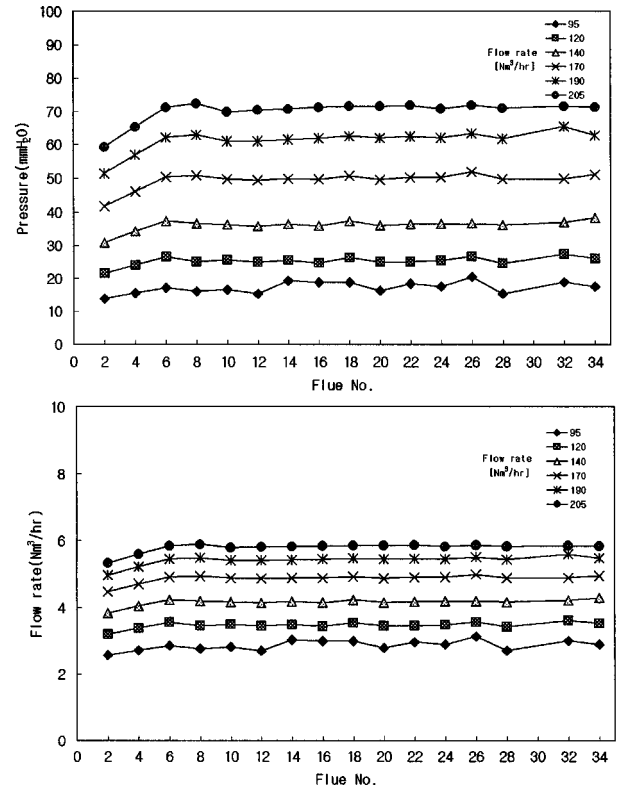


Fig. 2. Effect of total gas flow rate on pressure/flow rate in flue. (Nozzle plate opening area=20×50 mm)

인 짝수번 연소실만 측정하였으며 압력을 유속으로 환산하고 nozzle plate 면적을 곱해 유량으로 변환하여 계산하였다.

3. 결 과

3-1. Nozzle plate size 균일시 연소실 압력/유량 변화

Nozzle plate를 완전히 개방(100%)하면 50 mm까지 열 수 있다. 모든 nozzle plate를 50 mm로 똑같이 열고 분배관 유량을 변화시키며 측정한 짝수번 연소실의 압력 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 분배관 유량이 많아질수록 nozzle plate 6번까지는 압력이 상승하다 그 이후로는 압력변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이러한 현상은 분배관에서 sole flue로의 관 확대에 의해 입구쪽 nozzle plate의 압력손실에 기인한 것으로 판단된다. 그러나 상대적으로 분배관 유량이 작을수록 1번과 34번의 압력차이가 거의 없어지는 현상을 볼 수 있다. 짝수번 연소실의 압력을 유량으로 환산하여 Fig. 2에 나타내었다. 유량도 압력과 거의 유사한 경향을 나타내고 있으며, nozzle plate size 구배가 없으면 공기가 주입되는 입구쪽이 유량이 적게 들어가고 나머지는 거의 비슷하게 들어가며, 분배관 유량이 커지는 즉, 가동률이 높아질수록 입구쪽 유량구배가 상대적으로 커짐을 알 수 있다.

Nozzle plate size를 30 mm(60%), 20 mm(40%), 10 mm(20%)로 균일하게 유지시켰을 때의 분배관 유량변화에 따른 flue내 압력 및 유량변화를 Fig. 3-5에 나타내었다. Nozzle plate size를 작게 그리고 똑같이 유지할 경우 완전 개방시와 특별히 다른 점은 발견할 수 없었다. 즉, nozzle plate size가 같으면 nozzle plate size가 10-50 mm인 실험 범위 내에서는 연소실내 유량구배가 없음을 알 수 있다. Fig. 6은 분배관 유량 120 Nm³/hr시 nozzle plate size를 균일하게 했을 때의 평균유량 대비 연소실내 유량을 나타낸 유량구배곡선으로 nozzle plate size가 균일하면 입구측을 제외하고 유량구배가 없음을 알 수 있다.

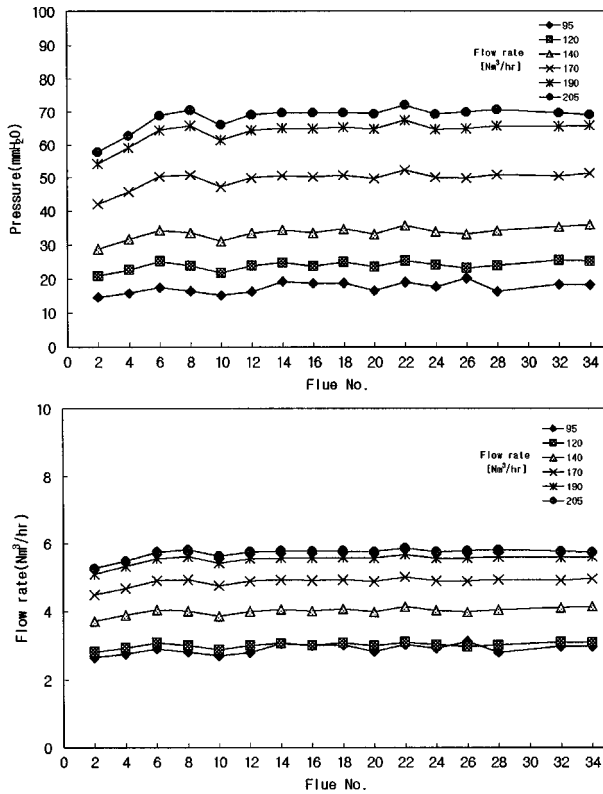


Fig. 3. Effect of total gas flow rate on pressure/flow rate in flue.
(Nozzle plate opening area=20×30 mm)

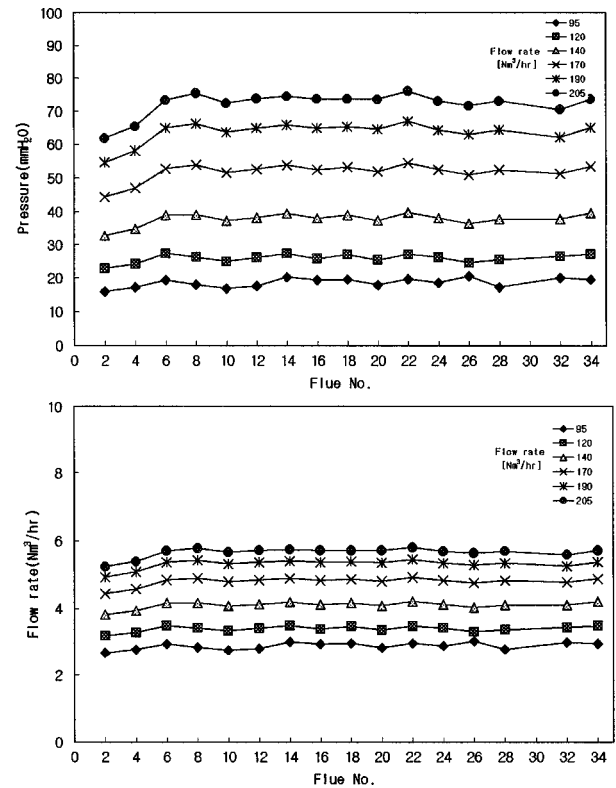


Fig. 5. Effect of total gas flow rate on pressure/flow rate in flue.
(Nozzle plate opening area=20×10 mm)

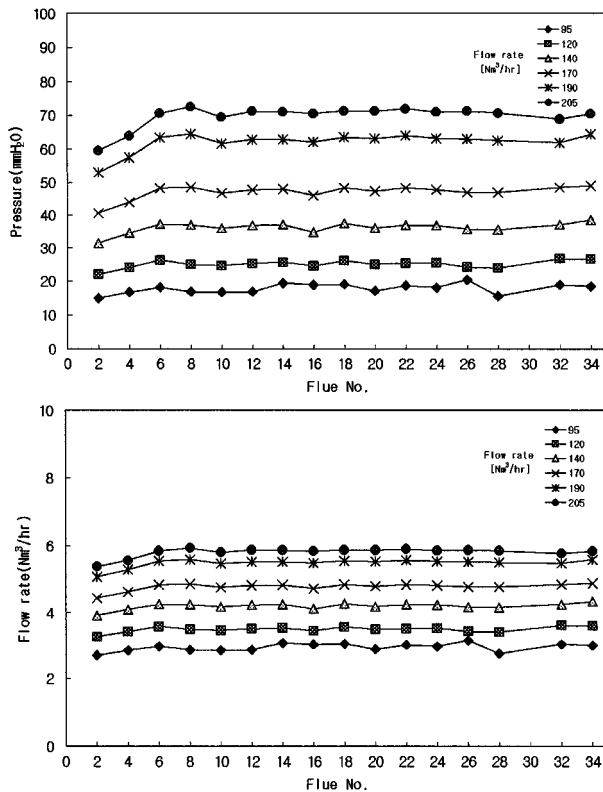


Fig. 4. Effect of total gas flow rate on pressure/flow rate in flue.
(Nozzle plate opening area=20×20 mm)

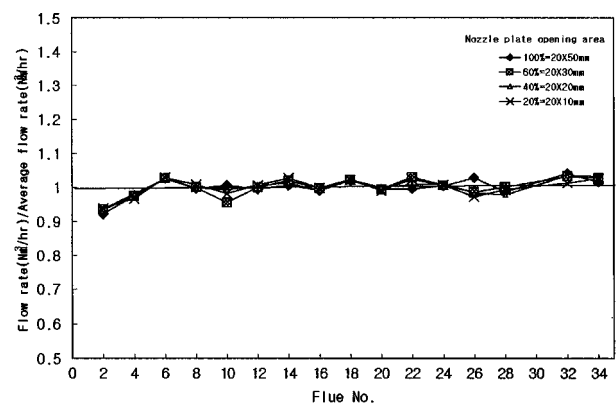


Fig. 6. Effect of nozzle plate opening area on flow rate gradient in flue.
(Total gas flow rate=120 Nm³/hr, Nozzle plate opening area: 100% =20×50 mm, 60%=20×30 mm, 40%=20×20 mm, 20%=20×10 mm)

3-2. Nozzle plate size 변화시 연소실 압력/유량 변화

실제 코크스로의 nozzle plate는 연료가스가 공급되는 입구쪽에서 출

구쪽으로 갈수록 nozzle plate의 크기가 증가한다. 그것은 탄화실의 폭이 입구쪽보다 출구쪽이 넓기 때문에 출구쪽의 온도를 높게 해야 하기 때문이다[3]. 따라서 본 실험에서는 nozzle plate의 크기를 1번에서 34번쪽으로 갈수록 증가시키며 연소실내 압력을 측정하였다. Fig. 7은 nozzle plate의 크기를 30번 기준으로 30번을 40 mm로 고정하고 30번 이하는 1 mm씩 감소, 30번 이상은 1 mm씩 증가시켜 2번은 26 mm, 4번 27 mm, 6번 28 mm, ..., 34번은 42 mm를 유지시킨 후 분배관 유량변화에 따른 연소실내 압력분포를 나타낸 그림이다. Nozzle plate의 크기를 변화시켜도 nozzle plate가 균일할 때와 마찬가지로 6번까지는 압력이 증가하고 그 이후는 일정압력을 유지하거나 약간 상승한다. 그러나 Fig. 7에 나타난 바와 같이 유량으로 환산하여 나타내면 입구쪽보다 출구쪽에서 훨씬 많은 양의 공기가 유입됨을 알 수 있다. 또한 분배관 유량이 증

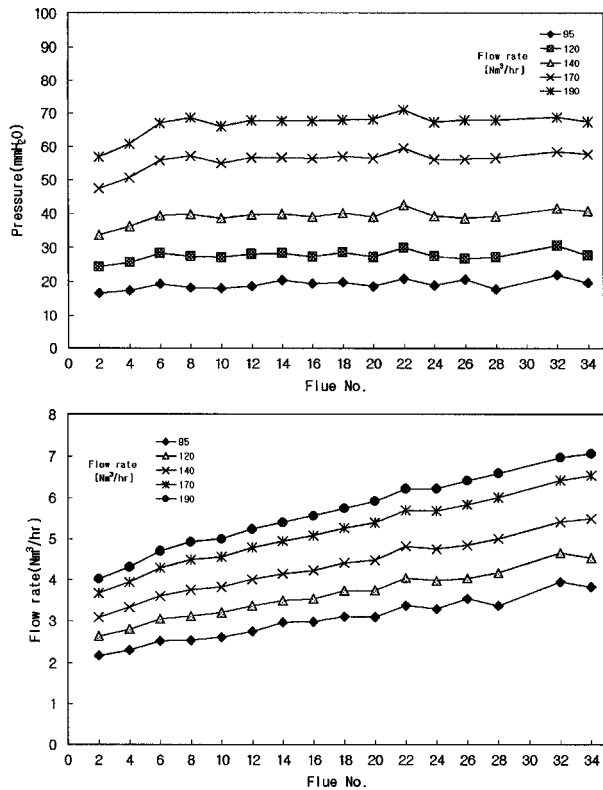


Fig. 7. Effect of total gas flow rate on pressure/flow rate in flue.
(Nozzle plate opening area: From No. 2=26 mm to No. 30=40 mm, No. 34=42 mm, 1 mm increasing)

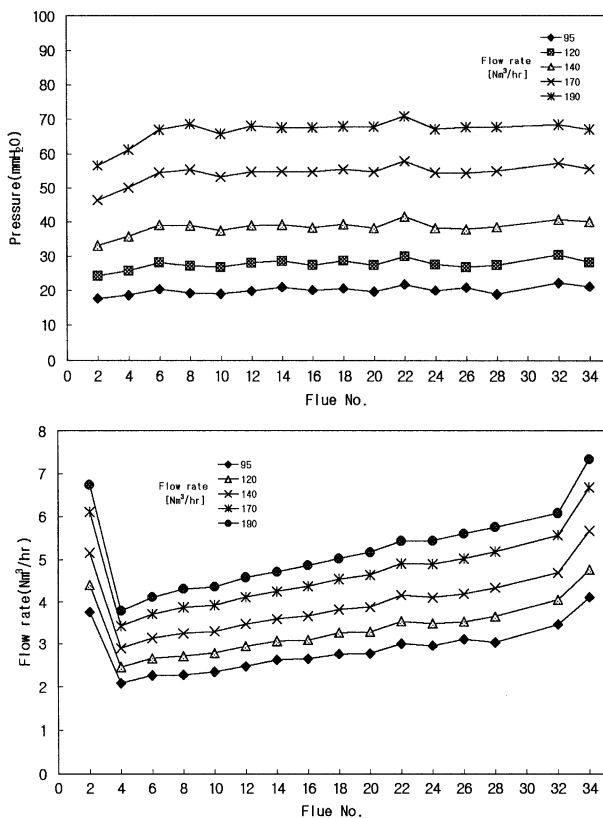


Fig. 8. Effect of total gas flow rate on pressure/flow rate in flue.
(Nozzle plate opening area: No. 2, 34=50 mm From No. 4=27 mm to No. 30=40 mm, 1 mm increasing)

가할수록 입구와 출구쪽간의 편차가 훨씬 커짐을 보이고 있다. 따라서 분배관 유량이 적으면 입구와 출구쪽간의 유량편차가 거의 없어져 실 조업시 nozzle plate 크기를 변화시키지 않은 상태에서 분배관 유량이 변동되면 온도 관리가 어려울 것으로 판단된다.

Fig. 8은 Fig. 5의 실험조건에서 2번과 34번을 50 mm까지 완전하게 개방한 상태에서 측정 한 연소실내 압력 및 유량분포를 나타낸 그림이다. 2번은 낮은 압력에도 불구하고 nozzle plate의 크기가 커서 상당히 많은 유량이 유입됨을 보이고 있다.

Fig. 9는 nozzle plate의 크기를 30번 기준으로 30번을 40 mm로 하고 30번 이하는 2 mm씩 감소, 30번 이상은 2 mm씩 증가시켜 2번은 12 mm, 4번 14 mm, 6번 16 mm, ..., 34번은 44 mm를 유지시킨 후 분배관 유량변화에 따른 연소실내 압력 및 유량분포를 나타낸 그림이다. 1 mm 변화때인 Fig. 8에 비해 유량구배가 증가함을 보이고 있다. 따라서 같은 분배관 유량을 공급할지라도 nozzle plate 크기구배를 크게 할수록 연소실내 유량구배가 커지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 10은 연료가스유량을 205 Nm³/hr로 일정하게 공급하고 전 nozzle plate를 2 mm 간격으로 할 때와 같은 조건에서 2번과 34번을 50 mm로 하였을 때의 유량구배 차이를 알아보기 위한 그림이다. 즉, 전자의 상태에서 후자의 상태로 nozzle plate를 변화시키면 전체 유량구배는 약간 감소하는 결과를 나타내고 있다. 이것은 입구쪽에 많은 유량이 흐름에 따라 출구쪽으로 점차 유량이 줄어들기 때문으로 판단된다. 따라서 실제 코크스로에서 34번 flue의 nozzle plate를 full open시 full open 하지 않을 때에 비해 유량구배가 약간 감소하며, 출구쪽으로 갈수록 full open 하지 않을 때 보다 적은 유량이 유입될 것으로 판단된다.

Fig. 11은 nozzle plate의 크기를 30번 기준으로 30번을 40 mm로 하고 30번 이하는 3 mm씩 감소, 30번 이상은 3 mm씩 증가시켜 2번은 1 mm, 4번 1 mm, 6번 4 mm, ..., 34번은 46 mm를 유지시킨 후 분배관 유량

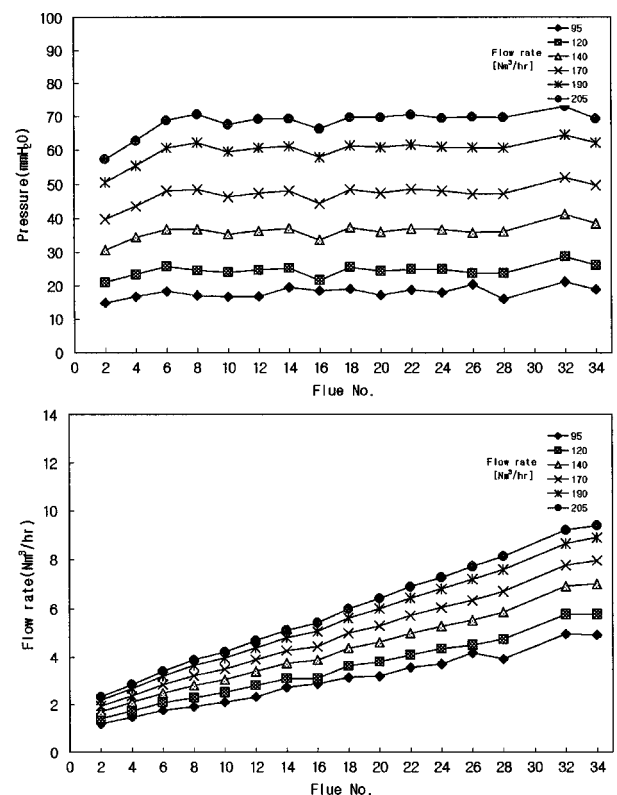


Fig. 9. Effect of total gas flow rate on pressure/flow rate in flue.
(Nozzle plate opening area: From No. 2=12 mm to No. 30=40 mm, No. 34=44 mm, 2 mm increasing)

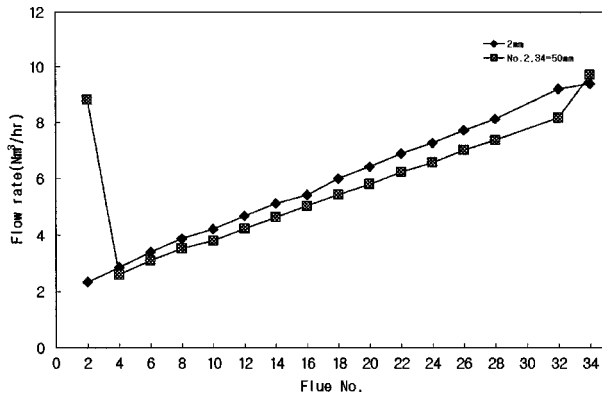


Fig. 10. Effect of total gas flow rate on pressure/flow rate in flue.

(Nozzle plate opening area: 2 mm=From No. 2=12 mm to No. 34=44 mm, 2 mm increasing No. 2, 34 50 mm=From No. 4 14 mm to No. 32=42 mm, 2 mm increasing, Total gas flow rates=205 Nm³/hr)

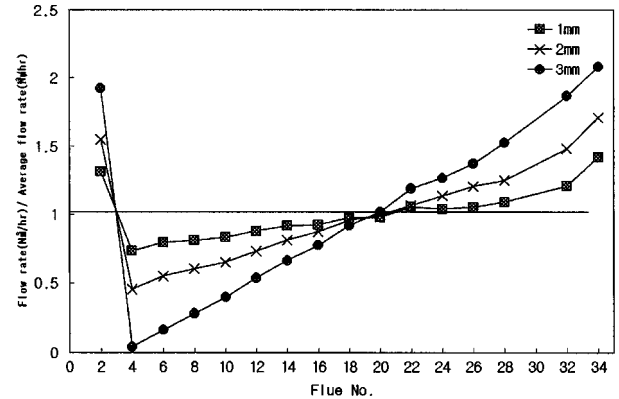


Fig. 12. Effect of nozzle plate opening area on flow rate gradient in flue.

(Nozzle plate opening area: No. 30=40 mm, Total gas flow rates=120 Nm³/hr, 1 mm=No. 30 basis 1 mm increasing, 2 mm=No. 30 basis 2 mm increasing, 3 mm=No. 30 basis 3 mm increasing)

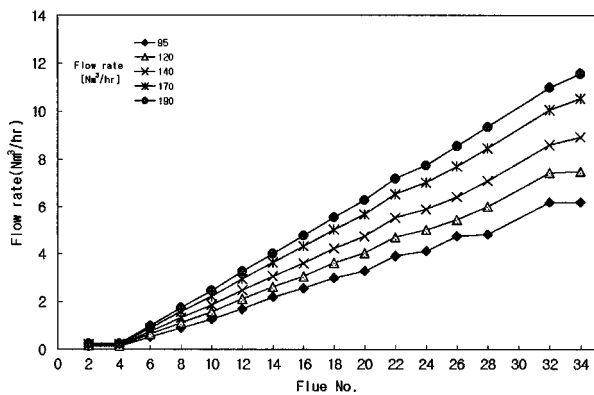
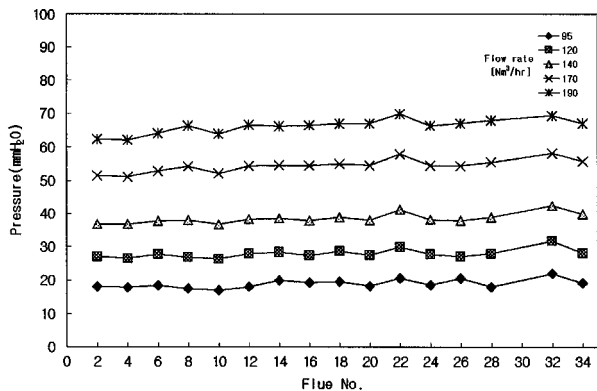


Fig. 11. Effect of total gas flow rate on pressure/flow rate in flue.

(Nozzle plate opening area: From No. 2, 4=1 mm to No. 30=40 mm, No. 34=46 mm, 3 mm increasing)

변화에 따른 연소실내 압력 및 유량분포를 나타낸 그림이다. 1 mm 변화패턴인 Fig. 7이나, 2 mm 변화패턴인 Fig. 9에 비해 유량구배가 증가함을 보이고 있다. 따라서 같은 분배관 유량을 공급할 지라도 nozzle plate 크기구배를 크게 할수록 연소실내 유량구배가 커지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 12는 nozzle plate 1 mm, 2 mm, 3 mm 변화패턴을 연소실내 평균유량 대비 유량으로 나타낸 그림이다. 분배관 유량이 일정할 때 nozzle plate 변화폭이 큰 3 mm 변화패턴시 1 mm 변화패턴에 비해 유량구배가 크다. 이 현상을 이용하면 실조업에서 같은 분배관 유량이 공급될 지라도 열내온도분포를 온도차가 크게 또는 작게 변화시킬 수 있을 것

으로 판단된다.

Fig. 13은 2번을 18 mm로 유지한 후 2 mm씩 증가시켜 4번 20 mm, 6번 22 mm, ..., 34번 50 mm로 개방한 후의 분배관 유량변화에 따른 연소실내 압력 및 유량변화를 나타낸 그림이다. Fig. 9에 비해 nozzle plate 변화는 2 mm로 같으나 nozzle plate 크기가 커진 경우이다. Nozzle plate의 크기가 커져도 크기변화가 같으면 유량구배에 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

Fig. 14는 nozzle plate 변화량을 2 mm로 일정하게 두고 크기 변화 패턴을 연소실내 평균유량 대비 유량으로 나타낸 그림이다. 분배관 유량이 일정할 때 nozzle plate 변화폭이 일정하면 유량구배가 거의 없

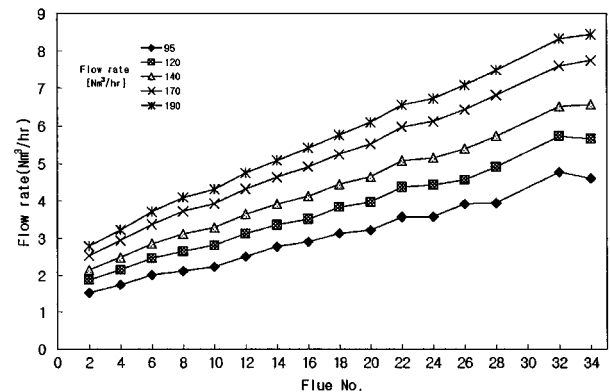
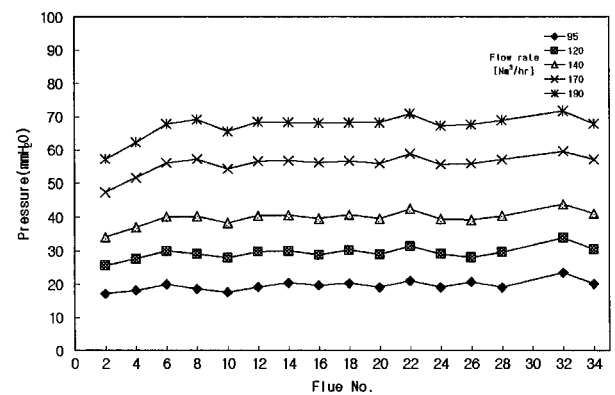


Fig. 13. Effect of total gas flow rate on pressure/flow rate in flue.

(Nozzle plate opening area: From No. 2=18 mm to No. 34=50 mm, 2 mm increasing)

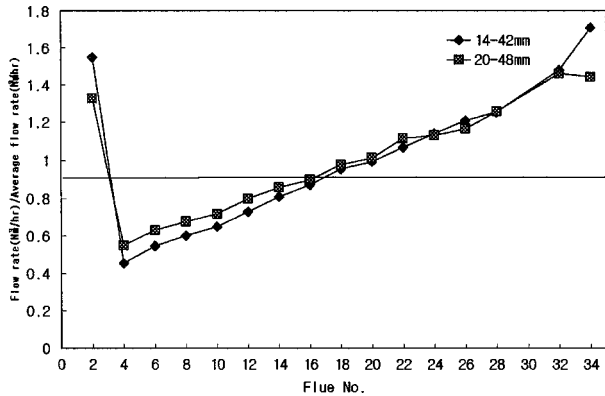


Fig. 14. Effect of nozzle plate opening area on flow rate gradient in flue.
(Nozzle plate opening area: No. 2, 34=50 mm, 14-42 mm=No. 4 14 mm, No. 32 42 mm, 2 mm increasing, 20-48 mm=No. 4 24 mm, No. 32 48 mm, 2 mm increasing)

음을 나타내고 있다. 따라서 nozzle plate 변화폭이 달라져야만 유량구배를 변화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3-3. 폐기변 압력변화에 따른 연소실 압력/유량 변화

Fig. 15와 16은 각각 Fig. 2와 9의 조건에서 폐기변으로 나가는 공기 유량을 조절하는 밸브의 개도를 100-30%까지 조절하면서 분배관 유량을 120 Nm³/hr로 일정하게 유지하고 연소실내 압력 및 유량변화를 나타낸 그림이다. Nozzle plate의 크기변화에 무관하게 폐기변 밸브의 개도를 적게 할수록 연소실내 유량구배가 거의 없이 입구쪽과 출구쪽의

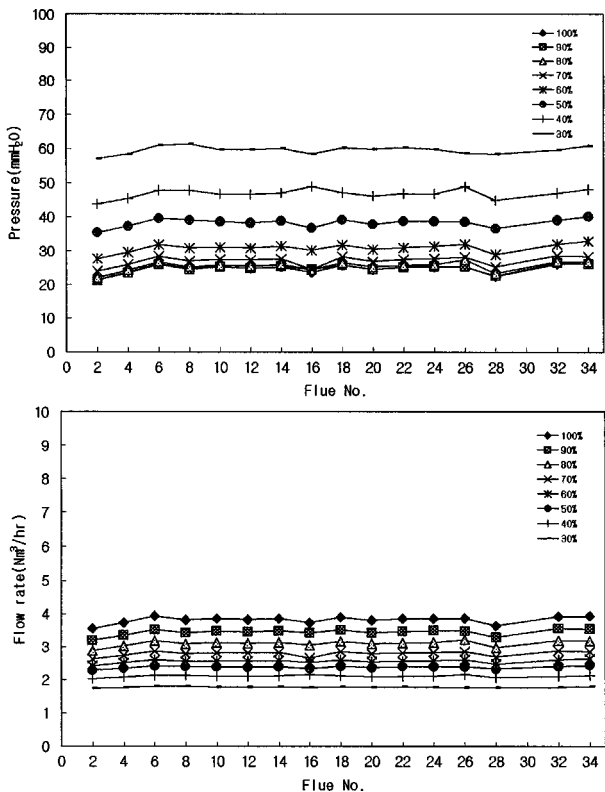


Fig. 15. Effect of outlet gas pressure on pressure/flow rate in flue.
(Nozzle plate opening area: No. 2, 34=50 mm, 100%=Outlet flow rate control valve 100% open, 30%=Outlet flow rate control valve 30% open, Total gas flow rate=120 Nm³/hr)

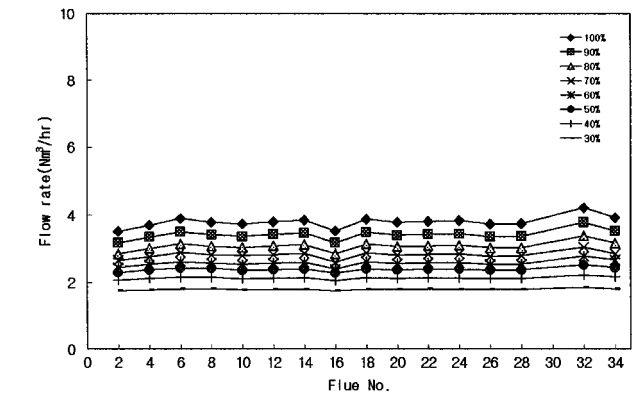
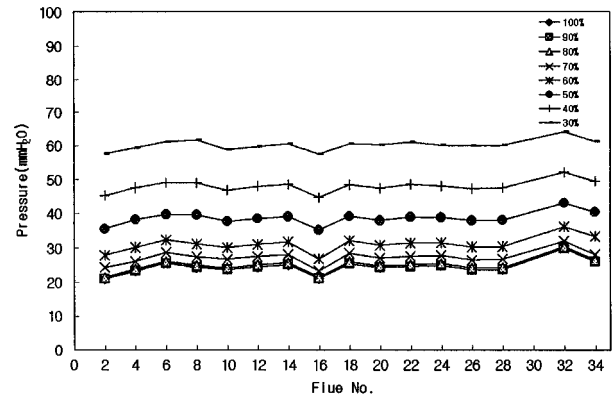


Fig. 16. Effect of outlet gas pressure on pressure/flow rate in flue.

(Nozzle plate opening area: From No. 2=12 mm to No. 34=44 mm, 2 mm increasing, 100%=Outlet flow rate control valve 100% open, 30%=Outlet flow rate control valve 30% open, Total gas flow rate =120 Nm³/hr)

유량이 거의 비슷해지는 현상이 나타난다. 이것은 폐기변쪽 압력이 커지면 전체 연소실내의 압력이 유사해져 유량구배가 없어지는 것으로 판단된다.

3-4. 코크스로 조업시 활용방안

이상과 같은 실험결과를 통해 실제 코크스로 조업에서 발생할 수 있는 상황에 따른 nozzle plate size의 적절한 조치방법은 다음과 같다.

3-4-1. 가동률 증가(분배관 유량 증가시)

정상 가동률에서 가동률이 증가하면 분배관 유량이 증가한다. 정상적인 유량 구배를 유지한 상태에서 분배관 유량이 증가하면 유량구배가 커짐이 실험을 통해 확인되었다. 따라서 분배관 유량 증가시 입구쪽의 유량이 지나치게 많아져서 입구쪽이 출구쪽보다 건류시간이 빨라질 수 있다. 따라서 이러한 현상에 대처하기 위해서는 nozzle plate size를 작게 해야 한다. 즉, Fig. 12의 결과에서 나타나듯이 같은 양의 분배관유량이 공급될지라도 nozzle plate size가 줄면 유량구배가 작아지기 때문에 분배관유량 증가시 nozzle plate size를 줄이는 것이 적절한 조치로 판단된다. 이때 nozzle plate size를 줄일 때는 연소실내 nozzle plate 간의 간격을 작게 하므로서 크기구배를 작게 해주어야 한다. Fig. 14에 나타난 바와 같이 크기구배를 변화시키지 않고 일률적으로 nozzle plate size만 줄이면 유량구배는 변하지 않기 때문이다.

3-4-2. 가동률 감소(분배관 유량 감소시)

가동률이 감소하여 분배관유량이 감소할 경우는 반대로 nozzle plate size를 크게 하여 온도구배를 크게 해 주어야 한다.

3-4-3. 폐기변압력 증가시

일반적으로 장입량이 증가하여 장입레벨이 높아지면 화염의 길이를

길게 해야 한다. 그러기 위해서는 폐기변압력을 높여 top압을 높여주어야 한다. 이와같이 폐기변 압력이 높아지면 일정한 분배관유량을 공급할지라도 유량구배가 거의 없어지는 결과를 Fig. 16에서 확인하였다. 따라서 조업중 폐기변쪽 압력을 높여야 할 상황이 발생되면 nozzle plate size를 크게 하여 유량구배를 크게 해주어야 할 것으로 판단된다.

3-4-4. 폐기변압력 감소시

폐기변압력을 감소시켜야 하는 조업상황에서는 반대로 nozzle plate size를 줄여 주어야 한다.

4. 결 론

분배관 유량과 nozzle plate 크기 변화에 따른 각 연소실내 압력 및 유량분포에 대한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Nozzle plate size 구배가 없으면 공기가 주입되는 입구 쪽이 유량이 적게 들어가고 나머지는 거의 비슷하게 들어가며, 분배관 유량이 커질수록 입구쪽의 유량구배가 상대적으로 커진다.
- (2) Nozzle plate size 구배가 없으면 크기가 크든 작든 연소실내 유량구배는 없다.
- (3) Nozzle plate의 크기를 1번에서 34번쪽으로 갈수록 증가시키면 입구쪽보다 출구쪽에서 훨씬 많은 양의 공기가 유입된다. 또한 분배관 유량이 증가할수록 입구와 출구쪽간의 편차가 훨씬 커진다. 따라서 분

배관 유량이 적으면 입구와 출구쪽간의 유량편차가 거의 없어진다.

(4) 같은 분배관 유량을 공급할지라도 nozzle plate 크기구배를 크게 할수록 연소실내 유량구배가 커진다. 따라서 가동률 감소시 분배관 유량이 감소하면 nozzle plate 크기구배를 크게 하여 유량구배를 커지게 해야 한다.

(5) End flue의 nozzle plate를 full open시 full open 하지 않을 때에 비해 유량구배가 약간 감소하며, 입구쪽으로 갈수록 full open 하지 않을 때 보다 적은 유량이 유입됨을 알 수 있었다.

(6) Nozzle plate의 크기가 커져도 크기변화가 같으면 유량구배에 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

(7) Nozzle plate의 크기변화에 무관하게 폐기변 밸브의 개도를 적게 할수록 연소실내 유량구배가 거의 없이 입구쪽과 출구쪽의 유량이 거의 비슷해진다. 따라서 폐기변쪽 압력을 높이는 경우 nozzle plate 크기구배를 크게 해 주어야 한다.

참고문헌

1. Grosick, H. A., Helm, E. J. and Airgood, J. M.: "Underfiring Requirement of Modern Coke Ovens," AISE Year Book, 192(1976).
2. Yuzo K.: "Gas Distribution Control in Combustion Chamber of Coke Oven," NKK Technical Report, 134, 1(1991).
3. THYSSEN STILL OTTO: ABC System manual.