

### 석탄가스화 반응에서 $N_2$ /coal 비의 영향

서혜경\*, 박세익, 이중원, 김미영, 정석우<sup>1</sup>, 정재화, 김기태  
한전 전력연구원, <sup>1</sup>고등기술연구원  
(seohk@kepri.re.kr\*)

### The effect of $N_2$ /coal ratio in the coal gasification reaction

Hai-Kyung Seo\*, Seik Park, Joogwon Lee, Miyung Kim, Seok-Woo Chung<sup>1</sup>, Jae-Hwa Chung, Kitae Kim  
Korea Electric Power Research Institute, <sup>1</sup>Institute for Advanced Engineering  
(seohk@kepri.re.kr\*)

#### 서론

석탄가스화반응은 석탄으로부터 전기를 생산하는 IGCC (Integrated gasification combined cycle) 발전시스템<sup>1,2,3</sup>)에서나 석탄으로부터 천연가스나 탄화수소 계열 및 암모니아 등 화학제품을 제조하는 공정에서나 오일로 전환하는 공정<sup>4</sup>) 등에서 핵심기술로 연구되고 있다.

전력연구원에서도 IGCC 복합발전시스템에 적용하기 위한 용도로 가스화기 개발을 진행하고 있는데, 본 논문은 가스화기 운전에 영향을 주는 여러 인자 중에서 건식 석탄가스화기에서 석탄을 이송하는 고압질소의 양이 가스화기에 어떤 영향을 주는지에 초점을 맞추어 이론과 실제 운전결과를 비교하고자 한다.

#### 본론

1. 전력연구원에서는 석탄가스화 시험설비의 핵심기술인 가스화기 설계 기술을 획득하기 위해 2007년이후 과제개발을 진행중이다. 또한 2018년까지는 IGCC 실증플랜트를 국산 기술로 설계, 제작하는 장기적인 목표하에 기술개발이 진행중이다.

그 과제의 진행중의 하나의 업무로써 1 ton/day 석탄가스화 시스템을 운영함으로써 단위부품의 최적화 연구를 통해서 스케일업 설계 기술을 얻는 목적과 석탄가스화 반응에 이용될 탄종의 가스화 경향 파악 등의 목적으로 과제를 진행중이다. 단위부품의 최적화 연구는 버너나, 가스화기 형상, 내화재나 수냉벽 등의 개선과 관련된다. 탄종별 가스화 경향 파악은 탄종별 성분분석에 따른 가스화 운전조건 설정이나 슬래그 형성 조건 등의 경향을 파악하는 일과 관련이 된다. 또한 이런 가스화 경향 분석을 위해서는 이론적인 가스화 결과를 예측하고 실제 운전결과와 비교함으로써 스케일업 설계에서 경향성을 파악하는 일도 포함된다.

본 논문은 석탄가스화 반응에 영향을 주는 여러 인자 중에서 석탄을 이송하는 고압질소의 양을 나타내는  $N_2$ /coal 비가 석탄가스화기에서 합성되어 나오는 가스의 열량에 어떤 영향을 미치고 가스화기 내부 온도에는 어떤 영향을 미치는지를 전산해석 프로그램으로 예측한 결과와 실제 운전결과를 비교하고자 한다.

$N_2$ /coal 비의 영향을 예측하는 전산프로그램은 Cycle-Tempo<sup>5</sup>) 프로그램을 사용하였으며, 실제 실험으로 얻은 결과는 전력연구원에서 운영하고 있는 1 ton/day 석탄가스화 시스템을 이용하였으며 그 흐름도는 그림 1과 같다.

2. 건식 석탄가스화기에 석탄을 이송하는 고압질소는 가스화반응에는 거의 영향을 주지 않고 다만 미분탄인 석탄을 이송하는 역할만을 한다. 그러므로 반응에는 영향을 주지 않으므로 고압질소의 양은 적으면 적을수록 합성가스가 질소에 의해 희석되지 않으므로 합성가스의 질이 좋아진다. 실증플랜트의 경우  $N_2$ /coal 비를 0.1 이하로 낮추어 운전을 하고 있다.

전력연구원의 1 ton/day 가스화기에서는  $N_2$ /coal 비를 0.44 까지 낮추어 운전한 경험이 있지만 더 낮은 비를 유지할 수 있도록 석탄공급시스템을 향상시킬 필요가 있겠다.

3. 먼저 전산프로그램으로  $N_2$ /coal 비를 변경할 때 합성가스 및 가스화기 온도는 어떻게 변하는지 알아보기 위해 다음과 같은 운전 조건을 입력하고 전산프로그램을 통해 어떤 결과의 합성가스가 얻어지는지 계산해보았다.
- 두 개의 탄에 대해 계산해 보았다. 하나는 중국의 신화탄이고, 다른 하나의 탄은 인도네시아의 아다로탄이었다. 이 두 탄의 성분분석결과는 다음 표 1과 같다. 운전조건은 신화탄의 경우, 석탄 30.14 kg/h,  $O_2$ /coal 비 0.82, steam/coal 비 0.1, 반응온도 1,000 °C, 열손실량 7.35kW를 입력하고  $N_2$ /coal 비를 변화시키면서 Cycle-Tempo로 결과를 예측하였다. 아다로탄은, 석탄 30.76 kg/h,  $O_2$ /coal 비 0.715, steam/coal 비 0.1, 반응온도 1,000 °C, 열손실량 7.35kW를 입력하고  $N_2$ /coal 비를 변화시키면서 결과를 예측하였다. 이때  $O_2$ /coal 비를 달리 한 것은, 신화탄과 아다로탄내의 내장 산소의 양이 달라 전산 프로그램상에서 가스화기 출구 온도가 약 1,100 °C 정도 예측되는 조건의  $O_2$ /coal 비를 선정함으로써 달라졌다. 신화탄에 비해 아다로탄의 경우 내장 산소가 많아  $O_2$ /coal 비가 작아도 가스화기의 온도를 유지할 수 있는 것으로 계산이 되었다.
- 한 예로 신화탄의 Cycle-Tempo의 결과를 다음 그림 2와 같이 나타내었다. 그림 2의 상부에는 운전조건이 기술되어 있다. 그리고 프로그램내부에는 각 배관별 가스조성 표와 생성되는 가스의 양 등의 결과를 확인할 수 있다. 이들 결과에서  $N_2$ /coal 비의 변화에 따른 결과들을 얻고 그 결과들을 비교하여 그래프로 나타낸 것이 신화탄의 경우 그림 3과 4와 같으며, 아다로탄의 결과는 그림 5와 6과 같다. 두 탄의 경우에서  $N_2$ /coal 비를 낮출수록 합성가스의 결과가 단위부피당 가스의 열량이 높아짐을 그림 3과 5에서 알 수 있다. 또한 가스화기 출구 온도도  $N_2$ /coal 비를 낮출수록 온도가 높아지는데 그럴 경우 합성가스를 회색시키는 질소가 적어짐에 따라 냉각제의 역할도 하는 질소가 적어지기 때문에 온도가 올라간다고 할 수 있다. 그러나 냉가스효율에는 영향이 거의 없음을 그림에서 확인할 수 있다.
4. 신화탄의 실제 운전결과를 그림 7에, 아다로탄의 운전결과를 그림 8에 나타내었다. 신화탄의 경우,  $N_2$ /coal 비를 0.7 부근에서 운전을 하였고, 아다로탄의 경우 0.44 부근에서 운전을 하였다. 그 결과 신화탄의 단위부피당 합성가스 열량이 약 7~7.8 MJ/Nm<sup>3</sup> 정도의 값을, 아다로탄의 경우 약 8~8.5 MJ/Nm<sup>3</sup> 정도의 결과를 보이고 있다. 이것은 신화탄의 예측결과를 보이는 그림 3에서  $N_2$ /coal 비 0.7에서 약 8.45 MJ/Nm<sup>3</sup>로 예측된 것과 아다로탄의 경우 그림 5에서  $N_2$ /coal 비 0.44에서 약 9.39 MJ/Nm<sup>3</sup>로 예측된 것보다 각각 약 1 MJ/Nm<sup>3</sup> 정도의 열량 차이를 보이지만, 경향은 유사하다. 즉,  $N_2$ /coal 비를 달리 운전한 두 탄종 가스화 경향에서 낮은  $N_2$ /coal 비로 운전한 결과에서 더 높은 합성가스 열량이 나오는 경향을 볼 수 있는 것이다.
5. 실증플랜트의 경우  $N_2$ /coal 비를 0.1 이하에서 운전하는데, 그렇게 운전하는 Shell 사 가스화기의 경우 합성가스의 단위 부피당 열량이 약 11 MJ/Nm<sup>3</sup> 까지 나오고 있다<sup>2)</sup>. 신화탄을  $N_2$ /coal 비 0.1로 운전할 경우 약 10.49 MJ/Nm<sup>3</sup> 정도의 열량을 얻는 것으로 예측되고, 아다로탄의 경우  $N_2$ /coal 비 0.1로 운전할 경우 약 10.7 MJ/Nm<sup>3</sup> 정도의 열량을 얻을 것으로 예상된다. 그러므로  $N_2$ /coal 비를 낮추어 운전할 수 있도록 석탄공급계통의 시스템 향상이 필수적이며 향후 이 점에 초점을 맞추어 연구하고자 한다.

## 결론

석탄가스화반응에 영향을 주는 여러 인자 중에서 본 논문에서는  $N_2$ /coal 비에 초점을 맞추어 합성가스의 열량과 출구온도에 미치는 영향에 대해서 정리하였으며,  $N_2$ /coal 비를 낮출수록 합성가스 단위부피당 열량이 높아지나 냉가스효율에는 별 영향을 주지 않음을 전산프로그램 해석과 실제 운전결과에서도 확인을 하였다. 그러므로  $N_2$ /coal 비를 낮추는 것이 가스화기에서 배출되는 가스량도 줄여 정제설비의 용량을 줄일 수 있으며, 합성가스의 단위부피당 열량도 높여 가스의 품질을 향상시킬 수 있으므로  $N_2$ /coal 비를 낮추는

석탄공급 계통의 시스템 향상 연구가 필수적임을 확인할 수 있었다.

**참고문헌**

- 1) Osamu Shinada, Akira Yamada, Yoshinori Koyama : "The development of advanced energy technologies in Japan IGCC: A key technology for the 21st century" Energy Conversion and Management 43 (2002) 1221-1233
- 2) Ligang Zheng, Edward Furinsky, "Comparison of Shell, Texaco, BGL and KRW gasifiers as part of IGCC plant computer simulations", Energy Conversion and Management 46 (2005) 1767-1779
- 3) Calin-Cristian Cormos, Fred Starr, Evangelo Tzimas, "Use of lower grade coals in IGCC plants with carbon capture for the co-production of hydrogen and electricity", International Journal of Hydrogen Energy 35 (2010) 556-567
- 4) Hari Chandan Mantripragada, Edward S. Rubin, "CO<sub>2</sub> reduction potential of coal-to-liquids (CTL) plants", Energy Procedia 1 (2009) 4331-4338
- 5) <http://www.cycle-tempo.nl>

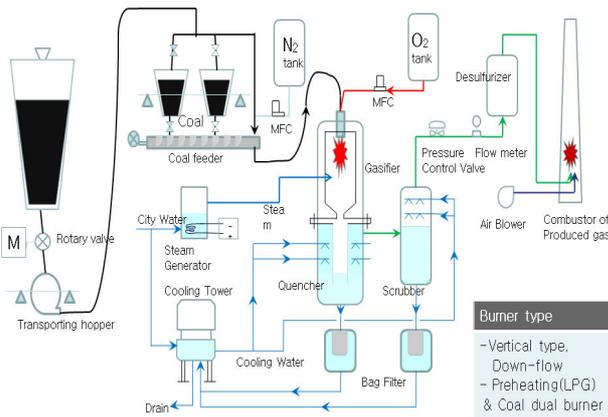


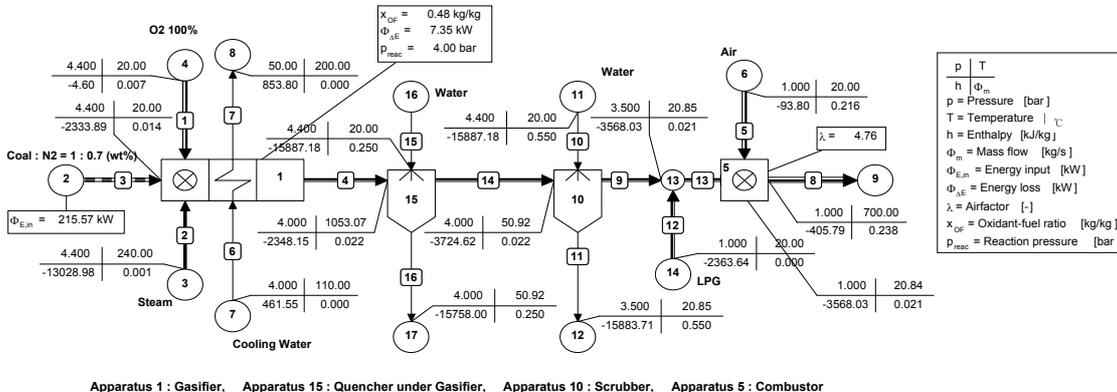
그림 1. 1 ton/day급 석탄가스화 시스템 흐름도

표 1. 탄종별 성분분석

		신화탄	아다로탄
공업 분석 (wt%)	수분	6.09 %	2.89 %
	휘발분	33.33 %	43.33 %
	회분	5.46 %	5.57 %
	고정탄소	55.12 %	48.21 %
원소 분석 (wt%)	탄소 (C)	78.6 %	72.93 %
	수소 (H)	4.96 %	5.21 %
	질소 (N)	1.03 %	1.57 %
	산소 (O)	15.09 %	19.90 %
	유황분 (S)	0.32 %	0.28 %
고위발열량 (kcal/kg)		6,880	6,580
사용 석탄의 입자크기		200mesh 이하	200mesh 이하

**The Design condition of Gasification**

- N<sub>2</sub>/coal = 0.7, O<sub>2</sub>/coal = 0.82, Steam/coal = 0.1, coal = 30.1407 kg/h, Reaction Temp = 1000 °C, heat loss : 7.35 kW  
 Coal (Shenhwa) : C 69.52, H 4.38, N 0.91, S 0.28, O 13.35, Ash 5.46 H<sub>2</sub>O 6.09 wt%  
 Steam temp. = 240 °C



Apparatus 1 : Gasifier, Apparatus 15 : Quencher under Gasifier, Apparatus 10 : Scrubber, Apparatus 5 : Combustor

그림 2. 운전조건에서의 heat & mass balance 계산 흐름도

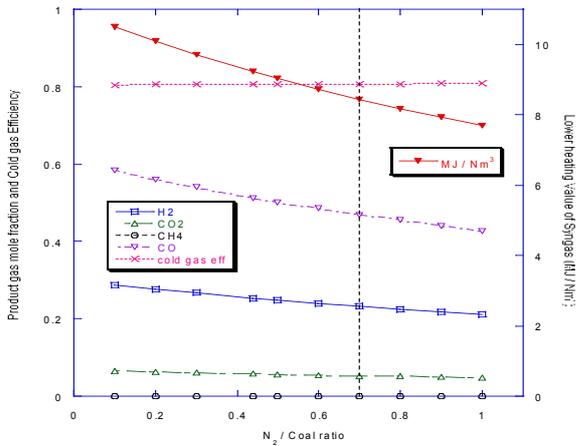


그림 3. 신화탄의 N<sub>2</sub>/coal 비 변화에 따른 단위부피당 합성가스의 열량변화

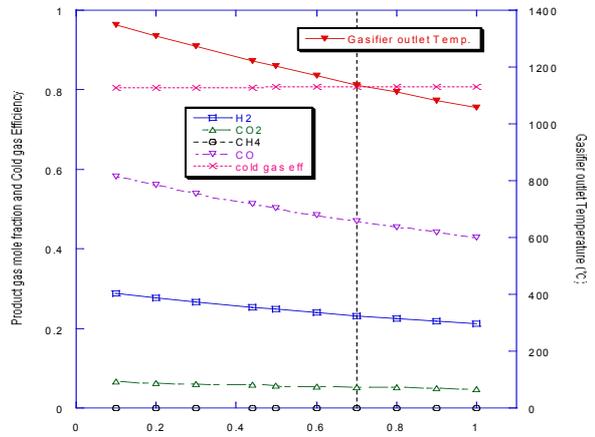


그림 4. 신화탄의 N<sub>2</sub>/coal 비 변화에 따른 가스화기 출구온도 변화

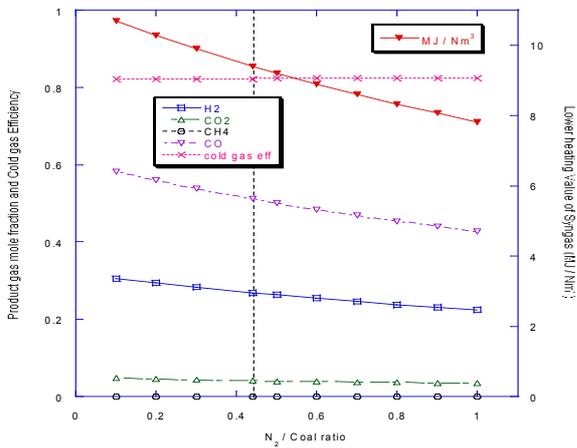


그림 5. 아다로탄의 N<sub>2</sub>/coal 비 변화에 따른 단위부피당 합성가스의 열량변화

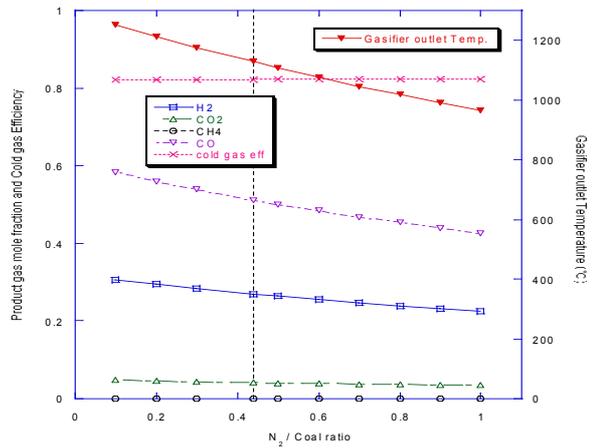


그림 6. 아다로탄의 N<sub>2</sub>/coal 비 변화에 따른 가스화기 출구온도 변화

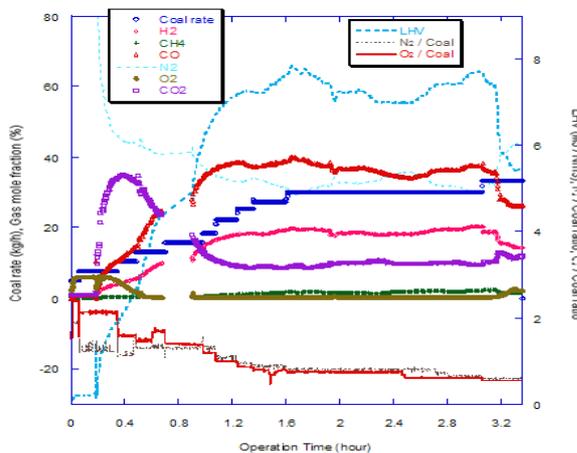


그림 7. 신화탄의 운전결과(합성가스 열량 LHV, 가스조성 등)

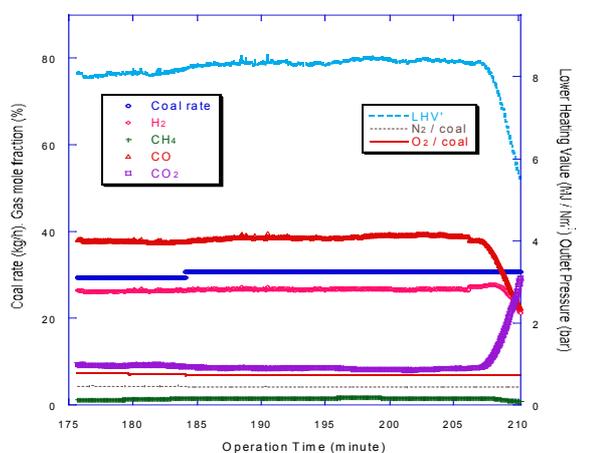


그림 8. Adaro탄의 운전결과 (합성가스 열량 LHV, 가스조성 등)