

Pilot급 석탄가스화 시스템의 DME 전환공정에 대한 전산해석

이승중, 유영돈, 윤용승

고등기술연구원

Simulation of DME Synthesis Process in Pilot-scale Coal Gasification System

Lee Seung-Jong, Yoo Young Don, Yun Yongseung

Institute for Advanced Engineering

1. 서론

석탄가스화 기술은 고온·고압 상태에서 석탄을 가스화 반응시켜 CO와 H₂가 주성분인 합성가스(syngas)를 생산하고 석탄에 함유된 회재는 용융시켜 슬랙으로 배출시키는 기술이다. 석탄가스화기에서 생성된 합성가스에는 슬랙화되지 않은 미세분진과 H₂S, COS 등 산성 가스가 포함되어 있으며, 이러한 불순물들을 정제하여 발전을 위한 연료가스로 사용하거나, DME(Dimethyl Ether), 메탄올 등 화학원료 제조[1], FT(Fischer Tropsch) 반응을 적용한 디젤유 제조 및 수소 생산 등에 이용하고 있다. 최근 고유가로 인하여 국내외적으로 원유를 대체할 신에너지 및 대체에너지의 개발에 관심이 집중되고 있으며[2], 현재 합성가스를 이용한 합성원료 제조기술은 FT합성과 메탄올전환 그리고 수소전환 등이 상업적으로 일부 가동되고 있고 최근에는 DME(Dimethyl Ether) 전환에 대한 연구가 진행되고 있다.

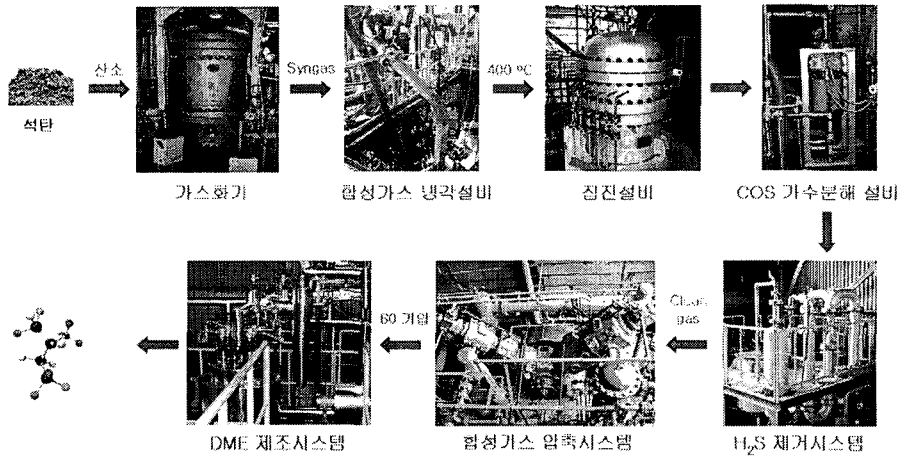
DME는 물리적인 성질이 LPG나 프로판과 유사하며, LPG와 동일한 방법으로 저장·운송이 가능하고, 발열량도 메탄에 비해 높고 황 함량이 없어 다른 연료에 비해 환경오염에 미치는 영향이 적은 차세대 청정에너지이다. 또한 LPG 대체가스 또는 디젤 차량 연료 등 사용처가 다양하여[3], 현재 천연가스, 석탄, 바이오매스로부터 생산되는 합성가스를 이용하여 DME를 제조하는 연구가 일본·유럽·중국을 중심으로 활발히 진행되고 있다.

본 연구팀에서는 현재 pilot급 석탄가스화기에서 발생된 석탄 합성가스를 이용하여 DME를 제조하는 공정개발을 진행하고 있으며, 본 연구에서는 전산해석을 통하여 가스화기로 유입되는 석탄의 유량과 산화제인 산소의 소요량과 DME 생성량 예측 등 석탄 합성가스를 이용한 DME 제조 성능을 살펴보았다.

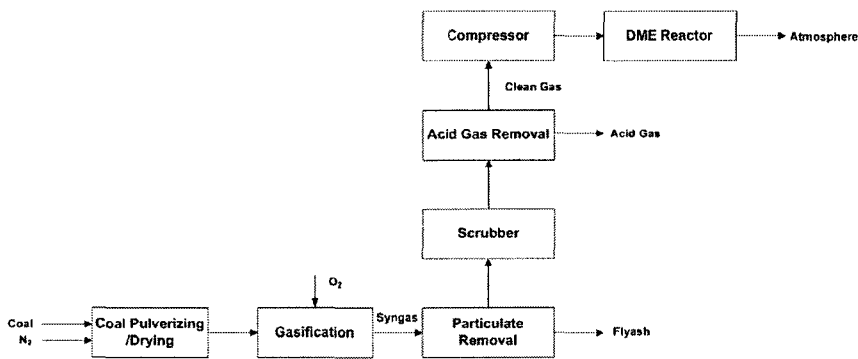
2. DME 전환공정 시스템 구성 및 전산해석 조건

Pilot급 석탄가스화 시스템은 석탄을 분쇄 및 건조하는 전처리시스템, 석탄을 가스화하는 가스화시스템, 비산재를 제거하는 집진시스템, H₂S와 COS를 제거하는 산성가스 제거시스템, 정제된 합성가스의 압축 및 DME 제조시스템으로 구성되어 있다. 원탄(raw coal)은 전처리 시스템에서 200 mesh 이하로 분쇄된 후 건조되고 N₂를 이용한 공압 수송에 의해 가스화기로 유입된다. 가스화기로 유입되는 미분화된 석탄은 산화제(O₂)와 가스화 반응하여 CO, H₂, CO₂, CH₄, H₂S, COS 등의 가스가 생성되며, 가스화기 하단부로는 석탄에 함유된 회재는 용융되어 슬랙으로 배출된다. 가스화기에서 생성된 고온(1400℃ 이상)의 합성가스는 cooler에서 400℃로 냉각된 후 집진설비로 유입되어 비산재가 제거된 후 COS 가수분해 설비로 유입된다. COS 가수분해설비에서 COS는 H₂S로 가수분해 되고 scrubber를 거친 후 H₂S 제거설비로 유입된다. H₂S 제거용매로 철킬레이트 용매를 사용하였으며, H₂S 제거설비에서 H₂S가 0.5 ppm 이하로 제거된 합성가스는 압축설비로 유입된다. 압축설비는 총 4단으로 구성되어 있으며, 각 단에서 압축/냉각을 반복하여 합성가스를 90 kg/cm²g로 압축한다. 90 kg/cm²g

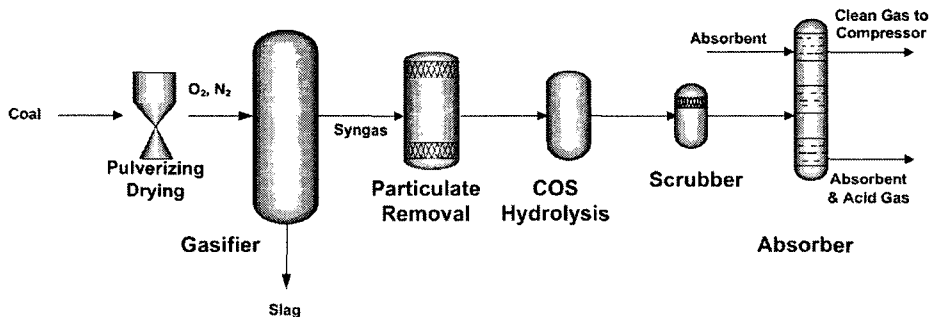
로 압축된 합성가스는 열교환기와 heater에서 230℃로 예열되어 DME 제조반응기로 유입된다. 제조반응기에서 CO와 H₂는 촉매와 반응하여 DME와 메탄올을 합성하게 되며, 촉매반응 후 미반응 합성가스는 Flare Stack으로 유입되어 연소된 후 대기중으로 방출된다. 상기와 같이 설치·운전 중인 pilot급 석탄가스화 시스템 및 DME 전환설비를 [그림 1]에 나타내었고 이에 대한 공정 구성도를 [그림 2]에 도시하였다.



[그림 1] Pilot급 석탄가스화 및 DME 전환시스템 설비 구성



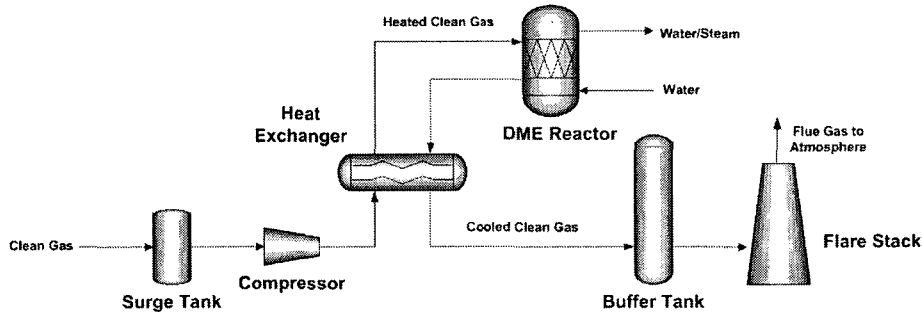
[그림 2] Pilot급 석탄가스화 및 DME 전환시스템 공정도



[그림 3] 석탄가스화 시스템 및 정제시스템 전산해석 구성 모델

본 연구에서는 pilot급 석탄가스화 시스템에 대한 전산해석을 위하여 인도네시아 아역청 탄인 Kideco탄을 대상연료로 하였으며, pilot급 석탄가스화 시스템과 동일하게 전산해석 모

델을 구성하였다. 전산해석시 반영한 각 단위공정에 대한 구성 모델을 [그림 3]과 [그림 4]에 나타내었다.



[그림 4] 합성가스 압축 및 DME 제조시스템 전산해석 구성 모델

3. 해석 결과 및 평가

가스화기로 유입되는 석탄, 산소 및 질소의 유량과 합성가스 정제시스템에 대한 전산해석 결과를 <표 1>에 나타내었다. 미분화 및 건조된 석탄 42.5 kg/hr가 가스화기로 유입되며, 이때 석탄을 공압 수송하기 위해 필요한 질소 소요량은 40.4 kg/hr로 계산되었으며, 가스화기 운전온도 1444℃를 유지하기 위한 산소 필요량은 37.8 kg/hr로 계산되었다. 가스화기에서 합성가스는 117.6 kg/hr 생성되고 슬래크와 비산재는 각각 0.9 kg/hr와 2.2 kg/hr 생성되었다. 슬래크는 가스화기 하단부로 분리·배출되며, 비산재는 집진설비에서 제거되며, 비산재가 제거된 합성가스는 COS 가수분해 설비로 유입된다. COS 가수분해 설비에서 COS는 촉매에 의해 COS가 H₂O와 반응하여 95% 이상 H₂S로 전환되며, COS 가수분해 설비를 거친 합성가스는 scrubber에서 40℃로 냉각된 후 H₂S 제거설비로 유입된다. H₂S 제거설비에서 0.069 kh/hr의 H₂S는 0.001 kg/hr(0.5 ppm) 이하로 제거된 후 감압되어 압축설비로 유입된다.

<표 1> 석탄가스화 및 합성가스 정제시스템의 열 및 물질수지

Description	미분탄	합성가스	집진출구	COS 가수분해	탈황설비 유입	정제가스	압력조정 밸브	압축설비 유입
온도 (℃)	25	1444	400	150	40	40	43.8	43.8
압력 (kg/cm ² g)	0.02	7.8	7.7	7.7	7.7	7.7	0	0
유량 (kg/hr)	42.517	117.633	117.633	117.633	115.843	117.149	117.149	116.94
CO		53.094	53.094	53.094	53.094	53.087	53.087	53.087
H ₂		1.311	1.311	1.311	1.311	1.311	1.311	1.311
CO ₂		15.617	15.617	15.627	15.626	15.578	15.578	15.578
N ₂		40.798	40.798	40.798	40.798	40.794	40.794	40.794
H ₂ O		6.614	6.614	6.61	4.822	6.256	6.256	6.047
H ₂ S		0.061	0.061	0.069	0.069	< 0.001	< 0.001	< 0.001
COS		0.014	0.014	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
미분탄	42.517							
비산재		2.218						
슬래크		0.898						

총 4단으로 구성된 압축설비 각 단에서 117 kg/hr로 유입된 합성가스는 압축/냉각을 반복하면서 응축된 수분이 제거되면서 90 kg/cm²g로 압축되며, 최종적으로 111 kg/hr의 합성가스가 90 kg/cm²g로 압축된다. 열교환기와 heater를 거친 합성가스는 230℃로 예열되어 DME 제조반응기로 유입되며, 운전온도 260℃ 및 운전압력 60 kg/cm²g의 운전조건에서 CO

및 H₂가 촉매와 반응하여 DME와 메탄올을 각각 7.7 kg/hr와 2.5 kg/hr를 생성하는 것으로 나타났다. DME 제조반응기에서 생성된 DME는 열교환기와 냉각을 거쳐 -29.5℃, 60 kg/cm²g에서 6.2 kg/hr 분리되는 것으로 나타났으며, DME 분리 후 off-gas는 flare stack으로 유입되어 연소되도록 하였다. 합성가스 압축 및 DME 제조시스템에 대한 열 및 물질 수지를 <표 2>에 나타내었다. 전산해석 결과 중 DME 분리시스템의 경우 실제 설치·운전 중인 설비는 아니며, 본 전산해석 결과를 기반으로 제작·설치할 예정이다.

<표 2> 합성가스 압축 및 DME 제조시스템의 열 및 물질수지

Description	압축기 후단	열교환기 입구	반응기 입구	반응기 출구	생성가스 냉각	DME 분리	Off-gas
온도 (℃)	122.6	120.8	230	260	40	-29.5	20
압력 (kg/cm ² g)	90	61	60.8	60	60	60	0
유량 (kg/hr)	111.084	111.084	111.084	111.084	111.084	15.284	95.8
CO	53.087	53.087	53.087	36.639	36.639	0.341	36.298
H ₂	1.311	1.311	1.311	0.002	0.002	trace	0.002
CO ₂	15.578	15.578	15.578	23.284	23.284	5.912	17.372
N ₂	40.794	40.794	40.794	40.794	40.794	0.278	40.516
H ₂ O	0.191	0.191	0.191	0.054	0.054	0.054	< 0.001
H ₂ S	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	trace	< 0.001
COS	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	< 0.001	< 0.001
MEOH				2.472	2.472	2.469	0.004
DME				7.715	7.715	6.227	1.488

4. 결론

Pilot급 석탄가스화 시스템에서 DME 전환공정에 대한 공정구성 및 전산해석을 수행하여 구성공정별 용량을 예측하였다. 대상탄인 Kideco탄 42.5 kg/hr를 가스화할 경우 산소소요량은 37.8 kg/hr이며, 슬랙과 비산재는 각각 0.9 kg/hr와 2.2 kg/hr이 생성되었고, 합성가스는 117.6 kg/hr이 생성되었다. 정제·압축된 합성가스는 111 kg/hr가 DME 제조반응기로 유입되어 7.7 kg/hr의 DME가 생성되고 -29.5℃, 60 kg/cm²g에서 6.2 kg/hr의 DME가 분리되는 것으로 조사되었다. 추후 연구에서는 DME 제조설비에 대한 운전 결과를 반영하여 본 연구 결과로 개발된 전산해석 모델을 수정·보완할 예정이며, DME 분리시스템에 대한 상세 전산해석 모델을 구성하여 해석한 후 해석 결과를 반영하여 DME 분리설비를 제작·설치할 예정이다.

5. 참고문헌

1. Wang, Y.B.; Ni, W.D.; Li, Z.; Wang, L.M. Design and Analysis of Novel Poly-generation System of DME and Electricity, Proceedings of 2nd Asian DME Conference, 2005, 235-240
2. 이복재. 고유가 시대의 에너지 안보, 한림과학기술 포럼, 2005
3. Fujimoto, K. Prospect of DME Fuel for the 21st Century, Proceedings of 2nd Asian DME Conference, 2005, 43-48

감사

본 연구는 산업자원부 산하 에너지관리공단 신·재생에너지센터에서 지원하는 “석탄가스 화기로부터 발생된 합성가스를 사용한 화학원료 전환기술 개발” 과제의 일환으로 수행하였