

수소 재활용 네트워크에 관한 연구

정창현, 이철진, 한종훈*
서울대학교, 화학생물공학부
Corresponding author*: chhan@snu.ac.kr

A Study of hydrogen recycling network systems

Changhyun Jeong, Chul Jin Lee, Chonghun Han*
School of Chemical Engineering, Seoul National University

1. 서론

국내 석유화학산업계는 강화되고 있는 환경규제, 원유가 상승으로 인한 비용 증가, 인도 및 중동시장의 저가제품의 공격적 수출로 인하여 국제 경쟁력이 저하됨에 따라 산업의 지속적인 성장이 심각하게 위협받고 있다. 이러한 문제를 해결하는 한 방안으로써, 지속 가능한 산업발전을 위한 모델로 '생태산업단지'가 등장하였다. 생태산업단지 구축의 핵심적인 부분은 기존 산업단지의 물질, 에너지 사용 효율을 극대화하고 환경배출물질을 저감하기 위하여 부산물, 폐기물의 재활용하는 데에 있다. 현재 기업간, 혹은 작게는 공장 간에 생성/소비/회수되는 부산물을 재활용하여 부산물의 부가가치를 극대화하는 관련기술이 일본이나 유럽을 중심으로 개발되고 있는데, 특히 일본의 경우 최근 5년간 4000억 원의 대대적인 투자를 통하여 막대한 성과를 거두고 있다.

부산물 가운데, 차세대 에너지원으로 각광 받고 있는 수소는 모든 석유화학단지에서 공통적으로 생산 혹은 소비 되고 있는 원료물질로써 국가적인 차원에서 에너지 자원의 대외의존도를 낮추고, 에너지 안보에 기여함과 동시에 대기 오염 및 온실가스 배출을 획기적으로 낮출 수 있는 에너지 운반자로서 중요한 위치를 차지하기 때문에 향후 폭발적인 수요가 예상된다.

현재 석유화학단지 내에서 발생하고 있는 수소는 공정 내에서 특별한수소의 수요처가 없어 연료로 사용되는 경우가 대부분이어서, 연료로 사용되는 상당량의 부산물 수소를 공정의 원료로 재활용할 경우 그 가치를 극대화 할 수 있다.

2. 연구수행내용

2.1 수소 재활용 교환망 구축 필요 요소 기술

수소 재활용 교환망 구성을 위해서는 원하는 사양(순도, 양)에 맞는 효율적인 수소의 분리 정제/회수 기술, 교환망 설계 기술과 더불어 구축 이후, 수요처와 공급처가 안정되게 수소를 주고 받을 수 있도록 최적의 조업관리기술이 함께 적용되어야 한다.

2.1.1 수소 분리 정제/회수 기술

석유화학 단지 내에서 부산물로 발생하는 수소를 재활용하기 위해 분리정제장치를 어떻게 설계하고 관리하느냐 하는 문제는 꾸준히 학계와 산업계에서 관심을 가져 왔다. 수소 분리정제에 대한 일반적인 방법은 PSA, Membrane, Cryogenic 세 가지 방법이 많이 사용되고 있다. 지금까지 공정에 따른 분리정제 방법의 선택의 일반적인 기준에 대해 많은 연구가 진행되었다 [1].

수소정제를 위한 PSA는 가스 상태의 높은 분압(partial pressure)에서 불순물의 흡착이 이루어지고, 낮은 분압(partial pressure)에서는 탈착 되는 원리를 이용한 것이다. 미국의 UOP사는 병렬흡착 탑 방식의 Polybed PSA공정을 이용하여 고순도의 수소를 생산하고 있으며, 국내에서는 UOP와 Sumitomo등의 PSA 공정을 도입하여 고순도 질소와 산소를 분리정제하고 COG(coke oven gas) 및 석유화학 공정 중의 고순도 수소를 분리 정제하는 공정에 사용하고 있다. Membrane separation 프로세스는 원료가스 내 물질들의 상대적인 투과율의 차이를 이용하는 방법이다. 원료 내에 있는 수소와 같은 투과력이 높은 물질은 막의 높은 압력을 가지는 편에서 낮은 압력을 가지는 부분으로 이동하기 위해 막을 통과하는데, 먼저 가스 상태인 이들 성분은 막에 용해된 후, 다음 투과 가능한 편으로 확산된다. 반면, 투과력이 낮은 탄화수소 물질은 높은 압력을 가지는 편에 남아있게 되는데, 이처럼 분리의 원동력은 막의 양쪽 간의 분압 차이이며 높은 분압 차는 높은 회수를 가져오게 된다. Cryogenic는 원료가스의 상대적인 휘발성을 이용한 낮은 온도의 분리 프로세스이다. 가장 간단하면서 널리 쓰이는 저온장치는 부분 냉각 장치(partial condensation process)이며, 부분냉각장치는 원료의 불순물을 응축함으로써 정제가 이루어진다[4].

표 66 Selection guide for hydrogen purification process

Factor	PSA	Membrane	Cryogenic
<i>Process Consideration</i>			
Feed purity(%)	> 40	> 25	15-80
Max. Product purity(%)	99.9+	98+	97
Max. Hydrogen recovery(%)	Up to 90	Up to 95	Up to 98
Unit hydrogen capacity, MMscfd	1-200	1-50	10-75
Feed pressure (psig)	150-1000	200-2000	200-1200

Product pressure (psig)	Approximate feed	Much less than feed	Approximate feed
<i>Operation Consideration</i>			
Flexibility	Very high	High	Average
Turn-down (%0)	10-65	15-120	10-80
Reliability	High	High	Average
<i>Other Consideration</i>			
Byproduct recovery	No	Possible	Yes
Ease of expansion	Average	High	Low

2.1.2 수소 재활용 교환망 설계 기술

Alves는 Linhoff[3]가 제안한 열교환망 합성과 유사한 개념의 수소핀치라는 개념을 도입하였다[2]. 수소핀치는 수소를 포함하고 있는 스트림을 Source로 규명하고, 수소를 소비하는 스트림을 Sink로 규명하여 수소의 회수가 최대가 될 수 있도록 이들을 연결하는 방법을 찾는 것이다. 먼저, source와 sink를 찾고, 이들의 최적연결망을 찾기 위하여 다음 단계에서는 수소합성선도를(hydrogen composite curve)를 구축하는데[그림1], 이것은 온도 vs 엔탈피로 도시하는 대신 수소순도 vs 유량으로 도시하는 것을 제외하고는 일반적인 핀치분석의 에너지합성선도와 같다. 합성선도에서 Source 곡선과 sink곡선이 가장 가까운 곳이 수요와 공급의 최적교환망을 의미하고, 이는 목표가 되는 수소 요구량을 나타낸다.

또 다른 유용한 도구는 수소잉여도(hydrogen surplus diagram)[그림2]이다. 수소잉여도는 열교환망설계에서의 핀치점과 같이 수소핀치를 나타내준다[2]. 잉여도에서 핀치점은 수소 요구에 부합하기 위한 수소의 순도레벨을 나타내주는데, 이것은 직접적으로 회수하고자 할 때 회수되는 수소의 순도가 만족스럽지 못할 경우 추가적인 수소 정제 장치 필요 여부를 결정하는데 이용될 수 있다. 즉, 잉여수소가 낮은 순도를 가질 경우, 추가 정제 후 수소가 공급될 수 있다[1].

그림 174 수소합성선도(Hydrogen Composite)

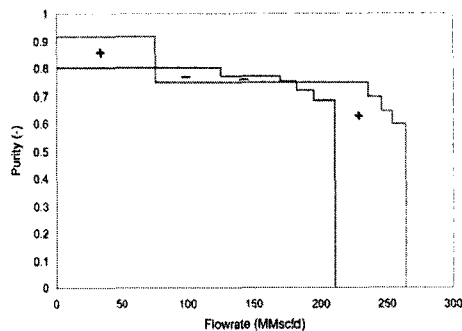
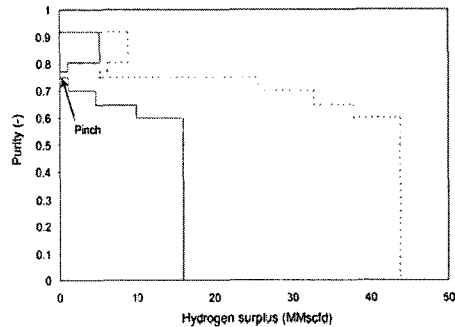


그림 175 수소잉여도(Hydrogen Surplus)



3. 결론

석유화학산업단지 내 수소 재활용 교환망을 구축함으로써 고순도/저순도의 수소를 자체적으로 재활용함으로써 얻게 되는 경제적인 효과는 대체연료를 제외하고도 수소를 생산하는데 소비되는 원부재료비와 에너지비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 아울러, 수소를 재활용함으로써 수소를 제조할 때 발생하는 CO₂ 배출량을 절감하거나, 수소 제조/정제에 사용되는 스팀(에너지원)을 얻기 위해 보일러를 가동할 때 발생하는 NO_x, SO_x 등의 환경오염물질의 양을 줄임으로써 환경적 효과를 가져올 것이다. 한편 앞으로 수소가 주 에너지원으로 사용하는 '수소에너지 사회'가 곧 도래함에 따라 수소의 제조, 저장, 운반 및 이용기술은 국가적으로 매우 중요한 산업 기술이 될 것이며 그 기술이 축적되고 발전함에 따라 국가의 국제경쟁력의 차이는 더욱 커질 것이다. 따라서 고순도 수소 분리정제, 회수 기술 수소 재활용 교환망 설계 기술, 최적 조업 기술 등의 연구를 통하여 국제 무대에서 경쟁력을 갖추고 시장을 선점할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

1. F. LIU and N. ZHANG, "Strategy of Purifier Selection and Integration in Hydrogen Networks," *Chemical Engineering Research and Design*, 2004.
2. Joao J. Alves and Gavin P. Towler, "Analysis of Refinery Hydrogen Distribution Systems," *Ind. Eng. Chem. Res*, 2002.
3. Linnhoff B, Flower J. "A thermodynamic combinatorial approach to the design of optimum heat exchanger networks," *AIChE Journal*, 1980.
4. S. Peramanu, B.G. Cox, B.B. Pruden, "Economics of hydrogen recovery processes for the purification of hydroprocessor purge and off-gases," *International Journal of Hydrogen Energy*, 1999.