

중소규모 질소사용처에서의 에너지절약형 질소공급장치 개발
Development of a Low Energy Nitrogen Generator for
Small or Mid - Sized Consumers

이수연, ° 박경석, 박두선, 손무룡

* 조순행, 김종남

** 김한수

대성산소(주) 초저온연구소

*한국에너지기술연구소

** 강릉대학교

가. 요약

본 연구의 목표는 제올라이트 분자체를 흡착제로 사용하여 99.99% 이상의 고순도 질소를 저렴하게 제조하는 PSA(Pressure Swing Adsorption)공정을 개발하고 상업화 설계 자료를 도출하는 것이다. PSA방법에 의한 질소제조는 기존의 심냉법보다 전력원단위가 낮을 뿐만 아니라 on-site방식으로 설치되어 운영되므로 수송경비를 절감할 수 있다. 이러한 장점 때문에 외국의 경우를 보면 PSA의 사용이 날로 증대되고 있다.

현재 국내에 설치중인 질소 PSA는 전량 수입에 의한 것이다. 따라서 본 연구에서 개발한 질소 PSA는 중소규모의 질소가스 사용처에 공급함으로써 에너지절감효과 뿐만아니라, 수입대체 효과도 얻을 수 있다.

나. 내용

1) 기초연구

본 연구는 1990년 부터 1994년 1월까지 약 4년에 걸쳐서 수행 되었으며, 기초연구의 내용은 아래와 같으며, PILOT PLANT는 이 자료에 기초하여 설계되었다.

- 탄소분자체를 이용하는 PSA와 제올라이트를 이용하는 PSA 기술 현황을 조사하였으며 흡착공정의 설계방법 등을 조사 하였다.
- 가능성이 있는 몇가지 흡착제를 구입하여 흡착평형 및 흡착제의 세공분포, 표면적 등을 측정함에 의해 적정 흡착제를 선정하였다.
- 흡착공정의 설계를 위하여 Zeolite 흡착제를 충전한 흡착탑에 건조공기를 흡착시키고 질소로 세정하여 산소농도를 측정하는 실험으로부터 승압, 상압흡착시의 압력과 시간 등에 대한 영향과 공기와 흡착제의 접촉시간, 그리고 세정 질소의 유량과 시간에 따라서 산소농도 변화를 관찰하여 적정 운전조건을 유추할 수 있었다.
- 활성 알루미나와 제올라이트 분자체 13X를 충전한 전처리 탑에서 공기중의 수분과 탄산가스를 제거하고 Zeolite 흡착제를 각각 2.5Kg를 충전한 3개의 흡착탑으로 산소를 분리하여 질소를 생산하는 Bench Scale 실험 장치로 연속 운전 실험을 수행함에 의해 운전스텝 및 사이클시간을 확정하였고 적정운전조건을 도출 하였다.

2) Pilot Plant 연구

BENCH SCALE 장치의 실험을 통해 도출된 적정운전조건을 토대로하여 약 38배 SCALE-UP 한, 제품질소유량 $16\text{Nm}^3/\text{h}$ 의 PILOT PLANT를 설계하였다. 제작된 pilot plant의 사양은 아래와 같다.

□ Pilot Plant 사양

A. 전처리탑 ; 2기

B. N_2 분리탑 ; 3기

C. Air Receiver ; 1기

D. N_2 Holder ; 2기

E. 진공 펌프 ; 1기

탈착초기압력 = 870 torr, 탈착최종압력 = 95 torr

- $S_{\text{act}} = 200 \text{ m}^3/\text{hr}$

- UNOZAWA (Stokes); CD120 Chemical series; 7.5 kW

F. 공기 압축기 ; 1기

- $P_{\text{max}} = 4 \text{ kgf/cm}^2 \text{ G}$, - $Q = 67.8 \text{ Nm}^3/\text{hr}$

다. 결과 및 논의

1) 실험 결과

흡착되어 있는 질소를 진공펌프를 사용하여 탈착시켜 고순도 제품질소를 발생하는 본 시스템에서는 leak가 없는 밸브의 선정과 적정 진공펌프의 구입이 매우 중요한 문제이다.

제품질소 유량, 스텝 시간(흡착스텝, 세정스텝), 흡착압력 등을 변화시키면서 사이클 정상상태에 도달했을 때의 실험 결과를 분석하여 최적운전조건을 도출하였으며, 그 결과를 <Table 3-1>에 나타내었다.

<Table 3-1> Pilot Plant 최적운전조건

* 압력 ; 탑 하부 기준

제품질소 유량 (Nm ³ /hr)	27.0	질소 순도 (%)	99.993		
회 수 율 (%)	55.0	전력원단위 (kWh/Nm ³)	0.59		
스텝 시 간 (sec)	축압	10	운전 압력 (mmHg)	흡착	870
	흡착	15		세정	960
	회수	45		탈착	95
	세정	45	유량 (Nm ³ /hr)	원료공기	63.0
	탈착	70		세 정	55.6

최적운전조건에서 질소제조원가를 기준하여 질소사용량이 200Nm³/hr일 경우 액체질소에 비해 본 장치를 사용하였을 경우의 연간 경비절감액을 < Table 3-2 >에 나타내었다.

< Table 3-2 >

(단위 : 백만원)

區 分	PSA 方式	深 冷 分 離 方式
純度 및 使用量	≤ 99.995 % 200 Nm ³ /h	≥ 99.9995 % 200 Nm ³ /h (268 万ℓ/年)
총 투자비	(400)	* 1 Nm ³ /h = 1.546 ℓ 단가 : ₩ 140/ℓ ₩ 216/Nm ³
총 투자비에 대한 감가상각비용(10%/年)	40	
금리 (12%/年)	48	
전 력 비 (年 평균치 적용)	120万 KW 57	
유지보수비용 (年 경비의 5%)	8	
기 타 경 비	5	
계	158	
경비 절감액 / 年	217	

라. 결론

제올라이트 분자체를 흡착제로 사용하는 압력스윙흡착 (Pressure Swing Adsorption)법에 의하여 공기 중에서 99.99% 이상의 고순도 질소를 저렴하게 생산하는 공정을 개발하고 상업화 설계자료를 도출하였다.

현재 대부분의 질소 PSA는 탄소분자체를 사용하는 2탑식 PSA로 되어 있으나, 흡착제 입수면과 제품질소 순도, 그리고 장치 Scale-up 등을 고려하여 국내에서 실용화할 수 있는 대상으로 제올라이트 분자체를 흡착제로 사용하여 고순도 질소를 저렴하게 생산할 수 있는 에너지절약형 PSA 장치를 개발하는 것을 목표로 하였다.

Bench Scale 연속공정연구에서 고순도 질소PSA의 공정을 확립하고 99.99%의 제품질소를 7Nm³/min 정도 생산하였으며, 이를 Scale-up 한 Pilot Plant를 최적운전 한 결과 99.99-99.995%의 고순도 질소를 23-27 Nm³/hr 정도 생산할 수 있었고, 이 때의 전력 원단위는 0.60-0.65 kWh/Nm³, 회수율은 55-50 % 이었다.

기존의 질소제조방법인 심냉분리법과 비교하면, 질소가스의 사용량이 200 Nm³/hr인 경우에 약 55 %의 에너지절감효과를 기대할 수 있으며, 기존 질소가스시장의 17 %가 본 장치로 대체될 경우 260억원/년간 이상의 에너지절감 및 수입대체효과를 기대할 수 있다.

마. 참고 문헌

- 1) Gas & Chemical Reporter, No 66, 1991, p6
- 2) Buck D.M. & Wilkinson E.L., Ceram. Eng. Sci. Proc.,
5(11-12), 1036 (1984)
- 3) 조순행, 김종남, 유윤종, 박경석, 'PSA법에 의한 질소제조
공정 개발', KE-91(S)-02, 한국에너지기술연구소, 1991. 11.
- 4) 조순행, 김종남, 김권일, 유윤종, 'PSA질소제조 설계, 운전 및
결과분석', KE-92002C, 한국에너지기술연구소, 1992. 9.
- 5) British Chem.Eng, Vol 16, p314 (1971)
- 6) Ludwig E.E., Applied Process Design for Chemical and
Petrochemical Plants, Gulf Pub. Company, 1977, Vol. 1,
p54-55