

일반강연 1-9

에탄올 탈수를 위한 투과증발 공정 모사

이규현, 유재강, 장재화, 안승호
신경건설(주) 연구소

Pervaporation process simulation for ethanol dehydration

K. H. Lee, J. K. Yoo, J. H. Chang & S. H. Ahn
R&D Technology Center, Sunkyoung Engineering & Construction Ltd.

1. 서론

최근 자동차 대체 연료로 가솔린에 10% 무수에탄올이 혼합된 Gasohol 사용에 관한 관심이 고조되고 있으며, 이는 Gasohol이 자동차 배기 가스중의 일산화탄소 및 탄화수소 함유량을 감소시켜 대기 오염을 줄일 수 있기 때문이다. Gasohol에 사용되는 무수에탄올의 농도는 99.5% 이상이어야 하며, 이러한 고순도의 에탄올을 제조하기 위해서는 물과 에탄올의 공비 혼합물(95.6% 에탄올)로부터 공비증류, 분자체 흡착, 투과증발과 같은 분리 조작을 이용하여 물을 제거하는 공정이 필요하다.

현재 에탄올 탈수에는 공비증류가 많이 사용되고 있으나 공비증류는 에너지 사용량이 많을 뿐더러 유독한 Entrainer를 첨가하기 때문에 투과증발과 같은 저 에너지 소비형, 환경친화적인 공정으로의 전환이 이루어지고 있다. 에탄올 탈수용 투과증발 플랜트는 전세계 20여개가 가동되고 있으며, 상업화된 플랜트의 대부분은 독일의 Deutsche Carbones사가 제조한 PVA/PAN 투과증발 복합막을 사용하고 있다. 투과증발 시스템은 물에 대한 친화도가 높은 투과증발막 및 모듈, 기타 분리 구동력을 높여 주기 위한 Heater, 진공펌프, 냉각기, 열 교환기 등의 주변 설비로 구성되며, 투과증발 시스템 개발을 위해서는 우수한 막/모듈 제조와 아울러 최적 공정 설계 기술 개발이 필수적이라 하겠다.

투과증발 공정 개발을 위해서는 시스템을 정확히 모사하여 여러 가지 운전 변수가 시스템 성능에 미치는 영향을 예측하고 Pilot test를 통하여 이를 검증, 개선하여 최적 설계 Data를 도출하는 과정이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 투과증발 시스템을 모사하기 위한 Simulation Tool을 제시하고 에탄올/물 혼합물에 대한 열역학 Data 및 투과 Flux, 선택도와 같은 투과증발막 특성 Data로부터 공정 성능(농축율, 에너지 사용량, 회수율 등)에 대한 막/모듈 입구 온도, 응축 온도 등의 운전 변수의 영향을 알아본다. 또한 이러한 모사 결과를 Pilot test 결과와 비교하고 실 규모 Process data(Feed 유량, 조성 등)에 대한 막면적 등의 실제 Data의 도출 과정을 다룬다.

그림 1은 에탄올 탈수용 투과증발 공정 모사에 이용되는 공정의 Flow scheme을 나타내며, 실 규모에서는 처리 용량이 큰 경우에 진공 용기 및 응축기를 2개이상 설치하여 각각 다른 운전 조건하에서 최적의 성능을 얻을 수 있다.

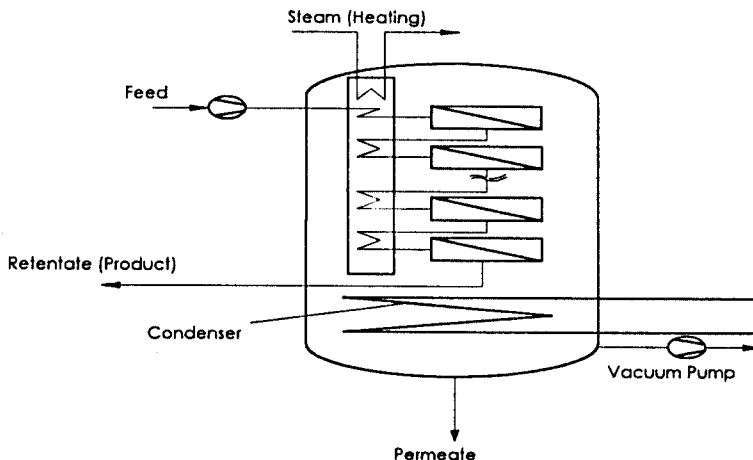


Fig.1 Pervaporation process flow scheme used in the simulation of ethanol dehydration process.

2. 결과

1) 모사 결과와 Pilot test 결과의 비교

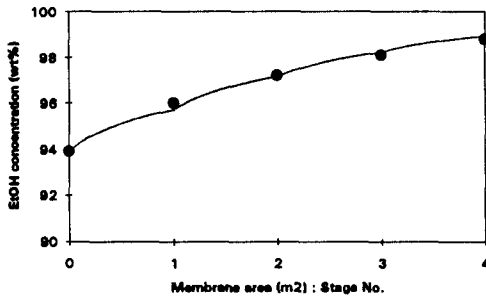


Fig.2 Plot of feed concentration vs. membrane area

● Pilot test — Simulation

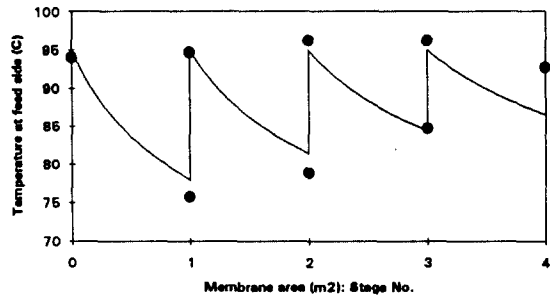


Fig.3 Plot of temperature at feed side vs. membrane area

● Pilot test — Simulation

2) 실 규모 공정 모사 결과

Separation Problem / Process DATA

Component 1	water
Component 2	Ethanol
Membrane	PVA/PAN (GFT)

Feed flow rate	1000	[kg/h]
Feed concentration (Component 2)	93	[wt%]
Feed temperature at module inlet	100	[°C]
Membrane area per module	25	[m ²]

Results on Simulation

Membrane area	400	[m ²]
Number of module	16	[-]
Treatment capacity per membrane area	2.48	[kg/hr-m ²]
Productive capacity per membrane area	2.1	[kg/hr-m ²]
Average permeate flux	0.359	[kg/hr-m ²]
Average permeate concentration (Component 1)	47.2	[wt%]
Yield of Component 2	0.917	[-]
Average latent heat of vaporization of permeate	357.84	[kcal/kg-per]
Energy consumed to produce 1 kg of product	81.38	[kcal/kg-prod]

Module Nr.	Area [m ²]	Q (ret) [kg/h]	C (ret) [wt% EtOH]	Q (per) [kg/h]	C (per) [wt% EtOH]	T (ret) [°C]
1	25	978.80	94.25	21.20	35.52	88.51
2	25	980.70	95.35	18.10	35.50	88.99
3	25	945.31	98.30	15.38	38.84	91.45
4	25	932.44	97.10	12.87	38.34	92.84
5	25	921.24	97.78	11.20	43.29	93.97
6	25	911.05	98.28	10.19	51.19	94.83
7	25	901.50	98.89	9.54	59.74	95.51
8	25	892.45	99.00	9.05	67.44	96.04
9	25	884.12	99.25	8.33	73.10	96.57
10	25	876.88	99.43	7.24	78.71	97.12
11	25	870.98	99.57	5.91	78.84	97.70
12	25	866.32	99.68	4.86	80.05	98.21
13	25	862.80	99.78	3.72	81.59	98.59
14	25	859.49	99.82	3.10	83.42	98.85
15	25	856.78	99.86	2.72	86.28	99.03
16	25	854.32	99.89	2.48	89.38	99.15

Vessel Nr.	Number of modules	Q (per) [kg/h]	C (per) [wt% EtOH]	P (per) [mbar]	T (cond) [°C]
1	16	145.88	57.88	5.00	-10

3. 참고문헌

R.Y.M.Huang, Pervaporation Membrane Separation Processes, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1991.

H.L.Fleming, "Consider Membrane Pervaporation", Chemical Engineering Progress, July 1992.

K.H.Lee, J.K.Yoo, J.H.Chang & S.H.Ahn, "Ethanol dehydration pilot test with pervaporation technology", Abstract of The Membrane Society of Korea, November 1994.