

Polyurethane Coating Process 배기가스 중의 Toluene 성분의 분리회수를 위한 공정 개발

이승현, 홍승택, 이문용*
 영남대학교 응용화학공학부
 (mynlee@yu.ac.kr*)

Development of Toluene Recovery Process in Polyurethane Coating Process

Seunghyun Lee, Seungtaek Hong, Moonyong Lee*
 School of Chem. Eng & Tech, Yeungnam Univ.
 (mynlee@yu.ac.kr*)

서론

휘발성 유기화합물질(Volatile Organic Compounds; 이하 VOCs라 함) VOCs 배출원인 석유화학공장, 도장공장, 인쇄공장, 식품가공공장, 퇴비공장, 세탁소, 석유저장소, 하수처리장, 기타 제조공장 등에서 배출로되는 VOCs의 종류는 매우 광범위하고 배출농도 수준 또한 다양하며, 냄새를 유발하고 있다. 특히 국내의 VOCs 규제는 2005년 1월1일부터 THC(총탄화수소)로서 배출허용기준이 50ppm(또는 100ppm)이하로 관리됨에 따라 오존전구체인 VOCs와 악취 및 유해성 VOCs제거에 적용 가능한 국내기술의 개발이 시급한 실정이다. 그러나 실제 규제 관리를 이행하는데 있어 국내의 관련 연구와 기술 수준이 미비하여 현재 국내 사업장에서 적용되고 있는 VOCs 방지기술의 대부분은 선진 외국 기술을 그대로 이용하거나 외국의 방지시설업체와 기술제휴하고 있는 상황으로 사업장에서 적절한 기술의 선택 및 적용방법에 대해 고심하고 있는 실정이다.

따라서 보다 경제적이고 Compact한 VOCs 처리.회수장치(열매체유를 이용)를 개발하여 대구.경북지역의 VOCs 주된 배출원인 섬유코팅기의 환경오염방지시설을 개선.개량하는데 연구하였다.

본론

열매체유를 이용한 VOCs 흡수처리 및 회수기술의 기술적 특성

포화증기압이 낮고 비점이 높은 열매체유(또는 비슷한 성질의 윤활유)를 용매로한 흡수탑에 VOCs 가스를 유입. 흡수처리한 후 처리 가스는 대기로 방출시킨다. 열매체유는 각종 VOCs의 흡수 포화점까지 순환사용하고 포화점에 도달한 열매체유를 재생 Line에서 VOCs의 비점이상으로 가열(또는 증류)하면 농축된 VOCs로 증발되는데 이를 냉각시켜 액상으로 응축회수하며, 미응축 잔류 가스는 다시 흡수탑 입구로 보내어 진다.

한편, 재생 시 가열된 열매체유는 적정온도로 냉각하여 흡수액으로 재이용된다. 재생 Line은 경우에 따라서 연속식, 또는 회분식으로 System의 구성이 가능하다.

본 System은 처리 가스량의 대소, VOCs농도의 고저, 입구온도의 고저에 관계없이 다양

하게 응용이 가능도록 최적의 설계 및 운전 조건을 도출해 내어 배출허용기준치의 배출 가스농도를 실험하였다.

현재 배출되는 VOCs의 농도는 약 3,000ppm이고 사용되는 solvent 양은 170°C에서 160kg/h으로 유입되고 있다. 여기서 사용되는 solvent는 모두 가스로 배출되는 것으로 가정하였다.

실험에 앞서 Solvent 성분의 변화에 따른 case study simulation을 수행하였으며 각각의 case study는 아래와 같다.

- Case 1 : CCl₄ 를 포함한 경우
- Case 2 : CCl₄ 를 포함하지 않은 경우
- Case 3 : CCl₄ 대신 Chloroform을 포함한 경우
- Case 4 : 비점이 case 1~3의 경우보다 낮은 열매체유를 사용한 경우

실험에 사용된 열매체유의 선정은 다음과 같은 기준으로 선택하였다.

- 열적 안정성
- 높은 비열, 열전도도
- 대기압에서의 높은 비점
- 전 운전온도 범위에 있어서 낮은 점도
(너무 낮은 점도는 인화점이 낮아서 사용온도에 제한을 줌)
- 불순물 및 공정물질유입에 대한 낮은 반응도

VOCs 가스의 성분과 분리가 쉽도록 하기위해 비점이 250°C 이상인 것으로 선택한 결과 n-HexdecylBz 와 n-C₂₀을 선정하였다.

Case Study Simulation

VOCs 가스 분리회수 공정의 PFD는 그림 1.과 같이 구성하였다.

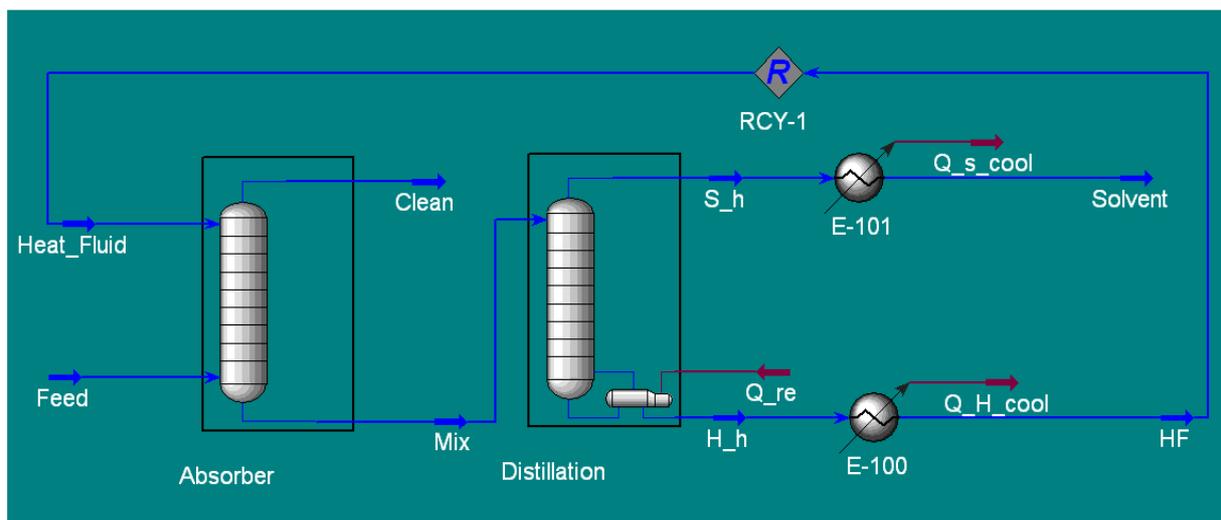


그림 1 VOCs 가스 분리회수 공정도

각 case study에 대한 simulation 결과를 표 2. 에 나타내었다.

표 2. VOCs gas의 각 성분 함유량

Case	Feed	Stage No.	성분	Mole	Mole Frac.(%)
Case 1	12,910kg/h	Absorber : 25 Distillation : 10	Toluene	607.77	0.137
			MEK	110.94	0.025
			CCl ₄	624.11	0.14
			Air	443404.02	0.99698
Case 2	16,990kg/h	Absorber : 30 Distillation : 10	Toluene	1649.66	0.28
			MEK	110.94	0.019
			Air	585293.31	0.99701
Case 3	14,710kg/h	Absorber : 15 Distillation : 10	Toluene	607.77	0.12
			MEK	110.94	0.022
			Chloroform	804.02	0.158
			Air	507524.97	0.997
Case 4	16,990kg/h	Absorber : 25 Distillation : 10	Toluene	1649.66	0.28
			MEK	110.94	0.019
			Air	585293.31	0.99071

Case 2의 경우 두가지로 분류하였는데, 첫 번째는 feed stream 앞에 cooler를 설치하여 유입가스의 온도를 50℃로 낮춘 경우이고 두 번째는 증류탑 대신 separator를 사용하여 장치와 운전의 간편하도록 하였다. 그리고 separator 하부로 배출되는 열매체유를 feed stream과 열교환하도록 설정하였다.

Case Study 결과

Case 2의 첫 번째 경우와 같이 Feed의 온도를 낮춘 경우 열매체유에 의한 VOCs 가스 흡수가 더 잘 이루어지고 있는 것을 알 수 있다. 또한 흡수탑에서 나오는 (열매체유 + VOCs 가스)를 증류탑으로 분리한 경우 solvent, 열매체유 모두 재사용이 가능하였으나 장치와 운전의 어려움이 있는 것으로 나타났다. 그리고 증류탑 대신 separator로 분리한 경우는 열매체유만 재사용이 가능하였고 solvent는 air와 열매체유가 섞여있는 것으로 나타났다. 열매체유의 종류에 대해서는 n-HexdecylBz보다 n-C₂₀이 더 빠르게 흡수됨을 알 수 있다.

흡수탑의 단수에 대한 영향을 알아보기 위해 그림 2.에 도표로 나타내었다.

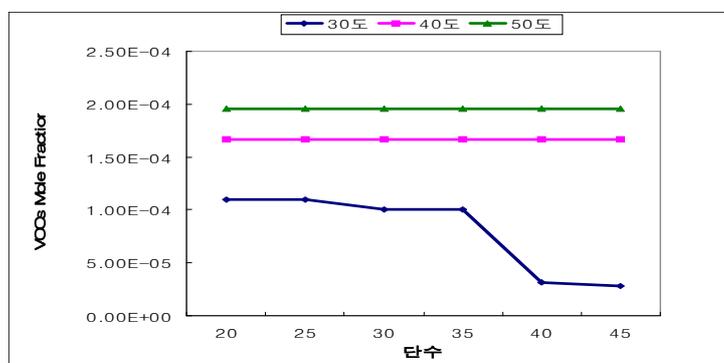


그림 2 흡수탑 단수에 의한 영향

그림 2.에서 보는바와 같이 Feed의 단독으로는 영향이 없으나 온도, 유량과 함께 작용할 때 영향이 큰 것으로 나타났다.

열매체유의 영향에 대해서 그림 3.에 나타내었다.

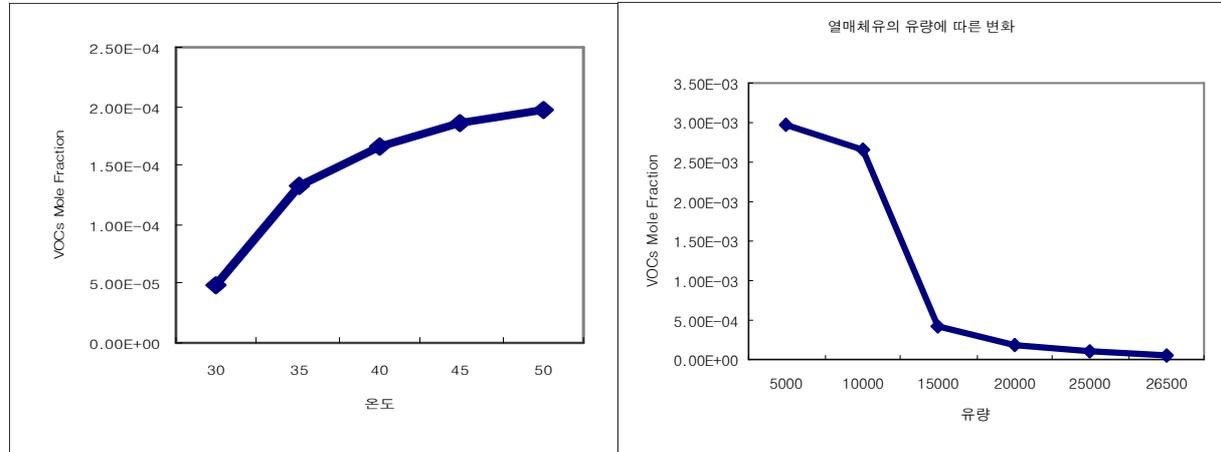


그림 3 (a) 열매체유 온도에 의한 영향

그림 3 (b) 열매체유 유량에 의한 영향

실험에서 알 수 있듯이 열매체유의 온도와 유량에 따라 배출되는 VOCs 가스의 농도가 달라짐을 알 수 있었다. 즉, 열매체유의 온도가 낮을수록 그리고 유량이 클수록 VOCs 가스의 농도는 낮아지는 것을 알 수 있었다. 또한 흡수탑의 단수는 단수 그자체로서는 크게 영향이 없으며 온도 및 유량을 함께 적절히 조작할 경우 VOCs 가스 농도에 많은 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

결론

본 연구에서는 열매체유를 이용한 VOCs 제거 및 Recycle 공정을 개선하여 공정의 타당성을 실험하였다. 흡수탑과 증류탑의 공정개선을 통하여 VOCs 가스의 배출농도기준을 만족하는 것을 확인하였고 VOCs와 열매체유를 분리하여 재사용 가능성을 높여 투자비 절감 및 운전의 용이 그리고 경제적 이득을 얻을 수 있어서 향후 국내기술 확보 및 환경산업시장의 기반 구축에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott, "Unit Operations of Chemical Engineering", McGraw-Hill(1995)
- [2] Ernest E. Ludwig, "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants", Gulf Publishing Company (1977)
- [3] 이종대, "VOC배출제어를 위한 톨루엔의 산화분해반응에 관한 연구" (2000)