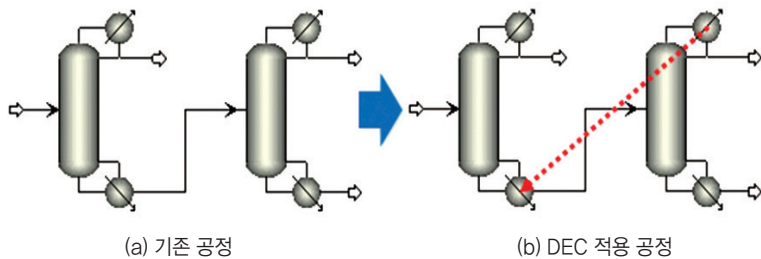


DEC 기술을 이용한 정제공정 에너지 절감

증류공정 에너지 절감을 위한 DEC(Double Effect Column) 기술의 원리와 응용사례를 소개하고자 한다.

석유화학공정 내 분리정제공정의 95% 이상을 차지하고 있는 증류공정은 대표적인 에너지 다소비 공정으로 공정에서 사용되는 에너지를 절감하기 위한 다양한 기술들이 적용되고 있다. 고효율 인터널, 분리벽탑(Dividing Wall Column), 최적화 및 APC(Advanced Process Control) 등이 대표적인 에너지 절감 기술로 증류공정에서 활용되고 있다. 일반적으로 증류공정은 다수의 증류탑들로 구성되어있고 증류탑의 운전 압력 조절을 통해 열원 활용을 극대화하여 외부 에너지 사용량을 최소화할 수 있는 DEC 기술이 활용될 수 있는 기회가 있다. DEC 기술의 개념도를 그림 1에 나타내었다.



[그림 1] DEC 기술의 개념도

신준호
LG화학 기초소재연구소
부장
deepest@lgchem.com

작동원리

그림 1에 나타난 것처럼 기존 공정(a)은 각각의 증류 칼럼이 독립적으로 운전되고 있다. 반면에 DEC 기술이 적용(b)될 경우 상부에서 냉각수로 냉각되어 버려지는 폐열을 최대한 회수하여 재비기(Reboiler) 열원으로 활용하는 것으로, 간단하게는 칼럼 운전 압력을 한쪽은 현재보다 낮게 유지(감압)하고, 다른 한쪽은 현재보다 높게 유지(가압)하여, 가압 조건 칼럼의 상부 증기 열원을 감압 조건 칼럼의 하부 재비기 열원으로 공급하는 것이다. 이때 중요한 조건은 가압 칼럼의 상부 온도와 감압 칼럼의 하부 온도를 열교환이 가능하도록 온도차를 10~15℃ 수준으로 설계하는 것이다. DEC 기술은 이름에서 알 수 있는 바와 같이 칼럼에서 제거되는 열원을 재사용하여 에너지 절감을 이루는 방식으로 이상적으로는 기존 대비 50%까지 에너지를 절감할 수 있는 기술이다.

후보공정 선정

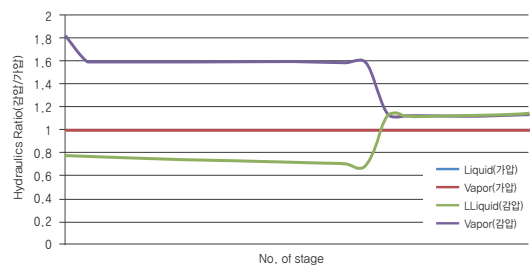
DEC 기술의 적용이 가능한 공정은 다음과 같은 요건을 충족하는 것이 바람직하다. 첫째, 감압 혹은 가압하고자 하는 칼럼의 운전압력이 칼럼 설계압력 대비 여유가 있어야 한다. 둘째, 감압하는 칼럼은 압력이 기존 대비 낮아지므로 처리용량에 여유가 있어야 한다. 셋째, 가압하는 칼럼의 압력은 기존 대비 높아지므로 칼럼 하부의 온도가 높아진다. 고온에 노출될 경우 반응이 일어나는 경우는 피해야 한다. 또한, 압력이 올라감에 따라 상대휘발도는 일반적으로 낮아지므로 분리성능의 저하를 보상하기 위하여 환류량을 늘려 주어야 하므로 상세한 기술검토 과정이 필요하다. 넷째, 칼럼의 상부와 하부 간의 열교환을 통해 에너지를 절약하는 방식이므로 배관구성이 적절히 가능하도록 설비

간의 위치가 가까운 것이 바람직하고, 공급 측과 수요측의 열부하가 유사한 것이 바람직하다.

모델링 기술의 활용 및 기초설계

증류공정에 대한 모델링은 핵심이 되는 열역학적 물성 모델을 근간으로 하여 상세한 수준의 증류탑에 대한 수학적 모델을 기초로 하여 수행되는데 최근에는 전문화된 상용 S/W를 통해 공정의 특성을 매우 정확하게 예측할 수 있다. 핵심이 되는 증류탑 모델 이외에도 DEC 기술 적용을 위해서는 열교환기의 설계 및 평가 과정이 필요하다.

증류공정 모델링을 통해서 얻을 수 있는 정보는 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 칼럼이 허용하는 처리용량을 확인할 수 있다. 처리용량에 대한 정보는 칼럼 내부의 기체/액체 유량 및 내부 구조에 의해서 결정되고 기존 공정 변경을 통해서 DEC 기술을 적용하는 경우에는 반드시 검토해야 한다. 둘째, 칼럼의 운전 압력의 변경에 따른 칼럼 내부의 온도 및 기체/액체 유량을 확인할 수 있다(그림 2). 셋째, 생산하고자 하는 물질의 순도와 칼럼 전체의 압력 강하 등에 대한 정보를 알 수 있다. 증류탑에 대한 모델링을 통해 얻은 정보를 활용하여 DEC 설계에 기초가 되는 공정 조건들을 설정하면 이후 신규 열교환기 설계 및 기존 열교환기에 대한 평가를 통해 기초적인 설계를 마칠 수 있다. 넷째, 설계된 조건을 바탕으로 공정 시운전에 대한 운전 조건을 설정할 수 있다.

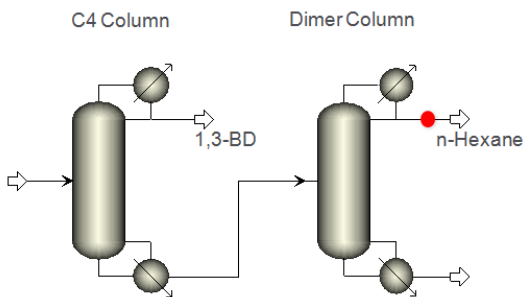


[그림 2] DEC 방식 모델링 사례

적용 사례

DEC 기술은 앞서 언급한 후보공정 선정에 대한 지침을 만족하는 공정에 적용이 가능하고 석유 화학공정의 BTX 정제공정에 적용이 이루어지고 있다. 일반적으로 그림 1과 같은 흐름으로 BTX 정제는 끓는점이 낮은 물질인 벤젠을 먼저 분리하는 direct sequence 정제 방식을 통해 두 개의 칼럼이 사용되는데, 첫 번째 칼럼의 상부로 벤젠을 두 번째 칼럼의 상부로 톨루엔을 얻고 하부로 m-xylene을 얻게 된다. 또 다른 사례로는 합성고무 공장의 솔벤트 정제공정에 적용한 사례를 볼 수 있다. 본고에서는 2개 라인으로 구성된 합성고무 공장 솔벤트 정제공정에 대한 DEC 적용 사례를 간략히 소개한다.

합성고무공정은 솔벤트를 사용한 솔루션 중합을 통해서 중합반응을 진행하고 이후에 중합반응기에서 생성된 고분자 솔루션에서 솔벤트를 제거하는 스트리핑을 통해서 합성고무를 생산한다. 솔벤트로는 헥산을 사용하는데 스트리핑 과정에서 포함된 미반응 모노머와 수분 그리고 고비점 불순물을 정제하기 위하여 2개의 칼럼을 활용하여 솔벤트를 정제하는 정제공정(그림 3)이 포함된다. 해당 공장은 합성고무 공장 증설 계획에 따라서 신규 공장을 계획하는 과정에서 기존의 솔벤트 정제공정과 신규 솔벤트 정제공정 내의 Dimer 칼럼간의 DEC 방식을 적용하였다. 공정 에너지 비용 절감

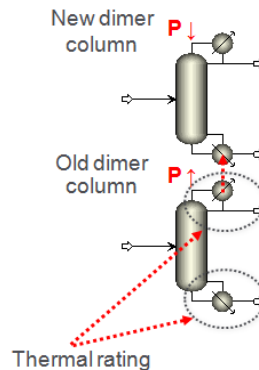


[그림 3] 합성고무 공장 솔벤트 정제공정

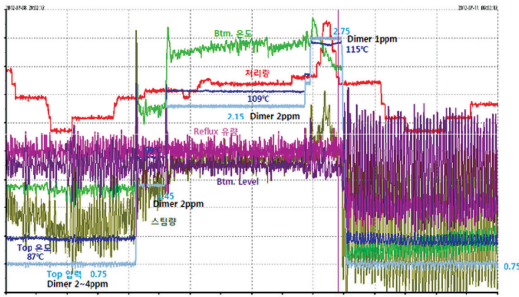
을 위한 다른 방안으로는 MVR(Mechanical Vapor Recompression) 기술을 활용할 수도 있지만 기술 평가결과 다단의 압축설비가 필요하여 투자비가 과도한 문제가 있으며 회전기기의 유지보수 측면에서 DEC 방안에 대비하여 단점이 많았다. 향후 MVR 기술 보급이 확대되어 기술 적용을 위한 투자비가 점차 낮아질 것으로 전망되므로 상황은 바뀔 수 있을 것으로 생각할 수 있고 1개의 생산라인만을 운영할 경우에는 에너지 절감을 위한 좋은 후보 기술이라고 판단된다.

운전 압력의 결정

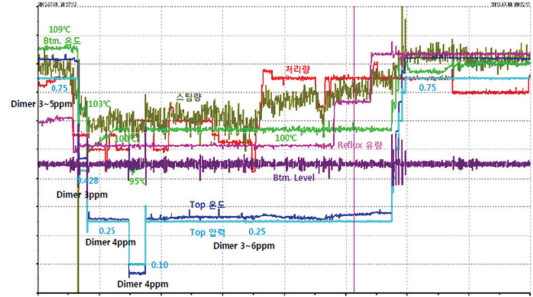
DEC 방안에서의 가압/감압 조건과 칼럼에 대한 설계는 앞에서 언급한 바와 같이 정제공정에 대한 모델링을 통해서 이루어졌다. 처리용량에 대한 제약을 해결하기 위해서 신규 칼럼은 감압조건에서 기존 칼럼은 가압조건에서 운영하는 방안으로 설계하였고, 기존 솔벤트 정제공정이 가동 중에 있었으므로 DEC 방안 적용 이전에 기존 칼럼을 활용하여 감압 및 가압조건에서의 정제시스템에 대한 사전 점검을 할 수 있었다. 운전 압력을 결정하는데 있어서 고려해야 하는 검토 사항으로는 칼럼의 설계 압력, 압력 제어 방법, 신규 칼럼과 재비기 설계 측면을 고려하는 것이 바람직하다.



[그림 4] 제안된 DEC 방식



(a) 가압



(b) 감압

[그림 5] 기존 공정을 활용한 (a) 가압 및 (b)가압 테스트 결과

기존 칼럼의 응축기와 재비기 용량 검토

운전 압력을 결정한 이후에 기존 칼럼의 응축기와 재비기의 용량이 충분한지 평가를 실시하였다. 기존 칼럼을 가압 조건에서 운전하는 방식이므로 기존의 운전 압력에서보다 상대휘발도가 작아져서 환류량이 증가하고 재비기의 부하가 증가하기 때문에 그림 4에서 표시된 응축기와 재비기의 열교환 용량을 확인하는 과정이 필요하였다. 기존 응축기와 재비기의 설계 마진이 DEC 방안에서 요구하는 열량을 충분히 커버할 수 있는 것으로 확인되었다.

기존공정을 이용한 공정 테스트

실제로 DEC 방안에서의 적절한 압력을 결정하기 위한 모델링 검토와 함께 방안 적용 이전에 기존 칼럼을 이용하여 분리가 원활하게 이루어지는지 확인하는 공정 테스트를 진행하여 실적용에서 발생할 수 있는 기술적인 문제를 미리 확인하였다. 그림 5는 기존공정을 활용하여 가압 및 감압 운전 조건에서의 공정 테스트 결과를 보여주고 있다. 중합반응에 영향을 줄 수 있는 Dimer(heavy impurity)와 수분 등에 대한 품질 변수도 모두 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

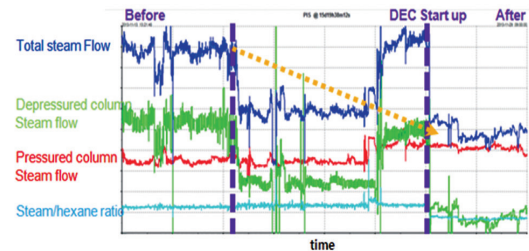
기타 고려사항

DEC 방안 적용 시에 설계 조건을 완화할 수 있

는 방법으로 칼럼 하부에서의 솔벤트 함량 조절을 생각할 수 있다. 칼럼 하부에서의 솔벤트 함량을 높이면 DEC 방안의 가압 칼럼 설계/운전 압력을 낮출 수 있거나 혹은 같은 동일 설계/운전 압력에서 온도차를 벌릴 수 있어서 신규 재비기의 크기를 작게 할 수 있다. 미회수된 솔벤트는 간단한 증발기 형태의 설비를 통해서 회수할 수 있다. DEC 방안을 실제 공정에 적용할 때 기존 설비를 활용하는 경우에는 공정의 제약 조건이 많이 있어 적용이 어려울 수 있으므로 설계 조건을 완화할 수 있는 매우 좋은 방안일 수 있다.

적용 결과

기초설계와 공정 테스트 결과를 바탕으로 상세 설계를 수행하였고 적용이 이루어졌다. 그림 6에서 보는 바와 같이 솔벤트 정제공정에서 필요한 스팀의 45% 수준의 에너지 절감을 이룰 수 있었으며



[그림 6] DEC 방안 적용 결과

투자에 대한 회수기간은 3달 정도로 매우 짧은 것으로 평가되었다.

결론

본고에서는 합성고무 공장의 솔벤트 정제공정에 대한 DEC 적용 사례를 통해 석유화학 공장에서

미활용되고 있는 증류탑 상부의 폐열원 활용 방안 에 대해서 살펴보았다. 증류탑의 운전압력 조절을 통해서 공정 스트림 간의 온도차를 벌려줄 수 있도록 하여 열교환을 가능하게 함으로써 에너지를 절감할 수 있었다. DEC 기술은 석유화학 공정에서 넓게 활용이 가능한 현실적인 방안으로 향후 많은 공정으로 확대될 것으로 판단된다. *