

BR Stripping 공정 모델 개발 및 최적화

신대영*, 박승영
 LG화학 기술연구원
 (amiruri@lgchem.com*)

BR Stripping Process Model Development and Optimization

Dae Young Shin*, Seung Young Park
 LG Chem, Ltd. Research Park
 (amiruri@lgchem.com*)

서론

BR(Butadiene Rubber)는 Butadiene 단량체의 n-Hexane용매를 이용한 용액중합반응에 의해 생성된다. 용액중합반응은 다량의 용매를 사용하여 반응열의 제어 및 제거가 용이하다는 장점이 있는 반면, 생성된 고분자로부터 용매를 분리, 회수하는 과정이 필요하게 된다. BR Stripping 공정은 두 개의 Stripper로 구성되어 있으며, 각 Stripper로 Steam이 공급되어 1st Stripper에서 대부분의 Hexane용매가 제거되고, 2nd Stripper에서 Crumb내에 남아있는 잔존 Hexane이 제거된다. 이러한 Stripping 공정은 에너지 다소비 공정으로, 에너지 비용이 상승하게 되면 추가 비용이 발생함으로써 합성 고무의 원가상승에 큰 영향을 끼치게 된다. 본 연구에서는 BR Stripping 공정의 최적화 작업을 통해 Steam사용량을 최소화하여 BR의 생산원가 절감효과를 가져오고 가격 경쟁력을 향상시키고자 하였다.

본론

1. BR Stripping Model 개발

수집된 현장 데이터와 PFD 자료를 바탕으로 하여 AspenTech사의 Aspen Plus 2004[®]를 사용하여 BR Stripping 공정 모델을 개발하였다 (Figure 1). BR Stripping 공정에 포함되는 주요 성분들 (물, n-Hexane, Polymer)의 상호간 Interaction을 고려하여, 고분자 물질을 포함한 액상의 비이상적 거동을 추산할 수 있는 Polymer-NRTL (Renon & Prausnitz) 모델을 적용하였다..

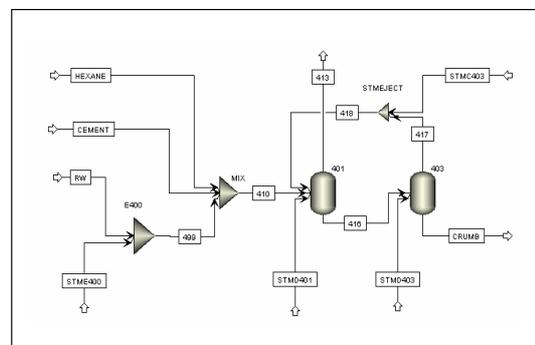


Figure 1. BR Stripping Model PFD.

2. 기존 운전 분석

현장 운전 조건이 n-Hexane과 물의 boiling line 안쪽 영역에 존재하는지를 알아보기 위해 각 Stripper의 온도, 압력값을 boiling line과 함께 도식화하였다. Figure 2에서 보는 바와 같이 실제 공정 데이터들이 Safe region내에 있음을 알 수 있으며 n-Hexane의 boiling line에 근접할수록 에너지 측면에서 유리하나 공정상의 특성으로 인해 1st Stripper의 경우 물과 n-Hexane boiling line의 중간 지점에 위치해 있음을 확인 할 수 있다. 2nd Stripper의 경우에는 물의 boiling line에 최대한 접해있음으로써 용매의 증발을 극대화시킨다.

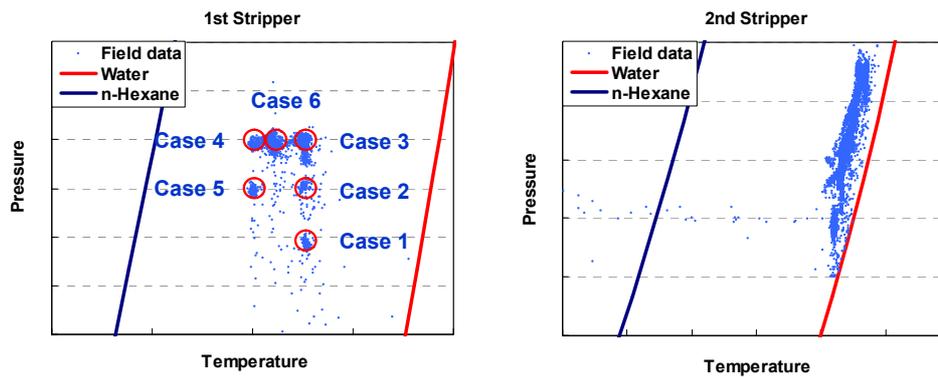


Figure 2. 1st, 2nd Stripper 운전 현황.

1st Stripper의 운전 현황을 살펴보면 데이터들이 그룹을 형성하며 분포하고 있는 것을 확인할 수 있다. Figure 2에 나타낸 바와 같이 운전데이터를 온도, 압력 분포에 따라 6개의 Case로 분류하여 각 Case별로 운전 안정성, Crumb형성의 문제점 및 공정 효율성을 분석하고 그에 따라, 안정 운전에 대한 기준을 다음과 같이 System Performance와 Crumb Stability 측면에서 제시하였다.

1) System Performance

(1) Hexane vaporization (%)

Stripping이후 crumb slurry에 존재하는 hexane의 양은 일정량 이하이어야 한다.

(2) Water vaporization (ton/hr)

물은 분산매질로서의 역할을 하고 있으며 가능한 적게 기화되는 것이 에너지 측면에서 유리하다.

2) Crumb Stability ~ Residual Hexane (ton/hr)

2nd stripper에서의 안정적인 crumb형성을 위해 1st stripper에서 2nd stripper로 연결되는 액상 flow내의 hexane량이 일정량 이하가 되어야 한다.

각 Case별로 Hexane과 물의 증발량, RHex12 량, Crumb내 Hexane잔존량을 계산하여 Figure 3에 나타내었다. Case 1, 2, 3의 경우 RHex12 량은 양호하지만 높은 Water Vaporization값이 나타내듯이 많은 Steam량을 사용하여 에너지면에서 취약한 상태이다. Case 4는 에너지 비용을 절감하기 위한 차원에서 Steam사용량을 최소화하고 그에 따라 Water Vaporization값이

가장 낮지만, Hexane Vaporization값 역시 너무 낮은 상황이다. 특히 RHex12량이 Case 1, 2, 3 보다 두배 가까이 증가하여 2nd Stripper에서의 crumb불안정으로 인해 부적합한 운전 조건으로 판단된다. Case 5, 6은 기존에 비해 Water Vaporization량의 감소로 인해 에너지 절감 효과는 있으나 RHex12량의 증가로 Case 1~3 대비 2nd stripper벽면 crumb 부착 발생 빈도가 증가한다. 기존 운전 조건에 대한 분석을 통해서 다음과 같이 안정 운전 조건의 기준을 제시하고자 한다.

- 최적화 계산 수행을 위한 안정 운전 조건 기준 -

1. Hexane Vaporization의 최소 허용값: %^{a)}

2. Residual Hexane의 최대 허용값: ton/hr^{a)}

a) 대외비

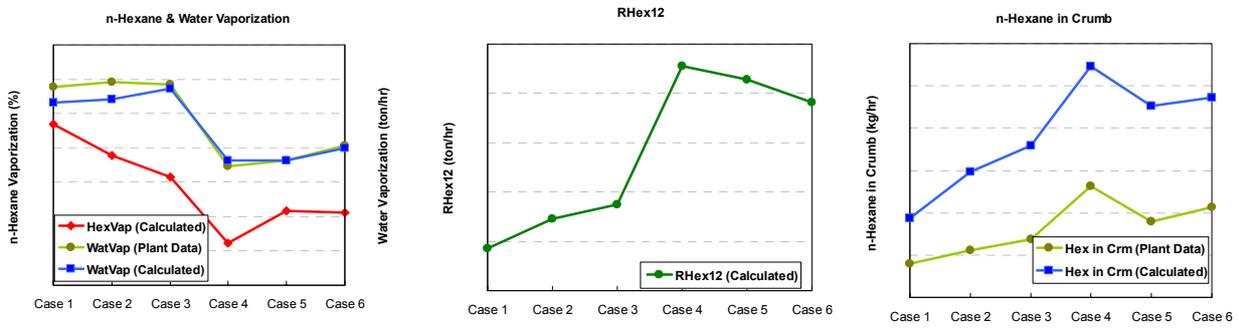


Figure 3. Hexane 및 Water Vaporization, RHex12, Crumb내의 Hexane질량 분석.

다음은 Case별 Steam량에 대한 분석그래프이다 (Figure 4). Case 1, 2, 3에 비해 Case 4, 5, 6의 경우 Stripper로 유입되는 Steam량이 감소함에 따라 Total Steam량이 감소하고, 2nd Stripper의 Steam투입량이 증가한 것을 알 수 있다. Case 4에서는 과도한 Steam절감으로 인해 Hexane증발량이 감소하고 RHex12량이 증가하는 문제가 발생한다.

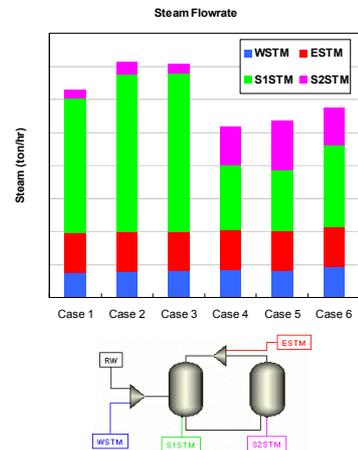


Figure 4. Case별 Steam량 분석.

3. 압력변화 및 Steam분배에 의한 최적 조건 결정

Stripper의 압력과 각각의 Stripper로 유입되는 Steam량 및 분배비의 조절을 통해 Stripping공정의 안정 조건을 만족하면서 Steam사용량을 최소로 하는 최적의 운전조건을 계산하였다. 시뮬레이션 결과 2nd Stripper 압력이 낮은 경우, 동일한 Steam분배에 대해서 압력이 높은 경우에 비해 Hexane증발량이 높고 RHex12량은 적은 것을 알 수 있다. 따라서 2nd Stripper 압력을 낮출수록 운전 가능한 Steam분배 영역이 커지게 되고, Total Steam량을 좀 더 줄일 수 있는 가

능성을 제공한다. 1st Stripper 압력 변화에 의한 결과를 살펴보면, 압력이 감소할수록 운전 가능한 영역이 증가하게 된다.

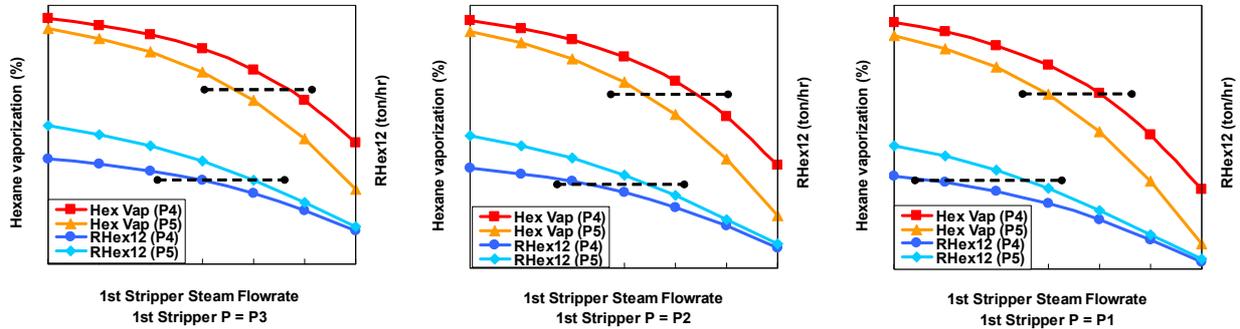


Figure 5. 압력변화 및 Steam분배에 따른 Hexane증발량, RHex12량 분석.
(1st Stripper 압력=P1~P3, 2nd Stripper 압력=P4~P5, dot line:안정 조건 기준).

이러한 특성을 감안하여 2nd Stripper 압력을 P6으로 고정하고, 1st Stripper 압력을 P1~P3로 변화시키면서 운전 가능한 최소의 Steam량 및 분배비를 계산하여 Figure 6에 나타내었다.

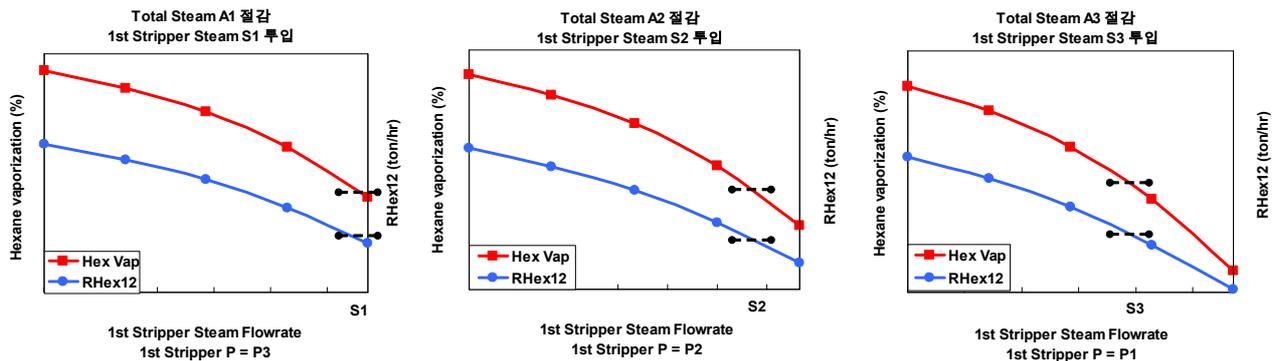


Figure 6. 운전 가능한 최소 Steam량 및 분배비 분석 (dot line:안정 조건 기준).

결론

Aspen plus 2004[®]를 이용하여 BR Stripping 공정 모델을 개발하고, 기존 운전 분석 현황을 토대로 안정 운전에 대한 조건을 제시하였다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 이러한 조건을 충족시키면서 Steam량을 최소화 시킬 수 있는 최적의 운전 조건을 계산하였고, 그에 따라 1st Stripper 압력 P1~P3, 2nd Stripper 압력 P6에서 Hexane증발량 및 RHex12량을 기존 운전 조건과 동일하게 유지하면서 Steam사용량은 Case 6 대비 A1~A3 절감이 가능함을 확인하였다.

참고문헌

[1] J. M. Prausnitz, *Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria*, 3rd Ed., Prentice Hall PTR, 1999
 [2] R. J. Young, P. A. Lovell, *Introduction to Polymers*, 2nd Ed., CHAPMAN&HALL, 1994