

1B2) PSA를 이용한 가솔린 VOC 회수 공정 Recovery of Gasoline VOC by PSA

박영권 · 주국택¹⁾

서울시립대학교 환경공학부, ¹⁾한국에너지기술연구원

1. 서 론

일반적으로 가솔린 VOC의 회수 기술로는 흡착법, 흡수법, 막분리법, 심냉분리법 및 이들의 조합 공정 등이 적용 가능한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 가장 실용화 가능성이 클 것으로 예상되는 저유소 가솔린 출하설비를 대상으로 하고 있는데, 엄격한 배출 기준을 충족하면서 운전비용과 장치비용면에서 흡착법이 가장 경제적인 공정으로 선정되었다. 저유소에서 배출되는 오염공기량은 시간대별 가솔린 출하량, 출하설비 수>Loading bay), 일일 최대 가솔린 부하량에 따라서 달라진다. 가솔린 배출 시간은 출하 일정에 따라 불규칙하게 변동되며 산발적인 특징이 있다. 오염공기의 최대 배출유속(peak flow rate)은 출하설비 수와 비례하며, 일별 오염공기의 총 배출량은 일일 최대 가솔린 출하량에 비례한다.

지금까지 실용화된 회수 설비의 설계는 크게 두 가지 기준에 의해 구분할 수 있는데, 최대 오염공기 배출 유속을 기준으로 하거나 일일 최대 오염공기 처리량을 기준으로 설계하는 경우이다. 전자의 경우에는 최대 오염공기 유속을 처리해야 하므로 설비 규모가 커지고, 오염공기가 배출될 때에만 회수 설비를 간헐적으로 운전하기 때문에 공정 활용도가 낮은 단점이 있다. 따라서, 환경기준치를 맞추기 위한 대기오염방지용 설비로서는 별 문제가 없으나, 가솔린을 회수하여 재활용하는 측면에서 보면 높은 설비투자비 때문에 경제성이 떨어지는 문제점을 가진다. 후자의 경우는 오염공기를 저장조에 포집하였다가 일정 유속으로 처리가 가능한데, 회수 설비의 규모는 전자에 비해 작아지나 오염공기 포집용 저장조에 대한 투자가 높아진다.

본 연구에서 개발하고자 하는 흡착회수공정은 위의 두가지 설계기준의 단점을 보완한 공정이라 할 수 있다. 산발적으로 배출되는 오염공기를 흡착식 포집탑(Adsorptive Buffer)에 공급하여 탄화수소를 흡착 제거하고 청정공기만 대기로 배출한 다음, 흡착식 포집탑을 재생하여 얻어지는 탄화수소를 흡착연속공정(AVRU: Adsorptive Vapor Recovery Unit)에 공급하여 가솔린을 회수하는 특징을 갖는다.

2. 연구 방법

흡착식 가솔린 회수 PSA 공정은 흡착식포집탑 1기(C001), 가솔린 회수용 흡착탑 2기(C002, C003), 진공펌프 1기(V001), 응축기 1기(T001), 공기 작동식 자동 개폐 밸브와 자동 운전 시스템 등으로 구성되었으며, 흡착식포집탑 1기와 2탑식 흡착회수장치는 저유소에서 오염공기의 배출 상태 및 부하량에 따라 여러 가지 방법으로 운전되었다..

2. 1. Mode I 운전방법

MODE I 운전은 (1) 오염공기 포집과 (2) 흡착식포집탑의 재생 및 흡착회수장치(AVRU)의 연속운전으로 구성된다. 오염공기 포집은 가솔린 오염공기를 흡착식포집탑 상부에 공급하여 탄화수소는 흡착시켜 제거하고 청정공기만을 포집탑의 하단에서 대기로 배출시키는 과정이다.

2. 2. Mode II 운전방법

MODE II 운전은 가솔린 오염공기를 흡착식포집탑을 거치지 않고 2탑으로 구성된 흡착회수장치에서 직접 처리하는 방법이다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. Mode I 운전

오염공기 포집 동안에 흡착식포집탑 출구에서 배출되는 시간에 따른 탄화수소의 농도 변화를 조사한 결과, 오염공기를 공급한 시점부터 약 52~53분 동안은 거의 청정공기만 배출되고, 그 후 약 4분에 걸쳐 0.03vol.% (RUN07) 또는 0.11%vol. (RUN08)까지 상승한다. 오염공기를 공급하면 탄화수소는 흡착 제거되고 탄화수소의 흡착전선(adsorption front)이 출구 방향으로 진전됨에 따라서 어느 시점이 도달하면 파과(breakthrough)가 일어난다. 청정공기 중의 탄화수소의 평균 농도는 RUN07에서 약 40 ppmv, RUN08의 경우는 10 ppmv 이었다.

가솔린 회수량을 측정하기 위하여 흡착식포집탑을 약 150분 동안 재생시켰다. 가솔린 회수량은 응축기에서 시간에 따라 상승하는 가솔린 level을 읽어서 환산하였다. 흡착식포집탑의 재생을 시작한 후부터 1시간 동안은 18~22L의 가솔린이 회수되었고, 2시간 반 동안 회수된 가솔린 총량은 약 36~38L이다.

공정성능 실험에서는 오염공기 중 가솔린 성분의 체적비를 응축기에서 회수된 가솔린으로부터 역으로 산출하여서 개략적인 회수율을 계산하였다. 계산결과, 회수율이 99% 이상으로서 실제적으로 거의 모든 가솔린이 회수되었다.

3. 2. Mode II 운전

일주기 운전 시간을 14분, AVRU 흡착탑의 저압세정 유속을 40 NL/min으로 하였을 때 운전 횟수에 따른 가솔린 휘발량과 회수량을 그림3에 나타내었다.

초기 8주기 운전까지는 AVRU 장치에서 200 ppmv 이하의 청정공기가 대기로 배출된다. 운전 회수가 늘어남에 따라서 탄화수소 농도는 최대 1000 ppmv 까지 증가한다. 이와 같이 탄화수소 배출량이 증가하는 이유는 진공탈착의 효율이 낮기 때문이다. 가솔린 성분이 흡착된 흡착탑을 가역적으로 재생하기 위한 최적 조건으로는 단위 흡착제의 무게 당 약 5~8L의 외기를 진공 압력 약 $-0.935 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ 에서 공급해 주어야 한다. 이는 흡착제 1.2 kg이 충전된 bench scale 공정의 연속 운전으로부터 얻은 설계 자료이다. MODE II 운전에서는 단위 흡착제 무게 당 공급된 세정가스 양은 최적 값이었으나($40\text{L}/\text{min} \times 7.5\text{min} / 38\text{kg} = 7.9\text{L}/\text{kg}$), 탈착 압력이 $-0.84 \sim -0.89\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 으로 최적 조건 진공압력에 못 미친다.

4. 결 론

저유소에서 손실되는 가솔린을 회수하기 위하여 흡착식 포집탑(Adsorptive Buffer)과 2탑식 흡착연속 공정을 사용하였다. Mode I 운전시 약 99%의 가솔린을 회수할 수 있었다. Mode II 운전시 진공펌프의 성능이 공정 전체에 커다란 영향을 끼쳤다.