

크라프트 펄프 제조 공장의 2산화 염소 세정기의 최적화

Q-PAC[®]으로 교체하고 연간 \$80,000의 전력비 감소와 검출 되지 않는 공해 대기 배출 시현

개요

펄프 제조 공장의 한 대의 기존 ClO₂ (2산화 염소) 세정기의 정기 정비 기간 중 충전 매체가 교체되었습니다. 3" Kynar과 2" CPVC제 Norton사의 Super Interlox Saddle들을 Lantec사의 Q-PAC[®]으로 교체 한 결과, 그 세정탑은 그 전보다 현격하게 감소한 압손 하에 가동하고 있습니다. 그 감소된 압손은 그 공장의 현격한 전력비 감소를 초래 했습니다. 그 공장은 연간 \$80,000의 즉각적인 전력비 절약을 인지했습니다. 세정기로부터 의 ClO₂ 대기 배출도 검출할 수 있는 수준 이하입니다.

그림 1. Lantec사의 Q-PAC[®]



소개

2산화 염소는 크라프트 펄프 제조 공장에서 목재 펄프들을 표백하기 위하여 공통적으로 사용됩니다. ClO₂는 염가로 펄프에 고도의 하얀색을 제공합니다.

ClO₂로 표백된 목재 섬유의 물리적 성질 (파열, 찢김, 인장, 점도)이 다른 표백 방법들에 의하여 제시되는 물리적 성질들 보다 우월합니다.[1] 미국 환경청은 2산화 염소를 "최상의 가용 기술"로 지정하였습니다.[2] 유럽에서도 2산화 염소 탈색은 환경 책임을 이행하며, 동시에 강하고, 흰색의 종이를 생산하기 위한 최상의 방법으로 널리 인정 받고 있습니다.[3]

추가로, 2산화 염소 표백 공정은 염소가 전혀 함유되지 않은 펄프(TCF) 표백을 채택할 필요를 없애므로써, 산림 자원 확대를 돕습니다. TCF를 사용하여 생산한 펄프는 인장 강도가 낮은 종이를 만듭니다. TCF 표백 공정은 북미주에 있는 모든 펄프 및 종이 제조 산업이 이 방법을 채택한다면, 그렇게 생산된 약한 펄프들을 보완하기 위하여 연간 1억 그루의 나무들이 추가로 벌목되어야 할 것입니다.[2]

매우 활성화된 그리고, 불안정한 화학 물질, ClO₂는 항상 표백 공정에서 사용되기 직전에 현장에서 생산됩니다. 그래서, 2산화 염소, 극 미량의 대기로의 배출이 배출 허용 기준의 운영 명제입니다.

2산화 염소는 눈들과 호흡 계통에 매우 자극을 주는 물질로 분류됩니다. ClO_2 에 노출 한계치(TLV)는 0.1 ppmv이고[5], ClO_2 에 순간적 노출 한계치는 0.3 ppmv입니다[6]. 대부분의 공장들은 전통적인 세정(또는 흡수) 기술로 2산화 염소의 배출을 제어하기를 선택했습니다. 그 2산화 염소는 충전 매체 반응탑(폐기 세정기)내에서 백액을 세정액(또는 흡수액)으로 사용하여 공기로부터 추출 세정됩니다. 반응탑을 채우기 위한 사용 충전 매체의 선택은 작업 효율(물질 전달율 또는 화학 물질 회수율)과 2산화 염소 세정 시스템의 운전 비용에 영향을 줄 것입니다.

2산화 염소 표백 공정을 사용하는 펄프와 종이 제조 산업에서 전형적인 곳이 미국 동북부의 한 대규모 공장입니다. 이 공장은 대기로 배출 전에 ClO_2 의 제거 전용의 한대의 세정탑을 가지고 있습니다.

그림 2. Trane사의 전형적 펄프 제조 공장[4]



문제점

세정기의 운전 비용은 그 세정기의 충전 bed를 지나는 동안 압손과 직접적으로 관련되어 있습니다. 압손이 클수록 그 반응탑을 공기가 통과하게 하기 위하여, 더 많은 동력이 사용되어야 합니다. 그리고, 더 많은 동력은 많은 전력비를 의미합니다. 펄프 제조 공장에서 한대의 2산화 염소 세정 반응탑은 그 반응탑에 충전할 수 있는 가용의 충전 매체 제품들로 인해, 전통적으로 많은 비용이 드는 단위 공정으로 간주되었습니다.

2산화 염소 세정기 한대 운전의 고 비용의 주된 원인은 ClO_2 세정기의 충전 매체의 전통적인 선택 때문이었습니다. Saddle들은 고 압손(고 동력비)을 가지며, 막히는 경향(즉, 압손의 증가와 정비 비용의 추가)뿐만 아니라, 시간이 지날수록 덩어리로 형성 되는 경향(그리하여, 압손과 동력 소비가 증가)이 있습니다.

한 예로서, 이 펄프 제조 공장에서 ClO_2 세정기는 각각 30ft의 두 개의 직렬 충전 Bed들(그러므로, 총 60ft 깊이)을 가진 직경 12ft 6inch의 반응탑에서 45,000cfm의 공기를 처리합니다.

이 세정기에 유입되는 백액은 2,400gpm입니다. 이 세정기는 3" Saddle들(하부 30ft 충전 bed에 Kynar제 Saddle)과 2" Saddle들(상부 30ft 충전 bed에)을 가지고, 약 30inch 수두의 압손을 나타내며 운전하였습니다. 30inch 수두는 그 Saddle들이 처음 설치되었을 때 측정된 값입니다. 정상 작업 중에 그 세정기 통과 후 압손은 점차로 증가하여, 38inch 수두에 도달했습니다. 그 점진적 압손의 증가는 Saddle들의 파열과 ClO_2 를 세정하는데 사용되는 백액 내에 존재하는 고형물들로 인한 Saddle들의 막힘에 기인했습니다. 수두 38inch의 압손시에 그 세정기는 새로운 Saddle들로 교체 충전 되었습니다. - ClO_2 배출 허용 기준치 내에서 세정기 운전을 유지할뿐 아니라, 작업 비용의 감소를 위하여.

그 결과, 그 2산화 염소 세정기는 많은 전력을 소비하였으며, 그 세정기의 충전 bed들은 매 2년 반 내지 3년 마다 교체 충전되어야 했습니다.

해결책

1996년 특허 등록 되자, Lantec사는 크라프트 종이 제조 공장들에 기존의 ClO_2 세정기의 운전 비용 감소뿐만 아니라, 처리 용량을 증가시킬 수 있는 기회를 제안 합니다.

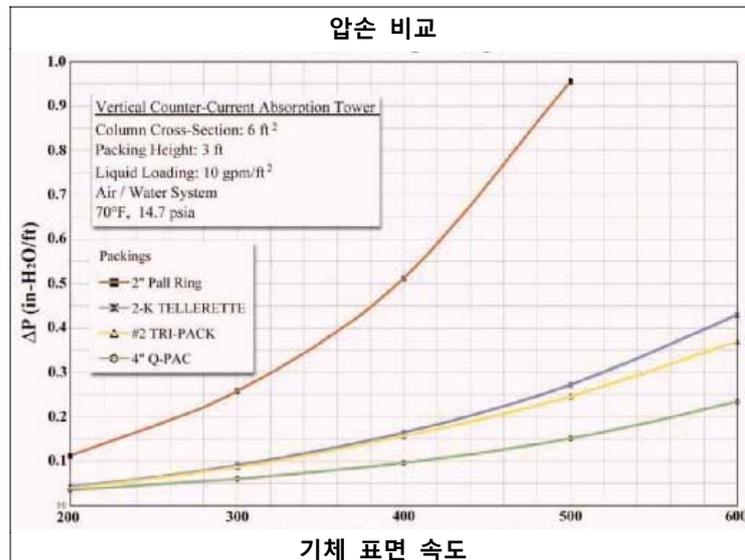
Q-PAC[®]의 많은 침상 봉들을 가진 모든 원형 표면들의 특이한 설계는 백액들이 많은 방울의 소나기로 변형되어, 반응탑을 지나가게 합니다. 이 방울들의 소나기는 공기-백액의 접촉 면적을 Saddle들과 같은 전통적인 충전 매체들과 비교할 때, 2 또는 3배 증가시켜서, ClO_2 의 백액 안으로의 물질 전달이 증가되게 합니다.

종이 제조 공장과 Lantec사의 협의 후, 2001년 가을 종이 제조 공장 담당자는 정기 정비 기간 중 새 Saddle들로 ClO_2 세정기를 교체 충전하는 것을 취소하기로 결정했습니다. 그리고, 구식 Saddle들(원래 계획 했던)을 제거하고, Lantec사가 공급하는 Q-PAC[®]으로 교체하기로 결정했습니다. 그 하부 30ft의 충전 bed와 상부 30ft 충전 bed의 처음 4ft는 Kynar제 Q-PAC[®]으로 채워졌습니다. 상부 30ft 충전 bed의 나머지 26ft는 유리로 보강된 폴리프로필렌제 Q-PAC[®]으로 채워졌습니다. Kynar제는 2산화 염소의 공격적인 성질 때문에 필요했습니다. 유리로 보강된 폴리프로필렌제는 온도가 비정상적으로 상승 시 보호를 위하여 세정기의 상부에 설치되었습니다.

그 세정기의 전체 충전 bed를 Kynar제로 모두 교체하지 않은 이유는 이 설명서 후반에서 말씀 드리겠습니다.

Q-PAC[®]은 96.3%의 공간울을 가지고도 있습니다. 이것은 판매되고 있는 다른 어떤 충전 매체들보다도 가장 큰 공간울입니다. 그림 3에서 Q-PAC[®]은 세정 반응탑에 설치 될 때 주어진 어떤 조업 조건들 하에서도 가장 낮은 압손을 나타내며 운전된다는 사실에 유의 하십시오.

그림 3. 압손



실제로 Q-PAC[®]으로 교체 충전 후 그 종이 제조 공장은 ClO_2 세정기를 통과 후 압손이 총 수두 4inch로 떨어 졌다고 보고했습니다. 위에서 말씀 드렸듯이, 새 Saddle들을 충전 후 통상의 압손은 수두 30inch이었었습니다. 그 공장은 전력 소모가 감소하여, 전력비의 감소만으로도 Q-PAC[®]으로 교체 투자 비용을 3년 이내에 회수할 것으로 예상하였습니다.

실제로, 그 세정기를 Q-PAC[®]으로 교체 충전 후의 결과로 2산화 염소 세정기에 공기를 공급하는 송풍기(600hp)의 전류 부하율은 95%에서 50%로 감소했습니다. 이것은 그 공장이 270hp의 동력 필요성을 제거했다는 것을 뜻합니다. 이 동력 감소의 결과로 직접 얻은 절감 비용은 연간 \$80,000 이상입니다.

위에서 말씀 드렸듯이 그 공장은 2산화 염소 세정기의 굴뚝에서 나가는 공기 중에 있는 ClO₂의 허용 배출 기준을 가지고 있습니다. Q-PAC[®]으로 교체 후 이 법적 허용 기준을 충족시켰을 뿐 아니라, 그 세정기는 ClO₂가 검출되지 않는 상태에서 운전되었습니다. 이것이 구식 Saddle들을 사용 시 가능한 효율보다 Q-PAC[®]이 더 높은 효율을 제공한 직접적인 결과입니다. 그 반응탑이 60ft의 충전 bed 깊이를 가지고 있지만, Q-PAC[®]이 설치 되고는 99.99% 이상의 흡수가 그 세정기의 처음 30ft의 충전 bed에서 성취됩니다. 그러므로, 그 세정기에 설치된 Q-PAC[®]으로는 추가적인 30ft의 충전 bed는 ClO₂가 대기로 배출되는 것을 막기 위한 극대화된 안전을 역할을 하고 있습니다. 전술한 바와 같이 그 세정기의 정상 조업 동안, 상부 30ft 충전 bed의 충전 촉매들은 ClO₂에 극히 작은 시간 동안 노출된다는 것을 의미합니다. 그래서, 상부 bed를 전부 Kynar제 충전 매체로 충전할 필요가 없습니다. Q-PAC[®]의 고 효율 장점을 채택하여 유리로 보강된 폴리프로필렌제 Q-PAC[®]을 상부 bed의 대부분에 채우는 것이 허용되었습니다. 그 결과, Lantec사에 발주된 충전 촉매의 구입 가격은 \$100,000 이상 감소되었습니다.

아래에 이 충전 촉매 교체 Project의 결과들을 요약 정리합니다.

ClO₂ 세정기 운전 상태들

	Saddle 사용 시	Q-PAC [®] 사용 시
공기 유량	45,000 cfm	45,000 cfm
충전 깊이	60 ft	60 ft
압손	수두 30inch *	수두 4inch **
ClO ₂ 배출	배출 허용 기준치 이내	검출 되지 않음
송풍기 마력, HP	570	300

* 압손은 Saddle들의 설치 직후 측정, 시간이 지나면 점진적으로 증가하여 수두 38inch 까지 증가.

** 압손의 미세 증가도 측정되지 않음

이 극대화된 안전율을 그 공장이 몇 가지의 가능한 방법들로 활용할 수 있습니다.

현 상태에서 그 세정탑의 상부 30ft의 충전 부분은, 하부 30ft의 충전 부분의 비상시 대응품 역할을 하고 있습니다. 만일, 어떤 이유라라도 하부 부분이 고장이 나기 시작한다면, 그 상부 부분은 ClO₂가 굴뚝으로부터 배출되지 않는다는 것을 확신시켜 주기에 충분한 충전 촉매를 가지고 있습니다. 그 하부 부분 전체가 고장이 나더라도, 그 상부 부분은 2산화 염소를 99.9% 제거하는 상태로 기능을 계속할 것입니다. 만일, 그런 고장이 발생한다면 그 상부 충전 bed의 하부의 4ft 깊이의 Kynar제 Q-PAC[®]은 ClO₂에 의한 산화력이 있는 공격으로부터 충전 촉매를 어느 정도는 보호하는 역할을 할 것입니다. 또한, 그 공장이 원한다면, 현재의 2,400 gpm의 세정기로 유입 되는 백액의 유량을 추가적인 운전 비용 절약을 달성하기 위하여 감소시킬 수도 있습니다.

그리고, Q-PAC[®]으로 교체 충전이 그 공장에 준 이득들은 이에 그치지 않습니다. Q-PAC[®]이 판매되고 있는 모든 충전 촉매들 중 가장 큰 공간율인 96% 이상의 공간율을 가지고 있는 점을 상기하십시오. 그러므로, 1ft³의 Q-PAC[®]을 생산하는데 필요한 플라스틱 원료량이 다른 충전 매체들을 생산할 때 필요한 원료량보다 많이 작습니다. 이것은 Q-PAC[®]이 같은 재질로 만든 다른 충전 매체들과 비교할 때, 각 각 1ft³대 1ft³를 비교하면 항상 저렴할 것입니다. 추가적으로, 그 Q-PAC[®]의 높은 공간율은 Q-PAC[®] 충전 촉매 위에 축적물이 형성될 기회가 거의 없는 결과를 초래합니다. 또한, Q-PAC[®]은 모두 원형 표면들로 만들어지므로 축적물들이 개별의 어떤 충전 매체에 부착될 기회를 거의 갖지 못합니다. 그리고, Q-PAC[®]에서는 충전 bed를 지나는 동안 축적물들이 연결되어 쌓이는 것(bridging)이 매우 어렵습니다. 그래서, 많은 공장들은 Q-PAC[®]을 그들의 세정탑에 사용하면 판매되고 있는 모든 다른 충전 매체들과 비교하여, 현격하게 정비 비용이 감소되는 것을 보게 됩니다.

충전 촉매의 실제 수명을 예측하기는 어렵습니다. 그러나, 그 펄프 제조 공장이 Q-PAC[®]을 설치 후, 반년 이상 ClO₂ 세정기를 운전하며, 압손이 살금 살금 증가하는 것을 측정할 수 없었으므로 Saddle이 충전 매체로 사용됐을 때 필요했던 대로 정기적으로 2산화 염소 세정기내의 충전 매체를 꺼내서 교환해야 할 필요는 없다고 예측하는 것은 합리적입니다. 그래서, 그 공장의 동력비가 크게 감소한 것에 추가하여, 경험상 그 공장은 최소한 한 번의 ClO₂ 세정기의 충전 촉매 교환 충진을 피할 것이라고 가정하는 것은 합리적입니다. 이것은 그 공장이 이미 인지한 동력 절약에 추가하여, 그 재료비와 인건비에서의 추가적인 절약들을 의미합니다.

최종적으로, 만일 한 공장이 신설 ClO₂ 세정기(또는 어떤 다른 세정기)를 건설할 필요를 고려한다면, 또한 만일 Q-PAC[®]이 그 세정기 설계를 위하여 사용된다면 어떤 다른 경쟁 충전 매체와 비교 하더라도, 더 작은 반응탑이 실현될 것입니다. 이것은 Q-PAC[®]이 흡수 효율의 손실 없이 600~750fpm의 조업 공기 유동 속도를 소화할 수 있는 능력의 결과입니다. 그래서 Q-PAC[®]을 사용하면 신설 반응탑 설계에서 처리되어야 할 공기를 소화하는 세정탑의 필요 단면적은 현격히 축소됩니다. 그러므로, 그 신설 세정기는 더 작을(그리고, 그 제작 비용이 더 염가)뿐만 아니라, 그 설치 소요 면적이 더 작고(그래서, 운반비와 설치비가 더 염가), 더 작은 송풍기와 펌프들(추가적 비용 절약)을 필요로 하고, 그 세정탑이 과거의 크라프트 종이 공장에 있던 ClO₂ 세정기들과 비교하여, 정상 조업 시 소음이 적을 것이라는 것을 의미합니다.

참고 문헌

- [1] Chlorine Dioxide is Increasingly A Substitute for Chlorine In Pulp and Paper Industry, www.aet.org/reports/articles/1997/ese9-97.html
- [2] Pulp and Paper and Chemical Industries Find Environmental Solution, Chlorine Chemistry Council, http://c3.org/teacher_education_materials/solutions.html
- [3] Pulp Bleaching and Chlorine, www.eurochlor.org/chlorine/issues/pulp.htm
- [4] Pulp Mill in Prince George, British Colombia Uses Absorption Chiller to Improve Process, Environment, www.trane.com/commerical/library/northwood.asp
- [5] Uses of Chlorine Dioxide, www.clo2com/factsheet/safety.html
- [6] Pulp and Paper Industries Applications Notes, www.thermo.com/eThermo/CDA/Technology_Detail/0,1213,101-1000005535533-101,00.html