

염색폐수 처리시설 운영관리 및 색도처리기술<중>

자료제공 : 청림환경 C&C
문의 : (0343)469-7665

목 차

제1장 서론

제2장 염색폐수의 특성 및 제조 공정

- 2-1 염료의 구분
- 2-2 염색 가공 공정 및 염색폐수의 특성

제3장 염색폐수의 처리

- 3-1 전처리
- 3-2 물리·화학적 처리
- 3-3 생물학적 처리
- 3-4 고차처리
- 3-5 염색폐수의 처리 모델

제4장 염색폐수의 색도처리기술

- 4-1 탈색기술의 종류
- 4-2 화학적 방법(산화법)
- 4-3 물리적 방법
- 4-4 물리·화학적 방법
- 4-5 생물학적 방법
- 4-6 기타

제5장 향후 기대되는 처리기술

제6장 전기분해

- 6-1 서론
- 6-2 전기분해의 이론
- 6-3 실험 방법
- 6-4 결과 및 고찰

제7장 맺음말

(2) 구리함유 수용성 염료폐액의 철가루에 의한 탈색

구리함유 염료를 처리할 때는 철가루에 의한 구리 제거조각이 효과적인데 탈색된 색소는 용해도가 낮기 때문에 철가루와 함께 침전시켜 여과 분리한다. 구리 제거 및 색소의 탈색율에 의한 일례를 들어보면 아래 표와 같다.

위의 처리조작에서 사용한 철가루의 입도, 처리 온도, 처리 시간, pH의 영향을 받기 쉬우므로 처리 후 폐액중의 용해철 농도에도 주의를 기울여야 한다.

구분	원폐액	처리 후	제거율(%)
Cu농도(ppm)	282	4	99
ΣOD	369	9	98

(3) 수용성 염료폐액의 응집침전 처리

일반적으로 수용성 염료폐액은 친수성 콜로이드로서 물에 대한 친화력이 강하고 흡수된 다량의 물이 응집침전을 방해하고 있어 응집제를 단독으로 사용해서는 응집성이 어렵다. 이 때문에 염료폐수에 무기계 응집제(Al, Fe, Mg, Ca 등)와 고분자 응집제를 첨가함으로써 그 효과를 높이는 경우도 있다.

아무튼 폐액을 처리할 때는 함유 색소의 특성에 주목해 처리하는 것이 필요하며 폐액수 기질에 따라 처리조건을 조정함으로써 수용성 염료폐액을 처리해도 좋은 결과를 얻을 수 있게 된다.

3.5.3 수용성 염료원료·중간체 제조폐액의 탈색처리에

수용성 염료 원료와 중간체는 그 자체가 색소로서 Color Value가 없기 때문에 탈색에 관해서는 관심을 두지 않은 물질인데 그 화학구조는 니트로기, 카르보닐기, 술폰산기 등을 가지고 있어 제조공정에서 나온 폐액은 착색도가 높은 경우가 많다.

탈색 방법으로서 화학적 방법(NaOCl 산화)이 효과가 있지만 탈색율에 한계가 있는 경우와 색이 복원되는 경우, 그리고 반대로 착색도가 높아지는 경우가 있기 때문에 사용시 주의를 기울여야 한다. 따라서 다른 물리적인 방법(흡착처리 등), 염소법 등과 병용하는 것이 효과적이다.

또 분자량이 적고 술폰산기가 많기 때문에 침전법은 어려우나 고분자 응집제(양이온, 음이온)를 병용하거나 무기성분을 첨가함으로써 응집침전 처리가 가능한 경우도 있으므로 개별적인 특성을 자세히 파악해야 한다.

4. 염색폐수의 색도 제거 기술

현재 가장 보편화되어 있는 폐수처리 기술은 일괄처리방식(종합처리방식)으로서 공장내에서 발생한 폐수전체를 통합하여 처리하는 방식으로 Total-Treatment System이라고 한다. 그러나 이 방식은 대체로 일반 생활폐수나 가정하수 등을 처리하는데 적용되는 방법으로 고농도, 난분해성의 염색폐수 처리에는 많은 문제점을 안고 있으며, 비효율적 처리 방식으로 인식되고 있다.

각 공정과 설비에서 발생하는 오염물질을 구분하고 각각의 성분들을 적당한 상태로 분리해서 처리하는 방법을 Local-Treatment System이라고 하며 현재 많이 이용되고 있다. 보다 원활한 처리를 위해서는 각 공정과 설비를 폐수의 성질에 따라 구분한 후 그 속에 포함된 오염물질을 분리하는 일이 중요하다고 할 수 있다.

예를들면 호제제거공정에서 많이 사용하는 PVA함유 폐수를 별도로 분리하여 PVA를 농축·회수하여 다시 이용하는 공정을 들 수 있다. 이 방식은 폐수의 부하량을 줄이는 동시에 원료를 재활용할 수 있으므로 합리적인 폐수처리방법이라고 할 수 있다.

앞으로 추구해야 할 폐수처리방식은 묽은 폐수와 진한 폐수를 분리하여 처리하는 측면에서는 Local-Treatment System 방식과 유사하지만, 한단계 발전시켜 오염원 발생시점에서 오염원을 분리·처리함으로써 특히 염색시에 사용되

는 염료의 종류별 탈색과 아울러 탈취처리까지 가능한 처리 방식으로 향후 염색폐수처리시 반드시 적용되어야 할 방식으로 인식되고 있다.

4.1 탈색기술의 종류

지금까지 많은 탈색기술이 제안된 바 있는데 그 내용은 다음과 같이 분류할 수 있다. 실제 탈색은 화학적, 물리적, 전기적인 복잡한 작용으로 이루어져 있다고 볼 수 있다. 앞으로도 기술적인 진보를 기대할 수 있는데 기존의 탈색기술에 관해서는 다음과 같은 점을 지적할 수 있다.

- ① 특정 탈색 물질에만 적용할 수 있다는 점.
- ② 착색 물질에 따라 초기비용 또는 운전비용이 많이 드는 경우가 있다는 점.
- ③ 탈색효율에 대한 명확한 보증이 없다는 점.
- ④ 기술적으로 확립된 내용이 적다는 점.

4.2 화학적 방법(산화법)

4.2.1 염소계 산화법

산화제는 차아염소산, 표백분 등이 있는데 그중 차아염소산은 비용도 저렴하고 유지관리도 간단하기 때문에 많이 사용하고 있다. 그러나 다량으로 사용하지 않으면 고도의 탈색 효과를 얻을 수 없다.

4.2.2 염소계 산화-자외선법

염소와 반응효율을 높이기 위해 염소를 활성화 시키는 방법으로 자외선(UV-rays)을 이용, 강력한 산화력을 얻을 수 있다.

4.2.3 Fenton 시약법

19C 말경 영국의 Fenton에 의해 개발된 Fenton 산화법은 H_2O_2 와 철이온의 공존상태에서 반응시키면 강력한 산화가 일어나는 현상을 이용하는 공법으로 1950년대부터 H_2O_2 의 제조법이 보급되면서 이 분야의 연구가 활발히 진행되었고, 우리나라에서는 1970년대말에서 1980년대 초에 학계를 바탕으로 소개되었다. 1980년대 후반부터 폐수처리에 본격적으로 사용되기 시작하였으며 최근에는 특히 염색폐수의 탈색 제거를 목적으로 많은 연구와 적용이 진행되고 있다.

H_2O_2 는 산화, 분해, 표백작용을 가지고 있으며, 이를 살펴 보면 먼저 H_2O_2 는 철이온과 반응하여 강력한 산화작용을 나타내는 OH Radical을 발생시키고, 발생된 OH Radical은 폐수 중에 존재하는 유기물과 색도 유발물질을 공격하여 유기물의 결합을 파괴시켜 최종적으로 양호한 처리수를 얻게 된다. 이때 사용되는 철이온으로는 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 나 $Fe_2(SO_4)_3$ 등이 사용되지만 효율적인 면에서는 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 가 유리하다.

Fenton 산화법은 산화와 응집의 두가지 요인이 효과적으로 발생한다. 응집되어 Floc을 형성하는 염료에 대해서는 탈색율이 낮아지는 반면 Floc을 형성하지 않는 염료의 경우는 90% 이상의 탈색율을 얻을 수 있다. 또 실제 염색폐수를 대상으로 실험을 실시한 결과 H_2O_2 40mg/l, Fe^{2+} 20mg/l 정도의 조건에서 충분한 탈색 효과가 가능하다는 것이 알려져 있다.

4.2.4 Ozone(O_3) 처리법

오존은 산화전위가 2.07 Volt로서 불소(플루오르) 다음으로 강력한 산화력을 갖고 있으므로 이를 이용하여 유기물의 분해와 살균, 냄새제거, ABS·페놀의 제거에 널리 이용될 뿐만 아니라 폐수에 포함되어 있는 색도의 제거에 널리 이용된다.

오존 처리법은 폐수에 포함되어 있는 오염물질을 제거하는 목적으로 1890년경부터 상수처리에 이용되어 왔으며, 오존의 생성은 화학법, 자외선법, 플라즈마법, 방사선을 조사하는 방법, 무성방전법이 널리 이용되고 있다.

폐수처리 공정에서 오존이 사용되는 이유는 다음과 같다.

- ① 강력한 산화력에 의해 유해물질을 분해하는 능력이 다른 산화제에 비해 월등히 우수하다.
- ② 처리 후에 발생하는 슬러지 양이 적다.
- ③ 공기 또는 산소를 전력원으로하여 필요한 양의 오존을 생산하기 때문에 저장이나 운반할 필요가 없다.
- ④ 오존은 물 속에서 짧은 시간에 자기분해하여 산소로 방출되기 때문에 2차오염의 우려가 없고, 염소에 비해 수중의 유기물과 결합하여 유해한 유기염소화합물을 생성하지 않는다.
- ⑤ 오존 발생량은 전력 조절에 의해 제어가 가능하므로 자동화설비가 용이하다.

따라서 탈색, 탈취, 살균 및 철과 망간, 계면활성제, BOD,

COD 등의 제거에 널리 사용되며 다른 기타 유해유기물 등의 분해·제거에 널리 이용되고 있다.

그러나 오존을 보다 효율적으로 이용하기 위해서는 기체상태의 오존과 폐수를 효율적으로 접촉시키는 방법, 예를 들면 오존의 기포를 보다 작게하는 연구 등이 필요하며 오존은 폐수 중에 용해되어 있는 물질과 반응하므로 불용성 물질은 반드시 전처리 공정에서 제거해야 하고, 인체에 매우 유독한 가스이므로 취급시 충분한 주의를 하여야 한다.

섬유·염색폐수를 오존으로 처리한 연구가 많이 이루어졌다. 목면공장 폐수를 도시하수와 혼합해 활성슬러지, 여과, 오존처리의 파일럿 테스트를 실시한 예에서는 탈색율이 70%, COD가 27% 제거되었고 계면활성제도 60~85% 제거되는 결과를 얻었다. 각종 염료의 오존산화를 초기 생성물, 반응기구를 통해 조사해 보니 오존처리가 매우 효과적이라는 사실을 알 수 있었다.

또 스틸벤계 염료를 오존 분해하는데 과산화수소를 첨가하고 자외선을 병용함으로써 반응성이 커진다는 사실도 확인되었다. 산성염료, 분산성염료, 직접염료를 포함한 염색공장 실제 폐수를 오존 처리할 때 pH효과를 조사하거나 공존하고 있는 용질의 영향을 조사한 연구가 있다. 오존으로 탈색할 수 있는 염료를 사용해야 한다고 주장하는 예도 있다. 오존은 효과적이지만 산화되지 않는 것도 있고 유기물, 환원제가 포함되어 있으면 탈색성이 저하되기도 한다.

섬유공장 폐수를 재이용한 연구에서는 폐수를 도시하수와 혼합해 생물처리, 응집침전, 여과, 오존을 조합한 파일럿 플랜트로 조사한 결과 95% 탈색율, 70%의 COD 제거율, 100%의 살균이 달성되었다.

섬유가공 폐수를 오존으로 처리하면 오존 투입율은 107mg/l가 필요하고 하수처리수와 혼합하면 58mg/l가 필요하다. 오존 처리에서는 슬러지가 발생하지 않는다는 점이 유리하다.

염료 합성공장 폐수를 대상으로 오존과 전해법을 병용 처리해 보니 오존을 단독으로 처리하는 것보다 약간 양호한 결과를 얻었다.

4.3 물리적 방법

4.3.1 여과법

불용성 착색물질인 경우 여과재로 여과해 물질을 제거한다.

4.3.2 자연침강법(또는 자연부상법)

착색물질인 SS가 물보다 비중이 큰 경우 자연침강법이 가능하며, 물보다 비중이 작은 경우에는 자연부상법으로 탈색할 수 있다.

4.3.3 기압부상법

착색물질인 SS의 비중이 물과 거의 비슷할 경우 기압 공기를 주입해 미세한 기포로 겹보기 비중을 작게하고 부상시켜 착색물질을 제거한다.

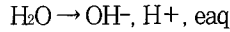
4.3.4 전자빔에 의한 처리법

전자빔에 의한 폐수처리는 조사(照射)에 의해 폐수 속에 존재하는 오염물질을 산화분해시키는 방법으로 기존의 폐수처리방법으로 처리가 곤란한 물질을 제거하는데 이용되고 있다.

화학물질은 원자 또는 분자간의 결합으로 구성되어 있으며, 빠르게 가속된 분자를 충돌시키면 높은 에너지의 전자 자체에 의해 또는 이때 발생하는 반응성이 큰 Radical에 의해 분자간 결합이 끊어지거나 새로운 결합이 형성되면서 물리적, 화학적 특성이 다른 물질을 형성한다. 이러한 목적으로 입자를 가속시키는 장치를 전자선 가속기라고 한다. 가속기를 사용하여 가속시킬 수 있는 입자는 양성자, 양중성자, 전자 등이 있는데, 전자의 경우 다른 입자들에 비해 쉽게 높은 속도와 에너지를 얻을 수 있다. 또한 물질의 방사능 붕괴시 발생하는 α -입자, β -입자, γ -ray를 이용하는 처리공정이 있으나 안정성, 경제성에서 산업적 이용이 제약받고 있다.

현재 산업용으로 활용되고 있는 가속기의 유형은 ELV-형과 ILU-형이 있다. 고전압 렉타파이어를 응용하는 ELV-형은 에너지 효율이 높고 설비의 수명이 길다는 장점을 가지며, ILU-형은 고주파 공명동에 의해 공급되는 고주파에 의해 가속되는데 절연가스가 필요없고 에너지의 손실이 적은 장점을 가지고 있다.

보통 폐수에 조사(照射)된 전자에너지의 대부분은 물에 흡수되어 그 결과 반응성이 풍부한 활성종(OH Radical, H+, 수화전자 eaq-)이 생성된다.



생성된 활성종은 폐수속에 존재하는 오염물질과 반응하여 산화분해를 실시한다. 표8에는 활성종의 작용 및 효과를 나타내었는데 OH Radical은 강한 산화력을 가지고 있어 폐수속에 존재하는 여러 가지 유기물을 산화분해시킨다.

폐수처리에서 전자빔을 적용하는 가장 간단한 방법은 단독으로 폐수처리에 적용하는 것이다. 이 방법은 비교적 유기물의 농도가 낮은 경우로 탈색 또는 살균 등을 목적으로 하는 경우에 적합하다. 그러나 일반폐수에 유기물질의 농도가 높고 복잡한 조성을 띠고 있는 경우가 많기 때문에 전자빔 단독으로 처리를 할 경우에는 큰 용량의 시설이 필요하게 된다.

그러나 다른 시설에 연계하여 처리할 경우에는 전자빔에 의해 폐수속에 존재하는 화학물질의 구조를 변형시켜 미생물이나 응집침전처리, 그리고 오존 산화에 의해 쉽게 분해할 수 있도록 변환시켜 처리하는 것이 가능하다. 대부분의 특수한 경우를 제외하면 미생물 처리법과의 연계처리, 응집침전법과의 연계처리, 오존 산화법과의 연계처리 등이 보편화된 방법이다.

〈표 6〉 폐수 분해시 생성되는 활성종의 작용 및 효과

활성종	활성종의 작용		효과
	산소가 존재하는 경우	산소가 존재하지 않는 경우	
OH \cdot	산화분해	이중화	실균작용 탈색작용 탈취작용
H $^+$	산화에 기여하지 않음	이중화	
eaq $^-$	산화에 기여하지 않음	하전의 중화	
	탈할로겐화	탈할로겐화	

또한 각종 염료를 포함하고 있는 염색폐수도 전자빔에 의해 쉽게 탈색효과를 얻을 수 있다. 효율적인 탈색을 실시하기 위해서는 조사(照射) zone에 산소를 충분히 공급해 주어야만 한다. 그리고 조사(照射) 후에 활성슬러지 공정에 의해 처리하면 탈색을 나타내는 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있다고 보고된 바 있다.

현재 전자빔에 의한 폐수처리 적용은 국내에서도 활발한 연구가 진행되고 있어 앞으로 염색폐수의 탈색처리에 많이 이용될 것으로 생각된다.

4.4 물리·화학적 방법

4.4.1 응집(침전 또는 부상)법

응집은 화학적, 물리적, 전기적인 힘이 복잡하게 관련된 현상으로서 일반적으로 ① 전해질에 의한 콜로이드 입자의 응집, ② 금속 산화물에 의한 응집, ③ 계면활성제, 고분자 물질에 의한 응집의 세 가지 기구가 작용하는 것으로 생각된다. 응집제는 무기 응집제와 고분자 응집제로 나누어지는데 각각 많은 종류가 있다. 실제 적용에 있어서는 응집제 최적주입량 실험(Jar-Test)을 실시해 착색폐수에 적당한 응집제를 결정하여야 한다.

응집처리법은 폐수 중에 포함된 광범위한 오염물질을 제거할 수 있지만, 기본적으로 수용성 염료와 같은 가용성 물질을 제거하는 것은 어렵다(분산염료나 VAT염료는 가능). 그러나 응집제 중에 색소에 대한 흡착력이 있는 것은 고분자 응집제를 함께 사용함으로써 탈색효과를 얻을 수 있으며, 대표적인 사례는 다음과 같다.

- ① 응집제에 벤토나이트 등을 함께 사용하면 염기성 염료, 직접염료, 산성염료의 탈색효과가 있다.
- ② 알칼리성 수화물(탄산마그네슘과 수산화마그네슘)을 함께 사용하면 넓은 pH영역에서 탈색효과를 얻을 수 있다.
- ③ 일반적으로 철계통의 응집제는 탈색효과가 우수하고 차아염소산이나 과산화수소를 함께 사용하면 탈색효과가 증가한다.
- ④ 응집제와 함께 사용하거나 응집처리후 양이온계 고분자 응집제를 이용하여 처리하면 반응염료 등의 음이온 염료의 탈색에 효과가 우수하지만, 사용량은 일반응집제에 비해 증가한다.
- ⑤ 저장조나 침전조에 분말활성탄을 투입하면 COD와 색도의 제거능력은 향상된다.
- ⑥ 염화제이철을 이용하여 산성영역에서 직접염료를 침전시키는 방법으로 탈색이 가능하다.
- ⑦ 직접염료, 산성염료, 황화염료 등은 황산제일철과 수산화나트륨, 소석회 등으로 응집처리하면 우수한 탈색효과를 얻을 수 있다.

무기계 응집제를 사용한 연구에 대해 많은 보고가 이루어졌다. 종류를 보면 황산알루미늄, 황산제일철, 황산제이철, 염화제이철, 명반, 수산화 마그네슘, 간수 등이 있다. 탈색에 관해 살펴보면, 일반적으로 철계에 의한 착색물질의 응집효과가 알루미늄계인 경우보다 크다. 그러나 염색폐수는 종류가 매우 많기 때문에 종류에 따라서 제거되지 않는 물질이 있다. 이 경우 차아염소산(NaOCl)과 과산화수소(H₂O₂)를 이용해 응집제에 염화제이철을 사용하면 탈색율이 향상된다.

그리고 무기계 응집제를 사용하는 경우는 슬러지가 증가하고 알루미늄계 응집제를 사용하면 슬러지의 탈수성이 악화되므로 주의해야한다는 지적도 있다.

고분자 응집제의 종류는 음이온(Anion)계와 양이온(Cation)계, 비이온(Nonion)계의 세 가지로 분류할 수 있는데 특이한 것으로는 Zn-킬레이트 고분자 전해질, 양이온 계면활성에 의한 것 등이 있다. 후자인 경우 포기시간과 pH에 의한 탈색변화가 적는데 비해 반응성 염료의 종류에 따라서는 과잉 첨가로 말미암아 탈색이 저하되기도 한다.

4.4.2 흡착법

흡착제는 종류가 많은데 현재는 활성탄이 더욱 폭넓게 사용되고 있다. 활성탄 중 흡착제로서 성능이 우수한 것은 미세한 구멍이 많이 있고 비표면적이 500~1,500m²/g으로 다른 흡착제에 비해 크기 때문이다. 실제 적용할 때는 폐카본 처리, 유지 관리비 등을 고려해야 한다.

폐수처리에는 분말활성탄과 입상활성탄, 그리고 최근에 많이 개발되고 있는 성형활성탄이 많이 이용되고 있다. 활성탄의 제조를 위해 사용되는 원료 및 제조방법은 매우 다양하며 국내에서는 대부분 톱밥이나 야자껍질을 이용하여 만든 제품이 유통되고 있다.

생산된 활성탄은 전처리를 크게 하지 않는 한 고유의 세공 구조를 갖는다. 예를 들면, 나무를 원료로 제조된 활성탄은 불규칙한 분포의 대세공(Macropore)을 가지고 있으나 석탄으로부터 제조된 활성탄은 불규칙한 분포의 대세공을 가지고 있으며, 고밀도의 야자껍질을 이용하여 만든 활성탄은 세공의 크기가 작게 분포된다. 이러한 세공 구조의 차이는 피흡착 물질(오염물질) 분자가 흡착부위(Adsorption Site)로 이동하

는데 영향을 준다.

특히 폐수처리에 이용되는 활성탄은 미세공(Micropore)이 많이 발달된 아자계활성탄보다는 대세공이 많이 발달된 석탄계활성탄을 사용하는 것이 훨씬 양호한 처리 수질을 얻을 수 있다.

또한 현재에는 입상활성탄의 사용이 가장 많은데 입상활성탄을 사용할 때 주의할 점은 다음과 같다.

- ① 피처리수중의 SS가 존재하면 반드시 SS를 제거한 후에 활성탄 흡착을 실시하여야 한다. 따라서 대부분의 활성탄 흡착은 전처리로써 모래여과 등을 실시해서 사용하여야 한다.
- ② 피처리수중에 용해성 유기물의 농도가 높을 때는 전처리에서 이를 제거한 다음 활성탄 흡착을 실시해야 한다. 일반적으로 BOD, COD 50mg/l 정도 이하에서 적용을 하는 것이 좋다.
- ③ 처리방식에는 다탑직렬식(Merry-Go-Round)방식이나 Pulse-Bed방식이 효과적인 활성탄의 이용방식에 가장 적합하다.
- ④ 활성탄의 폐수처리 이용시 가장 큰 장점은 재생을 해서 다시 사용할 수 있다는 점이다. 따라서 재생공정을 포함해서 폐수처리 System 전체를 검토할 필요가 있다.

염색폐수 처리시 활성탄을 이용하는 사례는 점차 증가하고 있으며 특히 처리유속 LV가 40m/hr에서 실시하면 90% 이상의 탈색효과를 얻을 수 있다고 보고된 바 있고, LV가 40m/hr 이상에서 탈색율이 50% 이하로 감소된다고 알려져 있다. 활성탄에 의한 염색폐수의 탈색효과를 살펴보면 산성염료는 활성탄에 의한 탈색이 90% 이상 제거 가능하고, 염기성염료, 직접염료는 그다지 흡착력은 강하지 않지만 활성탄탑을 길게하는 방법에 의해 탈색효율은 50~70%까지 기대할 수 있다. 그리고 황화염료, 분산염료는 활성탄에 의한 탈색이 높지 않으며 일반적으로 탈색율은 약 10% 정도이다.

따라서 활성탄 단독에 의해서 염색폐수의 탈색처리보다는 응집법이나 오존과 같은 다른 처리법과 병행해서 처리하면 훨씬 좋은 탈색효과를 얻을 수 있다.

흡착제의 종류는 활성탄, 코크스, 수지, 벤토나이트, 실리

카 알루미늄, 키틴(Chitin), 페지필프, 왕겨, 목재(톱밥 포함), 세라믹 등 다수가 있다. 그 중에서 활성탄이 가장 많다. 또 원료에 대해서는 그 지역에서 풍부하게 생산되는 농업생산물과 목재를 원료로 사용해 활성탄을 만들어 탈색시험을 실시한 보고도 있다. 활성탄의 입상과 분말에 의한 흡착특성, 염료 종류별 흡착 특성에 관한 실험 연구도 다수 이루어졌다.

일반적으로 pH 2~3에서 흡착효과가 커지며 염료 종류별로는 대략 염기성염료>직접염료>산성염료>황화염료 등의 순서로 흡착 능력이 떨어진다. 또 활성탄에 Al 또는 Fe를 첨가하면 응집효과도 추가되어 탈색효과가 향상된다.

코크스를 이용해 흡착하는 경우는 메리야스 공장 폐수를 응집 침전한 후 코크스로 처리하면 반응염료에 대해 높은 탈색효과를 나타내고 있다.

흡착용 수지는 반응성 염료인 경우에 pH 2~3에서 가장 높은 탈색효과를 나타내었다. 벤토나이트에 의해 흡착탈색하는 경우는 염기성 염료와 직접염료의 pH가 3~5인 상태에서 효과가 크고, 산성염료는 pH 11의 수치에서 효과가 크다는 것을 알 수 있다. 비산재(Fly Ash)를 사용해 크롬 염료폐수를 탈색하는 경우 비산재 입자 직경이 작을수록, pH가 낮을수록 효율이 높았다. 버거스(Baggase) 줄기의 속부분을 사용하는 경우 염기성 염료는 효과적으로 흡착되는데 산성염료는 소량만 흡착되었다.

티크제의 나무껍질, 벼의 왕겨, 석탄, 벤토나이트, 점토, 모발 및 자투리 목면을 비교해 보면 벤토나이트와 점토가 가장 잘 흡착하고 그 다음으로는 나무껍질, 자투리면, 왕겨 등의 순이다. 알칼리성 수화-탄산 마그네슘($3MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$)과 수산화마그네슘을 병용하면 탈색효과가 향상된다. 기타 금속산화물(CuO, CdO, NiO, Cr_2O_3 , Al_2O_3 , MnO), 고체산의 성질을 띠는 실리카 티타니아 및 실리카 알루미늄, 고체 염기성을 띠는 알루미늄 마그네시아와 같은 복합 산화물은 폭 넓은 pH영역에서 고도의 탈색율을 나타냈고 흡착 속도도 빠르다.

필프 및 종이 제조공장 폐수에 적당량의 명반을 첨가해 얻을 수 있는 명반·리그린 슬러지를 반응 염료의 염료폐수에 첨가함으로써 92%의 높은 제거율을 얻을 수 있었다.