

학교 실험 폐수 처리 방안

- 중 · 고등학교 중심으로 -

장 원 일
(서울과학교육원)

1. 연구목적

가정 쓰레기와 산업폐기물은 쌓일 곳을 잃어가고, 방출되는 각종 有害物質은 生態系의 파괴, 토양과 생물체의 죽음, 人間의 질병을 일으키고 있다. 이와 같이 環境汚染의 심각성은 누구나 공감하며 전 人類의 문제임을 또한 모두가 인식하고 있다. 이러한 사실은 環境문제가 공감이나 문제의 인식차원이 아닌 파괴속의 復活이라는 의식과 더불어 汚染源의 근절과 실제처리에 전 人類가 당장 나서야 한다는 긴박한 현실에 와 있다는 것이다.

이러한 상황 속에서 中 · 高等學校의 실험폐수는 검출이나 처리도 하지 않은 채 束手無策인 양 하수구로 방류되고 있으며 그렇다고 뚜렷한 대책도 可視化되지 않고 있다. 中 · 高等學校의 學級數는 서울지역에서 만 실업학교를 포함하여 21, 243개가 되며, 科學教育課程에 나타난 화학시약만도 有害物質이 97종에 오염물질 186종을 포함하여 무려 353가지나 된다. 중학교와 人文 · 實業高等學校에서는 실험 중심의 수업이 보다 활성화 되고 있어 학교 실험폐수가 또하나의 水質汚染源이 되고 있다.

현재까지 실험폐수에 대한 처리방법은 중화법 (Neutraligation), 화학적 응집처리 (Chemical Cogulation), 중화공침법 등 여러 가지가 있으나 機械

에 의한 다량 처리가 아닌 실험기구에 의한 미량 처리이고 사용 약품에 의한 2차 오염도 발생되므로 中 · 高等學校 실험실에서는 위와 같은 폐수처리 방법의 도입이 실제로 어렵다.

그러므로 본 연구에서는 학교 실험폐수의 오염물 제거를 위하여 폐자원인 생물학의 가공처리 방법과 톱밤으로 제조된 흡착제의 효과와 이 흡착제를 이용한 실제 처리 방법에 대하여 논하고자 한다.

2. 문제제기

1) 실험폐수의 유해성

中 · 高等學級 科學教育課程에서 사용되는 시약은 <표 1>, <표 2>와 같이 중 · 인문고교가 103종, 공업계 고교가 326종이며 그 중 유해성 금속물질이 수은(Hg)을 비롯하여 11종에 이르며, 기타 有機 · 無機유해물질이 15종이나 된다. 특히 맹독성인 중금속과 시안화 물질 뿐 만 아니라 生體組織을 침식하는 페놀(phenol)류까지 포함되어 있어 아무리 低濃度 폐수로 방류한다고 할지라도 기준치(<표 3> 참조) 이상이 되므로 수질의 오염이 되고 있음이 분명하며, 따라서 학교실험폐수에 대한 처리가 시급하다.

<표 1> 학교별 사용 시약

학교별	중·인문고	공업고	전체	비고
사용시약(종수)	103	326	353	공통 76
산 화 제	3	11	11	
환 원 제	0	2	2	
산 기	36	81	95	
염 기	7	5	7	
알 코 올	3	9	10	
발 화 성 (착 화)	2	6	6	

〈표 2〉 물질별 실험 시약 분류

유 해 물 질 (종 수)				오 염 물 질 (종 수)			
물 질	학교별			물 질	학교별		
	중·인문고	공업고	전체		중·인문고	공업고	전체
Hg	0	5	5	Ni	0	3	3
Cd	1	1	1	Co	1	2	2
Cr(VI)	1	9	10	Ag	2	3	4
As	0	1	1	Sn	1	4	4
Cn	2	6	6	Cu	4	6	7
Pb	4	4	6	Zn	2	6	6
페 늘 류	4	3	6	Fe	4	6	7
석 유 류	1	1	2	Mn	2	4	4
유 지 류	0	18	18	Bi	0	1	1
유 기 용 매 (유 기 물)	7	38	42	Sb	0	3	3
				F	1	1	1
				Br	3	4	4
				I	4	2	4
				B	1	4	5
합 계	18	86	97	합 계	25	49	55

〈표 3〉 하천 오염의 기준

구 분	이용목적별 적용대상	기 준				
		pH	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	DO (mg/l)	MPN 100ml
생 활 환 경	상수원수 자연환경보전	6.5~8.5	1이하	25이하	7.5이상	50이하
	수산·공업	6.0~8.5	6이하	25이하	5.2이상	—
	생활환경보존	6.0~8.5	10이하	—	2이상	—
사 람 의 전 장 보 호		Cd: 0.01 mg/l 이하 As: 0.05 mg/l 이하 Pb: 0.01 mg/l 이하 Cr(+6): 0.01 mg/l 이하		Cn: 검출되서는 안됨 Hg: 검출되서는 안됨 유기인: 검출되서는 안됨 PCB: 검출되서는 안됨		

〈참고〉 이용 목적별 적용 대상은 모두 1등급을 기준한 수치임

pH : 수소이온 농도
SS : 부유 물질량
MPN : 대장균수

BOD : 생물화학적 산소 요구량
DO : 용존 산소량

2) 실험폐수 및 폐시약에 관한 설문 결과

서울지역 소재 387개 중·고등학교를 대상으로 실험폐수와 폐시약에 대한 설문조사 결과를 보면 학교별 연간 실험횟수는 50회 이상이 50.1(%)이며, 연간 실험폐수량은 50l 이상이 평균 71.0(%)로 전국적으로 추산하면 수십 수백톤에 이르며 이 실험폐수의 대부분의 양이 하천

으로 방류되고 있다. 더욱 문제가 되는 것은 굳거나 변질되었거나 또는 사용하다 남은 폐시약도 적지 않으며 매몰이나 방류하는 것은 高濃度의 폐수로 수질오염에 크게 작용하며 계속 보관하고 있는 폐시약들도 量의으로 적지않아 폐시약에 대한 폐기처리 내지는 재생처리의 대책이 시급한 사정이다.

<표 4> 항목별 설문 통계

항 목	방 법	중 학교 (%)	고 등 학교 (%)	평 균 (%)
1. 실험횟수 (회/년)	0~ 20	14.0	24.3	19.2
	21~ 50	22.0	39.3	30.7
	51~ 90	19.8	24.1	22.0
	91 이상	44.2	11.7	28.0
2. 실험폐수 (l/년)	0~ 50	23.6	34.4	29.0
	51~100	33.1	41.4	37.3
	101~150	21.5	13.7	17.6
	151 이상	21.9	10.3	16.1
3. 폐수 처리방법	정 화	0	0	0
	수 거	16.4	13.1	14.8
	방 류	78.5	80.0	79.3
	기 타	5.0	6.9	6.0
4. 폐시약 보유량 (Lb)	0~ 20	79.3	73.1	76.2
	21~ 50	15.8	20.7	18.3
	51~ 90	2.9	4.8	3.9
	91 이상	2.1	1.4	1.8
5. 폐시약 처리방법	재 생	0.8	0	0.4
	매 물	36.0	20.7	28.4
	방 류	17.4	22.8	20.1
	계속보관	45.9	56.6	51.3

3. 연구내용

1) 흡착제 제조

흡착제 제조는 목재가공의 폐자원으로 대량 방출되는 생톱밥을 원료로 하여 주성분인 섬유소(cellulose: $(C_6H_{10}O_5)_n$)로부터 리그닌(Lignin- $C_{10}H_8O_2 \cdot$ Hemiacetal 및 Galacto-samin 등 포함)를 탈취시키므로 흡착력을 높인 것이다. 탈 리그닌(Lignin)조건은 알카리 농도와 가열 온도를 바꾸어 가면서 결정하였으며 효율이 가장 큰 조건은 <도표 1>, <도표 2>에서와 같이 섭씨 온도 100°C에서 0.5N.-수산화나트륨(NaOH)용액으로 했을 경우이며 처리시간은 4시간으로 나타났다. 이때 탈 리그닌량은 중량퍼센트법으로 계산하였으며 처리 과정은 아래와 같이 실험하였다.

<탈 리그닌 처리과정>

① 일정량의 생톱밥(raw saw dust)을 취하여 건조시킨다.

② 건조된 생톱밥 10g을 취하여 20ml의 알카리 용액에 넣고 가열한다.

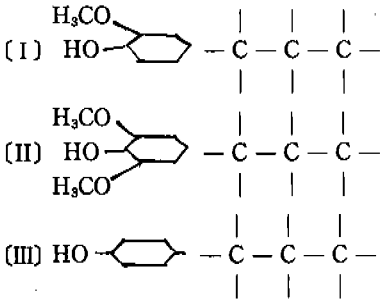
이 때 사용하는 알카리 용액은 수산화나트륨(NaOH)과 아황산나트륨(Na_2SO_3)의 용액이며, 농도와 온도의 범위를 각각 0.1N.~1.0N. 60°C~100°C로하여 1~24시간까지 가열한다.

③ 가열된 톱밥 혼합용액을 냉각시킨 후 여과한다.

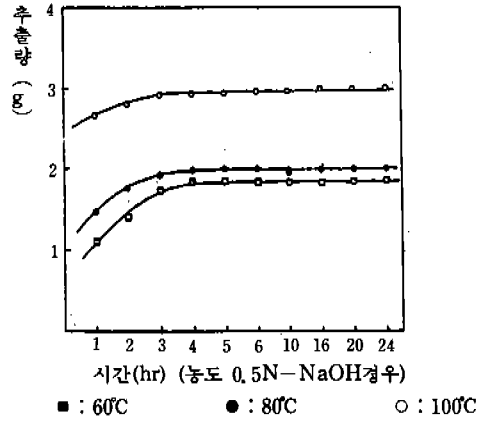
④ 리그닌(Ligin)을 제거시킨 톱밥을 물로 2~3회 세척하고 건조시킨다.

리그닌(Lignin)(<도표 3> 참조)은 木質素라고도 하며 목재 중에 20~30(%) 포함되어 있다. 일종의 탄수화물로 나무의 물관, 헛물관 섬유소의 1차 세포벽을 이루고 있으며 방향족 아미노산, 특히 페닐알라닌의 탈아민에 의하여 생성되는 계피산이 수산화, 메틸화 환원에 의하여 코니페닐알콜, 신나밀알콜등의 계피알콜류가 되고, 이들의 탈수소 증합에 의하여 생성된다.

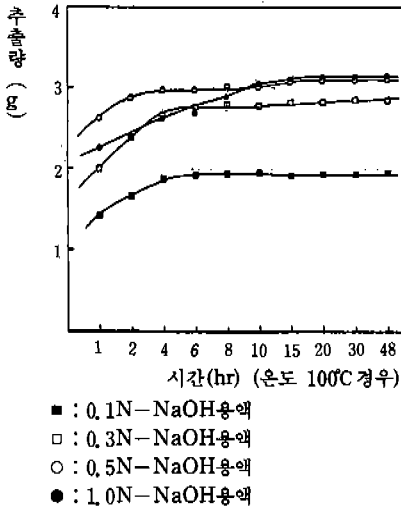
〈리그닌의 분자 구조식〉



〈도표 3〉 온도별 리그닌 추출량



〈도표 1〉 NaOH 농도별 리그닌 추출량



중·고등학교에서 사용하는 중금속을 함유한 화학시약은 아래와 같이 무려 37종에 이르고 있다.

- Hg.....HgCl₂, K₂(HgI₄), Hg(NO₃)₂, HgS, Hg
- Cd.....Cd(NO₃)₂
- Cr(VI)···CaCrO₄, CrO, Na₂CrO₇, (NH₄)₂Cr₂O₇, K₂Cr₂O₇, Cr(NO₃)₃, H₂CrO₄, K₂CrO₄, CrSO₄
- Pb.....(CH₃COO)₂Pb, PbCl₂, PbI₂, Pb(NO₃)₂, PbO₂
- Cu.....Cu(NO₃)₂, CuSO₄, CuO, Cu(CN)₂, CuCl, Cu
- Fe.....FeCl₃, FeCl₂, FeSO₄, FeS, Fe(NO₃)₂, Fe₂O₄, Fe
- Mn.....KMnO₄, MnO₂, Mn(NO₃)₂, MnSO₄

2) 흡착효능 실험

탈 리그닌(Lignin)흡착의 흡착효능은 다음과 같은 내용으로 실험하였다.

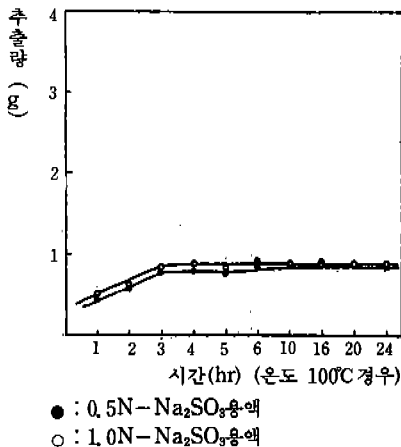
- 생톱밥과 탈 리그닌 흡착의 흡착력 비교
- 컬턴처리와 침적처리의 흡착력 비교
- 조제폐수와 실험폐수의 흡착력 비교
- 성분별 흡착지속시간 비교

(1) 생톱밥과 탈 리그닌 흡착의 흡착력 비교

- 1차 물에 대한 흡착력

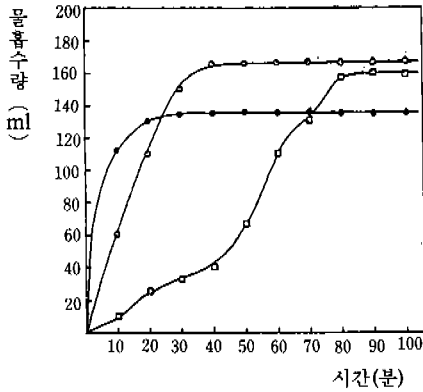
생톱밥과 탈 리그닌흡착(saw dust extracted lignin)의 물에 대한 흡착력은 폴리에틸렌수지 용기에 3종의 흡착제(adsorbent)를 각각 채우고 그 용기에 연결된 심지를 물이 들어있는 메스실린더에 담고 물이 들어있는 메스실린더에 담고 물이 줄어드는 量으로 흡수력을 측정하면서 1차로 생톱밥과 비교하고, 2차로 처리 알카리 용액별로 나누어 실험하였고 이에 대한 결과는 〈도표 4〉와 같이 탈 리그닌 시킨 흡착이 생톱밥에 비해 물 흡수력이 25(%) 높으며, 0.5N-Na₂SO₃용액으로 탈 리그닌 시킨 것보다는 0.5N-NaOH용액으로 처리시킨 것이 3(%)정도 높게 나타났다. 특히 탈 리그닌흡착의 흡

〈도표 2〉 Na₂SO₃ 농도별 리그닌 추출량



수완료시간은 NaOH용액으로 처리한 경우가 2배 이상이나 빠르게 나타났다.

<도표 4> 흡착제별 물 흡수력 비교

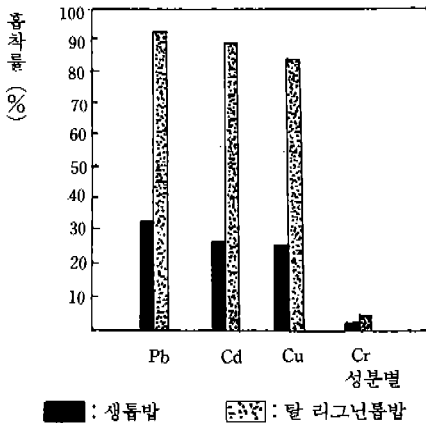


- : 생토폴밤
- : NaOH처리토폴밤
- : Na₂SO₃처리토폴밤

• 2차 중금속에 대한 흡착력

생토폴밤과 탈 리그닌토폴밤의 중금속에 대한 흡착력은 유리관 컬럼(column)에 각 흡착제(adsorbent)를 채우고 분별깔때기를 통하여 160ml의 조제폐수(standard mixed solution)를 1.1cm/ml의 일정한 流速으로 통과시키면 중금속에 대한 흡착효능을 실험하였다. 이때 조제폐수는 화학시약에 포함되어 있으면서 有害가 강한 Pb, Cd, Cu, Cr성분을 각 10ppm의 혼합용액으로 만들었으며 컬럼처리 결과는 <도표 5>와 같이 생토폴밤이 평균 30(%)인 반면에 탈 리그닌토폴밤은 평균 90(%)로 3배나 높은 흡착효능을 보였다.

<도표 5> 흡착제별 중금속의 흡착력 비교



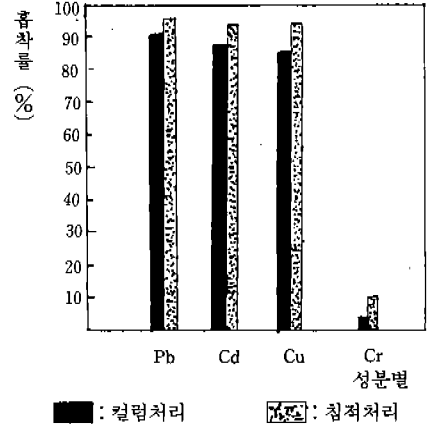
- : 생토폴밤
- : 탈 리그닌토폴밤

(2) 컬럼처리와 침적처리의 흡착력 비교

• 1차 조제폐수에 대한 흡착력

앞에서 사용한 조제폐수를 컬럼처리와 침적처리로 나누어 탈 리그닌 토폴밤에 의해 각 성분별 제거된 양을 측정하여 백분율로 환산하였으며, 컬럼처리는 앞의 요령과 같은 방법으로 측정하였으며, 침적처리는 앞에서 사용했던 조제폐수 160ml를 삼각플라스크에 넣고 흡착제(탈 리그닌토폴밤) 4g을 넣어 24시간 방치한 후 여과하여 각 성분별 흡착정도를 측정하였다. 그 결과는 <도표 6>과 같이 컬럼처리(column process)에 비해 침적처리(vessel process)가 2~3(%)정도 다소 높게 나타났으며 Cr(VI)을 제외한 Pb, Cd, Cu 성분의 흡착율은 90~95(%)로 나타났다.

<도표 6> 조제폐수의 처리과정별 흡착력 비교

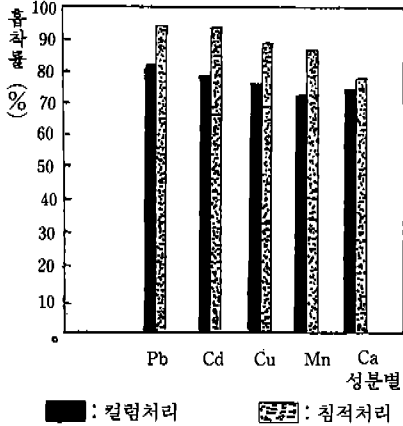


- : 컬럼처리
- : 침적처리

• 2차 실험폐수에 대한 흡착력

실험폐수에 대한 흡착력 측정은 28개교의 실제 실험폐수를 수합 혼합하여 그 속에 포함된 Pb, Cd, Cu, Mn, Ca 성분을 대상으로 조제폐수의 경우와 같은 요령으로 중금속 흡착에 대한 실험을 하였다. 그 결과는 <도표 7>과 같이 침적처리가 컬럼처리에 비해 평균 10(%)정도나 높게 나타났으며 Ca을 제외한 4종의 성분의 흡착효율은 모두 96(%) 이상으로 나타났다.

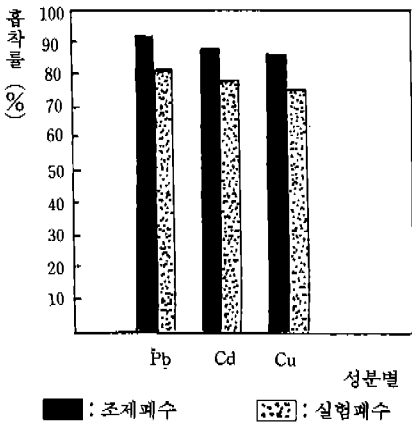
〈도표 7〉 실험폐수의 처리과정별 흡착력 비교



(3) 조제폐수와 실험폐수의 흡착력 비교

앞에서 실험한 결과로 공통성분인 Pb, Cd, Cu에 대한 조제·실험 두 폐수의 흡착력을 비교하면, 조제폐수에 비해 컬럼처리의 경우는 실험폐수가 7~10(%) 정도로 낮게 나타났고, 침적처리의 경우는 1~2(%) 정도 밖에 낮아지지 않았다. 이와 같은 결과는, 첫째로는 실험폐수는 측정하는 성분(Pb, Cd, Cu, Cr) 외에 혼합된 다른 금속성분 또는 유기물질 등이 흡착작용을 방해하고, 둘째로는 금속이온이 탈 리그닌 톱밥에 흡착될 때 접촉시간이 짧고 동용이 심하기 때문에 흡착율이 떨어지는 것으로 예상된다.

〈도표 7〉 조제·실험폐수의 흡착력 비교(컬럼처리)

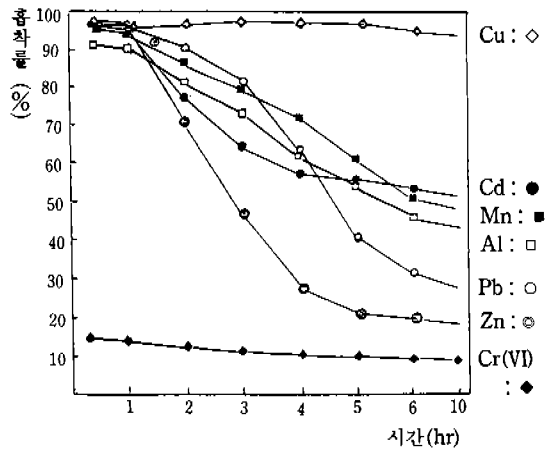


(4) 성분별 흡착지속시간 비교

각 성분의 컬럼처리에 의한 10시간 동안의 흡착지속시간 측정 결과는 〈도표 8〉과 같이 7가지 성분중 Cu와 Cr을 제외하고 처음에는 매우 높은 흡착율을 보였으나 2~3시간 후에는 효율이 급격히 떨어지는 것으로 나타났다. 즉 Cu는 10시간 동안 계속 96(%)이상의 흡착율을

보인데 비해 Al, Zn, Cd는 2~3시간 후에 70~80(%)이하의 흡착율을 보이고 Cr(VI)은 12~15(%)사이의 낮은 흡착율을 보였다. 그러므로 이 실험의 결과로 보아 흡착력은 시간이 지날때 따라 낮아지며 10시간동안의 흡착력을 비교할 때 Cu, Pb, Mn, Cd, Al, Zn, Cr(VI)순으로 나타나며 Cr(VI)은 흡착하는 지속시간은 길으나 흡착력이 매우 낮아 Cr(III)으로 환원처리가 요망된다.

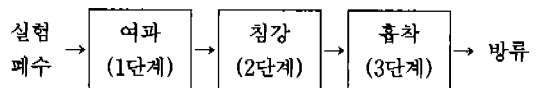
〈도표 8〉 성분별 흡착지속시간



3) 처리장치설계

탈 리그닌톱밥(saw dust extracted Lignin)의 흡착제에 의한 학교실험폐수의 처리장치는 처리과정을 여과(filtering), 침강(sedimenting), 흡착(adsorbing)의 3단계로 나누어 설계하였다.

〈장치의 처리과정〉



(1) 처리요령

- ① 폐수를 물로 2~3배 가량 희석시킨다.
- ② 1단계에서는 직경 1.0~1.5mm의 구멍을 통과시키므로 종이조각, 연필조각, 성냥개비 등 사용하고 버리는 오물을 제거시킨다.
- ③ 2단계에서는 오물이 제거된 폐수를 1일 정도 방치시키면서 불용성 물질을 침강시키고 맑은 여액만 흡착단계로 흘러보낸다.
- ④ 3단계에서는 맑은 여액을 다시 1일 정도 방치시키면서 그 속에 포함된 중금속을 흡착시켜 제거시킨다.
- ⑤ 3단계에서 처리된 폐수는 발색실험으로 중금속의 존재여부를 확인하고 pH를 측정하여 조절한 후 방류토록 한다.

(2) 처리장치의 장·단점

① 장점

- a. 장치와 조작이 단순하므로 활용성이 높다.
- b. 흡착제가 자투식으로 되어 있어 필요에 따라 교체가 용이하다.
- c. 수동식이고 전력의 사용이 없으므로 운영상 경제성이 매우 높다.
- d. 취급상 위험성이 없으며 학생이 직접 처리하므로 환경교육에 대한 교육적 효과가 좋다.

② 단점

- a. Cr(VI) 경우에는 Cr(III)로 환원시켜 처리해야 한다.
- b. 요오드는 별도로 수거하여 처리해야 한다.

4. 결과 및 제언

1) 결과

법제상의 규제를 보면 입자(粒子), H₂S, NH₃ 등 無機系 22종의 물질은 오염물질로 규정하고 있으며, Cd, CN 등의 17종의 물질은 특정 有害物質로 규정하고 있는데 현재 중등학교 과학교육과정에서 사용되는 화학시약은 오염물질이 14종 55가지가 되며 유해물질은 10종에 97가지로 나타나 있으므로 실험에 사용하는 용액의 농도가 아무리 낮다고 하더라도 정규과정에 따른 실험수업으로 볼 때 學校實驗廢水도 수질의 汚染源으로부터 탈피시켜야 할 새로운 처리방안이 시급히 요구된다. 그 문제해결의 일환으로 목재가공에서 폐자원으로 대량 배출되는 톱밥에서 리그닌(Lignin)성분을 제거시켜 생톱밥(raw saw dust)보다 3배 이상이나 흡착력이 강한 흡착제(adsorbent)를 만들어 이 흡착제에 實驗廢水를 컬럼처리(column process)와 침적처리(vessel process)시켜 오염물질이나 유해물질을 제거하였다. 탈 리그닌시킨 톱밥흡착제에 의한 처리결과는 실제 중금속 흡착효능 실험에서 나타난 바와같이 Cr(VI)를 제외한 기타의 물질은 90(%)이상의 흡착율을 보이며 컬럼처리 보다는 침적처리가 실제 실험폐수에서 10(%)정도나 높게 나타나 침적처리 방식의 활용이 효과적임을 알 수 있다. 더욱이 탈 리그닌톱밥(saw dust extracted Lignin)을 이용한 실험폐수의 처리는 재료가 저렴하고 가공처리과정이 단순하며, 제2의 오염물질이 발생하지 않으며, 장치제작이 간편하며 경제성이 높아 Cr(VI)나 I₂의 처리만 보완된다면 이 방법이 곧 당면한 學校의 實驗廢水를 해결할 수

있는 최소한의 방안이 되리라고 믿는다.

2) 제언

(1) 학교실험폐수에 대한 처리방안으로 볼 때

① 실험폐수의 문제점과 처리방안에 대한 교사연수가 일반연수과정에서 운영되어야 한다.

② 실험폐수에 대한 처리방법이나 처리장치가 학교에 보급되어 자체처리로서의 활용도를 높여야 한다. 수거하는 일괄처리는 처리공장의 시설 및 운영예산, 수송문제등으로 보아 어려운 점이 많다.

③ 실험폐수보다 못지않게 수질의 오염원이 될 수 있는 폐시약의 처리에 대한 방안도 함께 제시되어 폐시약을 매몰시키거나 방류하는 사례가 없도록 해야 한다.

④ 학교실험폐수를 줄일 수 있는 실험의 운영방법, 교육과정에서의 실험내용조정 및 교사의 연구 등이 필요하며, 특히 공업학교 실험시약의 검토가 요망된다.

참 고 문 헌

권숙일 외 11인, 1988, 과학(중1) 서울·동아 출판사 : p. 162~217
 김순식 외 8인, 1989, 과학(중2) 서울·지학사 : p. 11~30
 정창희 외 8인, 1988, 과학(중3) 서울·교학사 : p. 123~176
 이원식 외 2인, 1990, 화학(고) 서울·교학사 : p. 30~355
 홍익대학교 중화학공업연구소, 1989, 화공기초실습, 서울·대한 교과서 주식회사 : p. 12~250
 연세대학교 산업기술연구소, 1989, 제조화학실습, 서울·대한 교과서 주식회사 : p. 1~221
 한양대학교 산업과학연구소, 1989, 염색실습, 서울·대한 교과서 주식회사 : p. 12~250
 서울대학교 환경안전연구소, 1989, 實驗을 安全하게 하기 위하여, 서울대학교출판부 : p. 3~27, 64~84
 魏仁善 외 3인, 1983, 環境科學, 서울·三亞社 : p. 30~92
 山田常雄 외 6인, 1988, 生物用語辭典, 日本·岩波書店 : p. 1350~1351

Abstract

A Study on the Method of Science Laboratory Waste Water by Absorbent at the Secondary School

Won-il Jang

(Seoul Institute of Science Education)

According to our secondary school curriculum for natural science and technical circles, there be used 353 of chemical reagents including 24 kinds of harmful and toxicant components. At present, most school are discharging their school laboratory waste water without any chemical and physical treatments.

So as to solve the environmental problem for water pollution, this study tried to research a kind of adsorbant utilizing saw dust, wasted wood sources, and designed the simple processing system using the adsorbent. This adsorbent was made by extracting lignin substances from raw saw dust under the solution of 0.5N-NaOH at the temperature of 100°C. Their metal removed rates was measured not only by processing of column and vessel, but also by comparing the standard solution and real waste water.

The results were proved as more than 90(%) of the adsorptive efficiency on the average from Pb, Cd, Cu except Cr(VI) in case of the school experimental waste water soaked in vessels along with 4g of the adsorbent for 24 hours. The new processing system enables to remove most harmful and toxicant metals by filtering, sedimenting and adsorbing at the low cost.