

감태폐수의 송이 여과층 높이에 따른 여과속도와 용량인자에 관한 연구

이민규 · 강정환* · 강영주*

제주대학교 공과대학 화학공학과, *식품공학과
(1992년 8월 3일 접수, 1992년 10월 17일 채택)

A Study on the Filtration Rate and the Capacity Factor of Brown Seaweed Wastewater with Scoria Filter Bed Height

Min-Gyu Lee, Jeong-Hoan Kang* and Yeung-Joo Kang*

Dept. of Chem. Eng., *Dept. of Food Sci. and Technol.,
College of Engineering, Cheju National University
(Received 3 August 1992; accepted 17 October 1992)

요 약

본 연구는 제주도에 풍부한 송이(scoria)의 효율적인 활용방안으로서 송이를 여과매질로 이용하여 알긴산 공장의 주 폐수원인이 되는 감태(*Ecklonia cava*) 추출폐수에 대한 여과능력을 조사하였다. 매질은 작아질수록, HRT(수력학적 체류시간)는 길어질수록 SS제거 효율은 더 좋았다. 송이의 입자 크기가 같을 경우는 초기 SS 농도가 높을 경우 보다는 낮을 경우가 제거효율이 좋았다. HRT가 높을수록 두손실 3.0 m에 도달시간은 길었으며, SS의 축적은 두손실에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 실험으로부터 구한 제거속도식은 모델식과 잘 부합하였으며, 여과용량 σ_u 는 2.94-3.43 g/l, 부착율 K는 2.34-2.66 l/g·hr이었다.

Abstract—This study was conducted for the efficient utilization of a scoria, which is abundantly found in Cheju island, as filtration medium and the scoria was examined for its performance in clarification of waste water extracted from a brown algae(*Ecklonia cava*), the main waste source of alginic acid. The smaller media and the longer HRT(hydraulic retention time) showed higher SS removal efficiency. Under the experiments of the same scoria size the SS removal efficiency was shown more effective at lower initial concentration than at higher initial concentration. The higher HRT took longer time to reach headloss 3.0 m and the accumulation of SS was suspected to have great influence on the headloss. The removal rate equation obtained from experiments was consistent with model equation. The filter capacity σ_u was 2.94-3.43 g/l and clogging rate K was 2.34-2.66 l/g·hr.

1. 서 론

제주도는 4면이 바다라는 지형학적 특성때문에 자연히 해조류를 이용한 가공이 늘어나면서 유기물과 화학약품처리로 인한 수질오염에 대한 우려가 점차 높아지고 있으며, 최근에는 이의 처리방법에도 많은 관심을 가

지게 되었다. 또한 바다라는 풍부한 자원을 이용한 양식산업 및 관광개발로 인한 각종 취락산업의 발달에 따라 폐수방출량이 급격한 증가로 인하여 이에 대한 처리방법도 제주도가 앞으로 해결해야 할 문제점이며, 특히 양식산업은 제주의 지형상 유망한 산업이지만 여기서 발생되는 어류들의 노폐물이나 먹이 찌꺼기 등으로

인하여 오염된 물을 처리도 제대로 하지 않은 상태에서 그대로 방류됨으로써 해양환경오염에의 새로운 문제점으로 대두되고 있다.

폐수처리의 가장 중요한 목적 중의 하나는 고형물의 제거인데, 여과 처리법은 일반적으로 침강에 의해서 제거되지 않는 작은 floc이나 침전입자들을 제거하는데 이용되었으나, 최근에는 여러 가지 입상매체를 이용하여 배출수를 여과시킴으로써 잔존 고형물을 제거하는 방법이 널리 이용되어지고 있다[1-4].

입자의 제거에는 매질입자의 크기, 유속, 체류시간(HRT), 기공율, 유기물 함량, pH, 입자전하 등 다양한 인자들이 영향을 미친다. Dahab와 Young[5]은 유속, 입자 및 수두손실의 관계를 보고하였으며, Bernardo와 Cleasby[6]는 여과에 있어서 수두손실이 증가함에 따라 정속 여과기는 감속 여과기보다 운전시간이 짧다고 하였다.

Monk[7]는 여과기의 깊이에 영향을 미치는 것은 매질의 깊이, 배출계의 형식, 조절 방식, 매질의 형태, 역세척계 형식 및 여과기 수두손실 등이라 보고하였으며, Ives[8]와 Kawamura[9]는 선택된 매질의 크기와 깊이는 여과속도를 좌우한다고 하였다. 또한 Tchobanoglous와 Eliassen[10]은 수두손실은 비축적량에 대해 기하학적으로 증가한다고 보고하였다. Ives[8]는 층깊이에 따른 여과공정하에서의 입자의 분포를 수학적 분포에 의해 제시하였으며, 농도변화 속도식을 사용하여 폐수 처리에서의 수식의 도입은 Iwasaki[11]에 의해 처음 시도되었다.

최근 국내에서도 무연탄, 활성탄, 규조토, 모래, 제올라이트 등 많은 매질을 이용한 폐수처리예의 적용여부에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 그 결과 처리방법에 있어서도 상당히 개선된 동시에 새로운 조작과 공정의 개발이 실용화되었지만 송이(scoria)를 이용한 폐수처리에 관한 연구로는 송이가 용존성 부유물의 제거보다는 잔류성 부유물의 제거에 더 효과적이며, 연탄재를 매질로 사용한 경우 보다 제거능력이 양호하다고 한 Kang 등[12]의 보고 이외에는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 화산지역이라는 제주의 지형학적 특성 때문에 다량 산재해 있고, 부존 천연자원의 활용이라는 측면에서 상당한 관심이 되고 있는 송이(scoria)를 여과매질로 이용하여 알긴산 제조공장의 주 폐수원인이 되는 감태추출폐수를 원폐수로 하여 유입수의 SS농도 및 체류시간의 변화에 따른 유출수의 SS 제거효율, 운전시간에 따른 압력의 변화, 그리고 용량계수 등을 산출함으로써 입상여과매질로서 제주도산 송이의 사용가능성을 검토해 보고자 하였다.

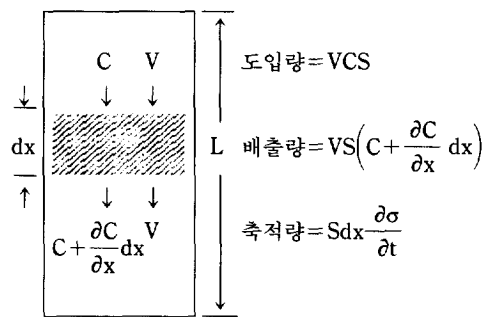


Fig. 1. Schematic diagram of filter bed packed with scoria media.

2. 이 론

2-1. 제거속도식

등은 입상 여과장치에서 장치길이에 따른 농도의 변화속도에 영향을 미치는 인자는 여과매체의 입도, 여과속도, 도입수의 입도 및 입도분포, floc강도, 여과기 안에서 제거되는 물질의 양 등이 있으며, 제거속도식에는 이러한 인자들이 고려되어야 한다. 제거속도식으로는 여과기안에서 축적되는 물질의 영향을 고려한 인자를 곱하여 준 다음과 같은 식[10]이 일반적으로 많이 사용되고 있다.

$$\frac{dC}{dx} = \frac{1}{(1+ax)^n} r_o C \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_u}\right)^m \quad (1)$$

여과기에서 제거되는 물질의 양이 작다면 $\sigma=0$ 으로 둘 수 있으므로 식 (1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dC}{dx} = \frac{1}{(1+ax)^n} r_o C \quad (2)$$

따라서 실험에 의하여 여과층 깊이에 따른 농도변화를 구하면 매개변수 추산법에 의해 거리에 따른 농도변화식 즉, 제거속도식을 구할 수 있다.

2-2. 용량계수

Fig. 1과 같은 여과장치에서 반경방향의 농도차를 무시한다면 흐름은 플러그흐름 형태로 모델지을 수 있다. 여과조작에 있어서 그림에서 처럼 유입수의 초기 고형물농도가 C 이고, 유량속도가 V 이며, 단면적 S , 두께 dx 인 여과기 미분요소에서 물질수지를 취하면 다음과 같이 된다.

$$\text{도입량} - \text{배출량} = \text{축적량} \quad (3)$$

이를 기호로 나타내면

$$VCS - VS \left(C + \frac{\partial C}{\partial x} dx \right) = S dx \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad (4)$$

와 같이 되고, 이를 정리하면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$-V \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad (5)$$

또한 여과층 깊이에 따른 부유물질의 제거속도를 Iwasaki[11]는 다음과 같이 나타내었다.

$$-\frac{dC}{dx} = \lambda C \quad (6)$$

식 (5)를 식 (6)에 대입하면 다음이 얻어진다.

$$\frac{d\sigma}{dt} = \lambda VC \quad (7)$$

Maroundas와 Eisenkiam[13]은 이론적, 실험적 연구에서 여재공극에서의 실제유속이 한계치에 도달하면 부유물질이 더이상 여재사이에 역류될 수 없다고 생각하여 여과계수 λ 를 다음과 같이 나타내었다.

$$\lambda = K \left(\frac{\sigma_u - \sigma}{V} \right)^b \quad (8)$$

식 (8)을 식 (7)에 대입하면 다음과 같이 되며

$$\frac{d\sigma}{dt} = K \left(\frac{\sigma_u - \sigma}{V} \right)^b VC \quad (9)$$

여기서 모델의 간략화를 위해 $b=1$ 로 두면 다음과 같이 된다.

$$\frac{d\sigma}{dt} = K(\sigma_u - \sigma)C \quad (10)$$

식 (10)을 식 (5)에 대입하여 얻어지는 미분방정식을 풀면

$$C = \frac{C_0}{\exp(Kx\sigma_u/V - KC_0t) - \exp(-KC_0t) + 1} \quad (11)$$

이를 다시 정리하면 다음과 같이 된다[14].

$$-\ln(C_0/C - 1) = KC_0t - \ln[\exp(Kx\sigma_u/V) - 1] \quad (12)$$

3. 실험재료 및 방법

3-1. 실험재료

본 실험에서 여과매질로 사용한 송이(scoria)는 제주도 북제주군 한림읍 상명리 망오름에서 채취한 것으로서, 물로 수회 세척한 다음 부착물을 제거한 후 105℃에서 일정 시간동안 건조시켜 수분을 제거하고 송이의 입자크기를 일정크기로 분류하여 여과매질로 사용하였다.

실험에 사용된 폐수는 제주도 북제주군 조천읍 북촌리 해안가에서 채취한 감태(*Ecklonia cava*)를 먼저 수돗물로서 감태에 묻어있는 부착물을 제거한 다음, 일정기간 동안 수돗물에 담구어 추출한 후 50 mesh 표준체로 감태 협잡물을 걸러낸 감태추출폐수로서, 이를 희석하여 사용하였다.

3-2. 송이의 물리화학적 특성

송이는 비중량이 0.9-1.2 g/cm³으로서 일반적인 모래의 비중량 1.60-1.70 g/cm³에 비하여 가벼운 매질이며, 흡수율은 25.3%로서 모래의 흡수율 0-2%와 비교할 때 상당히 높을 뿐만 아니라 기공율도 크다. 또한 송이의 주성분은 SiO₂와 Al₂O₃로서 그 구성성분의 함량은 다르지만 모래 및 연탄재와 비슷한 성분들로서 구성되어 있다[12].

송이는 화산이 폭발할 때의 고열에서 소성된 소성체이므로 흡수성이 강하고, 다공성이면서도 소정의 강도를 가지고 있어 여과처리의 입상매질로서 뿐만 아니라 미생물막 고정상을 형성하는 매체로서도 적합할 것으로 사료된다.

3-3. 실험장치 및 방법

실험장치는 원수조, 반응조, 처리수조 등으로 구성[12]되어 있으며, 반응조는 내경이 10 cm, 높이가 160 cm인 원통형 투명 아크릴관으로 제작하였다. 반응조의 높이에 따른 유출수의 SS농도 및 수두손실의 변화를 관찰하기 위하여 반응조상에 30 cm 높이 마다 시료 및 압력을 측정할 수 있도록 하였다.

실험은 상부에서 폐수를 주입시키는 하향흐름방식을 채택하였다. 매질의 크기에 따른 감태추출폐수 중의 고형물 제거효율을 보기 위하여 매질의 크기를 각각 4-8 mesh, 8-16 mesh 및 16-30 mesh로 변화시켰다. 동일 유입수의 초기농도에 따른 유출수의 제거효율을 비교하기 위하여 유입수의 SS농도를 각각 50 mg/l, 100 mg/l 및 150 mg/l로 달리하였다. 체류시간에 따른 유출수의 농도 변화를 보기 위하여 체류시간을 각각 1시간, 3시간으로 변화시켰으며, 일정시간 간격마다 각 시료채취구에서 시료를 채취하여 유출수의 SS농도를 측정하였다. 또한 시료채취시마다 마노메타를 사용하여 각 시료채취 위치에서의 수두손실을 측정하였다.

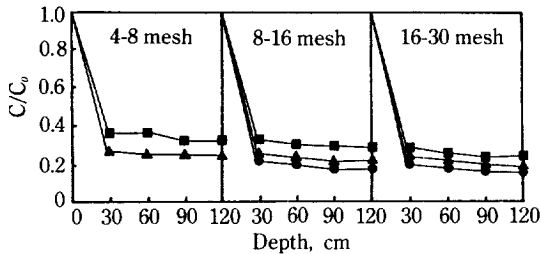


Fig. 2. Change in C/C_0 for filter bed depth at different media sizes and initial SS concentrations by 3 HRT (●: 50 mg/l, ▲: 100 mg/l, ■: 150 mg/l).

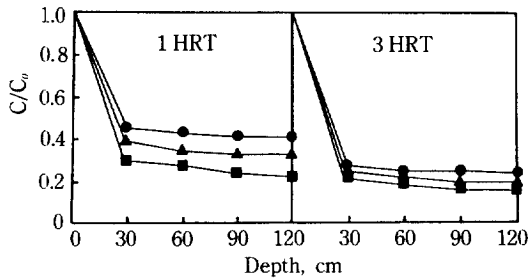


Fig. 3. Change in C/C_0 for filter bed depth at different HRT and media sizes by initial SS 100 mg/l (●: 4-8 mesh, ▲: 8-16 mesh, ■: 16-30 mesh).

4. 결과 및 고찰

4-1. 매질의 크기 및 유입수 농도에 따른 제거효율

매질의 크기 및 유입수의 SS농도를 변화시킬 때 여과층 깊이에 따른 유출수의 SS농도 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보여지는 바와 같이 매질의 크기에 따른 제거효율은 매질의 크기가 작아질수록, 동일 매질에서의 제거효율은 초기유입수의 농도가 작을수록 좋은 효율을 보였다.

여과매체인 송이의 입자크기가 작아질수록 유출수의 SS농도가 감소하는 것은 입자의 크기가 작아지면 여과매체간의 공극이 작아지고 비표면적이 커지기 때문으로 생각되며, 또한 공극 간격이 작아지면 더욱 작은 입자들이 걸려서 고형물 입자의 유출이 어렵게 되고, 비표면적이 증가함에 따라 응집성입자들이 여과 매체를 통과하면서 그 표면에 부착할 확률이 증가하기 때문인 것으로 생각되었다.

동일 매질의 경우 초기유입수의 농도가 낮을수록 좋은 제거효율을 보이는 것은 유입수의 농도가 증가할수록 여과층을 통한 고형물의 흐름이 많아지고, 그로 인해 여과층 깊숙히 까지 고형물이 침투하게 되어 그대로 흘러나오게 됨으로서 여과의 효과가 적어지는 것으로

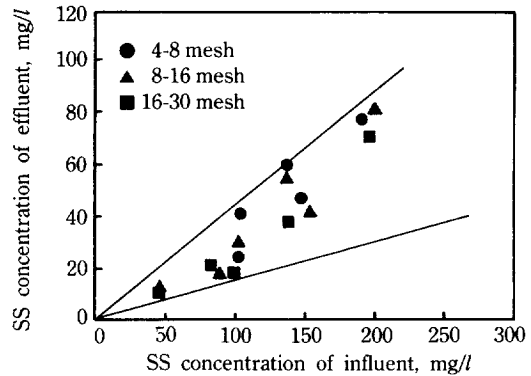


Fig. 4. Relationship of influent and effluent SS concentration with media size.

보아진다. 또한 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 여과층 30 cm 깊이 안에서 대부분의 고형물이 제거되고 있으며 그 이후부터는 제거가 거의 조금 밖에 일어나지 않음을 알 수 있는데, 이러한 결과는 Tchobanoglous와 Eliassen [10]의 모래를 이용한 실험에서도 비슷한 결과를 보이고 있다.

4-2. 체류시간에 따른 제거효율

Fig. 3은 매질의 크기에 따라서 체류시간에 따른 제거효율을 비교한 그림이다. 그림에서 보여지는 바와 같이 각 매질에 있어서 체류시간의 영향을 보면 체류시간이 3시간일 경우가 1시간일 경우보다 제거효율은 더 좋았으며, 따라서 체류시간이 길수록 제거효율이 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 각 매질간의 농도차도 역시 3시간인 경우가 1시간인 것보다 작아짐을 알 수 있었다.

4-3. 유입수와 유출수의 관계

Fig. 4는 각 매질의 크기별 유입수의 농도에 따른 유출수 농도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보여지는 바와 같이 유입수의 SS농도가 50 mg/l인 경우에는 제거효율이 약 85%, 200 mg/l인 경우에는 약 60%의 제거효율을 보이므로 유입수의 SS농도가 높아질수록 제거효율은 낮아짐을 알 수 있었다. 또한 유입수의 SS농도가 증가함에 따라 유출수의 SS농도는 단조증가하는 경향을 보이므로 유입수의 SS증가는 곧 유출수의 수질악화를 의미하게 된다.

4-4. 여과속도별 수두손실의 변화

Fig. 5는 여과속도가 다를 때의 수두손실과 여과시간과의 관계를 나타낸 것이다. 수두손실은 여과속도가 빨라질수록 급속하게 상승하는데 이것은 여과속도가

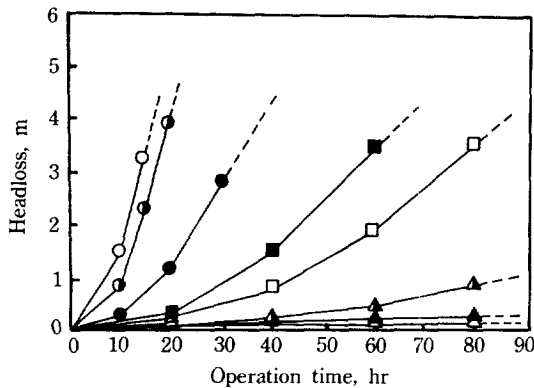


Fig. 5. Relationship of headloss and operation time with filtration rates.

○: 240 L/m²·min, ●: 160 L/m²·min, ●: 80 L/m²·min, ■: 8-16 mesh, 25 L/m²·min, 150 mg/l, □: 8-16 mesh, 25 L/m²·min, 100 mg/l, ▲: 8-16 mesh, 4 L/m²·min, 150 mg/l, △: 8-16 mesh, 4 L/m²·min, 100 mg/l, ▲: 16-30 mesh, 4 L/m²·min, 100 mg/l.

빠르면 많은 양의 고형물이 흘러 빠른 누적이 이루어짐으로서 여과막 폐쇄현상이 빨리 일어나기 때문으로 생각된다. 여과속도가 커지고 매질이 작아질수록 수두손실은 증가하며 이는 Tchobanoglous와 Eliassen[10]이 수두손실은 누적된 총량에 지수적으로 비례한다는 보고와도 일치하였다.

Dahab와 Young[5]에 의하면 모래를 여과매질로 할 경우 최종수두손실이 3.0 m가 되면 여과능력이 거의 없어지게 되며, 이 때에는 역세척에 의해서 재사용을 고려해야 한다고 하였다. 본 연구에서도 수두손실 3.0 m를 여과한계로 보았을 때 그림에서 보여지는 바와 같이 여과속도가 빠른 것일수록 한계수두손실에의 도달시간이 빨랐으며, 매질 크기가 작은 것일수록 여과한계에 빨리 도달하였다. 따라서 유입수의 유량속도가 작아질수록, 초기농도가 낮아질수록 여과의 운전시간이 길어짐을 알 수 있었다.

4-5. 제거 속도식

Fig. 6은 여과층 높이에 따른 제거속도식에서의 파라미터를 구하기 위한 그림이다. 식 (2)에서 보면 초기 제거율 r_c 를 구한 다음, 임의의 n 값에 대해 여과층 깊이 x 에 대하여 $[r_c C / (dx/dx)]^{1/n}$ 을 도식할 때 직선에 잘 부합되는 n 값을 찾고, 그 때의 기울기로부터 a 값을 구할 수 있다.

그림에서 직선이 되는 상수 n 값은 1/4일 때 제거속도식에 잘 맞았으며, a 의 값은 8-16 mesh인 경우가 0.0094 이고, 16-30 mesh인 경우가 0.00083으로 거리에 따른

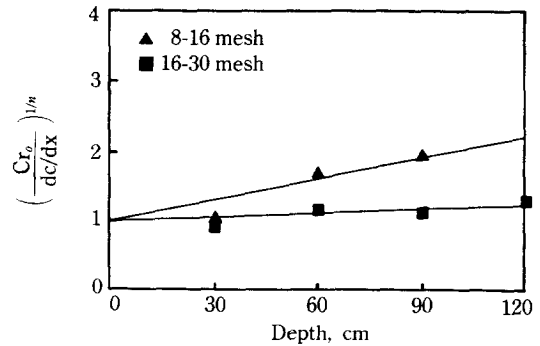


Fig. 6. Determination of retardation term constants.

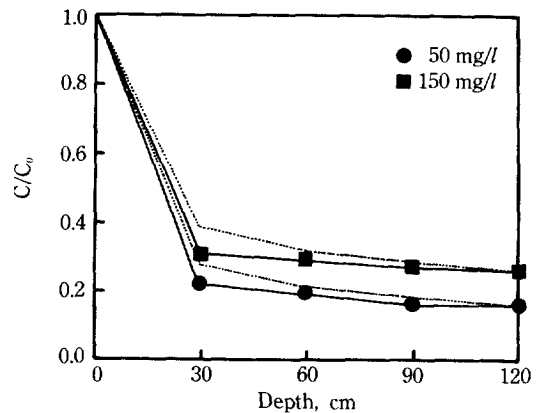


Fig. 7. Comparison of obtained value and calculated value from model eq. (—: experiment, ---: model).

영향이 거의 없는 것으로 생각되었으며, 특히 매질의 크기가 작을수록 거리에 영향이 작음을 알 수 있었다. 모델식에 의한 결과와 본 실험결과를 비교하여 본 결과 Fig. 7에서 보여지는 바와 같이 비교적 잘 일치하였다.

또한 대부분의 고형물 입자들이 여과층 높이 30 cm 내에서 제거되었는데, 이것은 유입수 중의 floc이 큰 입자들이 여과층 30 cm까지는 표면여과(cake filtration)가 이루어지고, 그 이후의 여과층부터는 내면여과(inner filtration)가 진행되는 것으로 생각되었다. 고형물은 여과층 상층에 집중적으로 누적되며, 이로 인해 수두손실이 발생하기 때문에 여층의 깊이와는 별 영향이 없는 것으로 보인다. 따라서 거리에 따른 농도변화 즉, 제거속도식은 식 (2)를 사용하기 보다는 Iwasaki가 제안한 식 (6)을 사용하는 것이 보다 간편할 것으로 생각되었다.

4-6. 송이의 부착율과 여과용량계수 산출

Fig. 8과 9는 여과용량을 산출하기 위한 그림이다. 그림에서 보여지는 바와 같이 약 3-4일에서 여과막의

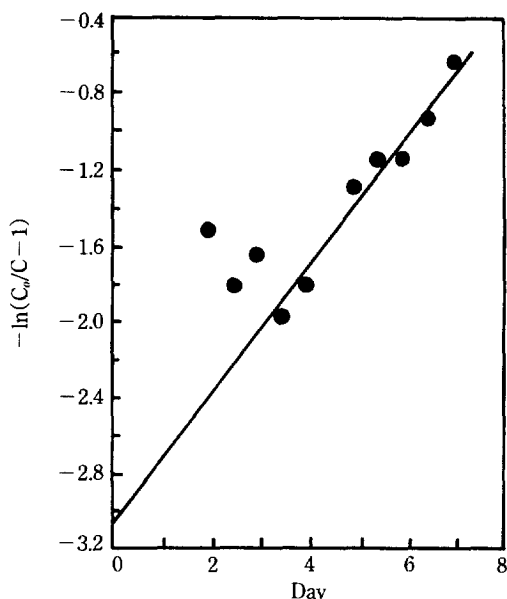


Fig. 8. Linearization of data from filter bed(8-16 mesh).

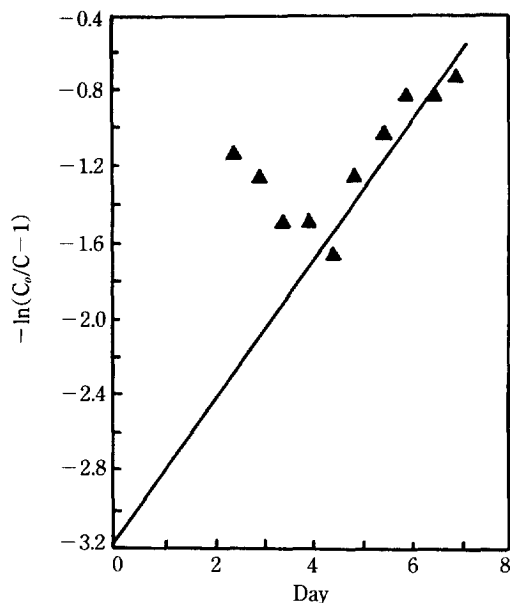


Fig. 9. Linearization of data from filter bed(16-30 mesh).

폐쇄에 의한 여과기능의 상실로 인하여 수질의 악화가 일어나므로 역세척을 하여 여과기능을 회복시킬 필요가 있는 것으로 판단되었다.

초기유입수의 농도가 높은 것이 낮은 것보다 수질악화가 더 빨리 일어났으며, 매질의 크기가 클수록 수질악화가 더 발생했다. 이는 매질의 크기가 작을수록 고

형물이 여과층에서 충분히 여과가 되기 때문에 수질악화가 늦어지며, 매질이 클 경우에는 고형물입자가 여과층을 그대로 통과하여 나오기 때문으로 생각되어진다. 그리고 유입수의 SS농도가 높아질수록 여과층에 통과되는 고형물 양이 그만큼 많게 되므로 여과매질에 의해 충분히 제거되는 양 이외에 유출되는 양도 다량있기 때문에 수질악화가 빨리 오는 것으로 사료되었다.

그림에서 보면 여과초기에는 유출수의 농도가 차츰 향상되다가 나중에는 수질이 악화되는데, 본 연구에서는 초기에 여과가 양호하게 일어날 때의 결과는 무시하고 부착율과 여과용량을 구하기 위해서 수질이 악화되는 시기의 자료만을 이용하였다. 제거속도식에서 여과층상부에서 대부분 고형물이 제거되어 거리에 따른 영향이 거의 없었으므로 식 (6)을 이용해서 여과용량계수를 구할 수가 있었다.

식 (12)에서 $-\ln(C_0/C-1)$ 를 우변 t 에 대해 도식하면 직선의 기울기로부터 부착율 K 를 구할 수 있으며, 또한 절편으로부터 여과용량 σ_w 를 구할 수 있다. 그림으로부터 구한 부착율, K 는 2.34-2.66 $l/g \cdot hr$ 이었으며 여과용량, σ_w 는 2.94-3.43 g/l 로서 이는 모래를 매질로 한 경우의 여과용량 1.627 g/l 보다 높게 나타남으로써 송이가 모래보다 제거능이 더 큼을 알 수 있었다. 따라서 송이는 모래와 비교할 때 보다 우수한 여과매질로 판단되었으며, 송이를 여과매질로 하여 연속적으로 여과를 행한 결과 본 실험조건하에서는 약 3-4일에서 수질악화가 일어났다.

5. 결 론

제주에 널리 산재해 있는 송이에 대한 여과매질로서의 사용가능성을 보고자 알긴산 공장폐수의 원인이 되는 감태(*Ecklonia cava*) 추출폐수를 가지고 매질의 크기, 체류시간의 변화 및 초기유입수의 SS농도를 달리하여 실험한 결과는 다음과 같았다.

(1) 유입수의 SS농도가 일정한 경우 매질의 크기가 작아지고 체류시간이 길어질수록 동일 입자 크기의 경우는 유입수의 초기농도가 낮을수록 제거효율은 좋았다.

(2) 여과한계 수두손실 3.0 m에 도달시간은 여과속도가 클수록, 매질의 입자크기가 작을수록, 유입수의 농도가 높을수록 빨랐으며, 여과층 30 cm 이내에서 축적된 고형물이 수두손실에 주요 원인으로 작용하였다.

(3) 제거속도식은 모델식과 잘 부합하였으며, 매질의 크기가 작을수록 거리에 따른 영향이 적었다.

(4) 송이의 여과용량 계수 및 부착율은 2.94-3.43 g/l 및 2.34-2.66 $l/g \cdot hr$ 로 얻어졌으며, 모래와 비교할 때

보다 우수한 여과매질로 판단되었다.

(5) 송이를 여과매질로 하여 연속적으로 여과를 행한 결과 본 실험조건하에서는 약 3-4일에서 수질악화가 일어났다.

감 사

본 연구는 1991년도 문교부지원 학술진흥재단의 지방대 육성 학술연구조성비에 의하여 수행되었으며 이에 대하여 감사드립니다.

사용기호

a, b : constants
 C : concentration of solid waste [mg/l]
 C₀ : concentration of initial solid waste [mg/l]
 K : clogging rate [l/g·h]
 m, n : constants
 r₀ : initial removal rate [cm⁻¹]
 S : cross sectional area [cm²]
 t : time [h]
 V : filtration rate [l/m²·h]
 x : distance [cm]

그리스 문자

λ : filtration coefficient [l/g·h]
 σ : specific deposit [g/l]

σ_u : capacity factor [g/l]

참고문헌

1. Miller, G. W. and Rice, R. G.: *Civil Eng., ASCE*, **48**(2), 80(1982).
2. Wathugala, A. G., Suzuki, T. and Kurihara, Y.: *Wat. Res.*, **21**(10), 1217(1987).
3. Tobiason, J. E. and O'Melia, C. R.: *Jour. AWWA*, **80**(12), 54(1988).
4. Hand, D. W., Critlenden, J. C., Arora, H., Miller, J. M. and Lykins Jr., B. W.: *Jour. AWWA*, 67(1989).
5. Dahab, M. F. and Young, J. C.: *Jour. Envir. Eng. Div.*, **103**(EE1), 21(1976).
6. Bernardo, L. and Cleasby, J. L.: *Jour. Envir. Eng. Div.*, **106**(EE6), 1023(1980).
7. Monk, R. D. G.: *Jour. AWWA*, Sept., 93(1987).
8. Ives, K. J.: Special Subject 7. IWSA Congress, Vienna, Austria(1969).
9. Kawamura, S.: *Jour. AWWA*, 7(11), 653(1975).
10. Tchobanoglous, G. and Eliassen, R.: *Jour. Sanit. Eng. Div.*, **96**(SA2), 243(1970).
11. Iwasaki, T.: *Jour. AWWA*, **29**(10), 1591(1937).
12. Kang, Y. J., Oh, T. M. and Lee, M. G.: *Cheju Nat'l. Univ. Jour.*, **30**, 119(1990).
13. Maroundas, A. and Eisenkiam, P.: *Chem. Eng. Sci.*, **20**, 875(1967).
14. Yu, M. J.: *J. of Kor. Soc. Env. Eng.*, 7(1), 43(1985).