

PCS측정 기술과 Kozeny-Carman모델을 이용한 여과공정 특성연구

하 상 안·김 승 호*·윤 태 경**
신라대학교 환경생명공학부·삼척대학교 환경공학과·
**동의대학교 환경화학공학부
(2004년 6월 26일 접수; 2004년 8월 18일 채택)

A Study on Characteristic of Filter Processing Using Kozeny-Carman Model and Measuring of PCS

Sang-An Ha, Seung-Ho Kim* and Tae-Kyung Yoon**

Dept. of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

*Dept. of Environmental Engineering, Samchok University, Samcheok 245-711, Korea

**Dept. of Environmental & Chemical Engineering, Dongeui University, Busan 614-714, Korea

(Manuscript received 26 June, 2004; accepted 18 August, 2004)

The filtration tests were made in cell with a low concentrated suspension. The suspension with a concentration of $c_M = 1.14 \sim 2.67 \cdot 10^{-3}$ g/g consists of paper paint and water. The particles in the suspension have a particle size $x < 1 \mu m$. The used depth filters consists of glass fibres, which are coated by polymer.

The filtration in depth filters accorded in different mechanism, which were explained by physical models. The model which would be allows to make a promise of the filtration reaction. This filter media allows to get a high filtration time and a good separation rate. The Particle distribution is measured by a photon correlation spectroscopy(PCS). PCS measures particle sizes $0.03 \mu m < d < 3 \mu m$ in the suspension. The filtered suspension has a very low concentration $C_o \leq 5 \times 10^{-4}$ g/g of solid in sample. The PCS also informs us about the number of the particles in the suspension. The makes it possible to calculate the concentration of the in sample.

Key Words : Filtration Tests, Glass Fibres, Photon Correlation Spectroscopy(PCS)

1. 서 론

멤브레인에 의한 여과공정 기술은 유화액이나 리포솜 등과 폐수를 분리하기 위해서 입자간의 크기차를 이용하여 널리 적용 되고 있다^{1,2)}, 전형적으로 오일성분인 유화액 폐수는 역삼투법(RO), 한외여과(UF)나 정밀여과(MF) 적용된 예를 볼 수 있다^{3~5)}. 마이크로필터 여과기술은 생물공학, 화장품, 도장, 농산물가공 등에서 적용 되어진다^{6~9)}.

여과공정기술은 필터매체를 이용하여 가스상과 액체상에서 혼합되어 있는 입자물질이나 고형물을 분리하는 산업 및 환경 분야에서 폐수처리를 위해서 널리 사용 되어진다¹⁰⁾. 여과공정기술은 유체나

여과물질이 여재에 통과할 때 표면에 퇴적되어 유체로부터 고형물을 분리하는 조작이다. 여과공정에서 적용되는 방법은 간단한 여과기에서부터 복잡한 분리에 이르기까지 여러 가지가 있으며, 액체나 기체 두 가지 다 사용될 수 있다. 여과공정의 실행에 있어서 유체에 포함된 고형물량은 미량에서부터 아주 고농도에 이르기까지 그 범위가 넓고, 여과속도를 증진시키기 위해서 여재를 가열, 재결정 조작하거나, 셀룰로오스, 초크분말, 규조토와 같은 보조재를 첨가하여 다공성 필터여재로 제조한다.

일반적인 필터여재로 사용되는 재질은 캔버스 천으로, 더크(duck)나 능직(twill)으로 짠 것이 주로 사용되며 목적에 따라서 무게와 직조 양식이 다른 여러 가지 종류가 있다. 여과점유의 경우 mesh수나 여재의 거칠기에 따라서 미세한 입자를 어느 정도 제거할 수 있는가 결정되어지고, mesh수가 동일한

Corresponding Author : Sang-An Ha, Dept. of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea
Phone : +82-51-999-5723
E-mail : saha@silla.ac.kr

경우에는 매끈한 모양이 거친 섬유보다 미세한 입자를 제거하는데 덜 효과적이다. 여과기의 형태는 청정여과기(clarifying filter)와 케이크 여과기(cake filter)의 두 가지로 나눌 수 있다. 청정여과는 소량의 고형물을 제거하여 순수한 기체나 액체를 만드는데 사용하고, 케이크 여과기는 다량의 고형물을 결정 또는 케이크 형태로 분리하게 된다. 여과공정에 있어서 입자제거의 효율은 유체흐름의 조작방법, 유체농도, 입자크기, 필터매체 종류 등에 의해서 결정된다. 여재와 여과공정을 실행하고자 하는 유체종류에 따라 제거율과 필터의 여재에 대한 특성을 Kozeny-Carman모델을¹¹⁾ 적용하여 필터여재에 대한 효율을 나타내기 위해서 새로운 측정기술을 적용한 필터여재 및 공정의 특성을 고찰하고자함이 연구의 주목적이다.

2. 이론적배경

여과는 다공성 매체에 통과되는 유체흐름이며, 따라서 여재가 막히거나 케이크가 형성됨에 따라 흐름에 대한 저항은 증가하게 된다. 필터케이크 형성 과정은 단위 시간당 축적되는 퇴적층에 의해서 결정되고, 필터의 여재에 형성된 케이크층의 통과흐름에 따라 여과장치의 압력손실에 큰 영향을 미치게 된다.^{12,13)} 여과공정에서 뉴턴범위에 있는 유체흐름에 의해서 발생하는 압력손실은 Kozeny-Carman 공식을 이용하여 나타낼 수 있다.

$$\Delta p = 180 \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3 x^2} \eta \cdot w \cdot L \quad (1)$$

일반적으로 압력손실 Δp 는 필터층의 두께 L 에 비례하며, 여과층내에 통과되는 흐름속도 $w = v_{Fi}/A$ 와 유체점도 η 에 따라서 결정된다. 또한 압력손실은 여과매체에 통과되는 입자크기 x 와 여과매체 공극율 ϵ 에 따라서 그리고 여재의 공극율은 전체단면 A 에 대한 자유단면 A_{Fi} 의 상관관계에 따라서 결정되어진다. 여과층에서 발생하는 압력손실은 제거되는 입자가 작을수록 그리고 여과에 통과되는 자유 통과단면적 A_{Fi} 이 적을수록 증가되어진다. 전체 압력강하는 필터층 케이크에서의 압력손실과 여과매체 저항 계수 β 에 따른 필터매체의 압력손실 값의 합으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta p = \Delta p_k + \Delta p_F \quad (2)$$

$$\frac{dQ_{Fi}}{dt} = \frac{A \cdot \Delta p}{\eta(\alpha \frac{\varphi V}{A} + \beta)} \quad (3)$$

케이크 여과공정에서 유체흐름은 액체가 직렬로

된 두개의 저항(여과매체와 케이크 저항)을 거쳐 필터층을 통과하게 된다. 청정화 여과에서 유일한 저항인 여과매체 저항은 케이크 여과에서는 초기에만 그 의미를 가진다.

케이크저항은 초기에는 0이지만 여과조작 진행과 함께 시간에 따라 증가하며, 여과 후 케이크를 세척할 때 두 가지 저항이 다 일정하지만 여과매체 저항은 대개 무시한다.

케이크 형성의 여과공정에서 α 와 β 는 운전조건과 여액 함유된 물질질질과 농도에 따라서 결정된다. α 와 β 는 값은 실험결과에 따라서 여과매체와 여과물질에 따라 특성을 나타낼 수 있다.

압력변화는 시간에 따라 직선적으로 증가한다. 높은 압력조건에서 케이크형성이 파괴되어지기 때문에 미세입자를 여과할 수 능력이 낮아지게 된다. 따라서 여러 가지 입자크기에 따른 시간의 함수로서 여과되는 여액과 용적흐름에 미치는 인자는 압력손실, 케이크형성 두께, 케이크 공극율, 여액의 농도에 따라서 결정되어진다.

여과공정이 실행되는 동안 일정한 압력조건에 대한 필터실행조건은 1차 여과모델, 2차 여과모델 법칙, standard모델 및 케이크 형성모델의 4가지 모델로 구분 된다.¹⁴⁾

1차여과모델은 고형물이 케이크를 형성하고, 동시에 필터층 케이크내에 다른 입자들이 스며들거나 입자들이 정지된다고 가정하는 경우 적용된다. 이 모델은 여액량 변화가 필터여재에서 발생하는 압력손실과 여재체적의 상관관계에 따라서 계산할 수 있다.

$$\frac{1}{\sqrt{Q_F}} = \sqrt{\frac{\eta \cdot K_1}{A \cdot \Delta p}} + \sqrt{\frac{\eta \cdot k_1}{A \cdot \Delta p}} \cdot V \quad (4)$$

여기서, η 는 점도, A 는 필터여재면적, Δp 는 압력손실, Q_F 는 여액량, 이들의 실험결과에 따라 K_1 과 k_1 를 구할 수 있으며 압력손실에 상관되는 실험계수이다.

2차여과모델은 여과되는 동안 부분적인 고형물이 여과공정의 시작과 동시에 짧게 케이크가 형성될 때 적용되어진다. 이 경우에는 여과속도가 높고, 여과공극 길이가 짧아질 때 발생되어진다. 이차여과모델은 다음과 같이 공식이 적용된다.

$$\frac{1}{Q_F} = \frac{\eta \cdot K_2}{A \cdot \Delta p} + \frac{\eta \cdot k_2}{A \cdot \Delta p} \cdot t \quad (5)$$

Standard모델의 적용은^{15,16)} 여과공정에서 필터여재 공극면적이 감소되어질 때 적용된다. 여재내에 있는 고형입자들은 공극내벽에서 축적되므로 여과가

천천히 정지되어진다. 이 특성을 나타내는 식은 다음과 같다.

$$\frac{t}{V} = \frac{\eta \cdot K_3}{A \cdot \Delta p} + \frac{\eta \cdot k_3}{A \cdot \Delta p} \cdot t \quad (6)$$

케이크필터 모델은 여과공정에서 최종적으로 필터케이크가 형성되어진 후 공극 길이가 증가될 때 적용되고, 이와 같은 케이크형성의 특성을 나타내는 식은 다음과 같다.

$$\frac{t}{V} = \frac{\eta \cdot K_o}{A \cdot \Delta p} + \frac{\eta \cdot k_o}{2 \cdot A \cdot \Delta p} \cdot V \quad (7)$$

3. 실험장치 및 분석방법

페인트공장에서 발생되는 폐수를 시료로 선택하여 미세한 부유물질을 제어하는 공정에서 선택된 필터여재에 대한 특성을 실험하였다. Fig. 1에 나타난 실험장치는 여과에 필요한 압력은 압력계지를 이용하여 조절하였다.

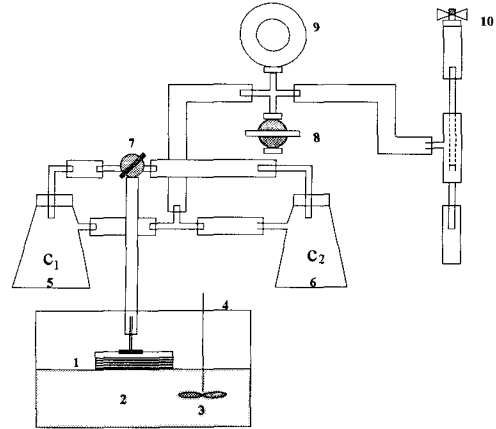
실험이 시작되기 전 필터여재를 세척하고, 반응조내의 고형물침전에 의한 여과작용의 방해를 방지하기 위해서 장치3과 같은 혼합장치를 사용하였다. 압력밸브를 일정하게 조절하여 일정한 여액용기에 1~3ℓ의 량으로 변화될 때 각각 여액용기에 채워지는 데 걸리는 시간을 측정하게 된다. 이때 여과는 되는 시간변화에 따라서 필터여재를 U6-40Z재질을 이용한 조건에서 반응조내에 시료를 제거하는 과정을 PCS측정방법을 이용한 입경분포에 따라서 여과특성의 변화과정을 분석하였다.

실험에 사용된 필터여재인 U6-40Z는 Pall회사에서 제조되었고, 입자크기는 10 μm까지 분리효율이 높고, 면적당 수용할 수 있는 밀도는 0.8 g/m²까지 제조되었다. 이 필터재질은 여과에 필요한 여재층과 보호막이 형성된 보호층으로 구성되어있다. 여과층의 재질은 유리섬유층으로 피복되어 있어 미세한 공극구조를 갖도록 되어있고, 양이온의 Zeta-Potential이 강하여 음이온을 구성하는 중금속, 박테리아 및 바이러스 등에 제거에 효과적이다.

본 연구에서 여과특성을 나타내기 위해서 새로운 분석기법인 PCS분석 방법을 적용하였다. PCS측정 방법은 빛의 분산을 이용하여 측정셀에 있는 입자들의 브라운 운동에 의해서 평균입경크기와 입자분포수가 분석되어진다. 입자수분포도에 따라 입자크기 x는 Stokes법칙을 적용하여 계산 되어진다^{17,18)}.

$$x = \frac{k_B T}{3\pi\eta D} \quad (8)$$

스트르크방정식에서, k_B는 Boltzmann상수, T는 절



1. Filter media, 2. Sample, 3. Mixer of sample, 4. Reactor, 5,6. Vessel of filtrate liquid, 7. Valve, 8. Valve of pressure control, 9. Pressure gauge

Fig. 1. Schematic diagram of filter system.

대온도, η는 시료의 점성도, D는 확산계수이며, 이들의 계수는 입자크기를 결정하는 매개변수이다.

시료의 입자크기와 입자수분포도는 PCS분석장치의 측정셀내에 분포하는 입자들이 입사되는 빛의 각도 θ에 따라 입력된 측정 시간내에 입자들의 count에 의한 Autocorrelationfunction의 상관관계에 의해서 입자수분포도와 평균입자크기가 분석된다^{19,20)}. 입자수분포도를 측정하기 위해서 측정셀내의 분산물질인 물질도는 1mPas, 굴절값 n는 1.333로 설정하여 분석하였다.

실험장치에서 사용된 여재는 U6-40Z인 재질을 이용하였고, 시료는 종이페인트 공정에서 발생되는 부유상을 제거하는 동안 여과되는 농도변화의 특성으로서 PCS분석에서 측정셀내에 분포하는 입자들이 입사되는 빛의 각도에 따라서 count된 입자수에 따라 입자수누적분포도 q₀가 분석되고, 이 결과에 따라서 입자수누적분포 q₀는 질량누적분포 q₃로 계산된다. 여과실험에 따라 이들의 분석 값인 입자분포도를 이용하여 여재특성 변화를 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 시료의 입경범위와 농도측정

실험을 위한 시료내에 함유된 있는 입자분포범위를 PCS측정 방법을 이용하여 분석되어진 값에 따라 Fig. 2에 나타내었다. 시료에 여과공정을 적용하여 필터여재의 특성에 따라 종이페인트 공정에서 발생하는 중합체 물질인 폐수성상의 변화를 입자분포도에 의해서 나타내었다. 시료로 사용된 부유물질의 평균입자 크기는 524 μm이었고, 입경은 300

~1000 μ m범위로 분포하였다. 시료농도는 PCS측정 방법을 이용한 질량분포의 변화에 따라 계산하였다. 시료농도 C_s 값을 계산하기 위하여 실험장치의 측정셀 무게 M_s 를 측정하고, 시료를 건조시킨 후 분말가루를 일정량 충전한 후에 무게를 M_{s+p} 측정하게 된다. 측정셀내에 일정량의 물을 충전하여 부유상태의 무게 M_{s+p+w} 를 최종적으로 측정하게 된다. 이와 같이 다양한 조건으로 시료를 만든 후 PCS측정 장치의 sample-time당 시료의 입자수 분포에 따라 질량농도 C_M 값을 보정하여 Fig. 3와 같은 결과를 얻을 수 있다.

이 결과에 따라서 측정한 sample-time의 값에 따른 질량농도 값은 다음과 같이 구해진다.

$$C_M(N_i)(g/g) = 1.15 \times 10^{-4} + 1.52 \times 10^{-9} (g/g \cdot N_i / \text{counts/s})$$

이 측정값에 따른 농도 값을 결정하기 위해서 측정값에 대한 직선분석 회귀값으로 나타낸 보정계수 r 은 0.99123으로써 r 값이 1에 가깝기 때문에 sample-time에 따른 농도 값을 결정할 수 있었다²¹⁾.

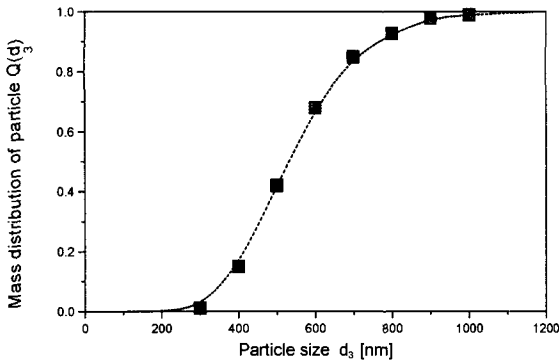


Fig. 2. Mass distribution of particle $Q_{3(d)}$ in suspension by sampling.

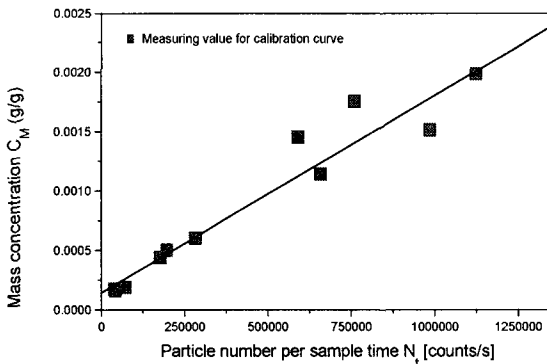


Fig. 3. Calibrated Graph of the Suspension Concentration in Sample Using the PCS.

4.2. 필터공정 모델을 적용한 여과특성비교
여과공정에서 필터와 여과되는 폐수의 특성에 따라 다양한 변화가 나타나게 된다. 시료는 종이페인트에서 배출된 폐수를 시료로 사용하였고, 실험의 여과공정에 사용된 필터여재는 U6-40Z를 재질로 사용하였다. 여과공정의 실험장치에서 압력은 $\Delta p = 0.3 \text{ bar}$ 로 일정하게 유지되도록 설정하였다.

여과공정에 적용된 시료농도는 PCS분석 방법에 따라 측정한 결과 $C_M = 1.142 \cdot 10^{-3} \text{ g/g}$ 으로 분석되었다. 식(4)를 적용하여 여재용적에 대한 여액량의 변화로 나타낸 결과를 Fig. 4에 나타내었으며 r 값은 0.985로 나타났다. Fig. 5는 2차모델을 적용한 결과를 나타내었다. 이 모델을 식(5)를 적용하여 결과를 직선분석 회귀값으로 나타낸 결과 r 은 0.953으로 1차모델의 적용값 보다 정확도가 약간 벗어났다. Fig. 6은 식(6)의 standard-filtration분석 모델을 적용하여 측정되어진 값을 분석한 결과 r 값은 0.965로 나타났다.

케이형성의 모델에 대한 측정값은 Fig. 7은 식(7)

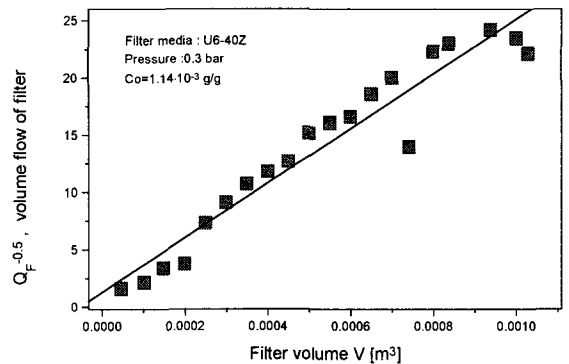


Fig. 4. Linear Regression Using 1st-order Model(eq.(4)).

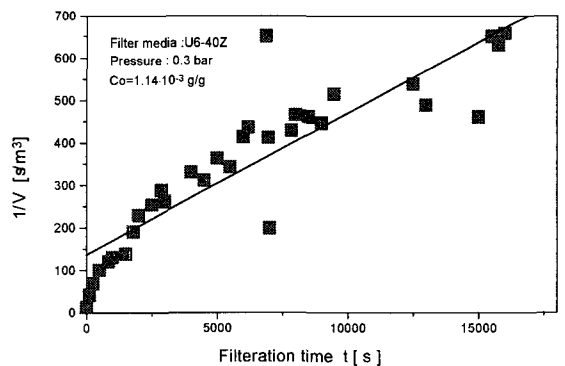


Fig. 5. Linear Regression Using 2nd-order Model(eq.(5)).

을 사용하여 나타내었다. 측정값을 직선회귀 분석법으로 분석한 결과 r값은 0.975로 1차 모델과 같이 만족도가 우수하게 나타났다. 케이크형성 모델은 전체적으로 우수한 만족도를 보이고 있지만 여과가 시작되는 구간에서 만족스럽지 못한 값을 나타내고 있다. 이들의 모델적용에 있어서 음의 값을 나타내는 것은 물리적으로 불가능하고, 이 모델적용 결과에 우수한 r값을 나타내었고, 필터여재와 필터시간에 따라 다양한 종류의 필터과정이 형성되어짐을 알 수 있다.

4.3. 압력변화에 대한 특성연구

단위시간당 필터여재면적당 체적 흐름율(여액량)은 압력에 의존되고, 압력이 높은 경우 여액량은 증가함을 볼 수 있다. 식(6)에서 실험적으로 결정되는 k_3 와 K_3 값은 압력에 따라서 의존함을 볼 수 있다¹⁴⁾.

Fig. 8에서 여과공정의 운전시간이 40분까지는 여과압력이 0.3bar일 때가 0.2bar때보다 여과단위 면적당 여액량은 여과시작점에서 차이가 크게 나타났고, 운전시간이 40분이 경과하면서 여액량은 큰 차

이가 없이 일정한 값으로 나타났다. 이 결과는 일정한 운전시간이 경과한 후 여재면적당 케이크가 형성되어 압력조건이 0.2~0.3bar 범위내에서 여액량이 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

여과공정에서 여재저항계수 K_3 는 압력 Δp 에 영향을 받는다. 여과가 실행되는 압력변화의 범위에서는 Fig. 9의 결과에서 직선적으로 K_3 값이 감소함을 볼 수 있다. 압력의 증가에 따라 여과속도가 증가되기 때문에 필터면적에 입자들의 축적이 적게 일어나 K_3 값이 감소되어짐을 볼 수 있다²²⁾. 따라서 K_3 값은 필터여재에 형성되는 케이크에 따라 발생하는 압력손실을 결정하는 인자임을 볼 수 있다.

Fig. 10의 결과에서 여과압력이 높은 경우 시료내 함유된 고형물의 저항 값 k_3 는 감소되었고, 이 현상은 필터여재 케이크 형성이 충분히 축적되어지지 못하기 때문에 입자들이 확산되는 D값은 매우 적어지게 된다^{23,24)}. 높은 여과속도에서 필터공정에서 여과되어지는 입자들이 여액과 동반하여 빠져나가는 입자수가 증가되기 때문에 고형물의 저항 값은 감

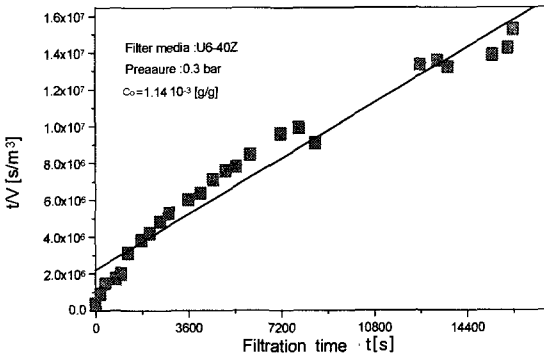


Fig. 6. Linear Regression Using Standard-filtration Model(eq.(6)).

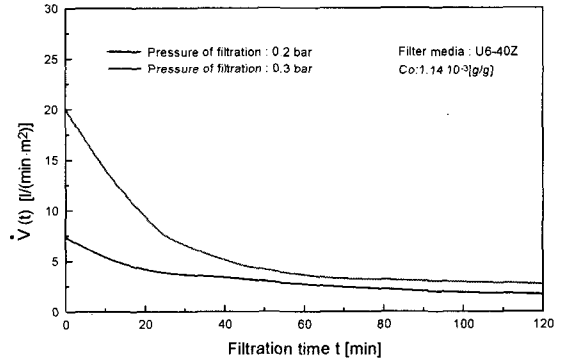


Fig. 8. Volume Stream as functions of time and the pressure drop.

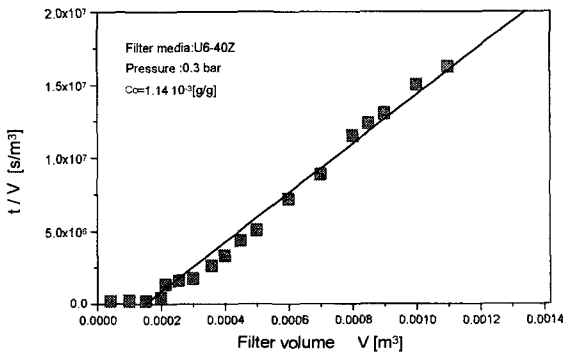


Fig. 7. Model of the cake-filtration.

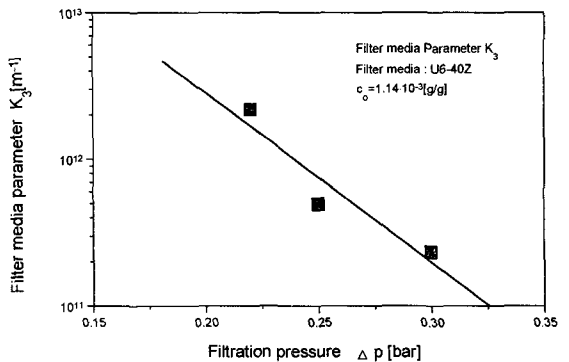


Fig. 9. Filter media parameter K_3 as a function of pressure drop.

소하게 된다.

4.4. 운전시간에 따른 농도변화와 제거율

Fig. 11은 여과시간의 변화에 따른 농도변화량으로 제거율을 측정된 결과를 나타내었다. 본 실험은 U6-40Z 필터재질을 이용 하였고, 여과공정을 실행하기 전 시료를 채취하여 PCS측정 장치를 이용한 농도 c_0 값은 1.14×10^{-3} g/g의 결과를 얻었다. Fig. 11의 결과에서 보면 여과시간의 변화에 따라서 여액내 함유한 입자상의 분리효율은 일정하게 증가되어졌으며, 여과시간이 4분 이후에는 일정한 변화로 나타났다.

Fig. 12의 결과는 여과가 실행되는 동안 시료내 부유상물질이 여과시간의 경과에 따라 변화되는 농도변화를 측정된 결과이다. 시료내 초기농도는 c_0 가 1.14×10^{-3} g/g 이었으며, 1분내 농도는 5×10^{-4} g/g으로 감소하였고, 여과공정이 연속적으로 진행되는 동안 2분 이후부터 2×10^{-4} g/g이하로 유지되다가 5분까지 여과공정이 실행된 후 농도변화는 거의 없는 것으로 측정되었다. PCS측정 방법을 이용하여

농도의 변화를 추정함으로써 여과시간 변화에 따른 여과공정의 특성을 입자분포와 시료의 농도변화로 나타낼 수 있었다.

4.5. 입경분포에 따른 여과특성 평가

여과공정이 진행되는 동안 다양한 시간변화에 따라서 시료내에 부유물질의 상태변화를 측정하기 위해서 PCS분석 장치를 이용하여 입경분포도의 변화를 나타내었다. 입경분포도는 각 시료의 입자수를 측정하여 질량분포 $Q_3(d)$ 로 나타내었다.

Fig. 13에 나타낸 입경분포도의 측정결과에서 보면 여과되기 전 시료의 분포도와 비교할 때 여과시간 0.72분~2.99분까지는 미세한 입자분포가 많은 것으로 보아 여과가 효율적으로 진행되었음을 판단할 수 있으며, 여과시간이 3.85분으로 증가한 경우 여과시간 0.72분과 비교하면 미세한 입경과 큰 입경분포가 증가하기 시작함으로써. 이 결과는 여과시간이 3.85분으로 증가하면서 시료의 미세한 입자들의 응집이 발생되기 시작하면 2.99분 보다 미세한 입자분포는 감소하고, $800 \mu m$ 이상에서 입자 분포가 증가

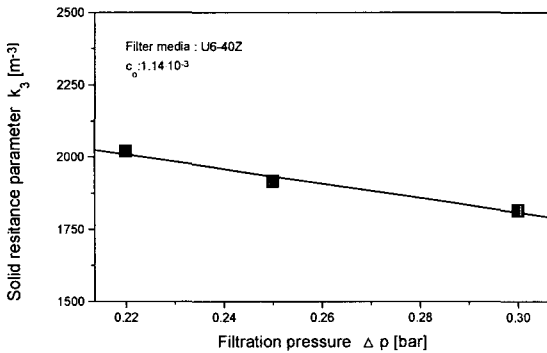


Fig. 10. Resistance parameter of solid k_3 as a function of pressure drop.

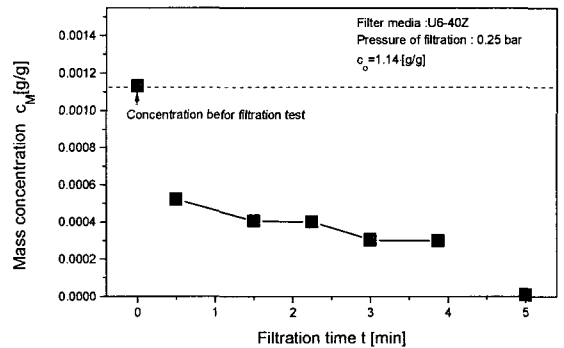


Fig. 12. Mass concentration of solid in sample by filtration time during the filtration test.

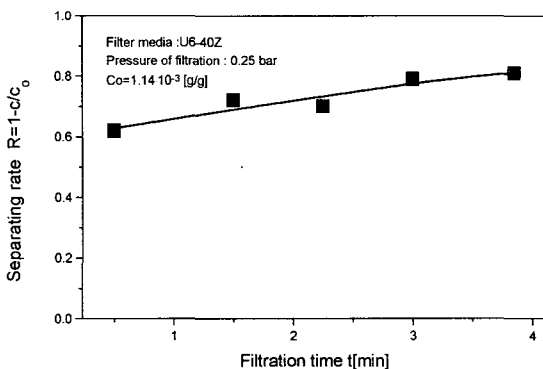


Fig. 11. Separating rate by filtration time during the filtration test.

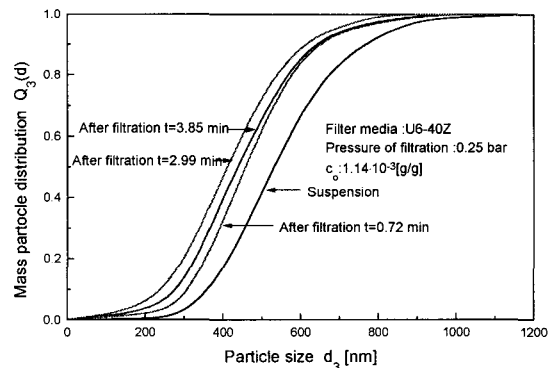


Fig. 13. Mass distribution of particle $Q_3(d)$ of suspension in sample at the different filtrate time.

하는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서 여과공정의 특성을 파악하기 위해서 PCS측정 방법을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 여과재질로 U6-40Z를 이용하여 종이폐인트 공정에서 발생하는 폐수를 처리를 하기 위해서 적용된 여과시스템의 특성을 파악하기 위해서 4가지 모델을 적용한 결과 1차 여과모델 및 2차 여과모델 적용은 만족하였으나, 케이크형성 모델적용은 측정결과를 회귀분석에 의해서 r값은 만족하였지만 여과시작점에 적용되어지지 않음을 알 수 있다.
- 2) 압력변화에 따른 여과공정의 운전시간이 40분까지는 여과압력이 0.3bar일 때가 0.2bar보다 여과단위면적 당 여액량은 여과시작점에서 차이가 크게 나타났고, 운전시간이 40분이 경과하면서 여액량은 큰 차이가 없이 일정한 값으로 나타났다.
- 3) 여과공정에서 여재저항계수 K_3 는 필터케이크 형성에 따라 압력 Δp 에 영향을 미치는 인자이며, K_3 가 증가할수록 압력손실은 커진다.
- 4) 여과공정이 실행되는 동안 운전시간에 따라 변화되는 농도를 측정한 결과에서 보면 초기농도 c_0 가 1.14×10^3 g/g인 경우, 운전시간이 1분내에서 농도가 5×10^4 g/g로 감소하였으며, 여과공정이 연속적으로 진행되는 동안 2분 이후부터 2×10^4 g/g이하로 유지되다가 5분 정도가 여과공정이 실행된 후 농도가 거의 없는 것으로 측정되었다.
- 5) 입경분포도의 측정결과에서 보면 여과되기 전 시료의 분포도와 비교하면 여과시간 0.72분~2.99분까지는 여과가 효율적으로 진행되었고, 여과시간이 3.85분으로 증가하는 경우 시료내의 입자들의 응집으로 여과효율이 감소하였다.

참 고 문 헌

- 1) Mine, A., Y. Shimizu, and M. T. Nakashima, 1991, Preparation and stabilization of simple and multiple emulsions using a microporous glass membrane, *biointerfaces*, 6, 261-268.
- 2) Vladislavljevic, G., S. Tesch and H. Schubert, 2002, Preparation of water-in-oil emulsions using microporous polypropylene hollow fibers, *Chem. Eng. Proc.*, 41, 231-238.
- 3) Lipp, P. C., H. Lee and A. G. Fane, 1998, A Fundamental study of the ultrafiltration of oil-water emulsions, *J. Membr. Sci. Technol.*, 32, 161-177.
- 4) Karakulski, K., 1995, Purification of oily wastewater by ultrafiltration, *Sep. Sci. Technol.*, 5, 197-205.
- 5) Hyun, H. H. and T. K. Gye, 1997, Synthesis of ceramic microfiltration membranes for oil/water separation, *Sep. Sci. Technol.*, 32, 2927-2943.
- 6) Lee, C. K., Y. H. Chang and Y. H. Ju, 1993, Air slugs entrapped crossflow filtration of bacterial suspensions, *Biotechnol. Bioeng.*, 41, 525-531.
- 7) Leonard, D., B. Mercier and N. D. Lindley, 1998, A novel membrane bioreactor with/liquid two-phase flow for high performance degradation of phenol, *Biotechnol. Prog.*, 14, 680-692.
- 8) Cui, Z. F., 1994, Gas-liquid two-phase cross-flow ultrafiltration of BSA and dextran solutions, *J. Membr. Science*, 90, 183-192.
- 9) Mercier, B., M. C. Lagane and C. Fonade, 2000, Influence of a gas/liquid two-phase flow on the ultrafiltration and microfiltration performances, *J. Membr. Science*, 180, 93-102.
- 10) Wan, Y. H., X. D. Wang and X. J. Wang, 1997, Treatment of high-concentration phenolic wastewater by liquid membrane with N-503 as mobil carrier, *J. Membr. Science*, 135, 263-272.
- 11) Pahl, M., 1989, Unveroeffentlichtes Skript zur Vorlesung, *Mechanische Verfahrenstechnik*, 1, 21-25.
- 12) N. N., 1997, SD1070a, *Information der Fa. Pall, Dreieich*, 1-5pp.
- 13) Stauff, J., 1960, *Kolloidchemie*, Springer-Verlag, 371-406pp.
- 14) Weiss, S., 1985, *Verfahrenstechnische Berechnungsmethoden Teil 3. Mechanisches Trennen in fluiden phase*, VCH-Verlag, Weinheim, 231pp.
- 15) Berre, Le and O. Daufin, 1996, Skimmilk cross-flow microfiltration performance versus permeation flux to wall shear stress ratio, *J. Membr. Science*, 117, 261-272.
- 16) Gesan-Guiziu, G., E. Boyaval and G. Daufin, 1999, Critical stability conditions in cross-flow microfiltration of skimmed milk, *J. Membr. Science*, 158, 211-220.

- 17) Becker, R., 1966, Theorie der Waerme., Springer-Verlag, 258-279pp.
- 18) Einstein, A., 1906, Zur Theorie der Brownschen Bewegung, Annalen der Physik, 19, 371-381.
- 19) Lueddecks, E. and D. Horn, 1984, Teichengrossenbestimmung im submikronbereich duch Photonen-correlations-Spektroskopie, Chem. Ing. Tech., 26, 54.
- 20) Gulari, E. and B. Chu, 1997, Photon correlation spectroscopy of particle distributions, J. Chem. Phys., 70, 3965-3972.
- 21) Pahl, M., 1993, Vorlesungsmitschrift, Mathematische Methoden der Verfahrenstechnik, 23-25pp.
- 22) Gimbel, R., 1984, Abscheidung von Trubstoffen aus Fluessigkeiten in Tiefenfiltern, Karlsruhe Universitat, 56-60pp.
- 23) Judd, S. and G. Solt, 1990, Electrophoretically-assisted depth filtration of aqueous suspensions through various fibrous media, Chemical Engineering Science, 46, 419-428.
- 24) Matteson, M. J., 1987, Filtration Particles and Practices, Marcel Dekker, Inc., New York, 133-160pp.