

응집제의 주입량 및 압력변화에 따른 여과특성*

이성호¹⁾ · 임택준¹⁾ · 조준형²⁾

Filtration characteristic of quantity of coagulant and variable pressure

Sung-ho Lee¹⁾ · Taek-jun Lim¹⁾ and Jun-hyung Cho²⁾

요 약

제지공업은 다른 공업에 비해 용수 소비량이 많고 이에 따라 폐수의 배출량도 많은 용수 다소비 산업이다. 제지폐수의 처리는 물리적, 화학적, 처리로 1차 처리를 하고 생물학적 처리로 2차 처리를 한 후, 필요에 따라 고도처리를 행하여 재이용 하거나 방류하는 시스템으로 구성되어 있다.^{1,8,9)} 물리적 처리 중 응집침전법에 의한 처리방법은 생물학적 처리의 전 단계로서 처리가 불량할 경우 생물학적 처리 시스템의 부하량이 높아져 처리율의 저하를 유발한다. 또한 가장 비용이 적게 드는 처리방법이므로 응집침전에서 많은 오염물을 제거하는 것이 비용 면에서도 유리하다고 할 수 있다.¹⁰⁾ 제지공장의 폐수에는 Fiber, Filler, 그 밖의 유기용매가 포함되어 있으며, 폐수량이 많기 때문에 그 만큼의 설비자본과 운영비가 소요된다. 그러므로 폐수의 양을 줄이고 그 안에 함유된 여러 가지 물질들을 적은 비용으로 효율적으로 제거하는 방법이 필요하게 된다. 본 실험은 제지폐수를 보다 효율적으로 여과하는 방법을 찾고자 함에 있어 가압 여과시험을 채택하여 응집제의 종류 및 첨가량 그리고 압력의 변화를 주면서 여과의 특성 실험을 하였다.

폐수내의 섬유나 Filler 등은 미세하게 분산되어 콜로이드성 물질이 되는데 이것은 여과시에 여재 위에 쌓여 여과 조작을 방해한다. 여기에 응집제를 첨가하게 되면 분산된 콜로이드 입자를 응집제가 표면에 사슬처럼 붙어 안정화시킨다. 즉, 침전성과 여과성이 향상되고 SS가 떨어진다.^{4,7)}

본실험에 사용된 응집제는 FeCl₃, Alum, CaCl₂, Polymer 이며, 네 가지 응집제를 0.01g, 0.03g, 0.05g 씩 첨가(폐수 100mL에 대해)하고 압력을 49, 98, 147, 196 kPa로 변화시키면서 실험을 하였다. 이와 같은 여러 변화의 실험을 통하여 각 단위 시간 별로 여과되는 여액량을 측정하여 여과 속도 및 탁도 등을 측정하였다.

ABSTRACT

Compared to other industries, pulp and paper industry use a lot of water. As a result, a large amount of the waste water is discharged in the pulp and paper industry. This study was investigated to prevent the environmental pollution terribly faced with our society nowadays. In the waste water of pulp and paper, there are so many things in the waste water, like fiber, filler, and other

* 본 연구는 2001년도 강원대학교 부설 창강제지기술연구소 연구비지원에 의해 수행되었음.

1) 강원대학교 대학원 제지공학과 : Department of pulp & paper engineering, Graduate school, Kangwon national university, Chuncheon 200-701, Korea
2) 강원대학교 산림과학대학 제지공학과 : Department of pulp & paper engineering, College of forest science, Kangwon national university, Chuncheon 200-701, Korea

organic solvent etc. so we must remove them from our environment.

This study was investigated to experiment on test of impressed filtration with the kind and quantity of coagulant and the variance of pressure. In this study, we used feds, alums, CaCl_2 , polymer as a coagulant and these pressure was 49, 98, 147, 196kPa. According to this study, we measured the speed of filtration and turbidity, measuring filtrated water. According to the values, we know the fact that as the consistency of coagulant and pressure were high, the filtration was good.

Key words : Coagulant, wastewater, filtration, turbidity

1. 서 론

제지공업은 다른 기타의 공업에 비해 상당한 양의 물을 사용한다. 이에 폐수의 양도 물을 사용함에 따라 비례하여 증가하게 된다. 또한 점차로 용수사용에 제한이 가해지고 수자원에 대한 보호정책 및 환경운동에 따라 폐수처리에 대한 규제는 점점 더 심해지고 있어 이에 대한 대책을 마련하지 않을 수 없는 현실이다.

현재 제지 산업에서도 용수 및 폐수처리에 대한 대책으로 폐수 방류량을 줄여 폐수를 재활용하는 방향의 움직임이 일고 있고, 각 처리공정의 효율적 관리를 위해 약품선별 및 공정제어에 심혈을 기울이고 있는 추세다.

제지공장의 폐수에는 Fiber, Filler, 그 밖의 유기용매가 포함되어 있는데 이 폐수를 환경에 해가 되지 않도록 공해의 요인을 제거시켜야 한다. 하지만 폐수의 양이 많기 때문에 그 만큼의 설비 자본과 운영비가 소요된다. 그러므로 폐수의 양을 줄이고 그 안에 함유된 여러 가지 물질들을 적은 비용으로 효율적으로 제거하는 방법이 필요하게 된다.

물리적 처리는 생물학적 처리의 전 단계로서 생물학적 처리로 들어가는 폐수의 오염부하를 최대한 줄이는데 그 목적이 있다.^{1,2)} 특히 물리적 처리에서 응집제에 의한 응집침전법이 가장 많이 쓰이고 있다.³⁾ 따라서 공장의 폐수 특징에 맞는 가장 효율적인 응집제의 선별과 적정 투입량, 최적 응집 조건을 선별하는 작업은 응집침전법의 가장 중요한 요소이다.^{4,5)}

응집제에는 무기 응집제, 유기 응집제, 고분자 응집제 등이 있다.⁶⁾ 각각의 응집제는 종류에 따라 양이온성, 음이온성으로 나뉘며, pH의 변화에 따라 효율이 달라진다.^{7,10)}

따라서 본 실험에서는 무기, 유기, 고분자 응집제의 투입량과 압력을 달리하여 여과실험을 행하여 여과특성을 조사하였다. 또한 여과되는 여액량을 측정하여 여과 속도 및 여과된 여액의 탁도를 측정하여 오염물 제거효율을 측정하였다.

2. 여과 이론

2.1 Ruth의 여과이론

케익내부의 여액흐름에 대해 전기학의 Ohm법칙을 적용, 여과속도 q_1 은 압력차에 비례하고 저항에 반비례하며 일반적으로 케익내의 여액유속은 매우 작으며 점도에 반비례 한다.

$$q_1 = \frac{p}{\mu(R_c + R_m)} \quad (1)$$

p [Pa] : 여과압력 다시 말해 케익과 여재에 의한 압력손실

R_c [1/m] : 케익의 저항

R_m [1/m] : 여재의 저항

Ruth는 R_c 가 케익내의 고형분 질량에 비례한다고 보며, 평균 여과비저항 α_{av} [m/kg]을 다음과 같이 정의했다.

$$R_c \equiv \alpha_{av} \left(\frac{W}{A} \right) = \alpha_{av} w \quad (2)$$

W[kg] : 여과케익의 고형분질량
 w[kg/m²] : 단위여과면적당의 케익 고형분 질량
 A[m²] : 여과면적

Eq.2를 Eq.1에 대입하면,

$$q_1 = \frac{p}{\mu(\alpha_{av}w + R_m)} = \frac{Ap}{\mu(\alpha_{av}W + R_mA)} \quad (3)$$

$$R_m \equiv \alpha_{av} \left(\frac{W_m}{A} \right) = \alpha_{av} w_m \quad (4)$$

W_m[kg] : 여재저항에 의한 가상적 케익에 포함된 고형분 질량
 w_m[kg/m²] : 단위 여과면적당의 가상케익 고형분 질량

2.2 정압 여과 (Constant-pressure filtration)

$$q_1 \equiv \frac{dv}{d\theta} \equiv \frac{1}{A} \frac{dV}{d\theta} = \frac{p}{\mu \alpha_{av}(w + w_m)} \quad (5)$$

$$= \frac{Ap}{\mu \alpha_{av}(W + W_m)}$$

케익고형분질량과 여액량과의 관계로부터

$$W = \frac{\rho s}{1 - ms} V, \quad w = \frac{\rho s}{1 - ms} v \quad (6)$$

m[-] : 케익습건질량비
 s[-] : 슬러리중의 고체질량분율
 ρ[kg/m³] : 여액 밀도

W_m을 형성하기 위한 가상적 여액량을 V_m[m³]으로하면,

$$W_m = \frac{\rho s}{1 - ms} V_m, \quad w_m = \frac{\rho s}{1 - ms} v_m \quad (7)$$

Eq.6을 Eq.5에 대입하면,

$$\frac{dv}{d\theta} = \frac{dV}{Ad\theta} = \frac{p(1 - ms)}{\mu \alpha_{av} \rho s (v + v_m)} \quad (8)$$

$$= \frac{Ap(1 - ms)}{\mu \alpha_{av} \rho s (V + V_m)}$$

정압여과(p=일정)시 평균 여과비저항 α_{av}와 케익습건질량비 m값이 일정하다고 가정하고 윗식을 적분하면 Ruth의 정압여과식이 얻어진다.

$$(V + V_m)^2 = K_v(\theta + \theta_m) \quad (9)$$

$$K_v \equiv 2A^2 p(1 - ms) / \mu \rho s \alpha_{av}$$

K_v[m²/s] : Ruth 정압여과계수,
 θ_m[s] : V_m에 대응하는 가상 여과시간

V/A ≡ v 관계로부터,

$$(v + v_m)^2 = K_v(\theta + \theta_m) \quad (10)$$

$$K_v \equiv 2p(1 - ms) / \mu \rho s \alpha_{av}$$

3. 시료 및 실험 방법

3.1 시료

백상지를 주로 생산하는 K제지 주식회사의 폐수를(폐수처리장으로 들어가기 전의 종합폐수) 채취하여 사용하였다.

이 폐수 100mL에 0.01g, 0.03g, 0.05g의 네 가지 응집제(FeCl₃, Alum, CaCl₂, polymer)를 각각 첨가하여 시료를 제조하였다.

3.2 실험 장치

Air compressor와 Air tank를 설치하여 압력을 생성시켰으며, 각 실험에 필요한 압력은 Air filter를 거쳐 압력 조절기를 통하여 주입된다. 여과기는 외부에서 내부의 관찰이 가능한 아크릴제 여과기를 사용하였다. 또한 여과시간 변화에 따른 여액량을 측정하기 위해 Timer나 전자

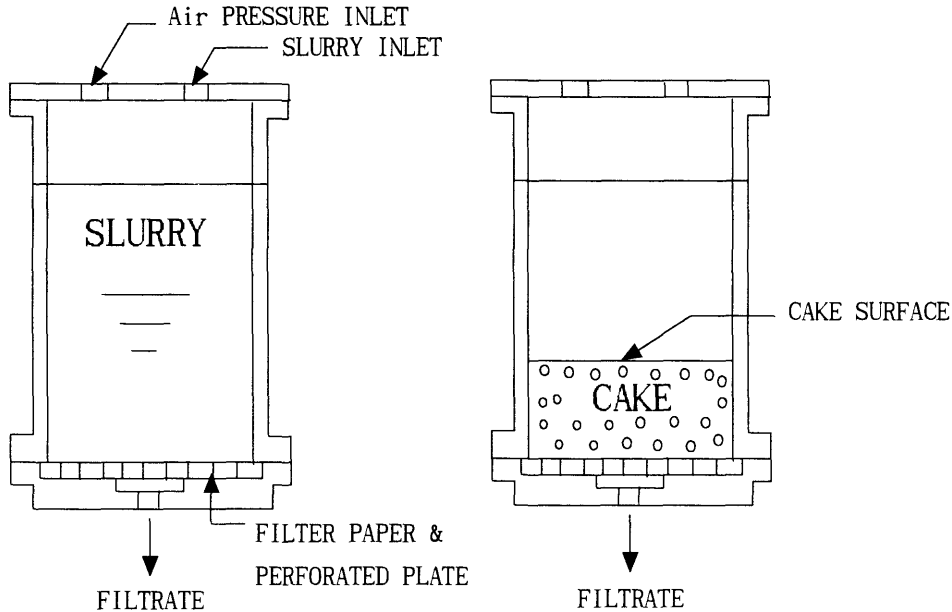


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

저울 및 프린터를 설치 사용하였다.

여과기를 살펴보면 위쪽에 슬러리 투입구와 압력 투입구가 있고 아래부분에 필터를 올려놓기 위한 천공판이 있다. 그리고 아래의 출구로 여과된 여액이 빠져나가게 된다.

3.3 실험 방법

- 1) 각 시료를 Jar Tester로 급속교반 (150ppm)으로 5분간 교반시키고, 완속교반(50rpm)으로 30분간 교반시킨다. 급속교반은 응집제가 고루 분산될 수 있도록 하기 위함이고 완속교반은 응집제가 Floc을 형성시킬 시간을 주기 위해서다.
- 2) 천공판 위에 무게를 측정된 GF(1 μ)를 천공판 위에 공기가 들어 가지 않도록 올려 놓는다.
- 3) 시료를 시료 투입구를 통해서 잘 저으면서 투입한다.
- 4) 시료 투입구를 잠근다.
- 5) Pressure regulator로 필요한 압력을

조절한다.

- 6) 압력 투입구로 압력을 주입 시키고 동시에 시간 간격에 다른 무게 측정기를 작동시키고 Timer로 시간을 측정한다.
- 7) 여과 종말점을 잘 확인하여 압력의 투입을 중단하고 여과종료 시간을 측정한다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 여과실험의 기구 및 분석

여과는 Cake의 두께와 비례하여 진행되는데 일정한 시간에 일정한 Cake가 비례하여 생긴다. 그리고 이 Cake은 여재로서 작용함으로써 액체로부터 고형분을 분리해서 청정한 여액만을 투과시키는 작용을 한다.

Fig.2~4까지는 FeCl₃를 0.03g 첨가하여 49kPa의 압력에서 여과실험을 한 것이다. Fig.2에서는 시간의 증가에 따른 여액량을 나타내고 있다. 여과가 진행됨에 따라서 그 여액량은 일정 순간까지 고른 증가를 보인다. 그 이후로는 그 양

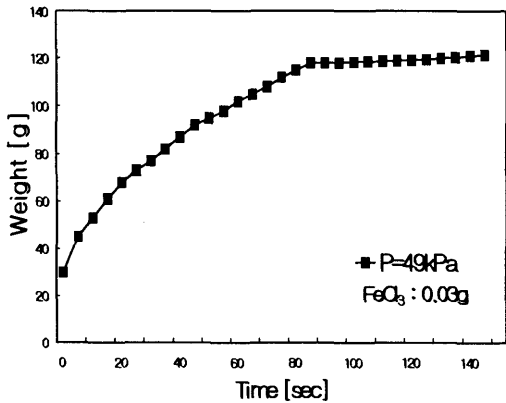


Fig.2 Relation between time and weight

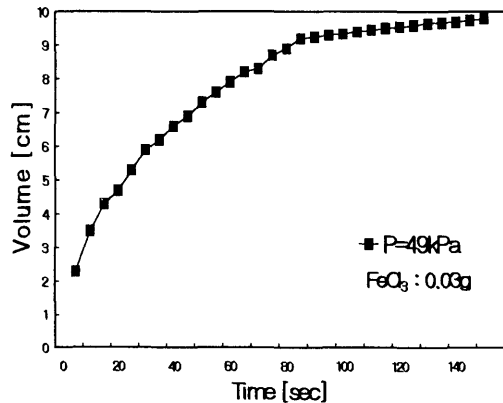


Fig.3 Relation between time and volume

의 증가가 없어지게 되는데 이것은 여과가 진행됨으로서 원액에 포함된 고형분은 Filter 위에 Cake을 형성하고 나머지 청등한 여액은 여재를 통과하여 투과되기 때문이다.

Fig.3은 시간에 따른 여액의 부피를 나타내는 것인데 이것은 무게를 여과기의 단면적으로 나누어 계산한 것이다. 여기서도 Fig.2와 마찬가지로 어느점까지는 일정하게 증가하고 여과 종말점을 지나면 부피의 증가가 없어짐을 알 수 있다.

여과속도는

$$* V_m = (V_1 + V_2)/2 \dots\dots\dots (V_x + V_{x+1})/2$$

$$* Dv/Dt = (w_1/a_1)/t_1 \dots\dots\dots (w_x/a_x)/t_x$$

V = volume, t = time(sec), w = weight, a = 단면적

V_m 값은 여과시간의 변화와도 비례하기 때문에 Dt/Dv 값(여과속도)이 시간이 증가함에 따라서 감소된다. Dv/Dt 값의 역수 값을 취하여 Fig.4에 나타내었다. 이 그래프에서 보면 그 값이 일정한 간격으로 증가하다가 어느 지점에 이르면 급속하게 증가하는 지점이 있는데 그 지점이 바로 여과 종말점이다.

4.2 일정한 압력과 응집제 주입에 따른 여과 특성

Fig.5에서는 98kPa의 압력과 0.03g의 응집제를 주입하였을때의 시간의 변화에 따른 여액량을 나타낸 그래프이다.

위와 같이 동일한 조건에서 여과 실험을 하였을

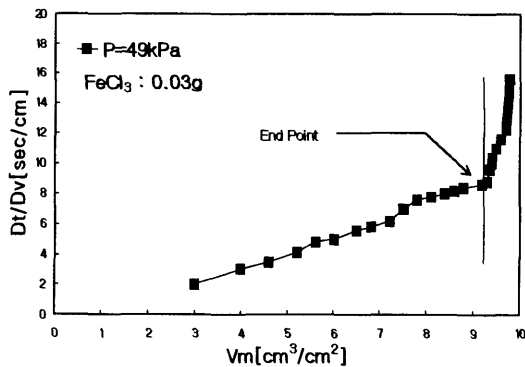


Fig.4 Relation between V_m and Dt/Dv

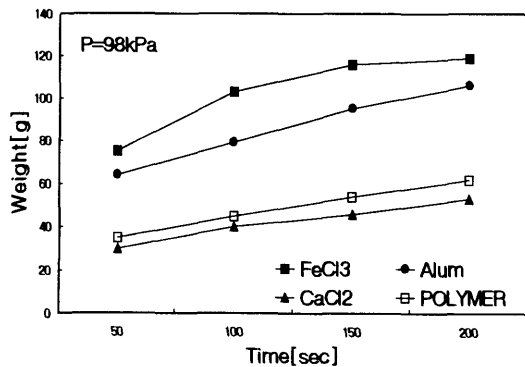


Fig.5 Variation of the time and weight with the type of coagulant

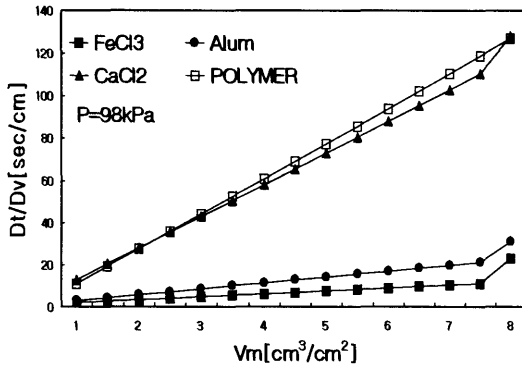


Fig.6 Variation of the Vm and Dt/Dv with the type of coagulant

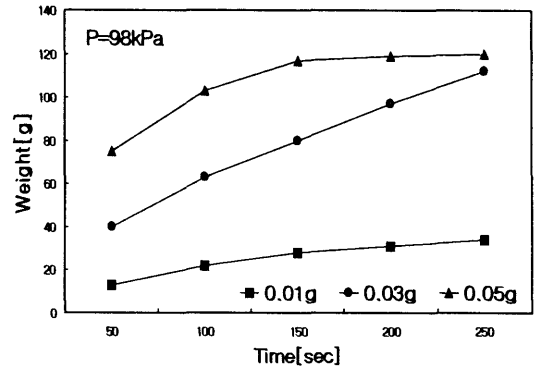


Fig.7 Variation of the time and weight with the weight of coagulant

때 일정 여과시간에서 여액량이 가장 큰 것은 FeCl₃이다. 즉 FeCl₃는 타 응집제에 비하여 응집의 효과가 크을 알 수 있다. CaCl₂에 비하면 거의 2.5배의 응집효과가 큰 것이다.

Fig.6에서 보면 Fig.5의 반대 순으로 그래프가 형성되는데 이것은 낮게 형성될수록 여과 기간이 짧아짐을 뜻하는 것이므로 FeCl₃가 가장 여과가 빨리 됨을 알 수 있다. 즉 Fig.5에서와 마찬가지로 FeCl₃가 가장 여과가 잘 됨을 알 수 있다.

4.3 응집제 주입량에 따른 여과특성

Fig.7은 0.01g, 0.03g, 0.05g의 응집제를 첨가하고 일정한 압력p(98kPa)에 따른 FeCl₃의

여과특성을 나타낸 그래프이다. 응집제의 주입량이 많아질수록 단위 시간당 여과되는 여액량이 많아짐을 알 수 있다. 현탁액에 응집제가 첨가되면 Flocc이 형성되어 침전성이 좋아지고 탈수성도 좋아지게 된다. 즉 응집제 사슬의 가교결합에 의해 분산된 콜로이드 입자들이 응집이 되는 것이다. 그러므로 어느 정도 응집제의 양이 증가되어 첨가될수록 응집의 효과가 커지며 자연 탈수도 좋아지게 된다. Fig.7에서도 응집제의 양이 가장 많은 0.05g일 때 가장 여과가 잘 되었다. 같은 단위시간에 여액량을 보면 0.05g일 때가 0.01g일 때보다 4배 정도 여액량이 많음을 알 수 있다. Fig.8에서 보면 Fig.7에서와 반대 방향으로 그래프가 형성되는데 이 역시 가장 낮게 형성된

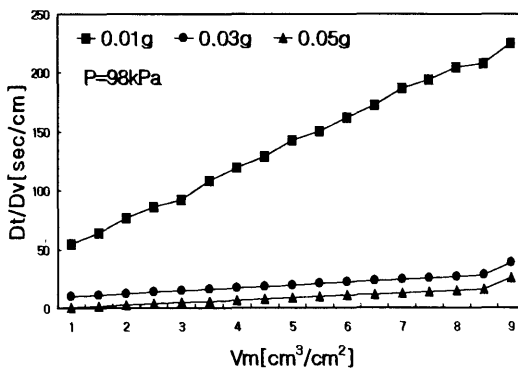


Fig.8 Variation of the Vm and Dt/Dv with the weight of coagulant

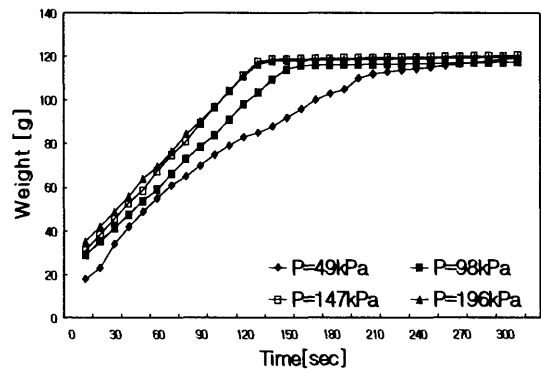


Fig.9 Variation of the time and weight with the difference of pressure

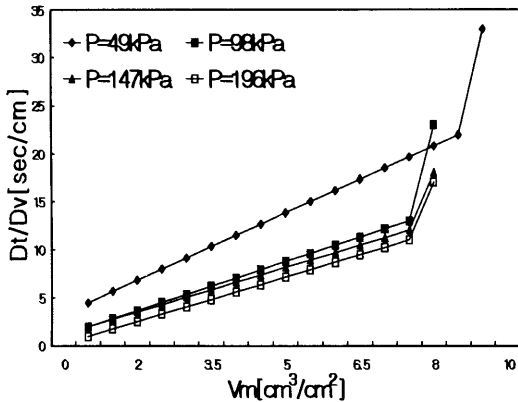


Fig.10 Variation of the Vm and Dt/Dv with the difference of pressure

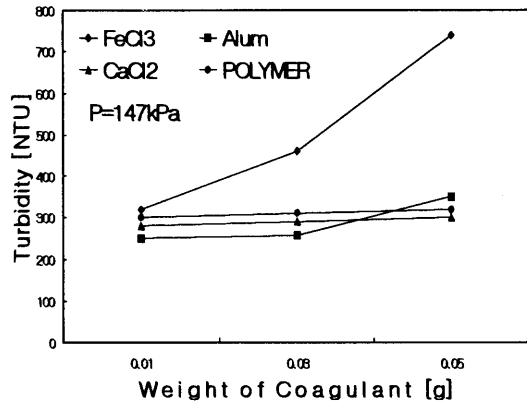


Fig.11 Variation of the turbidity with the weight of coagulant

0.05g이 가장 여과가 빨리되고 여과시간도 가장 짧음을 알 수 있다. 또한 여과가 끝나는 여과 종말점이 낮게 형성된다.

4.4 압력의 변화에 따른 여과 특성

Fig.9에서는 FeCl₃ 0.03g을 주입하고 압력을 49, 98, 147, 196kPa로 변화 시키면서 여과하였다. 같은 응집제 주입량에서 압력이 높을수록 단위 시간당 여액량이 많아지는 것을 알 수 있다. (49kPa와 98kPa의 압력이 가장 큰 차이를 보임) 압력이 높아 질수록 분산된 입자가 빨리 침전되고 여과도 빨리 된다. Fig.10도 역시 마찬가지로 압력이 증가 할수록 여과 종료시간이 짧아짐을 알 수 있다.

4.5 여과 특성에 따른 탁도의 변화

탁도는 수중의 현탁물질들에 의해서 빛이 흡수되거나 산란되는 정도를 나타내는 것이다.

Fig.11에서 볼 수 있듯이 응집제의 주입량이 많아질수록 탁도가 증가한다. 원응집제의 색도에 영향을 받아 각 종류간의 응집제도 차이를 나타낸다.

5. 결론

- 1) 네 가지 응집제(FeCl₃, Alum, CaCl₂, Polymer)중에서 가장 여과 효과가 좋은 것은 단위시간당 여액량이 많고 여과속도가 빠른 FeCl₃였다.
- 2) 응집제의 주입량이 많아 질수록 여액량이 많고 여과속도가 빠르다.
- 3) 일정한 조건하에서 압력이 높아지면 여액량이 많아지고 여과속도가 빨라진다.
- 4) 여과를 시켜주면 여과전의 탁도에 비해 약 80~90%의 탁도가 제거된다.

이상의 결과로부터 여러 가지 조건의 변화를 주면서 본 실험을 한 결과 응집제의 증가 및 압력이 높아질수록 여과효율이 증가함을 알 수 있었으며, 폐수 부하량의 분석에 따른 결과와 여과 속도 및 여액량과의 관계로부터 최적응집제의 선택과 주입량등의 결정이 가능하다고 사료된다.

6. 인용 문헌

1. Allan, M. Springer, 1993, Industrial Environmental Control Pulp And

- Paper Industry Second Edition, p203.
2. L.D. Benefield, et al. 1982, Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment Prentice Hall Inc, p208.
 3. Unno. H., H. Muraiso and T. Akehata, 1983, Water Res., 17, p149.
 4. R.D. Latterman, et al. 1973, Influence of Rapid-Mix Parameters on flocculation. J. AWWA 65, 11, p716.
 5. J. R. Bratby, 1981, Optimizing Coagulants and flocculant Aids for Settling J. AWWA 6, p312.
 6. R. S. Ramalho, 1983, Introduction to Wastewater Treatment Process, Second Edition, p127.
 7. Kim, J. H. 1991, J. of KSEE Vol. 13, No. 4, p209.
 8. G. M. Tillman, 1992, Primary Treatment at Wastewater Treatment Plants. p.19.
 9. Cho, J. H., 1989, J. Korea TAPPI 21(4), p16.
 10. Chung. J. K., 1983, 환경공학개론, 청음사, 서울 p.73.