

# 제지 슬러지 재활용에 의한 압착 탈수

조준형<sup>†</sup> · 조정원

(2004년 7월 2일 접수: 2004년 10월 29일 채택)

## Study on the Expression Dehydration by Recycling of Paper Sludge

Jun-Hyung Cho<sup>†</sup> and Jung-Won Cho

(Received on July 2, 2004: Accepted on October 29, 2004)

### ABSTRACT

Expression-deliquoring tests using three types of paper sludges (tissue, newsprint, and paperboard) as deliquoring agent were carried out in order to investigate the effects of sludge dosage and pressure on the expression-deliquoring of slurry. The addition of deliquoring agent causes expression-deliquoring of slurry to be faster than would be the case without the deliquoring agent. In case of the tissue sludge, the highest compression rate was achieved when 5% of deliquoring agent was added, while in cases of the newsprint and the paperboard sludge, 7%. Compression rate was increased as pressure increases. Porosity was decreased as pressure increases. The lowest porosity was observed when 5% of tissue sludge was added.

When compared the weight of cake where deliquoring agent was not added and the weight of cake that was fastest expression-deliquoring, there was about 17.5% of the weight reduction

*Keywords: sludge, expression-deliquoring, compression rate, porosity, weight*

## 1. 서론

국내 제지 공장에서 발생하는 제지 슬러지는 지속적인 종이 시장의 증가로 인하여 매년 그 발생량이 증가하고 있는 추세이며<sup>1)</sup>, 현재 대부분의 슬러지들은 소각이나 매립의 방법으로 처리되고 있거나 소각시 발생하는 대기오염 문제와 매립시 수질

및 토양오염 문제가 발생되어 슬러지 처리 방법에 대해서 많은 연구가 필요한 시점이다.<sup>2)</sup>

슬러지 처리 공정상에서 탈수 공정은 비용이 클 뿐만 아니라 전체 공정 중에서 중요한 공정의 하나이다.<sup>3,4)</sup> 폐슬러지는 일부 재활용되는 것을 제외하고는 슬러지 무게에 따라 계산되어 처리되는데<sup>5)</sup> 이에 따라 처리업체에서는 슬러지의 부피 및 중량

• 강원대학교 산림과학대학 제지공학과 (Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200 701, Korea)

† 주저자(Corresponding author): E-mail: jhcho@kangwon.ac.kr

을 최대한 줄이는 것이 최대의 관심사이다.<sup>6,7)</sup> 그래서 본 연구에서는 경제적 가치가 없이 폐기되어 버리는 제지용 폐슬러지를 활용하여 환경소재로 사용될 수 있는 기능성을 부여함으로써 폐자원의 효율을 극대화할 수 있는 방법에 대해 검토하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시 재료

본 실험에 사용된 슬러지는 화장지를 생산하는 G제지회사, 신문지를 생산하는 P제지회사, 판지를 생산하는 J제지회사의 슬러지를 채취하여 사용하였으며 슬러지의 성분은 Table 1과 같다.

**Table 1. SS, VSS and FSS percent**

	TSS(g)	VSS(g)	FSS(g)
Tissue paper	100	32.63	67.37
Newsprint paper	100	37.85	62.15
Board paper	100	35.98	64.02

TSS: Total suspended solid  
VSS: Volatile suspended solid  
FSS: Fixed suspended solid

### 2.2 실험 방법

#### 2.2.1 첨가제 · 슬러리 제조

지종별(화장지, 신문지, 판지) 슬러지를 건조시킨 후 willy mill로 분말화 시켰으며 과립기 NMG

1L을 이용해 슬러지 분말을 과립화 모양으로 만들어서 함수율을 측정된 후 기밀용기에 보관하여 첨가제로 준비하였으며, 슬러리는 화장지 슬러지로 5%의 농도로 슬러리를 제조하여 준비하였다.

#### 2.2.2 실험 장치

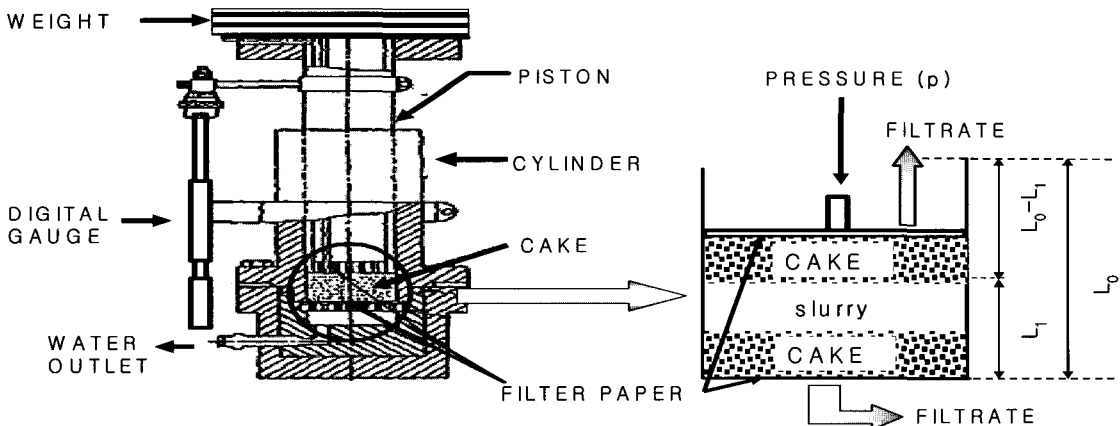
실험 장치의 개요를 Fig. 1에 나타내었다.

실험 장치의 실린더 안에 5%농도의 슬러리 100 mL를 주입한 후 각각의 지종별(화장지, 신문지, 판지) 슬러리로 만든 과립형 슬러리를 첨가하여 시간에 따른 높이를 측정하였다. 이때 12.9 kg, 25.8 kg, 38.7 kg의 추를 올려놓아 압력을 49~147 kPa로 변화를 주면서 측정을 실시하였으며, 디지털 게이지로 슬러리 높이를 시간변화에 따라 측정하면서 게이지와 연결된 프린트로 케이크의 두께 변화값을 측정하였다.

실린더안의 슬러리는 압력을 받아 상·하의 배수면을 통해 수분이 빠져나가면서 케이크가 형성되며 여과 기간을 거쳐 압착이 이루어지면서 케이크가 형성되게 된다.

#### 2.2.3 이론 배경

케이크 여과에 관한 이론적 연구는 Shirato, Tiller에 의해 압축성 여과케이크 내부에서 발생하는 Squeezing action에 의해 내부의 여액유속 및 입자이동속도분포를 고려한 근대여과이론<sup>8)</sup>이 제출되었다. 일반적으로 슬러리의 여과조작에 의한



**Fig. 1. Schematic diagram of expression experimental apparatus.**

여과기간은 슬러리의 여과케이크를 형성하여 압밀이 시작되면 여과는 종결되어지며,<sup>9)</sup> 여과 기간내의 여과속도식은 Ruth의 여과방정식을 사용하여 Eq. [1]로 나타낸다.

$$dV_f / d\theta_f = P(1-ms) / \mu\alpha_{av}\rho_s (V_f+V_m) \quad [1]$$

일정한 압력하에서 여과액 체적  $V_f$ 와 여과시간  $\theta$ 와의 관계를 Eq.[1]을 적분하고 정압여과계수  $K$ 를 사용하여 Eq.[2]로 표현되어 질 수 있다.

$$(V_f+V_m)^2=K(\theta_f+\theta_m) \quad [2]$$

여과액 체적  $V_f$  대신에 일정한 압력하에서 혼합물 두께  $L$ 을 사용하여 Eq.[2]를 다르게 표현할 수 있다.

$$(L_0-L)+L_m= i\{K(\theta_f+\theta_m)\}^{1/2} \quad [3]$$

여기서  $L_0$ 는 혼합물의 초기두께이고,  $i$ 는 배수면의 수이며,  $L_m$ 은 여재 저항을 고려한 여재액 체적  $iV_m$ 과 같다.

Eq.[3]으로부터

$$(U_f+U_m)=(T_f+T_m)^{1/2} \quad [4]$$

따라서

$$U_f \equiv (L_0-L)/(L_c-L_m) \quad [5]$$

$$U_m \equiv L_m/(L_0-L_m) \quad [6]$$

$$T_f \equiv K_w\theta_f^2/\omega^2 \quad [7]$$

위 식을 이용하여 여과계수  $K_w$ 를 다음과 간단한 형태로 나타낼 수 있다.

$$K_w = \{2P\rho_s/\mu\alpha_{av}\rho_s(1-ms)\} \quad [8]$$

위의 식에서  $s$ 는 혼합물의 농도,  $\mu$ 는 여액 점도,  $\alpha_{av}$ 는 평균여과비 저항,  $\rho_s$ 는 고형물의 진밀도이다.

Eq.[5] 에 정의된  $L_1$ 지점까지 두께  $L$ 이 감소하게 되면 여과기간은 종료되고, 그 이후에는 압밀이론

이 적용되는 압착기간이 시작되어진다.<sup>10)</sup>

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 첨가제 투입량에 따른 압착

슬러리에 과립형으로 만든 지중별 슬러지를 농도 대비 2, 5, 7, 10 %로 변화를 주어 압착 진행도를 측정하였다.

Fig. 2는 시간변화에 따른 두께변화를 나타낸 그림이며, 여과 기간과 압착 기간으로 구별되는 것을 알 수 있다. Figs. 3-5는 슬러리 농도 5%에 압력 49 kPa에서 각각의 지중별로 만들어진 과립형 탈수제를 투입량에 따라 혼합물의 압착 탈수 진행도를 나타낸 것이다.

화장지 5%, 신문지 7%, 판지 7%에서 가장 빠른 압착 탈수 진행도가 나타났다.

#### 3.2 압력에 따른 압착 실험

압력에 따른 압착 탈수 특성은 Fig. 6과 같이 나

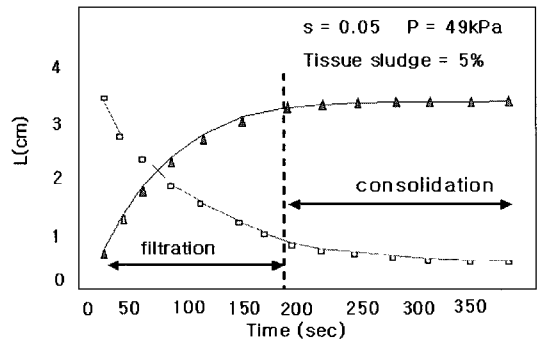


Fig. 2. Thickness of mixture L vs. Expression.

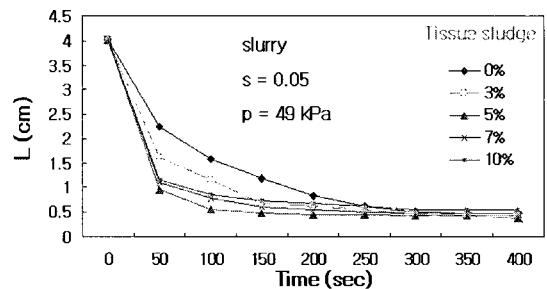


Fig. 3. Effect of thickness of additional dosage on tissue cake.

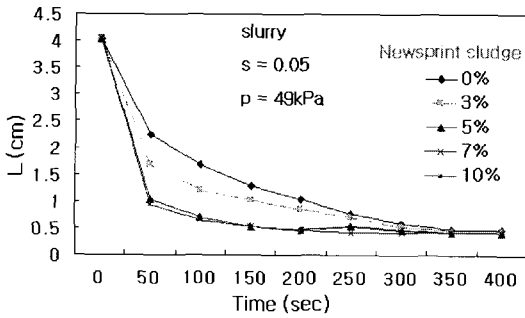


Fig. 4. Effect of thickness of additional dosage on newsprint cake.

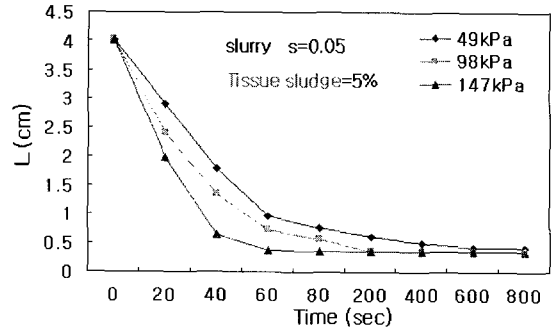


Fig. 6. Effect of thickness of each pressure on tissue cake.

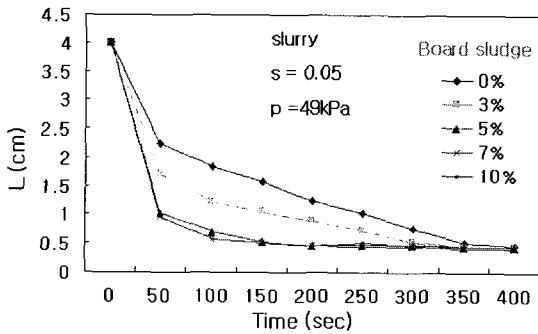


Fig. 5. Effect of thickness of additional dosage on board cake.

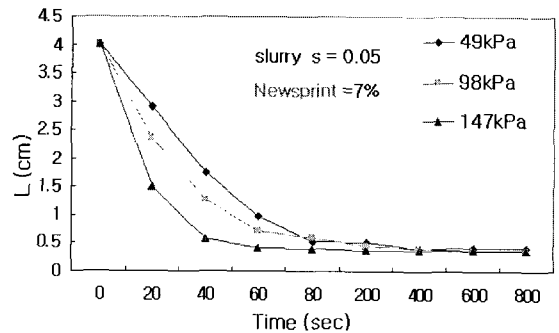


Fig. 7. Effect of thickness of each pressure on newsprint cake.

타났다.

화장지 슬러지로 만든 첨가제 투입량을 5%에서 압력 49, 98, 147 kPa로 변화를 주면서 여과 압착 특성을 파악한 결과 147 kPa의 압력을 주었을 때 가장 빠른 압착 탈수가 이루어졌다. 이것은 압력이 커질수록 압착이 잘 이루어진다는 것을 알 수 있다. 그러나 일정한 시간이 지나면서 압력에 의한 압착의 차이값들은 점차로 줄어드는 것을 볼 수 있다.

Fig. 7은 신문지 슬러지 첨가율을 7%로 주입하고, 49-147 kPa의 압력변화에 따른 압착 탈수 진행도를 나타낸 것으로 압력이 증가함에 따라 압착 탈수가 빠르게 진행되는 것을 알 수 있었다.

### 3.3 압착에 따른 압밀비

Fig. 8은 시료에 첨가제 투입량을 변화시켜 구한 압밀비  $U_c$ 를  $i/\theta_c/\omega_0$  대해 표시하였다. 실선은 fitting method에 의해 결정된 수정압밀계수값을

이용한 수치이며 플롯은 실측값이다. 슬러지 첨가량이 5%일 때 가장 빠른 압착이 이루어지는 것을 알 수 있겠다. Fig. 9는 첨가제 량을 일정하게 하고 압력의 변화를 주어 측정한 그래프이다. 압력이 클수록 압밀비가 증가한다는 것을 알 수 있겠다.

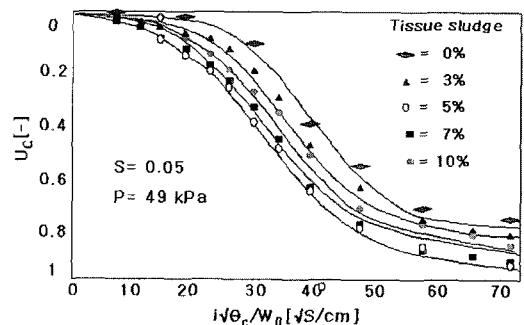


Fig. 8. Effect of  $U_c$  of additional dosage on tissue cake.

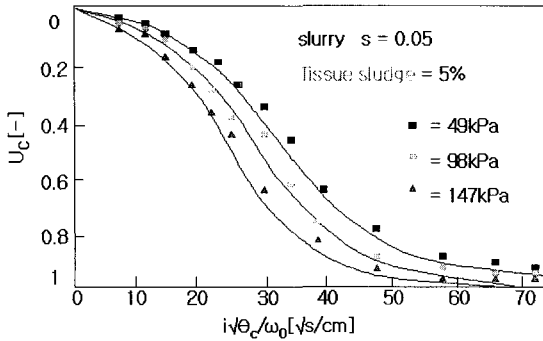


Fig. 9. Effect of  $U_c$  of each pressure on tissue cake.

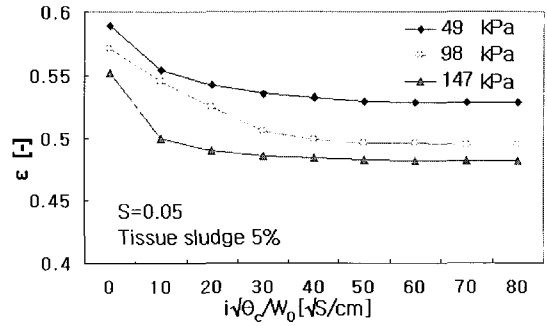


Fig. 11. Effect of each pressure on porosity of cake.

### 3.4 첨가제율에 따른 공극률

첨가제를 첨가함에 따라 공극률의 변화가 생기는데, 초기 상태의 압밀 기간에는 케이크 내의 공극률 값이 점차로 감소하나, 압밀 평형 상태에 이르게 되면 거의 변화가 없게 된다. 공극률이 감소한다는 것은 케이크 내부에 존재하던 수분이 빠져 나간다는 것을 의미하므로, 공극률과 함수율과는 서로 비례관계에 있다고 볼 수 있다.

Fig. 10은 주입 첨가제 슬러지량을 변화시키고 압착시간에 따른 공극률 변화 값을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 화장지는 5%, 신문지와 판지는 7% 첨가 시의 공극률 값이 첨가하지 않은 경우와 비교하여 화장지와 판지는 14%, 신문지는 12%의 공극률이 적게 나타났다.

Fig. 11은 압착 압력변화에 따른 공극률 변화값을 나타내었다. 압착압력이  $P=147$  kPa의 경우 가장 낮은 공극률을 나타내었다.

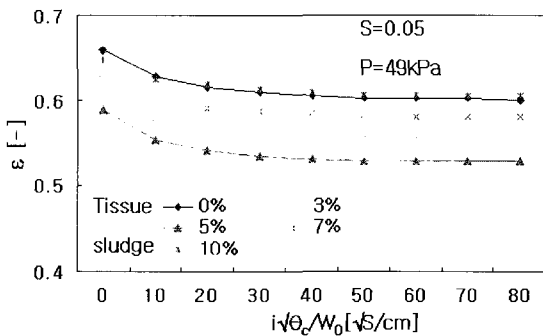


Fig. 10. Effect of additive dosage on porosity of cake.

### 3.5 압착 건조후 케이크

압착 탈수 진행이 완료된 후 생성된 케이크의 무게를 Fig. 12에 나타내었다.

화장지 슬러지로 만든 탈수축진제를 첨가하지 않은 경우와 탈수축진제를 첨가했을 시 생성된 케이크의 무게를 비교해 본 결과 첨가하지 않았을 때의 무게보다 가장 압착 탈수 진행이 잘 이루어진 케이크의 무게가 17.5% 감소한 것을 알 수 있었다.

## 4. 결론

지종별 슬러지를 첨가제로 만든후 첨가량 변화와 압력 변화에 따른 압착 탈수 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 첨가제의 투입량에 따라 슬러리가 탈수되면서 압착이 진행되는데, 화장지는 5%, 신문지와 판지는 7%에서 압착진행도가 빠르게 나타났다.

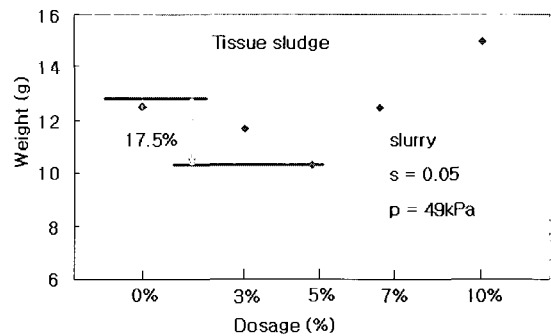


Fig. 12. Sludge weight vs. additional dosage.

2. 첨가제의 투입량을 일정하게 하고 압력을 변화시키면서 압착 진행 실험을 한 결과 압력이 증가함에 따라 압착 진행도도 증가하는 것으로 나타났다.

3. 첨가량 변화에 따른 압밀비 실험을 한 결과 화장지 첨가제 5%를 첨가한 경우 압밀비가 가장 높게 나타났으며 압력이 클수록 압밀비가 증가하였다. 화장지첨가제를 투입한 경우가 신문지나 판지 첨가제를 투입한 경우보다 압밀비가 높게 나타났다.

4. 공극률은 압력이 증가함에 따라 감소되는 경향이 나타났다. 화장지 첨가제 5%를 첨가했을 시 가장 낮은 공극률을 보여줬다. 공극률은 탈수성이 커질수록 작아지는 경향을 나타내기 때문에 공극률의 변화를 통해 조건별 슬러지의 탈수성을 파악해 볼 수 있다.

이와 같은 결과를 통해 제지 슬러지를 첨가제로 이용하여 압착하였을 시 탈수성이 증가되는 것을 알 수 있었으며 제지 슬러지 탈수 촉진제로서 뿐만 아니라 기타 산업 슬러지 탈수촉진제로서도 사용될 수 있을 것이라 사료된다.

## 인용문헌

1. Cho, J. H., Pulp and paper wastewater treatment technology, Kangwon national university press, pp.9-11 (2000).
2. Shirato, M., Murase, T., Kato, H. and Fukaya, S., Studies on the expression of slurries under constant pressure, Kagaku Kogaku, 31, p.1125 (1967).
3. Kim, N. J., Study on the determination of optimum conditions for the pretreatment of sludge dewatering, Journal of Korean Society of Water and Wastewater, pp.1-3 (1998).
4. Lee, S. H., and Lim, T. J., and Cho, J. H, Korea TAPPI 34(2):95 (2002).
5. Tiller, F. M., and Cooper, H. R., AIChE Journal, p.595 (1960).
6. Choi, E. S. High efficiency sludge treatment technology, Ministry of Environment, pp.1-3 (1999).
7. Coackley, P. C., Journal of Soc. Chem., Ind., p58. (1959).
8. Shirato, M., Cake filtration a technique for evaluating compression permeability data at low compressive pressure, Filtration & Separation, 20, p.404 (1983).
9. Cho, J. H. Studies on Expression Operations of Filter Cakes. Wood Science and Technoogy 18(1) (1990).
10. Ruth, B. F., Correlation filtration theory with industrial particle, Industrial and Engrg. Chemistry, 38, pp.564-571 (1946).