

## 안료 슬러지 減量化를 위한 열필터프레스 技術에 관한 研究<sup>†</sup>

李靖彦 · <sup>†</sup>李在堉\*

釜山大學校 産學協力中心大學, 釜山大學校 機械工學科\*

## A study on the Thermal Filter Press for the Reduction of Pigment Sludge<sup>†</sup>

Jung-Eun Lee and <sup>†</sup>Jae-Keun Lee\*

Industrial Liaison Innovation Cluster, Pusan National University

### 요 약

안료 생산 공정의 슬러지로부터 물을 제거하는 감량화 공정은 제품의 질 향상, 건조경비 절감 그리고 안료 운송경비 절감 등의 다양한 측면에서 매우 중요하다. 안료입자는 크기가 5  $\mu\text{m}$  이하로 미세하여 기계적인 힘에 의한 탈수가 어렵다. 미세입자의 탈수율 향상을 위해 기존의 필터프레스 탈수장치의 압착판 사이에 고정 열판을 장착하고, 열수를 고정열판에 공급하여 케이크 층에 열을 공급하여 슬러지 탈수하는 열필터프레스 탈수장치를 개발하였다. 이 장치를 통해 압착공정의 유무, 탈수시간 변화와 같은 변수 실험을 통해 안료슬러지에 대한 탈수율 평가하였다. 그 결과 열 탈수 시 압착공정에 의한 탈수율이 비압착공정에 비하여 약 20% 증가하였다. 압착공정이 있는 경우, 탈수시간을 70분과 80분으로 하여 수행한 결과 탈수시간이 80분으로 길게 하였을 때, 함수율 46.7 wt%에서 43.9 wt%로 감소하였고, 탈수속도는 4.0DS  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 에서 3.5DS  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 으로 감소한 것으로 분석되었다. 열 탈수는 케이크 층으로부터 액체의 배출을 원활히 할 수 있어 장치의 여과포 막힘 현상(Clogging)을 최소화 할 수 있음을 관찰하였다. 따라서 본 연구를 통해, 압착공정이 탈수율 향상에 효과적이며, 탈수시간이 80분으로 길게 할 경우, 저함수율 탈수 케이크를 생산할 수 있지만 탈수속도의 감소로 인한 생산량 저감을 초래할 수 있다. 즉 본 연구에서 개발한 열필터프레스 탈수장치를 안료와 같은 미세입자가 함유된 슬러지에 적용한다면 보다 효과적으로 탈수케이크를 생산 할 수 있을 것으로 분석된다.

주제어 : 안료 슬러지, 탈수 케이크, 열필터프레스, 압착공정, 탈수시간, 탈수율

### Abstract

Dewatering process to remove water from pigment sludge was important in the diverse aspects of the improvement of product quality, curtailment of the drying cost and the transportation. It was difficult to dewater pigment particles with the mechanical forces because the size was fine under 5  $\mu\text{m}$ . Thermal filter press dewatering equipment composed of squeezing plate and a fixed heating plate was developed to improve the dewaterability of pigment the sludge as supplying the heat from the fixed heating plate to the cake. Several tests that estimate the dewaterability for pigment sludge as with or without squeezing process and the difference of dewatering time was conducted with this equipment. Dewaterability of thermal dewatering under squeezing process was increased about 20% compared with non squeezing process. Under squeezing process, thermal dewatering tests changing dewatering time with 70 and 80 minute were conducted respectively. The water content of cake was more reduced at dewatering time of 80 minute compared with 70 minute, and dewatering velocity was also decreased, which caused the productivity of thermal filter press to drop. It was observed that clogging of filter cloth didn't almost occur because the liquid was discharged from cake layer easily. In this research, it was resulted that the squeezing process and long dewatering time were effective to improve the dewaterability of pigment sludge. So, this thermal filter press equipment was useful for dewatering the fine particle sludge like pigment.

**Key words :** pigment sludge, thermal filter press equipment, squeezing process, dewatering time, dewaterability

<sup>†</sup> 2008년 11월 17일 접수, 2009년 5월 6일 수리

\* E-mail: jklee@pusan.ac.kr

## 1. 서 론

안료 생산공정에 있어서 불과 입자가 혼합되어 있는 슬러지 상태로부터 물을 제거하는 감량화 공정은 제품의 질 향상, 건조경비 절감 그리고 안료 운송경비 절감 등의 다양한 측면에서 매우 중요하다. 불과 입자를 분리하는 탈수장치는 감량화를 위한 중요한 장치이다. 현재 안료 공정에서 주로 사용하고 있는 감량화 장치로는 데칸터, 진공탈수기, 필터프레스 탈수장치 등을 사용하고 있는데, 이들 탈수장치는 원심력, 진공압 그리고 압착력 등과 같이 기계적인 힘을 이용하여 탈수한다. 안료 입자는 크기가  $5\ \mu\text{m}$  이하의 미세입자들로 구성되어 있어 이와 같은 기계적인 힘으로 탈수할 경우 탈수효율이 낮아 저함수를 탈수 케이크를 생산하기 어렵다. 미세입자가 케이크화(Cake Formation)될 때, 케이크내에 형성되는 기공의 크기가 작아 케이크 내부로부터 액체의 배출이 어렵기 때문이다.<sup>1)</sup> 안료 슬러지로부터 형성된 탈수케이크의 미세기공으로부터 액체를 원활하게 배출하기 위해서는 기존의 기계적 힘에 의한 탈수로는 한계가 있다. 본 연구는 안료 슬러지의 기존 기계적인 탈수 방법에 비해 효율성이 우수한 열 탈수기술을 필터프레스 탈수장치에 적용한 열 필터프레스 탈수 기술을 개발하고자 하는 것으로, 케이크 층에 기계적인 힘 외에 열적 힘을 가해 탈수 효율을 향상시키고자 하는 연구이다. Peuker를 비롯한 연구자들은 열탈수 메커니즘을 규명하는 다양한 작업을 수행한 바 있으며, 실제 기계탈수에 비해 열 탈수가 효율성이 높음을 파악한 바 있다. 하지만 미세 입자에 대한 열 탈수 실험, 그리고 열 탈수를 필터프레스 탈수장치에 적용하는 방안에 대한 연구는 수행하지 않았다.<sup>2,3,4)</sup>

이정언은 Bench Scale 열탈수/기계탈수 비교 실험장치인 Piston형 탈수장치를 구축하여 미세입자인 안료 슬러지의 탈수를 파악하는 연구를 수행한 바 있다.<sup>5)</sup> 입자의 크기가  $5\ \mu\text{m}$  이하인 안료 미세 입자의 경우 기계식 탈수 방법은 탈수율이 낮아 감량화를 위한 공정에 적용하는데 효율적이지 못하며, 열 탈수 방법이 기계탈수에 비하여 탈수율이 우수하다는 사실을 증명하였다.<sup>6)</sup> 기존의 연구를 통해, 열 탈수는 기계 탈수에 비해 함수율이 약 30% 감소하였으며, 탈수 속도는 10% 증가하였다. 통상 탈수율은 함수율과 탈수 속도에 의해 결정되는데, 함수율을 낮추면 탈수속도가 감소하고, 함수율을 높이면 탈수속도가 증가하는 이율배반적인 관계가 있지만, 기계탈수와 비교한 열 탈수에서는 함수율이 감소

함과 동시에 탈수속도가 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 탈수성(Dewaterability)이 향상되었음을 의미한다.<sup>7)</sup>

Piston형 탈수장치를 이용한 실험 결과를 바탕으로, 필터프레스에 열판을 장착한 열 필터프레스 탈수장치(Pilot Scale)를 구축하여 열탈수와 기계 탈수를 비교하였다. 본 연구는 실제 현장에서 적용 가능한 시스템 개발하기 위해 안료 슬러지 감량화를 위한 열 필터프레스 탈수장치 구축 성능평가에 대한 연구를 수행함으로써, 안료 슬러지 감량화 공정에서의 적용 가능성 여부를 평가한 것이다. 열 필터프레스 탈수장치는 기본적으로 필터프레스 탈수장치에 열 판 및 부속 장치를 장착하여 구축한 것으로, 탈수 공정은 슬러지를 장치에 공급하는 공급공정(Sludge Feeding Process), 챔버의 슬러지를 압착하는 압착공정(Sludge Squeezing Process) 그리고 케이크 제거공정(De-caking)으로 구성되어 있다.<sup>8)</sup> 열 필터프레스 탈수장치의 탈수 성능을 평가하기 위해 슬러지의 온도를 고정된 상태에서 탈수시간, 케이크 압착시간 등을 변화시킴에 따른 탈수율 변화를 분석하였다. 본 연구를 통해, 열 필터프레스탈수장치는 안료 슬러지의 감량화에 매우 효과적인 것으로 분석되었으며, 뿐만 아니라 본 장치는 실제 미세 입자 탈수 공정에 적용 가능한 것으로 평가되었다. 따라서 연구를 통해 구축된 열 필터프레스 탈수기술은 실용화 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

안료 슬러지의 수분 제거를 통한 감량화를 위한 열 필터프레스 탈수장치는 압착판인 Membrane Plate와 고정 열판(Fixed Heating Plate)으로 구성되어 있으며, 이 압착판과 고정 열판 사이의 챔버에서 탈수가 이루어진다. 그리고 고정 열판에 열수를 공급하는 장치, 슬러지를 공급하는 공급장치, 탈수된 케이크를 제거하는 De-caking 장치 등으로 구성되어 있다. Fig. 1은 열 필터프레스 탈수장치에 대한 개념도를 나타낸 것이고 Table 1은 이 장치에 대한 설계 인자를 요약한 것이다. 열 필터프레스 탈수장치는 압착판과 고정 열판으로 구성된 필터 챔버, 고정 열판에 열수를 공급하는 열 공급장치, 그리고 슬러지를 공급하고 회수하는 장치 등으로 구성되어 있다. 보일러에서 압력  $1.0\ \text{kg}/\text{cm}^2$ , 온도  $110^\circ\text{C}$ 인 스팀을 생산하여 열교환기의 Tube Side로 공급한다. 고정 열판과 열교환기의 Shell Side를 순환하는 열수

(Heated Water)는 열교환기에서 열을 받아 95°C의 온도로 상승하여 열 순환 수 펌프를 통해 압착판 사이에 설치되어 있는 고정 열판으로 공급된다. 열수 공급이 완료되면, 안료 슬러지 공급펌프에 의해 5 kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 안료 슬러지가 챔버에 공급된다. 챔버로 공급된 안료 슬러지는 공급압력에 의해 1차 탈수된다. 지속적인 안료슬러지 공급에 의해 챔버가 슬러지로 채워지면, 공급압력과 압착력 그리고 고정 열판으로부터 슬러지에 전달된 열에 의해 탈수가 이루어진다. 케이크층으로 전달된 열은 내부증발을 형성시키고 여액의 점도를 저하시켜 케이크내 기공의 유통성을 증가시켜 탈수를 촉진시킨다. 탈수 과정을 통해 배출되는 여액은 여과포를 통과하여 압착판의 배수구(Drain Hole)를 통해 장치 외부로 배출되고 챔버내에는 수분이 제거된 입자만 남아

케이크가 형성된다. 본 장치에서 사용한 고정열 판 및 압착판은 가로 470 mm, 세로 470 mm 크기로 제작 사용하였으며, 압착판과 고정 열판 사이에 형성되는 챔버의 두께는 24 mm가 되도록 설정하였다. 챔버에 의해 만들어지는 여과 면적은 0.58 m<sup>2</sup>, 여과 체적은 6.3 m<sup>3</sup> 이 되도록 구성하였다. 고정 열판은 내부식성을 고려하여 SUS304 재질을 사용하여 제작하였으며, 열 순환 펌프로부터 공급된 열수는 열판의 하부로 유입되어 열판에서 열을 슬러지로 전달한 후 열 판 상부의 출구를 통과하여 열교환기로 이동하도록 되어 있다. 열판의 표면은 요철로 되어 있으며 여과포를 통과한 여액은 열판의 하부를 장치 밖으로 배출도록 되어 있다. 그리고 여과포는 PP재질의 1800 DENIA형을 사용하였다.

2.2. 실험방법

Fig. 2는 열 필터프레스 탈수장치의 탈수 공정에 대한 설명을 나타낸 것이다. 고정열판에 열수가 공급되면, 슬러지 공급 펌프로부터 안료 슬러지가 Pumping되어, 압착판과 고정열판 사이에 형성되어 있는 챔버로 안료슬러지가 공급되고, 이 공급 압력에 의해 슬러지로부터 탈수 여액(Filtration)이 배출된다. 탈수 여액이 배출되는 양만큼 안료슬러지가 공급되고, 다시 여액이 배출되는 과정을 반복한다 이 과정을 슬러지 공급 공정(Feeding Process)라고 하며, 이 과정 동안 챔버내에 슬러지가 케이크로 형성(Cake Formation Process)된다. 슬러지 공급이 중단되고 압력 15 kg/cm<sup>2</sup>의 압착력이 작용하여 챔버내의 케이크를 압착하여 잔류 여액을 배출시킨다. 이를 Squeezing Process라고 한다. 공급공정과 압착공정이 진행되는 동안 고정열판으로 열수가 공급되고, 이

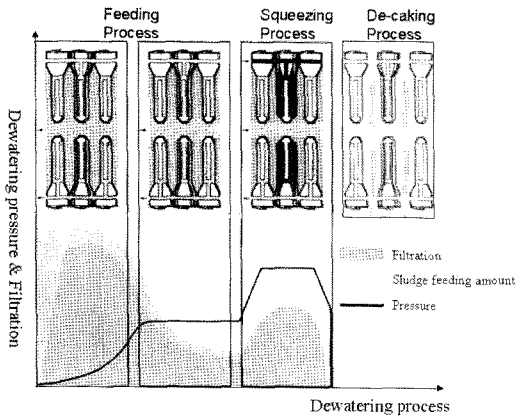


Fig. 1. Feeding and squeezing process of thermal filter press dewatering equipment.

Table 1. Design variables of thermal filter press dewatering equipment and conditions of pigment sludge

	Item	Unit	Values
System Variables	Filter Press Size		L 470(mm) × W 470(mm) × t 24(mm) × 2ch(ea)
	Filter Area	m <sup>2</sup> /2ch	0.58
	Filter Volume	dm <sup>3</sup> /2ch	6.30
	Heating Plate Material		Stainless Steel(SUS304)
	Chamber Q'TY		2 ea
	Filter Plate Type		Mixed Pack or Membrane
	Filter Cloth		Double Woven(PP material)
Pigment Sludge Conditions	Initial Water Content	wt%	95.8
	MMD	μm	4.7
	pH	-	9.53

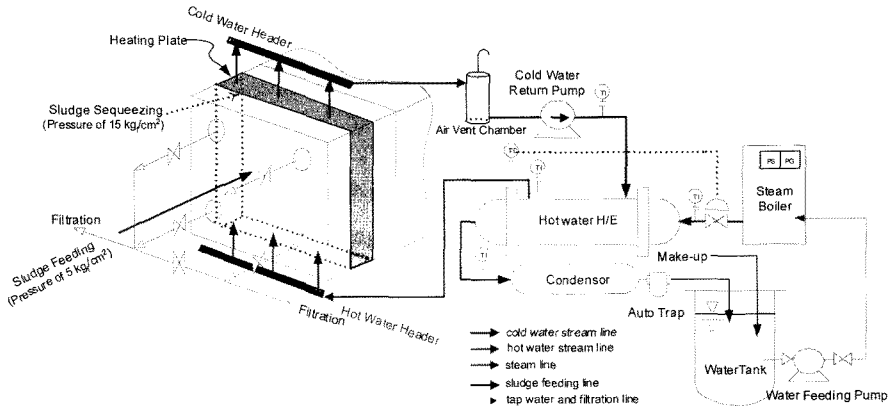


Fig. 2. Schematic diagram of thermal dewatering filter press equipment.

열수에 의해 가열된 열판으로부터 열이 케이크 층으로 전달되어 열 탈수가 동시에 진행된다. 압착공정이 완료 되면 압착 판이 열려 챔버내에 형성된 케이크를 회수하는 것으로 탈수 공정은 완료된다.

Table 2는 이와 같이 탈수 공정을 진행할 때의 각 운전 조건(Operating Condition)을 나타낸 것이다. 안료 슬러지의 열 필터프레스 탈수 특성을 파악하기 위해 3가지 조건을 변화 시키면서 실험을 수행하였다. 즉 열 탈수시, 압착공정 유무 그리고 탈수시간 변화에 따른 탈수 특성 평가 실험을 수행하였다. EXP1 실험의 경우, 총 65분의 탈수시간(Feeding Process와 Squeezing Process 진행시간) 동안 압착공정 없이 열 탈수를 진행한 것이

고, EXP2 실험은 총 70분을 탈수한 것이며, EXP1에 비해 탈수시간을 10분 늘린 상태에서 10분간 압착공정을 수행한 것이다. 또한 EXP3의 실험은 총 80분의 탈수시간 동안 압착공정 시간을 20분으로 증가시켜 탈수를 수행하였다. 이상의 조건 외의 실험 조건은 3종류 실험 모두 동일하게 하였다. 즉 공급압력은 5 kg/cm<sup>2</sup>, 공급시간은 35분, 케이크 세정 압력과 시간은 각각 6 kg/cm<sup>2</sup>, 10분, Air Blowing 압력과 시간은 각각 4 kg/cm<sup>2</sup>과 15~20분, 스팀압력은 1.0kg/cm<sup>2</sup>, 슬러지 온도는 75±5°C를 유지 하도록 하였다. 그리고 실험에 사용된 시료는 초기 함수율이 95.8 wt%, pH가 9.53, 입자의 크기가 4.7 μm인 안료를 사용하였다. 그리고 본 연구의 탈수 대

Table 2. Experimental conditions

Item	Unit	Values			
		EXP1	EXP2	EXP3	
Operating Conditions	Dewatering Time	min	65	70	80
	Feeding Pressure	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	5	5	5
	Feeding Time	min	35	35	35
	Washing Pressure	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	6		
	Washing Time	min	10		
	Air Blowing Pressure	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	4	4	4
	Air Blowing Time	min	20	15	15
	Squeezing Pressure	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	non	15	15
	Squeezing Time	min	non	10	20
	Steam Pressure	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	1.0		
	Heating Time by Steam	min	80		
	Heating Plate Temperature	°C	80±5		
	Sludge Temperature	°C	75±5		

상인 안료 입자의 질량중양직경(Mass Median Diameter: MMD)은 4.27  $\mu\text{m}$  정도 이다. 입자 크기분포는 탈수 공정 슬러지로부터 케이크화 될 때, 케이크 내부에 형성된 기공 크기가 매우 작기 때문에 기공으로부터 여액의 배출이 매우 어렵게 하는 특성이 있다. 이를 해결하기 위해 열 탈수 방법으로 탈수하는 것이다.<sup>5)</sup>

이와 같이 탈수 시간과 압착공정 유무에 따른 3종류의 탈수실험을 수행한 이유는 열 필터프레스 탈수 공정에 있어 압착과 탈수 시간이 미치는 영향을 평가하고자 하는 것이다. 즉 EXP1은 압착공정이 없는 실험을 수행한 것이고, EXP2는 EXP1과 비교하여 압착공정이 열 탈수에 미치는 영향을 분석한 것이며, EXP3는 EXP2와 비교하여 압착공정이 있는 상태에서의 탈수 시간이 미치는 영향을 분석한 실험이다. 각 실험을 통해 여액량, 케이크 무게, 함수율을 측정하였으며, 이를 바탕으로 탈수속도를 분석하였다. 결국 3 종류의 탈수 실험에 있어 탈수율을 평가하는 중요한 기준은 함수율과 탈수속도이다.

### 3. 결과 및 분석

#### 3.1. 열 탈수에서의 압착공정의 영향

2절에서 설명한 바와 같이 열 필터프레스 탈수장치를 구축하여 안료 슬러지를 공급하여 탈수 하는 실험을 수행, 탈수율을 평가하였다. 실험은 압착공정 없이 열 탈수한 경우(EXP1)와 압착공정이 있는 경우의 열 탈수 실험(EXP2)에 대한 비교, 그리고 압착 공정이 있는 상태에서 탈수 시간을 각각 70분과 80분으로 변화 시켰을 때(EXP2와 EXP3)결과를 함수율과 탈수 속도로 분석하였다. Table 3은 이들 각 실험에 대한 결과를 정리하여 나타낸 것이다.

압착공정이 없이 공급압력과 열탈수만으로 수행한 EXP1의 경우, 여액량은 42.2 kg, 최종 생산된 케이크의 무게와 두께는 각각 6.1 kg/ch, 48.5 mm/ch 이었다. 최

종 케이크의 함수율은 57.6 wt%로 측정되었다. 이들 측정된 결과를 바탕으로 탈수 속도를 계산한 결과 4.1DS  $\text{kg/m}^2\text{hr}$ 로 분석되었다. 압착공정이 있는 EXP2의 경우, 여액량은 45.8 kg으로 EXP1에 비해 여액이 케이크 층으로부터 많이 배출되었다. 최종 생산된 케이크의 무게와 두께는 각각 5.0kg/ch과 40mm/ch 로 측정되었다. EXP1에 비해 무게와 두께가 각각 줄어들었는데, 그 이유는 케이크 층으로부터 물의 배출량이 많아 케이크가 함유하고 있는 물의 무게가 상대적으로 줄어들었기 때문이다. 최종 케이크의 함수율은 46.7 wt%로 EXP1에 비해 함수율이 약 20% 감소하였다. 탈수 속도는 4.0DS  $\text{kg/m}^2\text{hr}$ 로, EXP1과 거의 비슷한 값을 가진 반면 함수율은 20% 정도 감소하였다. 이 결과를 통해, 함수율과 탈수속도로 평가되는 탈수율은 EXP1에 비해 EXP2에서 증가하였다는 것을 알 수 있다. 즉 열 필터프레스에서 압착공정은 슬러지의 탈수율을 약 20% 향상 시킬 수 있는 중요한 공정인 것으로 파악되었다.

#### 3.2. 탈수시간의 영향

압착공정은 열탈수의 탈수율 향상에 있어 중요한 공정이다. 그 이유는 압착판에 의한 15  $\text{kg/cm}^2$ 의 압착력이 챔버내의 케이크 층에 작용하여 스펀지를 누르는 것과 같이 슬러지 층을 압착하여 미세기공 사이에 잔류하고 있는 물을 배출하기 때문이다. 그리고 또 다른 이유는 슬러지 층이 압착되면, 슬러지 층의 두께가 작아져 고정 열 판으로부터 공급된 열이 쉽게 슬러지 층내 기공으로 전도되어 잔류여액에 증발압이 작용할 수 있도록 유도할 수 있기 때문에 탈수율을 향상 시킬 수 있다.

탈수시간 또한 압착공정 만큼 중요하다. 탈수시간이 길면 슬러지의 함수율을 저감시키는데 효과적이지만, 탈수속도가 작아져 탈수율을 저감시킨다. 그래서 적정한 탈수에 있어 적정한 탈수 시간을 정하는 것이 중요하다. Table 3의 EXP2와 EXP3은 압착공정을 15분간 동일하

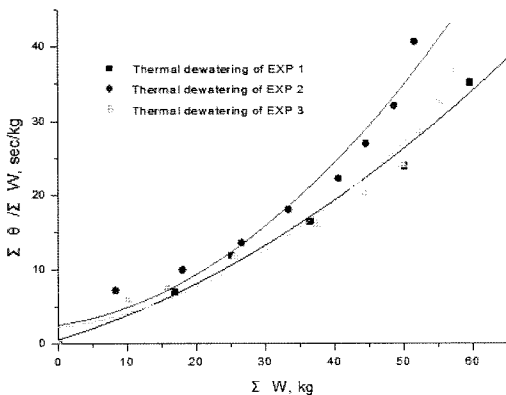
Table 3. Results of thermal dewatering tests

Items	Unit	Values		
		EXP 1	EXP 2	EXP 3
Filtration	kg	42.2	45.8	33.4
Condensate Water from Steam	kg	11.5	8.7	7.7
Wet Cake Weight	kg/ch	6.1	5.0	4.8
Wet Cake Thickness	mm/ch	48.5	40	38
Wet Cake Water Content	wt%	57.6	46.7	43.9
Filtration Velocity	DS $\text{kg/m}^2\cdot\text{hr}$	4.1	4.0	3.5

게 진행시킨 상태에서 탈수시간을 70분과 80분으로 하였을 때 탈수율을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 즉 EXP 2는 슬러지를 공급을 55분 동안 공급한 후 15분간 압착한 것이며, EXP 3는 슬러지 공급에 의한 탈수시간이 65분이며, 압착 시간은 15분이다. 이 두 실험결과를 비교하면, EXP 3의 함수율은 43.9 wt%, 탈수속도는 3.5DS kg/m<sup>2</sup>hr으로, EXP 2의 함수율 46.7 wt%에 비하여 약 6% 감소하였고 탈수속도 4.0 kg/m<sup>2</sup>hr에 비하여 14% 감소하였다. 이와 같이 함수율은 감소하는데 탈수속도가 감소하는 이유는 탈수시간의 증가분에 해당하는 만큼 여액량이 증가하지 않았기 때문이다. 즉 탈수시 소요되는 시간은 함수율 저감에는 효과적이지만 탈수속도는 오히려 감소(탈수속도가 증가하는 것이 탈수율 향상에 도움 됨)하는 결론에 도달하였다. 탈수속도는 시스템의 생산량을 평가하고 EXP 2는 생산 탈수 케이크의 질을 평가하는 기준으로 삼는데, EXP 3은 EXP 2에 비하여 함수율이 낮은 양질의 탈수 케이크를 생산하지만 생산량은 감소하는 경향이 있다.

**3.3. 탈수율 비교**

Fig. 3은 3종류의 열탈수 실험에 대한 탈수율을 나타낸 것으로, 종축의  $\Sigma\theta/\Sigma W$ 는 여액량에 대한 탈수시간을 분율을 나타낸 것이며, 횡축의  $\Sigma W$ 는 누적 여액량을 표현한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 EXP1에 비하여 EXP 2,3의 탈수성이 우수한 것으로 나타났다. 그리고 Fig. 4는 각 실험에 대하여 탈수속도와 함수율을 서로 비교한 그래프로서, EXP 1에 비해 EXP 2, 3로 진행할수록 함수율이 계속 감소하는 것을 알 수 있다. 즉 압착공정이 있을 때가 없을 때에 비해 함수율이 감소하고, 압



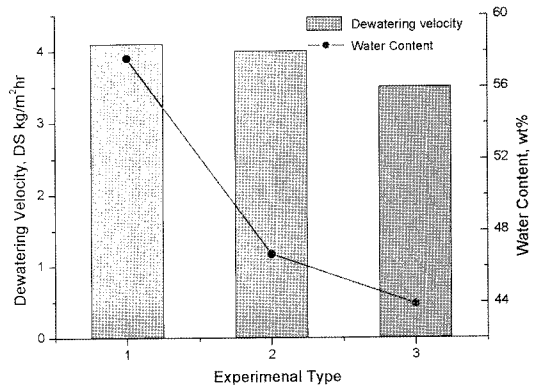
**Fig. 3.** Dewaterability for each teat of thermal dewatering filter press equipment.

착공정이 있는 경우, 탈수시간이 증가할수록 함수율이 감소한다. 하지만 식(1)에서 보는 바와 같이 탈수속도는 탈수시간과 밀접한 관계가 있기 때문에 탈수시간이 증가하면 오히려 탈수속도가 감소한다는 결론에 도달하였다.

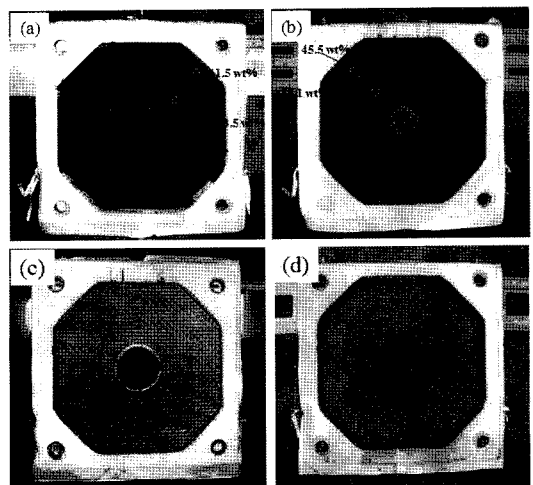
$$U = W(100-M)/(A \times T \times 100) \quad (1)$$

여기서, U는 탈수속도(DS kg/m<sup>2</sup>hr), W는 단위 사이클당 탈수케이크의 wet mass(kg), M은 탈수케이크의 함수율(wt%), 그리고 T는 탈수시간(min)이다.

Fig. 5는 본 실험을 통해 생산한 안료 슬러지의 탈수 케이크에 대한 사진이다. Fig. 5(a),(b)는 함수율 45 wt% 미만의 탈수 케이크에 대한 형상을 나타낸 것이며, Fig.



**Fig. 4.** Dewatering velocity and water content for each teat of thermal dewatering filter press equipment.



**Fig. 5.** Photograph of cake and filter cloth : (a),(b) dewatered cake by dewatering filter press equipment, (c),(d) filter cloth.

5(c),(d)는 탈수 케이크를 분리한 후의 여과포 형상을 나타낸 것이다. 10 μm 이하의 미세입자를 포함한 슬러지를 필터프레스로 탈수할 경우, 여과포에 입자가 부착되어 여과포 막힘 현상이 발생하고, 이로 인해 케이크로부터 액체의 배출이 원활하게 이루어지지 않아 탈수케이크가 잘 형성되지 않는 경향이 있다. 하지만 Fig. 5(c),(d)에서 보는 바와 같이 열 필터프레스로 생산한 탈수케이크의 여과포에 미세 입자로 인한 막힘 현상(Clogging)이 적어 여과포의 표면이 깨끗함을 관찰할 수 있다. 뿐만 아니라 케이크의 형상이 뚜렷하게 만들어지고 있음을 파악할 수 있다.

결론적으로, 열 필터프레스의 공급, 압착 공정을 통해 안료 슬러지에 대한 탈수 실험을 수행한 결과 압착공정이 탈수에 효과적이며, 탈수시간이 길수록 저 함수율 탈수 케이크를 생산할 수 있지만 탈수속도의 감소로 인해 생산량을 저감시킬 수 있다. 따라서 본 연구를 통해 도출된 결과를 안료와 같은 미세입자 함유 슬러지에 적용한다면 보다 효과적으로 탈수케이크를 생산 할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

안료슬러지의 탈수를 향상을 위해, 압착판인 Membrane Plate 사이에 고정 열판(Fixed Heating Plate)을 장착하고, 열수(Heated Water)를 고정열판에 공급함으로써, 케이크 층에 열을 공급하여 탈수속도와 함수율로 평가되는 탈수율을 향상 시킬 수 있는 열 필터프레스 탈수장치를 구축하였다.이 장치를 통해 압착공정 유무, 탈수시간의 변화 등과 같이 탈수 조건을 변화시켜 열탈수 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 압착판에 의해 압착되는 압착공정이 있는 경우와 압착공정이 없는 경우에 열 탈수 실험을 수행하였는데, 전자가 후자에 비하여 함수율은 20% 감소하였으며, 함수율과 탈수속도에 의해 평가되는 탈수율은 압착공정이 있을 때 약 20% 향상 되었다. 따라서 미세입자의 열탈수에 있어 압착공정은 탈수를 향상에 중요한 인자로 작용하였다.

2. 압착공정이 있는 경우, 탈수시간을 70분과 80분으로 하여 열 탈수 실험을 수행하여 각각에 대한 탈수율을 비교한 결과, 탈수시간이 80분으로 한 경우 최종 탈수 케이크의 함수율은 감소하였지만 탈수 속도는 오히려 감소하는 결과를 얻었다. 즉 탈수시간이 길 경우 저 함수율 탈수 케이크를 생산하는 데는 용이하지만 탈수 속도가 낮아 생산 능력이 감소하는 현상을 파악하였다. 따라서 열 탈수 운용에 있어 적정 탈수시간을 선정하는 것은 생산적 측면에서 중요한 인자로 작용하였다.

3. 생산된 탈수케이크가 여과포 부착, 여과포를 막는 Clogging현상이 거의 발생하지 않았다. 이는 케이크 층으로부터 액체의 배출이 원활하게 이루어 졌기 때문으로 분석되는데, 실제 열 필터프레스의 현장 적용 시, 여과포 운영 경비 절감 및 De-Caking 공정을 원활하게 하는 효과가 있다.

#### 참고문헌

1. Lee, J. E., 2006 : Thermal dewatering(TDW) to reduce the water content of sludge, *Drying Technology*, **24**(10), pp. 225-232.
2. Peuker, U., 1999 : Scale-up of steam pressure filtration, *Chem. Eng. Technology*, **38**, pp. 611-619.
3. Reichmann, C. and Tomas, J., 2000 : Expression dynamics of finest particle suspensions, *Filtration & Technology*, June, pp. 45-49.
4. Bergins, C., Berger, S. and Strauß, K., 1999 : Dewatering of fossil fuels and suspension of ultrafine particles by mechanical/thermal dewatering, *Chemical Engineering Technology*, **22**(11), pp. 923-927.
5. 이정언, 이재근, 2006 : 미세입자를 함유한 슬러지의 고효율 탈수 연구, *자원리사이클링*, **15**(4), pp. 36-43.
6. 이정언, 2004 : 혼합슬러지의 탈수성에 관한 연구, *대한환경공학회*, **26**(8), pp. 925-932.
7. Jung Eun Lee, Jae Keun, and Hee Kyu Choi, 2007 : Filter press for electro-dewatering of waterworks sludge, *Drying Technology*, **25**(10), pp. 1649-1657.
8. Jung Eun Lee, 2006 : Drying system for sludge reduction, *Geosystem Engineering*, **9**(3), pp. 55-64.

李 靖 彦

- 현재 부산대학교 연구교수
- 당 학회지 제15년 2호 참조

李 在 堉

- 현재 부산대학교 기계공학과 부교수
- 당 학회지 제9권 6호 참조