

## 熱 필터프레스 技術을 통한 슬러지 脫水率 向上을 위한 研究†

\*李靖彦\* · 金東秀

\*부산대학교 산학협력중심대학, 이화여자대학교 환경공학과

## A study for Heating Filter Press Dewatering Technology†

\*Jung-Eun Lee\* and Dong-Su Kim

*\*Industrial Liaison Innovation Cluster, National University*

*Dept. of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University*

### 요 약

슬러지 층에 열을 가함으로써 내부증발압, 여액 점도 저하에 따른 유동성 증대 그리고 기공형성 용이성을 통하여 슬러지의 탈수율을 향상시킬 수 있는 열 필터프레스 탈수 기술을 개발하였다. 크기 470×470 mm인 PP재질의 맨브레인 플레이트 사이에 열수가 열관을 장착하여 온도 95°C, 압력 1.2 kg/cm<sup>2</sup>의 열 수를 공급한다. 그리고 슬러지는 최초 슬러지의 5 kg/cm<sup>2</sup>의 공급압력에 의해 1차 탈수가 이루어지며, 맨브레인의 압착력 15 kg/cm<sup>2</sup>에 의해 2차적 탈수 공정으로 이루어진다. 갈수기와 우수기때의 슬러지의 초기 함수율 및 유기물 함량을 고려하여 열 탈수 특성을 평가한 결과 우수기의 슬러지는 케이크의 함수율이 약 35 wt%이며, 탈수 속도는 4 DS kg/m<sup>2</sup> · hr로 매우 탈수성 우수하였으며, 갈수기 때의 슬러지 또한 함수율이 50 wt%, 탈수속도가 1.5 kg/m<sup>2</sup> · hr 이상으로 기계식 탈수의 탈수율(함수율 70 wt%, 탈수속도 0.9 kg/m<sup>2</sup> · hr)에 비하여 우수하였다. 이를 바탕으로 열 필터프레스 탈수장치의 추가 소요 에너지를 평가한 결과 고행물(DS) 1 kg 처리하는데 소요되는 에너지는 약 300 kJ로 평가되었다. 이는 탈수케이크를 재차 건조하는 시스템과 의 에너지 투입비를 분석해 본 결과 열 탈수장치의 에너지 소요량은 약 1/3정도로 감소된 것으로 분석되었다. 본 기술은 기존의 필터프레스에 비하여 탈수 속도가 빠르고 저 함수율 탈수 케이크 생산이 용이할 뿐만 아니라 건조장치에 비하여 에너지 소모량이 적어 경제성이 우수한 시스템으로 파악되었다.

**주제어** : 열 필터프레스 탈수, 슬러지, 탈수율, 탈수속도, 저함수율 탈수 케이크

### Abstract

The thermal filter press dewatering(TFPD) technology to improve the dewaterability through increasing the inner vapor pressure, lowering the filtration viscosity and forming the porosity easily within cake as applying the heat at the sludge layer was developed in this study. The hot water with temperature of 95°C and pressure of 1.2 kg/cm<sup>2</sup> was supplied to the heating plate equipped between filter plates with plate size of 470×470 mm and material of polypropylene. Sludge was dewatered by supplying pressure of 5 kg/cm<sup>2</sup> and then by squeezing pressure of 15 kg/cm<sup>2</sup>. As a results of estimating the characteristics of thermal dewatering to consider the initial water content and organic content to be influenced by a period of water shortage and rainwater, the dewatered cake water content was about 35 wt% and dewatering velocity was 4 DS kg/m<sup>2</sup>·hr under the rainwater period, and the dewatered cake water content was about 50 wt% and dewatering velocity was 1.5 DS kg/m<sup>2</sup>·hr in the case of sludge of water shortage season. These results was superior to the mechanical dewatering performance with water content of 70wt% and dewatering velocity of 0.9 DS kg/m<sup>2</sup>·hr. On the base of the results of TFPD, energy consumed to deal with DS(Dry Solid) of 1kg was estimated by 300 kJ. It was analyzed that the energy consumption of TFPD was decreased about one third with comparison to the dryer system. Dewatering velocity of this technology was faster than the one of mechanical dewatering equipment and it was easier to product low water content cake. Therefore, this technology was recognized that dewaterability was predominant because of the fast of dewatering velocity and production of low water content cake, and also this known as economical efficiency was excellent because of low energy consumption in comparison with dryer.

**Key words** : thermal dewatering filter press(TDFP), sludge, dewaterability, dewatering velocity, low water content dewatered cake

† 2006년 1월 4일 접수, 2006년 2월 14일 수리

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

## 1. 서 론

하수 또는 상수처리와 산업폐수 처리 시 최종적으로 발생하는 슬러지는 매립과 해양투기 등의 폐기방법과 소각 및 비료화와 같은 재활용 자원화 방법 등으로 관리되고 있다. 상·하수 처리장에서 발생하는 탈수 케이크는 약 300 만 톤/년 정도이며 제지, 철강, 염/안료, 정류 등 산업체에서 발생하는 탈수케이크는 약 1,000 만 톤/년 정도이다. 이들 슬러지 중 자원화 방법에 의한 관리 슬러지는 불과 12%에 지나지 않고, 대부분의 슬러지는 매립(12%)과 해양투기(76%)로 관리되고 있다. 환경부의 슬러지 처리에 관한 종합 대책에 따르면 슬러지 처리에 관한 정책방향은 해양투기 및 직매립을 지양하고 재자원화를 방향으로 선회하고 있는데, 이때 가장 중요한 필요조건은 탈수속도가 빠르며 함수율이 50 wt%이하인 저 함수율 탈수 케이크를 생산하여야 하는 것이다.

현재 국내에서 각종 슬러지의 탈수에 사용되고 있는 장치는 벨트프레스, 필터프레스, 진공탈수, 그리고 원심탈수장치 등이 이용되고 있다. 이와 같은 탈수장치는 슬러지층에 기계적인 힘(가압력, 진공압, 원심력)을 인가하여 탈수하는 것으로, 함수율은 약 80 wt%인 고함수율 탈수 케이크를 생산하며, 유기물 함량이 50% 이상인 난 탈수성 슬러지의 경우 탈수 자체가 이루어지지 않는 실정이다. 따라서 슬러지 처리의 효율성을 확보하기 위해서는 고효율 탈수 시스템에 대한 기술이 선행되어야 함에도 불구하고 현재 국내외 탈수 기술은 기계적인 힘에 의존하는 탈수방법에 한정되어 있다.

슬러지의 처리의 효율성을 확보하고, 각종 환경규제에 능동적으로 대처하기 위해서는 저 함수율 탈수케이크 생산할 수 있는 기술을 개발하여야 한다. 따라서 본 연구는 탈수케이크를 경제적이면서 친환경적으로 처리하기 위해 저함수율 탈수 케이크를 생산하기 위한 필터프레스 탈수장치에 열 수가압관을 부착하여 탈수율을 향상시킬 수 있는 기술을 개발하고자 하는 것이다. 기존의 기계식 탈수방법의 한계성을 인식한 후 고효율 탈수장치의 필요성이 대두된 이후 이정인, Kondon, Miller, Weber와 같은 연구자들은 슬러지 탈수율 향상을 위해 전기영동성과 전기삼투압 현상을 이용한 전기탈수장치에 대한 연구를 추진한 바 있으나 전극의 부식현상, 안정성, 전기여과포 제작상의 어려움 등과 같은 문제점을 극복하지 못한 상태이다<sup>1,2)</sup>. 또 다른 고효율 탈수장치로서, Steam을 이용한 고온 탈수기술이 Peuker와 Stahl와 같은 연구자들에 의해 추진되었다. 이들은 Steam을 케

이크 층에 분사하여 케이크 비저항(SCR)을 감소시킴으로서 탈수율을 향상 시키고자 하였다. 하지만 이와 같은 방법은 원심 또는 진공탈수장치에 한정하여 적용할 수밖에 없는 단점이 있다<sup>3,4)</sup>.

따라서 본 연구는 슬러지 층 외부에 가압력을 가함과 동시에 탈수 케이크 내부에 약 60°C이하의 저온 열을 가하여 탈수 케이크 층 내부의 모세관에 부착되어 있는 잔류여액에 증발압 인가를 통한 여액 배출의 용이하게 함과 동시에 여액의 점성을 낮추어 유동성을 증대함으로써 탈수율을 향상시키는 것이다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 열 필터프레스 탈수 메카니즘

#### 2.1.1 슬러지층 내부 증발압

슬러지 층에 내부가압력이 형성되는 현상을 나타낸 것이다. 슬러지층 상층부에 열층(heating zone)으로부터 방출되는 열은 주위의 액체를 증발시킨다. 밀폐된 슬러지층에서 증발된 수증기는 압력이 상승하게 되면 모세관을 통해 슬러지의 하층부로 이동한다. 탈수 케이크내로 유도된 증발압은 케이크의 기공에 의해 형성된 모세관과 접촉하게 되고 모세관의 표면은 유도된 증발압과 모세관 내 잔류여액의 증발 스팀으로 인하여 가열된다. 스팀이 케이크의 기공을 침투할 때 침투 저항성은 기공의 직경 크기에 따라 결정된다.

$$P_{ke} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \nu \tag{1}$$

여기서  $P_{ke}$ 는 모세관 압(capillary pressure),  $r$ 는 모세관 직경(m), 그리고  $\nu$ 는 표면장력(surface tension:  $Nm^{-1}$ )이다. 기존의 기계식 탈수에서도 기공의 직경이 작을수록 탈수작용(dewatering kinetic)이 지체되는 이유는 위의 식에서 보는 바와 같이 기공의 직경이 작을 때 모세관 압력이 작기 때문이다. 즉 외부에서 가하는 압력이 증대하더라도 튜브형 기공(cylindrical pore)인 모세관 압의 상승을 유도할 수 없고 오히려 기공의 직경을 감소시키므로 기공내의 잔류여액의 흐름을 확보할 수 없다. 따라서 튜브형 기공에 잔류하고 있는 탈수 여액을 효과적으로 배출하기 위해서는 그 여액에 열을 가하여 증발하게 하고 이에 따라 여액이 증발 팽창함으로써 잔류여액을 모세관 밖으로 밀어내는 것이다<sup>5,6)</sup>.

#### 2.1.2. 슬러지층 열 전도 및 여액의 유동성

외부 공급열에 의해 형성된 내부 증발압과 잔류여액

에 의해 생성된 기공내의 스팀 전파 과정이 3 단계로 이루어진다. 1단계는 외부 공급 열이 케이크내로 침투해 들어가는 단계로 안정화된 열 이송 경계층이 형성되며 점성을 저하시키고, 표면장력을 줄일 뿐만 아니라 케이크 내의 액체가교(liquid bridge)를 최대한 줄일 수 있기 때문에 탈수를 향상에 도움을 준다. 2단계는 내부 증발압을 받은 유체와 스팀이 케이크 층을 투과하는 단계이다. 입자 표면에 부착되어 있는 물과 모세관 내의 물이 기계적인 방법으로 제거되며 동시에 열적 건조가 발생한다. 3단계는 열적 건조에 의해 추가 수분 감소가 일어난다. 이와 같은 열 전도에 의해 액체의 점도는 낮아진다. 식 (2)은 액체의 점도와 온도간의 상관관계를 나타낸 것인데, 온도가 높을수록 액체의 점도가 감소한다.

$$\ln\mu = A + \frac{B}{T} \quad (2)$$

여기서  $\mu$ 는 여액의 점성, A와 B는 절대온도(T)와 임계절대온도( $T_c$ )의 비인  $T_r$ 의 값이 0.75 보다 작을 때 결정되는 실험상수이다. 케이크 층에 열의 인가에 따라 내부 증발압력에 의해 탈수가 유도되며, 아울러 잔류 여액의 점도가 작아지면서 모세관 내에서 탈수 여액의 유동성 증가로 탈수율이 향상되는 것이다<sup>7)</sup>.

## 2.2. 열 필터프레스 탈수장치 및 실험 방법

2.1절에서 언급한 바와 같이 슬러지 층의 내부 증발

압과 열전도, 여액의 유동성 증가를 통하여 탈수를 향상을 위한 실험을 수행하기 위해 Fig. 1과 같이 여포고정식 필터프레스 탈수장치에 적용하여 구축하였다. 필터프레스의 열판으로 열 수(Hot Water)를 공급하기 위해 보일러를 이용하여 Hot Bath를 구축하였다. 온도 95°C, 압력 1.2 kg/cm<sup>2</sup>의 열 수를 필터프레스 탈수장치에 설치되어 있는 열수가열판(Heating Plate)으로 공급된다. 그리고 열수 가열판으로 부터 슬러지 층에 열을 전달한 열 수는 다시 Hot Bath로 공급되어 순환한다.

Fig. 2는 필터프레스 탈수장치에 설치되어 있는 열수가열판에 열수가 유입되고 유출되는 과정을 나타낸 것이다. 열수가열판은 열 탈수에 있어 슬러지 층에 열을 공급하기 위해 필요한 요소장치 중 열 공급장치와 더불어 가장 중요한 장치에 해당한다. 열판은 열 전도성을 고려한 재질과 열 매체의 유동성을 고려한 내부 구조, 그리고 케이크로부터의 여액 배출 형태에 만들었으며 재질은 스테인레스(SUS304) 재질을 사용하였다. 슬러지를 Tank에서 충분히 교반한 후 슬러지 공급펌프를 통해 5 kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 필터플레이트로 공급한다. 필터플레이트는 맨브레인 플레이트와 열판으로 구성되어 있으며, 열판의 전 후 측면은 맨브레인이 설치되어 있고, 맨브레인 중앙에 열판이 설치되어 있다. 열 탈수는 최초 슬러지의 공급 압력(5 kg/cm<sup>2</sup>)에 의해 이루어지며, 맨브레인에 의한 압착력 15 kg/cm<sup>2</sup>에 의해 2차적으로 이루어

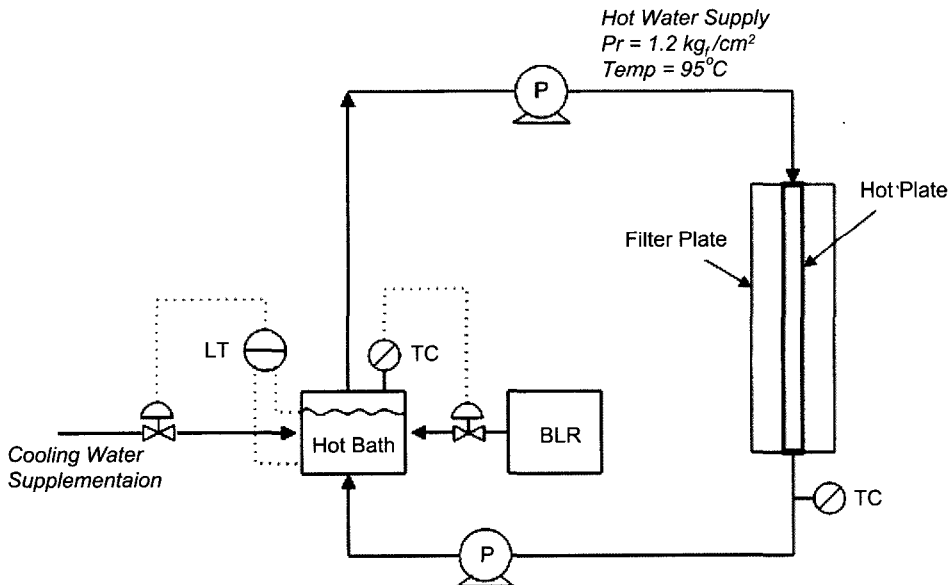


Fig. 1. Schematic diagram of thermal filter press dewatering system.

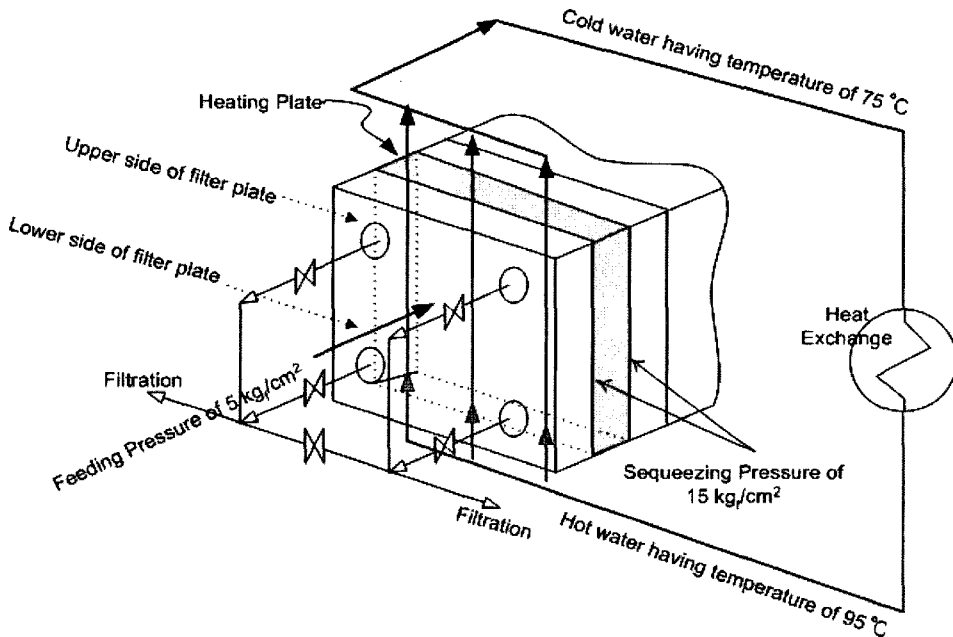


Fig. 2. Schematic diagram of thermal filter press.

어진다.

Table 1은 본 연구의 실험을 위해 장치의 설계 구성 조건과, 슬러지, 그리고 운전조건을 나타낸 것이다. 필터플레이트는 470×470 mm 크기의 PP재질의 멤브레인 플레이트를 사용하였는데, 이때 필터 면적은 0.32 m<sup>2</sup>이다. 그리고 여과포는 PP 1800 Denia재질로 기공 크기는 50 μm인 여과포를 사용하였다. 본 연구에서 슬러지의 열 탈수 성능평가를 무기성 슬러지와 유기성 슬러지를 각각 사용하였으며, 슬러지 유기물 함량에 따른 열 탈수성 평가를 위해 정수 슬러지를 이용하였다. 그리고 탈수시간은 약 140분간 수행하며 이중 압착시간 20분간으로 설정 실험하였다.

### 3. 결과 및 분석

#### 3.1. 슬러지 종류별 열 필터프레스의 탈수율

Table 2는 무기성과 유기성 슬러지에 대한 탈수 성능평가 결과를 나타낸 것이다. 무기성인 상수와 안료 슬러지, 유기성인 하수와 염색폐수 슬러지에 대하여 열 탈수기와 필터프레스 기계식탈수장치에 대한 탈수성능평가를 수행한 결과를 비교하였다. 무기성 슬러지의 유입 함수율은 각각 93.7, 95.8 wt%이며 유기물 함량은 23.7 wt%이며, 열 탈수 수행결과 함수율이 48.6 wt%, 43.9

wt%인 저 함수율 탈수 케이크를 얻은 반면, 필터프레스 기계식 탈수장치로 탈수 성능평가를 수행한 결과 85 wt%와 60.9 wt%로 함수율이 높은 탈수케이크를 얻어, 열 탈수 장치의 탈수율이 우수함을 분석하였다. 또한 유기성 슬러지인 하수 및 염색폐수 슬러지의 초기 함수율은 각각 97.3 wt%와 97.1 wt%이며, 유기물 함량은 각각 45.6 wt%와 57.8 wt%이었다. 이들 각 슬러지에 대하여 열 탈수와 필터프레스 기계탈수를 수행한 결과, 기계식 탈수의 경우 함수율은 각각 85 wt%와 82.3 wt%인 반면 열 탈수의 경우 64.7 wt%와 66.2 wt%인 탈수 케이크를 얻었다. 이들 결과를 바탕으로 열 필터프레스 탈수장치는 유기성과 무기성 슬러지, 그리고 산업공정에서 발생하는 슬러지의 함수율 저감에 매우 효과적이다 라는 것을 알 수 있다.

#### 3.2. 정수 슬러지의 열 탈수 특성

Table 3은 정수 슬러지에 대한 열 필터프레스 탈수장치의 탈수율을 평가한 것이다. 슬러지의 초기 함수율, 유기물 함량의 조건에 따라 탈수 시간을 변화 시켜 실험을 수행하였다. 이를 통해 탈수케이크의 함수율과 탈수 속도를 분석하였다. 초기 슬러지의 함수율과 유기물 함량은 계절에 따라 변한다. 즉 9월과 10월에 채취한 슬러지의 초기 함수율은 86-90 wt%이고 유기물 함량은

**Table 1.** Conditions for testing the thermal filter press dewatering

Variables		Spec. and Value	
Design Variables	Filter Press Size	L 470(mm)×W470(mm)×t 40(mm)	
	Filter Area	0.32 m <sup>2</sup> /ch	
	Filter Volume	5.27 dm <sup>3</sup> /ch	
	Heating Plate Material	Stainless Steel(SUS304)	
	Chamber Q'TY	1ea	
	Filter Plate Type	Membrane	
	Filter Cloth	PP 1800 Denia	
Water works Sludge	Initial Water Content	wt%	93.7
	Organic Content	wt%	23.7
	pH	-	7.3
Operating Variables	Dewatering Time	min	140
	Feeding Pressure	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	5
	Feeding Time	min	120
	Vacuum Pressure	mmHg	250
	Vacuumizing Time	min	140
	Steam Pressure	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	1.0
	Heating time by Steam	min	140
	Heating Plate Temperature	°C	90±5
	Sludge Temperature	°C	80±5
	Final Heating	min	20
	Squeezing Pressure	kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>	15
	Squeezing Time	min	20

**Table 2.** Conditions for testing the thermal filter press dewatering

Test Sludge Type	Condition of sludge		Water content (wt%)	
	Initial Water Content (wt%)	Organic Content (wt%)	HFPD	HFD
Waterworks Sludge	93.7	23.7	48.6	85
Wastewater Sludge	97.3	45.6	64.7	85
Dyeing Sludge	97.1	57.8	66.2	82.3
Pigment Sludge	95.8	-	43.9	60.9

HFPD: Hot Filter Press Dewatering, HFD: Filter Press Dewatering

약 15 wt%이다. 반면 11월에서 4월까지 채취한 슬러지의 초기 함수율은 평균 95 wt%이고, 유기물 함량은 약 23 wt%이다. 이와 같이 정수 슬러지의 초기 조건이 변화하는 이유는 수계 슬러지의 특징이다<sup>8)</sup>. 즉 강수량이 많은 우수기의 슬러지는 무기물 함량이 많은 반면 고형물의 양이 많고, 갈수기에는 슬러지내 무기물의 함량이 적은 반면, 고형물의 양이 적은 특징이 있다. 우수기의

슬러지는 상대적으로 갈수기의 슬러지에 비하여 탈수성이 우수하다. 이와 같은 수계 슬러지에 대한 열 탈수 실험을 수행한 결과 우수기의 슬러지에 대하여 열 탈수 실험을 수행한 결과 탈수 케이크의 함수율이 약 35 wt%이며, 탈수 속도는 4 DS kg/m<sup>2</sup> · hr로 매우 탈수성 우수한 것으로 평가되었다. 그리고 갈수기 때의 슬러지에 탈수한 결과를 보면 함수율이 50 wt%, 탈수속도가

**Table 3.** The test results of thermal filter press dewatering for waterworks sludge

Test Number	Initial Sludge Conditions			Results	
	Initial Water Content(wt%)	Organic Content, (wt%)	Dewatering Time(min)	Wet Cake Water Content(wt%)	Filtration Velocity (DS kg/m <sup>2</sup> ·hr)
1 (09/25)	86.2	15.0	80	37.0	4.55
2 (10/01)	86.4	15.6	70	33.0	4.96
3 (10/07)	86.4	15.6	80	34.0	4.60
4 (10/07)	88.8	14.9	60	38.8	4.84
5 (10/16)	90.3	15.2	80(60/20)	41.1	3.56
6 (10/22)	90.3	17.4	80(60/20)	41.8	3.43
7 (10/29)	87.2	15.2	80(60/20)	37.5	4.26
8 (11/05)	92.8	19.6	50(30/20)	45.6	3.14
9 (11/05)	92.8	19.6	65(45/20)	45.6	2.82
10(11/15)	95.8	22.2	60(30/30)	48.3	1.76
11(11/15)	95.8	22.2	80(60/20)	48.9	1.62
12(11/19)	95.7	22.6	60(30/30)	48.0	1.70
13(11/19)	95.7	22.6	80(60/20)	49.6	1.61
14(11/26)	96.1	22.6	80(60/20)	52.4	1.52
15(11/26)	96.1	22.6	90(60/30)	50.6	1.33
16(12/03)	96.2	24.3	80(60/20)	53.3	1.44
17(12/10)	96.1	24.6	80(60/20)	51.1	1.54
18(01/15)	94.4	21.6	180(140/40)	51.3	1.17
19(01/29)	93.7	19.9	180(140/40)	47.4	1.41
20(02/04)	94.6	22.9	167(140/27)	47.8	1.58
21(03/11)	93.4	22.1	102(60/42)	45.3	1.92
22(03/17)	93.5	23.3	92(60/32)	46.5	2.16
23(03/24)	94.0	22.1	93(60/33)	43.6	2.14
24(03/31)	94.6	25.3	93(60/33)	43.6	2.12
25(04/28)	94.3	25.3	90(60/30)	47.1	1.95

1.5 DS kg/m<sup>2</sup> · hr 이상으로 분석되었다. 일반적으로 기계식 필터프레스 탈수장치를 이용하여 정수 슬러지에 대하여 탈수하면, 함수율이 약 70 wt%이상이고 탈수속도가 0.9 DS kg/m<sup>2</sup> · hr인 점[6]을 고려하면 열 필터프레스의 탈수율이 매우 향상됨을 알 수 있다. 이와 같이 탈수율이 향상되는 이유는 2.1절에서 분석한 바와 같이 슬러지 층의 내부 증발압과 열전도, 여액의 유동성 증가 때문이다. 또한 이와 생산된 저 함수율 탈수 케이크는 재활용으로 이용 가능한 것으로 평가된다.

**3.3. 정수 슬러지의 기계 및 열 필터프레스 탈수 비교**

Fig. 3은 동일 슬러지 조건(초기함수율, 유기물 함량)에 일정기간(2005년 3월 1개월)동안 발생하는 슬러지에 대하여 열 필터프레스와 기계식 필터프레스 탈수장치를

동시 운전하여 함수율 변화를 분석한 것이다. 그림에서 TFPD는 열 필터프레스 탈수방식으로 탈수한 것이며, FPD-1은 공급압력만으로 탈수한 것이며, FPD-2는 압착 압력으로 탈수한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 열 필터프레스에서 생산한 탈수 케이크의 함수율은 40 wt% 인 반면, 기계식 필터프레스 탈수의 경우 70 wt%의 함수율을 갖는 탈수 케이크를 생산하였다. 이와 같은 두 장치에서 함수율 차이가 발생하는 것은 탈수 케이크의 생산량의 차이, 즉 열 탈수장치의 경우 케이크 생산량을 줄일 수 있기 때문에, 결국 탈수 케이크의 처리 경비를 절감할 수 있어 슬러지 처리에 관한 경쟁력 우위를 확보할 수 있다.

Fig. 4는 열 탈수 시스템의 각 부위 온도 분포를 나타낸 것으로, 탈수 개시 시점부터 온도가 상승하여 정

상상태에서의 탈수가 진행될 때 온도가 일정하게 유지된다. 운전 개시 조건은 열판의 입구 열수온도가 95°C 되는 시점에서 이루어진다. 그리고 열판에 열이 공급되는 시간은 탈수시간과 동일시간이다. 탈수시간은 슬러지 특성과 같은 탈수 여건의 변화에 따라 결정되는데, 정수 슬러지의 경우, 탈수시간이 140분 정도인 것을 감안하면, 열 공급시간은 동일 시간 공급되는 것이다. 그리고 슬러지의 온도는 약 80°C로 유지되는 것을 알 수 있다. 열 탈수에서 가장 중요한 고려 인자 중의 하나는 탈수시 소요되는 에너지 소모량이다. 온도분포의 결과

를 바탕으로 에너지 투입량을 평가하여 다른 종류의 탈수장치와 비교분석하였다.

3.4. 투입 에너지 산출을 통한 열 탈수장치의 경제성 평가

Table 4는 열 필터프레스 탈수장치 성능평가를 통해 얻은 처리속도, 온도 등의 측정 값을 바탕으로 소요되는 에너지를 분석한 것이다. 3.2절에서 정수 슬러지의 열 탈수 성능평가를 통해 분석된 자료와 Fig. 4에서 측정된 온도 분포를 바탕으로 계산하여 분석하였다. 이 분

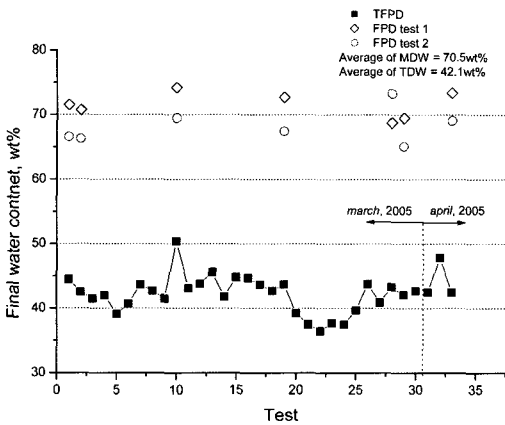


Fig. 3. Comparison with water content of TFPD and FPD.

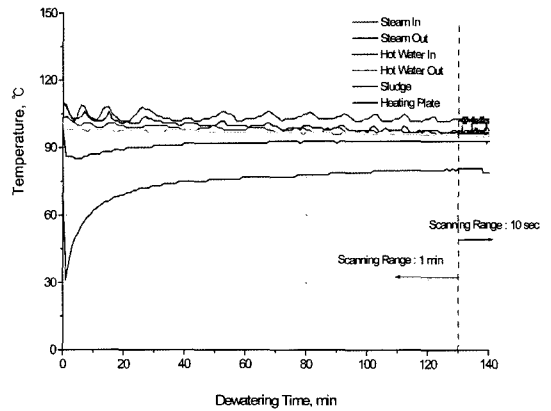


Fig. 4. Temperature distribution of TFPD.

Table 4. Energy consumption of thermal filter press dewatering

Analysis Items		Unit	Value
Conditions	Dewatering velocity(DS kg/m <sup>2</sup> -hr)	V	1.165
	Steam condensate (kg/hr)	m	14.51
	Steam specific heat (kJ/kg-K)	Cp	2.029
	H/E inlet steam temperature difference (K)	Ti-To	10
Results	Energy per unit time	kJ/kg	294.4
	Dry solid per unit time	DSkg/hr	2.8
	Energy per unit time under considering heat loss and initial load	kJ/DS kg	300

Table 5. Energy consumption with drying system and thermal filter press dewatering

Type	Initial water content(wt%)	Cake water content(wt%)	Sludge temperature()		Energy
			Inlet Temp	Out Temp	
Hot wind dryer	75	15	800	250	2,500 kJ/WC kg
Screw dryer	75	20	650	200	1,800 kJ/WC kg
TFPD	97	50	60	40	300 kJ/DS kg

WC : Water Content, DS : Dry Solid

석 결과에 슬러지의 고형물(Dry Solid) 1 kg을 처리하는데 소요되는 에너지는 약 300 kJ로 나타났다. Table 5는 열풍건조장치와 스크류 타입의 건조장치와 본 열탈수에 대한 경제성을 비교한 것이다. 슬러지 처리량을 1,000 DS kg/년의 동일조건에서 에너지 소요경비를 분석한 결과 열 탈수장치가 건조장치에 비하여 에너지가 약 1/3 정도 소요되는 것으로 평가되었다.

따라서 본 기술은 기존의 필터프레스에 비하여 탈수 속도가 빠르고 저 함수율 탈수 케이크 생산이 용이할 뿐만 아니라 건조장치에 비하여 에너지 소모량이 적어 경제성이 우수한 시스템으로 분석된다.

#### 4. 결 론

수처리 공정에서 발생하는 상수 슬러지, 하수 슬러지, 산업폐수 슬러지, 그리고 공정 슬러지 등 국내의 수처리 공정 후 발생하는 슬러지에 대하여 탈수속도의 향상시킴과 동시에 함수율이 낮은 탈수 케이크를 생산함으로써 탈수율을 향상 시킬 수 있는 열 필터프레스 탈수 기술을 개발하였다. 이 기술에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 열 필터프레스 탈수장치는 맨브레인 판 사이에 열판을 장착하여 슬러지 층에 열을 가함으로서 내부증발압, 여액 점도 저하에 따른 유동성 증대 그리고 기공형성 용이성 등의 효과에 의해 수계 및 공정슬러지의 탈수율을 향상 시키는 장치이다.
2. 유기성인 하수 슬러지와 무기성 상수 슬러지, 그리고 염색 안료 슬러지 종류별 열 탈수 특성 평가를 수행한 결과 기존의 기계식 탈수에 비하여 탈수성이 우수하였다. 이를 통해 열 탈수는 슬러지 종류에 관계없이 적용이 가능한 것으로 평가되었다.

3. 상수 슬러지에 대하여 갈수기와 우수기 때 나타나는 슬러지의 초기함수율 및 유기물 함량을 고려하여 열탈수 특성을 평가한 결과 우수기의 슬러지는 케이크의 함수율이 약 35 wt%이며, 탈수 속도는 4 DS kg/m<sup>2</sup> · hr로 매우 탈수성 우수하였으며, 갈수기 때의 슬러지 또한 함수율이 50 wt%, 탈수속도가 1.5 kg/m<sup>2</sup> · hr 이상으로 기계식 탈수의 탈수율(함수율 70 wt%, 탈수속도 0.9 kg/m<sup>2</sup> · hr)에 비하여 우수하였다.

4. 열 필터프레스 탈수장치의 추가 소요 에너지를 평가한 결과 고형물(DS) 1 kg 처리하는데 소요되는 에너지는 약 300 kJ로 평가되어 탈수 케이크를 재차 건조하는 시스템과 에너지 투입비를 분석해보면 열 탈수장치의 에너지 소요량은 약 1/3정도로 분석되었다.

#### 참고문헌

1. Lee, J. E., Kim, M. J. and Lee, J. K., 2002: Development of Electrodeewatering Filter Press, e21155a, IWA 3rd World Water Congress 2002 Melbourne, Australia.
2. Gopalakrishnan, S., Mujumdar, A. S., Weber, M. E., 1996: Electrokinetically Enhanced Vacuum Dewatering of Mineral Slurries, Filtration & Technology, Nov/Dec, pp. 929.
3. Peuker, U., 1999: Scale-up of Steam Pressure Filtration, Chem. Eng. Technology, 38, pp. 611-619.
4. Gerl, S., Stahl, W., 1997 : Fundamentals of Steam Pressure Filtration, roceeding 10th AFS, pp. 29.
5. 이정연, 2004: 하수슬러지의 탈수율 향상을 위한 열 탈수 연구, 대한환경공학회, 26(5), pp. 601-609.
6. 이정연, 2004: 고효율 열 탈수장치 개발에 관한 연구, 유체기계저널, 7(2), pp. 35-40.
7. Perry, R. H., 1984: Perry's Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill, pp. 3-208.
8. 이정연, 2003: 정수슬러지의 특성이 탈수성능에 미치는 영향, 대한환경공학회, 25(8), pp. 1059-1066.



李 靖 彦

- 1999 부산대학교 분체공학과 공학박사
- 1998-2001 부산대학교 환경기술산업개발연구소 연구원
- 2001-2004 삼진 EST(주)연구소장
- 현재 부산대학교 연구교수

金 東 秀

- 현재 이화여자대학교 환경공학과 교수
- 본 학회지 제8권 5호 참조