

열 탈수와 벨트프레스 탈수장치의 현장적용에 따른 탈수성 비교연구

이 정 언

부산대학교 산학협력중심대학

(2006년 8월 21일 접수, 2006년 10월 2일 채택)

A Comparative Study on Thermal and Belt Press Dewatering for Waterworks Sludge Reduction

Jung-Eun Lee

ILC, Pusan National University

ABSTRACT : The water content of dewatered cake produced from belt press dewatering equipment was about 75 wt% which was some high to handle it, so the equipment contained a limit at the economical and environmental aspect. The thermal dewatering equipment built as an alternative to overcome several problems was set up at the sludge treatment field and estimated some feasibility as comparison with the dewatering performance of belt press. First, dewatering properties of waterworks sludge was analyzed by monthly. The sludge of a water shortage season contained a high organic content which led to be difficult to dewater the cake, the other side the sludge of rainwater season was ease to dewater because of low organic content. According to the results to analysis the water content of dewatered cake produced from two equipments on the base of the seasonal dewatering properties, the water content of dewatered cake produced from thermal dewatering for sludge of water shortage season was 41.6~48.3 wt% and 71~84 wt% from belt press. In the case of rainwater season, the water content of dewatered cake produced from thermal dewatering was 34~37.7 wt% and 57~70 wt% from belt press. It was understood that thereduction of water content of cake by thermal dewatering was larger than belt press. The economical aspect for two equipments was evaluated on considering the reduction of cake treatment amount as the decrease of water content of cake. When putting the cost index of thermal dewatering into 100, belt press was 121. This meant that thermal dewater was more economical than belt press by about 20% in the side of construction and operation. In conclusion, thermal dewatering equipment was estimated by producing the low water content dewatered cake as well as being operated with low coat.

Key Words : Thermal Dewatering, Belt Press, Sludge, Dewatered Cake, Water Content

요약 : 기존의 벨트프레스 탈수장치로부터 생산되는 탈수 케이크의 함수율이 75 wt% 이상으로 매우 높아 탈수 케이크 처리에 있어 경제적, 환경적 측면에서의 한계를 내포하고 있다. 이를 극복하기 위한 방안으로 구축된 열 탈수장치를 슬러지 처리 현장에 설치하여 벨트프레스 탈수장치와 탈수성능을 서로 비교함으로써 열 탈수장치의 적용성을 평가하였다. 이를 위해 우선 정수 슬러지에 대한 탈수 특성을 월별로 분석하였다. 1년 중 갈수기의 슬러지에는 유기물 함량이 높아 탈수가 어려운 반면 우수기의 슬러지는 유기물 함량이 낮아 탈수가 잘 되었다. 이와 같은 슬러지의 탈수 특성을 바탕으로 1년 동안 두 장치에 대한 슬러지의 탈수 특성을 비교한 결과, 갈수기의 슬러지에 대하여 열 탈수로 생산된 탈수 케이크 함수율은 41.6~48.3 wt%, 기계식 벨트프레스에 의해서는 71~84 wt%, 우수기의 경우 열 탈수에 의해 생산된 탈수 케이크 함수율은 34~37.7 wt%, 기계식 벨트프레스에 의해서는 57~70 wt%로 나타났다. 열 탈수에 의한 함수율 저감이 현격하게 나타나는 것을 파악하였다. 탈수 케이크 함수율 저감에 따른 케이크 처리량 감소 등을 고려하여 두 장치에 대한 경제성을 평가한 결과 열 탈수의 비용 지수를 100으로 하였을 때 벨트프레스는 121, 즉 열 탈수는 벨트프레스에 비하여 설치 및 운영적 측면에서 약 20% 이상 경제적인 효과 있는 것으로 분석되었으며, 필터프레스의 경우 11%, 데칸터의 경우 24% 경제적 이점이 있는 것으로 평가되었다. 결론적으로 열 탈수장치는 저 함수율 탈수 케이크를 생산할 수 있을 뿐만 아니라 장치 운용 비용이 저렴한 시스템으로 평가되었다.

주제어 : 열 탈수장치, 벨트프레스 탈수장치, 슬러지, 탈수 케이크, 함수율

1. 서 론

상·하수 처리장과 산업폐수 처리장으로부터 발생하는 슬러지는 감량화 하여 최종 폐기된다. 현재 국내에서는 연간 400만 톤 이상의 탈수 케이크가 생산되며 해양투기, 매립, 복

토 등의 방법으로 처리되고 있다. 슬러지를 경제적이면서 효율적으로 처리하기 위해 가장 중요한 사항은 슬러지 감량화이다. 농축 슬러지는 약 95 wt% 이상의 수분을 함유하고 있어 탈수 공정을 통해 수분을 제거한 다음 처리하여야 한다. 현재 슬러지 처리공정에서 주로 사용하고 있는 탈수장치는 벨트프레스이며, 필터프레스, 데칸터 등의 일부 사용되고 있다. 이들 탈수장치는 기계적인 가압력에 의해 탈수하기 때문에 기계식 탈수장치로 분류된다. 이들 장치로 상수 또는 하수 슬러지를 탈수할 경우 함수율 75 wt% 이상의 탈수 케이크

† Corresponding author
E-mail: jelee@pusan.ac.kr
Tel: 051-510-3694

Fax: 051-514-3690

크를 생산한다. 이 정도의 함수율을 함유하고 있는 탈수 케이크는 부피가 크기 때문에 처리 시 운반비가 많이 소요될 뿐만 아니라 매립 및 복토 시 탈수 케이크로부터 수분이 배출되어 침출수에 의한 오염을 유발한다. 따라서 탈수 공정에서 있어 수분을 감량화 하는 것은 경제적인 측면뿐만 아니라 탈수 케이크의 효율적인 처리를 위하여 매우 중요하다. 그럼에도 불구하고 기존의 기계식 탈수장치는 슬러지 함수율 저감에 한계성을 내포하고 있다. 기계식 가압력에 의한 탈수는 슬러지 내 자유수만을 제거할 뿐 케이크 기공 내 분포하고 있는 결합수 또는 표면수를 제거하는데 한계가 있다.¹⁾ 열 탈수장치는 기계식 탈수장치의 한계를 극복하여 저 함수율 탈수 케이크를 생산하기 위해 구축된 시스템이다.

열 탈수장치의 원리를 정립하여 Piston형 열 탈수장치 470 mm×470 mm 규모의 필터프레스형 열 탈수장치를 구축하여 상수 및 하수 슬러지의 열 탈수 특성에 대한 연구를 수행하였다.^{2~4)} 수계 슬러지를 탈수하고자 할 경우 슬러지의 탈수 특성은 매우 중요하다. 수계에서 부유하는 입자의 특성에 따라 탈수성이 달라진다. 수계 슬러지의 탈수 특성을 계절별로 분류하여 유기물 함량 정도에 따른 탈수 특성을 평가하여 분석한 바 있다. 갈수기의 슬러지는 유기물 함량이 높아 탈수율이 낮은 반면 우수기의 슬러지는 유기물 함량이 낮아 탈수율이 높다.^{5,6)} 탈수장치의 성능적인 신뢰성을 확보하기 위해서는 계절별 탈수 특성에 관계없이 50 wt% 이하의 저 함수율 탈수 케이크를 생산하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 연구는 열 탈수장치와 벨트프레스 탈수장치는 정수장의 슬러지 처리 현장에 설치하여 1년 동안 동일 조건에서 운전하여 성능 및 경제적인 효과를 상호 비교한 것이다. 벨트프레스는 국내에 사용되고 있는 대표적인 기계식 탈수장치이며, 열 탈수장치는 기계식 탈수장치의 한계를 극복하기 위한 고안된 장치이다. 이들 두 장치의 현장 운전평가의 비교를 위해 각 계절별 정수 슬러지 탈수 특성, 탈수 케이크의 함수율 비교, 열 탈수와 기계식 탈수장치의 비용지수를 경제성 평가 등을 수행하였다.

2. 실험 및 분석방법

2.1. 실험장치 구성



Fig. 1. Belt press dewatering facility and dewatered cake.

Fig. 1은 정수처리장에 슬러지 감량화를 위해 설치 운용되고 있는 벨트프레스 탈수장치와 생산되는 탈수 케이크의 형상을 나타낸 사진이다. 벨트프레스는 슬러지 감량화를 위해 사용되는 가장 일반적인 장치로서 벨트의 장력을 이용하여 농축 슬러지로부터 수분을 제거하는 기계식 탈수 방식이다. 현재 국내 상수 및 하수처리장에서 주로 사용하고 있지만 탈수 케이크의 함수율이 높아 사용이 점점 감소하고 있는 추세이다. 정수장에 설치되어 있는 벨트프레스 탈수장치로부터 생산되는 케이크를 1년 동안 채취하여 함수율을 측정하고, 이 결과를 바탕으로 경제적 운용 특성을 평가하였다. Fig. 2는 저 함수율 탈수 케이크를 생산하기 위해 고안된 열 탈수장치의 개념도를 나타낸 것이며, Table 1은 열 탈수장치의 사양을 표현한 것이다. 그리고 Fig. 3은 정수 처리장에 설치 운용되는 열 탈수장치로부터 생산된 탈수 케이크의 형상을 나타낸 사진이다. 열 탈수방법은 케이크 층에 열을 가해 케이크 내부 기공에 내부 증발압을 형성시킴으로써, 기공으로부터 수분의 배출을 원활하게 하여 탈수율을 향상시키는 것이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 보일러에서 공급된 스팀에 의해 열교환기로부터 열을 받은 물은 약 95℃의 열수로 되어 탈수기에 장착되어 있는 열판에 공급된다. 열수에 의해 가열된 열판으로부터 케이크 층에 열이 공급되어 케이크의 온도가 상승함에 따라 케이크 내부의 증발압이 상승하고 여액의 유동성 향상되어 케이크의 기공에 잔류하고 있는 여액이 원활하게 배출되어 저 함수율 탈수 케이크를 생산하는 것이다. 열 탈수장치의 크기는 열판의 크기에 의해 결정되는데, 본 연구에 사용된 장치의 열판 크기는 630 mm×630 mm이다. 통상 이 정도 크기 이상의 탈수장치는 현장 적용 규모의 크기이다. 여과판의 면적인 챔버당 0.6 m²으로 설계하였으며 여과포는 폴리프로필렌 재질인 1800-Denia를 사용하였다. 그리고 슬러지는 1 in-ID 펌프를 이용하여 5 kg/cm²의 압력으로 슬러지를 공급하였다. 이와 같은 설계 사양으로 제작된 탈수장치를 정수 처리장에 설치하여 1년 동안 운전하여 발생하는 케이크의 함수율을 측정하여 분석하였다.

2.2. 실험 방법

본 연구는 새로운 탈수 공법을 도입하여 제작된 열 탈수장치와 기존의 벨트프레스 탈수장치를 정수처리장 현장에서

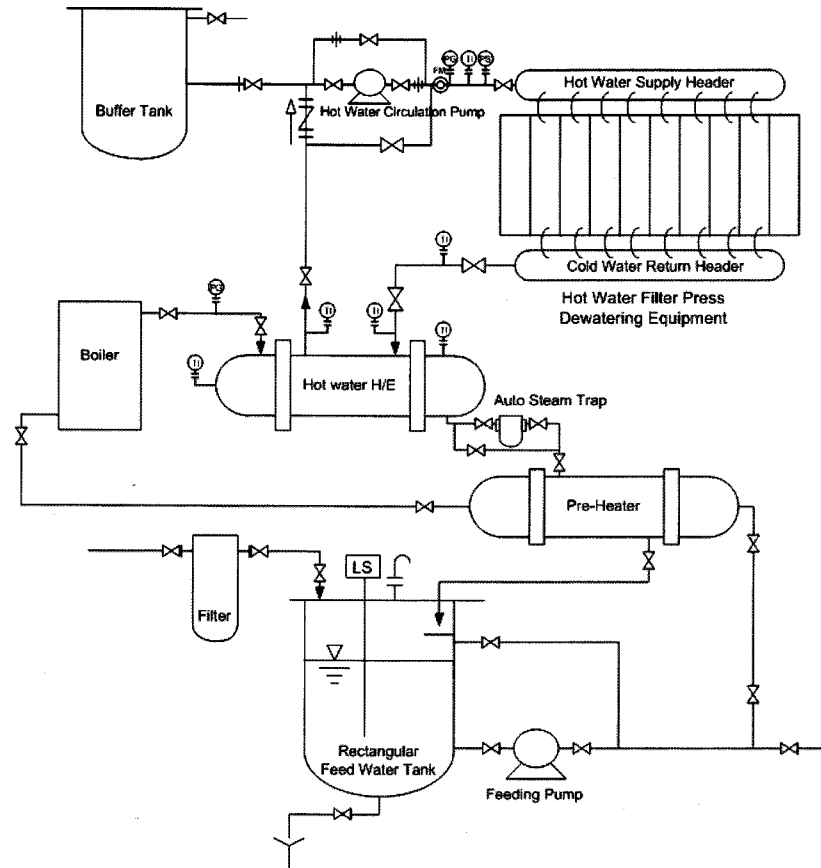


Fig. 2. Schematic diagram of thermal dewatering.

1년간 운전하여 각 장치의 탈수 특성을 분석하여 현장 적용성 또는 경제성을 평가한 연구이다. 이와 같은 연구를 수행하기 위해 Fig. 1과 같은 벨트 프레스 탈수장치가 운용되고 있는 정수장에 Fig. 3과 같은 열 탈수장치를 설치하여 동시 운전하여 월별 탈수 케이크를 생산, 분석을 통해 두 장치의 성능을 평가, 비교하였다. 이때 탈수 케이크의 분석 항목은 슬러지의 유기물 함량과 함수율이다. 유기물은 월 별 슬러지

의 탈수 특성 평가를 위해 분석하는 것으로 슬러지를 600℃로 5시간 가열한 후, 가열 전·후의 무게 차로 측정하였다. 그리고 함수율은 각 장치의 탈수성능을 평가하는 중요한 지표와 경제성 평가를 위한 주요한 자료로 활용하였는데, 탈수 케이크의 함수율은 건조기 온도 105℃에서 4시간 건조한 후, 건조 전·후 무게차로 측정한다. 슬러지의 월별 유기물 함량 특성과 열 탈수 및 벨트프레스 탈수장치로부터 생산된 탈수

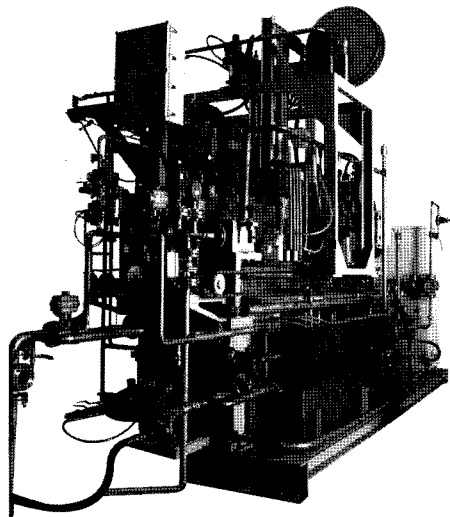


Fig. 3. Thermal dewatering facility and dewatered cake.

Table 1. Design variables of thermal dewatering(TDW)

Parameters		Specification	Reference
Main body of equipment	Filter plate size	630 mm×630 mm	PP
	Filter area (m ² /chamber)	0.6	
	Filter volume (m ³ /chamber)	7.8	
	Filter thickness (mm/chamber)	26	
	Filter cloth	PP-1800-Denia	PP
	Sludge feeding pump	1 in-ID	SUS 304
	Compressor	7.5 kw×380 V×60 Hz	
	Hydraulic unit	2.2 kw×380 V×60 Hz	
	Control panel	PLC auto control	
	Filter cloth cleaning pump	2.2 kw×380 V×60 Hz	Head: 150mH
TDW process	Air blowing compressor	7.5 ~ 10.0 kg/cm ²	900L/min
	Heating plate	630 mm ~ 630 mm	SUS 304
	Electric boiler	50 kg/hr	Heat source
	Heat exchange	150 A ~ 600 L	SUS 304
Circulating unit of hot water	Circulating pump, tank, breather valve		

케이크의 함수율 간의 관계를 분석한다. 그리고 각 장치로부터 생산된 탈수 케이크의 함수율을 바탕으로 총 생산된 케이크 량을 분석한 후 처리비를 산정하여 각 장치의 경제성을 분석한다. 이를 통해 기존의 벨트프레스 탈수장치의 탈수율 한계를 극복하기 위한 방안으로 열 탈수장치를 개발, 현장에 설치하여 장치의 유용성(탈수장치로부터 생성되는 함수율)과 경제성을 비교 검토한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 월 별 슬러지의 탈수 특성

Fig. 4는 월 별 채취 슬러지의 최종 탈수 케이크 함수율과 케이크 비저항의 관계를 나타낸 것이다. 케이크 비저항(Cake Specific Resistance)은 케이크의 탈수 가능 정도를 나타내는데, 케이크 비저항이 높으면 탈수가 잘 안되고 케이크 비저항이 낮으면 상대적으로 탈수가 용이하다. 케이크 비저항은 탈수를 통해 얻은 탈수 여액 량과 탈수 시간의 관계를 그래프로 표시한 후 구한 기울기를 이용하여 구한다. 케이크의 비저항 값이 크다는 것은 탈수 케이크 층의 기공이 잘 형성되지 않아 수분의 배출이 용이하게 이루어지지 않았음을 의미한다.^{4,7)} Fig. 4에서 보는 바와 같이, 1년 동안 슬러지의 탈수 케이크 함수율과 케이크 비저항을 동시에 비교 분석한 결과에 따르면, 함수율이 높은 3월과 7월 채취 슬러지의 경우 케이크의 비저항이 각각 1.1×10^{14} , 9.7×10^{13} m/kg로 분석되었으며 5월과 9월 슬러지는 4.4×10^{13} , 2.3×10^{13} m/kg로 분석되었다. 이는 슬러지의 함수율의 변화와 일관성 있는 관계를 나타내고 있는데, 즉 3월과 7월의 함수율은 73.1, 66.3 wt%

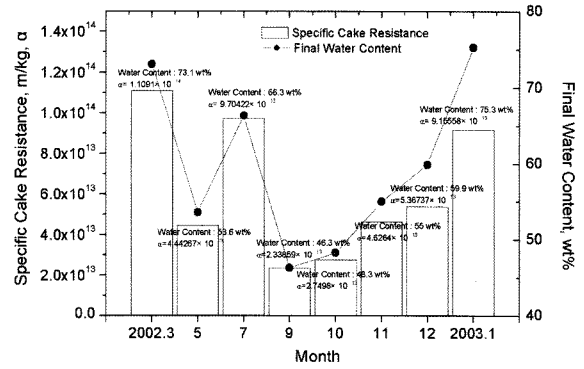


Fig. 4. Comparison with water content and specific cake resistance of dewatered cake produced from belt press.

이고, 5월과 9월은 53.6, 46.3 wt%로 분석되었다. 이는 탈수 케이크의 함수율이 높은 슬러지는 케이크의 비저항이 높고, 반대로 함수율이 낮은 슬러지는 비저항이 낮은 현상을 반증하는 것이다. 이를 통해 갈수기에 탈수한 케이크의 비저항이 높아 함수율이 높은 탈수 케이크를 생산하는 반면, 우수기에 탈수한 케이크는 비저항이 낮아 저 함수율 탈수 케이크를 생산한 것으로 분석되었다. 수계 슬러지는 탈수장치의 성능에 의해 탈수 케이크의 함수율이 결정되는 점도 있지만 상당 부분 슬러지의 월 별 특성에 의해서 함수율이 결정되는 부분도 있다.

3.2. 벨트프레스 탈수장치의 탈수케이크 함수율 분석

Table 2는 정수 처리장에서 1년 동안 벨트프레스 탈수장치를 성능을 분석하기 위해 슬러지의 유기물 함량, 최종 탈수 케이크의 함수율 등을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 갈수기(동절기)와 우수기(하절기)로 구분하면, 갈수기의 유기물 함량은 34~37 wt%(평균 35.3 wt%) 정도이며, 하절기는 15~23 wt%(평균 19.3 wt%)로 분석되었다. 이는 3.1절에서 월별 슬러지의 특성 분석과 동일한 결과를 보여주고 있다. 절기 별 유기물 함량에 차이가 있는 이유는 수계의 특성 변화 즉 동절기 또는 하절기 때의 수량의 변화와 토사 유입 등의 주변의 지정학적 영향에 기인하였기 때문이다.⁴⁾ 유기물 함량은 슬러지 탈수에 영향을 미친다. 즉 유기물 함량이 높으면 탈수케이크의 함수율은 높고 유기물 함유량이 낮으면 상대적으로 탈수케이크의 함수율은 저하된다. Table 2의 분석 결과에서도 보는 바와 같이 동절기의 함수율은 70~84 wt%(평균 79.8 wt)로 분포하고 있지만, 하절기의 경우 탈수 케이크의 함수율은 57~70 wt%(평균 66.7 wt%)로, 함수율이 동절기에 비하여 상대적으로 낮게 나타났다. 그리고 탈수 케이크의 함수율에 영향을 미치는 또 다른 인자는 초기 탈수 케이크의 함수율이다. Table 2에서 나타낸 바와 같이 초기 탈수케이크의 함수율은 87~96 wt%까지 매우 큰 폭으로 변하는데, 그 이유는 수계의 수량과 밀접한 관련이 있다. 즉 수계의 수량이 풍부한 하절기의 경우 통상 초기 슬러지의 함수율이 낮은 반면, 수계 수량이 부족한 동절기 초기 슬러지 함수율은 높다. Fig. 5는 월 별 슬러지의 초기 함수율 변화와 탈수 케

Table 2. Operating results of belt press

Items \ Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Organic content(wt%)	35		37		34		20		15		23	
Initial water content(wt%)	96	94.2	94	94.3	92	90	87	88	90	90	94.7	96.2
Cake water content(wt%)	82	83	84	82	74	74	70	62	57	70	70	71
Treatment amount(ton/month)	4494	3118	2899	4600	4622	3935	4726	4173	4169	3251	4178	2023

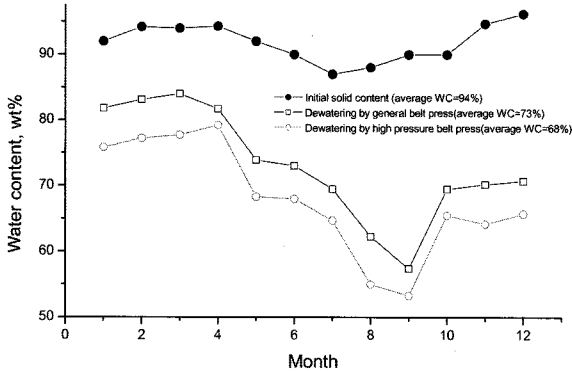


Fig. 5. Water content change of sludge produced from belt press.

이크의 함수율을 비교한 것으로, 초기 함수율이 낮을수록 탈수 케이크의 함수율을 또한 낮게 생산된다. 이와 같은 분석을 통해, 수계 슬러지를 탈수에 영향을 미치는 인자는 유기물 함량과 초기 슬러지 함수율임을 알 수 있다. 결론적으로 기계식 벨트프레스 탈수장치를 이용하여 수계 슬러지를 탈수할 때 최종 탈수 케이크의 함수율은 57 wt%에서 84 wt%까지 분포하며, 평균 함수율은 약 73 wt%로 분석되었다.

3.3. 열 탈수장치에 의한 탈수케이크 함수율 분석

Table 3은 2004년 3월 한 달동안 열 탈수장치를 이용하여 탈수한 후 얻은 탈수 케이크의 함수율을 분석한 것이다. 3.1절과 3.2절에서 분석한 바와 같이 3월은 갈수기에 해당하는 계절로서 슬러지의 유기물 함량이 매우 높아 탈수 특성이 매우 낮은 계절이다. Table 2에서 분석한 자료에 따르면 3월의 유기물 함량은 37 wt%이고 초기 슬러지의 함수율은 94 wt%로 매우 높음을 알 수 있는데, 이는 슬러지의 탈수가 어렵다는 것을 반증한다. 하지만 Table 3의 결과에서 보면, 이 기간 동안 열 탈수장치를 이용하여 탈수한 케이크의 함수율은 37.5 wt%에서 44.8 wt%까지 분포하고 있으며, 월 평균 함수율은 41.6 wt%이다. Table 2에서 3월의 슬러지에 대하여 벨트프레스 탈수장치로 생산한 탈수케이크의 함수율이 84 wt%인 점을 고려하면 함수율은 거의 1/2로 줄어들었다. Table 4는 1년 동안 열 탈수장치로 정수 슬러지를 탈수하여 생산된 탈수 케이크의 함수율을 측정하여 정리한 것이다. 동일 조건에서 열 탈수를 하였음에도 불구하고 함수율이 변하는 이유는 3.1절에서 설명한 바와 같이 수계 슬러지의 탈수 특성 때문이다. 갈수기의 슬러지에 대하여 열 탈수한 결과 탈수 케이크 함수율은 41.6~48.3 wt%로 분포하였으며, 우수기의

탈수 케이크 함수율은 34~37.7 wt%로 분포하고 있다. 기계식 벨트프레스에 의해 생산된 탈수 케이크의 갈수기와 우수기의 함수율의 분포가 각각 71~84 wt%, 57~70 wt%인 점을 고려하면 열 탈수는 저 함수율 탈수케이크를 생산하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 열 탈수에 의해 생산된 탈수 케이크의 함수율이 기계식 벨트프레스에 비해 낮은 이유는 열 탈수의 작용원리 때문이다. 즉 기계식 벨트프레스 탈수장치는 벨트의 장력으로 슬러지 층에 기계적인 압착력을 가해 탈수하는 반면, 열 탈수는 케이크 층에 열을 가해 케이크 층 내 기공의 잔류여액 유동성을 증가시키고, 내부증발을 증가시켜 여액 배출을 원활하게 하였기 때문이다. Fig. 6(a)는 1년 동안 정수처리장에서 기계식 벨트프레스 탈수장치로부터 생산된 탈수 케이크의 함수율을 변화를 나타낸 것이며, Fig. 6(b)는 열 탈수장치로부터 생산된 탈수 케이크의 함수율을 나타낸 것이다. 함수율 50 wt%를 기준으로 할 때 벨트프레스로부터 생산된 탈수 케이크의 함수율은 대부분 50 wt% 이상

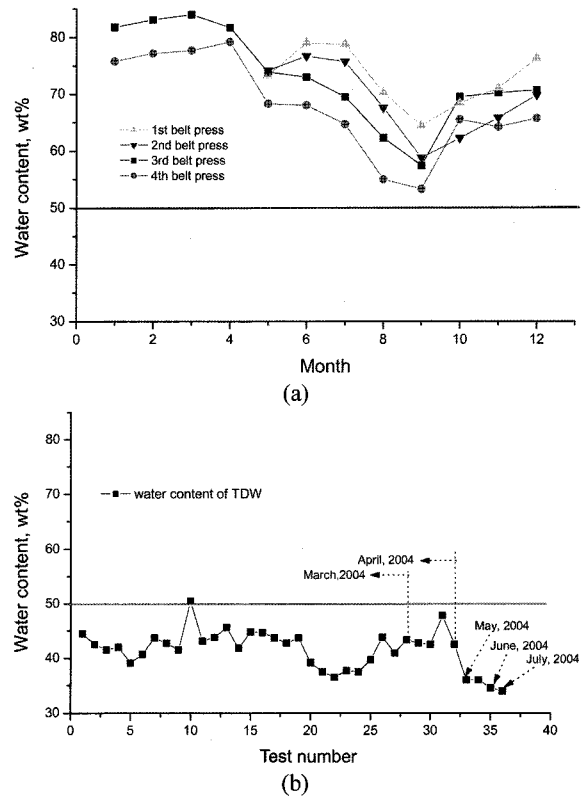


Fig. 6. Water content change of belt press and thermal dewatering : (a) belt press, (b) thermal dewatering.

Table 3. Thermal dewatering results tested for one month

Date	Dewatering time(min)		Cake water content(wt%)
	Feeding time	Squeezing time	
04-3-8	140	40	44.5
04-3-9	130	40	41.5
04-3-10	140	40	39.1
04-3-11	60	40	40.7
04-3-12	130	40	41.5
04-3-18	80	40	43.1
04-3-19	140	40	41.8
04-3-20	110	40	44.8
04-3-22	120	40	43.7
04-3-23	90	30	42.7
04-3-25	130	30	37.5
04-3-26	120	30	37.5
04-3-30	150	30	40.9
04-3-31	140	30	43.3

으로 분포하고 있지만, 열 탈수장치로부터 생산된 탈수케이크는 50 wt% 이하에서 분포하고 있다. 수계 슬러지의 탈수 케이크 함수율이 50 wt% 이하인 경우 토양적용을 위한 재활용이 가능하다는 점을 고려하면, 벨트프레스로부터 생산된 탈수 케이크는 재활용이 어렵지만 열 탈수로부터 생산된 탈수 케이크는 재활용이 가능하다. 열 탈수 장치는 연중 수계 슬

러지의 특성이 변화 하더라도 함수율 50 wt% 미만의 저 함수율 탈수 케이크의 생산이 가능하다. 그리고 이 결과 값이 슬러지 처리 현장에 장치를 설치 운용하여 도출된 값이라는 측면을 고려하면 매우 큰 의미가 있다. 즉 열 탈수장치는 수계 슬러지의 탈수 특성 변화에도 크게 영향을 받지 않으면서 저 함수율 탈수 케이크를 생산 할 수 있다는 시스템의 신뢰성을 확보하였다.

3.4. 열탈수장치와 벨트프레스 및 기타 탈수장치와의 경제성 비교

열 탈수장치의 성능이 우수하더라도 설치 및 운용에 있어 기존의 탈수장치에 비해 경제적인 우위를 확보하지 못한다면 현장 적용이 불가능하다. 따라서 Table 5는 기존 슬러지 처리장에서 운용되고 있는 벨트프레스, 필터프레스, 그리고 데칸터와 같은 탈수장치와 열 탈수장치의 경제적 운용 특성을 비교 분석한 것이다. 경제적인 평가를 위해, 슬러지 초기 함수율은 97 wt%, 슬러지 처리량은 126 m³/day(3,781 kg DS/day)의 탈수장치의 설계 조건을 적용하였다. 그리고 열 탈수의 일 평균 운전 시간과 탈수 케이크 함수율은 각각 7.3시간, 50 wt%, 벨트프레스 탈수장치의 경우 6.3시간과 72 wt%로 하였다. 초기 투자비와 운전비(슬러지 처리비 포함)를 고려하여 계산한 결과, 열 탈수의 비용 지수를 100으로 하였을 때 벨트프레스는 121로 나타났다. 즉 벨트프레스는 열 탈수에 비하여 설치 및 운용적인 측면에서 약 20% 이상 경비가

Table 4. Thermal dewatering results tested for one year

Month	March	April	May	June	July	September	October	November	December
Average cake water content (wt%)	42.1	43.9	41.6	35.3	34	37	37.7	48.3	53.3

Table 5. Economical analysis about thermal dewatering and other mechanical dewatering equipment

Items		Thermal dewatering	Filter press	Belt press	Decanter	
Design base		Treatment sludge : 126 m ³ /day(3,781 kg DS/day) Initial water content of sludge : 97 wt%				
Operating time (hr)		7.3	7.3	6.3	6.3	
Cake water content (wt%)		50	60	72	75	
Economical analysis (million won)	Initial investment	872	993	489	568	
	Maintance/yr	172	190	245	266	
	Maintance	10 yr.	1,719	1,897	2,447	2,657
		15 yr	2,579	2,845	3,671	3,985
	Total cost	10 yr	2,,591	2,890	2,936	3,225
		15 yr	3,451	3,838	4,160	4,553
Index	10 yr	100	112	113	124	
	15 yr	100	111	121	132	
Economical superiority estimation	Equipment cost	○	△	◎	◎	
	Operating cost	◎	○	△	△	
	Cake treatment cost	◎	○	△	△	
	Water content	◎	○	△	△	
	Superiority	◎	○	○	△	

Note : ◎ : excellence, ○ : good, △ : poor

Table 6. Cost reducing as operating thermal dewatering

unit : 1,000 won/yr

Items	Belt press(1)	Thermal dewatering (2)	(1)-(2)
Cake treatment cost	302,167	157,572	146,992
Polymer cost	13,651	0	13,651
Energy cost	0	18,000	-18,000
Total reducing cost	-	-	142,643

Note : cake productivity : 29.34 ton/day(belt press), 15.3 ton/day(thermal dewatering), polymer using amount : 5.5 kg/day

소요된다는 것을 의미한다. 그 외 필터프레스의 경우 11%, 데칸터의 경우 24% 이상 소요되는 측면을 고려하면, 열 탈수는 기계식 탈수장치에 비하여 매우 경제적이다 라는 분석 결과를 도출할 수 있다.

Table 6은 슬러지 처리비, 폴리머 사용량, 열 수 생산을 위한 에너지비용 등의 항목을 고려하여 벨트프레스 탈수장치와 열 탈수장치를 비교하였으며, 이를 통해 열 탈수 장치의 운용비용 절감액을 분석한 것이다. 3.2와 3.3절에서 분석한 바와 같이 열 탈수장치는 약 40 wt% 정도의 탈수 케이크를 생산하며, 벨트프레스 탈수장치는 약 75 wt% 정도의 탈수 케이크를 생산하는 점을 고려하여 실제 D정수장에서 발생한 탈수 케이크를 계산하면 벨트프레스의 경우 29.34 ton/day을 생산한 반면, 열 탈수장치는 15.3 ton/day를 생산하였다. 그리고 벨트프레스의 경우 폴리머를 5.5 kg/day를 사용한 반면 열 탈수장치는 폴리머를 사용하지 않았다. 반면 열 탈수장치는 열 수 생산을 위해 에너지를 추가 사용한 반면 벨트프레스 탈수장치의 에너지 사용량은 없다. 이와 같은 점을 고려하여 열 탈수장치에 의해 생산된 탈수 케이크의 처리비는 벨트프레스 탈수장치에 의해 생산된 탈수 케이크 처리비에 비하여 146,992천원이 저렴하게 들고, 열 탈수 장치에서는 폴리머를 전혀 사용하지 않은 관계로 13,651천원이 절약되었다. 그리고 에너지 사용량은 18,000천원 추가로 들어 총 절감액은 142,643천원으로 분석되었다. 즉 정수처리장에서 열 탈수장치를 적용하여 슬러지를 탈수하여 처리할 경우 연간 142,643천원을 절감할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 모든 논의의 핵심은 저 함수율 탈수 케이크를 생산 할 수 있다는 측면이다. 즉 열 탈수장치는 50 wt% 이하의 저 함수율 탈수 케이크를 생산할 수 있기 때문에 기존의 장치보다 에너지 소비량이 증가하더라도 처리비가 획기적으로 절감 되어 매우 경제적인 운용 시스템으로 평가할 수 있다. 탈수장치의 성능에 있어 저 함수율 탈수 케이크를 생산하는 측면과 경제적인 측면은 이율배반적인 관계이다. 하지만 열 탈수장치는 이와 같은 이율배반적인 관계를 극복하여 경제적이면서 저 함수율 탈수 케이크를 생산하는 이점을 가지고 있다.

4. 결론

열 탈수장치를 정수 슬러지 처리장에 설치하여 1년간 운용하였다. 기존에 설치 운용되고 있는 벨트프레스 탈수장치와 탈수 케이크의 함수율과 현장 설치 시 경제적 측면에서 비교

분석하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) 정수 슬러지의 탈수 특성을 파악하기 위해 1년 동안 월별로 슬러지를 채취하여 케이크의 비저항과 함수율을 측정 한 결과 갈수기의 케이크의 비저항은 약 1.1×10^{14} m/kg로 매우 높아 함수율이 73.1 wt%인 고 함수 탈수 케이크를 생산한 반면, 우수기의 케이크의 비저항은 2.3×10^{13} m/kg로 상대적으로 낮아 함수율이 46.3 wt%인 저 함수율 탈수 케이크를 생산하였다.

2) 벨트프레스 탈수장치로부터 생산되는 탈수케이크의 함수율을 1년 동안 측정, 분석한 결과 갈수기의 함수율은 70~84 wt%, 우수기의 탈수 케이크의 함수율은 57~70 wt%로 측정되었는데 그 이유는 갈수기와 우수기의 슬러지 유기물 함량 때문이다. 갈수기의 유기물 함량이 34~37 wt% 정도로 높은 반면 우수기는 15~23 wt%로 낮은 것과의 연동된 결과이다.

3) 열 탈수장치를 이용하여 연중 유기물 함량이 가장 높은 3월의 슬러지에 대하여 열 탈수한 결과 탈수 케이크의 평균 함수율은 41.6 wt%로, 벨트프레스 탈수장치로 생산한 탈수 케이크의 함수율이 84 wt%인 점을 고려하면 함수율은 거의 1/2로 줄어들었다. 또한 1년 동안 슬러지의 탈수 특성을 비교한 결과, 갈수기의 슬러지에 대하여 열 탈수한 결과 탈수 케이크 함수율은 41.6~48.3 wt%, 기계식 벨트프레스에 의해서는 71~84 wt%, 우수기의 경우 열 탈수에 의해 생산된 탈수 케이크 함수율은 34~37.7 wt%, 기계식 벨트프레스에 의해서는 57~70 wt%이다. 이를 통해 연중 계절에 관계없이 열 탈수는 저 함수율 탈수 케이크를 생산할 수 있는 시스템이다.

4) 열 탈수장치의 경제적인 평가를 위해, 벨트프레스, 필터프레스 데칸터 등과 같은 기계식 탈수장치에 대하여 초기 투자비와 운전비(슬러지 처리비 포함)를 고려하여 분석한 결과, 열 탈수의 비용 지수를 100으로 하였을 때 벨트프레스는 121, 즉 열 탈수는 벨트프레스에 비하여 설치 및 운용적인 측면에서 약 20% 이상 경제적인 효과 있는 것으로 분석되었으며, 필터프레스의 경우 11%, 데칸터의 경우 24% 경제적 이점이 있는 것으로 평가되었다.

5) 정수장에서 발생하는 동일 량의 슬러지에 대하여 열 탈수와 벨트프레스 탈수장치로부터 소요되는 비용을 케이크 처리비, 폴리머 사용량, 그리고 에너지 투입비용 등을 고려하여 비교한 결과, 열 탈수는 벨트프레스에 비해 142,643천원 절감된 것으로 분석되었다. 즉 열 탈수장치는 50 wt% 이하의 저 함수율 탈수 케이크를 생산할 수 있기 때문에 기존의 장치보다 에너지 소비량이 증가하더라도 처리비가 획기적으로 절감 되어 매우 경제적인 운용 시스템으로 평가할 수 있다.

참고문헌

1. Lee, J. E., Lee, J. K., Kim, M. J., "Development of Electrodewatering Filter Press," e21155a, IWA 3rd World Water

- Congress, Melbourne, Australia(2002).
2. Lee, J. E., "Thermal Dewatering(TDW) to Reduce the Water Content of Sludge," *Drying Technology*, **24**, pp. 225~232(2006).
 3. 이정언, "고효율 열 탈수장치 개발에 관한 연구," 유체기계저널, **7**(2), 35~40(2004).
 4. 이정언, "하수 슬러지의 탈수율 향상을 위한 열 탈수 연구," 대한환경공학회지, **26**(5), 601~609(2004).
 5. 이정언, "정수 슬러지의 특성이 탈수성능에 미치는 영향," 대한환경공학회지, **25**(8), 1059~1066(2003).
 6. 이정언, "혼합 슬러지의 탈수성에 관한 연구," 대한환경공학회지, **26**(8), 925~932(2004).
 7. 이정언, "열 필터프레스 기술을 통한 슬러지 탈수율 향상을 위한 연구," 자원리싸이클링, **15**(3), pp. 38~45(2006).