

# 이젝터를 적용한 무기성 슬러지 건조시스템 기술개발

조은만\*, 정원훈\*\*, 김동건\*\*\*, 김봉환\*\*\*,#

\* (주)리엔텍엔지니어링, \*\* 경상국립대학교 일반대학원 자동차공학과, \*\*\* 경상국립대학교 자동차공학과

## Development of Inorganic Sludge Drying System Technology Applied with Ejector by Air Velocity

En-man Cho\*, Won-hoon Jeong\*\*, Dong-keon Kim\*\*\*, Bong-hwan Kim\*\*\*,#

\*Reentec engineering Ltd., \*\*Department of Automotive Engineering, Graduate School of Gyeongsang National University, \*\*\*Department of Automotive Engineering, Gyeongsang National University

(Received 13 June 2022; received in revised form 14 July 2022; accepted 27 July 2022)

### ABSTRACT

The moisture content of many inorganic sludges is less than 70% during dewatering. Hence, a mono or piston pump cannot feed the sludge dryer. Thus, most inorganic sludge should be moved to a landfill or recycled directly without any reduction method. This development was invented to apply cyclone dryers using air and specially designed for the continuous injection of sludge sources by negative pressure and high air velocity for low moisture inorganic matter. Therefore, wastewater sludge and raw water treatment sludge discharged from various industrial fields might be settled by this development. The cyclone dryer was commercialized useful as moisture reduction equipment. This development was applied using a sludge injection system for sludge feeding and under the cooperation of ejector design computational fluid dynamics. Furthermore, this paper presented good ejector model results, blowing an airflow of 264 m<sup>3</sup>/min at an actual performance test.

**Keywords** : Air Drying(공기 건조), Computation Fluid Dynamics(전산유체역학), Cyclone Dryer(사이클론 건조기), Ejector(이젝터), Inorganic Sludge(무기성 슬러지)

## 1. 서 론

현대산업사회에서 필요한 소재 및 원재료를 생산하는 대부분의 산업 분야 중 특히 제철, 섬유 및 화학 분야 산업체와 산업체에 용수를 공급하는 공업용수 정수장 및 식수원을 공급하는 정수 처리장 등이 있다. 이와 같은 산업군에서 폐수 처리, 정수 처리, 정화 처리를 하는 다양한 수처리 공정을 운영하고 있으며, 공정을 거치면서 방류 수질 이하의 물이

배출된다. 수질 정화시 발생하는 공정부산물인 슬러지는 탈수공정을 거쳐 케이크 형태로 만들어지게 되고, 최종적으로 육상매립 또는 재활용되어 처리된다. 이러한 슬러지 케이크는 벨트 프레스(Belt press), 원심탈수기, 필터 프레스(Filter press) 등의 탈수공정을 거치게 된다. 고형물 분리와 수분이 탈수되며, 그 수분함량은 슬러지 성분에 따라 약간의 차이가 있다<sup>[1-2]</sup>. 하지만, 상기 산업군의 슬러지는 대부분 무기성 슬러지이므로 약 70% 이하의 함수율을 나타낸다. 반도체 및 LCD 산업 등의 발전과 대도시 인구 집중으로 물 사용량이 증대하고, 이로 인해 폐수 슬러지 발생량이 지속적으로 증가하고 있다. 수처리공

# Corresponding Author : [bhwkim@gnu.ac.kr](mailto:bhwkim@gnu.ac.kr)

Tel: +82-55-772-3645, Fax: +82-55-772-3649

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

정 이후에 대량으로 발생한 탈수 슬러지는 육상매립, 해양투기, 소각, 재활용, 연료화 등으로 처리되고 있으나, 환경오염의 문제로 해양투기는 정부 정책에 따라 2012년부터 전면 금지되었다. 이에 따라 육상 처리는 매립 및 재활용 처리에 대한 부하가 커졌으며, 최근 생활폐기물의 공공 처리에 대한 매립장의 부지면적이 한계에 도달하였다. 따라서 점차 재활용 및 자원화에 대한 사회적 요구가 커지고 있으며, 탈수공정 이후에 슬러지를 감량화하는 설비에 대한 수요가 증가하게 되었다. 무기성 슬러지는 대부분 70% 이하의 함수율을 갖는 것으로 파악되며, 현재까지 저 함수율의 슬러지 케이크는 모노 펌프나 스크루 피더(Screw feeder)를 통한 투입이 어려워 감량화되지 않고 탈수 슬러지 그대로 직매립 또는 재활용되고 있다.

본 연구는 제철산업의 냉연공정에서 생성되는 폐수 및 정수 슬러지를 필터 프레스로 탈수하고, 사이클론 건조설비에 슬러지 케이크를 투입하는 것이 목적이다. 따라서 특별한 동력 없이도 기류를 이용해 음압력(Negative pressure)을 발생시켜 슬러지를 연속적으로 주입할 수 있는 이젝터(Ejector)형 슬러지 투입시스템을 개발하고, 이를 사이클론(Cyclone) 건조설비에 적용함에 있다<sup>3-4)</sup>.

원활한 슬러지 투입을 위하여 이젝터 노즐의 직경을 달리하여 이젝터 모델링을 하였으며, CFD(Computational Fluid Dynamics)를 통해 입·출구의 유량과 압력을 변화시켜, 상부 슬러지 투입 부의 음압력을 확인하고 수치해석의 결과를 바탕으로 실증 테스트를 하였다.

## 2. 사이클론 건조설비의 구성

### 2.1 시료

본 실증시험에 사용된 시료는 특히 스테인리스 스틸(Stainless steel)의 냉연공정에서 발생한 공정 폐수를 화학적인 방법으로 수처리하고, 탈수공정에서 탈수한 케이크 상태의 70% 이하의 함수율을 갖고 있는 최종 배출물을 실험 대상으로 하였으며 물질 분석 결과를 Table 1에 나타내었다.

이 시료는 무기성 슬러지로서 폐수처리공정에서 산성폐수를 중화시키기 위하여 액상 소석회를 다

**Table 1 Main components of sludge material**

Components	Mass Ratio (%)	
Ca	11.7	TS 52.3
Fe	14.2	
others	26.4	
Moisture content	47.7	

량 사용한다. 따라서 Table 1 성분분석에서 칼슘(Ca)이 많고, 산화철 형태의 철분(Fe)과 함께 주요 성분을 구성하고 있다. 폐수처리 공정 중에서 탈수공정은 농축된 폐수 슬러지를 유입시켜 고분자 응집제(Polymer)를 사용하여 슬러지 플록(Floc)을 만든 후 탈수기에 의해 분리되어, 함수율을 낮추는 공정이다. 이 무기성 슬러지 시료는 주로 필터 프레스를 통해 탈수되고, 그 함수율은 70% 이하인 약 47.7%의 저 함수율을 나타낸다.

### 2.2 실증 장치의 구성

실증 장치를 현장에 설치하여 운전 중인 건조설비를 Fig. 1을 통해 나타내었으며, 본 연구에서 다루게 되는 이젝터 타입의 슬러지 공급 시스템의 전반적인 구성을 나타낸다. 사이클론 건조설비의 공정시스템은 Fig. 2와 같이 건조공기를 공급 해주는 ① 공기공급시스템, 연속적으로 슬러지 케이크 시료를 건조시스템으로 투입하는 ② 슬러지 공급 시스템, 주요 건조성능을 발휘하는 ③ 사이클론 건조기 및 건조물 분리·회수 시스템, ④ 발생한 분진을 처리하는 필터링 시스템, ⑤ 건조된 슬러지를 보내는 이송 시스템 그리고 모든 구성기기의 운전제어를 위한 ⑥ 현장 제어반 및 계측시스템으로



**Fig. 1 Layout of cyclone type sludge drying system**

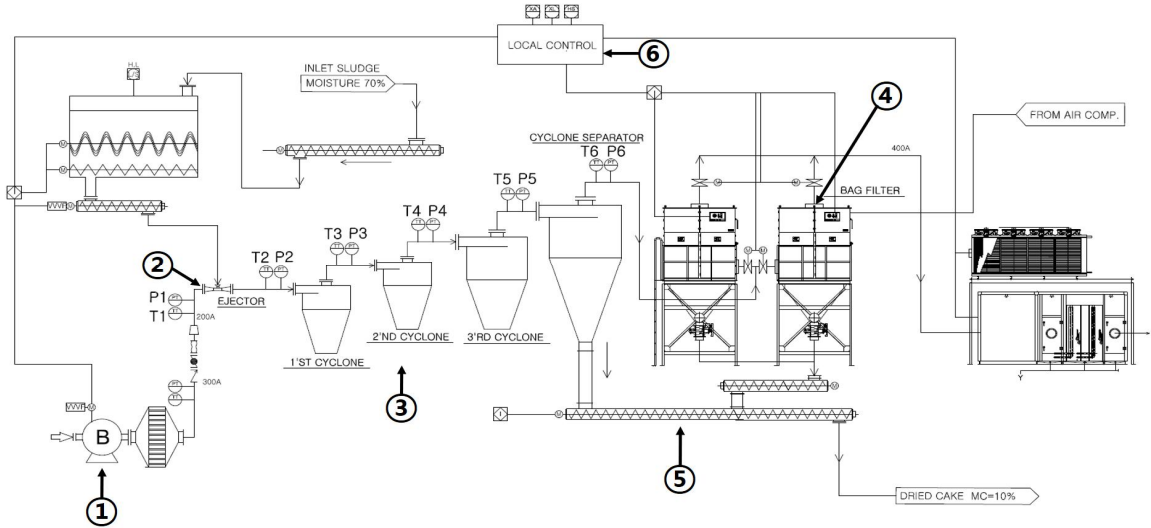


Fig. 2 P&ID of cyclone type sludge drying system

구성되어 있다. Table 2는 사이클론 건조설비의 주요 구성요소에 대한 사양을 나타내며, 이젝터 전단부와 슬러지 공급부의 관경은 각각 300A (Do:318.5mm), 200A(Do:216.3mm)이다. Fig. 3은 실증 장치에 장착된 이젝터를 보여준다.

Table 2 Specification of cyclone drying system

No	Equipments of System	Specification
1	Dried air supplying	- Air blower: 340m <sup>3</sup> /min - Inlet pipe: 300A - Total pressure: 7,000mmAq - VVVF control type
2	Sludge feeding system	- Ejector: 200A
3	Cyclonic dryer	- Cyclones: 1st & 2nd - Separator
4	Dust filtering	- Bag filter: 0.3μm - Air pulsing unit
5	Dried material conveying	- Screw conveyor: 350A
6	Local control system	- PLC controller, Touch screen



Fig. 3 Actual ejector type sludge feeding system

### 3. 이젝터 설계 및 유동해석

#### 3.1 유동 지배방정식 및 해석방법

본 연구에서는 전체 공정시스템에서 저 함수율 탈수 케이크를 건조설비로 원활하게 투입할 수 있는 슬러지 유입시스템 개발을 위하여 이젝터에 대한 유동해석을 실시하였으며, 그 결과를 바탕으로 이젝터를 제작하여 현장 실증 테스트를 실행하고 결과에 대해 분석하였다. 슬러지 유입시스템의 주요 설계요소는 슬러지투입부에서 음압력(Negative pressure)이 발생하는 이젝터의 형상설계이며, 특히 이젝터 내부의 분사노즐이 고속유동에 의해 음압력 형성이 가능한 구경을 결정하는 것이다. 이를 위하여 사전에 ANSYS CFX V14.5를 사용한 유동 시뮬레이션을 통하여 음압력의 세기를 비교 분석하였다<sup>[5-6]</sup>. 각 타입의 형상은 z축을 기준으로 대칭적인 구조로 되어 있으므로 Symmetry 조건을 지정하였으며, 정상상태로서 열전달과 압축성 효과를 무시하였다. 이젝터 내부의 유동 특성을 파악하기 위해 지배방정식은 다음과 같다.

연속방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

운동량 방정식

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

난류에너지 소산 방정식

$$\frac{\partial(\rho u_j k)}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\mu_1}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (3)$$

난류에너지 소산 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u_j \epsilon)}{\partial x_j} &= -\frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_\epsilon}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{k} G_k - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \\ G_k &= \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \end{aligned} \quad (4)$$

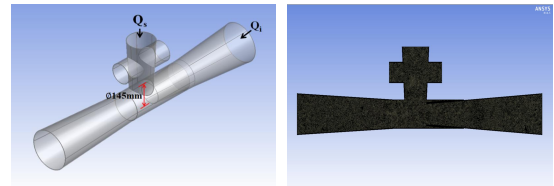
### 3.2 해석모델 및 격자생성

음압력 형성의 조건은 이송관의 구경, 이젝터 내 노즐의 구경과 이젝터 토출 부 확대관의 구경 및 길이로 인해 내부 공기의 유속이 결정된다. 이젝터의 후단 디퓨저 직관 부를 통과한 슬러지는 이송관 후단부에서 70m/s 이상의 속도로 1차 사이클론으로 공급되고 고속유동에 의해 입자화된다. 이때 이젝터 내부의 노즐부 구경에서 공기의 유속은 계산상 280m/s 이상의 아음속상태가 되어 이젝터 상부에 위치한 슬러지 시료를 수직 방향 투입부에서 강한 음압력으로 흡입함과 동시에 후단의 이송관 및 사이클론 건조시스템에 실시간으로 공급되는 것을 확인하였다.

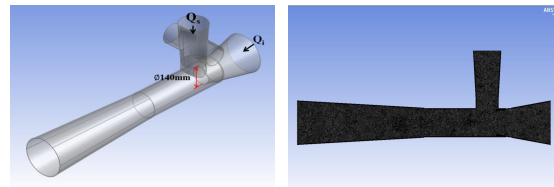
이젝터 전·후단의 압력손실이 커서 전단의 Air blower 토출 유량(Q<sub>i</sub>)은 260~300m<sup>3</sup>/min으로 나타났으며, 이를 기준으로 하여 이젝터를 설계한 A-타입과 B-타입으로 해석한 다음 적정한 압력손실과 음압의 세기를 파악하여 최종 모델을 선정하였다.

여기서 A-타입 이젝터는 노즐 부의 구경(D<sub>i</sub>)이 145mm이며, 슬러지 투입 부 위치가 이젝터의 중앙에 위치한다. 이젝터 후단의 디퓨저 부의 길이를 짧게 한 반면에, B-타입 이젝터는 노즐부의 구경이 140mm이며, 이젝터 후단의 디퓨저 부의 길이를 길게 하고 슬러지 투입부의 위치를 이젝터의 앞쪽에 가깝게 위치하도록 하였다.

Fig. 4와 5는 두 가지 타입의 이젝터에 대한 형



(a) configuration (b) mesh generation  
Fig. 4 A-type ejector configuration and meshing



(a) configuration (b) mesh generation  
Fig. 5 B-type ejector configuration and meshing

상과 해석을 위한 격자 생성(Mesh generation)을 나타내었다. 비정렬 격자를 사용하였고, 벽면에서의 경계층을 형성하여 해석의 오차를 최소화하였다. A-타입은 Nodes수 870,370개, Elements수는 4,027,301개 이며, B-타입은 Nodes수 801,172개, Elements수 3,709,176개 이다.

### 3.3 해석결과 및 고찰

사이클론 공기 건조의 특성상 건조시스템의 1차 사이클론 건조기(Dryer)와 2차 사이클론 건조기 및 사이클론 분리기(Separator)에 걸리는 압력손실에 따라 압력손실의 합계는 Air blower의 토출 부의 전압으로 나타난다. 토출 전압(Total pressure)은 후단의 건조시스템의 구성에 따라 1,000~3,500mmAq 이상의 시스템 압력손실이 이젝터 후단에 걸리게 된다. 이젝터 전단에서의 압력은 약 6,000mmAq 이상으로 나타남을 알 수 있었으며, 이를 통해 Air blower의 운전동력을 결정하게 된다. 이젝터 전·후단의 압력손실은 공급되는 공기 유량의 크기에 비례하며, 이젝터 내 노즐의 구경이 작아질수록 공기 유속은 빨라져 압력손실이 상승하게 된다. 슬러지 유입 시스템의 구조는 상부의 슬러지 공급 컨베이어(Conveyor)에서 자중으로 낙하하는 슬러지 케이크가 음압으로 인하여 이젝터 내로 즉시 빨려 들어

가 하부의 이젝터 내 노즐의 고속 분사 유동으로 인해 슬러지 케이크가 파쇄되면서 건조시스템으로 공급되는 구조이다. 유동해석 결과를 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 두 가지 타입 모두 이젝터 내 노즐 부 내에서 강한 분사 유동을 형성하며, 시료 투입부에서 음압력이 발생함을 확인하였다<sup>6-7)</sup>. 공급 공기 유량( $Q_i$ )이  $300\text{m}^3/\text{min}$ 일 경우에 A-타입 이젝터에서는 시료 투입 부에서 약  $7.97\text{m}^3/\text{min}$ 의 흡입 유량( $Q_s$ )이 발생하였으며, 이젝터 내의 압력손실 ( $\Delta P$ )은  $3,230\text{mmAq}$ 이었다. B-타입에서는 시료 투입 구에서 약  $38.25\text{m}^3/\text{min}$ 의 흡입유량이, 이젝터 내에서의 압력손실은  $3,710\text{mmAq}$ 만큼 발생했다. 해석결과로부터 슬러지 시료가 투입되는 상부의 투입 부 위치가 다르며, 이젝터 내부 노즐부의 구경 및 후단 디퓨저 부의 길이 등의 치수가 상이한 형태로 설계되어 유동해석의 결과에 영향을 미침을 알 수 있었다. 또한, A-타입보다는 B-타입이 슬러지 시료 투입 부 아래에서 강한 음압력이 형성되어 슬러지 투입 부로 주변 공기와 함께 슬러지 케이크가 강하게 빨려 들어감을 확인하였다. B-타입 이젝터의 노즐 부 구경을  $140\text{mm}$ 에서  $180\text{mm}$ 로 증가시켰을 경우, 슬러지 시료 투입부에 음압력 형성으로 인해 흡입되는 공기유량( $Q_s$ )과 이젝터의 압력손실 특성을 Fig. 8에 나타내었다.

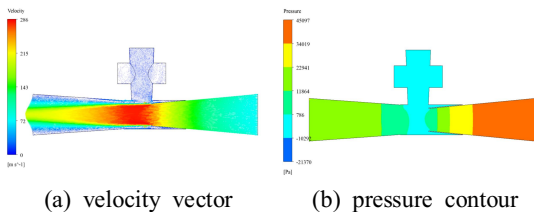


Fig. 6 Analysis results of A-type ejector in case of  $Q_i=300\text{m}^3/\text{min}$ ,  $P_o=2,700\text{mmAq}$ ,  $D_i=145\text{mm}$

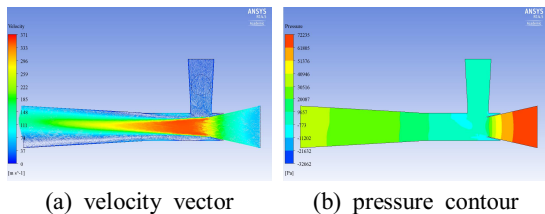


Fig. 7 Analysis results of B-type ejector in case of  $Q_i=300\text{m}^3/\text{min}$ ,  $P_o=3,300\text{mmAq}$ ,  $D_i=140\text{mm}$

해석결과를 살펴보면 노즐 부 구경이  $150\text{mm}$ 로 커지게 되면 이젝터의 압력손실은 감소하나, 시료 투입 부에서 음압력이 형성되지 않아, 오히려 이젝터로 공급된 공기가 빠져나가게 되어 슬러지 공급이 불가능함을 보여준다. 따라서 원활한 슬러지 공급을 위해서 노즐 부 구경이  $140\text{mm}$ 가 적절하다고 판단된다. 또한, B-타입 이젝터로 공급되는 공기유량을  $280, 300, 320\text{m}^3/\text{min}$ 으로 변화시켰을 때, 슬러지 시료 투입부로 흡입되는 유량과 이젝터의 압력손실 값을 Table 3과 Fig. 9에 나타내었다. 이젝터로 공급되는 유입유량( $Q_i$ )이 증가하면 이젝터 내 유속이 증가하고, 음압력의 세기가 커져서 시료 투입부로 빨려 들어가는 공기 흡입유량이 증가하게 된다. 아울러 압력손실도 크게 증가하게 된다. 하지만, 이젝터의 압력손실 증가는 Air blower의 용량 증대를 초래하므로 이젝터의 압력손실과 음압력 세기를 고려한 적정 운전조건을 선정이 필요하다<sup>8-9)</sup>.

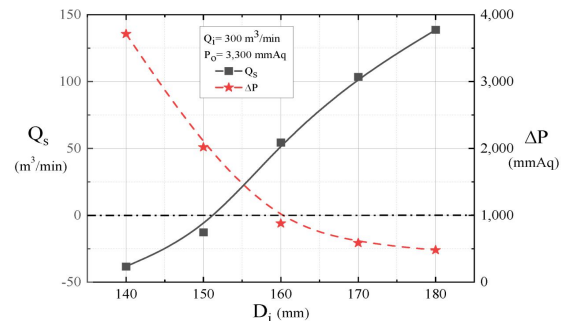


Fig. 8 Suction flow rate and pressure drop of B-type ejector according to nozzle diameter

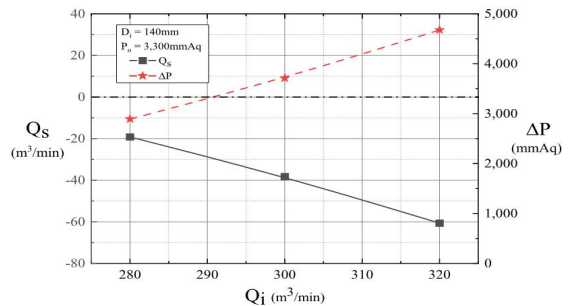


Fig. 9 Suction flow rate and pressure drop of B-type ejector according to inlet air flow rate

**Table 3 CFD Analysis results for B-type ejector**

Inlet Air Flow Rate $Q_i$ (m <sup>3</sup> /min)	Inlet Sludge Flow Rate $Q_s$ (m <sup>3</sup> /min)	Ejector Pressure Drop $\Delta P$ (mmAq)
320	(-) 60.65	4,670
300	(-) 38.25	3,710
280	(-) 19.19	2,890

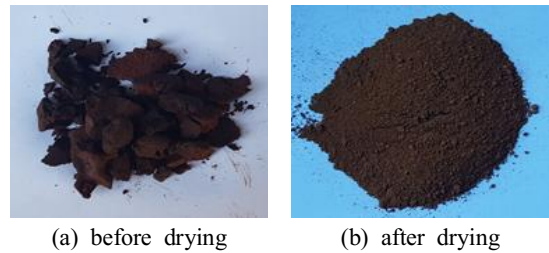
- Inlet Dia. of Ejector Nozzle : 140mm  
 - Outlet Pressure of Ejector : 3,300mmAq  
 (-) : Suction

#### 4. 해석 및 실험결과 고찰

이젝터를 이용한 슬러지 공급장치의 성능 확인을 위하여 실증 테스트를 수행하였다. 1,200kg/h의 투입 속도로서 공정 폐수 슬러지 케이크에 대한 건조시험을 수행하였으며 사용된 슬러지 케이크 시료는 제강 슬러지로서 비중은 1.3, TS(Total Solid) 52.3%, 최고함수율 47.7%의 시료를 사용하여 A-타입과 B-타입 이젝터를 교체해 가며 테스트를 진행하였다. 테스트 결과, 동일한 건조설비시스템에서 A-타입의 경우는 음압력 발생이 원활하지 못하여 슬러지 시료는 원활히 투입되지 않음을 확인하였다. B-타입의 경우는 슬러지 시료 투입 부에 충분한 음압이 걸림으로써 강한 공기흡입과 함께 시료 투입이 아주 원활함을 확인하였다. 실증 시험을 통하여 B-타입 이젝터의 성능이 유동해석 결과와 유사함을 확인하였으며, 해석과 실증 테스트를 통하여 확인할 수 있었다. Table 4는 B-타입의 이젝터를 적용하였을 때의 실증시험 데이터인 공급 Air blower의 유량과 압력 값 그리고 건조장치의 각각 구성요소에서의 압력 값을 나타낸다. 이상의 유동해석과 실증 테스트를 통하여 70% 이하 저 함수율을 갖는 무기성 슬러지의 공급이 가능하게 되었으며, Fig. 10은 건조장치에 투입하기 전의 제강 슬러지와 B-type 이젝터를 적용한 사이클론 건조공정을 거친 건조 슬러지의 형상을 보여 주는데 건조 테스트 결과, 슬러지가 미세하게 분쇄되어 건조상태가 매우 양호함을 확인할 수 있었다.

**Table 4 Experimental data of B-type ejector**

Air Supply Blower				Component Pressure (mmAq)					
Flow (m <sup>3</sup> /min)		Pressure (mmAq)		P1	P2	P3	P4	P5	P6
A	B	A	B						
154	154	6,680	6,645	6,413	3,867	3,521	2,047	935	245
147	146	6,203	6,263	5,926	2,825	2,621	1,358	430	221
147	146	6,203	6,263	5,945	2,846	2,684	1,415	601	216



**Fig. 10 Comparison of sludge drying effect**

#### 5. 결론

산업폐수처리장에서 무기성 슬러지를 70% 이하의 저 함수율로 탈수하고 탈수기 후단에 슬러지 감량화 공정을 실행하여 건조할 경우, 사이클론 건조설비를 유용하게 사용될 수 있다. 이때 슬러지 케이크를 실시간으로 건조시스템 내부로 원활히 주입할 수 있도록 개발된 본 연구의 음압 이젝터는 슬러지 투입이 원활하게 이루어짐을 알 수 있었으며, 다음과 같은 연구 결과를 도출하였다.

- 음압 이젝터의 상부 슬러지 시료 투입 부에서 발생하는 음압력의 세기는 내부 노즐 부의 구경이 작을수록 크게 발생함을 알 수 있었다. 또한 동일한 이젝터 모델에서는 공기 유량이 많을수록 음압력이 크게 발생함을 알 수 있었다.
- 본 연구에서 슬러지 시료가 원활히 투입되기 위해서는 이젝터에 의하여 시료 투입 부에서 충분한 음압력의 세기가 발생하여야 하며, 이젝터 전단 부 유속은 280m/s 이상의 속도가 발생되어야 함을 알 수 있었고, 이젝터 전·후단의 압력차가 3,000~3,500mmAq일 경우 슬러지 주입 시스템의 운용 및 슬러지의 실시간 투입이 더욱 안정적임을 알 수 있었다.

- 3) 본 연구를 통하여 이젝터는 하부의 공기 이송관의 중심선과 일치한 이젝터의 공기 유입, 토출 부, 슬러지 투입 부 그리고 이젝터 후단의 디퓨저 관 연결부는 일정한 형상비와 노즐 부구경을 확보하여야 원활한 음압력의 세기가 발생함을 알 수 있었다.
- 4) 다양한 산업군에서 운영되는 산업폐수처리장, 특히 석유화학, 제강, 제련 및 기타 공정 폐수가 많이 발생하는 분야에서 무기성 슬러지를 필터프레스로 탈수한 저함수율(70% 이하)의 슬러지 케이크를 건조설비에 적절하게 투입하는 장치로써 본 개발 기술은 대단히 유용하게 적용될 것으로 판단된다.

## 후 기

“본 연구는 환경산업기술원의 녹색혁신기업 연구개발사업(2020003170003)의 일환으로 수행되었음”

## REFERENCES

1. Mujumdar, B. S., Handbook of Industrial Drying, Dewatering and Drying of Wastewater Treatment Sludge, 3<sup>rd</sup> Edition, CRC Press, pp. 18, 2006.
2. Kudra, T. and Mujumdar, A. S., Advanced Drying Technologies, 2<sup>nd</sup> Edition, CRC Press, pp. 49-67, 2009.
3. Jamaledine, T. J. and Ray, M. B., “The Drying of Sludge in a Cyclone Dryer Using Computational Fluid Dynamics,” Journal Article in Drying Technology, Vol. 29, Issue 12, pp. 1365-1377, 2011.
4. Chuah, T. G., Gimbin, J. and Choong, T. S. Y., "A CFD Study of the Effect of Cone Dimensions on Sampling Aerocyclones Performance and Hydrodynamics," Powder Technology, Vol. 162, pp. 126-132, 2006.
5. Joo, H. J., Jung, I. Y., Yun, S. K. and Kwak, H. Y., "CFD Analysis on the Flow Characteristics of Ejector According to the Position Changers of Driving Nozzle for F.W.G," Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 3, pp. 23-28, 2011.
6. Ji, M. K., Kim, P. H., Park, K. T., Utomo, T., Chung, H. S. and Jeong, H. Y., "Performance Characteristics of Air Driven Ejector According to the Position Changes and the Shape of Driving Nozzle," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 32, No. 4, pp. 550-556, 2008.
7. Utomo, T., Jin, Z., Rahman, H., Jeong, M. and Chung, H. S., "Investigation on Hydrodynamics and Mass Transfer Characteristics of a Gas-liquid Ejector using Three Dimensional CFD Modeling," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 22, pp. 1821-1829, 2008.
8. Kandakure, M. T., Gaikar, V. G. and Patwardhan, A. W., "Hydrodynamic Aspects of Ejectors," Chem. Eng. Science, Vol. 60, pp. 6391-6402, 2005.
9. Yadav, R. L. and Patwardhan, A. W., "Design Aspects of Ejectors: Effects of Suction Chamber Geometries," Chem. Eng. Science, Vol. 63, pp. 3886-3897, 2008.