

앤드리츠형 건조기의 내부 유동에 관한 해석 Analysis of a inner flow of ANDRICH type dryer

김태식 · 최윤환 · 이연원 · 최 광

T. S. Kim, Y. H. Choi, Y. W. Lee and K. Choi

Key Words : Rotary dryer(회전식 건조기), Lift plate(휨기 판), PIV(입자 화상 유속 측정법)

Abstract : In order to prevent the environmental pollution, the dryers are commonly used to treat sludge that one of sewages is polluting the quality of water. Generally, the drying method is various as to the property of material and use. Rotary dryer is a good apparatus to treat them. The rotary dryer is the way that is to make substance transmission and heating using hot air between sludge particles and heated gas. In this paper, we performed a numerical analysis of the inner air flow of the ANDRICH type dryer through the changing rotational speed from 3rpm to 10rpm. A PIV can be applied to research a inner flow of ANDRICH type dryer.

1. 서 론

산업화가 진행됨에 따라 환경문제의 중요성이 강조되면서 환경오염 개선에 대한 요구가 증가하고 있다. 환경오염 중에서 가장 심각하게 대두되는 것 중의 하나가 수질오염이라 할 수 있다. 하천 수질 오염을 방지하기 위하여 하수처리장이 가동되고 있으며 이 때 하수 슬러지가 발생하게 된다. 하수 슬러지는 다량의 수분(80%)과 유기물(20%)을 포함하고 있다. 현재 하수 슬러지 처리 방법으로는 대부분이 단순 매립되거나 해양투기가 되고 있다. 그러나, 매립은 악취, 해충 등의 2차적인 환경오염을 유발시킬 우려가 있으며 국제 환경규제에 따라 향후 해양투기는 어려움을 전망이다. 현재 슬러지 자원화 처리 방법으로는 주로 소각에 의해 이루어지고 있다. 열풍을 이용하여 슬러지를 건조시킨 후, 슬러지에 포함된 수분 함량을 줄이고 고농도의 유기물을 확보하여 토지의 퇴비화 및 시멘트 원료 등에 사용하는 방법도 활발하게 실행되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 하수 슬러지를 퇴비화 할 목적으로 사용하고 있는 회전식 열풍 건조기 내부 유동에 관한 수치해석

을 수행하여 건조기 설계에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. PIV 실험장치 및 방법

2.1 PIV 개요

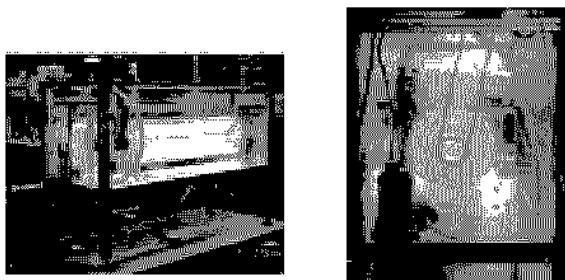
유체의 유동특성을 파악하는 실험으로는 유동 가시화 실험을 보편적으로 사용한다. 이 방법은 유체 유동을 직관적으로 이해하기 쉬운 결과를 얻을 수 있기 때문에 구체적이고 복잡한 유동장도 가시화 할 수 있다. 이러한 특징으로 인하여 유동 가시화 실험은 유체의 유동특성을 파악하는 하나의 도구로 많이 사용되고 있다. PIV의 기본원리는 입자의 입자운동을 시간간격 및 변위벡터의 관계로부터 구할 수 있다. 본 논문에서는 상호 상관법을 이용하여 속도분포를 구하였다.

2.2 실험장치 및 방법

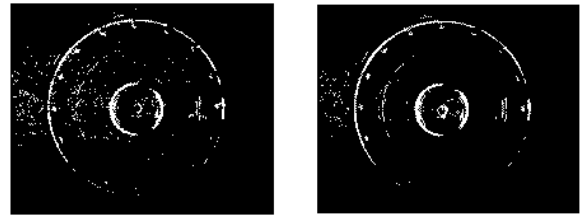
본 연구에서는 속도 가변형의 전동모터를 사용하여 건조기 모형을 회전시켜 가시화 실험을 수행하였다. Fig. 1은 실험 장치를 나타낸 것이다. 실험장치의 크기는 제작과 실험 한계를 고려하여 실제 크기에 1/10 축소하여 모형을 구성하였다. Fig. 1(a)는 실험장치 전체를 나타낸 것으로 건조기 모형과 물이 채워져 있는 수조로 이루어져 있다. PIV 유동가시화 시 레이저 시트가 원통용기를 통과하면 빛의 왜곡현상으로 정확한 유동장을 구할 수 없다. 따라서 원통

접수일 : 2005년 12월 15일
이연원(책임저자) : 부경대학교 기계공학부
E-mail : ywlee@pknu.ac.kr Tel. 051-620-1417
김태식 : 부경대학교 대학원 기계공학부
최윤환 : 부경대학교 기계공학부
최 광 : 포항산업과학연구원 강구조연구소

용기 바깥에 직육면체의 용기를 설치하고 물을 채워 빛의 왜곡을 최대한 억제시켰다. 건조성형기의 구동은 Fig. 1(b)에서 나타난 바와 같이 전동모터와 벨트로 연결되어 가변적으로 구동된다. 실험에서는 5rpm과 10rpm 두 가지 경우에 대하여 반경방향 유동장을 가시화하였다. 건조기 내부의 유동을 형성하기 위하여, 건조기 입구부분에 연결된 펌프를 가동시킴으로써 유동을 발생시켰다. 입구와 연결된 펌프는 가변적으로 작동하며 입구 유입시 유속은 약 1 m/s로 고정하였다. 반경방향의 단면을 가시화하기 위하여 최대 5 W의 출력을 가지는 레이저가 사용되었고, 유동장 영상은 고속도 카메라(해상도 1K×1K)를 사용하여 초당 125 프레임을 저장하였다. 영상조작과 속도장 계산 및 후처리는 컴퓨터에서 별도의 처리 소프트웨어를 사용하였다. Fig. 2는 원시영상과 소프트웨어를 사용하여 background 처리된 영상을 나타낸 것이다. Fig. 2에서 건조기 중앙을 기준으로 우측면은 콘의 존재로 인하여 정확한 영상을 얻기가 매우 어렵다. 그리고 축방향 속도를 구하기 위하여 축방향으로 레이저 시트를 투과하였으나 각 드럼 내에 존재하는 lift plate로 인하여 빛이 산란하였다. 만약 드럼이 회전하지 않는다면 lift plate를 피해서 빛을 투과할 수도 있었으나, 본 연구에서는 드럼이 회전하므로 축방향 속도를 구하는 일이 대단히 난해하다. 따라서 본 연구에서는 반경방향 속도 중에서 왼쪽 반원 부분만을 계산하였다. 이상의 과정을 거쳐 얻어진 프레임들을 이용하여 속도장 계산을 수행하였으며, 계산과 에러 제거, 그리고 내삽(interpolation)은 PIV 해석을 위한 상용 프로그램인 CACTUS 2000을 사용하였다. PIV 해석 프로그램에 의해 계산된 데이터는 좌표에 대한 수치와 속도에 관한 수치가 모두 픽셀단위로 되어 있다. 따라서 계산된 데이터는 모두 [m] 단위로 환산하였다.



(a) 모형 실험장치 (b) 유체 순환장치
Fig. 1 모형 실험장치



(a) 원시영상 (b) Background 처리영상
Fig. 2 고속도 카메라 영상

2.3 유동가시화 결과

2.3.1 위치에 따른 유동 양상

Fig. 4는 축방향 거리에 따른 유동장을 나타낸 것이다. Fig. 4는 125프레임의 영상에서 순간 속도를 나타낸 것이다. 각각의 속도장은 입구에서 축방향으로 각각 0.2, 0.4, 0.6m 지난 지점의 반경방향 단면에서의 속도를 나타내고 있다. Fig. 3은 계측 단면의 위치를 도시한 것이다. 속도장은 크게 3개의 영역으로 분류되는데 1번드럼, 2번 드럼 그리고 3번드럼의 영역에서의 속도장이 다른 양상을 보인다는 것을 알 수 있다. 이상과 같은 유동 패턴은 CFD에 의해 구해진 유동장의 결과와 정성적으로 비슷한 경향을 보인다. CFD와의 정량적인 비교는 현실적인 실험 조건에서 가능한 속도범위를 사용하여 충분한 상사를 얻기에는 어려움이 존재한다. PIV실험에서 건조기 내부의 유체를 기체로 했을 때는 영상확보 난해성 등으로 인하여 유체를 액체인 물로 하였다. 따라서, 실험과 수치해석에서의 레이놀즈 수를 비교해 보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있고, 실험과 수치해석에서 정량적인 비교에 관해서는 검토가 필요하다.

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (1)$$

실험 : $V = 1.0 \text{ m/s}$, $D = 0.07 \text{ m}$,
 $\nu = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $Re = 70,000$
 수치해석 : $V = 30 \text{ m/s}$, $D = 0.7 \text{ m}$,
 $\nu = 6.2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $Re = 338,710$

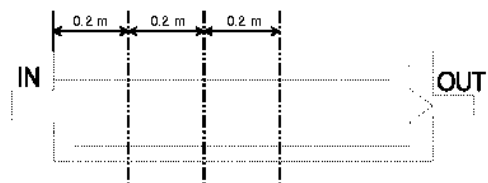


Fig. 3 계측단면의 위치

이상의 레이놀즈 수 비교를 통하여 실험과 CFD 사이의 정량적인 비교는 어려우나 정성적인 패턴은 실

험과 CFD가 비슷한 결과를 보여줌을 확인할 수 있었다. 한편, Fig. 4에서 1번 드럼에서의 속도 변화는 크지 않음을 알 수 있는데, 이는 1번 드럼에서는 입구쪽에서 유입되는 축방향 속도가 지배적이기 때문에 상대적으로 반경방향의 속도는 미비하게 나타나는 것이다. 그리고 유동의 방향은 1, 2, 3번 드럼 모두 모형의 회전방향으로 향하고 있다. 모든 지점의 유동장에서 원주방향으로의 유동패턴이 비슷하게 형성되고 벽면 주위에서는 속도가 커지는 것을 확인할 수 있는데 이것은 원주방향으로 존재하는 lift plate 때문이며, lift plate가 있는 부분은 속도가 느려지고 lift plate 사이는 lift plate로 인하여 형성된 와류 때문에 속도가 빨라지는 것을 확인할 수 있다. 2번 드럼에서는 입구에서 멀어질수록 반경방향의 속도는 작아짐을 알 수 있다. 이는 2번 드럼의 출구에서 3번 드럼의 입구쪽으로 유동이 급선회를 하는데 이로 인하여 생성된 재순환 영역이 2번 드럼 입구와 3번 드럼 출구 근처에 존재한다는 것을 나타낸다. 따라서, 이 지점의 재순환영역이 반경방향의 속도를 크게 만드는 요인이라 할 수 있다. 그러나 3번 드럼에서는 반대로 입구에서 멀어질수록 특히, 출구 지점에서는 속도가 큰 것을 확인할 수 있는데, 이것은 출구쪽의 형상이 급 축소관의 형태를 띠기 때문이며, 앞에서 설명한 2번 드럼의 재순환영역에 대한 설명과 비슷한 맥락에서 이해할 수 있다.

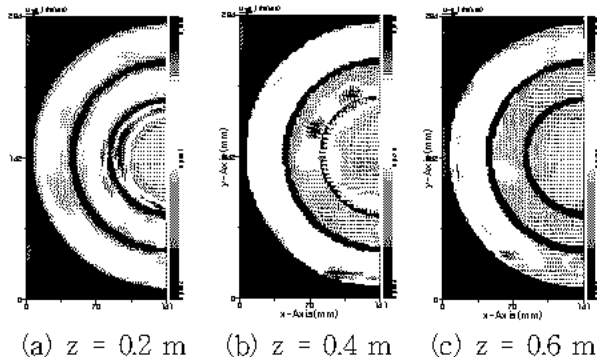


Fig. 4 위치에 따른 순간 속도 유동장 변화

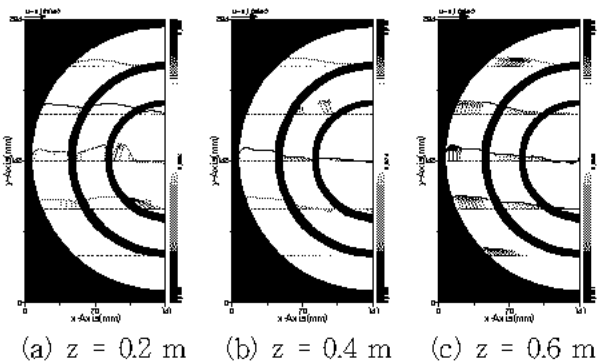


Fig. 5 위치변화에 따른 속도 분포

Fig. 5는 각 지점에서의 속도를 정량적으로 나타낸 것으로서 Fig. 4에서 유동양상을 설명한 것을 보다 명확하게 확인할 수 있다.

2.3.2 회전수 변화에 따른 유동 특성

Fig. 6은 모형 회전속도를 5 rpm과 10 rpm으로 했을 때의 유동장을 나타낸 것이다. 회전수가 5 rpm 일 때의 반경방향 최대유속은 약 0.1 m/s이고 회전수가 2배 증가하여 10 rpm인 경우는 약 0.23 m/s로 회전수에 비례하여 반경방향 속도가 증가함을 확인할 수 있다. 반경방향 속도가 증가한다는 것은 운동 에너지 보존에 의해 축방향 속도가 감소한다는 것을 의미하므로 건조기 가동시 중요한 변수가 되는 체류 시간은 이에 반비례적으로 감소할 것으로 추측된다. 유동장에서 특이한 점은 5 rpm인 경우에는 원주방향의 속도분포가 불균일하게 나타나지만 10 rpm에서는 빨라진 회전으로 인하여 원주방향 속도 분포가 균일하게 나타나는 것이다.

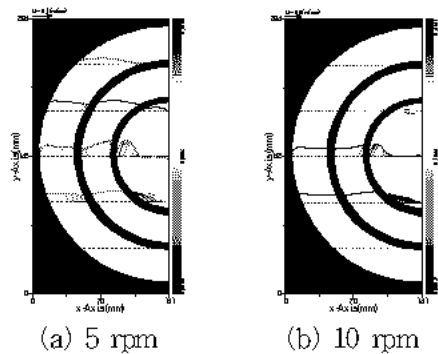


Fig. 6 회전속 변화에 따른 평균속도분포(z=0.2 m)

3. 건조기의 모델링 및 경계 조건

3.1 회전식 건조기 모델링

본 계산에 사용된 모델은 screw plate가 부착되어 있는 회전식 건조기의 내부 열풍편류로 인한 에너지 이용률 저하와 고 점도의 슬러지의 경우에는 건조기 내벽 및 screw에 부착되어 슬러지 이송을 방해하는 영김 현상등 여러 가지 문제점을 보완한 앤드리츠형 회전식 건조기 모델이다. 앤드리츠형 회전식 건조기 모델은 screw lift plate 형태를 직선형 lift plate로 변경하여 1번 드럼 내외부에 8개의 직선형 lift plate를 설치하고, 2번 드럼 내외부에는 screw형 lift plate 대신 16개의 직선형 lift plate가 부착되어 있으며, 3번 드럼 내부에 16개의 직선형 lift plate가 장착되어 있다. screw plate형 회전식 건조기 1번

드럼에 설치되어 있던 콘 모양의 가이드로 인해 1번 드럼 내부 유동에 재순환 영역이 형성되었으나, 앤드리츠형 회전식 건조기에서는 출구부분의 유동 가속을 유도하기 위해 2번 드럼 끝단에 부착되어 있다. 본 계산에 수행된 앤드리츠형 회전식 건조기의 형상은 Fig. 7과 같다.

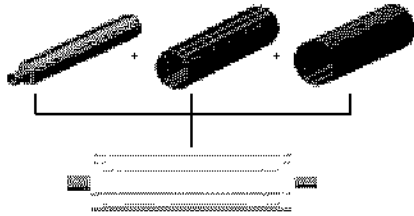


Fig. 7 앤드리츠형 회전식 건조기의 형상

3.2 지배 방정식 및 경계 조건

고온 공기가 건조기 입구에 수평으로 유입되어 1번, 2번, 3번 드럼을 통과하여 2번 드럼의 끝단에 장착된 콘 모양의 가이드에 의해 유동이 가속되어 3번 드럼 출구를 통해 방출된다. 앤드리츠형 회전식 건조기는 3차원 유동이며, 다음과 같은 가정을 도입하였다.

- 1) 비압축성 정상상태의 유동이다.
- 2) 유동은 벽면에서 점착(No Slip)조건을 만족한다.

건조기 내에서의 기체 유동은 난류유동이므로 난류계산을 위해 $K-\epsilon$ 모델이 사용되었다. 유동해석은 CFX 5.7 parallel 프로그램을 이용하였으며, 계산에 사용된 컴퓨터는 CPU 2.8GHz 24개인 병렬 컴퓨터이다. 앤드리츠형 회전식 건조기 내부 유동 특성을 분석하기 위한 경계 조건으로 열풍의 입구 유속은 30 m/s, 입구 온도는 400°C 이다. 계산을 위한 건조기 도메인 Nodes수는 677093개이며, Elements수는 329540개이다.

건조기 회전수를 3rpm, 5rpm, 8rpm, 10rpm으로 변경하면서 각각의 회전수에 대한 건조기 내부 유동 특성을 비교 분석하였다. 또한, 입구 형상 및 가이드 콘의 높이를 변화시키면서 최적의 설계조건을 찾기 위해서 상호 비교 분석하였다.

4. 건조기 유동 특성 분석

4.1 건조기 내부 유동 특성

본 계산에 적용된 앤드리츠형 회전식 건조기의 입구 유속은 30 m/s이다. 회전수는 3, 5, 8, 10 rpm으로 변화 시키면서 건조기 내부 유동 해석을 수행하

여 회전수 변화에 따른 유동 변화를 조사하였다. Fig. 8은 건조기 회전수 3rpm 인 경우에 건조기 중앙 단면 (YZ면, X=0)에서의 유선을 나타내고 있다. 건조기 입구는 급확대 형상을 보이고 있으며, 1번 드럼 lift plate가 부착된 벽면측에는 재순환 영역의 존재로 인하여 속도가 현저히 낮아짐을 보여주고 있다. 1번 드럼 출구에서 2번 드럼으로 유입되는 유동은 재순환영역이 형성되고 있다. 2번 드럼에서 3번 드럼으로 유입되는 유동은 유로의 각도가 180°로 변경됨에 따라 드럼 3번에서 재순환영역이 현저히 증가됨을 알 수 있다. Fig. 9은 A, B, C, D 지점에서 반경 방향 단면 속도 벡터를 나타내고 있다. Z=0.23m 인 A 지점은 2번 드럼에서 유출된 유동이 3번 드럼으로 유입되는 영역으로 축방향 속도 성분 보다 회전속이 크게 작동하는 영역으로 3번 드럼 벽면 방향으로 유속이 증가함을 보여주고 있다. Z=4m인 B지점은 대부분 축방향 속도 성분이므로 단면 속도 벡

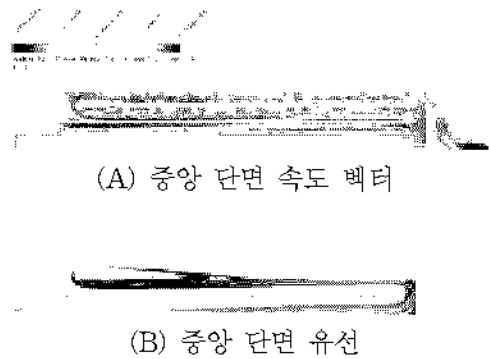
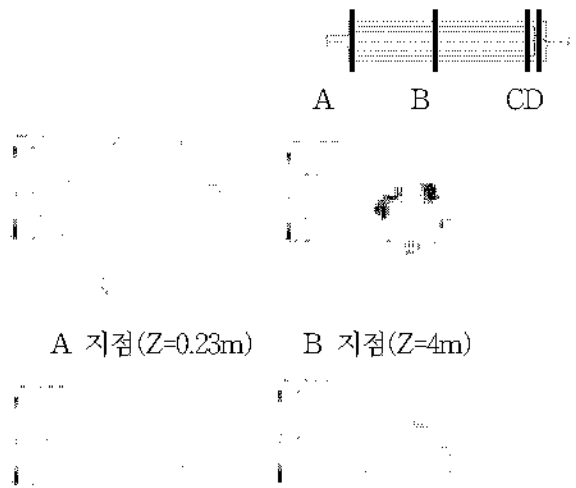


Fig. 8 건조기 중앙 단면 (회전수 3rpm, YZ면, X=0)



C 지점(Z=8.23m) D 지점(Z=8.73m)
Fig. 9 반경방향 단면 속도 벡터 (XY면)

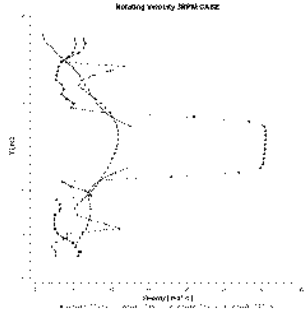


Fig. 10 반경 방향(Y)에 따른 축방향 속도값

터 처리시 축방향 속도를 제외하면 다른 지점보다 유속이 낮게 표시되므로 벡터 스케일을 10배 확대하였다. Z=8.23m인 C지점은 1번 드럼 유출 유동이 2번 드럼으로 유입되는 영역으로 반경 방향으로 유동이 움직이는 것을 나타낸다. Z=8.73은 가이드 콘이 있는 영역으로 유동은 가이드 콘 중심으로 모여 출구 유로를 통해 외부로 이동한다. Fig. 10은 A, B, C, D 지점에서의 반경방향(Y)에 따른 축방향 속도값을 나타내고 있으며, A 지점에서 축방향 속도 성분이 가장 크게 나타나고 있으며 C지점에서 가장 낮은 것을 알 수 있다.

4.2 회전수 변화에 따른 축, 반경방향 유동 분포
앤드리츠형 회전식 건조기의 입구 속도를 30 m/s, 회전수를 각각 3, 5, 8, 10 rpm으로 변화 시키면서 건조기 내부 유동 해석을 수행하여 회전수 변화에 따른 유동 변화를 조사하였다. Fig. 11은 건조기 중앙 단면에서의 유선을 나타내고 있으며 각각의 회전수에 따른 재순환 영역을 확연히 나타내어 주고 있다.

Fig. 12는 회전수가 각각 3, 5, 8, 10 rpm인 경우에 반경 방향에 따른 축방향 속도를 정량적으로 나타내고 있다. 축 방향 속도 측정 지점은 Z=0.23, 4, 8.23, 8.73 m이며 전반적으로 회전수 차이에 의한 속도의 변화량은 크게 차이가 없다. 건조기 내부의 공기 유속은 균일한 분포를 취하는 것이 이상적이므로 속도 분포가 Y=0를 기준으로 대칭적으로 나타나지 않는 부분에서 유동이 정체, 역류하는 것을 알 수 있다.

Fig. 12에서 0.23 m인 경우에 1번 드럼 중앙(Y=-0.25~0.25m)에서 속도의 크기가 일정하게 나타나고 있으며, 이 경우 속도는 30 m/s이고, 1번 드럼 벽면으로 갈수록 속도가 감소하는 경향을 보이고 있다. 그리고 축방향 Z가 증가할수록 중앙에서 벽면 마찰과 건조기의 회전력으로 인하여 속도가 감소한다. 축방향 Z=8.73 m 인 경우에 콘 주위의 속도는

회전수 3, 5 rpm인 경우 12.5 m/s로 일정하며, 회전수 8, 10 rpm에서는 속도 변동이 불안정한 형태를 보이고 있다. 반면, 축방향 Z=8.23 m 인 경우에 회전수 3, 5 rpm에서는 Y=0을 중심으로 상하 비대칭의 크기를 가지며, 회전수 8, 10 rpm에서는 비교적 대칭적인 속도분포를 보이고 있다. 이는 속도 데이터를 취한 단면의 문제에 기인한다. 즉, lift plate의 존재로 인해 완벽한 축대칭이 될 수 없다는 것을 의미한다.

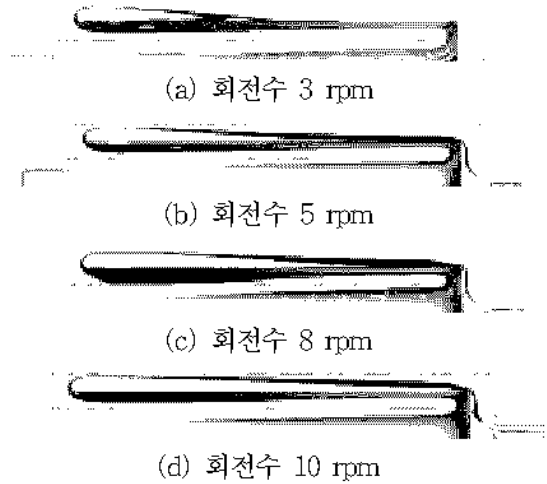


Fig. 11 회전수 변화에 따른 건조기 중앙 단면 유선 (YZ면, X=0)

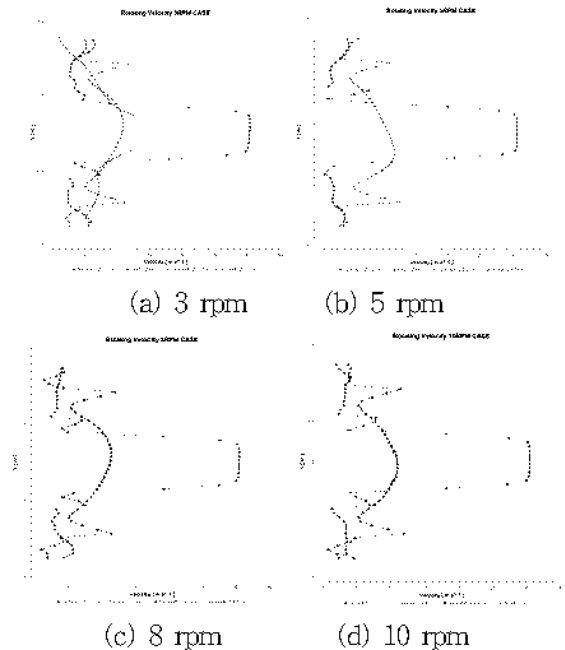


Fig. 12 반경방향 (Y)에 따른 축방향 속도값

회전수의 영향에 따른 반경방향 유동 변화를 파악하기 위하여 가급적 중심부를 제외하고 입구지점 축

방향 0.23m, 출구지점 8.73m의 2지점을 선정하여 회전수 변화에 따른 반경방향 단면 유동 분포 및 속도를 분석하였다. Fig. 13은 축방향 0.23 m, Fig 14은 8.73m의 위치에서 회전수 변화에 따른 반경방향 단면 유동 분포를 나타내고 있다. Fig. 13에는 lift plate가 부착된 벽면사이에서 역류 및 건조기 회전에 의한 와류가 형성되는 것을 알 수 있다. 그러나 1번 드럼 중앙부에서 주 유동은 축방향 유입 속도 성분이 30 m/s에 달하고 2번 드럼에서 3번 드럼으로 회전 유입하는 부분에서는 반경 방향이 주 유동 성분이다. 따라서, 유동 주위는 재순환, 역류, 정체 영역이 발생하는 등 복잡한 유동 형태를 보이지만 이 영역에서는 회전수 변화에 따른 단면(XY면) 속도 분포의 영향은 거의 없는 것으로 나타나고 있다.

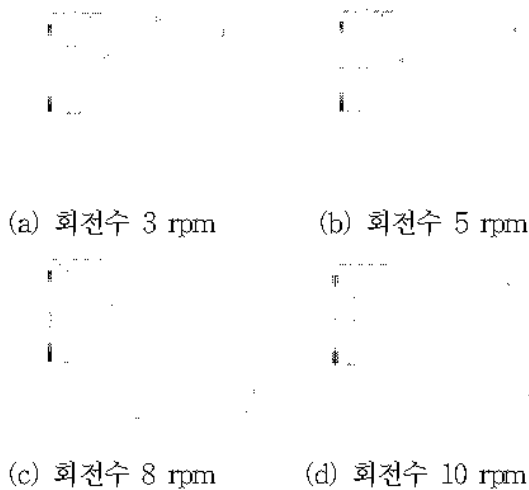


Fig. 13 회전수 변화에 따른 반경 방향 단면 속도 벡터 (XY면, Z=0.23m)

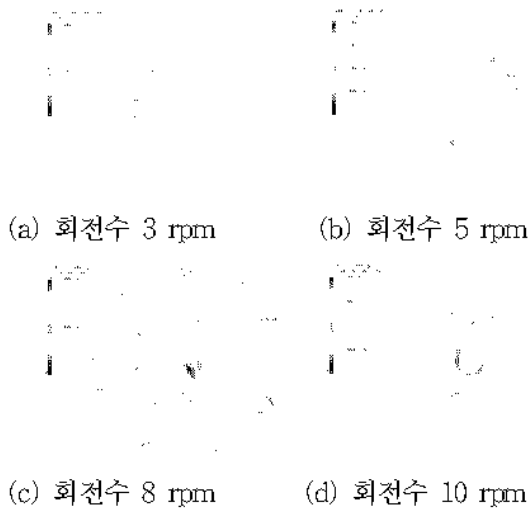


Fig. 14 회전수 변화에 따른 반경 방향 단면 속도 벡터 (XY면, Z=8.73m)

Fig. 14은 가이드 콘이 있는 영역으로 유동은 가이드 콘 중심으로 모여 출구 유로를 통해 외부로 이동한다. 건조기 회전수가 증가함에 따라 유동이 3번 드럼 가이드 콘으로 회전하면서 모이는 경향이 강하게 나타나고 있다. 3번 드럼 출구와 가이드 콘의 인접으로 인하여 출구 유로가 오리피스 형태가 되어 출구에서의 유속이 최고치를 나타내고 있다. 이로 인하여 회전에 의한 유속 증가를 유도하고 있는 것을 알 수 있다.

5. 형상 변경에 따른 유동 해석

5.1 앤드리츠형 형상 변경

건조기 내부에서의 건조는 여러 가지 요인들에 의하여 영향을 받는데, 건조기 내부의 공기 속도 분포에 대한 검토는 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 앤드리츠형 회전식 건조기에 대하여 형상 변경을 통해 균일한 공기 속도 분포를 가지는 건조기 형상을 모델링하여 수치 해석적으로 살펴보았다. 기존 앤드리츠형 회전식 건조기의 입구 형상은 직관이며 1번 드럼에서 급확대 형태를 취하고 있다. 이로 인해 중심부에서의 축방향 성분 속도 코어 영역이 존재하게 되며 lift plate, 벽면 근처에서 재순환 영역이 형성되고 있다. 그리고 출구 부분에서는 가이드 콘과 출구의 형상비로 출구 유로가 좁아져 건조기 전체에서 가장 빠른 속도값을 나타내고 있다. 이와 같은 문제점을 검토 및 개선하기 위해 앤드리츠형 회전식 건조기의 입구 형상 및 콘 높이를 변경하여 연구하였다.

형상 변경 조건은 Fig. 15에서 보는 바와 같이 4 가지 경우이다.

- CASE 1 : 입구 형상 변경(CASE 2)과의 비교를 위해 기존 앤드리츠형 입구 형태.
- CASE 2 : 건조기 1번 드럼 연결 부분 형태를 직관에서 확대관으로 형상 변경.
- CASE 3 : 가이드 콘의 꼭지점 기준으로 콘 높이를 100 mm 감소시킨 형태.
- CASE 4 : 가이드 콘의 꼭지점 기준으로 콘 높이를 100 mm 감소시킨 형태.

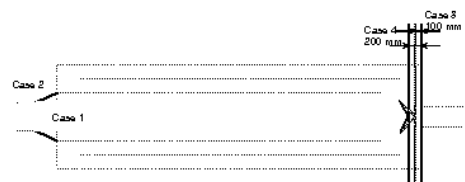


Fig. 15 앤드리츠형 회전식 건조기의 형상 변경

5.2 형상 변경 건조기 유동 특성 분석

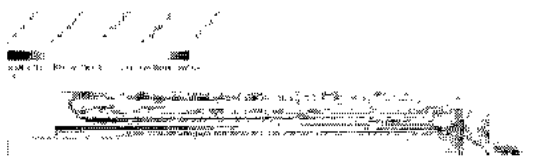
5.2.1 건조기 입구 속도 분포

본 계산에 적용된 앤드리츠형 회전식 건조기의 형상 변경(Case 2)의 입구 속도는 30 m/s, 회전수는 8 rpm으로 고정하여 유동 해석을 수행하였다.

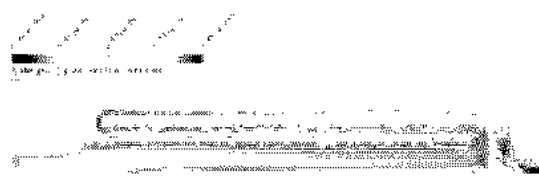
Fig. 16은 기존 앤드리츠형 회전식 건조기 중앙 단면(YZ면, X=0) 속도 분포와 입구 형상이 변경된 CASE 2의 속도 분포를 나타내고 있다. CASE 2 유입공기는 입사각 28.5°로 확대된 관을 통과하여 건조기 내로 유도된다. 건조기 내의 1번 드럼 속도분포는 입구관의 형상 및 유입공기의 입사각, 그리고 입구조건 등에 의존한다. 이들 변수 중에서 특히 영향을 미치는 인자는 입구관을 통하여 건조기내로 유입되는 공기의 입사각이다. 입구관을 통과해 건조기 내로 유입되는 공기로 인하여 발생하는 유동장의 경향을 살펴보면 Case 1의 직관 형태는 축방향 속도에 의해 벽면 근처에서의 유동은 재순환 영역을 야기한다.

반면, Case 2 처럼 입구관 형태가 서서히 증가하는 관은 재순환 영역을 축소시킨다. 이것은 Fig. 17 처럼 CASE 1과 CASE 2의 입구 단면을 확대하여 살펴보면 명확히 확인 할 수 있다.

CASE 2에서는 입구 부분의 변경에 의해 재순환 영역을 억제함과 더불어 1번 드럼내의 유속이 앤드리츠형에서 추천하는 20 m/s 속도에 근접하는 유동 분포를 얻을 수 있었다.



(a) 기존 형상 단면 속도 분포



(b) 입구 형상 변경 단면 속도 분포

Fig. 16 입구 형상 변경



(a) Case 1 (b) Case 2

Fig. 17 입구측 단면 확대

5.2.2 건조기 출구 속도 분포

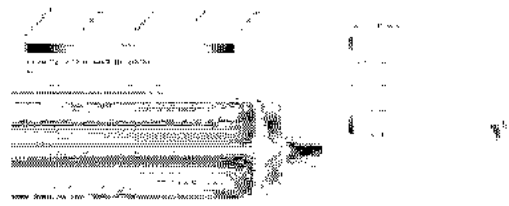
건조기 출구에서 가이드 콘과 출구의 형상비로 유로가 좁아져 건조기 전체에서 가장 빠른 속도값을 나타내고 있다.

Fig. 18은 기존 앤드리츠형 회전식 건조기 출구측 단면(YZ면, X=0) 속도 분포와 Z=8.73m 지점에서의 반경 방향 단면 속도 벡터를 나타내고 있다.

Fig. 19는 콘의 높이가 100mm 변경된 CASE 3의 출구측 단면 속도 분포를 나타내고 있다.

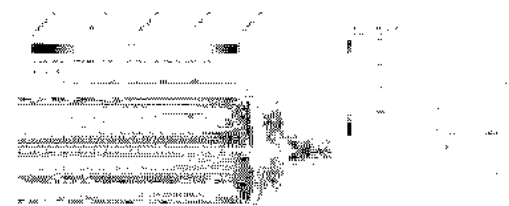
기존 앤드리츠형 건조기 출구보다 유로가 넓어져 최고 속도가 2 m/s 감소된 것을 알 수 있다.

Fig. 20은 콘의 높이가 200mm 변경된 CASE 4의 출구측 단면 속도 분포를 나타내고 있다. 기존 앤드리츠형 건조기 출구보다 유로가 출구 개선 CASE 중 가장 넓어졌으며 최고 속도도 감소하였다.



(a) 출구측 (b) 반경 방향

Fig. 18 기존 형상 변경에 따른 단면 속도 벡터(XY면, Z=8.73m)



(a) 출구측 (b) 반경 방향

Fig. 19 Case 3 형상 변경에 따른 단면 속도 벡터(XY면, Z=8.73m)



(a) 출구측 (b) 반경 방향

Fig. 20 Case 4 형상 변경에 따른 단면 속도 벡터 (XY면, Z=8.73m)

따라서, 실제 설계시 슬러지 입자의 유동을 고려한 최적 속도에 대한 보다 진전된 연구 결과를 토대로 적절한 형상을 선택하는 것이 필요하다.

5. 결 론

회전식 건조기 설계를 위한 기본 계산 과정을 정립하였으며, 그 결과에 따라 설계된 형상에 대한 유동해석 결론은 다음과 같다.

- (1) 입구 축방향 속도가 높음으로 인해 중심부에 속도코어가 길게 형성되며 한편, 코어 바깥과 1번 드럼 벽면사이에서는 재순환 영역이 형성된다.
- (2) 3번 드럼에서의 재순환 영역은 회전수의 증가에 따른 원심력의 영향으로 저 rpm 보다 고 rpm에서 확대되고 있다.
- (3) CASE 2에서는 입구 부분의 변경에 의해 재순환 영역을 억제함과 더불어 1번 드럼내의 유속이 앤드리츠형에서 추천하는 20 m/s 속도에 근접하는 유동 분포를 얻을 수 있었다.
- (4) PIV는 건조기 유동 연구에 충분히 유용한 방법이 될 수 있다.

후 기

본 연구는 부경대학교 2006년도 누리사업 및 RIST 주관의 POSCO E&C “하수 슬러지 자원화에 대한 건조기 개발” 사업 과제의 일환으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

참고 문헌

1. 桐榮, 良三 編 “乾燥 裝置”, 日刊工業新聞社, pp139~141, 1967
2. B. Mohammadi, O.Pironneau, “Analysis of the K-Epsilon Turbulence Model” pp 89~90
3. 岡崎守男, 鈴木 睦, “化學 工學 便覽”
4. S. J. POTRER , B.Sc., M.S., F.R.I.C. “The design of rotary driers and coolers” TRANS. INSTN CHEM. ENGRS, Vol. 41, 1963.
5. W.C.SAEMAN “Passage of solids through rotary kilns” Chemical Engineering Progress, pp 508~514, October, 1951.
6. Harold F. Porter, B.S, George A. Schurr, Ph.D.,

David F. Well, B.S., Konrad T. Semrau, MS “Solids Drying and Gas-Solid Systems” Section 20

7. 이영호, “PIV에 의한 유동장의 계측”, 대한조선학회지 제 14권 2호, pp. 43-52, 1994
8. 이영호, “PIV의 분류 및 원리”, 대한기계학회지 제 36권 12호, pp. 1146-1162, 1996
9. 최장운, 이영호, “PIV에서의 제조치상호상관법의 개발”, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 제 2권, pp. 396-400, 1995A.