

FSI 해석을 통한 공기압 컨베이어 장치의 안전성 평가

김찬우*, 유지인*, 노현우*, 최성대**, 허장욱**,#

*금오공과대학교 학부생, **금오공과대학교 기계시스템공학과

An Evaluation of Pneumatic Conveyor Equipment Stability Through Fluid Structure Interface Analysis

Chan-Woo Kim*, Ji-In Yoo*, Hyun-Woo Roh*, Sung-Dae Choi**, Jang-Wook Hur**,#

*Department of Mechanical System Engineering, **Kumoh Institute of Technology

(Received 7 June 2019; received in revised form 18 June 2019; accepted 3 July 2019)

ABSTRACT

To evaluate the stability of a pneumatic conveyor system, a flow analysis and structural analysis were performed using the FSI technique. Prototypes were fabricated and verified. As a result of the flow analysis, the maximum pressure applied to the device was calculated to be 0.55 MPa. The structural analysis determined that the maximum stress was 131 MPa and the yield strength of the structure was less than 205 MPa. The safety of the system was confirmed by the fact that no deformation occurred during the manufacturing and operation of the prototype.

Key Words : Pneumatic Conveyor(공기압 컨베이어), Flow Analysis(유동해석), Structure Analysis(구조해석), FSI(유동-구조 연계해석), ANSYS(앤시스)

1. 서 론

공기압 컨베이어 장치는 물질의 이송을 위해 사용하는 공업용 운송 장치로 설치가 용이하기 때문에 산업현장에서 많이 사용되고 있다. 이러한 공기압 컨베이어 장치는 좁은 공간에 설치가 가능하고 관속으로 운송하기 때문에 주변 환경오염이 없다는 장점이 있지만, 동시에 빠른 이송과 협잡물의 특성 때문에 컨베이어 장치 이송부의 마모 및 부식이 생기는 단점을 가지고 있다. 최근 이러한 문제를 개선하기 위해 배관 완충재를 사용한 공기압 컨베이어 장치가 개발되고 있으나, 공기압 컨베이어 장치에 과도한 양의 협잡물이 들어갈 경우 공기가 역류

할 수 있기 때문에 협잡물의 중량을 측정하는 Load Cell을 본체의 다리에 부착하여 중량을 적절히 통제함으로써 안정적인 작동을 구현하고 있다^[1].

이러한 고압의 환경조건에서 사용하는 공기압 컨베이어 장치는 구조적 안전성을 확보하면서 내부 협잡물의 유동특성을 고려하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 최근 개발되고 있는 폐기물 등의 협잡물을 이송하는 컨베이어 장치에 있어서 FSI (Fluid-Structure Interface) 기법을 이용하여 유동 및 구조해석을 수행하였으며, 시제품 제작에 의한 시험을 통하여 시스템의 구조 안전성을 평가하였다^[2].

2. 시스템 작동원리

공기압 컨베이어 장치의 작동순서는 Fig. 1(a)와 같이 투입 밸브가 열린 상태에서 협잡물이 투입되

Corresponding Author : hhjw88@kumoh.ac.kr

Tel : +82-54-478-7399

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.

며, 투입된 협잡물은 이송되기 전이기 때문에 이송배관 및 본체하부에 쌓이게 된다. 적정량의 협잡물이 투입되면 Fig. 1(b)와 같이 투입밸브가 닫히고, 장치가 밀폐되며, 이송될 준비를 하게 된다. 밀폐된 상태에서 Fig. 1(c)와 같이 압축공기가 유입되면, 압축공기의 강력한 팽창력에 의해 협잡물이 이송배관을 통하여 저장장소로 이송된다. 이송이 완료되면 Fig. 1(d)와 같이 투입밸브가 다시 열리고 이송물질이 투입될 준비를 한다.

공기압 컨베이어 장치는 실린더 및 밸브의 개폐 시간을 자동으로 조절할 수 있는 타이머를 부착하여 자동운전 및 수동운전이 가능하며, 협잡물을 반복적으로 이송할 수 있다. 이러한 공기압 컨베이어 장치를 포함한 협잡물 이송 시스템의 개략적인 운용개념도는 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

3. 해석 방법

3.1 해석 절차

유체-구조물 연계 해석인 FSI해석 방법은 서로 다른 물리적 특성을 지닌 2가지 해석(유동해석, 구조해석 등)을 결합하여 하나의 시스템으로 해석하는 방법을 의미한다. 유동해석과 구조해석을 각각 독립적으로 수행하지 않는 이유는 유체-구조물 간 상호작용이 강한 경우 독립적으로 해석하면 실제경우와 전혀 다른 물리적 특성을 보일 수 있기 때문이다.

공기압 컨베이어 장치는 Fig. 1(c)의 과정이 진행될 때 구조물과 비교해도 무시할 수 없는 중량이 고압의 공기압으로 방출되는 시스템이기 때문에 유체-구조물 간 상호작용이 강하다고 할 수 있다.

FSI 해석을 공기압 컨베이어에 적용하면 Fig. 3의 개념도에서 알 수 있듯이 유체유동으로 인하여 발생하는 하중과 압력 데이터 등을 컨베이어에 유한요소 단위로 반영하여 구조해석을 진행할 수 있으며, 유동해석과 구조해석을 따로 진행하는 경우보다 더 정확한 결과를 기대할 수 있다. 따라서 ANSYS에서 FSI 해석방법을 적용하기 위해 Fluent의 결과 값을 Structure의 Model에 모듈형식으로 연결하여 구조해석을 수행하였다^[3-5].

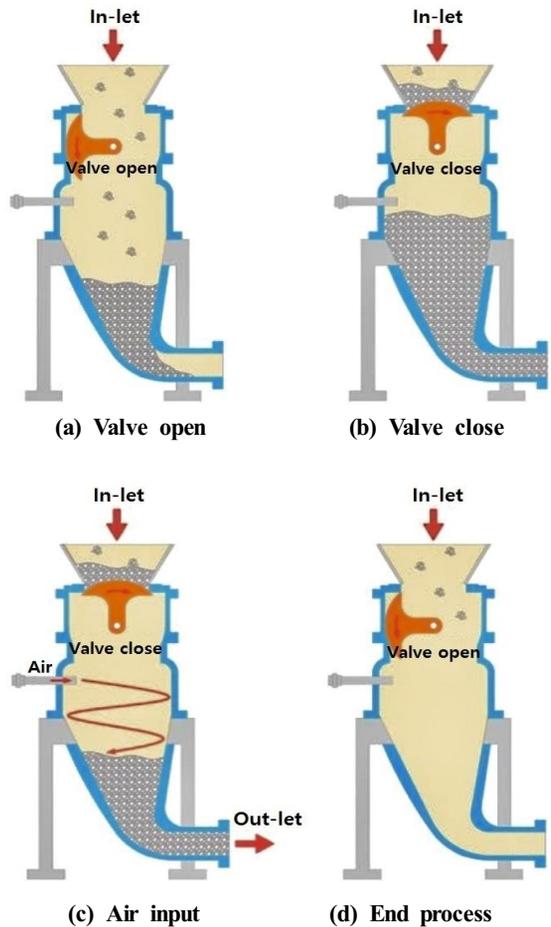


Fig. 1 Operation sequence of pneumatic conveyor equipment

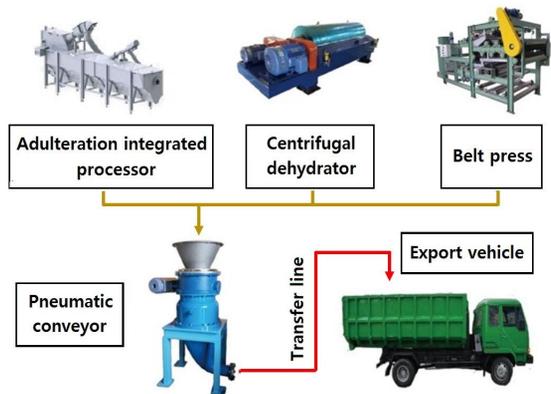


Fig. 2 Pneumatic conveyor equipment system

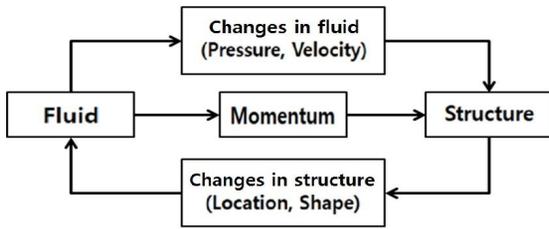


Fig. 3 FSI concept

3.2 유동해석

공기압 컨베이어 장치의 3D 유동해석 모델은 계산의 신속성을 위해 Fig. 4와 같이 유체가 유동하는 컨베이어 장치의 본체만을 모델로 하였다. 이는 본체 상단의 직경 48mm인 2개의 밸브를 통해 유체가 유입되고, 직경 115mm인 본체 하단으로 유체가 빠져나가는 형상이며, 유동은 덮개가 닫힌 채로 진행되므로 본체의 윗면은 벽으로 설정하였다.

모델의 Skewness 값을 낮추기 위해 Virtual Topology 기능을 이용하여 밀집된 격자를 분산시켰으며, 격자의 크기를 적절하게 조절하였다. 유동해석 모델의 Elements 수는 81,831개이고, Nodes 수는 16,438개이다^[6].

공기압 컨베이어 장치의 유동은 비정상 및 비압축성 유동이고, 공기의 속도에 비해 점도가 낮아 난

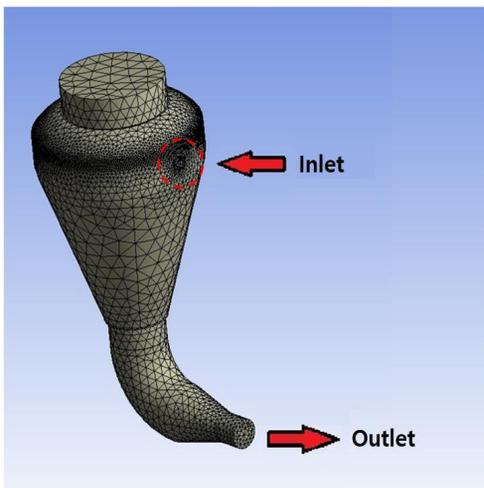


Fig. 4 Flow analysis model

Table 1 Boundary condition of flow analysis

Wall condition	Inlet-velocity (m/s)	Outlet-pressure (MPa)
Fixed	20	0 (Gage pressure)

Table 2 Property of flow material

Material	Density(kg/m ³)	Viscosity(N/m · s)
Air	1.225	1.7964×10 ⁻⁵

류유동이라 볼 수 있으므로 난류 k- ω 모델로 해석을 진행하였다^[7]. 또한 실제 공기압 컨베이어 장치에서 협잡물은 20m/s의 속도로 이동하고, 출구의 압력은 대기압이므로, 벽의 경계조건은 고정된 벽으로 하였다. 해석에 필요한 입구와 출구 및 벽의 경계조건은 Table 1과 같이 설정하였으며, 본체 내부에 흐르는 공기의 물성치는 Table 2와 같이 입력하였다.

3.3 구조해석

구조해석 모델은 Fig. 5와 같이 컨베이어 장치의 구조해석에 필요 없는 주변 실린더, 밸브, 덮개를 제외한 공기압 컨베이어 장치 전체를 포함하였으며, 공기압 컨베이어 장치 본체에서 생기는 유동으로 인해 하단의 지지부와 상단의 호퍼부까지

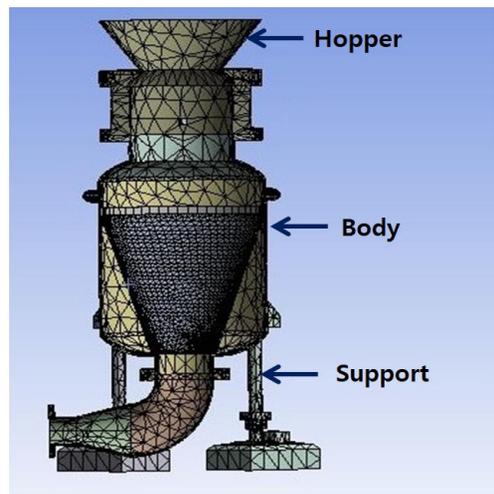


Fig. 5 3D Structure analysis model

Table 3 Property of STS304^[8]

Material	Yield strength (MPa)	Young's modulus (GPa)
STS304	205	203

컨베이어 전체에 생기는 변형과 응력을 모두 고려하였다.

구조해석 모델은 Elements 수가 41,774개이고, Nodes 수는 82,258개이다. 공기압 컨베이어 장치는 STS304를 사용하여 제작하였으며, STS304의 물성치는 Table 3에 나타낸 바와 같다.

4. 해석 결과 및 고찰

ANSYS Fluent 프로그램을 이용하여 유동해석을 수행한 결과, 본체에 발생하는 압력분포는 Fig. 6과 같으며, 유체의 유동으로 인해 발생하는 최대 압력이 약 0.55MPa로 계산되었다.

유동해석의 결과를 ANSYS Structure 구조 해석의 입력조건으로 설정한 사항으로 유체 유동에 의한 컨베이어 장치의 내부 압력분포는 Fig. 7과 같으며, 본체와 밸브가 연결되는 부분에 최대 압력 0.55MPa이 발생하였다.

공기압 컨베이어 장치의 구조해석 결과를 Fig. 8~10에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 최대 응력과 최대 변형률은 본체 하단부에서

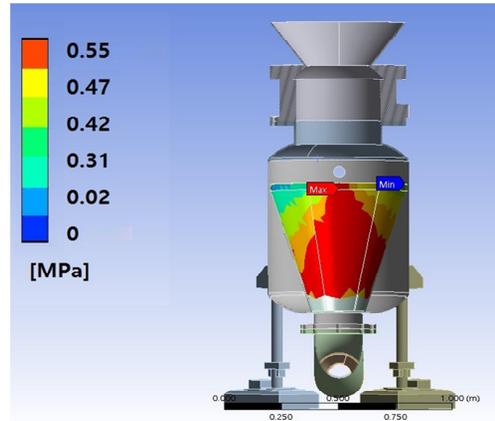


Fig. 7 Pressure distribution

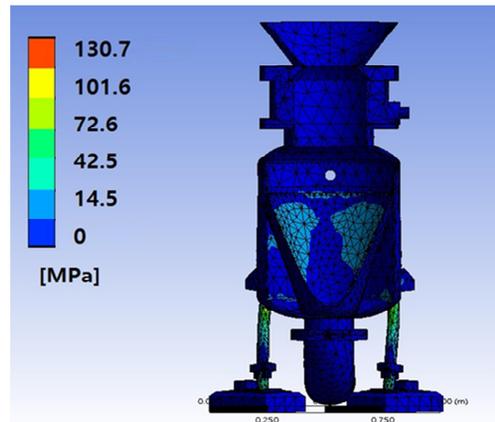


Fig. 8 Stress of pneumatic conveyor equipment

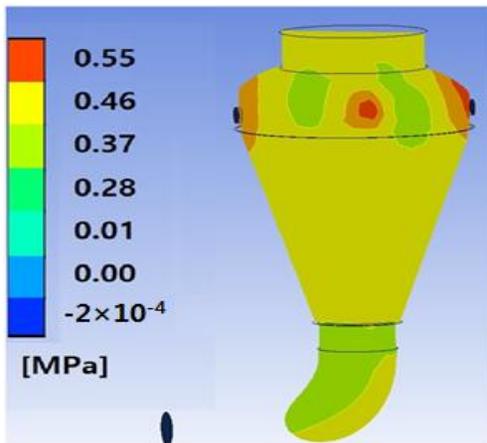


Fig. 6 Analysis results of pressure (3D flow analysis)

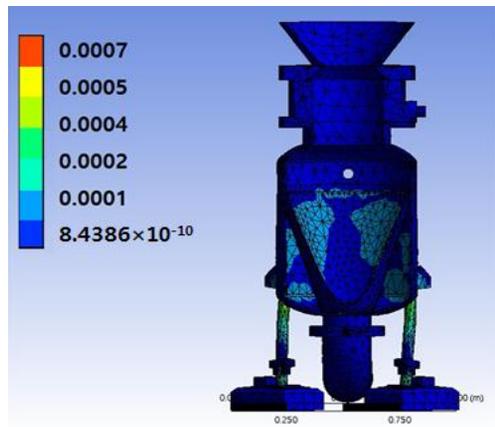


Fig. 9 Strain of pneumatic conveyor equipment

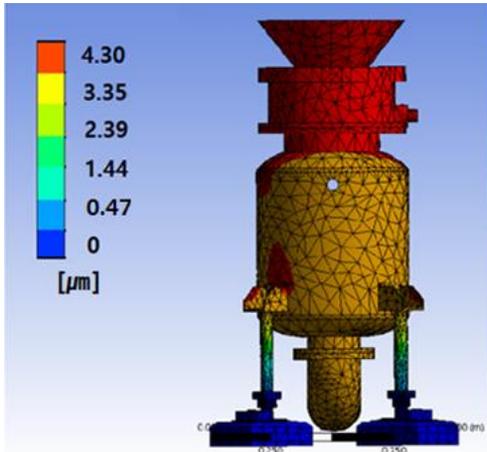


Fig. 10 Deformation of pneumatic conveyor equipment



Fig. 11 Prototype shape

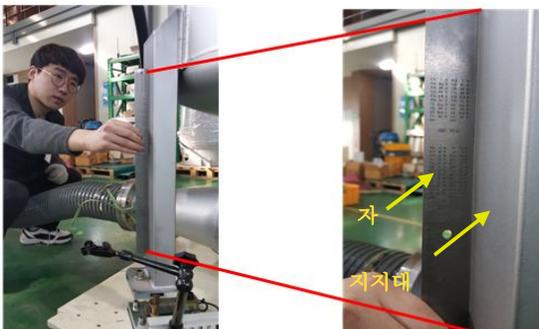


Fig. 12 Buckling deformation measurement of pneumatic conveyor equipment

발생하고 있으며, 각각 130.7MPa과 0.0007을 표시하고 있다. 그리고 공기압 컨베이어 장치의 변위는 지지부에서 최대 $4.3 \times 10^{-6}m$ 가 발생하였으며, 이는 공기압 컨베이어 장치의 자중이 주요 원인으로 사료된다.

공기압 컨베이어 장치에 발생하는 최대 응력은 약 131MPa이고, Table 3으로부터 구조물의 재료인 STS304의 항복강도는 약 205MPa이므로 공기압 컨베이어 장치는 안정성을 가진다고 판단할 수 있다.

이러한 해석결과를 참고하여 Fig. 11과 같이 공기압 컨베이어 장치를 제작하였으며, 제작한 시제품을 운용한 결과, 변형이나 안정성에 대한 문제가 발생하지 않았다. 즉, 작동압력 시험 이후에 4개의 지지대가 수직을 유지하고 있는지 여부를 Fig. 12와 같이 자를 이용하여 확인하였으며, 그 결과 좌굴현상은 발생하지 않은 것으로 판단되었다.

5. 결론

공기압 컨베이어 장치의 안정성을 평가하기 위해 FSI 기법을 적용하여 유동해석과 구조해석을 수행하였으며, 시제품을 제작하여 검증을 하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공기압 컨베이어 장치를 대상으로 유동해석을 수행한 결과, 본체에 부가되는 최대압력은 0.55MPa로 계산되었다.
2. 유동해석 결과를 활용하여 구조해석을 수행한 결과, 최대응력은 131MPa로 구조물의 항복강도인 205MPa 보다 작다.
3. 공기압 컨베이어 장치의 시제품을 제작하여 운용한 결과, 변형이 발생하지 않은 것으로부터 시스템의 안전성을 확인하였다.

후기

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(2018-104-037).

REFERENCES

1. Raksha, S., Bohomaz, V., Shcheka, I., Stefanov, V. and Nesterenko, A., "Research of the dependence of pneumatic conveyor compressors power on project parameters of transport machines", MATEC Web of Conferences, Vol. 230, No. 7, pp. 1-2, 2018. 230, No. 7, pp. 1-2, 2018.
2. Fraige, F. Y. and Langston, P. A., "Horizontal pneumatic conveying: a 3d distinct element model", Granular Matter, pp. 67-80, 2006.
3. Antoci, C., Gallati, M. and Sibilla, S., "Numerical simulation of fluid-structure interaction by SPH", Computers & Structures, Vol. 85, No. 11-14, pp. 879-890, 2007.
4. Hou, G., Wang, J. and Layton, A., "Numerical Methods for Fluid-Structure Interaction - A Review", Communications in Computational Physics, Vol. 12, No. 2, pp. 337-377, 2012.
5. Lee, H. S., Na, Y. M., Jang, H. S., Suk, I. H., Kang, S. H., Kim, H. T. and Park, J. K., "A Study on the Stability of Shield TBM Thrust Jack in the Behavior of Operating Fluid According to Thrust Force", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 1, pp.31-37, 2019.
6. Moaveni, S., "Finite Element Analysis", Cheongmungag, pp. 661-700, 2017.
7. Kim, J. Y., "(ANSYS) Fluent Follow : Advanced", Taeseong SNE, pp. 1-36, 2012.
8. Kim, N. S., "Plastic Working & Analysis", Munundang, pp. 25-29, 2002.