

Automatic Bottle Air Rinser 개발에 관한 연구

김대성*, 김현진**, 이춘만#

A study on the Development of Automatic Bottle Air Rinser

Dae Sung Kim* and Hyun Jin Kim**, Choon Man Lee#

ABSTRACT

This study has been focused on the development of automatic bottle air rinser. It is designed to rinse clean empty bottles prior to filling. The bottles are automatically indexed beneath an air nozzle that has both a clean airjet and vacuum source. The bottle is first given a burst of clean air to loosen any particles from the wall of the bottle. A vacuum sequence follows which removes all particulates into a self contained filter unit. In order to the provide the desired function, analysis is carried out by FEM simulation using FLUENT and CATIA software. The final results of analysis are applied to the design of automatic bottle rinser and the machine is successfully developed.

Key Words : Bottle air rinser (세병기), Ion power supply (이온발생기, 정전기 제거 장치), FEM (Finite element method : 유한요소법), Fluid flow analysis (유동해석), Structural (구조해석)

1. 서론

음식료품, 주류, 장류 등을 포장용기로 유리 병과 캔, 염화비닐(PVC)에서 페트병(Pet)으로 대체 활용 된 것은 최근의 일이다. 생활용기로 최근 전 세계적으로 매년10%가 넘는 성장을 계속 하고 있으며 페트병이 우리생활주변에서 친숙한 용기로 자리 잡아 가고 있는 실정이다. 그 이유는 투명성을 바탕으로 한 현대적 감각과 무게가 가벼워 취급이 간편하고 식품위생문제에 있어서 우수성이 뛰어난 물성 때문에 포장산업의 핵심 소재로 자리잡아가고 있다. 이렇게 다양하

게 개발된 페트병 용기는 각종 내용물을 담기 전에 세척을 하는데 지금까지의 방법은 1차 처리로 사람 손에 의해 물로 행구는 세척을 거쳐 2차로 기계식 샤워(Shower) 및 린샤(Rinser) 등의 처리 과정 후 내용물을 주입, 포장 하는 방법을 써왔으나 사람이 세척 할 시에는 페트병에 흠집이 자주 발생하는 문제점이 있다. 또한 세척 폐수 추가 발생으로 폐수 처리비용이 발생하며 하천의 오염이 우려된다. 물 세척시 이물질 혼입 우려가 크고 이로 인한 위생 문제가 발생 할 수 있다. 세척 후 병 내부에 잔존하는 물기는 새로 담은 내용물과 혼합시 부패 및 내용물이 변질될

접수일: 2005년 1월 17일; 게재승인일: 2005년 6월 29일
* 창원대학교 기계설계공학과 대학원
** 창원대학교 기계설계공학과 대학원
교신저자: 창원대학교 기계설계공학과
E-mail cmlee@sarim.changwon.ac.kr Tel. (055) 267-7572

우려가 크다. 이러한 문제점이 발생하므로 최근 페트병 세척 기술이 물과 세제로 세척하는 방법에서 정제된 클린에어(Clean air)를 고압분사 하여 페트병 내를 세척하는 방법이 출시되고 있다. 이 방법은 환경보존, 에너지 절약, 안전위생 측면에서 매우 바람직한 방법이라 하겠다. 따라서 페트병 세척을 위한 차세대 방법으로 부각되는 에어 제트 세척(Air rinser) 방법은 국내는 아직 사용되지 않고 있고 일본이나 유럽의 일부에서 사용되고 있는 것으로 밝혀져 있다. 국내도 페트병의 수요가 병이나 캔을 대신하여 꾸준히 사용빈도가 높아지고 있으므로 Bottle Air Rinser 개발¹⁾은 시급한 실정이다.

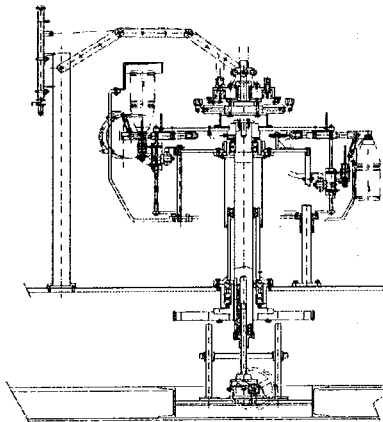


Fig. 1 Main drum part ASS'Y of Automatic Bottle Air Rinser

본 연구에서는 Bottle Air Rinser 세척시 이물질 제거를 위한 클린에어 분사시 병내 공기 유동을 FLUENT 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션 하였고, CATIA 소프트웨어를 이용하여 설계된 Bottle air rinser의 구조해석 및 모드해석을 실시하여 설계의 타당성을 검증하였다.

2. Automatic Bottle Air Rinser의 구성

2.1 정전기 제거 장치

여기에 두개의 물질이 접촉할 경우 전자의 이동이 발생한다. 전자를 얻은 쪽은 (-)대전되고, 전자를 잃은 쪽은 (+)로 대전하게 된다. 이때 전기장이 생

성되고 인력이 발생하게 된다. 이런 원인으로 인해 이물질 등이 병 내에 부착되게 되어 이물질 제거가 어렵게 된다. 이를 해결하기 위한 다양한 방법이 있으나 본 연구에서는 Fig. 2의 이온발생기 중 DC 타입(Type)의 이온 발생기를 사용하였다. DC 타입은 AC 타입에 비해 거리에 대한 정전기 제거 능력이 뛰어나며, 기본 원리는 Fig. 2의 AC 타입에서 보여주는 바와 같다. (+)로 대전된 물체는 이온 발생기에서 생성된 (+)전하는 튕겨내고 (-)전하는 받아 들여 중성화 시켜 정전기를 제거한다.

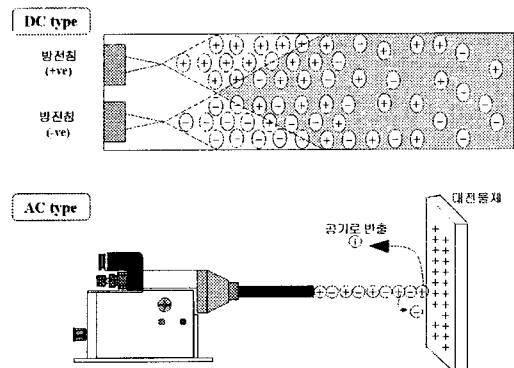


Fig. 2 DC and AC type of Ion Generator

이온발생기는 Fig. 3에서 보여 주는 바와 같이 페트병 공급부와 클린에어 공급 부에 설치해 두어 두 번에 걸쳐 정전기를 제거하여 다음 공정에서 이물질 제거를 용의 하게 한다.

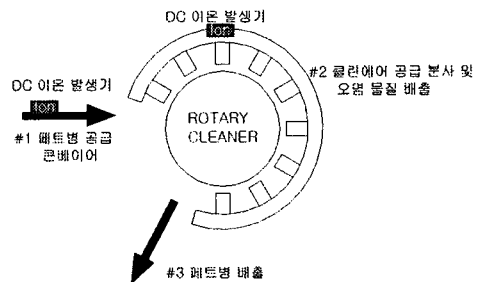


Fig. 3 Setting of Ion Generator

2.2 클린에어 공급 및 이물질 흡입 장치

Fig. 3의 로터리 클리너(Rotary cleaner)에 Fig. 4의 공기 노즐(Nozzle)이 장착 되어 있어 공급되는 각각의 병에 대해 한 개씩의 노즐이 장착이 된다.

압축된 클린에어가 병 내부로 분사 되고 동시에 흡입구에서 클린에어와 이물질을 함께 흡입하여 배출 시킨다.

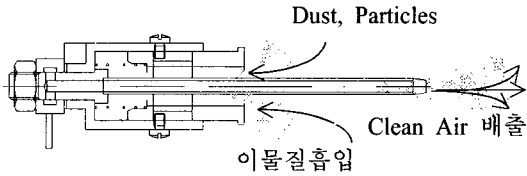


Fig. 4 Air nozzle that has both a clean airjet and vacuum source

2.3 로터리 방식의 공정

연속적으로 작업이 이루어지는 자동화 공정이 필요하므로 Fig. 5에서 보여주듯이 로터리 방식의 공정을 설계하였다. 타이밍 스크루(Timing screw) 회전에 의한 일정한 병의 공급이 이루어지며 스타 휠(Star wheel)에서 일정한 속도로 회전하면서 로터리 클리너에 병을 공급한다. 세척된 병은 스타 휠에 의해 일정한 간격으로 정량 배출된다. 이 과정은 하나의 모터에 의해 구동이 되어 진다.

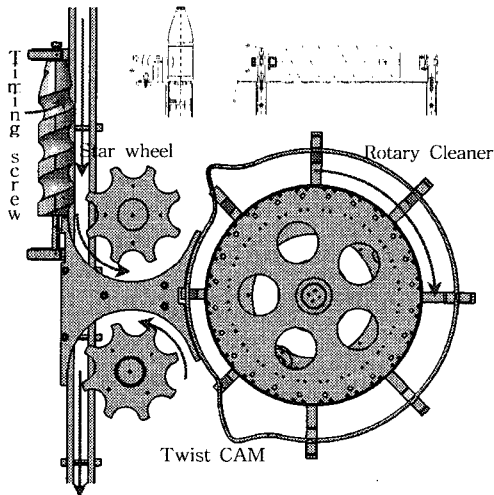


Fig. 5 Process of rotary type

3. 구조 해석²⁻⁵

CATIA 소프트웨어를 사용하여 Fig. 6에서 보여주는 바와 같이 3차원으로 모델링하고 필요에 따라 구조해석을 실시하였다. 변위와 응력 및 안전율

을 계산하여 설계조건에 충족여부를 검토하였다. Fig. 6에서 로터리 클리너 전체 구조물은 Fig. 7에서 보여주는 것처럼 주축(Main shaft)이 전부를 받쳐주고 있어, 주축에 대한 안전성 평가가 필요하여 정적 해석을 수행 하였다.

3.1 전처리 과정

로터리 클리너를 지탱해 주는 주축에 사용되어진 재질은 STS304이다. 하중 조건으로는 로터리 클리너의 자중을 고려하여 주축에 압력 조건으로 주었으며 주축의 자중도 포함시켰다. 해석프로그램은 CATIA 소프트웨어를 이용하였으며 메쉬 요소수(Elements)는 1046이며 요소 타입으로는 육면체가 96.94% 사면체가 3.06%를 차지한다.

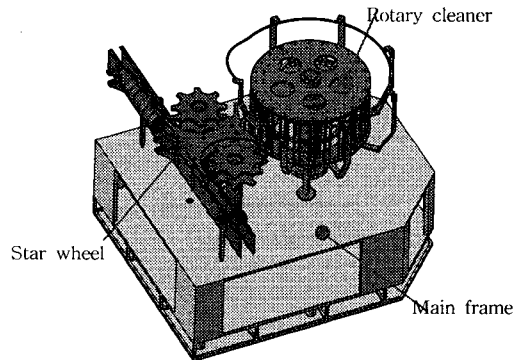


Fig. 6 Modelling of Automatic Bottle Air Rinsers

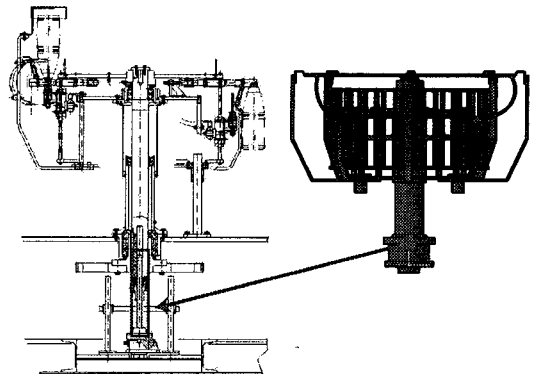


Fig. 7 Load condition of the main shaft

3.2 구조 해석 결과

여기에 Fig. 8은 주축의 자중과 주축에 작용하는 로터리 클리너의 무게를 고려하여 해석한 결과이다. 보는 바와 같이 최대 변위는 0.000158mm, 최대 Von Mises stress는 287kPa이고 주축의 항복응력은 205MPa로 매우 안전하다.

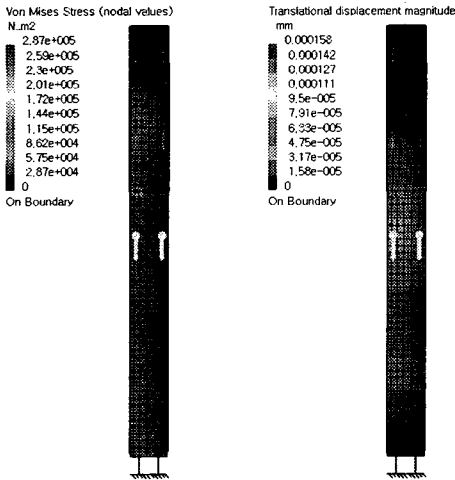


Fig. 8 Static stress and displacement of main shaft

4. 유동 해석⁶⁻⁸

여기에 본 연구를 통해 개발되어지는 세척기는 자체의 기구학적 구동에 앞서 병 내의 입자가 깨끗하게 제거되어지는지 검증되어야 한다.

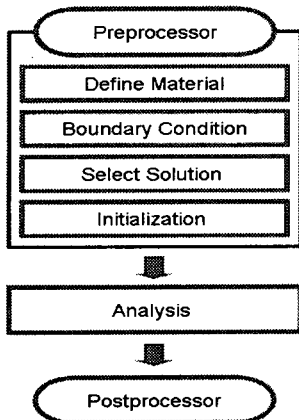


Fig. 9 Process of flow analysis

상용 소프트웨어인 FLUENT를 이용하여 클리너의 분사와 흡입이 가능한 노즐 사용시 병내 공기 유동을 분석하여 병 내의 이물질의 유동을 분석하였다. 유동해석 분석과정은 Fig. 9 와 같이 정리할 수 있다.

4.1 전처리 과정

병의 모델링은 CATIA 소프트웨어를 이용하였고, FLUENT 전용 전처리(Preprocessor) 프로그램인 GAMBIT으로 메쉬(Mesh)를 구성하였다. 사용된 메쉬의 형태는 사면체요소(Tetra mesh)이고 총 메쉬수는 392,657개이며 Fig. 9에서 보여주고 있다. 해석을 위해 단열상태로 가정을 하였으며 노즐을 통해 분사 및 흡입 하는 힘을 고려하여 중력의 영향을 무시하였다. 주어진 사양에 따라 경계조건은 분사용 노즐에서 공기속도를 14m/s, 흡입 노즐에서 흡입압력을 170mmAq로 설정하였다. 경계조건에서 주어진 속도가 0.3M이하이므로 비압축성 유동(Incompressible flow)으로 가정하였다. 모델의 레이놀드 수(Reynolds-Number)가 2300이상이면 난류 유동이다. 공기 밀도 $\rho=1.225\text{kg/m}^3$, 점성도 $\mu = 1.784 \cdot 10^{-5} \text{kg/m} \cdot \text{s}$ 일 때, 분사용 노즐의 입구에서의 레이놀드 수(Re)를 구하면,

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = 4792.12 \quad (1)$$

으로, 2300 이상 이므로 보편적으로 난류 모델링에 사용되는 K-epsilon 모델을 적용하였다.

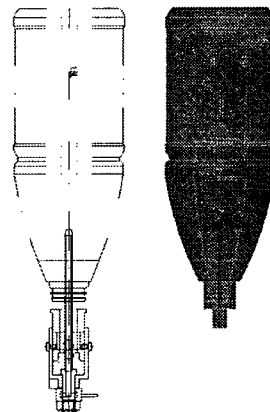


Fig. 10 Model data and tetra mesh by GAMBIT

4.2 유동 해석 결과

FLUENT를 이용한 해석 결과는 다음 Fig. 11에서 보여 지는 바와 같이 얻을 수 있다. Fig. 11(a)는 전체 병 내에서의 속도 분포를 벡터로 나타낸 것이다. 병 바닥 부분을 확대한 Fig. 11(b)에서는 노즐에서 분사된 클린에어에 의해 병 내부 끝 까지 클린에어가 공급되고 있음을 확인 할 수 있다. Fig. 11의 병 입구 부분에서 공기의 질량 유동량(Mass flow rate)은 $-9.61374 \times 10^5 \text{ kg/s}$ 로 공기유동이 병 입구에서 흡입구 방향으로 일어남을 알 수 있고, 이는 외부에서 오염된 공기가 유입되지 않음을 의미한다. 이는 Fig. 11(C)에서 확인 할 수 있다. 속도 벡터의 방향을 살펴보면 병 내의 유동이 원활하게 이루어짐을 알 수 있다.

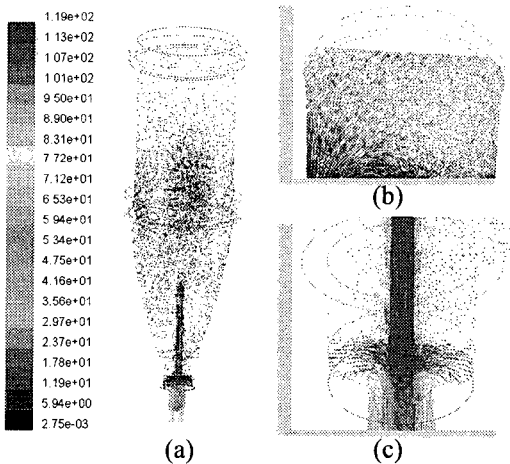


Fig. 11 Process of flow analysis

5. 결론

여기에 본 연구에서는 자동화 공정으로 클린에어를 병 내에 쏘아 주는 동시에 흡입하여 이물질을 제거하는 Automatic Bottle Air Rinser Machine을 설계하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 페트병 공급부와 클린에어 공급 부에 이온발생기를 도입하여 두 번에 걸쳐 정전기를 제거함으로써 이물질 제거를 용이 하게 한다.
- (2) CATIA V5를 이용한 구조해석의 실시로 구조물의 안전율을 검토할 수 있었고, 이로 인해 설계의 타당성을 검증할 수 있었다.

- (3) 상용 유체 해석 프로그램인 FLUENT를 이용하여 병내의 유동해석결과 노즐의 분사, 흡입 작용에 의한 공기유동이 이물질 제거에 타당함을 검증할 수 있었다.

이러한 연구를 통해 얻어진 결과를 이용하여 Automatic Bottle Air Rinser Machine을 설계 및 제작하였으며 현재 시험 가동 중에 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부· 한국과학재단 지정 국립창원대학교 공작기계연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Robert, L. Norton, "Design of Machinery," McGraw-Hill, pp. 22-167, 2001.
2. Clugh, R. W., Penzien, J., "Dynamics of Structures," 1975.
3. Dimarogonas, Andrew D., "Vibration for Engineers - Second Edition," Prentice Hall, 1996.
4. Daryl, L. Logan, "A First Course in the Finite Element Method - Third Edition," Brooks/Cole, pp. 107-109, 2001.
5. Singiresu, S. Rao, "Mechanical vibrations," Prentice Hall, New Jersey, pp. 126-170, 2002.
6. White, F. M., "Fluid Mechanics," McGraw-Hill, New York, pp. 294-369, 1998.
7. Watton, J., "Fluid Mechanics," McGraw-Hill, New York, pp. 294-369, 1989.
8. Yunus, A. Cengel, "Heat transfer a practical approach," McGraw-Hill, pp. 945-985, 1997.