

## 자동 캡 세척장치 개발에 관한 연구

신성우\*(창원대 대학원 기계설계공학과), 김대성(창원대 대학원 기계설계공학과), 이춘만(창원대)

### A Study on the Development of Automatic Cap-Washing M/C

S. W. Shin(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., Changwon National Univ.), D. S. Kim(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., Changwon National Univ.), C. M. Lee(Changwon National Univ.)

#### ABSTRACT

An automatic cap-washing machine is developed for rinse and dry of synthetic resin cap which is used in spring water bottle. This machine should be achieved all processes washing and drying, array, transfer automatically. A cap is washed by an ozonized water and pure water first. Next, a cap is dried by a hot wind drying equipment. In this paper, structural and modal analysis for the cap-washing machine is carried out to check the design criterion of the machine. The analysis is carried out by FEM simulation using the commercial software, CATIA V5. And a fictitious mass properties was used for the analysis of the machine. Finally, the machine performance is shown to be satisfactory.

**Key Words** : Cap-washing M/C (캡세척기), Automation(자동화), Structural analysis (구조해석), Mode analysis (모드해석)

#### 1. 서론

최근 환경악화로 인한 지하수오염, 수돗물의 살균 및 잔류약품냄새 등으로 식수로서 수돗물보다 생수가 가정, 식당, 일반 공공장소에서 점점 더 많이 소비되고 있는 실정이다. 생수는 지하수의 수질이 엄격한 기준에 합격되더라도 주입, 운반과정에서 오염성분이 침투되어 건강을 위협하는 경우가 간헐적으로 발생할 수 있다. 그러므로 현재까지의 생수병 캡을 수작업의 방법으로 세척하는 것은 점점 더 늘어나는 수요에 대비해서 대단히 비효율적이기 때문에 자동 캡 세척장치의 개발은 시기적으로 매우 중요하다고 본다.

현재 시중에 식수로 공급되고 있는 생수는 PC(폴리에틸렌테라카본)병에 넣어 공급되고 있는데 생수병에 생수를 주입하고 난 후 합성수지재로 된 마개를 세척한 후 건조하여 주입구를 막는 방법을 사용하고 있다. 현재까지 조사결과 국내는 물론 일본, 미국 등지에서도 작업자가 수작업으로 세척하고 건조하는 실정이다. 또한 이물질 혼입경로를 조사한 결과 합

성수지마개에 새겨진 페인트마크의 떨어진 입자와 미세한 먼지덩어리가 대부분이었다. 이것을 제거하기 위해 마개를 약품탱크에 담구어 행군 다음 당태기로 건져내어 물로 세척시킨다. 이후 물기를 털어내고 마개 저장호퍼에 넣은 다음 정렬시키는 장치를 통해 Shut head에 공급하여 마개를 씌우는 작업으로 공정이 완료되는데 수작업으로 세척하기 때문에 하나하나에 대한 세척이 비효율적이고 생산성이 매우 낮은 작업공정이다.

본 연구에서는 위와 같은 문제점을 개선하기 위해 효율적으로 합성수지마개를 세척, 건조, 정렬, 이송시킬 수 있는 장치를 개발하고자 한다. 이러한 자동화 장치는 각 공정간 연결의 정확성이 중요하다. 진동이 발생하거나 기계의 처짐과 같은 변형이 발생할 경우 캡의 이동이 정확히 이루어지지 않아 생산에 차질을 빚게 되므로 이에 대한 검증이 이루어져야 할 필요가 있다. 이를 위해 CATIA 소프트웨어를 이용하여 캡세척기의 구조해석 및 모드 해석을 실시하여 설계의 타당성을 검증하였다.

## 2. 캡 세척장치의 구성

본 연구에서 개발된 캡 자동세척기는 뚜껑 내 이물질, 먼지, 수분을 제거하는 것이 무엇보다 중요하며, 식품제조업은 라인(line) 생산이기 때문에 연속적으로 작업이 이루어지는 자동화 공정이 필요하다. 따라서 캡 자동세척기는 크게 세척수를 통한 행굼 장치, 그 후에 뚜껑을 건져 이송 시키는 행거 컨베이어 장치, 순수(pure water)로 최종 행귀 건조 시키는 장치, 뚜껑을 병으로 씌우는 장치로 구분할 수 있다. Fig. 1은 캡 세척기의 전체 형상을 보여 주고 있다.

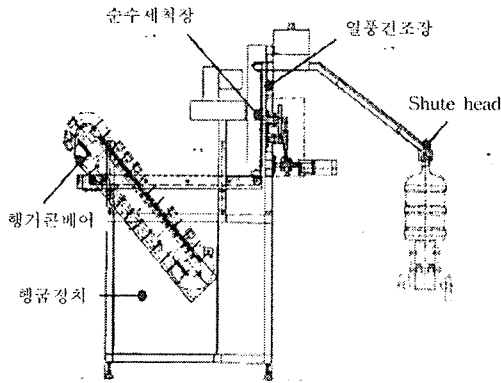


Fig. 1 Schematic drawing of cap-washer system

### 2.1 행굼 장치

오존은 산소의 동소체로서 분자기호  $O_3$ , 분자량 48, 비중 1.7인 담청색 기체로서 불소(F) 다음가는 강한 산화력으로 유기물을 분해하여 살균, 탈색, 탈취 및 BOD, COD 제거, 용수의 녹조류 제거, 독성물질의 무독성화 등 수처리에 응용된다. 오존은 물속에서 산소보다 용해도가 크고 자기분해 후 생성되는  $OH\cdot$  기(Hydroxyl radicals)가 유기물과 빠르게 반응하며 반응 후 냄새나 색깔을 남기지 않고 화학적 성질을 남기지 않으므로 2차 공해를 유발하지 않는다. 이 오존을 행굼 장치 속에 넣어 이물질이 함유된 병뚜껑을 세척하는 세척수로 사용한다.

합성수지마개에 새겨진 페인트마크의 떨어진 입자와 미세한 먼지덩어리를 제거하기 위해 세척수로 오존이 용해된 물을 이용하였으며, 세척수의 파이프를 통한 공급을 통해 와류를 일으켜 행굼 효과를 얻었다.

Fig. 2(a)에서 보여주는 바와 같이 행굼 장치 내에서 오존수에 의해 생성되는 와류의 흐름을 따라 병뚜껑들이 세척이 이루어지게 된다. 그 후 Fig. 2(b)와 같이 세척된 뚜껑들이 행굼 장치의 분리막의 한 귀

통이를 통해 정렬이 되어 행거 컨베이어 쪽으로 이동된다.

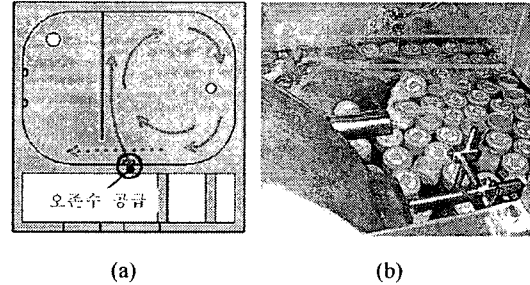


Fig. 2 Washing and transfer by whirlpool

### 2.2 이송 장치

행굼 장치의 분리막을 넘어서 행거 컨베이어로 이동된 병뚜껑들은 Fig. 3와 같이 고리에 의해 한 개씩 건져 올려져서 이동하게 된다. 이 과정에서 병뚜껑들은 뒤집어져서 다음 공정으로 이동하게 된다.

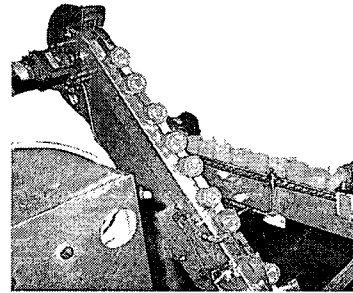


Fig. 3 Transfer by hanger-conveyor

### 2.3 건조 장치

행거 컨베이어에서 병뚜껑들은 뒤집어진 채로 일렬로 원판슈트로 향하게 되고 원판슈트 입구에서 밀려진 병뚜껑들은 한 개씩 원판슈트의 홈으로 투입되어 시계방향으로 이동된다.

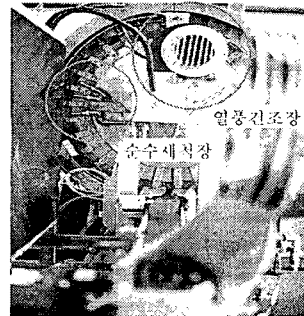


Fig. 4 Circle-plate shut

### 3. 유한 요소 해석

#### 3.1 구조 해석<sup>1-3</sup>

해석을 위해 CATIA 소프트웨어를 사용하여 3차원으로 모델링을 단순화하고 구조 해석을 실시하여 설계조건에 충족여부를 검토하였다.

##### 3.1.1 유한 요소 모델링

전체 모델에 사용되어진 재질은 SUS 304이다. 하중 조건으로는 캡 세척기 전체에 자중을 적용하였으며, 행거 컨베이어는 제 위치에 질량을 적용하였으며 원판슈트의 무게를 베어링 접촉부위에 질량으로 적용하였다. 해석프로그램은 CATIA 소프트웨어를 이용하였으며 메시 요소수(Elements)는 37472이며 요소 타입으로는 육면체가 96.79 % 사면체가 3.21 %를 차지한다.

Table 1 Mechanical properties of material

Material	Young's Modulus [GPa]	Poisson's Ratio	Density [ $10^3\text{Kg/m}^3$ ]	Yield Strength [MPa]
SUS 304	200	0.35	7.9	205

##### 3.1.2 구조 해석 결과

최대 Von Mises stress는 21.8 MPa이고, 최대 변위는 0.741 mm 이다. Fig. 5에서 그래픽으로 나타내 보이고 있다. 이 결과는 항복응력이 205 MPa에 비해 매우 안전함을 보여 준다. 또한 최대 변위가 미세하여 전체 자동화 공정에 미치는 영향은 미비하다고 본다.

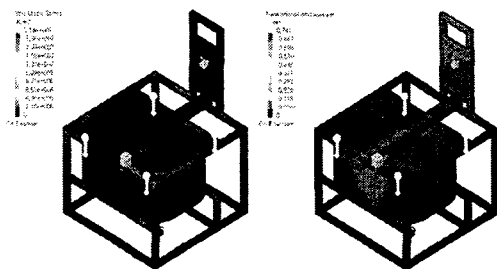


Fig. 5 Static stress and displacement

#### 3.2. 모드 해석<sup>3-5</sup>

구동 Hz와 모드 형상에 대한 구조물의 안전성을 검토하기 위해 앞의 경우와 동일한 모델로 모드해석을 실시하였다.

##### 3.2.1 유한 요소 모델링

경계조건으로 바닥을 고정 시켰으며, 모델을 단순화하기 위하여 행거 컨베이어는 질량으로 대체 하였다. 기타 조건은 정적 구조 해석의 조건과 같이 두었다. 전체 모드는 10차 모드까지 나타내었다.

##### 3.2.2 모드 해석 결과

개발된 캡 세척기의 구성을 보게 되면 행거 컨베이어, 이송 컨베이어, 원판 슈트를 구동하는 구동체가 각각 있다. 각각은 모터와 감속기 및 기어 등이며, 구동체가 구동이 될 때 발생하는 Hz를 계산하면 Table 2와 같으며, 이를 Table 3의 모드 해석 결과와 비교를 하였다.

Table 2 Rotation speed of each motors

motor	Rotation speed [rpm]	Frequency [Hz]
hanger conveyor	1750, 14.58	29.2, 0.243
transfer conveyor	1750, 0.88	29.2, 0.015
circle-plate shut	1800, 30, 3.75, 45, 1	30, 0.5, 0.063, 0.75, 0.017

Table 3 The result of modal analysis

Modal number	Natural frequency [Hz]	Modal number	Natural frequency [Hz]
1	11.8901	6	32.2261
2	21.8741	7	35.3912
3	23.7834	8	36.7859
4	26.5476	9	39.2242
5	27.6431	10	40.021

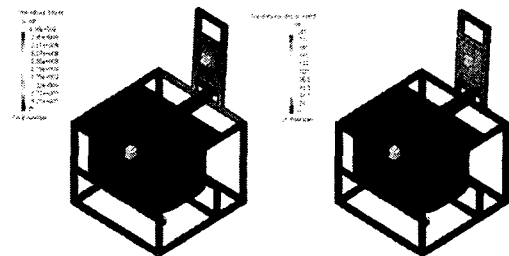


Fig. 6 The 11th mode shape

Table 2와 Table 3을 보게 되면 모터의 1750, 1800 rpm이 5차와 6차 모드 사이에 존재한다. 1차에서 5

차 모드를 지나치게 되나 빠른 시간 내에 지나기 때문에 큰 문제가 되지 않다고 본다. 감속기 등 다른 구동체는 1차 모드 이하에서 구동이 되며 전체적으로 안정적인 프레임 구성을 하고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존의 수작업으로 해오던 캡 세척의 문제점을 해결하고 생산성을 향상시키기 위해 이온수에 의한 병뚜껑의 세척과 순수 및 열풍으로 행굼과 건조에 이르기까지 일련의 과정을 포함하는 자동 캡 세척 장치를 개발하였다. 세척통의 와류를 이용하여 병뚜껑의 세척 및 이동 경로를 조절하였고, 행거 컨베이어를 이용하여 수작업을 자동화 할 수 있게 되었다. 그리고 세척된 병뚜껑을 순수세척수로 행구고 열풍으로 건조할 수 있는 원판 슈트를 개발하였다. 또한 설계된 구조물의 구조 해석과 모드 해석을 위해 각각의 구성요소들을 CATIA V5를 이용하여 모델링하고 해석을 실시하였다. 해석 결과, 변형량과 진동이 기계에 끼치는 영향이 매우 미비하여 캡의 이동 및 기계의 작동이 원활히 이루어짐을 알 수 있었다. 이와 같은 해석을 실시함으로써 구조물의 안전성을 검토할 수 있었고, 이로 인해 설계의 타당성을 검증할 수 있었다.

#### 후기

본 연구는 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

#### 참고문헌

1. Robert L. Norton, "Design of Machinery?" McGraw-Hill, Boston, pp. 22~167, 2001.
2. Hibbeler. R. C., "Structures Analysis," Pearson Education Korea, pp. 375~382, 2004.
3. Daryl L. Logan, "A First Course in the Finite Element Method - Third Edition," Brooks/Cole, pp.107~109, 2001.
4. Dimarogonas, Andrew D., "Vibration for Engineers - Second Edition," Prentice Hall, 1996.
5. Singiresu S. Rao, "Mechanical Vibrations," Prentice Hall, New Jersey, pp. 126~170, 2002.