

부식공정을 위한 유리병 장입시스템 개발

- Development of a Bottle Gripping System for Corrosion Operation -

박 강, 한영근, 강경식

Abstract

In order to enhance the quality of the glass bottle and to preserve the contents long, corrosion of the bottle surface is often required. The corrosion operation consists of dangerous and harmful tasks using strong acid such as HF. Thus, the corrosion operation should be automatized to improve the worker's safety. The first step of the automation is to develop the bottle gripping system that automatically grips and fixes the bottle during corrosion operations. The gripping system consists of holders, holder plates, air cylinders, and bottle aligning system. This paper shows the gripping system development procedure.

Keyword: Corrosion, Holder, Automation

1. 서론

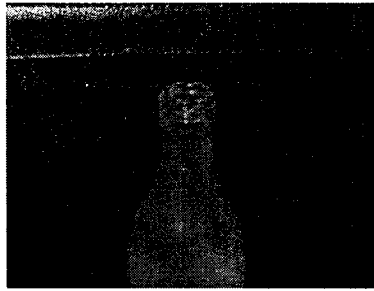
주류 제조사에서는 투명한 유리병의 표면을 부식시켜서 내용물의 신선도를 오래 유지하고 제품의 상품성을 높이는 공정을 채택하는 경우가 많다. 이런 유리병 부식 공정은 불산을 사용하는 위험하고 인체에 유해한 작업으로 이루어져있다. 따라서 부식공정을 자동화함으로써 작업자의 안전을 도모할 필요가 있는데, 자동화의 첫 단계로서 유리병을 자동으로 장입해서 고정시켜주는 장입시스템의 개발이 필요하다. 이 장입시스템은 홀더와 홀더 플레이트, 실린더, 유리병 정렬시스템으로 구성된다. 본 논문을 이들 시스템을 개발하는 과정과 이 과정에서 적용된 이론들에 대하여 고찰한다.

2. 부식공정

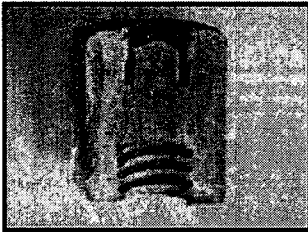
<그림 1>은 부식이 이루어진 유리병을 보여준다. 유리병의 부식(에칭)은 불산(HF) 수용액조에 침잠시킨 후 몇 단계의 세척 과정을 통해 이루어진다. 주로 주류 병으로 사용되는 이러한 병은 보통 일일 40,000~60,000개 정도를 생산하는 전형적인 대량생산 제품이다. 따라서 연속적인 기계화 공정을 통해서 부식을 수행해야만 이러한 수량을 충족시킬 수 있다.



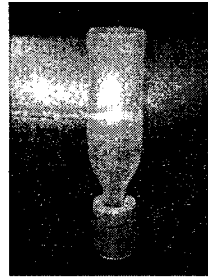
<그림 1> 부식된 유리병 제품



<그림 2> 부식을 막은 병입구부



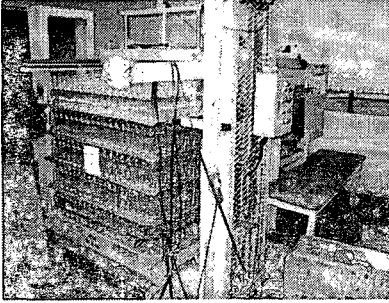
<그림 3> 고무 홀더의 단면



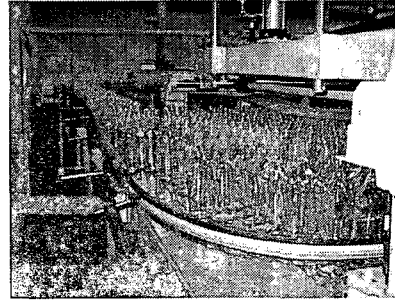
<그림 4> 고무 홀더에 장입된 유리병

이러한 부식공정에서 가장 큰 기술적 제한 조건은 특정부위만을 부식해야 한다는 것이다. 즉, 식음용으로 사용해야 하는 병이므로, 부식액인 불산이 병의 안으로 들어갈 경우, 아무리 세척과정을 효과적으로 수행한다고 해도 소비자에게 매우 큰 위험요소가 될 수 있으므로, 부식액의 내부 침투를 막아야만 한다. 또한, 병 바깥쪽에서도 상부 트위스트 마개 부분이 부식이 될 경우 효과적인 병마개의 기능성을 얻을 수 없기 때문에, 이 부분도 역시 부식을 피해야 할 부분이다 (<그림 2>). 이와 같은 제한 조건으로 인해 병의 입구 부분을 <그림 3>과 같은 고무홀더에 단단히 장입한 후 <그림 4>와 같은 결합체의 상태로 부식 조를 거치게 하는 것이 동종 업계의 일반적인 경향이다.

현재 참여업체에서는 부분 자동화된 장비를 부식 공정에 사용하고 있다. 이 장비는 병의 투입부, 정렬컨베이어, 홀더 장입 작업부, 부식컨베이어, 부식조, 세척조, 건조부, 취출부로 구성되어 있다. 이 장비를 통한 작업수행 과정을 설명하면 다음과 같다.



<그림 5> 소재 병의 투입부

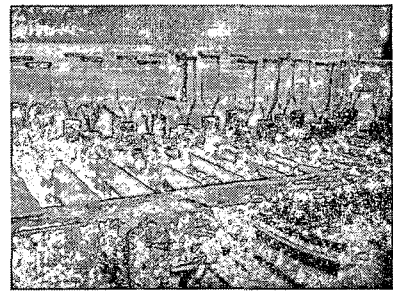


<그림 6> 정렬 컨베이어

<그림 5>에서와 같이 지게차에 의해 실려 들어온 여러 층의 팔릿에 적재되어 있는 투명병을 투입부에 위치시키면, 맨 위 층부터 병들이 컨베이어 쪽으로 투입되는 장치가 작동이 되고, 한 층이 끝나면 다음 팔릿 층이 상승하여 연속적인 투입이 이루어진다. <그림 6>과 같은 정렬컨베이어를 통해 소재가 되는 병들이 일렬로 정렬되어 전진하여 패키징 작업자들의 위치에 도달한다.



<그림 7> 홀더 장입 작업부

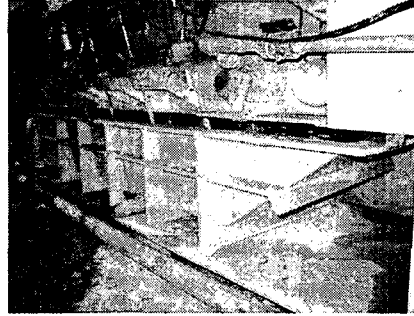


<그림 8> 컨베이어 홀더고무에 장입된 병

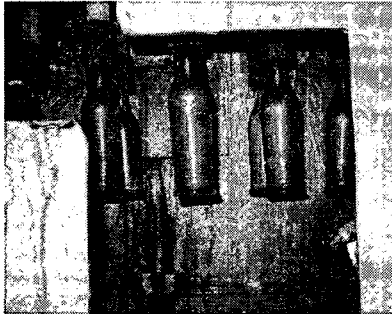
홀더 장입 작업자의 임무는 정렬컨베이어를 통해 도착한 병들을 집어서 부식컨베이어 상의 고무홀더에 병입구를 아래 쪽으로 향하는 방향으로 장입하는 것이다<그림 7>. 부식컨베이어는 <그림 8>과 같이 패키징 고무들이 어긋나게 위치하여 부착되어 있다. 현재의 수요량을 충족시키기 위해서는 분당 100개의 병을 처리해야 하므로, 3인의 근로자가 동시 작업으로 장착을 하고 있다. 다른 업체에서는 5인 1조로 30분마다 교대로 작업을 수행하기도 한다.



<그림 9> 소재병의 방향전환



<그림 10> 부식 조



<그림 11> 부식조를 나온 병



<그림 12> 취출부

부식컨베이어가 전진하다가 한 쪽 끝에서 180도로 방향을 바꾸게 되면<그림 9>, 장착된 병들은 병입구의 방향이 하늘을 향하게 되고 이 상태로 부식조에 들어가게 된다<그림 10>. 부식조를 통과하면 병이 <그림11>과 같이 불투명 상태가 되는데, 이후에 세척조를 거침으로써 남아 있는 불산을 물에 의해 제거하고, 잔류 습기를 공기에 의해 건조시킨다. 최종적으로 취출부에서는 1인의 작업자가 고무홀더로부터 병을 탈착시킨다<그림 12>.

이상의 공정을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 투명한 소재 병이 병공장에서 카트에 담겨져 트럭으로 운송되어 온다.
- 2) 소재 병이 담긴 카트는 지게차에 의해서 부식 라인으로 이송된다.
- 3) 소재 병들이 투입부에 놓여진다.(반자동 기계를 수동조작, 작업자 1인)
- 4) 정렬컨베이어벨트가 소재 병들을 패킹작업부로 이동 시킨다.
- 5) 작업자 3인이 소재 병을 고무 홀더에 꽂는다.(수동작업, 작업자 3인)
- 6) 고무 홀더에 꽂힌 병들은 컨베이어를 타고 이동하여 불산 탱크를 통과한다.

이 과정에서 만족해야할 조건은

- ① 부식시간은 7초 정도 이며,

- ② 유리병의 겉표면만 부식이 되어야 하고,
- ③ 부식 표면과 병입구의 부식되지 않은 표면 사이의 경계가 균일하고 일정해야 한다.
- 7) 세척과정을 통하여 부식된 유리병에서 불산을 제거한다.
- 8) 병을 건조시킨다.
- 9) 병을 고무 패킹에서 제거한다. (작업자 1인)
- 10) 부식 결과를 검사한다. (작업자 1인)
- 11) 포장한다. (작업자 2인)

3. 부식공정의 직무기피 요인

이러한 부식 공정에 존재하는 가장 중요한 직무기피요인으로는 부식 전 병을 홀더에 장입하는 작업의 노동 강도가 매우 높다는 것이다. 부식 공정에서 완벽한 기밀성을 위해서는 매우 높은 강도를 가지는 경질고무가 홀더의 재료로 사용되고 있다. 현재의 공정은 이 홀더에 병을 장입할 때 작업자들이 컨베이어에서 유입되는 각각의 병을 집어서 각각의 고무홀더에 인력으로써 밀어 넣는 방식을 사용하고 있다. 이 과정은 노동강도가 상당히 높기 때문에 어깨와 허리, 그리고 손바닥 등의 피로로 인해 내국인 작업자는 이미 오래 전에 이 현장을 떠나서 현재는 외국인 근로자로 채우고 있으나, 이들도 이직률이 매우 높은 실정이다. 또한 대량의 수량을 충족하기 위해서 이 작업에만 3인이 1조로 하여 30분 작업 30분 휴식의 2교대제로 운용되고 있어서 6인의 작업자가 투입되고 있기 때문에 인력을 수급하는 것이 업체 측으로는 매우 어려운 일이 되어 있다. 따라서 높은 노동강도를 줄여주는 간이 자동화 혹은 완전 무인 자동화로 홀더 장입 작업을 수행한다면 이러한 직무기피 요소는 최소화될 수 있을 것이다.

또 하나의 직무기피 요인은 부식액인 불산의 위험성이다. 유리 제품에 사용되는 대표적인 부식재료인 불산은 피부, 점막에 매우 강한 자극성을 지니고 있으며, 흡입에 의해 상기도에 출혈성의 궤양과 폐수종을 일으킨다. 또한, 전신작용을 하며 구토, 근육쇠약, 경련, 색각이상 등 뇌신경 장애도 일으키며 신장장애, 순환기장애도 초래한다. 장기간 폭로되면 골과 치아에 변화를 일으키며 골에서는 경화증이 일어나고 골중식과 인대의 칼슘침착이 진행되기 때문에 운동장애를 초래한다. 현재의 작업장은 환경규제 범위를 지키고 있는 있으나, 병의 홀더 장입 위치가 바로 불산 조의 상부이기 때문에, 작업자들에게 불산의 영향이 미약하게나마 미치고 있을 것이고, 이러한 영향이 장기적인 것이 되었을 때의 결과는 현재로는 분명하게 알 수가 없다. 따라서, 작업자와 불산을 멀리 이격시켜 그 영향을 최소화할 수 있는 장비의 개발로 두 번째 직무기피 요인을 해소시킬 수 있을 것이다.

4. 부식공정을 위한 유리병 장입시스템 개발

4.1 개발목표

유리병 용기 표면을 불산(HF)으로 부식시키는 공정을 자동화하기 위해서 유리병 장입 시스템을 개발해야 한다. 이 과정은 쉽게 장입되면서 부식라인이 깨끗하게 나올 수 있는 유리병 홀더 개발과 현재 노동 강도가 높은 홀더장입 작업의 기계화·자동화로 이루어진다.

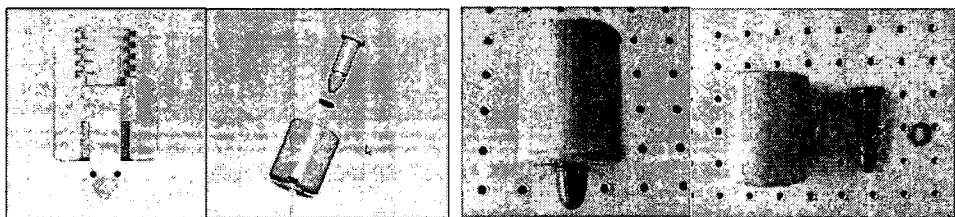
4.2 유리병 홀더의 재설계

기존 공정에서 사용되고 있는 홀더(<그림 3>)는 유리병의 고정 및 불산침투를 막기 위해 강한 밀폐압이 필요하기 때문에 유리병을 홀더에 장입, 제거할 때 매우 큰 힘이 소요되어 자동화가 어렵다는 단점이 있다. 유리용기 부식 시스템에서 수작업으로 병을 홀더에 장입하던 것을 자동화하기 위하여 기존 홀더를 장입력이 작고 병 고정 능력이 우수하도록 재설계 해야 할 필요가 있다.

따라서 표 1의 설계 기준에 준하여 홀더의 재설계를 수행하였다. 재설계를 수행하는 과정에서 발명이론인 TRIZ를 적용시켜서 새로운 홀더를 개발하였다. <그림 13>은 새로운 고무홀더의 CAD 모델과 제작된 실제 제품형상을 보여준다.

표 1. 설계 기준

- 용기의 장착과 탈착이 용이하고 부식액(불산)으로부터 주입구의 완전한 밀폐
- 최대한 단순한 기구구조와 액츄에이터 사용
- 저렴한 생산 단가 (일만원 이하)



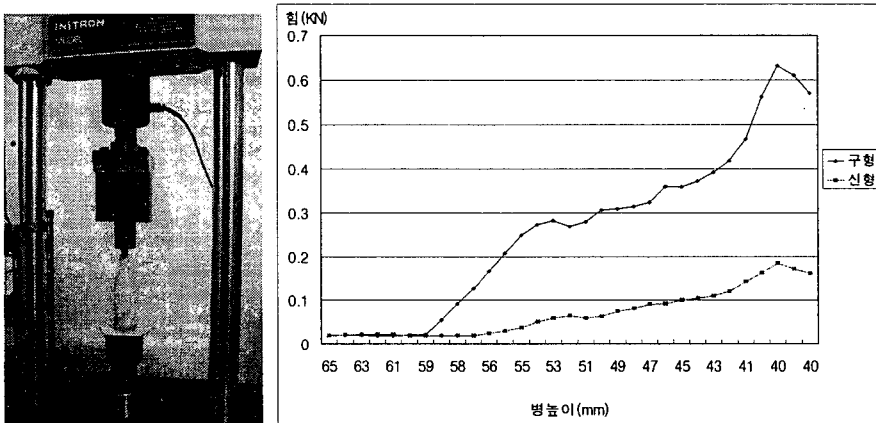
<그림 13> 홀더 모델 및 실제 제품

새로 설계된 홀더는 다음의 특징을 가지고 있다.

- 1) 복잡한 기구부나 구동부를 사용하지 않기 때문에 가격이 저렴하고 유지보수가 용이하다.
- 2) 창의적 문제 해결방법과 TRIZ를 이용하여 기존 홀더와 병과의 접촉 부분의 형태를 변경하여 밀폐압력과 소요되는 힘의 관계를 최적화하였다.

3) 용기 장입과정에서의 정확성, 장입이후 이송 시 용기와 홀더 결합의 안정을 높이기 위해 플라스틱과 고무링을 결합한 코어를 채택하였다.

신형 홀더의 장입력을 인스트론을 이용하여 측정하여 구형 홀더와 비교하여 보았다. <그림 14>는 홀더 장입력을 인스트론으로 측정하는 과정을 보여주며 <그림 15>는 측정된 장입력 그래프이다. <그림 15>에서 신형 홀더의 장입력(0.185 kN)은 구형 홀더의 장입력(0.632 kN)의 1/3 정도로 나타났다. 따라서 장입 시스템을 자동화하는데 많은 도움이 된다.

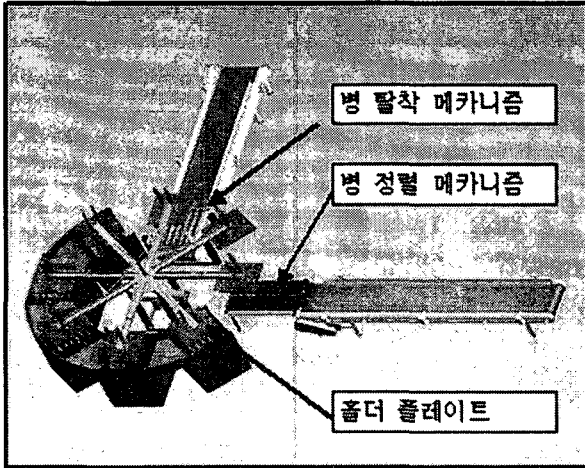


<그림 14> 홀더 장입 측정 <그림 15> 구형 홀더와 신형 홀더의 장입력 그래프

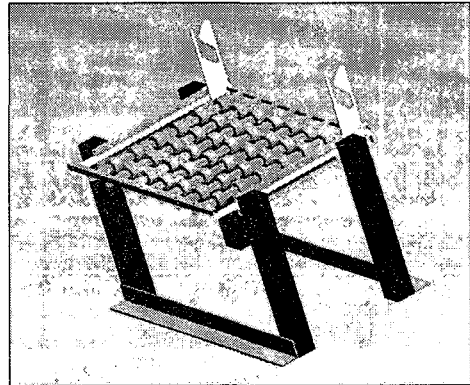
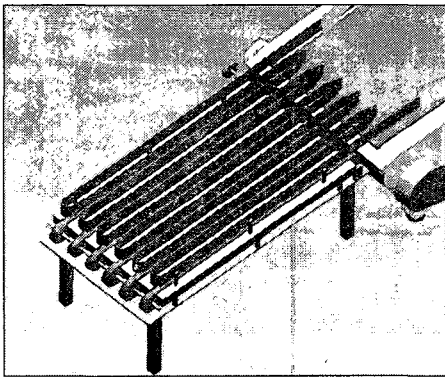
4.3 유리병 자동 부식 기계 설계

유리병 자동 부식기계의 설계를 위해서 브레인스토밍을 통한 다양한 기계 메카니즘을 도출하였다. 그 중 8단계 공정의 로터리 방식 자동화 기계로 확정하였다.<그림 16> 또한 병 장입, 장탈 및 이송, 부식, 세척과정 등에 관한 작동 방식을 고안하고 설계하였다.

설계 과정에서 3D 모델러인 PRO/E를 이용하여 시스템을 모델링하였으며 초기 설계 단계에서 여러 가지 개념 설계에 대한 비교 분석과정을 거쳐 장, 단점 보완하고, 3D 구조물 해석을 수행하여 최적의 설계를 도출할 수 있었다. <그림 17>은 별도의 기구부 없이 a)병을 정렬하고 b)탈착하는 메카니즘을 고안하고 모델링한 결과이다.



<그림 16> 유리병 부식 기계의 전체 모습



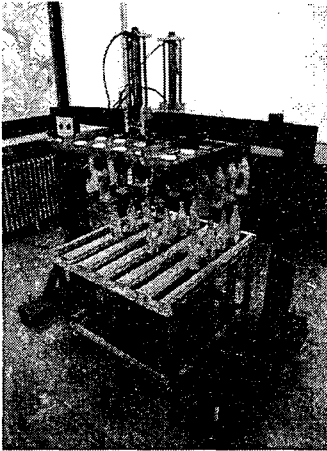
<그림 17> (a) 병 장착을 위한 정렬 메카니즘

(b) 병 탈착 메카니즘

4.4 홀더 플레이트의 제작 및 실험

8개의 팔 끝에 달려있는 홀더 플레이트 판을 제작하여 실험을 수행하였다. <그림 18> 이 홀더 플레이트는 새로 설계된 36개의 홀더가 PVC 재질의 플레이트에 고정되어 있고 2개의 공압실린더에 의해서 상하로 왕복하면서 병을 장입하게 된다. 아래 테이블에는 컨베이어에 의해서 병들이 자동으로 정렬될 수 있는 병정렬 메카니즘이 장착되어 있다.

이 홀더 플레이트는 36개의 유리병을 동시에 집어서 액체에 담근 후, 일정시간 후 꺼내는 과정 수행할 수 있다. <그림 19>에서 보듯이 테이블에 장착된 병 정렬 메카니즘이 병을하나 건너 하나씩 장입되게 하는 기능을 수행함을 알 수 있었다.



<그림 18> 홀더 플레이트 실험장치



<그림 19> 병 정렬 메카니즘과 장입실험

5. 결론

작업자들에게 유해한 작업인 병부식 공정을 자동화하기 위한 첫째 단계인 자동 장입 시스템을 개발하고 성능을 실험해 보았다. 병부식 공정이 자동화 되면 기존 수작업으로 수행하던 유리병의 홀더 장입 작업의 작업자 노동을 제거할 수 있고, 유해한 불산 부식액에 의한 산업재해 발생을 예방할 수 있으며 생산성이 향상되고 제품 불량률이 저하되는 등의 효과를 가져 올 수 있다. 인력 감축으로 인한 인건비절감 효과도 클 뿐만 아니라, 작업자들에게 노동강도가 높은 작업과 유해한 환경 요소를 제거하여 안전하고 쾌적한 작업환경을 제공할 수 있다.

6. 참고 문헌

- [1] 김병호, 「유리공학」, 청문각, 2001.
- [2] 허성관, 「산업안전관리론」, 보성각, 1996.
- [3] 한영근 외 역, 「생산자동화와 CIM」, 시그마프레스, 2001.