

Filter 조립 자동화 시스템 설계에 관한 연구

김홍건*

(논문접수일 2008. 11. 7, 심사완료일 2008. 12. 8)

A Study on the Design of Filter Assembly Automation System

Hong Gun Kim*

Abstract

An automation process of filter unit is presented for the application of the assembling procedure and dry furnace work. By that automation procedure, it is expected to enhance working environment such as reducing laboring load, harmful gas, and burning scald. Furthermore, this automation process also minimizes via standardization of manufacturing process so that it may increase productivity and reliability. An automation process of filter unit is presented for the application of the assembling procedure and dry furnace work. Filter automation process also gives a good quality and productivity by simplifying to only one line from the complicated process such as filter cutting→adhering→fabricating in a very small space. It is found that a new conceptual design of dry furnace shows the better quality like uniform heat distribution compared to the conventional design. It is also found that the present design gives a better working environment by adding cooling system.

Key Words : Filter Element(필터 엘레먼트), Filter Assembly(필터 조립), Automation System(자동화), Drying oven(건조로)

1. 서론

최근 환경문제가 대두됨으로써 필터의 필요성이 부각되고 있는데 대기오염의 주원인으로 나타난 자동차 배기가스는 대기 오염 성분의 양 78%를 차지하고 있으며 대기뿐만 아니라 토양과 수질을 오염시키고 있어 자동차 배기가스 발생억제가 시급한 문제로 대두되었다. 우리나라의 경우 환경부가 조사한 자료에 따르면 90년대 중반에 자동차 배기가

스로 인한 오염 물질이 1백50만 톤으로 OECD 국가에 비하여 11.8배로 나타났으며 이러한 문제점을 해결하기 위하여 자동차 배기가스가 기준치 이상인 자동차에 대하여 2007년 현재까지 규제를 실시하고 있다. 이런 단적인 예로써도 대기오염을 줄이기 위한 필터의 중요성을 쉽게 알 수 있다⁽¹⁾.

공기청정용 필터는 원자재 입고(필터막, 가이드용 시트) → 절곡 → 반조립 → 건조·성형 → 포장 공정을 통하여 완성되게 된다. 제조 공정중 필터막의 형태를 사용목적에

* 전주대학교 기계자동차공학과 (hkim@jj.ac.kr)
주소: 506-759 전라북도 전주시 완산구 효자동 3가 1200

맞게 유지 고정하는 제조 공정은 부채살 모양으로 절곡되어 있는 필터막과 코어망 시트를 접착 고정시키는 반조립하여 성형하는 공정이다. 현재 국내의 약 250여개의 필터 제조업체가 반조립과 성형공정을 수작업 및 반자동으로 작업을 하고 있는 실정이다^(2,3).

특히 코어망 스폿용접과 코어망과 여과지를 반조립하는 공정에서는 숙련공 3인이 하루 3000(1개 조립 시 10초 소요)개의 필터를 전량 수작업으로 이루어지고 있어 작업강도가 매우 높다고 할 수 있으며, 필터 성형·건조로에서 유해가스가 상당량이 작업장으로 유출되고 있다. 또한 성형로에서 배출된 필터의 표면 온도가 약 180°C 정도 되어 작업자의 화상우려도 있는 실정이다. 반조립 작업장과 성형로의 작업장이 떨어져 있어 반제품의 운반 또한 어려움이 많은 실정이다. 이러한 수작업과 반제품의 작업장 운반 작업은 작업자의 노동력에 비해 제품의 생산성과 품질이 현저히 떨어지는 단점이 있다. 반제품 성형공정에서는 이산화탄소와 약간의 시안화수소, 포름알데히드, 세척효과를 위해 사용되는 신너 성분, 메탄가스 등의 유해가스 발생으로 알러지 반응 및 메스꺼움, 발열, 흉통, 호흡곤란, 천식, 기침, 두통, 폐울혈 등에 항상 작업자가 노출되어 있다. 또한 점착제로 사용되고 있는 페놀 레진은 피부와 눈에 자극유발 가능성 있고, 자극 및 알레르기를 유발할 수 있다⁽⁴⁾.

따라서 본 논문에서는 필터 제조 공정중 수작업과 반자동식 성형작업이 많은 반조립 라인과 성형로를 대상으로 하여 자동화기술을 적용하여 인체 유해성 작업 및 단순노동 개선을 위한 산업용 Filter Element 제조라인 휘발·건조·성형로 및 반조립 라인의 공정혁신 이루고자 한다. 이러한 연구결과를 현장에 적용하였을 경우 작업환경개선을 도모하여 개선된 작업조건에 의한 인력수급의 어려움을 극복하며 불량품 발생의 감소로 수입에 의존하고 있는 원료의 수입 비용 절감으로 가격 경쟁력 확보에 따른 수출 증가를 기대할 수 있으리라 사료된다.

Fig. 1은 본 논문에서 개선하고자하는 Filter의 가공공정을 나타내고 있다. 편칭기와 자동압착기를 통하여 Filter의 코어망 초기 작업을 실시하고 절곡기와 분리기 압착기를 거

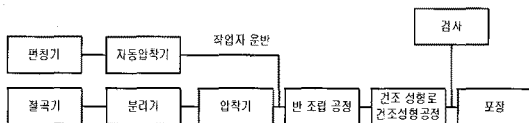


Fig. 1 Diagram of filter manufacturing process

쳐 여과지의 가공을 실시하여 작업자가 조립공정 라인으로 직접 운반을 하는 공정을 지니고 본과제의 핵심인 수작업으로 반조립 공정을 지나서 Filter Element를 건조성형 라인에 넣어서 열압착 및 건조를 통하여 상품을 제작하고 있는 것을 보여주고 있다⁽⁵⁾. 이 공정도를 작업현장에서 적용하는 사진을 아래 Fig. 2에 나타내었다.

2. 필터 조립장치 및 건조·성형로 설계 및 제작

기술개발에 따른 다양한 문제점들을 해결하기 위하여 현장 작업자들의 요구사항을 수렴하고 각 구성 요소별로 발생할 수 있는 장애요소들을 파악하였다. 또한 현장 적용시 공정간의 문제점을 검토하여 레이아웃 설계를 하였고, 작업수행시 해결 방안을 모색하여 기구학적인 모델링에 최대한 반영하였다. 본 연구를 수행하기 위한 설계 도구로는 CATIA V5를 설계 도구로 사용하였으며, 3D 설계기법을 적용하여 간섭체크 및 강도 설계를 고려하여 설계오류를 최소화 하였다.

자동차용 및 산업용 필터의 반조립 공정에서 반조립 작업의 생산성 향상을 위하여 반조립 자동화 시스템을 본 연구에서 개발하고자 하였으며, Fig. 3과 같이 모델링하였다. 반조립 공정 자동화의 목적은 Table 1과 같다.

컨베이어 시스템은 기존의 한 개의 Filter Element를 이송시키는 단순한 이송개념에서 외코어를 고정시키는 시간을

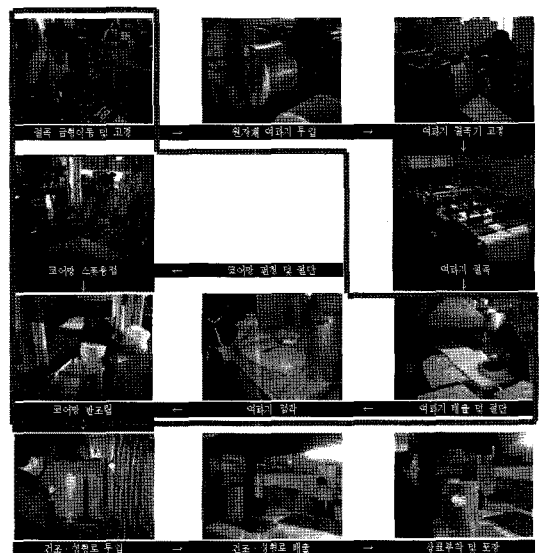


Fig. 2 Photograph of filter manufacturing process

감안하여 다수의 Filter Element를 순차적으로 이송시켜 작업시간을 최대한 효율적으로 운영할 수 있도록 설계하였다.

Table 1 The purpose of automation for filter assembling process

기존 공정	자동화공정
3개 공정	1개 공정으로 단축(공정개선)
3명의 작업자	1명으로 인력감소 (타 공정으로 배치/생산성향상 도모)
과도한 노동강도	노동강도 감소, 근골격계질환 예방
불 균일한 반조립	균일한 반조립(불량률 감소/생산시간 단축)

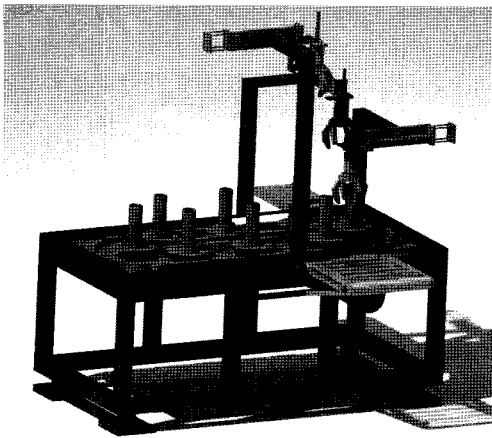


Fig. 3 3D Modeling of filter element assembling system

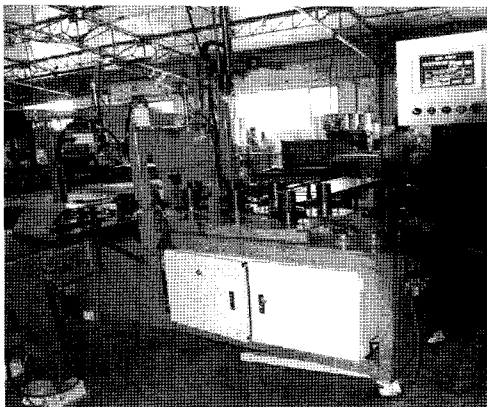


Fig. 4 Automation system for filter element assembling line

여과지와 내코어를 삽입하기 위해서는 이상적인 힘과 토크를 조절하여야 한다. 작업물을 Loading 하기 위해서 공압 피스톤을 이용하였으며 슬레노이드 밸브를 이용하여 힘을 조절하여 Element에 손상이 가지 않도록 설계하였다. 외코어 고정을 위하여 공압 피스톤을 이용하였으며, 필터의 종류에 따라 고정폭을 조절하여 여러 종류의 필터에 적용시킬 수 있도록 설계하였다. Fig. 4는 시제작된 필터 반조립 자동화 시스템의 시제작품을 보여주고 있다.

건조·성형로는 열효율을 최대한 높이고 균일한 열이 Filter Element에 전달될 수 있도록 강제 열대류를 할 수 있도록 설계하였으며, 필터의 종류에 따라 열풍의 통로를 조절하여 이상적인 건조와 성형이 이루어질 수 있도록 설계하였다. Fig. 5는 신개념 Filter 건조·성형로의 레이아웃을 나타내었으며, Fig. 6은 3D 모델링을 보여주고 있다. 건조·성형 공정

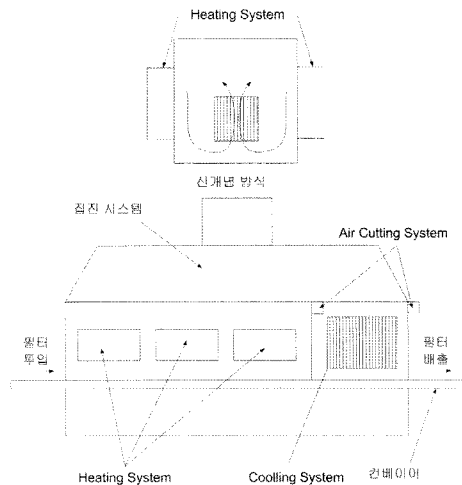


Fig. 5 Design layout of new concept for filter drying oven

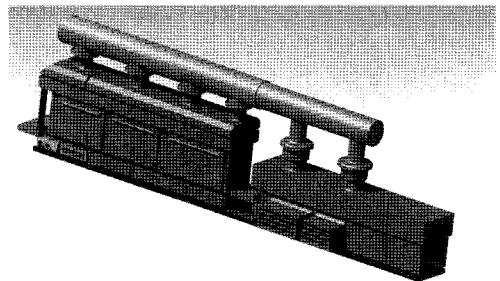


Fig. 6 3D Modeling of filter drying oven

의 자동화의 목적은 Table 2와 같다.

고품질의 filter를 생산 하기 위해서는 filter 전체에 균일한 열분포와 대류가 이루어 져야한다. 따라서 건조로 내 온도분포와 강제대류가 원활하게 이루어지는 것을 확인하기 위하여 CFD 해석을 수행하였다. 여기서 200℃의 히팅 시스템에

Table 2 The purpose of automation for filter drying process

기존 공정	자동화공정
기존의 비효율적인 가열방식	상부 가열방식을 좌우 사이드 가열방식, 균일한 열분포(제품 품질향상)
유해가스 배출	신개념 집진시스템(유해가스 차단)
180℃ 제품 배출(화상위험)	쿨링시스템 추가로 화상위험 차단
반조립 라인 이후 불필요한 운반작업	반조립 라인과의 일체화(반 조립품 운반 작업 생략으로 인한 생산성향상)

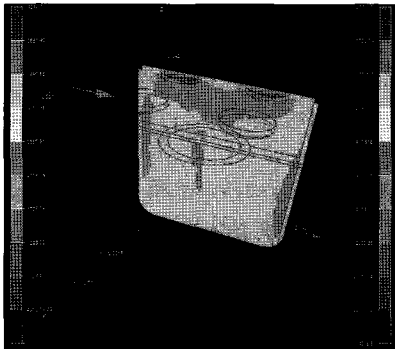


Fig. 7 Temperature distribution of drying oven

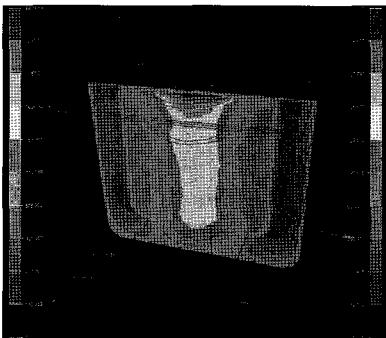


Fig. 8 Flow distribution of drying oven

의해 좌우 사이드에서 방사되고, 상부의 좌우 사이드에서 강제 송풍되고 있으며, 상부의 센터에서 100m³/min로 집진이 되고 있다. Fig. 7~8에서 확인할 수 있듯이 건조로 내의 온도 분포는 균일하게 나타났으며, 필터를 성형하는데 문제가 없는 것으로 확인되었다. 또한 대류의 형태로 원활하게 이루어지고 있는 것을 확인하였다. 양쪽 사이드에 위치하고 있는 히팅 시스템에서 직선으로 방사되는 열과 대류의 영향으로 전달되는 열이 복합적으로 혼합되어 전체적으로는 대체적으로 균일한(1~2℃ 온도차) 열분포 가지는 것을 확인 하였다. 따라서 대류와 직접적인 열의 영향으로 원하는 열분포를 확인 하였다. 이것은 필터의 균일한 성형을 위해서 중요한 요소 중에 하나이며, 필터의 성능과 불량률을 줄이는 요소이기도 하다. 이러한 해석결과는 제안한 신개념 건조·성형로의 설계의 유효성을 확인할 수 있었고 이를 토대로 Fig. 9와 같이 상세설계를 하였으며 시스템 제작을 하였다.

Filter의 반 조립품이 건조성형로에서 배출될 때의 온도는 180℃ 이상이 되어 작업자의 품 화상위험이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Cooling System설계 하였으며, 전체 시스템 공정 중 마지막 공정에서 80~50℃ 까지 냉각시킬 수 있도록 설계하였다. Filter의 특성상 고온 가공시 유

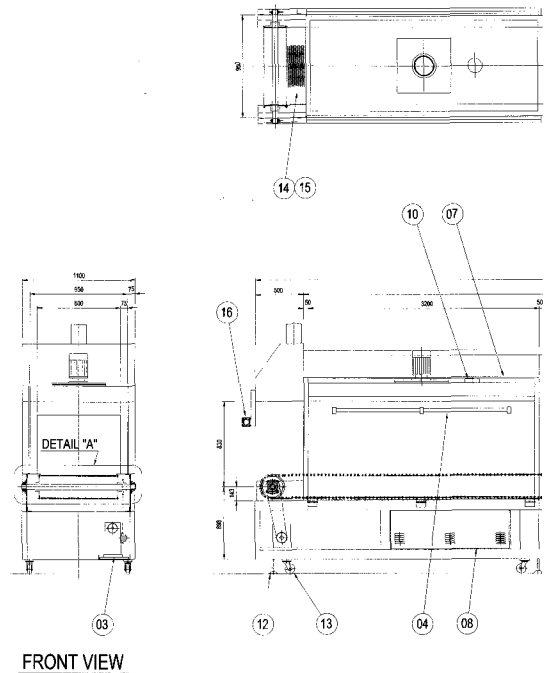


Fig. 9 Detail design of filter drying oven

해가스가 발생을 한다. 하지만 유해가스는 작업자의 건강에 영향을 미치게 되어 원천적으로 유해가스를 차단하기 위해 집진 시스템을 추가 설계하였다. Fig. 10은 시 제작된 개념 Filter 성형 건조 시스템을 보여주고 있다.

유해성·단순노동 개선을 위한 Filter 반조립 라인 자동화 시스템 및 건조·성형로를 제어하기 위한 컨트롤러는 외코어, 내코어 공급장치와 및 필터의 내코어. 외코어 조립을 위

한 로봇위치제어, 컨베이어, 회전 테이블, 공압 실린더의 위치제어를 하게 된다. 아래 Fig. 11은 시스템 컨트롤러의 구성도를 나타내었으며, 시스템의 컨트롤러 작동 순서도를 Fig. 12에 나타내었다.

필터 조립기와 건조로의 컨트롤 패널을 GUI기반으로 프로그램 하여 Fig. 13과 같이 터치패드로 모든 생산작업이 가능하도록 하였다.

3. 작업환경 측정

작업장 진단은 필터 반조립 공정 중 작업관련 근골격계 질환 예방을 위하여 작업장의 유해요인 조사를 통한 인간공학 적 측면에서 필터 반조립시 기존의 수작업과 개발된 필도 반조립 자동화 System을 사용한 작업과의 작업 자세에 따른 위험성을 인간공학적 평가도구를 이용하여 위험도를 정량화 한 후 각각의 작업 자세를 비교평가 하는데 목적이 있다. 작업 현황을 파악하기 위하여 기초자료 조사와 현장 Tour를 통하여 작업장 관찰 및 작업 자세를 관찰하였으며 사진 및 비디오 촬영을 통하여 작업장 및 작업 자세를 정밀 분석하고 인간공학적 측면에서 작업 자세 평가 및 위험성 평가를 하였다. 최종적으로 작업자세의 측정 및 분석 내용을 바탕으로 기존 수작업방식의 작업 자세와 필터 반조립 자동화 System을 적용한 작업 자세를 비교하여 개선효과와 정도를 검증하였다. Fig. 14는 노동 강도 측정의 흐름도이다.

또한, 작업자세 평가도구로는 대상작업의 작업관련성 근 골격계질환 유해요인을 파악하기 위하여 대상 작업자들의 작업모습을 비디오 및 카메라로 촬영하고 이를 분석하였다. 사용한 Checklist는 SI(Strain Index), RULA(Rapid Upper Limb Assessment), OSHA-A(Occupational Safety and

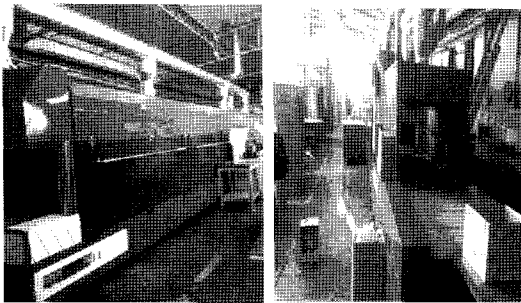


Fig. 10 Automation system for filter drying line

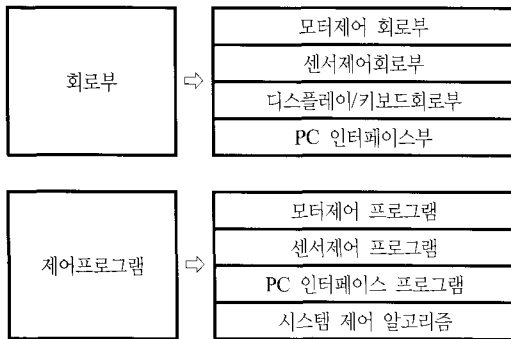


Fig. 11 Block diagram of system controller

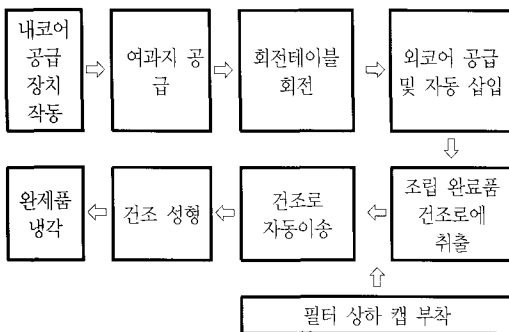


Fig. 12 Flow chart of system control



Fig. 13 Touch control panel of GUI based

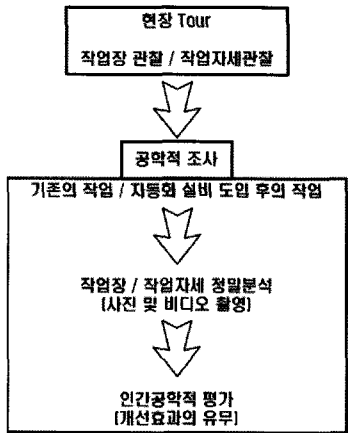


Fig. 14 Flow chart of work intensity measurement

Health Administration)이다^(8,9).

Table 3과 4는 개발 시스템의 공정 적용 전 과 적용 후의 작업자세 평가에 대한 것이다. 작업자세 측면에서 볼 때 개발 시스템의 공정적용에 의하여 상당부분 공정개선이 이루어진 것으로 나타났다.

4. 결과 및 고찰

반조립 공정 자동화 시스템의 개발 목적은 공정의 간소화, 인건비 절감, 작업자 노동 강도 감소 및 균일한 조립품의 생산을 목적으로 한다. 앞 에서 기술 했듯이 여러 기능 및 편의성으로 고려하여 시제품을 제작하여 시운전을 실시하였다.

시운전 결과 3개의 공정으로 이루어졌던 반조립 공정이 1개의 공정으로 단축되고, 공정 단축을 통하여 작업 인력의 감소를 통하여 기존 인력을 타공정으로 배치 가능하여 생산성 향상에 많은 도움을 주었다. 또한, 기존 공정에서 모든 작업이 수동으로 이루어져 노동 강도가 높아 이직율이 상승 하였으나 반조립 공정이 이루어져서 노동강도 감소로 연계 되고 작업자의 근골격계 질환 예방이 가능하게 되었다. 또한, Filter Element가 균일하게 반조립 되면서 불량률 감소와 생산시간의 단축을 통하여 생산성이 좋아지는 결과를 얻을 수 있었다. 건조·성형로는 열효율을 최대한 높이고 균일한 열이 Filter Element에 전달될 수 있도록 강제 열대류를 할 수 있도록 제작하였으며, 필터의 종류에 따라 열풍의 통로를 조절하여 이상적인 건조와 성형이 이루어질 수 있도록 제작하여 참여업체에 설치 후 시운전을 실시 하였다. 시운전 결과 기존의 비효율적인 가열방식에서 상부 가열방식을 좌우

Table 3 Work postures of filter assembling process (Before)

진단항목	세부내용
필터 반조립 작업	

평가 결과

○ SI

cycle당%=1 분당횟수=1 자세(손/손목)=2 작업속도=1 작업시간=1 강도=6 1×1×2×1×1×6=12 매우 위험한 작업이므로 즉시개선 요함

○ RULA 10점

(평가그룹 A:상완=1 전완=1, 손목=4, 손목 비틀림=2 TABLE A=4 근육사용=3 무게나 힘 3 10점)
(평가그룹 B:목=2, 몸통=1, 다리와 발=3, TABLE B=3 근육사용=3 무게나 힘=4 10점)
TABLE C=10점 정밀 조사와 즉각적인 개선이 요구됨

○ OSHA-A

반복성=3 손힘=3 작업자세=3 신체압박=2 진동=2 환경=1 작업조절=1 합계=15점 즉시 개선 요함

Table 4 Work postures of filter assembling process (After)

진단항목	세부내용
필터 반조립 작업	

평가 결과

○ SI

cycle당%=1 분당횟수=1 자세(손/손목)=1 작업속도=1 작업시간=1 강도=1 1×1×1×1×1×1=1 안전한 작업

○ RULA 2점

(평가그룹 A:상완=1 전완=1, 손목=1, 손목 비틀림=1 TABLE A=1 근육사용=0 무게나 힘 1 2점)
(평가그룹 B:목=1, 몸통=1, 다리와 발=1, TABLE B=1 근육사용=0 무게나 힘=1 2점)
TABLE C=2점 수용 가능한 작업

○ OSHA-A

반복성=1 손힘=0 작업자세=0 신체압박=0 진동=0 환경=1 작업조절=1 합계=3점 안전한 작업

사이드 가열방식을 실시하여 균일한 열분포를 보여 Filter Element의 품질향상을 가져 왔다. 또한, 작업자의 건강에 영향을 미치는 유해가스를 신개념 집진시스템을 적용하여 유해가스를 효율적으로 차단이 가능하였다. 제품의 특성상 180℃의 고온으로 공정이 진행되어 화상위험이 있었으나 Cooling System 추가로 화상위험을 차단하였고, 반조립 라인과의 일체화를 통하여 반 조립품의 운반 작업 생략이 생략되어 생산성 향상에 도움이 되었다.

위와 같은 두개의 공정은 일체 시스템으로 제작되어 반조립 제품의 운반과정을 생략하여 생산시간의 단축과 작업자의 노동 강도를 줄일 수 있었으며, 기존 수작업(8시간/일) 생산시 3,000(1개 조립시 10초 소요)개 생산에 머물렀던 것을 본 개발시스템 적용 시 1일 4,000(1개 조립시 8초 소요)개 생산됨으로서 생산성이 133% 향상되었다. 또한 필터의 제품 품질도 향상되었으며, 불량률이 10% 감소되었다.

5. 결론

본 논문은 필터의 제조공정 중에서 반조립 공정과 건조·성형로를 대상으로 자동화 및 신개념 건조·성형로 개발하여 생산라인에 적용함으로써 작업자의 작업강도 저하 및 유해가스 차단, 화상위험으로부터의 불안감 해소 등에 있으며, 개선된 작업조건에 의하여 제조방법의 표준화를 통하여 불량률을 최소화시켜 제품의 생산성, 신뢰성 등의 향상을 꾀하고자 하였으며 다음과 같은 효과를 얻을 수 있었다.

(1) 공정단축 및 작업단순화 (조립단계 1/3 축소)

여과지 절단 → 여과지 접착 → 코어망 반조립 등의 각 공정별로 3인이 하루 3000개의 Filter Element를 조립함으로써 과도한 노동강도로 직업병을 유발 할 수 있었지만 제안된 자동화시스템은 3공정을 하나의 공정으로 자동화 하여 생산제품의 균일한 조립과 이동으로 생산성 향상 및 품질향상, 그리고 작업자의 과도한 신체 부담을 줄일 수 있었다.

(2) 생산성 및 품질 향상

기존 공정은 작업자에 의존한 반조립 공정으로 불량률과 생산 시간이 많이 소요 되었으나, 공정 자동화를 통하여 제품의 균일한 조립과 이동이 가능하여 불량률 감소를 가져오고, 생산시간 단축을 통하여 품질 향상 및 생산성이 향상되

었다. 기존 수작업(8시간/일) 생산시 3,000(1개 조립시 10초 소요)개 생산에 머물렀던 것을 본 개발시스템 적용 시 1일 4,000(1개 조립시 8초 소요)개 생산됨으로서 생산성이 133% 향상되었다. 또한 필터의 제품 품질도 향상되었으며, 불량률이 10% 감소되었다.

참고 문헌

- (1) Rhu, J. H. and Choi, D. H., 1997, "Flow Analysis Through Fiber Ceramic Filter Element," *KSME Fall Proceeding*, pp. 228-233.
- (2) Ahn, B. G., Choi, U. S., Rhe, Y. H., Cjun, Y. J., and Kwon, O. K., 1996, "Filtration Characteristics of Magnetic Fibrous Polymeric Filter Elements for Industrial Lub-systems," *Journal of KSTLE*, Vol. 12, No. 3, pp. 39-47.
- (3) Kim, C. S., Hwang, H. C., Kim, S. D., and Song, D. J., 1999, "A Development Study of Industrial Metal Fiber Filter System Design," *KSME Spring Proceeding*, pp. 339-344.
- (4) Kim, Y. J., Kang, I. K., and Byun, H. S., 2006, "Development Trend of Nanofiber Filter," *Membrane Journal*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-8.
- (5) Kim, J. Y., Ko, M. S., Kwak, N. S., Choi, C. J., and Han, J. H., 2006, "Design and manufacture of Follie Urethan forming machine," *KSMPE Fall Proceeding*, pp. 155-159.
- (6) Hobson Paul D., 1955, "*Industrial Lubrication Practice*," The Industrial Press., New York.
- (7) Verdegan, B. M. and Stinson, J. A., 1988, "Interpretation of Filter Ratings for Lubrication System," *Lub. Eng.*, Vol. 44, No. 5, pp. 423-430.
- (8) McAtammney, L. and Corelett, N., 1993, "RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders," *Applied Ergonomics*, Vol. 24, pp. 91-99.
- (9) ANSI, 1996, "Control of Work-related Cumulative Trauma Disorders," Part 1, Upper Extremities working draft, ANSI Z-365.