

작업자 안전을 위한 FRP 정화조 제조의 자동화 시스템 개발

- Development of Automatic Manufacturing System of
FRP Sewage Disposal Tanks for Safety -

박 강 *

Park Kang

한 영 근 **

Han Young Geun

박 주 식 ***

Park Joo sik

강 경 식 **

Kang Kyong Sik

Abstract

The processes of manufacturing FRP sewage disposal tanks are very dangerous and hazardous jobs for workers because of large size and heavy weight of the tank, toxic fiberglass dust, nasty smell, and dangerous tools such as hand-grinders. This paper introduces an automatic manufacturing system of the FRP sewage disposal tank to enhance the safety of workers. The system consists of 3 components: the FRP body rotation jig, the automatic manhole cutting machine, the automatic sanding processing machine. The safety of workers and working environment are greatly improved, because the dangerous jobs are automatized and the toxic fiberglass dust is automatically collected. Also, the productivity is greatly improved and the cost is reduced.

Keyword : FRP sewage disposal tank, FRP body rotation jig, manhole cutting machine, sanding processing machine

본 논문은 중소기업청 중소기업생산현장직무기피해소사업의 지원에 의해 수행되었음. (2003)

* 명지대학교 기계공학부 교수

** 명지대학교 산업시스템공학부 교수

*** 인천대학교 산업공학과 겸임교수

1. 서론

정화조는 분뇨 및 오수를 정화처리하기 위한 탱크로서 건물과 시설물마다 설치해야 하는 수요가 많은 제품이다. 현재 생산되는 대부분의 정화조 재질은 섬유강화플라스틱(Fiber-Reinforced Plastics, FRP)인데, 강화용 섬유로는 유리섬유를 사용한다. FRP는 알루미늄보다 가볍고, 철재보다 강한 내식, 내열, 내부식성을 가지는 반영구적인 소재로서 매우 강한 강도를 지니고 있어 정화조에 적합하다고 할 수 있다. 하지만 FRP 소재의 정화조는 제작과정에서 인체에 유해한 분진과 악취가 발생하기 때문에 작업자들은 안전이 위협받는 열악한 환경에서 작업하게 된다. 또한 정화조의 큰 크기와 수 톤에 이르는 무게, 그리고 핸드 그라인더를 이용한 수작업 가공 등으로 인한 안전사고의 발생 가능성이 높다. 따라서 정화조 제작은 근로자들이 기피하는 업종에 속하게 되어 기술자들의 안정된 수급과 제작 기술의 축적 면에서 제조회사들이 어려움을 겪고 있다[3].

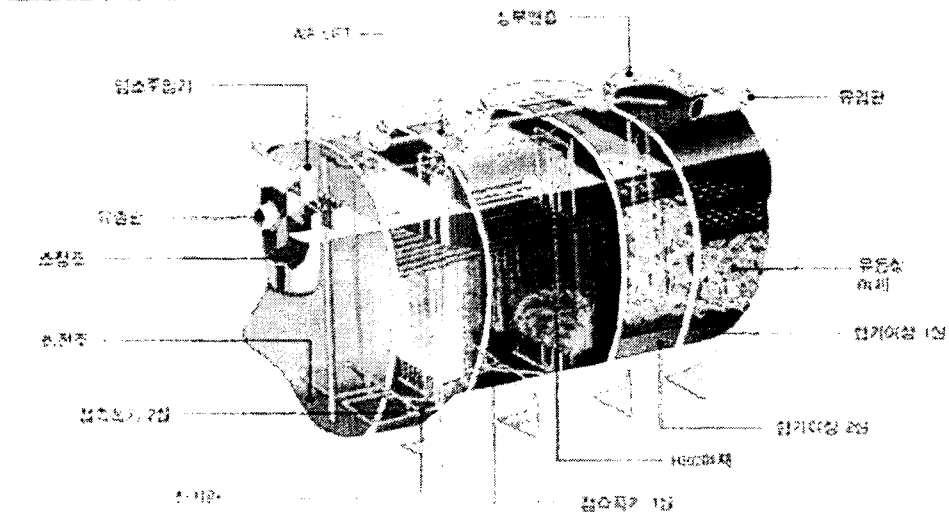
일본과 미국의 경우 우수한 FRP 정화조 업체에서는 일찍이 작업자의 안전을 고려하여 가공장비의 자동화 방안을 강구해오고 있다. 대형 정화조용 지그를 활용하고, 중심선 자동정렬 장치, 자동 가공 및 다듬질 장비, 자동검사 장비 등을 개발하여 실제 적용을 하고 있다. 하지만 국내 FRP 정화조 업체들의 대부분은 영세한 중소기업들이어서 공정개선 및 기술개발의 여력이 없을 뿐 아니라, FRP 소재의 성형에 주관심이 있어, 정화조 자동 제작 장비 개발이 거의 추진되고 있지 않다고 볼 수 있다. 또한, 국내에 많은 공장자동화 전문 업체가 설립되어 있지만, 본 논문의 대상물과 같은 대형의 제품을 가공하기 위한 장비의 개발에는 지식과 경험이 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 현재 정화조 제작 작업의 열악한 환경을 개선하고, 수가공 인력을 대체할 수 있도록 공정을 자동화하고, 작업자의 안전을 향상시키고, 생산성을 높이는 기계 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 자동화된 FRP 정화조 전용 가공기로서, 크게 정화조 표면에 맨홀 구멍을 자동으로 가공하는 모듈과 정화조 내부표면을 샌딩 가공하는 모듈로 나뉘어 진다. 각 모듈은 제어기를 통하여 정해진 작업을 자동으로 수행한다.

2. 본론

2.1 정화조의 구조와 가공과정

시판되는 정화조는 크게 보아 단독정화조와 오수병합정화조로 구분할 수 있다. 단독정화조는 화장실 분뇨만 처리하는 반면에, 오수병합정화조는 분뇨 외에 주방, 목욕실 등에서 나오는 생활하수까지 병합하여 처리한다. 환경문제의 심각성으로 인해 현재는 대부분의 경우 오수병합 방식을 활용한다. 이러한 오수병합 정화조는 Fig. 1과 같은 몇 개의 방으로 나뉘어져, 단계별 정화 기능을 수행하고, 미생물에 의해 오염물을 분해한다[4].



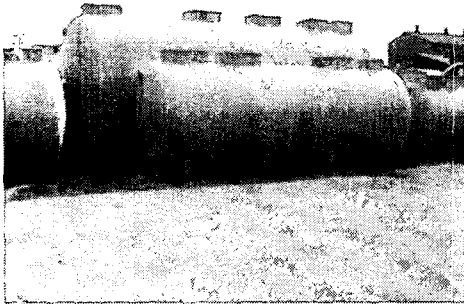
< Fig.1 > Structure of the composite sewage disposal tank

이와 같은 오수병합 정화조는 그 구조가 복잡하여 여러 단계의 가공공정과 조립공정을 거치게 된다. 우선 수지를 혼합하고, 원통형의 금형 상에서 유리섬유를 와인딩한 후, 매트를 부착 하여 원통형의 FRP몸통을 만든다. 이 원통의 양단을 절단하고, 핸드그라인더로 맨홀 구멍을 가공한다. FRP 몸통 내부에 격판을 붙이기 전에 접착력을 증가시키기 위해 내부 샌딩 가공작업을 통하여 표면을 거칠게 한 후 격판을 부착한다. 이후 배관, 경판부착 등의 조립작업을 수행한다. 현재 FRP몸통 제작은 기계화되어 있으나, 이 후의 가공 및 조립 작업은 모두 수작업으로 처리하고 있다. 이러한 가공작업 시 다음 절에 제시한 것과 같은 직무 기피 요인들이 발생한다.

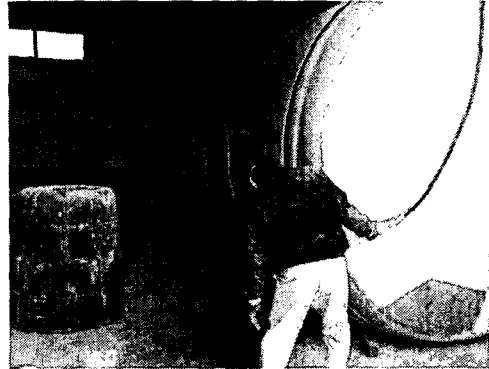
2.2 정화조 가공에서의 직무기피 요인

2.2.1 정화조의 크기와 무게에 의한 부상

Fig. 2에서 보여주고 있는 일반적인 오수합병 정화조 제품은 직경이 1.8~3.0m, 길이가 2.5~11m 정도 되는 상당히 크기가 큰 제품이고, 최종 조립 후 중량이 4톤에 달하는 모델도 있다. 이러한 크기와 중량을 가지는 대상물의 취급에는 항상 위험요소가 존재한다. Fig. 3은 호이스트를 이용하여 정화조 몸체와 경판을 조립하는 모습을 보여준다. 작업자의 안전을 위해서는 작업물이 확실한 고정되어 있어야 하고, 호이스트에 걸린 부품에도 상당한 주의를 요한다. 이러한 환경에서의 가공 작업이 하나의 기피요인으로 작용한다. 호이스트와 지게차에 의해 운반되는 제품이 떨어지거나 굴러서 작업자에게 부상을 줄 수 있다.



< Fig. 2 > Pictures of the FRP sewage disposal tanks



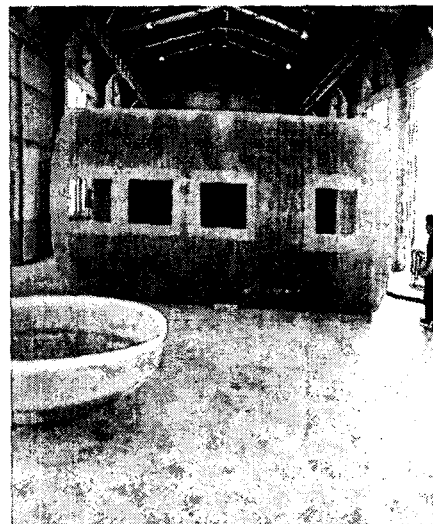
< Fig. 3 > FRP body packing operation

2.2.2 FRP 가공 시 발생하는 유리분진

Fig. 4는 핸드그라인더를 사용하여 작업자가 FRP 판재를 절단하는 모습이고, Fig. 5는 FRP 몸통을 90도 옆으로 누어 놓고 위의 맨홀부를 가공한 결과를 보여주고 있다. 핸드그라인더를 이용한 맨홀 가공과 내부표면 샌딩가공 작업 중에는 유리섬유가 분진 형태로 발생한다. 따라서 작업자들은 작업 시 반드시 고글과 마스크를 착용해야 하나 그러한 안전수칙이 종종 무시되기도 한다. 그런 경우 호흡기에 심각한 폐해를 일으킬 수 있고, 피부에 유리분말이 박혀 각종 피부질환과 알러지를 일으킬 수 있다.



< Fig. 4 > Grinding operation by the hand



< Fig. 5 > The FRP body with the man-halls

2.2.3 핸드 그라인딩 공구의 위험성

가공 작업에는 일반적으로 핸드그라인더를 사용하는데, Fig. 5는 수작업 가공에 사용되는 핸드그라인더를 보여준다. 여기에 부착된 공구인 연삭숫돌은 정상적인 마모 외에 비교적 큰 연마입자 덩어리의 탈락이 예기치 않게 발생하게 된다. 이것은 FRP 재질의 비균질성에서 발생하는 연삭저항의 갑작스러운 증가에 기인한다. 이런 경우 탈락된 숫돌 조각이 작업자에 날아가게 되면 큰 부상을 가져올 수 있는데, 실제로 이러한 사례가 발생하기도 하였다.



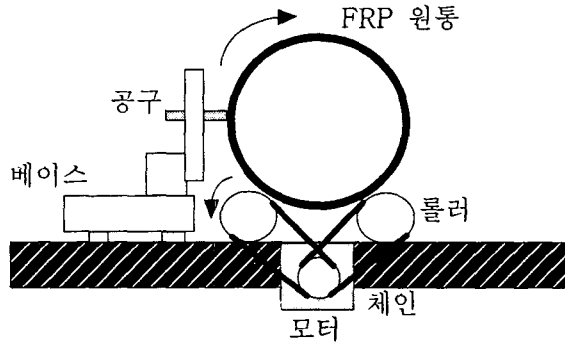
< Fig. 5 > The hand grinder

이상의 상황에 의해 FRP 정화조 가공 작업은 작업자 모두가 하기를 꺼려하는 이른바 3D 분야에 속하게 되어, 기업으로서는 이 작업 인력수급에 대한 항구적인 대책이 필요한 실정이다. 또한 거의 모든 FRP 가공 작업을 수작업에 의존하고 있기 때문에 생산성 저하와 제품 품질의 불균일을 초래하고 있다. 하지만 현재 국내 상황은 기술적인 어려움과 국내 정화조 생산 중소기업의 영세성으로 인해 자동화 설비를 개발하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 작업의 안전성을 높이고, 능률 및 생산성을 향상시키고, 인력수급의 문제를 해결하기 위해서 FRP 가공 작업을 기계화하고 자동화하는 장비를 개발한 결과를 소개한다.

2.3 가공 기계시스템의 설계

2.3.1 FRP 몸통 회전용 지그

정화조 몸통 가공은 맨홀절단과 내부 샌딩가공으로 구성된다. 이러한 가공을 위하여 몸통을 회전시켜서 원하는 위치에 가공장비가 오도록 하는 장치가 FRP 몸통회전용 지그이다. 지게차에 의해 가공장비로 운반되어 온 FRP 몸통은 롤러로 지지되는 지그 위에 장착이 된다. Fig. 6과 같이 롤러는 모터에 의해서 회전되고, 이 회전력에 의해서 FRP 몸통은 회전하게 된다.



< Fig. 6 > FRP Body Rotation Jig

맨홀 가공을 위해서는 모터가 FRP 원통을 회전시키다가 작업해야할 위치에 오면 정지한다. 몸통의 무게가 무겁고 모터의 감속비가 크므로 모터의 정지력 만으로도 가공시 원통이 움직이지 않는다. 맨홀 가공은 원통이 고정된 상태에서 가공공구가 맨홀의 형태를 따라 움직임으로써 가공이 완수되므로 지그는 원통회전이 정지된 상태로 유지된다.

내부표면 샌딩가공은 가공부하가 많이 걸리지 않고 넓은 부분을 가공해야하기 때문에 FRP원통을 지그 롤러에 그대로 올려놓고 연속적으로 회전시키면서 가공한다. 원통의 회전속도는 자동으로 제어된다.

원통 내부 샌딩가공은 원형의 격판을 접촉할 표면을 사전에 거칠게 하는 작업으로서, 원통 내부의 3~5 개의 지점에서 일어난다. 한 지점에서의 샌딩가공은 30 cm 정도의 폭으로 원통 원주를 따라 1 회전 가공해야 한다. 그런데 가공공구(와이어브러시)의 크기는 폭이 약 10 cm이므로 원통을 3~4회 정도 회전시켜야 한다. 즉, 와이어브러시의 위치를 고정시킨 후 원통을 1회전 시켜 가공을 하고, 브러시의 위치를 10cm 이동하여 고정시킨 후 다시 원통을 1회전 시키는 방식을 반복함으로써 한 지점의 내면 가공이 끝난다.

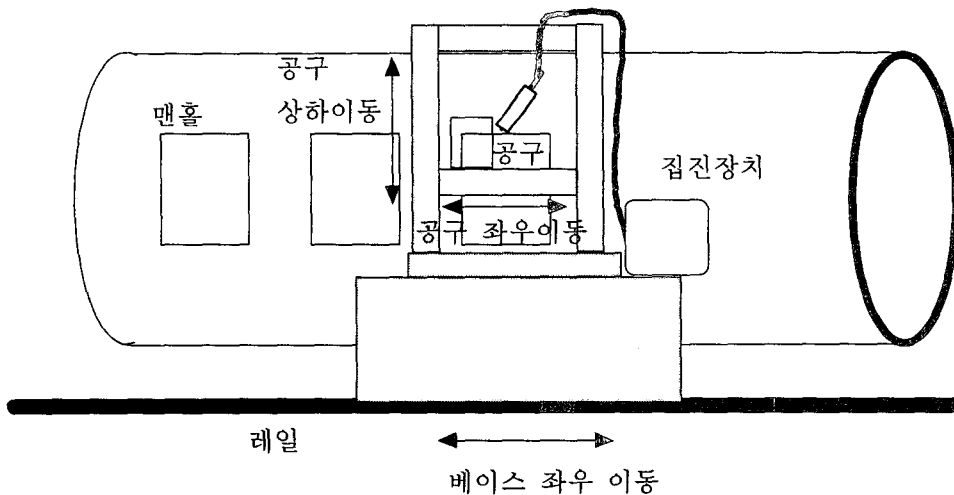
2.3.2 맨홀 절단 시스템

맨홀 절단 시스템은 FRP몸통에 원하는 크기와 형상의 맨홀 구멍을 자동 가공하는 시스템이다. 작업순서는 1) 정화조를 지그위에 설치, 2) 맨홀의 형태에 따라 공구를 선정하여 장착, 3) 작업자가 가공시스템을 맨홀이 뚫려져야 할 시작점으로 이동시키면, 자동으로 맨홀 절단 작업을 수행, 4) 발생하는 분진을 흡입하여 탱크에 저장으로 구성된다. 이때 맨홀의 크기와 형태는 자동으로 제어된다.

Fig. 7과 같이 레일 위에 맨홀 가공기계의 베이스를 설치하여 맨홀 위치에 따라 작업자가 가공기계를 레일을 따라 가공시작위치(예: 원형 맨홀의 중심 또는 사각 맨홀의 가공 시작점)로 이동시켜 고정시킨다. 맨홀 자동 가공 장치는 2 종류의 맨홀 (사각 맨홀과 원형 맨홀) 가공해야 한다.

사각형 맨홀 가공의 경우 가공공구로서 엔드밀을 사용하는데, 가공시작위치에서 가공기를 동작시키면 공구대가 2축 이송 운동(X, Y)을 하여 자동으로 원하는 크기의 사각형을 절단하게 되어 원하는 맨홀이 형성된다.

원형 맨홀의 경우 크기가 일정하다(600mm). 따라서 사각맨홀 가공에 사용되었던 엔드밀을 300mm의 회전이 가능한 팔의 끝에 장착하여 모터를 이용하여 회전시킴으로써 맨홀을 가공한다. 사각맨홀 가공 시에는 모터를 정지시키고 2축 이송운동을 한다.

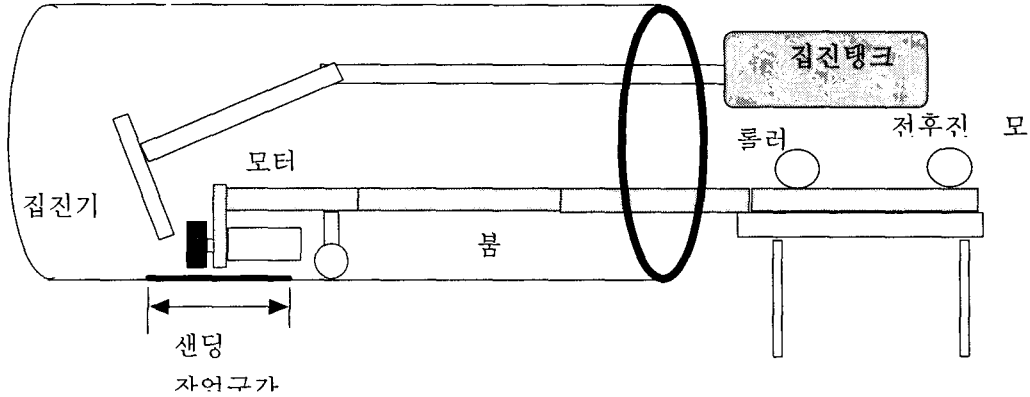


< Fig. 7 > Schematic drawing of an automatic man-hall processing machine

2.3.3 내부(격판 접합부) 자동 샌딩 가공시스템

오수병합 정화조는 Fig. 1과 같이 몸통 내부의 여러 방으로 분리되어 있고, 이들 방을 구분하여 주는 것이 격판이다. 격판은 내부에 끼워진 후 수지에 의해 접합이 이루어지는데, 이 접합을 견고히 하기 위해서는 FRP 몸통 내부의 접합면을 거칠게 가공하는 샌딩 작업이 필요하다. 내부 자동 샌딩 가공시스템은 FRP 몸통 내부의 격판조립 위치를 원주를 따라 자동 샌딩하여 거칠게 만드는 작업을 하는 시스템이다. 이 시스템은 Fig. 8에서 보는 바와 같이 샌딩 공구과 그 공구를 지지하는 롤러, 그리고 이 공구를 정해진 위치까지 이송시켜주는 붐대 등으로 구성된다. 이 시스템의 작업 순서는 다음과 같다: 1) 정화조를 FRP 몸통 회전용 지그 위에 설치, 2) 샌딩 공구를 작업위치까지 옮기기 위하여 붐대를 확장시킴, 3) 샌딩공구가 작동되면 정화조를 지그 위에서 회

전시켜 샌딩작업을 수행, 4) 발생하는 분진을 흡입하여 탱크에 저장, 5) 작업이 끝나면 붐대를 후퇴시켜 원위치 복귀.



< Fig. 9 > Schematic drawing of an automatic sanding processing machine

샌딩공구는 스틸 와이어브러시를 이용하여 가공하고, 가공위치로 이동할 때는 붐대를 롤러에 의해서 2점 지지가 된 상태에서 전/후진용 모터를 구동시켜서 이동한다. 붐대는 정화조의 크기에 따라 강철 파이프를 나사로 결합하여 길이를 조절한다. 한번 결합된 붐대는 모터에 의해서 전후진을 하게 된다. 붐대는 자중에 의해서 처짐이 발생하므로 샌딩공구에 일정한 가공력이 가해지지 않게 된다. 따라서 붐대의 하중과 와이어브러시의 무게 등을 롤러가 받도록 하고 샌딩공구에 일정한 가공력이 가해지도록 하는 메카니즘을 설계하였다.

2.3.4 장비 제어 시스템

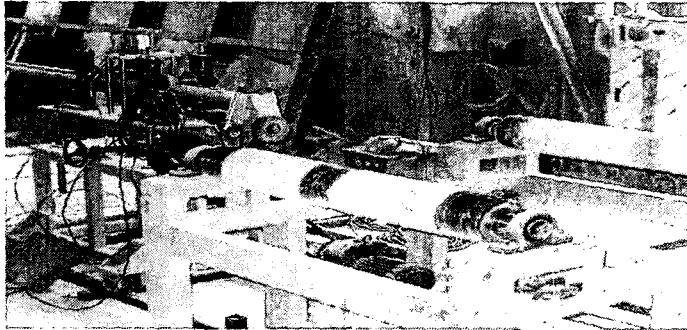
본 장비는 PLC와 서보제어시스템을 이용하여 제어가 이루어지는데, 사용자의 입력 요소와 제어 요소는 Table 1과 같다.

< Table 1 > 제어시스템의 사용자 입력 요소와 제어요소

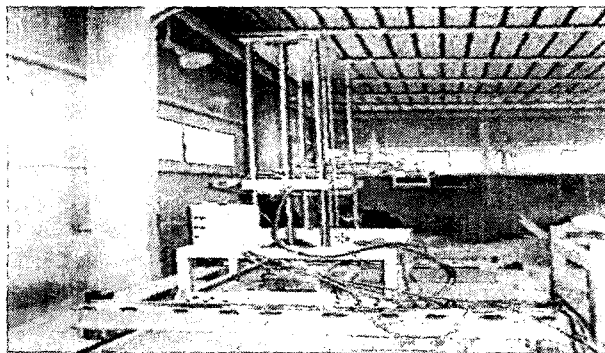
| 구 분 | 내 용 |
|-----------|---|
| 사용자 입력 요소 | <ul style="list-style-type: none"> · 제품 직경, 길이 · 맨홀 형상, 치수 · 제품 직경에 따른 원통 회전속도 · 맨홀 가공 공구의 주축속도(rpm) 및 이송속도(mm/min) · 샌딩 공구의 주축속도 |
| 제어 요소 | <ul style="list-style-type: none"> · 맨홀 가공 공구의 주축속도 제어 · 맨홀 가공 공구의 이송 위치 및 속도 제어 · 샌딩 공구의 주축속도 · 샌딩 공구의 샌딩 위치 제어 · 샌딩 시 FRP몸통의 회전속도 제어 |

3. 시스템 개발 결과

Fig. 10, 11은 제작된 정화조 자동 가공 기계 시스템들을 보여주고 있으며, Fig. 12는 FRP 몸통의 장착 작업을 보여주고 있다.



< Fig. 10 > The picture of the automatic sanding processing machine and FRP Body Rotation Jig



< Fig. 11 > The picture of an automatic man-hall processing machine



< Fig. 12 > Loading of the FRP body on the system

장비 시제품의 제작이 완료되어, 가공 시험을 수행하였다. 시험 결과 설계 목표에 맞는 기능을 얻을 수 있었다. 또한 본 연구개발의 주 목표인 직무기피의 해소 효과를

분석하기 위해 환경 및 안전 평가요소를 측정하였다. Table 2는 이 측정의 결과를 보여 주는데, 작업자에게 비교적 안전한 환경을 만들어 줌을 알 수 있었다.

< Table 2 >

| 평가항목 | | 단위 | 환경 기준치 | 기존 수작업 | 장비 사용시 |
|--------|-------------|-------------------|--------|-------------------|------------------|
| 1.소음 | 가공소음 | dB | 90 | 82.7~85.0 | 65.0~69.0 |
| 2.분진 | 종합분진 (유리포함) | mg/m ³ | 10 | 0.21~2.78 | 0.1~1.5 |
| | 아세톤 | ppm | 750 | 0.41~4.9 | 0.34~4.2 |
| | 톨루엔 | ppm | 100 | 0.29 | 0.20~0.25 |
| | 스틸렌 | ppm | 50 | 2.07~2.31 | 1.89~2.13 |
| 3.노동강도 | 작업강도 | | | 중등작업 ¹ | 경작업 ² |

¹시간당 200~350Kcal의 열량이 소요되는 작업. 물체를 들거나 밀면서 걸어다니는 일 등

²200Kcal까지의 열량이 소요되는 작업. 앉아서 또는 서서 기계의 조정을 하기 위하여 손 또는 팔을 가볍게 쓰는 일 등

5. 결 론

본 연구에서는 열악한 환경에서 수작업으로 수행되던 FRP 정화조 제작 작업을 기계화, 자동화하였다. 이 시스템을 통하여 위험한 작업들이 자동화되어 작업자의 안전이 향상되었으며 작업효율이 증가하였다. 특히 유해한 유리섬유 분진 발생이 줄어들고 집진장치를 통하여 자동 수거됨으로써 작업환경이 크게 개선되었으며, 이로 인해 기피업종이었던 정화조 제작 분야의 인력 수급에도 도움이 되었다. 향후 지속적인 시험 가공을 통해 장비의 성능을 개선할 것이며, 환경 및 안전 측면에서의 장비 효과뿐만 아니라 원가절감, 생산성향상, 인건비절감 등의 효과를 평가할 예정이다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 생산자동화와 CIM, 한영근 외 역, 시그마프레스, 2002
- [2] 현대제조공학, 김기범 외 역, 도서출판 대응, 2003
- [3] 박주식, 신현재, "정화조 생산 원가절감, 유지관리 및 환경개선에 관한 연구", 2002 춘계 한국품질경영과학회 학술대회, pp 375-379, 2002.
- [4] 박주식, 강경식, "정화조생산업체의 생산성 향상에 관한 연구", 2002 춘계 안전경영과학회 학술대회, pp249-256, 2002.

저 자 소 개

박 강 : 서울대학교 기계설계학과 학사, 석사, 펜실베니아 주립대 산업 및 생산공학과 박사, 현 명지대학교 기계공학부 부교수, 공학박사
관심분야는 지능적 생산시스템, 컴퓨터 비전, CAD/CAM, 로봇틱스 등이다.

한 영 근 : 서울대학교 기계설계학과 학사, 석사, 펜실베니아 주립대 산업 및 생산공학과 박사, 현 명지대학교 산업시스템공학부 교수, 공학박사
관심분야는 생산자동화, 가상생산, 협업엔지니어링 등이다.

박 주 식: 인천대학교 산업공학과 공학사, 공학석사, 명지대학교 산업공학과 공학박사 학위를 취득했다. 주요관심분야는 신뢰성공학, 설비관리 등이다.

강 경 식 : 현 명지대학교 산업공학과 교수. 경영학박사, 공학박사.
명지대학교 안전경영연구소 소장, 산학연 컨소시엄 센터장 및 안전경영과학회 회장. 관심분야 생산운영시스템, 시스템 안전.