

현악기 제조 자동화시스템 구축을 위한 Mechanism 설계

A Mechanism of Automated Manufacturing Processes for Classical String Musical Instruments

전 태 보* 윤 경 수**
Jeon, Tae-Bo Yun, Kyong-Su

Abstract

An automated manufacturing process mechanism for string musical instruments has been designed in this study. In contrast to other manufacturing products, classical string instruments try to preserve their traditional design shapes even in these days and involve variety of wood working(carpentry) characteristics including highly skilled curved surfaces treatments.

Great efforts have been put to develop an integrated and automated system for improved product quality and process control, reduced physical labors, better safety etc. They, however, have been limited to devise jigs and tools with regard to selected processes due to lack of technology and research man-powers. We carefully examined the products and process characteristics, and an automated mechanism which can overcome prevailing drawbacks has been derived.

키워드: 표준시간, job-shop, 작업분석, 공정분석, 생산성
Keywords: *standard time, job-shop, work analysis, process analysis, productivity*

1. 서론

바이올린, 비올라, 첼로 등의 고전 음악용 현악기들은 제품 설계상의 변화가 거의 없이 과거의 형상을 그대로 유지해야 하는 특수 제품에 해당된다. 정밀한 음의 생성을 위한 곡면을 포함한 목공예 특성의 정교성 및 가공기술이 특별히 요구된다.

본 연구의 대상업체는 바이올린, 비올라, 첼로 등의 현악기를 생산하는 전문 기업으로서 2개의 생산 공장 및 200여명의 직원들로 구성되어 있고 이 회사의 제품은 세계 시장의 30% 이상을 점유하고 있는 유망 중소기업이다.

일반 제품들과 달리 국내 동종업체가 거의 없고 다양한 기술상의 문제들을 스스로 풀어가야 하는 상황이며, 현장의 인력 면에 있어서도 최소 3년여의 경험자들만이 주요공정을 담당해야하는 현실적인 한계를 가지고 있다.

중소기업들이 갖는 일반적인 문제점들이 이 회사에서도 동일하게 존재하나 특별히 다음과 같은 사항들이 지적된다.

첫째, 현재 거의 모든 공정이 수작업으로 진행되어 자동화 욕구가 간절하다. 작업의 단조로움, 육체적 과부하로 인한 작업자의 피로도, 분진, 소음 등으로 인한 건강상의 문제, 목재가공을 위한 대패 및 칼날 등 날카로운 공구 사용과 같은 안전상의 문제 등

* 강원대학교 산업공학과 교수, 공학박사
** (주)아트웨이

이 상존한다. 둘째, 낮은 생산성 및 효율적인 공정운영이 매우 어렵다. 전형적인 job-shop의 형태로 운영되며 작업표준이 되어있지 않고 항상 많은 자재가 적재되어 있어 불필요한 이동 및 동작으로 인해 흐름 생산화가 미약하고 시스템 차원의 공정(운영)관리체제가 매우 미약하다. 셋째, 품질상의 기복이 심하다. 수작업 및 육체노동으로 인한 작업자의 피로도에 추가로 표준시간 미비 등으로 생산성 및 품질상의 일관성을 갖지 못하고 있다. 넷째, 사내 전문인력의 부족 및 전용기기 제작업체의 부재로 인한 문제해결의 어려움을 겪고 있다. 관련 지그, 치공구, 부분설비들에 대한 많은 기술 know-how를 축적하고 있으나 정밀성 측면의 자동화·전문화에는 더 많은 연구 필요하다. 즉, 자동화 시스템을 자체 설계·제작키 위해 공정분석 및 mechanism 구상의 필요성이 크게 대두된다.

현악기 제조에 있어 특별히 상·하판 가공 및 접착과 관련한 일련의 제조 공정들은 초기 공정들이며 현악기 기능 특성상 대단히 중요하다. 본 연구의 궁극적인 목표는 현악기 상·하 판면가공 전체 과정에 대한 자동화 시스템 구축이나, 일차 목적은 현악기 상·하 판면 가공에 대한 자동화 시스템의 구축을 위하여 일차 자동화를 위한 공정별 mechanism 설계하고자 함이다. 이를 위하여 대상 현악기를 자재 특성차원에서 고찰하였고, 개별 작업공정들을 검토하고 전체공정의 개략적 흐름도를 중심으로 공정별 분석 및 특성파악을 행하였다. 이 과정에서 전반적인 문제 및 설계 방향 설정하였으며 이를 바탕으로 공정별 자동화 mechanism을 설계하였다.

2. 공정 검토

2.1 현악기 자재 특성

현악기들은 현의 음을 나무의 공명을 통하여 전달시키는 악기로서 현이 걸려있는 앞면의 상판과 반대면의 하판으로 몸체를 구성한다. 일반적으로 나무질을 구분하여 상판에 가문비, 미송과 같은 연질의 나무를, 그리고 하판에 단풍나무 등 경질의 자재가 주로 이용되고 있다. 원자재는 전량 수입에 의존하며 수입 원산지에 따라 원자재의 특성이 다르다. 악기 및 제품에 따라 크기 또한 다양하나, 나이테가 많고 나무결이 세밀할 수록 고가의 제품으로 분류된다.

특히, 나무의 공명과 뒤틀림 방지를 위해 동일

한 한 나무로부터 각각 2개의 판을 옆으로 붙여서 상판 또는 하판으로 사용한다. 원자재의 저장 중 수분함량의 변화 및 기타 요인으로 약간의 뒤틀림이 발생 가능하고, 나무결의 방향에 따라 엇결이 존재할 수 있다. 이 경우 엇결이 발생한 부분은 잘라서 사용한다.

2.2 작업 공정

본 연구에서 고려하고자 하는 영역에 대한 개별 공정들은 다음과 같이 요약된다.

(1) 원자재 투입 및 띠톱절단

첫 단계는 창고에 저장되어 있는 원자재를 생산라인에 투입하고 후속 작업을 위해 띠톱절단을 하는 과정으로 그림 1,2,3이 이를 도시한다. 그림 2에서 보는 바와 같이 원자재는 동일한 나무 2개가 합판의 형태로 서로 붙어있음을 알 수 있다. 제작된 현악기의 공명이 양쪽 모두 일치하게 하기 위해 같은 나무를 사용하여 하나의 상판 또는 하판을 형성하기 때문으로, 두 판의 끝 부분의 절단만 남겨놓은 80-90% 거의 분리된 상태이다. 그림 3은 절단된 뒤의 상태를 도시한다. 참고로 이 원자재 상태에서의 두께가 동일하지 않고 그림에서 위가 아래 부분보다 더 두껍다.

이 공정에서의 중요한 문제는 자재들이 표준화되어 있지 못하고 크기가 다르다는 점이다. 이의 표준화를 위해서는 너무 큰 추가 경비가 초래되어 현재 대로의 비 표준화 상태에서의 자동화를 추구하고 있다. 또한 두 면이 너무 깊이 붙어있는 상태로 입고되는 경우가 자주 있으며 이러한 경우는 원형 톱을 이용하여 자재 일부를 대각선 형태로 잘라내어 버린다.

(2) 바닥면 및 접착면 대패작업

앞 단계에서 절단·분리된 두 자재의 밑면을 대패작업으로 매끄럽게 수평화하는 과정이다. 이는 다음의 접착면 가공시 수직을 유지하기 위하여 필요하다. 이 작업은 수작업으로 진행되며 작업자의 힘에 의존하기 때문에 작업자의 피로도가 매우 높을 뿐 아니라 하루종일 동일한 힘의 일관성을 유지하기 어려운 관계로 매우 정밀해야 하는 이 부분의 작업과정에서 제품 품질상의 문제가 쉽게 야기된다. 추가로, 대패날의 교환 및 조정(calibration)에 있어 setup time이 작업시간에 차지하는 비율이 매우 크며 숙련된 작업자가 setup을 하고 비숙련자가 작업을 수행한다.

일단 바닥면의 수평화 작업을 마친 후 다음 단계

는 접착면(옆면)의 대패작업으로 이 역시 비슷한 방법에 의해 수작업으로 진행된다. 접착이 잘 되도록 면이 매우 매끄러워야하며 두 면이 틈새없이 완벽히 맞닿도록 주의가 필요하다.

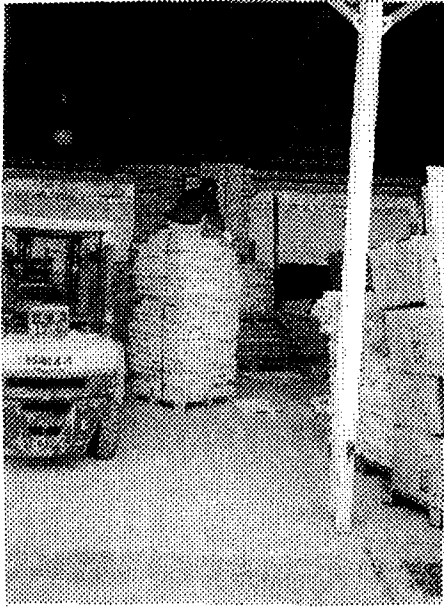


그림 1 원자재 참고

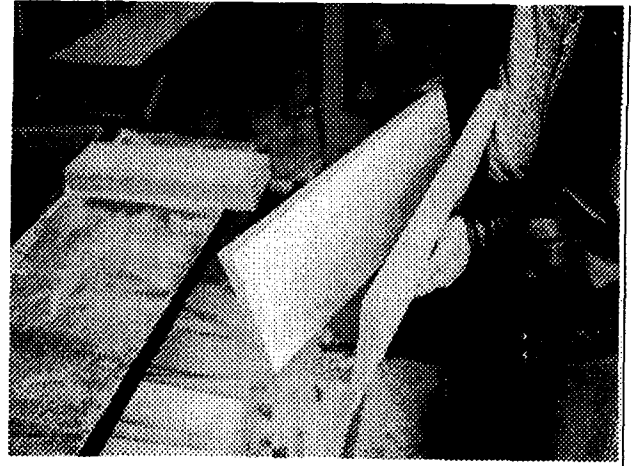


그림 3 띠톱 절단후의 원자재 형태

나무결 부분중 엇결이 자주 존재하며 이 경우 쉽게 불량 발생하므로 매우 주의하여 대패작업을 하여야 한다. 엇결로 인하여 불량이 발생할 경우 엇결 부분을 제거하고 더 작은 제품으로 사용가능한 경우는 잘라서 사용하되 그렇지 못한 경우는 쉽게 불량처리 된다. 접착면 대패작업 정도는 2~3mm 정도이고 1회 대패작업에 0.5mm정도 가공된다. 바닥면을 가공하지 않고도 접착면을 완벽히 가공할 수 있는 경우 바닥면 가공은 생략될 수 있으나 현재로는 반드시 필요하다.

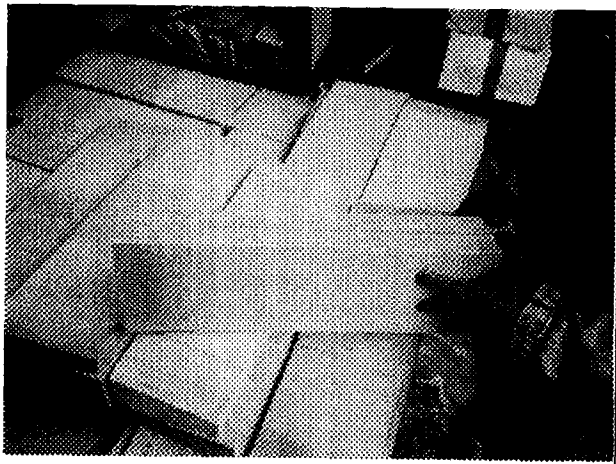


그림 2 현악기 상하판 원자재 형태

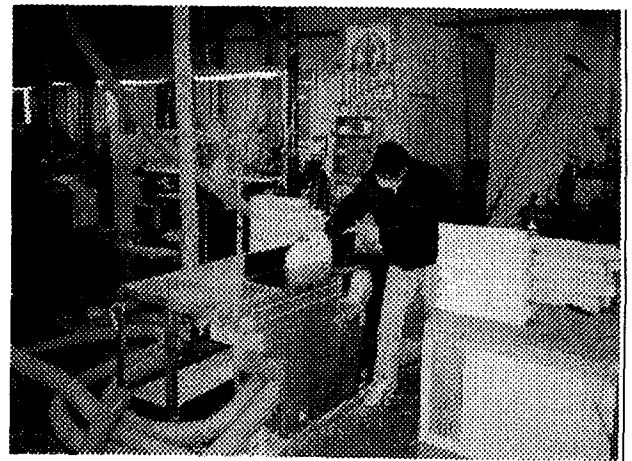


그림 4 밑면 및 옆면 대패작업

(3) 접착면 검사

상기 바닥면 및 접착면 대패작업 전체 과정을 2개의 자재에 대하여 반복함으로 하나의 상판(하판)의 준비가공이 완료된다. 다음 단계는 자재의 접착을 위한 검사단계로 준비된 한 쌍의 상(하)판에 대하여 접착면을 손으로 말착·일치시킨 뒤 불빛에 대고 틈새를 육안으로 확인한다. 이는 매우 중요하며 매우 조그만 틈새라도 비쳐질 경우 다음 공정인 접착시 불량률이 야기된다. 완전치 못하다 판단되는 자재에 대하여는 이전의 대패작업으로 되돌아간다. 육안으로 작업하는 관계로 단조로움과 피로를 쉽게 느끼며 매회 일관성을 유지하기가 매우 어렵다.

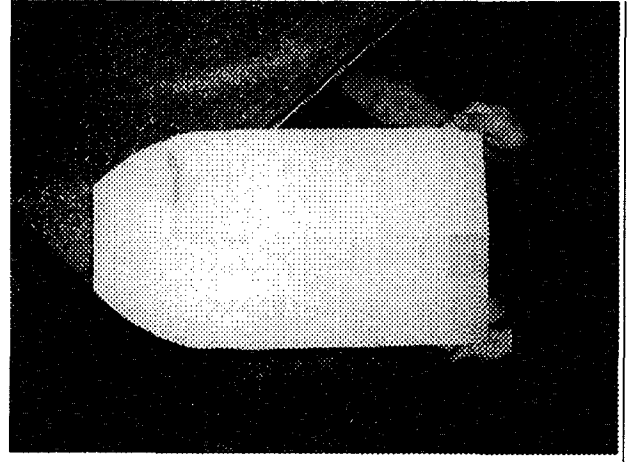


그림 6 접착후의 상판(하판) 형태

(4) 접착

두 자재를 접착을 위한 틀(그림 5)에 설치하고 두 자재의 접착면 중 한쪽에는 포르말린, 다른 한쪽에는 아교칠을 한 뒤, 이들을 접착하고 일정시간 고정시킨다. 접착시간은 3-5분 정도이나 온도, 수분 등에 따라 다소 다르다. 아교만을 사용할 경우 접착면이 두꺼워지며, 건조시간이 오래 걸리는 문제가 있다. 그림 6은 접착 후의 상태를 도시한다. 참고로 이 그림에서 자재가 직사각형이 아닌 이유는 초기 원자재가 너무 깊이 붙어있어 띠톱 대신 원형톱을 이용하여 대각선으로 절단했기 때문이다.

이 공정의 문제점은 원자재에 초철이 되어있어 아교가 흡수되지 않거나 아교가 묽어서 떨어짐으로 인해 접착이 안되는 경우가 발생한다는 점이다. 반면, 아교가 진해서 접착면이 두꺼워 지는 경우도 발생한다. 전체적으로 검사의 일관성이 매우 낮으며, 포르말린으로 인한 작업자 피로도 문제가 크다.

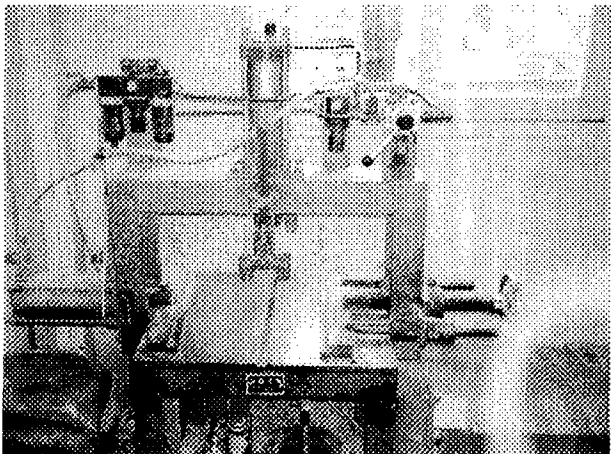


그림 5 접착 기계

(5) 바닥면 재가공 및 재단

완전히 접착된 상(하)판 전체에 대하여 일련의 공정을 거치기 위하여 바닥면을 매끄럽게 대패로 재가공하는 과정이다. 이것이 완료된 후 실제 제품에 따른 이후 공정에서의 작업크기로 가로·세로 각 2회씩 4회에 걸쳐 원형톱으로 절단한다. 그림 7이 이를 도시한다.

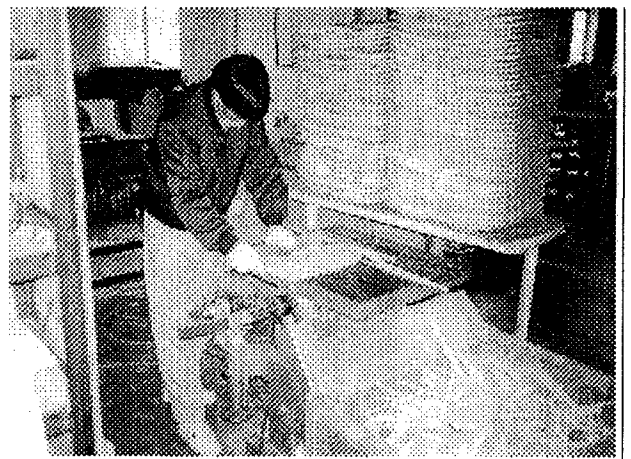


그림 7 재단공정

(6) 밀링가공

현악기 상·하판의 측면과 걸면의 곡면가공을 수행하는 과정으로 자동화된 기계를 사용하며 미리 정해진 몰드에 맞추어 판면을 깎는다. 주의점은 자재의 바닥면이 고르지 못하면 공기압이 떨어져 가공중 이탈되는 경우가 발생한다는 것이다. 이 공정 후 바이올린의 대략적인 윤곽이 잡혀진다. 그림 8이 이를 도시하며 최종적으로 이들은 packing되어 다음 단계로 진행된다.

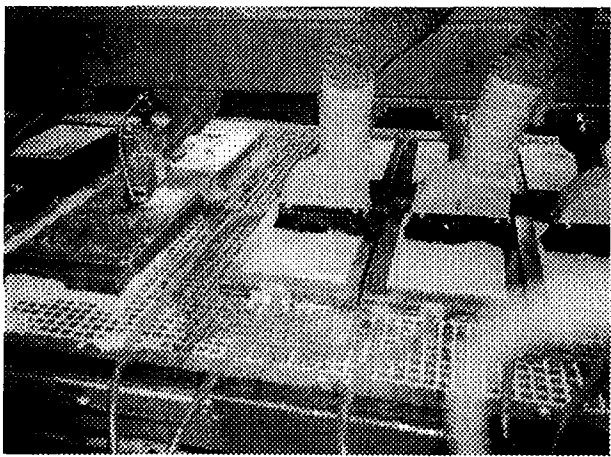


그림 8 밀링 가공

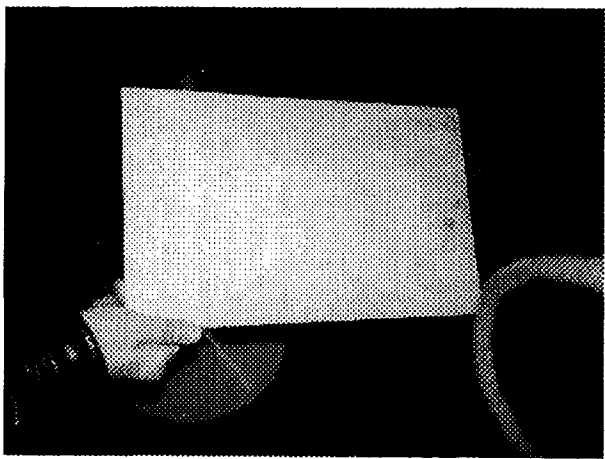


그림 9 밀링가공 후의 상태

이상의 과정에 대한 공정의 흐름 및 전체 layout 이 그림 10에 도시되었다.

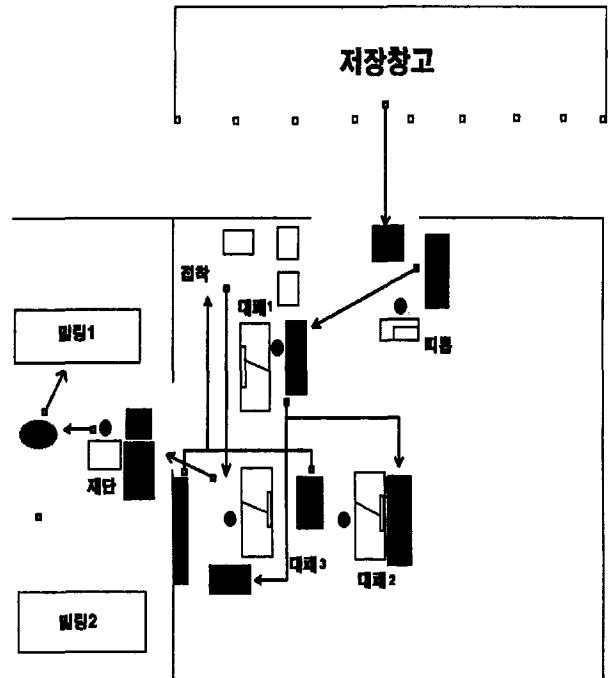


그림 10 공정 layout 및 흐름

3. 자동화 Mechanism의 설계

3.1 전반적 문제 및 설계 방향

상술한 각 공정에 대한 작업분석 및 공정분석을 통하여 문제점들을 파악하였으며, 공정 전반에 걸친 문제점과 이들을 극복하기 위한 추진방향은 다음 도표 1과 같다.

3.2 공정별 mechanism 설계

각 공정별 자동화를 위한 방법론을 검토하고, 자동화를 위한 고려사항을 나열한 결과, 흐름화를 지향한 자동화의 구상으로 다음의 mechanism들이 설계되었다.

그림 11은 원자재의 투입과정을 도시하며 원형톱(또는 띠톱)으로 분리된 상(하)판 한 쌍씩 순서에 맞도록 통속에 담아 들어오며 이들은 air를 이용한 흡착식 방법으로 다음 공정으로 투입되도록 한다.

다음으로 대패작업을 수행하기 위한 일련의 과정으로 그림 12,13에서 보인바와 같이 특별히 설계된 형태를 취하도록 한다. 이들의 특징은 상(하)판 한 쌍의 원자재를 고정되게 잡는 것이 아니라 철판체에

도표 1 전반적 문제 및 설계 방향

문 제 점	내 용	추 진 방 향
원자재 표준화 미비	<ul style="list-style-type: none"> · 합판 형태가 불규칙(띠톱, 원형톱) · 절단 면적이 다름 	가능한 현재 방법의 준수
공정 생산성의 문제	<ul style="list-style-type: none"> · 공정별 분리로 모든 공정에 걸쳐 재공이 매우 큼 · 운반/대기 간접공수가 매우 큼 · 운반 횟수 및 이동거리가 큼 · 운반 및 작업시 자재의 하중으로 작업원의 피로도 증대 	흐름 작업화로 재공 방지 작업생산량의 일관성 유지
준비작업으로 인한 낭비	<ul style="list-style-type: none"> · 대패날 교체시의 준비작업 시간이 매우 큼 	대패날 교체방법의 원활화
작업 방법상의 문제점	<ul style="list-style-type: none"> · 작업자의 작업 영역이 매우 큼 · 옆면가공시 엇결 문제 · 관절보다는 몸체운동이 대부분으로 피로도 극대 · 인체의 큰 힘 및 집중도 요구 	작업자의 수작업 최대한 배제 대패작업 대응 방법 고려
중복공정	<ul style="list-style-type: none"> · 접촉면과의 수직유지를 위한 밀면 1차가공 	가능한 밀면 1차 가공공정 삭제
검사방법의 문제	<ul style="list-style-type: none"> · 작업원 피로도 증대 · 검사의 일관성 문제 	검사방법 개선 (vision 또는 빛투과 검출 방식)
공정운영 및 관리체제 미흡	<ul style="list-style-type: none"> · 표준시간의 미설정 · 생산량 산정체제 미흡 	일관된 생산(량) 산정 가능 자동화·성역화 달성

절쳐주도록 하며, 이들을 양쪽에서 밀어주어 자동적으로 자리를 밀착되도록 설계하였다. 이를 통하여 원자재의 크기가 완전히 표준화되지 못한 상태에서도 원만히 작업을 수행하도록 함이 큰 특징이다. 특별히, 상·하판의 밀면 가공은 생략되도록 하였으며 접촉면의 가공은 그림 14에서 보는바와 같이 대패날이 아닌 롤러식으로 가공하도록 설계하여 수작업의 비

효율성 및 대패날을 갈아주어야 할 경우 설치 및 조정(calibration)상 1시간 이상의 많은 시간과 수작업으로 인한 일관성, 피로감등의 문제를 해결할 수 있다.

접촉면 검사공정의 자동화는 그림 15에 도시된 바와 같이 육안으로 작업시의 일관성, 피로감을 극복하도록 윗부분의 빛 투입과 아래부분에서의 센서를

통하여 일정량 이상의 빛이 투과될 경우 불량으로 처리되도록 구상하였다. 불량으로 분류되는 자재는 그림 16에서와 같이 자동으로 떨어져 되돌아가도록 하였다.

접착공정에 대하여는 자동으로 접착면에 아교와 포르말린을 바르도록 설계하였고 특별히 설계된 rack(그림 17)에서 일정시간 머무르도록 하였다. 재단공정의 효율화는 비교적 단순하여 기존의 가로, 세로의 4회에 걸쳐 독립적으로 수행되던 체계를 제품별 표준화된 크기의 안내판을 따라 그림 18과 같이 직각으로 나누어 작업되도록 하였다.

최종적으로 이상의 개별 공정별로 설계된 기계들을 전체적으로 컨베이어를 이용하여 흐름화하여 연결한 것이 그림 19에 도시되었다.

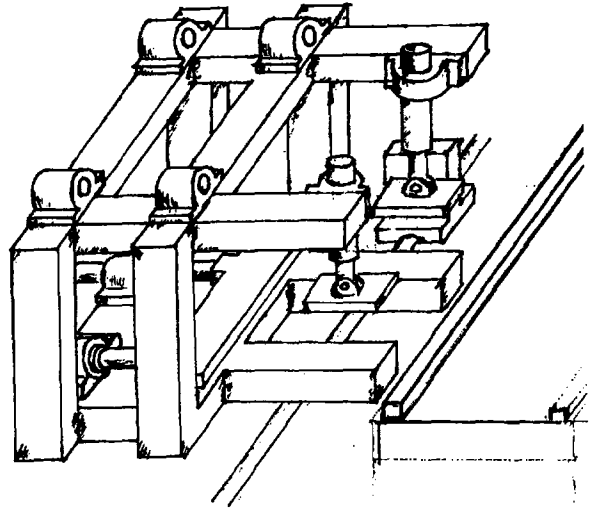


그림 13 나무 고정용 틀(전체)

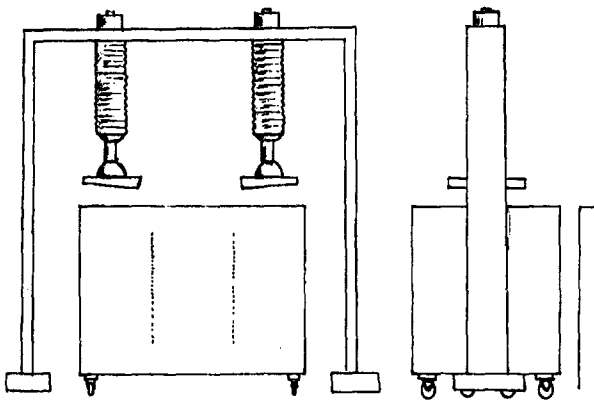


그림 11 투입

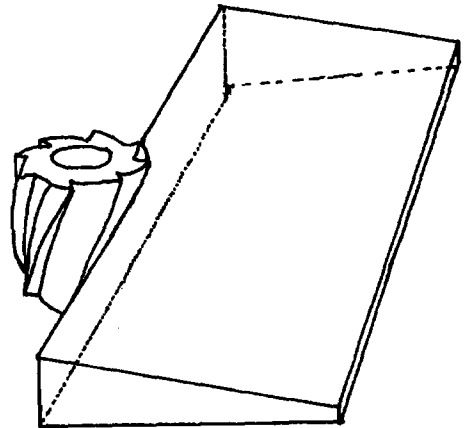


그림 14 접착면 가공

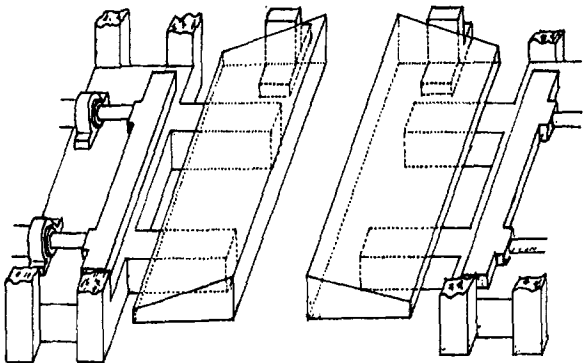


그림 12 원자재 고정용 틀(상·하판)

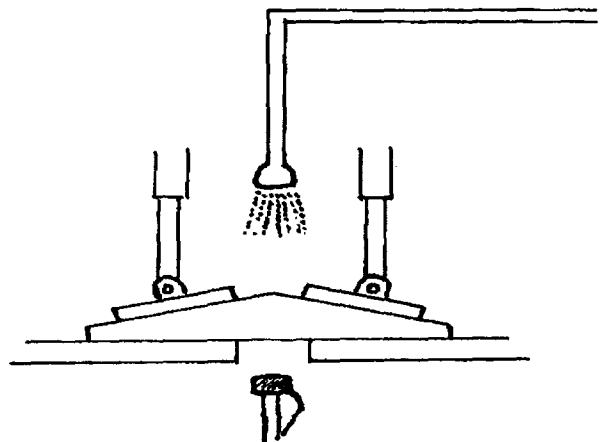


그림 15 접착면 검사

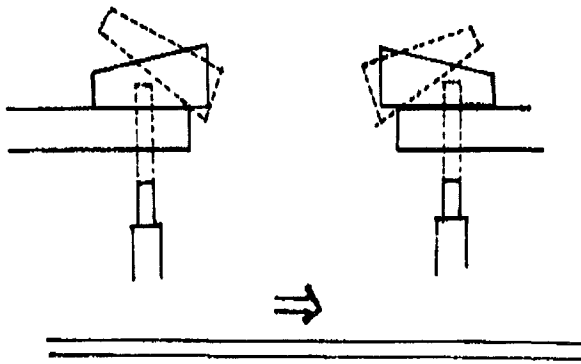


그림 16 불량품 라인에서 제거

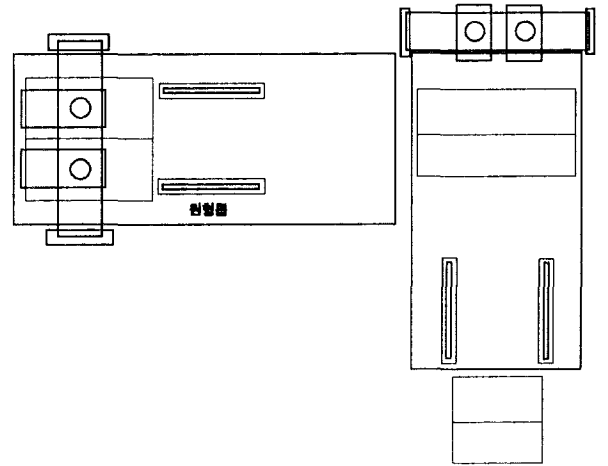


그림 18 재 단

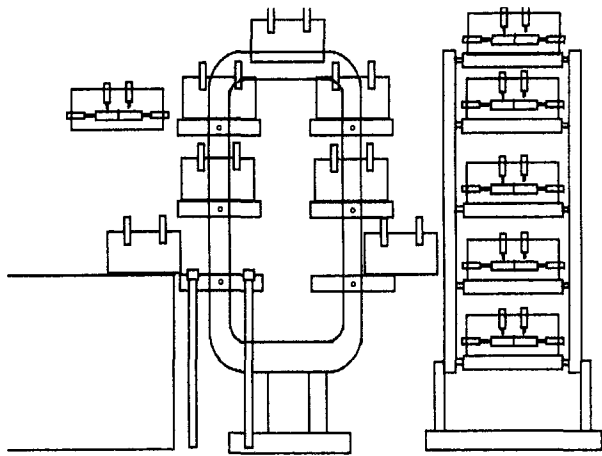


그림 17 판면 접착

4. 결론

본 연구에서는 현악기 특성을 고려하여 전통적인 job-shop 생산체제의 탈피, 공정별 흐름화, 자동화 시스템 차원의 mechanism을 구상하였다. 제안된 mechanism에 대하여 실무차원의 심도있는 검토·분석을 수행하였으며 시스템의 성공적 구축시 매우 일관된 생산 및 품질 수준을 유지할 수 있고, 공정 운영 관리상의 효율성 증대로 관리비용이 큰폭으로 절

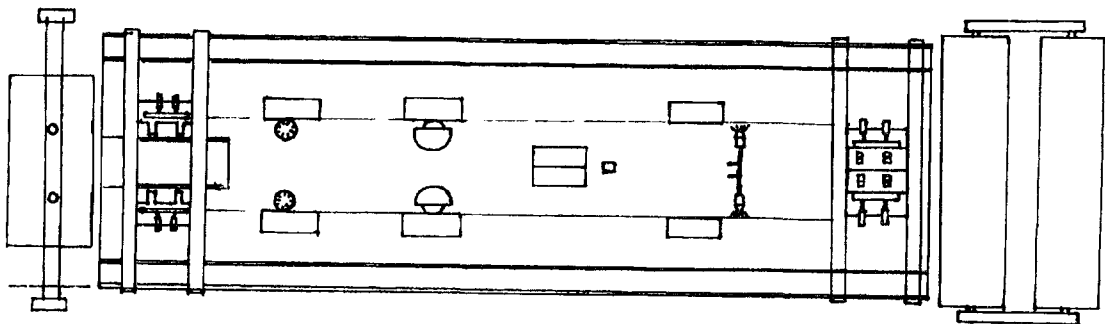


그림 19 전체 흐름 공정

감됨이 예상될 뿐 아니라 작업원의 피로도, 안전성 제고 측면 등의 효과로 500% 이상의 큰 생산성이 기대된다는 결론이다. 그러나, 구상된 mechanism들에 대한 pilot 제작과 실험과정이 향후 요구된다.

연구체제의 미비로 인한 전통적인 생산방법의 답습에서 탈피, 효과적인 시스템의 구축 열망은 모든 제조업의 공통된 목표이나 중소기업으로서 보다 적극적으로 자체의 노력을 기울이려하는 점이 대상 업체의 다른 측면이라 사려된다.

참고문헌

- [1] Groover, M. P.: *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*, Prentice-Hall Inc., 1987.
- [2] 이상문: *글로벌시대의 초일류기업을 위한 생산관리*, 형설출판사, 1998.
- [3] 형성우: *생산관리*, 형설출판사, 1989.