

# 안전관리 및 생산 공정 개선을 통한 생산성 향상에 관한 연구 : 폴리우레탄 제조업체 사례

김현수\* · 이형룡\* · 권익현\*

\*인제대학교 산업경영공학과

## A Study on Productivity Improvement through Safety Management and Manufacturing Process Reengineering : Case Study in Polyurethane Manufacturer

Hyun Soo Kim\* · Hyeong-Ryong Lee\* · Ick-Hyun Kwon\*

\*Department of Industrial and Management Engineering, Inje University

### Abstract

Polyurethane is an elastomer polymer, which is flexible, tough and resistant. This material is widely used various fields such as automobile, aeroplane, textiles, construction industries. Currently there exists more than 1,000 manufacturing companies in Korea that are closely related to Polyurethane. In spite of a number of Polyurethane manufacturing companies, there are little attention in academia as well as industries to study the safety and manufacturing process improvement on Polyurethane. In this paper, we consider a case study for the Polyurethane manufacturer to improve productivity by using safety management and manufacturing process reengineering. After careful analysis, we derive three enhancements to increasing the safety and productivity for the target company. Especially, we achieve about 16% productivity improvement in roller manufacturing process by replacing manual stirring job with automated mixing machine.

**Keywords :** Polyurethane, Productivity Improvement, Safety Management, Flow Process Chart

### 1. 서론

폴리우레탄(Polyurethane)은 기존의 소재들과 비교했을 때, 절연성, 내한성, 내열성 등과 이외에도 다양한 면에서 우수한 소재로 평가받는다. 이러한 폴리우레탄은 1930년대에 유럽에서 발명되었고 그 후, 1950년대에 미국 석유화학공업의 발전과 더불어 응용분야와 제품 개발이 급속하게 확대되었으며, 동시에 일본에 기술이 도입되어 일본국산화가 진전되었다[8]. 우리나라에서는 1975년 6월 진양우레탄(현 진양폴리우레탄)이 세워진 것이 폴리우레탄 산업 진입의 첫 발걸음이었다.

폴리우레탄은 처음 유럽에서 발명될 당시에는 단열재, 접착제, 코팅제 등으로 개발이 시작되었다[6,8]. 그리고 현재는 폴리에틸렌, 폴리염화비닐, 폴리프로필렌, 폴리스틸렌 등 범용품 다음으로 많은 전 세계에서 생산되는 플라스틱 전체의 6%, 연간 1,000만 톤 정도의 시장규모를 점유하고 있다. 폴리우레탄은 앞에서 소개한 용도 이외에도 경량 단열재로써 자동차, 비행기, 선박, 주택, 공장 등에 사용되고 있다. 그리고 주로 쿠션 재료로써 차량의 시트, 베드와 소파 이외에 도료, 방수제, 바인더 등의 용도로도 폭넓게 사용되고 있다[2,6,8]. 위와 같이 폴리우레탄은 매우 다양한 분야에서 사용되

† Corresponding Author: Ick-Hyun Kwon, Department of Industrial and Management Engineering, Inje University, 197 Inje-Ro, Gimhae-Si, Gyeongsangnam-Do, 621-749  
Tel: 055-320-3992, E-mail: ikwon@inje.ac.kr

Received July 20, 2013; Revision Received November 25, 2013; Accepted December 3, 2013.

고 있으며, 현재 폴리우레탄 관련 업체(인터넷 등록)는 천여 개가 넘는다. 또한 폴리우레탄 전문 업체는 수백여 개가 넘는데, 이러한 수는 현재, 폴리우레탄의 산업제로써의 위치를 입증해준다고 할 수 있겠다. 이처럼 폴리우레탄을 취급하는 업체는 매우 많지만 폴리우레탄 제조 공정의 효율성과 안정성을 분석하고 개선하고자 하는 연구는 학계는 물론 산업계에서 많은 관심을 받지 못하고 있다. 따라서 폴리우레탄에 대한 단기간의 수급이 늘어나게 되면서 늘어난 수급량에 비해 안정성과 생산 효율성 측면에서 문제없이 제조가 이루어지고 있는지는 확인해볼 필요가 있다고 판단된다.

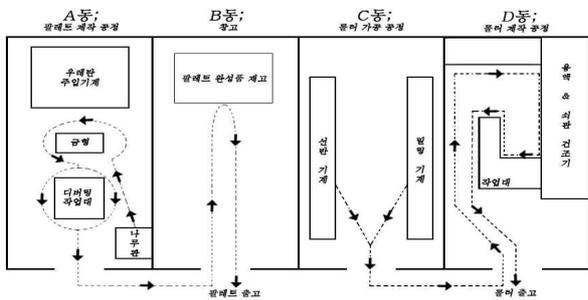
본 연구는 폴리우레탄 팔레트 등을 생산하는 폴리우레탄 제조업체를 대상으로 하였다. 대상 업체는 폴리우레탄을 소재로 하여 자동차 자동차라인의 시트(seat), 엔진(engine), 미션(mission), 타이어 등의 팔레트(pallet) 그리고 컨베이어 롤러(conveyor roller), Caster Wheel, Forklift, Wheel, Urethane Sheet, Rod, 각종 End Packing 등을 생산하고 있다.

해당 업체에서는 여러 구역에서 위에서 언급한 제품들을 생산하고 있는데, 이번 연구에서 중점으로 삼을 부분은 팔레트와 롤러 제작 공정이며 해당 공정들의 효율과 안전관리 현황에 대해서 알아보하고자 한다.

현재, 이 업체는 안전교육을 받은 직원을 통해 자체적으로 안전관리를 하고 있다. 그런데 이러한 교육은 특정한 한 업체에 맞춰진 방식이 아니기 때문에 이러한 안전교육을 해당 업체에 맞도록 적용하기란 쉽지가 않다. 안전은 아무리 강조해도 지나치지 않지만, 안전을 강조하다가 생산성 감소로 인해 손해를 본다면, 기업의 입장에서는 달갑지 않을 것이다. 이러한 이유로 생산성 효율 증대와 더불어 안전한 작업장 환경을 조성할 수 있도록 하는 것을 본 연구의 주요한 목표로 삼고자 한다.

### 2. 대상공장 현황

대상 업체의 주요 공정은 크게 팔레트 제작 공정과 롤러 제작 공정으로 나뉜다. 전체 공장의 레이아웃은 <Figure 1>과 같다.



<Figure 1> Factory layout

먼저 팔레트 제조는 A동에서 진행되며 주 작업자와 보조 작업자가 담당한다. 작업 시작 시, 보조 작업자는 금형에 이형제 도포 작업을 하기 위해서 상판 금형과 하판 금형이 결합되어 있는 볼트를 해체한다. 해체가 끝난 상·하판 금형에서 상판 금형만 호이스트에 걸어서 들어 올린다. 분리된 상·하판 금형 사이에서 보조 작업자가 이형제 도포 작업을 진행한다. 그리고 상판 금형을 호이스트로 내려서 하판 금형에 결합 시킨 후, 볼트를 체결한다. 주 작업자는 보조 작업자가 볼트를 체결할 때, 우레탄 용액 주입 작업을 준비한다. 볼트 체결이 끝나면 보조 작업자는 마개 결합 작업을 준비하고 주 작업자는 우레탄 용액을 금형에 주입한다. 우레탄 용액 주입이 끝나면 주작업자가 1차 마개를 결합과 동시에 보조 작업자가 2차 마개를 결합한다. 마개 결합 후, 보조 작업자는 우레탄 용액이 굳을 때까지 대기한다. 우레탄 용액이 다 굳으면 보조 작업자는 볼트로 결합되어 있는 상·하판 금형을 해체한다. 호이스트로 상판 금형을 들어 올리고 하판 금형에 놓여 있는 팔레트를 탈형해서 모서리에 날카로운 이물질이나 Burr를 제거하는 디버링(deburring) 작업대 위로 옮긴다. 그리고 주 작업자의 디버링 작업을 끝으로 팔레트가 완성된다.

다음으로 롤러 제작 공정은 C동에서 시작한다. C동에서는 거친 쇠판의 표면을 매끄럽게 깎는 선반 작업으로 가공을 시작한다. 선반 작업이 끝나면 D동으로 옮겨 롤러 제작을 진행한다. D동에서 이루어지는 세부 작업 사항은 다음과 같다. 주 작업자가 상온에서 보관한 쇠판을 건조기에 넣고, 우레탄 용액 x를 건조기에서 꺼낸다. 이 때, 보조 작업자는 다른 건조기에서 우레탄 용액 y를 꺼내어 주작업자에게 준다. 주 작업자는 우레탄 용액 x가 담긴 용기에 우레탄 용액 y를 일정량 부어 두 용액을 교반한다. 교반이 끝나면 주 작업자가 건조기에서 쇠판을 꺼내고 보조 작업자와 함께 쇠판 표면을 닦는다. 닦는 작업이 끝나면 보조 작업자는 쇠판 아랫부분을 잡고 주 작업자는 교반한 우레탄 x·y 용액을 쇠판 안에 천천히 붓는다. 다 붓고 난 쇠판은 건조기에 넣고 상온에서 보관한 쇠판을 건조기에 넣는 작업부터 반복한다. 반복 작업에서 교반된 용액을 다 붓고 난 쇠판을 건조기에 넣을 때, 바로 전 작업에서 넣어두었던 쇠판을 꺼낸다. 꺼낸 쇠판에서 롤러를 탈형한 후, 닦으면서 검사한다. 검사가 끝난 제품은 창고에 저장한다.



<Figure 2> Job sequence of mold release in pallet manufacturing process

### 3. 문제점 분석 및 개선 방안

#### 3.1 이형제

##### 3.1.1 현재 작업 내용

A동에서 폴리우레탄 팔레트 제품을 생산한다. 그리고 팔레트를 만드는 과정에서 두 명의 보조 작업자가 이형제를 금형 상·하관에 도포하는 작업을 진행한다. 팔레트 제조 공정에서 이형제가 쓰이는 작업의 순서는 아래 <Figure 2>에서 자세히 보여준다.

이형제(mold release, 離型劑)는 서로 접촉하고 있는 표면의 상호간 접착력을 감소시키는 물질이다. 이형제는 금형의 빈 공간에서 탈형물과의 점착성을 감소시켜주며, 탈형을 쉽게 해줌과 동시에 금형의 오염을 최소화 시켜주는 화공약품이다. 이러한 이형제는 금형 작업에서 반드시 필요한 화공약품이다[6].

<Table 1> Symptoms in case of the workers are exposed to the application of mold release for a long time

상태	증상
눈에 대한 영향	눈 접촉 시 눈에 자극을 줄 수 있음. 시력불선명, 눈 손상을 발생시킴
피부에 대한 영향	피부 장시간 접촉 시 가려움증을 일으킬 수 있음
흡입시의 영향	안정한 액체제품으로 흡입 가능성은 희박하나, 흡입 시 호흡기계통에 자극이 야기될 수 있음
섭취시의 영향	다량 섭취의 경우 구토가 일어날 수 있음
만성징후와 증상	눈, 피부, 흡입, 섭취시의 영향 참조

만약 이형제 도포 작업을 미흡하게 하거나, 생략 할 경우 상관 금형에 우레탄 잔여물이 남게 된다. 이는 다음 작업에서 상관 금형 세척 작업으로 인한 추가적인 작업으로 시간 낭비와 전체적인 생산량 감소를 초래한다. 그러므로 이형제는 성형 작업에 반드시 필요하다.

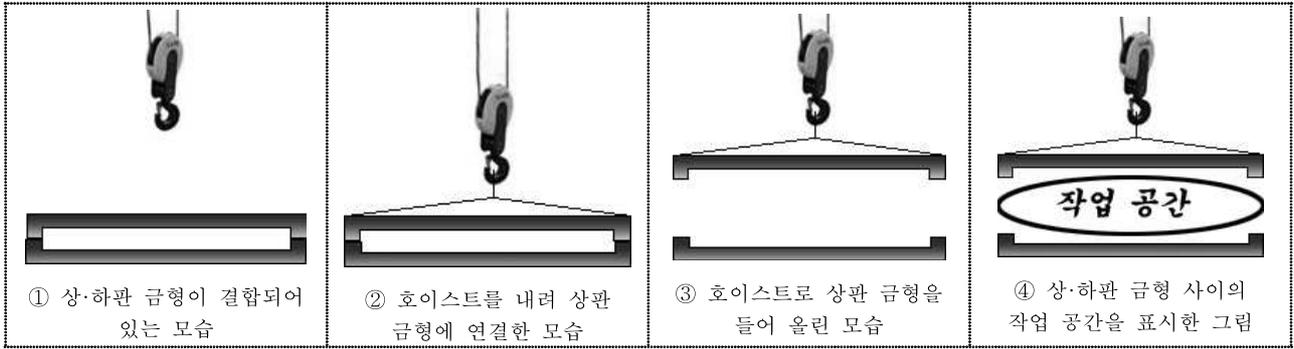
하지만 이형제는 악취와 공해를 일으켜 열악한 작업 조건을 초래하고 있다. 이형제 도포 작업을 장시간 할 경우 위의 <Table 1>과 같은 증상이 나타날 수 있다[8].

현재 A동 작업장에서는 두 명의 보조 작업자가 이형제의 독성에 장시간 노출되어 있다. 이형제의 독성에 노출되는 것을 막기 위한 방안이 필요하다.

##### 3.1.2 개선 방안

우레탄 용액 주입 작업은 고온의 작업 환경에서 해야 우레탄이 굳는 과정에서 불량품이 적다. 따라서 이런 고온의 작업장에서 일반적인 안전장구인 방독 마스크를 착용하고 작업을 하면 이형제 흡입을 막을 수는 있지만, 피로도가 매우 높아서 원활한 작업이 힘들다. 따라서 이형제 제품을 독성이 낮은 제품으로 대체해 작업자들의 안전을 보장하려 한다. 현재 친환경적 이형제 특정 제품을 찾아 대상 업체에 사용 가능 여부를 판단해 줄 것을 제안했다. 이에 업체 측에서는 기존의 이형제 제품과 친환경 이형제 제품으로 폴리우레탄 성형 작업을 수행하였을 때, 제품의 탈형과 금형의 오염도를 비교, 분석하였다.

분석결과 기존 이형제 제품을 사용 후 금형에서 제품을 탈형하는데 평균 약 60초 정도 소요되었는데, 대체 이형제 제품으로 금형에서 제품을 탈형하는데는 180초가량 소요되었다. 제품과 금형 접착력이 상당히 증가했다. 또 탈형된 후의 금형 오염도 상태 또한 좋지 않아 금형에 대한 잔여 우레탄 세척 작업에도 상당한 시간이 소요되었다. 이러한 결과로 인하여 대체 이형제 제품은 업체에서 부적합 판정으로 결론지어 졌다. 하지만 작업자 안전의 중요성에 대한 인식을 토대로 하여 무독성 이형제 제품을 지속적으로 발굴해야 하는 필요성에 대해 대체적으로 공감하였고 앞으로 긍정적으로 고려하기로 한 바 있다.



<Figure 3> Job sequence of raising a mold using hoist

### 3.2 호이스트

#### 3.2.1 현재 작업 내용

A동 팔레트 제조 공정에서 보조 작업자 두 명이 금형 안쪽에 이형제를 도포하기 위해 상판 금형을 호이스트에 걸어서 올리는 작업을 한다. 호이스트로 상판 금형을 들어 올리면, 이때 한 명의 보조 작업자는 상판 금형과 하판 금형 사이에서 작업을 한다(<Figure 3>의 ④ 참조).

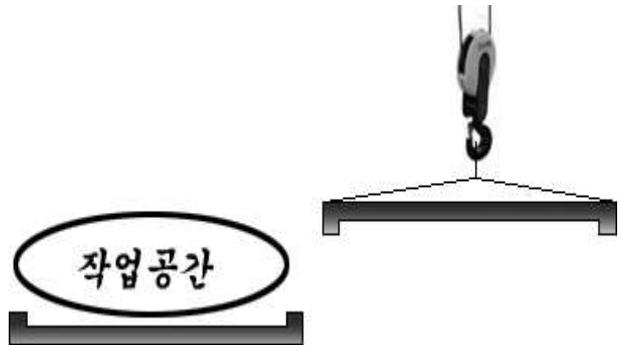
이형제 도포 과정에서 한 줄로 된 호이스트 와이어가 끊어지면 작업 중이던 보조 작업자가 사고를 당하게 된다. 위험에 노출된 상태이므로, 호이스트에 대한 안전검사가 필요할 것으로 판단된다. 그러나 현장에서는 호이스트 이동 상태와 와이어 상태에 대한 점검 항목을 가지고 있었으나, 규정에 맞추어 체계적으로 시행되지는 않았다.

#### 3.2.2 개선방안

본 논문에서는 호이스트 운영과 관련하여 두 가지 개선 방안을 제안한다.

첫째, 기존에 수직 이동만 하던 호이스트를 수직 이동 후 수평 이동을 추가로 실행한다.

<Figure 4>와 같이 호이스트로 상판 금형을 수평 이동해 안전한 곳으로 금형을 이동 후 작업을 하는 방법이다. 호이스트 와이어가 끊어져 상판 금형이 추락해도 작업자는 추락 지점과 떨어져 있기 때문에 안전하게 작업을 할 수 있다. 그러나 이 작업에는 호이스트의 수평 이동이라는 추가적인 작업 시간이 소요되므로 추가되는 작업의 정도를 알아보고자 유통공정도를 작성하였다.



<Figure 4> Improved hoist operation method

<Figure 5>에서 왼쪽 부분은 상판 금형을 수직 이동만 했을 때의 유통공정도(flow process chart)이다[1]. 오른쪽 부분은 추가로 수평 이동 작업을 했을 때의 유통공정도이다. 2가지 호이스트 이동 방법으로 작업 시간을 비교, 분석해 보면 다음과 같다.

- 기존의 호이스트 수직 이동 공정의 생산량 : 1개의 제품 cycle = 642초 (약 10.7분)
- 개선된 호이스트 수직 + 수평 이동 공정의 생산량 : 1공장의 1개의 제품 cycle = 917초 (약 15.2분)

A동 우레탄 팔레트 제조 공정 유통공정도							
수직 이동	기호	거리 (m)	시간 (초)	수직 이동 + 수평 이동	기호	거리 (m)	시간 (초)
1. 금형에 볼트를 해체한다.	●▷□▽		15	1. 금형에 볼트를 해체한다.	●▷□▽		15
2. 호이스트로 상판 금형을 들어 올린다.	●▷□▽		5	2. 호이스트로 상판 금형을 들어 올린다.	●▷□▽		5
				3. 호이스트로 상판 금형을 좌로 이동한다.	●▷□▽		10
				4. 좌우로 흔들리는 금형을 고정시킨다.	●▷□▽		60
3. 이형체를 상판과 하판이 분리된 금형에 이형체를 도포한다.	●▷□▽		240	5. 이형체를 상판과 하판이 분리된 금형에 이형체를 도포한다.	●▷□▽		240
4. 보조 작업자가 나무판을 가지고 온다.	○▶□▽	3	10	6. 보조 작업자가 나무 판을 가지고 온다.	○▶□▽	3	10
5. 나무판을 금형에 놓는다.	●▷□▽		6	7. 나무판을 금형에 놓는다.	●▷□▽		6
6. 호이스트로 상판 금형을 내린다.	●▷□▽		15	8. 호이스트로 상판 금형을 위로 이동한다.	●▷□▽		90
				9. 호이스트로 상판 금형을 내린다.	●▷□▽		60
7. 금형에 볼트를 체결한다.	●▷□▽		25	10. 금형에 볼트를 체결한다.	●▷□▽		25
8. 금형 마개 결합을 한다.	●▷□▽		1	11. 금형 1차 마개 결합을 한다.	●▷□▽		1
9. 우레탄 용액이 굳을 때까지 대기한다.	○▷□▽	3	240	12. 우레탄 용액이 굳을 때까지 대기한다.	○▷□▽	3	240
10. 금형에 볼트를 해체한다.	●▷□▽		15	13. 금형에 볼트를 해체한다.	●▷□▽		15
11. 호이스트로 상판 금형을 올린다.	●▷□▽		5	14. 호이스트로 상판 금형을 올린다.	●▷□▽		5
				15. 호이스트로 상판 금형을 좌로 이동한다.	●▷□▽		10
				16. 좌우로 흔들리는 금형을 고정시킨다.	●▷□▽		60
12. 금형과 제품을 분리한다.	●▷□▽		60	17. 금형과 제품을 분리한다.	●▷□▽		60
13. 제품을 작업대로 옮긴다.	○▶□▽	2	5	18. 제품을 작업대로 옮긴다.	○▶□▽	2	5
<b>1 Cycle 작업시간</b>			<b>642</b>	<b>1 Cycle 작업시간</b>			<b>917</b>
3번에서 18번 공정을 반복				3번에서 18번 공정을 반복			

<Figure 5> Man-type flow process chart of pallet manufacturing process in A-Hall

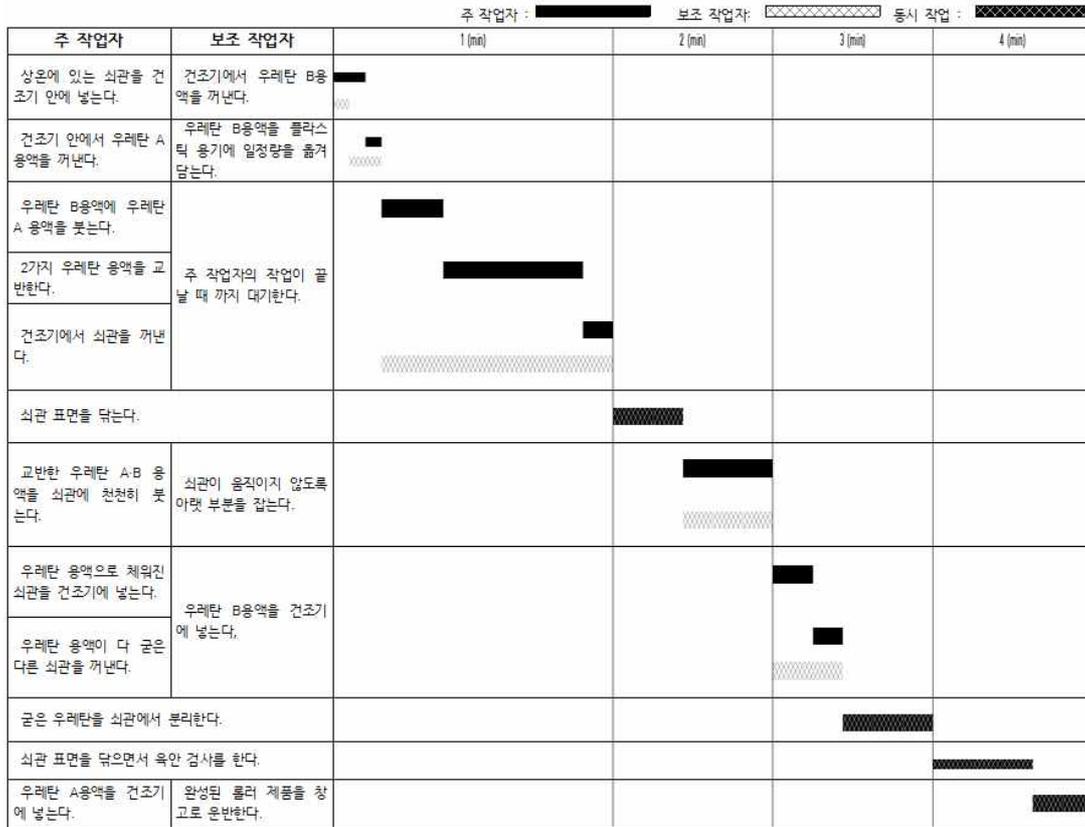
하루 근무 시간은 480분 근무에서 오전·오후 쉬는 시간인 10분씩을 각각 빼면 460분이다. 하루 460분 동안 생산량을 비교 하면, 기존의 42개에서 호이스트 작동 변경 후엔 30개로 생산성이 약 28% 감소하는 결과가 나왔다. 호이스트 작동에서 추가적인 수평 이동에서 생산 효율성이 많이 감소한 이유는 안전하게 작업하기 위해 옆으로 이동시킨 상판 금형을 다시 하판 금형과 결합하기 위해 상판 금형을 원위치로 이동시키는 데에 있다. 상판 금형을 안전한 위치로 이동시키기 위해서는 임의의 거리만큼 이동시킬 수 있지만, 다시 결합시키기 위해서는 하판 금형의 위치와 상판 금형의 위치를 맞추어야 한다. 이 때 서로 위치를 잡는 과정에서 상당한 시간이 소요된다. 또 기존의 수직 이동에서는 금형의 흔들림이 적었기 때문에 흔들리는 금형을 잡아 주는

작업은 필요하지 않았다. 하지만 수평으로 금형을 이동하게 되면 흔들리게 되어 무거운 금형에 부딪힐 수 있으므로 금형이 움직이지 않도록 고정시켜주는 추가적인 작업 또한 필요했다. 이런 추가 시간이 걸리는 점을 고려한다면 생산 효율성이 떨어진다. 하지만 호이스트 작동 방식이 특정한 좌표 x, y, z값을 입력해서 사용하는 호이스트라면 상판 금형을 다시 원위치로 옮기는 데 시간을 단축 할 수 있을 것으로 예상된다[9].

두 번째로 제안하는 방안은 체크리스트 점검 항목을 더욱 구체화하고 점검 주기 또한 구체적으로 지정하는 것이다. 아래 <Table 2>는 기존 안전보건공단에서 사용 중인 호이스트 점검 체크 리스트를 대상 업체에 맞게 수정한 것이다[4].

<Table 2> Hoist check list

<b>호이스트 (크레인) 안전점검표</b> 설비명(번호) 규격 (용량) 설치 장소 : A동 작업장			
점검항목	점검사항	양호	불량
와이어로프 및 체인	1. 와이어로프의 상태는 정상인가? ① 한 가닥에서 소선의 수가 10%이상 절단되지는 않았는가? ② 지름이 원상태보다 7% 이상 감소하지 않았는가? ③ 심한 변형(꼬임)이나 부식은 없는가?		
	2. 체인의 상태는 정상인가? ① 제조 때 길이보다 5%이상 늘어나지 않았는가? ② 링크의 단면 지름이 10% 이상 줄어들지 않았는가? ③ 균열이나 현저한 손상이 없는가?		
	3. 달기기구 (축 등), 드럼 등과 로프의 연결 상태는 확실한가?		
후크 등	4. 심한 변형이나 균열이 없는가?		
	5. 회전 상태는 양호한가?		
조작 장치	6. 작동 상태가 정확하고 원활한가? (클러치와 브레이크 상태 포함)		
	7. 펜던트 스위치의 케이블에 무리한 힘이 가해지지 않는가? (보조선의 설치는 적절한가?)		
	8. 작업자의 눈에 잘 띄는 곳에 규율(하중)이 표시되어 있는가?		
안전 장치	9. 레일에는 완충장치(스토퍼)등이 안전하게 설치되어 있는가?		
	10. 과부하 방지 장치의 작동이 원활한가?		
	11. 비상정지장치(버튼)는 확실하게 작동하는가?		
	12. 운반 중 경보장치(사이렌, 경광등)는 작동하는가?		
	13. 해지장치는 설치되어 있으며 상태는 정상인가?		
전기 계통	14. 스위치 커버가 파손되지 않았는가?		
	15. 전선의 연결 상태는 양호한가?		
	16. 배선의 피복에 손상된 부분은 없는가?		
작업	17. 화물의 걸이 방법은 안전한가?		
	18. 크레인의 용량 이상의 화물을 매달지 않는가?		
※ 불량판정에 대한 조치 사항			
점검일시                      년    월    일                      부서 점검자			



<Figure 6> Operation process chart of roller manufacturing process in D-Hall

### 3.3 우레탄 용액 믹싱 공정

#### 3.3.1 현재 작업 내용

C동과 D동에서 우레탄 롤러 제품을 생산한다. C동에서 쇠판 표면을 깎은 후 D동으로 옮겨 롤러를 제작한다. <Figure 6>은 D동에서 이루어지는 롤러 제작 공정을 설명하고 있으며, 주 작업자와 보조 작업자의 작업을 순서대로 나타내고 있다.

D동에서 롤러 제작 작업을 할 때, 2가지 우레탄 용액을 교반(stirring)하는 작업에서 2가지 문제점이 발생하는 것으로 분석되었다. 첫 번째 문제점은 주 작업자가 우레탄 용액의 교반작업을 완료 할 때까지 보조 작업자는 대기하여야 한다는 점이다. 보조 작업자의 전체 작업 중 31.25%가 대기시간인데 하루에 약 115개를 생산한다면, 하루 업무 8시간 중에 약 143분을 대기하게 된다. 이런 유희시간은 작업 시간을 낭비하고 작업 효율을 떨어뜨린다.

두 번째 문제점은 주 작업자가 우레탄 용액을 교반하는 동안 우레탄 유독 가스에 노출된다는 점이다. 대략적으로 1개 제품을 생산하는데 약 4분이 소요되고, 교반 작업이 약 45초 소요된다. 따라서 만약 하루에 약

115개를 생산한다면, 주 작업자는 우레탄 용액 교반 작업에 소요되는 약 86.25분의 시간동안 유독가스에 노출되게 된다. 이처럼 하루에 1시간 30분가량 매일 유독가스에 노출된다면 인체에 해로운 영향을 줄 것은 자명한 사실이며, 이는 장기적으로는 산업체에 여러 형태로 악영향을 끼치게 될 것이다.

따라서 우레탄 용액 믹싱 공정에서 2가지 문제점이 발견되었기에, 본 논문에서는 유통공정도(flow process chart)를 작성하여 공정을 분석하고 이를 통해 개선안을 도출하고자 하였다. 유통공정도는 각 작업의 소요시간을 한 번에 나타내주기 때문에 개선안의 비교 및 분석에 유용하며, 특히 눈에 보이지 않는 경비 즉, 운반, 정제, 저장 등과 관련되는 잠복 비용(hidden cost)을 발견하여 이를 감소시키는데 탁월한 역할을 한다[1,3,5].

#### 3.3.2 개선 방안

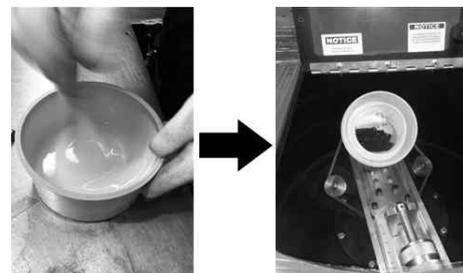
D동 롤러 제작 작업에서 주 작업자와 보조 작업자의 작업을 유통공정도를 통해 분석하였다. <Figure 7>은 기존의 유통공정도이다. 주 작업자는 2가지 우레탄 용액을 교반할 때 플라스틱 통에 우레탄 용액을 넣은 후, 막대로 섞는다.

주 작업자						보조 작업자							
요약	현재방법		개선안		차이		요약	현재방법		개선안		차이	
	횟수	시간	횟수	시간	횟수	시간		횟수	시간	횟수	시간	횟수	시간
○ 작업	6	165					○ 작업	6	140				
⇨ 운반	5	55					⇨ 운반	2	5				
□ 검사	2	50					□ 검사	2	50				
▽ 대기/저장	0	0					▽ 대기/저장	2	95				
비고							비고						

D동 작업 설명	기존 방법 (○)			개선 안 ( )			
	기호	거리 (m)	시간 (초)	기호	거리 (m)	시간 (초)	
주 작업자 작업 설명				보조 작업자 작업 설명			
1. 상온에 있는 쇠판을 건조기에 안에 넣는다.	○⇨□▽	0.5	10	1. 건조기에서 우레탄 B용액을 꺼낸다.	○⇨□▽	5	
2. 건조기 안에서 우레탄 A용액을 꺼낸다.	○⇨□▽	0.5	5	2. 우레탄 B용액을 플라스틱 용기에 일정량을 옮겨 담는다.	●⇨□▽	10	
3. 우레탄 B용액에 우레탄 A용액을 붓는다.	●⇨□▽		20	3. 주 작업자 작업이 끝날 때 까지 대기한다.	○⇨□▽	75	
4. 2가지 용액을 교반한다.	●⇨□▽		45				
5. 건조기 안에서 쇠판을 꺼낸다.	○⇨□▽	0.5	10				
(동시 작업) 쇠판 표면을 닦는다.				●⇨■▽		20	
7. 섞인 우레탄 A·B 용액을 쇠판에 천천히 붓는다.	●⇨□▽		30	5. 쇠판이 움직이지 않도록 아랫 부분을 잡는다.	●⇨□▽	30	
8. 우레탄 용액으로 채워진 쇠판을 건조기에 넣는다.	○⇨□▽	0.5	10	6. 우레탄 B용액을 건조기에 넣는다.	●⇨□▽	20	
9. 우레탄 용액이 다 굳은 다른 쇠판을 꺼낸다.	●⇨□▽		10				
(동시 작업) 굳은 우레탄을 쇠판으로부터 분리한다.				●⇨□▽		30	
11. 분리된 롤러의 상태를 육안으로 검사한다.	○⇨■▽		30	8. 쇠판 표면을 닦는다.	●⇨□▽	30	
12. 상온에 있는 우레탄 A용액을 건조기에 넣는다.	○⇨□▽	3	20	9. 완성된 롤러 제품을 창고로 운반한다.	○⇨□▽	20	
주 작업자 총 작업 시간			240	보조 작업자 총 작업 시간			240

<Figure 7> Flow process chart of existing roller manufacturing process in D-Hall

본 논문에서는 이러한 수작업 공정을 믹싱기를 사용하는 기계 공정으로 대체하는 방안을 제안하고자 한다 (<Figure 8> 참조). <Figure 9>은 본 논문에서 제안하는 방식을 따라 작성된 유통공정도이다. 기계로 대체하여 보조 작업자가 교반 작업을 맡게 되면, 보조 작업자의 대기시간을 활용함으로써 주 작업자가 쇠판을 검사하는 시간이 늘어나게 되므로 제품 품질의 향상을 기대 할 수 있게 된다.



<Figure 8> Change of stirring method from manual to mixing machine

주 작업자							보조 작업자						
요약	현재방법		개선안		차이		요약	현재방법		개선안		차이	
	횟수	시간	횟수	시간	횟수	시간		횟수	시간	횟수	시간	횟수	시간
○ 작업	7	185	6	146	0	-39	○ 작업	6	140	8	136	+2	-4
↶ 운반	5	55	5	55	0	0	↶ 운반	2	5	3	15	+1	+10
□ 검사	2	50	2	56	2	+6	□ 검사	2	50	1	30	-1	-20
▽ 대기/저장	0	0	0	0	0	0	▽ 대기/저장	2	95	3	55	1	-40
비고							비고						

D동 작업 설명	현재 방법 ( ) 개선 안 ( ○ )						
	기호	거리 (m)	시간 (초)	보조 작업자 작업 설명	기호	거리 (m)	시간 (초)
1. 상온에 있는 쇠판을 건조기에 안에 넣는다.	○▶□▽	0	10	1. 건조기에서 우레탄 B용액을 꺼낸다.	○▶□▽	0	5
2. 건조기 안에서 우레탄 A용액을 꺼낸다.	○▶□▽	0	5	2. 우레탄 B용액을 플라스틱 용기에 일정량을 옮겨 담는다.	●▶□▽		10
3. 우레탄 B용액에 우레탄 A용액을 넣는다.	●▶□▽		20	3. 주 작업자가 우레탄 A용액을 붓는 동안 잠시 대기한다.	○▶□▽		20
4. 건조기에서 쇠판을 꺼낸다.	○▶□▽	0	10	4. 같은 용기에 담긴 우레탄 용액을 믹싱기로 가져간다.	○▶□▽	2	5
5. 쇠판 표면을 닦는다.	●▶□▽		26	5. 용기를 믹싱기에 장착 시킨다.	●▶□▽		5
				6. 믹싱기를 작동 시킨다.	●▶□▽		1
				7. 믹싱이 완료 될 때 까지 대기한다.	○▶□▽		15
				8. 믹싱기에서 용기를 분리한다.	●▶□▽		5
9. 분리한 용기를 주 작업자에게 준다.	○▶□▽	2	5	10. 쇠판이 움직이지 않도록 아랫 부분을 붙잡는다.	●▶□▽		30
6. 교반한 용액을 쇠판에 붓는다.	●▶□▽		30	11. 우레탄 B용액을 건조기에 넣는다.	●▶□▽		20
7. 다 부은 쇠판을 건조기 안에 넣는다.	○▶□▽	0	10	(동시 작업) 쇠판에서 굳은 우레탄을 분리한다.	●▶□▽		30
8. 우레탄 용액이 다 굳은 다른 쇠판을 꺼낸다.	●▶□▽		10	10. 분리된 롤러의 상태를 육안으로 검사한다.	○▶■▽		30
주 작업자 총 작업 시간			201	보조 작업자 총 작업 시간			201

<Figure 9> Improved flow process chart of roller manufacturing process in D-Hall

<Table 3> Analysis of improved flow process chart

구분	가동률		총 공정 횟수 (초)		작업 수 (초)		검사 수 (초)		정체 수 (초)	
	기준	개선	기준	개선	기준	개선	기준	개선	기준	개선
주 작업자	100%	100%	12 (240)	11 (201)	7 (185)	6 (140)	2 (50)	2 (56)	0 (0)	0 (0)
보조 작업자	68.75%	82.59%	9 (240)	14 (201)	6 (140)	8 (136)	2 (50)	1 (30)	1 (75)	1 (35)

기존 방식의 경우 주 작업자의 작업시간이 길었던 반면 보조 작업자의 정체 시간 또한 길었다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 믹싱기를 도입하는 방식을 제안하였고, <Table 3>에서 보듯이 보조 작업자의 정체 시간이 감소하여 가동률이 늘어났음을 알 수 있다. 이로 인해 주작업자의 가동률은 그대로지만, 작업 시간을 줄이고 검사 시간을 늘려 품질 향상을 기대 할 수 있게 되었다.

마지막으로 3.3.1에서 언급한 문제점이 개선되었다고 볼 수 있는지를 보다 체계적으로 판별하기 위하여 통계 소프트웨어인 MINITAB을 이용하여 생산량의 변화를 확인해 보기로 한다. 믹싱기 도입 전·후 생산량 비교를 위해 믹싱기 도입 전 작업 공정에서의 30일 동안의 생산량과 믹싱기 도입 후 작업 공정에서의 30일 동안의 생산량 데이터를 수집하여 분석하였다. 믹싱기 도입 전 30일 동안의 평균 생산량을  $\mu_A$ , 믹싱기 도입 후 30일 동안의 평균 생산량을  $\mu_B$ 이라고 할 때, 다음과 같은 가설을 설정하였다.

- $H_0$ (귀무가설):  $\mu_A = \mu_B$
- $H_1$ (대립가설):  $\mu_A \neq \mu_B$

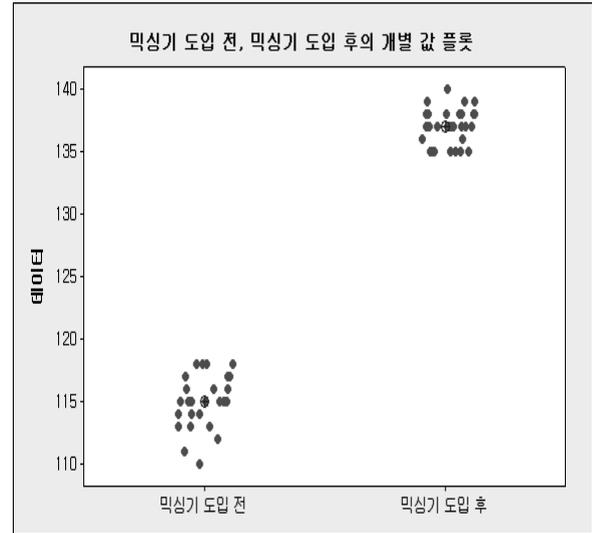
유의수준  $\alpha = 0.05$  일 때, 두 평균의 차이를 t-통계량을 통해 나타내면 다음과 같다.

- 차이의 95% 신뢰구간 (-22.8974, -21.1026)
- 검정 통계량 :  $T = -49.19$ ,  $p\text{-값} \approx 0.000$

p-값이 0.000으로 유의수준  $\alpha = 0.05$ 보다 매우 작으므로 귀무가설이 기각된다[10]. 따라서 유의수준 5%에

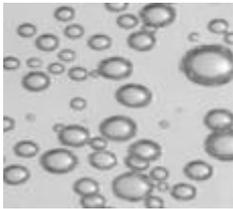
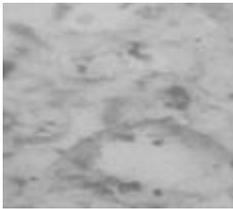
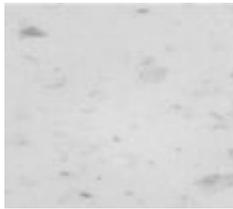
서 믹싱기 도입 전과 도입 후의 일 평균 생산량이 달라졌다고 할 수 있다.

<Figure 10>에서 보듯이 기존의 수작업 공정에서는 하루에 평균 약 115개를 생산하였으나, 믹싱기를 도입한 후 약 137개로 16% 가량의 생산량이 증가하였음을 알 수 있다.



<Figure 10> Comparison of average number of roller produced per day

또한 <Figure 11>에서 보듯이 기존의 수작업이었던 교반 작업에서는 용액이 잘 섞이지 않아 대량의 기포가 발생하였지만, 믹싱기를 사용함으로써 우레탄 용액이 잘 교반되어 기포가 많이 줄어들었다. 이는 제품의 밀도를 높여주는데, 밀도가 높아지면 제품의 내구성이 좋아지므로 품질 향상까지 기대할 수 있다[7].

기포		분산(섞임)	
기존(수작업)	개선(믹싱기 사용)	기존(수작업)	개선(믹싱기 사용)
			
대량의 기포 발생	기포 없음	잘 섞이지 않음	잘 섞임

<Figure 11> Comparison of bubble and miscibility

## 4. 결론

본 논문에서는 폴리우레탄 팔레트를 생산하는 폴리우레탄 제조업체의 여러 안전 문제에 대해 분석하고 개선을 시도한 내용을 다루었다. 과거에 사용되던 이형제는 유성 이형제였으나 독성 문제로 인해 근래 들어 수성 이형제로 많은 곳에서 교체되었다. 하지만, 수성 이형제 역시 독성이 있기 때문에, 이형제는 여전히 작업자들을 위협에 노출시키고 있다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 여러 가지 방안을 제안하였다. 고온의 작업장 특성상, 보호 장구를 착용하게 되면 피로도가 높아 작업자가 쉽게 피로해진다. 그리하여 기존 이형제를 독성이 덜한 제품으로 교체하는 방안을 생각하였다. 기존 제품과 비교하였을 때, 친환경이라 여긴 제품을 업체 측에 제안하였으나 금형 오염도와 탈형 수준이 좋지 않아 받아들여지지 않았다. 안타깝게도 해결하지 못하였으나, 앞으로도 작업자는 이형제의 독성을 마주하게 될 것이므로 지속적으로 해결방안을 모색해야 할 것으로 사료된다.

두 번째 문제점으로 언급한 호이스트 역시 안전성에 관한 문제이다. 호이스트는 한 순간 큰 위험이 닥치지만 일상적으로 피해를 주지는 않아 작업자들이 간과하고 넘어가기 쉬운 부분이다. 그리하여 작업자가 호이스트로부터 안전하도록 호이스트의 수평 이동을 생각해 보았고 체크리스트 및 점검주기 개선을 제안하였다. 그런데 업체에서 사용 중인 호이스트는 정확한 좌표값을 가지고 이동하는 장비가 아니므로 정확한 위치를 잡아야 하는 공정의 특성상 현 호이스트로는 수평 이동이 오히려 안 좋을 것이라 판단하였다. 그 이유는 아날로그 작동방식으로 수평 이동을 하면 위치를 잡는 작업에서 단위 사이클 시간이 증가하여 생산성이 떨어지기 때문이다. 다른 측면에서 안전을 보장하기 위해, 체크리스트를 통하여 안전에 대한 중요성 인식을 제고하였다. 결론적으로 가장 안전한 작업을 위해서는 정확한 좌표값 입력으로 작동하는 호이스트가 필요하다고 판단하였다.

마지막은 롤러를 생산하는 D동 공정에서의 문제이다. 이 공정에서의 작업 중 2가지 우레탄 용액을 수작업으로 교반하는 작업이 있는데, 교반 시 믹싱 기계를 사용해야 한다는 내용을 골자로 한다. 그 이유는 앞서 3.3절의 문제점에서 언급하였듯이 작업자 간의 효율적인 시간 분배를 위해서, 그리고 작업자가 우레탄의 독성에 노출되는 것을 방지하기 위해서이다. 기계를 도입하여 사용한 결과, 보조 작업자의 유희시간을 줄이면서 주 작업자의 롤러 검사시간이 증가되는 효과가 발생하였고 이로 인해 제품의 품질 향상을 기대할 수 있게 되었다. 그리고 주

작업자가 독성에 노출되는 일이 없어졌고 보조 작업자 역시 기계를 사용하기 때문에 독성에 노출되지 않는다. 또한 기계의 도입은 현재, 대상 업체의 인력 위주의 공정이 생산성 향상을 위한 기계 위주의 공정으로 변경하기 위한 첫걸음이라는 점에서 의미가 크다고 할 수 있다.

본 논문은 안전성 확보에 초점을 맞추어 진행하였다. 3.1절에서는 다른 개선안을 도출하지 못하여 독성 노출 문제를 해결하지 못하였으나 이형제를 도포하는 작업자는 앞으로도 독성에 노출될 것이므로 이는 시급하게 꼭 해결되어야 할 문제이다.

## 5. References

- [1] Hwang, H., Theory of Work Management, Youn gji Publishers (2008).
- [2] Jeong, J.Y., Park, S.W., Lee, J.E. and Lee, G.Y., "Diisocyanate Exposure Assessment for Polyurethane Foam Manufacturing Workers", Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, Vol.22, No.3, (2012) : pp. 209-216.
- [3] Kim, D.H., Park, D.B. and Kwon, I.H., "Productivity Improvement Plan Using Motion Analysis and Facility Relocation : Case Study", Journal of the Korea Safety Management and Science, Vol.12, No.1 (2010) : pp. 71-81.
- [4] Korea Industrial Safety Association, Check List for Hoist Work (2013).
- [5] Niebel, B. and Freivalds, A., Methods, Standards, and Work Design, McGraw-Hill (2002).
- [6] Oretel, G., Polyurethane Handbook, Hanser Publisher (1993)
- [7] Piralishvili, S.A. and Ivanov, R.I., "Calculation and Experimental Investigation of Mixture Formation in a Vortex Mixer", Russian Aeronautics, Vol.55, No.2, (2012) : pp. 179-183.
- [8] Szycher, M., Szycher's Handbook of Polyurethanes, CRC Press (2012).
- [9] Vollmann, T.E., Berry, W.L., Whybark, D.C. and Jacobs, F.R., Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management, McGraw-Hill (2004).
- [10] Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, S.L. and Ye, K.E., Probability and Statistics for Engineers and Scientists, Pearson (2011).

### 저 자 소 개

김 현 수



인제대학교 산업경영공학과에 재학 중이며, 주요 관심분야는 통계적 품질관리, 품질경영, 생산관리 등이다.

주소: 경남 김해시 인제로 197 인제대학교 산업경영공학과

권 익 현



고려대학교 산업공학과에서 학사, 석사 및 박사학위를 취득하였으며, 현재 인제대학교 산업경영공학과 조교수로 재직 중에 있다. 주요 관심분야는 물류 및 공급망관리, 생산계획 및 통제, 서비스 사이언스 등이다.

주소: 경남 김해시 인제로 197 인제대학교 산업경영공학과

이 형 룡



인제대학교 산업경영공학과에 재학 중이며, 주요 관심분야는 SCM, 물류경영, 품질경영 등이다.

주소: 경남 김해시 인제로 197 인제대학교 산업경영공학과