

# 폴리우레탄 코팅 장갑의 기포로 인한 불량 현상에 대한 고찰과 개선

김용우\*

(논문접수일 2007. 2. 27, 심사완료일 2007. 6. 28)

## A Study on Defects Due to Air Bubbles in the PU-Coating Gloves and Enhanced Molds to Reduce the Defects

Yong-woo Kim\*

### Abstract

With the developments in knitting, manufacturing, and polymers, coated gloves have been evolved in a way to maximize occupational safety and functionality. In this paper, we have considered the PU-coating process for the glove knitted by Dyneema to reduce the occurrence of the defects due to air bubble. This paper classifies the types of defect due to air bubble and traces their forming mechanisms. The air between coating layer of glove and mold's surface forms the defects if it is not evacuated fully in the process of submerging into water. The defects can be suppressed or avoided by forming air-evacuating path on the surface of the molds.

**Key Words** : Working Glove(작업용 장갑), PU-Coating(PU코팅), Captured Air Bubble(기포포획), Burst of Air Bubble(기포터짐)

## 1. 서론

작업용 장갑은 산업현장이나 작업현장에서 작업자의 손을 보호하고 작업의 효율성을 높이기 위해 제작된 장갑을 총칭한다. 작업용 장갑은 사용 목적에 맞는 섬유로 장갑을 편직 한 다음 기능에 맞는 고분자재료로 코팅하여 제작된다. 주로 사용하는 섬유로는 면(cotton), 폴리에스터(polyester), 나일론(nylon), 케블러(kevlar), 다이니마(Dyneema) 등의 다양

한 섬유가 있으며, 코팅재료로는 PVC(polyvinyl chloride), 폴리우레탄(PU, polyurethane), NBR(nitrile butadiene rubber) 등의 다양한 고분자 재료가 사용되고 있다<sup>(1-5)</sup>.

본 연구에서는 다이니마 섬유로 편직된 장갑을 PU코팅하는 과정에서 발생하는 불량요인을 추적, 검토하여, 불량 발생의 메카니즘(mechanism)을 구명하고 불량 발생을 감소시키기 위한 개선책을 제안하고자 한다. PU-코팅 다이니마 장갑을 연구 대상으로 선정한 것은 고가이면서, 코팅공정에

\* 순천대학교 기계공학과 (kyw@sunchon.ac.kr)  
주소: 540-742 전남 순천시 매곡동 315

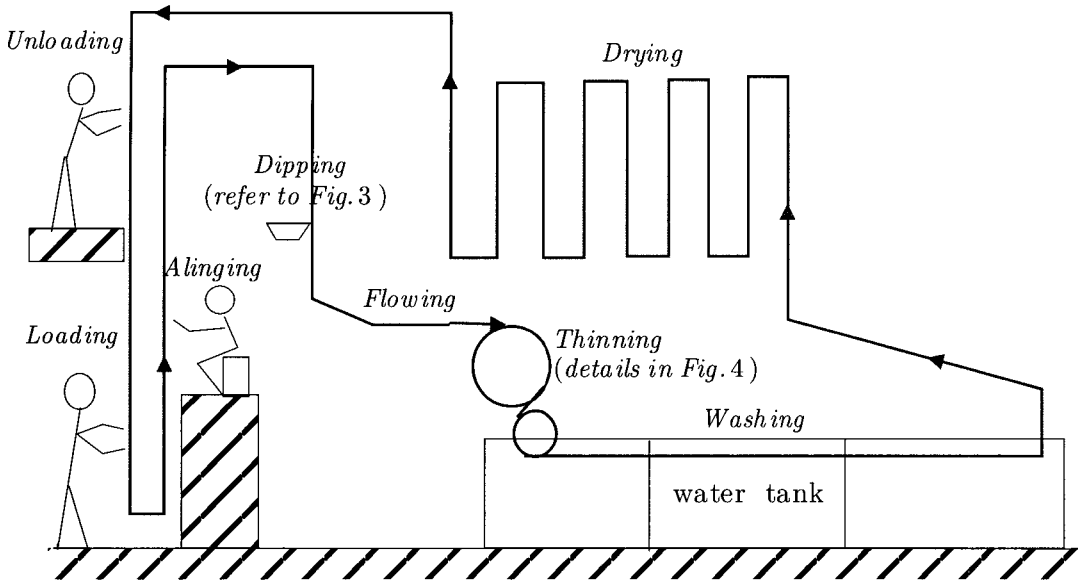


Fig. 1 Schematic diagram of the coating process for gloves

서 다른 제품에 비해 불량률이 훨씬 높기 때문이다. 코팅에 사용되는 기계장치는 크게 수직식(vertical type)과 플라이식(fly type)으로 대별되는데 본 연구에서는 수직식 기계장치를 대상으로 하였다. 수직식을 택한 이유도 플라이식에 비해 불량률이 매우 높아 공정 개선이 필요하였기 때문이다.

## 2. 공정의 개요 및 불량 현상

### 2.1 PU 코팅 공정의 개요

Fig. 1은 장갑의 손바닥면에 PU-코팅하는 공정의 개략도로써 공정의 순서는 다음과 같다.

- 편직한 장갑을 몰드(Fig. 2)에 끼운다(loading 과정).
- 장갑이 올바르게 제대로 몰드에 끼워졌는지 점검한다(aligning 과정).
- 손바닥면에 코팅액을 도포한다(dipping 과정, Fig. 3 참조).
- 과다 코팅액을 장갑으로부터 흘러 제거한다(flowing 과정).
- 손가락 끝의 코팅막의 두께를 얇게 하기 위해 손가락이 위쪽을 향하도록, 몰드를 수직면에 있는 원주를 따라 천천히 회전시킨다(thinning 과정, Fig. 4 참조).
- 수조에서 세척한다(washing). 이 때 몰드는 Fig. 4와 같이 90도 회전하면서 입수하게 된다.

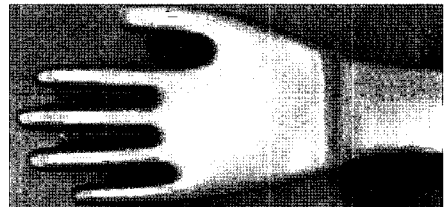


Fig. 2 Mold



Fig. 3 Dipping

- 건조(drying) 후 몰드에서 장갑을 벗겨낸다(unloading 과정).

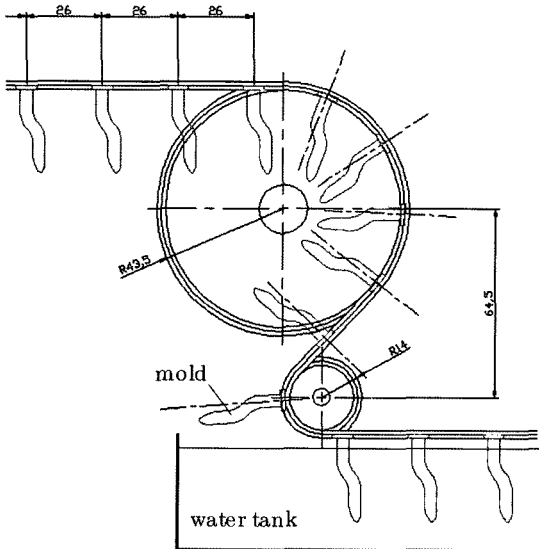


Fig. 4 Thinning process of the coating layer at fingertips and the submerging style of the mold

Fig. 2의 몰드는 알루미늄 합금으로 주조된 것으로 몰드의 안쪽은 빈 공간이며, 이 공간은 손목 부분에서 밖으로 노출되어 있다.

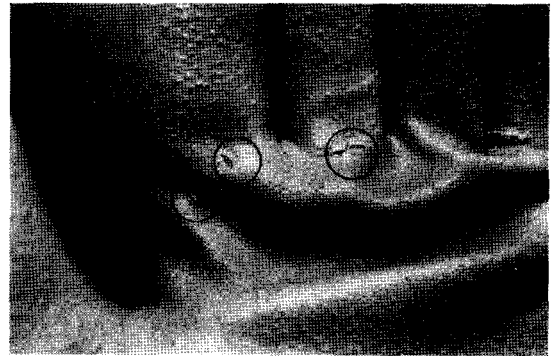
## 2.2 불량 유형

코팅이 끝난 최종제품의 불량 유형은 다음과 같다. 첫째, 코팅막에 Fig. 5 (a)와 같은 직경 1~4mm의 기포가 형성된다. 이를 기포포획이라 부른다. 둘째, Fig. 5 (b)와 같은 직경 1mm이하의 미세 구멍(pin hole) 또는, 직경 1~2mm의 원형에 코팅이 되지 아니하는 부분이 나타난다. 이것은 기포가 터져서 발생한 자국으로 기포터짐(burst of air bubble)이라 부르기로 한다.

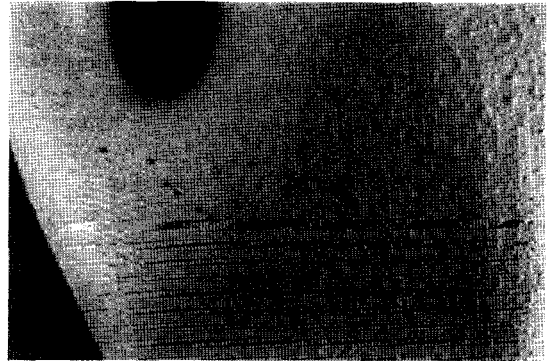
이러한 불량 유형들은 여러 가지 복합적인 원인에 의해 나타나는 것으로 판단하고 있다. 즉, 코팅이 결합 없이 완벽하게 이뤄지려면, 코팅액의 점성, 제조과정에서 여러 성분의 배합비율, 공정상의 온도, 습도 등의 조건들이 장갑의 섬유의 특성과 잘 맞도록 설정되어야 한다. 본 연구에서는 현재의 제조 공정상의 조건들이 잘 맞다고 가정하고 그 이외의 불량률의 요인을 추적하기로 한다.

## 3. 불량요인 추적을 위한 실험

위의 불량 유형들은 모두 기포와 관련된 현상으로 공기가



(a)



(b)

Fig. 5 (a) Captured air bubbles, (b) Burst of air bubbles, and pin holes

코팅액에 혼입되는 기회를 차단하면 불량 발생을 방지할 수 있다고 판단되어 코팅액 교반과정 및 공급과정, 디핑과정(dipping process), 세척을 위한 입수과정 등을 차례로 검토하였다.

코팅액의 교반, 공급, 회수 및 재공급 과정을 살펴보면 많은 기포가 혼입되어 있음을 알 수 있다. 그러나 점도가 매우 높지 않는 한, 디핑과정 후 과도한 코팅액을 장갑 표면으로부터 흘러 분리시키는 과정(flowing process) 중에 대부분의 기포가 제거된다. 즉, 코팅액에 혼입된 기포는 장갑에 도포된 후에는 대부분은 코팅액의 표면에 존재하게 되고, 그 기포는 코팅액을 장갑으로부터 흘러내리게 하는 과정을 통해 대부분 함께 제거된다. 또한 코팅액의 점도, 작업 온도 및 습도가 동일한 작업장에서, 플라이스의 경우 불량률이 작은 반면 수직식에 불량률이 유독 높은 사실을 대비해 보면, 입수 자세가 기포 발생에 영향을 미치는 것으로 파악된다. 이에 코팅 장갑

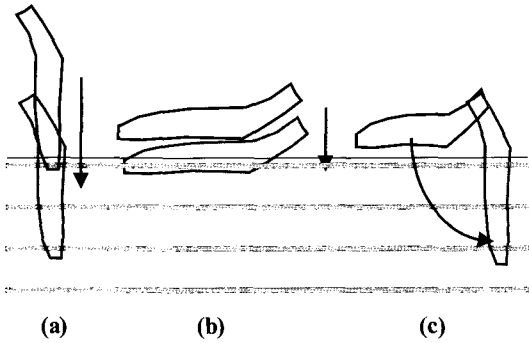


Fig. 6 Submerging styles; (a) vertical, (b) horizontal, (c) 90°-rotational submerging

이 물에 입수하는 과정을 검토하기 위해 Fig. 6과 같은 세 가지의 입수 자세를 설정하여 실험을 실시하였다.

### 3.1 실험 방법

다이아마 섬유로 편직된 장갑을 PU-코팅액으로 코팅하는 과정의 주요 공정변수(온도, 습도, 시간 등)를 실제 공정의 것과 일치시켜 다음과 같은 순서로 실험실에서 실험을 실시하였다.

- ① 몰드를 열풍식 건조로(사용 온도범위: 40~420℃)에 넣어 몰드의 온도가 섭씨 65~70도에 도달하도록 가열한다.
- ② 가열한 몰드에 장갑을 끼우고 습기를 제거하기 위해 30초 동안 실온에서 방치한다.
- ③ 장갑을 끼운 몰드의 손바닥면에 코팅액이 도포되도록 1.5초 동안 살짝 담근다(dipping).
- ④ Dipping 후 잔액을 제거하기 위해 손가락이 지면을 향하도록 하여 약 20초간 몰드를 세워둔다.
- ⑤ 몰드를 약 30분간 수조에 담궈서 세척한다(초기의 수면 입수자세가 중요함).
- ⑥ 건조조에 넣어 장갑을 30분간 건조시킨다.

### 3.2 실험 결과 및 검토

3.1절의 동일한 실험방법으로 3가지의 입수 자세에 따른 각각의 실험을 5회씩 실시한 결과, 입수자세에 따라 불량률의 유형이 다르게 나타남을 발견하였다.

수직입수자세의 경우 기포포획에 의한 불량률이 주를 이루는 반면, 수평입수자세의 경우 미세 구멍 또는 기포터짐이 불량률의 주를 이룬다. 90도 회전 입수의 경우에는 수평 및 수직 입수에서 보이는 불량률이 모두 나타나고 있다. 또한 수직 및 90

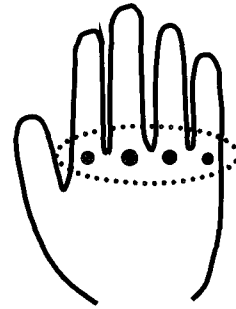


Fig. 7 The region where the captured air bubbles are found frequently

도 회전 입수의 경우에 나타나는 기포포획은 Fig. 7과 같이 주로 손가락과 손바닥의 경계부분에 근방에서 나타난다.

위의 두 가지 사실을 미루어 볼 때, 장갑과 몰드사이의 공기가 배출되는 과정과 밀접한 관계가 있음을 보여준다. 이를 이론적으로 설명하기 위해 다음과 같은 가정을 설정하여 검토하였다.

장갑의 코팅층과 몰드사이에는 공기가 존재한다. 이 공기는 입수자세에 따라 상응하는 수압을 받아 장갑 바깥으로 압출된다. 이 과정에서 공기가 원활히 빠져 나가지 못하는 경우 기포에 의한 불량률이 나타날 수 있다. 입수과정 동안 배출되지 못하고 남아 있는 잔류 공기는 수압을 받아 코팅막을 부풀리거나 코팅막을 뚫게 되어 기포포획이나 기포터짐(미세 구멍 포함)을 유발하게 된다. 따라서 공기가 원활히 배출되기 위해서는 공기 배출 통로가 확보되어야 한다. 이를 위해서는 장갑과 몰드사이의 공기 배출 통로를 차단할 정도로 장갑과 몰드사이의 밀착도가 너무 높아서는 안된다. 이 밀착도는 장갑을 몰드에 끼웠을 때 장갑에 걸리는 장력과 관련이 있다. 즉, 몰드에 장갑을 끼우면 장갑의 표면적은 증가하며 이에 따라 장갑에는 장력이 발생하게 된다. 이 때 장력이 높을수록 장갑과 몰드가 밀착되어 공기 배출로가 차단되게 된다. 이로 인해 공기의 원활한 배출이 방해받게 된다. 이는 곧바로 잔류공기로 인한 불량률로 이어질 가능성을 높게 된다. 즉, 장갑과 몰드 사이의 밀착정도는 장갑의 표면적의 증감과 밀접한 관계가 있다.

위의 가정을 검증하기 위해, 장갑의 변형 분포를 검토하였다. 장갑을 몰드에 끼우기 전에 Fig. 8과 같이 직경 3.5mm 직경의 원을 일정 간격으로 장갑 표면에 그려 넣었다. 그리고 장갑을 몰드에 끼워(Fig. 9) 각각의 원에 대한 변형전후의 면적비를 계산하였다. 즉, 변형전 직경  $d$  mm였던 원형은, 장갑을 몰드에 끼우면 장반경  $a$  mm, 단반경  $b$  mm의

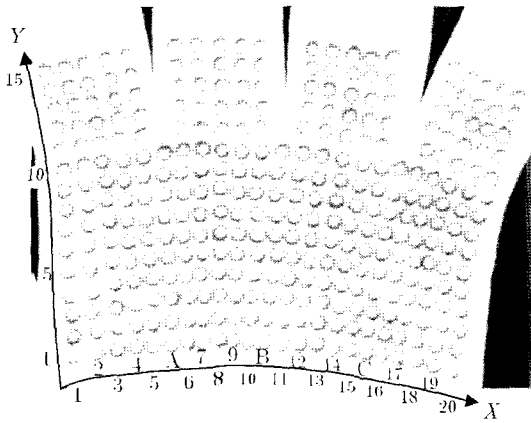


Fig. 8 Before deformation

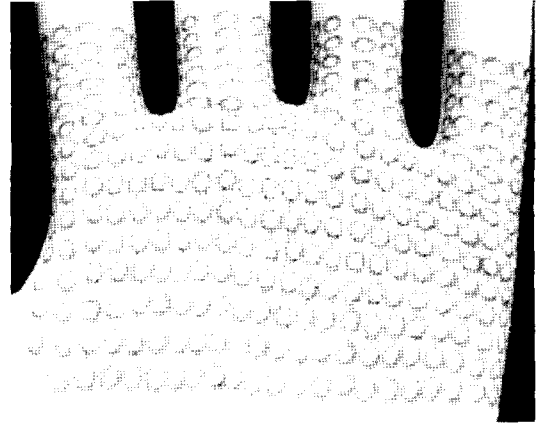


Fig. 9 After deformation

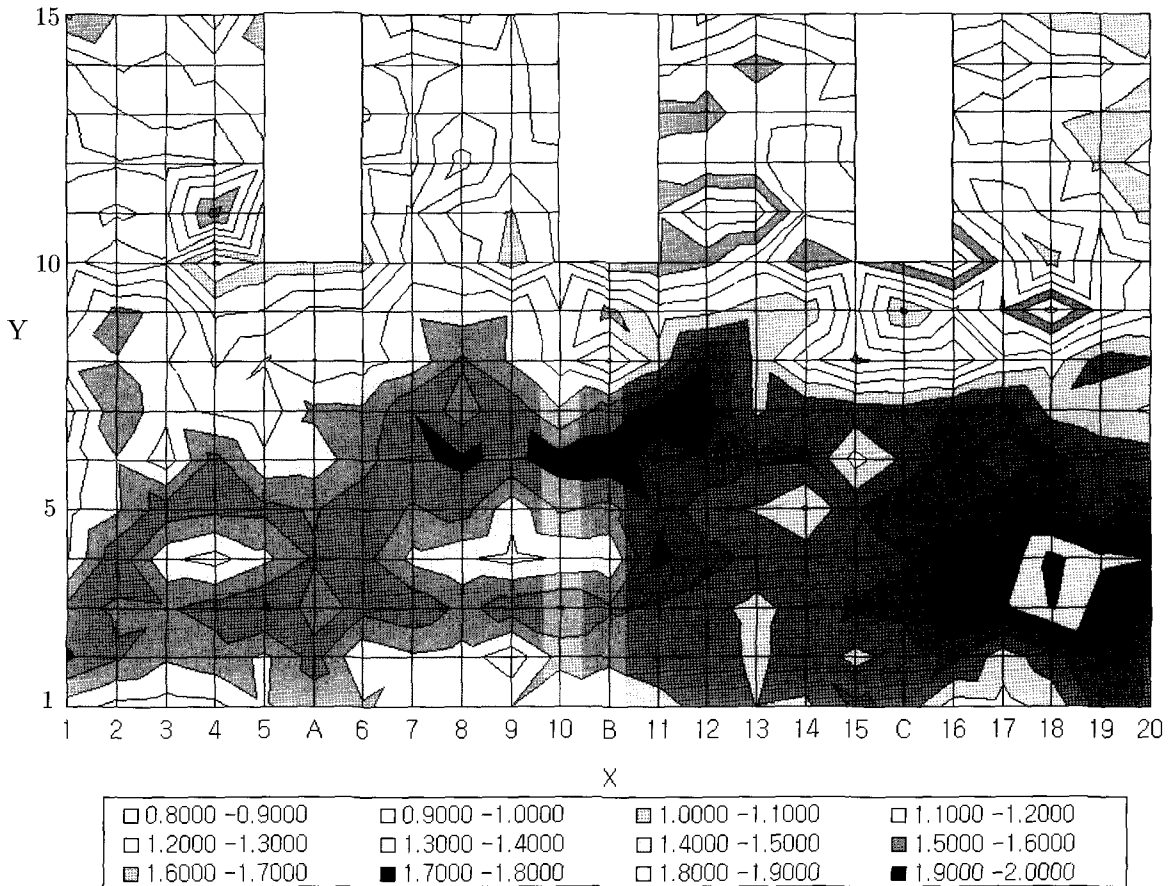


Fig. 10 Distribution of the area ratio

타원으로 변형한다. 이 때의 각원의 변형전후의 면적비( $r$ )는 다음과 같다.

$$r = \frac{\pi ab}{\pi d^2/4} = \left(\frac{2a}{d}\right)\left(\frac{2b}{d}\right)$$

즉, 변형전후의 면적비는 장축의 길이 비( $2a/d$ )와 단축의 길이 비( $2b/d$ )를 측정하여 얻을 수 있다. 면적비의 분포를 그려보면 Fig. 10과 같다.

Fig. 10에서 보는 바와 같이  $Y=3\sim 7$  행에 상대적으로 높은 면적비를 보이는 밀착대를 형성한다. 이러한 사실을 바탕으로 세 가지 입수자세에 따른 공기의 이동 경로를 추정해 본다.

- (1) 수직입수: 수직입수의 경우 손가락 끝부터 수면에 수직하게 입수된다. 따라서 공기는 수압으로 인한 부력을 받아 손가락의 길이 방향(중력과 반대 방향)으로 이동할 것이다(Fig. 11 (a) 참조). 그러나 이 공기는 Fig. 10의  $Y=3\sim 7$  행에 형성되어 있는 밀착대(Fig. 7의 점선 부분, Fig. 11 (a)의 ○부분)로 인하여 공기의 이동이 원활하지 못하고  $Y=7\sim 12$  행 부근에 일부의 공기가 남게 된다. 이로 인해 빠져나가지 못한 공기가 코팅액에 에워싸여 붙잡히게 되고 기포를 형성하게 된다.
- (2) 수평입수: 수평입수의 경우 손바닥이 수면과 수평하게 입수한다. 이 경우 손가락에 있던 공기는 부력을 받아 손가락과 손가락 사이로 쉽게 배출되나, 손바닥면의 공기는 배출경로의 길이가 길어 미처 빠져나지 못하는 경우가 발생한다(Fig. 11 (b) 참조). 이 잔류공기는 모든 방향에서 균일한 수압을 받아 이동하지 못하고 기포터짐을 유발시킨다.
- (3) 90도 회전 입수: 90도회전 입수의 경우 수직입수와 수

평입수의 자세가 혼합된 형태로 볼 수 있다. 따라서 수직입수와 수평입수에서 관찰되는 모든 유형의 불량 이 발생한다.

지금까지의 논의 및 실험을 바탕으로 2.2절의 불량 유형을 좀더 구체적으로 정의하면 다음과 같다. 몰드와 장갑의 코팅층 사이에는 존재하는 공기가 입수과정에서 수압을 받아 장갑 바깥으로 압출되는데 이 과정에서 미처 빠져나가지 못한 잔류공기가 코팅층에 붙잡히거나 코팅액을 국부적으로 풍선처럼 부풀려 터뜨리게 된다. 이때 공기가 코팅액에 에워싸인 채로 붙잡혀 대개 1~4mm의 직경의 기포를 형성한다. 또한 잔류공기가 수압에 의해 코팅층을 밀고 나오면서 코팅 장갑 표면에 미세 구멍을 형성하는 것을 미세구멍(pin hole)이라 부르며, 공기가 코팅층을 부풀린 후 코팅막을 터뜨리며 배출될 때 배출구 주변에 코팅막이 내려 앉음과 동시에 배출구에는 코팅이 되지 않은 채로 남아 있게 된다. 이렇게 형성된 불량을 기포터짐이라고 정의한다. 미세구멍과 기포터짐은 기본적으로 동일한 원인으로 형성되는 것으로서 다만 그 크기에서 다를 뿐이다.

#### 4. 공기배출경로를 고려한 개선안

앞의 3장의 분석 결과를 토대로 공기 배출로를 확보하기 위해 기존의 몰드를 수정하여 실험을 실시하였다. 실험은 90도 회전 입수에 대해 실시하였는데 이는 첫째, 실제 공정에서와 매우 유사한 입수자세이기 때문이며, 둘째 3장에서 보인 바와 같이 90도 회전 입수는 수직 및 수평입수의 특징을 모두 갖고 있기 때문이다.

##### 4.1 개선을 위한 몰드 수정안

Table 1에서 몰드-A는 기존에 사용하고 있는 몰드이고, 몰드-B 직경 6mm의 구멍을 손바닥에 일정 간격으로 뚫어 공기가 몰드 안쪽의 빈 공간을 통해 밖으로 빠져 나가도록 공기 배출로를 확보한 몰드이다. 몰드-C는 손바닥을 모두 제거하고 손바닥 가장자리만 남겨놓은 몰드로서 공기 배출로는 몰드-B와 동일하다. 몰드-D는 손바닥에 홈(폭 5mm, 깊이 4mm)을 내서 몰드 표면의 홈을 따라서 공기가 배출되도록 한 것이다.

##### 4.2 수정 몰드에 대한 실험결과 및 고찰

3.1절에 기술된 동일한 방법으로, 90도 회전 입수에 대하여 Table 1의 4 가지 몰드를 사용하여 각각 실험을 5회씩 실시하고 그 결과의 불량 유형에 따른 평균 개수를 Table 2에 정리하였다.

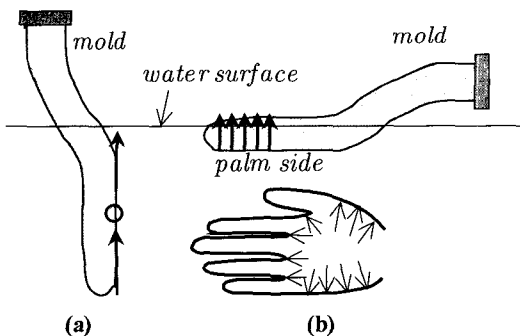


Fig. 11 Path of air-flow in (a) vertical and (b) horizontal submerging

**Table 1 Original mold and its modified molds**

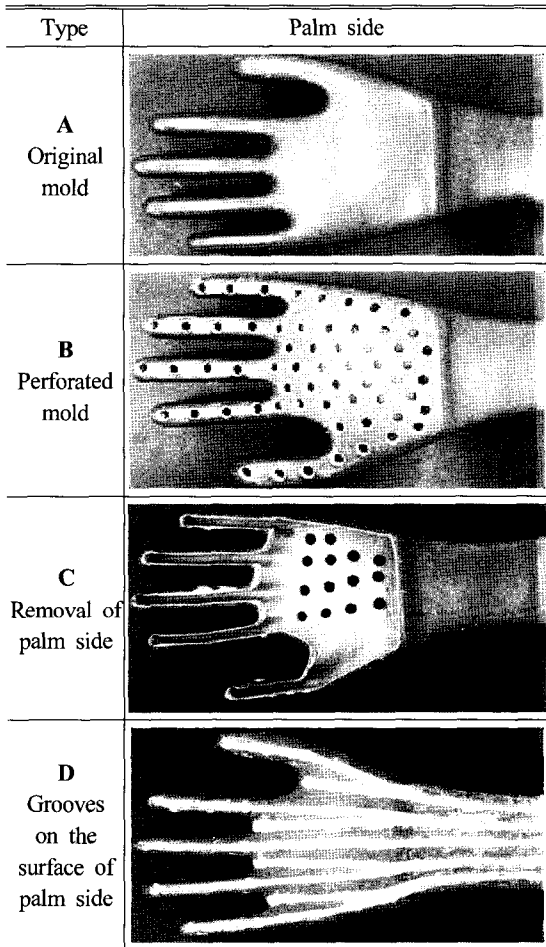


Table 2에서 보는 바와 같이 몰드 B, C, D를 사용할 경우, 코팅상태가 원래의 몰드에 비해 양호하다. 특히 몰드-C를 사용할 경우 가장 우수하다. 몰드-D의 경우 기포터짐이 많이 발생하였는데, 이는 몰드의 홈(groove)의 제작 방법에 따른 것으로 판단된다. 즉, 몰드의 두께가 얇고 몰드의 안쪽은 공동이므로 홈을 내기위해 석고로 몰드의 공동을 채우고 홈을 내었기 때문에, 한번 물에 세척한 몰드-D는 잘 건조시켜도 완전하게 수분을 제거하기 어렵다. 이로 인해 홈의 표면으로부터 수분이 계속 공급되어 표면이 매끄럽지 못하여 공기 배출에 영향을 주기 때문인 것으로 추측된다.

동일한 몰드를 연속하여 반복 사용하기 위해서는 몰드의 표면에 코팅 잔류물이 남아 있으면 곤란하므로 각 몰드에 코팅 잔류물이 남아 있는지의 여부를 검사하였다. 몰드-B의

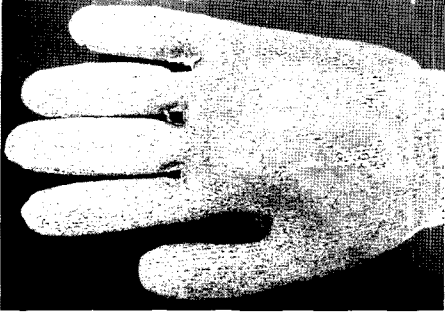
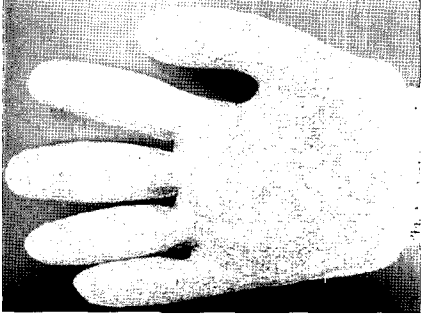
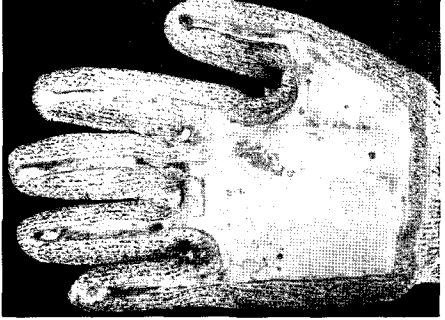
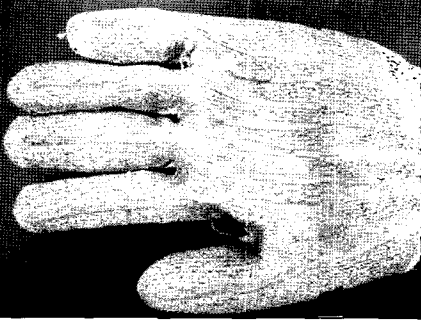
**Table 2 Average number of defects depending on mold types**

Type of Mold	Captured Air Bubbles	Pin Holes	Burst of Air Bubbles
A	2.6	1.6	4.6
B	0.0	0.6	4.3
C	0.0	0.6	0.0
D	0.0	1.0	6.0

경우, 구멍에 PU 코팅액이 스며들어 응고한 잔류물이 남아 있어 연속적으로 사용할 경우 구멍이 막혀 공기배출로가 차단되게 된다. 따라서 몰드-B는 실용화하기 어려운 것으로 판단된다. 몰드-C의 경우에는 잔류물이 보이지 않으며 코팅상태가 매우 양호하여 실용적으로 적용 가능할 것으로 판단된다. 몰드-D의 경우 약간의 잔류물이 남는데, 이는 석고를 채워 홈을 만든 까닭에 건조가 제대로 되지 않은 영향으로 약간의 잔류물이 남는 것으로 사료된다. 만약 표면을 다른 부분처럼 표면처리 하였다면 잔류물이 거의 남지 않을 것으로 예측된다.

Table 2는 장갑의 바깥쪽의 코팅상태에 대한 검토였다. 코팅상태에 대한 완벽한 검토를 위해서는 장갑 안쪽면의 상태에 대해서도 비교검토가 필요하다. 따라서 코팅장갑의 내피가 보이도록 뒤집어서 촬영한 사진을 Table 3에 비교하였다. 장갑의 내피를 살펴보면, 홈이나 구멍을 뚫은 몰드(B, C, D)의 경우 몰드-A에 비해 홈이나 구멍 부분에서 코팅액의 투과력이 강화되어 두터운 코팅액 흡수층이 형성되어 있음을 알 수 있다. 또한, 몰드-D의 경우 손바닥 전면을 제거한 관계로 코팅 흡수층이 고르게 형성되는 반면, 몰드-B와 -D의 경우, 구멍 또는 홈에만 코팅액 흡수층을 형성한다. 결국 공기 배출로를 확보하기 위해 만든 홈이나 구멍은 공기배출을 원활히 함과 동시에 코팅액의 투과력을 높혀 장갑 내피에도 코팅액 흡수층을 형성한다. 이로 인해 코팅이 쉽게 벗겨지지 아니하고 절단강도를 높여지는 장점이 있으나과도하게 두꺼운 코팅액 흡수층은 사용자의 촉감을 자극하여 거부감을 일으킬 수도 있다. 따라서 너무 두꺼운 코팅액팅액 흡수층의 형성을 방지하기 위해서 몰드-B와 -C와 같이, 손등 쪽에 구멍을 뚫었다. 이 구멍은 몰드를 입수시킬 때 물이 손등의 구멍을 통해 유입되도록 하여 몰드 안쪽과바깥쪽의 수압차이를 감소시킴으로써 코팅액의 투과력을 완화시킨다. 이에 따라 장갑 안쪽에 과도한 두께 형성을 방지할 수 있었다.

Table 3 Inside views of the coated gloves

Mold-A	Mold-B
	
Mold-C	Mold-D
	

### 5. 결론

본 연구에서는 작업용 장갑 중에서 다이너마 섬유로 편직된 장갑을 PU-코팅하는 과정에서 발생하는 불량요인을 추적 검토하여, 기포포획 및 기포터짐 발생의 메카니즘을 추정하고 불량 발생을 감소시키기 위한 개선책을 제안하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기포포획과 기포터짐은 장갑의 코팅층과 몰드 사이에 존재하는 공기가 장갑 바깥으로 원활히 배출되지 못하여 발생하는 현상이다.
- (2) 기포포획 및 기포터짐은 디핑 후 세척과정에서 몰드가 수면에 입수하는 자세와 밀접한 상관관계가 있다. 기포포획은 수직입수에서 주로 발생하며 기포터짐은 수평입수에 주로 발생한다. 이는 입수자세에 따라 몰드에 대한 부력의 방향이 달라져서 공기배출경로가 바뀌게 되기 때문이다.
- (3) 공기배출통로를 확보하여 불량 요인을 제거하기 위해 기존의 몰드를 수정하여 기포포획 및 기포터짐에 의한

불량률을 현저히 감소시켰다. 몰드 수정안에 대해 실험하고 검토한 결과, 손바닥을 제거한 몰드-C를 사용할 경우 장갑의 바깥쪽 및 안쪽의 코팅상태가 가장 양호하며 몰드에 코팅액의 잔류물을 남기지 않는다. 따라서 몰드-C를 실제 적용에 추천한다.

### 참고 문헌

- (1) Bahman, B., 2000, *Lab Safety Review: Pros and Cons of Lab Glove Materials*, [www.safety.uwm.edu](http://www.safety.uwm.edu)
- (2) PIP, 2007, *PIP Technical Brochure, A Division of Protective Industrial Products, Inc.*, [www.pipusa.com](http://www.pipusa.com)
- (3) Song, S. H., 2001, *Coating Glove, Utility Model 20-0244334-0000*.
- (4) Choi, K. W., 2007, *The Coating Gloves for a Work and Its Manufacturing Method*, Patent 10-0731914-0000.
- (5) Sohn, K., 2007, *The Glove Coated Polyurethane and Its Manufacturing Method*, Patent 10-0717975-0000.