

# PLC제어형 광섬유 자동 이식기계 개발

유우식 · 김남웅

인천대학교 산업공학과

## Development of the automatic transplantation machine of optical fiber controlled by PLC

Woo Sik Yoo · Nam Woong Kim

Industrial Engineering, University of Incheon

This paper describes an automatic transplantation machine of optical fiber controlled by PLC. The transplantation operations is a key operation for the optical fiber application products, such as bag, cap, and others. To transplant 200~500 optical fibers, there are many recurrent manual operation needed with conventional process.

In this paper, we propose an automatic machine that reduce transplanting time and enhance product quality. Developed machine includes transplantation, heat cutting and ultraviolet coating operation. Also proposed Machine is controlled by PLC to adjust operation parameters such as pulling length, cycle time, coating time and others. Developed Machine has been applied in the field and found to be a useful system.

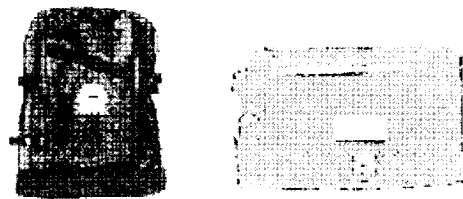
**Keywords** : automatic transplantation machine, PLC, optical fibers

### 1. 서론

현대에는 많은 기업들이 고유의 첨단 기술을 보유하고 개발함으로써 제품에 자사의 기술을 응용한 신제품이 다수 개발되어 생산되고 있다. 본 연구의 대상물인 광섬유는 빛을 받으면 그 빛을 손실 없이 전송하는 특징을 가진 섬유질의 가닥이다. 이를 기존의 정적인 캐릭터가 부착된 모자나 가방 등의 섬유직물에 이식하고 LED를 부착하여 특정 동영상을 전개하는 프로그램에 의해 동영상이 가능한 동적인 캐릭터를 개발할 수 있다. 과거, 광섬유를 도로의 야광 표지판 등에 국한되어 사용하였던 경우에 비해 이 기술은 심미적인 기능을 중요시하는 캐릭터 디자인이나 패션제품 등에 광섬유를 응용하기까지 폭 넓게 개발되어 사용될 수 있다. 더욱이 광섬유를 이용한 제품은 수요자의 요구에 따라 여러 가지

형상으로 개발 될 수 있으며 기존 제품의 상품 가치성을 높일 수 있다. 예를 들어, 광고용 벽걸이 Panel 또는 특정 테마가 있는 동영상을 구현하는 광고의 제작에 이르기까지 광섬유의 이용가치는 다양하다. 다음 <그림 1>은 실제로 광섬유가 이식된 캐릭터가 제품에 활용된 모습이다.

그러나 광섬유를 섬유직물에 이식하는 공정에 있어서



<그림 1> 실제 제품의 모습

문제점이 발생하였다. Ø0.6 두께의 광섬유를 이용해 하나의 완성된 동영상을 지원하는 제품이 되기 위해선 200여 가닥의 광섬유를 이식해야 하는데 이러한 이식 작업이 작업자가 직접 Needle Gun을 사용하여 원단 소재에 이식을 함으로써 이루어진다는 것이다. 문제점은 이런 수 작업 방식으로는 생산성이 나 작업 능률면에서 경제적인 손실을 초래한다는 사실이다. 따라서 생산성 및 효율성을 위하여 다수의 광섬유를 동시에 자동으로 이식하는 장비의 필요성이 대두되었다. 즉, 동영상을 위하여 특정 배열된 다수의 광섬유를 섬유직물 등에 이식하기 위해서는 본 연구의 결과물인 광섬유 자동이식기계의 개발이 필수적으로 요구되었다. 특히 장비는 공정의 최적화를 위해 장비의 공정 매개변수, 즉, 적절한 광섬유의 이식 길이, 열선 Cutting길이, 열 선의 속도 등의 변수를 프로그램으로 제어할 수 있어야 하므로 PLC(Programmable Logic Controller) 제어방식의 기계장치로 개발되어야 한다.

2. 광섬유 동영상 제품의 기존생산공정

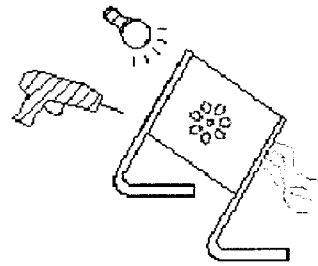
본 연구의 결과물인 PLC제어형 광섬유 자동이식기계가 개발된 배경으로는 병목 공정인 이식공정에서의 수작업 방식으로 인한 낮은 생산성에 있다고 서론에서 이미 말한바 있는데 이식공정에 대해 보면 다음과 같다.

- [단계 1] 광섬유준비: 이식작업을 위해 광섬유를 준비하고 Needle Gun에 광섬유를 삽입한다.
- [단계 2] 광섬유 수공이식: 자수 틀에 원단을 팽팽하게 고정시키고 Needle Gun을 이용하여 캐릭터 형상의 이식 포인트에 작업자가 광섬유 가닥을 하나하나 수공 이식을 한다.
- [단계 3] 열선 절단: 이식된 광섬유가닥을 원단 소재에 밀착시키기 위해 열선으로 2mm 이내로 Cutting하여 헤드를 형성하게 한다.
- [단계 4] 광섬유 밀착: 열선 Cutting된 광섬유가 원단 위로 날카롭게 돌출 되지 않도록 불로 문질러 원단의 표면에 밀착되도록 한다.

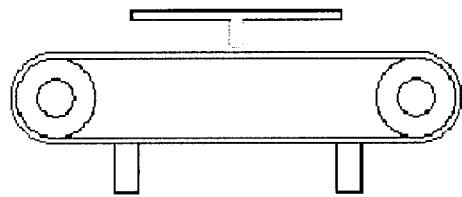
이와 같은 이식 공정 외에도 광섬유가 하나의 제품으로 완성이 되려면 <그림 3>의 생산공정도에서 살펴보는 바와 같이 이식된 광섬유 가닥을 동영상상을 나타내는 색상별로 묶는 광섬유 분류작업, 광섬유가 이식된 캐릭터를 제품에 부착할 때 캐릭터와 제품과의 부피를 최소화하기 위한 광섬유 Bending 작업, LED 광선이 광섬유에 고르게 전달될 수 있도록 하기 위해 색상별로 분류된 광섬유 묶음의 끝 단 처리를 위한 광섬유 변들 Cutting 작업, 색상 별로 분류된 광섬유에 해당 LED를



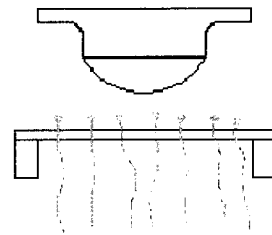
(a) 광섬유준비



(b) 수공이식



(c) 열선절단

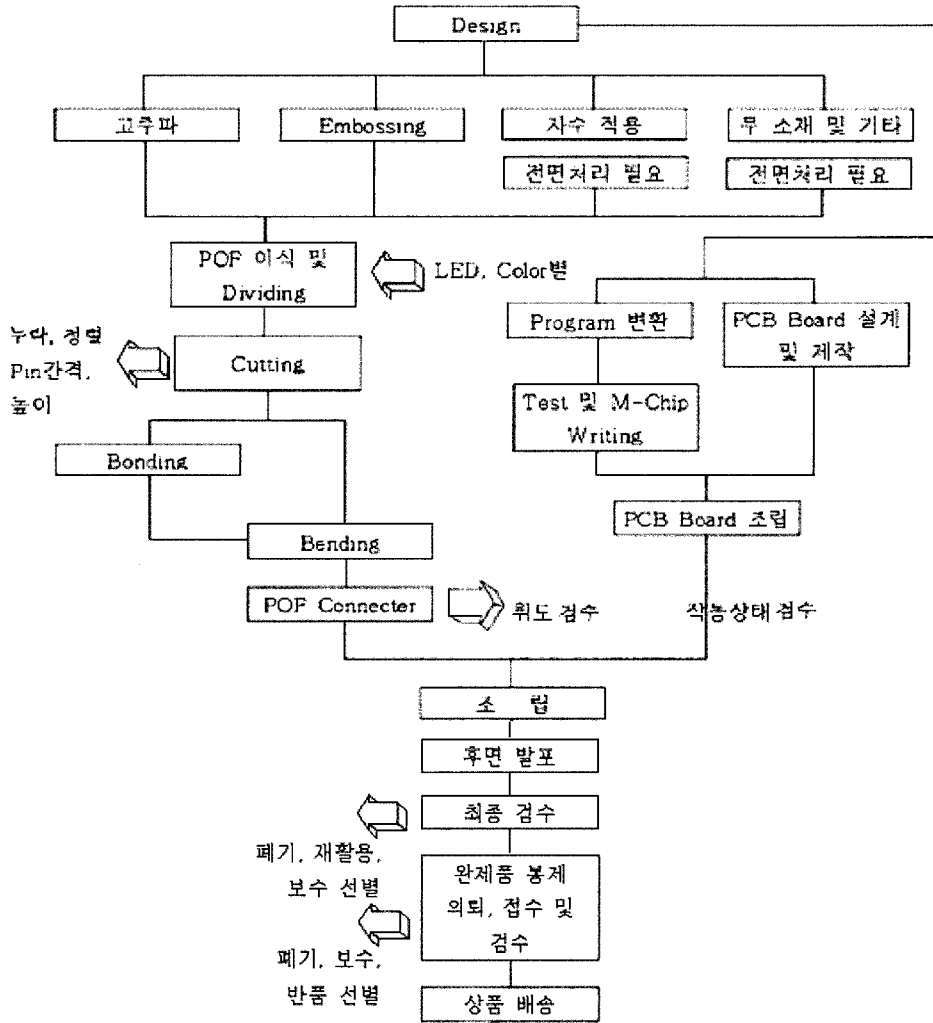


(d) 광섬유 밀착

<그림 2> 수 작업 이식공정

삽입하고 필요한 전선 등을 조립하는 Electric 작업, 조립된 광섬유 Patch를 제품에 부착시킬 때 하는 우레탄 발포 작업, 마지막으로 포장작업, 이렇게 여러 후 공정이 있지만 여기서는 전체의 생산공정에 대해 다루지 않고 본 논문의 주요 내용인 이식공정에 대해 중점적으로 설명하겠다.

수 작업으로 인한 문제점은 [단계 2]의 그림과 같이 원단을 자수 틀에 Setting하고 (사실 자수 틀에 Setting 하는 시간도 오래 걸린다.) Needle Gun을 따로 제작하



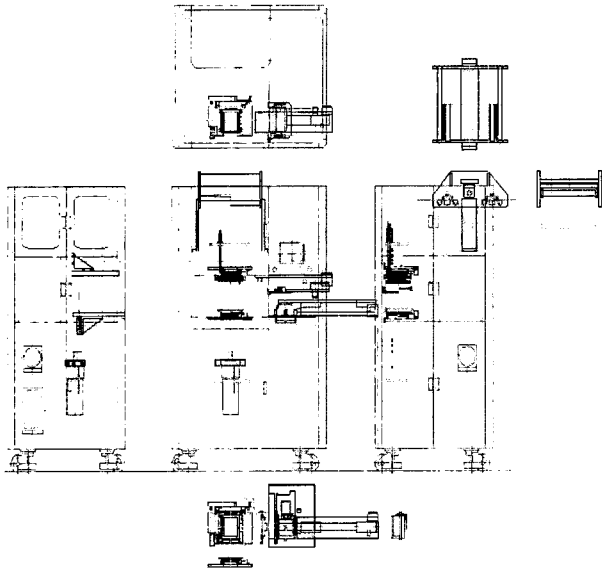
<그림3> 광섬유 응용제품 생산공정도

여 작업자가 캐릭터의 형상대로 광섬유가닥을 이식하게 되는데 이렇게 하다 보니 작업자의 숙련 도에 따라 광섬유가 직각으로 이식되고 이식되지 않는 것에 차이가 있고 Ø0.6 두께의 광섬유를 다루는 작업이다 보니 작업자의 과도한 집중력에 의한 눈에 피로가 쌓여 생산성은 가변적이 될 수밖에 없다. 열선 Cutting도 Setting 시간이 길다. 광섬유 밀착도 작업자가 수없이 불을 굴러 육감으로 원단 표면의 품질을 평가하기 때문에 신뢰도 또한 저하된다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위해 PLC제어형 광섬유 자동 이식 기계의 개발이 필요하게 되었다.

### 3. 광섬유 자동이식기계 개발

광섬유 자동이식기계의 개발에 있어서 요구 사항들을 분석해 보면 다음과 같다. 광섬유 가닥끼리의 정전기로

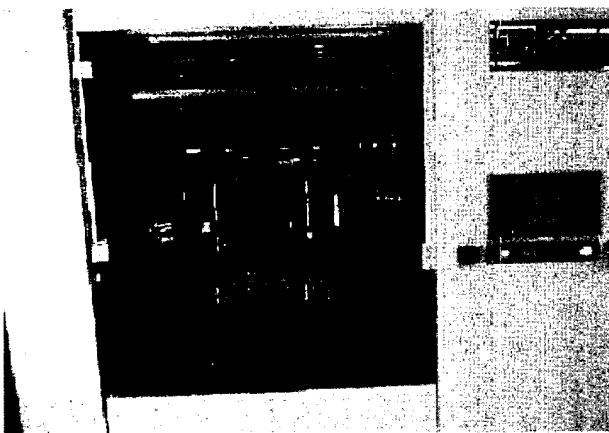
인해 서로 엉키지 않도록 적당한 양만큼(15 ~ 20cm) 잡아당겨 주는 기능이 있어야 한다. 이런 기능을 구현하기 위한 수단으로 실린더를 사용하는데 이는 광섬유를 이식하기 위해 적정량의 광섬유를 미리 준비시켜 주는 역할을 한다. 광섬유가 Needle을 통해 Patch를 통과하여 이식되면 이를 단단하게 잡아주는 Clamping 기능이 있어야 한다. 열선 Cutting 시엔 캐릭터 전면의 광섬유의 조직이 열에 의한 수축의 변화나 또 다른 변형이 없어야 한다. 열 선이 장착된 플레이트의 속도를 조절해 가면서 여러 반복된 실험을 해본 결과 열선 Cutting시에 열 선이 광섬유 조직에 영향을 미치지 않는 조건이 4mm/sec의 속도로 Cutting을 할 때가 최적이라는 결론을 도출할 수가 있었다. Patch에 이식된 후 열선 Cutting된 광섬유를 Patch에 균일하게 직각으로 고정될 수 있도록 Cutting된 광섬유를 적당량 잡아당기는 당김수단이 필요하다. 여기서 당김 수단으로 Clamp 기능이 쓰인다. 앞에서 언급한 수 작업으로 하는 여러 공정 중



<그림 4> 자동이식 기계의 전체 설계모습

가장 시간이 오래 걸리는 이식 공정과 UV 코팅 작업을 자동화한다. 다음 <그림 4>는 이러한 취지로 개발된 PLC제어형 광섬유 자동이식기계의 전체 설계도 모습이다.

<그림 4>의 설계도에 따라 개발된 PLC 제어형 광섬유 자동이식 기계의 실제 모습은 <그림 5>와 같으며 자동 이식 기계는 <그림 6>과 같은 순서로 작업을 진행한다. 광섬유 자동이식 기계의 작업과정을 간단히 설명하면 다음과 같다. 이식 작업에 들어가기 전에 제일 먼저 해야 할 작업은 자동이식 기계를 초기 Setting 해야 한다. 즉, 각 공정에서의 작업 변수 등을 Parameter 값으로 설정을 해야 하며 기계의 운전 모드를 설정하여 작업 준비를 한다. 기계의 초기 설정이 끝나면 실제로 이식 작업에 들어가게 된다. 작업자가 원단을 Jig위에 올려놓으면 하판 플레이트가 상승하면서 바늘이 고정되어 있는



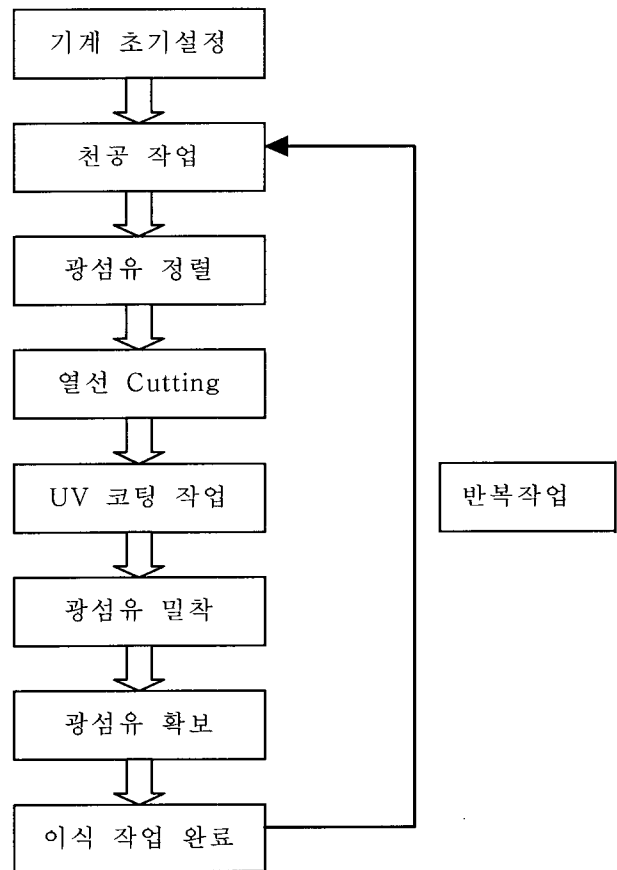
<그림 5> PLC 광섬유 자동이식기계장치의 앞모습

Jig와 맞게 된다.

그럼 바로 천공 작업에 들어가게 되는데 이 작업은 바늘이 원단을 뚫고 광섬유를 심는 작업을 말한다.

이때 하판 플레이트에 위치한 Clamping Jig는 이식된 광섬유를 단단하게 잡아서 고정시키는 역할을 하는데 플레이트의 상하 이동으로 인해 광섬유를 가다듬고 길게 혹은 짧게 늘이고 줄이는 작업을 하는 동안 광섬유를 팽팽하게 잡아당겨 준다. 천공 작업이 끝나면 상판 플레이트가 하강하면서 바늘 고정 Jig가 원단에 꽂혀진 바늘을 다시 뽑는다. 이렇게 되면 천에 광섬유가 가지런히 이식된 상태가 된다. 이때 하판 플레이트가 하강을 하면서 광섬유의 길이를 15cm 정도로 유지하게 한다. 여기서 15cm는 사용자가 매개변수로 지정한 값이다. 그 다음에는 열선 Cutting 작업이 이루어지는데 열선이 장착된 Arm이 자동이식 기계의 측면에서 나와 팽팽하게 정렬된 광섬유를 Cutting한다. 열선 Arm의 Cutting 속도 또한 매개 변수로 지정한 값이다.

Cutting 후 Clamping Jig(이식된 광섬유를 잡고 있는 Jig)가 하강을 하면서 Cutting된 광섬유가 원단 위 1cm 정도가 되도록 광섬유를 잡아당긴다. 이 작업이 끝나면 자동이식 기계의 측면에서 UV 접착제가 묻혀져 있는

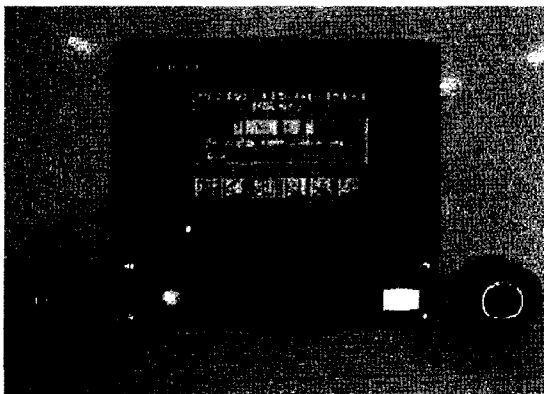


<그림 6> 자동이식 기계에서의 광섬유 이식 작업 개략도

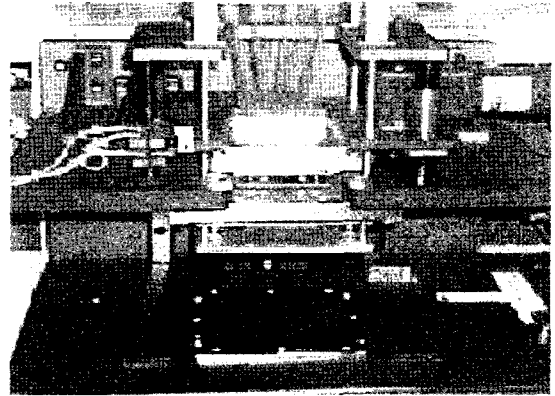
또 다른 Arm이 나와서 광섬유의 절단면에 UV 접착제를 묻힌다. 그 다음에는 Clamping Jig가 다시 하강하면서 광섬유가 원단에 밀착되도록 하고 Clamping Jig는 잡고 있던 광섬유를 놓는다. 마지막으로 광섬유 자동 이식 기계는 다음작업을 위해 적당량의 광섬유를 확보한다. 이렇게 하여 이식 작업이 끝나 완성된 광섬유 Patch가 나오게 되고 처음에 설정한 초기 값으로 천공 작업부터 다시 위의 단계를 반복한다. 이식이 완성된 광섬유 Patch는 다음 공정인 분류공정, Bending 공정, 번들 Cutting 공정, Electric 공정, 우레탄 발포 공정, 포장 공정 등 나머지 공정들을 거쳐서 비로소 완전한 제품이 된다.

개략적인 작업방식을 설명하였고 실제로 PLC 광섬유 자동이식 기계 장치가 어떻게 구동되는가를 설명하면 다음과 같다. 가공을 하기에 앞서 기계 초기설정을 해야 한다. <그림 7>은 광섬유 자동이식기계에 부착된 스크린 화면이다. 이 화면을 통해서 기계에 대한 초기화를 할 수 있다. 화면은 Touch 스크린 방식이며 자동이식 기계의 운전모드를 자동모드, 수동모드 중 택일할 수 있고 사용할 모터의 종류도 선택할 수 있다. 또한 단계별 공정 매개변수를 지정할 수 있는 Time 설정기능과 문제 발생 시 그에 적합한 여러 에러 메시지를 출력하는 기능이 있다. 화면은 간단하고 쉽게 구성되어 있어 초보자라도 쉽게 자동이식기계를 다룰 수 있다. 초기 기계설정이 끝나면 실제 가공으로 들어간다. <그림 8>은 이식기계 위(하판 플레이트)에 천을 올려놓은 상태의 이식준비 단계 모습을 보여주고 있다. <그림 9>는 천공 작업을 하는 모습인데 하판 플레이트가 상승하여 상판 플레이트와 맞닿게 되면 바늘이 꽃히면서 천공작업이 이루어진다.

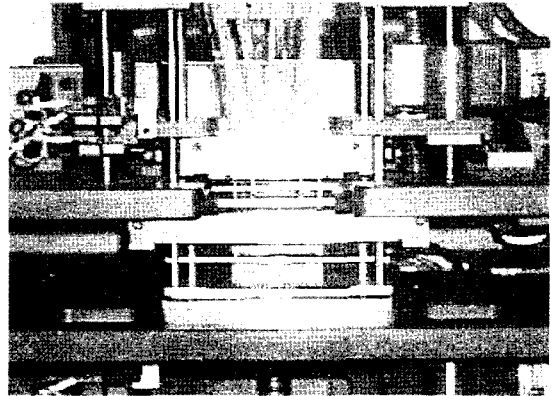
<그림 9>를 통해 광섬유가 이식이 되면 <그림 10>과 같이 광섬유를 정렬하고 <그림 11>과 같이 하판 플레이트가 움직이면서 광섬유를 길고(15cm정도) 팽팽하게 잡아당겨 열선 Cutting 작업을 준비한다. <그림 12>는



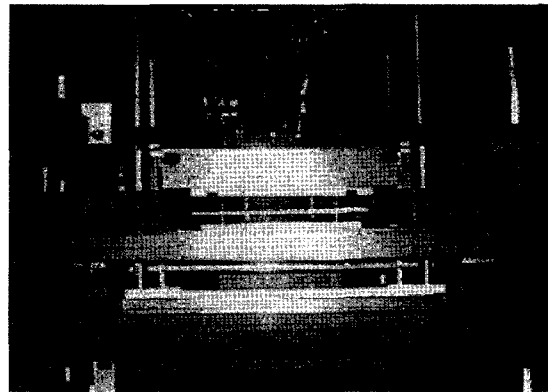
<그림 7> 자동이식기계의 스크린화면



<그림 8> 광섬유 자동이식기계의 내부모습



<그림 9> 천공 단계

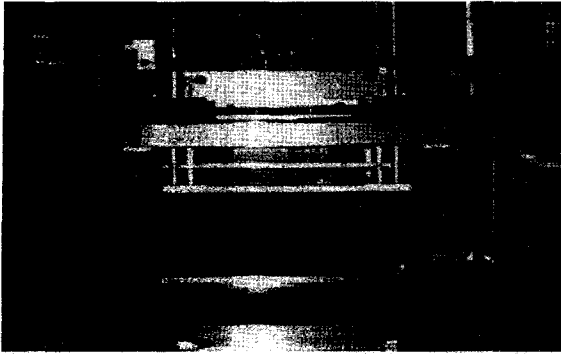


<그림 10> 광섬유 정렬

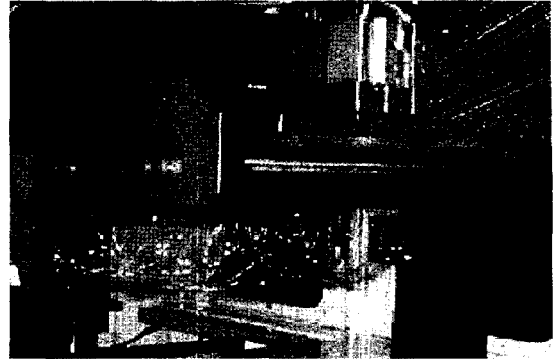
정렬된 광섬유를 열선 Cutting하는 장면이다.

열선 Cutting이 끝나면 <그림 13>과 같이 광섬유를 잡고 있는 Clamping Jig가 하강하면서 광섬유가 원단 위로 1cm정도를 유지하도록 하여 UV 코팅작업을 준비한다.

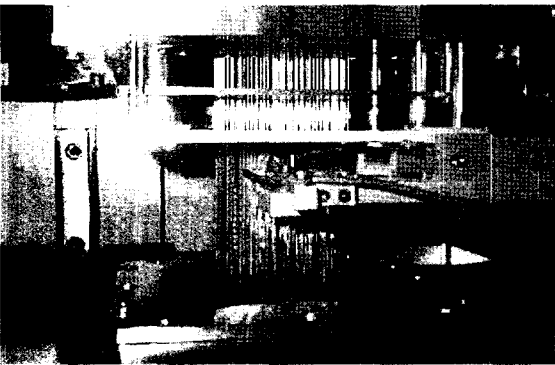
<그림 14>는 열선 Cutting 된 광섬유 절단면에 UV 코팅을 하는 모습이다. UV 코팅을 마치면 Clamping Jig가 다시 한번 하강하면서 광섬유 절단면이 원단에 밀착되도록 한다. <그림 14>까지 이식 공정이 끝나고 다음 작



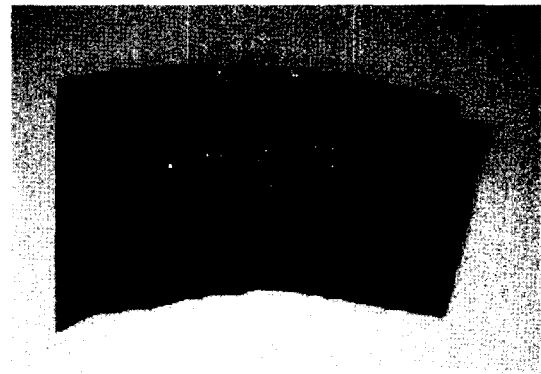
<그림 11> 열선 Cutting 준비단계



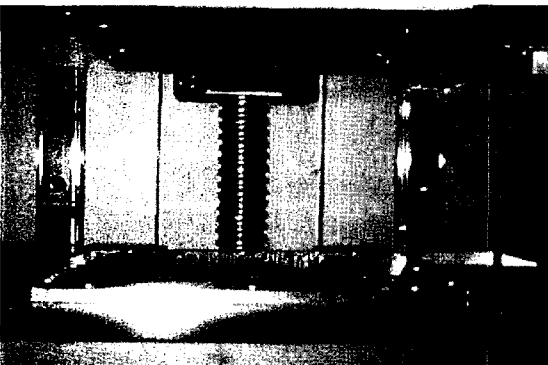
<그림 15> 광섬유 확보



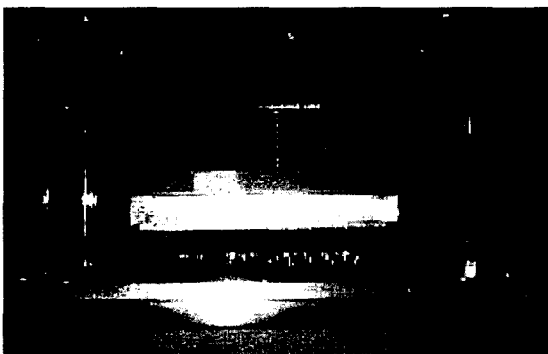
<그림 12> 열선 Cutting 작업



<그림 16> 완성된 Sample의 모습



<그림 13> UV 코팅 준비 작업



<그림 14> UV 코팅 작업

업을 위해 <그림 15>와 같이 적정량의 광섬유를 확보해둔다. <그림 16>은 본 과정을 통해 이식작업이 끝난 Sample의 모습이다. 이상으로 광섬유 자동이식기계가 작동되는 모습을 살펴보았다. 앞에서 본 바와 같이 자동이식기계에 대한 요구사항을 모두 만족하는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론 및 기대효과

자동이식기계는 전체 생산공정 중에 UV 코팅작업까지 담당하게 되는데 광섬유 이식 공정에 있어서 수작업으로 이식했을 때와 개발된 광섬유 자동이식기계로 이식했을 때의 소요 공수의 비교는 다음 표와 같다.(단,

<표 1> 공정 비교표

	수작업으로 이식했을 때	자동이식기계로 이식했을 때
순수 이식 공정	약 20분 소요	약 10초 소요
UV코팅까지의 공정	약 45분 소요	약 1분 소요

Setting시간을 제외한 순수 이식공정만을 다룬다.)

앞의 <표 1>에서 보는 바와 같이 수 작업에 의한 이식공정만 약 20분이 걸린다. 각 공정들의 Setting 시간까지 포함한다면 수 작업의 소요공수는 훨씬 더 커지게 된다. 이것만 보아도 PLC제어형 광섬유 자동이식기계의 개발은 효과적이라고 아니할 수 없다. PLC제어형 광섬유 자동이식기계의 개발로 인해 기존의 수 작업 방식에서 과도하게 소요되었던 작업 시간을 크게 단축시킬 수 있었으며 제품의 품질도 향상되었다. 또한 생산성의 향상과 원가 절감, 그리고 능률의 향상까지 기대할 수 있게 되었다.

### 참고문헌

- [1] 광섬유 자동이식 기계 장비취급 매뉴얼, K-Tek.
- [2] 김영록, PLC (Programmable Logic Controller) 입문 성안당.
- [3] 서효운 외 2인, 제품설계 및 개발, 시그마 프레스, 1999.
- [4] SolidWorks99 매뉴얼, 웹스 시스템
- [5] Y. HATAMURA, The PRACTICE OF MACHINE DESIGN. OXFORD 1999.