

# 철선다발을 이용한 표면 제시 시스템의 구현

김희국\*, 김해수\*\*, 김민건\*\*, 박연규\*\*\*, 강대임\*\*\*

\* 고려대학교 제어계측공학과(email : wheekuk@tiger.korea.ac.kr)

\*\* 강원대학교 기계공학과(email : kmg@cc.kangwon.ac.kr)

\*\*\* 한국표준과학연구원(email : ykpark@kriss.re.kr, dikang@kriss.re.kr)

## Implementation of Surface Reproducing System using a Bundle of Wires

W.K. Kim\*, H.S. Kim\*\*, M.G. Kim\*\*, Y.K. Park\*\*\*, D.I. Kang\*\*\*

\* Dept. of Control & Instrumentation Eng., Korea University

\*\* Dept. of Mechanical Eng., Kangwon University

\*\*\* Korea Research Institute of Standards and Science

### 요약

촉각과 관련된 물체의 성질은 매우 다양하지만 본 연구에서는 특히, 직접적인 물체의 표면 가공을 통하지 않고 기하학적으로 유사한 표면 거칠기 특성을 재현할 수 있는 표면 생성 시스템을 개발하였다. 개발된 표면 생성 시스템은 철선다발을 이용하여 임의의 물체 표면을 제시할 수 있는 구조를 가지고 있으며 "U"형 모양의 철선다발에 속한 각 철선의 위치를 축방향으로 이동함으로써 표면을 생성할 수 있는 구조를 가지고 있다. 따라서, 제시할 수 있는 표면의 생성 범위는 사용된 철선의 직경에 따라 결정된다. 본 논문에서는 이러한 시스템의 구조 및 설계, 그리고 개발된 시스템의 하드웨어에 관하여 기술한다.

### 서론

인간의 감성은 시각, 미각, 청각, 촉각, 후각으로 구성되는 오감과 관련이 있다. 이 중에서 특히 촉각에 관한 측정이나 이를 정량화하는 방법은 매우 어려운 문제로 알려져 있다. 촉각의 경우 시각, 청각, 역각의 정보와는 달리 물체와의 매우 세밀한 접촉반력에 관한 정보를 제공함으로써 물체의 재질이나 질감 등을 파악하는 데 매우 중요한 감각중의 하나이다.

1980년대에 의류업계를 중심으로 일본의 Kawabata & 호주의 Postle의 연구등과 같이 직물의 촉감 평가 기술에 대한 연구가 수행된 바 있으며 이러한 연구 및 데이터 베이스는 주로 제품의 기계적 성질에 근거하고 있다. 특히, 일본의 Kawabata system은 옷감에 한하여 인장성질(tensile property), 굽힘성질(bending

property), 표면성질(surface property), 전단성질(shearing property), 압축성질(compressional property), 무게와 두께(weight and thickness)등과 같은 역학적 성질을 측정하여 옷감의 성질을 분석하고 이를 질감이나 촉감과의 관계를 나타내고 있다. 그러나, 옷감을 제외한 가전제품이나 그밖의 딱딱한 일반적인 제품에 이러한 시스템을 활용할 수 없다.[1]

한편, 현재까지 개발되어 사용되고 있는 촉각 센서 및 촉각 제시 시스템들의 대부분은 사람의 손가락에서의 촉감을 재현하기 위하여 고안되었으며[2] 모두 실시간 작업(real time operation)에서 요구되는 방안들이다. 이러한 제안된 방법들을 분류, 요약하면 시각을 이용한 방법, 공압자극을 이용한 방법, 진동자극을 이용한 방법, 전기자극을 이용한 방법, 그리고 신경자극을 이용한 방법들이 있다. 그러나, 이러한 방법들이 제시할 수 있는 촉감은 매우 제한적이며 재질의 실제 표면에서 느낄 수 있는 미세한 촉감의 재현까지는 앞으로 많은 개선이 요구되고 있다.

이에 반하여, 감성공학분야에서 모의 환경제시 기술에서의 촉감의 재현은 실시간 작업조건이 반드시 요구되지 않는다. 그러므로, 본 연구에서는 먼저 실제 제시하고자 하는 표면을 생성하고 사람으로 하여금 이러한 생성된 표면을 접촉하도록 함으로써 보다 향상된 촉감을 재현하는 접근방법을 제안한다.[3] 가상 접촉감을 재현하는 기존의 방식과는 달리 실제 제품의 표면을 철선을 이용하여 생성하고 이러한 제품의 모의 표면에 추가적으로 제품의 다른 기계적 특성을 부여함으로써 사람이 일반적으로 실제 제품에서 촉감을 느낄

때와 마찬가지로 재현된 제품의 표면위를 손가락으로 적절히 움직임으로서 느낄 수 있도록 하는 방법이다. 본 논문에서는 이러한 접근방법에서 요구되는 제품의 여러 특성중 하나인 제품의 모의 표면의 생성에 관하여 기술하고자 한다.

본 논문에서의 내용은 다음과 같이 요약된다. 먼저, 본 연구에서 제안한 철선을 이용한 제품의 표면 생성 시스템의 작동원리에 관하여 기술한다. 개발된 표면 생성 시스템은 압전 시스템, 2축 테이블 구동 시스템, 영상처리 시스템, 철선 다발, 그리고 관련 하드웨어부품으로 구성되는데 이들 각 부 시스템에 관하여 기술한다. 그리고 개발된 표면 생성 시스템의 타당성 및 가능성을 조사하기 위하여 수행된 간단한 작동 실험결과 고찰 및 개선점에 관하여 기술한다.

### 표면 생성기 설계

본 논문에서는 가상 제품의 표면 생성을 위해서 그림 1과 같은 철선(wire) 다발을 이용한 방법을 제안한다. 제안된 방법은 철선의 직경을 적게 함으로서 미세한 표면 거칠기를 제시할 수 있다. 이러한 철선다발을 이용한 표면 생성 과정에 관하여 기술하면 다음과 같이 요약된다. 먼저, 가늘고 곧은 철선을 "U"형 모양의 철심 다발집에 나란히 정렬하고 철선간의 접촉력이 적절한 크기를 갖도록 나사를 조인다. 그리고 철선 다발을 한 면(밀면)을 평평하게 만든후, 철선 다발을 적당히 조임으로서 철심이 흐트러지지 않도록 한다. 이러한 접촉력은 철선다발의 각 철선이 각자 자신의 위치를 유지하되 각 철선을 압전 액츄에이터가 밀게되는 경우 힘을 받는 철선만 움직이도록 하기 위함이다. 비전을 이용한 영상처리를 수행함으로써 철선다발내의 각 철선의 중심위치를 파악한다. 2축 테이블 시스템과 압전 액츄에이터를 구동하여 각각의 철선을 주어진 위치 만큼 이동함으로써 표면을 생성한다.

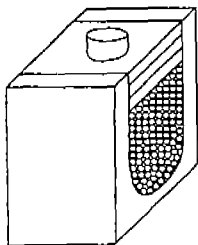


그림 1. 철선 및 철선다발집

### 표면 생성 시스템의 구성

그림 2는 구현된 표면 생성 시스템의 개략도를 나타낸다. 이 시스템은 표면 생성에 이용되는 철선과 철선 다발집, 각 철선을 이동시키기 위하여 사용되는 압전 구동 액츄에이터 시스템, 압전구동 액츄에이터를

이동하기 위한 2축 테이블 구동 시스템, 그리고 각 철선의 위치를 파악하기 위한 영상처리 시스템으로 구성되며 이들 부 시스템에 관하여 기술하면 다음과 같다.

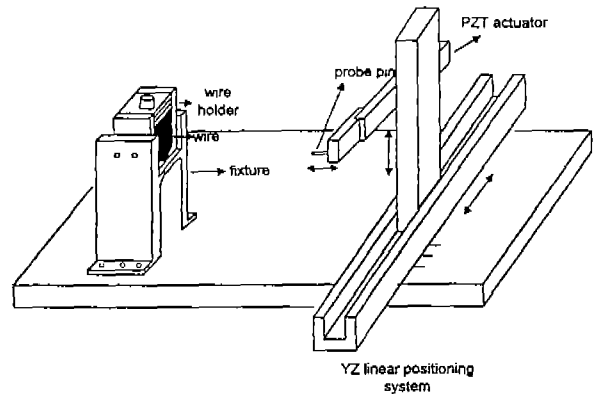


그림 2. 표면 생성 시스템의 개략도

철선 및 철선 다발집: 그림 1과 같은 철선다발을 구성함에 있어 실제로 제시될 모의 표면을 구성하는 각 철선의 끝 부분의 가공이 매우 중요하다. 그리고 각 철선은 압전 액츄에이터에 의해 철선의 축방향으로 각각 독립적으로 이동되어야 하므로 철선사이에 발생하는 마찰력의 크기가 적고 균일하도록 철선의 축면이 매끄럽게 가공되어야 하며 높은 철선의 직진도가 요구된다. 이러한 조건에 맞추기 위하여 먼저, 높은 강도와 직진도를 가지는 직경 0.25mm인 철선을 3.3 mm 정도의 길이로 절단하고 철선다발과 같은 "U"형 모양을 가지는 Jig에 정렬하고 충분히 조인후 wire cutting가공법을 이용하여 철선의 양끝면을 매우 고르게 절단하였다. 이 때 절단된 철선의 양끝면은 매우 날카로우므로 진동연마기(창진기계 CV-100TYPE)를 이용하여 이러한 철선끝부분의 예각 및 bur를 제거하였다. 진동연마기의 진폭은 3-4mm, 진동수는 20Hz(60Hz 3상모터 사용), 윤활제로는 연마용(비누형) compound 1리터와 직경 5mm인 구형 barrel 연마용 media 20kg을 사용하였다. 가공시간은 수시로 확대경을 통하여 철선의 예각 및 bur의 제거형태를 확인하였으며 대략 2시간정도가 소요되었다. 한편, 철선 다발집은 "U"형 모양을 가지도록 제작되었는데 이는 균일한 하중이 각 철선에게 전달되도록 하기 위함이었다. 이러한 모양을 가지지 않는 경우 철선 다발집이 철선을 단단히 잡지 못하게 되어 자꾸 흐트러지게 된다.

한편, 표면 생성작업을 수행하기 전에 먼저 압전 액츄에이터가 접촉하는 철선다발의 면을 고르게 하여야 하는데 이를 위해 철선 다발집으로부터 철선들에 가해진 힘을 적절한 양만큼 제거한 후 매끄러운 표면에 대고 흔들림으로서 철심다발의 밀면을 고르게 하였다.

압전 구동 액츄에이터 시스템 : 철선다발에 속한 각

철선을 축방향으로 움직이는 구동 액츄에이터로서는 그림 3과 같은 압전(piezoelectric) 액츄에이터를 사용하였다. 사용된 압전 구동 액츄에이터 시스템의 경우 feedback 신호없이 구동되었을 때 10% - 20%정도의 overshoot이 발생되었으므로 이를 최소화하기 위해 압전구동시스템에 LVDT 위치 센서를 장착하였다. 사용된 압전 액츄에이터는 1.0 mm의 최대행정변위를 가지며 작동속도로서는 LVDT센서를 활용하여 페루프를 구성하는 경우는 약 30 Hz이고 LVDT 센서를 사용하지 않는 경우는 100 Hz정도의 속도를 갖는다. 추가적으로, 압전 액츄에이터의 끝단에 철선과 접촉하여 철선을 움직일 수 있는 핀과 핀 고정대가 제작/부착되었다. 핀으로서는 강철 바늘을 사용하였다.

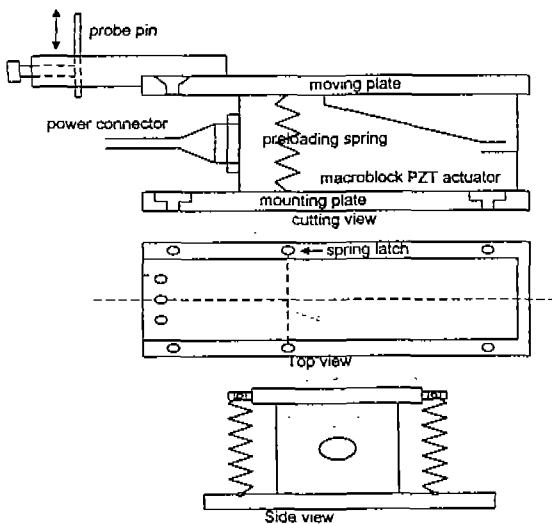


그림 3. 압전 액츄에이터 시스템

2축 테이블 구동 시스템 : y축과 z축 방향으로 각각 1 자유도를 가지는 2 자유도 테이블 시스템으로서 각 방향으로는 스텝모터로 구동되는 선형 액츄에이터를 사용한다. 각 방향으로의 행정거리는 100mm를 가지며 정밀도는 5 $\mu$ m 정도이다. 이러한 2축 테이블 시스템은 압전 액츄에이터를 움직이고자 하는 철선의 중앙의 위치로 옮기기 위해 사용된다.

영상처리 시스템 : computer vision을 통하여 철선의 blob을 찾기 위하여 blob analysis의 방법을 이용한다. 전체적인 과정은 크게 grabbing, calibration, calculation 세 부분으로 나눌 수 있다. Grabbing 단계에서는 CCD 카메라를 이용하여 철선의 영상을 획득한다. Calibration 단계에서는 CCD 카메라로부터 획득한 영상에서의 pixel 간의 거리를 실제 거리( $\mu$ m)로 변환하는 작업을 담당한다. Calibration을 위해 철선의 가장자리에는 3mm 간격으로 격자모양의 기준선이 그려졌다. 마지막으로 calculation 단계에서는 획득한 영상에서 blob을 찾아 해당 blob의 중심좌표를 실제 거

리로 변환하는 작업이다. 이러한 영상처리는 off-line으로 수행된다. 이상의 세 단계에 해당하는 각각의 모듈은 MATROX 사의 이미지 라이브러리인 MIL 5.1의 Active MIL-Lite와 Microsoft MFC(Microsoft Foundation Class)를 이용하였으며, Visual C++ 5.0을 사용하여 Windows 95 환경에서 제작되었다. 사용된 영상 시스템 사양은 다음 표 1과 같으며, 전체 시스템의 구성은 그림 4와 같다. 그리고 그림 5는 영상 처리에 대한 전체 흐름도이다.

표 1. 영상 시스템 사양

Image Grabber	MATROX Meteor II
Camera	PULNIX TM-440
Lens	SF0020 접사링 set
	SF0040 2배 확대용 접사링 set
	SR12575 12.5-75 mm zoom lens
Light Source	Source KLS-100H
	Guide KLG-PY

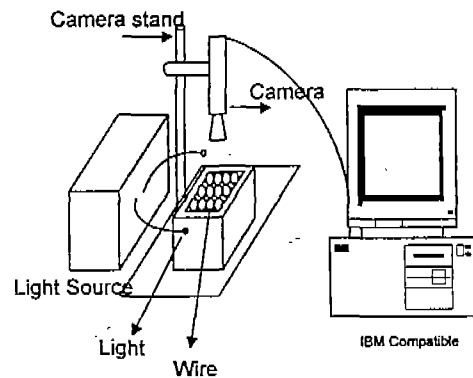


그림 4. 영상 시스템 구성

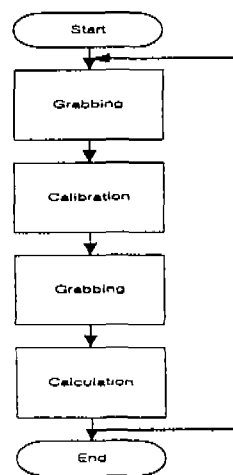


그림 5. 영상 처리 흐름도

Grabbing : Grabbing은 영상을 획득하기 위한 모듈이며, 초당 28 프레임의 속도로 영상을 획득할 수 있기

때문에, 영상의 떨림이 없이 정확한 영상을 획득할 수 있다. 이 모듈에서는 카메라가 움직이는 경우나, 초점(focus)이 정확하지 않은 동안에는 연속적으로 영상을 디스플레이하며, 카메라가 원하는 위치에 고정되거나, 초점이 정확한 경우에 영상을 획득하게 된다. 그림 6은 이로부터 획득된 영상의 예이다.

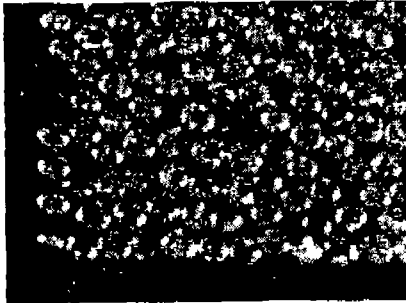


그림 6. 획득한 영상의 예

**Calibration :** Calibration 모듈은 영상에서의 거리 단위를 실제 거리 단위( $\mu\text{m}$ )로 변환하기 위한 모듈이며, calibration을 위해 철선다발의 가장 자리에 3mm 간격으로 눈금이 매겨져 있기 때문에, 이 눈금을 읽어 다음과 같이 변환한다:

$$x \mu\text{m}/\text{pixel} = \frac{3000 \mu\text{m}}{\text{영상에서 } 3\text{mm에 해당하는 pixel 거리}}$$

이와 같이 계산된 영상 좌표 거리와 실제 거리 비율(比率)을 참조하여 Calculation 모듈에서의 계산 값을 변환한다.

**Calculation :** calculation 모듈은 blob analysis를 기본으로 하고 있으며, 기존의 blob analysis가 영상에서의 문턱 값(threshold)을 임의로 결정하여 사용하고 있는 반면, 본 연구의 calculation 모듈에 사용된 blob analysis는 영상의 히스토그램을 계산하여 히스토그램 값의 평균을 기준으로 문턱 값을 변화시키며 계산하고 있다. 다음 그림 7은 그림 6의 영상에 대한 히스토그램 계산 결과를 그래프로 표현한 것이다.

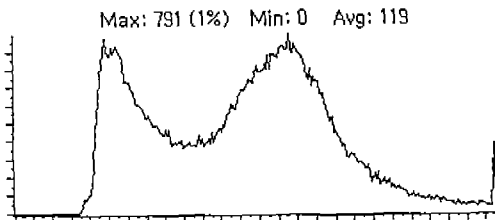


그림 7. 히스토그램 계산 결과

그림 7의 히스토그램 계산 결과는 0~255까지 256 계조의 색이 카운트된 결과와 영상에서의 히스토그램 값의 평균을 나타내고 있다. 계산된 평균값을 문턱 값으로 사용하여 영상을 이치화(二値化)하여 blob의 중심 좌표를 찾는다. 또한 평균을 기준으로 문턱 값을 일정 간격으로 증가, 감소시키며 찾지 못했던 blob의 중심 좌표를 찾는다.

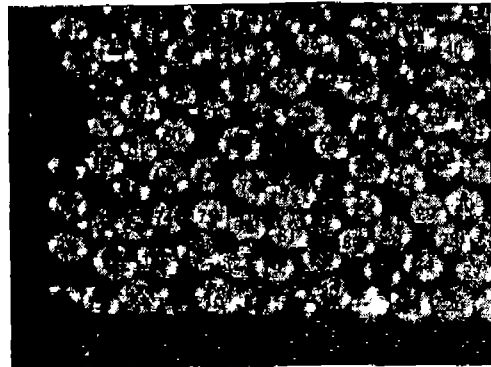


그림 8. blob 계산 결과

그림 8의 계산 결과를 보면 영상 내에 존재하는 blob 중에 찾지 못한 것이 있는데, 이것은 영상의 히스토그램의 평균값이 너무 크게 차이 나는 부분이다. 영상 중앙의 blob은 실제로는 다른 blob보다 안으로 들어가 있어 조명을 덜 받은 경우이고, 영상 하단의 blob은 다른 blob보다 더 튀어 나와 있어 조명을 많이 받은 경우이다. 이러한 경우의 대부분은 주로 균일하지 않은 철선으로 인하여 발생하는 것으로 확인할 수 있었으며 실제 표면 생성에 적용될 경우 이러한 철선을 제거함으로써 이러한 부분은 없앨 수 있다. 한번에 전체적인 철선다발의 영상은 카메라의 분해능의 한계로 인하여 얻어질 수 없었으며 이 때문에 일정 간격으로 카메라를 이동시킴으로써 각 부분에 대한 영상을 획득하였다. 획득한 영상에서 중복되는 부분을 찾아 매칭(matching)시켜 전체 영상으로 조합하였다. 그림 8은 그림 6의 영상에서 blob을 찾은 결과이다. 그림 9는 획득한 각각의 영상을 전체 이미지로 조합한 결과이다.

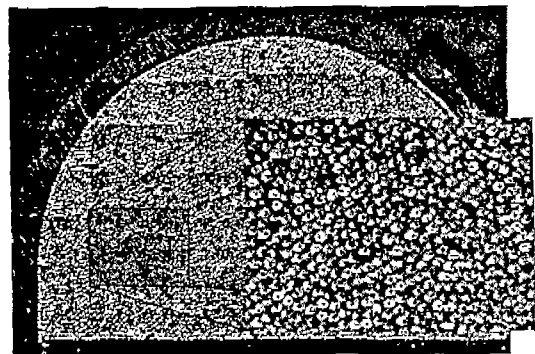


그림 9. 철심 이미지 조합 결과

### 하드웨어 인터페이스

표면 생성 시스템과 컴퓨터와의 인터페이스 다이어그램은 그림 10과 같이 요약된다. 표면 생성 시스템은 철선 다발, 압전 구동 액츄에이터 시스템, 압전 구동 액츄에이터를 이동하기 위한 2축 테이블 구동 시스템, 그리고 각 철선의 위치를 파악하기 위한 영상처리 시스템으로 구성되며 철선다발을 제외한 모든 시스템

은 PC586을 통하여 제어된다. 그림 10에서와 같이 2축 테이블 구동 시스템의 경우, PC586에 설치된 DRV6000 control card를 통하여 각 스텝 모터의 구동 출력 신호와 엔코더의 출력신호가 상호교환되는 구조를 가지고 있다. 또한, 철선다발에 속한 철선의 위치 파악을 위한 영상처리 시스템은 독자적으로 PC와 인터페이스 되어 있다. PZT 액추에이터 시스템 인터페이스를 나타내는 블록의 경우 PC에 PZT 액추에이터의 구동 소프트웨어가 위치하며 직렬포트를 통하여 구동 신호가 PZT 제어기로 전달된다. 또한, PZT 제어기는 LVDT 센서와 펄스프로 구성되어 서보제어를 수행하도록 제작되어 있으며 출력신호는 PZT High Voltage(HV) 증폭기를 통하여 PZT actuator를 구동하도록 되어 있다.

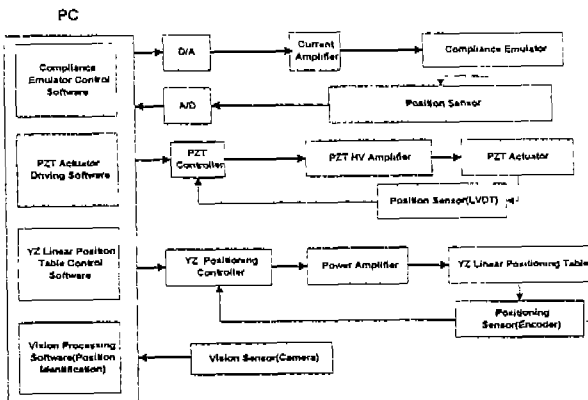


그림 10. 전체 시스템 하드웨어 인터페이스

### 표면 생성 시스템의 소프트웨어 작성

표면을 생성하는 단계는 그림 11과 같은 세 단계로 나누어 진다. 첫 번째 단계인 desired surface data generation 과정에서의 원하는 생성 표면에 관한 정보는 인간의 감성에 관한 데이터베이스로부터 추정된 제품의 가상 표면 정보를 얻어내는 과정을 내포하고 있으며 이러한 데이터는 이미 주어진다고 가정한다.

두 번째 단계인 경로생성기(trajjectory generator)는 표면 생성기의 응답속도와 표면 거칠기의 변화를 고려한 경로계획을 수행하는 과정을 내포하고 있다. 현재 활용하고 있는 각 철선의 직경은 0.25 mm이며 구성된 철선 다발에 있어서 각 철선의 배열이 균일하지 않기 때문에 각 철선의 중심위치가 측정되어야 한다. 그러므로, 시각센서를 이용하여 영상처리를 수행함으로써 철선 다발에서의 각각의 철선의 위치를 파악하고 생성하고자 하는 표면의 높이 변화에 맞추어 압전 액추에이터와 x-y 구동 테이블에 대한 경로계획을 수행하였다. 특히, 제시하고자 하는 표면을 구성하는 철선의 수는 15000 - 20000개정도이며 이러한 모든 점들에 대한 최적경로를 찾기 위해서는 많은 전산시간이 소요

된다. 그러므로, 본 연구에서는 먼저 일정한 크기의 세로방향의 일정한 폭을 가지는 band로 구분하고 y-z table 시스템을 가로방향으로 움직이면서 각 band 지역내에 있는 모든 철선들을 거쳐가도록 하였다. 그리고 마지막 단계로서 표면 생성 시스템에서는 철선 다발의 각 철선을 계획된대로 밀어줌으로서 원하는 표면을 생성하는 과정으로 구성된다.

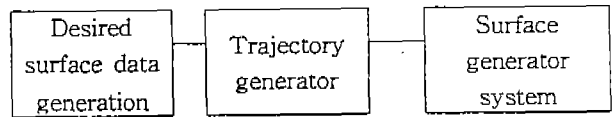


그림 11. 경로 계획 과정

### 표면 생성 시스템 하드웨어

그림 12는 제작된 표면 생성 시스템을 나타낸다. 제작된 표면 생성기는 크게 압전시스템, 철선다발, 2축 테이블 구동 시스템, 그리고 관련 부품으로 구성된다. 압전 시스템은 독일의 Physik Instrument (PI) GmbH & Co. (Germany)사에 제품으로 행정길이 2mm를 가지는 macro block translator, 서보 제어기, 전류증폭기, display/interface 모듈, LVDT 센서 및 센서 probe로 구성된다. 표면 생성에 사용될 철선다발의 경우 6셀이 제작되었으며 이를 고정하기 위해 그림 2와 같은 철선다발 고정대가 제작되었다. 2축 테이블 구동 시스템은 compumotor사 제품으로 두 개의 마이크로 스텝모터와 각 모터의 회전변위를 측정할 수 있는 두 개의 회전형 엔코더, linear sliding axis의 절대 위치를 측정할 수 있는 두 개의 선형 엔코더, 이들의 인덱서와 제어기, 컴퓨터와의 인터페이스 card가 있으며 Daedal사 제품으로 2축 linear positioning table로 구성된다. 한편, 2축 테이블 구동 시스템을 고정할 수 있는 고정판이 제작되었다.

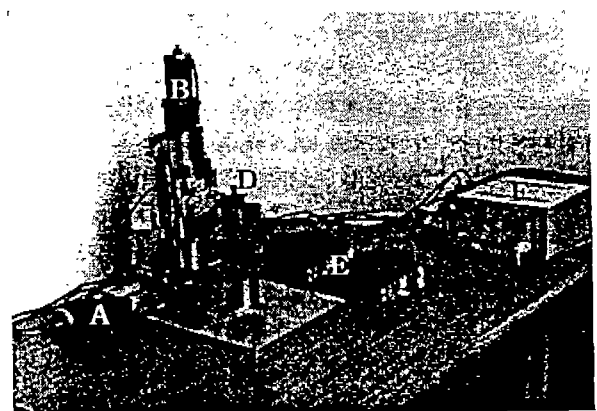


그림 12. 표면 생성 시스템

A : Y stage, B : Z stage, C : PZT actuator, D Wire and Wire holder, E : YZ stage controller, F PZT actuator controller

## 실험 및 고찰

본 연구에서 제작된 표면 생성 시스템을 이용한 간단한 작동실험이 수행되었으며 실험으로부터 관찰된 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저 철회 다발을 매끄러운 표면에 대고 적당히 흔들어서 철회다발의 끝 표면을 정렬하였는데 이러한 방법이 매우 효과적임을 확인하였다. 비전을 이용한 영상처리를 수행함으로써 확인된 각 철회의 중심위치는 표면 생성 시스템에서 요구되는 정확성을 가지고 있는 것으로 확인 할 수 있었다. 즉, 2축 테이블 구동 시스템을 구동하고 PZT actuator를 이용하여 정해진 구역내에 있는 모든 철회를 균일한 양만큼 이동시키는 구동 실험을 통하여 모든 철회가 이동되는 것을 확인하였다. 원래, PZT actuator 시스템은 LVDT 위치센서를 활용한 서보루프로서 설계되었다. 특히, 철회를 파지하지 않은 상태에서 그리고 철회의 한쪽에서 PZT probe pin으로서 미는 방식을 취하기 때문에 응답신호에서 overshoot이 발생되어서는 안되는 구조를 가지고 있다. 그러므로, LVDT 위치센서의 feedback 신호는 critically damp되도록 setting되어야 한다. 그러나, 현재 센서의 고장으로 인하여 이러한 feedback 신호를 전혀 활용하지 못하였으며 이로 인해 다소 생성된 표면이 균일하지 않았다.

특히, open loop로 PZT actuator를 구동하는 경우 10%-20%정도의 overshoot이 발생되므로 이를 감소시키기 위하여 PZT actuator를 구동할 때 주어진 변위를 sine함수의 반주기형태를 따라 세 단계 내지 네단계로 나누어 구동하였다. 이 때문에 전체 표면 생성 시스템의 작동 속도가 지연되었으며 전체 표면 제시 시스템의 하나의 철회를 이동시키는 데 요구되는 작동속도는 7Hz정도로 나타났다. 설치된 위치센서를 이용한 서보루프를 활용하는 경우 이러한 작동속도는 다소 향상될 수 있을 것이다. 또한, 제시 표면의 경우도 매우 향상될 것이다.

철회의 중심위치를 확인하기 위해서 수동적으로 철회다발을 이동하는 과정을 포함함으로써 각 영상 frame을 조합하는 과정에서 많은 전산하중과 오차를 유발하여 다소 각 철회의 위치에 offset 오차가 발생되었으나, 이러한 과정은 영상처리 소프트웨어와 표면 생성 시스템의 작동 소프트웨어를 통합함으로써 자동화 할 수 있으며 이로서 각 영상 frame간의 조합으로 인하여 발생하는 오차는 감소될 수 있을 것이다.

## 결론 및 향후과제

본 연구에서는 촉각 및 질감 재현 기술과 관련된 표면 생성 시스템을 제안하고 이 시스템을 실제로 구현하였다. 그리고 간략한 표면 제시 실험을 통하여 이 시스템의 타당성과 가능성을 확인할 수 있었다. 그러나, 이러한 시스템이 실제로 촉각 및 질감 제시 시뮬

레이터로 활용되기 위해서는 현재 시스템의 성능 보완, 수정 및 관련 제어기술에 관한 심도 있는 연구가 수행되어야 한다. 구체적으로는, 철회의 직경, 길이 및 강도에 대한 조사, 표면 생성 소요 시간의 단축, 영상 처리 과정의 자동화, 철회 끝면의 보다 효율적인 가공 방법 조사, 표면 생성 시스템의 성능 보완 및 검사 및 제반 관련 작동 소프트웨어 개발, 그리고 제시 표면 측정 및 분석등이 있다.

향후과제로는 촉각측정 시스템과 촉각/질감 감성요소와 역학적 측정값과의 상관관계에 관한 연구결과로부터 요구되는 입자의 가상 물체의 가상표면 생성과 콤플라이언스 특성의 재현, 개발된 표면 생성 시스템과 콤플라이언스 에뮬레이터를 활용하여 실제 촉각/질감 유사한 촉각/질감을 제시할 수 있는 다양한 제시 기술에 관한 연구, 표면과 콤플라이언스특성 이외에도 촉각 및 질감에 관련된 많은 특성이 있는데, 온열감에 관한 기초적인 조사와 개념적인 시스템의 구조에 관한 연구, 촉각측정 시스템과 연계한 다양한 분야로의 활용방법 및 범위에 관한 조사, 표면 생성시스템과 콤플라이언스 에뮬레이터를 이용한 촉각/질감 재현 성능 시험 및 활용, 촉각측정 시스템과 연계한 활용방법 및 범위에 관한 조사 등이 있다.

## 참고문헌

- [1] Sueo Kawabata, "The Standardization and Analysis of Hand Evaluation," 2nd ed. The Hand Evaluation and Standardization Committee, Japan.(생산 기술연구원 섬유기술실용화 센터 역).
- [2] R. Andrew Russel, *Robot Tactile Sensing*, published by Prentice Hall, 1990.
- [3] 김희국외 2인, "촉각 측정 및 질감 제시 시뮬레이터의 개발에 관한 연구," 한국표준과학원 '96 특정연구 개발사업 위탁연구보고서, 1996.
- [4] LaMotte, R. H., Whitehouse, J., Tactile detection of a dot on a smooth surface: peripheral neural events. *J. Neurophysiol.* 56: 1109-1128, 1986.