

# 철선을 이용한 표면 제시 시스템의 자동화 및 성능실험

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

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

\*\* 인천기능대학 전산응용기계과, \*\*\*강원대학교 기계공학과, \*\*\*\*한국표준과학연구원

## Automation and Performance Test of A Surface Generating System employing Wires

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

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

\*\* Dept. of Computer Added Mechanical Eng., Incheon Polytech College,

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

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

본 연구에서는 촉각과 관련된 물체의 다양한 성질 중 직접적인 물체의 표면 가공을 통하지 않고 기하학적으로 유사한 표면 거칠기 특성을 재현할 수 있는 철선을 이용한 표면 생성 시스템을 구현하였다. 시스템을 구성하는 구성요소는 크게 철선 및 철선다발, PZT 액츄에이터, 2축 테이블 구동 시스템, 그리고 영상처리시스템으로 이루어지는데 표면 생성에 관계된 이들 부 시스템들의 작동 소프트웨어를 하나의 통합된 언어로 작성함으로써 철선 제작 및 철선 정렬 등의 과정을 제외한 모든 표면 생성 과정을 자동화하였다. 끝으로, 제작된 표면 생성 시스템을 이용하여 임의의 표면을 생성하고 생성된 표면을 측정함으로써 표면 생성시스템의 우수한 성능을 확인하였다.

### 1. 서론

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

1980년대에 의류업계를 중심으로 일본의 Kawabata와 호주의 Postle의 연구 등과 같이 직물의 촉감 평가기술에 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 그 밖의 딱딱한 일반적인 제품에 이러한 시스템을 활용할 수 없다.[1]

한편, 현재까지 개발되어 사용되고 있는 촉각 센서 및 촉각 제시 시스템들의 대부분은 사람의 손가락에서의 촉

감을 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.[3-7] 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, 감성공학분야의 모의 환경 제시 기술에서는 촉감의 재현의 실시간 작업조건이 반드시 요구되지 않는다. 그러므로, 본 연구에서는 먼저 실제 제시하고자 하는 표면을 생성하고 사람으로 하여금 이러한 생성된 표면을 접촉하도록 함으로서 보다 향상된 촉감을 재현하는 접근방법을 제안한다.[8] 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 제품의 여러 특성중 하나인 제품의 모의 표면의 생성에 관한 시스템의 구현과 성능시험결과에 관하여 기술한다.

본 논문에서의 내용은 다음과 같이 요약된다. 먼저, 본 연구에서 개발된 표면 생성 시스템은 철선 및 철선다발, 압전 시스템, 2축 테이블 구동 시스템, 영상처리 시스템, 철선 다발, 그리고 관련 하드웨어부품으로 구성되는데 이들 각 부 시스템에 관하여 기술한다. 표면 생성 시스템의 자동화 및 통합된 구동 소프트웨어에 관하여 기술한다. 끝으로, 개발된 표면 생성 시스템의 성능실험을 위하여 임의의 모의표면을 생성하고 이에 관한 측정결과에 관하여 기술한다.

## 2. 표면 생성 시스템

Figure 1은 구현된 표면 생성 시스템의 개략도를 나타낸다. 이 시스템은 표면 생성에 이용되는 철선과 철선 다발집, 각 철선을 이동시키기 위하여 사용되는 압전 구동 액추에이터 시스템, 압전구동 액추에이터를 이동하기 위한 2축 테이블 구동 시스템, 그리고 각 철선의 위치를 파악하기 위한 영상처리 시스템으로 구성되며 이들 부 시스템에 관하여 기술하면 다음과 같다.

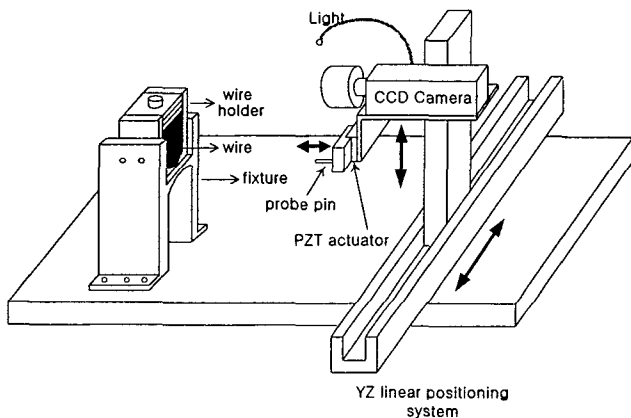


Fig. 1. 표면 생성 시스템의 개략도

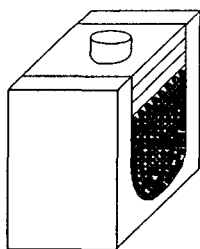


Fig. 2. 철선 및 철선다발집

철선 및 철선 다발집: Fig. 2와 같은 철선다발을 구성함에 있어 실제로 제시될 모의 표면을 구성하는 각 철선의 끝부분의 가공이 매우 중요하다. 그리고 각 철선은 압전 액추에이터에 의해 철선의 축방향으로 각각 독립적으로 이동되어야 하므로 철선사이에 발생하는 마찰력의 크기가 적고 균일하도록 철선의 측면이 매끄럽게 가공되어야 하

며 높은 철선의 직진도가 요구된다. 또한, 생성 표면을 이루는 철선의 끝면은 아주 매끄럽게 가공되어야 한다. 이러한 조건에 맞추기 위하여 먼저, 높은 강도와 직진도를 가지는 직경 0.25mm인 철선을 Fig. 2에 보인 철선다발집과 같은 "U"형 모양을 가지는 Jig을 이용하여 wire cutting 가공으로 철선의 길이를 3.3 mm로 균일하게 절단함을 물론, 양끝면을 매우 고르게 절단하였다. 그리고 철선 끝 모서리 부분의 예각 및 bur를 제거하기 위하여 진동연마기(창진기계 CV-100 TYPE)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 36시간정도가 소요되었다(철선끝면의 가공상태는 Fig. 8을 참조). 철선 다발집은 Fig. 2와 같이 "U"형 모양을 가지도록 제작되었는데 이는 균일한 하중이 각 철선에게 고르게 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 액추에이터가 접촉하는 철선다발의 면을 고르게 하여야 하는데 이를 위해 철선 다발집으로부터 철선들에 가해진 힘을 적절한 양만큼 제거한 후 매끄러운 표면에 대고 흔들어서 철선다발의 밑면을 고르게 하였다.

압전 구동 액추에이터 시스템 : 철선다발에 속한 각 철선을 축방향으로 움직이는 구동 액추에이터로서는 Fig. 3과 같은 압전(piezoelectric) 액추에이터를 사용하였다. 압전 시스템은 독일의 Physik Instrument (PI) GmbH & Co. (Germany)사의 제품으로 행정길이 1mm를 가지는 macro block translator, 서보 제어기, 전류증폭기, display/interface 모듈, 최대 행정변위 1.0mm를 가지는 LVDT 센서로 구성된다. 실제 PZT 액추에이터는 LVDT 위치 센서를 feedback신호로 사용하는 서보 위치 제어 방식으로 구동되었으며 overshoot(2-3%내외)이 발생되지 않도록 게인이 설정되었다. PC로부터의 PZT 구동신호는 직렬포트를 통하여 PZT제어기로 전달되며 PZT High Voltage(HV) 증폭기를 통하여 PZT actuator를 구동하도록 되어 있다. 그리고 이때의 작동속도는 대략 30 Hz정도로 나타났다. 한편, 압전 액추에이터의 끝단에 철선과 접촉하여 철선을 움직일 수 있는 핀과 핀 고정대가 제작/부착되었으며 핀으로서는 강철 바늘이 사용되었다.

2축 테이블 구동 시스템 : YZ linear positioning system은 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 card, 그리고 Daedal사 제품인 2축 linear positioning table로 구성된다. 각 방향으로의 행정거리는 100 mm이며 정밀도는 1.6  $\mu$ m 정도이다. 이러한 2축 테이블 시스템은 움직이고자 하는 철선 중앙의 위치로 압전 액추에이터를 옮기기 위해 사용된다.

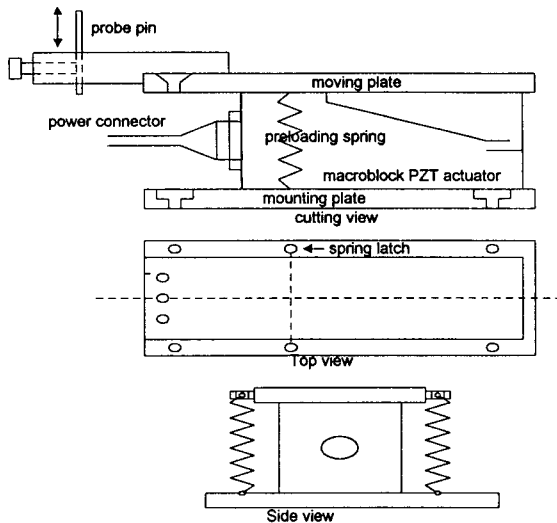


Fig. 3. 압전 액츄에이터 시스템

영상처리 시스템 : 철심의 중앙위치를 찾기 위하여 CCD 카메라로 영상을 획득한 후 blob analysis을 이용한 영상처리를 수행한다. 실제 시스템에 있어 CCD 카메라와 조명장치는 CCD 카메라에 잡히는 모든 영상에 대한 조명을 균일한 상태로 유지하여 철심에 대한 정확한 영상을 얻을 뿐 만 아니라, YZ linear positioning system의 위치정보를 활용하므로써 영상의 정확한 기준좌표를 얻기 위하여 Fig. 4와 같이 YZ linear positioning system에 부착하였다.

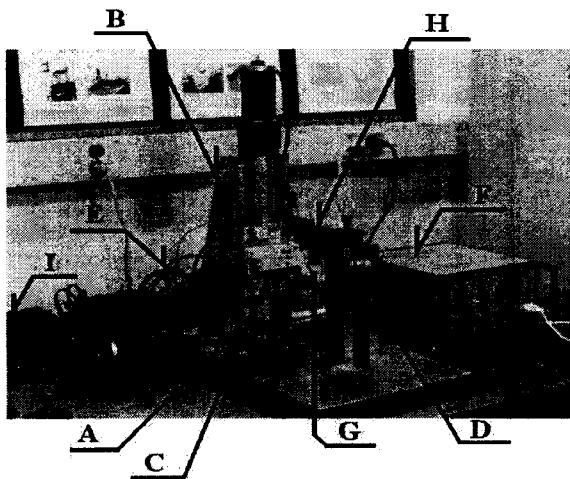


Fig. 4. 표면 생성 시스템

A : Y stage, B : Z stage, C : PZT actuator, D : Wire and Wire holder, E : YZ stage controller, F : PZT actuator controller, G: Probe pin, H : CCD Camera, I : Motor Amp.

### 3. 표면 생성 시스템의 통합 소프트웨어

Figure 4는 제작된 표면 생성 시스템을 나타낸다. 그리고 표면 생성 시스템과 컴퓨터와의 인터페이스 다이어그램은 Fig. 5와 같이 요약된다.

철선다발을 제외한 모든 시스템은 PC586을 통하여 제어된다.

표면 생성시스템을 구성하는 제반 부시스템들의 작동 프로그램은 하나의 언어(Microsoft Visual C++)로 통일함과 동시에 Windows 단일 환경에서 구동할 수 있도록 통합하여 작성하였으며 표면 생성과 관련된 2축 테이블 시스템의 구동, PZT 액츄에이터 시스템의 구동, 그리고 영상처리과정 등 모든 과정을 자동화하였다. 특히, YZ linear positioning system의 경우 제작사인 Compumotor사에서 제공하는 윈도우 구동 라이브러리 파일(WN956000.LIB)과 헤더 파일(WN956000.H)을 이용하였으며, 영상처리는 MATROX사의 이미지 라이브러리인 MIL 5.1과 Microsoft MFC(Microsoft Foundation Class)를 이용하였다. 그리고, PZT Actuator의 경우 HP사에서 제공하는 윈도우 I/O 라이브러리(Release G.02.02.01)인 SICL을 이용 RS-232C를 통해 9600bps의 속도로 제어하였다.

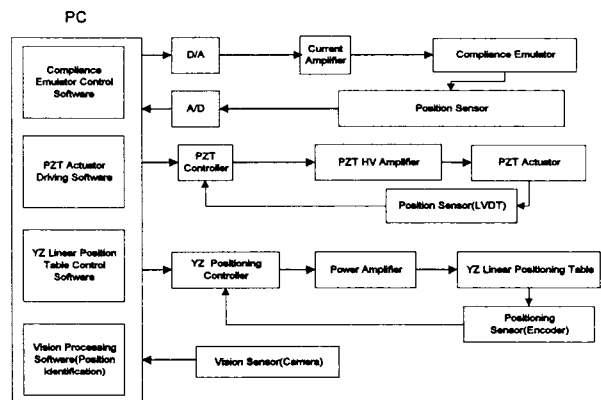


Fig. 5. 전체 시스템 하드웨어 인터페이스

통합 표면 생성 프로그램은 크게 다섯 부분, 즉, initialization, calibration, image processing, data verification, 그리고 surface generation으로 나눌 수 있으며, 이에 관하여 기술한다.

**Initialization :** Initialization은 CCD 카메라, YZ linear positioning system, PZT Actuator 등을 윈도우 환경 상에서 사용할 수 있도록 초기화하고 영상처리와 표면생성을 하기 위하여 준비하는 부분이다. 이 과정에서 영상 Grabbing이 시작되면 CCD 카메라에서 들어오는 영상이 바로 화면에 나타나며, 이때 철심의 영상이 뚜렷하게 보이도록 카메라의 초점(focus)을 맞추고 동시에 조명과 렌즈의 조리개를 이용 영상처리에 적합한 명도를 낼 수 있게 조정한다. 이상과 같이 영상에 관련된 초기화가 끝나면 바로 PZT Actuator는 closed serve loop 모드로 구동되도록 세팅되며 YZ linear positioning system은 상대좌표모드로 구동할 수 있도록 설정된다.

**Calibration:** calibration과정에서는 YZ linear positioning system에 장착된 CCD 카메라와 PZT Actuator의 pin간의 offset거리의 측정이 요구된다. 이를 위해 YZ linear positioning system을 구동하여 CCD 카메라를 주어진 거리만큼을 이동하고 영상에서의 이동 거리를 실제 거리 단위로( $\mu m$ )로 환산함으로써 영상처리의 기준점(reference

point)을 지정한다. 구체적으로, 본 연구에서 활용된 CCD 카메라와 PZT Actuator의 pin 간의 offset거리를 측정하는 방법은 다음과 같다:

- 먼저 YZ linear position system을 이미 설정된 marking이 가능한 위치로 이동한 후 PZT actuator를 구동하여 marking자국을 남긴다.
- 다시 YZ linear positioning system을 이동하여 CCD 카메라의 영상에 나타나 있는 격자 무늬와 marking된 부분을 일치하도록 한다.
- 이때 YZ linear positioning system의 이동거리는 CCD카메라의 기준점(P1)과 PZT Actuator의 pin(P2)간의 offset거리가 되며 이 거리는 YZ linear positioning system의 위치센서로부터 얻어진다.(Fig. 6)

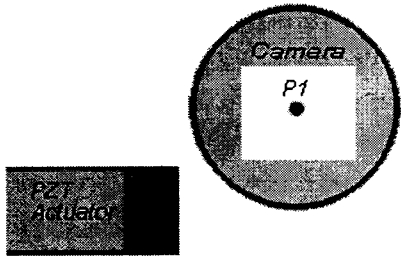


Fig. 6. 카메라와 핀의 offset 거리

영상에서의 거리를 실제 거리 단위로의( $\mu\text{m}$ ) 변환은 먼저 화면상에 임의의 점(p)을 지정한 후 좌표(pixel) 값을 저장하고 Fig. 7과 같이 YZ linear positioning system을 한 축방향으로 일정 거리를 이동 후 이 임의의 점(p)의 좌표(pixel)값을 얻어 두 화면상의 동일한 지점 p의 거리를 이용하여 다음과 같이 실제 거리를 환산하였다.

$$\frac{x \mu\text{m}}{\text{pixel}} = \frac{\text{YZ positioning system 이동거리}(\mu\text{m})}{\text{두 화면에서 p점의 pixel 거리}(\text{pixel})}$$

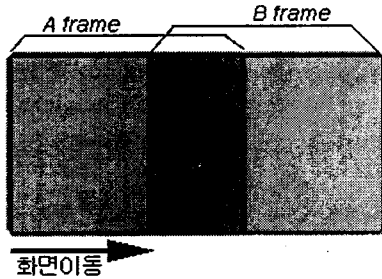


Fig. 7. 화면 이동

거리 변환을 마친 후 CCD 카메라에 영상처리 기준점(reference point)이 나타나도록 YZ linear positioning system을 이동시킬 때 격자 무늬의 만나는 점이 전체 좌표에서 기준점(0,0)이 된다.

**Image Processing:** Image Processing 과정에서는 CCD 카메라를 이용하여 영상을 획득/저장하고 영상에 대해서 blob analysis를 이용하여 철심의 중앙 좌표를 계산한 후 기준점(0,0)에 대한 절대 좌표를 형성하는 과정을 포함하

고 있다.

전체 철선다발의 영상이 하나의 frame으로 잡히지 않으므로 YZ linear positioning system을 일정 간격으로 이동함으로써 부분 부분의 영상을 잡아 각각의 철심 중앙의 좌표를 계산하였고, 이를 통합함으로써 전체의 철심 중앙의 좌표를 잡는 방법을 택하였다. 이때, 각각 획득한 영상의 크기는 (640\*480 pixel)이다. 이러한 부분 영상 frame의 크기는 선명한 영상은 물론 모든 철심의 영상이 잘 구분될 수 있도록 설정되었으며, CCD 카메라 이동거리는 편의상 mm 단위로 움직이고 카메라 배율이나 기타 상황에 따라 변할 수 있으며 초기에는 가로방향으로 4mm씩, 그리고 세로방향으로 3mm씩 이동하도록 설정되었다.

본 연구에서의 실제 영상처리는 조명과 초점거리에 따라 먼저 획득된 영상의 문턱 값(threshold)을 결정한 후 이진화를 수행하고 침식연산(erosion)과 팽창연산(dilation)을 이용해 영상 잡음을 없앤 후 철심의 중앙 좌표를 얻는 과정으로 구성되었다. 또한, blob analysis에서는 영상의 히스토그램을 계산하여 히스토그램 값의 평균을 기준으로 문턱 값을 변화시키며 계산하였다. 다음 Fig. 8은 영상에 대한 히스토그램 계산 결과를 그래프로 표현한 것이다. Fig. 8의 히스토그램 계산 결과는 0~255까지 256 단계의 색이 카운트된 결과와 영상에서의 히스토그램 값을 나타내고 있다. 그리고, 계산된 문턱 값을 사용하여 영상을 이진화(二值化)하면 Fig. 9와 같이 Background와 철심이 구분되며, 팽창/침식연산으로 영상의 불필요한 부분을 제거한 후 blob의 중심 좌표를 찾는다. 또한 평균을 기준으로 문턱 값을 일정 간격으로 증가, 감소시키며 찾지 못했던 blob의 중심 좌표를 찾는다.

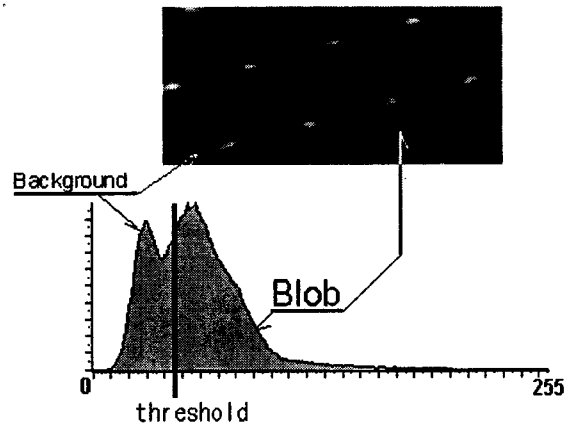


Fig. 8. 히스토그램 계산 결과



Fig. 9. 영상의 이진화 수행 결과

Figure 10은 이상과 같은 과정의 영상 처리후 계산된 철심의 중심 좌표를 나타내고 있다. 화면상에 나타난 모든 철심의 위치를 하나도 빠짐없이 찾아낸 것을 확인 할 수 있다. 화면상에 길게 좌우로 그어진 선은 기준선을 나타내며, 이러한 두 선이 만나는 즉 격자가 겹치는 부분은 각 화면상의 기준점을 나타낸다. 그리고, 화면 가장자리부근에 철심의 부분적인 영상이 나타남으로 인해 철심의 좌표가 정확하지 않은 것을 관찰할 수 있는데, 이러한 각 영상의 가장자리 부분은 좌표 값 계산 후 저장 시에 무시하였다. 실제로 각 영상의 가장자리부분은 이웃하는 영상과 겹치는 부분임으로 무시할 수 있었다. 그리고 각 화면에서 얻어지는 철심의 좌표는 각 화면상의 기준점(reference point)으로 부터의 상대좌표임으로 철심의 기준 좌표계에 대한 위치는 CCD 카메라 이동거리에 화면상의 좌표거리를 합함으로써 산출하였다.

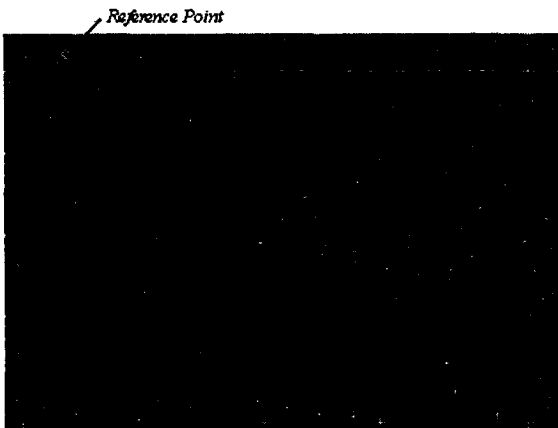


Fig. 10. 철심중심의 좌표 영상

*Data Verification* : Figure 11에서 알 수 있는 바와 같이 철심다발의 전체영상은 철심다발의 부분영상을 통합하여 얻게 되며 영상사이에 겹치는 부분이 발생된다. 또한, 카메라의 위치가 YZ linear positioning system에 수직 또는 수평방향으로의 오차로 인해 Fig. 12와 같이 영상이 약간 뺄어져서 획득되는 현상이 발생한다. Verification과정에서는 이러한 겹치는 철심의 좌표를 처리하는 과정으로 구성된다.

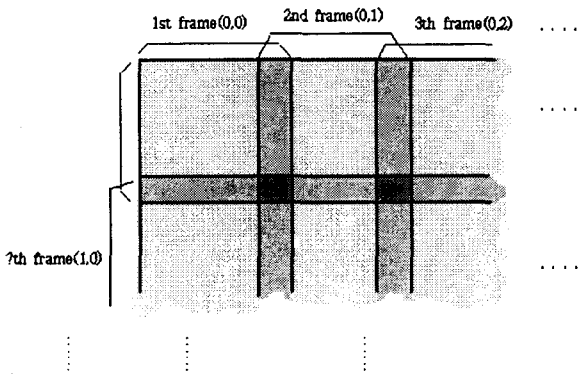


Fig. 11. 철심 다발의 분할 영상

Figure 13에서 알 수 있는 바와 같이 겹치는 영상의 부분은 산출된 철심의 위치좌표가 매우 가깝도록 위치된 것과 같이 나타난다. 즉, 격자 무늬 값이 굵게 나오는 부분이 있는데 이것이 좌표의 겹치는 부분이다. 그러나, 실제로 철심의 직경이  $0.25mm$ 이므로 서로 이웃하는 철심의 좌표는 반드시  $0.25mm$  이상 떨어진 위치에 있어야 한다. 실제로, 화면상에 나타난 겹치는 철심들의 오차는 매우 적은 것으로 확인되었으므로( $0.05mm$ 이내) Fig. 13에서 산출된 모든 철심의 좌표 값들을 서로 비교하여 이웃하는 철심의 위치가  $0.05mm$ 보다 적은 철심들의 좌표는 그 좌표들의 평균값을 철심의 좌표로 대체하였다. Fig. 14는 이러한 verification 과정을 거친 결과로 얻어진 철심의 전체 영상을 나타낸다. 그림에서 완전히 겹치는 부분이 제거된 것을 확인할 수 있다.

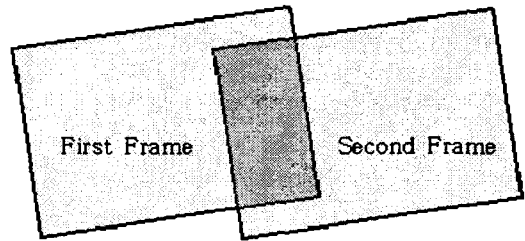


Fig. 12. 철심 영상의 비틀림

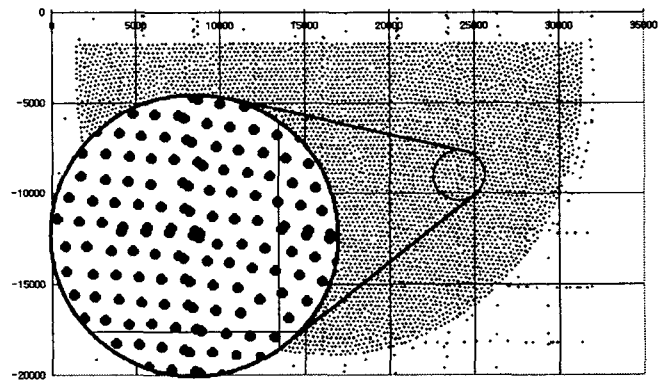


Fig. 13. Verification 이전의 철심 좌표

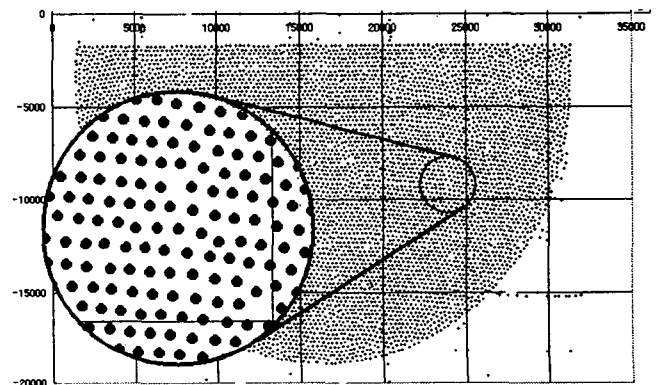


Fig. 14. Verification 후의 철심 좌표

**Surface Generation:** 이상과 같은 과정을 거쳐 얻어진 최종적인 철심들의 좌표를 이용하여 실제로 표면을 생성하는 모든 과정을 포함한다. 표면 생성을 위해서 PZT Actuator는 각 철심을 표면 깊이만큼 이동하기 위해 사용된다. 영상 처리과정이 끝난 직후 CCD 카메라는 기준점(reference point)에 위치하도록 프로그램되어 있는데 표면 처리가 시작되면 전 과정에서 얻어진 CCD 카메라와 PZT Actuator의 pin 간의 offset 만큼 YZ linear positioning system이 이동함으로써 기준점(reference point)의 위치에 PZT Actuator에 고정된 pin이 위치하게 된다.

실제표면의 생성실험에서는 먼저 임의의 크기의 블록을(직경 6mm인 원) 설정하고 PZT actuator의 pin을 이용하여 이들에 포함된 모든 철심을 일정 깊이로 이동시킴으로써 표면을 형성하였다.

#### 4. 표면생성 실험 및 결과고찰

표면을 생성하기에 앞서 철심다발에 속해 있는 철심의 중심좌표는 영상처리를 거쳐 측정되어야 한다. 그러나, 영상처리에 있어 조명은 Background와 철심의 대비가 확연히 보이도록 하는 것은 처리하기 쉬운 영상정보를 얻어내는 데 매우 중요한 부분이며 실제로, 얻어진 영상은 조명에 매우 민감한 결과를 보였다. 너무 밝은 조명은 매끄러운 철심 끝면으로부터의 빛의 산란 현상으로 인해 오히려 올바른 결과를 얻을 수 없었다. 그리고 철심의 모서리부분의 예각부분의 가공처리가 철심간의 구분이 쉽지 않았을 때 영상처리의 신뢰성이 저하되었다. 그러므로, 철심사이의 간격이 명확히 나타날 수 있는 정도로 철심을 가공하였다.

한편, 철심다발에 대한 영상처리에 있어서 주의하여야 할 사항은 철심과 철심 사이에 먼지와 같은 노이즈가 끼이지 않게 하는 것이었다. 일단 철심 사이에 먼지가 끼이게 되면 두 철심을 하나로 인식하고 그 중간 부분을 철심 중앙으로 오인하는 경우가 발생하게 되는데 이는 일반적인 blob analysis와 관계된 필터링 방법으로는 처리가 힘들고 패턴 매칭 등의 방법으로 해결해야할 부분이며 앞으로 보완해야할 과제이다.

Figure 15는 반경 3mm의 원 만큼 PZT actuator의 pin으로 철심을 눌러 일정 깊이(500  $\mu\text{m}$ )의 표면을 생성한 결과이다. 그리고, Figure 16은 laser sensor를 이용하여 생성된 표면 거칠기에 대한 두 차례에 걸친 측정 결과를 보여주고 있다. x축은 20 $\mu\text{m}$ 의 간격으로 샘플된 데이터의 수를 나타내고 y축은 철심표면의 깊이를 나타내며 단위는 mm이다. 각 그림에서 0 부근의 값을 갖는 아랫부분은 원래의 정돈된 철심 표면 거칠기를 나타내는 상태이며 높은 값을 가지는 부분은 Fig. 16에서 알 수 있는 바와 같이 6mm 직경의 원안에 있는, 500  $\mu\text{m}$  깊이만큼 이동된 철심의 표면 상태를 나타낸다. 특히, 급작스러운 돌출부나 부근의 값들에 비해 상대적으로 돌출된 또는 함몰된 부분은 철심과 철심사이의 빈 공간의 상태를 나타내는 값에 해당된다. Fig. 16으로부터 정돈된 표면의 거칠기와 생

성된 표면의 거칠기는 매우 유사한 상태인 것을 확인 할 수 있으며 생성된 표면 거칠기의 분해능은 대략  $\pm 15\mu\text{m}$  정도이하인 것을 확인 할 수 있다.

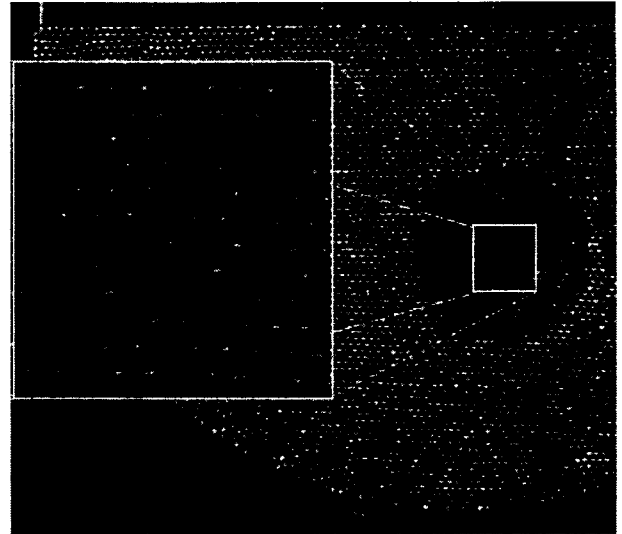


Fig. 15. 생성 표면

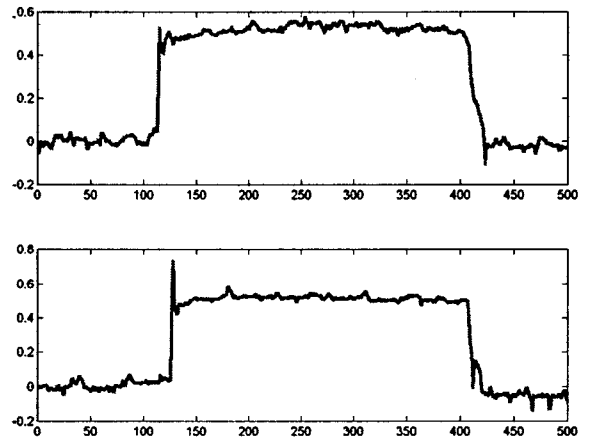


Fig. 16. 생성 표면 측정 결과

#### 5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 촉각 및 질감 재현 기술과 관련된 표면 생성 시스템을 제안하였으며 실제 시스템을 제작하고 임의의 표면을 생성하여 봄으로서 제안된 시스템의 성능실험을 수행하였다. 다음은 본 논문에서 개발된 시스템의 주요특성을 나타낸다.

- 철선다발의 표면을 이용하여 임의의 물체의 표면을 제시하는 새로운 방법을 제안하였다.
- 실제 표면생성시스템을 제작하고 임의의 표면 생성을 통한 성능시험을 수행함으로써 시스템의 우수성을 입증하였다. 즉, 생성된 표면의 거칠기의 정밀도는  $\pm 15\mu\text{m}$  이내로서 매우 우수하다는 것을 확인하였다.

그러나, 본 연구에서 제안한 표면 생성 시스템이 매우 우수한 성능을 가진 표면 제시 시스템으로서 실제 감성관련 산업분야에 활용되기 위해서는 현재 시스템의 성능 개선, 보완, 수정 및 관련 제어기술에 관한 심도 있는 연구가 수행되어야 한다. 현재 시스템에 필요한 구체적인 개선 과제로서는 표면 생성 소요 시간의 단축, 미세한 표면생성의 한계를 확인하기 위한 철선의 직경에 대한 조사, 철선 다발의 무게를 줄이기 위한 철선 길이의 축소, 그리고 철선 끝면의 보다 효율적인 가공 방법 및 doping과 같은 철선끝면의 처리를 통한 미세한 생성표면의 가능성조사등이 있다.

향후과제로는 임의의 가상 물체의 다양한 가상표면 생성에 관한 실험과 본 연구와 병행하여 수행되고 있는 가상 물체의 콤플라이언스 특성을 재현할 수 있는 콤플라이언스 에뮬레이터 시스템과 같이 사용될 경우, 보다 현실적인 촉감/질감을 제시할 수 있는 기술에 관한 연구 등이 있다.

## 참고문헌

- [1] Sueo Kawabata, "The Standardization and Analysis of Hand Evaluation," 2nd ed. The Hand Evaluation and Standardization Committee, Japan.(생산 기술연구원 섬유 기술실용화 센터 역).
- [2] R. Andrew Russel, *Robot Tactile Sensing*, published by Prentice Hall, 1990.
- [3] Karun B. Shinoga, "Finger force and touch feedback issues in dextrous telemanipulation," CIRSSE, pp.159-178, 1992.
- [4] M.S.Sanders, E.J. McComick, *Human Factors in Engineering and Design*, McGraw-Hill, 1987.
- [5] B.T.Tan, "Sensor application to space-suit glove," in J.G. Vedbster(ed.) *Tactile sensors for robotics and medicine*, John Wiley and Sons, NY, pp. 331-340, 1988.
- [6] Ken Pimentelk and Kevin Teixeira, *Virtual Reality: through the new looking glass*, Windcrest/McGraw Hill, 1992.
- [7] Robert J. Stone, "Advanced human-system interfaces for telerobotics using virtual reality and telepresence technologies," ICAR'91, pp.168-173, 1991.
- [8] 김희국의 5인, "표면 및 콤플라이언스 제시 시스템의 개발에 관한 연구," 한국표준과학원 '98 특정연구개발사업 위탁연구보고서, 1999.