

## 삼차원 어패럴 캐드 시스템 개발을 위한 의복 패턴 자동 제도에 관한 연구

김성민<sup>†</sup> · 강태진

서울대학교 섬유고분자공학과  
(1999. 3. 16. 접수)

## Study on the Automatic Garment Pattern Generation for the Development of Three Dimensional Apparel CAD System

Sung Min Kim<sup>†</sup> and Tae Jin Kang

Department of Fiber & Polymer Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea  
(Received March 16, 1999)

**Abstract :** An automatic garment pattern generation system was developed for the application to a three dimensional apparel CAD system. The traditional garment production method depends mostly on the flat pattern process except for some bespoke garment. To make a garment, a skilled patterner gathers the anthropometric data from selected people and draws predefined basic patterns based on them. The drafted patterns are sewn into a garment preform to be tried on the human body and adjusted until satisfactory fitting is achieved, which may take considerable time because the evaluation of fitting tends to depend on subjective feelings. Such complicated processes require high skill and therefore raise the overall production cost, moreover, the lengthy development period can result in loss of the competitiveness of the manufacturer by dissatisfying the current needs of demand activated manufacturing. To make such processes more efficient, we used effective computer technologies. In this study, we developed an automatic pattern generation method using three dimensional measurements of the human body and a garment model. The shape of the garment model is adjusted to fit the body and subsequently flattened into two dimensional patterns considering the properties of the fabric to be used.

### 1. 서 론

지금까지 국내의 섬유 산업이 외국과 비교해서 어느 정도 경쟁력을 가질 수 있었던 것은 상대적으로 인건비가 선진국 수준에 비해 낮았고 양질의 기술인력을 보유하고 있었기 때문이다. 그러나 최근 들어 국내 인건비가 상승되면서 노동 집약형으로 분류되는 산업 중에서 특히 고급 기능인력의 수요가 많이 소요되는 의류산업의 경우 원가 상승으로 인한 최종 제품의 가격 경쟁력 저하로 인해 많은 어려움을 겪게 되었다 [1]. 이러한 문제에 대한 해결책으로서 원자재 구매가격이나 인건비를 절감하는 방법에는 한계가 있기 때문에 근본적으로는 노동력을 대체할 자동화 생산 공

정을 도입하는 것이 시급하다. 최근에 많은 연구가 이루어졌고 또 진행 중에 있는 의류 산업의 자동화는 실용화되어 있는 부분도 상당히 있으나 대부분이 저가의 단순노동력이 필요한 작업의 자동화에 치중해 있거나 숙달된 기술자만이 사용할 수 있는 시스템에 국한되어 있어서 여전히 인력 대체 효과를 크게 보지 못하고 있다[2].

따라서 이를 해결하기 위해서는 고급 기술인력이 필요한 분야부터 자동화를 실현해야 최대의 효과를 볼 수 있을 것으로 사료되어 본 연구에서는 자동화가 가장 절실히 요구되는 분야의 하나로 의복 기본 패턴 제작 공정을 택하였다. 이 공정은 의복 생산공정의 시작임과 동시에 가장 많은 기능과 기술이 필요한 공정으로 이는 의복 꾸착용자의 신체치수 측정치를 바탕으로 숙련된 패턴 디자이너가 축적된 경험과 직관을 이용해서 특정한 형태의 평면 패턴을 제도한 후 실험

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
sungmin2@snu.ac.kr

적인 의복을 제작하여 착용시킨 후 잘 맞게 될 때까지 수정을 반복하는 것으로, 작업자의 숙련도 및 의복의 형태 적합성 판정에 대한 주관적 견해의 차이로 인해 경우에 따라 많은 시행착오를 야기할 수 있다. 이로 인해 최근의 추세인 소량 단품종 생산에 있어 매우 중요한 제품의 개발 주기를 단축할 수 있는 중요한 단계이다[1,3].

의복 패턴의 자동 제작에 관한 연구는 최근 국내외에서 여러 연구자에 의해 진행되고 있다. Heisey 등은 스커트와 같은 단순한 형태의 의복에 대해 이를 사각형 patch로 분할하여 평면상에 projection하는 방법을 고안하였으며[8], Masuda 등은 의복 표면의 곡률을 계산함으로써 의복의 3차원 형상을 3차원 입체 계측법(stereoscopy)을 써서 빠른 시간에 재구성하고 이를 계측된 인체에 가장 잘 맞는 형태로 변형한 후 실제 생산에 사용할 직물의 물성을 고려하여 재단용 평면 패턴으로 변환시켜 주는 시스템을 제작하였다.

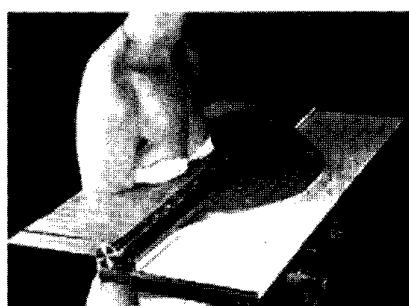
본 연구에서는 이러한 일련의 공정자동화를 위해 3차원 인체 계측을 통해 얻어진 데이터로부터 기존의 석고 모형법 또는 줄자, 접촉식 게이지 등을 이용해서 측정하던 인체 계측치를 신속하고 정확하게 계

측할 수 있도록 하였으며 이로부터 다양한 치수 및 특이점을 얻어내는 방법을 고안하였다. 또한 전형적인 형태의 의복 상의(bodice) 형상을 3차원 입체 계측법(stereoscopy)을 써서 빠른 시간에 재구성하고 이를 계측된 인체에 가장 잘 맞는 형태로 변형한 후 실제 생산에 사용할 직물의 물성을 고려하여 재단용 평면 패턴으로 변환시켜 주는 시스템을 제작하였다.

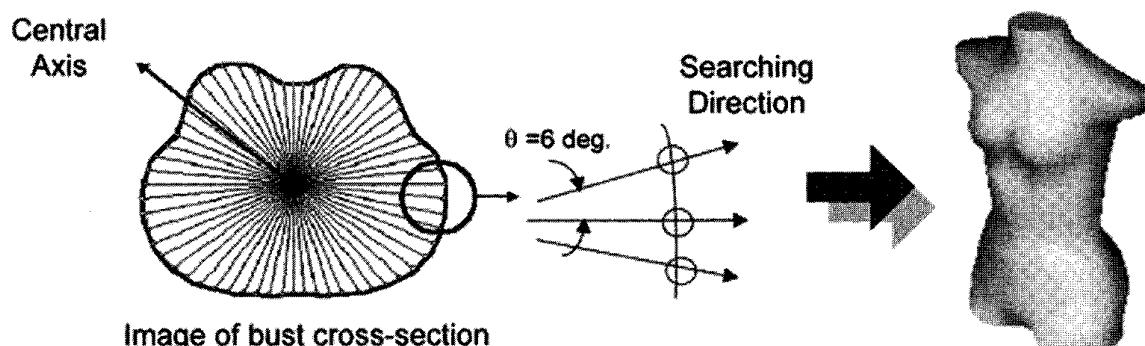
## 2. 3차원 인체 계측 데이터의 활용

### 2.1. 패턴 제작을 위한 인체 계측

종래의 수작업에 의한 의복 패턴의 제작의 기본이 되며 중요한 과정으로 인체 계측이 있는데 이는 패턴사가 제도에 필요한 인체 치수를 줄자나 게이지를 써서 측정하는 것으로, 정확한 계측을 위해 시간과 기술이 필요하게 된다[4]. 이러한 문제점을 개선하기 위해 3차원적으로 계측된 인체 데이터로부터 필요한 치수를 얻어내는 방법에 대해 연구를 하였다. 본 연구에서는 인체 측정보다는 인체 데이터로부터 패턴을 제작하는 것에 주안점을 두었기 때문에 인체 계측에 본격적인 비접촉 3차원 계측법을 사용하지는 않았으며



(a) Acquisition of body cross section shapes using sliding gauge



(b) Acquisition of radial data using image analysis

Figure 1. Schematic diagram of body model generation.

Figure 1과 같이 슬라이딩 게이지에 의해 계측된 인체의 횡단면 형상에 대해 화상 분석을 사용하여 인체 모형을 재구성하도록 하였다.

본 연구에서는 인체의 목에서 대퇴상부까지의 구간을 20단계로 나눈 뒤 각각의 횡단면에 대해, 6도 간격으로 60개의 반지를 데이터를 얻어내어 이를 원통좌표계 상에서 인체모형으로 재구성하였다.

## 2.2. 인체모형으로부터의 특이점 결정

앞에서 설명한 바와 같이 원통좌표계에서 측정된 인체 모형을 패턴 제작에 사용하기 위해서는 앞목점, 겨드랑이점, 유두점(bust point) 등의 여러 특이점의 위치를 결정할 수 있어야 하는데, 이를 객관적이며 자동으로 측정하기 위해 본 연구에서는 푸리에 변환(Fourier transform)이라는 수학적 기법을 사용하였다[5]. 푸리에 변환을 간단히 설명하면 주기성을 갖는 함수  $f(x)$ 를  $\sin$ 과  $\cos$  함수의 급수로 나타내는 것으로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

$$\text{단, } a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx$$

이때, 인체 모형의 경우  $f(x)$ 가 함수로 주어지는 것이 아니고 인체 종단면, 횡단면 방향으로 연속된 원통좌

표계에서의 반지를 데이터로 주어지기 때문에 이러한 데이터를 위와 같은 식을 써서 적분하는 것은 매우 어렵다. 따라서 이러한 불연속적인 데이터를 쉽게 푸리에 급수로 변환시킬 수 있도록 jump method라는 방법을 사용하였다.

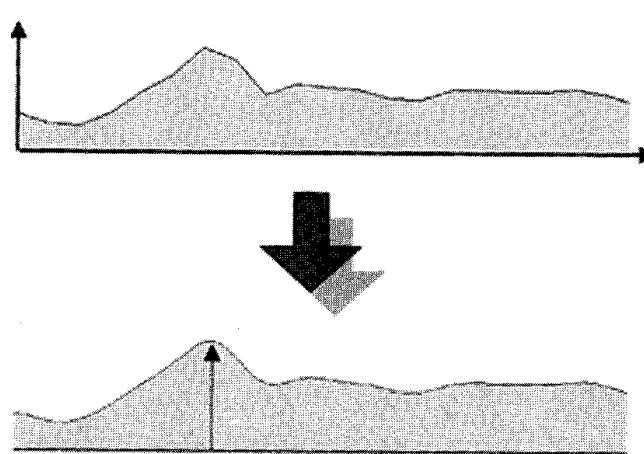
즉, jump  $j_s$ 를  $f(x_s+0) - f(x_s-0)$ ,  $j'_s$ 를  $f'(x_s+0) - f'(x_s-0)$  등으로 정의하면 다음과 같이 푸리에 계수를 구할 수 있다.

$$a_n = -\frac{1}{n\pi} \left[ \sum_{s=1}^m j_s \sin nx_s + \frac{1}{n} \sum_{s=1}^m j'_s \cos nx_s \right]$$

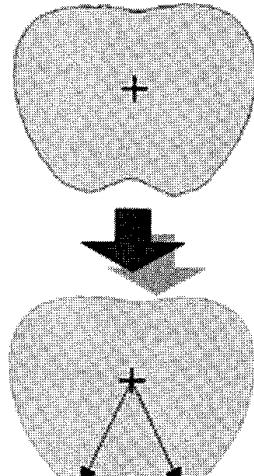
$$b_n = \frac{1}{n\pi} \left[ \sum_{s=1}^m j_s \cos nx_s - \frac{1}{n} \sum_{s=1}^m j'_s \sin nx_s \right]$$

여기에서  $m$ 은 인체 각 종·횡단면의 데이터 개수이며, 차수  $n$ 을 크게 하면 할수록 원래 계측치와 일치되는 형상을 갖는 함수를 얻을 수 있으나 본 연구에서는 데이터량을 줄이며 또한 인체상의 미세한 굴곡을 완화할 수 있게 하기 위해서  $n$ 을 20 정도로 하여 만족스러운 결과를 얻을 수 있었으며 그 결과는 Figure 2에 보인 바와 같다.

이와 같이 연속적인 함수로 변환된 인체의 종·횡방향 profile을 분석해보면 여러 가지 특이점들은 각각 특정 profile의 최대·최소, 극대·극소점 또는 변곡점에 위치하고 있다는 것을 알 수 있다. 예를 들면, Figure 2에서와 같이 가슴 단면을 결정하기 위해서는 길이방향 profile에서 최대점이 되는 단면을 찾으면 되며, 유두점을 찾기 위해서는 가슴 단면의 횡단면 profile에서의 최대값이 되는 점을 찾으면 된다.

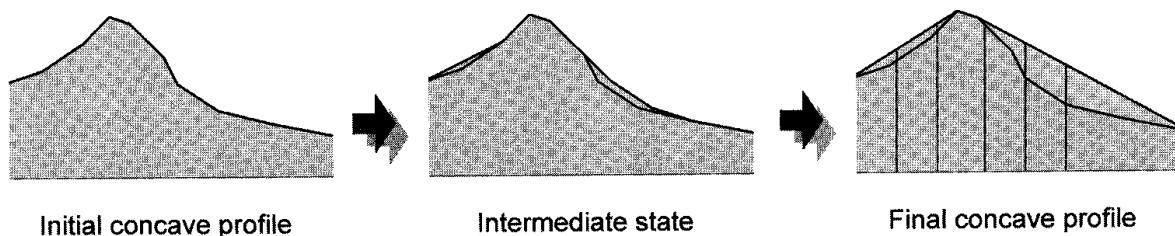


Longitudinal profile of bust section

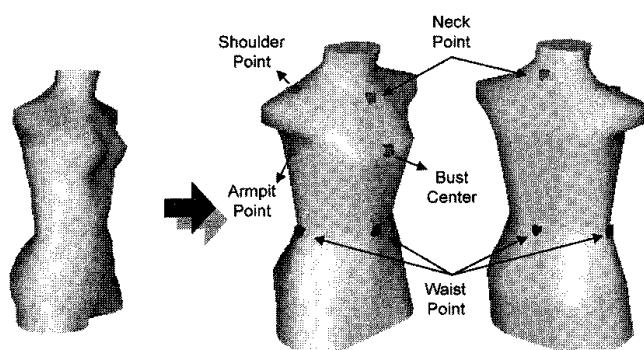


Cross-section of bust

Figure 2. Original and Fourier transformed profile of body model.



**Figure 3.** Reformation of concave profile into convex one.



**Figure 4.** Special point detection after reformation of convex body model.

이렇게 계측된 인체모형을 의복 패턴제작에 사용하기 위해서는 또 하나의 조작을 거쳐야 할 필요가 있는데, 왜냐하면 특별한 경우를 제외하면 의복은 인체의 복잡한 굴곡을 따라가는 형태가 아닌 굴곡을 감싸는 볼록한 구조를 가지고 있기 때문에, 측정된 인체모형을 이러한 형태로 변환시킬 필요가 있기 때문이다[6]. 이는 *Figure 3*에서와 같이, profile을 구성하는 각 점에 대해 주변 점들과 concave한 관계를 가질 경우 이 점을 제외하고 볼록한 profile을 구성한 뒤, 이 profile상에 제외되었던 점들의 새로운 위치를 지정해 줌으로써 할 수 있다.

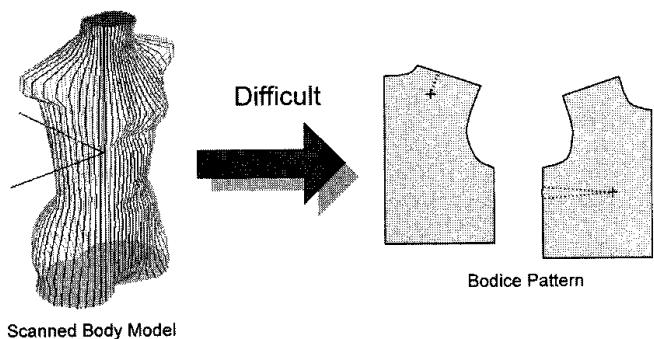
측정된 인체모형을 이와 같은 방법으로 볼록하게 변형한 뒤 의복과의 형상 일치화를 위해 11개의 특이 점을 찾은 결과를 *Figure 4*에 보였다.

### 3. 의복 형상의 3차원 입체 계측 및 재구성

#### 3.1. 의복 형상 재구성의 필요성

3차원 인체 측정장치에서 얻어진 인체 원통좌표계의 데이터로부터 *Figure 5*에 보인 바와 같은 의복의 기본 패턴을 직접 얻어내는 방법은 매우 어렵다.

그 첫째 이유는 의복 패턴은 직교좌표 평면에서 정의되기 때문에 불규칙적인 입체 형상을 바로 평면화하는 것이 어렵고 둘째는 3차원 인체 형상으로부터 각 부분의 치수를 재는 것과 패턴 제작에 필요한 특이 점들, 즉 앞목점, 견갑골 돌출점, 겨드랑이점 등을 찾



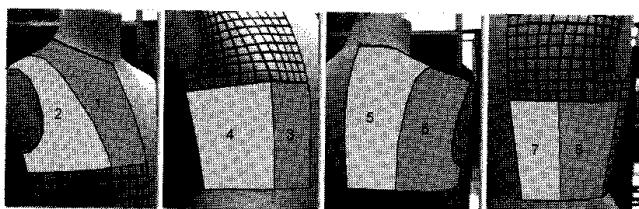
**Figure 5.** Pattern generation from scanned 3-D human body.

아내는 일은 비교적 용이지만 목선, 겨드랑이 둘레선, 앞·뒤 중심선 등의 자유곡선의 정보를 얻는 것은 매우 어렵기 때문이다[7-9]. 따라서 본 연구에서는 인체 모형으로부터 직접 패턴을 얻어내는 방법이 아닌, 제작하고자 하는 의복의 3차원 모형을 계측을 통해 재구성한 후 이 모형을 인체에 맞게 변형시킨 다음 평면 패턴으로 전개시키는 방법을 고안하였다.

#### 3.2. 재단용 인체모형의 준비와 3차원 계측

의복 패턴의 자동 제작에 대한 기존의 연구는 주로 인체 모형에서 직접 패턴을 얻어내는 쪽이 주를 이루었는데 이는 스커트나 소매 같은 상대적으로 단순한 형태의 의복을 그 목적으로 하였기 때문이며 그러한 방법으로는 여성복 상의와 같은 복잡한 형태의 의복을 만드는데 어려움이 있다[8,9]. 따라서 본 연구에서는 자동 패턴 제작을 위한 첫째 대상으로 여성복 상의(bodice)를 선택하였으며 그 이유는 여성복 상의 패턴 제작은 목, 겨드랑이 둘레, 허리 등의 곡선부의 제도 및 가슴부위의 입체화가 요구되는 등 가장 복잡한 형상을 가지기 때문에 기존 수작업에 의한 패턴 제작에서도 매우 어려운 일이므로 자동화에 의해서 그 작업 효율을 높일 수 있기 때문이다.

특별한 경우 예외가 있을 수 있지만 의복은 원래 인체의 굴곡을 그대로 따라가는 것이 아니고 인체를 감싸는 볼록(convex)한 형상을 취하게 되므로 의복의 입체 재단의 경우에는 보통 인체의 굴곡을 감싸도록



**Figure 6.** Schematic diagram of surface segmentation on dummy model.

블록하게 만든 인체모형(dummy body model)을 사용한다. 본 연구에서도 상의 형상 제작을 위해 44 size의 재단용 표준 인체 모형을 사용하였다.

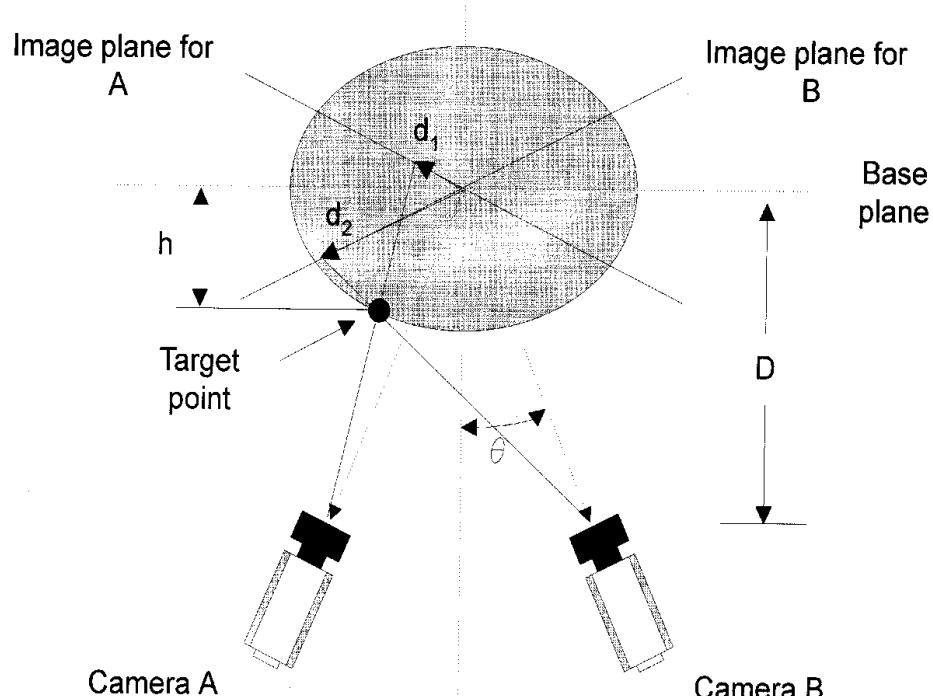
의복 형상을 제작하기 위해 앞에서 사용했던 것과 같은 일반적인 3차원 계측 방법을 사용하면 작업이 용이할 수는 있으나 또 다른 문제가 발생하게 된다. 즉, 그와 같은 경우 여전히 계측 데이터는 원통좌표계를 따르기 때문에 의복의 평면 전개가 어렵게 된다. 그러나 의복 형상은 인체 모형과는 달리 평면 전개를 전제로 계측되어야 하기 때문에 본 연구에서는 인체 모형에 미리 격자(mesh)를 표시한 후 이를 화상 분석 및 입체 계측법을 써서 계측하여 각 격자 교차점의 위상적인(topological) 관계 및 절대적인 공간 좌표를 얻어냄으로써 패턴 전개시에 활용할 수 있도록 하였다 [10,11]. 이를 위해 인체 모형의 상반신을 Figure 6과 같이 8개의 구역으로 구분한 후 화상 분석을 용이하게 하기 위해 각 구역을 폭 3~4 mm의 검정색 마킹 테이

프를 써서  $5 \sim 6 \times 10$  정도의 격자로 분할하였다. 8개의 구역으로 구분한 이유는 패턴 전개시에 입체를 평면화하기 위해 절개선(dart)이 필요한데 이것을 너무 많이 만들게 되면 의복 디자인 과정에서도 문제가 발생할 수 있을 뿐만 아니라 패턴 봉제 공정이 매우 어려워질 수 있기 때문에 각 구역 경계선을 절개선의 기준으로 활용할 수 있도록 하기 위해서이다 [3,4].

### 3.3. 의복 형상의 재구성 및 부가정보 추출

본 연구에서 dummy model의 표면 좌표를 얻기 위해 사용한 입체 계측법의 원리는 다음과 같다. 즉 하나의 물체를 두 대의 CCD(charge coupled device) 카메라를 이용해서 약간의 시차를 두고 촬영하게 되면 다른 두개의 화상을 얻게 되는데 두 영상의 차이를 기하학적으로 해석하면 카메라 또는 소정의 기준면으로부터의 물체까지의 거리를 계산할 수 있으며 그 개념을 그림으로 나타내면 Figure 7에 보인 바와 같다.

여기서 목표점(target point)의 위치에 따라 카메라 A와 B의 영상면 상에서의 거리  $d_1$ 과  $d_2$ 가 서로 다르게 나타나므로 카메라에서 물체 중심선까지의 거리를  $D$ 라고 하면 다음 방법에 의해 기준면(base plane)으로부터 목표점까지의 수직거리  $h$ 를 구할 수 있다. 즉, 평면상에서의 카메라 A, B의 좌표는 각각  $(-D \tan \theta, -D)$ 과  $(Dt \tan \theta, -D)$ 이고,  $d_1$ ,  $d_2$ 의 좌표는  $(d_1 \cos \theta,$



**Figure 7.** Schematic diagram of stereoscopy.

$d_1 \sin \theta$ 와  $(d_2 \cos \theta, d_2 \sin \theta)$ 라고 볼 수 있으므로, 직선의 방정식을 써서  $\overline{Ad_1}$ 과  $\overline{Bd_2}$ 의 교점을 구하면 이 점의 좌표가 바로 목표점의 좌표가 되며 이것으로부터 기준면에서 목표점까지의 수직 거리를 알 수 있다. 본 연구에서는 인체 모형의 정확한 정량적인 계측이 필요했었다기보다는 인체 모형상의 각 격자 교차점간의 위상적 관계가 더 중요하기 때문에 카메라 렌즈의 수차 등에 의해 생길 수 있는 작은 오차는 무시하였다.

이와 같이 입체 계측법은 그 원리 자체는 매우 간단 하지만 이를 위해 시차를 갖는 두개의 이미지 상에서 어떤 점이 서로 같은 점을 나타내는지를 결정하는 작업은 매우 어렵다. 본 연구에서는 모형상에 미리 표시해둔 격자의 교차점을 목표점으로 사용하였으며 두 이미지간의 동일점을 찾는 과정을 모형상의 한 구역을 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

인체 모형의 이미지를 얻기 위해서는  $640 \times 480$  해상도를 갖는 CCD 카메라를 이용하였으며 화상은 256 단계의 회색값(gray scale)으로 변환되었다. 그런데 카메라에 의해 얻어진 화상에 대해서 일련의 전처리가 필요하였는데, 그 이유는 Figure 6에서와 같이 인체 모형을 촬영할 당시 조명에 의해 그림자 등이 생겼고, 조명의 반사에 의해 마킹 테이프 일부가 눈에 띠게 흰색으로 밝아지는 등 여러 종류의 노이즈가 개입되었기 때문이다. 보통의 화상분석에서 쓰이는 thresholding(이미지를 구성하는 점들 중 회색값이 일정 범위 안에 드는 점만을 남기고 나머지는 지우는 방법)으로는 이러한 노이즈를 제거할 수 없기 때문에 본 연구에서는 다음과 같은 3단계의 image filtering을 거쳐 모형 표면상의 격자를 검출하는 방법을 고안하였다.

**그림자에 의한 효과 제거(Selective thresholding) :** Figure 8을 보면 조명에 의해 좌측 하단부에 그림자가 생기기는 했으나 여전히 마킹 테이프 자체보다는 어둡지는 않은 것을 볼 수 있다. 따라서 이미지상의 한 픽셀에 대해 주위를 둘러싸고 있는 주변 픽셀 8개중

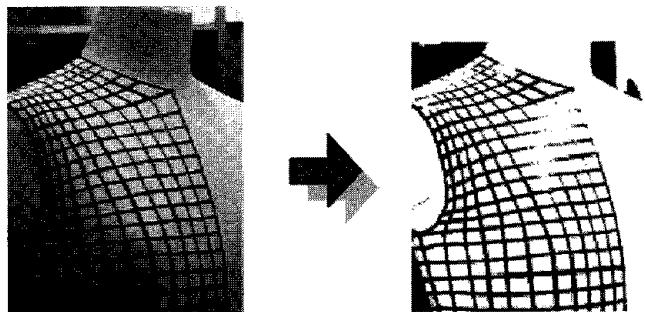


Figure 8. Decreased shadow effect after selective thresholding.

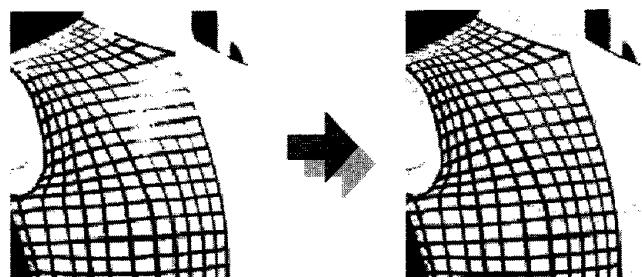


Figure 9. Retrieval of missing line.

과반수 점의 gray value가 threshold 값 보다 낮은 점들만을 택하는 선택적 thresholding을 적용하면 비교적 어두운 부분인 마킹 테이프를 검출할 수 있다.

**지워진 마킹 테이프 선의 복구 :** 앞의 조작에 의해 그림자의 효과는 감소되었으나 우측 중간부분을 보면 반사광으로 흐려진 테이프의 이미지가 사라진 것을 볼 수 있다. 이것을 되살리기 위해 본 연구에서는 흰색인 점들을 대상으로 원래 이미지에서는 특정 threshold 값 부근의 회색값을 가졌던 점들을 다시 복구하여 사라진 선을 재생하는 방법을 고안하였다.

**마킹 테이프상의 빈 공간 제거 및 끊어진 부분 연결 :** 위와 같은 두 단계의 조작을 거친 이미지상의 마킹 테이프에는 미세한 빈틈이나 절단된 부분이 있을 수 있다. 따라서 이미지 전체를 팽창(dilation-이미지를 구성하는 검은색 점 주위로 한 픽셀씩을 더해서 이미지

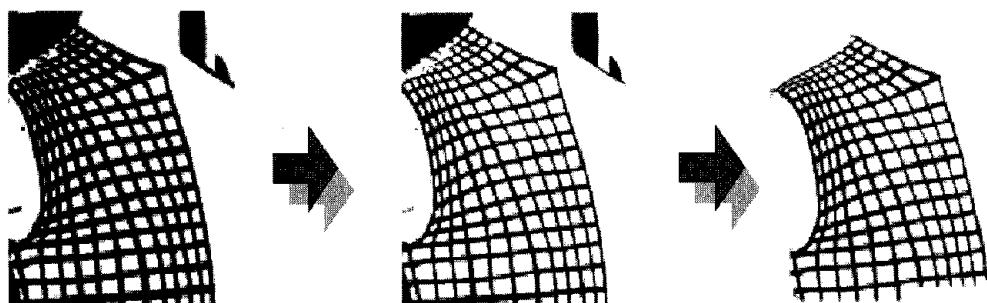


Figure 10. Acquirement of final filtered image by dilation and erosion process.

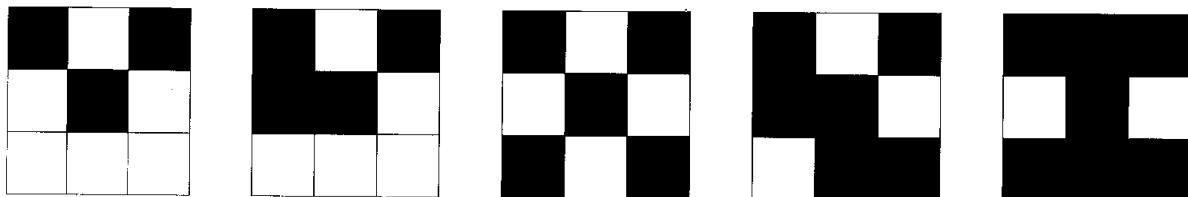


Figure 11. Examples of non-removable pixels for the continuity conservation (center).

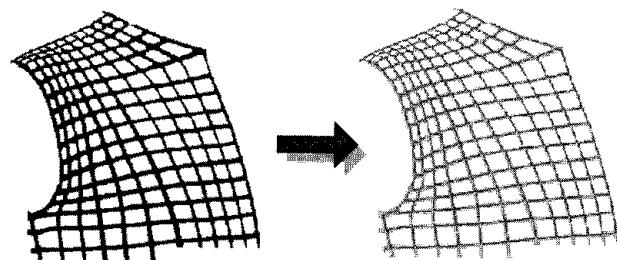


Figure 12. Image skeletonization.

를 크게 키우는 조작)하여 빈곳을 없앤 뒤 다시 수축(erosion - dilation의 반대 조작) 함으로써 이런 부분을 없애줄 수 있으며 마킹 테이프 이외의 큰 면적을 갖는 부분을 지워주면 Figure 10과 같은 최종적으로 원하는 이미지를 얻을 수 있다.

위와 같은 filtering에 의해 얻어진 이미지로부터 좌표를 얻기 위해서는 격자선의 교차점을 찾아내야 하는데 이미지의 마킹 라인은 일정치 못한 두께를 갖고 있으므로 교차점 추출을 위해서 이것을 1 pixel의 두께를 갖는 세션(thin line)으로 만들어주어야 한다. 그러나 앞서 말한 erosion을 반복할 경우 선이 얇은 쪽은 지워져버릴 위험이 있으므로, 원래 도형의 연결상태를 유지하면서 이미지를 세선화하는 skeletonization이라는 특별한 기법이 필요한데 그 방법은 다음과 같다. 이미지상의 각 점에 대해 주변의 8개 pixel들과의 관계를 조사해가다 보면 해당 점이 주변 점들과 Figure

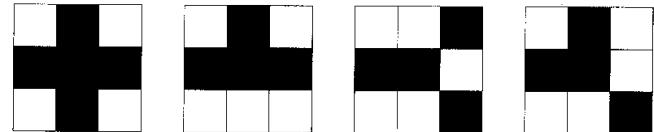


Figure 13. Examples of junction point (center).

11과 같은 관계(전부 123가지가 있음)를 가질 때 그 점을 삭제하면 도형의 연결이 끊어지게 된다. 따라서 그러한 점들을 제외한 나머지 점을 제거하는 조작을 반복하게되면 Figure 12와 같이 전체적으로 연결상태가 유지된 1 픽셀두께의 세션 이미지를 얻을 수 있게 된다.

앞서와 같이 세선화된 이미지에서 좌표를 얻기 위해서는 선이 서로 교차되는 점을 찾아야 하는데 이것

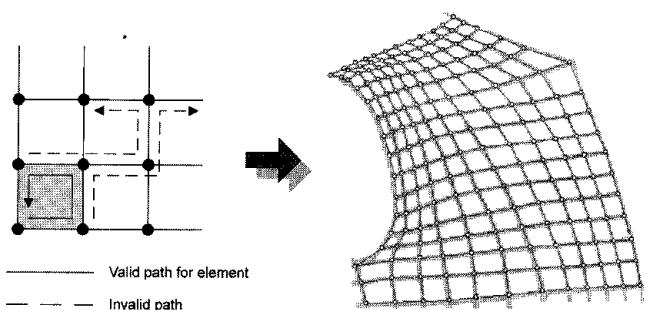


Figure 14. Schematic diagram of element generation by path search algorithm.

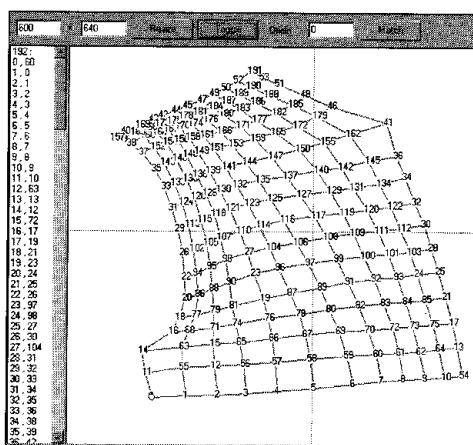


Figure 15. Reconstruction of dummy body model using stereoscopy.

은 skeletonization에 사용된 것과 유사한 방법으로 주변 점과의 관계가 *Figure 13*과 같은(전부 10가지) 점들을 찾음으로써 수행할 수 있다. 이렇게 해서 찾아진 교차점들에 대해 인접한 점들과의 연결상태를 따라 검색해가면서 4 step 만에 자기 자신으로 돌아오는 경로를 추적하면 입체 계측법에서 두 이미지간에 서로 대응되는 점을 자동으로 찾아내기 위해 필수적인, 반시계 방향으로 회전하는 4개의 절점(node)을 가지는 요소(element)들을 *Figure 14*와 같이 구성할 수 있게 된다.

이렇게 얻어진 절점과 요소의 관계를 이용하면 앞서 서술했던 입체 계측법에서 시차를 갖는 두 이미지간에 서로 동일한 점이 어떤 것인지를 결정할 수 있게 된다. 본 연구에서는 이와 같은 다양한 filtering 및 좌표 추출을 위한 여러 조작을 수행하며 모형상에 분할한 8 구역에 대해 각각 입체 계측법을 적용해서 얻어낸 다수의 3차원 형상들을 공간상에서 조합할 수 있게 하기 위한 3차원 계측 시스템을 개발하였으며 이를 통해 *Figure 15*와 같은 완성된 bodice 모형을 얻을 수 있다. 또한 본 연구에서는 이렇게 만들어진 의복 모형에서 앞에서 결정한 인체상의 특이점과 대응되는 점들을 정의한 후 목선, 겨드랑이 둘레선, 허리선, 앞·뒤 중앙선 등의 의미 있는 경계를 찾기 위해 그러한 경계를 구성하는 절점은 연결된 인접 절점의 수가 내부 표면의 점들과는 다름을 이용해서 이러한 정보들을 자동으로 검출해내어 인체 모형과의 shape matching에 사용 할 수 있도록 하였다.

## 4. 의복 형상 조정 및 평면 패턴 제작 시스템의 개발

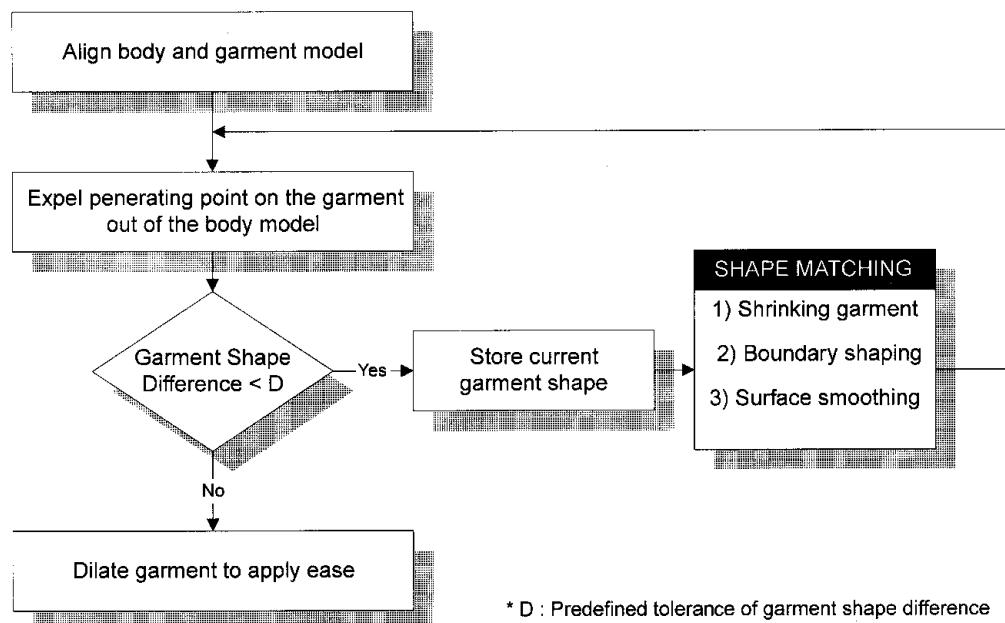
### 4.1. 의복 형상과 인체모형간의 관계

의복형상 제작 과정에서도 언급한 바 있지만 의복은 체형보정 속옷 등 일부를 제외하면 대개는 인체의 굴곡을 완전히 따라가는 구조가 아닌, 그러한 굴곡을 감싸는 볼록한 구조를 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 인체 모형과 의복형상과의 형태 일치화(shape matching)를 위해서 앞서 서술했던 볼록하게 변환된 인체 모형을 사용하였다. 이러한 볼록한 형상에 대해서도 보통의 인체 모형에 적용했던 Fourier transform 방법을 써서 패턴 제작에 필요한 특이점들을 찾을 수 있었으며 의복 형상에 지정한 이들의 대응점, 그리고 의복형상이 가지는 경계 형상을 기준으로 하여 의복과 인체의 형상이 일치되도록 조정하였다.

### 4.2. 의복과 인체의 입체형상 균사화

의복 형상을 인체에 가장 적합한 형상으로 조정하는 과정을 흐름도로 나타내면 *Figure 16*과 같으며 각 단계에 대한 설명은 다음과 같다.

두 형상을 일치시키기 위해서는 먼저 공간상에서 초기 배치를 해야하는데, 인체모형상의 특이점, 의복상의 대응점, 의복상의 한 점을 나타내는 벡터를 각각  $B_i$ ,  $G_i$ ,  $g_i$ , 인체모형의 특이점의 수, 의복상의 대응점의 수를 각각  $N_B$ ,  $N_G$ 라 하면 다음과 같이 공간상에 의복을 적절히 배치할 수 있다.



**Figure 16.** Overview of shape matching process.

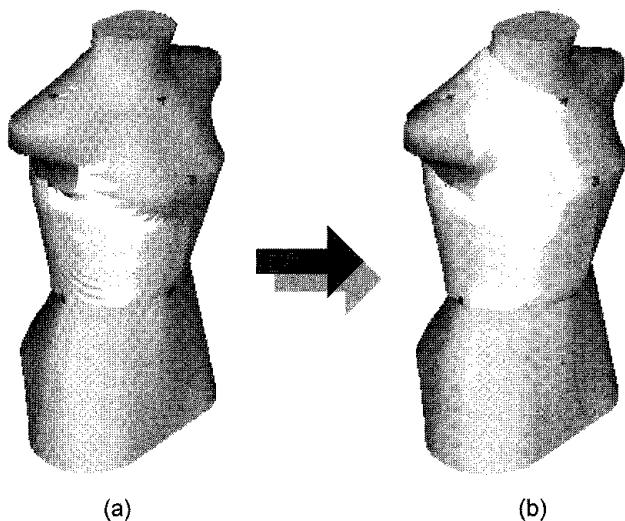


Figure 17. Alignment and separation of body and garment model.

$$g'_i = g_i + C, \text{ 단, } C = \frac{1}{N_G} \sum_{i=1}^{N_G} g_i - \frac{1}{N_B} \sum_{i=1}^{N_B} B_i$$

그런데 이와 같이 배치할 경우 일반적으로 의복과 인체의 형상에 차이가 있으므로 의복을 구성하는 점 중 일부는 인체모형 내부에 위치하게 되므로 Figure 17(a)와 같은 비정상적인 형상을 가지게 된다. 따라서 이러한 점들을 모두 인체 외부로 배출하여 Figure 17(b)와 같은 형태를 유지할 필요가 있다.

이때, 인체 내부에 있는 점들을 배출시키는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있겠으나, 본 연구에서는 의복상의 한 점을 인접한 요소들의 법선 벡터의 합 방향으로 점이 인체의 표면으로 나올 때까지 이동시키는 방법을 택하였으며 이런 방법을 통해서 의복상의 점들이 모두 인체 표면상에 존재하도록 하였다.

다음 단계로 이렇게 인체모형과 분리된(외부에 위치하게 된) 의복 형상이 바로 전 step의 형상과 가지

는 차이를 검사하여 임계값(본 연구에서는 1%로 설정) 보다 크다면 형상 조정 단계를 수행하며, 작으면 인체 표면에 완전히 부착되어 있는 의복과 인체 사이에 일정량의 여유분(ease - 대략 3~5 mm 정도)를 더 하여 최종적인 의복 형상을 얻게 된다.

현재 의복형상과 바로 전 step의 의복 형상간의 형상 차이는 다음과 같은 식을 사용해서 계산할 수 있다.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^4 |L_{ij} - L'_{ij}|}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^4 L_{ij}} \times 100 (\%)$$

여기서,  $N = \text{no. of Element}$

$L_{ij} = \text{length of } j \text{ th side of } i \text{ th element}$   
( $'$  denotes the current shape)

의복형상의 조정은 다음과 같은 3단계로 이루어진다.

**의복의 수축(Shrinking) :** 인체 모형으로부터 패턴을 얻어내려면 의복형상이 인체면에 밀착되어 인체의 기하학적 형상과 같아야 한다. 그러나 초기에는 의복 형상과 인체사이에 간격이 있을 수 있기 때문에 의복을 전체적으로 수축시킨 뒤 인체 내부로 들어온 점을 내보내는 조작을 거치면 의복을 인체면에 밀착시킬 수 있다.

**경계선 형태 유지(Boundary shaping) :** Figure 18과 같이 의복에서 목둘레, 겨드랑이둘레, 앞·뒤 중심선, 허리둘레선 등은 그 형태를 직선 또는 타원에 가까운 형태로 유지해야 하므로 특별한 조작이 필요하다.

이를 위해 앞에서 의복형상을 만들 때 미리 주변 절점과 3개 이하의 연결관계를 갖는 점들로써 경계를 정의해 두었기 때문에 이러한 경계에 대해 앞서 서술한 shrinking과 함께 Figure 19와 같은 smoothing

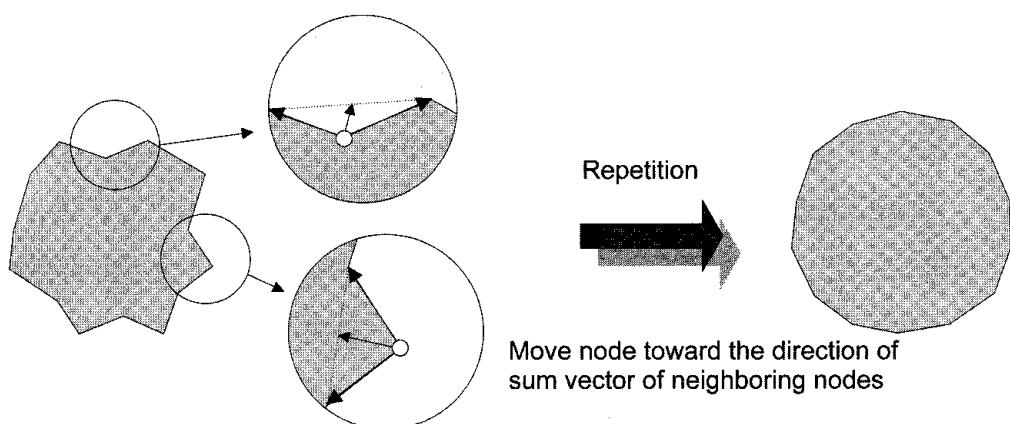


Figure 18. Boundary shapes to be maintained during shape matching.

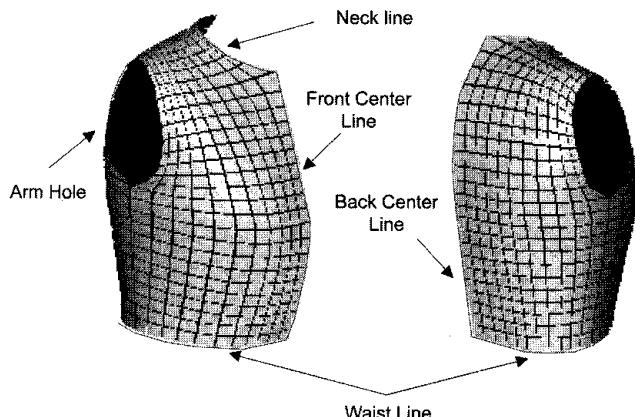


Figure 19. Schematic diagram of boundary shaping.

을 반복하면 경계를 특정한 형태로 유지할 수 있게 된다.

**의복 표면 평활화(Smoothing) :** 의복의 shrinking과 인체 내부에 침투한 점을 배출하는 작업을 반복하다보면 의복 표면에 크고 작은 굴곡이 생기게 되는데 평활한 표면을 얻기 위해서는 이를 완화할 필요가 있다. 본 연구에서는 Laplacian smoothing 기법을 사용하였는데, 이는 본래 평면상에서 한 점을 인접한 점들의 무게중심 위치로 이동시키는 과정을 반복함으로써 모든 점들이 서로의 중심에 위치하게 만드는 것인데 본 연구에서는 Figure 20과 같이 3차원상에서 한점의 위치를 인접한 점들의 무게중심과 그 점과의 중점으로 재 설정하는 방법을 써서 각 요소간의 경계가 급격히 꺾이지 않게 하도록 하였다.

위와 같은 여러 과정을 반복하여 얻은 여유량(ease)이 포함된 최종적인 의복형상은 Figure 21에 보인 바와 같다.

#### 4.3. 의복 형상의 평면패턴 전개

위와 같은 방법으로 인체에 정확하게 맞는 의복 형상을 얻은 뒤에 이를 의복 생산에 응용하기 위해서는 평면 패턴으로 전개할 필요가 있다. 지금까지 입체를 평면으로 전개하는 것에 대한 연구는 많이 이루어져

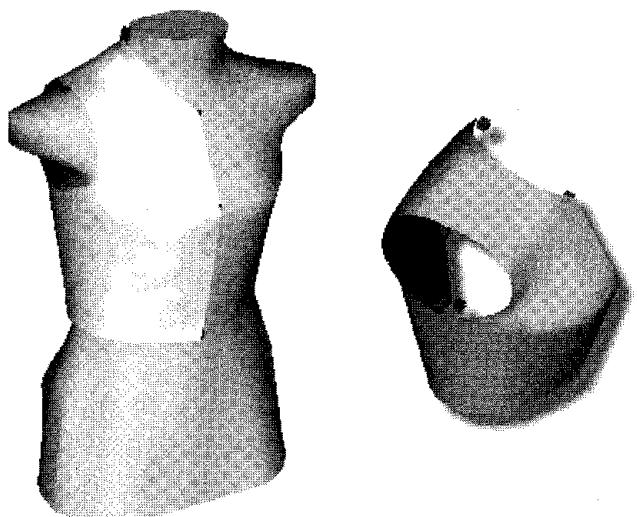


Figure 21. Final shaped garment with ease.

왔으나 이러한 연구들을 의복패턴 제작에 바로 적용하는데는 몇 가지 문제가 있다. 첫째는 의복 패턴 전개에는 어느 정도 형식이 필요하다는 것으로 즉, 평면화를 위해서 지나치게 많은 절개선을 만들다면 뒤이은 재단 및 봉제 과정이 매우 힘들어질 수 있기 때문에 1~2개 정도의 절개선(dart)만을 가지도록 해야 하고 둘째는 의복은 금속이나 종이와 같은 등방성의 연속체로 구성되는 것이 아니라 비등방성이며 전단 변형에 대한 저항이 비교적 적은 직물로 제작되기 때문에 평면 전개시에 이러한 직물의 성질을 고려하여야 한다는 것이다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 본 연구에서는 dummy model의 표면을 8개의 구역으로 분할하여 각각의 구역은 평면상에 전개할 수 있다는 가정하에 구역 경계선에 절개선을 만들 수 있도록 하였으며 직물의 modulus 차이, 전단에 대한 저항력의 차이를 평면패턴 전개과정에서 고려할 수 있게 하였는데 그 방법은 다음과 같다.

의복상에 분할해둔 각각의 구역을 평면상에 투영하면 입체상의 요소가 왜곡된 형태로 평면상에 나타나게 된다. 따라서 이 왜곡을 줄여주기 위해서 의복과 평면에 투영된 상의 요소의 변의 길이를 서로 같게 하

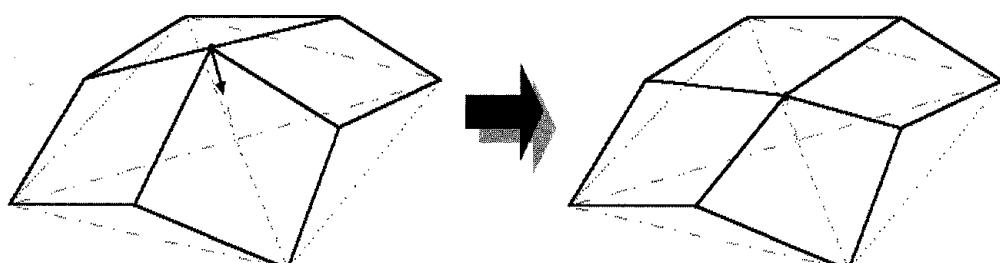


Figure 20. Schematic diagram of 3-D Laplacian smoothing.

는 조작을 모든 요소에 대해 반복하면 각각의 구역을 평면상에 투영했을 때의 형태를 얻을 수 있다. 이때 이 과정이 무한히 반복되지 않도록 종료를 판정할 기준이 필요한데, 본 연구에서는 요소의 각 변의 길이 차이로부터 modulus와, 그리고 요소의 내각의 크기 차이로부터 전단과 관련된 기준을 다음과 같이 설정하였다.

$$C_{Modulus} = 100 \times \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^4 \frac{|L_{ij}^{2D} - L_{ij}^{3D}|}{L_{ij}^{2D}} (\%)$$

$$C_{Shear} = 100 \times \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^4 \frac{|A_{ij}^{2D} - A_{ij}^{3D}|}{A_{ij}^{2D}} (\%)$$

이때,  $N$ 은 요소의 갯수,  $L_{ij}$ 는 요소  $i$ 의  $j$ 번째 변의 길이,  $A_{ij}$ 는  $j$ 번째 내각의 크기이다. 따라서 두 값이 각각 미리 설정해둔 threshold 값 이하가 될 때까지 계속하

면 서로 다른 물성을 가진 직물에 대해 다른 패턴형태를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 이러한 방법으로 각각의 구역을 평면상에 투영할 수 있었으며 의복 패턴으로 사용하기 위해서 8개의 구역을 Figure 22에 보인 바와 같이 앞·뒤 각 4개씩 한 꼭지점을 공유하도록 연결한 뒤 그 경계선을 절개선으로 설정하였다.

그런데 위의 패턴에도 역시 각각 4개나 되는 절개선이 있기 때문에 아직 의복 패턴으로는 부적절하므로 modulus 및 전단 조건을 만족시키는 범위에서 절개선상의 점들을 합치는 방법으로 절개선의 길이를 조절하여 절개선의 수를 줄여야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 여러 가지로 실험해본 결과 Figure 23과 같이 상의 앞·뒤 패턴의 경우 가슴선 아래의 두 패턴간의 절개선은 필요 없었음을 알 수 있었으며 가슴선과 목둘레선 쪽으로 각각 한 개씩 두개의 절개선을 가지는 경우 평면화를 위한 두 조건을 만족하는데 큰 무리가 없었음을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 지금까지 수작업에 의존해왔던 의복 기본 패턴의 제작을 컴퓨터를 이용하여 자동화할 수 있는 방법을 개발하였다. 기존에는 인체에 잘 맞는 의복을 만들기 위해서는 숙련된 기술자가 인체를 면밀히 측정하고, 석고 등으로 인체 형상을 떠낸 뒤 이를 평면으로 전개하는 방법을 써왔는데 이는 매우 복잡하고 시간이 걸리는 작업이었다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 3차원적으로 얻어진 인체 계측자료로부터 패턴제도에 필요한 여러 가지 정보를 구할 수 있는 방법을 고안하였으며, 입체 재단에 쓰이는 인체 모

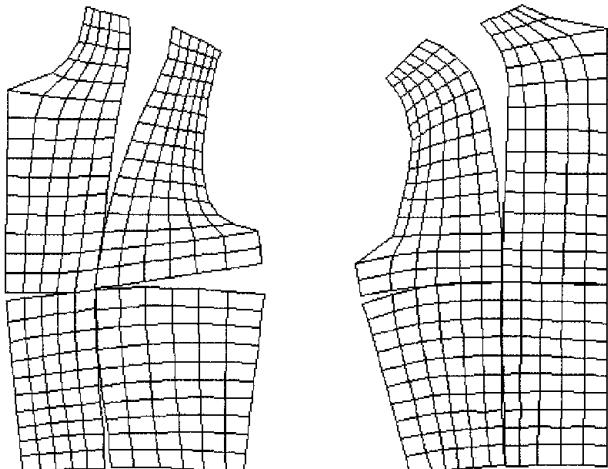
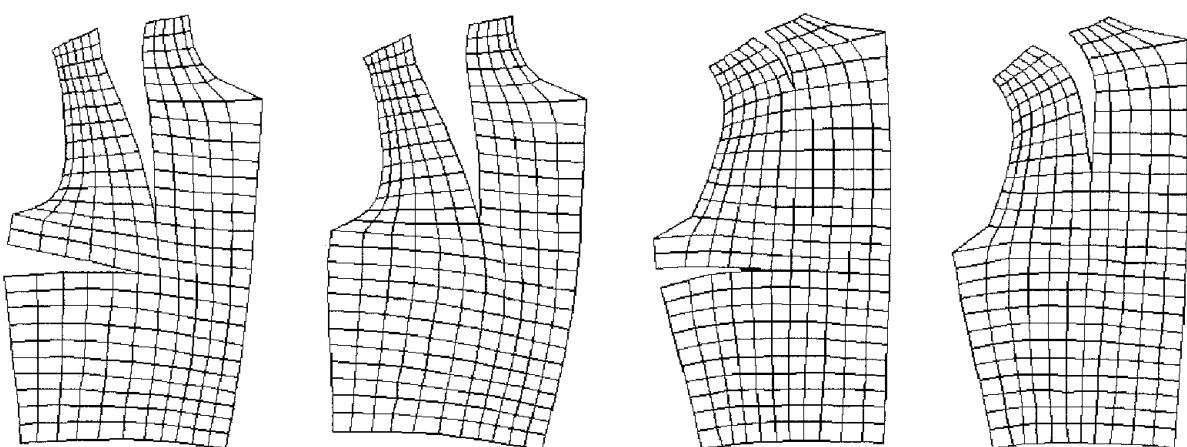


Figure 22. Clustered front and back patterns of bodice.



Front panel with 2 darts      Front panel with 1 dart      Back panel with 2 darts      Back panel with 1 dart  
Figure 23. Examples of resulting patterns after rearrangement of dart lines.

형으로부터 원하는 의복 형상을 재구성한 후 이것과 인체 모형의 형상을 일치되게 만드는 알고리즘을 개발하여 피착용자에게 가장 잘 맞는 의복을 만들 수 있게 하였다. 또한, 직물을 나타낼 수 있는 두 가지 특성, 즉 modulus와 전단 거동을 반영할 수 있는 기준을 정의하여 이렇게 만들어진 의복을 비교적 쉽게 재단이 가능한 평면으로 전개시킬 수 있는 시스템을 개발하였다. 이와 같은 방법으로 자동으로 제작된 패턴과 기존의 평면 패턴 제도법에 의해 제작된 패턴을 비교해 보면 패턴을 구성하는 선이나 절개선 등의 형상이 서로 다른 것을 알 수 있는데, 이것은 평면적인 방법만으로는 입체를 정확하게 평면으로 나타내는데 한계가 있기 때문임을 알 수 있다. 어페릴 캐드 시스템을 대량 생산뿐만 아니라 개개의 의복 생산에서도 보다 효율적인 도구로 발전시키기 위해서는 이러한 3차원적 자동 패턴제작은 필수적인 것이라 할 수 있겠다. 이를 보다 발전시키기 위해서는 인체 측정에 레이저측정 등을 이용한 비접촉 계측법을 적절히 활용하고, 스커트나 자켓 등의 보다 다양한 형태의 의복형상을 제작해야 할 것이며, 평면 패턴 제작시 쓰이는 직물의 물성을 반영하는 인자를 결정하기 위한 다양한 실험과 이의 데이터베이스화가 이루어져야 할 것이다. 더 나아가 기존의 관능검사에 의존하고 있는 의복형태의 인체 적합성 판정에 대한 자동적이고 객관적인 기준에 대한 연구가 더 이루어진다면 기존의 수작업에 의한 의복 생산공정을 대폭 자동화하여 제품 개발주기를 단축하고 생산성을 높일 수 있을 것이며 이를 바탕으로 의류 산업은, 향후 계속될 디폴드 소량생산 및

주문형 생산 등에 신속하게 대처할 수 있는 경쟁력을 가질 수 있게 될 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. S. Shin, *J. Korean Fiber Soc.*, **33**, 544 (1996).
2. B. J. Collier and J. R. Collier, *Clothing and Textile Research Journal*, **8**(3), 7(1990).
3. S. J. Kim, "Fashion Pattern Principle", Rasara Publishing Co., Seoul, 1993.
4. B. J. Shim, "Garment Ergonomics", Kyomoonsa Inc., Seoul, 1996.
5. E. Kreyszig, "Advanced Engineering Mathematics", 6th Ed., John Wiley and Sons Inc., 1988.
6. K. H. Kim, "Draping for Creation", Hakmoonsa, Seoul, 1995
7. F. L. Heisey and K. D. Haller, *Journal of Textile Institute*, (2), 250(1988).
8. F. Heisey, P. Brown and R. F. Johnson, *Text. Res. J.*, **60**(11), 690(1990).
9. T. Masuda and H. Imaoka, 日本纖維學會紙, **54**(6), 299(1998).
10. J. C. Russ, "The Image Processing Handbook", 2nd Ed., CRC Press, 1995.
11. R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing", Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
12. B. K. Hinds, J. McCartney, C. Hadden, and J. Diamond, *International Journal of Clothing Science and Technology*, **4**(4), 6(1992).