

인체모델과 3차원 일러스트레이션을 이용한 의복패턴개발

박혜준 · 홍경희*†

충남대학교 생활과학연구소, *충남대학교 의류학과

Direct Clothing Pattern Development from the 3D Illustration on the Personal Human Body Model

Hyejun Park · Kyunghi Hong*†

Research Institute of Human Ecology, Chungnam National University

*Dept. of Clothing & Textiles, Chungnam National University

(2007. 10. 9. 접수)

Abstract

A prototype of 3D clothing design system with a direct pattern development function was suggested, reflecting intuitive design functions and design modifications while considering the fit of clothing patterns with the 3D human body in the virtual 3D space. The research method was as follows. Clothing models were created using a 3D design tool, 3ds max on the surface of 3D human body model made by scanning an actual human body. 3D illustrations were completed by revising the fit and sizing of the human body and clothing models. 2D T-shirt pattern was produced 3D illustrations using from a 3D scanning data modeling solution *RapidForm 2004*, a 2D conversion program for 3D data called *2C-AN*, and *Yuka CAD*. As a result, the following conclusions were made. The fit of the clothing and human body can be adjusted by reflecting individual body figure characteristics and 3D illustrations over the actual 3D body model. Furthermore, intuitive design support functions were intensified overcoming the weak point of existing 3D clothing design system by developing the direct clothing design in the virtual 3D space. 3D illustration design modifications can be directly reflected on clothing patterns from 3D illustrations by 3D clothing design system developed in this study.

Key words: 3D scan, Human body model, 3D illustration, Clothing pattern; 3차원 스캔, 인체모델, 3차원 일러스트레이션, 의복패턴

I. 서 론

의복은 다양한 형태의 3차원 인체에 입혀지는 것이므로 3차원 공간에서 디자인하고 제작하는 것이 의복의 맞춤새에 대한 근본적인 문제를 해결하는 가장 이상적인 방법이다(Wang et al., 2005). 이에 따라 3차원 공간에서 의복을 제작하는 3차원 의복제작도구

를 만들기 위한 연구는 게임, 애니메이션, 영화특수효과분야의 컴퓨터 그래픽과 의복시뮬레이션 기술, 3차원 형상측정기와 관련 소프트웨어의 개발 그리고 CAD/CAM 기술 등의 급속한 발전에 힘입어 활발하게 이루어지고 있다.

3차원 의복제작도구와 관련된 기술은 컴퓨터 그래픽 기술을 바탕으로 가상패션쇼와 같이 의복의 시각화(visualization)와 애니메이션을 목적으로 하는 연구(Choi & Ko, 2005; Cordier et al., 2003; Magnenat-Thalmann & Volino, 2005; Wang et al., 2005)와 2차원의 의복패턴을 3차원 가상공간에서 인체모델에 드레이

†Corresponding author

E-mail: khhong@cnu.ac.kr

본 논문은 한국과학재단 특정기초연구과제(R01-2003-000-10423 -02005) 지원을 받아 수행된 결과의 일부임.

평(draping)시키며 맞춤새를 보정한 패턴제작을 목적으로 하는 연구(Fontana et al., 2006; Luo & Yen, 2004)로 나눌 수 있다. 그러나 전자는 가상의복 외관의 사실적 표현에 주력하고 있어 실제 의복제작에 필요한 패턴을 얻어낼 수 없고, 후자는 가상드레이핑을 통한 패턴제작 중심으로 이루어져 있어 직관적인 디자인 과정을 충분히 지원하지 못하고 있다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 2차원 평면상에 그려진 스케치나 사진으로부터 3차원 의복메쉬를 생성하여 3차원 의복모델을 제작하는 연구(Cordier & Seo, 2007; Decaudin et al., 2006; Turquin et al., 2004; Volino et al., 2005; Wang et al., 2005)가 이루어지고 있으나, 2차원으로부터 3차원을 유추하기 때문에 디자이너의 정확한 의도를 세밀하게 표현하는 데는 한계가 지적되고 있다. 한편 최근 패턴캐드와 호환성을 가지게 된 3ds max나 Maya의 Cloth 시뮬레이션 기능을 활용하여 의복모델을 만든 후 메쉬를 이동시키면서 디자인을 변형하는 직관적인 디자인 과정을 도입하려는 연구(김혜영, 2000; 배리사, 이인성, 2004; 조진숙, 2006)가 시도되고 있으나, 단일 소프트웨어의 사용만으로는 완성된 의복디자인 즉 3차원 의복모델로부터 패턴을 추출하는 기능이 없어 실제 의복제작에는 활용하기 어렵다.

3차원 의복저작도구에 대한 연구는 의류학과 컴퓨터 그래픽이나 프로그램 분야와의 학제간의 실험연구가 주를 이루어 왔으나, 최근에는 관련분야의 급속한 발전에 힘입어 3차원 의복저작과 관계되는 기술과 소프트웨어가 상용화되기 시작하고 있다. 이러한 변화는 일반적인 의류분야에서도 3차원 의복 저작에 대한 접목을 용이하게 하여 최근에는 의류학적 관점에서 실제 의류산업에서 활용할 수 있는 새로운 프로세스에 대한 요구가 증대되고 있다. 즉, 범용성의 소프트웨어를 사용하여 직관적인 디자인이 가능하면서 디자인의 변형에 대응하여 패턴이 변하는 프로세스를 갖는 실용적인 3차원 의복저작도구의 개발에 대한 필요성이 높아지고 있다.

이러한 사회의 요구에 부응하여 본 논문에서는 리버스 엔지니어링(reverse engineering)의 관점에서 3차원 가상공간에서 3차원의 인체와 의복의 맞춤새를 고려하면서, 직관적 디자인 기능과 디자인 변형을 반영하는 패턴수정 기능을 갖는 3차원 의복저작도구의 프로토타입을 제안하고자 한다. 완성된 제품의 형상 데이터에서 제품설계에 필요한 캐드 데이터를 추출

해내는 리버스 엔지니어링의 개념을 의복패턴제작에 도입하여, 기존에는 2차원의 의복패턴을 이용하여 3차원 가상작업으로 진행하던 방법과는 반대로 3차원 가상작업의 즉 일러스트레이션으로부터 2차원의 의복패턴을 추출하는 3차원 의복저작도구의 프로세스를 제안하고자 한다.

이를 위해 실제 인체를 스캐닝한 3차원 인체모델 위에 3ds max와 같은 3차원 디자인 소프트웨어를 이용하여 의복모델을 만들어 시뮬레이션한 후 맞춤새와 사이즈 적합성을 확인하여 3차원 일러스트레이션을 완성한다. 그리고 3차원 스캐닝 데이터 모델링 솔루션인 RapidForm, 3차원 데이터의 2차원 변화 프로그램인 2C-AN(Jeong et al., 2006) 그리고 상용 패턴캐드 Yuka를 이용하여 완성된 3차원 일러스트레이션으로부터 2차원 의복패턴을 추출하고자 한다.

II. 연구방법

1. 실제 인체의 3차원 인체모델링

인체스캔은 20대의 성인 남성(키: 177.5 cm, 가슴둘레: 88.0cm, 허리둘레: 70.5cm, 엉덩이둘레: 89.5cm) 피험자를 대상으로 실시하였다. 피험자의 인체표면에 마틴 계측기를 이용하여 기준선 및 계측점을 표시하였다. <Table 1>에 나타낸 것과 같은 사양의 3차원 스캐너(Whole body color 3D scanner model WB4, Cyberware, Inc., USA)를 이용하여 3차원 인체형상을 측정하였다.

Ply형식을 갖는 3차원 인체형상 데이터는 3차원 스캔 데이터 처리 소프트웨어 RapidForm 2004(INUS Technology, Korea)를 사용하여 모델링하였다. 인체의 스캔 과정에서 발생한 불필요한 데이터를 삭제하는 Clean, 거드랑이와 살부부의 구멍들을 메우는 Fill holes 그리고 곡면의 형태를 유지하면서 삼각 메시의

Table 1. Specification of 3D scanner

Model type	WB4
Measurement range(cm)	depth: 120, height: 200
Sampling pitch(mm)	5(X), 2(Y), 0.5(Z)
Light source	Laser
Accuracy(mm)	± 0.5
Power(W)	1500
Optical heads	4 pieces

수를 줄이는 데시메이트(decimate) 등의 RapidForm 기능을 이용하여 <Fig. 1>과 같은 실제 3차원 인체모델을 완성하여 3ds max와 호환 가능한 dxf형식으로 저장하였다.

2. 3차원 일러스트레이션

3ds max는 3차원 모델링과 애니메이션분야에서 3차원 캐릭터에 의복을 착장시키고 직접 수정하는 가상 의복모델링 및 착장이 가능한 소프트웨어이다. 이러한 범용성 3차원 디자인 소프트웨어 3ds max 8 (Autodesk, USA)을 이용하여 실제 3차원 인체모델 위에 티셔츠와 바지를 모델링하여 3차원 일러스트레이션을 제작하였다.

3ds max에서는 일반적인 사물의 모델링과 같은 방법으로 대략적인 의복을 모델링한 후, dxf파일의 실제 3차원 인체모델을 3ds max에 불러들여 인체모델의 사이즈와 형태특성, 의복설계시의 기능성과 심미성을 고려하여 피트존(Fit zone), 액션존(Action zone), 프리존(Free zone) 그리고 디자인존(Design zone)(中澤 愈, 1996)에서의 맞춤새와 여유분을 설정하여 의복모델의 매쉬를 수정하였다. 이렇게 하여 실제 3차원 인체모델에 착의된 3차원 의복모델을 시뮬레이션하여 RapidForm과의 호환을 위하여 dxf형식으로 저장하고 이를 3차원 일러스트레이션으로 정의하였다.

3. 3차원 일러스트레이션으로부터 의복패턴 추출

3ds max를 통해 제작된 3차원 일러스트레이션에서 3차원 스캔 데이터 처리 소프트웨어인 RapidForm, 3차원의 형상을 2차원 평면화시키는 프로그램인 2C-AN 그리고 Yuka 패턴카드(Yuka and Alpha, Inc., Japan)를 이용하여 의복패턴을 다음과 같이 추출하였다.

1) dxf형식 의복모델을 RapidForm에 불러들여 봉제선이나 디자인선을 기준으로 분할하였다. 의복모델의 곡률 및 형상을 고려하여 분할하였다.

2) 의복모델의 분할된 각 부분은 2C-AN 프로그램에서의 원활한 작동과 호환을 고려하여, x, y, z의 좌표값 중 z좌표값이 급격히 차이나지 않도록 z방향을 수정하여 저장하여 dxf형식의 독립된 파일로 저장하였다.

3) 의복모델을 분할하여 저장한 dxf형식파일을 2C-AN에 불러들여 의복의 3차원 곡면(surface)을 작은 삼각조각으로 2차원 평면화하였다. 2C-AN은 3차원 형상

의 곡면을 표면 삼각화(Triangle simplification)하는 이론(Garland, 1999)과 표면 삼각화한 삼각조각을 자유낙하원리를 이용하여 2차원 공간에 뿌리는 Runge-Kutta 이론을 반자동화한 프로그램이다. 이때 분할된 곡면의 적정 삼각조각 수의 설정과 삼각조각의 2차원평면 조합방법은 선행연구(정연희, 홍경희, 2006; 정연희 외, 2005)에 준하였으며, dxf형식의 파일로 저장하였다.

4) 2C-AN에서 얻어진 dxf파일을 패턴카드 Yuka를 이용하여 최종 의복패턴을 완성하였다. 삼각조합들은 블록간 꼭지점과 꼭지점을 연결하여 스트레스를 분산하는 방법(이희란, 2005)을 기준으로 결합하였으며, 인체와 의복의 형태에 따라 수정 및 보완하여 최종 의복패턴을 추출하였다.

III. 연구결과 및 논의

1. 3차원 일러스트레이션

20대 성인 남성을 실제로 3차원 스캔하여 만든 3차원 인체모델 <Fig. 1> 위에 3ds max를 이용하여 티셔츠와 바지를 모델링하여 표현한 3차원 일러스트레이션을 <Fig. 2>에 나타내었다.

3ds max에서 의복을 모델링하는 방법은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 일반적인 사물의 모델링과 같은 방법으로 의복을 모델링하는 방법과, 실제 의복을 제작하는 과정을 모방하여 의복패턴과 비슷한 형태의 도형을 설정하여 패턴과 패턴이 이어지는 봉제선을 연결하여 모델링하는 Cloth 시뮬레이션 기능을 사용하는 방법이 있다. 특히 3ds max의 Cloth 시뮬레이션 기능은 실제 패턴카드에서 dxf형식의 파일로 저장된 의복패턴을 불

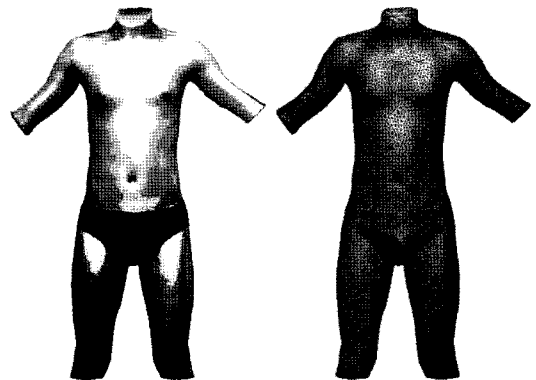


Fig. 1. 3D scanning data of human body(by Rapid Form).

러들여 착의상태를 시뮬레이션 할 수 있다. 그러나 의복패턴을 정확하게 인식하여 표현하기 보다는 3ds max 자체의 계산에 의해 나름대로 최적의 의상을 표현하기 때문에 의복설계에 대한 지식이 전혀 없는 사람에게는 도움이 될 수 있으나, 패턴의 작은 사이즈 변화 및 완성선의 미세한 곡선 형태에 따른 실루엣을 표현하고자 하는 전문가의 의복설계의 측면에서는 심각한 문제를 안고 있다(김숙진, 2006). 따라서 본 논문에서는 3ds max를 이용하여 일반적인 사물을 모델링하는 방법과 같은 방법으로 실제 인체모델 위에 티셔츠와 바지를 모델링하였으며 그 결과를 <Fig. 2>에 나타내었다.

<Fig. 1>의 실제 3차원 인체모델을 3ds max에 불

러들여 인체모델의 사이즈와 형태와의 맞춤새를, 의복설계의 인체표면의 기능분포에 따라 피트존, 액션존, 프리존 그리고 디자인존의 원리에 따라 조절하였다. <Fig. 3>에는 메쉬상태의 의복모델에서 인체와 의복의 공극량을 조절하기 위하여 원하는 부위에 점을 선택하고 falloff 기능으로 점군을 설정하여 자연스러운 형태가 되도록 마우스를 드로그하여 맞춤새를 조절하는 과정을 나타낸 것이다. <Fig. 4>는 RapidForm을 이용하여 완성된 3차원 일러스트레이션에서 인체표면과 의복 사이의 공극량을 시각적으로 표현한 것과 공극량 분포의 히스토그램을 나타낸 것이다. 인체모델과 의복모델 사이의 평균 공극량은 약 22.84mm이었다.

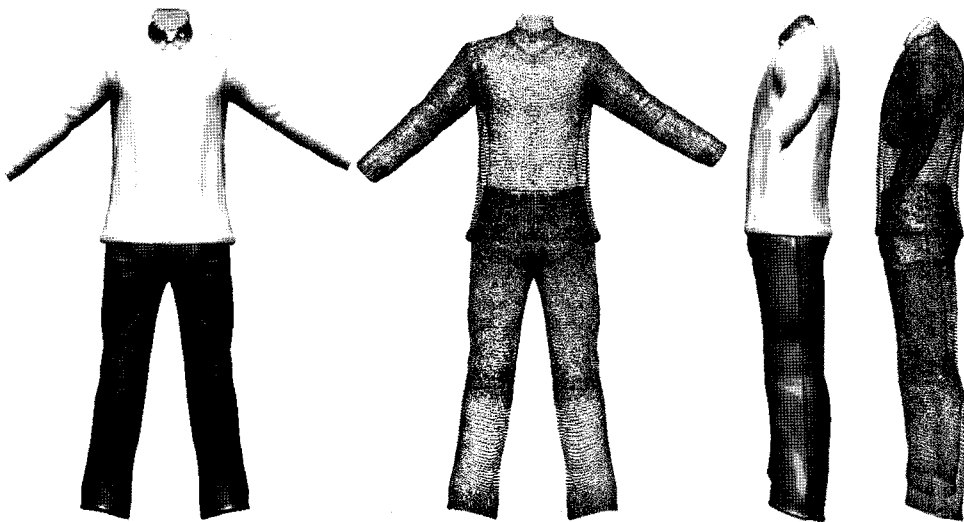


Fig. 2. 3D illustration(by 3ds max).

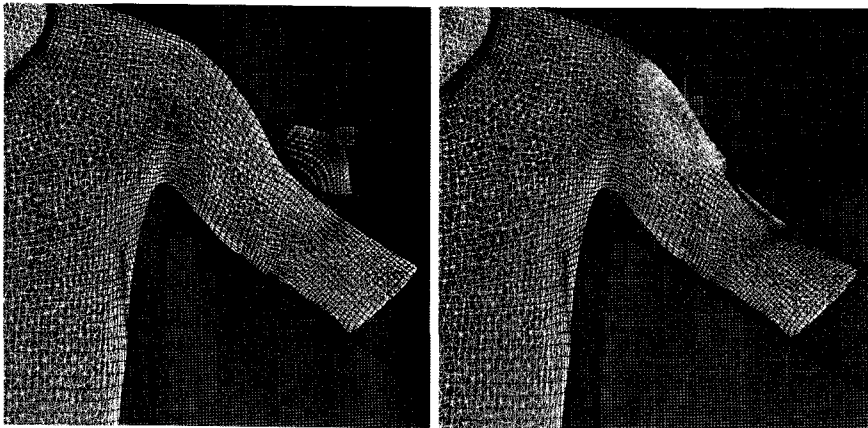


Fig. 3. Modification of 3D illustration(by 3ds max).

피트존에 해당하는 어깨부와 흉부의 대흉근 부위는 진한 파란색으로 공극량이 적어 밀착되어 있으며, 액션존과 프리존에 겨드랑이 부분과 앞단의 주름의 돌출된 부위는 붉은 색을 나타내어 공극량이 많음을 알 수 있었다. 본 실험의 피험자는 제5차 한국인 인체치수조사 자료(산업자원부 기술표준원, 2005)의 20대 초반 남자의 평균 젓가슴둘레(90.7cm)와 허리둘레(77.7cm)와 비교하여 허리가 가는 체형이므로 <Fig. 4>에서 허리둘레 높이의 옆선에서 공극량이 많음을 알 수 있었다. 완성된 3차원 일러스트레이션의 의복모델을 의복패

턴 추출을 위한 프로그램들과의 호환을 위해 dxf형식의 파일로 저장하였다.

이상의 과정으로 설계된 3차원 일러스트레이션은 개개인의 인체스캔 자료를 인체모델로 제작하여 사용할 수 있어, 개인의 특수한 인체형상을 그대로 반영할 수 있어 맞춤형의복의 표현에 효과적일 것이다.

2. 3차원 일러스트레이션으로부터 의복패턴 추출

본 연구에서는 의류학의 관점에서 새로운 3차원

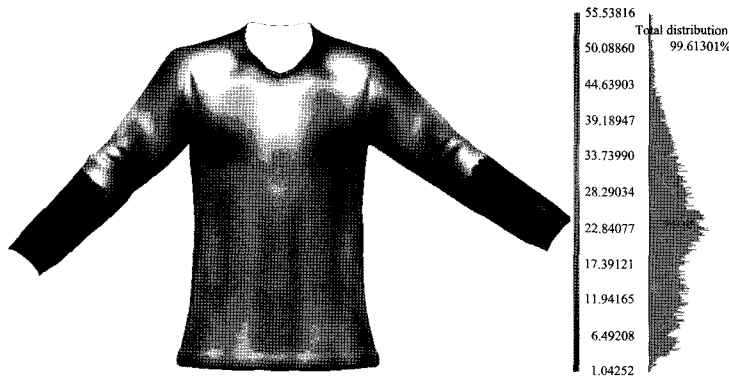


Fig. 4. Distribution and histogram of distance from body to clothing(by RapidForm).

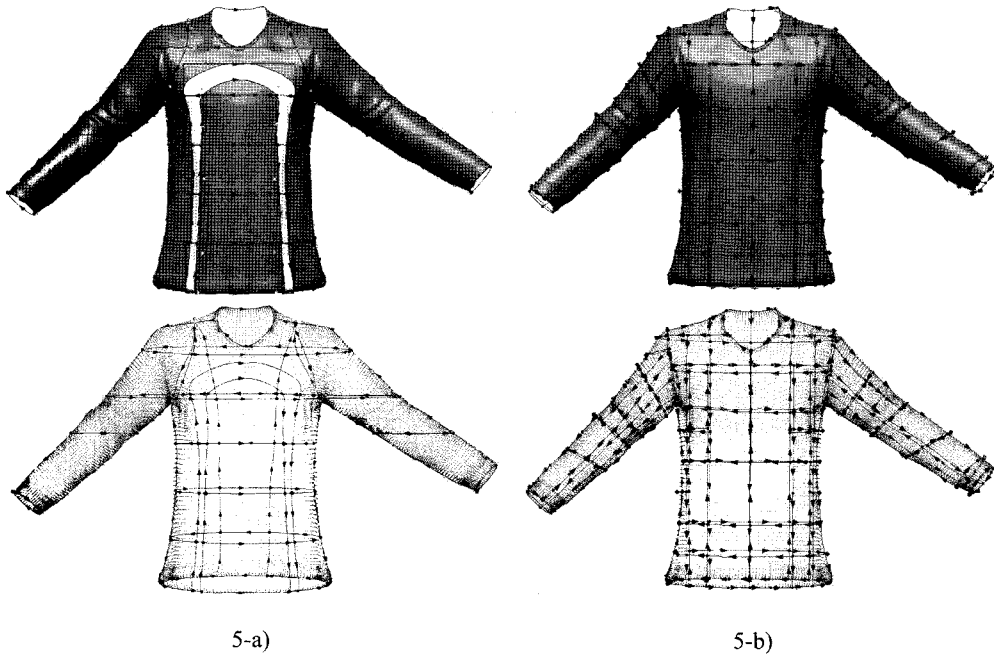


Fig. 5. Regional segmentation of 3D illustration for 2D pattern development(by RapidForm).

의복제작도구의 프로토콜을 제안하기 위해 리버스 엔지니어링개념을 도입하였다. 구체적으로 3ds max를 통해 제작된 3차원 일러스트레이션과 같이 완성된 의복모델 데이터로부터 다양한 3차원 데이터 처리 소프트웨어와 패턴카드를 이용하여 의복제작에 필요한 패턴카드 데이터를 역추출하는 과정을 제안하였다.

<Fig. 5>는 dxf형식 의복모델을 3차원 스캔 데이터 처리 프로그램인 RapidForm에 불러들여 분할하는 과정을 나타낸 것으로 5-a)는 앞부분의 디자인선과 라글란 소매의 봉제선, 5-b)는 티셔츠의 일반적인 봉제선만을 기준으로 분할한 경우이다. 이때 의복모델 표면의 곡률이 크지 않아 평평한 부분은 넓게, 곡률이 커 굴곡이 큰 곳은 좁게 조각을 분할하였다. 그리고 인체모델의 팔이 약간 굽어있어 주름이 형성되는 소매의 팔꿈치 부분은 다른 부위에 비해 더 많은 조각으로 분할하였다. 이와 같이 의복의 봉제선, 디자인선 그리고 곡률을 기준으로 의복모델의 표면을 분할하므로 이를 바탕으로 추출된 의복패턴은 3차원 일러스트레이션의 세부적인 사이즈 및 디자인의 차이를 명확하게 나타낼 수 있다.

<Fig. 6>은 의복모델의 앞중심선을 기준으로 오른쪽 옆선까지의 영역을 분할한 블록을 2C-AN에 불러들여 2차원 평면화한 후 패턴카드 Yuka에서 삼각조각들을 조합하고 정리하는 과정을 나타낸 것이다. 6-a)는 RapidForm에서 분할한 의복모델의 3차원 곡면

조각들을 각각 2C-AN 프로그램으로 표면 삼각화하여 삼각조각(실선)으로 만든 후 Runge-Kutta이론으로 연결선(점선)을 가진 삼각조각의 형태로 2차원 평면화한 것을 나타낸다. 6-b)는 2C-AN에서 2차원 평면화된 의복모델의 조각들을 패턴카드 Yuka에 불러들여 삼각조각의 연결선을 기준으로 결합시킨 후 연결선을 삭제하여 완성된 2차원 블록을 나타낸 것이다. 6-c)는 2차원 블록의 결합에 의한 스트레스가 최대한 분산될 수 있도록 블록의 꼭지점과 꼭지점을 연결하여 겹침과 벌림을 자연스럽게 유도하는 방법(이희란, 2005)으로 완성된 의복모델의 앞중심선 기준으로 조합한 의복패턴의 일부분이다.

이상과 같은 과정으로 티셔츠 모델의 앞·뒤 각각의 좌·우 패턴을 추출하여 앞·뒤중심선을 기준으로 배열한 후 결합시켜 패턴의 앞·뒤판을 완성하였다. 이때 의복모델은 곡면을 갖는 실제 인체모델에 착의된 상태를 가정하고 있어 좌우의 의복패턴을 결합시킬 때 앞·뒤중심선이 일치선을 이루지 않았다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 <Fig. 7>에 나타낸 것과 같이 좌·우 패턴의 각각의 중심축의 상·하 끝점을 수직으로 연결하여 앞·뒤중심선으로 설정한 후 실제의 중심선과의 거리를 측정하여 옆선을 이동시켜 패턴을 수정 및 보완하여 완성된 의복패턴을 추출하였다. <Fig. 8>에는 의복모델에서 왼쪽 소매패턴을

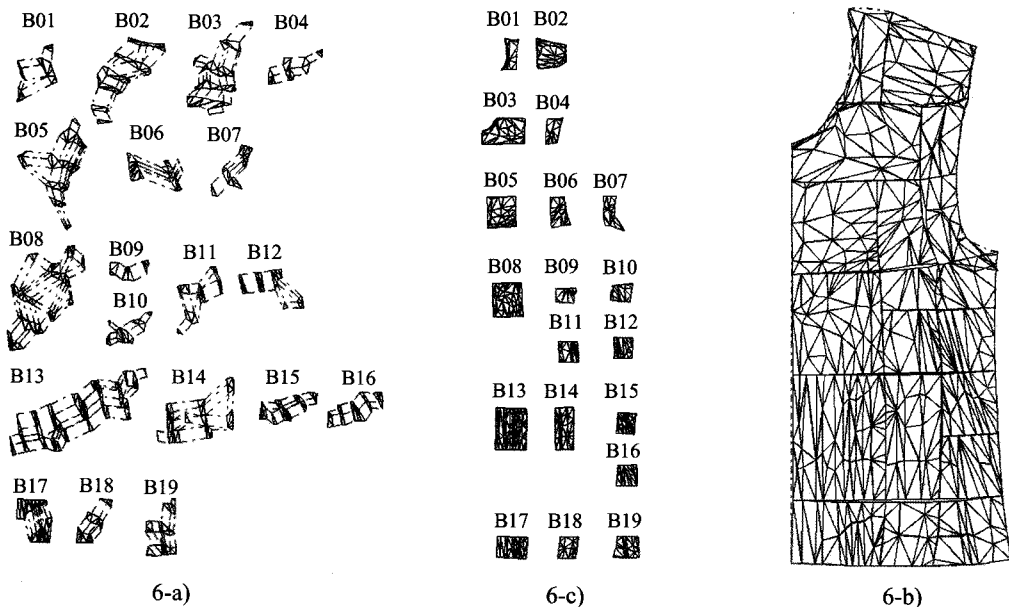


Fig. 6. Example of the obtaining 2D pattern from 3D illustration(by 2C-AN and Yuck CAD).

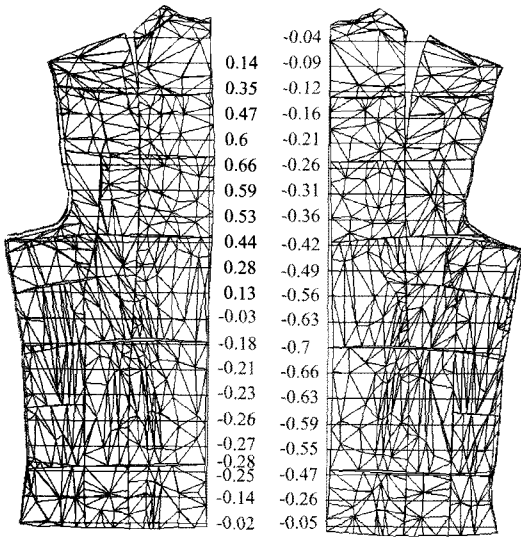


Fig. 7. Deformation of body pattern(by Yuka CAD).

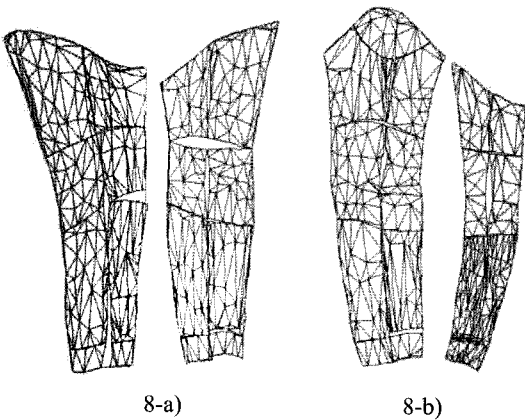


Fig. 8. Types of attached sleeve patterns.



Fig. 10. T-shirts used final pattern.

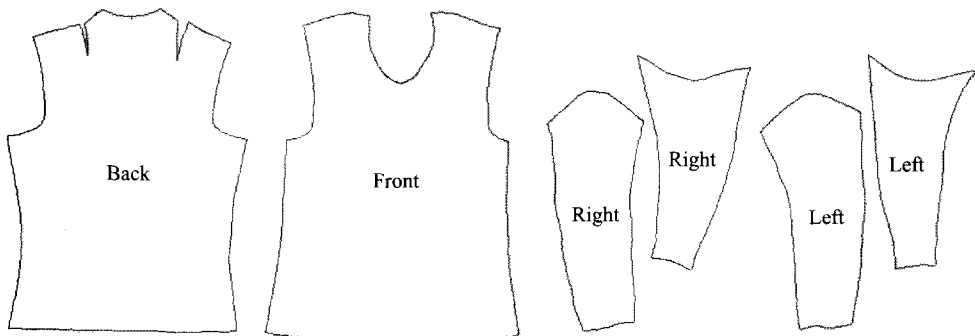


Fig. 9. Final pattern of T-shirts by the Yuka CAD.

추출한 결과를 나타내었다. 본 논문에서 사용된 실제 3차원 인체모델의 팔이 약간 앞으로 굽은 상태를 하고 있어, 한 장 소매로 패턴을 조합하기 어려웠다. 따라서 8-a)와 8-b)와 같이 다양한 조합을 실시하여 소매패턴의 블록들이 최소한의 겹침과 벌어짐을 갖는 8-b)를 완성된 소매패턴으로 선택하였다.

<Fig. 9>에 나타낸 완성된 티셔츠패턴으로 실제로 티셔츠를 만들어 3차원 일러스트레이션과의 재현성을 확인하였다. 완성된 티셔츠는 3차원 일러스트레이션의 시뮬레이션에서와 같이 면직물을 사용하였으며, 착의대상 역시 인체모델과 동일한 피험자를 대상으로 석고상을 만들어 착용시켰다. 완성된 티셔츠를 나타낸 <Fig. 10>에서 전체적인 티셔츠의 형상과 실루엣은 3차원 일러스트레이션과 일치함을 알 수 있었다. 따라서 티셔츠와 같이 단순한 3차원 일러스트레이션의 실물제작에는 본 연구방법의 활용 가능성을 확인할 수 있었다. 그러나 복잡한 패션일러스트레이션의 실물제작에까지 활용하기 위해서는 관련 3차원 소프

트웨어의 지속적인 발전이 요구되며 또한 이들 소프트웨어를 활용한 의복구성의 융합 연구가 필요하다.

IV. 결 론

범용성의 소프트웨어(3ds max, RapidForm, Yuka 캐드)와 3차원 형상의 평면화 프로그램 2C-AN을 사용하여, 3차원 공간에서의 직관적인 3차원 일러스트레이션의 제작이 가능하고, 이들 3차원 일러스트레이션으로부터 직접 2차원 의복패턴 추출이 가능한 3차원 의복제작도구의 프로세스를 의류학적 관점에서 제안하였다.

3차원의 실제 인체모델 위에 의복을 3차원 모델링하고 시뮬레이션을 통하여 3차원 일러스트레이션을 제작함으로써, 개개인의 인체형상의 특성, 사이즈를 그대로 반영하여 인체와 의복의 맞춤새를 향상시킨 3차원 일러스트레이션이 가능하였다. 또한 3차원 일러스트레이션은 3차원의 가상공간에서 의복디자인을 수정하여 기존의 3차원 의복제작도구의 단점으로 지적된 직관적 디자인 지원 기능을 강화하였다.

리버스 엔지니어링의 개념을 도입하여 완성된 3차원 의복 즉 3차원 일러스트레이션에서 직접 의복의 패턴카드 데이터를 추출하는 방법을 사용하였다. 따라서 3차원 일러스트의 수정과 변형을 그대로 의복패턴에 반영할 수 있어 이 프로세스는 의류산업에서의 활용성을 향상시켰다.

본 논문에서는 간단한 티셔츠 대상으로 직관적 디자인, 디자인 변형을 반영하는 패턴제작 그리고 인체와 의복의 맞춤새라는 3가지 측면을 개선한 3차원 제작 도구 프로세스의 타당성을 확인하였으나, 보다 복잡한 의복의 사실적인 3차원 일러스트레이션 표현기법과 이를 2차원의 의복패턴카드 데이터로 추출하는 원리에 대한 연구가 앞으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

김숙진. (2006). 가상의상 모델링 및 착장 소프트웨어를 위한 가이드라인. *대한가정학회지*, 44(2), 127-135.
 김혜영. (2000). 3D 디지털 애니메이션 모델을 활용한 의상 시뮬레이션에 관한 연구. *복식*, 50(2), 97-109.
 배리사. 이인성. (2004). 디지털 시대의 의상디자인 개발에 관한 연구. *복식*, 54(4), 63-74.
 산업자원부 기술표준원. (2005, 5. 17). 제5차 한국인 인체치수조사 자료-직접측정에 의한 인체치수 통계. *산업자원부 기술표준원 sizekorea*. 자료검색일 2005, 5. 30, 자료출처 <http://sizekorea.kats.go.kr/>

이희란. (2005). *밀착의복의 피트성 향상을 위한 3D 레플리카 조합방법*. 충남대학교 대학원 석사학위 논문.
 정연희, 홍경희. (2006). 3D 스캔 데이터를 활용한 밀착 패턴 원형 개발. *한국의류학회지*, 30(1), 157-166.
 정연희, 홍경희, 김시조. (2005). Triangle Simplification에 의한 3D 인체형상분할과 삼각조합방법에 의한 2D 패턴 구성. *한국의류학회지*, 29(9/10), 1359-1368.
 조진숙. (2006). 가상의상 모델링 및 착장 소프트웨어를 위한 가이드라인. *대한가정학회지*, 44(2), 127-135.
 中澤 愈. (1996). *衣服解剖學*. 東京: 文化出版局.
 Choi, K. J. & Ko, H. S. (2005). Research problems in clothing simulation. *Computer-Aided Design*, 37, 585-592.
 Cordier, F., Seo, H., & Magnenat-Thalmann, N. (2003). Made-to-measure technologies for an online clothing store. *IEEE Computer Graphics and Applications special issue on Web Graphics*, 23(1), 38-48.
 Cordier, F. & Seo, H. (2007). Free-form sketching of self-occluding objects. *IEEE Computer Graphics and Applications, special issue on Sketching*, 27(1), 50-59.
 Decaudin, P., Julius, D., Wither, J., Boissieux, L., Sheffer, A., & Cani, M. P. (2006). Virtual garments: A fully geometric approach for clothing design. *Proceeding of Eurographics 2006 Conference, Austria*, 25, 625-634.
 Fontana, M., Rizzi, C., & Cugini, U. (2006). A CAD-oriented cloth simulation system with stable and efficient ODE solution. *Computers & Graphics*, 30, 391-406.
 Garland, M. (1999). *Quadric-based polygonal surface simplification*. Doctoral dissertation, Carnegie Mellon University, Pittsburgh.
 Jeong, Y. H., Hong, K. H., & Kim, S. J. (2006). 3D pattern construction and its application to tight-fitting garments for comfortable pressure sensation. *Fibers and polymers*, 7(2), 195-202.
 Luo, Z. G. & Yen, M. M. F. (2004). Reactive 2D/3D garment pattern design modification. *Computer-Aided Design*, 37, 623-630.
 Magnenat-Thalmann, N. & Volino, P. (2005). From early draping to haute couture models: 20 years of research. *The Visual Computer*, 21(8), 506-519.
 Turquin, E., Cani, M. P., & Hughes, J. (2004). Sketching garments for virtual characters. *Proceeding of Eurographics Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling, France*, 175-182.
 Volino, P., Cordier, F., & Magnenat-Thalmann, N. (2005). From early virtual garment simulation to interactive fashion design. *Computer-Aided Design*, 37, 593-608.
 Wang, C. C. L., Wang, Y., & Yuen, M. M. F. (2003). Feature based 3D garment design through 2D sketches. *Computer-Aided Design*, 35, 659-672.
 Wang, C. C. L., Wang, Y., & Yuen, M. M. F. (2005). Design automation for customized apparel products. *Computer-Aided Design*, 37, 675-691.