(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0039091
(43) 공개일자 2009년04월22일

(51) Int. Cl.
*A41H 1/02* (2006.01) *A41H 1/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2007-0104528
(22) 출원일자 2007년10월17일
심사청구일자 2007년10월17일

(71) 출원인
**충남대학교산학협력단**
대전광역시 유성구 궁동 220번지 충남대학교
**안동대학교 산학협력단**
경북 안동시 송천동 안동대학교
(72) 발명자
**서혜원**
대전시 유성구 궁동 220 충남대학교 공과대학
**홍경희**
대전시 유성구 궁동 220 충남대학교 생활과학대학
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**권오식, 박창희, 김종관**

전체 청구항 수 : 총 6 항

# (54) 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법

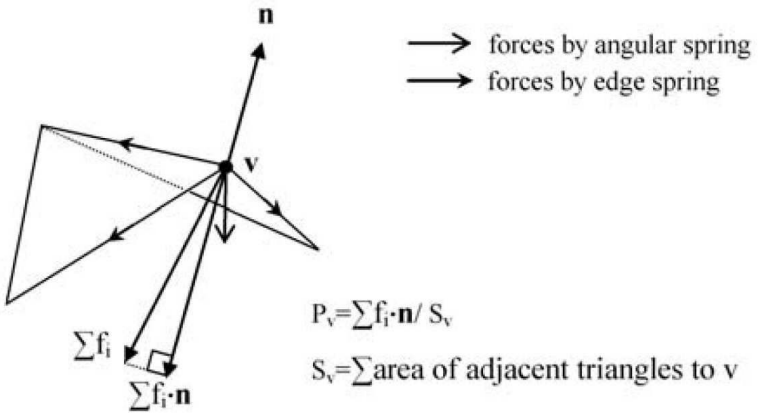
## *(57) 요 약*

본 발명은 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 옷감 데이터를 시뮬레이터상에서 실린더를 감싸도록 패턴으로 변환하여 실린더의 직경변화에 따라 변화하는 압력을 측정하는 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법에 관한 것이다.

본 발명의 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법은 의복압을 측정하기 위한 물리적인 옷감의 기계적인 파라미터(parameter)가 물리적인 실험을 통하여 획득되는 파라미터 획득단계; 상기 물리적인 옷감의 기계적인 파라미터가 옷감 시뮬레이터로 입력되는 옷감데이터 입력단계; 상기 옷감데이터가 물리적인 옷감에 대응하도록 시뮬레이터 상에서 옷감 패턴이 생성되고, 원형 텍스쳐가 맵핑되는 옷감 패턴 형성단계; 상기 옷감 패턴이 부분적인 크기의 조각으로 나뉜 뒤 원통형상의 실린더 주위에 가까이 배치되는 시뮬레이션 준비단계; 상기 옷감 패턴 조각이 상호 결합되어, 3차원 옷감을 이루며 상기 실린더의 표면에 밀착되는 초기시뮬레이션단계; 및 상기 실린더의 변화에 따라 상기 옷감에 작용하는 의복압이 계산되어 출력되는 의복압 계산단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다..

본 발명에 의하면, 옷감의 의복압을 측정하기 위한 물리적인 실험을 본 발명의 옷감 시뮬레이터로 대체함으로써 시간과 노력, 그리고 비용을 최소화할 수 있으며, 의복압 분포를 고려한 패턴 설계를 돕는 보다 정교한 어플리케이션을 개발하여 움직이는 마네킹이나 다양한 자세에서 압력 측정을 위한 어플리케이션을 개발할 수 있는 효과가 있다.

*대 표 도* - 도2



(72) 발명자

**김시조**

경북 안동시 송천동 388 안동대학교 공과대학

**코디에 프레데릭**

대전시 유성구 구성동 373-1 KAIST 문화기술대학원

## *특허청구의 범위*

**청구항 1**

옷감의 의복압을 측정하기 위한 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법에 있어서,

의복압을 측정하기 위한 물리적인 옷감의 기계적인 파라미터(parameter)가 물리적인 실험을 통하여 획득되는 파라미터 획득단계(S1);

상기 물리적인 옷감의 기계적인 파라미터가 옷감 시뮬레이터로 입력되는 옷감데이터 입력단계(S2);

상기 옷감데이터가 물리적인 옷감에 대응하도록 시뮬레이터 상에서 옷감 패턴이 생성되고 원형 텍스쳐가 맵핑되는 옷감 패턴 형성단계(S3);

상기 옷감 패턴이 부분적인 크기의 조각으로 나뉜 뒤 원통형상의 실린더 주위에 가까이 배치되는 시뮬레이션 준비단계(S4);

상기 옷감 패턴 조각이 상호 결합되어, 3차원 옷감을 이루며 상기 실린더의 표면에 밀착되는 초기시뮬레이션단계(S5); 및

상기 실린더의 변화에 따라 상기 옷감에 작용하는 의복압이 계산되어 출력되는 의복압 계산단계(S6); 를 포함하는 것을 특징으로 하는 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 시뮬레이션 준비단계(S4)는 옷감 패턴이 딜러니삼각화(Delaunay Triangulation)를 통해 삼각 메시(mesh)로 변환되는 딜러니 삼각화단계(S3-1); 를 포함하는 것을 특징으로 하는 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법.

**청구항 3**

제 2 항에 있어서,

상기 초기시뮬레이션단계(S5)는 시뮬레이션 과정의 초기에 시스템이 발산(divergence)하는 것을 방지하고, 신속하게 안정된 상태에 도달되도록 속도를 무시하는 준정적(quasi-static)상태로 유지되는 시뮬레이션 안정화단계(S4-1); 를 포함하는 것을 특징으로 하는 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법.

**청구항 4**

제 3 항에 있어서,

상기 의복압 계산단계(S6)는 삼각 메시를 구성하는 각 정점에 작용하는 힘들이 모두 합산되어 그 점에서의 법선벡터와 일치하는 방향 성분만이 추출된 후, 이를 해당 정점을 둘러싼 다각형의 넓이로 나눠 의복압이 계산되는 것을 특징으로 하는 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법.

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

상기 의복압 계산단계(S6)에서 출력된 의복압이 물리적인 측정값 및 이론적인 예측값과 비교되는 의복압 검증단계(S7); 가 더 포함되는 것을 특징으로 하는 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법.

**청구항 6**

제 5 항에 있어서,

상기 의복압 검증단계(S7)는 옷감을 긴 실린더형상의 박판튜브(Long Thin walled)로 모델링하여 반경을 변화시킨 후, 변형 전의 옷감의 반경이 변형 후의 반경으로 되기 위해 필요한 내부압력을 계산하여 상기 의복압 계산단계(S6)에서 출력된 의복압과 비교되는 것을 특징으로 하는 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법.

# 명 세 서

## 발명의 상세한 설명

### 기 술 분 야

<1> 본 발명은 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 옷감 데이터를 시뮬레이터상에서 실린더를 감싸도록 패턴으로 변환하여 실린더의 직경변화에 따라 변화하는 압력을 측정하는 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법에 관한 것이다.

### 배 경 기 술

<2> 의복압이란 의복을 착용했을 때 몸에 가해지는 압력으로 의복 디자인, 의복 착용 방법, 의복 제작 시 사용한 소재, 의복 착용자의 자세 및 신체적 특성 등에 따라 그 크기가 다르게 나타난다. 적절한 의복압은 인체를 보호하고 운동 효율성을 높이며 심미성을 향상시키는데 유리한 역할을 한다. 특히, 의복 중에서 충격손상으로부터 엉덩이, 무릎, 팔꿈치, 어깨 등을 보호하는 보호구(protector), 관절염 치료를 도화주는 압력 장갑, 부종 완화 스타킹, 화상 환자 치료 등 특수한 기능을 요하는 의복들은 그 목적에 알맞은 적절한 의복압을 가지도록 설계되어야만 효과적으로 그 역할을 수행할 수 있다. 또한 사이클복, 인라인 스케이트복, 수영복, 전문 등산복 등의 스포츠 의복과, 체형보정을 위한 화운데이션(foundation)류도 의복 내 각 부위의 압력 분포를 이용함으로써 의복의 기능을 배가시킬 수 있게 된다.

<3> 따라서, 의복압은 특수 목적에 따라 없어서는 안되는 필수불가결한 요소라 할 수 있으며 의복 각각의 목적에 따라 압박감의 정도를 조절하는 것이 그 의복의 기능성에 큰 영향을 미치게 된다. 필요에 따라 인체 각 부분에 적절한 의복압 분포를 갖도록 제작하기 위해서는 일반적으로 밀착의(密着衣; fitted clothing)형태로 구성하며 이를 위해 주로 신축성 소재가 사용되고 있다. 신축성 소재는 압력을 부여하면서 보다 편안하고 쾌적한 의복이 되도록 하는데 유리하다.

<4> 최근 화학섬유업계에서는 다양한 고품질의 신축성 소재를 출시하고 있다. 예를 들면 뛰어난 세팅(setting)성과 형태안전성, 빠른 땀 흡수와 신속한 건조, 발수-발유성, 소프트(soft)한 촉감, 항균 기능 등이 보유된 신소재가 개발되고 있는 데 이러한 다양한 신축성 소재가 등장함에 따라 의복 제작 후 원하는 압력이 되었는지를 판단하기 위한 관련 연구의 필요성이 더욱 증대되고 있는 실정이다.

<5> 종래 의복압의 측정방법은 첫째, 의복을 착용한 신체에 직접 압력센서 장치를 부착하여 측정하는 방식이고, 둘째, 의복과 그 의복 안의 피부 표면이 변형되는 것을 관측하는 방법이다. 최근에 사용되고 있는 에어 센서들이 좋은 성능을 보이고는 있으나 가격이 비싸고, 착용자와의 직접 접촉을 필요로 하는 문제점이 있다. Kirt 와 Ibrahim [Kirt and Ibrahim 1996]이 처음 제안한 비접촉 방식은 그 논문을 작성할 당시 옷감 표면상에 찍힌 패턴을 체계적으로 관측하는 기술이 없었기 때문에 실험에 제약이 있었다.

<6> 근래에 복잡한 형태의 의복을 처리하는 동시에 기계적인 정밀도를 제공할 수 있는 의복 시뮬레이터들이 점차 현실화되고 있기 때문에 의복 산업 분야에서 의복의 프로토타이핑이나[Volino and Magnenat-Thalmann 2005], 의복 소매를 위한[Cordier et al. 2003] 의복 시뮬레이터에 대한 관심사가 증대되고 있다. 오늘날 의복의 프로토타이핑을 위해 사용되는 소프트웨어들은 정확한 드래이핑(Draping) 시뮬레이션에 초점을 맞추고 있어, 충돌검사와 같은 단지 기본적인 인체-의복 인터액션만이 지원된다. 앞에서도 언급했듯이, 의복압은 특히 기능복에 대해 중요하다. 그러나 이 문제에 대해 현재까지 수행된 연구는 매우 미미하다. 최근에 Volino 와 Magnenat-Thalmann 은 그들의 기계적인 모델의 정확도를 검증하기 위한 과정의 하나로 가상 인장력 테스트에 대해 보고한 바 있다[Volino and Magnenat-Thalmann 2005]. 위 연구는 의복 시뮬레이션에 대해 상당히 의미 있는 성과를 보고하고 있지만, 인체를 고려하지 않고 옷감만을 대상으로 한 테스트로서 충분하지 않은 문제점이 있었다.

### 발명의 내용

#### 해결 하고자하는 과제

<7> 이에 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 옷감의 물리적인 파라미터를 시뮬레이터에서 옷감 패턴으로 변환한 후 시뮬레이션을 수행하여 의복압을 측정하는 옷감 시뮬레이터를 개발하는데 있으며, 나아가 의복압 분포를 고려한 패턴 설계를 돕는 보다 정교한 어플리케이션을 개

발하는데 있다.

## 과제 해결수단

<8> 본 발명의 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정방법에 있어서, 의복압을 측정하기 위한 물리적인 옷감의 기계적인 파라미터(parameter)가 물리적인 실험을 통하여 획득되는 파라미터 획득단계(S1); 상기 물리적인 옷감의 기계적인 파라미터가 옷감 시뮬레이터로 입력되는 옷감데이터 입력단계(S2); 상기 옷감데이터가 물리적인 옷감에 대응하도록 시뮬레이터 상에서 옷감 패턴이 생성되고, 원형 텍스쳐가 맵핑되는 옷감 패턴 형성단계(S3); 상기 옷감 패턴이 부분적인 크기의 조각으로 나뉜 뒤 원통형상의 실린더 주위에 가까이 배치되는 시뮬레이션 준비단계(S4); 상기 옷감 패턴 조각이 상호 결합되어, 3차원 옷감을 이루며 상기 실린더의 표면에 밀착되는 초기시뮬레이션단계(S5); 및 상기 실린더의 변화에 따라 상기 옷감에 작용하는 의복압이 계산되어 출력되는 의복압 계산단계(S6); 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<9> 상기 시뮬레이션 준비단계(S4)는 옷감 패턴이 딜러니삼각화(Delaunay Triangulation)를 통해 삼각 메시(mesh)로 변환되는 딜러니 삼각화단계(S3-1); 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<10> 상기 초기시뮬레이션단계(S5)는 시뮬레이션 과정의 초기에 시스템이 발산(divergence)하는 것을 방지하고, 신속하게 안정된 상태에 도달되도록 속도를 무시하는 준정적(quasi-static)상태로 유지되는 시뮬레이션 안정화단계(S4-1); 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

<11> 상기 의복압 계산단계(S6)는 삼각 메시를 구성하는 각 정점에 작용하는 힘들이 모두 합산되어 그 점에서의 법선벡터와 일치하는 방향 성분만이 추출된 후, 이를 해당 정점을 둘러싼 다각형의 넓이로 나눠 의복압이 계산되는 것을 특징으로 한다,

<12> 상기 의복압 계산단계(S6)에서 출력된 의복압이 물리적인 측정값 및 이론적인 예측값과 비교되는 의복압 검증단계(S7); 가 더 포함되는 것을 특징으로 한다.

<13> 상기 의복압 검증단계(S7)는 옷감을 긴 실린더형상의 박판튜브(Long Thin walled)로 모델링하여 반경을 변화시킨 후, 변형 전의 옷감의 반경이 변형 후의 반경으로 되기 위해 필요한 내부압력을 계산하여 상기 의복압 계산단계(S6)에서 출력된 의복압과 비교되는 것을 특징으로 한다.

## 효 과

<14> 본 발명에 의하면, 옷감의 의복압을 측정하기 위한 물리적인 실험을 본 발명의 옷감 시뮬레이터로 대체함으로써 시간과 노력, 그리고 비용을 최소화할 수 있으며, 의복압 분포를 고려한 패턴 설계를 돕는 보다 정교한 어플리케이션을 개발하여 움직이는 마네킹이나 다양한 자세에서 압력 측정을 위한 어플리케이션을 개발할 수 있는 효과가 있다.

## 발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<15> 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 이론적 배경과 구성을 상세히 설명한다.

<16> 본 발명에서 사용한 의복 시뮬레이터는 mass-spring 시스템[Volino 와 Magnenat-Thalmann 2000]에 기반을 두고 있다. mass-spring 시스템에서 옷감은 스프링들과 상호 연결된 점질량(정점)들로 구성된 얇은 표면으로 근사화되며, 평면 내 탄성력이나 곡률 탄성력과 같은 기계적 행동을 모델링할 때에는 다양한 타입의 스프링들이 사용된다. 복곡면 탄성력을 시뮬레이션하기 위해 각 삼각형에 대응하는 세 개의 입자들 사이의 동시 상호 작용을 정확하게 모델링함으로써 강신도(strain-stress) 관계가 합쳐지게 된다. 곡률 탄성력은 인접 삼각형들 사이의 모든 에지들에 위치한 앵귤러(angular) 스프링들로 계산되고, 이 기계적 모델은 대각 스프링과 립프로그(leapfrog) 스프링을 가진 일정간격의 격자에 기반한 질량-용수철(mass-spring) 시스템보다 훨씬 정확한 것으로 여겨지며, 더욱이 이 모델은 일정 간격의 격자를 요구하는 것이 아니라 임의의 삼각 메시(mesh)가 허용된다. 본 발명에서는 통합을 위해, 시뮬레이션 타임 스텝이 충분히 작은 경우, 매우 정확한 결과를 얻을 수 있는 4차 Runge-Kutta 방법을 사용하였다.

<17> 도 2는 하나의 점질량에 적용되는 압력을 나타낸 것으로, 매 시뮬레이션 루프에서 각 점질량에 대한 압력 계산이 이루어진다. 정점 v에 걸리는 압력(단위면적 당 걸리는 힘)을 측정하기 위해서, 점 v의 법선 벡터의 방향을 따라 모든 힘들을 더한 후( $\sum \mathbf{f}_i \cdot \mathbf{n}$ ), v에 인접한 모든 삼각형들의 넓이의 합으로 나누었다.

<18> Kirk와 Ibrahim은 직물의 구부러짐과 그것에 가해지는 응력(stress) 사이에 밀접한 관계가 있다는 점에 주목했다. 얇은 구 표면에 작용하는 압력은 다음과 같다.

<19>
$$P = \frac{\sigma(2t)}{r} \quad (1)$$

<20> 여기에서 P는 압력(gf/cm$^2$), σ는 단위면적 당 인장력(또는 인장력)(gf/cm$^2$), t는 얇은 구면의 두께(cm), r은 구의 반지름(cm) 이다. 이 예측식은 인체와 같이 복잡하지만 국부적으로는 타원체인 표면에 대해서도 사용할 수 있도록 수정될 수 있다. 즉, 식(1)에서 정의된 의복압을 수직, 수평 방향으로 나눌 수 있다.

<21>
$$P = \frac{\sigma_H t}{r_H} + \frac{\sigma_V t}{r_V} \quad (2)$$

<22> 여기에서 σ는 인장력(gf/cm$^2$), r은 곡면의 반지름(cm), H와 V는 각각 수평, 수직 방향을 나타낸다. Lee[Lee 2005]는 위 식을 수정하여 두 직교 방향의 응력 대신 주응력(principal stress)과 주방향(principal direction)을 사용하였다. 즉, 인장력과 곡률 반경들을 최대 및 최소 주방향을 따라 측정하였다.

<23>
$$P = \frac{\sigma_{P\max} t}{r_{P\max}} + \frac{\sigma_{P\min} t}{r_{P\min}} \quad (3)$$

<24> 외부 힘에 의해 변형이 일어나는 어떤 물체가 있다고 간주하면, 주방향은 그 물체가 힘을 받아 변형을 일으키고 그 힘과 변형이 평형을 이루었을 때 최대 및 최소의 수직 응력이 나타나는 방향을 의미한다. 도 3에 도시된 바와 같이, 주방향들은 서로 수직이 아닐 수도 있다.

<25> 본 발명의 첫 번째 실험은 도 4 및 도 5에 도시된 바와 같이, 간단한 실린더를 옷감으로 감싸 이루어진다. 실린더가 선택된 주된 이유는 실제 물체와 시뮬레이션 설정 모두 동일한 실험을 수행할 수 있도록 형체가 간단하며, 또한 실린더에 대해서는 이론적인 계산으로 해를 검증하는 것도 가능하기 때문이다. 중력의 영향을 무시한다면, 실린더 표면의 의복압은 균일하다고 기대할 수 있으며, 옷감의 크기와 실린더의 반지름은 다양하게 변화시킬 수 있다.

<26> 본 발명에서는 에어팩 타입의 압력 센서를 사용하여 실린더의 여러 위치에서 압력을 측정하였다. 압력 센서의 사양은 표 1에 요약되어 있다.

<27> <표 1>

<28>

| Model | AMI 3037-2 |
|---|---|
| Air pack diameter (mm) | 15 |
| Range (gf/cm$^2$) | 0.0 – 70.0 |
| Accuracy (gf/cm$^2$) | ±1.5 |
| Air tube length (m) | 1.5 |

<29> 옷감에는 양 끝을 꿰매어 잇기 전에 바깥쪽 반지름이 2cm 인 원모양의 텍스쳐를 인쇄하였고, 각 원들을 도 4에 도시된 바와 같이, 직교하는 두 선을 따라 나열하고, 실린더의 축 방향으로 텍스쳐 라인 한 줄이 정렬되도록 실린더에 옷감을 씌운 후, 11개의 각 텍스쳐 중심부분에서 의복압을 측정하였다. 본 발명에서는 두 개의 다른 크기의 옷감(큰 옷감은 '4_5T', 작은 옷감은 'T'라고 칭함)을 사용하였고, 각 옷감에 대해 다른 변형량(strain)을 적용하기 위해 반지름이 다른 실린더를 대상으로 반복실험하였다. 이와 같은 각 실험을 시뮬레이션 환경에서 같은 방식으로 재구성하였다. 압력값은 앞에서 기술한 방법을 사용하여 계산하였고, 의복압은 실린더 반지름이 증가함에 따라, 그리고 옷감의 크기가 축소함에 따라 증가한다고 가정하였다.

<30> 도 15는 본 발명의 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정 및 검증방법을 나타낸 순서도로, 의복압을 측정하기 위한 물리적인 옷감의 기계적인 파라미터(parameter)가 물리적인 실험을 통하여 획득되는 파라미터 획득단계(S1); 상기 물리적인 옷감의 기계적인 파라미터가 옷감 시뮬레이터로 입력되는 옷감데이터 입력단계(S2); 상기 옷감데이터가 물리적인 옷감에 대응하도록 시뮬레이터 상에서 옷감 패턴을 생성하고, 원형 텍스쳐가 맵핑되는 옷감 패턴 형성단계(S3); 상기 옷감 패턴이 부분적인 크기의 조각으로 나뉜 뒤 원통형상의 실린더 주

위에 가까이 배치되는 시뮬레이션 준비단계(S4); 상기 옷감 패턴 조각이 상호 결합되어, 3차원 옷감을 이루며 상기 실린더의 표면에 밀착되는 초기시뮬레이션단계(S5); 및 상기 실린더의 변화에 따라 상기 옷감에 작용하는 의복압이 계산되어 출력되는 의복압 계산단계(S6); 로 이루어진다.

<31> 상기 시뮬레이션 준비단계(S4)는 옷감 패턴이 딜러니삼각화(Delaunay Triangulation)를 통해 삼각 메시(mesh)로 변환되는 딜러니 삼각화단계(S3-1); 를 포함하며, 상기 초기시뮬레이션단계(S5)는 시뮬레이션 과정의 초기에 시스템이 발산(divergence)하는 것을 방지하고, 신속하게 안정된 상태에 도달되도록 속도를 무시하는 준정적(quasi-static)상태로 유지되는 시뮬레이션 안정화단계(S4-1); 를 포함하고, 상기 의복압 계산단계(S6)에서 삼각 메시를 구성하는 각 정점에 작용하는 힘들이 모두 합산되어 그 점에서의 법선벡터와 일치하는 방향 성분만이 추출된 후, 이를 해당 정점을 둘러싼 다각형의 넓이로 나눠 의복압이 계산된다.

<32> 상기의 시뮬레이션 과정에 대해 자세히 설명하면, 의복 시뮬레이터는 사용자가 시뮬레이션에 필요한 기계적인 파라미터들을 입력하도록 요구하며, 본 발명의 경우 일련의 물리적인 실험을 통해 파라미터들을 획득하였다. [Ziegert and Keil 1988]에서 제안한 modified ASTM D2594를 이용하여 옷감의 기계적(mechanical) 특성을 측정하였고, 옷감의 치수도 신중히 재현하였다. 직물의 인장력과 탄성계수(Young's modulus)는 인장시험기(R&B Model Unitech, Korea)를 이용하여 획득하였으며, 표 2에 실험을 수행하여 얻은 옷감의 테스트 결과를 요약하였다.

<33> 옷감의 푸아송(Poisson) 계수는 비선형으로, 푸아송(Poisson) 계수는 변형량(strain)의 값에 따라 바뀐다. 그러므로 본 실험에서는 매 수행 시마다 예상되는 변형량(strain)에 따라 다른 계수들을 사용하였다.

<34> <표 2>

| | unit | 500g (4.9N) | | 1000g (9.8N) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Wale | Course | Wale | Course |
| Original length ($l_0$) | cm | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| Deformed length ($l$) | cm | 31.5 | 27.0 | 36.5 | 32.0 |
| Strain, fabric stretch | % | 57.5 | 35.0 | 82.5 | 60.0 |
| Strain $(l-l_0)/l$ | | 11.5 | 7.0 | 16.5 | 12.0 |
| Extension ratio ($\alpha=l/l_0$) | | 1.575 | 1.35 | 1.825 | 1.6 |
| Tensile force per unit length | N/cm | 0.245 (4.9/20) | | 0.49 (9.8/20) | |
| Young's modulus × thickness ($Et$) | N/cm | 0.7 | 1.3 | 0.7 | 1.3 |
| Poisson coefficient ($\upsilon$) | | 0.3499 | | 0.2021 | |
| Thickness (t) | cm | 0.039 | | | |
| Density (mass per unit area) | $kg/cm^2$ | $1.057 \times 10^{-5}$ | | | |

<35>

<36> 도 5는 실린더 객체에 대한 옷감의 초기 위치를 나타낸다. 실린더의 원주보다 옷감의 너비가 작기 때문에, 옷감(물리적인 실험에 사용한 실제 옷감의 치수를 적용한 옷감)은 두 조각으로 나뉜 뒤 실린더를 감싸도록 상호 꿰매어지고, 시뮬레이션이 진행됨에 따라 옷감은 점차 실린더에 가까워져 실린더 주변을 타이트하게 감싸게 된다. 압력값은 시뮬레이터가 안정 상태에 도달했을 때 즉, 옷감 정점들의 이동 값이 눈에 띄지 않을 만큼 작아졌을 때 옷감 표면에서 측정한다. 시뮬레이션 요소에 대해 보다 구체적으로 기술하면 다음과 같다.

<37> 옷감의 2D 패턴은 본 발명의 실험에서는 패턴의 크기와 텍스쳐가 센서를 이용한 물리적 압력 측정에서 사용된 옷감과 일치하도록 제작되었다. 시뮬레이션을 원활히 수행하기 위해, 패턴을 2개의 동일한 크기의 패턴 조각으로 양분한 뒤, 각각 실린더의 정 반대 쪽에 배치되도록 하였고, 시뮬레이터가 가능한 한 빠르게 안정된 상태에 도달할 수 있도록 두 패턴들과 실린더 사이의 거리는 동일하면서 가까운 거리에 있도록 하였다.

<38> 상기 실린더는 시뮬레이터 안에서 의복압에 의해 변형되지 않는 강체로 모델링되었으며, 실린더의 주위를 직물이 감싸고 안정화 상태에 도달하게 되면, 실린더의 크기를 물리실험에서와 동일한 반지름의 크기에 도달

할 때까지 점차적으로 크기변환을 하였다.

<39> 상기 패턴들(윗면패턴, 아랫면패턴)은 봉제선을 사용하여 실린더를 사이에 두고 연결되며, 결과적으로 하나의 옷감이 실린더를 감싸도록 하였다. 실제 시뮬레이션을 시작하기 전에, 상기 패턴들은 딜러니삼각화(Delaunay Triangulation)를 통해 삼각 메쉬로 변환되며, 본 발명에서 삼각형의 평균 에지의 길이는 0.7cm~0.8cm이다. 상기에서 딜러니삼각화는 보르노이 다이어그램(Voronoi Diagram)과 함께 계산 기하학(Computational Geometry)분야에서 많이 사용되는 효율적인 지역분할 방법으로 보르노이 다이어그램과 상호 쌍대관계(Duality)에 있다.

<40> 시뮬레이션 과정의 초기에는 시스템이 발산(divergence)하는 것을 막고 빠르게 안정된 상태에 도달할 수 있도록, 속도를 무시하는 준정적(Quasi-static) 방법이 사용되었고, 이후 시뮬레이션에서는 Runge-Kutta 방법을 사용하였다.

<41> 시뮬레이터가 안정 상태에 도달하면, 실린더의 반경이 점차적으로 증가되며, 옷감의 표면에 적용되는 의복압이 증가하기 시작한다. 도 6에 도시된 바와 같이, 실린더의 반경이 증가하면 측정된 압력값이 증가하는 결과를 얻었다. 텍스쳐의 변형뿐만 아니라 실린더의 축방향으로 일어나는 옷감의 수축에 있어서도 일관된 결과를 얻었다. 도 7은 계산된 의복압을 실린더 반경에 따른 함수로 나타낸 것이다.

<42>

<43> 상기와 같은 시뮬레이션 과정에 사용된 두 옷감과 실린더의 자세한 정보는 표 3에 나타내었다.

<44> <표 3>

<45>

| | No. of vertices | No. of faces | Size |
|---|---|---|---|
| Larger garment (4_5T) | 575 | 1114 | 18.78cm × 24cm |
| Smaller garment(T) | 485 | 938 | 15.7cm × 24cm |
| Cylinder | 110 | 216 | Height: 24cm<br>Radius: 5cm |

<46> 상기 식 (3)으로부터, 작은 옷감이 더 높은 압력값을 나타낼 것이라고 가정하였으며, 여기서 변형비(deformation ratio)는 변형 후의 길이와 변형 전의 길이의 비율로 정의되는 변형률을 나타낸다. 도 8에 나타난 시뮬레이션 결과는 이와 같은 가정이 유효함을 보인다.

<47>

<48> 도 9에 보인 것과 같이, 실린더의 크기에 따른 내부 압력과 의복의 변형을 이론적으로 설명하기 위하여 긴 실린더형의 박판튜브(Long Thin walled)로 옷감을 모델링 하였다. 옷감의 반경을 $R_0$에서 $R_f$로 변형시키는 내부압력(P)은 옷감의 물리적인 매개변수에 따라 달라지며, 본 발명에서는 선형 탄성과 Neo-Hookean의 두 가지 경우가 고려되었다.

<49> 변형전의 옷감의 반경($R_0$)이 변형후의 옷감의 반경($R_f$)으로 되기 위해 필요한 내부압력(P)을 유도하였다. 두 가지 유형의 재료 속성이 고려되었으며, 첫째는 선형 stress-strain으로 기술된 선형탄성이고, 둘째는 Neo-Hookean 모델이 적용되는 고무와 같은 재료이다. 선형 탄성과 등방성 재료의 경우, 두께가 얇은 실린더에 대한 응력(stress)과 변형량(strain)의 관계는 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma_h = \frac{PR_f}{t} \qquad (4)$$

<50>

<51> 상기 식에서 $\sigma_h$는 원주방향응력(hoop stress)이고 t는 옷감의 두께이다. 여기서, 옷감의 두께는 실린더 반경의 1/20 이하로 가정된다[Shigley and Mischke 2004]. 축방향응력($\sigma_a$)은 축방향으로의 외부 힘이 없으므로 0이며, 원주방향변형량(hoop strain)은 선형 탄성 이론(Hooke's Law)으로부터 다음과 같이 요약된다.

$$\varepsilon_h = \frac{\sigma_h}{E} - \upsilon\frac{\sigma_a}{E} = \frac{\sigma_h}{E} \qquad (5)$$

<52>

<53> 여기서 E는 탄성계수(Young's Modulus), υ는 푸아송비(Poisson ratio)이다. 상기 원주방향응력(hoop strain)( $\sigma_h$)의 정의로부터 다음 식을 유도할 수 있다.

<54>
$$\varepsilon_h = \frac{2\pi R_f - 2\pi R_0}{2\pi R_0} = \frac{R_f}{R_0} - 1 = \alpha - 1 \qquad (6)$$

<55> 따라서, 식(1)-(3)로부터 변형전의 옷감의 반경($R_0$)이 변형후의 옷감의 반경($R_f$)로 되기 위한 필요한 내부압력(P)을 최종적으로 다음 식으로 정리할 수 있다.

<56>
$$P = \frac{Et(1 - R_0/R_f)}{R_0} = \frac{Et(1 - \alpha^{-1})}{R_0} \qquad (7)$$

<57> 위 식에서 t는 옷감의 두께이다. 선형 탄성의 경우, 압력은 변형비(deformation ratio)( α), 탄성계수(Young's Modulus)(E), 그리고 초기 옷감의 반경(($R_0$)의 함수임을 알 수 있으며, 압력은 푸아송비(Poisson ratio)와는 무관함을 알 수 있다.

<58> 고무 같은 비선형 옷감 재료는 선형 재료보다 더 큰 변형을 가진다. Rivlin(1948)이 처음 Neo-Hookean 구성방정식을 개발하였고, 이것은 비선형성을 잘 모델링하는 것으로 알려져 있다[Rivlin 1948]. 길고 두께가 얇은 고무 같은 옷감의 경우에는 푸아송비(Poisson ratio)가 0.5일 때 볼륨 보존 특성을 가지며, 압력에 대한 최종 식은 다음과 같은 Neo-Hookean 모델로 설명된다.

<59>
$$P = \frac{Gt(1 - R_0^4/R_f^4)}{R_0} = \frac{Gt(1 - \alpha^{-4})}{R_0} \qquad (8)$$

<60> 위 식에서 G는 전단계수(shear modulus)이다.

<61> 이제 상기의 결과를 바탕으로 하여 식 (3)으로부터 실린더 상의 압력을 쉽게 추정할 수 있다. $rP_{min}$은 무한대이며, $P=\sigma P_{max}t / rP_{max}$에서 $\sigma P_{max}$은 인장응력(tensile stress) ( $\Delta \ell / \ell_0=(2\pi r-\ell)/\ell_0= 2\pi r/\ell_0-1$), 그리고 $rP_{max}$는 실린더의 반경이다. $rP_{max}$는 도 9에 도시된 바와 같이, 변형된 옷감의 반경($R_f$)이다. 따라서 다음과 같은 결론을 유도할 수 있다.

<62>
$$\text{Equation}(3) = P = \frac{\sigma_{P\max} t}{r_{P\max}} = \frac{Et(2\pi r - l_0)/l_0}{r} = \text{Equation}(7)$$

<63> 이것은 초기 옷감의 둘레인 $\ell_0$가 고정되어 있을 때 r이 증가하면, 압력은 더 작아지게 됨을 의미하며, 실린더의 반경 r이 고정되어 있을 때 $\ell_0$가 증가하면 압력이 감소함을 의미한다.

<64>

<65> 상기와 같은 결과는 실험을 원활히 수행하기 위하여 인체를 실린더로 간략화하여 이루어졌으나 실세계에서는, 실린더보다 복잡한 물체에 대해서 의복압을 측정하기를 원한다. 그러나 이 경우 이론에 의한 압력 계산은 불가능 하지 않을지는 모르나 매우 어렵다. 최근에, 석고 마네킹 모델표면의 선택된 위치에 압력 측정 센서 장치를 사용하여 측정한 의복압과 원형 패턴 분석을 통해 추정한 의복압을 비교 하는 실험이 이루어졌으며 [Lee et al. 2006]에 자세하게 기술되어 있다.

<66> 이 실험에서는, 두 개의 서로 다른 체격의 마네킨에 동일한 밀착 의복을 입혀 압력값을 측정하였으며, 마네킨 생성에 사용된 전신 모델러는 [Seo and Magnenat-Thalmann 2003]의 결과를 사용하였다. 템플릿 인체 주변의 2D 패턴을 그리고 적절히 위치시킨 후, 시뮬레이션을 수행하여 2D 패턴들을 봉제선을 따라 연결되도록 하고, 시뮬레이션이 진행되면 연결된 패턴들이 마네킨에 착용된 밀착 의복으로 변형되어 간다. 시뮬레이터가 안정적인 상태가 되었을 때, 모델러를 통해 템플릿 인체를 다른 특정한 인체로 점차 변형시키기 시작한다.

<67> 인체 메쉬가 변형됨에 따라, 두 물체 사이의 충돌 상호 작용의 결과로서 의복도 그에 따라서 변형된다. 인체의 변형이 완료된 후에 시뮬레이터 시스템이 안정적인 상태에 이를 때까지 기다린 후, 옷감의 표면에 걸리는 압력을 계산한다. 도 1은 시뮬레이션의 결과를 보인 것으로, 두 개의 다른 체형의 인체에 동일한 가상의복을

입힌 변형 결과를 보이고 있으며, 색상맵을 통해 압력 분포를 가시화하였다. 특히 옷감 표면에 있는 원형 모양의 도장이 변형된 모습은 압력 분포에 대한 매우 유용하고도 의미있는 정보를 제공한다. 앞선 실험에서 의복 시뮬레이터가 실린더 상의 의복압을 측정하는 데 사용될 수 있다는 사실을 검증하였으므로, 인체 표면에 걸쳐 계산된 의복압 분포도 신뢰할 수 있을 것으로 추측한다.

<68> 상기 실험에서는 영률(Young's modulus)이 모든 실험에 걸쳐 동일한 값으로 유지되므로, 상기 식 (7)로부터 압력은 α에 따라 증가하고 초기 옷감 둘레인 $R_0$와 역상관관계가 된다. 도 10은 물리적 실험, 시뮬레이터, 그리고 이론적으로 추정된 압력값을 α에 대한 함수로 나타낸 것이다.

<69> 실험 결과, 압력값은 α에 따라 점차적으로 증가하고, 주어진 동일한 α에 대하여 반경 $R_0$(패턴 'T')가 작은 옷감이 큰 옷감(패턴 '4_5T')보다 의복압이 더 높게 나타났다. 그러나 절대적인 압력값은 각각 서로 차이를 보였다. 이러한 불일치는 여러 가지의 이유로부터 비롯되며, 첫째, 이론적으로 측정된 압력은 선형 탄성 이론을 사용하였고 옷감을 등방성 재료로 가정하였다는 점에서 찾을 수 있다. 실제로는 옷감은 비선형이고 오늘날 제조된 대부분의 옷감은 이방성(異方性)이며, 실험에 사용된 옷감도 이에 속한다. 본 발명에서 채택된 시뮬레이터는 두 개의 Young's modulus(양방향성의 재료 속성)를 지원하지만, Poisson 계수는 고정된 상수 하나만을 사용한다. 또한, 시뮬레이터는 옷감의 성질을 선형적으로 근사화하였으나, 실제 실험에 사용한 옷감은 (표 2 에서도 자명하듯이) 비선형적이다.

<70> 두 번째 가능한 이유는 옷감과 실린더 표면 사이의 마찰이다. 이러한 마찰은 이론을 통한 검증과 시뮬레이터에서 모두 고려되지 않아, 절대적인 압력값은 차이를 보였지만, 의복압과 α, $R_0$ 사이의 관계에 관하여 시뮬레이터로부터 획득한 압력값은 일관성이 있다고 결론지었다. 이론상의 예측식으로부터 가장 작은 절대 압력값을 획득했고, 물리적인 측정으로 획득한 압력값의 절대치가 가장 큰 경향을 보였다. 시뮬레이터로부터 계산된 압력은 그 중간이었다. 결국, 물리적으로 측정된 의복압과 상기와 같이 이론적으로 계산되고 예측된 압력값들 사이의 상관관계를 종합해보면 본 발명의 옷감 시뮬레이터가 옷감의 압력 측정수단으로서 타당성이 있음을 증명해준다고 할 수 있다.

<71> 아울러 의복압은 반드시 시뮬레이터가 안정적인 상태에 도달한 후에 측정해야만 의미가 있다. 만약 그전에 압력값을 측정하게 되면, 압력분포가 편중되어 있거나, 이웃한 표면들 사이의 압력값의 차이가 심하게 나타난다. 예를 들어, 도 6에 보인 결과를 얻기 위해서 계산한 프레임 수는 총 5000 프레임 이상이다. 한 프레임을 계산하기 위해 필요한 시간이 대략 0.1초 정도 임을 감안하면(3ds max와 윈도우즈 OS가 설치된 펜티엄 IV 3GHz 컴퓨터), 총 10분 정도의 시뮬레이션 시간이 소요됨을 의미한다. 물론, 이 시간은 의복과 착용 물체 사이의 시뮬레이션 초기상태에 따라 달라진다. 도 11은 세타(Theta)(세타의 정의는 도 12에 설명되어 있다.)에 따른 의복의 압력값을 나타낸다. 동일한 세타를 가진 정점들의 압력값을 평균으로 하여 압력값으로 취했다.

<72> 도 13은 시뮬레이터에 중력이 작용할 때 실린더의 둘레 주변의 압력값을 나타낸다. 중력이 압력값에 영향을 미치는 것을 분명하게 확인할 수 있으며, 특히 실린더 바닥과 꼭대기의 점들에 더욱 큰 영향을 준다. 세타값이 ±pi/2에 가까워지면서, 정점의 법선 벡터와 중력 방향 사이의 각도가 90°에 가까워지고, 중력의 영향은 0에 가까워진다. 실험에서 (물리적인 압력 측정 또는 이론) 압력 측정에 중력의 영향은 무시해도 무관하였으므로, 시뮬레이터 내에서 압력값을 계산할 때 중력은 배제하였다. 그러나 중력은 시뮬레이터가 안정적인 상태에 보다 빨리 도달할 수 있게 하는 역할을 한다. 따라서 가장 좋은 방법은 시뮬레이션의 초기에 중력을 포함시켜서 최대한 빨리 시스템이 안정된 상태가 되면 그 후에 중력을 배제시키는 것이다.

<73> 좋은 성능의 의복 시뮬레이터로 평가하는 기준의 하나는 시뮬레이션 결과가 메시 밀도와 무관한가에 관한 것이다. 즉, 시뮬레이터의 특성은 옷감을 구성하는 삼각형들의 밀도에 상관없이 일관되어야 한다. 본 발명에서는 큰(표 3의 패턴 '4_5T') 옷감을 사용하여 크기가 다른 두 실린더에서의 압력값을 측정하였다. 각 시뮬레이션 실험에 대하여, 옷감 메시의 밀도를 증가시켜 두 번째 시뮬레이션 실험을 수행하였으며(점의 개수는 575에서 1397로 증가하였고, 삼각형의 개수는 1114에서 2738로 증가하였다), 실험환경의 다른 모든 것들은 그대로 유지하였다. 도 14에서 두 개의 다른 밀도를 가진 옷감으로부터 획득한 압력값을 비교하였다. 시뮬레이션 수행 시간은 증가된 메시의 크기에 따라 증가되었지만 압력값에서는 별다른 차이를 보이지 않았다.

<74> 의복압 측정 수단으로서의 의복 시뮬레이터를 검증할 목적으로 밀착 의복에 대한 다양한 시뮬레이션 테스트와 물리적인 실험을 수행하였다. 이와 함께 이론적인 검증과 설명도 제시하였다. 실린더와 같이 간단한 오브젝트에 대하여 물리적 측정, 시뮬레이션에 의한 계산, 그리고 이론적인 추정에 의한 압력값을 상호 비교하였다. $\alpha = \ell / \ell_0$에 관한 함수로 근사화 하였을 때, 압력곡선들은 유사한 경향을 보였다. 이러한 결과들은 물리적인

실험을 시뮬레이터 기반의 실험으로 대체함으로써 시간과 노력, 그리고 비용을 최소화할 수 있는 가능성을 시사한다.

<75> 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

## 도면의 간단한 설명

<76> 도 1은 다른 체형의 3D 마네킹에 동일 의복을 입혀 변형 결과를 나타낸 사시도.

<77> 도 2는 하나의 점질량에 적용되는 압력을 나타낸 개념도.

<78> 도 3은 원형 텍스쳐 중앙에서의 곡률을 나타낸 개념도.

<79> 도 4는 물리적 압력측정에 사용한 옷감(왼쪽)과 실린더(오른쪽)를 나타낸 사시도.

<80> 도 5는 의복 패턴과 실린더의 초기 상태(왼쪽) 및 시뮬레이션의 초기단계(오른쪽)를 나타낸 사시도.

<81> 도 6은 다른 크기의 실린더에 동일 패턴을 입힌 후 압력 변화를 나타낸 사시도.

<82> 도 7은 계산된 의복압을 실린더의 반경에 따른 함수로 나타낸 그래프.

<83> 도 8은 2개의 다른 크기의 패턴을 입힌 실린더의 압력 측정 결과를 나타낸 그래프.

<84> 도 9는 길고 두께가 얇은 실린더를 나타낸 사시도.

<85> 도 10은 물리적인 측정, 시뮬레이션에 의한 측정 및 이론적인 추정값을 α에 대한 함수로 나타낸 그래프.

<86> 도 11은 세타(Theta)에 따른 의복 압력값을 나타낸 그래프.

<87> 도 12는 세타(Theta)의 정의를 나타낸 개념도.

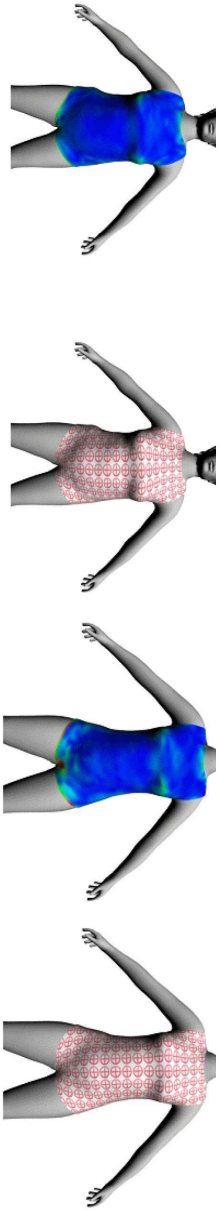
<88> 도 13은 시뮬레이터에 중력이 작용할 때 실린더의 둘레 주변의 압력값을 나타낸 그래프.

<89> 도 14는 두 개의 다른 밀도를 가진 옷감을 이용하여 다양한 크기의 실린더에 따른 압력값을 나타낸 그래프.

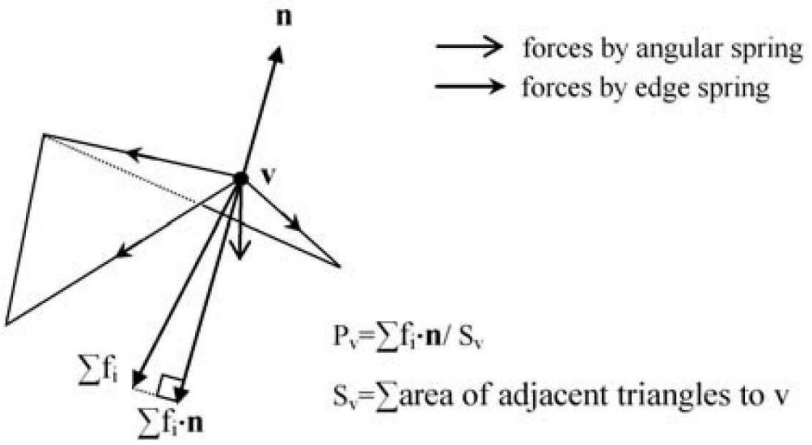
<90> 도 15는 본 발명에 의한 옷감 시뮬레이터를 이용한 의복압 측정 방법을 나타낸 순서도.

## 도면

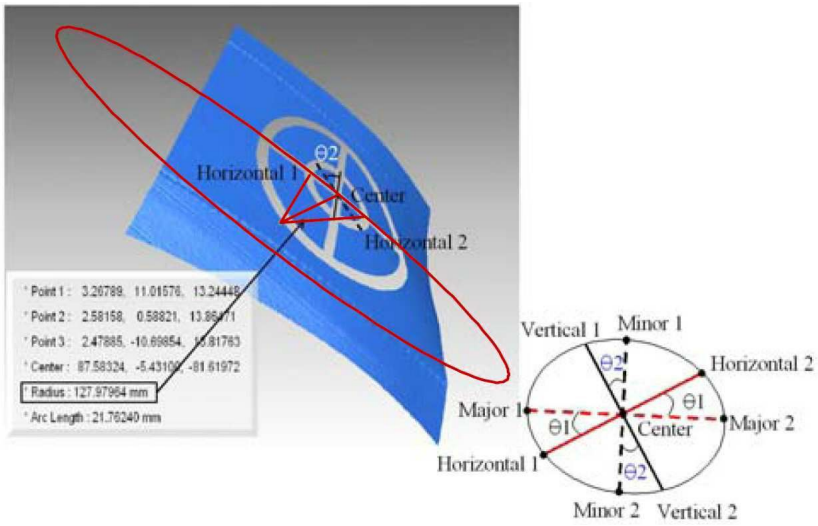
### 도면1



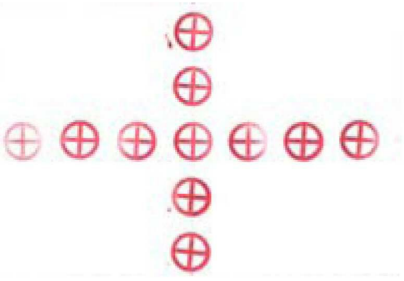
도면2


n
v
forces by angular spring
forces by edge spring
$\sum f_i$
$\sum f_i \cdot n$
$P_v = \sum f_i \cdot n / S_v$
$S_v$ = ∑area of adjacent triangles to v

도면3

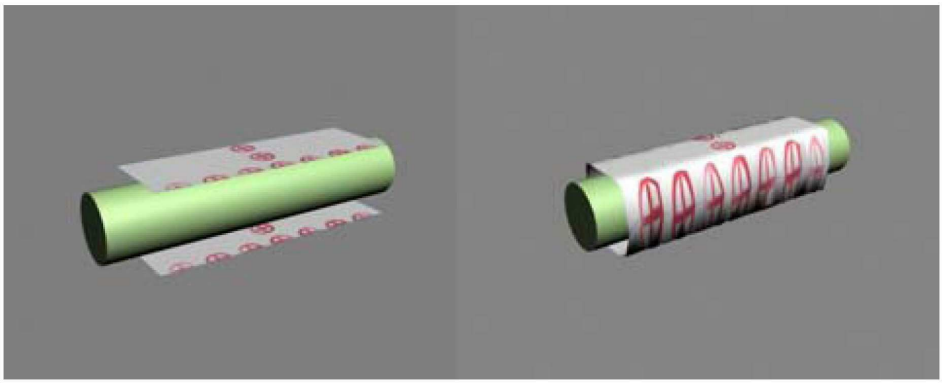

Horizontal 1
θ2
Center
Horizontal 2
Point 1 : 3.26789, 11.01576, 13.24448
Point 2 : 2.58158, 0.58821, 13.86171
Point 3 : 2.47885, -10.69854, 13.81763
Center : 87.58324, -5.43100, -81.61972
Radius : 127.97964 mm
Arc Length : 21.76240 mm
Vertical 1
Minor 1
Horizontal 2
Major 1
θ1
Center
Major 2
Horizontal 1
Minor 2
Vertical 2

도면4

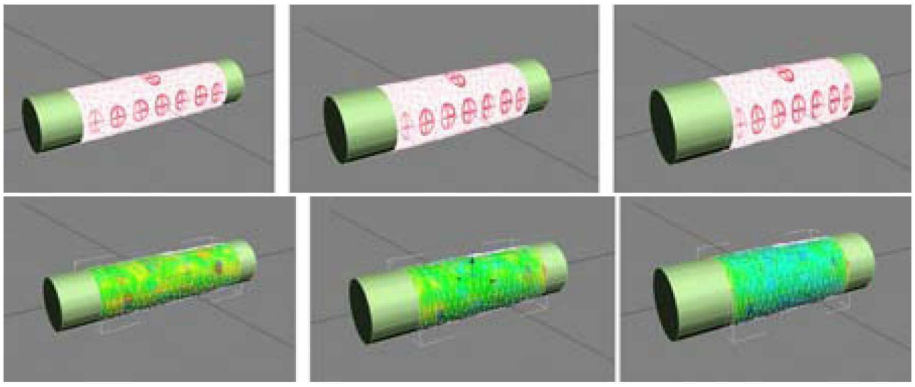




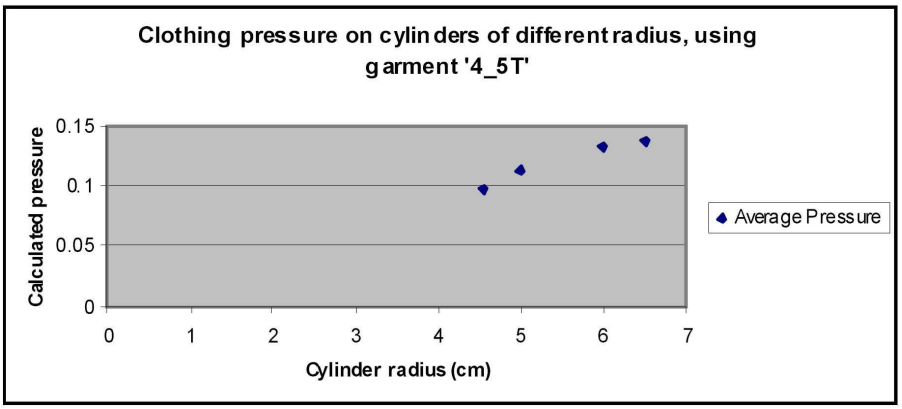
도면5



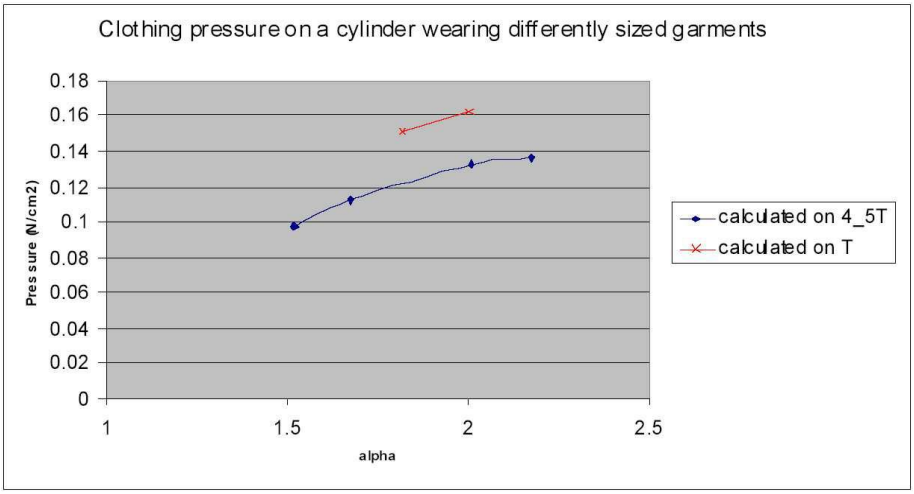
도면6



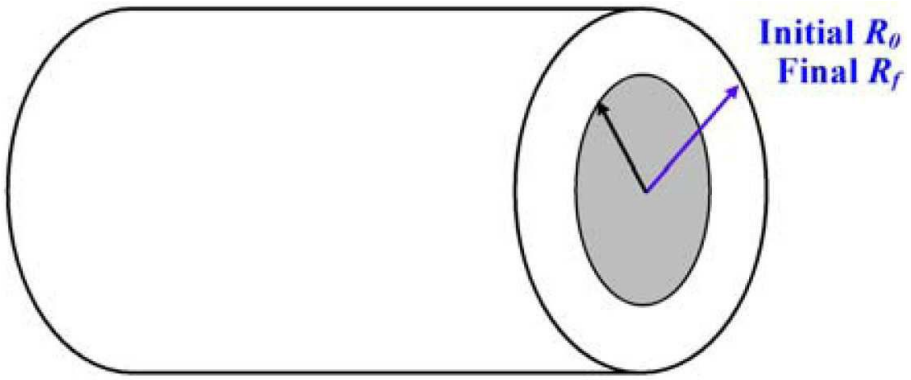
도면7


Clothing pressure on cylinders of different radius, using garment '4_5T'
Calculated pressure
0.15
0.1
0.05
0
0
1
2
3
4
5
6
7
Cylinder radius (cm)
Average Pressure

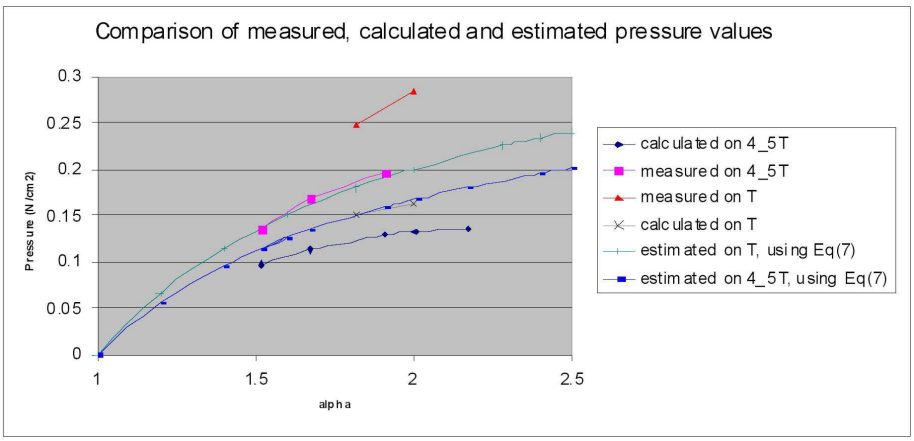
도면8


Clothing pressure on a cylinder wearing differently sized garments
0.18
0.16
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
Pressure (N/cm2)
1
1.5
2
2.5
alpha
calculated on 4_5T
calculated on T

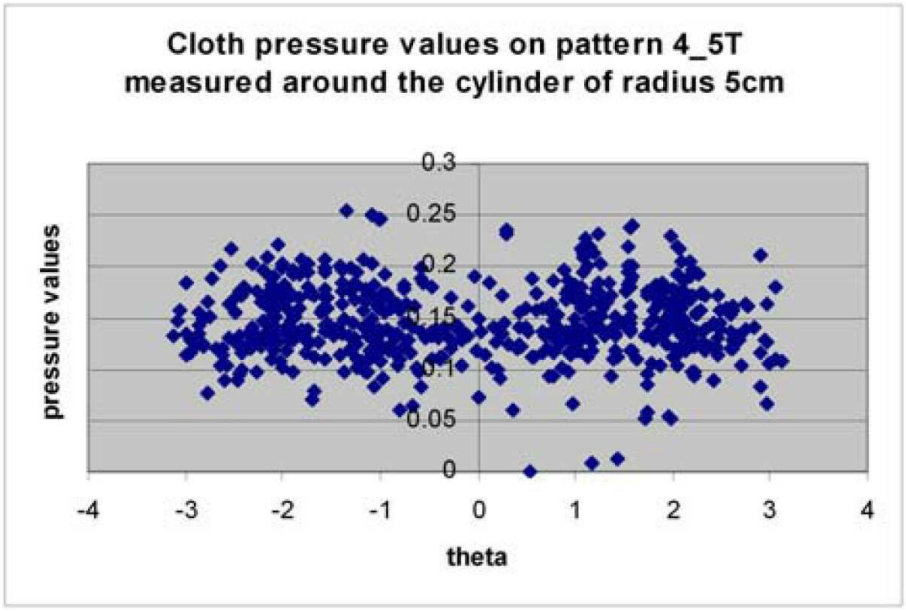
도면9


Initial $R_0$
Final $R_f$

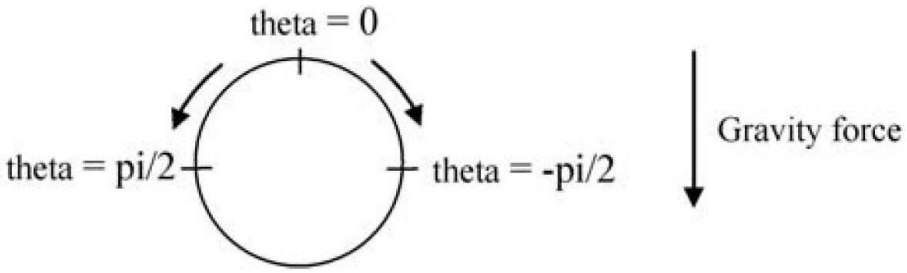
도면10


Comparison of measured, calculated and estimated pressure values
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
Pressure (N/cm2)
1
1.5
2
2.5
alpha
calculated on 4_5T
measured on 4_5T
measured on T
calculated on T
estimated on T, using Eq(7)
estimated on 4_5T, using Eq(7)

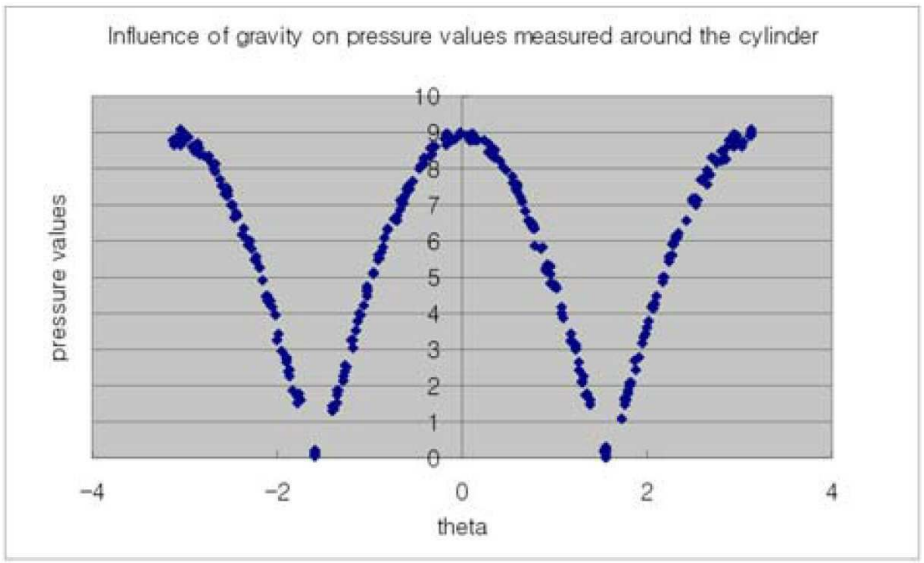
도면11



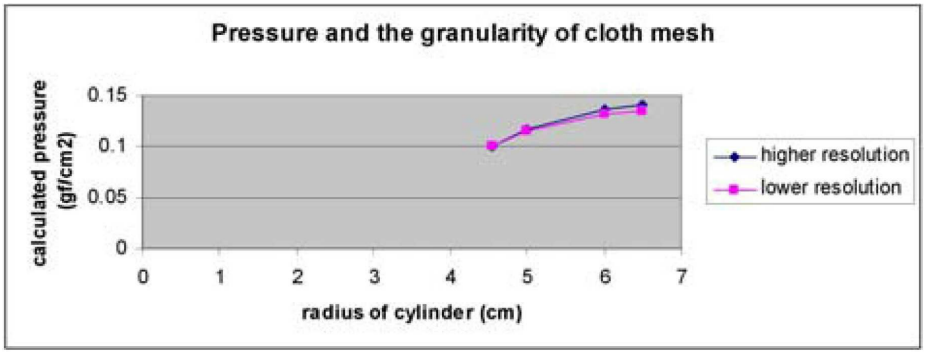

도면12



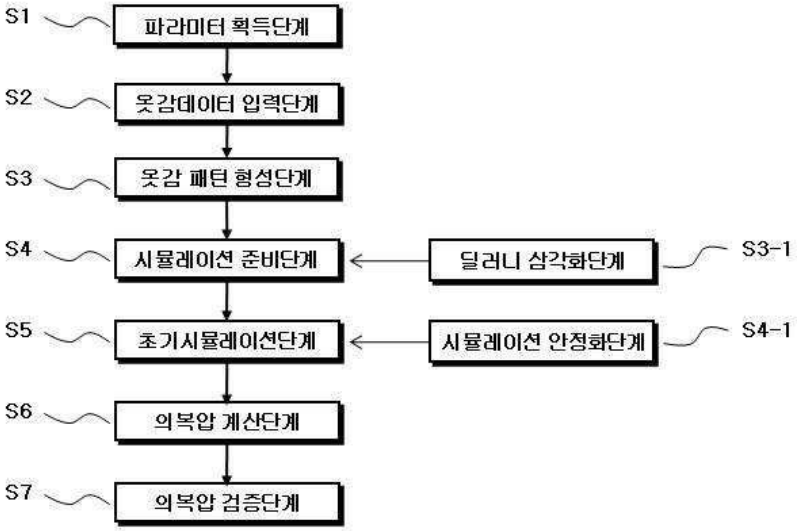

도면13



도면14


Pressure and the granularity of cloth mesh
calculated pressure (gf/cm2)
0.15
0.1
0.05
0
0
1
2
3
4
5
6
7
radius of cylinder (cm)
higher resolution
lower resolution

도면15


S1
파라미터 획득단계
S2
옷감데이터 입력단계
S3
옷감 패턴 형성단계
S4
시뮬레이션 준비단계
딜러니 삼각화단계
S3-1
S5
초기시뮬레이션단계
시뮬레이션 안정화단계
S4-1
S6
의복압 계산단계
S7
의복압 검증단계