Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 2 pp.217-224, April 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.2.217

직물의 마찰음에 대한 감성 평가 및 예측 시스템 개발*

박장운[1] · 김수진[1] · 양윤정[2] · 한아름[2] · 김춘정[2] · 조길수[2] · 유희천[1]

[1]포항공과대학교 산업경영공학과 / [2]연세대학교 생활과학대학 의류환경학과

Development of an Affective Quality Evaluation and Estimation System for Fabric Frictional Sound

Jang Woon Park[1], Su Jin Kim[1], Yoon Jung Yang[2], Ah Reum Han[2], Choon Jung Kim[2], Gil Soo Cho[2], Hee Cheon You[1]

[1]Division of Mechanical and Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Kyungbuk, 790-784
[2]Department of Clothing and Textiles, Yonsei University, Seoul 120-749

ABSTRACT

Research has been conducted to examine the effects of mechanical and sound characteristics of fabrics on affective quality. The present study developed the Affective Quality Evaluation and Estimation System for Textiles (AQEEST) with distinguished features that can be effectively used in the affective research of fabric frictional sound. The AQEEST consists of three subsystems (affective quality evaluation, affective quality estimation, and audible distance estimation subsystems) and each subsystem consists of three to four modules (e.g., evaluation condition setup, evaluation experimentation, and textile database management modules) depending on its functional requirements. The affective quality evaluation subsystem was designed to help administer an experiment in a systematic manner and present acoustic and visual stimuli simultaneously in various gait conditions (walking, jogging, and running) to mimic a more realistic situation of textile frictional sound production. Next, the affective quality estimation subsystem was designed to estimate the sound characteristics, affective qualities, overall psychological satisfaction, and reference cluster of a textile using its mechanical and/or sound characteristic information. Lastly, the audible distance estimation subsystem was designed to estimate the just noticeable sound pressure levels and audible distances of a textile for various gait conditions using its mechanical characteristic information. The AQEEST can be upgraded by accommodating more affective quality study results for various textiles.

Keyword: Affective quality, Fabric frictional sound, Audible distance, Evaluation and estimation

교신저자: 유희천
주 소: 790-784 경북 포항시 남구 효자동 포항공과대학교 공학 4동 208호, 전화: 010-3213-2210, E-mail: hcyou@postech.ac.kr

1. 서 론

의복 직물의 역학적, 음향학적 특성들과 착용자의 감성 만족도간의 연관성을 분석하는 직물 감성 연구가 수행되어 왔다. 조길수와 이은주(1999a)는 의류용 직물 65종에 대해 1.2m/s의 마찰 조건에서 발생하는 직물 마찰음을 정량적으로 분석하여 직물들을 음향학적 특성(예: loudness, ΔL: difference between maximum and minimum amplitude (dB), ΔF: difference between maximum and minimum amplitude(Hz)) 측면에서 분류하였다. 또한, 조길수와 이은주(1999b)는 Kawabata Evaluation System(KES)을 활용하여 직물의 역학적 특성(예: 인장, 굽힘, 전단)을 파악하고, 직물의 역학적 특성과 음향학적 특성 간의 연관성을 분석하였다. 한편, 나영주와 조길수(2001)는 요인분석을 통해 직물 음향학적 특성을 감성적으로 평가할 수 있는 7쌍의 감성형용사(예: 조용한-시끄러운, 낮은-높은)를 추출하여 감성 평가를 수행하였다. 또한, 김춘정과 조길수(2006)는 직물 마찰음 발생장치를 개발하였으며, 생성된 마찰음 특성 및 감성 평가 결과들을 바탕으로 감성 예측 회귀식을 수립하였다. 이 외에도 조자영 외(2001)는 직물 음향학적 특성에 대한 인간의 심리생리학적 반응(예: 혈류량, 피부전도수준)을 분석하였으며, 정혜진 외(2003)는 스포츠웨어용 직물의 음향학적 특성이 근전도와 감성에 미치는 영향을 분석하였다.

감성 직물 설계 연구의 효율성 및 관련 연구 결과의 적용성 향상을 위해 직물 마찰음에 대한 감성을 평가하고 예측할 수 있는 시스템 개발이 필요하다. 기존의 직물 음향학적 특성 분석 과정은 직물 마찰음 발생장치를 사용하여 생성된 마찰음을 녹음하고 정량적으로 분석하는데 상당한 시간이 소요된다(한 직물의 마찰음 측정 시간: 15분, 분석 시간: 15분). 직물의 역학적 특성과 음향학적 특성에 대한 연관성 연구 결과를 바탕으로 직물의 음향학적 특성을 추정하는 시스템은 실무자의 분석 시간을 효과적으로 단축시킬 수 있다. 또한, 기존 연구에서 파악된 직물의 역학적, 음향학적 특성에 따른 감성 만족도 결과를 바탕으로 감성 만족도를 추정하는 시스템은 감성 직물 설계 실무자에게 특정 직물에 대한 감성 만족도를 파악하는데 효율적으로 활용될 수 있다. 마지막으로, 기존의 직물 마찰음에 대한 감성 평가는 청각적 자극이 주어진 상황에서 수행되었으나, 실제 직물 마찰은 시청각 자극(직물 마찰 동작과 마찰음)이 동시에 발생하는 상황이므로 다차원적 자극 상황에서 직물에 대한 감성 반응 연구가 필요하다.

본 연구는 감성 직물 설계 연구의 효율성 및 실무 적용성 향상을 위해 직물 감성 평가 및 예측 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 직물 마찰음에 대한 전문 연구진의 요청으로 효율적이고 체계적인 data 관리 및 분석을 위해 3가지 subsystem(감성 평가 시스템, 감성 예측 시스템, 가청거리 예측 시스템)으로 구성되었으며, 각 subsystem은 특정 기능(예: 실험 조건 설정, 평가 실험 수행, 직물의 DB 관리)을 수행할 수 있도록 개발되었다. 본 시스템은 C# 기반이며, DB는 Microsoft® Office Access 2007을 사용하여 구축되었다.

2. 시스템 구성

본 연구에서 개발된 직물 감성 평가 및 예측 시스템은 그림 1과 같이 3개의 sub-system으로 구성되었다. 첫째, 직물 감성 평가 subsystem은 직물 마찰에 대한 시각적, 청각적 자극을 제공하고, 실험참여자가 감성 평가를 수행하며, 평가 결과를 체계적으로 관리하기 위해 개발되었다. 둘째, 직물 감성 예측 subsystem은 직물의 역학적, 음향학적 특성 정보들을 바탕으로 직물에 대한 다양한 감성과 전반적 만족도를 예측하기 위해 개발되었다. 마지막으로, 가청거리 예측 subsystem은 직물의 역학적, 음향학적 특성 정보로부터 직물 마찰음에 대한 인지역치음압(Just Noticeable SPL; dB)과 가청거리(audible distance; m)를 예측하기 위해 개발되었다. 그리고 시스템의 구조 및 기능들은 직물 마찰음에 대한 전문 연구진들의 의견을 토대로 설계되었다.

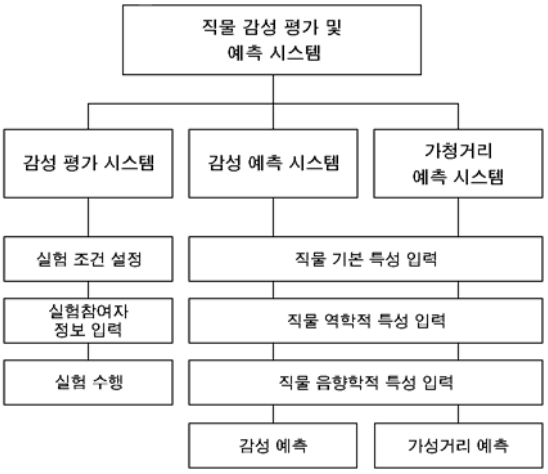


그림 1. 직물 감성 평가 및 예측 시스템 구성

2.1 직물 감성 평가 시스템

직물 감성 평가 subsystem에서 운영하는 직물 감성 평가 실험은 3개의 module들(실험 조건 설정, 실험참여자 정보 입력, 실험 수행)로 구성되었다. 첫째, 실험 조건 설정(Project Setup) module은 그림 2와 같이 실험 진행자가 평가 대상 직물 시료 정보들과 실험 조건들을 설정하는 기능을 제공한다. 설정할 수 있는 실험 조건들로는 직물 시료 정보, 직물 마찰 조건(walking, jogging, running), 실험에 사용될 video image(동영상, 사진), 그리고 실험 횟수가 있다. 설정된 실험 설계 정보는 저장되어 추후 동일한 실험 수행 시 재사용될 수 있도록 설계되었다. 둘째, 실험참여자 정보 입력(Participant Information) module은 실험참여자 신상 정보(이름, 나이, 성별)의 입력을 관리한다. 마지막으로, 실험 수행(Experiment) module은 그림 3과 같이 설정된 실험 조건에 따라 직물 시료의 마찰 상황 video image와 마찰음을 동시에 제공한다.

본 시스템의 감성 평가는 기존의 청각적 정보에만 의존한 감성 평가에 비해 시각적 정보를 추가적으로 제시하여 보다 실제와 근사한 조건에서 감성을 평가할 수 있도록 설계되었다. 본 시스템의 감성 평가 실험은 직물의 청각적 정보(마찰음)뿐만 아니라, 마찰 상황에 대한 시각적 정보(동영상 혹은 사진)를 동시에 제공함으로써 보다 실제적인 다차원 자극(multi-modal stimulus) 시현 상황에서 감성을 평가할 수 있도록 설계되었다. 본 감성 평가는 나영주와 조길수(2001)에서 제시된 직물에 대한 감성 평가 형용사 8쌍(조용한-시끄러운, 낮은-높은, 무딘-날카로운, 매끄러운-거친, 부드러운-딱딱한, 맑은-탁한, 단조로운-변화있는, 유쾌한-불쾌한)과 7점 척도(예: 조용한(-3) ~ 시끄러운(3))를 사용하여 수행되도록 설계되었다.

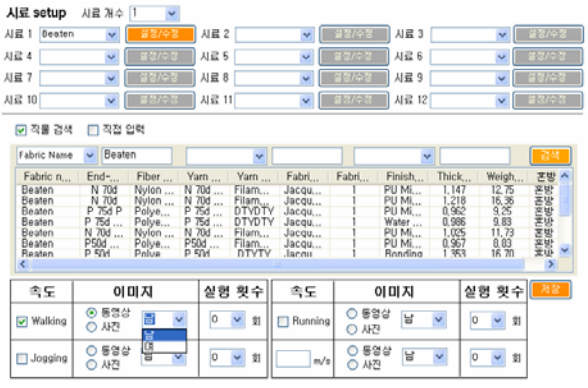
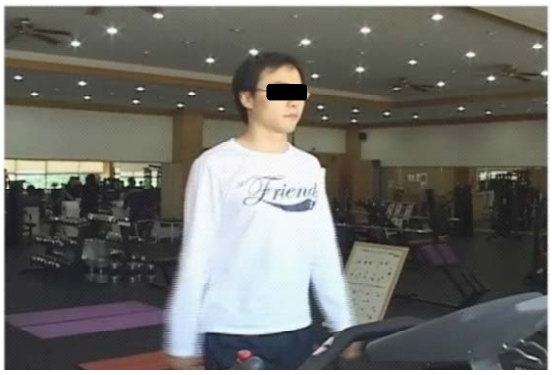


그림 2. 감성 평가 실험 조건 설정 화면



(a) 직물 마찰 조건 동영상

	-3	-2	-1	0	1	2	3	
조용한 (Quiet)	○	○	○	○	○	○	○	시끄러운 (Loud)
낮은 (Low)	○	○	○	○	○	○	○	높은 (High)
무딘 (Dull)	○	○	○	○	○	○	○	날카로운 (Sharp)
매끄러운 (Smooth)	○	○	○	○	○	○	○	거친 (Rough)
부드러운 (Soft)	○	○	○	○	○	○	○	딱딱한 (Hard)
맑은 (Clear)	○	○	○	○	○	○	○	탁한 (Obscure)
단조로운 (Monotonous)	○	○	○	○	○	○	○	변화있는(Changing)
유쾌한 (Comfort)	○	○	○	○	○	○	○	불쾌한(Discomfort)

(b) 감성 평가 화면

그림 3. 감성 평가 수행 화면 예

2.2 직물 감성 예측 시스템

직물 마찰음에 대한 감성 예측 시스템은 직물의 기본 특성(Fabric Characteristics, FC) module, 역학적 특성(Mechanical Properties, MP) module, 음향학적 특성(Sound Characteristics, SC) module, 그리고 감성 예측(Psychological Sensation, PS) module로 구성되었다.

2.2.1 직물의 기본 특성(FC)

직물의 기본 특성 정보 module은 그림 4와 같이 감성 예측 대상 직물의 기본 특성을 입력 및 설정하는 기능을 가진다. 입력 방법으로는 기본 특성 정보를 직접 입력하거나 기존 DB에서 검색하여 설정할 수 있도록 설계되었다. 예를 들어, 감성 예측 대상 직물이 기존 DB에 없던 새로운 직물일 경우, 그림 4의 상단에 표시된 '입력'을 선택하고 각 정보들을 키보드로 입력하거나 마우스를 사용하여 목록에서 선택할 수 있다. 반면에 기존 DB에 저장되어 있는 직물일 경우, '검색'을 선택하여 DB에서 관련된 정보를 불러올 수 있다. 본 시스템의 직물의 기본 특성 정보들은 조길수와 이은주(1999b)에서 제시된 6가지 직물 기본 특성 정보와 5가

지 추가 정보(예: fabric type, fabric name)들을 포함하여 총 11가지로 구성된다.

그림 4. 직물 기본 특성 정보 입력 화면

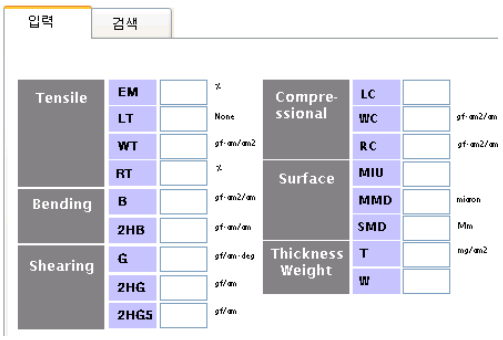


그림 5. 직물 역학적 특성 정보 입력 화면

2.2.2 직물의 역학적 특성(MP)

직물의 역학적 특성 module은 그림 5와 같이 감성 예측 대상 직물의 역학적 특성을 관리하는 기능을 제공한다. 본 module은 FC module과 같이 역학적 특성 정보를 직접 입력하거나 기존 DB에서 검색해서 사용할 수 있도록 설계되었다. 직물의 역학적 특성은 최계연 외(2002)에서 언급된 역학적 특성 변수들을 포함하여 총 17가지로 구성되었다. 예를 들어, 직물의 역학적 특성 중 tensile 특성으로 elongation and maximum load(EM), linearity(LT), tensile energy per unit area(WT), resilience(RT)가 있으며, bending 특성으로 bending rigidity per unit length(B), moment of hysteresis per unit length(2HB)가 있다.

본 module은 입력된 17가지의 MP 정보들을 바탕으로 해당 참조 군집(reference cluster)을 분석해주는 기능을 제공한다. 본 연구는 조길수와 이은주(1999a) 연구와 기확보된 직물 정보를 사용하여 표 1에서 예시된 것과 같은 직물 군집과 군집 판별식을 도출하였으며, 이의 군집 분석 결과들을 시스템에 적용하여 특정 직물에 대한 참조 군집이

표 1. 직물 군집 및 군집 판별식 예

군집 구분	군집명	군집 판별식	오분류율(%)
Cluster 1	Wool like: 변형이 쉬운, 폭신한, 표면이 거친, 두껍고, 무거운 직물군	13.82 × EM + 303.75 × LT – 7.59 × WT + 1.69 × RT – 226.56 × B + 175.27 × 2HB – 2.42 × G + 0.78 × 2HG – 0.58 × 2HG5 – 33.61 × LC + 52.54 × WC + 0.58 × RC + 44.14 × MIU + 915.62 × MMD + 9.22 × MD + 138.67 × T – 0.54 × W – 208.59	10.3
Cluster 2	Silk like: 표면이 매끈하고, 납작한, 얇고, 가벼운 직물군	12.57 × EM + 306.29 × LT – 6.45 × WT + 1.62 × RT – 224.00 × B + 242.70 × 2HB + 1.08 × G – 0.21 × 2HG – 2.05 × 2HG5 – 8.79 × LC + 6.67 × WC + 0.62 × RC + 32.52 × MIU + 597.80 × MMD + 6.68 × SMD + 52.40 × T – 0.07 × W – 188.01	
Cluster 3	Cotton like: 뻣뻣하고, 변형이 어려운 직물군	15.22 × EM + 344.21 × LT – 8.70 × WT + 1.17 × T – 169.76 × B + 274.29 × 2HB – 0.91 × G – 1.65 × 2HG – 0.10 × 2HG5 – 25.30 × LC + 40.74 × WC + 0.18 × RC + 63.57 × MIU – 681.34 × MMD +10.72 × SMD + 49.94 × T + 0.31 × W – 178.81	
Cluster 4	Nylon like: 변형이 어렵고, 마찰에 잘 미끄러지는 직물군	17.55 × EM + 396.04 × LT – 11.02 × WT + 0.42 × RT – 217.55 × B + 223.68 × 2HB + 46.16 × G + 26.08 × 2HG – 24.47 × 2HG5 + 7.10 × LC + 4.82 × WC + 0.67 × RC + 69.49 × MIU – 98.23 × MMD + 9.31 × SMD + 33.85 × T + 1.28 × W – 334.28	

(주) 2HB: hysteresis of bending moment(gf · cm^2/cm); 2HG: hysteresis of shear force at φ=0.5°(gf/cm); 2HG5: hysteresis of shear force at φ=5°(gf/cm); EM: elongation and maximum load(%); B: bending rigidity(gf · cm^2/cm); G: Shear stiffness(gf/cm · degree); LC: linearity of compression; LT: linearity of tension; MIU: coefficient of friction; MMD: mean deviation of MIU; RC: resilience of compression(gf · cm^2/cm); RT: resilience of tension(%); SMD: mean deviation of surface roughness(micron); T: thickness at 0.5 gf/cm^2(mg/cm^2); W: weight per unit area(mg/cm^2); WC: compression energy(gf · cm/cm^2); WT: tensile energy (gf · cm/cm^2)

파악되도록 하였다. 또한, 본 module은 그림 6과 같은 방사형 그래프를 사용하여 군집 정보를 시각화하여 제공하며 관련 오분류율 정보를 제공한다. 예를 들어, 그림 6은 해당 직물이 변형이 쉽고 푹신하며 두껍고 무거운 wool형의 직물군에 속하며, 군집 오분류율(misclassification rate)은 10.3%인 것을 나타낸다.

그림 6. 직물 역학적 특성을 통한 군집 판별 결과 예

2.2.3 직물 음향학적 특성(SC)

직물의 음향학적 특성 정보 module은 그림 7과 같이 감성 예측 대상 직물의 음향학적 특성을 입력할 수 있는 기능을 가진다. 본 module은 직물의 음향학적 특성을 입력하고 검색하는 기능 및 추정 기능으로 구성된다. 본 module에서 입력되는 직물의 음향학적 특성은 조자영(2007)에서 제시된 7가지 특성 변수들(SPL, L, F, Loudness, Sharpness, Roughness, Fluctuation Strength)로 구성되었다.

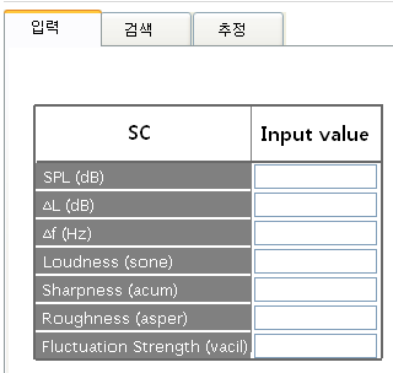


그림 7. 직물 음향학적 특성 정보 입력

본 module은 직물의 MP 특성 정보로부터 SC 특성을 예측할 수 있는 추정 기능과 참조 군집 파악 기능을 가진다. 본 연구에서 추정 기능에서 사용된 회귀식(표 2 참조)은 조자영(2007)의 직물 음향학적 특성 예측식과 기확보된 자료를 바탕으로 도출되었다. 한편, 추정에 사용되는 MP 값들 중 추정식 개발 시 사용된 자료의 범위를 벗어나는 경우, 추정치는 제공하되 관련 사항을 그림 8과 같이 사용자에게 알려줄 수 있도록 설계되었다. 또한 본 module은 직물의 역학적 특성 module과 같이 직물의 음향학적 특성에 대한 군집 분석 결과와 판별 분석 결과들을 기반으로 참조 군집을 판별할 수 있도록 설계되었다(그림 9 참조).

표 2. 직물 음향학적 특성 추정 회귀식

직물 음향학적 특성	추정 회귀식	R^2
Sound Pressure Level(dB)	34.25 + 0.84 × WT + 0.59 × RT + 1.20 × 2HG5 − 0.39 × RC − 26.45 × MIU + 610.79 × MMD	0.5847
ΔL(dB)	−6088.18 + 1840.29 × 2HG5 + 17616 × T	0.4503
ΔF(Hz)	12.68 + 1.45 × 2HG	0.5408
Loudness (sone)	0.93 + 0.23 × 2HG	0.2980
Sharpness (acum)	3.04 + 0.13 × G − 2.23 × WC + 4.00 × T	0.6480
Roughness (asper)	2.57 − 0.05 × 2HG5 − 0.02 × W	0.6850
Fluctuation strength (vacil)	2.56 − 2.66 × WC − 58.16 × MMD	0.9487

(주) 2HG: hysteresis of shear force at φ=0.5°(gf/cm); 2HG5: hysteresis of shear force at φ=5°(gf/cm); G: Shear stiffness (gf/cm · degree); MIU: coefficient of friction; MMD: mean deviation of MIU; RC: resilience of compression(gf · cm^2/cm); RT: resilience of tension(%); T: thickness at 0.5gf/cm^2(mg/cm^2); W: weight per unit area(mg/cm^2); WC: compression energy(gf · cm/cm^2); WT: tensile energy(gf · cm/cm^2)

2.2.4 심리학적 감성(PS) 예측

직물 감성 예측 module은 입력된 직물의 역학적, 음향학적 특성 정보들을 바탕으로 해당 직물의 감성을 예측하는 기능을 제공한다(그림 10 참조). 본 module의 감성 예측 기능은 기확보된 자료의 감성 예측 회귀식을 사용하여 7쌍의 감성(예: 조용한−시끄러운, 낮은−높은)을 −3 ~ +3 사이의 값으로 예측할 수 있도록 설계되었다. 또한, 감성 예측 기능은 Yang et al.(2009)의 연구에서 보고된 3가지 보행 조건(walking, jogging, and running)에서 마찰음에 대

한 감성을 예측할 수 있도록 설계되었다. 예를 들면, 그림 10과 같이 직물의 종류가 beaten 이고 walking 상황에서 발생된 마찰음은 낮고, 무디며, 매끄러우면서도, 딱딱하고, 탁하며, 변화감을 주는 것으로 추정된다.

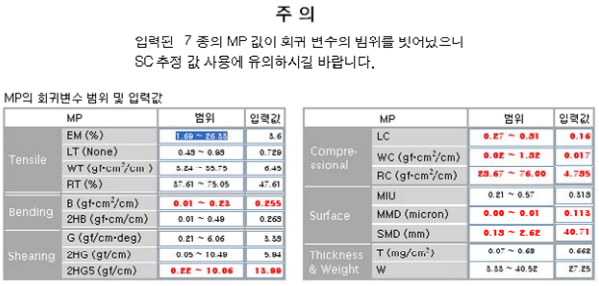


그림 8. 직물 음향학적 특성 추정 시 유효 범위 및 이상치 (굵은 글자로 표시) 정보 제시 예

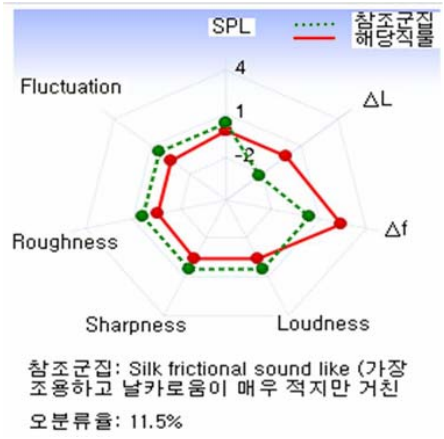


그림 9. 직물 음향학적 특성을 통한 군집 판별 결과

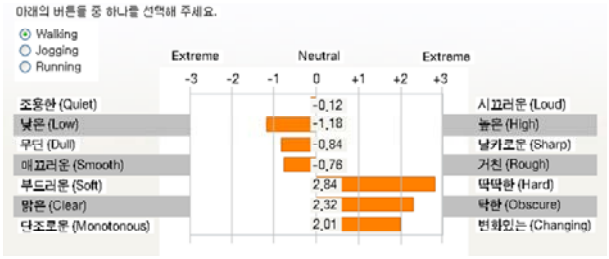


그림 10. 직물 마찰음에 대한 감성 예측 결과 예

2.3 가청거리 예측 시스템

가청거리 예측 시스템은 직물의 역학적, 음향학적 특성들로부터 가청거리를 예측하는 기능을 제공한다(그림 11 참조). 직물 마찰음의 가청거리는 3가지 보행 조건(walking, jogging, running)에 따른 팔과 몸통 사이의 마찰 속도(0.2, 0.8, and 1.4m/s)를 고려하여 추정된다. 또한, 본 module은 평균 추정치와 95% 신뢰구간 정보를 제공하도록 설계되었다. 가청거리 예측에 사용된 회귀식(표 3 참조)은 조자영(2007)의 연구 결과 자료를 추가적으로 분석하여 적용되었다.

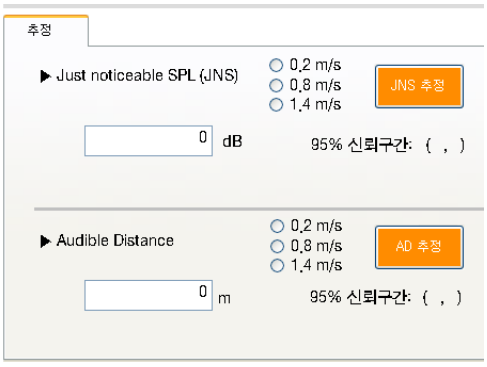


그림 11. 직물 마찰음에 대한 가청거리 추정 화면

표 3. 가청거리 추정 추정식 예

종속 변수	추정 회귀식	R^2
Just noticeable sound pressure level(dB)	11.63 − 5.20 × R	0.7036
Audible distance(m)	−603.11 + 393.10 × R − 126.79 × F + 14.58 × SPL	0.9786

(주) F: fluctuation strength(vacil); R: roughness(asper); SPL: sound pressure level(dB)

3. 토 의

본 연구는 직물 마찰음에 대한 감성 연구에 유용하게 활용될 수 있는 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 3가지 sub−system(감성 평가 시스템, 감성 예측 시스템, 가청거리 예측 시스템)으로 구성되었으며, 각 sub−system은 특정 기능(예: 실험 조건 설정, 평가 실험 수행, 직물의 DB 관리)을 수행하는 3~4개 module로 구성되었다. 본 시스템은 직물의 기본 특성, 역학적 특성, 음향학적 특성에 대한 정보 입력, DB 관리, 검색, 군집 판별, 추정과 더불어 감성 평가 및 예측, 그리고 가청거리 예측을 종합적으로 수행할 수 있다.

기존의 감성 평가 실험은 직물 마찰음에 대한 청각적 자극만을 제공하나, 본 연구의 감성 평가 시스템은 청각 및

시각적 감각을 동시에 제공하여 실험참여자가 실제 상황과 보다 유사한 다차원 자극 조건에서 감성을 평가할 수 있도록 설계되었다. 김춘정과 조길수(2006)는 직물 마찰음만을 제시하여 감성 평가를 수행하였으나, 실제 직물이 마찰되는 상황에 대해 시각적으로 인지되는 자극(예: walking, jogging, running image)을 반영하지 못한 한계가 있었다. 반면에 본 연구에서 개발된 시스템은 시청각 자극을 동시에 제공할 수 있어, 직물 마찰에 대한 시각적 효과가 감성에 미치는 영향을 추가적으로 파악하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

본 시스템은 감성이나 군집 정보에 대한 추정치뿐만 아니라 오분류율, 신뢰구간, 회귀식 적용 범위와 같은 부가 정보들을 제공하여 사용자가 추정치를 적절하게 이용할 수 있도록 설계되었다. 예를 들어, 감성 예측 시스템은 평균 추정치와 관련 95% 신뢰구간을 제공하여 사용자가 추정 결과에 대한 신뢰도 정보를 파악할 수 있도록 하였다.

본 감성 예측 시스템에 사용된 예측식들은 기존 감성 평가 실험 결과를 토대로 개발된 것이기 때문에 기존 직물과 다른 역학적, 음향학적 특성을 가진 새로운 직물에 대한 예측에는 한계가 있을 수 있다. 또한, 기존 감성 평가 실험은 직물 마찰음에 대한 청각적 자극만을 제시하여 수행되었으므로 직물 마찰음에 대한 시각적 자극(동영상)을 동시에 제공하여 감성을 평가하는 실험과는 결과가 다를 수 있다. 본 연구에서 사용된 감성 예측 회귀식은 현재까지 수행된 감성 평가 결과(일반직물: 100종, 투습발수직물: 9종, 편성물: 9종)만을 반영하였으므로, 추후 다양한 직물에 대한 감성 평가를 통해 감성 예측 회귀식의 타당성 검증 및 신규 개발이 필요하다. 또한 시스템의 안정된 운용을 위해서는 관련 전문 연구진이 시스템을 운용하면서 개선 사항을 파악하고 이를 바탕으로 시스템에 대한 지속적인 보완이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0089220).

참고 문헌

김춘정, 조길수, 왕복운동에 의한 직물 마찰음 발생장치의 개발 및 이를 이용한 직물소리 평가. *한국감성과학회지*, 9(2), 133-140, 2006.

나영주, 조길수, 직물 소리의 감성 연구를 위한 SD법 관능검사의 활용. *한국섬유공학회지*, 38(11), 603-613, 2000.

이은주, 김춘정, 조길수, 왕복 마찰에 의한 견직물의 소리 특성: 일방 마찰과의 비교와 역학적 성질에 대한 예측. *한국섬유공학회지*, 44(3), 172-182, 2007.

정혜진, 김춘정, 조길수, 스포츠웨어용 직물의 소리 특성이 근전도와 주관적 감각, 감성에 미치는 영향. *한국감성과학회지*, 6(1), 27-32, 2003.

조길수, 이은주, 음색의 정량화를 통한 직물의 소리 분석. *한국섬유공학회지*, 36(7), 554-564, 1999.

조길수, 이은주, 슈트용 직물의 스치는 소리와 물성간의 관계. *한국감성과학회지*, 2(1), 157-168, 1999.

조길수, 이은주, 조자영, 직물의 소리와 촉감이 주관적 감각에 미치는 영향: 한미 문화간 비교. *한국감성과학회지*, 3(1), 41-52, 2000.

조자영, *전투복 직물의 마찰 속도별 소리 특성과 역학적 특성이 가청거리에 미치는 영향*. 연세대학교 박사학위논문, 2006.

조자영, 이은주, 손진훈, 조길수, 직물 마찰음에 대한 심리생리적 반응. *한국감성과학회지*, 4(2), 79-88, 2001.

최계연, 김춘정, 조길수, 견직물의 마찰음에 대한 물리적 성질과 감성과의 관계. *한국감성과학회지*, 5(3), 39-46, 2002.

Yang, Y., Kim, C., Park, J., You, H. and Cho, H., Application of fabric frictional speeds to fabric sound analysis using water repellent fabrics. *Fibers & Polymers*, 10(4), 557-561, 2009.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 박 장 운 ❖ parkjw@postech.ac.kr
아주대학교 산업정보시스템공학부 학사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학 통합과정
관심분야: 인간공학적 제품 설계, 가상환경상 제품 평가, 3차원 동작 분석

❖ 김 수 진 ❖ usagi@postech.ac.kr
포항공과대학교 산업경영공학과 석사
현 재: LG 전자 MC 사업본부
관심분야: 인간공학적 제품 설계, 3차원 동작 분석

❖ 양 윤 정 ❖ yjhgong242@paran.com
연세대학교 의류환경학과 석사
현 재: 경희대학교 산학협력단
관심분야: 감성 의류, 스마트 의류

❖ 한 아 름 ❖ asheley84@paran.com
이화여자대학교 의류직물학과 학사
현 재: 연세대학교 의류환경학과 석사과정
관심분야: 감성 의류, 스마트 의류

❖ 김 춘 정 ❖ mayya@yonsei.ac.kr
연세대학교 의류환경학과 박사
현 재: 연세대학교 생활과학연구소 연구원
관심분야: 감성 의류, 스마트 의류

❖ 조 길 수 ❖ gscho@yonsei.ac.kr
버지니아 주립 공과대학교 의류학 박사
현 재: 연세대학교 의류환경학과 교수
관심분야: 스마트 의류, E-textiles, 감성 의류,
직물마찰음, 최신 의류 소재, 의복생리학

❖ 유 희 천 ❖ hcyou@postech.ac.kr
펜실베니아 주립대학교 산업공학 박사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 가상환경상 인간공학 설계기술, 제품설계,
상지근골격계 질환, 산업인간공학

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2009년 11월 03일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 02월 17일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 03월 03일