

감성 의류 소재 개발을 위한 직물 마찰 소리의 심리생리학적 연구

조자영, 이은주, 손진훈*, 조길수

연세대학교 의류환경학과

*충남대학교 심리학과

Psychophysiological Study for the Development of Sensible Textiles

Jayoung Cho, Eunjou Yi, Jin-Hun Sohn*, Gilsoo Cho

Department of Clothing and Textiles, Yonsei University

**Department of Psychology, Chungnam National University*

Abstract

본 연구는 청각적 감성을 만족시키는 의류소재의 개발을 위해, 직물 마찰음에 대한 인간의 감성을 생리반응측정과 심리적·주관적 평가를 통해 파악하고, 직물 마찰음이 갖는 음향특성과의 관련성을 고찰하였다. 이를 위해 직물 마찰음의 음향특성을 분석하고, 직물 마찰음에 대한 감각·감성 표현어(부드러움, 시끄러움, 유쾌함, 날카로움, 맑음, 거침, 높음)를 이용하여 주관적 평가를 실시하였으며, 생리적 반응으로서 뇌파 및 혈류량, 심박변화율, 피부전도수준 등을 측정하였다. 주관적 감각·감성은 대부분 직물 소리의 크기와 관련이 깊은 것으로 나타나, loudness(Z)와 총음압 LPT가 증가할수록 시끄럽고 거칠며 딱딱하고 불쾌하며 탁하다고 지각하였다. 생리적 반응과 관련하여서는, 부드럽고 조용하며 맑다고 지각할수록 slow alpha파가 증가하였고, 유쾌하고 매끄럽다고 평가할수록 혈류량은 증가하였다. 또한, 높다고 지각하는 소리에 대해 LF/HF는 증가하였다. 마찰음의 음향특성이 생리적 반응에 미치는 영향으로서, LPT가 혈류량의 감소에, Loudness(Z)가 피부전도수준의 증가에 각각 영향을 미치며, sharpness(Z)가 높고 $\angle L$ 이 작을수록 LF/HF는 증가하는 것으로 나타났다.

Key Words : 직물 소리 특성, 청각적 쾌적감, 주관적 감각, 생리적 반응

1. 서론

최근 의류산업에서는 신체적·심리적으로 즐거움을 줄 수 있는 감성적 제품 개발을 지향하고 있으며, 이를 위해 의류제품의 사용에 있어서 인간이 느끼는 다양한 감성과 심리 정보를 객관화하고 데이터베이스화하기 위한 연구가 진행되고 있다[1].

의류 제품에 있어서의 감각적 기능성은 직물의 태, 온열생리적 쾌적감을 위주로 연구되어 왔으며, 섬유 제품의 음향적 측면은 일상생활이나 특수용도에서의 중요성에 비해 간과되어 왔다. 그러나 직물이 서로 스치면서 나는 소리는 실제로 용도와 상황에 따라 착용자의 심리적 쾌적성에 큰 영향을 미치므로 의류제품에 있어서 음향적 성능은 간과될 수 없다. 뿐만 아니라, 청각적 쾌적감을 부여한 고무가가치 직물의 개발은 의류제품의 총체적 감각성능의 증폭이라는 관점에서 중요한 의미를 갖는다.

직물의 청각적 감각성능을 평가하고 이를 제조과정에 적용하기 위해서는 청각적 의류제품 평가시스템의 설계와 구축이 필요하다. 이 시스템의 구축에 필요한 연구로서, 우선 직물마찰음에 대한 사용자의 감성을 객관적으로 측정·평가하고 직물의 물리적 특성이나 음향 요소와의 관련성 등을 다각적으로 탐색하는 연구가 필수적이다.

최근, 직물의 스치는 소리로부터 음색을 추출, 이를 정량화하고[12], 마찰음에 대한 주관적 반응 및 직물의 색관적 측정치와의 연관성을 조사한 연구[3, 4, 11]들이 진행되면서 청각적 감성 의류 소재를 개발하기 위한 연구가 본격화되었다. 그러나 인간의 감성을 측정함에 있어서 언어를 이용한 주관적 평가방법은 추상적인 감성 이미지가 한정된 용어로 표현되어야 하고 주관적 정서 경험을 표현하는 언어는 사람에 따라 이해에 차이가 있을 수 있어 신뢰성에 한계점을 안고 있다. 따라서 감성의 측정에 있어서 주관적 평가에만 의존하기보다는, 한 개인에게서 높은 일관성을 가지며 의도적으로 변화시키기 어려운 생리신호의 측정을 병행하여 감성평가방법을 더욱 객관화할 필요가 있다.

이에 본 연구는 직물 마찰음에 대한 인간의 주관적 평가와 색관적 생리신호의 분석을 통해

감성을 평가하고, 직물 마찰음이 갖는 음향 특성과 어떠한 연관성을 갖는지 알아보려고 하였다.

2. 실험

2.1 시료

시판되고 있는 의류용 직물 9종을 시료로 선정하였으며, 그 종류는 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of specimens

시료	조성	섬유	직물명	두께 (mm)	무게 (mg/cm)
1	silk	warp-spun weft-filament	satin	0.18	9.00
2		filament	organza	0.16	3.33
3		filament	damask	0.18	9.38
4		filament	brocade	0.27	14.17
5	polyester	filament	satin	0.27	11.89
6		filament	habutac	0.09	6.46
7	nylon	filament	taffeta	0.20	10.18
8*		filament	taffeta	0.14	10.61
9	acetate/ polyester	spun	crepe	0.60	23.63

* : polyurethane coated

2.2 직물 소리 녹음

직물의 마찰음을 객관적으로 재현하기 위해 직물소리 발생장치[9]를 사용하여 마찰음을 발생시켰다. 녹음은 잔향이 발생하지 않는 무향실에서 실시하고, 고정형 마이크로폰과 DAT Recorder (IEAC RD-1451)를 이용하여 녹음하였다.

2.3 직물 마찰음 분석

녹음된 소리를 FFT 분석하여 얻은 스펙트럼을 기초로, 총음압에 해당하는 LPT(Level Pressure of Total Sound, dB)[6]와 음색요인[9]인 ΔL (Level Range, dB), Δf (Frequency Difference, Hz)를 주파수 범위 16~20,000Hz에서 계산하였다. 그리고, Zwicker[12]의 음향 모델로부터 심리음향학적 요인으로서 의미있는 것으로 기대되는 loudness(Z)와 sharpness(Z)를 선정하고 이를 계산하였다.

2.4 주관적 감각·감성 평가

직물 마찰음에 대한 감각·감성 평가를 위해 선행연구[3, 4, 11]에서 사용한 7개 형용사쌍을 이용하였다. 대학생 30명(남녀 각 15명)에게 9개의 직물 마찰 소리를 무작위 순으로 들려주면서 의미분별척도(SDS)를 이용, -3에서 +3까지의 척도로 답하도록 하였다.

Table 2. Descriptors for sound sensation

3	.....	13
딱딱한 (Hard)	.....	부드러운 (Soft)
조용한 (Quiet)	.....	시끄러운 (Loud)
불쾌한 (Unpleasant)	.....	유쾌한 (Pleasant)
둔한 (Dull)	.....	날카로운 (Sharp)
탁한 (Obscure)	.....	맑은 (Clear)
매끄러운 (Smooth)	.....	거친 (Rough)
낮은 (Low)	.....	높은 (High)

2.5 생리적 반응 측정

실험 자극물에 대한 선입견 통제를 위해, 선행된 주관적 평가경험이 없는 정상 청력의 오른손잡이 여학생 (18-26세) 10명을 생리실험의 참여자로 선정하였다. 전기적 자극이 차단된 방음실에서 직물 마찰에 대한 생리적 반응을 측정하였다.

뇌파와 자율신경계의 측정장치로 Neurodata Acquisition System(Model 12, Grass Co., U.S.A)과 Biopac Amplifier (Biopac System Inc., U.S.A)를 사용하였다. 두뇌의 여섯 지점(F3, F4, T3, T4, O1, O2)에 전극을 부착하여 단극유도법으로 뇌파를 측정하였고, 자율신경계 반응으로는 광혈량도(PPG: photoplethysmogram)를 이용한 펄스량(PV: pulse volume)과 심박(HR: heart rate) 및 피부전도수준(SCL: skin conductance level)을 측정하였다[2].

실험참여자는 전극을 부착하고 실험실 안락의자에 앉아 10분간의 적응시간을 가졌고, 매 자극 제시 전, 안정상태(baseline)의 생리적 활동을 기록하고, 이어서 직물 마찰음을 2m 전방의 라우스 스피커(4312C, JBL)를 통해 제시하면서 생리신호를 측정하였다.

2.6 통계분석

음향특성과 주관적 감각·감성 평가 및 생리적

반응간의 상호관련성을 분석하기 위해, 단계적 선형 회귀분석(stepwise linear regression)을 이용하였다.

3. 결과 및 논의

3.1 직물 마찰음의 음향특성

9개 직물 마찰음의 음향특성은 Table 3과 같다.

Table 3. Sound characteristics of fabric sound

시 료	LPT (dB)	음색요인		심리음향학적 요인	
		ΔL (dB)	Δf (Hz)	Loudness(Z) (sone)	Sharpness(Z) (acum)
1	36.62	37.65	-9.034	0.68	3.70
2	42.84	38.47	-1.916	0.40	3.72
3	53.80	53.59	-19.904	0.60	2.38
4	64.84	27.42	-7.360	3.76	3.60
5	37.74	37.20	7.488	0.22	3.70
6	42.74	37.75	8.752	0.30	3.71
7	56.30	19.11	2.944	2.40	4.52
8	60.56	31.10	5.184	2.54	3.60
9	53.80	25.05	5.104	1.26	5.21

LPT가 가장 낮은 직물은 실크 새틴(1)이며 가장 높은 직물은 실크 브로케이드(4)였으며, 실크 브로케이드(4)의 LPT는 일상적인 대화수준(60dB)에 근접하였다[7].

음색 요인인 ΔL 은 19.11dB (나일론 타프타(7))~53.59dB(실크 다마스크(3))의 분포를 나타내었고, Δf 는 -19.904Hz (실크 다마스크(3))~2.944Hz(나일론 타프타(7))의 값을 나타내었다.

심리음향학적 요인인 loudness(Z)에 있어서는 폴리에스터 새틴(5)이 0.22sone으로 가장 작았는데, 이는 나뭇잎이 살랑거리는 소리(0.2sone)와 비슷하였고, 실크 브로케이드(4) (3.76sone)와 나일론 타프타 2종(7, 8)(2.4sone, 2.54sone)의 loudness(Z)는 나지막한 대화소리에 해당하였다[8]. Sharpness(Z)는 실크 다마스크(3)가 2.36acum으로 가장 작고, 크레이프(9)가 5.21acum으로 최대값을 가져서, 크레이프(9)의 소리가 가장 날카롭게 인지될 것으로 판단되었다. 보통 복관악기의 날카로움이 0.5~2.0acum 정도인 것과 비교할 때[5], 직물의 마찰음은 이보다 훨씬 더 날카롭게 느껴질 것으로 보인다.

3.2 직물 마찰음에 대한 주관적 감각·감성

각 직물 마찰음에 대한 주관적 감각·감성 평가 결과는 Table 4와 같다. 실크 새틴(1)의 소리가 가장 조용하고 매끄러우며 유쾌한 것으로 지각되었고, 이와는 대조적으로 실크 브로케이드(4)의 소리는 가장 시끄럽고 탁하며 거칠다고 평가되었다. 한편, 실크 오간자(3)는 가장 부드럽고 맑은 소리로, 그리고 나일론 타프타(8)는 가장 딱딱하고 불쾌하며 둔하다고 인지하였으며 실크 브로케이드(4)와 함께 가장 탁하고 거친 것으로 평가되어 정가적 쾌적성이 좋지 않은 것으로 여겨졌다.

Table 4. Subjective sensation induced by sound of fabric friction

시료	주관적 감각						
	부드러움	시끄러움	유쾌함	낯익어움	명음	거친	조용
1	1.33	-2.67	2.00	0.00	1.00	-2.67	-0.33
2	-1.00	-1.67	1.33	1.33	-1.00	-1.67	-2.67
3	2.33	-1.67	-0.33	0.00	2.67	-1.67	-2.00
4	-2.33	2.67	-1.00	-0.67	-3.00	2.67	1.33
5	2.33	-2.00	0.33	0.67	1.00	-2.00	-2.00
6	0.67	-1.33	0.33	-0.67	1.00	-1.33	-2.67
7	-2.00	1.00	-1.67	2.00	-1.67	1.33	-0.33
8	-3.00	2.00	-2.33	-1.00	-3.00	2.67	-1.33
9	-0.67	-1.33	-2.00	1.00	0.00	1.00	1.67

주관적 감각·감성 평가치간에 어떠한 상호관련성이 있는지 알아보기 위해 상관관계분석을 실시한 결과, ‘부드러움’과 ‘맑음’간에, 그리고 ‘거침’과 ‘시끄러움’간에 역시 높은 관련성이 있었다(r 0.952, r 0.930). 그리고 ‘부드러움’과 ‘거침’, ‘시끄러움’과 ‘맑음’ 간에는 각각 r -0.869와 r -0.864의 높은 부적 관련성을 가져 서로 상반되는 감성임을 알 수 있었다.

3.3 직물 마찰음에 따른 생리적 반응

각 직물의 마찰음을 제시하면서 측정된 생리적 반응인 뇌파(EEG), 심박변화율(HRV)의 LF/HF, 혈류량(PV), 피부전도수준(SCL)의 변화량을 Table 5에 나타내었다

Table 5. Physiological responses induced by sound of fabric friction

시료	생리적 반응			
	뇌파(EEG)	심박변화율(HRV)	혈류량(PV)	피부전도수준(GSR)
	slow alpha (%)	LF/HF* (%)	PPG** (%)	SCL*** (μ S)
1	-0.813	-0.015	0.019	-1.147
2	-0.415	-0.037	-0.002	-1.270
3	0.515	0.067	0.022	0.925
4	1.750	0.135	0.048	0.129
5	0.188	0.090	0.144	1.019
6	-0.430	-0.102	-0.029	-1.242
7	-1.143	0.160	-0.016	-0.828
8	-1.145	0.177	-0.054	-0.686
9	0.512	0.470	0.021	0.491

* low frequency / high frequency of heart rate variability

** photoplethysmogram

*** skin conductance level

Slow alpha라는 모든 직물의 마찰음에 대해 감소하는 경향이 있었으며, 특히 실크 브로케이드(4)와 나일론 타프타(7, 8)의 소리에 대해 반응량이 크게 감소하였다. 이들은 모두 주관적 감각·감성 평가에서 가장 거칠다고 평가된 직물들이었다. LF/HF는 크레이프(9)와 나일론 타프타(7, 8), 실크 브로케이드(4)의 마찰음에 대해 증가하고, 나머지 직물의 마찰음에 대해서는 감소할 보였다. 혈류량 PV는 폴리에스티 새틴(5)에 대해 가장 크게 증가하였으며, 이와 동일 조적인 실크 새틴(1)에 대해서도 약간의 증가를 나타내었는데, 이 두 직물은 모두 주관적 평가에서 마찰음이 가장 부드럽다고 지각된 직물이었다. 그리고, 가장 시끄럽다고 지각되었던 실크 브로케이드(4)에 대해서만 피부전도수준 SCL이 증가하였다.

3.4 직물 마찰음의 음향특성이 주관적 감각·감성에 미치는 영향

직물 마찰음의 음향특성이 주관적 감각·감성과 어떠한 상관성을 갖는지 확인하기 위해 단계적 회귀분석을 실시한 결과, Table 6과 같은 회귀식이 도출되었다. Loudness(Z)와 LPT와 같은 소리의 크기요인이 직물 마찰음에 대한 주

관적 감각·감성을 주로 결정하는 것으로 나타났다. Loudness(Z)와 LPT가 증가할수록 딱딱하고 불쾌하며 탁하고 시끄럽고 거칠다고 인지하였다. 그러나 '날카로움'과 '높음'에 대해서는 회귀식이 성립하지 않아, 날카로움이나 높이에 대한 감각을 더 잘 예측할 수 있는 음향특성의 고찰이 필요한 것으로 나타났다.

Table 6. Relationship between sound characteristics and subjective sensation (n=9)

Y	Regression Model	Adjusted R ²
부드러움	$Y = -1.28Loudness(Z) - 0.484$	0.582
시끄러움	$Y = 1.454Loudness(Z) - 2.354$	0.878
유쾌함	$Y = -0.122LPT + 5.726$	0.644
날카로움	No variable met the 0.05 significance level for entry into the model	.
맑음	$Y = -1.295Loudness(Z) - 1.429$	0.632
거칠	$Y = 1.526Loudness(Z) - 2.262$	0.802
높음	No variable met the 0.05 significance level for entry into the model	.

3.5 직물 마찰음에 따른 주관적 감각·감성과 생리적 반응간의 관계

직물 마찰음에 대한 주관적 평가 결과를 생리적 변화량과 비교함으로써 상호간의 관련성을 확인하고, 주관적 감각·감성을 반영하는 생리적 지표들 탐색하고자 회귀분석을 실시하였다 (Table 7). 그 결과 '날카로움'을 제외한 6가지 감각·감성에 대해서 생리적 반응에 의한 예측식이 성립하였다.

Table 7. Relationship between subjective sensation and physiological responses (n=9)

Y	Regression Model	Adjusted R ²
부드러움	$Y = 2.95slow\alpha + 2.01$	0.457
시끄러움	$Y = -2.35slow\alpha - 34.09PV - 2.98$	0.843
유쾌함	$Y = 44.82PV + 0.43$	0.499
날카로움	No variable met the 0.05 significance level for entry into the model	.
맑음	$Y = 3.03slow\alpha + 2.0$	0.517
거칠	$Y = -69.02PV - 1.42$	0.638
높음	$Y = 7.04LF/HF - 1.42$	0.603

Slow alpha와는 마찰음 모두에 대해서 안정 상태시보다 감소하였는데, 특히 딱딱하고 시끄럽다고 평가할수록 slow alpha가 더 많이 감소하였다. 또한, 맑다고 평가한 직물의 소리에 대해서는 slow alpha의 감소가 적었던 반면, 실크 브로케이드(4), 나일론 타프타(7, 8)와 같이 탁하다고 평정한 소리에 대해서는 slow alpha의 감소가 더욱 심하였다. 열류량 PV는 유쾌하고 매끄럽다고 평정할수록 증가하였으며, 직물의 소리를 높다고 평가할수록 LF/HF는 증가하였다.

또한, 앞에서 언급한 마찰음의 특성과 주관적 평가간의 관계를 통해, '부드러움'과 '맑음', '시끄러움', '거칠'이 모두 Loudness(Z)에 의해 예측되었는데, 이 주관적 감각·감성의 대부분이 생리적 변인 중 slow alpha와 변화량에 의해 설명되었고 '거칠'만이 열류량에 의해 예측되었다. 이러한 결과를 통해 생리적 반응 중 slow alpha와 열류량이 직물 마찰음에 대한 감성에 대해 서로 관련이 있는 것으로 추측되었다.

3.6 직물 마찰음의 음향특성과 생리적 반응간의 관계

직물 마찰음의 음향특성과 이에 따른 생리적 반응의 관계를 분석하고자 단계적 회귀분석을 실시하였으며, 도출된 회귀식을 Table 8에 나타내었다.

Table 8. Relationship between sound characteristics and physiological responses (n=9)

Y	Regression Model	Adjusted R ²
LPT	$Y = -352PV + 44$	0.714
Loudness(Z)	$Y = 2.43SCL + 3.38$	0.700
Sharpness(Z)	$Y = 3.05LF/HF + 3.59$	0.495
ΔI	$Y = -37.12LF/HF + 36.76$	0.407
Δf	No variable met the 0.05 significance level for entry into the model	.

앞서 '유쾌함'과 관련있었던 열류량 PV는 마찰음의 LPT가 증가함에 따라 감소하였다. 그리고, Loudness(Z)가 클수록 SCL의 반응량도 증가하였으며, LF/HF는 음향특성 중 sharpness(Z)와

가 높고 ΔL 이 작을수록 LF/HF가 증가함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 직물 마찰음에 반응하여 일어나는 감성의 객관적 분석을 위해 주관적 평가와 생리신호측정을 병행함으로써, 직물 마찰음의 특징이 감성에 미치는 영향력을 정량적으로 파악하였다. 인간의 주관적 감성이 생리적 반응을 통해 어느 정도 반영되는지를 파악함으로써 직물 소리에 대한 정서적 지표로서 생리적 반응을 사용할 수 있음을 시사하고 있으며, 마찰음의 음향적 특성과 감성간의 관련성에 대한 본 연구의 결과는 종체적인 의류제품평가법 구축에 있어서 청각적 측면에 대한 데이터로 활용됨과 동시에 소비자의 청각적 욕구를 충족시키기 위한 직물 품질 개선에 이용될 수 있다.

참고문헌

- [1] 김정화, Shimizu, Y.(1998), "미래사회에서의 감성공학", *섬유기술과 산업*, 2(4), pp. 470-478.
- [2] 손진훈, 이인갑, 최상섭, Sokahadze, E. (1998), "청각감성측정 기술 및 DB개발에 관한 연구", 과학기술부 특정연구개발사업 연구보고서.
- [3] 조길수, 이은주, 조자영(2000), "직물의 소리와 촉감이 주관적 감각에 미치는 영향 - 한·미 문화간 비교", *감성과학*, 3(1), pp. 41-52.
- [4] Cho, G. and Casali, J. G.(1999), "Sensory Evaluation of Fabric Sound and Touch by Free Modulus Magnitude Estimation", *the 5th Proceedings of Asian Textile Conferences*, pp. 307-310.
- [5] Goad, P.(1991), "Sharpness Measurements for Musical Instrument Timbers", *Journal of Acoustic society of America*, 60, pp. 1270-1277.
- [6] Kroemer, K. H. E., Kroemer, H. B., and Kroemer, K. E.(1994), "Ergonomics: How to Design for Ease & Efficiency", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- [7] Rossing, T. D.(1982), "The Science of Sound", in Addison-Wesley Series in Physics, Addison-Wesley, Inc..
- [8] Schiffman, H. R.(1976), "Sensation and Perception: An Integrated Approach", John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [9] Yi, E. and Cho, G.(2000), "Fabric Sound Parameters and Their Relationship with Mechanical Properties", *Textile Res. J.*, 70(9), pp. 828-836.
- [10] Yi, E. and Cho, G.(2000), "Fabric Sound Classification by Autoregressive Parameters", *J. Text. Inst.*, 91, Part 1, No. 2.
- [11] Yi, E. and Cho, G.(2000), "Relationship between Fabric Sound Parameters and Subjective Sensation", *Proceedings of International Sensibility Ergonomics Symposium*, pp. 138-143.
- [12] Zwicker, E. and Fastl, H. (1999), "Psychoacoustics - Facts and models", 2nd edition, Springer-Verlag.