

왕복운동에 의한 직물마찰음발생장치의 개발 및 이를 이용한 직물소리 평가*

Development of Rustling Sound Generator Using Reciprocating Motion and Evaluation of Its Fabric Sound

김춘정** · 조길수**†

Chun-Jeong Kim** · Gil-Soo Cho**†

연세대학교 생활과학대학 의류환경학과**
Dept. of Clothing and Textiles, Yonsei University

Abstract : In order to investigate the sensation of the fabric sound simulating the real wear-condition, the fabric sound simulator using reciprocating friction was developed. Fabric sounds from 5 specimen were generated by the fabric sound simulator and recorded using high performance microphone. Physical sound parameters of fabrics including level pressure of total sound (LPT), level range (ΔL), and frequency differences (Δf) were calculated. For psychological evaluation, seven adjectives for sound (softness, loudness, sharpness, clearness, roughness, highness, and pleasantness) were used as the semantic differential scale. Fabric sounds by reciprocating friction of nylon taffeta and polyester leno had the highest value of LPT and evaluated as loud, sharp, rough, and unpleasant while polyester ultra suede and silk crepe de chine having the lower LPT and Δf were perceived as soft and quite. Comparing with fabric sound by one-way friction, fabric sound by reciprocation friction was perceived as more sharp, loud, and rough. LPT was also the most important factor affecting the sensation of the fabric sound by reciprocating friction.

Key words : Fabric sound, reciprocating friction, physical sound properties, sound sensation, direction of friction

요약 : 본 연구에서는 의복 착용 시 직물이 스치면서 발생하는 왕복마찰음에 대한 물리적 소리특성과 주관적 감각을 고찰하기 위해, 왕복운동을 이용한 직물마찰음발생장치를 개발하고 이 장치를 이용하여 5가지 직물의 왕복마찰음을 녹음한 후, 총음압(LPT), 음압차(ΔL), 주파수차(Δf)를 계산하였다. 왕복마찰음에 대한 주관적 감각은 7개의 소리감각(부드러움, 시끄러움, 날카로움, 맑음, 거침, 높음, 유쾌함)에 대하여 의미미분척도로 평가되었다. 나일론 태피터와 폴리에스테르 레노 직물의 왕복마찰음은 높은 LPT를 나타내어 시끄럽고 날카롭고 거칠며 불쾌한 소리로 인지되었다. 반면 LPT와 Δf 의 값이 작은 폴리에스테르 울트라스웨이드와 실크 크레이프드신 직물의

* 이 논문은 2003학년도 연세대학교 학술 연구비의 지원에 의하여 이루어진 것임.

† 교신저자 : 조길수(연세대학교 의류환경학과)

E-mail : gscho@yonsei.ac.kr

TEL : 82-2-2123-3104, 82-2-365-5513

FAX : 82-2-365-5513

왕복 마찰음은 부드럽고 조용한 소리로 평가되었다. 마찰방향(왕복 방향, 한 방향)에 따른 직물의 마찰음 비교 시, 왕복 방향 마찰음은 한 방향 마찰음보다 더 날카롭고 시끄럽고 거칠게 인지되었으며 마찰방향에 상관없이 LPT가 소리감각을 예측하는 중요한 요인으로 나타났다.

주제어 : 직물소리, 왕복마찰, 물리적 소리특성, 소리감각, 마찰방향

1. 서론

직물의 스치는 소리(rustling sound)는 직물과 직물 혹은 섬유와 섬유가 마찰시 발생하는 소리로 직물 혹은 섬유의 스틱-슬립(stick-slip) 현상에 의해 발생하는데[3] 의복착용 시의 직물의 마찰음은 신체의 움직임에 의해 두 직물이 서로 왕복마찰을 하면서 발생하는 소리이다. 두껍고 부드러운 직물보다 올이 성글고 얇으면서 강직한 직물이 마찰 시 소리가 나기 쉽고, 마찰하는 속도가 빠를수록 음색은 높아지는 것과 같이[1] 직물의 마찰음은 소재의 특성이나 마찰조건에 따라 소리가 다르게 발생된다.

견의 스치는 소리인 견명이나 스타킹의 ‘사각사각’ 하는 마찰소리는 쾌활한 음향이 있어 청각적 감성을 반영한 제품이라고 할 수 있다. 이와 같은 견명을 모방하기 위하여 섬유단면을 꽃잎모양으로 만든 후, 끝에 미세한 슬릿을 형성시켜 마찰 시 견명과 같은 소리를 발생시키는 실험성이 개발되기도 하였다[4]. 반면 코팅된 방수소재는 유난히 버스럭대는 소리를 내어 상대방에게 불쾌감을 불러일으키므로 소음을 감소시키는 것이 요구된다. 이와 같이 직물이 서로 스치면서 내는 소리는 용도와 상황에 따라 착용자의 감성에 영향을 주어[5] 의복의 심리학적 쾌적성에 큰

영향을 미치게 된다.

직물의 마찰음에 대한 연구로는 직물을 한 방향으로, 손으로 마찰시키면서 나는 소리를 녹음한 후, 이 마찰음에 대한 감성을 평가한 것이 있었으나[6], 이는 실험 재현성이 없었다. 객관적이고 재현성 있는 직물의 마찰음을 연구하기 위하여 직물소리 측정 장치인 MAFN(Measuring Apparatus Fabric Noise)이 개발되었다[7]. 이 장치를 이용하여 다양한 의류용 직물을 대상으로 마찰소리를 녹음하여 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 한 후 물리적 소리특성을 정량화하였으며, KES-FB를 이용하여 직물의 역학적 성질을 측정하고 이들로부터 직물의 물리적 소리특성과 주관적 감성을 예측하는 모델이 제시되었다[2, 7, 8]. 그러나 MAFN은 직물을 한방향으로 마찰시켜 나는 소리를 측정하는 장치로서 실제 의복 착용 시 직물이 서로 마찰하면서 나는 소리와는 차이가 있다. 청각적 기능소재 개발을 위해서는 가능한 한 의복 착용 시 직물의 스치는 소리를 유사하게 구현하는 것이 필수적이므로 실제 의복 착용 시 직물의 왕복마찰음을 재현할 수 있는 장치의 개발이 요구되고 있다.

그러므로, 본 연구의 목적은 첫째, 왕복운동을 기반으로 하는 직물마찰음발생장치를 개발하는데 있

Table 1. Characteristics of specimens

Specimens	Fiber Component	Yarn type	Construction	Thickness(mm)	Weight(g/m ²)	Fabric Name
PS	polyester 100%	staple	twill	0.30	142.8	ultra-suede
PL	polyester 100%	staple	leno	0.48	141.1	leno
SC	silk 100%	filament	plain	0.18	65.1	crepe de chine
NT	nylon 100%	filament	plain	0.20	101.8	taffeta
BF	flax 100%	staple	plain	0.40	159.5	beaten flax

다. 또한 이를 이용하여 직물의 왕복 마찰음을 측정 한 후, 이 왕복마찰음에 대한 소리특성과 주관적 감각을 분석하고, 한 방향 마찰음과의 소리특성을 비교하는데 그 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1 시료

시료는 한 방향 마찰음 소리특성과의 비교를 위하여, 선행연구[8, 9]에서 사용된 것과 동일한 시료인 폴리에스테르 울트라스웨이드, 폴리에스테르 레노, 실크 크레이프드신, 나일론 태피터, 마직물 등으로 구성되었다. 본 실험에서 사용된 시료의 특성은 Table 1과 같다.

2.2 왕복운동을 이용한 직물소리 시뮬레이터의 제작 및 소음 측정

의복착용 시 두 직물이 스치면서 발생하는 소리에 대한 객관적이고 재현성있는 왕복마찰음을 얻기 위하여 왕복운동에 의한 직물마찰음발생장치인 직물소리 시뮬레이터(Patent No. 0539368)를 개발하였다. 이 장치의 도식은 Fig. 1과 같다. 직물소리 시뮬

레이터의 소음평가를 위하여 작동 시 소음과 암소음을 Sound Quality System(Type 7698, B&K)을 사용하여 녹음하였다.

2.3 왕복운동에 의한 직물 마찰음 측정 및 분석

직물소리 시뮬레이터에서 발생된 직물의 왕복 마찰음은 Sound Quality System(Type 7698, B&K)을 사용하여 녹음되었다. 이 시스템은 직물의 소리를 녹음하기 전에 Sound Level Calibrator(Type 4231, B&K)를 이용하여 캘리브레이션을 실시한 후 사용하였다. 각 시료의 녹음된 왕복 마찰음에 대한 물리적 소리 특성은 FFT분석으로 얻은 스펙트럼에 기초하여 선행연구[7]에서 언급된 식에 의하여 총음압(LPT), 음압차(ΔL), 주파수차(Δf)를 계산하였다.

2.4 직물의 왕복마찰음에 대한 주관적 평가

주관적 감각 측정을 위한 피험자는 선별실험을 거쳐 청력과 귀의 상태가 정상인 남녀 대학생 30명을 최종 피험자로 선정하였다. 피험자 선별을 위한 청력 테스트는 Audiometer를 이용하여 Houghson-Westlake의 5dB up, 10dB down의 방법으로 주파수가 다른

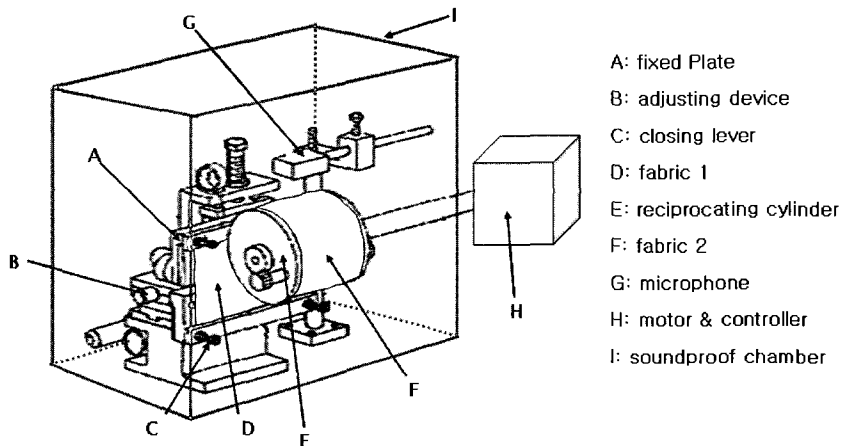


Figure 1. Diagram of simulator for rustling sound of fabric using reciprocating motion

5가지 순음(500, 1000, 2000, 3000, 4000 Hz)에 대하여 피험자의 역치가 25dB 이하일 때 정상으로 판정하였다. 또한 Oscope로 피험자의 귀 내부를 조사하여 고막의 건강상태, 청결상태 등을 검사하고 최근의 이비인후과 병력을 물어서 귀의 이상 유무를 확인하였다.

설문지는 선행연구[7, 8]에서 사용된 7가지 형용사쌍(딱딱한-부드러운, 조용한-시끄러운, 둔한-날카로운, 탁한-맑은, 매끄러운-거친, 낮은-높은, 불쾌한-유쾌한)으로 의미미분척도를 사용하여 구성되었다. 주관적 평가는 피험자에게 헤드폰을 착용시키고 5종 직물의 왕복마찰음을 들려주면서 직물소리에 대한 주관적 감각을 평가하도록 하였으며 직물소리는 난수표를 사용하여 각 피험자에게 다른 순서로 제시되었다.

2.5 자료분석

직물의 물리적 소리특성이 주관적 감각에 미치는 영향을 파악하기 위하여 SPSS 통계 패키지를 사용하여 단계적 회귀분석을 실시하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 왕복운동을 이용한 직물소리 시뮬레이터의 구성 및 평가

직물소리 시뮬레이터(Fig. 1)는 직물고정판(A), 압력 조절장치(B), 직물고정레버(C), 왕복운동실린더(E), 마이크로폰(G), 왕복회전을 할 수 있는 모터와 회전 속도와 각도를 조절하는 컨트롤러(H) 등으로 구성되었다. 측정할 시료(D, F)는 직물고정판(A)과 왕복운동실린더(E)에 장착되며 압력조절장치에 의해 두 직물 간의 접촉압력이 조절되었다. 또한 직물고정판과 왕복운동실린더의 표면은 피부와 같은 환경을 구현하기 위하여 실리콘으로 구성되었다. 모터의 소음을 배제하기 위하여, 방음실(I) 안에 직물의 왕복 마찰

음 발생장치와 마이크로폰을 설치하였다.

직물소리 시뮬레이터에 직물을 설치하지 않은 상태에서 기계만을 작동시킬 때의 음압은 15.7dB로 방음실의 암소음인 15dB와 유사한 음압을 나타내었다. 이와 같이 직물소리 시뮬레이터는 왕복운동 시 기계음 발생이 거의 없고 모터의 소음이 완전히 차단되어 직물마찰음을 측정하기에 적합한 조건임을 확인하였다. 또한 직물의 왕복마찰을 위한 모터의 회전수는 120 RPM, 회전각도는 130°으로 설정하여 직물의 스킨은 속도인 50m/min[3]을 구현하였다.

3.2 왕복마찰에 의한 직물소리의 음향스펙트럼

왕복마찰에 의한 직물 소리의 음향스펙트럼은 Fig. 2와 같다. 직물의 왕복 마찰음의 음압은 대부분의 주파수에서 약 -5에서 40dB의 분포를 보였다. 왕복마찰에 의한 주파수의 파형은 인간이 가장 민감한 가청범위인 2,000~5,000Hz에서 피크를 나타내며 고주파로 갈수록 음압이 낮아지는 C자형의 커브를 보였다. 반면 한방향 마찰음의 음향스펙트럼은 약 5,000Hz에서 낮은 파형을 가지다 고주파로 갈수록 음압이 증가하는 S자형의 커브를 보여[7], 마찰방향에 따라 상이한 음향스펙트럼을 나타내었다.

나일론 태피터(NT)와 폴리에스테르 레노(PL)의 스펙트럼 파형은 전 주파수 범위에서 높게 나타났다. 실크 크레이프드신(SC)의 스펙트럼 파형은 약

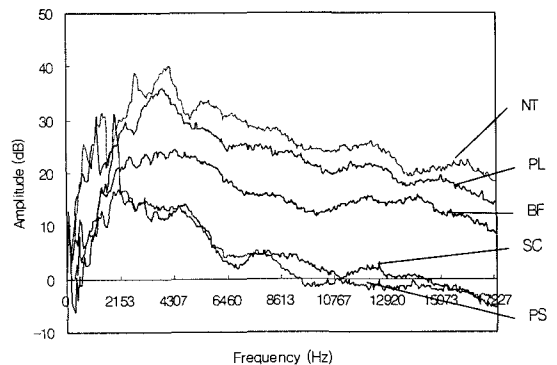


Figure 2. Spectra of fabric sound generated by reciprocating friction

2,000Hz에서 피크를 나타내었지만 대부분의 주파수 범위에서 폴리에스테르 울트라스웨이드(PS)와 매우 유사한 스펙트럼 파형을 나타내었다.

3.3 왕복마찰에 의한 직물소리의 물리적 특성

왕복마찰에 의한 직물의 물리적 소리특성인 LPT, ΔL , Δf 는 Table 2와 같다. 총음압인 LPT는 나일론 태피터(NT)와 폴리에스테르 레노(PL)의 왕복마찰음이 54.6dB와 50.8dB로 다른 직물의 마찰음에 비해 음압이 크게 나타났다. 폴리에스테르 울트라스웨이드(PS)의 LPT는 약 33dB로 마찰음의 음압이 가장 작았다. 음압차인 ΔL 은 약 21~37dB의 값을 보였으며, 주파수차인 Δf 는 폴리에스테르 울트라스웨이드(PS)와 실크 크레이프드신(SC)의 마찰음을 제외한 대부분의 시료들은 약 4,000Hz 전후의 값들을 가졌다.

직물의 왕복마찰음과 한 방향 마찰음[8, 9]을 비교했을 때, 실크 크레이프드신을 제외한 대부분 직물의 왕복마찰음은 한 방향 마찰음보다 LPT가 약 2~5dB 정도 작은 값을 보여 마찰방향에 따른 직물소리의 음압은 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 실크 크레이프드신의 왕복마찰음과 한 방향 마찰음의 음압차는 약 12dB 정도의 큰 차이를 보였는데, 이것은 얇고 부드러운 실크 크레이프드신이 중력에 의한 자유낙하를 이용하는 직물소리발생장치(MAFN)에 의해 마찰 시 받는 하중에 의해 직물이 신장되면서 마찰되어 음압이 증가한 것으로 사료된다. 폴리에스

테르 레노(PL)와 나일론 태피터(NT)의 ΔL 과 Δf 의 값은 왕복마찰 시가 한 방향 마찰 시보다 큰 값을 나타내었는데, 이것은 직물의 왕복 마찰 시의 스펙트럼 파형의 음압과 주파수 각각의 최대값과 최소값의 차이가 더 크기 때문이다.

3.4 왕복마찰에 의한 직물소리의 주관적 감각

직물의 왕복마찰음에 대한 주관적 감각은 Fig. 3과 같다. 각 직물의 왕복마찰음을 선행연구[8, 9]인 한 방향 마찰음과 주관적 감각의 차이를 분석한 결과는 다음과 같다.

폴리에스테르 울트라스웨이드의 왕복마찰음(Fig. 3(a))은 조용하고 다소 거친 소리로 인지되어 한 방향 마찰음보다는 좀 더 시끄럽고 날카롭고 거칠게 평가되었다. 폴리에스테르 레노의 왕복마찰음(Fig. 3(b))과 나일론 태피터(NT)의 왕복마찰음(Fig. 3(d))은 매우 시끄럽고 날카롭고 거칠고 높은 소리로 평가되었으며 한 방향 마찰음보다 더 시끄럽고 날카롭고 거칠고 높은 소리로 평가되었다. 실크 크레이프드신(SC)의 왕복마찰음(Fig. 3(c))은 시끄럽지는 않지만 소리가 높고 날카로우며 다소 맑다고 평가되었으며 한 방향 마찰음보다는 매우 날카롭고 높은 소리로 인지되었다. 마직물(BF)의 왕복마찰음(Fig. 3(e))은 거칠고 낮은 소리로 평가되었으며 다른 직물들의 왕복마찰음 특성들과는 달리 한 방향 마찰음이 왕복마찰음보다 다소 시끄럽고 날카로운 소리로 평

Table 2. Physical sound parameters of the fabric sounds generated by reciprocating friction

Specimen	Reciprocating friction			One-way friction [†]		
	LPT(dB)	ΔL (dB)	Δf (Hz)	LPT(dB)	ΔL (dB)	Δf (Hz)
PS	32.7	20.98	-15,076	37.4	41.13	-5,718
PL	50.8	32.57	3,704	51.2	18.56	-560
SC	37.1	36.31	-15,378	49.3	52.37	-7,424
NT	54.6	36.73	3,917	56.4	18.65	2,896
BF	42.4	21.97	4,221	46.8	33.61	-19,936

[†] : quoted from reference 8 and 9

가 되었다.

이와 같이 왕복 마찰음과 한 방향 마찰음[8, 9]을 비교 시, 왕복마찰음이 한 방향 마찰음보다 음압이 다소 작음에도 불구하고 더 시끄럽고 날카롭고 거칠며 높은 소리로 평가되었다.

3.5 직물의 왕복마찰음에 대한 물리적 소리특성과 주관적 감각관의 관계

직물의 왕복마찰음에 대한 물리적 소리특성과 주관

적 감각과의 관계를 파악하기 위하여 단계적 회귀분석을 실시한 결과는 Table 3과 같다. ‘부드러운’, ‘유쾌한’에는 LPT가 부적의 영향을, ‘시끄러운’에는 정적인 영향을 미쳐 LPT가 증가할수록 시끄럽고 불쾌한 소리로 인지하였다. 직물의 왕복마찰음에 대한 주관적 감각을 예측하는 주요인자로 LPT가 추출되었다. 한 방향 마찰음에서도 LPT는 직물소리감각에 영향을 미치는 주요 인자로 나타나[8, 9], 직물의 마찰음은 마찰방향에 상관없이 LPT가 직물소리감각에 영향을 미치는 중요한 요인임을 확인할 수 있었

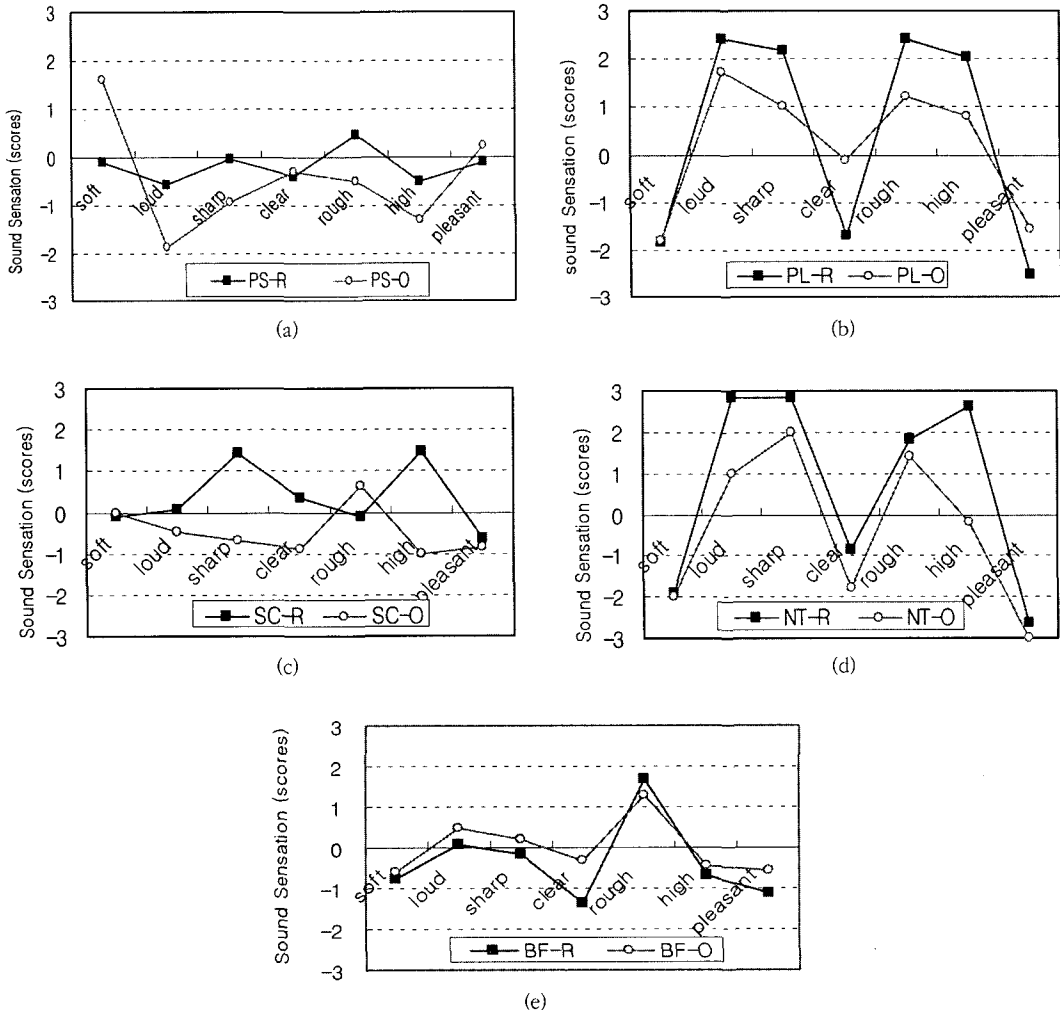


Figure 3. Subjective sensations of the fabric sound generated by reciprocating friction and one-way friction (R: reciprocation friction, O: one-way friction quoted from reference 8 and 9)

다. ΔL은 왕복마찰음과 한 방향 마찰음에서 날카로운 음을 나타내는 요인으로 추출되었다. 그러나 왕복마찰음에서는 ΔL이 감소할수록 날카로운 소리로 평가된 반면 한 방향 마찰음에서는 ΔL이 증가할수록 날카로운 평가되었다. 이것은 직물의 마찰방향에 따른 스펙트럼 파형의 차이에 의한 것으로 ΔL은 마찰방향에 따라 다른 음색의 경향을 나타내는 요인으로 사료된다.

Table 3. Relationship between physical sound parameters and sound sensation of the fabric sound generated by reciprocating friction

sound sensation	regression model	adjusted R ²
soft	Y = -0.10*LPT + 3.23	0.94
	* Y = -0.11*LPT + 0.05*ΔL + 3.09	0.85
loud	Y=0.16*LPT - 6.14	0.91
	* Y = 0.11*LPT-0.06*ΔL - 2.92	0.88
sharp	Y=0.16*ΔL - 3.39	0.76
	* Y = -0.05*ΔL + 2.01	0.75
clear	-	-
rough	Y = 0.0009*ΔL + 0.61	0.84
	* Y = 0.09*LPT - 3.36	0.69
high	Y = 0.18*LPT - 4.47	0.86
	* Y = 0.05*LPT - 0.05*ΔL - 0.82	0.87
pleasant	Y= -0.12*LPT + 3.92	0.98
	* Y= -0.08*LPT + 0.02*ΔL + 2.23	0.91

* : quoted from reference 8 and 9(one-way friction)

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 직물의 왕복마찰 시 발생하는 소리 특성을 고찰하기 위하여 직물 소리 시뮬레이터를 개발하였다. 이 장치를 이용하여 직물의 왕복마찰음을 녹음한 후, 직물의 물리적 소리특성을 분석하고 왕복마찰음에 대한 주관적 평가를 실시하였다.

직물의 왕복마찰에 의한 음향스펙트럼은 2,000~5,000Hz에서 피크를 나타내며 고주파로 갈수록 음압이 낮아지는 C자형의 커브를 보였다. 음향스펙트럼의 파형이 높았던 나일론 태피터와 폴리에스테르 레논은 큰 LPT를 나타내었으며 시끄럽고 날카롭고

거칠며 불쾌한 소리로 인지되었다. 음향스펙트럼의 파형이 낮았던 폴리에스테르 울트라스웨이드는 LPT가 작고 조용하고 부드러운 소리로 평가되었다. 저주파에서 피크를 보였던 실크 크레이프드신은 시끄럽지는 않지만 소리가 높고 날카로우며 다소 맑다고 평가되었다. 왕복 마찰음은 한 방향 마찰음과는 다른 스펙트럼의 형태를 보였으며 전체 음압은 한 방향 마찰음보다 다소 낮았지만 주관적으로는 왕복 마찰음이 한 방향 마찰음보다 더 시끄럽고 날카롭고 거칠고 높은 소리로 인지되어 청각소재 개발 시 음압을 좀 더 낮추어할 것이다. 또한 왕복마찰음에 대한 감각에 영향을 미치는 물리적 소리특성으로는 한 방향 마찰음에서와 같이 LPT가 중요한 요인으로 추출되어 마찰방향에 상관없이 LPT는 직물소리의 중요한 요인임을 확인할 수 있었다.

그러므로 실제 의복착용 시 발생하는 직물의 왕복마찰음의 특성을 고려하여 청각소재를 개발한다면 소비자의 청각적 쾌적성을 좀 더 정확히 만족시킬 수 있을 것으로 기대된다. 후속연구로는 의복 용도별, 마찰속도별 직물의 왕복마찰음에 대한 보다 세분화된 접근뿐만 아니라 착의실험을 병행하는 것이 필요하리라 생각된다.

참고문헌

- [1] 권오경, 김희은, 나영주 (2000). 패션과 감성과학, 교문사, 서울.
- [2] Cho, G., Casali, J. G., & Yi, E. (2001). Effects of Fabric Sound and Touch on Human Subjective Sensation, *Fibers and Polymers*, 2(4) 196-202.
- [3] Fujimoto, M. (1986). Measurement of Rustling Sounds of Silk and Polyester Fabrics, *Sen-I Kikai Gakkaishi*, 39(10), 371-377.
- [4] Hongu, T. (1999). *하이테크纖維の世界*, 日刊工業新聞社.
- [5] Slater, K. (1997). *Subjective Textile Testing*,

- Journal of the Textile Institute, 88(2), 79-91.
- [6] Sukigara, S., & Ishibashi, T. (2001). Subjective Evaluation of the Rustling Sound of Fabrics, *Sen-I Gakkaishi*, 57(9), 264-269.
- [7] Yi, E., & Cho, G. (2000). Fabric Sound Parameters and Their Relationship with Mechanical Properties, *Textile Research Journal*, 70(9), 828-836.
- [8] Yi, E., & Cho, G. (2001). Effect of Fabric Sound and Touch on Human Subjective Sensation, *Fibers and Polymers*, 2(4), 196-202.
- [9] Yi, E., & Cho, G. (2001). Sound Sensation and Its Related Objective Parameters of Nylon Fabrics for sports Outerwear, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 25(9), 1593-1602.

원고접수 : 2006. 5. 9

수정접수 : 2006. 6. 10

게재확정 : 2006. 6. 11