

태권도 도복 직물의 소리 특성과 역학적 성질

진은정 · 조길수[†]

연세대학교 의류환경학과

Sound Characteristics and Mechanical Properties of Taekwondo Uniform Fabrics

Eunjung Jin and Gilsoo Cho[†]

Dept. of Clothing and Textiles, Yonsei University, Seoul, Korea

Abstract : This study examined the sound characteristics of Taekwondo uniform fabrics to investigate the relationship between the sound parameters and the mechanical properties of the fabric as well as to provide the conditions to maximize the frictional sound of the uniform. Frictional sounds of 6 fabrics for Taekwondo uniforms were generated by the Simulator for Frictional Sound of Fabrics. The frictional speeds were controlled at low(0.62 m/s), at mid(1.21 m/s) and at high(2.25 m/s) speed, respectively. The frictional sounds were recorded using a Data Recorder and Sound Quality System subsequently, the physical sound properties such as SPL(Sound Pressure Level) and Zwicker's psychoacoustic parameters were calculated. Mechanical properties of specimens were measured by KES-FB. The SPL, Loudness(Z) values increased while Sharpness(Z) value decreased. In the physical sound parameter, specimen E had the highest SPL value at low speed and specimen B at high speed. In case of Zwicker's psychoacoustic parameters, the commercially available Taekwondo uniform fabrics(E, F) showed higher values of Loudness(Z), Sharpness(Z), and Roughness(Z), that indicates they can produce louder, shaper and rougher sounds than other fabrics for Taekwondo uniforms. The decisive factors that affected frictional sounds for Taekwondo uniforms were W(weight) as well as EM(elongation at maximum load) at low speed and WC(compressional energy) at high speed.

Key words: taekwondo uniform fabrics(태권도 도복 직물), frictional sound(마찰음), physical sound parameters(물리적 소리 특성), SPL(총음압), psychoacoustic parameters(심리음향학적 파라미터), mechanical properties(역학적 특성)

1. 서 론

태권도(Taekwondo)는 대한민국의 국기(國技)로서, 범국민적인 스포츠 종목으로 자리잡고 있으며 나아가 우리의 문화를 상징하는 세계적 스포츠로 각광받고 있다(Kim et al., 2009). 또한 태권도는 빠르고 강한 발차기가 특징이며 수련 시 장 칼 등 무기를 사용할 수 없기 때문에, 태권도 도복에서 발생하는 직물 마찰음은 겨루기 시 심리적으로 상대방을 위축시켜 유리하게 승리로 이끄는 요인이 될 수도 있다. 이에, 태권도 도복용 직물 개발 시 직물 마찰음을 최대화 할 수 있는 직물의 물리적 역학적 특성을 고려할 필요가 있다(Jin et al., 2011).

직물 마찰음은 직물 혹은 섬유 스틱-슬립(stick-slip phenomenon)과 같은 현상에 의해 발생하며 마찰 조건에 따라 다른 소리가 발생한다(Fujimoto, 1986). 일반적인 직물의 마찰음은 일상 생활에서 발생하는 정도의 소음 수준인 37~52 dB이며, 코팅된 투습발수 직물의 경우 약 70 dB 이상의 총음압을 가지며

유난히 버스럭거리는 소리를 낸다(Yang et al., 2008). 이는 용도와 상황에 따라 착용자와 상대방에게 큰 영향을 미치는데, 예를 들어 아웃도어 스포츠웨어의 소재는 대부분 투습발수 직물로서 착용자에게 불쾌감을 일으키며, 골프웨어의 소리는 집중력을 저하시키고, 전장에서 군복의 마찰음은 병사의 노출을 야기시켜 생명을 위협할 수 있다(Cho, 2006; Wilusz, 2008). 따라서 그 동안의 직물 소리 연구는 주로 이런 마찰 소음을 감소시키기 위한 방안이 모색되었다. 심리음향학적 변수는 직물의 소리를 물리적인 값으로 표시하는 방식이 아니라, 인간의 청각을 고려한 소리 값으로써 Zwicker에 의해 제안되었다. 그동안 직물의 심리 음향학적 변수를 측정하여 고찰한 연구(Cho et al., 2005; Cho & Cho, 2007)는 많이 보고되었다. 특히, 시판되는 의류용 직물을 대상으로 한 Cho et al.(2001)의 연구에서 사람이 심리적으로 시끄럽다고 느끼는 loudness(Z)의 역치 값은 1.6 sone으로, 이 값을 넘으면서부터 사람들은 시끄럽다고 인지하기 시작한다. 한편 물리적 소리 값인 총음압은 47 dB를 넘어가면 불쾌하다고 평가하는 것으로 나타났다. 하지만 태권도 도복 직물의 경우에는 이와는 반대로 직물 마찰음의 최대화가 요구된다. 지금까지 보고된 태권도 도복 직물에 대한 소리 연구는 Jin et al.(2011)에 의해 발표된 태권도 도복용 직물의

[†]Corresponding author; Gilsoo Cho
Tel. +82-2-2123-3104, Fax. +82-2-312-8554
E-mail: gscho@yonsei.ac.kr

Table 1. Characteristic of specimens

Specimen	Fiber content	Yarn type		Density (warpxweft)	Weight (mg/cm ²)	Thickness (mm)	Construction
		Warp	Filling				
A	P ^{a)} /C ^{b)} 71/29%	DTY ^{c)} 150d/144f, 2plied	P/C 20's	102×61	22.72	0.82	Dobby
B	P 100%	DTY 150d/144f, 2plied	DTY 150d/144f, 2plied	107×71	24.07	0.88	Dobby
C	P 100%	DTY 150d/144f, 2plied	DTY 150d/144f, 2plied	137×66	27.56	0.89	Basket
D	P 100%	DTY 150d/144f, 2plied	DTY 150d/144f, 2plied	132×76	28.76	0.71	Dobby
E	P 100%	DTY 150d/144f, single	DTY 150d/144f, single	144×88	14.98	0.80	Dobby
F	P 100%	DTY 150d/144f, 2plied	DTY 150d/144f, single	136×60	23.90	1.10	Dobby

a) P: polyester b) C: cotton c) DTY: draw-textured yarn

물리적, 심리음향학적 소리 특성연구 외에는 보고된 바가 없다.

태권도 도복의 마찰음은 직물 개발을 위한 주요한 요소로써 고려될 수 있으므로, 보다 고부가가치가 부여된 태권도 도복 직물을 생산하기 위해서는 직물의 소리 특성의 정량화 및 소리에 영향을 미치는 역학적 변인을 연구할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 태권도 도복 직물에 대한 직물 마찰음을 측정하여 음향학적 특성을 파악하고, 태권도 도복의 역학적 성질과 관련 시킴으로써, 태권도 도복 직물의 마찰음을 최대화 할 수 있는 직물의 역학적 조건을 제시하여 최적의 태권도 도복 직물 개발에 기여하고자 한다.

2. 실험

2.1. 시료

본 연구에 사용된 시료는 개발 중인 태권도 도복 직물 4종과 시판용 태권도 도복 직물 2종으로 총 6종이며, 각 시료의 특성은 Table 1과 같다.

2.2. 직물 마찰음의 측정

무향실(anechoic room, background noise 20 dB)에서 직물소리 발생 장치인 Simulator for Frictional Sound of Fabrics (Korea Patent No. 10-2008-0105524, 2008)(Fig. 1)를 이용하여 직물을 왕복 마찰시켰으며, 발생된 소리는 고성능 마이크로폰(Type 4190, B&K)과 Sound Quality System(Type 7698, B&K)을 이용하여 녹음하였다. 마찰 조건은 low speed(0.62 m/s), mid speed(1.21 m/s), high speed(2.25 m/s)이며, 정확한 측정을 위해 3회씩 반복 녹음하였다.

2.3. 직물 마찰음의 소리 특성 분석

녹음된 직물소리는 Sound Quality Program(Ver.3.2, B&K)

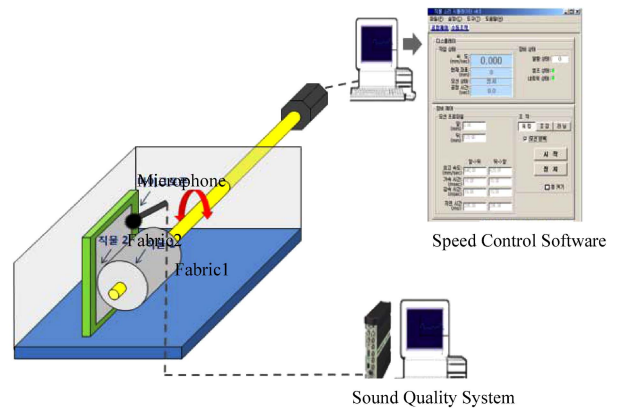


Fig. 1. Simulator for Frictional Sound of Fabrics.

을 이용하여 wave로 전환하고, 0~17,000 Hz의 주파수 범위에서 FFT(Fast Fourier Transformation) 분석으로 얻은 스펙트럼에 기초하여 물리적 소리특성인 총음압(SPL)과, Zwicker(1990)가 제안한 심리음향학적 파라미터인 Loudness(Z), Sharpness(Z), Roughness(Z), Fluctuation strength(Z)를 계산하였다.

2.4. 직물의 역학적 성질 측정

KES-FE system(KATO Tech, LTD. Co., JAPAN) (Kawabata, 1980)을 사용하여 표준 상태에서 시료의 인장, 굽힘, 전단, 압축, 표면 특성과 두께 및 무게에 관한 17가지 역학적 성질을 측정하였다.

2.5. 통계분석

SPSS 통계패키지를 이용하여 분산분석, 상관분석, 단계적 선형회귀분석을 실시하였다.

Table 2. Sound Characteristics of Taekwondo Uniform Fabrics

	Speed level	A	B	C	D	E	F	Mean
SPL	0.62 m/s	76.00	71.60	71.97	70.97	76.20	74.80	73.59
	1.21 m/s	79.23	80.57	78.17	78.27	80.47	81.13	79.64
	2.25 m/s	80.47	83.07	79.37	78.53	82.07	81.93	80.91
	Mean	78.57	78.41	76.50	75.92	79.58	79.29	78.04
Loudness(Z), sone	0.62 m/s	14.23	10.53	10.26	10.57	19.30	15.10	13.33
	1.21 m/s	22.67	20.80	18.67	18.63	27.23	27.67	22.61
	2.25 m/s	23.03	23.00	20.20	18.80	28.20	27.83	23.51
	Mean	19.98	18.11	16.37	16.00	24.91	23.53	19.82
Sharpness(Z), acum	0.62 m/s	1.03	1.26	1.13	1.03	1.44	1.25	1.19
	1.21 m/s	0.93	1.01	0.97	0.93	1.33	1.21	1.06
	2.25 m/s	0.89	0.86	0.90	0.84	1.23	1.01	0.95
	Mean	0.95	1.04	1.00	0.93	1.33	1.16	1.07
Roughness(Z), asper	0.62 m/s	4.42	4.46	4.43	4.22	4.24	4.45	4.37
	1.21 m/s	7.72	7.85	8.12	8.22	8.15	8.43	8.08
	2.25 m/s	7.01	6.30	5.80	5.13	7.09	7.95	6.55
	Mean	6.38	6.20	6.12	5.86	6.49	6.94	6.33
Fluctuation st(Z), vacil	0.62 m/s	4.40	4.43	4.24	4.51	4.32	4.45	4.39
	1.21 m/s	4.97	5.13	5.20	5.21	5.13	5.25	5.15
	2.25 m/s	5.22	5.27	5.34	5.30	5.32	5.27	5.29
	Mean	4.86	4.94	4.92	5.01	4.92	4.99	4.94

3. 결과 및 고찰

3.1. 태권도 도복 직물의 소리 특성

마찰 속도 별 태권도 도복 직물 마찰음의 소리 특성은 Table 2와 같다. 객관적인 소리의 크기를 나타내는 총음압(SPL)의 범위는 71.0 dB~83.1 dB이었으며(Fig. 2), 마찰 속도가 증가함에 따라 총음압은 유의적으로 증가하는 경향을 보여, 0.2 m/s와 0.5 m/s의 마찰음을 비교연구한 선행연구(Kim et al., 2008)의 결과와도 일치했다. 태권도 도복 직물의 총음압은 동작 속도와 관계없이 70 dB이상으로 선행 연구(Yi & Cho, 2000)에서

측정된 다양한 직물들의 총음압(모직물: 48.7~55.0 dB, 면직물: 49.3~52.0 dB, 견직물: 36.6~52.4 dB, 폴리에스테르: 34.2~62.3 dB, 나일론: 44.9~62.0 dB)보다 월등히 큰 값을 가졌다. 직물 별로 마찰 속도에 따른 총음압의 증가 추세에는 차이가 있었다. 태권도 도복 직물의 속도에 따른 평균변화량이 7.3 dB인데에 비해, 유독 시료 B는 속도에 따른 변화 정도가 컸으며 최저 속도 대비 11.5 dB이 급격히 증가하였다. 어떠한 소리의 총음압이 10 dB 증가하면 소리의 주관적 크기는 두 배로 증가한다는 점을 고려할 때(Cho, 2006), 고속에서 시료 B가 발생하는 마찰음의 주관적 크기는 저속에 비해 약 2배 이상 증가할 것으로 예상된다.

심리음향학적 크기인 Loudness(Z)의 경우(Fig. 3(a)), 10.3~28.2 sone범위를 보였으며 마찰 속도가 증가함에 따라 유의하게 큰 값을 가져 고속 마찰 시 심리적으로 더 시끄러운 소리로 인지됨을 알 수 있었다. Sharpness(z)는 0.8~1.4 acum의 좁은 범위를 보였으며(Fig. 3(b)), 마찰 속도가 증가함에 따라 유의적으로 낮은 값을 가져, Loudness(Z)와는 반대의 경향을 나타냈다. 이로부터 저속의 마찰 속도에서 소리 특성은 심리적으로 덜 크지만 더 날카롭게 인지됨을 예측할 수 있다. 시료 별로 살펴보면, 시판용태권도 도복 시료 E, F가 모든 마찰 속도에서 높은 Loudness(Z)와 Sharpness(Z) 값을 나타내, 심리음향학적으로 가장 크고 날카로운 소리 특성을 갖는 직물로 나타났다. Roughness(Z)는 4.2~8.4 asper의 분포를 보였으며(Fig. 3(c)), 저속 < 고속 < 중속의 경향을 보여 중속의 마찰에서 소리의 거칠기가 가

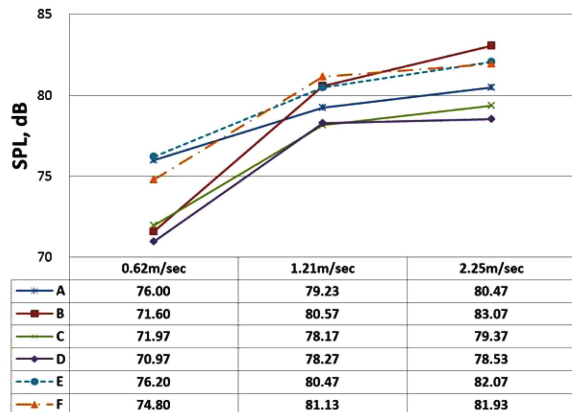


Fig. 2. SPL according to Specimens and Frictional Speed.

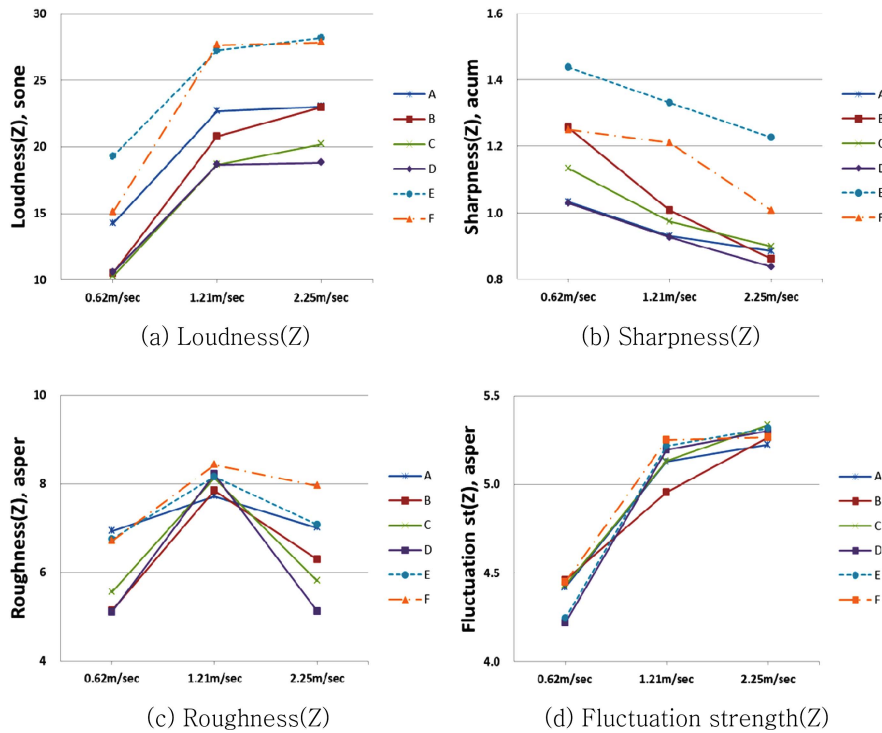


Fig. 3. Zwicker's Psychoacoustic Parameters according to Frictional Speed.

장 크게 느껴질 것으로 예상되었다. 이는 고속의 경우 마찰 속도가 빠르기 때문에 충분히 마찰이 일어나지 않기 때문이라고 사료된다(Han et al., 2009). Fluctuation strength(z)는 4.2~5.3 vacil 사이의 값을 가졌으며(Fig. 3(d)), 마찰 속도 증가에 따라 유의적으로 커지는 경향을 보였다. 선행연구의 결과와 비교해보면 폴리에스테르 직물은 1.6 vacil~2.2 vacil의 값을 가졌고(Kim et al., 2003), 편성물은 0.4~0.9 vacil의 값을 가졌다(Cho, 2005). 태권도 도복 직물의 변동 강도는 다른 직물보다 월등히 높은 값을 보여 마찰음이 더 변화롭게 느껴짐을 알 수 있었다.

3.2. 태권도 도복 직물의 역학적 성질 평가

6종의 태권도 도복 직물에 대한 17개의 역학적 성질 중에서 인장과 굽힘, 전단, 표면, 압축 및 무게와 두께에 관련된 대표적인 성질을 Fig. 4에 나타내었다. 인장 특성 중 신장성(EM)과 인장 에너지(WT)는 시판용 태권도 도복 2종(E, F) > 개발된 태권도 도복(A, B, C, D)로 나타나(Fig. 4(a)), 시판용 태권도 도복 2종이 더 잘 늘어나고 회복되는 특성을 가졌다. 굽힘 강성(B)과 굽힘 이력(2HB)는 시료 D(0.37 gf/cm², 0.29 gf/cm²)가 가장 큰 값을 보여(Fig. 4(b)), 6종의 태권도 도복 시료 중에 가장 뻣뻣한 것을 알 수 있었다. 전단 특성인 전단 강성(G)과 전단 이력(2HB5)의 경우 시료 D, E가 큰 값을 나타내(Fig. 4(c)), 전단 방향으로 변형이 더 어려워지며 저항성이 매우 큰 것을 알 수 있었다. 표면 특성과 관련된 표면 거칠기(SMD)는 시료 C(11.08 μm)의 값이 가장 커서(Fig. 4(e)), 직물의 표면이 가장

거친 것으로 나타났다. 압축 에너지(WC)는 Fig. 4(d)와 같이 시판용 태권도 도복 2종(E(0.29 gf/cm²), F(0.37 gf/cm²))가 큰 값을 보여 개발된 태권도 도복보다 더 폭신한 특성을 가졌다. 마지막으로 두께(T)와 무게(W)를 살펴보면, 시료 F(1.10 mm)가 가장 두껍고(Fig. 4(d)), 시료 D(28.76 mg/cm²)가 가장 무거운 직물로 나타났다(Fig. 4(e)).

3.3. 태권도 도복 직물의 소리 특성과 역학적 성질 간의 상관 관계

직물의 역학적 특성이 소리 특성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 태권도 도복 직물의 역학적 성질과 물리적, 심리음향학적 소리 특성 사이의 상관관계를 실시한 결과는 Table 3과 같다. 충음압은 무게(W, r=-0.83)와 부적 상관을 보여, 무게가 가벼울수록 소리의 크기는 커지는 것으로 나타났다. 주관적 크기인 Loudness(Z)는 굽힘 이력(2HB, r=-0.85), 무게(W, r=-0.86)와는 부적 상관관계를, 압축 에너지(WC, r=0.82)와는 정적 상관관계를 보였다. 즉, 폭신하고 물리적 변형에 따른 회복이 어려워지며 무게가 가벼울수록 심리적으로는 시끄럽게 인지되는 것으로 나타났다. Sharpness(Z)의 경우, 신장성(EM, r=0.92), 인장 에너지(WT, r=0.92), 전단 이력(2HG, r=0.83)과는 정적 상관을 무게(W, r=-0.85)와는 부적 상관을 나타냈다. 이는 잘 늘어나고 부피가 크며 전단 변형에 따른 회복이 어렵고 무게가 가벼운 직물일수록 소리의 날카로움을 증가하는 것을 의미한다. Roughness(Z)는 직물의 물성 중 압축 에너지(WC, r=0.94)와

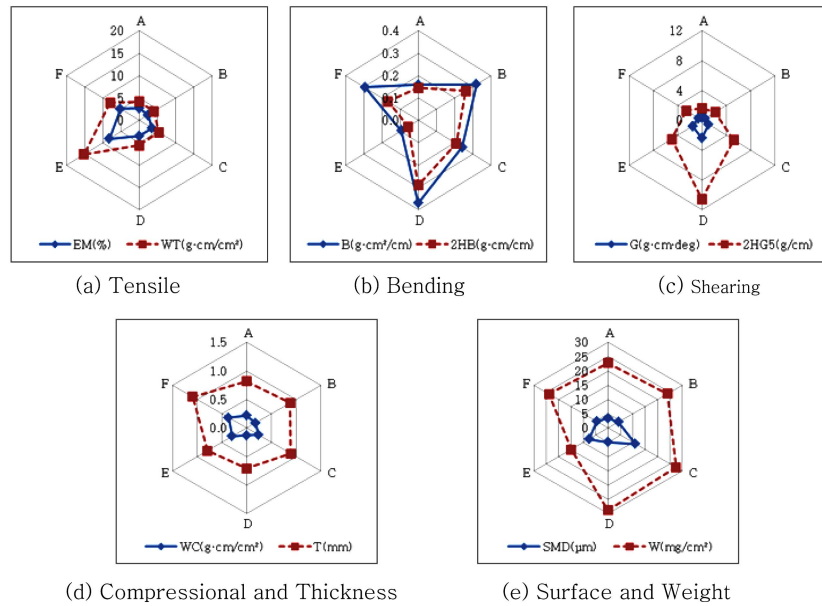


Fig. 4. Radar Chart of Mechanical Properties.

Table 3. Correlation between Sound Characteristics and mechanical properties

	EM	WT	2HB	2HG	WC	W
SPL	.53	.53	-.75	.44	.71	-.83*
Loudness(Z)	.79	.77	-.85*	.63	.82*	-.86*
Sharpness(Z)	.92**	.92**	-.76	.83*	.71	-.85*
Roughness(Z)	.47	.40	-.63	.20	.94**	-.51
Fluctuation st(Z)	.09	.04	.52	-.21	-.03	.41

*p<0.05, **p<0.01

Table 4. Regression models for maximizing frictional sound at high speed

Y	Regression Model	Adjusted R ²
SPL	Y= -0.26×W + 84.13	R ² =0.62
Loudness(Z)	Y= -0.66×W + 35.32	R ² =0.66
Sharpness(Z)	Y= 0.06×EM + 0.80	R ² =0.81
Roughness(Z)	Y= 4.15×WC + 5.35	R ² =0.85

유의한 관계를 보여, 폭신하며 부피가 클수록 소리가 거칠게 인지되는 것으로 나타났다. 한편 Fluctuation strength(Z)는 직물의 물성과 유의한 상관을 보이지 않았다.

3.4. 태권도 도복 직물의 역학적 특성에 의한 소리 특성 예측

태권도 도복의 역학적 성질을 도출하기 위해 단계적 선형 회귀분석을 수행한 결과는 Table 4와 같았으며, 이는 소리 특성을 예측하기 위한 데이터로 활용될 것이다. 무게(W)는 소리의 객관적 크기인 SPL과 주관적 크기인 Loudness(Z)를 예측하는 물성 요인으로 나타나, 무게가 가벼울수록 큰 소리를 갖는 것으

로 나타났다. Sharpness(Z)의 경우 신장성(EM)에 의해 예측되었으며, 잘 늘어날수록 주관적인 날카로움은 증가할 것으로 예상되었다. Roughness(Z)는 압축 에너지(WC)와 관련이 높아, 압축 에너지가 커짐에 따라 심리적으로 거칠게 인지될 것으로 예측되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 시판 중인 태권도 도복 직물 2종과 개발된 태권도 도복 직물 4종을 대상으로 마찰 속도에 따른 직물 마찰음의 음향적 특성을 살펴보고, 역학적 성질과의 관련성을 통해 마찰음을 최대화 할 수 있는 조건을 도출하였다.

충음압(SPL)은 71.0 dB~83.1 dB의 범위를 보였으며, 마찰 속도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 심리학적인 크기인 Loudness(Z)는 마찰 속도가 증가함에 따라 유의하게 큰 값을 가져 심리적으로 더 시끄럽게 인지된 반면, Sharpness(Z)는 마찰 속도가 증가함에 따라 유의적으로 낮은 값을 가져 이와 반대의 경향을 나타내었다. 시료별로 살펴보면, 시판용 태권도 도복 시료 E, F는 저속, 고속 마찰 모두에서 높은 Loudness(Z)와 Sharpness(Z) 값을 가져 가장 크고 날카롭게 인지되는 음향 특성으로 인해 태권도 수련 시 태권도 동작의 효과를 극대화할 수 있는 것으로 사료된다. Roughness(z)는 유의하지는 않지만 중속의 마찰에서 가장 거칠게 인지되는 것으로 파악되었다. Fluctuation strength(z)는 마찰 속도 증가에 따라 유의적으로 커지는 경향을 보여, 속도가 증가할수록 마찰음이 변화있게 느껴짐을 알 수 있었다.

태권도 도복 직물의 소리 특성을 예측하는 역학적 요인을 살펴본 결과, 무게(W)는 SPL과 Loudness(Z)를, 신장성(EM)은

Sharpness(Z)를 예측하는 물성 요인으로 나타났다. 또한 압축 에너지(WC)는 Roughness(Z)를 예측하는 주요인으로 나타났다. 그러므로 태권도 도복 직물의 소리를 최대화 하기 위해서는 신장성(EM)과 압축 에너지(WC)를 높이고, 무게(W)를 낮춰야 할 것으로 요구되었다.

본 연구는 태권도 도복 원단 개발을 위한 기초 자료로 사용될 수 있을 것이며, 후속 연구에서는 주관적 감각 및 생리적 반응 평가를 통해 실질적인 검증이 필요한 것으로 사료된다. 본 연구는 태권도 도복 원단 개발을 위한 기초 자료로 사용될 수 있을 것이며, 후속 연구에서는 주관적 감각 및 생리적 반응 평가를 통해 실질적인 검증이 필요한 것으로 사료된다.

References

- Cho, G., Kim, C., & Yang, Y. (2008). Simulator for Frictional Sound of Fabrics, Korea Patent No. 10-2008-0105524. Seoul: Korean Intellectual Property Office.
- Cho, G., Kim, C., Cho, J., & Ha, J. (2005). Physiological Signal Analyses of Frictional Sound by Structural Parameters of Warp Knitted Fabrics. *Fibers and Polymers*, 6(1), 89-94.
- Cho, J., Yi, E., Sohn, J., & Cho, G. (2001). Psychophysiological Responses to the Sound of Fabric Friction. *Journal of Korean Society for Emotion & Sensibility*, 4(2), 79-88.
- Cho, J. (2006). *Effects of Sound Characteristics of Combat Uniform Fabrics at Different Frictional Speeds and Mechanical Properties on the Distance of Audibility*. Unpublished doctor's thesis, Yonsei University, Seoul.
- Cho, J., & Cho, J. (2007). Determining the Psychoacoustic Parameters That Affect Subjective Sensation of Fabric Sounds at Given Sound Pressures. *Textile Research Journal*, 77(1), 29-37.
- Cho, S. (2005). *Physiological and Psychological Responses for the Sounds of Korea Traditional Silk Fabrics*. Unpublished master's thesis, Yonsei University, Seoul.
- Fujimoto, M. (1986). Measurement of Rustling Sound of Silk and Polyester Fabrics. *Sen-i Kikai Gakksishi*, 39, 371-377.
- Han, A., Yang, Y., & Cho, G. (2009). Effect of Visual Factor on Subjective Evaluation of Frictional Fabric Sounds. *Proceedings of the Korean Society for Emotion & Sensibility, Fall Conference, Korea*, pp. 20-21.
- Jin, E., Kim, E., Ju, T., & Cho, G. (2011). 태권도복 직물의 소리 특성 [Sound Characteristics of Fabrics for Taekwondo Uniform]. *Proceedings of the Korean Society for Clothing Industry, Spring Conference, Korea*, pp. 327-329.
- Kawabata, S. (1980). The Standardization and Analysis of Hand Evaluation. *The Textile Machinery Society of Japan*, Osaka: Tiger Printing Co. LTD.
- Kim, C., Cho, G., Hong, K., & Shim, H. (2003). Sound Characteristics according to cross-sectional Shapes of Fibers. *Fibers and Polymers*, 4(4), 199-203.
- Kim, C., Yang, Y., & Cho, G. (2008). Characteristics of Sounds generated from Vapor-permeable Water Repellent Fabrics by Low-speed Frictions. *Fibers and Polymers*, 9(5), 639-645.
- Kim, J., Cho, H., Jeon, H., & Lee, H. (2009). Design Development of the Taekwondo Uniform; historical research. *Journal of the Korea Society of Costume*, 59(6), 82-89.
- Wilusz, E. (2008). *Military textiles*, Cambridge. UK: Woodland Publishing.
- Yang, Y., Park, M., & Cho, G. (2008). Relationship between Frictional Sounds and Mechanical Properties of Vapor Permeable Water Repellent Fabrics for Active Wear. *Journal of Korean Society for Clothing Industry*, 10(4), 566-571.
- Yi, E., & Cho, G. (2000). Psychoacoustic Characteristics of Fibers. *Fiber and polymers*, 1(1), 59-65.

(2012년 1월 12일 접수/2012년 4월 4일 1차 수정/2012년 4월 4일 게재확정)