3가지 저크 분석방법에 기반한 무용 경력과 부드러움의 관련성 분석

박양선

한양대학교 예술•체육대학 체육학과

한양대학교 체육과학•스포츠산업연구소 움직임과학센터

The correlation analysis between dance experience and smoothness of the dance movement using three jerk-based quantitiative methods

Yang Sun Park

Department of Physical Education, College of Performing Arts & Sport, Hanyang University, Seoul, Korea

The Movement Science Center of Research Institute for Sports Science and Sports Industry, Hanyang University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to investigate the association between dance experience and smoothness of hand trajectory during the dance movement using three jerk-based quantitative methods (integrated squared jerk, mean squared jerk, and dimensionless jerk).

Method: Eleven Korean traditional dancers with from 5 years to 20 years experiences participated in this study. Dancers performed the Taeguksun-motion in Korea traditional dance. Six infrared cameras were used to capture the movement of dancer's hands. Smoothness of the hand movement was calculated by using three jerk-based methods.

Results: In the smoothness of the right hand, dance experience was significantly correlated with dimensionless jerk (r=0.656, p= 0.028), while dance experience was not significantly correlated with integrated squared jerk (r= 0.581, p= 0.552) and mean squared jerk. In the smoothness of the left hand, there was no correlation between dance experience and any of three jerk values.

Conclusion: Our results showed that individual with more dance experiences performed the task more smoothly. This study suggested that dimensionless jerk should be used as a predictor for smoothness in dance movement. Thus, our results support the idea that the smoothness is an aspect of movement quantity distinct from speed and distance.

Keywords : jerk, dimensionless jerk, smoothness, dance, dance experience

Ⅰ. 서 론

저크 분석 방법은 초기에 공간에서의 손의 움직임의 과정과 예상을 설명하기 위해 제안되었는데, 그 원리는 운동학적 끝점 궤도를 이용하여 동적 최적화 평가 척도인 직선궤도와 벨 모양의 속도 곡선으로 최대 스무드니스(smoothness) 이론을 예측할 수 있다는 것이었다(Flash and Hogan 1985). 저크이론은 초기에 저크코스트(jerk-cost)를 계산하는 방법으로 운

Corresponding Author: Yang Sun Park
Department of Physical Education, College of Performing Arts & Sport, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro Seongdong-gu, Seoul, Korea
Tel : ±82-2-2220-4199 / Fax : ±82-2-2220-1337
E-mail: ysunp@hanyang.ac.kr

동 수행 시 위치 좌표를 시간에 대하여 3번 미분하는 방식으로 산출 되었다(Schneider & Zernicke, 1989). 여러 학자들은 운동학적 분야에서 저크이론을 통하여 숙련된 운동수행일수록 저크 강도가 감소하는 최소 저크 가설에 입각하여 숙련된 사람의 경우 팔을 최대한 매끄럽게(smooth) 움직인다는 것을 발견하고 스무드니스(smoothness)를 적분 제곱 저크(Intergrated squared jerk; Platz, Denzler, Kaden, & Mauritz, 1994)로 정량적 측정을 하였다. 즉, 이것은 운동학적 관점으로 볼 때, 신체의 전체 움직임에 대한 저크 제곱의 적분값이 최소화한다는 개념이다(Zatsiorsky, 1998).

하지만 다른 연구자들이 저크코스트의 문제점을 발견하였는데, 그것은 전체적인 움직임 수행시간이 길어질수록 저크코스트 값이 커진다는 점이다(Kitazawa, Goto & Urushihara, 1993). 이러한 문제점을 해결하기 위해 저크코스트를 동작 움직임 수행시간으로 평균화 하는 평균화 저크(normalized jerk; 박승하, 이승민, 2005), 혹은 평균 제곱 저크(mean squared jerk; Hogan & Sterned, 2009) 라는 명칭으로 저크를 산출하는 방법을 정량화하여 운동 및 움직임을 분석할 시 동작 수행시간이 다르더라도 같은 시간으로 평균화시켜 스무드니스 이론의 저크값을 산출하였다.

최근 저크에 대한 분석을 다른 시각으로 접근하였다. Hogan 과 Sterned(2009)는 저크에 기본원리를 갖고 많은 연구가 진행되었더라도(Goldvasser, McGibbon, & Krebs, 2001; Wininger, Kim, & Craelius, 2009), 그 결과가 일관성을 갖지 못한 이유는 사람이 갖는 운동신경 장애(sensory-motor dysfunction) 때문이라고 하였다. 이것은 사람마다 움직임을 조절하는 수행능력이 다를것이라는 가정아래, 너무도 많은 변수들이 사람의 운동 및 움직임 조절에 관여하는데 이것을 일괄적이거나 단순한 단위, 즉 특정 변수로 정량화 시켜 비교 분석하는데 어려움이 있다는 이론이다. 이러한 문제점을 해결하는 방법 중 하나로 그 움직임의 다양한 변수들을 (예: 속도, 시간 등) 제거하여 정량화하는 방법을 제시하였는데 그것이 무차원 정량화(dimensionless quantity)이다(Hogan., & Sterned, 2009; Lee, Ranganathan., & Newell, 2011). Hogan 과 Sterned(2009)는 이 무차원 정량화를 저크에 접목하여, 단위의 조건(dimension)을 없애는 방법으로 무차원 저크(dimensionless jerk) 산출 방법을 제시하였는데, 그 조건들을 표현적 움직임을 고려한 동작시간과 동작속도로 설정하고, 이 두 조건의 단위를 없애는 방법으로 저크 이론을 재정립하였다.

최근 무용을 미적 관점에서 정량화시키려는 연구들이 진행되고 있는데(Calvo-Merino et al. 2010; Cross et al. 2011; Torrents, Castañer, Jofre, Morey, & Reverter, 2013), Bronner 와 Shippen(2015)은 무차원 저크값을 이용하여 18명의 무용수를 대상으로 데벨로빼 아라베스크(devolppe arabesque) 동작을 속도에 조건을 주는 3가지 동작과 무용훈련을 시키기 전과 시키고 난 후 두집단으로 나누어 분석한 결과, 동작에 따라서는 무차원 저크값의 유의한 차이가 나타났지만, 집단 조건에 대해서는 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다.

이에 본 연구자는 무차원 저크를 이용한 스무드니스이론의 의문점을 가졌다. 궁극적으로 저크기반 이론은 숙련자일수록 최소 저크값이 발생하고 이를 부드러움을 예측하는 스무드니스 이론으로 쓰여져 왔으며, 국내외의 무용관련 연구에서 이 저크 기반 이론의 방법으로 동작의 부드러움을 규명하는 연구들이 진행되어 왔다(정철수, 정귀인, 2007; 정귀인, 남기정, 2007). 또한 부드러움을 표현하는 움직임 중 대표적이라 할 수 있는 무용 동작 수행에 있어 부드러움을 예측하는 것은 예술적 표현을 정량화시키는데 한 부분을 담당하며 운동학적 분석방법으로 쓰여져 왔지만, 국내의 연구에서도 무용수의 동작의 부드러움을 규명하기 위한 연구들 중 저크값의 유의차이를 발견하지 못한 연구(박양선, 김미예, 이성노, 2014)도 있었다.

본 연구에서는 위에서 제시한 3가지의 저크 기반 산출방법으로 무용 동작의 수행 시 저크값을 제시하고 그 차이점을 알아보고자 하였다. 이에 따라 두가지의 가설을 갖는다. 첫 번째는 숙련된 무용수 일수록 같은 동작을 수행하더라고 수행시간의 차이를 가져올 것이다. 그렇다면 두 번째 가설은 숙련도에 따른 무용동작의 부드러움을 정량화시키는 저크값 산출에서 무용 수행시간과 속도의 단위의 조건을 없애는 무차원 저크가 무용동작을 정량화 시키는 부드러움 이론에 다른 두가지 저크 산출방법 보다 더욱 영향을 미칠것이라는 점이다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 한국무용을 전공으로 하는 아마추어 무용수부터 프로 무용수에 이르기까지 무용경력이 5년 이상부터 20년 이하인 11명의 무용수을 대상으로 하였다. 피험자의 평균 신체적 특성은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Physical characteristics of participants

Subject	Career(yrs)	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
1	5	18	161	48
2	6	18	165	49
3	7	18	165.4	50
4	10	20	156	45
5	12	32	165	49
6	12	18	168	56
7	14	30	166	51
8	14	18	165	50
9	15	30	168	55.4
10	18	31	166.5	54
11	20	33	168	47.2
M±SD	12.09±458	24.18±6.48	164.90±3.40	50.42±3.29

2. 운동학적 변인 측정

실험 시 한국무용 동작을 수행하는데 있어서 지장을 받지 않을 충분한 공간을 확보한 후 6대의 적외선 고속 카메라(motion 100)를 이용하여 촬영하였다. 카메라 속도는 초당 100 field/sec, Shutter speed는 1/500, 주파수는 1000 Hz, low pass filter는 6 Hz, Amplifier gain은 4000 으로 설정하였다. 대상자의 진행방향을 중심으로 y축은 전후방향, x축은 좌우방향, z축은 상하방향으로 설정하였다. 한국무용 동작시 팔동작의 끝점 궤도를 파악하기 위해 좌우 손가락 끝(중지)에 볼마크를 부착하였고, 위치 값을 최대한 잘 얻기 위해 1×2×3m의 통제점 틀을 이용하여 캘리브레이션(calibration)을 1분간 실시하였다.

3. 동작 설정

한국무용 동작 시 이미 한국무용에 익숙한 무용수를 대상으로 실시하였으므로, 기본적인 한국무용 동작인 동시에 난이도가 중간 이상인 동작으로 선정하기 위해 하지의 움직임의 난이도를 높이고 상지의 움직임은 최대한 곡선적인 미를 표현하는 기본동작을 선정하였다. 하지는 역동성과 빠른 균형을 요하는 돌담체(반바퀴 회전 후 외발서기) 동작을 구사하였고, 팔동작은 뒤춤 허리감기에서 태극선(태극 모양으로 오른손은 위로 왼손은 가슴 아래로 반 둥근상태)으로 이어지는 동작으로 선정하였다. 동작 설명의 이해를 돕기 위해 아래 그림(Figure 1)과 같이 구간을 나누어 동작을 그림으로 제시하였으나 저크 값은 1번 동작부터 4번 동작까지 연결된 값은 구하였다. 동작의 시간은 굿거리 장단(1, 2, 3, 4 count)을 선정하였으며, 반장단(3, 4 coount) 안에 본 연구에서 설정한 동작을 구사하도록 유도하였고, 각 무용수별 개인적으로 동작이 익숙해지기까지 연습시간을 갖고 5-10 회 사이의 연습을 실시한 후 본 동작을 측정하였다.

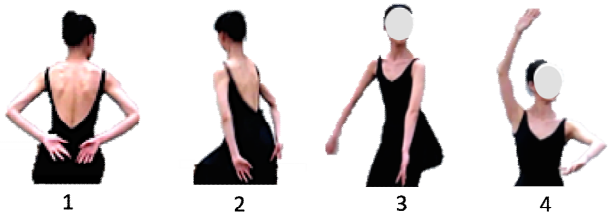

Figure 1. Arm movement in Korea dance

4. 자료처리

1) 위치값 산출

본 연구의 손가락 끝(중지)의 위치 데이터를 산출하기 위해 Kwon3d XP software를 사용하여 분석하였다.

2) 부드러움 분석을 위한 (jerk-based measures) 자료 처리

저크 자료처리를 위해 동작의 3방향에 따라 확보된 위치 데이터를 합방향으로 재 산출하여, 아래 <표 2> 와 같이 세가지 방법을 이용하여 저크값으로 분석하였다. 첫 번째는 동작분석을 통해 얻어진 손끝점의 위치벡터를 시간에 대하여 3번 미분하여 얻어진 값을 제곱하고 이를 동작시간에 대하여 적분하여 그 값을 산출한 적분 제곱 저크(integrated squared jerk) 값을 구하였다. 두 번째는 저크코스트를 최종적으로 동작이 수행된 시간으로 평균화 하는 평균 제곱 저크(mean squared jerk) 값을 구하였다. 세 번째로는 디멘젼을 동작 수행의 총 동작시간과 동작속도로 설정하고 두가지 디멘션을 없애는 즉, 두가지 변인으로 평균화하는 무차원 저크(dimesionless jerk)를 산출하였다. 본 연구에서는 저크를 이용한 스무드니스 측정이 필터링에 영향을 많이 미치지 않으므로(Wininger, Kim, & Craelius, 2009), 저크 산출 시 lowpass filtering은 실시하지 않았다.

분석도구로는 MATLAB 8.2 version (Mathworks, USA)을 이용하여 저크값을 산출하였으며, 무용경력에 따른 저크값의 변화를 검증하기 위해 11명의 무용경력 년도에 따른 상관관계를 분석하였다. R-value 의 유의수준은 5%로 설정하였다.

Table 2. Three types Jerk-based measure of movment smoothness and their dimensions

Types	Formula	Dimension	Study
A	$Integrated\,squared\,jerk = \int_{t1}^{t2} \dddot{x}(t)^2\,dt$	$\frac{L^2}{T^5}$	Platz, Denzler, Kaden, & Mauritz(1994)
B	$Mean\,squared\,jerk = \frac{1}{t2-t1}\int_{t1}^{t2} \dddot{x}(t)^2\,dt$	$\frac{L^2}{T^6}$	Wininger, Kim, & Craelius(2009)
C	$Dimensionless\,jerk = \frac{D^3 \int_{t1}^{t2} \dddot{x}(t)^2 dt}{V_{mean}^2}$	none	Hogan, & Sternad(2009)

Note. t1= time of initail movement; t2= time of final movement; x(t)= position variable; L= length; T= time; D= duraion of the trial; V_{mean}= average velocity of the trial.

Ⅲ. 결 과

1. 무용경력에 따른 동작의 시간차이 관련성 결과

한국무용 시 굿거리 장단 중 반장단 동안 실시할 수 있는 동작을 선정하여 태극선 동작을 실시한 결과, 무용경력에 따라 동작 표현 시간에 대한 관련성(r= 0.724, p= 0.011)이 있는 것으로 나타났다(Figure 2).

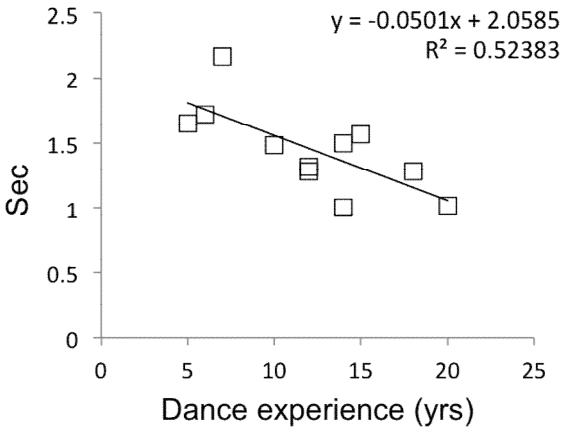

Figure 2. Correlation result of motion time between dance experience

2. 3가지 다른 저크값과 무용경력에 따른 관련성 결과

오른손과 왼손의 저크 경향을 비교하기 위해, 무용 경력이 제일 낮은(5년) 피험자 1 과 무용 경력이 제일 높은(20년) 피험자 11의 위치데이터, 일차 미분한 속도, 이차 미분한 가속도 그리고 삼차 미분한 저크 그래프를 <Figure 3> 과 같이 제시하였다.

1) 오른손 움직임 결과

무용경력에 따른 오른손끝의 저크 값 결과, 적분 제곱 저크 결과는 r= 0.581, p= 0.552 로 나타나 관련성이 없는 것으로 나타났다. 평균 제곱 저크값도 r= 0.534, p= 0.090 으로 나타나 무용경력에 따라 관련성이 없는 것으로 나타났다. 무차원 저크값 결과는 **r=0.656, p= 0.028** 로 나타나 무용경력에 따라 부드럼움의 관계가 관련성이 있는 것으로 나타났다(Figure 4, R(A), R(B), R(C)).

2) 왼손 움직임 결과

무용경력에 따른 왼손의 저크값 결과, 적분 제곱 저크 결과는 r= 0.201, p= 0.166로 나타났고, 평균 제곱 저크값은 r= 0.147, p= 0.666 로 나타났으며, 무차원 저크값 결과 r= 0.383, p= 0.244 로 나타나 세가지의 저크 산출 결과와 무용경력에 따른 부드럼움의 관계가 관련성이 모두 없는 것으로 나타났다(Figure 4, L(A), L(B), L(C)).

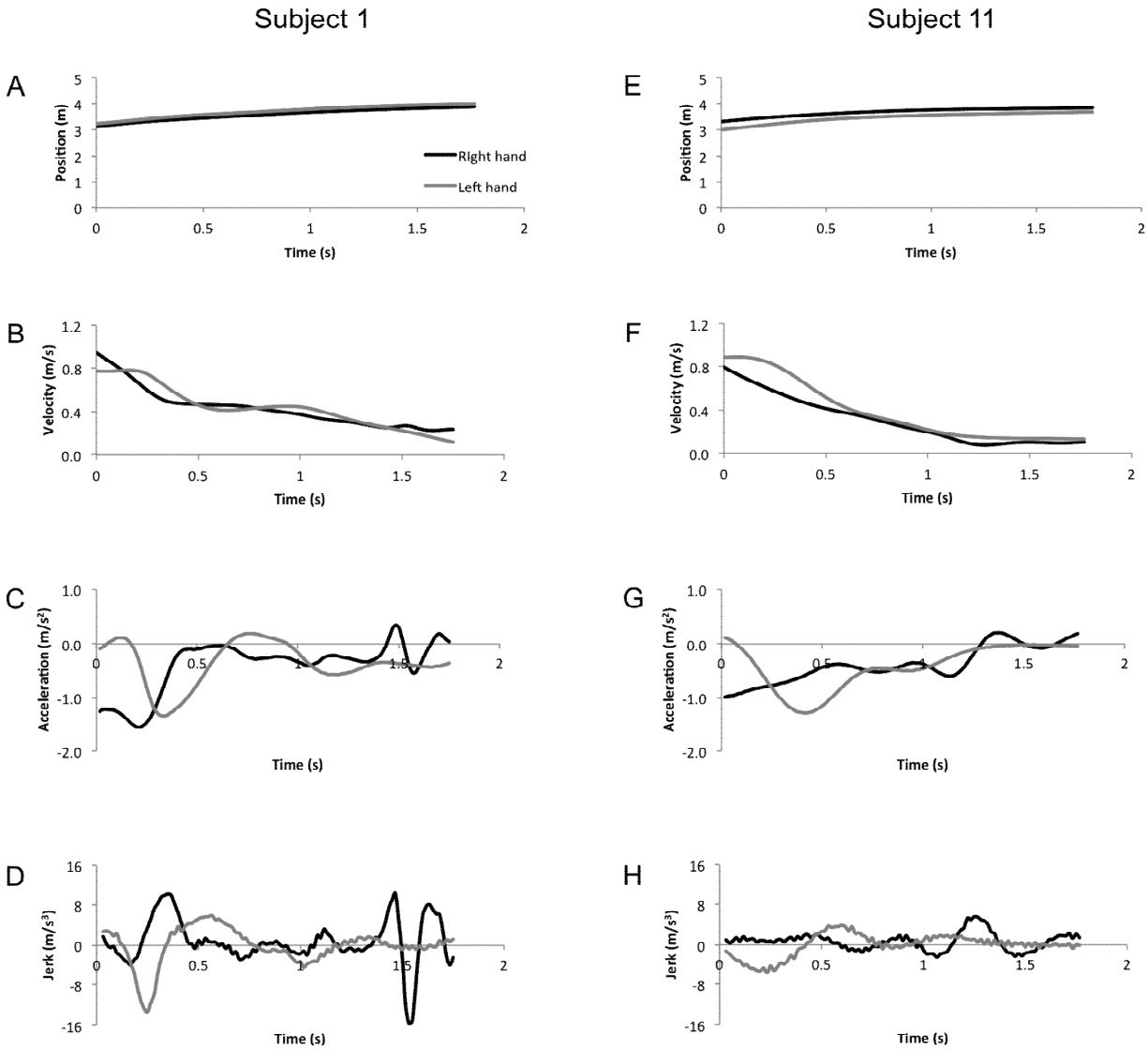

Figure 3. Graph of position and jerk result of right and left hand by each subject 1 and subject 11.
A, B, C, and D show the position, velocity, acceleration and jerk result graph in the right hand and left hand of subject 1(5yrs dance experience). E, F, G, and H show the position, velocity, acceleration and jerk result graph in the right hand and left hand of subject 11(20yrs dance experience).

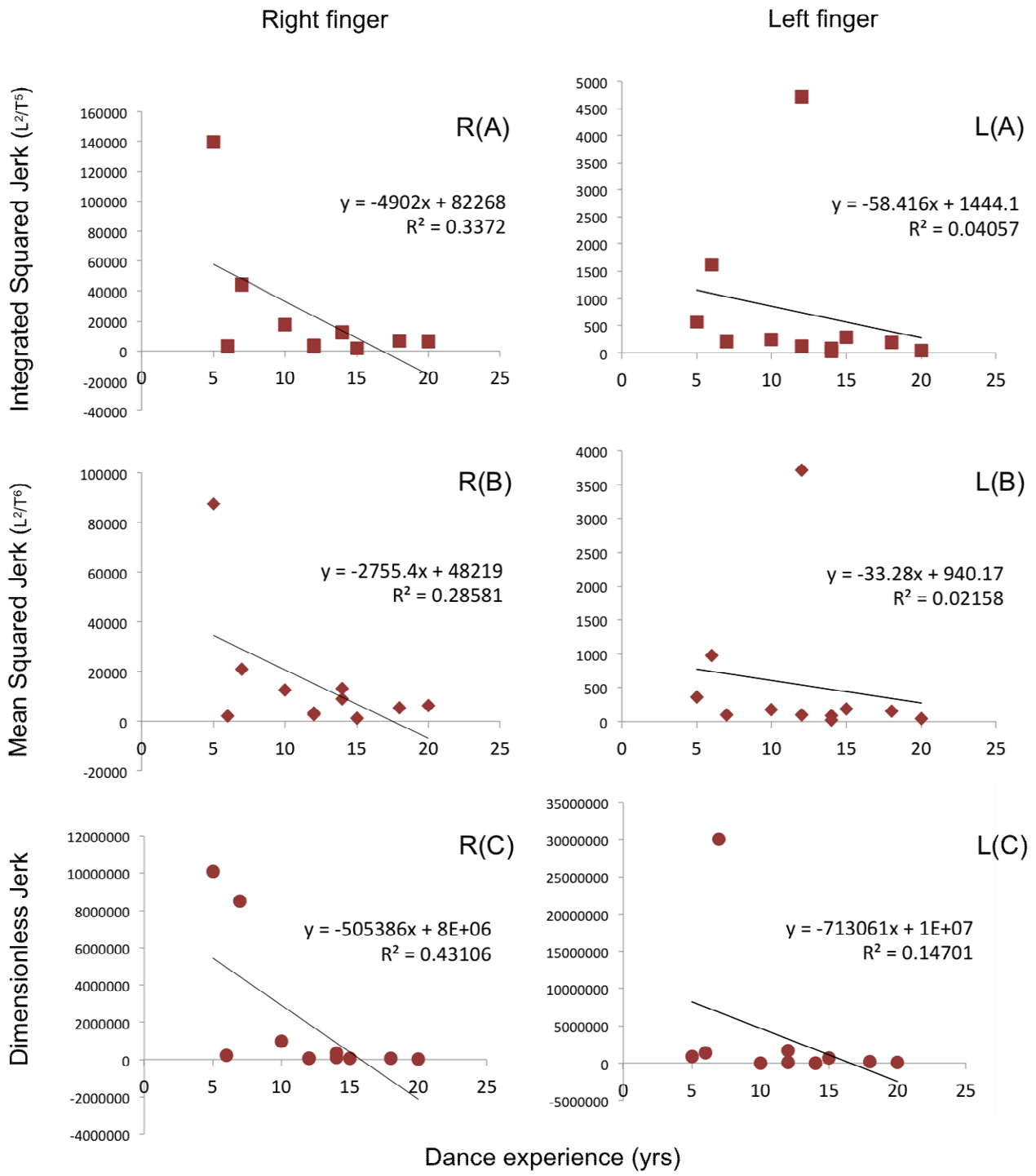

Figure 4. Statistically significant relationship between 3-types Jerk values vs. dance experience.
R(A), R(B), R(C) show regression analysis in the right hand jerk values. L(A), L(B), L(C) show regression analysis in the left hand jerk values. Correlation of determinations(R^2) and linear regression models are shown from simple regression analysis.

Ⅳ. 논 의

무용에서 같은 박자에 같은 동작을 하더라도 그 무용수의 표현법에 따라 동작의 시간적 오차가 발생할 수 있다. 이것은 같은 음악을 사용할 시 나타날 수 있는 무용표현의 음악 동기화 등으로 설명되며, 이미 동작 표현의 오차와 동기화에 대한 연구들을 외국에서는 다양한 방법으로 진행되고 있다. Minvielle-Moncla, Audiffren, Macar, & Vallet(2008)는 독무에서 무용수의 타이밍을 복잡하게 하는 안무에 영향을 미치는 것과 주의력 집중을 요구하는 것은 고난위도의 복잡한 동작뿐 아니라 간단히 워킹하는 동작에 이르기까지도 무용수의 집중을 방해하는 타이밍의 오류가 증가하는 것이라고 하였다. Bläsing et al(2012)는 무용수의 경험과 주의 집중에 의해 영향을 받는 타이밍과 동작 수행 동기화에 대한 연구를 하였는데, 무용수의 타이밍 기술은 개인의 동작을 행하는 운동 경험에 의해 조절된다고 밝히고 있어, 최근 무용수의 표현력 조절 능력에 대한 연구가 진행되고 있다. Woolhouse. M H., & Lai, R. (2014)의 연구된 결과에 의하면 무용훈련을 받은 집단(대학생 6명)과 무용훈련을 받지 않은 집단(대학생 14명)을 대상으로 무용 표현과 음악과의 동기화 능력을 평가한 결과 무용훈련을 받은 집단이 음악과 박자에 대한 동기화를 더 잘한다는 연구결과를 보고하였다. 즉 무용에 대한 경력 및 경험이 많을수록 무용을 표현하는 타이밍에 영향을 미친다는 선행된 연구들로 미루어 보아, 본 연구에서 제시한 같은 박자 안에 같은 동작을 구사하더라도 무용수 경력에 따라 동작의 표현시간 타이밍이 짧아진다는 관련성을 발견한 것은 (r= 0.724, p= 0.011) 위의 선행된 연구들과 연관이 있어 보인다. 본 연구에서 제시한 무용동작은 돌담체(앉았다 일어서기)를 동반한 외발서기를 실시하며 팔 뒤허리감기부터 태극선 동작으로까지 이어진다. 이 동작은 한국무용에서 기본적인 동작인 동시에 반바퀴 회전 후 외발로 중심을 서야하는 동작으로 난이도를 갖고 있는 동작이므로, 무용수가 한발로 중심을 지탱하는 시간을 길게 사용할수록 표현력을 좀 더 안정적이며 능숙하게 보이게 할 수 있다. 반대 개념에서 설명하자면, 무용 경력이 짧을수록 고난이도의 동작을 짧게 표현하고 난이도가 낮은 동작을 길게 표현할 수밖에 없다는 것이다. 그러므로 본 연구에서 나타난 무용 경력이 오래된 피험자일수록 동작의 시간이 짧아졌다는 결과는 난이도가 높은 외발 중심서기의 동작을 길게 구사하므로써 앉았다 일어서는 동작의 시간을 짧게 사용하여 총 동작의 시간(동작 분석 상 완전히 일어시기까지 걸리는 시간을 타이밍 했으므로)을 짧게 사용한 것으로 해석된다. 이에 본 연구 결과에서 나타난 무용경력과 숙련도에 따른 무용동작의 수행의 타이밍의 상관관계는 본 연구의 주 목적인 부드러움을 예측하기 위한 저크 기반 산출 방법에 잠정적으로 기인할 것으로 판단된다.

본 연구에서 3가지 형태의 저크 산출 방법으로 이용하여 무용수의 팔 움직임의 부드러움을 산출한 결과, 태극선을 만드는 동작에서 큰 이동경로를 표현하는 오른손(머리위 곡선동작)의 움직임에서 무차원 저크 값에서만 무용 경력에 따라 상관관계가 유의하게 나타났다. 왼손의 움직임은 3가지 저크 기반의 산출에서 무차원 저크의 그래프(Figure 4, L(C))에서 상관 경향 선이 조금 더 큰 것으로 보였지만, 부드러움을 예측하기 위한 3가지 저크기반 산출방법에서는 모두 유의한 차이를 보이지 않았다. 무용수의 동작 수행 끝점(end point) 의 움직임 분석 관점으로 볼 때, 본 연구에서 선정한 무용수들은 이미 무용을 전공으로 하고 있는 아마추어부터 프로에 이르는 대상자이므로, 기본 동작과 유사한 뒤허리 감기에서 몸통 앞으로펴기 동작과 같은(본 연구에서 왼손의 경로) 난이도가 낮은 동작에서는 무용 경력에 따른 부드러움의 차이를 발견할 수 없었던 것으로 판단된다.

연구결과, 움직임의 경로가 더 크거나 역동적인 동작인 오른손의 동작에서만 무차원 저크 산출 결과만 무용경력이 오래될수록 저크값이 작아지는 유의한 상관관계를 나타냈다 (r=0.656, p= 0.028). 무차원 저크는 Yashiro, Nakamura, Mizumori, Yatani, 와 Takada(2004)의 연구에서부터 적용되었는데, 사람이 연설하는 동안 턱관절의 움직임을 효과적으로 사용하기 위한 마우스 가드 설계를 위해 6개의 다른 저크방법 산출의 결과물로 제시한 방법으로써, 적분 제곱 저크(integrated squared jerk), 평균 제곱 저크(mean squared jerk), 피크 속도 평균화 저크(normalized by peak speed jerk), 그리고 평균 속도 평균화 저크(normalized by mean speed jerk) 값들과 비교해 완전히 다른 양상의 부드러움을 예측을 증명한 방법이다. Teulings, Contreras-Vidal, Stelmach, 와 Adler(1997)도 파킨슨 환자와 나이의 범주가 같은 정상인과의 움직임 수행에서 무차원 저크를 이용한 부드러움을 증명하였고, Ketcham, Seidler, Gemmert, 와 Stelmach(2002)는 노인에게서 질적 움직임을 저하시키는 요인을 찾고 이를 정량화 하기 위해 무차원 저크를 이용하였다.

무차원 정량화(dimensionless quantify)는 공학이나 물리학에서 널리 쓰여지고 있는데, 특히 물리적 특징들의 크기와 규모가 다를 때 그것들을 어떻게 특성화 시킬것인지에 대한 해결책으로 사용되어 지고 있다. 예를 들면, 프루드 수치(Froude number; 중력에 대한 관성력의 비)와 같은 것인데, 이것은 중력이 다른 환경에서 최적의 보행 속도를 예측하기 위해 디멘젼리스 방법으로 정량화 시켰다(Minetti, 2001).

부드러움을 측정하는 방법은 저크만 있는 것만은 아니다. Rohrer 과 Hogan(2003, 2006)은 연속적 움직임을 위한 기초

움직임 시퀀스(sequence)를 식별하기 위한 강력하고 민감한 통계 방법을 개발하였다. 하지만 이 방법은 사용할 수 있는 데이터의 대부분을 폐기한다는 문제점을 갖고 있다. 부드러움의 시작은 모든 데이터 흐름에 달려있는데 이것을 측정한다는 것은 무엇에 정량화의 의미를 부여하고 있는냐에 따라 통계적으로 신뢰할 수 있는 결과를 산출해 내는 것으로 볼 수 있다. 이런 의미에서 무차원을 적용한 저크 산출 방법은 간단하면서도 의미있는 선(모양)과 부드러움을 정량화 할 수 있는 방법이라고 제시하였다(Horgan & Sternad, 2009).

본 연구에서 사용한 무차원 저크 산출방법은 선행된 연구(Horgan & Sternad, 2009)에서와 같이 디멘젼을 두가지 요소 즉, 동작시간과 동작속도로 보고 이 두조건을 배재하여 산출하였다. 본 연구의 저크 기반 산출방법인 첫 번째, 적분 제곱 저크는 두 가지의 조건을 전혀 고려하지 않았고, 두 번째 산출방법인 평균 제곱 저크값도 동작시간의 조건만을 고려하여 분석한 방법이다. 궁극적으로, 본 연구결과로 볼 때 무용수의 부드러움을 예측할 수 있는 방법은 본 연구결과에서 나타난 바와 같이 무용수가 동작을 표현하는데 있어 부드러움은 질적 움직임의 측면에서 속도와 거리는 별개라 볼 수 있고 이 두 요인은 독립적어야만 하며, 결국 이 두 요인은 디멘젼리스라 볼 수 있는 무차원 저크 방법이 더 적절하다고 판단된다. 또한 본 연구에서는 무차원 저크값의 산출로 인해 무용 경력이 오래될수록 무용 표현의 부드러움이 증가하는 것을 입증하였다.

V. 결 론

본 연구는 무용 경력에 따라 부드러움의 관련성을 증명하기 위해 3가지 다른 저크 기반 산출 방법(intergrated squared jerk, mean squared jerk, and dimesionless jerk)으로 저크값을 산출하고 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 한국무용의 경력에 따라 무용 동작 시 총 동작수행 시간의 관련성이 나타나 경력이 오래된 무용수일수록 외발 앉았다 일어서기 동작의 수행시간을 짧게 사용한다.
2. 한국무용의 경력에 따른 무용수의 태극선 동작은 역동적이고 크게 표현하는 동작(본 연구에서는 오른손)에서 무용 경력이 오래될수록 부드러움이 증가한다.
3. 적분 제곱 저크, 평균 제곱 저크, 그리고 무차원 저크 산출결과 무용경력에 따라 무차원 저크값만 유의하게 관련이 있는 것으로 나타나, 무용수의 동작 표현에 있어 부드러움을 평가하기 위해서는 동작의 시간과 속도라는 두 개의 요인이 배제시키는 것이 적절하다.

참고문헌

Bläsing, B., Calvo-Merino, B., Cross, E. S., Jola, C., Honisch, J., & Stevens, C. J. (2012). Neurocognitive control in dance perception and performance. *Acta Psychologica, 139*(2), 300-308.

Bronner, S., & Shippen, J. (2015). Biomechanical metrics of aesthetic perception in dance. *Experimental brain research, 233*(12), 3565-3581.

Calvo-Merino, B., Urgesi, C., Orgs, G., Aglioti, S. M., & Haggard, P. (2010). Extrastriate body area underlies aesthetic evaluation of body stimuli. *Experimental Brain Research, 204*(3), 447–456.

Cross, E. S., Kirsch, L., Ticini, L., & Schütz-Bosbach, S. (2011). The impact of aesthetic appreciation and physical ability on dance perception. *Frontiers in Human Neuroscience, 5,* 102.

Flash, T., & Hogan, N. (1985). The Coordination Of Arm Movements – An Experimentally Confirmed Mathematical – Model. *Journal of Neuroscience, 5*(7), 1688–1703.

Goldvasser, D., McGibbon, C. A., & Krebs, D. E. (2001). High curvature and jerk analysis of arm ataxia. *Biological Cybernetics,* 84, 85–90.

Hogan, N., & Sternad, D. (2009). Sensitivity of Smoothness Measures to Movement Duration, Amplitude and Arrests. J*ournal of Motor Behavior, 41*(6), 529–534.

Jung, C. S., & Jung, K. I. (2007). The Relationship between Smoothness and Breathing for The "Pal Duleo Gamaoligy" Technique in Korean Traditional Dancing. *The Korean Society Of Dance Science. 14,* 1-9.

Jung, K. I., & Nam, K, J.(2007). Does the Control of Breathing Help a Dancer to Perform a Smoother Ballet Pour de Bra? *Korean Journal of Sport Biomechanics, 17*(1), 185-190.

Ketcham, C. J., Seidler, R. D., Van Gemmert, A. W., & Stelmach, G. E. (2002). Age-related kinematic differences as influenced by task difficulty, target size, and movement amplitude. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 57*(1), 54-64.

Kitazawa, S., Goto, T., & Uruxhihara, Y. (1993). *Quantitative evaluation of reaching movements in cats with and without cerebellar lesions using normalized integral of jerk.* In N. Mano, I. Hamada, & J. Wartenweiler(Eds.), Role of the cerebellum and basal ganlia in voluntary movement (pp. 11-19). Tokyo: Elservier Science.

Lee, M. H.. Ranganathan, R., & Newell, K. M. (2011). Changes in object-oriented arm movements that precede the transition to goal-directed reaching in infancy. *Developmental Psychobiology, 53*(7), 685-693.

Minetti, A. E. (2001). Invariant aspects of human locomotion in different gravitational environments. *Acta astronautica, 49*(3), 191-198.

Minvielle-Moncla, J., Audiffren, M., Macar, F., & Vallet, C. (2008). Overproduction timingerrors in expert dancers. *Journal of Motor Behavior, 40*(4), 291–300.

Park, S. H., & Lee, S. M (2005). Movement control of chip shot in golf: The validation of normalized jerk. *The Korean Journal of Physical Education-Natural science, 44*(6), 301-311.

Park, Y. S., Kim, M. Y., & Lee, S. R. (2014). The Analysis of Differences in Pulmonary Functions, Jerk Cost, and Ground Reaction Force Depending on Professional and Amateur Dancers in Korea Dance. *Korean journal of sport biomechanics, 24*(4), 349-357.

Platz, T., Denzler, P., Kaden, B., & Mauritz, K. H. (1994). Motor Learning after Recovery from Hemiparesis. *Neuropsychologia, 32*(10), 1209–1223.Schneider, K., & Zernicke, R. F. (1989). Jerk-cost modulations during the practice of rapid arm movements. *Biological Cybernetics, 60,* 221–230.

Rohrer, B., & Hogan, N. (2003). Avoiding spurious submovement decompositions: a globally optimal algorithm. *Biological cybernetics, 89*(3), 190-199.

Rohrer, B., & Hogan, N. (2006). Avoiding spurious submovement decompositions II: a scattershot algorithm. *Biological cybernetics, 94*(5), 409-414.

Schneider, K., & Zernicke, R. F. (1989). Jerk-cost modulations during the practice of rapid arm movements. *Biological Cybernetics*, 60, 221–230.

Teulings, H. L., Contreras-Vidal, J. L., Stelmach, G. E., & Adler, C. H. (1997). Parkinsonism Reduces Coordination of Fingers, Wrist, and Arm in Fine Motor Control. *Experimental Neurology, 146,* 159–170.

Torrents, C., Castañer, M., Jofre, T., Morey, G., & Reverter, F. (2013). Kinematic parameters that influence the aesthetic perception of beauty in contemporary dance. *Perception, 42*(4), 447-458.

Wininger, M., Kim, N. H., & Craelius, W. (2009). Spatial resolution of spontaneous accelerations in reaching tasks. *Journal of Biomechanics, 42,* 29–34.

Woolhouse, M. H., & Lai, R. (2014). Traces across the body: influence of music-dance synchrony on the observation of dance. *Frontiers in human neuroscience*, 8.

Yashiro, K., Nakamura, T., Mizumori, T., Yatani, H., & Takada, K. (2004). Clinical Validity of Measuring Jerkcost of Jaw Movement during Speech: Effect of Mouthguard Design on Smoothness of Jaw Movements. Paper presented at the SICE Annual Conference; Sapporo, Hokkaido Institute of Technology, Japan. 4–6.

Zatsiorsky, V. M. (1998). *Kinematics of human motion.* Champaign, IL: Human Kinetics.