

관성센서를 활용한 룸바 춤 동작에서 남녀 댄서의 몸통-골반 협응 패턴 비교

이우진* · 김영관** 전남대학교

초록 본 연구는 댄스스포츠 룸바의 커플 동작 수행 중 남성과 여성 댄서의 체간 협응 전략을 비교·분석함으로써, 성별 및 역할에 따른 신체 협응 차이를 규명하고자 하였다. 댄스스포츠 경력 5년 이상의 숙련된 남녀 10커플(총 20명)을 대상으로, 대표적인 룸바 루틴을 4개 국면(P1~P4)으로 나누어 반복 수행하도록 하였으며, 관성센서(IMU)를 활용해 몸통(T1)과 골반(PSIS)의 3축 각속도 데이터를 수집하였다. 각속도 신호에 대해 Hilbert 변환을 적용한 뒤, 연속상대위상(Continuous Relative Phase, CRP)을 산출하고, 동위상($\leq 67.5^\circ$), 중간위상($67.5^\circ \sim 112.5^\circ$), 반위상($\geq 112.5^\circ$)의 시간 누적 비율로 협응 유형을 분석하였다. 분석 결과, 커플이 동일한 동작을 수행함에도 성별에 따라 상이한 협응 전략이 나타났다. 남성은 회전 및 전후 이동이 강조되는 동작에서 몸통과 골반의 분절화된 협응(반위상 중심)을 유지하여 리더로서의 명확한 조절을 나타냈고, 여성은 전반적으로 일체화된 동위상 협응을 바탕으로 팔로워 역할과 전환 동작 시의 유연성을 확보하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 커플 댄스에서 성별에 따른 기술적 표현의 차이를 반영한 결과로 해석된다. 본 연구는 댄스스포츠 수행 과정에서 남·여 댄서의 분절 간 및 파트너 간 협응을 동시에 분석한 초기 시도로, 향후 댄스스포츠 동작 평가 기준 정립을 위한 기초자료로 활용될 것으로 예상된다. 다만 기술통계 수준의 분석과 관성센서의 측정 잡음(artifact)으로 인한 한계가 있었으며, 향후 더 많은 데이터와 정교한 시계열 기반 분석 기법을 적용한다면 이러한 한계를 보완하고 협응 메커니즘을 더욱 심층적으로 규명할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 댄스스포츠, 룸바, 파트너십 댄스, 커플 협응, 관성센서(IMU), 연속상대위상(CRP)

I. 서론

댄스스포츠는 남녀 두 댄서가 파트너를 이루어 음악에 맞춰 정해진 춤 기술을 표현하는, 예술성과 운동 기술이 결합된 경쟁 스포츠이다. 댄스스포츠에서는 각 종목에서 주어진 리듬에 맞추어 상지, 하지, 몸통 등 신체 여러 분절의 정교한 협응과 파트너 간의 협응 능력이 경기력의 핵심 요소로 작용하며, 심판의 평가에도 직접적으로 영향을 미친다(Bläsing et al., 2012; Krasnow & Wilmerding, 2015).

댄스스포츠 동작의 핵심 요소 가운데 하나는 몸통과 골반 움직임에서 정교한 제어와 협응이다. 이우진, 김영관(2019)은 라틴댄스의 쿠반 락 동작을 분석하여, 숙련자와 비숙련자 간의 몸통-골반 협응이 3축 움직임에 따라 상이한 패턴을 보인다고 보고하였다. 또한 Jarvis, Smith, Kulig(2014)은 숙련된 무용수일수록 몸통과 골반을 능동적으로 조절하며 균형과 표현력을 동시에 확보하는 능력이 뛰어났음을 밝혔으며, 체간 협응(몸통-골반)이 숙련도에 영향을 미치는 핵심 요소임을 강조하였다.

운동제어 분야에서는 다분절 간 협응을 분석한 선행 연구들이 활발히 이루어졌다. 특히 보행, 댄스스포츠, 스포츠 동작과 같은 주기적이고 복합적인 움직임에서는 각 분절이 어떻게 함께 또는 독립적으로 협응 하는지를 파악

* 전남대학교 체육학과 박사 wjl922@hanmail.net

** 전남대학교 사범대학 체육교육과 교수 ykkim01@jnu.ac.kr, 교신저자

하는 것이 중요하다. 협응이란 움직임 수행에 관여하는 수많은 자유도를 효과적으로 조직하여 과제 요구에 부합하는 적절하고 안정적인 운동 패턴을 생성하는 과정으로 정의된다(Bernstein, 1967; Schmidt & Lee, 2011). 또한, 협응을 신체나 사지 간의 상대적인 움직임 형태로 정의하면서(Turvey, 1990), 한쪽 팔이나 다리 안에서 여러 관절과 근육이 함께 기능하는 일반적으로 사지내 협응(intralimb coordination)과 서로 다른 사지 간에 기능적 협동으로 나타나는 사지간 협응(interlimb coordination)으로 나누기도 한다(김선진, 2015; Kelso, Southard & Goodman, 1979). 이러한 협응 개념은 몸통과 골반 사이의 체간 협응으로 확장될 수 있으며, 나아가 댄스스포츠에서 남녀 파트너 간 신체 분절의 상호작용을 이해하는 데에도 적용될 수 있다.

협응을 정량화 하기 위해 벡터코딩(vector coding), 상대위상각(relative phase angle), 상관분석(cross-correlations) 기법 등이 사용되었다(이우진, 김영관, 2019; Hamill, Haddad & McDermott, 2000; Seay, Van Emmerik & Hamill, 2011). 이들 기법은 두 분절이 하나의 단위처럼 동기화되어 같은 방향으로 움직이는 것을 동위상(in-phase), 서로 분리되어 반대 방향으로 움직이는 것을 반위상(anti-phase)으로 정의하여 정량적으로 협응 패턴을 제시해 주었다. 이를 통해 숙련자와 비숙련자의 협응 전략 차이를 구분하거나, 수행 능력을 평가하는 지표로도 활용된다.

최근에는 인체 움직임을 측정하는 데 있어 관성센서(inertial measurement unit sensor, IMU)의 활용도가 크게 증가하고 있다. 관성센서는 카메라 기반 영상 분석 시스템에 비해 비용이 저렴하고, 설치와 측정이 간편하다는 장점이 있다. 물론 신호 처리 과정에서의 잡음이나 오차 보정이 필요하다는 한계도 존재하지만, 기술적 개선이 지속되면서 현재는 스포츠 동작을 포함한 다양한 인간 움직임 측정과 분석에 널리 활용되고 있다(길세기, 2013).

본 연구는 라틴 아메리칸 댄스 종목 가운데 하나인 룸바를 분석 대상으로 설정하였다. 룸바는 느리고 우아한 리듬과 풍부한 감정 표현을 특징으로 하는 춤이다. 특히 3차원으로 골반이 회전하는 큐반 모션(Cuban motion)을 중심으로 이루어진 체간 동작이 두드러지는 춤이다(Centrone, Viglialoro, Pietro & Puccio, 2024). 이러한 동작은 몸통과 골반의 정교한 협응을 통해 표현되며, 시각적 아름다움과 기술적 완성도를 결정짓는 중요한 요소로도 여겨진다. 그러나 이러한 협응 특성에 대한 정량적 분석 연구는 여전히 부족한 실정이다.

또한 댄스스포츠는 남녀 커플 간의 조화로운 움직임을 통해 표현이 완성되기 때문에, 파트너십 기반의 협응 분석도 중요하다. 그러나 지금까지의 대부분 연구는 단일 댄서의 움직임 분석에 초점을 맞추었으며, 남녀 간 분절 협응을 시계열로 분석한 연구는 드물다. 이우진, 김영관(2021)은 룸바 커플 간 파트너십의 일관성에 대한 유의미한 차이를 보고하였으나, 세부적인 분절 간 협응 패턴에 대한 설명은 제한적이었다. 이에 따라, 관성센서의 연속적 데이터 수집과 실용성을 활용하여 남녀 간 분절 협응 패턴을 분석하는 시도가 필요하다. 특히 리더-팔로워 구조를 갖는 댄스스포츠에서, 같은 방향 혹은 반대 방향으로의 움직임 일치도는 커플 수행력의 핵심 메커니즘으로 간주될 수 있다. 남녀 간 분절 협응 차이는 단순한 생리학적 차이를 넘어서, 파트너 간 상호작용의 질, 동작의 일관성, 표현력의 조화에 영향을 미치는 요소로 작용할 수 있다.

본 연구의 목적은 관성센서를 활용하여 룸바 수행 시 남녀 선수의 몸통-골반 간 움직임 특성과 협응 패턴을 분석하는 것이었다. 이를 위해 관성센서로 수집한 데이터를 기반으로 각 국면별 남녀 댄서의 체간(몸통-골반) 협응과 파트너 간(남-여) 분절 협응을 정량적으로 분석하였다. 이를 통해 댄스스포츠에서 표현력과 수행력을 설명할 수 있는 잠재적 지표를 도출하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구의 피험자는 댄스스포츠 경력 5년 이상의 숙련된 남자 10명과 여자 10명으로 구성된 총 10커플(20명)이었다. 모든 참가자는 최근 1년 이내 전국 규모 이상의 대회에 참가한 이력이 있으며, 주 3회 이상, 회당 2시간 이상의 훈련을 지속하고 있는 댄스스포츠 전문 댄서이다. 이들은 룸바 외에도 삼바, 차차차, 자이브, 파소도블레 등 라틴댄스의 전 종목에 대한 루틴 수행 경험을 보유하고 있다. 피험자의 일반적 특성은 <표 1>과 같다.

연구 목적과 실험 절차에 대해 사전 설명을 충분히 제공한 후, 자발적 동의서를 제출한 피험자들만을 대상으로 실험을 수행하였다. 피험자 모집과 연구 전반의 절차는 전남대학교 생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 심의를 거쳐 승인되었다(IRB 승인번호: 1040198-210409-HR-048-01).

표 1. 연구 대상자 일반적 특성

(M $\pm$ SD)

구분	남자	여자
연령(세)	23.3 $\pm$ 4.7	22.5 $\pm$ 4.7
신장(cm)	173.7 $\pm$ 5.5	156.1 $\pm$ 5.4
체중(kg)	68.5 $\pm$ 6.0	46.3 $\pm$ 4.4

2. 측정 도구

본 연구에서는 관성센서(Physilog[®], Gait-up, Switzerland) 4개를 사용하여 남·여 댄서의 몸통과 골반의 움직임 측정하였다. 각 센서는 3축(수평축, 수직축, 전후축) 방향의 가속도계(accelerometer)와 각속도계(gyroscope)를 내장하고 있으며, 최대 $\pm 16g$ 의 가속도 및 $\pm 2000^{\circ}/s$ 의 각속도를 측정할 수 있다.

뒤에거 볼 때 남녀 피험자의 흉추 1번 중심(T1)과 좌우 후상장골극(posterior superior iliac spine) 중앙 부위에 센서를 각각 부착하였으며, 피험자마다 해부학적 기준으로 동일한 위치에 일관되게 하였다(그림 1. A). 골반 움직임의 예로 축 기준을 보면 다음과 같다(그림 1. B).

- X축: 수평축(mediolateral axis) 방향으로 골반이 후방경사될 때 양(+)의 각속도(우측: +)
- Y축: 수직축(longitudinal axis) 방향으로 골반이 좌회전할 때 양(+)의 각속도(상방: +)
- Z축: 전후축(anteroposterior axis) 방향으로 좌측으로 골반이 하강할 때 양(+)의 각속도(후방: +)

이와 같은 분절 움직임의 축 정의는 몸통 분절에 부착된 센서에도 동일하게 적용이 되었다.



그림 1. 남녀 댄서에 부착된 센서의 위치(A)와 골반 관성센서 3축의 정의(B)

3. 연구절차

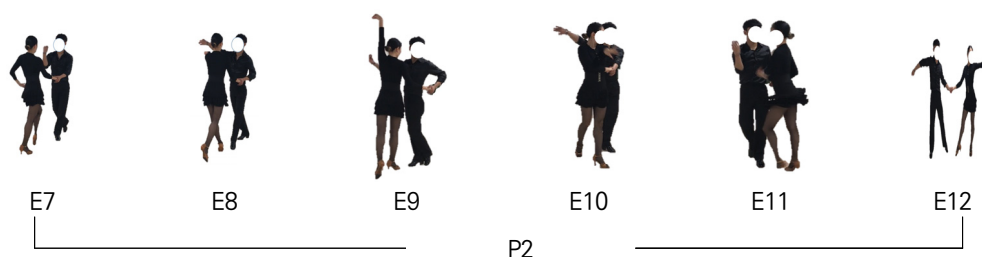
피험자들은 사전 설명을 들은 후, 실험에 앞서 약 20분간의 준비 동작 및 연습을 실시하였다. 실험 중에는 동일한 룸바 음악(23 bpm)에 맞추어 각 커플이 주어진 동작을 5회 반복 수행하였다.

수행 동작은 룸바의 대표적인 커플 동작으로 구성되었으며, 총 24개의 이벤트(event, E: E1~E24)와 4개의 국면(phase, P: P1~P4)으로 구성되었다(그림 2). 룸바 스텝을 수행할 때 카운트에 맞춰 이벤트를 설정하였고, 6개의 이벤트(E)가 모여 1개의 국면(P)이 되었다. 4개의 국면(P)은 다음과 같다.

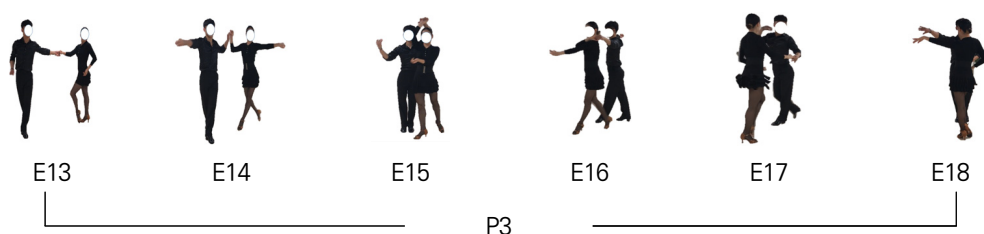
- P1(E1~E6): 오픈 베이직 무브먼트(open basic movement) 동작 구간으로 남자 왼손과 여자 오른손이 접촉한 상태로 서로 마주보며 전·후진하는 동작(남자가 먼저 전진)
- P2(E7~E12): 오픈 힙 트위스트(open hip twist) 동작 구간으로 접촉한 손을 유지한 상태에서 남자가 여자를 시계 방향으로 리드하여 여자를 남자 왼편으로 보내는 동작
- P3(E13~E18): 하키 스틱 (hockey stick) 동작 구간으로 접촉한 손은 유지하면서 남자가 팔을 들어 여자를 반시계 방향으로 돌리는 동작
- P4(E19~E24): 사이드 스텝 (side step) 동작 구간으로 남녀가 잡고 있던 손을 놓고 서로 마주 보며 옆으로 스텝 하는 동작(남자 기준으로 우측)



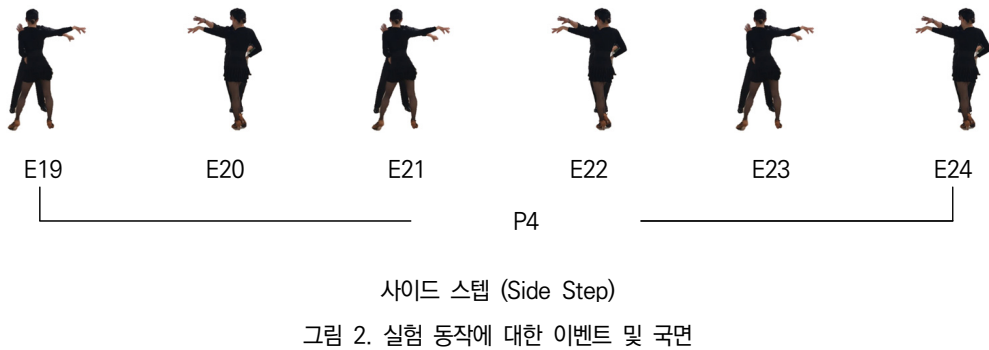
오픈 베이직 무브먼트 (Open Basic Movement)



오픈 힙 트위스트 (Open Hip twist)



하키 스틱 (Hockey Stick)



4. 자료처리 및 분석

수집된 각속도 데이터는 Matlab®(R2015b, MathWorks, USA) 환경에서 처리 및 분석되었다. 먼저, 신호의 잡음을 제거하기 위해 각 축별로 4차 Butterworth 대역통과 필터(bandpass filter)(0.5-10 Hz)를 적용하여 전 처리를 수행하였다. 이후, 각속도 시계열 데이터에 Hilbert 변환을 적용하여 위상각(phase angle)을 도출하고, 분절의 각도-각속도 위상그래프(phase diagram)에서 위상각(phase angle)을 계산한 후, 두 분절의 위상각 차이인 상대위상각(relative phase angle)을 생성하였다(그림 3).

〈그림 3〉의 예시에서 제시된 것처럼 몸통과 골반 간의 분절 간 협응(inter-segmental coordination)을 연속 상대위상(Continuous Relative Phase, CRP) 기법으로 파악하였다. CRP는 두 분절 간 위상각의 차이를 시간의 흐름에 따라 연속적으로 계산하는 방법으로, 본 연구에서는 몸통과 골반 분절의 3축(x, y, z)에 대해 CRP 시계열을 계산하였다.

각 국면(P1~P4)에서 몸통과 골반의 평균 CRP 값을 산출하고, 협응 패턴을 다음과 같이 세 범주로 구분하여 시간 누적 비율(%)을 도출하였다.

- 동위상(in-phase): $|CRP| \leq 67.5^\circ$
- 중간위상(intermediate): $67.5^\circ < |CRP| < 112.5^\circ$
- 반위상(anti-phase): $|CRP| \geq 112.5^\circ$

이와 같은 범주 기준은 van Emmerik, Wagenaar(1996)의 연구에서 약 110° 부근에서 반위상(out-of-phase) 협응 패턴이 관찰된 점을 참고하여 설정하였다. 분석 결과는 10쌍의 커플 데이터를 기술통계로 정리하였다. 평균 CRP 값과 협응 유형의 시간 누적 비율은 누적 막대그래프로 시각화하여 제시하였다(그림 3).

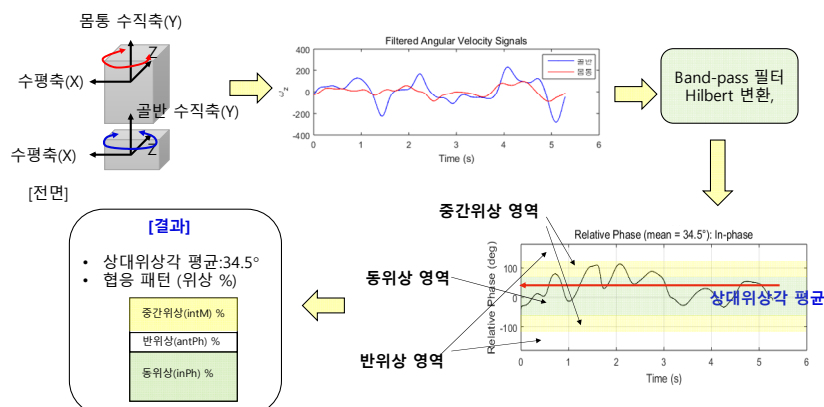


그림 3. 데이터 분석 과정의 흐름 예시 (C5 커플 여성 댄서 phase 2)

Ⅲ. 연구 결과

본 연구에서는 관성센서를 통해 수집된 각속도 데이터를 기반으로, 룸바 춤을 추는 남녀 댄스스포츠 선수의 체간 협응 특성을 국면(Phase)별로 분석하였다.

1. 국면 별 남자와 여자 댄서의 몸통-골반 협응 분석

남자

여자

골반

골반

이동 상체	z(후방+)	-32.6°	-33.1°	71.6°
	y(상방+)	12.0°	-8.4°	-1.7°
	x(우측+)	38.1°	-28.9°	15.6°
		x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

이동 상체	z(후방+)	42.3°	7.2°	59.7°
	y(상방+)	-7.3°	25.9°	22.3°
	x(우측+)	30.2°	31.7°	-20.4°
		x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

골반

골반

이동 상체	z(후방+)	-10.2°	-25.6°	72.6°
	y(상방+)	42.6°	-10.9°	34.0°
	x(우측+)	51.4°	-48.6°	-57.0°
		x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

이동 상체	z(후방+)	0.9°	31.4°	103.9°
	y(상방+)	-26.1°	21.6°	24.4°
	x(우측+)	72.9°	-17.3°	-34.6°
		x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

골반

골반

이동 상체	z(후방+)	11.4°	-2.5°	80.7°
	y(상방+)	35.7°	8.0°	47.2°
	x(우측+)	49.4°	-26.9°	-58.5°
		x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

이동 상체	z(후방+)	-30.4°	46.1°	99.2°
	y(상방+)	73.0°	20.6°	23.7°
	x(우측+)	-33.8°	39.2°	39.6°
		x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

Phase 1

Phase 2

Phase 3

Phase 4

아래다보

z(후방+)	-28.5°	16.5°	104.7°
y(상방+)	25.3°	18.7°	63.4°
x(우측+)	56.2°	-13.1°	-18.2°
	x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

아래다보

z(후방+)	12.7°	31.6°	94.1°
y(상방+)	34.2°	16.3°	48.8°
x(우측+)	11.0°	5.4°	47.8°
	x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

그림 4. 국면별 남녀 댄서의 몸통-골반 협응 CRP 평균

* 동위상(in-phase): $|CRP| \leq 67.5^\circ$, 중간위상(intermediate): $67.5^\circ < |CRP| < 112.5^\circ$, 반위상(anti-phase): $|CRP| \geq 112.5^\circ$

동일 축 간 조합 (X-X, Y-Y, Z-Z)은 각 분절의 동일 방향 회전을 나타내며, 강조된 셀은 동일 축 간 평균 CRP값을 시각적으로 구분

〈그림 4〉는 남성과 여성 그룹의 몸통과 골반 간 CRP 평균값을 각속도 3축 기준으로 국면(Phase)별로 비교한 결과를 보여준다.

P1에서 남성은 z축(전후축)에서 CRP 평균값이 71.6°로 가장 높아, 중간위상(intermediate) 협응 범주에 해당되며 전후 움직임에서 상하체 간 분절성이 상대적으로 강조되었음을 시사한다. x축(수직축, 회전축)과 y축(좌우축)은 각각 38.1°, 12.0°로 모두 동위상(in-phase) 범주에 속하여, 회전 및 측면 협응에서는 통합된 움직임 전략이 사용되었음을 보여준다. 여성은 z축 59.7°, y축 25.9°, x축 30.2°로 세 축 모두 동위상 범주에 포함되었으며, 남성에 비해 CRP 값이 전반적으로 낮아 몸통과 골반이 보다 일체화된 협응을 보였다.

P2에서는 남성과 여성 모두 z축에서 높은 값을 보였는데, 여성은 103.9°, 남성은 72.6°로 나타났다. 여성은 z축에서 중간위상 상한에 가까운 값을 보여, 회전 동작과 함께 체중 이동이 포함된 이 Phase에서 전후 움직임에 따른 체간과 골반의 분절성이 뚜렷하게 증가했음을 시사한다. 남성은 여전히 z축에서는 분절적 경향(72.6°), x축(51.4°), y축(42.6°)에서도 동위상 범주 내에서 중간 수준의 협응을 유지하였다. 여성은 x축(72.9°)과 z축(103.9°)에서 중간위상, y축(21.6°)에서는 동위상으로, 남성보다 더 넓은 위상 분포를 보였다.

P3에서는 z축에서 남성(80.7°), 여성(99.2°) 모두 중간위상 범주에 속하며, 전후 움직임에서 체간과 골반의 비동기적인 협응이 계속되었음을 보여준다. x축에서는 남성 49.4°, 여성 -33.8°로 모두 동위상, y축은 남성 8.0°, 여성 20.6°로 역시 동위상 범주에 해당되었다. 특히 여성은 z축뿐만 아니라 y축에서도 높은 CRP 값을 보여, 회전 동작뿐 아니라 측면 움직임에서도 분절성이 증가하는 경향이 관찰되었다.

P4에서는 남성과 여성 모두 z축에서 가장 높은 CRP 값을 기록하였으며(남성 104.7°, 여성 94.1°), 이는 전후 움직임에서 체간과 골반의 분절성이 이 Phase에서도 강하게 유지되었음을 나타낸다. x축에서는 남성 56.2°, 여성 11.0°로 큰 차이를 보였는데, 여성은 동위상 협응을 통해 몸통과 골반이 일체화된 반면, 남성은 중간위상으로 분절적 전략을 지속하고 있었다. y축에서는 남성 18.7°, 여성 16.3°로 모두 동위상 협응을 유지하였다.

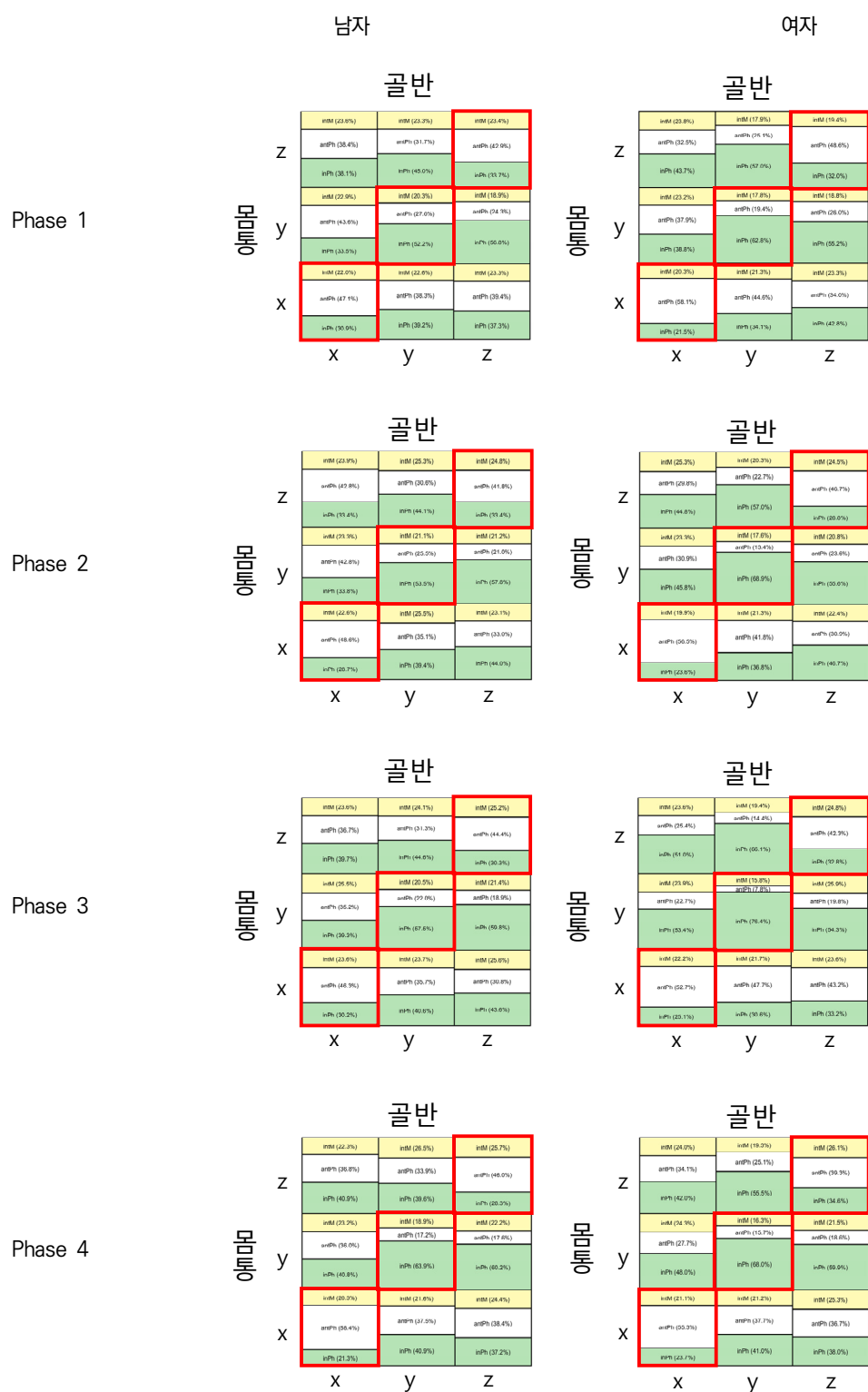


그림 5. 국면별 남녀 댄서의 몸통-골반 협응 CRP 유형별 비율

* 동위상(intPh, 초록색 부분, $|CRP| \leq 67.5^\circ$), 중간위상(intM, 노란색 부분, $67.5^\circ < |CRP| < 112.5^\circ$), 반위상(antPh, 흰색 부분, $|CRP| \geq 112.5^\circ$)로 구분하고, 색상은 각 협응 유형의 비율(%)을 나타냄. 동일 축 간 조합 (X-X, Y-Y, Z-Z)은 각 분절의 동일 방향 회전을 나타내며, 강조된 셀은 동일 축 간 평균 CRP값을 시각적으로 구분함.

〈그림 5〉의 각 국면(Phase 1~4)에서 남녀 댄서의 몸통과 골반 간 협응 패턴을 세 가지 유형(in-phase, intermediate, anti-phase)으로 구분하여 분석한 결과를 보여준다.

P1에서 남성의 경우, Y축(수직 회전)에서 동위상 비율이 가장 높았으며(52.2%), X축과 Z축에서도 동위상보다는 반위상 비율이 상대적으로 높았다(X: 47.1%, Z: 42.9%). 여성은 Y축에서 동위상 비율이 가장 높게 나타났고(62.8%), X축(58.1%)과 Z축(48.6%)은 반위상 비율이 우세하였다. 특히 여성은 세 축 모두에서 반위상 비율이 남성보다 더 높게 나타났다.

P2에서 남성은 Y축에서 동위상 비율이 가장 높았으며(53.5%), X축(48.6%)과 Z축(41.8%)에서는 반위상 비율이 높게 나타났다. 여성 역시 Y축에서 동위상이 우세하였고(68.9%), X축과 Z축에서는 반위상 비율이 각각 56.5%, 46.7%로 가장 높게 나타났다. 전체적으로 P2에서는 양성 모두 Z축보다 X축에서 반위상 협응이 더 강하게 나타난 점이 특징적이다.

P3는 남성은 Y축에서 동위상 비율이 가장 높게 나타났고(57.5%), X축(46.3%)과 Z축(44.4%)에서는 반위상이 우세하였다. 여성은 Y축에서 매우 높은 동위상 비율(76.4%)을 보였으며, X축과 Z축 역시 반위상(52.7%, 42.3%) 비율이 각각 가장 높았다. 특히 여성은 P3에서 Y축 동위상이 전체 국면 중 가장 높게 나타났다.

P4에서 남성은 Y축(63.9%)에서 가장 높은 동위상 비율을 보였고, X축(58.4%)과 Z축(46.0%)은 반위상 비율이 우세하였다. 여성 역시 Y축(68.0%)에서 가장 높은 동위상 협응을 보였으며, X축(55.3%)과 Z축(39.3%)에서는 반위상이 가장 높은 비율을 차지하였다. 전반적으로 P4는 P3와 유사하게 Y축에서 동위상, X·Z축에서 반위상이 지배적인 양상을 보였다.

2. 국면 별 몸통과 골반에 따른 남자-여자 협응 분석

몸통

골반

여자

여자

z(후방+)	42.4°	60.9°	29.0°
y(좌방+)	9.5°	31.4°	6.3°
x(우측+)	0.6°	8.1°	11.5°
	x(우측+)	y(좌방+)	z(후방+)

z(후방+)	-10.0°	33.4°	-20.7°
y(좌방+)	-60.6°	67.0°	27.9°
x(우측+)	28.8°	-52.2°	-76.4°
	x(우측+)	y(좌방+)	z(후방+)

여자

여자

z(후방+)	20.0°	94.1°	69.9°
y(좌방+)	-36.0°	43.3°	9.7°
x(우측+)	9.0°	37.8°	-9.3°
	x(우측+)	y(좌방+)	z(후방+)

z(후방+)	-50.3°	59.0°	-3.2°
y(좌방+)	-80.7°	38.7°	38.7°
x(우측+)	7.0°	-37.6°	-41.0°
	x(우측+)	y(좌방+)	z(후방+)

남자

남자

남자

남자

Phase 1

Phase 2

Phase 3

		여자		
남자	z(후방+)	14.0°	-31.5°	-44.2°
	y(상방+)	-7.7°	-6.8°	-37.4°
	x(우측+)	-24.9°	-15.3°	-32.4°
		x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

		여자		
남자	z(후방+)	-20.2°	5.6°	-4.4°
	y(상방+)	-16.2°	-101.3°	-10.8°
	x(우측+)	11.5°	-0.4°	-38.3°
		x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

Phase 4

		여자		
남자	z(후방+)	-44.3°	-88.6°	-103.1°
	y(상방+)	-76.0°	-64.9°	-48.9°
	x(우측+)	-12.4°	34.7°	9.3°
		x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

		여자		
남자	z(후방+)	27.8°	28.9°	-93.2°
	y(상방+)	56.5°	-100.6°	-75.7°
	x(우측+)	9.4°	10.5°	35.3°
		x(우측+)	y(상방+)	z(후방+)

그림 6. 국면별 몸통과 골반에 따른 남자-여자 CRP 유형별 비율

* 동위상(in-phase): $|CRP| \leq 67.5^\circ$, 중간위상(intermediate): $67.5^\circ < |CRP| < 112.5^\circ$, 반위상(anti-phase): $|CRP| \geq 112.5^\circ$

동일 축 간 조합 (X-X, Y-Y, Z-Z)은 각 남자와 여자의 동일 방향 회전을 나타내며, 강조된 셀은 동일 축 간 평균 CRP값을 시각적으로 구분

〈그림 6〉은 몸통과 골반에 따른 남자-여자 CRP 평균값을 각속도 3축 기준으로 국면별로 비교한 결과를 보여 준다. P1에서 몸통 간 협응은 X(0.6°), Y(9.5°), Z(29.0°) 축 모두 동위상 범위로, 매우 정렬된 움직임을 나타냈다. 골반 간 협응 또한 X(28.8°), Y(67.0°), Z(27.9°) 축 모두 동위상 범위에 속했으며, 특히 Y축은 67.0°로 상한에 근접하였다.

P2에서 몸통은 Z축(69.9°)에서 유일하게 중간위상 경계(67.5°)를 초과했으며, X(9.0°), Y(43.3°) 축은 동위상을 유지했다. 골반은 X(7.0°), Y(38.7°), Z(-3.2°)로 세 축 모두에서 동위상 협응이 유지되었다.

P3에서 몸통은 X(-24.9°), Y(-7.7°), Z(-44.2°)로 세 축 모두 동위상에 해당하며, 협응 정렬 상태가 지속되었다. 골반은 Z축(-4.4°)과 X축(11.5°)에서는 동위상이었으나, Y축(-101.3°)은 중간위상 범위로 진입하였다.

P4에서 몸통은 Z(-103.1°), Y(-64.9°), X(-12.4°)로, Z축은 중간위상, 나머지 축은 동위상 범위에 해당하였다. 골반은 Z(-93.2°), Y(-100.6°)에서 중간위상 수준까지 증가하며 분절 화되었고, X축(9.4°)은 동위상을 유지하였다.

		몸통			골반				
		여자			여자				
Phase 1	남자	z	inPh (23.9%)	antiPh (42.3%)	inPh (21.9%)	z	inPh (21.0%)	antiPh (18.8%)	inPh (22.1%)
		y	inPh (39.3%)	antiPh (34.3%)	inPh (19.4%)	inPh (16.1%)	antiPh (26.9%)	inPh (24.2%)	
			inPh (23.2%)	antiPh (34.2%)	inPh (29.6%)	inPh (19.6%)	antiPh (54.9%)	inPh (45.7%)	
			inPh (37.0%)	antiPh (13.7%)	inPh (38.2%)	inPh (22.4%)	antiPh (29.8%)	inPh (22.8%)	
			inPh (36.0%)	antiPh (47.3%)	inPh (36.2%)	inPh (14.0%)	antiPh (52.9%)	inPh (32.4%)	
		x	inPh (24.1%)	antiPh (20.7%)	inPh (20.3%)	inPh (20.8%)	antiPh (23.9%)	inPh (45.1%)	
		x	y	z		x	y	z	

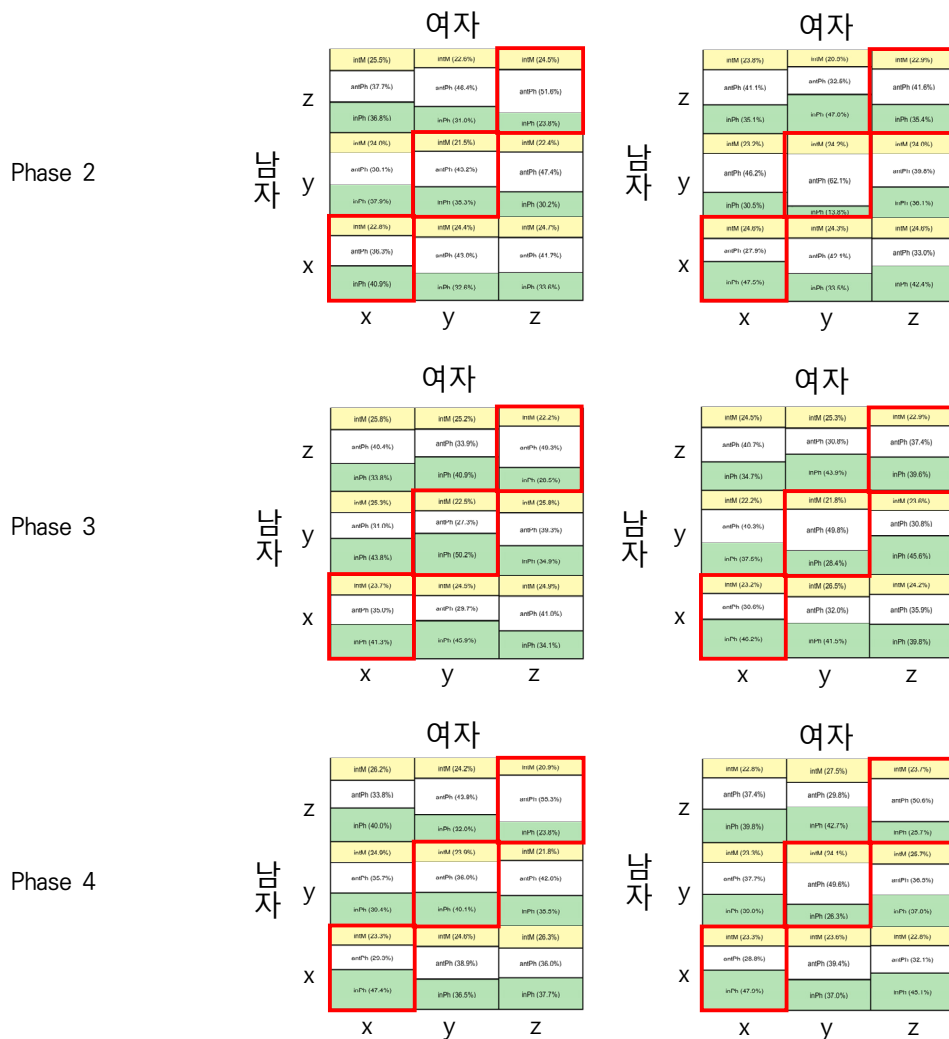


그림 7. 국면별 몸통과 골반에 따른 남자-여자 CRP 유형별 비율

* 동위상(inPh, 초록색 부분, $|CRP| \leq 67.5^\circ$), 중간위상(intM, 노란색 부분, $67.5^\circ < |CRP| < 112.5^\circ$), 반위상(antPh, 흰색 부분, $|CRP| \geq 112.5^\circ$)로 구분하고, 색상은 각 협응 유형의 비율(%)을 나타냄. 동일 축 간 조합 (X-X, Y-Y, Z-Z)은 각 분절의 동일 방향 회전을 나타내며, 강조된 셀은 동일 축 간 평균 CRP값을 시각적으로 구분함.

〈그림 7〉은 각 국면에서 남녀 댄서의 몸통과 골반 간 협응 패턴을 세 가지 유형(in-phase, intermediate, anti-phase)으로 구분하여 분석한 결과를 보여준다. P1에서는 몸통 기준 남녀 협응에서 모든 축(X, Y, Z)에서 동위상(in-phase) 비율이 가장 높았다(X: 45.2%, Y: 42.2%, Z: 32.4%). 특히 Y축(수직축)과 X축(좌우축)에서 동위상 비율이 40% 이상으로 나타났으며, Z축(전후축)은 동위상 32.4%, 반위상 45.7%로 반위상 비율이 상대적으로 높았다. 골반 기준으로도 X축(49.6%)과 Z축(45.7%)에서 동위상이 우세하였고, Y축(수직축)은 반위상 비율(52.5%)이 가장 높아 체간 회전보다 골반 회전에서 분절화된 협응 경향이 두드러졌다.

P2에서는 몸통 기준 모든 축에서 반위상(in-phase)보다 반위상 및 중간위상 비율이 전반적으로 증가하였다.

X축과 Y축에서는 반위상이 각각 36.3%, 43.2%로 가장 높았고, Z축에서는 반위상이 51.6%로 우세하였다. 골반 기준으로도 Y축(62.1%)과 Z축(41.6%)에서 반위상 비율이 가장 높았으며, X축은 여전히 동위상 비율이 47.5%

로 가장 높게 유지되었다. 전체적으로 P1에 비해 분절화된 협응의 비중이 증가하였다.

P3에서는 몸통 기준 Y축(50.2%)과 Z축(49.3%)에서 반위상 비율이 가장 높게 나타났으며, X축은 동위상(41.3%)이 우세하였다. 골반 기준 Y축(49.8%)과 Z축(39.6%)에서 역시 반위상이 가장 높았으며, X축은 동위상(46.2%)이 우세하였다. 전체적으로 동위상과 반위상 비율이 축별로 엇갈려 나타났으며, 동작의 복합성에 따라 협응 형태의 차이가 두드러졌다.

P4에서는 몸통 기준 Z축(55.3%)과 Y축(40.1%)에서 반위상이 가장 높게 나타났고, X축은 동위상(47.4%)이 우세하였다. 골반 기준 Y축(49.6%)과 Z축(50.6%)에서 반위상이 가장 높았고, X축은 동위상(47.9%)으로 나타났다.

전반적으로 골반과 몸통 모두 Z축(전후축)과 Y축(수직축)에서 분절화된 협응 경향이 뚜렷하게 나타났고, X축에서는 상대적으로 일체화된 협응이 유지되었다.

IV. 논의

본 연구는 남녀 댄서가 룸바 춤을 출 때 수행 국면에 따라 남녀 댄서의 체간(몸통-골반) 협응, 골반과 몸통 분절에서 성별(남자-여자) 협응 특성을 분석하여, 이들의 상호작용 메커니즘을 규명하고 댄스스포츠에서 표현력과 수행력을 평가할 수 있는 기초 자료를 찾고자 하였다.

실험 결과 커플 동작 수행 과정에서 남성과 여성 댄서의 체간(몸통-골반) 협응은 각 동작의 요구 특성과 파트너 간 역할 차이에 따라 일관되면서도 상이한 전략으로 나타났다. 남성은 전반적으로 전후 이동과 회전이 빈번히 개입되는 상황에서 체간과 골반 간 분절화된 협응, 즉 반위상 중심의 움직임을 주로 나타낸 반면, 여성은 보다 일체화된 동위상 협응을 중심으로 체간의 정렬을 유지하는 경향이 두드러졌다. 이러한 성별 차이는 성인이 수행하는 복잡한 운동 과제에서 협응 전략이 생체 역학적 요구뿐만 아니라, 훈련 경험에서 오는 운동 패턴이 기능적 역할 요구에 따라 달라질 수 있음을 지적한 Orishimo, Liederbach, Kremenec, Hagins, Pappas(2014)의 연구 결과와도 일부 일치한다고 볼 수 있다.

P1 구간은 커플이 마주 보며 전진과 후진을 반복하는 구간이다. 이때 남녀 모두 수평축과 수직축에서는 몸통과 골반이 함께 움직이는 동위상 협응이 높게 나타났지만, 전후축에서는 서로 반대 방향으로 움직이는 반위상 협응이 더 많이 관찰되었다. 이는 전후 이동 시 남녀가 전후축 중심으로 몸통-골반의 분리된 동작을 강조한 특성 때문으로 해석된다. 특히 여성은 세 축 모두에서 반위상 협응이 남성보다 높아, 몸통과 골반을 더 독립적으로 사용하는 움직임 전략을 보였다. 이러한 분리된 움직임은 동작의 정밀함과 방향 조절을 돕는 전략으로 작용하며, Hein, Schmeltzpfenning, Krauss, Maiwald, Horstmann, Grau(2012)이 언급한 것처럼 협응의 다양한 패턴은 과제의 요구에 맞춰 적응하는 방식임을 보여준다.

P2와 P3에 해당하는 회전 중심의 동작들, 즉 오픈 힙 트위스트(open hip twist)와 하키 스틱(hockey stick)에서는 여성의 회전과 방향 전환이 강조되며 협응 전략에 뚜렷한 변화가 관찰되었다. 특히 여성은 회전축인 수직축(y축)과 전후축(z축)에서 중간 또는 반위상 협응의 비율이 증가하며, 회전에 따른 체간과 골반의 분절화가 적극적으로 나타났다. 이는 회전 동작 수행 시 회전축 주변의 몸통-골반 분리 조절이 기술 수행에 핵심적이라는 Jarvis 등(2014)의 결과와도 부합한다. 반면 남성은 제자리에서 여성을 리드하며 보다 정렬된 체간 움직임을 유지하고자 하였고, 이는 회전축에서도 동위상 또는 중간위상 협응을 유지하는 형태로 나타났다.

동작이 종결되는 P4에서는 양자가 나란히 같은 방향으로 이동하며, 수직축을 중심으로 동위상 협응이 다시 우세하게 나타났다. 이 시점에서 남성과 여성 모두 체간 정렬을 회복하는 경향이 확인되며, 동시에 남성은 회전축에

서 여전히 높은 반위상 비율을 유지해 동작 종료 시점까지 상·하체 분절 전략을 지속하는 특성이 드러났다. 이러한 종결 동작에서의 협응 회복은 리듬 기반 동작에서의 종결성과 안정성을 고려한 전략으로 해석될 수 있으며, 이는 Fujiwara, Kimura, Daibo(2020)의 주장처럼 상호작용적 움직임에서 예측과 조절 기능이 통합적으로 작용하는 사례로 볼 수 있다.

이러한 경향은 성별에 따른 역할 분화(리더와 팔로워)와 기능적 요구의 차이를 반영한다. 남자는 리더의 명확성을 위해 체간과 골반의 구분된 사용을 지속적으로 활용하는 반면, 여성은 팔로워와 동작 전환의 유연성을 확보하기 위해 일체화된 협응 패턴을 유지하려는 경향이 나타났다. 특히 여성은 회전 및 전후 이동이 강조되는 구간에서 순간적인 분절 협응을 통해 공간 인식과 리듬 반응의 유연성을 확보한 것으로 해석된다. 이러한 전략은 Bläsing 등(2012)이 언급한 바와 같이, 파트너 기반 스포츠에서 감각 운동적 예측 및 반응성이 협응의 핵심으로 작용함을 보여준다.

이와 같은 정량 분석 결과는 댄스스포츠 훈련 현장에서 성별 및 동작 국면별 협응 전략 차이에 기반한 맞춤형 피드백을 제공하는 데 활용될 수 있다. 예컨대, P1과 같은 전후 이동 국면에서는 남성 리더에게 반위상 협응을 유지하며 상·하체 분절을 강화하는 훈련, 여성 팔로워에게는 독립적인 하체 중심 움직임을 강조하는 코칭이 유익할 수 있다. P2~P3와 같은 회전 중심 구간에서는 여성에게 체간과 골반의 분절 조절 능력 향상을 위한 중간/반위상 중심 회전 트레이닝, 남성에게는 회전 중에도 체간 정렬을 유지하는 훈련이 효과적이다. P4와 같은 종결 구간에서는 양자 모두에게 체간 정렬 회복을 위한 동위상 협응 훈련, 남성에게는 회전축에서의 반위상 유지 전략을 지속하는 훈련이 권장된다. 이처럼 본 연구 결과는 트레이너가 선수의 성별, 역할, 동작 특성에 따른 실전 피드백을 구체화하고, 효율적인 동작 수행을 유도하는 맞춤형 코칭 전략 수립에 기여할 수 있다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 몇 가지 제한점을 가진다. 첫째, 관성센서를 신체에 부착하는 방식의 특성상, 피부 움직임이나 의복 간섭 등으로 인한 신호 잡음(artifact)이 일부 발생할 수 있으며, 이는 실제 움직임과의 오차를 유발할 수 있다. 둘째, 센서 부착 위치가 해부학적으로 완전히 일치한다고 확증할 수 없기 때문에, 피험자 간 비교 시 약간의 위치 차이에 따른 데이터 불확실성(uncertainty)이 존재할 수 있다. 이러한 점은 분절 간 협응을 정량적으로 비교할 때 결과 해석에 주의를 요한다. 셋째, 본 연구는 공간적 협응(spatial coordination)을 중심으로 분석되었으며, 움직임의 시간적 구조(temporal coordination)나 리더-팔로워 간 반응 시간 지연 등의 동적 상호작용은 포함되지 않았다. 향후 연구에서는 시계열 기반 상호작용 분석이나 동작 예측-응답 패턴 분석을 통해 커플 간 실시간 협응의 메커니즘을 보다 정밀하게 규명할 필요가 있다. 넷째, 댄스스포츠의 커플댄스 수행을 생체 역학적으로 정량 분석한 기존 연구가 매우 부족하다는 점 또한 본 연구의 구조적 한계로 작용한다. 이러한 학문적 기반의 부족으로 인해, 본 연구는 보다 고차원적인 인과적 해석이나 통계적 모델링보다는 기초적인 기술통계 분석 수준에 머무를 수밖에 없었다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 커플 기반 라틴댄스 수행 중 성별에 따른 체간 협응 전략을 정량적으로 규명한 초기 시도로서, 향후 관련 연구의 기초자료로 활용될 수 있는 실증적 데이터를 제공하는 점에서 의의가 있다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 댄스스포츠 룸바 커플 동작 수행 중 남성과 여성 댄서의 몸통과 골반 간 협응 특성을 분석함으로써, 파트너 간 역할 차이에 따른 체간 협응 전략을 규명하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 숙련된 댄서 10커플(20명)을 대상으로 관성센서를 활용한 3축 각속도 데이터를 수집하고, 연속상대위상(CRP) 분석을 통해 동위상, 중간

위상, 반위상의 협응 비율을 국면별로 분석하였다.

연구 결과, 커플이 함께 수행하는 룸바 동작 과정에서 남성과 여성은 체간-골반 협응에서 상이한 전략을 보였다. 남성은 리더로서 체간과 골반의 분절적 조절을 강조하여 주로 반위상 협응을 보였으며, 여성은 팔로워로서 일체화된 체간 정렬 유지와 회전-이동 동작 간의 동위상 협응 전략을 많이 사용하여 유연한 협응 전환을 보여주었다. 이러한 경향은 커플 댄스에서 남녀의 역할에 따른 기술적 표현의 차이를 반영한 것으로 해석된다.

본 연구는 댄스스포츠 수행 과정에서 남·여 댄서의 분절 간 및 파트너 간 협응을 동시에 분석한 초기 시도로, 향후 댄스스포츠 데이터 기반 연구의 토대를 마련했다는 점에서 학문적 가치가 있다. 보다 많은 데이터가 축적된다면 정교한 동작 코칭 전략이나 맞춤형 트레이닝 프로그램 개발에 기초자료로 활용될 수 있다. 후속 연구에서는 리더-팔로워 간의 시계열 상호작용, 실시간 예측-응답 메커니즘, 감정적 동기화 등 다양한 요소를 통합하여 심층적으로 탐색할 필요가 있다.

참고문헌

- 길세기. (2013). 스포츠산업: 관성측정장치 (IMU: Inertial Measurement Unit) 의 발전과 스포츠 응용 예. *스포츠과학*, 122, 58-62.
- 김선진. (2015). *운동학습과 제어 개정판*. 서울: 대한미디어.
- 이우진, & 김영관. (2019). 댄스스포츠 쿠반락 동작에서 벡터코딩에 의한 초보자와 숙련자의 몸통과 골반 협응 패턴 차이 분석. *한국무용과학회지*, 36(3), 73-86.
- 이우진, & 김영관. (2021). 관성센서의 신호 패턴을 이용한 커플의 댄스 동작 일관성 분석. *한국무용과학회지*, 38(2), 49-63.
- Bernstein, N. (1967). *The coordination and regulation of movements*.
- 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.
- Centrone, A., Vigliani, R. M., Di Pietro, A., & Di Puccio, F. (2024). Biomechanical analysis of the "Cuban motion". *Journal of Science in Sport and Exercise*, 1-10.
- Fujiwara, K., Kimura, M., & Daibo, I. (2020). Rhythmic features of movement synchrony for bonding individuals in dyadic interaction. *Journal of Nonverbal Behavior*, 44(1), 173-193.
- Hamill, J., Haddad, J. M., & McDermott, W. J. (2000). Issues in quantifying variability from a dynamical systems perspective. *Journal of applied biomechanics*, 16(4), 407-418.
- Hein, T., Schmeltzpfenning, T., Krauss, I., Maiwald, C., Horstmann, T., & Grau, S. (2012). Using the variability of continuous relative phase as a measure to discriminate between healthy and injured runners. *Human movement science*, 31(3), 683-694.
- Jarvis, D. N., Smith, J. A., & Kulig, K. (2014). Trunk coordination in dancers and nondancers. *Journal of applied biomechanics*, 30(4), 547-554.
- Krasnow, D., & Wilmerding, M. V. (2015). *Motor learning and control for dance: Principles and practices for performers and teachers*. Human Kinetics.
- Orishimo, K. F., Liederbach, M., Kremenik, I. J., Hagins, M., & Pappas, E. (2014). Comparison of landing biomechanics between male and female dancers and athletes, part 1: Influence of sex on risk of anterior cruciate ligament injury. *The American journal of sports medicine*, 42(5), 1082-1088.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2011). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis* (5th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Seay, J. F., Van Emmerik, R. E., & Hamill, J. (2011). Low back pain status affects pelvis-trunk coordination and variability during walking and running. *Clinical biomechanics*, 26(6), 572-578.

- Turvey, M. T. (1990). Coordination. *American psychologist*, 45(8), 938.
- Van Emmerik, R. A., & Wagenaar, R. C. (1996). Effects of walking velocity on relative phase dynamics in the trunk in human walking. *Journal of biomechanics*, 29(9), 1175-1184.

ABSTRACT

Comparison of Trunk-Pelvis Coordination Patterns between Male and Female Dancers in Rumba Using Inertial Sensors

Woojin Lee* · Youngkwan Kim** Chonnam National University

This study aimed to investigate gender- and role-based differences in trunk coordination strategies by comparing male and female dancers during couple performances of the Rumba in dancesport. Ten experienced dance couples ($n = 20$, with over five years of training) performed a standardized Rumba routine, which was divided into four phases (P1-P4) for repeated execution. Three-axis angular velocity data were collected from the trunk (T1) and pelvis (PSIS) using inertial measurement units (IMUs). Continuous Relative Phase (CRP) values were computed by applying a Hilbert transform to the angular velocity signals, and coordination types were classified based on phase angle ranges: in-phase ($\leq 67.5^\circ$), intermediate-phase ($67.5^\circ - 112.5^\circ$), and anti-phase ($\geq 112.5^\circ$). The results revealed that despite performing identical movements, male and female dancers exhibited distinct coordination strategies. Male dancers tended to maintain segmented coordination (anti-phase dominant) of the trunk and pelvis during rotation and forward-backward movements, demonstrating clear control as leaders. In contrast, female dancers generally adopted more integrated in-phase coordination, facilitating flexible transitions and responsiveness in their follower role. These findings reflect technical expression differences by gender within partner dancing. This study serves as an initial attempt to analyze both intra-individual and inter-partner coordination in dancesport, and it is expected to contribute foundational data for developing objective performance evaluation criteria. However, limitations include the use of descriptive-level analysis and potential measurement artifacts inherent to IMU data. Future studies applying more sophisticated time-series analysis methods with larger datasets may provide deeper insights into coordination mechanisms.

Key words : Dance sport, Rumba, Partnership Dance, Couple Coordination, Inertial Measurement Unit(IMU), Continuous Relative Phase(CRP)

논문투고일: 2025.06.09

논문심사일: 2025.07.11

심사완료일: 2025.07.23

* Ph.D., Department of Physical Education, Chonnam National University

** Professor, Department of Physical Education, Chonnam National University