KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2026; 36(2): 59-67
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2026.36.2.59
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752
ORIGINAL

Kinematic and Ground Reaction Force Characteristics of Leg Kick and Toe Tap Hitting in Professional Baseball Players

프로야구선수의 레그 킥과 토 탭 타격 유형에 따른 운동학 및 지면반력 특성 비교

Han-Beom Kim[1,2], Jae-Woo Lee[3,4], Tae-Hyun Jeong[1,3], Jun-Sung Park[1,3]

[1]Department of Physical Education, Changwon National University, Changwon, South Korea
[2]NC Dinos, Changwon, South Korea
[3]Sports Sciences Research Center, Changwon National University, Changwon, South Korea
[4]Sports Convergence Institute, Konkuk University, Chungju, South Korea

Received : 31 March 2026
Revised : 14 April 2026
Accepted : 14 April 2026

Corresponding Author
Jun-Sung Park
Department of Physical Education, Changwon National University, 20 Changwondaehak-ro, Uichang-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do, 51140, South Korea
Email : jpark2471@cwnu.ac.kr

Objective: This study aimed to compare the kinematic characteristics and ground reaction forces (GRF) associated with two lower-body movement strategies, Leg Kick and Toe Tap, in professional baseball players.

Method: Five elite players from the Korean Baseball Organization (KBO) participated in this study. Each participant performed tee-batting trials under both conditions. Kinematic data were collected using a three-dimensional motion capture system, and GRF data were obtained using force plates. Segmental angular velocities of the lower limbs, trunk, and upper limbs, as well as GRF and bat speed, were analyzed. Statistical comparisons between conditions were conducted using the Wilcoxon signed-rank test.

Results: The results indicated that, at the foot contact phase, the Leg Kick condition demonstrated higher angular velocities in the lower limbs, trunk, and upper limbs compared to the Toe Tap condition. In addition, the lead-leg GRF was significantly greater in the Leg Kick condition. However, no significant difference in bat speed was observed between the two strategies.

Conclusion: In conclusion, both Leg Kick and Toe Tap can be considered viable technical options, and their effectiveness may depend on individual characteristics and situational demands. Nevertheless, the findings should be interpreted with caution due to the small sample size and the controlled tee-batting environment. Future research should include larger sample sizes and more game-like conditions to further clarify the biomechanical differences between these hitting strategies.

Keywords: Baseball batting, Leg kick, Toe tap, Angular velocity, Ground reaction force

Copyright © 2026 Korean Journal of Applied Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

야구는 투구, 수비, 주루, 타격 등 인간이 수행할 수 있는 다양한 운동 요소를 포함한 종합적 스포츠로, 전 세계적으로 널리 사랑받는 대중적 종목이다. 국내에서는 1982년 프로야구 출범 이후 WBC 준우승 및 2008 베이징올림픽 금메달 등의 국제 대회 성과를 통해 야구는 국민 스포츠로 자리매김하였으며, 경기의 박진감과 전략성, 스타 선수의 등장 등으로 매년 높은 관중 수를 기록하고 있다(Her, Choi & Park, 2013).

야구 경기에서 승패를 결정짓는 핵심 요소는 투수력, 수비력, 그리고 타격력으로, 이 중 타격은 실제 득점으로 직결된다는 점에서 경기의 흐름을 좌우하는 전략적 기술이다. 특히 투수가 던진 공이 홈플레이트를 통과하는 데 걸리는 시간은 0.4-0.5초에 불과하며, 1/100초의 반응 차이에 따라 타구의 방향이 결정된다는 점에서 타격은 고도의 집중력과 순간 판단 능력을 요구하는 복합적인 기술이다(Kevin, Stephanie, Robert & Keith, 2010).

타자는 공을 맞히는 데 그치지 않고, 변화구, 빠른 직구 등 다양한 투구 유형에 대응하기 위해 정확한 타이밍과 에너지 전달이 동반된 효율적인 스윙을 수행해야 하며, 이는 전신의 근력, 파워, 가동성 및 운동사슬(Kinetic chain)을 통한 신체의 협응과 같은 다차원적인 요인의 영향을 받는다고 보고하였다. 더 나아가 Monti (2015)은 부상당한 선수들의 복귀에 있어서 점진적인 타격 프로그램 외에도, 재발을 줄이기 위해 운동사슬을 활용하는 야구 스윙과 관련된 적절한 생체역학의 필요성을 주장하였다. 이는 운동사슬을 기반으로 한 타격 동작 분석이 경기력 향상뿐만 아니라 부상 예방을 위해서도 필수적임을 강조한다. 이러한 특성으로 인해 타격은 스포츠 중에서도 가장 수행이 어려운 기술 중 하나로 간주되며(DeRenne, Morgan, Hetzler & Taura, 2008; Race, 1961), 이에 대해 정량적으로 분석하려는 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

현대 스포츠에서는 경기력을 향상시키기 위해 종목별 기술 동작을 과학적으로 규명하고자 하는 생체역학적 연구의 중요성이 점점 더 강조되고 있으며, 야구 타격도 예외는 아니다. 타격 동작은 단순히 배트를 휘두르는 상체의 동작이 아닌, 하체에서 시작하여 체간을 거쳐 상지로 전달되는 운동사슬(kinetic chain)에 의한 결과로, 각 신체 분절의 협응을 통한 파워 전달 메커니즘이 중요한 역할을 한다(Hay, 1993; Flyger, Buttton & Rishiraj, 2006; Her et al., 2013). 특히, 타격에서의 배트 스피드와 타구 비거리는 지면반력(GRF), 관절의 각속도, 그리고 에너지 전달 효율성과 밀접하게 연관되어 있으며, 이는 타자의 경기력 향상에 있어 결정적인 요소로 작용한다(Ae, Koike, Fuji, Ae & Kawamura, 2017; Koike & Mimura, 2016; Orishimo et al., 2023). 이에 따라 최근 연구들에서는 고속 3D 모션 캡처 시스템과 지면반력 측정 장비를 활용하여 타격 동작의 운동학적 및 운동역학적 요소를 정량화하고 있으며, 타격 기술 향상에 기여하고 있다(Ae, Koike & Kawamura, 2020). 이러한 기술들은 타격 시 발생하는 지면반력(Ground reaction force)의 크기와 시간적 발생 위치, 하지 및 체간의 각속도, 타구 시점의 배트 스피드 등을 정밀하게 측정할 수 있어 타자의 배팅을 정량적으로 분석하는 방법으로 활용되고 있다.

Schneider, Takatad와 Aguinaldo (2023)는 고등학생과 대학 선수를 대상으로 한 연구에서, 리드 다리와 트레일 다리의 GRF 차이와 체간의 에너지 흐름에 따라 배트 스피드가 달라질 수 있음을 보고하였다. Horiuchi, Nakashima와 Sakurai (2021)는 체간의 에너지 전달이 효율적일수록 타격 시 배트 속도가 증가하는 경향을 보였다고 밝혔으며, Orishimo 등 (2023)은 하체의 고관절, 슬관절, 족관절의 운동역학적 변인이 배트 스피드와 유의미한 상관관계를 가진다고 보고하였다. 이처럼 타격 성과는 단일 요인이 아닌, 신체 분절 간의 협응과 에너지 전달 효율성, 지면반력 활용 등 복합적 요인에 의해 결정된다.

한편, 숙련도에 따라 타격에 차이가 있다는 연구도 지속적으로 보고되고 있다. Inkster, Murphy, Bower와 Watsford (2011)는 숙련된 타자일수록 배트 스피드와 리드 팔의 팔꿈치 각속도가 더 높은 것으로 나타나며, 하체에서 시작된 회전이 체간을 통해 팔, 그리고 배트로 순차적으로 잘 전달되어 회전 타이밍이 잘 맞아 떨어지는 동시성이 뛰어나다고 밝혔다. 그리고 Dowling과 Fleisig (2016)은 프로 선수들은 유소년 선수들보다 배트를 더 멀리 위치시키고, 팔꿈치의 굴곡을 줄이며 더 큰 확장 속도를 보인다고 분석하였다. 이러한 결과는 타격 전략의 선택이 단순한 스타일 문제가 아니라, 실제 운동역학적 효율성과 경기력에 직접적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

타자들은 실전 경기 및 훈련 상황에서 다양한 하체 동작 전략을 사용하며, 이 중 대표적인 것이 레그 킥(Leg Kick)과 토 탭(Toe Tap)이다. 레그 킥은 리드 다리를 비교적 크게 들어 올린 후 지면에 접지하여 스윙으로 이어지는 방식이며, 토 탭은 리드 발을 지면에서 가볍게 들어 올렸다가 다시 접촉시키는 방식으로 수행된다. 일반적으로 레그 킥은 보다 큰 동작 범위를 활용하여 하지의 움직임을 준비하는 전략으로 이해되며, 토 탭은 비교적 간결한 발 동작을 통해 타이밍과 리듬을 조절하는 데 유리한 전략으로 알려져 있다(Katsumata, 2007). 그러나 이러한 두 전략이 실제 지면반력, 각속도, 배트 스피드와 같은 주요 변인에 어떠한 차이를 보이는지에 대한 실증적 비교 연구는 매우 제한적이며, 특히 프로 수준의 선수들을 대상으로 한 분석은 거의 이루어지지 않았다.

그럼에도 불구하고 현재 국내외 레그 킥과 토 탭 전략 간의 차이를 확인한 연구, 특히 동일 타자를 대상으로 두 전략을 통제하여 분석한 연구는 매우 제한적인 실정이다. 따라서

본 연구의 목적은 프로야구 선수를 대상으로 레그 킥과 토 탭 타격 시 나타나는 운동학적 특성과 지면반력의 차이를 비교하고, 두 타격 전략 간 움직임 특성의 차이를 살펴보고자 하는 데 있다.

METHOD

1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 현재 한국프로야구(KBO)에 등록된 현역 선수들로 선정하였으며, 우타자 3명과 좌타자 2명, 총 5명(24.0±3.1 years, 177.3±3.9 cm, 88.6±5.8 kg)이 참여하였다. 모든 피험자들은 실험에 참여하기 전 실험 과정에 대한 설명을 들은 후 참여동의서에 대해 자발적으로 동의한 대상자만 선정하였으며, 본 연구는 대학기관생명윤리위원회의 승인(7001066-202507-HR-048)을 받은 후 진행하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 대상자의 신체에 Nexus 소프트웨어(Vicon, Oxford, UK)에서 제공하는 Plug-in-Gait 모델을 기반으로 19 mm 반사마커 47개를 부착하였다. 반사마커는 두부, 몸통, 골반, 상지 및 하지의 주요 해부학적 지점에 부착하였으며, 배트에는 헤드 2개와 노브 1개의 마커를 부착하여 배트 움직임을 측정하였다.

야구 타격 동작의 3차원 운동학적 데이터는 8대의 적외선 모션 캡처 카메라(Vero 2.2, Vicon, Oxford, UK; sampling rate: 200 Hz)를 통해 수집하였고, 지면반력 자료는 2대의 지면반력기(BMS464508-2K, AMTI, Watertown, MA, USA; sampling rate: 1,000 Hz)를 이용하여 측정하였다. 본 연구에서는 타격 동작 시 발생하는 힘의 특성을 대표적으로 반영하여 수직 지면반력 성분을 중심으로 분석을 수행하였다.

연구대상자들의 인체 기초자료를 확보하고 기준 데이터베이스를 구축하기 위해, 본 연구에서는 사전 설문조사를 실시한 후 연구대상자들을 대상으로 Zatsiorsky (1990)의 체분 비례 추정(Scaling) 방법을 근거로 인체 각 부위의 길이와 둘레를 측정하였다.

본 실험에 참여한 모든 연구대상자에게 실험 전 연구목적에 대한 내용을 전달하였다. 각 연구대상자는 평소 사용하는 타격 방식을 기반으로 두 전략을 수행하였으며, 실험 전 충분한 연습을 통해 각 조건이 안정적으로 수행될 수 있도록 하였다. 타격 분석을 위해 검은색 spandex 소재의 실험복으로 갈아입은 후 인체와 배트에 반사마커를 부착하였다. 연구대상자들의 야구 타격에 대한 3차원 분석을 위해 Vicon사에서 제공한 Active Wand로 캘리브레이션을 실시한 후 전역 좌표계를 설정하였다. 본 연구에서 정의한 전역 좌표계는 전후 방향을 X축, 좌우(타깃 방향) 방향을 Y축으로 정의하고, 지면으로부터 수직 방향을 Z축 방향으로 설정하였다. 연구대상자들은 개인 배트를 이용하여 지면반력기 위에 양발로 스탠스를 유지한 상태에서 야구 타격을 실시하였으며, 티바(t-bar) 위에 올려놓은 야구공을 타격하였다. 각 연구대상자는 레그 킥 타격 5회와 토 탭 타격 5회를 순차적으로 실시하여 총 10회의 타격 동작이 수집되었다.

본 연구에서 Leg Kick은 리드 다리를 비교적 크게 들어 올린 후 지면에 접지하여 스윙을 수행하는 타격 방식으로 정의하였으며, Toe Tap은 리드 발을 지면에서 가볍게 들어 올렸다가 다시 접촉시키는 방식으로 정의하였다. 두 전략은 각 연구대상자가 평소 사용하는 타격 동작을 기반으로 수행하였으며, 실험 전 충분한 연습을 통해 자연스러운 수행이 이루어지도록 하였다.

3. 데이터 처리

각 신체 분절의 3축(X, Y, Z)에 대한 회전 운동은 Cardan Orientation 방법으로 계산된 근위 분절 좌표계를 기반으로 원위 분절 좌표계의 상대 지향각을 이용하여 계산하였으며, 각 연구대상자들을 대상으로 해부학적 자세를 기준으로 회전 각도를 산출하였다. 각 분절의 회전축은 근위 분절 좌표계에 고정된 축을 기준으로 하였다. 각속도는 산출된 회전각을 시간에 대해 1차 미분하여 계산하였으며, 이는 하지와 체간의 회전 운동이 상지 및 배트로 전달되는 운동사슬 내 움직임 특성을 확인하기 위해 사용되었다. 각속도는 이벤트 기반(EV1-EV5)의 순간 각속도를 기준으로 산출하였으며, 각 연구대상자는 동일 조건에서 5회씩 수행한 시도의 값을 평균하여 개인 대표값을 산출하였다. 하지 변인의 경우 리드 측을 기준으로 분석하였으며, 모든 피험자에 대해 투구 방향을 기준으로 전방 다리를 리드 다리로 설정하여 자료를 정렬하였다. 각속도는 분석에 사용된 좌표계 기준에 따라 산출되었으며, 각속도의 부호는 분절의 회전 방향을 반영한다. 따라서 본 연구에서는 각속도의 절대값뿐 아니라 부호를 포함한 회전 방향의 차이도 함께 고려하여 해석하였다.

지면반력(GRF)은 지면반력기를 통해 1,000 Hz로 수집되었으며, 전후(X), 좌우(Y), 수직(Z) 세 축 성분으로 분리하여 처리하였다. 본 연구에서는 타격 시 하지의 수직반력 및 추진 특성을 평가하기 위하여 수직 성분(Fz)을 중심으로 분석을 수행하였다. GRF는 전체 타격 동작 동안 측정된 Fz 신호 중 최대값을 추출하였으며, 각 조건(Leg Kick, Toe Tap)에서 5회 반복 시도의 peak 값을 평균하여 개인 대표값을 산출하였다. 모든 GRF 값은 체중으로 정규화하여 비교하였다.

배트 스피드는 타격 과정에서 배트 헤드의 3차원 위치 데

이터를 기반으로 계산하였으며, 이는 각 신체 분절의 회전 운동에 의해 생성되는 선형 운동량의 결과로서 하지와 체간의 회전 속도와 밀접하게 연관된다. 본 연구에서는 전체 스윙 구간에서 산출된 배트 헤드 속도 중 최대값을 추출하였으며, 각 조건에서 5회 반복 측정된 peak 값을 평균하여 개인 대표값으로 사용하였다.

본 연구에서는 타격 동작을 Stance (EV1), Load (EV2), Foot Contact (EV3), Ball Contact (EV4), Follow Through (EV5)의 다섯 가지 이벤트로 구분하였으며, 각 이벤트는 다음과 같이 정의하였다(Figure 1). EV1 (Stance)은 타격 준비 자세를 유지한 시점, EV2 (Load)는 하체 준비 동작이 시작되는 시점, EV3 (Foot Contact)는 리드풋이 지면에 접지한 시점, EV4 (Ball Contact)는 배트와 공이 접촉한 시점, EV5 (Follow Through)는 임팩트 이후 스윙이 진행되어 마무리 동작으로 이어지는 시점으로 설정하였다. 이에 본 연구에서는 Swing phase를 중심으로 각속도, 지면반력, 배트 스피드 변인의 변화 양상을 종합적으로 분석하였다.

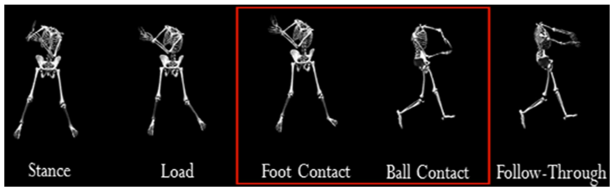

Figure 1. Batting event

4. 통계처리

본 연구에서 획득한 자료는 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)를 산출하여 기술통계로 제시하였다. 본 연구는 표본 수가 제한적인 점을 고려하여 정규성 가정을 신뢰하기 어렵다고 판단하였으며, 이에 따라 비모수 통계기법인 Wilcoxon signed-rank 검정을 실시하였다. 모든 통계 분석은 IBM SPSS Statistics for Windows, Version 29.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하여 수행하였으며, 유의수준(α)은 .05로 설정하였다. 표본 수가 제한적인 점을 고려하여, 통계 결과는 절대적인 의미로 해석하기보다는 전반적인 경향을 확인하는 수준에서 해석하였다.

RESULTS

1. 무릎 각속도

Leg Kick과 Toe Tap 타격 방식에 따른 무릎 각속도는 <Table 1>에 제시하였다. EV1, EV2, EV4, EV5에서는 두 조건 간 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나, EV3에서는 Leg Kick 타격 시 무릎 각속도가 354.58±52.21°/s로 Toe Tap 타격의 125.06±43.25°/s에 비해 상대적으로 높은 값을 보였다(z = -2.023, r = 0.91, p = .043).

2. 골반 각속도

Leg Kick과 Toe Tap 타격 방식에 따른 골반 각속도는 <Table 2>에 제시하였다. EV1, EV2, EV4, EV5에서는 두 조건 간 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나, EV3에서는 Leg Kick 타격 시 골반 각속도가 205.40±45.74°/s로 Toe Tap 타격의 29.48±72.39°/s에 비해 상대적으로 높은 값을 보였다(z = -2.023, r = 0.91, p = .043).

3. 몸통 각속도

Leg Kick과 Toe Tap 타격 방식에 따른 몸통 각속도는 <Table 3>에 제시하였다. EV1, EV2, EV4, EV5에서는 두 조건 간 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나, EV3에서는 Leg Kick 타격 시 몸통 각속도가 62.34±45.10°/s로 Toe Tap 타격의 -24.49±30.67°/s에 비해 상대적으로 높은 값을 보였다(z = -2.023, r = 0.91, p = .043).

Table 1. Knee angular velocity between leg kick and toe tap Unit: °/s

Event	Leg kick	Toe tap	z	r	p
Stance	38.26±22.19	28.15±22.34	-0.944	.42	.345
Load	41.64±10.59	59.97±20.89	-1.483	.66	.138
Foot contact	354.58±52.21	125.06±43.25	-2.023	.91	.043*
Ball contact	209.91±31.99	195.12±25.03	-1.214	.54	.225
Follow-through	88.47±21.26	83.92±13.92	-0.674	.30	.500

Note. EV1: Stance, EV2: Load, EV3: Foot Contact, EV4: Ball Contact, EV5: Follow-through

Table 2. Pelvis angular velocity between leg kick and toe tap Unit: °/s

Event	Leg kick	Toe tap	*z*	*r*	*p*
Stance	-15.86±12.84	-15.01±11.27	-0.674	.30	.500
Load	-23.81±8.50	-29.23±15.44	-0.135	.06	.893
Foot contact	205.40±45.74	29.48±72.39	-2.023	.91	.043*
Ball contact	242.46±86.91	237.45±75.10	-0.405	.18	.686
Follow-through	94.95±29.88	102.41±23.61	-0.944	.42	.345

Note. EV1: Stance, EV2: Load, EV3: Foot contact, EV4: Ball contact, EV5: Follow-through

Table 3. Trunk angular velocity between leg kick and toe tap Unit: °/s

Event	Leg kick	Toe tap	*z*	*r*	*p*
Stance	-19.19±12.46	-12.29±11.49	-1.483	.66	.138
Load	-34.34±11.60	-44.53±20.28	-1.483	.66	.138
Foot contact	62.34±45.10	-24.49±30.67	-2.023	.91	.043*
Ball contact	577.77±67.73	570.48±59.71	-0.674	.30	.500
Follow-through	137.61±46.49	148.03±55.70	-0.674	.30	.500

Note. EV1: Stance, EV2: Load, EV3: Foot contact, EV4: Ball contact, EV5: Follow-through

Table 4. Lead arm angular velocity between leg kick and toe tap Unit: °/s

Segment	Event	Leg kick	Toe tap	*z*	*r*	*p*
Upper arm	Stance	-23.08±12.88	-13.12±13.03	-1.753	.78	.080
	Load	-49.03±28.73	-66.02±44.45	-1.483	.66	.138
	Foot contact	40.98±83.07	-50.71±65.95	-2.023	.91	.043*
	Ball contact	304.61±157.57	229.27±121.62	-0.405	.18	.686
	Follow-through	329.75±170.34	332.52±159.76	-0.674	.30	.500
Forearm	Stance	-16.37±13.38	-11.67±11.45	-1.214	.54	.225
	Load	-44.76±21.39	-57.09±58.34	-0.944	.42	.345
	Foot contact	41.29±66.57	-44.68±58.34	-2.023	.91	.043*
	Ball contact	624.43±351.57	613.89±340.89	-0.135	.06	.893
	Follow-through	450.19±118.97	458.46±128.22	-0.674	.30	.500

Note. EV1: Stance, EV2: Load, EV3: Foot contact, EV4: Ball contact, EV5: Follow-through

4. 리드 팔 각속도

Leg Kick과 Toe Tap 조건에서 나타난 리드 팔 각속도는 <Table 4>에 제시하였다. EV1, EV2, EV4, EV5에서는 두 조건 간 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나, EV3에서 상완과 전완 모두 Leg Kick 조건이 Toe Tap 조건에 비해 상대적으로 높은 값을 보였다(상완: z = -2.023, r = 0.91, p = .043; 전완: z = -2.023, r = 0.91, p = .043).

5. 트레일 팔 각속도

Leg Kick과 Toe Tap 조건에서 나타난 트레일 각속도는 <Table 5>에 제시하였다. EV1, EV2, EV4, EV5에서는 두 조건 간 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나, EV3에서 상완과 전완 모두 Leg Kick 조건이 Toe Tap 조건에 비해 상대적으로 높은 값을 보였다(상완: z = -2.023, r = 0.91, p = .043; 전완: z = -2.023, r = 0.91, p = .043).

6. 지면반력 변인

Leg Kick과 Toe Tap 타격 방식에 따른 하체 지면반력의 비교 결과는 <Table 6>에 제시하였다. Lead Leg에서 나타난 지면반력은 Leg Kick 조건에서 평균 1.51±0.33으로 나타나, Toe Tap 조건의 1.40±0.21보다 상대적으로 높은 값을 보였다. 통계 분석 결과 두 조건 간 차이가 나타났다(z = -2.023, r = 0.91, p = .043). 이는 Leg Kick이 체중 이동 과정에서 상대적으로 더 큰 수직 지면반력을 활용하고 있음을 시사한다.

반면 Trail Leg의 지면반력은 Leg Kick에서 1.12±0.04, Toe Tap에서 1.13±0.04으로 측정되어 두 조건이 매우 유사한 패턴을 보였으며, 통계적으로도 뚜렷한 차이가 없는 것으로 확인되었다(z = -0.674, r = 0.30, p = .500).

7. 배트 스피드

Leg Kick과 Toe Tap 타격 시 배트 스피드의 비교 결과는 <Table 7>에 제시하였다. Leg Kick 조건의 배트 스피드는 31.71±3.57, Toe Tap 조건은 32.34±2.60로 나타났으며, 두 조건 간의 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다(z = -0.944, r = 0.42, p = .345).

Table 5. Trail arm angular velocity between leg kick and toe tap Unit: °/s

Segment	Event	Leg kick	Toe tap	z	r	p
Upper arm	Stance	-20.59±13.19	-16.58±16.68	-0.944	.42	.345
	Load	-46.75±14.38	-59.66±21.88	-1.214	.54	.225
	Foot contact	59.37±56.55	-36.85±54.93	-2.023	.91	.043*
	Ball contact	331.33±212.88	338.57±232.76	-0.405	.18	.686
	Follow-through	259.87±96.85	258.35±109.66	-0.135	.06	.893
Forearm	Stance	-17.95±13.96	-10.52±14.37	-1.483	.66	.138
	Load	-42.95±15.94	-57.63±35.17	-1.214	.54	.225
	Foot contact	54.36±61.81	-34.86±37.16	-2.023	.91	.043*
	Ball contact	683.06±293.55	653.34±327.11	-1.214	.54	.225
	Follow-through	432.33±140.32	438.57±135.14	-0.135	.06	.893

Note. EV1: Stance, EV2: Load, EV3: Foot contact, EV4: Ball contact, EV5: Follow-through

Table 6. Ground reaction force between leg kick and toe tap Unit: N/kg

Segment	Leg kick	Toe tap	z	r	p
Lead leg	1.51±0.33	1.40±0.21	-2.023	.91	.043*
Trail leg	1.12±0.04	1.13±0.04	-0.674	.30	.500

Table 7. Bat speed between leg kick and toe tap Unit: m/s

Variable	Leg kick	Toe tap	z	r	p
Bat speed	31.71±3.57	32.34±2.60	-0.944	.42	.345

DISCUSSION

본 연구는 프로야구 선수를 대상으로 Leg Kick과 Toe Tap이라는 두 가지 하체 동작 전략에 따라 타격 시 나타나는 운동학적 특성과 지면반력의 차이를 비교하였다. 타격 동작은 지면반력(GRF)의 생성과 신체 분절의 회전이 연속적으로 이루어지는 복합적인 움직임으로, 하체 전략의 차이는 각속도, GRF, 배트 스피드와 같은 주요 변인에 일정 부분 영향을 줄 수 있다(Fortenbaugh, Fleisig, Onar-Thomas & Asfour, 2011; Ae et al., 2017). 이러한 점에서 본 연구는 동일 선수를 대상으로 두 전략을 비교하여, 타격 과정에서 나타나는 움직임 특성의 차이를 확인하고자 하였다.

분석 결과, EV3(리드풋 접지) 시점에서 Leg Kick은 Toe Tap에 비해 무릎과 골반 각속도에서 상대적으로 높은 값을 보였다. 이는 하체의 전이 동작이 크게 나타나는 전략에서 접지 시점의 회전 속도가 증가하는 경향과 관련된 결과로 볼 수 있으며, 선행연구에서 보고된 결과와 유사한 흐름을 보인다(Ae et al., 2017; Ae, Burke, Kawamura & Koike, 2020; Almansoof, Nuhmani & Muaidi, 2023). 리드 다리의 착지는 타격 동작에서 중요한 전환 시점으로 작용하는데(Ohta et al., 2015), Leg Kick의 경우 상대적으로 큰 동작 범위가 이러한 차이에 영향을 미쳤을 가능성이 있다.

특히 EV3 시점은 하체 동작이 준비 단계에서 실제 스윙 동작으로 전환되는 구간이라는 점에서 중요한 의미를 가진다. Leg Kick과 Toe Tap은 모두 리드풋 접지 이후 본격적인 회전 동작으로 이어지지만, 두 전략은 접지 이전까지의 움직임 양상에서 차이를 보일 수 있다. 본 연구에서 EV3 시점에 하지뿐 아니라 몸통과 상지 분절에서도 조건 간 차이가 나타난 것은, 하체 전략에 따른 준비 동작의 차이가 접지 시점에서 여러 분절에 동시에 반영되었기 때문으로 해석할 수 있다.

몸통과 상지 분절에서도 EV3 시점에서 조건 간 차이가 나타났는데, 이는 실제 스윙 구간에서의 최대 속도 차이라기보다는 접지 이전 단계에서 형성된 움직임의 차이가 이후 분절의 움직임에 영향을 준 결과로 이해할 수 있다. 즉, 두 전략 간 차이는 특정 시점에서의 단일 분절 변화라기보다, 타격 과정 전반에 걸쳐 이어지는 움직임 준비 방식의 차이로 보는 것이 보다 자연스럽다.

한편 본 연구는 티 배팅 환경에서 수행되었기 때문에 실제 경기 상황과는 차이가 존재한다. 티 배팅은 투구 속도나 구종 변화에 대한 대응이 필요하지 않기 때문에, 시간적 제약이 상대적으로 적고 타이밍 조절의 부담도 낮은 조건에서 이루어진다(Washington & Oliver, 2018). 따라서 본 연구에서 나타난 결과는 이러한 실험 조건을 고려하여 해석할 필요가 있으며, 실제 경기 상황에서는 다른 양상이 나타날 가능성도 있다.

지면반력 분석에서는 Lead Leg에서 Leg Kick이 Toe Tap보다 상대적으로 높은 값을 보였는데, 이는 스트라이드 동작이 지면반력의 크기와 발생 양상에 영향을 줄 수 있다는 기존 연구와 일관된 결과이다(Messier & Owen, 1986). 리드 다리의 접지는 신체의 전진을 제어하고 안정적인 지지 기반을 형성하는 역할을 수행하며(Fortenbaugh et al., 2011; Ae et al., 2017), Leg Kick의 동작 특성이 이러한 차이에 영향을 준 것으로 볼 수 있다.

반면 Trail Leg에서는 두 조건 간 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 이는 타격 과정에서 트레일 다리가 초기 움직임과 균형 유지에 기여하지만, 실제 회전 동작이나 힘의 전달 과정에서는 리드 다리가 보다 중요한 역할을 수행한다는 기존 연구 결과와 유사한 흐름을 보인다(Ae et al., 2017). 이러한 점은 하체 전략의 차이가 모든 분절에 동일하게 나타나는 것이 아닌 특정 분절과 시점에서 차이를 보일 수 있음을 시사한다.

배트 스피드는 두 전략 간 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 이는 배트 스피드가 특정 단일 변인에 의해 결정되기보다는 분절 간 타이밍, 움직임의 조절, 그리고 다양한 기술적 요인이 함께 작용한 결과로 이해할 수 있다(Schneider et al., 2023). Haruna, Doi, Habu, Yasumoto와 Hongu (2023)는 역시 배트 스피드는 근력뿐만 아니라 기술 수준과 분절 간 협응 등의 영향을 받는다고 보고한 바 있다. 이러한 점에서 볼 때 하체 전략의 차이가 일부 변인에서는 차이를 보였더라도, 최종적인 결과에서는 유사한 수준을 유지한 것으로 해석하는 것이 타당하다.

또한 Foot Contact 시점에서 각속도 차이가 나타났음에도 배트 스피드에서는 차이가 나타나지 않은 점은, 해당 시점에서의 각속도 차이가 단순한 크기의 차이만을 의미하지 않을 가능성을 시사한다. 즉, 전략 간 차이는 각속도의 방향성이나 이후 스윙 구간에서의 타이밍 조절 방식과 관련되어 나타났을 수 있으며, 이러한 차이가 최종적인 배트 스피드에 동일하게 반영되지 않았을 가능성이 있다. 따라서 EV3 시점에서의 차이는 최종 결과 자체보다는, 두 전략이 스윙 전환 구간을 준비하고 이어가는 방식의 차이를 반영한 결과로 이해할 수 있다.

종합하면, Leg Kick과 Toe Tap은 각각 다른 움직임 특성을 보였으며, 특정 시점에서 각속도와 지면반력에서 차이가 확인되었다. 그러나 이러한 차이가 모든 변인에서 일관되게 나타나는 것은 아니었으며, 특히 배트 스피드와 같은 결과 변인에서는 유사한 양상이 나타났다. 이는 하체 전략이 타격 동작의 일부 특성에는 영향을 줄 수 있지만, 전체적인 수행 결과는 다양한 요인의 영향을 받는다는 점을 보여준다.

따라서 두 전략은 단순히 우열로 구분하기보다는, 선수의 특성이나 상황에 따라 선택적으로 활용될 수 있는 기술적 선택으로 이해하는 것이 바람직하다. 다만 본 연구는 대상자 수

가 제한적이고 티 배팅 환경에서 수행되었다는 점에서 결과를 일반화하는 데에는 한계가 있으며, 향후에는 보다 다양한 조건과 충분한 표본을 기반으로 한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서는 수직 지면반력 성분을 중심으로 분석을 수행하였으며, 전후 및 좌우 방향의 지면반력 성분은 포함하지 않았다. 이러한 점은 타격 동작에 대한 보다 다양한 해석을 제한할 수 있으므로, 향후 연구에서는 다방향 지면반력 분석이 필요할 것으로 생각된다.

CONCLUSION

본 연구는 프로야구 선수를 대상으로 Leg Kick과 Toe Tap 타격 전략에 따른 운동학적 특성과 지면반력의 차이를 비교하였다. 분석 결과, Leg Kick은 리드풋 접지 시점에서 일부 분절의 각속도와 리드 다리 지면반력에서 상대적으로 높은 값을 보였으나, 배트 스피드에서는 두 전략 간 차이가 나타나지 않았다.

이러한 결과는 하체 동작 전략이 타격 과정의 특정 기전에는 영향을 미칠 수 있으나, 최종 수행 결과는 다양한 요인의 상호작용에 의해 결정될 수 있음을 보여준다. 따라서 두 전략은 우열의 관점에서 구분하기보다는 선수의 신체 조건이나 경기 상황에 따라 선택적으로 활용될 수 있는 기술적 옵션으로 이해할 필요가 있다.

본 연구는 소규모 표본과 티 배팅 환경이라는 제한된 조건에서 수행되었다는 점에서 결과 해석에 한계가 있으며, 향후에는 실제 경기 상황을 반영한 다양한 조건과 충분한 표본을 기반으로 한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is derived from the master's thesis of Han-Beom Kim.

REFERENCES

Ae, K., Koike, S., Fujii, N., Ae, M. & Kawamura, T. (2017). Kinetic analysis of the lower limbs in baseball tee batting. *Sports Biomechanics*, *16*(3), 283-296.

Ae, K., Burke, D., Kawamura, T. & Koike, S. (2020). Optimisation of the upper body motion for production of the bat-head speed in baseball batting. *Sports Biomechanics*, *23*(2), 196-210.

Ae, K., Koike, S. & Kawamura, T. (2020). Kinetic function of the lower limbs during baseball tee-batting motion at different hitting-point heights. *Sports Biomechanics*, *19*(4), 452-466.

Almansoof, H. S., Nuhmani, S. & Muaidi, Q. (2023). Role of kinetic chain in sports performance and injury risk: A narrative review. *Journal of Medicine and Life*, *16*(11), 1591-1596.

DeRenne, C., Morgan, C. F., Hetzler, R. K. & Taura, B. T. (2008). National and state youth baseball coaching requirements. *The Sport Journal*, *11*, 1-17.

Dowling, B. & Fleisig, G. S. (2016). Kinematic comparison of baseball batting off of a tee among various competition levels. *Sports Biomechanics*, *15*(3), 255-269.

Flyger, N., Button, C. & Rishiraj, N. (2006). The science of softball: Implications for performance and injury prevention. *Sports Medicine*, *36*(9), 797-816.

Fortenbaugh, D., Fleisig, G., Onar-Thomas, A. & Asfour, S. (2011). The effect of pitch type on ground reaction forces in the baseball swing. *Sports Biomechanics*, *10*(4), 270-279.

Haruna, R., Doi, T., Habu, D., Yasumoto, S. & Hongu, N. (2023). Strength and conditioning programs to increase bat swing velocity for collegiate baseball players. *Sports*, *11*(10), 202.

Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (4th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Her, M. H., Choi, K. J. & Park, J. C. (2013). Kinematic analysis of professional baseball players batting motion. Korean *Journal of Sport Science*, *24*(2), 213-222.

Horiuchi, G., Nakashima, H. & Sakurai, S. (2021). Mechanical energy flow in torso during baseball toss batting. *Sports Biomechanics*, *23*(9), 1136-1146.

Inkster, B., Murphy, A., Bower, R. & Watsford, M. (2011). Differences in the kinematics of the baseball swing between hitters of varying skill. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *43*(6), 1050-1054.

Katsumata, H. (2007). A functional modulation for timing a movement: A coordinative structure in baseball hitting. *Human Movement Science*, *26*(1), 27-47.

Kevin, G. L., Stephanie, D. M., Robert, C. S. & Keith, M. (2010). Functional hip characteristics of baseball pitchers and position players. *American Journal of Sports Medicine*, *38*(2), 383-387.

Koike, S. & Mimura, K. (2016). Main contributors to the baseball bat head speed considering the generating factor of motion-dependent term. *Procedia Engineering*, *147*, 197-202.

Messier, S. P. & Owen, M. G. (1986). Mechanics of batting: Effect of stride technique on ground reaction forces and bat velocities. *Research Quarterly for Exercise and Sport*,

57(4), 329-333.

Monti, R. (2015). Return to hitting: An interval hitting progression and overview of hitting mechanics following injury. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *10*(7), 1059-1073.

Ohta, Y., Nakamoto, H., Ishii, Y., Ikudome, S., Takahashi, K. & Shima, N. (2015). Muscle activation characteristics of the front leg during baseball swings with timing correction for sudden velocity decrease. *PLOS ONE*, *10*(4), e0124113.

Orishimo, K. F., Kremenic, I. J., Modica, E., Fukunaga, T., McHugh, M. P. & Bharam, S. (2023). Lower extremity kinematic and kinetic factors associated with bat speed at ball contact during the baseball swing. *Sports Biomechanics*, *23*(12), 3406-3417.

Race, D. E. (1961). A cinematographic and mechanical analysis of the external movements involved in hitting a baseball effectively. *Research Quarterly*, *32*(3), 394-404.

Schneider, J., Takata, A. & Aguinaldo, A. (2023). Differences in the energy flow, ground reaction force, and impulse during baseball tee batting between high school and collegiate baseball players. *ISBS Proceedings Archive*, *41*(1), 94.

Washington, J. K. & Oliver, G. D. (2018). Kinematic differences between hitting off a tee versus front toss in collegiate softball players. *International Biomechanics*, *5*(1), 30-35.

Zatsiorsky, V. (1990). In vivo body segment inertia parameters determination using a gamma-scanner methods. *Biomechanics of Human Movement*, 186-202.