KJSB Korean Journal of Sport Biomechanics 2020; 30(3): 205-215
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2020.30.3.205
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Angular Kinematic and Cross-correlation Analysis between Body Segments and Ski among Alpine Ski Turning Techniques

알파인 스키 회전기술에 따른 인체분절과 스키 간 각운동학 및 상호상관분석

Joo-Nyeon Kim

Korea Institute of Sport Science, Seoul, South Korea

Received : 20 May 2020
Revised : 26 June 2020
Accepted : 25 July 2020

Corresponding Author
Joo-Nyeon Kim
Korea Institute of Sport Science,
727 Hwarang-ro Nowon-gu
Seoul, 01794, South Korea
Tel : +82-10-8164-4152
Fax : +82-43-539-5935
Email : jnkim@kspo.or.kr

Objective: The purpose of this study was to investigate the relative angles and cross-correlation between body segments and ski among four alpine ski turning techniques.

Method: 19 alpine ski instructors participated in this study. Each skier asked to perform 4-types of turning technique, classified by radius and level. 8 inertial measurement units were used to measure orientation angle of segment and ski on the anteroposterior and vertical axis.

Results: Significant differences were found between types of turning in the segments-ski relative angle on the anteroposterior and vertical axis (p<.05). Although, cross-correlation showed a high correlation between angles of segment and ski, there were significant differences between types of turning.

Conclusion: Based on our results, the relative movement and timing between each segment and ski is different according to the turning techniques, so the training methods should be applied differently.

Keywords: Alpine ski, Turning technique, Angular kinematic, Cross-correlation

INTRODUCTION

알파인 스키는 시계방향과 반시계방향의 반복되는 원운동(circular motion)을 통해 경사진 설면을 활주하는 스포츠이다. 스키어는 활주속도와 회전반경(radius)을 조절하여 원하는 궤도로 활주하기 때문에, 모든 회전기술은 이 두 가지를 조절하기 위한 목적으로 발전되어 왔다.

알파인 스키의 회전기술에 대한 운동역학적 연구들은 회전반경과 활주속도를 조절하는 스킹에 대해 다양한 요인으로 해석하고 있다. Federolf, Lüthi, Roos와 Dual (2010), Kim와 Kim (2017), Reid 등 (2009), Supej와 Holmberg (2010)는 회전반경을 짧게 변화시키기 위해서 에징각도(edging angle)와 지면반력(ground reaction force)을 증가시켜야 하고, 이로 인해 운동에너지(kinetic energy) 소실과 활주궤도(trajectory)가 변화한다고 보고하였다. 또한 Hirano (2006), Tada와 Hirano (2002)는 에징각도 뿐만 아니라 어택각도(attack angle)가 크게 형성될수록 설면과 스키 사이의 마찰이 커져 활주속도가 줄어들고 회전반경이 짧아진다고 보고하였다. 어택각도는 스키의 속도벡터(velocity vector)보다 스키의 방향을 회전의 안쪽으로 향하게 하여 스키의 옆면으로 사이드 슬라이딩(side sliding)이 발생하게 하는 기술인 스키딩턴(skidding turn)에서 볼 수 있는 요인이다. 대체로 스키딩턴은 활주속도를 느리게 만들기 때문에 기초기술에서 많이 활용되고 있다(Klous, Müller & Schwameder, 2012). 반대로 활주속도를 높이기 위해 사이드 슬라이딩이 일

Copyright © 2020 Korean Journal of Sport 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.

어나지 않게 활주하는 기술인 카빙턴(carving turn)은 어택각도를 최소화하여, 스키의 휘어짐(bending)에 의해 형성되는 기하학적 곡선을 회전반경으로 한다(Federolf, Roos, Lüthi & Dual, 2010; Heinrich, Mössner, Kaps & Nachbauer, 2010). 따라서 카빙턴은 빠른 속도로 활주함과 동시에 오직 스키의 휘어짐으로 회전반경을 조절해야 하기 때문에, 상급기술로 분류된다.

대한스키지도자연맹(Korea Ski Instructor Association, KSIA)에서는 회전반경과 기술의 난이도에 따라 네 가지 유형의 회전기술로 분류하여 기술향상을 위한 가이드 라인을 제시해오고 있다(KSIA, 2019). 먼저 회전반경에 따라 롱턴(long turn)과 숏턴(short turn)으로 분류하고, 기술의 난이도에 따라 스키딩을 이용해 비교적 저속으로 활주하는 베이직턴(basic turn)과 카빙을 이용해 고속으로 활주하는 카빙턴(carving turn)으로 분류하였다. 따라서 회전반경과 난이도에 따라 분류된 회전기술은 베이직 롱턴, 베이직 숏턴, 카빙 롱턴, 카빙 숏턴으로 정리되어 생활체육스키어의 수준과 요구에 맞는 가이드 라인이 제시되고 있다. 일반적으로 스키를 기초적으로 다루는 방법을 익힌 생활체육스키어는 양쪽 스키를 11자로 정렬하여 느린 속도로 활주할 수 있는 베이직 롱턴을 가장 먼저 습득하게 되고(Müller et al., 1998), 베이직 숏턴, 카빙 롱턴, 카빙 숏턴을 순차적으로 익히면서 상급 스키어로 거듭나게 된다.

알파인 스키는 근력을 이용해 추진력을 발생시키는 다른 종목과는 다르게, 슬로프의 경사와 중력에 의해 추진력이 발생하는 스포츠이다(Lind & Sanders, 2003). 따라서 추진력을 내기 위한 동작이 요구되지 않으며, 추진(propulsion)을 위한 동작에 비해 제동(breaking)의 수준을 조절하는데 기술의 목적이 있다. 즉, 위치에너지로부터 전환되는 운동에너지를 소실(dissipation)시켜 원하는 형태의 회전을 만들어내야 하기 때문에(Supej, 2008), 외력(external force)를 이용하기 위한 다양한 형태의 움직임이 요구된다(Gilgien, Spörri, Chardonnens, Kröll & Müller, 2013). 스키어가 회전할 때 가장 큰 외력으로 작용하는 것은 설면과 스키 사이의 반력(ski-snow reaction force)이고, 이 반력은 스키어의 자세에 따라 다양한 형태로 변화된다. 따라서 자세에 대한 대부분의 스키 용어는 스키에 대한 인체분절의 상대적인 움직임으로 표현된다(LeMaster, 2010; Lind & Sanders, 2003). 예를 들어, 에징각도를 증가시키기 위한 주된 동작으로 사용되는 무릎 앵귤레이션(knee angulation)이나 힙 앵귤레이션(hip angulation)은 속도벡터에 수직으로 형성되는 면에 투영되는 무릎관절과 엉덩관절 각도로 정의된다(Reid, 2010; Supej, 2010). 즉, 스키의 전후축(anteroposterior axis)에 대한 근위분절의 움직임이 에징각도를 결정하는 주된 움직임으로 나타나는 것이다(Kim, 2018). 또한 스키의 수직축(vertical axis) 움직임에 대한 근위분절의 움직임에 따라 내향(rotation position), 중립 자세(neutral position) 그리고 외향 자세(counter rotation position)로 정의된다(Yoon et al., 2017). 특히 알파인 스키어에게 선호되는 외향 자세는 회전이 발생하는 구간에서 에징각도와 신체중심 기울기(center of mass inclination [COM inclination]), 무릎과 힙 앵귤레이션을 증가시킨다고 보고되고 있다(Greenwald, Senner & Swanson, 2001; Müller et al., 1998). 하지만 지금까지의 알파인 스키 연구는 3차원 운동학적 분석이 이뤄지지 않거나, 무릎이나 허리 같이 부상위험이 있는 단일관절 또는 인접분절에 대해서만 분석되었기 때문에(Kim, Jeon et al., 2014; Spörri, Kröll, Haid, Fasel & Müller, 2015), 알파인 스키 현장에 일반화시키기 위해 추가적인 해석이 요구되고 있다.

알파인 스키와 같이 리드미컬한 움직임이 반복적으로 이뤄지는 운동에서는 분절 간 상대각의 크기 이상으로 분절 간의 커플링(inter-segment coupling)의 중요성에 대해 강조되고 있다. 운동역학 영역에서 분절 간의 커플링은 연속상대위상(continuous relative phase)을 사용해 각속도-각도 영역에서 움직임의 유사성 형태(in-phase or anti-phase)를 밝히거나(Kim, 2018), 상호상관분석(cross-correlation analysis)을 통해 유사성의 수준(coefficient)과 시간 지연(time-lag)을 밝힌다(Horan & Kavanagh, 2012; Pouliquen et al., 2018). 알파인 스키에서는 종목 특성에 따라 모든 분절이 동일한 방향으로 반복적으로 회전하는 유사한 형태(in-phase)를 타내는 움직임으로 보고되고 있지만(Kim, 2018), 분절 간 움직임의 시간차가 회전기술에 미치는 영향에 대한 조사는 이뤄지지 않았다.

알파인 스키의 터닝 메커니즘(turning mechanism)과 현장에서의 교수법 고려했을 때, 인접분절의 관계보다 스키에 대한 각 분절의 상대적인 움직임을 밝히고, 더 나아가 그 움직임의 유사성 및 시간차에 대한 해석이 알파인 스키 현장에 더욱 원활하게 적용될 수 있다(Kim, 2018). 따라서 본 연구의 목적은 대한스키지도자연맹에서 제시하는 네 가지 회전기술을 습득하는데 필요한 스키와 각 분절 간의 운동학적 분석을 실시하여, 알파인 스키의 회전기술 훈련에 필요한 정량적 자료를 제시하는 것이다. 이를 위해, 첫째로 각 스킹구간에서 나타나는 근위분절과 스키 간의 상대각을 조사하고, 두 번째로 근위분절의 방향각과 스키의 방향각 간의 상호상관분석을 통해 두 분절 움직임에 대한 유사성과 시간차를 조사하였다.

METHOD

1. 연구대상자

본 연구의 대상자로 상·하지 근골격계 상해 병력이 없고 대한스키지도자연맹(KSIA)에 소속되어 있는 남자 알파인 스키 강사 19명(age: 33.27±6.53 yrs, body mass: 76.42±5.88 kg, height: 176.33±6.19 cm, career: 13.71±4.13)이 참여하였다. 모든 대상자들은 실험에 참여하기 전 실험과정에 대한 자세한 설명을 듣고 동의서를 통해 참여의사를 나타낸 대상자에 한하여 참여하

였다. 모든 대상자는 대한스키지도자연맹에서 데몬스트레이션(demonstration)과 티칭(teaching) 시험을 통해 선별하는 가장 높은 레벨의 정강사(level 3) 자격을 소유한 자로서, 베이직 롱턴, 카빙 롱턴, 베이직 숏턴, 카빙 숏턴을 데몬스트레이션 할 수 있는 강사를 선정하였다.

2. 실험절차

알파인 스키 회전기술에 따른 알파인 스키어의 각 분절의 운동학적 분석을 실시하기 위해, 관성센서(myoMOTION, Noraxon, USA) 8채널을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 관성센서는 자이로스코프(gyroscopes), 가속도계(accelerometers), 자기계(magnetometers)가 포함되어 있다. 여기서 자기계는 지구 자기장(earth magnetic field)에 대한 센서의 방향을 측정하고, 가속도계는 중력을 반영한 3차원의 선가속도 측정하며, 이 정보들은 자이로스코프에서 적분되어 산출된 관성센서의 방향각을 지속적으로 수정하는데 사용하였다(Krüger & Edelmann-Nusser, 2010). 각 관성센서는 양측 발(foot), 하퇴(shank), 대퇴(thigh) 그리고 골반(pelvis)과 몸통(trunk)에 부착하였다(Figure 1). 스키와 부츠는 바인딩을 통해 고정되어 있기 때문에, 부츠에 부착된 관성센서에서 측정되는 운동학적 데이터는 스키의 움직임으로 가정하였다. myoRESEARCH 3 (Noraxon, USA) 프로그램을 이용해 관성센서를 통제하였고, 샘플링율(sampling rate)은 200 Hz로 설정하였다. 관성센서의 신호를 수집하기 위해 수신기(receiver)와 노트북을 장착한 팔로워(follower)가 동작을 수행하는 알파인 스키어와 일정거리를 유지하며 추적하였다. 제조사별 소재 또는 구조적인 특징의 차이가 알파인 스키 회전기술에 미치는 영향을 제거하기 위해 16/17 Rossignol Hero Elite ST Ti (length: 167 cm, radius: 12.5 m; Rossignol, France)를 모든 스키어가 동일하게 사용하였다.

본 실험에 들어가기 전에 실험절차와 부상발생 시 대처 방안 등에 대한 구체적인 설명을 진행한 뒤, 준비운동 시간을 제공하고, 성공적인 회전기술 수행을 위해 충분한 사전 연습시간을 제공하였다. 모든 알파인 스키어는 평균경사 15°의 정설된 슬로프에서 네가 지 회전기술(베이직 롱턴, 카빙 롱턴, 베이직 숏턴, 카빙 숏턴)을 수행하였으며, 각 회전기술의 수행 순서는 무작위로 선정하여 진행하였다. 이때 스키어의 자연스러운 동작을 제한하지 않으면서 회전반경을 통제하기 위해 전체 슬로프에서 폭 30 m, 길이 600 m로 활주영역을 설정하고, 베이직 숏턴과 카빙 숏턴은 30회전, 베이직 롱턴과 카빙 롱턴은 12회전을 수행하도록 지시하였다.

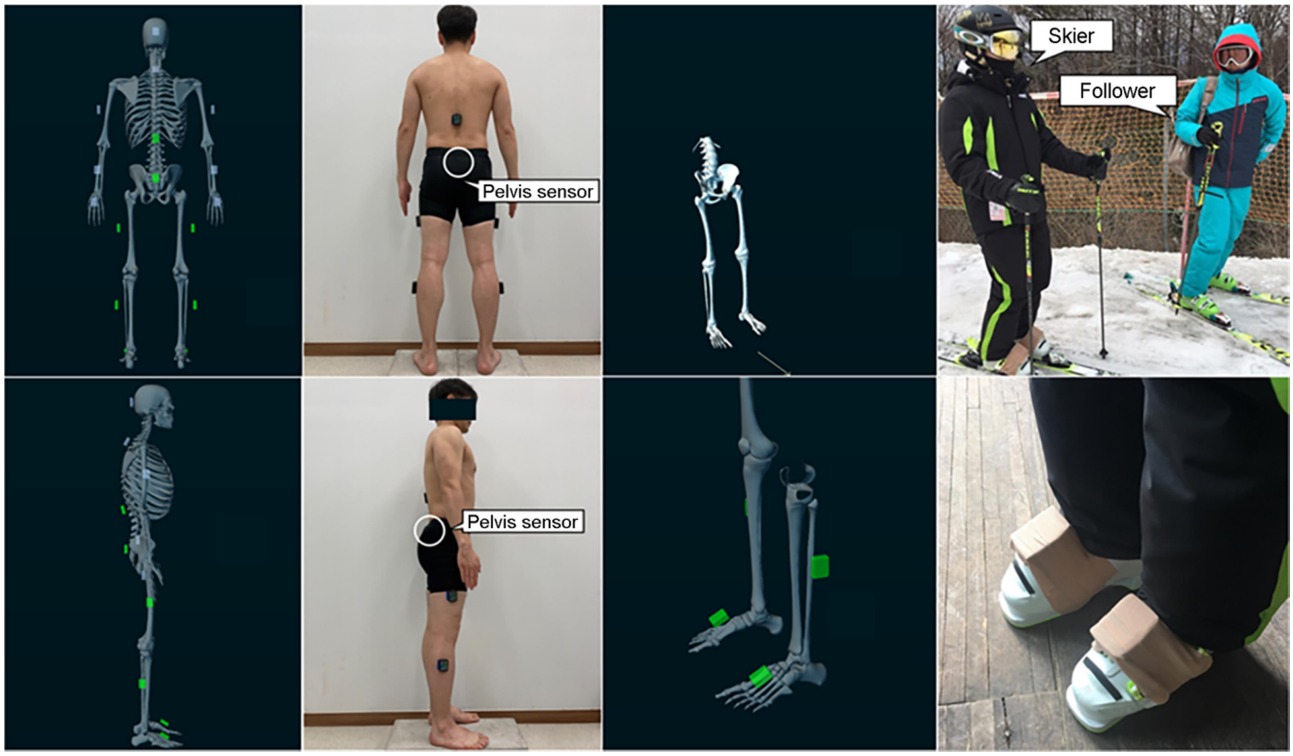

Figure 1. The attachment position of 8 Inertial measurement unit and measurement set-up.

3. 자료처리

자료처리는 Matlab R2016a (The mathworks, USA)를 사용하였다. 각 회전기술은 모두 처음 두 회전과 마지막 두 회전을 제외한 연속된 다섯 번의 회전에 대하여 자료처리를 실시하였다. 회전방향을 기준으로 안쪽과 바깥쪽을 구분하고, 회전기술에 주된 역할을 하는 바깥쪽 스키와 분절의 움직임에 대해 분석하였다(Kim et al., 2014). 알파인 스키에서 주된 움직임으로 언급되는 앵귤레이션(angulation)과 외향(counter rotation)을 고려하여, 전후축과 수직축에서 스키의 방향각(orientation angle)에 대한 각 분절의 상대각을 산출하여 비교분석 하였다(Kim, 2018). 관성센서를 통해 수집된 각 분절의 방향각은 수집과정에서 발생한 오차(noise)를 최소화하기 위해 Butterworth 2nd order low-pass filter를 사용하였으며, 차단주파수(cut-off frequency)는 6 Hz로 설정하였다(Spörri et al., 2015).

분석구간은 스키의 수직축에서 나타나는 방향각의 파고값(±peak value)을 뉴트럴 포지션(neutral position: 설면과 스키가 평행하여 더 이상 회전이 일어나지 않는 시점)으로 가정하여 이전 파고값에서 이후 파고값까지를 한 주기(a cycle)로 설정하였다(Kim, 2018). 각 분절과 스키 간의 상대각은 회전의 특성에 따라 4가지 국면으로 나눠 분석하였다. 먼저, 뉴트럴 포지션에서 스키의 방향이 바뀌기 직전까지의 직선진입구간인 Initiation phase, 최대경사선(fall-line)까지의 초기 회전구간인 Steering phase 1, 최대경사선부터 다음 직선구간 진입 전까지의 Steering phase 2, 회전이 끝나고 다음 뉴트럴 포지션까지의 Completion phase로 분석구간을 설정하였다(Reid, 2010; Spörri, Kröll, Schwameder, Schiefermüller & Müller, 2012).

각 분절과 스키의 움직임 간에 유사성(similarity)을 검증하기

Table 1. Mean ± SD of segments-ski angle on the anteroposterior axis and one-way repeated ANOVA results (unit: deg)

Anteroposterior axis	Types of turning				*F*-value (*p*-value)	Post hoc
	Basic long	Carving long	Basic short	Carving short		
Initiation phase						
Trunk-ski	6.59±2.38	8.11±3.97	-6.06±5.53	4.35±8.32	**26.739 (.000)**	BS < CS/BL/CL
Pelvis-ski	7.96±1.77	11.63±3.39	1.38±4.09	9.91±4.97	**30.452 (.000)**	BS < BL/CS/CL, BL < CL
Thigh-ski	8.02±1.85	12.93±2.94	-0.24±5.59	7.87±5.25	**33.629 (.000)**	BS < CS/BL <CL
Shank-ski	4.19±1.29	1.66±1.41	1.81±2.35	1.70±1.74	**9.246 (.000)**	CL/CS/BS < BL
Steering phase 1						
Trunk-ski	5.43±2.75	18.58±3.71	9.45±5.04	21.69±6.74	**54.890 (.000)**	BL/BS < CL/CS
Pelvis-ski	6.57±2.60	21.41±3.29	17.11±4.24	27.01±4.87	**113.520 (.000)**	BL < BS < CL < CS
Thigh-ski	6.39±2.17	17.19±2.37	11.00±3.32	18.67±4.11	**56.993 (.000)**	BL < BS <CL/CS
Shank-ski	1.98±1.28	1.09±1.38	2.10±2.16	2.42±1.99	**1.954 (.132)**	–
Steering phase 2						
Trunk-ski	10.86±3.34	21.49±3.93	18.03±3.92	26.42±5.36	**44.165 (.000)**	BL < BS/CL < CS
Pelvis-ski	11.25±2.64	23.64±3.21	24.77±4.24	30.29±3.63	**122.636 (.000)**	BL < CL/BS < CS
Thigh-ski	5.43±2.35	19.10±2.22	15.92±3.26	18.09±4.22	**70.626 (.000)**	BL < BS/CS/CL, BS < CL
Shank-ski	2.29±1.82	0.46±1.40	2.06±1.89	1.86±1.97	**4.015 (.012)**	CL < BS/BL
Completion phase						
Trunk-ski	10.95±2.76	14.97±2.87	15.73±3.22	17.24±6.74	**7.086 (.000)**	BL< CL/BS/CS
Pelvis-ski	10.48±2.62	15.58±2.94	21.03±3.74	19.45±3.54	**44.022 (.000)**	BL < CL <CS/BS
Thigh-ski	4.23±2.27	13.22±2.19	12.37±3.00	7.76±5.21	**26.808 (.000)**	BL/CS < BS/CL
Shank-ski	0.91±1.75	-0.46±1.49	1.77±1.65	0.46±1.75	**6.441 (.001)**	CL < BL/BS

Note. Bold: a significant difference at $p < .05$. BL: basic long turn, CL: carving long turn, BS: basic short turn, CS: carving short turn

Table 2. Mean ± SD of segments-ski angle on the vertical axis and one-way repeated ANOVA results (unit: deg)

Vertical axis	Types of turning				*F*-value (*p*-value)	Post hoc
	Basic long	Carving long	Basic short	Carving short		
Initiation phase						
Trunk-ski	6.32±5.54	5.38±7.21	8.28±4.03	6.09±4.29	.950 (.423)	–
Pelvis-ski	2.64±5.92	8.73±4.34	11.49±3.69	10.64±4.03	**13.196 (.000)**	BL < CL/CS/BS
Thigh-ski	8.83±4.97	14.58±5.35	18.18±5.81	20.18±5.47	**15.179 (.000)**	BL < BS/CS
Shank-ski	7.28±4.46	5.55±4.75	4.67±2.71	4.02±2.81	2.681 (.119)	–
Steering phase 1						
Trunk-ski	-5.03±6.12	-15.69±8.16	-7.21±4.10	-7.32±4.27	**11.738 (.000)**	CL < BL/BS/CS
Pelvis-ski	-3.78±5.76	-0.98±4.91	1.98±3.79	2.50±3.45	**7.420 (.000)**	BL < BS/CS
Thigh-ski	6.43±4.90	14.01±5.59	19.27±4.76	23.05±4.08	**40.984 (.000)**	BL < CL/BS < CS
Shank-ski	6.50±4.32	2.79±5.74	4.42±2.80	4.17±3.48	2.518 (.068)	–
Steering phase 2						
Trunk-ski	-22.83±5.67	-21.25±7.17	-20.89±3.48	-17.05±4.38	**3.953 (.013)**	BL < BS/CS
Pelvis-ski	-11.13±6.41	-4.63±4.39	-9.89±3.35	-7.93±3.27	**6.973 (.000)**	BL/BS < CL
Thigh-ski	11.41±5.43	12.92±5.46	12.53±4.43	14.62±3.59	1.318 (.278)	–
Shank-ski	6.79±4.37	4.71±5.52	4.79±3.24	3.95±3.92	1.506 (.223)	–
Completion phase						
Trunk-ski	-21.87±6.11	-15.11±6.06	-25.11±3.48	-18.05±4.52	**13.438 (.000)**	BS < CS/CL, BL < CL
Pelvis-ski	-14.57±5.75	-10.39±3.67	-17.08±3.08	-14.47±3.13	**8.343 (.000)**	BS < CS < CL
Thigh-ski	7.65±5.60	1.86±5.00	2.85±4.76	1.14±3.49	**6.524 (.001)**	CS/CL < BL
Shank-ski	11.91±4.40	8.58±5.14	5.58±3.31	3.53±3.58	**15.124 (.000)**	CS < BS/CL/BL, CL< BL

Note. Bold: a significant difference at $p<.05$. BL: basic long turn, CL: carving long turn, BS: basic short turn, CS: carving short turn

위해, 상호상관관계(cross-correlation)을 사용하여 분석하였다. 먼저, 상호상관계수(cross-correlation coefficient)를 산출하여 유사도를 평가하고, 시간차(time-lags)를 산출하여 분절과 스키 간의 순차적인 움직임을 조사하였다.

4. 통계처리

통계처리는 SPSS 23.0 (IBM, USA)을 사용하였다. 네 가지 회전기술 수행 시 나타나는 각 분절-스키 간 상대각의 차이를 분석하기 위해 반복측정 일원변량분석(one-way ANOVA with repeated measure)을 사용하였다. 사후검정으로 Bonferroni correction을 실시하였고, 모든 통계치의 유의수준은 α=.05로 설정하였다.

RESULTS

1. 분절-스키 상대각(전후축)

전후축에서 나타나는 각 분절과 스키 간의 각도는 신체중심 기울기를 증가시키기 위한 각 분절의 안쪽 기울기(inward leaning) 동작을 나타내는 것으로, 양의 값(positive value)은 분절이 스키에 비해 수직축에 가깝게 서 있는 것을 의미하고, 음의 값(negative value)은 분절이 스키보다 회전의 안쪽으로 기울어져 있는 것을 의미한다(Figure 2-A). 각 회전국면의 특성에 따라 각 회전기술 간 유의한 차이를 나타냈으며($p<.05$), 각 회전기술 간 사후검정 결과는 (Table 1) 나타냈다.

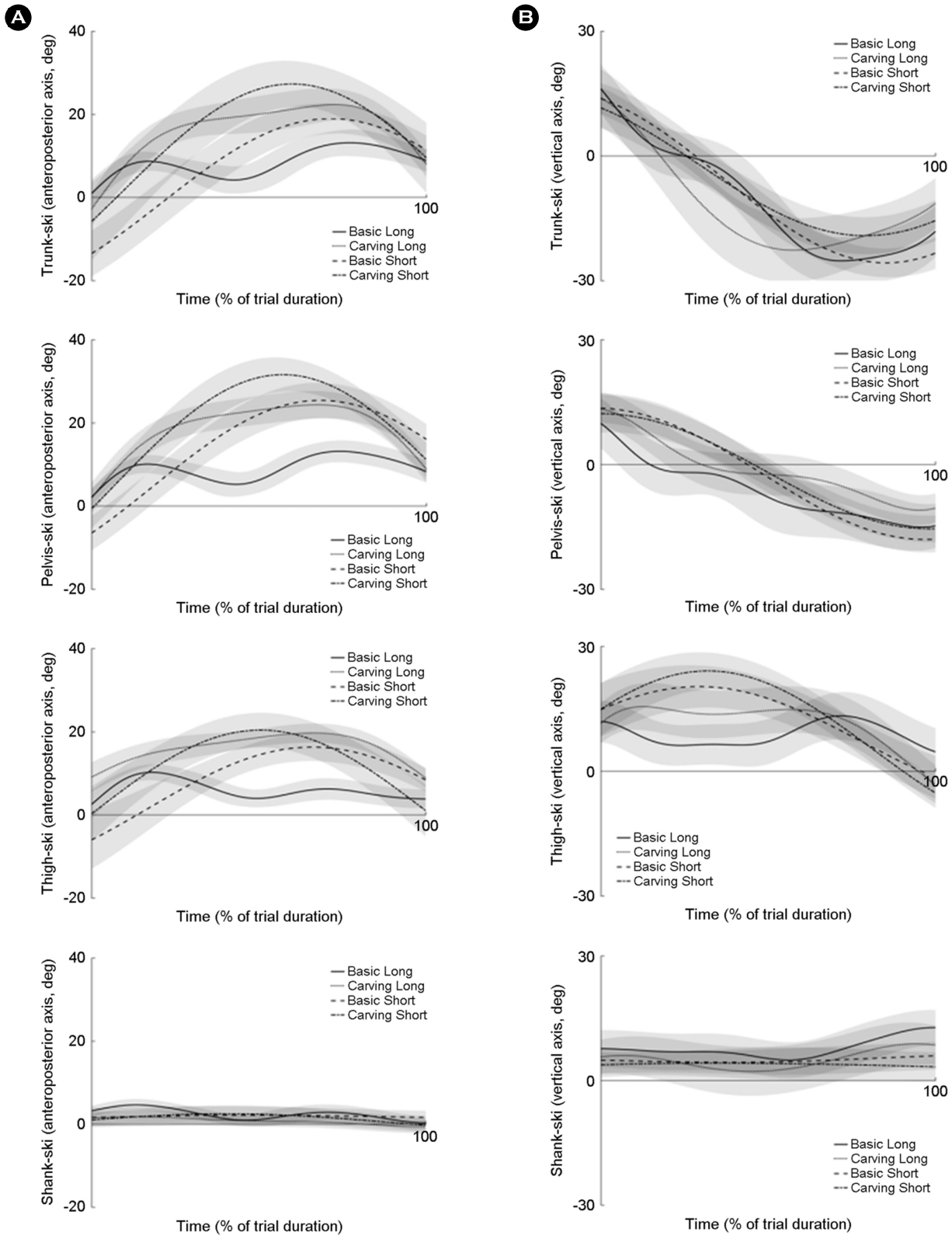

Figure 2. Average and standard deviation curves for the segments-ski relative angle on the anteroposterior axis (A) and on the vertical axis (B) during a skiing cycle (0~100%).

Table 3. Cross-correlation coefficient (R_{xy}) and time lags (τ) between segments and ski on the anteroposterior axis

Anteroposterior axis		Types of turning			
		Basic long	Carving long	Basic short	Carving short
Trunk-ski	R_{xy}	0.974±0.019	0.995±0.003	0.978±0.014	0.964±0.520
	τ	**0.033±0.030**	**0.035±0.021**	**0.026±0.010**	-0.031±0.011
Pelvis-ski	R_{xy}	0.966±0.026	0.994±0.004	0.985±0.016	0.983±0.022
	τ	**0.010±0.017**	**0.011±0.016**	**0.007±0.007**	**0.013±0.009**
Thigh-ski	R_{xy}	0.972±0.014	0.990±0.007	0.992±0.006	0.993±0.005
	τ	-0.008±0.011	-0.008±0.015	**0.002±0.005**	-0.012±0.008
Shank-ski	R_{xy}	0.995±0.002	0.999±0.001	0.998±0.002	0.999±0.001
	τ	-0.001±0.003	-0.005±0.005	-0.000±0.001	-0.001±0.002

Note. Positive time lag implies that the ski moved earlier than segment. bold: positive time lag

Table 4. Cross-correlation coefficient (R_{xy}) and time lags (τ) between segments and ski on the vertical axis

Vertical axis		Types of turning			
		Basic long	Carving long	Basic short	Carving short
Trunk-ski	R_{xy}	0.963±0.019	0.910±0.041	0.960±0.009	0.974±0.007
	τ	0.000±0.001	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
Pelvis-ski	R_{xy}	0.988±0.006	0.982±0.012	0.973±0.012	0.977±0.004
	τ	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
Thigh-ski	R_{xy}	0.990±0.008	0.950±0.032	0.994±0.004	0.977±0.010
	τ	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000
Shank-ski	R_{xy}	0.994±0.004	0.981±0.022	0.999±0.001	0.999±0.001
	τ	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000	0.000±0.000

2. 분절-스키 상대각(수직축)

수직축에서 나타나는 각 분절과 스키 간의 각도는 스키가 활주하는 방향에 비해 근위분절이 향하고 있는 방향각을 나타내는 것으로, 양의 값(positive value)은 분절이 스키에 비해 회전의 안쪽을 향하는 내향(rotation)을 의미하고, 음의 값(negative value)은 분절이 스키보다 회전의 바깥쪽을 향하는 외향(counter-rotation)을 의미한다(Figure 2-B). 각 회전국면의 특성에 따라 각 회전기술 간 유의한 차이를 나타냈으며(p<.05), 각 회전기술 간 사후검정 결과는 (Table 2) 나타냈다.

3. 분절-스킨 간 상호상관계수(R_{xy}) 및 시간차(τ)

상호상관분석 결과, 모든 회전기술에서 각 분절과 스키 간에 전후축 및 수직축 움직임에 대한 높은 상호상관을 나타냈고, 전후축 움직임에서는 각 분절과 스키 간의 시간차가 발견된 반면, 수직축 움직임에서는 시간차가 발견되지 않았다. 전후축과 수직축에서 나타난 상호상관계수와 시간차는 (Table 3)과 (Table 4)에 각각 나타냈다.

DISCUSSION

알파인 스키는 회전반경과 회전 메커니즘에 따라 크게 네 가지 기술로 분류되며, 각 회전기술의 특성에 따라 스키와 설면 간에 발생하는 외력에 대응하기 위한 스키어의 자세 변화가 요구된다. 회전을 이용해 속도와 궤도를 조절하는 알파인 스키의 특성 상, 시계방향의 회전과 반시계방향의 회전이 반복적으로 행해지며, 이에 따라 스키의 궤도도 반복적으로 변

화되기 때문에 현장에서 기술향상을 위해 사용되는 알파인 스키 용어는 스키의 방향각을 기준으로 한 수직축 및 전후축 움직임으로 정의된다. 따라서 본 연구에서는 스키와 근위분절 간의 상대각 분석을 통해 각 스킹구간에서 나타나는 알파인 스키어의 자세 변화를 조사하고, 상호상관분석을 통해 움직임의 유사성 및 시간차를 조사하여 각 회전기술에 따른 차이를 발견하였다.

1. 베이직 롱턴(Basic long turn)

베이직 롱턴 수행 시, 골반·대퇴와 스키 간의 수직축 상대각이 다른 회전기술에 비해 Initiation phase, Steering phase 1과 2에서 유의하게 감소한 반면, Completion phase에서 스키와 모든 근위분절 간 상대각이 증가된 것으로 나타났다. 베이직 롱턴은 흔히 베이직 패러렐 턴(basic parallel turn)이라고 불리우는 중급기술로 스키를 평행하게 두고 느린 속도로 활주하는 스키딩 기술이다. 강한 에징보다는 지속적인 사이드 슬라이딩을 이용해 활주속도를 줄이고 활주방향을 바꾸는 회전기술이기 때문에, 스키어는 에징각도를 증가시키는 동작보다는 지속적으로 어택각도를 유지하기 위한 동작을 나타낸다(Kim, Jeon et al., 2014; KSIA, 2019). 어택각도는 언웨이팅(unweighting)에 의해 스키에 하중이 가해지지 않는 Initiation phase에서 시작하며, 근위분절을 고정한 후 원위분절을 내회전(internal rotation)시켜 활주방향보다 안쪽으로 스키를 돌리기 위한 토크(torque)를 생성한다(Lind & Sanders, 2003; Müller et al., 1998). 이는 결과적으로 스키의 수직축 방향각에 비해 근위분절이 회전의 바깥쪽을 향하는 음의 값(negative value), 즉 외향 자세를 유도하며, Steering phase 1과 2에서 이 자세를 유지함으로써 어택각도를 유지하는 것으로 보인다. 이후 Completion phase에서 상대각의 증가는 사이드 슬라이딩을 끝내고 회전을 마무리하기 위해 스키의 어택각도를 줄이면서 근위분절의 외향각이 수동적으로 감소하는 것을 의미한다.

전후축의 움직임에서는 몸통·골반·대퇴와 스키 간의 상대각이 Steering phase 1과 2, Completion phase에서 다른 회전기술에 비해 유의하게 감소한 것으로 나타났다. 위에서 언급한 바와 같이, 베이직 롱턴에서는 전단저항(shear resistance)을 높여 사이드 슬라이딩을 방해하는 강한 에징은 선호되지 않는다(Mössner et al., 2014). 알파인 스키어의 전후축 움직임은 에징각도를 증가시키는 주된 움직임으로 보고되고 있기 때문에(Kim, 2018), 전후축에서 감소한 상대각은 비교적 약한 에징을 유도하기 위한 스키어의 움직임으로 판단된다. 따라서 베이직 롱턴은 회전의 도입부에서 분절보다 스키가 선행하도록 하여 어택각도를 생성하고, 전후축 움직임을 최소화하여 약한 에징을 유지하여 회전반경을 조절하는 훈련을 제안한다.

2. 카빙 롱턴(Carving long turn)

카빙 롱턴 수행 시, Steering phase 1에서 몸통과 스키 간의 수직축 상대각이 유의하게 감소한 반면, 전후축 상대각은 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 이후 Steering phase 2와 Completion phase에서 몸통·골반·하퇴와 스키 간의 수직축 상대각이 다른 회전기술에 비해 유의하게 증가되었다. 카빙 롱턴은 다른 회전기술에 비해 빠른 속도로 활주하기 때문에 회전으로 인한 관성에 대응하기 위해 더 큰 에징각도와 신체중심 기울기가 요구된다(Kim, Jeon et al., 2014; KSIA, 2019). Steering phase 1에서 나타난 몸통의 이른 외향과 앵귤레이션은 관성에 대응하기 위해 이른 신체중심 기울기를 만든 것으로 보인다. 하지만 Steering phase 1에서의 몸통 움직임은 다른 회전기술에 비해 좀 더 이른 외향 동작을 보였을 뿐, Steering phase 2와 Completion phase에서는 비교적 낮은 각도를 유지하는데 그친 것으로 나타났다. 이는 다른 회전기술에서 각 분절의 외향과 앵귤레이션을 사용하는 것과는 달리, 신체 전반의 수직축을 회전의 안쪽으로 기울기는 것에 의존하여 에징각도를 증가시키는 것으로 보인다(Kim, 2018).

대부분의 분절이 다른 회전기술에 비해 낮은 상대각을 유지하는 반면, 대퇴와 스키 간의 전후축 상대각은 전 구간에서 지속적으로 크게 나타났다. 빠른 활주속도의 카빙 롱턴을 수행 시, 스키의 에지가 설면을 이탈하여 사이드 슬라이딩이 발생하지 않게 하기 위해 설면에 깊숙히 침투하도록 해야 하기 때문에(Federolf, Roos et al., 2010; Heinrich et al., 2010; Mössner et al., 2014), 현장에서는 이를 위해 무릎을 안쪽으로 비트는(cracking) 움직임을 활용한다(LeMaster, 2010). 무릎의 자유도를 고려했을 때, 위와 같은 표현은 엉덩관절의 내전과 내회전에 의한 움직임으로 해석되며(Yoneyama, Kagawa, Okamoto & Sawada, 2000), 이는 결과적으로 대퇴가 스키에 비해 상대적으로 수직축에 가깝게 위치되는 것을 설명할 수 있다. 이 동작은 설면과 스키 사이에 높은 지면반력이 더해져 무릎의 외반 모멘트(valgus moment)를 증가시키기 때문에(Greenwald, Swanson & McDonald, 1997), 현장에서는 부하가 가해지는 무릎을 비트는 동작으로 설명되지만 실질적으로는 무릎 관절점을 회전의 안쪽으로 이동시키기 위한 대퇴의 움직임으로 보인다. 따라서 카빙 롱턴은 빠른 활주속도에 대응할 수 있도록 이른 시점에 외향각을 만들어 신체중심 기울기를 증가시키고, 엉덩관절의 지속적인 내전과 내회전을 통해 접설하는 훈련을 제안한다.

3. 베이직 숏턴(Basic short turn)

베이직 숏턴 수행 시, Initiation phase와 Steering phase 1에서 골반·대퇴·하퇴와 스키 간의 수직축 상대각이 유의하게

증가된 반면, Steering phase 2와 Completion phase에서 유의하게 감소되었다. (Figure 2-B)에서 나타나듯이, 모든 회전기술에서의 수직축 움직임은 내향으로 회전을 시작하여 근위분절부터 순차적으로 외향으로 바뀌어 회전을 마무리한다. 하지만 일관적인 패턴을 나타남에도 불구하고, 회전기술 간의 유의한 차이가 있다. 회전반경이 짧은 숏턴의 특성 상, 회전과 회전 사이 전환구간의 리듬이 짧기 때문에 전후축이나 수직축 움직임의 가동범위를 크게 활용하는데 어려움이 있다. 스키어는 이를 극복하기 위해 숏턴 수행 시 근위분절의 수직축 방향각을 최대경사선(fall-line) 방향으로 고정하여 스키와 원위분절이 빠르게 회전하도록 해야 한다(KSIA, 2019). 따라서 스키가 비교적 옆을 향하는 회전의 시작부터 최대경사선까지는 근위분절이 롱턴기술에 비해 더 큰 내향을 나타내는 반면, 스키가 회전하여 반대쪽을 향하는 마무리 단계에서는 더 큰 외향을 나타내는 것으로 보인다.

전후축의 움직임에서는 몸통·골반·대퇴와 스키 간의 상대각이 Initiation phase에서 가장 낮게 시작하여 점차 증가되면서 Completion phase에서는 가장 크게 마무리되는 것을 볼 수 있다. 이는 Initiation phase에서 스키딩을 위한 어택각도를 생성하기 위해 낮은 에징각도로 활주한 후, Steering phase 1과 2에서 마찰력을 증가시키기 위해 점자적으로 에징각도를 증가시키고, Completion phase에서 사이드 슬라이딩을 멈추기 위해 에징각도를 더욱 증가시키는 결과로 보인다(Lind & Sanders, 2003; Müller et al., 1998). 이때 같은 스키딩 계열의 베이직 롱턴과의 구간별 차이는 회전반경에 의한 영향을 반영한다. Initiation phase에서 베이직 롱턴에 비해 감소된 상대각은 상대적으로 어택각도를 생성하기 위해 주어진 시간이 짧기 때문에, 설면과의 마찰을 최소화하여 어택각도 생성을 용이하게 하기 위한 활주전략이며, 이후 회전구간에서 증가된 상대각은 짧은 회전반경으로 활주하기 위해 마찰력(구심력)을 증가시키기 위한 활주전략으로 보인다(Brown, 2009; Tada & Hirano, 2002). 따라서 베이직 숏턴은 근위분절을 지속적으로 최대경사선 방향으로 유지시켜 빠른 리듬의 회전에 대응하고, 회전의 도입부에서 전후축 움직임을 최소화한 후 회전구간에서 증가시켜 어택각도와 마찰력 증가를 이용한 짧은 반경의 회전 훈련을 제안한다.

4. 카빙 숏턴(Carving short turn)

카빙 숏턴 수행 시, 수직축 움직임은 베이직 숏턴과 거의 일치하는 것으로 나타난 반면, 전후축 움직임은 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 몸통·골반·대퇴와 스키 간의 전후축 상대각은 Initiation phase에서 비교적 낮은 각도로 시작하여 Steering phase 1과 2에서 급격히 증가한 후, Completion phase에서 다시 급격히 감소하는 패턴을 나타냈다. 카빙기술은 어택각도를 1도 이하로 유지하여 스키딩이 발생하지 않게 하고 회전을 위해 오로지 스키의 휨에 의존하기 때문에, 에징각도를 증가시키기 위한 전후축 움직임이 매우 중요하게 여겨진다(Federolf, Roos et al., 2010; Heinrich et al., 2010; Kim, 2018). 카빙 숏턴은 이러한 카빙기술의 특징과 활주시간이 짧은 숏턴기술의 특징을 모두 반영한다. 숏턴은 롱턴에 비해 모든 활주구간에서 짧은 활주시간을 갖기 때문에(Kim & Kim, 2017), 카빙 숏턴 수행 시 그 시간 이내에 짧은 회전반경을 충족할 수 있는 스키의 휨을 만들어 내야 하고, 다음 회전으로 전환을 위해 뉴트럴 포지션으로 빠르게 돌아오는 것이 중요하다. 카빙 롱턴과 같이 신체 전반의 기울임을 활용하는 것은 뉴트럴 포지션으로 돌아오는데 비교적 긴 시간이 소모되기 때문에, 카빙 숏턴에서는 지양하는 방법이다. 그래서 충분한 에징각도를 충족하면서 뉴트럴 포지션으로 빠르게 복귀하기 위해, 신체중심의 기울기를 최소화할 수 있는 무릎·힙 앵귤레이션(knee·hip angulation)과 같은 인체 각 분절의 전후축 움직임을 동원하는 것으로 보인다(Kim, 2018; Supej, 2010). 따라서 카빙 롱턴은 근위분절을 최대한 수직축에 가깝게 유지하고, 회전구간에서 원위분절의 전후축 기울기를 활용하여 짧은 시간 안에 강한 에징을 만들고 다시 뉴트럴 포지션으로 돌아올 수 있는 훈련을 제안한다.

5. 상호상관(cross-correlation)

모든 회전기술에서 각 분절과 스키 간의 전후축·수직축 상호상관이 매우 높은 것으로 나타났다. 알파인 스키는 내력으로 추진력이나 구심력을 생성하지 않고 스키어의 자세 변화를 이용해 설면과 스키 사이에 발생하는 외력에 대응하기 때문에, 반복적으로 원운동을 하는 스키에 따라 인체분절도 동일한 방향으로 원운동 하는 유사 협응관계(in-phase coordination)를 나타낸다(Kim, 2018). 이때, 스키어의 자세 변화는 상대각의 크기뿐만 아니라 원운동의 부위별 타이밍(timing)에 따라 외력에 대응하는 형태가 달라지고, 결과적으로 회전기술의 차이를 나타낸다. 각 분절과 스키 간의 상호상관분석을 통해 산출된 시간차의 양의 값은 분절의 움직임이 스키에 비해 지연된 것을 의미하며, 음의 값은 먼저 움직인 것을 의미한다. 수직축에서는 시간차가 발견되지 않았지만, 전후축에서는 전반적으로 근위분절이 스키보다 지연된 움직임을 나타냈으며, 원위분절은 이른 움직임을 나타냈다. 이는 앵귤레이션을 만드는 과정에서 근위분절의 움직임을 고정하고 원위분절을 활용하여 스키의 에징각도를 증가시키려는 노력으로 생각된다. 또한 베이직 숏턴에서 대퇴의 지연된 움직임은 에징각도보다 어택각도를 활용하는 기술특성에 따라 전후축 움직임의 개입이 비교적 적기 때문이며, 반대로 오직 에징각도에 의존하는 카빙 숏턴에서는 짧은 활주시간 안에 에징각도의 변화를 위해 질량이 큰 몸통

의 활용이 요구되는 것으로 판단된다.

CONCLUSION

본 연구의 목적은 대한스키지도자연맹에서 제시하는 4가지 회전기술 수행 시 분절과 스키 간의 전후축·수직축 상대각과 상호상관분석을 통해 스킹구간 별 분절의 상대적 움직임을 규명하는데 있다. 대한스키지도자연맹 정강사 19명이 실험에 참여하였으며, 관성센서를 이용해 몸통·골반·대퇴·하퇴와 스키 간의 상대적인 움직임을 분석하였다. 연구결과 모든 회전기술에서 수직축 상대각이 스키에 비해 안쪽을 향해 시작하여 근위분절부터 순차적으로 바깥쪽을 향하는 움직임을 나타냈고, 전후축 상대각이 동일하게 시작하여 점차 증가하다 원래 수준으로 돌아오는 패턴을 나타냈으나, 스킹구간 별 회전기술에 따른 차이가 있었다. 또한 모든 회전기술에서 각 분절과 스키 간에 높은 상호상관을 나타냈고, 수직축의 시간차는 발견되지 않았으나, 전후축의 시간차는 분절과 회전기술에 따라 다르게 나타났다. 회전기술에 따른 각운동학과 상호상관 결과의 차이는 각 회전기술이 스킹구간에서 나타나는 특징을 반영하며, 이는 알파인 스키기술 향상을 위한 각 분절의 상대적 움직임을 설명한다. 본 연구결과를 바탕으로 각 회전기술의 특성에 따라 근위분절 및 원위분절의 활용한 훈련의 차이점을 제안하였다. 베이직 기술은 어택각도를 활용하기 위해 전후축 움직임을 줄이는 반면, 카빙기술은 이르거나 큰 각도의 전후축 움직임을 필요로 했으며, 롱턴기술은 회전 도입부의 움직임을 지속하는 형태를 나타낸 반면, 숏턴기술은 수직축과 전후축의 큰 변화폭을 이용하는 훈련이 필요한 것으로 보인다.

본 연구결과를 바탕으로 알파인 스키 현장에서 사용하는 용어를 기반으로 한 정량화된 자료는 생활체육스키어의 회전기술 훈련에 방향성을 제시할 수 있을 것이라 기대한다. 하지만 본 연구에서는 회전기술을 완전하게 수행할 수 있는 숙련자를 대상으로 진행하였기 때문에, 기술수준에 따른 회전기술 간 운동학적 차이는 규명하지 못한 제한점이 있다. 추후 연구를 통해 더 낮은 기술수준의 스키어를 대상으로 하여 숙련자와의 차이점을 규명하고, 그 유형을 분류하는 연구가 이뤄진다면 중급 스키어의 기술향상을 위한 훈련 가이드라인을 제시할 수 있을 것이라 생각한다.

REFERENCES

Brown, C. (2009). Modeling edge-snowinteractions using machining theory. In E. Müller, S. Lindinger, & S. Stöggl (Eds.), *Science and skiing IV* (pp.175-182). Maidenhead, UK: Meyer & Meyer Sport.

Federolf, P., Lüthi, A., Roos, M. & Dual, J. (2010). Parameter study using a finite element simulation of a carving alpine ski to investigate the turn radius and its dependence on edging angle, load, and snow properties. *Sports Engineering*, *12*(3), 135-141.

Federolf, P., Roos, M., Lüthi, A. & Dual, J. (2010). Finite element simulation of the ski-snow interaction of an alpine ski in a carved turn. *Sports Engineering*, *12*(3), 123-133.

Gilgien, M., Spörri, J., Chardonnens, J., Kröll, J. & Müller, E. (2013). Determination of external forces in alpine skiing using a differential global navigation satellite system. *Sensors*, *13*(8), 9821-9835.

Greenwald, R., Senner, V. & Swanson, S. (2001). Biomechanics of carving skis. *Schweizerische Zeitschrift fur Sportmedizin und Sporttraumatologie*, *49*(1), 40-44.

Greenwald, R. M., Swanson, S. C. & McDonald, T. R. (1997). A comparison of the effect of ski sidecut on three-dimensional knee joint kinematics during a ski run. *Sport-verletzung · Sportschaden*, *11*(04), 129-133.

Heinrich, D., Mössner, M., Kaps, P. & Nachbauer, W. (2010). Calculation of the contact pressure between ski and snow during a carved turn in Alpine skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *20*(3), 485-492.

Hirano, Y. (2006). Quickest descent line during alpine ski racing. *Sports Engineering*, *9*(4), 221-228.

Horan, S. A. & Kavanagh, J. J. (2012). The control of upper body segment speed and velocity during the golf swing. *Sports Biomechanics*, *11*(2), 165-174.

Kim, J. N. (2018). *Angular kinematic and coordinative patterns of carving turn and skidding turn during alpine skiing.* Unpublished Doctoral dissertation. Graduate School of Korea National Sport University.

Kim, J. H. & Kim, J. N. (2017). Comparison of skiing time and vertical ground reaction force between the short turn and basic parallel turn during alpine skiing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *27*(4), 257-262.

Kim, J. N., Jeon, H. M., Yoo, S. H., Ha, S. H., Kim, J. H., Ryu, J. S. ... & Yoon, S. H. (2014). Comparisons of center of mass and lower extremity kinematic patterns between carved and basic parallel turn during alpine skiing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *24*(3), 201-207.

Kim, J. N., Yoo, S. H., Ha, S. H., Kim, J. H., Ryu, J. S., Park, S. K. & Yoon, S. H. (2014). Comparisons of foot pressure patterns between experienced skiers and intermediate skiers during alpine skiing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *24*(1), 19-26.

Klous, M., Müller, E. & Schwameder, H. (2012). Three-dimensional knee joint loading in alpine skiing: a comparison between a carved and a skidded turn. *Journal of Applied Biomechanics*, *28*(6), 655-664.

Korea Ski Instructor Association. (2019). 2018 ski teaching guideline of Korea Ski Instructor Association.

Krüger, A. & Edelmann-Nusser, J. (2010). Application of a full body inertial measurement system in alpine skiing: A comparison with an optical video based system. *Journal of Applied Biomechanics*, *26*(4), 516-521.

LeMaster, R. (2010). *Ultimate skiing*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Lind, D. A. & Sanders, S. (2003). *The physics of skiing: skiing at the triple point*. New York, NY: Springer-Verlag.

Mössner, M., Heinrich, D., Schindelwig, K., Kaps, P., Schretter, H. & Nachbauer, W. (2014). Modeling the ski-snow contact in skiing turns using a hypoplastic vs an elastic force-penetration relation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *24*(3), 577-585.

Müller, E., Bartlett, R., Raschner, C., Schwameder, H., Benko-Bernwick, U. & Lindinger, S. (1998). Comparisons of the ski turn techniques of experienced and intermediate skiers. *Journal of Sports Sciences*, *16*(6), 545-559.

Pouliquen, C., Nicolas, G., Bideau, B., Garo, G., Megret, A., Delamarche, P. & Bideau, N. (2018). Spatiotemporal analysis of 3D kinematic asymmetry in professional cycling during an incremental test to exhaustion. *Journal of Sports Sciences*, *36*(19), 2155-2163.

Reid, R. C. (2010). *A kinematic and kinetic study of alpine skiing technique in slalom*. Unpublished Doctoral dissertation. Norwegian School of Sport Sciences.

Reid, R., Gilgien, M., Moger, T., Tjørhom, H., Haugen, P., Kipp, R. & Smith, G. (2009). Turn characteristics and energy dissipation in slalom. In: E. Müller, S. Lindinger., & T. Stöggl (Eds.), Science and Skiing IV (pp. 419-429). UK: Meyer & Meyer Sport.

Spörri, J., Kröll, J., Haid, C., Fasel, B. & Müller, E. (2015). Potential mechanisms leading to overuse injuries of the back in alpine ski racing: a descriptive biomechanical study. *The American Journal of Sports Medicine*, *43*(8), 2042-2048.

Spörri, J., Kröll, J., Schwameder, H., Schiefermüller, C. & Müller, E. (2012). Course setting and selected biomechanical variables related to injury risk in alpine ski racing: an explorative case study. *British Journal of Sports Medicine*, *46*(15), 1072-1077.

Supej, M. (2008). Differential specific mechanical energy as a quality parameter in racing alpine skiing. *Journal of Applied Biomechanics*, *24*(2), 121-129.

Supej, M. (2010). 3D measurements of alpine skiing with an inertial sensor motion capture suit and GNSS RTK system. *Journal of Sports Sciences*, *28*(7), 759-769.

Supej, M. & Holmberg, H. C. (2010). How gate setup and turn radii influence energy dissipation in slalom ski racing. *Journal of Applied Biomechanics*, *26*(4), 454-464.

Tada, N. & Hirano, Y. (2002). In search of the mechanics of a turning alpine ski using snow cutting force measurements. *Sports Engineering*, *5*(1), 15-22.

Yoneyama, T., Kagawa, H., Okamoto, A. & Sawada, M. (2000). Joint motion and reacting forces in the carving ski turn compared with the conventional ski turn. *Sports Engineering*, *3*, 161-176.

Yoon, S., Kim, J. H., Park, J. H., Ryu, J., Park, S. K. & Kim, J. N. (2017). Effects of counter-rotation position on knee/hip angulation, center of mass inclination, and edging angle in simulated alpine skiing. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *27*(2), 91-97.