

Three-dimensional kinematic differences between turning skill level and radius during alpine skiing

Joo-Nyeon Kim*

Korea Institute of Sports Science

[Purpose] The purpose of this study was to investigate the three dimensional joint angles of the ankle, knee and hip during basic long turn, carving long turn, basic short turn and carving short turn. **[Methods]** Fourteen alpine ski instructors from Korea Ski Instructor Association 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 three-dimensional joint angles of the ankle, knee and hip joint. **[Results]** Significant differences were found the lower extremity joint angles on the mediolateral and vertical axis during long-turn and carving-turn ($p<.05$). significant differences were found the lower extremity joint angles on the anteroposterior axis in the steering phases 1, 2 and complete phase ($p<.05$). **[Conclusion]** In the Alpine skiing, the short turn requires a complex movement of the lower limb joint compared to the long turn. When performing a long turn, the movement of the ankle joint on the vertical axis are required compared to the short turn. And the carving and short turn need to the movements of the lower limb joint on the mediolateral axis.

Key words: Alpine ski, Turning technique, Turning radius, Turning level

서론

알파인 스키는 눈으로 덮여있는 산을 내려오기 위한 이동수단으로부터 발달된 스포츠로, 기록을 다투는 올림픽 종목인 알파인 스키 레이싱(alpine ski racing)과 생활체육 스키어의 기술향상을 목적으로 하는 인터스키(inter ski)로 발전되어 왔다. 알파인 스키는 산을 안전하게 내려오기 위해 스키어가 원하는 활주속도와 활주방향으로 조절할 수 있도록 다양한 회전기술로 발전되어 왔으며, 인터스키를 통해 각 회전기술들이 세분화되고 알파인 스키 강사들이 세분화된 회전기술들을 생활체육스키어

에게 가르치기 위한 교수법이 지속적으로 개발되고 있다(Inter ski, 2019).

알파인 스키의 회전기술은, 먼저 회전반경(radius)의 크기에 따라 롱턴(long turn)과 숏턴(short turn)으로 구분된다. 스키 환경을 고려했을 때, 슬로프(slope)의 폭이 넓고 길어 활주영역을 넓게 사용할 수 있는 경우에는 롱턴을 구사하고, 슬로프의 폭이 좁거나 활주영역을 넓게 사용하지 않을 경우 주로 숏턴을 구사한다. 이렇게 숏턴과 롱턴은 환경에 따라 회전반경을 조절하기 위해 구분되어 사용된다. 또한 활주속도의 조절은 스키의 조작방법에 따라 달라진다. 활주속도를 느리게 만들기 위해서는 설면과 스키 사이에 마찰을 높이는 스키딩턴(skidding turn) 계열의 기술을 사용한다(Klous, Müller & Schwameder, 2012). 스키딩턴은 스키의 방향이 활주방향보다 회전의 안쪽을 향하게 하여 어택각도(attack angle)를 만들어

논문 투고일 : 2020. 03. 11.

논문 수정일 : 2020. 04. 28.

게재 확정일 : 2020. 05. 29.

* 교신저자 : 김주년(jnkim@ksps.or.kr).

활주하는 기술들을 의미한다(Hirano, 2006; Tada & Hirano, 2002). 일반적으로 스키딩을 이용한 회전기술은 대부분 속도가 느리기 때문에 난이도가 낮은 기초(basic) 기술로 분류된다. 반대로 스키어들은 빠른 속도로 활주하기 위해 카빙턴(caving turn)을 활용한다. 카빙턴은 스키에지(edge)와 설면 간의 전단저항(shear resistance)을 높여 스키딩이 일어나지 않도록 하여, 스키의 휘어진 기하학적 곡선을 회전반경으로 하는 기술로, 난이도가 높은 회전기술로 분류된다(Mössner et al., 2014).

대한스키지도자연맹(Korea Ski Instructor Association, KSIA)에서는 회전반경(radius)과 난이도(level)에 따라 알파인 스키 회전기술을 세분화하여 교수법을 정립해오고 있다. 먼저 회전반경이 긴 롱턴계열에서 난이도에 따라 베이직 롱턴(basic long turn)과 카빙 롱턴(carving long turn)으로 구분하고, 회전반경이 짧은 숏턴계열에서 난이도에 따라 베이직 숏턴(basic short turn)과 카빙 숏턴(carving short turn)으로 구분된다(KSIA, 2019). 대부분의 생활체육스키어는 다양한 계동기술 및 기본적인 회전기술을 익힌 후, 양쪽 스키를 나란하게 두고 회전하는 베이직 롱턴을 익히게 된다(Müller et al., 1998). 일반적으로 중급스키어가 베이직 롱턴을 학습한 이후, 상급스키어로 거듭나기 위해 베이직 숏턴이나 카빙 롱턴을 다음 단계 기술로써 선택적으로 훈련하게 되고, 마지막 단계로 카빙 숏턴을 익히게 된다. 하지만 지금까지 다양한 운동역학적 연구를 통해 인터스키 기술에 대한 분석이 이뤄져 왔지만, 관절의 자유도(degree of freedom)를 고려한 3차원 운동학적 분석이 이뤄지지 않아, 경험적 지식에 의존하고 있다.

생활체육스키어의 기술향상을 목적으로 하는 인터스키 기술에 대한 운동역학적 분석은 지금까지 다양하게 이뤄져 왔다. Müller 등(1998)은 베이직 롱턴을 포함한 기초 회전기술에 대한 운동학적 분석을 실시하여, 상급스키어와 중급스키어 사이에 무릎각도와 스키의 방향각 및 에징각도(edging angle)에서 차이가 있는 것으로 보고하였다. Kim, Jeon, 등(2014)은 카빙 롱턴 수행 시, 베이직 롱턴에 비해 무릎과 엉덩관절 각도가 더 크게 나타난다고 보고하였다. 하지만 두 연구에서 실시한 운동학적 분석에서는 각 관절이 갖고 있는 자유도를 고려하지 않았

기 때문에, 연구결과를 생활체육스키어의 기술향상을 위한 가이드라인으로 활용하기에 제한점이 있다. 또한 Kim, J. H.과 Kim, J. N. (2017)은 베이직 롱턴과 베이직 숏턴 간에 회전구간별 운동역학적 차이를 검증하였지만, 마찬가지로 관절의 3차원 움직임을 고려한 운동학적 분석이 이뤄지지 않아 기술습득에 필요한 연구결과를 제시하지 못하였다. 뿐만 아니라, 지금까지 베이직 롱턴, 베이직 숏턴, 카빙 롱턴에 대한 연구는 다수 이뤄진 반면, 알파인 스키 현장에서 가장 난이도가 높아 생활체육스키어들이 습득하기 가장 어려운 카빙 숏턴에 대한 운동학적 연구결과가 제시되지 않아, 생활체육스키어의 기술습득에 정량적 근거가 적용되지 않은 교수법에 의존하고 있다.

기술향상을 위한 정량적 가이드라인을 제시하기 위한 연구에서는 반드시 해당 관절의 자유도를 고려한 3차원 운동학적 분석을 바탕으로 연구결과가 제시되어야 하며, 종목형태 및 특성에 따른 적용이 이뤄져야 한다. 알파인 스키는 외력(external force)에 영향을 크게 받는 스포츠로 스키어의 포지션에 따라 외력의 작용이 변화되기 때문에(Gilgien, Spörri, Chardonnens, Kröll & Müller, 2013), 3차원 운동학적 분석이 반드시 이뤄져야 한다. 따라서 본 연구는 베이직 롱턴, 카빙 롱턴, 베이직 숏턴, 카빙 숏턴의 회전구간(turning phases)별 발목, 무릎, 엉덩관절의 각도 분석을 통해 기술적 차이를 밝힘으로써 기술훈련의 방향성을 제공하는데 있다.

연구방법

연구대상

본 연구의 대상으로 대한스키지도자연맹(KSIA) 소속 남자 알파인 스키 강사 14명(age: 30.72±3.72 yrs, body mass: 72.21±7.20 kg, height: 173.97±4.14 cm, Career: 11.12±3.36 yrs)이 참여하였다. 모든 알파인 스키 강사들은 상·하급 근골격계 상해 병력이 없을 뿐만 아니라, 베이직 롱턴, 카빙 롱턴, 베이직 숏턴, 카빙 숏턴을 충분히 수행하고 지도할 수 있는 정강사(level3)로 선정하였다. 실험 전 연구에 대한 충분한 설명과 함께 동의서를 작성한 스키어에 한하여 연구에 참여하였다.

실험장비 및 실험절차

알파인 스키 회전 기술 수행 시, 연구대상자의 각 분절에 대한 운동학적 분석을 실시하기 위해 관성센서(myoMOTION, Noraxon, USA) 7채널을 사용하였고, 샘플링율(sampling rate)은 200 Hz로 설정하였다. 각 센서는 골반(pelvis), 좌·우 넓적다리(thigh), 정강이(shank) 그리고 발(foot)에 부착하였다. 이때 발에 착용한 부츠와 스키는 고정되어 있기 때문에 부츠에 부착된 관성센서의 데이터는 스키의 움직임을 나타내는 것으로 가정하였다. 스키어가 각 회전기술 수행 시 관성센서에서 측정되는 신호를 수집하기 위해, 통제프로그램(MyoResearch 3.8, Noraxon, USA)을 구동시키는 노트북과 수신기(receiver)를 소지한 팔로워(follower)가 일정거리를 유지하며 스키어를 추적하였다. 알파인 스키의 구조적인 특징이 회전기술에 미치는 영향을 제거하기 위해 16/17 Hero Elite ST Racing (length: 167 cm, radius: 12.5 m; Rossignol, France)을 사용하였다.

실험 전, 알파인 스키어에게 실험절차에 대한 충분한 설명을 진행한 뒤, 준비운동과 각 회전기술을 연습할 수 있는 시간을 제공하였다. 회전반경을 통제하기 위해, 각 스키어는 평균경사 15°의 정설된 슬로프에서 폭 30 m, 길이 600 m로 활주영역을 제한한 뒤, 베이직 롱턴과 카빙 롱턴은 12번, 베이직 숏턴과 카빙 숏턴은 30번의 회전을 수행하였다. 회전기술의 수행순서는 무작위로 선정하여 실험을 진행하였다.

자료처리

자료처리는 처음 두 번의 회전을 제외한 연속된 다섯 번의 회전을 선정하여 실시하였다. 알파인 스키의 회전방향을 기준으로 바깥쪽 스키와 분절(또는 관절)의 쓰임이 중요하기 때문에(Kim, Yoo, et al., 2014), 각 턴의 바깥쪽의 발목(ankle), 무릎(knee), 엉덩관절(hip joint)에 대한 3차원 각도를 수집하였다. 수집된 각 관절각은 자료 획득과정에서 발생한 오차(noise)를 제거하기 위해 Butterworth 2nd order low-pass filter를 사용하였으며, 이때 차단주파수(cut-off frequency)는 6 Hz로 설정하였다(Spörri, Kröll, Haid, Fasel & Müller, 2015).

자료처리는 Matlab R2016a (The mathworks, USA)를 사용하였다.

분석구간

분석구간은 스키에 부착한 관성센서의 수직축 방향각(orientatio angle)이 파고값(\pm peak value)이 되는 시점을 회전의 끝나는 시점이자 다음 회전이 시작하는 시점으로 가정하였으며, 첫 번째 파고값부터 두 번째 파고값까지를 회전의 한주기(a cycle of turning)로 정의하였다(Kim, 2018). 한주기의 회전은 회전의 특성에 따라 4가지로 분류하여 분석하였다(Initiation phase: 스키의 방향각이 최대를 나타내는 시점부터 다음 회전이 시작되기 직전까지의 직선구간, Steering phase 1: 회전의 시작부터 최대경사선(fall line)까지의 회전구간, Steering phase 2: 최대경사선에서 직선구간이 시작되기 직전까지의 회전구간, Completion phase: 회전이 끝나는 시점부터 스키의 방향각이 최대를 이루는 시점까지의 직선구간; Reid, 2010; Spörri, Kröll, Schwameder, Schiefermüller, & Müller, 2012; Figure 1).

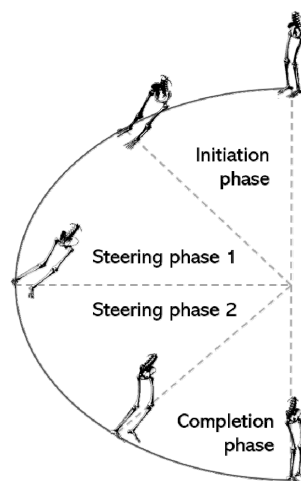


Fig 1. Turning phases of alpine skiing

통계 처리

종목별 각 회전구간에서 나타나는 3차원 관절각은 반복측정이원변량분석(two-way ANOVA with repeated

measure)를 실시하였고, 주효과(main effects)인 회전 기술의 난이도(level: basic, carving)와 회전반경(radius: long, short)에 대한 차이를 검증하였다. 주효과에서 유의한 차이가 나타날 경우 사후검정으로 Bonfroni correction을 사용하였다. 통계 처리는 SPSS statistics 23 (IBM, USA)을 사용하였으며, 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

연구결과

회전반경(radius)과 난이도(level)에 따른 각 회전 기술 수행 시 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절의 3차원 각도를 (Figure 2)에 나타내고, 각 스킵구간에서 나타나는 평균±표준편차 및 반복측정이원변량분석 결과를 (Table 1-4)에 나타냈다. Initiation phase에서는 무릎·엉덩관

절의 좌우축(mediolateral axis) 및 수직축(vertical axis) 움직임에서 유의한 차이를 나타냈으며, 발목관절의 좌우축 및 전후축(anteroposterior axis) 움직임에서 유의한 차이를 나타냈다($p < .05$). 각 회전기술 간 사후검정 결과는 (Table 1)에 제시하였다. Steering phase 1에서는 네 관절 모두의 좌우축, 무릎·엉덩관절의 전후축, 무릎·엉덩관절의 수직축 움직임에서 유의한 차이를 나타냈다($p < .05$). 각 회전기술 간 사후검정 결과는 (Table 2)에 제시하였다. Steering phase 2에서는 무릎·엉덩관절의 모든 축과 발목관절의 수직축 움직임에서 유의한 차이를 나타냈다($p < .05$). 각 회전기술 간 사후검정 결과는 (Table 3)에 제시하였다. Completion phase에서는 무릎·엉덩관절의 좌우축, 엉덩관절의 전후축, 무릎·엉덩관절의 수직축 움직임에서 유의한 차이를 나타냈다($p < .05$). 각 회전기술 간 사후검정 결과는 (Table 4)에 제시하였다.

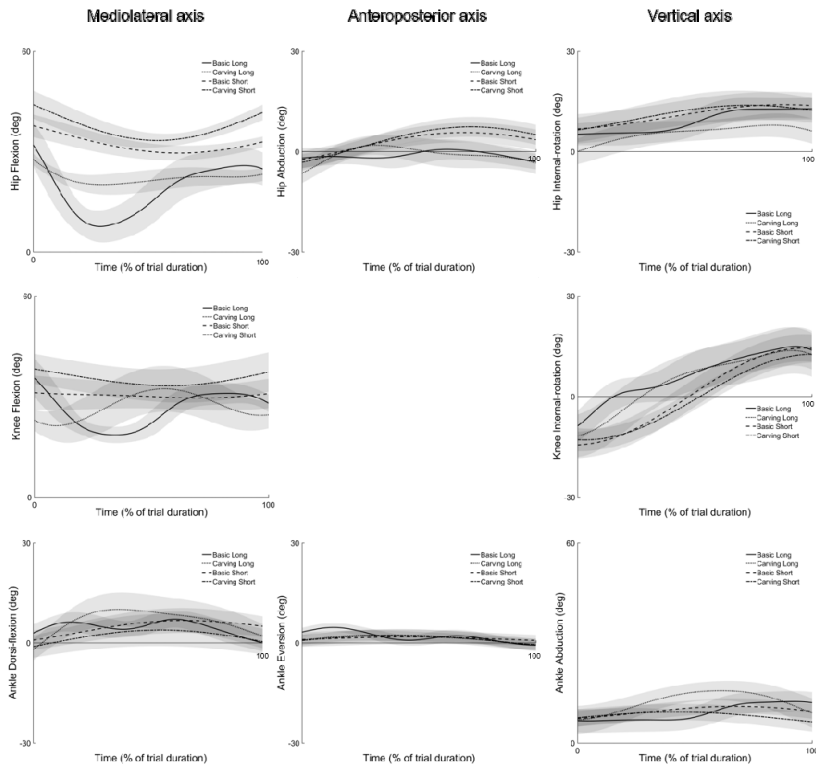


Fig. 2. Average and standard deviation curves for 3 dimensional joint angle during a cycle (0-100%)

Table 1. Mean±standard deviation of joint angles and two way repeated ANOVA results in the initiation phase (unit: deg)

Joints		Types of turning				Main effects (F (p))	
		Basic long	Carving long	Basic short	Carving short	Radius	Level
	Flexion	18.82±5.72	23.17±1.78**	35.33±3.15*	40.26±3.87***	403.642 (.000)	17.110 (.001)
Hip	Abduction	-1.59±2.46	-2.28±2.84	-0.49±2.51	-0.94±2.15	2.998 (.126)	.726 (.410)
	Internal rotation	5.44±3.53	2.47±3.99	7.70±4.33	8.09±3.70*	13.098 (.003)	1.281 (.278)
Knee	Flexion	27.00±4.14	22.14±4.78	30.79±4.70*	36.72±4.42*	83.933 (.000)	.194 (.667)
	Internal rotation	-2.49±4.49	-7.60±6.75	-12.47±3.99*	-11.87±3.11	24.282 (.000)	3.212 (.092)
	Dorsi flexion	5.33±2.68	3.80±3.58	2.33±2.96*	0.64±3.62*	14.108 (.002)	4.071 (.065)
Ankle	Eversion	4.18±1.24	1.63±1.17**	1.32±2.18*	1.46±1.76	11.994 (.004)	6.981 (.020)
	Abduction	6.73±3.58	8.44±3.90	8.11±2.33	8.34±2.49	.536 (.477)	1.387 (.260)

Note. Bold : a significant difference at $p < .05$. * : a significant difference for radius. ** : a significant difference for level.

Table 2. Mean±standard deviation of joint angles and two way repeated ANOVA results in the steering phase 1 (unit: deg)

Joints		Types of turning				Main effects (F (p))	
		Basic long	Carving long	Basic short	Carving short	Radius	Level
	Flexion	9.85±5.34	20.56±3.08**	31.13±2.59*	34.50±2.70***	235.056 (.000)	42.278 (.000)
Hip	Abduction	-1.45±2.86	1.45±3.08**	3.47±2.57*	4.07±2.38	21.336 (.000)	6.566 (.024)
	Internal rotation	6.53±3.34	5.66±3.32	10.37±4.25*	11.55±4.26*	23.193 (.000)	.019 (.892)
Knee	Flexion	19.41±2.44	28.66±6.80**	30.26±3.78*	34.06±4.58***	62.609 (.000)	30.402 (.000)
	Internal rotation	3.89±4.89	3.78±6.04	-3.54±4.17*	-4.95±2.98*	34.638 (.000)	.312 (.586)
	Dorsi flexion	4.69±2.45	9.68±4.96	5.39±3.46	3.29±4.52*	6.683 (.023)	2.464 (.140)
Ankle	Eversion	1.76±1.51	2.14±1.49	1.77±2.16	2.22±1.85	.013 (.911)	.705 (.146)
	Abduction	7.01±3.37	13.42±2.95**	9.95±2.22	9.21±2.42	.648 (.426)	16.517 (.001)

Note. Bold : a significant difference at $p < .05$. * : a significant difference for radius. ** : a significant difference for level.

Table 3. Mean±standard deviation of joint angles and two way repeated ANOVA results in the steering phase 2 (unit: deg)

Joints	Types of turning				Main effects (F (p))		
	Basic long	Carving long	Basic short	Carving short	Radius	Level	
Flexion	21.95±6.03	22.24±2.79	29.75±2.14*	34.23±1.74***	203.474 (.000)	5.150 (.041)	
Hip	Abduction	0.21±2.91	-0.78±3.81	5.52±2.88*	7.06±2.86*	47.902 (.000)	.119 (.735)
	Internal rotation	11.23±3.59	7.13±3.14	12.95±4.78	13.59±4.44*	12.250 (.004)	2.801 (.118)
Knee	Flexion	28.61±3.39	30.41±6.50	29.70±3.53	33.50±5.16**	2.827 (.111)	4.849 (.046)
	Internal rotation	10.91±5.26	10.29±6.46	7.32±4.10	4.79±2.97*	8.591 (.012)	1.373 (.262)
Dorsi flexion	5.75±2.52	7.69±4.78	6.62±3.69	3.53±4.73	1.659 (.220)	.352 (.563)	
Ankle	Eversion	1.57±1.72	1.31±1.35	1.62±1.94	1.63±1.89	.169 (.687)	.068 (.798)
	Abduction	10.81±3.27	15.15±3.08	10.94±2.14	8.68±2.52*	14.397 (.002)	2.589 (.132)

Note. Bold : a significant difference at $p < .05$. * : a significant difference for radius. ** : a significant difference for level.

Table 4. Mean±standard deviation of joint angles and two way repeated ANOVA results in the completion phase (unit: deg)

Joints	Types of turning				Main effects (F (p))		
	Basic long	Carving long	Basic short	Carving short	Radius	Level	
Flexion	25.45±5.12	22.79±1.94	31.59±1.72*	39.08±2.06***	266.767 (.000)	7.212 (.019)	
Hip	Abduction	-1.96±2.43	-2.24±3.33	4.73±3.05*	6.43±2.94*	89.820 (.000)	.770 (.396)
	Internal rotation	12.76±3.20	7.28±3.65**	13.93±3.87	13.22±3.94*	11.006 (.006)	7.814 (.015)
Knee	Flexion	30.04±2.53	24.98±4.77	30.15±4.09	35.64±5.73*	19.953 (.001)	.046 (.833)
	Internal rotation	14.55±5.61	13.39±6.85	13.65±3.95	11.38±2.63	.867 (.369)	1.531 (.238)
Dorsi flexion	1.17±2.64	3.44±3.89	5.69±3.23	1.53±4.09	1.556 (.234)	1.136 (.306)	
Ankle	Eversion	-0.24±1.42	-0.11±1.60	1.03±1.71	0.16±1.86	3.292 (.093)	.770 (.396)
	Abduction	12.36±3.10	11.21±4.09	10.28±2.17	7.17±2.75***	10.486 (.006)	9.397 (.009)

Note. Bold : a significant difference at $p < .05$. * : a significant difference for radius. ** : a significant difference for level.

논 의

알파인 스키어의 기술향상을 위해서는 각 회전기술의 물리적 특성과 회전반경에 따른 외력에 대응하기 위한 스키어의 자세 차이를 명확하게 인지하고 있어야 한다. 회전기술의 난이도에 따라 스키딩이 동반되는 기초기술과 카빙이 동반되는 상급기술로 나뉘며, 회전반경의 길이에 따라 롱턴과 숏턴으로 구분된다. 알파인 스키의 대표적인 네 가지 회전기술은 외력을 활용하고 대응하는데 차이가 있고, 이에 따른 스키어의 자세 차이도 분명하다. 따라서 본 연구에서는 각 기술 간 스키어의 자세에 대한 운동학적 차이를 확인하기 위해 관절의 3차원 관절각도를 각 회전구간별로 조사하였고, 연구결과에서 회전반경(radius)과 회전기술의 난이도(level)에 따른 차이를 발견하였다.

본 연구의 결과에서는 롱턴에 비해 숏턴 수행 시 전 구간에서 엉덩관절과 무릎관절을 더 큰 각도로 굴곡시키는 것으로 나타났다. 스키와 신체중심의 궤도 차이는 이전 회전에서 다음 회전으로 전환되는 구간에서 리바운드(rebound)라고 불리우는 특정한 작용을 일으킨다(LeMaster, 2010). 리바운드는 스키어들 간에 전환구간에서 스키로부터 오는 강한 반동을 이야기 하는데, 이는 스키와 신체중심의 궤도 차이에서 오는 관성의 차이로 해석된다. 즉, 스키는 지속적으로 회전을 통해 옆으로 활주하려는 반면, 신체중심은 스키에 비해 최대경사선 방향으

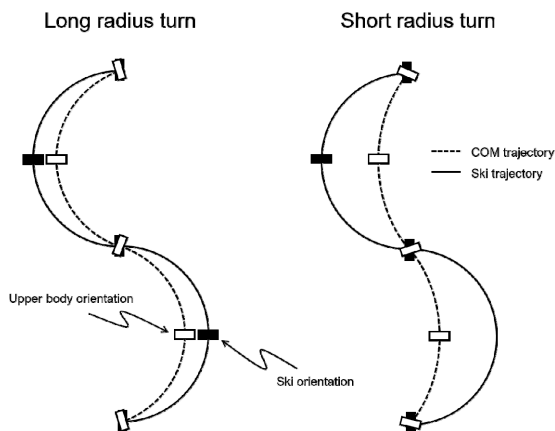


Fig. 3. Ski-COM Trajectory of long/short radius turn and ski/upper-body orientation

로 진행하기 때문에 빠른 속도로 스키가 신체중심 쪽으로 다가오면서 스키와 신체중심의 궤도가 교차하게 된다(Figure 3). 이 과정에서 하지관절을 신전시키게 되면 리바운드로 인해 균형을 잃기 때문에, 하지관절을 굴곡시켜 리바운드에 의한 불안정성을 최소화하려는 동작을 수행하는 것으로 보인다. 뿐만 아니라, 알파인 스키에서 롱턴은 긴 활주궤도를 만들어 내는 만큼 한 턴을 만들어내는 시간이 길기 때문에 회전과 회전 사이에 리듬이 긴 반면, 숏턴의 경우 리듬이 매우 짧다(Kim, J. H. & Kim, J. N., 2017). 따라서 회전구간(steering phase)에서 롱턴 수행 시 대퇴근육의 활성을 통해 하지관절을 신전시켜 빠른 속도에 의한 강한 외력에 대응하는(Kröll, Wakeling, Seifert & Müller, 2010) 반면, 숏턴은 회전 간 빠른 전환에 대비하여 안정성(stability)을 위한 낮은 자세를 나타내는 것으로 생각된다(LeMaster, 2010).

Initiation 및 Completion phase에서 숏턴을 수행할 때 롱턴에 비해 엉덩관절을 내회전시키고, 무릎관절을 외회전시키는 동시에 발목관절을 외전시키는 것을 나타냈다. 숏턴은 회전 사이의 전환구간의 활주시간이 짧기 때문에 스키의 빠른 방향전환을 위해 근위분절을 비교적 최대경사선(fall-line)의 방향에 가깝게 유지하고, 롱턴 수행 시 비교적 스키의 진행방향과 유사하게 유지하는 자세를 통해 스키를 회전시킨다(KSIA, 2019). 신체를 회전의 안쪽으로 기울이면서 구심력을 만들어 내는 알파인 스키 특성상, 스키의 궤도(Ski trajectory)보다 신체중심의 궤도(center of mass trajectory : COM trajectory)가 회전의 안쪽으로 형성되게 되는데, 이때 근위분절의 방향이 스키의 진행방향과 유사한 자세를 활용하는 롱턴에 비해 최대경사선의 방향과 유사한 자세를 활용하는 숏턴 수행 시 신체중심의 궤도가 더욱 안쪽으로 형성된다(Fasel, Gilgien, Spörri, & Aminian, 2018; LeMaster, 2010; Spörri, Kröll, Schwameder, & Müller, 2012; Supej, Hébert-Losier, & Holmberg, 2015). (Figure 3)에서 보여지는 바와 같이, 회전의 진입구간인 Initiation phase과 마무리 구간인 Complete phase는 스키의 활주방향이 가장 옆쪽을 바라보는 시점이기 때문에 이론적으로 비교적 최대경사선을 향해 있는 상체의 활주방향과 가장 큰 차이를 나타내는 구간이다. 따라서 숏턴 수행 시 롱턴에 비해 발목관절의 외전과 무

릎관절의 외회전은 원위에 있는 스키의 진행방향에 비해 근위분절의 진행방향을 최대 경사선으로 유지하기 위한 동작으로 보인다.

알파인 스키에서는 에징(edging)이 회전의 주된 역할을 맡고 있다. 전환구간에서는 에지체인지(edging change), 즉 아웃-에지(out-edge)에서 인-에지(in-edge)로 전환되는 동작이 나타나며, 회전구간에서는 회전반경에 맞는 에징각도를 유지하려는 동작이 나타난다. 알파인 스키 현장에서는 에징각도는 주로 무릎을 사용하는 것으로 설명하지만(LeMaster, 2010) 이는 무릎관절의 자유도에서 허용되지 않는 동작이다. 근위관절(proximal joints)의 변화에 의한 원위분절(distal segments)의 변화는 근위분절의 관절각도에 따라 다르게 나타난다. 본 연구의 결과에서는 전 구간에서 롱턴에 비해 숏턴 수행 시 엉덩관절이 더 크게 내회전되는 것으로 관찰되었다. 이는 무릎관절과 엉덩관절이 전 구간에서 굴곡되어 있기 때문에 엉덩관절의 내회전은 발 분절의 전후축 움직임, 즉 스키의 에징각도에 더 많은 변화를 나타내게 한다. 따라서 엉덩관절의 내회전은 아웃-에지에서 인-에지로 전환시키고, 관성에 대응하여 에징을 유지하기 위한 동작이며, 회전반경이 짧아 더 큰 구심력이 요구되는 숏턴에서 더 크게 나타나는 것으로 생각된다.

회전의 리듬이 짧은 숏턴과 긴 롱턴 간의 또 다른 차이점은 외력에 대응하기 위한 자세이다. 본 연구의 결과에서는 회전구간인 Steering phase 1과 2에서 숏턴 수행 시 롱턴에 비해 엉덩관절의 외전과 내회전이 크게 나타난 반면, 무릎관절의 내회전이 적은 것으로 나타났다. 모든 회전기술 수행 시, 이 구간에서 회전을 만들어내기 위해 공통적으로 요구되는 것은 설면과 스키 사이의 에징각도이고, 모든 알파인 스키어의 자세는 이 에징각도를 만들기 위한 목적으로 정의되며 다음 4가지 자세가 주로 다뤄진다: 수직축에서 근위분절이 스키의 진행방향보다 바깥쪽을 향하게 하는 외향(counter rotation), 전후축에서 무릎과 엉덩관절 관절점 및 신체중심을 회전의 안쪽으로 기울이는 무릎·힙 앵글레이션(knee-hip angulation)과 신체중심 안쪽 기울기(COM inward inclination: Kim, 2018; LeMaster, 2010; Lind & Sanders, 2004; Müller et al., 1998; Supej, 2010; Yoon et al., 2017). 이 알파인 스키 자세들은 모두 스키의 방향각

(orientation angle)을 기반으로 형성되는 운동면에서 정의되는 움직임이지만, 해부학적 측면에서 엉덩관절의 수직축, 전후축 움직임과 무릎관절의 수직축 움직임의 영향을 받는다. 회전반경이 짧은 숏턴은 롱턴에 비해 근위분절이 비교적 최대경사선에 가깝게 고정되어 있기 때문에 신체중심의 안쪽 기울기를 이용하는데 제한이 따른다(KSIA, 2019). 따라서 알파인 스키어는 숏턴 수행 시 신체중심의 안쪽 기울기의 제한을 보상하기 위해 외향 자세와 무릎 및 힙 앵글레이션을 롱턴에 비해 더 크게 사용해야 하며, 이는 본 연구의 결과에서 확인할 수 있다. 숏턴 수행 시 롱턴에 비해 유의하게 증가된 엉덩관절의 내회전은 골반을 스키 활주방향에 비해 바깥쪽으로 향하게 하는 외향 자세를 증가시키고, 유의하게 증가된 엉덩관절의 외전은 상체를 수직축에 가깝게 유지되는 근위분절에 대응하여 원위분절의 기울기, 즉 힙 앵글레이션을 증가시키려는 전략으로 보여진다. 또한 유의하게 증가된 무릎관절의 굴곡과 외회전, 발목관절의 내전은 정강이의 기울기를 통해 무릎 앵글레이션을 증가시키려는 동작으로 보여진다. 이러한 하지관절의 복합적인 움직임들은 모두 숏턴 수행 시 신체중심 기울기의 제한을 극복하고 에징각도를 증가시키기 위한 움직임으로 생각된다.

알파인 스키 활주에 있어 회전기술의 난이도, 즉 카빙과 스키딩의 차이점은 먼저 활주속도에 있다. 카빙은 스키딩처럼 어택각도를 사용하지 않기 때문에 설면과의 마찰력이 적어 빠른 속도로 활주가 가능하다(Hirano, 2006; Klous et al., 2012; Tada & Hirano, 2002). 반면, 활주속도가 빠를수록 불균형한 설면이나 리바운드와 같은 환경적인 상황에 대한 대처가 스키딩턴에 비해 어렵기 때문에 스키어들은 안정성을 높이기 위한 자세가 추가적으로 요구된다(Kim, 2018). 불안정한 환경적 상황에서 안정성을 높이는 대표적인 인간의 움직임은 하지관절의 굴곡을 이용해 신체중심을 낮추는 것이다(Gates et al., 2012). 본 연구의 결과에서 스키딩에 비해 카빙 수행 시 무릎관절 및 엉덩관절 각도가 전 구간에서 유의하게 크게 나타난 것을 볼 수 있다. 이는 카빙을 이용한 회전을 수행할 때, 무릎관절과 엉덩관절의 굴곡을 이용해 신체중심을 낮춰 빠른 속도로 활주 시에 나타날 수 있는 불안정성에 대응하기 위한 움직임으로 생각된다.

스키딩은 어택각도를 통해서 스키의 측면과 설면 사이

에서 발생하는 마찰력을 구심력으로 사용하는 반면, 카빙은 스키가 휘어지는 정도에 따라 형성되는 기하학적 곡선을 따라 활주하는 회전기술이다(Federolf, Lüthi, Roos, & Dual, 2010; Yoneyama, Scott, Kagawa, & Osada, 2008). 이때 스키가 휘어지기 위해서는, 에징각도를 형성하는 과정에서 스키와 설면 사이에 전단저항(shearing resistance)이 전단력(shear force)보다 커질 만큼 홈(groove)을 깊게 만들어 스키가 측면으로 미끄러지지 않도록 해야 한다(Federolf, Roos, Lüthi, & Dual, 2010; Heinrich, Mössner, Kaps, & Nachbauer, 2010). 이를 접설(gripping the snow)이라고 하며, 알파인 스키어는 경골을 안쪽으로 비트는(cranking) 동작을 이용해 접설을 시도한다(Bere, Flørenes, Krosshaug, Nordsletten & Bahr 2011; LeMaster, 2010). 본 연구에서는 Steering phase 1에서 카빙 수행 시 발목관절의 외전이 유의하게 증가되는 것으로 나타났으며, 특히 카빙 룽턴에서 크게 나타났다. 이는 접설을 위해 경골을 안쪽으로 비트는 동작에 의한 결과로 해석되며, 특히 빠른 활주속도로 인해 전단력이 큰 카빙 룽턴에서 유의하게 크게 나타난 것으로 보여진다.

결론 및 제언

본 연구는 알파인 스키 강사를 대상으로 회전기술의 난이도와 회전반경에 따른 하지관절 각도 분석을 통해 기술적 차이를 규명하여 기술훈련의 방향성을 제시하는데 목적이 있다. 본 연구결과에 따라 슷턴 수행 시 에징각도를 증가시키기 위해 하지관절의 복합적인 움직임(엉덩관절 굴곡·외전·내회전, 무릎관절 굴곡·외회전, 발목관절 내전)을 활용해야 한다. 또한 카빙 수행 시 정강이의 회전을 통한 발목관절의 외전으로 에지의 지속적인 접설을 유도해야 한다. 속도가 빠른 카빙이나 리듬이 빠른 슷턴은 슬로프 활주 시 하지관절 굴곡을 활용해 안정성 확보를 위한 낮은 자세를 유지해야 한다.

참고문헌

- Bere, T., Flørenes, T. W., Krosshaug, T., Nordsletten, L., & Bahr, R. (2011). Events leading to anterior cruciate ligament injury in World Cup Alpine Skiing: a systematic video analysis of 20 cases. *British Journal of Sports Medicine*, 45(16), 1294-1302.
- Fasel, B., Gilgien, M., Spörri, J., & Aminian, K. (2018). A new training assessment method for alpine ski racing: estimating center of mass trajectory by fusing inertial sensors with periodically available position anchor points. *Frontiers in Physiology*, 9, 1203.
- 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.
- Gates, D. H., Wilken, J. M., Scott, S. J., Sinitiski, E. H., & Dingwell, J. B. (2012). Kinematic strategies for walking across a destabilizing rock surface. *Gait & Posture*, 35(1), 36-42.
- Gilgien, M., Spörri, J., Chardonens, 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.
- 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.
- Inter ski. (2019). Inter ski history. Retrieved from <https://www.inter-ski.org/en/history>
- 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. (2018). *Angular kinematic and coordinative patterns of carving turn and skidding turn during alpine skiing* (Doctoral dissertation, Korea National Sport University, Seoul, Korea).
- 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.
- Kröll, J., Wakeling, J. M., Seifert, J. G., & Müller, E. (2010). Quadriceps muscle function during recreational alpine skiing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(8), 1545-1556.
- Korea Ski Instructor Association. (2019). 2018 ski teaching guideline of Korea Ski Instructor Association.
- LeMaster, R. (2010). *Ultimate skiing*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Lind, D. A., & Sanders, S. (2004). *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-Berwick, U., & Lindinger, S. (1998). Comparisons of the ski turn techniques of experienced and intermediate skiers. *Journal of Sports Sciences*, 16(6), 545-559.
- Reid, R. C. (2010). *A kinematic and kinetic study of alpine skiing technique in slalom* (Doctoral dissertation, Norwegian School of Sport Sciences, Oslo, Norway).
- 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., & Müller, E. (2012). Turn characteristics of a top world class athlete in giant slalom: a case study assessing current performance prediction concepts. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 7(4), 647-659.
- 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. (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., Hébert-Losier, K., & Holmberg, H. C. (2015). Impact of the steepness of the slope on the biomechanics of world cup slalom skiers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(3), 361-368.
- 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., Scott, N., Kagawa, H., & Osada, K. (2008). Ski deflection measurement during skiing and estimation of ski direction and edge angle. *Sports Engineering*, 11(1), 3-13.
- 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 Sports Biomechanics*, 27(2), 91-97.

알파인 스키 시 회전기술 난이도 및 회전반경에 따른 3차원 운동학적 차이

김주년

한국스포츠정책과학원 분석연구원

【목적】 본 연구는 베이직 롱턴, 카빙 롱턴, 베이직 숏턴, 카빙 숏턴의 회전구간별 3차원 운동학적 분석을 통해 발목, 무릎, 엉덩관절의 자유도를 고려한 3차원 관절각도를 조사하는데 있다. **【방법】** 총 14명의 대한스키지도자연맹의 알파인 스키 정강사가 본 연구의 대상자로 참여하였다. 각 알파인 스키어는 회전기술의 난이도와 반경에 따라 분류된 4가지의 회전기술을 수행하였다. 8채널의 관성센서를 사용하여 발목, 무릎, 엉덩관절의 3차원 관절각을 산출하였다. **【결과】** 롱턴과 카빙 수행 시 하지관절의 좌우축 및 수직축 움직임에 유의한 차이를 나타냈으며($p < .05$), Steering phase 1, 2와 complete phase에서 하지관절의 전후축 움직임에 유의한 차이를 나타냈다($p < .05$). **【결론】** 알파인 스키에서 숏턴은 롱턴에 비해 하지관절의 복잡한 움직임이 요구되며, 롱턴은 숏턴에 비해 발목관절의 수직축 움직임, 카빙과 숏턴은 하지관절의 좌우축 움직임이 더 요구된다.

주요어: 알파인 스키, 회전 기술, 회전 반경, 회전 난이도