

스피드스케이팅 코너웍 기술의 운동역학적 분석

김철원*, 류재청*

A Kinematic & Kinetic Analysis on the Corner-work Technique of Speed Skating

*Chul-Won Kim**, *Chej-Cheong Ryu**

Summary

The Push-off (15.21%), ballistics (23.91%) out of total elapsed time .46sec and 15.80%, 49.50% out of total horizontal displacement of COG for a complete stroke was able to generate stronger power during longer recovery & shorter gliding phase.

The transfer ratio from angular velocity of lower extremities to absolute & relative linear velocity of COG in horizontal velocity 88%, 31.10% in horizontal acceleration was due to constrained push-off of knee & hip and complete planter flexion in ballistic & push-off phase, the lossed transfer power was greater from distal to proximal segment, therefore it was necessary to improve a complete extension of knee & hip in ballistics & push-off and plantar flexion in push-off phases.

The smaller planter flexion of mean angle (83°) of ankle contrast to optimize angle 150-170° in push-off resulted in the smaller transfer ratio of power to COG.

The range extension 23° of knee cannot extense sufficiently, when the optimizing angle between trunk and thigh have horizontal plane, considering fluid friction of trunk could be minimized, inefficient knee extension due to trunk hyperflexion in ballistics & push-off phase resulted in loss of horizontal velocity but minimized loss of horizontal velocity phase by desirable flexion & extension in other phase.

Due to large inclined Push-off angle of ballistic (28°), push-off (27°) & gliding (27°) phase, curvering was achieved efficiently with larger centrifugal force & less tangential force.

Considering mean power level generated (49%, 68%) of compared with past studies in push-off phase, It had desirable availability in recovery & gliding but lower segment' constrained ballistic & push-off posture

* 자연과학대학 체육학과 (Dept. of Physical Education, Cheju Univ., Cheju-do, 690-756, Korea)

서 론

빙판위를 동물의 뼈나 나무토막을 이용해 이동수단으로 활용하기 시작한 것은 약 3천년 전으로 추정되고, 스피드스케이팅의 기술을 논의하기 시작한 것은 금속날을 이용해 스케이트 날(blade)을 만들 때인 약 6백년전으로 알려져 왔다. 이 때는 인공아이스 링크가 없었기 때문에 연못이나 호수 등에서 이루어지면서 현재의 대중스포츠로 발전해 왔다.

스피드스케이팅의 전방추진기전은 다른 이동운동과는 아주 다른 양상을 띤다. 즉 스피드스케이팅은 보행, 달리기, 아이스하키, 피겨스케이팅 등의 다른 이동수단의 운동과는 현저한 차이점으로 추진이 전방글라이딩 방향에 대해 수직축면으로 추진되는 것이 특징이다.

이러한 특성을 가진 스케이팅기법에 대한 연구는 주로 독일과 러시아(Djatschkow, 1977; Krause, 1972; Kuhlow, 1973; Nicol, 1974)에서 연구가 시초를 이루고 있지만 이들의 연구는 단순히 움직임에 대한 기술적연구들이었고, 스케이팅의 한 스트로크를 여러 국면으로 구분하여 역학적으로 분석하기 시작한 것은 Djatschkow (1977) 과 Doctrevic (1975)에 이르러 이루어졌다.

스피드스케이팅은 독특한 어둠의 성질때문에 가능하다. 빙판은 날(baide)이 빙판속으로 추진되게 할 정도로 약하고, 글라이딩 방향에서 스케이트와 빙판 사이의 마찰계수는 자전거 경기의 구름마찰과 비교할 때 매우 낮고 단위면적당 받는 국부압력이 매우 높다. 이러한 성질이 스케이팅을 가능하게 하지만 부자유스런 추진방식 즉 글라이딩 기술이 필요하다. 글라이딩의 기본적인 기술중 기본적인 것은 전방으로 글라이딩할 때 빙판에 대한 추진과 관련이 있다.

이러한 특수성을 가진 스피드스케이팅동작은 반복적인 주기로 추진국면과 글라이딩국면을 이루면서 전방으로 이동하고 신체중심은 오른발, 왼발에 대해 교차적으로 무릎과 허벅지관절의 신전운동에 의해 추진스케이트가 가속이 된다. 오른발의 측면으로 추진은 신체중심의 왼쪽 방향으로 변화를 일으키고, 왼발의 측면추진은 신체중심의 오른쪽 방향으로 변화를 일으킨다.

직선주로 스피드스케이팅의 스트로크역학에 대한 선행연구(Ingen 등, 1980; Ingen 등, Hollander, 1983; Ingen 등, 1985; Boer 등, 1986a)는 엘리트 선수집단을 대상으로 스트로크당 일의 량, 추진기동안 글라이딩의 시간, 무릎신전속도, Lier(1975)는 커브링시 스피드스케이팅 기술, Ingen(1981)은 추진력의 힘측정, Kuhlow(1973)는 속도변화, Ingen 등(1985)은 커브시 스트로크 빈도 및 이의 심화된 연구보고를 했다.

스피드스케이팅의 경기력은 공기와 빙판마찰에 의한 최소한의 파워손실과 외적파워(external power)의 생성에서 최적을 유지한 결과이다(Ingen, 1982). 이러한 외적파워는(P_o)는 선수의 외력과 에너지상태의 증가에 대하여 행해진 일일의 총합으로 정의할 수 있고, 외력은 공기(f_{air})와 빙판마찰력(f_{ice}), 중력, 스케이트 글라이딩 방향에 수직으로 빙판에 대한 추진력(push-off force)을 들 수 있다.

커브링의 기술이 중요한 관점임에도 불구하고 이 기술에 관한 연구는 극히 적고, 대부분의 연구는 직선주로에서 행해졌다. 스케이팅 직선주로에서 스트로크 역학은 Ingen 등(1985), Boer 등(1986a) 등에 보고된 결과에 의하면 스피드스케이팅의 스피드에 영향을 줄 수 있는 요인을 Ingen 등(1987)은 동체위치(10도당 3.9%), 무릎각도(10도당 3.3%), 국부압력 최대 3.0%, 스킨슈트-올런슈트(최대 2.4% : 최대속도에서), 고도(100m당 0.3%), 방어물(최대 9%), 지방질(kg당 0.5%)인 것으로 보고했다.

스킨 슈트(skin suit)의 이점은 속도(V)에 대한 공기의 항력계수(CD)의 독립변인과 밀접히 관련있으며, 이러한 영향은 거의 7-10m/s의 속도에서 없어진다.

동체가 수평을 이룰때가 가장 최적자세이지만 오랜시간동안 그 위치를 유지해야하는 어려움이 있다. 스트로크동안 수평에 대한 동체위치는 가장 적절히 유지하는 것 역시 중요한 기술이지만 더 힘든 것은 무릎각이며, 이 각은 허벅지와 무릎신근군(knee extensor muscle)의 힘의 수준과 관련되어 있기 때문이다(Ingen 등, 1980) 무릎각을 적게 유지하므로써 공기마찰의 영향 및 파워발현에 잠재적인 영향력 때문에 스피드 스케이팅에서 필수적이다.(Ingen 등, 1983).

극부공기압력은 상당히 다양할 수 있다. 이 요인은 공기밀도가 공기압력에 강하게 의존하므로 파이널타 임에 큰 차이를 보일 수 있다. 외관적으로는 최적의 날씨상태(높은압력)이지만 경기력이 바람직하지 못한 결과를 초래하게 되고, 반면 비나 눈이올 때 대기의 낮은 압력으로 인해 더 나은 성적이 나올 경우를 볼 수 있다.

마지막 요인은 스피드에 대해 과다한 체중이 영향을 미친다. 스피드스케이팅의 경우 지방질은 과다한 체중으로 간주될 수 있다. 그 영향은 적지만 예를 들면 체중이 70kg이 되는 두 여자스케이팅 선수를 비교하면 한사람은 체지방이 25%, 다른사람은 15%를 유지했다 할 때 지방질의 10%차이는 경기력의 3.5%까지 차이를 낼 수 있다.

다른 예측요인은 바람의 영향, 체중, 신장, 빙판의 마찰계수 등을 들 수 있다. 이러한 요인에 대한 가장 중요한 변인은 빙판의 상태이다. 즉 쌓여진 서리, 빙판기온, 빙판마찰계수로 인해 기록은 50%수준까지 다양하게 변화시킬 수 있다(Ingen 등, 1987)고 보고했다.

또한 스피드 스케이팅에서 추진시 스피드에 큰 영향을 미칠 수 있는 동작으로 하지의 신전과 관련하여 추진하는 동안 무릎관절이 충분히 신전되지 않는 2회의 억제기(constrained phase)를 갖게된다.

400m 스케이팅 링크의 직선주로를 도는 동안 선수들이 겪어야 하는 곡선경로(curve path)는 44%에 해당되며, 곡선에서 효율적인 스트로크를 위해 최근에는 측면으로의 추진기전이 곡선스케이팅 기술을 위해 중요한 제약이 된다고 보고했다.(Boer 등, 1987).

400m 아이스링크중 곡선주로가 차지하는 거리는 44%를 차지하는 것을 볼 때 곡선주로에서 성공적인 스트로크를 하느냐 못하느냐에 따라 경기의 승패가 좌우 될 수 있음을 알 수 있다.

이상과 같이 스피드 스케이팅에서 커브링시 신체 중심의 스피드와 관련하여 영향을 줄 수 있는 여러 운동역학적 요인이 작용함을 알 수 있고, 이러한 요인에 대해 세계 정상급 선수들을 대상으로한 연구결과와 한국 국가대표급 선수의 커브링 기술에 대해 각각 비교 및 분석함으로써 더 나은 경기력향상을 위한 기술을 제공하는 것이 본 연구의 목적이다.

재료 및 방법

1. 피험자 및 실험절차

본 연구의 목적을 달성하기 위해 참여한 피험자는 스피드스케이팅 국가대표선수(B. K. T) 1명으로 신장은 176cm, 체중은 76kg, 스피드 스케이팅의 경력은 26년으로 89년 세계선수권 500m대회에서 1위를 한 선수를 대상으로 400m 실의 아이스링크의 곡선주로 아웃코스지점에서 진행방향과 수직인 측면과 정면 15m 지점에 각각의 고속카메라를 설치하였다. 복장은 스킨슈트(skin suit)를, 스케이팅 역시 국제시합에서 사용하던 장비를 착용하고 실험에 임했다. 실물 촬영전 실제 실물의 크기를 알기 위해 기준척(1m)를 먼저 촬영한 뒤 Locam 카메라(phase lock installation) 2대를 이용하여 필름속도를 초당 100프레임(노출시간 1/300초)으로 조정하여 피험자가 촬영 지점 전방 20m 전방에 도달할 때 부터 카메라를 가동함으로써 분석지점에서 필름의 정상속도에 도달하게 하였다. 전방의 카메라는 신체중심에 대해 추진하는 추진각을 알기위해 촬영하였고, 측면의 카메라는 각 분석내용을 위한 변인을 산출하기 위해 사용되었다.

2. 자료처리 및 분석절차

촬영된 필름을 현상을 한 후 수치화시키기 위해 Vanguard사 투영기에 필름을 장착시키고, 필름의 상을 Calcomp9100 디지털이저에 투영하여 나온 신체 부위의 관절점마다 매 프레임당 좌우 스케이팅 앞날 끝, 발목, 무릎, 허프, 어깨, 귀, 팔목, 손목의 돌기점과 흉골점의 17개 관절점에 대해 디지털이징 하므로써 나온 한쌍의 X, Y좌표가 이와 연결된 16bit AT급 컴퓨터에 파일링하여 입력되게 하였다. 이 과정을 거쳐 나온 자료는 기계적 및 인위적 오차가 있기 때문에 Digital filtering(Low Pass Butterworth, 4Hz, Cut-off frequency=12.4 Hz; Winter, 1979)로 스무딩을 시킨 후 운동학 및 운동역학적 변인을 산출하였다. 이러한 변인의 산출은 Microsoft Quick Basic 4.0언어로 작성한 된 프로그램으로 신체 각 부위의 좌표(X, Y)에 대해 처리하였다.

분석은 스트로크의 각 국면에 따른 시간(GS : 글라이딩시작, PS : 추진시작, PE : 추진 끝, GE : 한 글라이딩끝), 각 국면의 속도, 스트로크빈도(f), 가속도(a), 무릎, 발목, 허프, 동체의 수평각 및 각속도, 스트로크동안 파워 및 에너지변화량을 산출했으며, 17개의 인체분절에 대한 상대적인 분절질량 및 길이, 질량중심(CM)을 구하는 데 필요한 매개변수는 Dempster(1955)의 인체측정자료를 이용했다.

파워산출과정에서 스케이트 선수를 자유도로 표현하였을 때 파워(P_{total})는 선수의 외력과 에너지 상태의 증가에 대하여 행해진 일률의 총합으로 정의할 수 있고, 이 때 외력은 공기와 빙판마찰력, 중력, 스케이트 글라이딩 방향에 수직인 빙판에 대한 추진력을 들 수 있는데, 스트로크 코스 내에서 위치에너지 및 스케이팅 속도의 증감이 평균 외적파워에 영향을 미치는 데 이의 에너지 흐름의 관계는 식 1과 같다.

$$P_{total} = P_{friction} + mva \quad (1)$$

여기서 $P_{friction}$ 는 공기와 빙판마찰력에 손실된 파워, m 은 선수의 질량, v 는 평균속도, a 는 평균가속도를 의미하며, 운동에너지 및 파워산출은 신체중심의 전방속도(V_x)를 알 때 운동에너지산출은 식 2와 같다.

$$E_{kin} = 0.5(m \cdot V_x^2) \quad (2)$$

스트로크시간에 대해 나누어진 한 스트로크 동안 운동 에너지는 스트로크 동안 선수의 평균 순수 파워산출(average net power output)은 식 3과 같다.

$$P_{net/stroke} = E_{kinetic/stroke} / t_{stroke} \quad (3)$$

이 순수한 파워산출은 선수에 의해 전달된 총파워산출(P_{total})을 한 스트로크에서 공기와 빙판마찰력에 대한 파워($P_{friction}$)를 뺀값이 된다.

$$P_{net/stroke} = P_{total/stroke} - P_{friction/stroke} \quad (4)$$

실제 외적파워(P_o)를 측정하기 위해 마찰력과 관

련있는 손실파워는 스피드 스케이팅에서 마찰력은 빙판마찰력과 공기마찰력으로 구분할 수 있고, 빙판 마찰력은 표면마찰력의 식 5와 같다.

$$F_{ice} = \mu N \quad (5)$$

μ 는 빙판마찰계수, N 은 수직력으로 거의 체중($m \cdot g$)와 동일시하면 빙판마찰에 손실된 파워는 식 6과 같다.

$$P_{ice} = \mu \cdot m \cdot g \cdot v \quad (6)$$

m 은 신체질량, g 는 중력가속도, v 는 선수의 신체중심 속도이며 공기마찰력은 식 7과 같다.

$$F_{air} = 0.5 \cdot A_p \cdot C_d \cdot \rho \cdot V^3 = K \cdot V^3 \quad (7)$$

A_p 는 전면의 투영된 면적(frontal projected area), C_d 는 항력계수(drag coefficient), ρ 는 공기 밀도, V 는 공기에 대한 신체중심의 속도, 선수의 동체의 위치와 무릎각도는 전면에 투영된 면적(frontal projected area)에 영향을 미친다. 항력계수 C_d 는 바람속도에 대해 종속변인이며, 공기밀도 ρ 는 기압과 고도에 좌우된다.

따라서 공기마찰로 인한 파워는 $P_{air} = K \cdot V^3 \dots (8)$ (Ingen, 1982)와 같이 산출할 수 있지만 본 실험 장소인 아이스링크의 경우 400m 트랙 모두 관중석으로 5~6m 높이의 방풍벽과 풍속이 거의 없는 것을 확인하였고, 해발 고도가 10m 내외였기 때문에 공기밀도와 공기마찰로 스피드에 대한 영향은 거의 없는 것으로 간주하고 무시했다.

따라서 마찰에 대한 총파워손실은 공기마찰력을 제외한 식 9와 같다.

$$P_f = P_{ice} + (P_{air}) \quad (9)$$

빙판마찰계수는 섭씨 -4도에서 선행연구의 평균값인 0.0045와 같은 값으로 가정했다(Ingen, 1982).

3. 용어정의

Symbol	Unit	Definition
f	s ⁻¹	Stroke frequency
T	s	Stroke time (T=1/f)
m	Kg	Body mass of skater
V _x	m·s ⁻¹	Horizontal Velocity of center of mass (V _x Toe, V _x Ankle, V _x Knee, V _x Hip, V _x COG)
a _x	m·s ⁻²	Horizontal acceleration of center of mass (a _x Toe, a _x Ankle, a _x Knee, a _x Hip, a _x COG)
N	N	Normal force
P _{net}	Watts	P _{Total} - P _{friction}
P _{total}	Watts	Total External power delivered by skater
P _{friction}	Watts	Power losses due to friction
E _{kinetic}	Joule	Kinetic Energy per stroke
P _{air}	Watts	Power losses due to air friction
P _{ice}	Watts	Power losses due to ice friction
μ		Coefficient of ice friction
θ _a	degree	Ankle angle
θ _k	degree	Knee angle
θ _h	degree	Hip angle
θ _ψ	degree	Push-off angle in X-Z plane
θ _t	degree	Trunk angle to horizontal
θ	deg·s ⁻¹	Angular Velocity (θ _{knee} , θ _{hip} , θ _{ankle})
α	deg·s ⁻²	Angular acceleration (α _{knee} , α _{hip} , α _{ankle})

결과 및 고찰

1. 선운동의 운동학적분석

곡선주로서 완전한 1스트록(글라이딩, 탄도기, 추진기, 회복기, 글라이딩)동안 소요된 시간은 총 .46초, 1스트록동안 신체중심(CM)의 수평변위는 203.9cm로서 이를 각 국면별 백분율로 표시한 결과는 Table 1과 같이 처음 글라이딩(GE)은 소요시간은 전체의 17.39%(.08초), 탄도기는 23.91%(.11초), 추진기는 15.21%(.07초), 회복기는 30.43%(.14초), 두번째 글라이딩(GS)은 13.04%(.06초)로 각각 나타났다.

이러한 결과를 볼 때 추진기에서 가장 짧은 시간의 소요로 인해 강한 추진을 할 수 있는 것에 반해 회복기 국면과 글라이딩국면은 추진기의 추진영향으로 더 긴 글라이딩 동작으로 이어 졌다.

이러한 결과는 Boer 등 (1987)의 독일 선수권 500m 결승전에 참여한 선수들 대상으로 곡선주로서 분석한 결과의 완전한 1스트록의 0.57초중 글라이딩 국면의 0.40초, 및 추진국면의 0.17초와 비교할 때 본 연구의 경우 완전한 1 스트록의 소요시간은 80.70%, 본 연구의 탄도기와 추진국면을 합한 0.18초와 비교할 때 본 연구의 경우가 0.01초 더 빠른 것으로 나타났다.

따라서 본 연구의 경우 선행연구의 것보다 총 소요 시간은 훨씬 더 적은 시간동안 완전한 스트록이 이루어

Table 1. Mean Value of Kinematics & Kinetics by phases during a complete 1 stroke

R _{stroke}	Unit	Gliding	Ballistics	Push-off	Recovery	Gliding
Elapsed T (%)	sec	.08 (17.39)	.11 (23.91)	.07 (15.21)	.14 (30.43)	.06 (13.04)
COG Displ.	cm	27.80 (13.63)	49.50 (24.280)	32.20 (15.80)	66.20 (32.47)	28.20 (13.83)
θ_{Ankle}	deg	68	61	83	76	89
θ_{Knee}	deg	104	122	145	117	138
θ_{Hip}	deg	60	76	103	68	67
$\theta_{Trunk/Horiz.}$	deg	30	38	54	40	28
θ_{ϕ}	deg	27	28	28	28	30
V_x Toe	m. s ⁻¹	3.47	3.64	4.13	6.04	5.96
V_x Ankle	m. s ⁻¹	3.57	3.74	4.31	5.79	6.11
V_x Knee	m. s ⁻¹	4.07	3.46	3.62	5.64	4.69
V_x Hip	m. s ⁻¹	3.92	4.49	4.67	4.77	4.72
V_x COG	m. s ⁻¹	4.04	4.32	4.55	4.87	4.69
a_x Trunk	m. s ⁻²	7.71	2.05	9.27	14.26	-16.00
a_x Ankle	m. s ⁻²	-4.18	4.10	8.87	12.11	-7.50
a_x Knee	m. s ⁻²	-9.51	0.81	14.34	4.40	-22.11
a_x Hip	m. s ⁻²	2.68	2.44	1.37	.87	-1.91
a_x COG	m. s ⁻²	0.85	1.90	3.11	2.48	-3.15
ω_{Ankle}	deg. s ⁻¹	187.31	240.85	258.45	-227.62	647.22
ω_{knee}	deg. s ⁻¹	125.25	403.69	-118.92	-240.35	71.17
ω_{hip}	deg. s ⁻¹	385.75	405.85	106.34	-325.70	-58.66
α_{ankle}	deg. s ⁻²	-1183.37	4491.90	-2922.42	1494.92	9615.16
α_{knee}	deg. s ⁻²	3425.25	1311.54	-8956.85	2853.64	14590.00
α_{hip}	deg. s ⁻²	-509.25	1445.18	-6274.71	-631.57	3894.16
P_{Net}	watts	1198.52	1499.56	1519.24	1747.33	1617.09
P_{Total}	watts	3510.15	1829.63	1976.48	1856.97	2840.87
$E_{kinetic}$	Joule	551.32	630.41	690.85	803.77	743.87

어 진 반면 추진기의 경우는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 이로 볼 때 본 연구의 경우 선행 연구의 결과와 비교할 때 완전한 1 스트로크의 소요시간이 더 빠르게 완료되고, 추진 국면의 경우 역시 순간적으로 이루어진 점을 볼 때 소요시간의 변인에서는 바람직하다고 사료된다.

본 연구의 결과 완전한 1 스트로크동안 얻은 총 수평 변위는 203.9cm로서 글라이딩 마지막국면(GE)의 13.63%(27.80cm), 탄도기는 24.28%(49.50cm), 추진기는 15.80%(32.2cm), 회복기는 32.47%(66.20cm), 처음글라이딩(GS)은 13.83%(28.20cm)로 각각 나타났다. 가장 짧은 신체중심의 수평변위는 추

진기로서 순간적인 시간동안 짧게 추진이 되므로서 더 강한 파워를 발휘할 수 있게하고, 이의 영향으로 회복기와 글라이딩기에서 더 긴 수평변위를 얻을 수 있다고 사료된다. 즉 순간적인 파워를 발생하는 탄도기와 추진기를 합하면 60.40cm (36.30%)로 이는 회복기 다음으로 긴 수평변위를 얻으면서 추진한 것을 알 수 있고, 처음글라이딩과 마지막글라이딩을 합한 56cm (27.46%)보다 훨씬 더 많은 변위가 있음을 볼 때 1 스트로크동안 파워를 발휘하는 구간이 글라이딩되는 거리보다 더 긴 결과는 결국 스트로크의 시간을 감소시켜준 원인으로 사료된다.

스피드 스케이팅에서 400m 스케이팅 링크에서 곡선경로를 걷는 경우가 약 400m의 44%가 두번의 곡선주로를 겪게되는 상황을 고려할 때 탄도기와 추진기의 수평변위가 글라이딩시 겪게되는 변위보다 더 길

다는 것은 결국 파워를 발휘하는 시간이 더 길다는 것이고, 저항을 받게되는 글라이딩 시간이 짧을수록 완전한 스트로크의 시간이 더 짧아진 스트로크를 하였고, 더 짧은 시간동안 파워를 더 발휘할 수 있는 추진구면동안 더 긴 수평변위를 보이는 스트로크인 반면 유체 저항을 많이 받게되는 글라이딩구면이 짧아지는 스트로크는 신체의 체력조건이 허용할 수 있다면 바람직한 현상이라 사료된다.

Fig. 1은 실험에 참가한 선수가 곡선주로에서 커버링하는 동안 분석용으로 채택한 완전한 한 스트라이드를 매 프레임마다 스틱피겨로 나타낸 것이다. 즉 1 프레임에 소요된 시간은 .01초로서 분석프레임에서 처음과 마지막의 프레임을 더한 48프레임을 제시하였다.

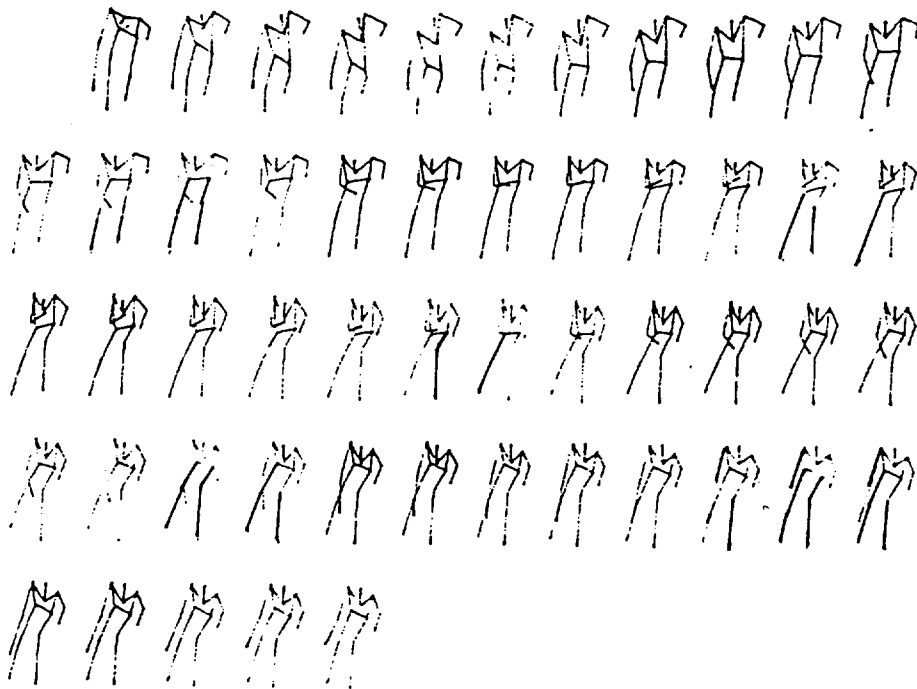
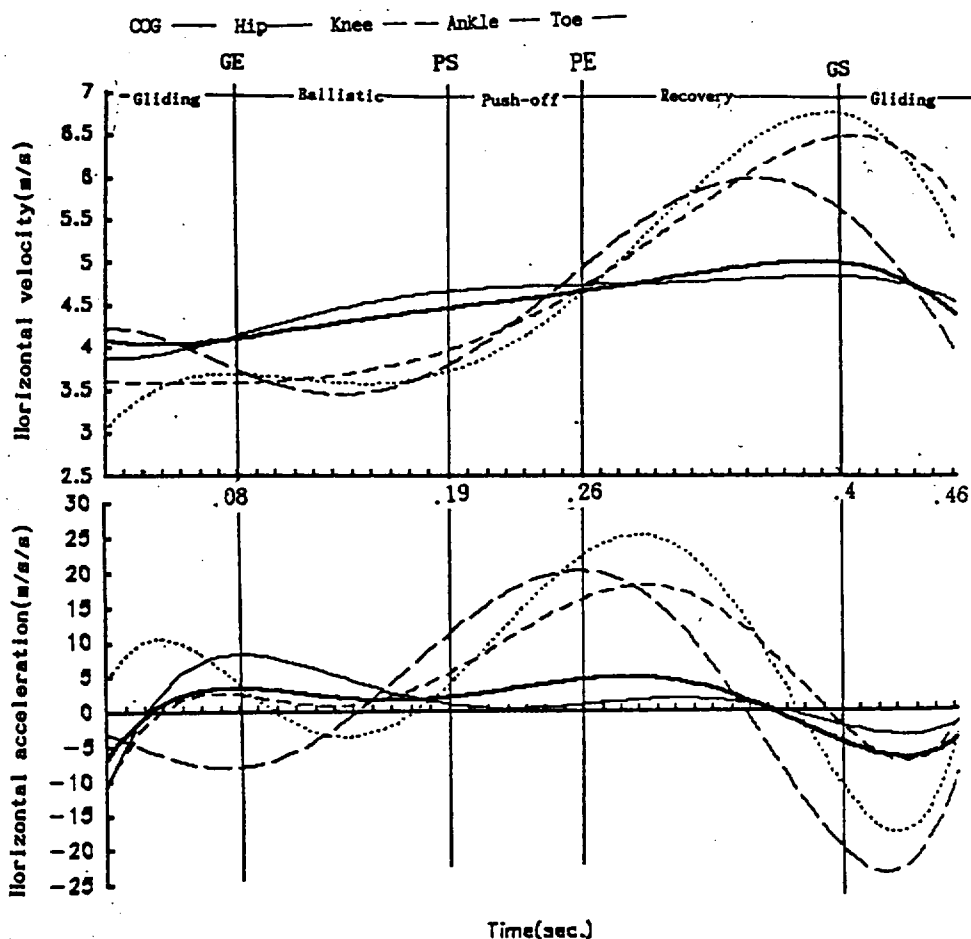


Fig. 1. Stick figure from 1st GE to GS during a complete 1 stroke.

스트로크동안 신체중심(COG), 발끝, 발목, 무릎, 허리의 관절점에 대한 수평속도성분 (V_x Toe, V_x Ankle, V_x Knee, V_x Hip, V_x COG) 분석결과를 각 국면

별 평균으로 처리한 값은 Table 1 및 이의 시간합수로 나타낸 곡선은 Fig. 2와 같다.

1스트로크동안 가장 높은 수평속도의 값을 보인 경우



(GE : gliding end, PS : push-off start, PE : push-off end, GS : gliding start)

Fig. 2. Velocity & acceleration curve from GE to GS according to Time function.

는 발끝의 경우 회복기 말기에서 평균 $6.04\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 이며 같은 국면에서 발목관절이 평균 $5.79\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 무릎이 평균 $5.64\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 신체중심이 평균 $4.87\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 및 허프의 경우 $4.77\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 순으로 각각 나타났다.

이러한 결과를 볼 때 하지 각 분절의 굴신작용으로 하지분절의 회전운동의 결과를 변진운동으로 충분히 전이하지 못하고 있음을 알 수 있고, 하지 3분절의 평균 수평속도성분이 $5.56\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 가 신체중심의 선속도성분으로 전이한 정도는 88%에 지나쳐, 22%의 수평속도성분이 전이되는 가운데 손실이 되었음을 알 수 있다.

Koning(1989)의 제 24회 동계올림픽 남자선수들 대상으로 분석한 결과인 추진시 무릎의 평균속도는 $4.05\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, Boer(1987)의 $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 과 비교할 때 본 연구의 71.84% 및 53%수준에 지나치지 않아 본 연구의 경우가 곡선주로서 정상적인 속도를 발휘하고 있음을 알 수 있다.

본 연구 결과의 특징은 하지분절의 경우 원위단(distal endpoint)에서 근위단(proximal endpoint)로 근접할수록 평균 수평속도성분은 더 감소하는 경향을 보임을 알 수 있다. 특히 발끝, 발목 및 무릎관절의 경우 1스트록동안 평균수평속도의 변화양상이 거

의 비슷하게 나타났고, 이러한 현상은 글라이딩이 끝나는 지점에서부터 국면의 변화가 진행됨에 따라 급속한 증가를 보이다가 글라이딩이 시작되는 지점에서부터 다시 급속한 감소의 양상을 나타냈다. 이들 관절점의 가장 큰 증가현상을 보인 국면은 하퇴 및 대퇴가 최대의 신전운동이 일어나는 탄도기(ballistics)를 지나 발의 저축굴곡(plantar flexion)이 시작되는 지점부터 전회복기(whole recovery)에 걸친 국면으로, 이는 발의 최대 저축굴곡으로 전신이 전방 및 측방으로 글라이딩되는 강력한 추진력에 의한 영향이 회복기까지 미친 것을 알 수 있다.

한편 발끝, 발목, 무릎의 변화양상과는 달리 허프관절과 신체중심의 수평속도 변화양상은 글라이딩이 끝나는 지점에서 다음 글라이딩이 시작되는 국면까지 약한 증가현상을 보였다. 즉 신체중심의 평균수평속도에서 가장 큰 값을 보인 국면은 회복기로서 $4.87\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 로서 가장 적은 값을 보인 글라이딩이 끝나는 지점의 평균수평속도 $4.04\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 와는 $0.83\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 차이를 보인 바, 신체중심의 평균수평속도 성분은 전 국면에서 큰 차이를 보이지 않았음을 알 수 있다.

수평속도 성분에서 특이한 점은 신체중심의 수평속도와 발, 발목, 무릎관절의 수평속도와의 변화하는 양상이 아주 판이한 것으로 나타난 바, 신체중심의 경우는 1 스트로크동안 큰 폭의 변화가 거의 없는 상태에서 증가현상을 보였고, 발, 하퇴, 대퇴의 빠른 굴곡 및 신전운동의 결과로 발생한 파워가 신체 중심에 전이되는 과정에서 충분히 전이되지 않았음을 알 수 있다.

종합하면 곡선주로서 수평성분의 속도 크기는 정상적이었고, 추진기에서 강력한 추진영향이 회복기까지 크게 미쳤다. 발, 하퇴, 대퇴, 신체중심의 순으로 크기를 보여, 하지분절의 각운동 및 선운동의 결과가 신체중심의 선운동으로 전이하는 정도를 더 높일 가능성을 가지고 있는 것으로 사료된다.

한편 선가속도(a_x Toe, a_x Ankle, a_x Knee, a_x Hip, a_x CG) 성분의 경우 국면별 평균치는 Table 1 및 이를 시간함수로 나타낸 변화곡선은 Fig. 2와 같다. 최대의 값을 보인 평균수평가속도는 $14.26\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 이고, 발목이 $12.11\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, 무릎이 $4.40\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 로 각각 나타났고, 국면의 진행에 따라 변화양상은 비슷하게 나타났다. 즉 추진국면 초기부터 발의 순간적이고 강력한

저축굴곡으로 인해 회복기 중반시점까지 가속의 영향을 받은 것으로 나타났다.

이들의 최소값은 발끝이 글라이딩 초기에 $-16\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 와 탄도기의 $2.05\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 의 것과 비교할 때 국면에 따라서 최소 및 최대값의 차이는 큰 것으로 나타났다. 이러한 차이는 탄도기 및 발의 추진의 결과에 기인한 것으로 나타났다.

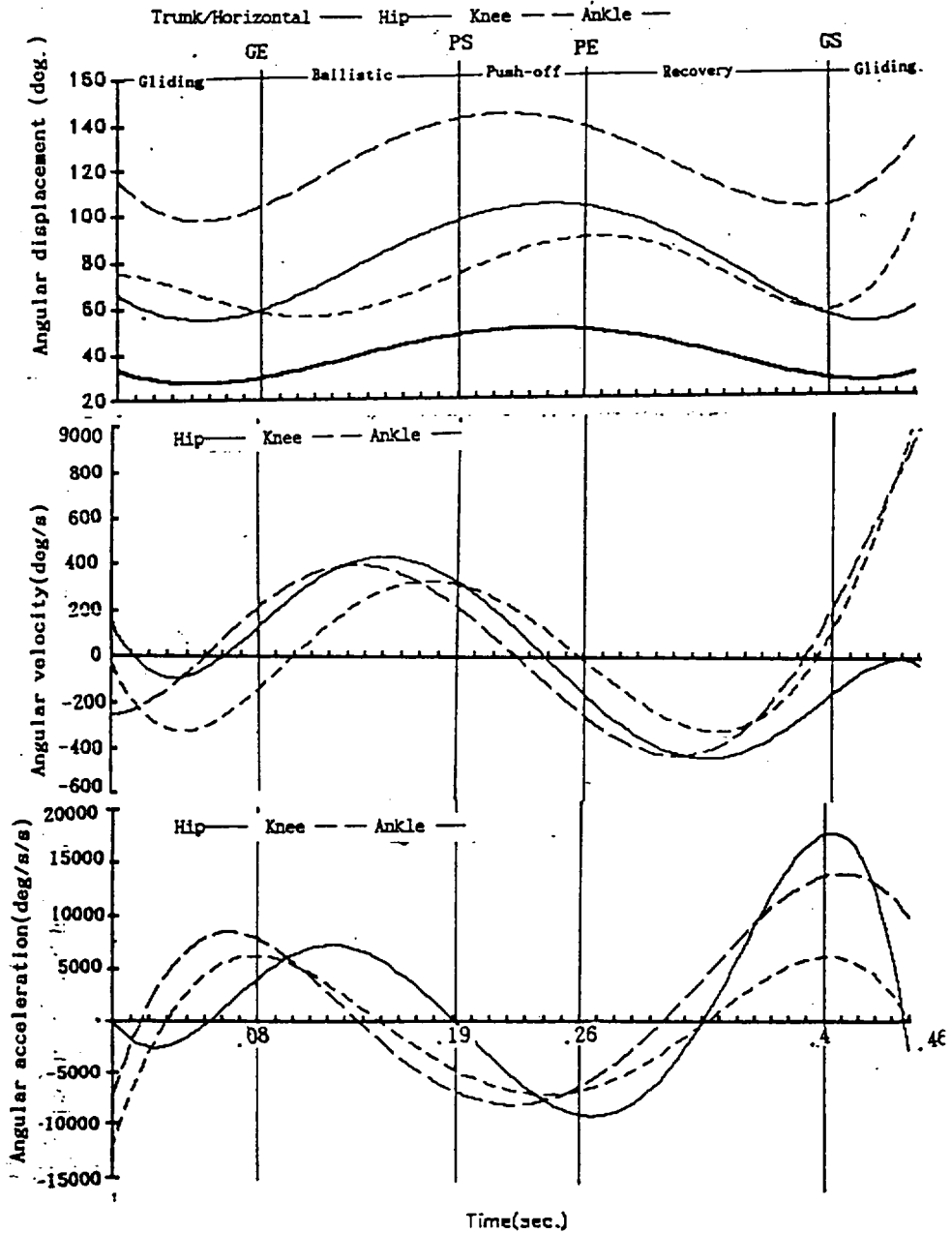
한편 허프와 신체중심의 가속도 변화 양상은 비슷한 것으로 나타난 바, 신체중심의 최대 가속을 보인 지점은 추진국면으로 평균수평가속이 $3.11\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, 회복기시 발끝의 최대치는 $11.15\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 의 큰 차이를 보인 결과는 속도의 경우와 비슷한 변화라고 볼 수 있다.

신체중심의 경우 변화양상은 추진기에서 회복기 중반까지 가장 큰 증가양상을 보인 바, 이는 추진기에서 발의 저축굴곡의 영향으로 사료되며, 이의 영향은 회복기 중반까지 계속되었다. 발끝, 발목 및 무릎관절의 경우와 달리 신체중심의 전체적인 변화양상은 각 국면의 진행에 따라서 큰 변화없이 진행된 것을 볼 때 선속도 성분의 경우와 변화양상이 거의 일정한 것으로 나타났다.

즉 하지분절의 평균 수평가속이 $10.12\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 에 비해 신체중심은 $3.11\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 은 31.10%로 원위단에서 근위단으로 향할수록 파워전이면에서 손실이 큼을 알 수 있고, 하지에서 얻은 파워가 전이되는 과정에서 손실이 거의 69%에 달한 것을 볼 때 탄도기에서 무릎의 정확한 신전작용을 이루지 못한채 다소 억제한 자세로 추진한 결과라 생각되며, 탄도기와 추진기에 무릎과 허프의 신전 및 발의 저축굴곡과정에서 개선이 필요하다.

2. 각운동의 운동학적 분석

1스트로크동안 각 국면 진행에 따라 평균 각변위 및 시간함수로 나타낸 변화곡선은 Table 1 및 Fig. 3과 같다. 추진하는 동안 분절의 각변위와 더불어 가장 중요한 국면은 탄도기(ballistics)와 추진국면(push-off)으로서 발목관절(θ_{ankle})과 무릎관절(θ_{knee})의 최적 굴곡 및 신전운동에 따라 스트로크의 성패가 좌우된다. 즉 발목각변위의 최대치는 추진국면에서 평균 83° , 무릎의 평균 145° , 평균 허프의 103° , 수평면에 대한 동체가 이루는 평균각도(θ_{Trunk}) 54° , 평균추진



(GE : gliding end, PS : push-off start, PE : push-off end, GS : gliding start)

Fig. 3. Angular kinematic curve from GE to Gs according to time function.

각(신체중심과 스케이트 날 끝이 전면에서 이루는 각도, push-off angle, θ_p) 28°를 유지한 것으로 나타났다. Fig. 3에서 보면 모든관절에서 최대의 각을 유

지한 지점은 추진곡면임을 알 수 있으며, 최대각은 무릎, 허벅지, 수평면에 대한 동체각, 발목관절의 순으로 나타났다.

각도와 관련하여 추진기술과정에서 억압된 발의 저축굴곡(constrained plantar flexion)으로 인해 스케이트앞날이 빙판속으로 눌러들어가게 할 수 있기 때문에 빙판에 대한 마찰력을 크게할 수 있다. 이 영향을 제거하기 위해 선수들은 스케이트 후미부분으로 추진해야한다.

역학적으로 말하면 추진력의 작용선 방향이 발목 관절 중심 혹은 바로 앞부분에 위치하도록 해야하므로 저축굴곡이 어느정도 유연하게 될 수 있다(Koning 등., 1989).

본 연구의 분석결과 발목(ankle)의 경우 탄도기에 이어 추진국면초기에 순간적이고 강력한 발의 저축굴곡(plantar flexion)으로 신체중심이 더 강한 측방 및 전방으로 추진을 할 수 있었다. 즉 추진기에 발목 평균각도는 83°로 나타난 바, 최대의 범위로 저축굴곡을 할 수 있는 범위가 150-170°인 것에 반하여 추진기에 너무 적은 발의 저축굴곡을 하므로써 신체중심에 충분한 파워전달을 하지 못한 것으로 사료된다.

무릎(θ_{knee})의 경우 탄도기에서 부터 신전을 시작하여 추진기에는 완전히 신전된 자세를 보이므로써 억제된자세의 추진(constrained push-off)을 방지할 수 있다. 본 연구결과 탄도기에서 무릎의 평균신전각도가 122°에서 최대신전각도가 평균 145°로 나타났다.

한편 각 국면별 평균 무릎각은 글라이딩달기에 104°, 탄도기에 122°, 추진기에 145°, 회복기에 117°와 비교할 때 Boer 등(1987)의 글라이딩의 117°, 추진기의 121.8°, 회복기에 155.3°로서 전국면에서 본 연구의 경우가 다소 더 큰 범위로 신전을 했다.

Ingen 등(1987)의 연구보고에 의하면 수평면에 대해 무릎각이 10°당 최대경기력의 3.3%까지 영향을 미칠 수 있다는 것을 볼 때 본 연구의 경우 글라이딩시 117°, 추진기의 121.8°, 회복기의 155.3°로서 최적의 무릎각을 유지하지 못했음을 알 수 있다.

스케이팅의 추진은 빙판으로 부터 무릎각이 약 154°정도로 제한되어 있다. 이러한 현상은 비교적 직선주루에서 일어나는 현상이며(Ingen, 1985; Boer 등, 1986a), 이 현상은 스피드스케이팅에서 저축굴곡이 없는 것과 관련한 해부학적 및 역학적 제약으로부터 발생된다.

Koning 등(1989)의 경우 평균 무릎신전이 147°였

고 무릎신전의 나머지 부분은 공중에서 일어난다는 결과와 비교할 때 본 연구의 경우 비슷한 정도로 무릎신전이 9° 정도 더 신전을 하여 추진되었음을 알 수 있다. 이 결과로 무릎의 회전속도성분을 선속도 성분으로 전이와 관련한 억제추진(constrained push-off)에 직접관련이 있다(Ingen 등, 1985; Ingen 등, 1987b). 스피드 스케이팅에서 추진은 무릎신전각도가 약 30°에 걸쳐 일어난 Koning 등(1989)의 결과와 비교할 때 본 연구의 23°의 범위로 무릎신전이 발생한 바, 충분히 신전하지 못한채 스트러키 이루어 졌음을 알 수 있다. 스피드 스케이팅에서 추진은 극히 폭발적인 무릎신전으로 수행되므로서 큰 파워를 발생한 경우(Ingen 등, 1985; Ingen 등, 1987b) 평균 3000-4000Watts까지 발생할 수 있다고 보고했다. 따라서 본 연구에 참가한 피실험자의 경우 더 큰 정도의 무릎신전을 하였던 결과 더 큰 파워를 발생할 가능성을 보였다고 사료된다.

힙관절(θ_{hip})경우 탄도기의 76°에서 추진기에 103°로 신전되는 양상을 보였고, 이는 동체와 대퇴가 이루는 최적각이 90°일때 유체저항을 최소화할 수 있다는 관점으로 볼 때 탄도기에는 동체를 과도하게 굴곡하므로써 무릎신전작용에 방해될 초래했고, 추진기에는 최적각이 90°보다 더 큰각으로 신전시키므로써 최적의 자세를 이루지 못하였음을 알 수 있다. 특히 추진의 직접적인 결과로 영향을 받는 글라이딩국면과 회복기에서 수평변위가 가장 큰 것을 고려할 때 동체의 수평각을 다른 추진기 및 탄도기보다 유체저항의 영향으로 결국은 속도에서 손해를 볼 수 있다. 그러나 본 피실험자의 경우는 탄도기와 추진기를 제외하면 다시 수평에 가까운 동체자세를 취하므로써 유체저항으로 인한 수평속도성분에서 손실을 극소화한 것으로 사료된다.

한편 수평에 대한 동체의 각도(θ_{trunk})는 본 연구의 경우 추진기에 평균54도, 글라이딩기에 평균 27°로서 Boer 등(1987)의 추진기에서 평균 13.5°에 비해 훨씬 더 신전된 자세로 스트러키 이루어 졌음을 알 수 있다. 동체의 최적 유지각이 180° 인점을 비추어 볼 때 본 연구의 경우 수평에 대한 동체의 위치가 수평을 이룰 때가 유체저항을 가장 최소화할 수 있는 요인으로서 수평에 대해 10° 마다 최대 경기력의 3.9%의 차이를 낸다(Ingen 등, 1987)고 한 보고에서 수

평면에 가까울수록 바람직함을 고려할 때 동체를 다소 더 굴곡을 시켜야 할 것으로 사료된다.

각속도(θ_{knee} , θ_{hip} , θ_{ankle})의 경우 1스트룩동안 각국면의 진행에 따라 평균 변화분석은 Table 1 및 이의 시간 함수로 각속도의 변화곡선은 Fig. 3과 같다. 각속도의 변화양상은 스트룩이 진행됨에 따라 +값(positive) 및 -값(negative)을 가지게 되는데, +의 경우는 하지 3분절이 신전하는 국면으로서 글라이딩 말기가 끝나면서 탄도기에 들어와서 점차 신전이 증가하여 최대 신전지점을 지나 추진기를 맞이하여 신전자세가 다시 굴곡자세로 변화하면서 추진기 말기에 신전된 자세로 원료하였음을 알 수 있다. 회복기에 들어와서 하지의 3분절 모두가 굴곡을 하면서 각속도가 -값을 유지하게 되고 이의 최대치에 도달한 후 다시 글라이딩 시작국면에 와서 신전자세로 변화했다.

1스트룩동안 신전운동이 일어나는 탄도기와 추진기에서 최대의 신전동작을 보인 관절은 허프의 경우 평균 각속도가 405.85 deg. s⁻¹였고, 무릎의 경우 평균 403.69deg. s⁻¹, 발목의 경우 평균 240.85deg. s⁻¹로서 허프의 경우 동체와 대퇴의 신전동작이 급속히 이루어졌음을 알 수 있고, 그 다음 무릎, 발목의 순으로 신전동작이 이루어 졌다.

추진기에는 위의 순서와는 달리 발목의 경우가 평균 258.45deg. s⁻¹로 가장 빠르게 신전동작이 이루어졌고, 무릎의 경우 평균 -118.92deg. s⁻¹로서 발목과는 다른 양상으로 굴곡을 하는 것을 알 수 있다. 허프의 경우 평균각속도가 106.34deg. s⁻¹로서 가장 느리게 신전동작이 이루어졌음을 알 수 있다.

Boer 등(1987)의 경우 무릎의 최대 각속도를 보인 지점은 추진기로서 440.5deg. s⁻¹, Konning 등(1987)의 683.5deg. s⁻¹로서 본 연구의 403.69deg. s⁻¹ 경우의 109%, 및 169%의 빠른 속도로 무릎이 신전하였음을 알 수 있다.

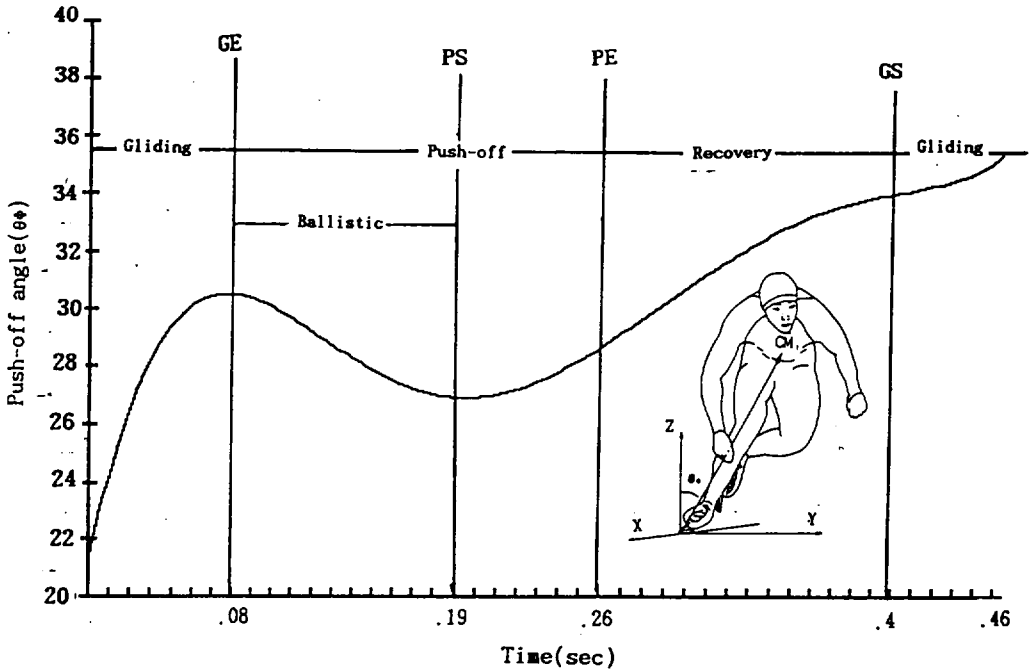
이러한 결과로 볼 때 본 연구의 경우 추진기에 발목, 무릎의 최대신전동작이 이루어져 강력한 추진동작을 위해 최대 신전운동을 병행해야 하는 반면, 무릎의 경우 발의 신전운동과 반대로 무릎의 굴곡운동으로 인해 발의 신전운동에서 얻은 파워를 무릎에서 흡수하여, 무릎의 절대각속도와 발의 신전동작으로 얻은 상대 각속도를 총합하여 신체중심의 수평운동

으로 전이하므로 효율적인 분절운동을 했다 할 수 있지만 무릎에서 흡수하고 충분히 전이를 하지 않으므로서 더 큰 파워를 유발하지 못하게 된 원인이라 사료된다.

회복기 시작부터 회복기 끝까지 계속 3분절 굴곡운동이 비슷한 변화양상을 보였고, 이 때 굴곡운동 역시 허프의 경우 평균 각속도가 325.70deg. s⁻¹로 가장 많은 굴곡운동을 하였고, 무릎이 평균 240.35deg. s⁻¹, 발목의 평균 227.62deg. s⁻¹의 순으로 나타났다. 이 3분절의 굴곡운동양상 역시 비슷하게 변화하고 있음을 알 수 있는데, 회복기가 끝난 지점부터 글라이딩이 시작되는 국면에서 발목과 무릎의 경우 급속히 신전을 한 반면, 허프의 경우는 완전한 신전을 이루지 못하고 다소 굴곡된 상태로 유지되고 있음을 알 수 있다.

각가속도(α_{knee} , α_{hip} , α_{ankle})의 경우 각국면별 진행에 따른 평균 변화량을 분석한 결과를 보면 추진기에서 발휘한 각 신체분절의 굴신운동이 글라이딩 국면과 탄도기 초기에서 빠른 속도로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 즉 최대의 각가속도를 보인 지점은 글라이딩 시작부분에서 무릎의 평균 각가속도가 14590deg. s⁻², 발목의 9615.16deg. s⁻², 허프의 3894.16deg. s⁻²의 순으로 각각 나타났으며, 글라이딩 시작부분에서 마지막 모든 분절에서 가속도가 급속히 감소한 후 다시 글라이딩 말기부분에서 탄도기에 앞서 급속한 증가현상을 보인 후 탄도기를 지나 추진기에서 최하의 가속도값을 보였다. 글라이딩 초기에서의 값이 말기의 값보다 훨씬 더 큰 것으로 볼 때 추진의 결과 회복기에 진입하면서 급속한 증가현상을 보인 반면 회복기 말기에서는 시작부분보다 다소 낮은 값으로 탄도기에 다시 진입하는 반복적인 주기를 가지면서 스트룩이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

특이한 것은 각속도, 각도, 및 각가속도의 종합적인 차원에서 볼 때 추진기에서 무릎, 발목, 및 발의 신전작용이 최대로 이루어지지 못한채 다시 추진되는 경향으로 이 선수의 경우 억압된 추진(constrained push-off)이 이루어져 글라이딩 초기에 더 큰 각가속도를 유발하지 못한 것으로 사료되며, 더 큰 각가속을 유발하여 원위단분절에서 근위단분절로 전이된 더 큰 파워를 신체중심으로 전이할 수 있게



(GE : gliding end, PS : push-off start, PE : push-off end, GS : gliding start)

Fig. 4. push-off angle curve (θ_p) by phase during a complete 1 stroke

하기 위해서는 억제된 추진자세를 수정하여 최대한 협응동작과 타이밍을 이룬 3분절의 신전 및 굴곡운동을 실시할 경우에는 신체중심의 더 큰 가속을 발생시킬 수 있을 것으로 사료된다.

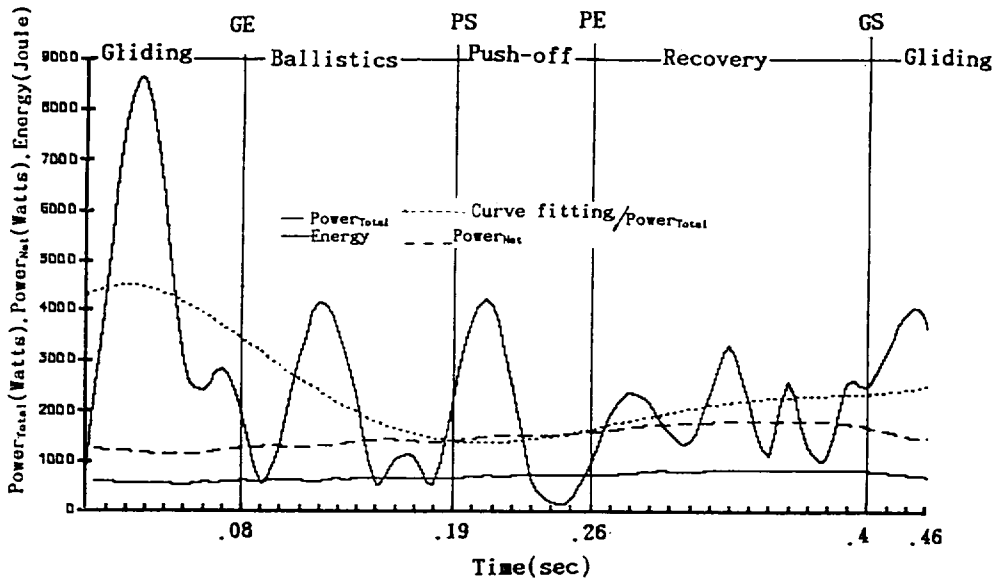
추진각(push-off angle, θ_p)의 경우 각 국면별 평균 각변위는 Table 1 및 시간에 대한 변화곡선은 Fig. 4와 같다. 이 추진각은 직선주로에서 보다 곡선주로에서 더 큰값을 가지게 되는데, 글라이딩기에서 평균 27°, 회복기에서 평균 28°, 탄도기와 추진기에서 평균 추진각은 28°로서 회복기와 글라이딩국면에서 보다 더 적은 값을 가진 것으로 나타났다. Boer 등(1987)의 것과 비교하면 글라이딩시 2.3° 즉 추진기에 14.6°, 회복기말에 35.3°로서 본 연구의 결과와는 각 국면마다 차이를 보이고 있으며, 이로 인해 곡선주로에서 추진각(θ_p)의 증가로 발생한 무게중심이 낮아지게 되어 완전한 추진을 하는데 불리한 조건을 무릎각(ϕ_{knee})을 증가시키므로써 보상할 수 있다.

즉 모든 국면에서 본 연구의 경우는 신체중심과 스케이트 날끝과 기울기가 크므로써 구심력성분의 힘

을 잘 이용할 수 있는 반면에 Boer 등(1987)의 경우는 구심력성분보다는 접선방향의 힘이 더 많이 작용하므로써 커버링을 하는데 다소 원할하지 못함을 알 수 있다. 본 연구의 경우 하지 3분절이 추진을 준비하는 탄도기에서 최대의 신전으로 추진기에 접근하면서 기울기를 크게 유지한 결과 더 큰 추진을 할 수 있는 가능성이 높은 것을 볼 때 본 연구 피실험자의 경우 탄도기와 추진기에서 적은 추진각으로 추진을 하므로써 곡선주로에서 더 큰 기울기를 가져 구심력(centrifugal force)을 더 크게 유지할 수 있었고, 접선방향(tangential force)의 힘을 감소시켜 결국 효율적인 커버링을 했다고 사료된다.

3. 운동역학적분석

곡선주로의 1스트로동안 분석된 운동역학적 변인은 하지분절의 상호작용에 의해 신체중심이 갖는 총 파워(P_{total}), 순수파워(P_{net}), 운동에너지($E_{kinetics}$)로 그 결과는 각 국면별 평균한 값이 Table 1 및 이의 시간함수로 변화곡선을 나타낸 결과는 Fig. 5와 같



(GE : gliding end, PS : push-off start, PE : push-off end, GS : gliding start)

Fig. 5. Total, Net Power & Energy curve by phase during a complete 1 stroke.

다.

마찰과워손실($P_{friction}$), 스트로크당 총파워(P_{total}), 순수파워(P_{net})의 측정과 산출은 선행연구(Boer 등, 1988; Boer 등, 1987; Ingen, 1982, 1985)의 결과보고서를 인용하였고, 이들의 연구결과와 상호 비교분석하였다.

스피드 스케이팅동안 에너지 흐름의 변화는 Ingen (1982, 1989)의 연구를 토대로 본 연구결과 운동에너지($E_{kinetics}$) 변화량의 경우 순수파워변화량의 양상과 거의 비슷하게 변하여 갔음을 알 수 있고, 최대의 에너지 수준을 보인 국면은 회복기로서 평균 803.77Joule를 보였고, 가장 적은 국면은 글라이딩이 끝나는 국면에서 551.32Joule를 보여 국면에 따라 최대와 최소의 차이는 252.45(약56%)Joule의 차이를 보였다. 탄도기와 추진기사이에는 큰 차이를 보이고 있지 않았지만 두 국면의 결과로 회복기에서 증가하는 양상을 보이다가 글라이딩기에와서 다시 감소하는 양상을 보였다.

빙판마찰력 및 유체마찰력을 제외한 순수파워(P_{net})의 경우 회복기를 제외하고는 큰 변화없이 일정한 수준을 유지한 것을 알 수 있고, 가장 적은 국

면은 평균 1519.24Watts, 가장 높은 국면은 회복기의 평균 1856.97Watts를 보였다. 순수파워의 경우 전체 5국면의 평균값은 1192.80Watts로 나타났다.

선수에 의해 발휘된 총파워(P_{total})가 가장 높게 나타난 국면은 글라이딩이 끝나는 지점(GE)으로 평균 3510.15 Watts로 가장 적은 국면인 탄도기의 1829.63 Watts와 비교할 때 그 차이는 1680.52 Watts(약 53%)로 국면간 차이는 큰 것으로 나타났다. 한편 글라이딩 국면에서 이와 같은 큰 파워를 내게하는 국면인 탄도기와 추진기의 총파워는 평균 1829.63Watts 및 1976.48Watts로 나타난 바, 역시 글라이딩 국면과는 큰 차이를 보였다. 한편 전국면에 걸쳐 선수가 가지는 총파워의 변화는 매우 불규칙한 양상을 보였으며, 이를 각 국면에 따라 일반적으로 변화하는 양상을 분석하기 위해 총파워곡선을 최적화(curve fitting) 시킨 결과 추진국면에서 가장 낮은 값을 보였고, 추진기를 지나 회복기, 글라이딩 시작까지 점차 높아지는 경향을 보이다가 글라이딩 끝지점에서는 평균 4000Watts가 넘는 파워를 보였다.

이러한 결과는 Boer 등(1987)의 전체스트로크의 평균 3710 Watts, Konning 등(1989)의 2688Watts와

비교할 때 본 연구의 전체국면의 평균과워가 1834 Watts로서 이 값은 탄도기와 추진기의 평균값인 1903.05Watts보다 약간 적은 값으로서 Boer (1987) 와의 차이는 1875.37Watts, Konning (1989) 의 것과는 853.37Watts의 차이를 보인 바 이들에 대한 본 연구의 평균과워는 약 49% 및 68%에 지나쳤다.

반면 본 연구의 경우 파워의 변화량이 각 국면에 따라 큰 폭의 차이로 변화하였는바, 글라이딩국면에서는 선행연구의 것보다 훨씬 더 높은 값을 보였다.

스피드 스케이팅 스트로크는 글라이딩국면 혹은 스타트시는 공중국면 (flight phase), 추진국면 (push-off phase), 재위치국면 (repositioning phase)으로 구분할 수 있으며, 유효과워는 스트로크의 추진국면과 탄도국면에서만 생성되어 다른 국면에서 이를 활용하게 되는 데 본 연구에서는 추진결과 회복기에서 글라이딩국면에 이르러 증가하는 현상을 보인 바 파워의 변화가 바람직했다고 사료된다.

선행연구와 비교할 때 본 연구의 이러한 현저한 차이는 탄도기와 추진기에서 무릎이 신전되는 과정에서 다소 억제된 추진각 (constrained push-off angle)과 각속도때문으로, 이 현상은 회전속도성분을 선속도 성분으로 전이와 관련한 무릎의 억제추진 (constrained push-off)에 직접관련이 있다. (Ingen 등, 1985; Ingen 등, 1987b). 따라서 이의 해결을 위해서는 탄도기에서 무릎의 신전속도(각속도)를 더 높이는 방안이 검토되어야 할 것으로 사료된다. 반면 본 연구의 경우 파워의 변화량이 각 국면에 따라 큰 폭의 차이로 변화하였는바, 글라이딩국면에서는 선행연구의 것보다 훨씬 더 높은 값을 보였다.

스피드 스케이팅 스트로크는 글라이딩국면 혹은 스타트시는 공중국면 (flight phase), 추진국면 (push-off phase), 재위치국면 (repositioning phase)으로 구분할 수 있으며, 유효과워는 스트로크의 추진국면과 탄도국면에서만 생성되어 다른 국면에서 이를 활용하게 되는 데 본 연구에서는 추진결과 회복기에서 글라이딩국면에 이르러 증가하는 현상을 보여 파워의 변화가 바람직했다고 사료된다.

적 요

스피드스케이팅 코너웍의 스트로크기술을 세계 일류

급선수들과 비교분석하여 나온 결과를 토대로 경기력을 향상시킬 수 있는 자료를 위해 실제 400m 아이스링크에서 시합과 같은 상황에서 영상분석결과 운동학적 및 운동역학적 결론은 다음과 같다.

운동학적 결과로 1스트로크의 소요시간은 0.46초, 파워를 발생하는 탄도기와 추진기는 각각 .11초 (23.91%), .07초 (15.21%)이었고, 총 수평변위는 203.9cm로서 탄도기의 49.50cm (24.28%), 추진기의 32.2cm (15.80%) 회복기는 66.20cm (32.47%), 글라이딩의 (GS+GE) 56cm (27.46%)로 가장 짧은 신체중심의 수평변위는 추진기로서 순간적인 시간동안 짧게 추진이 되므로서 더 강한 파워를 발휘할 수 있고, 긴 회복기와 짧은 글라이딩기를 가질 수 있었다.

수평속도는 분절의 굴신작용으로 하지분절의 회전 운동의 결과를 신체중심의 선운동으로 전이율은 88%로 전이율을 더 높일 가능성을 가지고 있다.

수평가속의 경우 하지분절이 신체중심의 절대가속도 및 상대가속도에 대한 전이율은 31.10%로 원위단에서 근위단으로 향할수록 파워 전이면에서 손실이 컸다. 이는 탄도기에서 무릎의 정확한 신전작용을 이루지 못한채 다소 억제된 자세 (constrained push-off)로 추진한 결과이며, 탄도기와 추진기에 무릎과 허프의 신전 및 발의 저축굴곡과정에서 개선이 필요하다.

분절각도에서 1스트로크동안 추진기의 발목 평균각도는 83°로 최대범위의 저축굴곡을 할 수 있는 범위가 150-170°인 것에 반하여 추진기에 발의 저축굴곡이 적어 신체중심에 충분한 파워전달을 못했다.

무릎의 각변위는 평균신전각도가 122°-145°로 범위는 23°에 불과해 충분한 굴신작용을 이루지 못했고, 동체와 대퇴가 이루는 최적각이 90°일때 유체저항을 최소화할 수 있지만, 탄도기에 동체를 과도한 굴곡으로 무릎신전작용에 방해로 초래했고, 추진기에는 최적각인 90°이상으로 신전시키므로서 최적의 자세를 이루지 못했다. 탄도기와 추진기를 제외하면 수평에 가까운 동체자세를 취하므로서 유체저항으로 인한 수평속도성분에서 손실을 극소화했다.

탄도기와 추진기에서 평균 28°, 회복기에서 27°, 글라이딩기에서 27°의 큰 기율기로 인해 구심력 (centrifugal force)을 더 크게 유지하므로서 접선방향 (tangential force)의 힘을 감소시켜 결국 효율적

인 커버링을 했다.

이상을 종합하여 개선해야 할 점은 선운동의 수평 속도에서 원위분절이 신체중심에 대한 파워전이율은 상당히 낮은 것으로 나타난 바, 이를 개선하기 위해서는 하지 각분절의 타이밍에 맞은 신전 및 굴곡동작을 원활히 하므로써 가능하며, 각운동에서 역시 각속도, 각도, 및 각가속도의 차원에서 볼 때 추진기에서 무릎, 발목, 및 발의 굴신작용이 충분하지 못한채 다시 억압된 추진(constrained push-off)으로 원위단분절에서 근위단분절로 더 큰 파워를 신체중심에 전

이를 위해서 억제된 추진자세를 수정하여 최대한 힘 운동작과 타이밍을 이룬 3분절의 신전 및 굴곡운동을 하므로써 신체중심의 더 큰 가속을 발생할 수 있을 것으로 사료된다.

평균파위의 변화량에서 선행연구의 경우와 비교하여 추진기시 약 49% 및 68%에 지나친 결과를 볼 때 하지분절의 추진과정에서 굴신작용과 관련이 있음을 알 수 있고, 추진기와 탄도기에서만 생성되어 다른 국면에서 활용하는 과정으로 글라이딩기의 증가는 바람직했다.

참 고 문 헌

- Aleshinsky, S. Y., (1986a). An energy "source" and "fractions" approach to the mechanical energy expenditure problem-I. Basic concepts, descriptions of the model, analysis of a one-link system movement. *Journal of Biomechanics*, 19, 287-293.
- Aleshinsky, S. Y. (1986b). An energy "source" and "fractions" approach to the mechanical energy expenditure problem-II. Movement of the multi-link chain model. *Journal of Biomechanics*, 19, 295-300.
- Boer de, Schermerhorn, P., Gademan, J., de Groot, G., & Ingen Schenau, G. J. Van (1986a). Characteristic stroke mechanics between elite and trained male speed skaters. *International Journal of Sports Biomechanics*, 2 : 175-185.
- Boer de, Ettema, G. J. C., Gorkum, H. Van, de Groot, G., & Ingen Schenau, G. J. Van (1986b). A geometric model of speed skating the curves. Manuscript accepted for publication in *Journal of Biomechanics*.
- Boer de, Ettema, G. J. C., Van Gorkum, H., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Biomechanical aspects of push-off techniques in speed skating the curves. *International Journal of Sports Biomechanics*, 3 : 69-79.
- Boer de and Nilsen K. L. (1989). Work per stroke and stroke frequency regulation in olympic speed skating. *International Journal of Sport Biomechanics* 5, 135-150.
- Dempster, W. T. (1955). Space requirements of the seated operator(WADC Technical Report 55159). Dayton, OH : Wright-Patterson Air Force Base.
- Djatschkow, W. M. (1977). Die steuerung und optiemierung des trainingsprozesses. Berlin: Sportverlag. 27-59.
- Doctorevic, A. M. (1975). Zur Bestimmung von Kriterien einer rationellen Bewegungstechnik im Eisschnellauf. *Leistungssport*, Beiheft : Information zur Training, 5, 42-46.
- Ingen Schenau, G. J. Van, & Bakker, K. (1980). A biomechanical model of speedskating. *Journal of Human Movement Studies*, 6 : 1-18.
- Ingen Schenau, G. J. Van(1981). A power balance applied to speed skating. (Doctoral dissertation, Free Univ., Amsterdam.
- Ingen Schenau, G. J. Van(1982). The influence of air friction in speed skating. *Journal of Biomechanics*, 15 : 449-458.
- Ingen Schenau, G. J. Van, de Groot, G., & Hollander, A. P. (1983). Some technical,

- Physiological and anthropometrical aspects of speed skating. *European Journal of applied Physiology*, 50 : 343-354.
- Ingen Schenau, G.J. Van, de Groot, G., & de Boer, R.W. (1985). The control of speed in elite female speed skaters. *Journal of Biomechanics*, 18 : 91-96.
- Ingen Schenau, de Boer & de Groot (1987). On the Technique of Speed Skating. *International Journal of Sports Biomechanics*, 3, 419-431.
- Kobayashi, T. (1975). Studies of the properties of the ice in speed skating rinks. *Ashrae Journal*, 15 : 51-56.
- Koning, J.J. de, de Boer, R.W., de Groot, G., & van Ingen Schenau, G.J. (1987). Push-off force in speed skating. *International Journal of Sports Biomechanics*, 3 : 103-109.
- Koning de, Gert de Groot, and Gerrit Jan Van Ingen Schenau (1989), Mechanical aspects of the sprint start in olympic speed skating. *Internal Journal of sport Biomechanics*. Vol.5, Num.2, pp.169-184.
- Krause, O.P. (1972). New data on the phasic structure of speed skating. *Theory and practice of physical culture*, 3 : 15-18.
- Kuhlow, A. (1973). Running economy in long distance speed skating. In P. V. Komi (ED.), *Biomechanics V-B*, International series on Biomechanics, Vol. 1B, 291-298. Baltimore : University Park Press.
- Lees, A. (1980). An optimized film analysis method based on finite difference techniques. *Journal of Human Movement Studies*, 6 : 165-180.
- Lier, A. (1975). *Fraskyvsstrukuren i hurtiglop pa skoyter*. Norges idretshogskole, NIHNORA, Oslo, 37.
- Nicol, K. (1974). Computerized method for determination of ice skating velocity. In R. C. Nelson & C. A. Morehouse (EDS), *Biomechanics IV* : 251-258). Baltimore : Univ. Park Press.
- Winter, D.A. (1979). *Biomechanics of Human Movement*. New York : Wiley.