



한국운동역학회지, 2003, 제13권 3호, pp. 15-26
Korean Journal of Sport Biomechanics
2003, Vol. 13, No. 3, pp. 15-26

장대높이뛰기 경기의 운동학적 분석

임 규 찬*(울산대학교)

ABSTRACT

Kinematical Analysis of Men's Pole Vault Event

Lim, Kyu-Chan*(Ulsan University)

K. C. LIM. Kinematical Analysis of Men's Pole Vault Event. Korean Journal of Sport Biomechanics. Vol.13, No.3, pp. 15-26, 2003. This study was conducted to investigate the performance times, CM position and CM speed, pole chord length and pole chord angle, whole body angular momentum(X axis), and grip width in pole vault event according to the event and phase; touch down, pole plant, take-off, maximum pole bending, pole straight, pole release, peak height, and foot contact, pole contact, free flight. The pole vaulting of four male elite vaulters including six trial were filmed using two video digital cameras at 60 Hz at 56th national athletic match, and data were collected through the DLT method of three dimensional cinematography.

In general the better jumper is, the longer the performance time is. And the greater CM speed is, and the better his transformation ability of CM horizontal speed into vertical speed is. As he uses a longer pole, his grip is higher, and it is a enough for him to rock back his body, so that he pulls and pushes the pole well keeping his hips close to. An greater maximum angular

2003년 10월 22일(수) 접수

* Corresponding author, 교수, 680-749, 울산광역시 남구 무거2동 산29번지 울산대학교 자연과학대학 체육학부
연락처 : kclim@mail.ulsan.ac.kr, Tel : 017-586-8428

momentum and early positioning of the hips parallel to the bar makes his body far side of the bar and his bar clearance easier.

Specially our national jumper needs to have more powerful braking force during foot contact phase, and take his body on the pole after maximum pole bending, and pull and push the pole strongly keeping his hips close to. Also he needs to have stronger muscular strength in order to control the longer pole and use the pole of proper tension more efficiently.

KEY WORDS : POLE VAULT, ANGULAR MOMENTUM

I. 서 론

장대높이뛰기는 폴의 재질이 개선되고 선수들의 기량이 발전되어 최근 20년간 그 기록이 지속적으로 갱신되었다. 국내선수들도 체력과 기술력이 향상되어 기록이 개선될 무한한 가능성을 갖고 있다.

장대높이뛰기 선수는 필요조건이 아닌 충분조건으로 빠른 도움닫기를 이용하고, 신체중심이 높은 위치에서 도약하며, 폴을 최대한 밀어 몸을 전도시킬 수 있어야 한다(임규찬, 2001). 이러한 목표가 달성되기 위해서 선수가 풀어야 할 숙제는 폴을 꽂고 나서 보다 큰 각운동량을 획득해야하고 이를 유지할 수 있는 능력이 있어야 한다. 이러한 각운동량에는 빠른 도움닫기뿐만 아니라 폴 꽂기 시 전 달된 지면반력이 이지 후의 각운동량 획득에 기여한다(Hopper, 1973). 즉, 상방의 지면반력이 신체에 가해지면 신체중심의 속도를 줄이지 않은 상태에서 폴 박스로부터 신체중심 속도 벡터를 잇는 수직 거리 즉, 힘 팔의 길이가 증가하기 때문이다. 결국 가능한 길고 조절 가능한 폴을 사용하면 이 수직 거리에서 이득을 보기 때문에 다른 선수에 비해 상대적으로 큰 각운동량을 획득할 수 있다.

현재 국내선수들은 4.8m에서 5.0m 정도의 폴을 사용하고 있다. 올해 재미 육상선수 김유석에 의해 기록이 갱신된 국내 남자 장대높이뛰기 기록(5.55m)을 8년간 보유했던(5.53m) 김철균 선수는 5.0m 폴을 사용하고 있다. 국외의 경우를 보면 세계 정상급 선수들은 대체로 5.0m에서 5.1m의 폴을 사용하고 있다. 사용한 폴 길이에 1.05m를 더하면 장대높이뛰기에서 달성 가능한 최대 높이를 알 수 있기 때문에(Angulo-Kinzler 등, 1994) 국내선수들은 발구름구간보다 폴지지구간에서 폴을 효과적으로 사용하지 못하고 있는 것이 현실이다.

폴지지구간에서의 동작은 기계체조 선수가 뒹뜰에서 착수하는 초기 동작과 근본적으로 같은데, 그 이유는 착수 시 신체에 가해진 수평 지면반력이 신체중심의 전방향으로의 움직임을 억제하는

braking force로 작용하기 때문이다. 기계체조에서는 도약을 조절해야 한다는 점에서 억제력이 의의가 있지만, 최대의 높이가 요구되는 장대높이뛰기에서는 억제력이 최소가 되어야 한다. 따라서 지면에 도약발이 착지해서 폴을 폴 박스에 꽂은 순간 그 지점에서 신체중심까지의 수평 거리는 체중과 함께 회전력을 형성하게 되는데, 이는 신체의 공전적 각운동량(remote angular momentum)방향과는 반대인 회전력이기 때문에 선수는 이지 후에 이 수평 거리를 어떻게 하면 보다 빨리 감소시킬 것인가 또는 수평 억제력을 감소시키기 위해서 어떠한 기술로 신체를 조정할 것인가 그리고 폴의 특성을 어떻게 이용할 것인가를 해결해야 한다.

보다 많이 휘어지는 유리섬유 폴 때문에 선수는 과거보다 더 높이 뛰어오르게 되어 높고 넓은 그림을 사용할 수 있게 되었다. 이러한 변화로 폴의 휨 방향을 보다 쉽게 조절할 수 있다. 즉, 그림이 넓으면 서로 반대 방향의 양손이 폴지지구간의 초기 단계 동안 신체중심의 전방 스윙 또는 반시계방향의 스윙을 지연시켜주며, 신체중심의 속도를 증가시키고, 또한 당기고 미는 동안 신체를 보다 빨리 펴는데 도움을 준다(Angulo-Kinzler 등, 1994). 폴지지구간 초기에 선수는 신체중심의 상방 운동과 반 시계 회전을 지연시키기 위해 잠시 매달려 있게 되는데, 이 기간에 어느 정도의 자전적 각운동량이 크기는 같고 방향은 반대인 폴의 공전적 각운동량으로 전이되므로 이러한 순간적인 시간적 조절에 정교함이 요구된다. 또 선수가 어느 시점에 뒤집기 자세로 빨리 회전하여 최대로 뒤집은 자세에 도달한 후 바넘기를 준비하기 위해 신체가 펴지는데, 이때 폴을 보다 강하게 밀 수 있는 적절한 시간적 제어가 필요하다. 이때의 동작이 부정확하면 신체가 낮아지고 결국 폴을 미는 각도가 좋지 않게 된다.

그 동안 장대높이뛰기에 관한 연구는 국외의 경우 Angulo-Kinzler 등(1994)의 1992년 바르셀로나 올림픽 장대높이뛰기 동작에 대한 3차원적 분석과 Yagodin과 Papanov(1986)의 Sergei Bubka 동작분석이 대표적이고, 국내의 경우 임규찬(2001)의 연구와 장준원(1997)의 연구가 전부이다. Angulo-Kinzler 등(1994)은 결선에 진출한 8명 선수들을 동작 분석한 결과 기록이 좋을수록 높은 그림을 유지하였고, 각운동량을 제어하는데 있어 시간적으로 적절했다고 하였으며, 엉덩이를 바에 빨리 평행하게 위치시킬수록 유리하다고 하였다. 임규찬(2001)은 국내선수들의 동작을 평가하면서 “국내선수들은 폴의 특성을 최대로 이용하는 폴지지구간에서의 기술 개선이 시급하다. 또한 최적의 도약을 위해서는 마지막 발구름 시의 보폭을 줄여야 하며, 신체중심을 낮추어야 한다. 폴을 꽂을 때에는 도약발이 윗 손 직하방에 놓여 있도록 해야 하며, 그림의 위치는 가능한 높여야 한다. 그리고 폴 밀기 방향이 보다 직하방으로 이루어져 한다.”고 하였다.

이와 같이 국내선수들을 대상으로 한 장대높이뛰기 연구가 양적으로 부족한 상태에서 볼 때 임규찬(2001)의 연구는 의의가 있지만 실험 연구이고 각운동량에 대한 규명이 없어 이를 보완해야 할 후속 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 이에 대한 후속 연구로서 국내선수들의 장대높이뛰기 경기의 발구름에서부터 공중자세까지를 3차원으로 영상 분석하여 순간동작별 소요시간과 누적시간, 신체중심의 속도, 신체중심의 위치, 폴 코드(폴의 원위단에서 근위단으로의 벡터) 길이와 각도, 전신의 X축 각운동량, 그림의 길이를 밝혀 효율적인 동작 형태를 규명하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자 선정

제56회 전국육상경기선수권대회 겸 제14회 부산아시아경기대회파견 최종선발대회(2002. 6. 11) 남자 일반부 장대높이뛰기 종목 결선에 진출한 선수 4명의 5.0m 이상에 도전한 시기 중에서 정성적으로 양호한 시기를 선정하였으며, 연구 대상자들의 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 연구 대상자의 특성

연구 대상자	나이 (yr)	체중 (kg)	신장 (cm)	도약 높이 (m)	신체중심의 최대높이 (m)	폴 길이/신체중심 최대높이와의 차 (m)	폴 박스와 지주와의 거리 (m)	전형	성공(o) 실패(x)
S1-1	28	70	176	5.20	5.32	4.61/0.71	1.29	왼 손	O
-2				5.00	5.23	4.57/0.66	1.14		O
S2-1	32	65	173	5.20	5.06	4.57/0.49	1.08	오른손	X
-2				5.00	5.08	4.59/0.49	0.93		O
S3	23	77	180	5.00	5.14	4.76/0.38	1.03	오른손	X
S4	20	67	177	5.00	5.16	4.89/0.27	1.13	오른손	X

2. 영상 분석 및 자료 산출 도구

영상분석과 자료 산출을 위해 JVC DVL-9800 디지털 비디오 카메라 2대, 기준척 1set, pentium IV 컴퓨터와 비디오 분석 프로그램(Kwon3d 3.0)이 사용되었다.

3. 실험 절차

두 대의 디지털 비디오 카메라를 관중석에 위치시켜 60 frame/s의 촬영 속도로 선수의 동작을 촬영하였으며, 경기가 끝난 직후에 기준척을 촬영하였다. 실험에 사용된 기준척이 가로, 세로, 높이가 각각 1m, 4m, 1m이기 때문에 전체 운동 장면을 포함하기 어려웠다. 따라서 발구름과 폴지지구간 이 이루어지는 공간에 기준척을 한 번 촬영하고 체공구간을 포함하도록 세워서 재촬영하였다. 관성좌표계의 원점은 기준척 하단으로 설정하고 측면을 X축, 주로 진행방향을 Y축, 그리고 수직방향을 Z축으로 설정하였다. 두 기준척의 영상에서 reference frame을 설정하여 동일한 한 영상으로 처리하여 영상좌표를 산출하였으며, 실공간좌표계에 대한 reconstruction error는 1.37cm로 나타났다.

4. 순간 동작 및 구간 설정

장대높이뛰기의 순간동작은 발구름의 착지(TD), 폴 꽂기(PP), 발구름의 이치(TO), 폴 코드 최소(MPB), 폴 퍼짐(PS), 폴 놓기(PR), 신체중심 최대 높이(PH)로 구분된다.

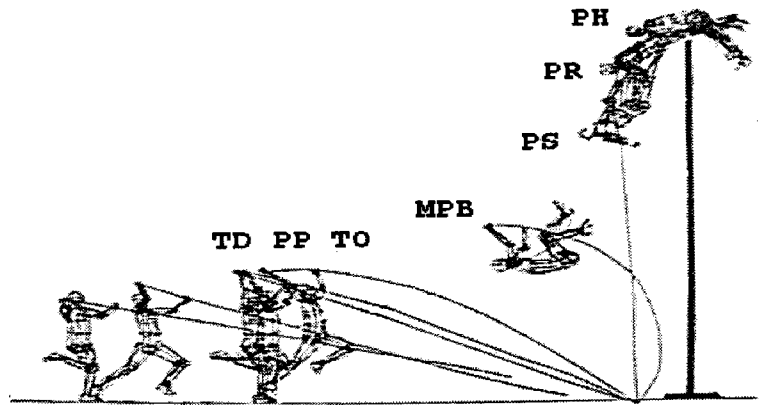


그림 1. 장대높이뛰기의 순간동작

여기서 TD에서 TO까지의 기간을 발구름구간(foot contact phase; FC), TO에서 PR까지의 기간을 폴지지구간(pole contact phase; PC), PR에서 PH까지의 기간을 체공구간(free flight phase; FF)으로 설정하였다. 여기서 도약 높이 H는 TO시 신체중심 높이 H1, TO와 PR시의 신체중심 높이의 차 H2, PR와 PH시의 신체중심 높이의 차 H3, PH시와 도약높이인 바 높이의 차 H4로 구분할 수 있으므로 전체 높이 $H = H1 + H2 + H3 + H4$ 이다(Hay, 1985).

5. 자료 산출과 처리

좌표화할 인체 관절 중심점은 폴과 전신을 포함한 21개(폴 머리와 폴 끝, 두정, 턱, 코, 오른(왼) 어깨, 오른(왼) 팔꿈치, 오른(왼) 손목, 오른(왼) 손끝, 오른(왼) 엉덩이, 오른(왼) 무릎, 오른(왼) 발목, 오른(왼) 발끝)로 구성되었다. 분석의 대상은 장대높이뛰기 발구름 5 frame 전부터 신체가 바를 통과한 후의 10 frame이었다. 한 연구 대상자의 좌표화가 끝날 때마다 컴퓨터에 파일로 저장하였으며 cubic spline 함수로 보간하여 동조하였고, 동조 시간은 0.01초로 하였다. 신체 분절 모수치는 Chandler의 stepwise regression 방식을 사용하였다(Kwon, 1994). 동조된 2차원 좌표 쌍으로부터 3차원 좌표 계산은 DLT방법을 이용하였으며, 저역통과필터 방식에 의한 평활화의 차단 주파수는 6.0Hz로 하였다.

연구 대상자들의 인체 관절점 및 분절 중심의 위치와 수행 시간을 산출한 뒤, 신체중심의 위치 및

선속도, 폴 각도(폴 코드와 Y축이 이루는 각도), 그리고 전신의 각운동량 및 그림의 길이를 산출하였다. 특히 각운동량 값에는 연구 대상자들의 다른 질량과 신장값이 포함되어 있으므로 비교를 용이하게 하기 위해 질량과 신장의 제곱으로 나누어 표준화하였고, 계산된 값이 비교적 적으므로 10^3 을 곱하여 그 값으로 나타냈다.

Ⅲ. 결과 및 논의

1. 순간 동작별 소요시간과 누적시간

장대높이뛰기의 순간 동작별 소요 시간과 누적시간은 <표 2>와 같이 나타났다.

표 2. 순간동작별 소요시간과 누적시간

(단위 : 초)

연구 대상자	FC			PC			FF
	TD	PP	TO	MPB	PS	PR	PH
S1-1	0.00	0.05	0.07/0.12	0.47/0.59	0.53/1.12	0.08/1.20	0.34/1.54
-2	0.00	0.04	0.08/0.12	0.45/0.57	0.52/1.09	0.10/1.19	0.37/1.56
S2-1	0.00	0.07	0.05/0.12	0.48/0.60	0.46/1.06	0.28/1.34	0.12/1.46
-2	0.00	0.05	0.07/0.12	0.41/0.53	0.59/1.12	0.31/1.43	0.02/1.45
S3	0.00	0.02	0.12/0.14	0.31/0.45	0.56/1.01	0.26/1.27	0.12/1.39
S4	0.00	0.02	0.10/0.12	0.38/0.50	0.60/1.10	0.25/1.35	0.16/1.51

<표 2>와 같이 TD시부터 PH까지의 S1의 소요시간은 1.54초와 1.56초, S2는 1.46초와 1.45초, S3는 1.39초로 나타났고, 그리고 S4는 1.51초로 나타나 선수들마다 서로 다른 양상을 보였다. 기록이 좋은 선수일수록 TO에서 MPB까지와 FF 구간의 소요시간은 긴 것으로 나타났다. 기록이 좋은 S1 선수의 자료를 Angulo-Kinzler 등(1994)의 자료와 비교해 볼 때 전체 소요 시간은 비슷했으나, PS에서부터 PR까지의 시간이 약 0.3초 정도 짧은 것으로 나타났다. 따라서 S1 선수는 폴이 펴지고 나서 폴을 미는 동작을 길게 유지해야 할 것으로 판단된다. 나머지 선수들은 전체 소요 시간과 특히 체공구간의 소요 시간이 짧기 때문에 엉덩이를 폴 가까이 위치 시켜 폴을 강하게 당겨서 미는 동작이 요구된다.

2. 신체중심 속도

장대높이뛰기의 신체중심 속도는 <표 3>과 <그림 2>와 같이 나타났다.

표 3. 신체중심 속도 (단위: m/s)

연구 대상자	수평속도				수직속도		
	FC		FF		FC	PC	최대값
	average	TD TO	average		TO	PR	
S1-1	9.08	9.66	8.49	1.77	2.02	3.37	4.93
-2	8.97	9.09	8.59	1.51	1.95	3.37	4.91
S2-1	8.30	9.43	7.92	1.40	2.29	1.25	4.51
-2	8.34	9.09	7.79	1.33	2.44	0.21	4.73
S3	8.70	9.98	7.25	1.50	2.63	1.14	4.58
S4	8.41	9.84	7.21	1.38	2.05	1.31	4.51

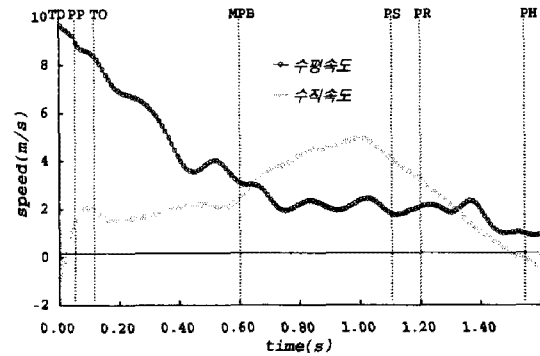


그림 2. S1-1의 신체중심 속도 변화

<표 3>과 같이 S1의 발구름구간의 평균 수평속도는 9.08m/s와 8.97m/s, S2는 8.30m/s와 8.34m/s, S3는 8.70m/s, 그리고 S4는 8.41m/s로 나타나 세계 우수선수들의 수평 속도의 평균인 9.5m/s보다 많이 부족했다(Angulo-Kinzler 등, 1994). 또한 S1의 이지시 수직속도는 2.02m/s와 1.95m/s, S2는 2.29m/s와 2.44m/s, S3는 2.63m/s, 그리고 S4는 2.05m/s로 나타나 세계 우수선수들의 수평 속도의 평균인 2.81m/s보다 많이 부족했다. 오히려 국내선수들의 이지시 수평속도는 세계 우수선수들의 평균인 7.7m/s보다 비교적 크게 나타났는데, 이는 수평 운동에서 수직 운동으로의 전환이 부족한 것으로서 국내선수들은 발구름구간에서의 강력한 도약 동작이 요구된다. 또한 S1을 제외한 모든 선수들의 폴을 놓을 때의 수직속도가 세계 우수선수들의 평균인 1.6m/s보다 비교적 낮게 나타났는데, 이는 폴을 강력히 밀지 못한 데에서 나타나는 현상으로서 앞서 논의한 바와 같이 국내선수들의 폴 밀기 동작에 개선이 요구된다(임규찬, 2001). S2-1의 발구름구간 이륙시 수직속도가 2.29m/s임에도 불구하고 그 최대값이 비교적 낮았다는 이 사실은 S2-1의 폴 제어에 문제가 있음을 간접적으로 시사하는 것이며, 그렇기 때문에 신체중심의 최대높이(5.06m)가 도약높이인 바(5.20m)에 도달하지 못하였다.

3. 신체중심의 위치

장대높이뛰기의 신체중심의 수직높이, 신체중심과 조주로 중심간의 측면 거리, 그리고 신체중심과 바와의 수평 거리는 <표 4>와 같이 나타났다.

표 4. 신체중심 위치

(단위: m)

연구 대상자	신체중심 수직높이(Z축)					신체중심과 조주로 중심간의 측면거리(X축)							바와 수평거리(Y축)
	TD	H1	H2	H3	H4	TD	PP	TO	MPB	PS	PR	PH	PH
S1-1	1.08	1.20	3.58	0.54	-0.12	0.05	0.04	0.07	0.25	0.27	0.26	0.21	0.13
-2	1.03	1.17	3.48	0.58	-0.23	0.05	0.06	0.08	0.37	0.50	0.51	0.58	0.14
S2-1	1.08	1.22	3.75	0.09	0.14	-0.05	-0.05	-0.03	0.03	0.14	0.20	0.23	-0.25
-2	1.05	1.20	3.88	0.00	-0.08	-0.05	-0.06	-0.04	0.06	0.17	0.25	0.26	0.16
S3	1.05	1.25	3.82	0.07	-0.14	0.00	0.00	-0.02	0.02	0.16	0.17	0.21	-0.07
S4	1.08	1.19	3.89	0.08	-0.16	-0.08	-0.08	-0.09	0.09	0.32	0.35	0.38	0.00

<표 4>와 같이 S1의 신체중심 수직높이 H1, H2, H3를 더한 최대높이는 5.32m와 5.23m, S2는 5.06m와 5.08m, S3는 5.14m, 그리고 S4는 5.16m로 나타나 S2-1을 제외한 모든 선수들의 신체중심 최대높이는 도약높이 H보다 높았다. 국내선수들의 체격상 H1은 어쩔 수 없지만 세계 우수선수들에 비해 턱없이 모자라는 부분은 H2이다. <표 1>과 같이 국내선수들은 외국 선수들에 비해 약 0.5m가 짧은 폴을 사용하기 때문에 H2가 모자라는 것은 당연한 결과이다. 그러므로 부족한 H2를 보상할 수 있는 방법은 긴 폴을 사용하여 폴지지구간 후반부에서 폴을 강하게 당겨 신체중심을 올리는 것이다. S1은 짧은 폴을 사용했지만 H3가 가장 높게 올라간 것으로 미루어 폴이 최대로 휘는 시점에서 뒤집기 시간이 충분하여 엉덩이를 잘 끌어당겼다고 판단된다. S3와 S4는 도약높이인 바 높이보다 신체중심 최대높이가 높았으나 바를 넘지는 못하였다. S3는 최대높이에서 내려오다 바를 건드리고, S4는 올라가다 바를 건드려 바를 떨어뜨렸기 때문에 S3와 S4는 폴 박스 지점과 지주와의 거리 조정에 실패했다고 판단된다.

<표 4>와 같이 세계 우수선수들의 신체중심과 조주로 중심간의 측면거리는 일관성이 있게 작거나 아니면 오른손잡이의 경우 '+' 방향에서 '-' 방향으로 변하는 경향이 있다(Angulo-Kinzler 등, 1994). S1은 왼손잡이이기 때문에 '+' 방향으로의 중심 이동은 세계 우수선수들의 동작과 일치하는 것으로 판단되나, 나머지 국내선수들은 오른손잡이임에도 불구하고 발구름 이진후에 '+' 방향으로 이동한다는 것은 MPB 이후 폴에 몸을 완전히 실지 못하는 것으로 보인다.

<표 4>와 같이 신체중심 높이가 최대일 때 S1, S2-2의 신체중심 수평위치는 이미 바를 넘어가 있지만(0.13m, 0.14m, 0.16m), 나머지 선수들은 바를 넘지 못한 상태이다. 세계 우수선수들은 최대높이가 월등하므로 신체중심 수평위치가 바를 넘지 못해도 도약에 성공하지만 국내선수들은 최대높이가 이에 비해 상대적으로 낮으므로 수평위치는 반드시 바를 넘겨야 한다.

4. 폴 코드 길이와 각도, 전신의 각운동량과 그림 길이

폴 코드 길이와 각도, 전신의 각운동량, 그리고 그림의 길이는 <표 5>, <그림 3, 4>로 나타났다.

표 5. 폴 코드 길이와 폴 각도, 전신의 각운동량, 그림의 길이

연구 대상자	폴 코드		전신의 각운동량(X축)			그림 길이(m)
	최대길이/최소길이(Δ)(m)	폴 각도-PR(도)	최대값($10^3 \cdot s^{-1}$)	최대시점(s)	체공구간($10^3 \cdot s^{-1}$)	
S1-1	4.61/2.95(1.66)	84	318.4	0.32	-125.8	0.59
-2	4.57/2.86(1.71)	84	317.1	0.37	-99.9	0.53
S2-1	4.57/3.25(1.32)	86	305.3	0.35	-123.8	0.56
-2	4.59/3.27(1.32)	79	309.0	0.37	-122.7	0.58
S3	4.76/3.26(1.50)	84	281.8	0.32	-142.6	0.82
S4	4.89/3.34(1.55)	84	280.9	0.35	-138.2	0.68

<표 5>와 <표 1>과 같이 폴 길이를 감안해 볼 때 국내선수들이 폴지지구간에서 효과적인 동작을 수행해 도약할 수 있는 최대높이는 이론적으로 볼 때 약 5.60m~5.90m 정도는 되어야 마땅하지만 (Angulo-Kinzler 등, 1994), 폴지지구간 후반부에서 폴을 밀고 미는 동작이 부족하고 폴의 특성을 제대로 발휘하지 못해 5.06m~5.32m 정도밖에 도달하지 못하였다. 또 폴의 길이가 짧으면 짧을수록 신체중심 최고높이에서 폴 최대길이의 차이가 증가하는 경향은 선행 연구(임규찬, 2001)와 일치하였고, 세계 우수선수들의 이 차이값이 0.50m~0.91m를 나타낸 반면(Angulo-Kinzler 등, 1994) 상대적으로 짧은 폴을 사용하는 국내선수들의 이 차이값은 0.27m~0.71m에 불과했다. 따라서 체력적인 요소와 자세 부족이 큰 요인이라고 판단된다.

<표 5>와 같이 국내선수들의 폴 코드 감소는 S1이 1.66m와 1.71m, S2는 1.32m, S3는 1.50m, 그리고 S4는 1.55m로 나타났고, 폴 코드 각도는 79도~84도로 나타나 선행 연구(Angulo-Kinzler 등, 1994)의 1.37m~1.72m, 84도~90도와 큰 차이가 없었다. 폴 코드의 이상적인 감소 정도는 1.5m~1.6m 정도이고(Yagodin과 Papanov, 1986) 국내선수들의 폴 길이가 짧은 것을 고려해 볼 때, S1의 폴 코드 감소는 과도하고 S2의 폴 코드 감소는 부족한 것으로 판단된다. 따라서 S1은 폴의 장력이 조금 강한 것으로 폴을 교체해야 하고, S2는 조금 약한 것으로 폴을 교체해야 한다.

<표 5>와 같이 전신의 X축 각운동량의 최대값은 S1이 318.4와 317.1, S2는 305.3과 309.0, S3는 281.8, 그리고 S4는 280.9로 나타나 각운동량 값이 클수록 신체중심의 상승이 컸다. 이 최대값이 나타나는 시점은 MPB 이전인 0.32초~0.37초로 나타나 선행 연구(Angulo-Kinzler 등, 1994)에 비해 약간 빠른 것으로 나타났다. 또 체공구간에서 각운동량의 평균값은 각각 -125.8(-99.9), -123.8(-122.7), -142.6, 그리고 -138.2로 나타나 높이 도약한 선수일수록 각운동량 값이 작았으며, 이러한 결과는 선행 연구와 유사했다. S3는 폴 길이와 최대높이가 4.76m와 5.14m, S4는 4.89m와 5.16m로 국내선수들로서는

긴 폴을 사용하여 도달한 H2의 높이가 3.82m와 3.89m로 비교적 높았으나, 각운동량 값이 다른 선수에 비해 작게 나타나 S3와 S4는 폴을 제어하기에 너무 큰 폴을 사용하는 것으로 판단된다. 특히 S2의 폴 코드 최소길이가 제일 적은 데에도 불구하고 S2의 각운동량이 비교적 큰 것으로 보면 폴의 강도를 약간 낮추어야 할 것으로 판단된다. 각운동량은 크고 폴의 휘어짐이 적으면 폴을 놓을 때의 자세가 나빠지고, 이렇게 되면 폴 박스 지점에서의 지주와 평행한 면을 폴이 통과할 가능성이 크기 때문에(Angulo-Kinzler 등, 1994) 결국 S2의 폴을 놓을 때의 수직 속도는 1.25m/s와 0.21m/s로 작게 나타났다. 따라서 S2는 폴을 바꾸고 자세를 보완하면 보다 높은 기록을 달성할 가능성이 크다고 사료된다.

<표 5>와 같이 S1의 그립 길이는 0.59m와 0.53m, S2는 0.56m와 0.58m, S3는 0.82m, S4는 0.68m로 나타났다. Angulo-Kinzler 등(1994)은 그립을 넓게 사용하면 양손으로 폴에 서로 반대 방향의 힘을 쉽게 작용할 수 있어 폴 조절이 용이하고, 폴지지구간의 초기에 신체중심의 반시계방향의 스윙을 지연시킬 수 있어 신체중심의 속도가 증가되며, 당기고 미는 동안 신체를 보다 빨리 펼 수 있다고 하였다. 그렇다고 그립의 길이가 너무 길면 폴 조절이 용이하지 않기 때문에 세계 우수선수들은 0.55m~0.63m 정도의 그립을 사용하고 있고, 임규찬(2001)의 국내선수들의 경우는 0.53m~0.61m 정도의 그립을 사용하고 있다. 따라서 본 연구의 S3와 S4의 그립은 너무 긴 것으로 판단된다.

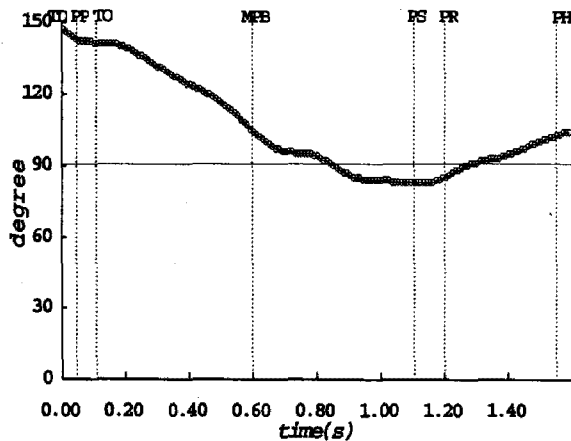


그림 3. S1-1의 폴 각도의 변화

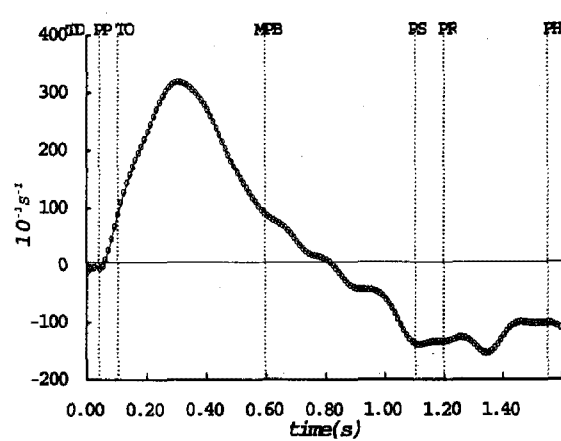


그림 4. S1-1의 전신의 X축 각운동량의 변화

IV. 결 론

본 연구는 제56회 전국육상경기선수권대회 겸 제14회 부산아시아경기대회파견 최종선발대회 남자 일반부 장대높이뛰기 종목 결선에 진출한 선수 4명의 5m 이상에 도전한 시기 중에서 정성적으로 양호한 여섯 개의 시기를 DLT 방식으로 3차원 영상 분석하였다. 장대높이뛰기 동작을 발구름의 착지, 폴 꽂기, 발구름의 이지, 폴 코드 최소, 폴 펴짐, 폴 놓기, 신체중심 최대 높이의 순간동작으로 구분하여 소요시간과 누적시간, 신체중심의 속도, 신체중심의 위치, 폴 코드 길이와 각도, 전신의 X축 각 운동량, 그림의 길이를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 기록이 좋은 선수일수록 전체 소요시간이 길고, 발구름구간에서 신체중심 속도가 크며, 수평 속도를 수직속도로 전환하는 능력이 뛰어났다. 긴 폴을 사용함으로써 그림의 높이가 높고, 뒤집기 시간이 충분해 엉덩이를 폴 가까이 끌어당겨 폴을 잘 당기고 밀었다. 따라서 최대 각운동량이 크고 바를 넘기 위해 일찍 준비하기 때문에 신체중심이 최대로 높은 순간에서의 신체중심이 바 앞쪽에 위치해 바 넘기가 용이했다.

둘째, 국내선수들은 발구름구간에서의 강력한 도약 동작, 폴이 최대로 휘는 시점 이후 몸을 폴에 완전히 실는 동작, 그리고 엉덩이를 폴 가까이 위치시켜 폴을 강하게 당겨서 미는 동작이 특히 요구된다. 또한 보다 긴 폴을 제어할 수 있는 강력한 근력이 필요하며 적정 장력의 폴을 최대로 이용할 줄 알아야 한다.

참 고 문 헌

- 김동진, 이범제, 김의수, 임번장, 김종선, 정성태, 이궁세, 정청희(1976). 체육실기지도서. 서울: 동화문화사, 185.
- 김영환, 배영상, 김상홍, 장인현(1992). 육상경기의 역학. 서울: 형설출판사, 225-236.
- 대한육상경기연맹(1988). 재미있는 육상경기. 대한육상경기연맹, 25-33.
- 이궁세(1977). 코우치의 과학적 원리. 서울: 동화문화사, 163-165.
- 임규찬(2001). 장대높이뛰기의 이저후 공중자세 동작분석. 한국운동역학회지, 11, 117-131.
- 장준원(1997). 장대높이뛰기 기술의 운동역학적 분석. 미간행 박사학위논문, 국민대학교대학원.
- Angulo-Kinzler, R.M., Kinzler, S.B., Balius, X., Turro, C., Caubet, J.M., Escoda, J., & Prat, J.A.(1994). Biomechanical analysis of the pole vault event. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 147-165.

- Chandler, R.F., Clauser, C.E., McConville, J.T., Reynolds, H.M. & Young, J.W.(1975). Investigation of inertial properties of human body. AMRL: Wright-Patterson Air Force Base.
- Hay, J.G.(1985). The biomechanics of sport techniques(3rd ed.). Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 456-474.
- Hopper, B.J.(1973). The mechanics of human movement. London: Crosby Lockwood Staples, 91-120.
- Kreighbraum, E. & Barthels, K.M.(1981). Biomechanics : A qualitative approach for studying human movement. Minneapolis, Minnesota: Burgess Publishing Company, 383-403.
- Kwon, Y.H.(1994). Kwon3d motion analysis package 2.1 user's reference manual. V-tek Corp.
- Linthorne, N.P.(1994). Mathematical model of the take off phase in the pole vault. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 323-334.
- Plagenhoef, S.(1971). Patterns of human motion. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 44-45.
- Walton, J.S.(1981). *Close-range cine-photogrammetry : a generalized technique for quantifying close gross human motion*. Unpublished doctoral dissertation. Pennsylvania State University, University Park, 65-82.
- Yagodin, V. & Papanov, V.(1986). Sergei Bubka 6.01. *Legkaya Atletica(USSR)*. 11.