

# 역도경기의 자세, 무게중심, 가속도가 발휘근력에 미치는 영향에 관한 생체역학적 연구<sup>†</sup>

(A Biomechanical Study on Kinetic Posture, Center-of-Gravity, Acceleration  
and their Effects on the Maximum Capability of Weight-lifting)

이 면 우 \*  
정 경 호 \*  
한 성 호 \*  
이 공 세 \*\*  
이 춘 식 \*\*\*

## Abstract

The purpose of this study is to analyze the changes in centers-of-gravity (COG), acceleration and body posture and their associated effects both on EMG and on the maximum capability of weight lifting during Clean & Jerk and Snatch motions.

Displacement, velocity, acceleration of joints were obtained from film analysis. Also levels of exertions on 11 major muscle groups were obtained from EMG analysis during a lifting cycle. The EMG data were measured from Telemetry System which is useful in field experiments. Magnitude and direction of force, change in center-of-gravity were extracted from COG data which were measured from force platform.

The results of this study can be to be useful both to coaches and to athletes in weight-lifting.

## 1. 서 론

역도경기에 관한 과거 연구결과 역도경기의 인간 공학적 분석방법 즉, 선수의 순간동작상태 및 한계 근육, 한계근력의 파악이 역도기록 향상에 직접적인 도움을 줄 수 있는 것으로 판명되었다.〔5,6,7, 8,9,10〕

이러한 연구들은

一. 사진분석(film analysis)을 통한 선수의 동작분석〔1〕

一. 주요 동원근육군의 근전도(EMG) 분석등의 운동기능학적(kinetic)연구의 근육생리학적(Muscle physiology)연구의 결합으로 이루어진 것으로써, 역도경기의 기록을 결정지을 수 있는 자세·근력에 대한 계량적인 분석방법을 제시하고 있다.

그러나, 연구결과외 현장적용을 위해서는 무게중심, 가속도를 고려한 추가적인 분석을 필요로 하며 실제로 경기와 훈련에 적용할 수 있는 구체적인 방안이 요구된다.

\*서울대학교

\*\*스포츠과학연구소

\*\*\*대한체육회태능선수촌

†본 연구를 위하여 스포츠과학연구소로부터 일부 연구비 지원이 이루어졌음.

따라서 본 연구에서는 이상의 연구결과를 기초로 하여 무게중심·가속도를 고려한 생체역학적 연구의 기초를 마련하고, 현장에서의 활용을 목적으로 한 분석결과를 제시하는데 그 목적이 있다.

본 연구의 목적을 대상별로 분류하면 다음과 같다.

1. 선수의 자세변화와 EMG·무게중심·force를 측정하여 선수의 자세-발휘근력(EMG), 자세-힘(force)의 관계를 파악하고

2. Telemetry System을 이용한 자료수집 방안을 개발함으로써 기록·측정을 용이하게 하여 현장활용도를 높이며

3. 선수의 동작변화·발휘근력의 변화를 도표·그림으로 표현함으로써 감독·코치 및 선수의 효과적인 이용방안을 도모하고자 한다.

이상의 연구결과를 이용하여 선수의 근력조건·한계근력을 분석하면 선수의 훈련과정에서 집중적으로 훈련대상이 되어야할 한계근육을 파악할 수 있다. 또한 동작속도에 따른 운동량과 자세변화에 따른 토오크량을 추정하면 선수 각 개인의 최적 자세와 최적 동작속도 결정에 과학적인 근거가 될 수 있을 것이다.

## 2. 연구의 배경

### 2-1. 생체역학적 연구

생체역학적 분석은 인체를 각 관절에서 연결된 몇 개의 지체로 이루어져 있다고 가정하고, 각 지체의 길이, 무게중심, 관절각을 이용하여 고체역학, 동역학등의 이론을 생체에 적용하여 인체동작을 분석하는 기법이다. [15,25]

생체역학은 인체활동의 여러영역(작업, 의학, 스포츠등)에서 다양하게 응용될 수 있으며 최근에는 스포츠분야에 적용되어 많은 연구가 진행되고 있다.

이러한 연구사례로는 Ariel (1972,1973)의 원반던지기과 사격에 관한 운동기능학적(Kinematics) 연구와 Garhammer (1978)의 역도에 관한 인체모형의 연구등이 있다. [16,17,18,19,20,22]

### 2-2. 사진분석

사진분석은 일련의 동작을 일정한 시간간격으로

촬영하여 동작 변화과정의 자료를 수집하고, 수집된 자료들 이용하여 인체동작을 분석하는 기법이다.

사진분석의 형태로는 Movie Camera를 이용한 분석방법과 Multiple Exposure, Optoelectric 방법등이 있다. [11,23,25]

### 2-3. EMG분석

EMG분석은 근 수축시 발생하는 전압(electromyography : EMG)이 발휘근력에 정비례함을 이용하여 발휘근력을 파악하는 기법이다. [2,3,4,5,6,7,8,9,10,24] EMG를 이용함으로써 신체근육의 수축활동을 수집·모형화하는데 최근 많은 연구가 이루어지고 있으며, EMG의 수학적 분석방법의 발달과 함께 역도경기에 본격적으로 응용될 가능성이 높아지고 있다. 특히, 과거의 EMG 주파수분석 위주로 부터 운동단위와 정류전압분석으로 연구방법이 확대됨에 따라 분석내용이 더욱 정량화되고 있다. [3,4,13]

## 3. 연구방법

본 연구에서 사용된 가정 및 실험에서 선정된 피실험자의 특성, 사진측정, EMG측정, 무게중심측정의 방법은 다음과 같다.

### 3-1. 연구의 가정

사진분석, EMG 분석, 무게중심분석은 다음의 3가지 가정을 전제로 진행되었으며 이는 생체역학에서 일반적으로 인정되는 가정들이다. [15,25]

사진분석의 경우

(1) 인체는 rigid body link로 구성되어 있다.

(2) 각 관절은 하나의 pin joint로 되어 있다.

사진분석과 EMG분석의 경우

(3) 역도동작은 대부분의 동작과정이 좌우대칭이므로 정면과 측면의 측정자료로 분석이 가능하며, EMG 측정을 위한 주동근의 선정은 해부학적으로 용이하게 이루어질 수 있다.

### 3-2. 피실험자의 선정

피실험자는 태능 선수촌내의 국가대표 역도선수

중에서 선정되었다. 감독과 코치의 적극적인 참여와 함께 많은 선수의 지원이 있었으며, 훈련계획에 지장이 없고 동작, 기록이 상당한 수준에 있는 선수 2명이 선정되었다. 실험은 Olympic 경기종목인 용상(Clean & Jerk)과 인상(Snatch)에 대하여 실시하였으며, 피실험자의 신체측정치 및 역기의 무게는 Table 1과 같다.

Table 1. Subject Characteristics and Weight

성명	연령	몸무게(kg)	체급	종목	역기의 무게(kg)
심정현	23	55	52	Clean & Jerk	60
				Snatch	60
김종명	18	89	90	Clean & Jerk	60
				Snatch	80

### 3 - 3. 사진 측정방법

선수의 동작분석을 위하여 16mm Movie Camera (BOLEX H 16 SBM)와 Motor Drive Camera (Cannon F-1 Camera, Cannon MF Motor Drive)로 측면동작을 촬영하였으며, 정면에서는 VTR (Sony DXC-1640)과 Motor Drive Camera로 선수의 동작을 촬영하였다.

이때 사진분석시 기준을 삼기 위하여 역도동작을 잘 표현할 수 있는 13개의 주요관절을 선정하여 기준점을 표시하였다. (참고문헌 5, 6, 7, 10, 14 참조)

### 3 - 4. EMG 측정방법

EMG측정은 Telemetry System (Nihon Kodel RM 6200)을 사용하였으며, 선수의 측정 근육에 표면전극(Surface Electrode)을 부착하고 선수의 몸에 송신기를 부착하여 무선측정을 하였다.

EMG측정은 역도경기에 주로 사용되는 11개 주요 동원 근육을 선정하여 [7, 21] 표면전극을 해

당근육의 중앙에 부착하였으며, 역도경기는 좌우대칭의 동작이므로 근육의 좌우 선정은 임의로 하였다. (주요 동원근육의 위치와 명칭은 참고문헌 5, 6, 7, 10 참조)

Telemetry System을 표면전극의 부착방법은 Figure 1과 같다. Figure 1은 승모근(Trapezius)과 광배근(Latissimus Dorsi)의 EMG 측정시 표면전극과 송신기의 부착예를 보여준다. 이때 +전극과 -전극사이의 최소 간격은 3cm로 하였으며 [12, 25], 전극이 역도동작중 움직이는 것을 방지하기 위하여 Tape로 전극선을 신체에 고정시켰다.

### 3 - 4. 무게중심의 측정방법

선수가 역도동작을 실시할 때 이동하는 무게중심의 변화과정은 Force Platform (DAKEI 1275)을 이용하여 구하였다.

선수가 Force Platform에서 역도동작을 실시하게 되면 Force Platform의 네 모서리에 있는 Transducer에 가해진 힘에 비례하는 전압이 발생하게 된다. 따라서 선수의 무게중심의 이동과정은 이 전압값으로부터 구할 수 있다.



Figure 1. EMG Measurement of Trapezius and Latissimus Dorsi using Telemetry System

사진에서

- A : 광배근의 EMG전압측정을 위한 전극(+)
- B : 근육의 전위를 구하는데 상대적인 기준을 삼기 위해 뼈위에 부착된 전극(-)
- C : 안테나
- D : 측정된 EMG를 증폭시키고 신호를 보내는 송신기

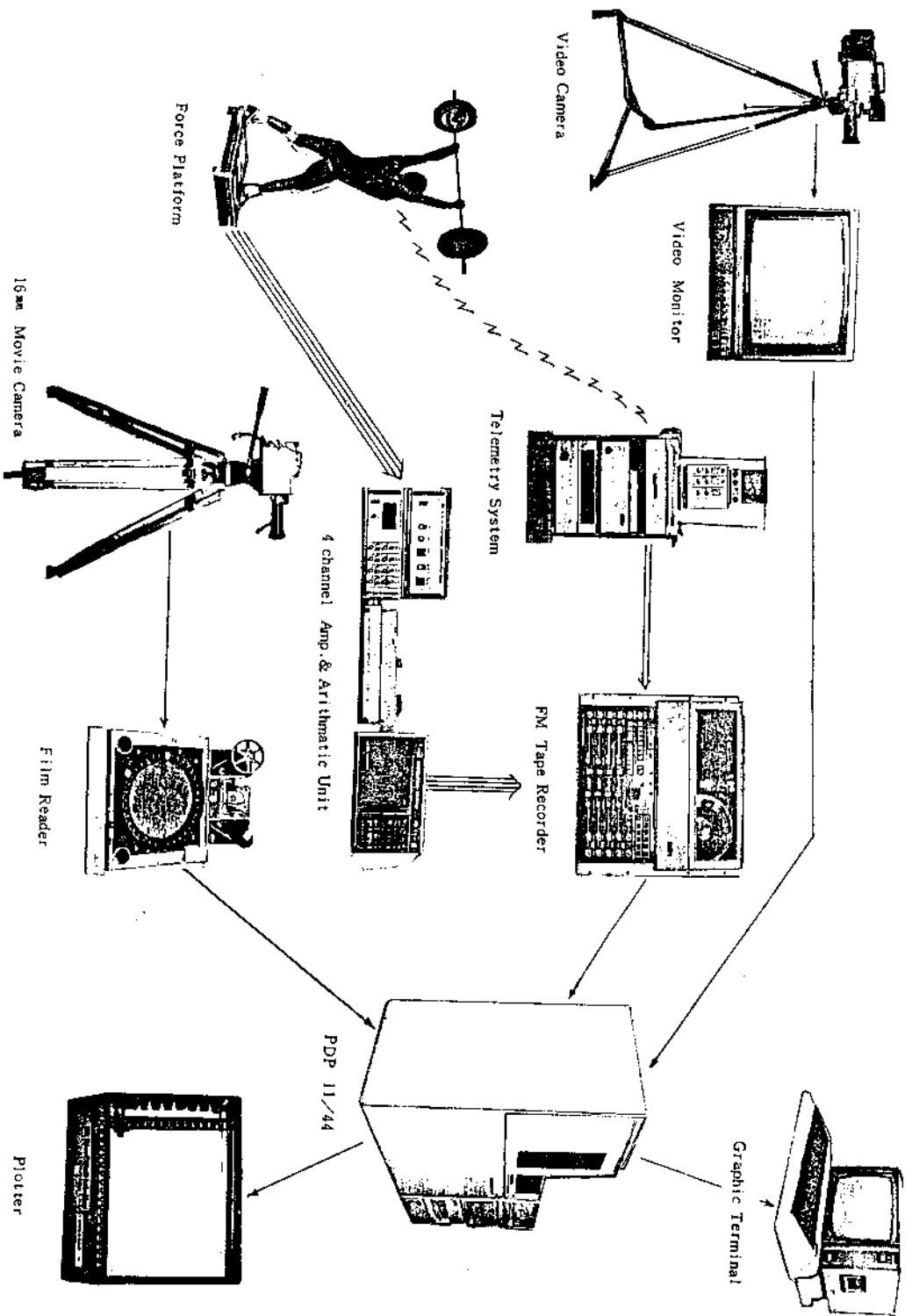


Figure 3. Experimental Equipments Layout

Figure 2는 Force Platform의 일반적인 구조와 작동원리를 나타낸다. 이때 무게중심(x,y)을 구하는 방법을 수식으로 표현하면 식 3-1, 3-2와 같다. [25]

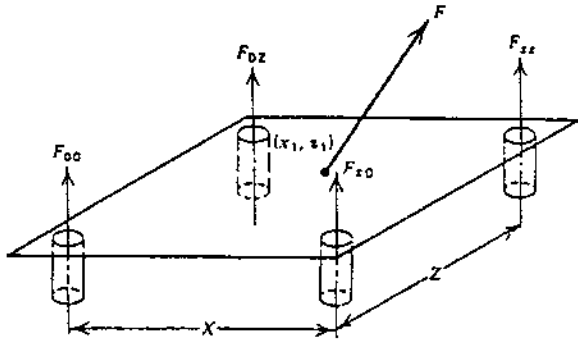


Figure 2. Structure of Force Platform

그림에서

F : Force Platform상에 작용하는 총 힘.

F<sub>00</sub>, F<sub>x0</sub>, F<sub>xz</sub>, F<sub>0z</sub> : 네 모서리에 각각 작용하는 힘.

X, Z : Force Platform의 가로와 세로길이

$$x = \frac{X}{2} \left[ 1 + \frac{(F_{x0} + F_{xz}) - (F_{00} + F_{0z})}{F} \right] \dots\dots(3.1)$$

$$y = \frac{Y}{2} \left[ 1 + \frac{(F_{0y} + F_{xy}) - (F_{00} + F_{x0})}{F} \right] \dots\dots(3.2)$$

x : 무게중심의 x 좌표

y : 무게중심의 y 좌표

이상의 사진촬영, EMG 측정, 무게중심측정에서 실험기기의 구성은 Figure 3과 같다. Figure 3에서 보는바와 같이 사진촬영은 16mm Movie Camera와 Film Reader를 통하여 PDP 14/44 Computer에 선수의 변위자료가 저장된다. EMG측정은 Telemetry System을 통하여 Computer에 EMG정류전압(rectified amplitude)이 저장된다. 또한 무게중심자료는 Force Platform과 4 Channel Amplifier, Arithmetic Unit를 거쳐 Computer에 저장된다. Computer에 저장된 자료는 역도 동작 분석 Program에서 종합·분석되고 분석된 결과는 Graphic Terminal과 Plotter를 통하여 그림과 지수로써 나타나게 된다.

## 4. 결과 및 분석

본 연구의 연구 진행과정 및 측정결과와 종합·분석과정은 Figure 4와 같다.

사진분석은 선수의 신체변위로 부터 변위속도·변위가속도를 구하는 과정이며 주요 동원근육군의 EMG전압을 구하는 EMG분석과 종합된다. 무게중심분석은 선수의 무게중심의 변화상태와 선수가 발휘하는 힘(force)을 구하는 과정이다.

### 4-1. 사진분석과 EMG 분석의 결과

사진분석결과 선수의 순간 동작상태를 파악할 수 있었으며 EMG분석결과 EMG전압과 근력 발휘도를 구할 수 있었다. (Figure 5 참조) Figure 5의 근력 발휘도를 이용하면 역도의 순간 동작상태에서 한계 근육을 파악할 수 있다. 이때 한계 근육이라 함은 역도동작중 각 근육의 최대 발휘근력에 대한 상대적 근력 발휘도를 구했을 때, 경기의 기록을 좌우할 수 있다고 판단되는 근육을 말한다.

예를들어, Figure 5에서와 같이 동작개시후 0.286sec가 경과한 후 광배근(Latissimus Dorsi)이 최대 EMG전압(1.41 mV)의 91%에 해당하는 1.28 mV를 나타내어 여러 근육중 한계 전압에 가장 접근하고 있음을 알 수 있다.

Figure 6은 주요 동원근육을 대상으로 하여 역도동작이 진행됨에 따라 선수의 자세와 해당 근육의 EMG변화 과정을 그림으로 표시한 것이다. 예를들어 Subject A는 Clean & Jerk동작시에 이두박근(Biceps)을, 동작초기(0.4~0.8 sec)와 완료기(3.20~3.40 sec)에 많이 사용하고 있음을 알 수 있으며, 삼각근(Deltoid)은 전 동작에 걸쳐 많이 사용하고 있음을 알 수 있다. 이러한 분석을 통하여 선수의 경기중에 많이 사용하고 있는 근육을 시각적으로 쉽게 파악할 수 있으며, 당시의 동작상태와 비교하여 선수의 자세변화 및 훈련방법등을 변화시킴으로써 여러 근육을 조화있게 사용할 수 있을 것이다.

### 4-2. 무게중심 분석의 결과

용상(Clean & Jerk)와 인상(Snatch) 동작시 Force Platform에서 얻어진 전압값을 이용하여 선수의 무게중심의 변화와 선수가 사용하는 힘의 크기와 방향을 구할 수 있었다.

용상(Clean & Jerk)과 던상(Snatch)에 있어서 시간 경과에 따른 힘의 크기와 방향 및 선수의 순간 동작자세가 Figure 7에 나타나 있다. 그림에서  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ 는 공간상에서 작용하는 힘을 말하며 부호는 작용방향을 나타낸다.  $F_x$ 는 선수의 좌우방향에 작용하는 힘을 나타내며  $F_y$ 는 전후,  $F_z$ 는 상하방향의 힘을 나타낸다. Subject A는 용상

(Clean & Jerk) 동작 초기에 가장 큰 힘을  $F_z$  방향으로 사용하고 있음을 알 수 있으며,  $F_y$  방향으로 큰 힘을 사용하고 있음을 알 수 있다. 또한  $F_x$  값이 0을 유지하지 못하는 것은 선수가 좌우에 힘을 똑같이 배분하고 있지 못함을 의미한다. 따라서 이런 결과를 응용하면 선수가 힘을 얼마나 효율적으로 사용하는가를 파악할 수 있다.

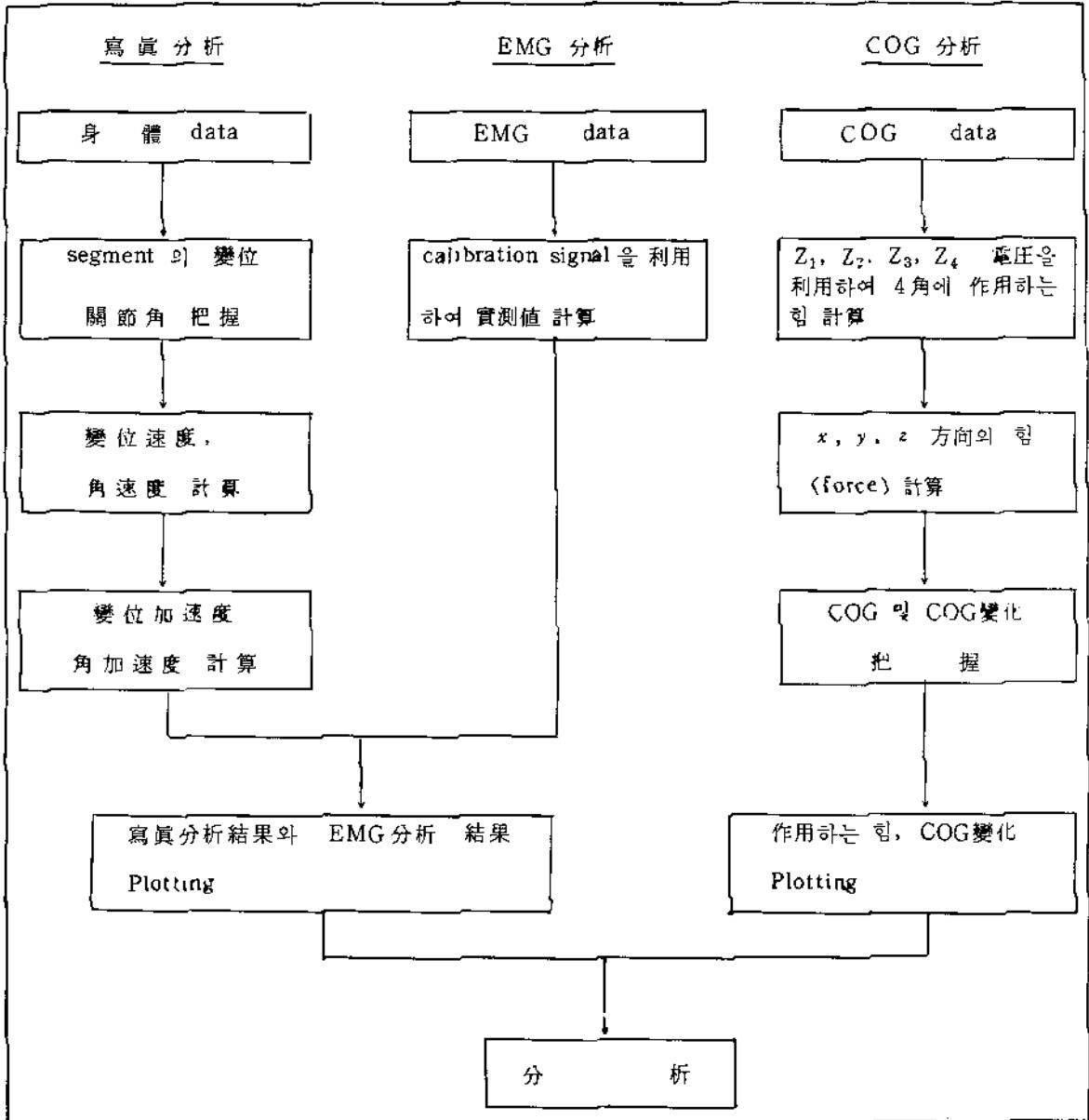
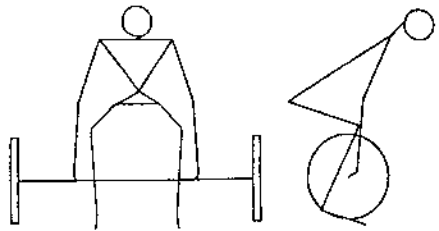


Figure 4. Flow Diagram for Computerized Weight-Lifting Analysis

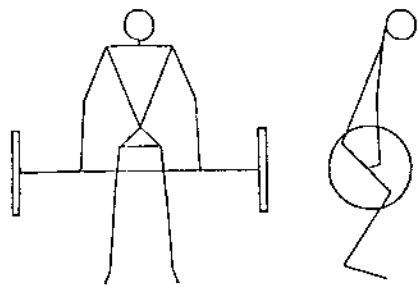
CLEAN & JERK ( 0.286 sec )

SUBJECT : SIR JING HUAN ( 82 Kg Clean )  
 BODY WEIGHT : 86 Kg  
 HEIGHT : 61 Kg



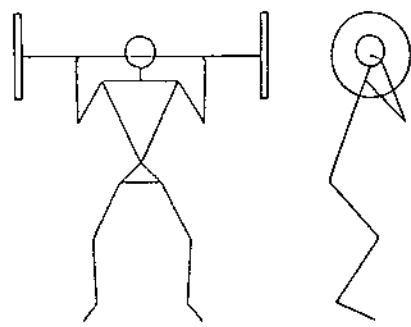
	CURRENT MTP	PEAK MTP	% ENERGY
1. Extensor Carpi	0.64	1.33	33
2. Biceps	1.38	3.61	31
3. Deltoid	2.48	3.66	68
4. Triceps	0.43	1.13	17
5. Trapezius	1.63	2.86	67
6. Latissimus Dorsi	1.88	1.41	31
7. Pectoralis Major	1.81	2.18	67
8. Rectus Abdominis	0.64	0.71	18
9. Rectus Femoris	0.36	2.67	37
10. Vastus Lateralis	1.48	2.48	53
11. Gastrocnemius	0.61	1.78	34

CLEAN & JERK ( 0.571 sec )



	CURRENT MTP	PEAK MTP	% ENERGY
1. Extensor Carpi	0.29	1.33	61
2. Biceps	2.18	3.81	28
3. Deltoid	3.24	3.66	31
4. Triceps	1.33	2.13	46
5. Trapezius	1.31	2.86	46
6. Latissimus Dorsi	0.81	1.41	67
7. Pectoralis Major	1.61	2.18	48
8. Rectus Abdominis	0.73	2.71	27
9. Rectus Femoris	1.18	2.67	46
10. Vastus Lateralis	1.67	2.48	56
11. Gastrocnemius	1.44	1.78	56

CLEAN & JERK ( 0.857 sec )



	CURRENT MTP	PEAK MTP	% ENERGY
1. Extensor Carpi	1.86	1.33	66
2. Biceps	1.38	3.61	43
3. Deltoid	2.63	3.66	71
4. Triceps	0.37	2.13	35
5. Trapezius	1.16	2.86	48
6. Latissimus Dorsi	0.84	1.41	68
7. Pectoralis Major	0.31	2.18	43
8. Rectus Abdominis	0.74	2.71	27
9. Rectus Femoris	1.13	2.67	66
10. Vastus Lateralis	0.59	2.48	38
11. Gastrocnemius	0.41	1.78	23

Figure 5. Posture-EMG Analysis in Weight-lifting

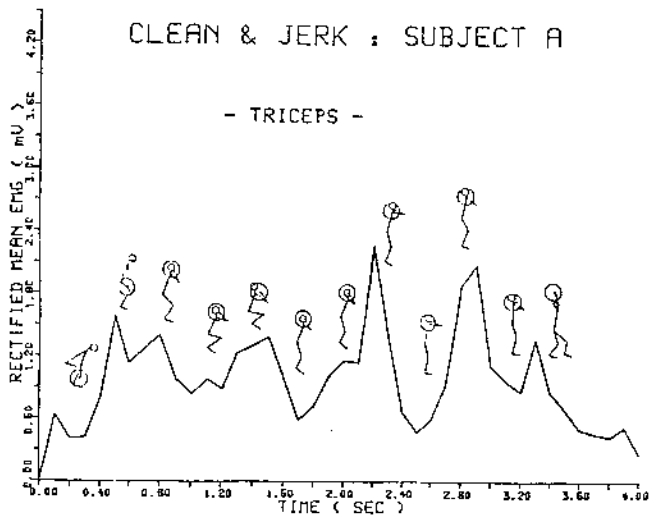
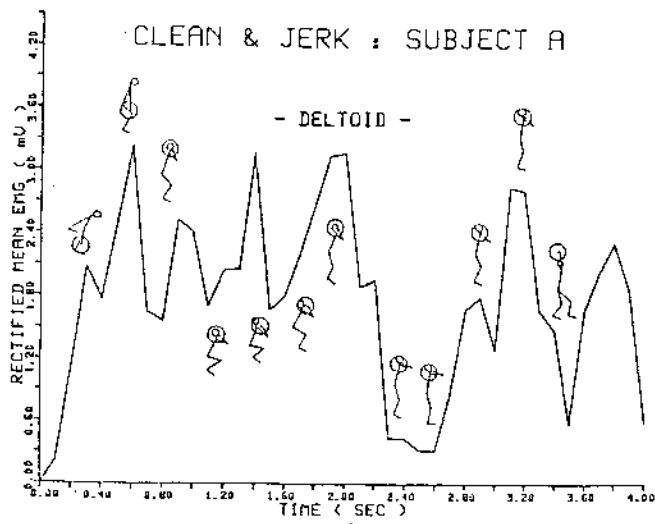
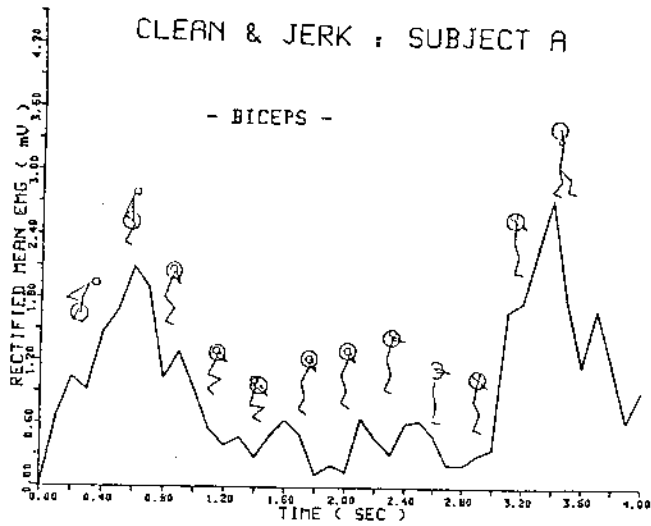


Figure 6. Posture and EMG level of Three Major Muscles



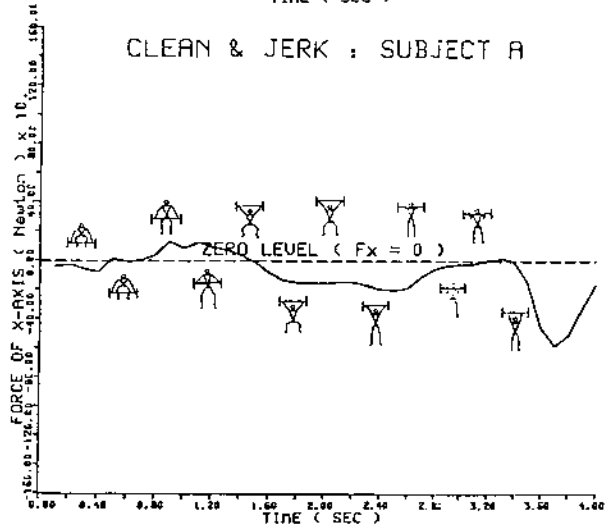
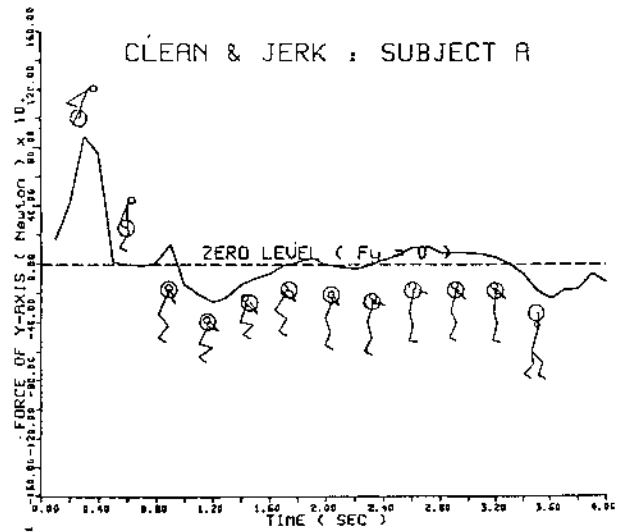
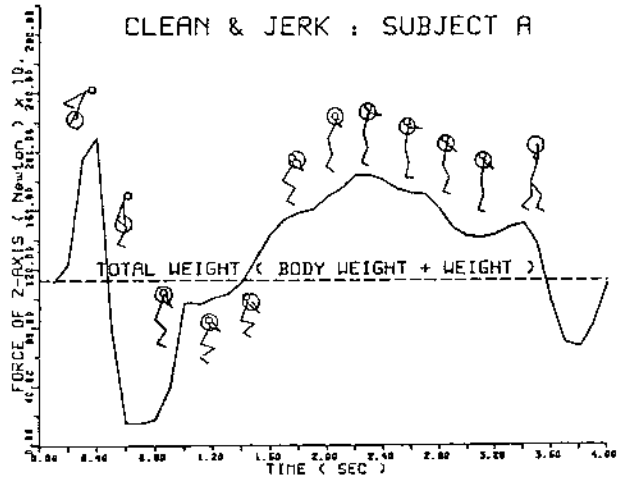


Figure 7. Posture-Force Analysis in Weight-lifting

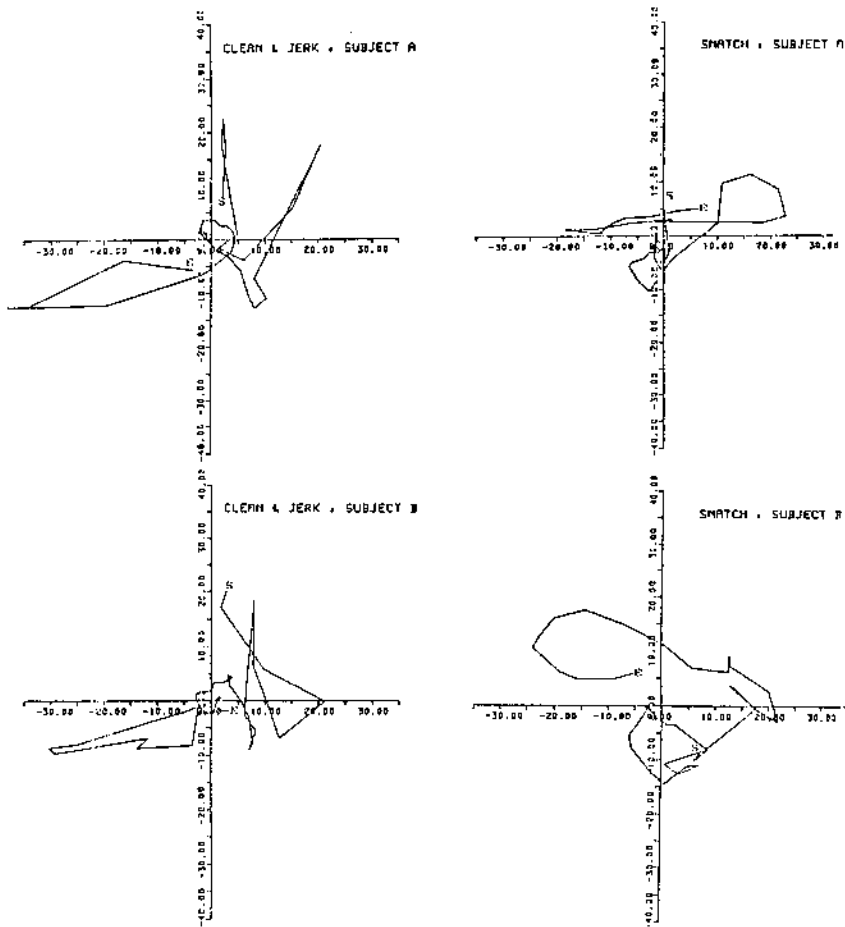


Figure 8. Variation of COG(Center-of-Gravity) during Weight-lifting

Figure 8은 두 선수의 무게중심의 이동상태를 X-Y좌표상에 나타낸 것이다. 여기서 S는 동작 시작시 Force Platform 상에서 선수의 무게중심의 위치를 나타내고, E는 동작 완료후 무게중심의 위치를 나타낸다.

그림에 나타난 바와같이 Clean & Jerk 동작시에는 두 선수의 무게중심의 이동형태가 유사하나, Snatch의 경우에는 상당한 차이를 보이고 있다. 이로 부터 Clean & Jerk에서는 두 선수의 경기방법이 비슷하나, Snatch에 있어서는 두 선수의 경기방법에 차이가 있음이 분석후 파악되었다.

## 5. 결 론

두 선수가 역도동작 분석결과 용상(Clean & Jerk)과 인상(Snatch)의 경기방법의 차이를 알 수 있었으며, 용상에서 Subject A와 Subject B 간의 경기기술의 차이를 알 수 있었다.

용상에서 Subject 간의 주요 동원근육의 사용상의 차이는 Table 2와 같으며, Subject A에 있어서 종목별(용상과 인상) 주요 동원근육의 사용상의 차이는 Table 3과 같다. Table에 나타난 \*,(\*) 표는 T-test(유의수준  $\alpha=0.05$ )결과, 두선수간의 근력 발휘정도가 차이가 있다고 판명된 근육을 나타낸다.

Subject A와 Subject B의 몸무게는 각각 55 kg, 89 kg이었다. 따라서 Subject A와 Subject B가 같은 60 kg의 역기를 사용한다면 Subject A가 Subject B보다 상대적으로 더 큰 EMG전압을 나타낼 것으로 예상되었다. T-test 결과 예상과 일치되는 결론을 얻을 수 있었다. 그러나 대퇴직근(Rectus Femoris)과 외측광근(Vastus Lateralis)의 경우에는 반대의 결과가 나타났다. 이것은 Subject A가 Subject B보다 하체가 더 발달한 것을 의미하므로 Subject B는 상대적으로 하

Table 2. Comparison of EMG between Subjects ( $\alpha = 0.05$ )

筋 肉 名	Clean & Jerk (60 kg)
	H <sub>0</sub> : EMG (Subject A) > Subject B)
1. Extensor Capri	*
2. Biceps	—
3. Deltoid	*
4. Triceps	*
5. Trapezius	—
6. Latissimus Dorsi	—
7. Pectoralis Major	*
8. Rectus Abdominis	—
9. Rectus Femoris	(-*)
10. Vastus Lateralis	(-*)
11. Gastrocnemius	—

\* : Significantly High  
 — : not Significant  
 (-\*) : Significantly Low

Table 3. Comparison of EMG between Clean & Jerk and Snatch ( $\alpha = 0.05$ )

筋 肉 名	Subject A
	H <sub>0</sub> : EMG (Clean & Jerk) > Snatch)
1. Extensor Capri	*
2. Biceps	—
3. Deltoid	*
4. Triceps	*
5. Trapezius	(-*)
6. Latissimus Dorsi	(-*)
7. Pectoralis Major	—
8. Rectus Abdominis	(-*)
9. Rectus Femoris	—
10. Vastus Lateralis	—
11. Gastrocnemius	(-*)

\* : Significantly High  
 — : not Significant  
 (-\*) : Significantly Low

체의 근력을 개발해야 할 것으로 보인다.

Table 3은 Subject A가 용상과 인상에서 근육을 어떻게 다르게 사용하는가를 비교한 것이다. 비교결과, 용상에 있어서 요수근(Extensor Capri), 삼각근(Deltoid), 광배근(Latissimus Dorsi)을 인상에서 삼두근(Triceps), 승모근(Trapezius), 복직근(Rectus Abdominis), 비복근(Gastrocnemius)을 상대적으로 더 많이 사용하는 것으로 나타났다.

이것은 두 종목의 경기방법의 차이로 인한 것이며, 이 결과를 이용하면 한 선수가 종목별 기록에 차이를 보일 때 강화 대상근육을 쉽게 알 수 있을 것이다. 즉 Subject A가 인상의 기록이 좋은 반면 용상의 기록이 저조하다면 요수근, 삼각근, 광배근의 강화에 주력해야 한다는 방법론을 제시할 수 있다.

## 6. 추후 연구과제

본 연구의 현장적용과 응용을 위해서 보완되어야 할 과제들은 다음과 같다.

1. 여러 연구결과 EMG 전압과 발휘근력은 서로 비례함이 밝혀졌다.

따라서 본 연구에서는 최대 발휘근력을 maximum EMG와 동일한 개념으로 사용하였으며, maximum EMG 전압은 각 근육에서 최대근력을 낼 때 2msec 단위로 sampling 하여 얻어진 EMG 전압을 비교함으로써 전압이 큰 순서대로 50 개를 구하여 평균값을 maximum EMG 전압으로 가정하였다. 그러나 이 최대전압은 엄밀한 의미로는 최대근력이라고 할 수 없으므로 한계근력 및 한계근육의 파악을 위해서는 각 근육의 최대근력을 정확하게 파악할 수 있는 방법을 모색하여야 할 것이다.

2. 현재 연구의 분석은 두 선수의 자세와 EMG 전압의 비교, 용상과 인상의 차이비교에 그치고 있으나 추후, 선수의 관절각·속도·가속도를 이용하여 토오코등을 제시하면 선수의 최적자세, 최적동작속도등을 파악할 수 있을 것이다.

3. 본 연구에 제시된 분석방법을 계속 확장함으로써 graph, signal의 분석결과를 쉽게 판정할 수 있는 종합의견(Expert System)의 개발이 진행되어야 현장에서 상용될 수 있다.

## References

1. 金榮吉(1983), 컴퓨터를 이용한 인체동작의 분석(An analysis of human motion computer-aided location analyzer), 서울대학교 工學碩士學位論文.
2. 金義煥, 李緝世(1980), 대퇴사두근 Isometric 수축의 생체역학적 분석, 스포츠 과학 연구보고서 Vol. 17, No. 1; 85-102.
3. 李冕雨(1979), 근피로의 수학적 Model (A stochastic model of muscle fatigue in frequent strenuous work cycles). Michigan 大學校 博士學位論文.
4. 李冕雨, Chaffin D. B., Freivalds A. (1980), Muscle strength assessment from EMG analysis, *Med. Sci. Sports. Exercise* 12 (3); 205-211.
5. 李冕雨, 張元炘(1983), 역도동작의 EMG 測定 및 寫眞分析의 전산화 연구, 서울대학교 工大 연구보고 Vol. 15, No. 2; 103-112.
6. 李冕雨, 張元炘, 成德鉉, 鄭儀承(1983), EMG 를 利用한 力道競技의 선발과 訓練基準에 關한 生體力學의 研究, 서울대학교 工科大學 생산기술연구소 연구보고서.
7. 李冕雨, 張元炘, 成德鉉(1983), 力道競技의 運動學의 姿勢와 근수축 水準에 關한 전산분석, 대한산업공학회 Vol. 9, No. 2; 9-25.
8. 成德鉉(1984), 운동자세-근력의 분석에 대한 동시실험방안, 서울대학교 공학석사학위논문.
9. 李冕雨(1984), 근전도를 이용한 역도경기의 과학적 분석방안, 국제 스포츠 과학 세미나 보고서; 20-29.
10. 張元炘(1983), 인체동작의 EMG 측정 및 사진분석의 전산화연구, 서울대학교 공학석사학위논문.
11. Aurelio Cappozzo (1975), "A general computing method for the analysis of human locomotion," *Journal of Biomechanics*, Vol. 8, 307-320,
12. Basmajian J. V. (1978), *Muscles Alive*.
13. Chaffin, D. B. (1975), *Low back stress during load lifting*.
14. Chaffin, D. B. and Baker W. H. (1970), "A Biomechanical Model for Analysis of Symmetric Sagittal Plane Lifting," *Trans. AIIE*, 2, 16-27.
15. Ernest, J. McCormic Mark S. Sanders (1982), *Human factors in engineering and design*.
16. Garhammer, J. (1978), *Longitudinal analysis of highly skilled Olympic weight lifters*, International Congress of Sports, 117.
17. Hay, J. G. (1978), *The Biomechanics of Sports Techniques*, Prentice Hall.
18. Huss W. D., Niemeier, R. K. Olson, H. W. and Friedrich J. A. (1969), *Physical Activity in Modern Living*, Prentice Hall.
19. James G. Hay, Barry, D. Wilson and Jesus Dapena, George G. Woodworth (1977), "A computational technique to determine the angular momentum of a human body," *Journal of Biomechanics*, Vol. 10, 269-277.
20. John, P. Boysen, Peter R. Francis and Rex A. Thomas (1977), *Interactive computer graphics in the study of human body planar motion under free fall conditions*.
21. Rasch, B.(1960), *Kinesiology & Applied Anatomy*, Lea & Febiger.
22. Robert, D. L. Jr., Poppen, R. L. (1978), *An EMG Analysis of the Olympic Power and Squal Clean*, International Congress of Sports Sciences, 119.

23. Roebuck Jr. J. A., Kroemer K.H.E., Thomson W. G. (1975), *Engineering Anthropometry Methods*, John Wiley & Sons.
24. Whitney, R. J. (1958), "The Strength of the Lifting Action in Man," *Ergonomics*, Vol. 1, 151-128.
25. Winter, D. A. (1979), *Biomechanics of Human Movement*, John Wiley & Sons.