



한국운동역학회지, 2004, 제14권 2호, pp. 57-68
Korean Journal of Sport Biomechanics
2004, Vol. 14, No. 2, pp. 57-68

지면반력 측정기 수직 설치 시 충격력 검증

최치선* · 신인식** · 서정석***(서울대학교)

ABSTRACT

Evaluation of the Impact Force on the Vertically Placed Force Platform

Choi, Chi-Sun* · Shin, In-Sik** · Seo, Jung-Suk***(Seoul National University)

C. S. CHOI, I. S. SHIN, J. S. SEO. Evaluation of the Impact Force on the Vertically Placed Force Platform. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol. 14, No. 2, pp. 57-68, 2004. This study was to evaluate the consistency of the vertical force(F_z) of the force platform and the impact force. Two experiments were performed. First, the force platform was vertically placed to hang to the wall. While the rotating iron body hit the force platform, F_z was measured. Then F_z was compared with the impact force of the rotating iron body that was precalculated by using the inertia moments and the rotating force. Second, six Taekwondo masters punched the force platform to show what a certain pattern the impact force has. They were asked to punch the target depending on target distances. The target distances were differed from the relative arm segment of subjects as 90%, 80%, 70%, 60%, and 50% (100% target distance equals the arm length

투 고 일 : 2004년 6월 29일 접수

심 사 일 : 2004년 7월 6일

심사완료일 : 2004년 8월 5일

* Corresponding author, 대학원생, 151-742 서울시 관악구 신림9동 산56-1 서울대학교 체육교육과

연락처 : chisunny@korea.com, Tel: 011-9720-3569

** 교수, 151-742 서울시 관악구 신림9동 산56-1 서울대학교 체육교육과

*** 시간강사, 151-742 서울시 관악구 신림9동 산56-1 서울대학교 체육교육과

of each subject). Pearson's correlations were used between F_z and the impact force. Also the linear regression was also performed to show the linearity.

At the first experiment, F_z and the impact force had much correlations and showed linear characteristics. Therefore, F_z could be regarded as the impact force. At the second experiment, the strongest impact force was measured at the target distance of 80% and the time taken to the maximum impact force was within 0.02 seconds.

The result of this study recommends that it can help the comparative study between the impact forces and other hitting sports.

KEY WORDS : IMPACT FORCE, FORCE PLATFORM, PUNCH, TAEKWONDO

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

태권도, 복싱, 우슈, 가라데 등의 타격 운동에 있어 공격 기술은 상대에게 짧은 시간 동안 큰 충격력을 전달해야 하는 특성을 갖는다. 같은 충격량을 낸다고 가정했을 때, 최대한 빠르고 강하게 타격이 이루어지는 경우 상대에게 공격자가 원하는 힘을 전달할 수 는 반면, 느리고 약한 충격은 효과적으로 힘을 전달할 수 없다. 즉, 최대 충격력(peak force)과 최대 충격력에 이르기까지의 시간이 얼마나 짧았는가를 측정하는 것은 타격이 효과적이었는가를 평가하는 척도가 될 것이다.

한편, 이 기술들은 타격을 가하는 신체 분절이 지면에서 떨어져 있는 상태에서 상대를 가격하게 되는데, 각 기술의 충격력 특성을 파악하기 위해서는 지면반력과 충격을 받는 대상에 대한 직접적인 충격력 측정이 필요하다. 바닥에 고정된 지면반력기로부터 하지에 작용하는 충격량·충격력을 산출한 선행연구는 많이 있었지만, 지면에서 떨어진 분절의 직접적인 타격에 의한 충격력 산출 연구는 지극히 미진하다. 직접적인 충격력 측정의 예를 들면, Atha, Yeadon, Sandover와 Parsons(1985)는 영국 출신의 헤비급 엘리트 권투 선수의 펀치 충격력을 force transducer, film data, 그리고 accelerometer를 사용하여 분석하였고, Fortin, Lamontagne과 Gadouas(1993)는 복싱 펀치력을 측정할 수 있는 장치를 개발해 발표했는데, 이 장치는 물이 가득 찬 펀칭백 안에 압력 transducer를 넣어 압력 변화를 측정하고, 펀칭백과 맞닿은 부분에 force transducer를 설치하여 힘을 측정하는 방식이었다. 하지만 위 충격력 측정들에 사용된 측정기구들은 자체 제작을 통해 사용되었고, 산출된 충

격력에 대한 검증 자료가 제시되어 있지 않아, 후속 연구자들이 위 기구들을 동일하게 재구성하더라도 사용 전에 정량화에 대한 충분한 검증이 필요하다.

직접적인 충격력을 측정하는 다른 방법으로는 일반적으로 쓰이는 지면반력기를 수직으로 매달아 고정시키고 충격력을 측정하는 것이다. Kawakami, Muraoka, Ito, Kanehisa와 Fukunaga(2002)는 신체 건(tendon)의 counter-movement 동작을 분석하기 위해 발이 족저굴곡을 할 때 건의 지면반력을 Kistler사의 Model 9281B 지면반력기를 벽에 수직으로 부착하여 획득하는 실험을 실시했다. Kim과 Ashton-Miller(2003)는 낙상 시 손을 짚는 동작을 통해 충격력을 측정했는데, AMTI OR6-5-1 지면반력기를 수직에서 10° 기울여 고정시켜 사용했으나, 기울여 설치된 지면반력기에 대한 정량화 정보를 제시하지는 않았다. Fairburn, Palmer, Whybrow, Fielden와 Jones(2000)는 추가 진자 운동할 때의 회전력과 실제 진자 운동에 의해 지면반력기에 기록되는 힘을 비교했고, Nachiappan, Giannis와 Anna(2002)는 strain gauge를 사용한 지면반력기의 정확성을 압력중심과 격자점의 위치를 비교하여 검증했으나 이 연구들은 바닥에 고정된 지면반력기의 데이터를 각각 동적인 상황과 정적인 상황에서 검증하는데 그친 실험이었다.

많은 스포츠 상황에서 직접적인 충격력 측정에 관한 연구는 운동 수행과 상해에 연관돼 있다. 특히 타격 운동은 사람에게 장애를 가할 수도 있고, 심지어는 치명적인 영향을 미칠 수도 있는 특성을 지닌다. 이러한 타격 시 제일 중요한 요인이 충격량 보다 충격력의 크기, 그리고 그것이 최대 충격력에 이르기까지의 시간임을 고려한다면 이에 대한 특성 파악은 반드시 필요하고, 지면반력기를 수직으로 설치하여 충격력을 측정할 수 있다면 쉽게 이 값을 산출할 수 있을 것이라 사료된다. 이에 수직으로 설치된 지면반력기를 정량화하고 이를 검증하는 작업이 반드시 선행되어야 하는 필수 조건이기에 이 연구를 수행하게 되었다. 검증된 수직 지면반력기의 data로부터 얻은 충격력은 여러 타격 운동에 접목 시 충격력의 상호 비교 연구에 도움이 되고, 현재 태권도 계에서 도입을 추진하고 있는 전자호구의 득점을 결정하는데 있어서 충격력의 기준을 만들 수 있는 좋은 참고자료가 될 것이라 기대한다.

2. 연구의 제한점

- 본 연구에서는 지면반력기의 F_x , F_y , F_z 성분 중 F_z 값을 충격력 검증에 사용하였다.
- 인체 피부에 충격을 가하는 상황을 가정하고 실험대상자들의 주먹을 보호하기 위해 지름 13cm, 두께 2.5cm인 원형의 젤 패드 사용하였다.

3. 용어의 정의

지면반력기에서 나온 충격력 data를 검증하기 위해 필요한 수직 용어와 태권도 주춤몸통지르기

실험에서 사용할 용어의 정의는 다음과 같다.

- M_{HRD} : 충격력 검증용 회전체에서 베어링 하우징(H : Bearing Housing), 환형 봉(R : Ring type Rod)과 디스크(D : Disk)의 총 질량
- I : 관성모멘트
- R_1 : 베어링 하우징, 환형 봉과 디스크의 내경
- R_2 : 베어링 하우징, 환형 봉과 디스크의 외경
- L_{COM} : 회전축으로부터 M_{HRD} 질량 중심(Center of Mass)까지의 거리
- F_T : 회전체에서 접선 방향의 힘 성분. 회전체가 지면반력기에 충격을 가할 때 생기는 F_Z 와 크기는 같고 방향은 반대
- 최대 충격력 : 타격 시 지면반력기의 F_Z 값 중 최대값
- 최대 충격력 도달 시간 : 타격 시 지면반력기 접촉에서부터 최대 충격력에 이르는 시간
- 목표거리 : 연구 대상자의 견봉으로부터 지면반력기까지의 거리

II. 연구 방법

1. 실험 장비

이 연구의 충격력 측정 및 검증을 위해 사용된 실험장비는 <표 1>과 같고, 충격력 검증을 위한 회전체를 구성하는 베어링 하우징, 환형 봉, 그리고 디스크의 물리적 특성은 다음 <그림 1>과 같다.

표 1. 실험 장비

측정 항목	실험 도구	수량	제조회사
충격력 측정	OR6-5-2000	1	AMTI
충격력 data analysis	KwonGRF 2.0	1	Visol
지면반력기 calibration	충격력 검증용 회전체	1	자체 제작
충격력 data acquisition	Notebook Computer	1	TG

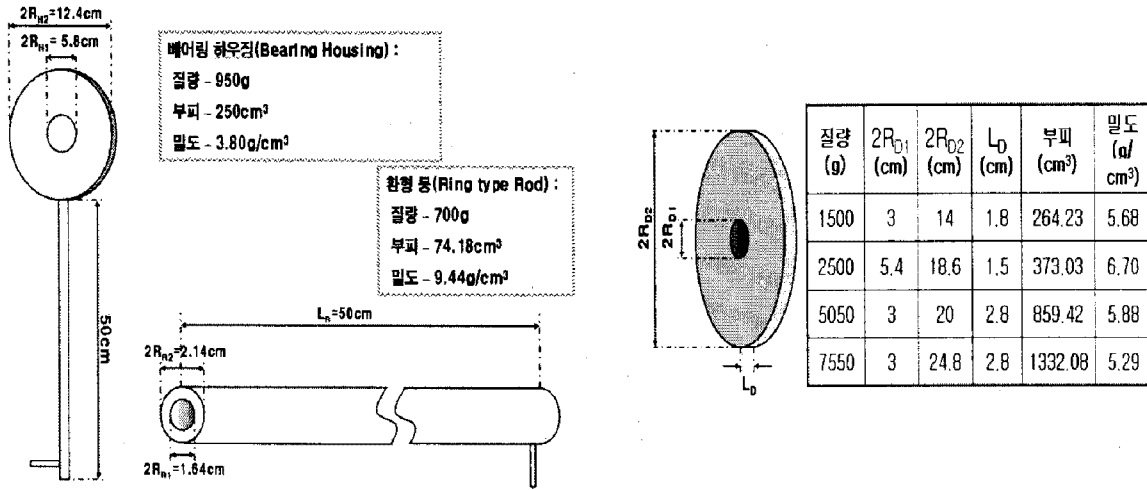


그림 1. 베어링 하우징, 환형 봉, 디스크의 제원

2. 실험 절차

실험 ① - 수직으로 설치된 지면반력기 검증

이 실험은 <그림 2>에서 보는 것처럼 디스크가 달려 있는 회전체가 중력 때문에 갖게 되는 회전력의 접선 성분(F_T)은 지면반력기와 충돌 시 지면반력기의 F_Z 성분과 동일하다는 원리를 이용한 실험이다. 디스크의 질량을 0Kg, 1.5Kg, 2.5Kg, 5.05Kg, 7.55Kg, 10.1Kg, 그리고 12.6Kg으로 변화를 주고, 회전체와 타격 대상과의 각도를 30°로 유지한 상태(즉, <그림 2>에서 $90^\circ - \theta = 30^\circ$)에서 회전체를 낙하시켜 지면반력기에 직각으로 닿아 충격력을 내도록 설계했고, 실험 장면은 <그림 3>과 같다. 각 질량 당 5회의 실험을 반복하였고, 1000Hz의 sampling rate으로 자료를 획득했으며, 최대값(peak)을 충격력(F_Z)으로 취했다. 회전체의 회전 접선력(F_T)을 구하기 위해 Fairburn et al.(2000)의 수식을 참고했으며, 디스크 혹은 파이프의 관성모멘트(I)를 구하는 식은 Meriam과 Kraige(1993)와 Halliday, Resnick과 Walker(1993)의 수식을 이용하였다. 관성모멘트는 균질한 물체의 관성모멘트 구하는 공식을 이용하는 방법과 매달기법에 의한 주기로써 찾아내는 방법을 모두 사용했다.

실험 ② - 태권도 주춤새뭉통지르기 충격력 측정

검증된 수직 설치 지면반력기에 평균 수련 연도가 20.5 ± 3.6 년인 태권도 사범 6명을 실험대상으로 하여 각 대상자 팔 길이의 50, 60, 70, 80, 그리고 90% 떨어진 5단계 목표거리에서 주춤새뭉통지르기를 하여 실제 측정된 F_Z 값을 비교하였다. 실험 장면은 <그림 4>와 같다.

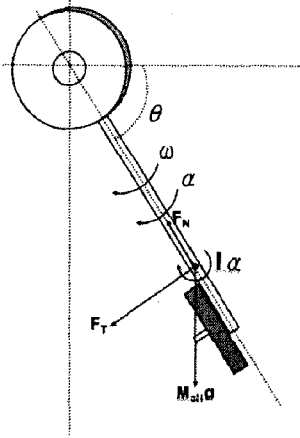


그림 2. 충격력 검증용 회전체의 FBD

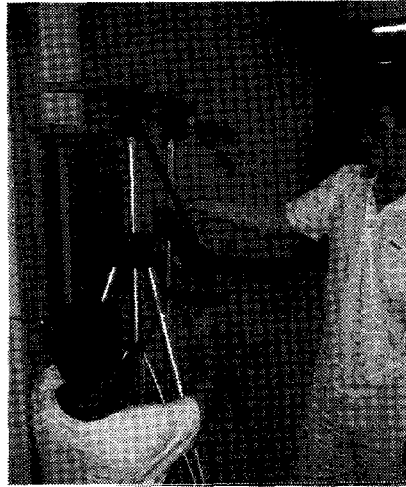


그림 3. 수직 지면반력기 충격력 검증 실험

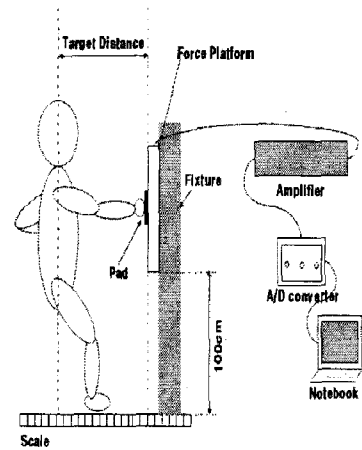


그림 4. 태권도 주춤 몸통지르기 충격력 측정 실험

3. 자료 산출

충격력 검증용 회전체의 각 부속물의 관성모멘트를 공식을 통해 구하여 계산한 회전 접선력(F_{T1})과 진자 주기법을 이용해 얻은 관성모멘트로 계산한 회전 접선력(F_{T2})이 지면반력기에서 얻은 F_Z 값과 정확히 일치하는지를 확인하기 위한 과정으로써 관성모멘트와 회전력의 산출식은 다음과 같다.

1) 균질한 물체의 관성모멘트 산출

먼저 중심축을 기준으로 한 관성모멘트를 구하면,

- 베어링 하우징(Bearing Housing)

$$I_{H_o} = \frac{1}{2} M_H (R_{H1}^2 + R_{H2}^2)$$

- 환형 봉(Ring type Rod)

$$\begin{aligned} I_{R_o} &= \frac{1}{4} M_{R_{P2}} R_{R2}^2 + \frac{1}{12} M_{R_{P2}} L_R^2 - \frac{1}{4} M_{R_{P1}} R_{R1}^2 - \frac{1}{12} M_{R_{P1}} L_R^2 \\ &= \frac{1}{4} (M_{R_{P2}} R_{R2}^2 - M_{R_{P1}} R_{R1}^2) + \frac{1}{12} (M_{R_{P2}} L_R^2 - M_{R_{P1}} L_R^2) \end{aligned}$$

내경, 외경을 가진 실린더 모양 균질한 물체의 관성모멘트는 외경을 반지름으로 하는 원통형의 물체의 관성모멘트를 구한 후, 내경을 반지름으로 하는 물체의 관성모멘트를 감함으로써 구할 수 있

다. $M_{R_{R2}} = \rho\pi R_{R2}^2 L_R$ 로써 외경인 R_{R2} 를 반지름으로 하는 팍 찬 원통형 물체의 질량이고, $M_{R_{R1}} = \rho\pi R_{R1}^2 L_R$ 로써 앞의 원통형 물체의 질량에서 빠질 가상의 원통 질량이다. 즉, $M_R = M_{R_{R2}} - M_{R_{R1}}$ 이 된다.

· 디스크(Disk

$$I_{D_o} = \frac{1}{4} M_{D_{R2}} R_{D2}^2 + \frac{1}{12} M_{D_{R2}} L_D^2 - \frac{1}{4} M_{D_{R1}} R_{D1}^2 - \frac{1}{12} M_{D_{R1}} L_D^2$$

$$= \frac{1}{4} (M_{D_{R2}} R_{D2}^2 - M_{D_{R1}} R_{D1}^2) + \frac{1}{12} (M_{D_{R2}} L_D^2 - M_{D_{R1}} L_D^2)$$

본 연구에서 제작한 회전체의 디스크는 환형봉과 회전축이 같고 두께가 얇은 원통형 물체이므로 환형봉과 마찬가지로 외경 모멘트에서 내경 모멘트를 감해줌으로써 구할 수 있다. 즉, $M_{D_{R2}} = \rho\pi R_{D2}^2 L_D$ 로써 외경인 R_{D2} 를 반지름으로 하는 팍 찬 디스크 물체의 질량이고, $M_{D_{R1}} = \rho\pi R_{D1}^2 L_D$ 로써 앞의 원통형 물체의 질량에서 빠질 가상의 디스크 질량이고 $M_D = M_{D_{R2}} - M_{D_{R1}}$ 이 된다.

위 중심축 관성모멘트를 평행축 이동 정리를 사용하여 새로이 관성모멘트 I_{H_o}' , I_{R_o}' , I_{D_o}' 를 구한 후 정리하면 전체의 관성모멘트 $I = I_{H_o}' + I_{R_o}' + I_{D_o}'$ 가 된다.

2) 전자 주기를 이용한 관성모멘트 산출

전자의 주기를 이용해 관성모멘트를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$I = \frac{T^2 mgl}{4\pi^2} \quad (T=\text{주기}, m=\text{질량}, g=9.8m/s^2, l=\text{중심축으로부터 회전체 질량 중심까지}$$

의 거리)

3) 질량 중심(center of Mass)

· 회전축 중심으로부터 CM 점까지의 거리

(베어링 하우징 + 환형 봉) 모멘트 = 디스크 모멘트

$$M_H(R_{H2} + L_R - x) + M_R\left(\frac{L_R}{2} - x\right) = M_D \cdot x$$

$$x = \frac{M_H(R_{H2} + L_R) + M_R\left(\frac{L_R}{2}\right)}{(M_H + M_R + M_D)}$$

따라서 회전축으로부터 질량 중심(COM)점까지의 거리는

$$L_{COM} = (R_{H2} + L_R) - x$$

4) 진자 힘 계산

· 회전 축을 중심으로 한 총 모멘트 합 = 총 질량 관성모멘트 × 각 가속도

$$\sum M_F = I\alpha \rightarrow M_{HRD} L_{COM} \cos\theta = I\alpha$$

$$\alpha = \frac{M_{HRD} L_{COM} \cos\theta}{I}$$

$$w dw = \alpha d\theta$$

$$\rightarrow \int_0^w w dw = \int_{\theta_0}^{\theta_x} \frac{(M_{HRD} L_{COM} \cos\theta)}{I}$$

$$\rightarrow w^2 = 2 \left[\frac{(M_{HRD} L_{COM})}{I} (\sin\theta_x - \sin\theta_0) \right]$$

결국, 회전에 의해 생기는 중심축 방향 힘(normal force)은 $F_N = M_{HRD} L_{COM} w^2$ 이고, 접선 방향 힘(tangential force)은 $F_T = M_{HRD} L_{COM} \alpha$ 인데, 이 실험에서 필요한 회전력은 F_T 이다. 즉, 회전체가 목표물에 부딪히게 되면 지면반력기는 F_Z 값을 나타내는데, 이것은 회전체의 접선 방향 힘인 F_T 가 작용해서 나온 결과이다.

4. 통계 처리

실제 지면반력기로부터 얻은 F_Z 와 회전체의 접선력(F_{T1} , F_{T2})과의 비교를 위해 SPSS ver.11.5를 이용하여 이변량 상관분석을 실시하여 Pearson 상관계수를 구했다. 또 각 변인들의 선형성을 알아보기 위해 추세선을 구하고 유의수준을 알아보았다.

Ⅲ. 결과 및 논의

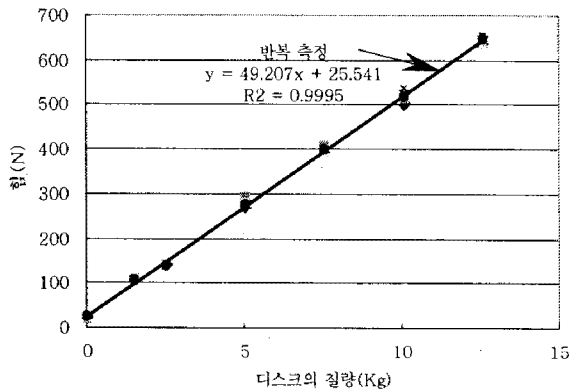


그림 5. 5회 반복 측정된 F_Z data

실험 ① - 수직으로 설치된 지면반력기 검증
 지면반력기에 부딪혀 F_Z 을 발생시키는 힘은 회전체의 접선 방향 힘인 F_T (tangential force) 이고 위 자료 산출 방법으로 구한 data들을 MatLab 5.3 소프트웨어를 이용해 계산하면 <표 2>와 같은 F_Z , F_{T1} , F_{T2} 의 결과를 얻는다. 여기서 F_Z 는 지면반력기를 통해 얻은 충격력, F_{T1} 과 F_{T2} 는 각각 공식을 통해 얻은 관성모멘트와 진자 주기법을 이용해 얻은 관성모멘트를 이용해 계산한 회전 접선력이다. F_Z data들의

유형과 추세선을 나타낸 것은 <그림 5>와 같다. 추세선의 수식은 $y=49.207x+25.541$ 이고, 그 신뢰도는 $R^2=0.9995$ 로써 선형성을 갖는다고 말할 수 있다. 이 통계적 유의성은 수직으로 세운 지면반력기의 F_Z 값들이 디스크 질량의 크기에 따라 선형적인 관계를 나타낸다는 것을 의미한다.

관성모멘트를 공식과 진자 주기법을 이용해 계산한 후 얻은 회전 접선력 F_{T1} 과 F_{T2} 는 위와 같은 방법을 적용 시 $y=47.591x+41.544$ ($R^2=1$), $y=50.773x+19.076$ ($R^2=0.9987$)의 추세선을 가지며 선형성을 나타내었다. 이변량 상관분석법으로 F_Z 와 F_{T1} , F_Z 와 F_{T2} 의 상관 관계를 알아보면, 유의수준 .05에서 둘 다 $\alpha=.000$ 을 보이며, Pearson 상관계수는 각각 $r=1.000$, $r=0.999$ 를 나타내 지면반력기에서 얻은 F_Z 와 회전 접선력 F_T 는 매우 상관이 높다는 것을 알 수 있다.

표 2. 디스크 질량 별 F_Z 평균·표준편차와 F_{T1} , F_{T2}

	0Kg	1.5Kg	2.5Kg	5.05Kg	7.55Kg	10.1Kg	12.6Kg
$F_Z(N)$	23.64 ±0.57	107.03 ±1.33	140.13 ±2.29	276.73 ±9.16	399.54 ±5.01	518.91 ±13.61	646.65 ±9.30
$F_{T1}(N)$	43.22	111.34	159.64	282.29	400.63	523.57	640.43
$F_{T2}(N)$	27.13	95.45	142.47	267.76	393.31	546.35	656.44

Nachiappan et al.(2002)은 압력중심을 찾는 방법으로 지면반력기를 검증하는 실험에서 역치(threshold) 수준이 113N 이상일 때 표준편차 0.3cm 이내의 정확성을 갖는다고 하면서, 역치 수준

아래의 수직력은 정확한 압력중심을 찾는 데 문제가 발생할 수 있다고 보고했다. 본 실험에서는 113N 이상의 측정치에서 0.96~13.92%(오차가 큰 질량인 2.5Kg 디스크 측정값을 제외하면 약 5%이내)의 높은 오차율을 보이는데, 통계적으로 높은 상관관계를 보임에도 이러한 오차를 갖게 된 원인은 다음의 이유에 기인한다고 판단된다. 첫째, 실제 지면반력기에서 회전체를 이용해 충격력 측정 시 회전체를 30° 가량 들었다가 지면반력기에 충격을 주었는데, 이 과정에서 정확한 실험 도구를 만들어 쓴 것이 아니라 실험자에 의해 회전체가 들려졌으므로 정확하게 30°를 유지하지 못한 오차가 실제 충격력 data에서 오차의 한 부분으로 작용했으리라 생각한다. 둘째, 공식을 이용한 관성모멘트 측정 시 디스크의 상표 등이 써 있는 음각 부위에 대한 복잡한 형상을 원통 모양으로 단순화 시킨 것에도 어느 정도 기인했을 것이라 사료된다. 셋째, 회전체의 진자 주기를 이용한 실험 시 베어링을 마찰이 없는 회전축으로 가정했으나 자체가 갖고 있는 고유 구름 마찰력으로 인해 질량이 작은 디스크를 장착 시 진자의 주기에 더 큰 영향을 주었을 것이라 생각한다. 위 세 가지 오차를 생성하는 요인들을 통제할 수 있다면, 수직으로 설치한 지면반력기의 F_z 값을 더욱 정확하게 정량화 시킬 수 있을 것이다.

실험 ② - 태권도 주춤새몸통지르기 충격력 측정

실험 ①에서 검증한 수직으로 설치된 지면반력기를 태권도 사범인 실험대상들에게 주춤새몸통지르기를 시켰을 때, 평균 345.9N(90.3N)의 최대 충격력이 지면반력기 접촉 후 0.02s안에 발생했고, 거리에 따른 최대 충격력은 팔길이의 80%에서 가장 크게 나타났다. <그림 6>은 시간에 따른 태권도 지르기 충격력의 패턴을 지면반력기 F_z 값으로 나타낸 것이고, <그림 7>은 각 실험대상 팔길이의 상대적 목표거리에 따른 지르기 시 최대 충격력의 평균을 나타낸 것이다. 이와 같은 data들은 각 동작의 충격력 특성을 설명해 주고 다른 타격 운동의 충격력 특성과의 비교 연구 가능할 것이라 사료된다.

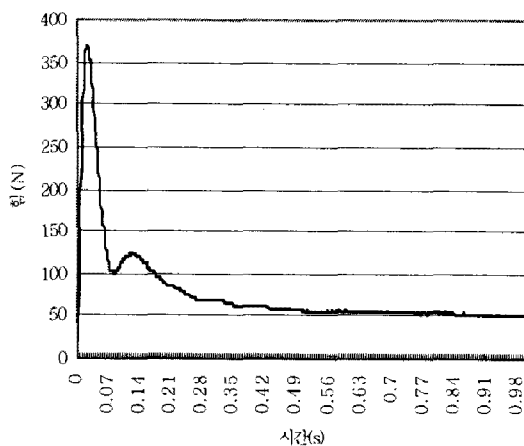


그림 6. 시간에 따른 충격력 발생 유형

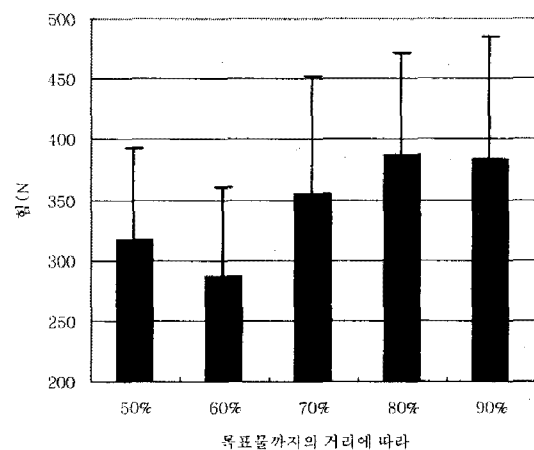


그림 7. 목표거리에 따른 충격력의 평균

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 충격력 검증용 회전체를 제작하고 Fairburn et al.(2000)의 실험에서 사용했던 추의 회전력 공식을 응용해 회전체가 수직으로 세운 지면반력기에 부딪힐 때 그 접선력(F_T)이 지면반력기의 수직 지면반력(F_Z)과 거의 동일하다는 것을 검증하였다. 결과를 토대로 본다면 회전체의 접선력은 지면반력기의 수직 지면반력과 매우 높은 상관관계를 나타내었으므로 수직으로 설치된 지면반력기의 F_Z 값은 정량화된 값이라 할 수 있고, 타격과 관련된 어떤 충격력도 그 자체의 값으로 표현할 수 있으므로 여러 타격에 대한 충격력의 정확한 비교가 가능하게 되었다.

그러나 더욱 개선되어야 할 점은 지면반력기 검증 장치의 개선과 F_Z 값 이외의 힘 성분에 대한 검증이다. 본 연구에서 제작한 지면반력기 검증 장치보다 정밀한 검증 장치를 개발해 사용한다면 보다 낮은 오차율로 정확한 실험을 할 수 있을 것이다. 또 F_Z 값 이외의 값을 검증할 수 있다면 바닥에 지면반력기를 설치하고 실험하는 것처럼 모든 kinetic data를 얻을 수 있어 앞으로의 연구 방향과 범위를 더욱 확대해 나갈 수 있을 것이라 기대된다.

참고문헌

- Atha J., Yeadon MR., Sandover J., Parsons K.C. (1985). Measuring the mechanical properties of a heavyweight's punch. Abstract of the Sports Sciences Conference, Bedford, 13~15 sept 84. Journal of Sports Sciences. 2(3), pp.188~189.
- Fairburn P.S., Palmer R., Whybrow J., Fielden S., Jones S. (2000). A prototype system for testing force platform dynamic performance. Gait & Posture, Vol. 12, pp. 25~33.
- Fortin Y., Lamontagne M., Gadouas A. (1993). Punching bag dynamometer. International Society of Biomechanics Congress XIV, Paris, France, 1993.
- Halliday D., Resnick R., Walker J. (1993). Fundamentals of Physics, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc.
- Kawakami Y., Muraoka T., Ito S., Kanehisa H., Fukunaga T. (2002). In vivo muscle fibre behaviour during counter-movement exercise in humans reveals a significant role for a tendon elasticity. Journal of Physiology, 540.2, pp.635~646.

- Kim K.J., Ashton-Miller J.A. (2003). Biomechanics of fall arrest using the upper extremity : age differences. *Clinical Biomechanics*, 18, pp.311~318.
- Meriam J.L., Kraige L.G.(1993), *Engineering Mechanics*, vol 2., John Wiley & Sons, Inc.
- Nachiappan C., Giannis G., Anna I. (2002). Do strain gauge force platforms need in situ correction? *Gait and Posture*, Vol. 16, pp.233~237.