



한국운동역학회지, 2003, 제13권 3호, pp. 117-131
Korean Journal of Sport Biomechanics
2003, Vol. 13, No. 3, pp. 117-131

골프공 스핀효과에 따른 비거리 시뮬레이션

한태종* · 김용선**(전주대학교) · 이순호*** (체육과학연구원)

ABSTRACT

Range Simulation on Spin Effect of golfball.

Han, Tae-Jong* · Kim, Yong-Sun**, (Jeonju University)
Lee, Soon-Ho*** (Korea Sport Science Institute)

T. J. HAN, Y. S. KIM, S. H. LEE. Range Simulation on Spin Effect of golfball. Korean Journal of Sport Biomechanics, Vol.13, No.3, pp. 117-131, 2003. This study simulated the range of golf ball with different projection angles using a drive swing condition. For the simulation purpose, the differential equation of dynamics was induced by using Bernoulli's principle and average back spin frequency, instant velocity, and dimple of golf ball from amateur group, professional group, and Tiger Woods were chosen as the initial condition.

The study results indicated that lift coefficient (C_{lift}) relative to drag coefficient (C_d), 0.3 of differential equation was applied differently in terms of back spin frequency, and when C_{lift} was 0.4 for amateur, 0.5 for professional, and 0.7 for Tiger Woods the projection ranges of ball

2003년 10월 27일(월) 접수

* 560-759, 전북 전주시 효자동 1200 전주대학교 체육학과

** 교수, 560-759, 전북 전주시 효자동 1200 전주대학교 체육학과

*** Corresponding author, 139-242, 서울시 노원구 공릉2동 체육과학연구원

연락처 : shlee@sports.re.kr, Tel : 02-970-9555

were closely matched with initial condition.

With selected C_{lift} and back spin frequency of initial condition, the ranges with different projection angle was measured as 193m (13-17°)for amateur, 240m (9-13°), professional and 273m (9°)Tiger Woods , respectively.

For the range in terms of back spin frequency and projection angle, the amateur group indicated relatively high spin frequency (70 RPS) and showed the maximal range (195m) with 13° of projection angle. The tendency of longer range with higher projection angle was also found under the different conditions of spin frequency in this group. The professional group showed their maximal range (245m) with conditions of 60RPS of spin frequency and 9° of projection angle. Their range was decreased dramatically when the spin frequency was reduced to 40-50 RPS. For Tiger Woods, the maximal range was found with 40RPS of spin frequency and the range was decreased notably when the spin frequency was above 40RPS.

KEY WORDS : RANGE SIMULATION, SPIN EFFECT, SPIN FREQUENCY

I. 서 론

골프의 다운스윙은 약 0.3초 동안 이루어지면서 완결되기 때문에, 다분절로 구성된 인체분절의 스윙동작을 완벽히 정의하는데는 한계가 있다. 운동기술분석은 움직임의 조건에 따라 인체모델을 정의한다. 이에 골프의 스윙동작은 팔의 분절과 골프클럽의 다분절 진자운동 조건을 만족하는 인체모델이 필요하다.

골프공의 비거리는 골프공의 최초 출발속도, 출발각도, 백스핀 진동수에 의하여 크게 좌우된다는 사실을 잘 알고 있다. 골프공의 유체역학적 조건과 운동에 대한 예측은 유체내의 동역학적인 방법으로 접근하고, 이에 따른 운동방정식을 세워 이론적인 해석 방법도 가능하다.

골프공이 유체 내에서 운동할 때, 공의 표면은 상대적인 공기의 흐름을 변화시킨다. 이때 공의 회전은 공의 표면의 공기흐름의 속도를 변화시키고, 상대적인 공기흐름의 속도는 압력의 변화로 골프공의 비행시간에 직접적인 영향을 준다. 이 때 공의 표면으로부터 영향을 받는 영역이 경계면(boundary layer)이며, 경계면의 이론은 공포공 덤플의 조건에 큰 상관관계를 갖고 비행시간과 거리의 동역학적 해석에서 가장 중요한 역할을 한다.

골프공의 회전이 없이 속도가 매우 느린 경우, 즉 정상류의 조건에서는 공의 표면에 흐르는 상대

적 공기의 흐름이 상하·좌우 대칭의 형태를 가지며, 이 때는 단지 공의 표면과 공기분자간의 마찰에 의한 저항력(Skin Friction Drag Force)만이 일어난다. 그러나 골프스윙에 의해 비행되는 골프공은 빠른 회전과 속도로 인해 공의 표면을 따라 형성된 경계면이 공의 후면까지 감싸지를 못하고 도중에 공의 표면으로부터 분리되면서 공의 후면에 강한 소용돌이의 와류(wake)가 발생한다. 이러한 와류는 공의 진행을 방해하는 저항력이 되고, 저항력은 공의 전면과 후면간의 압력의 차이로 발생하는 것으로서 압력에 의한 저항력(Pressure Drag Force)이라고 하며, 이 저항력은 공의 전진 속도의 제곱에 비례하며, 베르누이의 정리로부터 유도되고 이때 계수로 도입되는 것이 공기 저항상수(Drag Coefficient: C_d) 이다(Cliff Frohlich, 1984; Adair Robert K., 1994). C_d 값은 레이놀드 수(Reynold number)와 함수관계를 가지며, C_d 값이 클수록 저항력이 크고, C_d 는 0 과 1 사이의 값을 가진다.

지금까지의 골프와 관련된 선행연구는 대부분 스윙동작에 따른 운동학적 및 운동역학적 연구(Cooper 등, 1973; 박성순, 1990; 송주호, 1999)들이 주를 이루고 있으며, 골프공의 스핀진동수 및 덤플에 따른 회전효과에 대한 연구는 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이는 골프공의 초기속도, 투사각, 비거리와 같은 변인들은 실험적 측정이 용이하지만, 유체역학적 운동방정식에서 요구되는 골프공의 진동수와 같은 초기조건들은 특별한 실험조건을 갖추지 않으면 불가능하다.

비거리는 다양한 요인에 기인하므로 골프공에 대한 초기조건을 최적화를 결정하는 것은 한계를 갖지만, 일반적인 초기조건을 대상으로 적합한 공의 출발각도와 스핀진동수에 따라 최대 비거리를 예측하는 것은 스윙동작이나 골프공의 초기조건을 적합한 범위를 제시하는데 중요한 자료가 될 수 있다.

이에 본 연구는 일반 저널 및 선행연구(주간조선, 1999; 송주호, 1999)에서 제시하는 아마추어, 프로 집단 그리고 우즈(Woods, Eldrick Tiger)에 대한 평균 골프공의 백스핀진동수(back spin frequency), 초속도, 덤플의 조건 등을 초기조건으로 베르누이 원리에 의한 동역학적 운동방정식을 유도하여 투사각에 따른 비거리를 시뮬레이션 하는데 목적이 있다.

II. 연구 방법

1. 이론적 배경

1) 레이놀드 수

레이놀드 수(Reynold number)는 유체 속의 물체에 대한 경계면과 난류의 흐름에 대하여 실험적인 연구를 통하여, 유체 내에서의 물체의 동역학적인 특성의 상수로서 다음과 같이 정의된다(Cliff Frohlich, 1984)

$$R = V \frac{d}{v} \quad (1)$$

여기서 V 는 공의 속도이고, d 는 공의 직경, v 는 공기의 점성이다. 아마추어 골퍼의 경우에 평균적으로 드라이버샷의 공의 속도는 약 55 m/s 이다(송주호, 1999; 주간조선, 1999). 골프공의 직경은 .0426 m이며, 상온에서의 공기의 점성은 0.000015 m²/s로서(Cliff Frohlich, 1984), (1)식에 의하면 $R = 1.59 \times 10^5$ 의 값을 얻는다.

2) 드레그 힘

공기 중에서 운동하는 골프공은 두 종류의 공기의 저항을 받게되는데, 첫째는 공의 표면과 공기분자 간의 마찰에 의한 저항력으로서 다음과 같이 표시된다(Grant R. Fowles & George L. Cassiday, 1993).

$$F_{d1} = -C_1 V \quad (2)$$

여기에서 저항력은 공의 속도에 비례하여 증가하므로, 상수 C_1 은 다음과 같다(Grant R. Fowles & George L. Cassiday, 1993).

$$c_1 = 1.55 \times 10^{-4} d \quad (3)$$

공기 중에서 운동하는 골프공이 받는 두 번째의 저항력은 골프공 뒷면에 형성되는 소용돌이 와류에 기인한다. 이 저항력은 속도의 제곱에 비례하며 Pressure Drag Force 라고 부르며, 공의 전·후면의 압력 차에 의하여 발생하는 저항력으로서, 베르누이 정리를 이용하면 다음과 같이 유도할 수 있다(Cliff Frohlich, 1984).

$$F_{d2} = -\frac{1}{2} \rho C_d A V^2 \quad (4)$$

여기서 ρ 는 공기의 밀도로서 1.29 kg/m³이고, A 는 공의 단면적으로서 $\pi d^2/4$ 이다. 위와 같이 소용돌이 와류에 의한 공의 저항력은 공의 속도의 제곱에 비례함을 볼 수 있다. (4)의 식은 공 주변의 공기의 흐름에 의한 저항력의 정도는 공의 크기나 모양, 유체의 종류에 따라서 달라짐으로 운동을 논의하는 그 상황에 맞는 공기저항 상수(Drag Coefficient) C_d 를 도입하는 식이다.

3) 공기저항 상수

공기 저항상수(Drag Coefficient: C_d) C_d 는 공기 중에서 운동하는 물체가 저항력을 받는 정도의

상수로서, 레이놀드 수와 밀접한 관계가 있다. 공기중에서 골프공의 속도가 점점 증가하면 그 저항력도 점차적으로 증가한다. 그러나 공의 속도가 어느 속도로 증가하면 공의 표면에 국지적 난류들이 형성되어 공의 표면의 경계면을 확장시키고 소용돌이의 와류가 줄어드는 현상이 발생하는 시점이 있게된다. 이때 저항력은 현저하게 감소하게 되고, 이러한 조건을 Drag Crisis 혹은 Wind Tunnel이라 한다. 이때의 C_d 값은 급격하게 감소하며, 표면이 매끄러운 볼에 대하여 이러한 현상을 보여주는 C_d 값은 <그림 1>과 같다(Landau & Lifshitz, 1959; Landau. & Lifshitz, 1974). 이때 아마추어 골퍼의 경우 $R = 1.59 \times 10^5$ 이므로, C_d 는 0.5이다.

표면이 거친 볼은 이러한 현상이 더 크게 나타나며, 이 때 C_d 값은 <그림 2>와 같으며, 표면의 거친 정도에 따라서 그 값이 어느 속도에서 급격하게 감소함을 볼 수 있다. 여기서 공의 표면은 type 1이 가장 거친 조건이고, 다음으로 거친 조건은 type 2와 type 3의 순이며, type 4는 공의 표면이 매끄러운 조건이다. 여기서 표면의 거친 정도는 h/d 로 정의하며, h 는 덤플의 깊이이고, d 는 공의 직경이다. h/d 는 type 1이 1250×10^{-5} , type 2는 500×10^{-5} , type 3가 150×10^{-5} 이며, type 4는 매끄러운 볼이다(Cliff Frohlich, 1984 ; Landau. & Lifshitz, 1974).

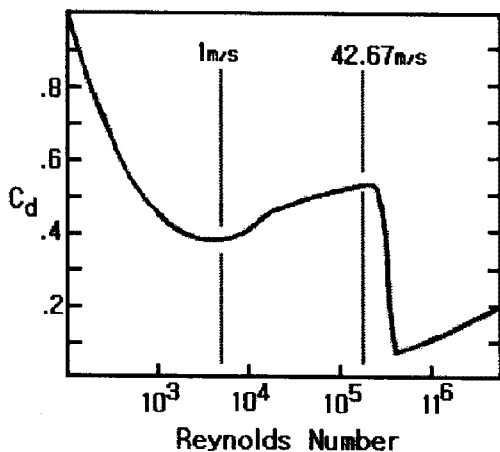


그림 1. 매끄러운 공의 레이놀드 수와 C_d 의 관계

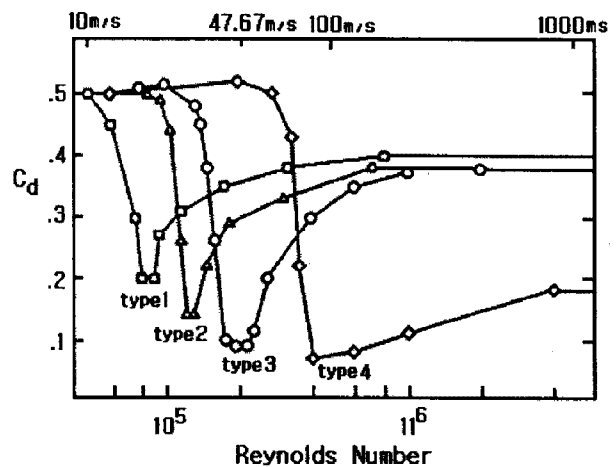


그림 2. 표면이 거친 공의 레이놀드 수와 C_d 의 관계

4) 부양력

공의 지름이 d 이고 공의 스핀진동수가 n 일 때, 공의 표면에 흐르는 공기의 흐름의 속도(V_R)은 $\pi n d$ 이므로, 공의 윗부분의 공기 흐름의 속도 V_1 과 아래 부분의 속도 V_2 는 다음과 같다.

$$V_1 = V + V_R \quad (5)$$

$$V_1 = V - V_R \quad (6)$$

베르누이 정리에 의해, 공의 부양력(lift force)은 다음과 같다.

$$P = \rho g(h_2 - h_1) + \frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_2^2) \quad (7)$$

이에 h_2 와 h_1 은 각각 지표로부터 공의 위 부분과 아래 부분까지의 높이이므로, $h_2 - h_1$ 은 공의 직경 d 에 해당한다. (7)식의 우변의 첫째 항은 다른 항에 비하여 무시할 수 있을 정도로 아주 작은 양이 된다. 따라서 공이 위로 받는 압력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P = \frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_2^2) \quad (8)$$

(8)의 식을 (5),(6)식을 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$P = 2 \rho \pi n d V \quad (9)$$

힘은 압력과 면적의 곱이므로, 보정상수로 부양계수(Lift Coefficient: C_{lift})를 도입하여 부양력(F_{lift})을 정의하면 다음과 같다.

$$F_{lift} = P A \times C_{lift} \quad (10)$$

여기서 (10)의 식을 유도하기 위하여 가장 이상적인 경우를 1차적으로 가정하였고, 복잡한 실제 상황에 근접시키기 위한 보정상수(C_{lift})를 도입하였으며, 그 값은 0 과 1 사이의 값이 된다. (10)식을 다시 정리하면 다음과 같으며, 이에 양력은 공의 속도와 스핀진동수에 비례함을 알 수 있다.

$$F_{lift} = \frac{1}{2} C_{lift} \pi^2 \rho d^3 n V \quad (11)$$

5) 동역학적 운동방정식 유도

공기 중에서 백스핀(back spin)이 걸려 비행하는 골프공에 작용하는 힘은 앞에서 언급한 바와 같이 공기분자와 공의 표면과의 마찰에 의한 저항력(F_{d1}), 공의 후면에 생긴 소용돌이 와류에 의하여

생기는 저항력(F_d)공의 회전에 의한 양력(F_{lift})그리고 중력(F_g)등이다(그림 3).

여기서, F_d/F_d 의 비는 0.00에 근접하므로 F_d 의 크기는 무시($F_d \ll F_d$ 을 의미하므로 F_d 의 크기 무시)할 수 있으므로 생략이 가능하다. 따라서 <그림 3>과 같이 공기흐름의 저항력(\vec{F}_d), 공의 초속도(\vec{V}_{1st}) 그리고 부양력(\vec{F}_{lift})의 힘들을 성분별로 정리하면 다음과 같다. 이 때 골프공의 질량(m)은 0.046 kg이고 투사각은 α 이다.

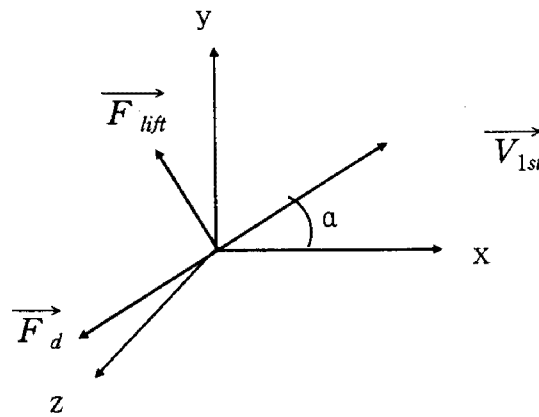


그림 3. 힘의 성분별 벡터

$$\ddot{x} = -\gamma (\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{1/2} \dot{x} - k \dot{y} \tag{12}$$

$$\ddot{y} = -\gamma (\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{1/2} \dot{y} - g + k \dot{x} \tag{13}$$

여기서 γ 와 k 는 각각 다음과 같다.

$$\gamma = 1/2 C_d \rho A / m \tag{14}$$

$$k = 1/2 C_{lift} \pi^2 \rho d^3 n / m \tag{15}$$

2. 실험대상과 초기조건

본 연구는 저널 및 선행연구(주간조선, 1999; 송주호, 1999)에서 제시하는 아마추어, 프로 집단 그리고 우즈(Woods, Eldrick Tiger)에 대한 드라이버 스윙의 평균 골프공 백스핀진동수, 초속도를 초기 조건으로 하였다(표 1).

표 1. 실험대상과 초기조건

대상	백스핀진동수(RPS)	초기속도(m/s)
아마추어 집단	62	55
프로 집단	53	69
우즈(개인)	37	81

III. 결과 및 논의

본 연구는 드라이버 스윙 조건에서 아마추어, 프로 집단 그리고 우즈(Woods, Eldrick Tiger)에 대한 평균 골프공의 백스핀진동수, 초속도, 덤플의 조건 등을 초기조건으로 베르누이 원리에 의한 동역학적 미분 운동방정식을 유도하여 투사각에 따른 비거리를 시뮬레이션을 하였으며, 결과는 다음과 같다.

1. 부양계수 및 투사각도에 따른 비거리

공기 저항상수(C_d) 값은 선행연구(Cliff, 1984)를 참고하여 0.3으로 하였다. 골프공은 타틀리스트와 갤러웨이를 대상으로 하였으며, 공의 직경은 42.6mm 그리고 덤플의 깊이는 0.25mm로 하였다. 이 때 표면이 거친 공의 레이놀드 수와 C_d 의 관계(그림 2)에서 type2가 가장 근접한 형태이고, 이에 표면이 거친 정도인 h/d 는 587×10^{-5} 으로 하였을 때, 선행연구(박성순, 1990; 소재무, 1996; 주간조선, 1999; 송주호, 1999) 들의 비거리 범위에 가장 근접하게 접근할 수 있는 공기 저항상수가 0.3임을 확인하였다.

부양상수(C_{lift})는 대상자별 다양한 부양계수를 입력하여 가장 이상적인 계수로 선택하였으며, 이 때 대상별 부양계수는 아마추어 집단이 0.4, 프로집단이 0.5 그리고 우즈가 0.7의 계수를 적용하였을 때 비거리가 근접하였다. 부양계수에 따른 아마추어와 프로 집단 및 우즈의 비거리에 대한 시뮬레이션 결과는 <표 2>과 <그림 4, 5, 6, 7>과 같다.

표 2. 부양계수와 투사각도에 따른 비거리

	C_{lift}	5°	9°	13°	17°	21°	25°	29°	33°	37°	41°
아마추어 집단	0.4	175	185	193	193	190	185	177	166	155	140
프로 집단	0.5	237	240	240	237	230	220	210	195	180	160
우즈	0.7	270	273	271	265	256	245	232	216	198	178

단위 : m

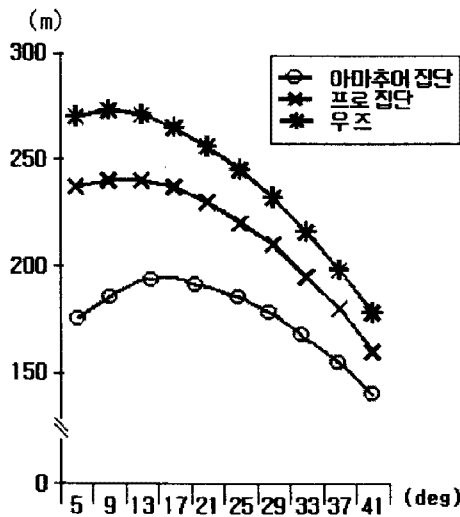


그림 4. 투사각도에 따른 비거리 변화

공기 저항상수와 각 부양계수의 조건에서 각도에 따른 시뮬레이션에서 아마추어 집단은 투사각도가 약 15도(13도~17도의 범위)에서 193m의 비거리 결과를 보였고, 프로집단은 투사각 약 11도(9~13도의 범위)에서 242m의 비거리 결과를 보였으며, 우즈는 투사각도 약 9도(9도~11도의 범위)에서 273m의 비거리를 보였다. 이러한 결과는 선행연구(박성순, 1990; 소재무, 1996; 주간조선, 1999; 송주호, 1999)의 결과와 근접하게 일치하였다.

표면이 매끄러운 골프공의 경우에 C_d 값은 0.5을 사용하나, 골프공의 경우는 딴플의 조건을 고려하여 C_d 값을 0.3으로 하였다. 그 이유는 드라이버샷의 경우에 골프공은 빠른 속도로 전진하게 되므로 공의 표면에 있는 작은 딴플에서는 지협적인 와류가 형성되어 표면을 뒤덮는 와류층이 경계층을 공의 뒷면 가까이 까지 밀어줌으로 공의 뒷면에 소용돌이 와류가 줄어들어 공에 대한 저항력이 갑자기 줄어드는 상태에 이르게 되는데, 이러한 상황을 Drag Crisis 라하고 이때의 C_d 값은 급격하게 감소한다. 이러한 이유로 C_d 값을 0.3근처의 값으로 취하는 것이 타당하고, 시뮬레이션 결과와도 일치하였다.

골프공의 비거리는 스핀진동수, 초속도 그리고 투사각 등의 공기역학적 조건에 따라 결정된다. 본 연구의 초기 조건에서도 제시된 바와 같이 골프공의 초기 스핀진동수는 아마추어 집단보다 프로집단이나 우즈가 작게 제시된 것은 초속도의 크기와 큰 상관성을 갖는 것으로 판단된다. 일반적으로 프로집단은 공의 초속도가 현저하게 크기 때문에 초기 비행구간에서는 공의 스핀진동수에 의한 유체역학적 부양력의 영향은 작게 나타나고, 비행정점 근방에 진입하면서부터 스핀진동수에 의한 부양력의 영향력이 발휘되는 것으로 판단된다. 이에 아마추어 집단은 10도 이상 17도의 범위에서 가능한 높은 투사각을 유도하는 것이 유리할 것으로 판단되고, 이는 초기 비행 구간에서 공의 유체역학적 부양력을 유도하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

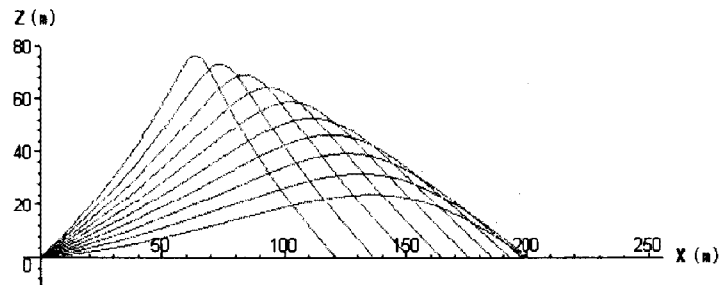


그림 5. 아마추어집단의 비거리($C_{lift} : 0.4$)

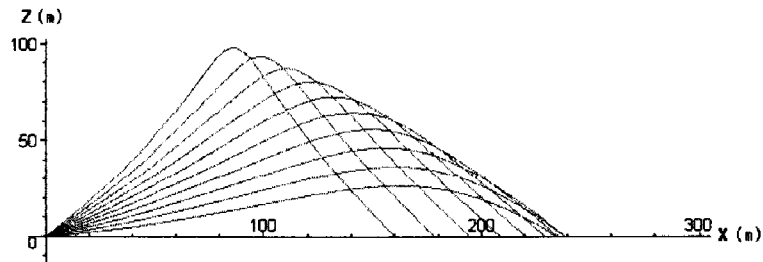


그림 6. 프로집단의 비거리($C_{lift} : 0.5$)

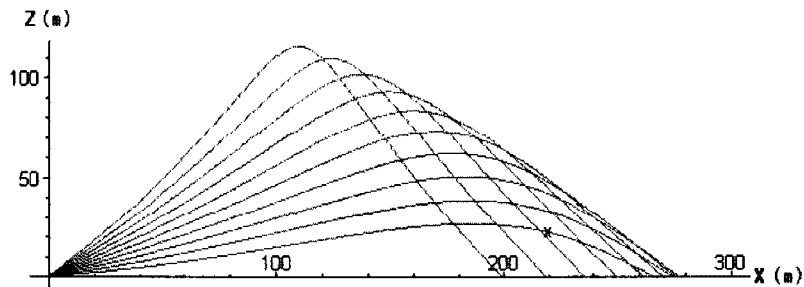


그림 7. 우즈의 비거리($C_{lift} : 0.7$)

2. 스핀진동수와 투사각도에 따른 비거리

스핀진동수에 대한 비거리를 시뮬레이션한 결과는 <표 3>과 <그림 8, 9, 10>과 같다. 이 때 스핀진동수는 40, 50, 60, 70, 80RPS의 조건으로 하였고, 투사각은 5도에서 4도씩 증가하여 17도까지 제시하였다.

아마집단의 경우, 60RPS 조건은 투사각 17도에서 최대 195m를 보였고, 70RPS에서는 투사각 13도에서 197m의 비거리로 나타났다. 40, 50RPS에서는 110~180m의 비거리를 보였으며, 투사각이 클수록 큰 비거리로 나타났다. 또한 80RPS에서의 조건에서는 207~236m의 비거리 범위를 보였고, 투사각이 작을수록 비거리가 크게 나타났다.

프로집단의 경우, 60RPS조건에서 245m의 최대 비거리를 보인 각도는 5~9도를 보였고, 70RPS에서는 투사각 5도에서 246m의 비거리를 보였다. 40RPS에서는 197~225m의 비거리 범위를 보였으며 투사각이 클수록 비거리가 크게 나타나는 경향을 보였다. 또한 80RPS에서는 207~246m의 가장 작은 비거리의 범위를 보였으며, 투사각도가 낮을수록 큰 비거리를 보였다.

우즈는 40RPS에서 262~274m의 범위에서 큰 비거리를 보였고, 투사각 9도일 때 274m의 최대 비거리로 나타났다. 50RPS의 경우는 245~271m의 비거리 범위로서 40RPS보다 작은 비거리를 보였고, 투사각이 낮을수록 큰 비거리를 보였다.

표 3. 대상별 스핀진동수와 투사각에 따른 비거리

단위 : m

진동수	대상	투사각			
		5도	9도	13도	17도
40RPS	아마집단	110	138	155	166
	프로집단	197	213	223	225
	우즈	272	274	270	262
50RPS	아마집단	140	163	174	180
	프로집단	230	237	238	236
	우즈	271	265	255	245
60RPS	아마집단	172	183	190	195
	프로집단	244	245	240	233
	우즈	252	246	237	225
70RPS	아마집단	193	196	197	195
	프로집단	246	240	233	223
80RPS	아마집단	206	205	202	195
	프로집단	236	228	219	207

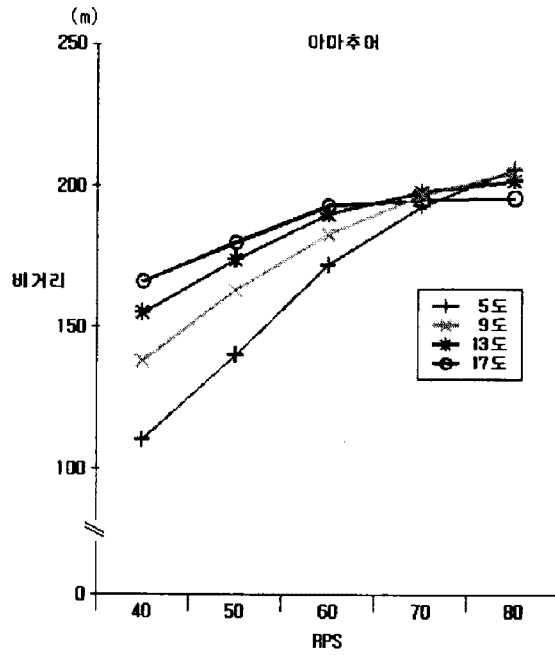


그림 8. 스핀진동수와 투사각에 따른 비거리(아마구룹)

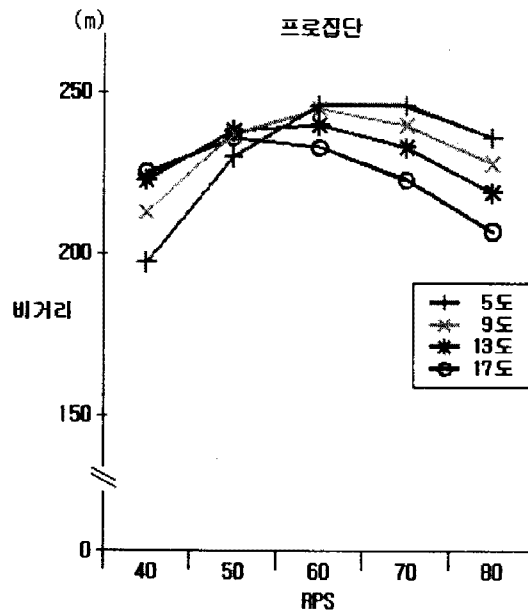


그림 9. 스핀진동수와 투사각에 따른 비거리(프로구룹)

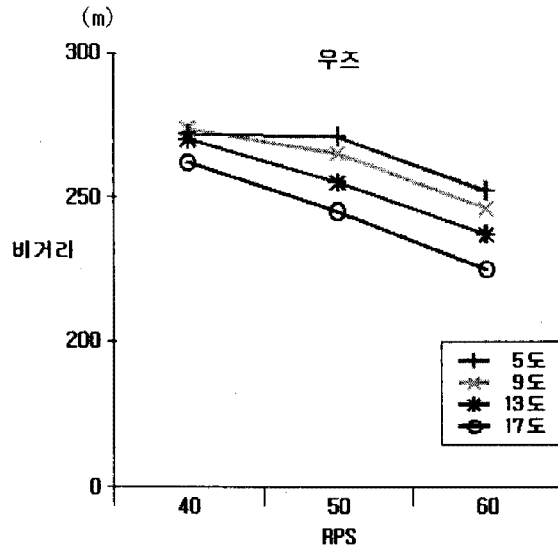


그림 10. 스핀진동수와 투사각에 따른 비거리(우즈)

아마추어집단은 초기조건이 62RPS로 제시되었던 바와 같이, 결과에서도 60RPS에서 가장 큰 비거리가 나타났고 투사각이 비교적 큰 것이 효율적임을 알 수 있다. 이에 RPS가 80으로 증가할 경우 60이나 70RPS보다 큰 비거리로 나타나는 현상을 보였다. 그러나 아마추어의 경우 드라이버 헤드의 기울기 조건, 초속도 등을 고려할 때, 스핀진동수를 80RPS만큼 증가시키는 것은 어려운 것으로 판단된다. 또한 스핀진동수가 40~50으로 감소될 때 비거리가 크게 감소하는 것은 초속도에 따른 스핀진동수의 조건에서는 공기역학적 부양력이 크게 영향을 주지 못하는 것으로 판단된다. 따라서 아마추어 집단의 조건에서는 70RPS이상의 스핀진동수를 유도하면서 13~17도의 투사각을 유지하는 것이 가장 큰 비거리를 유도할 수 있을 것으로 판단한다.

프로집단의 초기조건 스핀진동수는 53RPS로 제시한 바 있다. 이에 시뮬레이션 결과는 스핀진동수 60RPS의 조건에서는 비교적 낮은 투사각에서 최대 비거리를 보였고, 50RPS에서는 비교적 높은 투사각 13도에서 최대 비거리가 나타나는 경향을 보였다. 이는 프로집단의 평균 초속도의 조건에 따른 50RPS에서 60RPS로 스핀진동수가 증가할 경우 비교적 낮은 투사각을 유도하는 것이 최대 비 거리에 근접할 수 있을 것으로 판단한다. 그러나 투사각은 골프 드라이버 헤드의 경사각과 초속도에 직접적인 상관성을 고려할 때, 프로집단의 초기조건 등을 고려할 때 스핀진동수를 70RPS이상 증가시키는 것은 크게 어려운 것으로 판단된다. 이에 프로집단의 스핀진동수 70RPS에서 최대 비거리는 비교적 낮은 투사각의 결과를 나타난 반면에 투사각 5도에서 246m의 최대 비거리를 보이는 것은 현실적으로 어려운 조건이라 판단된다.

우즈의 경우 스핀진동수가 40RPS이상 높아질수록 비거리가 현저히 감소하는 경향과 40RPS의 스핀진동수의 조건에서 9도의 투사각에서 최대 비거리를 보이는 특징을 보였다. 이는 스핀진동수는 초

기속도와 투사각의 상관관계에 크게 작용됨을 의미하는 것으로 판단된다. 스핀진동수는 유체역학적 부양력의 유도로 비행시간을 연장함으로써 최대 비거리에 크게 기여한다.

최대 비거리의 유도는 최대의 초속도를 통한 선형운동의 연장과 이에 따른 적절한 투사각이 수반되어야 한다. 두 번째가 골프공의 유체역학적 조건에 따른 비행시간의 연장을 통하여 최대 비거리를 유도하는 것이다. 따라서 우즈의 조건과 같이 초속도를 현저히 크게 증가시킬 수 있는 경우, 초속도에 의한 선형운동이 스핀진동수에 의한 부양력의 효과 보다 크게 부각됨을 볼 수 있다.

본 연구는 드라이버 스윙의 조건에서 골프공의 스핀효과에 따른 비거리에 대한 시뮬레이션이다. 시뮬레이션은 초기조건이 중요하다. 현장에서 골프공의 스핀진동수를 정확히 측정하는 것은 어려운 문제 중의 하나이다. 이에 스핀진동수, 초속도 등의 초기조건을 선행연구들의 자료에 의존하여 시뮬레이션을 한 제한점을 배제하지 못하는 점도 또한 있다. 그러나 현장에서의 시뮬레이션은 정확한 측정값의 유도보다는 경향을 예측하는 점 또한 중요하다고 본다. 따라서 본 연구의 결과는 아마추어와 프로집단에 대한 스핀진동수와 투사각에 따른 비거리의 시뮬레이션의 결과가 실험조건의 선행연구의 결과와 아주 근접하였다고 판단한다.

IV. 결 론

본 연구는 드라이버 스윙 조건에서 아마추어, 프로 집단 그리고 우즈에 대한 평균 골프공의 백스핀진동수, 초속도, 덤플의 조건 등을 초기조건으로 베르누이 원리에 의한 동역학적 미분 운동방정식을 유도하여 투사각에 따른 비거리를 시뮬레이션하였으며, 결론은 다음과 같다.

1. 동역학적 미분 운동방정식의 공기 저항상수(C_d) 0.3에 대한 부양상수(C_{lift})는 스핀진동수에 따라 다르게 적용되었으며, 이 때 부양상수는 아마추어집단이 0.4, 프로집단이 0.5 그리고 우즈의 조건이 0.7일 때 초기조건에 따른 비거리에 가장 근접하게 일치하였다.
2. 대상별 부양상수와 초기조건의 스핀진동수의 조건에서, 투사각에 따른 비거리는 아마추어 집단이 투사각 13도~17도에서 193m, 프로집단이 9도~13도에서 240m, 우즈의 조건이 9도에서 273m로 나타났다.
3. 스핀진동수와 투사각도에 따른 비거리에서, 아마추어 집단은 비교적 높은 스핀진동수 70RPS와 투사각 13도에서 최대 비거리 195m로 나타났으며, 각 스핀진동수의 조건에서는 투사각이 높을수록 큰 비거리를 보이는 경향이 나타났다. 프로집단의 경우는 스핀진동수 60RPS의 조건에서 투사각 9도일 때 245m의 유효한 최대 비거리를 보였고, 스핀진동수가 40, 50RPS로 감소될 때는 비거리가 크게 감소하는 경향을 보였다. 우즈의 조건에서는 스핀진동수 40RPS에서 최대 비거리로 나타났으며, 스핀진동수가 40RPS이상 증가하면 비거리는 현저하게 감소하였다.

참 고 문 헌

- 박성순(1990). 골프스윙 시 최적 타이밍에 관한 연구, 국민대 논문 제 10집
- 소재무(1997). *골프역학*, 서울 흥경.
- 송주호(1999). *골프드라이버 스윙 동작시 운동학적 특성 비교 분석*, 국민대학교 석사학위 논문
- 주간조선(1999). *Go Left* 골프, 별책부록 P11, 9월 30일.
- Grant R. Fowles and George L. Cassiday(1993), *Analytical Mechanics*, 5th Ed. Saunders College Pub. p61, 1993.
- Cliff Frohlich(1984). Aerodynamic drag crisis and its possible effect on the flight of baseballs, *Am. J. Phys.* vol.52, No.4, April, p325.
- Adair Robert K.(1994). *The Physics of Baseball*, HarperCollins Publisher New York.
- F.W.Sears, M.W.Zemansky, and H.D.Young(1987). *University Physics*, 7th ed. Addison Wesley, p324.
- L. D. Landau, and E. M. Lifshitz(1959). *Fluid Mechanics*, Addison Wesley, Reading, MA.
- E. Achenbach, J.(1974). *Fluid Mechanics*, vol65, p113-125.