

드라이버 스윙 시 X-Factor, X-Factor Stretch와 스윙 관련 변인의 상관관계 분석

이경현¹ · 권문석¹ · 임영태¹

¹건국대학교 과학기술대학 스포츠과학부

Correlation Analysis of The X-Factor, X-Factor Stretch and Swing-Related Factors during Drive Swing

Kyung-Hun Lee¹ · Moon-Seok Kwon¹ · Young-Tae Lim¹

¹Division of Sports Science, College of Science & Technology, Konkuk University, Chungju, Korea

Received 31 January 2015; Received in revised form 9 March 2015; Accepted 29 June 2015

ABSTRACT

Purpose : Recently, many researchers and golf coaches demonstrated that X-factor and X-factor stretch had a co-relationship with driving distance. However, its relationship is still controversial and ambiguous. Thus, the aim of this study was to examine the relationship among X-factor, X-factor stretch and swing-related factors, including driving distance in elite golfers.

Method : Seventeen male elite golfers (handicap: ≤ 4) with no history of musculo-skeletal injuries participated in the study. Thirty spherical retro-reflective markers were placed on including the middle point of PSIS, the right/left ASIS, the right/left lateral acromion of the scapula, driver head and shaft grip. All motion capture data was collected at 100Hz using 6 infrared cameras. Carry distance, club speed, ball speed, smash factor, launch angle, and spin rate were collected from radar-based device, TrackMan.

Results : Pearson's correlation coefficient method was used to find the correlations among X-factor, X-factor stretch and swing-related factors. Positive correlations between driving distance and other swing-related factors which include club speed($r=.798, p<.001$), and ball speed($r=.948, p<.001$) were observed. In contrast to the swing-related factors, X-factor and X-factor stretch had no relationship to driving distance.

Conclusion : These results indicate that X-factor and X-factor stretch are not key regulators in driving distance.

Keywords : X-factor, X-factor Stretch, Driving Distance, Impact Factors

1. 서 론

골프는 최소의 타수로 홀컵에 볼을 집어넣는 경기로 최근 들어 골프는 대중적인 스포츠로 자리 잡고 있다(Theriault & Lachance, 1998). 골프 경기에서 타수를 줄이기 위해서 스윙과

퍼팅의 기술이 필요하며 특히, 드라이버, 우드, 아이언, 웨지를 이용한 스윙을 통해 최소의 타수로 그린 위에 볼을 보내야 한다. Farrally et al.(2003)은 과학적 접근법을 통한 골프 스윙의 개선에 대한 연구를 통해 골프 동작의 기술과 원리는 골퍼의 기술 능력과 신체 구조적 특성을 역학적으로 적용함으로써 스윙의 개선을 가져올 수 있는 것으로 보고하였다. 실제적으로 임팩트 이후의 볼의 운동은 임팩트 시 클럽 헤드의 조건에 의해 발생한 결과에 의해 투사체 운동을 하며 이는 볼의 거리와 방향을 결정하는 요인으로 작용하게 된다.

따라서 골퍼들은 의도한 곳으로 볼을 정확하게 보내기 위해 반복적인 스윙 운동을 통해 신체의 일관성 있는 스윙을 만

이 논문은 2014 한국운동역학회 추계학술대회에서 발표된 논문임.
Corresponding Author : Young-Tae Lim
Division of Sports Science, College of Science & Technology, Konkuk University,
322 Danwol-Dong, Chung-ju-si, Chungcheongbuk-do, Korea
Tel : +82-43-840-3495 / Fax : +82-43-840-3498
E-mail : ytlim@kku.ac.kr
이 논문은 2014년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

들기 위해 노력한다.

더욱이, 최근 골프 경기에서의 코스 전장은 예전에 비해 많이 증가되었으며 코스의 난이도 역시 어려워지고 있는 추세이다. 골프 드라이버 및 아이언 스윙 시 비거리 향상과 정확한 볼 플레이를 충족시키기 위해 골프 클럽의 개발과 스윙 동작의 과학적 분석에 관한 연구들이 수행되어 왔으며(McLean, 1992; Chen, Davis, Nguyen, & Smith, 2005; Son, 2007). 비록 골프클럽과 볼의 기술적인 진화는 비거리의 향상을 가져왔지만 골퍼들은 스윙 시 보다 멀리 그리고 정확하게 목표한 곳으로 볼을 보내고자 노력하고 있으며, 이를 원리적인 측면에서 신체 동작의 개선을 통해 찾아내고자 하고 있다(Cheetham, Martin, Mottram, & St Laurent, 2001; Choi, Lee, Son, & Lim, 2010; Kim, 2009). 골프 스윙 시 가장 긴 비거리를 보내기 위해서 골퍼들은 드라이버를 이용한다. 비거리는 임팩트 시 클럽의 선속도에 의해 좌우되고 클럽의 선속도는 스윙 회전 중심점에서 클럽 헤드의 각속도에 의해 결정된다. 따라서 드라이버 스윙 시 클럽 헤드의 각속도를 향상시킬 수 있는 신체 회전 운동의 원리와 메커니즘을 설명하는 연구들이 수행되어 왔다(Wiren, 1990; Chang, 2005a).

골프 스윙 시 신체 회전 운동과 비 거리에 관한 연구 중, McLean(1992)은 골프 스윙 시 신체 분절의 회전 운동 중 백 스윙 시 힙과 어깨의 회전 운동 차이에 대한 접근을 통해 X-factor의 존재를 확인하였으며 이는 비거리와 관련성이 있음을 설명하였다. Chang(2005a)의 연구에서도 X-factor가 비거리와 밀접한 관련성을 보고하였다. X-factor를 증가시키는 방법은 어깨 회전 운동에 제한을 두지 않는 방법과 힙의 회전에 제한을 두는 방식의 스윙으로 나눌 수 있지만 힙과 어깨의 상대적 회전 운동에 더욱 초점이 맞추어져 있다(Gluck, Bendo, & Spivak, 2008). 또한, McLean 과 Andrisani(1997)와 Burden, Grimshaw와 Wallace(1998)는 백스윙과 다운스윙 전환구간에서 어깨의 회전 운동이 더 이상 발생하지 않는 상태에서 힙과의 상대각도가 증가하는 현상을 발견하였으며 이를 X-factor stretch(segment separation)로 보고하였다. Cheetham 등(2001)은 다운 스윙 시에 X-factor stretch를 수치화하여 실제로 존재하는 스윙의 메커니즘으로 소개하였다. Kostis와 Midland(2006)는 X-factor stretch를 육안으로 확인할 수 없는 숨어 있는 비거리 약 23m를 향상시킬 수 있는 비밀의 힘(secret power)이라 설명하며 다운스윙 직전의 상체와 힙의 회전의 운동이 추가적인 비거리 향상 요인으로 작용함을 보고하였다.

골프 선수의 X-factor 수치는 아마추어들에 비해 일반적으로 높은 성향을 나타내며, 20대와 40대가 60대보다 매우 높게 나타나 골프 경기력이 떨어지거나 나이가 많을수록 백스윙 탑에서 X-factor의 감소가 나타나고 이는 곧 비거리의 저하로 이

어진다(Kim, 2009; Choi, Lee, Son, Lim, 2010). 그리고 임팩트 시 클럽 헤드의 선속도는 볼의 속도와 비례적으로 증가하기 때문에 근육의 힘 증가를 통해 비거리를 향상시킬 수 있다(Broer, 1973; Choi et al., 2003; Park & Jo, 2004; Chen, Davis, Nguyen, & Smith, 2005). 하지만 단순히 클럽 헤드의 스피드만을 증가시키는 것으로 비거리를 향상시킬 수 있는 것은 아니며, 타격각도(attack angle), 볼의 출발각도(launch angle), 회전 속도(spin rate)는 볼의 운동 효율성을 설명하는 smash factor는 클럽과 볼의 임팩트 이후 볼의 투사 운동 궤적을 결정하는 요인들이다(Penner, 2001). 그러므로 드라이버 스윙 시 신체 운동의 원리를 이용한 움직임에 의한 비거리의 증가를 보다 명확하게 설명하기 위해서는 임팩트 후 볼의 운동 궤적에 영향을 주는 요인들과의 관련성이 동시에 설명된다면 이를 이해하는데 보다 용이할 것이라 판단된다. 더욱이, X-factor, X-factor stretch에 관한 몇몇 선행연구들은 프로 골퍼들과 아마추어들의 수치의 차이를 확인하였고 이러한 차이를 비거리와 관련성을 있는 것으로 보고하였다(Cheetham et al., 2001; Kim, 2009). 그러나 신체의 회전 운동을 통해 X-factor, X-factor stretch를 증가시킨다 할지라도 임팩트의 정확도와 동반하여 설명되지 않는다면 두 요인들과 비거리를 설명하는데 어려움이 있을 것이라 판단된다. 더욱이 대부분의 골프 스윙 시 X-factor, X-factor stretch와 비 거리에 대한 선행연구들은 임팩트 후의 볼의 궤적을 도출할 수 있는 방법을 이용하지 못해 임팩트 시 클럽과 볼의 운동을 동시에 설명하여야 함에도 불구하고 이에 대해서는 실험상황에서의 제한점으로 간주해 왔다.

따라서 본 연구는 골프 드라이버 스윙 시 엘리트 남자 골프 선수를 대상으로 회전 운동에 의해 발생하는 X-factor, X-factor stretch와 비거리 그리고 임팩트 시 클럽 헤드와 볼의 운동과 임팩트 후 볼의 궤적과 비거리 측정이 가능한 Trackman을 이용하여 클럽 헤드 스피드(club head speed), 타격각도(attack angle), 볼의 출발각도(launch angle), 회전 속도(spin rate) 그리고 볼의 운동 효율성을 설명하는 smash factor 등의 임팩트 요인들과의 상관관계를 설명하는데 목적이 있다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구를 위해 한국남자프로골프협회(KPGA)에 소속된 핸디캡 4미만의 남자 프로골퍼 17명($n = 17$, mass = 76.21 ± 13.45 kg, height = 1.76 ± 3.98 m, age = 23.45 ± 1.65 years, carrer = 8.71 ± 2.23 years, handicap < 4 str)이 참여하였고, 모든 피험

자들은 최근 1년간 근골격계 관련 질환의 병력이 없었다.

2. 실험 장비 및 절차

실험에 참여한 피험자들에게 실험 목적과 주의사항을 전달하고, 양질의 데이터와 부상방지를 위해 피험자들에게 충분한 준비운동을 실시한 후, 실험 참여 동의서를 받고 인체계측을 실시하였다. 본 실험 전 3차원 분석을 위해 전·후, 좌·우, 대각선 방향으로 설치한 6대의 적외선고속카메라(Motion Master 100, Visol, Korea, shutter speed 1/1000 sec.) 이용하였다. 통제 점틀(2m×2m×1m)을 촬영하였고 6대 카메라에 의해 산출된 2차원 좌표들은 DLT 방법(Abdel-aziz, & Kararh, 1971)으로 3차원 좌표로 전화시켜 타겟방향 Y축, 수직방향 Z축, X축의 기준좌표계(global reference frame) 정의하였다.

피험자들의 스윙 동작 시 카메라간의 동기화를 위해 Line lock system과 2대의 LED(light emitting Diodes, Visol Co., Korea)를 A/D box(VSAD-102-32C, Visol Co., Korea)에 이용하였다. 실험 시 표면반사마크를 피험자의 2번째 중족골 관절 바로 위 양쪽 발등, 양쪽 발의 측면 뒤꿈치, 양쪽 외측 내측 복사뼈 상방과 무릎에서부터 발목 외측 중앙 지점, 양쪽 외측, 내측 무릎관절염기, 대퇴의 중간 지점, 양쪽 큰대퇴돌기, 양측 전상장골돌기와 천골 그리고 양쪽 어깨 관절, 팔꿈치, 팔목에 마크를 부착하였다. 클럽에는 그립, 클럽 넥, 헤드에 마크를 부착하였다. 골프 스윙 시 마크 좌표 데이터는 저역필터(butterworth low-pass 2차)를 통해 필터링(winter, 1990) 하였으며, 이때 cutoff-frequency는 20Hz로 설정하였다. 반복 측정으로 인한 근육의 피로를 고려하여 피험자 간 교차 실험을 실시하였으며 실시간 multi-capture 시스템(video capture software Visol Inc, Kwangmyung, Korea)을 이용하여 영상데이터를 모니터링 하였다.

3. 자료 분석

골프 드라이버 스윙 실험 시 참여한 피험자들은 본인 소유의 골프화와 드라이버를 이용하였으며, 스윙 시 4개의 이벤트(이벤트1: 어드레스, 이벤트2: 백스윙탑, 이벤트3: 임팩트, 이벤트4: 피니쉬)와 3개의 국면(1국면: 어드레스-백스윙탑, 2국면: 백스윙탑-임팩트, 3국면: 임팩트-피니쉬)을 정의하였다. <Figure 1>에서 보는바와 같이 X-factor 수치는 백스윙 탑 지점에서 힙과 어깨의 회전운동 각도를 이용하여 산출하였으며, X-factor stretch는 백스윙 탑 지점 이후 발생하는 힙과 어깨의 회전 각도의 최대 수치를 계산하였다. 그리고 드라이버 스윙 시 임팩트 시의 클럽과 볼의 운동 요인들과 임팩트 후 볼의 궤적과

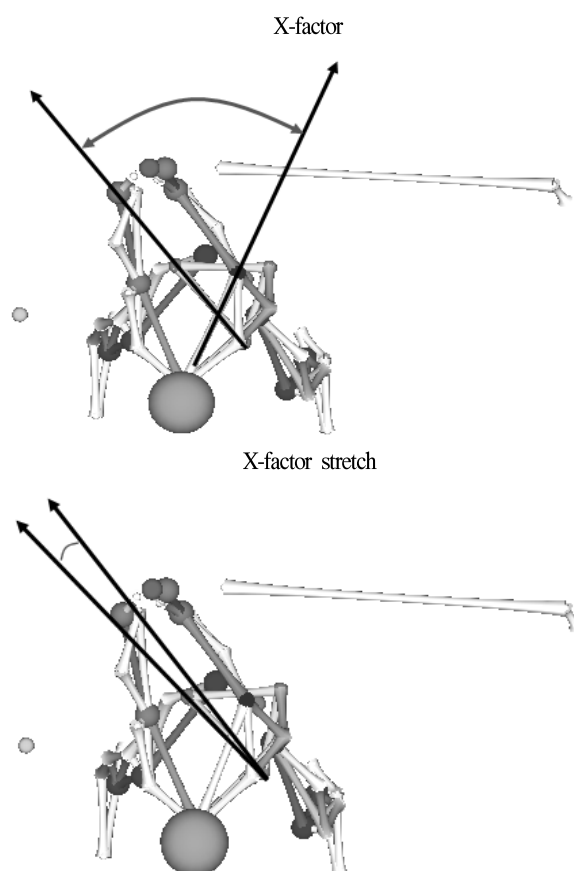


Figure 1. Definition of X-factor, X-factor stretch

비거리는 레이더를 기반으로 만들어진 TrackMan (Trackman Golf, Denmark)을 이용하였다. 드라이버 스윙 후 본인의 의견과 TrackMan을 통해 산출되는 결과들을 반영하여 임팩트의 정확성과 최대 비거리를 발생시킨 스윙을 선별하였으며, 스윙 동작 중 스윙 시 목표 방향 지점을 선택하고 볼을 보내고자하는 방향을 중심으로 좌우편차 15m 이내의 스윙을 분석하였다. TrackMan을 이용하여 1)클럽 스피드(club speed, m/s), 2) 타격 각도-볼과의 임팩트 직전에 클럽 헤드의 진입각도(attack angle, deg), 3) 볼 속도-임팩트 직후의 볼의 스피드(ball speed, km/h), 4)볼의 출발각도-임팩트 직후 수평을 기준으로 볼의 출발각도(launch angle, deg), 5)회전 속도-임팩트 직 후 백스핀(spin rate, rpm), 6)볼의 효율성-클럽스피드를 볼스피드로 나눈 값. 볼에 전달되는 클럽의 힘 전달 정도(smash factor, ballspeed / clubspeed), 7)드라이버 비거리-티에서 날아간 공이 처음 땅에 닿는 거리(driving carry distance, m) 요인들을 산출하였다.

4. 통계 처리

남자 골퍼들의 드라이버 스윙 동작 시 X-factor, X-factor

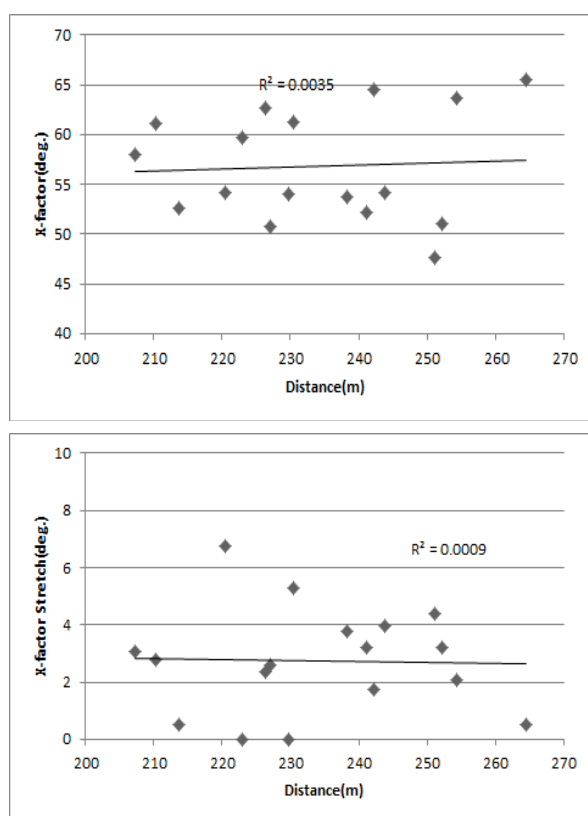


Figure 2. Correlation between X-factor-distance, X-factor stretch distance

골프 드라이버 스윙 시 비거리의 증가는 백스윙 탑 지점에서 골반과 몸통의 회전 운동에 의해 결정되는 X-factor와 관련성이 있다(Martino & Wad, 2002). 이에 대하여, Chang(2005a)은 프로 골퍼와 아마추어들의 클럽헤드 스피드와 X-factor의 관계를 분석한 결과 백스윙 시 X-factor에서 높은 수치를 보였던 프로 골퍼들의 클럽헤드 스피드가 아마추어들에 비해 빠르게 나타난 것으로 보고하였다. 그리고 McTeigue, Lamb, Mottram과 Pirozzolo(1994)은 51명의 PGA 투어 골퍼 선수들과 46명의 시니어 PGA 투어 선수들을 대상으로 비거리를 조사한 결과 상대적으로 높은 비거리를 나타낸 그룹에서 X-factor 수치가 크게 나타난 것으로 보고하였다. 더욱이, Cheatham 등(2001)의 연구에서는 X-factor stretch와 관련하여 10명의 숙련된 골퍼와 9명의 비숙련 골퍼들을 대상으로 X-factor를 분석한 결과 숙련된 골퍼들의 수치가 높게 나타났고, X-factor stretch 역시 비숙련 골퍼들에 비해 높았을 뿐만 아니라 임팩트 시 클럽헤드의 스피드도 차이가 있음을 보고하였다. 이와 같이, 골프 스윙 시 X-factor, X-factor stretch에 관한 선행연구들의 결과에서는 신체 회전 운동에 의해 발생하는 두 요인이 비거리와 관련성이 있는 것으로 보고되었다. 하지만 선행연구들에서는 두 집단으로 나누어 집단간의 차이 검증을 목적으로 연구

가 수행되었기 때문에 실제적으로 유사한 실력을 가진 골퍼 선수 그룹 내에서 X-factor, X-factor stretch와 비거리의 직접적인 연관성을 설명하기에는 한계가 있었다. 이를 검증하기 위해 본 연구에서는 골퍼 수행 능력이 유사한 골퍼 남자 선수들을 대상으로 드라이버 스윙 동작을 분석하여 백스윙 탑 지점에서 어깨와 힙의 회전 운동에 의해 정의되는 X-factor와 다운스윙 시작 시점에서 발생하는 X-factor stretch와 드라이버 비거리와의 상관성을 검증하였으나 통계적으로 유의한 관련성이 나타나지 않았다. 하지만 이러한 결과가 남자 골퍼들의 드라이버 비 거리에 X-factor와 X-factor stretch 요인들이 전혀 영향을 주지 않는다는 의미는 아니다. 백스윙을 통해 타겟 반대 방향으로의 어깨와 힙의 회전 운동을 통해 정의되는 X-factor는 다운스윙 시 근육의 수축 시간과 파워를 증가시킴으로서 임팩트 시 클럽 헤드 운동량을 향상시킬 수 있는 요인으로 작용한다(Hume, Keogh, & Reid, 2005). 정확한 임팩트가 수행되었다는 가정 하에, 클럽 헤드 스피드는 임팩트 시 클럽 헤드의 운동량을 결정하는 중요한 요인이다. 그러므로 임팩트 후 볼이 멀리 날아갈 수 있는 충분한 운동량을 가지기 위해서는 임팩트 시 클럽 헤드 스피드를 증가시켜 클럽 헤드 운동량을 상승시키는 것이 유용한 방법 이다(Lee, 2001; Son, 2007). 이에 대하여 선행연구들은 클럽 헤드 스피드 증가를 위해서는 근파워를 향상시켜야 하며 이는 비거리와 밀접한 관련성이 있는 것으로 보고하고 있다(Broer, 1973; Choi et al., 2003; Park & Jo, 2004; Chen et al., 2005). 그리고 X-factor stretch는 백스윙 탑에서 다운스윙이 시작되는 초기 힙의 회전 운동에 의해 결정되는 요인으로 신체 분절들의 회전 운동을 통해 클럽 헤드 스피드 향상을 가져올 수 있는 또 다른 요인이다. 이러한 클럽 헤드 스피드와 비거리의 상관관계는 <Table 2>에서 보는 에서 보는 바와 같이 본 연구 결과에서 매우 높은 것으로 나타났다. 그리고 임팩트 시 클럽헤드의 attack angle과 smash factor 요인들은 임팩트 후 볼의 spin rate 수치와 역상관계가 있는 것으로 나타났다. 임팩트 시 클럽의 수직 운동을 나타내는 attack angle은 볼의 회전운동과 밀접한 관련성이 있다. 특히, 드라이버를 이용한 골프 스윙 시에는 아이언 스윙과 달리 티를 이용하여 볼을 타격하기 때문에 클럽 헤드가 볼을 기준으로 최저점을 지난 이후 임팩트를 수행하여 attack angle이 양의 수치를 보이는 것이 이상적이지만 드라이버의 로프트 각도와 스윙의 특성에 따라 음의 수치를 나타내는 골퍼들도 있다. 본 연구 결과에서 attack angle은 수치가 높을수록 spin rate가 감소하는 경향을 나타내었다.

이와 같이 X-factor, X-factor stretch는 클럽 헤드 스피드 그리고 비거리와 관련성이 있는 메카니즘을 가지고 있음에도 불구하고 본 연구의 결과에서는 상관성을 도출하지 못하였다.

이는 선행연구들과는 다르게 골프 선수들을 한 그룹으로 설정하고 그룹 내에서 요인들 간의 상관관계를 분석한 결과로 생각되며, 또 다른 원인은 남자 골프 선수들의 경우 어느 정도의 X-factor, X-factor stretch가 반복적 연습에 의해 몸에 습득되어 있으므로 실험 시 Trackman을 통해 수행 즉시 자신의 스윙 결과를 볼 수 있으므로 실전과 유사하게 절제되어진 드라이버 스윙을 구사한 결과로 해석된다. 그리고 임팩트 후 볼의 투사 높이를 결정하는 요인 중 하나인 spin rate 요인과 클럽 헤드의 속도가 공의 출발 속도에 영향을 주는 최대의 거리를 내야할 때 결정되는 smash factor와 클럽의 공격 각도와 상관관계가 있으며, 비거리는 클럽과 볼의 스피드에 직접적인 관련성이 있는 것으로 나타났다(Trackman, 2008).

V. 결 론

이 연구는 남자 엘리트골프 선수를 대상으로 골프 스윙 시 X-factor, X-factor Stretch 각도와 스윙관련 변인의 상관분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 엘리트 골퍼에게는 X-factor, X-factor Stretch는 드라이버 비거리와 상관관계가 나타나지 않았다.
2. 엘리트 골퍼의 X-factor, X-factor Stretch와 스윙관련 변인은 상관성이 나타나지 않았다.
3. 볼스피드와 클럽헤드스피드($r=.858, p<.01$), 비거리와 클럽헤드스피드($r=.798, p<.01$), 비거리와 볼스피드($r=.948, p<.01$)에서 유의한 양의 상관성을 나타내었다. 또한 spin rate와 attack angle($r=-.781, p<.01$), spin rate와 smash factor($r=-.710$, 이와 같은 결과는 엘리트 골퍼선수들에게 있어서 X-factor, $p<.01$)에서 유의한 음의 상관성을 보였다.

이와 같은 결과는 엘리트 골퍼선수들에게 있어서 X-factor, X-factor stretch가 비거리와 스윙관련 변인에 영향을 미치지 않는 것으로 추측할 수 있다. 또한 클럽헤드스피드, 볼스피드와 비거리의 유의한 상관관계가 나타났으므로 미루어 볼 때, 클럽헤드스피드와 볼스피드에 영향을 미치는 요인에 대한 탐색과 X-factor, X-factor stretch와 상관성을 갖는 요인의 확립을 위한 추후 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). *Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates into Object Space Coordinates in Close-Range Photogrammetry*. Paper presented at the Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry, Falls Church, VA.
- Broer, M. R., & Zernicke, R. F. (1973). *Efficiency of Human Movement*. Philadelphia: Saunders.
- Burden, A. M., Grimshaw, P. N., & Wallace, E. S. (1998). Hip and shoulder rotations during the golf swing in sub-10 handicap players. *Journal of Sports Sciences*, 16, 165-176.
- Chang, J. K. (2005a). A study on the effective X-Factor. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15, 153-159.
- Chang, J. K. (2005b). The effect of X-Factor in club head speed. *The Korean Journal of Physical Education*, 44, 431-438.
- Cheetham, P. J., Martin, P. E., Mottram, R. E., & St Laurent, B. F. (2001). *The Importance of Stretching the "X-Factor" in the downswing of golf: The "X-Factor Stretch."* In Thomas P. R.(Eds.), *Optimizing performance in golf*. Brisbane, Australia: Australia Academic Press.
- Chen, S. C., Davis, J. M., Nguyen, R. M., & Smith, S. H. (2005). Effects of fluid replacement on mental and physical function during a simulated golf match. *Medicine Science Sports Exercise*, 37(5), 445-446.
- Choi, M. C., Lee, K. K., Son, J. H., & Lim, Y. T. (2010). Comparison of X-factor and X-factor stretch from elite golfers in Korea. *Korean Society of Golf Studies*, 4, 1-4.
- Choi, W. J., Park, W. H., & Hong, C. K. (2003). The effect of the fitness exercise program for 10 weeks on the golf driver-shot. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 19, 1467-1474.
- Farrally, M. R., Cochran, A. J., & Crews, D. J. (2003). Golf science research at the beginning of the twenty-first century. *Journal of Sports Science*, 21, 753-765.
- Gluck, G. S., Bendo, J. A., & Spivak, J. M. (2008). The lumber spine and low back pain in golf: A Literature review of swing mechanics and injury prevention. *The Spine Journal*, 8, 778-788.
- Hume, P. A., Keogh, J., & Reid, D. (2005). The role of biomechanics in maximizing distance and accuracy of golf shots. *Sports Medicine*, 35(5), 429-449
- Kim, C. W. (2009). A case study of X-factor in the golf swing analysed by the level and the age. *The Korean Journal of Sport Science*, 18, 1357-1366.
- Kostis, P., & Midland, G. (2006). Revealed: *The Secret of the New X-factor*. Golf Magazine.
- Lee, K. T. (2001). *Practical Improvements Distance 350 Yards*. Seoul: Samho MEDIA.
- Martino, R., & Wade, D. (2002). *The PGA Manual for Golf*. New York : Dorling Kindersley.
- McLean, J. (1992). *Wide the Gap*. Golf Magazine, December, 49-53.
- McLean, J., & Andrisani, J. (1997). *The X-factor Swing*. New York:

Harper Collins Publishers, Ins.

- M. McTigue, S. Lamb, R. Mottram & F. Pirozzolo. (1994). Spine and hip motion analysis during the golf swing, in A. Cochran and M. Farrally (eds), *Science and Golf II: Proceedings of the World Scientific Congress of Golf*, E & FN Spon, London, 50-58.
- Park, B. Y., & Jo, S. W.(2004). The study on weight training for increasement of ball carry in golf driver shot. *Korea Sport Research*, 11, 1745-1755.
- Penner, A. R. (2001). The physics of golf: The optimum loft of a driver. *American Journal of Physics*, 69(5), 563-568.
- Son, J. Y. (2007). *Analyses of Muscular Power, Distance, and Electromyographic Muscle Activities of Golf Players based on Different Training Programs*. Unpublished Master's Thesis, Chung-Ang University.
- Therriault, G., & Lachance, P. (1998). Golf injuries: an overview. *Sports Medicine*, 26(1), 43-57.
- Winter, D. A. (1990). *Biomechanics and Motor control of Human movement. 2nd Edition*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Wren, G. (1990). *PGA Teaching Manual: The art and science of golf instruction*. Jenison, MI: PGA of America.