동작분석 시스템을 이용한 골프 스윙 분석 기초 알고리즘 개발

서재문¹ · 이해동¹ · 이성철¹

¹연세대학교 교육과학대학 체육교육학과

The Development of A Basic Golf Swing Analysis Algorithm using a Motion Analysis System

Jae-Moon Seo¹ · Hae-Dong Lee¹ · Sung-Cheol Lee¹

¹Department of Physical Education, College of Sciences in Education, Yonsei University, Seoul, Korea

Received 31 October 2010; Received in revised form 8 November 2010; Accepted 27 December 2010

ABSTRACT

Three-dimensional(3D) motion analysis is a useful tool for analyzing sports performance. During the last few decades, advances in motion analysis equipment have enabled us to perform more and more complicated biomechanical analyses. Nevertheless, considering the complexity of biomechanical models and the amount of data recorded from the motion analysis system, subsequent processing of these data is required for event-specific motion analysis. The purpose of this study was to develop a basic golf swing analysis algorithm using a state-of-the-art VICON motion analysis system. The algorithm was developed to facilitate golf swing analysis, with special emphasis on 3D motion analysis and high-speed motion capture, which are not easily available from typical video camera systems. Furthermore, the developed algorithm generates golf swing-specific kinematic and kinetic variables that can easily be used by golfers and coaches who do not have advanced biomechanical knowledge. We provide a basic algorithm to convert massive and complicated VICON data to common golf swing-related variables. Future development is necessary for more practical and efficient golf swing analysis.

Keywords : Biomechanics, Development, Golf, VICON, LabVIEW

I. 서론

골프 스윙은 모든 스포츠 중에서 가장 복잡한 움직임 중의 하나로, 인체의 모든 관절과 근육이 사용되는 운동 동작이다. 또한 정확성, 항상성 그리고 파워가 중요한 요인이며, 올바른 방향으로 볼을 치기 위해서 안정적인 스윙과 비거리를 고려해야 하는 운동 동작이다(Milburn, 1982). 이러한 골프 스윙 동작의 빠르고 복잡한 메커니즘을 고려하면 동작을 영상으로 분석할 때 2차원 캡처 시스템은 한쪽 면에서만 데이터를 얻는 제한

점이 있기 때문에(Cooper, Bates, Bedi & Scheuchenzuber, 1973), 3차원 공간상에서 고속 카메라를 사용한 분석이 더욱 효과적이다. 이처럼 운동역학 분야에서는 골프 스윙 동작의 향상을 위해 다각적인 접근이 이루어져 왔으며, 영상분석을 통해 동작의 원인을 더욱 효율적이고 정확하게 분석하기 위한 연구가 지속적으로 전개되어왔다. 특히 VICON Motion Analysis System(Oxford Metric Ltd, Oxford, UK)과 같은 첨단 3차원 동작분석 시스템은 역학적 관점으로 동작을 해석하는 데에 유용하게 활용되고 있다. 첨단 동작분석 시스템 중 하나인 VICON 시스템은 정확도와 신뢰도가 국제적으로 매우 높아 재활의학, 운동 동작분석 그리고 영화와 게임 시장에서 주도적인 역할을 하고 있다(VICON Korea).

골프스윙의 역학적인 원인을 분석하는 방법으로는 동작을 영상과 지면 반력으로 수집한 자료에 인체 측정학(anthropometric)

이 논문은 2010년 한국운동역학회 국제학술대회에서 발표된 논문임.
Corresponding Author : Sung-Cheol Lee
Department of Physical Education, College of Sciences in Education,
Yonsei University, Shinchon-dong, Seodaemun-Gu, Seoul, Korea
Tel : +82-2-2123-3192 / Fax : +82-2-356-0942
E-mail : cheo13192@yonsei.ac.kr

과 역 역학(inverse dynamics) 함수를 적용한 역학적 모델을 이용하여, 동작의 원리를 규명하는 연구가 이루어져 왔다(Cochran & Stobbs, 1968; Cochran, 1990; Cochran & Farrally, 1994; Hume, Keogh & Reid, 2005; Kelly, 1982; Martin, Farrally & Cochran, 1994; Thain, 2002). 이러한 연구결과는 골프 스윙의 원리를 이해하는데 유용한 정보를 주고 있으며, 골프 스윙 능력의 향상과 상해예방, 골프클럽과 볼의 성능 향상을 위한 방법에 유용한 정보로 활용되고 있다. 더불어 골프 현장에서도 3차원 동작 분석 시스템을 이용하여 골프 스윙 기술과 관련된 정보의 상당 부분을 과학적인 방법으로 제공하고 있다.

최근 스포츠 과학의 발달과 더불어 골프 시장에서는 3차원 동작분석 시스템을 활용하여 골프 스윙 분석의 새로운 시대를 열었다. 3차원 동작분석 시스템으로 피험자의 동작을 캡처하여, 3차원 모델로 동작을 시각적으로 관찰하는 스윙분석과 다양한 골프스윙 변인을 역학적으로 해석하고, 정량적인 분석 자료를 신속하게 제공한다는 점에서 주목받고 있다(Table 1).

Table 1. Information MATT System and Swing bank

	Analysis variables	Purpose	Price/Time
MATT System	Swing form, Club Head Speed, Ball Speed, Launching Angle, Distance, Swing Arc	Golf Club Fitting	400,000won/120min
SWING BANK	Swing Time, Swing Tempo, Aim(foot, knee, hip, shoulder), Head Sway, Hip sway, Cocking angle, Club Head Speed, Distance, Lumbar Load, Swing Skills, Swing Path, Club Face Angle, Launching Angle, Ball Direction	Golf Swing Clinic	300,000won/60min

첨단 동작분석 시스템을 골프스윙 분석에 접목한 획기적인 시스템으로는 가장 먼저 스윙뱅크(swing bank)를 들 수 있다(Kim, 2009). 스윙뱅크 시스템은 골프 스윙 분석의 차별화를 목적으로 고안되어, 많은 첨단 기술들이 내포되어 있다. 역 역학(inverse dynamics)을 적용하여 관절에 가해지는 부하량을 측정하고, 인공신경망(artificial neural network), 퍼지이론(fuzzy theory), 유전자알고리즘(genetic algorithm) 그리고 최소저크이론(minimum jerk theory) 등이 그것이다. 스윙뱅크 시스템의 알고리즘을 개인에게 적용하면, 맞춤형 골프 클리닉이 가능하다고 보고하고 있다(swingbank). 이와 유사한 MATT 시스템(Motion Analysis Technology by TaylorMade)은 커스텀 피팅 시스템(custom fitting fystem)으로 개인의 스윙 스타일에 가장 적합한 클럽을 추천해주는 것이 목적이다(Kim, 2010). 이 시스템들을 스윙분석에 활용할 때 <Table 1>과 같이 스윙의 메커니즘, 상해예방과 골프클

럽에 관한 유용한 정보를 받을 수 있다. 그러나 프로그램이 포함하고 있는 변인만을 분석하는 제약과 더불어, 1회 이용요금이 각각 40만 원(MATT 시스템)과 30만 원(swingbank)으로, 한정된 변인의 분석에만 적용되는 가격이라는 점을 고려할 때에 다소 부담이 있다는 평가가 있다.

이 시점에서 최첨단 동작 분석 시스템 중에서 하나인 VICON 시스템을 이용하여, 기존 시스템에서 추구하는 바를 체계적으로 재정립하고 향상해 더욱 다양한 골프 스윙 관련 변인을 도출하는 보편적 알고리즘을 개발할 필요성이 있다. VICON 시스템은 하드웨어와 소프트웨어로 구성되어 있기 때문에 동작 분석 및 해석을 일괄적으로 수행할 수 있으며, 이 시스템의 데이터는 Polygon이라는 전용 소프트웨어와 Body Builder라는 모션 데이터 캡처용 응용소프트웨어가 있다. 더불어 National Instruments' LabVIEW 등의 외부 프로그램에 맞는 출력파일로 생성이 가능하다는 장점이 있다(Advanced Institutes of Convergence Technology).

Polygon은 모든 결과 자료들을 하나의 리포트로 제공하기 위한 프로그램이다. 별도의 데이터 후처리과정이 없이 통합된 데이터와 근육 등의 자료를 신속하게 제공하여 스윙뱅크 또는 MATT 시스템과 같게 3차원적으로 관찰하는 장점이 있다(VICON Korea). Body Builder는 모션 데이터 캡처용 응용 소프트웨어로써 EDIT, Model, Output 등의 기능이 있으며, 실제 마커와 가상마커 데이터 모두를 제한 없이 ASCII 포맷으로 엑스포트 할 수 있다(Graphics Live, 2001). 제공받은 ASCII에서 소량의 데이터는 Microsoft Excel을 사용하여 간단하게 묘사할 수 있다. 그렇지만 유념할 사항은 많은 양의 데이터를 원하는 변인으로 모두 산출할 때 많은 시간과 노력이 있어야 하는 등의 이차적인 과정이 필요로 한다는 점이다. Polygon은 리포팅 프로그램이기 때문에, 스윙뱅크 또는 MATT 시스템처럼 다양한 골프 스윙 동작 변인의 정보를 이차적인 과정 없이 받기에는 어려움이 있다. 또한 골프 스윙 분석에 필요한 전문적인 운동역학 지식이 있어야만 역학적인 해석이 가능하다. 따라서 수정 및 변환이 쉬운 전문 프로그래밍 언어로 골프 스윙 연관 변인을 재가공할 필요성이 있다.

그간 데이터를 원하는 변인으로 재가공하거나 분석의 효과를 증대시키는 방법으로 여러 연구자에 의해서 <Table 2>와 같은 연구가 있었으며, 이러한 연구는 관련 연구의 범위를 넓히는데 큰 영향을 미치는 요소라고 할 수 있다.

본 연구는 전문적인 운동역학 지식이 필요한 VICON 시스템으로부터 데이터를 가능하면 골프 스윙 동작과 연관된 데이터로 재가공해서 전문지식이 부족한 사용자에게 더욱 쉽게 골프 스윙 동작을 분석할 수 있는 실용적이고 효율적인 알고리즘을 개발하는 것이다. 이를 위해 프로그램 구현을 위한 구체적인 자료구조와 알고리즘을 결정하고, 기존 프로그램으로 얻을 수 없는 변인을 추가하여, 더욱 유용한 골프 스윙 동작 관련 변인

Table 2. Previous studies for development program

Previous studies	Model	Variables	Results
Kang, S. H.(2006)	Wire Model(3D)	Computer graphic for Motion analysis	Graphical output for Various forms
Kim, K. H et al.(1999)	Lower Extremity Model(2D)	Marker tracking, Angle and Velocity	Develop System for Correcting Sports Technique
Park, J & Shin, K, H.(2010)	Wedge Golf Club(3D)	Generate for Dynamic Club Face Angle	Comparison of Movements More Easily
Shin, I. S et al.(2000)	Stick Figure Body Model(3D)	Recalculation of 3D Coordinates, Implementation of 3D Video Motion Analysis Program for Windows 98 System	Automatic Batch File
Park, C. H & Baeg, S. G.(2000)	Motion Capture(3D)	3D Video Motion Analysis Program for Windows	Easy Archive Files
Hwang, I. S & Lee, S. C.(1998)	Stick Figure Body Model(2D)	Introduce LabVIEW Graphical Program Package	Complement Disadvantages in other Analysis Tools

도출 및 활용성 증대를 위한 알고리즘을 개발하고자 한다. 따라서 본 연구의 목적은 동작분석 시스템을 이용한 골프 스윙 분석 기초 알고리즘을 개발하는 데 있다.

II. 연구 방법

본 연구의 목적은 골프의 목적은 동작분석 시스템을 이용한 골프스윙 분석 기초 알고리즘을 개발하는데 있으며, 개발된 알고리즘의 활용성을 알아보기 위하여 다음과 같은 연구 방법을 수행하였다.

본 연구에 참가한 대상자의 정보는 <Table 3>와 같다. 실험 시점 이전 6개월 동안 부상이 없고 오른손잡이 프로골퍼를 대상으로 하였다.

1. 연구 대상자

Table 3. Subject Characteristics

N	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)	Handicap
1	26	185.5	77.4	0

2. 좌표화

인체에 부착된 마커의 위치는 <Figure 1>와 같이 Helen Hayes marker set를 수정한 Plug-in-gait model 전신마커세트를 이용하였으며, 인체의 중요 해부학적 경계점 35곳에 14 mm 크기 구형 반사마커를 부착하여 위치좌표를 획득하였다.

Figure 1. Plug-in-Gait Marker Placement(Pull Body)

드라이버 클럽의 부착된 마커의 위치는 7곳에 14 mm 크기 구형반사마커를 부착하여 위치좌표를 획득하였다(Figure 2).

Figure 2. Club Markers Point(Driver)

3. 실험 기자재 배치도

본 연구에 활용된 데이터 추출을 위한 모든 실험은 3차원 동작분석 시스템(VICON Motion Analysis Systems, Oxford Metrics Ltd, Oxford, UK)을 이용하여 측정하였다. 2개의 지면반력기(Force Plate Form)에 양 발을 둔 자세로 올라가 세팅된 고무 티 위의 골프공을 4M 전방에 설치된 보호망을 향하여 타격할 수 있도록 하였다. 위치좌표는 관성좌표계 X(Anterior - Posterior), Y(Medial - Lateral) 그리고 Z(Superior - Inferior)로 수집하였다. 본 연구의 실험 기자재 및 배치는 <Figure 3>와 같다.

Figure 3. Experimental set-up

4. 운동학적 자료의 획득

모든 자료의 수집은 '어드레스'부터 '피니시'까지 골프스윙의 전 동작을 수집하였다. 총 5회의 드라이버스윙을 동일하게 실시하였으며, 데이터 저장, 클립점검, 다음 스윙준비 등으로 약 1분간의 여유시간이 주어졌다. 영상자료를 획득하기 위해 사용한 8대의 적외선 카메라(VICON MX-F20, Oxford Metric Ltd, Oxford, UK)의 샘플링(sampling rate)을 초당 500 Hz로 설정하여 영상자료를 수집하였다. 지면반력의 측정은 AMTI(ORG-6, AMTI, Watertown, MA) Force Plate 2대를 이용하여 샘플링을 1000 Hz로 설정하여 수집하였다. 수집한 데이터는 A/D Board를 통해서 동기화 하였다. 프로그램의 활용성을 검증하기 위해 각 대상자의 5회의 스윙 중, 연구 대상자 본인 및 전문가가 가장 우수하다고 인정하는 1회의 스윙을 선정하였다.

5. 알고리즘 개발을 위한 프로그래밍 언어

본 연구의 결과물인 동작분석 시스템을 이용한 골프 스윙 분석 기초 알고리즘의 개발을 위해, 그래픽 사용자 인터페이스(Graphical user interface)기반의 프로그래밍 및 수치해석 프로그램 LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)7.1 Graphical Programming(Johnson, 1996)을 사용하였다.

6. 골프 스윙 연관 변인 선별

본 연구에서는 기본적으로 VICON System을 사용하였고, Plug-in-Gait model과 제작한 Golf club model을 사용하여 기본적인 변인을 도출하였다.

운동역학적 전문지식이 다소 부족하더라도 골프 스윙 분석을 보다 쉽게 하기 위해서, 본 연구에서 개발한 알고리즘으로 골프 연관 변인으로 재가공하였다. 이 과정에서 알고리즘만으로 계산되는 독특한 변인을 추가하였다. 변인의 선별은, 연구자마다 중요하다고 판단하는 견해가 다소간에 차이가 있으나 대체로 국내·외 선행연구와 관련성적에서 제시한 바를 바탕으로, 변인을 선택하기 위한 근거로 사용하였다.

7. 프로그램 소개

본 연구에서 개발한 프로그램의 주요기능은, 데이터 조절을 통한 편집 및 출력, 3차원 스틱피겨와 운동역학적 변인 구현 등을 갖는다.

Figure 4. 3-D Stick figure

Figure 5. Angular kinematic Parameters

이 프로그램을 활용할 경우 <Figure 4>와 같이 시각적으로 역 동적 시뮬레이션(inverse dynamic simulation)을 3차원으로 관찰할 수 있다. 이 화면의 상단에서 시작 버튼을 누르게 되면 스윙을 3차원으로 관찰할 수 있으며 골프 스윙 관련 변인의 측정값이 자동으로 제시된다.

<Figure 5>는 각종 동작에 관한 변인의 설명과 측정값이 나타난다. 이 화면의 상단에는 변인을 선택하는 버튼(Stick Figure; GRF; COP; Moment 와 Power; Velocity 1; Velocity 2; Velocity 3; Angle 1; Angle 2; Other; Distance 1; Distance 2; Ball 과 Club head; Time과 Swing path)을 제작하였다. 골프 스윙 관련 변인들 중 하나인 Angle 1(각도변인 1)을 선택하여 그림설명, 그래프, 측정값을 확인할 수 있다.

1) 운동학(kinematics)적 분석 변인

운동학(kinematics)적 분석에서 관찰자에 대한 기초적 각운동학적 변인(angular kinematics parameters)은 VICON System의 Plug-in-Gait Model로부터의 값을 사용하였고, <Figure 6>은 본 연구에서 개발한 알고리즘만으로 계산되는 변인(unique variable)이다.

Figure 6. Angular Kinematic Parameters(Angle)

A) 임팩트 후 나타나는 볼 투사각도, F) 양 팔꿈치와 가슴이 이루는 각, H) 왼 전완과 클럽 샤프트가 이루는 상대각, L) 어깨의 회전각에서 엉덩이의 회전각을 뺀 각도, O) 클럽샤프트가 지면과 이루는 절대각을 나타낸다.

선 운동학(linear kinematics)적 분석으로는 특정 시점에서의 위치관계와 변위 변인(position and displacement parameters)으로 <Figure 7>과 같은 변인들로 구성하였다. F) 신체 정렬상태는 어드레스 시 좌·우 뒤꿈치(heel), 골반(pelvis)의 정렬·어깨(shoulder)

의 정렬·클럽헤드(club head)와 볼(ball)의 정렬상태, G) 왼 어깨부터 팔을 지나서 샤프트까지 이루는 변위관계, H) 엉덩이와 볼과의 변위관계, I) 머리와 볼과의 변위관계, J) 어드레스 시 왼 뒤꿈치와 볼과의 변위관계, K) 왼 무릎과 오른 무릎의 변위관계, L) 왼 팔꿈치와 오른 팔꿈치의 변위관계, M) 오른 뒤꿈치 떨어지는 시점, N) 왼 전상장골극(left anterior superior iliac spine)과 왼 팔꿈치의 변위관계, O) 오른 전상장골극과 오른 팔꿈치의 변위관계, P) 복장뼈(sternum)와 왼 팔꿈치의 변위관계, Q) 왼 뒤꿈치와 오른 뒤꿈치의 변위관계, R) 지면으로부터 좌·우 어깨높이 변화, S) 클럽헤드와 볼과의 변위관계, T) 피니시에서 왼 손의 높이, U) 머리의 좌·우 움직임 변화, V) 엉덩이 좌·우 움직임 변화, W) 백스윙 탑에서 오버스윙 여부, X) X(anterior/posterior)방향 스윙 크기, Y) 백스윙 탑에서 X방향으로 샤프트 시작지점과 샤프트 끝 지점의 방향관계, Z) Y(medial/lateral) 방향 스윙 아크의 크기, A') 테이크 백에서 샤프트시작 지점과 샤프트 끝 지점의 위치관계, B') 백스윙 탑과 임팩트 시 어깨 높이의 차이관계 그리고 C') 예상비거리를 나타낸다.

시간변인(temporal parameters)으로는 총 스윙시간, 스윙리듬으로 구성하였다. 시간 변인의 분석을 위해서 이벤트는 클럽이 90도를 회전을 시점으로 정의하였다(Figure 8).

클럽헤드 변인(club head parameters)으로는 임팩트 시 볼 접촉 지점과 동적 클럽페이스 각도를 측정하도록 구성하였다(Figure 9). 그림(D')에서 클럽헤드의 M1(바깥쪽), M2(안쪽) 그리고 호젤(hosel)에 부착한 M3 반사마커(reflective marker)를 이용하여 동적 클럽페이스 각도(dynamic club face angle)를 측정하였다. 클럽헤드의 바닥(Sole)이 지면에 닿아 있을 때 클럽 면(club face)이 지면과 이루는 작은 클럽헤드면의 각도를 의미한다. 동적 클럽 헤드 면은 골프클럽의 샤프트가 휘어졌을 때 발생하는 각도의 변화까지 고려한 것이다. VICON Nexus 1.4에서 마커 M1, M2, M3을 각 세그먼트로 생성하였고, 클럽 면을 구성하는 마커의 배열은 실제 클럽면의 위치와 동일하다고 가정하였다. 이후, Plug In Gait Model과 연결(link)시켜서 하나의 클럽 모델을 제작하였다. 제작한 클럽 모델 템플릿(template)에서 클럽면의 각도 정보를 3축 방향으로 계산하도록 오일러 각(euler angle)이 사용되었다. M1과 M2의 중앙으로부터 3 cm 아래는 클럽헤드면의 중심점으로 가정하였다. 그리고 볼에 부착한 반사태이프로 얻은 위치좌표 가상의 점으로부터 계산하였다.

D') 클럽헤드 좌표 시스템과 임팩트 시 볼 접촉위치를 나타낸다. 볼 접촉 위치는 시상면에서 Dx(+toward toe/heel) 방향과 Dz(+up/-down) 방향으로 계산, E') Dynamic Tilt angle(동적 경사각)은 지면으로부터 +up(위) 방향과 -down(아래) 방향으로 측정, F') Dynamic Loft angle(동적 기울기각)은 시상면에서 +open(열림)과 -closed(닫힘) 방향으로 측정 그리고 G') Dynamic Open/Closed angle(동적 열림/닫힘각)은 수평면에서 -open(열림)과 +closed(닫힘)

Figure 7. Position and Displacement Parameters(distance)

Figure 8. Temporal Parameters

Figure 9. Club head Parameters

방향으로 측정한다. 속도변인(velocities parameters)으로는 주요 신체 관절의 합성속도와 클럽헤드 합성속도를 의미하며 좌·우 무릎, 좌·우 어깨, 좌·우 손목, 좌·우 팔꿈치, 클럽헤드와 임팩트 직후 볼의 합성속도를 나타낸다.

2) 운동역학(kinetics)적 분석 변인

운동역학(kinetics)적 분석으로는 지면반력(ground reaction force), 압력중심(center of pressure), 힘(force) 그리고 회전력(moment)을 나타낸다.

III. 결 과

본 논문에서는 3차원 동작분석 시스템으로부터 방대한 양의 데이터를 가능하면 골프스윙과 연관된 데이터로 재가공해서 전문지식이 부족한 사용자에게 보다 쉽게 골프 스윙 동작을 분석할 수 있는 실용적이고 효율적인 알고리즘을 개발하였다.

본 연구에서 개발한 프로그램에서 제공하는 변인들 중에서, <Table 4>는 1명의 피험자의 스윙 동작 중 주요 이벤트 시점의

Table 4. Unique variables produced by the developed algorithm and the values for a low-handicap golfer (unit: cm, ratio, deg)

variable	Value	Event
shoulder alignment (+closed, -open)	-2.42 cm	INI
elbow alignment (+closed, -open)	-2.77 cm	INI
hip alignment (+closed, -open)	3.71 cm	INI
knee alignment (+closed, -open)	1.5 cm	INI
foot alignment (+closed, -open)	0.54 cm	INI
take back direction (+front, -back)	4.01 cm	SHB
over swing (+up, -down)	-2.72 cm	TB
hip sway (+ right, -left)	11.28 cm	IP
head sway (+ right, -left)	-3.02 cm	IP
back swing direction (-front, +back)	-25.65 cm	TB
distance of swing to Y (+right, -left)	291.21 cm	SHB, SHF
distance of swing to X (+front, -back)	67.85 cm	TB, IP
R_shoulder position(Δx) (+front, -back)	16.01 cm	TB
R_shoulder position(Δx) (+front, -back)	32.70 cm	IP
R_elbow position(Δx) (+front, -back)	33.82 cm	TB
R_elbow position(Δx) (+front, -back)	-2.94 cm	SHD
distance of each shoulder (Δz)	-3.83 cm	INI
distance of L_hill to ball ($ \vec{S} $)	92.04 cm	INI
ratio of between height and L_hill to ball ($ \vec{S} $)	2.02 : 1	INI
distance of between knee ($ \vec{S} $)	40.33 cm	INI
distance of L_elbow to LASIS ($ \vec{S} $)	17.98 cm	INI
distance of R_elbow to RASIS ($ \vec{S} $)	11.56 cm	INI
distance of club head to ball ($ \vec{S} $)	286.50 cm	SVB
A+B	156.60 cm	INI
distance of arm, club and shoulder to club head ($ \vec{S} $)	A+B 160.06 cm	IP
C	152.87 cm	INI
C	158.99 cm	IP
distance of between hill ($ \vec{S} $)	46.91 cm	INI
ratio of between Height and stance wide	3.95: 1	INI
clavicle to L_elbow ($ \vec{S} $)	26.71 cm	INI
forehead to ball ($ \vec{S} $)	167.03 cm	INI
between elbow ($ \vec{S} $)	28.83 cm	INI
hip to ball ($ \vec{S} $)	152.61 cm	INI
ball impact location :Dx(+toward toe/heel), Dz(+up/-down)	Δx -0.8 cm Δz -1.59 cm	IP
between elbow and clavicle	166.31 °	INI
maximum X-factor	50.00 °	TB-SVD
launching angle	39.24 °	IP
open/closed angle	-3.54 °	IP
loft angle	18.04 °	IP
tilt angle	6.96 °	IP

값을 제시한 것이다. 본 연구에서 사용한 알고리즘으로만 계산되는 변인(unique variable)을 선별하였다. 개발한 알고리즘을 구현하는데 수정 및 변환이 용이한 프로그래밍 언어인 LabVIEW 7.1을 사용하였고, VICON Motion Analysis System의 자료를 골프스윙 연관 변인으로 재가공하였다. 변인의 선별은 선행연구와 골프관련 서적에서 주로 언급되는 동작을 바탕으로, 변인의 선별에 근거를 두었다. 개발한 알고리즘의 효율성 검증을 위해, 숙련된 남자프로 골퍼 1명을 대상으로 8대의 VICON 카메라와 2대의 지면반력기로 운동학적 자료를 획득하였고, 이 시스템의 Plug-in-gait model과 제작한 Golf club model을 이용했다.

V. 논 의

본 논문은 전문적인 운동역학 지식을 필요로 하는 3차원 영상 분석 시스템으로부터 데이터를 가능하면 골프스윙과 연관된 데이터로 재가공해서 전문지식이 부족한 사용자에게 보다 쉽게 골프 스윙 동작을 분석할 수 있는 실용적이고 효율적인 알고리즘을 개발하는 것이다. 따라서 본 연구의 목적은 동작분석 시스템을 이용한 골프 스윙 분석 기초 알고리즘을 개발하는데 있다. 이를 위해, 숙련된 남자프로 골퍼 1명을 대상으로 8대의 VICON 카메라와 2대의 지면반력기로 운동학적 자료를 획득하였고, 이 시스템의 Plug-in-gait model과 제작한 Golf club model을 이용했다. 본 연구를 통해서 개발한 알고리즘을 구현하는데 수정 및 변환이 용이한 프로그래밍 언어인 LabVIEW 7.1을 사용하였고, 3차원 동작분석 시스템(VICON Motion Analysis Systems, Oxford Metrics Ltd, Oxford, UK)의 자료를 골프스윙 연관 변인으로 재가공하였다. 골프 연관 변인의 선별은 국내·외의 선행연구와 골프관련 서적에서 주로 언급되는 동작을 바탕으로, 변인을 선별에 근거를 두었다.

운동학적 분석에서 관절각에 대한 기초적 각운동학적 변인은 VICON 시스템의 Plug-in-gait model로부터의 도출한 값을 사용하였고, 그 이외의 운동학적 변인에서 측정된 값들은 개발한 알고리즘으로 계산되었다.

운동학적 변인으로는 각 운동학 변인과 선운동학 변인, 시간 변인, 클럽헤드 변인, 속도변인 등이 있다. 이 분석은 외형적으로 표현되는 영역으로서 위치, 방향, 빠르기 등과 같이 운동에 대한 묘사를 분석하는 것이다. 운동역학적 변인은 VICON 시스템으로 얻어진 지면반력, 압력중심, 모멘트, 파워 값을 사용하였다. 이 분석은 운동의 원인이 되는 힘을 규명하는 것으로 하체의 움직임을 분석하고, 인체에 직접 작용하는 부하 등의 측정값으로 동적인 자세에서 발생하는 통증과 같은 문제를 분석할 수 있다.

본 연구의 결과에서는 개발한 알고리즘으로만 얻을 수 있는 독창적인 변인들(unique variables)을 선별하여 소개하였다. 이 변인들은 현재 상용화된 MATT 시스템과 스윙뱅크에 포함되지 않은 변인이 대부분이다. 이 변인들은 골프 연구의 범위를 확대시키는 중요한 핵심 요소들을 갖게 될 수도 있으므로, 이러한 요소들을 발견하는 것은 매우 의미 있는 연구라고 판단된다. 그렇지만, 현재 개발한 알고리즘으로 계산하여 얻을 수 있는 새로운 변인의 값에 대한 검증은 아직까지 선행연구와 비교할 방법이 없으므로, 본 연구를 계기로 골프연관 변인이 다양화될 수 있는 반면에 과학적인 검증이 필요하겠다.

VI. 결 론

VICON 시스템에는 전문 소프트웨어인 Polygon과 응용소프트웨어인 바디빌더가 있지만, 골프스윙 변인을 스윙뱅크와 MATT 시스템처럼 다양하게 제공받기에는 어려움이 있다. 또한 현재 여러 학교와 연구기관에서 사용하고 있는 동작분석 시스템은 여러 운동종목의 다양한 동작을 분석하는데 어려움이 있는 실정이다. 이러한 이유로 첨단 동작분석 시스템 중에서 하나인 VICON 시스템의 자료에 기초 알고리즘을 사용하여 골프 스윙 연관 변인으로 재가공하였다.

개발한 프로그램을 활용하여 분석하는 과정에서, 전문적인 운동역학적 지식을 필요로 하는 3차원 동작분석 시스템의 자료를 모두 골프 연관 변인으로 재가공 하였기 때문에, 역학적인 지식이 부족한 경우에도 스윙의 문제점을 찾는 데 효과적이었으며, 디스플레이용으로 제작된 스틱 피겨로 시각적인 관찰이 용이하였다.

이 프로그램은 골프 스윙의 원리를 이해하는데 유용한 정보를 주기 때문에, 골프 현장에서 스윙 능력의 향상과 상해예방을 위한 방법에 유용한 정보로 활용될 수 있다. 더불어 과학적인 방법으로 코칭을 할 수 있으므로, 현재 유명 골프 지도자(instructor)들에 의한 코칭 정보에서 보다 과학적인 방법으로 스윙이 전개되도록 스포츠과학과 골프 현장 사이의 간격을 좁히는데 큰 의미가 있다.

본 연구에서 개발한 골프 스윙 분석 프로그램을 활용하여 얻은 전반적인 결론과 후속연구를 위한 제언을 하자면 다음과 같다.

첫째, 본 연구를 통해서 개발한 골프 스윙 프로그램을 활용한 결과, 디스플레이용으로 제작된 스틱 피겨로 시각적인 관찰이 쉬웠고 스윙의 문제점을 찾는 데 효과적이었다.

둘째, 골프 현장과 동작분석 시스템을 보유하고 있는 여러 학교와 연구소에서 이러한 스윙분석 프로그램을 사용한다면,

운동역학 지식이 다소 부족하더라도 스윙 분석이 가능할 뿐만 아니라 스윙 분석 비용의 절감 효과와 골프 연구를 하는 시간과 노력을 줄이는 데 많은 도움을 줄 것으로 기대된다.

셋째, 독창적인 변인들은 현재 상용화된 스윙 뱅크와 MATT System에 포함되지 않은 변인들로 구성되어, 타 프로그램과 차별화를 두었다.

넷째, 본 연구에서 개발한 골프 스윙 분석 프로그램은 추가적인 기술 보완 및 사용자들의 반응과 요구사항들을 수집하여 수정 및 보완하며 지속적인 유지보수가 필요하다.

다섯째, 추후 연구에서는 골프 스윙의 기술적인 측면에만 초점을 맞추기보다 체력적인 측면에서도 골퍼에게 도움을 줄 수 있는 사항을 고려할 필요성이 있으며, 현장에서 사용될 수 있는 객관적인 데이터의 생성이 주제라고 판단된다.

마지막으로, 아직도 일부 골퍼들은 다른 골퍼의 스윙을 보거나 조언만 듣고 자신의 스윙을 고치려고 많은 시간과 노력 그리고 비용을 들여 시행착오를 반복하는 경험을 하기도 한다. 골프 스윙을 교정하려면 자신의 스윙을 먼저 이해하고, 문제점의 원인을 정확히 파악하여, 그 문제점을 수정하는 것이 다른 동작에 미치는 영향 등이 있는가를 정확히 파악할 필요가 있다. 단점을 고치려다가 장점마저 잃는 경우가 있기 때문이다. 그러므로 한 가지 문제점을 고치더라도 과학적인 방법으로 접근해야 한다. 전문적인 골프 스윙 분석 시스템으로 분석 후 교습전문가와 보완해야 할 부분을 상담하여 과학적인 방법으로 자신의 스윙을 교정해 나간다면 만족도 높은 골퍼가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Advanced Institutes of Convergence Technology.
<http://aict.snu.ac.kr/motioncapture/intro.php>.
- Cochran, A. J.(1990). Science and golf. *Proceedings of the First World Scientific Congress of Golf*. London: E & FN Spon.
- Cochran, A. J., & Stobbs, J.(1968). The Search for the Perfect Swing. *Journal of Biomechanics*, Lippinott, PH.
- Cochran, A. J., & Farrally, M. R.(1994). *Science and Golf II. Proceedings of the First World Scientific Congress of Golf*. London: E & FN Spon.
- Cooper, J. M., Bates, B. T., Beid, J., & Scheuchenzuber, J.(1974). *Kinematic and kinetic analysis of the golf swing*. In *Biomechanical IV*(edited by Nelson, R. C., & Morehouse, C. A.), 298-305.
- Hume, P., Keogh, J., & Reid, D.(2005). The role of biomechanics

- in maximising distance and accuracy of golf shots. *Sports Medicine*, 35(5), 429-449.
- Hwang, I. S., & Lee, S. C.(1998). The Development of Human Motion Analysis Program with LabVIEW Graphical Program Language. *The Korean Journal of Physical Education*, 37(4), 484-491.
- Johnson, G. W.(1996). *LabVIEW Graphical Programming : Practical Application Instrumentation and Control*. New York: McGraw-Hill.
- Kang, S. H.(2006). A Study of Computer Graphic Program for Three Dimensional Motion Analysis. *Korea Institute of Sport Science*, 17(1), 37-44.
- Kim, K. H., Yoo, K. S., Kim, H. S., Lee, H. S., Kim, J. U., Kim, S. I., Kim, M. K., & Kim, S. H.(1999). The Development of Motion Analysis System for Correcting Sports Technique. *Korean Society of Sport Biomechanics*, 38(3), 675-687.
- Kim, D. Y.(2009). http://swingbank.com/new/bbs/board.php?bo_table=pr_02&wr_id=16.
- Kim, J. S.(2010). <http://kr.news.yahoo.com/sports/soccer/view?aid=2010081610081146314>.
- Lee, K. T., & Kang, M. S.(1997). Biomechanical Coaching Model of Golf Swing. *Korean Society of Sport Biomechanics*, 7(1), 19-34.
- Martin, R., Farrally, M. R., & Cochran, A. J.(1994). *Science and golfIII. Proceedings of the First World Scientific Congress of Golf*. London: E & FN Spon.
- Milburn, P. D.(1982). Summation of segmental velocities in the golf swing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(1), 60-64.
- Morgan, D., Cook, F., & Bank, S.(1998). *The Influence of Age on Lumbar Mechanics during the Golf Swing*. In: Science and Golf III. Proceedings of the World Scientific Congress of Golf. London, UK: E & FN Spon(edited by Martin, R., Farrally, M. R. & Cochran, A. J.), 120-126.
- Park, J., & Shin, K. H.(2010). Development of a Program That Computes the Position of the Club Face Based on the Experimental Data. *Korean Society of Sport Biomechanics*, 20(20), 231-237.
- Park, C. H., & Baeg, S. G.(2000). The Development of 3D Motion Analysis Software for WINDOWS, *Korean Society of Sport Biomechanics*, 9(2), 171-186.
- Shin, I. S., Lee, K. C., Chung, C. S., & Kim, K. H.(2000). Three Dimensional Video Motion Analysis Program for Windows 98 System. *The Korean Journal of Physical Education*, 39(3), 622-634.
- Swingbank. http://swingbank.com/new/technologies_03.php?subpage=technologies_03.
- Thain, E.(2002). *Science and GolfIV. Proceedings of the First World Scientific Congress of Golf*. London: E & FN Spon.
- VICON Korea. <http://www.vicon.co.kr/index.asp>.

부 록

알고리즘(algorithm)을 위한 공식의 정의

본 연구의 알고리즘을 위한 공식의 정의에서는 일반적으로 사용하고 있는 변위, 각도, 속도, 시간 등의 소개는 제외하였다. 인체가 움직이는 동안 세 축의 분절 지역좌표계의 변화를 구하기 위하여 인체와 클럽의 움직임을 x(anterior/posterior), y(medial/lateral) 그리고 z(superior/inferior)로 정의하였다. 시간의 정의(1, 2)는 address(t_1), address에서 backswing(t_2), address에서 impact(t_3), address에서 Finish(t_4)가 된다. 임팩트 시 볼 접촉위치(3, 4)에서 M_1 은 클럽헤드의 바깥쪽(Out) 반사마커이며, M_2 는 안쪽(in) 반사마커이다. ball은 골프공의 위치이다. 지면반력(5, 6, 7, 8)에서 $NFxyz(i)$ 는 x , y , z 방향으로 나타나는 지면반력의 총 합을 몸무게(BW)로 나눈 값이다. 0은 스윙을 시작하는 시간이며, k 는 마지막 시간이다. i 는 데이터 값의 크기이다. Frame은 총 지면반력으로부터 각각의 발에 나타나는 비율을 나타낸 것이다. 압력중심(9, 10, 11, 12)에서 $COPxy(t_q)$ 는 t_q 라는 시간 간격에 나타난 x 방향과 y 방향의 압력중심을 나타낸다. O 는 Origin으로 압력이 시작되는 기시점이다.

아래의 계산 순서는 알고리즘을 위한 공식의 정의로 다음과 같이 요약할 수 있다.

$$\text{스윙리듬 : } Swingrhythm = \frac{t_2}{t_3 - t_2} \dots (2)$$

임팩트시 볼 접촉위치 :

$$\Delta x = x_{ball} - \frac{M_1(t_3) + M_2(t_3)}{2} \dots (3)$$

$$\Delta z = z_{ball} - \frac{M_1(t_3) + M_2(t_3)}{2} \dots (4)$$

체중에 표준화 된 좌측 발 합성지면반력 :

$$|\overrightarrow{LNFxyz(i)}| = \frac{\sqrt{LFx(i)^2 + LFy(i)^2 + LFz(i)^2}}{BW} \dots (5)$$

체중에 표준화 된 우측 발 합성지면반력 :

$$|\overrightarrow{RNFxyz(i)}| = \frac{\sqrt{RFx(i)^2 + RFy(i)^2 + RFz(i)^2}}{BW} \dots (6)$$

좌측 발 지면반력 비율 :

$$LFratio = \frac{RNFxyz(i)}{LNFxyz(i) + RNFxyz(i)} \dots (7)$$

우측 발 지면반력 비율 :

$$RFratio = \frac{LNFxyz(i)}{RNFxyz(i) + LNFxyz(i)} \dots (8)$$

좌측 발 x 의 압력중심 :

$$LCOPx(t_i) = Ox(t_{q+t_i}) - LCOPx(t_i) \dots (9)$$

좌측 발 y 의 압력중심 :

$$LCOPy(t_i) = Oy(t_{i+t_i}) - LCOPy(t_i) \dots (10)$$

우측 발 x 의 압력중심 :

$$RCOPx(t_i) = Ox(t_{i+t_i}) - RCOPx(t_i) \dots (11)$$

우측 발 y 의 압력중심 :

$$RCOPy(t_i) = Oy(t_{i+t_i}) - RCOPy(t_i) \dots (12)$$