

그립부의 비틀림모멘트를 고려한 골프클럽의 최적설계

Optimal Design of Golf Club by Considering Twisting Moment of Grip

이 정 윤*
Jung-Youn Lee

ABSTRACT

This paper presents a method of stress analysis of golf club. We define the sweet spot of golf club by the magnitude of torsional moment.

Transfer matrix method was used for optimal design on sweet spot of golf club.

기 호 설 명

- E : Young's moduls(N/cm²)
- I : Moment of inertia of a section(cm⁴)
- G : Shear modulus(N/cm²)
- Y_i : Lateral deflection of the i-th point
- θ_i : Slope of the i-th point
- θ_i : Axial torsional angle of the i-th point
- M_i : Moment of the i-th point
- V_i : Shear force of the i-th point
- T_i : Torgue of the i-th point
- |Z_i| : State vector of i-th element
- [B]_i : Transfer matrix of beam element
- [T]_i : Transfer matrix of coordinate transformation
- A : Sectional area(cm²)
- L : Length of a span(cm)
- a : Cross angle

1. 서 론

최근 골프인구의 증가에 따라 골프클럽의 제작기술도 상당한 수준에 이르렀고 설계제작의 자동화에 의해서 양질의 제품이 시판되고 있다.

그러나 클럽에 볼이 임팩트 될 때 발생하는 충격으로 인체에 발생하는 안전문제 즉 손바닥의 물집 또는 팔뚝꿈치의 엘보등이 아직도 남아있다. 따라서 볼 컨트롤을 용이하게 하고, 또한 안정타점 영역(sweet spot)의 확장과 그립부의 비틀림모멘트를 감소시키기 위한 연구가 필요하다.

이에 대한 연구로 Takuzo Iwatsubo¹⁾는 골프 클럽과 골프공 충돌시 나타나는 현상을 집중질량 모형을 이용하여 해석하였으나, 골프클럽 헤드부분만 고려하였고 클럽전체를 해석하지는 않았고, 국내

* 재철엔지니어링(주)

연구전에 의해서 테니스라켓에 대한 연구는 활발하게 전개되어 왔으나^{2),3)} 골프클럽에 대한 연구는 아직까지 없었다.

본 연구에서는 그립부의 비틀림 응력을 최소화하는 안정타점영역을 정의하였으며 실제의 골프클럽에 적용하여 설계변수(질량 및 강성)변경에 따른 안정타점영역변화를 예측하므로써 골프클럽의 최적설계 방법에 대해 연구하였다.

2. 골프클럽의 안정타점영역의 결정

2.1 안정타점영역의 정의

안정타점영역은 골프클럽과 볼이 충돌하는 순간에 손에 전달되는 느낌이 좋은 부분이다. 보통 안정타점영역은 손에 전달되는 충격 또는 볼의 반발성이 좋은 곳으로 정한다. 그러나 안정타점영역에 대한 정의는 아직 명확하게 되어 있지 않고, 다음과 같은 사항이 일반적으로 알려져 있다.

- 1) 클럽헤드 면상에서 반발계수가 최대값을 갖는 곳
- 2) 볼이 충격시, 그립을 잡고 있는 손에 아무 충격도 느껴지지 않는 곳

본 연구에서는 위의 정의내용 가운데서 2) 충격을 최소로 하는 타점영역으로 정의를 택하였다. 안정타점영역에 영향을 미치는 요인은 여러가지가 있겠으나 그립부의 설계변경 등에 의한 클럽자체의 특성의 변화가 안정타점영역의 확장에 영향을 미친다고 생각한다.

2.2 안정타점영역의 선정기준과 표현

본 논문에서 안정타점영역을 선정하는 기준은 Fig. 1와 같이 골프클럽헤드에 표시된 안정타점영역에 충격이 가해졌을 때 그립을 잡고 있는 손에 미

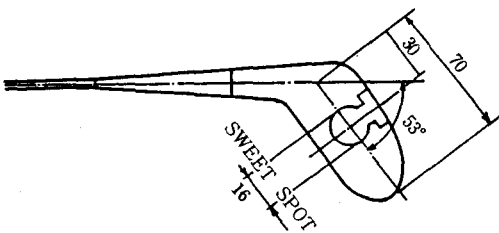


Fig. 1 Definiton of sweet spot

치는 비틀림 응력 크기로 하였다.

즉, 크럽의 충격에 따라 그립부에 비틀림 모멘트가 전달되며 모델로한 골프클럽의 안정타점영역에 있는 비틀림응력 크기와 설계 파라메타 변화에 따른 비틀림응력의 크기가 같은 영역을 안정타점 영역으로 나타내었다.

3. 이론해석

Fig. 2에 나타난 변수와 좌표의 정의를 기준하면, 점 $i, i + 1$ 사이는 다음과 같은 관계가 있다.⁴⁾

$$\{Z\}_i = [B]_i \{Z\}_{i+1} \dots \dots \dots (1)$$

여기서

$[B]_i$: i 번째 요소의 전달 매트릭스

한편 Z_i 는 i 번째 요소의 상태벡터이며, 다음과 같이 정의한다.

$$Z = \begin{Bmatrix} \theta \\ Y \\ 0 \\ M \\ V \\ T \\ 1 \end{Bmatrix}_i \dots \dots \dots (2)$$

여기서

θ_i : i 점의 축방향 비틀림 각

Y_i : i 점의 횡방향 변위

0_i : i 점의 기울기

M_i : i 점의 굽힘 모멘트

V_i : i 점의 전단력

T_i : i 점의 축방향 비틀림모멘트

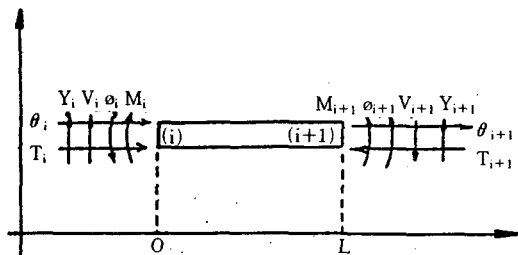


Fig. 2 Coordinate and variables a beam element

$\{Z\}_i$ 를 식 (2)와 같이 정의하면, $[B]_i$ 는 다음과 같이 유도된다.⁴⁾

$$[B]_i = \begin{bmatrix} P & 0 & 0 & 0 & 0 & R & 0 \\ 0 & S & -T/\lambda & U/EI\lambda^2 & -V/EI\lambda^3 & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda V & S & -T/EI\lambda & U/EI\lambda^2 & 0 & 0 \\ 0 & EI\lambda^2 U & -EI\lambda V & S & -T/\lambda & 0 & 0 \\ 0 & -EI\lambda^3 U & EI\lambda^2 U & -EI V \lambda & S & 0 & f_y \\ Q & 0 & 0 & 0 & 0 & P & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_i \dots\dots\dots (3)$$

여기서

$$\begin{aligned} S &= (\cosh \lambda l + \cos \lambda l)/2 \\ P &= \cos \beta l \\ T &= (\sinh \lambda l + \sin \lambda l)/2 \\ Q &= -GJ\beta \sin \beta l \\ U &= (\cosh \lambda l - \cos \lambda l)/2 \\ R &= \sin \beta l / GJ\beta \\ V &= (\sinh \lambda l + \sin \lambda l)/2 \\ f_y &= y\text{방향에 작용하는 외력} \end{aligned}$$

$$\lambda = 4\sqrt{\frac{\gamma A \omega^2}{gEI}} = 4\sqrt{\frac{m_b \omega^2}{EI}}$$

$$\beta l = \omega\sqrt{J_r/k_t}$$

m_b, J_r 는 보의 단위길이당 질량과 관성모멘트를 나타낸다.

한편, 좌표 변환요소는 교차하는 요소의 각도를 α 라 하고 Fig. 3의 변수와 좌표의 정의를 사용하여, 기하학적 조건과 역학적 조건을 고려하면 $[T]_i$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$[T]_i = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_i \dots\dots\dots (4)$$

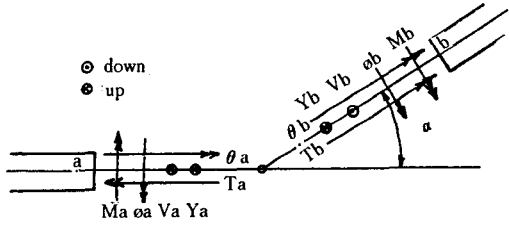


Fig. 3 Coordinate and variable for cross angle

이와 같이 상태벡터를 $|Z]_i$, 보와 좌표변환 요소의 매트릭스를 $[B]_i, [T]_i$ 라 정의하고, 순차적으로 연산을 행하면 각 요소의 상태벡터는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$Z_1 = [H]Z_{18} \dots\dots\dots (5)$$

여기서

$$[H] = B_1 \cdot B_2 \cdot B_3 \dots\dots B_{13} \cdot T_1 \cdot B_{15} \dots\dots B_{19} \cdot B_{20}$$

한편 양단의 상태벡터 Z_1, Z_{18} 는 골프클럽의 경계조건(여기서는 고정-자유조건)으로부터 식(6)와 같다.

$$Z_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ M \\ V \\ T \\ 1 \end{pmatrix} \quad Z_{18} = \begin{pmatrix} \theta \\ Y \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (6)$$

이 식으로부터 그립부의 비틀림모멘트를 구하였다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션

Fig. 4는 본 연구에서 사용된 모델을 나타내는

그림으로 단면이 일정한 부분을 기준으로 샤프트 부분을 13등분, 헤드부분을 10mm간격으로 7등분 하여 20개의 보요소와 1개의 좌표변환요소로 분할 하였으며 볼이 충돌시 그림부에 발생하는 전단응력은 다음 식으로 산출하였다.

$$\tau = \frac{T}{Z_p} \dots\dots\dots (7)$$

여기서
 τ : 전단응력
 t : 비틀림모멘트
 Z_p : 극단면계수

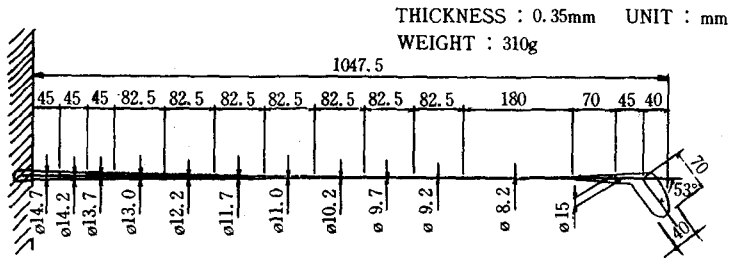


Fig. 4 Modelling of golf club

5. 결과 및 고찰

5.1 안정타점영역의 계산

Fig. 5은 모델로 대한 골프클럽을 헤드 안쪽으로부터 바깥 쪽으로 충격위치를 10mm씩 이동시켜 충격을 주었을 때 그림부에 나타내는 최대 전단응력값을 나타낸 그림이다. 모델의 안정타점 위치는 클럽 안쪽으로부터 22mm에서 38mm까지로 하였으며 그 점에서 전단응력 값을 구한 결과 3255dyne/cm² 및 3572dyne/cm²였고 이 값을 안정타점영역의 기준 값으로 하였다.

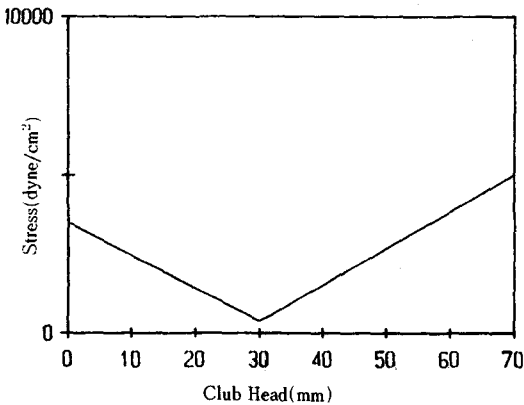


Fig. 5 Effect of impact location on maximum stress

5.2 설계변수 변경에 따른 안정타점 변화

Fig. 6는 샤프트의 질량을 변화시켰을 때의 골프클럽의 안정타점영역 변화를 나타낸 그림으로 모델로 택한 안정타점영역의 길이 16mm를 기준으로 하여 백분율로 나타내었다. 샤프트의 질량을 증가시켰을 때 안정타점영역이 최대가 되었다.

Fig. 7은 굽힘 및 비틀림강성을 변화시켰을 때의 골프클럽의 안정타점영역 변화를 나타낸 그림으로 강성이 15% 감소하였을때 안정타점영역이 최대가 되었으며 샤프트의 굽힘 및 비틀림강성을 증가시킬수록 안정타점영역이 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 강성이 증가할수록 손에 미치는 충격이 증가하기 때문이라고 생각된다.

Fig. 8은 질량, 굽힘 및 비틀림강성을 동시에 변화시켰을 때의 골프클럽의 안정타점영역 변화를 나타낸 그림으로 질량과 강성을 동시에 증가시킬 경우 대체적으로 감소하는 경향이 있었다.

Fig. 9은 샤프트의 질량과 비틀림강성 변화에 따른 안정타점영역의 중심점에 대한 이동으로 시뮬레이션 결과 모델로 택한 안정타점 중심점은 골프클럽 헤드 안쪽으로부터 29.7mm에 위치하였으며, 실제모델의 30mm와도 잘 일치함을 알 수 있었다. 또한 강성이 증가할수록 안정타점 중심점이 골프클럽 헤드 바깥쪽으로 이동함을 알 수 있었다.

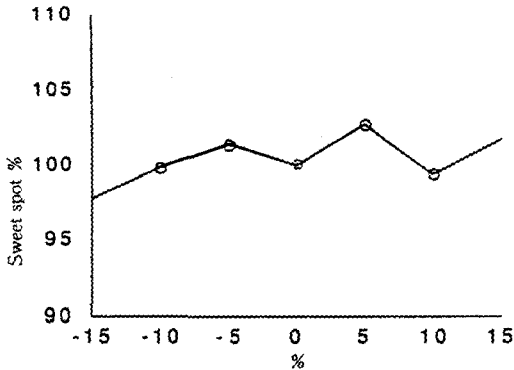


Fig. 6 Variations in sweet spot due to the change in mass of club shaft

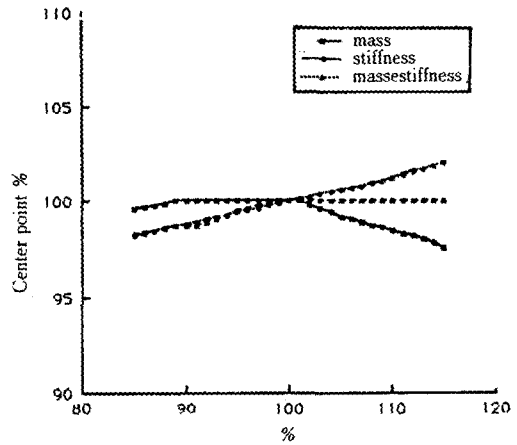


Fig. 9 Variations in sweet spot due to the change in mass and stiffness of club shaft

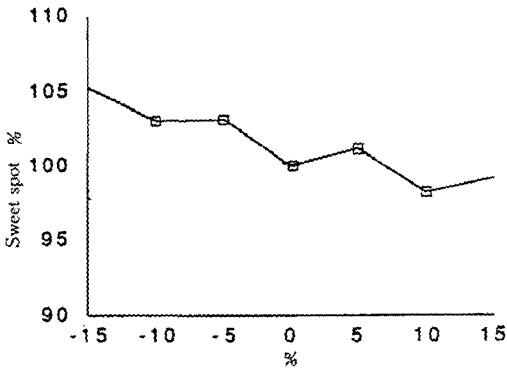


Fig. 7 Variations in sweet spot due to the change in stiffness of club shaft

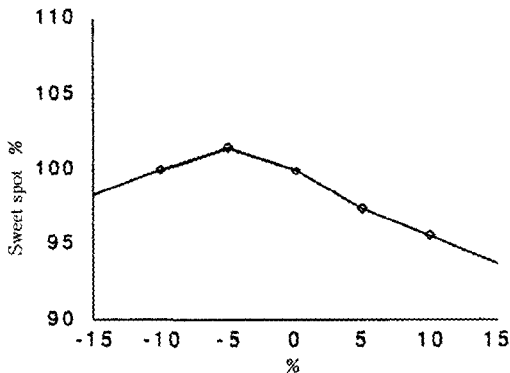


Fig. 8 Variations in sweet spot due to the change in mass of stiffness shaft

6. 결 론

골프클럽의 질량 및 강성의 변화에 따라 안정타점영역에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 행하여 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 그림부의 전단응력 크기로 안정타점영역 산출방법을 제시하였다.
- 2) 모델로 택한 골프클럽 샤프트의 질량만 증가시켰을 때 대체로 안정타점영역이 증가하였으며, 샤프트의 굵힘 및 비틀림강성을 증가시킬수록 안정타점영역이 감소하는 경향이 있었다.
- 3) 컴퓨터 시뮬레이션 결과 안정타점의 중심점이 실제모델로 택한 골프클럽과 잘 일치함을 알 수 있었으며 샤프트의 굵힘 및 비틀림강성을 증가시킬수록 안정타점영역의 중심점 위치가 골프클럽 헤드 바깥쪽으로 이동함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Takuzo Iwatsubo and Masakatsu Akao, "Optimum design of golf club," KSME/JSME Conference, 1987.
- 2) Jae Eung Oh and Sung Ha Yum, "A Study to Identify the Dynamic Characteristics of the Tennis Racket by Modal Analysis," Trans. of

- JSME Vol.51, No.471, pp.2966~2973, 1985.
- 3) Jae Eung Oh, Yun Taek Lim and Sung Ha Yum, "An Estimation of Power Contribution of Tennis Racket by Multi-Dimensional Spectral Anaysis," Trans. of JSME Vol.51, No.471, pp.2974~2979, 1985.
- 4) Eduard C. Pestel and Frederick A. Leckie, "MATRIX METHODS IN ELASTO MECHANICS," MCGRAW-HILL BOOK Co., pp. 82~89, 1963.
-