

골프 샤프트의 역학적 거동 평가에 관한 연구

정·성교*·윤 형택*·정 성균**·임 승규***

A Study on the Evaluation of Mechanical Behavior of Golf Shafts

S.K. Jeong*, H.T. Yoon*, S.K. Cheong**, S.G. Lim***

Key Words: golf club, sweet spot, golf shaft, kick point, launch angle, pattern, mandrel

Abstract

A liner static and dynamic analysis for a golf shaft, which is made of carbon fiber reinforced composite materials, is presented in this study. Major mechanical parameters of golf shafts such as deflection, torsional angel, frequency of vibration(CPM), and kick point are analyzed by finite element method. The effects of major parameters on the performance of golf shafts are also discussed. The results show that the major parameters of golf shafts are strongly dependent on the material properties of fibers and design pattern of golf shafts. The present results will be useful to design sheet-rolled golf shafts.

초 록

본 연구에서는 카본 복합재료로 만든 골프 샤프트에 대한 선형 정적 및 동적 해석을 수행하였다. 골프 샤프트에서 가장 중요한 인자인 처짐량, 비틀림각, 진동 및 킥포인트에 대한 해석을 유한요소법을 적용하여 수행하였으며, 골프 샤프트의 성능에 미치는 주요 인자들의 영향을 연구하였다. 골프 샤프트의 중요 인자들은 섬유의 물성, 디자인 패턴에 크게 의존하며, 본 연구 결과는 일반적인 골프샤프트의 설계에 있어서 참고 자료가 될 수 있을 것으로 본다.

1. 서 론

13세기 스코틀랜드의 해변의 링크스(links)에서 근대적 골프가 탄생하여, 그 후 많은 수공업자와 사용자에 의하여 골프클럽(golf club)은 개발되었고 발전하면서 20세기에 이르렀다¹⁾²⁾. 20세기 후반에 이르러 많은 최첨단의 소재가 골프시장에 소개되었고, 이를 활용한 골프시장은 계속 확장되었다. 초기에는 특정 계층의 스포츠로 여겨졌던 국내의 골프가 대중적인 운동으로 자리를 잡으면서 골프클럽의 수요가 증가하였고, 이로 인하여 골프클럽 생산기반은 국내수요 및 국외로의 수출증대에 전망이 밝은 편이다. 골프클럽을 구성하는 부품 중 골프샤프트는 카본 복합재료(CFRP)로 주로 제작되고 있다. 카본 복합재료의 여러 가

지 우수한 특성으로 인하여 골퍼들로부터 각광을 받고 그 수요는 계속 증가하는 추세이다. 현재 국내의 골프샤프트의 제조 기술은 일본에서 기술 이전된 낚싯대의 제조 기술에 그 바탕을 두고 있다. 그러나 낚싯대의 강성과 강도 위주의 설계 기술로는 골프샤프트의 다양한 구조적, 기능적 요소를 충족시키기에는 매우 부족한 실정이다. 이에 골프샤프트의 구조적, 기능적인 요소를 파악하고, 경제적인 설계 요소를 부여하는 것이 국내 골프샤프트 제조 기술의 가장 큰 과제이다.

1.1 골프샤프트의 일반적 특성

골프샤프트의 특성은 일반적으로 4가지 시험을 통하여 평가한다³⁾. 본 연구에서는 아래에서 열거하는 4가지의 골프샤프트의 거동을 평가하였다.

1.1.1 진동수(frequency of vibration, CPM)

골프샤프트의 진동수는 선단(butt) 부위를 고정시키고 끝단(tip) 부위에 추(205g)를 매달았을 때

* (주) 동광 산업

** 서울산업대학교 기계공학과

*** SK 케미칼

의 고유 진동수(CPM)로 정의한다. 일반적으로 골프샤프트를 제작한 후 제품의 품질 평가의 기준으로 이 진동수가 사용되는데 골프샤프트의 진동수는 굽힘정도(deflection ; flex)와 연관시킬 수 있다. 이와 관련해서 골프샤프트의 등급(flex)을 L(lady), A(amateur, senior), R(regular), S(stiff), X(extra stiff)로 분류한다.

1.1.2 비틀림량(torsional angle)

골프샤프트에서의 비틀림 특성은 스윙(swing)시 헤드면(head face)에 골프공이 타격 되는 위치를 결정하는 중요한 요인이며, 비틀림의 정도에 따라 스윙의 느낌이 다르게 전달된다. 만일 골프샤프트의 비틀림 정도가 일정치 않으면 타격 되는 위치가 Fig. 1에서 보이는 것과 같이 A 또는 B 부위에 타격 되고, 골프공의 비행방향이 부정확한 방향으로 향하게 된다.

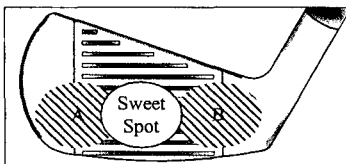


Fig. 1 Illustration of impact point and sweet spot.

즉, 스윙 시에 헤드의 회전으로 인하여, 골프공이 헤드의 타격점(sweet spot)에 위치하지 않기 때문에 비틀림각이 클수록 부정확도는 증가한다^[4]. 그러나 개인적인 스윙 스피드(swing speed)에 의하여 비틀림각의 범위를 적절한 수준에서 선택하여야 한다. 백스윙(back swing)에서 구부러지고 비틀어진 골프샤프트는 다운스윙(down swing)에서 모두 제자리로 되돌아와 임팩(impact)이 이루어지게 되지만, 스윙 스피드가 빠른 플레이어(player)가 지나치게 유연한 골프샤프트를 사용하면 헤드가 미처 따라오지 못하고 타이밍을 놓쳐 뒤늦게 임팩이 되듯이 비틀림각이 너무 크지 않은 골프샤프트를 사용하는 것이 볼의 정확도를 높이는 방법이다^[5].

1.1.3 굽힘량(deflection)

스윙 시 골프샤프트가 휘어지는 영향을 측정하는 것으로, 일부 골프샤프트 제조사에서는 굽힘의 정도(deflection board)로 골프샤프트의 등급을 분류하기도 한다. 적절한 스윙을 하기 위하여 사용자에게 맞는 적절한 등급을 사용하는 것이 좋다. 스윙 시에 사용자가 원하는 스윙 위치와 적절한 헤드의 임팩트 위치를 결정하기 위한 중요한 요인이 된다. 일부 제조사에서는 제품의 품질관리

에 사용하기도 한다.

1.1.4 굽힘 위치(kick point)

스윙 시 골프샤프트는 스윙 방향과 반대로 휘어지게 된다. 골프공이 헤드에 타격 되기 직전 골프샤프트의 굽힘위치(kick point)에 따라 타격 후의 골프공의 상승각도는 다르게 된다. 즉 Fig. 2와 같이 굽힘위치가 낮을 때는 볼이 높게, 굽힘위치가 높을 때는 볼이 낮게 비행한다^[6]. 사용자가 사용하기에 관한 골프샤프트로 제작되기 위해서는 굽힘 위치의 조절도 골프샤프트의 제작에 있어 중요한 요인이며, 골프공의 상승고도를 결정하는 중요한 요인으로 작용한다.

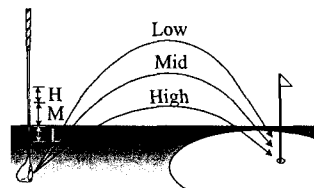


Fig. 2 Flying direction of golf ball vs. position of kick point.

사용자에 맞는 골프샤프트의 굽힘 위치는 초보자는 끝단부분에서 약38%, 중급자는 약42%, 숙련자는 약44-60%가 일반적이다^[7-8]. 미국의 유명한 프로는 클럽 헤드(club head)의 각도와 골프샤프트의 굽힘량을 조절하여, 골프공의 초기 상승각도(launch angle)를 14도를 유지하는 것으로 알려져 있다. 위에서 열거한 모든 측정 요인들은 골프샤프트의 성능평가에 기준이 되는데 프리프레그 물성, 멘드렐 형상, 패턴디자인(pattern design)에 크게 의존한다. 일반적으로 유한요소해석 결과에 영향을 미치는 인자는 여러 가지가 있겠지만 섬유강화 복합재료에서는 적층 되는 재료의 이방성 정도가 상당한 영향을 미친다^[9].

본 연구에서는 기존의 골프샤프트에 사용되고 있는 CFRP의 기계적 물성치를 측정하고, 그 물성치를 이용하여, 국내 골프샤프트 생산업체 중에서 T, P 및 G사 골프샤프트의 역학적 거동 특성을 검토하였으며, 객관적으로 평가하기 위하여 유한요소 패키지인 NISA 8.0v를 이용하였다. 또한 골프샤프트의 설계 및 제조 공정에 효율적으로 활용될 수 있는 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 프리프레그의 기본 물성 평가

골프샤프트의 역학적 거동을 해석하기 위해서는 골프샤프트 제작에 사용되는 프리프레그의 정확한 물성

치(material properties)가 요구된다. 이에 대하여 프리프레그의 특성($E_1, E_2, G_{12}, \nu_{12}, X_t, Y_t$)을 ASTM D3039-96 과 ASTM D3518-96의 규격에 따라 실험적으로 평가하였다. [0]_s, [90]₁₆, [± 45]_{3s} 세 종류 시험편의 규격(specimen standard)은 Table 1과 같다. 탭(50x1.6mm)의 재질은 E-glass를 사용하였으며 시험을 가공한 후에 에폭시 수지를 사용하여 부착하였다.

Table 1 Geometry of tensile specimen. [mm]

Fiber angle	0°	90°	±45°
Width	15.0	25.0	25.0
Length	250.0	175.0	25.0
Thickness	1.0	1.8	50.0

2.2 골프샤프트의 4가지 역학적 파라미터

골프샤프트의 역학적 성능과 관련된 파라미터는 4가지로 요약된다. 4가지 역학적 파라미터의 평가 방법을 요약하면 다음과 같다

2.2.1 진동수의 측정

끝단 부위에 추를 매달고, 끝단에서 1003mm 부위를 고정시킨 측정한다.

2.2.2 비틀림량의 측정

골프샤프트 끝단 부위에 13.72kg-cm의 비틀림을 가하고, 끝단에서 1041mm(wood)인 부위를 고정시킨다. 아이언(Iron)인 경우 850mm이다.

2.2.3 처짐량의 측정

골프샤프트의 끝단에서 76mm 떨어진 위치에서 2.721 kg의 추를 매달고 끝단의 선단에서 처짐 거동을 평가한다. 평가조건은 Fig. 4와 같다.

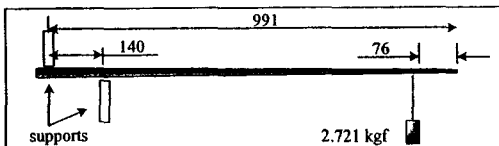


Fig. 4 Evaluation of deflection.

2.2.4 굽힘 위치의 측정

골프샤프트의 선단 부위를 고정하고 끝단 부위에 압축변형(6.4 mm)을 가하여 좌굴 거동으로부터 평가한다. 끝단으로부터의 최대 변형부위(Max. deflection point)를 측정하는 것으로, 골프샤프트 전체의 길이와의 관계를 퍼센트로 나타내었다.

2.3 골프샤프트의 구조

일반적인 골프샤프트의 패턴(pattern)을 나타낸 것으로, 내부 맨드렐을 중심으로 이중 겹지층(bias layer)과 일방향(strength layer)의 프리프레그로 구성되며, 또한 특정 부위를 보강하기 위한

적층작업도 수행된다. T, P 및 G사에서 제작된 각각의 골프샤프트의 치수는 Table 2와 같다.

Table 2 Dimension of golf shaft. [mm]

Company		Tip		Butt		Length
		U/D	O/D	U/D	O/D	
T	model I	4.5	8.192	13.2	14.8	1195.0
	model II	4.5	7.936	13.2	14.6	1195.0
P	model I	4.7	9.460	13.2	15.3	1163.0
	model II	4.9	9.564	12.4	14.2	1036.0
G	model I	4.0	8.118	12.6	15.0	1163.0
	model II	4.0	9.068	12.6	15.0	1013.0

2.4 유한요소해석

골프샤프트를 실제 형상 및 치수대로 모델링하고, 위에서 요약한 평가 방법으로 경계조건을 입력하여 해석하였다. 해석에 사용한 유한요소는 3D, 20 절점의 육면체(hexahedrons) 요소를 사용하였다. 또한 해석결과의 신뢰성 확보는 매우 중요하므로, 골프샤프트의 모델링 과정과 결과에 대한 신뢰성을 확립하기 위하여 수렴성 평가(convergence test)를 하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 기본 물성치 실험 결과

기본 물성치 시험에 사용한 프리프레그는 S-125, S-150, I-125, H-116, P-116로 결과는 Table 3과 같다.

Table 3 Material properties of composites.

Type	E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	G_{12} (GPa)	X_t (GPa)	Y_t (MPa)	S (MPa)	ν_{12}	ν_{21}
S125	128.5	8.3	3.2	2.2	43.3	113.5	0.31	0.02
S150	135.2	8.3	3.2	2.4	27.5	102.7	0.32	0.02
I125	168.9	7.9	3.9	3.0	30.2	98.6	0.31	0.02
H116	229.8	10.8	3.3	2.3	44.6	97.5	0.27	0.02
P116	263.6	6.6	4.0	2.1	42.3	86.4	0.25	0.01

3.2 유한요소 해석의 수렴성 평가(convergence test)

평가 조건은 유한요소의 수를 각각 2182, 5256, 8292, 11792 정하여 수렴성 평가를 하였다. 수렴성 평가에 사용한 모델은 T사의 모델 I이다. 절점 수에 따른 결과는 다음의 Table 4와 같다.

3.3 해석 결과

Table 4 Convergence test.

Number of element	2182	5256	8292	11792	Unit
Deflection	16.3	12.8	12.8	12.8	cm
Torsional angle	5.4	6.6	6.4	6.3	deg.
Kick point (from tip)	527.8	522.7	519.4	502.0	mm
	46.2%	45.7	45.4	43.9	%
Frequency	3.62	4.074	4.08	4.08	Hz
	217.2	244.43	244.8	244.7	CPM

T, P 및 G사의 모델 I, II의 4가지 파라미터에 대한 유한요소 해석 결과는 Table 5와 같다.

Table 5 Finite element results.

	T (I)	T (II)	D (I)	D (II)	G (I)	G (II)
Deflection [cm]	12.76	18.52	12.7	18.76	8.3	6.5
Torque [deg.]	6.32	6.54	4.4	3.5	3.85	3.3
[Hz]	4.08	3.4	4.01	3.28	4.97	6.61
[CPM]	244.7	204.0	240.7	196.8	298.26	370.3
Kick point [mm]	502.00	503.73	494.61	487.5	502.86	396.86

3.4 섬유 각도 변화에 따른 역학적 특성

골프샤프트의 역학적 거동에 있어서 패턴 디자인의 역할은 매우 중요하다. 이중 겹지층의 섬유방향에 따른 골프샤프트의 거동을 고찰하였다. G사(model I)의 이중 겹지층의 섬유방향을 30-70°까지 변화시켜 4가지 거동에 대한 유한요소 해석결과를 표시하면 Table 6과 같다.

Table 6. Mechanical characteristics vs. fiber angle.

Fiber angle	Deflection [cm]	Torsional angle[deg.]	Kick point[mm]	Frequency [Hz]
30	7.04	4.51	481.4	5.41
40	8.30	3.85	502.9	4.97
45	8.78	3.77	512.3	4.84
50	9.12	3.85	515.7	4.74
60	9.54	4.55	52.34	4.64
70	9.75	6.29	526.0	4.59

Table 7. Mechanical characteristics by prepreg.

Pattern	Deflection [cm]	Torsional angle[deg.]	Kick point [mm]	Frequency [CPM]
S \ S	8.8	3.8	512.39	290.1
S \ I	8.7	3.4	502.0	290.2
S \ H	8.7	2.5	505.4	291.2
I \ S	7.9	3.7	496.0	306.2
I \ H	7.8	2.6	502.9	307.8
H \ S	5.9	3.8	472.9	353.8
H \ I	5.9	3.4	476.3	354.5
H \ H	5.8	2.6	482.3	355.2
H \ P	5.8	2.5	495.1	356.1
P \ P	5.3	2.3	483.1	372.8

3.5 프리프레그 조합에 따른 골프샤프트의 역학적 거동

골프샤프트의 제작에 사용되는 프리프레그의 선정은 매우 중요한 과정으로 적절한 프리프레그의 선정은 제품의 성능을 증대시킬 뿐 아니라, 제조가격을 조절할 수 있는 중요한 요인이다. Table 7과 같이 이상적인 프리프레그의 조합을 찾고자 S, I, H, P의 프리프레그를 조합하여 골프샤프트의 역학적 거동을 해석하였다.

4. 결론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 유한요소해석 기법으로 골프샤프트의 특성을 나타내는 주요 인자의 평가가 가능하였다.

(2) 골프샤프트의 특성을 나타내는 주요 인자는 사용된 재료의 기본 물성에 크게 의존한다.

(3) 골프샤프트의 개발과정에 있어서 유한요소 해석법을 적용함으로써 과거의 실험적 시행착오에 의한 설계비용을 줄일 수 있기 때문에 시간적, 경제적 효과가 클 것으로 기대된다.

(4) 기존에 생산된 제품을 재평가하여 패턴디자인의 기초자료를 확보할 수 있을 것으로 본다.

참고문헌

- [1] M. Campbell, "The Encyclopedia of Golf", Dorling Kindersley, Vol. 1, London, 1991, pp. 9-19.
- [2] Tom W. Wishon, "The Modern Guide to Golf Clubmaking", Dynacraft Golf Products, Inc., Newark, Ohio, 1987, pp. 9-21.
- [3] "Golf Equipment Guide1995", Mizuno corporation, 1995, pp. 14.
- [4] Akiyoshi Kojima, Hideyuki Horii, "Effect of Torsional Properties of CFRP Golf Club Shafts on The Speed and The Directional Stability of The Ball", 4th International SAMPE Symposium, 1995, pp. 1328-1334.
- [5] Sean Leigh, "Advanced Golf", Top 21Books, Seoul, 2001, pp. 78-82.
- [6] R.D. Milne "What is the role of the golf shaft in the golf swing?", Science and Golf, E&FN SPON, 1990, pp.252-257.
- [7] D. DeWayne Howell, "The Design of Filament Wound Graphite/Epoxy Golf Shaft", 37th International SAMPE Symposium, 1992, pp. 1392~1405.
- [8] "The Myths of Kick-Point", Vol. 7, No. 4, Clubmaker' Digest, Dynacraft Golf Products, Newark, Ohio, 1991, pp. 32.
- [9] J.M. Whitney and W. Leissa, "Analysis of a Simply Supported Laminated Anisotropic Rectangular Plate", AIAA Journal, 1969