

가스충진 티타늄 골프 클럽 드라이버 개발

박구환*, 강영호**, 김길선***, 강범수****

* 정밀정형 및 금형가공 연구소 **부산대학교 대학원 ***(주)하나산업 ****부산대학교 항공우주공학과

Development of the gas-filled titanium golf-club driver

ABSTRACT

Computer-Aided Engineering (CAE) is one of the most effective method in design of golf clubs for determination of optimum shapes in short lead time. A new design of golf club driver with gas-filled titanium head has been carried out using two FEM softwares MARC and DYNA-3D. The main research work focuses on the decision of face thickness and the effect of filled gas pressure by analyzing the change of the kinematic energy of the ball during impact.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

최근 세계적인 골프인구의 증가 및 국내의 관심 고조에 의한 골프 클럽의 수요 폭등으로 골프클럽의 제작사업은 국내수요뿐 아니라 국외로의 수출 증대 또한 전망이 매우 밝다. 국내에서 사용되는 골프클럽의 90%이상이 외국산임을 감안한다면 수입대체 가능성도 매우 크다고 할 수 있다.

성공적인 다양한 고기능 국산 제품개발과 판매가 이루어 질 때 현재 10%미만의 국산 골프클럽의 점유율 또한 20%이상으로 뛰어오를 수 있다. 이러한 고기능 국산 골프클럽의 개발과 함께 21세기를 맞이할 즈음에는 국산클럽의 국내시장 점유율이 40%이상에 이르게 될 수 있다고 예상된다.

대부분의 외국유명 골프클럽 생산회사들이 집중적으로 개발하는 드라이버는 하루가 다르게 신제품을 양산해 내고 있으나, 현재는 헤드 재료와 형상의 변화에 불과하며 티타늄 헤드재료를 사용하여 약간씩 모양을 변형하는 형태를 약 5년간 지속하여 왔으며, 이는 곧 새로운 기술의 골프 클럽의 도래가 있음을 암시해 준다. 즉 어느 나라, 어느 회사가 먼저 획기적인 기술로 새로운 신제품을 내놓느냐가 시장제패의 관건이 된다.

현재 사용되는 티타늄 재료보다 가볍고 강하며 경제성이 있는 재료의 개발은 어려운 실정임을 감안한다면 기능의 고도화를 추구할 수 있는 방법으로 새로운 설계·제작을 도입하여 이러한 분석아래 골프 드라이버 내부에 가스를 충전시켜서 반발력 증가 및 유효타면을 확장시킬 수 있는 세계 최고의 기능 제품을 개발하고자 하는 것이 본 연구의 개발과제이다. 기술의 성숙도 및 경제성등을

고려해 보면 고난도 제작이 요구되는 가스충진식 드라이버를 충분히 생산할 수 있는 단계에 이르렀다. 이 가스충진식 드라이버는 세계 최초로 개발 시도되는 것이며, 이것은 골프클럽발전에 하나의 획을 그을 수 있는 괄목할 만한 기술의 진보를 볼 수 있다.

1.2 연구 목적 및 내용

연구 목적과 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 가스충진 티타늄 골프 드라이버 클럽개발
- 가스 충전 드라이버의 형상 설계 및 구조설계
 - 페이스 두께의 변화에 따른 반발력 및 무게 배분에 의한 무게중심의 하향이동 ⇒ 유효타면(Sweet Spot)의 증가 유도.
 - 반발력의 증가에 의한 타격거리 증가와 무게중심의 하향이동에 의한 유효타면의 증가로 타격 방향의 조정이 가능.
- CAD 및 광조형 모델의 완성
 - CAD 모델 : 무게중심의 계산, 관성모멘트의 계산.
 - 광조형 모델 : 형상검토 및 공기저항력 실험에 사용 가능.
- 유한요소 및 진동 실험을 통한 정적·동적 해석
- 페이스와 HOSEL의 일체형 형상기억합금 단조 공정 성형에 관한 연구 개발
 - 충격시 페이스에 가해지는 힘을 Shaft에 보다 직접적으로 전달하는 효과가 있어서 타격감각이 좋아지고, 타격거리가 증가할 수 있으며, 또한 용접불량에 의한 피로충격의

파손을 줄일 있는 효과를 가져온다.

- 가스 투입 노즐의 개발
- 시제품의 완성 및 기존의 Shaft의 장착

1.3 연구개발의 활용 및 파급효과

본 연구를 통해 얻을 수 있는 효과는 다음과 같다.

- 골프클럽중에서 Driver 개발 기술의 획기적인 전환점
- 본제품에 대한 수출로 인한 외화 획득
- 골프클럽 드라이버의 국내시장 점유율 확대로 수입대체 효과 지대
- 본 연구 제품개발과 연계된 항공공학 기술의 접목으로 체계적인 산학 협동연구기반 마련
- 드라이버 클럽의 다양한 기술 접촉
- 기타 우드(Wood)클럽 설계 생산에 활용
- Iron 골프클럽 개발에 활용
- 세계의 독보적인 골프클럽메이커로의 발돋움할 수 있는 기반 마련

제 2 장 유한요소모델링

골프 클럽의 드라이버 헤드는 정확한 도면이 없거나 특정 부위에 대한 치수만이 있을 뿐이다. 이러한 경우 실측도구를 이용하여 형상을 구성하는 선, 면 자료를 구하는데, 실측과정에서나 조합하는 과정에서 오차가 발생하게 된다. 본 연구에서는 오차를 최소화하기 위해 3차원 측정기를 이용하여 헤드의 형상을 점(point) 자료로 얻고 필요한 부분의 정리를 통해 선과 면으로 구성한다.

2.1 3차원 측정

드라이버 헤드의 형상은 3차원 레이저 디지털라이저(3-Dimension Laser Digitizer)를 사용하여 얻는다. 시험 제작된 헤드를 3차원 측정기를 통해 외형설계를 하고 페이스의 두께를 결정한 후 질량분포를 고려하여 각 부분의 두께를 결정하게 된다. 이런 과정으로 개념 설계된 헤드에 대해 해석과 실험을 통한 동특성과 구조적 안정성, 충격에 대한 안정성 등을 확인한다.

샤프트(Shaft)는 두께와 길이의 치수를 알고 있으므로 별도로 설계한 후 헤드의 형상이 구성되면 접합하여 드라이버의 전체형상을 얻게 된다. Fig. 2.1은 3차원 측정기를 통해 얻은 점으로 구성된 헤드의 형상이다.

2.2 형상설계 및 요소생성

앞에서 얻은 점데이터를 이용하여 면으로 구성하면 Fig. 2.2와 같다. Fig. 2.3은 샤프트의 형상을 보여 준다. 면으로 구성된 헤드와 샤프트는 분할된 형상을 이루고 있다. 이것은 요소(Element)로

구성하기에 적합하도록 이산화하였기 때문이다.

Fig. 2.4와 Fig. 2.5는 유한요소법에 적용하기 위해 요소로 구성된 헤드와 드라이버의 형상이며, Fig. 2.6은 헤드와 샤프트를 접합하여 전체 드라이버를 구성한 것이다.

각 요소는 4절점 평면 요소이며, 해석에서 적절한 두께를 지정하게 된다. 각 부분의 두께는 헤드의 윗부분이 1.5mm이고 아랫부분이 2.0mm 그리고 샤프트가 1.5mm이다. 그런데 적절한 페이스의 두께를 결정하기 위해 1.8, 2.0, 2.2mm의 3가지 값으로 나누어 해석하고 유리한 것을 선택하게 된다. 또한 가스충진의 안정성 및 성능을 평가하기 위하여 내압이 없을때와 7, 10기압일 경우로 나누어 해석하였다.

제 3 장 구조해석

본 장에서는 헤드에 대한 정적 해석을 통해 구조적 취약부위를 예측하고 구조적 안정성을 확인 하겠다. 구조해석을 간단히 말해 헤드를 단단한 평판위에 놓고 페이스의 특정부위에 압력을 가하는 것이라고 말할 수 있다. 헤드의 경우 페이스와 HOSEL이 용접에 의해 접합되는데, 타격시 발생하는 하중에 의해 용접부위에 크랙이 생겨 헤드의 성능저하나 수명단축의 원인이 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 HOSEL의 형상과 페이스의 두께를 변화하여 하중에 의해 발생하는 응력(Stress)과 변형률(Strain)을 효과적으로 분산하여야 한다. HOSEL의 형상변화에 따른 안정성을 비교하기 위해 두 가지 HOSEL 형상에 대해 해석한다. 형상-1과 형상-2로 명명하며 형상 차이는 Fig. 3.1과 Fig. 3.2의 HOSEL 밑부분을 확대한 그림에서 알 수 있다. Fig. 3.1은 3차원 측정기를 통해 얻은 형상이고, Fig. 3.2는 임의로 변형한 형상이다.

3.1 구조해석 경계조건

구조해석에서는 충격량으로부터 충격하중을 구하고 유효타면에 가해지는 압력을 구하여 적용한다. 식(3.1)에서 주어지는 값은 Table 3.1에 정리한 것과 같이 공의 초기속도, 질량, 충격시간 및 충격면적인데, 충격면은 유효타면(Sweet spot)으로 가정하였다.

$$I = F \times t = m \times v_i \quad (N \cdot s)$$

$$F = \frac{m \times v_i}{t}, \quad P = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

여기서, I는 충격량, F는 충격하중, t는 충격시간, m은 공의 질량, v_i 는 공의 초기속도, 그리고 P는 면압이며 A는 유효타면의 면적이다. 이러한 계산식에 의해 면압을 구하면 $P = 14.3 \times 10^6 (N/m^2)$ 이다.

Table 3.1 초기속도, 질량, 시간 및 면적

	$v_i(m/s)$	$m(Kg)$	$t(sec)$	$A(m^2)$
value	45	45×10^{-3}	2×10^{-4}	7.1×10^{-4}

구속조건은 헤드의 뒷부분을 고정하는 것이고 내압을 가하지 않았을 때와 7, 10기압을 가한 3가지 경우에 대해 비교하였다. 각 해석에서 변하는 조건은 페이스의 두께이다. Fig. 3.3은 형상-1에 주어지는 경계조건을 나타낸 그림이다.

3.2 구조해석 결과

형상-1, 2에 대해서 내압이 없을 때와 내압이 각각 7, 10기압일 경우의 각 페이스 두께에 따른 총 18가지의 해석을 MARC를 사용하여 수행했다. 초기에 내압을 가하고 일정시간이 경과한 후 타구에 의한 하중을 가하는 형태로 해석이 진행되었는데 내압에 의해 발생하는 응력은 그 크기가 1~10MPa 이내로 내압에 의한 안정성은 충분히 좋은 것을 확인할 수 있었다. 이것은 아직 세계적으로 시도된 바가 없는 가스 충전식 드라이버의 개발이 충분히 가능하다는 것을 의미한다. 초기 내압이 걸려있는 상태에서 외압이 가해졌을 경우의 최대응력값과 페이스를 제외한 HOSEL부분의 최대응력값을 정리하면 Table3.2와 같다.

Table 3.2 클럽, 페이스, HOSEL의 최대응력값
최대응력값(MPa)

내압	두께	형상-1			형상-2		
		club	face	hosel	club	face	hosel
0기압	1.8	160.9	160.9	110.8	160.4	160.4	153.5
	2.0	130.8	130.8	107.9	148.2	130.3	148.2
	2.2	108.4	108.4	105.0	143.1	108.0	143.1
7기압	1.8	135.2	135.2	81.0	173.4	153.3	173.4
	2.0	108.9	108.9	77.9	170.1	124.3	170.1
	2.2	89.6	89.6	75.6	168.9	102.9	168.9
10기압	1.8	124.2	124.2	100.0	238.7	150.1	238.7
	2.0	99.6	99.6	99.0	238.3	121.5	238.3
	2.2	98.0	98.0	98.0	238.0	100.5	238.0

형상-1의 경우 내압이 7기압이고 페이스의 두께가 2.2mm일 때가 가장 유리했다. 그리고 형상-2의 경우 내압이 없고 페이스의 두께가 2.2mm일 때가 가장 유리했다. 특히 형상-1은 최대응력이 외력을 가하는 페이스의 유효타면에서 발생하였으나 형상-2의 경우는 HOSEL부분에서 발생된 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통해 HOSEL형상에 따라 충격시 헤드의 응력분포가 크게 달라짐을 알 수 있다.

응력값은 항복응력값의 30%미만으로 탄성영역 내에 있음도 확인할 수 있고 이것은 당연한 결과이다. 그러므로 구조해석에서 가장 중점을 두어 고려해야 할 것은 응력의 집중현상, 그것도 페이스와의 접합부에 대한 것이다. 형상-1의 경우 내압이

없는 경우가 접합부에서 응력이 집중하는 것을 확인할 수 있었고 내압이 있을 경우가 헤드의 뒷부분까지 응력이 넓게 분산되어 분포되는 것을 확인할 수 있다. 페이스를 제외한 HOSEL부분에 대해서도 7기압이고 페이스의 두께가 2.2mm일 때가 가장 유리했다.

제 4 장 충격해석

Dyna-3D를 이용한 충격해석은 Fig. 4.1과 같은 초기상태에서 공에 속도(45%)를 주어 드라이버와 충돌하도록 조건을 주고 반발되어 나올 동안의 해석을 진행하여 반발속도, 에너지 변화량, 헤드의 거동을 예측하기 위해 수행되었다. 충격해석에서 나온 결과를 이용하여 페이스의 두께와 내압의 변화에 따른 공의 반발속도를 예측하고 더 나은 성능의 드라이버를 개발한다. 클럽의 성능을 반발되는 골프공의 속도로 비교해 보는 것이다.

충격해석도 형상-1과 형상-2에 대해 구조해석과 같은 조건에서 해석을 수행하였고 결과를 비교하였다.

4.1 충격해석 경계조건

Dyna-3D 프로그램을 이용하는 충격해석은 구조해석과는 달리 공에 초기속도와 클럽의 손잡이 부분을 고정시키면 경계조건이 만족된다. 또한 충격해석용 Dyna-3D 프로그램은 MARC와는 달리 Explicit code로 충격해석에서 우수한 결과를 얻을 수 있다.

4.2 충격해석 결과

충격해석도 구조해석과 같이 18가지의 조건으로 나누어 해석을 수행하였다. 해석을 통해 얻어지는 결과는 각 조건에 따른 반발되어 나오는 공의 운동에너지 크기로 그 성능을 비교하였다. 운동에너지는 속도의 자승에 비례하므로 동일한 질량을 가진 물체의 충격에 대해 에너지를 비교하여 성능을 예측할 수 있다. 각 경우의 운동에너지는 Table 4.1과 같다.

Table 4.1 충격후 반발되는 운동에너지

내압	두께	운동에너지(N·m)	
		형상-1	형상-2
0기압	1.8	4.6	5.3
	2.0	4.4	5.0
	2.2	5.1	5.6
7기압	1.8	5.3	5.3
	2.0	5.2	5.0
	2.2	5.9	5.6
10기압	1.8	5.3	5.3
	2.0	5.2	5.0
	2.2	5.9	5.7

각 값들을 비교해보면 기압에 따라 두께가 2.2mm의 클럽이 가장 큰 운동에너지를 가진며, 형상-1의 경우는 내압이 7, 10기압일 때가 우수하며 형상-2의 경우는 10기압일 때가 우수하다. 공통적으로 페이스의 두께가 2.0mm일 때 운동에너지 값이 가장 작은 것을 확인할 수 있다.

제 5 장 결론 및 고찰

구조해석의 결과를 통해 가스충진식 드라이버의 특징은 다음과 같다는 결론을 얻을 수 있다.

▶구조 해석◀

- 내압에 의한 클럽의 안정성은 충분히 우수한 것으로 확인할 수 있다.
- 형상기억합금을 적용하여도 주어진 두께에서 충분히 탄성영역내에 있음을 확인할 수 있다.
- 형상의 미소한 변화도 해석결과에 큰 영향을 미친다.
- 내압이 있을 경우 페이스와 hosel의 용접부에 응력이 집중되는 현상을 방지하여 더 좋은 안정성을 유지할 수 있다.
- 형상-1은 페이스에 최대응력이 발생하고, 형상-2는 hosel에 발생한다.
- 형상-1의 경우, 7기압 2.2mm의 페이스 두께에서

가장 유리한 구조적 안정성을 가진다.

- 형상-2의 경우, 내압이 없고 2.2mm의 페이스 두께에서 가장 유리한 구조적 안정성을 가진다.

▶충격 해석◀

- 기존의 내압이 없는 클럽은 형상-2의 페이스 두께가 2.2mm일 때가 가장 유리하다.
- 내압이 있는 경우 형상-1이 형상-2보다 더 나은 성능을 나타낸다.

이상과 같은 결론으로부터 내압이 없는 경우는 형상-2의 페이스 두께 2.2mm가 가장 유리하고, 내압이 있는 경우는 형상-1의 7기압 2.2mm일때가 가장 유리하다. 또한 내압을 가하면 구조적으로도 더 큰 안정성을 유지할 수 있고, 충격에 의한 반발도도 커짐을 확인할 수 있다.

후기

본 연구에 협조해 주신 (주)하나산업과 정밀정형 및 금형가공 연구센터에 감사의 뜻을 표합니다.

제 6 장 참고문헌

- (1) A. J. Cochran and M. R. Farrally, 1994, "SCIENCE AND GOLF II."
- (2) Charles T. Lynch, "Handbook of Materials Science."
- (3) William H. Cubberly, 1986, "Metals handbook Ninth Edition."



Fig. 2.1 점 데이터

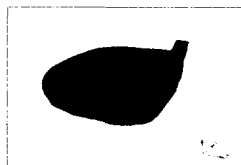


Fig. 2.2 헤드의 면 데이터

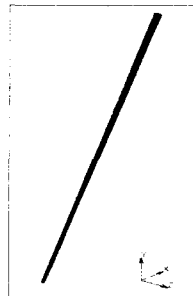


Fig. 2.3 샤프트의 면 데이터



Fig. 2.4 헤드의 요소분할 형상

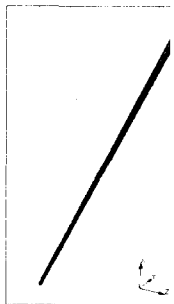


Fig. 2.5 샤프트의 요소분할 형상

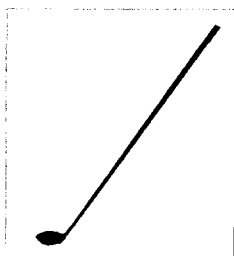


Fig. 2.6 드라이버 전체 형상

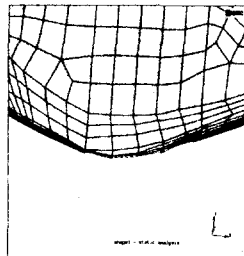


Fig. 3.1 형상-1의 HOSEL 밑부분

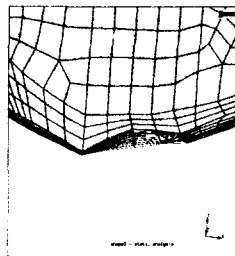


Fig. 3.2 형상-2의 HOSEL 밑부분

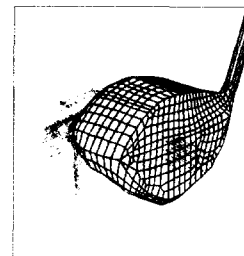


Fig. 3.3 경계조건

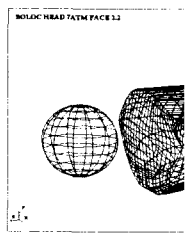


Fig. 4.1 충격 모델링 형상