

기술자료

골프클럽 헤드의 제조 및 소재

석명진[†] · 김영도^{*} · 권영순^{**}

Fabrication of Golf Club Head and Materials

Myung-Jin Suk[†], Young Do Kim^{*} and Young-Soon Kwon^{**}

1. 서 론

골프 인구의 폭발적 증가와 더불어 골프용품에 대한 관심도 증대되고 있으며, 특히 골프클럽에 대해서는 스코어를 줄이기 위한 노력과 맞물려 그 성능과 역할에 지대한 관심이 집중되고 있다. 골프클럽은 매년 새로운 디자인의 신제품이 출시되고 있으며, 헤드(head) 소재의 측면에서도 우수하고 새로운 것을 채택하고자 하는 시도가 지속적으로 이루어지고 있다. 시장에 출시된 수많은 골프클럽 중에서 어떤 소재의 제품을 선택해야 할지, 그리고 제품의 특색을 설명하는 용어들이 어떠한 의미를 가지고 있는지, 제조 방법을 달리하여, 즉 단조 혹은 주조에 의해 제조된 클럽의 성능은 그 제조 방법과 어떠한 관계가 있는지에 대한 고민을 골퍼라면 누구나 한번씩 해 본 경험이 있을 것이다. 필자 역시 그러한 고민들로부터 자유로울 수 없었기에, 주말골퍼(월간골퍼가 더 적절할 것 같다.)의 한 사람으로서 그리고 금속공학의 전공자로서 골프클럽 헤드의 소재에 대하여 많은 관심을 가져왔다. 본 고에서는 최근 출간된 자료들을[1-7] 바탕으로 시중에 출시되고 있는 다양한 골프클럽들의 헤드 소재의 종류 및 제조에 관하여 리뷰하고자 한다.

일반적으로 금속 소재를 성형하는 방법으로는 단조, 주조 그리고 분말야금법을 들 수 있다. 골프클럽의 경우는 그 크기와 형태상 분말야금법을 적용하는 것은 적절치 않고-간혹 아이언(iron) 헤드의 삽입재로서 분

말야금 제품이 사용되기도 한다[8]- 단조와 주조공정에 의해 제조된다. 이때 사용되는 소재도 공정에 따라 달리 선택된다. 아이언의 경우 주로 단조클럽에는 AISI-SAE 1030 탄소강¹⁾이나 8620 저합금강을, 주조클럽에는 17-4PH 스테인레스강(stainless steel)²⁾이나 431 스테인레스강³⁾이 사용된다. 물론 최근에는 티타늄(titanium)합금⁴⁾소재의 주조 및 단조 아이언이 등장하기도 하였다. 본 고에 등장하는 여러 합금들의 조성과 골프 클럽의 소재로 사용되는 각종 합금의 로크웰(Rockwell)경도값을 표 1에 정리하였다.

흔히, “단조클럽에서는 주조클럽에서 느낄 수 없는 중후하고 소프트한 타구감을 느낄 수 있다”라는 이야기를 듣는다. 요즘은 TV 홈쇼핑에서도 골프클럽을 판매하는 경우를 자주 보는데, 쇼핑 호스트나 판매 촉진을 위해 출연한 메이커측 출연자 혹은 제품 해설을 도와주는 프로들로부터도 이 같은 이야기를 종종 듣게 된다. 이에 덧붙여 단조클럽은 주조클럽에 비하여 고급품으로 인식되고, 성능 역시 우월한 것으로 평가되는 경향이 있으며, 가격도 높게 산정 되기도 한다. 전자의 소프트한 타구감에 대하여 서둘러 결론을 내리면, 실상은 그렇게 느낄 수 없다는 것이다. 아무리 훌

- 1) plain steel(보통강) 혹은 mild steel(연강)로 불리기도 하지만 골프클럽 업계에서는 연철이란 용어를 주로 사용한다.
- 2) 석출경화형
- 3) 마르텐사이트(martensite)계
- 4) 6-4 티타늄(α - β 티타늄) 혹은 β 티타늄

삼척대학교 재료금속공학과(Dept. of Materials and Metallurgical Engineering, Samcheok National University)
^{*}한양대학교 신소재공학부(Division of Advanced Materials, Hanyang University)
^{**}울산대학교 지역협력연구센터, 첨단소재공학부(ReMM and School of Materials Science and Engineering, University of Ulsan)
[†]E-mail : panpani@samcheok.ac.kr

표 1. 주요 골프클럽 헤드 소재의 로크웰 경도값 [1] 과 조성 [9,10]

Material	Hardness	Primary Use	Composition(wt%)
Aluminum	B50-60 Softest	Woods, Putters	
Carbon Steel	B60-70	Irons, Putters	1030: (0.28-0.34)C+(0.6-0.9)Mn 8620: (0.18-0.23)C+(0.7-0.9)Mn+(0.15-0.35)Si+ (0.4-0.7)Ni +(0.4-0.6)Cr+(0.15-0.25)Mo
304 Stainless	B75	Irons only	Austenite: 0.08C+(18-20)Cr+(8-10.5)Ni+2Mn+1Si
Beryllium Copper	B70-80	Irons, Putters	C17000: (1.6-1.79)Be C82400: (1.6-1.85)Be+(0.2-0.65)(Co+Ni)
431 Stainless	C18-25	Irons, Putters	Martensite: 0.2C+(15-17)Cr+(1.25-2.5)Ni
Pure Titanium	C24-28	Woods	
6-4 Titanium	C32-36	Woods, Faces	α - β Titanium: 6Al+4V
17-4 Stainless	C34-38	Woods, Irons, Putters	Precipitation Hardening: 0.07C+(15.5-17.5)Cr+(3-5)Ni+1Mn +1Si+(3-5)Cu+(0.15-0.45)Nb
450 Stainless (Supersteel)	C36-40	Woods, Irons	Precipitation Hardening: (14-16)Cr+(5-7)Ni+(1.25-1.75)Cu+ (0.5-1)Mo
15-5 Stainless	C36-44	Woods	Precipitation Hardening: 0.07C+(14-15.5)Cr+(3.5-5.5)Ni+1Mn +1Si+(2.5-4.5)Cu+(0.15-0.45)Nb
β -Titanium	C40	Woods	13V+11Cr+3Al, 15V+3Cr+3Al+3Sn, 8Mo+8V+2Fe+3Al 외
Maraging Steel	C45-55 Hardest	Woods, Faces	18Ni(Cast): 17Ni+4.6Mo+10Co+0.3Ti

통한 플레이어라 할지라도 단조클럽과 주조클럽의 타구감의 차이를 인식하는 것은 불가능하다. 이는 PGA 투어 프로들을 대상으로 한 테스트 결과에서도 드러난 바 있다. 전술한 바와 같이 단조클럽에 사용되는 소재는 일반 탄소강으로서 단조공정의 특성상, 주조클럽에 사용되는 것과 같은 고강도의 17-4PH 스테인레스강이나 431 스테인레스강 보다는 연한 재질을 사용한다. 그러나 이러한 정도의 차이는 로크웰경도계나 느낄 수 있는 정도이지 인간의 감각으로 인지하는 것은 불가능에 가깝다. 단지, 클럽에 따라 디자인이 상이하고 그로 인한 클럽 고유의 타구감의 차이를 인지하는 것일 뿐이지, 소재와 제조공정의 차이를 골프공을 타격함에 의하여 음미할 수는 없는 것이다. 두 번째로 언급했던 사항, 즉 단조클럽이 주조 클럽에 비하여 고급품으로 간주되고 가격 역시 높게 산정 되기도 한다는 점에는 그 만한 이유가 있다. 단조공정은 금형 투자비가 높게 계상되고, 공정의 특성상 단조 자체만으로는 최종형상에 가까운 형태(near net shape)를 얻기가 어려워, 여러 단계의 후처리 공정을 거쳐야 한다. 일반 기계부품이나 자동차 부품에 사용되는 단조품과는 달리, 골프클럽의 경우에는 완벽한 최종형태와 치수를 확보하기 위한 후처리 공정에 숙련된 기능인력에 의한 수작업이 투입되어야 한다. 그리고 최종단계로서 부식 방지와 수

려한 미관을 위하여 크롬(Cr) 도금을 실시하게 된다. 반면, 주조공정은 정밀주조공정(lost wax process, investment casting)이 사용되는데, 냉각 후 바로 거의 최종형상을 얻을 수 있어 후처리 공정은 간단한 기계적 연마작업으로 끝나게 된다. 따라서 골프클럽 제조를 위한 단조공정은 주조공정에 비하여 생산 단가가 상승하게 되며, 후처리 공정에 숙련된 수작업이 이루어져야 한다는 사실에 고급품의 이미지를 지니게 된 것이다. 수작업이 잘못 될 경우, 이는 역으로 제품마다의 재현성에 문제를 지닐 수도 있음을 의미한다.

일반적으로 단조공정과 주조공정은 서로 경쟁적인 관계에서 발전해 왔다[11]. 제품의 형상에 따라서, 혹은 사용되는 목적에 따라서 이 두 공정 중 어느 한 공정만을 사용해야 하는 경우도 있다. 부피가 크고 형상이 복잡한 경우, 주조공정이 선호되고, 이방적 기계적 특성이 요구되는 경우에는 단조공정이 유리하다. 그리고 간과할 수 없는 인자는 바로 생산량인데 생산량이 많으면 많을수록 단조공정의 효율성이 더욱 두드러지게 된다. 골프클럽의 경우는 두 공정이 공존하는 상황인데, 지금까지 기술한 바와 같이 공정의 차이에 따르는 성능의 차이는 생각할 수 없고, 단지 클럽의 디자인이나 경제성, 생산의 효율성 등에 따라 어느 한 공정이 채택되는 것이다.

2. 우드(wood)

그림 1에서 초창기로부터 현재의 모습에 이르기까지 우드 형태의 변화를 볼 수 있다. 1982년도에 Taylor Made사에서 스테인레스강의 중공(hollow)구조의 우드가 소개되기 전까지는 문자 그대로 우드의 재료로서 감나무(persimmon)나 단풍나무(maple)가 사용되었다. 표 2는 연대별로 골프클럽 헤드의 소재 채택 상황을 보여주는 도표이다. 1994년에 티타늄합금 소재의 드라이버가 소개된 이래 현재는 대부분의 드라이버에 티타늄 합금이 사용되고 있다. 그림 2에 PGA 평균 드라이버 비거리의 연도별 데이터가 도시되어 있는데 1994년 이후에 비거리가 비약적으로 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 가벼운 티타늄합금 소재를 채택함으

로써 헤드의 용적을 크게하고 샤프트의 길이를 길게 함으로써 비거리의 향상을 초래하였음에 기인한다. 헤드 무게를 200g으로 일정하게 할 경우, 티타늄합금 소재를 사용하면 용적을 300cc로 할 수 있으나, 스테인레스강을 사용할 경우 190cc 밖에는 얻을 수 없다[4]. 또한 헤드 용적의 증가는 무게중심을 헤드 주변으로 분산시킴으로써 유효타구면(sweet spot)이 넓어지게 되어 방향성이 향상되는 부수적인 장점도 제공해 준다. 결과적으로 티타늄합금 소재의 채택은 클럽헤드 속도의 향상에 의한 비거리 증가, 헤드 주변으로의 무게분산에 의한 헤드의 관성모멘트 증가, 이로 인한 방향성 향상 등의 매우 고무적인 결과를 제공해 준다.

그림 3에 우드의 구조를 도시하였다. 어드레스 자세에서 내려다보이는 둥근 윗면을 크라운(crown), 지면에



그림 1. 우드의 변천 모습. 좌로부터 1750년경, 1840년경, 1891년, 1949년, 1997년 [12]

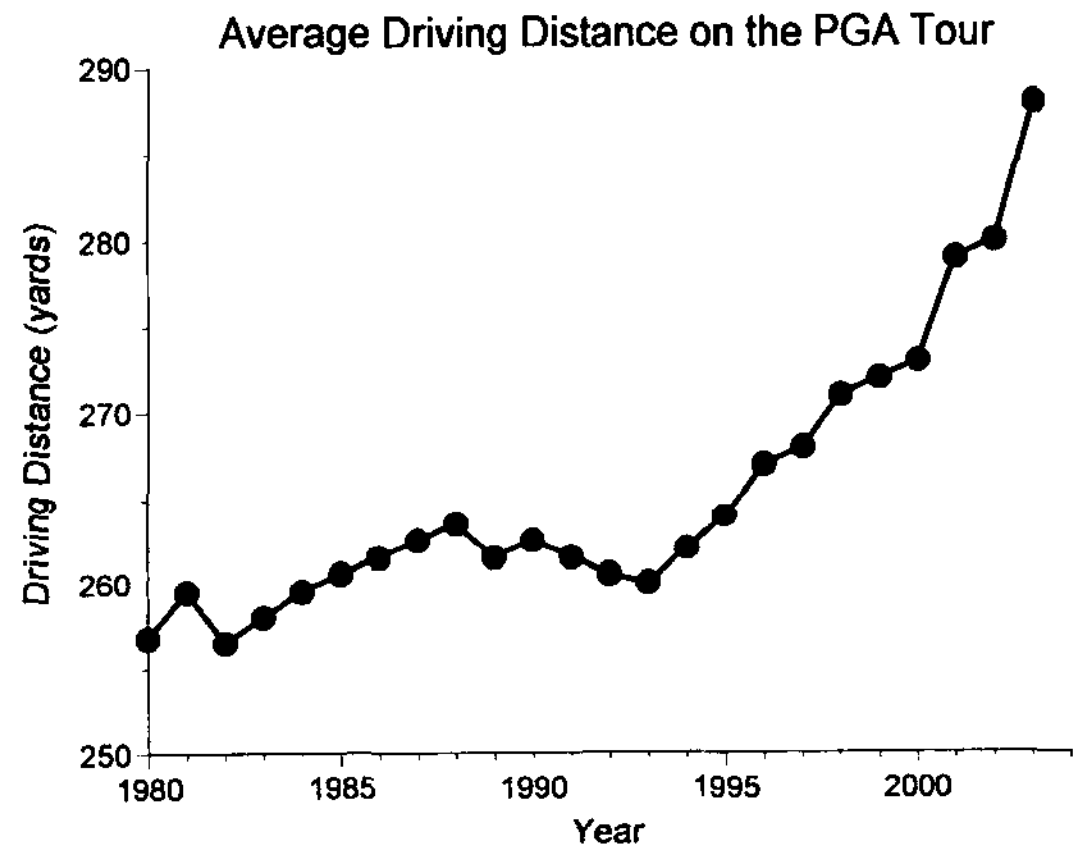
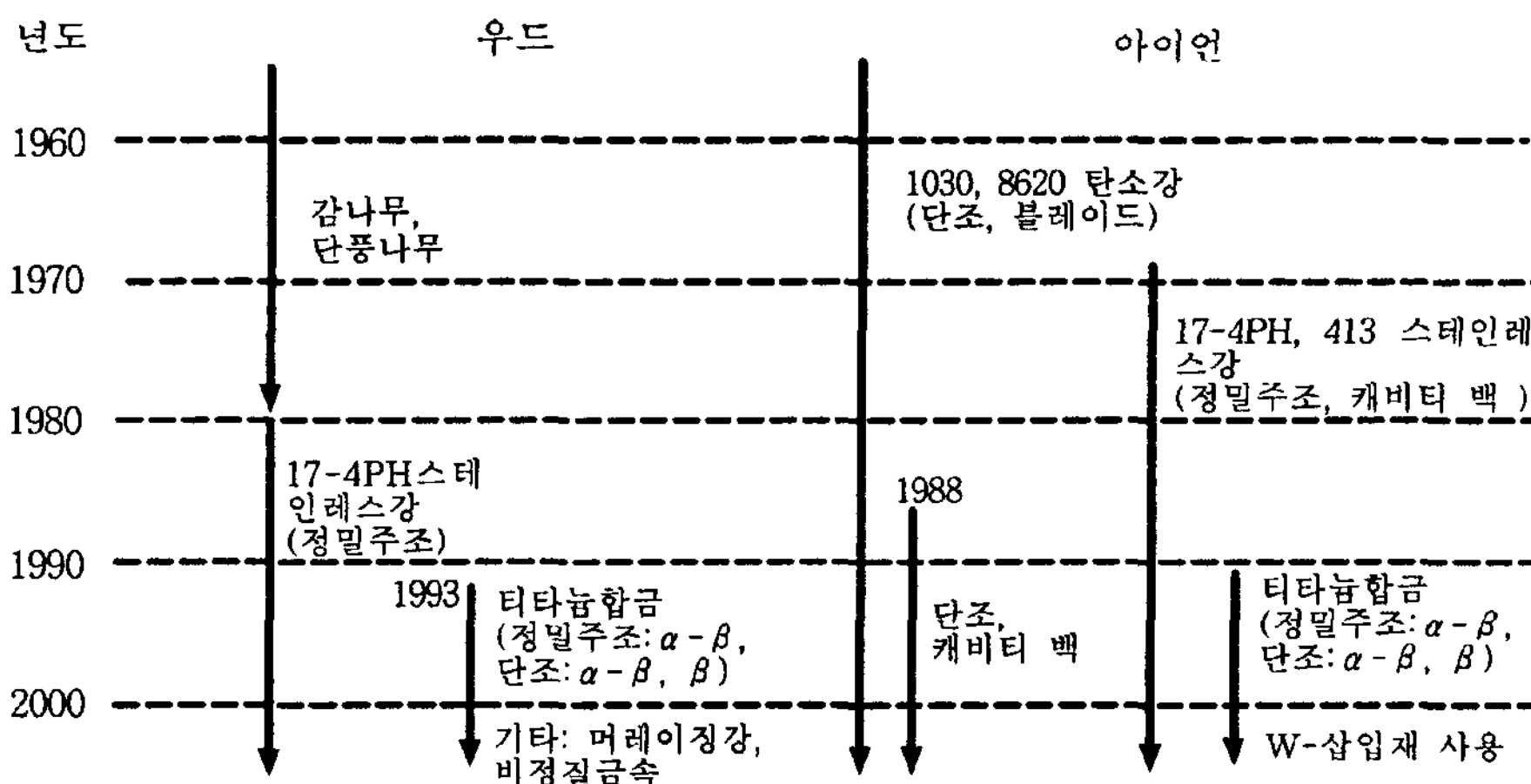


그림 2. PGA 투어 선수들의 평균 드라이버 비거리[13,19]

표 2. 연대별 클럽헤드 소재 및 제조공정의 채택 상황



닿는 부분을 솔(sole), 솔과 크라운 사이의 경계면을 백 페이스(back face), 타구면을 페이스(face), 샤프트와의 연결부분을 호즐(hosel)이라 한다. 그림 4에 단조 우드의 제작과정을 도식적으로 나타냈다. 단조 티타늄 우드는 통상 3-4개의 부분으로 별도로 단조되어(그림 5) 용접에 의해 일체가 된다. 그다지 큰 강도가 필요치 않는 몸체(크라운, 백 페이스)와 솔은 순 티타늄으로 제조되고, 페이스와 호즐 부분은 보다 높은 강도의 6-4

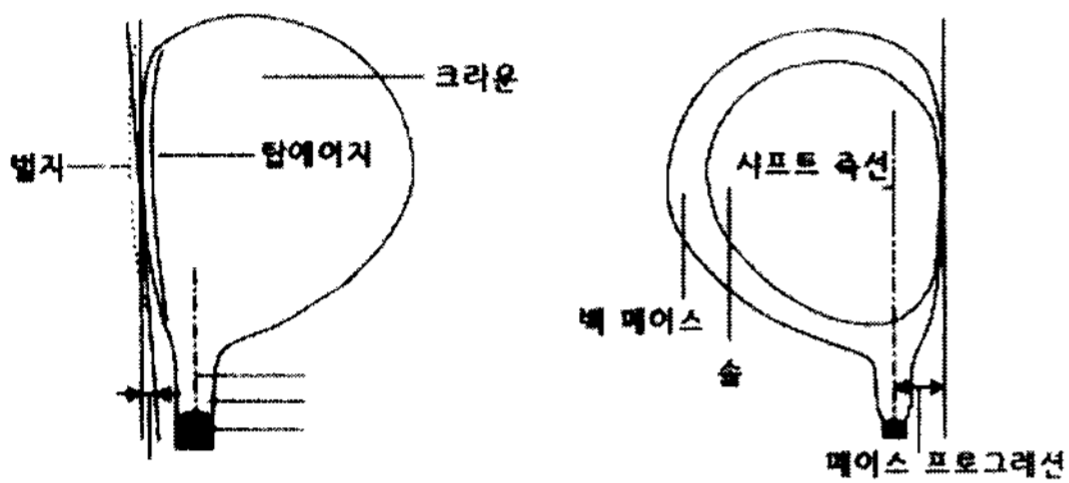


그림 3. 우드의 구조 및 명칭[2].

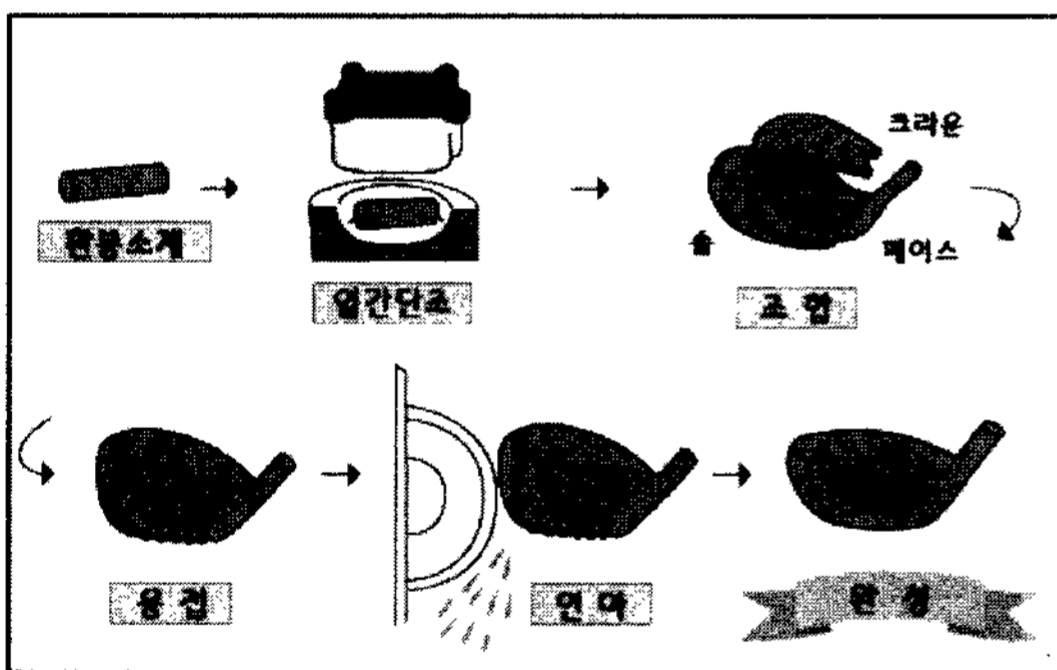


그림 4. 단조 우드 제작공정의 도식적 그림[2].

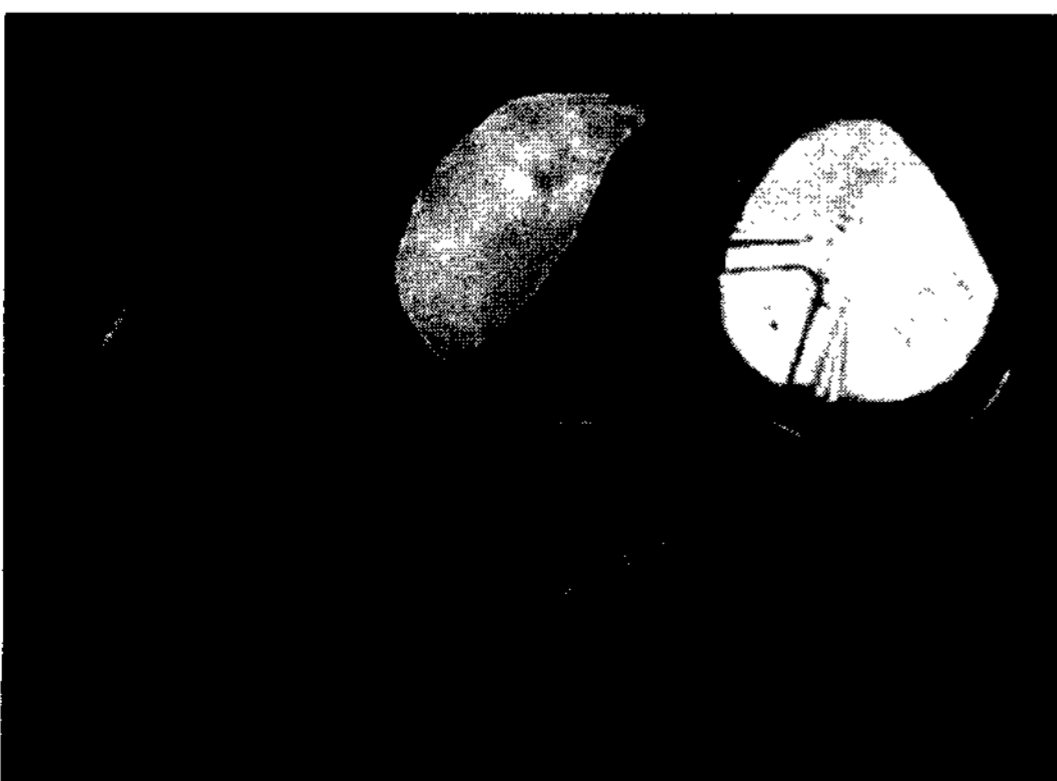


그림 5. 별도로 단조된 우드의 구성품[1].

티타늄(α - β 티타늄)이 사용된다. 현재 드라이버 소재로 각광 받고있는 티타늄 합금에 대해서는 4절에서 별도로 기술하기로 한다.

티타늄합금 우드를 제조하는 가장 보편적인 방법은 정밀주조공정으로 항공기 터빈 블레이드의 제조를 비롯하여 정밀한 형상이 요구되는 부분에 널리 사용되는 방법이다. 현재 제조되고 있는 골프 클럽의 90% 이상이 정밀주조공정에 의해 제조되고 있다. 그림 6은 정밀주조공정의 개략도를 나타낸 것이다. 티타늄합금의 주조는 주지하는 바와 같이 진공 분위기에서 이루어진다. 그림 6의 도식적 그림에서는 정밀주조 주형 셀(shell)을 제조하는 일련의 공정, 즉 드라이버의 형태와 동일한 황동 마스터(brass master)의 제조, 마스터를 사용한 왁스모형(wax pattern) 주형의 제작, 왁스 모형의 제조 및 세라믹 코팅, 가열에 의한 왁스의 제거 등의 공정이 생략되어 있다. 정밀주조에 의해 제조되는 티타늄합금 우드의 소재는 오직 6-4 티타늄이 사용되고 있다. 요구되는 강도를 유지하기 위해 페이스 두께는 대략 3.8 mm 정도로 제조되는데, 정밀주조에 의해 1-1.2 mm까지도 가능하다. 정밀주조공정의 경우, 헤드의 몸체(페이스, 크라운, 백 페이스)는 일체로 주조되어[5] 별도로 주조된 솔 부분과 용접에 의해 접합된다. 그림 7은 정밀주조에 의해 제조된 헤드의 몸체 사진을 보여준다. 티타늄 합금 이외에 17-4PH 스테인레스강, 15-5PH 스테인레스강, 머레이징강(maraging steel) 등이 정밀주조에 의해 제조되는 우드의 소재로 사용되고

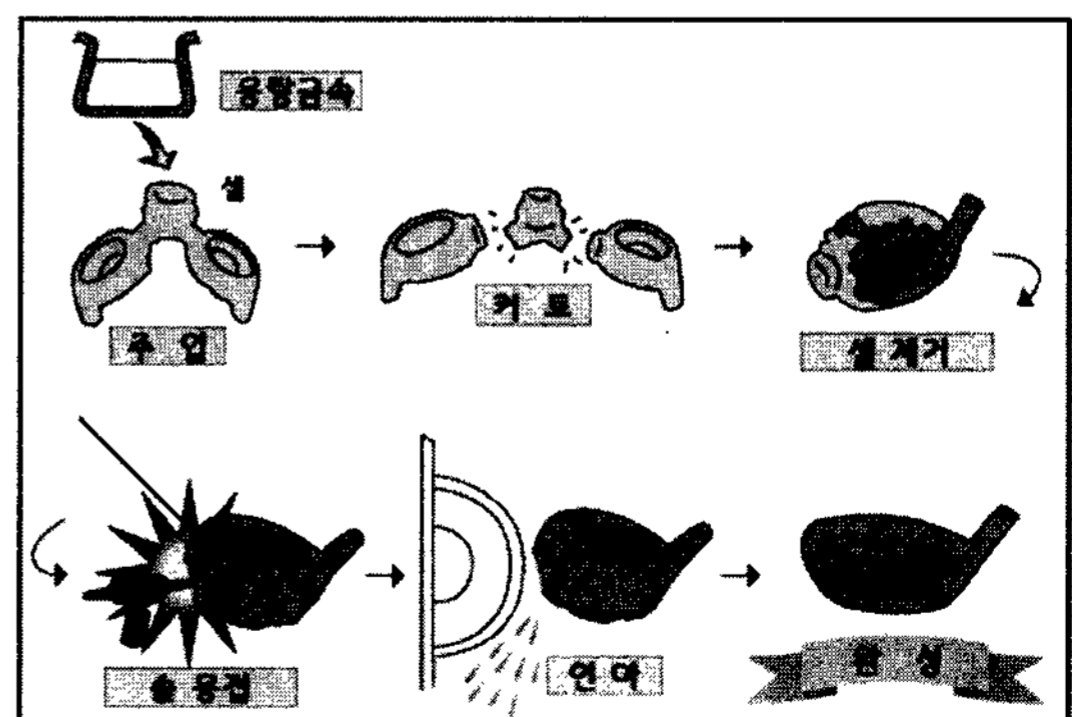


그림 6. 주조 우드 제작공정의 도식적 그림 (정밀주조 셀(shell)의 제작공정은 생략되어 있다.) [1]

5) 경우에 따라서 페이스는 별도로 제조되어 용접에 의해 몸체에 접합된다.

있다.

3. 아이언

1970년대 초반까지 아이언을 제작하는 유일한 공정은 단조공정이었다. 그림 8은 골프의 초창기부터 현재까지 아이언의 변천 모습을 보여준다. 그림 9는 아이언의 구조와 명칭을 나타낸다. 초기에는 대장장이의 작업에서와 마찬가지로 숙련된 기능에 의한 수작업이 많이 이루어 졌다. 1970년대 중반이후에는 정밀주조공정이 점차 보편화되었고 현재는 대다수의 골프클럽이 정밀주조공정에 의해 제조되고 있다. 아이언의 형태는 그림 10에서 보는 바와 같이 캐비티 백(cavity back) 형태와 머슬 백(muscle back)⁶⁾ 형태로 구분되는데 정밀주조공법이 적용되기 전의 단조 아이언은 모두 블레이드



그림 7. 정밀주조에 의해 제조된 우드의 몸체[1].

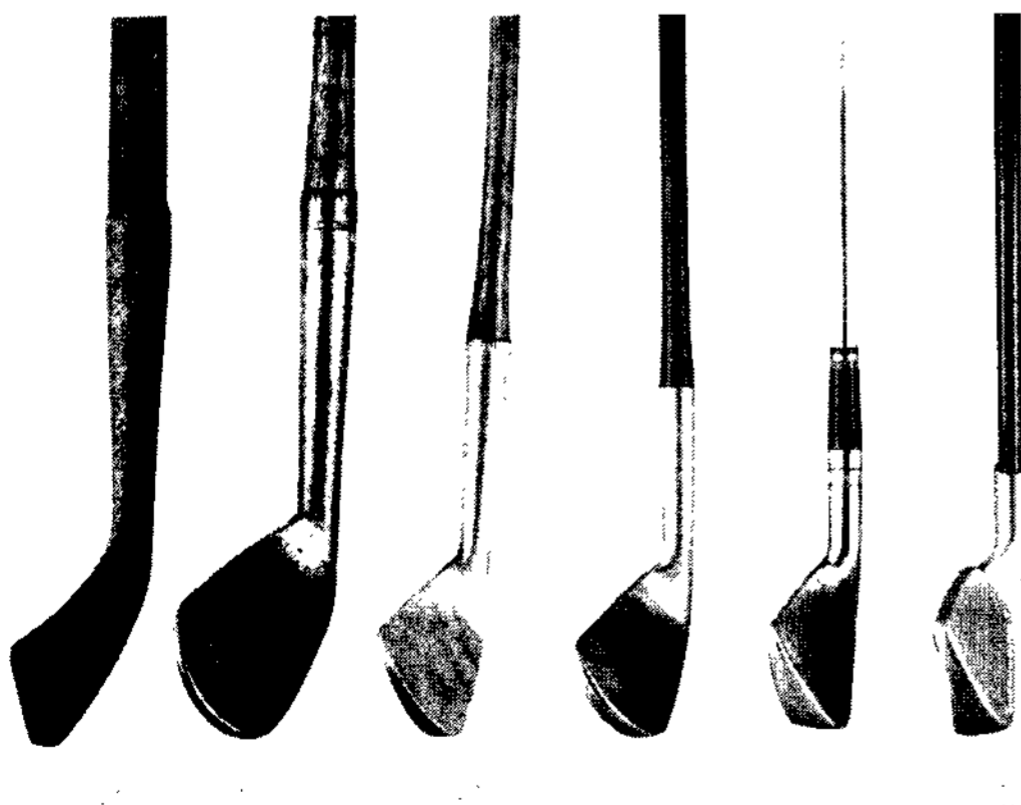


그림 8. 아이언의 변천 모습. 좌로부터 1600년대, 1800년경, 1900년경, 1930년경, 1965년, 2001년[12].

6) 블레이드 형태(blade type)라고도 함.

드 형태(blade type)였다. 선수급의 저 핸디캡 플레이어는 블레이드 형태의 아이언으로 볼을 인위적으로“가공(work)”할 수 있어 그린(green) 안착을 용이하게 할 수 있으나, 일반 골퍼들에게는 쉽지 않은 일이다. 그림 11은 블레이드 형태의 아이언과 캐비티 백 아이언의 그린 안착 능력을 보여주는 테스트 결과인데 캐비티 백의 경우가 더욱 일관된 방향성을 가지고 있음을 알 수 있다. 캐비티 백 디자인은 헤드의 무게를 주변으로

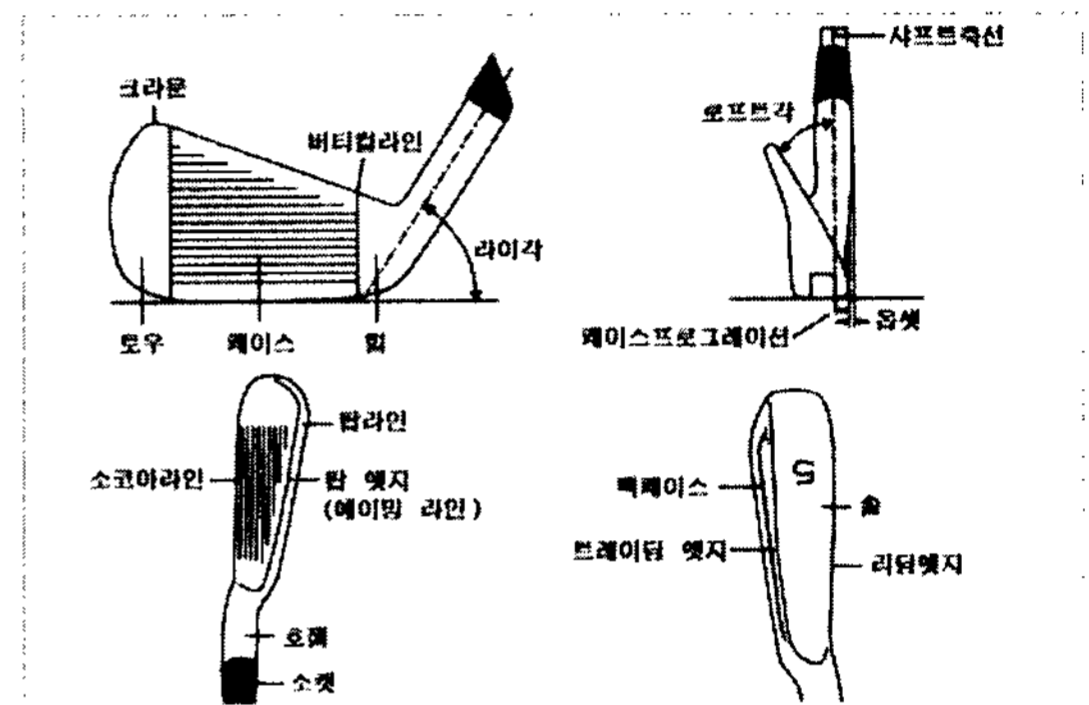


그림 9. 아이언의 구조 및 명칭[2].

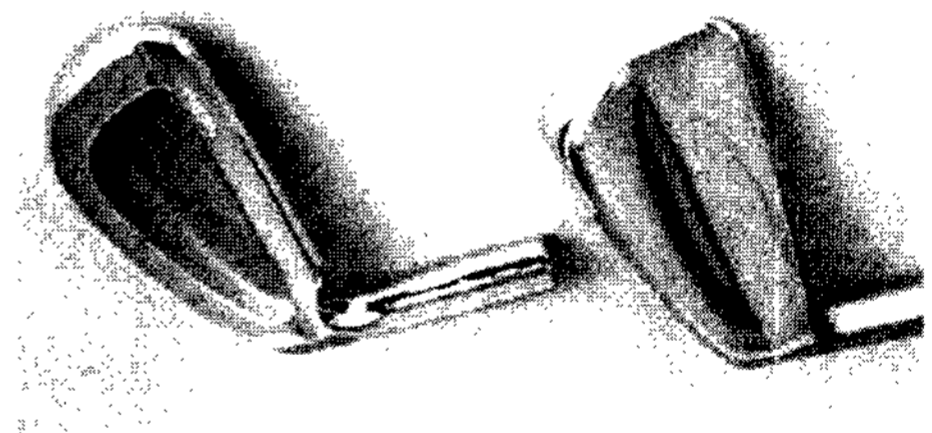


그림 10. 캐비티 백 디자인(좌)와 머슬 백 디자인(우)[1].

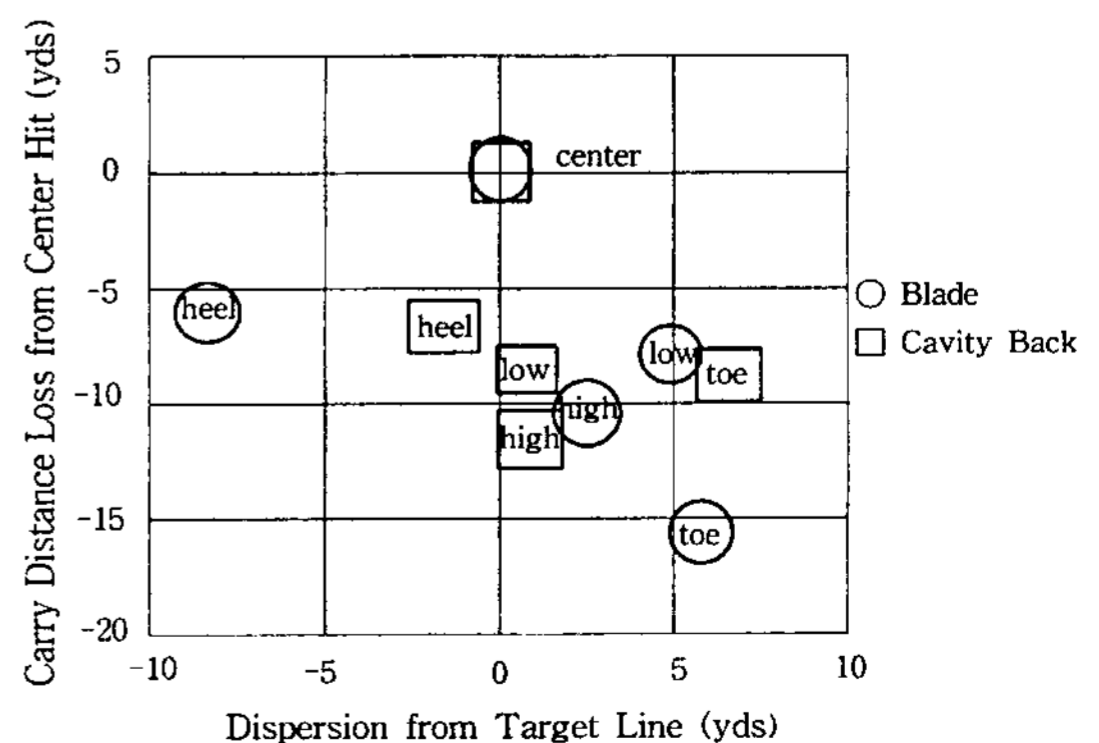


그림 11. 정타가 아닌 경우에서의 5번 아이언의 그린 적중도 테스트 결과[14].

분산시켜, 헤드의 관성 모멘트를 증가시키고 유효타구면을 넓게 하는 효과를 가져와 샷의 방향성을 증진시키게 된다. 정밀주조공정이 적용되면서 비로소 이러한 캐비티 백 디자인이 효율적으로 제조될 수 있었던 반면, 단조공정으로는 이 디자인을 구현하기 위해서 별도의 밀링(milling) 작업이 추가되어야 했기 때문에 단순한 블레이드 형태의 아이언만 제조될 수 있었다. 그러나 1988년에 이르러 단조 아이언도 캐비티 백 디자인을 선보이게 된다. 단조 아이언의 소재는 서론에서 언급한 바와 같이 연질의 탄소강(1030) 혹은 저합금강(8620)이 사용되며, 단조공정후 마무리 공정을 거친 후 크롬 도금을 한다. 주조 아이언의 소재는 17-4PH 스테인레스강이나 431 스테인레스강이 사용된다. 아이언의 경우에 있어서 티타늄합금 소재는 우드의 경우에서와는 달리 큰 성공담을 갖지 못했다. 티타늄합금 소재가 처음 적용되기 시작했을 때 몇몇 메이커에서 오버사이즈(oversize) 헤드의 추세에 맞춰 주조 혹은 단조 티타늄 아이언을 생산하였으나, 우드의 경우와 달리 아이언의 경우에 있어서는 러프(rough)나 좋지 않은 라이(lie)에서도 샷을 해야 하는데 오버사이즈로 인한 무게중심의 위치상승이 잔디를 파고 들어가는 데 문제를 야기시키게 되고 탄도도 낮게 되는 경향이 있었다. 이러한 문제점을 해결하고자 클럽 페이스의 면적을 약간 줄이고, 텅스텐(tungsten)과 같은 고밀도의 금속을 클럽 페이스의 하부에 삽입물로 보정하여 무게중심을 낮추도록 설계를 하였으나, 생산 단가의 상승은 피할 수 없다.

4. 티타늄 합금

티타늄합금은 우수한 내식성, 높은 비강도(강도/무게)를 지니고 있어 항공기 구조용 재료, 생체 재료등 고기능성 소재로 널리 사용되어 왔다. 일반적으로 상용되는 티타늄은 상(phase)의 구성에 따라 α 티타늄, α - β 티타늄, β 티타늄으로 대별되는데, 골프클럽 헤드용으로는 강도가 우수한 α - β 티타늄, β 티타늄이 사용된다. 골프클럽 헤드에 사용되는 티타늄합금 소재의 조성이 표 1에 나타나 있다. 6%Al-4%V를 함유한 티타늄이 6-4티타늄으로 불리고 있다. α 티타늄, α - β 티타늄, β 티타늄의 제 성질을 그림 12에 도시하였는데, α - β 티타늄(6-4티타늄)은 주조 및 단조가 모두 가능한 반면, β 티타늄의 경우에는 성형성이 양호하므로 단조공정에만 적용된다. 그림 13은 상태도를 나타내고 있

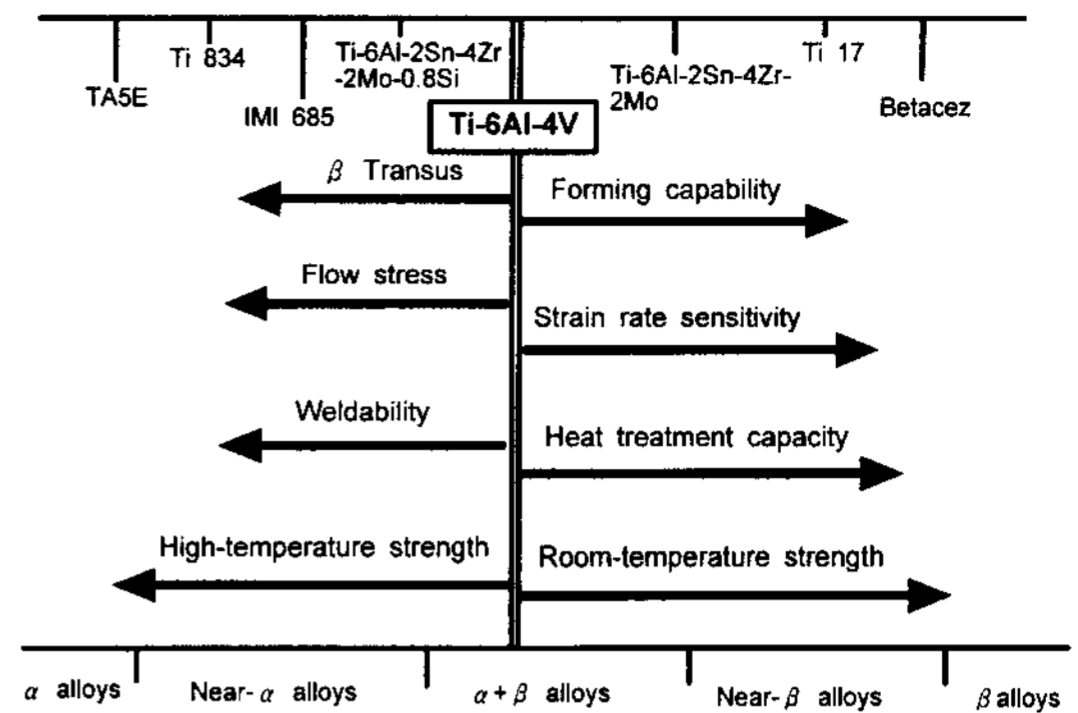


그림 12. 각종 티타늄 합금의 제반 특성[10].

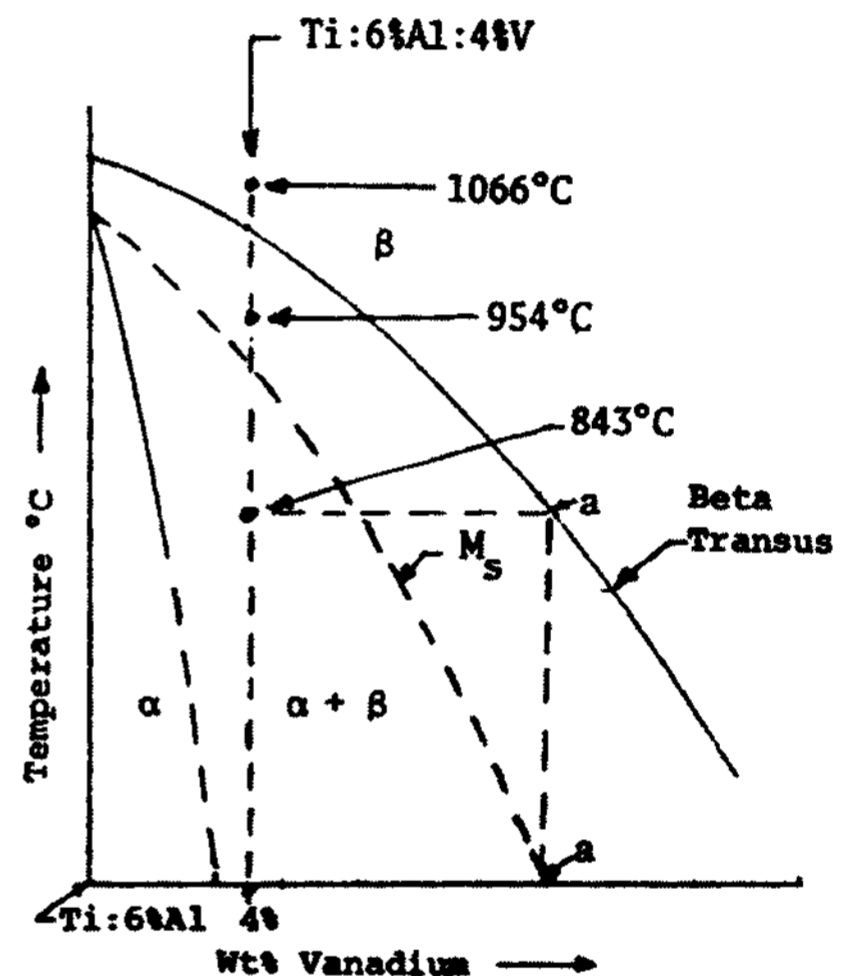


그림 13. Ti-6wt%Al 합금의 V 첨가에 대한 상태도 (Ms: 마르텐사이트 시작온도)[15].

는데, 공정의 열적 이력에 따라 나타나는 조직의 양상이 달라진다; 마르텐사이트상의 양과 존재 여부, α 상의 분포 및 형상(morphology)의 변화. α 상은 또한 냉각속도에 따라서 구형의 등축상이나 Widmanstätten조직을 보이기도 한다.

5. USGA 규정과 첨단소재의 적용

USGA(The United States Golf Association)⁷⁾의 변민은 골프장비의 기술이 행어나 플레이어의 숙련성을 지배하지나 않을까 하는 우려에서 출발한다. 골프 클

7) 미국골프협회: 북미 지역(멕시코 포함)의 골프 규칙을 관장함.

클럽과 관련해서는, 볼이 클럽헤드에 닿았을 때 과도한 스프링 효과(trampoline effect)가 일어나서는 안된다는 것을 분명히 하고 있다. USGA와는 대조적으로 R&A (The Royal and Ancient Golf Club of St Andrews)⁸⁾에서는 이러한 용수철 효과를 규제하는 규정이 존재하지 않는다⁹⁾. 클럽 헤드가 완전 탄성체가 아닌 한, 골프공이 클럽 헤드와 충돌하였을 때 되튀어 오르는 속도(반사속도)는 입사속도 보다 작게 된다. 반사속도의 입사속도에 대한 비율을 반발계수(COR: coefficient of restitution)로 표시하는데, 헤드 소재의 탄성계수와 강도가 증가할수록, 그리고 헤드의 두께가 얇을수록 반발계수, 즉 스프링 효과는 증가하게 된다[3]. 그림 14는 여러 재질의 반발계수 값을 도시한 것인데, USGA는 0.83 이하의 반발계수만을 허용하고 있다. 0.83의 수치는 특별한 물리적인 의미를 갖는 것은 아니며, 단지 반발계수의 규정이 제정될 당시에 대부분의 드라이버가 가졌던 값을 기준으로 한 것이었다. 따라서 이 규정은 소재의 개발을 끊임없이 시도하고 있는 골프클럽 제조 업체들의 USGA에 대한 신경전의 빌미를 제공하고 있다. 테스트 결과에 의하면 이 스프링 효과는 클럽 페이스 중심부의 아주 좁은 영역 내에 볼이 타격되었을 때에만 그 효과가 나타나며, 반발계수가 0.81인 드라이버와 0.845인 드라이버를 비교하였을 때 220야드의 비거리에서 1-2야드, 270야드의 비거리에서 약 4-6야드의 차이가 나타나는 것으로 보고되고 있다[16]. 물론 프로골퍼들의 경우에는 더 장타를 나타내므로 10야드 이상의 차이를 기대할 수도 있겠으나, 핸디캡이 0-22인 플레이어 40명에 대하여 조사한 결과는 비거리상의 차이가 전혀 나타나지 않았다.

1992년 1월 1일부터 USGA는 아이언이나 우드에 삽입재(insert)의 사용을 허용하였다. 현재 이러한 삽입재의 사용은 골프볼에 강력한 스핀을 주기 위해¹⁰⁾ 혹은 헤드의 무게를 헤드 주변으로 분산시키기 위해 웨지(wedge), 아이언, 우드에 보편적으로 이루어지고 있다.

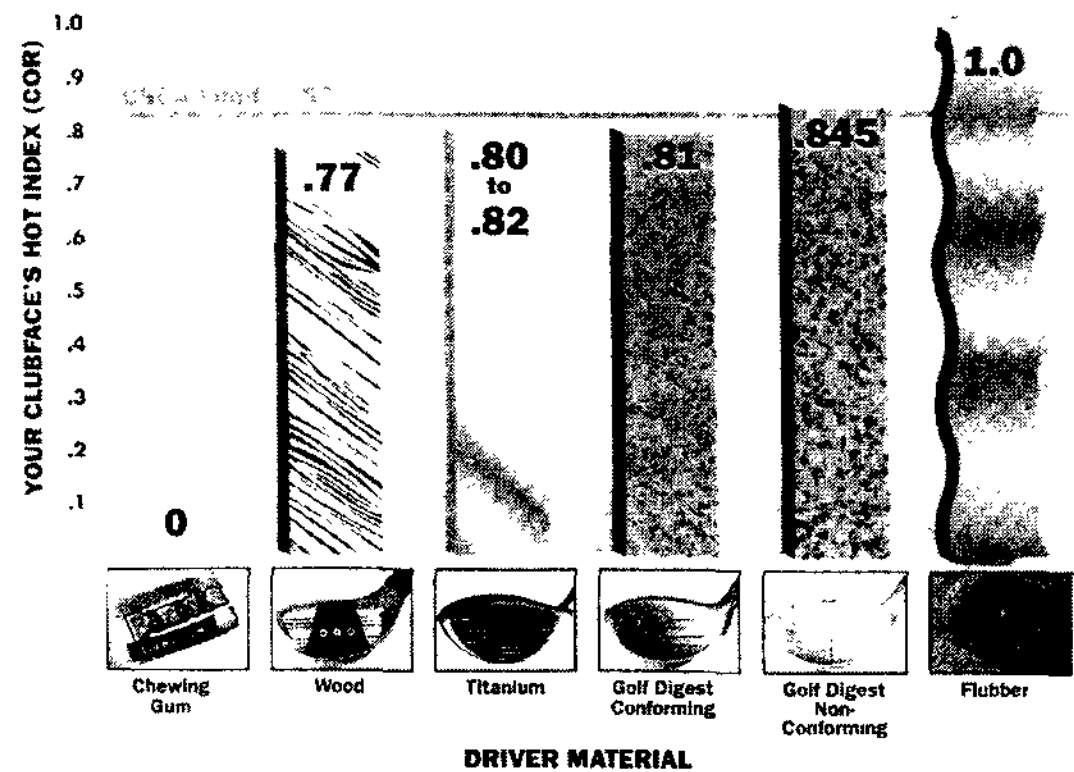


그림 14. 여러 소재의 반발계수(COR) 값 [16]

6. 결 어

단 몇 타라도 스코어를 줄이기 위하여, 더욱 더 만족스러운 게임을 위하여 골퍼들은 쏟아지는 새로운 장비들에 대한 유혹에서 쉽게 탈피하지 못하고 있다. 이러한 새로운 것의 소유에 대한 미련은 골프클럽 제조 업체들의 첨단소재, 새로운 디자인, 탁월한 성능을 표방하는 기술개발에 지속적인 구동력을 제공해 왔다. 과연, 골프클럽에 사용되는 소재의 첨단화와 좋은 성능을 보장하는 디자인의 개발이 스코어를 줄이는데 기여하였는가? USGA의 남성 골퍼들의 평균 핸디캡은 과거와 마찬가지로 16-17 정도로 유지되고 있다. 이 데이터를 근거로 판단하면 긍정적인 답을 얻기는 곤란할 듯 싶다. 드라이버 비거리는 티타늄 소재의 적용으로 확실히 큰 이득을 얻을 수 있었음을 확인할 수 있다¹¹⁾. 골프클럽의 첨단화는 부분적으로는 샷을 쉽게 하는데 분명 도움이 될 수 있으나, 스코어를 낮추는데 있어서는 기대만큼의 효과를 보이지 못하는 것이 사실이다. 필자가 일독했던 책 속에서 다음과 같은 글귀를 본적이 있다. “장비의 효과는 여기에서 조금, 저기에서 조금, 분명히 발견되기는 한다. 그러나 이 모든 것들이 합쳐져 크게되지는 않는다.” 역시 골프의 비밀과 묘미는 스

8) 영국골프협회: 복미를 제외한 전세계의 골프 규칙을 관장함.

9) 그러나 최근에는 R&A도 스프링효과의 규제, 드라이버 헤드 사이즈나 샤프트 길이의 제한 등과 관련하여 USGA와 공동보조를 취하겠다는 뜻을 밝힌 바 있다.

10) 롱(long) 아이언의 경우에는 자이로(gyroscope) 효과에 의해 방향성을 향상시키며, 웨지의 경우에는 백스핀을 통해 그런 공력을 용이하게 한다.

11) 드라이버 비거리는 PGA 투어프로의 경우 1993년 이후 평균 28 yard 증가하였으며(그림 2), 두자리수 핸디캐퍼의 경우에도 193 yard에서 205 yard로 12 yard가 증가하였다(Golf Digest, USGA, R&A의 조사결과[19]). 이 데이터를 통해 알 수 있는 또 한가지의 사실은 완벽한 스윙을 하는 경우에 장비의 이점을 최대한 활용할 수 있다는 것이다. 교과서적인 스윙의 대명사적인 어니 엘스(Ernst Els)의 경우, 1997년 이후 무려 48 yard나 증가하였다[19].

황에 있다. 그리고 스코어는 그린 주변에 숨겨져 있다. 어느 기고문에서 본 문구이다. "You drive for show, but you putt for dough."

참 고 문 헌

- [1] J. Jackson: www.swingweight.com/jeff_jackson.htm [accessed 26 April 2003].
- [2] Digital Golf: www.digitalgolf.co.kr/info/default.asp [accessed 26 April 2003].
- [3] C. S. Shira and F. H. Froes: *Materials and Science in Sports* (CD Format, Eds. F.H. Froes, S.J. Haake), TMS, Warrendale, 2001, p. 72.
- [4] C. S. Shira and F.H. Froes: *JOM*, 49 (1997), No. 5, 35.
- [5] F. H. Froes: *Light Metal Age*, 55 (1997), Feb., 40.
- [6] F. H. Froes: *JOM*, 51 (1999), No. 6, 18.
- [7] F. H. Froes: *JOM*, 49 (1997), No. 2, 15.
- [8] V. S. Maxon and F. H. Froes: *Intern. J. Powder Metall.*, 37 (2001), No. 3, 59.
- [9] *Metals Handbook*, 10th Ed., Vol. 1, ASM International, Matereials Park, 1990
- [10] *Metals Handbook*, 10th Ed., Vol. 2, ASM International, Matereials Park, 1990
- [11] M. Blair and R. Monroe: *Modern Casting*, (1995) No. 11, 58.
- [12] J. B. Ellis: *The Golf Club: 400Years of The Good, The Beautiful & The Creative*, Zephyr Productions Inc., 2003.
- [13] V. Klinkerborg: *Golf Digest*, (2000), Dec., 94.
- [14] A. Chou, P. Gilbert and T. Olavsky: *Golf The Scientific Way* (Ed. A. Cochran), Aston Publ., Hemel Hempstead, UK, 1995, p. 15.
- [15] W. F. Smith: *Structure and Properties of Engineering Alloys*, Mc. Graw-Hill, New York, 1981, p. 440.
- [16] A. Chou: *Golf Digest*, (1999), Dec., 96.
- [17] T. P. Jorgsen: *The Physics of Golf*, 2nd Ed., Springer-Verlag, New York, 1999.
- [18] KGA(Korea Golf Association): www.kgagolf.or.kr/press/press_index.htm [accessed 26 April 2003].
- [19] J. Diaz: *Golf Digest*, (2003) May.