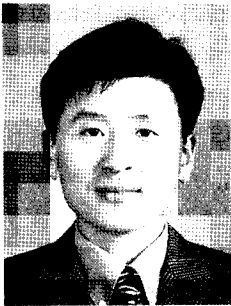


국내 타이타늄 산업 현황 및 전망



현 용 택

(KIMM 재료공정연구부)

- '89. 2 인하대학교 금속공학과(학사)
- '91. 2 인하대학교 대학원 금속공학과(석사)
- '91 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



이 용 태

(KIMM 재료공정연구부)

- '74 서울공대(학사)
- '76 한국과학기술원(석사)
- '76 - '80 국방과학연구소(선연 및 연구원)
- '85 Case Western Reserve Univ. 재료공학(박사)
- '85 - '90 독일 항공우주연구소(DLR) 연구원
- '90 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 머리말

타이타늄 및 타이타늄합금은 가볍고 견고하면서도 내식성이 양호하기 때문에 항공우주 산업, 석유화학장치 산업 등에 주로 이용되어 왔다. 산업의 발전과 더불어 생활수준의 향상으로 환경 및 스포츠·레저에 대한 관심이 높아지면서 타이타늄을 기존의 군수용이나 항공우주산업에서부터 민수용으로 활용하고자 각종 제품 개발이 활기를 띠고 있다. 그 예로 건축, 토목, 자동차 부품, 생체의료 부품, 그리고 약제사리에 이르기까지 다양한 용도로의 적용이 시도되고 있다.^[1-3] 최근에는 타이타늄 소재를 이용한 의료용 부품, 안경테, 손목시계, 골프 클럽 등을 우리 주위에서도 쉽게 찾아볼 수 있는데, 이는 타이타늄의 우수한 생체적합성과 더불어 경량·고강도 특성을 지니고 있기 때문이다.

현재까지 국내에서 사용되는 타이타늄 부품 및 소재는 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이고 그 사용량도 아직은 미미한 수준에 있다. 타이타늄 부품 개발을 위해서는 용해, 주조, 단조, 압연, 압출, 분말성형 및 표면처리 등의 공정기술이 필요한데, 용해와 주조기술을 제외하고는 일반적으로 철강소재를 가공하는 공정장비로 가공이 가능하다. 반면 타이타늄의 용해와 주조는 특수한 장비와 까다로운 기술이 요구되어 현재까지 일부 선진공업국가에서만 이러한 장비와 기술을 보유하고 있으며, 일부 핵심 기술에 대해서는 대외 유출을 기피하고 있는 실정이다. 아울러 구소련, 중국, 대만 등의 국가에서도 항공기용 정밀주조부품을 생산할 수 있을 정도로 많은

기술이 확보되어 있다.

이 글에서는 국내에서의 타이타늄 재료 사용 현황, 연도별 타이타늄 재료 수입 내역과 종류, 그리고 향후 타이타늄 재료의 수요 전망에 대하여 고찰하여 봄으로써, 국내 타이타늄 산업의 현 주소와 앞으로의 발전 가능성에 관하여 알아보 고자 하였다.

2. 타이타늄 재료의 국내 사용 현황

국내에서 사용되는 타이타늄은 전량 수입에 의 존하고 있는 실정으로, 최근 5년간 국내에 기초 소재 형태로 수입된 순수 타이타늄 및 타이타늄 합금의 양과 형태별 현황을 표 1에 나타내었다.

표 1. 국내의 타이타늄 소재 형태별 수입 현황⁽⁴⁾

(단위 : 톤)

연도	Wrought	Pipe & Tube	Sheet & Plate	기타	합계
'94년	1,796	349	747	110	3,002
'95년	1,799	218	836	135	2,988
'96년	1,956	570	560	116	3,202
'97년	2,522	54	610	396	3,582
'98년	1,660	436	276	340	2,712
'99년 (7월말 현재)	1,583	20	204	196	2,003

* 관세청 무역통계 자료

이 표에서 알 수 있는 것과 같이 '97년 이전 까지는 해마다 타이타늄 소재 수입량이 점차적 으로 증가하다가 IMF를 맞아 국내의 경제가 극 도로 악화되면서 타이타늄 소재 산업 분야에서 도 그 수요가 급격히 줄어든 것을 알 수 있다. IMF 이전에는 타이타늄 수입량이 해마다 증가 하여 '97년에는 3,582톤이 수입되었는데, 수입 총 액은 약 5,850만\$(약 550억원)이었다. '98년도에 는 '97년도에 비하여 약 850톤이 줄어든 2,712톤 이 수입되어 약 5,900만\$(약 830억원)이 지불되 었다. 즉, 수입총액은 소재가격 및 환율인상 등 으로 인하여 오히려 더 증가된 것으로 나타났다.

최근에는 국내 경제사정이 호전되면서 타이타늄 소재 수입량도 다시 IMF 이전의 수준으로 증가 하면서 '99년 7월말 현재 약 2,003톤(약 827억 원)의 타이타늄의 소재가 수입되었다.

표 1에 제시된 타이타늄 소재의 국내 수입량 은 관세청 무역 통계 처리 방법상 소재 상태로 도입되는 양에 대해서만 가능하기 때문에 일반 기계부품이나 산업용 완제품 형태로 도입되는 타이타늄 부품의 양은 제외되어 질 수 밖에 없 다. 따라서 국내 산업의 특성상 완제품 형태로 도입되는 기계류 부품들과 일반 산업용 부품에 이르기까지의 수입량을 감안한다면 국내에 도입 되는 타이타늄의 양은 이보다 훨씬 많을 것으로 예측된다.

타이타늄 재료의 수입 형태는 대략 단조재, 판 재, 관재, 분말, 스크랩 등의 형태로 구분되어지 며, 이들 형태에 따른 사용 실태를 살펴보면 다 음과 같다.

2.1 타이타늄 단조재

국내에서 수입되는 타이타늄 소재의 60%이상 이 단조재 형태로 수입이 되고 있고, 그 수입물 량 또한 지속적으로 늘고 있다. 타이타늄 잉고트 를 단조하여 반제품 형태로 수입되는 타이타늄 소재는 대부분 기계가공을 거쳐 항공기 엔진용 링이나 터빈 날개 등과 같은 부품으로 조립되어 진다. 현재 국내에서는 항공기 엔진은 삼성항공 에서, 동체는 대우중공업과 대한항공에서 조립 또는 정비를 하고 있고, 이에 소요되는 고강도 타이타늄 합금이 주로 미국에서 수입되어 사용 되어지고 있다. 최근에 실시되는 KFP, KT-1, KTX-2 등의 사업과 창 정비 물량의 증가로 매 년 500톤 이상의 고강도 타이타늄합금 수요가 발생하고 있다. 항공산업에 소요되는 타이타늄 합금은 주로 Ti-6Al-4V이 주종을 이루나, 고온 에서의 강도가 요구되는 부품으로는 Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.2Si 등의 고온용 타이타늄합금도

사용되어 진다. 아울러 발전용 터빈 및 디스크에 사용되는 타이타늄 합금 부품이 한국중공업에서 가공되어 국내외에서 사용되는 발전설비 부품으로 사용되고 있다.

2.2 판재 및 박판 타이타늄 소재

'97년 및 '98년도에 수입된 판재량은 각각 610톤, 276톤으로 대부분이 발전소의 condenser, duct, 취수관 및 열 교환기에 사용하기 위하여 관 형태로 재가공 되고 있다. 타이타늄 판재를 용접하여 관재로 제조한 것과 열교환기를 그림 1, 그림 2에 각각 나타내었다. 발전소에 사용되는 타이타늄 소재는 주로 관재로 사용되는데, 국내에서는 타이타늄 판재를 이용하여 관을 제조하는 작업을 풍산(주)과 세아제강(주)에서 수행하고 있다. 이중 풍산(주)에서는 소재를 주로 일본의 Kobe steel사에서 0.5mm 두께×600mm의 압연판 형태로 수입하여 pipe rolling과 용접, 그리고 비파괴검사 공정을 거쳐 관재 형태(seaming pipe)로 가공하여 국내에 건설중인 발전소용 열교환기 부품으로 납품하거나, 중동지역에서 수주를 받아 건설중인 발전설비 및 해수 담수화 시설 사업에 사용하기 위하여 수출하고 있다. 경기가 활황이었던 90년대 초반에는 연간 850톤의 관재를 생산한 실적도 있다. 세아제강(주)에서는

최근 연간 200톤 미만의 관재를 생산하고 있다.

2.3 타이타늄 분말 소재

분말의 형태로 수입되는 타이타늄 재료는 주로 스폰지 타이타늄을 파쇄하는 과정에서 생긴 100µm 미만의 순수 타이타늄 스폰지 입자이거나, blended elemental 방법으로 제조된 순수 타이타늄 또는 automization 방법으로 제조된 합금 분말이 대부분이다. 이들 분말은 주로 실험 목적으로 사용되므로 분말 야금 공정을 거쳐 자동차 부품이나 기타 산업용 부품 제조에 사용되고 있다. 그러나 그 사용량은 미미한 수준으로, 1998년도에 분말 형태로 수입된 타이타늄 재료는 약 1.5톤(\$53,000)이며 주로 분말 단조를 통한 산업용 부품 개발 등과 같은 실험 조업에 사용하고 있다.

2.4 의료용 타이타늄 소재

인공장기나 각종 보철기술은 새로운 생체재료들이 개발됨에 따라 많은 발전이 있어 왔다. 이와같은 생체재료들은 인체에 독성이나 알레르기 반응을 나타내지 않고 또한 화학적으로도 안정해야 한다. 아울러 생체재료와 생체와의 상호작용을 의미하는 생체조직적합성(biocompatibility)이 있어야 한다. 이러한 관점에서 타이타늄 소재

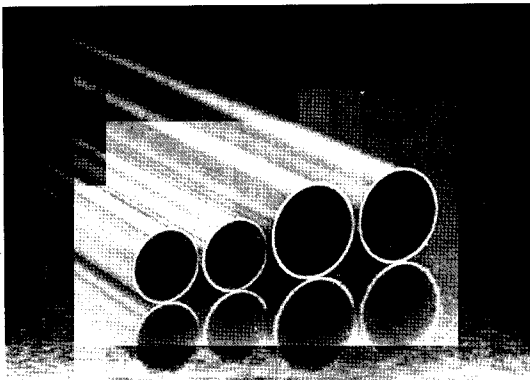


그림 1. 타이타늄 관재

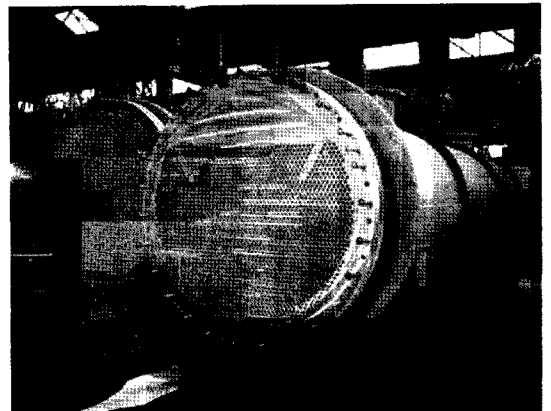


그림 2. 열교환기

는 최근 생체용 재료로 각광을 받고 있는데, 특히 타이타늄은 경량이면서 내부식성이 뛰어나고 금속재료 중 비교적 낮은 탄성계수를 가지고 있기 때문에 인체내에 고정하는 고정기기용 재료로 사용되고 있다.

국내에서도 최근 일부 대학 및 의과대학에서 타이타늄 생체재료에 관한 연구도 활발히 진행 중에 있는데, 현재 보건복지부사업으로 한국기계연구원과 고려대 의대, 경북대 의과대학이 공동으로 추체간 고정기기 및 인공고관절용 타이타늄합금 부품 개발에 관한 연구를 수행하고 있다. 본 연구팀에서 제작한 타이타늄 인공고관절 부품을 그림 3에 나타내었다. KAIST에서는 인공치아용 타이타늄합금 개발을 위하여 타이타늄 제조공정 최적화와 기존의 Ti-6Al-4V합금에 필적할만한 기계적성질을 가지며 전기화학적 성질이 우수한 대체 합금 개발을 위한 연구가 진행 중에 있다. KIST에서는 협진과 공동으로 인공관절(Total Knee)을 개발하고 있고, 솔고(주)와 수진종합치재(주) 등 일부 중소기업에서 타이타늄을 가공하여 인공치아, 고정구 등의 생체 의료용 부품을 생산하고 있다. 그러나 이들 생체의료용으로 국내에서 가공되어 사용되는 타이타늄 소재의 물량은 아직은 미미한 수준에 불과하다. 그러나 미국에서는 '95년 한해에 시술된 Total Hip과 Knee의 양이 약 500,000개 이상으로, 이를 가격으로 환산하면 약 15억불에 달하며 우리나라에서도 상당한 양이 수입되어 사용되고 있는 것으로 알려져 있다.

앞에서 언급한 다양한 형태의 타이타늄 소재 외에도 대학 및 연구소의 실험실에서 물성과 가공성 실험에 사용하기 위하여 다양한 종류의 합금들을 수입하여 사용하고 있으나, 그 양은 한정적이다. 현재 국내에서 타이타늄 관련 연구를 수행하고 있는 대학과 연구소는 대략 10여군데에 이르고 있다. 여기에서는 주로 α 상의 고온용 타이타늄합금, 타이타늄 기지 복합재료, TiAl계 금속간화합물 및 상온 가공용 β 합금에 관한 연구가 진행중이다.

2.5 기타 타이타늄 소재

한국기계연구원에서는 최근 스폰지 타이타늄을 이용하여 봉상의 전극을 제조한 후 이를 진공아크재용해(VAR) 장비를 이용하여 산업적 생산에 이용할 수 있는 크기의 잉고트를 제조하기 위한 준비작업 중에 있다. 아울러 타이타늄 용해와 더불어 유도 스컬 용해(Induction Skull Melting) 장비를 이용하여 타이타늄 정밀 주조 부품을 제조하기 위해 주형제작 및 응고 해석 등의 연구를 수행하고 있다.

이상에서 열거한 타이타늄 재료 외에도 타이타늄 모합금, 또는 타이타늄 스크랩 등이 수입되어 주로 특수강 제조에 필요로 하는 합금화 원소로 사용되고 있다. 참고로 1998년에 수입된 이들 재료는 약 336톤(436억원) 정도로, 이들 재료의 사용량이 예상외로 많음을 알 수 있다. 특히 국가적인 사업으로 인정받고 있는 반도체분야의 경우 고순도 타이타늄 스퍼터링 타겟트 단일 품목의 수입량이 약 1,600만불에 이르고 있다.^[5] 타겟트 제조에 사용되는 타이타늄의 대표적인 불순물인 산소는 타겟트로부터 제조한 박막의 취성과 전기저항을 증가시키며 U, Th 등은 α -rays를 발생시켜 제품의 신뢰도를 저하시킨다.

또한 국내에서 항공기 부품으로 가공하는 과

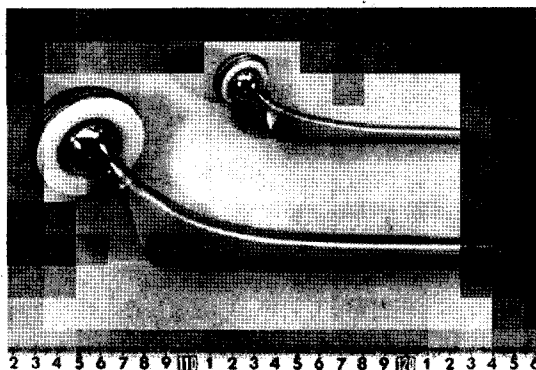


그림 3. 인공고관절용 타이타늄

정에서 생기는 타이타늄 chip 또는 scrap의 양이 연간 120톤 이상 발생하나, 현재는 이들 scrap을 재활용하지 못하고 전량 제강과정에서의 탈산제로 사용되기 때문에 저가로 판매되고 있다.

3. 국내 타이타늄 수요 전망

국내 산업이 발전함에 따라 특수한 물성을 갖는 재료의 수요가 점증하게 되고, 최근들어서는 재료의 경량화, 화학적 안정화 등을 이용한 시스템의 효율 향상, 환경오염방지 등과 같은 목적으로 사용 재료의 고급화 추세가 현저해짐에 따라 타이타늄 재료에 대한 관심이 높아지고 있다. 가까운 장래에 타이타늄 재료의 사용이 예상되는 분야별 수요를 알아보면 다음과 같다.

3.1 산업용 타이타늄 소재

국내에 수입되는 대부분의 판재는 기계가공 및 용접 공정을 거쳐 판재로 제조되어 고순도가 요구되는 정밀화학, 석유정제 설비의 내식성 배관이나 원자력과 화력 담수화설비의 열교환기에 많이 사용되고 있다. 작금의 IMF 사태 때문에 정부의 발전소 건설 계획이 수정되어 건설 물량이 감소되기는 했으나, 발전소의 condenser, duct, 취수관 및 열교환기용으로 타이타늄 판재가 연간 약 640톤이 소요될 것으로 추정하고 있다. 발전소용 condenser에 사용되는 타이타늄 판재를 그림 4에 나타내었다. 화력발전소의 duct는 부식 방지를 위해 현재는 니켈기 합금인 Hastelloy가 사용되고 있지만 향후 이를 타이타늄 클래드재로 대체하려는 움직임이 일고 있다. 이 경우 연간 타이타늄의 수요량은 400-500톤에 이를 것으로 전망하고 있다. 앞으로의 전력 수요를 충당하기 위한 장기적인 원자력 및 화력발전소 신규 건설 및 발전용량의 확충될 경우 타이타늄 판재의 수요도 함께 증가할 것으로 예상된다. 발전 용량 100만 kW 증설에 따른 타이타늄

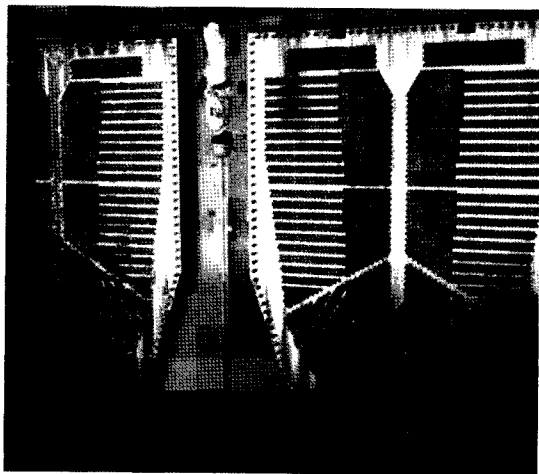


그림 4. 발전소용 condenser에 사용되는 타이타늄 판재

판재의 소요량은 원자력 발전소의 경우 약 420톤, 화력발전소의 경우에는 약 130톤으로 추산하고 있다.

국내의 담수화 설비 제조 능력 및 기술은 세계적으로 인정을 받고 있다. 한국은 해마다 1-3기의 담수 설비를 세계 각국, 특히 중동 국가들로부터 수주하여 제조하고 있는데, 여기에 사용되는 타이타늄 소요량은 연간 300-500톤에 이를 것으로 예상되며, 향후 중동지역 및 도서지역의 담수화 설비를 계획하는 곳이 증가함에 따라 여기에 사용되는 타이타늄 소재의 사용량도 함께 증가할 것으로 예상된다.

국내의 화공설비는 세계 5위로 산 탱크, 압력 용기, 혼합기 및 열교환기에 사용되는 타이타늄 소재가 연간 200-400톤이 소요될 것으로 추정하고 있다. 이외에도 대형 선박의 열교환기에 사용되는 타이타늄 소재의 소요량도 연간 약 350톤에 이를 것으로 추정하고 있다.

앞에서 열거한 민수용 분야 외에 최근에는 타이타늄 소재를 군수용 전차 및 장갑차용 소재로 이용하기 위한 노력이 진행중에 있다. 타이타늄 소재를 장갑재로 이용할 경우 기존의 철강재(RHA)에 비하여 동일한 방호성능을 가지면서 30% 이상의 경량화가 가능하여 군 전력 증강에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 장갑재 및 전

차에 사용되는 소재 형태는 주로 후판으로 시험 개발 및 응용 단계에서는 연간 약 300-500톤이 소요될 것으로 예상되며, 양산될 경우에는 그 수요가 급속히 증가될 것으로 예상된다.

3.2 항공기용 타이타늄

항공기에 사용되는 타이타늄합금은 주조 및 단조된 반제품 형태로 수입되고 있으며, 이들 소재 대부분이 미국으로부터 수입되고 있다. 국내 항공산업 관련 회사들에서는 이들 수입소재를 이용하여 링, 터빈 날개, 디스크 등과 같은 엔진 부품으로 가공하여 엔진 조립에 사용하고 있다. 아울러 기체 조립에 사용되는 fastener 등과 같은 고강도 타이타늄 합금 부품이 미국으로부터 수입되어 사용되어지고 있다. 현재 항공산업에서 소요되는 타이타늄합금의 물량은 방위산업과 맞물려 그 정확한 규격과 사용량이 모호한 상태이나, 대략 500톤 정도로 추산되고 있다. 향후 국내 항공산업에 사용될 타이타늄합금의 수요량은 KFP사업, KT-1 및 KTX-2 등과 같은 국가 사업으로 지속적으로 늘어날 전망이다. 이는 항공산업이 다른 어떤 산업보다도 부가가치가 높고 기술 파급 효과가 크기 때문에 정부의 전략사업으로 적극적인 지원 육성이 기대되고 있기 때문이다.

3.3 의료 및 일상 생활용품

국내 산업 분야가 다양하게 활성화 되면서 타이타늄 소재를 이용한 각종 제품 개발이 점차 활발히 시도되고 있다. 현대티타늄(주)에서는 타이타늄 판재 또는 관재를 가공하여 도금공장의 치구를 주문 제작하여 납품하고 있으며, TS 금속(주)에서는 열간 및 냉간단조 공정에 의한 타이타늄 볼트류 등을 제조하여 화학공장 등에 납품하고 있다. 타이타늄으로 제조한 볼트, 너트 및 기계용 스크류를 그림 5에 나타내었다. 이와

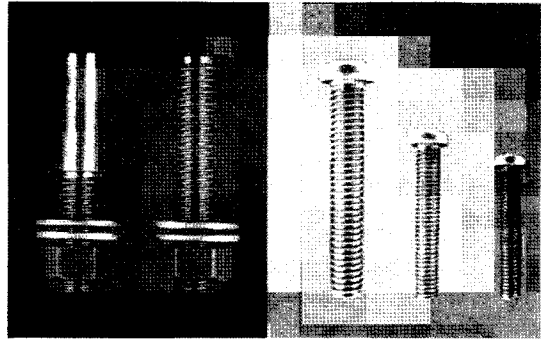


그림 5. 타이타늄 볼트, 너트 및 machine screws

같은 타이타늄 소재의 우수한 내식성을 이용한 다양한 부품의 제조 실적이 점차 늘어나는 추세에 있다.

타이타늄은 산업용 소재로서 뿐만아니라 최근에는 생체의료용 재료로서 그 사용량이 급증하는 추세이다. 국내에서 사용되고 있는 생체재료용 타이타늄합금은 매우 높은 가격으로 전량 수입되고 있는 실정이고, 일부 의료 부품 관련업체에서 치과용 임플란트 부품 및 고정기기 등을 가공하여 일부 수출하고 있다. 이와같은 의료용 부품은 선진국으로부터 품질인증(예를들면 CE marking)을 받아야만 수출이 가능하므로 현재까지는 국내 의료용 부품에 사용되는 타이타늄 수요량은 매우 한정적이다. 그러나 최근에 의료용 타이타늄부품에 대한 관심이 높아지고, 국내에서도 생체재료용 타이타늄 부품을 개발하여 CE marking 등과 같은 품질인증을 통해 해외시장 개척을 하고자 하는 노력이 활발히 진행되면서 그 수요는 점차적으로 증가할 것으로 예상된다.

앞에 서술한 용도외에도 최근에는 스포츠용품에 적용하여 그 우수성이 입증되면서 이 재료의 사용량이 점차로 증가하는 추세에 있다. 그 예로 골프 클럽 헤드(한국화이버, 맥켄리, 랭스필드 등), 자전거 프레임(삼천리 자전거) 등이 개발되어 널리 이용되고 있다. 또한 삼성 및 서전 등에서는 순타이타늄 선재를 가공하여 안경테를 생산하고 있으며, 일부 업체에서는 주방용 칼과 후라이 팬 등의 생산도 시도되고 있다. 이외에도

타이타늄 소재의 뛰어난 내부식성과 항알레르기 성질을 응용한 타이타늄 시계, 양극산화에 의한 착색처리를 통한 악세사리 제작에도 업체의 참여가 기대되고 있다. 이와같이 타이타늄으로 제조된 스포츠용품 및 일상 용품들의 예를 그림 6 과 그림 7에 나타내었다.

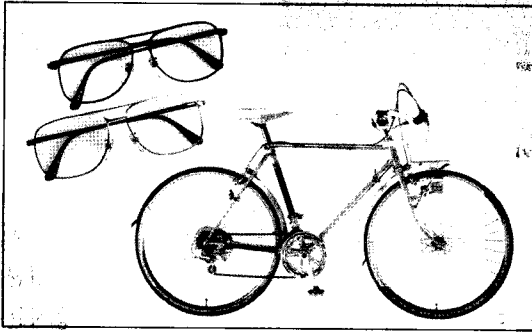


그림 6. 타이타늄제 안경 및 자전거



그림 7. 타이타늄제 일상 용품 및 악세사리

4. 요약

국내 타이타늄 수요는 해마다 증가하여 '97년 도에는 약 3,500톤 정도의 타이타늄 재료가 수입 되어 이미 언급한 여러 분야에서 사용되었다. '98년에는 환율 급등 및 IMF의 지원을 받는 국

내의 어려운 상황으로 그 수요가 전년도에 비해 약 20% 정도로 감소하였지만 최근 점차적으로 국내 산업이 활성화 되고, 타이타늄의 우수한 특성에 대한 인식이 확산되면서 중소기업체를 중심으로 다양한 분야로의 적용을 고려하고 있어 타이타늄 재료에 대한 수요는 다시 증가할 것으로 예상된다.

특히 현재 국내에 수입되는 타이타늄 소재의 대부분은 발전소 및 화학설비 등에 이용되고 있는데, 최근 발전소 및 담수화 설비 등의 확충으로 타이타늄에 대한 수요는 획기적으로 증가할 것으로 예상된다. 그러나 현재까지 국내에서 사용되는 타이타늄 소재는 전량 수입에 의존하고 있어 향후 타이타늄 소재의 국산화는 필수적이라 할 수 있다. 이를 위해서는 타이타늄 소재의 용해·주조 등의 원소재 제조 기술과 더불어 이들 원소재의 가공기술에 대한 연구가 보다 활발히 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] G. A. Fitzpatrick, "Hollow Titanium Fan Blades for Jet Engine Applications", Proc. of the 1996 Int. Conf. on Titanium Products and Applications(1996), p.107.
- [2] R. R. Boyer, "Titanium Applications on Boeing Aircraft", Proc. of the 1996 Int. Conf. on Titanium Products and Applications(1996), p.115.
- [3] 금속 타이타늄 응용, 일간공업사편 (1983)
- [4] 관세청 무역통계 자료 (<http://www.customs.go.kr>)
- [5] 김원백 외, "희유금속 정제 및 활용 기술개발연구", KR-98(C)-28, 한국자원연구소 연구보고서 (1998)