

가스터빈용 고온부품 소재의 현황과 전망

항공기 및 발전용 가스터빈의 고성능화에 기계공학의 발전이 기여한 것은 누구도 부인할 수 없다. 그 이면에 가스터빈이 고온에서 작동될 수 있도록 고온부품, 소재의 개발이 기반이 되었음을 간과할 수 없다. 이 글에서는 가스터빈용 고온부품 및 소재개발에 대해 소개하고자 한다.

수퍼맨, 수퍼스타, 수퍼컴퓨터, 수퍼모델, 수퍼파워....., 우리가 쓰고 있는 이러한 단어들에서 알 수 있듯이 '수퍼'란 말은 보통을 넘어서는 특별함을 나타내는 말이다. 인류가 도구를 만드는 데 중요한 재료가 되어온 금속 중에도 이렇게 이름에 '수퍼'란 말이 붙은 특별한 금속이 있는데 바로 수퍼알로이(superalloy) 즉, 초합금이라 불리기도 하는 초내열 합금이다.

초내열합금은 현재 비행기 엔진, 선박 엔진 및 발전용 가스터빈 고온부품을 만드는 가장 중요한 소재로 미국을 중심으로 지난 약 50년간 온도수용성(tempe-

rature capability)을 지속적으로 증가시켜왔다. 초대형 여객기 A380은 550명 정도의 승객을 태울 수 있으며 기체의 길이가 73m, 최대 이륙중량이 무려 560톤에 이른다. 이렇게 크고 무거운 비행기를 하늘에 뜨고 시속 1,000km가 넘는 속도로 운항할 수 있도록 하는 것이 바로 항공기 엔진 핵심부품의 재료인 초내열합금의 특별한 힘이다. 뿐만 아니라 초대형 가스터빈이 1,300℃에서 3,600rpm으로 회전하면서 150MW의 전력을 생산할 수 있는 것도 역시 초내열합금의 큰 역할 중 하나이다. 따라서 이 글에서는 가스터빈의 핵심소재인

초내열합금과 부품제조공정, 국내외 동향과 전망 등에 대해 기술하고자 한다.

가스터빈 부품별 소재 기술 및 기술개발 동향

그림 1은 항공기용 가스터빈인 영국 롤스로이스 사의 엔진으로 각 부품과 소재에 대한 연구기관과 함께 나타냈다. 가스터빈은 이와 같은 아주 복잡한 구조로 되어 있으며, 각 부품에 따라 요구되는 특성이 다르므로 각 부품에 따라 적당한 소재와 제조공정이 적용된다.

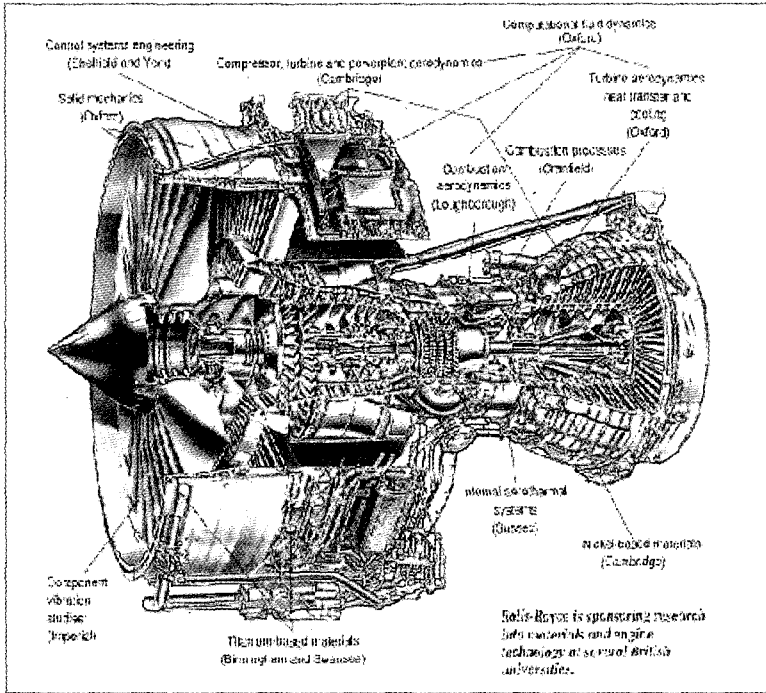


그림 1 항공기용 가스터빈

1. 터빈 디스크 및 디스크 재료

터빈 디스크는 Ni계 초내열합금을 단조하여 제조하는데, 일반적으로 진공유도용해(VIM : Vacuum Induction Melting)에 의해 모합금 잉곳(ingot)을 제조한다. 잉곳은 주조 시 편석으로 기계적 성질에 나쁜 영향을 미치는 새로운 상(phase)들을 형성시킬 수 있으므로 잉곳을 진공아크재용해(VAR : Vacuum Arc Remelting) 또는 전기슬래그재용해(ESR : Electro-Slag Remelting)를 하여 정련시켜 단조하여 디스크로 제조한다. 단조에는 엔진 제조회사에 따라 고유의 방법을 적용하고 있으나 일반

적으로 알려진 단조 공정은 열간 단조(hot die forging), 항온단조(isothermal forging) 및 초소성단조(superplastic forging) 등이 있다.

터빈 디스크 소재로는 Ni계 초내열합금이 주로 사용되며 가스터빈의 출력 증대와 함께 터빈의 작동온도 상승으로 터빈 디스크의 작동온도도 높아짐에 따라 까다로운 터빈 디스크 소재의 요구 특성에 적당한 소재들이 개발되고 있다. 터빈 디스크용 단조합금은 IN718, Waspaloy합금이 주류를 이루었으며, 최근에는 디스크의 사용 온도를 높이기 위해 Udimet720 및 Udimet720Li합금

이 개발되어 일부 사용되고 있고, 최적의 조성, 가공 및 열처리 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

터빈 디스크의 강도를 높이기 위한 강화원소의 첨가량 증가는 재료의 고온 성형성을 감소시키게 되었다. 이는 첨가원소의 증가에 따라 단조가 가능한 온도구간이 좁아지게 하고, 잉곳 내의 편석에 따라 단조구간이 더욱 좁아지게 하며 잉곳의 크기가 클수록 편석이 더욱 증대하게 한다. 따라서 초기 크기를 작게 하는 용융금속으로부터 분말을 제조하여 분말야금 공법으로 벌크(bulk)재를 제조한 다음 단조하는 공정도 도입되었으며 Astroloy, RENE95와 같은 합금은 이와 같은 공정으로 터빈 디스크를 제조한다. 일반적인 단조공정에 비해 비용이 많이 드는 단점이 있다. 가장 보편화된 방법은 잉곳 제조 후 재용해 정련작업을 거쳐 단조에 의해 제조하는 방법이다.

2. 연소기 및 판재부품 소재

가스터빈의 연소실과 각 부분의 케이싱은 초내열합금 판재를 성형하고 용접해서 사용한다. 이들은 1,000℃ 이상의 높은 온도(평균 800℃)에 노출되며, 사용조건의 변화에 따라 급격한 온도변화와 이에 따른 열피로를 받게 된다. 따라서 연소기 등 판재는 용접성, 성형성이 우수하고 열피로 저항성, 내산화성이 요구된다. 또한 고온에서 장시간 사용에 필

요한 크리프 강도와 고온 항복강도도 변형(buckling) 방지를 위해 필요하다.

초기 가스터빈에는 간단한 고용강화합금인 Nimonic 75, IN600 등이 사용되었으나 Mo를 첨가시켜 고용강화시킨 Hastelloy X가 개발되어 널리 사용되고 있으며 최근에는 Nimonic86, IN617, Haynes 230 등이 개발되어 사용되고 있다.

연소기 열차폐코팅(TBC : Thermal Barrier Coating)에 따라 높은 열적 부하(high thermal loading)와 냉각공기의 요구량을 감소시키게 되었다. 현재 연소기에 적용되는 열차폐코팅은 MCrAlY bond coating에 Plasma spray 기술을 이용한 세라믹 topcoating을 기본으로 하고 있다. 본 기술의 발전용 가스터빈에 적용은 일반적으로 900~950℃의 연소기 소재온도(metal temperature)를 목표로 한다. 미래에는 보다 두꺼운 TBC를 적용시켜 보다 높은 화염온도와 보다 낮은 소재온도가 가능하도록 기술개발을 계속하고 있다.

3. 터빈 블레이드 및 베인

터빈에서 연소가스와 직접 접촉하고 가장 높은 응력을 받는 부품은 터빈 블레이드이고 가장 고온의 연소가스와 접촉하면서 사용되는 것은 터빈 베인(turbine vane) 또는 노즐이다.

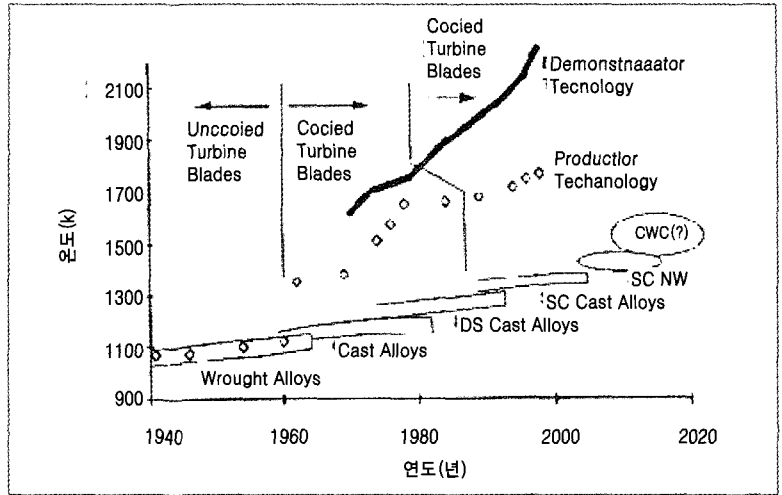


그림 2 터빈 블레이드의 온도수용성과 소재 및 제조공정관계

이들은 고온에서 높은 응력을 받으면서 사용될 뿐 아니라 사용조건(운전조건)에 따라 많은 온도변화를 겪으면서 작동된다. 따라서 터빈의 효율과 성능을 향상시키기 위한 설계(가장 높은 온도 부분이 효율과 성능에 직결되므로)와 고온 고강도 재료개발과 제조공정의 개발이 터빈 블레이드와 베인 소재를 중심으로 많은 부분이 이루어졌다고 할 수 있다. 이들 부품들은 고온과 응력의 조합에 따른 크리프 변형과 열응력피로(thermo mechanical fatigue)를 받게 된다.

설계 및 공정측면의 개선에 가장 큰 역할을 한 것은 이에 상응하는 소재개발과 함께 공랭형 터빈 블레이드(air cooled turbine blade)의 도입이라 할 수 있다. 공랭형 터빈 블레이드의 사용은 이후 언급하는 주요용 초

내열합금의 개발과 함께 도입된 진공정밀주조공정에서 세라믹코어(ceramic core)의 적용으로 가능하게 되었다. 공정측면의 개선 중 하나는 터빈 블레이드의 제조 후 열차폐코팅이라 할 수 있다. 즉 터빈 블레이드의 표면에 단열성 재료를 최선의 공정을 이용하여 도포시키는 것이다. 이와 같은 공정과 공랭형 터빈 블레이드의 효과를 합금의 개발, 부품제조공정과 병행하여 그림 2에 나타냈다.

소재측면의 개발과 발전은 소재와 그 부품의 제조공정의 개발이 병행되었다. 초기 가스터빈이 개발되었을 때 고온 내식성이 우수한 전기저항재료인 80Ni-20Cr합금을 단조하여 제조하였으나 크리프파단 성질이 부족하여 소량의 Al, Ti를 첨가시켜 기계적 성질을 개선한 Nimonic

80과 같은 합금이 개발되었다. Ni기 합금에서 Al, Ti의 역할은 Ni₃Al 형태의 분자식으로 구성되는 γ' 상을 형성시킴으로써 재료에 고온강도를 부여하는 것이다. γ' 상의 특징은 금속간화합물로서 규칙격자 구조를 갖고 있고 상온에서부터 약 800°C까지에서 온도를 높임에 따라 기계적 강도(항복강도)가 증가하는 현상을 가지는 것이다. 이와 같은 γ' 의 역온도의존성으로 인하여 오늘날과 엔진의 성능이 얻어졌다고 할 수 있을 정도로 γ' 상의 초내열합금에서 역할이 크다.

그러나 γ' 상을 증가시키기 위해 Al, Ti, Nb, Ta와 같은 원소를 계속 증가시킬 경우 대기 중에서 합금을 만들기 위하여 용해할 때 반응이 심하여 제조가 불가능하게 되었다. 이를 해결하기 위해 진공용해법이 도입되어 이들 강화원소를 다량 첨가할 수 있게 되었으나 많은 양의 γ' 상형성에 따라 고온강도가 높아지고 고온에서 단조를 할 수 있는 온도구간(forging window)이 좁아져 단조에 의해 성형하는 것이 불가능하게 되었다. 따라서 도입된 것이 진공정밀주조공정(vacuum investment casting)이다. 주조용 초내열합금에서 γ' 상의 체적률을 증가시킴에 따라 고온강도의 개선은 가능하였으나 중간온도구간의 연성이 부족하게 되었다. 이를 보완하기 위해 결정입계에 편석하는 원소

들을 첨가시켜 결정입계를 보강한 재료들이 개발되었다.

높은 온도에서 응력을 받으면서 사용될 때 가장 큰 문제는 터빈블레이드나 베인의 응력축에 수직한 결정입계이다. 사용 중 결정입계가 고온에서 취약하므로 균열이 생성되어 파단을 초래하기 때문이다. 응력축에 수직한 결정입계를 제거하는 진공방향성용 고법이 미국 PW사에서 개발되어 크리프 수명과 연성을 크게 개선할 수 있게 되었으며 그림 2에서 보인 바와 같이 터빈 입구 온도(TIT : Turbine Inlet Temperature)도 크게 높일 수 있게 되었다.

한편 진공 방향성용고된 터빈 블레이드의 경우도 결정입계를 가지므로 부품의 가로방향의 응력을 받을 때는 결정입계의 취약성을 나타낸다. 따라서 결정입계를 완전히 제거하는 단결정용고법이 개발되어 그림 2에서 보인 바와 같이 수명향상과 강도개선 및 터빈 입구온도향상에 기여하게 되었다. 단결정 터빈블레이드의 제조원리는 방향성용고가 진행되는 부분에 결정을 선택할 수 있는 선택자(selector)를 둠으로써 한 개의 결정립만 성장하게 하는 것이다.

진공정밀주조, 세라믹코어, 진공방향성용고, 단결정용고와 같은 부품의 공정과 합금의 개발이 공랭형 블레이드와 같은 설계측면의 개선 및 내열코팅 등의 기술

과 조합되어 오늘날의 최신 엔진의 제조에 적용되고 있으며, 이들이 엔진 성능개선의 주된 요인들이라 할 수 있다.

따라서 가스터빈에서 가장 온도의 응력의 조합이 심하고 소모성이 큰 터빈 블레이드와 베인의 소재, 제조공정 및 국내외 현황을 중심으로 좀더 자세히 고찰한다.

가스터빈용 터빈 블레이드 관련 현황 및 전망

1. 시장 및 국내 현황

가스터빈 엔진은 항공용과 더불어 산업용 가스터빈으로 대부분 사용되는데, 다결정 터빈 블레이드 한 개당 약 1,000달러 정도로 가스터빈 1대에 수백 개의 터빈 블레이드가 필요하게 되므로 그 시장 규모는 엄청나다고 할 수 있다. 1990년대 말 스위스 ABB사에 의하면 발전용 블레이드와 노즐 주조품만의 시장규모가 전 세계적으로 향후 10년 동안 최소 연간 7억 달러로 예측할 정도로 규모가 크다.

국내의 경우에도 발전용 및 일반 산업용 가스터빈의 수요가 급격히 늘어나고 있으며, 국내 발전용 가스터빈 설치는 대략 100여대에 이르고 전체 발전량의 약 17%에 달한다. 국내 전력의 안정적 공급과 열효율 개선, 환경 보전 등을 고려하여 기존의 화력발전보다 열효율이 높고 공해물질 배출이 적으며 건설비, 건설기간

등이 짧은 가스터빈 발전이나 가스터빈과 기력발전을 혼합한 복합 화력발전이 국내 신규 발전소 건설의 대부분을 차지하고 있으며, 전원 개발계획에 의거 2010년까지 수십 기의 고효율 대형 가스터빈의 공급이 요구되고 있다. 국내에 운용 중인 가스터빈은 터빈 블레이드 주조품을 사용하고 있으며 TIT 1,100°C급의 경우 GTD111, IN738LC 등을 소재로 하는 다결정(equiaxed or conventionally cast) 주조품을 사용하고 있다. TIT 1,300°C급의 경우 GTD111M(GE엔진), CM 247LC(ALSTOM엔진 2단)을 소재로 하는 방향성응고(directionally solidified) 제품을 1단 블레이드로 사용하며, CMSX-4를 소재로 하는 단결정(single crystal) 블레이드(ALSTOM엔진)를 적용하는 등 최첨단 부품들이 사용되고 있다. 이 외에도 대부분 블레이드와 베인(GTD222, IN738LC, ECV768, FSX414 등을 소재로 하는)들은 주로 다결정 주조품을 사용하고 있다.

2. 관련 기술 개발 현황

2.1 외국의 현황

외국의 관련 기술현황을 살펴보면 가장 앞서있는 미국을 중심으로 영국에서는 이미 대형 가스터빈의 버킷(블레이드)와 노즐에 대한 양산제조기술이 확립되었고, 길이 1m 정도의 대형 단결정 블

레이드의 생산도 가능한 상황에 있다. 독일과 일본에서도 대형 가스터빈의 블레이드와 노즐의 생산을 할 수 있는 설비와 능력을 갖추고 있고 최근에는 서방국가들의 도움으로 러시아에서도 생산기반을 구축하고 있다. 대표적인 대형 가스터빈 버킷 및 노즐의 정밀주조업체로 미국의 PCC사와 Howmet 사, 영국의 Deritend사와 ATEC 사, 일본의 미쯔비시사를 들 수 있다.

2.2 국내 제조기술 현황

국내에서는 1980년대 초부터 한국기계연구원을 주축으로 가스터빈 부품의 제조기술에 대한 연구로 터빈 블레이드의 진공정밀주조기술에 대한 연구가 시작되어 현재는 방향성응고 및 단결정기술을 확보하고 있으며, 대형 단결정 부품의 응고에 가장 효율적인 공정으로 선진국들에서도 연구개발을 시작한 액체금속냉각법(LMC : Liquid Metal Cooling)을 이용한 단결정 응고기술을 보유하고 있다. 산업계에서는 1990년대 중반부터는 한국로스트악스공업(주)와 (주)삼정터빈, CASTECH 등에서 발전용 가스터빈의 대형 블레이드나 노즐의 제조를 위한 설비가 도입되어 국내업체에 설치된 양산용 진공용해주조로도 4대에 이르고 있다. 이에 따라 산업체의 제조기술개발이 활발히 진행되어 왔으나, 실용화측면에서의 개발기회는 그렇

게 많지 않았던 것이 사실이다. 일부의 개발제품은 PWA사 항공기엔진의 air seal, segment와 같은 non-rotating부품, 터보차저 부품, 소형 선박용 엔진인 Allied Signal사의 TF35의 블레이드와 베인, 삼성항공에서 개발한 1.2MW급 산업용 가스터빈엔진의 블레이드와 베인 등에 한정되었고, 최근에 와서 GE사의 선박용 LM2500 블레이드에 대한 개발 및 인증(VSE)을 받은 상황이다.

국내에서도 발전용 다결정 터빈 블레이드와 베인의 개발이 수년전부터 진행되어 왔고, 최근 전력연구원, 한국기계연구원, 한전기공, 연세대 및 성균관대가 공동으로 발전용 가스터빈의 블레이드와 노즐과 같은 대형 부품의 국산화 연구를 진행하고 있다.

최근 일련의 항공사고와 관련하여 공군에 초내열합금, 터빈부품 제조기술과 관련한 요인들에 대해 한국기계연구원의 연구결과들을 제공하여 원인규명을 지원하고 있다. 특히, 외국의 엔진 제조회사들은 여러 가지 요인을 들어 부품이나 엔진의 문제점에 대한 노출을 꺼리는 상황이므로, 한국기계연구원의 지난 20여 년간의 연구경험과 결과는 학술적으로 부품과 소재의 문제점을 규명하는 데 중요한 역할을 하고 있다.

3. 터빈 블레이드용 초내열합금 개발 현황

가스터빈 블레이드와 베인 등 고온용 부품기술의 핵심은 고온, 응력, 부식성환경 등이 조합된 분위기에서 수명이 길고 우수한 성능을 발휘할 수 있는 초내열합금의 개발과 그 제조공정의 개발이라고 할 수 있다. 국내 기업의 투자나 국내의 현황은 대부분 다결정, 방향성응고, 단결정 및 코팅과 후처리를 할 수 있는 공정개발을 위주로 진행된 것이 대부분이다.

국내의 경우 초내열합금 모합금 개발이나 모합금의 제조기술을 개발하는 투자는 그다지 많지 않다. 장기적으로 터빈 부품의 제조공정 개발과 함께 고유의 합금을 개발·생산함으로써 제조원가를 절감하고 효율적으로 국제적 흐름에 합류할 수 있어야 할 것으로 판단된다. 지금까지 상대적으로 중요성이 낮게 인식되어왔던 초내열합금 개발과 국내 현황은 다음과 같다.

3.1 외국의 현황

가) 미국 : 초내열합금 개발을 주도해온 나라는 미국으로서 항공기 엔진용 터빈 블레이드 소재 개발을 목표로 기술개발을 진행해왔다.

초내열합금은 초기 단조용 합금으로 γ' 의 함량이 상대적으로 낮은 Nimonic 80과 같은 합금들이 개발 사용되었다. Ni기 합금

에서 Al, Ti의 역할은 Ni₃Al 형태의 분자식으로 구성되는 γ' 상을 형성시킴으로써 재료에 고온 강도를 부여하는 것이다. 주조용 초내열합금은 이와 같은 γ' 상을 대략 45vol% 이상 함유하며 강화원소인 Al, Ti, Nb, Ta 등의 함량이 5wt% 이상 함유하므로 진공용해 및 진공정밀주조공정을 거치게 된다. 대표적인 다결정 주조합금들은 IN738, IN738LC, Mar-M247, GTD111 등이 있다.

한편, 주조공정기술의 개발과 함께 방향성응고 합금과 단결정 합금이 개발되었으며 미국의 General Electric, Pratt-Whitney 등의 주요 항공기 엔진 제작사를 중심으로 단결정 초내열합금 개발이 진행되고 있다. GE는 RENE N4, RENE N5, RENE N6 시리즈의 단결정 합금을, PW는 PWA 1480, PWA 1484 등의 합금을 개발하였다. 한편 초내열합금 전문 제작사인 Cannon Muskegon에서는 CMSX 시리즈의 단결정을 개발하였는데 제2세대 단결정 합금인 CMSX-4의 경우 그 특성이 매우 우수하여 영국의 롤스로이스 엔진은 물론 산업용 가스터빈에도 널리 적용되고 있다.

나) 영국 : 세계 3대 항공기 엔진 제조사의 하나인 롤스로이스를 중심으로 합금개발이 이루어지고 있다. 과거의 SRR 시리즈 합금을 비롯하여 최근에는 RR2072, RR2086 등의 제2세

대 단결정 합금이 개발되었고, 한-영 국제공동연구 사업의 결과로 입계강화원소가 첨가된 단결정 합금의 개발도 이루어졌다.

다) 일본 : 1980년대 초부터 산업통상성에서 주관하는 Moonlight 계획의 일환으로 지속적으로 추진되어 왔으며, NIMS(과거 NRIM)을 중심으로 초내열합금 연구가 이어지고 있다. 그 결과 최근 온도수용성이 가장 우수한 제4세대 및 제5세대 단결정합금을 개발하여 고온 주조용 합금의 개발을 주도하고 있다.

라) 프랑스 : 일본과 유사하게 ONERA를 중심으로 단결정 초내열합금 개발이 진행되어 항공기용으로 AM 시리즈, 발전용으로 MC 및 SC 시리즈 합금들이 개발되었고 프랑스의 라팔전투기, 유럽의 가스터빈 블레이드의 소재로 적용되고 있다. 일본과 함께 제4세대 합금의 개발을 주도하고 있다.

3.2 국내 현황

1970년대 KIST를 중심으로 시작되었던 합금설계 방식에 일본의 계산설계 방법을 접목시켜 1990년대 후반 KIMM에서는 초내열합금 개발 연구를 진행시켰다. 특히, 3년간에 걸친 영국 롤스로이스 사와의 공동연구를 통해 초내열합금 개발의 경험과 기술을 축적하였다. 한편 데이터 모델링 분야의 획기적인 방법으로 등장한 neural network 모델링

을 활용하고 롤스로이스의 풍부한 재료데이터 베이스를 공급받아 NNADP(Neural Network Alloy Design Program)를 개발하였다.

이와 같이 국내의 경우도 외국과 유사한 연구가 출연연구기관을 중심으로 진행되고 있으며, 상대적으로 외국에 비해 인력, 설비, 연구비 측면에서 투자가 적으나 기초기술은 어느 정도 확보한 상태이다.

요약 및 맺음말

가스 터빈엔진의 개발은 저공해, 고효율 등의 요인들을 만족시키기 위해 과거 약 50년간 많은 발전을 해왔다. 이와 같은 요인들에 대응하기 위한 유체공학, 열공학, 구조학 등의 설계분야에서 연구개발에 따라 고온, 고압축 등을 실현함에 따른 엔진개발이 진행되어 왔다. 아울러 설계된 엔진이 성능을 발휘할 수 있도록 부품, 소재의 개발이 병행되어 왔다.

현재까지 개발되어온 엔진의 연소온도는 지난 50년간 평균적으로 1년에 약 12.5℃ 정도씩 상승되어 왔으며, 특히 지난 20년 동안에는 연평균 20℃의 급격한 상승과 압축비가 증가되었다. 설계측면에서 발전용 가스터빈 엔

진 개발은 향후에도 효율향상을 가장 큰 목적으로 진행될 것으로 사료되며, 이를 위해서는 지금까지 개발되어온 방향과 같이 보다 높은 연소온도와 압축비를 갖는 엔진을 개발하는 연구가 계속될 전망이다.

부품과 소재 측면의 연구개발도 현재까지 개발된 초내열합금을 기초로 보다 고온, 고응력 장시간 사용될 수 있는 합금과 제조공정의 개발, 고온 부품의 공랭구조 개선, 설계된 운전조건에 적합한 열차폐코팅 공정의 개발 등이 계속될 전망이다.

전량 수입에 의존하고 있는 가스터빈의 소모성 부품인 터빈 블레이드와 베인 등의 수요에 적절히 대응하고 부품의 적기 공급, 대외 수출 등을 대비하여 국내에서도 관련 부품과 소재개발을 적극 추진해야 할 것으로 판단된다. 상대적으로 낮은 연소온도에서 사용되는 터빈 부품(다결정 주조품)의 개발 경험을 이미 어느 정도 국내에서 보유하고 있으므로 기업을 중심으로 다결정 주조품의 개발과 국내 생산을 유도해야 할 것으로 판단된다. 또한 보다 높은 연소온도에서 작동되는 방향성응고 주조품 개발은 이미 진행되고 있으며, 단결정 주조품의 공정기술, 고유의 합금개발 등이

현시점에서 진행되어야 고부가가치의 소모품 수요에 적절히 대응할 수 있으리라 사료된다.

우리나라는 과학기술의 역사가 짧고, 기술의 기반이 약하며, 전문가집단이 한정되어 있음에도 기술개발과 지원이 최근의 유행하는 특정기술과 분야를 중심으로 편향되어 경제적, 전략적, 군사적으로도 중요한 분야를 등한시하는 경향이 있다. 선진국의 첨단전투기 개발, 첨단무기 개발 등이 거저 이루어진 것이 아니며, 이와 같은 기본이 되는 분야에도 꾸준한 지원이 있었음을 간접적으로 증명해 주고 있다. 따라서 우리도 국가적 차원에서 각 분야의 균형발전과 지원이 요구된다.

특히, 저자와 가까운 프랑스 ONERA의 전문가는 “현재까지 미국, 프랑스, 영국 등에서 개발된 터빈용 고온부품의 공정과 소재는 앞으로 상당 기간 새로운 가스터빈 개발에 추가적인 연구개발 없이 적용될 수 있을 정도로 많은 진전을 이루었다. 그렇지만 한국의 경우 이 분야에 제대로 된 체계적인 연구개발과 지원을 시작도 해보지 않고 최근의 특정 분야에만 치중하는 것 같아 안타깝다.”는 조언을 한 적이 있다.