

# Power Plant 기자재 국산화 현황 및 향후 전망

홍 성 은 · 두산중공업(주), 부사장

\_e-mail : seongeun.hong@doosan.com

이 글에서는 Power Plant 기자재 국산화 현황 및 향후 전망에 대하여 소개한다.

## 발전기계 산업 기자재 기술수준

### 화력발전

화력발전의 세계적인 추세는 기계공업의 비약적인 발전으로 1960년대 초반 일대 혁신이 이루어졌다. 화력발전 설비 용량은 약 250MW급에서 1,100MW급으로 크게 증가되었고 발전소 제어계통도 기계 유압제어 방식에서 전자 유압제어 방식으로 전환되었다. 또한 발전 보조기들도 증가된 발전설비 용량 및 향상된 발전소 제어방식에 부응할 수 있도록 최적설계화의 노력이 이루어져 왔다.

화력발전 산업의 국산화는 1978년 서천화력 1·2호기를 시작으로 1979년 삼천포화력 1,2호기용 터빈발전기와 보일러, 발전 보조기기를 중심으로 진행되었다. 특히 삼천포화력 1·2호기는 국내 최대 용량(56만 kW×2기)으로 국내기업이 일괄 도급방식으로 추진하면서 제조 기술과 경험을 바탕으로 성장을 거듭해 왔다.

이후 한국 표준형 화력발전소의 기본 모델이 되는 보령화력 3·4호기를 통해 제조 및 설계기술개발에 집중적인 투자를 하게 되었으며 발전소 제어계통 및 일부 품목을 제외하고 화력 발전설비 전반에 걸쳐 국산화가 이루어

졌고 후속기를 수행하면서 구축한 기술능력을 바탕으로 보일러는 국내 발전소의 설계 및 제작을 통해 축적한 기술을 인정받아 1986년 CE사로부터 호놀룰루 프로젝트(111톤/H×1기)의 압력부와 아랍에미리트의 제벨알리 발전소 열회수용 보일러(250톤/H×3기) 및 보조보일러(350톤/H×2기) 등을 제작하게 되었으며 1993년 11월에는 사우디아라비아의 쇼아이바 발전소에 전력생산(550MW)과 담수 생산용 보일러(737톤/H×5기)를 설계, 제작, 시운전 및 성능보증까지 두산이 단독으로 수행하게 됨으로써 국제 발전기계 시장에서 위상을

높이게 되었다. 또한, 기존 표준 화력 보일러에 대한 설계 및 제작 경험을 바탕으로 주증기와 재열증기의 온도가 상승된 신규 표준화력 보일러에 대하여 시운전, 성능보증을 포함한 독자 설계를 수행하고 있으며 이를 기준으로 인도의 최초의 관류형 보일러인 Sipat(660MWx3) 프로젝트와 Mundra(800MWx5) 프로젝트에 보일러 수주를 하였으며 이는 보일러에 대한 기술력이 해외에서도 입증되는 사례이며 그 이외에도 인도네시아, 남미 등 세계 여러 가에 독자 설계하여 보일러를 공급하고 있다.

터빈/발전기 설계 및 제작기술은 1980년대부터 미국 General Electric 사와 설계/제작기술 전수에 대한 장기 협약에 따라 도입된 기술을 통해, 터빈 입구온도 566℃급 이하의 아임계압 및 초임계압의 200MW, 500MW, 1,000MW급 제품에 대한 제작 및 설계기술 등이 발전되어 왔다. 그간 30여 기의 제작, 설계 경험을 통하여 보유 모델에 대해서는 제작 및 설계 기술을 국산화하였지만, WTO 체제하의 국내 시장 개방과 2010년(예상) 발전설비 일원화 해제를 앞둔 상황에서 국내·외 시장에서 요구하는 경쟁력 있는 모델을 설계할 수 있는 핵심기술 확보와 기술 제휴사로부터의 기술자립을 숙원사업으로 하고 있다.

### 수력발전

1977년 8월 수차 전문회사인 프랑스의 Neyrpic 사와 수력발전기 전문회사인 프랑스의 Alstom 사 등과 기술도입계약을 체결하고 1979년 이들 기기의 제작을 위한 프랑스 현지파견 기술 연수를 통해 태국의 파타니 수력 발전소에 설치될 Butterfly Valve 및 Penstock 공급 계약을 체결, Neyrpic 사의 기술 자료에 따라 공급한 것이 수력 관련 최초의 제품이자 수출품이었다. 1981년 삼랑진 양수발전소(300MW×2기)의 Pump-Turbine과 Generator-Motor를 국내 기업이 수행하면서 새로운 도약의 발판을 마련하였다.

국제 경쟁 입찰로 발주되어 두 산중공업은 일본의 마루베니 상사와 컨소시엄으로 참여하여 수주하게 되었는데 Pump-Turbine 제작은 Hitach 사와, Generator-Motor는 Fuji 사와 공동으로 제작, 납품하였다. 1981년 말부터 일본의 두 회사에서 연수를 실시하여 습득한 기술로 대형 수력발전기계의 수출량도 크게 늘어났다.

1991년에는 무주양수발전소(300MW×2기) 건설공사에 두산이 주계약자 참여하여 프랑스의 I&C 전문회사 Cegelec 사와 Neyrpic-Alstom 사를 하청사로 선정하여 수행하였다. 무주양수 프로젝트를 위한 기술제휴사의 설계과정에 국내 기술진을 참

여시켜 터빈 발전기 설계기술을 전수받도록 하였고 1994년에는 산청 양수발전소(350MW×2기) 및 후속기를 수행하면서 많은 제작 경험을 통하여 수력 터빈발전기 제작부문의 국산화율은 100%에 이르게 되었으나 설계부분은 여러 가지 사정으로 완전한 기술자립을 이룩하지 못하고 있는 실정이다.

### 복합발전

복합화력용 기자재의 공급은 1992년 9월에 준공된 서인천 #1/2를 시작으로 평택, 보령, 한림 등에 일부 기자재를 국산화하여 공급하였으며, 1991년 GE와 가스터빈에 대한 기술 협약을 체결한 이후로 복합화력용 가스터빈의 Casing, Exhaust system 등 기자재의 일부를 국산화하여 국내에는 제주 한림 복합화력, 호남정유에 공급하였으며, 해외에는 태국, UAE, 오만 등에 Turnkey 방식으로 일괄 공급하였다.

배열회수 보일러(HRSG) 부문에 대하여서는 1988년부터 Alstom 사의 기술을 도입하여 이 분야에 대한 사업을 시작하였으며, 독자 Brand의 필요성으로 1996년부터 개발에 착수하여 '99년 영국의 Peter Head Project에서 독자 모델로 처음 수주하였다. 이를 통하여 국산화를 높인 결과 2003년 독자기술로 'D-Top Model'을 상품화하

여 이란으로부터 Mapna 등 대형 공사를 수주하였으며, 지속적인 기술 개발로 현재는 완전 기술 자립하여 세계일류화 상품으로 선정되었고, 세계 33개국에 330여 기의 HRSG를 공급하였다.

## 발전기계산업 기자재 기술발전 현황 및 국산화 현황

### 보일러(Boiler) 및 배열회수 보일러(HRSG)

세계 최초로 증기의 힘을 영리적인 목적에 사용한 것은 1699년 영국인 Thomas Savery가 증기기관을 발명, 광산에 고인 물을 퍼내면서부터이다. 그 이후 1766년에는 William Blakey에 의해 수관보일러가 발명되었고 1769년에는 James Watt가 비응축성 증기기관을 발명하여 세계 최초로 특허를 획득, 1785년 Wagon Boiler를 만들었으며 1800년대에는 이 보일러를 증기기관 차에 이용하게 되었다. 유럽 쪽의 개발과 병행하여 미국의 John Stevenson은 1804년 허드슨 강에 증기기관을 이용하여 증기선을 운행케 하였으며 1881년에는 최초의 발전소(73마력급)가 필라델피아에 건설되었다.

국내에서는 1887년

미국 에디슨전기회사에 의해 경북공의 조명용 전등을 밝히기 위해 최초로 증기기관을 도입하였고, 1898년 12월에 서울의 전차 운행에 필요한 증기생산을 위해 100마력 용량의 증기보일러를 운전하였으며, 1930년 11월 28일 만주의 유연탄 사용을 위해 건설한 당인리 화력발전소를 필두로 보일러의 사용은 급증하였으나, 국내산업의 취약성으로 해외기술에 의존하였다.

국내에 발전용 보일러의 시작은 1976년 11월 군산 및 영월 복합화력의 배열회수 보일러(Heat Recovery Steam Generator)의 주요 부품을 정부의 정책적인 지원으로 참여하게 되었으나, 국내의 중공업은 선진국에 비해 원자재 수급, 기술자 및 제작설비 등 대단히 낙후되어 보일러 기술이라기보다는 단품 제관제작 기술로 보일러에 대한 정확한 개념이 정

립되지 않은 상태이었다.(그림 1)

정부의 정책적인 지원으로 창원에 대단위 발전설비 전문 업체를 건설하면서 1978년부터 미국 CE사에서 기술연수를 통해 기초기반 기술을 습득하였고 국제 경쟁력을 확보하기 위해 1981년부터 단계적으로 설계자립을 추진하여 1990년 초에 기본적인 설계자립을 통해 신기술의 습득을 지속적으로 추진하여 독자설계의 기술을 확보하였고 인도를 비롯한 세계 발전시장에서 보일러를 공급하고 있으며 해외선진업체와 대등한 경쟁력을 구축하였다.

배열회수 보일러(HRSG)에 대하여서는 1996년 독자 모델의 개발에 착수하여 2003년 완전 독자모델을 개발 완성하여 국산화를 실현하였고 2003년부터 국내·외의 HRSG에 대하여 해외에는 95%, 국내는 5% 수준이며 연도별 국내·외 납품실적은 표 1과 같다.

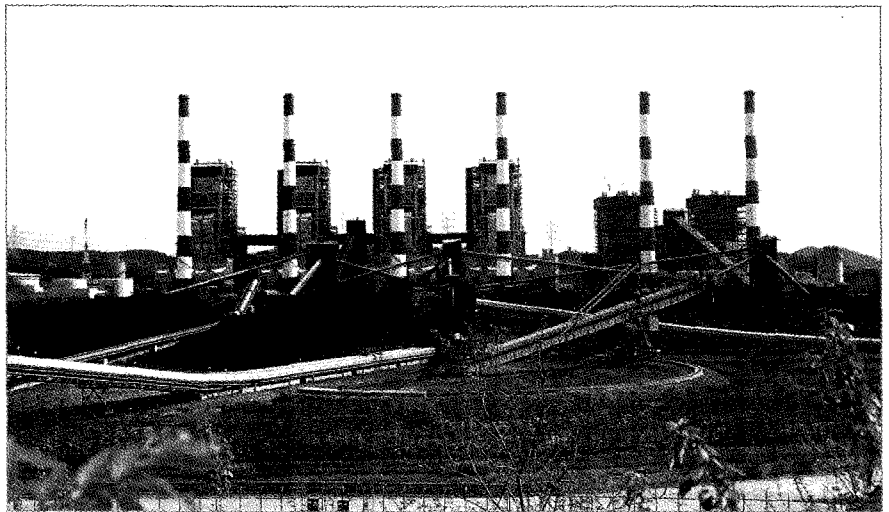


그림 1 최초로 국산화된 표준 500MW급 보령화력 보일러

표 1 두산중공업의 HRSG 공급 실적

(단위 : %)

구분	연도	2003	2004	2005	2006	2007	계
해 외		95	100	92	83	100	95%
국 내		5	0	8	17	0	5%

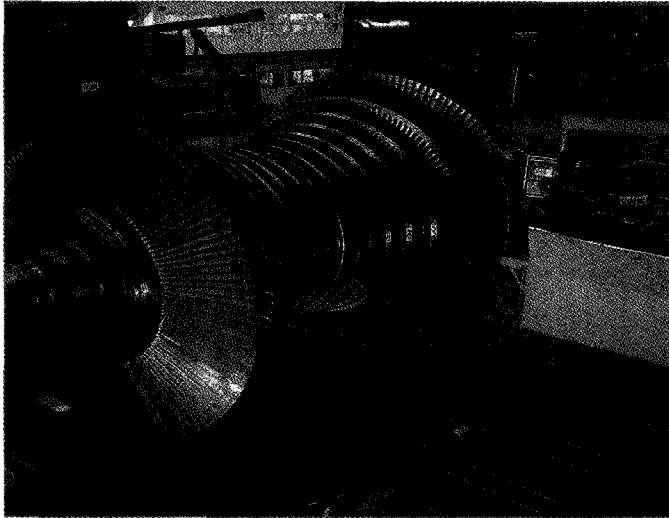


그림 2 로터 국산화 초도품 가공

관류형(Once-thru type) HRSG는 2005년 개발에 착수하여 개념설계를 완료하였고, IGCC용 HRSG는 2008년에 상품화를 위하여 개발 중에 있다. 이를 통하여 고성능 HRSG의 기술 개발이 가속화되고 있고, 대형화, 고효율화, 저공해 기술이 함께 추진되고 있다.

**증기 터빈-발전기**

발전기계의 핵심요소인 증기 터빈-발전기는 열원(증기발생기: 원자력, 보일러: 화력)에서 공급되는 고온 고압의 증기를 낮은 압력(진공압)으로 팽창시킬 때 발생하는 증기의 운동(속도)에너지를 이용해서 기계적 에너지인 회

전력으로 전환하는 터빈과 터빈의 기계적 에너지를 받아 전기를 발생하는 발전기로 구성되는데 고온·고압에 견딜 수 있는 소재 제작, 초정밀 기계가공 및 최첨단의 제어기술 등을 포함하는 고도의 기술을 필요로 한다. 이 때문에 전세계적으로도 터빈을 설계·제작하는 회사는 그렇게 많지 않으며 모두가 오랜 역사를 갖고 있는 기술 선진국 회사들이다.

국내에는 1976년 창원의 두산중공업을 발전설비 전문 업체로 선정하여 미국 GE사를 통해 기술 도입을 추진하였고 1979년에 삼천포 1·2호기의 부분적인 기자재 공급에 참여하면서 처음으로

제작기술을 배웠다. 1980년대 초반에 영광원자력 1·2호기는 미국의 Westinghouse에 올진원자력 1·2호기는 프랑스의 Alstom에 하청으로 참여하면서 제작 국산화율을 40%까지 높였고 1980년대 중반까지 국내 대형발전기계는 다양한 해외선진 Maker의 전시장을 방불케 함으로써 제작기술은 지속적으로 높일 수 있었으나, 설계기술에는 접근도 못하였다.

1983년 정부의 '발전설비 제조업의 합리화' 추진으로, 1985년 1월 25일 GE와 이전에 체결한 기술제휴계약을 변경하고 설계 기술전수를 포함한 Single Technology Transfer를 위한 TAA(Technical Assistance Agreement)를 체결하여 국내 표준원자력의 모델인 영광원자력 3·4호기 공급계약의 주계약자로서 사업수행능력과 설계, 제작 및 전 분야에 걸쳐 기술자리를 추진할 수 있었다. 설계 및 제작에 관련한 다양한 분야에 대한 기술연수와 영광원자력 3·4호기 설계 참여 및 500MW급 화력터빈의 설계참여를 통해 설계기술을 체계적으로 전수받았고 1991년에 올진원자력 3·4호기의 복제설계수행과 1995년에 동해화력 1·2호기를 시작으로 자체설계 능력을 크게 배양하였다.(그림 2)

2000년대 초부터 정부의 주도로 1,400MW급의 원자력과 1,000MW급의 화력 USC(Ultra

Super Critical)터빈발전기 개발을 통해 최신기술을 습득하여 경쟁력을 확보함으로써 국내 500MW USC 화력의 국제경쟁에서 국내 기업인 두산중공업에서 전량 수행할 정도로 경쟁력을 높였고, 향후에 발전시장이 증가 추세에 있는 인도, 중국 등에 수출형의 50Hz 시장개척을 위해 새로운 모델개발에 집중도를 높이고 있다.

### 수력터빈

자연의 자원을 있는 그대로 활용하면서 공해문제를 일으키지 않는 수력 발전기계는 우리나라와 같이 부존자원이 빈약한 국가에서 는 각광을 받는 발전기계이다.

1970년대 이전에는 국내 산업의 열악한 환경으로 일본을 비롯한 해외 선진사를 통해 수입하였으나, 1970년대 중반부터 중화학 공업의 육성으로 국내의 두산중 공업을 주축으로 제작공급을 착수하였다.

1977년 7월 프랑스의 Neyrpic사와 기술전수 계약을 통해 1979년부터 수력발전 기계의 연수를 실시하였고 1981년 삼랑진 양수발전에서 국제 경쟁입찰의 일본 업체와 컨소시엄으로 참여하면서 수차는 Hitach, 발전기는 Fuji의 기술을 지원받아 초대형 기자재의 제작기술을 습득하였고 1990년대 초반에는 무주양수를 프랑스의 Neyrpic 및 Alstom을 통해 기술전수를 받아 설계기술

을 습득하였다. 이후에도 후속기를 통해 설계기술을 꾸준히 높여왔으나, 국내의 수자원 부족으로 독자설계를 위한 기술력 확보에는 한계가 있어 독자모델의 구축은 시장성을 고려하여 유보하였으나, 필요시 시장성 있는 독자모델을 구축할 기술력을 확보하였다.

### 가스터빈

1991년 6월에 미국의 General Electric사와 기술전수 계약을 통해 1992년부터 가스터빈에 대한 기술연수를 실시하였다. 이에 따라 가스터빈 Hot Parts 및 Rotor Kit를 제외한 Casing, Inlet & Exhaust system 및 보조기계에 대한 국산화를 이루었으며, 1996제주 한림복합 및 호남정유(현 GS Caltex) 열병합 발전소에 최초로 창원공장서 제작 및 조립한 가스터빈을 공급하였다. 이후 지속적으로 후속호기 제작 및 가스터빈 주요기자재에 대한 GE 수출 등을 통하여 Rotor 및 Hot part를 제외한 가스터빈 제작기술을 확보하였으나, 기술 원천사인 GE의 Rotor 및 Hot parts 제작기술 전수 기피로 인해 Key Component에 제작기술 개발은 유보하였으며, 2006 7월 GE와 기술 제휴를 종료하고, 2007년 4월에 Mitsubishi Heavy Industries사와 압축기 블레이드, 베인, rotor 제작을 포함한 가스터빈 제작 기술 협력을 맺어 가스터빈 제작기술

확보를 위한 전기를 마련하였다. 아울러 발전설비의 제작기술의 핵심인 가스터빈 고온부 부품(Hot Parts) 제작을 위한 합작공장 건설을 추진 예정이다.

## 발전기계 산업 기자재 기술개발 현황 및 향후 전망

### 기술개발의 정부정책

#### 1) 산업구조 고도화 정책

정부의 산업정책은 자본력 주도의 경제활동에서 기술력 주도의 경제활동 개념으로 산업구조 고도화 정책을 이미 추진하고 있으며, 경제발전의 원동력은 제조업의 성장, 발전에 있으므로 기술개발을 통하여 제조업의 경쟁력을 지켜나가는 것이 우리 경제의 지속적 발전을 위한 관건이 되고 있다.

따라서, 정부에서는 생산활동의 주체인 기업 스스로 기술개발과 경영합리화를 통하여 대외 경쟁력을 확보할 수 있도록 기업 스스로 해결하기 어려운 공통적 애로 기술의 개발, 선별적 자금지원의 원활화, 인력양성, 사회간접 자본 투자 확대, 산업 입지간의 해결 등에 주력지원을 할 것이고, 대기업의 자율적인 노력으로 기술개발과 생산성 향상이 추진되도록 기업환경을 개선하는 데 역점을 둘 것이다.

#### 2) 기계산업의 해외 경쟁력

기계산업은 산업발전의 최종단계로서 기계산업의 굳건한 기반 없이는 산업화가 달성되었다고 볼 수 없으며, 우리의 일반 기계산업은 핵심 기술 및 부품에 대한 외국 의존도가 높으며 특히 대일 무역역조의 주원인이 되고 있는바, 예로서 '05년도 대일무역역조 244억\$ 중 일반기계류 대일역조가 63억\$을 차지하고 있다. 주된 이유는 완제품 조립, 제작기술에 주력함으로써 설계 및 응용기술 수준이 낮고 국산화가 미흡한 때문이고, 설계기술 개발 및 현장제조기술의 향상으로 기술자립화 및 품질 경쟁력 강화가 필요하다.

#### 고효율 및 고성능 기술개발

1990년대 후반부터 시작된 발전설비의 고효율 및 고성능 추세에 따라 해외선진업체들은 경쟁적으로 성능 향상을 위한 고도의 설계기술을 개발하고 있다. 국내에서는 전력산업의 안정적 산업기반 구축을 목적으로 추진 중인 차세대 화력발전용 1,000MW는 초초임계(Ultra Super Critical) 용의 고온·고압(증기조건: 265 kg/cm<sup>2</sup>, 610/621℃)의 운전 조건을 목표로 하고 있으며, 이에 따른 관련 설비 및 소재기술의 연구개발도 활발히 진행 중에 있다. 이와 병행하여 발전설비의 주기기인 보일러 및 터빈-발전기의 1,000MW급의 상용 모델개발을 2008년까지 완료하는 것을 목표로 전력산업에 관련하는 여러 기

업 및 기관에서 장기 개발 계획을 설정하고 체계적으로 추진하고 있으며 이를 통해 국내에서 1,000MW급 USC 보일러를 건설할 예정이다.

또한 두산중공업은 대형화, 고효율화 및 저공해기술의 개발을 통한 EPC공사의 수행을 추진하고 있으며, 이러한 수행경험을 바탕으로 개별 발전사업(IPP)에 직접 참여하여 발전산업의 발전에 기여할 예정이다.

#### 환경규제 기술

보일러의 화로에서 화석연료가 연소될 때 유해 물질인 질소화합물(NOx)과 황산화물(SOx) 및 먼지가 배출되고 이에 대한 환경규제 조건이 있으며 유해 물질 최소화가 필요하다. NOx는 연료의 종류에 영향을 받게 되는데, 보통 기체 및 액체연료가 연소 시에는 대부분 Thermal NOx가 배출되고, 고체연료인 석탄연소에서는 상대적으로 Fuel NOx가 주종을 이루는데 연소 기술에 의한 저감 방안은 주 화염 영역의 산소농도를 저하시켜 화염온도를 낮추는 방법으로 NOx 저감시키는 것이 효과적이다.

최근에 석탄 보일러는 NOx를 저감하기 위하여 저 NOx 버너를 개발하여 공급하고 다단 연소를 통하여 연소 시에 발생하는 NOx 발생을 최소화하고 있으며 보일러 후단에 NOx를 제거하기 위한 탈질 설비를 설치하고 있으며 황

산화물은 탈황설비를 통하여 제거하고 미세 먼지는 전기집진기를 통하여 최소화하여 대기오염을 최소화하고 요구되는 환경규제를 만족시키고 있다.

화석 연료 연소에 발생하는 오염물질을 제거하기 위하여 이외에도 CO<sub>2</sub>와 수은 최소화를 포함한 Total Air Quality Control System을 지속적으로 개발 중이며 이를 통하여 보다 친 환경적인 화력 발전소 운영이 가능할 것으로 판단된다.

#### 노후 발전기계의 성능개선 기술

국내 대형 발전소의 주요 설비는 1970년대 후반부터 건설되기 시작하여 연료비 손실 등으로 수명연장 또는 성능향상이 요구되기 시작했으며 노후화 추세를 고려할 때, 향후 5년 후에는 발전설비의 효율성을 고려한 종합적인 성능개선 방향을 정립하여 현품 맞춤형설계를 요구하는 성능개선 기술의 확보가 필수적이다.

2005년도 기준으로 UDI의 자료에 따르면 세계적으로 10년 이상 운전 중인 100MW 이상 화력발전기계는 1,864GW이고, 원자력 발전기계는 421GW이며, 공급사를 기준으로 화력은 Alstom계열 41%, GE계열 36%, Siemens계열 23%로 구성되고 원자력은 Alstom계열 59%, Siemens계열 25%, GE계열 16%로서 구성되어 있다.(표 2)

성능개선 사업의 해외시장은

표 2 세계 100MW 이상 발전설비

(용량 : 100MW 이상, 단위 : GW)

구분	운전 연수	Alstom계열	Siemens계열	GE계열	Total
화력	10년 이상	191	108	171	470
	15년 이상	169	81	153	403
	20년 이상	124	70	131	325
	25년 이상	96	70	116	282
	30년 이상	56	120	208	384
	합계		636 (41%)	449 (23%)	779 (36%)
원자력	10년 이상	87	37	171	148
	15년 이상	74	39	39	152
	20년 이상	37	28	20	85
	25년 이상	11	15	10	36
	합계		209 (59%)	119 (25%)	93 (16%)

\* 자료출처 : '05 UDI(Utility Data Institute) 자료

2010년까지 연평균 3.3%의 성장률이 예상되며, 지역별로 북미 시장이 53%, 아시아 시장이 20%를 점유하며, 국내시장은 설비의 노후화가 가속됨에 따라 연평균 8% 수준이며, 표준화력

500MW 및 표준원자력 1,000 MW급은 14%의 성장이 예상된다. 해외 선진업체에 비해 국내 기업은 성능개선 시장의 참여 기회가 상대적으로 적었으나, 최근에는 성능 개선 시장에도 적극적

으로 진출하고 있으며 국내에는 보령 1·2호기에 대한 성능 개선 공사를 수행하고 있으며 국내 주요 발전설비의 성능개선 시장 확보를 위해 기술개발 과제를 지속적으로 추진하고 있다.

## 기계용어해설

살붙임용접(buildup welding)

마모 등으로 얇아졌거나 결함부분을 제거한 모재를 본래의 두께로 복구시키는 용접.

브리넬 경도(Brinell hardness)

브리넬 경도시험기에서 강구압자를 써서 시험면에 구상의 피트를 붙였을 때, 그 하중을 피트의 표면적으로 나눈 값.

브라인(brine)

냉동장치와 냉각되는 물품 사이에서 열의 이동을 촉진시키는 매체인 염화칼슘 수용액, 염화나트륨 수용액, 염화마그네슘 수용액.

브라인 냉각기(brine cooler)

냉장고나 제빙장치에서 냉매의 팽창에 의하여 먼저 브라인을 냉각시킨 후 그것을 순환시켜 냉각시키는 기계 즉, 브라인에 의한 냉각기.