

# 산업용 및 열병합발전용 증기터빈의 최근 변등추이

LG엔지니어링(주) 기전사업부

발전팀 과장 오일영 · 최용기

(02) 3270-6337 · 6294

## 1. 개요

선진 증기터빈 제작사는 1900년대 초반부터 산업용 및 열병합발전용으로 설치할 증기터빈/발전기를 생산해 왔으며, 현재까지 전세계적으로 설치, 운용되고 있다.

현재까지 꾸준한 생산 및 포장운송기술의 혁신을 통해 성능, 신뢰성 및 비용절감 노력을 지속적으로 개선시켜왔다.

이러한 노력은 고객들이 구입한 터빈 설비의 운영 비용을 절감함으로써 고객들의 욕구를 충족시킬수 있도록 개선의 노력을 계속하고있다.

여기서는 산업용 증기터빈의 최근의 개선 방향에 대해 GE(General Electric)사를 중심으로 검토하기로 하며 최근의 기술동향 파악에 도움이 되었으면 한다.

본 자료중 일부는 번역으로 인한 용어해석이 다소 다를수도 있음을 밝힌다.

## 2. 조립생산체계

터빈 성능의 저하없이도 신뢰성을 확보하기 위하여 오래전부터 조립생산체계를 산업용 터빈 생산라인에 적용시켰다.

이 구조는 특별한 조건들을 만족시키는 주문 제작된 Steampath의 납품과 새로운 대안에 대한 예비설계시 검토되고 현장검증된 설비요소들을 선별, 조정함으로써 고객의 독특한 운전조건에 대한 터빈 구성을 완벽하게 활용할수 있도록 되어있다.

이 설비의 주요부를 구성하는 구성요소들은 Front Bearing Standards, Inlet Section, Valve Gear, 추기 및 배기Section으로 이루어져 있다.

최근의 개선 노력은 운용되고 있는 설비들을 대체하거나 구성 설비들을 개선 확대시키는 방향에 중점을 두고있다. 터빈의 Barrel Section은 사용자의 특수한

운전조건에따라 각 Unit에 대해 주문 제작되고있다.

조립체계 혁신을 통해 생산비용과 운송시간을 최소화하는 한편, 설비의 신뢰성과 성능을 극대화하고 있다.

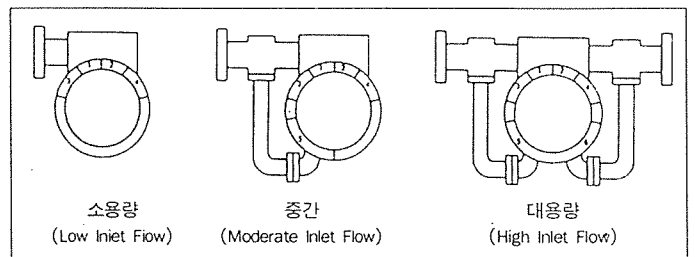
## 3. 설비구조 개선동향

### 3.1 증기유입부와 Casing

(1) 생산 라인의 표준화는 주어진 압력등급내의 각각의 Inlet Section 갯수를 감소시키므로써 개선되어 왔다.

다음 <그림-1>에서 볼수 있듯이 주어진 압력등급 허용범위내의 유입량 최저치는 상부측 Half Casing까지 제한시키며 원활한 증기의 유동을 위해, Control Valve와 소형 연결관이 하부측 Half Casing내에 추가설치된다.

증기유입량의 최대효과를 위해서는 별도의 Control Valve와 소형 연결관이 하부측 Half Casing내에 추가된다.



<그림-1> 증기 유입부 개념도

이러한 방법으로 설계된 Inlet Sections부위는 궁극적으로 제작 기간을 더욱 단축하고 생산비용 절감의 효과를 가져오는 설비의 표준화를 필요로 한다. 현재는 Overhead Crane의 접근이 편리하도록 상부측 Half Casing내에 모든 Control Valve를 수직방향으로 설치되게하므로써 유지보수가 용이하게 설계하며 상

부측 Half Casing을 들어올려야 할 때 분해가 손쉽도록 소형 연결관과 Lower Half와의 연결은 Flange방식을 선정하고있다.

새로운 방식의 Inlet Section과 함께 Valve Gear 형식 또한 유입량의 한 기능 으로서 선정되고있다.

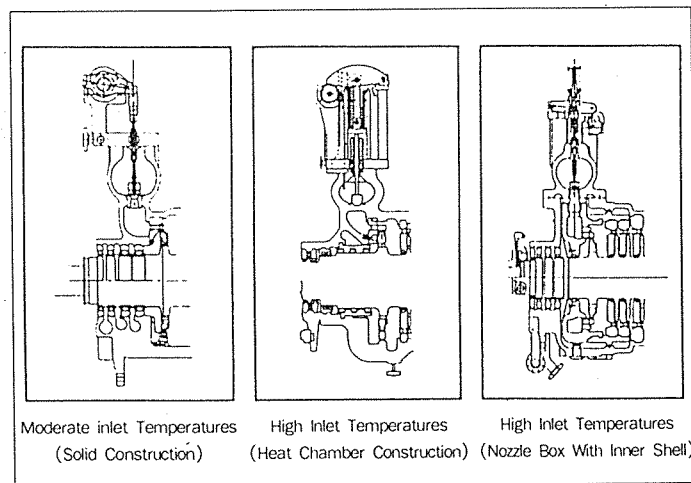
유입량이 적은 경우 Valve-Stem측 누설량의 감소를 통해 비용 절감효과와 성능 향상을 위하여 Bar Lift 방식을 적용한다.

이와 반대의 경우에 있어서는 밸브와 디스크의 안정성 및 Seat 수명유지를 위하여 각기 독립적인 구동형 Cam Lift 방식을 적용한다.

(2) 증기 유입부는 증기의 유입압력 및 온도에 따라 달라지며 다양한 증기유입 형식은 다음 <그림-2>에서 보여준다.

유입증기의 온도와 압력이 낮은 조건에 있어서는, 증기 유입부분이 Casing 자체에 설계제작되며 그 재질은 경제적이며 견고한 주물제품을 사용한다.

유입증기의 온도와 압력이 높은 경우에는 필수적인 Heat Chamber를 이용하는 Free-expanding Chest 설계방식이나 또는 Inner Casing이 사용되는 Nozzle Box 방식을 선정한다.



<그림-2> 다양한 증기유입 형식

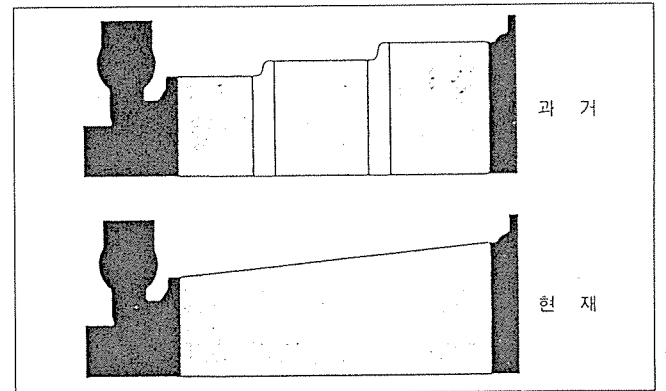
(3) 상기 두가지 모두 정상운전 상태에서 열영향에 의한 Casing수명을 고려한 설계방식이다.

Casing은 Steampath구역에서 증기가 Downstream 방향으로 팽창배기될 때 원활한 유동 흐름을 형성할 수 있도록 원추형 모양으로 제작한다.

개선된 원추형 Casing의 설계방식은 과거의 분할 구획방식의 Casing을 사용하지않고 비용절감, Casing

제작기간 단축 및 열응력 감소 효과를 거두게되었다.

이 두가지 방식의 Casing에 대한 설계 개념도는 다음 <그림-3>과 같다.



<그림-3> Casing 설계 개념도

### 3.2 Bearing

증기터빈의 신뢰도 및 운전능력은 무엇보다도 Rotor의 역학적인 문제와 베어링 성능에 의해 좌우된다. 현재 산업용 증기터빈에 대부분 채택하고 있는 베어링은 Tilting Pad Journal 베어링과 Thrust 베어링이다.

이들 베어링은 Rotor의 안정성을 유지하고, Rotor의 오정렬(Misalignment)에 의해 터빈의 성능 및 신뢰도를 저하시키는 제반 문제들을 흡수 및 상쇄시켜 터빈설비의 성능과 신뢰도를 향상시킨다.

### 3.3 Steampath

Steampath는 터빈의 필수 불가결한 요소이며, 설계여부에 따라 터빈의 성능이 결정된다. 증기터빈 설비에 대한 다각적인 설계경험을 통해 Wheel과 Disphragm의 구조적 특성을 이용한 충동터빈을 제작해 왔다.

또한 지속적인 성능을 유지하는 이 형식의 잇점을 보다 증가시키기 위한 여러가지 노력을 기울여왔다.

터빈성능 개선하기위한 노력은 산업용 터빈에서 이미 입증된 바와같이 성능에 따라 경제성 문제와 밀접한 관계가 있으며, 설계방식과 조립생산 체계가 보다 발전되므로써 성능개선을 이룰수 있게되었다.

이러한 노력은 Computer를 통한 설계를 시행하므로써 터빈성능 개선이 가능하도록 하였다. 누설감소 및 유동손실 감소와 함께 소형의 Steampath 구성이

가능하게 되었다.

Buckets, Nozzles, Exhaust Hood의 공기역학 성능 향상을 위한 최신의 3차원 설계방법을 통해 저압터빈 설계에 활용하기 위한 노력을 기울여왔다.

개선된 20인치 Last-stage Bucket을 채택한 최근의 저압터빈은 이전에 사용된 설계방법보다 성능이 1.5 ~ 2%정도 증가하였다.

산업용 대형 터빈에 있어서는 Single-flow형에서 활용하는 비재열 저압부에서 배기손실을 최소화하는 120MW정도까지 출력하는 Single Casing으로 발전해왔다. 30인치 Last-stage Bucket은 25년 이상 산업용 터빈설비에 운용되어왔다.

### 3.4 축배기 방식(Axial Exhaust)

과거에는 산업용 및 열병합발전용으로 사용하기 위해 설계된 대부분의 증기터빈은 Condenser가 하부에 위치하는 Down Exhaust 방식을 채택사용하였다.

그러나 Axial Exhaust 방식을 채택사용하므로써 터빈 제작비용 뿐만아니라 배기손실을 줄일 수 있게 되었다. 대부분의 산업용 증기터빈은 현재 Down Exhaust 방식 또는 Axial Exhaust 방식 모두 사용이 가능하다. 축배기 방식(Axial Exhaust)은 성능을 염두에 두고 Casing Wall등에 대해서 효율적인 설계가 되도록하였다.

축배기 방식(Axial Exhaust)의 채택은 터빈성능을 평균 25 ~ 50% 향상시킬 수 있으며, 40MW터빈의 경우 동일한 연료 소모량에 대해 약100 ~ 200 kW 정도의 출력향상이 가능하다.

## 4. 패키지화 기술동향

### 4.1 개요

선진 증기터빈 제작사는 패키지화된 산업용 터빈/발전기를 조립생산하고 있으며 이는 엄격한 제작 공정을 관리하므로써 가능할 수 있게되었다.

패키지화된 산업용 터빈/발전기들은 현장에서 정렬(Alignment)을 확인하고 Base상에 설치된다.

또한 제작공장에서는 가능한 최대로 배관작업, 배선작업 및 각종 시험을 실시하도록 한다.

제작공장에서 패키지화하는 잇점은 현장에서의 건설공정 지연에 대한 위험부담 감소와 함께 설치비용을 절감시키고 설치시간을 단축시키는 것이다.

패키지화된 소형 설비로부터 얻은 경험을 통하여 현재는 대형의 설비로까지 적용시키고 있다.

선진 증기터빈 제작사는 현재 Down Exhaust방식에서 20인치 크기의 Last-stage Bucket을 갖는 패키지화된 증기터빈/발전기를 제작생산 및 운영하고 있으며, 축배기 방식(Axial Exhaust)에서는 30인치의 Last-stage Bucket을 갖는 패키지화된 증기터빈/발전기까지도 제작생산하고 있다.

이렇게 생산된 증기터빈 발전기는 Down Exhaust 방식에서는 약 50MW용량의 증기터빈 발전기를 제작생산하고 축배기 방식(Axial Exhaust)에서는 120MW용량의 증기터빈 발전기까지는 실질적으로 배관설치작업 및 배선작업은 모두 제작공장에서 완전조립되고 Base상에 설치되어 건설현장으로 바로 수출될 수 있게 되었다.

### 4.2 패키지화된 대형 설비의 특징

(1) 선적시 기본적으로 공간제한 때문에 터빈/발전기, 유탄유 및 유압계통은 각각 이미 패키지화된 Skid방식으로 제공된다.

증기터빈은 I-Beam Base상에서 완성품으로 공장조립되어 출고되며, 이때 Optical Target은 Base의 각 코너에 설치되며 현장설치를 각각의 Optical Target 위치에는 공장조립시의 정렬(Alignment)값을 기록하게된다.

터빈설비가 현장에서 설치될시 공장조립시의 규정치를 확인할 수 있도록 하기 위하여 수평조정 도구를 이용하여 수평조정 작업을 실시한다.

또한, 현장에서의 정렬(Alignment)작업을 용이하게 하기위해 Front Standard에서 고압부Shell의 Gib Key안에 Pin을 공장에서 끼워놓고 현장에서 Leveling작업 완료후 Pin이 공장조립때처럼 원활하게 분리, 조립된다면 터빈을 현장에서 설치작업 하는 동안 Base상에서 뒤틀림이나 찌그러짐등 어떠한 변형도 발생하지않았다는 것을 의미하므로 정렬(Alignment)을 재확인하기 위해서 상부측 Half Casing등을 다시 분해할 필요가 없다.

(2) Gland Condenser대신에 Spray Chamber가 공급된 터빈설비에서는 현장에서의 설치시간과 설치비용을 절약할 수 있도록 하기위하여 선적에 앞서 공장에서 모든 Steam Seal System을 제작 및 조립한다.

다른 설비에서는 그 크기로 인해 Gland Condenser가 터빈의 주위에 따로따로 설치된다.

모든 Steam Seal 계통의 배관작업은 공장에서 수행되며, Gland Condenser와의 현장에서의 용이한 상호연결 작업을 위해 각 끝단부는 Flange 방식으로 제작된다.

(3) 윤활유 및 유압계통은 터빈/발전기 부근에 설치되며, Low Profile방식의 설계 및 터빈/발전기와 윤활유 및 유압계통간의 짧은 거리는 적절한 Lube Oil 드레인에 필요한 거리를 최소화하도록 하며, 이는 축배기 방식(Axial Exhaust)의 터빈/발전기가 최소의 경비로 제작 및 설치될수 있게되었다.

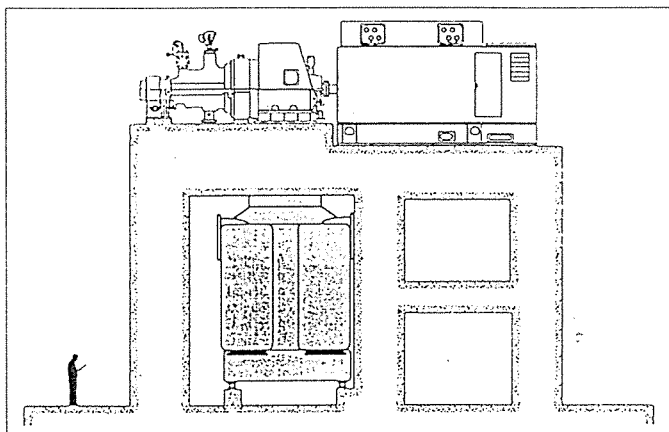
유입 및 배출배관은 공장에서 조립되고 터빈 Base의 끝단부에서 종결되며,공장에서 가조립된 플랜지형식으로 연결되는 Flexible Expansion Joints와 중간연결되는 단관의 연결배관만이 현장에서 설치될 뿐이다.

터빈 Base에 설치된 유입 및 배출배관과 윤활유 및 유압설비들은 공장에서 사전 소제되기때문에 현장에서의 설치 및 세척시간을 훨씬 단축시킬수 있다.

모든 터빈/발전기의 전기장치와 Sensor들은 Base부근의 Junction Box에서 배선연결과 함께 공장에서 미리 배선작업되게된다.

이러한 설계방식을 이용하여 얻게되는 이익은 과거의 설비구성을 상호 비교하므로써 매우 크다는 것을 알게되었다.

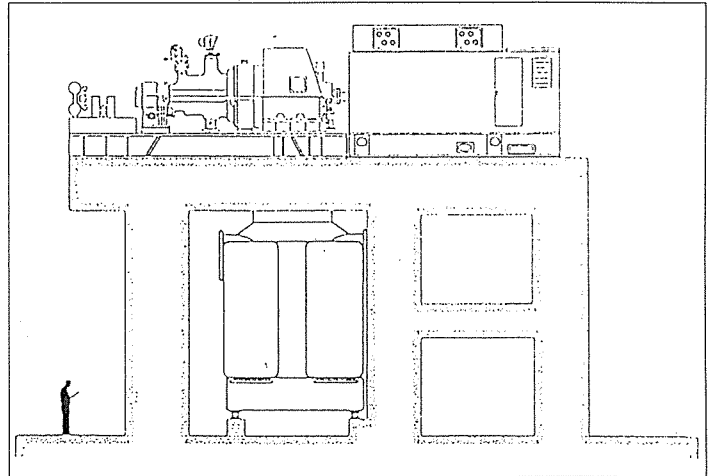
아래 <그림-4>는 과거 Base방식이 아닌 Pedestal 상에 설치된 전형적인 자동추기 Condensing 방식의 40MW 증기터빈의 실례를 보여주며 터빈의 배기는 터빈하부에 위치한 Condenser쪽으로 이루어진다.



<그림-4>Pedstal에 설치된 Down Exhaust방식의(Unpackage)터빈

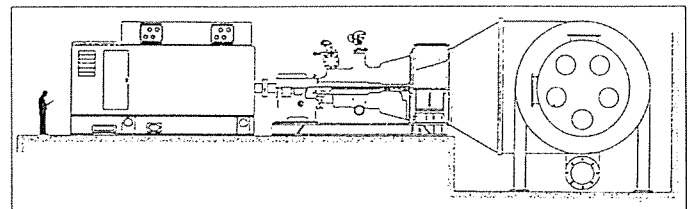
(4) 설치비용, 시간뿐만 아니라 설비기초의 복잡성은 아래의 <그림-5>처럼 Skid방식의 윤활 및 유압

계통이 터빈설비들과 함께 동시에 Base상에 설치되는 Down Exhaust 방식의 설비를 채택하므로써 감소시킬수 있으나 축배기 방식(Axial Exhaust)을 채택하므로써 그 비용을 더욱 감소시킬수 있다.



<그림-5>Pedstal에 설치된 Down Exhaust방식의 (Package)터빈

(5) 동일 용량의 터빈에서 Low-profile방식으로 Base상에 설치된 유사한 기능의 축배기 방식(Axial Exhaust)으로 설치된 터빈설비는 아래 <그림-6>과 같다.



<그림-6>패키지화된 Low Profile방식의 축배기 방식 (Axial Exhaust)의 터빈

(6) 비패키지화 Down Exhaust 설계방식과 비교할 때 패키지화된 축배기(Axial Exhaust)방식의 잇점은 다음과 같다.

1) 터빈의 효율 증대

축배기 방식(Axial Exhaust)의 터빈 효율은 Down Exhaust 방식의 터빈보다 일반적으로 25 - 50% 정도 높다. 그리고 설비의 수명에 대한 연료절감비는 설비 비용의 2.5~12.5%에 달한다.

2) 건축비용의 절감

Low-profile 설계방식에 의해 설비들을 설치할 때 필요한 건물의 전체높이를 낮출수 있고 전체 콘크리트와 설비기초를 설계할 때 훨씬 간편하게 할수 있으므로 제반 건축비용을 절감할수 있다.

### 3) 설치비용의 절감

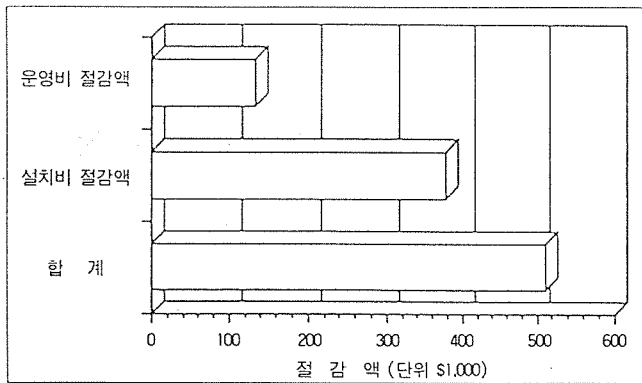
현장에서의 설치시간을 단축하기 위하여 패키지방식의 설계에서는 Junction Box에서 마무리되는 모든 전기 및 계장분야의 배선작업뿐만 아니라 관련 배관들을 사전 조립 및 소재한다.

아울러 Axial Condenser를 설치하고 터빈의 고정부 및 회전부의 Alignment상태를 검사하는데 필요한 시간 또한 단축시킨다.

### 4) 설치시간 단축

비패키지화 설비보다 패키지방식의 터빈/발전기가 설치되는데 소요되는 시간이 40%까지 단축시킬수 있다.

(7) 다음 <표-1>과 같이 Low-profile방식으로 설치할 때 Axial Exhaust를 갖춘 패키지방식의 터빈/발전기를 선택하므로써 연료비 절감부분과 Plant를 조기 가동하므로써 발생하는 비용절감 부분을 포함하지 않고서도 전체 비용에서 대략 50만 달러가 절감됨을 알수 있으며 많은 자가발전 설치를 위한 사업계획 추진에 있어서는 설치방식 선정에 따라 소요비용의 차이가 많음을 알수 있다.



<표 -1> Down Exhaust(비 패키지화)에 대한 Axial Exhaust(패키지화 및 Low Profile방식)와의 비용절감 비교표

Down Exhaust방식의 비패키지화의 설계방식과 비교하여 Base상에 설치된 Axial Exhaust방식을 선택하는데 있어서의 경제적 잇점이 중요한 반면, 이것들이 타사의 Multi-casing방식과 비교할 때는 그 차가

훨씬 크며 이러한 설계방식은 Crossunder Pipe에 의해 분리된 고압터빈과 저압터빈을 일체식으로 제작할수있게하였다.

Single Casing 터빈에 비해 각각 몇개로 분리되어 현장에 도착한 터빈/발전기는 현장에서의 터빈설비 기초에 대한 고도의 정밀성 요구는 물론 현장배관설치작업, 배선작업 및 정렬(Alignment)작업에 대해 많은 시간을 요구한다.

### 4.3 자재 인도일정 단축

최근 경험을 바탕으로 에너지 발생설비들 특히, 복합Cycle의 경우 가스터빈과 맞물려 운전되는 증기터빈은 과거에 요구됐던 것보다 더 빠른 납기가 필요하게 됨에 따라 선진 증기터빈 제작사는 대부분의 산업용 터빈/발전기에 대하여 자재 인도가 12개월로 까지 단축시키려는 노력을 해왔다.

설계 및 제작혁신을 통해 자재 인도일정 단축이 가능하였으며 이에 대한 방법은 다음과 같다.

#### (1) 설계표준화

표준설비들을 최대 활용하여 Data Base화를 통한 구성설비들의 설계표준화는 계획, 설계 및 제작등 전체적인 소요시간을 단축시켰다.

#### (2) 설계자동화

표준화된 구성설비들중에서 조합 및 선별에 의한, 특별히 채택된 터빈을 최대한 활용하기 위하여 자동화된 설계시스템이 개발 발전되어왔다.

이 설계시스템은 많은 터빈 구성설비의 상세도면을 작성 및 저장할수 있고 설계도 작성초기에 최소화하여 자동적으로 설계한다.

터빈설계가 표준화된 하드웨어 설비로부터 자동화 및 개발이 진행되는 동안, 예비설계도가 완성된 후 터빈에 대한 안정도 및 진동영향등을 점검하기 위한 총체적인 기계적 분석이 이루어진다.

이러한 설계과정은 터빈의 주문 특성에 따라 최대출력을 발생할수 있는 증기터빈 설계제작을 가능하게 하였으며 이렇게 적용 채택된 설계자동화 수준은 설비의 주문서에 따라 몇주내에 초기 단계의 설계도면 작성을 가능하게한다.

#### (3) 기술공유 협력체제

선진 증기터빈 제작사는 운전수명이 길고 고부가

가치의 터빈 구성설비를 추구하고자 부속 기자재 납품업자와 협력체제를 구축하여왔으며 고품질을 유지하면서도 최소기간과 최소비용으로 실행될 수 있음을 입증하여왔다.

Rotor의 제작기간을 단축하기 위해 단조제품의 주관매자의 생산계획에 Slot를 추가로 확보하는 등 최단기간내에 증기터빈 선진 제작사가 주문된 Rotor의 제작능력을 확보하도록 하였다.

전산망 구축(EDI)에 의한 기술관리 체제 이용등 자동화된 생산설계시스템 이용으로 제작주문시 신속하고도 자동화된 시스템에 의해 주문사항을 공유하므로써 제작을 위한 설계가 즉시 착수될수 있도록하였다.

현재, 주문량의 1/2정도는 본 시스템을 통해 직접 실행한다.

#### (4) 독창적 제작방법

Front standard, Valve Gear, Oil System과 같은 주요 조립부품들은 설비가 최종 조립되기전 총체적 조립 및 검사되어지는 제작 시스템을 구축하므로써 전체적인 제작기간을 단축시켰다.

#### (5) 포장 및 운송기술의 향상

제작공장에서의 증기터빈의 조립, 포장 및 운송기술의 향상은 건설현장으로의 인도기간 단축에서 운전병입까지 전체적인 건설공정을 단축시켰다.

또한 건설현장에서 종합건설공정에 영향을 주는 설치공사시 예기치못한 돌발사태로 인한 작업진도의

지연을 최소화할수 있게 되었다.

## 5. 결론

현재까지 보아왔듯이 증기터빈 선진제작사는 산업용 및 열병합발전용으로 사용하고자 하는 여러 사업주들의 욕구를 만족시키기 위하여 수많은 혁신과 노력을 기울여왔다.

과거의 터빈에 대해 끊임없는 기술개발을 통한 개선 증진노력을 기울이고 있지만 과거의 Wheel-and-Diaphragm설치 및 수평분할 형태의 Single Casing설계방식 등은 현재도 그대로 이용 채택되고 있다.

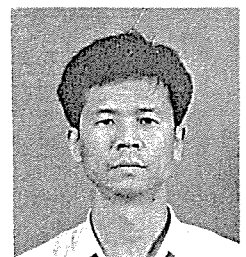
이렇게 실증된 특징들은 증기터빈 선진 제작사의 설비를 설비성능, 신뢰도, 운전성, 유지보수 및 설비수명 측면에서 비교우위를 확보하게 하였다.

선진 제작사는 열거된 설비의 생산시스템 강화를 통하여 이러한 강점을 갖게될수가 있었다.

정책적으로 증기터빈 선진 제작사는 새로운 형식에 적용될 뿐만아니라 산업Plant현장에서 이미 세계적으로 널리 채택 운전되고 있는 재래의 많은 터빈들도 설비개선할수 있도록 생산시스템을 개발시키는 노력을 경주하고있다.

이러한 시도와 노력은 최근 개발된 기술을 통해 예전의 고가의 터빈 사용자에게까지도 디지털 제어 방식과 효율이 더욱 높은 Steampath부를 보유할수 있는 잇점을 가져다주었다.

## 발전기 자동 전압조정설비의 이해 및 관리



김 영 철  
 님영엔지니어링 대표  
 (02)598-7896

### 1. 개요

발전기에 있어서 발전기 단자전압을 일정하게 유

지(무부하시의 발전기)하는 제어부분이 있는데 이것을 자동전압 조정 설비(A.V.R)라 한다. 그런데 발전기를 병렬운전시 유,무효 전력분에 대한 고려와 발전