

화력발전설비 효율의 향상경향과 전망

최 열

한국전력공사 전문원실장



●1936년생
●열 기관학을 전공하였으며, 특히 발전소 관련 열원동기 전반에 관심이 있으며, 터빈분야를 전문적으로 다루고 있다.

1. 머리말

人類가 불을 에너지로 사용한 이래 문명은 급속도로 발전하여 왔으며 여기에 비례하여 1차에너지에서 점차 사용이 편리하고 능률적인 機械에너지와 電氣에너지로 변환하여 사용하게 되었다.

더욱이 현대는 고도의 산업화와 情報化 社會로 급속히 발전함과 동시에 생활수준도 도시화 및 고급화됨에 따라서 전기에너지는 물과 공기와 같이 우리생활에서 하루라도 없어서는 안될 生命線이 되고있다.

이러한 전기에너지는 석유, 석탄, 가스, 우라늄 등 1차에너지원을 사용하여 발전설비에서 생산되는데 과거에서 지금까지 發電設備 效率를 높이기 위한 노력이 열역학적인 면에서나 기계 성능면에서 꾸준히 계속되고 있다. 우리나라와 같이 부존자원이 부족하여 수입에 의존하고 있는 처지에서는 효율적인 에너지 활용이 더욱 절실한 문제로 부각되고 있다. 따라서 화력발전설비 효율의 시대적 변천과 最近傾向 및 展望에 대하여 살펴봄으로써 프란트 효율에 관심이 있는 분들에게 도움이 되고져 한다.

2. 設備效率의 時代的 變遷

1765년 영국의 J. Watt가 실용화한 蒸氣機關

(reciprocating engine)은 처음으로 증기를 작동유체로 사용하였으며 원동기에서 일을 하고 나온 排氣는 대기로 방출하였기 때문에 효율이 아주 낮았다.

그후 90餘년이 지난 1854년에 스코틀랜드의 物理學者 W. Rankine이 蒸氣機關의 기본 열사이클인 랭킨 사이클(rankine cycle)을 제창한 후로는 排氣를 대기로 버리지 않고 復水器(condenser)를 사용하여 응축수를 회수하고, 진공상태까지 증기를 팽창시켜 일을 더할 수 있어 약 2배의 획기적인 설비효율을 얻게 되었다.

우리나라의 발전설비의 효시는 1887년에 景福宮 香遠亭 연못가에 세워진 1.5KW 증기기관 발전기였는데 구전에 의하면 연못의 물을 냉각수로 사용하였기 때문에 수온이 올라가 고기가 죽었는데 이를 증어라 한 것을 봐서 복수기가 있는 가장 기본적인 랭킨 사이클(rankine cycle) 발전설비인 것으로 推定된다.

1910年代에 개발된 再生사이클(regenerating cycle)은 터빈의 증기팽창 과정에서 抽氣를 하여 급수가열을 하므로써 효율이 향상되는데 1930년 당인리 발전소(1만 KW×2臺)에 적용된바 있다.

1920年代에 와서는 증기의 온도를 높여 과열 증기를 사용한 過熱再生사이클(superheated regeneration cycle)이 출현되어 발전소 효율을 한층 더 향상하게 되었다.

표 1 : 설비효율의 시대적 변천과정

年 代	열사이클 발전과정	우리나라 적용과정	효율 (%)
1760	증기기관(대기방출)	1899 : 경인 철도기관차	10
1850	랭킨사이클(복수기) (rankine cycle)	1887 : 경북궁(1.5KW) 1910 : 마 포(500KW)	15
1910	재생 사이클(regeneration cycle)	1930 : 당인리(1만 KW)	20
1920	과열 재생 사이클(superheated regeneration cycle)	1937 : 구영월(2만 5천 KW)	25
1950	과열 재열재생 사이클(superheated reheater regeneration cycle)	1969 : 서울 #5(25만 KW)	38
1960	가스터빈 복합 사이클(gas turbine combined cycle)	1978 : 영월, 군산, 울산 (각각 30만 KW)	40
	초임계압 과열 재열 재생 사이클 (supercritical superheated reheated regeneration cycle)	1993 : 보령 #3, 4호기(각 50만 KW)	40
1980	고효율 복합 사이클(high efficiency gas turbine combined cycle)	1992 : 일도(94만 KW×2)	45

우리나라에서는 1937년 旧寧越火力發電所(2만5천 KW×4대)가 과열재생 사이클을 최초로 적용하여 설비효율이 20%를 겨우 넘어서게 되어 근대적인 발전설비를 구비하게 되었다.

2차대전이 끝나고 1950년대에 와서는 내열 내압재질이 개발되어 증기 온도와 압력을 더욱 높이게 되었고 터빈의 팽창과정에서 증기를 재열한 過熱, 再熱, 再生사이클(superheated reheated regeneration cycle)이 개발되어 설비효율은 약 38%로 획기적인 향상을 하게 되었으며 1969년에 건설된 서울火力發電所 5號機(25만 KW)가 우리나라에선 처음으로 적용된 최신 고효율 설비였으며 1980년대까지의 효율, 증기조건의 개선이 꾸준히 계속되고 있었다.

1960년대에는 증기압력을 임계압력 이상으로 올린 超臨界壓 過熱再熱 再生사이클(super-critical superheated reheat regeneration cycle)이 실용화되어 비로서 랭킨 사이클에서 설비효율이 40%를 넘어서게 되었으며 우리도 지금 건설되고 있는 보령 제3, 4호기(50만 KW×2대)는 초임계압을 채택하고 있다.

現在는 超超臨界壓 過熱 2段再熱 再生사이클

의 실용화로 효율이 42%까지 기대되고 있으며 현재기술로는 랭킨 사이클 설비효율이 한계에 오지않았나 생각된다.

이러한 랭킨 사이클계의 효율한계를 극복하기 위해서 개발된 것이 複合 사이클(Combined Cycle)로서 1970년대에 실용화되어 현재 각광을 받고 있으며 개방형 가스 터빈 사이클과 랭킨 사이클을 조합한 가스터빈 복합 사이클 발전설비로서 1978년 군산, 영월, 울산에 각각 30만 Kw의 복합발전 설비를 최초로 갖추게 되었다.

현재 인천에 건설되고 있는 一島複合發電所(94만 KW×2계)는 효율 45%를 능가하는 고효율 최신 설비이며 이외 서울주변 신도시에 지역난방을 겸한 복합발전 설비가 건설중에 있다.

표 1는 발전설비 효율의 변천을 시대적으로 요약한 것이다.

3. 效率向上의 最近動向

3.1 기존 발전설비

기존 발전설비에서 근본적인 열사이클 변경

은 엄청난 설비개조가 뒤따르므로 부분적인 개선과 運轉技法 개발로 효율향상 노력을 도모하고 있다.

새로 개발된 터빈날개(Blade)와 노즐(nozzle)을 대체하여 터빈 내부효율을 향상하고 주 증기압력을 定壓에서 變壓運轉 方式으로 전환하여 일일 및 주말정지 기동(DSS, WSS)에 따른 프랜트의 部分負荷 效率向上을 기도하고 있다.

나아가서 운전 및 관리시스템을 전산화하여 정확, 迅速, 능률, 연속적인 관리로 프랜트가 항상 최고효율 상태를 유지하도록 하고 운전지원 시스템(computer aided expert system)의 활용으로 설비의 최상상태를 유지하여 效率低下 防止를 도모하고 있다.

3.2 신설 발전설비

(1) 증기조건의 개선

증기의 압력과 온도를 현재보다 한단계 높여 효율향상을 도모하는데 현재의 超臨界壓에서 超超臨界壓으로 높여 효율을 개선하는 방향으로 가고있다.

초 임 계 압 250Kg/cm ² , 566°C 1단 재열	→	초 초 임 계 압 350Kg/cm ² , 600°C 2단 재열
---	---	---

(2) 터빈 最終段 長翼의 개발

저압터빈의 최종단 날개를 長翼(long blade)으로 하면 출력증가 및 효율향상을 얻을 수 있는데 고속회전에 따른 원심력때문에 기술적인 한계가 있다.

따라서 현재의 고 Cr강 재질 대신에 비중이 60%나 가벼워 원심력이 적고 내마모성이 우수한 Ti합금강으로 長翼을 개발하고 있으며 터빈의 배열형식을 cross compound type을 채용하여 저압터빈의 회전수를 3600RPM에서 1800 RPM으로 낮추므로 더 긴 날개를 사용할 수 있어 앞으로 대용량 발전소에서는 터빈 효율개선의 방법으로 이형식이 많이 채용될 것으로 본다.

(3) 고효율 복합발전

가스터빈 날개의 신소재 개발로 터빈입구 가스온도의 고온도화가 가능하며 현재 1300°C급이 운전되고 있으나 앞으로 1500°C급이 머지않아 개발될 전망이다.

효 율 40%	→	43%
가스온도 1000°C급		1300°C급

45%
1500°C급

그림 1과 같은 가스 터빈 발전설비는 기동시간 단축, 부하추종성 용이, 전자동화 가능한 특성으로 인하여 전력계통 기여도가 우수하고 또한 설비도 간단하고 가스 및 석탄가스화 사용으로 환경공해 방지에 기여할뿐만 아니라 고효율 설비로서 기저 분산전력원으로도 기대가 크다.

(4) 연료전지 복합발전

차세대 발전설비로 주목되고 있는 연료전지 발전은 물의 전기분해 과정을 역으로한 원리로 化學에너지를 化學反應시켜 그대로 전기를 얻는 발전방식으로 효율이 높고 환경이 깨끗한 특징이 있어 앞으로 분산전력원으로 기대가 크며 소용량으로 호텔, 병원, 위락시설에 중용량으로는 주택단지, 공단등의 電力負荷中心地에 설치할 수 있어 전력관리면에서도 이점이 있다.

특히 열병합발전 시스템으로 하면 약 80%의 고효율을 기대할 수 있다.

또한 터빈 발전기 같은 회전체가 없어 설비가 간단하고 신뢰성이 높은것이 장점이다.

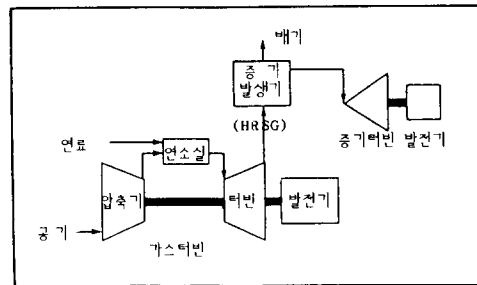


그림 1 복합 사이클 발전방식

4. 發電設備 效率의 展望과 期待

랭킨 사이클계인 기력발전설비는 이미 언급한 바와 같이 열 사이클 면에서의 플랜트 효율은 현재 거의 한계에 도달하지 않았나 생각된다. 그러나 보일러, 터빈의 소재가 개발되고 제어시스템의 전산화 이용과 자동화의 뒷받침으로 증기의 온도와 압력을 높이고 作動流體의 연구에 따라서 앞으로 다소의 효율향상은 기대할 수 있다.

美 에너지省的 협력하에 시험 플랜트가 가동 중인 Kalina 박사가 발명한 그림 2와 같은 카리나발전 사이클(Kalina power cycle)은 기존 랭킨 사이클계의 效率를 획기적으로 증가한 45% 선에 도달할 것으로 보고 있다. 이 사이클의 작동유체는 물과 암모니아의 혼합물이며 기존 랭킨 사이클에 증발기와 응축기를 추가한 형식으로 구성되어 있으며 이 사이클이 실용화 된다면 최근 40년에 있어서 가장 획기적인 효율 개선이 될 것이라고 주장하고 있다.

고효율 가스터빈 복합발전은 효율면에서 기력발전 효율을 앞지르고 있으며 지역분산전원 공급과 동시에 지역난방 및 공장에 필요한 열공급을 하는 열병합 발전방식(cogeneration plant)은 에너지의 효율적인 이용면에서 불태선진국뿐만 아니라 우리나라도 앞으로 전망이 밝다고 본다.

그리고 차세대 발전설비로서 유망한 연료전지 복합발전도 기술개발과 실용화에 박차를 가하고 있어 2천년대에는 분산전력원으로 각광을 받을 것으로 기대된다.

끝으로 에너지원의 효율적인 이용면에 있어서 우리의 유능한 공학도가 이 방면에 관심을 가지고 연구를 하여 앞으로 획기적인 고효율 파워 플랜트 사이클(power plant cycle)이 발명되기를 기대한다.

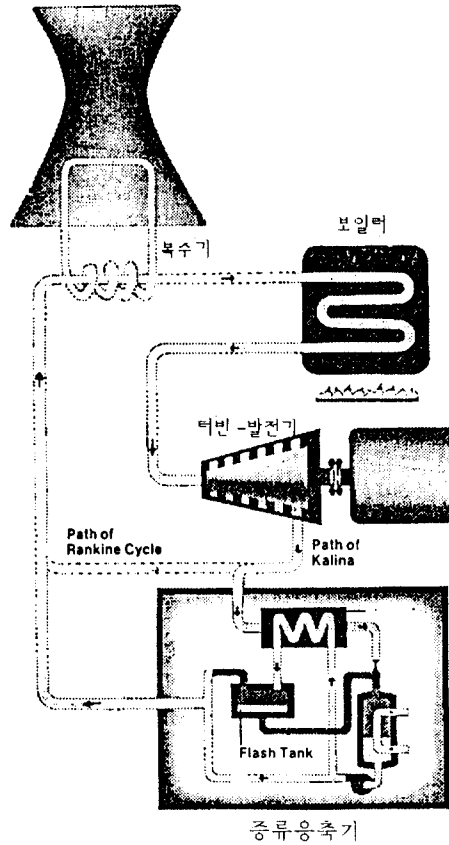


그림 2 카리나 발전 사이클

참 고 문 헌

- (1) 한국전력 100년사(上, 下)
- (2) Power Plant Theory and Design(POT-TER 제작)
- (3) GE Combine Cycle Experience(GE Company GER-3651)
- (4) Cogeneration Application Considerations (GE Company GER-3430 A)
- (5) 화력발전 설비 자료집(한전 발행)

