

# 大規模 發電所의 施設과 技術問題點

獨 Steinmüller社 責任技士 丘 在 光

## 대규모 발전소의 시설과 기술문제

일상생활과 공업생산에 있어서 조명으로 시작하여 동력으로 불가피 필요한 것이 전기인데 생활수준이 높아가며 공업의 발전과 기술이 고도화함에 따라 이에 대응하여 발전량도 증가하여야 합니다. 전력생산에 있어 채래방법으로는 수력발전과 화력발전을 들 수 있으며 최근에 와서는 원자핵을 이용한 발전이 널리 이용되고 있습니다. 수력발전은 적합한 지리조건 즉, 지대가 높은 곳에 충분한 수량이 구비되어 있어야 합니다.

대규모 화력발전에는 대량의 석탄 중유 자연가스를 이용하는데 연소가스중에 포함된 생물에 해로운 가스와 요물이 대기중에 배출되기 때문에 화력발전소의 출력량이 증가함에 따라 위생문제에 대한 대책을 세워야 합니다. 대책의 방법으로 최근에 와서는 해로운 가스와 요물을 화학적으로 제거하는 방법이 응용내지 실험을 하고 있습니다.

원유가 국제간에 정치적으로 이용되고 있으며 원유의 값이 비싸짐에 따라 석탄의 가스화 액체화가 여러나라에서 진행되고 있으며 헤리움을 사용하는 고온도 원자로에선 핵열을 이용한 석탄의 가스화가 실험과정을 거쳐서 생산할 수 있는 단계에 도달하고 있습니다.

석탄을 원료로하여 제조한 가스나 기름은 대기에 해로운 요물의 함유량이 석탄이나 중유에 비하여 미소량으로 감소되어 있으므로 연소시에 자연환경에 지장이 적다는 것이 장점이라 할 수 있습니다. 대량의 석탄을 연속하여 열가가 높은 가스로 변화시키기 위해서는 제조과정중 온도가 최저 섭씨 900도가 필요한데 이런 고온도에 강력상 저항할 수 있는 금속이나 재료는 현재까지는 수가 제한되어 있으므로 제조공장의 시설

비와 생산비가 다른 연료와 비교하여 지금까지는 경쟁을 할 수가 없습니다.

발전기의 출력단위가 100MW(메가와트)를 넘는 경우 발전기의 동력으로 증기터빈(steam turbine)을 사용하는데 터빈을 돌려주는 원동력으로는 화력과 원자력발전에서는 고압력 고온도의 수증기를 이용합니다.

수력발전은 자연조건이 발전량의 규모를 결정하는 반면에 화력이나 원자력에서는 필요전기량에 따라 발전소의 규모를 결정하여 설치를 할 수 있습니다.

일반적으로 화력과 원자력발전에 있어서는 터빈에 공급되는 수증기를 보이러(Boiler)가 고압력에서 물을 증발하여 고온도로 과열을 하여 줍니다

보이러에서 물이 증발되는 부분의 제작원리에 따라 보이러의 종류를 구별할 수가 있습니다. 그림 1에서 (a)가 자연순환보이러 (b)는 강제순환보이러 (c)는 강제통관보이러의 기본원리를 보여줍니다.

자연순환(그림 1a)에 있어서는 공급용펌프(Feedwater pump)가 공급하는 물이 수열기(Economizer)를 지나면서 온도를 높여가지고(포화온도정도) 물을 저장하는 관(Drum)에 공급이 됩니다. 저장관(Drum)에 들어온 물은 낙수관을 통하여 아랫방향으로 흐르며 상수관을 지나면서 열을 받아 일부분 증발이 되어 물과 혼합하여 다시 저장관에 들어갑니다. 저장관(Drum)에서는 증기와 물이 분리되어 증기는 과열기(Superheater)를 지나면서 터빈에 필요한 증기의 온도로 가열을 받습니다.

자연순환의 원리는 상수관에는 물에 비하여 비중이 가벼운 물과 증기의 혼합물이 들어 있으며 낙수관에는 열을 받지 않는 무거운 물이 들어

있습니다. 낙수관의 낙차(높이)가 충분한 경우 낙수관의 물무게와 높이의 차이로 인하여 물이 밑으로 흐르고 상수관에서는 수증기와 물의 혼합물이 윗방향으로 흐르게 됨으로써 자연순환을 이루어줍니다. 순환되는 물의 양을 증발되는 증기량과 비교하면 물의 양이 4 배에서부터 50배 정도입니다.

자연순환 보이라는 순환부분의 관이(tube) 대개 수직이며 낙차가 충분할때 만약에 물이 흐르는 관이 복잡한 구조를 갖는 경우와 구조상 낙수관의 높이가 낮아야되는 경우에는 자연순환이 불가능할 수가 있습니다. 이런 경우에는 순환용 펌프(그림 1b)가 일정한 양의 물을 순환하여 보이라 증발부분의 안정을 보장합니다. 강제순환 보이라는 보이라의 규모가 커지는 경우 순환펌프의 공급량도 증가하므로 시설비용때문에 주로 화학공업용 소규모 보이라에 이 방법이 응용되고 있습니다. 자연순환과 다른점은 순환용펌프가 있다는 것입니다.

강제통관보이라(그림 1c)는 공급펌프가 물의 전용량을 통관을 하면서 증발후 과열기에서 과열을 하여 터빈에 공급하여 주도록 되어있습니다. 강제통관의 장점은 고압력(190 bar 이상) 보이라를 제작할 수 있는 것입니다. 자연순환이나 강제 순환보이라는 보이라의 압력이 증가함에 따라 물의 증발열이 작아지기 때문에 보이라 연소실의 규모도 작아져야 하므로 설계가 불가능하여지므로 순환부분의 압력이 180 bar를 넘는 경우 제작이 곤란하여 집니다.

강제통관보이라는 압력이 낮은 경우 증발부분의 유체량의 분포가 일정하지 못하기 때문에 지나친 관의 온도로 인하여 보이라의 관(Boiler tube)이 파손되는 경우가 있습니다. 근래에와서 강제통관보이라는 압력이 낮은 경우 강제순환방법과 결합하여 응용되고 있습니다(combined circulation).

화력과 핵발전에서는 증기가 터빈에서 일일하고 나서 복수기(condenser)에서 다시 물로 변화하여 보이라에 증기생산을 위하여 공급을 하여 줌으로써 연속된 발전공정(steam cycle)을 이루어 줍니다.

그림 2의 a는 증기가 일을 하는 공정을 보여 주는데 1은 물의 공급펌프, 2는 보이라 3이 증기터빈, 4가 복수기입니다.

화력발전에서 대기배출되는 열량을 감소하고 발전의 효율을 올림으로써 설치단위당 전력 출력을 높이기 하는 방법으로 근래에 와서 비교적 소규모인 400MW 발전에서는 가스터빈이 55MW 증기터빈이 345MW를 발전하는 방법이 있습니다. 증기터빈만을 이용하는 발전과 비교하여 가스와 증기를 결합한 방법에 있어서 열효율이 3-4%가 높습니다.

그림 2의 (b)는 가스터빈과 증기터빈을 결합한 발전원리를 보여줍니다. 5는 공기를 압축하는 압축기(compressor) 6은 가스터빈의 연소실 7은 가스터빈인데 현재 운영되고 있는 발전소의 예를 보면 가스터빈에서 일을 하고난 가스의 온도가 약 섭씨 440도이며 이 가스속에는 아직도 산소가 17%정도 포함되어 있습니다(대기중 산소포함량 0.236kg/kg).

가스터빈에서 나오는 비교적 높은온도의 가스를 보이라에 넣어서 공기대신에 연료와 함께 연소를 할수가 있습니다. 위의 예를 들어 55MW 가스터빈에서 나오는 배기량은 전력출력이 345MW인 보이라가 필요한 공기량을 대체할 수 있습니다.

위와 같이 두 방법을 결합한 발전소는 가스터빈의 연료로서 경유 혹은 자연가스를 이용하는데 특징으로는 발동후 20분내에 최고전력 출력을 낼 수 있다는 것입니다.

재래식 연료를 이용하는 발전소나 핵열을 이용하는 발전소는 고압 고온의 증기를 생산하는 부분이 다를 뿐 기본원리는 동일합니다.

그림 3의 (a)는 고압수 원자로(pressurised Water Reactor)와 고온도가스 원자로(High temperature gas reactor)의 발전의 약도입니다. 1은 순환펌프, 2는 원자로, 1이 감열물질(경수 증수가스)을 순환하여 줍니다(일차순환). 보이라(3)에서는 일차순환물이 가지고 있는 열을 이차순환물(물과 수증기)에 주고 다시 일차순환펌프를 통하여 원자로에 공급이 됩니다. 이차순환물은 보이라(3)에서 고압 증기화한 후에 재래식 발전기와 같이 터빈에 가서 일을 하고(발전) 복수

기(6)로 들어와 냉각후 물로 변화되어 펌프를 통하여 다시 보이라에 공급이 됩니다. 그림 3의 (b)는 증수원자로(Boiling water Reactor) 발전 공정의 약도인데 다른 핵발전 방법과 기본적인 차이점은 원자핵열의 감열물(경수)이 원자로에서 증발후 직접 터빈에 가서 터빈을 돌리는 일을 하여주는 것입니다. 증수원자로(BWR)에서 중요한 점은 물속에 들어있는 방사성에 대한 방어조치를 하여야 합니다. 증수원자로의 물의 증발부분은 일반적으로 순환펌프(7)를 이용하고 있습니다.

보이라의 출력을 시간따위당 증기량과 물이 보이라에 들어와서 증발후 과열되어 나가는 열량의 차이로서 표시를 할수 있는데 보이라의 종류에 따라 발전의 효율을 비롯하여 발전기계와 부속기구들의 특성과 종류 규모에 영향을 줍니다.

예를 들어 그림 4는 전력 출력이 640MW인 보이라의 종류를 비교하였읍니다.

중유보이라에서는 일초당 522kg의 증기와 1kg 당 3000kJ의 열량의 증기가 요구되며 고온도가 스원자로에선 일초당 551kg의 증기와 1kg당 3000kJ의 열량의 증기를 필요로 합니다. 고압수원자로인 CANDU보이라에서는 일초당 974kg의 증기가 1kg당 1954kJ의 열량이 필요합니다. 수력발전소를 세우는 경우 일출할 수 있는 물의 높이(낙차)가 640m이라면 일초당 필요수량이 102톤(t)인데 중유발전소의 증기량과 비교하여 거의 200배가 됩니다. 한강물과 비교하면 한강의 폭이 평균 50m이며 평균깊이가 5m 평균유속이 0.5m/s이라면 초당수량이 125톤(t)이 됩니다.

중유와 고온가스원자로 보이라의 출력은 거의 동일한데 고압수원자로와 증수원자로에선 필요 증기량이 화력과 고온가스원자로에 비교하여 1.8 배 정도이며 열량을 비교하면 68%입니다. 1.8 배의 증기량이 더 필요하다는것은 터빈과 복수기의 용적이 커져야 하며 대규모의 냉각탑(cooling tower)과 대량의 냉각용 수량이 필요하다는 조건을 줍니다.

원자력 발전소로 인하여 강물의 온도가 올라가서 생물에 장애가 있게 된다고 하는데 원인은 터빈에서 일을 하고난 증기를 다시 물로 변화시

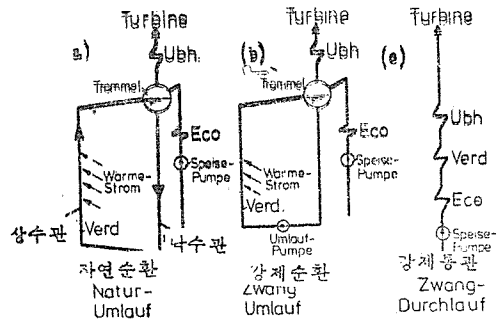


그림 1

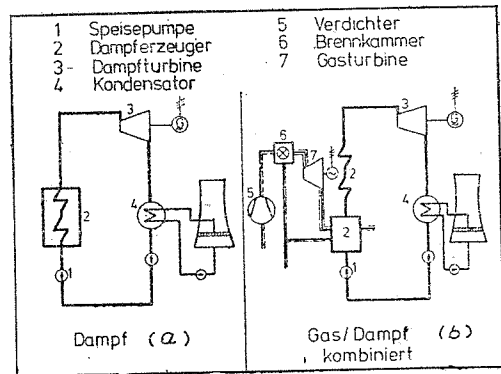


그림 2

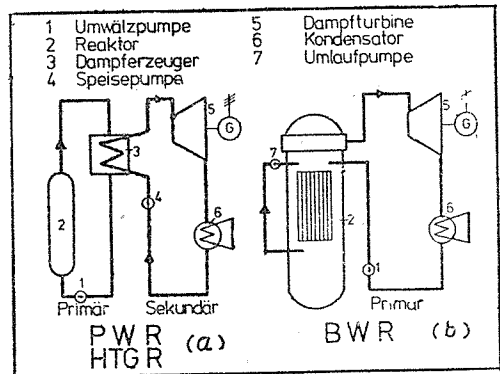


그림 3

키는데 필요한 열량때문입니다.

고압수원자료와 증수원자료가 현재까지 대표적으로 대규모 발전에 이용되고 있는데 보이라에서의 증가열량이 재래식이나 고온도가스원자료와 비교하여 32%입니다.

재래식 화력발전과 고온가스원자료에서는 고압 고온도를 이용하는 터빈을 사용하고 고압터빈에서 나오는 증기를 보이라에 재공급하여 다시 고온도로 과열을 한후에 증압터빈에 보냅니다. 이와는 반대로 경수(Light Water)나 중수(Heavy Water) 원자료보이라에선 포화증기를 이용하는 터빈은 사용하고 있으므로 원자력발전소에서 기계에 고장이 생긴 경우 지금까지의 경험으로 보아 원자로 보다는 터빈내의 동체부품이나 증기관이(tube, pipe) 증기속에 들어있는 물방울과 부딪혀서 수식(Erosion)으로 파손되는 경우가 많았습니다.

경수와 증수원자료의 발전을 터빈의 부피가 화력이나 고온도가스원자료의 발전용 터빈에 비하여 큰 이유는 증기의 비적(specific volume)이 크기 때문입니다. (1.3배 정도)

보이라의 크기를 비교하는 경우 열을 주는 물질과 열을 받는 물질의 교환열량의 능률은 열물체간의 온도차이와 통열계수(열전달계수)의 크기로 표시를 합니다. 화력발전에는 열교환물체간의 온도차이가 최고 섭씨 1150도에서 최저 섭씨 90도인데 중간치를 택하여 섭씨 620도 고온가스원자료에서는 헬륨 가스의 예를 들어 최고 섭씨 240도에서 160도 중간치가 200도 고압수원자료에선 중간치가 66도입니다. 열통달계수를 비교하면은 화력에서는 중간치가  $70W/m^2K$  정도인데 고온도헬륨가스원자료에서는 화력값의 10배이며 고압수원자료에서는 70배 이상이 됩니다.

보이라의 수열면적(물과 증기가 흐르는 판의 외면적)의 크기는 화력을 기준으로 한다면 고온헬륨원자료에서는 단지 13%의 수열면적이 필요합니다.

전력출력이 640MW인 보이라에서 나가는 증기의 온도와 압력을 그림 5에 비교하였는데 재래식보이라는 온도가 섭씨 530도 압력이 180-190 bar인데 이 온도와 압력에서는 제조비가 높은

특수한 내열강(austenit)을 사용하지 않고 보통 강철(Ferritic)을 관(steam tube)의 두께가 허락되는(50mm) 한도에서 사용할 수 있기때문입니다. 고온도 헬륨가스원자료의 보이라에서는 온도가 510도(섭씨) 압력이 180bar인데 헬륨원자료에선 화학적인 부식에 저항이 센 특수한 재료를 이용하여야 합니다. 고압수원자로는 보이라의 압력이 47 bar 포화온도가 260도(섭씨)이며 증수원자료에서는 71 bar 포화증기온도가 286도(섭씨)입니다.

일반적으로 핵열을 이용하는 발전기체는 방사성문제로 수리가 장기간이 필요하기 때문에 특수한 재료와 특별한 재료검사와 제작 검사방법이 요구됩니다. 경수와 증수원자보이라는 압력과 온도가 낮음으로써 증기관의 두께는 화력에 비하여 작습니다.

재래식보이라에 있어서는 보이라를 제작하여 부속부분이 파손되는 경우 혹은 설계메이타와 맞지 않는 경우 파손부분의 수리와 변경확장을 비교적 손쉽게 이행할 수 있는것이 하나의 장점이라 할 수 있습니다.

그림 6은 전기출력이 300MW의 발전기에 필요한 연료의 공급연료량 부산물의 종류 배출열량을 비교하였습니다. 서울의 인구가 500만이라고 하고 가족단위가 5사람이라 하면 백만(1,000,000)의 가족이 사는데 가족마다 밤 7시에 100와트 전등 세계씩을 동시에 키는 경우 필요한 전력이 300MW(메가와트)입니다.

발전기의 연당 운전시간을 6000시간(250일)이라 하면 중유를 수입하여 발전하는 경우 연당 46만톤(460,000)이 필요하며 열가가 낮은 석탄을 쓰는 경우 연당 184만톤(1,840,000)이 필요합니다. 우란 235(함유량이 3%)를 이용하면 10톤이 필요하게 됩니다. 중유나 석탄에 포함되어 있는 유황으로 인하여 연소시에  $SO_3$  가스가 발생하며 연소에 필요한 공기량에 따라  $SO_3$  가스도 발생합니다. 이외에도 연소가스가 고온(1300°C이상)인 경우 연소가스중에 들어 있는 산소량에 따라  $NO_4$  가스가 발생합니다.

석탄을 연소하면 재가 남고 연소가스와 함께 대기에 도달할 수 있는데 위생에 해로운 가스나

요물이 대기에 허락할 수 있는 한도를 넘지 않도록 해야 합니다.

원자력발전의 장점으로는 대기에 배출되는 가스가 없기 때문에 생태학상 유리한 반면에 앞으로 원자력 발전이 증가함에 따라 방사성 부산물의 처리와 저장이 문제가 또거됩니다.

대기에 배출되는 열량을 비교하면 재래식 화력발전이 있어서는 1Kwh당 5200kJ (1.45kw/kw)의 손실이 있으며 경수를 이용하는 원자발전에서는 1kwh당 7200kJ (2kw/kw)의 손실이 있습니다.

발전에 필요한 연료를 보면 기름이나 우란은 외국에서 수입을 하여야 합니다. 발전량이 증가할수록 증류는 대량 저장이 문제되며 국제정세로 인하여 수입이 곤란하여지는 경우 국민경제에 타격을 받을 우려가 있습니다. 원자력 발전은 장점이 많은 반면에 현재까지의 실정으로 보아 연료와 기술 제작이 수출국에 의존하게 되므로 하나의 불안정한 요소를 이루어줍니다. 위에 기술한 문제들을 고려하여 재래식 화력발전소를 설치하는 경우 여러가지의 연료를 사용할 수 있는 발전 시설을 함으로써 최저한도의 소모전력을 확보 하여야 할 것입니다.

지난 10년동안에 발전기의 단위출력이 급속도로 증가하였는데 소규모 발전시설에 비하여 열역학상 강력학상 유체역학적으로 아직도 문제를 완만히 극복하지 못한 점이 많습니다. 대규모의 한 발전기가 고장이 나는 경우 필요한 전력을 어떻게 대처하느냐에 대한 고려도 해야 한것입니다.

현재까지의 원자력발전의 경향을 보며 자연우란 235를 이용하는 경수 혹은 중수원자로가 대규모 발전에(600MW이상) 효과있게 운영을 하고 있지만 이외에도 고온도가스원자로를 비롯하여 잠재성이 있는 원자로가 소규모발전소로서 좋은 성과를 내면서 운전중에 있습니다. 기술의 발전이 장래에 성공할 것인지는 시간이 해결하리라 믿는 바입니다. 시설비와 운영비로 보아 원자력 발전은 현재까지로는 재래식 화력발전과 비교하여 자금이 높습니다.

재래식 화력발전소시설의 장점으로는 특수기계를 제외하고는 대부분을 국내에서 자력으로

생산 제작을 할수 있다는 것입니다. 나아가서는 원자력 발전시설의 부분품도 자력제조할 수 있을 것이며 소규모의 공업용 보이타를 제작하며 해외 시장에서 경쟁을 할수 있을것을 믿는 바입니다.

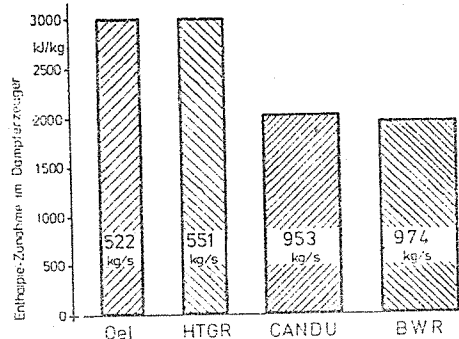


그림 4

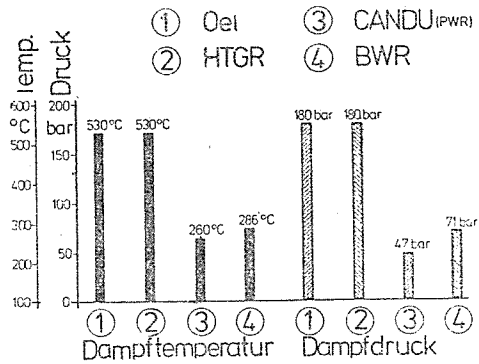


그림 5

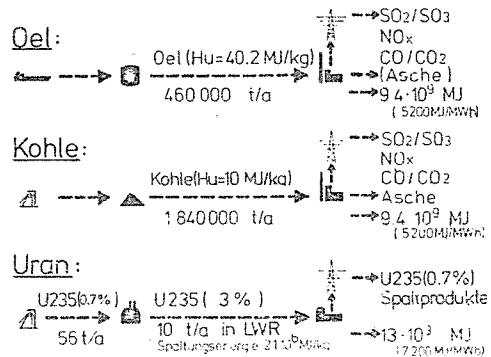


그림 6