

냉 열 발전

Power Generation by Cold energy

총 석 목

한국전력기술주식회사

1. 서 론

2차에 걸친 세계적인 석유파동의 영향과 날로 증가일로에 있는 에너지의 수요에 대처케 위하여 오늘날 전세계는 천연자원의 효율적인 사용과 절약은 물론 공급원의 다변화 그리고 신에너지원의 개발을 위하여 총력을 기울이고 있다. 이런 관점에서 전력에너지 분야에 있어서도 과거의 수력발전 및 석탄, 석유 일변도의 화력발전으로부터 이미 원자력 발전으로 상당한 변천을 하고 있으며 또한 M.H.D., Fuel Cell 등에 의한 새로운 발전방식, 지열, 태양열, 해양열, 냉열 등에 의한 온도차발전, 풍력, 조력, 파력등에 의한 발전등 신기술 개발에 많은 진전이 있으며 그중에는 이미 상업적 발전을 하고있는 분야도 있다.

우리나라에서도 이러한 세계적 추세와 석유 의존도를 감소시키고 자원의 다변화등 정책적 차원의 일환으로 1986년말경부터 액화천연가스(L.N.G.)를 도입케로 하고 현재 그 건설공사가 아산만에 건설중에 있다. L.N.G.는 천연가스를 정제 액화한  $-160^{\circ}\text{C}$ 의 액체로서 이를 기화시켜 연료로 사용시 연소성이 좋으며 불순물이 없어 공해가 극히 적은 Clean 에너지이다. 이번에도 도입케로한 L.N.G.는 Indonesia Arun산으로 1차 도입계약은 연간 약 200만톤을 20년간 수입케로 되어있으며 그 용도는 주로 경인지역 도시가스용이며 나머지의 대부분은 평택 및 인천화력발전의 연료로 사용하게 되어있다. L.N.G.의 도입사업은 수출수입 양국에서 수 10억불의 막대한 루자가 소요되는 사업으로 적정경제 단위의 양이 안되면 수입할수가 없다. 따라서 그 주용도가 도

시가스 일지라도 대부분을 발전소 연료로 소비해야한다. 여기에서 L.N.G. 도입사업이 안고있는 두가지 과제를 지적코자한다. 그 첫째는  $-160^{\circ}\text{C}$ 의 L.N.G.를 상온의 기체로 기화시키는 과정에서 얻을수 있는 냉열의 활용대책이며 둘째는 발전소 연료용보다 가치있는 이용대책 즉 고온도의 천연가스를 저렴한 연료로도 사용할수 있는 발전소에 연료로 사용함은 자원의 효율적 사용이 절실히 요구되는 현정세에 위배되기 때문이다. 이들 과제를 해결케 위한 대책에는 수많은 방안이 있을수 있으나 기술, 경제, 자금등 종합적인 검토를하여 적기에 대응할수 있는 만반의 준비가 있어야할것이다. 본론에서는 이러한 방안중 가장 타당성이 있다고 예측되고, 이미 선진국에서 실현되고 있는 L.N.G. 냉열을 이용한 발전에 대하여 그 특성과 기본이론등에 관한 검토내용을 소개코자한다.

2. 본 론

1) 냉열발전의 개념

냉열발전도 열에너지(고온또는 저온)를 전력에너지로 전환시키는 온도차에 의한 발전의 한종류에 속한다. 다만 냉열발전은 고온과 또는 상온과 저온사이의 온도차이를 이용한 발전이라는 점이 기본적인 차이점이다. 온도차 발전의 ideal cyclic process에 대한 열역학적 이론은 모두 같으며 실용 process에서 그효율은 사용하는 작동유체(working fluid)의 선택 여하와 process의 구성방법에 따라 달라진다는 것도 화력발전이나 냉열발전에서 모두같다. 그러나 L.N.G. 냉열발전에서 또하나의 고려해야할 특징

은 L.N.G. 보유 냉열량의 온도영역별 분포상태가 어떠한가에 따라 발전출력과 효율에 영향을 준다 는 점이다. 화력발전에서 작동유체의 온도상한 은 사용제질의 금속학적 제한에 의해 정해지지만 냉열발전에서 작동유체의 온도하한은 냉열량의 분포상태에 따라 최적점이 있다. 냉열발전의 기본형식에 있어서는 상온과 저온 사이에서 작동되는 cycle과 고온과 저온 사이에서 작동되는 cycle 의 두가지가 있다. 전자는 연료가 필요없으며 후자는 연료가 필요하다. 또한 적용온도 영역에 따라 작동유체의 선택을 해야하며 그 cycle의 구성 방법도 다양하다.

2) L.N.G. 보유 냉열의 특성

L.N.G.는 메탄(CH<sub>4</sub>)를 주성분으로 하는 탄수화물(Hydrocarbon)의 혼합물로서 상압하에서 -160°C 전후의 액상으로부터 상온의 기체로 되기 까지 방출되는 총냉열량은 가열되는 동안에 적용된 압력에 따라 큰 차이는 없다. 그러나 가열되는 온도 구간별 방출 냉열량은 압력에 따라 크게 다르다. 그림-1은 이런 관계를 도시한 것이다. 따라서 이러한 냉열원을 이용하는 냉열 발전에서 작동유체의 응축 온도를 정하는 문제는 그 process의 구성 방법에 따라 최적점을 찾아서 정해야 한다.

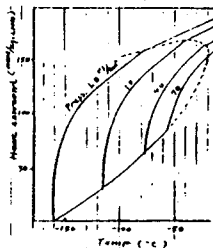


그림-1

L.N.G.의 보유냉열량

3) 이론상 최대 발전량

이론상 최대발전 가능량은 carnot cycle 에 의해서 또는 Exergy의 이론에 의해서 구할수 있다. 지금 L.N.G. 보유 냉열량  $q(\frac{kcal}{kg LNG})$  와 L.N.G. 온도 T(°K)와의 함수관계를 LNG 증발압력 P<sub>1</sub>일때  $q=f_1(T)$  라고 하면 L.N.G. 가 온도 T<sub>1</sub>에서 T<sub>2</sub>까지 방출하는 냉열량으로 발전할수 있는 최대 출력 W<sub>1max</sub>는 환경온도를 T<sub>0</sub>(°K)라고 할때

$$W_{1max} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{T_0 - T}{T} dq = \int_{T_1}^{T_2} \frac{T_0 - T}{T} f_1'(T) dT$$

로 표시되며 만일  $q=f_1(T)=a_1+b_1T$ 로 표시할 수 있을 때는

$$W_{1max} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{T_0 - T}{T} b_1 dT = T_0 b_1 (\ln \frac{T_2}{T_1}) - b_1 (T_2 - T_1)$$

로 표시된다. 또한 L.N.G.의 T-S Diagram상에서는 L.N.G.의 증발압력 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>별 최대출력 W<sub>1max</sub>, W<sub>2max</sub>가 그림-2와같이 Area로 표시되며 압력이 높아질수록 출력이 감소함을 알수있다. 또한 환경온도 T<sub>0</sub>가 증가할수록 W<sub>max</sub>가 증가된다는 것도 알수있다.

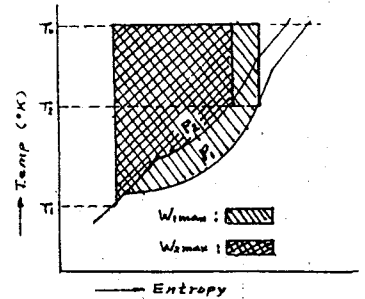


그림-2

이론상 최대발전 출력

4) 발전공정의 유형

L.N.G.의 냉열을 이용한 발전공정의 유형을 대별하면 다음과 같다.

- ① L.N.G. 자체를 가압 증발시켜 직접 팽창시켜 발전하는 Direct Expansion cycle
- ② 2차 매체를 작동유체로 한 Rankine cycle에 의한 발전
- ③ N<sub>2</sub> Gas등을 작동 유체로 한 Brayton cycle에 의한 발전
- ④ 상하 ②+① 또는 ③+①의 복합 cycle에 의한 발전

여기서 ①, ②의 발전 cycle은 상온과 저온 사이에서 작동되는 cycle로서 보통 해수를 가열원으로 사용하고 연료가 필요하지 않는다. 그러나 ③의 발전 cycle은 고온과 저온 사이에서 작동되는 cycle로서 연료가 필요하다. 그러나 사용열량에 대한 출력 효율은 일반 화력발전인 경우의 40% 정도에 비하여 높은 수준인 50% 이상이다.

상기 각 공정에 있어서도 재생 재열 cycle의 유무, 2차 작동 유체의 특성과 응축 온도의 선정, 제어특성, 루자액과 출력에 대한 경제성등 상세한 검토를 거쳐 적정 공정을 선택해야 한다.

5) L.N.G. 냉열발전의 실적

일본에 있어서는 1969년 L.N.G.를 처음

도입한 이래 현재 연간 2800만톤을 수입하고 있고 그중 약 50%에 해당되는 L.N.G.로부터 그 냉열을 이용한 발전을 하고 있다. 가동중인 것이 8개 공장 39000KW이며 건설중인 것이 5개 공장 34000KW로 알려져 있다.

발전공정의 유형은 4)의 ①+②의 형이 주이며 2차 매체로는 R-23, R-13B1, Propane 및 Mixed Fluid 등을 사용하고 있다.

이와같은 사실은 냉열발전 사업이 타당하다는

객관적인 증거라고도 할수 있다.

### 3. 결 론

소요 에너지 자원의 대부분을 수입하고 있는 우리나라로서는 발전에 소요되는 외화를 절약할수 있다는 점과 또한 온도차 발전에 대한 보다 폭넓은 기술축적에 의해 앞으로 지열, 해양열, 해양열 발전등의 기술 배양이라는 관점에서 본 사업은 반드시 추진되어야 한다고 사료된다.