

저엔탈피지열발전순환체계에서 최적랭매선택을 위한 수값모의적연구

정금혁, 김수영, 문명화

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《지열을 리용하여 전력을 생산하기 위한 연구사업도 하여야 하겠습니다.》(《김일성전집》 제62권 453페이지)

현시기 나라의 긴장한 전력문제를 푸는데서 지열자원과 같은 자연에너지들을 적극 리용하는것은 매우 중요한 문제로 나선다. 세계적으로도 지열자원을 개발하기 위한 사업이 광범히 진행되고있으며 유기랭킨순환이나 칼리나순환과 같은 여러가지 저엔탈피지열발전순환체계들이 도입되어 지열을 리용한 전력생산이 활성화되고있다.[1, 2]

이러한 지열발전체계를 도입하는데서 가장 중요한 문제는 저엔탈피순환체계에서 핵이라고 말할수 있는 작업물질 즉 랭매선택을 잘하는것이다.

론문에서는 세계적으로 쓰이고있는 여러가지 랭매들가운데서 효율도 높고 우리 나라의 실정에도 맞는 랭매를 수값모의의 방법으로 선택하였다.

1. 저엔탈피지열발전순환체계에 대한 일반적리해

그림 1에 저엔탈피지열발전순환체계의 원리도를 보여주었다. 그림 1에서 보는것처럼 증발기에서 작업물질은 지열수로부터 열을 받아 기체상태로 되며 타빈을 돌려 전기를 생산한다. 타빈을 돌린 기체는 응축기에 들어와 랭각수와 열교환을 진행하면서 응축되며 다시 압축펌프를 거쳐 증발기로 들어간다.

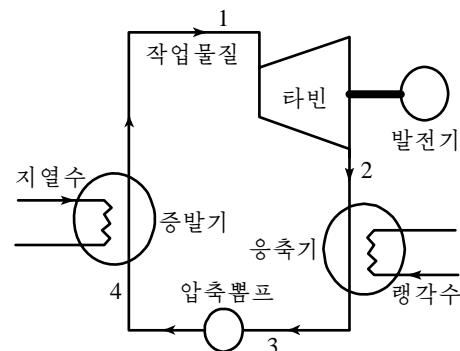


그림 1. 저엔탈피지열발전순환체계의 원리도

그림 2의 T - S 상태도를 놓고 이 순환과정의 효율을 계산하자.

증발기에서 작업물질이 받아들이는 단위시간당 열량은 다음과 같다.

$$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (1)$$

이로부터 발전기에서 생산되는 전력은

$$\dot{W}_t = \dot{m}(h_1 - h_2)\eta_g\eta_s \quad (2)$$

로 된다. 여기서 \dot{m} 는 단위시간동안에 흘러가는 작업물질의 질량이며 h_i 는 해당 상태점들에서의 엔탈피값, η_g , η_s 는 각각 발전기와 타빈에서의 효율이다.

한편 응축기에서 작업물질이 랭각수에 단위시간당 내주는 열량은

$$\dot{Q}_C = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (3)$$

이며 압축기에서 단위시간당 수행되는 일은

$$\dot{W}_r = \dot{m}(h_4 - h_3)/\eta_r \quad (4)$$

로 된다. 여기서 η_r 는 압축기의 효율이다.

결국 발전체에서 생산되는 전체 전력은

$$\dot{W}_{\text{전}} = \dot{W}_t - \dot{W}_r \quad (5)$$

이며 이로부터 발전체계의 전체 효율은

$$\eta = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{\text{전}}} \quad (6)$$

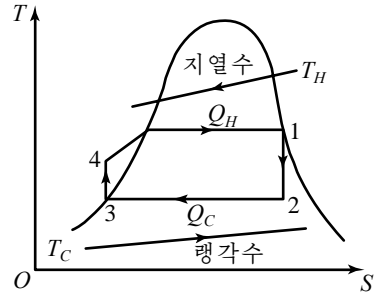


그림 2. 저엔탈피지열발전순환체계의 T-S상태도

로 주어지게 된다. 작업물질을 선택함에 있어서 이

효율이 가장 큰 값을 가지도록 하여야 한다는것은 명백하다. 이밖에도 작업물질이 만족시켜야 할 여러가지 기준들이 있다. 즉 안정성, 비부착성, 비부식성, 무독성, 비가연성 등 여러가지 물리화학적인 성질들과 저온의 지열자원을 리용하기 위한 낮은 온도에서의 끓음특성 등이 있다. 그러나 체제설계에서 이러한 모든 성질들을 다 만족시킨다는것은 불가능하다. 이러한 특성량들의 예도 발전체계구성의 경제적효과성으로부터 작업물질의 열교환면적과 전체 발전량의 비

$$\gamma = \frac{A}{\dot{W}_{\text{전}}} \quad (7)$$

를 목적함수로 삼고 γ 가 최소로 되는 작업물질을 선택하기 위한 연구가 많이 진행되었다.

2. 최적랭매선택을 위한 수값모의적연구

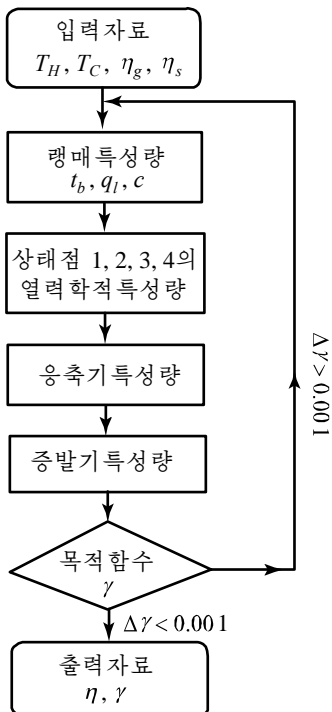


그림 3. 최적랭매선택알고리즘

유기랭킨순환이나 칼리나순환에서 세계적으로 가장 많이 쓰이고있는 작업물질들로서는 PF 5050, HCFC 123, 펜탄, 암모니아 등이다.

론문에서는 세계적으로 가장 많이 쓰이고있는 이 네가지 랭매를 대상으로 하여 전체 발전체계의 효율과 γ 를 목적함수로 삼고 수값모의를 진행하였다.

수값모의에서 쓰인 최적랭매선택알고리즘은 그림 3과 같다. 여기서 t_b, q_l, c 는 각각 해당 랭매의 끓음점, 비증발열, 비열이다. 즉 해당한 랭매에 대하여 응축기와 증발기의 특성량들을 변화시키면서 목적함수인 γ 와 전체 발전순환체계의 효율 η 를 얻을수 있게 되어있다.

이 알고리즘을 리용하여 계산을 진행한 결과 위의 네가지 랭매의 특성은 다음과 같다.

그림 4에서 보는것처럼 목적함수의 건지에서 즉 단위전력생산량당 열교환면적의 건지에서 최소값을 가지는 랭매는 암모니아이다. 그러나 그림 5에서 보는바와 같이 효율의 건지에서 암모니아는 겨우 세번째 자리를 차지하며 효율이 가장 높은것은 γ 가 제일 큰 PF 5050이다.

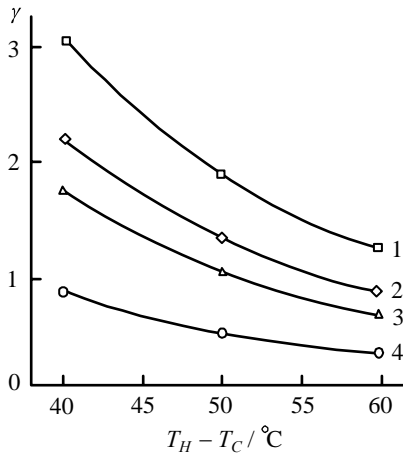


그림 4. 서로 다른 냉매들에서 고온원과 저온원의 온도차에 따르는 목적함수
1—PF 5050, 2—펜탄, 3—HCFC 123, 4—암모니아

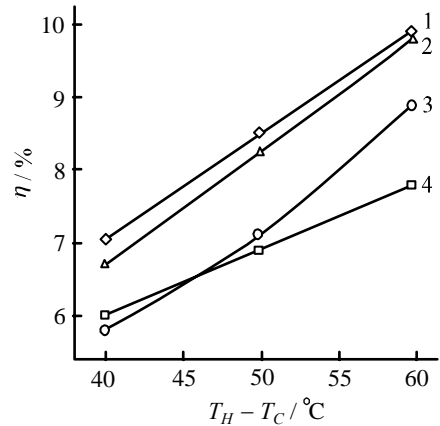


그림 5. 서로 다른 냉매들에서 고온원과 저온원의 온도차에 따르는 효율
1—펜탄, 2—HCFC 123, 3—암모니아, 4—PF 5050

그림 6에서는 서로 다른 냉매들에서 고온원과 저온원의 온도차에 따르는 효율과 목적함수의 비율, 그림 7에서는 서로 다른 냉매들에서 지열수흐름량에 비한 전력생산량을 보여주고있다. 즉 단위질량의 지열수로부터 전력을 가장 많이 생산할수 있는것은 암모니아, 가장 적게 생산하는것은 PF 5050이다. 이로부터 비록 효율은 작지만 발전체계구성의 경제적효과성이 높고 지열수리용능력이 높으며 또 냉매생산의 국산화가 실현된 암모니아를 저엔탈피지열발전순환체계의 최적냉매로 선택하게 된다.

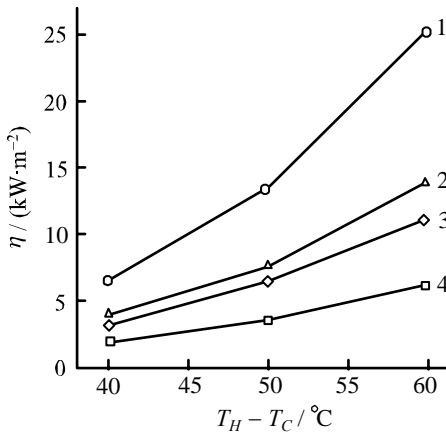


그림 6. 서로 다른 냉매들에서 고온원과 저온원의 온도차에 따르는 효율과 목적함수의 비
1—암모니아, 2—HCFC 123, 3—펜탄, 4—PF 5050

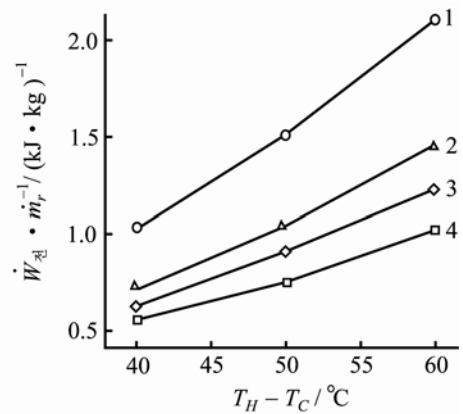


그림 7. 서로 다른 냉매들에서 지열수흐름량에 비한 전력생산량
1—암모니아, 2—HCFC 123, 3—펜탄, 4—PF 5050

맺는 말

저엔탈피지열발전순환체계에서 최적냉매선택을 위한 수값모의를 진행하고 최적냉매로서 암모니아를 선택하였다.

참 고 문 헌

- [1] S. Zhang et al.; Applied Energy, 88, 2740, 2011.
- [2] K. Deepak et al.; International Journal of Current Engineering and Technology, 496, 2014.

주체107(2018)년 6월 5일 원고접수

Numerical Simulation Research for Selecting the Optimum Refrigerant in the Low-Enthalpy Geothermal Generation Cycle System

Jong Kum Hyok, Kim Su Yong and Mun Myong Hwa

We have proceeded with the numerical simulation research for selecting the optimum refrigerant in the low-enthalpy geothermal generation cycle system and selected ammonia as the optimum refrigerant.

Key words: optimum refrigerant, low-enthalpy, ammonia