



1단재열 1단재생 RANKINE 사이클의 효율 최적화

「 1%의 가치 」

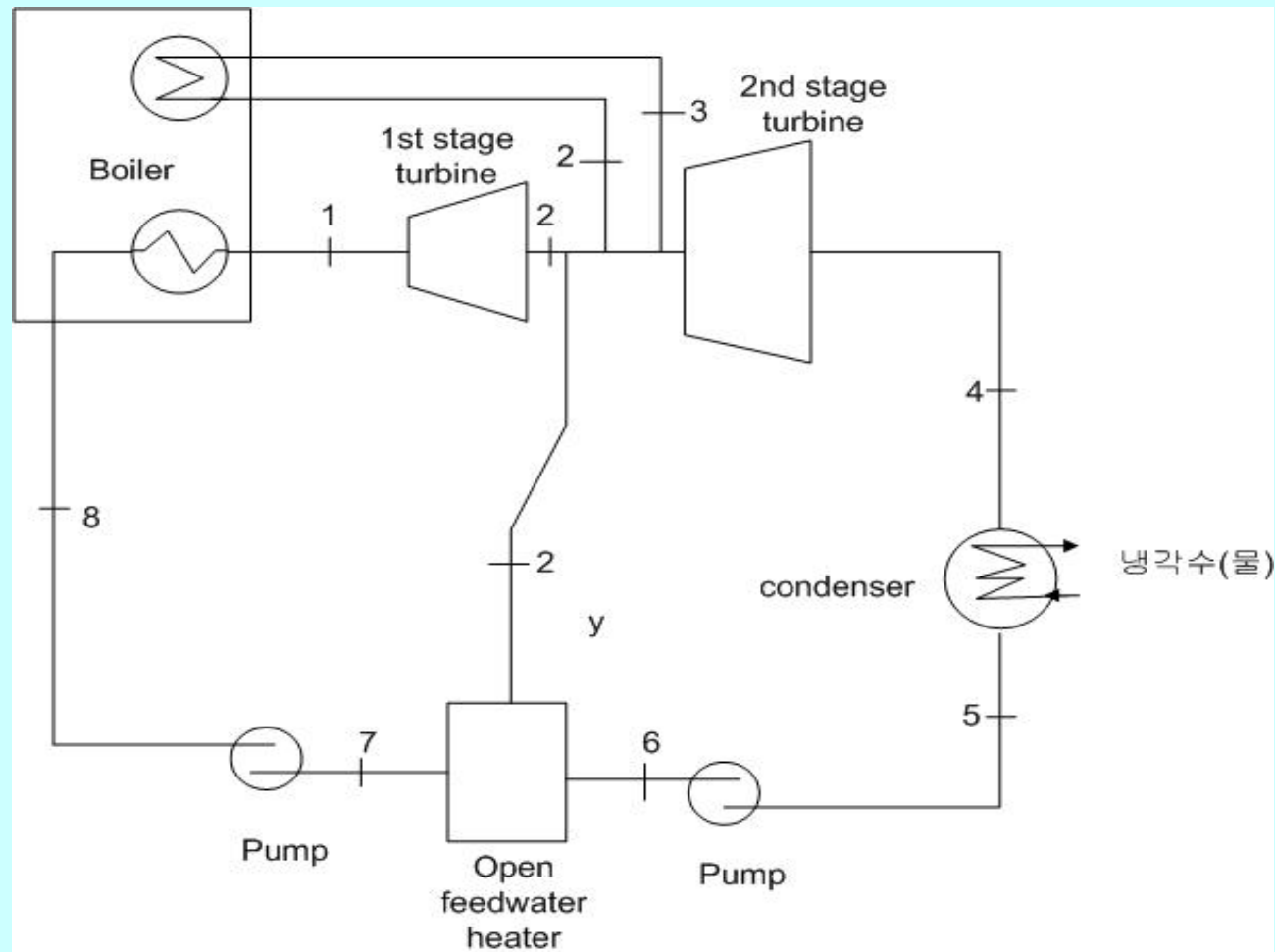
구성원 : 박종일 이종철 이지수 김현규

목차

- 1. Problem formulation*
- 2. Problem solving*
- 3. Discussion*

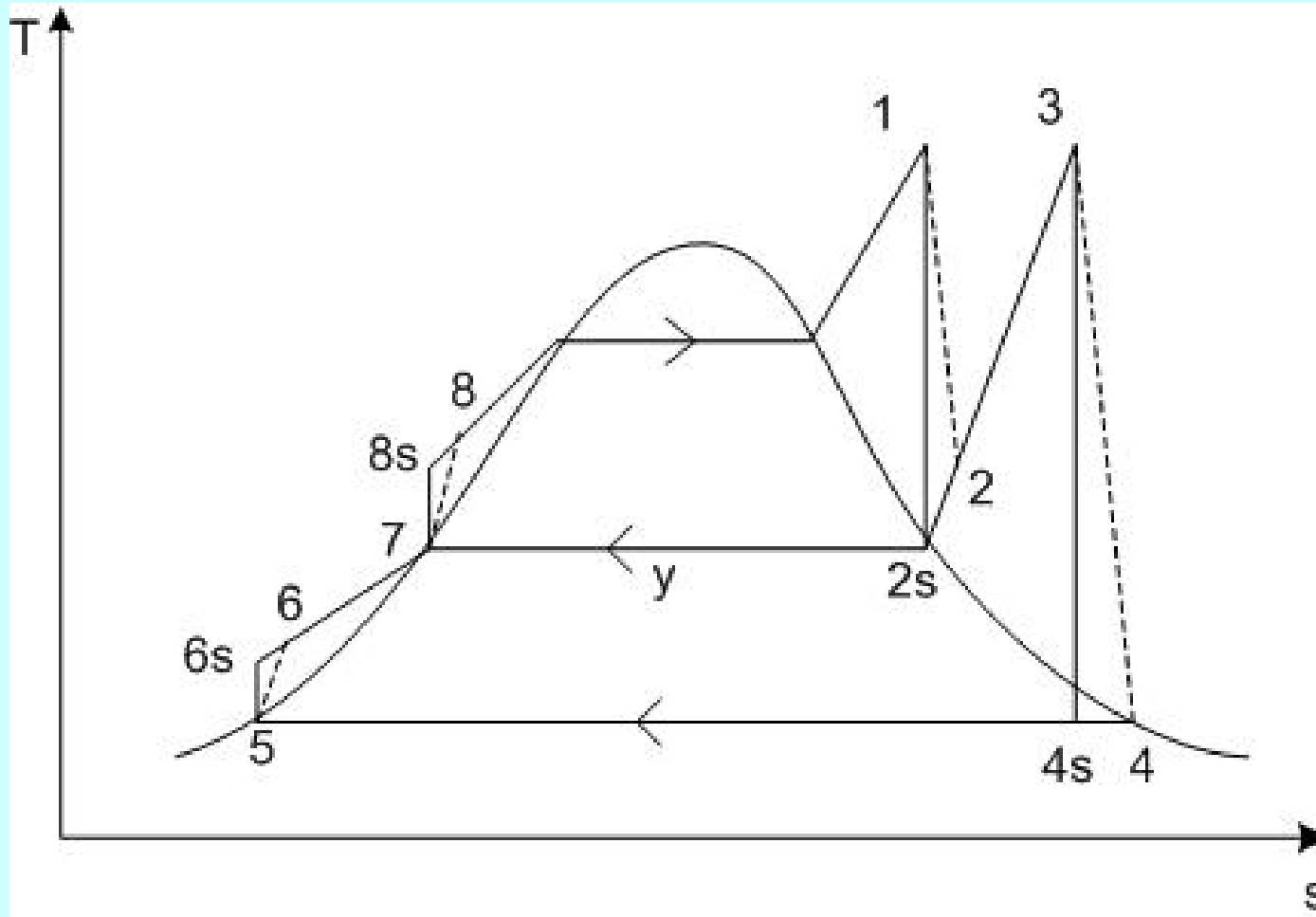
Problem Formulation

사이클 계통도



Problem Formulation

사이클 T-s diagram



Problem Formulation

Assumption

- 1) 배관에서의 압력 및 에너지 손실은 무시함.
- 2) Condenser 출구에서의 steam 온도는 이론적 최저 값인 냉각수의 온도보다 조금 높은 30°C 로 설정.
- 3) Condenser 를 지나서 나온 steam은 포화액체 상태임.

Problem Formulation

2. Specified Data

- 보일러 입·출구 및 터빈 입구 압력

$$P_1 = P_8 = 10 \text{ MPa}$$

- 재열 재생 시 압력

$$P_2 = P_3 = P_6 = P_7 = 0.7 \text{ MPa}$$

- condenser 출구 압력 : 출구온도 $T_4 = T_5 = 30^\circ\text{C}$

이므로 $P_5 = P_4 = P_{sat}(30^\circ\text{C}) = 0.004246 \text{ MPa}$

- Turbine efficiency : $\eta_t = 88\% = 0.88$

- Pump efficiency : $\eta_p = 88\% = 0.88$

Problem Formulation

3. Design Variables

- 보일러 steam 가열시 목표 온도 : T_1
- 1단계 터빈을 지난 후 재열시 목표 온도 : T_3
- 1단계 터빈을 지난 후 재생시 유량 분율 : y

4. Intermediate variables

필요한 state의 엔탈피, 엔트로피, state2의 온도

$$h_1, h_{2s}, h_2, h_3, h_{4s}, h_4, h_7, s_2, s_3, T_2$$

※ 위 항들은 T_1, T_3, y 의 함수들로 표현 가능

Problem Formulation

$$h_1 = 2123.8 + 2.5025T_1$$

$$h_{2s} = 2030.046 + 1.37037T_1 \longrightarrow h_2 = 2041.296 + 1.50623T_1$$

$$h_3 = h_2 + \frac{\bar{R}}{M} \left[\alpha(T_3 - T_2) + \frac{\beta}{2}(T_3^2 - T_2^2) + \frac{\gamma}{3}(T_3^3 - T_2^3) + \frac{\delta}{4}(T_3^4 - T_2^4) + \frac{\varepsilon}{5}(T_3^5 - T_2^5) \right] + 0.2125T_3 - 35.1182$$

$$h_{4s} = 125.79 + \frac{s_3 - 0.4369}{8.4533 - 0.4369} (2430.5) \longrightarrow h_4 = h_3 - \eta_t (h_3 - h_{4s})$$

$$h_7 = (1914.706 + 1.50623T_1)y + 126.59$$

$$s_2 = 5.3159 + 0.002944T_1$$

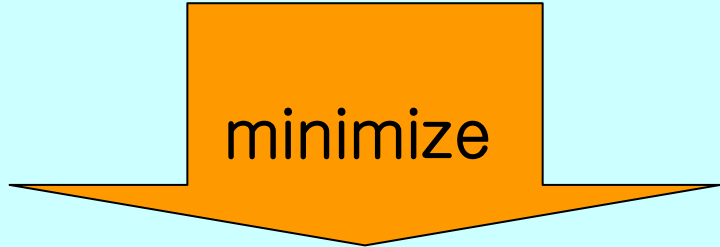
$$s_3 = s_2 + \frac{\bar{R}}{M} \left[\alpha \ln(T_3 / T_2) + \beta(T_3 - T_2) + \frac{\gamma}{2}(T_3^2 - T_2^2) + \frac{\delta}{3}(T_3^3 - T_2^3) + \frac{\varepsilon}{4}(T_3^4 - T_2^4) \right] + 3.3642 \times 10^{-6} \times T_3^2 - 4.4850 \times 10^{-3} \times T_3 + 0.7132$$

$$T_2 = -173.072 + 0.69935T_1$$

Problem Formulation

5. Objective function

$$\eta_{\text{cycle}} = \frac{\dot{W}_{\text{turbine1}} + \dot{W}_{\text{turbine2}}}{\dot{Q}_{\text{boiler}} + \dot{Q}_{\text{reheat}}} = \frac{h_1 - h_2 + (1-y)h_3 - (1-y)h_4}{h_1 - h_8 + (1-y)h_3 - (1-y)h_2}$$



minimize

$$f = -\eta_{\text{cycle}} = -\frac{\eta_t(h_1 - h_{2_s} + h_3 - h_{4_s})}{[y + \eta_t(1-y)]h_1 - \eta_t(1-y)h_{2_s} + (1-y)h_3 - (h_7 - 11.7)}$$

→ *Nonlinear !!*

Problem Formulation

6. constraints.

- 1) 처음 가열시 온도 $535^{\circ}\text{C} \leq T_1 \leq 600^{\circ}\text{C}$
- 2) 재열시 온도 $373.5^{\circ}\text{C} \leq T_3 \leq 600^{\circ}\text{C}$
- 3) state 7의 엔탈피

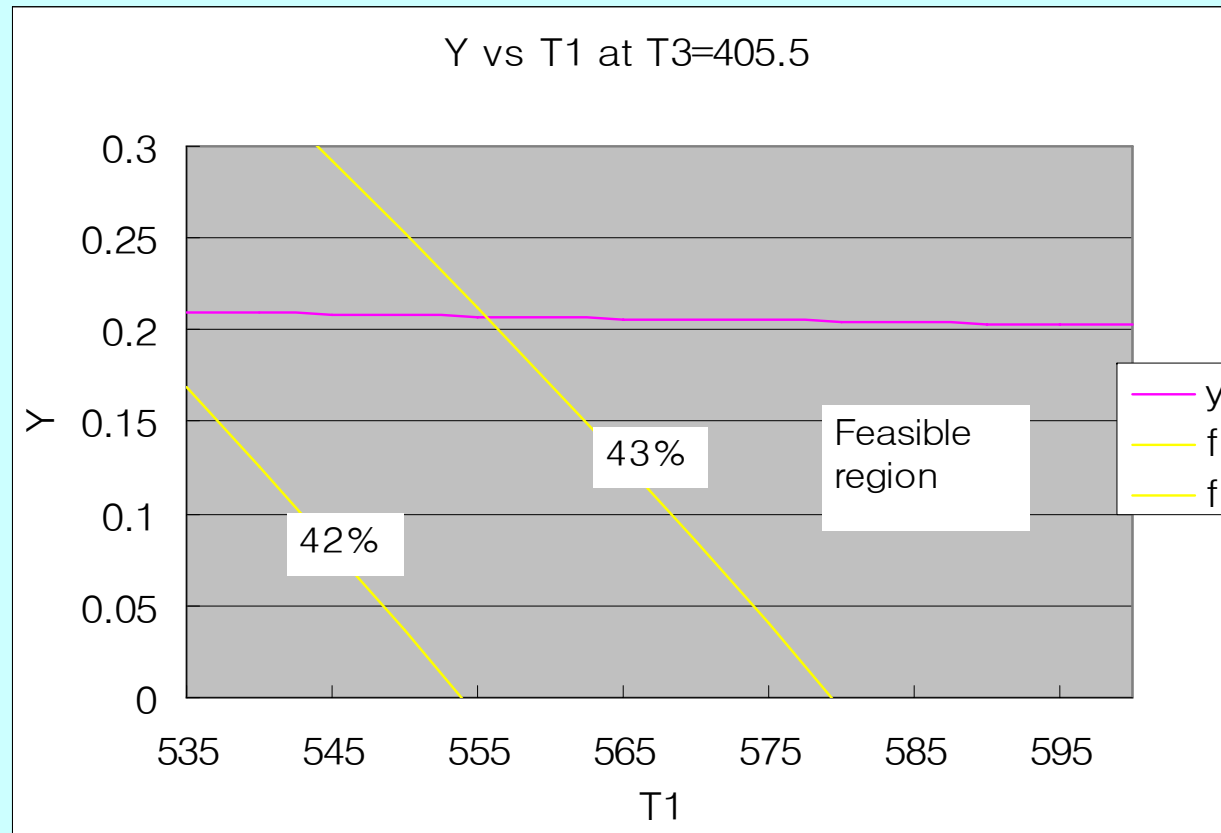
$$h_7 \leq 697.2 \text{ kJ/kg} \longrightarrow (1914.706 + 1.50623T_1)y \leq 570.63$$

– *Nonlinear*의 구속조건 !!

목적함수도 비선형이므로

Simplex method 나 Linprog 로는 접근불가

타당성 검증



Feasible region이 존재
목적함수가 그 안에 존재함

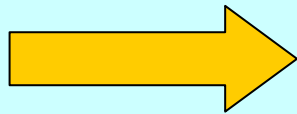
→ 최적점이 존재함!

Solving... Excel & fmincon

1. 초기값 분석

- Infeasible 초기값 $(T_1, T_3, y) = (550, 500, 0.5)$

T1	550
T3	500
y	0.5
f	-0.618



T1	550
T3	500
y	0.208
f	-0.435

반복횟수 : 2

- Feasible 초기값 $(T_1, T_3, y) = (500, 500, 0.1)$

T1	550
T3	500
y	0.1
f	-0.392



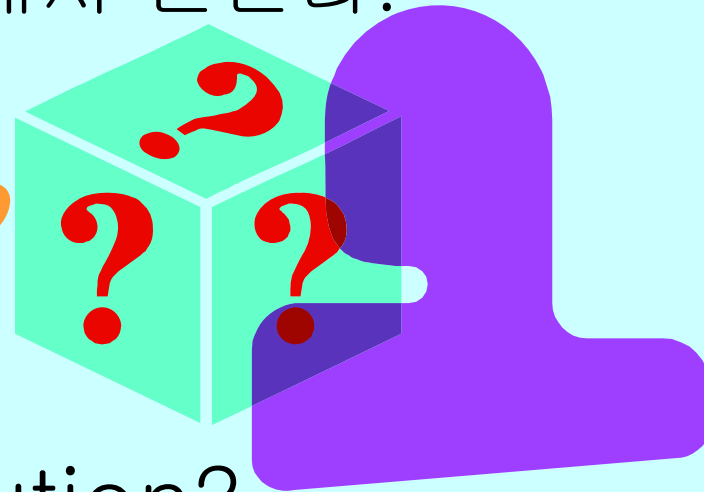
T1	535
T3	500
y	0.2097
f	-0.43

반복횟수 : 1

Solving... Excel & fmincon

- *Feasible region* 을 먼저 아는 것이 매우 중요!
- 의문점발생 : 온도의 초기값을 변화시키면,
 $y=0.2$ 로 수렴하는데 온도의 최적점은 변화된
초기값의 근방으로 계속해서 변한다.

Why?



Multiple solution?

-그래프 상으로는 아니었는데...

Solving... Excel & fmincon

➤ Tolfun , maxiter , maxfuneval !!

~ 위의 값들을 증가시켜 더 정밀하게 들어가보자!

과연?

T1	600
T3	600
y	0.2025
f	-0.459

앗!

➤ 효율 43%와 46%는 수치적으로 보면 별 것 아니지만 발전소의 규모를 생각하면 이 작은 차이도 엄청난 경제적 이득을 가져 온다!

결과 고찰

➤ 과연 현실은 어떠한가?

1. 600°C 의 온도는 재료의 한계치
→ 실제로는 600°C 보다 낮은 약 550°C (효율이 43% 정도 나왔던 그 온도) 설계
2. 온도제한에 따른 효율저하를 극복 위해 초임계압 기술이 개발됨. (우리의 설계안은 아임계압임)
3. 배관의 마찰 손실이 지대한 영향을 미침

여기서 질문! 실제 화력 발전소의 효율은?

약 41%

결과 고찰

- 만일 배관의 재료가 더 높은 온도를 견딜 수 있다면 효율을 좋아질 것!
→ 재료공학이 매우 중요 (기계공학 다음으로^^;)
- 재생을 위해 빼는 물의 양이 전체 유량의 20% 를 넘기면 효율이 증가한다.
→ 보일러로부터 공급받는 열량을 감소시키는 동시에 터빈의 발전량도 감소시키므로 의미 없다.

생유

- 부족한 발표 끝까지 들어주셔서 감사합니다.
- 한 학기 동안 저희를 엔지니어로 키우기 위해 무시무시하게 몰아치신 교수님 감사합니다.
- 끝으로 시험 남으신 분들 남은 시험 잘보시길