

에너지절약에 관련된 용어 해설

Explanation of Terminologies Concerning to Energy Saving

최 영 돈*
Young Don Choi

1. 열효율(Thermal Efficiency ; η_{th})

열효율은 사이클이나 발전장치에 가해진 열량에 대한 일의 출력을 나타낸다. 발전장치에서의 순 열효율은 보조기계들의 구동 동력과 그에 관련된 비가역성 때문에 사이클 열효율보다 적어진다. Fig.1을 참조하여 열효율을 좀더 상세히 분류하기로 한다.

1.1 총사이클효율(Gross Cycle Efficiency ; η_{gc})

$$= \frac{\text{사이클 상의 터빈 출력}}{\text{사이클에 가해지는 열공급}}$$

1.2 순사이클효율(Net Cycle Efficiency ; η_{nc})

$$= \frac{\text{순사이클출력(터빈출력 - 보조기기)}}{\text{사이클에 가해지는 열공급}}$$

1.3 총발전효율(Gross Station Efficiency ; η_{gs})

$$= \frac{\text{총발전기출력}}{\text{증기발생기에 가해지는 열공급}}$$

1.4 순발전효율(Net Station Efficiency ; η_{ns})

$$= \frac{\text{순발전출력(총발전기출력 - 보조기기)}}{\text{증기발생기에 가해지는 열공급}}$$

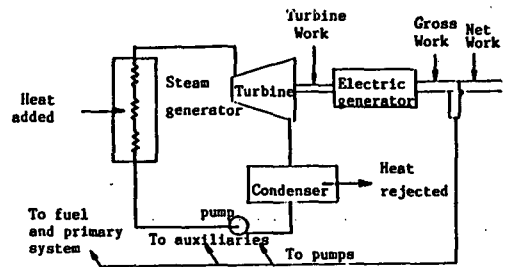


Fig.1 Schematic of a powerplant showing turbine, gross and net work.

1.5 병합발전효율(Cogeneration Efficiency ; η_{co})

병합발전이란 한 발전장치로 전기와 증기(혹은 기타 열에너지)를 동시에 발생시키는 발전을 나타낸다. 병합발전효율은 다음과 같이 정의된다.

* 정희원, 고려대학교 기계공학부교수

$$\eta_{co} = \frac{E + \Delta H_s}{Q_A}$$

여기서,

E = 발전된 전력

ΔH_s = 사용된 열에너지

Q_A = 발전장치에 가해지는 열에너지

1.6 복합효율(Combined Efficiency; η_c)

복합효율은 전기와 열을 별도의 장치에서 발생시킬 때 복합계의 효율이며 다음과 같이 정의된다.

$$\eta_c = \frac{1}{(e/\eta_e) + [(1-e)/\eta_h]}$$

여기서,

e = 전 에너지 출력에서 전력의 비율

$$= \frac{E}{E + \Delta H_s}$$

η_e = 발전효율

η_h = 증기(혹은 열) 발생효율

* $\eta_{co} > \eta_c$ 일 경우 병합발전이 유리하다.

1.7 변환효율(Conversion Efficiency; η_{con})

$$= \frac{\text{단위질량의 연료로부터 변환된 고급의 열에너지 출력}}{\text{연료의 고위발열량}}$$

연소를 포함하는 변화과정인 경우 연소효율이라고도 한다.

2. 열소비율(Heat Rate; HR)

열소비율은 단위일량(보통 KWh)을 발생시키는 데 소요되는 열량(보통 Kcal 혹은 Btu)으로 정의된다. 열소비율은 열효율에 반비례하며 이를 분류하면 다음과 같다.

2.1 총사이클열소비율(Gross Cycle HR)

$$= \frac{\text{사이클에 가해지는 열공급율, Kcal/h}}{\text{사이클 상의 터빈 출력,}}$$

$$\frac{\text{(혹은 Btu/h)}}{\text{KW}}$$

2.2 순사이클열소비율(Net Cycle HR)

$$= \frac{\text{사이클에 가해지는 열공급율, Kcal/h}}{\text{순사이클출력,}}$$

$$\frac{\text{(혹은 Btu/h)}}{\text{KW}}$$

2.3 총발전열소비율(Gross Station HR)

$$= \frac{\text{증기발생기에 가해지는 열공급율,}}{\text{총발전기출력,}}$$

$$\frac{\text{Kcal/h (혹은 Btu/h)}}{\text{KW}}$$

2.4 순발전열소비율(Net Station HR)

$$= \frac{\text{증기발생기에 가해지는 열공급율,}}{\text{순발전출력,}}$$

$$\frac{\text{Kcal/h (혹은 Btu/h)}}{\text{KW}}$$

1 KWh = 3412 Btu = 860 Kcal 이므로 HR은 그에 상응하는 열효율과 다음의 관계가 성립된다.

$$HR = \frac{860}{\eta_{th}} \text{ (Kcal/KWh)}$$

$$= \frac{3412}{\eta_{th}} \text{ (Btu/KWh)}$$

2.5 열효율과 열소비율에 관한 예제

석탄 연소 발전소 발전기의 총출력이 1000 MW이다. 이 중 9%가 내적 용도에 사용된다. 1일 석탄 사용량이 9800 tons 이고 증기발전기 효율은 86%이다. 총발전, 순발전, 순사이클 열소비율과 열효율을 구하시오.

[해]

$$\text{석탄의 연소율} = 9800 \times \frac{1000}{24}$$

$$= 408,333 \text{ kg/h}$$

$$\text{총발전 HR} = \frac{408,333 \times 6380}{1000 \times 1000}$$

$$= 2605.2 \text{ Kcal/KWh}$$

$$\text{순발전출력} = (1 - 0.09) \times 1000 = 910 \text{ MW}$$

$$\text{순발전 HR} = \frac{408,333 \times 6380}{910 \times 1000}$$

$$= 2862.9 \text{ Kcal/KWh}$$

사이클에 가해지는 열공급율

$$= 408,333 \times 6380 \times 0.86$$

$$= 2.2404 \times 10^9 \text{ Kcal/h}$$

$$\begin{aligned} \text{순사이클 HR} &= \frac{2.2404 \times 10^9}{910 \times 1000} \\ &= 2462.0 \text{ Kcal/KWh} \end{aligned}$$

이들에 상응하는 열효율은,

$$\text{총발전효율} = \frac{680}{2605.2} = 33.01\%$$

$$\text{순발전효율} = \frac{860}{2862.9} = 30.04\%$$

$$\text{순사이클효율} = \frac{860}{2462.0} = 34.93\%$$

3. 연료소비율(Fuel Rate ; FR)

연료소비율은 보통 내연기관 원동기에서 사용되는 용어로 단위 기관축일 혹은 에너지를 발생시키는데 소요되는 연료의 양을 나타낸다.

$$\text{연료소비율} = \frac{\text{시간당 연료소비율, kg/h}}{\text{기관의 축일 혹은 에너지출력, hp}} \quad \begin{matrix} \text{(혹은 Btu/h)} \\ \text{(혹은 W)} \end{matrix}$$

4. 성능계수(Coefficient of Performance ; COP)

열펌프나 냉동기의 성능은 일반적으로 성능계수(COP)나 에너지효율비(EER)로 표시된다. COP는 다음과 같이 정의

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{\text{열에너지의 출력, KW}}{\text{기기로의 에너지 입력, KW}} \\ &= \frac{\text{열에너지의 출력, Btu/h}}{\text{기기로의 에너지 입력, Btu/h}} \end{aligned}$$

COP를 난방성능계수와 냉방성능계수로 분류하면 그 정의는 다음과 같다.

4.1 난방성능계수(Coefficient of Performance for Heating ; COP_H)

$$= \frac{\text{조절계의 열공급율}}{\text{기기로의 에너지 입력}}$$

4.2 냉방성능계수(Coefficient of Performance for Heating ; COP_H)

$$= \frac{\text{조절계로부터의 열제거율}}{\text{기기로의 에너지 입력}}$$

5. 에너지효율비(Energy Efficiency Ratio ; EER)

에너지 효율비는 성능계수와 같은 것이나 성

능계수는 무차원계수이고 에너지효율비는 단위가 있는 계수이며 다음과 같이 정의된다.

$$\text{EER} = \frac{\text{열에너지 출력, Kcal/h (혹은 Btu/h)}}{\text{기기로의 에너지 입력, KW (혹은 W)}}$$

에너지 효율비를 난방에너지효율비와 냉방에너지효율비로 분류하면 그 정의는 다음과 같다.

5.1 난방에너지효율비(Energy Efficiency Ratio for Heating ; EER)

$$= \frac{\text{조절계의 열공급율, Kcal/h (혹은 Btu/h)}}{\text{기기로의 에너지 입력, KW (혹은 W)}}$$

5.2 냉방에너지효율비(Energy Efficiency Ratio for Cooling ; EER_c)

$$= \frac{\text{조절계로부터의 열제거율, Kcal/h}}{\text{기기로의 에너지 입력, KW}} \quad \begin{matrix} \text{(혹은 Btu/h)} \\ \text{(혹은 W)} \end{matrix}$$

6. 에너지유효계수(Energy Effectiveness Factor ; E_e)

6.1 에너지유효계수의 정의

에너지유효계수(E_e)는 고갈성의 천연자원(석탄, 석유, 천연가스, 원자력 등)에 내장된 잠재 에너지 형태로부터 사용되는 최종상태의 에너지로의 변환의 유효도를 나타내는 무차원비로써 일반적인 발전계나 병합발전계에서 공통으로 사용할 수 있으며 계산하기가 간단한 계수이다.

6.2 에너지유효계수의 결정법

6.2.1 전력만 생산하는 계

Fig.2는 전력만 생산하는 계를 나타낸다. 에너지유효계수를 결정하는데에는 경계를 설정하는 것이 중요하다. 여기서는 발전설비만을 계에 포함시키기로 한다. 이 경우

계에서 외부 에너지소비공동체로 공급한 생산물(product) = 에너지유효

$$e = E$$

가 성립한다. 예제로 연간 공급한 생산물을 1 MKWh 라 하자. 연료에너지 입력(F)는 고갈성에너지원(화석연료, 원자력연료 등)의 고위발열량으로 표시된다. 이 에너지의 유효는 입

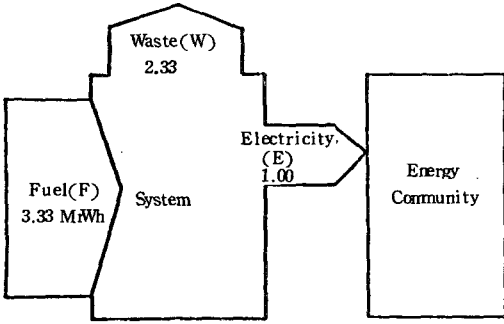


Fig. 2 First law diagram for electric conversion system.

력생산물(input product)과 같은 방향이므로

$$f = F$$

가 성립되고 예제에서는 $F = 3.33$ MKWh 로 가정하였다. 이 경우 에너지유효계수는 다음과 같이 계산된다.

$$E_e = \frac{\text{출력 생산물(output product)}}{\text{입력 생산물(input product)}}$$

$$= \frac{e}{f}$$

$$= \frac{1.0}{3.33} = 0.30$$

6.2.2 열만 생산하는 계

Fig. 3에서 에너지유동(H)과 출력 생산물 유동(h)은 계로부터 외부 에너지 공동체로 향한다. 따라서

출력 생산물 = 에너지유동

$$h = H$$

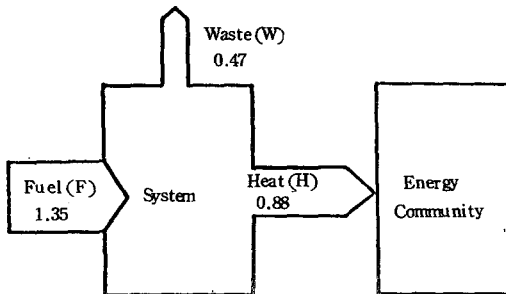


Fig. 3 First law diagram for thermal conversion system.

가 성립된다. h 를 0.88 MKWh라 하고 f 를 1.35 MKWh라 한다.

$$E_e = \frac{h}{f}$$

$$= \frac{0.88}{1.35} = 0.65$$

이 된다.

6.2.3 전기와 열을 함께 생산하는 계

Fig. 4는 전기와 열을 함께 생산하는 계를 나타낸다. 이 경우

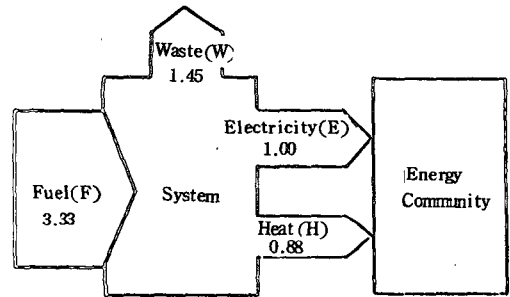


Fig. 4 First law balance diagram for electric/heat conversion system.

$$e = 1.00 \text{ MKWh}$$

$$h = 0.88 \text{ MKWh}$$

$$f = 3.33 \text{ MKWh}$$

이므로

$$E_e = (e+h)/f$$

$$= (1.00+0.88)/3.33 = 0.565$$

이 된다. Fig. 2, Fig. 3의 분리된 계의 복합 에너지유효계수는

$$E_e = \frac{1.00+0.88}{3.33+1.35} = 0.40$$

이므로 병합발전에서의 에너지유효계수가 더 큼을 알 수 있다.

6.2.4 전기와 열과 냉방을 함께 생산하는 계

Fig. 5는 전기와 열과 냉방을 함께 생산하는 계이다. 냉방에너지가 계로 들어갔지만 이것 역시 계의 생산물이다. 냉동기를 구동시키기 위하여 소요된 에너지는

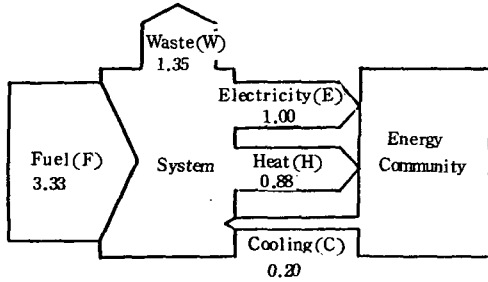


Fig.5 First law balance diagram for electric/heating/cooling system.

$$e, h, f = \frac{\text{냉방에너지유동}}{(\text{COP})_s}$$

이다. 여기서 $(\text{COP})_s$ 는 냉동시설의 COP이다. Fig.6은 냉방에너지유동을 생산물로 변환시킨 도표이다. 이때의 에너지 유효계수는

$$E_e = (e + h + c) / f$$

로 계산한다.

여기서

$$e = E$$

$$h = H$$

$$c = C / (\text{COP})_s$$

$$f = F$$

이며 C 는 냉방에너지유동을 나타낸다. 예제에서 에너지유효계수는 $(\text{COP})_s$ 를 2.0으로 가 정할 때

$$E_e = \frac{1.00 + 0.88 + (0.2 / 2.0)}{3.33} = 0.595$$

이다.

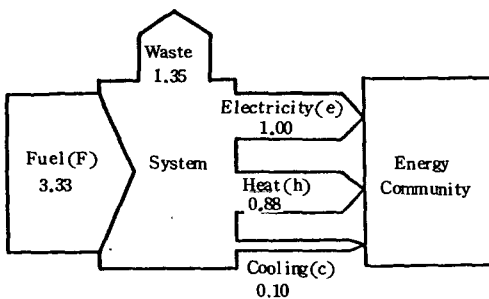


Fig.6 Production diagram for electric/heating/cooling system.

6.2.5 태양열을 이용하는 병합발전계

Fig.6의 병합발전계에서 태양열을 이용하여 연료에너지양을 3.33 MKWh에서 3.0MKWh로 감축시켰다면 이 계의 에너지유효계수는

$$E_e = \frac{1.00 + 0.88 + 0.1}{3.0} = 0.66$$

이다.

7. 부하계수 (Load Factor ; LF)

부하계수는 정상 전부하 운전에서의 기기의 용량에 대한 단속운전시 기기가 행한 열량을 나타내는 계수로 이를 분류하면 다음과 같다.

7.1 난방부하계수(Heating Load Factor; HLF)

$$= \frac{\text{단속운전에서의 난방열량}}{\text{정상 전부하 운전에서의 난방열량}}$$

7.2 냉방부하계수(Cooling Load Factor; CLF)

$$= \frac{\text{단속운전에서의 냉방열량}}{\text{정상 전부하 운전에서의 냉방열량}}$$

7.3 부분부하계수(Part Load Factor; PLF)

$$= \frac{\text{단속운전시의 기기의 성능계수}}{\text{정상 전부하 운전에서의 냉방열량}}$$

$$= \frac{\text{COP}_{\text{cyc}}}{\text{COP}_{\text{ss}}} < 1$$

7.4 일부부하계수(Work Load Factor; WLF)

$$= \frac{\text{단속운전시 소요되는 동력 입력}}{\text{정상 전부하 운전시 소요되는 동력 입력}}$$

$$= \frac{\text{HLF}}{\text{PLF}}$$

8. 단속운전성능저하계수(Cyclic Degradation Coefficient; C_D)

C_D 는 단속운전에 의한 기기의 성능저하를 나타내는 계수로 PLF, HLF와 다음의 관계가 있다.

$$C_D = \frac{1 - \text{PLF}}{1 - \text{HLF}}$$

9. 계절성능계수(Seasonal Performance Factor : SPF)

9.1 난방계절성능계수(Seasonal Performance Factor for Heating ; SPF_H)

$$= \frac{\text{난방기간 동안 공급된 총 난방열량}}{\text{난방기간 동안 기기로의 총 에너지 입력}}$$

9.2 냉방계절성능계수(Seasonal Performance Factor for Cooling ; SPF_C)

$$= \frac{\text{냉방기간 동안 제거된 총 냉방열량}}{\text{냉방기간 동안 기기로의 총 에너지 입력}}$$

* SPF_H나 SPF_C는 기기의 종류와 지역에 따라 다르므로 냉난방기기를 선택할 때는

이들을 함께 고려하여 선택해야 된다.

Table 1은 미국에서 기기의 종류와 지역에 따른 SPF_H의 변화를 나타낸 통계자료이다.

10. 계절에너지효율비(Seasonal Energy Efficiency Ratio ; SEER)

계절에너지효율비(SEER)와 계절성능계수(SPF) 사이의 관계는 EER과 COP 사이의 관계와 같으며 계절에너지효율비도 역시 난방에너지효율비(SEER_H)와 냉방에너지효율비(SEER_C)로 분류된다.

Table 1. Heating Season Performance Factors for Heat Pumps and Other Heating Systems.

City	Heat Pump		Gas Furnace	Oil Furnace	Electric Furnace	Baseboard Electric
	System ^a	Compressor and Fan ^b				
Houston, TX	2.64	2.66	0.56	0.53	0.92	1.0
Birmingham, AL	2.14	2.40	0.56	0.52	0.92	1.0
Atlanta, GA	2.14	2.37	.057	0.53	0.93	1.0
Tulsa, OK	1.83	2.39	0.59	0.55	0.93	1.0
Philadelphia, PA	1.69	2.13	0.60	0.55	0.91	1.0
Seattle, WA	1.80	1.97	0.53	0.56	0.89	1.0
Columbus, OH	1.69	2.40	0.63	0.59	0.91	1.0
Cleveland, OH	1.60	2.51	0.64	0.59	0.91	1.0
Concord, MA	1.47	2.73	0.61	0.57	0.91	1.0

^a Heat pump system SPF ; Total energy delivered to the residence divided by total energy delivered to the heat pump system (compressor energy, indoor and outdoor fan energies, supplementary heater energy).

Energy delivered to the residence is just equal to thermal load in the residence.

^b Compressor and fan SPF ; Same as above except that energy delivered to the pump system is for the compressor and fans and does not include supplementary heaters.