

통합학문에서 엔트로피와 엑서지의 이해



김덕진

엔테스(EnTEs) 대표
entes@outlook.kr



1. 서론

선행연구에서 통합학문 5대 법칙^(1,2)을 제안한 바 있다. 핵심은 에너지(Energy)를 변화(Change)를 일으킬 수 있는 능력으로 정의한다면, 열역학적 법칙의 논리가 모든 학문에 공평하게 적용될 수 있다는 것이다. 변화는 유효변화와 무효변화로 구성되어 있으며, 그 무효변화의 정도가 그 학문에서의 엔트로피이다. 현재 인터넷에 검색되고 있는 각 학문에서의 엔트로피 연구는 다음과 같이 헤아릴 수 없이 많다.

엔트로피 법칙을 통한 사회 경제 문제 조명, 엔트로피와 경제 불황, 환경의 엔트로피, 엔트로피와 기업경영, 고전경제이론의 한계와 엔트로피 법칙, 심리적 엔트로피, 폭력과 엔트로피, 정보 엔트로피, 엔트로피 공연, 의식은 일종의 엔트로피일까, 엔트로피와 예술, 엔트로피에서 배우는 인생의 의미, 엔트로피-성격심리학, 엔트로피를 역행하는 하나님의 교회, 생물학적 계의 엔트로피, 사람과 엔트로피 등이다.

이것은 엔트로피의 합리성과 범용성을 모든 학문에서

인정하고 있다는 뜻이다. 여기서 열역학자가 각 학문에서의 엔트로피 도서를 구매하여 읽어보는 것도 흥미로울 것이다. 그 학문에서의 엔트로피 정의가 열역학적 법칙에 올바른 것인가를 곰곰이 생각하는 과정 중에 새로운 아이디어가 열역학자에 의해 창출될 수도 있을 것이다. 엔트로피는 무효한 정도이다. 그 무효한 정도를 양으로 계산해야 한다. 그 유효 변화량이 열역학적 용어로 엑서지(Exergy)이고, 무효 변화량이 열역학적 용어로 아너지(Anergy)이다.

각 학문에서는 그 학문의 엑서지와 아너지를 필히 계산해야만 한다. 그 이유는 다음과 같다. 1) 그 학문에서의 정도가 엔트로피이며, 양이 에너지, 엑서지, 아너지이다. 2) 정도는 계산의 과정이며, 양은 계산의 결과이다. 3) 인공지능은 정도가 아니라 양 또는 질에 의해서 최종 판단한다. 4) 경제학은 부를 창출하기 위해 각종 수식을 개발하나, 그 이외의 학문은 경쟁에서 살아남기 위해 누구나 인정할 수 밖에 없는 객관적인 수식을 개발해야만 한다. 5) 그 학문에서 위 수식이 정립된다면 학문의 융합이 활발히 일어나 새로운 아이템이 창출된다.

경제학이 인공지능에 경제학적 수식을 입력하여 부를 창출하는 과정 중에 환경학과 윤리학 등은 무시될 수밖에 없다. 근본적인 이유는 인공지능에 환경학적 수식 및 윤리학적 수식이 입력 안되었기 때문이다. 사람은 개별적이거나 인공지능은 통합적이다. 각 학문으로부터 입력된 다양한 알고리즘을 인공지능은 스스로 생각하고 통합하여 최종 판단해야 한다. 인공지능¹⁰⁾은 엑서지(자원 절약/인류발전/환경보전)의 최대화 그리고 아너지(손실/방출/낭비)의 최소화 구현에 활용되어야 할 것이다. 주식투자에 인공지능이 활용되어서는 안된다는 뜻이다.

다양한 학문에서 엔트로피 정립을 시도하고 있다. 그 다음 연구 과제는 그 학문에서의 엑서지 및 아너지를 정립하는 것이다. 이를 위해서는 열역학적 엔트로피, 엑서지 및 아너지의 개념을 명확히 이해하는 것이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구의 목적은 각 학문에서의 수식 개발을 위한 열역학적 접근 방법론을 제시하는 것과 엑서지의 개념을 일반인일지라도 에너지-엔트로피 선도를 통해 쉽게 이해하는 방법론을 제안하는데 있다. 본 연구 내용이 어느 정도 이해 되었다면, 각 학문의 엔트로피 및 엑서지 정립 과정에 도움이 될 것이다.

2. 에너지의 이해

2.1 에너지의 정의

에너지는 물리학적으로 일을 할 수 있는 능력으로 정

의된다. 통합학문에서는 변화를 일으킬 수 있는 능력으로 정의한다. 만물은 변화하므로 에너지는 만물에 적용될 수 있다.

2.2 에너지 계산 수식

열역학적으로 에너지는 다음과 같이 계산된다.

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T \quad (1)$$

위 수식에서 Q는 에너지의 량[kJ], m은 질량[kg], C는 비열[kJ/kgK], T는 온도[K]이다. 따라서 변화의 량이 Q이고, 질량 또는 개수 등이 m이고, C는 다양한 해석 대상의 종류에 따른 비례 상수이고, T는 변화를 야기하는 인자임을 이해할 수 있다.

경기장에서 변화를 일으키는 것은 관중의 함성일 것이다. 따라서 관중 함성의 총량이 변화의 량 Q이고, 관중의 수가 m이고, T는 1인당 소리의 음압(쉽게 설명하자면 decibel)으로 해석될 수 있다. 여기서 축구장의 함성 강도와 수영장의 함성 강도는 본질적으로 다르며, 이것을 고려한 것이 C이다. 1인당 소리의 음압을 10에서 11로 올리면 그 함성 변화의 량은 1이다. 여기서 소리의 음압을 90에서 91로 올려도 그 함성 변화의 량은 1이다. 이것이 에너지 보존 법칙으로서, 변화의 양에서 가치는 고려하지 않는다. 명백히 전자와 후자의 함성 변화량의 가치는 전혀 다르다. 그 가치를 평가하는 기준이 바로 엔트로피이다.

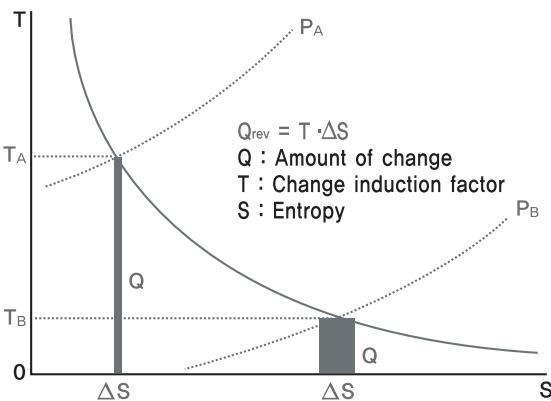


Fig. 1 Comprehension of entropy on T-S diagram

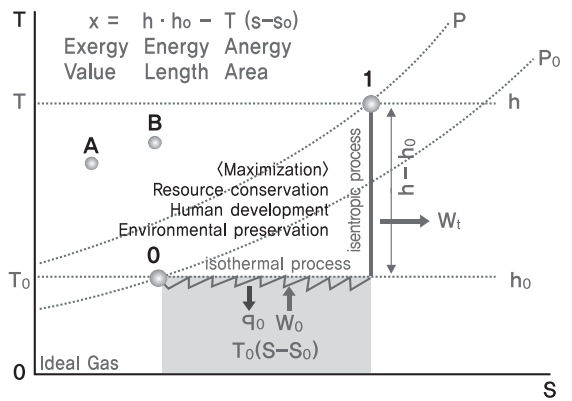


Fig. 2 Comprehension of exergy on T-s diagram

3. 엔트로피의 이해

3.1 엔트로피의 정의

만물은 질서와 무질서로 구분된다. 여기서 엔트로피의 정의는 무질서한 정도이다. 질서는 좋은 것이며 무질서는 좋지 않은 것이다. 따라서 에너지는 유효 에너지와 무효 에너지로 구분되고, 변화 역시 유효변화와 무효변화로 구분된다. 통합학문에서 엔트로피는 좋지 않은 정도로 정의될 수 있다. 그 좋지 않은 정도를 숫자로 계산할 수 있어야 그 학문이 타 학문에서 공정하게 인정받을 수 있을 것이다.

3.2 엔트로피 계산 수식

경제학이 강력한 이유는 부의 획득 방법론을 경제학적 수식으로 계산하기 때문이다. 각 학문에서는 그 학문의 철학에 누구나 인정할 수 있는 객관적인 수식을 적용해야 할 것이다.

열역학적 엔트로피의 정의는 다음과 같다.

$$\Delta S = Q_{rev}/T = m \cdot \Delta s \quad (2)$$

위 수식에서 Q_{rev} 는 가역과정 중에 전달된 열량[kJ], T 절대온도[K], s는 엔트로피[kJ/kgK], m은 질량[kg], ΔS 는 엔트로피 증감량[kJ/K]이다. 통합학문적으로 위 수식을 해석하자면, Q_{rev} 는 그 학문에서의 가역변화의량, T는 변화가 존재하는 근원, m은 질량 또는 개수 등

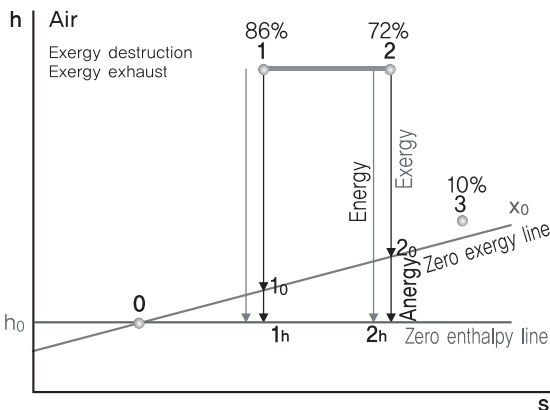


Fig. 3 Zero exergy line of air on h-s diagram

의 비례량이다. 통합학문 제 0 법칙은 존재의 법칙이다. T가 바로 그 학문이 존재하는 근원이다.

3.3 T-S 차트를 통한 엔트로피의 이해

식(2)는 Fig. 1과 같이 T-S 차트에 도시된다. A와 B에서 에너지의 총량(Q, 면적)은 서로 동일하다. 온도가 높을수록 엔트로피 변화는 작아지고, 온도가 낮을수록 엔트로피 변화는 크다는 것을 파악할 수 있다. 1000℃의 1 kg 에너지와 100℃의 10 kg 에너지 중 전자가 훨씬 가치 있음은 너무나 당연하다. 100℃와 99℃의 차는 1℃이다. 1000℃와 999℃의 차 역시 1℃이다. 열역학 제 1 법칙(에너지 보존의 법칙)은 위 둘의 1℃는 서로 동일한 것으로 해석하나, 열역학 제 2 법칙(엔트로피 증가의 법칙)은 위 둘의 1℃는 전혀 다르다는 것으로 해석한다. 10%에서 1%를 높이는 것은 매우 쉬우나, 90%에서 1%를 높이는 것은 매우 어렵다는 것이다. 따라서 Fig. 1에서 Q는 변화의 총량이고, T는 그 변화를 야기하는 인자임을 파악할 수 있다. 위 둘을 나눈 것이 바로 그 학문에서의 엔트로피가 된다.

경기장에서 관중의 함성량과 같이, 낮은 것에서 1을 올리는 것과 높은 것에서 1을 올리는 것은 전혀 다르다는 것은 만물의 법칙이다.

3.4 내부적 요인과 외부적 요인

Fig. 1에서 T는 온도이고 P는 압력이다. 통합학문적으로 해석하자면, T는 관중이 내는 소리의 음압으로서

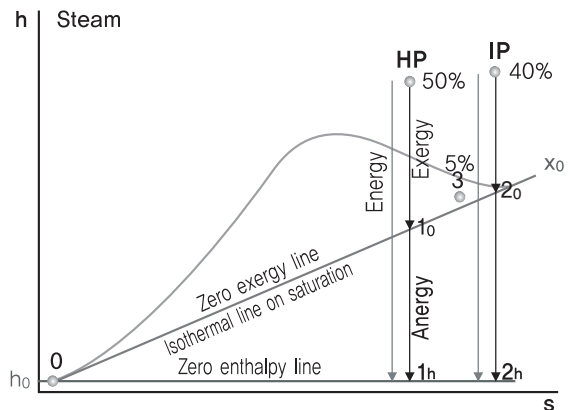


Fig. 4 Zero exergy line of steam on h-s diagram

내부적 요인이고, P는 치어리더 등의 외부적 요인이다. Fig. 1로부터 T 및 P가 상승할수록 엔트로피가 줄어든다는 것을 파악할 수 있다. 열역학적 요인은 T와 P 만 존재한다. 각 학문에서 주된 요인은 두 종류이며, 부가적인 요인들이 첨부될 수도 있을 것이다.

4. 엑서지의 이해

4.1 엑서지의 정의

엑서지(Exergy)는 어떤 주어진 상태의 에너지가 주위와 평형에 도달할 때까지 얻을 수 있는 일의 최대량으로 정의된다. 통합학문에서는 다음과 같다. 변화에는 유효한 변화가 있고 무효한 변화가 있다. 엑서지는 어떤 주어진 상황의 변화가 주위와 평형에 도달할 때까지 얻을 수 있는 유효변화의 최대량으로 정의된다. 여기서 변화는 그 학문에서 정의하는 것이며, 주위는 변화가 없는 상황을 뜻한다. 엑서지율(Exergy ratio)은 엑서지와 에너지의 비율로서, 변화량 중에 유효변화량의 비율이다.

자연 생태계는 유효 에너지에 의해 활력을 띠며 무효 에너지에 의해 오염된다. 따라서 자연 생태계의 엑서지와 에너지는 열역학적 법칙에 의해 자연스럽게 계산^{1,2)} 될 수 있다.

자연 이외의 일례로, 인간은 감정이라는 것이 있으며 실시간으로 변한다. 감정은 만족과 불만으로 크게 구분될 수 있을 것이다. 따라서 감정이 에너지이고, 만족이 엑서지이고, 불만이 아니지이고, 주위란 만족 및 불만이 모두 없는 상태이다. 절대적 감정은 누구에게나 공정하다고 할 수 있으나, 상대적 감정은 비교대상이 존재하는 경우이다. 고전 열역학은 전체의 평균을 다루는 학문이며, 통계 열역학은 개개 요소를 다루는 학문이다. 따라서 절대적 감정은 고전 열역학적 방법론으로 접근할 수 있고, 상대적 감정은 통계 열역학적 방법론으로 접근할 수 있을 것이다.

경기장에서 합성이 높다는 뜻은 경기에 만족한다는 뜻이고, 소음이 없다는 뜻은 그 경기에 몰입하여 만족하고 있다는 뜻이다. 불만족은 관중의 야유에 해당된다.

공기조화에서 예상불만족도가 있다. 즉 현재 수행되

고 있는 냉방 또는 난방에 대해 고객이 어느정도 불만족하고 있는지의 정도이다. 저자는 선행연구³⁾에서 예상불만족도를 경제적 관점으로 계산하는 방법론을 제안한 바 있다. 발전소에서 생산되는 전기는 모든 고객이 100% 만족하는 에너지이다. 공기조화에서 생산되는 에너지는 그 만족 및 불만족 정도가 공학적 수식으로 이미 체계화되어 있다. 각 학문 역시 만족 및 불만족을 수식으로 체계화할 수 있을 것이다.

4.2 엑서지 계산 수식

엑서지 및 엑서지율 수식은 다음과 같다.

$$X = H - H_0 - T_0 (S - S_0) \quad (3)$$

$$x = h - h_0 - T_0 (s - s_0) \quad (4)$$

$$\epsilon = x / (h - h_0) \quad (5)$$

여기서 X는 엑서지[kJ], H는 에너지[kJ], S는 엔트로피[kJ/K], 하첨자 0는 환경상태를 뜻하고, 소문자는 단위질량당을 뜻한다. 수식이 약간 어려울 수 있으므로, 해석의 기준점을 환경상태(15°C, 1 bar)로 결정하면, h_0 및 s_0 는 0 이 되어, $x = h - T_0 s$ 가 된다. 정리하자면 유효 에너지 = 에너지 - 무효 에너지라는 뜻이다.

식(3)은 유효변화량 = 변화량 - 무효변화량 이다. H는 많은 경우 식(1)의 Q로 이해될 수 있고, S는 식(2)의 적분으로부터 계산되며, T_0 는 어떠한 변화도 없는 예를 들어 경기와 관련없이 지속적으로 발생하는 관중의 소음 강도 등의 환경값이다. T_0 는 어떠한 의미도 없는 상황이며, T_0 보다 높다면 열기(양의 변화)가 발생하여 만족한다는 뜻이고, T_0 보다 낮다면 몰입(음의 변화)이 발생하여 만족한다는 뜻이다.

위와 동일한 논리로, 관중의 야유를 식(3)과 같이 수식화 할 수 있을 것이다. 이 경우 엑서지는 역으로 불만족량이 된다.

4.3 T-s 선도를 통한 엑서지의 이해

식(4)의 수식이 Fig. 2의 T-s 선도상에 도시되어 있다. 상태 1과 같이, 내부적 요인 T와 외부적 요인 P가 결정되면, 엔트로피가 T-s 선도상에 결정된다. 여기서 상

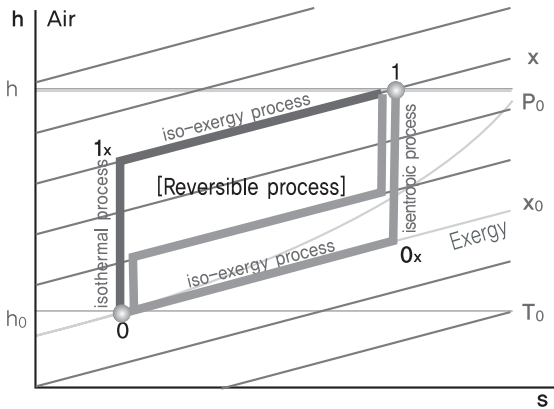


Fig. 5 Reversibility of iso-exergy process

태 0는 아무런 변화가 없는 환경상태(T_0, P_0)이다. 상태 1에서 상태 0으로 가는 방법은 무수히 존재한다. 여기서 자원절약, 인류발전, 환경보전의 최대화 방법이 바로 1에서 1_h 로의 등엔트로피 과정 및 1_h 에서 0으로의 등온과정이다. 그 경로에서 벗어날수록 손실, 방출, 낭비가 더욱 발생된다.

선도상에서 에너지량은 $h-h_0$ 의 길이이고, 아너지량은 $T_0(s-s_0)$ 의 면적이고, 엑서지량은 위 둘의 차로 계산된다. 이것이 현재 열역학에서 엑서지를 차트로 이해하는 방법이다. 많은 사람들이 엑서지에 대해 혼란스러워하고 있다. 그 이유가 바로, 길이에 면적을 빼면 숫자가 나온다는 $T-s$ 선도 때문이다. Fig. 2에서 A와 B 중 품질이 더 좋은 에너지는 어느 것인가? B가 온도가 높기 때문에 품질이 좋다고 말할 수 있으나, 엔트로피 역시 높기 때문에 Fig. 2의 선도로는 분간을 할 수가 없다.

5. h-s 선도를 통한 엑서지의 이해

5.1 영엔탈피선과 영엑서지선

엔탈피(h)는 열역학적 에너지 종류의 하나로서, h-s 선도상에서 h가 0 즉 가로선이 영엔탈피선(Zero enthalpy line) 또는 영에너지선(Zero energy line)이다. 식(4)의 위치를 바꾸면 다음과 같다.

$$h-h_0 = T_0 (s-s_0) + x \quad (6)$$

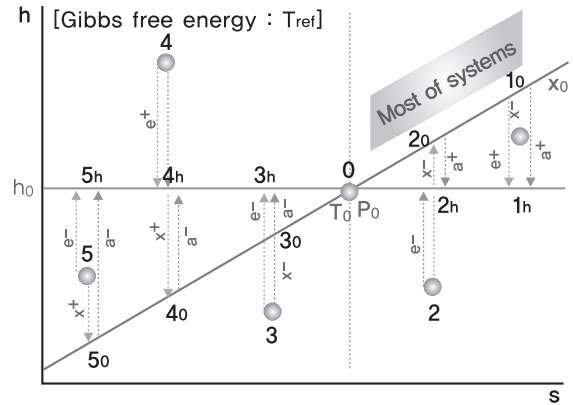


Fig. 6 Comprehension of exergy for various states

식(6)은 가로축 s, 세로축 h, 원점(s_0, h_0), 기울기 T_0 , 세로축 절편 x 인 직선이다. 영엑서지선(Zero exergy line)은 x 값이 0인 선이다.

5.2 공기선도에서 엑서지의 이해

공기의 경우 Fig. 3과 같이 도시된다. 영엑서지선은 에너지는 있으나 유효에너지가 0으로서 모두 무효에너지지만 존재한다는 뜻이다. 따라서 에너지는 서로 동일하나, 상태 1의 엑서지가 상태 2보다 더 많다는 것 그리고 그 엑서지를 역시 상태 1은 약 86% 정도 및 상태 2는 약 72% 정도임을 한눈에 파악할 수 있다. 상태 3은 에너지는 많으나, 엑서지가 10% 정도 밖에 되지 않으므로 버리는 것이 경제적임을 파악할 수 있다. 여기서 경제성을 이유로 버려야 할까? 아니면 자원절약, 인류발전, 환경보전을 위해 재활용을 해야 할까? 신중한 판단이 필요하다.

Fig. 2의 변화는 등엔트로피 과정과 등온과정으로서, 등온과정을 만들기 위해 무한대의 미소 압축기와 미소 열교환기를 설치하는 것이다. Fig. 3의 변화는 등엔트로피 과정과 등엑서지 과정으로서, 등엑서지 과정을 만들기 위해 무한대의 미소 카르노 사이클을 설치하는 것이다. 엑서지는 이상적 상황을 해석하는 것이므로, 위 양자는 수학적으로 정확히 같은 것이다.

노즐의 단열팽창과 같이 상태 1이 상태 2로 변했다고 가정을 해 본다. 파괴된 유효 에너지는 x_2-x_1 로서 엑서지 화살표 크기의 차이이다. 이것은 증가된 무효 에너지

$a_2 - a_1$ 로서 아너지 화살표 크기의 차와 정확히 같다.

5.3 증기선도에서 엑서지의 이해

Fig. 3은 공기의 경우이며, Fig. 4는 증기의 경우이다. 동일한 논리로 해석될 수 있으며, 공기의 특징은 아너지가 작는데, 증기의 특징은 아너지가 매우 큼을 볼 수 있다. 이것이 복합발전의 효율은 약 55% 정도로 높고, 석탄화력발전의 효율은 약 38% 정도로 낮은 근본적인 이유이다. 증압터빈(IP) 입구의 엔탈피는 고압터빈(HP) 입구의 엔탈피 보다 약간 높다.

이것은 IP 터빈 입구 상태가 HP 보다 더 좋다는 판단의 오해를 야기한다. 차트에서 HP의 유효 에너지가 IP 보다 더 높다는 것을 파악할 수 있다. 즉 IP의 에너지는 무효 에너지가 많다는 뜻이다. 상태 3번(복수기 입구)의 유효 에너지는 5% 정도 이므로, 환경으로 버려야 한다는 것을 알 수 있다.

증기의 특징은 포화상태(기체와 액체가 공존)일 때 등온과정이 되며, 이것은 영엑서지선과 거의 일치한다는 것이 특징이다. 즉 포화상태일 경우 Fig. 2의 등온과정이 성립한다.

5.4 등엑서지선은 가역과정이다

Fig. 5에는 등엑서지선(Iso-exergy line)과 3 종류의 과정이 도시되어 있다. h-s 선도상에서 엑서지는 필히 직선으로 도시되며, 등엑서지선 상에서의 이동은 가역과정 즉 등엑서지선 상을 어떠한 손실도 없이 자유롭게 이동할 수 있다. 그 근본적인 이유는 무한대의 미소 카르노 사이클이 적용되기 때문이다. 따라서 이론적으로 Fig. 5의 어떠한 경로라도 계산 결과는 정확히 동일하게 된다.

5.5 손실, 방출, 낭비의 최소화

위에서 도시된 그림은 이상적인 상황 즉 수학적 계산 결과이지 현실이 아니라는 것에 주의해야 한다. 현실은 이상적 상황에서 필히 손실, 방출, 낭비가 발생한다. 따라서 손실, 방출, 낭비의 양은 이상적 상황과 현실값의 차이이며, 그 차를 줄일수록 자원절약, 인류발전, 환경보전은 높아진다. 통합학문에서 현실값은 제 1 법칙인 변

화 보존 법칙으로부터 계산되며, 이상적인 값은 위에서 서술한 바와 같이 제 2 법칙인 무효변화 증가의 법칙으로부터 구하며, 위 두 수식을 혼합하여 정리하면, 식(4) 등의 통합수식이 유도된다. 제 3 법칙인 지침의 법칙부터 손실, 방출, 낭비를 최소화할 수 있는 다양한 지침이 그 학문에서 정립되어야 한다.

열역학 이외의 학문에서 위 글을 쉽게 이해하지 못할 것으로 추측된다. 그 학문에서의 엔트로피는 그 학문의 전문가와 열역학자가 융합되어 체계화해야 할 것이다.

5.6 h-s 선도상에서 엑서지의 이해

Fig. 6으로부터 다양한 상태에 대한 에너지, 엑서지, 아너지의 특징을 이해할 수 있다. 그림 이해에 대한 규칙은 다음과 같다.

- 1) 에너지와 엑서지의 화살표는 주어진 상태에서 출발하여 영엔탈피선 및 영엑서지선까지 도시한다.
- 2) 아너지의 화살표는 영엑서지선에서 출발하여 영엔탈피선까지 도시한다.
- 3) 화살표의 길이는 반응의 강약 정도이다.
- 4) 화살표가 아랫방향으로 도시되면 양의 값이며, 위로 도시되면 음의 값이다.
- 5) 에너지가 양수이면 양열(발열반응)이고, 음수이면 음열(흡열반응)이다.
- 6) 엑서지가 양수이면 일생산(정반응)이고, 음수이면 일투입(역반응)이다.
- 7) 아너지가 양수(환경상태를 기준으로 오른쪽 영역)이면 환경으로 열을 방출하고, 음수(왼쪽 영역)이면 환경으로부터 열을 흡수한다.
- 8) 일반적인 상태는 우측상단과 같이 도시되며, 본 차트는 특수한 상황을 도시한 것이다.

5.7 Gibbs free energy의 이해

깁스 자유 에너지를 Fig. 6으로 이해해 본다. 상태 1은 발열반응 및 역반응이다. 상태 2는 흡열반응 및 역반응으로서, 역반응의 강도가 강하다. 상태 3은 흡열반응 및 역반응이다. 상태 4는 발열반응 및 정반응으로서, 정반응의 강도가 매우 강하다. 상태 5는 흡열반응 및 정반응이다. 영엑서지선 상에 위치하면 평형상태이다. T_0 는 열역학에서 적용하며, 화학반응에서는 임의의 기준온도 T_{ref} 가 적용된다. 이와 같이 깁스 자유 에너지를 매우 쉽게 이해할 수 있다.

5.8 통합학문에서의 이해

경기장에서 경기 상황과 관련 없이 지속적으로 발생 되는 소음의 양이 있다. 이것이 Fig. 6에서의 h_0 이다. 합성이 있을 경우 에너지는 h_0 보다 높게 되며, 침묵이 있을 경우 에너지는 h_0 보다 낮게 된다. 외부에서 치어 리더 등의 투입이 있을 경우 엔트로피는 감소하며, 난동 등이 발생할 경우 엔트로피는 증가한다. 즉 h-s 차트를 통하여 개발된 수식을 검증할 수 있다.

6. 경제학으로의 환산

각 학문 분야에서 엑서지가 계산되면, 그 엑서지를 경제학적 단위로의 환산이 필요하다. 선행연구^(1,2,4)에서 열역학 또는 생태학적 엑서지의 환산단위는 100 원/kWh 로 제시한 바 있다. 그 근거는 자연과 인간을 연결하는 시스템이 화력발전소이며, 그 화력발전소에서 생산되는 전기의 가격이 약 100 원/kWh 정도이기 때문이다. 각 학문분야에서 위와 같이 경제학적 환산단위를 개발하는 것이 매우 중요하며, 이것이 모든 학문을 하나의 단위로 통합하는 최종 결과이다.

7. 결론

내부적 요인(T) 및 외부적 요인(P)으로 인해 상황이 발생된다. 위 요인들이 변화를 유발한다. 에너지를 변화를 일으킬 수 있는 능력(양)이므로, 모든 학문에 에너지를 적용할 수 있다. 에너지는 유효변화와 무효변화로 구분되며, 무효변화의 정도가 엔트로피이다. 그 엔트로피로부터 무효변화량인 엔지지가 계산되며, 에너지와 아

너지의 차가 엑서지이다. 엑서지는 경제적 환산단위로 부터 화폐로 통합된다.

위의 통합학문적 계산을 위해서는 각 학문에서 열역학적 엑서지를 정확히 이해해야만 한다. 영에너지선과 영엑서지선을 에너지-엔트로피 선도상에 도시함으로써, 엑서지의 특징을 매우 쉽게 이해할 수 있음을 본 연구에서 제시하였다.

각 학문에서 엔트로피의 객관적 정립을 위해 열역학자의 참여를 제안하고자 한다.

참고문헌

- (1) Kim, D. J., 2017, Mommy black hole cosmology, EnTEs, Kwang-Yang, pp. 225~271.
- (2) Kim, D. J., 2017, "Suggestion of the Five Laws for Integral Studies," *Proceedings of the Korea Institute of Plant Engineering & Construction*, Conference, It will be published.
- (3) Kim, D. J., 2008, "A Suggestion for the Worth Evaluation of Warm Air and the Allocation Methodology of Heating Cost," *Korean journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 20, No. 10, pp. 654~661.
- (4) Kim, D. J., 2016, "Thermodynamic Certification for Environmental Rights," *Proceedings of the Korea Institute of Plant Engineering & Construction*, Conference, pp. 105~108. 