

에너지節約 方案과 利用에너지 - A Study on Energy Conservation and Availability -

咸 洙 駿*

ABSTRACT

The industrial sector is the largest energy consumer, accounting for 44% of the total energy consumption of Korea in 1981. Energy conservation in the industrial processes is one of the most important strategies to the energy conservation to the nation. This paper introduces principles of energy conservation which is the maximum thermodynamic efficiency in energy use. Two important factors considered are how much heat is available and how good is the heat available (the quality of energy).

I. 序 論

몇 년전 까지만 하여도 에너지危機 더 정확히 이야기하여 石油 부족은 갈수록 더욱 심각하여 질 것 같았다. 그러나 지금의 상황은 오히려 供給이 過多한 상태가 아닌가 할 정도로 여유있게 보인다. 그렇다면 과연 에너지問題는 끝난 것인가? 그렇지 않다면 고질적인 에너지問題가 잠시 휴식을 취하고 있는가? 현재 세계는 石油의 過剩供給에 처해 있는 것도 사실이다.

그러나 이와같은 供給過다가 앞으로도 계속 갈 것이라고 생각하거나 韓國經濟에 심각한 타격을 준 석유 파동이나 週末에는 自動車 연료를 구입할 수 없었던 사태는 단지 過去의 經驗으로 끝날 것이라고 생각하는 것은 단지 希望에 불과하다는 사실이 여러가지 사태를 주시하면 쉽게 이해할 수 있다.

世界油類市場에서 供給과 需要는 사실 중이 한장 차이로 뒤바뀌는 것이 과거의 經驗으로 알 수 있다. 1981 년도의 國際原油市場이 판매자 시장에서 구매자 시장으로 뒤바뀌게 된 것은 사실 日當 200 백

만 배럴에 불과한 수요의 변화가 그렇게 만든 것이다. 다시 말하면 安定性은 그 幅이 대단히 얇은 것이다.

특히 현재 이란과 이락의 전쟁이 세계원유 공급의 몇 %만 통제하더라도 제 3의 석유 위기가 닥쳐올 것이며 石油의 需給安定性이 곧 파괴될 소지는 얼마든지 內在되어 있는 것이다.

韓國은 1982 년도에 日 50 萬 배럴의 原油를 導入하였고 60 億弗의 外貨가 지불되었다. 우리나라의 전체 에너지消費 중 석유 의존도는 1981 년에 57.3 %에 달하고 있으며 經濟開發과 함께 그 消費는 계속 증가하리라 예상된다. 그렇다면 이와 같은 狀況에서 우리에게 놓여 있는 代案은 무엇인가?

代替에너지源은 그 利用度가 대단히 부진하다. 太陽에너지 利用, 石炭轉換事業, 原子力發電 등도 그 이용성이 부진하고 막대한 投資와 專門人力의 需要 및 環境問題와 安全性의 문제로 制限받고 있다. 에너지價格도 떨어질 조짐이 보이지 않고 天

*亞洲大學校 工科學 教授(工博)

然가스나 石炭價格도 上昇하게 되어 있다.

이와같은 狀況 하에서 우리에게 놓여진 선택중의 하나는 에너지의 合理的인 利用 밖에 없다. 그리고 에너지의 合理的 利用은 1981년도 우리나라 에너지 消費의 44%를 차지하고 있는 産業體에서 가장 효과적으로 나타날 수 있다. 産業體에서의 에너지 Conservation은 에너지 消費를 절감시키는데 가장 빠르고 그 효과가 즉시 나타낼 수 있는 방법이다. 이 논문에서는 이제까지 에너지 Conservation을 나타내는 量的 개념외에 원하는 일(work)의 목적에 適正한 品質의 에너지를 규명하여 에너지전환 과정에서 얻을 수 있는 최대의 일을 정의내릴 수 있는 방법을 소개한다.

II. Energy Conservation

에너지 消費效率를 測定하고 節約의 幅의 가능성을 決定하는 기준은 주로 에너지投入當 에너지 產出 또는 에너지投入당 產品의 生産量의 比인 生産性이었다.⁽¹⁾ 예를 들면 Steel 1ton 생산을 위해서 投入된 에너지 총량, GNP 1,000불 생산당 투입된 에너지량, 또는 GNP 1% 증가를 위해서 사용된 에너지 소비 증가율 등이 이 방법이다. 이것은 熱力學 第一法則에 의한 절약방법이다.

그러나 이와같은 방법 만으로는 에너지 절약의 가능성을 실제 보여 주기는 힘들다. 熱力學 第一法則은 에너지는 本質적으로 保存된다는 것을 말하고 있다. 다시 말하면 어떤 과정 또는 공정으로부터 流出되는 에너지 총량은 Steady State가 얻어졌다면 그 공정으로 流入되는 에너지와 동일하다는 것을 의미한다. 여기에 상응하는 質量保存의 법칙도 있으며 따라서 에너지 사용 System에서 엔지니어나 설계자들이 Energy Balance를 유도하도록 설계하는 것이다.

그러나 實生活에서 실제로 필요한 保存은 量的인 保存보다는 質的인 保存이 필요한 것이다. 물(水)의 경우를 예로 들어 보면 물이 깨끗하고 신선할 때에만 價値가 있는 資源이 된다. 물이 오염이 됐을 경우 質量에서 어떠한 損失이 없었다 하더라도 물의 가치는 손상되는 것이다. 마찬가지로 어떠한 形態의 에너지도 그 價値는 그 에너지의 質에 달려 있는 것이다. 質(品質)이란 보통 純粹度 또는 不完全性으로부터 얼마나 떨어져 있느냐 하는 것으로 測定되는 것이다. 에너지의 경우 그 質은 보다 많은 次元으로 생각하여야 하며 보다 많은 광범위한 관련성을 갖고 있다.

주택이나 建物の 난방을 위해서 필요한 따뜻한

공기는 주위 환경이 겨울같이 한냉한 기간 동안에 量的으로 가치가 있는 것이다. 그러나 外部의 온도가 상승함에 따라 室内의 온도는 그 質에서 가치가 低下된다. 에너지는 펌프나 압축기에 이용된다. 따라서 壓力이라는 것이 그 에너지의 品質을 決定짓는다. 좀더 구체적으로 말하면 주위 환경과의 壓力의 差가 그것이다.

熱力學 第二法則은 에너지가 한 形態에서 다른 形態로 變換될 때 그 質에서 損失(低下)을 가져 온다는 것을 말하고 있다. 한 流體에서 다른 流體로 연속적으로 이전되는 한단위의 熱은 온도가 낮아짐에 따라 그 品質은 계속해서 저하된다. 실제로 대부분의 産業體에서의 工程의 目的은 低質의 原料에서 高質의 生産을 위한 것으로써 다른 流體 즉 에너지 質의 低下에 의해서 그것이 가능한 것이다.

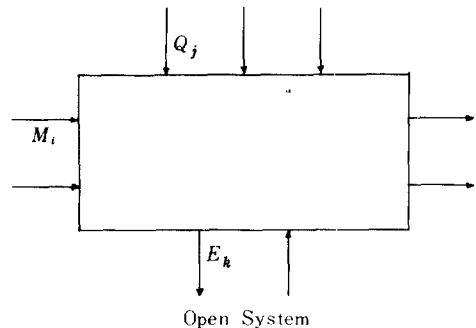
이와같은 質의 변화(실제로 質의 低下)를 나타내는 尺度가 Entropy이다.^(註)

III. Availability Balance

溫度, 壓力 및 成分(Composition)이라는 三次元을 포함한 Entropy는 모든 형태의 에너지를 포함한 일체의 流體에 적용되는데 이것은 다음과 같은 측면으로 중요하다.

- 1) 産業活動이나 일상 생활에서 우리가 사용하는 공정의 주 목적은 Entropy를 減少시키는 것이며
- 2) 이 목적을 달성하기 위해서 사용하는 에너지의 능력은 본질적으로 그 자신의 Entropy의 함수이다.

어떤 공정의 효율은 단위 제품 생산당 증가되는 Entropy가 최소화 될 때 최대가 된다는 것을 의미하는 것이다.



[그림-1]

(1) 함효준, "産業用 에너지 절약 방안" 에너지, 1979년 11월 Vol. 2, No. 6

(註) Entropy에 대해서는 많은 열역학 교과서에서 다루기 때문에 생략함.

여기에서 에너지의 이용에 관하여 중요한 개념이 있는데 그것은 어떤 System 으로부터 얻을 수 있는 최대의 일을 나타내는 수단인 Availability 라는 개념이다. Availability 라는 개념을 기초로 하여 에너지節約의 여러 수단을 분석할 수 있다.

熱力學的 觀點에서 볼때 단위 산업체는 그림 1 과 같이 Open System 으로 볼 수 있다.

이 System 은 여러 온도 Level T_j ($j=1, \dots, n$) 에서 단위 시간당 각기 다른 총량의 질량 M_i ($i=1, \dots, m$), 기계에너지 E_k ($k=1, \dots, p$) 그리고 열량 Q_j 를 받아 드리거나 내보낼 수 있다. 이 System 은 온도 T_j ($j=0$) 에서 외부와 열교환을 할 수 있다. 여기서 M_i , E_k 및 Q_j 는 System 에 의해서 받아지면 +, 반대면 - 값을 갖는다. 이 Open System 은 대부분의 단위 산업체에서와 마찬가지로 정상 상태에서 움직인다고 가정한다.

에너지 밸런스와 Entropy Balance 를 고려하면 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

- Mass Balance

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0 \quad - \quad ①$$

- Energy Balance

$$\sum_{i=1}^m (H_i + K_i + P_i) + \sum_{j=0}^n Q_j + \sum_{k=1}^p E_k = 0 \quad - \quad ②$$

여기서 H_i 는 Mass Flux M_i 의 Entropy, K_i 는 운동에너지, P_i 는 위치에너지를 나타내며 流入시에는 +로, 流出시에는 -로 나타낼 수 있다. 이들 세 인자들의 합을 H'_i 로 나타낼 수 있다.

- Entropy Balance

$$\sum_{i=1}^m S_i + \sum_{j=0}^n \frac{Q_j}{T_j} + \Delta S = 0 \quad - \quad ③$$

S_i 는 Mass Flux M_i 의 Entropy 를 나타내며 부호는 마찬가지로 + 또는 - 가 될 수 있다. ΔS 는 System 내에서 야기될 수 있는 모든 비가역성 (Irreversibility) 때문에 생산되는 Entropy 를 나타낸다. 式 ③ 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{Q_0}{T_0} + \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{T_j} + \sum_{i=1}^m S_i + \Delta S = 0 \quad - \quad ④$$

式 ④ 에 T_0 를 곱해서 式 ③ 에서 빼면

$$\sum_{i=1}^m (H_i - T_0 S_i) + \sum_{k=1}^p E_k + \sum_{j=1}^n Q_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) - T_0 \Delta S = 0 \quad - \quad ⑤$$

이 System 에서 만일 r 개의 물리적, 또는 화학적 변형으로 인해 제품의 구성물이 수정되면 이 시스템은 r 개의 Subsystem 으로 분리될 것이다. 따라서 각 Subsystem 을 a 로 표시할 수 있다.

a ($a = 1 \dots r$)

만일 ΔH_a^* 와 ΔS_a^* 를 Subsystem a 로부터 流出되는 제품의 엔탈피와 엔트로피와 Subsystem a 로 流入되는 엔탈피와 엔트로피와의 差라고 한다면 (T_0, P_0 의 상태에서)

$$\sum_{i=1}^m (H_i^* - T_0 S_i^*) + \sum_{a=1}^r (\Delta H_a^* - T_0 \Delta S_a^*) = 0$$

따라서 式 ⑤ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\sum_{i=1}^m (H'_i - H_i^*) - T_0 (S_i - S_i^*) + \sum_{a=1}^r (-\Delta H_a^* + T_0 \Delta S_a^*) + \sum_{k=1}^p E_k + \sum_{j=1}^n Q_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) - T_0 \Delta S = 0$$

이 식은 Availability Balance 을 나타내며 다음과 같이 간단히 표시할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{m+p+r} A_i - T_0 \Delta S = 0$$

가역 반응과 정상 상태에서 $\sum A_i = 0$ 이다.

이 식을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$|A_{in}| = |A_{out}|$$

어떤 에너지 소비 기기의 에너지 品質 (Quality of Energy) 은 流體 Output 의 Availability (A_{out}) 와 流體 Input 의 Availability (A_{in}) 와의 比로써 측정 가능하다.

$$\varepsilon = \frac{A_{out}}{A_{in}} \quad (\text{여기서 최대의 값은 } 1 \text{ 이다})$$

Single Source 와 Single-Output 의 기기에서 보다 편리한 측정방법이 개발 되었는데 이것은 어떤 주어진 일 (work) 을 하기 위해서 필요한 이용 가능한 일의 최소량과 실제로 사용된 가용 에너지와의 비가 그것이다.

$$\varepsilon = \frac{B_{min}}{B_{actual}}$$

$$\varepsilon = \frac{\frac{B_m}{Q}}{\frac{B_a}{Q}} = \frac{1}{\frac{n_{max}}{1}} = \frac{n}{n_{max}}$$

여기서 n 은 통상적으로 이야기 하고 있는 第一법칙 효율을 말하며 n_{max} 은 第二법칙에 의한 최대의 효율을 나타낸다.

IV. 結 論

우리나라의 에너지 消費는 산업체가 전체 에너지 소비의 44 %를 소비하고 있다. 따라서 산업체의 여러 工程에서의 에너지의 合理的 利用은 에너지 政策상 가장 중요한 의미를 갖는다.

실제로는 달성할 수 없지만 어떠한 potential gradient 없이 도달할 수 있는 변환 과정을 열역학에서는 가역반응이라 한다. 이것은 가장 적정한 변환 과정인데 Potential 의 강하없이 그리고 에너지 質의 變衰없이 수행할 수 있기 때문이다. 이와 같은 에너지의 變衰의 評價를 위해서 열역학 제 2 법칙에 관심을 돌리는 것이다. 實際과정은 투자비를 節減시키기 위해서 가역성으로 부터 멀리 떨어진 조건하에서 수행되는 것이 보통이다. 물론 이와같은 설계나 운영상의 문제가 에너지의 變衰를 필연적으로 가져오는 조건을 만드는 것은 사실이다. 각 변환 과정은 에너지의 비용을 포함하여 投資費와 運營費와의 경제적 타협점에서 그 설계가 결정되는 것이다. 그러나 에너지의 비용이 점점 증가되고 産業工程에서의 에너지 節約의 중요성이 점점 증대되는 시점에서 에너지의 變衰 (Degradation) 에 대한 節減에 더욱 많은 投資가 이루어져야 될 것이다.

參 考 文 獻

- (1) Turner, W.C., "Energy Management Handbook" (ed.), John Wiley & Sons, Inc. 1982.
- (2) Dumas, Lloyd J., "The Conservation Response", Lexington Books, 1979.
- (3) Hu, S. David, "Handbook of Industrial Energy Conservation", Van Nostrand Reinhold Co. 1983.
- (4) 함효준, "産業用 에너지 節約방안", 에너지, 한국열관리시험연구소 Vol. 2, No. 6 1979년 11월
- (5) 손병찬, "Total Energy System에서 Availability와 경제성 분석", 에너지 연구, 한국동력자원연구소, Vol. 4, No. 5, 1981.
- (6) Rojey A., "Optimum use of Energy in Processes" in Energy Conservation in Refining and Petrochemistry, edited by petroleum Institute of France 1979.
- (7) 조성환 외, "熱力學", 淸文閣 1981.
- (8) Reistau, G.M. "Availability: Concepts and Applications" Unpublished Ph.D. dissertation, University of Wisconsin, 1970.
- (9) 韓國動力資源研究所, "에너지 長期展望과 政策" 1983.11