

한국에너지공학회(2003년도)
추계 학술발표회 논문집 P191-195

국내 제조업의 sustainability
: 에너지소비와 이산화탄소배출량 변화를 중심으로

김유정, 허은녕
서울대학교 지구환경시스템공학부

The sustainability of Manufacturing in Korea
: focusing on the changes of energy consumption and Co2 emission

Yu Jeong Kim , Eunnyeong Heo
Seoul National University , The School of Civil, Urban & Geo-Systems

1. 서론

최근에 2005년부터 생산자가 직접 폐전자제품을 수거 및 처리토록 강제하는 EU의 WEEE의 시행이 발표된 최근 자동차산업 및 전자 산업 등이 큰 피해를 입을 것으로 보인다. 이뿐만 아니라 기후변화등과 같은 국제 환경협약들의 발효는 우리나라의 무역에 영향을 미치고 곧 산업구조를 변화시킬 것이다. 이와 같이 직접적인 무역규제로써 환경문제가 대두되고 있는 이 시점에서 환경문제의 제 1차원적인 접근이 에너지 소비 구조를 살펴보는 것은 앞으로의 에너지 정책 및 환경정책에 중요한 시사점을 남길 수 있을 것이다.

그래서 본 연구에서는 국내제조업의 에너지소비와 이산화탄소배출의 변화의 원인 중 산업구조의 변화로 인한 변화량을 정량적으로 분석하고자 한다. 이런 분석을 통해 우리나라의 산업구조가 에너지저소비형으로 변화되고 있는지를 살펴볼 수 있을 것이며, 또한 이런 분석을 통해 우리나라 제조업의 sustainability 정도를 파악하고자 한다.

2. 이론적 고찰

본 연구에서는 Malaska(1999)에 의해 제안된 ASA(Advanced Sustainability Analysis)를 기본모형으로 하여 국내 제조업 지속가능성(sustianability) 실현여부를 구하였다.

그리고 sustainability 정도를 분석하는데 필요한 특정요인에 대한 에너지소비의 변화량은 산정하기 위해 'Sun(1996)'에 의해 소개된 완전분해모형(complete Decomposition Model)을 사용하였다. 완전분해모형은 잔차(residual)항이 나타나지 않고, '여러 요인에 의해 변화된 항목은 모두 동등하게 효과를 미친다'는 것을 기본으로 하는 모형이다.

본 연구에서는 에너지소비와 이산화탄소배출량의 변화의 여러 요인 중 산업구조의 변화(structural share)를 중심으로 분석하였다. 또한 산업구조를 산출량과 고용의 비중변화 두 가지로 나누어서 분석하였다.

먼저, 산출량 구조효과는 제조업내의 각 부문간의 산출량 비중변화로 인한 효과로서, 에너

지소비변화에 있어서 경제구조의 변화의 기여를 반영한다. 즉 에너지를 많이 소비하는 산업에서 에너지를 적게 소비하는 산업으로 산출량의 비중변화가 발생할 경우 에너지의 소비구조가 변화가 지속가능한 방향으로 움직이고 있다고 이야기 할 수 있다. 에너지소비량을 식 1)과 같이 에너지집중도, 산출량구조, 경제성장등의 요인으로 표현할 수 있으며, 완전분해모형을 이용하여 산출량 구조변화 효과는 식 2)와 같이 나타낼 수 있다. 산출량 구조효과와 값이 음의 값을 가질 때 기준년도에 비해 좀 더 지속가능한 소비구조로 변화하였다고 할 수 있다.

$$E = \sum_i^n \frac{E_i}{Q_i} \times \frac{Q_i}{Q} \times Q = \sum_i^n I_i \times St_i \times Q \quad \text{식1)}$$

$$St_{effect} = Q^0 \sum_i^n I_i^0 \Delta St_i + \frac{1}{2} \sum_i^n \Delta St_i (I_i^0 \Delta Q + Q^0 \Delta I_i) + \frac{1}{3} \Delta Q \sum_i^n \Delta I_i \Delta St_i \quad \text{식2)}$$

두 번째는 고용과 관련된 경제구조의 변화이다. 고용과 관련된 개념으로는 자동화를 들 수 있다. 자동화는 1인당 환경부하량은 증가시키만, 물질의 효율적 사용을 가능하게 한다는 개념에서 지속가능한 분석을 위해서는 모순을 일으킨다. 이러한 모순은 고용구조 변화로써 해결할 수 있는데, 식3)과 같이 1인당 환경부하량을 환경부하량이 높은 산업군과 그렇지 않은 산업군으로 고용구조를 이용하여 구분하여 나타낼 수 있다. 이러한 전체산업에서 고용인의 수의 비중 변화를 분석함으로써, 1인당 환경부하량이 많은 산업에서 환경부하량이 적은 산업으로 구조가 변화하는 것을 알 수 있다. 이런 과정을 통해 고용구조변화로 자동화의 모순을 해결할 수 있다. 즉, 자동화나 고용인의 수가 증가하더라도 경제구조의 변화로 인해 지속성을 유지할 수 있게 되는 것이다. 식4)와 같은 조건을 만족할 때 환경부하량이 많은 산업(0)에서 환경부하량이 적은 산업(1)으로 산업구조가 지속가능한 방향으로 이동하였다고 할 수 있다. 1인당 환경부하량은 두 가지의 개념을 포함한다. 먼저 1인당 환경부하량이 증가하는 방향으로 움직이는 것을 자동화(automation)이라고 하고, 감소하는 것을 구조적 이전(structural shift)이라고 한다.

$$\frac{ES}{EMP} = \frac{ES_0}{EMP_0} \times W_0 + \frac{ES_n}{EMP_n} \times (1 - W_0) \quad \text{식3)}$$

$$\left(\text{단, } W_0 = \frac{EMP_0}{EMP} \quad W_n = \frac{EMP_n}{EMP} \quad \frac{ES_n}{EMP_n} \ll \frac{ES_0}{EMP_0} \right)$$

$$D(W_0)/W_0 < - \frac{D(ES_0/EMP_0)}{ES_0/EMP_0 - ES_n/EMP_n} \quad \text{식 4)}$$

3. 실증분석

3.1 자료

본 연구에서는 에너지 소비량과 이산화탄소배출량 등을 산업과 직접적인 연관을 가진 환경부하량으로 보고, 각 환경부하량의 추이변화를 통해 국내 제조업의 지속성을 분석하였다. 1981년부터 2000년까지 각 산업부문별 에너지소비량과 이산화탄소배출량, 그리고 고용인등의 연간 자료를 사용하였으며, 그 자료는 통계청과 에너지경제연구소의 자료를 사용하였다. 그리고 분석기준년도는 분석시작시점인 1981년으로 하였다.

산출량구조변화의 분석에 있어서는 제조업을 7개 부문(음식 및 담배, 섬유업, 목재 및 인쇄, 석유화학업, 비금속업, 1차금속업, 조립금속 및 기계장비업)으로 세분화하여 부문별 에너

지 및 이산화탄소 소비변화 요인을 분석하였다.

고용구조변화를 분석함에 있어서는 환경부하량이 높은 산업과 그렇지 않은 산업으로 분류를 해야 하는데 그 기준을 에너지 원단위를 기준으로 하여 에너지다소비산업(석유화학, 비금속, 1차금속산업)과 에너지저소비산업(음식 및 담배업, 목재 및 인쇄업, 조립금속업, 기타)으로 구분하였다.

3.2 분석결과

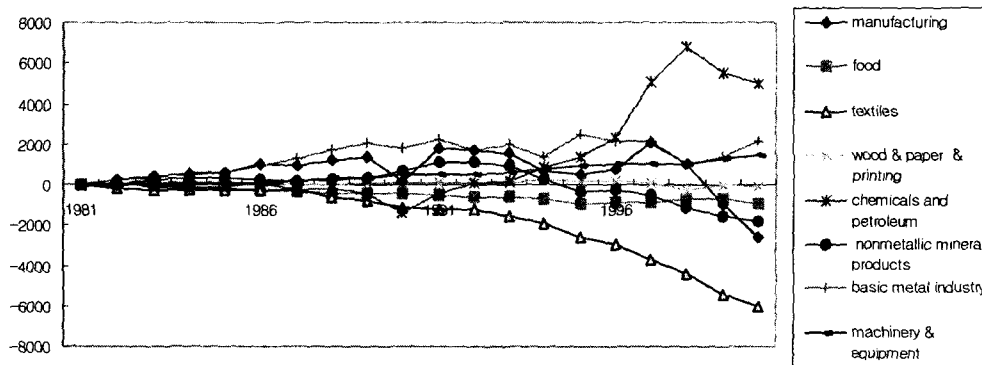
먼저 산출량 구조변화효과를 살펴보면, 다음과 같다.

제조업의 7부문 간의 산출량의 구조적 전환(structural shift)에 따른 에너지소비변화를 나타내는 산출량 구조 효과에 대한 결과가 < fig.1 >에 나타나 있다. 섬유업의 구조적 비중이 줄어들어 인하여 에너지소비량이 감소하고 있으며, 화학석유산업은 구조적 비중이 최근 들어 급속히 증가함으로 인하여 에너지소비량이 증가하고 있다. table1)에는 국내 제조업의 기준년도 대비 에너지소비량 변화량 및 산출량 구조변화로 인한 효과량과 그 비율을 나타낸 것이다. < fig.1 >과 table1)에서 볼수 있듯이, 전반적으로 산출량 구조변화의 효과가 전체변화의 0.5 - 3.5 %정도로 매우 미약한 것을 알 수 있다. 즉, 제조업전체로 보았을 때는 구조적 효과가 크게 나타나지 않아 우리나라의 제조업은 경제구조의 변화가 그리 빠르지 않고, 그로 인한 에너지소비량의 변화는 적음을 알 수 있다. 그리고 1999년 및 1998년을 제외하고 분석기간 동안 모두 양의 효과가 나타나 친환경적인 구조로 에너지구조가 변화함으로 인한 에너지소비의 감소효과는 없었다고 할 수가 있다.

Table1) 산출량 구조변화에 의한 에너지변화량 분석결과

(단위 : 천toe)

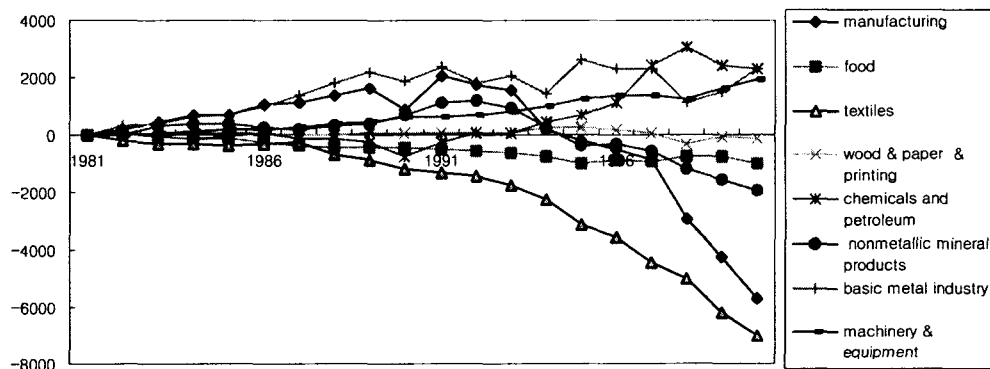
	1985년	1990년	1995년	2000년
에너지 변화량 D(E)	18005	32769	57520	77458
산출량 구조변화로 인한 효과	617.35 (3.4%)	153.39 (0.47%)	532.16 (0.9%)	-2583 (3.33%)



<fig. 1> 산출량 구조변화에 따른 에너지소비량의 변화

두 번째로, 이산화탄소배출량의 산출량 구조변화로 인한 변화량을 분석하였다. 이산화탄소 배출량은 에너지소비량과 밀접한 관계를 가지고 있어서 유사한 결과를 얻었다. 그러나 에너

지원이 다른 에너지원으로 변화할 때, 즉 에너지간의 대체가 일어난다면 이산화탄소배출량이 다르게 나타날 것이다. 분석결과가 < fig.2 >에 나타나 있는데, 산출구조변화에 의한 에너지소비변화는 제조업 전체로 볼 때 기준년도에 비해 1999년과 2000년을 제외하고 모두 증가하였으나, 이산화탄소배출량은 구조적변화로 인해 1995년부터는 큰 감소폭을 보이는 것으로 나타났다. 이 결과 에너지원의 배합(mixture)가 좀 더 친환경적으로 이동하고 있는 것을 확인할 수 있다. 그리고 산업별로 비교해 볼 때에는 산업별로는 그 효과가 에너지와 이산화탄소배출량이 서로 유사한 형태를 띠고 있지만 에너지소비량에서와 달리 이산화탄소배출량에 있어서는 석유화학업의 증가량이 비교적 낮은 것을 알 수 있다. 석유화학산업에서 에너지소비량의 증가에 비해 이산화탄소배출 증가가 낮은 이러한 분석결과로부터 석유화학산업에서 좀더 친환경적인 에너지원 배합(mixture)가 이루어지고 있다고 볼 수 있다.

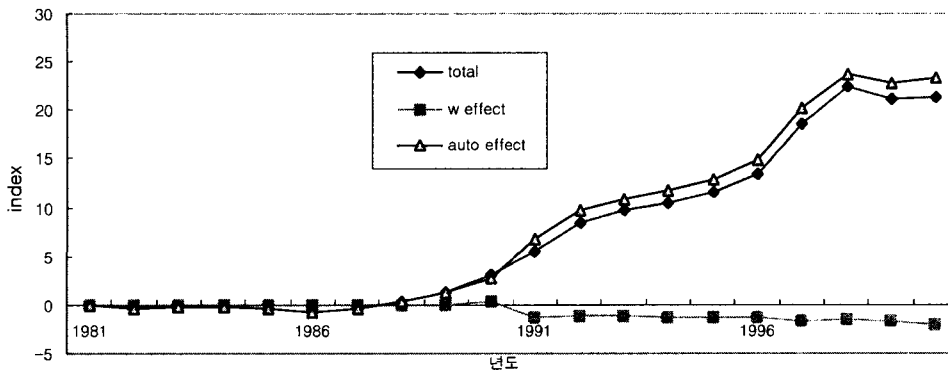


< fig 2 > 산출구조변화로 인한 이산화탄소배출량 변화

이제, 고용1인이 다루는 에너지량을 에너지다소비 산업군과 에너지저소비 산업군 간의 고용 흐름을 파악하여 국내 제조업의 지속성을 분석해 보자. 90년 이후부터 고용구조효과로 인해 고용1인당 에너지 소비량은 감소하는 것으로 나타난다. 그러나 table2) 및 < fig.3 >에서 보듯이 고용구조효과(Weffect)는 전체변화량에 비해서 그 효과가 8% - 10% 정도로 산출량 구조변화와 동일하게 그 효과가 총 변화량(total)에 비해 매우 작음을 확인할 수 있다. 이로부터 90년 이후에 환경부하량이 많은 중공업에서 환경부하량이 적은 경공업으로 고용구조가 미약하나마 이동하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 지속가능성을 유지시키기 위한 조건 즉 식 4)를 만족시키지 못하여서, 지속가능한 구조적 이전(structural shift)가 발생한 것이 아니라 자동화(automation)이 일어났다고 할 수 있다.

Table 2) 고용 구조 변화효과 분석결과 (단위: toe / 명)

	1985년	1990년	1995년	2000년
1인당 에너지 변화량D D(E/EMP)	-0.258	3.032	11.667	21.382
에너지다소비산업의 고용구조변화로 인한 효과 D(Wo)	0.035 (-8.04%)	0.295 (9.71%)	-1.261 (-10.84%)	-1.98 (-9.30%)



< fig3 > 고용구조변화로 인한 1인당 에너지소비의 변화량

4. 결론

이상의 분석에서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 먼저, 산출량 및 고용의 두 구조적 변화로 인한 국내 제조업의 환경부하량(이산화탄소배출량, 에너지소비량)의 변화가 매우 적음을 확인할 수 있었다. 이것은 아직까지 우리나라의 산업구조가 경제성장(growth)이나 집중도(intensity) 등의 다른 요인에 비해 별로 크지 않음을 알 수 있었다.

그리고 산출량 및 고용 구조효과가 전반적으로 양의 값이 나타나서 제조업의 에너지소비구조는 기준년도(1981년)에 비해 아직까지는 다소비형 구조에서 저소비형구조로 변화되지 않은 것으로 보인다.

그리고 고용구조에서는 기준년도에 비해 높은 속도로 1인당 환경부하량이 증가하고 있는 것으로 나타나서 자동화가 일어나고 있는 것을 알 수 있었다.

이러한 분석결과로부터 국내 제조업의 sustainability는 기준년도 1981년에 비해 아직까지는 나아졌다고 보기 어려웠다.

5. 참고문헌

- Kaivo-oja, jari, Luukkanen, Jryki (2002) Methodology for the Analysis of Critical Industrial Ecology Trends: an Advanced Sustainability Analysis of the Finnish Economy
- Jukka Hoffern(2001) Decomposition Analysis of Finnish Material Flows, *Journal of Industry Ecology*, 4(4), 105-125
- J.W.Sun(1998) Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model , *Energy Economics*, 20, 85-100
- Pentti Malaska(1999), Decomposition method in Sustainability analysis, *Turku school of economics and business administration Finland futures research centre* , 1/99
- Stephan Moll(1999), Reducing Societal Metabolism: A Sustainable Development Analysis, *Nature, Society and Industry(conference)*
- Kim, Y. and E. Heo, (2003) "A Complete Decomposition Model of Korean Energy Flow," *Proceedings of 2003 International Society for Industrial Ecology Second International Conference*