

## 에너지원별 사용집약도 분해분석연구

김현경, 김진수, 허은녕  
서울대학교 지구환경시스템공학부

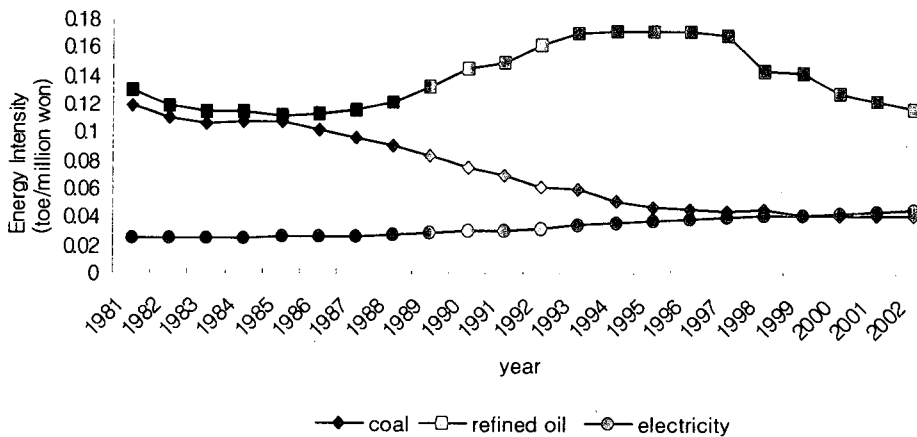
### Decomposition analysis of changes in energy intensities by energy type in Korea

Hyunkeong Kim, Jinsoo Kim, Eunnyeong Heo  
School of Civil Urban & Geosystem Engineering, Seoul National University

#### 1. 서론

한국 경제가 고도의 성장을 거듭하면서 지난 20년 동안 에너지소비는 지속적으로 늘어났다. 1995년 불변 가격으로 GDP는 1981년 122.4조원에서 2002년 524.7조원으로 늘어난 반면 총에너지소비는 1981년 39.0 Mtoe에서 2002년 160.5 Mtoe로 증가했다. 에너지 소비와 GDP 간의 비율로 정의되는 에너지 집약도는 1997년 외환위기때까지 지속적으로 증가추세를 보였으나 외환위기 이후 감소하는 경향을 보이기 시작하였다.

우리나라 산업에 있어서 에너지 수요·소비에 영향을 미치는 요소들을 보다 정확하게 이해하기 위하여 본 연구에서는 총에너지 집약도를 에너지원별로 나누어 석탄, 석유, 전력 사용집약도를 각각 분석하였다.



[Fig. 1] Changes in Energy Intensities by Energy Type in Korea during 1981-2002

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 각각의 에너지원별 사용집약도가 조금씩 다른 추세를 보인다. 우리나라에서는 에너지원별 소비비중에 있어 석유가 차지하는 비중이 현저히 크므로 석유 사용집약도가 석탄과 전력사용집약도보다 높게 나타났다. 1981년부터 2002년까지, 석탄 사용집약도는 1997년의 외환위기 기간을 지나면서 계속 감소하는 추세를 보였다. 동기간의 석유 사용집약도는 외환위기 때까지는 증가추세를 보였고 그 후에는 감소하기 시작하였다. 이에 반해, 전력 사용집약도는 외환위기를 지나면서도 계속 증가하였다.

분해분석 방법론이 발달하면서 에너지 수요·소비에 영향을 미치는 요소분석에 대한 많은 연구들이 활발히 진행되어왔다. 본 연구는 기존의 연구가 제조업에 쓰인 총에너지 소비분석에 치중한 것과는 달리 우리나라에서 에너지소비가 많은 건설업과 광업도 분석에 포함시켰다. 또한, 각기 다른 에너지원별이 어떤 경향으로 소비패턴을 달리 하는지를 살펴보기 위해 에너지 사용집약도를 에너지원별로 나누어 분석해보았다.

## 2. 이론

본 연구는 에너지 집약도 분석을 위해 로그 평균 디비지아 분해분석 방법을 사용하였다. 로그 평균 디비지아 방법은 Ang, Zhang, and Choi(1998)에 의해 처음으로 도입되었으며 자료의 '0' 값을 해결하여주며 잔차가 발생하지 않도록 해주는 장점이 있다. 본 연구에서는 아래와 같이 분석에 쓰인 항들을 정의하였고 연도별 자료를 사용하였다.

- $E_t$  : 산업 전체의 t 기의 총 에너지소비 (ktoe)
- $Y_t$  : 산업 전체의 t 기의 총 GDP (십억 원, 1995년도 불변가격)
- $L_t$  : 산업 전체의 t 기의 에너지 원단위 (toe/million won)
- $E_{i,t}$  : i 산업의 t 기의 에너지소비 (ktoe)
- $Y_{i,t}$  : i 산업의 t 기의 GDP (십억 원, 1995년도 불변가격)
- $L_{i,t}$  : i 산업의 t 기의 에너지 원단위 (toe/million won)
- $S_i$  : i 산업의 t 기의 산업 전체 대비 GDP 비중

본 연구에 쓰여진 평균·로그 디비지아 방법은 Ang and Zhang (2000)이 사용한 방법과 유사한 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$E_T - E_0 = \sum_t L(E_{i,T}, E_{i,0}) \ln\left(\frac{Y_t}{Y_0}\right) + \sum_t L(E_{i,T}, E_{i,0}) \ln\left(\frac{S_{i,T}}{S_{i,0}}\right) + \sum_t L(E_{i,T}, E_{i,0}) \ln\left(\frac{I_{i,T}}{I_{i,0}}\right) \quad (1)$$

$$\text{여기서, 로그 가중치 함수 } L(E_{i,T}, E_{i,0}) = \frac{(E_{i,T} - E_{i,0})}{\ln(E_{i,T}/E_{i,0})} \quad (2)$$

위 항등식 (1)의 첫 번째 항은 생산효과를, 두 번째 항은 산업구조 효과를, 그리고, 세 번째 항은 에너지 원단위 효과를 나타낸다. 항등식 (2)는 잔차항이 없는 완전분해를 가능하게 하는 로그 평균 가중치 구하는 방법을 나타낸다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 석탄 소비

우리나라 산업 중 1981년과 2002년 사이의 석탄 소비의 분해분석 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Divisia decomposition results of coal consumption (unit: %)

Period	Production effect (contribution rate)	Structure effect (contribution rate)	Intensity effect (contribution rate)
1981-2002	143.42 (2.90)	3.68 (0.07)	-47.09 (-0.95)

1981년과 2002년 사이에, 광업, 건설업, 제조업에서의 석탄 사용은 총 13.3 Mtoe가 늘어났는데 분해분석 결과, 생산효과, 산업구조효과, 에너지 원단위 효과가 각각 19.1, 0.5, (-6.3) Mtoe인 것으로 나타났다. 각각의 효과를 정규화하기 위하여 에너지소비 증가율을 반영한 기여도를 구해보았다. 분석결과, 세 요인중에서 생산효과가 석탄 소비에 가장 큰 기여를 하였음을 알 수 있었다. 산업구조 효과가 0.07%의 기여도로 (+)의 효과를 나타냈으므로 이 기간동안 우리나라 산업구조가 에너지다소비형으로 발전되었음을 알 수 있다. 반면, 에너지 원단위 효과는 (-)의 효과를 나타냈으므로 이 기간동안 에너지 효율은 좋아졌음을 나타낸다.

#### 3.2 석유 소비

1981년과 2002년 사이의 석유 사용집약도에 대한 분해분석 결과는 Table 2와 같다. 동 기간동안 광업, 건설업, 제조업에서의 우리나라 석유 총 소비는 8.04 Mtoe 증가하였는데 로 그 평균 디비시아 분석결과, 생산효과는 15.39 Mtoe, 산업구조 효과는 1.11 Mtoe, 에너지 원단위 효과는 (-8.46) Mtoe였으며, 각 효과의 기여도는 191.43%, 13.77%, (-105.20)% 이었다. 생산효과가 다른 두 요인보다 매우 큰 것을 알 수 있고, (-)의 효과를 나타낸 에너지 원단위 효과를 통해 동 기간동안 석유 소비에 한해 에너지 효율이 개선되었음을 알 수 있다.

1981년과 2002년 사이 한국 경제에 많은 변화가 있었으므로 이번에는 분석기간을 80년대, 외환위기 전·후로 나누어 보았다. 1980년대는 한국 경제가 고도성장을 달성하였던 시기임을 보여주듯이 생산효과가 현저하게 크게 나타났다. 1990년대 초, 생산효과가 다소 감소하기 시작하던 시 외환위기 동안에는 (-)의 효과까지 나타났다. 외환위기를 지나서는 다시 증가하기 시작하여 다른 요인들보다 큰 효과를 나타냈다. 또한, 동 기간동안의 산업구조 효과를 살펴보면, 우리나라 산업 구조가 에너지 다소비에서 보다 에너지 효율적인 산업 구조로 바뀌었음을 알 수 있다.

에너지 원단위 효과는 대체적으로는 (-)의 효과를 나타냈지만, 1990년과 1997년 사이의 기간동안은 예외적으로 (+)의 효과를 나타냈다. 외환위기 이후로 에너지 원단위 효과가 (-)의 효과를 나타냈지만, 1980년대에 비해 높았으며, 이는 에너지 효율이 떨어졌음을 의미한다

고 할 수 있겠다.

Table 2. Divisia decomposition results of refined oil consumption (unit: %)

Period	Production effect (contribution rate%)	Structure effect (contribution rate%)	Intensity effect (contribution rate%)
1981-1990	131.81 (13.74)	14.17 (1.48)	-45.99 (-4.79)
1990-1997	69.03 (6.45)	4.09 (0.38)	26.88 (2.51)
1997-1998	18.32 (-3.78)	-0.94 (0.19)	82.62 (-17.02)
1998-2002	546.18 (12.13)	-391.44 (-8.69)	-54.74 (-1.22)
1981-2002	191.43 (13.45)	13.77 (0.97)	-105.20 (-7.39)

### 3.3 전력 소비

전력 사용집약도 분해분석 결과는 Table 3과 같다. 1981년과 2002년 사이, 생산효과, 산업 구조효과, 에너지 원단위 효과는 각각 8.55%, 1.79%, 0.05%를 나타냈다. 석탄과 석유 사용 집약도 분해분석과는 달리 세 요인 모두 (+)의 효과를 나타냈으며, 생산효과가 가장 컸다.

Table 3. Divisia decomposition results of electricity consumption (unit: %)

Period	Production effect (contribution rate%)	Structure effect (contribution rate%)	Intensity effect (contribution rate%)
1981-1990	80.80 (9.33)	24.51 (2.83)	-5.32 (-0.61)
1990-1997	69.24 (7.89)	7.47 (0.85)	23.29 (2.65)
1997-1998	115.95 (-4.22)	1.26 (-0.05)	-17.21 (0.63)
1998-2002	128.78 (12.29)	13.55 (1.29)	-42.33 (-4.04)
1981-2002	82.34 (8.55)	17.21 (1.79)	0.46 (0.05)

또한, 산업구조 효과가 석탄과 석유 소비보다 높은 기여도를 나타내며, 이는 우리나라 산업

구조가 석탄, 석유 소비에서 전력 소비형태로 조금 바뀌었음을 알 수 있다. 에너지 원단위 효과를 살펴본 결과, 에너지 효율이 1990년대에는 다소 떨어졌지만 외환위기 이후에는 개선되었음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 1981년과 2002년 사이의 우리나라 광업, 건설업, 제조업에서의 석탄, 석유, 전력 사용집약도를 분해분석하여 보았다. 모든 에너지원에서 생산효과가 가장 크게 나타났으며, 이는 우리나라 경제 발전 단계를 자연스럽게 나타내 주고 있다. 산업구조효과를 살펴볼때, 모든 에너지원에서 (+)의 효과를 나타냈으므로 우리나라 산업구조가 에너지다소비형으로 발전되었음을 알 수 있다. 에너지 효율을 나타내는 에너지 원단위 효과는 (-)의 효과로 에너지 효율의 개선을 보여주며 에너지 소비의 증가율을 낮추고 있다고 할 수 있겠다. 지속가능발전에 대한 관심이 증가하고 있는 현 시점에서 우리나라 에너지 소비 패턴을 분석하고 분석결과에 맞는 정책을 효과적으로 수행하기 위해서는 각 요인별로 보다 깊은 분석이 필요하다고 생각한다.

#### 5. 참고 문헌

1. 에너지경제연구원: "기후변화협약 및 교토의정서 대응전략 연구" (2003)
2. 오진규: "지속가능발전을 위한 에너지부문 전략 연구", 에너지경제연구원 (2003)
3. 산업자원부: "에너지통계연보", (2003)
4. 통계청, <http://www.nso.go.kr>.
5. 한국은행, <http://www.bok.or.kr>
6. Ang, B.W.: "Decomposition of industrial energy consumption: the energy intensity approach", *Energy Economics* 16(3):163-174 (1994)
7. Ang, B.W., Choi, K.H.: "Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method", *Energy Journal* 18(3):59-73 (1997)
8. Ang, B.W., Zhang, F.Q., Choi, K.H.: "Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition", *Energy* 23(6):489-495 (1998)
9. Ang, B.W., Zhang, F.Q.: "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies", *Energy* 25:1149-1176 (1998)
10. Ang, B.W., Liu, F.L.: "A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation", *Energy* 26(6):537-548 (2001)
11. Fisher-Vanden, K., Jefferson, G.H., Liu, H., Tao, Q.: "What is driving China's decline in energy intensity?", *Resource and Energy Economics* 26:77-97 (2004)