

평균 변화율지수에 의한 CO₂ 배출요인 분해방법

정현식* · 이해준**

〈차 례〉

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| I. 서론 | III. CO ₂ 배출량 요인분해의 예 |
| II. CO ₂ 배출량 요인분해 방법 | IV. 결론 |

I. 서론

에너지 사용량이나 오염물질 배출량의 변화요인을 분석하는 차분방정식에서 흔히 사용되는 라스파이레스 지수, 단순평균지수 등은 차분방정식에서 설명되지 못하는 오차항을 발생시키는 문제점이 있다. 영국과 독일의 배출량 변화 요인을 분석한 Proops *et al.* (1993)이나, 한국·중국·일본의 3국간 CO₂ 배출량을 산업별로 비교한 Chung (1998), 에너지경제연구원 (1997)의 실증분석에서도 설명

* 성균관대학교 경제학부 교수.

** 성균관대학교 경제학부 강사.

되지 않는 오차항이 남아 있었다. 이런 문제를 해결하기 위해 Ang *et al.* (1998)이 제시한 로그평균지수(Logarithmic Mean Divisia Index)는 앞서의 두 지수를 사용할 경우 발생하는 오차항은 제거하였지만 해당 변수가 음(-)의 부호를 가질 때는 이 지수를 사용할 수 없다는 한계가 있다.

본 연구에서는 기존 지수들의 한계를 극복하여 오차항을 제거할 뿐 아니라 해당 변수가 음의 부호를 가지는 경우에도 계산이 가능한 변화율지수(Mean Rate-of-Change Index)를 제시하여 환경산업연관 모형을 이용한 요인분석 방법의 精緻化를 시도하고자 한다. 변화요인분석 방법에 의해 CO₂ 총배출량을 요인별로 분해하거나 국별 배출량 차이를 분석한 기존의 연구결과를 개선하기 위해 본 연구에서는 산업연관분석을 이용하여 1990~1995년간의 CO₂ 배출량 변화요인을 개선된 지수로 계산하고 다른 지수를 사용한 경우와 비교한다.

II. CO₂ 배출량 요인분해 방법

1. 산업연관분석에 의한 변화요인 분해

CO₂의 총배출량(C)은 중간수요부문의 배출량(C_p)과 최종수요부문의 배출량(C_h)으로 구분할 수 있다. 즉,

$$C = C_p + C_h \quad (1)$$

이 중 중간수요(생산부문)부문의 배출량은 산업연관분석 구조를 이용하여 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} C_p &= fDuy \\ &= \sum_{i,j} f_i d_{ij} u_j y \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 f 는 행벡터로서 행의 각 요소 f_i 는 산업부문의 산출량 단위당 발생하는 CO₂ 배출량을 보이는 산업별 배출계수를 나타낸다. D 는 레온티에프 역행렬로서 임의의 요소 d_{ij} 는 j 산업에 대한 최종수요 1단위를 충족하기 위해 i 산업에서 직접·간접으로 유발 생산되는 산출량을 나타낸다. u 는 열벡터로 그 요소 u_j 는 국내최종수요(총생산)의 합 y 의 각 부문별 몫을 나타낸다. y 는 GDP로서 각 부문별 국내최종수요의 합을 나타낸다.

산업부문에서 발생하는 배출량의 시점간 변화는 다음과 같이 몇 가지 요인으로 분해할 수 있다. 즉, 0기의 배출량을 $C_{p,0}$ 라 하고 t 기의 배출량을 $C_{p,t}$ 라 하면, 두 기간 사이의 배출량 변화는 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta C_p &= C_{p,t} - C_{p,0} \\ &= f_t D_t u_t y_t - f_0 D_0 u_0 y_0 \end{aligned} \quad (3)$$

그리고 두 시점간의 배출량 변화는 다음과 같은 요인으로 분해할 수 있다.

$$\Delta C_p = \Delta C_f + \Delta C_D + \Delta C_u + \Delta C_y + \Delta C_r \quad (4)$$

이 분석은 두 시점간에 배출량이 변하는 요인을 에너지 이용과 사용효율의 변동에 의한 것(ΔC_f), 레온티에프 역행렬계수로 표현되는 생산기술의 변화로 인한 것(ΔC_D), 국내최종수요 구조의 변화로 인한 것(ΔC_u), 경제 규모의 변화로 인한 것(ΔC_y) 및 오차(ΔC_r) 등으로 나누고 있다. 여기서 두 시점간 배출량 변화의 요인 ΔC_f , ΔC_D , ΔC_u , ΔC_y 등은 계산 방식에 따라 라스파이레스 지수, 단순평균지수, 로그평균지수 등으로 표현될 수 있다. 오차항(ΔC_r)은 각 요인 ΔC_f , ΔC_D , ΔC_u , ΔC_y 가 어떤 방식에 의해 계산되는가에 따라 값이 달라진다. 아래에서는 ΔC_f , ΔC_D , ΔC_u , ΔC_y 를 계산하는 이들 방법에 대해 논하고자 한다.

2. 요인분석 방법의 비교

1) 라스파이레스 지수

일반적으로 에너지 수요 변화요인을 측정하는데 사용하는 라스파이레스 지수 (Laspeyres Index: LI)를 배출량 변화 요인을 분해하는 식으로 나타내면 다음과 같다.¹⁾

$$\begin{aligned}
 \Delta C_p &= (f_t D_0 u_0 y_0 - f_0 D_0 u_0 y_0) \\
 &+ (f_0 D_t u_0 y_0 - f_0 D_0 u_0 y_0) \\
 &+ (f_0 D_0 u_t y_0 - f_0 D_0 u_0 y_0) \\
 &+ (f_0 D_0 u_0 y_t - f_0 D_0 u_0 y_0) \\
 &+ \text{residual}
 \end{aligned} \tag{5.A}$$

위 식을 달리 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \Delta C_p &= (\sum_y f_{i,t} d_{i,0} u_{j,0} y_0 - \sum_y C_{i,0}) \\
 &+ (\sum_y f_{i,0} d_{i,t} u_{j,0} y_0 - \sum_y C_{i,0}) \\
 &+ (\sum_y f_{i,0} d_{i,0} u_{j,t} y_0 - \sum_y C_{i,0}) \\
 &+ (\sum_y f_{i,0} d_{i,0} u_{j,0} y_t - \sum_y C_{i,0}) \\
 &+ \text{residual}
 \end{aligned} \tag{5.B}$$

단, 위에서 $\sum_y C_{i,0} = \sum_y f_{i,0} d_{i,0} u_{j,0} y_0$ 이다.

1) 식 (5.A)의 우변 괄호 안에서 '-' 부호를 '÷'로 바꿀 경우 각각은 두 다른 시점(t, 0)간 f, D, u, y의 라스파이레스 지수가 될 것이다. 에너지 수요의 변화 요인 분석에서 이 같은 라스파이레스 지수 방법을 사용한 예는 Ang et al. (1998)을 참조하시오.

2) 단순평균지수

단순평균지수(Simple Average Parametric Divisia Index : SADI) 방법은 CO₂ 배출량 분석에서 Proops *et al.* (1993), Chung (1998)이 그리고 에너지 수요 요인 분석에서 에너지경제연구원 (1997), Ang *et al.* (1998) 등에서 이용하였다.

(1) 단순평균지수 I

에너지 수요량 변동요인에 사용되는 단순평균지수를 식 (2)의 CO₂ 배출량 변화 요인을 측정하는 식에 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta C_p &= 0.5 \sum_{ij} (d_{ij,t} u_{j,t} y_t + d_{ij,0} u_{j,0} y_0) (f_{i,t} - f_{i,0}) \\ &\quad + 0.5 \sum_{ij} (f_{i,t} u_{j,t} y_t + f_{i,0} u_{j,0} y_0) (d_{ij,t} - d_{ij,0}) \\ &\quad + 0.5 \sum_{ij} (f_{i,t} d_{ij,t} y_t + f_{i,0} d_{ij,0} y_0) (u_{j,t} - u_{j,0}) \quad (6) \\ &\quad + 0.5 \sum_{ij} (f_{i,t} d_{ij,t} u_{j,t} + f_{i,0} d_{ij,0} u_{j,0}) (y_t - y_0) \\ &\quad + \text{residual} \end{aligned}$$

(2) 단순평균지수 II

Proops *et al.* (1993), Chung (1998)이 사용한 단순평균지수 II에 의하면 식 (2)는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \Delta C_p &= \Delta f \bar{D} \bar{u} \bar{y} + \bar{f} \Delta D \bar{u} \bar{y} + \bar{f} \bar{D} \Delta u \bar{y} \\ &\quad + \bar{f} \bar{D} \bar{u} \Delta y + \text{residual} \end{aligned} \quad (7.A)$$

여기서 $\Delta f = f_t - f_0$, $\Delta D = D_t - D_0$, $\Delta u = u_t - u_0$, $\Delta y = y_t - y_0$ 로 각 변수의 시점간 차이를 나타낸다. \bar{f} , \bar{D} , \bar{u} , \bar{y} 는 각 변수의 단순산술평균으로 $\bar{f} = \frac{1}{2}(f_t + f_0)$, $\bar{D} = \frac{1}{2}(D_t + D_0)$, $\bar{u} = \frac{1}{2}(u_t + u_0)$, $\bar{y} =$

$\frac{1}{2}(y_t + y_0)$ 이다.

식 (7.A)를 달리 표현하면 식 (7.B)와 같다.

$$\begin{aligned}
 \Delta C_p = & \sum_{ij} [0.5(d_{\ddot{y},t} + d_{\ddot{y},0})][0.5(u_{j,t} + u_{j,0})] \\
 & [0.5(y_t + y_0)](f_{i,t} - f_{i,0}) \\
 & + \sum_{ij} [0.5(f_{i,t} + f_{i,0})][0.5(u_{j,t} + u_{j,0})] \\
 & [0.5(y_t + y_0)](d_{\ddot{y},t} - d_{\ddot{y},0}) \\
 & + \sum_{ij} [0.5(f_{i,t} + f_{i,0})][0.5(d_{\ddot{y},t} + d_{\ddot{y},0})] \\
 & [0.5(y_t + y_0)](u_{j,t} - u_{j,0}) \\
 & + \sum_{ij} [0.5(f_{i,t} + f_{i,0})][0.5(d_{\ddot{y},t} + d_{\ddot{y},0})] \\
 & [0.5(u_{j,t} + u_{j,0})](y_t - y_0) \\
 & + \text{residual}
 \end{aligned} \tag{7.B}$$

3) 로그평균지수

위에서 보인 두 가지 단순평균지수 방법은 오차항이 남는다는 문제점이 있다. Ang *et al.* (1998)은 오차항이 없는 요인분석 방법을 개발하고자 로그평균지수 (Logarithmic Mean Divisia Index : LMDI) 방법을 제시하였는데 이것을 식 (2)에 적용하여 배출량 변화 요인을 분해하면 다음과 같다.²⁾

$$\Delta C_p = \sum_{i,j} L(\cdot) \ln \left(\frac{f_{i,t}}{f_{i,0}} \right) + \sum_{i,j} L(\cdot) \ln \left(\frac{D_{\ddot{y},t}}{D_{\ddot{y},0}} \right) \tag{8}$$

2) Ang *et al.* (1998)에서는 에너지 사용량의 변화를 산업 생산량 변화, 생산구조의 변화 및 부문별 에너지 집약도의 변화 등 세 요인으로 구분하였다.

$$+ \sum_{i,j} L(\cdot) \ln\left(\frac{u_{j,t}}{u_{j,0}}\right) + \sum_{i,j} L(\cdot) \ln\left(\frac{y_t}{y_0}\right)$$

여기서 $L(\cdot)$ 는 로그함수로 다음을 의미한다.

$$L(\cdot) = L(C_{\ddot{i},t}, C_{\ddot{i},0}) = \frac{C_{\ddot{i},t} - C_{\ddot{i},0}}{\ln\left(\frac{C_{\ddot{i},t}}{C_{\ddot{i},0}}\right)} \quad (9)$$

이 방법을 사용하면 모든 변수가 양수인 경우 오차가 발생하지 않고 배출량의 변화를 네 가지 요인으로 완전 분해할 수 있다.³⁾

- 3) $L(\cdot)$ 함수는 일반적으로 $L(x_t, x_0) = (x_t - x_0)/\ln(x_t/x_0)$ 과 같이 표현할 수 있다. 여기서 변수 x_t, x_0 는 모두 양의 값을 갖는 서로 다른 수이며, $L(0,0) = 0$ 으로 정의되었다. 이 함수는 다음과 같이 대칭성을 갖는다.

$$x_t > 0, \quad x_0 > 0, \quad x_t \neq x_0$$

$$L(0,0) = 0$$

$$L(x_t, x_0) = L(x_0, x_t)$$

Ang *et al.* (1998)은 실제 계산에서 각 변수가 '0' 값을 가질 때 LMDI 지수는 양(+)⁴⁾의 값을 가진 아주 작은 수치로 대체하였다.

다음으로 식 (8)에서 정의한 ΔC_p 가 $\Delta C_p = \sum_{\ddot{i}} (C_{\ddot{i},t} - C_{\ddot{i},0})$ 임은 다음과 같이 증명할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta C_p &= \sum_{\ddot{y}} \left[L(\cdot) \ln\left(\frac{f_{i,t}}{f_{i,0}}\right) + L(\cdot) \ln\left(\frac{D_{\ddot{i},t}}{D_{\ddot{i},0}}\right) \right. \\ &\quad \left. + L(\cdot) \ln\left(\frac{u_{j,t}}{u_{j,0}}\right) + L(\cdot) \ln\left(\frac{y_t}{y_0}\right) \right] \\ &= \sum_{\ddot{y}} L(\cdot) [\ln f_{i,t} + \ln D_{\ddot{i},t} + \ln u_{j,t} + \ln y_t \\ &\quad - \ln f_{i,0} - \ln D_{\ddot{i},0} - \ln u_{j,0} - \ln y_0] \\ &= \sum_{\ddot{y}} L(\cdot) [\ln(f_{i,t} D_{\ddot{i},t} u_{j,t} y_t) - \ln(f_{i,0} D_{\ddot{i},0} u_{j,0} y_0)] \\ &= \sum_{\ddot{y}} L(\cdot) \left(\ln \frac{C_{\ddot{i},t}}{C_{\ddot{i},0}} \right) \\ &= \sum_{\ddot{y}} \frac{(C_{\ddot{i},t} - C_{\ddot{i},0})}{\left(\ln \frac{C_{\ddot{i},t}}{C_{\ddot{i},0}} \right)} \left(\ln \frac{C_{\ddot{i},t}}{C_{\ddot{i},0}} \right) \\ &= \sum_{\ddot{y}} (C_{\ddot{i},t} - C_{\ddot{i},0}) \end{aligned}$$

4) 평균 변화율지수

시점간 배출량 변화 요인의 분석에서 변수가 음(-)의 값을 가지면 LMDI 방법을 적용하는데 로그값의 계산이 어렵게 된다.⁴⁾ 즉, 산업연관모형에 의해 배출량 변화 요인을 계산할 때 음의 값을 가진 관측치가 존재하는 경우를 볼 수 있다. 즉, 산업연관표의 구성에서 최종수요벡터(Y)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} Y &= uy \\ &= C + I + G + \Delta S + (E - M) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 C 는 민간수요, I 는 투자, G 는 정부지출, ΔS 는 재고증감, E 는 수출, M 은 수입을 나타낸다. 그리고 최종수요벡터의 한 원소 Y_j 는 j 산업의 국내최종수요를 뜻하며, u_j 는 j 산업의 국내최종수요의 몫, y 는 국내최종수요의 합이다. 이와 같은 산업연관표의 구성에서 j 산업의 재고변화가 음이거나, 순수출이 음인 경우($E_j - M_j < 0$)에 국내최종수요(Y_j)의 값이 음이면 $u_j < 0$ 가 된다. 이 경우에는 시점간 배출량 변화 요인의 계산에 LMDI 방식을 적용할 수 없다.⁵⁾

우리 나라의 산업연관표를 이용한 분석에서 $u_j < 0$ 가 되는 경우는 다음과 같다. 첫째, 원유(j 산업)와 같이 전량 수입에 의존하는 산업은 당해연도의 수입(M_j)이 많을 경우 국내최종수요(Y_j)는 음의 값을 가질 수 있다. 둘째, 소비나 투자보다 재고감소가 상대적으로 큰 경우 국내최종수요(Y_j)가 음의 값을 가질 수 있다.

4) 식 (10)에서 $x_t < 0$ 이거나 $x_0 < 0$ 이면 $\ln(x_t)$ 및 $\ln(x_0)$ 는 허수가 된다.

5) 일반적으로는 각 산업부문은 상당히 통합되기 때문에 국내최종수요가 음의 값을 갖는 산업 부문은 매우 드물다. 그러나 특정 원자재나 에너지 부문을 독립적인 부문으로 세분하여 분석할 필요가 있을 경우에는 해당산업의 국내최종수요가 음의 값을 갖는 경우가 생길 것이다.

여기서는 음의 값을 가진 변수가 존재할 경우에도 부분적으로 확장할 수 있으며, 요인분해에서 오차가 발생하지 않는 평균 변화율지수(Mean Rate-of-Change Index: MRCI)를 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \Delta C &= \sum_{i,j} M_{ij}(\ast) \left(\frac{1}{f_i} \right) (f_{i,t} - f_{i,0}) \\ &+ \sum_{i,j} M_{ij}(\ast) \left(\frac{1}{d_{ij}} \right) (d_{ij,t} - d_{ij,0}) \\ &+ \sum_{i,j} M_{ij}(\ast) \left(\frac{1}{u_j} \right) (u_{j,t} - u_{j,0}) \\ &+ \sum_{i,j} M_{ij}(\ast) \left(\frac{1}{y} \right) (y_t - y_0) \end{aligned} \quad (11)$$

우변 각 항에서 $M_{ij}(\ast)$ 와 \bar{f}_i , \bar{d}_{ij} , \bar{u}_j , \bar{y} 는 다음과 같이 정의한다.

$$M_{ij}(\ast) = \frac{C_{ij,t} - C_{ij,0}}{A_{ij}(\ast)} \quad (12)$$

여기서

$$\begin{aligned} A_{ij}(\ast) &= \left(\frac{f_{i,t} - f_{i,0}}{f_i} \right) + \left(\frac{d_{ij,t} - d_{ij,0}}{d_{ij}} \right) \\ &+ \left(\frac{u_{j,t} - u_{j,0}}{u_j} \right) + \left(\frac{y_t - y_0}{y} \right) \\ \bar{f}_i &= \frac{f_{i,t} + f_{i,0}}{2} & \bar{d}_{ij} &= \frac{d_{ij,t} + d_{ij,0}}{2} \\ \bar{u}_j &= \frac{u_{j,t} + u_{j,0}}{2} & \bar{y} &= \frac{y_t + y_0}{2} \end{aligned}$$

앞의 식에서 가중합수 $M_{ij}(*)$ 의 분자는 시점간 배출량 변화분이며, 분모는 각 요인의 평균 변화율⁶⁾의 합계이다.

식 (11)은 다음과 같이 오차항이 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \left(\sum_{ij} C_{ij,t} - \sum_{ij} C_{ij,0} \right) \\
 & - \left[\sum_{ij} M_{ij}(*) \frac{(f_{i,t} - f_{i,0})}{f_i} + \sum_{ij} M_{ij}(*) \frac{(d_{ij,t} - d_{ij,0})}{d_{ij}} \right. \\
 & \left. + \sum_{ij} M_{ij}(*) \frac{(u_{j,t} - u_{j,0})}{u_j} + \sum_{ij} M_{ij}(*) \frac{(y_t - y_0)}{y} \right] \\
 & = \left(\sum_{ij} C_{ij,t} - \sum_{ij} C_{ij,0} \right) \\
 & - \sum_{ij} M_{ij}(*) \left[\frac{(f_{i,t} - f_{i,0})}{f_i} + \frac{(d_{ij,t} - d_{ij,0})}{d_{ij}} \right. \\
 & \quad \left. + \frac{(u_{j,t} - u_{j,0})}{u_j} + \frac{(y_t - y_0)}{y} \right] \\
 & = \left(\sum_{ij} C_{ij,t} - \sum_{ij} C_{ij,0} \right) - \sum_{ij} L_{ij}(*) A_{ij}(*) \\
 & = \left(\sum_{ij} C_{ij,t} - \sum_{ij} C_{ij,0} \right) - \sum_{ij} \frac{C_{ij,t} - C_{ij,0}}{A_{ij}(*)} A_{ij}(*) \\
 & = \left(\sum_{ij} C_{ij,t} - \sum_{ij} C_{ij,0} \right) - \sum_{ij} (C_{ij,t} - C_{ij,0}) = 0
 \end{aligned} \tag{13}$$

실제의 계산 과정에서는 다음과 같은 가정을 두었다. 첫째, $M_{ij}(*)$ 의 분모와 분자의 값이 각각 '0'일 때 그 값은 '0'로 한다. 둘째, $A_{ij}(*)$ 의 우변 각 항에서 분모와 분자의 값이 각각 '0'일 때 각 항의 값은 '0'로 한다. 셋째, 분모의 값이 '0'인 경우 그 분모의 값은 아주 작은 수(10^{-12})로 대체하였다.

6) 변수의 시점간 평균값을 분모로 한 변화율을 평균 변화율로 명명한다.

Ⅲ. CO₂ 배출량 요인분해의 예

1. 자료의 선택과 부문분류

실증분석으로 한국의 1990~1995년 기간 동안 배출량 변화요인을 앞의 각 지수로 계산하였다. 자료는 한국의 1990년(0기)과 1995년(*t*기) 산업연관표와 CO₂ 배출 관련물질 물량표 및 열량표 등을 이용하였다.

여기서는 우선 위에서 선택한 다섯 가지의 계산 방식이 모두 적용될 수 있도록 우리 나라의 전 산업을 4개 부문으로 분류하여 각 지수의 계산결과를 비교한 후, 다음으로 LMDI 방식이 적용될 수 없는 경우(변수에 음(-)의 값이 존재하는 경우)를 보이기 위해 산업을 7부문으로 분류하고 이 경우에 적용할 수 있는 요인분석 방법을 제시하였다.⁷⁾

4부문 분류에서는 전체산업을 농림수산(1), 경공업(2), 광업 및 중화학공업(3),

7) CO₂ 배출량을 분석하는 방법에는 크게 산업연관분석 기법을 이용하는 Top Down 방식과 에너지 사용량을 이용하여 계산하는 Bottom Up 방식이 있다. Bottom Up 방식을 주로 사용하고 있는 연구는 산업, 수송, 에너지, 가정·상업 부문 등으로 분류하며 Top Down 방식을 주로 사용하는 연구는 산업연관표의 분류를 기준으로 한다. 이 경우 수송, 에너지, 가정·상업 부문은 산업연관 분류에서 중간투입재, 최종소비재 등으로 나뉘어 분류된다. 바람직한 결과를 위해서는 두 방식의 합리적 통합이 이루어져야 할 것이다.

Top Down 방식에 의해 산업별 배출량 변화요인을 가장 세분하여 계산하기 위해서는 산업연관표 원표대로 400여 부문으로 분류하는 것이 가장 바람직하다. 이 경우에는 앞서 제시한 광업, 원유 및 석유·석탄·도시가스업 이외에도 변수값이 '0'이거나 음(-)의 값을 가지는 경우가 허다하다. 여기서는 배출량 증가요인 분해지수의 선정 문제에 중점을 두고 있으므로 변수에 음이나 '0'값이 존재하는 최소한의 산업분류만을 고려하였다. 즉, MRCI 방법이 변수값에 '0'와 음이 존재하는 경우에도 오차항을 발생시키지 않고 요인분해가 가능하다는 것을 제시하기 위해 변수값에 '0'와 음(-)의 값이 존재하는 광업(2), 원유(3), 석유·석탄·도시가스업(6)을 분리하여 편의상 7부문으로 분류하였다. 산업부문에서 농림어업, 광업, 건설업, 도소매업, 수송업 및 CO₂ 배출계수가 높은 전력산업 등을 포함하여 45부문으로 분류하여 배출요인을 분석한 결과는 Chung (1998), Chung & Rhee (1999) 등을 참조하시오.

서비스업(4)으로 분류하였다. 이 분류에서는 분석에 사용될 기본 변수인 f_i , d_{ij} , u_j , y 의 값은 모두 양(+)의 값을 갖는다.

다음으로 7부문 분류에서는 전체산업을 농림수산업(1), 광업(2), 원유(3), 경공업(4), 중화학공업(5), 석유·석탄·도시가스업(6), 서비스업(7)으로 분류하였다.

7부문 분류에서는 원유의 산업 배출계수인 $f_{3,0}$, $f_{3,t}$ 의 값이 '0'이며 $d_{i3,0}$, $d_{i3,t}$ 에 '0'가 포함된다. 원유는 전량 수입에 의존하고 국내생산액이 '0'이므로 단위생산액 당 발생하는 CO₂ 배출량인 $f_{3,0}$ 및 $f_{3,t}$ 는 '0'가 되며, 원유생산에 대한 투입물이 '0'이므로 레온티에프 역행렬의 $d_{i3,0}$, $d_{i3,t}$ 列에서 $d_{33,0}$, $d_{33,t}$ 를 제외한 계수값은 '0'가 된다. 그리고 산업별 국내최종수요의 몫인 u 는 광업(2)의 $u_{2,0}$, $u_{2,t}$, 원유(3)의 $u_{3,0}$, $u_{3,t}$, 석유·석탄·도시가스업(6)의 $u_{6,0}$ 에서 음의 값이 발생한다. 이들 각 부문은 ① 재고의 감소로 최종수요가 음의 값을 가지거나 ② 국내최종수요가 양의 값을 가지더라도 수입이 국내최종수요보다 많아 국내최종수요의 몫인 u_j 의 값이 음의 수를 가진다(부록 참조).

2. 요인분석 방법간 비교

여기서는 모든 지수의 적용이 가능한 4부문 분류에 의해 각 지수의 유용성을 비교한 후, 변수에 음의 값이 존재하는 7부문 분류에 적용될 수 있는 새로운 지수를 제시한다.

1) 4부문 분류에 의한 배출량 변화 요인

4부문으로 산업을 분류하면 데이터에는 '0'나 음의 값이 포함되지 않는다. 한국의 산업부문에서 발생하는 CO₂ 총배출량은 1990년 5,198만 4,000tc(톤-카본)에서 1995년 8,176만 6,000tc으로 동 기간중 2,978만 1,000tc 증가하였다.

상기 다섯 가지의 지수로 계산한 총배출량 변화 요인은 <표 1>과 같다.

평균 변화율지수에 의한 CO₂ 배출요인 분해방법

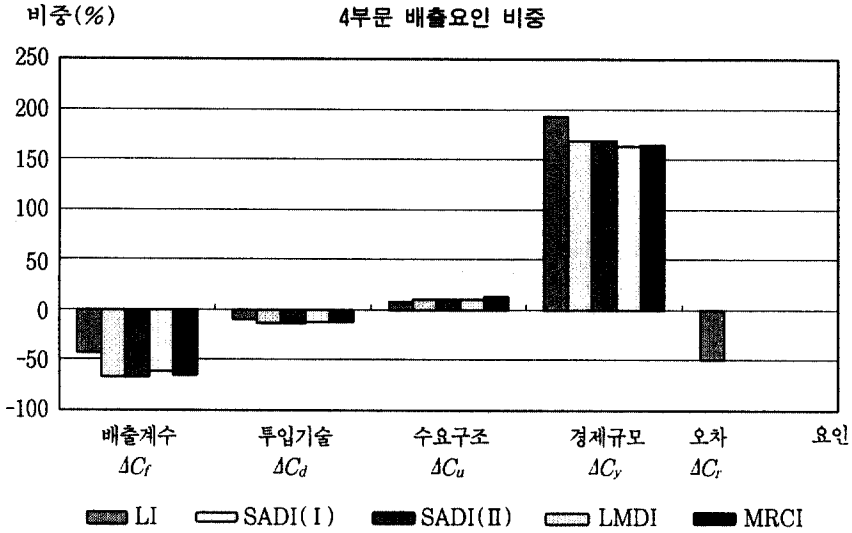
(표 1) 4부문 분류(변수의 값이 모두 양의 값일 때)의 요인별 배출량 변화

(단위 : 1,000tc(%))

지 수	총변화량 (ΔC_t)	요인 1 (ΔC_1)	요인 2 (ΔC_2)	요인 3 (ΔC_3)	요인 4 (ΔC_4)	오차 (ΔC_e)
방법 1 Laspeyres Index	29,781 (100.0)	-12,699 (-42.64)	-2,786 (-9.35)	2,371 (7.96)	57,572 (193.32)	-14,677 (-49.28)
방법 2 SADI(I) Ang et al.	29,781 (100.0)	-19,768 (-66.38)	-3,925 (-13.18)	3,182 (10.68)	50,270 (168.8)	23 (0.08)
방법 3 SADI(II) Proops, Chung	29,781 (100.0)	-19,765 (-66.37)	-4,037 (-13.56)	3,307 (11.1)	50,288 (168.86)	-11 (-0.04)
방법 4 LMDI Ang et al.	29,781 (100.0)	-18,439 (-61.91)	-3,768 (-12.65)	3,250 (10.91)	48,738 (163.65)	0 (0.0)
방법 5 MRCI Chung & Rhee	29,781 (100.0)	-19,295 (-64.79)	-3,669 (-12.32)	3,824 (12.84)	48,922 (164.27)	0 (0.0)

1990~1995년 기간 중 배출량 증가 요인 중에서 경제규모의 변화(요인 4 : ΔC_4)가 배출량을 증가시키는 가장 큰 요인으로 작용했으며, 다음이 경제구조의 변동(요인 3 : ΔC_3)에 의해 배출량이 증가하였다. 반면에 에너지의 이용과 구성을 나타내는 산업별 배출계수 변화(요인 1 : ΔC_1)는 배출량을 감소시키는 방향으로 작용했으며, 생산 기술을 나타내는 레온티에프 역행렬 계수(요인 2 : ΔC_2)도 배출량을 감소시키는 방향으로 작용하였다. 이것은 1990~1995년 기간중 경제규모의 양적 팽창에 의해 배출량이 증가했음에도 불구하고 에너지 사용효율이 상당히 개선되어 배출량이 GDP 증가보다 적게 증가했음을 보여

(그림 1) 4부문 분류에 의한 총배출량 변화의 요인별 비중



준다.8)

<그림 1>은 총배출량에 대한 요인별 비중을 나타낸 것이다. 사용한 다섯 종류의 지수는 모두 요인 1과 요인 2에 음의 부호를 가지며, 요인 3과 요인 4에 양의 부호를 나타내고 있어 증감의 방향이 동일하고, 요인별 상대적 비중의 순서도 모두 동일함을 보여 주고 있다. 방법 1(Laspeyres Index), 방법 2(SADI(I)), 방법 3(SADI(II))은 오차가 발생하여 설명할 수 없는 부분이 있으나, 방법 4(LMDI)와 방법 5(MRCI)는 오차가 발생하지 않았다.

다음으로 오차가 발생하지 않는 MRCI 방식과 LMDI 방식만을 사용하여 부문별 배출량 변동요인을 계산하여 비교하였다(<표 2>에서 <표 5>까지 참조).

8) <표 1>은 배출량이 증가한 요인을 나타내고 있으며 배출 감축을 위한 정책을 제시한 것은 아니다. 즉, 우리나라의 경우 에너지 다소비 가격체제와 산업구조를 갖고 있으므로 경제규모의 확대에 의한 에너지 다소비에 따라 배출량이 증가한 것으로 해석할 수 있다. 따라서 배출량을 감축하기 위해서는 에너지의 효율적 사용이라든가, 에너지 가격의 조정 등이 필요할 수 있을 것이다.

<표 2> 배출계수(f) 변동과 배출량 변화

(단위 : 1,000tc(%))

제1요인	f값의 변화			MRCI 방식		LMDI 방식	
	$f_{i,0}$	$f_{i,t}$	$f_{i,t} - f_{i,0}$	$\sum_j M_j(*)$	$\sum_j \Delta C_{f,i,j}$	$\sum_j L(\cdot)$	$\sum_j \Delta C_{L,i,j}$
1부문 (i = 1)	0.00008	0.000073	-0.000008	1,149	-174	1,098	-202
2부문 (i = 2)	0.000055	0.000043	-0.000012	8,370	-1,468	9,010	-1,003
3부문 (i = 3)	0.000185	0.00015	-0.000035	20,211	-7,520	19,332	-7,465
4부문 (i = 4)	0.000108	0.000071	-0.000037	38,905	-10,134	35,937	-9,769

$$\text{주 : 1) } \sum_j M_j(*) = \sum_j \left[\frac{C_{y,t} - C_{y,0}}{\left(\frac{f_{i,t} - f_{i,0}}{\frac{f_{i,t} + f_{i,0}}{2}} \right) + \left(\frac{d_{y,t} - d_{y,0}}{\frac{d_{y,t} + d_{y,0}}{2}} \right) + \left(\frac{u_{i,t} - u_{i,0}}{\frac{u_{i,t} + u_{i,0}}{2}} \right) + \left(\frac{y_t - y_0}{\frac{y_t + y_0}{2}} \right)} \right]$$

$$2) \sum_j \Delta C_{f,i,j} = \sum_j \left[M(*) \frac{1}{\frac{f_{i,t} + f_{i,0}}{2}} (f_{i,t} - f_{i,0}) \right]$$

$$3) \sum_j L(\cdot) = \sum_j \left[\frac{C_{y,t} - C_{y,0}}{\ln\left(\frac{f_{i,t}}{f_{i,0}}\right) + \ln\left(\frac{d_{y,t}}{d_{y,0}}\right) + \ln\left(\frac{u_{i,t}}{u_{i,0}}\right) + \ln\left(\frac{y_t}{y_0}\right)} \right]$$

$$4) \sum_j \Delta C_{L,i,j} = \sum_j \left[L(\cdot) \ln\left(\frac{f_{i,t}}{f_{i,0}}\right) \right]$$

<표 2>에서 각 부문별 f값은 동 기간중에 모두 감소하여 변동폭을 나타내는 ($f_{i,t} - f_{i,0}$)의 값은 모두 음의 부호로 나타났으며, f값 변화에 의한 배출량 변화는 MRCI 방식($\Delta C_{f,i,j}^*$)이나 LMDI 방식($\Delta C_{L,i,j}$) 모두 음의 부호로 나타났다. 즉, 동 기간중 각 부문의 배출계수는 감소하였으며 이 결과 배출계수 변화에 의한 배출량 변화(1 요인)는 두 방식 모두 감소하였음을 보여 준다.

<표 3>에 의하면, 역행렬 계수(D)는 동 기간 중 1, 2, 3 부문에서 감소하였으나 4부문에서는 증가하였다. 역행렬 계수 변동에 의한 부문별 배출량 변화(2 요인)는 두 방식 모두 동일한 방향을 보여 주었다.

<표 3> 역행렬 계수(D)의 변동과 배출량 변화

제 2 요인	D값의 변화			MRCI 방식		LMDI 방식	
	$\sum_j d_{j,0}$	$\sum_j d_{j,t}$	$\frac{\sum_j d_{j,t} - \sum_j d_{j,0}}{\sum_j d_{j,0}}$	$\sum_j M^{(*)}$	$\sum_j \Delta C_{D,j}^*$	$\sum_j L(\cdot)$	$\sum_j \Delta C_{D,j}$
1부문 (i=1)	1.5719	1.4064	-0.1654	1,149	-363	1,098	-447
2부문 (i=2)	1.917	1.8549	-0.0621	8,370	-298	9,010	-247
3부문 (i=3)	3.9675	3.6497	-0.3178	20,211	-3,693	19,332	-3,738
4부문 (i=4)	2.2612	2.3621	0.1009	38,905	685	35,937	664

주 : 1) $\sum_j \Delta C_{D,j}^* = \sum_j \left[M^{(*)} \frac{1}{\frac{d_{j,t} + d_{j,0}}{2}} (d_{j,t} - d_{j,0}) \right]$

2) $\sum_j \Delta C_{D,j} = \sum_j \left[L(\cdot) \ln \left(\frac{d_{j,t}}{d_{j,0}} \right) \right]$

<표 4>에 의하면, 동 기간중 국내최종수요 몫(u)의 변동을 부문별로 구분하면 2부문에서 감소했고 나머지 부문은 모두 증가하였다. 배출량 변동의 방향은 두 방식이 상이한 결과를 보인다. 평균 변화율 방식(MRCI)은 부문별 국내최종수요 몫 변동과 동일한 방향으로 변동하였으나, LMDI 방식은 1부문에서 부호가 반대로 나타난다. 즉, LMDI 방식에 의하면 1부문의 국내최종수요 몫은 0.0041 증가했으나 이 요인에 의한 배출량은 28만 1,000tc 감소한 것으로 나타나, 부문별 변동이 일치되는 MRCI 방식이 LMDI 방식에 비해 실제 변동요인을 더 잘 반영한 것으로 보인다. LMDI 방식은 각 요인에 의한 부문별 배출량 증감률에 대한 각 요인의 증감률의 비율을 로그값으로 계산할 경우 과대 계상되는 경우가 발생하기 때문이다.

평균 변화율지수에 의한 CO₂ 배출요인 분해방법

〈표 4〉 국내최종수요 몫(u)의 변동과 배출량 변화

(단위 : 1,000tc(%))

제 3 요인	u 값의 변화			MRCI 방식		LMDI 방식	
	$u_{i,0}$	$u_{i,t}$	$u_{i,t} - u_{i,0}$	$\sum_j M(\cdot)$	$\sum_j \Delta C_{u,i}$	$\sum_j L(\cdot)$	$\sum_j \Delta C_{u,i}$
1부문 ($i = 1$)	0.023	0.027	0.0041	1,149	187	1,098	-281*
2부문 ($i = 2$)	0.1923	0.1273	-0.0650	8,370	-3,405	9,010	-1,147
3부문 ($i = 3$)	0.1402	0.1966	0.0564	20,211	6,767	19,332	4,539
4부문 ($i = 4$)	0.6445	0.6491	0.0046	38,905	275	35,937	139

주 : 1) $\sum_j \Delta C_{u,i}^* = \sum_j \left[M(\cdot) \frac{1}{\frac{u_{i,t} + u_{i,0}}{2}} (u_{i,t} - u_{i,0}) \right]$

2) $\sum_j \Delta C_{u,i} = \sum_j \left[L(\cdot) \ln \left(\frac{u_{i,t}}{u_{i,0}} \right) \right]$

〈표 5〉 국내최종수요 합이의 변동과 배출량 변화

(단위 : 1,000tc(%))

제 4 요인	y 값의 변화			MRCI 방식		LMDI 방식	
	y_0	y_t	$y_t - y_0$	$\sum_j M(\cdot)$	$\sum_j \sum_j \Delta C_y$	$\sum_j L(\cdot)$	$\sum_j \sum_j \Delta C_y$
	178,317,431	375,802,932	197,485,501		48,923		48,738

주 : 1) $\sum_j \sum_j \Delta C_y^* = \sum_j \sum_j \left[M(\cdot) \frac{1}{\frac{y_t + y_0}{2}} (y_t - y_0) \right]$

2) $\sum_j \sum_j \Delta C_y = \sum_j \sum_j \left[L(\cdot) \ln \left(\frac{y_t}{y_0} \right) \right]$

2) 7부문 분류에 의한 배출량 변화 요인

여기서는 변수에 '0'와 음(-)의 값이 존재하는 경우를 보이기 위해 산업을 7개 부문으로 확장하였다. 변수가 음의 값을 갖는 경우 LMDI 방식은 계산이 불가능하며 나머지 네 가지 방식은 계산이 가능하다.

<표 6>은 계산가능한 네 가지 방법에 의해 각 지수를 계산한 값이며, <그림 2>는 각 지수로 계산된 요인별 배출량 비중을 나타낸 것이다. 계산 가능한 지수 모두 경제규모(요인 4)의 증가가 배출량을 증가시키는데 가장 크게 기여하였으며, 수요구조(요인 3)의 변동은 배출량 증가에 소폭 기여하였다. 이 두 요인에 의한 배출량 변화는 모두 양(+)의 부호를 갖는다. 요인 1(배출계수의 변동)과 요인 2(역행렬 계수의 변동)는 모두 배출량을 감소시키는 방향으로 작용하였다.

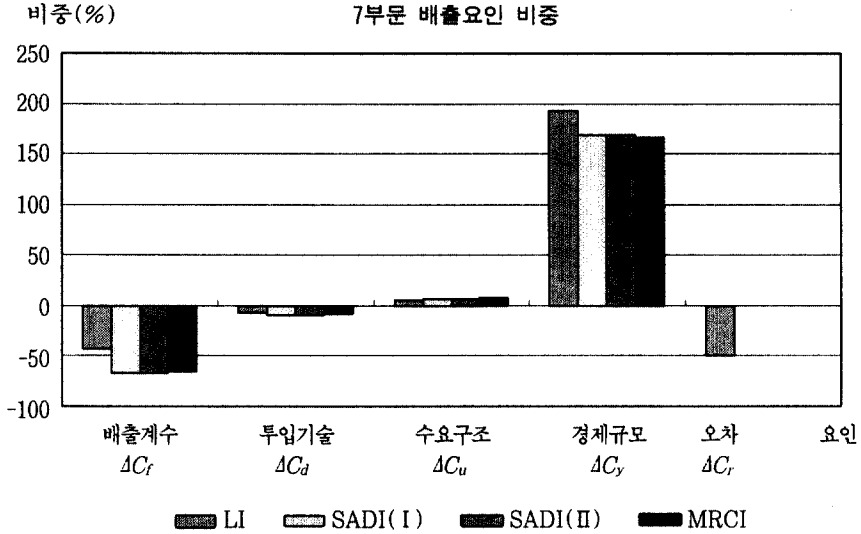
<표 6> 7부문 분류(변수에 음(-)의 값이 존재할 경우)의 요인별 배출량 변화

(단위 : 1,000tc(%))

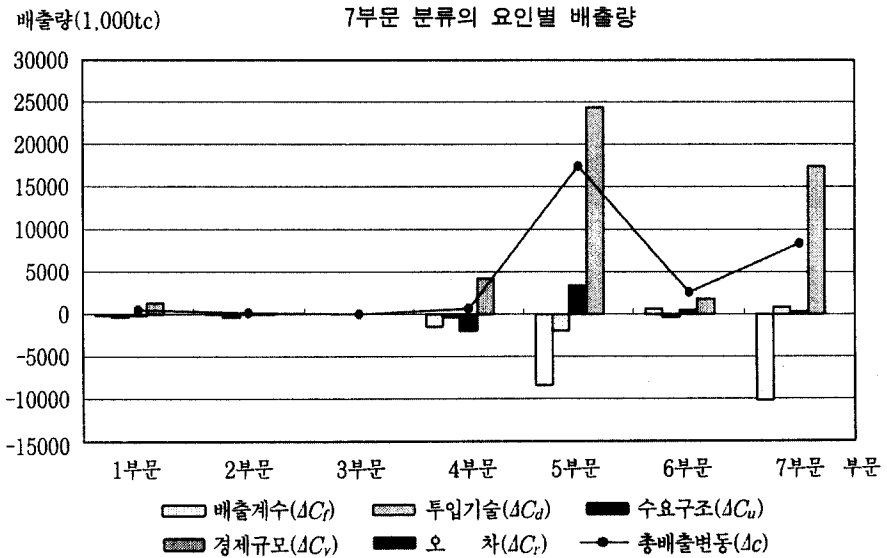
지 수	총변화량 (ΔC _t)	요인 1 (ΔC ₁)	요인 2 (ΔC ₂)	요인 3 (ΔC ₃)	요인 4 (ΔC ₄)	오차 (ΔC _r)
방법 1 Laspeyres Index	29,781 (100.0)	-12,719 (-42.71)	-1,852 (-6.22)	1,387 (4.66)	57,572 (193.32)	-14,607 (-49.05)
방법 2 SADI(I) Ang et al.	29,781 (100.0)	-19,835 (-66.6)	-2,729 (-9.16)	2,056 (6.9)	50,270 (168.8)	20 (0.07)
방법 3 SADI(II) Proops, Chung	29,781 (100.0)	-19,809 (-66.52)	-2,761 (-9.27)	2,089 (7.01)	50,273 (168.81)	-10 (-0.03)
방법 5 MRCI Chung & Rhee	29,781 (100.0)	-19,402 (-65.15)	-2,536 (-8.52)	2,393 (8.04)	49,326 (165.63)	0 (0.0)

평균 변화율지수에 의한 CO₂ 배출요인 분해방법

〈그림 2〉 7부문 분류시 요인별 배출량 변화



〈그림 3〉 7부문 분류시 MRCI로 계산된 요인별 배출량



〈표 7〉 변수에 음의 값이 존재할 경우의 요인별 배출량(전 산업 7분류)

(단위 : 1,000tc(%))

	총배출량 변동	배출계수 변동 (1요인)	역행렬계수 변동 (2요인)	최종수요량 변동 (3요인)	최종수요합 변동 (4요인)	오 차
	$\sum_j \Delta C_{ij}$	$\sum_j \Delta C_{i,j}$	$\sum_j \Delta C_{i,j}$	$\sum_j \Delta C_{i,j}$	$\sum_j \Delta C_{i,j}$	$\sum_j \Delta C_{i,j}$
1부문 ($i = 1$)	563 (100.0)	-174 (-30.87)	-359 (-63.65)	-135 (-24.0)	1,231 (218.52)	0 (0.0)
2부문 ($i = 2$)	208 (100.0)	92 (43.95)	-297 (-142.71)	174 (83.73)	240 (115.03)	0 (0.0)
3부문 ($i = 3$)	0 100.0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
4부문 ($i = 4$)	640 (100.0)	-1,462 (-228.44)	-285 (-44.59)	-1,866 (-291.46)	4,253 (664.5)	0 (0.0)
5부문 ($i = 5$)	17,400 (100.0)	-8,438 (-48.49)	-2,005 (-11.52)	3,424 (19.68)	24,418 (140.34)	0 (0.0)
6부문 ($i = 6$)	2,621 (100.0)	680 (25.93)	-355 (-13.52)	478 (18.25)	1,818 (69.34)	0 (0.0)
7부문 ($i = 7$)	8,349 (100.0)	-10,100 (-120.97)	765 (9.16)	317 (3.8)	17,366 (208.02)	0 (0.0)

7부문 분류에 의한 총배출량의 변동요인 분석은 계산이 불가능한 LMDI 방식을 제외하고는 모두 4부문 분류와 동일한 부호를 나타내고 있다. 이 지수 중 MRCI 방식이 오차를 발생시키지 않는 특징을 갖는다. 이로써 MRCI는 음(-)의 값이 존재할 경우에도 배출변화 요인지수로 활용할 수 있음을 알 수 있다 (<그림 2> 참조).

다음으로 <표 7>과 <그림 3>은 부문별 요인별 배출량 변화를 MRCI로만

<표 8> 변수값의 변동

	$f_{i,t} - f_{i,0}$	$\sum d_{i,t}$ $-\sum d_{i,0}$	$u_{i,0}$	$u_{i,t}$	$u_{i,t} - u_{i,0}$	$y_t - y_0$	$\sum_j M(*)$
1부문	-0.000008	-0.1933	0.0230	0.0270	0.0041*		1727.3
2부문	0.000032	-0.1272	-0.0124	-0.0086	0.0038		336.3
3부문	0.000000	-0.1214	-0.0291	-0.0260	0.0031		0.0
4부문	-0.000012	-0.0848	0.1923	0.1273	-0.0650	197,485,501	5967.2
5부문	-0.000041	-0.2739	0.1824	0.2237	0.0413		34256.9
6부문	0.000046	-0.0377	-0.0006	0.0076	0.0082		2550.2
7부문	-0.000037	0.1388	0.6445	0.6491	0.0046		24363.9

계산한 것이며 <표 8>의 변수값은 변동을 보여 주고 있다.

부문 3의 원유는 전량 수입되고 국내생산은 '0'이므로 이 원유의 생산 과정에서 발생하는 배출량은 '0'가 되어 각 요인에 의한 배출량은 모두 '0'이다(아래의 변수값의 변동에서 $\sum_j M(*)$ 의 3부문 값이 '0'로 나타나는 것으로 알 수 있다).⁹⁾

동 기간중 배출계수(f)는 1, 4, 5, 7 부문에서 감소하였고(<표 8> 참조), 이 결과로 배출계수 변동에 의한 배출량도 1, 4, 5, 7 부문에서 각각 감소하였다(<표 7>의 배출계수 변동 참조). 레온티에프 역행렬 계수는 7부문을 제외한 모든 부문에서 모두 감소하였고, 이 결과에 의한 배출량도 7부문을 제외하고는 모두 감소하였다. 최종수요품인 u 의 변화에서는 1부문의 u 변화와 배출량 변화($\sum_j \Delta C_{u,ij}$)가 반대 방향으로 나타났다. 즉, 1부문의 최종수요품은 동 기간중 0.023에서 0.027로 0.0041 증가하였으나 최종 수요품 변동 요인에 의한 배출량 변화는 -135로 감소한 것으로 계산되었다.

9) 앞에서 밝힌 바와 같이 MRCI 방법이 변수값에 '0'와 음이 존재하는 경우에도 요인분해가 가능하다는 것을 제시하기 위해 광업(2), 원유(3), 석유·석탄·도시가스업(6)을 분리하여 편의상 7부문으로 분류하였다. 이 결과 <그림 3>에서 보면 광업(2), 원유(3), 석유·석탄·도시가스업(6)의 배출량 요인별 변화는 다른 부문에 비하여 상대적으로 그 크기가 미미하게 나타나고 있다. 그러나 산업부문을 확대할 경우 그 변화값은 다른 산업에 비해 상대적으로 다르게 나타날 수 있다.

이러한 결과는 <표 4>의 LMDI 방식에서도 발생한 것이다. 즉, 이 경우는 변화율이 상대적으로 적을 경우 다른 요인의 작용에 의해 부호가 달리 나올 가능성이 있음을 의미한다.

IV. 결 론

본 연구는 환경오염 요인의 분해 방법에 대한 새로운 방식으로 평균 변화율 지수를 소개하기 위한 것이다. 이 지수는 환경산업연관분석 모형을 이용하여 배출 요인을 규명할 때 라스파이레스식이나 단순평균지수에서 발생하는 오차를 남기지 않는데 그 의의가 있다. 따라서 이 지수는 산업연관분석을 이용한 환경오염 문제의 요인을 분석하고 환경규제가 산업에 대한 영향을 분석하는데 편리한 지수로 이용할 수 있을 것이다.

로그 평균을 이용하는 LMDI는 오차를 발생하지 않는다는 점에서 동일한 효과를 지니고 있으나 음(-)의 값을 지닌 변수가 있을 경우에는 사용할 수 없다는 한계가 있다. 그러나 여기서 제시한 평균 변화율지수는 데이터 집합에 음의 값을 지닌 변수가 존재하더라도 적용할 수 있다는 이점이 있다. 환경산업연관모형을 이용한 요인분해에서 다양한 산업분류를 이용하여 분석한 결과 여기서 사용한 다섯 종류의 지수 중에서 MRCI의 이용 범위가 가장 넓으며 다음이 LMDI, SADI(II), SADI(I), LI의 순으로 나타났다.

MRCI나 LMDI는 해당요인 증감률의 가중치를 계산하는 방식에서 유사한 면이 있다. 가중치의 계산에서 MRCI는 가중치의 분모를 두 기간 관측치의 평균 변화율로 계산하는 반면에 LMDI는 두 기간 관측치의 로그값을 취한 것이다. 따라서 두 방식의 계산에서 예외적으로 특정 기간 관측치의 값이 '0'가 되면 그 값의 로그값이 무한대가 되거나(LMDI), 분모를 '0'로 만들어 분수값은 무한대(MRCI)가 되고 이에 오류를 발생시킬 가능성이 있다. 따라서 이 지수를 환경산업연관분석에 이용할 경우 데이터의 특이값에 유의할 필요가 있다.

부 록

부문 분류에 의한 데이터 값은 다음과 같다.

1) 7부문 분류

$$f_0 = \{0.000080 \quad 0.000101 \quad 0.000000 \quad 0.000055 \quad 0.000189 \quad 0.000148 \quad 0.000108\}$$

$$f_t = \{0.000073 \quad 0.000133 \quad 0.000000 \quad 0.000043 \quad 0.000147 \quad 0.000193 \quad 0.000071\}$$

$$D_0 = \begin{pmatrix} 1.143 & 0.035 & 0.000 & 0.362 & 0.030 & 0.008 & 0.034 \\ 0.010 & 1.014 & 0.000 & 0.017 & 0.056 & 0.135 & 0.018 \\ 0.019 & 0.024 & 1.000 & 0.022 & 0.042 & 0.594 & 0.027 \\ 0.183 & 0.057 & 0.000 & 1.519 & 0.089 & 0.021 & 0.115 \\ 0.248 & 0.370 & 0.000 & 0.497 & 2.179 & 0.161 & 0.408 \\ 0.034 & 0.044 & 0.000 & 0.041 & 0.076 & 1.082 & 0.049 \\ 0.163 & 0.237 & 0.000 & 0.329 & 0.360 & 0.132 & 1.361 \end{pmatrix}$$

$$D_t = \begin{pmatrix} 1.086 & 0.011 & 0.000 & 0.274 & 0.019 & 0.003 & 0.025 \\ 0.006 & 1.008 & 0.000 & 0.011 & 0.038 & 0.049 & 0.011 \\ 0.015 & 0.023 & 1.000 & 0.017 & 0.033 & 0.499 & 0.019 \\ 0.189 & 0.037 & 0.000 & 1.492 & 0.071 & 0.013 & 0.098 \\ 0.255 & 0.295 & 0.000 & 0.432 & 2.116 & 0.122 & 0.371 \\ 0.033 & 0.048 & 0.000 & 0.037 & 0.070 & 1.061 & 0.041 \\ 0.210 & 0.280 & 0.000 & 0.351 & 0.365 & 0.111 & 1.404 \end{pmatrix}$$

$$u_0 = \begin{pmatrix} 0.023 \\ -0.012 \\ -0.029 \\ 0.192 \\ 0.182 \\ -0.001 \\ 0.645 \end{pmatrix} \quad u_t = \begin{pmatrix} 0.027 \\ -0.009 \\ -0.026 \\ 0.127 \\ 0.224 \\ 0.008 \\ 0.649 \end{pmatrix}$$

$$y_0 = 178,317,431$$

$$y_t = 375,802,932$$

2) 4부문 분류

$$f_0 = \{0.000080 \quad 0.000055 \quad 0.000185 \quad 0.000108\}$$

$$f_t = \{0.000073 \quad 0.000043 \quad 0.000150 \quad 0.000071\}$$

$$D_0 = \begin{pmatrix} 0.144 & 0.363 & 0.030 & 0.035 \\ 0.185 & 1.522 & 0.092 & 0.118 \\ 0.337 & 0.617 & 2.471 & 0.543 \\ 0.171 & 0.339 & 0.378 & 1.373 \end{pmatrix}$$

$$D_t = \begin{pmatrix} 1.086 & 0.275 & 0.020 & 0.026 \\ 0.190 & 1.493 & 0.072 & 0.099 \\ 0.331 & 0.525 & 2.323 & 0.471 \\ 0.218 & 0.358 & 0.373 & 1.413 \end{pmatrix}$$

$$u_0 = \begin{pmatrix} 0.023 \\ 0.192 \\ 0.140 \\ 0.645 \end{pmatrix} \quad u_t = \begin{pmatrix} 0.027 \\ 0.127 \\ 0.197 \\ 0.649 \end{pmatrix}$$

$$y_0 = 178,317,431$$

$$y_t = 375,802,932$$

◎ 참고 문헌 ◎

1. 에너지경제연구원, "후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구", 1997, pp. 42~43.
2. 鄭賢湜 · 金有培 · 李海春, "環境規制와 韓國製造業의 構造變化", 「資源經濟學會誌」, 第4卷 第2號, 한국자원경제학회, 1995, pp. 307~344.
3. Ang, B. W., Zhang, F. Q. and Ki-Hong Choi, "Factorizing Changes in Energy and Environmental Indicators through Decomposition," *Energy*, Vol. 23, No. 6, 1998, pp. 489~495.
4. Chung Hyun-Sik, "Industrial Structure and Source of Carbon Dioxide Emissions in East

평균 변화율지수에 의한 CO₂ 배출요인 분해방법

- Asia: Estimation and Comparison," *Energy and Environment*, Vol. 9, No. 5, 1998.
5. Chung Hyun-Sik and Hae-Chun Rhee, "Emission and Transmission of Carbon Dioxide via International Trade: The Case of Japan and Korea," 국제경제학회 동계 학술발표대회 논문집, 1999, pp. 191~214.
6. Proops John L. R. *et al.*, *Reducing CO₂ Emissions*, Springer-Verlag, 1993, pp. 59~63.

ABSTRACT

Application of Mean Rate-of-Change Index to the
Decomposition of Carbon Dioxide Emissions

Hyun-Sik Chung · Hae-Chun Rhee

This paper introduces a new method to estimate and decompose sources of carbon dioxide emissions using an input-output model with decomposition method free of residual usually associated with this kind of analysis. This method is different from others, using what we call 'mean rate-of-change index(MRCI)' for weights of the decomposed terms. Ang *et al.*(1998) asserted that logarithmic mean divisia index (LMDI) is superior to Laspeyres index(LI) or simple average divisia index(SADI) since it reduces residual to zero. We claim that our method is an improvement over the other methods because it enables residual free decomposition even when data contain negative values, the case which LMDI cannot handle. We demonstrate by way of showing some examples that our method is superior to LI, SADI(Proops, 1993 and Chung, 1998) or LMDI(Ang *et al.*, 1998).