



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

경제학 석사학위 논문

국내 에너지 소비량 및 이산화탄소
배출량에 대한 분해분석

- LMDI 방법론을 사용하여 -

2013년 2월

서울대학교 대학원

협동과정 기술경영경제정책전공

이 범 준

국내 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량에 대한 분해분석

:LMDI 방법론을 사용하여

지도교수 이종수

이 논문을 경제학석사학위 논문으로 제출함

2013년 1월

서울대학교 대학원
협동과정 기술경영경제정책전공
이 범 준

이범준의 경제학석사학위 논문을 인준함

2013년 2월

위원장 이 정 동 (인)

부위원장 이 종 수 (인)

위원 조 영 상 (인)

초 록

고유가 시대의 지속 등 국내외 에너지 상황과 이산화탄소 배출량의 감소를 위한 세계적인 추세는 에너지 및 이산화탄소의 절감에 대한 연구의 필요성을 더욱 커지게 하고 있다. 또한, 이에 대한 사회적 합의와 정책의 목표 설정을 위해서는 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량의 변화 요인에 대한 파악이 선행되어야 할 것이다. 본 연구에서는 국내 산업과 서비스업 및 가정, 자가용 분야의 에너지 소비량의 변화와 이산화탄소 배출량의 변화에 대하여 LMDI(Log Mean Divisia Index) 분해분석 방법론을 사용하여 요인 분해분석을 하였다. 2001년부터 2010년까지 국내의 산업과 서비스업, 가정, 자가용 등 총 30여 분야에서 소비된 에너지 변화를 생산효과, 구조효과, 집약도효과 등 3가지의 요인으로 분해하였고, 이산화탄소의 변화를 생산효과, 구조효과, 집약도효과, 에너지믹스효과, 계수효과의 5가지 요인으로 분해하여 분석하였다.

에너지 소비의 변화 요인을 분석한 결과를 보면, 제조업 분야의 생산효과로 인한 에너지 소비의 증가가 구조효과와 집약도효과로 인해 일정 부분 상쇄되었지만, 서비스업 분야는 상쇄되지 않아, 해당 분야의 에너지 효율의 개선이 필요하다고 판단된다. 또한 2007년부터 에너지 효율이 악화되고 있는 것으로 보인다. 이산화탄소 배출 역시 증가하는 추세로, 에너지 소비와 비슷한 경향을 보이고 있다. 따라서 이는 적극적인 관련

기술의 개발이 고려되어야 함을 의미한다. 또한 발전 분야에 의한 이산화탄소 배출량의 증가 역시 주요한 고려 사항 중의 하나가 되어야 할 것이다.

주요어 : LMDI, 에너지 지수분해분석, 이산화탄소 지수분해분석, 에너지집약도, 에너지믹스

학 번 : 2011-21152

목 차

초 목	iii
목 차	v
표 목차	vii
그림 목차	viii
1. 서론	1
2. 선행연구	4
2.1 지수분해분석	4
2.2 에너지 소비량 변화의 분해분석	6
2.3 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석	9
3. 국내 에너지 소비 및 이산화탄소 배출 현황	13
3.1 분야별 국내 생산량 비중	13
3.2 분야별 국내 에너지 소비량 비중	15
4. 연구 방법론	16
4.1 방법론	16
4.1.1 지수분해분석과 각종 지수	16
4.1.2 LMDI 방법론	19
4.2 분석 범위 및 자료	25
5. 분석 결과	28
5.1 에너지 소비량 변화	28

5.1.1	전체 에너지 소비량 변화의 분해분석 결과.....	28
5.1.2	분야별 에너지 소비량의 분해분석 결과.....	30
5.1.3	발전 분야를 제외한 전체 에너지 소비량 변화의 분해분석 결과	37
5.1.4	에너지 소비량의 분해분석 정리.....	41
5.2	이산화탄소 배출량 변화.....	42
5.2.1	전체 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석 결과	42
5.2.2	발전 분야의 이산화탄소 비례배분 시 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석 결과	54
5.2.3	이산화탄소 배출량 변화율에 대한 회귀분석	63
5.2.4	이산화탄소 배출량의 분해분석 정리	65
6.	결론 및 한계.....	67
	참 고 문 헌.....	70
	Abstract.....	74

표 목차

[표 1] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 제외)	28
[표 2] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(2007~2010)	30
[표 3] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 및 발전 제외)	38
[표 4] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(2007~2010; 발전 제외)	39
[표 5] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(2007~2010)	40
[표 6] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 포함)	44
[표 7] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과(2007~2010).....	46
[표 8] 에너지믹스효과 중 석유·석탄·가스에 의한 효과.....	48
[표 9] 계수효과 중 석유·석탄·가스에 의한 효과.....	51
[표 10] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과 (원료용 에너지 제외 및 발전 분야의 이산화탄소 배분 이전).....	55
[표 11] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과 (원료용 에너지 제외 및 발전 분야의 이산화탄소 배분 이후).....	58
[표 12] 회귀분석에 사용된 변수의 종류	63
[표 13] 회귀분석 결과.....	64

그림 목차

[그림 1] 국내 전 분야별 생산량 비중 추이.....	13
[그림 2] 국내 제조업 분야의 생산량 비중 추이.....	14
[그림 3] 국내 전 분야별 에너지 소비량 비중 추이.....	15
[그림 4] 에너지 분해 분석에 추천되는 방법론.....	18
[그림 5] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 제외) ...	29
[그림 6] 분야별 에너지 소비량의 승법분해분석 결과(2001~2010).....	31
[그림 7] 분야별 에너지 소비량의 승법분해분석 결과(2001~2010; 발전 분야 제외)	33
[그림 8] 분야별 에너지 소비량의 승법분해분석 결과(2007~2010).....	35
[그림 9] 분야별 에너지 소비량의 승법분해분석 결과(2007~2010; 발전 분야 제외)	36
[그림 10] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 및 발전 제외)	38
[그림 11] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 포함)	45
[그림 12] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과.....	56
[그림 13] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과.....	59
[그림 14] 2001~2010 에너지원별 발전 구성비	61

1. 서론

2005년에 정식 발효된 교토 의정서에서 우리 나라는 개발 도상국으로 분류되어 선진국보다 온실 가스의 의무 감축 부담이 낮아졌지만, 기후 변화가 국제 무대의 주요 이슈로 부상하고, 포스트 교토 체제 협상이 진전됨에 따라 에너지와 온실 가스 관리의 중요성이 부각되기 시작하였다. 또한 녹색성장의 기조와 함께 2010년 서울 G20 정상회의에서 합의된 에너지와 기후 관련 선언 및 고유가 시대의 지속은 에너지와 온실 가스의 관리가 국가 정책의 한 축으로 등장하는 계기가 되었다. 이에 따라서 우리 나라는 2008년 『제 1차 국가에너지기본계획』을 수립하여, 에너지의 안정적 공급과 자립, 에너지 효율성 및 저탄소 녹색성장에 기초한 포괄적인 비전을 수립하였다.

그러나 이러한 환경의 변화 및 정책적 의지에도 불구하고 국내 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량은 최근에 다시 증가하는 추세로 변화하고 있다. 고유가로 인하여 상대적으로 저렴한 가격으로 사용할 수 있는 전력의 수요가 급증하여 해마다 여름과 겨울에 전력수급관리에 비상이 걸리고 있고, 이는 다시 석탄과 LNG 발전의 증가로 이어지고 있다. 또한 유럽 공동위원회에서 발간한 2011년도 세계 이산화탄소 배출의 장기 추세 보고서(PBL, 2011)에 의하면 2010년 우리 나라의 이산화탄소 배출량은 세계 7위 수준이며, 증가 속도 또한 3위 수준으로 상당히 높은 결과를 기록하고 있다.

따라서 본 연구에서는 LMDI(Log Mean Divisia Index) 분해분석 방법론을 사용하여, 에너지 소비량의 변화와 이산화탄소 배출량의 변화 요인에 대해서 산업 구조와 에너지 믹스, 에너지 효율 등에 대한 분해분석을 실시하였다. 기존 연구들은 제조업 분야 또는 기타 산업 분야를 분석 대상으로 초점을 맞추는 경우가 많았으나, 본 연구에서는 국내 에너지 소비 및 이산화탄소 배출 전(全) 분야를 분석 대상으로 하였다. 분석에 사용한 에너지 소비량 통계에 있어서, 원료용 에너지원의 소비와 연료용 에너지원의 소비를 분리하여, 보다 정확한 이산화탄소 배출량의 산정 및 분석을 수행할 수 있었다. 또한 가정과 자가용 분야의 집약도효과를 보다 정확하게 분석하기 위하여, 각 분야의 특성에 맞게 통화 단위가 아닌 물리적 단위를 생산량으로 사용하였다.

지식경제부(舊 산업자원부)와 에너지경제연구원에서 3년마다 실시하는 『에너지총조사 보고서』에서 수집한 자료를 국내 에너지 소비 자료로 사용하였고, 30여 분야에서 에너지 소비에 따라서 배출된 이산화탄소의 양을 1966년 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 가이드라인에 맞춰서 산정 및 분석하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 지수분해분석과 지수분해분석 방법론을 사용하여 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량의 변화를 분석한 기존 연구들의 고찰을 통해, 본 연구와 기존 연구의 차이점을 검토하고자 한다. 다음으로는 국내 에너지 소비 및 이산화탄소 배출 현황을 살펴봄으로써 문제점을 파악한다. 그리고 본 연구에서 사용할 지수분해분석 방법론과

분석에 사용한 자료를 검토한다. 마지막으로 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량의 분해 결과를 분석하고, 논의할 점과 본 연구의 한계를 검토하고 본 연구를 마무리한다.

2. 선행연구

에너지 소비량과 이산화탄소 배출량의 변화에 대한 연구는 분석 대상과 기간, 그리고 분석을 위한 방법론에 따라서 매우 다양하게 이루어지고 있다. 시간에 따라 변화하는 경제·환경·기타 사회경제적 지표를 분석하기 위해서는 이러한 변화를 기초하는 요인에 대한 가늠이 필수적이고(Hoekstra & van der Bergh, 2003) 분석 대상을 여러 요인으로 분해하여 분석하는 방법론으로는 투입산출 구조분해분석(SDA; Structural Decomposition Analysis) 방법론과 지수분해분석(IDA; Index Decomposition Analysis) 방법론이 광범위하게 받아들여지고 있다(Balezentis et al., 2011). 이 중에서 에너지 및 에너지와 연관된 기체의 배출에 대한 분석에는 여러 장점에 기반하여 지수분해분석이 가장 널리 사용되고 있다(Ang, 2004). 따라서 본 연구에서는 지수분해분석으로 국내 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량에 대한 분석을 수행하고자 하며, 따라서 이번 장에서는 지수분해분석과 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량에 대한 선행 연구를 살펴보고자 한다.

2.1 지수분해분석

Ang (2004)는 1970년대 이래로 에너지 및 에너지와 연관된 여러 분석 대상에 대한 지수분해분석 방법론이 개발되었음을 밝히면서, 연구된 방법론 중에서 Laspeyres 지수를 사용한 분해분석 방법론과 Divisia 지수를 사용한

분해분석 방법론이 가장 널리 사용되고 있다고 정리하고 있다. Laspeyres 지수를 사용한 방법론 중에서 잔차(residual)가 남지 않는 완벽한 분해를 제공하는 방법론은 modified Fisher ideal 지수 방법론과 Shapley 방법론 등이 있으며, Divisia 지수를 사용한 방법론 중에서는 LMDI 방법론 (Ang et al., 1998)과 AMDI 방법론 등이 있다.

Ang (2005)는 잔차를 남기지 않고, 가법적 분해 방법과 승법적 분해 방법 사이의 연관 관계가 뚜렷한 LMDI 방법론으로 에너지 소비량의 변화와 이산화탄소 배출량의 변화 요인을 각각 3가지(생산효과, 구조효과, 집약도효과)와 5가지(생산효과, 구조효과, 집약도효과, 에너지믹스효과, 배출계수효과)로 분해하는 방법을 제시하였다.

그러나 LMDI 방법론이 잔차를 만들지 않는 완벽한 분해 방법론이더라도, 사용하는 자료에 0이 포함되어 있으면 분해가 되지 않는다. 특히 이산화탄소 배출량 분해분석에 사용되는 자료에 0이 포함되어 있는 경우가 많은데, 수력·원자력·신재생에너지·전력(발전의 경우 이산화탄소는 배출되지만 전력 자체에서는 이산화탄소가 배출되지 않음) 등의 사용 시에는 이산화탄소가 배출되지 않기 때문에 해당 에너지원의 이산화탄소 배출량 항목은 0이 되게 된다. 로그함수는 0에서 정의가 되지 않기 때문에 해당 경우에는 로그평균을 사용하는 LMDI 방법론의 적용이 어려울 수가 있으며, Ang and Choi (1997)과 Choi and Ang (2001), Choi and Ang (2002)은 0 대신 매우 작은 수 δ 를 대입함으로써 이러한 문제를 해결하였다. Ang and Liu (2007)은 자료에 0이 포함되어 있는 경우를 0 값이 다음에도 0으로

유지되는 경우(Type I)와 양의 값이 0으로 변화하거나 또는 0 값이 양의 값으로 변화하는 경우(Type II)의 두 가지로 분류하였다. 그리고 Type I의 변화가 많을 때는 자료 중에 0 값의 비중이 높아도 $\delta = 10^{-20}$ 을 사용하는 것이 가장 만족스러운 분해 결과를 보여주고, Type II의 변화가 많을 때는 $\delta = 10^{-100}$ 의 사용을 추천한다고 정리하였다.

2.2 에너지 소비량 변화의 분해분석

에너지 소비량 변화의 분해분석 연구는 일정 기간 동안 산업 분야의 에너지 소비를 분석하는 비중이 높았다.

Zhang (2003)은 1990년대 중국의 29개 산업군이 소비한 에너지에 대하여 분해분석을 시도하였다. 대부분의 저소득국가는 에너지소비량의 증가율이 GDP 성장률보다 높지만 중국만큼은 반대라는 점을 특기하면서, 1990년대 중국의 에너지 소비량 감소가 에너지를 덜 소비하는 방향으로의 구조 변화에 의한 것인지, 또는 에너지 효율이 개선에 따른 것인지를 분석하였다. 기존의 Laspeyres 방법론의 잔차 문제를 일정 부분 해결한 Park (1992)이 제안한 방법론을 약간 수정한 새로운 방법론을 제안하였고, 해당 방법론으로 분석을 한 결과 1990~1997년의 기간 동안 감소한 중국 산업 분야의 에너지 소비량 감소는 실제 에너지 효율이 개선됨에 따라 발생하였으며, 4개의 주요 산업군(금속, 비금속, 화학, 기계)에서 주로 감소하였음을 밝히고 있다.

김화영과 김지효(2008)은 1981~2006년의 기간 동안 국내 농림어업, 광업, 제조업, 건설업 등 4개 분야의 에너지유 소비 변화 요인을 구조효과와 집약도효과로 분해하였다. LMDI I, LMDI II, AMDI, Laspeyres, Paasche, Fisher, Marshall-Edgeworth 등의 7개 방법론을 모두 사용하였고, 기준시점 역시 고정 및 변경 방식을 모두 사용하여 분석하였다. 4가지 산업 분야에 대한 초점을 맞추었고, 7가지 분해 방법론의 적용과 기준시점 방식에 대한 해석에 의의가 있다.

김현경 외 2인(2004)은 광업, 건설업, 제조업의 에너지 소비량 변화 요인을 석유, 석탄, 전력의 에너지원별로 LMDI 방법론을 사용하여 분석하였다. 1981~2002년의 분석 기간 동안 생산 효과와 구조 효과는 에너지 소비량을 증가시키는 요인으로 작용하였고, 집약도 효과는 에너지 소비량을 감소시키는 요인으로 작용한 것을 보여 주었다.

나인강과 이성근(2008)은 1990~2005년 제조업 부문의 에너지유 소비량을 LMDI 방법론을 사용하여 분해분석을 수행하였다. 또한 이러한 에너지 효율 변화의 측정은 그 변화 요인을 생산 효과, 구조 효과, 집약도 효과의 3가지로 제한한다는 점과 요인을 경험적 추론을 통해 해석한다는 점, 그리고 에너지 집약도 변화의 진폭이 크게 나타났다는 점 등 3가지의 이유로 한계가 있다고 밝히면서, 이를 보완하고자 에너지 집약도 효과를 부가가치와 에너지 가격의 추세 등을 독립변수로 사용하여 추정하였다. 그러나 에너지 집약도에 영향을 주는 관련 기술의 수준 등은 변수에서 누락되었으므로, 추정 결과는 한계가 있음을 밝히면서, 전혀 상이한 두 가지 방법론을 연결시키려는

시도였다고 특기하고 있다.

진상현과 황인창(2009)은 전국 16개 지방자치단체의 에너지 소비량 변화를 집약도 효과, 일인당 생산량 효과, 인구 효과의 3가지 요인으로 분해하여 LMDI 방법론을 사용하여 분석하였다. 광역시 지역과 도 지역의 에너지 소비 증가율은 각각 감소하거나 증가하는 상반된 결과를 보여 주었고, 광역시 지역과 달리 도 지역의 집약도 효과는 그 크기가 작았다. 따라서 각 지역별로 에너지 저소비형 산업구조로의 전환과, 에너지 효율 개선 사업을 동시에 추진해야 한다고 제안하고 있다.

이 외에도 다양한 국가 및 시기별로 에너지 소비량 변화에 대한 분해분석이 수행되었다. Balezentis, Balezentis, and Streimikiene (2011)은 리투아니아의 여러 산업 및 서비스 분야에 대해서 LMDI 방법론을 사용하여 분석하였고, 김수이와 김현석(2011)은 국내 제조업의 에너지 소비를 LMDI 방법론을 사용하여 분석하였다. 그러나 분석 대상은 농림어업과 광업, 제조업, 서비스업 등으로 한정되어 있었고, 김수이와 김현석(2011)은 분석 대상을 제조업으로 한정할 이유로 제조업 분야가 에너지 관련 자료가 산업별로 잘 구축되어 있기 때문이라고 밝히고 있다.

산업을 아닌 다른 분야의 에너지 소비량 변화 요인에 대한 연구도 수행되었다. 나인강과 이성근(2010)은 가정 분야의 에너지 소비량 변화 요인을 활동 효과, 구조 효과, 집약도 효과의 3가지 효과로 분해하여 해석을 시도하였고, 난방, 온수, 취사, 조명, 전기기기 등의 각 용도별 효과는 IEA에서 정의하고 있는 방식을 따랐다. 이재민과 한상용(2011)은 국내

운수업별 에너지 소비량의 변화와 에너지 집약도의 변화를 Zhang (2003)이 제시한 변형된 Laspeyres 지수 방법론을 사용하여 분해분석 하였다.

지수분해분석이 아닌 다른 분석을 시도한 연구 역시 수행되었다. 김진수와 허은녕(2005)은 1980~2000년 국내 산업부문의 에너지 소비량 변화 요인을 분석하기 위하여, 산업연관표를 활용하는 구조분해분석 방법론을 사용하였다. 분석 결과 대표적인 에너지 다소비 업종인 1차금속, 화학제품 제조업 등의 분야에서 에너지 소비구조를 개선하기 위한 노력을 하였다고 보여주며, 산업별로 에너지 소비량의 변화 요인이 다름을 보여주었다. 김윤경과 장운정(2011) 역시 산업연관표를 사용하여 국내 76개 산업의 에너지 소비량 변화를 구조분해분석을 통해 분석하였다.

이상과 같이 에너지 소비량 변화의 분해분석 연구를 살펴 보면 에너지를 소비하는 전 분야를 분석 대상으로 하는 연구가 미흡하고, 이산화탄소를 많이 배출하며 에너지 소비량이 많은 전력 생산 분야에 대한 지적 역시 국내 연구에서는 많지 않음을 알 수 있다.

2.3 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석

이산화탄소 배출량 변화의 분해분석 연구는 Ang (2005)을 비롯한 많은 연구자들이 채택해 온 생산효과, 구조효과, 집약도효과, 에너지믹스효과, 배출계수효과의 변화 요인 이외에도 여러 가지 요인들을 적용하여 이루어졌음을 볼 수 있었다.

Liu et al. (2007)은 중국의 36개 산업 분야에서 배출된 이산화탄소의 양을 위의 5가지 요인으로 LMDI 방법론을 사용하여 분해분석 하였다. 제조업과 발전, 가스 생산 및 수도 사업 분야도 포함하였고, 분석 기간이 7년으로 짧은 만큼 배출계수의 변화는 없다고 가정하여 배출계수효과는 발전 분야에서만 나타난다고 설명하였다. 또한 발전 분야의 배출계수가 다른 국가들보다 월등히 높은 것을 보이면서, 발전 분야의 기술 개발 및 믹스 변화를 통한 이산화탄소 배출 감소의 필요성을 강조하고 있다. 김수이와 정경화(2011)는 국내 제조업 분야의 이산화탄소 배출 요인을 동일한 방법으로의 분해분석을 수행하였다.

각 분야의 생산량 자료를 통화 단위(USD, KRW 등)가 아닌 물리적 지수(physical index)를 사용한 연구도 특기할 만 하다. Oh et al. (2010)은 국내 이산화탄소 배출량의 변화를 에너지믹스효과, 집약도효과, 구조효과, 생산효과의 4가지 요인으로 LMDI 방법론을 사용하여 분해분석 하였다. 가정과 자가용 분야를 포함한 국내 이산화탄소 배출 전 분야를 분석 대상으로 하였고, 가정 분야의 생산량은 가구 수, 자가용 분야의 생산량은 이동 거리(passenger-km+ton-km)를 GDP 대신 사용하였다. Diakoulaki et al. (2006)은 그리스의 주요 에너지 소비 분야의 이산화탄소 배출을 refined Laspeyres 방법론을 사용하여 생산효과, 집약도효과, 에너지믹스효과의 3가지 요인으로 분해분석 하였다. 모든 분야의 생산량을 활동량(activity measure)으로 측정하여, 에너지 생산 분야의 경우 GWh, 정유 분야의 경우 KTOE 등의 서로 상이한 단위를 생산량으로 사용하였고, 각 분야의 생산량을

가장 잘 표현해 줄 수 있는 단위를 사용하여 각 효과를 보다 잘 표현할 수 있었다.

이 외에도 Lee and Oh (2006)은 APEC 국가들의 이산화탄소 배출량 변화를 LMDI 방법론을 사용하여 분석하였는데, 배출계수, 총 에너지 소비 중 화석 연료의 비중, 에너지집약도, 인구당 GDP, 인구의 5가지 상이한 요인으로 분해하였다. 또한 Kwon (2005)는 영국 교통 분야의 이산화탄소 배출 요인을 IPAT 방법론을 사용하여 분해분석 하였다.

에너지 소비량 변화의 분해분석 연구와 마찬가지로, 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석을 위해 지수분해분석뿐만 아니라 구조분해분석을 사용한 연구도 수행되었다. 박준영과 허은영(1999)는 1990년과 1995년 국내 산업 분야의 이산화탄소 배출량 변화 요인을 구조분해분석을 통해 분석하였다. 원료용 에너지 소비량은 제외하였고, 배출 계수 효과와 에너지 집약도 효과는 이산화탄소 배출을 감소시키는 요인으로 작용하였음을 보여 주었다. 최한주와 이기훈(2006)은 산업별 에너지 소비에서 기인한 이산화탄소뿐만 아니라 생산 과정에서 투입된 원재료에서 배출된 이산화탄소의 간접적인 배출량까지 모두 고려하였다. 발전 분야를 제외한 국내 산업을 분석 대상으로 하였으며, 구조분해분석 방법을 사용하였다.

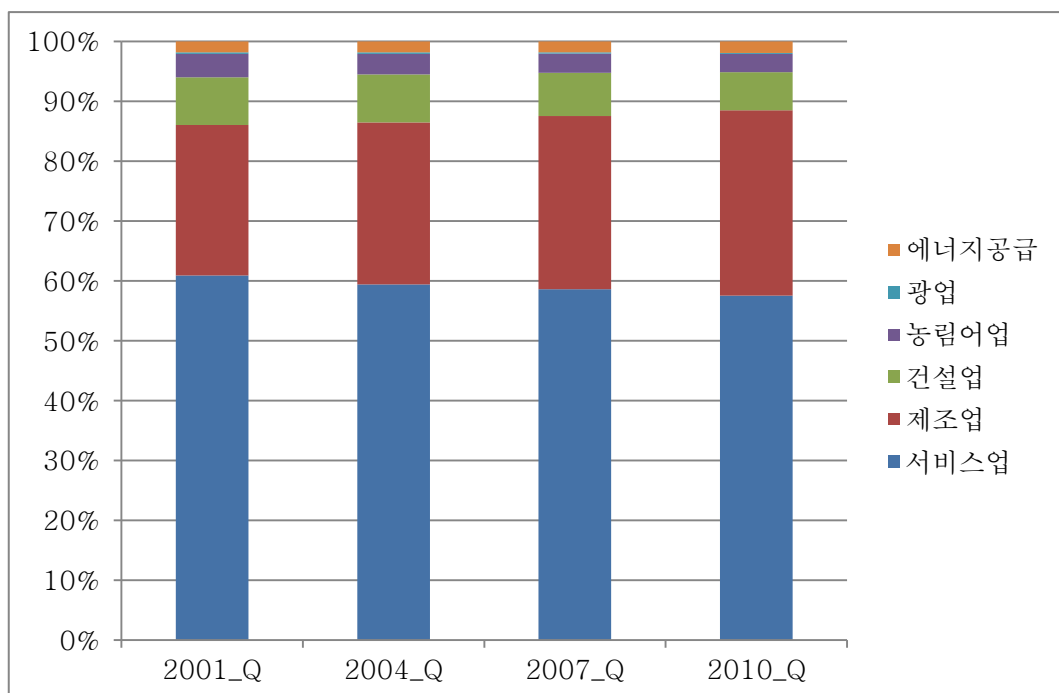
위와 같은 이산화탄소 배출량 변화의 국내외 분해분석 연구를 보면 분석 대상이 에너지 소비량 변화의 연구와 마찬가지로 제조업 또는 기타 산업에 초점을 맞추고 있는 점을 알 수 있다. 제조업만을 대상으로 하여 분석을 수행하였거나, 또는 서비스업을 분석 대상에 포함하여도 이에 대한 뚜렷한

연급이 드러나 있지 않다. 최근 서비스업 분야의 성장에 따라서 배출되는 이산화탄소의 양이 증가하는 만큼 이에 대한 분석이 필요하다고 할 수 있다. 그리고, 화석 연료를 연소가 아닌 원료용으로 사용하는 경우에 대한 분석이 미흡하다고 할 수 있다. 마지막으로, 발전 분야는 이산화탄소 배출량이 매우 많은 분야임에도 불구하고 국내 연구에서는 이를 중점적으로 다루고 있는 연구가 미흡하였고, 따라서 소비되는 에너지원의 종류와 발전 효율 등에 기인하는 발전 분야의 이산화탄소 배출량 변화 요인에 대한 분석 역시 필요하다고 판단된다.

3. 국내 에너지 소비 및 이산화탄소 배출 현황

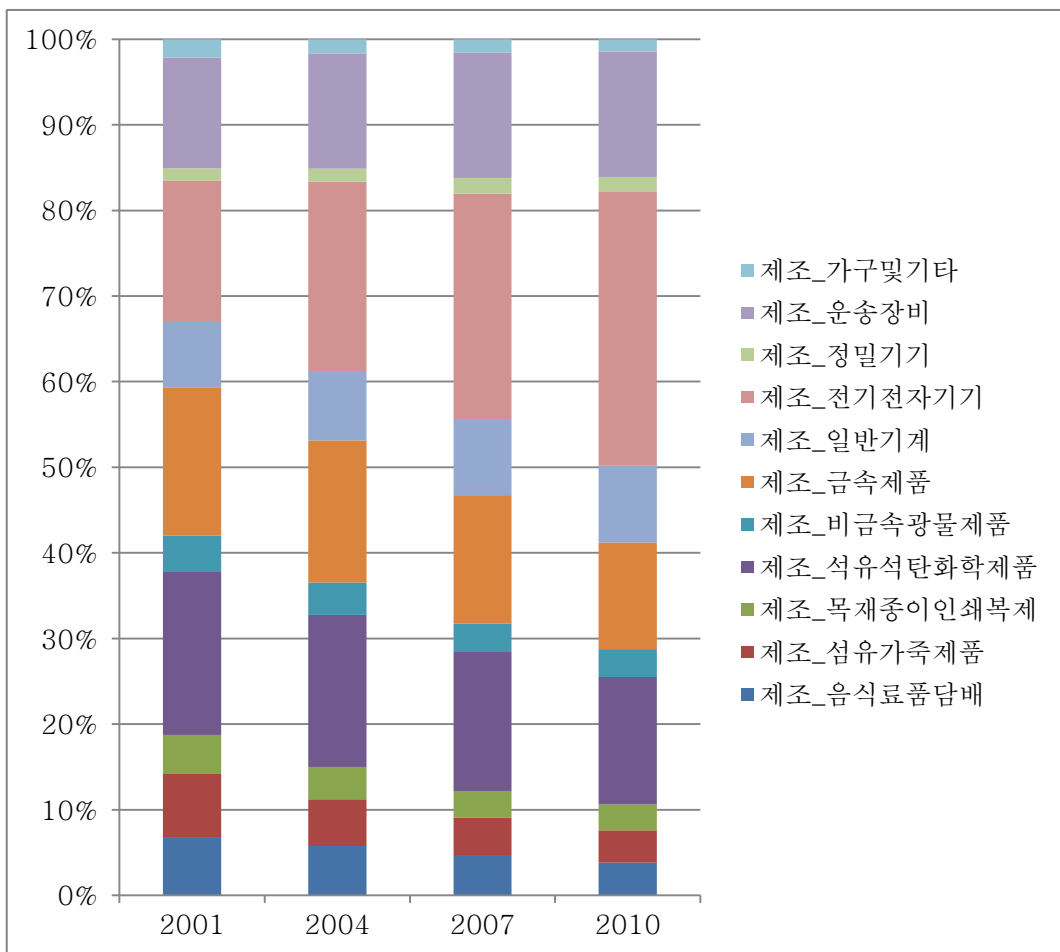
3.1 분야별 국내 생산량 비중

2001~2010년 국내 전 분야 생산 구조는 아래 [그림 1]와 같다. 국내 총생산 중에서 서비스업과 제조업이 차지하는 비중은 해당 기간동안 지속적으로 85% 이상을 차지하고 있다. 또한 제조업의 비중이 조금씩 감소하고 있는 점을 특기할 만 하다. 농림어업, 광업, 에너지생산 분야는 국내 총생산 중 차지하는 비중이 매우 적다.



[그림 1] 국내 전 분야별 생산량 비중 추이

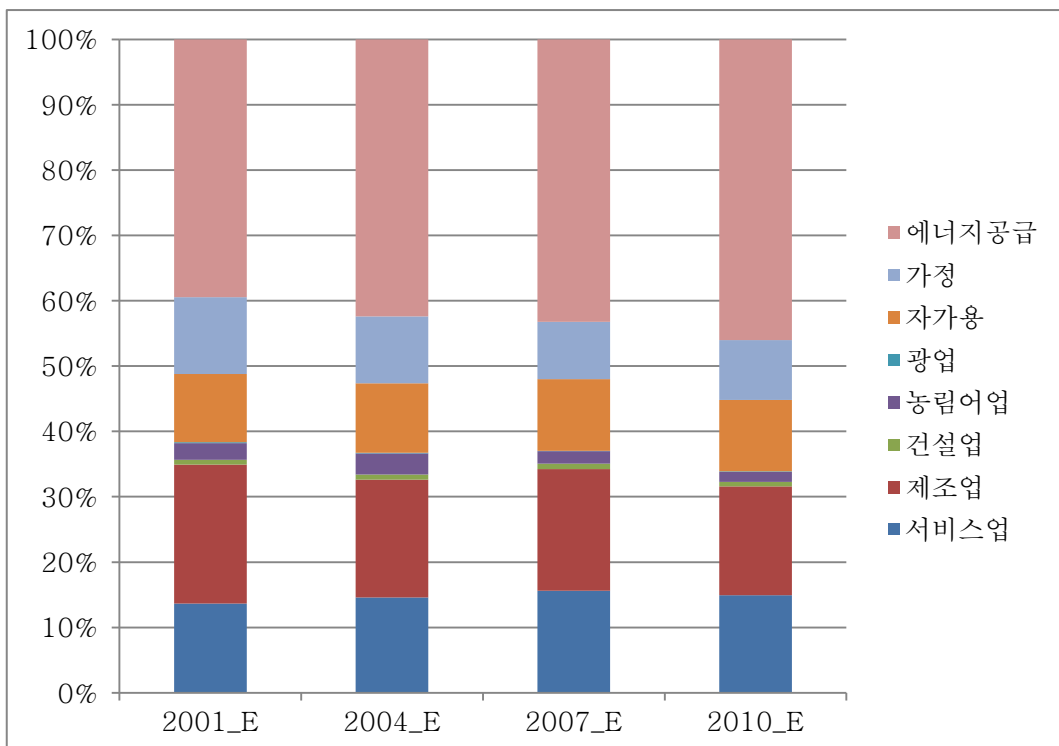
제조업 분야의 2001~2010년 생산량 비중은 아래 [그림 2]와 같다. 전기전자기기 제조분야의 비중이 10년 사이에 2배 가량 증가하였고, 금속제품 제조분야와 석유석탄화학제품 제조분야의 비중이 감소하였다. 금속제품 제조분야와 석유석탄화학제품 제조분야는 대표적인 에너지 다소비 업종 중의 하나임을 특기할 만 하다.



[그림 2] 국내 제조업 분야의 생산량 비중 추이

3.2 분야별 국내 에너지 소비량 비중

2001~2010년 국내 전 분야의 에너지 소비 구조는 아래 [그림 3]와 같다. 국내 전체 에너지 소비량 중에서 서비스업과 제조업이 차지하는 비중은 35%에서 32%로 지속적으로 감소하고 있다. 그러나 에너지공급(주로 전력 생산) 분야의 비중은 39%에서 46%로 상승하였는데, 에너지공급 분야가 국내 총생산에서 차지하는 비중이 2% 가량임을 비교하면 에너지 소비 비중이 매우 크다고 할 수 있다.



[그림 3] 국내 전 분야별 에너지 소비량 비중 추이

4. 연구 방법론

4.1 방법론

4.1.1 지수분해분석과 각종 지수

지수분해분석은 분석하고자 하는 대상을 여러 가지의 요인으로 분해한 이후, 분석 대상을 각 요인의 변화에 따라서 해석하는 방법론이다. 분석 대상은 여러 요인으로 분해할 수 있는 누적 자료가 가능하며, 1980년대부터 방법론의 유연성과 사용 용이성 등의 장점으로 인하여 에너지 수요 분석과 에너지와 연관된 가스의 배출 분석에 널리 사용되고 있다 (Oh et al., 2010). 1970년대 이래로 여러 에너지 연구자들이 구조적 변화와 에너지 집약도 변화 등에 의한 영향을 분석하기 위해 다양한 방법의 지수분해분석을 제시하였고, 분석 방법론의 여러 장점에 따라서 지수분해분석은 국가적 에너지 및 환경 이슈에 대한 정책을 설정하는 데 있어서 광범위하게 받아들여지는 분석 도구가 되었다 (Ang, 2004).

지수분해분석이 가장 많이 사용되는 연구 분야는 Ang (2004)에 따르면, 에너지 수요 공급 분석(Energy demand and supply), 에너지와 연관된 기체의 배출 분석(Energy-related gas emissions), 원료의 흐름 분석(Material flows and dematerialization), 에너지 효율성 추세 모니터링(National energy efficiency trend monitoring), 국가간 비교 분석(Cross-country comparisons)의 5가지 분야로 나눌 수 있다.

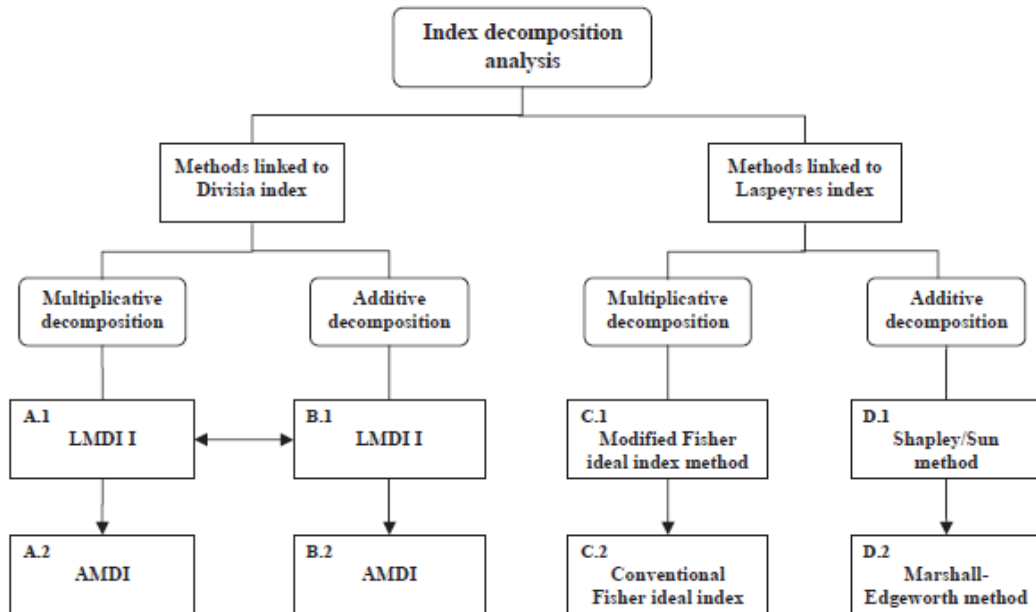
에너지 수요 공급 분석(Energy demand and supply)의 분야에서는

산업용 에너지 수요와 교통 및 가정용 에너지 수요의 분석, 발전의 연료 믹스 변화에 의한 영향 분석 등이 주로 이루어졌으며, 일반적으로 구조적 변화(structural change)와 에너지 집약도 변화에 의한 영향을 수량화하는데 지수분해분석이 사용되었다. 에너지와 연관된 기체의 배출 분석(Energy-related gas emissions) 분야에서는 주로 이산화탄소 배출에 대한 분석이 이루어졌으며, 원료의 흐름 분석(Material flows and dematerialization) 분야에서는 금속과 비금속 물질, 원료용 석유·석탄·천연가스 등에 대한 분석이 수행되었다. 에너지 효율성 추세의 감시(National energy efficiency trend monitoring) 측면에서는 미국, 캐나다, 뉴질랜드, 유럽 등지에서 에너지 효율성 지수 또는 국가의 에너지 효율성 감시 및 목표 설정의 목적으로 지수분해분석이 사용되었고, 국가간 비교 분석 분야(Cross-country comparisons)에서는 에너지 소비와 이산화탄소 배출 등에 영향을 주는 요소들을 국가 또는 지역 간에 비교하기 위해 지수분해분석이 사용되었다.

위와 같이 여러 분야에서 지수분해분석이 사용되고 있듯이, 지수분해분석에 사용되는 지수에 대해서도 다양한 연구와 지수 개발이 이루어졌다. 그 중에서도 에너지 관련 연구에서 가장 많이 사용되고 있는 지수는 Laspeyres 지수와 Divisia 지수이다. 그러나 각 지수마다, 또한 각 지수에 적용할 수 있는 분해 방법론들마다 장점 및 약점이 있기 때문에 어느 방법론이 가장 뛰어난지에 대한 논의가 연구자들 사이에서 활발히 이루어졌음에도 불구하고 아직 공통된 합의는 이루어지지 않았다.

Laspeyres 지수는 기준년도에 비해 변화된 비율을 계산하는 지수이며,

Divisia 지수는 로그 값의 변화를 계산하는 지수이다. Ang (2004)는 각 지수에 사용되는 대표적인 분해 방법론을 아래와 같이 보여주고 있다.



[그림 4] 에너지 분해 분석에 추천되는 방법론
그림 출처: Ang (2004)

각 지수에 사용되는 방법론은 승법적(Multiplicative) 분해와 가법적(Additive) 분해로 나누어진다. Laspeyres 지수에 사용되는 분해 방법론은 승법적 분해와 가법적 분해에 사용되는 방법론이 서로 상이하며, Divisia 지수에 사용되는 분해 방법론은 LMDI 또는 AMDI 방법론으로 동일한 점이 특징이다. 여러 방법론 중에서 하나를 선택하기 위해 연구자들은 이론적 기초의 우수성, 자료와의 적합성, 사용의 용이성, 결과 해석의 용이성 등에 초점을 맞추고 있다. Tornqvist et al. (1985)는 로그 값의 변화를

계산하는 Divisia 지수가 대칭적이며 가산적인 지수이고, 비율의 변화를 계산하는 Laspeyres 지수는 반대로 비대칭적·비가산적 지수임을 지적하였다. Ang (2004)는 위의 4가지 기준을 모두 충족하면서 잔차가 남지 않는 완벽한 분해를 제공하는 LMDI(Log Mean Divisia Index) 분해분석 방법론을 에너지 분석 등에 추천하고 있다.

4.1.2 LMDI 방법론

v 를 에너지 소비량 등의 누적 자료이고, 시간에 따라서 v 에 영향을 주는 n 개의 요인이 있다고 하면, 각각의 계량 가능한 변수는 x_1, x_2, \dots, x_n 으로 표현할 수 있다. i 개의 분야가 v 를 구성하고 있을 때, 각 분야의 관점에서 누적 자료 V_i 는 $V_i = x_{1,i}x_{2,i}\dots x_{n,i}$ 와 같이 구성되어 있을 것이며, 따라서 일반적인 지수분해분석의 식은 아래와 같다.

$$V = \sum_i V_i = \sum_i x_{1,i}x_{2,i}\dots x_{n,i} \dots \dots \dots \text{식 (1)}$$

0기에서부터 T기까지의 누적량은 $V^0 = \sum_i x_{1,i}^0 x_{2,i}^0 \dots x_{n,i}^0$ 과

$V^T = \sum_i x_{1,i}^T x_{2,i}^T \dots x_{n,i}^T$ 으로 쓸 수 있다.

승법분해와 가법분해의 분해식은 각각 아래와 같다.

$$D_{tot} = V^T / V^0 = D_{x1} D_{x2} \dots D_{xn} \quad \dots \dots \dots \text{식 (2)}$$

$$\Delta V_{tot} = V^T - V^0 = \Delta V_{x1} + \Delta V_{x2} + \dots + \Delta V_{xn} \quad \dots \dots \dots \text{식 (3)}$$

LMDI 방법론을 사용하면, 식 (2)와 식 (3)의 우변의 k 번째 요소의 영향을 계산하는 승법분해 및 가법분해의 일반식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} D_{xk} &= \exp \left(\sum_i \frac{L(V_i^T, V_i^0)}{L(V^T, V^0)} \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right) \right) \quad \dots \dots \dots \text{식 (4)} \\ &= \exp \left(\sum_i \frac{(V_i^T - V_i^0) / (\ln V_i^T - \ln V_i^0)}{(V^T - V^0) / (\ln V^T - \ln V^0)} \times \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right) \right) \end{aligned}$$

$$\Delta V_{xk} = \sum_i L(V_i^T, V_i^0) \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right) = \sum_i \frac{V_i^T - V_i^0}{\ln V_i^T - \ln V_i^0} \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right) \quad \dots \dots \text{식 (5)}$$

이 때, 함수 L 은 아래와 같다.

$$L(a, b) = \frac{(a - b)}{(\ln a - \ln b)} \quad \dots \dots \dots \text{식 (6)}$$

승법분해 및 가법분해의 결과는 아래와 같은 연관성을 가지고 있다.

$$\frac{\Delta V_{x_1}}{\ln D_{x_1}} = \frac{\Delta V_{x_2}}{\ln D_{x_2}} = \frac{\Delta V_{x_n}}{\ln D_{x_n}} \dots \dots \dots \text{식 (7)}$$

즉, 승법분해와 가법분해는 서로 같은 결과를 제공하고 있으며, 승법분해와 가법분해 중 어느 방법을 선택하는지는 결과를 해석하는 데 있어서 어느 방법이 용이한지에 달려있다 (Ang, 2004). 따라서 본 연구에서는 가법분해를 수행하였다.

누적 자료 v 를 구성하고 있는 요인은 연구의 목적에 따라서 다양하게 구성될 수 있으며, 본 연구에서는 Ang (2005)에서 적용한 요인들을 사용하였다.

본 연구에서는 에너지 소비량의 변화를 생산효과(activity effect), 구조효과(structure effect), 집약도효과(intensity effect)로 분해하였다. 생산효과는 전체 생산량이 변화함에 따라서 에너지 소비가 변화하는 요인으로, 총생산(GDP)이 증가하면 전체 에너지 소비는 증가하게 된다. 구조효과는 농림어업, 광업, 제조업, 서비스업, 전력생산 등의 각 분야가 총생산(GDP)에서의 비중이 변화함에 따라서 전체 에너지 소비량이 변화하는 요인으로, 단위 생산당 소비하는 에너지가 적은 분야로의 구조 변화가 발생하면 구조효과는 낮아지게 된다. 집약도효과는 각 분야에서 단위 생산당 소비하는 에너지가 변화함에 따라서 에너지 소비가 변화하는 요인으로, 에너지 효율의 개선에 따른 효과를 반영하고 있다.

에너지를 소비하는 각 분야를 i 라고 하고, 각 분야의 생산량을 Q_i , 각

분야에서 소비되는 에너지의 양을 E_i , 연구 대상의 전체 생산량과 전체 에너지 소비량을 각각 Q 와 E 로 표시하면, 전체 에너지 소비량 E 는 아래와 같이 분해될 수 있다.

$$E = \sum_i E_i = \sum_i Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{E} = \sum_i Q S_i I_i \quad \dots \dots \dots \text{식 (8)}$$

이 때 $Q(= \sum_i Q_i)$ 는 생산효과, $S_i(= Q_i / Q)$ 는 구조효과, $I_i(= E_i / Q_i)$ 는 집약도효과라고 할 수 있다. 생산효과(act), 구조효과(str), 집약도효과(ins)를 식 (3)과 같이 가법분해의 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\Delta E_{tot} = E^T - E^0 = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int} \quad \dots \dots \dots \text{식 (9)}$$

또한 가법분해의 LMDI 식은 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta E_{act} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \quad \dots \dots \dots \text{식 (10)}$$

$$\Delta E_{str} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \quad \dots \dots \dots \text{식 (11)}$$

$$\Delta E_{int} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \quad \dots \dots \dots \text{식 (12)}$$

이산화탄소 배출량의 변화는 생산효과(activity effect), 구조효과(structure effect), 집약도효과(intensity effect), 에너지믹스효과(energy-mix effect), 배출계수효과(emission-factor effect)로 분해하였다. 생산효과, 구조효과, 집약도효과는 에너지 소비량의 변화 분해와 동일한 요인이며, 에너지믹스효과는 각 분야에서 소비하는 에너지 중에서 특정 에너지원이 차지하는 비중의 변화에 따른 효과를 반영한다. 따라서 이산화탄소를 보다 적게 배출하는 에너지원의 비중이 높을수록 에너지믹스효과는 낮아지게 된다. 배출계수효과는 각 분야의 특정 에너지원이 단위량만큼 소비될 때 배출하는 이산화탄소의 양이 변화함에 따른 효과를 보여준다.

i , Q , Q_i , E , E_i 은 에너지 소비량의 분해시 사용된 의미와 같고, 각 에너지원을 j 라고 하면, 분야 i 에서 소비된 에너지원 j 의 소비량은 E_{ij} , 분야 i 에서 에너지원 j 의 소비에 따라 배출된 이산화탄소의 양을 C_{ij} , 분야 i 에서 배출된 이산화탄소의 양을 C_i 라고 표현한다. 따라서 전체 이산화탄소 배출량 C 는 아래와 같이 분해될 수 있다.

$$C = \sum_{ij} C_{ij} = \sum_{ij} Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{E} \frac{E_{ij}}{E_i} \frac{C_{ij}}{E_{ij}} = \sum_{ij} Q S_i I_i M_{ij} U_{ij} \dots \dots \dots \text{식 (13)}$$

이 때 $Q (= \sum_i Q_i)$ 는 생산효과, $S_i (= Q_i / Q)$ 는 구조효과, $I_i (= E_i / Q_i)$ 는 집약도효과, $M_{ij} (= E_{ij} / E_i)$ 는 에너지믹스효과, $U_{ij} (= C_{ij} / E_{ij})$ 는 배출계수효과라고 할 수 있다. 생산효과(act), 구조효과(str), 집약도효과(ins), 에너지믹스효과(mix), 배출계수효과(emf)를 식 (3)과 같이 가법분해의 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\Delta C_{tot} = C^T - C^0 = \Delta C_{act} + \Delta C_{str} + \Delta C_{int} + \Delta C_{mix} + \Delta C_{emf} \quad \dots \text{식 (14)}$$

또한 가법분해의 LMDI 식은 식 (5)와 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta C_{act} = \sum_i \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \quad \dots \text{식 (15)}$$

$$\Delta C_{str} = \sum_i \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \quad \dots \text{식 (16)}$$

$$\Delta C_{int} = \sum_i \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \quad \dots \text{식 (17)}$$

$$\Delta C_{mix} = \sum_i \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{M_{ij}^T}{M_{ij}^0} \right) \quad \dots \text{식 (18)}$$

$$\Delta C_{emf} = \sum_i \frac{C_{ij}^T - C_{ij}^0}{\ln C_{ij}^T - \ln C_{ij}^0} \ln \left(\frac{U_{ij}^T}{U_{ij}^0} \right) \quad \dots \text{식 (19)}$$

4.2 분석 범위 및 자료

본 연구의 분석 범위는 국내 산업과 전력 및 수도 생산, 가정, 자가용 등의 에너지를 소비하는 전 분야이다. 분석에 사용된 자료는 각 분야별 생산량, 분야별 에너지 소비량, 분야별 이산화탄소 배출량이다.

각 분야의 국내 생산량은 한국은행에서 발간한 『경제활동별 GDP 및 GNI』(2011)의 자료를 사용하였다. 해당 자료는 농림어업, 광업, 음식료품 및 담배 제조업, 섬유 가죽제품 제조업, 목재 종이 인쇄 및 복제업, 석유 및 석탄 및 화학제품 제조업, 비금속 광물제품 제조업, 금속제품 제조업, 일반기계 제조업, 전기전자기기 제조업, 정밀기기 제조업, 운송장비 제조업, 가구 및 기타제품 제조업, 건설업, 운수업, 도소매업, 숙박 및 음식점, 통신업, 금융보험업, 부동산임대업, 사업서비스업, 공공사회, 교육서비스업, 보건사회복지업, 오락문화업, 기타개인 서비스업, 전력 생산, 수도 생산의 28개 분야로 나뉘어져 있다.

또한 가정과 자가용 분야의 생산량은 원단위의 생산량을 사용하지 않고, 물리적 지수를 사용하였다. 가정 및 자가용 분야의 생산량은 0이기 때문에, 이를 그대로 사용하면 해당 분야의 집약도효과를 명확히 분석할 수 없다. 따라서 가정 분야는 해당 년도의 가구 수, 자가용 분야는 연간 이동 거리(passenger-km)를 생산량으로 사용하였다.

국내 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량을 분석하기 위해, 본 연구에서는 지식경제부(舊 산업자원부)와 에너지경제연구원에서 발간한

『에너지총조사 보고서』 각 연호의 에너지 소비량을 사용하였다. 지식경제부는 매 3년마다 국내의 산업, 수송, 상업·공공 및 가구 부문에 대한 각종 에너지 통계 작성하여 『에너지총조사 보고서』를 발간하고 있으며, 본 연구에서는 2002년도(2001년 1월 1일~2001년 12월 31일), 2005년도(2004년 1월 1일~2004년 12월 31일), 2008년도(2007년 1월 1일~2007년 12월 31일), 2011년도(2010년 1월 1일~2010년 12월 31일) 보고서의 에너지 소비 자료를 사용하였다.

국내 에너지 소비량을 제공하는 통계는 『에너지총조사 보고서』 외에도 에너지경제연구원에서 매년 발간하는 『에너지통계연보』가 있다. 그러나 『에너지통계연보』는 『에너지총조사 보고서』와 달리 표본조사가 아닌 각 협회에서 보고되는 내용을 바탕으로 작성되고 있으며, 이산화탄소 배출량 계산에 필수적인 전(全) 분야 전(全) 에너지원의 용도별 분류가 완벽하게 이루어져 있지 않다. 따라서 본 연구는 3년마다 발간되는 『에너지총조사 보고서』의 에너지 소비 자료에 의거하였다.

또한 분야별 에너지 소비량을 수집하기 위하여 『에너지총조사 보고서』의 에너지 사용량을 『경제활동별 GDP 및 GNI』의 28개 분류 기준으로 정리하였다. 이는 『에너지총조사 보고서』의 분류 기준이 『경제활동별 GDP 및 GNI』의 분류 기준보다 상세하기 때문이다. 그리고 가정과 자가용 분야의 에너지 소비량 역시 추가하였다.

이산화탄소의 배출량은 1996년 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 가이드라인에 기준하여 온실가스종합정보센터에서 작성한

『2009년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서』에서 제시한 에너지원별 이산화탄소 배출계수와 산정 방법론에 의거하여 계산하였다. 배출계수는 에너지원별 탄소 배출계수와 전환계수, 평균연소율, 그리고 원료용 에너지원별 탄소몰입률 등으로 이루어져 있다. 그리고 수입유연탄, 경질중유 등의 각 에너지원별로 계산된 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량을 석탄, 석유, 가스, 전력, 열에너지, 수력, 원자력, 신재생기타의 8개 대(大)분류로 정리하였다.

자료에 있어서 한 가지 특기할 만한 점은, 연료용 에너지와 원료용 에너지의 소비량을 분류한 점이다. 대부분의 에너지 통계와 이를 사용한 연구들은 연료용 에너지와 원료용 에너지를 구분하고 있지 않다. 이는 통계상의 한계에 의한 연구의 한계라고 할 수 있다. 본 연구에서는 원료용 에너지의 소비량을 에너지 소비량 변화의 분해분석 시 에너지 소비량에 포함하지 않았고, 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석 시에는 원료용 에너지 소비량을 포함했을 때와 포함하지 않았을 때를 모두 계산하였다.

5. 분석 결과

5.1 에너지 소비량 변화

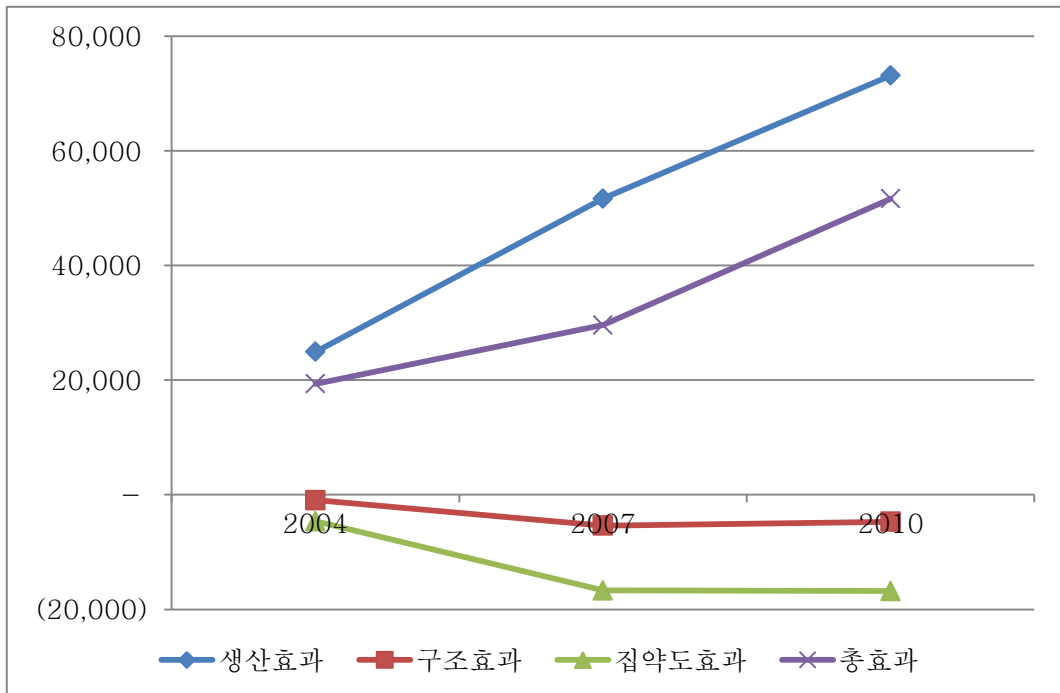
5.1.1 전체 에너지 소비량 변화의 분해분석 결과

아래 [표 1]와 [그림 5]는 2001년을 기준연도로 고정하고 2001~2004년, 2001~2007년, 2001~2010년의 국내 에너지 소비량의 가법분해 결과를 보여주고 있다. 에너지 소비량 분석에 사용된 모든 자료는 원료용 화석 에너지원의 소비량을 제외한, 연료용 에너지원의 소비량만 포함되어 있다.

[표 1] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 제외)

(단위: 천TOE)

연도	생산효과	구조효과	집약도효과	총효과
2001~2004	24,933	- 938	- 4,638	19,358
2001~2007	51,667	- 5,395	- 16,685	29,588
2001~2010	73,132	- 4,716	- 16,791	51,625



[그림 5] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 제외)
(단위: 천TOE)

2001~2004년 및 2001~2007년 기간 동안에는 생산효과가 에너지 소비의 상승 요인으로 작용하였고, 구조효과와 집약도효과가 에너지 소비의 하락 요인으로 작용하였다. 즉 해당 기간 동안에 동일량을 생산하더라도 에너지를 덜 소비하는 방향으로의 산업 구조 개편이 발생하였고, 에너지 효율이 개선되어 에너지집약도가 하락하였다고 할 수 있다.

그러나 2001~2010년 기간 동안의 구조효과와 집약도효과를 보면, 구조효과는 2001~2007년 기간에 비해서 절대량이 감소하였고, 집약도효과는 절대량의 크기 증가가 매우 미미한 것을 볼 수 있다. 이를 정확히 확인하기 위해, 2007년을 기준 연도로 고정하고 2007~2010년 국내 에너지 소비량

변화의 가법분해를 다시 수행하였고, 결과는 아래 [표 2]과 같다.

[표 2] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(2007~2010)

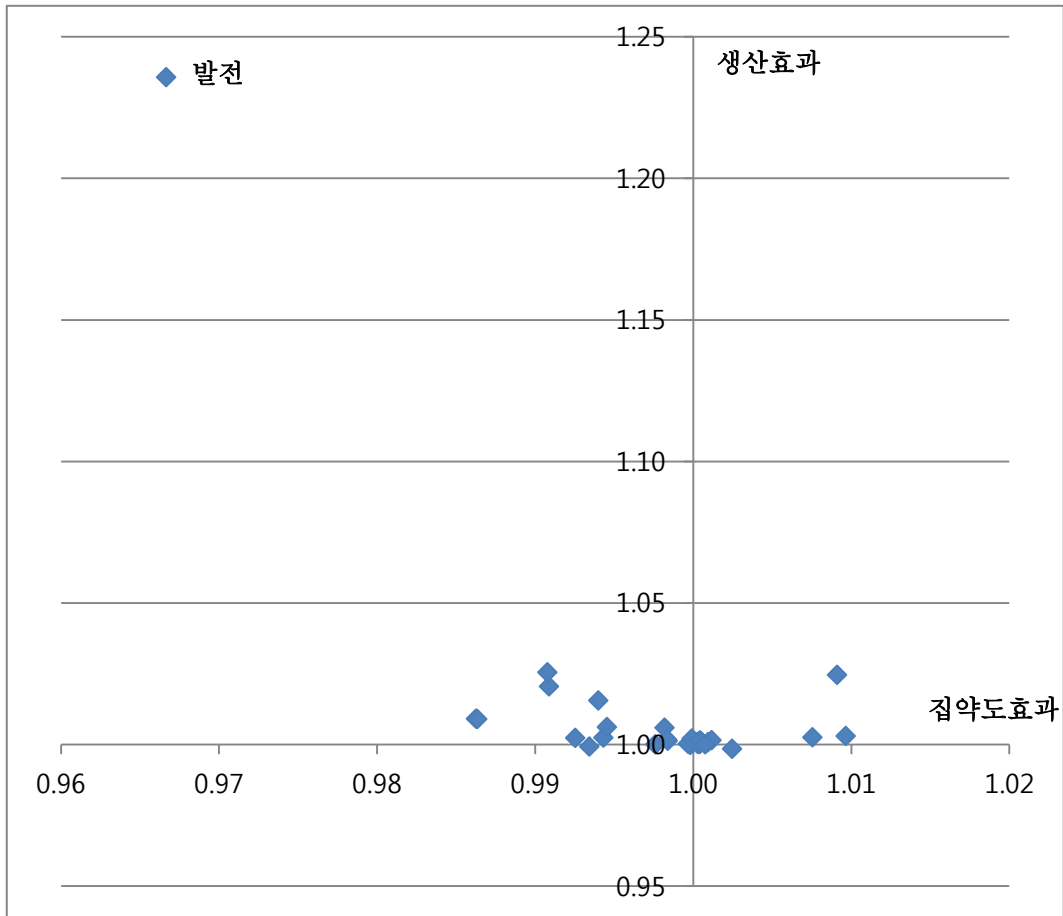
(단위: 천TOE)

연도	생산효과	구조효과	집약도효과	총효과
2007~2010	20,322	1,821	- 105	22,038

구조효과는 예상대로 에너지 소비를 증가시키는 요인으로 작용하였고, 즉 에너지를 좀 더 사용하는 방향으로의 산업 구조가 전환되었음을 의미한다. 집약도효과는 에너지 소비를 하락시키는 요인으로 작용하였으나, 총 효과에 미치는 비중이 매우 미미(약 0.5%)하였고, 2001~2004년 및 2001~2007년의 집약도효과에 비해서도 그 크기가 매우 작았다. 따라서 2007~2010년 기간 동안에는 에너지 효율의 개선이 거의 이루어지지 않았다고 할 수 있다.

5.1.2 분야별 에너지 소비량의 분해분석 결과

어느 분야에서 생산효과 및 집약도효과가 크게 발생하였는지, 그리고 어느 분야가 생산량 증가 및 에너지 효율 개선의 측면에서 우수한 결과를 보였는지 알아보기 위하여 분야별 에너지 소비량을 분해분석 하였다. 결과는 아래 [그림 6]과 같다.



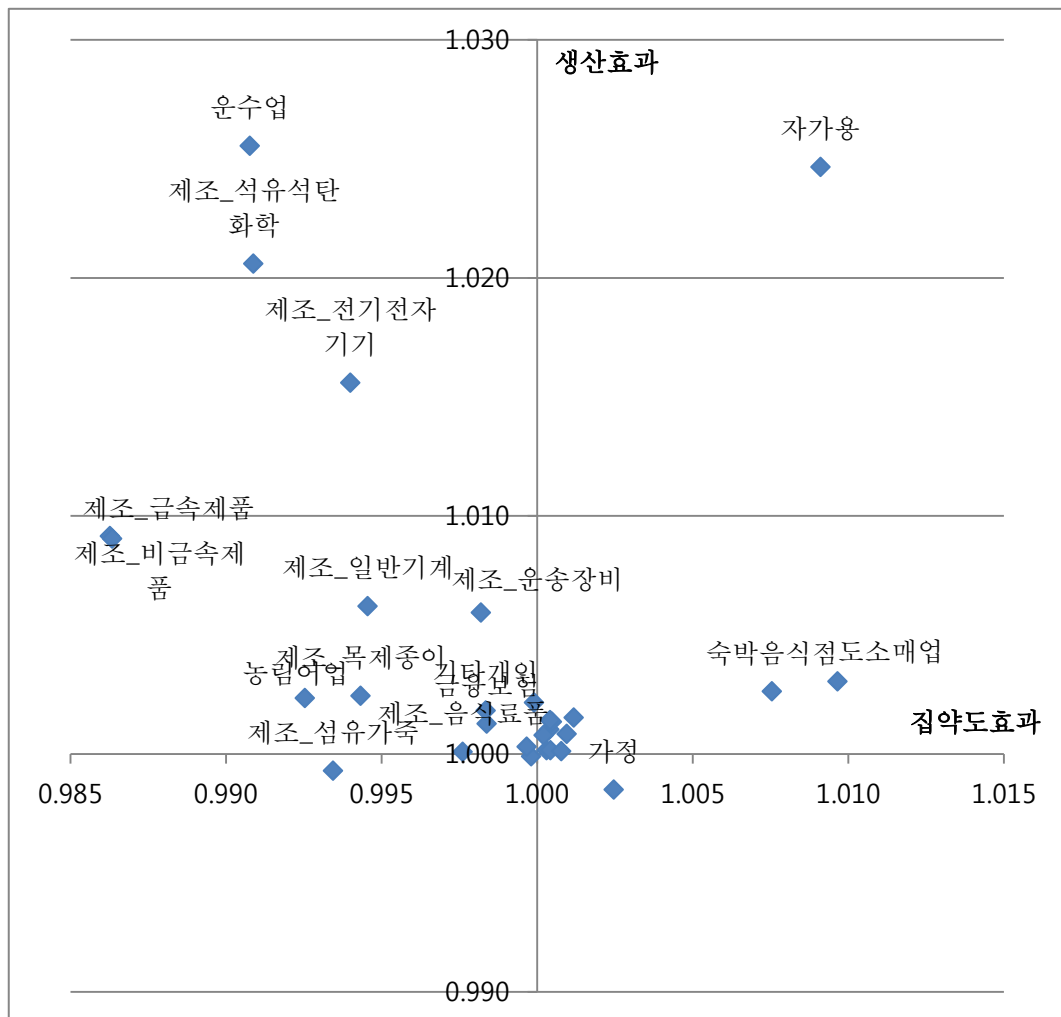
[그림 6] 분야별 에너지 소비량의 승법분해분석 결과(2001~2010)

상대적 기여도를 계산하기 위해서 승법분해분석을 수행하였다. 그래프의 2사분면에 위치한 분야는 음의 집약도효과로 인하여 에너지 효율이 개선되었고 양의 생산효과로 인하여 생산량이 증가한 분야로, 에너지 소비량 감소와 GDP 상승을 동시에 기여한 분야, 즉 가장 바람직한 방향으로 발전한 분야라고 할 수 있다. 그래프의 3사분면에 위치한 분야는 에너지 효율은 개선되었으나 생산량이 감소한 분야, 1사분면에 위치한 분야는 에너지 효율이

악화되었으나 생산량은 증가한 분야, 4사분면에 위치한 분야는 에너지 효율도 악화되고 생산량도 감소한 분야이다.

30개의 분야가 각각 1, 2, 3, 4분면에 나뉘어져 있지만, 발전 분야는 다른 분야보다 에너지 소비량 변화에 기여하는 정도가 매우 높게 계산되었다. 운수업과 제조_석유석탄화학, 제조_전기전자기기 분야의 생산효과가 각각 1.026, 1.021, 1.016으로 나타났지만, 발전 분야의 생산효과는 1.236으로 계산되었다. 즉, 2001~2010년 기간 동안 발전 분야에 의한 에너지 소비량 증가율이 23.6%를 차지하였지만, 운수업은 2.6%, 제조_석유석탄화학 분야는 2.1%를 차지하였다고 할 수 있다.

위와 같이 발전 분야의 에너지 소비량 증가 기여도가 다른 분야에 비해서 월등하게 높기 때문에, 발전을 제외한 나머지 29개 분야의 승법분해분석 결과를 아래 [그림 7]에 표시하였다.



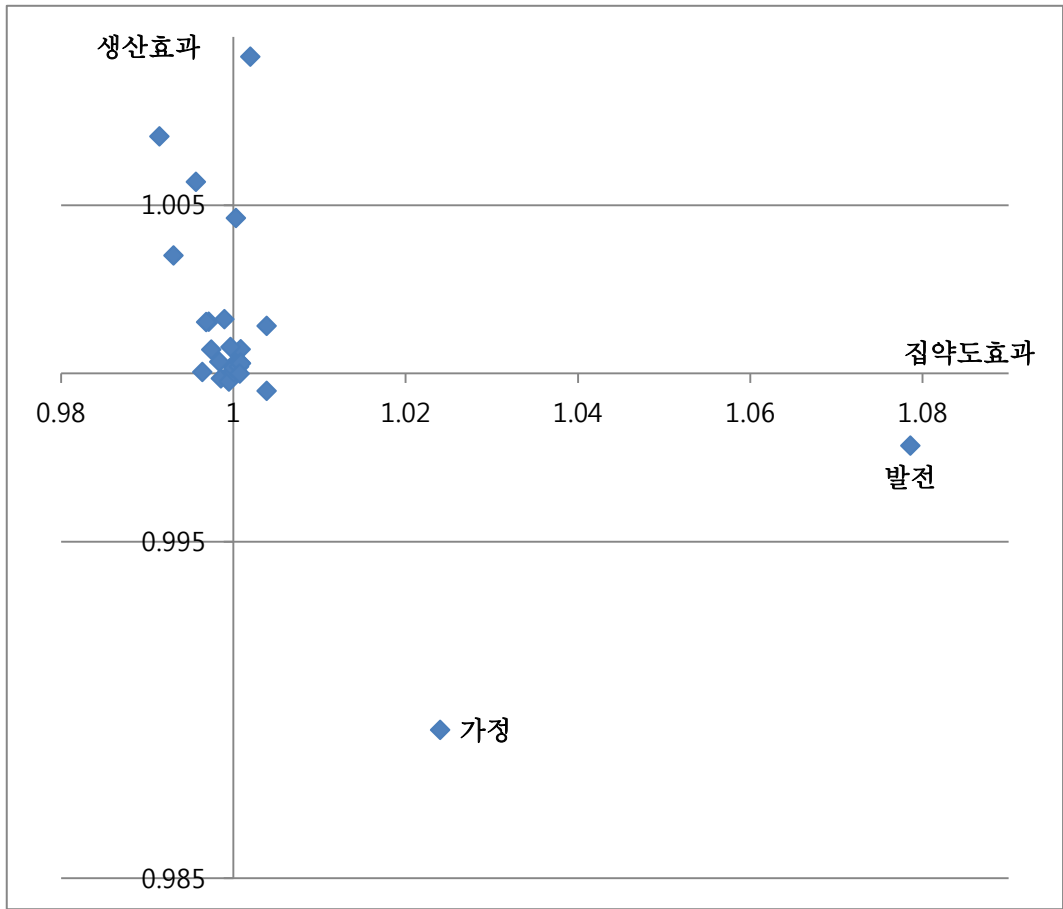
[그림 7] 분야별 에너지 소비량의 승법분해분석 결과(2001~2010; 발전 분야 제외)

그래프의 2사분면에 위치한, 바람직한 방향으로 발전한 분야의 대부분은 제조업 분야임을 알 수 있다. 즉 2001~2010년 기간 동안 제조업 분야는 생산량 증가를 통해 국가 GDP 성장에 기여하였으며, 동시에 에너지 효율 개선에 힘을 기울여서 에너지 소비량의 감소를 이끌었다고 판단된다. 이 때 주의하여야 하는 점은 해당 분야의 실제 에너지 소비량이 감소한 것이

아니라는 것이다. 2사분면에 위치한 분야는 해당 분야의 생산량 증가에 기인하여 전체 에너지 소비량의 증가를 이끌었지만, 집약도효과에 의해서 전체 에너지 소비량의 감소 요인으로도 작용하였기 때문에 바람직한 분야라고 말할 수 있다.

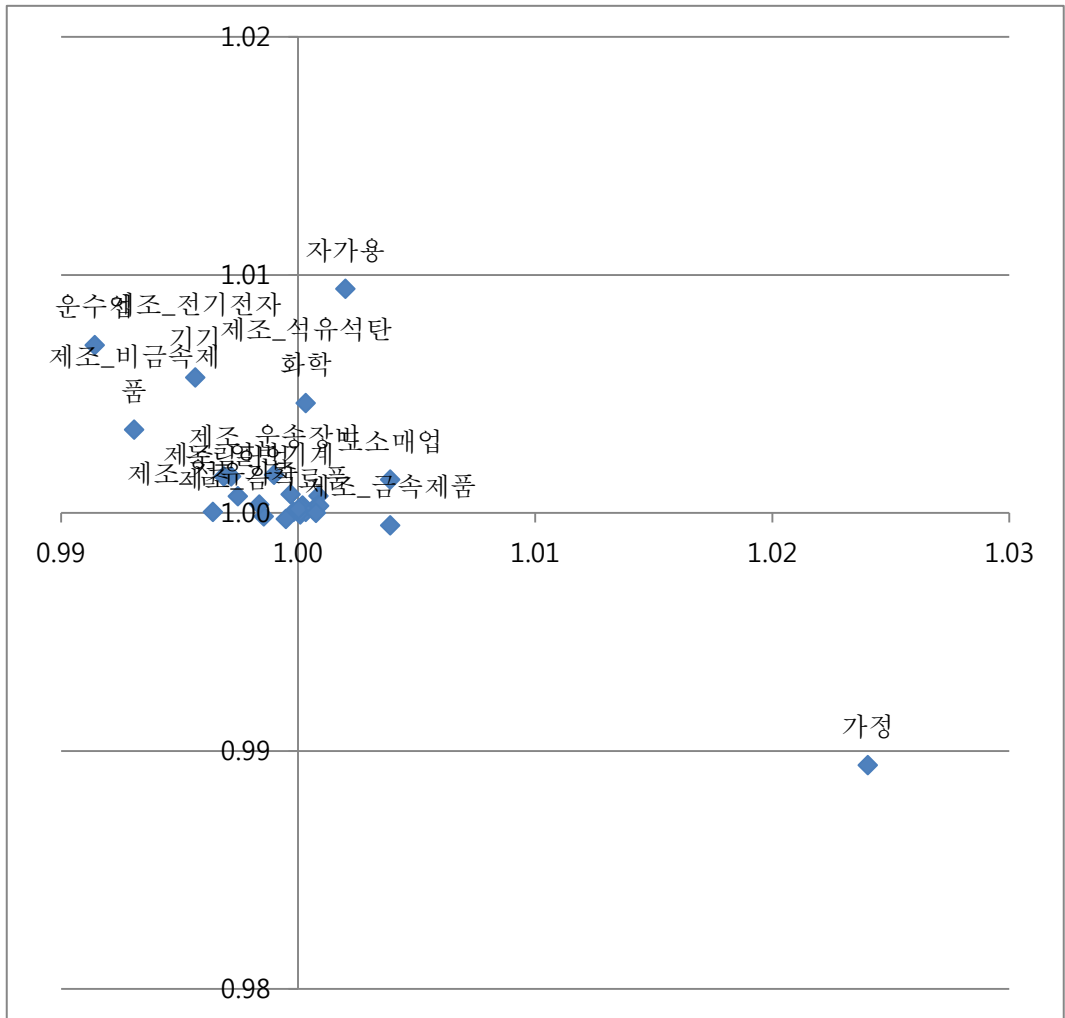
이와 반대로 에너지 소비량 감축의 측면에서 많은 서비스업 분야는 에너지효율이 개선되지 않았고, 특히 숙박음식점과 도소매업 분야의 에너지효율 개선이 시급하다고 판단된다. 또한 자가용과 가정 분야 역시 집약도효과가 에너지 소비량의 증가 요인으로 작용하고 있으므로 이에 대한 대책이 필요하다.

5.1.1에서 2007~2010년의 기간 동안 에너지를 더 소비하는 방향으로의 소비 구조 변화 및 에너지 효율의 악화가 발생한 점을 보였다. 따라서 해당 기간 동안 어느 분야에서의 에너지 소비가 이러한 변화를 야기하였는지 살펴보기 위하여 위와 같은 분야별 에너지 소비량의 승법분해분석을 수행하였다. 아래 [그림 8]은 승법분해의 결과이다.



[그림 8] 분야별 에너지 소비량의 승법분해분석 결과(2007~2010)

2001~2010년 기간 동안 가장 높은 생산효과에 의한 에너지 소비량 증가 및 집약도효과에 의한 소비량 감소를 보인 발전 분야가 2007~2010년 기간 동안에는 생산효과에 의한 소비량 감소와 집약도효과에 의한 소비량 증가를 보이고 있다. 특히 2007~2010년 기간 동안의 발전 분야의 집약도효과는 다른 분야보다 월등히 높게 에너지 소비량 증가에 기여하였다. 따라서 발전을 제외한 29개 분야의 승법분해분석 결과를 아래 [그림 9]에 다시 보여주었다.



[그림 9] 분야별 에너지 소비량의 승법분해분석 결과(2007~2010; 발전 분야 제외)

2001~2010년 기간 동안의 분야별 집약도효과와 비교하였을 때 2007~2010년 기간은 음의 집약도효과를 보이는 분야가 줄어들었고, 비교적 1.00 부근에 많이 몰려 있음을 볼 수 있다. 즉 해당 기간에 집약도효과에 의한 에너지 효율 개선이 거의 없었다는 점과 일치한다.

가정 분야의 집약도효과가 다른 분야에 비해서 높게 나온 점 역시 특기할 만 하다. 이는 가정 분야의 에너지집약도는 가구당 에너지 소비량으로 정의되었는데, 높은 집약도효과는 가구당 소비하는 에너지의 양이 이전에 비해서 증가하였다는 뜻이다.

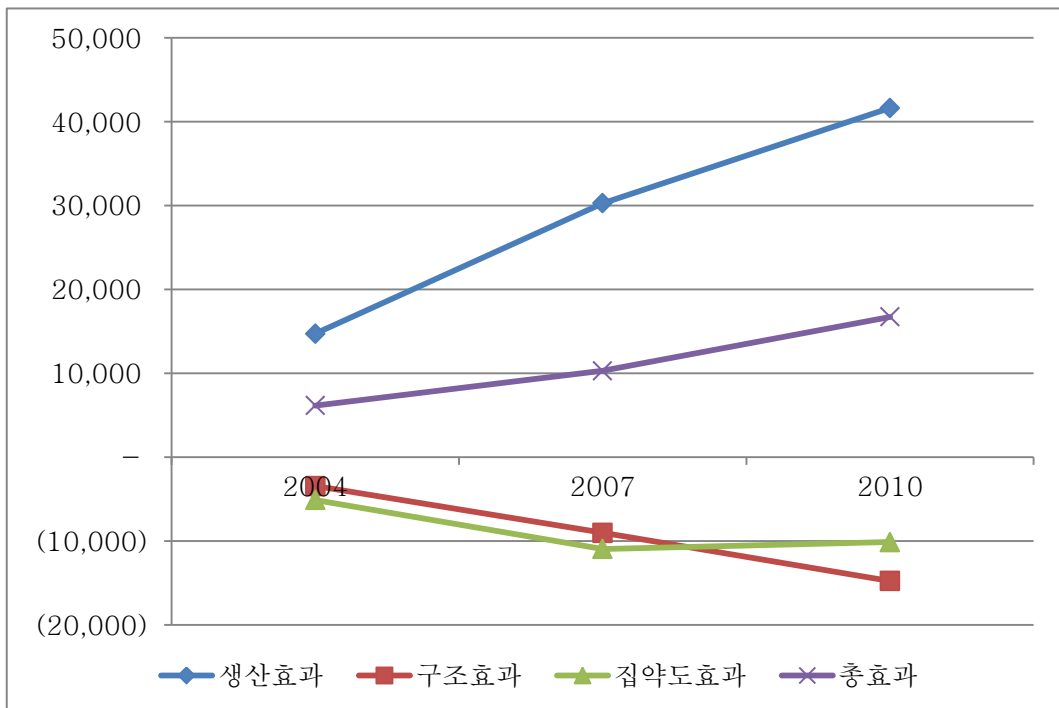
발전 분야는 2001~2010년 기간 동안에 높은 생산효과로 인한 에너지 소비량 증가와 높은 집약도효과로 인한 에너지 소비량 감소에 동시에 기여하였다. 그러나 2007~2010년의 기간 동안에는 높은 양의 집약도효과를 보이고 있어서 에너지 소비량 증가에 기여하였다. 즉, 2007~2010년 기간 동안에 발전 분야는 생산량에 비해 더 많은 에너지를 소비하였고, 에너지 효율이 감소하였다고 할 수 있다.

5.1.3 발전 분야를 제외한 전체 에너지 소비량 변화의 분해분석 결과

5.1.2에서 살펴본 바에 따르면 발전 분야가 에너지 소비량 증가 및 감소에 기여하는 비중이 다른 분야에 비해서 높음을 알 수 있었다. 전력의 가격은 시장에 의해서 결정되는 것이 아니라 정부의 정책에 따라서 조절되는 부분이 많기 때문에, 다른 분야처럼 최대의 가치를 생산할 수 없다. 따라서 발전 분야에 소비되는 많은 에너지와 낮은 생산량(원단위)은 분해분석을 왜곡할 수 있고, 발전 분야를 제외한 나머지 29개 분야에 대해서 분해분석을 다시 수행하였다.

[표 3] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 및 발전 제외)
(단위: 천TOE)

연도	생산효과	구조효과	집약도효과	총효과
2001~2004	14,721	- 3,459	- 5,120	6,141
2001~2007	30,258	- 9,025	- 10,953	10,280
2001~2010	41,621	- 14,771	- 10,130	16,721



[그림 10] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 및 발전 제외)
(단위: 천TOE)

2001~2004년 및 2001~2007년 기간 동안 생산효과는 에너지 소비의 상승 요인으로 작용하였고, 구조효과와 집약도효과는 에너지 소비의 하락 요인으로 작용하였다. 2001~2010년 기간 동안에도 역시 생산효과는 상승 요인, 구조효과와 집약도효과는 하락 요인으로 작용하였지만, 집약도효과의 크기가 2001~2007년의 기간 보다 줄어들었다. 즉 에너지 효율이 해당 기간 동안 개선되지 않았다. 이러한 시간에 따른 변화를 정확히 확인하기 위해, 2007년을 기준 연도로 고정하고 2007~2010년 국내 에너지 소비량 변화의 가법분해를 다시 수행하였고, 결과는 아래 [표 4]와 같다.

[표 4] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(2007~2010; 발전 제외)
(단위: 천TOE)

연도	생산효과	구조효과	집약도효과	총효과
2007~2010	11,142	- 5,045	353	6,440

구조효과는 에너지 소비량 감소에 크게 기여하였으며, 집약도효과는 에너지를 더 사용하는 방향으로 기여하였음을 알 수 있다. 즉 2007~2010년 기간 동안 에너지 소비 구조는 동일 생산량을 생산할 때 에너지를 좀 더 적게 소비하는 구조로의 전환이 발생하였지만, 에너지 효율은 개선되지 않았고, 오히려 약간이나마 악화되었다고 판단된다.

아래의 [표 5]는 2007~2010년 기간 동안 발전 분야를 포함한 에너지 소비량 변화에 대한 가법분해분석 결과와, 발전 분야를 분석 대상에서 제외하였을 때 에너지 소비량 변화에 대한 가법분해분석 결과를 정리하여 보여주고 있다.

[표 5] 에너지 소비량 변화의 가법분해분석 결과(2007~2010)

(단위: 천TOE)

연도	생산효과	구조효과	집약도효과	총효과
2007~2010 발전 분야 포함	20,322	1,821	- 105	22,038
2007~2010 발전 분야 제외	11,142	- 5,054	353	6,440

발전 분야를 포함하였을 때와 제외하였을 때 구조효과 및 집약도효과가 서로 반대로 나타나고 있고, 발전 분야에 의해서 구조효과가 왜곡될 수 있음을 알 수 있다. 즉, 전력을 생산하기 위해서 과도한 에너지가 소비되었다고 판단되며, 다른 분야에서는 에너지를 덜 소비하는 방향으로의 구조 개편이 이루어졌다고 할 수 있다. 집약도효과는 두 결과의 부호가 상반되기는 하지만 그 크기가 작으므로, 에너지 효율의 개선이 거의 없었다고 보인다.

5.1.4 에너지 소비량의 분해분석 정리

에너지 소비량의 변화를 분해하는데 있어서 가장 특기할 만한 변화 기간은 각 효과의 변화 정도와 방향에 근거하여 2001~2010년과 2007~2010년 이라 할 수 있다.

2001~2010년의 지난 10년간 국내 에너지 소비의 변화에 있어서 생산효과는 에너지 소비량 변화의 증가 요인으로, 구조효과와 집약도효과는 감소 요인으로 작용하였다. 총생산의 증가(양의 생산효과)와 에너지 효율의 개선(음의 집약도효과)을 동시에 달성한 분야는 주로 제조업 분야였고, 총생산은 증가했으나(양의 생산효과) 에너지 효율은 악화된(양의 집약도효과) 분야는 주로 서비스업 분야임을 알 수 있었다. 따라서 서비스업 분야에서 에너지 효율 개선이 필요하다고 판단된다.

2007~2010년의 최근 3년간 국내 에너지 소비의 변화에 있어서 생산효과와 구조효과는 에너지 소비량 변화의 증가 요인으로 작용하였고, 집약도효과는 그 효과가 매우 미미하였다. 따라서 제조업 분야와 서비스업 분야 모두에서 대부분 에너지 효율의 개선이 없었음을 알 수 있다. 또한 가정 분야에서 보이는 높은 집약도효과는 가구당 에너지 소비량의 증가에 기인한 것으로 보이며, 가정 분야의 에너지 소비 관리가 필요할 것이다. 즉, 에너지 소비량의 감소를 위해 노력하여야 하며, 특히 에너지 효율 개선을 위한 노력과 이를 뒷받침하는 정책이 시급하다고 보인다.

또한, 발전 분야가 에너지 소비량의 변화에 기여하는 정도가 매우 크게

계산되었다. 발전 분야는 에너지 소비량에 비해 총생산의 비중이 낮으므로, 이는 분해분석 결과를 왜곡할 가능성이 있다. 따라서 발전 분야를 제외한 29개 분야의 분해분석을 수행한 결과, 지난 10년간 생산효과는 에너지 소비량의 증가 요인으로, 구조효과와 집약도효과는 감소 요인으로 작용하였으며, 최근 3년간은 생산효과와 집약도효과는 증가 요인, 구조효과는 감소 요인으로 작용하였다. 발전 분야를 포함하였을 때의 구조효과 결과가 반대로 계산되었고, 발전 분야에 의해 구조효과가 왜곡되었음을 확인할 수 있었다. 또한 이를 통해 전력 생산을 위해 과도한 에너지를 소비하였다고 볼 수 있다.

이를 정리하면, 국내 에너지 소비에 있어서 전체적으로 ‘에너지 저소비’로의 구조 변화가 발생하였으나, 에너지 효율이 최근 들어 악화되고 있으므로 효율 개선에 대한 노력이 시급하다고 할 수 있다.

5.2 이산화탄소 배출량 변화

5.2.1 전체 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석 결과

이산화탄소 배출량은 에너지원별 소비량에 맞춰서 산정하였다. 한 가지 주의할 점은, 에너지 소비량 변화의 분해분석에는 원료용 에너지원의 소비를 제외하였지만, 이산화탄소 배출량의 분해분석에는 경우에 따라서 원료용 에너지원의 소비를 포함하였다는 점이다. 이는 원료용 에너지원의 소비 역시

적게나마 이산화탄소를 배출하며, 이산화탄소의 배출량을 감소시키기 위해서는 원료용 에너지원의 소비 감소 역시 이산화탄소 감축 목표에 포함되어 분석되어야 하기 때문이다. 일반적으로 석탄 또는 납사 등의 원료용 에너지원은 생산되는 제품에 원료로 사용되기 때문에 원료용 에너지로 사용하여 연소할 때 보다 이산화탄소의 배출량이 적으며, 이산화탄소 배출 계수에 원료용 에너지원의 배출 계수와는 달리 탄소 물질이 포함되어 있다. 석탄, 석유, 가스 등의 연소율은 98~99%를 상회하는 반면, 탄소 물질은 에너지원별로 25% 또는 50% 정도이다.

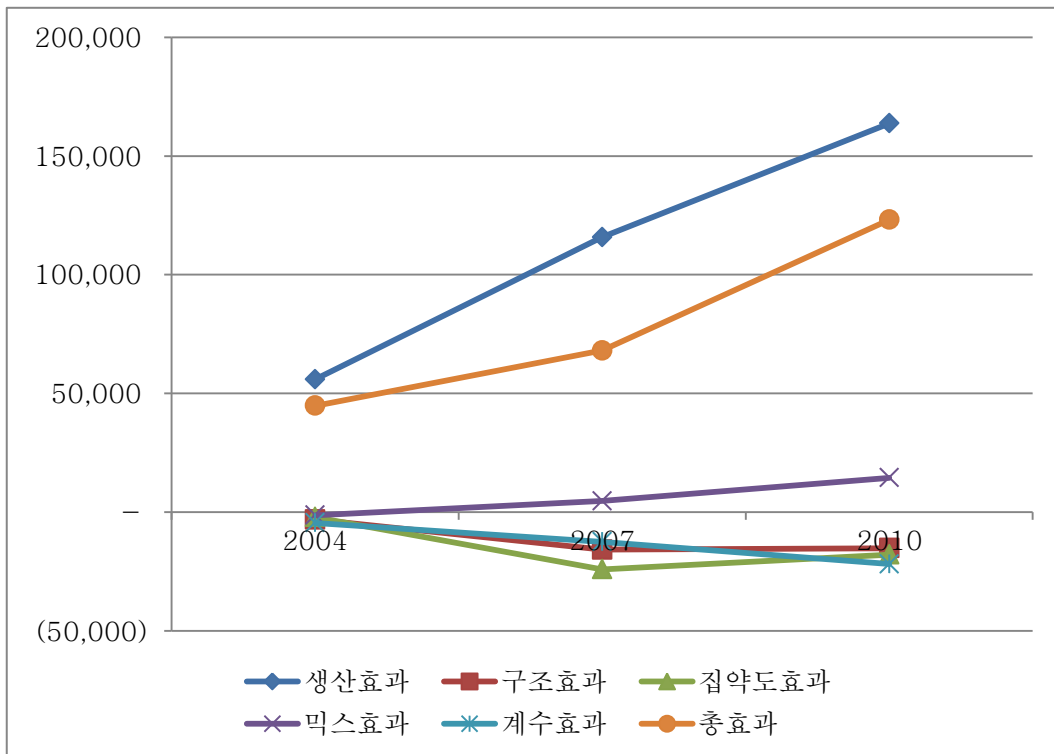
이산화탄소 배출량 산정에 사용되는 이산화탄소 배출 계수는 기술의 발전에 따라서 변할 수 있다. 실제로 1996년 IPCC에서 발표한 배출 계수와 2006년에 발표한 배출 계수는 약간 상이하다. 그러나 본 연구에서는 분석 대상 기간이 약 10년 정도로 짧으므로, 에너지원별 배출 계수는 변화가 없다고 가정하였다. 배출 계수가 연도별로 상이하면 이에 기인하여 계수효과가 나타나게 되므로, 본 연구에서는 계수 효과가 거의 나타나지 않는다. 다만 휘발유·등유·경유·납사·프로판 등 여러 석유계 에너지원을 석유라는 대(大) 분류로 정리하였고, 석탄, 가스 등 역시 석유와 마찬가지로 대 분류에 맞춰서 정리하였기 때문에 에너지원별 사용량에 따라서 석유의 배출 계수는 달라질 수 있고, 이는 계수효과로 표현된다. 또한 발전 분야에 투입되는 에너지원별 비중 역시 매년 변화하였기 때문에 계수효과가 나타날 수 있다.

아래 [표 6]과 [그림 11]은 2001년을 기준연도로 고정하고

2001~2004년, 2001~2007년, 2001~2010년의 국내 이산화탄소 배출량의 가법분해 결과를 나타내고 있다. 각 절마다 이산화탄소 배출량 분석에 사용된 자료에 원료용 에너지원의 소비량이 포함되었는지에 대한 여부가 다르다. 이는 분석 목적에 따라 다르게 적용하였기 때문이다.

[표 6] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 포함)
(단위: 천ton CO₂)

	생산효과	구조효과	집약도 효과	믹스효과	계수효과	총효과
01~04	55,949	- 3,121	- 2,133	- 1,328	- 4,569	44,798
01~07	115,788	-15,803	-24,085	4,680	-12,514	68,066
01~10	163,728	-15,229	-17,928	14,439	-21,862	123,148



[그림 11] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과(원료용 에너지 포함)
(단위: 천ton CO2)

2001~2004년의 기간 동안에는 생산효과가 이산화탄소의 배출을 증가시키는 요인으로 작용하였고, 구조효과, 집약도효과, 에너지믹스효과 및 계수효과는 이산화탄소 배출을 감소시키는 요인으로 작용하였다. 즉 이산화탄소를 덜 배출하는 방향으로의 구조 변화와(구조효과) 에너지원 비중의 변화(에너지믹스효과 및 계수효과), 에너지 효율의 개선(집약도효과)이 이루어졌다는 의미이다.

2001~2007년의 기간 동안에는 생산효과와 에너지믹스효과가 이산화탄소 배출량의 증가 요인으로, 구조효과와 집약도효과, 계수효과는

감소 요인으로 작용하였다. 즉, 이산화탄소를 더 많이 배출하는 에너지원의 소비 비중이 높아졌음을 알 수 있다. 그러나 계수효과가 음의 값으로 계산되었고, 이는 발전 분야에서의 이산화탄소 배출량 감소 또는 화석연료를 원료로 사용하는 분야에서의 이산화탄소 배출의 변화가 발생하였음을 의미한다.

2001~2010년 기간 동안에는 2001~2007년 기간과 마찬가지로 생산효과와 에너지믹스효과가 이산화탄소 배출량을 증가시키는 요인으로 작용하였다. 구조효과와 집약도효과는 감소 요인으로 작용하였으나, 그 크기가 2001~2007년 기간보다 감소하였음을 볼 수 있다. 에너지믹스효과와 계수효과가 서로 상반된 결과를 보이는 것은 2001~2007년 기간의 해석과 동일하다.

에너지 소비량의 변화와 마찬가지로 2007~2010년 이산화탄소 배출량의 변화 요인을 정확히 확인하기 위해, 2007년을 기준 연도로 고정하고 2007~2010년 국내 이산화탄소 배출량의 변화의 가법분해를 아래와 같이 다시 수행하였다.

[표 7] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과(2007~2010)

(단위: 천ton CO₂)

	생산효과	구조효과	집약도 효과	믹스효과	계수효과	총효과
07~10	46,082	2,282	6,564	9,455	- 9,300	55,082

2007~2010년의 기간 동안에는 생산효과 뿐만 아니라 구조효과와 집약도효과, 에너지믹스효과 모두 이산화탄소 배출량을 증가시키는 요인으로 작용하고 있다. 즉 이산화탄소를 더 배출시키는 방향으로의 구조 변화와 에너지원 비중 변화가 발생하였고, 에너지의 효율 역시 악화되었음을 의미한다. 그러나 계수효과는 음의 값으로 계산되어 여전히 에너지믹스효과와는 상반된 결과를 보여주고 있다.

2001~2004년의 기간을 제외하고는 나머지 모든 기간에서 에너지믹스효과와 계수효과가 서로 반대 부호의 값으로 계산되고 있다. 에너지원의 소비 비중에 따라서 결정되는 에너지믹스효과와 계수효과가 다른 결과를 보여주는 것을 설명하기 위하여, 분야별 및 에너지 소비 구성원별로 에너지믹스효과와 계수효과를 분석하였다.

아래 [표 8]는 에너지믹스효과 중에서 이산화탄소의 주요 배출원인 석유와 석탄, 가스에 의한 효과를 분야별 및 연도별로 정리한 것이다.

[표 8] 에너지믹스효과 중 석유·석탄·가스에 의한 효과

(단위: 천ton CO2)

분야	2001~2004 년			2001~2007 년			2001~2010 년		
	석탄	석유	가스	석탄	석유	가스	석탄	석유	가스
농림어업	-173	-104	-388	257	-320	16	431	-1931	5
광업	56	-69	4	12	-118	0	56	-152	0
제조_음식료품	3	-446	381	9	-450	333	40	-1311	869
제조_섬유가죽	13	-482	325	327	-776	373	29	-884	399
제조_목재종이	28	-94	147	268	-1112	293	601	-1492	723
제조_석유화학	-240	247	114	-584	637	197	-378	809	1024
제조_비금속	-1793	-654	161	-741	-505	281	-1424	-253	507
제조_금속제품	235	-994	-105	-424	-1290	1075	-86	-2337	1108
제조_일반기계	-7	-662	197	-12	-710	240	-12	-977	464
제조_전기전자	1	-212	59	0	-332	-121	0	-361	-140
제조_정밀기기	0	-7	12	0	-7	44	0	-15	9
제조_운송장비	10	-230	-64	10	-309	-7	-1	-413	1
제조_가구기타	4	-6	19	-3	-14	-5	-3	-103	17
건설업	17	-325	21	6	-82	79	4	-367	112
운수업	-3	1107	-93	-3	-1565	1390	-3	-2676	2396
도소매업	11	-357	-492	24	-530	-175	115	-756	411
숙박및음식점	166	-1831	469	157	-1787	515	97	-2111	517

통신	1	31	122	0	-75	-6	0	-93	-14
금융보험	-3	-12	75	-1	-85	63	-3	-106	79
부동산임대	14	-6	-16	15	-85	30	12	-93	41
사업서비스	2	-12	-12	2	0	1	5	-110	44
공공사회	1	-204	58	0	-310	78	-1	-380	46
교육서비스	3	-62	229	0	-24	182	0	-203	200
보건사회복지	-1	84	-29	-14	75	-11	-13	32	69
오락문화	0	-54	-23	0	-57	122	4	-179	166
기타개인	36	-872	529	84	-1004	589	41	-968	237
전력	-2561	-5437	7255	4442	-7262	14226	25772	-13440	14561
수도	0	-2	9	0	-5	-12	0	-8	-13
가정	264	-5187	4407	803	-11456	7104	1123	-13442	9020
자가용	0	0	0	0	0	0	0	0	0
총합	-3917	-16854	13372	4635	-29555	26896	26405	-44321	32856

에너지믹스효과에서 석탄에 의한 효과는 대부분의 제조업과 서비스업에서 큰 변화가 없지만, 발전 분야에서 석탄에 의한 효과는 매우 크게 나타나고 있다. 2001~2004년 기간 동안에는 -2,561 천ton CO₂으로 계산되었으나 점차 증가하여, 2001~2010년 기간 동안에는 무려 25,772 천ton CO₂로 증가하였다.

에너지믹스효과에서 석유에 의한 효과는 제조_석유석탄화학 분야를 제외하고는 2001년 대비 전(全)년도 전(全) 분야에서 감소하고 있다. 특히

발전과 가정 분야에서 석유에 의한 효과 감소가 매우 크게 나타나고 있고, 이는 석유 사용의 비중이 크게 줄었다는 의미이다.

에너지믹스효과에서 가스에 의한 효과는 대부분의 분야에서 조금씩 증가하고 있고, 역시 발전 분야와 가정 분야에서는 효과가 매우 크게 증가하고 있다. 이는 고급 에너지원인 가스의 수요가 전 분야에서 증가하였기 때문으로 해석되며, 발전 분야는 전력 수요 증가에 의한 LNG 발전량의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

전력(에너지원)과 열에너지, 수력, 원자력 등은 이산화탄소를 배출하지 않으므로 에너지믹스효과에서 해당 에너지원에 의한 효과는 0이고, 신재생기타 역시 석유, 석탄 및 가스에 비해서 그 효과가 미미하다.

즉, 에너지믹스효과는 기준년도 대비 에너지원의 비중 변화를 의미한다. 가법분해분석 결과 에너지믹스효과가 꾸준히 증가하고 있음은 이산화탄소를 많이 배출하는 에너지원(석탄, 가스 등)의 사용이 증가하고 있음을 의미한다. 실제로 석유의 사용량은 대부분의 분야에서 감소하였고, 이를 전력 또는 가스가 대체하고 있다.

아래 [표 9]는 계수효과 중에서 이산화탄소의 주요 배출원인 석유와 석탄, 가스에 의한 효과를 분야별 및 연도별로 정리한 것이다.

[표 9] 계수효과 중 석유·석탄·가스에 의한 효과

(단위: 천ton CO2)

분야	2001~2004 년			2001~2007 년			2001~2010 년		
	석탄	석유	가스	석탄	석유	가스	석탄	석유	가스
농림어업	0	-95	385	0	-64	0	0	-88	0
광업	23	-1	0	14	-1	0	27	0	0
제조_음식료품	6	-6	0	1	-297	0	1	-49	0
제조_섬유가죽	0	5	0	-4	-1	0	0	-5	0
제조_목재종이	9	-4	0	15	-6	0	28	-70	0
제조_석유화학	65	-3346	3	-7	-3772	3	19	-12237	4
제조_비금속	606	55	0	-21	-16	0	-54	-2	0
제조_금속제품	-7535	33	0	-7577	34	0	-8329	8	0
제조_일반기계	0	-50	0	0	-108	0	0	-7	0
제조_전기전자	0	-6	0	0	0	0	0	14	0
제조_정밀기기	0	0	0	0	0	0	0	0	0
제조_운송장비	0	-11	0	0	-12	0	0	-18	0
제조_가구기타	-5	-52	0	0	-39	0	0	0	0
건설업	0	-7	0	0	5	0	0	41	0
운수업	0	-72	0	0	-26	0	0	-224	0
도소매업	0	-44	0	0	-59	0	0	-69	0
숙박및음식점	0	-120	0	0	-132	0	0	-141	0

통신	0	-4	0	0	-2	0	0	-1	0
금융보험	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0
부동산임대	0	-2	0	0	-2	0	0	-2	0
사업서비스	0	-2	0	0	-3	0	0	-1	0
공공사회	0	0	0	0	-2	0	0	-2	0
교육서비스	0	-17	0	0	-14	0	0	-16	0
보건사회복지	0	-5	0	0	-6	0	0	-7	0
오락문화	0	-9	0	0	-1	0	0	-9	0
기타개인	0	-33	0	0	-66	0	0	-39	0
전력	5784	14	22	-357	14	26	-231	-12	0
수도	0	0	0	0	0	0	0	0	0
가정	0	-174	0	0	-98	0	0	-73	0
자가용	0	148	0	0	196	0	0	100	0
총합	-1046	-3807	409	-7936	-4481	29	-8539	-12911	4

계수효과는 에너지원의 연소 또는 원료로 사용될 때 배출되는 이산화탄소의 계수의 변화를 표현한다. 5.2.1의 초반에 언급한 바와 같이, 본 연구에서는 분석 기간이 비교적 짧으므로 배출계수의 변화는 없다고 가정하였고, 따라서 대부분의 계수효과는 0이 될 수 밖에 없다. 그러나 같은 에너지원을 사용하더라도 연소시의 배출 계수는 원료로 사용시의 배출 계수에 비해 3배나 높고, 따라서 해당 에너지원을 원료용으로 사용하는 비중이 높을수록 이산화탄소의 배출량이 낮아지게 된다.

대부분의 제조업과 서비스업, 가정, 자가용 등의 분야에서 화석연료를 원료로 사용하는 경우는 거의 없으므로, 이 분야의 계수효과는 대부분 0에 가깝게 계산되고 있다. 그러나 석탄의 원료용 사용이 많은 제조_금속제품 분야와 석유의 원료용 사용이 많은 제조_석유석탄화학 분야는 계수효과에서 석탄 및 석유에 의한 효과가 매우 큰 음의 값을 보여주고 있다.

위에서 언급하였듯이, 계수효과는 연소에 따른 이산화탄소 배출의 변화와 원료용 사용에 따른 이산화탄소 배출의 변화를 동시에 보여주고 있다. 따라서 음의 계수효과는 이산화탄소를 많이 배출하는 연소용 에너지원 사용의 감소와 이산화탄소를 적게 배출하는 원료용 사용의 증가를 의미한다. 실제로, 제조_금속제품 분야에서 2001년 석탄 사용량은 12,430 천TOE에서 2007년 14,768 천TOE로 증가하였지만, 이산화탄소 배출량은 2001년 21,149 천ton CO₂에서 2007년 16,831 천ton CO₂로 감소하였다. 이는 원료용 석탄의 사용 비중이 증가하였음을 보여주고 있고, 음의 계수효과의 의미와 일치하는 결과이다.

지금까지 살펴보았듯이, 에너지믹스효과와 계수효과는 소비하는 에너지원의 비중 변화를 표현한다. 그러나 에너지믹스효과는 단순히 기준년도 대비 에너지원의 비중 변화를 표현하고, 계수효과는 원료용 및 연료용 에너지원의 사용 비중 변화를 보여주는 차이점이 있다.

5.2.2 발전 분야의 이산화탄소 비례배분 시 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석 결과

전체 이산화탄소의 배출량 중에서 발전 분야의 배출량이 차지하는 비중이 큰 것을 5.2.1의 분야별 에너지믹스효과 및 계수효과 분석에서 볼 수 있었다. 이는 발전 분야에서 소비하는 에너지 비중이 크기 때문이기도 하다. 전력은 사용 시에 이산화탄소를 배출하지 않는 에너지원이지만, 전력의 생산 시에는 원자력발전 등을 제외하고는 당연히 이산화탄소가 배출된다. 따라서 전력의 소비 비중이 높아진다고 해서 이산화탄소의 배출량이 무조건 감소하는 것은 아니다. 따라서 고급 에너지원으로써 전력의 소비 비중이 높아질 수는 있지만, 전력의 소비 증가가 사회 전체적으로 이산화탄소의 배출량을 어떻게 변화시키는 것인지에 대한 분석이 필요하다.

그리하여, 5.1.3에서와 같이 발전 분야를 제외하고 다시 분해분석을 하는 것 보다, 발전 분야에서 배출된 이산화탄소를 각 분야의 전력 사용량에 비례하여 분배하는 것이 좋다고 판단하였고, 이산화탄소 배출량 변화에 대한 분해분석을 다시 수행하였다. 이 때 사용한 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 자료는 원료용 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량을 포함하지 않았다. 5.2.1에서 살펴 보았듯이, 원료용 에너지원의 사용 비중 변화에 따라서 계수효과가 큰 폭으로 변화할 수 있고, 따라서 발전 분야에 의한 이산화탄소 배출량의 변화가 무시될 가능성이 있기 때문이다. 원료용 에너지원의 소비량을 제외하고 발전 분야에서 발생한 이산화탄소를 전력 사용량에 따라서

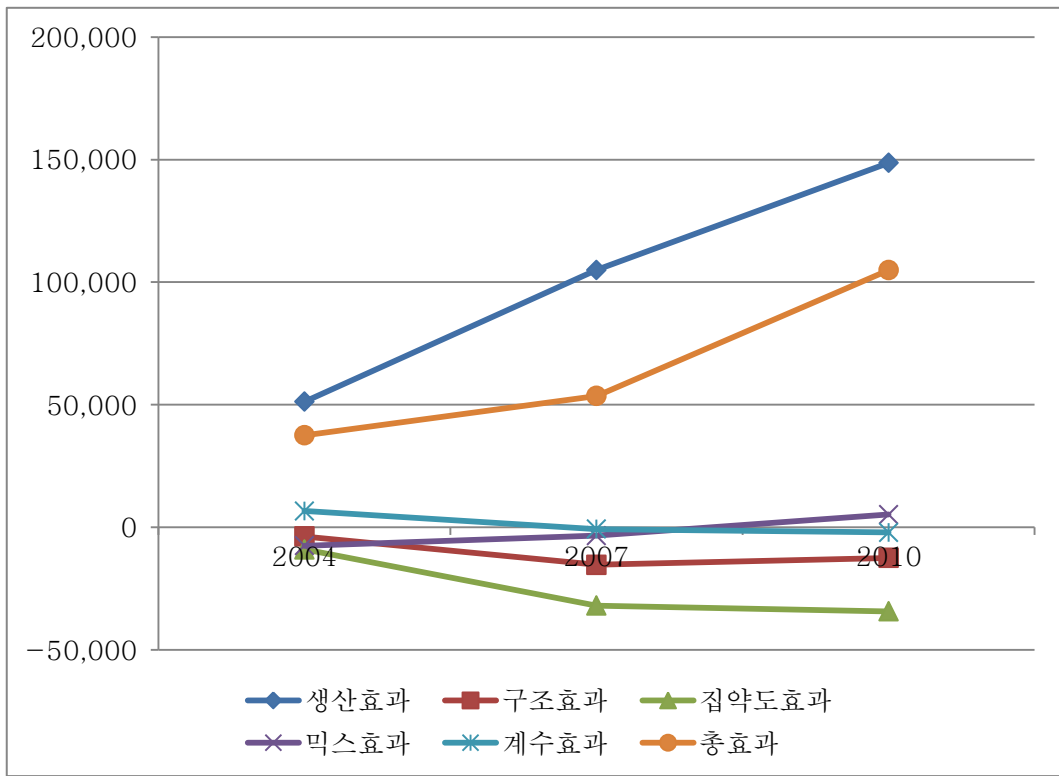
각 분야에 비례배분하면, 전력 사용량의 증가와 석탄 및 가스 발전의 증가에 따른 이산화탄소 배출량의 변화를 분석할 수 있을 것이다.

원료용 에너지를 에너지 소비량에서 제외하고, 발전 분야의 이산화탄소 배출량을 비례배분 하기 전의 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석 결과는 아래 [표 10]과 [그림 12]과 같다. 이는 발전 분야의 이산화탄소 배출량을 비례배분하기 전과 후의 결과를 비교하기 위함이다.

[표 10] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과 (원료용 에너지 제외 및 발전 분야의 이산화탄소 배분 이전)

(단위: 천ton CO2)

2001년을 기준 연도로 고정하였을 때						
	생산효과	구조효과	집약도효과	믹스효과	계수효과	총효과
01~04	51,223	- 3,728	- 9,069	- 7,556	6,616	37,486
01~07	104,993	-15,288	-31,940	- 3,399	- 783	53,584
01~10	148,633	-12,494	-34,325	5,213	- 2,120	104,907
2007년을 기준 연도로 고정하였을 때						
	생산효과	구조효과	집약도효과	믹스효과	계수효과	총효과
07~10	41,671	4,734	- 2,839	8,605	- 849	51,322



[그림 12] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과
 (원료용 에너지 제외 및 발전 분야의 이산화탄소 배분 이전)
 (단위: 천ton CO2)

생산효과, 구조효과, 집약도효과는 발전 분야를 분석 분야에 포함하였을 때, 즉 발전 분야에서 배출된 이산화탄소를 비례배분 하지 않았을 때, 에너지 소비량의 가법분해 결과와 비슷한 경향으로 계산되었다. 즉, 전력 생산의 급증에 따라서 2007~2010년의 기간 동안에 구조 효과가 양의 값으로 계산되었을 수 있다. 또한 2007~2010년의 기간 동안에 이산화탄소를 많이 배출하는 에너지원으로서의 이동이 많이 발생하였기 때문에 믹스효과가 양의 값으로 계산되었다.

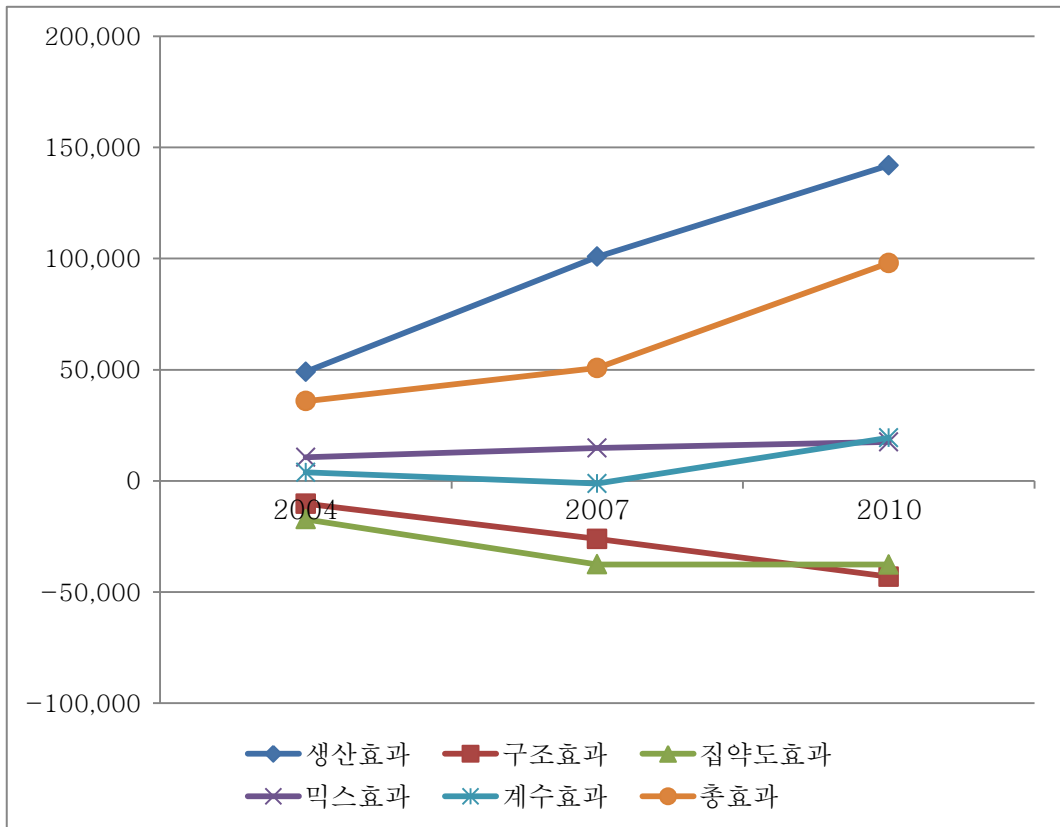
또한, 각 에너지원마다 이산화탄소 배출 계수가 다르기 때문에 원료용 에너지원의 사용을 제외하여도 계수효과가 일정 값 이상으로 계산되었다. 5.2.1의 서두에서도 밝히고 있듯이, 석유의 경우에도 휘발유, 경유, 중유 등의 여러 종류의 에너지원이 있으며, 각각 배출 계수가 상이하다. 각 연도별로 조사한 에너지원의 종류가 완벽하게 일치하지 않기 때문에, 석탄·석유·가스·전력 등의 대(大) 분류로 묶어 분해분석을 수행하였고, 석유와 석탄 등의 대 분류 내에서도 서로 계수가 상이한 에너지원의 비중이 변하였기 때문에, 이론적으로는 0이어야 하는 계수효과가 위의 [표 10]의 결과와 같이 약간씩 변화하고 있다.

원료용 에너지원을 에너지 소비량에서 제외하고, 발전 분야의 이산화탄소 배출량을 각 분야의 전력 사용량에 비례하도록 배분한 이후 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석 결과는 아래 [표 11]와 [그림 13]와 같다.

[표 11] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과 (원료용 에너지 제외
및 발전 분야의 이산화탄소 배분 이후)

(단위: 천ton CO2)

2001 년을 기준 연도로 고정하였을 때						
	생산효과	구조효과	집약도효과	믹스효과	계수효과	총효과
01~04	49,014	-10,303	-17,271	10,611	3,828	35,880
01~07	100,823	-26,083	-37,530	14,737	- 1,202	50,745
01~10	141,868	-43,128	-37,659	17,473	19,396	97,949
2007 년을 기준 연도로 고정하였을 때						
	생산효과	구조효과	집약도효과	믹스효과	계수효과	총효과
07~10	39,468	-16,017	918	- 1,763	24,598	47,204



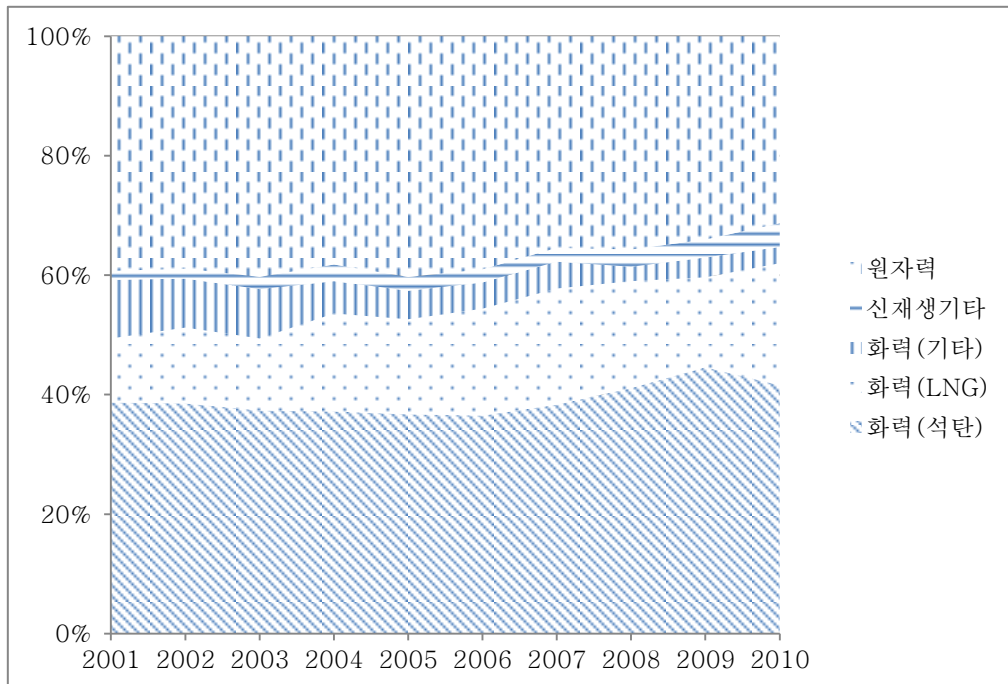
[그림 13] 이산화탄소 배출량 변화의 가법분해분석 결과
 (원료용 에너지 제외 및 발전 분야의 이산화탄소 배분 이전)
 (단위: 천ton CO2)

발전 분야의 이산화탄소 배분 이후의 이산화탄소 배출의 총효과는 배분 이전의 총효과보다 작게 계산되었다. 이는 이산화탄소의 배분 시에 실제 소비 전력량을 기준으로 배분하였기 때문이다. 1차에너지가 전력으로 전환될 때의 에너지 손실과 송전 시의 손실이 발생하고, 생산된 전력을 100% 사용하지 않고 예비 전력이 남아 있으므로 발전에 소비된 에너지의 양과 전력으로 전환되어 소비된 에너지의 양이 일치하지 않는다.

주로 생산효과와 에너지믹스효과, 계수효과는 이산화탄소 배출의 증가 요인으로, 구조효과와 집약도효과는 감소 요인으로 작용하고 있다. 그러나 2007~2010년 기간의 경우 집약도효과는 양의 값으로 계산되었고, 에너지 소비량 가법분해의 결과와 마찬가지로 에너지 사용의 효율 개선이 이루어지지 않았다고 할 수 있다.

위의 결과에서 특기할 만한 효과는 계수효과이다. 전력 생산 시 배출되는 이산화탄소를 각 분야에 전력 사용량에 비례하도록 배분하였을 때 계수효과가 매우 높게 계산되었다. 이는 전력 생산을 할 때 이산화탄소를 더욱 많이 배출하는 에너지원의 소비가 증가하였다는 뜻이다. 이산화탄소의 배분 전에는 연소계수(C_{ij} / E_{ij})가 동일하였기 때문에 석유, 석탄, 가스 등의 비중 변화가 모두 믹스효과에 포함되었다. 그러나 전력 배분 시에는 C_{ij} 가 변화하기 때문에 전력 분야의 계수가 연도에 따라서 변화하게 되고, 따라서 계수효과도 나타나게 된다. 이러한 높은 양의 계수효과는 전력 생산 시 이산화탄소를 더 많이 배출하는 에너지원의 사용 비중이 증가하고 있음을 잘 보여주고 있다.

실제로, 해당 기간 동안에 전력 생산 시 이산화탄소를 많이 배출하는 방향으로의 에너지믹스 조정이 발생하였다. 아래 [그림 14]은 연도별 발전 분야에서 소비하는 에너지원의 비중 변화를 보여주고 있다.



[그림 14] 2001~2010 에너지원별 발전 구성비

2001년 화력발전의 비중은 59.2%에서 2010년 64.7%로 증가하였고, 원자력발전의 비중은 2001년 39.3%에서 2010년 31.3%로 감소하였다. 화력발전에 사용하는 에너지원 중에서도 석탄의 비중은 전체 에너지원 대비 2001년 38.7%에서 2010년 41.6%로 증가하였고, LNG의 비중은 2001년 10.7%에서 2010년 20.4%로 상승하였다.

전력은 분명 이산화탄소를 배출하지 않는 에너지원이지만, 전력을 생산하기 위해서는 이산화탄소의 배출이 필연적이다. [표 12]를 보면 2001~2010년의 기간 동안 생산량의 증가로 인한 이산화탄소의 배출량의 증가 효과(생산효과)는 약 142,000 천ton CO₂에 달하였으나, 이산화탄소를

덜 배출하는 방향으로의 구조 변화와(구조효과) 에너지 효율의 개선에 의한 변화(집약도효과)에 의해서 약 80,000 천ton CO2만큼 감소할 수 있었다. 그러나 전력 소비에 의한 계수효과에 의해서 다시 약 20,000 천ton CO2의 증가 요인이 있었다. 2007~2010년의 경우에는 전력에 의한 영향이 심해져서 계수효과가 더욱 증가하게 되었다. 에너지 효율의 개선도 거의 이루어지지 않았고, 오히려 미미하게 악화되었다.

이러한 전력 생산에 의한 이산화탄소 배출량의 증가는 전력 수요의 급증에서 기인한 것으로 보인다. 석유 등의 1차에너지원보다 낮게 책정된 전력 가격에 의한 왜곡된 에너지 가격 체계는 기업의 열 수요와 가정의 난방 수요 등 1차에너지로 해결할 수 있는 수요를 전력 수요로 전환시키고 있고, 실제로 최근 제조업과 서비스업, 가정 등 대부분의 분야에서 전력의 소비량이 증가하고 있다. 이러한 전력 수요 변화에 대해서 원자력과 수력 등 이산화탄소를 적게 배출하는 발전원으로는 단기적인 대응이 어렵고, 급증하는 전력의 수요를 맞추기 위해서 석탄 및 LNG 등을 에너지원으로 사용하는 화력 발전량을 증가시킬 수 밖에 없다. 따라서 이는 전력 수요의 철저한 관리 및 발전 분야의 에너지 비중 조정이 이산화탄소 배출량 감축을 위한 주요 정책이 되어야 함을 시사한다.

5.2.3 이산화탄소 배출량 변화율에 대한 회귀분석

각 분야의 전년 대비 이산화탄소 배출량의 변화율이 전년 대비 집약도의 변화율 또는 에너지원비중의 변화율 등과 어떠한 관계가 있는지 확인하기 위하여 회귀분석을 수행하였다. 이 때 변화율은 2001년 대비 2004년, 2004년 대비 2007년, 2007년 대비 2010년의 변화율을 사용하였으며, 따라서 정확히 표현하면 전년 대비가 아닌 3년 전 대비 변화율이라 할 수 있다. 회귀분석에 사용된 변수의 종류는 아래 [표 12]와 같다.

[표 12] 회귀분석에 사용된 변수의 종류

종류	변수	변수 내용
독립변수	CO2	전년 대비 각 분야의 단위 생산량당 이산화탄소 배출량의 변화율
종속변수	INS	전년 대비 각 분야의 집약도 변화율
	COAL	전년 대비 각 분야의 석탄 비중의 변화율
	OIL	전년 대비 각 분야의 석유 비중의 변화율
	GAS	전년 대비 각 분야의 가스 비중의 변화율
	ELEC	전년 대비 각 분야의 전력 비중의 변화율

발전에서 배출되는 이산화탄소를 각 분야에 전력 사용량에 따라 비례배분 하지 않았을 때 (1)와 이산화탄소를 비례배분 하였을 때 (2)로 나누어서 각각 회귀분석을 수행하였다. 회귀분석 결과는 아래 [표 13]와 같다.

[표 13] 회귀분석 결과

변수	비례배분 이전(1)	비례배분 이후(1)
INS	0.8285(0.0902)***	1.0299(0.0313)***
COAL	0.0012(0.0038)	-0.0003(0.0013)
OIL	0.3897(0.0858)***	-0.0886(0.0301)***
GAS	0.0001(0.0055)	-0.0008(0.0019)
ELEC	-0.2289(0.0884)**	0.1540(0.0311)***
Intercept	0.0149(0.0287)	0.0133(0.0101)
Adj-R ²	0.5843	0.9409

***, **, *은 각각 1%, 5%, 10%에서 유의함을 의미함
괄호 안의 수는 표준편차를 나타냄

발전에서 배출되는 이산화탄소를 각 분야에 전력 사용량에 따라 비례배분 하지 않았을 때 (1), 집약도가 1% 악화될 때 단위 생산량당 이산화탄소 배출량은 0.83% 증가하고, 석유의 비중이 1% 증가할 때 단위 생산량당 이산화탄소 배출량은 0.39% 증가하며, 전력의 비중이 1% 증가할 때 단위 생산량당 이산화탄소 배출량은 0.23% 감소한다고 계산되었다. 이는 전력에서 배출되는 이산화탄소는 0이므로, 전력을 많이 소비할수록 해당 분야에서

배출되는 이산화탄소가 점점 줄어들게 되는 것과 일치한다.

그러나 발전에서 배출되는 이산화탄소를 비례배분 하였을 때에는 (2), 집약도가 1% 악화될 때 단위 생산량당 이산화탄소 배출량은 1.03% 증가하고, 석유의 비중이 1% 증가할 때 단위 생산량당 이산화탄소 배출량은 0.09% 감소하며, 전력의 비중이 1% 증가할 때 단위 생산량당 이산화탄소 배출량은 0.15% 증가하는 것으로 계산되었다. 이러한 반대되는 결과는 5.2.2에서 설명된 발전 분야의 에너지믹스 문제에서 기인한 것으로 판단된다.

5.2.4 이산화탄소 배출량의 분해분석 정리

이산화탄소 배출량의 변화 요인 역시 2001~2010년의 기간과 2007~2010년의 기간에 따라서 다르게 계산되었다. 지난 10년간 생산효과와 에너지믹스효과는 이산화탄소 배출량 증가에 기여하였고, 구조효과와 집약도효과, 배출계수효과는 감소에 기여하였다. 그러나 최근 3년간은 생산효과와 구조효과, 집약도효과, 에너지믹스효과의 4가지 요인이 이산화탄소 배출량 변화에 증가 요인으로 작용하였고, 계수효과만이 감소 요인으로 작용하였다. 즉, 최근 3년간 구조의 악화와 에너지 효율의 악화가 발생한 것이다.

에너지믹스효과와 배출계수효과가 서로 상반된 결과를 보인 점도 특기할 만 하다. 에너지믹스효과를 살펴 보면, 발전을 제외한 전 분야에서 석탄의 비중이 감소했으나 발전 분야의 석탄 비중이 급증하였고, 석유의 비중은 전

분야에서 감소하였고, 가스의 비중은 전 분야에서 증가하였다. 이러한 에너지 비중의 변화는 양의 에너지믹스효과를 가져 왔다. 그러나 계수효과는 석탄과 석유를 원료로 사용하는 분야에 의해 대부분 발생하였고, 이러한 음의 계수효과는 연소용 에너지 소비량의 감소 및 원료용 에너지 소비량의 증가에 의해 이산화탄소 배출량이 감소함에 따라 발생한 결과이다. 즉, 화석 연료가 아닌 전력 등의 다른 에너지를 연소용 에너지원으로 사용하는 경우가 많아진 것이라고 볼 수 있다.

이산화탄소의 배출량 역시 발전 분야에 의해 분석 결과가 왜곡될 가능성이 있으므로, 발전 분야에서 배출된 이산화탄소를 각 분야에 전력 사용량에 비례배분하여 분해분석을 다시 수행하였다. 이 때, 원료용 에너지의 소비량은 계수 효과의 왜곡 가능성으로 인하여 제외하였다. 분석 결과, 양의 에너지믹스효과 및 배출계수효과가 계산되었고, 이는 이산화탄소를 많이 배출하는 에너지원의 비중이 증가하였다는 뜻이다. 배출계수효과는 주로 연소용 또는 원료용 에너지원의 비중 변화에 따른 변화와 발전 분야의 에너지믹스 변화를 표현하는데, 원료용 에너지 소비량을 제외하였으므로, 발전 분야에서 이산화탄소를 많이 배출하는 에너지원의 비중이 증가하였다고 판단된다. 실제로 최근 증가하는 전력 수요를 맞추기 위해서 이산화탄소를 많이 배출하는 석탄 또는 LNG 발전의 비중이 증가하였다. 따라서 이러한 분석 결과는 전력의 수요 관리가 필요하고, 전력의 연소용 사용 비중을 감소시켜야 하며, 석탄 및 LNG 발전의 비중을 낮춰야 한다는 주장을 뒷받침한다.

6. 결론 및 한계

본 연구의 기여점은 다음과 같이 세 가지로 요약될 수 있다.

첫 번째로 본 연구가 주는 함의는 1990년대 후반의 외환 위기 이후 변화된 국내 산업 구조가 에너지 소비를 덜 하는 방향으로의 에너지 소비 구조를 변화시킨 점과 이산화탄소 배출을 덜 하는 방향으로의 배출 구조를 변화시킨 점이다. 에너지 다소비 업종을 주력으로 하는 산업 구조에서 에너지 저소비 업종으로의 전환이 조금씩 발생하는 가운데, 본 연구의 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석을 통해서 실제로 구조효과가 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량의 감소 요인으로 작용하였다는 것을 실증하였다.

두 번째로 본 연구는 2007~2010년의 기간에 발생한 에너지 소비 및 이산화탄소 배출 구조의 변화 분석을 통해서 해당 기간의 에너지 정책의 문제점을 밝히고 있다. 원료용의 목적을 제외한 에너지 소비 및 이산화탄소 배출의 분해 결과, 해당 기간에는 언제나 집약도효과가 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량의 증가 요인으로 작용하였다. 이는 에너지 효율이 2007년부터 3년 동안 오히려 악화되었다는 의미이다. 따라서 에너지 효율 개선을 위하여 강력한 정책적 의지를 기반으로, 적극적인 기술의 개발과 도입을 장려해야 할 것으로 보인다.

마지막으로 본 연구는 전력 사용에 의한 이산화탄소 배출량 감소의 문제점을 밝히고 있다. 국내 에너지 소비 전 분야에서 전력의 사용량이 증가함에 따라서 타 에너지원에 의한 이산화탄소 배출량이 감소한 것 처럼

보인다. 그러나 이러한 전력의 수요 증가를 맞추기 위해 발전 분야에서 소비한 에너지원에 의한 이산화탄소를 포함하여 분해분석을 수행하면, 이산화탄소를 더 많이 배출하는 에너지원의 소비 비중이 오히려 증가하였다는 결과를 보여준다. 급격한 전력 수요의 증가에 대응하기 위해서 주로 유연탄과 LNG를 연료로 사용하는 화력 발전을 통한 전력 생산량이 증가하게 되고, 이는 이산화탄소 배출량의 증가를 수반하게 된다. 따라서 급증하는 전력 수요를 조절하기 위한 노력과 함께 발전 분야에서 사용하는 에너지믹스의 조정 역시 필요할 것으로 보인다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 한계를 가진다. 먼저, 각 분야에서 소비한 에너지원을 석탄·석유·가스 등의 대(大) 분류로 묶어서 에너지 소비 및 이산화탄소 배출량 변화의 분해분석을 수행하였기 때문에, 각 에너지원의 비중 변화와 계수 변화 등을 자세히 보이지 못하였다. 이는 사용한 자료의 문제에 기인한 것으로, 에너지원의 분류가 모든 통계 자료에서 완벽하게 일치하지 않았기 때문이다. 다만 이를 다소나마 해결하기 위하여 에너지믹스효과 및 계수효과를 [표 8]와 [표 9]과 같이 산업 분류 및 에너지 대 분류별에 의한 효과로 분리하였고, 각 산업에서 주로 소비하는 에너지원의 특성에 따른 해석을 통해 에너지믹스효과 및 계수효과를 일정 부분 해석할 수 있었다고 보여진다.

또한, 이산화탄소 배출량 증가의 주요 요인으로 파악된 전력 수요의 증가에 대한 원인 분석이 정량적으로 이루어지지 않았다. 1차에너지원의 가격보다 낮게 설정된 전력 가격에 의해 발생된 왜곡된 가격 체계 때문에

기업의 열 수요와 가정의 난방 수요가 전력 수요로 전환되고 있는 것은 일반적으로 알려진 것이나, 본 연구에서 보이고 있는 최근의 전력 수요 증가에 따른 이산화탄소 배출량의 증가가 위와 같이 왜곡된 가격 체계에 의한 것인지에 대해서는 알 수 없었다. 따라서 최근의 전력 수요 증가 원인에 대한 분석이 이루어져야, 보다 명확한 전력 수요 관리 정책에 대한 제언을 할 수 있을 것이라고 판단된다.

참 고 문 헌

- 김수이 · 김현석. (2011). LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 에너지 소비 요인 분해 분석. *에너지경제연구*, 10(1).
- 김수이 · 정경화. (2011). LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 온실가스 배출 요인분해분석. *자원환경경제연구*, 20(2), 229-254.
- 김윤경 · 장운정. (2011). 접속불변에너지산업연관표 00-05-08 을 이용한 산업별 에너지소비 변화량의 구조분해분석. *자원 · 환경경제연구*, 20(2), 255-289.
- 김진수 · 허은녕. (2005). 구조분해분석을 통한 국내 산업별 에너지 소비 변화요인 연구. *자원 · 환경경제연구*, 14(2), 257-290.
- 김현경 · 김진수 · 허은녕. (2004). 에너지원별 사용집약도 분해분석연구. *한국에너지공학회 2004 년도 춘계 학술발표회 논문집*, 329-333.
- 김화영 · 김지효. (2008). 주요 분해분석 방법론을 이용한 에너지유 소비 변화. *한국지구시스템공학회지*, 45(2), 91-100.
- 나인강 · 이성근. (2008). 산업부문 에너지 효율 변화요인 분석. *자원 · 환경경제연구*, 17(2), 255-286.
- 나인강 · 이성근. (2010). 가정부문 에너지 효율 분석. *자원 · 환경경제연구*, 19(1), 129-157.
- 박준영 · 허은녕. (1999). 구조분해분석을 이용한 국내 CO₂ 배출량 변화요인분석에 관한 연구. *대한자원환경지질학회 1999 년도 춘계 공동학술발표회*.

- 에너지경제연구원. (2002). 2002 년도 에너지총조사 보고서. 산업자원부.
- 에너지경제연구원. (2005). 2005 년도 에너지총조사 보고서. 산업자원부.
- 에너지경제연구원. (2008). 2008 년도 에너지총조사 보고서. 지식경제부.
- 에너지경제연구원. (2010). 에너지통계연보. 지식경제부.
- 에너지경제연구원. (2011). 2011 년도 에너지총조사 보고서. 지식경제부.
- 온실가스종합정보센터. (2011). 2009 년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서.
- 이재민 · 한상용. (2011). 운수업부문 에너지 소비와 집약도 변화에 관한 요인분해 분석. *한국경제연구*, 29(2), 213-241.
- 진상현 · 황인창. (2009). 지수분해분석을 이용한 지자체의 에너지 소비특성에 관한 연구. *자원 · 환경경제연구*, 18(4), 557-586.
- 최한주 · 이기훈. (2006). 환경 혼합 산업연관모형을 이용한 산업별 이산화탄소 배출량 추정과 변화 요인 분석. *자원 · 환경경제연구*, 15(1), 27-50.
- 한국은행. (2011). 경제활동별 GDP 및 GNI. *통계청, 국가통계포털*.
- Ang, B. W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?. *Energy Policy*, 32(9), 1131-1139.
- Ang, B. W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy*, 33(7), 867-871.
- Ang, B. W., & Choi, K. H. (1997). Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined Divisia index method. *Energy Journal*, 18(3), 59-73.

- Ang, B. W., & Liu, N. (2007). Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach. *Energy Policy*, *35*(1), 238–246.
- Ang, B. W., Zhang, F. Q., & Choi, K. H. (1998). Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy*, *23*(6), 489–495.
- Balezentis, A., Balezentis, T., & Streimikiene, D. (2011). The energy intensity in Lithuania during 1995–2009: A LMDI approach. *Energy Policy*, *39*(11), 7322–7334.
- Choi, K. H., & Ang, B. W. (2001). A time-series analysis of energy-related carbon emissions in Korea. *Energy Policy*, *29*(13), 1155–1161.
- Choi, K. H., & Ang, B. W. (2002). Measuring thermal efficiency improvement in power generation: the Divisia decomposition approach. *Energy*, *27*(5), 447–455.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., Orkopoulos, D., & Papayannakis, L. (2006). A bottom-up decomposition analysis of energy-related CO₂ emissions in Greece. *Energy*, *31*(14), 2638–2651.
- Hoekstra, R., & van der Bergh, J. J. C. J. M. (2003). Comparing structural and index decomposition analysis. *Energy Economics*, *25*(1), 39–64.
- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change). (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *OECD*.

- Kwon, T. H. (2005). Decomposition of factors determining the trend of CO₂ emissions from car travel in Great Britain (1970–2000). *Ecological Economics*, *53*(2), 261–275.
- Lee, K., & Oh, W. (2006). Analysis of CO₂ emissions in APEC countries: A time–series and a cross–sectional decomposition using the log mean Divisia method. *Energy Policy*, *34*(17), 2779–2787.
- Liu, L. C., Fan, Y., Wu, G., & Wei, Y. M. (2007). Using LMDI method to analyzed the change of China's industrial CO₂ emissions from final fuel use: An empirical analysis. *Energy Policy*, *35*(11), 5892–5900.
- Oh, I., Wehrmeyer, W., & Mulugetta, Y. (2010). Decomposition analysis and mitigation strategies of CO₂ emissions from energy consumption in South Korea. *Energy Policy*, *38*(1), 364–377.
- Park, S. H. (1992). Decomposition of industrial energy–consumption – an alternative method. *Energy Economics*, *14*(4), 265–270.
- PBL, Netherlands Environmental Assessment Agency. (2011). Long–term trend in global CO₂ emissions 2011 report. *JRC European Commission*.
- Tornqvist, L., Vartia, P., & Vartia, Y. O. (1985). How should relative changes be measured. *American Statistician*, *39*(1), 43–46.
- Zhang, Z. X. (2003). Why did the energy intensity fall in China's industrial sector in the 1990s? The relative importance of structural change and intensity change. *Energy Economics*, *25*(6), 625–638.

Abstract

The domestic and overseas circumstances of energy and the international trend of decreasing the amount of CO₂ emissions contribute to growing need for studies about reduction in the energy and the CO₂ emissions. Also, for making a social consultation and a policy, understanding changing factors for the amount of energy consumption and CO₂ emissions should be preceded. In this research, we analyzed the changing factors for the amount of energy consumption and CO₂ emissions in domestic, such as manufacturing, services, automobile, and housing using LMDI(Log Mean Divisia Index) method. In energy decomposition, I analyzed 3 factors as activity effect, structural effect, and intensity effect for energy consumption and analyzed 5 factors as activity effect, structural effect, intensity effect, energy mix effect, and emission factor effect.

The decomposition results show that the activity effect in manufacturing contributes to increase energy consumption: on the other hand, the structural effect and the intensity effect counteract the effects of increasing energy consumption. However, services fields did not cancel out increasing: thus, the improvement of energy

efficiency is should be treated as a first priority. Also, the trend of changing CO₂ emissions looks similar to the trend of changing energy consumption: therefore, this requires the development of appropriate technology. Finally, the increasing CO₂ emissions due to the electricity generation also should be considered for studies.

Keywords: LMDI, Energy Decomposition, CO₂ Decomposition, Energy Intensity, Energy Mix

Student Number: 2011-21152

