

국내 발전부문의 온실가스 배출 요인 분해 분석*

김수이**

요 약

본 논문은 LMDI (Log Mean Divisia Index) 방법론을 이용하여 국내 발전부문의 온실가스 배출에 대한 요인분해분석을 하였다. 국내 발전부문의 온실가스 배출에 대한 요인분해는 인구효과, 전력집약도 효과, 발전믹스 효과 I (총 전력생산에서 화석연료에 의한 발전비율에 의한 발전믹스효과), 발전믹스 효과 II (화석연료간의 믹스에 의한 발전믹스효과), 발전효율효과, 배출계수효과 등 여섯 가지 요인으로 분석하였다. 분석대상기간은 2010년부터 2015년까지 최근 6년간을 분석대상으로 한다. 2010~2015년까지 온실가스 배출변화요인을 분석한 결과를 보면 국내 발전부문의 온실가스 배출에 가장 큰 요인으로 작용한 것은 전력집약도 효과이며, 그 다음으로 인구효과이다. 그 외 요인으로는 발전효율효과, 발전믹스 효과 II, 발전믹스 효과 I 순으로 온실가스 감축에 영향을 미쳤다. 배출권거래제, RPS, 온실가스·에너지 목표관리제 등이 복합적으로 작용한 결과이다. 하지만 이러한 효과는 연도별로 큰 편차를 보이고 있다. 특히 2013년에는 원자력발전소 일시중단에 따른 효과가 큰 변화 요인으로 작용하였다.

주요 단어 : LMDI, 발전, 온실가스, 요인분해
 경제학문헌목록 주제분류 : Q21

* 본 연구는 에너지경제연구원 정책연구보고서 「국내 산업부문, 발전부문의 온실가스 배출 요인분해 분석」의 일부분을 수정·발전시킨 것입니다.

** 김수이(주저자). 홍익대학교 상경대학 상경학부, suyikim@hongik.ac.kr

I. 서 론

우리나라는 2015년 기준으로 세계 7위의 이산화탄소를 배출 국가이면서 에너지의 94.8%를 수입에, 83%를 화석연료에 의존하는 구조적 문제점도 가지고 있다. 우리나라는 파리기후협약에 따라 2030년까지 BAU(Business As Usual) 대비 37%(국내 25.7%, 국제 11.3%) 감축하겠다는 INDC(자발적 감축목표)안을 발표하였다. 비록 자발적인 감축목표이기는 하지만 구속성 있는 조치로서 목표달성을 위한 다양한 정책수단이 병행되어야 하는 시점이다. 이러한 온실가스 감축 목표는 국민 경제에 부담이 아닐 수 없다. 한편 2015년 기준으로 발전부문은 국가 전체 온실가스 배출량의 약 34%를 차지하고 있다. 이러한 발전부문의 효과적인 온실가스 감축 없이는 국가 온실가스 감축목표 달성이 쉽지 않을 것으로 보인다.

2017년 새 정부의 출범과 더불어 최근 발전부문에서는 신재생 발전의 확대, 원자력 발전의 축소 등 에너지전환정책이 과감히 추진되고 있다. 그리고 2015년부터 온실가스 배출권거래제, 2011년부터 온실가스·에너지 목표관리제 등이 실시되고 있다. 이러한 일련의 정책적인 효과가 발전부문의 온실가스 배출 구조에도 영향을 미쳤으리라고 판단된다. 따라서 발전부문의 온실가스 배출 요인을 정확히 분석하여 국가 온실가스 감축목표 달성에 부합하는 정책을 수립할 필요가 있다. 하지만 국내 발전 부문에 대한 정확한 온실가스 배출 요인 분해에 대한 연구는 최근에 시작되었다.

에너지 및 온실가스 배출에 대한 요인분해 분석은 LMDI(Log Mean Divisia Index) 분석 방법론이 일반적으로 사용된다. 이 분석 방법론은 Ang et al.(1998)에 처음 제시된 이후 Ang et al.(2003), Ang(2004), Ang(2005)를 거치면서 체계화되었다. 이 방법론은 factor-reversal test를 만족하고 설명되지 않는 잔차가 결과에 남지 않는 장점을 가지고 있다.

LMDI 지수분해분석 방법론을 이용한 우리나라의 국내 온실가스 배출 요인 분석에 대한 연구는 Ilyoung Oh et al.(2010), 김수이·정경화(2011), Jung and Kim(2013), 임재규·김종익(2014), 박년배·심성희(2015), 김태현·임덕오·김윤경(2015), 김용빈·전봉걸(2017) 등이 있다. 이들 국내 온실가스 배출 요인 분해 분석 연구는 대부분 제조업 및 산업부문에 집중되어 있다.

Ilyoung Oh et al.(2010)은 국내 온실가스 배출 전체에 대한 연료믹스, 에너지 집약도, 구조변화 그리고 경제성장 등 4가지 요인으로 분해 분석을 하였다. 김용빈·전봉걸(2017)은 국내 온실가스 배출을 다양한 부문으로 나누어 분석하였지만 2013년과 2014년 두해의 온실가스 배출 증가를 분석하는데 그치고 있다. 김수이·정경화(2011), Jung and Kim(2013), 임재규·김종익(2014), 박년배·심성희(2015)는 국내 산업부문에 초점을 맞추어 온실가스 배출에 대한 요인분해를 실시하였다.

발전부문에 대한 온실가스 배출 요인에 대한 연구는 최근에 시작되었다. 해외 연구로는 Zhang et al.(2013), Steenhof(2007) 그리고 Steenhof and Weber(2011) 등이 있다. Zhang et al.(2013)은 1991년부터 2009년까지 중국의 발전부문의 온실가스 배출에 대해 LMDI 분석방법을 사용하여 6가지 요인으로 분해하였다. Steenhof(2007)와 Steenhof and Weber(2011)는 중국과 캐나다에 대한 발전부문의 에너지소비에 대해서 Laspeyres Index 방법론을 사용하여 요인분해 분석을 하였다.

하지만 국내 발전부문에 대한 요인 분해 분석은 최근에 이르러 연구가 시작되었다. 최근 국내에 발표된 논문으로는 Kim and Kim(2016), 조용성(2017) 그리고 김용빈·전봉걸(2017)이 있다. Kim and Kim(2016)에서는 1990년부터 2012년까지 국내 발전부문의 온실가스 배출량을 생산효과, 발전믹스 효과 I (총 전력생산에서 화석연료에 의한 발전비율에 의한 발전믹스효과), 발전믹스 효과 II(화석연료간의 믹스에 의한 발전믹스효과), 발전효율효과, 배출계수효과 등 다섯 가지 요인으로 분해하였다. 조용성(2017)에서는 1990년부터 2016년까지 국내 발전부문의 온실가스 배출량을 경제발전효과, 전력집약도 효과,

화력발전의존도 효과, 화석연료집중도 효과, 화석연료 탄소집약도 효과로 분석하였다. 조용성(2017)의 분석은 화석연료의 연료별 믹스에 따른 효과가 도출되지 않았으며, 아울러 발전효율효과를 도출할 수 없었다. Kim & Kim(2016)의 분석에서는 생산효과가 증가하는 원인을 구체적으로 도출할 수 없었다. 김용빈·전봉걸(2017)의 분석에서도 일부 발전부문의 온실가스 배출 증감요인을 다루었지만 조용성(2017)에서와 마찬가지로 화석연료의 연료별 믹스에 따른 효과가 도출되지 않았다.

본 연구의 목적은 2010년 이후부터 2015년까지 국내 발전부문의 온실가스 배출에 대하여 LMDI 분석방법론을 사용하여 요인 분해 분석을 하는 것이다. 발전부문은 배출권거래제 주요한 대상이며, RPS 등 다른 저탄소 정책들도 아울러 실행되고 있으므로 이에 대한 정책적인 효과도 살펴볼 수 있다. 발전부문은 특히 원자력 및 신재생에너지로 발전원의 전환만으로도 온실가스 감축 잠재력이 큰 부문이다.

본 분석에서는 Kim & Kim(2016)의 분석을 더 확장하여 생산효과를 다시 인구효과와 전력집약도 효과로 분해하였다. 따라서 본 분석에서는 인구효과, 전력집약도 효과, 발전믹스 효과 I(총 전력생산에서 화석연료에 의한 발전비율에 의한 발전믹스효과), 발전믹스 효과 II(화석연료간의 믹스에 의한 발전믹스효과), 발전효율효과, 배출계수효과 등 여섯 가지 요인으로 분석하였다. 분석대상기간은 2010년부터 2015년까지 최근 6년간을 분석대상으로 한다. 발전원별 에너지소비량, 온실가스 배출량에 대한 데이터는 현재 시점에서 2015년까지 가능하기 때문이며, 지난 6년 동안 온실가스·에너지 목표관리제, 온실가스 배출권거래제 등 기후변화관련 규제정책이 본격적으로 시작되었기 때문에 이러한 정책적인 변화로 온실가스 배출요인에 영향을 미친 것이 분석 가능하기 때문이다.

본 연구는 모두 4개의 장으로 구성되어 있다. 제II장에서는 우리나라 발전부문의 온실가스 배출현황, 에너지원별 발전 현황 등을 살펴보고 발전부문의 온실가스 배출 요인분해 분석 방법론을 제시한다. 제III장에서는 발전부문에

대한 온실가스 배출 분해 분석 결과를 제시한다. 마지막으로 제IV장은 결론 부분으로 본 연구의 결과를 종합하고 한계점과 향후 보완되어야 할 내용, 정책 방향 등에 대해 언급하였다.

II. 발전부문의 온실가스 배출 현황 및 분석방법

1. 발전부문의 온실가스 배출 현황

국내 발전부문의 온실가스 배출량은 <표 1>에 제시되어 있는 바와 같이 2013년까지 배출량이 증가하다가 그 이후에는 소폭 감소하였다. 2010년 온실가스 배출량은 2억 3,480만 톤이던 것이 2015년에는 2억 3,751만 톤으로 소폭 증가하는데 그쳤다. 이는 석탄, 석유, 가스(LNG) 등 화석연료를 이용한 발전량과 그 추이를 같이하고 있다. 화석연료를 이용한 발전량도 2013년까지 증가하다가 그 이후에는 소폭 감소하였다. 연료별 온실가스 배출량을 보면 석탄발전에서 나오는 온실가스 배출량은 별 변화가 없는 반면 석유에서 나오는 온실가스 배출량은 2013년 정점을 이룬 후 급격히 감소하고 있다. 가스에서 나오는 온실가스 배출량은 2013년까지 증가하다가 2014년을 거치면서 2015년에 감소하였다. 특히 2013년에 가스 발전량이 큰 폭으로 증가한 이유는 원자력발전 감소에 따른 대체재로서 가스발전이 증가하였기 때문이다. 이러한 온실가스 배출량의 에너지원별 상대적인 비중은 [그림 1]에 나타난 바와 같이 석유와 가스에 의한 온실가스 배출 비중이 상대적으로 석탄에 의한 온실가스 배출 비중보다 낮으며 그 비중도 줄어들고 있다.

〈표 1〉 발전부문의 온실가스 배출량 추이

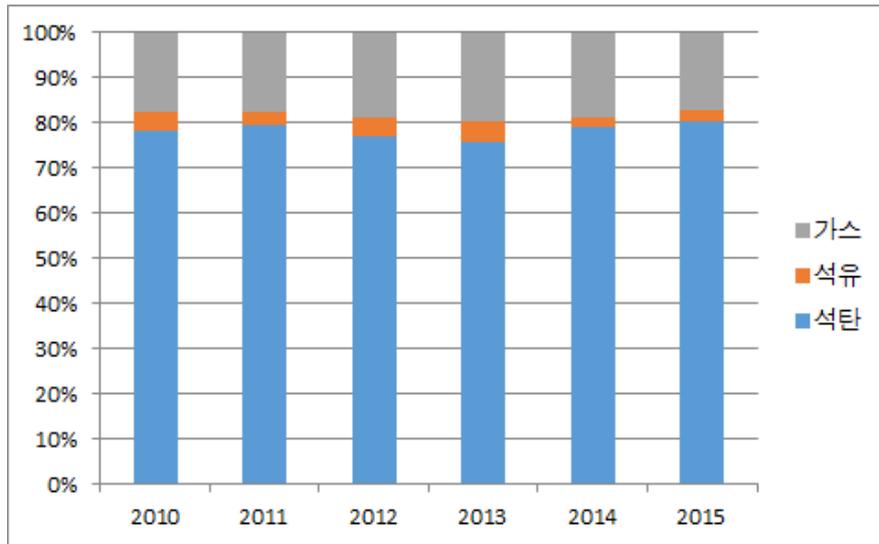
(단위: 천톤)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
석탄	184,082	190,952	187,237	188,405	185,697	190,793
석유	9,332	6,725	10,385	10,656	5,100	5,947
가스	41,389	42,759	45,301	49,122	44,381	40,774
발전부문	234,803	240,437	242,923	248,184	235,179	237,514

자료: 에너지경제연구원

주: 석탄에서 배출되는 온실가스 배출량에는 신탄 및 기타에서 배출되는 온실가스 배출량을 포함한다. LNG에서 배출되는 배출량은 도시가스에서 배출되는 배출량을 포함한다. 아래 에너지사용량 및 발전량에도 동일한 기준을 사용하였다.

[그림 1] 발전부문의 온실가스 배출량 연료별 상대적 비중



〈표 2〉 국내 에너지원별 발전부문의 발전량

(단위: GWh)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
석탄	197,916	200,124	198,831	200,444	203,446	204,230
석유	12,878	12,493	15,156	15,752	24,950	31,616
가스	96,734	101,702	113,984	127,724	114,654	100,783
원자력	148,596	154,723	150,327	138,784	156,407	164,762
기타(신재생 포함)	18,536	27,851	31,276	34,444	22,514	26,700
발전부문 전체	474,660	496,893	509,574	517,148	521,971	528,091

자료: 에너지경제연구원

주: 기타발전에는 수력, 신재생에너지를 포함하며, 기타 화력발전에는 포함되지 않는 비화력 발전을 포함한다. 이는 전체발전량 중에서 석탄, 석유, 가스 발전을 제외한 발전을 의미한다. 발전부문 전체의 발전량은 사업자+한전구입 발전량을 사용한다. 즉 자가소비 발전량은 제외한다.

발전부문의 온실가스 배출 구조는 발전구조와 직접적으로 연관되어 있다. 국내 발전부문의 연도별 추이는 <표 2>와 [그림 2]에 나타나 있다. 석탄발전 발전량은 변동성이 적은 반면 원자력과 가스 발전량은 상대적으로 큰 폭의 변화를 보이고 있다. 2013년에는 원자력 발전소 고장에 따른 일시중단으로 원자력 발전량이 일시적으로 감소하였고 이에 대한 대체발전으로 발전단가가 높은 가스 발전이 일시적으로 증가하였다. 석유에 의한 발전은 집단에너지 보급과 복합화력발전 비중의 증가에 따라서 소폭 증가하였다. 신재생발전 증가로 인하여 기타발전의 비중도 상승세를 나타내고 있지만 일시적으로 2014년에 발전량이 조금 줄었다.

이에 따라 에너지원별 발전량의 상대적 비중은 <표 3>과 [그림 3]에 나타난 바와 같이, 2015년에는 2010년에 비해 석탄발전과 가스발전의 비중은 소폭 감소하였고 석유발전과 신재생 발전 비중은 소폭 증가하였다. 원자력의 발전

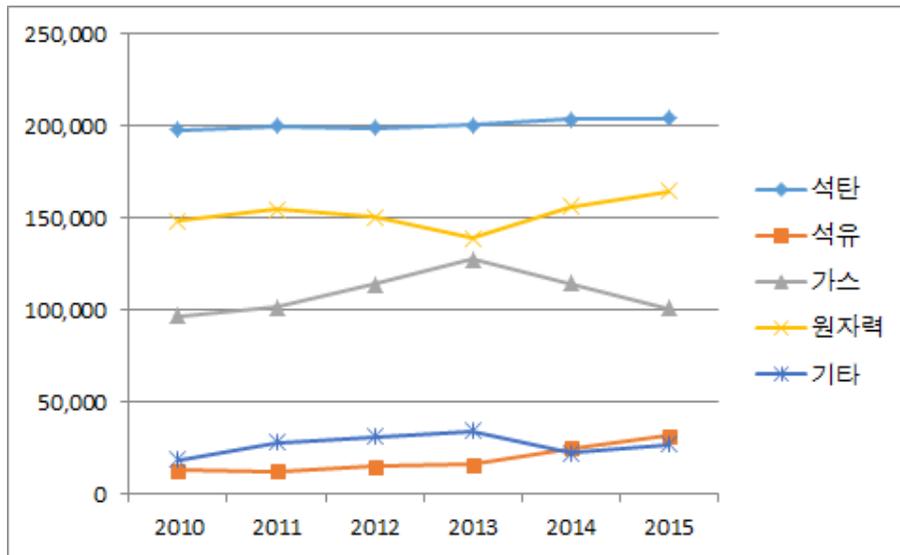
비중은 큰 변화가 없었다. 하지만 원자력 발전비중은 2013년에 26.8%로 감소하였고 그만큼 가스발전의 비중은 24.7%까지 상승하였다.

한편 석탄, 석유, 가스에 의한 화력발전비중과 원자력발전 및 신재생에너지 발전 등 비화력발전간의 상대적인 변화는 [그림 4]에서 보는 바와 같이 2013년까지는 화석연료발전 비중이 증가하다가 2014년 2015년에는 지속적으로 비화석연료의 발전비중이 소폭이나마 증가하고 있다.

이상에서와 같이 발전구조의 변화는 발전부문의 온실가스 배출에 영향을 직접적으로 가져왔다. 이는 요인분해 분석을 통해서 그 크기를 구체적으로 알아볼 수 있다.

[그림 2] 국내 에너지원별 발전부문의 발전량 추이

(단위: gWh)

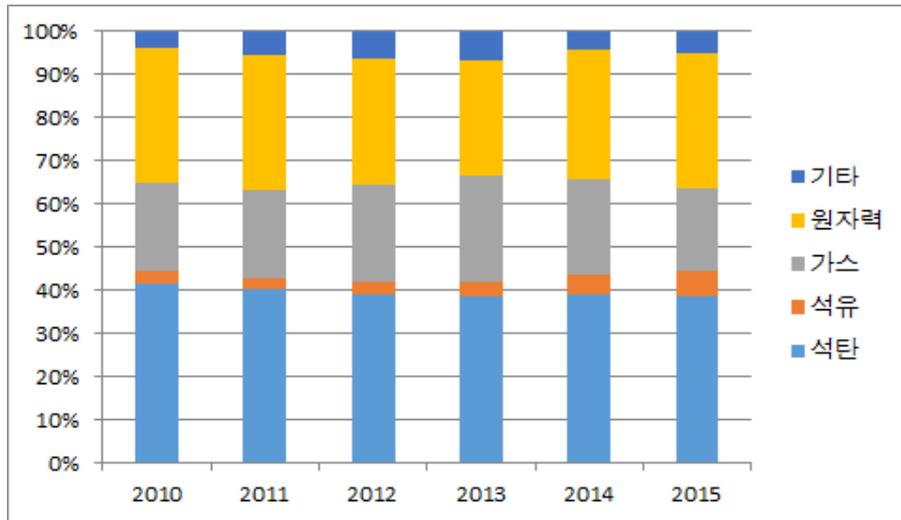


〈표 3〉 국내 에너지원별 발전의 상대적 비중

(단위: %)

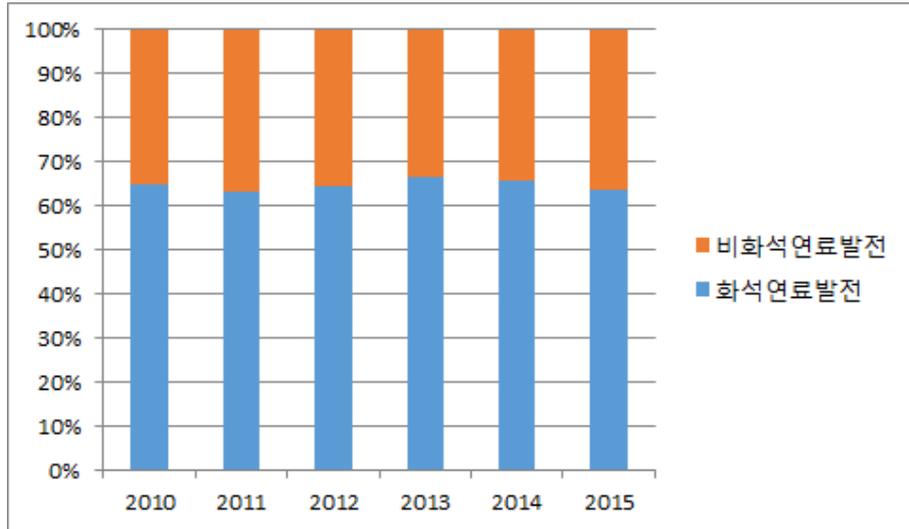
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
석탄	41.7	40.3	39.0	38.8	39.0	38.7
석유	2.7	2.5	3.0	3.0	4.8	6.0
가스	20.4	20.5	22.4	24.7	22.0	19.1
원자력	31.3	31.1	29.5	26.8	30.0	31.2
기타	3.9	5.6	6.1	6.7	4.3	5.1
발전부문	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

[그림 3] 국내 에너지원별 발전 비중



자료: 에너지경제연구원

[그림 4] 화석연료발전 비중과 비화석연료발전의 비중



자료: 에너지경제연구원

2. 분석 방법론 및 분석자료

1) 분석방법론

이 연구에서는 사용한 발전부문의 온실가스 배출 요인분해 분석은 Kim and Kim(2016)의 분석방법을 더 확장한다. Kim and Kim(2016)의 분석에서는 발전부문의 온실가스 배출량을 생산효과, 발전믹스 효과 I(총 전력생산에서 화석연료에 의한 발전비율에 의한 발전믹스효과), 발전믹스 효과 II(화석연료간의 믹스에 의한 발전믹스효과), 발전효율효과, 배출계수효과 등 다섯 가지 요인으로 분해하였다. 본 연구에서는 생산효과를 인구효과와 전력집약도 효과로 다시 분해함으로써 총 여섯 가지 요인으로 분해한다. 이에 대한 카야(Kaya) 방정식은 다음과 같은 항등식으로 표현된다.

$$M = \sum_i P \frac{T}{P} \frac{Q}{T} \frac{Q_i}{Q} \frac{F_i}{Q_i} \frac{M_i}{F_i} = \sum_i P A B C_i D_i E_i \quad (1)$$

i 는 연료의 형태를 나타내며, P 는 인구수를 나타내며 T 는 총발전량을 나타낸다. 따라서 $A = \frac{T}{P}$ 는 1인당 발전량 혹은 1인당 전력소비량(전력집약도)을 나타낸다. Q 는 화석연료발전량을 나타내므로 $B = \frac{Q}{T}$ 는 총발전량 중에서 화석연료 발전량의 비율을 나타낸다. $C_i = \frac{Q_i}{Q}$ 는 화석연료발전량 중에서 i 연료의 발전량이 차지하는 비중을 나타낸다. F_i 는 i 연료의 투입량을 나타낸다. 따라서 $\frac{1}{D_i} = \frac{Q_i}{F_i}$ i 연료의 발전효율을 나타낸다. M_i 는 i 연료의 사용에 따른 온실가스 배출량을 나타내므로 $E_i = \frac{M_i}{F_i}$ 는 i 연료의 배출계수를 나타낸다.

이 여섯 가지 요인을 좀 더 자세히 살펴보면, 먼저 첫 번째 요인 인구효과에 의하면 인구가 증가함에 따라 온실가스 배출량이 증가한다. 두 번째 요인 전력집약도 효과에 의하면 1인당 전력소비가 증가함에 따라서 온실가스 배출량이 증가한다. 인구효과와 전력집약도 효과를 합하면 Kim and Kim(2016)의 분석에서 제시한 생산효과가 된다. 세 번째 요인인 발전믹스 효과 I은 전체 발전량 중에서 화석연료 발전의 비중이 증가함에 따라서 배출량이 증가한다는 것이다. 네 번째 요인은 발전믹스 효과 II는 발전에서 화석연료간의 비중이 변화함에 따라서 온실가스 배출이 변화하는 것이다. 즉 탄소배출계수가 높은 연료가 많이 사용될수록 이 효과에 의한 온실가스 배출량은 증가한다.

다섯 번째 요소인 발전효율 효과는 전력 발전 효율의 역수이다. 발전효율의 역수가 더 높을수록 더 많은 온실가스가 배출된다. 여섯 번째 효과는 배출계수 효과인데 배출계수가 더 높을수록 더 높은 온실가스가 배출된다.

가법적인 요인분해 분석은 다음과 같은 여섯 가지 요인으로 분해된다. 분석식은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta M_{tot} &= M^T - M^0 & (2) \\ &= \Delta M_P + \Delta M_A + \Delta M_B + \Delta M_C + \Delta M_D + \Delta M_E \end{aligned}$$

여기에서 ΔM_{tot} 는 0기에서 T기까지의 온실가스 배출 변화량을 나타낸다. $\Delta M_P, \Delta M_A, \Delta M_B, \Delta M_C, \Delta M_D, \Delta M_E$ 는 각각 인구효과, 전력집약도 효과, 발전믹스 효과 I, 발전믹스 효과 II, 발전효율효과, 배출계수 효과 등에 의한 온실가스 배출량을 나타낸다.

승법적인 요인분해 분석은 식(3)에서와 같이 여섯 가지 요인으로 분해된다.

$$\Delta N_{tot} = M^T/M^0 = N_P N_A N_B N_C N_D N_E \quad (3)$$

여기에서 N_{tot} 는 0기에서 T기까지의 온실가스 배출 변화율을 나타낸다. $N_P, N_A, N_B, N_C, N_D, N_E$ 는 각각 인구효과, 전력집약도 효과 발전믹스 효과 I, 발전믹스 효과 II, 발전효율효과, 배출계수 효과 등에 의한 온실가스 배출 증가율 나타낸다. 본 연구에서는 해석의 용이함으로 가법적 요인분해 분석만 하기로 한다. <표 4>는 각각의 요인에 대한 구체적인 LMDI 가법적 요인분해 산식을 나타내고 있다.

〈표 4〉 산업부문의 온실가스 배출량 LMDI 가법적 요인분해 분석 구조식

IDA 항등식	$M = \sum_i P \frac{T}{P} \frac{Q}{T} \frac{Q_i}{Q} \frac{F_i}{F_i} \frac{M_i}{F_i} = \sum_i P A B C_i D_i E_i$
변화 구조식	$\Delta M_{tot} = M^T - M^O = \Delta M_P + \Delta M_A + \Delta M_B + \Delta M_C + \Delta M_D + \Delta M_E$
LMDI 공식	$\Delta M_P = \sum_i \frac{M_i^T - M_i^O}{\ln M_i^T - \ln M_i^O} \ln \left(\frac{P^T}{P^O} \right)$ $\Delta M_A = \sum_i \frac{M_i^T - M_i^O}{\ln M_i^T - \ln M_i^O} \ln \left(\frac{A^T}{A^O} \right)$ $\Delta M_B = \sum_i \frac{M_i^T - M_i^O}{\ln M_i^T - \ln M_i^O} \ln \left(\frac{B^T}{B^O} \right)$ $\Delta M_C = \sum_i \frac{M_i^T - M_i^O}{\ln M_i^T - \ln M_i^O} \ln \left(\frac{C_i^T}{C_i^O} \right)$ $\Delta M_D = \sum_i \frac{M_i^T - M_i^O}{\ln M_i^T - \ln M_i^O} \ln \left(\frac{D_i^T}{D_i^O} \right)$ $\Delta M_E = \sum_i \frac{M_i^T - M_i^O}{\ln M_i^T - \ln M_i^O} \ln \left(\frac{E_i^T}{E_i^O} \right)$

2) 분석자료

본 분석에 사용된 자료는 에너지원별 발전량, 에너지원별 온실가스 배출량, 에너지원별 에너지투입량 등이다. 본 분석에서 고려된 연료는 크게 석탄, 석유, 가스로 분류하였다. 석탄으로 분류된 연료는 무연탄과 유연탄, 석유로 분류된 연료는 휘발유, 등유, 경유, B-C유, LPG 등이다. 가스로 분류된 연료는 LNG와 도시가스이지만 대부분이 LNG이다. 그 외 신탄 등은 석탄으로 분류하였지만 그 투입량은 미미한 수준에 그치고 있어 분석에 큰 영향을 거의 미치지 않는다.

에너지원별 발전량은 에너지경제연구원의 『에너지통계연보』 각 연호를 사용하였다. 에너지원별 온실가스 배출량은 『에너지경제연구원』 내부 자료를 사용

하였다. 에너지경제연구원에서는 해마다 발전부문의 온실가스 배출량을 산정하여 국가온실가스인벤토리에 정보를 제공하고 있으므로 내부 자료라고 하더라도 국가온실가스인벤토리와 부합한다. 에너지원별 에너지투입량 역시 『에너지경제연구원』 내부 자료를 사용하였다. 이 역시 국가온실가스인벤토리 구축에 사용된 자료이므로 자료의 일관성을 유지할 수 있다. 자세한 출처와 단위는 <표 5>에 제시되어 있다.

<표 5> LMDI 분해분석에 사용된 자료

자료목록	자료원	비고
에너지원별 발전량	에너지경제연구원	GWh
에너지원별 온실가스 배출량	에너지경제연구원, 국가온실가스인벤토리	1,000톤
에너지원별 에너지투입량	에너지경제연구원	1,000TOE

Ⅲ. 발전부문의 온실가스 배출 분석 결과

2010년을 기준연도로 한 2015년까지의 발전부문의 온실가스 배출량에 대한 가법적 요인분해 결과는 <표 6>과 [그림 5]에 나타나 있다. 각 연도별 결과는 2010년부터 해당연도까지의 온실가스 배출량 증가에 대한 요인분해 결과이다.

<표 6>과 [그림 6]에 의하면 2015년의 경우 2010년에 비해 발전부문의 온실가스 배출량이 271만 tCO₂ 톤이 증가하였으며 이중 인구효과에 의해서는 586만tCO₂ 톤이 증가하였으며, 전력집약도 효과에 의해서 1,832만tCO₂, 그리고 배출계수 효과에 의해 15만 tCO₂ 톤이 증가하였다. 하지만 발전믹스 I 효과, 발전믹스 II 효과에 의해서는 각각 384만tCO₂ 톤, 702 만tCO₂ 톤이 감소하였다. 발전효율효과에 의해서는 1,176 만tCO₂ 톤이 감소하였다. [그림 6]에서는 2010년

부터 2015년까지 누적된 온실가스 배출 요인에 대해서 각 요인별 효과를 나타내고 있다. 국내 발전부문의 온실가스 배출에 가장 큰 요인으로 작용한 것은 전력집약도 효과이며, 그 다음으로 인구효과이다. 발전믹스 I 효과, 발전믹스 II 효과, 발전효율 효과는 모두 온실가스를 감소시키는 방향으로 진행되었다. 발전효율효과, 발전믹스 효과 II, 발전믹스 효과 I 순으로 온실가스 감축에 영향을 미쳤다. 배출권거래제, RPS, 온실가스·에너지 목표관리제 등이 복합적으로 작용한 결과이다. 배출계수 효과는 다른 효과에 비해 미미한 수준에 불과하다.

한편 [그림 5]에서는 각 요인별로 온실가스 증감요인을 연도별로 변화하는 정도를 확인할 수 있다. 인구효과는 꾸준히 배출량을 증가시키는 요인으로 작용하였다. 이는 인구증가에 따른 효과이다. 전력집약도 효과에 의한 배출량도 꾸준히 증가하는 패턴을 보이고 있다. 이 역시 전력집약도가 꾸준히 상승하고 있다는 것을 나타낸다. 그리고 배출계수 효과는 그 효과의 정도가 미미한 수준으로 별다른 변동을 보이고 있지 않다. 하지만 그 외 다른 요인들은 해마다 큰 변화를 보이고 있다. 먼저 발전믹스효과 I에 의한 온실가스 배출은 2010년에 비해 2013년까지 증가하다가 그 이후 감소하였다. 이는 원자력 발전소 고장으로 인한 일시적인 발전 중단으로 화력발전비중이 증가하였기 때문이다. 발전믹스 효과II에 의한 온실가스 배출도 2013년까지 꾸준히 감소하다가 그 이후 그 감소세가 둔화되었다. 발전효율의 효과에 의해서는 큰 폭으로 온실가스 배출이 감소하였다. 이는 2015년 배출권거래제를 앞두고 2014년부터 선제적으로 발전효율이 개선된 영향이 큰 것으로 보인다.

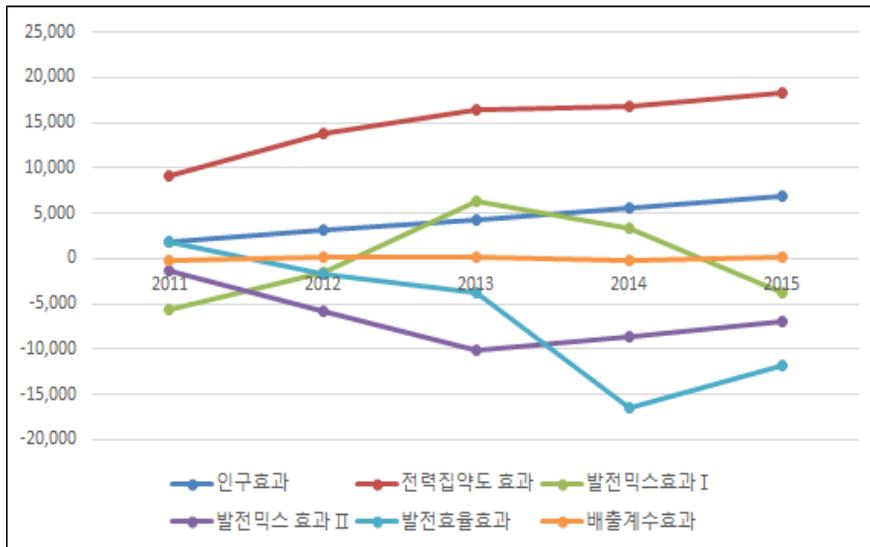
〈표 6〉 발전부문의 온실가스 배출 변화요인 분해분석 결과
(기준연도: 2010, 가법적 요인분해)

(단위: 천톤)

	인구효과	전력집약도 효과	발전믹스 효과 I	발전믹스 효과 II	발전효율 효과	배출계수 효과	총효과
2011	1,826	9,046	-5,685	-1,242	1,852	-164	5,634
2012	3,092	13,859	-1,580	-5,802	-1,679	230	8,120
2013	4,224	16,468	6,303	-10,074	-3,695	155	13,380
2014	5,583	16,723	3,356	-8,649	-16,398	-239	375
2015	6,857	18,318	-3,836	-7,021	-11,762	155	2,711

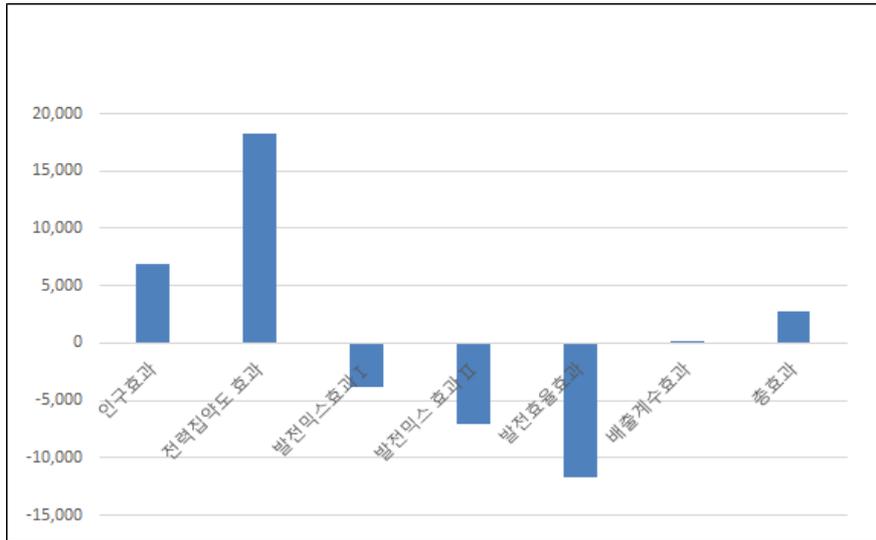
[그림 5] 발전부문의 온실가스 배출 변화요인 분해분석 결과
(2010년 기준, 가법적 요인분해)

(단위: 천톤)



[그림 6] 발전부문의 온실가스 배출 변화요인 분해분석 결과
(2010~2015)
(2010년 기준, 가법적 요인분해)

(단위: 천톤)



한편 발전부문의 온실가스 배출의 해마다의 변화를 보기 위해서는 전년 대비 온실가스 배출 증가량에 대해 요인분해를 해 볼 필요가 있다. 이에 대한 결과는 <표 7>에 제시되어 있다. 먼저 발전부문의 온실가스 배출은 2013년까지는 전년 대비 온실가스 배출이 증가하였지만 2014년에는 전년 대비 온실가스 배출이 큰 폭으로 감소하였다. 그리고 2015년에는 2014년 대비 온실가스 배출이 다시 증가하였다. 가장 온실가스 배출이 큰 폭으로 감소한 2014년에는 2013년에 비해 발전효율에 의한 온실가스 감소폭이 가장 컸다. 그 외에도 발전믹스효과 I 도 온실가스 감축에 기여하였다. 하지만 발전믹스II에 의한 온실가스 배출은 증가하였다. 이는 화력발전부문에서의 에너지믹스에서 가스(LNG) 발전의 비중이 증가하였기 때문이다. 2015년에는 2014년에 비해 온실가스 배출이 증가하였는데 주된 요인은 발전효율이 다시 악화된 것으로 보인다.

〈표 7〉 발전부문의 온실가스 배출 변화요인 분해분석 결과
(전년대비 가법적 요인분해)

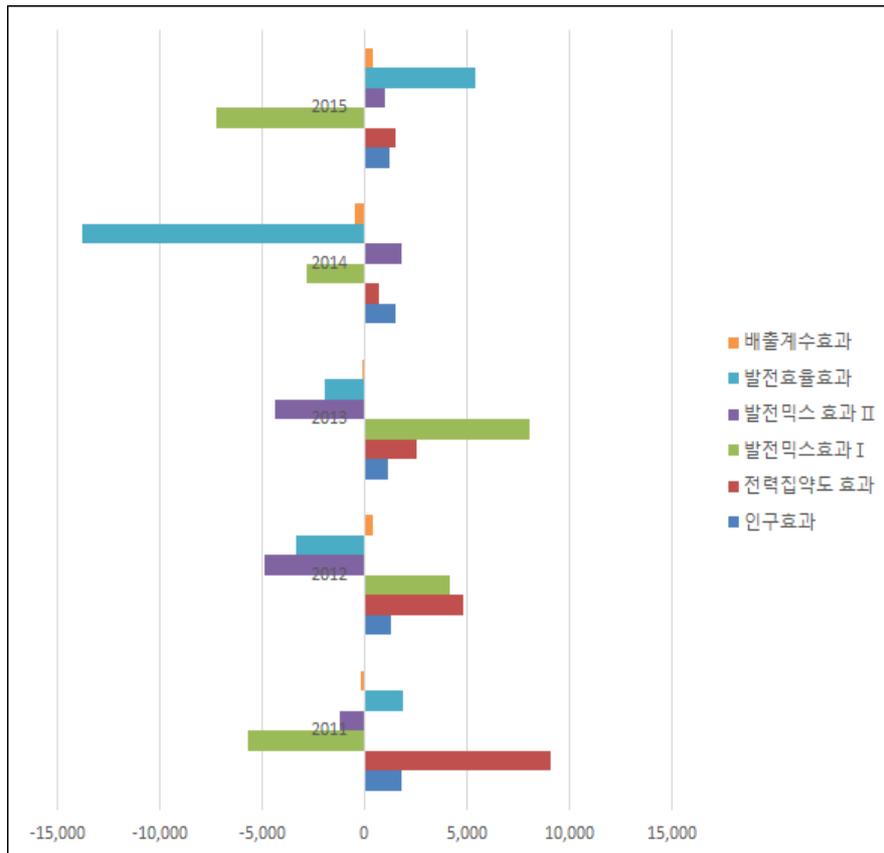
(단위: 천톤)

	인구효과	전력집약도 효과	발전믹스 효과 I	발전믹스 효과 II	발전효율 효과	배출계수 효과	총효과
2011	1,826	9,046	-5,685	-1,242	1,852	-164	5,634
2012	1,270	4,817	4,182	-4,849	-3,353	419	2,486
2013	1,118	2,505	8,036	-4,365	-1,969	-64	5,261
2014	1,516	724	-2,851	1,817	-13,768	-443	-13,005
2015	1,246	1,509	-7,219	1,007	5,404	389	2,335

[그림 7]에서는 각 효과의 상대적인 크기를 쉽게 확인할 수 있다. 인구효과는 온실가스를 증가시키는 영향으로 작용하고 있지만 그 크기는 출산율, 사망률, 인구 유·출입률 등에 의해서 좌우되는데 2013년까지는 감소하다가 2014년에 일시적으로 증가했다가 2015년에 다시 감소하였다. 전력집약도 효과는 2014년까지 점점 작아졌다가 2015년에 다시 증가하였다. 이는 1인당 전력소비량 증가율과 맥락을 같이하고 있다. 발전믹스효과 I 효과는 2012년과 2013년에 온실가스 배출을 증가시키는 요인으로 작용하였다. 이는 원자력발전비중 감소와 LNG발전 증가와 밀접한 관련을 가지고 있다. 발전효율은 2014년까지 꾸준히 개선되고 있다. 이는 복합화력발전소와 집단에너지의 비중 증가와도 관련이 있다. 즉 발전부문의 온실가스 감축은 화력발전비중과 화력발전 내 에너지믹스와 밀접한 관련을 가지고 있다. 최근에는 최신 발전설비에 따른 발전 효율증가도 온실가스 감축에 큰 기여를 한다. 따라서 발전부문의 온실가스 감축을 위해서는 최신발전 시설을 통한 발전설비 개선과 집단에너지 보급 확대 등이 필요하다. 아울러 신재생에너지원 및 원자력 등 비화력발전의 비중 확대가 필요하다.

[그림 7] 제조업의 온실가스 배출 변화요인 분해분석 결과
(전년대비 가법적 요인분해)

(단위: 천톤)



IV. 결 론

발전부문은 인구효과, 전력집약도효과, 발전믹스효과 I, 발전믹스효과 II, 발전효율효과, 배출계수효과 등 6가지 요인으로 분해하였다. 발전믹스효과 I은 전체 발전 중에서 화력발전의 비중 증가에 따른 효과이며, 발전믹스효과 II는 화력발전 내에서의 구성변화에 의한 효과이다. 발전부문 역시 2010년 온실가스 배출량을 기준으로 당해 연도까지의 온실가스 배출량 증감에 대한 시계열 분석과 전년대비 온실가스 배출량 증감에 대한 분석을 모두 실시하였다.

발전부문의 온실가스 배출 특성을 살펴보면, 인구효과에 의하여 온실가스 배출이 점점 증가하고 있다. 이는 인구가 증가함에 따라서 온실가스가 증가하는 것을 의미한다. 전력집약도효과가 온실가스를 가장 많이 증가시키는 요인으로 작용하였다. 1인당 전력소비량이 급격히 증가하고 있기 때문이다. 이는 경제 전반적으로 전력에 대한 의존도가 증가하는 것을 의미한다. 하지만 그 증가율은 점점 둔화되고 있어 전년대비 전력집약도효과는 갈수록 작아지고 있다. 발전믹스 효과 I은 2013년까지는 악화되다가 그 이후 온실가스를 감소시키는 요인으로 전환되었다. 발전믹스 효과 II는 지속적으로 온실가스를 감소시키는 요인으로 작용하였지만 그 정도는 2013년을 기준으로 소폭 감소하였다. 발전효율효과 역시 온실가스를 감소시키는 주요 요인이지만 2014년까지 꾸준히 개선되다가 2015년에 조금 악화되었다. 배출계수에 의한 효과는 미미하다.

특히 배출권거래제가 본격적으로 실시된 2015년에도 발전부문의 온실가스는 2014년에 비해 증가하였다. 그 요인을 분해해 본 결과, 가장 온실가스 배출 증가에 기여한 요인은 발전효율 효과이며, 전력집약도효과, 인구효과 발전믹스 II 효과가 그 뒤를 잇고 있다. 배출계수도 미미하지만 온실가스 배출증가에 기여하였다.

하지만 발전믹스 I 효과는 온실가스를 감소시키는 요인으로 작용하였다. 원자력 및 신재생 등 비화력발전의 증가가 그 요인으로 작용하였다

2017년 새 정부가 출범함에 따라서 신재생발전비율의 획기적 증가, 석탄발전의 감소는 온실가스 감축에 크게 기여할 것으로 전망된다. 하지만 원자력발전의 비중 감소, 가스발전 증가로 인한 온실가스 증가 요인도 함께 존재한다. 따라서 발전부문의 온실가스 감축을 위해서는 원자력 발전과 신재생 발전을 함께 고려하여 비화력발전의 비중을 증가시켜 나가야 할 것이다. 그리고 1인당 전력소비량 증가가 주요한 온실가스 증가 요인 중에서 차지하는 비중이 높으므로 에너지 절약을 통한 온실가스 감축이 더욱 강화되어야 할 것이다. 그 외에도 화석연료내 에너지 믹스를 석탄발전에서 상대적으로 배출계수가 낮은 LNG발전으로 전환시켜 나가야 한다. 그리고 지속적인 발전효율 개선도 아울러 필요하다.

접수일(2017년 12월 14일), 게재확정일(2018년 1월 22일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 에너지경제연구원, 에너지통계연보 각연호, 울산 : 에너지경제연구원.
- 에너지경제연구원, 국가온실가스인벤토리 각연호, 울산 : 에너지경제연구원.
- 온실가스종합정보센터, 국가온실가스인벤토리 보고서 각연호, 서울 : 온실가스종합정보센터.
- 통계청, 광공업통계조사보고서 각연호, 대전 : 통계청.
- 김수이·정경화(2011). “LMDI방법론을 이용한 국내 제조업의 온실가스 배출 요인 분해 분석.” 자원·환경경제연구, 20(2) : 271-299.
- 김용빈·전봉걸(2017). “2014년 에너지부문 온실가스 배출량 감소 요인에 대한 분석과 시사점.” 경제연구 35(4) : 183-220.
- 김태현·임덕오·김윤경(2015) “2008~2011년 산업부문의 에너지소비 및 온실가스 배출 급증에 대한 요인분해연구.” 에너지경제연구, 14(3) : 203~227
- 박년배·심성희(2015). “감축목표 업종 분류체계에 따른 산업부문의 에너지소비 및 온실가스 배출 요인 분해 분석” 자원·환경경제연구 24(1) : 189~224.
- 임재규·김종익(2014). “국내 산업부문의 전력·에너지 소비효율 비교·분석 - LMDI 요인분해 방법론 활용” 에너지경제연구 13(1) : 121~143
- 조용성(2017). “전력산업의 온실가스 배출요인 분석 및 감축방안 연구” 한국기후변화학회지 8(4) : 357-367.
- Ang, B.W., 2004, “Decomposition Analysis for Policy Making in Energy: which is the Preferred Method?”, Energy Policy, 32 : 1131-1139.
- Ang, B.W., 2005, “The LMDI Approach to Decomposition Analysis: a Practical Guide”, Energy Policy, 33 : 867-871.
- Ang, B.W., Liu, F.L. and Chew, E., 2003, “Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis”, Energy Policy, 31 : 1561-1566.

- Ang, B.W., Zhang, F.L. and Choi, K., 1998, "Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition", *Energy Policy*, 23 : 489-495.
- Jung, K-H., Kim, S., 2013, LMDI Decomposition analysis of greenhouse gas emissions in the Korean manufacturing sector, *Energy Policy* 62 : 1245-1253.
- Kim S., Kim, S., 2016 Decomposition analysis of the greenhouse gas emissions in Korea's electricity generation sector, *Carbon Management* 7 (5-6) : 249-260.
- Steenhof, P. A. 2007. "Decomposition of electricity demand in China's industrial sector." *Energy Economics* 28: 370 - 384.
- Steenhof, P. A., and C. J. Weber. 2011. "An Assessment of factors impacting Canada's electricity sector's GHG emissions." *Energy Policy* 29: 4089 - 4096.
- Zhang, M., X. Liu, W. Wang, and M. Zhou. 2013. "Decomposition analysis of CO₂ emissions from electricity generation in China." *Energy Policy* 52: 159 - 165.

Decomposition Analysis on GHG Emissions of Domestic Electricity Generation Sector

Suyi Kim*

This paper analyzes a factor decomposition of GHG emissions in domestic electricity generations sector using LMDI (Log Mean Divisia Index) method. These factors are divided into six factors: population effect, electricity intensity effect, electricity generation mix effect I (generation mix effect by total fossil fuel generation ratio), power generation mix effect II (generation mix effect among fossil fuels), electricity generation efficiency effect, and emission factor effect. The analysis period covers the last 6 years from 2010 to 2015. The results show that the power intensity effect is the biggest factor in the increase of GHG emissions of domestic electricity generation sector, followed by the population effect. The other factors influenced greenhouse gas reduction in the order of power generation efficiency effect, power generation mix effect II, and power generation mix effect I. These differences mainly result from the combination of emission trading system, RPS, greenhouse gas and energy target management system. In particular, the effect of temporary suspension of nuclear power plants was a major factor in the change in 2013.

Key Words : LMDI, Electricity Generation, GHG emissions,
Factor Decomposition

* Associate Professor, Hongik University(main author). suyikim@hongik.ac.kr