에너지효율개선을 고려한 온실가스 감축 조기행동 인정방안

김창섭

가천대 에너지IT학과

(2014년 4월 28일 접수, 2014년 6월 11일 수정, 2014년 6월 13일 채택)

Accounting for Early Action with Consideration of Energy Efficiency Improvements

Kim, Changseob

Dept. of information & Telecommunication Engineering, Gachon University

(Received 28 April 2014, Revised 11 June 2014, Accepted 13 June 2014)

요약

개별 사업장이 감축목표 이행기간 이전에 실시한 감축활동 인정여부 및 인정방법은 온실가스 감축 목표 설정시 중요한 이슈 중 하나이다. 본 연구에서는 업종별 에너지효율개선을 이용한 조기행동 접근 방식을 제시한 후, 주어진 총 배출허용량 하에서 조기행동 유무시 업종별 할당비중을 비교분석하였다. 분석기간 '01~'09년 중 제조업 모든 업종에서 효율요인이 개선되어 조기행동이 발생한 것으로 나타났다. 조기행동 미고려시 대비 석유/화학 업종을 제외한 모든 업종에서 배출권 할당비중이 증가하였다. 석유/화학의 경우, 제조업 총 효율요인중 29% 비중을 점하지만, 상대적으로 매우 높은 구조요인에 의해 배출량이 급증하였고, 이 결과 조기행동을 고려한 업종별 배출비중(48%)이 조기행동 미고려시 (56%) 대비 감소하였다.

주요어 : 조기행동, CO₂ 배출요인분해, 에너지다소비업종, 배출권 할당

Abstract - In the context of CO₂ mitigation, how early reduction action taken by individual companies previous to the actual regulated period is implemented at the free allocation process, remains one of the major issues. This article considered efficiency factor as a criterion for the early action. Then the emissions allowance allocated was compared and analyzed with and without the consideration of early action. In the cases of manufacturing sectors of Korea for the period 2001~2009, it is shown that emissions in the all industries fell by their efficiency factors. The amounts of emissions allowance allocated to the all industries except petro-chemistry are increased when EA is counted in the allocation process.

Key words : Early action, Decomposition of CO₂ emissions, Energy intensive industry, Allowances allocation

1. 서 론

온실가스목표관리제, 배출권거래제 등 온실가스 감

축정책을 실시함에 있어 참여 업종 및 사업장의 특성을 고려한 합리적인 목표설정 원칙은 중요한 선결과제이다. 이중 조기행동 보상방안, 즉 목표설정시 개별 사업장 및 업종이 감축목표 이행기간 이전에 실시한 감축활동을 인정하는지 여부는 제도이행 초기단계에서 중요한 이슈 중 하나이다. 이는 이행기간 이전부터 감축노력을 실시한 사업장과, 반대로 별다른 감축노력을 실시하지 않은 사업장간 감축이행비용의 차별

[†]To whom corresponding should be addressed.
Dept. of information & Telecommunication Engineering,
Gachon University 1342, Seongnam-daero, Sujeong-gu,
Seongnam-si, Gyeonggi-do, 461-701 Korea
Tel : 031-750-8688 E-mail : cskim407185@gmail.com

화 고려 문제, 배출권거래제 등 제도도입 시기에 따른 감축투자 의사결정 왜곡 등과 관련되어 있기 때문이다.

본 연구의 목적은 사업장이 아닌 업종을 대상으로 조기행동을 인정할 수 있음을 제시하고, 업종별 조기행동 인정량을 도출하여 에너지집약 업종 및 제조업에 미치는 감축부담 효과를 분석하는 것이다. 본 연구에서는 우선 일반적인 조기행동의 개념 등 일반사항 등 선행연구들을 검토하고 조기행동 접근방식을 제시한 후, 이를 대한민국 에너지다소비 제조업종을 대상으로 분석하였다. 이를 위해 첫째, 주요 에너지다소비 업종을 대상으로 업종별 CO₂ 배출량에 대한 요인분해를 실시하고 이들 요인을 효율변수와 구조변수로 구분하였다. 둘째, 요인분해 결과를 바탕으로 효율변수를 조기행동 요인으로 간주하여 업종별 조기행동 인정 가능량을 산정하였다. 그리고 주어진 총 배출허용량 대비 조기행동 유무시 업종별 할당비중을 비교 분석하였다.

2. 선행연구 및 해외사례 분석

온실가스 배출권거래제에서는 조기행동(Early Action)에 관한 다양한 개념이 존재한다. EU 배출권거래제(Emissions Trading Scheme; ETS)에서는 조기행동을 ‘국가할당계획 공표 이전에 ETS 참가대상에 의해 수행되고 EC에 공식적으로 보고된 ETS 대상 온실가스 감축활동’으로 정의하고 있다 [1.. 한편, 국내에서는 ‘ETS가 시행되기 이전에 배출권거래제의 적용을 받는 주체가 미리 행한 온실가스 배출의 감축을 가져오는 행위’로 정의하고 있다 [2.. 위와 같은 조기행동 접근은 사업장별 할당량을 산정하는 시점 이전까지는 조기감축실적이 있어야 함을 강조하는 것이다. 한편, 현재의 감축활동 뿐만 아니라 기술개발 및 온실가스 감축의 거래비용을 줄일 수 있는 기초활동 등 미래 온실가스 감축에 기여할 수 있는 활동 역시 조기행동에 포함될 수 있다. 즉, 조기행동은 ‘장기적인 감축을 고려한 조기행동’과 ‘당장 실질적인 감축을 유발하는 조기행동’으로 구분될 수 있다. 이와 같은 관점에서 Kennedy[3.는 의미있는 조기행동은 의무이행기간 이전에 반드시 실질적인 감축을 달성하

지 못할 수 있음을 강조하였다. 특히 조기행동은 단기에 실질적인 감축을 유발할 수도 있고 그렇지 않을 수도 있으며, 따라서 실질적인 감축만을 목표로 하는 조기행동정책은 오히려 합리적 의사결정을 왜곡할 가능성이 있음을 지적하고 있다. 이와 같은 관점에서 Kennedy[3.는 조기행동 보상 정책, 탄소세 정책, 배출총량규제정책, 해외 배출권거래제 존재 유무 등 정책조합 시나리오하에서 최적 조기행동 정책을 분석하였다.

한편, 조기행동 문제는 배출권거래제의 할당방식 관점에서 차별적으로 접근될 수 있다. 유무상할당 모두에서 조기행동의 인정여부는 이슈가 될 수 있지만, 특히 그랜드파더링방식의 무상할당, 즉 정부에서 과거배출량을 기준으로 할당량을 산정하고 이에 조기행동을 고려해 할당량을 조절하는 경우 핵심적 이슈가 될 수 있다. 유상할당시에는 사업장들이 자신이 필요한 배출권을 구입하므로 할당량 산정이 근본적으로 불필요하고 조기행동을 인정하더라도 할당량 방식이 아닌 별도의 크레딧으로 지급될 수 있다. 또한, 벤치마크방식의 무상할당을 사용할 경우, 조기행동을 수행한 사업장은 감축목표와 관련된 벤치마크계수값에 대해 상대적으로 더 많은 배출권을 자동적으로 할당 받게 된다.

정책적 관점에서는 ETS 참가대상들이 조기행동이 인정되는 ETS가 도입될 것이라는 사전정보를 인식할 경우 온실가스 감축 시기가 촉진될 수 있다. 이 경우, 조기행동이 기존의 온실가스 감축이나 에너지효율 관련 정책과 연계될 수 있기 때문에 일반 기업들의 정책참여도를 높일 수 있다. 위기관리 측면에서는 감축목표를 의무이행기간내에 달성하는 것 보다는 의무이행기간 이전부터 조기에 감축활동을 수행함으로써, 미래(의무이행기간)에 발생할 수 있는 위험요소(예: 에너지 가격, 배출권 가격)들의 영향을 완화시킬 수 있다. 반면, 조기행동을 인정할 경우, 어떤 감축활동을 어떻게 인정하고 보상할 것인지를 결정해야 하는 등 복잡한 과정이 요구된다. 또한 조기행동 인정시 조기감축을 수행하지 않은 사업장은 총할당량에서 차지하는 비중이 감소하게 되므로 이에 대한 이의를 제기하는 등 조기행동을 이행한 사업장과 이행하지 않은 사업장 간에 형평성 문제가 제기될 수 있다[1).

1) 호주 CPRS에서는 조기행동을 수행한 사업장은 이미 낮은 요소투입비용의 혜택을 누리고 있으며, 이러한 이익은 ETS 도입 이후에도 지속된다는 관점에서 조기행동을 인정하지 않는다 [4..

따라서 조기행동의 인정여부는 인정기준과 보상기준이라는 기술적 관점, 조기감축 이행 여부로 구분된 사업장간 할당량 산정시의 문제, 온실가스 감축활동 도입 시기 및 기타 에너지관련 정책과의 연계라는 사회적·정책적 관점, 의무이행의 주체인 사업장의 위기 관리 측면 모두를 고려해서 접근되어야 할 복잡한 사안이다. 예를 들어 과거의 감축실적이 조기행동으로 인정되기 위해 충족되어야 할 기준과 조기행동으로 인정된 사업장에 대한 보상방안을 결정하는 절차 등이 매우 어렵다면 조기행동을 도입하기 어려울 수 있다. 반면 과거의 자발적 감축활동에 대한 보상이 필요하다는 공감대가 형성되고 인정기준 및 보상방안의 수립이 비교적 용이하다면 조기행동 도입을 검토할 수 있다.

조기행동을 인정하기 위해서는 무엇보다 조기행동의 인정기준과 보상기준을 결정해야 한다. 인정기준은 과거의 감축실적이 인정받기 위한 조건을 다루는 문제로서, 다양한 조건들이 설정될 수 있다. 우선 인정시점을 결정하는 것이다. 조기행동은 ‘과거’의 감축실적을 보상하는 것이므로, 그 ‘과거’를 한정하는 것이 중요한데, 이는 할당방식(유상할당, 무상할당)과 보상방식(할당량 직접 반영, 크레딧 지급)에 따라 달라질 수 있다. 구체적으로 할당방식은 무상할당을 사용하고, 보상방식으로는 할당량에 직접 반영하는 방식을 사용할 경우, 조기행동 인정시점은 ‘할당량 산정 이전’으로 제한해야 한다. 반면, 유상할당을 하거나 배출권은 무상할당을 적용하지만 조기행동은 크레딧으로 지급하는 방식을 사용할 경우, 인정시점은

‘ETS 시행 이전’이 될 수 있다. 다음, 인정되는 조기행동의 유형을 결정하는 문제이다. 이 인정유형에는 가장 단순한 방법으로 기준시점 배출량과 평가시점 배출량의 차이를 조기행동으로 인정하는 방식이 있다. 또는 구체적인 프로젝트목록을 지정하거나 기존의 감축 관련 정책에서 제시된 목표를 준용하는 방식, 프로젝트나 정책과는 무관하게 구체적인 수치(감축량, 감축률)를 설정하는 방식이 가능하다.

해외 주요국들은 다양한 방식으로 조기행동 인정기준을 설정하고 있다. 미국 RGGI (Regional Greenhouse Gas Initiative)에서는 조기감축을 평가하기 위한 기간(기준시점, 평가시점)을 결정하고, 기간간 배출량 차이를 비교하여 그 해당량을 인정해주는 방식(예: 기준시점인 '00~'02년 배출량에 평가시점인 '03~'05년의 배출량 차이 등)을 채택하고 있다²⁾, 미국 왁스만-마키 법안과 캐나다 조기행동 크레딧 프로그램은 특정 기간 중에 수행한 감축활동에 대해 사업장이 직접 입증하고 정부로부터 추가성³⁾에 대한 검인증을 받음으로써 조기행동이 인정되는 방식(예: '00~'05년 중에 수행한 감축활동을 신청하고 추가성 검증 후 인정여부 판단 등)이다⁴⁾, 독일은 기간(기준년도 대비 평가년도)과 감축률 등에 관한 구체적인 수치 기준을 정하고 이를 충족시키도록 하는 방식(예: 기준년도 대비 평가년도의 감축률 5% 달성 등)이다⁵⁾, 네덜란드는 기간에 대한 기준은 없으나 온실가스 또는 에너지 관련 정책협약에서 지정된 기준값(예: 감축률 또는 에너지효율성 개선률 등)을 상회하는 성과를 달성한 사업장을 인정하고 있다(예: 에너

- 2) '03~'05년(기준년도)의 열투입량이 '06~'08년(평가년도)의 열투입량보다 작거나 같은 사업장은 동 기간 간의 총배출량을 비교하고, 기준년도의 열투입량이 평가년도의 열투입량보다 큰 사업장은 동 기간 간의 평균배출량(전력생산량 시 배출량과 열에너지생산량 기 배출량의 평균)을 비교하여, 총배출량 또는 평균배출 집약도가 ‘기준년도>평가년도’일 경우 조기행동을 인정한다 [5..
- 3) 추가성(Additionality)이란 생산량 감소, 법적 강제, 보조금 등에 의한 것이 아닌 자발적이고 실질적인 감축이 이루어져야 함을 의미한다. 캐나다의 경우 추가성을 입증하는 방법은 두 가지가 있는데, 첫째는 조기감축 시행시점부터 2006년까지 매년 1%(기준값)를 초과하는 배출집약도(배출량/생산량)를 달성하는 방법이고 둘째는 법적으로 요구되는 요건 이상, 표준적 개선 이상, 정부의 금융지원 이상임을 사업장이 직접 입증하는 방법이다. 여기서 표준적인 개선이란 수명이 다한 설비교체와 같이 정상적으로 자본스톡을 변경함으로써 발생하는 개선을 의미하며, 정부의 금융지원은 사업장의 감축 프로젝트에 지원되는 금융으로 달성할 수 있는 감축규모(률)를 의미한다 [6..
- 4) 미국 왁스만-마키법안에서는 '01.1.1~'09.1.1 중 시작된 프로젝트에 의해 '09.1.1 이전에 감축된 배출량이어야 한다. 그리고 참여기업이 공개적으로 감축목표를 밝히고 결과를 보고해야하고, 순(Net)저감이 있음을 증명해야하며, 해당 감축을 위한 프로젝트임을 입증해야 한다.
- 5) 캐나다 조기행동 크레딧 프로그램에서 조기행동 크레딧을 할당받기를 원하는 지원자는 신청서와 활동정보('92~'06년 중의 감축활동)를 제출하고, 관계당국에서 적격성 검토를 하여 인정여부를 결정한다. 적격성이 인정되면 조기행동 크레딧을 할당한다 [7.
- 6) '96~'02년 사이에 설비를 현대화한 기존사업장 및 신규사업장을 대상으로 조기행동으로 인정되는 배출감

지효율개선 협약에서 지정된 10% 개선률 이상 달성 등)⁷⁾, 미국 캘리포니아주의 ETS와 왁스만-마키 법안에서는 조기행동으로 인정되는 감축프로젝트의 목록 및 프로젝트별 세부기준을 지정하여 인정하고 있다 (예: 재생에너지 생산, 탄소 포집 및 저장 등)⁸⁾.

한편, 보상기준으로서 할당량 산정시 어떠한 방식으로 이를 반영할 것인지, 조기감축분의 보상규모 및 상한 설정 여부와 관련된 문제이다. 조기행동을 보상하는 방식으로는, 할당량 산정시 집적 반영하는 방식과 배출권과 별도로 크레딧을 지급하는 방식으로 구분될 수 있다. 일반적으로 무상할당방식에서는 조기행동을 할당량 산정시 직접 반영하며, 유상할당 채택시 또는 프로젝트목록을 지정하여 조기행동을 인정하는 방식에서는 별도의 크레딧을 지급하는 방식을 취한다. 관련 해외사례를 살펴보면, 무상할당을 하고 구체적인 프로젝트 목록을 지정하지 않는 독일과 네덜란드는 할당량 산정시 조기행동을 직접 반영하여 할당량을 조정⁹⁾¹⁰⁾한다. 조기행동용 프로젝트목록을 지정한 미국 캘리포니아주 ETS, 경매할당을 하는 미국 RGGI, 감축정책의 일환으로 조기행동 크레딧 프로그램을 운영하는 캐나다에서는 배출권과는 별도의 크레딧을 부여¹¹⁾하는 방식을 적용하고 있다. 사업장이 조기행동을 직접 입증하는 방식과 조기행동용 프로젝트 목록을 지정하는 방식 모두를 사용하는 미국 왁스만-마키 법안은 할당량에 직접 반영하는 방식(할당량의

최대 0.25% 배출권 할당)과 별도의 크레딧을 부여하는 방식(할당량의 최대 0.75% 크레딧 지급) 모두를 채택하고 있다.

ETS의 총할당량이 정해진 상황에서 모든 조기행동이 100% 보상될 수는 없다. 따라서 최종적인 보상규모는 조정이 되어야 하는데, 이는 조기행동 인정시에 우선 인정규모를 설정하고 할당량 또는 크레딧량 산정시 상한을 부여하는 방식의 2단계로 접근될 수 있다. 우선 인정규모 설정단계에서는 일반적으로 조기행동별로 차별하는 방식이 사용된다. 구체적으로 독일의 경우 시기적으로 앞선 조기행동일수록 낮은 수준의 인정기준을 적용하는 방식으로 인정규모를 차별하고, 네덜란드는 에너지효율성 개선의 성과에 따라 할당량 산정시 에너지효율 계수값을 차등적으로 적용함으로써 인정규모를 차별한다. 이외에 프로젝트 목록을 지정하여 조기행동을 인정하는 방식을 사용할 경우에는 각 프로젝트의 경제성이나 난이도 등에 따라 인정규모를 차별할 수 있다.

3. 연구방법

3.1 분석 개요

본 연구에서는 조기행동 인정을 전제로, 이론적 조기행동 인정 방법론을 제시하였다¹²⁾. 본 연구에서는 조기행동을 실질적으로 수행한 사업장 단위의 접근이

축비율(‘96년 8%~‘02년 14%, 매년 1% 추가)을 지정하였다. 배출집약도 개선율은 ‘(배출집약도_{기준년}-배출집약도_{검증년})/배출집약도_{기준년}’×100’으로 정의된다. 기준년(예: ‘00~‘02년)과 검증년(예: ‘97~‘99년)은 각각 3년 단위이며 기준년도는 검증년도의 다음 3년간이다 [8..

- 7) 자발적협약(Long-term Agreement on Energy-efficiency, Benchmarking Energy-efficiency Covenant)을 체결한 사업장은 동 협약에서 지정한 에너지효율향상 기준(15%), 2004년 2월 1일 기준 동 협약 미참가 사업장은 ‘01~‘02년대비 ‘05~‘07년의 에너지효율성이 15% 이상 개선을 기준으로 지정하였다 [9..
- 8) 캘리포니아 대기자원위원회는 24개의 조기행동, 3개의 별정조기행동의 목록을 개발하고 기존 10개의 디젤규제 조치를 포함하여 조기행동으로 인정되는 총 37개의 온실가스감축전략 목록을 제시하였다. 미국 왁스만-마키 법안에서는 ‘01.1.1~‘09.1.1 중 정부가 지정한 자발적 상쇄(Offsets) 프로그램을 인정한다.
- 9) 독일은 조정계수에 조기행동을 반영하여 보상한다. 사업장 할당량은 ‘기준년도평균배출량×조정계수’로 결정되는데, 조기행동이 인정된 사업장에는 12년 동안 조정계수값에 1을 부여한다.
- 10) 네덜란드는 에너지효율계수를 이용해 조기행동을 보상한다. 사업장 할당량은 ‘기준년도평균배출량×업종성장률×에너지효율계수×조정계수’이며, 자발적협약을 체결한 사업장은 에너지효율성 개선률에 따라 최소 0.85(15% 개선)~최대 1.1의 에너지효율계수값을 부여하며, 미체결 사업장에는 0.85를 부여한다.
- 11) 캘리포니아주 ETS에서는 기본적으로 총할당량의 일부를 조기행동 크레딧으로 할당하며, 구체적인 방안을 고안할 예정(ETS 시행은 2013년)이다. RGGI에서는 기준년도(‘03~‘05년)와 평가년도(‘06~‘08년)의 배출량 차이를 조기행동 크레딧으로 발급한다. 캐나다 조기행동 크레딧 프로그램은 총할당량 중 15Mt(‘10년 5Mt, ‘11년 5Mt, ‘12년 5Mt)를 1회성으로 크레딧을 할당한다.
- 12) 국내 목표관리제에서와 배출권거래제에서는 조기행동 인정유형(지정된 감축정책 및 프로젝트, 지정 프로젝트 외 자발적 감축실적 중 정부의 검인증 사업, 목표관리제 감축목표의 초과달성분 등)과 보상방식(감축목표 이행실적에 추가반영, 초기배출권에 추가할당)이 마련되어 있다. 본 연구에서는 이와 같은 인정유형 외에 조기행동의 본원적 개념 관점에서 이론적으로 검토할 수 있는 접근방안에 초점을 두어 분석하였다.

아닌 업종단위에서 분석을 시도하였다. 일반적으로 EU는 배출권거래제내 할당 관점에서 사업장의 조기행동을 고려하며, 캐나다는 배출권거래제와는 직접적으로 무관하게 각 조기행동별 크레딧을 부여하는 것으로 분석된다. 위와 같은 조기행동 적용방식은 사업장별 모든 배출시설의 배출형태 및 감축활동 정보를 파악해야 하기 때문에 높은 행정비용이 요구된다. Rolfe 외[10.에 의하면 조기행동 보상제도는 탄소세 등 시장중심적 정책도구에 비해 고려 변수가 매우 많음을 지적하고 있다. 단, EU 국가 중 덴마크 국가할당계획(National Allocation Plan)에서는 사업장 단위보다는 부문별 감축부담의 차이를 고려해 부문별로 광범위(large extent)하게 조기행동을 반영하고 있다 [11.. 본 연구에서는 조기행동 인정을 위한 행정비용 부담의 최소화에 초점을 두어 덴마크와 같이 사업장 단위의 접근이 아닌 업종단위에서 분석을 시도하였다.

또한 본 연구에서는 조기행동 인정의 투명하고 객관적인 방법론 적용을 위해 업종별 에너지효율개선 변수를 적용하였다. 조기행동 판단기준으로 에너지효율 향상을 고려한 네덜란드의 방식[13]은 주목할 만하다. 효율향상은 단기에는 큰 감축효과를 유발하지 못하지만 장기적으로는 온실가스 감축수단으로서 중요한 조기행동 수단이 될 수 있기 때문이다. 이는 앞서 Kennedy[3.에서 언급된 ‘장기적인 감축을 고려한 조기행동’ 개념에도 부합된다. 이와 같은 관점에서 Arto 외[12. 역시 조기행동의 판단기준으로서 에너지효율성에 초점을 두어 분석하였다. Arto 외[12.는 EU 15개 국가의 9개 산업을 대상으로 CO2 배출요인을 분석하여 이로부터 조기행동을 산정하였다. 따라서 본 연구에서도 Arto 외[12.와 네덜란드의 접근법을 적용해 에너지효율을 조기행동의 주요변수로 간주하였다. 이를 위해 대한민국 에너지다소비 제조업종을 대상으로 요인분해 방법론(Decomposition Methodology)을 이용해 에너지효율 요인을 분석하였다.

3.2 분석 방법론

Table 1. 에너지원별 배출계수

		tC/TOE, kgCO ₂ /kWh	tCO ₂ /TOE
석탄		1.059 (tC/TOE)	3.883
석유		0.875 (tC/TOE)	3.208
가스		0.637 (tC/TOE)	2.336
전력	2001년	0.4305 (kgCO ₂ /kWh)	1.957
	2009년	0.4602 (kgCO ₂ /kWh)	2.092

온실가스 배출요인을 분석하기 위해 요인분해 방법론을 이용한 국내의 연구는 다수가 있다. 김수이와 정정화[13.는 LMDI(Log Mean Divisia Index Approach) 방법을 이용해 지난 20년간 온실가스 배출 및 에너지소비의 특성을 분석하고 장기적 관점에서 저탄소 경제체제 구축을 위한 시사점을 제시하였다. Oh 외[14.는 에너지소비를 5개 부문으로 구분하고 1990~2005년 기간 동안 부문별 에너지사용으로 인한 CO2 배출요인을 분석하였다. 정해식과 이기훈[15.은 전환, 산업, 가정·상업, 수송, 공공 부문으로 구분하고 LMDI를 이용해 1970~1998년 기간 중 에너지소비로 인한 CO2 배출요인을 분석하였다. 정현식과 이해춘[16.은 산업을 4부문 및 7부문으로 구분하여 1990~1995년 기간중 CO2 배출요인을 분석하였다.

그러나 현재까지 배출요인 분석을 활용해 온실가스 할당방안 또는 온실가스 감축활동 등과 연관해 직접 적용한 연구는 없다. 본 연구에서는 2001~2009년 기간 중 주요 에너지다소비업종인 철강, 석유화학, 시멘트 3개 업종을 감안하여 에너지경제연구원[17.이 발표하는 에너지수급 발란스(Energy Balance) 상의 1차금속, 석유/화학, 비금속 제조업종의 최종에너지를 대상으로 CO2 배출량을 산정하고, 배출요인을 효율변수와 구조변수로 구분하였다. 그리고 요인분해된 효율변수를 조기행동으로 간주할 수 있는 근거를 제시한 후, 업종별 조기행동 인정 가능량을 분석하였다.

분석대상 산업의 에너지소비는 석탄(유연탄), 석유(에너지유, LPG, 비에너지유), 가스, 전력 등 4개 에너지원이 고려되었다. 분석 대상의 제조업 부문별 부가가치액은 통계청 국가통계포털[18.의 명목가격을 이용하였다. 석탄, 석유, 가스의 배출계수는 IPCC 가

13) 네덜란드 국가할당계획에서는 사업장별 조기행동 인정을 위해 아래와 같이 에너지효율성 지수를 이용하였다 (Regina Betz et al., 2004). 즉, 에너지 고효율 사업장일수록 조기행동을 더 많이 인정하는 접근이다.
 $A = HE \times G \times EE \times C$ (A: allocation to an individual installation, HE: historic emissions, G: the sector growth, EE: the relative energy efficiency, C: the correction factor to scale to the overall emission ceiling)

이드라인[19, 20]을 참조하였고 이중 석탄은 유연탄, 석유는 B-C유의 배출계수를 기준으로 하였다. 석탄, 석유, 가스의 배출계수가 분석기간 중 일정한 반면, 전력 배출계수는 화석에너지 투입량에 따라 발생한 전력량을 기준으로 도출된 값이기 때문에 연간 상이한 값을 갖는다¹⁴⁾.

일반적으로 업종별 CO₂ 배출량은 에너지소비량과 에너지원별 배출계수에 의해 결정된다. 아래의 식(1)은 제조업 부문 총 배출량으로써, 각 업종별(i) 에너지원별(j) 배출계수(α)와 에너지사용량(EC)에 의해 산정된다.

$$CO_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \alpha_{i,j} \times EC_{i,j} \quad (1)$$

식(1)로부터 산정된 CO₂ 배출량은 아래 <표 2>과 같다. 전체 제조업 중 분석대상인 3대 업종 이외는 기타부문으로 분류했으며, 2009년 제조업의 총 CO₂ 배출량은 284,671천tCO₂, 3대 에너지다소비부문의 배출량은 239,256천tCO₂ 로써 전체 제조업 대비 약

84%를 차지한다.

본 연구에서는 요인분해방법중 선행연구들에서 많이 사용되는 Ang과 Choi[22]가 제안한 LMDI(로그평균디비지아지수)를 사용하였다. 이 방식은 연속분포를 가정함으로써 발생하는 제약으로부터 벗어나 현실적으로 이용 가능한 이산변수 형태로 변환시킬 수 있다. 또한 로그평균디비지아 지수를 이용하면 디비지아지수 이용시 발생할 수 있는 가중치 단순산술평균에 따른 오차항 문제 등을 해결할 수 있는 장점이 있다. 우선 배출요인을 도출하기 위해 식(1)의 우변에 업종별 에너지사용량(EC_i), 업종별 부가가치액(SG_i), 제조업 총 부가가치액(TG) 변수를 이용하였다(식(2) 참조).

$$\begin{aligned} CO_2 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \alpha_{ij} \cdot \frac{EC_{ij}}{EC_i} \cdot \frac{EC_i}{SG_i} \cdot \frac{SG_i}{TG} \cdot TG \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \alpha_{ij} \cdot EM_{ij} \cdot EI_i \cdot WG_i \cdot TG \quad (2) \end{aligned}$$

Table 2. 제조업 부문 업종별 CO₂ 배출량 산정 결과

		에너지사용량(천TOE)		부가가치(백억원)		CO ₂ 배출량(천CO ₂)	
		2001	2009	2001	2009	2001	2009
1차금속	석탄	12,748	14,514	1,387	2,640	57,836	67,225
	석유	845	354				
	가스	715	1,459				
	전력	2,021	3,023				
	계	16,329	19,350				
석유/화학	석탄	177	116	2,196	3,904	112,670	158,609
	석유	33,201	46,266				
	가스	333	1,077				
	전력	2,394	3,445				
	계	36,105	50,904				
비금속	석탄	3,567	2,844	855	1,376	16,385	13,422
	석유	30	17				
	가스	4	6				
	전력	1,241	1,104				
	계	4,842	3,971				
제조업 기타	석탄	3,313	1,241	16,227	29,530	54,001	45,414
	석유	7,674	4,657				
	가스	2,535	3,344				
	전력	5,415	8,531				
	계	18,937	17,773				
제조업 합계		76,213	91,998	20,665	37,450	240,892	284,671

14) 본 분석에 사용되는 전력배출계수는 에너지경제연구원과 대한민국 전력거래소[21. 자료를 참조하였다.

Table 3. 배출요인 구성 및 의미

구분			의미
효율요인	α	배출계수	에너지소비당 CO2 배출량 (tCO2/TOE)
	EM	에너지믹스	에너지소비량 중 개별 에너지원이 차지하는 비중
	EI	에너지집약도	부가가치 단위당 에너지 소비량 (천TOE/백억원)
구조요인	WG	생산구조	제조업 총 부가가치 중 각 업종 부가가치의 비중
	TG	경제규모	제조업 총 부가가치 (백억원)

위의 식(2)로부터 5가지 배출요인을 정의할 수 있는데 이중 에너지믹스(EM_{ij})는 업종 i의 에너지소비량 중 에너지원 j가 차지하는 비중이다. 각 업종은 이용 가능한 에너지원들의 구성비율을 조정할 수 있으며, 에너지믹스에 따라 배출량은 변화된다. 에너지집약도(EI_i)는 부가가치 단위당 에너지 소비량으로서 업종이 보유한 생산시설 및 배출설비의 기술수준과 관련된다. 즉, 각 업종은 비효율적인 배출설비를 에너지효율이 높은 신규설비로 교체함으로써 이전과 같은 생산량 수준을 유지하면서도 배출량 감축이 가능하다. 이 두 요인은 업종의 의사결정에 따라 직접 통제가 가능한 변수이다. 또한 배출계수(α_{ij})에 기인한 배출의 경우 에너지믹스와 에너지집약도에 따라 직접 연관되어 있기 때문에 결국 에너지믹스, 에너지집약도, 배출계수 등 3가지 배출요인은 각 업종이 통제 가능한 효율변수로 정의될 수 있다. 한편 부가가치비중(WG_i)은 산업 총 부가가치액 중 업종 i의 부가가치 비중이다. 이는 각 업종이 전체 제조업에서 차지하는 상대적인 규모라는 의미에서 부가가치비중의 변화는 생산구조의 변화로 해석 가능하다. 또한 산업 전체의 부가가치(TG)는 제조업 총 경제규모 수준을 의미한다. 생산구조와 경제규모는 개별 기업이 직접 통제하기 어렵다는 측면에서 구조적 의미로 정의된다.

제조업 전체의 산출량 수준 및 업종별 구성비 변화에 기인한 배출량 감소는 개별기업 및 업종의 의사결정에 따른 실질적인 감축노력의 결과로 평가되기 어렵다. 반면 효율변수는 직접 통제가 가능한 변수이며 이에 의한 감축은 실질적인 감축노력의 근거로 해석될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 사전 자발적 감축노력의 판단기준, 즉 온실가스 조기행동 실시여부의 판단기준으로서 효율변수가 고려될 수 있음을 가정하였다.

위 배출요인을 고려하여 식(2)로부터 t기의 CO2 총배출량은 5개 배출요인의 함수로 표현될 수 있다.

$$CO2_t = CO2_t(\alpha_{ij,t}, EM_{ij,t}, EI_{i,t}, WG_{i,t}, TG_t) \quad (3)$$

시간 변화에 따른 각 변수의 영향을 계량화하기 위해 식(2)를 시간에 대해 전미분하면 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} \frac{dCO2_t}{dt} = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \left(\frac{\partial CO2_t(\cdot)}{\partial \alpha_{ij,t}} \frac{d\alpha_{ij,t}}{dt} + \frac{\partial CO2_t(\cdot)}{\partial EM_{ij,t}} \frac{dEM_{ij,t}}{dt} + \frac{\partial CO2_t(\cdot)}{\partial EI_{i,t}} \frac{dEI_{i,t}}{dt} \right. \\ & \left. + \frac{\partial CO2_t(\cdot)}{\partial WG_{i,t}} \frac{dWG_{i,t}}{dt} + \frac{\partial CO2_t(\cdot)}{\partial TG_t} \frac{dTG_t}{dt} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

위 식(4)에서 $\alpha_{ij,t}$ 에 대한 편미분을 포함하고 있는 첫 번째 항에 식(2)를 반영하면 로그에 관한 항으로 전환할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{\partial CO2_t(\cdot)}{\partial \alpha_{ij,t}} \frac{d\alpha_{ij,t}}{dt} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (EM_{ij,t} \cdot EI_{i,t} \cdot WG_{i,t} \cdot TG_t) \frac{d\alpha_{ij,t}}{dt} \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{CO2_t(\cdot)}{\alpha_{ij,t}} \frac{d\alpha_{ij,t}}{dt} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{d\alpha_{ij,t}/dt}{\alpha_{ij,t}} CO2_t(\cdot) \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{\partial \ln(\alpha_{ij,t})}{\partial t} CO2_t(\cdot) \end{aligned} \quad (5)$$

식(4)에서 나머지 4개의 항도 같은 방식으로 전개하여 총 CO2 배출량을 시간 t에 대해 전미분한 값은 다음과 같이 로그함수 미분에 대한 항들의 합으로 표현된다.

$$\frac{dCO2}{dt} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{\partial \ln(\alpha_{ij,t})}{\partial t} CO2_{ij,t}(\cdot) + \frac{\partial \ln(EM_{ij,t})}{\partial t} CO2_{ij,t}(\cdot)$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\partial \ln(EI_i)}{\partial t} CO2_{ij,t}(\cdot) \\
& + \frac{\partial \ln(WG_i)}{\partial t} CO2_{ij,t}(\cdot) + \frac{\partial \ln(TG)}{\partial t} CO2_{ij,t}(\cdot)
\end{aligned} \quad (6)$$

LMDI 기법의 요인분해방식을 적용할 경우 LMDI 기법은 월별 또는 연간자료를 사용한 이산변수식에서도 잔차항을 남기지 않는 장점을 갖고 있다. 그 결과 두 기간 사이 총 배출량 변화는 CO2 배출량 변화의 로그평균(L($\cdot$))과 각 배출요인 변화율의 곱으로 구성된다. 식(7)의 우변에서 각 항은 각 배출요인에 기인한 배출변화량을 의미하며 본 연구에서 시간 t 에 대해 0기는 2001년, 1기는 2009년을 대표한다.

$$\begin{aligned}
\Delta CO2 = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k L(\cdot) \ln\left(\frac{\alpha_{ij,1}}{\alpha_{ij,0}}\right) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k L(\cdot) \ln\left(\frac{EM_{ij,1}}{EM_{ij,0}}\right) \\
& + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k L(\cdot) \ln\left(\frac{EI_{i,1}}{EI_{i,0}}\right) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k L(\cdot) \ln\left(\frac{WG_{i,1}}{WG_{i,0}}\right) \\
& + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k L(\cdot) \ln\left(\frac{TG_1}{TG_0}\right) \quad (7)
\end{aligned}$$

$$L(\cdot) = L(CO2_{ij,1}, CO2_{ij,0}) = \frac{CO2_{ij,1} - CO2_{ij,0}}{\ln CO2_{ij,1} - \ln CO2_{ij,0}}$$

단, $CO2_{ij,1} = CO2_{ij,0}$ 인 경우 $L(\cdot) = CO2_{ij,1}$

이 중에서 각 업종의 의사선택에 따라 변화될 수 있는 배출량변화(Efficiency)는 효율변수에 기인한 변화량만을 포함한다.

$$\begin{aligned}
Efficiency_i = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k L(\cdot) \ln\left(\frac{\alpha_{ij,1}}{\alpha_{ij,0}}\right) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k L(\cdot) \ln\left(\frac{EM_{ij,1}}{EM_{ij,0}}\right) \\
& + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k L(\cdot) \ln\left(\frac{EI_{i,1}}{EI_{i,0}}\right) \quad (8)
\end{aligned}$$

효율변수에 기인한 배출량 변화를 계량화한 뒤 이를 조기행동으로 간주하고 업종별 배출권 무상할당을 위한 기준으로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 효율변수를 반영하지 않은 경우, 업종 i 에 할당되는 배출

허용량(AllowancenonEA)이 전체 제로업 배출량에서 업종 i 의 배출량이 차지하는 비율과 배출권 총량(Target)으로 결정됨을 가정하였다. 여기서 배출권 총량(Target)이란 정부가 허용배출권의 무상배분을 고려할 경우 제로업 전체에 부여된 총 배출허용량이다.

$$Allowance_i^{nonEA} = \frac{CO2_i}{\sum_{i=1}^n CO2_i} Target \quad (9)$$

반면 효율변수에 의한 배출량 변화, 즉 조기행동을 고려할 경우 업종 i 에 할당되는 허용배출권은 식(10)과 같이 결정된다. 에너지믹스와 기술 변화 등 효율변화에 따라 배출량은 감축될 수도 있고 증가할 수도 있다. 배출량이 감소한 경우 식(8)에서 Efficiency $_i$ 값은 음수로 나타나고 증가한 경우 양수가 된다. 따라서 식(10)에서 효율변수에 의해 배출이 감축된 경우 상대적으로 더 많은 배출권이 할당되고, 반대로 증가한 경우 허용배출권이 감소하게 된다.

$$Allowance_i^{EA} = \frac{CO2_i - Efficiency_i}{\sum_{i=1}^n (CO2_i - Efficiency_i)} Target \quad (10)$$

위와 같은 조기행동 인정방안은 주어진 배출목표량(Target)을 충족하면서 조기행동 증감분이 업종별로 배분되는 상대적 인정방식이다. 즉, 업종별 조기행동 유무를 직접 반영하기 때문에 조기행동이 있을 경우 허용량이 증가한다. 반면, 효율개선이 이루어지지 않고 오히려 효율변수에 의해 배출량이 증가한 경우 허용량은 감소한다. 이와 같은 방식은 조기행동을 실시한 업종에 의해 미실시한 업종의 할당량에 영향을 미치는 경우를 가정한 것이다. 또한 모든 업종의 조기행동이 인정되는 경우에도 제로업 부문 총 조기행동 기여분에 따라 업종간 할당량에 상호영향을 주는 접근 방식이다.

3. 분석결과

3.1 배출요인

배출요인분해 분석 결과는 다음 <표 4>와 같다¹⁵⁾.

Table 4. 배출요인 구성 및 의미

구분			의미
효율요인	α	배출계수	에너지소비당 CO ₂ 배출량 (tCO ₂ /TOE)
	EM	에너지믹스	에너지소비량 중 개별 에너지원이 차지하는 비중
	EI	에너지집약도	부가가치 단위당 에너지 소비량 (천TOE/백억원)
구조요인	WG	생산구조	제조업 총 부가가치 중 각 업종 부가가치의 비중
	TG	경제규모	제조업 총 부가가치 (백억원)

2001~2009년간 대한민국 제조업부문의 최종에너지 소비로 인한 CO₂ 배출량은 240,892 천tCO₂에서 284,671 천tCO₂로 약 18% 증가된 것으로 분석되었다(<표 2> 참조). 이중 비금속과 기타업종의 총 CO₂ 배출량은 감소했으며 1차금속과 석유/화학업종의 배출량은 증가하였다. 이중 효율요인에 의해 제조업 전 부문에서 배출량이 감소한 것으로 분석된다. 반면, 구조요인에 의해서는 모든 부문에서 배출량이 증가하였다. 특히, 석유/화학 업종에서는 구조요인이, 제조업 기타 업종에서는 효율요인이 분석기간중 배출량 증감에 중요한 역할을 담당한 것으로 분석된다. 그리고 1차금속과 비금속업종에서 효율요인은 높은 비중으로 총 배출량 변동에 영향을 미친 것으로 분석된다. 구조요인중 생산구조(WG)는 업종별로 배출량 증감 요인으로 작용한 것으로 분석된다. 이는 업종별 부가가치 및 배출변화량과 제조업 전체의 부가가치 및 배출량변화 크기에 따라 결정된다. 한편, 경제규모 변수(TG)는 전체 경제규모의 증가가 배출량 변화에 미치는 효과를 분석하기 위한 것으로써, 산업 전체의 총 부가가치액이 증가하면 배출량이 증가한다. 분석기간중 모든 업종에서 경제규모가 증가하였으며, 이 결과 배출량 증가요인으로 작용하였다.

효율요인 중에서 배출계수(α)는 석탄, 석유, 가스는 동일하게 적용되고 전력에 의한 변화량만 반영되기 때문에 배출기여량이 기타 요인들에 비해 상대적으로 작은 값으로 나타난다. 에너지믹스(EM)와 에너지집약도(EI)의 경우, 모든 업종에서 감축에 기여하고 있다. 특히, 에너지집약도는 전체 효율요인에서 가장 높은 비중을 차지하며 결정적 영향을 미치는 것으로 분석된다. 제조업 총 효율요인은 109백만tCO₂로 분석되는데, 제조업 기타업종이 가장 높은 기여(34%)를 하고 있으며, 비금속업종은 9%로 가장 낮은 것으로

Table 5. 제조업 주요 업종의 요인별 기여

업종	제조업 총 효율요인(109MtCO ₂) 대비 비중 (%)	요인별 비중 (%)
1차금속	28	효율요인: 43
		구조요인: 57
석유/화학	29	효율요인: 29
		구조요인: 71
비금속	9	효율요인: 59
		구조요인: 41
제조업 기타	34	효율요인: 56
		구조요인: 44

추정된다. 그러나 비금속업종의 총배출량변화 관점에서 구조요인의 배출증가(41%) 보다 효율요인의 배출 감축 기여(59%)가 높아 총 배출감축에서 효율요인은 다른 업종에 비해 가장 결정적으로 작용된 것으로 분석된다. 한편, 석유/화학 업종은 제조업 전체 효율효과중 29%의 상대적으로 높은 비중을 점하고 있다. 그러나, 석유/화학 업종내 총 배출량변화 관점에서는 구조요인에 의한 배출증가가 매우 높아(71%) 효율요인은 배출감축에 큰 기여를 못하고 있다. 1차금속의 경우, 제조업 전체 효율효과중 28%의 상대적으로 높은 비중이며, 동시에 업종내 총 배출량변화 관점에서도 43%의 높은 기여도를 점하고 있다. 즉, 1차금속업종의 효율개선은 전체 제조업 뿐 아니라, 1차금속업종내 배출량 감축에 중요한 역할을 담당하고 있는 것으로 분석된다.

에너지원별로 살펴보면 1차금속 업종은 4가지 에너지원 중에서 특히 석탄은 배출량 증가에 가장 요인으로 작용하고 있다. 2001년 1차금속업의 에너지소비 16,329천TOE 중에서 석탄 사용량은 12,748천TOE로서 약 78%를 점유하였다. 그러나 2009년 에

- 15) 분석기간에 따라 CO₂ 배출요인 결과는 상이하게 나타날 수 있음. 본 연구에서는 온실가스 감축목표 설정 시기 이전 일정기간 동안에 발생한 에너지효율 개선을 조기행동 기간으로 설정한다는 관점에서 '01~'09년 기간을 사용하였음.

Table 6. 에너지원별 배출량 변화요인

(단위: 천tCO₂)

배출요인		α	EM	EI	WG	TG	계
1차급속	석탄	0	-2,115	-25,047	2,594	31,426	6,857
	석유	0	-1,883	-858	89	1,077	-1,575
	가스	0	1,324	-1,155	120	1,449	1,738
	전력	337	1,175	-2,392	248	3,001	2,369
석유/화학	석탄	0	-429	-130	-10.7	333	-237
	석유	0	-1,476	-29,288	-2,426	75,106	41,917
	가스	0	1,229	-343	-28	880	1,738
	전력	391	120	-1,358	-112	3,481	2,522
비급속	석탄	0	-350	-8,355	-1,472	7,369	-2807
	석유	0	-27	-50	-8.8	44.3	-41
	가스	0	7	-7.8	-1.4	6.8	5
	전력	158	193	-1,597	-281	1,408	-119
3개 업종 합계	석탄	0	-2,894	-33,532	1,111	39,128	3,813
	석유	0	-3,385	-30,196	-2,346	76,227	40,300
	가스	0	2,560	-1,506	90	2,336	3,480
	전력	885	1,488	-5,346	-146	7,890	4,772

너지소비에서 석탄의 비중은 75%로 감소되었다. 따라서 이와 같은 석탄의 에너지믹스 요인으로 인해 CO₂ 감축이 달성된 것으로 분석된다. 특히 석탄과 관련된 에너지집약도는 석탄소비 감소 및 부가가치 증가로 중요한 배출량 감소요인으로 분석되었다. 석유/화학업종은 에너지원중 석유 소비비율(91~92%)이 가장 높다. 동 업종에서 석유의 에너지믹스와 에너지집약도는 배출감축의 요인으로 분석된다. 에너지집약도의 경우, 석유/화학 업종 모든 에너지원에서 배출량감소에 기여한 것으로 나타났다. 특히 석유의 개선효과가 두드러진다.

분석대상 업종에서 에너지원별 총 배출량 증가요인을 살펴보면 석유(40,300 천tCO₂)가 가장 높고, 전력(4,772 천tCO₂), 석탄(3,813 천tCO₂), 가스(3,480 천tCO₂) 순으로 이어진다. 이와 같은 결과는 에너지원 구성비율 및 배출계수와 연관이 있다. 분석기간 동안 전체 제조업의 에너지원별 구성에는 큰 변화가 없지만 (석탄 0.26→0.20, 석유 0.55→0.56, 가스 0.05→0.06, 전력 0.15→0.18), 지속적으로 석유의 의존도가 높으며, 전력소비는 상승하고 석탄소비는 감소하는 추세이다. 이와 같은 제조업의 에너지 구성비율 추이와 이에 해당되는 CO₂ 배출계수의 영향으로 에너지원별 총 배출량 증가요인 결과가 도출된 것으로 분석된다.

3.2 배출허용량

위와 같이 배출요인별 배출량 중 효율요인을 각 업종이 자발적으로 수행한 조기행동으로 간주하고, 조기행동을 고려한 배출권 할당량을 산정하였다. 배출권 할당량 산정을 위해 필요한 제조업의 감축목표(Target)는 다음과 같이 고려하였다. 대한민국 정부의 국가 온실가스 감축목표(2020년까지 BAU 대비 30% 감축) 달성 계획에 따르면 산업부문은 국가감축량 중 약 28% 기여(2020년 산업부문 BAU 460백만tCO₂에서 310백만tCO₂으로 감축을 해야 한다 [23.. 이를 고려해 본 연구에서 제조업 부문 온실가스 배출허용량은 향후 300백만tCO₂이 될 것을 가정하였다¹⁶⁾.

<표 7>은 조기행동 미고려시, 그리고 조기행동을 반영한 경우의 업종별 배출허용량이다. 즉, 조기행동을 미반영할 경우, 300만tCO₂ 배출허용량을 할당함에 있어 업종별 배출비중에 근거해 할당량을 결정하였다(식(9) 참조). 조기행동을 반영한 할당량은 300만tCO₂ 배출허용량 할당시, 본 연구 분석기간(2001~2009년)중 업종별 조기행동을 반영한다는 의미이며, 반영방식은 조기행동을 고려한 업종별 배출비중에 근거하였다(식(10) 참조).

우선, 조기행동을 반영하지 않은 경우 허용배출량 비중은 석유/화학 업종이 가장 높고, 그 다음으로 1차

16) 본 연구에서 산정된 2009년 제조업 배출량은 285백만tCO₂이다. 이후 제조업 배출량이 지속 증가(Business as Usual)하고, 대한민국 정부가 2015년경 배출권거래제를 도입할 경우, 제조업 배출허용량을 300만tCO₂으로 설정한다는 가정이다.

Table 7. 조기행동 고려여부에 따른 업종별 허용 배출량

업종	조기행동 미고려시	조기행동 고려시
1차금속	71.1 (24)	74.7 (25)
석유/화학	167.7 (56)	145.0 (48)
비금속	14.2 (5)	17.9 (6)
제조업 기타	48.0 (16)	63.3 (21)
제조업 전체	300 (100)	300 (100)

금속 업종이다. 석유/화학 업종은 약 168백만tCO₂의 배출권이 할당되며 이는 제조업 전체 배출권 300백만tCO₂ 중 56%에 이른다. 그리고 1차금속 업종은 24%의 배출권 할당 비중으로 분석된다.

그러나 조기행동 고려시 배출권 할당량 및 할당비중의 변화가 발생한다. 조기행동 미고려시 대비 석유/화학 업종을 제외한 모든 업종에서 배출권 할당비중이 증가한다. 석유/화학 업종은 145백만tCO₂의 배출권을 할당받으며 이는 제조업 전체의 약 48%에 해당한다. 이는 조기행동 미고려시 56%에 비해 할당비중이 감소한 것이다. 본 연구 분석결과 모든 대상 업종에서 효율요인이 개선되어 조기행동이 발생한 것으로 나타난다. 석유/화학의 경우, 제조업 총 효율요인중 29% 비중을 점하지만, 상대적으로 매우 높은 구조요인에 의해 배출량이 급증하였고, 이 결과 조기행동을 고려한 업종별 배출비중이 조기행동 미고려시 대비 감소하였다. 반면, 석유/화학 업종을 제외한 업종들에서는 구조요인 대비 효율요인의 비중이 높아 배출량 감소에 상대적으로 높은 기여를 하였고, 이 결과 조기행동 고려시 업종별 배출비중이 조기행동 미고려시 대비 상대적으로 증가하였다.

위와 같은 조기행동 고려에 따른 할당비중 변화 결과는 개별 업종의 조기행동 인정량이 아닌 전체 제조업종에서 차지하는 상대적 조기행동량과 조기행동과 직접 연관이 없는 배출량 증감에 의해 할당량이 결정되는 분석방법론에서 비롯된다. 즉, 조기행동의 상대적 인정방식으로서, 조기행동을 미실시한 업종은 조기행동 인정 업종에 비해 배출허용량이 감소하고, 모든 업종이 조기행동을 실시한 경우에는 총 배출량 변화에 미치는 조기행동의 상대적 크기에 따라 결정된다. 이와 같은 방식을 적용할 경우, 석유/화학 업종은

조기행동을 고려한 할당방식은 오히려 감축부담을 유발할 수 있다. 반면, 석유/화학 이외의 업종들은 이와 같은 조기행동 반영 할당방식을 선호할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 대한민국 제조업종을 대상으로 에너지 소비로 인한 CO₂ 배출량의 배출요인을 효율변수와 구조변수로 구분하여 분석하였다. 그리고 이중 효율변수를 온실가스 조기행동 요인으로 간주하고 조기행동 고려시와 미고려시 업종별 허용배출량 변화를 분석하였다. 조기행동을 반영해 허용배출권을 할당할 경우 조기행동을 고려하지 않은 경우에 비해 석유/화학 업종의 할당비중은 감소한 반면, 이외의 모든 업종들에서는 증가한 것으로 분석되었다. 이 분석결과는 분석대상 모든 업종에서 조기행동을 실시한 경우에 해당되며, 조기행동의 업종간 상대적 인정방식에서 비롯된다.

조기행동 인정과 관련해 조기행동 인정 필요성 여부, 인정방식, 충족요건 등 다양한 검토가 요구된다. 이중 본 연구는 조기행동을 인정할 경우를 전제로, 인정방식을 중심으로 방법론을 제시하였다. 일반적인 조기행동 인정은 감축행동을 직접 수행한 사업장을 대상으로 감축활동별로 접근하고 있다. 위와 같은 조기행동 인정은 사업 선정 기준 및 검증 과정 등에서 높은 행정비용이 요구되며, 실현된 감축만을 조기행동으로 인정할 경우 합리적 의사결정을 왜곡할 수 있는 문제점이 제기될 수 있다. 이와 같은 조기행동 인정방법의 한계를 극복할 수 있는 대안으로서 네덜란드와 덴마크에서 각각 적용한 에너지효율과 업종단위 관점에서 분석하였다.

이와 같은 접근은 조기행동 기준으로서 에너지효율의 적합성 여부, 업종 단위 접근에 따른 실질적 조기행동 미사업장 무임승차 문제 등에 관한 보다 면밀한 향후 연구가 요구된다. 구체적으로, 본 연구에서 제시한 방법론과 관련해서는 다양한 추가 분석이 가능하다. 현재의 방식은 개별 업종의 조기행동량을 직접 반영할 수 없으므로, 총 배출허용량을 초과하지 않도록 조기행동 증감분을 사전 조정하여 각 업종별로 접근할 수 있을 것이다. 또한 조기행동이 인정되는 업종과 인정되지 않는 업종을 구분하여 분석할 수도 있다.

References

1. Commission of the European Communities :
"COMMUNICATION FROM THE COMMISSION on guidance to assist Member States in the implementation of the criteria listed in Annex III to Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC", COM(2003) 830 Final, (2003)
2. 한현옥: "배출권거래제 관련 조기행동과 상쇄제도", 한국경제연구원 저탄소 녹색성장을 위한 정책과제(하) 7장, (2011)
3. Kennedy, P. W.: "Optimal early action on greenhouse gas emissions", Canadian Journal of Economics, vol. 35(1), 16~35, (2002)
4. Australian Government: "Carbon Pollution Reduction Scheme: Australia's Low Pollution Future (White Paper), (2008)
5. Reginal Greenhouse Gas Initiative, "Potential Emissions Leakage and the Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI)", (2008)
6. Mazzacurati, E, Zelljadt L., and Bugnion, V.:
"The Low-Down on the Waxman-Markey Bill", Point Carbon Analyst May(25), Point Carbon, (2009)
7. Government of Canada: "Turning the Corner: Canada's Credit for Early Action Program", (2008)
8. Germany, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety: "National Allocation Plan For the Federal Republic of Germany 2005-2007", (2004)
9. The Netherlands, Ministry of Economic Affairs: "Allocation plan for CO2 emission allowances 2005~2007: Dutch National allocation plan regarding the allocation of greenhouse gas emission allowances to companies", (2004)
10. Rolfe, C., Michaelowa, A., and Dutschke, M.:
"Closing the Gap: A Comparison of Approaches To Encourage Early Greenhouse Gas Emission Reductions", HWWA Report, (1999)
11. Betz, R., Eichhammer, W., and Schleich, J.:
"Designing National Allocation Plans for EU Emissions Trading - A First Analysis of the Outcome", Energy and Environment, vol. 15(3), 375~426, (2004)
12. Arto, I., Gallastegui, C., and Ansuategi, A.:
"Accounting for early action in the European Union Emission Trading Scheme", Energy Policy, vol. 37(10), 3914~3924, (2009)
13. 김수이, 정경화: "LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 온실가스 배출 요인분해 분석", 자원환경경제연구, vol. 20(2), 229~256, (2011)
14. Oh, I., Wehrmeyer, W., and Mulugetta, Y.:
"Decomposition analysis and mitigation strategies of CO2 emissions from energy consumption in South Korea", Energy Policy, vol. 38(1), 364~377, (2010)
15. 정해식, 이기훈: "로그 평균 디비지아 지수 기법을 이용한 이산화탄소 배출량 변화의 요인분해", 자원환경경제연구, vol. 10(4), 569~590, (2001)
16. 정현식, 이해춘: "평균 변화율지수에 의한 CO2 배출요인 분해방법", 자원환경경제연구, vol. 9(3), 489~513, (2000)
17. 에너지경제연구원: "에너지수급발란스", (2011)
18. 통계청 국가통계포털: "산업분류/경영조직별 주요지표", <http://kosis.kr/index>
19. IPCC: "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", (1996)
20. IPCC: "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", (2006)
21. 전력거래소: "제4차 전력수급기본계획 수립을 위한 제1차 기후변화 실무소위원회 회의자료", (2008)
22. Ang, B.W. and Choi, K.H.: "Decomposition of Aggregate Energy and Gas Emission Intensities for Industry: A Refined Divisia Index Method", The Energy Journal, vol. 18(3), 59~73, (1997)
23. 녹색성장위원회: "국가 온실가스 감축방안 연구-2020년까지 국가 온실가스 감축목표", (2011)