



미국의 발전소 온실가스 배출규제 정책 추진동향과 시사점

에너지경제연구원 선임연구위원 **노 동 운**
(dwroh@keei.re.kr)



1. 머리말

미국의 오바마 대통령은 2013년에 기후변화 행동 계획(Cliamte Action Plan)을 발표하여 미국 내의 적극적인 기후변화 대응뿐만 아니라 국제협력에서도 주도적인 역할을 이행하겠다는 구체적인 의지를 표명했다. 국내에서는 발전부문의 온실가스 배출규제를 강력하게 실시하고 수송부문과 가정 및 상업부문에서도 에너지효율 기준을 강화하며 신재생에너지를 적극적으로 도입한다는 계획이다. 유엔을 중심으로 전개되고 있는 Post-2020 기후변화체제의 성공을 지원하기 위해, 국제무대에서 선도적인 역할을 수행할 계획이다. 2015년에는 신기후체의 일환으로 2025년의 온실가스 감축목표를 제출하기도 했다.

미국의 발전부문 온실가스 배출규제는 오바마 대통령의 기후변화 행동계획의 일환으로 추진되는 계획이다. 발전부문은 국가 온실가스 배출원에서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 저탄소 경로 설정에 있어서 핵심적인 역할을 할 수 있는 부문이다. 우리나라도 2020년의 온실가스 감축목표 뿐만 아니라 2030년의 온실가스 감축목표를 달성하기 위해서는 미국의 온실

가스 배출규제 내용을 살펴볼 필요가 있다. 미국의 발전소 온실가스 배출규제는 우리나라의 발전부문 온실가스 감축목표 및 감축수단 설정에 유용한 정보를 제공해줄 것으로 기대된다. 본고에서는 미국 신규 발전소 및 기존 발전소의 온실가스 배출규제 내용을 구체적으로 살펴보고 우리나라 발전부문 및 기후변화 정책수립에 대한 시사점을 도출하고자 한다.

2. 오바마 정부의 기후변화 행동계획

가. 미국의 온실가스 감축목표

오바마 대통령은 2009년 코펜하겐어코드에 의해 2020년의 온실가스 감축목표를 설정한데 이어 2015년에는 신기후체제의 일환으로 자발적 기여(INDC)인 2025년의 온실가스 감축목표를 설정하여 유엔에 제출했다. 2020년의 온실가스 감축목표는 2005년 배출량 대비 약 17% 감축하는 것이며 2025년의 감축목표는 2005년 대비 26~28%를 감축하되 약 28% 감축을 다하도록 최선을 다한다는 것이다.



〈표 1〉 미국의 온실가스 감축목표

구분	2020년 감축목표	2025년 감축목표
감축목표	2005년 배출량 대비 약 17% 감축	2005년 배출량 대비 26~28% 감축

자료: UNFCCC; 에너지경제연구원, 상시연구체계 활동보고서, 2014.12

미국은 교토의정서 체제에 가입하지 않았기 때문에 2020년 감축목표는 교토의정서에 의한 제2차 공약기간(commitment period)의 감축목표가 아니라, 기후변화협약 장기행동계획(AWG-LCA)의 자발적인 감축목표라고 할 수 있다. 부속서 I 국가의 교토의정서 제2차 공약기간(2013~2020년) 감축목표 설정협상(AWG-KP)은 2005년 캐나다 몬트리올의 제11차 기후변화 당사국총회(COP 11)에서 결성되어 2009년 코펜하겐에서 마무리될 예정이었다. 개도국까지 포함한 기후변화협약들에 관한 협상(AWG-LCA)은 2007년 인도네시아 발리에서 개최된 제13차 기후변화 당사국총회(COP 13)에서 결성되어 역시 코펜하겐에서 마무리될 예정이었다. 따라서 미국의 2020년 온실가스 감축목표는 2009년 덴마크 코펜하겐의 제15차 기후변화 당사국총회(COP 15)에서 기후변화협약들에 관한 협상(AWG-LCA)의 감축목표로 제출한 것이라고 할 수 있다.

미국은 2014년 말 페루 리마에서 개최된 제20차 기후변화총회에서 합의된 일정에 따라 선진국이 제출해야 할 제출 시한인 2015년 1분기인 3월 31일에 2025년의 감축목표인 자발적 기여(INDC)를 유엔기후변화협약 사무국에 제출했다. 기후변화협상 일정에 의한 선진국의 온실가스 감축목표 시한을 정확하게 준수하여 감축목표를 제출한 점은 세계적인 기후변화 대응노력에 적극적으로 참여하고 있을 뿐만 아니라

유엔의 Post-2020 노력을 선도하겠다는 의지로 볼 수 있다.

미국은 2020년 감축목표를 달성하기 위해 다양한 기후변화정책 및 조치를 이행하고 있다. 교통부와 환경보호청(EPA)은 2012~2025년형 경형 자동차의 연비기준과 2014~2018년형 중형 자동차의 연비기준을 설정했다. 또한 에너지정책법(Energy Policy Act)과 에너지안보법(Energy Independence and Security Act)에 의거하여, 28개의 가전기기 및 기구에 대한 에너지절약기준을 설정했으며 고위 GWP(high-GWP) HFC 대체사용에 관한 규정을 설정했다. 2025년 감축목표를 달성하기 위해 현재 추진하고 있는 기후변화정책을 강화하여 온실가스 감축속도를 두 배 수준으로 강화할 계획이다. 2020년 목표 수준(2005년 대비 약 17%)에서 추가적으로 2005년 대비 9~11% 감축하며, 2005~2020년의 온실가스 감축속도를 연 2.3~2.8% 수준으로 약 두 배 수준으로 강화시켜야 한다는 것이 기본 전략이다. 신규 및 기존 발전소의 온실가스 배출기준에 관한 규제안을 2015년 여름에 발표했으며 교통부와 환경보호청(EPA)은 2018년 이후 자동차(Post-2018)에 대한 연비규제안을 수립하고 매립지와 석유·가스 생산시설의 메탄가스 배출에 관한 규제 계획도 수립할 계획이다. 에너지절약기준을 적용하는 가전기기 및 기구의 범위도 확대할 계획이다.



나. 기후변화 행동계획 개요

오바마 대통령은 2013년 6월 기후행동계획(Climatic Action Plan)을 발표했는데, 이는 오바마 행정부의 기후변화정책을 집약적으로 보여주는 계획이라고 할 수 있다. 오바마 대통령은 취임 이후 기후변화 관련 다수의 법안을 제정하는 시도를 했으나 의회에서 공화당의 반대로 모두 실패했다. 2020년 감축목표를 규정할 청정에너지 안보법(American Clean Energy & Security Act; ACES Waxman-Mckey 법안)을 상정했으나, 공화당의 반대에 부딪쳐 의회를 통과하

지 못한 것이 대표적인 사례이다. 오바마 대통령은 공화당이 의회를 장악하고 있는 현실을 감안하여 입법 과정을 통해 기후변화정책을 추진하는 방식을 포기하고, 행정명령을 통해 기후변화정책을 추진하는 전략을 선택하였다.

기후행동계획은 1) 자국 내 탄소배출량 감축, 2) 기후변화 영향 대응, 3) 기후변화 대응 관련 국제적 노력을 선도하겠다는 3대 추진전략으로 구성되어 있다. 오바마 행정부는 기후행동계획에 포함된 모든 실천계획들이 실현될 경우 2020~2025년까지 약 30억 톤의 온실가스가 감축될 것으로 예상하고 있다.¹⁾

〈표 2〉 미국 기후행동계획 주요내용

구분	세부전략	실천계획
자국 내 탄소배출량 감축	청정에너지 상용화	- 발전소 탄소배출량 감축 - 재생에너지 확대 - 청정에너지기술에 대한 장기투자 촉진(청정 화석연료 사업 추진 등)
	21세기형 교통체제 구축	- 저탄소 연료기준 강화 - 저탄소 수송기술 개발 및 상용화
	가정, 상업, 공장의 에너지절약	가정 및 산업체에서의 에너지요금 절약(에너지효율기준 도입, 에너지효율 개선 관련 투자 촉진 등)
	기타 온실가스 감축	- HFCs 배출량 감축 - 메탄 배출량 감축(통합 메탄전략 구축 등) - 산림보호 및 복구
	연방정부 차원의 적극적인 행동	연방정부 차원에서 청정에너지 및 에너지효율 개선 사업 추진
기후변화 영향 대응	안전한 커뮤니티 및 인프라 구축	- 연방정부 차원에서 기후복원 투자 지원 - 주(州), 지방, 부족 차원의 기후대응 TF 구축 - 지역사회의 기후변화적응 지원 - 건물 및 인프라의 복원력 강화 - 허리케인 샌디로 인한 피해 복구

1) Center for Climate and Energy Solutions(C2ES), President Obama's Climate Action Plan: One Year Later, June 2014, p. 1.



〈표 2〉 계속

구분	세부전략	실천계획
기후변화 영향 대응	경제 및 천연자원 보호	• 주요 부문의 기후변화 취약성 평가 • 보건부문의 복원력 강화 • 기후안전에 대한 보험 확대 • 토지 및 수자원 보호 • 농업부문 지속가능성 유지 • 가뭄 관리 • 산불 위험 관리 • 홍수 대비
	과학적 접근법을 통한 기후변화 적응	• 실천 가능한 기후과학 보급 • 미국의 기후변화 영향 분석 • 기후자료 이니셔티브 발족 • 기후복원에 관한 툴킷(toolkit) 제공
기후변화 대응 관련 국제적 노력 선도	기후변화 대응을 위해 국제사회와 협력	• 주요경제국포럼(MEF)을 통한 다자간 협력 강화 • 주요 개도국과의 양자간 협력 확대 • 대기 잔류기간이 짧은 대기오염물질 감축 • 산림파괴 및 황폐화로 인한 배출 감축 • 청정에너지 사용 확대 및 에너지폐기물 감축(천연가스 및 원자력, 청정석탄, 에너지효율 개선 등) • 환경상품 및 서비스에 관한 국제자유무역 논의 • 화석연료 소비에 대한 지원금 점진적 폐쇄 • 청정에너지에 대한 국제사회의 공적자금 투입 지원 • 국제사회의 기후변화 복원력 강화 • 기후금융 활성화
	국제적 협력을 통한 기후 변화대응 노력을 선도	-

자료: Executive Office of the President(EOP), The President's Climate Action Plan, June 2013

1) 자국 내 온실가스 감축

자국 내 온실가스 감축은 1) 발전부문 온실가스 감축을 포함한 청정에너지 보급 확대, 2) 21세기형 교통체제 구축, 3) 각 부문에서의 온실가스 감축, 4) HFC 등의 비이산화탄소 감축, 5) 연방정부의 감축노력 등으로 구분된다.

발전부문은 미국 내에서 가장 규모가 크고 집중적인 온실가스 배출원으로서 비소, 수은 및 납에 대해서는 이미 배출규제가 설정되어 있다. 36개 이상의 주에서 재생에너지 목표를 이행해 오고 있으며, 26개 이상의 주에서 에너지 효율성 목표를 정해 놓았으나 연방 수준에서 발전소의 온실가스 배출규제가 없어서 발전소에 대한 온실가스 배출기준을 제안하게 된 것



이다. 오바마 대통령의 제1기 재임기간에 풍력, 태양광 및 지열 발전량을 두 배로 증가시켰음에도 불구하고 2020년까지 재생에너지 발전량을 배가시키는 목표를 설정했으며, 전력망 확대 및 현대화도 추진하고 첨단 바이오연료와 모듈 방식의 소형 원자로와 같은 새로운 원자력 기술에서부터 청정 석탄에 이르기까지 광범위한 에너지기술에 대한 투자를 증대시켜 청정에너지를 확대할 계획이다.

2011년에 오바마 행정부는 대형 트럭, 버스 및 배를 대상으로 최초의 연비기준(2014~2018년식 모델에 적용)을 수립한데 이어 대형 차량에 대한 2018년 이후의 연비기준(2025년까지 평균 23.17km/ℓ, 54.5mile/gallon)을 설정할 계획이다. 재생연료기준(Renewable Fuels Standard)을 달성하도록 지원하고, 차세대 바이오연료 실용화를 위한 연구 및 개발에 투자하고 있으며, 이를 더욱 확대하여 민간부문 및 공공부문과의 협력을 발판으로 모든 수송부문에서 첨단 배터리 및 연료전지 기술과 같은 청정연료 보급 사업을 계속할 계획이다.

가정·상업부문 및 공장에서의 에너지낭비를 억제하기 위한 계획도 추진 중이다. 세척기, 냉장고 및 기타 다수의 제품을 대상으로 한 새로운 효율성 기준을 수립한 데 이어 새로운 에너지 효율성 기준 목표를 수립할 계획이다. 에너지 효율성 투자와 관련된 장벽을 완화할 계획이며 농무부의 에너지효율 및 절약 대출 프로그램, 미국 농촌 에너지 프로그램, 주택도시개발부의 다가구에너지혁신기금을 통해 투자를 확대할 계획이다.

수소화불화탄소(HFC)를 감축하기 위해 자동차 생산자로 하여금 HFC를 대체하도록 장려하고 있으며 신규 대체물질정책프로그램을 통해 저배출 기술에 대한 민

간부문의 투자를 장려할 계획이다. 메탄 배출 감축을 위해 환경보호청(EPA)과 농무부, 에너지부, 내무부 및 교통부에서 종합적인 부처간 메탄 전략을 수립하고 산불, 가뭄 및 병충해 위험을 줄이고, 삼림 보존 및 지속가능한 관리를 통해 흡수능력을 확대할 계획이다.

연방 수준에서의 온실가스 감축을 위해 2020년까지 전력 소비량 중 재생에너지로 발전되는 전기의 비중을 약 20%로 늘릴 계획(현재 약 7.5%)이며 에너지 효율화를 계속하여 추진할 계획이다. 에너지절감 사업 및 성과 기반 에너지절감계약의 이행을 통해 연방 기관들은 300건 이상의 사업에서 거의 23억 달러에 달하는 일련의 계약을 약속했으며, 행정부는 향후 몇 개월 간 성과기반 계약을 포함한 에너지 효율화 촉진 사업을 강화하기 위한 다수의 조치를 취하고, 연방 시설을 대상으로 에너지관련 데이터를 안전하고 사용하기 쉬운 형식으로 취합하는 '녹색 버튼(Green Button)' 기준을 활용하여, 에너지 소비량을 관리하고 온실가스 배출량을 감축하고 지속가능성 목표를 달성하기 위한 능력을 향상시킬 계획이다.

2) 기후변화 영향 대응

미국의 기후변화 복원력을 강화하기 위해 부처간 기후변화 적응 대책반을 설립했으며 2013년 2월에는 기후변화 적응계획을 발표했다. 기후변화의 영향에 보다 잘 대비할 수 있도록 1) 보다 견고하고 안전한 지역사회 및 기반시설 구축, 2) 경제 및 천연자원 보호, 3) 과학을 이용한 기후변화 대응 등의 3가지 조치를 추진하고 있다.

지역사회 및 기반시설 구축을 위해 교통, 수자원 관리 및 보존, 재해구호분야에서 보다 탄력적인 투자를



장려하고 지원할 계획이다. 지역사회 보호 노력을 강화시키기 위해 주, 지방 및 부족과 정부 공무원으로 구성되는 단기 대책반을 설치하고 보조금을 제공할 계획이다. 건물 및 기반시설의 복원력 제고를 위해 국립 표준기술원에서는 지역사회 종합 복구체계를 개발하고 건물 및 기반시설에 관한 지침을 제공할 계획이다.

경제 및 천연자원 보호를 위해 에너지부는 가뭄으로 인한 발전소 가동 중단 및 악천후 시 연료공급 중단을 대비하여 에너지관련 기반시설의 복원력 향상을 추진할 계획이다. 보건후생부는 기후변화에 대해 지속 가능하고 복원력이 높은 병원을 만들고 생물다양성을 보호하고 천연자원을 보존하며, 보다 많은 탄소를 저장할 수 있도록 공유지 및 자연계를 관리할 계획이다. 농무부는 지역기후허브를 설립하여 기후변화 복원력 개선사업을 지원하고 가뭄 관리를 위해 국가재해 복구 체계를 활용할 계획이다. 산불·들불 위험 경감을 위해 삼림 및 방목지 복구사업을 확대하고 가연성 초목을 제거하고 미래 홍수에 대한 대책으로서 해수면 상승 및 홍수 위험에 영향을 미치는 기타 요인을 고려한 일관적인 접근방식을 반영할 계획이다.

과학을 활용한 기후변화 영향 관리에서는 실행 가능한 기후과학의 개발, 미국 내에서의 기후변화 영향 평가, 기후데이터 이니셔티브 발족, 기후변화에 대한 복원력 개선 툴킷 제공 등을 추진할 계획이다.

3) 기후변화 대응 관련 국제협력 선도

오바마 대통령은 1) 기후변화 대응을 위한 다른 국가들과의 공조 강화, 2) 국제 협상을 통한 기후변화 대응 주도를 추진할 계획이다. 기후변화 대처를 위한 다른 국가들과의 공조를 강화하기 위해 ‘에너지 및 기

후에 관한 주요경제국포럼(MEF)’, 주요 신흥경제국과의 양자간 협력 확대를 위한 미·중 청정에너지연구센터, 청정에너지 개발을 위한 미국-인도 파트너십, 브라질과의 전략적 에너지대화, 기후 및 청정대기 연합, 지구메탄감축 이니셔티브, 삼림투자프로그램 및 산림탄소협력기금 등을 추진하고 있다. 청정에너지 이용 확대 및 에너지낭비 축소를 위해 재생 및 청정에너지 프로젝트에 대한 자금 지원 및 규제 관련 혜택 제공, 석유 및 석탄에서 천연가스 및 재생에너지로의 연료전환을 촉진하고, 안전하고 안정적인 원자력 이용 지원, 청정석탄기술과 관련한 협력, 에너지 효율성 기술의 개선 및 보급 프로그램과 같은 조치를 통해 세계적으로 재생, 청정 및 고효율 에너지원의 이용 확대를 촉진해 왔다.

환경제품 및 서비스에 대한 국제 자유무역 협상을 촉진시키고 화석연료에 대한 보조금을 단계적으로 폐지할 계획이며 최빈국에서 가용한 가장 효율적인 석탄기술이나, 탄소포집 및 저장기술을 채택하고 있는 시설을 제외하고는 신규 석탄발전소에 대한 미국 정부의 공적 자금지원을 종료할 계획이다. 기후변화에 대한 범지구적 복원력 강화를 위해서는 저장용량 증대 및 수자원이용 효율 향상, 소규모 농장주 및 목축업자가 강수량 변화 및 가뭄과 관련한 위험을 관리할 수 있는 재정위험 관리 수단 개발, 가뭄에 저항력이 있는 씨앗을 보급하고 기후변화 영향에 대한 농부들의 대처능력을 향상시키는 관리 실무준칙을 장려할 계획이다. 기후관련 자금 지원을 활성화하기 위해 공적 자원을 소위 스마트 정책과 결합하여 탄소 배출량이 낮고 기후변화 복원력이 뛰어난 기반시설에 대한 민간투자가 보다 확대될 수 있도록 하는 데에 역량을 집중할 계획이다.



3. 신규 발전소의 온실가스 배출규제

환경보호청(EPA)은 청정대기법(CAA) 111(b)조에 의거 2013년 9월 20일 신규 석탄화력발전소에 대한 탄소배출기준안을 발표했으며 2014년 6월 2일에는 개조 및 재건설된 화력발전소²⁾의 탄소배출기준을 발표했다. 환경보호청(EPA)은 각 설비에서 감축효과가 검증된 배출감축 최적시스템(BSER)을 선정하고 이를 적용하여 달성 가능한 배출량을 반영했다. 이와는 별도로, 각 주에서 기존 석탄화력발전소의 이산화탄소 배출감축을 위한 계획 수립 시 참고할 수 있는 최종 배출기준 지침서를 발표했으며, 각 주는 지침서에서 규정한 일정에 맞춰 환경보호청(EPA)에 해당 계획을 제출해야 한다.

가. 규제적용 조건

신규 발전소는 1) 250MMBtu/h 입열의 화석연료 투입량 이상을 연소, 2) 공급용으로 설치해야 하며 실제로 연간 판매를 위해 전력망에 잠재적 전력 생산량의 1/3 이상을 공급, 3) 공급용으로 설치해야 하며 실제로 전력망에 연간 219,000MWh 이상의 순전기 생산량을 공급, 4) 3년 평균 입열 기준으로 약 10% 이상의 화석연료를 연소해야 한다. 공급자가 판매된 실제 전력량에 상관 없이 매년 잠재적 전력 생산량의 1/3 이상 및 219,000MWh를 전력망에 판매하기 위해 건설되어야 한다는 전력판매 기준을 적용했으며, 실제 연소된 화석연료 규모와 상관 없이 250 MMBtu/h

이상을 연소시킬 수 있어야 한다는 기저부하 등급기준을 적용한 것이 특징이다. 이러한 접근법에 따라 적용 가능성은 매년 변경되지 않을 것이며 최종 적용 가능성 기준이 신축, 재건축, 개조 발전소에 일관적으로 적용될 것이다. “해당 목적을 위한 건설”이라는 구절은 산업용 CHP(열병합발전)을 적용 대상에서 제외시키기 위한 것이다. 신규 증기발전소는 화석연료 화력 증기발전소의 정의 및 적용 가능성 기준에 부합하고 해당 공급자를 위해 제안된 기준이 발표되는 날인 2014년 1월 8일 이후부터 시공이 시작된 발전소를 의미한다.

“개조(modification)”는 “고정 공급자의 물리적 변화 또는 고정 공급자의 운영방식의 변화”로 정의되며 화석연료 화력 증기발전소의 정의 및 적용 가능성 기준에 부합하고 해당 공급자를 위해 제안된 기준이 발표된 날인 2014년 6월 18일 이후에 개조된 발전소를 의미한다.

“재건축” 발전소는 1) 신규 구성요소의 고정 자본비는 비슷한 완전히 새로운 시설을 건축하는 데 필요한 고정 자본비의 약 50%를 초과, 2) 해당되는 기준에 부합하기 위해 기술 및 경제적으로 실효성이 있어야 한다. 본 규칙을 위해 재건축 증기발전소는 화석연료 화력 증기발전소의 정의 및 적용가능성 기준에 부합하고 이러한 공급자를 위해 제안된 기준이 발표된 2014년 6월 18일 이후에 재건축된 발전소를 의미한다.

나. 배출규제 주요내용

2) 개조된 석탄화력 증기발전소, 개조된 천연가스화력 고정 연소터빈, 재건축된 석탄화력 증기발전소, 재건축된 천연가스화력 고정 연소터빈에 대한 배출기준안.

신규, 개조, 재건축된 발전소에 대한 최종 배출기준 Reduction, BSER)은 <표 3>에 요약되어 있다.
 및 배출감축 최적시스템(Best System of Emission

<표 3> 신규 발전소의 최적시스템(BSER) 및 온실가스 배출기준

대상 발전시설	배출감축 최적시스템(BSER)	온실가스 배출기준
신규 화력 증기발전소	부분 탄소포집·저장(CCS) 기술을 적용한 신규 초임계분쇄석(SCPC) 발전보일러	1,400 lb CO ₂ /MWh-g
개조된 화력 증기발전소	대상 시설의 최적 운영방식과 설비 고도화를 시행하여 달성 가능한 가장 효율적인 발전기술	• 개조 시 시간당 이산화탄소 배출량이 10% 이상 증가하는 경우, 특정 기간 동안(2002년부터 개조일까지) 해당 설비의 연평균 최저 이산화탄소 배출량을 기준으로 함. • 1,800 lb CO₂/MWh-g: 입열량이 >2,000MMBtu/h일 경우 • 2,000 lb CO₂/MWh-g: 입열량이 ≤2,000MMBtu/h일 경우
재건축된 화력 증기발전소	대상 시설에서 가장 효율적인 발전기술(대형 발전소는 초임계 증기, 소형 발전소는 아임계)	• 1,800 lb CO₂/MWh-g: 입열량이 >2,000MMBtu/h일 경우 • 2,000 lb CO₂/MWh-g: 입열량이 ≤2,000MMBtu/h일 경우
신규, 재건축된 화력 고정 연소터빈	기저부하용 천연가스 화력발전소 및 청정연료 일반 발전소 및 혼합연소 화력발전소의 천연가스 복합발전(NGCC) 기술 “혼합 연소화력”은 고정 연소터빈을 의미하며, 물리적으로 천연가스 관과 연결되어 있으나, 12개월 운전기간 동안 천연가스 이외의 연료를 입열량의 10% 이상 연소시키는 설비를 말함.	• 기저부하용 천연가스 화력발전소: 1,000 lb CO₂/MWh-g 또는 1,030 lb CO₂/MWh-n • 일반 천연가스 화력발전소: 120 lb CO₂/MMBtu • 혼합연소 화력발전소: 120 ~160 lb CO₂/MMBtu 천연가스와 기타 연료를 혼합연소하는 터빈에 대한 배출기준은 혼합연소하는 천연가스의 총량을 기준으로 월말에 결정해야 함. 상대적으로 일관된 화학 조성과 160 lb CO₂/MMBtu 이하의 가스를 배출하는 설비의 경우 설비 내 연소되는 연료량 기록을 유지만 하면 됨. 다양한 화학 조성과 160 lb CO₂/MMBtu 초과 가스를 배출하는 설비의 경우 (잔유 등) 주기적으로 연료 샘플을 채취하고 테스트하여 전반적인 이산화탄소 배출량 비율을 결정해야 함.

자료: US Federal Register, Standards of Performance for Greenhouse Gas Emissions from New, Modified, and Reconstructed Stationary Sources : Electric Utility Generating Unit : Final Rules, Part II, October 23, 2015

1) 화력 증기발전소(Fossil Fuel-Fired Electric Utility Steam Generating Unit)

환경보호청(EPA)은 신규 화력 증기발전소(“증기 발전 설비” 또는 “발전 보일러 및 IGCC 설비”)의 배출

기준은 연소 후 부분 탄소포집·저장(CCS) 기술을 적용한 고효율 발전소(SCPC)의 배출량을 기반으로 배출기준을 최초 배출기준(1,100 lb CO₂/MWh-g) 보다 완화된 1,400 lb CO₂/MWh-g로 설정하고, 부분 탄소포집·저장(CCS) 기술을 최적시스템(BSER) 기



술로 선정했다.³⁾ 1,400 lb CO₂/MWh-g의 기준은 미국 내 다양한 발전소 환경에서 다양한 연료의 석탄 화력 증기발전소가 모두 이행 가능한 배출수준으로 인식되고 있다. 신규 석탄화력 증기발전소의 배출기준은 화석연료발전소의 건설계획에 이행 가능한 기준을 제시하는 동시에 온실가스 배출을 감축하고 기술 혁신을 유도할 것으로 기대된다.

부분 탄소포집·저장(CCS) 기술을 적용한 고효율 초임계발전소(SCPC)를 최적시스템(BSER)으로 선정함으로써 탄소포집·저장(CCS) 기술의 연구 발전과 비용 효과적인 기술 도입을 촉진시킬 것으로 기대된다. 환경보호청(EPA)은 또한 “대규모 개조”된 증기발전소(지난 5년 기간의 시간당 최대 배출 기준량 대비, 약 10% 이상 탄소 배출량이 증가하는 경우)는 기존 증기 발전설비에 물리적인 변화 또는 운전방식의 변화 이전 5년 간 해당 설비에서 시간당 최대 배출량이 증가하지 않는 한, 개조로 간주하지 않았으며 “소규모 개조”된 증기발전소(지난 5년 기간 내 시간당 최대 배출 기준량 대비, 약 10% 이하로 탄소 배출량이 증가하는 경우)에 대한 최종 배출기준은 설정하지 않았다.

대규모 개조된 증기발전소의 배출기준은 해당 발전소의 2002년 이후 최저 배출량을 최적시스템(BSER)으로 간주했다. 이는 각각 발전소의 잠재력을 바탕으로 배출기준을 정하고 해당 발전소에서 최적의 운영 방식과 설비 고도화를 시행함으로써 달성 가능한 수준을 최적시스템으로 선정했다는 의미이다. 따라서

개조된 발전소의 배출기준은 재건축된 증기 발전소의 배출기준보다 더 엄격한 배출기준이 적용되지 않았다. 즉, 2,000MMBtu/h를 초과한 입열량일 경우 1,800 lb CO₂/MWh-g, 2,000MMBtu/h 이하의 입열량일 경우에는 2,000 lb CO₂/MWh-g로 설정되었다.⁴⁾

재건축된 증기발전소의 경우, 대형 발전소는 1,800 lb CO₂/MWh-g(즉, 2,000MMBtu/h 초과)의 입열량일 경우, 소형 발전소는 2,000 lb CO₂/MWh-g(즉, 2,000 MMBtu/h 이하의 입열량일 경우)로 설정되었다. 대형 및 소형 발전소의 배출기준 차이는 대형 발전소의 경우 압력/온도증기 터빈(예를 들어, 초임계 증기터빈)의 규모가 크기 때문이다.

2) 고정 연소터빈(Stationary Combustion Turbines)

2014년 1월 제안한 신규 연소터빈에 대한 배출기준은 기저부하용 천연가스화력 고정 연소터빈에 대해 2개의 하부 카테고리(850MMBtu/h 이하의 기저부하용 터빈)의 배출기준은 1,100 lb CO₂/MWh-g, 대형 연소터빈(850MMBtu/h 초과)의 기저부하용 터빈)은 1,000 lb CO₂/MWh-g이며 비기저부하용 발전소에 대해서는 배출기준을 제안하지 않았다.

2014년 6월 제안한 개조, 재건축된 연소터빈의 배출기준에 대해 환경보호청(EPA)은 적용가능성 및 하

3) 환경보호청(EPA)은 원 규제안에서는 신규 증기발전소의 최적시스템(BSER)을 고효율의 최신 발전기술(초임계 발전 보일러 또는 IGCC 설비 등)로 부분 탄소포집·저장(CCS) 기술로 선정하여 도입할 경우 1,100 lb CO₂/MWh-g으로 배출 감축이 가능하다고 제안했음.

4) 대규모 개조를 시행하는 증기발전소의 최종 배출기준은 해당 설비에 대한 원 규제안과 유사함. 원 규제안에서 배출기준은 개조가 시행되는 시점을 기준으로 설정해야 하며 계획의 승인 이전에 개조가 개시된 경우에는 해당 설비의 과거 최저 이산화탄소 배출량에 약 2%를 추가 감축한 수치를 배출기준으로 제안했음. 최종 규제안에서는 두 가지 제안이 모두 채택되지 않았음.



부 카테고리 구분 기준과 관련, 다음의 대안들에 대한 의견을 수렴했다. 즉, 1) 총 전력 공급량 및 비율에 대한 수식어인 “공급할 것을 목표로 건설되거나” 표현을 삭제, 2) 219,000MWh 총 전력 공급량 기준을 삭제, 3) 전력 공급량의 비율을 고정하지 않고, 범위로 설정(즉, 슬라이딩 방식은 개별 발전소의 퍼센트 전력 공급량의 한계를 결정하며, 설비의 순수 설계효율과 동일하며 최대치를 약 50%로 제한), 4) 기저부하용 천연가스화력 연소터빈의 소형, 대형 규모 구분의 삭제 등이다. 이러한 적용 조건들을 제시한 이유는 기저부하용 전력수요를 위해 사용하는 터빈과는 달리, 전력 피크 수요에 대비해 사용하는 연소터빈을 제외하기 위한 조건들이다.

신규 및 재건축 기저부하용 천연가스화력 고정 연소터빈의 경우 천연가스복합발전 기술을 최적시스템(BSER)으로 선정하고 1,000 lb CO₂/MWh-g의 최종 배출기준을 산정했다. 기저부하용 천연가스화력 연소터빈의 소유자 및 운영자는 순출력 기준으로는 1,030 lb CO₂/MWh-n의 배출기준을 선택할 수 있다. 비열병합발전(CHP) 설비에 대해서는 219,000 MWh 총 연간 전력 공급량 기준을 삭제하고 설비별로 전력 공급량 비율을 구분할 수 있는 슬라이딩 방식을 설정했다.

신규 및 재건축 일반 천연가스화력 고정 연소터빈에 대해서는 청정연료 연소방식(일부 증류유를 포함한 천

연가스)을 최적시스템(BSER)으로 선정했다. 환경보호청(EPA)은 신규 및 재건축 혼합화력 고정 연소터빈에 대해서는 청정연료 연소방식을 최적시스템(BSER)으로 선정하고, 120에서 160 lb CO₂/MMBtu 배출기준을 설정하며⁵⁾ 위와 유사하게 현재로서는 천연가스를 제외한 상당량의 연료로 운전하는 고정 연소터빈에 대한 출력량 기준의 동일한 배출기준을 마련하기에는 정보가 충분치 않다고 판단했다.⁶⁾

다. 최적 시스템(BSER)

신축 증기발전소용 최적시스템(BSER)은 1,400 lb CO₂/MWh-g의 배출량 제한에 부합하는 저감효율 수준까지 부분적인 탄소포집·저장(CCS) 기술을 구현하는 보일러(SCPC)로 정의했다. 신축 화석연료 화력 초임계 발전용 보일러는 연소 연료가스의 후류(slip-stream)를 처리하는 연소 후 탄소포집을 시행함으로써 최종기준에 부합할 수 있을 것이며, 대안으로는 신규 발전소를 설립하거나 천연가스 혼소(또는 후류에 대한 연소 전 탄소포집 활용)가 될 것이다.

개조된 증기발전소용 최적시스템은 개조 발전소의 자체적인 최고 잠재적 성능으로 설정되었는데 이는 해당 발전소가 개조를 이행하는 시기에 따라 달라질 것이다. 주 정부 계획이 적용되기 이전에 개조를 시작한 발전소의 경우에는 각 개조된 발전소의 최고 1년

5) 천연가스와 그 외 연료를 혼합 연소하는 터빈의 경우 매 월말에 연료와 개별 발전소에 따라 기준을 결정해야 하며 발전소별 기준은 혼합 연소한 천연가스의 양에 따라 달라짐.

6) 현재 개조 중인 고정 연소터빈에 대한 배출기준은 설정하지 않고 개조 설비에 대한 원 규제를 철회했다. 전력부문 업계 전문가들은 이산화탄소 배출에 대한 NSPS 변경은 적을 것으로 전망하며 더욱이 소형, 대형 발전소에 대한 하부 카테고리 삭제 및 1,000 lb CO₂/MWh-g 단일 배출기준 설정여부와 관련하여 개조 중인 기준의 소형 연소터빈이 이 같은 기준을 이행할 수 있는지에 대한 의문을 제기했음. 이에 대해 환경보호청(EPA)은 개조 중인 발전소에 대한 배출기준 설정을 연기하여 신중을 기할 필요가 있다고 판단했음.



간의 과거 성능(2002년부터 개조시기까지 했수)과 일치하는 발전소에 특화된 기준 및 추가적인 약 2% 감축이 최적시스템으로 제안되었다. 주 정부 계획 이후에 개조를 시작한 공급자에 대해서는 해당 발전소의 최고 잠재적 성능은 효율성 감사결과를 통해 결정될 것이다.

재건축된 증기발전소용 최적시스템은 동일 유형의 발전소에 대해 가장 효율적인 발전기술로 설정했다. 즉, 가장 효율적인 증기환경을 사용하는 재건축 보일러와 일치하는 성능기준에 부합하는 기준이다.

라. 비용 및 편익

신규 및 개조 발전소에 대한 온실가스 배출규제가 시행되지 않는다고 하더라도 1) 향후 일부 신규 석탄 화력 증기발전소만 건립되며 여기에는 탄소포집·저장(CCS)시설이 부착될 것이며, 2) 발전소 및 프로젝트 개발업자는 최종 배출기준이 이행 가능한 차세대 기술(주로 천연가스 복합발전)과 본 최종 규제안에 영향을 받지 않는 신재생에너지 발전을 건설할 것으로 예상된다. 2030년까지 배출기준을 이행하지 못하는 신규 석탄화력발전소는 없을 것으로 전망되며 탄소포집·저장(CCS) 시설을 적용한 신규 석탄사용이 일부 있으나 이는 이미 건설 중이거나 개발 단계의 발전소에 해당된다. 2022년까지는 신규로 건설될 발전소의 경우 본 규제안의 배출기준 이행 결과로 인한 이산화탄소 배출량의 변화는 미비하며, 편익은 제한적이지만 상당한 비용이 들 것으로 예상된다.

4. 기존 발전소의 온실가스 배출규제

가. 발전소 배출규제 개요

미국은 2015년 8월 3일에 미국 내 기존 화력발전소의 온실가스(이산화탄소) 배출을 규제하는 청정전력계획 최종 지침⁷⁾을 발표했다. 동 지침은 주 정부로 하여금 화력발전소의 온실가스 감축목표를 설정하고 이를 이행하는 계획을 수립하도록 안내해주는 역할을 하며 공청회 등의 절차를 거쳐 2015년 말에 최종 지침으로 확정될 예정이다. 주 정부는 동 지침에 의거하여 화력발전소의 온실가스 감축목표 설정 및 이행에 관한 구체적인 실행계획을 작성하여 2016년 9월 30일까지 환경보호청(EPA)에 제출해야 한다.

미국은 당초 발전부문의 온실가스 배출량을 2030년까지 2005년 대비 약 30% 감축하겠다는 목표를 제시했지만 이번 지침에서는 이보다 더욱 강화된 약 32% 감축을 목표로 설정했다. 이는 미국의 발전부문이 최대 온실가스 배출원이라는 점과 유엔의 기후변화협상을 선도하기 위한 판단이 작용한 것으로 보인다. 이는 유엔의 기후변화협상에서 2015년 말 파리 기후변화총회에서 타결을 목표로 추진되고 있는 Post-2020 신기후체제 협상에서 미국이 선도적인 역할을 수행하기 위한 정치적 노력으로 해석된다.

발전부문은 미국 온실가스 배출량의 약 31%(2013년 기준)를 차지하는 최대 배출원이기 때문에 발전부문 배출규제가 온실가스 감축의 핵심으로 작용하고 있다. 미국에는 약 1,000여개의 화력발전소가 가동 중

7) 동 지침은 미 환경보호청(EPA)이 2014년 6월 2일에 공표한 초안에 대한 공청회를 거쳐 확정된 지침으로서 초안에 비해 삭제되거나 추가된 내용이 포함되어 있음.

에 있으며, 이 중에서 석탄화력발전소는 약 600여개에 이르고 있다. 발전부문의 온실가스 배출량은 2013년에 미국 총배출량의 약 31%를 차지하고 있으며 2002년 이후 가장 큰 폭으로 배출량이 증가하고 있다.

지침은 화력발전소를 증기 화력발전소와 고정 연소터빈발전소로 구분하고 주 정부가 각 발전방식에 대해 최적감축시스템(BSER)을 적용하여 달성 가능한 온실가스 배출목표를 설정하도록 안내하는 방식을 취하고 있다. 주 정부는 청정대기법 제111(d)조에 따라, 감축비용, 대기질 이외의 건강 및 환경영향, 에너지수요를 고려하여 최적감축시스템(BSER)을 적용하여 달성 가능한 배출목표(standard of performance)를 설정해야 한다.

환경보호청(EPA)은 1) 석탄화력발전소의 열효율

개선, 2) 배출량이 많은 화력발전소의 발전량을 천연가스 복합사이클 발전소로 대체, 3) 화력발전소의 발전량을 줄이고, 온실가스 배출이 없는(new zero-emitting) 발전소의 증대를 통한 대체(재생에너지 발전, 원자력발전 등) 등의 3가지 방식의 조합을 통해 최적감축시스템 달성이 가능하다고 보고 있다.

미국 환경보호청(EPA)은 두 종류의 화력발전소에 대한 집약도 기반의 중간목표와 최종목표를 <표 4>와 같이 설정했으며, 주 정부는 이를 수용하거나 이에 준하는 배출목표와 이행계획을 수립해야 한다. 집약도 기반의 배출량 목표는 증기 터빈발전소가 고정 연소터빈발전소에 비해 약 두 배 정도 높은 수준(약한 수준)으로 설정되어 있고 중간목표가 최종목표보다 높은 수준(약한 수준)이다.

<표 4> 미국 기준 화력발전소의 집약도 기준 온실가스 배출목표(lbs CO₂/MWh, 발전량 가중평균)

발전방식	중간목표(2022~2029년)	최종목표(2030년 이후)
증기 발전방식	1,534	1,305
고정 연소터빈	832	771

자료: EPA, Regulatory Impact Analysis for the Clean Power Plan Final Rule, August 2015

규제대상 발전소가 하나 이상 존재하는 주 정부는 해당 발전소의 배출목표를 설정하고 이행하는 계획을 수립해야 한다. 배출목표는 환경보호청(EPA)이 제시한 두 종류의 배출목표를 적용하거나 아니면 규제를 받는 개별 혹은 전체 발전소가 공동으로 중간목표 및 최종목표에 준하는 배출목표를 설정해야 한다. 환경보호청(EPA)은 모든 주 정부에 적용 가능하면서 두 가지 형태 발전소의 기준 발전량(baseline generation)에 입각한 일괄적인 집약도 기반의 배출목표(rate-

based CO₂ emission performance)를 도출했다. 일괄적인 집약도 배출목표는 두 가지 형태 발전소의 기준 발전량을 가중평균한 값으로서, 증기 터빈발전소와 고정 연소터빈발전소 등 두 가지 형태의 배출목표를 충족시키면서 기준 발전량 수준에서 가동 시 달성 가능한 배출목표라고 할 수 있다.

청정전력계획 최종규제는 2022년부터 3회에 걸쳐 배출목표를 달성하기 위한 중간기간(2022~2024, 2025~2027, 2028~2029년)을 정하고 있으며 일괄



적인 집약도 배출목표는 각 주 정부의 과거 증기발전과 천연가스 복합발전의 전원구성에 따라 상이하게 설정될 수 있다. 또한 환경보호청(EPA)은 모든 주 정부에 적용 가능한 총량 기반 배출목표(mass-based CO₂ emission performance)도 도출했는데, 총량 기준 배출목표는 집약도 기반의 배출목표를 총량 기반의 배출목표로 환산하여 설정한 것이다.

나. 온실가스 배출목표 달성방법

환경보호청(EPA)은 이번 최종 지침에서 두 종류의 발전형태별 배출목표를 주 정부 수준에서 적용할 수 있는 집약도 기반 배출목표와 이를 총량 기반 배출목표로 전환한 두 종류의 접근법을 보여주었다. 주 정부가 활용할 수 있는 접근법중 하나는 집약도 기반 접근법이고, 다른 하나는 총량 기반 접근법이다. 이는 배출목표를 달성하는 데 활용할 수 있는 수단의 선택범위에 대한 정보와 감축수단에 대한 사전 정보가 부족하기 때문에, 주 정부가 배출목표 달성계획을 수립할 때 선택할 수 있는 범위를 극대화시키기 위해 예시한 것이다. 최종 가이드라인에 따르면, 주 정부는 발전소 간 탄소거래 또는 최적감축시스템(BSER) 달성 전략 외에 다수 발전기 준수 접근법(multi-unit compliance approach)과 기술 및 정책을 사용할 수 있으며, 외부 주의 CO₂ 감축도 배출목표 달성에 활용할 수 있다.

주 정부의 집약도 기반 배출목표와 총량 기반 배출목표 달성수단에는 최적감축시스템의 3가지 전략(발전소의 열효율 개선, 저탄소 발전원으로 연료전환, 재생에너지 확대) 이외에 수요측 에너지효율 제고도 활용될 수 있다. 수요측 에너지효율 제고는 발전부문의 이산화탄소를 감축하는 매우 비용 효과적인 수단으로

인식되고 있다. 즉, 에너지효율 제고는 집약도 기반 접근방법에서 배출목표를 최소 비용으로 달성할 수 있는 수단이며, 총량 기반 접근방법에서는 에너지수요를 낮추어 궁극적으로는 온실가스 감축비용을 낮출 수 있는 수단으로 인식되고 있다. 주 정부는 기반 배출목표와 총량 기반 배출목표 접근법 이외에 개별 주 및 다수 주가 공동으로 추진할 수 있는 전략을 사용할 수 있다.

다. 온실가스 배출량 감축규모

환경보호청(EPA)은 집약도 기반 시나리오 분석결과와 총량 기반 시나리오 분석을 통해 발전부문에서 2030년까지 2005년 대비 약 32%의 배출량을 감축하기 위한 기간별 감축량을 제시했다. 집약도 기반 시나리오를 분석한 결과 2020년에는 기준 배출량 대비 6,900만 톤(short ton), 2025년에는 2억 3,200만 톤, 2030년에는 4억 1,500만 톤의 CO₂를 감축할 수 있을 것으로 추정되며, 2005년 배출량과 대비하면 2020년까지 5억 9,800만 톤(2005년 대비 약 22% 감축), 2025년에는 7억 5,000만 톤(약 28% 감축), 2030년에는 8억 7,100만 톤(약 32% 감축) 감축할 수 있을 것으로 추정된다. 총량 기반 시나리오를 분석한 결과 2020년에는 기준 배출량 대비 8,200만 톤, 2025년에는 2억 6,400만 톤, 2030년에는 4억 1,300만 톤의 CO₂를 감축할 수 있으며, 2005년 배출량과 대비하면 2020년까지 5억 9,800만 톤(2005년 대비 약 22% 감축), 2025년에는 7억 8,200만 톤(약 28% 감축), 2030년에는 8억 6,900만 톤(약 32% 감축) 감축할 수 있을 것으로 추정된다.



〈표 5〉 2005년 대비 예상 CO₂ 감축량

구분	CO ₂ 배출량 (백만 톤)	2005년 대비 감축량 (백만 톤)			2005년 대비 감축율 (%)		
		2020	2025	2030	2020	2025	2030
기준배출량	2,683	-528	-518	-456	-20	-19	-17
집약도 기반	-	-598	-750	-871	-22	-28	-32
총량 기반	-	-610	-782	-869	-23	-29	-32

자료: EPA, Regulatory Impact Analysis for the Clean Power Plan Final Rule, August 2015

라. 온실가스 감축비용

환경보호청(EPA)은 집약도 기반과 총량 기반의 배출목표 달성 시의 온실가스 감축비용(기준안과 감축안의 비용차이)을 예시로 보여주었다. 온실가스 감축비용에는 신재생에너지 발전 확대비용과 석탄화력 증기발전소의 열효율을 개선에 대한 연간 비용, 오염물질 감축시설 운영비용, 에너지원간 전환비용, 수요측면의 에너지 효율 개선비용, 배출목표 달성과 관련된 다른 수단의비용, 모니터링·보고·기록관리와 관련된 비용도 포함되어 있으며, 모든 비용은 2011년 가격 기준이다.

집약도 기반과 총량 기반의 배출목표 달성 시 2030

년에는 각각 연간 84억 달러와 51억 달러가 소요될 것으로 추정된다. 집약도 기반 접근방법의 연간 감축비용은 2020년 25억 달러, 2025년 10억 달러, 2030년 84억 달러로 추정되었으며, 총량 기반 접근법의 연간 감축비용은 2020년 14억 달러, 2025년 30억 달러, 2030년 51억 달러로 추정된다. 감축비용은 기준안과 배출목표 달성 시의 발전비용 차이이며, 여기에 수요측면의 에너지 효율 프로그램 비용(발전회사 부담)과 수요측면의 에너지효율 참가자 비용(소비자 부담), 모니터링·보고·기록관리와 관련된 비용을 더한 것이다. 2030년 배출목표 달성 시 발전비용은 기준안에 비해 180억 달러 낮지만 모니터링·보고·기록관리(MR&R) 관련 비용(1,600만 달러)과 수요측

〈표 6〉 집약도 기반 및 총량 기반 배출목표 달성비용

구분	기준안 대비 비용 증가분(2011년 기준 10억 달러)	
	집약도 기반 접근방법	총량 기반 접근방법
2020	\$2.5	\$1.4
2025	\$1.0	\$3.0
2030	\$8.4	\$5.1

자료: EPA, Regulatory Impact Analysis for the Clean Power Plan Final Rule, August 2015



면의 에너지효율 프로그램 비용(263억 달러)의 추가 비용이 발생하여 전체적으로는 84억 달러의 추가비용이 발생할 것으로 추정된다. 수요측 효율 프로그램 비용은 발전회사와 참가자(전기 소비자) 사이에 약 3%의 할인율을 사용하여 균등하게 분할했다. 이와 같은 온실가스 감축비용은 발전회사와 주 정부가 부담해야 하는 비용이므로 여기에 온실가스 감축에 따른 순편익을 반영하여 사회적 순편익을 추정할 수 있다.

마. 온실가스 감축 편익

온실가스 감축으로 인한 통합편익(combined benefits)은 온실가스 감축에 따른 기후변화 편익과 대기질 개선에 따른 건강편익으로 구성되며 화폐가치로 계산되어 추정되었다. 발전부문의 온실가스 감축을 목표로 하고 있는 최종 지침 시행을 통해 CO₂ 뿐만 아니라 SO₂, NO₂ 및 초미세먼지(PM 2.5) 배출량도 감소하며 이에 대한 편익을 추정했다.⁸⁾ 온실가스 배출량 증감에 따른 한계가치를 추정하는 방법론(SC-CO₂ estimates)을 사용하여 추정한 세계의 기후변화 편익은 2020년에 CO₂ 배출톤당 \$120에 이르

고 시간이 지날수록 상승하는 것으로 분석되었다.⁹⁾ 기후변화 편익 추정에 사용된 “SC-CO₂ 추정법”은 특정 연도의 CO₂ 배출량의 증감에 따른 한계가치를 화폐로 추정한 방법론으로서 농업생산성, 사람의 건강, 홍수범위 증가에 대한 재산피해, 에너지시스템 전환비용, 난방비 감소, 냉방비 증가와 같이 넓은 범위의 환경적 영향을 포함하여 편익을 추정했다.¹⁰⁾

온실가스 감축에 따른 대기질의 건강 관련 부수적 편익은 오존과 초미세먼지 감소로 인해 수반되는 미국 영토의 대기질 건강편익으로 측정되었다. 최종 지침 시행으로 인해 온실가스 감축과 함께 오염원 전구체(SO₂, NO_x, 직접적으로 배출되는 미세입자) 배출이 감소하고, 이는 오존과 초미세먼지(PM 2.5) 농도를 낮추어 건강편익을 가져올 것으로 가정했다. 이와 같은 부수적 건강편익은 오존과 초미세먼지 배출 감소로 인한 편익을 화폐화한 것으로서, 세계 수준에서의 기후편익 추정과 달리 대기질의 건강 부수적 편익은 미국 영토에 한해서 추정되었다. 초미세먼지(PM 2.5)의 화폐화된 부수적 편익에는 성인과 유아의 조기사망 회피, 가벼운 호흡기 증상에서 심장마비에 이르는 10개의 비치명적인 질병효과 회피 편익이 포함

8) 온실가스 감축에 따른 편익은 기후변화의 한계가치(values of marginal climate impacts)를 화폐로 환산하여 계산한 것임. 통합 편익에는 모든 종류의 편익을 정량화하거나 화폐가치로 표현할 수 없는 한계가 있음.

9) 환경보호청(EPA)과 다른 행정부로 구성된 합동 작업반(interagency working group, IWG)은 SC-CO₂ 추정을 위해 3가지 통합평가모델(DICE, FUND, PAGE)을 사용하고 분석에 범용 값(global value)을 적용했음. 한 국가의 정책이 다른 국가의 온실가스 배출량에 영향을 미치고 세계 경제가 상호 연관되어 있기 때문에 기후변화는 지구적인 문제라는 점에서 범용 값을 모형에 적용한 것임. 합동작업반(IWG)에서 2013년에 추정한 온실가스의 기후변화 편익은 2020년에 CO₂톤당 \$120(할인율 3% 적용, 2011년 가격)에 이르며 시간이 흐를수록 상승하는 것으로 분석되었음. 3가지 통합평가모델(DICE, FUND, PAGE)에 기후민감도 확률분포, 5가지 시나리오(경제, 인구, 배출량 증가), 3가지 할인율(5%, 3%, 2.5%) 등의 3가지 투입요소를 공통적으로 모형에 적용하여 기후변화 편익을 추정했음. 사회적 할인율에 따라서 기후변화 편익도 CO₂톤(short ton)당 \$12(할인율 5%), \$40(3%), \$60(2.5%)로 추정(3가지 모형의 평균 값)되었으며, 3% 할인율을 적용하되 95 퍼센타일의 경우에는 \$120에 이른 것으로 추정되었음.

10) 추정 방법론의 한계점은 치명적인 영향과 비치명적인 영향을 충분히 반영하지 못하고, 기후변화 적응(adaptation)과 기술변화를 충분히 반영하지 못했으며, 온도상승과 피해관계의 외삽법에 불확실성이 존재하고, 위험기피에 대한 불확실성이 존재한다는 점임. 통합평가모형(IAMs)에는 기후변화로 인한 물리적·생태적·경제적 영향이 모두 반영되지 못해서 편익을 과소 추정한다는 비판을 받고 있는데, 이는 기후변화 피해에 대한 자세한 정보가 부족하고 통합평가모델에 사용되는 최신의 과학적 정보가 반영되지 못하기 때문임. 그럼에도 불구하고 SC-CO₂ 추정치는 CO₂ 감축으로 인한 사회적 편익에 대한 최신의 정보를 제공할 수 있는 장점을 가지고 있음.

되어 있다. 오존의 부수적 편익에는 성인과 유아의 조기 사망 회피, 학교 결석부터 병원입원의 5개의 비치명적 질병효과 회피가 포함되어 있다.¹¹⁾

집약도 기반의 배출목표 달성 시 2030년의 기후편익은 \$610억, 여기에 건강편익을 더하면 통합편익은 \$750억~\$950억에 이를 것이며 총량 기반 배출목표

달성 시 기후편익은 \$600억, 건강편익을 더하면 통합편익은 \$720억~\$890억에 이를 것으로 추정된다(약 3% 할인율 적용). 약 7%의 할인율을 적용하면 집약도 기반 배출목표 달성 시 통합편익은 2030년에 \$740억~\$920억으로서 약 3%의 할인율 적용 시와 별다른 차이가 없다. 총량 기반 배출목표 달성 시의 통합편익도

〈표 7〉 집약도 기반 및 총량 기반 배출목표 달성 시 순편익(3% 할인율 기준, 2011년의 10억 달러 가격 기준)^a

구분	집약도 기반 배출목표					
	2020		2025		2030	
기후편익b	\$8.2		\$31		\$61	
	대기질 부수적 편익 할인율					
	3%	7%	3%	7%	3%	7%
건강편익c	\$0.70~\$1.8	\$0.64~\$1.7	\$7.4~\$18	\$6.7~\$16	\$14~\$34	\$13~\$31
감축비용d	\$2.5		\$1.0		\$8.4	
순편익e	\$1.0~\$2.1	\$1.0~\$2.0	\$17~\$27	\$16~\$25	\$26~\$45	\$25~\$43
구분	총량 기반 배출목표					
	2020		2025		2030	
기후편익b	\$9.7		\$35		\$60	
	대기질 부수적 편익 할인율					
	3%	7%	3%	7%	3%	7%
건강편익c	\$2.0~\$4.8	\$1.8~\$4.4	\$7.1~\$17	\$6.5~\$16	\$12~\$28	\$11~\$26
감축비용d	\$1.4		\$3.0		\$5.1	
순편익e	\$3.9~\$6.7	\$3.7~\$6.3	\$16~\$26	\$15~\$24	\$26~\$43	\$25~\$40

주: a. 모든 수치는 소수점 둘째자리 반올림함.

b. 기후편익 추정치는 CO₂ 배출 변화가 전세계에 미치는 영향을 포함하지만 CO₂ 이외의 온실가스 배출 변화로 인한 영향은 포함하지 않음.

c. 대기질 건강 부수적 편익은 초미세입자(PM 2.5)와 오존 감소에 의한 편익임. 각 연도의 조기사망 감소는 오존과 초미세입자(PM 2.5)가 미치는 총부수적 편익의 98% 이상을 차지함. 편익 모형은 입자들마다 효과추정치가 다르다는 과학적 근거가 충분하지 않기 때문에 모든 미세 입자의 화학적 구성성분과는 상관없이 동등하게 조기사망을 유발한다고 가정함.

d. 총감축비용에는 모니터링 · 보고 · 기록관리 비용과 수요측면의 에너지 프로그램 비용추정치(발전회사가 부담)와 수요측면의 에너지효율 참가자(전기 유틸리티 소비자) 비용도 포함됨.

e. 순편익 추정치는 3% 할인율(모델의 평균)을 적용한 전세계 SC-CO₂ 추정법을 이용하여 계산되며, 다른 할인율을 적용한 건강편익과 기후편익을 통합한 추정치도 포함됨.

자료: EPA, Regulatory Impact Analysis for the Clean Power Plan Final Rule, August 2015



2030년에 \$710억~\$860억으로서 약 3% 할인율과 별다른 차이가 없는데 이는 할인율이 건강편익에 별다른 영향을 미치지 않는다는 점을 의미한다.¹²⁾

온실가스 감축의 편익과 감축비용을 고려한 온실가스 감축의 순편익은 2030년에 집약도 기반 배출목표의 경우에는 \$260억~\$450억, 총량 기반 배출목표의 경우에는 \$260억~\$430억(할인율 약 3% 기준)에 이를 것으로 추정된다. 온실가스 감축의 순편익은 기후 편익과 건강편익을 합한 편익이며, 온실가스 감축비용은 온실가스 감축에 소요되는 발전회사와 주 정부의 지출액 합계이다. 온실가스 감축의 순편익은 본 연구에서 제시된 편익보다 확대될 가능성이 높는데, 이는 최신 자료와 모형의 한계로 인해 해양의 산성화, 자연과 생태계의 편익이 누락되었고 비CO₂(non-CO₂)의 배출량 감축으로 인한 기후편익과 SO₂, NO_x, 수은과 같은 위험 공기오염원의 노출 감소로 인한 부수적 편익이 누락되었기 때문이다.

바. 에너지시장 및 고용에 미치는 영향

온실가스 감축으로 인해 전력가격이 소폭 상승하며 석탄가격이나 발전부문의 석탄 사용량과 가스 사용량이 감소할 것으로 예상된다. 즉, 발전부문의 온실가스 감축으로 인해 전력의 소매가격은 2030년에 기준안 대비 소폭 증가(약 1%)하는 반면, 석탄의 가격(도매)

과 발전용 석탄 소비는 감소하고 발전용 천연가스 소비도 감소할 것으로 예상된다. 에너지시장의 영향으로 인해 에너지를 사용하는 제품과 용역 시장에서도 영향을 미칠 것이며, 이는 기업의 이윤에 영향을 미쳐 궁극적으로 소비자의 후생에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

온실가스 감축으로 전력, 석탄, 천연가스 부문에서 집약도 기반 배출목표의 경우에 2030년까지 약 30,900개의 일자리가 감소하고, 총량 기반 배출목표의 경우에는 약 33,700개의 일자리가 감소할 것으로 추정했다. 즉 전력, 석탄, 천연가스 부문에서 가이드라인의 집약도 기반 접근법의 경우 2025년까지 약 25,000개, 2030년까지 약 30,900개의 일자리 순감소를 일으킬 수 있으며, 총량 기반 접근법의 경우 2025년까지 약 26,000개, 2030년까지 약 33,700개의 일자리 순감소를 일으킬 수 있다고 추정했다. 또한, 수요측면의 에너지효율 프로그램으로 인한 잠재적인 영향은 2030년에 약 52,000에서 83,000개의 일자리가 창출될 수 있다고 추정했다.

사. 발전소 온실가스 배출규제에 대한 소송

2015년 10월 23일 발전소를 대상으로 하는 온실가스 규제법안에 대해 최소 25개주에서 연방법원에 제소했는데, 이런 반응은 예상된 것으로 최근 몇 개월간

11) 오존과 미세먼지의 편익추정에는 “톤당 편익방법론(benefit-per-ton)”이 사용되었는데 이는 문헌조사를 통해 전구물질에 대한 건강반응치(health responses)를 수집하고 인구데이터, 기초 건강정보(baseline health information), 대기질 데이터, 건강 영향의 경제적인 가치 자료, 경제적 편익 평가 자료를 반영하여 편익을 추정하는 방법임. “benefit-per-ton” 추정치에 청정전력계획의 대기질 모형에서 계산된 톤당 편익을 추정하고 여기에 배출량 감축치를 곱해서 국가 전체의 총편익을 추정하고 동부지역이나 서부지역 및 캘리포니아와 같은 지역의 톤당 편익에 배출량 감축치를 곱해서 지역별 총편익을 추정할 수 있음.

12) 온실가스 감축의 통합 편익에는 4 종류의 할인율(7%, 3%, 2.5%, 95퍼센타일의 3%)을 적용한 기후편익에 두 종류의 할인율(3%, 7%)을 적용한 건강편익을 더한 편익으로 추정했는데, 온실가스는 다세대에 걸쳐 장기간에 영향을 미치기 때문에 다양한 종류의 할인율을 적용했음.



작성, 법안 확정과 함께 제기된 것이다. 대표적인 반대여론을 형성하는 세력으로는 사업자, 탄광업자, 전력사업자와 각 주들이 있다.¹³⁾ 반대세력의 입장은 발전소 규제의 도입을 즉시 무력화시키는 것과 다른 하나는 발전소 규제 도입과 관련 법원의 최종판결까지 잠정적으로 대기하는 입장으로 나뉜다. 연기를 주장하는 것은 쉽지 않은데, 이는 발전소 규제의 중간 목표와 관련한 준수명령의 효력이 2022년에야 발효되므로 단기적인 피해를 주장하기가 어렵기 때문이다. 또 다른 이유는 대기정화법 111(d)의 범위와 의미¹⁴⁾를 기반으로 반대논리를 펼쳐야 하는데, DC 상소법원의 절차를 규정한 규칙 18에 따르면 연기를 요구하기 위해서는 법적인 권리 충족, 연기가 없을 경우 회복이 불가능한 피해 증명, 연기가 확정될 경우 다른 당사자들에게 미치는 피해, 공익 등의 4가지 요건이 충족되어야 한다.

공화당과 일부 민주당 의원들이 상·하원에서 이번 발전소 규제 최종안 제재에 반대하는 의회심사권을 행사할 예정이다. 의회심사권은 기관의 정책추진을 일반적인 입법절차를 모두 거치지 않고 대통령의 승인을 기반으로 무력화시키는 방법이다. 그러나 오바마 대통령이 기후변화를 두 번째 임기의 주요정책으로 삼은 점을 고려할 때 발전소 규제를 무력화시키는

의회심사를 승인하지 않을 것으로 예상된다. 다수의 전력공급업체와 개별 전력생산업체들이 천연가스와 신재생에너지를 기반으로 하는 저탄소 발전에 대한 투자를 보장하는 법안을 지지할 것으로 예상된다. 개별 주들은 법안의 결정이 지체될수록 구체적인 목표 달성을 위한 계획을 제출하는데 있어서 시간적인 제약의 어려움을 겪게 될 것이다.¹⁵⁾

발전소 규제에 대한 반대세력의 대항 단체는 환경단체나 천연가스, 신재생에너지 개발자, 캘리포니아와 뉴욕 등을 꼽을 수 있다. 발전소 규제 효력의 연기와 관련한 심사는 11월 5일까지 요구서를 제출 받아 12월 3일에 환경보호청(EPA) 답변서를 받을 예정이기 때문에 2016년까지 지속될 것으로 예상된다. 연기와 관련된 논의는 결국 청정전력계획의 적법성에 대한 논의로 번질 가능성을 가지고 있으며, 연기와는 다르게 무력화와 관련한 상소의 경우 추가적으로 구두 변론의 기회까지 고려할 경우 논의는 2016년으로 이어질 것으로 예상된다. 순회 재판소에 판결을 맡을 세 명의 판사 명단도 최종판결과 함께 발표되기 때문에 일단 발전소 규제의 적법성 심사가 이루어진 후 순회 재판소에 판결을 의뢰할지에 대한 결정이 이루어질 것이다. 발전소 규제는 연방법원까지 상소가 이어질 것으로 예상된다.

13) 발전소 규제안을 반대하는 단체는 다음과 같다. 전미청정석탄전기연맹(American Coalition for Clean Coal Electricity, ACCCE), 미국철도연맹(Association of American Railroads), 최소 26개주의 일반/유틸리티 규제 법무상, 플로리다 전기발전 보급 협력단 CO₂ 테스트 포스, 국제 보일러생산자조합(International Brotherhood of Boilermakers union), 몬타나-다코타 전력(Montana-Dakota Utilities), Murray Energy Corp.(석탄생산업체), 지방전력기업협회(National Rural Electric Cooperation Association), 3개주 발전 및 송전협회(Tri-State Generation & Transmission Association, 콜로라도, 네브래스카, 뉴멕시코, 와이오밍 전력공급업체연합), 탄광노동자조합(United Mine Workers of America Union), Utility unites of Southern Co., Westar Energy Inc.(유틸리티회사 소속 투자사).

14) 이는 환경보호청(EPA)이 발전소 규제의 주요요소인 석탄발전소의 열효율 개선, 고탄소 석탄/석유 발전기의 저탄소 천연가스 복합사이클 발전기로의 대체, 화석 연료기반 발전기의 신재생에너지 기반 발전설비로의 대체 등임.

15) West Virginia의 경우 주는 법안을 반대하는 소송을 제기했지만 주지사 Earl Ray Tomblin은 법안이 도입될 경우를 대비하여 이행계획을 작성하겠다는 입장을 표명했음.



5. 시사점

미국이 발전소의 온실가스 배출규제를 기후행동계획이라는 중장기적인 정책에서 추진한 점은 바람직한 것으로 해석된다. 오바마 대통령이 법제정을 통하지 않고 행정명령을 통해 발전소의 온실가스 배출규제를 추진하게 되었지만, 기후행동계획을 발표하여 오바마 정부의 구체적이고 중장기적인 기후변화정책을 먼저 발표하고 이를 실현하기 위한 실천계획으로 신규 발전소와 기존 발전소의 온실가스 배출규제 계획을 발표하게 된 것이다. 우리나라와 같이 녹색성장기본법이 이미 제정되어 적용되고 있는 현실을 감안하면 녹색성장기본법에서 정의되어 있는 장기목표를 달성할 중장기적인 실천계획들이 보다 현실성있게 수립되고 이를 점검해가는 과정이 도입될 필요가 있다. 이러한 장기 계획에 입각해서 기후변화정책이 도입된다면 사회적 혼란을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

특히, 2015년에 발표된 기존 발전소의 온실가스 배출목표 설정 지침이 당초 설정했던 감축목표를 강화시킨 점은 진행중인 유엔의 기후변화협상에서 선도적 역할을 담당하여 2015년 말의 파리 기후변화총회를 성공으로 이끌기 위한 전략으로 풀이된다. 즉, 당초 설정되었던 발전부문의 온실가스 감축목표(2030년까지 2005년 대비 약 30% 감축)에 비해 강화된 감축목표(약 32% 감축목표)를 설정함으로써 2015년 말의 파리 기후변화총회의 Post-2020 신기후체제 협상(ADP)에서 선도적인 역할을 통해 성공적인 신기후체제 협상을 유도하기 위한 미국의 정치적인 결단으로 풀이된다. 기후변화가 한 국가에 국한된 문제가 아니라 지구적인 문제이기 때문에 기후변화정책 역시 국제적인 차원에서 추진되는 것이 바람직하며, 미국의

경우 자국 내에서 발전소의 온실가스 배출규제를 강화시키면서 이를 국제적인 기후변화정책 추진에서 주도권을 확보하는 수단으로 활용했다는 점이다. 우리나라는 에너지정책과 기후변화정책에서 세계적으로 모범이 되는 국가이다. 에너지효율 정책수단의 경우에는 OECD가 권고하는 대부분의 정책수단을 도입하고 있으며, 기후변화정책의 경우에는 온실가스 감축 의무부담이 없는 비부속서 I 국가임에도 불구하고 감축목표 설정과 배출권거래제 등의 정책을 선도적이고 적극적으로 추진하고 있는 국가이다. 향후 국제무대에서 우리나라의 정책을 적극적으로 홍보하고 우리나라가 기후변화에 있어서 적극적으로 대응하고 있다는 점을 설득할 필요가 있다. 이러한 노력이 선행되지 않으면 향후 기후변화협상 시에 선진국을 비롯해서 기후변화 피해를 심하게 겪고 있는 도서국가 및 최빈국가 등이 우리나라에 대한 온실가스 감축압력을 강화할 가능성이 있기 때문이다.

미국에서는 2013년 9월에 발표된 신규 화력발전소와 2015년에 발표된 기존 화력발전소의 온실가스 배출규제를 통해 발전소의 온실가스 배출 관련 규제가 정비되었다. 향후 발전부문에서는 발전효율 제고, 신재생에너지 발전 확대, 원자력발전 확대 등이 탄력을 받을 것이며, 천연가스 화력발전은 일정한 범위에서 확대되는 반면 석탄화력발전소는 축소되고 수요측의 에너지효율 프로그램이 활성화될 것으로 예상된다. 탄소포집·저장(CCS)을 제외하면 미국의 중장기 발전 부문 대책이 대부분 우리나라에도 적용될 수 있을 것으로 예상된다. 발전부문의 효율개선과 연료전환 뿐만 아니라 비용효과적인 수단으로 평가되는 수요측 에너지관리를 적극적으로 추진할 필요가 있다.

미국 내 석탄 생산 주, 전력회사, 공화당을 중심으



로 발전소 온실가스 배출규제 지침에 대한 반발이 제기되고 있고 이미 소송도 진행되고 있는 점을 감안하면 이번 지침의 이행에는 상당한 사회적 갈등이 수반될 것으로 예상된다. 석탄생산 지역이나 전력회사, 산업계, 공화당을 중심으로 이번 지침을 거부하는 행동이 나타나고 있으며 소송을 통한 법적 대응까지 진행되고 있다. 환경보호청(EPA)이 법적인 위임을 넘어서서 과도한 권한을 이용하여 규제를 추진하며 전력산업을 재편한다는 비난이 제기되고 있어 사회적인 갈등은 피할 수 없을 것으로 예상된다. 그러나 오바마 대통령이 국제적으로는 중국 시진핑과의 기후변화 정상회담을 두 차례에 걸쳐 개최하고 두 국가의 지방정부 지도자들도 기후변화회담을 갖고 선언문을 채택하는 등 세계 온실가스 배출량 1위와 2위 국가의 협력이 추진되었다는 점을 간과해서는 안된다. 특히, 파리 기후변화 총회에서 역사적인 파리협정이 탄생했으며 여기에는 미국의 적극적인 노력이 영향을 미쳤다는 점과 온실가스 감축이 세계적인 큰 흐름으로 자리잡았다는 점을 감안하면 미국 내 반대세력이 힘을 얻기는 쉽지 않을 것으로 예상된다.

미국 내 발전부문의 온실가스 배출규제 방식이 각 주의 발전방식 특징과 전원믹스 등의 여건을 반영하여 배출목표를 설정할 수 있도록 허용했다는 점과 집약도 방식을 바탕으로 총량 방식의 배출목표를 설정할 수 있는 융통성이 부여되어 있다는 점은 우리나라 발전부문의 감축목표 설정에서도 참고할 수 있을 것으로 사료된다. 우리나라의 지리적 여건과 발전부문의 특성을 감안하여 구체적인 분석에 입각한 발전부문의 감축목표 설정이 필요하며, 전력공급의 책임을 지고 있는 여건을 감안하면 총량방식보다는 집약도 방식의 감축목표 설정이 필요할 것으로 보인다. 발전

부문의 감축목표 설정에는 각 발전사와 발전기의 특성을 고려한 미시적인 접근방식에 의한 중단기적인 감축목표 설정이 필요하며, 이는 현재 진행중인 온실가스 배출권거래제도의 목표설정에도 직접적으로 적용될 필요가 있다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

에너지경제연구원, 상기연구체계 활동보고서, 2014.12
_____, 세계 에너지시장 인사이트, 각호, 2015

〈외국 문헌〉

Center for Climate and Energy Solutions (C2ES), President Obama's Climate Action Plan: One Year Later, June 2014
UNFCCC, 홈페이지
US EPA, Integrated Planning Model, 2014
_____, Regulatory Impact Analysis for the Clean Power Plan Final Rule, August 2015
US Executive Office of the President(EOP), The President's Climate Action Plan, June 2013
US Federal Register, Standards of Performance for Greenhouse Gas Emissions from New, Modified, and Reconstructed Stationary Sources : Electric Utility Generating Unit Final Rules, Part II, October 23, 2015