

탄소중립 산업부문 추진전략 국제 세미나

일시 : 2022년 6월 29일(수) 13:30~17:50

주관 : 산업연구원

- | **개회사** 주현 산업연구원 원장
- | **세션 1**
 - 일본의 탄소중립 정책
토시 아리무라 와세다 대학교 교수
 - 미국의 탄소중립 정책
에릭 매사넛 UC 산타 바바라 교수
- | **토론** 사공목 산업연구원 연구위원
정은미 산업연구원 성장동력산업 연구본부장
- | **세션 2**
 - 중국의 탄소중립 정책
위엔 웅 칭화대학교 교수
 - EU의 탄소중립 정책
폴 드러먼드 유니버시티 칼리지 런던 교수
- | **토론** 김진오 경희대학교 교수
한혜정 경희대학교 교수
- | **세션 3**
 - 탄소중립 정책에 따른 온실가스 배출 효과 분석
김지영 선문대학교 교수
 - 산업부문의 탄소가격 부과체계
이재윤 산업연구원 연구위원
- | **토론** 강성훈 한양대학교 교수
남상욱 산업연구원 연구위원
오형나 경희대학교 교수

Executive Summary

새 정부가 들어서면서, 탄소중립 정책이 초유의 관심사가 되고 있음. 신정부의 정책에 참고할 수 있는 미국, 유럽, 일본, 중국의 탄소중립 정책을 다룬 세미나가 시의적절함. 학계의 정책 연구들을 두루 살펴볼 수 있는 행사였음

Key Takeaway 1

일본과 EU의 탄소중립 정책

- 일본은 에너지 믹스에서 신재생에너지를 50~60%까지 확대할 예정이며, 그린 전환(GX) 리그라는 자발적 탄소거래 시장을 열었음
- GX리그는 3월 말 기준 440개 대기업이 참여하고 있음. 이는 대기업 전체 수의 절반에 해당함. 다음 달 정도에 운영 방안에 대한 윤곽이 잡힐 예정임
- EU는 러시아산 에너지 의존도를 줄이기 위한 [리파워EU](#) 정책을 발표함. 전쟁이 끝나도 정책은 계속될 것으로 예상됨

Key Takeaway 2

미국과 중국의 탄소중립 정책

- 미국은 인센티브 중심의 탄소중립 정책을 펴고 있음. 세제혜택을 통해 기업의 탄소감축 투자를 늘리는 방식으로, 여덟 가지 정책이 소개됨
- 대표적인 인센티브 정책은 '에너지 스타' 정책임. 산업별 에너지 효율이 가장 높은 기업들에 인증을 제공함. 기업은 에너지 효율 평가를 무료로 받고, 인증 보유 시 다양한 정책 지원을 받을 기회를 얻게 됨
- 중국은 2060년 탄소중립 목표를 선언함. 각 지역의 성별로 탄소중립 정책이 추진됨. 탄소배출권 시장은 7개 성에서 추진됐고, 전국 단위의 시장으로 확대됨

Key Takeaway 3

한국의 탄소중립 정책

- 탄소가격 부과 체계는 ETS(탄소배출권 거래제)와 탄소세, 그 외 다른 형태가 있음. ETS와 탄소세를 병행해서 사용하는 국가들도 있음. 탄소세는 27개국에 부과 중임
- 한국은 ETS를 주로 사용함. 한국은 2030년까지 산업 부분의 감축 목표가 14.5%로 에너지 전환이 이뤄지지 않는 경우에는 이 목표를 달성하기 위해 탄소세가 45달러, 에너지 전환이 일어나면 30달러 정도가 되어야 하는 것으로 나타남
- 고율의 탄소가격은 배출량을 줄이지만, 제품가격의 상승으로 산업 경쟁력을 떨어뜨릴 수 있음. 이를 방지하려면 에너지 전환과 점진적 탄소가격 상향, 인센티브가 필요함



주현 산업연구원 원장
개회사

기후 위기 대응은 2050년 탄소 중립 목표와 2030년 온실 가스 감축 목표 상향만 봐도 전 세계적으로 강화되는 추세다. 기후 변화가 불러올 경제적, 사회적 손실이 막대할 것으로 예상되므로, 주요국들은 기후 비상선언을 하며 탄소중립 사회로의 전환을 적극적으로 추진하고 있다.

산업부문의 탄소중립이 특히 중요한 과제로 인식되고 있다. 한국은 산업부문의 탄소배출 비중이 크므로, 더욱 중요하다. 산업부문의 탄소중립은 개별 산업의 발전 경로를 완전히 바꿀 수도 있다.

따라서 탄소중립 정책은 중장기적으로 산업구조 전환을 목표로 하는 산업 정책의 일환으로 이해할 수도 있다. 산업의 새로운 경쟁력을 확보하고, 미래 먹거리를 창출해야 한다. 이는 저탄소 산업 구조로 전환하고, 탄소중립 신산업 육성, 탄소중립 확산 생태계 구축 등을 통해 가능하다.

산업부문 탄소중립은 개별 국가가 해결할 수 없으며, 견고한 국제협력이 필요하다. 각국은 국제적 노력에 능동적으로 동참하고, 정책, 기술, 재정 지원 등 기후 위기 대응을 위한 국제협력을 강화해야 한다.

오늘 세미나는 주요국의 탄소중립 산업 정책을 공유하고 검토한다는 점에서 큰 의미가 있다. 산업연구원은 지난해부터 탄소중립 산업전략 수립을 위한 종합 연구를 수행하면서, 세계 각국의 연구자들과 협동 연구를 진행해 왔다.

산업연구원은 기후 변화에 대해 과학적인 분석과 대안 마련에 주력하는 글로벌 연구 그룹인 클라이밋 스트레티지스 and 유니버시티 칼리지 런던, UC산타바바라, 칭화대, 와세다대, 월드뱅크 등과 연구 네트워크를 구축해서 활발한 교류를 해왔고 그 성과로 오늘 세미나를 개최하게 된 것이다.

오늘 주요국의 탄소중립 산업전략 주제 발표와 토론을 통해서 논의되는 내용들이 한국은 물론 다른 국가의 향

후 탄소중립 산업 정책을 수립하는 데 큰 도움이 되기를 기대한다.



토시 아리무라 와세다 대학교 교수 일본의 탄소중립 정책

일본은 2050년 온실가스 저감목표를 2013년 기준 80% 감축하는 것으로 결정했다. 일본 산업계는 높은 탄소중립 목표에 깜짝 놀랐다. 일본이 탄소중립을 2050년까지 어떻게 달성할지 설명드리겠습니다.

일본 정부는 에너지 믹스에서 신재생에너지를 50~60%까지 확대하려고 한다. 원자력과 CCUS(탄소 포집·활용·저장), 탄소 재활용은 30~40%, 수소와 암모니아가 10%로 구성된다. 탄소중립이 달성되려면, 부분별 목표가 명확해지고 탄소세 부과도 함께 고려해야 한다.

현재 **탄소세**는 289엔(2800원)이다. 일본은 석유세를 냈었는데, 이산화탄소 배출량을 줄여 탄소세를 적게 내면 석유세보다 세율이 더 낮아지게 된다. 산업계는 이점을 이미 인지하고 있다. 탄소세는 연료 형태별 목표가 나오고 있다. 탄소세는 추가 이윤을 만들어내는데, 이를 에너지 효율성과 신재생에너지 발전 기금으로 활용해야 한다.

일본은 7월 10일 참의원 선거가 있다. 현 정부는 이후 3년간 선거가 없을 것으로 기대하므로, 탄소세 도입이 수년 안에 가능할 것으로 생각한다. 탄소세 수입은 계속해서 증가하다가 2017년 정점을 찍고 하락하고 있다. 석유와 석탄으로 발생한 세금도 동일한 경향을 보인다. 이는 배출량이 지난 몇 년간 감소했다는 점을 방증하는 것이다. 탄소배출권거래제(ETS)는 국가별 목표와 지방정부 목표가 둘 다 있다. 도쿄는 2010년, 사이타마현은 2011년 ETS가 시작됐고, 성공적으로 운영되고 있다.

그린 전환(GX) 리그라는 자발적 단체가 발족했다. 기업들이 리그에 참여할 수 있다. 리그는 탄소 크레딧을 생성하고 기업들이 거래할 수 있는 플랫폼이다. 탄소 가격제는 일본에서 탄소중립을 이룰 수 있는 중요한 수단으로 인지됐고, 지난달에 발표됐다. 이는 탄소 거래제가 중요한 수단이라는 합의가 먼저 있었기에 가능했다. 이 발표

는 탄소가격제가 전국적으로 확산할 수 있는 상태가 됐다는 것을 의미한다.

탄소 가격제는 조인트 크레딧 메커니즘(JCM)이다. 이는 일본이 온실가스 감축을 위해 협력하겠다는 국가들을 모아 함께 운영한다. 기시다 후미오 총리는 파트너 국가를 30개국으로 확대할 계획이다.

일본은 2011년에 후쿠시마 원전 사태를 겪고 새로운 에너지 정책과 목표를 수립하게 됐다. 신재생에너지가 그 이후로 급증했다. 태양광 발전량이 전국적으로 늘어났다. 신재생에너지는 지자체와 지역 주민의 반대에 부딪히기도 한다. 해상발전이 하나의 해결책으로 제시되고 있고, 기업들이 이에 투자하고 있다.

일본 정부와 산업계는 수소와 암모니아 중심의 정책을 마련하고 있다. 이 새로운 발전원이 모든 석탄화력발전소를 폐쇄하기는 어렵지만, 탄소 집중도를 떨어뜨릴 새로운 기회를 모색할 수 있을 것으로 기대한다. 수소는 블루 수소와 그린 수소를 활용하고, 암모니아 생산 방법에 대해 연구를 진행하고 있다.

수소와 암모니아는 활용성이 높다. 발전은 석탄 화력발전소에서 혼소나 단일 연료로 연소하는 방법이 있다. 비 발전은 산업용 용광로나 선박 엔진 등에 사용할 수 있다. 수소환원제철도 탄소중립을 달성하는 좋은 방법으로 환영 받고 있다.

정부는 수소 로드맵을 만들고 있는데, 공급과 가격을 잡는 문제가 가장 큰 난제다. 수소는 연간 200만 톤이 필요하고, 2050년 탄소중립 이후에는 연간 2000만 톤이 필요하다. 가격은 세제곱미터당 100엔(960원)인데 이를 2030년까지 30엔(290원), 2050년까지 20엔(190원)으로 낮출 계획이다. 가격 인하도 방법을 찾기 위해 큰 노력이 필요하다.



토시 아리무라 와세다 대학교 교수
일본의 탄소중립 정책

암모니아는 연간 100만 톤을 생산하고 있고, 2050년까지 3000만 톤으로 확대할 계획이다. 이 큰 목표는 민간 기관의 참여가 꼭 필요하다. 가격은 20엔 정도인데, 2050년까지 절반 정도로 떨어뜨려야 한다. 자금 지원이 그린 에너지 펀드에 투입돼야 한다. 이 목표는 수소와 암모니아 발전 등 다양한 기술과 사업을 위한 기금이 활성화돼야 달성할 수 있다.

해외 생산도 고려하고 있다. 해외 생산은 수송이 관건이다. 수소는 액화시켜서 저온으로 저장한 후 수송하는 방법이 한 가지이다. 수소를 화학반응을 통해 메틸시크로헥산(MCH)이라는 물질로 변화시켜서 옮기는 방법이 있는데, 현재 치요다 코퍼레이션에서 연구 중이다. 암모니아 수송도 일본에서 연구 중이다.

유럽은 탄소중립 달성을 위해 탄소국경조정제도(CBAM)를 발표했고, 일본의 많은 이해관계자가 이에 관련되어 있다. 일본의 이해관계자들은 이 제도에 대해 부정적으로 보지 않았다. 일본은 12년 전부터 탄소국경제도를 검토하는 관련 논의가 있었다. 철강 산업도 이에 대해 부정적으로 대응하지 않았다. 탄소국경조정제도는 일본 경제에 미치는 영향이 중국과 러시아와는 달리 크지 않다는 연구들이 나와 있다.

핵심 Comment

일본은 2050년 온실가스 저감목표를 2013년 기준 80% 감축으로 결정함. 에너지 믹스는 신재생에너지를 50~60%로 확대할 계획임. 탄소가격제는 탄소중립 달성의 핵심제도로 '그린 전환 리그'라는 자발적 시장을 확대 중임. CBAM에 대한 산업계 우려는 적은 편임



에릭 매사넛 UC 산타 바바라 교수 미국의 탄소중립 정책

미국은 바이든 행정부가 들어서면서 파리 기후협약에 다시 가입했다. NDC 목표는 2005년 대비해서 50% 감축이다. 장기 목표는 2050년까지 넷제로 달성이다.

현 정부는 4대 기후전략을 내놓고 있다. 첫 번째는 CCUS 관련 정책이다. 산업 시설이 특정 규모 이상의 CCUS 설비를 설치했다면, 다양한 세제 혜택을 부여하는 방식이다. 세제혜택은 법인세나 포집을 할 때마다 1톤당 세액 공제를 받을 수 있는 방식이다. 이는 CCUS의 가격을 낮추고 인프라 확대를 촉진하므로 중요하다. 지금 정부는 산업 분야의 탈탄소화와 제조업 부흥이라는 임무를 함께 추진하고 있다.

두 번째는 산업에 대한 투자이다. 차세대 업종 발전이 관건이다. 정부는 배터리 공급망에 70억 달러 이상을 투자하거나, 에너지저장 장치, 청정수소에도 많은 투자가 이뤄지고 있다. 청정수소는 수전해 시설 비용도 낮춰야 하고, 다양한 기술 발전을 통해 녹색수소를 생산하는데 필요한 신규 대출 프로그램이 확대되고 있다. 미국의 에너지 전환은 석탄업계와 지역을 대변하는 국회의원들이 이익을 포기하지 않는게 큰 장애요인으로 작용하고 있다. 투자는 손해 보는 업종에 대해서 신기술과 새로운 제조 프로젝트를 지원해서 탈석탄을 달성하는 방식으로 추진되고 있다.

바이든 행정부는 ‘더 나은 재건법(BBB)’이라는 큰 법안이 준비되고 있다. 이 법안은 미국 하원은 통과했으나, 상원을 넘지 못하고 있다. 내용이 상당히 야심차다. 미국 감사원에 32억 5000만 달러(4조 2500억 원)를 지원해서 다양한 에너지 효율 개선이나 저탄소 소재 관련 제품들을 더 구매하게 한다는 내용이 있다. 이는 저탄소 기술에 혜택을 주는 시장을 조성하고, 녹색 조달, 지속가능성 프로그램, 인프라에 자금을 투입하겠다는 것이다. 정부는 환경보호청(EPA)에 많은 예산을 투입하여, 탄소 라벨링 프로그램을 도입하겠다고 논의하고 있다. 탄소 집약도가

높은 제품은 전과정에서 탄소 배출량을 표시하는 프로그램을 말한다.

다음은 ‘[바이 클린 행정조치](#)’이다. 이는 연방정부가 대통령령으로 발행하는 행정조치이다. 미국 정부는 건설 프로젝트에 태스크포스팀을 두고 청정 산업 소재인 저탄소 시멘트, 저탄소 알루미늄 등만 구매하겠다는 것이다. 미국은 고속도로와 같은 시설을 연방 정부가 구축하므로, 저탄소 자재를 구매하겠다는 결정은 산업에 큰 인센티브를 주는 행정조치가 된다.

이와 관련해서, [퍼스트무버 연합](#)도 주목할만하다. 이는 전 세계 기업들의 연맹으로, 존 케리 기후특사와 세계경제포럼이 파트너십을 통해 출범하게 됐다. 연맹은 2030년까지 저탄소 제품을 구매해서 녹색 공급망을 발전시켰다고 약속하는 기업들을 모집하고 있다. 현재 콘크리트, 강철, 화학 분야 기업이 많이 참여하고 있어서 산업 분야의 배출량 감축에 크게 기여할 것으로 기대한다.

에너지 스타 프로그램이 있는데, 그 중 베타 플랜트 이니셔티브(Better Plants Initiative)가 있다. 미국 에너지부가 이 프로그램을 추진한다. 참여 기업은 에너지를 10년 동안 2%씩 개선하도록 약속하고, 다양한 네트워킹과 정부 지원을 받을 기회를 얻게 된다. 에너지스타 프로그램은 기업들이 에너지 절감을 먼저 약속한다. 에너지스타는 분야별 에너지 효율성이 가장 높은 기업에 인증해준다. 인증은 주가 상승과 주주가치를 높여주는 효과가 있다. 93개 산업공장이 지난해 에너지 스타를 획득했다. 행정부는 산업 평가 센터에 많이 투자하고 있다. 평가센터는 미국 각 대학에 설립되어 있다. 센터는 산업용 공장이나 발전소에 무상으로 자원효율 평가를 해주고 인증을 제공한다. 이는 배출량과 에너지 사용량 감축에 어떤 노력을 하고 있는지 미리 살펴볼 수 있게 된다. 에너지 평가는 1981년 이래로 2만여 개를 진행했고, 인증 기업은 정부 인센티브를 받아 더 많은 감축이 가능한 제도이다.



에릭 매사넷 UC 산타 바바라 교수
미국의 탄소중립 정책

탄소배출권 거래제는 미국에서 전국적인 프로그램은 없다. 탄소배출권 거래제는 캘리포니아와 워싱턴 등 주별로 운영되고 있다. 배출권 가격은 톤당 78달러(10만 원)로 높게 책정되어있다. 캘리포니아주는 거래제를 도입한지 10년 정도 됐다. 많은 중공업 기업들이 속해있다. 시장은 탄소 배출권 최소가를 상정하고 있는데, 실제 거래 가격이 이를 상회한다. 이는 시장 운영이 성공적으로 되고 있다는 것을 의미한다.

정부는 대규모 재료 연구소를 지원하고 있다. 제조 연구소도 발족할 예정이다. 수천만 달러 규모의 연구소들은 기업과 협력해서 다양한 신기술, 산업의 탈탄소화에 대한 연구를 진행하고 있다. 이는 미국 정부의 중요한 전략 중 하나이다. 정부는 민관 파트너십을 통해서 다양한 투자와 연구 기술 실증 또 프로젝트 구축을 하려고 한다.

핵심 Comment

미국 정부의 탄소중립 정책은 세제 혜택, 산업 투자, 더 나은 재건법, 바이 클린 행정조치, 에너지 스타 프로그램, 산업평가 센터 등이 있음. 전반적인 방향성은 기업에 인센티브를 부여하여, 배출량과 비용을 모두 낮추는 선순환 효과를 만드는데 있음

| 세션 1 토론

세션 1 토론은 사공목 산업연구원 연구위원과 정은미 산업연구원 성장동력산업 연구본부장이 각각 일본과 미국의 탄소중립 정책에 대해 토론을 진행함

사공목 산업연구원 연구위원 질문

토시 아리무라 교수께 몇 가지 질문을 드리겠다. 일본 정부가 클린 전원 전력을 생산하는 데 있어서, 석탄화력발전소의 점진적인 축소와 수소 및 암모니아를 발전 원료로 대체해 나갈 계획으로 보인다. 블루수소는 해외에서 수송해오는 문제, 수소는 전기 분해 과정에서 신재생에너지 사용으로 인한 높은 비용이 해결해야 할 과제이다. 수소가 현재 200만 톤에서 2000만 톤까지 필요하며 상당 부분을 해외에서 생산할 것이라고 말씀하셨다. 구체적인 계획이 어떻게 되는가?

일본이 일본제철의 CCUS 기술을 활용해 탄소 배출하지 않는 철강 생산을 하겠다는 계획이 있는 것으로 알고 있다. 수소환원제철은 2050년까지 개발할 계획으로 아는데, 기술 개발이 어렵다는 일본 철강협회의 비판의 소리가 들린다. 수소환원제철의 개발 가능성이 어느 정도인가? CCUS가 탄소 감축 수단으로 많이 활용될 예정인듯한데, 어떤 인센티브를 제공할 수 있을지도 궁금하다.

철강 산업은 2030년까지 이산화탄소 30%를 감축하겠다는 목표가 있는데, 기술적 감축이 10%, CCUS 감축이 20%라고 한다. 이에 대해 자세한 설명을 부탁드립니다.

신재생 에너지 전원 개발에는 비용이 많이 든다. 원자력 발전이 새로운 대안으로 떠오르고 있는데, 일본은 히로시마 원전 사고도 있어서, 이를 도입하기에 어려움이 있을 것 같다. 어떤 해결책이 있는가?

일본 정부는 녹색 혁신 펀드를 지원하고 있는데, 이를 통해 에너지 및 기후 문제를 어느 정도 해결할 수 있을지 설명 부탁드립니다. 일본은 녹색 성장 전략이라는 탄소중립 전략을 표명하고 있다. 구체적인 정책에는 어떤 것이 있는지 궁금하다.

한국과 일본은 자연적인 제약 조건으로 신재생 에너지 사용에 어려움이 있다. 이 문제는 한국과 일본 기업이 힘을 합쳐 해결하면 좋은 부분이 있을지 궁금하다.

바이든 행정부는 최근, 탄소중립 안전을 지지하고 있으나, 석유와 천연가스 가격이 폭등하는 등 심각한 인플레이

이션이 발생하고 있다. 셰일가스 생산이나 석탄 발전소가동이 전 세계적으로 나타나고 있다. 글로벌 탄소중립 의제가 이 문제로 후퇴할 가능성이 있는지 궁금하고, 일본 정부는 어떻게 대응하고 있는지 설명을 부탁드립니다.

정은미 산업연구원 성장동력산업 연구본부장 질문

에너지 전환은 원자력, 수소, 재생에너지가 많이 언급된다. 논의는 에너지 공급을 위한 입지, 기술, 정책은 많이 되지만, 기존의 산업 클러스터에서 어떻게 활용될지는 고민이 많이 필요하다. 미국과 일본은 산업계 활용 전략에 대한 논의가 어떻게 진행되고 있는지 궁금하다.

한국 산업계는 탄소세나 ETS를 규제로 받아들인다. 미국과 일본도 이 제도를 확대하기 위해서는 산업계의 협력이 많이 필요한데, 수용성을 높이기 위해 어떤 조치들이 이뤄지고 있는지 설명을 부탁드립니다.

탄소중립은 산업생태계 변화를 크게 일으키므로, 민관협력을 강조하고 있다. 대기업뿐만 아니라 중소기업이 어떻게 이 파트너십에 참여할 수 있을지, 방안이나 전략이 있다면 설명을 부탁드립니다.

일본이 GX리그라는 것을 추진한다고 말씀해주셨다. 참여 기업 수와 감축효과는 어느 정도인지 평가가 이뤄졌는지 궁금하다. 미국은 에너지 스타 제도라는 벤치마크 방식을 소개해주셨다. 유럽이나 미국은 이 제도가 작동하지만, 일본과 한국처럼 관련 기업이 소수인 경우에 벤치마크 방식에 대해 저항성이 높다. 한국은 이런 제도 도입의 어려움이 있어서 일본은 어떻게 생각하는지 궁금하다. 미국에서는 주별로 제도 도입의 속도가 다른 것으로 알고 있다. 이런 제도가 전체 국가 전략으로 실행될 수 있는지, 아니면 주별로 차별적인 정책으로 이행될지도 설명 부탁드립니다.

토시 아리무라 교수 답변

수소 생산과 발전은 예를 들면, 호주가 중요한 생산국이다. 일본 회사들도 호주에서 많은 프로젝트를 하고 있다. 일본 회사들은 암모니아 공급망을 확보하기 위해 아세안 국가들과 연대하고 있다. 기업들은 암모니아를 생산 국가에서 일본으로 수송하려는 계획을 세우고 있다.

CCUS 인센티브는 보조금을 시범적으로 제공하고 있다. 보조금은 아직, 시범 프로젝트에만 지급하고 있다. 탄소

| 세션 1 토론

중립 목표 달성을 위해서는 탄소 배출량 관련 인센티브가 더 많이 필요하다. 일본 업계는 특히 화학 산업을 중심으로 탄소가격제에 대해 반대가 있었다. 그러나, 반대 기업들도 향후 CCUS 기술 개발을 위해 인센티브를 받고, 입장을 바꾸고 있다.

일본 정부는 기시다 총리의 지휘에 따라 그린 트랜스포메이션 그룹(GX 리그)이 운영되고 있다. 일본 기업들은 2000만 엔(1억 9000만 원)의 지원을 받고, 여러 정책과 R&D를 시행할 수 있는 시범 프로젝트 기회를 이 그룹 안에서 얻을 수 있다.

일본은 산업 클러스터를 가지고 있는 도시들이 있다. 특히, 탄소 중립 센터로 지정된 도시들도 있다. 도쿄 바로 옆에 있는 가와사키시는 제철소와 발전소가 많이 있다. 가와사키시는 수소의 중심지가 되려고 한다. 요코하마시는 가와사키시 바로 옆의 도시로서 역시 수소 중심 도시가 되겠다는 목표를 표명하고 있다. 수소는 경쟁이 이처럼 치열하고, 각 도시가 산업 클러스터를 유치하려는 움직임을 보인다.

탄소세와 ETS 수용성은 탄소 크레딧을 통해 상쇄 배출권을 제공하여, 기업들에게 인센티브를 주는 방식으로 제고하고 있다. GX리그는 3월말 기준 440개 대기업이 참여하고 있다. 이는 대기업 전체 수의 절반에 해당한다. GX리그가 어떻게 진행될지는 구체적인 언급은 나오지 않고 있지만, 탄소거래제가 GX리그 안에서 어떻게 운영될지에 대한 논의가 이뤄지고 있는 중이다. 다음 달 정도에는 윤곽이 잡힐 것으로 생각된다.

에릭 매사넷 교수 답변

에너지 스타 프로그램은 벤치마크 프로그램이다. 에너지 스타 프로그램이 내놓는 벤치마크 방법론들은 자동차, 제조, 철강, 암모니아 등 각 산업의 하위 업종에 적용된다. 방법론은 각 단위 생산에 필요한 에너지량이 얼마인지 데이터 분석을 통해 계산하고, 에너지 효율을 평가한다.

에너지 스타는 의무가 아니다. 기업이 자발적으로 프로그램에 참여하면, 점수 보고를 하게 되고 상위 25% 기업에 에너지 스타 인증을 부여한다. 기업은 산업별 에너지 사용 현황과 경쟁사보다 우리 점수가 왜 낮은지를 파악할 수 있게 된다. 이는 벤치마크 프로그램이지만 다양

한 혜택이 있고, 기업이 지속가능한 개선책을 찾는 데 도움이 된다.

캘리포니아주는 산업 탈탄소화 의제에 다른 주들보다 더 선도적인 모습을 보인다. 넷제로 목표가 있고 탄소 배출권 제도도 빠르게 도입했다. 제조업 비중이 높은 러스트 벨트는 넷제로 목표도 없고, 탈탄소 과정이 지지부진하다. 그러나, 철강과 알루미늄 공장이 해외로 많이 이전됐기 때문에, 연방정부 프로그램도 지원을 강화할 수 있게 됐다. 베타 플랜트나 에너지 스타 프로그램은 탄소 포집 관련된 다양한 기술 지원을 하고 있다. 연방정부가 중공업 대상으로 러스트 벨트 주도의 효과적인 전환을 할 수 있도록 돕고 있다.

이런 지원 프로그램은 에너지 절감과 탈탄소뿐만 아니라 일자리 창출 프로그램도 함께 제공한다. 연방정부와 주 정부는 일자리 창출 정책을 통해 협력하고 있다. 캘리포니아주도 탈탄소 정책을 선도하고 있지만, 연방 정부의 다양한 지원도 받고 있다.

ETS는 캘리포니아주에서 가장 오래 운영됐다. 워싱턴도 최근에 배출권 거래제를 도입했으나 온전히 운영되고 있는 상태는 아니다. 기업들은 ETS에 참여하는데 주저했으나 주의 법이므로 준수해야 했다. 화학과 철강, 시멘트 업계는 보호가 필요하여 초기 할당을 제공했다. 이는 탄소 누출 위험을 방지하기 위함이었다. 에너지 가격이 높기 때문에 기업들은 상당한 재정 부담을 안고 있다. 탄소 가격이 최근 오르고 있으므로, 기업들의 에너지 효율을 개선하려는 투자가 유도되고 있다.

미국은 전원 구성에서 원자력 발전이 20% 정도를 차지했다. 최근에는 수치가 약간 하락했다. 미국은 오랜 기간 원자력 발전소에 투자하지 않고 대부분 폐쇄하고 있기 때문이다. 지금은 남은 원자력 발전소를 최대한 잘 활용하는데 집중하고 있다. 기존 발전소를 전기화하자는 논의가 있는데, 원자력 발전소를 전기화에 사용하자는 토론이 이뤄지고 있다.



위엔 웡 칭화대학교 교수
중국의 탄소중립 정책

중국의 2060 탄소중립 전략 중에서 기후 전략에 대해서 말씀을 드리겠다. 두 번째는 탄소가격 정책, 무역정책, 산업별 전략에 대해서 말씀을 드리겠다.

지난 10년 동안 중국은 계속해서 기후관련 목표를 갱신해왔다. 2030년 이전에 이산화탄소 최고치를 달성하고 2060년에는 탄소 중립을 실현한다는 계획이다.

1+1이라는 정책이 있는데 이는 탄소배출 정점을 이루면서 탄소중립에 대한 지침이다. 1+1정책의 주요 목적은 2025~2030년간 목표를 달성함으로써 2060년에 전체 목표를 이루고자 하는 것이다. 10개 중점 분야를 보면 건설에서의 많은 로드맵을 제시하고 있다. 이 10개의 중점 분야 중에서 가장 중요한 것이 업계 재편이다.

지역별 저탄소 개발 전략은 성별로 제안하고 있다.

베이징은 2021~25년까지의 5개년 계획에 따라서 이산화탄소 총배출량이 최고점에 이르고 그 이후에 점진적으로 하락하는 것을 목표로 하고 있다. 탄소 집약도가 2020년부터 18% 정도 축소되고 매년 10% 정도씩의 저감을 목표로 한다.

저장성의 5개년 계획은 2025년까지 에너지의 24%가 비화석 에너지에서 나오도록 하겠다는 목표를 갖고 있다. 후베이성은 2025년까지 국가가 설정한 에너지 집약도, 탄소 집약도, 비화석 에너지 비중 목표를 계속 달성하겠다는 목표를 가지고 있다.

칭하이성은 풍력과 태양광 에너지의 자원이 풍부하다. 중국의 신에너지 산업 기반은 2025년까지 5개년 계획을 통해서, 1차 에너지의 56% 이상을 비화석 에너지로 대체하고 전기의 96%를 청정에너지로 채울 예정이다.

중국의 탈탄소 경로가 어떻게 이루어질 것인지는 칭화대 기후변화 연구원에서 연구한 결과, 6개의 시나리오가 있다. 지구온도 상승 2°C 시나리오는 2050년까지 탄소 29억 톤이 필요하고, 1.5°C시나리오의 경우 2050년까

지 15억 톤 소요할 것으로 예측했다. 에너지 집약도는 탄소중립 2060년 목표까지 75% 감축할 수 있다. 탄소가격은 2050년까지 톤당 100달러까지 떨어져야 한다.

탄소가격 정책은 시범적인 탄소시장과 전국적인 탄소시장의 확장 두 가지로 말씀드릴 수 있다. 중국의 7개의 ETS시범 프로젝트가 진행 중이다. 중국은 온라인 시스템을 공식적으로 2021년에 시작했다.

지방정부 부처는 2019~2020년에 주요 기업의 배출허용권을 결정했다. 그 이후에는 지방 배출 총량이 추가되고 국가 배출의 총 할당량도 더해졌다. 시작은 무상할당으로 시작해서 경매에 관한 연구는 진행 중이다.

중국에서 전국적인 자발적 배출권 거래 시장을 재개하고 있고 탄소 노출에 관해서는 많은 연구가 이뤄지고 있지만 중국의 국가 탄소시장이 아직 시작되지 않았기 때문에 탄소 누출 연구를 지원할 데이터는 아직 부족한 실정이다.

중국은 2013년 이후 친환경 일대일로 프로젝트를 여러 국가와 함께 시행해서 2022년 3월 말 현재 140개 국가와 32개의 규제 기관과 협력 각서를 체결했다.

다음으로 산업 개편과 재편 업그레이드를 어떻게 진행할 것인가 그 구체적인 내용을 살펴보면, 첫 번째가 포화시설에 대한 제한인데 특히 철강산업을 정리했다. 가장 최근에 1+n 정책 문서를 만들어서 제14차 5개년 계획 수립을 시행하고 있다. 전통적인 산업의 업그레이드와 전환 등을 추진하고 있다.

두 번째로 효율성 증대에 대한 내용이 있다. 효율성은 부가가치를 증진하기 위해서 2020년도 수준의 13.5%를 증대한다는 목표를 세웠다.

중국은 2015년도에 에너지 보존 목표에 관심을 갖기 시작했다. 에너지 보존과 에너지 효율성에 한계를 뒤서 기업이 그 한계에 따라 이행하도록 했다. 중국은 특히, 철



위엔 웡 칭화대학교 교수
중국의 탄소중립 정책

강산업에 대한 규정을 만들어서 많은 개선을 이뤄냈다.

칭화대 연구에 따르면, 2060년 탄소 중립을 위해서는 이산화탄소 배출량이 2025년경 정점에 이르러야 한다는 연구 결과가 나왔다. 중국 공정원에서 나온 연구를 보면, 산업 부문에서 이산화탄소 배출량은 2025년도에 정점에 이를 것이며, 53억 톤 정도가 될 것으로 예측한다. 탄소 중립은 2060년까지 이를 수 있다고 결론냈다.

칭화대 기후변화 연구원의 연구 결과에 의하면, 중국의 산업용 이산화탄소 배출량은 2050년까지 7억 1000만 톤에서 46억 1000만 톤 사이가 될 것이라는 결론을 냈다.

핵심 Comment

2030년 이전에 이산화탄소 최고치를 달성하고 2060년에는 탄소 중립을 실현한다는 계획인데 연구 결과 가능하다고 보고 있음. 다만, 중국은 아직 국가의 탄소시장이 시작하지 않아서 탄소누출연구를 지원할 데이터는 부족한 실정임



폴 드러먼드 유니버시티 칼리지 런던 교수 EU의 탄소중립 정책

온실가스 배출 감축은 31%, 재생에너지는 21% 달성했고 에너지 효율도 23% 개선되었는데 이는 코로나와 봉쇄 때문이다. 온실가스 배출은 1990년대 이래로 산업에서 반으로 줄었다. 이유는 경제체질과 서비스가 바뀌어 에너지 효율이 크게 개선되었기 때문이다.

2030 온실가스 배출량 감축 목표는 40%에서 55%로 확대됐고, 산업 배출은 2030년까지 25% 감축하게 됐다. 넷제로는 2050년 달성이 목표이다. 온실가스 감축 목표는 GDP(국내총생산)에 미치는 거시경제 영향은 크지 않다.

유럽 기후법은 2050 탄소 중립을 법제화했다. 기존 8개 법안은 강화하고, 새로운 인센티브를 통해 2030 목표를 달성하고 EU ETS와 CBAM을 더욱 확대하자는 것이 주요 내용이다.

ETS가 적용되지 않는 업종에서의 감축 목표도 40%로 늘어났고, 신재생 에너지 비중도 30%에서 40%로, 에너지 효율도 32.5%에서 36%로 늘어났다.

올해는 리파워 EU가 발표됐다. 두 가지 목표가 있다. 유럽이 러시아 화석 연료 의존에서 2030년이 되기 전에 탈피하고, 러시아 가스의 사용량을 3분의 1로 줄이려는 목표다.

그 실행방안은 ▲에너지를 절약 ▲에너지 효율 목표 확장 ▲구체적인 대책 실현 ▲에너지원 다각화 ▲청정에너지 가속화 ▲스마트 투자가 있다.

탈탄소화 정책에 대해서 말씀을 드리겠다. EU ETS는 2005년 처음 도입됐고, 현재 4기 시장이다. EU ETS가 도입된 이후 배출권 가격이 최근 급등했다. 4기 시장은 2021~2030년까지이다. 4기 시장 목표는 배출 총량을 연간 2.2% 줄이는 것이다. 무상할당 벤치마크는 더욱 엄격하게 하고, 탄소누출 리스크를 해소하자고 한다.

EU ETS는 산업 분야에서 기술변화나 배출감축에 대한 기여했다고 하는 근거가 거의 없다. 석유와 가스 감축은 주로 전력 분야에서 일어났고, 산업 분야에서는 많이 일어나지 않았다. 이는 배출권 가격이 최근까지 너무 낮았기 때문이라고 할 수 있다.

특히도 대부분 에너지 효율 개선과 관련된게 대부분이고, CCS(탄소 포집 및 저장)와 같은 특허는 별로 없었다.

탄소 누출이 어떻게 발생하는지 EU ETS를 통해 보면, 예방책이 도입되지 않았을 경우에 약 5~20%의 누출이 예상된다. 경매와 관련된 수익은 최근 크게 늘었다. 수익은 2020년 140억 유로(18조 5800억 원), 3기 시장에서는 750억 유로(99조 5200억 원)가 됐다. 경매 관련 수익은 75%가 기후 관련 목표에 투자됐다. 본래 목표는 최소 50%였는데, 초과 달성했다.

현재 EU집행위는 EU ETS계약에 관한 계획을 내놓고 있다. ▲총배출량 감축 강화 ▲시장 안정조치 강화 ▲경매 물량보다 초과 할당 시 취소 ▲업계 벤치마크와 무상할당 조건 강화 ▲혁신 투자 촉진 ▲해상운송 확대 ▲빌딩, 도로교통과 관련한 별도의 ETS를 도입하겠다고 한다.

CBAM의 주요 목표는 EU감축목표가 강화된 상황에서 탄소 누출의 리스크가 커짐에 따라 이에 대처하고 무상 활동과 관련된 이슈를 줄이기 위한 것이다.

수입업체가 제품에 내재되어 있는 스코프 1 배출량에 따라서 상응하는 CBAM 인증을 구매하고 양도해야 된다. 기존 탄소 가격에서 커버되지 않는 부분은 CBAM 인증을 양도해야 한다는 것이다. 이는 2026년부터 10년 동안 점차적으로 도입될 것이고 무상 활동은 연간 10% 포인트씩 줄여나가면서, 2035년에는 무상 활동이 아예 없게 될 것이다.

EU감축목표에 변화가 없다고 하면 CBAM 분야에서



폴 드러먼드 유니버시티 칼리지 런던 교수 EU의 탄소중립 정책

13.8%의 이산화탄소 감축이 예상된다. 2030년 기준으로 90억 유로(11조 9400억 원)의 추가 수익을 확보할 수 있을 것으로 예상되고 있다.

유럽은 세계 최대의 농업, 제조업 관련된 상품 서비스 교역국으로 2021년에 교역 정책을 발표했다.

세 가지 목표가 있다. 목표는 ▲유럽경제 회복 지원 ▲지속가능하고 공정한 세계화를 위한 글로벌 규칙 마련 ▲유럽의 역량 강화이다.

교역 정책 검토 관련해서 6가지의 주력 분야가 있는데, 이 중 세 가지는 ▲WTO 계약 ▲지속가능한 가치사슬 마련 ▲녹색 전환 지원이다.

산업 전략은 2020년 3월에 처음 발표가 되었고 지난해 업데이트됐다. 주요 목표는 디지털 전환과 저탄소 전환을 같이 추진하자는 것이다. 하위목표는 ▲제조업 부활 ▲진입장벽 회피와 불공정 경쟁 방어 ▲청정기술과 관련된 선도시장 창출이다.

액션 전략은 크게 네 가지로 ▲유럽혁신위원회 신설 ▲저탄소 산업 기술과 관련된 IPCEI(유럽 공동이익을 위한 중요 프로젝트) ▲수소 전략으로 6kw이상의 재생에너지 기반 수소 수전해 시설을 2024년까지 설치 ▲산업용 재생에너지 비중을 연 1.1%포인트로 매년 상승시키고 비유기성 공급 원료는 재생에너지 50%까지 확대하자는 내용이 있다. 유럽혁신위원회는 미국의 DARPA(미국 국방 고등연구계획국), ARPA-E(에너지 첨단연구프로젝트 사무국)의 모델을 따라서 혁신을 추진한다.

산업전략 관련해서, 청정 철강과 관련된 전략이 작년 5월에 발표됐다. 클린 철강 파트너십을 구축하자는 제안이 있

었고, 다양한 혁신과 관련된 재원을 활용하자는 방향성을 갖고 민간 투자를 이용하자는 논의가 있다.

결론은, 유럽은 현재 17년 이상 탄소배출권 거래제를 운용해왔고, ETS는 갈수록 엄격하고 고도화되고 있다는 것이다. 배출권 거래제도는 여전히 핵심적인 감축을 위한 주요 장치라고 보시면 되고, 그 범위가 갈수록 확대가 되고 있다.

핵심 Comment

EU ETS를 개혁하고 CBAM을 도입해야 함. 다만, CBAM에 대해서는 현재 많은 논의 중. 유럽도 미국의 DARPA처럼 혁신을 추진하고 제조업을 다시 살리고 청정기술과 선도시장을 창출할 필요가 있음

세션 2 토론

세션 2 토론은 김진오 경희대학교 교수와 한혜정 경희대학교 교수가 토론자로 참여했음

김진오 경희대학교 교수 질문

웁 박사님께 먼저 질문드리겠다. 중국은 도시가 이산화탄소 배출의 58%를 차지한다고 알고 있다. 중국은 도시에서 다양한 저탄소 개발 계획을 세우고 있다고 말씀하셨는데, 어떤 조치들이 있는지 궁금하다.

다음은 드러먼드 교수님께 질문드린다. 유럽은 우크라이나 침공으로 러시아 산 화석 연료에서 2030년 전에 독립하겠다고 발표했다. 유럽은 러시아산 가스를 2030년까지 3분의 1로 줄이겠다고도 했다. 이 발표가 현실화됐을 때 유럽의 탄소감축 시나리오에 어떤 영향을 미치게 될지 궁금하다.

재생에너지 비중은 2030년까지 1.1%씩 매년 늘린다고 말씀하셨는데, 쉬운 목표는 아닌 것 같다. 한국도 태양광 패널이나 풍력단지 건설에서 자연 생태계 파괴 등의 문제 때문에 어려움이 있다. 유럽은 재생에너지와 관련해 어떤 문제에 봉착해 있는지 궁금하다.

한혜정 경희대학교 교수 질문

탄소중립 정책은 생활의 수준을 높이는데도 중요한 역할을 한다고 생각한다. 다만, 물가 상승의 문제가 발생하는데 탄소중립 정책의 비용을 어떻게 절감할 수 있는지 궁금하다.

탄소 배출량 측정은 다양한 방식으로 이뤄지는데, 측정 과정의 투명성과 예측 가능성이 있는지 궁금하다. 탄소배출량을 과소평가하는 국가들이 있기 때문이다. 국제적으로 제품의 탄소 배출량과 함량을 측정할 수 있는 정확한 방법을 마련하기 위한 노력이 있는지도 질문드린다.

차별 정책이 WTO 안에서 이뤄지고 있다. 각국은 국내에서 탄소 관련 위반에 대해 처벌할 때, 그 효과가 어떤지 알고 싶다. 수입국은 엄격한 정책을 마련해서 탄소 문제가 무역전쟁으로 비화되지 않도록 해야 한다고 생각한다. 예를 들면, 교역국가가 탄소국경제도에 적용되는 경우에 무상할당을 제공하는 등의 무역 조치가 있는지 궁금하다. 선진국과 개도국 간 격차를 고려할 때 이런 점을

어떻게 고려하고 있는지를 자세히 설명 부탁드립니다.

폴 드러먼드 교수 답변

리파워 EU 전략은 우크라이나 침공에 대한 대응으로 마련이 된 것이다. 이 전략은 사실 전쟁과는 상관없다. 유럽이 러시아산 가스 의존도를 줄이자는게 핵심이다. 전쟁이 우호적으로 끝나더라도 방향이 수정되지는 않을 것이라고 생각된다.

이 사태가 미래의 배출 감축 시나리오에 어떤 영향을 줄지는 아직 분명하지 않다. 전략 중의 하나가 러시아산 가스와 석유 수입을 줄이는 것뿐만 아니라 재생에너지 비중을 확대하는 것인데, 이 조치가 단기 혹은 장기적인 온실가스 배출에 어떤 영향을 줄지는 분명하지 않다. 유럽은 법적 구속력이 있는 온실가스 감축 목표와 관련해 현재는 영향이 분명하지 않다고 말씀드린다.

재생에너지 1.1% 비중 증가는 EU 전체에 적용되는게 아니고, 중공업의 목표이다. EU는 재생에너지 비중을 45%까지 확대한다고 하는데, 현재 30%로 야심 찬 목표이다. 이는 정치적인 영역도 반영된다. 영국은 기술을 도입하는데 주저한다. 예를 들면, 육상 풍력 신규발전은 2016년에 금지했다. 반면, 해상 풍력은 상당한 자원이 있다. 해상 풍력 발전이 유럽의 탈탄소에 핵심이 될 것이라고 생각된다.

CBAM은 EU ETS에 적용되는 탄소 가격도 있지만, 스코프1과 2에서 실제 배출량이 낮은지를 증명해야 한다. EU와 제3국 간 기술 혹은 배출량을 추적해야 하는데, 이 부분은 아직 추적과 예측성이 떨어진다고 생각한다.

글로벌 불평등이 가중될 것이라는 질문에는 이렇게 답변드리겠다. 중국과 인도보다 아프리카의 개도국에 더 혹독한 상황이 마련될 것이라는 얘기가 있다. 유럽은 무상할당을 2032년까지 폐지하겠다고 발표했다. 집행위는 원래 2035년으로 제안했었다. 유럽 의회는 이를 2032년으로 앞당겼다. 그런데 집행 예산은 2035년에 맞춰져 있다. 집행위, 의회, 이사회는 32년과 35년 중 폐지일을 확정할 때까지 논의가 계속될 예정이다. 정치와 기술적인 요소를 고려할 때 32년으로 정하는게 맞다고 생각한다.

세션 2 토론

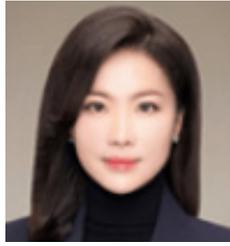
위엔 웨 칭화대학교 교수 답변

지방자치의 탄소중립 계획은 중국에서 매우 중요하다. 전체 35개 정도의 프로그램이 있다. 중국은 제14차 5개년 계획 기간 동안 지역별 2035년 목표를 발표했다. 베이징은 중국에서 중요한 도시이므로, 야심 찬 목표를 내고 있다. 베이징은 4개의 주요 석탄화력발전소를 폐쇄시켜 탄소 배출량을 크게 줄인 바 있다. 베이징은 지난 5년 동안 탄소를 24% 감축했고 탄소 집약도도 26%를 떨어뜨렸다. 베이징과 상하이로 포함한 여러 도시가 이 대열에 합류하고 있으며, 탈탄소화 속도는 점점 빨라지고 있다.

도시는 태풍이나 홍수 같은 자연재해를 가장 많이 겪는다. 석탄화력발전은 거의 50%를 차지한다. 중앙 지방의 성들은 이 비중이 훨씬 높아서 에너지와 이산화탄소 발전량을 더 많이 줄여야 했다. 중국 중부지방은 동남부의 저장성이나 베이징보다 경제 성장률이 높지 않다. 중부 지역은 경제 성장을 강력히 원하므로 에너지와 석탄 사용량이 늘어나는 경향이 있다.

이 지역은 탄소 집약도 목표가 타지역보다 상대적으로 높다. 후베이성은 구체적인 목표를 내세우고 있지는 않지만, 중앙정부가 할당한 목표를 이루려고 하는 것으로 알려져 있다. 후베이성이 아닌 7개 성은 ETS가 이뤄지고 있다. 지방 성의 ETS가 탄소 집약도를 낮출 것으로 기대하고 있다.

중국은 새로운 에너지를 탐사하는 단계에 있다. 칭화 지역은 30억 위안(5800억 원) 정도의 예산을 에너지 탐사에 활용하고 있다. 중국은 계획에 따라 2025년까지 건물과 전국 풍력 발전을 통해 신재생에너지 사용량을 늘릴 것이며, 이에 따라 에너지 송배전도 늘어날 것으로 예상된다.



김지영 서울대학교 교수

탄소중립 정책에 따른 온실가스 배출 효과 분석

한국 정부는 NDC목표를 끌어올렸고, 산업과 에너지 부문의 배출 저감목표도 상향했다. 그중에 화력발전을 신재생에너지발전으로 전환하는 목표가 들어있다. 정부 정책과 전략에 따라서 산업 간의 연관관계에도 변화가 있을 것이라고 생각하는데, 이에 대한 연구의 필요성을 느껴서 연구를 수행하게 됐다.

산업 간의 연관관계에 대한 연구는 IO Table분석을 따르고, 산업연관 분석에 관한 표는 한국은행이 5년마다 기준이 되는 표를 사용했다.

국가별 온실가스 배출은 GIR이라고 하는 온실가스 정보센터에서 발표하고 있는데, GIR 데이터에는 산업 부분별 자세한 배출량 데이터는 없어서 NETIS(네티스) 데이터라고 해서 한국에너지공단에서 발표하고 있는 데이터를 사용했다.

산업 간의 연관관계, 온실가스 배출 등 어떻게 연관이 있는지를 연구하는 것이 저희 목표이기 때문에 일단 화력발전 부문과 중간 투입 간에 서로 연관이 있는지를 봤다.

화력발전이 한 단위를 생산하기 위해서 기타 서비스 부문과 석유 정제품 부문이 제일 높은 비중을 차지하고, 그다음에 화력발전이 중간 투입으로 사용되는 업종 중에서는 기타 서비스와 철강 부분이 높은 것을 알 수가 있었다.

생산 유발효과, 부가가치 유발효과, 배출 부분을 적용해서 확장된 IO모형을 사용해서 배출 유발 계수도 알 수가 있고, 배출 유발 계수를 기준으로 연관관계가 높은 상위 10과 하위 10을 나열했다.

이를 기본으로 두 가지 시나리오를 설정했다. 하나는 화력발전을 신재생 발전으로 대체하는 경우, 또 하나는 철강 부문의 탈탄소화를 진행하는 경우에 산업 간의 연관관계가 어떻게 바뀌는가를 보기 위한 시나리오다.

시나리오별로 비용에 따라서 에너지 전환은 시나리오 두 개, 철강산업의 탈탄소화와 공정 전환은 세 가지 시나리오로 구성해서 총 다섯 가지 시나리오 분석을 수행했다.

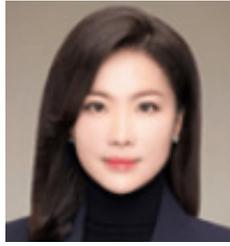
화력발전은 신재생 발전으로 대체하니 비용이 더 많이 든다. 비용은 얼마나 더 많이 들 것인가 조사했더니 2016년 기준으로 석탄이 신재생보다 20%가 싸고 2020년에는 태양 에너지와 같고 2039년에는 해상풍력 발전과 비용이 비슷해진다는 자료를 통해서 비용 시나리오를 두 개 설정해서 화력발전의 비용과 신재생 발전의 비용이 같을 경우와 재생에너지 발전을 하려면 화력발전의 1.2배 비용이 될 것이라는 시나리오를 설정했다.

두 번째 큰 시나리오에서 석탄을 수소를 사용할 경우에 비용이 어떻게 달라질 것인가를 조사해서 비용이 같을 경우, 3.3배일 경우, 9.09배일 경우 이렇게 세 가지의 시나리오를 설정했다.

왜 3.3이고 왜 9.09 인지를 설명드리겠다. 똑같은 탄소를 중간재로 사용했을 때의 비용과 지금 기준으로 봤더니 수소는 석탄의 9.9배였다. 그런데 정부는 이 9.9배인 것을 3분의 1 수준인 3.3배로 낮추는 것을 목표로 하므로 시나리오를 이렇게 3개로 설정했다.

생산 부가가치 유발 계수 변화는 거의 없는 반면에 배출 유발 계수의 변화가 있는 것을 알 수 있었다. 화력발전이 신재생 발전으로 전환했을 때 전방, 후방 효과에 대해서 나타나는 표가 베이식(basic)과 시나리오 1, 2로 나타나 있다. 베이식은 시나리오 분석하기 이전, 시나리오 1, 2는 시나리오에 따른 전후방 효과를 각각 나타낸 것이다.

화력과 1차 철강 부분의 전후방 효과가 특히 큰 것으로 나타났고, 특히 기타 서비스 그다음에 석유 정제품, 1차 비철금속이 전후방 효과가 큰 산업인 것으로 나타났다.



김지영 서울대학교 교수

탄소중립 정책에 따른 온실가스 배출 효과 분석

두 번째 큰 시나리오인 철강 부분의 탈탄소화에 관련된 분석이다. 시나리오 3은 비용이 같을 때, 시나리오 4는 비용이 9.9배일 때, 시나리오 5는 비용이 3.03배일 때를 각각 나타낸다.

생산유발 계수를 보면 시나리오 4의 비용이 9.09배일 때 가장 크게 나타났고, 부가가치 측면에서 보면 오히려 시나리오 4에서 부가가치 유발 계수가 낮게 나타났다.

배출 유발 계수라는 것을 보면 확실히 시나리오를 적용하기 전에 비해서 전환이 일어날 경우에 배출 유발 계수가 감소하는 것을 알 수 있다.

시나리오 3, 4, 5를 적용하기 이전과 이후를 전방위 효과에서 살펴보면 순위나 계수의 변동에는 별로 달라진 것이 없고, 후방 효과를 보면 재생에너지 부분에서 생산 후퇴 계수가 상승했다.

부가가치 측면에서 살펴보면 전방 효과 순위의 변동은 앞에처럼 크지 않으나 특정 업종에서 중간 투입 증가에 따른 부가가치 감소가 눈에 띄게 나타나고, 재생 에너지 부분에서 시나리오 3, 4, 5가 시나리오 적용하기 이전에 비해서 값이 2배에서 9배 커졌다.

배출과 관련된 전후방 효과에 대해서는 친환경 공정은 전방 효과에서 배출 저감 계수 값이 감소하는 것을 알 수 있다. 아마 친환경 공정 전환으로 배출 유발 계수가 감소한 것에 기인한다고 생각한다.

화력발전, 화력발전 부분의 전후방 효과가 큰데 재생에너지 발전 전환으로 인해서 배출 유발 계수가 감소하고 그다음에 타 산업 유발 계수가 특히 많이 감소했다.

다만 산업별로 세세한 영향은 좀 다르기 때문에, 선택적인 목표 정책이 산업별로 이루어지면 좋지 않을까 생각한다.

철강 부문에 석탄을 중간 투입 중인 석탄을 수소로 사용하는 경우 생산이나 부가가치 유발 계수는 현행과 비슷하나 배출 유발 계수는 철강에서 크게 하락하는 걸로 봐서 굉장히 배출 저감에 큰 역할을 하지 않을까 생각한다.

핵심 Comment

화력발전 부분의 전후방 효과가 큰데 재생에너지 발전으로 전환해서 배출 유발 계수가 특히 감소하고 그다음에 타 산업 유발 계수가 특히 많이 감소하는 것으로 나타났다. 철강 부문에 중간 투입을 수소로 사용하는 경우 배출 유발 계수는 철강에서 크게 하락하는 걸로 봐서 굉장히 배출 저감에 큰 역할을 하지 않을까라고 생각함



이재윤 산업연구원 연구위원
산업부문의 탄소가격 부과체계

탄소중립은 거스를 수 없는 추세다. 우리나라는 제조업 비중이 높고 탄소를 많이 배출하는 중공업에 의존하여 성장해왔다. 국제 무역 노출도 많다. 중공업의 탈탄소화는 유연하고 적절한 탄소가격 부과 체계를 설정하는게 가장 중요하다.

탄소가격 부과 체계는 ETS와 탄소세, 그 외 다른 형태가 있을 수 있다. 탄소가격이 해외에서 어떤 부과체계를 가졌는지와 탄소세 부과 후 발생하는 효과, ETS 시행 후 온실가스 배출량 변화에 대해 말씀드리겠다.

탄소세는 2021년 4월 기준으로 27개국이 부과했다. 탄소세율은 톤당 0.08달러(100원)에서 137달러(17만 원)까지 다양하게 나타났다. 탄소 과세 대상 범위와 연료도 전국적으로 광범위하게 적용하거나, 배출권 거래제에 해당하지 않는 산업과 일부 연료에만 부과하는 등 다양하게 나타나고 있다.

ETS와 탄소세가 병행해서 사용되는 국가에서는 이중과세를 방지하는 방향으로 제도를 시행하고 있다. 핀란드와 같은 북유럽 국가는 ETS를 강화하는 수단으로 탄소세를 병행해서 사용한다. 영국은 최저 탄소 가격을 설정하고, ETS 가격이 이에 미달하면 탄소세로 보완하는 방식으로 운영하는 상황이다.

우리나라는 탄소 가격은 낮지만, ETS를 전국적으로 시행하고 있으므로 탄소 가격이 적용되는 온실가스 배출량이 상당히 크다. GDP 대비 탄소 가격의 부담 정도는 높은 편으로 평가할 수 있다. ETS 시행 후 온실가스 배출량은 세부 업종별로 봤을 때, 2014년부터 2019년까지 큰 변화 없이 증가했다. 온실가스 배출량은 2018년에 정점을 이룬 후 2019년에 300만 톤 정도 감소했으나, ETS 시행 이후에 뚜렷한 변화는 관찰되지 않는 경향을 확인했다.

탄소세는 월드뱅크가 2020년도에 제시한 방법론을 따라서 두 가지 시나리오를 분석했다. 첫 번째 시나리오는 에너지 전환이 이뤄지지 않는 경우에 탄소세 부과 효과이다. 두 번째는 에너지 전환이 일어날 경우에 탄소세 부과 효과이다. 탄소 가격이 탄소세의 형태로 화석 연료에 부과되고, 화석 연료의 가격이 높아지면 이를 사용하는 산업의 에너지 구조가 변화하는 경로를 바탕으로 에너지 패턴의 변화, 온실가스 배출량 변화를 분석했다.

에너지 소비량은 탄소세를 3, 5, 10달러와 같은 저율부터 30, 35, 45, 60달러의 시나리오로 분석했다. 탄소세가 저율일 때 온실가스 감축 효과는 낮았다. 탄소세가 45달러 이상일 때 온실가스 감축 효과가 13% 이상이 나왔고, 전반적으로 에너지 소비와 온실가스 배출량이 줄어들었다. 즉, 탄소세가 고율일수록 이와 같은 효과가 강해진다는 점을 관찰할 수 있었다.

우리나라는 2030년까지 산업 부분의 감축 목표가 14.5%이다. 에너지 전환이 이뤄지지 않는 경우에는 이 목표를 달성하기 위해 탄소세가 45달러, 에너지 전환이 일어나면, 30달러 정도가 돼야 하는 것으로 나타났다.

시사점은 먼저, 에너지 전환이 동일한 탄소세를 부과하더라도 온실가스 배출량을 더 줄이고, 기업이 구매해야 하는 에너지 가격은 내려가는 효과를 내기 때문에 중요하다는 점이다. 해외 국가들은 탄소세를 초기에 저율로 도입하고, 목표 세율에 도달하기 위해 점진적으로 세율을 높여가는 방식으로 운영하고 있다. ETS와 탄소세를 병행하는 국가는 중복 과세를 방지하는 방향으로 가고 있다.

우리나라는 NDC 목표 달성을 위해서는 상당히 높은 세율의 탄소세가 필요할 것으로 예측된다. 이 경우에는 탄소 가격이 증가하여 최종재 가격이 오를 수 있다. 탄소



이재윤 산업연구원 연구위원
산업부문의 탄소가격 부과체계

세가 45달러 기준일 때, 배출량 감소는 14~17%로 예상된다.

탄소세는 온실가스 감축효과가 ETS보다는 상대적으로 불확실하다. 우리나라는 ETS를 통해 현재 산업 부문 배출량의 86%에 적용될 수 있기 때문에, 탄소세보다는 국가 온실가스 감축 목표 달성 측면에서는 더 나은 선택지라고 생각된다. ETS는 탄소국경조정제도(CBAM)과 연계가 높고, 도입하라는 요구가 많은 [탄소차액계약제도\(CCFd\)](#)를 적용했을 때도 효율성이 높은 탄소가격 부과 체계라는 잠정적인 결론을 냈다. 경기가 좋지 않으면 ETS의 탄소가격이 떨어지므로, 경기 변동을 완화해주는 효과를 통해 산업 경쟁력을 보호하는 역할도 할 수 있어서 장점이 많다.

***탄소차액계약제도: 탄소가격을 일정기간 계약가격으로 보장하는 제도**

다만, ETS나 탄소세가 고율의 탄소 가격을 부과하면, 최종 가격이 증가하는 결과를 예상할 수 있다. 탄소 가격은 단기적으로 급격히 인상하기보다는 기업의 혁신을 유도하기 위한 인센티브 정책을 다양하게 마련할 필요가 있다. 기업이 혁신 기술을 조기에 개발하면, 배출권 할당을 더 주거나, 상쇄 배출권을 보다 유연하게 활용할 수 있는 제도의 설계도 중요하다고 생각한다. 탄소세는 현재 ETS의 적용 범위에 미치지 않는 부분에 도입해야 할지도 생각해봐야 할 이슈이다.

핵심 Comment

탄소가격부과체계는 크게 ETS와 탄소세가 있음. 우리나라는 산업구조와 현 제도에 따라 ETS가 탄소중립 달성에 유리함. 탄소가격이 오르면 배출량이 감소되는데, 에너지 전환이 되면 탄소 가격도 하락하여 산업 경쟁력도 함께 확보할 수 있음

| 세션 3 토론

세션3 토론은 오형나 경희대학교 교수, 강성훈 한양대학교 교수, 남상욱 산업연구원 연구위원이 토론 패널로 참여함

강성훈 한양대학교 교수 질문

첫 번째 발표는 화력발전이 신재생에너지로 완전히 전환된다는 가정으로 추정하고 계신다. 철강 산업도 친환경으로 공정 전환이 온전하게 이뤄졌을 때의 효과를 보고 계신 것 같다. 그러나, 현실에서 화력발전이 신재생에너지 발전으로 온전히 전환된다는 것은 사실상 어려운 것으로 보인다.

지금은 에너지 전환의 과도기이므로 천연가스 비중을 먼저 높이고, 신재생에너지는 서서히 확대하는 비용 효율적인 에너지 믹스에 대한 고민이 필요할 것 같다. 한국은 유럽과 달리 신재생에너지를 늘리는데 제약이 있다. 정부가 이런 제약을 극복하고 신재생에너지 비중을 늘리기 위해서는 어떤 정책을 펴는게 좋을지 궁금하다.

두 번째 발표는 시의적절하고 중요한 연구 같다. 우리나라는 배출권거래제도 외에도 탄소가격 정책을 더 강하게 추진해야 된다는 얘기가 많이 나온다. 오늘 발표를 들어 보니, 유럽, 중국, 일본은 탄소 가격에 무게를 두는 정책이 많았고, 미국은 반대로 세금 크레딧을 주는 등 자발적으로 유도하는 정책을 많이 쓰고 있다고 이해했다.

우리나라는 배출권 거래제에 해당하지 않는 분야에서 온실가스 배출량이 늘어나고 있다고 한다. 배출권 거래제도는 수량을 규제하므로 목표가 지나치게 높으면 기업에 큰 부담으로 작용한다. 탄소세는 세율이 정해지면 기업 부담은 적을 수 있으나, 감축량이 사회적으로 바람직한 수준에 도달하지 않을 수 있다는 점이 있다.

이 두 제도는 어떻게 설정할지, 탄소 가격은 어느 정도에 책정이 되어야할지 등이 궁금하다.

남상욱 산업연구원 연구위원 질문

첫 번째 발표는 현재 원전이 새로운 대안으로 떠오르고 있으므로, 시나리오를 좀 더 다분화해서 분석을 더 해주는게 좋을 것 같다고 생각했다. 재생에너지는 기상에 따라 불확실성과 변동성이 작용할 수 있는데, 이점을 어떻게 해결할 수 있을지 연구를 해주시면 좋을 것 같다는 생각을 했다.

두 번째 발표는 들으면서, 유가 가격이 계속 생각됐다. 이산화탄소는 원유에서 출발한다. 탄소 가격이 6만 원이라면, 고유가 시대와 저유가 시대에서 그 가치는 굉장히 다를 것이라고 생각한다. ETS에 참여하는 기업은 이에 탄력적으로 대응하기 어려우리라생각된다. 가격은 자동으로 조정할 수 있는 시스템이 필요한지 아니면, ETS라는 시장에 온전히 맡겨야 할지 여러 시나리오를 통해 고민해 봐야 한다.

오형나 경희대학교 교수 질문

첫 번째 발표는 EU와 우리나라의 탄소 발자국을 산업 레벨에서 진행하셨다. 이는 제품 레벨에서 연구가 진행되면 좋을 것 같다. 시나리오는 1번과 2번을 조합해서 실제 비용과 부가가치 감소 현상이 발견했는데, 이처럼 CBAM의 충격이 최소화될 수 있는 조합이 무엇인지 좀 더 풍성하게 시나리오를 분석하면 좋겠다는 생각이 들었다.

탄소 가격은 6만 원 혹은 8만 원까지 책정한다고 해도 수소 기술이 들어오지 않는다. 우리나라는 실효 탄소세로 계산하면 2000~3000원도 안 될 것 같은데, 현재 탄소 가격이 2만 원 언저리에 있다. 이 가격 차이는 무엇으로 메울 것인지가 관건이다.

탄소 가격이 8만 원이라고 가정하면, 생산량 감축 효과가 13~17% 정도로 기억한다. 우리나라는 이처럼 이 탄소 가격에 대한 수용성이 낮다. 이 목표는 달성하면, 생산 위축 효과가 너무 큰데, 이를 어떻게 대응할지 고민이 필요하다.

이재윤 산업연구원 연구위원 답변

말씀 주신 부분에 대해, 특별히 답을 드릴 내용은 없다. 오늘 코멘트 주신 부분에 대해서는 연구에 반영하여 진행하겠다. 연구를 속성으로 진행하다보니, 미진한 부분이 있었는데 고민하고 있던 점을 제시해주셔서 감사하다.

김지영 선문대학교 교수 답변

강성훈 교수님과 남상욱 박사님이 다양한 시나리오에 대한 분석이 있었으면 좋겠다고 제안해주신 부분을 반영해 보겠다. 신재생에너지 비용이 얼마나 될지와 같은 부분은 불확실성이 있다. 오형나 교수님이 말씀해주신 탄소 발자국도 연구 수행할 때 반영해서 검토해보도록 하겠다.