

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY × KAIST

서울대-KAIST 공동
**탄소중립 혁신기술
인재양성 포럼**

2023. 5. 19.(금) 14:00 한국과학기술회관 대회의실 2

주최/주관 서울대학교 KAIST 한국과학기술원

후원 한국교육연구학회 교육부 교육과학기술부 한국교육진흥원

참여자 서울대학교
정수영연구교수(과장) 박수아씨보

서울대학과 국가과학기술원
POTENTIAL Center for Future Strategy, Seoul National University

KICG-2020 Initiative
Korea Science & Technology Foundation

KICG-2020 Initiative
Korea Science & Technology Foundation

KAIST 녹색성장기초기술개발사업

KAIST 신공명합성-인공지능 융합사업



여는 글

좌장	이광형 KAIST 총장
	유홍림 서울대학교 총장
	김상협 2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장
축사	반기문 제8대 유엔사무총장

“탄소중립 실현을 위한
혁신 과학기술 개발과
인재양성을 위해
아주 귀중한 출발점이 될 것”



이광형 KAIST 총장

전 세계적으로 발생하고 있는 기후변화는 우리 삶과 인류의 생존을 위협하고 있는 문제입니다. 이에 세계 각국은 전 지구의 위기인 기후변화를 해결하기 위해 탄소중립 실현을 위한 다양한 노력을 기울이고 있습니다.

우리 정부도 지난 2020년 탄소중립이라는 도전적인 목표를 세우고 국제사회의 탄소 감축 노력에 동참하였습니다. 이제 지속가능한 발전과 전 지구적 공생을 위해 탄소중립은 선택이 아닌 필수가 되었습니다. 구체적이고 실효성 있는 실천을 위해서는 정부와 학계는 물론 산업계, 각계각층이 함께 노력해야 하겠습니다.

또한 KAIST는 10년 전에 녹색성장대학원을 경영대 소속으로 운영하다가 금년 3월에 이를 공과대학으로 개편해서 기술 중심 녹색성장을 연구하기로 되었습니다. 그래서 새로 개명한 대

학이 ‘녹색성장지속가능대학원’입니다. 이와 같이 KAIST는 탄소중립 산업 육성을 위한 다양한 혁신연구를 통해 기술 개발, 인력양성 또 창업가를 기르도록 노력하겠습니다.

끝으로 서울대와 KAIST가 공동 주최하는 이번 포럼은 탄소중립 실현을 위한 혁신 과학기술 개발과 인재양성을 위해 아주 귀중한 출발점이 될 것으로 생각합니다. 나아가 탄소중립 사회를 구현하기 위해 두 대학은 물론 정부와 산업계까지 유기적으로 힘을 합쳐 대응해 나가는 유의미한 계기가 미래시장을 선도하는 기획의 출발점이 되기를 바랍니다. 감사합니다.

“미래는 결정된 것이 아니고
지금 우리의 선택의 결과”



유홍림 서울대학교 총장

이번 탄소중립 「혁신 기술 인재 양성포럼」은 서울대와 KAIST가 협업하는 좋은 사례라고 생각합니다. 이것이 한번의 포럼이 아니고 앞으로 계속되었으면 합니다. 우리나라에서 일반적으로 중요한 이슈에 대해 출범식은 많지만, 이것이 계속되는 경우들이 적습니다. 따라서, 이번 행사가 일회성이 아니고 앞으로 계속 지속해가길 바랍니다. 또한, 여러 교수님이 중심이 돼서 교육 연구에 실제적인 프로젝트들을 진행해 가는 것이 중요하리라고 생각합니다.

금번 서울대와 KAIST의 협동, 협력 사례뿐만 아니라 훨씬 더 큰 범위에서 또한 모든 사회영역에서 협력(cooperation)이 중요합니다. 그것은 우리가 3년여 겪었던 코로나 시기에도 우리가 모두 힘을 합쳐 그 위기를 극복한 사례도 있습니다. 그래서 우리 서울대-KAIST의 협업이 하나의 출발이고 하나의 총위에서의 그리고 더 넓은 사회 모든 영역에서 이러

한 협력, 협업이 그리고 전 세계적으로 이루어질 수 있게 노력하는 것이 우리 대학들의 역할 그리고 모든 연구자의 역할이라고 생각합니다.

모쪼록 오늘 포럼이 그러한 문제의식을 같이 공유하고 앞으로의 미래를 여는 계기가 되었으면 합니다. 미래학자들이 대개 미래에 대해서 좋은 전망을 하지 않습니다. 대개 디스토피아라고 표현하기도 합니다. 그런데 문제는 그 미래는 결정된 것이 아니고 지금 우리의 선택의 결과입니다. 그러니까 우리가 어떤 선택을 하는가가 그만큼 중요합니다. 그리고 그 선택은 집단적인 선택입니다. 그것을 위해서 저희가 정말 힘을 모아야 할 때라고 생각합니다. 감사합니다.

“그간 교육을 통해 나라의
‘정신자본’을 키워온 대학이
탄소중립 시대에 걸맞는 사상과
철학을 정립해 주길 기대”



김상협 2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장

서울대학교와 KAIST, KAIST와 서울대학교가 주인공으로서 뜻을 모아서 탄소중립 녹색성장 시대의 혁신 기술과 인재 양성 공동포럼을 처음으로 개최하게 되어 참으로 뜻깊은 일이라고 생각합니다. 특히, 포럼 과정에서 두 대학은 물론이고 훨씬 더 큰 차원에서의 협력이 필요한 시대라는 말씀은 대단히 큰 울림이 왔습니다.

이번 인재 포럼은 미래 탄소중립을 위한 인재를 양성하기 위해 산·학·연이 모두 뜻을 모으고 손을 잡고 함께 출발하는 출발선상에 함께 서게 되는 계기가 되었다고 생각합니다. 탄소중립녹색성장위원회가 ‘출발을 알리는 신호총」을 울리는 역할을 하겠습니다. 탄소중립은 단거리 육상이 아닌 ‘30년 이상을 달려야 하는 마라톤」과 같습니다. 결코 쉬운 완주 목표가 아니라는 것도 모두 힘을 함께 모으지 않으면 완주할 수 없습니다.

저는 그간 탄소중립에 있어 있고 산업·기술·금융의 ‘트라이앵글 전략」을 강조해왔습니다. 하지만, 이러한 전략에서 빠져서는 안 될게 ‘인재」이며 이는 분명 가장 중요한 근간이 될 것으로 생각합니다. 대학은 교육을 통해 나라의 ‘정신자본」을 키우는 중요한 역할을 해온 만큼 탄소중립시대에 걸맞는 사상과 철학을 정립해 주길 기대합니다. 이를 근간으로 탄소중립과 녹색성장이 함께하는 클래스가 다른 대한민국, Fisrt Korea로 가는 첩경이 될 것입니다.

끝으로, 이러한 인재 관련 논의가 오늘에 그치지 않고 지속 가능한 토론의 장이 되었으면 좋겠습니다. 더불어, 오늘 참여한 대학과 기업뿐만 아니라 더 많은 국내외 대학과 기업들이 참여해 깊이 있게 논의는 자리가 되길 희망합니다. 또한, 그러한 소중한 자리에 탄소중립녹색성장위원회도 늘 함께하겠습니다. 감사합니다.

“기후 위기는 미래가 아니라 지금
당장의 뉴노멀, 즉 새로운 현실”

“구호가 아니라
분명한 실체가 되어서
글로벌 경제와
산업전반 변화 이끌어야!”



반기문 제8대 유엔사무총장

여러분, 안녕하십니까. 오늘 서울대학교와 KAIST가 뜻을 모아 ‘탄소중립을 위한 기술혁신과 인재양성’을 주제로 공동 포럼을 개최하는 것을 진심으로 축하드립니다.

유홍림 서울대학교 총장님, 이광형 KAIST 총장님 그리고 이 자리에 함께하시는 교수님 열여섯 분께 각별한 감사의 말씀을 드립니다. 아울러 기조연설과 종합세션에 참여하시는 원희룡 국토교통부 장관님, 바쁘신 중에 오셔서 감사드립니다. 주영창 과학기술혁신본부장님, 신학철 LG화학 부회장님, 남석우 삼성전자 사장님, 추형욱 SK E&S 사장님, 김동욱 현대자동차 부사장님께도 감사의 말씀을 전해 드립니다. 그리고 오늘 뜻깊은 자리를 뒷받침한 2050탄소중립녹색성장위원회의 김상협 공동위원장 그리고 사무처 관계자 여러분께도 축하와 격려의 말씀드립니다.

존경하는 내외 귀빈 여러분, 기후위기는 미래가 아니라 지금 당장의 뉴노멀, 즉 새로운 현실이 대두되고 있습니다. 탄소중립 역시 구호가 아니라 분명한 실체가 되어서 글로벌 경제와 산업 전반을 변화시키고 있습니다.

미국의 인플레이션 감축법(IRA), EU의 그린딜 산업계획(Green Deal Industrial Plan)의 경우에서 보듯이 선진 강대국들은 천문학적인 자금을 투입해서 탄소중립을 위한 녹색에너지와 인프라 구축에 경쟁적으로 나서고 있습니다. 노벨 경제학상을 수상한 폴 크루그먼 교수는 이를 “자국을 우선시하는 산업정책이자 보조금 전쟁”이라고 표현하면서도 “궁극적으로는 기후위기를 극복하기 위해서 녹색기술을 발전시키고 경제를 다시 만들려는(Reshape) 긍정적 노력”이라 진단하고 있습니다.

중국 역시 마찬가지입니다. 중국은 이미 세계에서 재생에너지와 전기자동차를 가장 많이 생산하고 있는데 풍력발전의 경우 최근 세계 최대 규모인 18메가 터빈까지 완성이므로써 미국이나 유럽보다도 앞서가는 모습입니다.

이런 상황에서 제 눈길을 끄는 것은 글로벌 고등교육기관들이 앞 다투어 인재양성에 나서고 있다는 점입니다. 스탠포드대학의 경우 지난 9월 ‘도어 지속가능대학(Doerr School of Sustainability)’을 설립했는데 존 도어(John Doerr)라는 벤처투자자로부터 막대한 기부금을 받아 무려 2조 원을 인재양성과 연구활동에 투입한다고 합니다. 하버드대학교도 2,000억 원을 투입해서 작년 가을에 설립한 ‘사라타 기후 지속가능 연구소(Salata Institute for Climate and Sustainability)’, 또 기후변화 관련 다양한 전공을 융합하는 초학제적 플랫폼을 운영하고 있습니다.

영국의 옥스퍼드대학교는 일찌감치 ‘녹색금융’ 교육을 선도하고 있고 중국 칭화대학교와 일본 동경대학교 역시 차세대 녹색 인재양성에 박차를 가하고 있습니다. 서울대학교와 KAIST가 함께하는 오늘 이 자리가 각별한 의미로 다가오는 이유입니다. 자원 하나 없는 한국이 여기까지 올 수 있었던 것은 바로 인재를 양성했기 때문입니다. 자녀 교육을 위해서 온 정성을 기울여 온 부모님의 교육열이 한국 경제의 기적을 만든 원동력이었습니다.

존경하는 귀빈 여러분, 저는 UN사무총장으로 근무하던 2012년 9월 교육의 변혁역량을 활용한 보다 나은 미래를 추구하기 위해서 ‘글로벌 교육 우선 이니셔티브(global education first initiative)’인 GEFI를 주창한 바 있습니다. 탄소중립 녹색성장 시대에는 한국은 물론 글로벌 무대에서 새로운 사고 및 새로운 지식, 새로운 기술로 세상을 변화시킬 인재가 절대적으로 필요합니다. 이는 한국이 가장 잘 할 수 있는 분야라고 생각합니다.

KAIST는 이미 10년 전 녹색성장대학원을 설립한 데 이어 이제 대전 본원을 중심으로 이를 한 차원 업그레이드하려는 것으로 알고 있습니다. 서울대학교는 작년 2월 국가미래전략연구원을 설립한 데 이어 지속가능한 미래를 이끌 인재양성과 연구활동을 확대하고 있습니다. 서울대학교 국가미래전략연구원에는 제가 명예원장으로 근무하고 있습니다.

이번 포럼을 통해서 서울대학교와 KAIST는 물론 대한민국의 고등교육기관들이 세계를 이끌어 나갈 녹색기술을 개발하고 유능한 인재를 양성하는 소중한 계기를 제공하기를 바랍니다. 그런 의미에서 금번 포럼이 성공적으로 개최되기를 기원합니다.

고맙습니다.

목차

* 발표자가 발표시 사용하신 영어를 편집자가 임의로 독자의 이해를 돕기위해 한글을 병기하였습니다.

Session 1 탄소중립 혁신 과학기술		Session 3 기조사	
기초과학	12	기조	92
수소기술	19		
지구 메타버스 기술	27		
순환경제	36		
모빌리티 인프라	40		
태양전지	48		
탄소 제거	58		
CCS 기술과 산업	66		
Session 2 탄소중립 미래인재		Session 4 종합토론	
인재양성 제도기반	76	종합토론	106
기초과학 인재양성	78		
교육과 인재양성	82		
과학기술 인력양성	87		
Special			
		총평	124
		갤러리	126

Session 1

탄소중립 혁신 과학기술

사회	이재우 KAIST 생명화학공학과 교수
기초과학	송현준 KAIST 화학과 교수
수소기술	성영은 서울대 화학생물공학부 교수
지구 메타버스 기술	김형준 KAIST 문술미래전략대학원 교수
순환경제	박주영 서울대 건설환경공학부 교수
모빌리티 인프라	김경수 KAIST 조천식 모빌리티대학원 교수
태양전지	김진영 서울대 재료공학부 교수
탄소 제거	고동연 KAIST 생명화학공학과 교수
CCS 기술과 산업	정훈영 서울대 에너지자원공학과 교수

이재우 KAIST 생명화학공학과 교수

저희가 오랫동안 탄소중립에 대해서 열린토론(open discussion)을 하려고 했는데, 바쁘신 가운데 학계와 그리고 정부에서 같이 참여해 주셔서 감사합니다.

저는 제1부 과학기술에 대해서 좌장을 맡은 KAIST 이재우 교수입니다. 오늘 프로그램은 과학기술, 인재양성, 종합토론 그 다음 만찬이 있겠습니다. 아무쪼록 서로 교류하면서 유익한 시간이 됐으면 좋겠습니다.



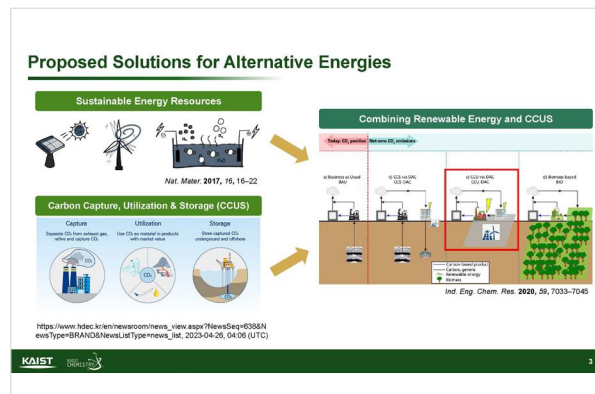
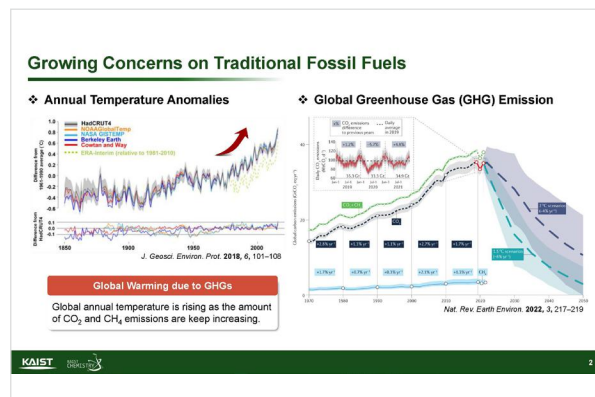
송현준 KAIST 화학과 교수

저는 현재 KAIST 화학과 학과장을 맡고 있습니다. 우선 가장 먼저 발표하게 돼서 긴장되면서도 어떻게 하면 부드럽게 이끌까 하는 생각을 했습니다.

오늘 연사들 중 만나 뵙고 싶은 분들도 있고 훌륭하신 분들도 많이 참석하셨습니다. 한 가지 단점이라면, 자연과학 또는 기초과학 쪽에 오직 저밖에 없습니다. 그래서 굉장히 외롭습니다.

저는 기초과학적인 역할, 화학적인 역할이 무엇인가를 말씀드리고자 합니다. 아무래도 첫 발표이니 만큼 지구 온난화(global warming)이라든지 온실 가스(Greenhouse gas)와 같이 다들 알고 계시는 내용들을 언급할 수밖에 없습니다. 지속가능한 에너지 리소스를 이용해야 한다거나, 우리가 CCUS(탄소포집활용저장)라는 기술적인 면과 정책적인 면을 합쳐서 이 문제를 해결해야 하겠다고 많은 분이 논의하고 있습니다.

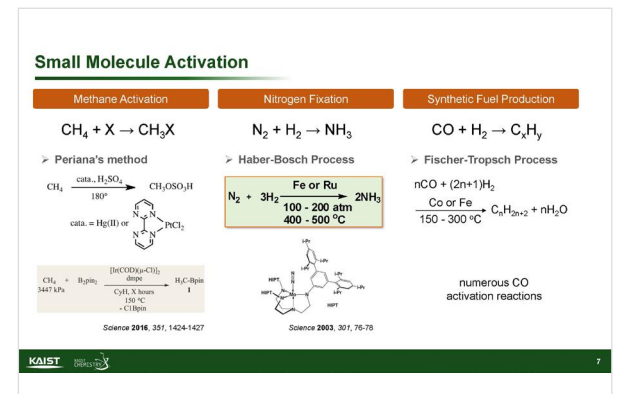
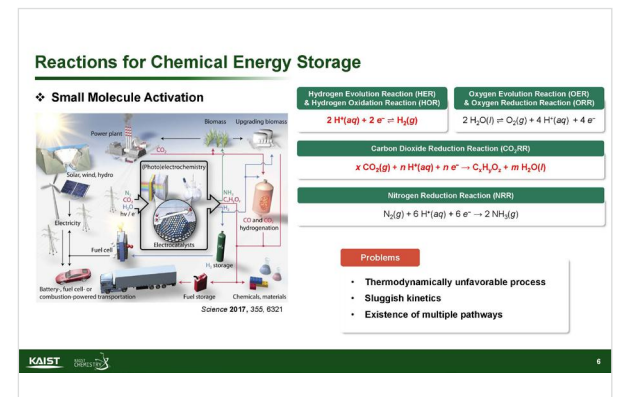
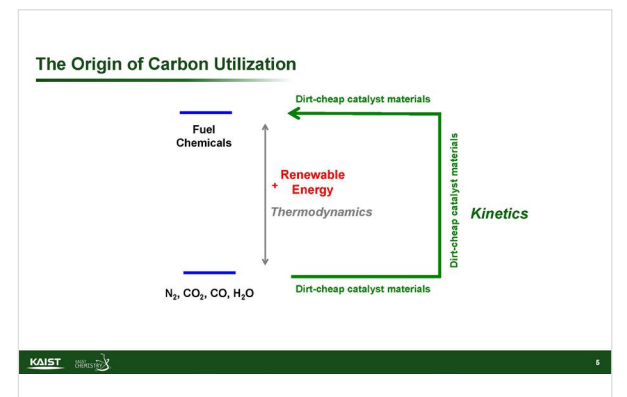
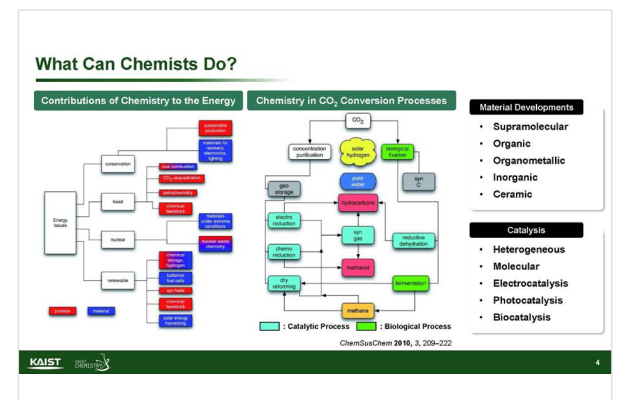
그렇다면 화학적인 면에서는 어떻게 접근할 수 있을 것인가, 기초과학적인 면에서는 어떻게 접근할 수 있을 것인가를 생각하지 않을 수 없습니다. 실제로 정리되어 있는 논문들을 보시면, 재료적인 관점이나 프로세스 관점, 모든 면에서 화학이 미치는 영향이 굉장히 큼니다. 특히 이 탄소중립 분야에서 탄소변환만 가지고도 광반응, 전기반응, 바이오적인 처리 방법 등에 화학이 기여하고 있습니다.



그러면 화학자들이 보는 관점에서 탄소중립, 조금 좁혀서는 탄소 이용에 대해서 어떻게 생각하고 있을까요? 우리 주변에는 가스가 많습니다. 질소, 이산화탄소와 같은 가스는 굉장히 안전합니다. 그러나 이 자체로는 이용할 수가 없습니다. 에너지를 높여서 결국은 연료로써 다시 재사용하는 방법을 생각해야 하는데, 결국은 신재생에너지가 들어감으로써 열역학적으로 에너지를 올려주어야 이용할 수 있습니다.

하지만 과학자들이 항상 얘기하는 것이 열역학만 생각하면 안 된다는 것입니다. 결국은 동역학, 얼마나 반응을 빨리 가게 하느냐의 문제입니다. 활성화에너지라는 말을 들어보셨을 텐데요. 결국 지금 주변에 있는 가스들이 활성화에너지가 높기 때문에 반응이 안 갑니다. 그것을 잘 가게 해 주는 방법으로 촉매를 연구해야 합니다. 그래서 화학자들은 신재생에너지 또는 탄소중립 문제가 결국은 촉매 개발의 문제가 아니겠느냐고 봅니다.

그렇다면 어떤 반응을 대상으로 촉매를 개발해야 할까요? 물에서 산소, 수소를 만들고, 이산화탄소에서 탄화수소에 필요한 것들을 만들고, 질소에서 암모니아를 만드는 것이 잘 이루어지면 좋겠죠. 화학 분야에서는 이미 1980년대부터 소분자 활성화(Small Molecule Activation) 반응으로 많은 연구가 진행 중입니다. 대표적인 소분자 활성화 반응 중에 메탄 활성화(Methane activation) 또 질소 고정(nitrogen Fixation)이죠. 그리고 합성연료를 만드는 것입니다. 분자식들을 보면 굉장히 쉽고 잘될 것 같습니다. 석유 화학적으로도 하버-보쉬 공정(Haber-Bosch Process)나 피셔-트롭시 공정(Fischer-Tropsch Process)가 있고, 이미 상용화되어 있습니다. 그러나 압력, 온도 또 석유화학 쪽에서 나오는 부산물 등을 해결하기가 상당히 어렵습니다.



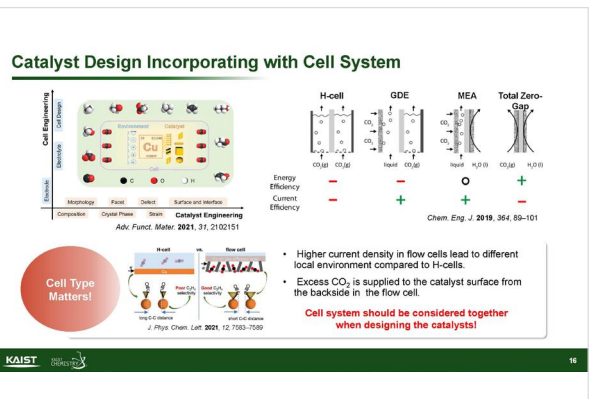
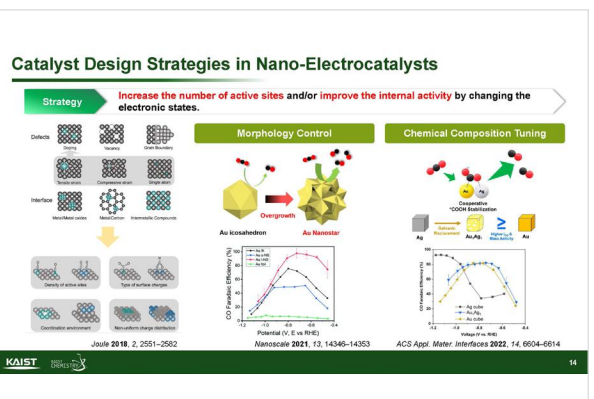
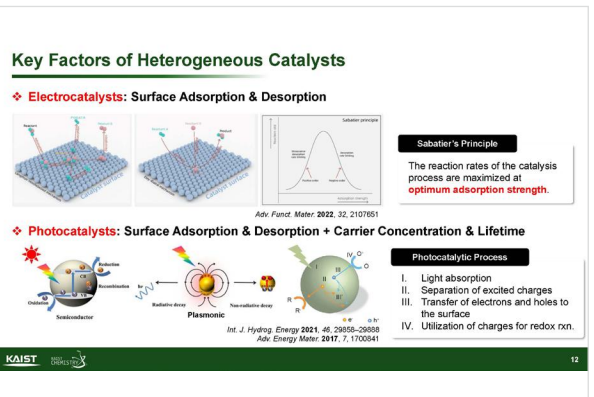
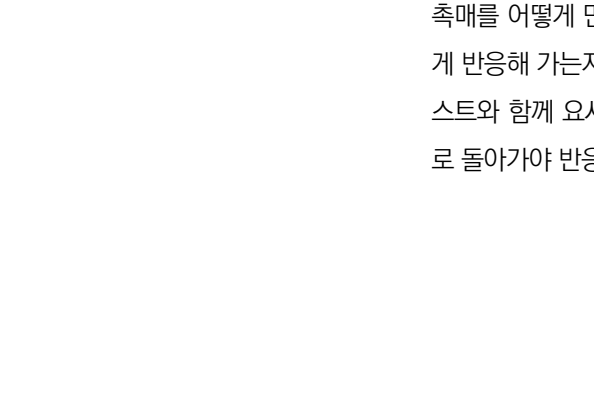
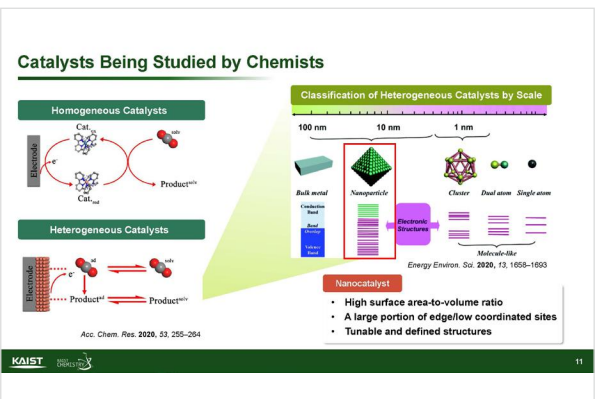
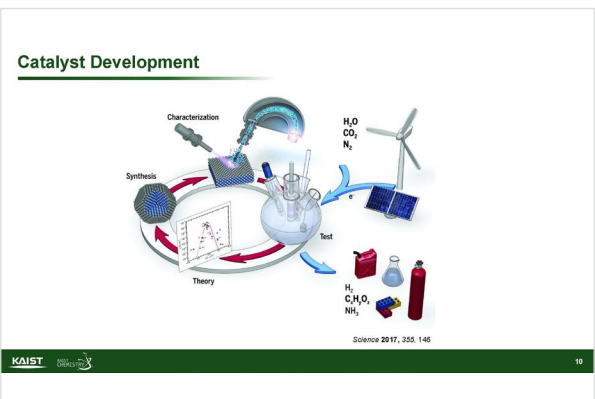
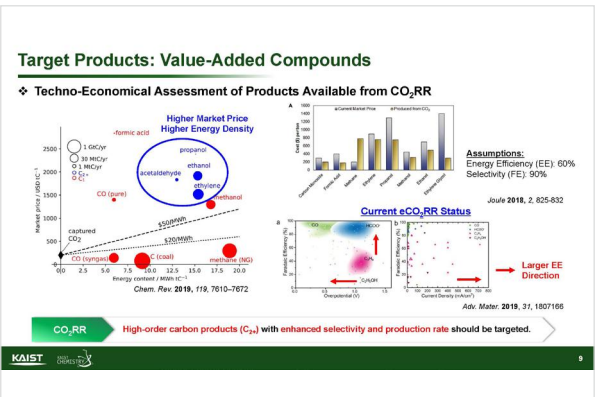
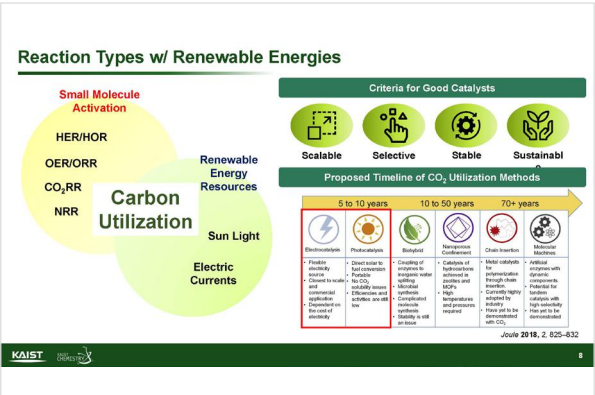
그래서 유기금속화학 또는 화학적 분야에서는 최근에 우리 학과 백무현 교수님께서 새롭게 발견한 방법인 메탄을 선택적으로 활성화시키는 방법이나 또는 상온, 상압에서 질소를 고정하는 방법 등이 연구되어 왔습니다. 하지만 굉장히 공기 노출에 민감하고 경제성 문제가 있어서 실생활에 이용되지는 못하고 있습니다.

그러면 예전부터 한 40년 연구해 왔던 것들이 왜 지금 와서 다시 한 번 각광을 받을까요? 바로 소분자 활성화 반응에 신재생에너지(Renewable Energy)가 만나게 되니, 새로운 탄소를 재이용하고 탄소사이클을 회복할 수 있겠구나 하는 아이디어로 연구가 진행되고 있습니다.

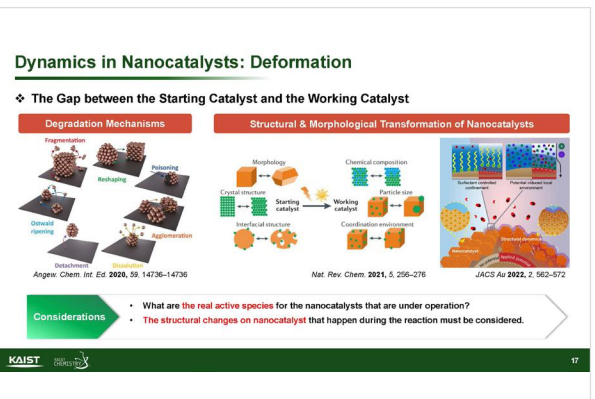
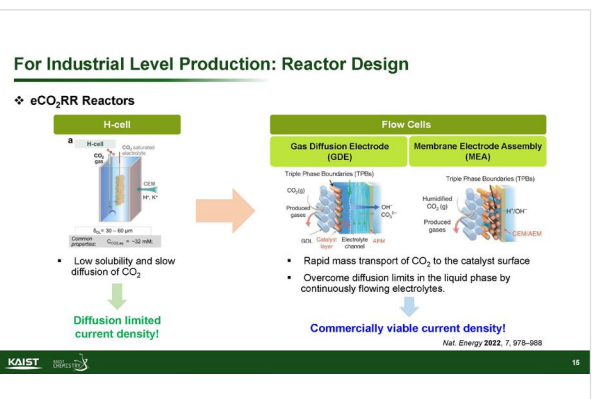
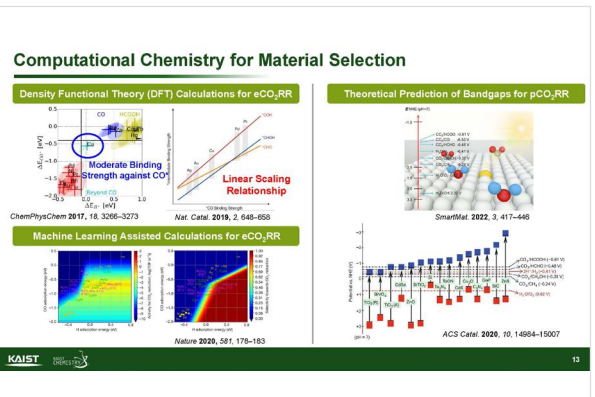
그러면 에너지소스를 뭘 사용할 것이냐를 생각해야 합니다. 여러 가지가 제시되어 있지만 예를 들어서 전기촉매, 광촉매 또 바이오시스템적으로 접근하면 가장 빨리 상용화할 수 있겠다 해서 많은 분들이 연구하고 계십니다.

두 번째로, 반응을 선정했으니 무엇을 만들어야 하나인데요. C1, C2 이렇게 얘기하듯 탄소가 많이 붙을수록 부가가치가 높습니다. 동시에 탄소가 많이 붙을수록 선택적으로 하나만 얻기가 상당히 힘들어집니다. 그래서 부가가치가 높은 쪽으로 지금 많은 연구가 진행되고 있습니다.

그러면 어떤 반응을 할지를 선택했고 무엇을 만들지 알았으니 그다음에 할 일은 화학적으로 정의할 수 있는 촉매 개발입니다.



촉매를 어떻게 만들 것이냐에 관하여 크게 네 가지 정도로 봅니다. 합성, 또 어떻게 반응해 가는지 특성화. 그리고 셀을 만들어서 실제로 적용해야겠죠. 그래서 테스트와 함께 요새는 이론적인 접근방법이 많습니다. 이런 것들이 계속 피드백으로 돌아가야 반응을 할 수 있습니다.

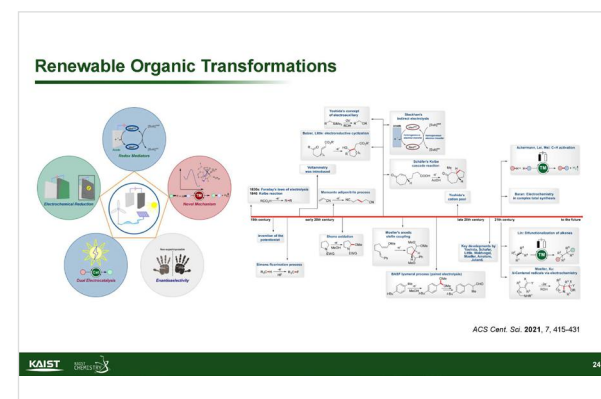
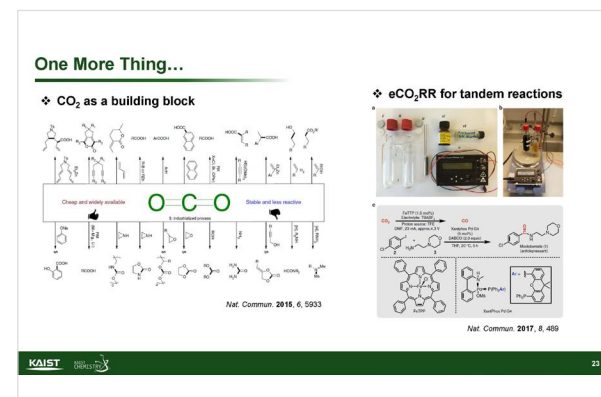
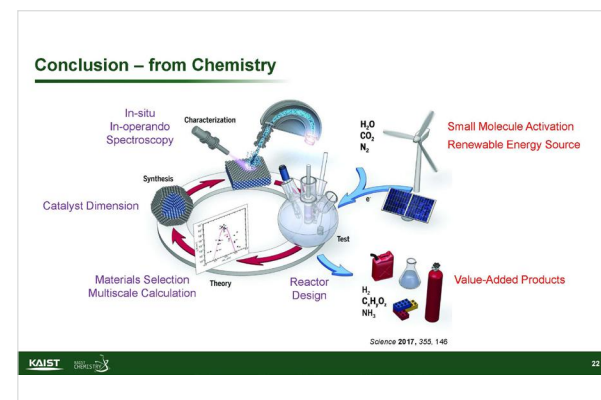
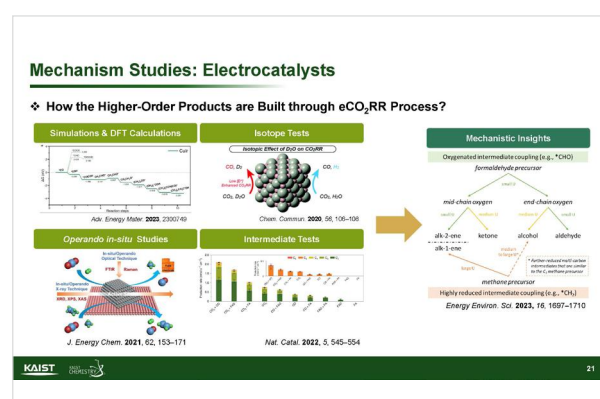
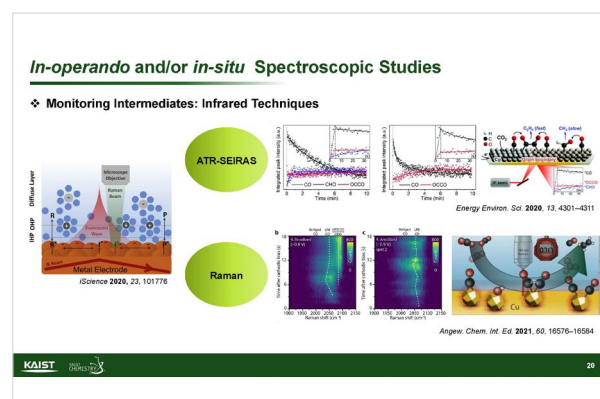
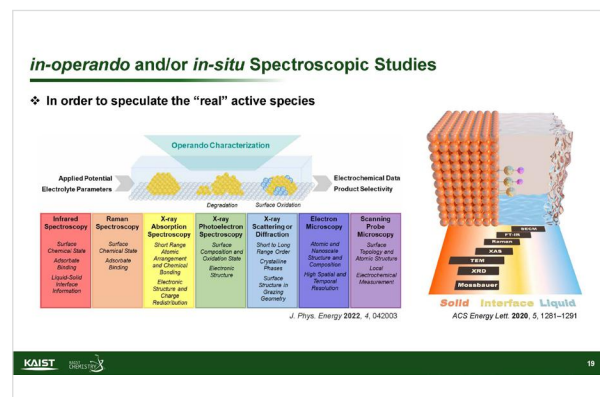
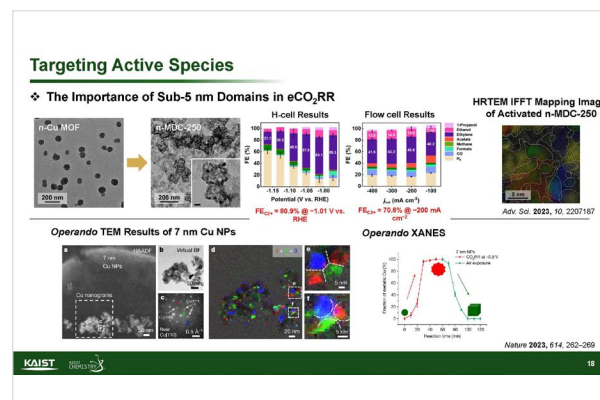


촉매 개발에 있어서도 최근에 각광받고 있는 단원자 촉매라든지, 나노입자 사용 등 어떤 촉매의 형상학적 차원에 대해서 많은 연구가 되고 있습니다. 촉매를 그냥 연구하는 것이 아니라 반응에서 가장 중요한 것이 무엇인지를 생각해야 합니다. 예를 들어 전기촉매는 기체가 붙었다가 떨어졌다 하는 것이 가장 중요할 수 있고요. 또 광촉매에서는 전자와 홀이 나눠지는데 이것들을 어떻게 오래 유지하느냐가 중요하겠단, 이렇게 초점을 잡아서 연구를 진행하고 있습니다.

아울러 최근 머신러닝이나 AI 같은 것들이 촉매 개발에도 굉장히 많이 쓰입니다. 예를 들어 수많은 조성 중에 어떤 것들이 가장 좋을 것인가를 전체적으로 데이터 처리를 해서 뽑아주면 화학자들이 받아서 같이 새로 촉매를 개발합니다.

말로만 할 것이 아니라 실제로 합성해야 하는데, 합성할 때는 형상을 조절하거나 조성을 직접 조절하는 일들이 진행됩니다.

최종적으로는 셀을 만들어서 응용까지 가야 합니다. 그래서 여러 공학자와 화학자들이 모여서 여러 가지 셀들을 디자인하고 반응을 진행하고 있습니다. 그런데 여기서 한 가지 문제는 촉매 셀을 만들면 촉매를 다시 디자인해야 한다는 것입니다. 왜냐하면 반응 조건에 따라서 많이 달라지기 때문입니다. 최종적으로 셀을 만드는 것과, 다시 처음으로 돌아가서 촉매 디자인을 계속 피드백하면서 새로운 촉매들을 지금 제안하고 있습니다.





마무리하며, 말씀드렸듯이 처음 반응을 소분자 활성화, 거기에 신재생에너지를 더해서 부가가치가 높은 것들을 만들고, 그리고 촉매를 개발하는 데 있어서 다양한 분야에 있어서 화학자들의 역할이 굉장히 높다는 것을 알 수 있습니다.

화학이 신재생에너지 개발과 탄소중립에 굉장히 큰 역할을 하겠구나 생각하시겠지만, 신재생에너지도 화학의 큰 트렌드를 바꾸고 있습니다. 예를 들어 이산화탄소에 당장 촉매반응을 시킨다든지, 이산화탄소를 일산화탄소로 바꾼 다음에 바로 의학합성에 쓴다든지, 아예 반응을 화학적으로 보내지 않고 전기화학적이거나 광합적인 방법을 통해 실제로 신재생에너지로 바로 쓸 수도 있으면 얼마나 좋겠어요.

그래서 전방위적으로 화학은 신재생에너지에, 신재생에너지는 화학에 서로 영향을 미쳐서 앞으로 많은 발전이 있을 것으로 생각합니다.

마지막으로 드리고 싶은 말씀은, 화학자들과 기초과학자들이 탄소중립과 관련하여 많이 일을 하고 있으니, 다음 모임에는 자연과학자가 저 말고도 많은 분들이 같이 참여할 수 있으면 더욱 좋겠습니다.



성영은 서울대 화학생물공학부 교수

저는 서울대학교 화학생물공학부에 있고 현재 한국전기화학회 회장을 맡고 있습니다. 오늘 제가 말씀드릴 내용은 수소기술입니다. 디테일한 수소기술을 말씀드리기 보다는 탄소중립과 관련된 두세 개의 이슈만 제기하겠습니다.

수소경제, 수소산업, 수소기술에 관한 엄청난 논문과 제안서(proposal)과 보고서들이 있습니다. 책이 너무 많아서 다 보지 못할 정도입니다. 그런데 그 내용들을 보면, 다 비슷비슷합니다. 거의 같은 내용을 언급하는데, 거기에서 언급된 기술들은 아직 완성되지 않은 기술입니다. 그런데 서로서로 크로스 이 기술이 되면 이 문제가 풀린다는 이런 이야기들을 수년째 너무 많이 하고 있습니다. 그러다 보니 수소기술이 오히려 이미 다 완성된 것처럼 식상할 수밖에 없습니다. 실제로는 기술 개발이 별로 되지 않았는데, 말만 무성하다 보니, 굉장히 많이 한 것처럼 느껴질 수밖에 없습니다.

우리나라도 비슷합니다. 수소와 관련된 연구를 엄청나게 많이 한 것 같은데 가만히 따져보면 실제로는 별로 하지 않은 것이 현실입니다.



온실가스 배출과 수소기술

우리나라 온실가스 배출 6.8억톤 (2021년)

- ✓ 에너지 전환 (32.7%),
- ✓ 산업 (29.6%) : 철강 14.3%, 화학 7.8%, 시멘트 3.5% 등
- ✓ 수송(14.4%) 등

NDC*(2023.3) 2018년 배출량(7.276억톤) 대비 40% 감축 (4.366억톤)

- ✓ 에너지 45.9%
- ✓ 수송 37.8%
- ✓ 산업 11.4%
- ✓ 수소/CCUS/국제감축으로 산업 등의 부족분 감축

NDC를 위한 수소기술

- ✓ 수소차 ~3만대 → 30만대, 청정수소 발전 0 → 2.1%

*Nationally Determined Contribution, 국가별 온실가스 감축목표

Q. 탄소중립 수소산업 발굴 및 구축

2021년에 우리나라 온실가스 배출이 6.8억 톤이었습니다. 2018년은 7.2억 톤으로, 코로나 기간에 다소 감소했습니다. 불행히도 일시적으로 감소한 것이고 다시 확 증가하는 추세입니다. 중간에 NDC, 올해 2023년 3월에 우리가 UN에 보고할 온실가스 배출 감축 목표를 2018년 대비 40% 줄이겠다고 했습니다. 그런데 40%를 줄이는 데 있어 지금 정부 들어서 이전과 조금 바뀐 것이 있습니다. 산업 쪽은 11%만 줄이고 나머지 차액을 에너지, 수소 등등 다른 데서 채워서 전체적으로 40%쯤 줄이겠다는 것이 목표입니다. 어찌 보면 수소가 훨씬 비중이 많아진 형편입니다.

그런 면에서 수소산업을 발굴해야 하는 것이 어찌 보면 당연한 과제입니다. 막연하게 수소가 문제를 풀어줄 것이라고 해서 수소를 집어넣기는 했는데, 막상 수소 연구를 하는 사람 입장에서는 아직 기술적으로 굉장히 부족합니다. 이러한 상황에서 부담을 주면 엇박자가 날 수 있습니다. 전체적으로 노력해야 하는 상황입니다.

목표기한이 7년 남았는데, 발전, 자동차, 산업에서 거의 절반을 줄이겠다고 목표를 세웠으니 7년 만에 지금의 절반, 반토막내기 전에는 안 되는 목표입니다. 이것을 우리가 지금 실현하겠다고 하니, 엄청난 노력을 해야 하고, 국민적 호소를 해서 고통 분담도 해야 하고, 할 수 있는 모든 것을 다 해야 하는 입장입니다. 그런 면에서 우리 과학기술계도 단순하게 볼 것이 아니라, 올인해야 하지 않을까, 저는 그렇게 생각합니다.

지금 3만 대가 다니는 수소차를 2030년에 30만 대로 늘리겠다, 청정수소를 사용하는 발전은 아직 0%인데 이것을 2%로 높이겠다는 것은 너무나 도전적인 목표입니다. 국가적으로도 12대 국가전략기술, 100대 탄소중립 핵심기술 등을 연이어 발표하고 있습니다. 그 안에 상당수가 수소와 관계가 있습니다. 일단 수소 자체는 온실가스 배출이 0이니까 어떻게 하든 수소기술과 조합하면 목표를 달성할 수 있을 것처럼 보입니다. 그렇다 보니 여기저기에서 수소를 집어넣고 있습니다.



온실가스 배출과 수소기술

우리나라 온실가스 배출 6.8억톤 (2021년)

- ✓ 에너지 전환 (32.7%),
- ✓ 산업 (29.6%) : 철강 14.3%, 화학 7.8%, 시멘트 3.5% 등
- ✓ 수송(14.4%) 등

NDC*(2023.3) 2018년 배출량(7.276억톤) 대비 40% 감축 (4.366억톤)

- ✓ 에너지 45.9%
- ✓ 수송 37.8%
- ✓ 산업 11.4%
- ✓ 수소/CCUS/국제감축으로 산업 등의 부족분 감축

NDC를 위한 수소기술

- ✓ 수소차 ~3만대 → 30만대, 청정수소 발전 0 → 2.1%

*Nationally Determined Contribution, 국가별 온실가스 감축목표

Q. 탄소중립 수소산업 발굴 및 구축

수소기술 개발 전략

수소, 12대 국가전략기술
수소, 탄소중립 100대 핵심기술의 다수

수소 공급: 수전해 수소 생산 등
에너지통합연계: 전력-열-수소 하이브리드 시스템 등
수소암모니아, 미분탄 보일러 암모니아 혼소 등
(청정화학발전) 수소 혼소 방식의 가스발전 등
발전용연료전지: 연료전지 복합발전 기술 등
수소환경제철: 수소환원 제철, 新전기로 등
수소차용 연료전지: 연료전지 내구성 향상 등
무탄소 선박: 선박용 연료전지 및 배터리 시스템 등

수소 생태계 구축, 청정수소 선도국가
수소차 보급 확대, 청정수소 발전
수전해 기반 그린수소 핵심기술 실증
수소액화플랜트, 수소배관망 인프라 구축

- ✓ 미래기술(난제): 그린수소 AEM 수전해, 고성능 저가 소재/소자, 신공정
- ✓ 신산업 도출: 철강수소환원, 저탄소 블루수소, 수소 화학공정, 다양한 FC 모빌리티
- ✓ 실용화: 알칼리 수전해(기술도입 혹은 scale-up), 블루수소, 그린수소, 수소캐리어
- ✓ 공공기술: 수소 인프라, 수소연료전지 청정발전

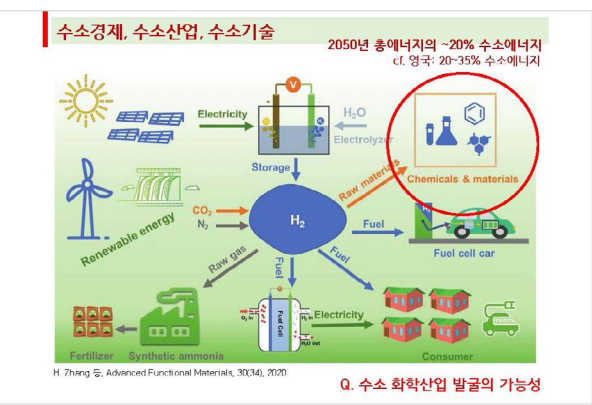
Q. 수소기술의 산업화

수소기술에 대한 이슈들

수소 생산 및 경제성 확보 이슈

- ✓ 저탄소 수소: CO₂ 현재(10.92kg/kg H₂) 기준 60% 이상 감축한 개질 수소
- ✓ 무탄소 수소(~그린수소) 생산: 수전해 혹은 저탄소 기준 이하 배출 수소

수소산업 발굴 이슈 (화학, 재료(철강), 전기 등)
수소 저장, 운반 이슈 (수소캐리어)
수소연진, 연료전지 등 모빌리티 이슈
수소연료전지 발전 이슈
인프라 구축 이슈
사회적 합의 이슈



수소 화학산업

수소 및 관련산업
수전해, chlor-alkali, 연료전지
과산화수소
암모니아
요소, 메탄올 등 탄소 + 수소 화합물

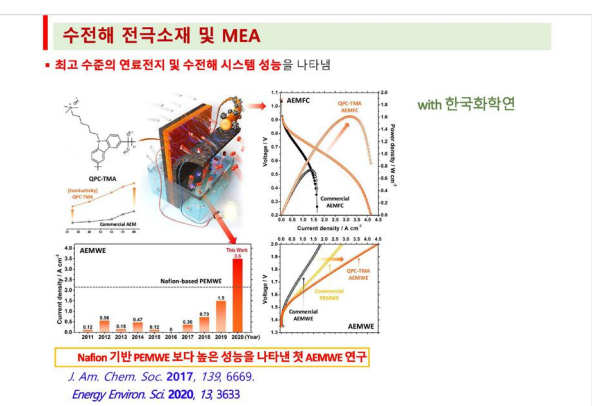
수소 없는 화학물질은 거의 없다!
전기화학공정(Electrification) : 수소 발생(음극)

서울대 사례: 전기화학적 과산화수소 생산

Atomic-level tuning of Co-N-C catalyst for high-performance electrochemical H₂O₂ production
Supramolecular tuning of supported metal phthalocyanine catalysts for hydrogen peroxide electrosynthesis

세계 100대 산업용 화학 물질인 과산화수소
산업용 친환경 산화제
반도체 세정제
의료용 멸균제
펄프, 섬유, 폐수처리 등등

현재 과수 생산공정: 수소공정



하이브리드 시스템, 혼소, 복합 등등의 용어를 써 가며 각 기술마다 수소와 관련된 것을 다 포함되게 해 수치를 맞추겠다는 것인데, 막상 수소 자체도 아직 기술적인 한계가 있다 보니 복합에서 과연 될 것인가 하는 문제가 있습니다. 그런데도 이런 기술들이 굉장히 좋은 용어로 100대 핵심기술 등등에 들어있으니까, 우리가 열어놓고 많은 토론을 해야 한다 생각합니다.

이슈는 굉장히 많습니다. 가장 큰 이슈는 최근에 수소를 소위 청정수소라 해서 CO₂가 수소를 현재 개질수소를 만들면 기술적으로 수소 1kg을 만드는데 10.9kg 이산화탄소가 발생합니다. 이것이 현실적입니다. 그런데 아마 조만간 산업 통상자원부에서 4kg 정도의 이산화탄소 발생을 목표로 할 것 같습니다. 4kg 이하면 청정수소로 인정해 주겠다는 것인데요. 어떤 국가는 3.5kg으로 하기도 하고 3.75kg으로 하기도 하는데, 대체로 60% 감축한 수소 정도를 저탄소 혹은 청정수소로 부를 것 같습니다.

물론 아예 물을 전기분해 하면 무탄소, 그린수소가 됩니다. 그러나 이것은 아직까지 가격이나 여러 면에서 갈 길이 멉니다. 청정수소를 만들려고 해도 현재 10kg의 이산화탄소를 만드는 것을 4kg을 만들려면 여기에 또 그린수소가 포함되어야 합니다. 그린수소와 합쳐야 4kg가 되고, 또 거기에 CO₂를 저장하고 뽑아내서 CO₂를 따로 저장하면 확 줄어들겠조. 그런 기술들이 복합되어야 저탄소, 청정수소, 무탄소 이런 것이 나옵니다. 이것이 가장 큰 이슈이고, 이 이슈와 관련해서 가격이 굉장히 많이 떨어져야 하는 그런 문제가 있습니다.

그다음에 우리가 2030년까지는 산업에서 줄이는 비중을 정해두었는데, 결국은 이 수소가 경제적으로, 산업으로 살기 위해서는 수소산업 자체를 발굴하고 민간기업들이 실제로 이익이 나야 뛰어들지 않겠습니까? 그 단계까지는 정부가 많은 예산을 들여서 인프라도 구축해 주어야 하는데, 언제 정부 예산을 투입할 것인가 하는 산업 발굴 문제가 이슈입니다. 저는 화학 쪽이니 어쨌든 화학산업에서 많이 발굴해야 한다고 생각하고요.

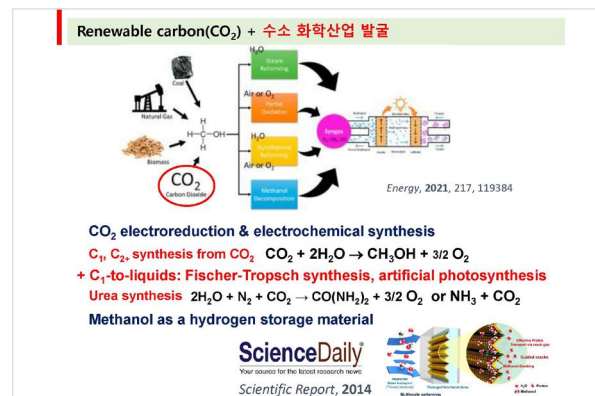
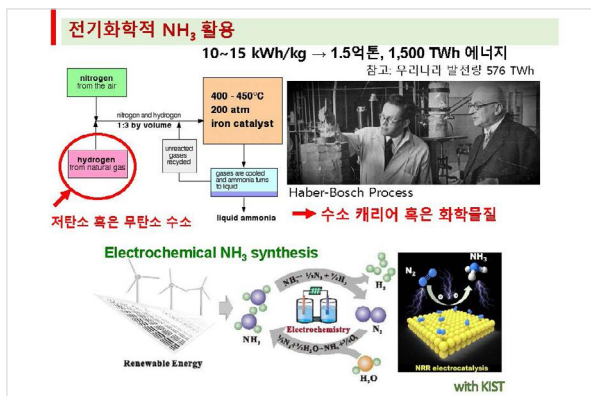


우리 산업에서 지금 온실가스 배출이 1위가 29.6% 중에서 철강이 24.3%이고 화학산업에서 7.8%, 시멘트에서 3.5%입니다. 그러니까 철강에서 탄소 대신 수소를 사용하는 공정 등으로 노력은 하고 있습니다. 그와 같은 노력이 화학에서도 이루어져야 탄소가 확실히 줄어 들 수 있는 것이 되겠죠.

우리나라뿐 아니라 전 세계적으로 장기적으로는 2050년에 총에너지의 20% 정도를 수소에너지로 쓰겠다고 합니다. 최근에 영국에서는 수치를 좀 더 높여 35% 까지 목표로 합니다. 그러면, 어떻게 도달할 것인가의 문제가 있습니다.

실제적인 사례를 하나 들어 말씀드리겠습니다. 수소화학산업이 도대체 무엇인가, 이것을 발굴하는 내용이 무엇일까요 같이 생각하면 좋겠습니다.

수소화학산업이라 하면 수소 및 관련 산업이 있습니다. 가장 일반적으로는 수전해를 많이 생각합니다. 물을 분해해서 수소를 만드는 것, 이것을 수소산업에서 가장 크게 생각합니다. 그러나 이것만 가지고는 수소산업이 되기는 어렵습니다. 일부에 불과하지 않은 분야가 수소산업에 포함되어야 수소경제까지 가는 수소산업이 될 수 있다고 생각합니다.



지금 우리나라에 클로르알칼리(chlor-alkali), 바닷물을 분해해서 염소와 NaOH 가성소다를 만드는 산업이 굉장히 큼니다. 대기업들이 많이 참여하고 있고, 거의 300만 톤 정도를 만들어서 생산하고 있습니다. 이것이 사실 보면 여기에 수소 부산물이 나오고, 또 바닷물을 분해하기 때문에 수전해 공정과 굉장히 유사합니다. 넓게 보면 수소산업이라고 할 수 있습니다.

그러나 클로르알칼리(chlor-alkali) 안에 들어가는 우리의 자체 기술이 있느냐 하면, 불행히도 없습니다. 이것이 전기화학 공정인데 전극을 다 수입해서 들여오고 그냥 가동만 하고 있는 상황입니다. 전극이 고장이라도 나면 다시 보내서 수리해야 합니다.

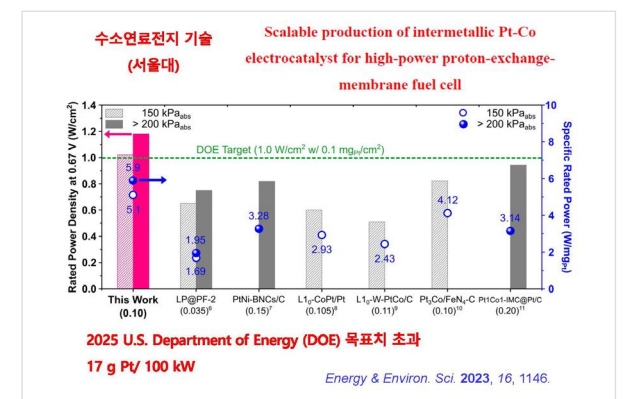
우리나라 화학산업 기술 자체가 매년 목표지향적이라 끝없이 생산량을 늘려야 하는 실정입니다. 우리 기술을 도입하는 시도를 해서 생산량이 잠깐 줄어들더라도, 자체 기술을 도입할 수 있어야 하는데 우리 산업 구조는 지난 수십 년간 끝없이 수치를 높이는 것에만 집중합니다. 그러다 보니 대기업에서 누가 CEO를 맡아도 자기 임기 동안에는 새로운 시도를 할 수가 없죠. 이전보다 더 목표를 높여야 한다는 것이 계속 반복되고 있습니다.

잠깐 멈추고 새로운 기술이 도입되는 이런 구조가 되어야 합니다. 그런 면에서 수소산업과 같은 아예 새로운 산업이 들어갈 수 있는 토양이나 또 정부의 인프라나 지원, 실증과 같은 것이 도입되면 좋겠습니다.

물론 잘 알려진 연료전지도 수소산업입니다. 제가 잠시 소개할 과산화수소, 암모니아, 앞서 발표한 탄소 C1 등과 수소를 합치는 것들이 크게 보면 다 수소산업이라 할 수 있습니다. 잘 아시다시피 수소 없는 화학물질은 거의 없기 때문에 모든 화학물질에 수소가 다 들어 있다고 할 수 있습니다.

현재 많은 화학공정을 전기화하려고 합니다. 오염 배출이 없는 전기화(Electrification)로 전기공정을 도입하면 반드시 음극 전극에서는 수소가 부산물로 발생합니다. 어찌 보면 실제로 전기공정을 도입한 많은 산업에서 수소가 부산물로 나오고 있지만, 지금 다 버리고 있습니다. 경제성이 없기 때문입니다. 이런 것들도 수치화하고 잘 들여다볼 필요가 있겠습니다.

서울대 사례를 몇 가지 말씀드리면, 저희가 전기화학적 과산화수소 생산 연구를 하고 있습니다. 과산화수소를 전기화학적으로 해서 현재 안트라센(anthracene)이라는 유기물 질에 수소를 붙여넣고, 산소와 합쳐서 과산화수소를 만드는 공정인데요. 몇 년에 걸쳐서 전기화학적으로 한 6% 이상 되는 과산화수소를 만들었습니다.



이것이 왜 수소산업이나 하면, 현재 과산화수소 생산이 세계 시장에서 7조 정도 되는 규모인데, 여기에 엄청난 수소가 사용됩니다. 여기에 다른 공정이 도입되어 이 수소를 연료전지 연료로 사용하든, 다른 부분에서 사용할 수 있으면 굉장히 좋습니다. 그런 면에서는 크게 보면 수소산업이라고 할 수 있습니다.

그런데 문제는 우리가 발표를 하면 우리나라에서 알려진 대기업들이 다 와서 같이해 보자고 합니다. 그러면서 저한테 어느 정도 크기까지 해 봤느냐 하고 물어봅니다. 저희가 5cm²의 전극 크기까지를 테스트해 봤다, 그러면 기업에서는 더 큰 파일럿 스케일(pilot scale)을 해 보셨느냐 묻습니다. 못 해 봤다 그러면 대강 하다가 그칩니다.

이것이 스케일업(scale-up) 되어서 기술로 구현되면 좋은데 대학과 기업 사이의 간격이 너무 크다 보니, 많은 기술이 엉터리거나 거짓말이거나 전혀 아닌 것이 아닌데도 별것 아닌 기술로 사장되고 넘어갑니다. 아마 서울대뿐 아니라 전국 대학에서 이루어지고 있는 많은 연구 결과가 대부분 이런 식으로 거의 사장되는 그런 현상인 것 같습니다.

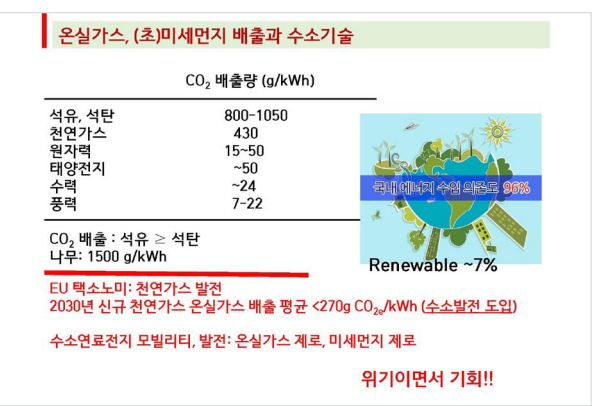
그러면 결국 기업에서는 대학 연구가 부실하다, 엉터리다, 실제 가능성이 별로 없는 연구다, 그냥 논문용으로 했다 그렇게 말합니다. 사실은 논문용이라기보다 이것을 실현할 수 있는 연결고리를 만들어줘야 하는 그런 과제들이 있습니다.

저희가 화학연구소나 수전해, 이런 것도 보면 굉장히 좋은 수치가 나왔는데요. 화학연구소에서 좋은 전해질막을 만들어서 좋은 성능을 냈는데, 전해질막이 좋아서 다 되는 게 아니고 전해질막과 그 위에 전극 기술과 여러 기술이 조합되어야 최고성능이 나옵니다. 이것이 또 그렇게 조합되어서 어떤 성능이 나오고 나면 더 이상 연속되는 연구를 할 수 있는 여건이 사실은 안 됩니다. 논문이 나오면 그것으로 종결되고 성공으로 평가되고 일이 마무리됩니다. 그렇게 되면 실제로 산업적으로는 별 영향 없이 끝나버리고 맙니다.

암모니아 같은 연구도 지금 어쨌든 수소 저장을 위해서는 암모니아가 좋은 후보라서 이 암모니아를 가지고 연구하는데, 암모니아를 만들기 위해서 지금 필요한 에너지가 우리나라 총발전량의 한 3배 정도 됩니다.

수소산업이 실제로 발굴되기 위해서는 수소산업 자체, 수소 자체만 보면 안 되고 탄소하고 항상 같이 연결해야 합니다. 왜냐하면 모든 화학물질이라는 것은 결국 탄소가 구성되어 있으니까 탄소하고 수소를 연결해서 같이 보는 시각이 필요합니다. 저희도 그런 연구를 하고 있습니다.

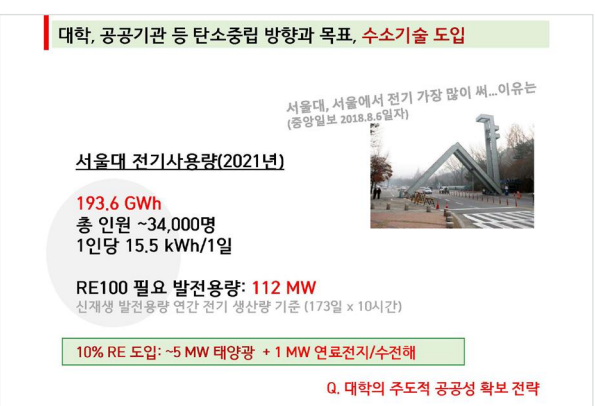
요지는 대학에서 기술이 어떻게 스케일업(scale-up), 전기화학공정 개발까지 갈 수 있을 것인가입니다. 앞에서 송 교수님은 기초과학에 대해서 중요성을 말했는데 응용기술, 막상 우리 엔지니어링을 따져보면 우리나라 스케일업(scale-up) 기술이나 엔지니어나 실제로 이런 큰 사이즈의 전극을 만드는 엔지니어를 구하기가 참 어렵습니다.



아까 말씀드린 대로 대학 기술이 실제로 산업 현장에 갈 수 없으니까 많은 대학에서 교수들이 창업해서 직접 해 보려고 하는데, 사실 여기에도 똑같이 엔지니어링 문제, 스케일업(scale-up) 하는 데 필요한 전문인력이 없으니 몇 년 하다가 또 대부분 접게 되는 그런 상황이 발생합니다. 실험실의 스케일을 어떻게 하면 산업으로 실현할 것인가 하는 데 신경을 써 주시면 좋겠고요.

마지막으로 서울대 상황을 말씀드리고자 합니다. 서울대가 서울에서 전기를 가장 많이 씁니다. 작년 통계는 없고, 재작년인 2021년 통계를 보면 193GWh를 사용합니다. 1인당 하루에 15.5kWh입니다. 우리나라 가정에서는 평균 10kWh를 쓰는데, 서울대는 1인당 15.5kW라는 엄청난 전기를 사용하고 있습니다.

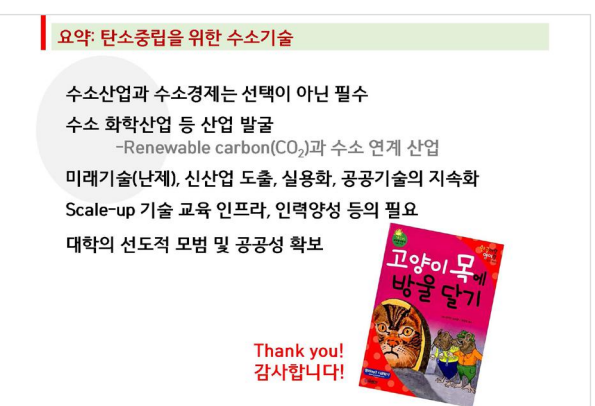
만일 RE100 신재생을 서울대가 모범을 보인다면, 제가 보기에는 한 100MW 정도의 파워가 있으면 될 것 같습니다. RE100은 그만두고 10%만 재생을 하려고 한다면 5MW 태양광, 1MW 연료전지, 수전해를 설치하면 어떨까 합니다. 교육이나 기타 실험용이 아닌 일반적인 전기는 이런 식으로 수요를 충당하면 10% 정도는 하겠고, 운전을 잘하면 20%



까지도 올라갈 수 있을 것이라고 봅니다. 이렇게 대학의 주도적 공공성 확보 전략을 제안합니다.

수소산업은 발굴하는 문제, 그다음에 스케일업(scale-up)하는 문제가 있습니다. 대학이 모범을 보여야 합니다. 대학뿐 아니라 공공기관들에서도 노력한다면, 우리가 7년 만에 온실가스 40%를 줄이는 아주 획기적인 일을 해낼 수 있지 않을까 싶습니다.

고양이 목에 방울 달기입니다. 말은 무성한데 실제로 어느 누구도 먼저 시작을 안 하는 게 문제이죠. 오늘 KAIST-서울대 탄소중립 포럼을 계기로 우리가 고양이 목에 방울을 먼저 달았으면 좋겠습니다.



Q&A

Q

김상협 | 2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장

말씀 잘 들었습니다. 수소에 너무 많은 부담을 드려서 굉장히 송구스럽게 생각합니다. 제가 이집트 기후변화당사국 총회에서 사우디아라비아의 에너지부 장관을 만났는데요. 어쨌든 지금은 세계에서 석유를 제일 많이 수출하는 나라가 사우디이지 않습니까? 그런데 앞으로는 수소를 가장 많이 생산하는 나라가 될 것이다, 그러면서 한국이 수소경제에 가장 베스트파트너가 될 것이라고 하더군요.

그런데 그 전제는 사우디의 수소를 가져다가 한국이 그것을 잘 활용할 국가가 될 것이라는 얘기죠. 그러니까 지금 우리가 석유를 밖에서 갖다 쓰듯이 결국은 수소도 밖에서 갖다 써야 하는 것 아니냐 이런 말로도 들렸습니다.

그래서 어쨌든 제가 중동 산유국가의 관계를 탄소중립 시대에도 더 발전시키자고 나왔습니다마는 교수님께서 만약 그 자리에 계셨다면 우리도 수소를 생산할 수 있다고 하셨겠습니까, 어떻게 하셨겠습니까?

A

성영은 | 서울대 화학생물공학부 교수

저도 지금 위원장님 말씀에 동의합니다. 좁은 국토에서 우리가 필요한 수소를 다 생산하는 것은 사실 무리입니다. 저도 들어오는 것은 찬성합니다. 그러나 들여와서 고부가가치 산업을 창출해야 합니다. 그렇지 않고 정부 세금으로 운영하는 그런 데서 일부 소비하고 마는 정도가 되면 사실 들여올 가치가 없습니다. 들어온다는 주체도 결국 기업이 될 텐데, 고부가가치 산업에 수소가 사용될 수 있어야 합니다.

Q

김상협 | 2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장

지금 우리가 어쨌든 석유를 들여다가 정유화학은 큰 수출산업이 됐지 않습니까? 우리 수소에도 그런 비전이 있다고 보고 계신지요.

A

성영은 | 서울대 화학생물공학부 교수

그렇죠. 결국은 모든 화학물질(chemical)이 수소와 탄소로 다 결합되어 있는 것이니까요. 물론 그런 면에서 CO₂와 수소를 연결해서 화학물질을 만드는 화학산업을 분명히 육성해야 하고, 할 수 있으면 제철산업, 자동차 수송용에도 수소가 많이 사용되어야 하겠죠.

지구 메타버스 기술

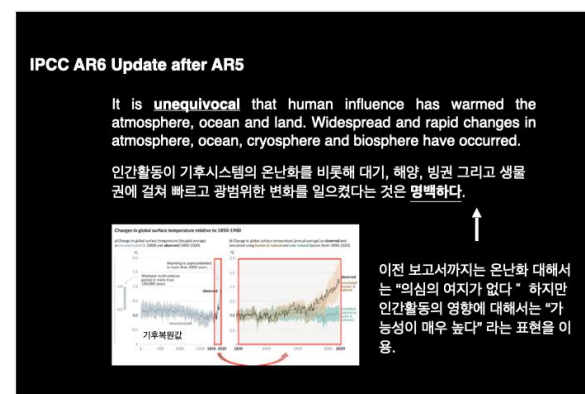


김형준 KAIST 문술미래전략대학원 교수

KAIST 문술미래전략대학원의 김형준입니다. 오늘 발표 중에서 가장 이질적인 발표일 것 같은데요. 저도 일단 베이스가 순수과학이기는 합니다. 오늘 보여드릴 얘기는 사실은 대기 과학 쪽에서는 1960년, 1950년대 후반부터 있었던 기후모델에 대한 연장선상에 있다고 생각하시면 될 것입니다.

1990년에 처음 IPCC의 기후변화보고서가 나왔습니다. 30년이 좀 더 지났는데 2021년부터 올

해까지 6차 보고서 출판이 완료됐고, 그 안에서 제가 가장 중요하다고 생각하는 부분이 이 부분입니다. 인간 활동이 기후시스템의 온난화를 비롯해 대기, 해양, 빙권 그리고 생물권에 걸쳐 빠르고 광범위한 변화를 일으켰다는 것은 명백하다는 것입니다. '명백하다'는 단어를 쓰기 위해서 33년이 걸렸습니다.



처음 보고서를 보게 되면 인간 활동이 온난화에 미치는 영향이 없다기보다 있지 않겠느냐, 이런 정도의 표현을 썼습니다. 그다음에 아마도(likely)라든지 더 가능성있는(more likely), 상당히(significantly), 이런 식으로 사용되던 표현이 우리의 이해가 점점 깊어지고, 다양한 증거들이 모이면서 확신을 가질 수 있는 시점이 되었습니다.

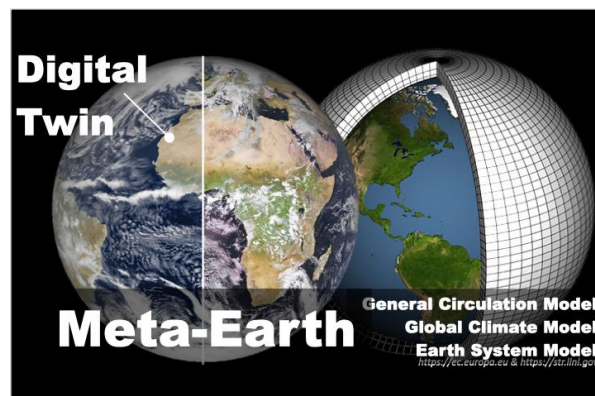
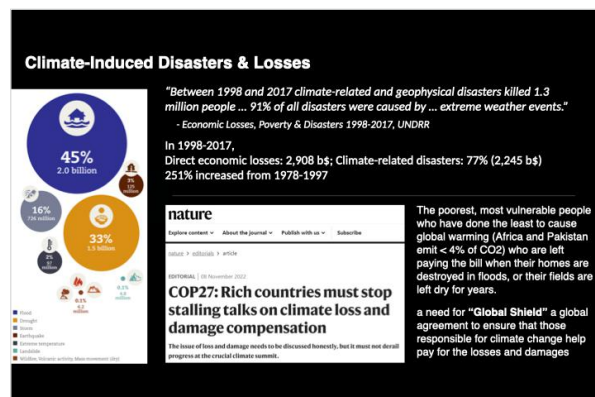
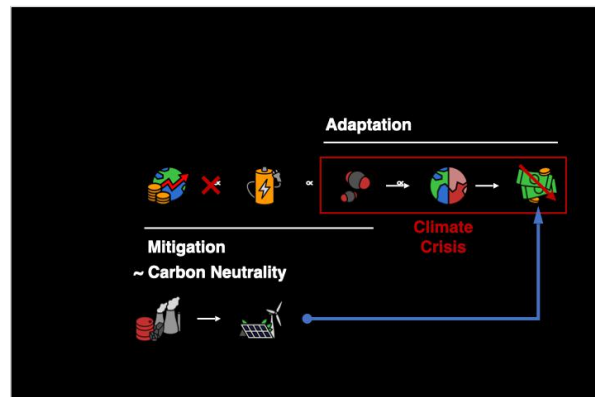
이 사진을 보시면, 1972년에 아폴로17호가 찍은 거의 최초의 지구 풀 디스크샷입니다. 요즘에 인류세라는 이야기 많이 들어보셨을 텐데요. 인류세를 보면 인간이 지구에 어떤 명확한 흔적을 남기는 시대지만 이 사진의 제목은 블루마블입니다. 파랑잡아요. 파란 것은 다 물입니다. 잘 지은 이름이라고 생각합니다. 그리고 하얀색도 실은 물입니다. 얼음도 있고 구름도 있고, 녹색도 거의 물이죠.

여기에서 사람의 흔적은 발견하기 힘들어요. 이것을 밤에 보면 우리가 다른 지구를 볼 수 있습니다. 왼편에 있는 것이 인류세 지구라고 할 수 있고, 오른편에 있는 것이 자연지구라 할 수 있습니다.

왼편에 있는 인류세 지구를 보게 되면 이것이 다 에너지입니다. 여기에서부터 우리가 얘기하는 기후변화 그리고 탄소중립에 대한 당위가 시작됩니다.

간단하게 사회경제적인 발전(socioeconomic development)과 그다음 에너지는 거의 비례관계이고 지금까지는 이 에너지와 이산화탄소, 그러니까 누적량이라는 하지만 온실가스 발생도 거의 비례관계에 있습니다. 그리고 누적 이산화탄소는 또 지구의 평균 온도 상승과 비례(linear) 관계에 있습니다.

왼편에 있는 부분에서 오른쪽으로 가면서 우리가 인지하는 기후변화가 나오게 되는데, 요즘에는 기후변화가 아니라 기후위기라고 하죠. 태풍과 같은 자연재해들이 발생하고 여기에 사회적 비용이 발생합니다. 여기서 보게 되면 왼쪽에 있는 부분을 완화(Mitigation)라고 합니다.



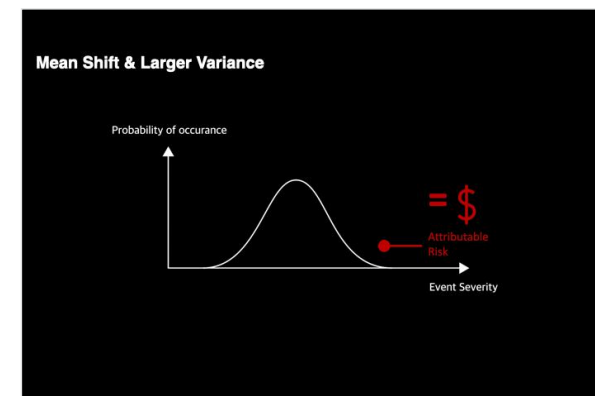
이 기후변화에 대한 대응을 크게 두 가지 측면에서 볼 수 있습니다. 하나가 완화 그리고 오늘 포럼의 주제이기도 한 탄소중립이 결국 완화의 측면입니다. 이 완화의 측면에서는 오늘 훌륭한 교수님들께서 여러 가지 요소 기술들을 소개해 주실 텐데, 원래 온실가스를 배출했던 에너지 생산, 이 고리를 끊는 것이 핵심이라고 할 수 있습니다.

오른쪽을 보시면 이것을 우리가 적응이라고 하는데, 저는 오늘 적응에 대한 얘기를 할 생각입니다. 사실 완화(Mitigation)이나 적응(Adaptation), 이렇게 두 면이 있다고 말씀드리지만, 이 두 개는 사실 연결되어 있습니다. 왜냐하면 우리가 기후변화라는 것을 막는다는 것은 보다 안전한 미래를 위해서이고 이 안전한 미래를 원한다는 것은 궁극적으로는 여기서 필요한 비용을 절감하거나 우리의 피해를 감소시키는 것입니다. 그렇기 때문에 이 완화(Mitigation)에 대한 노력이 적응(Adaptation)에 어떤 식으로 반영되어야 하는지 이 고리를 설명하기 위한 기술이 지구 메타버스 기술이라고 생각합니다.

UN 보고서를 보면 최근에 일어난 자연재해에 90% 이상의 사상자(casualty)가 이상 기상에 의해서 일어났습니다. 그리고 그전의 20년 전과 최근 20년을 비교했을 때 경제적 피해는 250% 정도 증가했습니다.

사실 지금까지도 그래 왔고, 앞으로도 전 세계의 경제는 발전할 것이고, 기본적으로 당분간 인구는 증가합니다. 이렇게 되면 명백하게 다음 20년도에는 이것보다 더 큰 수치가 되어 있을 것입니다.

조금 전에 김상협 위원장님께서 이집트 기후변화당사국 총회(COP27)을 말씀



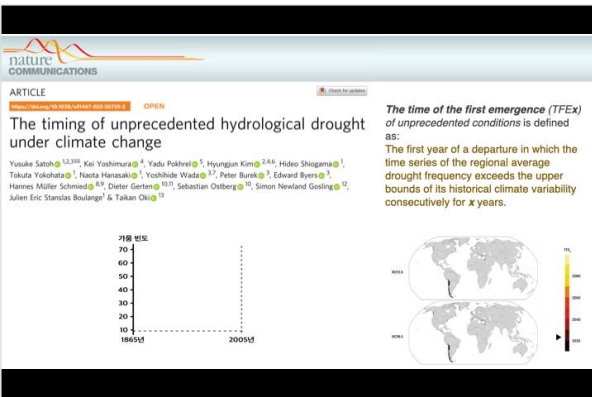
하셨는데, 작년에 있었던 당사국 총회에서 저 개인적으로 굉장히 기다렸던 어젠다가 의결되었습니다. 손실 및 손해 (loss and damage)라고 해서 지금까지는 완화의 측면에 집중되어 있었던 기후변화에 대한 대응이 이제 적응의 측면 까지도 확장되었습니다. 어떤 피해가 있었을 때, 예를 들어서 온난화라고 하는 것이 누적 이산화탄소 배출량과 비례합니다. 그러면 결국 미국이나 중국 그다음 선진국들, 지금까지 많이 배출해 왔던 나라가 현재의 기후 재해에 책임이 있다는 것을 인정하기 시작합니다. 그렇게 되면 어디가 월 얼마를 배출했을 때 어디에 어떤 영향이 생기는지 이런 것을 알아야 하겠죠. 그리고 우리가 개발한 요소기술이 실제로 가상의 지구에 탑재되었을 때 이 가상의 지구가 어떻게 반응하는지를 보며 우리가 평가할 수 있게 됩니다.

원래 전통적인 대기과학에서는 일반적인 순환 모델 (General Circulation Model)이나 아니면 글로벌 기후 모델(Global Climate Model) 아니면 지구 시스템 모델 (Earth System Model) 이런 식으로 부르던 것들입니다. 이 사진을 보면 왼쪽과 오른쪽이 거의 흡사합니다.

바로 말씀드리면 오른쪽에 있는 것은 위성에서 관측한 사진이고 왼쪽에 있는 것은 같은 시점에서 모델이 계산해낸 가상공간에 있는 지구입니다. 예전에 비해서는 훨씬 좋아져

서 이제는 현실에서 이용해도 되겠다, 이 정도까지는 와 있습니다. 사실 아직 갈 길이 멀지만 이제는 현실세계의 질문 (real world question)에 대답을 제시할 수 있는 방법론으로써는 충분히 이용할 수 있는 단계에 왔다고 생각합니다. 그래서 저희가 최근에 유럽이라든지 미국, 특히 선진국 그룹에서는 지구의 디지털트윈 이런 것들을 크게 힘을 기울여서 개발하고 있습니다. 저는 요새 메타어스(MetaEarth)라는 단어를 많이 이용하고 있습니다.

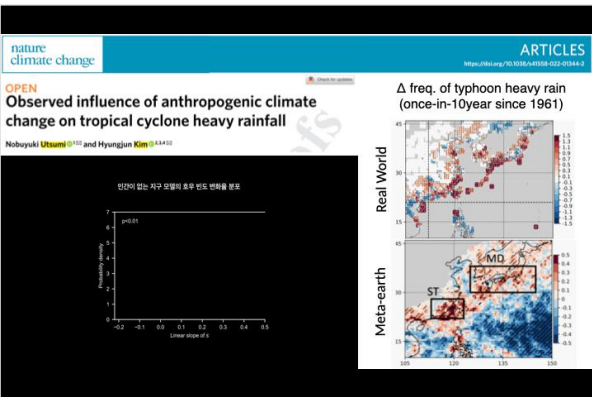
이 그림은 기후변화가 진행되면 왜 우리가 더 큰 피해를 입느냐의 간단한 산수에 대한 그림입니다. 여기 계신 분들은 확률밀도함수 같은 것은 너무나 다 잘 아실 텐데, 왼쪽에 있는 확률이 온난화가 되면서 오른쪽으로 시프트하게 되고 그 다음에 아시는 것처럼 내부에너지가 증가하게 되면서 시스템 변동성이 커짐으로써 어떠한 이벤트에 추가적인 리스크가 훨씬 더 커지게 됩니다. 증폭되는 현상이 발생하는데, 그렇기 때문에 온도가 더 올라가게 되면서 우리가 겪게 되는 피해도 선형관계를 훨씬 넘어가는 이런 추가적인 리스크가 발생하게 됩니다.



그러면 이 추가적인 리스크가 얼마인지 알 수 있습니다. 우리가 에너지를 생산했고 그것 때문에 온실가스 배출이 됐고, 그러면 그것 때문에 추가로 리스크가 얼마나 올라갔느냐, 반대로 우리가 이산화탄소를 억제하고 아니면 줄였을 때 내릴 수 있는 리스크는 어느 정도 되느냐 이런 것들을 정량화할 수 있습니다.

저희 팀에서 작년에 출판한 논문 3편을 간단히 소개해 드리겠습니다. 우선 기후변화에 따라서 가뭄이 어떻게 바뀌는지를 봤습니다. 예를 들어서 어떤 지역에서 과거 최악의 가뭄이라고 할 수 있었던 것들이 일상화되는 시점이 언제인가. 작년 서울에는 110년 만의 폭우가 왔죠. 이런 식으로 뭔가 왔는데 이것이 2040년이 됐더니 매해 그것이 오더라. 그러면 우리의 사회 인프라가 바뀌어야 합니다.

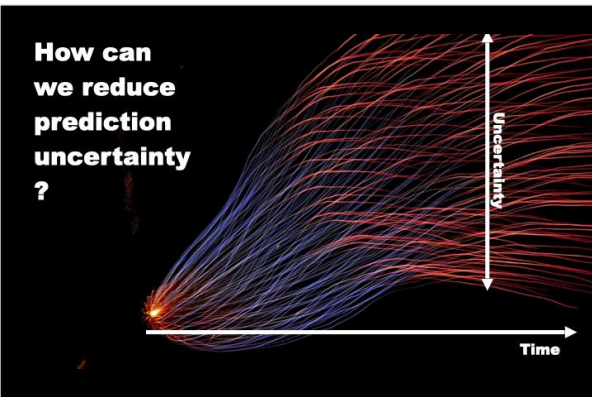
그러면 이것에 대해서 어디까지 보고 얼마만큼 투자해야 하는지 알아야 합니다. 작년에 태풍 힌남노 같은 재해에 의해 경제적으로 큰 피해가 있었습니다. 이런 부분들에 대해서 우리가 어떻게 대비해야 하는지, 이 확률이 어느 정도 되는지 이런 것들을 볼 수 있고 지역적인 차이가 나타난다는 것을 알 수가 있었습니다.



작년에 힌남노 태풍이 있었던 것처럼 최근에 태풍에 의한 호우도 굉장히 많아지고 있습니다. 이것을 보게 되면 오른쪽 그림이 위쪽에 보시면 실제관측값입니다. 60년 동안 빨갈게 된 곳은 태풍에 의한 호우가 증가한 지역입니다.

그런데 이것을 사람이 있는 지구와 없는 지구를 가지고 비교해 봤습니다. 그런데 지금 여기서 얘기하는 것들은 확률이 굉장히 낮은 것들이기 때문에 한 번만 실험을 해서 비교해 볼 수 있는 것은 아닙니다. 신의 주사위일 수 있거든요. 굉장히 낮은 확률이지만 무작위로 발생할 수 있는 부분입니다. 그렇기 때문에 사람이 있고 없는 지구를 셋업해 놓고 천 년, 만 년 이렇게 시뮬레이션한 다음에 비교합니다. 그렇게 했더니 사람이 있는 지구에 실제 일어난 패턴과 굉장히 비슷한 공간 패턴을 발견할 수 있었습니다.

optimal finger print라는 방법이 있는데 이것을 가지고 인류세 지문이라고 하는 신호를 뜯어냈습니다. 이 회색으로 보이는 선이 사람이 없는 지구에 대한 인류세 지문의 강도라고 보시면 됩니다. 거의 0 근처에서 왔다 갔다 하는 것을 볼 수 있습니다.

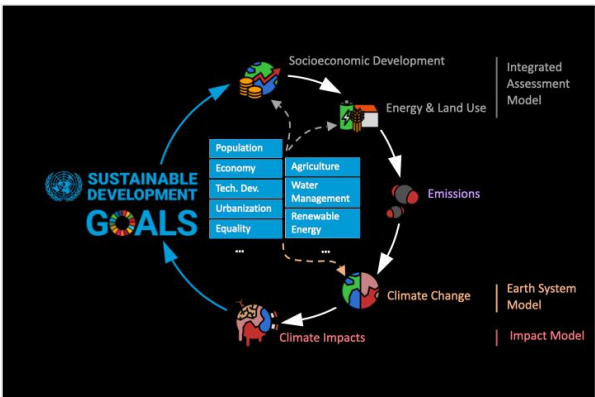
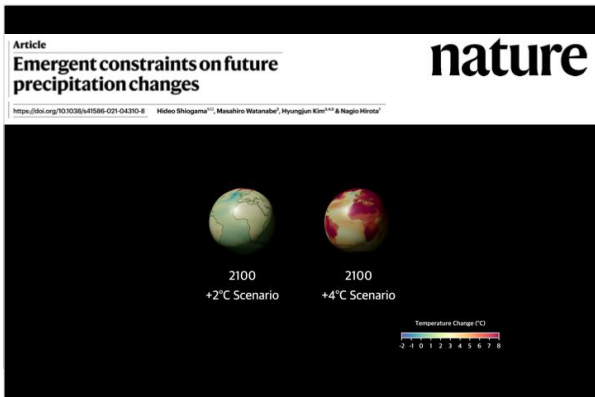




빨간색은 실제 일어난 지구입니다. 1970년대 이후에 우리가 말하는 자연 변동성을 훌쩍 넘어가서 돌이킬 수 없는 강을 건너고 있다는 것을 볼 수 있습니다. 그리고 통계적으로 봤더니 굉장히 확률이 낮더라는 것을 알 수가 있었습니다.

지구의 날씨라든지 지구 시스템을 얘기할 때 많이 나오는 이론 중 하나가 카오스 이론입니다. 왜냐하면 굉장히 복잡하고 거대한 비선형계이기 때문에 어떤 조금마한 차이가 시간이 지나면서 굉장히 크게 다른 길로 가고, 경로들도 굉장히 많이 달라집니다. 저는 대기과학을 전공해서 그런지 옛날에는 주변에서 매일 날씨를 저한테 많이 물어보더라고요. 당연히 저는 모르죠. 날씨는 기상청에 물어봐야죠.

그런데 사실 내일 강수확률이 50%라고 얘기했을 때 그 정보는 얼마나 유효할까요? 굉장히 애매합니다. 그렇다 할지라도 어떻게 대응할지 결정은 해야 하죠. 우산을 들고 나가거나 안 들고 나가거나. 그런 의사결정(decision making)의 비용은 사람마다 분명히 다릅니다.



그런데 기후변화에 대해서 프로젝션을 할 때, 아까 제가 인간 때문에 태풍의 호우가 늘었다고 말씀 드렸습니다. 미래에 늘겠더라 한다면 얼마나 늘까요? 이것이 늘 수도 있고 안 늘 수도 있다는 얘기가 되면 의사 결정이 굉장히 힘들어집니다. 큰 리스크라 하더라도 이것에 대한 불확실성이 크게 된다면 그 정보의 가치는 훼손되겠죠. 그렇기 때문에 이 모델의 불확실성을 줄이기 위해 노력하고 있습니다.

오늘 계속 메타어스(MetaEarth)라는 것을 말씀드리고 있는데, 이처럼 다양한 메타어스를 이용하는 경우에는 이런 불확실성이 존재하게 되고 이 불확실성을 낮추기 위해서 여러 가지 통계적 방법을 고안하는 것을 긴급 제약조건(emergent constraints)라고 합니다. 굉장히 간단한 아이디어예요. 운이 좋게 네이처지에 출판되기는 했지만 과거를 잘 맞히는 모델을 선택했을 때 미래도 잘 맞힐 수 있다는 것을 증명할 수 있었습니다. 간단하게 얘기하면 좋은 모델을 골랐더니 불확실성의 폭이 줄더라는 것입니다. 그렇기 때문에 앞으로 영향 평가(impact assessment) 할 때 이런 모델 선택을 조심스럽게 해야 한다고 할 수 있습니다.

그렇다면 우리가 모든 기술을 이미 가지고 있느냐. 그렇지 않습니다. 사실 그렇기 때문에 우리가 여기에 모여 있는 것 같습니다. 이것은 기술적인 측면에서도 인력 양성 측면에서도 마찬가지라고 생각합니다.

지금 여기서 보고 계시는 반원이 기후변화 예측과 영향 평가에 대한 일반적인 흐름이라고 생각하시면 됩니다. 통합 평가 모델(integrated assessment model)이라고 하는 모델을 이용해서 사회경제발전(socioeconomic development)을 추정하고 그다음에 그런 시나리오에 우리가 어떤 그리고 어느 정도의 에너지와 식량이 필요하게 될 것인지에 따라서 에너지 생산과 토지 이용을 결정하게 됩니다. 그에 따라서 온실가스 배출량이 결정되고 그 배출량이 에너지의 단위로 바뀌어서 기후모델에 들어갑니다. 그리고 기후모델은 영향평가모델을 다시 시뮬레이션하기 위한 입력자료를 생산하게 되고요.

그랬을 때 인구(population), 경제(economy), 기술발전(technology development), 조직(organization), 균등(equality) 등 많은 요소들이 관련되어 있습니다. 하지만 아직까지는 정보 제공에 그치고 있으며 궁극적으로는 이와 같은 과정이 원형으로 이어져야만 합니다.

그래서 저의 바람은 이런 기회를 발판으로 삼아서 보다 나은, 보다 안전한 기후(safer landing climate)로 표현되는 미래 경로를 만들어낼 수 있는 계기가 됐으면 좋겠습니다.

Q&A

Q

김명자 | 제9대 한국과학기술단체총연합회 회장

재미있게 들었는데 제가 잘 모르는 일반인의 입장에서 궁금한 것 하나 질문 드리겠습니다.

김 교수님이 하시는 그 모델, 지구 메타버스 기술이라고 말씀하셨는데 같은 주제에 대해 그 모델이 예측한 결과와 다른 모델이 예측한 결과 사이에 어느 정도의 차이 또는 일치성이 있는지요? 예를 들면 세계경제포럼(World Economy Forum)이 전문가들 대상으로 사람의 생각, 사람의 풀캐스팅을 하는 것도 있지 않습니까? 비교한다면 어떤지 혹시 말씀해주실 수 있으실까요?

A

김형준 | KAIST 문술미래전략대학원 교수

굉장히 많이 다릅니다. 그러니까 이런 것이 있어요. 저희가 보통 이런 결론에 도달하기 위해서 모델을 가지고 연구할 때는 복수의 모델을 이용합니다. 복수의 모델을 이용하고 각각의 모델들은 사이언스를 공유하기는 하지만 개발 체계는 다 독립적이예요. 그렇기 때문에 각각이 갖고 있는 불확실성이 서로 다른 방향으로 나타나게 됩니다. 그래서 이 모델들이 서로 어느 정도 민주주의 같은 것이라고 생각하셔도 되겠네요.

어느 정도 이 결과를 합치하느냐, 발산하느냐에 따라서 여기서 도출한 메시지의 로고센스(logo sense)가 바뀌게 되겠죠. 그러니까 다들 이쪽을 가리키고 있다면 이 결과는 굉장히 확정적입니다. 결과들이 이렇게 쭉 벌어져 있으면 이것은 사실 믿기 힘든 결과라는 평가는 항상 하고 있고요.

아까 제가 후반부에 보여드렸던 것이 그렇기 때문에 만약 이런 이상치(Outlier)들이 사실 맞는 모델일 수도 있지만 그런데 이것을 평가했을 때 맞지 않는 모델이라면 사실은 맞는 의사결정(decision making)을 하기 위해서 그 친구들은 걸러내는 것이 맞겠죠. 그렇게 했더니 불확실성이 줄었다는 것을 증명할 수 있었습니다.

Q

김명자 | 제9대 한국과학기술단체총연합회 회장

그러니까 과학이 지금 모델 어프로치를 하고 있을 수밖에 없고 기후위기(climate crisis)에 대해서도 역시 마찬가지인데 지금 우리가 당면하고 있는 가장 큰 문제는 불확실(uncertainty)하잖아요. 미래를 예측할 수 없다. 어느 예측이 맞는지 나중에 살아봐야 알겠다, 이렇게 되면 과학의 가치라든가 그래서 모델 사이의 불일치 이런 것을 해결할 수 있는 그런 학제적 연구 이런 것은 구상을 안 하시는지 궁금한 생각이 들었습니다.

A

김형준 | KAIST 문술미래전략대학원 교수

제가 학부와 석사가 대기과학이고 박사가 토목공학이고 지금 저의 직장에서도 저는 인문사회융합과학대학원에 소속되어 있습니다. 저는 운이 좋았던 길이라고 생각하는 것이 사이언스만 했을 때는 사이언스에 매몰되어 있었고 그다음에 공학으로 왔더니 사이언스가 어떤 식으로 쓰였는지를 볼 수 있었어요. 그다음 KAIST에 오게 되어서 또 다른 인문사회학자들을 뵈게 되면서 이것이 또 다른 측면에서 어떻게 평가가 되는지 미래전략이라든지 이런 것들을 볼 수 있게 되었고 그러면서 이런 모델들을 앞으로 어떤 식으로 더 고도화해 나가야겠다, 이런 좀 더 정확한 플랜들이 만들어지는 것 같습니다.

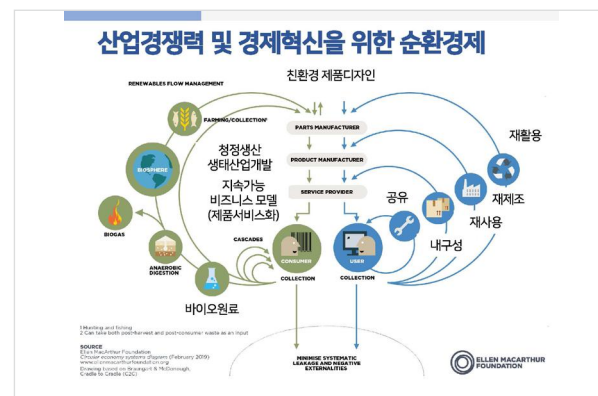
박주영 서울대 건설환경공학부 교수

서울대학교 건설환경공학부 박주영입니다. 저는 사실 산업 생태학 그리고 지속가능공학이라는 분야를 전공했습니다. 우리가 살아가기 위해서 화석연료, 바이오매스, 금속자원, 여러 가지 자원이 필요한데 이런 자원들을 어떻게 최대한 효율적으로 지속가능하게 쓸 수 있을까 이런 것들을 고민하면서 연구하고 있습니다. 이러한 고민을 담은 단어가 순환 경제라고 생각하는데요. 그래서 오늘은 순환경제란 무엇인지 소개를 드리고 탄소중립에 순환경제가 어떻게 기여할 수 있고 어떠한 역할을 할 수 있는지에 대해서 말씀드리고자 합니다.

전 세계적으로 2005년 기준으로 1,000억 톤 이상의 자원을 쓰고 있습니다. 그런데 이 자원을 대부분 한 번 쓰고 버립니다. 재활용률이 거의 6%밖에 되지 않으며, 최근의 통계를 보더라도 10%가 채 되지 않습니다. 이렇게 자원을 낭비적으로 쓰지 말고 최대한 아껴서 다시 쓰고 자원의 가치를 최대한 활용하는 방향으로 순환적으로 쓰자는 것이 순환 경제입니다.



보통 순환경제라고 하면 많은 분들께서 우리가 물질을 순환적으로 써야 하니까 최대한 재활용을 많이 해야 하겠다고 생각합니다. 그래서 순환경제 정책이라고 하면 재활용을 잘 하자는 폐기물관리 정책이라고 이해하시는 경우가 있습니다. 하지만 지금의 순환경제, 특히 유럽을 중심으로 선도적으로 추진되고 있는 순환경제의 범위는 그보다 더 크다고 말씀드릴 수 있습니다.



여기에 여러 가지 순환적인 물질 흐름이 나와 있는 그림(그림 1)이 있는 데 가장 오른쪽에 있는 것이 바로 재활용입니다. 재활용이라는 것은 우리가 이미 폐기물을 발생한 후 마지막으로 사용하는 전략입니다.

재활용까지 가기 전에 폐기물을 원천적으로 최대한 줄여볼 수 있으면 그것이 더 긍정적인 방향이 될 수 있습니다. 제품을 쓰다가 일부 부품이 고장 나면 그 부분만 교체해서 좀 더 오래 쓰는 것이 재제조이며, 나한테는 필요가 없어진 제품을 추가적인 처리 없이 다른 사람이 쓸 수 있도록 해 주자는 것이 재사용입니다. 그리고 최대한 고쳐서 제품을 오랫동안 쓰자, 제품의 내구성을 높여서 최대한 제품의 수명을 늘리고 하는 것이 내구성 전략이 되겠습니다.

공유경제도 순환경제 전략에 포함됩니다. 자전거를 공유할 수도 있고 차량을 공유할 수도 있습니다. 영국에서 재미있는 설문 조사가 있었습니다. 차량의 90% 이상의 시간은 주차장에 있다고 합니다. 우리가 차량을 굉장히 비효율적으로 쓰고 있다는 것을 알 수 있습니다. 이렇게 차량을 비효율적으로 주차장에 세워 두지 말고 차량을 사용하지 않을 때는 다른 사람이 쓸 수 있도록, 한 차량을 여러 사람이 공유함으로써 자원을 더 효율적으로 쓰자는 것이 공유모델의 예입니다.

이런 공유모델의 추진을 통해서 제품을 많이 팔아서 돈을 버는 방식의 비즈니스 모델이 아니라 소비자가 필요로 하는 서비스는 제공하되 그 과정에서 우리가 필요로 하는 자원 소비는 최대한 줄여나가자 하는 것이 지속가능한 비즈니스 모델입니다.

그리고 왼쪽에 녹색으로 나타난 부분은 재생 가능하지 않은 자원을 쓰는 것보다는 바이오매스에 기반을 둔, 재생가능한 자원을 가능한 사용하자는 것입니다. 대표적인 예가 화석연료에 기반한 플라스틱 대신 바이오매스에 기반한 생분해 플라스틱 사용입니다.

애초에 제품을 만들 때부터 제품의 환경성을 고려해서 소재

를 선택하고 제품을 디자인하는 것이 친환경 제품 디자인 전략입니다. 또 산업에서 제품을 생산할 때 같은 제품을 생산하더라도 자원의 소비를 최소한으로 줄이는 전략이 청정 생산입니다. 이런 식으로 경제 전반에서 자원을 최대한 효율적으로 활용하자는 것이 바로 순환경제입니다.

유럽의 경우, 순환경제를 친환경 전략으로써 추진하기보다는 제조업의 경쟁력을 높이기 위한 산업적 측면에서 순환경제를 추진하고 있고요. 그렇기 때문에 여기에 들어가는 경제라는 단어가 굉장히 중요합니다.

유럽에서 순환경제실행계획을 2015년 12월에 발표했습니다(그림 2). 그 이후에 그린딜을 선언하면서 2020년 초에 이 순환경제 실행계획을 좀 더 업데이트하고 강화한 신순환 경제실행계획을 발표했습니다. 신순환경제실행계획이 이전의 실행계획과 달라진 부분이 있다면 그린딜에서 2050년 탄소중립 목표를 강조하면서 순환경제를 탄소중립 달성을 위한 중요한 전략 중 하나로 강화해서 추진하고 있다는 것입니다.

2020년 이후로 순환경제 관련해서 다양한 정책들이 계속 발표되고 있습니다. 대표적인 것이 ‘新 배터리 법안’입니다. 2026년 이후 유럽에 수입되는 배터리의 경우 금속자원의 일정 비율이상은 재활용된 자원을 사용해야하고, 탄소 발자국을 보고하는 등 여러 정책적인 규제가 들어오고 있는 상황입니다. 그 외에도 플라스틱 재생수지에 대한 최소 사용량과 같은 정책이 도입되고 있습니다.



순환경제가 어떻게 탄소중립에 기여할 수 있을지에 대해 말씀드리겠습니다. 이 그림(그림 3)은 전 세계가 온실가스를 어떻게 배출하고 있는지를 공급망에 따라 나타낸 것인데요. 2019년에 590억 톤 정도의 온실가스가 배출되었는데, 이중 65% 정도는 화석연료 소비로부터 발생한 것으로 추정되고 있고, 나머지는 대부분 바이오매스를 연소시키는 데서 나오는 것으로 보입니다.

화석연료가 어디에 쓰이는지 살펴보면 상당 부분은 자동차 연료와 같은 직접적인 에너지원으로 사용되지만, 많은 부분은 우리가 필요로 하는 제품을 생산하기 위해 사용됩니다. 즉, 소비 단계에서 발생하는 탄소배출의 30%는 자동차, 건물 등에서 쓰는 직접적인 에너지 사용에 의한 것이고 나머지 70%는 우리가 쓰는 여러 가지 제품들을 생산하기 위해서 야기되는 탄소배출임을 알 수 있습니다.

지금의 탄소중립 논의는 에너지 효율 향상과 에너지 전환에 주로 초점이 맞춰져 있습니다. 하지만 에너지 효율 못지않게 중요한 것이 다양한 자원 모두를 효율적으로 쓰는 것입니다. 이에 따라 유럽에서는 자원 효율을 경제 전반에서 높이기 위한 순환경제 전략을 특히 7가지 제품 중심으로 추진하고 있습니다.

그래프의 가장 오른쪽을 보시게 되면 제품의 소비에 따른 탄소배출을 알 수 있습니다. 여기서 빨간색으로 나타난 부분이 교통 부문, 하늘색으로 나타난 부분이 건물 부문입니다. 이 두 부문의 소비만 고려해도 전체 탄소배출의 거의 50%를 차지합니다. 그렇기 때문에 특히 교통과 건물 부문을 어떻게 잘 설계하고 잘 운영하는지가 탄소배출 측면에서 중요합니다.

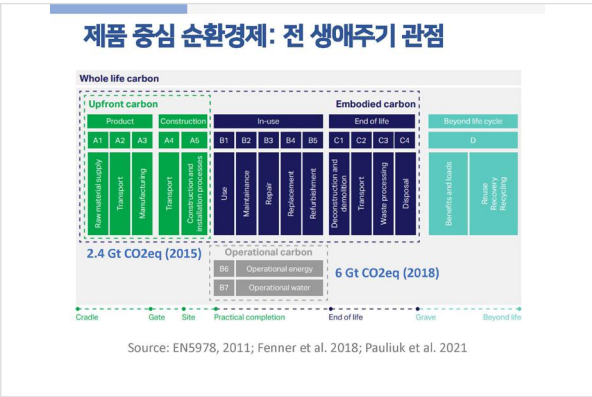
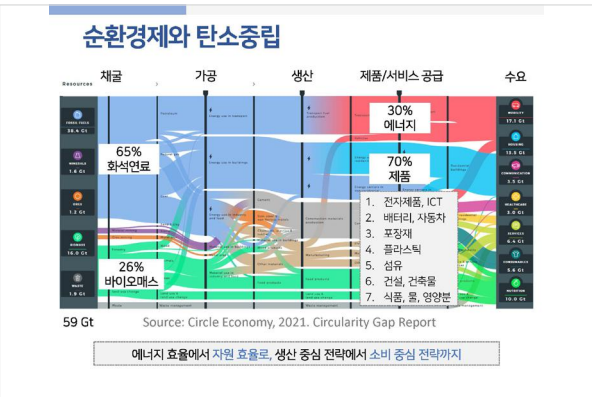
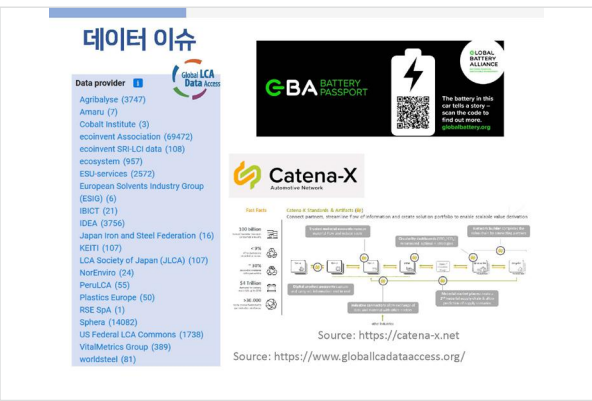
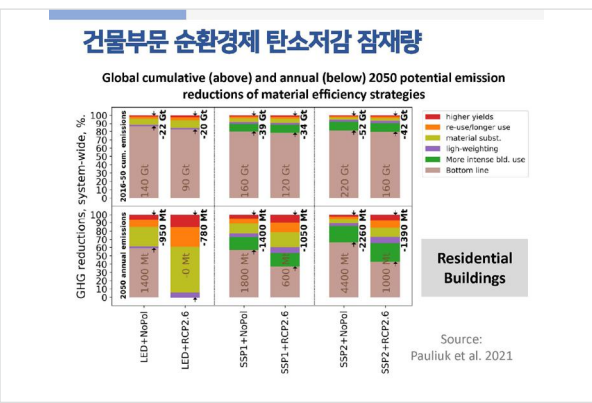
순환경제의 경우에는 제품을 중심으로 주요 전략을 탐색한다고 말씀드렸습니다. 제품 중심의 접근법이란 제품을 생산하는 과정에서 폐기하는 모든 전 생애주기 관점을 다 다루는 것입니다. 건물의 기존 탄소중립 전략을 보면 건물을 사용하는 단계에서 에너지를 더 효율적으로 쓸 것인지에 초점을 두고 있습니다. 예를 들면 단열을 높이고 제로 에너지빌딩을 새로 짓고, 노후건물의 경우에는 그린 리모델링을 하는 전략을 추진하는 것입니다. 그런데 이러한 전략들은 건물의 전 생애주기 단계를 봤을 때, 건물의 사용 단계에만 해당합니다.

그런데 탄소배출은 건물을 사용하는 단계뿐만 아니라 전생애주기 단계 모두에서 일어납니다(그림 4). 예를 들면 건물을 짓기 위해서는 시멘트와 콘크리트, 철근을 만들어야 하는데, 이미 만드는 과정에서 탄소가 배출되고요. 건물을 짓는 단계, 건물을 유지·보수하는 단계, 건물을 해체해서 폐기물을 관리하는 모든 단계에서 온실가스가 배출됩니다.

순환경제에서는 이러한 전 생애주기 관점에서 자원을 더욱 효율적으로 사용함으로써 탄소를 줄여나가자는 것입니다(그림 5). 건물 디자인을 최적화해서 건축자재의 투입량을 줄이도록 한다면, 고강도 강재를 생산해서 강재 투입량 자체를 줄인다면, 혹은 부산물을 재활용한 저탄소 콘크리트를 사용한다면 하는 것입니다. 유럽에서는 더 나아가서 콘크리트 같은 탄소배출이 높은 자재를 사용하는 대신 목재와 같이 탄소를 흡수할 수 있는 목조건축에 초점을 둡니다. 그리고 이러한 자재들을 생산할 때 수율과 생산성을 높이는 방법도 고려할 수 있는데, 이러한 전략이 공급 측면의 전략이 되겠습니다.

더 나아가서는 소비 측면의 전략을 생각해 볼 수도 있습니다. 예를 들면 공유주택과 같은 모델을 이용해서 1인당 주거면적을 줄이거나 건물을 더 집약적으로, 더 오래 사용하는 방법이 있습니다. 또 건물 해체 후 발생된 폐기물은 재활용하는 전략도 고민할 수 있습니다. 최근의 한 연구에서는 주거용 건물 부문에서 이러한 자원효율, 순환경제 전략을 도입하게 되면 연간 7억 800만 톤에서 22억 톤의 탄소 배출을 저감시킬 수 있을 거라는 보고도 있었습니다(그림 6). 한국의 온실가스 배출량이 7억 톤 수준임을 고려하면 건물 부문의 탄소 저감 잠재량이 상당히 큼니다.

마지막으로 말씀드리고 싶은 것은 탄소중립을 달성하기 위해서 에너지 효율뿐 아니라 더 광범위한 자원 효율 전략을 추진할 필요가 있다는 것입니다. 순환경제를 추진하기 위해서 많은 데이터가 필요한데 이런 데이터를 효율적으로 수집하고 전략을 개발해 나가기 위한 노력 또한 필요하다(그림 7)는 말씀을 드리면서 마무리하겠습니다.



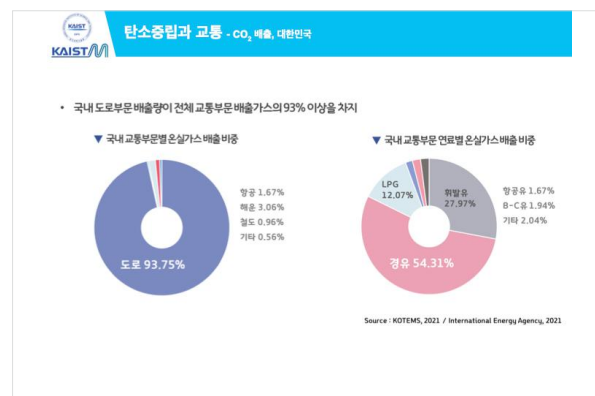
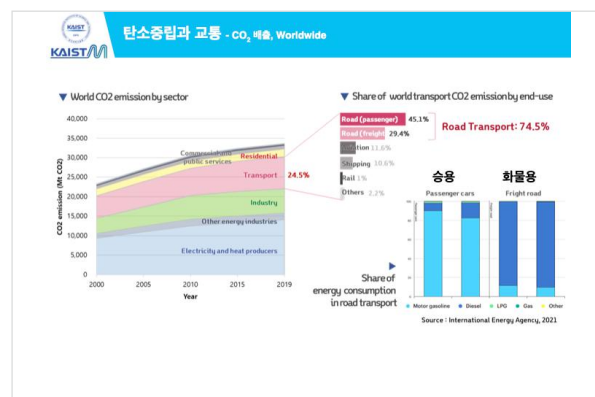
김경수 KAIST 조천식모빌리티대학원 교수

KAIST 조천식모빌리티대학원의 김경수입니다. 제 원래 소속은 기계공학과인데 제가 모빌리티대학원의 교통문제를 연구하시는 분들과 함께 연구하다 보니까 기후변화와 녹색에 관한 공부를 많이 하게 되었습니다.

조금 전에 박주영 교수님께서 교통과 건설 분야에서 CO₂ 배출이 굉장히 많다고 말씀을 미리 해 주셨습니다. 그림을 보시면 실제로 우리 CO₂가 전 세계적으로 어느 섹터에서 이렇게 배출되느냐를 보여줍니다.

기본적으로 전기라든지 또는 에너지를 생산하기 위해서 들어가는 부분이 사실 CO₂를 많이 배출하고 있고 그다음 큰 섹터가 교통 분야입니다. 무려 24.5%의 CO₂를 배출합니다. 이산화탄소를 배출하는 교통부분에서 다시 스케일업(scale-up)을 해서 보시면, 도로교통분야가 무려 74.5%. 그러니까 75%에 해당하는 이산화탄소를 배출하고 있습니다. 그렇기에 이 그림은 우리가 교통 분야에서도 특히 이 도로교통에 신경을 쓸 수밖에 없다는 메시지를 보여줍니다.

승용과 화물용, 도로교통에 사용되는 연료를 보시면 결국 가솔린과 디젤이 거의 메인입니다. 그만큼 우리가 사용하고 있는 석유 쪽에서 나오는 이산화탄소를 소비하면서 얼마나 많은 이산화탄소가 배출되는지 그것을 볼 수 있습니다.



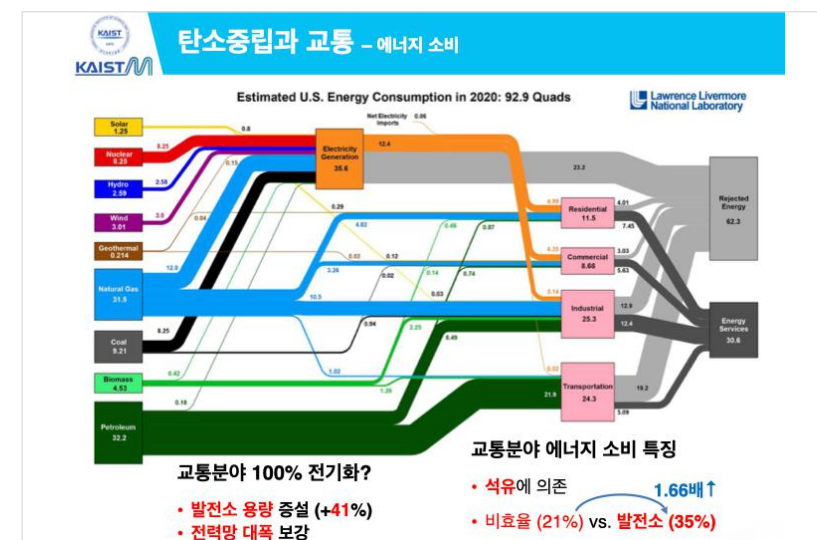
실제 우리나라 모빌리티 인프라는 어떨까요? 우리나라의 경우에는 국내 교통부분에서의 온실가스 배출량이 도로 쪽이 무려 93.7%가 됩니다. 그러니까 결국 항공이나 해운, 철도에 비해서 대부분 우리가 차량을 몰고 다니면서 화물을 운송하거나 또는 승객을 운송하면서 생기는 이러한 이산화탄소가 우리나라에서 가장 중요한 부분입니다. 역시 경유와 휘발유가 거의 대부분입니다.

차트가 약간 복잡하지만 제가 가장 좋아하기도 하고, 아주 중요한 자료입니다. 대한민국 정부에서도 이런 공식적인 자료가 나오면 좋은데, 이것이 굉장히 복잡합니다.

맨 왼쪽에 보이는 박스는 미국에 들어오는 모든 에너지 소스를 다 열거한 것입니다. 최하단부터 보면 녹색으로 되어 있는 것이 석유고 그 다음에 바이오매스, 석탄, 천연가스, 지열발전, 풍력, 수력, 원자력 그리고 맨 위에 있는 것이 태양광입니다.

그 에너지들이 전개되면서 맨 위에 보이는 주황색 사각형이 발전소인데요. 저 발전소에 들어가는 연료를 보시면, 미국은 천연가스가 많은 나라이지 않겠습니까? 가격도 가장 쌉니다. 그러다 보니까 천연가스를 많이 쓰고 석탄을 많이 쓰고 원자력을 많이 쓰고 있습니다.

그렇게 해서 발전된 전기가 어떻게 분배(distribution)되는지 주황색을 따라가서 보면 맨 하단에 있는 것이 교통입니다. 교통은 거의 눈에 안 보이는 실선입니다. 그만큼 전기에너지가 교통에는 별로 쓰이지 않습니다.





그 위는 공장 즉 산업용(industrial). 그 위가 상업용, 그다음에 우리가 주거용으로 쓰는 전기입니다. 맨 오른쪽으로 가서 보면 회색으로 표시된 것은 전부 다 버리는 에너지이고, 까만 것이 실제로 사용되는 에너지입니다.

요컨대 맨 왼쪽에서 100이라는 에너지가 들어오면 거의 대부분인 62.3%가 다 버려지고 30% 정도만 쓰고 있습니다. 에너지가 전환(conversion)되는 과정 속에서 우리가 효율을 올리지 않으면 굉장히 많은 에너지를 낭비할 수밖에 없다는 것을 보여줍니다.

오늘의 주제인 모빌리티 쪽의 교통 섹터를 보시면 교통 섹터가 무려 24의 에너지를 쓰는데 거의 대부분이 석유에서 온다는 것을 볼 수 있습니다. 교통 섹터의 특징을 보시면 24.3을 받아서 여기 실제로 쓰는 것이 5 정도밖에 쓰지 않는다. 효율을 따져 보시면 21%입니다.

그런데 그것에 비해서 저 주황색 박스로 되어 있는 발전소를 보시면 저희가 35를 받아서 실제로 사용되는 에너지를 무려 35%를 만들어냅니다. 이 두 개의 섹터 비율을 보시면 우리가 실제로 자동차를 몰고 다니면서 석유를 직접 기계적 에너지로 바꾸는 것이 굉장히 비효율적입니다.

두 번째 교통 분야의 특징은 발전소를 보면 알 수 있습니다. 우리가 전동화로 가기 위해서 전기차를 다 깔아야 한다고 생각해 보면, 실제로 이 교통 섹터에서 쓰는 에너지가 한 5쯤 되는데 주황색에서 5를 만들어내야 합니다. 저 주황색에 실제로 35를 받아서 12를 만들고 있는데 거기에다가 이 교통 섹터를 다 없애고 전기로 바꾸어서 5를 얻는다고 생각하시면, 발전소를 얼마나 더 크게 지어야 할까요. 현재 존재하는 발전소 용량보다 40% 크게 지어서 전기를 만들어내야 합니다.

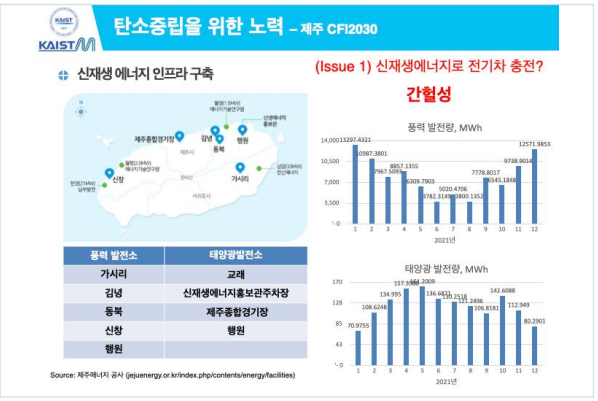
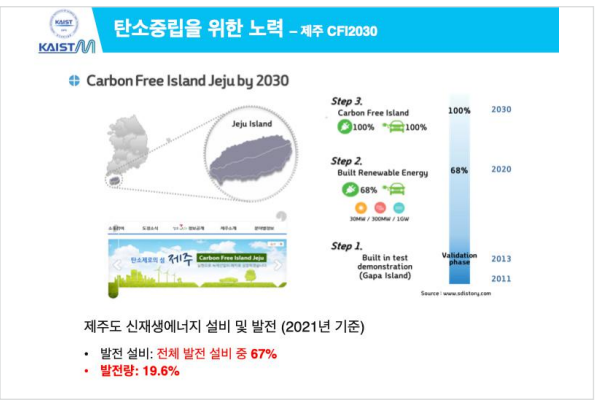
두 번째 고려사항(concern)은 그동안 전기 인프라는 거주용이라든지 공장, 산업용으로 가도록 만들어져 있었습니다. 이것을 교통 섹터로 우리가 다시 끌어와야 하지 않겠습니까? 전력망을 대폭 다 바꿔야 하는 그런 대단한 일이 되는 것입니다.

결국 이 그림 한 장이 굉장히 많은 것을 보여주고 있고 우리가 앞으로 가야 할 길에 대한 방향을 제시한다고 생각합니다.

이러한 측면에서 우리가 탄소중립을 위한 한국에서의 노력, 가장 대표적인 지역이 제주입니다. CFI2030(carbon free Island 2030)이라는 계획이 있습니다. 이 계획은 무려 2011년부터 시작됐습니다. 제주도 주변에 있는 가파도에 실증단지를 구축해서 신재생에너지를 만들고 그 신재생에너지로 우리가 모빌리티를 돌려보자는 것이 CFI2030의 핵심입니다. 첫 스텝은 실증사업을 하고, 스텝2에서는 제주도에서 운행되고 있는 자동차의 68%를 신재생에너지로 돌려보자는 겁니다. 그 다음에 2030년이 되면 100%를 다 돌려보자는 굉장히 큰 그림이었습니다.

그런 노력 끝에 2021년도 기준으로 보시면, 제주도에 발전소가 있습니다. 육지에서도 전기를 끌어옵니다. 이런 모든 발전시설의 67%가 신재생에너지로 구축되어 있습니다. 그리고 실제로 제주도에서 사용되는 에너지의 무려 20%가 신재생에서 조달됩니다. 굉장히 큰 노력을 한 거예요.

신재생에너지가 어떤 문제가 있을지 제주도에서 일어나는 문제를 파악해서 해결하면 육지로 보급할 수 있겠죠. 제주에는 제주에너지공사라는 곳이 있습니다. 거기에서는 다음과 같이 5개의 풍력발전소와 태양광발전소 4개를 운영합니다. 오른쪽 그림은 풍력발전소에서 2021년도 1월부터 12월까지 실제로 얻어지는 전기를 보여줍니다. 물론 태양광은 별로 크지 않지만 풍력발전의 1월부터 12월까지 변동(fluctuation)을 볼 수 있습니다. 결국 신재생에너지의 가장 어려운 점이 바로 간헐성입니다. 늘 일정하면 좋겠는데 일정할 수가 없습니다. 이 부분을 해결하는 것이 굉장히 중요한 부분입니다.

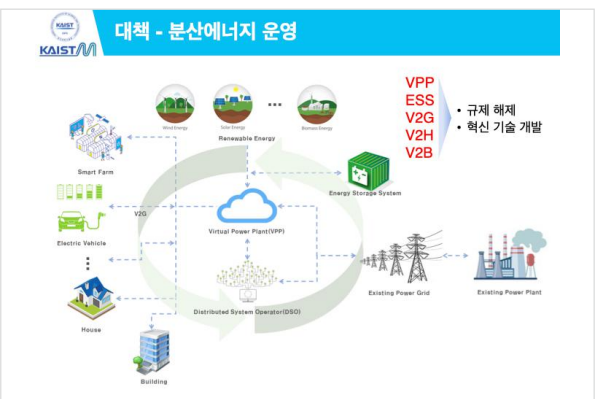
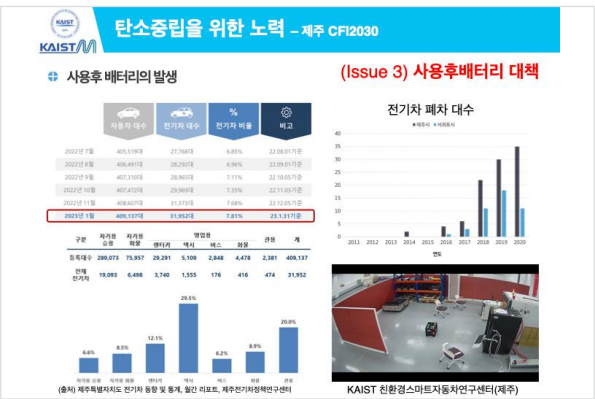
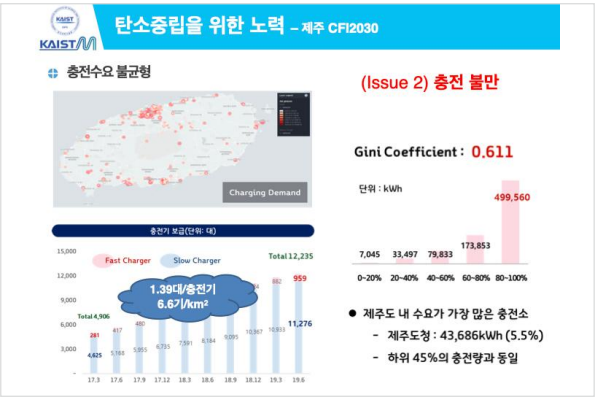


두 번째는 맨 오른쪽에 있는 제주도 그림입니다. 빨갭게 되어 있는 점이 뭐냐 하면 전기차를 몰고 다니는 사람들의 충전 요구입니다. 실제로 제주도는 그동안 전기차 보급에 노력했기 때문에 충전기가 많이 보급되어 있습니다. 충전기 1대로 차 1.3대 정도를 충전할 수 있을 정도입니다. 그럼에도 불구하고 충전 수요가 굉장히 불균형하게 되어 있습니다. 이것을 지니계수라고 해서 불평등, 사람이 불만을 표출할 수 있는 계수로 계산해 보면 0.60이나 됩니다. 1에 근접하면 폭발하는 것이고요. 그래서 이 충전 불만이 가장 어려운 문제가 되겠습니다.

세 번째는 제주도가 올해 1월로 해서 보면 전체 운행되는 41만 대의 자동차 중에 7.8%가 전기차로 전환됐습니다. 대단한 결과예요. 물론 우리의 목표는 100%지만 굉장히 기록적인 결과입니다. 그런데 이제부터는 전기차가 폐차되어서 나오기 시작합니다. 오른쪽 그래프에서 보시면 2년 전에는 40대 정도가 폐차되기 시작했습니다. 이때 전기차 배터리를 어떻게 할까 하는 문제가 가장 큰 문제입니다.

많은 분이 상상 속에서 연구하고 계세요. 배터리 재사용과 재활용이 있는데 재활용은 다 분쇄해서 다시 필요한 금속으로 뽑아내는 것이고, 재사용은 전기차에 있는 배터리를 잘 쌓아서 에너지 스토리지로 써야 하겠다는 생각입니다. 그런데 이렇게 사용된 노후된 배터리라는 그 안에 들어 있는 배터리 셀 간의 불균형이 굉장히 심하기 때문에 다시 저장하는 장치로 만드는 것이 쉽지 않습니다. KAIST 친환경스마트자동차연구센터가 제주도에 있습니다. 정말 좋은 조건에서 실험하기도 불이 나거든요. 쉽지 않은 문제입니다.

이런 부분을 해결할 수 있는 방법은 분산에너지 운영입니다. 기존의 공장에서 만들어진 전기, 기존의 파워를 공급하는 공급망이 있습니다. 이러한 부분과 신재생에너지에서 재생되는 에너지를 묶어내고 또 그것을 소비하는 자동차와 건물과 가정들을 다 묶어내는 가상종합발전소 정도가 있어야 합니다. 디지털 기술을 이용해서 분배(distribution)이 되어야 합니다. 여기에는 또 신재생에너지의 간헐성을 막아줄 수 있는 에너지 스토리지 시스템에 대한 새로운 연구가 더 필요하게 됩니다.



또 하나 중요한 키워드는 양방향입니다. 전기자동차는 굉장히 큰 배터리를 가지고 있습니다. 전기자동차가 가지고 있는 전기를 그리드로 묶어내고 그리드에 있는 그 전기를 다시 하우나 또 빌딩으로 보내주는 식으로 분산에너지를 운영할 수 있도록 해야 합니다.

핵심은 이것이 국토교통부의 문제이기도 하고 산업통상자원부의 문제이기도 하고 과학기술정보통신부의 문제이기도 하기 때문에 많은 부분이 걸려 있어서 규제가 풀어지는 것이 쉽지 않습니다. 혁신기술 개발에는 그만큼 어려움이 따릅니다.

여기 계시는 서울대 교수님, 또 KAIST 교수님들, 오늘 참여하신 굉장히 유능하신 분들과 이런 유의 연구를 할 필요가 있다고 제안을 드립니다. 지금 우리 목표는 탄소중립이 아닙니까? 실제로 KAIST에 문지캠퍼스라는 8만 평의 작은 캠퍼스가 있습니다. 그 문지캠퍼스에서 넷제로를 만들어 보자고 목표를 세웠는데, 정말 어렵다는 것을 깨달았어요. 그래서 작은 사이즈의 캠퍼스라도 우리가 실증단지를 구축해서 어떤 기술이 필요하고 실제로 할 수 있는 것이 무엇인지 파악한 다음에, 여기서 얻어진 결과를 가지고 다시 국가 전체로 우리가 분배(distribution)하고 확장하는 기회로 가야겠다는 제안을 드리고 싶습니다.

마지막으로, 저희 KAIST도 이 기후변화에 대해서 굉장히 많은 고민을 했습니다. 우리나라는 탄소배출산업을 주로 하는 국가입니다. 모빌리티 전동화, 저탄소 경제구조 등에 대응해야 하는 굉장히 중요한 시점에 도달했습니다. 이제는 인프라 혁신기술을 선제적으로 개발해야 하는 그런 시점입니다.

저희가 기획보고서를 오랫동안 만들어오고 계속 업데이트하고 있는데 기술 전개가 생각보다 쉽지 않습니다. 여기 계신 많은 분의 중진을 모아서 좀 더 깨끗한 지구, 지속가능(sustainable)한 지구를 만드는 데 힘을 합쳐야 할 시점이라고 봅니다.



KAIST M 맺음말

“우리나라는 **탄소배출 산업**이 주를 이루고 있는 국가로, 지금은 **모빌리티 전동화와 저탄소 경제구조에 대응 가능한 인프라 혁신기술을 선제적으로 확보**해야 하는 시점”

KAIST 탄소중립 예코 인프라 캠퍼스 (기획보고서, 2023) 중에서

감사합니다.

Q&A

Q

김상협 | 2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장

우리 김경수 교수님, 제주도에서 새로운 모빌리티에 대해서 정말 심혈을 기울이신 것 제가 잘 알고 있고 저도 제주 카본 프리(carbon free)에 10여년 전부터 직간접적으로 참여했습니다. 5월이면 드디어 분산에너지특구법이 본회의를 통과할 것 같아요. 굉장히 시간이 많이 걸렸는데 지금 말씀하신 것처럼 제주에서 역제가 많이 늘어나고 있지 않습니까? 그래서 거기서 V2G는 정말 어떤 정도의 역할을 할 수 있을까요?

특히 국토교통부에서는 2027년이면 레벨4의 자율주행자동차를 할 것이란 말이죠. 그렇게 되면 스마트그리드와의 작동성이 좀 더 자동적으로 될 가능성을 내포하고 있는데, V2G라는 것이 제대로 작동하려면 어떤 것들이 필요할까요. 특히 여러 부처가 얹혀있습니다. 혹시 그런 것에 대해서 어느 정도 기대해야 하는지 또 어떤 조치가 필요하다고 보시는지요?

A

김경수 | KAIST 조천식모빌리티대학원 교수

기본적으로 이 V2G라고 하는 것은 전기자동차가 가지고 있는 배터리에 저장되어 있는 전기에너지를 우리가 그리드, 전력공급망으로 연계시키는 방법이거든요. 그런데 가만히 생각해 보면 지금의 시스템을 가지고 과연 그것이 쉽게 할 수 있는 일이나. 쉽지 않습니다.

왜 그러냐면 이런 것들이 전력망에 붙게 되면 부하가 될 수도 있습니다. 또 우리나라 같은 경우에는 한국전력공사만이 전기를 팔 수 있는 입장입니다. 만약 누군가가 전기를 생산하고 이동시켜서 팔 수 있게 된다면 지금 우리나라의 법규제와도 맞지 않습니다. 그래서 이런 부분들이 풀려야겠지요.



아까도 말씀드렸지만 그러한 신재생에너지의 간헐성이 문제입니다. 우리가 원하지 않는데 전기가 많이 밀려 나오는 상황이 됐을 때 이동형 ESS가 허용된다면, 이동형 ESS로 그 전기를 받아서 그 전기를 필요로 하는 그린하우스 또는 충전의 요구에 부응해서 이동형 ESS에 가서 충전해 준다든지, 고정된 인프라가 풀지 못하는 것을 소프트 인프라가 풀 수 있도록 규제를 해소한다든지, 이와 같은 기술 개발을 하는 것이 굉장히 중요한 이슈입니다.

결국은 고정된 인프라를 가지고 뭔가를 최적으로 풀려고 하면 문제를 풀기 어렵습니다. 소프트 인프라와 우리가 적응성있는 이동형 에너지 이동을 허용해 주는 방향으로 그런 것들이 풀어져야만 앞으로 이런 전력 수요의 불균형이라든지 신재생에너지의 간헐성 그리고 아직 전력계통에 완벽하지 못한 부분을 해결할 수 있습니다. 왜냐하면 그 용량을 다 커버할 수 없는 전력계통을 다 바꾸지 않고도 그런 것들로 어느 정도는 충분히 커버할 수 있다, 이렇게 판단하고 있습니다.

김진영 서울대 재료공학부 교수

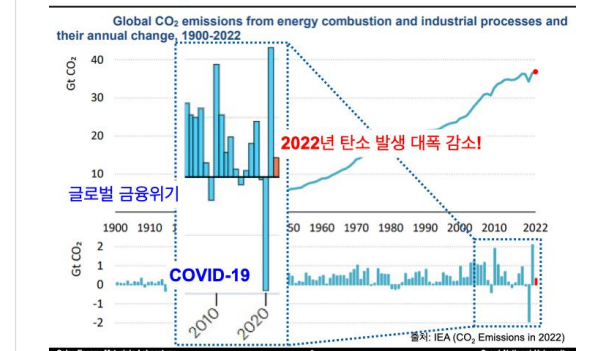
서울대학교 재료공학부에 재직하고 있는 김진영입니다. 오늘 태양전지 관련해서 간단히 말씀드리려고 합니다. 먼저, 탄소중립에 관한 이야기가 많이 나왔고 NDC 목표들이 설정되고 있는 상태에서 태양전지가 탄소중립에 얼마나 어떤 방식으로 기여할 수 있는지 이런 부분들에 대해서 말씀드리겠습니다.



발표 순서

- 탄소중립 및 **NDC** 달성을 위한
 - 태양전지 보급 및 연구개발 투자 정책
 - 태양전지 혁신 기술 (고효율/분산성/확산성)
 - 초고효율 페로브스카이트/실리콘 탠덤 태양전지
 - 분산형/일체형 태양전지 기술
 - 그린수소 생산용 태양전지 기술

연도별 CO₂ 발생량



잘 아시겠지만, 연도별 CO₂ 발생량은 계속 증가하고 있습니다. 최근 추이만 보면 몇 가지 특징적인 부분들이 있습니다. 글로벌 금융위기 때 실제로 탄소량이 줄어드는 일이 한 번 있었고 그다음 COVID-19으로 전 세계적으로 엄청나게 탄소발생이 줄었습니다. 그리고 바로 바운스 백을 해서 사상 최고의 증가량을 보였습니다.

특이한 것은 작년에 보면 다시 꽤 많은 양이 다시 줄게 됐습니다. 우리나라뿐만 아니고 전 세계적으로 정말 실질적인 위기로 인식하고 있고, 많은 노력이 이루어지고 있다는 것을 알 수 있습니다. 실제로 탄소량 감소를 못할 것만은 아니라는 또 다른 방증이기도 합니다.

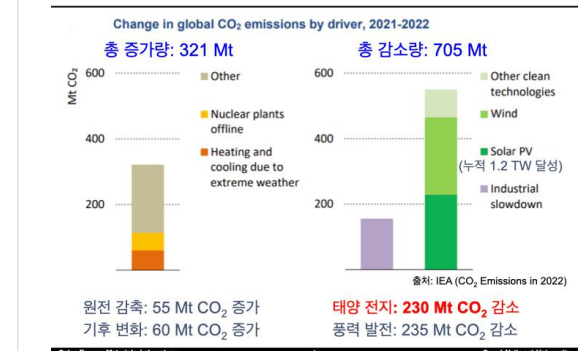
작년 탄소발생량의 대폭 감소를 태양전지 관점에서 말씀을 드리고자 합니다. 그 관점에서 분석해 본 리포트가 있습니다. 왼쪽 그림은 총 증가량입니다. 여러 가지 이유가 있겠지만 가장 단일 항목으로써 큰 두 가지가 전 세계적으로 원전이 멈추는 상태에서 상대적으로 증가하게 되는 CO₂ 양이 있었고, 그다음 기후변화에 대응하기 위해서 들어가는 에너지 수요에 대해서 추가로 발생한 분량이 있었다고 분석되어 있습니다.

그러면 감소는 어떻게 했느냐. 보시면 태양전지가 대략 전체 감소량 중에 230메가톤의 CO₂를 줄였다고 실제로 분석되었고, 풍력발전이 236, 그러니까 대체로 신재생에너지의 2개 메이저파트에서 대략 460 이상의 많은 양의 CO₂ 감소를 실질적으로 이뤘다는 걸 보실 수 있습니다.

이것은 저만의 생각은 아니고 IEA에서 나온 리포트입니다. 전 세계적으로도 이런 것에 대한 공감대는 이루어지고 있는 것 같습니다. 오늘 뉴스에서 대통령이 G7에 가 계신 것으로 봤는데 거기에 대비한 회의를 몇 달 전에 한 것 같습니다. G7 장관들이 모여서 태양광이 탄소중립에 이 정도로 중요한 역할을 하는 것에 다 공감했고 그것에 대해서 30년까지 1TW, 그리고 페로브스카이트 탠덤, 오늘 제가 유일하게 보여드릴 기술적인 내용인데 이런 부분들처럼 차세대 혁신기술에 대한 투자를 확대해야 한다는 데 공감이 있었던 것 같습니다.

그래서 미국 같은 경우에도 보면 IRA 같은 것을 하면서 실제로 태양광 시설 설치를 실제로 인바운드로 끌어들이려는 노력을 많이 하고 있습니다. 최근에 대표적인 국내 태양광 기업인 한화큐셀에서 뉴욕 조지아주에 아주 큰 금액의 공장을 짓는데, 아마 솔라시티인가 하는 규모로 아예 짓는다고 들었습니다.

태양전지 - 탄소 저감의 주역



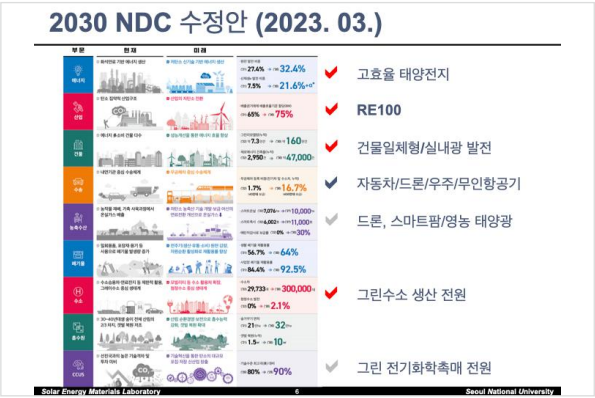
글로벌 태양전지 확대 정책 동향



사실 태양전지의 또 다른 필요성 중 하나가 RE100인 것 같습니다. 지금 RE100에 가입하는 대기업들의 숫자가 늘어나고 있습니다. 대표적으로 우리나라의 삼성전자를 보면 2050년까지 RE100을 하겠다고 선언했습니다. 삼성전자를 현재 기준으로 봤을 때 삼성전자에서 태양광을 이용해서 RE100을 하겠다고 하면 대략 한 250GW 정도의 설치가 필요합니다. 우리나라는 작년까지 전체 누적 설치량이 우리나라 전체에서 21GW밖에 안 됩니다. 그러니까 사실 많이 가야 하는 일이고 또 어떻게 보면 태양광만으로 해결할 수 없는 부분입니다. 그래서 태양광은 어떤 큰 틀에서 계속 기여하는 쪽으로 가고, 그러면서 포트폴리오가 잘 짜져서 그것을 통해서 이런 것을 달성할 수 있도록 정부에서도 많은 정책적인 지원이 필요하지 않나 합니다. 단지 세금을 줄여 주는 것과는 또 다른 관점에서의 지원이 될 것입니다.

우리나라에서도 당연히 관심 갖고 정책적으로 지원하고 있고 몇 달 전에 나온 NDC 수정(안)을 보시면, 왼쪽 편에 여러 가지 항목들이 제시되어 있습니다. 거의 각각의 항목에서 태양전지가 기여하는 부분들이 있습니다.

오른쪽에 보시면 붉은색 표시한 것들은 조금 주도적으로 기여할 수 있는 부분들입니다. 색깔의 질기에 따라서 기여도가 좀 떨어질 수는 있겠으나 대체로 거의 8가지 큰 카테고리 대부분에서 태양전지가 기여할 수 있는 바들이 많이 있습니다.



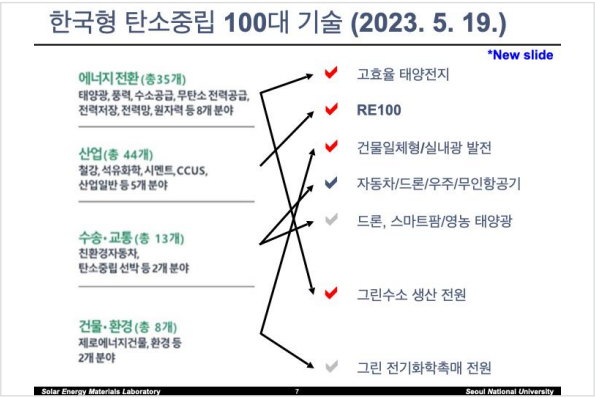
혁신본부에서 오늘 아침에 ‘한국형 탄소중립 100대 기술’을 공식적으로 발표했습니다. 아까 말씀드렸던 대부분의 것들이 여전히 저희가 크게 나눠놓은 이 4개의 카테고리라 세 부 주요 핵심기술에 매칭이 되는 것을 볼 수 있습니다.

다시 한 번 말씀드리지만 이 태양전지 기술이 단순히 발전 뿐만 아니라 산업 부문 그리고 오늘 얘기가 많이 나왔던 제로에너지빌딩이라든지 모빌리티 쪽에서도 큰 기여를 할 수 있는 그런 부분들이 많습니다.

그렇다면 우리가 이런 관점에서 어떤 식의 방향으로 태양전지 연구개발을 해야 하고 어떤 방향으로 투자해야 할까 생각해 볼 수 있습니다. 제가 모든 것을 말씀드릴 수 있는 그런 위치나 상황에 있지는 않습니다. 하지만 우리가 태양전지에 투자할 때는 태양전지의 특성을 정확히 파악하고 개선할 수 있는 부분은 최대한 개선하면서 장점인 부분을 최대한 활용하는 것이 중요하다고 생각합니다.

일단 지금 에너지밀도가 낮은 부분이 있기 때문에 그런 부분을 개선하기 위해서는 고효율화로 가는 것이 연구개발 측면에서는 가장 핵심적인 투자의 방향입니다. 그다음 태양전지가 가지는 아주 중요한 특성 중 하나가 분산성과 확장성입니다.

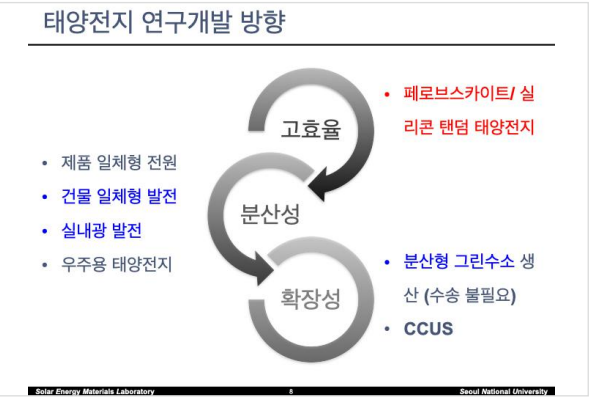
분산성이라고 하면 아주 작은 크기의 발전부터 큰 규모의 발전까지 모든 것이 가능하고 원하는 곳, 수요가 있는 곳에 바로 설치해서 그것을 바로 우리가 활용할 수 있다는 장점



이 있습니다. 오늘 또 여러 번 얘기가 많이 나왔던 건물 일체형이라든지 혹은 건물에너지 소모에서 가장 큰 부분을 차지하는 조명입니다. LED에 나오는 손실된 에너지를 재활용하는 실내형 태양광이라든지 이런 것들을 우리가 적절히 잘 활용하면 분산성을 최대대화시킬 수 있는 그런 방향이 되겠습니다.

그리고 또 다른 하나는 여러 가지 확장성입니다. 아까 성영은 교수님이 수소 말씀을 주셨습니다. 물론 수소 전체에서는 큰 비중은 아니지만, 예를 들면 그런 수전해 같은 경우를 보면 전원이 필요합니다. 이런 전원들이 특히 분산형이 됐을 때 필요한 규모의 수소를 그때그때 만들면, 수소에서도 큰 포지션 중 하나가 운송(transportation)인데 그런 수송 부분도 어느 정도 비용을 절감할 수 있을 것 같습니다. 그리고 이산화탄소 환원 등에도 확장성이 있습니다.

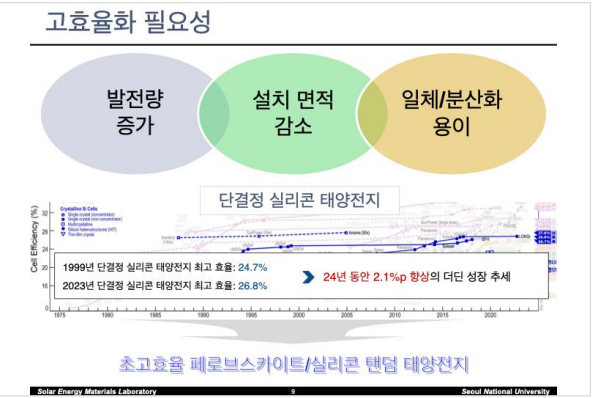
그중 기술적으로 딱 하나만 말씀드릴 부분은 고효율화입니다. 왜 고효율화를 해야 하느냐 하면, 굳이 설명을 안 드려도 효율이 높은 발전을 해야 전력이 많이 나오고 효율이 높아지는 것은 당연합니다. 발전량이 증가하는 것 외에도 사실 큰 장점이 있습니다. 설치면적이 감소되는 부분입니다. 다음으로 아까 말씀드렸던 일체화를 시키거나 아니면 분산화를 시키는 데 있어서도 큰 장점을 가집니다.



그래서 효율을 높여야 하겠는데 지금 주로 사용되는 실리콘 태양전지 같은 경우에는 대략 최근 20여 년 동안 효율 향상이 별로 없었습니다. 이론적인 효율에 거의 다가가 있기 때문입니다.

그러면 하지 말 것이냐, 그것은 아닙니다. 상용화되어 있는 태양전지가 효율 상승에 코스트가 너무 많이 소요되는 상황에서 뭔가 새로운 어떤 소재와 구조 같은 것들로 돌파구(breakthrough)를 만들어서, 지금 한계에 다다른 효율을 한 번 더 점프업 시키는 그런 접근이 중요할 것이라고 생각합니다. 그러한 관점에서 현재 전 세계적으로 가장 관심을 받고 있는 주제가 여기에 나와 있는 페로브스카이트 실리콘 탠덤 태양전지라고 하는 것입니다.

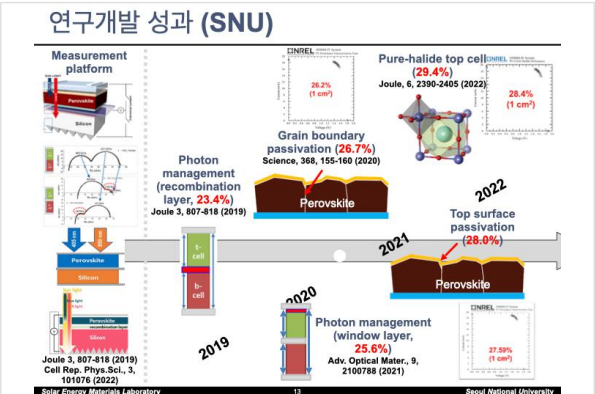
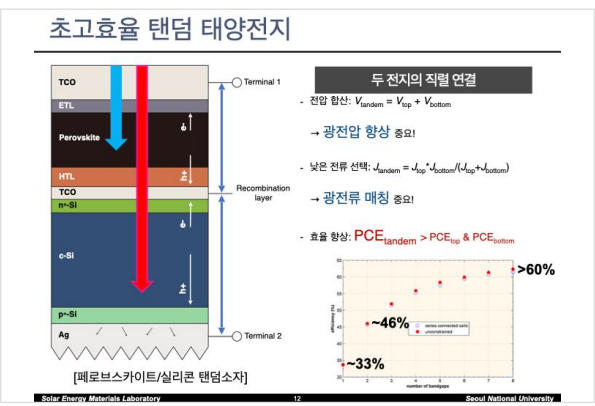
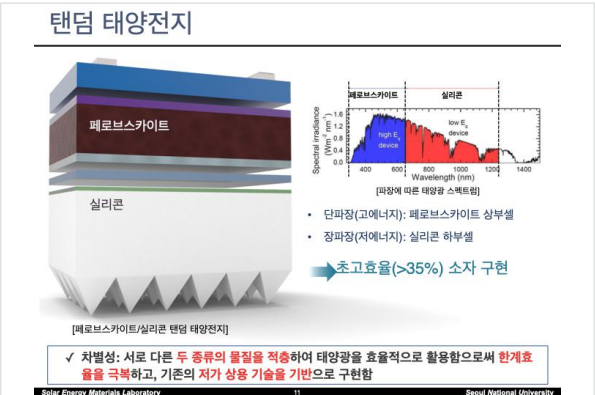
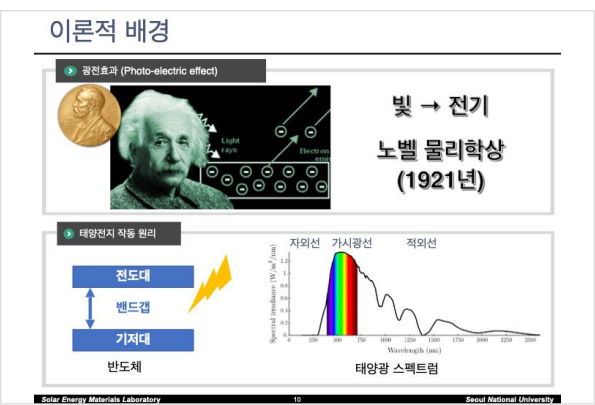
갑자기 뜬금없이 제가 아인슈타인 사진을 보여드렸는데 태양전지의 시작을 간단히 말씀드리려고 합니다. 알버트 아인슈타인이 빛을 받으면 물질이 전기를 낼 수 있다고 해서 물리학상을 받았습니다. 아시다시피 태양은 가시광선, 자외선, 적외선 등으로 파장이 다양하기 때문에 각각의 에너지가 다릅니다. 그래서 각각의 에너지들을 흡수할 수 있는 물질이 딱 정해져 있어 이론적으로 효율에 한계가 있습니다.



탠덤 태양전지라고 하는 것은 서로 다른 두 종류를 붙여서 적층으로 쌓아올린 것입니다. 이렇게 하면 적절히 자기가 흡수할 수 있는 것만 흡수하면서, 마치 배터리 건전지가 직렬로 2개 연결된 것처럼 활용되는 태양전지가 됩니다. 이렇게 되면 에너지 손실을 줄여서 이론적인 효율이 올라가는 원리를 가집니다.

건전지를 2개 붙이면 전압이 1.5V에서 3V로 올라가고 계속 올라가는 것은 다 잘 아실 것입니다. 그렇게 전압이 계속 올라가는 문제가 있습니다. 그다음에 우리가 에너지 손실을 줄이면 여기 보시는 것처럼 하나만 썼을 때는 우리가 기대할 수 있는 최고 효율이 33%인데, 이것을 2개만 바꿔도 46%로 올라갑니다. 기술적으로 어렵겠으나 계속 쌓아간다면 최종적으로 60% 이상의 효율도 이론적으로는 가능합니다. 그리고 실제 2개짜리, 3개짜리에서는 연구도 많이 이루어지고 있습니다.

국내에서 기술 개발이 많이 이루어지고 있습니다. 저희를 포함해서 많은 그룹에서, KAIST도 저희와 같이 연구하셨고요. 어려운 기술이기는 하지만 그래도 전 세계적으로 리딩하고 있었습니다.



가장 큰 기여가 됐던 부분은 여기 두 개 중에 페로브스카이트 태양전지라고 부르는 태양전지가 기술적으로 우리가 전 세계를 계속 선도해 오고 있다는 것입니다. 사실 우리나라에서 시작이 됐고요. 기술적으로 계속 선도해 오고 있습니다. 선도가 결국 우리가 가지는 가장 큰 수월성이 됐고, 그것을 기반으로 하는 새로운 소재에 대한 것도 우리가 수월성을 가질 수 있게 되었습니다.

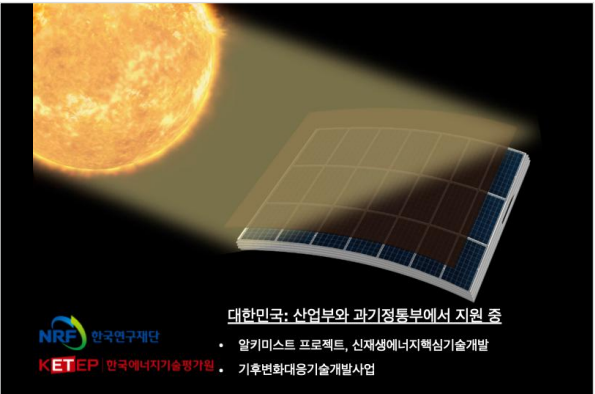
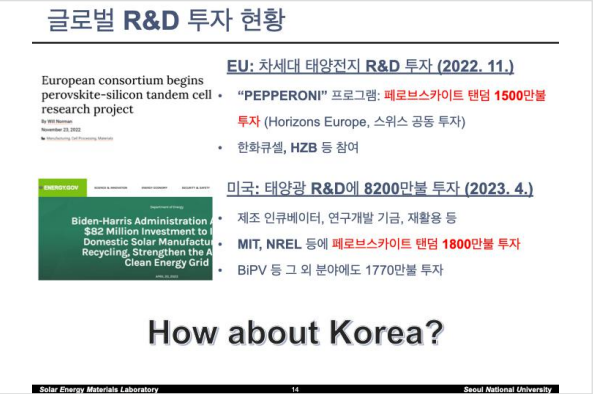
오늘 성균관대 박남규 교수님이 오늘 와 계시는데, 성균관대 박남규 교수님이 이 페로브스카이트 쪽에서 아주 오리지널한 연구 성과를 갖고 있다고 전 세계적으로 인정받고 계십니다. 사실 어떤 공신력 있는 기관에서 노벨상 후보로도 많이 언급되십니다. 오늘 와 계셔서 제가 부담감이 약간은 있습니다. 아무튼 페로브스카이트를 기반으로 저희가 탠덤 태양전지라는 것도 이렇게 잘할 수 있었다, 이 정도로 이해해 주시면 될 것 같습니다.

이것이 중요한 것은 다 알겠는데 그러면 전 세계적으로 어떻게 투자하고 있느냐 살펴해보시면 다 최근입니다. 2022년 작년 말 EU에서는 대략 1,500만 불 정도의 투자를 했습니다. 이 탠덤 태양전지 개발만을 위해서 이 정도가 투자된 것입니다. 그래서 거기에 한화큐셀과 연구소들이 참여하고 있습니다. 한화큐셀은 국내 연구개발에도 참여하고 있지만 해외에서 투자를 많이 합니다. 독일에 법인이 있기 때

문에 그쪽에서 참여하고 있고, 미국 같은 경우도 올해 초에 8,200만 불 총투자를 했습니다. 그중에서 1,800만 불을 단일 기술에 투자하는 것으로 공식 발표(announce)를 했습니다. 그래서 MIT와 NREL이라고 제가 예전에 일하던 연구소이기도 한데, 주요 핵심기관들에 1,800만 불을 투자해서 이 분야를 더 개발하겠다는 것들이 이루어지고 있습니다.

우리나라는 어떻게 생각해 보면, (검은 화면을 가리키며) 매일 밤 제 마음이 사실 이렇습니다. 매일 밤 제 마음이 이런데 태양전지의 가장 큰 장점은 해가 매일 뜬다는 거죠. 내일도 해가 뜨고요. 농담 삼아 말씀드렸습니다.

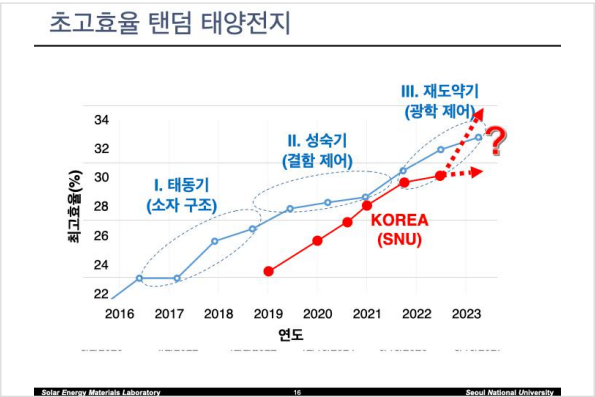
과학기술정보통신부와 산업통상자원부에서 투자를 많이 해 주셨습니다. 사실 규모에 비해서 규모는 크지 않았으나 좀 더 선제적으로 투자해 주신 결과 저희가 연구개발을 할 수가 있었습니다.



하지만 이제 페이지가 바뀌어가고 있습니다. 보시는 것처럼 소자 자체에서만 보시면 레코드 효율들이 쏙 나와 있습니다. 저희 같은 경우 시작은 일찍 했지만 실질적인 의미 있는 결과를 내기 시작한 것은 좀 늦었습니다. 하지만 그런 투자 결과로 저희 그리고 아까 페로브스카이트 기술이 계속 발전 하면서 어느 정도 격차해소(catch-up)을 했고, 사실은 조금 앞서기도 했습니다. 최근 다시 유럽 쪽에서 워낙에 투자가 활발하게 되고 회사들이 적극적으로 들어오면서 다시 이렇게 치고 올라가는 상태에 있습니다.

아까 제가 마음이 좀 까맣게 타들어간다고 말씀을 드렸었는데 이런 상황에서 우리가 선점한 그런 기술적인 수월성을 어떻게 계속 끌고 갈 수 있을까, 그리고 어떻게 이런 것들을 우리가 산업적으로 성취(implementation) 할 수 있을까 이런 것에 대한 고민이 좀 더 많이 필요한 시기가 아닌가 합니다.

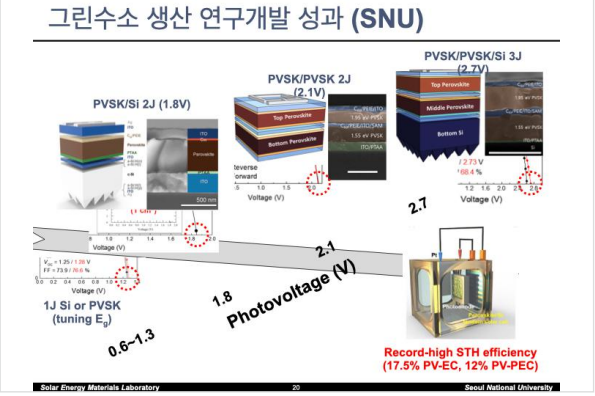
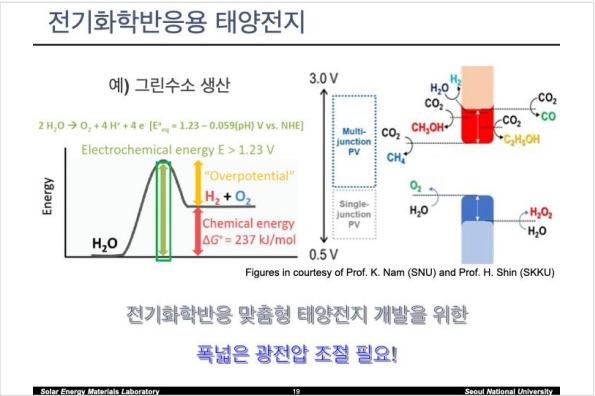
나머지는 아주 간단한 것들입니다. 태양전지 고효율화에 대해서 말씀드렸고 여러 가지로 쓰일 수 있다고 말씀드렸는데, 모빌리티에서만 보시더라도 태양전지를 차에다 붙입니다. 비싸지만 실제 상용으로 라이트이어나라는 회사에서 파는 차입니다. 태양전지로 대략 시간당 12km 연비를 줄여준다고 하니까 이것이 시내주행을 하면 상당한 게인이 됩니다. 그 외에도 우주형 태양전지라든지 드론이나 혹은 저궤도 위성을 대체할 수 있는 무인항공기 등의 전원으로 사용하는 것들의 개발이 필요합니다.



그다음 제로에너지빌딩 같은 경우 훨씬 더 적용할 부분이 많습니다. 보시면 거의 건물에 들어가는 모든 부분에 태양 전지가 들어가서 기능(function)을 할 수 있는 것들이 많습니다. 특히나 국토교통부에서는 관심을 많이 가져주시고 투자를 해 주시면 좋을 것 같습니다.

수소도 마찬가지입니다. 수소 같은 경우에는 특히 이산화탄소 환원과도 연계돼 있고 광전압을 조절하는 것이 중요합니다. 아까 제가 보여드렸던 그림들을 보시면 건전지를 직렬로 연결한다고 말씀드렸는데, 그러면 전압이 계속 올라갑니다. 물분해라든지 이산화탄소 환원이라든지 이렇게 특정한 반응에 적합한 태양전지 기술을 개발해서 그것을 가지고 분산화시킨 수소 등을 만들 수 있는 그런 기술적 근거가 되겠습니다.

에너지절약이 정말 중요하고 특히 신재생에너지 태양에너지 같은 경우는 에너지밀도가 낮기 때문에 절약 개념으로 접근하지 않으면 사실 그것만으로는 독립(stand alone)해서 뭔가를 하기는 상당히 어려운 부분이 있습니다. 그래서 에너지절약 측면과 에너지 생산이 결부된 그런 특이한 에너지원으로써 태양전지를 봐주시면 좋을 것 같습니다.



Q&A

Q

박남규 | 성균관대학교 교수

우리가 넷제로2050을 하기 위해서는 사실 2030년에 누적량으로 6TW 태양광, 2050년에는 20TW의 태양광이 설치되어야 합니다. 현재 2022년에 전 세계 태양광은 1TW를 넘어섰고, 시장이 한 20% 정도 성장하고 있는 것을 알고 있습니다.

제가 보는 관점은 시장의 관점에서 넷제로2050을 가져가서, 이것을 기회삼아 우리가 시장에 어떻게 진출할 수 있느냐는 것입니다. 앞으로 그렇게 되려면 매년 500W의 시장이 형성되어야 하고 40% 이상이 진출, 성장해야 합니다. 우리가 흔히 이야기하는 원자력발전 같은 경우도 K-원자력 해서 효자산업이라고 얘기하고 있지 않습니까? 반면에 K-솔라가 수출의 효자상품이라는 이야기는 별로 안 나오고 있거든요. 그런 측면에서 보면 상당히 좋은 찬스입니다. 시장을 선점하고 K-솔라가 효자상품이 되기 위해서 필요한 연구개발 전략, 정부 역할에 대해서 의견을 듣고 싶습니다.

A

김진영 | 서울대 재료공학부 교수

제가 말씀드리면 반영이 되는 것인가요? 그랬으면 좋겠습니다. K-솔라, 좋은 말씀인 것 같습니다. 다만 현재 PV마켓 전체를 보시면 실리콘이 마켓 전체를 거의 95% 이상 하고 있고요. 산업(industry) 관점에서 보면 산업도 거의 전 세계 글로벌 top10 컴퍼니 중에 9개, 8개가 다 중국에 있습니다. 중국이 사실 국가적으로 밸류체인을 동시에 다 투자하면서 다른 나라 기업들의 경쟁력을 감소시킨 부분이 분명히 있고요. 그럼에도 불구하고 저희가 고무적인 부분은 제가 단독 회사를 거명해서 그렇지만 한화큐셀이라는 회사가 전 세계에서 대략 5위에서 10위 안쪽 그 사이를 계속 왔다 갔다 하면서 잘하고 있습니다. 충분히 좋은 교두보가 될 수 있을 것이라고 생각합니다.

한화큐셀이 어떻게 하면 전 세계적으로 다시 산업적으로 리딩을 가져갈 수 있을까 생각해 보면 딱 하나인 것 같습니다. 기술적으로 지금 결국 태양전지 산업의 모든 트렌드는 고효율화에 있습니다. 기존의 단일접합 가지고 하는 것은 한계가 있고 아까 예시를 들었던 이런 페로브스카이트 같은 것들을 얹음으로써 차세대 구조를 만들어야 합니다. 실제로 한화가 상당히 앞서나가고 있는 분야입니다.

그렇기 때문에 그런 차세대 기술, 아까 G7 장관들도 똑같이 얘기했다고 하는데, 차세대 기술, 산업화기술에 좀 더 투자를 많이 할 수 있으면, 그래서 산업과 연계하는 기술에 투자를 많이 할 수 있으면 그런 부분이 K-솔라로도 이어질 수 있지 않을까 생각합니다.



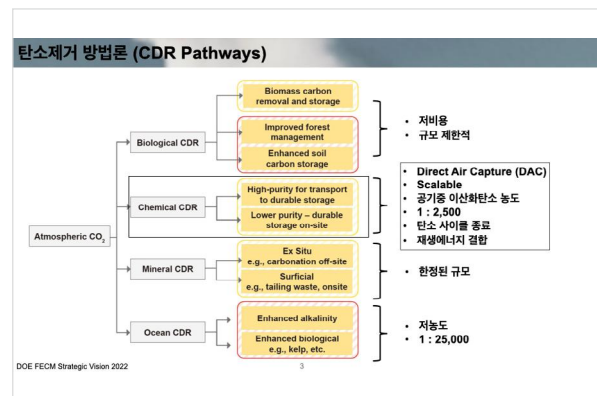
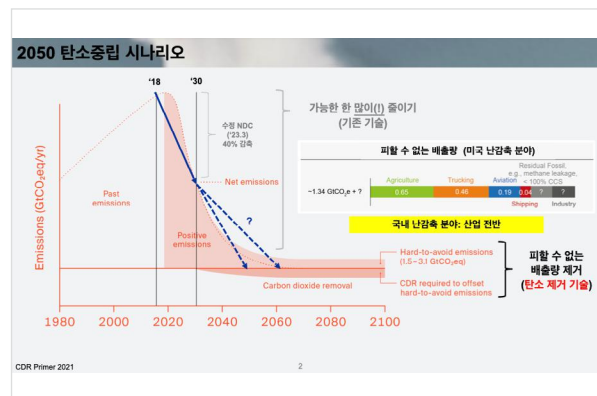
고동연 KAIST 생명화학공학과 교수

제가 오늘 말씀드릴 내용은 탄소 제거라는 분야입니다. 사실 현재 시장도 거의 없고 기술도 굉장히 초기단계입니다. 그래서 전망(perspective) 쪽을 말씀드리고 싶지만 가능한 저희 기술도 설명 드리고 앞으로 어떻게 성장할 수 있을지, 그리고 우리나라에서 서울대학교와 KAIST가 어떤 역할을 할 수 있을지에 대해서도 말씀드리려고 합니다.

이 슬라이드에서 빨간색 점선이 결국 저희가 가고자 하는 길입니다. 현재 2023년에 거의 피크치에 올라와 있는 탄소 배출(carbon emission)을 2050년, 2060년까지 탄소중립, 우리나라 말로 탄소중립이라고 하고 넷제로를 이루고자 하는 것이 현재 목표인데요.



우리나라도 자체적으로 NDC를 가지고 있습니다. 그래서 어느 정도를 제거하겠다고 국제사회에다 반영해 놓은 그런 수치가 2018년 대비 40% 저감입니다. 그렇게 하면 저 커브가 거의 비슷하게 내려갈 수 있습니다. 사실 저희가 모든 산업 분야에서 가능한 한 많이, 최대한 열심히 노력하면 그래도 할 수 있겠다는 계획을 세워놓은 상황입니다. 그래서 기존 기술로써 가능한 한 많이 줄일 수 있는 노력을 현재 해야 하는 분야이고요.



사실 2030년 그 다음을 봐야 합니다. 그다음은 2050년, 각각의 나라마다 조금씩 다르기는 합니다. 대략 2050년에서 2060년 사이까지 저희가 넷제로를 이루기 위해서 정말로 어떤 기술이 필요한지도 생각을 좀 더 해 봐야 합니다. 왜냐하면 이렇게 곡선이 쪽 내려오는데 포지티브 배출(positive emission)이라고 되어 있는 주황색 점선이 끝까지 내려가지 않습니다. 이 분야는 사실 여기에도 쓰여 있다시피 난감축 분야라고 하는데, 탄소배출량을 제거하기 어려운 난감축 분야입니다. 이것은 미국 에너지부에서 발표한 자료입니다. 미국의 온실가스 난감축(Hard-to-abate) 분야는 굉장히 다양합니다.

그런데 사실 우리나라 같은 경우에는 정말 산업 집약적인 산업구조를 갖고 있습니다. 제가 감히 말씀드리기는 하지만 국내 산업 전반이 난감축 분야라고 말씀드려야 할 것 같습니다. 탄소중립을 하려면 어떤 분야에서 정말 피를 깎는 노력을 해야 합니다.

그러면 우리나라에서 2030년에 NDC를 달성했다는 가정 하에 30년부터 앞으로 20년 동안 더 나아가기 위해서는 난감축 분야에 대한 컨트롤, 그리고 그것에 대한 대비가 필요한 단계라고 볼 수 있습니다. 그리고 그 단계에서 탄소 제거라는 기술이 대두되고 앞으로 어떤 역할을 하게 될지를 말씀드리겠습니다.

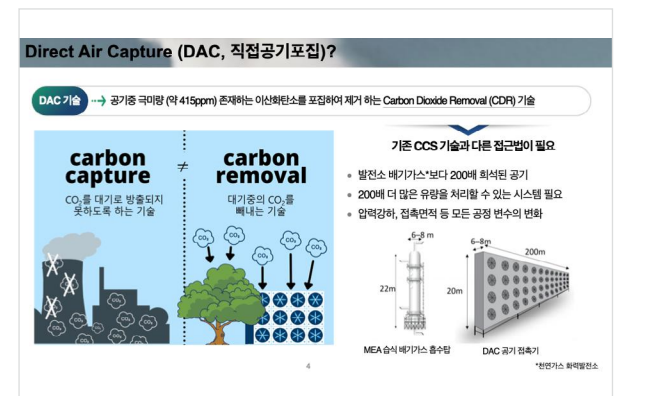
사실 탄소 제거를 할 수 있는 공학적인 방법론은 굉장히 많습니다. 생물학적인 방법론, 화학적인 방법론, 광물에 저장, 그리고 해양에 저장하는 등 여러 가지 방법론들이 있습니다. 사실 오늘 가장 크게 말씀드리고 싶은 부분은 화학적으로 엔지니어링 시스템을 만들고 그 엔지니어링 시스템이 기존의 바이올로지컬 시스템이나 전 지구적인 내추럴한 시스템보다 훨씬 더 빠르고, 훨씬 더 큰 용량으로 이런 부분들을 달성할 수 있는가에 대해서입니다.

그중에서도 공기 중에 있는 이산화탄소를 포집하는 직접 공기 포집(Direct Air Capture)라는 기술이 현재 가장 각광받고 있습니다. 이 기술 자체는 지난 10년 동안 정말 미국 내 그리고 유럽에서도 굉장히 큰 논쟁(debate)이 있었습니다. 이것이 열역학적으로 가능한 것이냐, 상용화가 가능한 것이냐 이런 것들을 다 뛰어넘어서, 현재는 상용화 레벨까지 와 있는 그런 기술 중에 하나입니다.

현재 공기 중 이산화탄소 농도는 415ppm에서 418ppm 정도가 됩니다. 농도가 굉장히 낮기는 하지만 그래도 해 볼 수 있는, 그리고 열역학적으로 충분히 문제가 없는 그런 시스템입니다.

굉장히 중요하게도 직접 공기 포집(Direct Air Capture)을 하게 되면 후단에서는 우선적으로는 이산화탄소를 지중 저장 해야 하는데, 그렇게 되면 카본 사이클을 종료한다는 가장 하나의 파워풀한 그런 툴 중에 하나라도 볼 수 있을 것 같습니다.

그리고 저희가 이런 직접 공기 포집(Direct Air Capture) 시스템을 어떤 식으로 에너지로 운영하는가에 따라서 재생 에너지와 결합한다고 하면 정말로 실현 가능(feasible)한 시스템들을 제안할 수 있을 것이라고 생각하고 있습니다.



그래서 탄소 포집(carbon capture)이라는 기존의 기술과는 조금 다르게 탄소 제거(carbon remover), 결국에는 탄소를 제거하는 기술 중 하나인 Direct Air Capture는 극미량 존재하는 이산화탄소를 선택적으로 제거하는 기술입니다. 그렇기 때문에 기존과 굉장히 다른 방법론들이 필요합니다. 발전소 배기가스보다도 거의 200배 정도 희석되어 있습니다. 그 말은 200배 정도 더 많은 공기를, 저허가 필터든 어떤 액체든 이런 CO₂를 선택적으로 흡수할 수 있는 그런 미디어에 200배 더 많은 공기를 접촉시켜줘야 하기 때문에 모든 공정 변수가 다 바뀔 수밖에 없는 기술이라고 할 수 있습니다.

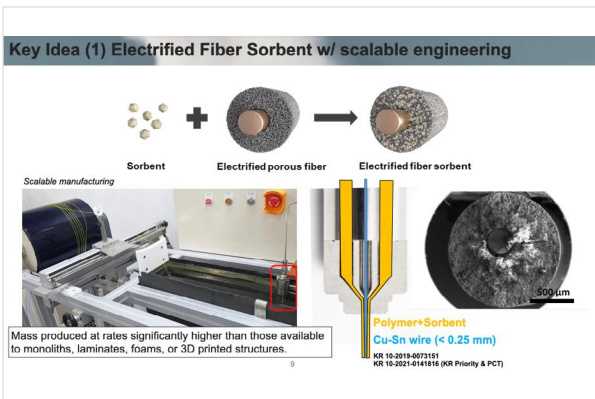
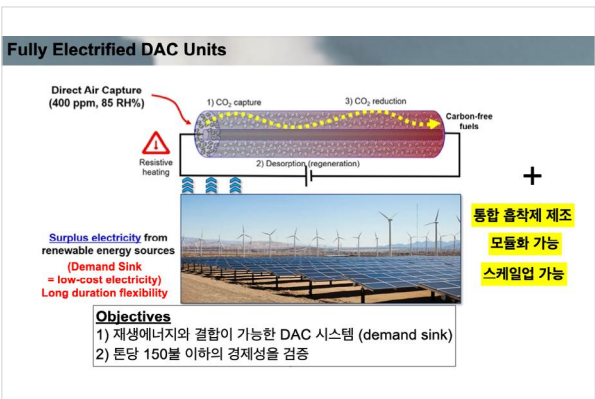
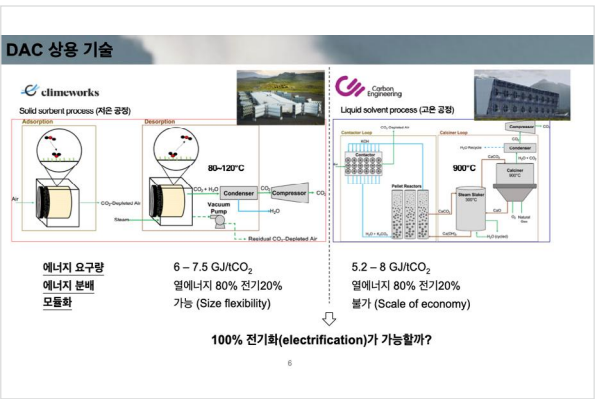
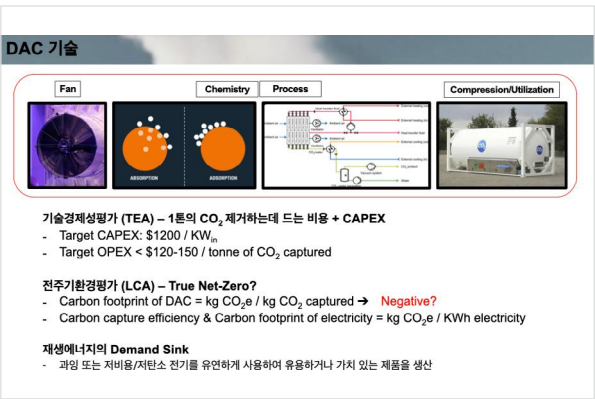
앞으로 새로운 패러다임의 기술들이 현재 태동기에 있고 산업도 아직 열려 있지 않은 상황입니다. 그렇기에 어떤 식으로 빠르게 선점하고 기술을 리딩할 수 있을지에 대해서도 계속 고민해야 합니다.

그래서 DAC(Direct Air Capture) 기술은 앞서 말씀드린 것처럼 크게 세 가지의 주요 구성요소(main component)가 필요합니다. 첫 번째는 공기를 정말 많이 흘려줘야 하기 때문에 강력한 대용량 팬이 필요합니다. 두 번째는 이산화탄소의 농도가 작기 때문에 그 안에서 이산화탄소만 선택적으로 포집할 수 있는 그런 화학 공정이 필요하고, 마지막은 정말 중요하게도 임시로 이산화탄소를 압축 저장했다가 어떻게든 지중 저장을 하거나 혹은 후단에서 이용할 수 있는 그런 시스템까지 같이 접목해서 생각해야 합니다.

굉장히 재미있는 부분 중 하나는, 이런 DAC 기술이 하나의 재생에너지의 디멘드 싱크, 기존의 용어로는 Power-to-X로서 과잉 생산된 재생에너지들이나, 혹은 재생에너지 가격이 낮아지는 그 시간대의 전기를 유연하게 사용할 수 있는 하나의 디멘드 싱크 기술로 판단할 수도 있을 것 같습니다.

현재 DAC 상용 기업 선두주자(pioneer)가 두 곳 있습니다. 하나는 스위스 기업인 클라임웍스(Climeworks)이고 두 번째는 캐나다 기업인 카본 엔지니어링(Carbon Engineering)입니다. 두 개의 기업에서 제시하는 프로세스가 꽤 다릅니다. 하나는 공기청정기처럼 필터를 쓰는 시스템으로, 고체흡착제 시스템이라고 합니다. 그래서 CO₂를 흡착한 다음에 온도를 조금 높여서 한 100도 정도 부근에서 CO₂를 탈착시키면서 나오는 CO₂를 탱크에 저장하는 시스템입니다.

고온공정은 기존에 해 왔던 CCS의 공정과 거의 비슷합니다. 용액을 조금 다른 것을 사용한다 뿐이지 거의 비슷한 상황입니다. 하지만 여기서는 저희가 알칼라인(Alkaline)계의 용액들을 사용하기 때문에 높은 재생 온도가 필요하다는 특징을 가지고 있습니다.



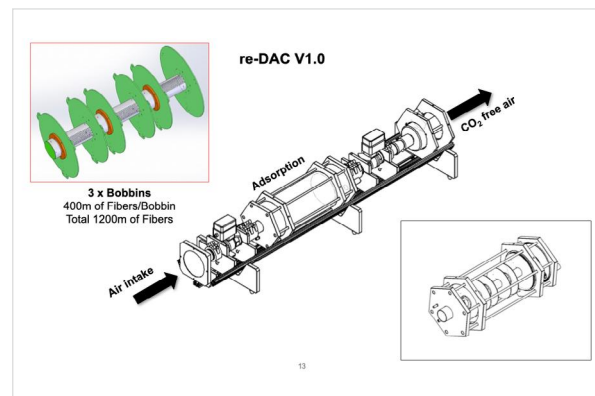
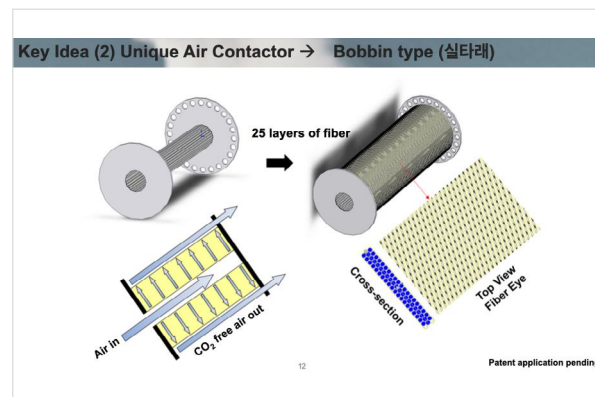
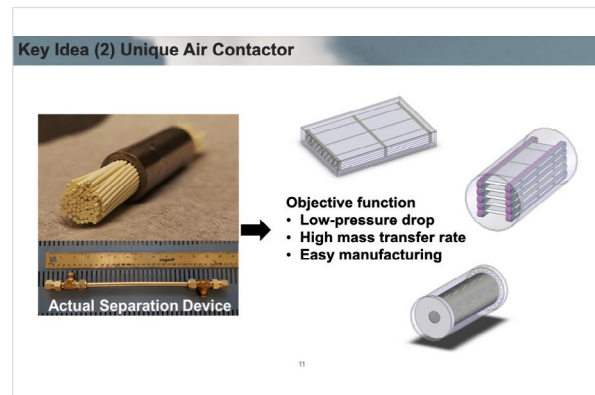
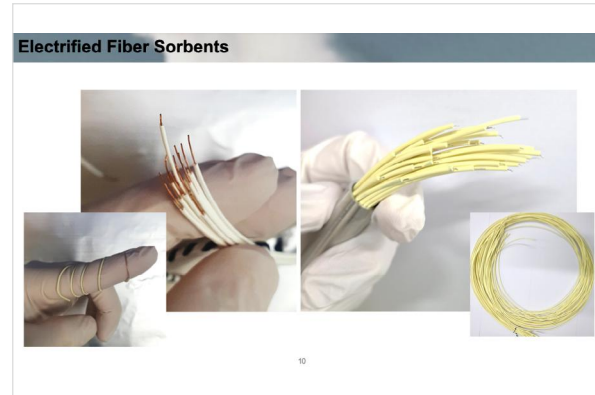
이는 흡착제 안에 전기 전선이 들어 있는 시스템이기 때문에 전기만 주게 되면 높은 순도(high purity) CO₂를 재생해서, 재생과정에서 CO₂를 뽑아낼 수 있는 시스템입니다.

또한 기존의 방사공정을 사용하기 때문에 이런 스피닝 공정을 통해서 굉장히 손쉽고 값싸게 대용량화할 수 있는 그런 장점이 있습니다.

그래서 이런 시스템을 가지고 어떻게 디멘트 싱크로서 저비용 전기(low cost electricity)를 사용할 수 있는 시스템을 할 수 있을가에 대해서 연구를 많이 하고 있습니다. 더 나아가서 모듈화할 수 있고 스케일업(scale-up)이 가능한 경로(pathway)를 찾기 위해서도 노력을 많이 하고 있습니다.

이것이 저희가 만들었던 시스템인데, 하나의 전선이라고 보시면 됩니다. 전선은 보통 겉에 절연체가 코팅되어 있습니다. 저희 시스템은 절연층이 훨씬 두껍습니다. 그 절연층이 CO₂를 흡착하는 흡착제층이라고 보시면 됩니다. 그러면 흡착제는 스케일업 생산(scaled-up manufacture)을 할 수 있습니다. 어떤 디자인으로 공기 접촉을 시켜 줄 수 있을가에 대해서도 많은 고민을 해 봤었는데, 사실 이것이 하나의 파이버 타입의 흡착제이기 때문에 가장 내추럴하게 선택할 수 있는 것이 이런 실타래 같은 타입입니다. 실타래에 잘 감게 되면 이런 공기의 흐름에 저항을 크게 주지 않고 이산화탄소 흡착량을 굉장히 높일 수 있는 시스템들을 개발할 수 있습니다. 그런 것들로 하나의 프로토타입을 만들었습니다.

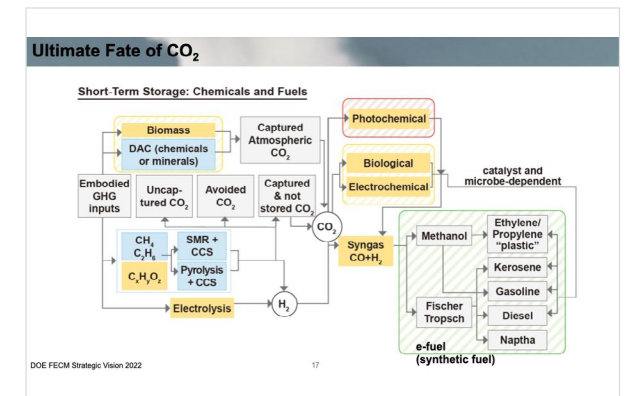
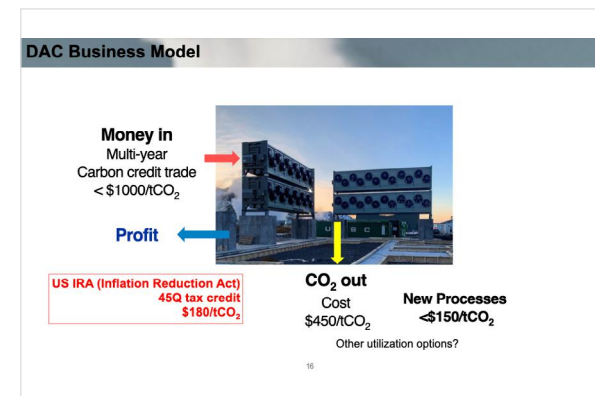
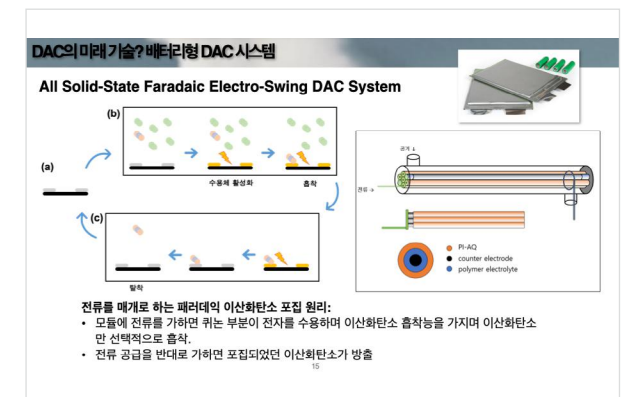
이름은 ‘re-DAC’이라고 지었습니다. ‘renewable electrified direct air capture V1.0’라고 했는데, 하나의 거대한 진공청소기처럼 생겼습니다. 실제로 소리도 들어보시면 진공청소기 같습니다. KAIST에 오시면 저희 이 유닛이 현재 구동되는 형태를 보실 수 있습니다. 뒤에서 공기를 빨아들이면서 앞서 보여드렸던 그런 공정을 통해 시스템을 운영합니다.



여기까지가 지금까지 개발된 내용입니다. 앞으로 어떻게 나아갈 수 있는가에 대해서도 새롭고 파괴적인 연구를 하기 위해 노력을 하고 있습니다.

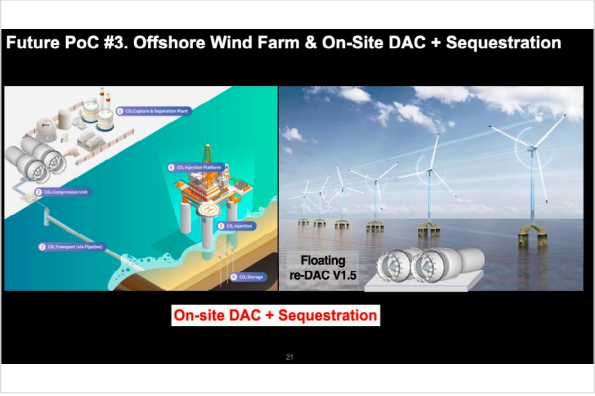
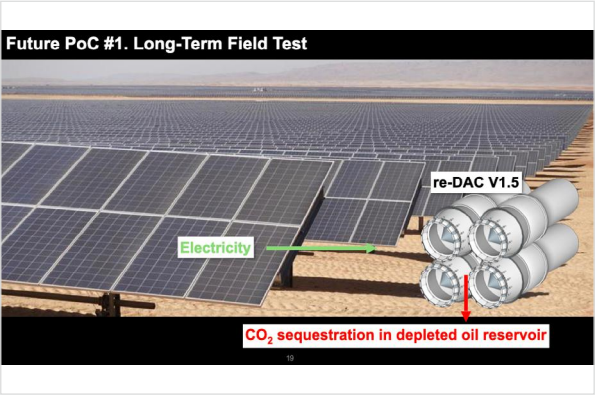
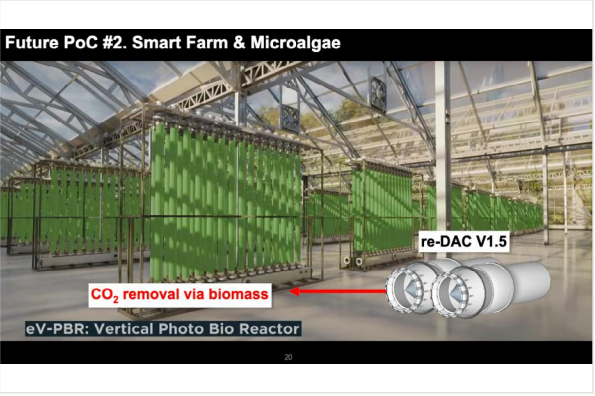
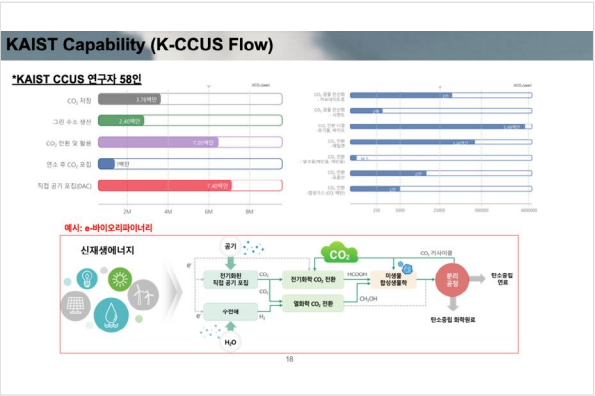
그러면 아예 이런 흡착이라는 정말 통상(conventional)한 사이언스를 사용하는 것이 아니고 이런 배터리형 전극을 사용해 보는 것이 어떨까 생각할 수 있죠. 그러면 전류를 매개로 해서 전류를 흘려줬을 때 배터리 전기를 충·방전하듯이 CO₂를 흡착했다가 탈착할 수 있는 시스템에 대해서도 현재 개발하고 있습니다.

결국에는 DAC의 기술만 말씀드린다기보다도 DAC가 정말 상용화되기 위해서는 기업의 니즈같은 것들을 반영할 수 있어야 합니다. 이 사진은 클라임웍스(Climeworks)가 아이슬란드에 설치한 DAC 플랜트입니다. 결국 클라임웍스(Climeworks)에서 하고자 하는 것들은 카본 크레딧을 트레이딩 하는 것입니다.



DAC 플랜트를 만들고 플랜트에서 제거하는 CO₂들을, 그 CO₂에 대한 크레딧을 CO₂를 제거하기 어려운 이런 기업들에 판매하는 방식입니다. 예를 들어서 하드웨어를 개발하지 않는 소프트웨어 기업들에 다년 계약(multi-year contract)를 맺으면서 카본 크레딧을 팝니다. 그러면 결국 남는 것은 이 기술의 경쟁성인데, 기술의 경제성만 확보된다면 높은 이익(profit)을 얻을 수 있습니다. 최근 들어 굉장히 재미있는 것이 미국에서는 IRA를 통해 45Q 세금 크레딧(tax credit)이라는 조례를 만들었습니다. DAC를 해서 이산화탄소를 제거 하는 경우 무조건 CO₂ 톤당 180불을 인센티브로 주기로 했습니다.

어떻게 보면 추가적인 경제성을 얻을 수 있는 부스팅을 해 줄 수 있는 부분입니다. 앞으로 좀 더 새로운 프로세스들에서는 이런 낮은 포집비용을 목표로 가지고 저희가 새로운 연구들을 할 수 있지 않을까 싶습니다.



Q&A

Q

김명자 | 제9대 한국과학기술단체총연합회 회장

포스텍에서 임지순 박사가 엑스프라이스파운데이션 컴피티션에 출전하셨는데, 거기서 중요시했던 것이 이노베이션이죠. 클라임웍스(Climeworks)처럼 전기에너지를 써서 바람을 불어서 통과시키는 것이 아니라 자연적인 바람이 일어나는 장치에 부착하는 방식으로 특허를 이미 받았고요. 그래서 예를 들면 자동차, 더 큰 모빌리티 그리고 풍력발전 날개 아래쪽 또 선박이 있겠죠.

이 아이디어는 굉장히 에너지 세이빙에서 좋잖아요. 흡착한 다음에 탈착해서 활용(utilization)할 수 있고요. 그 기술에 대해서는 어떻게 보세요? 이 연구를 많이 하시는 전문가로서 전망을 어떻게 보시는지요.

A

고동연 | KAIST 생명화학공학과 교수

제가 말씀드린 오늘 시스템이 액티브 DAC라서 팬을 사용하는 시스템이고 방금 말씀하신 부분이 패시브 DAC라고 현재 굉장히 중요하게 연구가 계속 이루어지고 있는 시스템입니다. 그래서 패시브 DAC만의 장점이 아까 말씀하셨다시피 풍력발전과 결합했을 때 정말 시너지가 크게 날 수 있다는 점입니다. 그리고 사실 그 패시브 DAC는 이 시스템보다도 조금 더 다른 흡착구조가 생겨야 합니다. 왜냐하면 공기를 흡입시켜주는 힘이 굉장히 적기 때문에 공기를 더 잘 만날 수 있는 구조들을 만들어야 하고, 그래서 보통 3D 프린팅이나 이런 기술들도 많이 사용하고 있습니다.

그래서 여러 가지 구조체들이 필요한데, 현재 이 두 분야 모두 다 초기 단계이기 때문에 더 빨리 클 수 있도록 우리나라에서 패시브 DAC도 많이 하고 액티브 DAC도 많이 연구하는 기회가 되면 좋을 것 같습니다.

정훈영 서울대 에너지자원공학과 교수

제가 말씀드릴 내용은 크게 네 가지인데 CCS 기술이 무엇인지 아주 간략하게 말씀드리고, 아마 잘 아실 테지만 그런 기술로 인해서 형성되는 CCS 산업의 시장 규모는 어떻게 예상되는지, 그리고 그런 예상 속에서 현재 국내외에서 CCS 사업이 어떻게 진행되고 있는지. 그리고 CCS 기술의 최신 동향에 대해서 말씀드리고자 합니다.

먼저 CCS 기술에 대해서 말씀드릴 텐데, 이 CO₂ 배출원로부터 CO₂를 포집하고 저장소로 포집된 CO₂를 수송한 다음에 수송되어 온 CO₂를 지하 땅속에 묻는 것이 바로 CCS 기술입니다.

각 분야별로 조금 세부적으로 말씀드리면 포집 같은 경우에는 포집시기에 따라서 연소 전 포집, 연소 후 포집 그리고 포집 방식에 따라서 흡수, 흡착, 분리막 기술들이 있습니다. 특히 흡수 기술 같은 경우는 CO₂가 포함된 그런 혼합기체

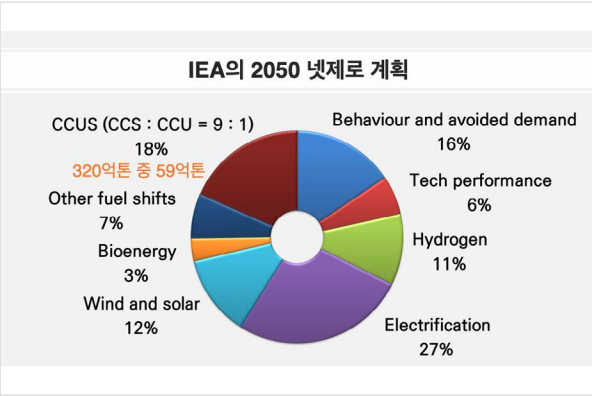
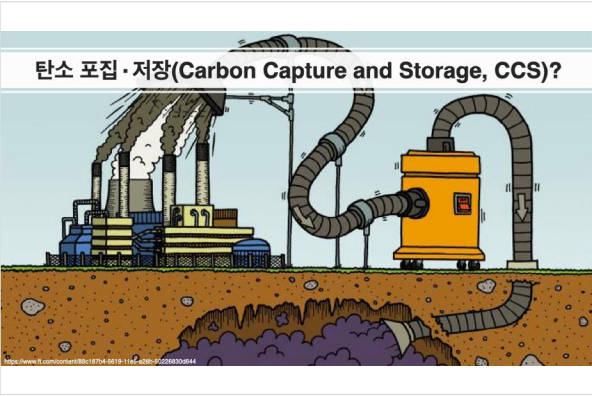


와 아민 수용액을 접촉시켜서 아민 수용액이 CO₂를 흡수해서 포집하는 방식입니다. 이것이 농도 민감도가 좀 낮고 그리고 대용량 처리가 가능하기 때문에 현재 상업적으로 많이 이용되고 있는 기술입니다.

탄소포집저장이라고 하면 수송분야를 간과하기 쉬운데 수송 같은 경우에는 크게 파이프라인과 선박이 많이 이용되고 있습니다. 이 파이프라인 같은 경우는 거리가 길어지면 거의 선형적으로 비용이 증가합니다. 그래서 500에서 1,000km 이하는 파이프라인, 그 이상에 대해서는 선박이 조금 더 경제적이라고 알려져 있습니다.

그리고 마지막으로 저장 분야인데 수송되어 온 CO₂를 땅속에 시추해서, 그 시추를 통해서 연결된 관을 통해서 땅속에 탄소를 저장하는 기술입니다. 주변에 길 가다 보면 돌을 많이 볼 수 있습니다. 그 돌들이 굉장히 타이트 해 보여도 오

순서			
CCS 기술이란?	CCS 산업의 예상 시장 규모는?		
국내외 CCS 사업 현황은?	CCS 기술 동향		



2050년 CCS 산업의 예상 규모는?

- CCS 비용 \$100/톤으로 가정
 - ✓ 포집 \$50/톤, 수송 \$20/톤, 저장 \$30/톤
- CCUS 기술의 탄소 저감량 = 59억 톤
- IEA가 제시한 CCS 및 CCU의 비율 9 : 1
- 59억 톤*90% ≒ 53억 톤*\$100/톤 = 5,300억 달러/년 (약 700조/년)

SNU Subsurface Fluid and Transport Lab (SFTL) heonjung.jeong@snu.ac.kr

른쪽 그림에 보시는 것처럼 암석 알갱이 사이사이에 굉장히 빈 공간이 많습니다. 공극이라고 부르는데, 그 공극에 CO₂를 주입해서 저장하는 것이 바로 탄소저장입니다.

저장할 수 있는 암석층 타입의 형태는 크게 두 가지가 있습니다. 폐가스형과 대수층입니다. 천연가스를 생산하고 생산이 종료되면 그 속에 CO₂를 저장하는 폐가스전, 그리고 물로 차 있는 대수층에 저장하는 대표적인 저장 형태입니다.

이러한 CO₂ 기술로 인해서 형성되는 시장 규모를 제 나름대로 한번 계산해보았습니다. 보시는 그림은 IEA에서 제시한 2050넷제로 계획입니다. 행동교정, 기술향상, 수소 등 여러 가지 기술들을 이용해서 배출되는 320억 톤 전부를 2050년까지 다 저감하겠다는 계획입니다. 그중에서 CCUS는 59억 톤, 약 18%를 차지하고 CCS와 CCUS를 9:1의 비율로 저장할 수 있겠다는 계획을 IEA에서 제시했습니다.

이 데이터에 근거해서 제가 시장 규모를 한번 가능해 보았습니다. 계산을 쉽게 하려고 CCS 비용을 총 톤당 100불로 가정하였습니다. 포집에 50불, 수송에 20불, 저장에 30불입니다. 포집원이라든지 수송 방법, 저장 형태 등에 의해서 이 숫자는 달라질 수 있습니다.

총 CCS 기술로 인한 저감량이 59억 톤이고 그중에 90% 53억 톤 거기에 톤당 100불을 곱해서 연간 5,300억 달러, 한화로 약 연간 700조의 시장이 될 수 있지 않을까 생각합니다. 이 숫자가 그렇게 정확하다고 말씀드릴 수는 없고, IEA에 제시한 계획에 따르면 2050년 정도에는 수천억 달러의 시장이 형성될 수 있겠다고 대략적으로 말씀드릴 수 있습니다.

수천억 달러의 CCS 산업 시장이 형성될 것으로 예상되는 가운데, 현재 진행되고 있는 CCS 사업들은 다음과 같습니다. 보시는 그림은 전 세계 CCS 설비현황인데, 원의 크기가 지금 저장용량, 설비용량이라고 생각하시면 됩니다. 빨간색이 현재 운영 그리고 건설, 계획단계 등의 지도상에 위치를 표기한 그림입니다. 2022년 9월 기준으로 설비용량이 연간 4,258만 톤입니다. 넷제로 계획에 있는 53억 톤에 비하면 1%에도 미치지 못하는 턱없이 모자란 양입니다. 그래서 CCS 산업 발달은 매우 초기단계에 있습니다.

1% 미만이라는 하지만 세계 각국에서 여러 프로젝트가 진행되었습니다. 대표적인 노르웨이 프로젝트와 국내 사업의 예를 들 수 있습니다. 최근에 가장 주목받고 있는 CCS 프로젝트가 노르웨이의 Northern Lights 프로젝트입니다. 노르웨이에서 CO₂ 선박을 띄워서 유럽 각국에서 CO₂를 수거해서 노르웨이로부터 100km 떨어진 파이프와 연결된 북해에다가 저장하겠다는 그런 프로젝트였습니다.

이 프로젝트는 굉장히 큰 의미를 가집니다. 탄소가 해양국경, 크로스보더에서 수송 및 저장을 상업적으로 제공하는 최초의 프로젝트가 될 것으로 예상하고 있습니다. 2024년부터 서비스 예정에 있고, 톤당 30에서 55유로 정도를 서비스 비용으로 받을 계획이라고 합니다. 이 프로젝트에 노르웨이 정부에서 약 16억 달러를 투자하였고 유럽연합에서 FEED 스타디에만 400만 유로를 투자했습니다.

국내에서는 두 가지 프로젝트가 진행되고 있습니다. 오른쪽에 보시는 그림은 동해가스전 해상플랫폼인데요. 이 해상플랫폼과 천연가스를 수송하던 파이프라인을 재활용해서 탄소를 수송하고 저장하는 비용을 절감하겠다는 사업입니다. 40년간 연간 30만 톤, 총 1,200만 톤을 저장한다는 계획을 제시했지만 그 천연가스 밑에 또 대수층이 있기 때문에 1,200만 톤보다 조금 더 많은 양이 저장될 수 있을 것으로 예상하고 있습니다.



두 번째로는 서해 군산분지입니다. 현재 시추 작업 중에 있고 연간 100만 톤을 목표로 하고 있지만 시추 작업이 끝나지 않아서 이 저장용량은 약간 불확실한 상황입니다. 서해의 경우에는 화력발전 시설이 굉장히 집중되어 있기 때문에 포집하고 수송하는 데 굉장히 용이하다는 장점이 있습니다.

마지막으로 CCS 최신 기술 동향에 대해서 말씀 드리고자 합니다. 지금 각 분야별로 비용절감에 초점이 맞춰져 있습니다. 이 CCS 산업이라는 것 자체가 어떤 제품을 만들어서 판매하는, 판매해서 수익을 올리는 산업이 아니다 보니까 국가 정책 그리고 국제협약에 굉장히 많은 영향을 받습니다. 탄소배출권 가격이 굉장히 불확실하기 때문에 각 산업 분야에서는 비용 절감에 초점을 맞춥니다.

포집 같은 경우 흡수방식 같은 경우에는 아민 수용액, CO₂ 분리할 때 굉장히 많은 열에너지가 필요한데 그때 그 열에너지를 저장하기 위한 기술들이 개발되고 있습니다. 이외에도 분리막 그리고 흡착 분야에서도 비용절감을 하기 위한 연구들이 많이 진행되고 있습니다.

수송 분야에서는 해상으로 만일에 CO₂를 실어 나를 경우 CO₂를 싣고 배가 갔다가 빈 배로 돌아오게 되면 경제성이 떨어지는 단점이 있기 때문에 빈 배에 LPG라든지 암모니아라든지 이런 것들을 선적해서 경제성을 향상시키려는 그런 수송선 개발에 초점이 맞춰졌습니다.

저장 같은 경우에는 AI 자동화를 이용해서 비용절감, 안전성 향상에 초점이 맞춰져 있습니다. 아무래도 제 전공분야이다 보니, 조금 더 자세히 말씀을 드리겠습니다. 탄소저장은 크게 탐사, 시추, 주입, 모니터링 단계로 나뉘지는데 탐사 같은 경우 지하의 암석층이 어떤 구조로 이루어졌는지 그 이미지를 정확히 알아야 안전하게 저장할 수 있습니다. 이때 워낙 방대한 양의 탐사자료가 획득되다 보니까 해석하고 분석하는 데 2~3년 이상이 소요될 수도 있습니다. 이때 머신러닝 같은 AI 기술을 적용해서 수개월 내로 탐사자료를 분석하고 해석하는 것을 줄이는 데 초점이 맞춰져 있습니다.

시추도 마찬가지로 효율성 향상에 초점이 맞춰져 있는데 시추 같은 경우 단 며칠만 늦어도 몇백만 달러, 수천만 달러가 추가로 소요될 수 있기 때문에 시추에서 실시간으로 막대하게 획득되는 그런 자료들을 실시간으로 AI를 적용해서, 해석해서 좀 더 시추 기간을 단축하고 효율적으로 시추 경로를 정하는 그런 기술 개발에 초점이 맞춰져 있습니다.

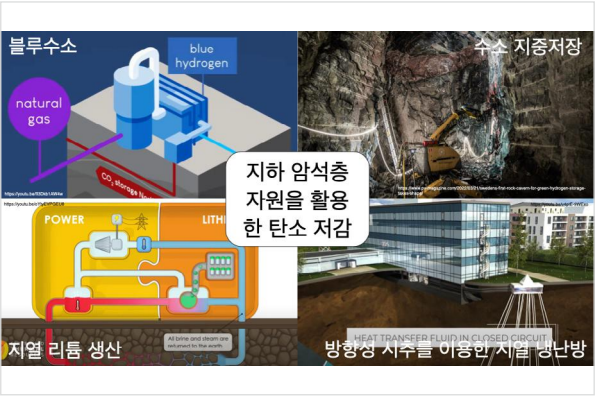
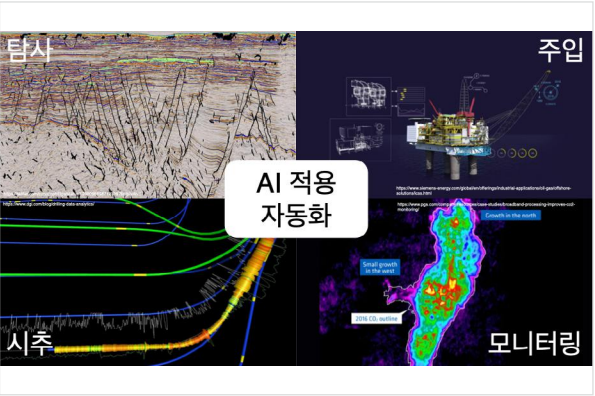
주입에서는 이것이 하루에 얼마나 CO₂를 주입하느냐, 그리고 어느 위치에서 CO₂를 주입하느냐, 그것이 저장 연구에 꽤 많은 영향을 미칩니다. 이런 것들을 실시간으로 최적화하는 기술 개발에 초점이 맞춰져 있습니다.

주입하고 끝나는 것이 아니라 이것이 수백 년간 안전하게 저장되어야 합니다. 주입한 CO₂가 지하 암석층에서 안전하게, 우리가 의도한 그 위치에 있는지 계속 지속적으로 모니터링을 해야 합니다. 그러나 모니터링하는 것도 방대한 양의 데이터가 얻어지다 보니까 해석하고 분석하는 데 시간이 많이 소요되다 보니 안전 문제에 신속하게 대응하는 것이 어렵습니다. 그래서 AI 기술을 적용해서 CO₂가 어떻게 퍼져나가는지를 좀 더 짧은 시간 내에 분석할 수 있는 그런 기술 개발에 초점이 맞춰져 있습니다.

이런 탄소저장기술 이외에도 지하 암석층 자원을 활용해서 탄소를 저장하려는 다양한 기술들이 시도되고 있습니다. 첫 번째로는 천연가스를 개질해서 나오는 수소와 CCS 기술을 결합한 블루수소, 그리고 재생에너지로부터 생산되는 잉여 전력자원을 이용해서 나오는 그린수소를 지하 공동에 저장하거나 암석층에 저장하는 수소 지중저장, 그리고 리튬을 생산하면서 지열에너지도 생산할 수 있는 지열 리튬 생산이 있습니다. 지열 냉난방 같은 경우에는 이미 건설된 빌딩에 적용하기에는 어려운 점이 있는데 이 방향성 시추를 이용하면 굉장히 좁은 면적에서 빠른 시간 안에 지열 냉난방 시설을 건설할 수 있다는 장점이 있습니다.

CCS 기술은 배출되는 탄소를 포집하고 수송해서 지하 암석층에 저장하는 기술이고 CCS 시장 규모는 수천억 달러에 이를 것으로 예상되지만, 현재 저장용량이 매우 낮은 상태입니다. 그럼에도 불구하고 수년 내 상업적인 탄소 수송, 저장 서비스가 개시될 것으로 예상됩니다. 국내 연간 약 7억 톤의 탄소배출은 에너지 자원 안보위기이지만, CCS를 포함한 탄소저감 산업을 신성장동력의 기회로 삼을 수도 있을 것으로 판단됩니다.

CCS 기술 분야에서는 경제성 향상을 위한 여러 기술이 진행 중에 있고 블루수소, 수소 지중저장, 지열 리튬 생산, 방향성 시추를 이용한 지열 냉난방 등 탄소저감을 위한 다양한 지하 암석층 자원 활용 기술들이 시도되고 있습니다.



요약 및 제언

- CCS 기술은 배출되는 탄소를 포집 및 수송하여 지하 암석층에 저장하는 기술임
- CCS 산업의 시장 규모는 수천억 달러에 이를 것으로 예상되나 현재 전세계 저장용량이 매우 낮음
- 수년내 상업적인 탄소 수송 및 저장 서비스 제공이 개시될 예정임
- 국내 연간 7억 톤의 탄소 배출은 에너지자원안보 위기이나 CCS를 포함한 탄소저감 산업을 신성장동력의 기회로 삼을 수 있음
- CCS 기술의 경제성 향상을 위한 포집, 수송, 저장 비용 절감 기술 개발이 진행 중에 있음
- 블루수소, 수소 지중저장, 지열 리튬 생산, 방향성 시추를 이용한 지열 냉난방 등 탄소저감을 위한 다양한 지하 암석층 자원 활용 기술들이 시도되고 있음

Session 2

탄소중립 미래인재

사회 윤제용 서울대 화학생물공학부 교수

인재양성 제도기반 조홍식 서울대 법학전문대학원과 교수

기초과학 인재양성 서용석 KAIST 문술미래전략대학원 교수

교육과 인재양성 이정규 교육부 인재양성정책과 서기관

과학기술 인력양성 임채권 과기부 미래인재정책과 서기관

윤제용 서울대 화학생물공학부 교수

탄소중립이 되려면 기술이 있어야 하는 것이기 때문에, 1부는 기술 세션을 했습니다. 그런데 탄소중립 전환을 이끌 인재가 필요합니다. 오늘이 서울대-KAIST가 공동으로 하는 포럼입니다. 둘 다 대학교이니 인재양성의 산실이라고 볼 수 있습니다. 우리가 지금 제대로 탄소중립 전환에 필요한 인재들을 잘 양성하고 있는가 하는 것들을 살펴보려고 합니다.



조흥식 서울대 법학전문대학원과 교수

탄소중립 시대 인재양성을 위한 제도적 기반에 대해서 두 가지 정도로 생각했습니다. 첫 번째는 기관 산업기반 (Institutional infrastructure), 법과 제도에 관해서 얘기해 달라는 취지로 생각을 했었고 그 부분에 관해서는 이미 「탄소중립·녹색성장 기본법」이 있을 수 있는 모든 제도를 다 담고 있어서 그 법률을 잘 활용하면 된다는 말씀으로 같음 하였습니다.

서울대와 KAIST가 인재양성을 하겠다고 하기 때문에 대학 차원에서 어떤 반응을 보일 수 있을지 생각해 봤습니다.

이윤을 추구하는 회사의 인적자원관리(human resource management)와 구별되는 교육적 차원에서 인재를 양성 하고 그것도 탄소중립 시대에 부합하는 인재를 어떻게 교육 하고 양성할 것인가를 논하는 것이기 때문에 우선 출발점으로 삼아야 하는 것은 이 기획 전체를 지도할 수 있는 교육철학의 탐구여야 합니다.

교육이라고 하는 것은 교육받는 사람의 성품(disposition)을 양성하는 것입니다. 즉 관련 분야에 필요한 재능(ability), 규모(scale), 지식(knowledge), 믿음(belief), 태도(attitude), 가성비(value), 성격 특성 구축(character trait cultivating)을 하는 것이 교육이 되겠습니다.



그래서 탄소중립 시대의 인재양성을 위한 체계로써 체계를 지휘할 지도이념, 실제적 이념으로서는 탄소중립(carbon neutrality)을 생각할 수 있습니다. 탄소중립(carbon neutrality)이 지금 시대에 부합하기 위해서 갑자기 만들어진 기술적인 개념이다 보니까 장점(pros)만 있는 것이 아니라 단점(cons)도 있을 것이어서 그 탄소중립(carbon neutrality)을 조금 더 검증된 원료로써 바꿔봐야겠다 생각 했고, 그것으로써 지속가능성(sustainability)과 환경관리(environmental stewardship) 정도를 생각할 수 있을 것 같습니다. 그래서 지속가능성(sustainability)은 탄소중립(carbon neutrality)에 정향된 지속가능성이 되겠습니다.

제가 참고한 <지속가능성 혁명(sustainability revolution)> 이라고 하는 책의 저자가 주장하기를, 지속가능성 혁명(sustainability revolution)에 교육이라고 하는 것이 중요한 요소(crucial component)인데, 결국 요체는 탄소중립사회(carbon neutrality society)를 향해서, 그것으로 가기 위해서 그 사회를 만들 수 있는 변화요인(agent of change), 그러니까 변화를 주도할 수 있는 도덕적 행위자를 양성하는 것이 대학이 해야 할 일이라는 결론에 도달했습니다.

어떻게 하면 탄소중립(carbon neutrality)에 부합하는 그런 행위자를 양성할 수 있을까 생각해 볼 때 여러 가지 교육 철학을 생각할 수 있습니다. 그런 여러 가지, 그러니까 루소의 에밀에 나오는 자연주의철학이나 또 진보주의적인 교육관이나 혹은 본질주의적인 교육관이나 기타 등등 여러 가지 교육철학에서 필요한 것들을 모아서 봤더니 세 가지 정도로 요약할 수 있겠습니다.

첫째는 탄소중립(carbon neutrality)이 요구되는 시대 상황에 대한 그래서 지금 우리가 당면한 환경 문제에 대해서 과학적으로 정확한 방식으로 이해시키는 것이 중요하다는 것이고, 두 번째는 말하자면 비판적 사고 능력(critical thinking skill)을 키우는 것이 중요하다는 것입니다. 세 번째는 지속가능(sustainable)한 사례(practice)에 적극적으로 참여할 수 있도록 루트를 만들어야 되겠다는 것으로 요약할 수 있습니다.

대학이 이와 같은 것을 위해서 어떤 구체적인 프로그램을 만들어야 될 것인가를 생각해 보면, 먼저 지속가능성입니다. 학생들이 인문학적 혹은 철학적 성찰이 뒷받침이 된 상태에서 실천적인 경험을 할 수 있도록 노출시켜야 되고, 그 과정에서 지나치게 목표지향적으로 갈 때 생길 수 있는 여러 부작용을 극복하기 위해서 윤리적인 고려 요소들도 함께 고려할 수 있어야겠습니다.

아울러 여러 가지 새로운 기회나 도전 이런 것에 대응할 수 있도록 연구 기회(research opportunity)를 충분하게 제공해야 하고, 그 과정에서 기업이 정신이나 혁신이 발휘될 수 있는 그런 환경을 조성해야 합니다. 이런 것들을 발전시키기 위해서는 결국 학제 간 연구를 할 수 있는 시스템이 만들어져야 되겠습니다. 심지어는 커리큘럼을 통합하고 학과도 조정하는 등의 노력이 필요합니다.

그리고 여러 가지 파트너십을 세워서 학교 이외의 기관과도 연계할 수 있어야 되겠습니다. 그 과정에서 학생들이 참여(engage)해서 적극적인 역할을 할 수 있어야 합니다. 또 국제적인 컬래버레이션도 도모하고 커뮤니티, 우리 주변에 있는 커뮤니티에 함께 나아가서 소위 커뮤니티 아웃리치에 나서야 되겠다는 것. 그리고 그것과 관련해서 학생들이 배운 것을 활용할 수 있게끔 직업 개발(career development)도 도모해야 하고 또 나아가서는 바깥에서 다시 재교육을 받으려고 하는 수요에도 응해야 되겠습니다. 그리고 이와 같은 목표를 모니터링하고 리포팅하는 것이 필요하겠다는 생각을 했습니다.

우리 서울대학교가 잘 하고 있다고 생각하고요. 저는 이런 새로운 목표가 나올 때마다 새롭게 제도를 만들고, 새로운 것을 만드는 것에 대해서 굉장히 부정적인 생각을 갖고 있습니다. 서울대학교에 많은 기관이 있고 또 환경대학원도 있고요. 그래서 그런 기존의 교육시스템을 잘 연계해서 활용하면 지금 말씀드린 여러 가지를 도모할 수 있지 않을까 생각했습니다.

서용석 KAIST 문술미래전략대학원 교수

저는 오늘 '탄소중립 혁신을 위한 미래 인재양성'이라는 주제로 말씀드리겠습니다. 기술패권 경쟁이라는 얘기 요즘 많이 들어보셨을 것입니다. 미국과 중국 간에 뭔가 전략기술을 둘러싼 경쟁이 격화되고 있습니다. 이런 전략기술의 보유 유무에 따라서 산업 발전은 말할 것도 없고 한 국가의 외교나 안보, 심지어는 국가 간의 동맹관계까지 좌우될 수 있는 그런 시대가 도래했습니다. 그래서 이런 기술패권 경쟁 시대에 부응하기 위해서 올 초 저희 KAIST에서는 총장 직속으로 국가미래전략기술정책연구소라는 것을 발족했습니다. 제가 지금 소장을 맡고 있고요.

저희 연구소에서는 과학기술정보통신부에서 작년에 선정한 12대 국가 전략기술에 대해서 정책이나 전략도 제공하고 있지만, 현재 배터리나 또는 반도체를 넘어서 향후 10년, 20년, 30년 후에 우리 국가가 전략적으로 꼭 가져가야 할 그런 기술들을 선제적으로 예측하고 또 발굴하고 이를 어떻게 육성시킬 것인가 그리고 확보할 것인가, 그리고 단순히 확보로 그치는 것이 아니라 이를 어떻게 전략적으로 활용할 것인가에 대해서 고민하고 있습니다.

그래서 제가 3월 초에 오랜만에 미국에 계신 제 지도교수님께 저희 연구소 운영방안에 대해서 조언도 구할 겸 한번 연락을 드렸습니다. 배경에 대해서 설명을 드렸더니 상당히 의외의 답변이 돌아왔습니다. 직접적으로 그런 표현을 쓰지는 않았지만 딱 이런 표현이었습니다. 기술패권 경쟁에 대해서 “바보야, 지금은 기술패권 경쟁이 문제가 아니다.”



“그러면 뭐가 문제지?” 이런 의아함을 가졌는데 이메일에 다음과 같은 내용이 등장합니다. “문제는 기후변화다. 지금 미국과 중국이 뭔가 전략기술을 놓고 패권 경쟁을 한다. 미국과 중국이 서로 협력해서 기후변화에 대응한다 하더라도 지금 인류의 존립 기반이 위험할 수 있는데, 지금 기술을 두고 싸우고 있다, 상당히 어리석다.”



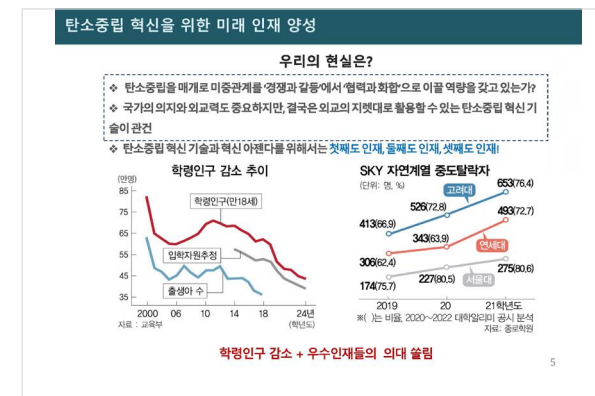
2



3



4



5

그러면서 또 하나 재미있는 이야기를 하나 하셨습니다. 지금 미중 간에 이런 경쟁과 갈등의 구도를 대한민국이 주도해서, 대한민국이 중심이 되어서 미중관계를 경쟁과 갈등에서 협력과 화합으로 이끌 수 있도록 해야 된다는 것입니다.

‘어, 이것이 어떻게 가능하지?’ 싶는데, 일단 그분의 이유는 이렇습니다. 먼저 지정학적으로 대한민국이 미국과 중국의 굉장히 중요한 위치에 놓여 있습니다. 그리고 아마 지구상에서 중국에 대해서 가장 잘 아는 나라가 대한민국입니다. 지난 5000년 동안 부대끼면서 살아왔으니까요. 그리고 또 하나가 대한민국은 세계에서 가장 변화에 민감하고 또 가장 혁신적인 국가입니다. 그래서 만약에 대한민국이 이런 미중관계를 협력과 화합으로 이끌어낼 수 있고 또 이를 통해서 기후변화 위기를 저감시킬 수 있다면, 그야말로 글로벌 리더가 될 수 있지 않겠느냐는 조언을 주셨습니다. 국뽕이 좀 차오르는 애기지만 한편으로는 우리나라가 이것이 가능할까, 과연 그렇게 할 수 있을까. 이 탄소중립을 매개로 미중관계를 과연 협력과 화합으로 이끌 수 있는 역량을 우리가 갖고 있을까. 국가의 의지, 외교력도 중요하지만 결국 이 외교의 지렛대로 활용할 수 있는 이런 탄소중립 혁신기술이 관건이 아닐까. 그런 생각을 해 볼 수 있습니다.

얼마 전에 모 대기업 회장이 “첫째도 기술, 둘째도 기술, 셋째도 기술이다.”라고 말씀하셨는데, 탄소중립 혁신기술과 또 혁신 어젠다를 위해서 저는 첫째도 인재, 둘째도 인재, 셋째도 인재가 아닐까 생각합니다. 그렇지만 지금 우리나라의 현실은 어떻습니까. 계속해서 저출생으로 인해서 학령인구가 감소하고 있습니다. 작년에 24만 9,000명이 태어났습니다. 그리고 그나마 줄어든 인력풀에서 많은 또 우수한 인재들이 예전과 같지 않게 과학기술계에 들어오지 않고 있습니다. 일단 의대 쏠림현상은 차치하더라도 당분간 저출생의 기조는 30~40년 정도 지속될 것이라 생각합니다. 그래서 앞으로 뭔가 인구의 양을 늘리기는 어렵습니다.

인구의 양을 늘릴 수 없다면 결국은 인구의 질을 높이는 방향으로 가야 하지 않겠습니까. 인구의 질을 높이기 위해서는 하나밖에 없습니다. 교육의 질을 높이는 것입니다. 초·중·고의 질도 높여야 되지만 특히 대학이나 대학원이 고등교육의 질을 높일 필요가 있지 않겠나 생각합니다.

탄소중립도 같은 맥락에서 결국은 핵심인재를 길러낼 수 있느냐 없느냐가 관건이 될 수밖에 없습니다. 그래서 기후위기, 탄소중립 같은 이런 난제 해결을 위해서는 기술 시스템 개발도 중요하고 또 여기에 기술 외에도 정책이나 금융 이런 것들이 융합될 필요가 있겠습니다. 그리고 이런 기초·응용 과학기술 해결책을 사회·경제·환경적인 임팩트로 이룰 수 있는 원스톱(Onestop) 연구개발과 탄소중립을 실현할 수 있는 국가의 핵심인재 양성이 필요합니다.

이미 글로벌 톱클래스에 있는 스탠포드나 콜롬비아대학 같은 경우는 작년부터 이미 관련 프로그램, 이런 고등교육을 만들어서 엄청난 투자를 진행하고 있습니다. 그래서 저희 KAIST에서도 올해 2월 28일에 공과대학의 프로그램 학사 과정으로 녹색성장지속가능대학원을 설립했습니다. 올 가을부터 신입생을 선발할 예정인데 지금 이미 선발 프로세스가 진행되고 있습니다.

이 녹색성장지속가능대학원의 비전, 목표, 인재상을 살펴보면 먼저 비전은 기후위기 대응과 지속가능한 성장을 위해서 탄소중립 과학기술 정책, 금융 융합연구를 수행하고 국가의 핵심인재를 양성하겠다는 것입니다. 목표는 국가 핵심 융합인재를 양성하고 또 초학제적으로 융합 연구를 통해서 세계적인 난제를 해결하겠다, 그다음에 글로벌 가치를 추구하고 혁신과 협력을 선도하겠다는 거고요. 여기에서 협력은 물론 국내 유관기관과도 협력하겠지만 특히 국제적으로 중국이나 또는 미국과 협력을 통해서, 외교적인 하드한 분야를 넘어서 소프트한 측면부터 우리가 협력을 해 나가면 좋지 않겠나 하는 겁니다. 이를 기반으로 해서 미중관계를 협력과 화합의 관 계로 이끌 수 있는 발판을 마련할 수 있다는 것이죠.

탄소중립 혁신을 위한 미래 인재 양성

탄소중립 국가 핵심인재 양성

- 기후위기 대응 및 탄소중립 같은 글로벌 난제 해결을 위해서는 혁신적인 기술 시스템 개발은 물론, 정책·금융 솔루션의 융합이 필요
- 기초·응용 과학기술 해결책을 사회·경제·환경적인 임팩트로 이끄는 One-stop 연구개발과 **탄소중립 국가 핵심인재 양성 필요**
 - 포스텍포드 대학은 기후위기 대응을 위해 학사조직을 전제적으로 개편하여 대학급의 Stanford Doern School of Sustainability를 2022년 가을학기부터 시작
 - 플립탐버아 대학은 기후과학, 사회과학, 공공정책을 융합한 대학원 과정(MA in Climate & Society)을 시작으로 2020년 가을학기 TheColumbia Climate School을 설치해 확장 중

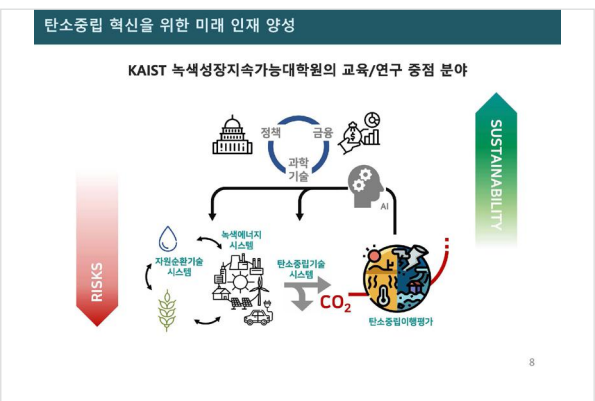
KAIST6

탄소중립 혁신을 위한 미래 인재 양성

KAIST 녹색성장지속가능대학원의 비전, 목표, 인재상

- 비전
 - 기후위기 대응과 지속가능 성장을 위해 탄소중립 과학기술과 정책·금융 융합 연구를 수행하고, 국가 핵심 인재를 양성
- 목표
 - 녹색성장·탄소중립 문제를 해결할 **국가 핵심 융합인재 양성**
 - 녹색성장·탄소중립 분야 **초학제적 융합연구로 세계적 난제 해결**
 - 녹색성장·탄소중립의 **글로벌 가치 추구 및 혁신과 협력 선도**
- 인재상
 - 기후위기 대응과 지속가능 성장을 위해 탄소중립 과학기술과 정책·금융 융합 지식을 창출할 세계적인 연구자 양성
 - 기후위기 대응과 지속가능 성장을 위한 탄소중립 과학기술과 정책·금융 융합 솔루션을 도출할 산업 및 공공부문의 리더와 창업가 양성

KAIST7



그 다음 인재상은 아까 말씀드린 바와 같이 일단 세계적인 연구자를 양성하는 것이 첫 번째입니다. 기술 개발도 필요하지만 기술을 어떻게 경제, 사회, 환경에 무난하게 녹여낼 수 있을지에 대한 그런 혁신적인 정책, 혁신적이지만 정교하고 그럴 듯(plausible)한 정책 개발이 중요합니다. 그리고 또 하나가 이런 기술들을 어떻게 사업화하고 또 국가의 새로운 성장동력으로 만들 수 있을지에 대한 실무가들을 양성하는 것입니다.

교육·연구 중점 분야는 이 하나의 그림으로 요약될 수 있을 것 같습니다. 먼저 탄소중립을 위해서 기술시스템적으로는 탄소중립이행평가, 탄소중립기술시스템, 그다음에 녹색에너지시스템, 자원순환기술시스템입니다. 그리고 이런 기술시스템을 기반으로 하여 여기에 정책과 금융이 융합돼서 경제, 사회, 환경 문제를 해결하는, 다시 말해서 기후변화에 대한 위기를 저감시키고 또 다른 한편으로는 이런 지속가능성을 극대화하는, 소위 임무지향형 교육·연구체계입니다.

마지막으로 향후 과제로써 제가 두 가지 정도 질문만 드리고 싶습니다. 세계적인 인재 확보 경쟁 속에서 많은 투자와 노력을 기울여 양성한 인재를 어떻게 국내에 유지(retention) 할 수 있을까. 이는 비단 탄소중립에만 해당되는 문제는 아닐 것입니다. 우리 과학기술계가 공통적으로 갖고 있는 그런 문제인데, 사실 실제로 이미 이런 것들이 일어나고 있습니다. 그래서 이런 인재들을 어떻게 우리가 유지·보유할 것인가 하는 게 첫 번째 질문이고요.

두 번째 질문은 아까 제가 저출생 기조가 앞으로 상당 기간 지속될 것이라고 말씀드렸습니다. 인재풀이 줄어들기 때문에 결국 해외의 우수인재들을 우리가 유인하고 유치해야 하는데요. 학령인구 감소로 제한된 인재풀의 대안으로 해외 우수인력을 어떻게 유인·유치할 수 있을지 여기에 대한 고민이 필요하다는 말씀을 드립니다.

탄소중립 혁신을 위한 미래 인재 양성

향후 과제: Retention & 해외 우수 인재 유인

- 세계적인 인재 확보 경쟁 속에 많은 투자와 노력을 기울여 양성한 인재를 어떻게 국내에 Retention (보유/유지)할 수 있을까?
- 학령인구 감소로 인한 제한된 인재 Pool의 대안으로 해외 우수 인력을 어떻게 유인/유치할 수 있을까?

KAIST9

이정규 교육부 인재양성정책과 서기관

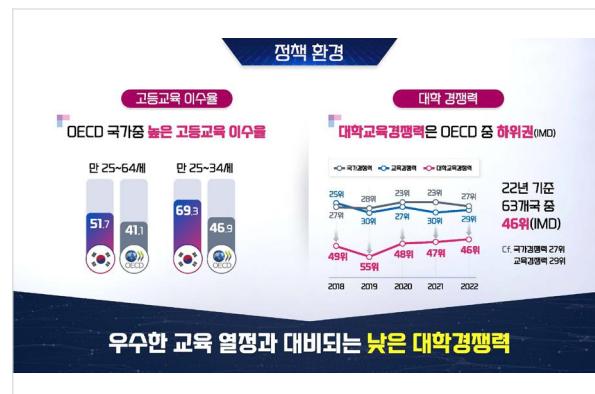
정부 출범 이후 교육부에서 우리나라 인재양성의 핵심이라고 할 수 있는 고등교육에 대한 다양한 교육개혁 과제들을 추진 중입니다. 고등교육을 중심으로 한 교육개혁 과제들을 소개 하고 첨단 분야 인재양성전략과 연계하여 교육부에서 구체적 으로 탄소중립 녹색성장과 연계된 주요 정책들에 대해서 발 표하겠습니다.



한국의 뜨거운 교육열은 세계적으로 유명합니다. 청년층의 고등교육 이수率は OECD 국가 중 1위입니다. 하지만 교육에 대한 열정에도 불구하고 국제지표로 보이는 한국 대학의 경쟁력은 그렇게 만족스러운 수준이 아닙니다. 대학교육 경쟁력지표는 46위로 다른 지표에 비해 매우 낮은 수준인데 이는 대학교육이 사회 수요에 긴밀하게 대응하고 있지 못하다는 것을 보여줍니다. 특히 최근에는 대학을 둘러싼 환경이 급변하고 있는 상황을 고려할 때 인재양성의 산실인 대학의 변화는 필수적입니다.

작년 한국의 출생률은 앞서도 들으셨듯이 0.78명으로 세계적으로 최저 수준입니다. 이와 함께 지난 5년간 청년인구의 수도권 유입 비율은 2배 이상 증가했습니다. 이로 인해 전국 226개의 기초지자체 중 89개 지역이 인구감소지역으로 지정되어 지방소멸의 위기가 가속화되고 있습니다.

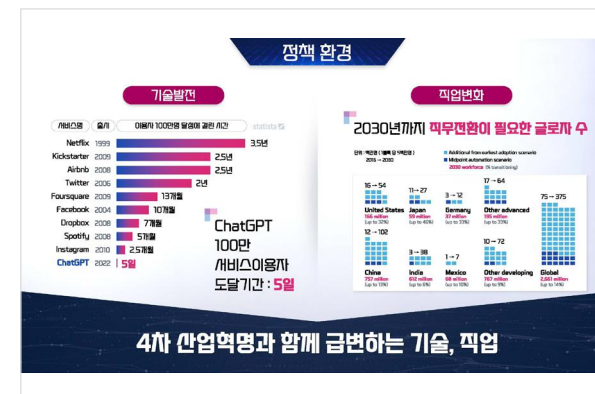
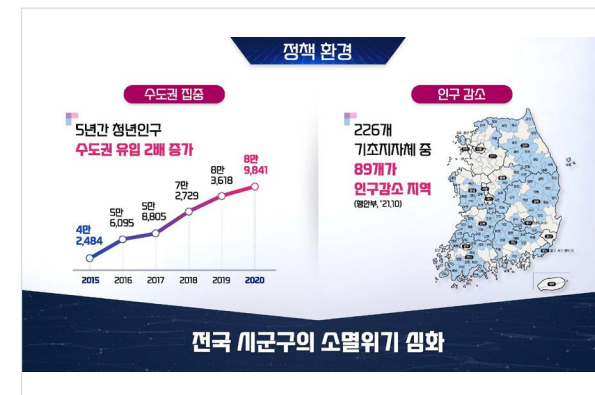
지방을 중심으로 한 인구감소와 수도권 집중은 지역만의 문제가 아닙니다. 대학 입학자원은 향후 20년간 절반 가까이 줄어들 것으로 전망되는 가운데, 이러한 학생 수 감소와 지역 소멸은 지방대학에게 더 큰 타격으로 다가오고 있는 상황입니다.



한편 산업사회 또한 급변하고 있습니다. 주요 온라인 서비스 이용자수가 100만 명이 되는 데 걸린 시간을 보면 넷플릭스가 3.5년, 트위터는 2년, 인스타그램은 2.5개월입니다. 그런데 ChatGPT는 단 5일이 걸렸고 두 달 만에 2억 명이 이용했습니다. 맥킨지글로벌연구소는 2030년까지 최대 3억7,500만 개의 일자리가 새로운 기술이 필요로 하는 직무로 전환된다고 예측했습니다. 변모하는 미래사회에 활약할 인재를 길러내기 위한 대학의 역할이 그 어느 때보다 중요한 시기라고 할 수 있습니다.

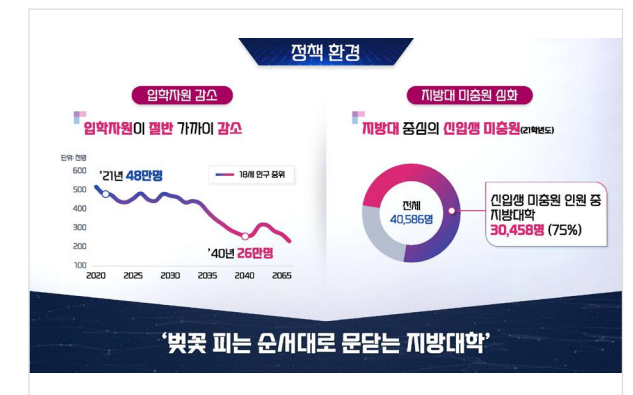
이런 점에서 교육부는 올해를 위기이자 기회로 인식하고 교육개혁의 골든타임이라고 생각하며, 고등교육을 중심으로 한 다양한 교육개혁 과제들을 발굴하여 추진 중에 있습니다.

우선 지역과 대학이 동반 성장할 수 있도록 지역혁신 중심의 대학지원체계를 구축하고 대학혁신을 지원하기 위해 규제를 완화하고 있습니다. 세계적 수준의 대학을 양성하는 한편, 첨단 분야 인재양성을 위한 범부처 협력도 강화하고 있습니다.



우선 지역이 경쟁력 있는 지역대학을 직접 육성하도록 대학 지원의 패러다임을 전환 중입니다. 대학지원의 행·재정 권한을 지방정부로 이양하고 이양한 지역혁신 중심 대학지원체계인 라이즈 체계를 도입했습니다. 올해 7개 지역에 시범운영을 시작으로 2025년에는 전 지역으로 확대할 계획입니다.

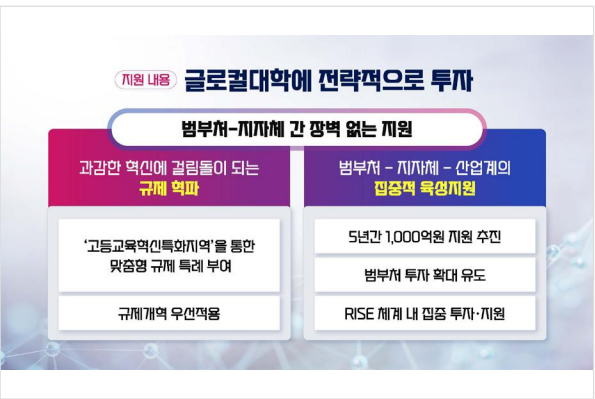
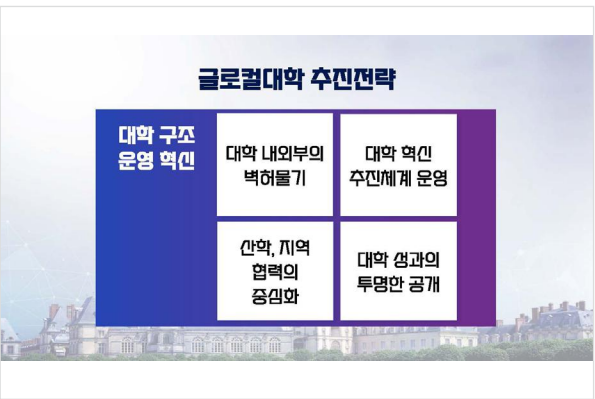
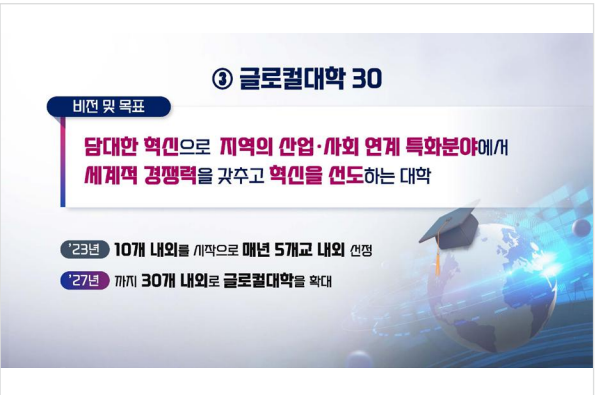
이를 통해 지방정부와 지역대학이 파트너십을 구축해 지역혁신을 함께 이룰 수 있을 것이라고 기대합니다. 라이즈 체계가 성공적으로 가동되도록 교육부는 대학재정지원사업을 대폭 개편하고 있습니다. 금년에는 산학 협력, 평생직업교육 등 지역수요 반영이 필요하고 지자체 협력이 필요한 대학재정지원 사업과의 연계를 추진하고 있으며, 전 지역에서 라이즈가 전면 시행되는 2025년에는 교육부의 대학재정지원사업의 50% 이상을 지방정부 주도로 전환할 계획입니다.



시·도에서는 대학지원 전담기관을 중심으로 지역발전계획에 따라 라이즈로 전환된 예산을 대학에 지원하게 될 것입니다. 이를 통해 지역 여건에 따라 지역정주형 취창업 연계, 자·산·학·연 협력, 지역 현안 해결 등이 지자체를 중심으로 활발히 이루어질 것이라 기대합니다.

이와 함께 대학이 미래 변화에 발 빠르게 대응할 수 있도록 그동안 대학을 옥죄던 규제도 과감하게 제거하고 있습니다. 대학이 자유롭게 교육과 연구에 매진할 수 있도록 대학의 운영기준을 개선하고 정부 주도의 획일적 대학평가는 폐지합니다. 대학정원도 총 입학정원 범위 내에서 대학이 자율적으로 조정하도록 하는 한편 산업계와 대학의 긴밀한 공조를 돕기 위해 제도 개선도 지속하고 있습니다.

글로벌대학인데요. 혁신적 변화 의지와 역량을 갖춘 대학을 세계적인 경쟁력을 갖춘 글로벌대학으로 육성하기 위한 노력도 경주하고 있습니다. 금년 10개 교를 선정하고 2027년까지 30개 교를 육성할 계획입니다. 교육부는 글로벌대학을 통해 대학구조 운영의 혁신을 도모하고자 합니다. 글로벌대학으로 지정되는 대학은 구축한 대학혁신추진체계를 토대로 대학 내외부의 벽을 허물고 대학 성과를 투명하게 공개함으로써 산학, 지역 협력의 중심으로 거듭나게 될 것입니다.



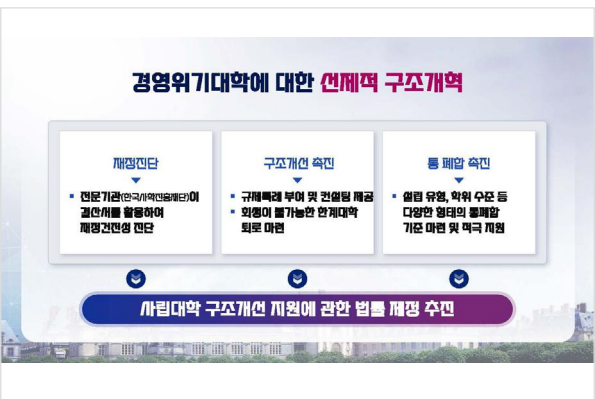
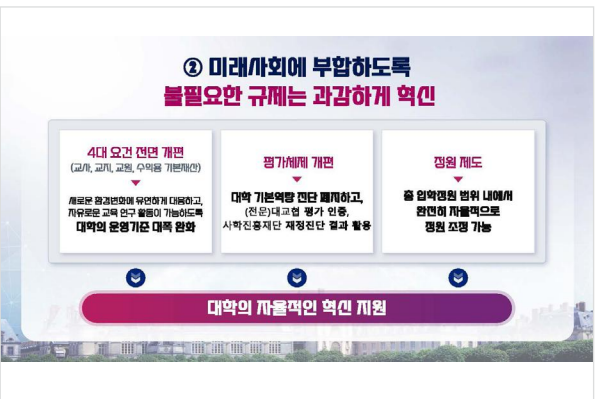
글로벌대학이 명실상부한 최고 대학으로 거듭 나도록 정부는 전폭적으로 지원한다. 대학의 과감한 혁신에 걸림돌이 되는 규제를 혁파하고 재정지원도 아끼지 않을 예정입니다. 교육부가 5년간 1,000억 원을 지원하는 가운데 범부처와 지자체의 투자 확대도 유도할 계획입니다. 아울러 대학의 이러한 변화를 지원하고 급변하는 첨단산업 변화에 대응하기 위해 정부의 역량도 집중할 계획입니다.

정부는 기술 집약도, 성장가능성, 인력 수요 등의 분석을 통해 5대 핵심 첨단 분야를 설정하고 첨단산업을 선도할 인재를 집중 양성할 계획입니다. 이미 반도체, 디지털, 바이오헬스 분야의 인재양성 방안을 발표했고, 조만간 에코업과 에너지산업 관련 인재양성 방안을 환경부와 산업통상자원부와 함께 발표할 계획입니다.

범부처가 협력하여 인재양성을 추진할 수 있도록 지난 2월에 민관합동 거버넌스인 인재양성전략회의도 출범했습니다. 이와 함께 인재양성의 기반을 다지는 인재양성3법을 제정하고 인재양성 정책의 성과관리체계도 가편합니다. 이러한 인재양성 기반을 토대로 범부처의 역량을 결집하여 첨단 분야에 대한 인재양성과 대학지원을 충실히 해 나갈 계획입니다.

교육부는 일단 특정 분야에 대한 양성을 하기보다는 전반적인 제도 개선과 변화들을 모색하고 있고 그런 방향에서 고등교육 방향이 어떻게 진행되는지 빠르게 설명을 드렸습니다.

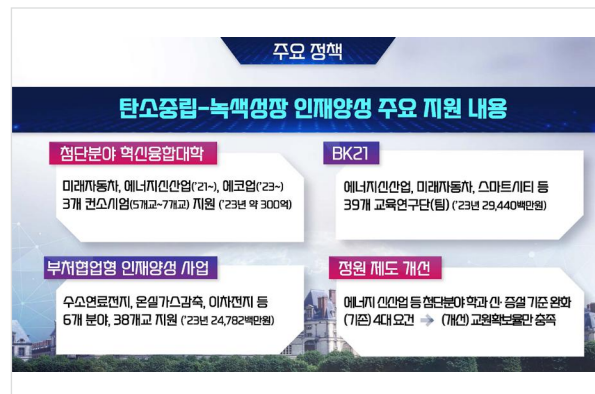
지금 주요하게 탄소중립과 관련해서 인재양성 정책을 지원하고 있는 재정지원사업을 말씀드리겠습니다. 첨단 분야 혁신융합대학이라고 해서 미래자동차, 에너지산업, 에코업 분야에 3개의 컨소시엄, 수도권과 지방대학에 컨소시엄을 구성해서 운영하는 대학에 1개 컨소시엄에 연간 100억 원씩 지원하는 사업이 있습니다. 그렇게 해서 첨단 분야 혁신융합대학을 지원하고 있고, 대학원 과정으로는 BK21을 통해서 그런 탄소중립과 녹색성장 분야에 36개의 교육연구단 팀을 지원합니다.





아울러 교육부에서만 지원하는 것이 아니라 교육부에서 지원하는 예산들을 부처간
에 전문성을 공동으로 활용할 수 있도록 부처 협업형 인재양성사업을 통해 6개 분
야, 38개 교를 또 지원하고 있습니다. 에너지산업 등 첨단 분야 같은 경우에 기존
에는 학과를 신증설하기 위해서는 교원, 교사, 교지, 수익용기본재단이라고 4대 요
건을 충족한 경우에만 했었는데 교원학부에만 충족한 경우에도 정원 확보를 할 수
있도록 개선한 사항이라고 볼 수 있습니다.

저희 고등교육 개혁의 방향은 결국에 대학 내외부의 벽을 허물고 대학과 해외 간의
벽을 허무는 방향으로 계속 유지가 되고 있습니다. 앞서 말씀해 주신 두 분의 발표
자 분께서 그런 방향으로 고등교육의 인프라와 제도들이 발전되어야 된다는 말씀을
들으면서 저희 교육부가 현재 그래도 열심히 하는 방향이 틀리지는 않았구나 하는
생각이 들었습니다, 열심히 또 그런 고등교육의 방향들이 현장에 잘 착근될 수 있도
록 최선을 다해 노력하겠습니다.



과학기술 인력양성

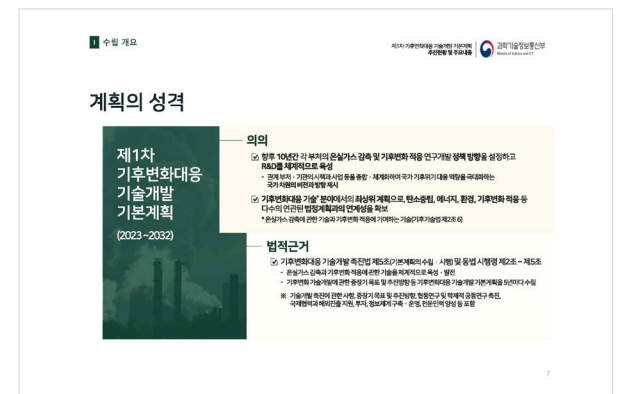
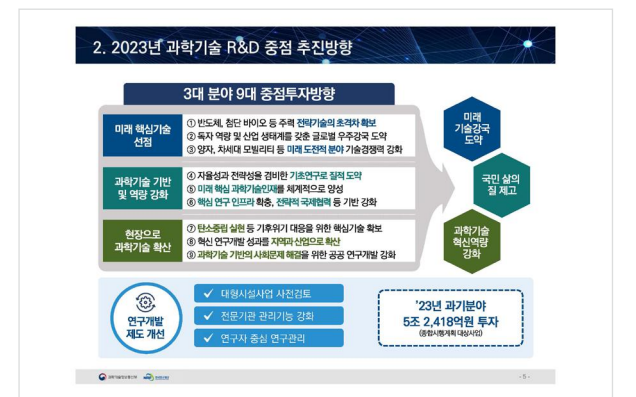
임채권 과기부 미래인재정책과 서기관

제가 설명드릴 내용은 과학기술정보통신부에서 기후변화에 대
해서 보고 있는 정책들과 그에 관련된 사업, 인재양성입니다.

현재 정부 R&D 예산이 30조 원 정도인데 과학기술정보통신
부에서 9조 원 정도를 집행하고 있습니다. 그중에 출연연 등
기관을 지원하는 것을 빼고 나면 과학기술정보통신부, 과학
기술 분야에서는 한 5조 원 정도, 그다음에 ICT 분야에는 1조
4,000억 원 정도를 지원하고 있습니다. 2023년에는 9대 중
점 투자 분야를 하고 있는데 그중에 하나로 7번에 보시면 탄
소중립 실현 등 기후위기 대응을 위한 핵심기술 확보를 지원
하고, 과학기술정보통신부에는 특히 기후환경대응팀이라는
별도의 팀을 과 단위로 만들어서 적극 지원하고 있습니다.

작년 말에 과학기술정보통신부와 13개 부처가 같이 기후변
화 대응 기술기본계획이라는 것을 만들었습니다. 간략히 소
개하자면, 10년간 향후 우리나라 기후변화 대응 기술 개발에
대한 로드맵을 그린 것입니다. 2021년에 「기후변화대응기술
개발촉진법」을 만들게 되면서 그 후속으로 만들어졌습니다.
슬라이드가 살짝 흐리긴 한데 여기가 기후변화 기술에 대한
것이고 그 위에 있는 다른 체계들이 있으니 한번 살펴봐 주시
기 바랍니다.

우리 정부에서도 계속 이 기후변화 대응에 대해서 2011년부
터 계속해 왔었고 2050년 탄소중립을 위해서 적극 노력하고
있습니다. 현재 우리나라의 기후변화 대응 관련한 R&D 수준



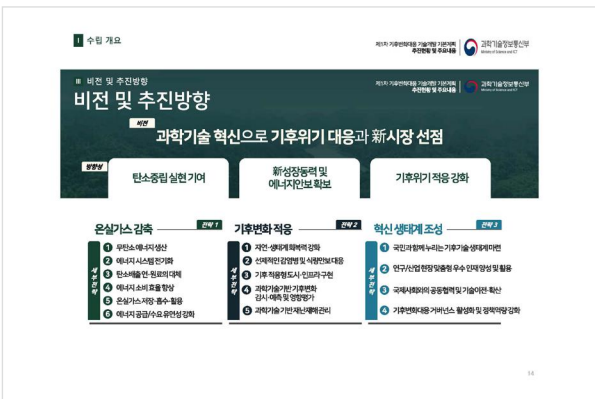
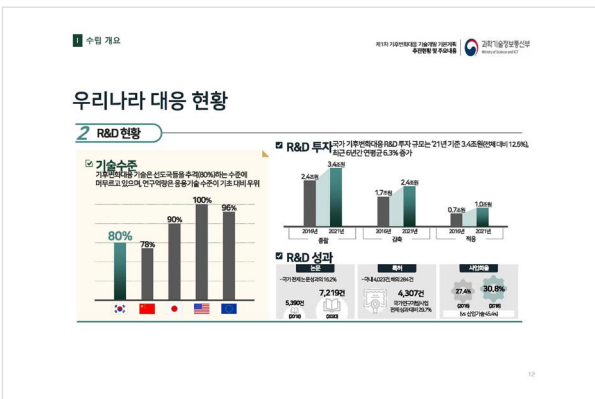
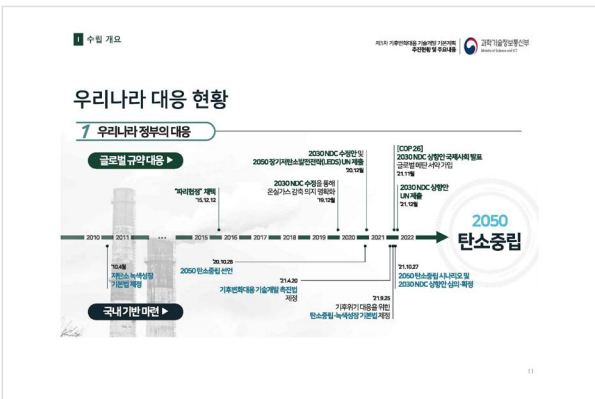
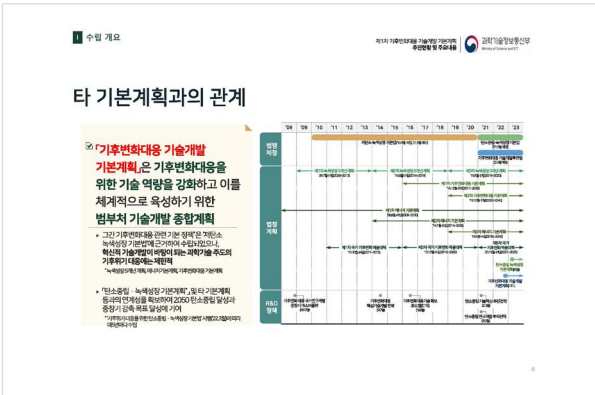
은 한 80% 정도로 전문가들이 추진하고 있고 R&D 투자는 이것저것 다 모으면 전체적으로 한 3.4조 원 정도 되는 것으로 판단됩니다. 여러 가지 성과들은 계속 높아지고 있으나 질적인 연구 성과까지 높이는 것이 우리의 숙제입니다.

이 기본계획에서는 과학기술 혁신으로 기후위기 대응과 신시장 선점이라는 비전을 가지고 세 가지를 했는데 결국 온실가스 감축에 대한 기술 개발과 기후변화 적응에 대한 기술 변화, 그리고 이 관련한 혁신생태계 조성에 지원하는 것을 큰 그림으로 잡고 있습니다. 각각에 대해서는 무탄소와 전기를 많이 쓰는 것, 전기화가 어려우면 연료의 무탄소와 에너지 저감 이런 식으로 계속 지원 방향을 잡고 있고, 기후변화 적응에 대해서도 폭염, 태풍, 호우, 한파, 폭설 등 이런 것들을 우리가 어떻게 대응할 것인지에 대한 그림을 그리고 있습니다.

그다음에 인력양성을 통한 기술 개발과 산업 활성화를 통해서 또다시 기술 개발과 산업 활성화가 서로 선순환하는 구조의 생태계를 만들기 위해서 여러 가지 지원책들을 마련하고 있습니다. 동 기후변화기본계획은 약 80페이지로 방대한 양입니다.

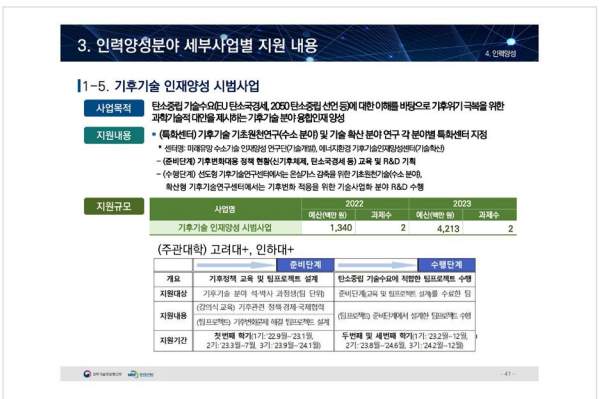
기후변화 대응 R&D에 대해서 과학기술정보통신부에서는 현재 19개 사업을 지원합니다. 2023년에 1,400억 원 정도를 지원하고 있습니다. 탄소 저감, 미세먼지 저감, 기후변화 대응 그리고 생태계 조성에 대한 내용들이 들어가 있습니다.

그리고 과학기술 인재에 대해서는, 우리나라는 어차피 인재로 성공한 나라이니까 인재양성이 항상 중요합니다. 교육에 대해서는 교육부가 잘 따라가고 있고, 과학기술정보통신부에서는 과학문화 확산이나 영재학교 지원, 청년연구, 이공계로 진학한 학생들의 장학금, 전문연구요원 등을 지원하고 있습니다. 그 후 박사 후 연구원부터 계속 안정적으로 성장해서 글로벌 석학으로 성장할 수 있는 생태계를 만들기 위해 노력하는 데 여러 현장에서 많은 말씀을 주고 계신 것을 알고 있습니다. 특히 내년부터는 대학원생 장학금을 별도로 신설하려고 기획재정부와 얘기하고 있습니다.



인력양성사업들은 여러 가지가 있는데 그중에서도 특히 기후변화 관련해서는 기후변화의 기술인력 양성을 위해서 기술 R&D를 통해 지원하고 있고 기후기술인재양성 시범사업이라는 조그마한 사업을 하나 지원합니다. 이 사업은 탄소중립이나 기후변화에 대한 정책이나 비전에 대한 이해를 가지고 그 비전으로 자기의 기술 분야에서 응용할 수 있는 융합인재를 지원하는 사업입니다.

시범사업이어서 과제가 두 가지 있는데, 지금 고려대와 인화대 컨소시엄으로, 3학기를 운영합니다. 한 학기에는 기후변화 정책이나 기후변화 현황 이슈를 공부하고 두 번째, 세 번째 학기에는 그것을 자기 연구나 아니면 별도 프로젝트로 진행하는 것을 지원합니다. 이 시범사업이 2024년까지일 텐데, 아마 끝나고 나면 다음 사업을 확장하거나 다른 것을 하고 있을 것 같습니다. 기술인재 관련해서는 차세대 2차 전지, 차세대 원자력 인재양성과 관련된 지원을 저희가 2024년도에 신규로 만들려고 노력 중입니다.



Session 3

기조사

좌장 김상협
2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장

기조사 이광형 KAIST 총장
유홍림 서울대학교 총장
원희룡 국토교통부장관
주영창
과학기술정보통신부 과학기술혁신본부장

김상협

2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장

안녕하십니까. 대통령직속 2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장을 맡고 있는 김상협입니다. 오늘 서울대학교와 KAIST, KAIST와 서울대학교가 주인공으로서 뜻을 모아 탄소중립 녹색성장 시대의 혁신기술과 인재양성 공동포럼을 개최하게 되었습니다. 참으로 뜻 깊은 일입니다. 제가 알기로는 이런 주제로 양쪽 대학의 열여섯 분의 교수님들이 함께 포럼을 한다는 것 자체가 과문한 탓인지 몰라도 초유의 일이라고 생각합니다.



왜 이런 자리가 마련되었는지 말씀드리기 전에 먼저 스탠포드대학 총장께서 우리 2050탄소중립녹색성장위원회 오픈닝 콘퍼런스 때 보내오신 영상메시지를 한번 들어보겠습니다.

스탠포드는 반기문 총장님께서 이끄시는 반기문재단과 함께 지난 가을 아시아-태평양의 이 문제로 큰 포럼을 개최한 바도 있습니다. 사실 탄소중립이라는 글로벌 목표가 나올 수 있었던 것은 우리 인류 역사에 기록된 파리기후변화협정이 있었기 때문입니다. 바로 그 역사적인 파리기후협정을 만드신 반기문 제8대 UN사무총장님 모시고 먼저 축사를 여쭙고자 합니다.

“지속가능한 발전과 전지구적 공생을 위해 탄소중립은 선택이 아닌 필수!”

—— 이광형 KAIST 총장

안녕하십니까, KAIST 총장 이광형입니다. 먼저 귀중한 축하 말씀을 들려주시고 따뜻한 말씀도 해 주신 반기문 前 UN사무총장님께 깊은 감사의 인사를 드립니다.

오늘 ‘탄소중립 혁신기술 인재양성 포럼’을 서울대학교 그리고 2050탄소중립녹색성장위원회와 함께 공동 개최하게 된 것을 뜻 깊게 생각합니다. 이번 포럼을 함께 준비해 주신 서울대학교 유홍림 총장님과 2050탄소중립녹색성장위원회 김상협 공동위원장을 비롯해서 발표와 토론을 통해 귀중한 해안을 들려주신 발제자와 토론자 여러분께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

더불어 바쁜 일정에도 불구하고 기조사와 종합세션 참여를 위해 귀한 걸음을 해 주신 원희룡 국토교통부 장관님, 주영창 과학기술정보통신부 과학기술혁신본부장님, 신학철 LG화학 부회장님, 남석우 삼성전자 사장님, 추형욱 SK E&S 사장님, 김동욱 현대자동차 부사장님께도 감사의 말씀을 드립니다.

전 세계적으로 발생하고 있는 기후변화는 우리 삶과 인류의 생존을 위협하고 있는 문제입니다. 이에 세계 각국은 전 지구의 위기인 기후변화를 해결하기 위해 탄소중립 실현을 위한 다양한 노력을 기울이고 있습니다.



우리 정부도 지난 2020년 탄소중립이라는 도전적인 목표를 세우고 국제사회의 탄소 감축 노력에 동참하였습니다. 이제 지속가능한 발전과 전 지구적 공생을 위해 탄소중립은 선택이 아닌 필수가 되었습니다. 구체적이고 실효성 있는 실천을 위해서는 정부와 학계는 물론 산업계, 각계각층이 함께 노력해야 하겠습니다.

KAIST는 10년 전 사우디의 아람코 회사와 협력하여 아람코 CO₂센터를 설립해서 운영하고 있습니다. 아마 그 당시에는 CO₂ 감축에 대해서 크게 관심이 적던 시절에 아람코가 투자해서 좋은 연구센터를 만들었다고 합니다. 아람코는 지금도 이 연구센터 결과에 대해서 매우 만족해하고 있고 이 연구센터의 결과가 지금 아람코 자회사에서 실용화되고 있습니다.

유홍림 총장님께서 이렇게 같이 할 수 있게 해 주셔서 감사드리고요. 이 탄소중립 이슈는 우리가 미룰 수 있는 일이 아닌데 마침 유 총장님께서 같이 할 수 있게 해 주셨습니다. 우리나라의 중요한 두 대학이 힘을 합쳐서 밀고 나가면 아마 우리 한국 사회도 크게 변하지 않을까, 관심을 크게 갖지 않을까 이런 생각이 들어서 아주 크게 기대하고 있습니다.

또한 KAIST는 10년 전에 녹색성장대학원을 경영대 소속으로 운영하다가 금년 3월에 이를 공과대학으로 개편해서 기술 중심 녹색성장을 연구하기로 했습니다. 그래서 새로 개명한 대학명이 ‘녹색성장지속가능대학원’입니다. 이와 같이 KAIST는 탄소중립 산업 육성을 위한 다양한 혁신연구를 통해 기술 개발, 인력양성 또 창업가를 기르도록 노력하겠습니다.

끝으로 서울대와 KAIST가 공동 주최하는 이번 포럼은 탄소중립 실현을 위한 혁신 과학기술 개발과 인재양성을 위해 아주 귀중한 출발점이 될 것입니다. 나아가 탄소중립 사회를 구현하기 위해 두 대학은 물론 정부와 산업계까지 유기적으로 힘을 합쳐 대응해 나가는 유의미한 계기이자 미래시장을 선도하는 기획의 출발점이 되기를 바랍니다.

다시 한 번 참석해 주신 모든 분들께 감사드립니다. 고맙습니다.

—— 김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장

우리 이광형 총장님께서 KAIST 앞에 Q자를 붙여서 QAIST라고 하면서, 이제는 연구를 잘하는 것도 중요하지만 질문을 잘할 수 있는, 의미 있는 질문을 던질 수 있는 퀄리티 있는 글로벌 스쿨로 가야 한다는 지론을 가지고 계십니다.

총장님, 이번에 이렇게 서울대학교하고 이런 자리가 생긴 것에 대해서 어떤 평가를 하고 계시고 어떻게 더 발전시킬지 먼저 여쭙겠습니다.

—— 이광형 KAIST 총장

유홍림 총장님께서 이렇게 같이 할 수 있게 해 주셔서 감사드리고요. 이 탄소중립 이슈는 우리가 미룰 수 있는 일이 아닌데 마침 유 총장님께서 같이 할 수 있게 해 주셔서 두 대학이 우리나라의 중요한 대학이기 때문에 두 대학이 힘을 합쳐서 밀고 나가면 아마 우리 한국 사회도 크게 변하지 않을까, 관심을 크게 갖지 않을까 이런 생각이 들어서 아주 크게 기대하고 있습니다.

—— 김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장

유홍림 총장님은 얼마 전에 취임 100일을 맞이하신 것으로 알고 있습니다. 서울대학교 유홍림 총장님 기조사를 여쭙도록 하겠습니다.

“우리가 살고있는 총체적인 우리 삶의 시공간을 탐구하는 것이 지속가능성의 한 주제”

—— 유홍림 서울대학교 총장

제가 기조사 부탁을 받고 4페이지를 준비해 왔습니다. 그런데 아까 반기문 사무총장님 그리고 스탠포드 총장님, 이광형 총장님 세 분 총장님의 말씀을 듣다 보니까 이것이 거의 다 중복돼요. 그래서 제가 이 원고를 준비해 왔음에도 불구하고 읽기가 어렵게 되었습니다.

오늘 이렇게 뵈게 되어서 반갑고 특히 KAIST와의 협업이 의미가 있습니다. 이것은 한 번의 포럼에서 끝날 것이 아니라 앞으로 계속되어야 합니다. 우리 한국 사회에서 보면, 출범식은 많이 합니다. 그런데 이것이 계속되는 경우들이 적어요. 그래서 아까 김상협 위원장님도 말씀하셨지만, 이것을 일회성이 아니고 앞으로 계속 지속해가고 여러 다른 형태로, 보다 구체적인, 아까 제가 참여는 못했지만 오후세션에 참여하셨던 교수님들이 중심이 돼서 교육 연구에 실제적인 프로젝트들을 진행해 가는 것이 중요하리라고 생각합니다.

그리고 아까 반기문 사무총장님도 말씀하시고 스탠포드 총장님의 축사에서 키워드가 지속가능성(sustainability)이라고 하는 말이 모두 탄소중립과 관련되죠. 기후변화(climate change)도 그렇고요. 거기에서 아까 스쿨에서 다루는 지속가능성(sustainability) 세 가지, 그러니까 지구(earth), 우리가 살고 있는 지구 생태계 그리고 기후(climate) 그리고 사회(society) 이렇게 세 층위를 말씀하셨습니다. 그런데 이것이 사실은 우리가 살고 있는 총체적인, 우리 삶의 시공간을 우리가 탐구하는 것이 이 지속가능성(sustainability)의 하나의 주



제라고 봅니다.

그런 면에서 어떻게 보면 많은 지금 융합연구, 융합교육도 하고 있지만 이 부분이 왜 필요한가, 왜 이 지속가능성(sustainability)라는 주제를 다루기 위해서 왜 같이해야 되는가 하는 부분이 분명히 강조되었다고 생각합니다. 그리고 또 하나 강조된 부분은 코퍼레이션(cooperation). 우리가 협동, 협력이라고 하는 부분입니다. 서울대와 KAIST가 같이 하기도 하지만, 훨씬 더 큰 범위에서, 모든 사회영역에서 협력(cooperation)이 중요합니다.

우리가 3년여 겪었던 코로나 시기에 유발 하라리의 유명한 칼럼에서도 이 위기를 극복하기 위해서는 협력(cooperation) 밖에 없다, 같이 힘을 합치는 것밖에 없다는 말이 나옵니다. 그런데 그 말이 진정성 있게 저한테 다가온 것은 유발 하라리 교수의 <사피엔스>였습니다. 그 책의 키워드가 사실 협력(cooperation)입니다. 그러니까 사피엔스의 역사, 좋지 않은

표현이지만 왜 사피엔스가 이 지구를 지배하게 됐는가. 그 키워드만 봐도 협력(cooperation)입니다. 대규모의 협업, 협력을 가능케 하는 3개의 조직. 거기서 대표적으로 국가, 기업, 종교를 얘기하죠. 이러한 대규모의 협업을 가능케 했던 것이 사피엔스의 성공 비결입니다.

그런데 그 성공이 결국 지금의 위기를 또 초래했습니다. 역설적으로 이 위기를 극복하는 방법도 여전히 협업, 협력이라고 생각합니다. 그래서 저희 서울대-KAIST의 협업이 하나의 출발이고 하나의 층위에서의 그리고 더 넓은 사회 모든 영역에서 이러한 협력, 협업이 그리고 전 세계적으로 이루어질 수 있게 노력하는 것이 저희의 대학의 역할 그리고 모든 연구자들의 역할이라고 생각합니다.

그래서 모쪼록 오늘 포럼이 그러한 문제의식을 같이 공유하고 앞으로의 미래를 여는 기회가 되었으면 합니다. 미래학자들이 미래에 대해서 좋은 전망을 하지 않습니다. 대개 디스토피어로 보죠. 그리고 어떤 분은 오늘 신문에 보니까 3차 세계대전 얘기도 하고. 문제는 그 미래는 결정되어 있는 것이 아니고 지금 우리가 하는 선택의 결과입니다. 우리가 어떤 선택을 하는가가 그만큼 중요합니다. 그리고 그 선택은 집단적인 선택입니다. 그것을 위해서 저희가 정말 힘을 모아야 할 때라고 생각합니다.

—— 김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장

총장님께서 두 대학은 물론이고 훨씬 더 큰 차원에서의 협력이 필요한 시대다, 이 말씀에 굉장히 큰 울림이 오는 것 같습니다. 그런데 총장님은 아시겠습니까만 문과 출신이십니다. 사회과학대 학장을 지내셨고 정치사상을 연구해 오셨는데 융합연구를 굉장히 많이 강조하시는 것으로 알고 있습니다. 오늘 이 자리도 굉장히 융합적 성격을 갖고 있는데 어떻게 이끌려고 하시는지 궁금합니다.

—— 유홍림 서울대학교 총장

우선 저의 스스로의 아이덴티티를 저는 문과라고 생각하지 않습니다. 문·이과 통합도 얘기하고 문과침공, 그런데 저는 사실 중학교 때까지는 의사가 되는 것이 꿈이었습니다. 슈바이처 박사처럼. 그 당시에 학생 과학동아리 이런 것에서 비행기 만들고 이런 걸 좋아하기도 했고, 생물도 좋아했어요. 그런데 고등학교 때 와서 2학년 올라갈 때 문과, 이과를 나눠요. 그때 친구들이 문과 가는 바람에 친구 따라 문과로 갔습니다. 그런데 그 이후에도 제가 대학교 들어와서 1학년 때 정치학개론은 C를 맞았고 유일하게 A+ 받은 것은 통계학이었습니다.

저도 교육을 할 때 항상 그러지만 이것을 인문사회, 자연, 이공 이런 식으로 구분하는데, 지금 인문사회계열 학생들을 보면 80%가 컴퓨터 사이언스(Computational science)나 AI 수업을 듣습니다. 본인이 앞으로 커리어를 해 가는 데 무엇을 배워야 하는지 본인들은 압니다. 그런데 교수님들은 몰라요.

그래서 저는 교수님들한테 묻습니다. 본인이 지금 대학에 온다면 지금 본인이 가르치는 것을 배우고 싶냐. 그러니까 여기서부터 학생들과 교수가 다르게 생각해야 합니다.

—— 김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장

이광형 총장님, 문과 이과 구분은 정말로 불필요한 시대적인 장애물이라고 말씀하신 것 같은데 그것이 이광형 교수님 지론이신 것으로 알고 있는데 어떻습니까?

—— 이광형 KAIST 총장

그것은 제 자신의 아이덴티티가 그래서 그래요. 저도 어찌다 이과를 택했고 그때는 이과가 많았잖아요. 그래서 이과를 가게 됐을 거예요. 그리고 대학교 가서 산업공학 공부하고 그다음에 컴퓨터과로 가서 인공지능을 공부했습니다. 공부할수록 제가 지금 하는 것 보면 KAIST에 미술관 짓고 있고 또 디지털인문학과, 인문학 만들고 우리 또 21세기의 문명을 위해서는 철학을 공부해야 된다, 인문학 공부해야 된다. 그런 것으로 봐서 제 자신이 그쪽 성향인 것은 틀림없는 것 같습니다. 그래서 저도 융합적인 존재라는 생각이 듭니다.

—— 김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장

이제 원희룡 장관님. 요즘 굉장히 바쁘신 것으로 알고 있는데 특히 우크라이나 재건에 팀코리아의 리더 역할을 맡고 계신 것으로 알고 있는데 이 모든 것이 미래 글로벌 인프라하고도 관련이 있는 것으로 알고 있습니다. 원희룡 장관님 기조사를 청해 듣겠습니다.

“탄소중립과 스마트한 분야에서
세계인들에게 다가가서
해법과 돌파구를 제시하면서
우리의 미래 산업을 개척해 가겠음”

—— 원희룡 국토교통부 장관

저도 준비를 한 것이 있는데 많이 중복되니까 그것은 책에 있는 것 보시면 될 것 같고요.

우리나라가 지금 1년 탄소 배출이 대충 한 7억 톤 정도입니다. 그중에 우리 국토교통부가 21%를 자랑스럽게 차지하고 있습니다. 한 7%가 주택이나 건물 분야이고 나머지 14%가 교통, 물류 이런 수송 분야입니다. 아시다시피 나머지는 에너지 발전 분야 또 산업 분야 그다음 농축산, 생활 이렇게 가고 있습니다. 반기문 총장님이 말씀하신 것처럼 이것을 2030년까지 37%를 줄여야 됩니다. 그래서 저희 분야에서도 느끼는 감축 압박이 보통 압박이 아닙니다.

그러면 어떻게 줄일 것이냐, 간단한 방법이 있죠. 생산과 소비를 줄여버리면 맞출 수는 있습니다. 그 방법은 시민운동으로써는 가능할지 모르겠지만 대다수의 생활인들 또는 우리의 현실 사회가 돌아가는 운영원리로서는 현실성이 없는 얘기로 보입니다. 그러면 결국 이것을 경제적 요인을 가지고 유도하든지 제도적인 요인, 인간 행동을 한쪽은 장려하거나 금지하면서 유도를 해 나갈 수 있습니다. 그러나 이것은 기술이 뒷받침이 안 되면 어마어마한 고통과 우리 경제에 후퇴를 가져오게 됩니다. 어떻게 보면 외통수 길이라고 보입니다.

기술을 많이 확보할수록 경제적, 제도적 탄소 감축으로의 행동이 빨라질 수 있고 국제적으로도 우리나라의 입지가 편안



해져서 앞으로 미래세대의 입지가 넓어질 것입니다. 이것을 계속 수건돌리기 식으로 미루다 보면 결국 나중에 외통수에 걸려서 막다른 골목에서 큰 위기를 맞게 되리라고 생각합니다. 그 점에서 저희 국토교통부도 상당히 주범 내지는 말은 짐이 무겁기 때문에 저희들이 이것을 어떻게 할까 고민을 많이 하고 있습니다.

그런데 또 한편으로는 이런 생각이 듭니다. 미래의 먹거리 또는 미래의 산업을 만들어 나간다는 면에서는 오히려 기회인 측면도 있습니다.

예를 들어서 이런 것입니다. 당연히 우리나라가 지금 전기차, 수소차 또는 여러 가지 스마트시티 이런 부분에서 경쟁력을 상당히 가지고 있습니다. 대중교통 운행 경험도 많고요. 그래

서 사우디나 중동과 얘기할 때도 그렇고 인도네시아하고 얘기할 때도 그렇고요. 전쟁으로 받은 파괴되어 있는 우크라이

나에서도 지원과 복구를 스마트, 탄소중립으로 해 달라고 합니다. 옛날식은 받지 않겠다는 것입니다.

그러면 앞으로 우리가 진출하는 여러 가지 산업단지, 도시 또는 뉴모빌리티 이런 부분들에서 필요한 기술은 탄소중립과 스마트겠죠. 이것을 얼마나 집어넣느냐에 따라서 상당히 전 세계가 우리를 기다리고 있는 면이 있을 수 있겠습니다. 그래서 이것은 우리 국내적인 부담을 줄이기 위한 길이기도 하고 세계 속에 앞으로 한국이 새로운 영역을 열어나가기 위한 핵심요소 중 하나이기도 하겠습니다.

여기까지는 다들 동의합니다. 그러면 어떻게 할 것이냐. 결국 기술과 산업화일 텐데 이 부분에 대해서는 현재까지 단편적인 노력들은 많이 있습니다마는 큰 틀에서 국가 전략과 국가적인 대전환이 필요한 것 같습니다.

국토교통부도 우리가 2018년부터 국토교통 분야에 R&D, 혁신펀드를 매년 한 200억 내지 250억씩 쪽 쌓아왔고 여기에 따른 융자, 재원도 거의 2조 가까이 마련해 놓고 있습니다. 그리고 국토교통 관련 국토연구원도 있고 건설기술연구원도 있고 여기에 대한 R&D 사업들을 해서 여러 가지 품목들을 가지고 꽤 하고는 있습니다. 단편적으로는 성과도 있고 특허도 많이 나오는데, 이것이 과연 우리 핵심과제의 돌파구를 만들기 위한 부분으로 제대로 집중되고 있고, 잘 꿰어지고 있는 것인가 하는 점에서는 사실 반성을 하고 있습니다. 함께 머리를 맞대야 할 부분이라고 생각하고요.

특히 인재육성 부분에 대해서도 우리 KAIST와도 함께하고 있습니다만 우리는 국토교통 분야에 특히 대학원생 수준의 융합인재를 기르기 위해서 작년부터 이 부분에 대한 지원사업을 하

고 있습니다. 앞으로 더 넓혀나가야 되겠지만 이런 점들에 대해서는 기존의 어떤 학제, 전공 또는 여러 가지 R&D도 과학 기술정보통신부, 국토교통부, 산업통상자원부, 교육부 각각 흩어져 있습니다. 원가 많이 들어가고 재원도 투입되니까, 결

으로는 국가적인 정책 강조점은 되고 있는데 과연 경쟁 국가라든가 우리가 결과 중심으로 봤을 때 막혀서 걸돌고 있는 부분들이 보이고, 이에 대해서 책임감도 느끼고 문제의식도 많이 느끼고 있습니다.

저는 한두 가지만 소개하고 싶은데 사우디 왕세자 빈 살만이 에너지장관, 즉 석유상이예요. 사우디의 석유를 다 책임지고 있는 분인데 토론을 하는데 저를 너무 좋아합니다. 왜 좋아하냐. 제가 석유시대가 끝났다는 것에 대해서 “우리는 동의를 잘 안 한다. 탄소포집기술만 만들어지면 석유는 새로운 용처를 발견하게 될 것이고 석유는 앞으로 연료로 쓰이는 것이 아니라 앞으로 소재, 물질 소재로써 그리고 석유의 또 다른 용도를 통해서 기여할 수 있을 것이다.”라고 했더니 국제회의 갈 때마다 그 얘기를 해 달랍니다.

그래서 하루에 1조 원씩 석유 1,100만 배럴 중에 1,000만 배럴을 다 수출하기 때문에 하루에 1조 원씩 매일 통장으로 꽂히고 있는 사우디가 앞으로 탄소저감 이런 부분에서 자기네들의 산업기반을 어떻게 할 것인가를 가지고 기술 투자에 대해서 굉장히 목말라 있습니다. 특히 한국에서도 어떤 기술이 나오고 있는가, 이런 부분들에 대해서 굉장히 눈여겨보고 있습니다. 아까 총장님이 아람코 얘기를 했지만 어쩌면 우리가 탄소저감 기술들을 개발하면 아람코나 사우디가 와서 제일 먼저 투자할지도 모릅니다. 이것은 하나의 사례입니다.

또 하나는 아까도 말씀드렸지만 제가 주말부터 다음 주까지 우크라이나, 전쟁 중이라서 우크라이나를 들어가지는 않고 폴란드와 독일을 통해서 우크라이나 세션에서 얘기를 하게 됩니다. 주로 교통과 인프라 분야를 얘기하게 되는데 모두 탄소중립과 스마트를 요구합니다. 유럽의 어젠다이기도 하고요. 세계가 필요로 하고 있습니다. 우리가 단순히 그냥 우리의 목표량을 채우기 위한 어떤 하나의 노력 포인트가 아니라 실제로 세계인들에게 다가가서 해법을 제시하고 돌파구를 제시하면서 우리의 영역과 우리의 앞으로 미래 산업까지도 개척할 수 있다는 면에서는 공격적이고 실질적으로 노력들을 할 필요가 있지 않을까 합니다.

그런 면에서는 우리 서울대와 KAIST가 누가 뭐래도 대한민국의 인재양성과 R&D와 이런 부분들을 끌고 나갈 수 있는 선두권에 있기 때문에 프로그램들을 잘 운영해 주시면 저희 정부도 적극 지원하겠고요. 당연한 것이겠지만 두 학교만 가려고 하지 마시고 우리 한국의 대학과 인재들을 끌고 가주시기를 부탁드립니다. 저희들은 반성하는 자세로 열심히 지원하겠습니다.

———— 김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장
원희룡 장관께서는 아시겠습니까마는 7년간 제주지사로 재임하시면서 카본 프리(carbon free) 제조, 탄소중립 제조를 선도하셨고 이제는 국내는 물론이고 포스트 오일(post-oil)을 준비하고 있는 중동이나, 우크라이나. 사실 우크라이나는 어떤 면에서는 폐허가 되었기 때문에 새로 지을 수 있다는 역설적인 강점이 있습니다. 한국이 한국전쟁으로 폐허가 되어서 다시 재건(rebuild) 했듯이 양 대학이 앞으로 그러한 재건 과정에서 역할을 해 주시기를 바란다는 말씀 드립니다.

더 여쭙고 싶지만 시간관계상 종합 R&D를 하고 계시는 주영창 본부장님께 기초사를 부탁드립니다.

“IT를 잘 연결하면 우리나라에서 탄소가 어떻게 생기는 가를 정확하게 모니터링해서 정확한 숫자를 갖고 싸울수 있을 것!”

—— 주영창 과학기술정보통신부 과학기술혁신본부장

과학기술혁신본부는 국가 전체의 R&D를 총괄하는 국가 R&D CTO 역할을 하고 있습니다. 저희가 국가 현안에 범부처 R&D를 총괄 조정하고 30조에 달하는 정부 R&D 예산을 조정하고 있습니다.

이 중에서 저희가 임무 중심형으로 가장 중요하게 보는 것이 아까 말씀하신 것처럼 12대 국가전략기술 육성과 탄소중립 기술이 있습니다. 1년 동안 탄소중립에 대해서 뭘 했느냐를 숙제 감사를 받으라고 저를 여기 세우신 것 같아서 굉장히 부담감을 가지고 있습니다.

윤석열 정부가 지난 1년 동안 했던 여러 노력과 앞으로 할 일에 대해서 좀 더 자세히 말씀드리고자 합니다. 이 시절이 지금 예산철인데 남들은 저희에게 굉장히 파워를 가지고 있는 게 아니냐고 합니다만, 저는 항상 죄짓는 마음입니다. 여러분들 요구에 더 많은 돈을 지불해 드려야 하는데 저도 R&D를 했던 기술자의 입장에서 참 죄송한 마음이 듭니다.

최근 탄소중립에 대해서 국가 R&D는 2023년 기준으로 약 2조 3,000억 원을 쓰고 있습니다. 아까 0 하나가 더 붙어야 하는 것 아니냐고 하셨는데, 사실은 국가 R&D를 생각했을 때 작은 규모가 아닙니다. 특히 지난 3년간 탄소중립에 관한 예산은 연평균 13% 증가했습니다. 다른 것에 비해서 굉장히 많은 증가입니다. 따라서 국가에서도 굉장히 탄소중립을 중



요하게 생각하고 R&D 투자가 이루어질 수 있도록 하고 있습니다.

그런데 말씀하신 것처럼 여러 분야에 이런 것들이 효율적이 되려면 양적 변화와 더불어 질적인 변화, 효율성의 변화가 이루어져야 할 것이라고 생각합니다. 따라서 저희도 효율적으로 어떻게 투자할 것인가에 대해서 굉장히 고민하고 있습니다.

그동안 혁신본부가 고민했던 것을 네 가지로 간단히 말씀드릴까 합니다. 첫 번째는 임무 중심형 R&D의 본격 추진입니다. 임무 중심형 R&D는 명확한 목표를 세우고 그것이 기술자가 사용하는 것이 아니라 수요자가 사회가 요구하는 목표를 세우고 그 목표를 달성하기 위한 로드맵을 만드는 것입니다. 그리고 정확한 시기를 결정하는 것입니다.

탄소중립이야말로 명확한 시기가 있죠, 2030. 2030NDC와 2050넷제로가 있기 때문에 명확한 목표가 있습니다. 이것처럼

럼 정말 임무 중심에 딱 어울리는 그런 분야가 없는 것 같습니다. 따라서 임무 중심 R&D를 하기 위해서 저희가 오늘 오전에 국가과학기술자문회의 산하에 탄소중립기술특별위원회에서 한국형 탄소중립 100대 핵심기술을 확정했습니다. 이 100대 핵심기술을 그냥 단순히 17개 분야에 100대를 나열한 것이 아니라 기술 수준별로 에너지전환, 산업, 수송, 건물환경 네 가지 분야에 대해서 17개 분야 100대 기술을 선정했고, 100대 기술은 기술 수준별로 초격차, 신격차, 감격차. 그다음에 기간별로는 단기형, 중장기형 이렇게 나눴습니다.

초격차라는 것은 우리가 이미 기술 갖고 있기 때문에 계속 기술을 유지하자는 것이고 신격차라는 것은 새로운 기술(emerging technology), 아무도 갖고 있지 않은 새로운(emerging) 기술에서 새로운 격차를 만들자는 것이고 감격차는 지금 우리가 좀 뒤이지만 앞으로는 쫓아가자는 것입니다. 따라서 이 기술 수준에 맞춰서 정확한 투자 포트폴리오와 전략을 가져서 진행하려고 합니다. 이것들을 저희가 전략로드맵으로 만들어서 명확한 임무와 시기를 정했고요.

저희가 작년에 17개 중에 4개를 발표했고 오늘 3개를 더 발표했습니다. 올해까지 전략로드맵을 완성해서 기술에 맞는 투자가 이루어질 수 있도록 하겠습니다. 그다음에 아까 말씀드린 대로 R&D 투자입니다. R&D 투자가 이루어져야 하는데 사실은 지금의 경제상황이 그렇게 좋지는 않습니다. 하지만 탄소중립은 굉장히 중요한 분야이기 때문에 저희가 최소한 앞으로 5년 동안 연평균 5% 이상의 확대를 목표로 해서 탄소중립 분야에서 확실한 투자가 이루어질 수 있도록 노력하겠습니다.

하지만 말씀하신 것처럼 이 5%의 증가라는 것이 절대적인 양이 그렇게 아주 많지는 않을 것입니다. 정부의 투자가 마중물이 돼서 민간과의 협력을 이룩해서 시너지를 만드는 지혜가 필요합니다. 그래서 오늘 마침 오후세션은 기업체에서 오셨는데 이런 기업체들과 정부가 적극적으로 공동작업(co-work)함으로써 목표를 달성할 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

세 번째로 저희가 중요하게 생각하는 것이 탄소중립을 위한 기반조성입니다. 여러분들이 기술을 개발할 때 기반이 되는 기술을 하는 것도 중요합니다. 실증단지가 있을 수도 있겠고 또 하나가 측정 모니터링 기술입니다. 제가 현장에 1년 동안 많이 가봤더니 가장 많이 듣는 얘기가 대학에서 발굴된 기술을 실제로 테스트해 보는 실증단지가 부족하다는 겁니다. 그래서 반도체의 파운드리(foundry)가 있듯이 탄소중립의 파운드리(foundry)를 만들어서 대한민국에서 새로운 기술을 실증할 수 있는 그러한 새로운 생태계를 만들도록 노력하겠습니다.

또 하나가 탄소발자국에 관한 이슈입니다. 여러분 아시는 것처럼 EU를 중심으로 탄소국경조정제도가 본격화되면서 제품 단위로 탄소발자국 대응이 굉장히 중요합니다. 물론 대기업은 자기 기업의 제품에 대해서 대응할 수 있겠지만 많은 중소기업들, 수많은 압연 공장, 단조 공장에서는 이것을 다 하기가 힘들습니다. 그럴 경우 표준으로 제시된 것만을 쓰게 되는데 그것이 과연 우리한테 유리한 것이냐는 질문이 들어옵니다.

따라서 우리나라가 탄소발자국을 모니터링해야 합니다. 우리나라의 가장 큰 장점이 좁은 국토에 IT가 발달했다는 것입니다. IT를 잘 연결하면 우리나라에서 탄소가 어떻게 생기는가를 정확하게 모니터링해서, 정확한 숫자를 갖고 싸울 수 있을 것이라고 생각합니다. 그래서 디지털 기반의 탄소발자국 모니터링기술 육성전략을 수립하도록 하겠습니다.

마지막으로 우리나라는 탄소중립을 절대로 혼자 할 수 없습니다. 우리나라에 제조업 기반이 많기도 하고, 우리나라의 지정학적인 여건으로 전 세계적인 협력이 중요합니다. 따라서 선도국가 혹은 신재생에너지가 많은 나라와 어떻게 협력할 것인가가 굉장히 중요하기 때문에 전략적인 협력이 굉장히 중요하다고 생각합니다. 그래서 저희가 데이터 기반으로 다양한 나라와 협력할 수 있는 탄소중립 국제협력지도를 만들어서 각 기술마다의 협력전략을 만들고 그 기술들의 협력전략을 모은다면, 예를 들어 호주면 호주, 사우디면 사우디 어떤 특정 나라를 지정했을 때 어떤 기술을 가져가서 여기다 전략하자는 종합적인 대응책이 나올 것이라고 생각합니다.

저도 다음 주에 독일에 출장을 가는데 독일에서 독일 녹색성장
장의 싱크탱크인 아델피와 아고라 에네르기벤데에 가고 그다
음에 교육·과학 총괄 논의를 합니다. 이런 적극적인 국제협력
을 통해서 저희가 탄소중립 분야에 나갈 수 있도록 최선을 다
하겠습니다.

———— 김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장
사실 독일이 굉장히 녹색기술 강국인데 이런 연구 제안을 해
오더라고요. 인공지능을 활용한 지능형 전력망, 그런 시대가
지금 오고 있다고 생각하고요.

본부장님께 아주 제가 대중적인 질문을 하나만 더 드리겠습
니다. 지금 우리가 반도체, 자동차 덕분에 먹고산다고 하는데
요. 물론 다른 중요한 화학도 있고 다 있습니다마는 아까 말
씀하셨다시피 탄소중립 시대에 파운드리(foundry). 탄소중
립 시대에 반도체에 필적할 만한 우리 한국의 독보적 분야가
보이시는지요?

———— 주영창 과학기술정보통신부 과학기술혁신본부장
다양한 가능성(potential)이 많다고 생각합니다. 아까 초격차
가 있고 신격차가 있고 그다음에 감격차가 있는데 초격차 분
야에서는 이미 우리가 1등인 것이죠. 거기에서는 늘 노벨상
후보로도 거론되는 박남규 교수님의 페로브스카이트 기술도
있고 미래에 올 기술은 포스코가 가지고 있는 수소환원제철
기술 그런 것들입니다. 굉장히 독특한 우리나라만의 고유한
기술이 될 것이라고 생각합니다.

———— 김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장
아까 원장님 얘기하셨듯이 양 대학만의 독점적인 것이 아닙
니다. 짝 열려 있습니다. 제가 조금 전에 인사를 드렸습니다.
노벨상에 근접했다 자꾸 입으로 떠들었는데 성균관대학교 박
남규 교수님 잠깐 일어나 주시겠습니까? 박수 한번 주십시
오. 이런 자리에 성균관대, 고려대, 연세대, 전남대, 제주대,
이렇게 계속해서 확장을 해 나갈 예정입니다.

Session 4

종합토론

이상엽 KAIST 생명화학공학과 교수

남기태 서울대 재료공학부 교수

신학철 LG화학 부회장

추형욱 SK E&S 사장

남석우 삼성전자 반도체 제조부분 사장

김동욱 현대자동차 전략기획 부사장



토론에 참여하실 분 소개드리겠습니다. 먼저 KAIST의 이상엽 부총장님 자리 함께해 주시기 바랍니다. 그리고 네이처지에 CO₂를 다른 물질로 전환하는 깜짝 놀랄, 제가 볼 때 이상엽 부총장님을 맹추격하고 있지 않은가 싶은데, 남기태 서울대 교수님. 그리고 다보스포럼에서 넷제로 산업체의 의장(chair)을 맡고 계신 LG화학의 신학철 부회장님 모시겠습니다.

그리고 국내보다 지금 리투아니아와 인도네시아를 달려서 막 들어오셨다고 하는데, 실제 CCS를 하고 계신 추형욱 SK E&S 사장님 오셨습니다. 그리고 삼성전자에서 반도체 제조 부문 사장을 맡고 계시는 남석우 사장님입니다. 그리고 현대자동차의 전락기확실장을 맡고 계신 김동욱 부사장님 모셨습니다.

주영창 본부장님이 끝까지 자리하실 테니까 궁금하신 점 있으면 또 말씀을 해 주셔도 되겠고, 여기에 총장님, 교수님도 계십니다만 사실 진짜 주인공인 우리 양 대학의 학생들이 나와 있습니다. 맨 끝에 양쪽 댁에서 질문 하나씩 해 주시면 제가 우선적으로 마무리할 때 받도록 하겠습니다.

이상엽 교수님, 탄소중립을 위해서 대학이 큰 역할을 해야 되는데 정부도 중요하고 기업도 중요하고 다 중요하지 않겠습니까? 그런데 일단 한계의 기술, 극한으로 밀어붙이고 계신 것으로 알고 있는데 정말로 도전적인 기술로는 어떤 것들이 있을까요. 실제로 이상엽 교수님은 현재 세계적인 신기술선



도자(emerging technology leader)로도 활동하고 계시니까 지도를 한번 먼저 그려주시면 어떨까 싶어요.



이상엽(KAIST 생명화학공학과 교수)

제가 대전에서 일이 있어서 오후 일찍 있었던 기술세션을 놓쳤습니다. 거기 보니까 소위 지금 떠오르는 기술들을 다 커버하신 것 같아요. 그래서 아마 여기 앉아계신 청중들께서 저보다 더 잘 알고 계실 텐데 조금 다른 각도에서 생각을 해 보죠.

일단 쪽 훑어보면 결국 에너지 쪽에서 탄소배출을 가장 많이 하고 그다음에 산업 제조 쪽, 건물에 쓰는 것, 그다음에 농업에 쓰는 것들이 있습니다. 각각에 대해서 한번 어드레스를 해 보면 결국 아까 발표하셨던 그런 기술들이겠죠.

예를 들면 SMR을 당연히 지금 채택해서 가야 할 것이고, 그다음에 계속 박남규 교수님 얘기가 나왔지만, 솔라에너지를 잘 써야 하는데 효율을 생각해야 합니다. 예전에 제가 박남규 교수님한테 배웠어요. 페로브스카이트로 하면 한 25.8%, 26% 정도 나오고 그다음에 그것을 실리콘하고 탠덤으로 넣

으면 34%까지 올라간다는데 실제 우주의 인공위성에서 쓰는 태양전지는 그것보다 높죠, 이유가 뭐냐 하면 더 싸니까. 거기에서 힌트가 있는 것 같아요. 결국 효율을 올리는 데 시스템으로 극복할 수 있는 부분이 있겠다. 그래서 그런 부분에 더 연구가 됐으면 좋겠고요.

그다음에 SMR 얘기를 했지만 SMR도 우리나라가 경쟁력을 빠르게 가질 것으로 저는 믿습니다. 그런데 그것과 반대로 핵융합 쪽도 무시할 수가 없습니다. 왜냐하면 그것은 한번 터지면 완전 게임 체인저(game changer)니까 핵융합 쪽도 우리도 하고 있는 부분과 함께 다른 각도에서 첨단기술이 접목되면서 했으면 좋겠다는 것입니다.

또 다른 각도에서 볼 것이, 그러면 소위 원유로부터 우리가 즐겨 썼던 휘발유, 디젤, 선박유, 항공유 이런 것으로 대변되는 소위 액체연료, 액체 연료(liquid fuel)의 시대는 죽었나? 저는 그렇게 생각하지 않습니다. 액체 연료(liquid fuel)가 필요한 데가 많고요. 특히 향후 한 50년 동안은 비행기는 액체 연료(liquid fuel)로 날아갈 것입니다. 물론 수소(hydrogen) 찬스가 있긴 하지만 아직도 그것이 여러 해결할 것들이 있기 때문에 아마 제트연료를 그대로 쓸 것이죠.

또 하나는 이유가 비행기 한 대 값이 너무 비싸잖아요. 그러니까 못 바뀔요. 비싼 비행기 샀는데 누가 물어줄 거예요. 그래서 제트연료(jet fuel)를 사용해야 되는데 제트연료(jet fuel)가 재생 가능한 에너지(renewable)로부터 와야 합니다. 그래서 이 재생에너지(renewable)로 가는 방법이 결국은 예전에 경제성이 없었나 했지만 결국 지금 다시 꼬집어 피셔-트로프슈법(Fischer-Tropsch process)으로 가는 것이죠. 그래서 피셔-트로프슈법(Fischer-Tropsch)으로 해서 ASTM 스탠더드만 맞춰서 안전성만 확보되면 지금 이것을 제트연료(jet fuel)로 쓰겠다는 것이 전 세계 항공사들이 다 받아들이고(take) 있는 것인데 거기에 김상협 위원장님께서 첨단기술이 도대체 뭐냐 물으시니까, 예를 들면 이런 것도 있어요. 이것은 제가 직접 하는 것이기도 합니다. 소위 지구상에 가장 풍부한 재생 가능한 원료인 바이오매스를 원료로 해서 미생물을 세포공장으로 써서 제트연료를 굉장히 효

울적으로 만들고 있습니다. 그런 경우에도 마찬가지로 게임 체인저(game changer)가 될 것 같고요.

그다음에 모든 기술들은 추가로 통합(integration)이 굉장히 중요합니다. 예를 들면 2050탄소중립녹색성장위원회에서도 우리가 2030년까지 재생에너지를 굉장히 큰 퍼센티지로 올리겠다고 계획을 짜놨는데, 어디다가 저장할 거예요? 그래서 결국 ESS가 굉장히 중요한데 이것은 전 세계적으로 지금 답이 없습니다, ESS. ESS 잘 한다는 사람 다 거짓말이에요. 들여다보세요. 저장할 수가 없고요.

그다음에 area도 너무 많이 필요하기 때문에 현재의 배터리 시스템으로 안 된다, 다른 것이 나와야 됩니다. “리튬 아이언 배터리 터질까 봐 우리 동네 못 와.” 이것이 문제가 아닙니다. 안정성은 예를 들면 바나듐 flow 전지 같은 것으로 어느 정도 확보할 수 있지만 문제는 배터리 자체가 저장시스템으로 적합하지 않다는 거예요. 그래서 거기서 또 하나의 저장관련 핵심기술이 여기 앉아계신 선생님들 중심으로 개발됐으면 좋겠고요.

마지막으로 좀 다른 각도에서도 보자. 예를 들면 저장만 하려고 하지 말고 바로 쓰자는 거죠, 남았으니까. 그런데 그냥 쓰면 너무 아깝잖아요. 그래서 어떻게 쓰냐 하면 그것을 아까 말했던 액상(liquid) 형태의 에너지 저장물질. 예를 들면 수소로 바뀌서 암모니아로 바꿔 놓을 수도 있고 개미산, 폼산(formic acid)로 바꿔놨다가 쓸 수도 있고 이런 것을 하게 되면 상당히 시스템화에도 최적화(optimizing)이 될 것이고요. 마지막으로 혹시 봄에 꽃 피는 순서 아세요?

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

지금 기후변화 때문에 다 한꺼번에 피는 것 아닌가요?

이상엽(KAIST 생명화학공학과 교수)

그러니까 그것이 문제죠. 원래는 동백, 매화, 산수유 그다음에 벚꽃, 진달래 이런 식으로 쪽 펴야 되잖아요. 그런데 올해 같은 경우 아마 보셔서 아시겠지만 다 같이 피었어요. 그러면 어떤 문제가 있냐 하면 벌들이 정신을 못 차립니다. 벌들이 정신을 못 차리면 어떤 문제가 생기냐? 수분에 문제가 생겨요. 그래서 오늘이 우리 C-Day잖아요. 기후(climate) 혹은 탄소(carbon) 관련된 C-Day인데 내일이 무슨 날이에요? B-Day예요. BEE, 내일이 꿀벌의 날입니다.

꿀벌이 지금 지난 1년 동안 360억 마리가 죽었어요, 없어요. 그래서 벌써 과수원에서 난리가 났습니다. 왜냐하면 과일이 다 제대로 안 되니까. 사과 같은 것에 씨방이 안 생기니까 떨어지죠. 딸기는 수분이 안 되면 쭈글쭈글해져서 못 팔아요. 이것이 왜 문제냐 하면, 이 때문에 1년에 굶어 죽는 사람이 40만 명 이상 생깁니다. 그래서 우리가 기술을 볼 때 하나만 보지 말고 해결을 해보자는 거죠. 드론을 띄워서 수분을 시키든지. 그것도 다 에너지잖아요. 그래서 좀 넓은 각도에서 보는 것도 첨단기술에 접목시키면 좋겠다는 것으로 마치겠습니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

지금 ESS는 완전히 새로운 것으로 가야 한다는 것에 대해서는 반론도 있을 줄 압니다. 일단 남기태 교수님은 어떻게 하면 인재를 키울 것인가. 그리고 기업과 정부 어떻게 하면 좋은지 말씀을 해 주시는 것으로 알고 있고요. 제가 오늘 양쪽 대학 교수님들 말씀 들어보니까 제일 많이 나오는 것이 스케일업(scale-up)이었어요. 어떻게 스케일업을 키울 것이냐. 랩에서는 되는데, 그걸 어떻게 스케일업(scale-up) 시킬 것인가. 학교로서는 한계가 있는 문제이고요. 그런 것을 말씀해 주시면 싶습니다.



남기태(서울대 재료공학부 교수)

탄소중립의 중요성에 대해서 많이들 얘기하시는 것 같은데 저는 그 위기가 굉장히 심각하다. 그래서 코로나 시기만큼 심각한 시대가 올 수 있다는 생각입니다.

코로나 때 2022년 1월 달에 추경예산으로 16조가 예산집행이 됐는데 그중에서도 3조가 진단키트에 배정됐어요. 그만큼의 시급성을 가지고 우리가 대응해야 될 것입니다. 그리고 저희 서울대하고 KAIST가 지금 같이 있는데, 대학의 바운더리를 뛰어넘어서 우리 국가적인 총역량을 집중해야 될 중요한 시기라고 말씀을 드리고자 합니다.

코로나 때 각 나라들이 어떻게 과학기술 역량이 어떻게 되는지, 국민들이 어떻게 대응하는지에 대한 실력들이 나왔다고 생각합니다. 우리나라 같은 경우는 진단키트를 세계 최초로 만든 나라이기도 하고 또 초창기에 PCR을 전 세계적으로 가

장 빠르게 보급한 제조업 강국입니다. 그것이 우리나라의 강점이라고 생각이 들고요.

그러면 왜 우리가 이 시점에서 혁신기술과 인재양성이 필요한가에 대해서 말씀드리면, 예산 지원만으로 단순히 해결되는 문제가 아니라는 것입니다. 지금 1톤의 CO₂ 가격을 일반적으로 한 10만 원이라고 추정할 수 있습니다. 처리비용 같은 경우 1톤에 10만 원 정도 되니까 3조가 투입되면 약 300만 톤이고 30조면 3,000만 톤이고 우리가 2030년에 달성하고자 하는 40%, 약 3억 톤을 하기 위해서는 300조가 들어가야 합니다. 현실성이 없는 것이죠. 단순히 선형적(linear)으로 만일 투자된 것만큼 해결될 수 있다면 우리가 이런 논의를 할 수 없겠죠. 그렇지 않은 상황이기 때문에 혁신기술이 필요하고 인재가 필요하고 이것을 할 수 있는 전력승수(force multiplier)가 필요합니다. 그러니까 사이언스 승수(science multiplier)가 이거예요. 승수를 증가시킬 수 있는 것이 필요하고 거기서 인재양성이 필요합니다.

혁신기술과 인재양성은 같이 갑니다. 우리 국가 R&D의 최고 성과는 기술이자 인재입니다. 1명의 인재가 여러 혁신기술을 만들 수 있고 또 혁신기술을 만들기 위해서는 여러 인재들이 필요합니다. 그래서 그런 주제(theme)에서 저희가 이 포럼이 개최된다고 생각합니다.

그러면 그 이슈가 과연 예산 증가가 충분히 들어가지 않는 상황에서 왜 인재양성이 더 중요하냐. 아까 유홍림 총장님께서 말씀하셨듯이 그러면 저희가 이런 탄소중립 이슈 안에서 저희 수업을 들을 우리 학생들이 배울 만한 것이 있는가 스스로 자문하게 됩니다. 너무 어려운 문제죠. 아직까지 저희 대학이 그런 커리큘럼들을 제대로 만들지 못한다고 생각합니다. 이것은 비단 우리나라뿐만 아니라 전 세계에서든 같이 공감하고 있습니다. 스탠포드, MIT, 하버드, 유럽의 많은 대학들도 마찬가지입니다. 한국이 전 세계와 함께 어젠다를 세팅해서 나가기 위한 좋은 시점이라고 생각이 듭니다.

그러면 왜 새로운 어떤 학문 카테고리가 필요하냐. 필요성에 의해서 시작됩니다. 기초과학이나 인문사회 같은 경우에는 기존 학문의 역사 속에서 하면 되는데 우리 응용과학(apply science), 공대로 대표되는 응용과학(apply science)는 역사가 한 100여 년 정도 됐습니다. 과거와는 다른 관점에서 응용과학(apply science)이 적용되어야 합니다. 과거에는 효율성과 경제성을 위주로 한 기술 개발들이 이루어졌다면 앞으로의 100년은 지속가능성(sustainability)과 탄소중립을 고려하지 않은 응용과학(apply science)은 의미가 없을 수 있다고 저는 생각합니다.

제가 하고 있는 제 연구에도 적용해 보면 과거에는 효율성을 위해서 돈이든, 아니면 지속가능(sustainable) 물질이든, 요소(element)를 막 쓰든 고려하지 않았는데, 제가 5년 전부터 지속가능성(sustainability) 이슈를 고려하면서 연구 디자인을 하게 되니 완전히 다르더라고요. 그래서 저희가 기업 단위에서도 원 헬스 수명주기(life cycle one health)를 통해서 생산품(product)을 디자인하실 때부터 고려하는 것처럼, 연구개발도 그렇게 가지 않으면 안 된다, 응용과학(apply science)도 그런 식으로 정렬(align)이 되어야 한다는 생각이 듭니다.

그러면 지식(knowledge)면에서는 없느냐? CO₂에 대해서도 여러 가지 이슈들이 분명히 존재합니다. 예를 들어서 제 휴대폰의 경우 얼마큼의 CO₂가 배출돼서 만들어졌는지 애플 홈페이지에 가면 공개되어 있는데 약 50kg 정도이고 노트북 같은 경우에는 한 500kg 정도로 되어 있고요. 그래서 이런 이슈들을 같이 가르친 다음에 지식(knowledge)을 같이, 방법론을 같이 만들 수 있는 그런 체계가 만들어져야 하는 것이라고 생각하고요.

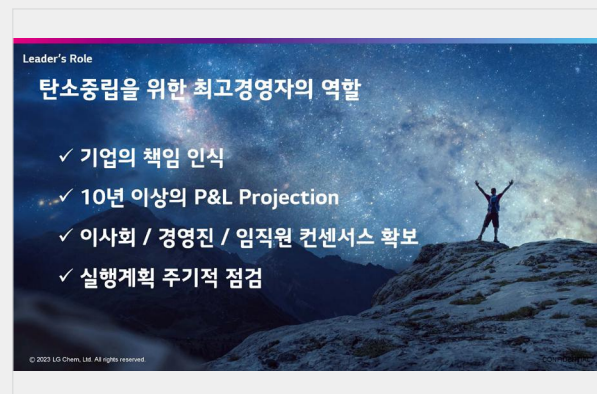
세계가 저희를 주목하고 있습니다. 저희가 비록 탄소 발생량이 1.5%밖에 되지 않지만 필요성을 말씀드리고, 논의 등을 통해서 어떤 전략이 필요한지에 대해서는 다시 말씀드리도록 하겠습니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

신학철 LG화학 부회장님께. 특히 LG화학, 화학도 굉장한 도전(challenge)을 받고 있습니다. 그래서 LG화학이 직면하고 있는 도전(challenge), 그리고 이런 것을 함께 극복하기 위한 협력이라는 것은 무엇인지 이런 말씀을 여쭙고자 합니다.

신학철(LG화학 부회장) : 감사합니다.

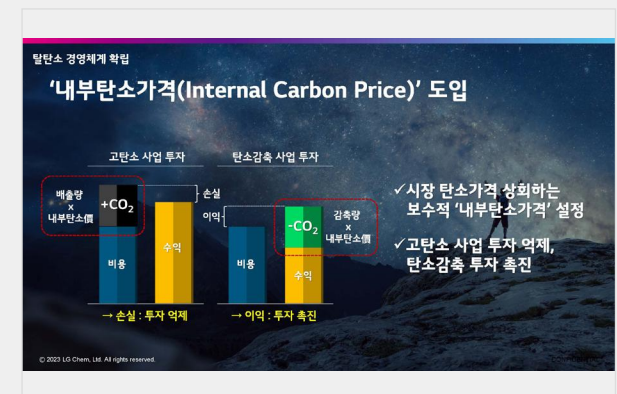
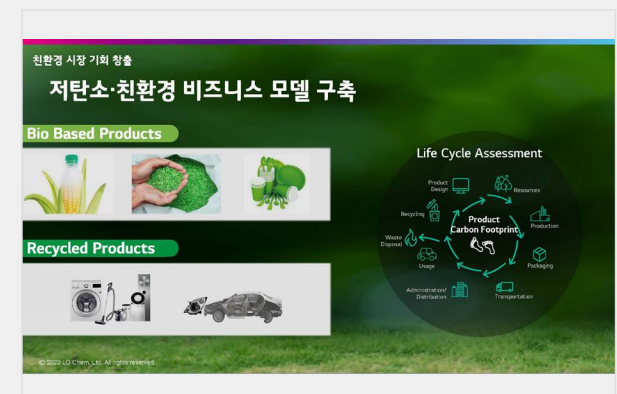
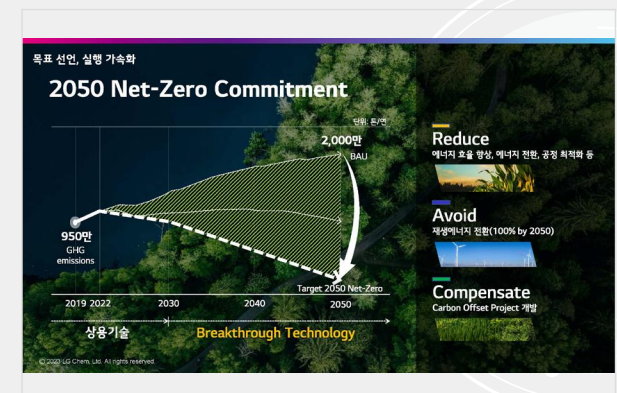
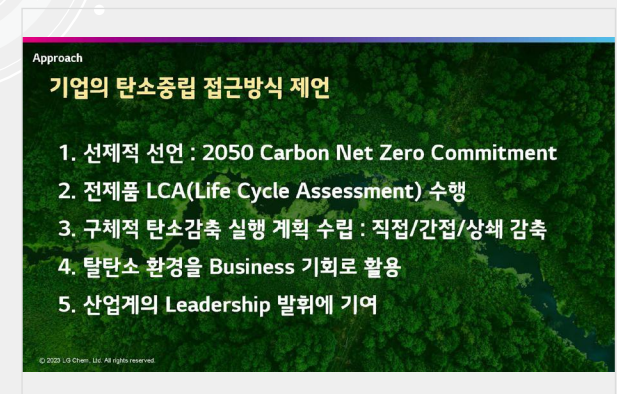
기업으로부터 볼 때 탄소중립 녹색성장은 필수입니다, 이것은 선택의 문제가 아닙니다. 규제(regulation)도 있지만 우선 글로벌 고객들이 요구한 지가 오래됐고 투자자들이 요구한 지는 더 오래됐습니다. 그리고 ESG, 일반 소비자들의 트렌드를 볼 때 이것은 국가 목표나 NDC와 상관없이 기업으로서



절박한 존망의 문제가 된 지 오래됐습니다.

또 이것은 기업의 근본적인 경쟁력(competitiveness)으로 부상했습니다. 따라서 이런 엄청난 변화를 기업이 선도하지 않으면 결국은 도태될 수밖에 없다는 절박한 생각을 저희가 하지 않을 수 없습니다.

둘째, 탄소중립을 위한 기업의 역할을 볼 때 대부분에 나오는 탄소들이 어떤 형태든지 기업에서 나옵니다. 따라서 기업이 앞장서서 탄소를 저감해야 한다는 당위성이 있고요. 기업의 뒤편은 기업이 해결한다는 약속(commitment)가 없으면 이것은 사회적으로 쉽지 않은 문제가 됩니다. 그리고 기업의 사회적 책임과도 연관되기 때문에 이 문제를 분명히 할 필요가 있습니다. 그러기 위해서는 기업의 리더의 사고방식, 생각, 역할이 가장 중요한데 결국은 돈 문제와 관계가 되니까 이것은 최고경영자가 최소한 10년 내지 20년 전에 비전을 가지고 넷제로를 어떻게 달성할 것이냐는 구체적인 세부



계획, 실행계획이 필요합니다. 거기에는 PNL 프로젝션(PNL projection)까지 포함해서 이사회와 경영진과의 공유, 합의(consensus)가 없다고 하면 이것은 말만 많고 실행은 되지 않는 문제가 됩니다.

다음 페이지에서 제가 간단한 접근방식을 제안해 드린다고 하면, 우선 선제적으로 선언하는 것이 반드시 필요합니다. 저희 LG화학은 화학기업 최초로 2020년도에 넷제로를 선포했습니다. 그다음에 방법을 찾자는 거죠.

그래서 첫 번째 시행한 것이 저희 모든 제품에서 LCA가 현재 완료돼 있습니다. 그리고 구체적인 감축계획, 현재 실행계획이 수립되어 있는데 이것은 잘 아시는 직접감축, 간접감축, 상세감축이 다 포함되어 있습니다. 또 하나는 탈탄소를 비용의 문제로만 볼 수 없고, 비즈니스 기회로 이용하자는 겁니다. 그래서 이 두 가지를 동시에 론칭했습니다. 그리고 어차피 할 것이면 우리가 리더가 되자, 이런 일반적인 원칙을 저희가 제시하게 되었는데요.

현재 저희가 검토한 바에 의하면 2030년 목표를 달성하기 위해서는 지금 새로운 기술(technology)를 개발해서 기여하는 것은 불가능합니다, 그것이 어떤 기술이 됐든지 간에. 따라서 2030년 목표는 현재 비기술(non-technology)로 할 수밖에 없다는 결론입니다. non-technology는 얼마든지 있습니다.

예를 들어 에너지 효율만 해도 저희는 한 15% 감축시킬 수 있다고 봅니다. 바이오매스라든가 제한적인 수소의 사용, 그

리고 포트폴리오를 점차 저탄소로 7년 동안 서서히 바꿔간다고 하면 충분히 가능합니다. 따라서 사실 국가적으로도 그렇게 한 기업도 그렇게 너무 큰 얘기만 우리가 많이 하고 있습니다. 2030년 목표를 달성하기 위해서 지금 CCU 해서는 2030년에 안 됩니다. 비기술(non-technology)로 뭘 가지고 얼마를 감축시킬 것인가를 각 기업, 각 업체, 각 대학 모두가 사회적으로 생각할 필요가 있습니다.

저희가 2020년에 2,000만 톤을 감축해야 하는데 이 PNL 프로젝션(PNL projection)을 해 보니까 이것을 안 하고, 투자를 안 하고 탄소를 그대로 값을 다 치를 경우에 2035년까지 4.8조가 들어갑니다. 그런데 3.5조를 저희가 투자계획을 잡아놨습니다. 3.5조 계획을 잡아놓으면 IRR이 6.5년 걸립니다. 무슨 얘기냐 하면, 6, 7년간은 초기투자가 들어가지만 7년 후에는 탄소비용이 투자비용을 상쇄하는 그런 효과를 넘어서는 BP포인트가 나오게 된다는 겁니다. 이런 로드맵 없이는 어떤 기업도 불가능합니다. 그리고 이런 로드맵이 CEO 혼자자 아니라 이사회와 공유되고 합의(consensus)가 되어야 합니다. 그래서 500억이 투자된다면 왜 투자되는지 큰 그림을 알아야 될 필요가 있다고 보고요.

이런 마스터플랜이 반드시 필요합니다, 저희 계획도 2030년까지는 무조건 비기술(non-technology)로 가야 한다는 것이고요. 저한테 CCU 가져오면 “그거 35년이면 되는데 30년 전에는 꿈도 꾸지 마세요.” 합니다. 불가능합니다. 2030년이라고 하면 지금 약 6년 반 남았습니다, 어떤 기술이든지 간에. 따라서 2030년 세부계획을 세우고 비기술(non-

technology), 특히 에너지효율 공정 개선의 여지가 얼마든지 있습니다. 바이오매스 사용, 제한적인 수소의 사용 이런 것들을 하려고 노력하고 있고요.

또 바이오 원료, 바이오 연료 이런 모든 것을 동원한다면 2030년, 할 수 있습니다. 그리고 우리나라 산업 전반적으로 언제까지 탄소를 많이 배출하는 산업에 의존할 것이냐 하는 포트폴리오 문제도 국가 경쟁력과도 관계있다고 봅니다. 따라서 저희 LG화학은 저탄소 비즈니스로 서서히 점차 옮겨가자는 이런 10년, 15년 계획을 가지고 있습니다.

또 한 가지는 비즈니스 기계입니다. 여러분들 잘 아시는 바이오스쿨러, 소위 BCB 제품, 바이오 납사를 쓴 항공유 또는 폐식용유나 폐팜오일을 사용해서 바이오 납사나 항공유를 만드는 이런 산업이라든가, 아니면 리사이클사업, 기계적 리사이클, 캐미컬 리사이클 이런 사업을 저희는 이미 수천억을 투자해서 여기 계신 기업들과 마찬가지로 이미 사업화에 들어가고 이미 공장 착공에 들어가고 있습니다.

내부적으로 경영에 있어서는 내부탄소가격제도를 도입하는 것이 필요하다고 봅니다. 저희 LG화학은 올 1월 1일부터 내부적으로 모든 PNL 계산 그리고 모든 투자에 탄소를 돈으로 환산해서 전부 코스트로 다 들어갑니다. 차트에서 보시듯이 탄소는 무조건 코스트에 업이 됩니다. 내부탄소가격은 돈을 쓰는 것과 마찬가지로 내부적으로 계산해서 탄소가격이 확보되지 않으면 투자하지 않고 파이낸셜이 조금 적더라도 확보되면 들어가는, 이런 내부탄소가격제도를 도입했구요.

마지막으로는 종합 데이터 시스템을 완료해서 올 1월 1일부터 저희는 Scope 3까지 관리(management)를 시작했습니다. 현재 우리가 얼마 저감하겠다고 하면 보통 Scope 1, 2인데 Scope 3까지 포함되어야 합니다. 그래서 LG화학은 올 1월 1일부터 Scope 3까지 포함해서 Scope 3 합해서 2050년까지 제로로 만들겠다는 계획을 현재 실행 중입니다. 정부는 컨트롤타워로서의 역할이 가장 중요하다고 봅니다. 이 중에 특히 신기술, 오늘 여러 가지 말씀하신 이런 것들은 하나

의 대학 그리고 한 기업이 할 수 있는 그런 범주를 넘어서고 있습니다. 따라서 이런 과감한 투자 또 세제 혜택 이런 것들이 필요하다고 보고요.

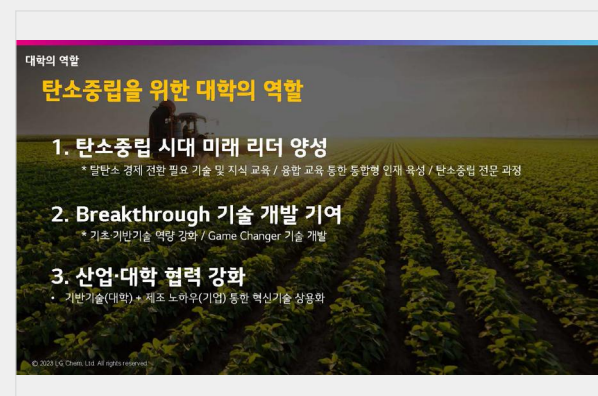
두 번째는 재생에너지 인프라입니다. 우리나라가 불리하기는 하지만 가능한 범위 내에서 정부가 나서서 컨소시엄을 형성 하더라도 기업을 끌어들이든 투자를 끌어들이든, 풍력이 됐든 뭐가 됐든 대규모로 시작해야 합니다. 그러나 이 부분에서 아직도 키를 잡고 나가는 사람이 사실은 없습니다. 그래서 그런 역할 좀 해 주시기를 바라구요.

또 하나는 국가 간 협력 활성화입니다. 마지막으로 우리나라 국민들의 에너지 절감입니다. 에너지 절감하라는 소리 여러분들 언제 들어보셨습니까? 사실 우리 국가의 에너지 한 15%는 별로 힘들이지 않고 절약할 수 있습니다. 정부도 싫은 소리지만 얘기해야 하고 우리 리더들이 이런 얘기를 해야 된다고 저는 감히 생각하고요.

대학의 역할은 혁신적(breakthrough) 기술 개발입니다. 왜냐하면 2030년 이후에는 저희 기업으로서는 혁신적(breakthrough) 기술이 없으면 넷제로를 달성할 수 없습니다. 저희도 투자하고 있지만 이런 기술을 상용화해 주십사, 두 번째는 인재를 많이 배출하기 위해서 노력해 주십사 이 두 가지 말씀을 드리겠습니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

지금 LG화학으로서는 일단 손에 잡히는, 바로 성과를 낼 수 있는 비기술(non-technology)에 집중적으로 최대한 동원을 하지만 혁신적 기술(breakthrough technology)을 위해서 정부와 대학이 합심해 달라는 말씀인데요. 사실 LG화학은 굉장히 진취적인 모습들을 보여주고 있습니다. 내부탄소가격



제를 철저히 시행하는 것도 굉장히 인상적입니다.

그런데 사실 아까 교수님들 발표할 때 줄이기 어려운(hard to abate), 한국 산업은 사실 대부분 난감축 분야들이 많습니다. 화학도 대표적인데 그래서 철강, 화학, 시멘트 이런 분야들에서 국가들이 힘을 모아서 함께 녹색기술을 적용하자는 제안도 받고 있습니다. 부회장님은 여기서 어떤 입장을 취해야 된다고 보시는지요?

신학철(LG화학 부회장)

저희는 CEO 글로벌리더 그룹 연합(Alliance of CEO global leaders group)이라는 데 가입을 했습니다. 이것도 퍼스트 FMC(first movement collision)하고 비슷한 맥락입니다만, 전 세계 약 250개 기업이 가입했습니다. 그래서 앞장서서 기업이 기업의 역할뿐만 아니라 사회적인 역할 그리고 글로벌 리더로서의 역할을 담당해야 된다고 생각합니다.

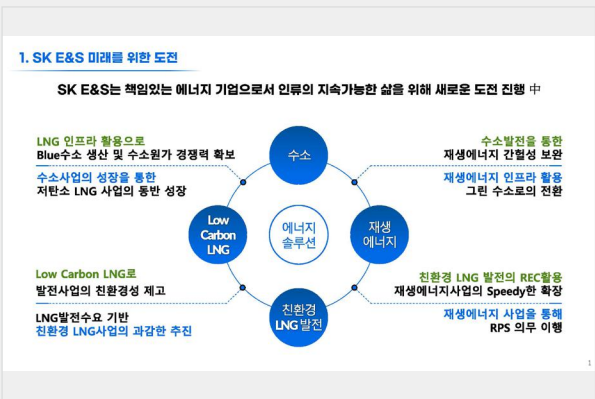


추형욱(SK E&S 사장)

탄소중립과 녹색성장을 위한 새로운 도전, 혁신 그리고 관련 인재양성을 위해서 대학과 정부 그리고 기업이 발을 맞춰나가야 되는 아주 중요한 시기인 것 같은데요. 이때에 이런 포럼이 개최된 것이 아주 시의적절하다고 생각합니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

알겠습니다. 일단 뛰어들어야, 겁내지 말고 뛰어들라는 식으로 이해가 됩니다. 다음은 추형욱 SK E&S 사장님. CCS는 당장은 안 될지도 모른다는 말씀을 하신 분이 있는데 어떤 준비를 해 오셨는지요?



저는 오늘 정부와 대학 그리고 기업의 역할을 말씀드리기 전에 SK E&S가 이런 탄소중립과 녹색성장을 위해서 어떤 일을 하고 있는지 말씀을 드리면서 그 시사점을 통해서 우리들이 해야 할 역할들을 말씀드리고자 합니다.

SK E&S는 SK그룹의 친환경에너지사업을 하고 있는 회사입니다. LNG 그리고 민간 발전 그리고 재생에너지 분야에서는 우리나라에서 전부 다 1위를 하고 있는데요. 저희가 LNG 사업이 예전에는 사실 석탄발전을 대체하기 때문에 탄소를 많이 감축하는 친환경에너지라고 인식이 되어 왔습니다.

그런데 최근 2~3년 사이에 LNG 역시 화석연료 중 하나이다 보니까 이것 역시 탄소가 배출되어서 LNG도 새로운 도전을 많이 받게 됐어요. 그런데 저희가 이 LNG 사업의 지속가능성(sustainability)을 확보하기 위한 기술들을 연구하다 보니 이미 오일과 가스 영역에서는 탄소포집(carbon capture) 기술이 아주 범용화되어 있었습니다. 그러니까 어느 공정에서 탄소(carbon)를 포집(capture)하느냐에 따라서 이 기술적 난이도가 굉장히 큼니다. 그런데 가스를 생산하는 단계 그다음에 블루수소를 만드는 개질공정에서는 탄소를 100% 포집할 수 있습니다.

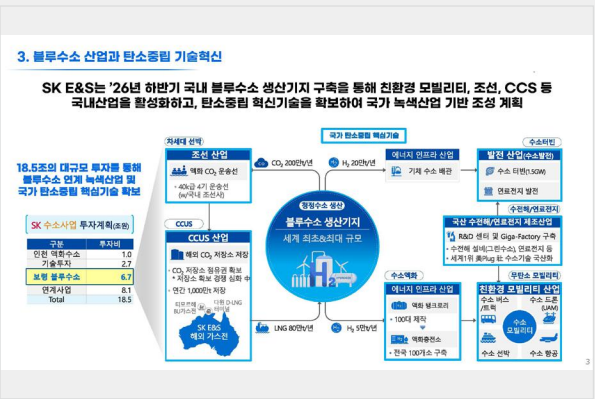
그래서 저희가 LNG에다가 이런 CCS 기술을 접목시켜서 탄소를 감축시키는 저탄소 LNG 혹은 CO₂를 완전히 제거하거나 또 상쇄시킨 탄소중립(carbon neutral) LNG 사업을 해야겠다고 판단해서 3년 전부터 이 탄소중립(carbon neutral) LNG 사업을 열심히 하고 있습니다.



이렇게 탄소중립(carbon neutral) LNG 사업을 하게 되면 LNG 발전 사업에도 친환경성이 제고되고, LNG 발전 사업의 친환경성이 제고되면 LNG 발전 사업이 확대되기 때문에 여기에서 보유할 수 있는 REC를 확보해서 재생에너지를 아주 빠르고 안정적으로 확대해 갈 수 있습니다.

저희가 이런 사이클을 통해서 우리나라에서는 유일하게 3.6GW의 재생에너지 사업을 하고 있습니다. 그리고 이 재생에너지 사업은 장기적으로 보면 향후에 수소 중 그린수소의 인프라를 제공해 줄 수 있고요. 또 수소 발전은 수소 터빈 그리고 수소 연료전지를 통해서 재생에너지의 간헐성을 친환경적으로 보완해 줄 수 있습니다. 그리고 이 수소산업은 블루수소, 그러니까 LNG를 개질해서 수소를 만들고 그때 나오는 CO₂는 모두 포집해서 제거하는 이런 블루수소 사업을 확대하게 되면 탄소중립(carbon neutral) LNG 사업을 빠르게 확대할 수 있고요. 탄소중립(carbon neutral) LNG의 저렴한 공급을 통해서 또 수소의 생산단가를 낮출 수 있습니다. 이렇게 여러 가지 친환경적인 에너지 공급 솔루션을 통해서 고객과 지역에 가장 적절한 에너지 공급 솔루션을 공급해 준다면 현실적인 탄소중립의 대안을 마련해 줄 수 있겠다고 판단하고 있습니다.

그리고 가운데 있는 에너지솔루션은 이렇게 다양한 에너지원으로 각 지역 혹은 고객에게 에너지를 공급할 때 이 송배전망(grid)의 문제들이 상당히 많습니다. 그래서 이 문제를 어떻게 해결할 것인가. 분산 발전을 할 수 있는 소규모 LNG라든가 수소 그리고 재생에너지, 그리고 말씀하신 제한적인 ESS를 통해



서 이런 그리드(grid)의 문제를 해결해 주는 에너지솔루션 사업을 같이 해 나가면서 사업 간에 시너지도 내고, 탄소중립의 현실적인 대안을 제시하면서 에너지 전환기간(transition period)에서 새로운 신성장산업을 만들어 가고 있습니다.

일단 수소사업을 예를 들어서 설명 드리려고 합니다. 수소는 대한민국 탄소중립의 핵심축이자 미래 신성장 산업입니다. 수소가 굉장히 미래산업이라고 생각하시는 분들이 많이 있습니다만 수소는 지금 당장 할 수 있는 사업입니다. 그래서 저희는 이미 2년 전에 인천에 있는 부생수소를 활용해서 액화시켜서 수송 분야에 탄소중립을 기여하는 일들을 하고 있습니다.

승용차는 친환경 차량이 전기차로 많이 전환되지만 장거리 이동버스라든지 대형 화물운송트럭은 전기차로 전환이 어렵습니다. 이런 것들을 수소차로 전환시킵니다. 여기에 저희 액화수소를 공급하게 되는데 대규모 투자를 통해서 올해 11월이면 상업 가동이 됩니다. 그러면 그 시점에 맞춰서 전국에 액화수소 충전소와 지자체 또 운수사가 시내버스를 수소버스로 전환시키는 일들을 현대자동차와 협력하면서 수소를 공급하려고 하고요. 궁극적으로 이 수소산업이 우리나라 전체 산업에 경제적인 파급효과를 만들기 위해서는 블루수소 사업이 필요하다고 보고 2026년까지 블루수소 사업에 투자를 진행하고 있습니다.

결론적으로 우리가 이 에너지 전환(energy transition)을 진행하면서 탄소중립과 함께 대규모 신성장 사업을 만들어내는 것이 기업이 할 일이라고 봅니다. 이와 함께 핵심기술의 확보와 과감한 투자 그리고 또 하나는 기존 인력들의 기술 재교육(reskilling), 숙련도향상(upskilling)이 필요해 보입니다.

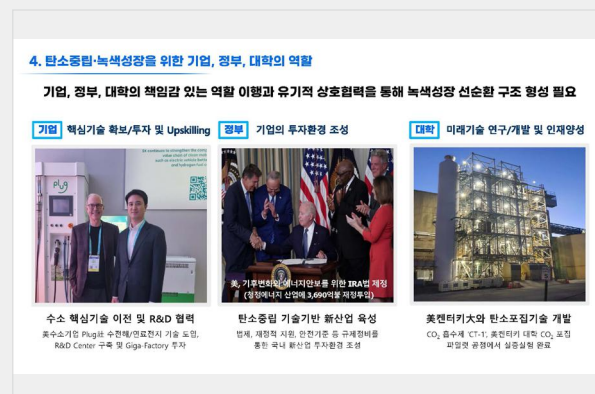
저희가 전통적인 에너지(conventional energy) 사업을 하다가 뉴 에너지 비즈니스로 변화(transformation)해 나가면서 외부의 역량을 조달(sourcing)하기 위해 외부의 사람들을 많이 뽑고 있습니다. 하지만 기존의 인력들이 이런 그린비즈니스로 전환하기 위해서는 새로운 역량셋을 확보해야 하고 기존의 역량을 새롭게 업그레이드해야 합니다. 그래서 기업에서는 기술 확보와 투자와 함께 또 이런 기존 인력들의 숙련도향상(upskilling)이 필요해 보이고요.

정부는 기업이 과감하게 투자할 수 있는 환경을 조성해주는 것이 가장 중요해 보입니다. 과거의 에너지산업은 전통적인 에너지원(conventional energy source)을 썼기 때문에 정부가 수요와 공급을 매칭했습니다. 하지만 이제 신에너지 사업이 새로운 기술과 새로운 인프라와 새로운 비즈니스모델을 가지고 나가기 때문에 정부는 큰 방향성과 가이드라인을 제시하고 구체적인 투자를 기업들이 할 수 있는 제도적인 기반을 마련해 주는 것이 필요해 보입니다.

저희가 미국 켄터키대학교와 탄소포집기술을 개발하는 시험 공장(pilot plant)을 만드는 사진으로 넣었는데, 탄소기술 중에 어려운 부분인 연소 이후 포집이라든가 또 공기 중의 탄소를 포집하는 것들을 지금 켄터키대학과 협력하고 있습니다. 기업에서 미래 기술에 대한 연구·개발과 함께 이에 필요한 인력들을 잘 양성해서 공급해 주시는 것들이 또 대학의 할 일이 아닌가 생각합니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

수소가 12대 국가전략기술 중에 하나인데요. 수소 쪽 정책에 대해서 혹시 건의를 드릴 것이 있습니까?



추형욱(SK E&S 사장)

네, 사실 수소는 아까 에너지 전환(energy transition) 그리고 미래에 탄소중립을 해 나가면서 우리나라가 새롭게 대규모 신성장 사업을 만들 수 있는 분야라고 생각합니다. 그리고 반도체, 자동차, 2차 전지에 이어서 대한민국이 기술 쪽 리더십을 가져갈 수 있는 분야입니다.

수소가 결국은 쓰일 수 있는 부분이 있어야 합니다. 수소를 많이 생산하려고 하면 쓸 데가 있어야 합니다. 수소를 쓰는 곳이 아까 말씀드린 수송 분야 그리고 또 하나는 발전 분야입니다. 발전 분야에서는 수소 연료전지 발전 그리고 수소 혼소 발전 이런 쪽이 필요합니다. 정부가 수요 시장을 만들어주시는 데 지원해주셨으면 좋겠습니다. 왜냐하면 이런 발전소의 건립은 정부의 승인사항입니다. 그래서 정부가 이것을 승인해 주시지 않고 사업군을 불하시면 기업이 생산 투자를 할 수가 없습니다.



남석우(삼성전자 반도체 제조부문 사장)

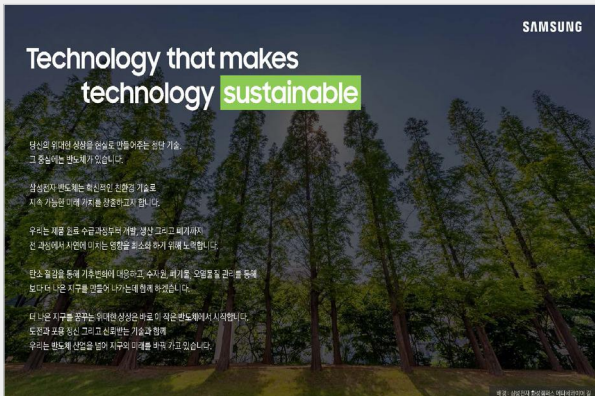
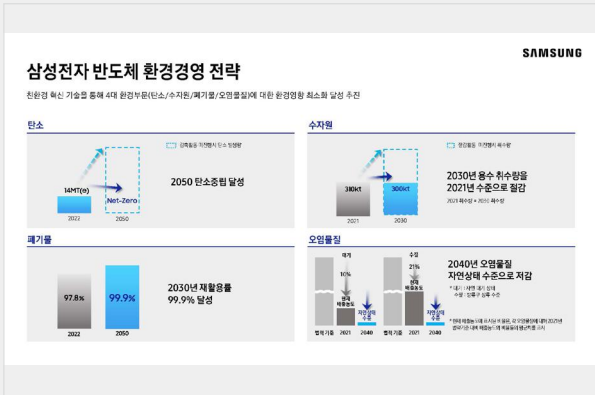
출근하면 요즘 '대전환' 얘기를 많이 합니다. 그것에 데이터를 많이 쓰고, 또 에너지가 바뀌고 있으니 이것이 굉장히 고민이고요. 그러다 보니까 Si하고 탄소(carbon)에 관한 것을 생각하지 않을 수 없습니다. 사실 30년 공정개발을 했고 한 3년 정도 지금 생산하고 있는데 어제든 거의 반, 오늘도 반을 거의 그 테마를 가지고 얘기하고 있습니다.

특히 탄소는 사실 반도체 하는 사람이라면 모두가 알아야 합니다. 영업 마케팅, 해외를 뛰어다니는 사람들도 알아야 되고 또 제조를 하는 사람도 알아야 되고요. 그래서 아까 교수님이 말씀하셨지만 저희는 계산은 끝났습니다. 그래서 칩당 탄소(carbon)양을 모든 회사의 D램, 우리가 모든 회사에 납품하는 그 D램 낸드, 파운더리(foundry) 제품에서 얼마를 쓰고 있는지는 전부 계산은 했습니다. 이제 어떻게 줄이냐가 관건인데, 그래서 사실 고민이 많습니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

전에 우크라이나 경제부총리가 그 얘기를 하더라고요. "유럽에서 우크라이나에 철광석이 제일 많이 있는데 그린수소 사업을 같이하자." 이런 그린스틸 얘기하는 것 보고 깜짝 놀라기는 했습니다.

이 기업이 RE100 참여 선언을 하니까 전 세계가 주목을 했습니다. 사실 굉장히 오랜 시간 준비해 왔는데요. 삼성전자의 남석우 사장님, 반도체 제조부문이어서 아주 핫한 토픽이라고 생각되는데 말씀 부탁드립니다.



그런데 다행스러운 것은 반도체는 평균 30세가 좀 넘습니다. 탄소(carbon), 특히 환경에 대해서는 관심이 어마어마하게 많습니다. 사실 저희 엔지니어들도 관심이 워낙 많기 때문에 지금 교수님들 하시는 것을 잘 서포트할 수 있을 것 같고요.

특히 투명해야 하는데 이것이 또 글로벌이 약속을 해야 됩니다. 저희가 작년엔 경영선언을 했습니다. 2050년까지 탄소 중립 하겠다고 했고, 그것을 지켜야 되니 중간발표 계획을 세우고 있습니다. 우리가 직접 배출하는 것은 여러분들이 말씀하신 기술 가지고 로드맵을 만들어 봤습니다. 이것이 실행될 수 있도록 확인해 보니까 KAIST나 서울대와 같이 연구를 많이 하고 있더라고요. 저희 내부에서 SAIT라고 기술원이나 반도체 환경연구소에서 연구하는 인력도 한 50여 명 됩니다. 아마 같이 일을 하는 것으로 제가 알고 있고, 앞으로 더 확대 될 것으로 이해하고 있습니다.

환경전문가는 채용공고(Job posting)하면 인기가 좋습니다. 그래서 내부에서 지식기반(knowledge base)이 있는 사람들 위주로 아마 환경전문가들을 육성하고 있습니다. 저희가 주먹구구로 하던 것을 전부 시스템으로 다 싹고 이제 이것이 어떻게 진행될 것이냐를 관심 있게 보고 있고요. 또 앞으로도 더 시간을 많이 쏟아서 하겠습니다.

Scope2가 문제입니다. 에너지가 다 바뀌고 있는데 Scope2는 저희가 우리나라 전력의 상당 부분을 씁니다. 그러니까 전력을 어떻게 바꾸느냐가 굉장히 큰 고민입니다.

아시다시피 AI나 ChatGPT 같은 것을 하려면 반도체 양이 어마어마하게 필요합니다. 지금 생산량은 10년 후에 2배, 3배 올라가게 되어 있어서 공장도 많이 짓게 되어 있는데 전력이 상당히 문제가 되고요. 그래서 전력의 모든 케이스를 또 공부하고 있습니다.

저는 재료를 공부했는데 저 포함해서 지금 전자에 계신 분들도 오늘 얘기하시는 수소, 원자력 다 포함해서 공부들을 하고 있습니다. 그래서 저희 관계사에 또 하시는 분들이 계시기 때문에 같이 공부하고 있고 아마 학교와도 직접적으로 얘기들을 많이 할 것 같습니다. 그런 과정으로 Scope2 전력에 대해서 시작했고요.

마지막으로, 저희는 기업이기 때문에 저희가 쓰는 모든 원자재를 들여와야 되고 또 그것을 팔아서 어떻게 사용하는지에 대해서 컨트롤을 해야 됩니다. 그것이 상당 부분, 50% 이상 되기 때문에 굉장히 관심이 많고요. 일단 그 부분의 양은 다 확인했습니다. 그래서 아마 스피드는 Scope1, 2 대비 조금 지연될 것 같아도, 저희가 착실히 해 나가면서 여러분들이 해 주시는 기술을 현실화하고 또 앞으로도 반도체를 잘 만들어서 우리나라에 보탬이 될 수 있도록 하겠습니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

감사합니다. 남석우 사장님, 철강은 그린스틸 이런 얘기를 하는데 사실 그린칩에 대한 압박이라고 할까요? 그런 것이 실제로 어느 정도 느끼고 계신지 공유하실 수 있으신 만큼은 부탁을 드리겠습니다.

남석우(삼성전자 반도체 제조부문 사장)

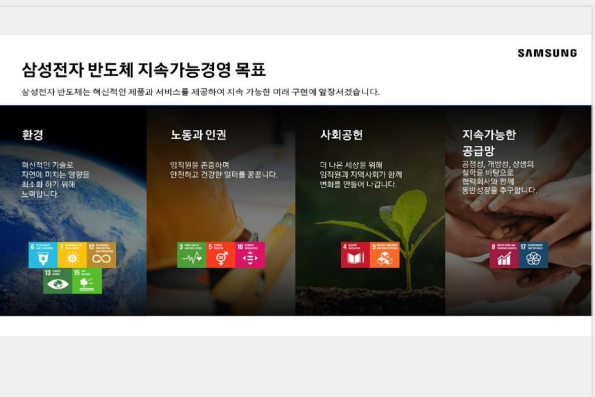
그린칩 아까 말씀드렸는데 실제로 저전력(low-power)에 대한 것은, 그린칩에 대해서는 설계부터 들어가는 것은 시작됐고요. 그리고 저희가 선도기업(leading company)이니까 모범을 보여야 합니다. 아까 말씀드린 대로 모든 제품의 지금 정확한 숫자를 말씀드리기는 그런데 carbon CO₂로 환산해서 했습니다. 그래서 이것을 제로로 만들어야 하기 때문에, 생각보다 외부에서 압박은 어마어마합니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

알겠습니다. 하나의 사례입니다. 우리 김진영 교수님이 RE100을 삼성이 하려면 삼성전자만 250GW가 필요한데 우리는 그 10분의 1 정도로 굉장히 갭이 있지 않느냐 하셨습니다. 삼성이 아무리 글로벌 기업이라고 해도 전력이나 용수 이런 것들은 인프라니까 정부가 “이것은 꼭 해달라.” 이런 얘기하실 것이 있으신지요?

남석우(삼성전자 반도체 제조부문 사장)

지금도 사실은 이루어지고 있습니다. 저보다 잘 아실 텐데 크레딧(credit)도 있고 또 지금은 재생에너지(renewable)도 있지만 또 무탄소 에너지(carbon free energy)도 있습니다. 또 저희가 약간 그린워싱(greenwashing)으로 오해받을 수 있는 소



지도 많다 보니 굉장히 고민이 많습니다. 또 한국전력이고 타이트하게 붙어서 봐야 하죠. 그래서 사실 정부하고 같이 할 일이 너무너무 많습니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

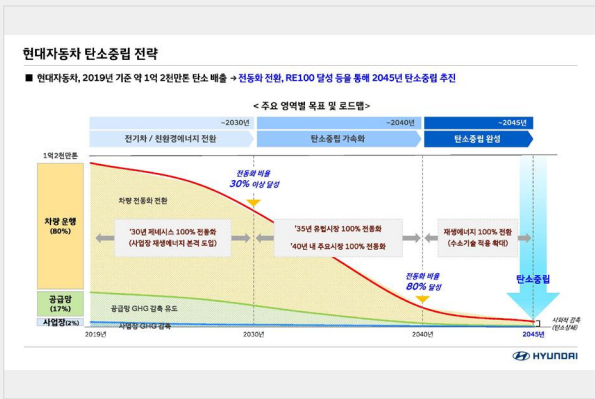
알겠습니다. 이것은 진짜 합심해서 가야 할 얘기고요. 지금 말씀하신 것이 무탄소 에너지 클럽(carbon free energy club)은 재생에너지와 원전, 수소. 그러니까 저탄소에 기여하는 에너지를 통칭하는 것인데 한국하고 뜻을 같이하는 국가들과 같이 만들어 나가는 과정에 있습니다. 시간은 꽤 걸릴 것이고요.

많이 기다리셨습니다. 현대자동차의 김동욱 부사장님 말씀 여쭙겠습니다. 사실 제가 볼 때는 대한민국이 모빌리티 분야에 대해서는 이미 톱3라고 할 수 있죠. 김대완 제주전기차엑스포 이사장님도 와 계시는데, 뭔가 굉장히 역동적인 느낌도 받고 있습니다. 도전(challenge)도 만만치 않을 것 같고요. 김동욱 부사장님 박수로 맞이해 주십시오.



김동욱(현대자동차 전략기획 부사장)

안녕하십니까. 글로벌 톱3 말씀을 하시는데, 최근에 저희들도 계속 질문을 많이 받습니다. 어떻게 그렇게 됐느냐, 그러면 앞으로는 어떻게 될 것 같냐 그런 말씀들을 많이 듣습니다. 앞으로는 저희들이 양으로 승부를 내서 글로벌 톱3다 혹은 톱2다 하는 것이 중요한 것이 아닌 것 같고요. 질적으로 혹은 기술적으로 얼마나 미래산업을 선도할 수 있느냐, 결국



그 문제에서 톱티어로 발전할 수 있지 않겠나 생각이 듭니다. 그런 것과 관련해서 탄소중립 문제는 가장 중요한 현안일 수밖에 없고요.

저희들이 2021년도에 현대자동차그룹 차원에서 아시다시피 현대차, 기아차, 현대제철 이렇게 해서 현대차그룹 차원에서 탄소중립 계획을 발표한 바 있습니다. 2050년 계획보다 한 5년 앞서서 2045년까지는 글로벌하게 현대차, 기아차 자동차 부문 그렇게 해서 넷제로를 하겠다는 목표를 발표한 바 있고요. 그런데 이 지점에서 제가 한 가지 숫자를 말씀드리면 의아하게 생각하실 수 있습니다.

저희 현대자동차만 먼저 말씀드리면 저희 현대자동차가 갖고 있는 탄소 발생량을 저희들이 추정합니다. 한 해에 1.2억 톤을 발생시킨다고 얘기합니다. 조금 의아하실 것입니다. 아니, 대한민국 전체가 발생시키는 양이 7억 톤이라고 아까 반기문 총장님도 말씀하셨던 것 같은데 7억 톤 중에 현대자동차만 어떻게 1.2억 톤을 발생시킬 수 있느냐. 그것이 결국은 현대자동차가 갖고 있는 일종의 딜레마겠죠.

다시 말씀드리면 현대자동차가 국내에서만 차를 팔고 있는 것은 아니지 않습니까? 전 세계에서 차를 팔고 있고 그러다 보니까 전 세계에서 파는 차로부터 CO₂가 발생합니다. 그것이 저희들한테 가장 큰 난제(challenge)입니다. 그래서 그것이 저희들이 1.2억 톤이라고 하는 것에서 80%를 차지합니다. 그리고 매해 저희 현대차그룹이 국내외에서 생산하는 물량이 올해 저희들이 사업계획상으로 750만 대 정도 됩니다. 저희들이 판단하기로 올해도 역시 한 3위쯤 할 것 같은데 이 750만 대를 생산하기 위한 협력업체들이 있지 않습니까? 이 협력업체들이 부품을 공급하기 위해서 산출하는 탄소 물량이 약 17 내지 18% 정도 됩니다.

저희들이 국내외 대규모 공장을 기준으로 했을 때 한국을 포함한 11개국에서 37개 공장을 운영한다고 이야기합니다, 약 30만 대 정도에 해당하는 대단위 공장 기준입니다. 그 공장에서 산출되는 CO₂가 전체의 아까 말씀드린 1억 2,000만 톤

의 한 2% 정도입니다. 그렇게 해서 총 100%가 짜이는 구조입니다. 그래서 당연히 저희들로서는 80%를 어떻게 낮출 것인가, 가능하도록 빨리 넷제로화 시킬 것인가 하는 것이 당연히 가장 큰 이슈입니다.

다른 방법이 없습니다. 기존의 내연기관차들을 빨리 전기차로 전환시켜 나가는 수밖에 없어요. 최근에 계속 저희들이 국내에도 전기차공장을 짓는다, 미국에도 전기차공장을 짓는다고 하는 게 결국 그 흐름일 것이고요.

특히 CO₂를 덜 배출하는 소형차보다는 대형차에서의 CO₂ 저감이 대단히 중요하다고 봅니다. 추후욱 사장님이 계속 저희한테 말씀하시는 대형버스나 트럭에서의 수소 전동화가 저희들한테 큰 과제라고 말씀드리고요.

그리고 아까 말씀드린 협력업체의 18%의 CO₂, 이것을 협력업체에게 “당신네들이 알아서 하라.” 이렇게 할 수는 없습니다. 그래서 기술적으로도 그렇고 협력업체를 지원해 나가면서 CO₂를 줄이는 것이 필요합니다.

마지막으로, 우리 공장에서 나오는 CO₂ 2%, 그것도 역시 규모는 적어도 대단히 중요한 문제입니다. 저희들로서는 RE100이라고 하는 목표를 가지고 있습니다. 나름대로 계획을 가지고 있고, 계획은 계획대로 반드시 달성하려고 노력하고 있습니다. 그런데 저희들이 보기에는 이것이 개별적으로 완성차, 전기차를 많이 만든다, 수소차를 많이 만든다, 혹은 협력업체 그다음에 우리 공장의 CO₂를 줄이자 이렇게만 해서 이것이 자연스럽게 이루어질 수 있는 것은 아닌 것 같습니다. 근본적으로 전체적인 에코시스템, 적어도 자동차에 있어서 생태계 전체를 저탄소화, 심지어는 무탄소화 시키는 것이 대단히 중요한 문제입니다.

하나만 예를 들겠습니다. 저희들이 최근에 수소에 관해서 대외적으로 많이 말씀 드렸고 수소차도 생산하고 있습니다. 저희 그룹 차원에서는 수소 생태계를 스스로 만들어보자 해서 지금 사실 청주, 충주에서 음식물쓰레기나 하수슬러지 같은

것으로 수소를 생산하고, 실제로 그 수소로 수소모빌리티를 충전하고 있습니다. 그래서 수소 생태계를 스스로가 만들어 가면서 수소를 생산하고 그것을 통해서 아까 말씀드렸던 가장 큰 80%에 해당하는 부분을 빨리 무탄소화 시키는 과제를 추진하는 것이 대단히 중요하다고 말씀드리겠습니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

글로벌 톱3의 길속에 테슬라라는 회사가 있지 않습니까? 그런데 테슬라는 자동차회사도 갖고 있고 기가팩토리라는 에너지회사도 한단 말이죠. 그러니까 우리로 치면 제너럴모터스와 엑스 모빌을 같이 하려는 것이라고 비유할 수 있는데 현대 자동차는 모빌리티와 에너지를 같이하는 테슬라에 대해서 어떤 인식을 하고 있습니까?

김동욱(현대자동차 전략기획 부사장)

그런 면에서 저희들이 테슬라하고 똑같은 어떤 체계(structure)를 갖고 있는 것은 아니지만 아까 말씀드렸던 것이 딱 그것입니다. 차를 생산하는 역할도 해야 되겠지만 생태계 전체, 예를 들어서 아까 말씀드린 수소 생태계를 통해서 수소의 생산과 운송과 저장과 그리고 활용에 이르기까지 전체의 생태계를 갖춰나가는 것입니다. 사실 저희는 국내에서만 하려는 것이 아니고 해외에서도 그와 같은 수소생태계를 활성화해야겠다고 보고, 해외사업에도 적용하려고 하고 있다고 비교해 볼 수 있겠습니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

알겠습니다. 이상엽 부총장님하고 남기태 교수님 30초씩 요약(summary)과 하시고 싶은 말씀 부탁드립니다.

이상엽(KAIST 생명화학공학과 교수)

기업체에서 오신 우리 CEO분들께서 너무 좋은 비전을 주셨고요. 저는 요약을 하면 RE100에는 우리가 놀아날 필요가 없다고 봅니다. 우리 국력이 그 정도는 넘어 있고요. CF100(carbon free 100)은 좋은데 이왕이면 거기에 하나를 더 붙였으면 좋겠어요.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

바이오?

이상엽(KAIST 생명화학공학과 교수)

아니요, CNF100으로 해서. 사실은 우리가 탄소(carbon)만 제거(free)하면 안 되고 질소(nitrogen)도 제거(free)해야 하거든요. 예를 들면 아산화질소 같은 경우는 CO₂보다 거의 300배의 온실효과가 있기 때문에 그런 부분도 우리가 창의적으로 넣었으면 좋겠다는 말씀 드리고요.

에너지는 우리가 태양 쳐다봐도 주고 물 쳐다봐도 주고 다 줍니다. 그러나 물질은 만들어야 하지 절대 안 줘요. 그것은 재

생 가능한 원료, 아까 신학철 부회장님 말씀하셨지만 CO₂가 원료가 됐든 재생 가능한 바이오매스가 됐든 그것을 원료로 해서 친환경 바이오화학 공정을 통해서 생산해야 한다, 이 정도로 요약하겠습니다.

김상협(2050탄소중립녹색성장위원회 공동위원장)

알겠습니다. 빌 게이츠도 지속가능한 항공유 물질을 만들어야 한다는 이런 얘기를 하더군요. 남기태 교수님.

남기태(서울대 재료공학부 교수)

짧게 요약을 드리면 가슴 뜨거워지는 희망을 오늘 볼 수 있다는 생각이 듭니다. 많은 분들이 걱정하시는데, 오늘 산학계 여러분들의 말씀을 들으니까 우리가 체계적으로 전략을 만들 수 있다는 것을 느꼈고, 민간과의 협력에도 열망을 가지게 됩니다. 정부 지원도 그에 발맞춰서 같이 이루어지고, 대학도 같이 변하고자 합니다.

마지막으로 넷제로에 대해서 'N'을 'M'으로 바꾸면 'MZ'거든요. MZ세대들이 진짜 새로운 value를 만들 수 있는 그런 장을 만들어 보도록 하겠습니다.

“‘탄소중립에서
여성을 빼고 할수 있나?’라는
과장된 질문을 던집니다.
탄소중립 분야도
많은 여성 인재의 역할 중요!”

총평

김명자

제9대 한국과학기술단체총연합회 회장

오늘 키워드가 탄소중립, 혁신기술 그리고 인재양성입니다. 셋 다 너무 어려운 길입니다. 탄소중립은 문명사적 난제입니다. 왜냐하면 그동안에는 나무, 석탄, 석유 순으로 고갈되면 그다음 단계로 자연스럽게 넘어가면서 에너지원이 됐습니다. 1차 산업혁명 때 1760년부터 석탄이었고 2차 산업혁명에서 석유였습니다. 그런데 이제는 그것을 산업혁명에 기여한 에너지원 이것을 다 치우고 새로운 에너지로 넘어가야 한다는 필요성에 의해서 강제로 에너지 전환(transition)이 일어나야 되는 상황입니다.

그런데 한국의 2030년 40%에 대해서 제가 우리 김상협 위원장님께 “그것을 그대로 지킨 것이 참 용감합니다.” 그렇게 얘기를 했는데요. 왜 문제제기가 됐냐 하면 한국은 아직도 피크를 찍지 않은 상태입니다. 선진국은 내리막에서 줄이는 것이고 한국은 내리막이 아닌데 급격하게 줄인다고 하는 점이



비현실적이라는 것이죠. 그리고 현존하는 기술에서 원자력을 빼놓고, 물론 원자력이 이상적이라고 얘기하는 것은 아닙니다. 그것을 빼놓고 미성숙, 개발되지 않은 기술, 상용화 단계까지 어떻게 될지 모르는 미래의 기술을 가지고 40%를 줄이겠다고 한 것에 대한 문제가 있다고 본 것이죠. 가야 할 길인 것은 맞습니다.

그런데 우리의 기술 수준이 어느 것은 상당히 앞서 있지만 대체로 서양에 비해서 너무 늦게 시작했기 때문에 원천·기초 기반이 약한 것은 다 인정을 합니다. 지금 재생에너지 기술에서도 역시 제조에서는 강하지만 원천 기초는 약하잖아요.

우리는 R&D에서 논문은 아주 우수한 것 잘 내지만 너무나 경제적 효과를 올리는 그 상용화단계에서는 선진국에 비해서 매우 떨어집니다. 그러니까 R&D 결과가 있다고, 이것이 상용화가 되어서 시장 진입을 하는 능력(capacity)이 선진국 대비 굉장히 떨어진다는 것이 우리의 약점입니다. 그래서 과연 이것이 실현 가능하느냐. 실현하지 못할 것이 분명한 것을 한다고 선언한다면 정직한 것이냐 이런 문제제기가 있었던 것이죠. 그러나 가야 합니다.

혁신기술, 이노베이션 너무나 좋은 말이죠. 제가 아인슈타인의 말에서 “Doing the same thing over and over again and expecting different results is insanity not innovation” 그것을 가끔 인용합니다. 그래서 우리는 혁신, 새로운 길을 찾아야 합니다. 기술은 한국이 의지할 수 있고 의존할 수 있는 유일하고 가장 강력한 수단, 자산입니다.

지정학적으로는 숙명적으로 어쩔 수 없는 위치에 있지만 우리 이광형 총장님께서 늘 강조하시는 기정학으로 여기까지 국위를 유지하고 있는 것이고, 앞으로도 그것이 살 길입니다. 혁신에서는 융합혁신이 가장 효과적이죠. 모든 분야가 다 분화하고 있습니다. 그것들 사이에서 융합으로 또 새로운 것을 만들어낼 수 있습니다. 이렇듯 융합이 매우 중요하지만, 우리는 융합에는 아직 기반도 경험도 상당히 부족합니다. 융합의 조건은 연구보고서에 많이 나와 있습니다. 융합을 어떻게 잘 할 수 있느냐. 그것이 우리에게 주어진 과제라고 생각합니다.

한국은 인재 때문에 여기까지 발전한 것이니 앞으로도 인재가 우리에게 가장 중요한 자산입니다. 그런데 지금 식으로는 절대로 안 된다는 것이죠. 융합에, 인문적 소양도 있어야 되고, 모든 분야에 과학기술이 미치는 영향까지도 고려하는 그러한 과학기술인이 되어야 합니다. 새로운 임무, 시대적 사명을 부여받고 있습니다.

여기 오늘 기업 CEO들께서 참석하신 것이 굉장히 의미가 크다고 생각합니다. 저는 21세기 문명에서 제일 위대한 인물이 니콜라 테슬라라고 생각합니다. 아인슈타인에게 사람들이 물었다죠. “천재(genius)로 살아가는 소감이 어떠냐?” 그랬더니 “나야 모르지, 테슬라에게 물어야지.” 했다는 그 니콜라 테슬라 말입니다. 테슬라가 1893년에 시카고박람회에서 교류로 찬란한 조명을 밝히잖아요. 거기에 조지 웨스팅하우스가 없었으면 그것은 절대로 가능하지 않았습니니다. 그러니까 테슬라와 웨스팅하우스의 파트너십이 있었기 때문에 가능했습니다. 그 명제는 지금도, 우리가 앞으로 탄소중립 실현하는데 있어서도 마찬가지이고 오히려 더 강하게 작용한다고 생각합니다.

그리고 인재 얘기를 했는데 여기 지금 여성이 너무 없더라고요. 제가 발제하신 분 열둘 플러스 여섯에서 보니까 딱 한 분이 있어요. 그래서 ‘탄소중립은 여성을 빼고 할 수 있나?’ 이런 과장된 질문을 던집니다. 우리가 여성 인재를 키워야죠. 없으니까 지금 여기에 아마 못 모셨으리라고 생각을 하는데, 정말 인재 없다, 해외인력 수입해야 한다 하면서 어떻게 그 비싸게 교육시킨 아까운 여성인재를 보지 않고 그런 얘기를 계속 하는지, 한번 생각해 주시고요.

그리고 유홍림 총장님께서 말씀하셨듯이 이제 시작이라고 봅니다. 다른 대학과 파트너를 바꿔서도 하고, 더 규모를 키워서도 해야 합니다. 오늘 제가 2시부터 발제를 들었는데 너무 훌륭한 내용이었습니니다. 전문가들이 조금 더 네트워킹해서 시너지를 얻을 수 있는 일을 해 보자는 것입니다. 2050탄소중립녹색성장위원회도 그렇고 기업도 그렇고, “모든 분야가 뭉쳐서 잘 해 봅시다.” 하는 것이 제 결론입니다. 감사합니다.

사전 환담



만찬



현장 갤러리



주최/주관



서울대학교
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

KAIST 한국과학기술원

후원

대통령 직속 2050

탄소중립 녹색성장 위원회



교육부



과학기술정보통신부



국토교통부

참여기관



서울대 공대
탄소중립엔지니어링 이니셔티브



서울대학교 국가미래전략원
Institute for Future Strategy, Seoul National University



SNU10-10 Initiative 공과대학 재료공학부



SNU10-10 Initiative 공과대학 화학생물공학부



KAIST 녹색성장지속가능대학원



KAIST 인공광합성·탄소중립 추진단