



가속화되는 기후위기와 대응 전략

글 : (주)보성 권호재 상무 / kwon7775@bosunggroup.com

1. 2024년의 이상 기후 현상과 그 심각성

2024년에 접어들면서 전 세계는 전례 없는 기후 이변을 경험하고 있습니다. 이러한 현상은 단순한 일시적 변동이 아닌, 장기적인 기후 변화의 가속화를 명확히 보여주고 있습니다.

먼저, 극단적인 기온 변화가 두드러집니다. 북반구에서는 겨울철 이상 고온 현상이 빈번히 발생하고 있습니다. 예를 들어, 유럽의 여러 국가에서는 1월 평균 기온이 평년보다 5~7°C 높게 기록되었으며, 일부 지역에서는 역사상 가장 따뜻한 겨울을 경험했습니다. 반면, 북미 일부 지역에서는 극한의 한파가 몰아쳐 일상생활에 큰 지장을 주었습니다. 지난 1월 15일 미국을 강타한 한파로 일부 지역은 체감 기온이 영하 46도까지 떨어졌고, 전력 수요 폭증으로 15만 가구가 정전되어 큰 어려움을 겪었습니다.

한편, 남반구에서는 여름철 극심한 열파가 지속되고 있습니다. 호주에서는 여러 도시에서 45°C를 넘는 기온이 연속적으로 기록되었으며, 이로 인한 산불의 위험이 매우 증가했습니다. 남미의 아르헨티나와 브라질에서도 이상 고온 현상이 지속되어 농작물 피해가 심각한 수준에 이르렀습니다.

강수 패턴의 변화도 뚜렷합니다. 일부 지역에서는 극심한 가뭄이, 다른 지역에서는 폭우와 홍수가 발생하는 등 강수의 극단화 현상이 두드러집니다. 아프리카의 사헬 지역에서는 수년간 지속된 가뭄으로 인해 식량 안보가 심각하게 위협받고 있으며, 수백만 명의 주민들이 기아의 위험에 노출되어 있습니다. 반면, 동남아시아에서는 예년보다 강력한 몬순으로 인해 대규모 홍수가 발생하여 수많은 이재민이 발생했습니다.

해수면 상승도 가속화되고 있습니다. 남태평양의 여러 섬나라는 이미 해수면 상승으로 인한 직접적인 위협을 받고 있으며, 일부 저지대 지역은 이미 거주 불가능한 상태가 되었습니다. 투발루와 키리바시 같은 국가들은 국가 존립 자체가 위협받고 있어, 주민들의 이주 계획을 심각하게 고려하고 있습니다.

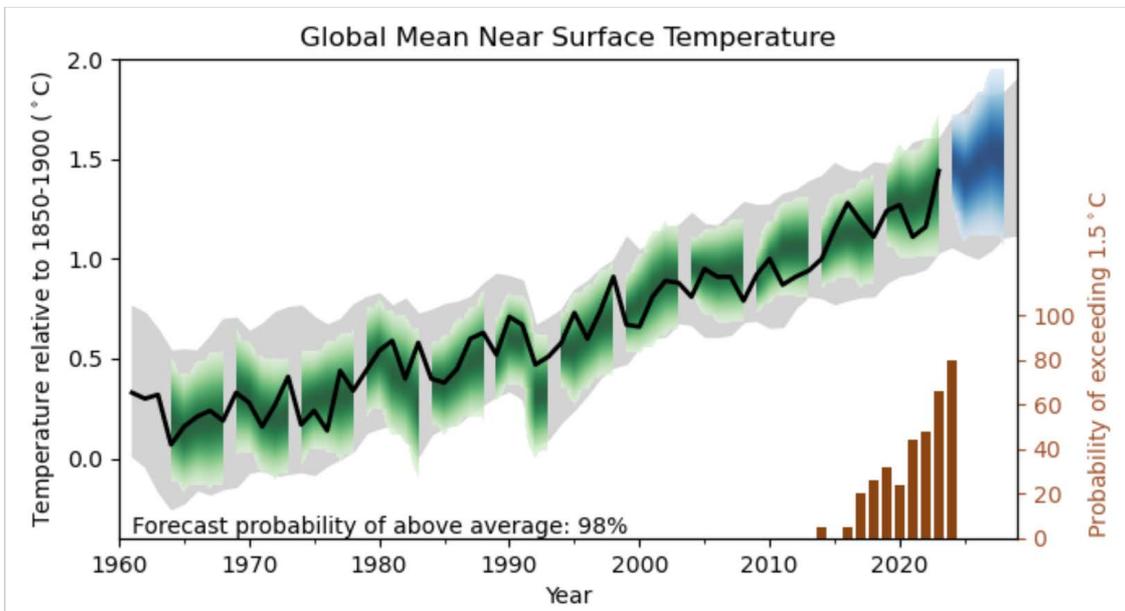
극지방의 빙하 소실도 가속화되고 있습니다. 그린란드와 남극의 빙하 용해 속도가 예상보다 빠르게 진행되고 있으며, 이는 전 세계 해수면 상승에 직접적인 영향을 미치고 있습니다. 북극해의 해빙 면적도 역대 최저 수준을 기록하고 있어, 북극 생태계에 심각한 위협이 되고 있습니다.

이러한 기후 이변은 생태계에도 심각한 영향을 미치고 있습니다. 많은 동식물종들이 급격한 환경 변화에 적응하지 못하고 멸종 위기에 처해 있습니다. 예를 들어, 호주의 대보초에서는 해수 온도 상승으로 인한 백화 현상이 더욱 심각해져, 전체 산호의 30% 이상이 피해를 보았고, 10년 내 산호초의 절반 이상이 소멸할 거라는 전망이 나오고 있습니다.

인간 사회에 미치는 영향도 점점 더 가시화되고 있습니다. 극단적인 기후 현상으로 인한 농작물 피해는 전 세계적인 식량 가격 상승을 초래하고 있으며, 이는 특히 개발도상국의 빈곤층에게 심각한 타격을 주고 있습니다. 또한, 기후 난민의 수가 급증하고 있어, 이는 국제 사회의 새로운 도전 과제로 대두되고 있습니다.

경제적 측면에서도 기후 변화의 영향이 뚜렷합니다. 자연재해로 인한 경제적 손실이 급증하고 있으며, 이는 보험 산업에도 큰 부담이 되고 있습니다. 세계은행의 추정에 따르면, 2024년 한 해 동안 기후 변화로 인한 전 세계 경제적 손실이 5천억 달러를 넘어설 것으로 예상됩니다.

이러한 현상들은 기후 변화가 더 이상 먼 미래의 일이 아니라 현재 진행형의 위기임을 명확히 보여줍니다. 2024년의 이상 기후 현상은 기후 변화의 속도와 강도가 예상보다 훨씬 빠르고 강력하다는 것을 입증하고 있으며, 이는 전 세계적인 긴급 대응의 필요성을 더욱 강조하고 있습니다. 현재 각국 정부는 2050년까지 지표면의 평균 온도 상승을 산업화 이전 시기 대비 1.5도로 막자고 협약했으나 실제 이행은 지지부진합니다. 이미 목표 달성은 불가능한 상황이며, 2028년까지는 90% 이상의 확률로 1.5도 이상 기온이 상승할 거라는 전망이 나온 상태입니다.



<1960년 이후 지구 전체 표면 온도 변화 추이 (출처: WMO, 2024)>

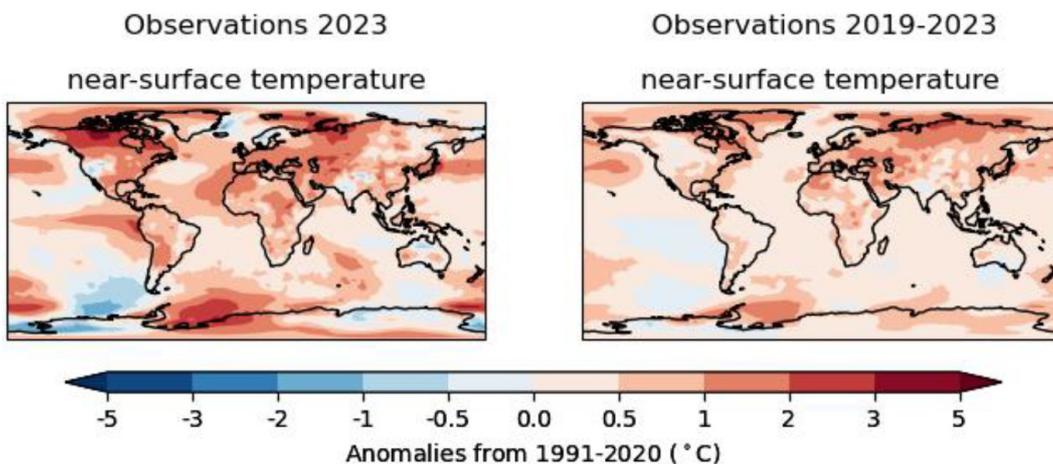
2. 기후 위기의 티핑 포인트와 가속화 가능성

기후 변화의 티핑 포인트(tipping point)는 기후 시스템이 갑작스럽고 돌이킬 수 없는 변화를 겪는 임계점을 의미합니다. 이러한 티핑 포인트를 넘어서면 기후 변화가 예상보다 훨씬 빠르게 진행될 수 있으며, 이는 현재 기후 과학계에서 가장 뜨거운 논쟁 주제 중 하나입니다.

최근의 연구들은 여러 티핑 포인트들이 예상보다 빨리 다가오고 있거나, 이미 일부 지역에서 시작되었을 수 있다는 우려를 제기하고 있습니다. 예를 들어, 그린란드 빙하의 해빙이 가속화되고 있는데, 이는 전 지구적 해수면 상승으로 이어질 수 있습니다. 2024년 발표된 한 연구에 따르면, 그린란드 빙하의 해빙 속도가 지난 20년간 두 배 이상 빨라졌으며, 이는 기존 모델의 예측을 훨씬 뛰어넘는 수준입니다.

아마존 열대우림의 사바나화도 주요 티핑 포인트 중 하나로 여겨집니다. 최근의 연구들은 아마존 우림의 일부 지역이 이미 탄소 흡수원에서 탄소 배출원으로 전환되었을 가능성을 제기하고 있습니다. 이는 전 지구적 탄소 순환에 심각한 영향을 미칠 수 있으며, 기후 변화를 더욱 가속화시킬 수 있습니다.

북극해 해빙의 소실도 중요한 티핑 포인트 중 하나입니다. 해빙이 사라짐에 따라 태양 복사열의 반사율이 낮아져 북극 지역의 온난화가 가속화되고, 이는 다시 해빙 소실을 촉진하는 악순환을 만들어냅니다. 해빙은 빛을 반사시키지만 바다는 빛을 흡수하므로 여름철 해빙의 면적이 줄어들수록 기온 상승 가능성이 커집니다. 북극해 해빙 면적이 역대 최저치를 기록하면서 이러한 우려가 더욱 커지고 있습니다. 기후 모델링과 관측 결과에서도 극 지역은 온도 상승이 타 지역의 2배 이상으로 나타나 향후에는 여름철 북극해 전역에서 해빙이 모두 사라질 수도 있다는 전망도 나왔습니다.



<1991-2020년 대비 최근 4년간의 지표 기온 상승 (출처: WMO, 2024)>

영구 동토층의 해동도 주목받고 있는 티핑 포인트입니다. 시베리아와 알래스카의 영구 동토층에는 막대한 양의 메탄이 저장되어 있는데, 이 지역의 온난화로 인해 메탄이 대기 중으로 방출될 경우 기후 변화가 급격히 가속화될 수 있습니다. 최근 연구에 따르면, 영구 동토층의 해동 속도가 예상보다 빠르게 진행되고 있어 우려를 낳고 있습니다. 메탄의 지구 온난화 지수는 이산화탄소의 20배 이상이므로 영구 동토층에서 대규모 메탄 방출이 일어나면 타 분야에서 온실가스 배출량을 줄여도 그 효과 상쇄될 수 가능성이 큼니다.

대서양 자오선 순환(AMOC)의 약화도 중요한 티핑 포인트로 여겨집니다. AMOC는 지구의 열을 재분배하는 중요한 역할을 하는데, 이 순환이 약화되거나 멈출 경우 전 지구적인 기후 패턴에 심각한 변화가 올 수 있습니다. 최근 연구들은 AMOC가 예상보다 빠르게 약화되고 있다는 증거를 제시하고 있습니다. 북대서양 서안의 해류 이동 속도가 지난 수년간 대폭 감소했는데 2030년까지 해류 이동이 완전히 중지되거나 방향이 바뀔 가능성이 제기되고 있습니다.

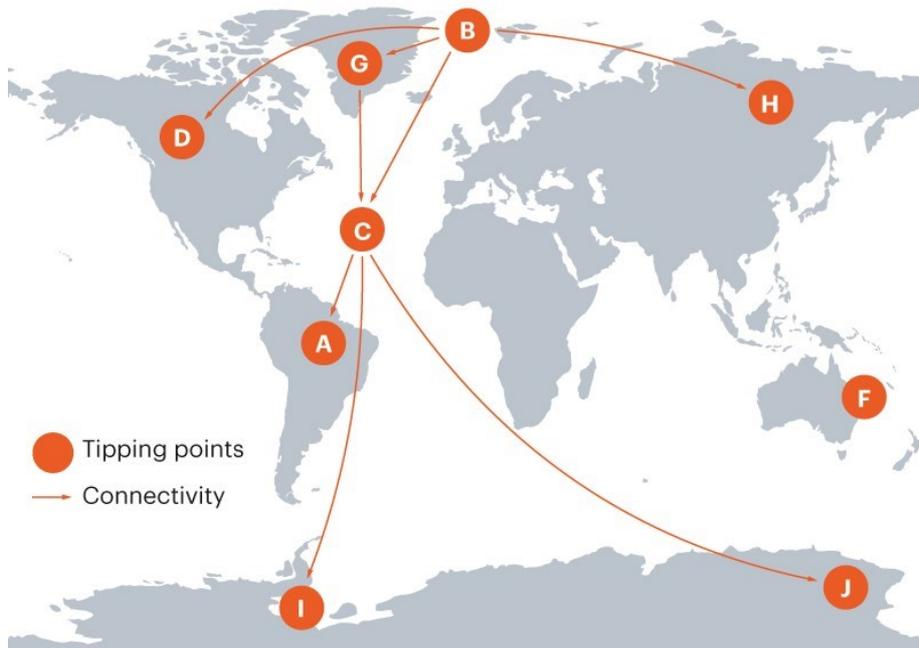
이러한 티핑 포인트들의 상호작용도 중요한 고려 사항입니다. 한 시스템의 붕괴가 다른 시스템의 붕괴를 촉진할 수 있기 때문입니다. 예를 들어, 그린란드 빙하의 용해는 AMOC를 약화시킬 수 있고, 이는 다시 아마존 우림의 건조화를 촉진할 수 있습니다. 각각의 요인들이 서로 상쇄되기도 하고 강화하기도 하며 비선형적 결과를 초래하므로 현시점에서는 정량적인 분석이 쉽지 않습니다. 컴퓨터 연산 능력의 향상으로 기후 모델의 정밀도와 성능이 개선되고 있으나 여전히 보완할 점이 많습니다. 티핑 포인트에 대한 논쟁을 이해하기 위해서는 기후 변화의 비선형성과 불확실성을 고려해야 합니다. 전통적인 기후 모델들은 대체로 점진적이고 선형적인 변화를 가정하지만, 티핑 포인트 이론은 급격하고 돌이킬 수 없는 변화의 가능성을 제기합니다. 과거 수백만 년의 기후 변동을 살펴보면 어떤 구간은 점진적이고 선형적인 변화를 했으나, 어떤 구간에서는 급격한 변동이 분명히 발생했습니다. 그러므로 현재 인간에 의한 온실가스 축적이 급변을 일으킬만한 수준인지를 판단해야 하나 이를 확정하기도 반증하기도 어려운 상황입니다.

일부 과학자들은 우리가 이미 몇몇 티핑 포인트를 지났을 수 있다고 우려합니다. 예를 들어, 서남극 빙상의 일부 지역에서는 이미 돌이킬 수 없는 붕괴가 시작되었다는 연구 결과가 있습니다. 이는 장기적으로 수 미터의 해수면 상승을 초래할 수 있습니다. 그러나 이러한 주장에 대해 여전히 과학계 내에서 논쟁이 있습니다. 일부 과학자들은 현재의 데이터로는 티핑 포인트의 정확한 위치나 시기를 특정하기 어렵다고 주장합니다. 또한, 일부 시스템의 회복력이 예상보다 강할 수 있다는 연구 결과도 있습니다. 기후변화의 논쟁을 집대성하여 정리하는 IPCC 보고서에서도 티핑 포인트 이론은 아직까지는 소수의견으로 남아 있습니다. 하지만, 2024년 목도되는 기온 변화는 기존 이론과 모델의 예측 수준을 훨씬 벗어나는 것이므로 티핑 포인트 이론과 가능성에 대해 다시금 생각해야 한다는 의견을 불러일으키고 있으며, 현재 최신 데이터를 이용한 다양한 연구가 진행되고 있습니다.

티핑 포인트 이론이 틀렸으며 소수의견에 그칠 수 있으나, 기후 급변동의 가능성은 기후 변화 대응의 시급성을 강조합니다. 만약 지구의 기온 변화가 이러한 티핑 포인트를 넘어선다면, 기후 변화의 속도와 강도가 현재의 예측을 훨씬 뛰어넘을 수 있고, 그 시점에서 온실가스 배출을 글자 그대로 0으로 만든다고 해도 정상 상태로 복귀할 수 없기 때문입니다. 할리우드 영화처럼 며칠이나 몇 주 사이 기후가 바뀌는 것은 아니지만, 만약 티핑 포인트를 넘어선다면 100년 내 평균 기온이 6도 이상 오르고 해수면은 5미터 이상 상승할 수 있다는 의견도 있습니다. 이 경우 지구의 인구 부양 능력은 현재의 1/3 이하로 감소하여 식량 부족과 주거지 파괴로 인해 문명의 대격변이 발생할 가능성이 매우 큼니다. 이 정도의 피해를 가져다주는 초대형 재난은 대규모 핵전쟁이나 소행성의 지구 낙하, 초대형 화산의 폭발과 이로 인해 광범위한 쓰나미 정도입니다. 즉, 기후 변화의 티핑 포인트가 존재하며, 만약 이를 넘어서게 되면 글자 그대로 문명의 생존이 위협받게 됩니다.

RAISING THE ALARM

Evidence that tipping points are under way has mounted in the past decade. Domino effects have also been proposed.



A. Amazon rainforest
Frequent droughts

B. Arctic sea ice
Reduction in area

C. Atlantic circulation
In slowdown since 1950s

D. Boreal forest
Fires and pests changing

F. Coral reefs
Large-scale die-offs

G. Greenland ice sheet
Ice loss accelerating

H. Permafrost
Thawing

I. West Antarctic ice sheet
Ice loss accelerating

J. Wilkes Basin, East Antarctica
Ice loss accelerating

©nature

<기후 급변을 초래하는 9개의 주요 티핑 포인트들과 연관 관계] (출처: 네이처, 2019)>

이러한 상황에서 예방 원칙(precautionary principle)의 적용이 중요해집니다. 즉, 티핑 포인트의 정확한 위치나 시기를 알 수 없다 하더라도, 그 가능성과 위험을 고려하여 보다 적극적인 기후 변화 대응 정책을 수립하고 실행해야 한다는 것입니다. 기후 변화 대응에는 막대한 자원 투입과 생활 습관의 변화가 요구되므로 쉬운 일은 아닙니다. 당장은 돈이 들고 불편하며 에너지 공급의 안정성과 삶의 질 하락으로 이어질 수 있습니다. 당장의 희생과 고통에 비해 눈에 띄는 변화는 기대하기 어렵고 수십 년 후 결실을 볼 수 있으므로 정치적

으로도 인기 없는 결정이 됩니다. 하지만, 그럼에도 불구하고 생존을 위해 필요하다면 과감하게 실천해야 합니다.

결론적으로, 기후 위기의 티핑 포인트와 관련된 논쟁은 기후 변화의 복잡성과 불확실성을 강조하며, 동시에 신속하고 과감한 대응의 필요성을 부각시킵니다. 우리는 이미 알려진 위험에 대비하는 동시에, 아직 완전히 이해되지 않은 잠재적 위험에 대해서도 경계를 늦추지 말아야 할 것입니다.

3. 선박 및 해양 에너지 분야의 기후 위기 대응 기술 개발과 과제

선박 및 해양 에너지 분야에서의 기술 개발은 기후 위기 대응에 중요한 역할을 할 수 있습니다. 이 분야의 혁신적인 기술들은 해운 산업의 탄소 배출을 줄이고, 새로운 청정 에너지를 제공할 수 있습니다.

첫째, 친환경 선박 추진 기술, 에너지 효율 향상 기술의 발전이 필요합니다. 현재 전 세계 해운 산업은 전체 온실가스 배출량의 약 2~3%를 차지하고 있어, 이 분야의 기술 혁신이 중요합니다. 수소 연료전지 선박, 암모니아 추진 선박, 전기 추진 선박 등의 기술을 개발하고 실증하며 scale-up을 통해 대규모 도입을 촉진해야 합니다. 액체 수소 연료전지 페리, 전기 추진선, 액체 수소 운반선, 암모니아 이종 연료 선박 등이 다양하게 도입되고 있는데, 향후 이러한 신기술 제품들의 보급을 위해서는 선박의 건조 외 연료 공급망 등 관련 인프라의 기술 개발과 보급도 중요합니다. 조선소와 엔지니어링 회사만 할 수 있는 일은 아니며 밸류체인의 앞뒤 단계의 공급자들과의 연계와 조율을 통한 실증이 무엇보다 시급합니다. 또한 광범위한 데이터 공유를 통해 혁신을 장려하고 학습을 가속화해야 합니다.

에너지 효율 향상을 위해서 선체 설계 최적화, 마찰 저항 코팅, 폐열 회수 시스템 등의 기술이 개발되고 있습니다. 마찰 저항을 줄이는 선저 공기 유통 시스템이 이러한 기술의 대표적인 사례입니다. 다양한 선박 에너지 효율 향상 기술을 적용하면, 연료 소모량과 온실가스 배출량을 최대 20%까지 줄일 수 있을 것으로 업계는 전망하고 있습니다. 친환경 연료 적용을 당장 하려고 해도 운행 중인 모든 선박을 일시에 바꿀 수는 없기 때문에 기존 선박은 에너지 효율 향상을, 신규 선박은 친환경 기술 적용의 이중 트랙 전략이 필요합니다.

둘째, 친환경 해양 에너지 기술의 발전이 필요합니다. 해상 풍력, 조류 발전, 파력 발전 등이 이 분야에 해당하며, 특히 부유식 해상 풍력 기술이 매우 중요합니다. 수심 40미터 이내의 천해 지역을 통한 해상 풍력은 이미 상당수 개발이 진행되었으며 해상 통행로, 양식장, 관광 산업 등과의 갈등으로 빠른 개발 진행이 쉽지 않습니다. 품질이 좋고 타 분야와의 간섭이 덜한 더 깊은 바다에서의 경제성 있는 풍력 발전은 부유식 풍력 발전 기술에 좌우됩니다. 현재 이 분야의 선두 주자는 노르웨이와 프랑스이며, 세계 최초의 상업용 부유식 해상 풍력 발전단지인 Hywind Scotland가 개발되어 운영 중이며, 프랑스 대서양 지역에서 더 큰 규모의 프로젝트가 3년 후 준공될 예정입니다. 조류 발전과 파력 발전 역시 잠재력이 크지만 재료 기술과 신뢰성이 더 보장되어야 합니다.

셋째, 해양 탄소 포집 및 저장(CCS) 기술의 발전이 필요합니다. 해양은 대기 중 이산화탄소의 주요 흡수원이며, 해양 CCS 기술은 이러한 자연적 과정을 강화할 수 있습니다. 예를 들어, 미국의 Planetary Technologies 사는 해양 알칼리화를 통해 대기 중 이산화탄소를 해양에 저장하는 기술을 개발하고 있습니다. 지층에 탄소를 포집하는 기술과는 다른 원리이며 해양은 그 자체가 최대의 탄소 흡수 및 저장원입니다. 바다의 탄소 저장 메커니즘에 대해서는 아직 더 많은 연구가 필요하며 차후 경제성 있는 기술과 솔루션이 개발되면 기후 위기 대응에 큰 역할을 할 수 있습니다.

이러한 기술들의 개발과 적용은 상호 연계되어 있으며, 종합적인 접근이 필요합니다. 또한, 기술 혁신만으로는 충분하지 않으며, 정책적 지원, 국제 협력, 산업계의 적극적인 참여가 함께 이루어져야 합니다. 개발된 기술이 광범위하고 빠르게 보급되어야 원가가 하락하여 규모의 경제를 이룰 수 있습니다. 문제는 보급 초기 단계에서는 모든 기술이 비싸고 문제가 많으며 운영 실적이 부족하므로 그 누구도 선뜻 사용하기를 꺼립니다. 또한 경제성 그 자체만 본다면 기존 기술과 제품 대비 경쟁력도 없습니다. 그러므로 기후 위기 대응 기술의 보급과 확산을 위해서는 정교한 정책 수립과 집행이 요구됩니다. 다음 시간에는 기후 위기 대응을 위한 정책적 고려 사항과 과제에 대해 나눠보도록 하겠습니다.