

# 기후변화 영향평가 및 적응

## 11. 산업부문의 기후변화 취약성 및 적응





## 1. 산업부문의 기후변화 영향평가 및 적응 개요

기후변화 영향으로 인한 산업부문의 적응은 기본적으로 생산방식이나 생산환경, 생산물 구조의 조정을 의미하기 때문에, 적응의 주체와 적응의 대상이 비교적 분명하다. 적응의 목표는 기후변화에 따라 발생하는 평균적인 여건의 조정과 취약성의 개선으로 요약된다. 평균적인 여건 조정은 점진적으로 진행되고 산업활동 체계 전체에서 수행되며 취약성 개선은 구체적이고 직접적인 적응이다.

기후변화 적응(adaptation)은 경제사회 체제와 생태계에 미치는 기후변화의 부정적 효과를 감소시키기 위한 반응이다. 한편 기후변화 완화(mitigation)는 그러한 효과를 야기하는 원인물질인 온실가스를 줄이는 활동이다. 따라서 산업부문에서의 기후변화 적응은 불가피하게 온실가스 저감 정책과 연계하여야 한다. 이는 산업부문이 대부분 경제적 이윤을 극대화하는 기업으로 구성되어 있어, 기후변화에 대한 적응이 피해를 최소화 하는 방식으로 진행되기 때문이다. 즉, 피해 최소화는 보다 적극적인 선택인 계획된 적응이라는 측면에서 기후변화를 야기하는 온실가스의 저감을 통하여 달성될 수 있다는 것이다.

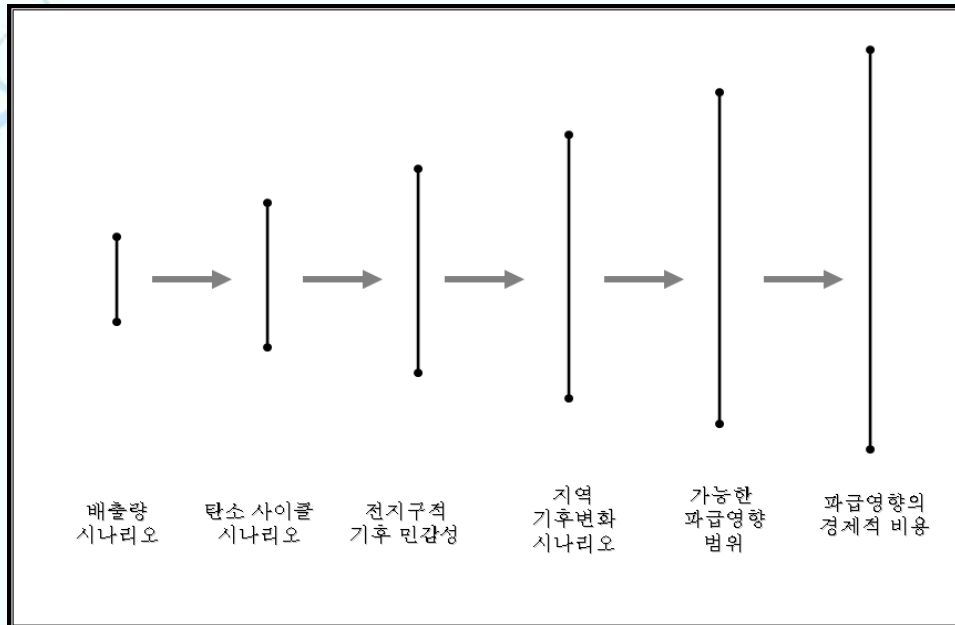
일부 연구에서는 기후변화 적응이 실제 온실가스 저감에 대해서는 반대의 효과를 갖는다고 주장한다. 즉 적응이 효과적으로 수행될 경우 지구온난화의 근본 원인인 온실가스의 저감 필요성이 적어진다는 주장이다. 그러나 현실적으로 기후변화 적응이 다양한 요인에서 결정되면, 이러한 요인들은 대체로 온실가스 저감능력을 증가시키는 측면이 있다.

산업부문에서 기후변화의 영향, 이에 따른 적응 과정의 발생, 적응의 효과에 대한 분석은 후생경제학적 분석을 필요로 한다. 즉, 기후변화의 효과를 외부효과, 불확실성, 형평성 등의 기준으로 판단하여 결과를 시산하는 과정이 필요하다. 따라서 분석 체계는 경제, 사회, 환경에 대한 전반적인 연계와 상호작용을 바탕으로 설정되어야 한다. 그러나 이러한 연계성을 감안하는 한편 구체적인 기후변화 적응 효과는 사례분석과 같이 특정한 적응 내용을 중심으로 다루어져야 할 필요가 있다.

산업부문 기후변화영향평가와 관련하여 주요 이슈를 살펴보면, 우선 기후변화와 관련된 위험, 불확실성에 대한 평가이다. 본질적으로 지구적 환경문제인 기후변화는 구체적인 변화와 충격 추정이라는 측면에서 불확실성이 크게 내포되어 있다. 특히, 경제, 사회, 환경을 고려하는 경우 불확실성의 정도는 증대된다. 위험은 기후변화에 따른 취약성을 포함한다. 특히 위험발생의 불가측성, 비선형성, 비가역성 등에 대한 일반 기준과 방법론의 적용이 필요하다. 예를 들어, 민감성 분석, 몬테카를로 모의시행, 구간분석 등의 접근이 적용 가능한 방식이다.

기후변화에 따른 위험 및 불확실성은 <그림 11-1>에서와 같이 항목별로 정도가 상이하게 나타난다. 가장 불확실성이 적은 분야는 구체적인 투입 및 배출의 추적이 가능한 배출량 발생 추정이며, 탄소 사이클과 전 지구적 기후 민감성도 과학적 사실에 바탕을 두고 추정된다는 면에서 비교적 불확실성이 적다고 할 수 있다. 그러나 기후변화의 영향과 적응 효과를 지역과 국가수준으로 확대하는 경우 반응 및 효과 메커니즘의 복잡성으로 인하여 불확실성은 크게 증가하며, 파급효과 규모 자체는 가치 판단과 평가가 포함되면서 불확실성이 매우 크게 나타난다.

기후변화의 장기성으로 인하여 산업부문에 대한 영향평가에 있어서도 적절한 할인율의 선택이 필요하다. 일반적으로 환경문제와 관련된 할인율은 세대 간 형평성 측면에서(duty of care) 미래의 환경 편익 혹은 위험의 회피에 대하여 사적 할인율보다 낮은 수준을 적용한다. 또한 설정된 할인율의 범위 내에서 특이사항을 검토하기 위하여 할인율 민감성 분석을 수행하여 적정 할인율을 선택하는 과정이 필요하다.

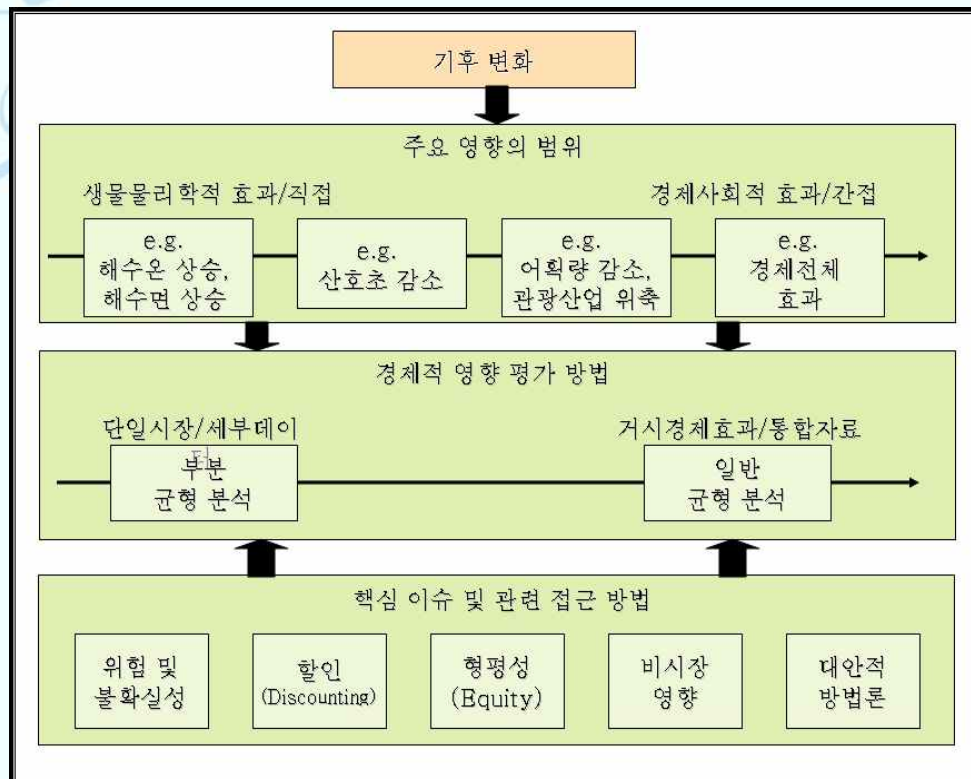


<그림 11-1> 기후변화 관련 위험 및 불확실성

형평성 혹은 배분적 정의의 문제는 본 연구에서 명시적으로 포함하기 매우 어려운 사안이다. 그러나 기후변화의 영향과 적응이 동일하게 발생하는 사안이 아니기 때문에 최소한의 형평성과 관련된 논의는 필요하다. 예를 들어 소득 계층별, 지역별 모형을 설정하거나 특정 지역의 기후변화가 사후적으로 발생시키는 형평성 문제를 제시하는 방식이 있다. 즉, 소득 계층별, 지역별, 세대별, 산업별로 기후변화 및 기후변화 적응과 관련된 비용과 편익의 흐름을 매트릭스 형태로 구성하여 파악하는 방식이다.

마지막으로 기후변화 자체는 비시장적 속성을 포함하는 문제이다. 산업부문의 활동이 대부분 시장에 의하여 결정되고 가치 평가가 이루어지지만 비시장적 효과 요소가 발생할 경우 평가하는 방식이다. 이는 다양한 가치 평가 방법론을 적용하여야 하는 사안이다.

<그림 11-2>는 기후변화 적응에 따른 과급효과 분석 체계를 설명하고 있다. 본 연구에서는 산업부문과 경제 일반 부문의 효과를 대상으로 한다. 기후변화 효과는 생물물리학적 직접효과가 일차적으로 발생하고 경제사회적 효과가 경제주체의 행위 변화와 경제사회 활동의 여건 변화를 통하여 간접적으로 발생한다. 이에 대한 영향은 부분 및 일반균형 시각에서 평가된다. 평가 고려 요소는 앞서 설명된 것과 같이 불확실성, 할인율 선택, 형평성, 비시장가치 추정, 대안적 방법론의 선택 등이 있다.

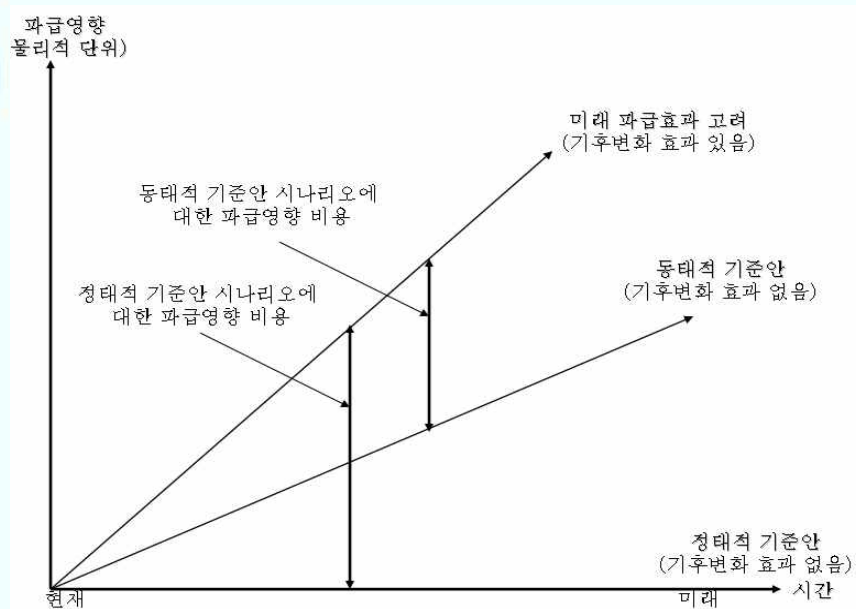


<그림 11-2> 기후변화 적응의 경제적 파급효과 분석 방법론

## 2. 기후변화에 따른 국내 제조업 투입구조 및 산업구조 변화 분석방법

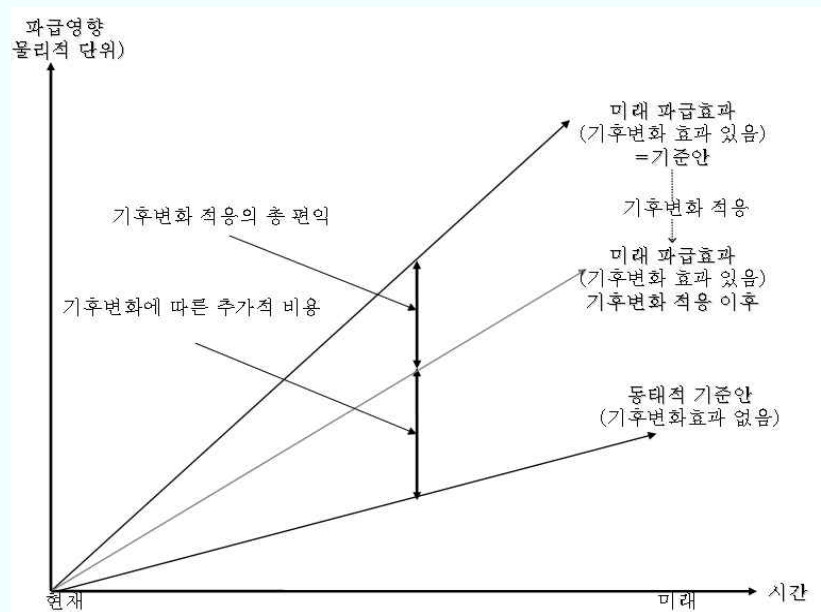
### 산업부문 효과 측정 개요

국내 산업(제조업 중심)의 기후변화 영향 평가는 기본적으로 기후변화 자체의 효과에 대한 기준과 적응 행위를 포함한 효과를 통하여 분석된다. <그림 11-3>은 시간에 따라 기후변화가 갖는 효과(비용)를 제시하고 있다. 우선 정태적 기준안은 기후변화가 발생하지 않았을 경우 예상되는 일반적인 비용곡선(수평)이며, 동태적 기준안은 시간적으로 일정한 수준의 비용을 고려하여 설정된 비용곡선이다. 한편 기후변화라는 환경적 문제는 그림에서 미래 파급효과로 제시되며, 정태적(동태적) 기준안과의 차이가 기후변화가 미치는 파급효과로 정의된다.



<그림 11-3> 기후변화의 경제적 파급효과 기준안 설정

기후변화 적응의 효과는 <그림 11-4>에 제시되어 있다. 여기서 기후변화 적응은 <그림 11-3>의 미래 파급효과 가운데 산업부문의 적응 행위를 통하여 발생하는 비용의 회피(감소)로 정의된다. 따라서 순적응 효과는 미래파급효과와 적응 파급효과 곡선의 차이로 도출된다.

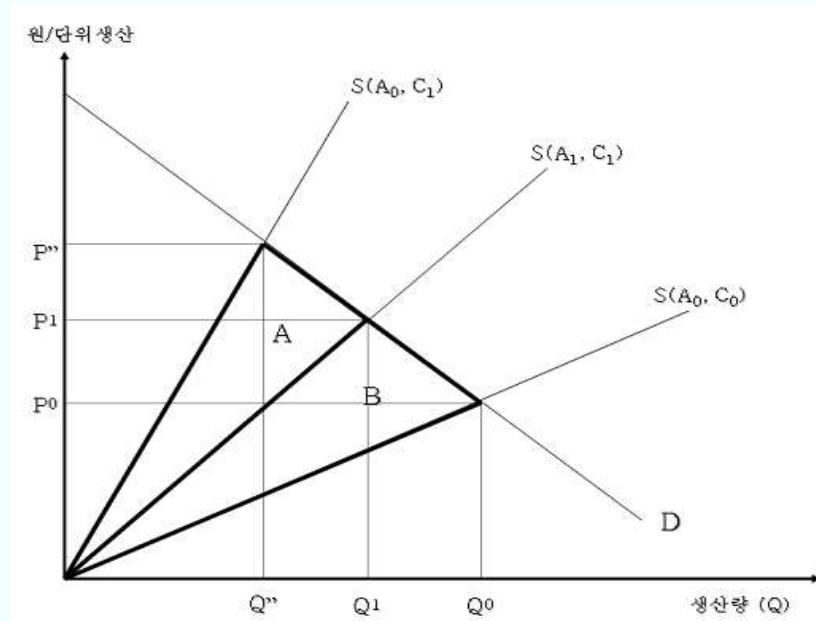


<그림 11-4> 기후변화 적응의 경제적 파급효과

이를 단일 시장과 관련하여 살펴보면 아래의 <그림 11-5>와 같다. 여기 A0, A1은 각각 현재 (0) 기후수준에 대한 적응, 변화된 기후(1)에 대한 경제주체의 적응을 의미하고, C0, C1은 현재 기후와 미래의 변화된 기후로 정의된다. 따라서  $S(A_0, C_0)$ 는 <그림 11-4>의 동태적 기준안과 같은 표현이며,  $S(A_0, C_1)$ ,  $S(A_1, C_1)$ 는 각각 적응 없는 미래 파급효과와 적응을 포함한 미래

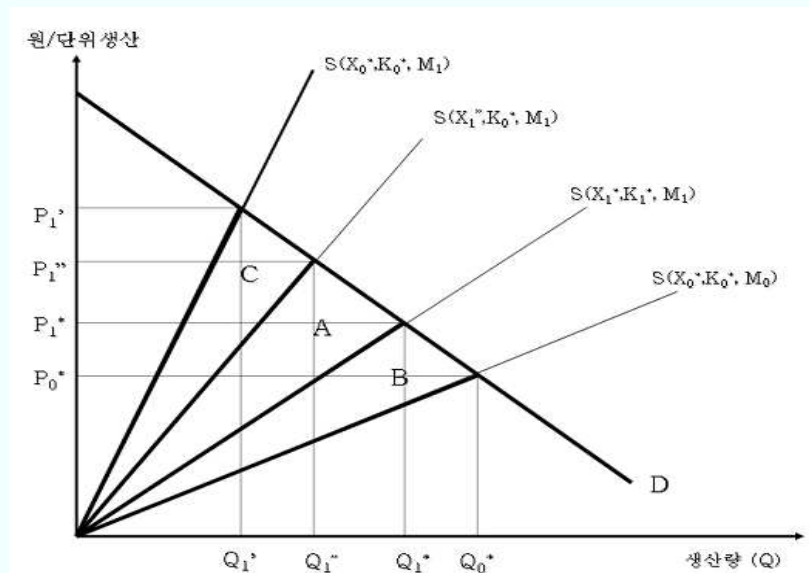


파급효과로 볼 수 있다. 여기서 A와 B는 기후변화에 따라 발생하는 생산자와 소비자의 잉여 감소 혹은 피해비용이며, B는 적응을 통하여 해당 산업 혹은 기업이 회피하게 되는 기회비용(편익)으로 간주된다.



<그림 11-5> 단일 산업, 기업의 기후변화 적응 효과

한편 <그림 11-6>은 기업의 생산함수 측면에서 적응 효과를 나타내고 있다. X, K, M은 각각 생산 활동을 위한 가변투입요소, 고정투입요소를 나타낸다. M은 기후변화의 수준을 나타낸다. 여기서 기후변화는 무작위 또는 역사적 자료에 근거한 확률적 속성으로 정의할 수 있다. <그림 11-6>은 <그림 11-5>의 산업 부문의 기후변화 적응 과정이라는 측면에서 보다 구체적으로 해석할 수 있다. 우선  $S(X_0, K_0, M_0)$ 는 기후변화가 없는 경우 기업의 공급함수이다.  $S(X_0, K_0, M_1)$ 은 기업이 적응활동을 수행하지 않았을 경우 입게 되는 최대 피해가 반영된 공급곡선이다.  $S(X_1, K_0, M_1)$ 는 기업이 가변투입요소의 변화를 통한 단기적 기후변화 적응을 나타낸 것이고,  $S(X_1, K_1, M_1)$ 은 고정투입요소의 변화까지 반영된 장기적 기후변화적응이 고려된 공급곡선이다.



<그림 11-6> 단일 산업, 기업의 기후변화 적응

### 3. 산업부문 기후변화 영향평가 및 적응정책에 대한 시사점

기후변화로부터 산업부문이 받는 영향과 적응 문제에 대한 지금까지의 연구는 대부분 농업, 임업, 수산업 등 1차 산업에 국한되어 왔으며 제조업 부문에 대한 것은 개념적인 것에 불과한 실정이다. 이는 제조업의 경우에는 기후변화의 영향이 단기적으로는 대부분 극히 미약하게 나타나기 때문이다. 물론 장기적으로는 여러 가지 다양한 영향을 받게 되겠지만 영향의 방향과 정도가 불명확하고 불확실하기 때문에 제조업 부문이 어떠한 적응 행위를 취할 것인가를 예측하는 것은 매우 어려운 일이다.

기후변화로부터 제조업이 받게 될 영향은 크게 수요 측면과 공급 측면으로 나누어 볼 수 있다. 우선 수요 측면에서는 지구온난화로 인한 최종 소비재의 소비 패턴 변화를 들 수 있다. 지구온난화는 일단 평균 기온을 상승시켜 여름철을 더 덥게 만들고 겨울철 추위를 약하게 할 것으로 보인다. 물론 이러한 변화는 지역 또는 국가마다 달리 나타날 것으로 예측되고 있다. 어떤 국가에서는 여름 기온이 더욱 올라가고 겨울은 더 추워질 가능성이 예상되고 있다. 따라서 모든 국가에 대해 동일한 예상을 할 수는 없지만 우리나라나 일본과 같은 극동지역의 기후는 4계절 기온이 평균적으로 상승하는 것으로 예측이 되고 있다. 이 경우 냉방장치, 청량음료, 여름 의류와 같은 여름철 상품에 대한 수요가 증가하여 이들 산업의 비중이 커지는 반면 난방용품 산업은 상대적으로 위축이 될 수밖에 없을 것이다. 따라서 계절과 관계된 상품 생산업체들은 소비 패턴 변화에 맞추어 생산패턴도 변화해 나갈 것으로 보인다.

이러한 소비 패턴의 변화는 관련 상품의 원재료를 생산하는 산업에도 파급효과를 미치게 된다. 예를 들면 온난화에 따른 청량음료의 소비 증가는 청량음료 용기 재료인 알루미늄 수요 증가를 유발하여 알루미늄 산업에 긍정적 요인으로 작용을 하게 된다.

기후변화는 단순히 평균기온만을 높이는 것이 아니라 폭서, 폭한, 빈번한 홍수 및 태풍 발생과 같은 이상 기후현상을 유발한다. 이러한 이상 기후현상은 각종 시설과 설비의 성능을 저하시키거나 고장이 일어나는 원인으로 작용할 것이다. 낙뢰가 빈번히 발생할 경우 각종 전기 및 전자제품의 고장이 잦아지게 되고, 폭서나 폭한 또는 빈번한 홍수나 태풍 발생도 각종 제조품의 성능에 마찬가지로 영향을 미치게 된다. 따라서 제조품의 생산업체들은 생산 제품이 자연재해로부터

의 피해를 덜 받도록 노력을 기울이지 않으면 안 될 것이다.

기후변화는 제조업 뿐 아니라 건설업 및 서비스업에도 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 태풍이나 홍수 또는 해수면 상승은 이로 인한 피해를 방지하기 위한 건설공사의 증대를 가져와 건설업에는 대단히 긍정적인 요소로 작용할 것이 예상되고 있다. 한편, 서비스업에서는 여름철 레크레이션업이 평균 기온 상승으로 보다 활기를 띠게 되고 이상기후로부터의 피해를 저감케 하는 금융파생상품의 발전이 이루어 질 것으로 보인다.

기후변화는 또한 국민소득 수준에 영향을 미쳐 내수규모를 변화시킬 가능성도 존재한다. 소득수준 상승은 제조업 전반에 걸쳐 긍정적인 영향을 미치게 되지만 그 반대의 경우도 가능하다. 또한 고소득층과 저소득층의 소득 분배가 어떻게 변할 것인가에 따라서도 수요의 크기와 패턴도 영향을 받을 수 있다. 그러나 기후변화가 향후 우리나라의 소득 수준과 소득 분배에 어떤 영향을 미칠 것인가에 대한 연구는 아직 미흡하다. 따라서 기후변화의 영향과 적응에 대한 정확한 이해를 위해서는 이에 대한 연구가 시급히 요구된다.

기후변화는 내수 변화 뿐 아니라 수출수요 패턴의 변화를 통해서도 국내 제조업에 영향을 미치게 된다. 기후변화가 우리나라의 주요 수출대상국의 소득수준을 향상시키고 우리의 주종 수출품목에 대한 해외 수요가 지구온난화로부터 긍정적인 영향을 받는다면 기후변화는 우리의 수출증대 요인으로 작용할 수 있다. 이는 역으로 기후변화로 인해 증대되는 상품에 대한 경쟁력 제고가 국내 산업의 주요 과제로 등장할 것임을 시사한다.

한편, 공급 측면에서는 기후변화에 따른 생산요소의 가격 및 수급변화가 국내 제조업에 영향을 미칠 것으로 보인다. 우선 국내적으로는 이상 기후가 제조업의 에너지 효율을 저하시켜 에너지 소비 증대를 가져올 가능성이 있다. 또한 여름철 냉방용 에너지 수요 증가 폭이 겨울철 난방용 에너지 수요 감소폭보다 커 국내 에너지 순수요가 증가함으로써 에너지 가격이 상승할 가능성이 있다. 이 경우 에너지 효율 증대를 위한 노력의 중요성이 더욱 커지게 될 것이다. 이러한 국내 요인과 더불어 국제에너지 가격도 기후변화로 인해 상승한다면 국내 제조업의 에너지 비용은 대폭 상승하게 되어 커다란 부담 요인으로 작용할 것으로 보인다.

이 밖에 농수산물과 목재류, 그리고 광산품의 국제 가격 변화도 국내 제조업에 상당한 영향을 미칠 것으로 보인다. 이들 1차 상품의 국제 가격이 기후변화로 인해 높아질 경우 원자재의 수입 의존도가 높은 국내 제조업은 커다란 영향을 받지 않을 수 없을 것이다.

이와 같이 기후변화가 국내 제조업에 미치는 영향은 다양한 만큼 이에 대비한 노력도 다각적으로 전개 될 필요가 있다. 적응이 적절히 이루어지지 못할 경우 국내 제조업이 기후변화로 인해 받게 될 영향이 매우 클 가능성이 있다. 그러나 어떠한 영향을 어느 정도 받게 될 것인가에 대한 충분한 이해가 있어야 적응문제도 예측가능하기 때문에 이에 대한 선행 연구가 시급히 요구된다.

#### 4. 해외 연구동향

##### 가. 영향평가 분석방법: 비용-편익분석

기후변화로 인한 산업부문의 영향은 일반적으로 기후변화적응에 따른 비용과 편익에 의하여 평가된다. 실질적인 경험적 효과 분석에서는 다양한 방법을 통하여 비용과 편익을 추정하는 것이 가능하지만 보편적으로 생산자나 소비자 잉여의 변화 정도를 측정하여 평가한다. 한계편익은 체감하고 한계비용은 증가한다는 가정 하에 기후변화에 대한 적응의 적정수준(균형)은 한계편익과 한계비용이 만나는 점에서 결정된다.

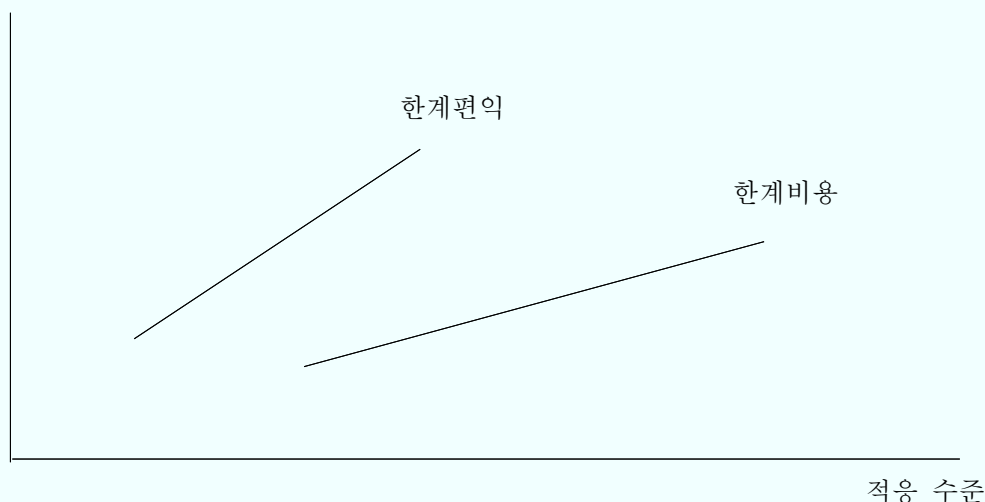
여기서 기후변화 적응에 따른 한계비용은 일반적으로 기후변화의 정도가 커질수록 증가하는 즉,



한계비용이 증가하는 경향이 있으나, 한계편익은 반드시 체감한다고 가정할 수는 없다. 특히 적응을 통한 회피비용을 편익으로 가정할 경우, 한계편익이 체증하는 경우도 가정할 수 있다. 특히 한계편익과 한계비용이 비선형일 경우, 균형이 존재하지 않거나 복수의 균형이 가능할 수 있다 (<그림 11-7>, <그림 11-8> 참조). 따라서 기후변화 적응에 따른 영향평가는 매우 어려운 것으로 판단된다.

기후변화 적응과 관련하여 제조업을 중심으로 한 산업별 영향에 대한 분석은 그동안 활발하지 않았다. 이는 기후변화라는 자연과학적 충격이 이에 민감한 농업, 임업, 축산업 등 일차산업을 중심으로 영향이 과급되기 때문이다. 또한 제조업 등은 자연 상태의 변화가 주는 직접적 효과, 즉, 기온 변화에 따른 노동 및 자본생산성의 변화 등이 제조업 산업 활동에 직접적으로 영향을 주는 경우, 정량적 평가가 쉽지 않기 때문이기도 하다.

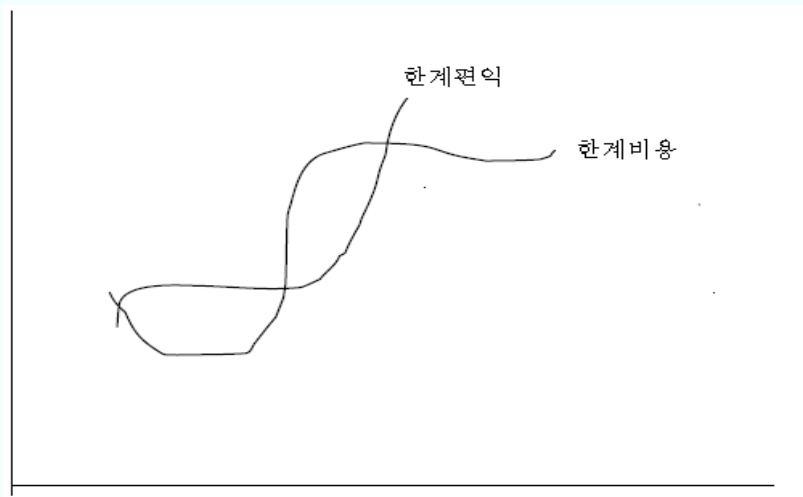
비용, 편익



<그림 11-7> 기후변화 적응의 균형이 존재하지 않는 경우

그러나 기후변화의 제조업 부문에 대한 충격은 원재료 공급 측면에서는 매우 클 수 있다. 예를 들어 음식료품 산업의 경우에는 많은 원자재를 농업 등 일차 제품에 의존하기 때문에 중간투입 제품의 생산비용 상승에 의한 비용 증가, 기후변화 적응에 따른 소요 비용으로 인한 비용 증가 등이 예상된다. 이러한 비용 증가는 산업 부문의 요소 대체나 투입량 감소 등으로 인하여 해당 산업 부문에 대한 부정적 효과를 야기한다.

비용, 편익



적응 수준

<그림 11-8> 기후변화 적응에 복수균형이 존재하는 경우

#### 나. 영국의 연구사례 : 제3차 국가보고서를 중심으로<sup>1)</sup>

영국경제는 여러 가지 측면에 있어 기후변화에 민감하다. 홍수와 태풍과 같은 이상 기후 현상은 일부 경제부문에 타격을 미치는 한편, 기온상승과 물 부족에 대응한 운송 및 가공 기술이 더욱 필요하게 될 것이다. 기후변화는 국내 또는 해외에 대한 영향을 통해 간접적으로 시장수요와 공급을 변화시킬 수 있다. 1995년에 비정상적으로 따뜻했던 날씨가 경제에 미치는 영향을 분석한 결과에 의하면 다양한 분야에 있어 과급효과가 있었음을 알 수 있다. 예를 들면, 일부 곡물 수확의 감소와 가축문제에 의한 농업부문 손실, 물수요 증가에 따른 비용, 보험 산업에 대한 땅의 침강에 의한 건물파괴 등과 관련한 비용 등을 들 수 있다. 한편, 에너지 및 산업 부문에 대한 기후변화의 영향과 대응정책 관련 시사점으로는 다음과 같은 것들이 제시되었다.

#### 에너지

영향	정책 관련 시사점
<ul style="list-style-type: none"> <li>난방용 수요 감소 및 냉방용 수요 증가</li> <li>태풍 증가 및 해수면 상승은 해양 석유 및 가스 생산과 연안 및 강 어귀에 위치한 정유시설과 핵발전소에 영향을 미침</li> <li>수력, 풍력 및 바이오매스와 같은 재생가능 에너지사용 잠재성 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>적응의 기술적 잠재성은 높으며, 대부분의 자산 수명은 기후변화보다 짧음</li> <li>재생가능 에너지의 의무적 생산 및 소비 제도 도입</li> </ul>

#### 건설업

1) UK DEFRA. 2001. The UK's Third National Communication under the UNFCCC, Department for Environment, Food and Rural Affairs.

영향	정책 관련 시사점
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토양의 수축은 건물 기초를 침식하여 붕괴 위험성 증가</li> <li>• 태풍 피해 위험 증가</li> <li>• 건설 적합 시기 변화</li> <li>• 바람의 변화와 겨울 강우량 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 디자인 규격과 기준 개정</li> <li>• 사회간접자본에 대한 계획 기간</li> <li>• 건설 생산성과 건설자재 사용 가능성</li> <li>• 주택 건설에 사용되는 자재의 품질 및 지속성</li> <li>• 이상 기후에 대한 사회의 취약성을 감소시키기 위한 보험 산업</li> <li>• 에너지 수요를 저감할 수 있는 구조 개발(기후변화 완화)과 기후변화 영향에 견딜 수 있는 잠재력 조사(적응)</li> </ul>

### 제조업, 소매 및 서비스 산업

영향	정책 관련 시사점
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 겨울철 혹한기의 감소는 제조업에 대한 피해 감소</li> <li>• 쇼핑 습관, 구매 패턴 및 수요의 변화</li> <li>• 고온은 제조업 공장에 커다란 피해</li> <li>• 식품소매업자는 냉동보관 창고 규모를 확대해야 할 필요성 증가</li> <li>• 일부 산업은 물공급 문제 직면</li> <li>• 산업체 부지로부터 처리되지 않은 폐수 흐름 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 쇼핑 물의 디자인 및 개점 시간 변화</li> <li>• 전자 쇼핑 증가</li> <li>• 건강, 안전, 및 환경 요건 수정</li> </ul>

### 수송

영향	정책 관련 시사점
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이상 기후현상의 발생 증가는 도로, 철도 및 항공 수송에 커다란 피해를 미쳐 막대한 사회적 비용 발생</li> <li>• 해상 수송, 항구에 대한 피해 가능</li> <li>• 여타 부문에 대한 영향에 크게 의존</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 철도 전기화에 대한 풍속 증가의 영향</li> <li>• 이상 기후에 대한 보다 많은 정보 필요</li> <li>• 사회간접자본의 회복력 증대를 위한 투자 증가</li> </ul>

### 보험 부문

영향	정책 관련 시사점
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이상기후 발생 빈도의 증가 및 홍수, 침강 및 사태 위험 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보험회사는 이상기후에 대한 사회의 취약성을 줄이기 위해 자산 시장과 협력할 필요성 증가</li> <li>• 적절한 재난 계획 채택</li> <li>• 가장 크게 피해를 받는 지역의 보험 가입 가능성과 관련한 문제 발생</li> </ul>

다. 일본의 연구사례 : JPCC 보고서를 중심으로<sup>2)</sup>



### 산업부문에 대한 영향

일본의 산업계는 지난 70년대에 발생하였던 두 차례의 석유파동을 계기로 두 가지의 커다란 구조변화를 나타내었다. 이 중 첫 번째는 에너지 및 자원 절약의 필요성을 인식한 에너지성(省)의식의 확대이다. 이와 관련해서는 산업구조 변화에 수반하여 에너지성 제품 및 소재의 공급이라는 흐름이 형성되었고, 이와 아울러 에너지를 절약하려는 움직임이 각 분야에 확대가 되었다. 두 번째는 생산 및 유통 시스템의 체질 강화다. 즉 각종 외부 충격으로부터의 위험을 감소, 회피, 및 분산하는 시스템이 구축됨으로써 고도 공업사회의 특징인 강력한 체질을 갖추게 된 것이다.

이에 따라 지구온난화가 산업과 에너지에 미치는 직접적인 영향은 현재의 기후변화 예측 수준(정도, 속도, 시기)에 의하면 극히 경미하고, 설사 영향이 있다고 하더라도 충분한 대응이 가능한 것으로 판단되고 있다. 그러나 에너지의 80%, 식료품의 60% 정도를 해외에 의존하는 일본이 지구온난화로부터 받게 될 2차 및 3차 영향의 크기 및 복잡성은 예측을 하기가 어렵다.

온난화에 의해 변화가 예상되는 기상(기후) 요소로부터 직접적인 영향을 받게 될 것으로 보이는 산업 및 에너지 부문은 <표 11-1>과 같다. 본 절에서 분석되는 기후변화의 영향은 온난화와 기후변동으로부터 현재의 시스템이 받게 될 영향 측면을 대상으로 한 것으로 배출량 삭감 및 온난화 대책에 따른 영향감소는 고려되지 않았다.

기후변화가 일본 산업에 미치는 영향을 분석한 결과에 의하면 기온이 상승하면 세계의 매출액이 전국적으로 1,000톤 정도가 증가하고, 반면 물이 부족하게 되면 세탁회수가 감소하여 매출이 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 기온 변동은 청량음료 등 여름상품의 매출량에 직접적인 영향을 미치는데, 6~8월의 전국 평균기온이 1℃ 상승하면 여름상품(에어컨, 맥주, 청량음료, 의약품 등)의 소비가 약 5% 증가하는 것으로 조사되었다.

<표 11-1> 기후변화로 인해 영향을 받는 산업활동 분야

2) 자료: JPCC(1997, 2003)

기후변화 요소	산업	에너지 (전력)
강수 패턴 및 수량 변화	물 수요(산업용, 음료용) 물 부족에 직면하는 식품 및 제품 제조업	수력발전량, 댐시설 관리 및 운용, 냉각수 확보
기온 상승	공기조절 및 냉난방 기기 주택 및 건물의 단열구조 계절형 산업의 번창·쇠퇴 (동절기)방한복, 의료·난방기기 (하절기)여름상품, 청량음료 및 식품	공기조절, 냉난방수요, 송변전기기의 허용온도 범위 변경
수온 상승 (해수, 담수)	어업자원 관리, 급탕용 가스 수요	터빈냉각 효율(발전 출력)의 저하, 발전설비 부착 생물 증가
해수면 상승	레저산업, 연안입지 설비, 제방 설비	연안입지 설비 침수
습도 (불쾌지수)		공기조절 및 냉방 수요
태풍 및 기타	공장설비, 운수업, 통신, 통신정보기기 산업	바람에 강한 송배전설비 설계, 염해대책, 우뢰 및 눈 피해 대책, 자연에너지 발전

근년 들어와서는 번개가 치는 일수가 크게 증가하고 있지는 않지만 전자·통신 제어형 가전기기의 보급이 증가함에 따라 이러한 기기가 오작동하거나 파손이 되는 경우가 급증하고 있다. 또한 풍력발전설비가 번개를 맞는 경우도 종종 나타나고 있다. 이에 따라 이에 대응한 가전업계 및 자연 에너지 설비업계의 대책 마련이 적극 요구되고 있다.

이러한 기후변화의 영향에 비추어 볼 때 산업구조의 변화는 불가피한 것으로 보인다. 예를 들면, 온난화에 따라 여름상품의 소비가 증가하고, 이는 이러한 상품의 생산 증대를 초래하여 이 부문에서의 전력수요 증가를 가져올 것이다. 즉, 무더운 기간이 길어지면 에어컨, 맥주, 청량음료 및 빙과 등의 여름상품 소비가 증가하고, 전기기기 및 식품 생산업체는 계절상품의 생산을 확대함으로써 전력 수요가 증가하는 것이다. 또한 온난화가 진전되면 적운(積雲)이 형성되는 경우가 많아질 것이며 이로 인해 공급이 증대되고 있는 정보통신 기기 및 자연 에너지 설비에 대한 피해가 증가할 것이므로 번개에 견딜 수 있는 기기의 개발이 요구되고 있다.

일본의 주요 산업 부문별로 기후변화의 영향을 살펴보면 다음과 같다.

관광, 레크레이션: 관광 및 레크레이션 산업의 경우에는 고온형 이상기후가 저온형 이상기후보다 좋은 영향을 미친다. 온난화에 의한 스키장의 영향은 정량적 분석은 없으나 그렇게 크지 않은 것으로 분석되고 있다. 적설량은 주로 국지적인 기후 조건에 의해 결정이 되는데, 지구온난화가 국지적 기후에 커다란 영향을 미치지 못하는 것으로 나타나기 때문이다. 동해안 지역의 강설량과 온난화 관계를 조사한 한 연구에 의하면 온난화가 이 지역의 강설량에 별다른 영향을 미치지 않으며 그 보다는 북반구 규모의 기압배치가 일본 상공의 강설량을 좌우하고 있다. 1993년 겨울은 7년 연속 따뜻했는데, 이 당시 스키용품의 매출이 부진했던 것도 온난화로 인한 적설량 부족 때문이 아니라 불황에 기인한 것으로 분석되었다.

해수면 상승으로 영향을 받을 가능성이 있는 연안 지역의 레크레이션 분야로는 레크레이션 시설, 요트항해, 해수욕, 낚시, 바다 속 관광 등이 있다. 이상기후가 해수욕객 수에 미치는 영향에 관한

한 연구에 의하면 덥지 않았던 1993년 여름 기간 동안의 해수욕객 수는 예년의 1/2~1/3로 감소하였었다.

건설업: 이상기후가 건설업에 미치는 영향을 거시적으로 분석한 한 연구결과에 의하면 1981~85년의 5년 동안 재해복구 사업의 공정별 내역은 하천 62.7%, 도로 28.0%, 모래방지 사업 3.6%, 해안 3.3% 등이었다. 전국적으로 보면, 태풍을 포함한 호우가 하천 및 도로에 미치는 영향은 매우 크다. 건설백서에 의하면, 1993년에는 건설성 소관의 공공토목시설과 관련된 피해 총액이 8,746억 엔에 달했다. 해수면 상승의 대책으로는 부두 접안시설을 높이고 수문 및 배수 시설 등을 설치하는 것이 필요하다. 운수성은 해수면이 1m 높아지는 경우 11.5조 엔이 필요하고, 건설성은 2,700km 길이의 호안시설을 보강하는 비용이 약 6조 엔에 달하는 것으로 추정하였다. 결과적으로 이상기후현상은 건설업에 있어서는 사업 양이 크게 확대되는 기회로 작용할 것이다.

제조업: 기후변동은 생산 활동보다는 소비자의 구매의욕에 보다 커다란 영향을 미친다. 기후변동과 지역산업에 관한 한 설문조사 결과에 의하면 제조가공품은 대체로 저온형 기상으로부터는 불리한 영향을 받지만 고온형 기상으로부터의 영향은 유리한 것으로 나타났다. 한편 매출액의 1/4 정도가 계절상품인 가전제품의 경우, 에어컨 수요는 여름철 매우 더운 날 하루 4만대 가량 증가하는 것으로 조사되었다. 또한 1993년 여름에는 덥지도 않았고 비가 많이 와 에어컨의 매출액이 전년 동기비 7월은 18%, 8월은 93% 각각 감소하였고, 기타 여름 상품의 매출도 저조하여 GNP가 0.18% 감소한 것으로 추계되었다. 여름철 서늘한 날씨에 의한 음료 매출액 감소는 또한 음료수 용기 재료인 알루미늄 산업의 부진을 유발하였다. 이에 반해 1994년 여름은 대단히 더워 음료, 알루미늄 산업, 에어컨 등 냉방기기, 여름 의류 등 여름철 상품에 대한 7,200억 엔 상당의 소비수요가 창출이 되어 매출이 대폭 증가하였다.

### **에너지 부문에 대한 영향**

에너지 수요에 영향을 미치는 기상 요인: 전력수요는 사회·경제적 상황, 계절, 기상조건, 사람들의 관심을 크게 끄는 행사 개최 등에 의해 항상 변동을 하지만, 이 가운데서도 기상조건은 최대 전력을 좌우하는 중요한 요인 가운데 하나다. 전력수요에 대한 분석에 의하면 최대전력에 영향을 주는 주요 기상요인으로는 냉방수요와 난방수요에 각각 영향을 미치는 여름철의 고온현상과 겨울철의 저온현상을 들 수 있다. 기온과 전력수요와의 관계를 보면 기온이 섭씨 20℃보다 낮아지거나 높아질수록 전력 수요가 증가를 하고 있다. 한편, 기온 1℃ 변화하는 데 따른 전력수요의 변동량을 나타내는 기온감응도의 연도별 추이를 보면 근년에는 냉방수요가 증가함에 따라 기온감응도가 상승하는 추세가 뚜렷이 나타나고 있다. 또한 날씨가 맑거나 흐린 상태도 최대전력에 영향을 주는 주요한 기상 요인 가운데 하나다. 날이 흐릴 경우에는 조명용 전력수요가 증가하기 때문이다.

기타 요인으로서 간접적으로 기온과 습도를 나타내는 불쾌지수를 들 수 있는데, 불쾌지수가 높아지면 냉방수요가 증가하는 경향이 있다. 눈이 내리는 것도 겨울철 조명용 최대 전력수요를 증가시킨다. 또한 봄과 여름철에는 빗물을 이용하는 농사용 전력수요가, 가뭄 시에는 관개용 펌프 사용에 의한 전력수요가 증가를 한다. 한편, 태풍 통과 후 폭염 현상에 의한 기온상승도 역시 냉방 전력수요를 크게 증가시키는 요인으로 작용을 한다.



에너지(전력 및 가스) 수요에 대한 영향: 여름철 전력수요의 40%는 냉방수요로서 기온에 의해 크게 좌우가 된다. 최근 조사에 의하면 기온이 1℃ 상승하는 경우 일본의 전력수요는 일반 가정 160만 세대분의 사용량에 해당하는 약 500만kW가 증가하는 것으로 나타났다. 기온상승은 또한 여름상품의 생산량과 소비량을 증가시켜 공장 가동률 상승과 이에 따른 전력수요의 증가 요인으로 작용을 한다. 이러한 침투부하의 증가는 주로 석유와 같은 화석연료 발전이 담당을 하므로 결과적으로 이산화탄소 배출 증가를 초래한다. 반면, 상수도 수온 상승은 급탕용 가스 소비 감소의 요인으로 작용을 한다.

더욱이 현재 동경의 여름철 일간 최저기온은 24~25℃로 냉방이 불가피하다. 이에 반해 지방에는 냉방용 전력 수요가 도시에 비해 상대적으로 적다. 그러나 앞으로는 전국적으로 도시화가 진전됨에 따라 주택 및 내부발열이 큰 건물의 냉방용 전력 소비가 크게 증가할 것으로 예상되고 있다. 한편, 일본 11개 도시의 가정용 에너지 소비의 경우에는 냉방, 난방, 동력 수요를 전부 합하면 평균기온과 마이너스의 상관관계를 나타내고 있어 온난화는 도시 전체의 에너지 소비를 감소시키는 것으로 분석되고 있다.

온난화가 에너지 수요증가를 가져오는 한 예로 양돈·양계업의 경우를 들 수 있다. 기온이 상승하면 계란과 돈육과 계육의 생산력이 떨어지므로 가축사의 기온관리를 위한 에너지 소비가 증가하게 되고, 이와 아울러 기온상승에 의한 질병 발생을 방지하기 위한 위생관리 설비의 가동에 의한 에너지 소비도 증가할 것으로 보인다.

한편, 서비스 경제화의 진전, 정보통신사회의 형성, 보다 쾌적한 생활 지향 등 사회문화의 변화에 따라 업무용, 가정용을 중심으로 한 전력수요가 경제 전체의 에너지 수요보다 빠른 속도로 증가할 전망이다. 그 결과 화석연료 이외의 에너지 공급이 증가하지 않는 한 이산화탄소 배출원단위의 저감과 억제 노력에도 불구하고 발전에 따른 이산화탄소 배출량이 계속해서 증가할 것이다.

에너지 공급(시설, 운용 등)에 대한 영향: 하천수는 농업용수 및 발전용수로 사용이 된다. 수력발전소의 발전량은 하천수량에 비례하며, 이는 다시 하천 유역의 강수량과 강설량에 크게 의존한다. 따라서 강수량과 강수 패턴, 및 강수 분포의 변화는 기존의 수력발전용 설비의 운용에 영향을 미친다.

이상 가뭄현상이 나타날 경우 생활용수 뿐 아니라 공업용수에 의존하는 업종에도 급수제한이 이루어져 감산 및 조업정지가 불가피해 짐으로써 산업에 커다란 영향을 미치게 된다. 산업용, 생활용 및 농업용 물 수요와 전력 수요가 최대를 커지는 여름철 가뭄은 높은 기온을 의미하며, 따라서 냉방용 전력수요 증가를 가져온다. 한편, 겨울철에는 물수요가 줄어들어 이러한 전력 수요는 감소할 것이나 적설량의 부족은 다음 해 봄철의 하천수량에 영향을 미칠 것이다.

발전소의 발전효율은 냉각열원의 온도에 의해 영향을 받는다. 해수온도의 상승 및 해류의 변화에 의한 냉각수 온도의 변화는 발전출력을 저하시킨다. 복수기 온도 상승에 관한 현재 설계 조건(해수온도 18~21℃) 하에서는 해수온도 1℃ 상승은 화력과 원자력의 발전 출력을 각각 0.2~0.4% 및 1~2% 정도 저하시키는 것으로 분석되고 있다.

한편, 전신주에 의해 연결되는 송전선은 산악지역에서부터 도시에 이르기까지 광범위하게 분포되어 있기 때문에 번개, 빙설, 염해(鹽害) 등의 기상 조건 발생에 의해 돌발적인 계통사고가 날 가능성이 있다. 번개에 의한 방전사고, 전선에 눈이 들러붙는 경우, 태풍 또는 폭풍, 및 염해 발생 등과 같은 이상기상 현상에 의해 계통이 자동 폐쇄되거나 발전정지 등과 같은 사고 가능성이 존재한다.

기후변화와 수자원 변동 및 해수면 상승이 발전운용, 전력시설, 송전시설 등에 미치는 이러한 영향들을 정리해 보면 다음과 같다.

- 강수패턴의 집중 호우형화: 수력발전량이 저하되고 토사유출 및 퇴적량 증가
- 태풍 발생 빈도 증가 : 댐 및 옥외시설의 안전성이 저하
- 냉각용수의 수온 상승 : 발전효율 저하
- 해수면 수위상승 : 방파제 등의 보수 필요성 증대
- 수위 상승 : 기존 냉각수 계통의 가압(加壓) 필요
- 빈번한 번개 발생, 눈의 수분함유량 증가, 태풍의 대규모화: 송배전 시설에 악영향
- 이상 고온 : 송배전기기의 기능 저하