

에너지 산업에서 장기예보의 사회·경제적 가치 평가 방법론 고찰

김감영* · 신정엽** · 이상일**

*경북대학교 지리교육과 조교수 · **서울대학교 지리교육과 부교수

(2012년 1월 17일 접수, 2012년 2월 2일 수정, 2012년 2월 14일 수락)

An Overview of Methodologies for Socio-Economic Value Evaluation of Long-Range Weather Forecasts in Energy Industry

Kamyoung Kim* · Jungyeop Shin** · Sang-Il Lee**

*Department of Geography Education, Kyungpook National University

**Department of Geography Education, Seoul National University

(Received 17 January 2012, Revised 2 February 2012, Accepted 14 February 2012)

요약 : 본 연구의 목적은 에너지 산업 부문에서 장기예보의 사회·경제적 가치를 평가하고 측정하는 여러 가지 방법론을 고찰하고 이를 통해 국내의 장기예보 활용에 대한 사회·경제적 가치 평가 연구를 위한 시사점을 도출하는 것이다. 장기예보의 사회·경제적 가치 평가 연구는 방법론에 따라 크게 4가지 즉, 의사결정 분석 모형, 기술적 의사결정 분석, 프로토타입 의사결정 모형, 규범적 시장 모형으로 구분할 수 있으며, 각 유형별로 세부적인 가치 평가 모델과 알고리즘이 다르게 구성된다. 에너지 산업 부문의 사례 연구 검토 결과 개인, 산업 부문, 국가 등 분석 스케일에 따라 적용되는 방법론이 다르게 나타났으며, 사회·경제적 가치에 대한 평가 결과도 연구 대상과 범위에 따라 다르게 나타났다. 따라서 장기예보의 사회 경제적 가치 평가에서 이러한 연구 대상, 스케일에 따라 적합한 분석 방법론을 선택하는 것이 중요하다. 방법론적 고찰은 추상적이고 모호한 장기예보의 영향에 대한 예상을 넘어, 보다 정량화되고 체계적인 예보의 가치 평가를 가능하게 할 것으로 기대된다.

주요어 : 장기예보, 사회·경제적 가치, 의사결정 분석 모형, 기술적 의사결정 분석, 규범적 시장 모형

Abstract : The purpose of this paper is to review the methodologies to measure and evaluate the socio-economic values of the long-range forecasts in the sector of energy industry, and to extract implications for studying on evaluation of the long-range forecasts in Korea. The researches on the socio-economic evaluation of the long-range forecasts can be categorized into four according to methodologies: decision-analytic models, descriptive decision studies, prototype decision-making models, and normative market models. These kinds of the evaluation researches varied in terms of the detailed evaluation models and algorithms. Further, it was found that the evaluation results on the socio-economic values of the long-range forecasts varied according to the research objects and scopes. The overview of the methodologies will allow us the more quantitative and systematic evaluation of the long-range forecasts beyond the abstract and vague expectation of the long-range forecast effects.

Key Words : long-range forecasts, socio-economic value, decision-analytic models, descriptive decision studies, normative market models

1. 서론

날씨 정보는 우리생활에 매우 밀접한 영향을 주는 중요한 정보로서 오랜 시기에 걸쳐 날씨 정보를 예측하여 이를 활용하고자 하는 시도가 이루어져왔다. 특히, 미래 날씨에 대한 예측 정보인 예보는 다양한 수준과 범위에서 주요한 정보원 역할을 수행해 왔다. 이러한 예보 정보는 종종 우리 사회와 경제에 중요한 영향을 끼친다. 예를 들어, 2011년 9월 15일에 발생한 전국의 대규모 정전사태는 예보 정보를 바탕으로 한 전력 수요 예측이 사회·경제적으로 얼마만큼 중요한지를 단적으로 보여주었다. 예측하지 못한 이상고온이 정전의 원인 중 하나로 제기되고 있지만(지식경제부, 2011) 기상청에서는 9월 중순의 이상고온이 예보된 상태이다. 결국, 전력 생산 분야에서 이러한 예보 정보를 효과적으로 활용하지 못한 것이 이러한 사태 발생의 한 원인으로 볼 수 있다. 9월 25일 기준으로 정전 피해 접수 건수는 3,032건이고, 피해금액은 약 177억 원 이었다(국무총리실, 2011). 이 사례에서 이 금액은 예보 정보의 중요성과 사회·경제적 가치를 직간접적으로 반영한다.

이와 같이 예보 정보를 포함한 기상 정보는 가치를 갖는 정보재(information goods)이다. 정보를 생산하는데 많은 비용이 들지만, 한번 생산되면 값싸게 재생산 가능하다는 것이 정보재로써 기상 정보의 특징이다. 이를 통하여 공공재로서의 기상 정보의 경제적 효율성이 발생한다(Gunasekera, 2004). 개인, 가구, 기업, 정부조직, 경제부문, 지역경제, 국가경제, 세계경제, 미래 세대 등이 기상 정보의 수혜자가 될 수 있다. 농업, 항공, 금융, 건설업, 재난관리, 에너지 생산 및 공급, 환경, 어업, 임업, 의료, 보험, 여가, 제조업, 국방, 항만관리, 교통, 스포츠, 도시계획, 수자원 계획 및 관리 등 국가의 모든 분야가 직간접적으로 기상 정보를 활용한다(Freebairn and Zillman, 2002). 특히, 이러한 기상 정보는 에너지 산업 부문에서 계획과 통제의 도구 역할을 한다. 좀 더 구체적으로 살펴보면, 기상 정보는 전력 생산, 송전, 배전을 최적화하는데 도움을 주고, 에너지 수요를 정확하고 시의적절하게 추정하는데 도움을 준다. 또한 기상 정보는 건물의 냉/난방을 최적화하는데 도움을 준다(Frei, 2009). 특히 한 달에서부터 일 년 전체의 전력 수요 예측은 전력 생산과 거래의 중기 계획 수립의 핵심역할을 하는데(Pezzulli *et al.*, 2006), 이러한 장기 전력 수요 예측의 기반은 날씨와 기후에 대한 장기예보다.

앞에서 언급한 다양한 수준 및 분야에서 기상 및 기후 정보는 불확실성을 줄이고 경제적 결정을 향상시키는 의사결정 과정의 한 요소로 기능한다. 기상 정보의 사용이 사용자의 행동을 변화시킬 때 기상 정보는 가치를 획득하고 예보의 이용에 의해서 경제 및 관련 결과가 향상되었을 때 경제적 가치 혹은 편익이 발생한다. 이러한 기상 정보의 가치는 정보의 질, 정확도, 사용자 편익성, 시의적절성 등에 의해 영향을 받는다(Freebairn and Zillman, 2002).

이처럼 예보는 사회·경제적으로 가치를 지니는 매우 중요한 정보재임에도 불구하고, 국내 학계에서 예보의 사회·경제적 가치를 평가하는 연구가 거의 이루어 지지 않았다. 기존에 이루어진 일부 논의를 간략하게 살펴보면 다음과 같다. 기상 정보가 사회 및 경제에 미치는 영향에 대한 실증적 연

구 사례로는 양영민 외(2004)가 있다. 양영민 외(2004)는 예측 및 기후 정보의 사회 및 경제적 가치에 대한 해외 사례 연구를 검토한 후 이들 연구에서 제시된 방법론을 이용하여 국내 사례를 중심으로 날씨 및 기후 정보의 경제적 가치를 추정하였다. 연구 결과에 따르면 국내 산업 부문에 대하여 날씨 및 기후 정보의 사용에 따른 이익은 GDP의 약 0.2%이었다. 개별 사례를 바탕으로 총 매출액에 대한 이익 비율을 계산한 후 산업 부문으로 단순 확장하여 산업 부문에 대한 예보의 경제적 가치를 산출하였다. 그러나 하나의 사례로 산업 부문 전체를 유추하는 것은 무리가 있다. 또한 외국의 사례연구에서 제시된 분야별 예보의 경제적 효과를 상황이 다른 국내에 그대로 투영하였다는 점도 문제점으로 지적할 수 있다. 한편 Lee and Lee(2007)는 투입비용 대비 이익의 극대화를 추구하는 일반 기업의 의사결정 상황에 보다 적합한 이익-손실(profit-loss) 모형을 이용하여 예보의 경제적 가치를 추정하였다. 이 연구의 경우 프로토타입 의사결정 모형에 기반을 둔 새로운 예보의 가치 측정 방법을 제시했다는 점에서 의의가 있다. 그러나 이익-손실의 개념은 이익을 극대화하는 경제 혹은 기업논리에 적합하지만, 사회적 혹은 국가적 차원에서 공공재로서의 기상 정보의 사회적 가치를 평가하는 데는 미흡하다. 기상 정보는 상품인 동시에 공공재적 성격을 가지고 있다고 볼 때, 경제적 관점으로만 가치를 평가하는 데는 한계가 있다.

국내에서 장기예보의 가치 평가 연구는 거의 이루어지지 않았다. 다만 최근 들어 그 가능성에 대하여 논의하기 시작하였다. 우수민·김태국(2010)은 장기적으로 용수 공급을 위한 물관리 대책을 마련하는 과정에서 장기예보를 활용할 필요성을 역설하였다. 박종윤·신영섭(2010)은 가뭄재해관리의 사례를 통하여, 장·단기 수문기상 예측 정보를 수문분야의 의사결정에 효과적으로 사용할 필요성을 제기하였다. 한점화(2010)는 농업 분야에서 장기예보의 활용 분야와 농업 수요 측면에서 기상 예보 서비스의 보완사항을 논의하였다. 한편 신정엽 외(2011)는 에너지 산업 부문의 수요 조사를 통하여 장기예보 서비스의 홍보와 인지도 향상, 맞춤형 장기예보 서비스 개발, 서비스 정보 고효율화 및 활용 극대화를 단계적 목표로 하여 장기예보 활용 방안을 제시하였다. 조대헌 외(2011)는 현재 기상청에서 제공하고 있는 장기예보 서비스의 현황 분석을 토대로 에너지 산업에서 활용할 수 있는 GIS 기반 프로토타입 시스템을 개발하였다. 그러나 장기예보의 가치 평가 노력은 거의 찾아 볼 수 없다.

따라서 본 연구는 정보의 가치 평가 방법과 해외의 사례 연구를 소개함으로써 향후 날씨 예보, 구체적으로 장기예보에 대한 가치 평가 연구를 위한 방법론적 토대를 제공하고자 한다. 나아가 에너지 산업 부문에서 이러한 방법론을 적용하는데 있어 시사점을 제시하고자 한다.

2. 장기예보의 사회·경제적 가치 평가 방법론

예보 정보의 경제적 가치 평가 연구는 정성적 연구 vs. 정량적 연구, 규범적 연구 vs. 기술적 연구, 사전(*ex ante*) 가치 평가 vs. 사후(*ex post*) 가치 평가¹⁾, 개별 수준 연구 vs. 시장 수준 연구 등으로 구분

할 수 있다(Katz and Murphy, 1997; Hill and Mjelde, 2002; Meza *et al.*, 2008). 이 연구에서는 가치 평가 방법론을 크게 4가지, 즉 의사결정 분석 모형, 기술적 의사결정 분석, 프로토타입 의사결정 모형, 규범적 시장 모형 등으로 구분하여 살펴보고자 한다. 이중 의사결정 분석 모형, 프로토타입 의사결정 모형, 규범적 시장 모형 등은 정량적 연구와 규범적 연구에 가까운 반면, 기술적 의사결정 분석은 정성적 연구에 가깝다. 그리고 의사결정 분석 모형, 프로토타입 의사결정 모형은 사전 가치 평가에 속하는 반면, 기술적 의사결정 분석과 규범적 시장 모형은 사후 가치 평가의 성격이 강하다. 한편, 의사결정 분석 모형, 기술적 의사결정 분석, 프로토타입 의사결정 모형은 개별 수준의 의사결정 문제를 다루는 반면, 규범적 시장 모형은 집합적 수준의 의사결정 문제를 다룬다. 예보의 활용 분야별로 비용, 손실, 이익, 효용 등을 측정하는 방법이 상이하기 때문에 일반론적 수준에서 예보, 구체적으로 장기예보의 가치 평가 방법을 소개한다.

1) 의사결정 분석 모형(decision-analytic models)

날씨 예보의 가치 평가를 위하여 다양한 방법론이 제시되었지만 가장 일반적으로 사용하는 방법론이 의사결정 분석 모형이다(Johnson and Holt, 1997; Wilks, 1997; Rubas *et al.*, 2006; Meza *et al.*, 2008). 앞에서 언급한 것처럼, 개인에서 기업, 국가에 이르기까지 다양한 스케일에서 많은 경제활동이 통제되지 않는 미래의 날씨에 영향을 받는다. 따라서 좀 더 향상된 의사결정을 위하여 미래의 날씨에 대하여 알고자 하는 것은 당연하며 장기예보가 의사결정 과정에 가치 있는 것이 될 수 있다는 인식이 확대되고 있다. 월간 혹은 계절 예보와 같은 장기예보에는 불확실성이 존재한다. 향상된 날씨 예보는 미래의 날씨 사건과 관련된 불확실성을 줄여주지만, '예보'의 본질적 특성에 의해서 어느 정도 불확실성을 안고 있다. 불확실성 하에서 이루어지는 날씨에 민감한 의사결정을 다루는 강력한 방법은 의사결정 분석 모형의 구축을 통해서이다(Wilks, 1997).

의사결정 분석 모형의 근간을 이루는 의사결정 이론(decision theory)은 수학, 통계학, 경제학, 철학, 경영학, 심리학 등을 포함하는 다학문적 분야이다. 가장 순수한 형태의 의사결정 이론은 목적함수를 극대화 혹은 최소화하는 결정을 내려야 하는 한 명의 행위자를 포함한다(Rubas *et al.*, 2006). 행위자 수준에서 베이저안 분석(Bayesian analysis)을 결합한 의사결정 이론을 이용한 예보 정보의 경제적 가치 평가의 기본 틀은 Nelson and Winter(1964)와 Hilton(1981)에 의해서 제시되었다. 의사결정 이론을 바탕으로 한 가치 평가는 다음과 같은 두 가지 기본 가정에 토대한다. 첫째, 행위자는 상태와 의사결정의 모든 가능한 조합의 결과, 즉 선택한 대안과 기후의 실현에 따른 경제적 결과를 완전히 알고 있다. 둘째, 행위자는 합리적 의사결정자이다. 따라서 행위자는 자신의 효용 함수(utility function)를 극대화하는 대안을 선택할 것이다(Meza *et al.*, 2008).

의사결정자가 금전적 수익을 극대화하는 형태로 행동을 한다고 가정하면 예보 정보의 가치를 추정하는 것은 용이해진다. 이러한 경우 예보 정보를 바탕으로 한 최적 행동하에서의 기대 수익과 지저

정보만을 이용할 수 있는 상태에서의 기대 수익의 산술적 차이가 정보의 가치이다. 기대 수익의 극대화를 통한 최적 행위의 결정은 의사결정자는 위험 중립적이라는 것을 가정한다. 그러나 실세계의 의사결정자는 적어도 중요한 결정을 할 때는 위험에 매우 민감하기 때문에 이러한 민감성을 고려하는 것이 중요하다. Meza *et al.*(2008)은 농업 부문에서 위험 회피 정도를 고려한 많은 예보 정보의 가치 평가 연구 사례를 제시하고 있다. 위험에 대한 민감성은 의사결정자의 개인적 성향, 복지 수준 등 다양한 요인에 따라 달라진다. 효용 함수의 개념은 의사결정 이론 틀 내에서 의사결정자의 위험에 대한 상이한 태도를 결합하는 것을 가능하게 한다. 효용 함수는 각 결과에 대하여 의사결정자가 인지한 가치를 잘 반영하도록 금전적 스케일을 효용 스케일로 변환한다. 개개인의 효용 함수가 상이할 수 있기 때문에, 효용을 극대화하는 많은 연구에서는 이상적이지만 대표적인 효용 함수를 사용한다.

의사결정 분석 모형으로부터 얻을 수 있는 중요한 산출물은 미래에 발생할 날씨 사건에 대한 예보와 관련된 최적 행위의 결정이다. 이러한 결정은 의사결정자에게 최대 이윤을 제공한다. 이와 같이 특정 상황에 직면하여 최상의 행위를 명시하거나 규정하므로 이러한 접근을 “규범적(prescriptive)”이라 한다(Wilks, 1997). 이러한 규범적 연구의 결과는 관련 업무를 담당하는 관리자 등의 의사결정을 향상시키는데 도움을 주는 명시적 권고 혹은 지침으로 기능할 수 있다. 이것이 날씨에 민감한 의사결정 문제를 모델링 하는데 있어 의사결정 분석을 이용하는 이유 중 하나이다.

최상의 의사결정이 존재한다는 것은 많은 가능성 중에서 의사결정자의 선호가 있음을 의미한다. 효용 함수를 이용하여 여러 가능성에 대한 선호를 기술할 수 있다면, 정보의 가치 계산은 간단해진다. 정보를 이용하여 얻은 향상된 의사결정은 정보가 없는 상황에서 이루어진 결정보다 좋은 효용을 만들어 낼 것이고, 정보의 가치는 두 결정에 따른 효용의 차이로 평가될 수 있다. 향상된 예보의 사용 및 가치 또한 이러한 틀 내에서 분석될 수 있고, 예보의 제공자는 새로운 향상된 예보로부터 얻을 수 있는 잠재적 이익을 평가할 수 있다.

이러한 예보 정보의 잠재적 가치 평가는 기준 역할을 하는 기저 정보(즉, 예보 없는 상황)가 있음을 상정한다. 가장 일반적으로 이용하는 기저 정보는 과거 날씨 자료에 근거한 기후학적 정보(climatological information)이다. 즉, 의사결정자는 분석에 영향을 주는 기상 사건에 대한 과거의 상대적 빈도를 알고 있다고 가정한다. 기후학적 정보의 대안으로 사용할 수 있는 것이 유사한 날씨를 보이는 연속적인 시간 범위에 대한 경향을 의미하는 보정된 지속성(calibrated persistence) 혹은 조건 기후학(conditional climatology)이다. 그러나 이러한 유형의 기저 정보는 매일 혹은 단기 스케일에서 작동하는 문제에 좀 더 적합하다(Wilks, 1997).

Johnson and Holt(1997), Hill and Mjelde(2002), Rubas *et al.*(2006), Meza *et al.*(2008) 등은 의사결정 이론에 기반을 둔 예보 정보의 경제적 가치를 측정하는 수학적 모형을 제시하였다. 이들의 논의를 토대로 예보의 가치 평가 과정을 수학적으로 기술하기에 앞서 다음과 같은 기호를 정의할 필요가 있다:

X = 생산 요소들의 조합을 포함하는 의사결정 벡터,

C = 기상학적 변수들의 조합을 포함하는 벡터, 확률 변수(random variable),
 F = 장기예보 정보, 확률 변수,
 W_0 = 의사결정자의 소득 수준,
 $Y(X, C)$ = 기상 상황 C 와 의사결정 X 의 함수, 의사결정을 통하여 얻은 수익,
 $U[Y(X, C), W_0]$ = 의사결정자의 효용 함수, W_0 의 소득 수준을 갖는 의사결정자가 기상 상황 C 에서 의사결정 X 를 하여 얻은 수익의 함수,
 $f(C)$ = 기상 상황 C 에 대한 확률 밀도 함수, 사전 확률 분포(prior probability distribution),
 $f(C|F)$ = 장기예보 정보 F 하에서 기상 상황 C 에 대한 확률 밀도 함수, 사후 확률 분포(posterior probability distribution).

이러한 기호 중 효용 함수 $U[Y(X, C), W_0]$ 의 모양은 의사결정자의 위험 회피 정도와 소득 수준에 따라 달라진다. 한편 의사결정자는 사전(ex ante) 최적화 문제에 직면한다. 즉, 의사결정자는 기상 상황이 현실화된 것을 관측하기 이전에 의사결정을 해야 한다. 이로 인하여 불확실성이 발생하고 이러한 불확실성은 기상 상황의 현실화와 관련된 확률 밀도 함수의 형태로 표현된다. Johnson and Holt(1997)는 이러한 확률 밀도 함수를 주관적 확률(subjective probability) 개념으로 표현하였다. 기저 상황에서, 즉 예보 정보가 없는 상황에서 확률 밀도 함수는 전적으로 과거의 기후 관측 자료에 기초한 기후학적 정보에 의해서 결정된다. 결국 $f(C)$ 는 기상 상황 C 에 대한 기후학적 확률 밀도 함수이다. 장기예보 정보가 없는 기저 상황에서 의사결정자가 선형적인 기후학적 정보만을 이용할 수 있는 상황에서 기대 효용(expected utility)은 다음과 같은 식에 의해 계산된다:

$$E\{U[Y(X), W_0]\} = \int U[Y(X, C), W_0]f(C)dC \quad (1)$$

기상 상황 C 를 연속 확률 변수로 상정했기 때문에 이 식에서 적분(integral) 기호를 사용하였다. 만약 기상 상황 C 가 이산 확률 변수이면 기대 효용 계산을 위하여 이합산(sigma)을 사용하면 된다(Johnson and Holt, 1997 참조). 이러한 상황에서 의사결정자는 다음 식과 같이 기대 효용을 극대화하는 의사결정 조합 X^* 를 선택할 것이다:

$$E\{U[Y(X^*), W_0]\} = \max_X E\{U[Y(X, C), W_0]\} \quad (2)$$

기상 상황에 대한 의사결정자의 확률 밀도 함수 혹은 주관적 확률은 장기예보 정보의 이용 가능성에 따라 달라진다. 베이즈 정리(Bayes' theorem)는 장기예보 정보에 따른 기상 상황 C 에 대한 확률 밀도 함수를 수정하는 기초를 제공한다. 만약 의사결정자가 장기예보 정보 F 를 이용할 수 있다면, 기상 상황 C 에 대한 확률 밀도 함수는 $f(C|F)$ 가 된다. 즉, 확률 변수 C 에 대한 사전 확률 분포 $f(C)$ 가 주

어져 있고 장기예보 정보 F 가 있는 상황에서 기상 상황 C 에 대한 사후 확률 밀도 함수는 다음과 같은 식에 의해 계산된다:

$$f(C|F) = \frac{f(F|C)f(C)}{f(F)} \quad (3)$$

식 (3)에서 $f(F|C)$ 는 기상 상황 C 에서 장기예보 정보 F 를 받을 확률 밀도 함수이고, $f(F)$ 는 장기예보 정보를 받을 확률과 관련된 확률 밀도 함수이다. 날씨 예보 체제는 직접적으로 이러한 사후 확률을 만들어 내는 것으로 볼 수 있다.

장기예보 정보를 이용할 수 있는 상황에서 이용 가능한 예보에 대한 조건 확률 밀도 함수 $f(C|F)$ 를 사용한 기대 효용은 다음 식에 의해 계산된다:

$$E\{U[Y(X)|F, W_0]\} = \int U[Y(X, C), W_0]f(C|F)dC \quad (4)$$

이 개념적 문제에 대한 해는 다음 조건을 만족시키는 의사결정 조합 X^* 일 것이다:

$$E\{U[Y(X^*)|F, W_0]\} = \max_X E\{U[Y(X)|F, W_0]\} \quad (5)$$

따라서 장기예보는 의사결정자가 앞으로 경험하게 될 기상 상황 벡터 C 에 가장 적합할 것 같은 의사결정 벡터를 선택하도록 한다. 결국 예보의 수익은 의사결정자를 덜 불확실한 상황에 놓이도록 하고 기후학적 정보를 사용할 때보다 더 효과적인 결정을 할 수 있도록 할 때 발생한다.

사전 의사결정 문제의 관점에서 정보의 가치는 예보 정보의 기대 가치 V 이다. 예보 정보의 기대 가치는 의사결정자가 사전 최적화에서 예보에 대하여 갖게 될 가치로, 사전 투입 의사결정에서 예보 분포를 사용했을 때의 기대 효용과 기후 분포를 사용했을 때 얻는 기대 효용과의 차이이고(Hilton, 1981), 다음과 같이 표현된다(Johnson and Holt, 1997; Hill and Mjelde, 2002; Meza *et al.*, 2008):

$$V = E\{U[Y(X^*), W_0]\} - E\{U[Y(X^*), W_0]\} \quad (6)$$

만일 V 가 효용성이라면(위험 회피형), 확실성 등가(certainty equivalence)를 이용하여 효용성에서의 차이를 금전적 단위로 바꿀 수 있다(Mjelde *et al.*, 1996). 확실성 등가는 위험 회피형 최적자가 기대되는 잠재 소득의 확률 분포처럼 동일한 효용에 부여한 금전적 가치를 의미한다. 따라서 계산된 장기예보의 가치는 의사결정자가 현실화된 소득에서 불확실성을 줄이는 예보에 대하여 기꺼이 지불하고자 하는 금액으로 해석할 수 있다. 위험 중립성을 가정하면, V 는 간단히 두 결정에 따른 기대 수익을 뺀 금전적 단위가 된다.

이와 같이 장기예보(일반적으로 예보)의 경제적 가치는 예보 사용자가 예보를 활용함으로써 기대할 수 있는 부가적인 금전적 가치로 볼 수 있다. 그러나 단순한 기대 수익 혹은 효용의 차이만으로는 산업별 비교 혹은 시기별 비교에 적합하지 않다. 왜냐하면 각 해당 산업의 규모에 따라 혹은 시기에 따라 그 크기가 현저히 다르기 때문이다. 따라서 몇몇 연구들은 기상 예보 가치의 평가 결과에 대한 일반적인 활용을 위해 표준 가치(value score)의 개념을 사용하였다(Richardson, 2000; Palmer, 2002; Lee and Lee, 2007). 표준 가치 VS는 기상 예보에 대한 기대 효용과 기후학적 정보의 기대 효용 간의 차이가 완벽 예보에 의한 기대 효용과 기후학적 정보의 기대 효용 간의 차이에 비하여 상대적으로 얼마만큼의 비율을 차지하는지를 표현한 것으로 다음과 같이 정의된다:

$$VS = \frac{E\{U[Y(X^*), W_0]\} - E\{U[Y(X^*), W_0]\}}{E\{U[Y(X^*), W_0]\} - E\{U[Y(X^*), W_0]\}} \quad (7)$$

식 (7)에서 X^* 는 의사결정자가 완벽 예보를 이용할 수 있는 상황에서 기상 상황 C 의 현실화에 보다 더 적합하도록 선택한 최적의 의사결정 벡터이다. 완벽 예보의 경우 VS는 1이지만, 기후 정보는 0이다. 불완전 예보의 경우 이 두 극한 사이의 값을 갖는다.

예보 정보의 경제적 가치 평가와 관련한 많은 연구들(특히 농업 부문)에서 의사결정 이론을 방법론으로 채택하였다(Johnson and Holt, 1997; Hill and Mjelde, 2002; Meza *et al.*, 2008). 에너지 부문에서는 Hamlet *et al.*(2002)이 의사결정 이론을 활용하여 수자원 관리에서 장기예보의 경제적 가치를 평가하였다. Hamlet *et al.*(2002)은 Columbia 강의 수력 댐 관리에서 기후 예보의 사용은 연간 5.5 백만 MW/h(순 이익은 153 백만 달러(이하 모든 달러의 기준은 US)까지 에너지 생산을 향상시킬 수 있다는 것을 추정하였다. 이들은 연구에서 살펴본 봄에서 가을까지 에너지 생산에서 상대적으로 소규모 변동은 월별 가격에 영향을 주지 않음을 명시적으로 가정하였다. 한 명의 경제 행위자를 고려할 때 이러한 가격 효과를 가정하는 것은 타당할지 모르지만, 많은 수의 생산자 혹은 과정에서 공급 혹은 수요 조건에 대한 큰 영향을 고려할 때 이러한 가정은 적절하지 않다. 이러한 경우 시장 모형과 같은 다른 방법론이 필요하다(Rubas *et al.*, 2006).

이러한 규범적 모형은 무엇이 최적의 행위가 되어야 하는지 명시하는 반면, 이러한 규범화된 행위는 실제 의사결정자의 행동과 잘 상응하지 않을 수 있다. 의사결정 문제가 매우 복잡할 수 있어 계산상의 필요에 의한 단순화는 실제계 문제에 대한 분석의 적절성을 심각하게 훼손할 수 있다. 즉, 의사결정 분석 모형의 여러 측면이 불완전하게 혹은 부정확하게 명시될 수 있다. 또한 규범적 모형이 잘 구축되었다고 가정하더라도, 실제 의사결정자가 현실에서 최적으로 행동할 것이라는 것을 보장할 수 없다.

규범적 분석을 통하여 산출된 최적의 행위와 기술적(descriptive) 연구를 통하여 이해된 실제 인간의 행위가 항상 일치하는 것이 아니지만, 두 접근은 상호 보완적이다. 규범적 분석이 의미 있기 위해서는 실제계의 의사결정 과정에 근접해야 한다. 규범적 의사결정 분석을 진행하기 전에 문제에 대한 기

본적인 이해가 필수적이다. 따라서 기술적 분석은 규범적 모형을 세우는 과정에서 중요한 역할을 한다. 일단 규범적 결정 모형이 세워졌다면, 그 결과는 실세계 문제의 맥락에서만 의미를 갖는다. 따라서 해당 의사결정 상황에 대한 기술적 이해는 규범적 의사결정 분석의 평가에서 필수적인 요소이다.

2) 기술적 의사결정 분석(descriptive decision studies)

기술적 접근(descriptive approaches)은 날씨 정보의 개별 사용자들이 예보에 반응하여 실제로 어떻게 행동하는지 기술을 통하여 예보의 가치를 평가한다. 의사결정자들이 반드시 기대 효용 극대화의 원리에 따라 행동하는 것은 아니다. 날씨 예보 사용에 대한 기술적 연구는 간단한 조사에서부터 의사결정자 행위의 상세한 모니터링에 이르기까지 다양하다. 안타깝게도 기술적 연구의 경우 날씨 예보의 가치의 실제 추정에 대한 상세함이 부족하다. 궁극적으로 기술적 정보는 규범적 연구의 보완이다.

규범적 접근과 같이 기술적 접근은 예보 정보의 가치는 날씨에 민감한 활동에 종사하는 사용자의 의사결정에 미치는 예보 정보의 영향으로부터 나온다는 신념에 근거하고 있다(McQuigg, 1971). 두 접근 모두 예보의 영향을 평가하기 위하여 의사결정 모형을 필요로 한다. 규범적 접근과 기술적 접근의 가장 큰 차이점은 의사결정 모형을 개발하는 방법과 이의 평가 기준이다. 기술적 모형은 의사결정자의 행위를 재생산하는 모형의 능력에 따라 평가되고, 규범적 모형은 규범적 이론에 따라 최적의 의사결정을 만들어 내는 모형의 능력에 따라 평가된다(Stewart, 1997).

Davis and Nnaji(1982)는 날씨 정보의 순 가치를 결정하는데 필요한 여섯 가지 평가 정보를 제시하였다: 1) 정보에 기반을 둔 손실 함수와 결정 규칙, 2) 정보가 주어진 상황에서 날씨의 조건 확률 분포, 3) 생성될 정보의 확률 분포, 4) 단위 시간 당 평균 정보 사건 수, 5) 정보의 모든 사용자, 그들의 의사결정 규칙, 손실 함수, 6) 정보 비용. 이러한 요구조건은 규범적 접근과 기술적 접근 모두에 적용된다. 주된 차이점은 사용자의 의사결정 규칙을 어떻게 얻느냐 이다. 규범적 접근에서 의사결정 모형은 최적의 의사결정 규칙을 명시하는 규범적 이론(예를 들어 베이지안 의사결정 이론)에 근거하는 반면, 기술적 접근에서는 사용자의 행태에 의해 의사결정 모형이 결정된다. 즉, 기술적 접근의 목적은 사용자의 실제 행동 과정에 대한 정확한 모형을 얻는 것이다. 결과적으로 규범적 연구는 규범적 이론으로부터 이끌어낸 의사결정 기준에 따라 최적으로 행동하는 이상적인 사용자 관점에서 예보의 기대 가치를 추정하는 반면, 기술적 연구는 최적의 정보를 사용하거나 그렇지 않은 실제 사용자에 대한 예보의 실제 가치를 추정한다.

Stewart(1997)는 그림 1과 같이 기상 정보의 가치에 대한 기술적 연구를 수행하는데 필요한 단계를 기술하였다. 1~3단계는 규범적 연구와 기술적 연구가 유사하고, 둘의 근본적인 차이는 모형의 구축과 평가에 해당하는 4~5단계이다. 즉, 실제 행동을 기반으로 모형을 구축하고, 사용자의 행동을 적절하게 기술하였는지 여부를 통하여 모형을 평가한다. 결국, 기술적 모형의 유형과 모델링 방법의 선택은 관찰과 데이터에 의해서 결정되는 반면, 규범적 모형의 경우, 의사결정 문제를 풀기 위하여 모

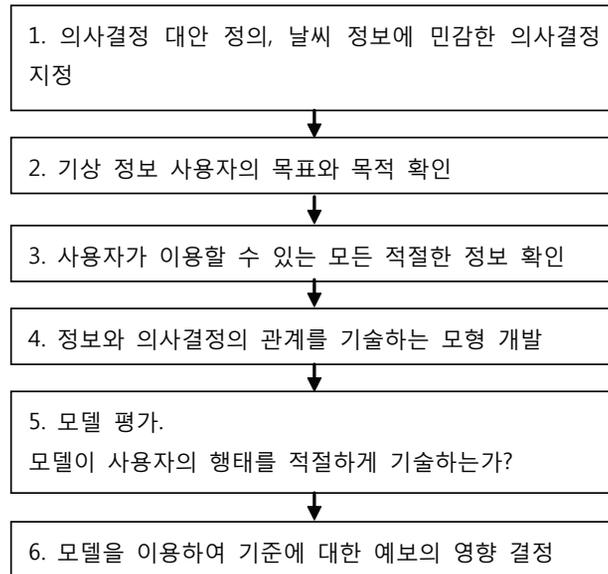


그림 1. 기술적 연구의 단계

(출처: Stewart, 1997)

형을 선택한다. 6단계를 수행하기 위해서는 의사결정 결과를 평가하기 위한 효용 함수를 고안해야 하고 예보 및 다른 정보의 조건 확률 분포를 추정해야 한다. 4~5단계에서 개발된 의사결정 모형을 이용하여 예보의 이용가능성과 질에 대한 상이한 가정 하에서 가능한 결과의 순 효용을 평가한다. 예보가 있는 상황에서의 추정 값에서 예보가 없는 상황에서의 추정 값을 빼서 예보의 가치를 계산한다. 예보의 가치를 평가하기 위하여 마지막 단계가 논리적으로 필요하지만, 많은 기술적 연구들은 6 단계를 거의 수행하지 않았다. 이와는 달리 규범적 연구는 일반적으로 이 단계를 포함한다(Stewart, 1997).

정보의 가치 평가에 대한 규범적 접근과 기술적 접근의 또 다른 차이점은 음의 가치 산출 여부이다. 사전 최적화에 기초한 규범적 모형은 정보의 비용을 제하기 전에는 정보에 대한 음의 가치가 산출될 수 없다. 왜냐하면 최적화 모형에서 쓸모없는 정보는 0의 가치를 갖기 때문이다. 예보의 가치 추정을 위하여 기술적 모형을 사용하였다면, 음의 가치 산출이 가능하다(Davis and Nnaji, 1982). 예를 들어, 사용자가 확률 예보를 잘못 해석하면 예보는 음의 가치를 만들어 낼 수 있다.

기술적 연구는 일화 보고서(anecdotal reports), 사례 연구(case studies), 사용자 조사(user surveys) 등이 있다(Stewart, 1997; Gunasekera, 2004). 일화 보고서는 기술적 연구의 가장 일반적인 형태로, 기상 정보가 가치를 가지는 활동을 조사한다. 그러나 일화 보고서 자체만으로 기상 정보의 가치를 결정하는 데는 미흡하다. 사례 연구는 기상 정보의 사용과 일화 보고서를 이용하는 보다 체계적인 연구로, 전략적 모형을 개발하는데 있어 간단한 방법으로 의사결정 과정을 재현하는데 유용한 방법이다.

마지막으로 사용자 조사는 우편, 전화, 개별 인터뷰 등을 통하여 기상 정보의 실재 혹은 잠재적 사용자의 반응을 조사한다. 날씨, 기후, 다양한 기상 사건에 의해서 결과가 영향을 받는 의사결정 선택하도록 하고, 의사결정 선택을 위하여 어떤 정보를 사용하는지, 기상 정보가 사용되었는지 여부, 어떻게 기상 정보에 접근할 수 있으며, 의사결정을 바꾸기 위하여 기상 정보를 어떻게 사용하는지, 어떠한 의사결정 선택이 이루어지는지 등을 사용자로부터 조사할 수 있다. 또한 사용자가 어떤 기상 정보를 선호하는지, 어떻게 사용하는지 등을 조사할 수 있다. 그러나 사용자 조사는 마케팅 연구로, 기상 정보 가치의 실재적 추정을 이끌어내는 데는 매우 제한적이다.

에너지 산업 부문에서 예보의 가치 평가를 위하여 기술적 접근의 시도한 몇몇 연구들이 있다. Weiss(1982)와 Changnon *et al.*(1995)은 전력 생산 분야에서의 예보의 활용가능성과 제약조건 등을 산업 부문의 조사를 통하여 살펴보았다. Weiss(1982)는 미국 에너지 산업 담당자와의 인터뷰와 천연 가스 사업 의사결정에 대한 체계 분석을 통하여 현재보다 예보가 신뢰할 수 있고 상세할 경우 계절 예보는 에너지 공급 관리를 상세하게 조정하는데 제한적 가치를 갖는다는 결론에 도달하였다. 신뢰성 있는 예보는 에너지 사용의 효율성을 증가시키기 위한 장기 대책을 수립하기 위한 신호로, 그리고 날씨에 기인한 에너지 위기가 예상되는 상황에서 에너지 수요를 줄이기 위한 단기 대책을 수립하는데 유용할 수 있다. 한편 Changnon *et al.*(1995)은 전기 및 가스 유틸리티 관리 담당자와의 인터뷰를 통한 기후 예보의 잠재적 사용 가능성을 탐색하였다. 주된 기후 변화와 극단적인 날씨는 날씨에 민감한 산업에 종사하는 많은 의사결정자들에게 상당한 경제적 영향을 준다는 것을 증명하였다.

3) 프로토타입 의사결정 모형(prototype decision-making models)

프로토타입 의사결정 모형에서는 프로토타입 형태의 날씨와 행동 양식에 따른 비용-손실(cost-loss) 혹은 이익-손실(profit-loss) 구조에서 예보의 질에 따른 최적 정책(optimal policy)을 결정한 후 이에 따른 예보의 경제적 가치를 파악한다. 이러한 프로토타입 의사결정 모형을 이용하여 불완전한 예보의 질(quality)과 경제적 가치와의 관계를 파악할 수 있다(Katz and Murphy, 1997). Katz and Murphy (1997)는 예보의 가치 평가 관점에서 프로토타입 의사결정 모형의 기본 구조와 시간 범위의 증가에 따른 일반화된 모형을 제시하고 있다. 모형을 정의하기 위하여 먼저 다음과 같은 기호를 정의할 필요가 있다:

θ = 날씨의 프로토타입 형태, 악기상(adverse weather): $\theta = 1$, 그렇지 않은 경우 $\theta = 0$,

$P_{\theta} = \Pr\{\theta = 1|Z = 1\}$, 악기상의 사전 확률, 기후학적 정보로부터 도출,

Z = 확률 변수, 악기상 발생 예보 $\rightarrow Z = 1$, 악기상 발생하지 않음 예보 $\rightarrow Z = 0$,

p_1, p_0 = 조건부 확률, $p_1 = \Pr\{\theta = 1|Z = 1\}$, $p_0 = \Pr\{\theta = 1|Z = 0\}$, $p_0 = \frac{(1-p_1)p_{\theta}}{1-p_{\theta}}$,

$$q = \text{프로토타입 형태의 날씨에 대한 예보의 질}, q = \frac{p_1 - p_\theta}{1 - p_\theta},$$

$V(q)$ = 예보의 질에 따른 경제적 가치 함수(증가 함수).

또한 예보 체계를 더욱 단순화시키기 위하여 악기상의 예보는 악기상의 발생만큼 동일한 빈도를 가지고 발표된다고 가정한다. 즉, $\Pr\{Z = 1\} = p_\theta$. 가장 단순화된 형태의 프로토타입 의사결정 모형에 의한 예보의 가치 평가 과정을 살펴보자. 여기에서 다루는 프로토타입 모형은 비용-손실 비율 모형(cost-loss ratio model)이다. 이 모형은 본질적으로 가장 단순한 형태의 손실 함수를 갖는다. 의사결정자는 보호 정책을 펴든지 그렇지 않든지 두 가지 가능한 행동 중 하나를 선택해야 한다. 만약 보호 행동을 취하면, 날씨와 상관없이 비용 C 가 소요된다. 만약 보호 행동을 취하지 않은 상황에서 악기상이 발생하면($\theta = 1$), 손실 L 이 초래된다(단, $0 < C < L$). 표 1은 이러한 의사결정 문제에 대한 비용 행렬을 보여주고 있다.

이러한 상황에서 의사결정자는 기대 비용(expected expense)을 최소화하도록 행동을 선택해야 한다. 이러한 기준은 기대 수익을 극대화하는 것과 동일하다. 불완전 예보의 경제적 가치는 기후학적 정보만을 이용할 수 있을 때의 기대 비용과 비교하여 예보 정보를 이용함으로써 인하여 발생하는 기대 비용의 절감이다. 날씨 예보의 질 q 의 함수 관계로 표현되는 최소 기대 비용은 $E(q)$ 로 나타낼 수 있고, 예보에 상응하는 경제적 가치는 다음 식에 의해서 계산된다:

$$V(q) = E(0) - E(q), 0 \leq q \leq 1 \quad (8)$$

경제적 매개변수 C 와 L 이 일정할 경우 의사결정자가 보호 행동을 취해야 할지 여부는 악기상의 발생 가능성에 달려있다. 기후학적인 정보의 경우 다음과 같은 일반화된 결론에 도달할 수 있다. 만약 $p_\theta > C/L$ 이면 보호 행동을 취하고, 그렇지 않은 경우 보호 행동을 취하지 않는다. 이처럼 최적 정책이 오직 C/L 비율에만 의존한다는 사실에서 “비용-손실 비율” 의사결정 문제라는 이름이 기원하였다. 이러한 결론으로부터 기후학적 정보에 상응하는 최소 기대 비용은 다음과 같다:

표 1. 비용-손실 비율 의사결정 모형에 대한 비용 행렬

행동	날씨 상태	
	악기상($\theta = 1$)	악기상 아님($\theta = 0$)
보호 행동	C	C
보호 행동을 취하지 않음	L	0

(출처: Katz and Murphy, 1997)

$$E(0) = \min\{C, p_{\theta}L\} \quad (9)$$

불완전 예보의 경우 최적 정책은 예보의 질에 따른 조건부 확률 p_1 과 C/L 에 따라 달라진다. 즉, $p_{\theta} < p_1 < C/L$ 이면, 날씨 예보 Z 와 상관없이 보호 행동을 취하지 않는 것이 최적이다. 이때 최소 기대 비용은 $E(q)=E(0)=p_{\theta}L$ 이고, 경제적 가치는 $V(q)=0$ 이다. 반대로 $C/L < p_1 < 1$ 이면 최적 정책은 다음과 같다. $Z = 1$ 이면 보호 행동을 취하고, 그렇지 않으면 보호 행동을 취하지 않는다. 이때 최소 기대 비용은 다음 식에 의해서 계산된다:

$$E(q) = p_{\theta}C + (1-p_{\theta})p_0L = p_{\theta}[C + (1-p_1)L] = p_{\theta}[C + (1-p_{\theta})1-qL], \quad C/L \leq p_1 \leq 1 \quad (10)$$

식 (8)과 (10)을 이용하여 불완전 예보의 경제적 가치를 계산하면 다음과 같다:

$$V(q) = E(0) - E(q) = p_{\theta}\{[p_{\theta} + (1-p_{\theta})q]L - C\}, \quad C/L \leq p_1 \leq 1 \quad (11)$$

Richardson(2000)은 비용-손실 비율 의사결정 모형을 이용하여 유럽 중기 예보 센터(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)가 운영하는 앙상블 예보 체계(ensemble prediction system, EPS)의 경제적 가치를 평가하였다. 분석결과 EPS의 중기 예보는 실질적인 상대적 가치를 지니며, EPS를 이용하여 생성한 확률 예보(probability forecasts)는 동일 모형을 이용하여 만들어진 확정적 예보(deterministic forecasts)보다 더 가치가 있다. Considine *et al.*(2004) 또한 비용-손실 틀을 이용하여 허리케인 예보가 멕시코만의 석유 및 가스 생산자에게 갖는 가치를 평가하였다. 허리케인 예보에 따른 연안 굴착 장비의 대피와 생산 중단에 미치는 영향을 파악하였다. 예보의 시간 범위는 1~2일 이었고, 허리케인의 경로와 강도 정보를 이용하였다. 가치 평가의 기준은 기후학적 정보이다. 불완전한 예보 정보의 가치는, 24시간 허리케인 예보의 경우 연간 10.5 백만 달러, 48시간 예보의 경우 8.1 백만 달러이었다. 완벽한 정보의 경우 24시간 예보의 경우 239 백만 달러, 48시간 예보의 경우 207 백만 달러이었다. 예보의 정확도가 50%인 경우, 48시간 예보의 가치는 연간 15 백만 달러 증가하였다.

Katz and Murphy(1997), Richardson(2000), Considine *et al.*(2004) 등을 비롯하여 기존 많은 연구들이 비용-손실 비율 개념을 도입하여 사용자의 의사결정 과정에서 기상 정보의 경제적 가치를 측정 한 것과 달리, Lee and Lee(2007)는 투입비용 대비 이익의 최대화를 추구하는 일반 기업의 의사결정 상황에 보다 적합한 이익-손실 비율 모형(profit-loss ratio model)을 이용하여 예보의 경제적 가치를 추정하였다. 비용-손실 모형은 예보에 민감한 단순한 의사결정 구조를 갖는 분야, 즉 비용과 손실의 계산이 용이한 분야에서 기상 정보의 가치 분석을 위한 유용한 틀을 제공한다(Lee and Lee, 2007). 예보의 경제적 가치를 이익-손실 비율의 함수 관계로 표현하였다. 분석 결과를 살펴보면 예보의 리드

타임(lead time)이 짧을수록 기상 정보의 경제적 가치는 크고, 손실 대비 이익 비율이 어느 정도 증가할 때까지 경제적 가치는 증가하다가 임계점을 지나면 감소하는 경향을 보인다. 또한 손실 대비 이익 비율이 낮은 상태에서 의사결정자가 기상 정보에 대한 주관적 신뢰수준이 높을수록 정보의 가치는 높게 나타나는 반면, 손실 대비 이익 비율이 높은 상태에서 주관적 신뢰수준이 높을수록 경제적 가치는 낮게 나타났다.

4) 규범적 시장 모형(normative market models)

앞에서 제시된 방법들이 주로 개별 의사결정자에 초점을 맞추었다면, 규범적 시장 모형은 개별 의사결정자들의 집합(시장)에 초점을 맞추어 예보 정보의 사회·경제적 가치를 평가한다. 이 부분에서 주목할 점은 시장 모형을 이용하면, 생산자와 소비자의 이익뿐만 아니라 사회 전체의 이익도 평가할 수 있다는 점이다. 개별 의사결정자에 대한 정보의 가치 측정은 상대적으로 복잡하지 않은 반면, 시장의 측면에서 정보의 가치 측정은 이보다 더 어렵다. Johnson and Holt(1997)에 따르면, 1) 시장에 대한 균형 조건과 이 균형 조건이 새로운 정보의 도입에 의해서 어떻게 바뀌는가, 2) 경제적 가치를 밝히는데 사용된 시장 수준의 공급 혹은 수요 함수를 산출하기 위하여 개별 반응을 어떻게 종합할 것인가가 시장 수준에서 예보의 가치 평가를 어렵게 만든다.

Johnson and Holt(1997)는 정보의 시장 가치 평가에 대한 이론적인 틀, 가치 측정 방식, 사례 연구 등을 제시하고 있다. 한편, Freebairn and Zillman(2002)은 시장 수준에서 예보 정보의 가치를 평가하는 이해하기 쉽고 간단한 부분 균형 모형(partial equilibrium model)을 제시하고 있다. 생산자(구체적으로 에너지 생산자)는 더 나은 의사결정을 위하여 장기예보를 사용하고 있는 단일 제품 시장을 고려해 보자. 개별 의사결정 모형에서는 대표적인 생산자 한 명을 상정하지만, 시장 모형에서는 적합한 생산자의 표본을 상정한다. 왜냐하면, 시장 모형에서는 개개인이 아닌 전체의 평균을 추정하기 때문이

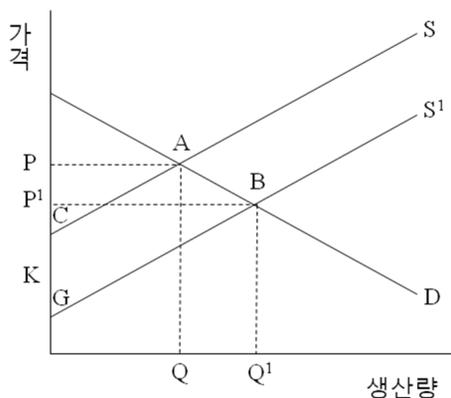


그림 2. 단일 상품 시장에 대한 예보 정보의 편익
(출처: Freebairn and Zillman, 2002)

다. 이 시장에 대한 부분 균형 모형의 매우 중요한 특성은 그림 2에 표현되어 있다. 그림에서 S는 예보 정보를 사용하지 않은 상태에서, 즉 기후학적 정보 하에서의 초기 공급 곡선이고 D는 수요 곡선이다. 이러한 수요 및 공급 곡선에 의해서 시장 가격 P와 생산량 Q가 결정된다.

생산자가 의사결정을 바꾸기 위하여 예보 정보를 사용할 수 있다고 할 때, S'은 향상된 예보 정보를 이용할 수 있는 상황에서의 공급 곡선으로, 향상된 예보를 이용하여 평균 제품의 단위 생산 비용을 K만큼 줄일 수 있다. K는 향상된 예보 정보 사용의 한계 편익이

다. 신뢰할 수 있는 예보 정보의 효과적인 사용에 의한 비용 절감 K 에 의해서 생산자의 공급 곡선이 S 에서 S' 으로 낮아질 것이다. 동일 수요 수준에서 이렇게 하락한 공급 곡선에 의해서 새로운 시장 가격 P' 과 생산량 Q' 이 각각 결정된다. 초기 시장 결과와 새로운 시장 결과의 비교를 통하여 소비자, 생산자, 사회에 대한 예보 정보 사용의 편익을 평가할 수 있다.

소비자의 이익은 어떤 상품에 대해 소비자가 최대한 지불해도 좋다고 생각하는 가격(P)에서 실제로 지불하는 가격(P')을 뺀 차액을 의미하는 소비자 잉여(consumer surplus)에서의 증가량을 측정하여 파악할 수 있는데, 면적 $P'PAB$ 가 소비자의 이익에 해당한다. 단위 제품 당 K 비용 절감에 의해서 생산자가 이익을 보았지만 시장 가격이 하락하였다. 가격 하락이 비용 절감보다 작으면 생산자는 이익을 본다. 이러한 편익은 생산자 잉여(producer surplus)에서의 증가를 측정하여 파악할 수 있다. 즉, $P'BG-PAG$ 가 생산자의 이익이다. 마지막으로 사회에 대한 순 이익(net gain)은 소비자 이익과 생산자 이익을 더한 것으로, 면적 $GCAB$ 가 사회의 순 이익이 된다.

예보 정보의 가치 평가와 관련하여 전체적으로 보면 개인에 대한 정보의 가치 평가 연구는 많은 반면, 시장 수준에서 날씨 정보의 사회적 가치에 대한 연구는 매우 드물다. 대부분의 시장 수준 연구는 이러한 사후 소비자 잉여(Marshallian consumer surplus) 혹은 편익 측정치를 이용하여 정보의 사회적 가치를 추정하였다(Johnson and Holt, 1997). 에너지 산업과 관련해서는 시장 수준의 접근을 시도한 사례가 여러 건으로 상대적으로 많은 편이다. 먼저 Roulston *et al.* (2003)은 풍력발전을 위한 ECMWF 예보 정보를 통합하는 다양한 전략의 가치를 조사하였다. 전략으로 사용한 것은 다음과 같다. 과거 관측 데이터를 바탕으로 한 기후학적 정보, 최근 며칠의 과거 전력 생산에 기초한 지속성 예보, ECMWF 최상 추측 예보, ECMWF EPS, ECMWF 고해상도 예보에 기초한 기후, ECMWF 앙상블 예보에 기초한 예보, 기후학적 모형을 사용한 전력 생산자의 이윤과 비교하여 이러한 상이한 전략의 상대적 수익을 계산하여 비교하였다. 단순한 전력 시장 맥락에서 상이한 전략을 이용한 풍력발전기의 성능 시뮬레이션 결과 생산 의사결정에서 ECMWF 예보는 발전기의 성능을 향상시켰다. 비교의 기준은 기후학적 정보(과거 기후 자료)를 바탕으로 한 풍력 에너지 생산이고, 예보의 가치는 이 기후학적 정보의 기대 수익에 대한 증가 정도를 비율로 측정되었다. 불완전한 정보의 가치는 리드 타임이 1~2일 경우 100%, 3일인 경우 75% 이었다.

Teisberg *et al.* (2005)은 미국의 전력 생산 산업에서 24시간 전에 어떻게 전력을 생산할 것인지를 계획하는데 있어 사용되는 기온 예보에 기인한 비용 절감을 추정하였다. 전력은 생산을 위한 준비 비용, 생산을 위해 생산 단위를 준비하는데 있어 시차, 생산 비용 등이 상이한 다양한 유형의 생산 단위에 의해서 만들어 진다. 생산 단위 사이의 비용 차이 때문에, 의사결정은 생산 비용에 영향을 줄 것이다. 시차 때문에 의사결정은 전력 수요 예측에 근거하는데, 수요 예측은 다시 날씨 예보에 의존한다. 이 연구는 1) 지속성 예보, 2) MAV(model output statistics aviation guidance)로 알려진 컴퓨터 기반 NWS(National Weather Service) 예보, 3) MAV에 대한 대표 예보자 향상을 반영하는 “공식적” NWS 예보, 4) 완벽 예보 등 네 가지 정보를 사용하였다. 이러한 날씨 예보를 바탕으로 전력 회사가 사용하

는 모형을 이용하여 전력 수요를 예측하였다. 그런 다음 각 수요 예측 결과에 대하여, 생산 비용을 추정하였다. 분석 결과 지속성 예보 대비 NWS의 경우 연간 평균 166백만 달러의 비용 절감이 예상되었다. 완벽 예보를 통하여 얻을 수 있는 잠재적인 추가 비용 절감 규모는 연간 75백만 달러이었다. 또한 예보 질에서 1% 향상은 연간 약 1.3백만 달러의 가치가 있는 것으로 평가되었다.

Vision *et al.*(2006)은 미국 서부지역의 전력 생산 및 배분 계획에서 엘니뇨 남방진동(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)과 태평양 진동(Pacific decadal oscillation, PDO)에 기반을 둔 장기예보의 가치를 평가하였다. 기후와 그 변동성은 전력 공급과 소비에 상당한 영향을 주고, 이러한 영향은 점차 예측가능해지고 있다. 이 연구는 미국의 태평양 북서부(PNW)와 캘리포니아(CA) 사이의 잠재적 송전의 편익을 수문학 모형, 저수지 모형, 전력 수요 시뮬레이션 모형을 결합하여 평가하였다. VIC(Variable Infiltration Capacity) 중범위 수문학 모형 이용하여 특정 저수지 유입 지점에 대한 일 하천유량 시뮬레이션을 만들어 냈고, 시뮬레이션 된 결과를 저수지 모형의 운영 시간 스케일인 월 단위로 집계하였다. 이렇게 집계된 하천유량 정보를 이용하여 해당 시기 동안 수력 생산을 시뮬레이션 하였다. 전력 수요 모형을 이용하여 해당 시기 동안 기후 조건 하에서 두 지역의 전력 수요를 계산한 다음 봄철에 PNW와 CA 사이의 송전의 잠재력을 평가하고 단순 송전 모형을 이용하여 이러한 송전의 경제적 가치를 평가하였다. 분석 결과 PNW와 CA 사이의 잠재적 전력 송전은 연간 CA에 136백만 달러, PNW에 79 백만 달러의 평균 잠재 수익을 가져올 것으로 추정되었다.

3. 에너지 산업 분야에서의 장기예보의 사회 경제적 가치평가 방법론의 의미

이 연구는 장기예보의 사회·경제적 가치를 평가하는 4가지 유형의 평가 방법론과 사례 연구들을 유형화하여 살펴보았다. 이러한 장기예보의 사회경제적 가치를 에너지 산업 부문을 중심으로 관련 선행 연구들을 심층적으로 재고찰하였다. 에너지 산업은 수력, 화력, 원자력 등 전통적인 에너지 산업뿐만 아니라, 풍력, 조력, 태양력 등 다양한 신재생 에너지 산업 등으로 구성되어 있으며, 이들 부문에서 에너지 자원의 탐사, 발굴, 추출, 가공, 전환, 이용 등의 의사결정 과정에 있어서 장기예보가 차지하는 역할은 매우 크다. 특히, 최근 세계화 과정 속에서 에너지 자원의 경쟁적인 확보와 관련하여 장기예보를 통한 에너지 산업 부문의 효율성 제고는 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 장기예보의 사회경제적 가치를 보다 체계적이고 논리적인 과정을 통해 검토하고 실증적인 결과를 도출할 수 있는 것은 매우 의미있다고 판단된다.

이러한 장기예보의 사회경제적 가치에 대한 방법론적인 연구들을 유형화한 의사결정 분석 모형, 기술적 의사결정 분석, 프로토타입 의사결정 모형, 규범적 시장 모형은 각각 그 평가 대상과 접근이 다르게 구성되며, 구체적인 연구 부문도 개인 또는 집합적인 주체, 농업에서 에너지 산업에 이르는

다양한 분야로 차별화되었다. 또한 접근방식도 구체적인 실증적 모델에 근거하여 구체적인 계량화된 수치를 근거를 제공하는 연구에서, 개인적인 선호에 따른 질적인 분석 결과를 제시하는 연구까지 다양하였다.

장기예보의 사회·경제적 가치를 평가하는 연구들을 고찰하면서 다음과 같은 의미와 시사점이 도출되었다. 첫째, 장기예보의 활용 및 사회·경제적 가치는 장기예보의 정보화 수준, 다시 말해서 정보의 질이 높거나 향상될수록 그 가치도 높아지는 경향을 보였다. 즉, 부문별로 정도의 차이는 존재하지만 장기예보 정보의 질은 다른 요소보다 더 사회·경제적 가치에 중요하다는 것이 일반적인 경향성으로 나타났다. 따라서 국가 또는 공공차원뿐만 아니라 이를 토대로 제공되는 민간 부문의 장기예보 서비스의 경우 높은 수준의 정보를 제공하는 것에 대해 우선적으로 고려할 필요가 있다. 또한 불완전한 정보로부터 내리는 의사결정에 역시 불확실성이 존재하므로 궁극적으로 불확실성을 고려한 정보의 가치 평가가 중요하다. 따라서 정보에 불확실성이 포함된 상태이므로 이를 반영하는 모형의 매개변수 설정이 요구된다.

둘째, 많은 연구 결과를 검토한 결과 사회·경제적 가치 평가의 기본 구조는 일반화된 수준에서 유사하게 나타나지만, 구체적인 사례 연구를 통한 모델과 수식은 연구 대상과 연구 분야에 따라 매우 다양하게 나타나고 있었다. 예를 들어 농업의 경우에도 농작물의 유형과 작물 재배 범위, 농작물 재배 지역의 특성에 따라 다양한 평가 모델들이 존재하였으며 또한 수력, 에너지 산업의 경우 농업과는 다른 평가 모델을 사용하고 있었다. 따라서 장기예보의 사회·경제적 가치 평가에 앞서 각 분야 또는 부문별로 분야별 특성과 장기예보 활용과 관련한 심층적 이해가 선행될 필요가 있다. 예를 들어, 수력 생산의 경우 저수지 운영 모형의 이해가 요구되며, 전력 공급 및 분배의 경우 전력 수요 예측 모형, 전력의 시장 가치 평가 방법에 대한 이해가 요구된다.

셋째, 사회·경제적 가치에 대한 평가는 개인, 산업, 국가 등 다양한 스케일의 주체에 따라 다르게 나타나는 것으로 파악되었다. 특히, 부문별로 수행된 연구를 고찰해볼 때, 개인의 의사결정에 따른 장기예보의 가치 평가는 상당수 이루어졌지만, 국가 수준 또는 전국 단위에서의 사회·경제적 가치 연구가 거의 이루어지지 않았다. 이는 국가 수준 또는 전 지역의 사회·경제적 가치 평가를 하기 위한 자료 수집 및 분석 연구를 위한 여건이 마련되지 않았을 것으로 일부 사료되며 종합적인 연구가 이루어지기에는 학술 연구가 제한적이었을 것으로 판단된다. 특히, 국가 수준의 경우 개인의 기대 이윤의 극대화뿐만 아니라, 사회적 측면에서 형평성이나 균등성 등 다른 요인들을 종합적으로 고려한 모델의 개발이 필요하다. 후속 연구에서 이를 적극 고려할 필요가 있어 보인다.

4. 결론

이 연구는 장기예보의 사회·경제적 가치를 평가하는 방법론을 학문적으로 재고찰하면서, 이를 통해 장기예보 활용성 극대화를 위한 의사결정 지원으로서의 가능성을 탐색하고자 하였다. 이를 위해 에너지 산업 분야에 초점을 맞추어 장기예보의 사회경제적 가치를 평가하는 기존 주요 연구들을 심층적으로 재고찰하였으며, 이러한 과정에서 사회·경제적 가치를 평가하는 에너지 산업 부문별 연구들을 비교검토하고, 또한 특정한 사회·경제적 가치를 평가하는 다양한 방법론들을 비교·분석하였다. 장기예보의 사회·경제적 가치를 평가하는 방법론 연구는 크게 4가지, 즉 의사결정 분석 모형, 기술적 의사결정 분석, 프로토타입 의사결정 모형, 규범적 시장 모형으로 유형화될 수 있으며, 각 유형별로 다양한 연구 방법론들이 에너지 산업의 세부적인 분야와 다양한 사례 연구 지역을 대상으로 그 사회경제적 가치가 탐색되었다.

사회경제적 가치를 평가하는 방법론의 비교분석을 통해, 매우 다양한 실증적 연구들을 모두 아우르는 일반화된 통일된 가치 평가 모형을 도출하기는 어려웠다. 그것은 사회·경제적 가치를 평가하고자 하는 연구의 수준이 해외 선진국에서도 매우 높지는 않았으며, 특히 매우 다양하고 독특한 연구 지역, 연구 대상, 처해진 여건 및 환경에 맞는 세밀하고 적절한 평가 모형들이 구체적으로 제시되었던 것으로 설명될 수 있다. 나아가 개별적인 측면에서 에너지 산업 분야 대한 평가 연구보다는 국가 또는 상위 차원에서의 보다 일반화된 모형을 제시하고자 하는 협력적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사회가 선진화하고 공공 측면의 정보화 수준이 높아짐에 따라, 기상 정보도 우리의 생활과 업무에 매우 유용하게 인식되고 있으며 이러한 기상 정보의 활용성 제고를 위한 노력이 많이 이루어지고 있다. 그러나, 단기예보와는 달리, 장기예보의 활용성 및 사회경제적 가치에 대해서는 아직도 여전히 모호하고 추상적인 수준에서 그 유용성에 대한 인식이 이루어지고 있다. 따라서 본격적인 경제적 가치를 평가하기 위한 논리적이고 체계적인 평가 방법론의 연구는 그만큼 중요하다고 할 수 있다. 그러한 의미에서 본 연구는 장기예보의 활용성 제고를 위한 사회·경제적 가치 평가 방법론에 대한 후속 연구의 활성화에 기여할 것으로 예상된다. 특히, 장기예보에 사회·경제적 측면에서 대한 본격적인 학술 연구가 제대로 이루어지지 않은 우리나라의 학문적 여건 속에서 이러한 연구의 중요성을 재인식하는 것도 매우 의미있는 부분이라 판단된다. 이러한 연구를 통해 국내의 장기예보 활용에 대한 사회·경제적 평가에 대한 학술적인 연구가 좀 더 활성화되기를 기대하며, 이를 위해 기후 분야에서의 후속 연구에 본 연구의 성과가 활성화되었으면 한다. 또한 향후 제시된 방법론을 우리나라의 사례에 적용하는 구체적인 연구가 진행될 필요가 있다.

사사

이 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원 강화사업(RACS_2011-4017)의 지원으로 수행되었습니다.

주

1) 가치 평가의 문제는 사전(*ex ante*) 가치 평가와 사후(*ex post*) 가치 평가 문제로 구분할 수 있다. 사전 가치 평가는 혁신의 수용 전에 잠재적 가치를 평가하는 반면, 사후 가치 평가는 수용에 따른 실제 결과를 평가한다. 사후 가치 평가는 정보를 받은 후에(after), 그러나 실제 사건이 발생하기 이전에 가치를 평가한다는 의미에서 사후(*ex post*) 문제이다. 그러나 일 반적으로 접하게 되는 정보 기반 의사결정 문제는 사전(*ex ante*) 문제로, 의사결정자는 정보를 받을 것이라는 것을 미리(a priori) 알지 못한다(Johnson and Holt, 1997). 예보의 사용과 관련된 의사결정 문제는 의사결정에 영향을 주는 불확실한 상태를 직면하기 전에 결정이 이루어져야 한다는 의미에서 사전적이고, 많은 장기예보의 가치 평가 연구에서 사전적 접근을 취하였다(Meza *et al.*, 2008). 장기예보 가치의 사전 평가는 두 가지 측면에서 의미가 있다(Thornton, 2006). 첫째, 사전 평가는 재원 동원의 근거를 제공하고 경쟁 우위를 확보하는 것이 중요한 기관 파트너의 의제 선정의 근거를 제공한다. 둘째, 사전 평가는 순이익이 가장 클 것 같은 노력의 대상(분야의 운영 시스템, 지역, 예보 특징)이 무엇인지에 대한 통찰력을 제공한다.

참고문헌

- 국무총리실, 2011, 안정적 전력수급 관리에 총력-정전 재발장비를 위한 범정부 대책 마련, 2011년 9월 26일 국무총리실 보도자료.
- 김동식, 2010, 장기예보의 사회·경제적 가치와 서비스 활성화 방안, 기상기술정책, 11, 34-43.
- 박중윤·신영섭, 2010, 기상예보와 재해관리: 장기예보와 가뭄재해관리 사례를 중심으로, 기상기술정책, 11, 65-81.
- 신정엽·이건학·최영은·정준석·김현경, 2011, 장기예보 서비스의 현황 및 활용 방안 연구: 에너지 산업을 중심으로, 한국지도학회지, 11(3), 69-87.
- 양영민·강인식·유진호·인경희, 2004, 기상 정보가 사회 경제에 미치는 영향과 효과분석, 한국기상학회지, 40(2), 159-175.
- 우수민·김태국, 2010, 장기예보 정보의 물관리 이수(利水) 측면에서의 가치와 활용, 기상기술정책, 11, 54-64.
- 이정덕·최영은·박창용, 2010, 한국의 기온자료 품질검정 알고리즘 개발, 기후연구, 5(2), 162-174.
- 정재준·최영은, 2011, GIS 기반 기후지도 제작을 위한 내삽방법에 관한 연구, 기후연구, 6(2), 159-170.
- 조대현·신정엽·이상일·정준석·김현경, 2011, GIS-기반 장기 기상 예보 활용 시스템 개발: 에너지 산업을 사례로 한 프로토타입 시스템, 한국지도학회지, 11(3), 89-104.
- 조성진·조창현, 2011, 농경사회의 기후변화 영향 및 적응에 관한 ABMS 활용 연구, 기후연구, 6(2), 89-99.
- 지식경제부, 2011, 순환정전상태 관련 재발방지대책 마련, 2011년 9월 17일 지식경제부 보도자료.
- 한점화, 2010, 기상 장기예보의 농업적 가치와 활용: 과수 농업 분야 중심으로, 기상기술정책, 11, 44-53.

- Changnon, S. A., Changnon, J. M., and Changnon, D., 1995, Uses and applications of climate forecasts for power utilities, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 711-720.
- Davis, D. R. and Nnaji, S., 1982, The information needed to evaluate the worth of uncertain information, predictions and forecasts, *Journal of Applied Meteorology*, 21, 461-470.
- Freebairn, J. W. and Zillman, J. W., 2002, Economic benefits of meteorological services, *Meteorological Applications*, 9, 33-44.
- Frei, T., 2009, Economic and social benefits of meteorology and climatology in Switzerland, *Meteorological Applications*, 17, 39-44.
- Gunasekera, D., 2004, Economic Issues Relating to Meteorological Provision, Bureau of Meteorology research centre: Melbourne, Australia.
- Hamlet, A. F., Huppert, D., and Lettenmaier, D. P., 2002, Economic value of long-lead streamflow forecasts for Columbia River hydropower, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128, 91-101.
- Hill, H. S. J. and Mjelde, J. W., 2002, Challenges and opportunities provided by seasonal climate forecasts: A literature review, *Journal of Agriculture and Applied Economics*, 34, 603-632.
- Hilton, R. W., 1981, The determinants of information value: synthesizing some general results, *Management Science*, 27(1), 57-64.
- Johnson, S. R. and Holt, M. W., 1997, The value of weather information, in Katz, R. W. and Murphy, A. H. (ed.), *Economic value of Weather and Climate Forecasts*, Cambridge University Press, 75-107.
- Katz, R. W. and Murphy, A. H., 1997, Forecast value: prototype decision-making models, in Katz, R.W. and Murphy, A. H. (ed.), *Economic value of Weather and Climate Forecasts*, Cambridge University Press, 183-217.
- Lee, K.-K. and Lee, J.-W., 2007, The economic value of weather forecasts for decision-making problems in the profit/loss situation, *Meteorological Applications*, 14, 455-463.
- McQuigg, J. D., 1971, Some attempts to estimate the economic response of weather information, *Weather*, 26, 60-68.
- Meza, F. J., Hansen, J. W., and Osgood, D., 2008, Economic value of seasonal climate forecasts for agriculture: Review of ex-ante assessments and recommendations for future research, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 1269-1286.
- Mjelde, J. W., Thompson, T. N., and Nixon, C. J., 1996, Government institutional effects on the value of seasonal climate forecasts, *American Journal of Agricultural Economics*, 78(1), 175-188.
- Nelson, R. R. and Winter, S. G., 1964, A case study in the economics of information and coordination: The weather forecasting system, *The Quarterly Journal of Economics*, 78(3), 420-441.
- Palmer, T. N., 2002, The economic value of ensemble forecasts as a tool for risk assessment: From days to decades, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 128, 747-774.
- Pezzulli, S., Frederic, P., Majithia, S., Sabbagh, S., Black, E., Sutton, R., and Stephenson, D., 2006, The seasonal forecast of electricity demand: A hierarchical Bayesian model with climatological weather generator, *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 22(2), 113-125.
- Richardson, D. S., 2000, Skill and relative economic value of the ECMWF ensemble prediction system, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126, 649-667.

- Roulston, M. S., Kaplan, D. T., Hardenberg, J., and Smith, L. A., 2003, Using medium-range weather forecasts to improve the value of wind energy production, *Renewable Energy*, 28(4), 585-602.
- Rubas, D. J., Hill, H. S. J., and Mjelde, J. W., 2006, Economics and climate applications: exploring the frontier, *Climate Research*, 33, 43-54.
- Stewart, T. R., 1997, Forecast value: descriptive decision studies, in Katz, R.W. and Murphy, A. H. (ed.), *Economic value of Weather and Climate Forecasts*, Cambridge University Press, 148-181.
- Teisberg, T. J., Weiher, R. F., and Khotanzad, A., 2005, The Economic Value of Temperature Forecasts in Electricity Generation, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86(12), 1765-1771.
- Thornton, P. K., 2006, Ex ante impact assessment and seasonal climate forecasts: Status and issues, *Climate Research*, 33, 55-65.
- Vision, N., Hamlet, A. F., Graham, L. P., Pierce, D. W., Barnett, T. P., and Lettenmaier, D. P., 2006, The role of climate forecasts in Western US power planning, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45, 653-673.
- Weiss, B. E., 1982, The Value of Seasonal Climate Forecasts in Managing Energy Resources, *Journal of Applied Meteorology*, 21(4), 510-517.
- Wilks, D. S., 1997, Forecast value: prescriptive decision studies, in Katz, R. W. and Murphy, A. H. (ed.), *Economic value of Weather and Climate Forecasts*, Cambridge University Press, 109-145.