

가치스코어 모형을 이용한 기상정보의 기업 의사결정에 미치는 영향 평가

이기광 · 이종우[†]

인제대학교 산업경영연구원/경영학부

The Effect of Meteorological Information on Business Decision-Making with a Value Score Model

Ki-Kwang Lee · Joong-Woo Lee[†]

Institute of Industrial Management Research/School of management, Inje University

In this paper the economic value of weather forecasts is valued for profit-oriented enterprise decision-making situations. Value is estimated in terms of monetary profits (or benefits) resulted from the forecast user's decision under the specific payoff structure, which is represented by a profit/loss ratio model combined with a decision function and a value score (VS). The forecast user determines a business-related decision based on the probabilistic forecast, the user's subjective reliability of the forecasts, and the payoff structure specific to the user's business environment. The VS curve for a meteorological forecast is specified by a function of the various profit/loss ratios, providing the scaled economic value relative to the value of a perfect forecast. The proposed valuation method based on the profit/loss ratio model and the VS is adapted for hypothetical sets of forecasts and verified for site-specific probability of precipitation forecast of 12 hour and 24 hour-lead time, which is generated from Korea meteorological administration (KMA). The application results show that forecast information with shorter lead time can provide the decision-makers with great benefits and there are ranges of profit/loss ratios in which high subjective reliability of the given forecast is preferred.

Keywords : Profit/Loss Model, 2x2 Contingency Table, Value Score, Decision Function

1. 서 론

기상예보는 사용자의 의사결정을 도와 이익을 줄 수 있을 때에만 정보가치를 지닌다[3, 10]. 기상예보는 보통 확정적(deterministic) 또는 확률적(probabilistic) 방식으로 어떤 기상사건의 발생여부의 추정치를 사용자에게 제공하며, 이를 제공받은 사용자 즉, 의사결정자는 주어진 기상정보에 기초해 최선의 행동을 취하려고 노력하

게 된다. 대부분의 연구들은 비용-손실(cost-loss) 개념을 도입하여 사용자의 의사결정과정에서 기상정보의 경제적 가치를 측정하여 왔다[2, 4, 11, 12].

비용-손실 모형은 대부분 태풍과 같은 특정 악기상(adverse weather)의 발생 가능성에 따라 방재활동의 수행 여부를 의사결정해야 하는 상황을 가정한다. 방재활동은 상대적으로 적은 방재비용으로 악기상에 의한 손실을 크게 줄일 수 있지만, 만약 방재활동을 취하지 않

[†] 교신저자 busiljw@inje.ac.kr

※ 본 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-3301)의 지원으로 수행되었습니다. 그리고 본 연구를 위해 많은 조언을 주신 CJ그룹 중국본사의 박근태 사장님과 중국 상해 E-Mart의 정민호 총경리님께 감사드립니다.

았거나 악기상을 예측하지 못했을 때에는 큰 손실이 발생할 수 있다. 반면에 방재활동을 수행하였으나 예측된 악기상이 발생하지 않았다면 이미 지출된 방재관련 비용은 그대로 손실로 간주될 수 있다. 이와 같이 비용-손실 모형은 예보에 민감하고 비교적 단순한 의사결정 구조를 가진 분야의 의사결정자가 직면한 상황을 묘사하는데 유리하기 때문에[4], 기상예보의 가치 분석 및 활용방안을 연구하는데 있어서 유용한 프레임워크를 제공할 수 있다.

그러나 위에서 언급한 두개의 사건(악기상의 발생 또는 미발생) 및 두 개의 행동(방재활동 수행 또는 미수행)으로 이루어진 단순구조의 비용-손실 모형을 다양한 실제상황에 적용시키기 위해서는 기본모형의 확장이 필요한데, 이와 관련해서 여러 선행 연구들이 진행되어 왔다. 일반화된 “ N 행동 $\times N$ 사건” 모형을 제안하여 기본적인 “2 행동 $\times 2$ 사건” 모형의 확장을 꾀한 연구를 비롯하여[5], 또 다른 측면의 확장으로서 정적인 단일 의사결정 상황을 확대하여 반복적인 의사결정 상황을 가정한 동적이고 순차적인 “2 행동 $\times 2$ 사건” 모형을 제시한 연구방법도 다수 존재한다[1, 5]. 이 밖에도 정적 및 동적 상황에서 예보 품질 및 예보 효용성 사이의 관계를 도출하기 위해 상당한 연구방법들이 논의되었다[2, 5, 10, 13, 15]. 특히 Murphy and Ye[9]는 행동의 지연에 의해 발생하는 방재비용의 증가에도 불구하고 정확한 예보가 제공될 때까지 의사결정자는 최종 판단시기를 의도적으로 늦출 수도 있다는 상황을 설명하기 위해 시간 의존적(time-dependent) 비용-손실 모형을 제시하기도 했다.

본 연구는 기존의 “2 행동 $\times 2$ 사건” 기반 비용-손실 모형에서 기상사건의 발생여부만을 고려하는 가정은 그대로 두는 대신에 대응행동의 수행여부 사이에서 대응의 수준 또는 정도를 결정할 수 있는 수정된 비용-손실 모형을 제안하고자 한다. 이 때, 대응행동의 수준은 비용 대신에 이익을 반영한 이익-손실 비율(profit-loss ratio)과 의사결정자의 주관적인 기상예보 신뢰도가 결합되어 결정된다. 즉, 본 연구는 기상정보에 의한 대응행동의 수준은 기상예보 제공자에 의해 제시된 객관적인 정확도가 아니라 경험으로부터 누적된 의사결정자 자신의 주관적인 예보 신뢰도에 영향을 받는다고 가정한다. 따라서 제공된 기상정보와 의사결정자의 주관적인 예보 신뢰도를 파라미터로 갖는 의사결정함수에 의해 적정 행동 수준의 값이 결정되도록 하는 새로운 개념의 기상정보 가치평가모형을 제안하고 있다.

이와 함께 본 연구에서는 의사결정자는 예상되는 기상사건에 대한 대응행동으로부터 얻어지는 이득으로서 손실규모의 감소뿐만 아니라 추가이익의 측면도 고려한

다는 사실을 반영한다. 특히, 제조, 유통, 건설 및 발전 산업 등과 같은 일반 산업분야에서 대부분 경영의 주목적은 비용을 최소화하는 것이 아니라 이익을 최대화하는 것이다. 따라서, 본 연구에서는 방재산업 위주의 기존 비용-손실 모형을 수정하여 투입비용 대비 이익의 최대화를 추구하는 일반기업의 의사결정 상황에 보다 적합한 이익-손실 모형(profit-loss model)을 제시하고자 한다. 이와 같은 접근방법은 일반기업의 기상정보 사용자들에게 기상정보를 활용한 의사결정의 경제적 가치를 제공해 줄 수 있으며, 또한 다양한 유형의 기업 및 산업마다 상이한 비용-수익 구조에 따라 기상예보 가치가 차별화된다는 사실을 증명할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 이익-손실 모형(profit-loss model)과 의사결정함수(decision function)

2.1 2 \times 2 이익-손실 모형

본 연구에서 제안된 이익-손실 모형은 한 기업의 의사결정자가 주된 의사결정요인(decision factors)에 영향을 주는 기상현상의 발생 불확실성에 직면해 있다고 가정한다. 전통적인 산업에서의 경영은 관련 비용을 투입하여 제품 또는 서비스를 준비하고 이를 고객들에게 판매함으로써 이익을 창출하는 것이다. 따라서 일반적으로 모든 사업은 비용을 최소화하고 판매량을 증가시킴으로써 이익을 극대화시키기 위해 노력한다. 만약 수요보다 더 많은 제품을 준비하면 재고비용 또는 폐기비용이 발생하는 반면에, 그 반대의 경우는 기회비용이 발생된다. 따라서, 외부 환경적 요인에 의해 수요의 변동폭이 큰 산업일수록 정확한 수요예측은 필수적이라고 할 수 있다. 이와 같은 측면에서 볼 때, 기상예보는 계절상품관련 제조, 레저, 유통 및 전력산업과 같이 그 수요가 기상상태와 밀접한 연관이 있는 기상민감산업에 더욱 큰 가치를 둘 수 있다. 예를 들어 임의의 한 산업 또는 기업에 있어서 해당 수요량이 악기상의 발생여부에 따라 영향을 받는다고 가정한다면, <그림 1>로 표현되는 2 \times 2 분할표로 기본적인 이익-손실 상황을 설정할 수 있다. 의사결정자는 최소 수준의 제품 또는 서비스를 준비함으로써 악기상의 발생 여부에 관계없이 B 만큼의 기본적인 이익을 얻을 수 있다. 그리고 최대 수요로부터 생산량 또는 주문량을 감소시키지 않은 상황에서 악기상이 발생한다면 L 만큼의 재고손실이 발생하고, 반대로 악천후가 발생하지 않고 최대 수요를 충족시킬 수 있는 충분한 재고가 준비되었다면 기본이익 B 에서 P 만큼의 부가적인 이익을 얻을 수 있게 된다.

		준비 수준	
		최소	최대
약기상	발생	기본 이익 (B)	기본 이익 -재고 손실 (B-L)
	미발생	기본 이익 (B)	기본 이익 +추가 이익 (B+P)

<그림 1> 기본적인 이익-손실 분할표

상품 준비량을 결정하는 최적의 의사결정은 확률가중치를 고려해서 가장 큰 평균기대이익을 창출시키는 것이 될 것이다. 여기서 의사결정자가 이용할 수 있는 정보란 확률 p 로 약기상이 발생할 것이라는 기상예보이다. 만약 의사결정자가 최저 수요만을 대비한 소극적인 준비전략을 선택한다면 확률 1로 기본이익 B 를 얻을 수 있을 것이다. 반면 최대 수요를 예상한 적극적인 준비전략을 선택한다면 확률 p 로 $B-L$ 만큼의 손실을 보거나 확률 $1-p$ 로 $B+P$ 의 이익을 볼 것이다. 그러므로 약기상에 대비한 소극적인 준비전략은 아래의 상황에서 최적의 의사결정이 된다.

$$B > p(B-L) + (1-p)(B+P) \quad \text{즉,} \quad \frac{P}{L} < \frac{p}{1-p}$$

다시 말해서, 소극적인 준비전략은 손실 대비 이익 비율(profit/loss ratio), 즉 P/L 값이 약기상이 발생할 확률(p) 대비 반대기상 즉, 좋은 날씨가 발생할 확률($1-p$)의 비율보다 작을 때 최적이 된다. 이 결과는 기본이익의 크기와는 무관하며, 오직 손실 대비 이익 비율(P/L)과 약기상이 발생할 확률(p)에 의해서만 결정된다.

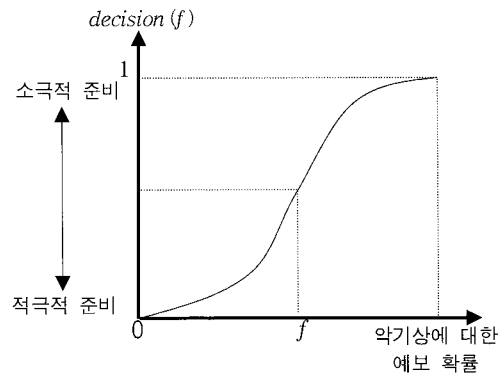
2.2 의사결정함수에 기초한 2×2 이익-손실 모형의 일반화

이분법적인 기상사건에 대비하는 두 개의 극단적인 행동전략을 가정한 이익-손실 모형은 행동의 두 극단 사이에서 준비 수준을 결정하는 연속형 의사결정함수에 의해 일반화시킬 수 있다. 의사결정자는 기상정보에 대한 자신의 주관적인 신뢰도 및 실제 기상상태에 따라 결정되는 해당 의사결정 도메인 고유의 이익과 손실 비율을 종합적으로 고려해서 대응전략의 수준을 결정한다. 즉, 의사결정 패턴은 기상예보의 주관적인 신뢰도뿐만 아니라 활용 도메인에 따라 많은 영향을 받을 수 있음을 전제하고 있다.

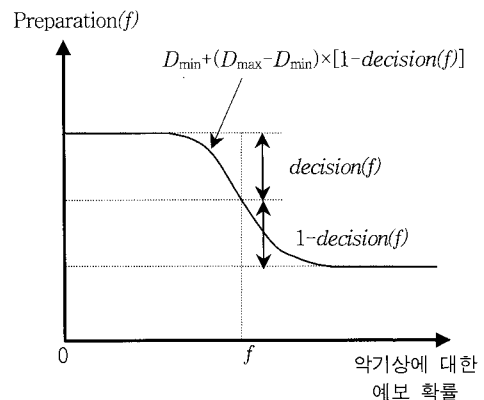
<그림 2>은 확률예보를 정보로 이용하는 의사결정자의 의사결정패턴의 한 예를 보여주고 있는데, 약기상에 대해 f 라는 발생확률이 예보되었을 때 그 확률크기에 따른 준비전략의 소극적 또는 적극적인 경향을 나타내고 있다. <그림 2>에 0과 1사이 에 있는 의사결정함수 $decision(f)$ 의 값은 <그림 3>에서와 같이 최대 수요로부터 제품 또는 서비스의 준비수준을 얼마만큼 줄이느냐를 나타낸다. 예를 들면, 의사결정함수의 가장 큰 값 1은 최소량의 제품 준비전략을 의미한다. 의사결정함수 $decision(f)$ 와 제품 준비량 $Preparation$ 의 관계는 아래 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Preparation = D_{min} + (D_{max} - D_{min}) \times [1 - decision(f)] \quad (1)$$

D_{min} : 약기상 발생시 최소 제품 수요량
 D_{max} : 약기상 미발생시 최대 제품 수요량



<그림 2> 약기상의 확률예보에 따른 의사결정함수



<그림 3> 약기상의 확률예보에 따른 준비전략 패턴

예보 확률 f 에 대한 의사결정함수는 아래 식 (2)와 같은 S자형 함수(sigmoidal function)로 정의된다. 단, 두 파라미터 a 와 b 는 양수이며 a 는 교차점 $f = b$ 에서의 기

을기를 결정한다.

$$decision(f; a, b) = \frac{1}{1 + \exp[-a(f-b)]} \dots\dots\dots (2)$$

파라미터 a 의 값에 따라 S자형 의사결정함수는 서로 다른 기울기를 갖게 되며, 이를 통해 기상정보의 주관적인 정확도(신뢰도)라는 개념을 적절하게 표현할 수 있게 된다. 파라미터 a 의 값이 클수록 다시 말해서 의사결정자의 예보의 주관적 신뢰도가 클수록 의사결정함수의 그래프 기울기는 더욱 가파르게 된다. 이는 악기상의 발생확률 f 의 값이 높게 예보되었을 때, 해당 예보의 주관적 신뢰도가 높은 사용자는 악기상이 발생할 것이라고 신뢰하고 이에 따른 수요량 감소를 예상하여 최대한 소극적인 준비전략을 취한다는 사실을 반영하게 된다.

주관적 신뢰도와 함께 기상예보 사용자의 의사결정 패턴은 해당 산업 또는 기업의 상황에 따라 달리 적용되는 이익-손실 비율에 의해서도 영향을 받는다. 이는 의사결정함수의 파라미터 b 에 의해 정의되는데, 파라미터 b 의 값이 클수록, 즉 단위제품 추가 준비량에 대한 손실위험(재고비용 또는 폐기비용) 대비 추가 판매이익의 비율이 상대적으로 큰 기업의 의사결정자는 같은 주관적 예보 신뢰도를 갖는 다른 의사결정자보다 같은 기상확률예보에 대해서도 상대적으로 더욱 적극적인 제품 준비전략 패턴을 갖게 될 것이다. 즉, 악기상에 대한 같은 예보확률이 제공되더라도 해당 의사결정 도메인의 손실 대비 이익 비율이 큰 의사결정자일수록 제품준비량은 상대적으로 더욱 많아지게 될 것이다.

3. 기상예보 가치 분석

3.1 기후학적 레퍼런스 이익

만약 어떠한 기상정보도 제공되지 않는 상황을 가정한다면 의사결정자는 2x2 이익-손실 상황에서 두 가지 전략을 선택할 수 있다. 즉, 항상 최소의 준비를 하거나 항상 최대의 준비를 하는 것이다[10]. 하지만, 이 경우에도 의사결정자는 과거 경험 또는 데이터에 의해 얻을 수 있는 악기상의 발생 빈도, 즉 기후학적 확률정보 π 를 활용하여 최적의 의사결정을 하고자 할 것이다[10, 13]. 결국, 아래 식 (3)과 같이 선택할 수 있는 두 가지 전략에 대해 기후학적 확률정보 π 를 활용한 기대이익을 구해서 그 중 최대 기대이익을 얻을 수 있는 전략을 선택할 것이다.

$$E_d = \max\{B, \pi(B-L) + (1-\pi)(B+P)\} \dots\dots\dots (3)$$

식 (3)에서 소극적 준비전략, 즉 최소 수요에만 대처하는 선택을 하였을 때 기대이익은 악기상의 발생여부에 상관없이 항상 기본이익 B 이며, 최대한의 준비전략을 사용하였을 때 기대이익은 <그림 2>의 이익-손실 분할표에서 보듯이 $\pi(B-L) + (1-\pi)(B+P)$ 가 될 것이다. 이 두 개의 기대이익 중 최대가 되는 것을 기후학적 레퍼런스 이익(climatological reference profit)이라고 하고, 이는 아래 식 (4)와 같이 유도될 수 있다.

$$E_d = \begin{cases} B, P/L < \frac{\pi}{1-\pi} \text{ 일때} \\ B - \pi L + (1-\pi)P, \text{ 그밖의 경우} \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

따라서, 기상예보 없이 악기상에 대한 과거의 경험 또는 데이터에 의한 기후학적 확률정보에 의해서만 의사결정이 이루어질 경우, 손실 대비 이익의 비율 즉, P/L 의 값이 $\pi/(1-\pi)$ 보다 작은 사업구조의 의사결정자는 제품의 준비 수준을 항상 최소로 하는 전략을 선택할 것이고, P/L 의 값이 $\pi/(1-\pi)$ 보다 큰 경우는 최대 준비전략이 최선의 선택이 될 것이다.

3.2 정확한 예보에 따른 기대이익

의사결정자가 완전한 예보를 제공받을 수 있는 상황을 가정한다면 의사결정자는 항상 기상예보에 따라 준비전략을 결정할 것이다. 기상예보가 의사결정자에게 π 의 빈도로 악기상이 발생할거라는 정보를 제공한다면, 이 경우 사용자는 최소 준비만을 하게 될 것이므로 기본이익 B 를 얻을 수 있다. 반대로 악기상이 발생하지 않을 것이라고 예보되는 경우는 $1-\pi$ 의 빈도로 발생하고, 이 때 의사결정자는 최대 준비를 하게 될 것이므로 $B+P$ 의 이익을 취할 수 있다. 따라서, 완벽한 기상예보에 의해 얻을 수 있는 기대이익 E_p 는 다음 식 (5)와 같이 유도될 수 있다.

$$E_p = \pi B + (1-\pi)(B+P) = B + (1-\pi)P \dots\dots\dots (5)$$

3.3 불확실한 예보에 따른 기대이익

불확실한 확률예보에 기초한 의사결정을 할 때 기대되는 이익은 예보의 주관적인 사용자 신뢰도와 손실 대비 이익 비율(P/L)에 의한 의사결정패턴 및 제공되는 예보의 성능특성에 따라 결정된다. 실제로 의사결정자는 주어진 예보확률 f 의 값에 따라 결정되어지는 식 (2)와 같은 의사결정함수에 의해 준비수준을 설정한다. 결

과적으로 수많은 예보상황 및 의사결정을 반복하면서 의사결정자는 예보확률 및 그에 해당하는 실제 기상상태에 의한 결합확률분포 $p(f_i, o_j)$ 에 기초한 평균이익을 얻게 될 것이다[8, 13]. 단, $f_i, i=1, \dots, I$ 는 악기상 발생 가능성에 대한 예보확률 값을 나타내며 $o_j, j=0, 1$ 는 악기상 발생여부에 대한 실제 관측결과를 나타낸다 (o_0 : 악기상 미발생, o_1 : 악기상 발생). 본 연구에서는 $f_1=0.0, f_2=0.1, \dots, f_{11}=1.0$ 과 같이 예보확률을 10등분하여 $I=11$ 로 가정한다. 비록 예보형태에 따라 구간의 크기를 이보다 작거나 크게 설정할 수도 있지만, Wilks [13]의 연구에서 $I=11$ 로 한 간단한 모형으로도 확률예보의 경제적인 가치를 분석하는데 충분함을 보인 바 있고, 실제 한국을 비롯한 대부분의 국가에서도 10개 구간의 확률예보를 제공하고 있으므로 이를 본 연구에서도 그대로 적용하였다. 이에 따라, 불확실한 예보정보를 통해 얻을 수 있는 기대이익 E_f 은 식 (2)에 의해 정의된 의사결정패턴과 <그림 1>에 나타난 이분법적인 기상사건에 따른 수요패턴, 그리고 결합확률 $p(f_i, o_j), i=1, 2, \dots, I, j=0, 1$ 의 조합을 통해 아래 식 (6)과 같이 계산되어 질 수 있다.

$$E_f = B + \sum_{i=1}^I p(f_i, o_0) \{1 - dec(f_i; a, b)\} P - \sum_{i=1}^I p(f_i, o_1) \{1 - dec(f_i; a, b)\} L \dots\dots\dots (6)$$

위 식에서 $1 - decision(f_i; a, b)$ 는 제품 준비량을 구하는 식 (1)에서 최소 제품 수요량(D_{min})을 0, 최대 제품 수요량(D_{max})을 1로 가정하였을 때의 제품 준비량을 나타낸다. 즉, 위 식은 기본이익 B 에서 악기상이 발생하지 않았을 경우의 추가적인 기대이익과 악기상이 발생하였을 때 발생할 수 있는 재고손실 항목을 반영한 것이다. 따라서, 식 (6)으로부터 불확실한 예보정보로부터 얻을 수 있는 기대이익 E_f 은 예보의 주관적인 신뢰도 및 손실 대비 이익 비율에 의해 결정되는 특정 의사결정자의 의사결정패턴, 그리고 예보와 실제 기상상태의 결합함수 $p(f_i, o_j)$ 로 정의되는 기상정보의 성능특성에 따라 결정되어짐을 알 수 있다.

3.4 가치스코어(Value Score, VS)

기상예보의 경제적 가치는 예보 사용자가 예보를 활용함으로써 기대할 수 있는 부가적인 이익, 즉 기상예보의 활용을 통한 기대이익과 기본적인 기후학적 정보에 의한 기대이익(기후학적 레퍼런스 이익) 간의 차이 $E_f - E_{cl}$ 으로 생각할 수 있다. 그러나, 단순한 기대이익

의 차이만으로는 각 해당 산업의 규모에 따라 그 크기가 현저히 다르므로 일반적인 기상예보의 가치를 분석하기에는 적합하지 않다. 따라서, 기상예보가치의 평가 결과에 대한 일반적인 활용을 위해 몇몇 연구들[10, 13]에서 가치스코어라는 개념을 도입한 바 있다. 가치스코어 VS는 전술했던 기상예보에 의한 기대이익과 기후학적 레퍼런스 이익 간의 차이 $E_f - E_{cl}$ 이 정확한 예보에 의한 기대이익과 역시 기후학적 레퍼런스 이익 간의 차이 $E_p - E_{cl}$ 에 비해 상대적으로 얼마만큼의 비율을 차지하는지를 표현한 것으로서 아래 식 (7)과 같이 정의된다. 즉, 가치스코어란 현재의 불확실한 기상예보가 완벽하게 정확한 예보에 얼마나 가까이 접근해 있는지를 그 상대적인 경제적 가치를 통해 나타낸 것이라고 해석할 수 있다.

$$VS = \frac{E_f - E_{cl}}{E_p - E_{cl}} \dots\dots\dots (7)$$

위 식 (7)은 앞에서 언급한 식 (4), 식 (5) 및 식 (6)을 대입하여 P/L 값을 변수로 하는 아래 식 (8)과 같이 변환될 수 있다.

$$VS = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^I \{1 - decision(f_i; a, b)\}}{(1-\pi) \frac{P}{L}} \times \frac{\sum_{i=1}^I \{p(f_i, o_0) \frac{P}{L} - p(f_i, o_1)\}}{(1-\pi) \frac{P}{L}}, & \frac{P}{L} < \frac{\pi}{1-\pi} \text{ 일때} \\ \frac{\sum_{i=1}^I \{1 - decision(f_i; a, b)\}}{\pi} \times \frac{\sum_{i=1}^I \{p(f_i, o_0) \frac{P}{L} - p(f_i, o_1)\}}{\pi} + \frac{\sum_{i=1}^I \pi - (1-\pi) \frac{P}{L}}{\pi}, & \text{그밖의 경우} \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

식 (7)의 이론적인 정의로부터 기상예보의 가치스코어는 사용자에게 제공되어지는 불확실한 예보정보가 기후학적 예보정보와 동일할 경우 $VS=0$ 이고, 완벽한 예보와 동일할 경우 $VS=1$ 의 값을 가질 수 있다. 그러나 실제로 식 (8)로부터 VS 값은 음의 값을 가질 수도 있게 되는데, 이는 음의 가치스코어 값은 예보 시스템이 의사결정자에게 가치있는 정보를 제공하기에 불충분한 성능을 가지고 있다는 것을 의미하고, 이 경우 최적의 전략은 식 (4)에 의한 기후학적 예보정보를 따

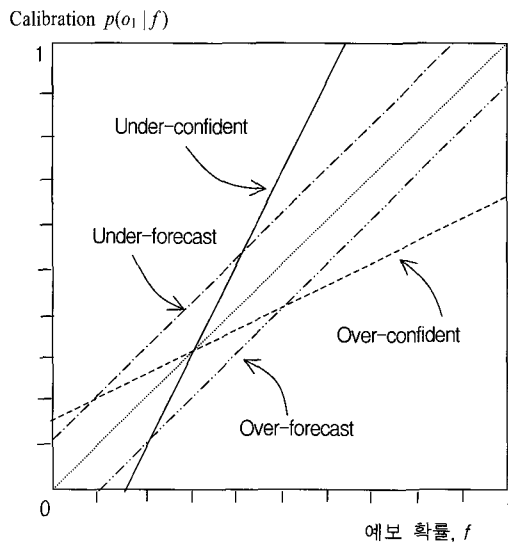
르는 것이다[10].

3.5 가상데이터에 의한 적용사례

의사결정자들이 속한 산업 또는 사업환경에 따라 서로 다른 의사결정상황의 차이로 인해 같은 기상예보를 최적으로 사용하더라도 그 경제적 가치의 규모가 달라질 것이다. 따라서, 각 사업환경의 손실 대비 이익 비율 즉, P/L 값에 따라 경제적인 가치를 분석하는 것이 같은 기상정보에 대해 다양한 사업군들로부터 산출되는 경제적 가치를 비교할 수 있으므로 유용한 분석방법이 될 것이다. 본 연구는 식 (8)에서와 같이 P/L 값의 함수로써 가치스코어를 그래프로 표현하고자 한다. 식 (8)에서 예보확률과 실제 관측값 간의 결합분포 $p(f_i, o_j)$ 는 조건부 확률분포(conditional distribution) 및 주변 확률분포(marginal distribution)의 곱 $p(f_i, o_j) = p(o_j|f_i)p(f_i)$ 으로 표현할 수 있다[8]. 본 연구에서는 조건부 확률분포 및 주변 확률분포에 대해 기상예보의 특성을 반영하기 위해 Wilks[13]가 제안했던 교정함수(calibration function) 및 정제분포(refinement distribution)를 그대로 적용하여 결합분포를 계산하였다.

<표 1> 본 연구에서 사용된 교정함수의 특성

교정함수	함수식	기후학적 확률, π
Under-confident	$p(o_1 f_i) = 2f_i - \pi$	0.3
Over-confident	$p(o_1 f_i) = (f_i + \pi)/2$	0.3
Under-forecast	$p(o_1 f_i) = f_i + o_1$	0.4
Over-forecast	$p(o_1 f_i) = f_i - o_1$	0.2



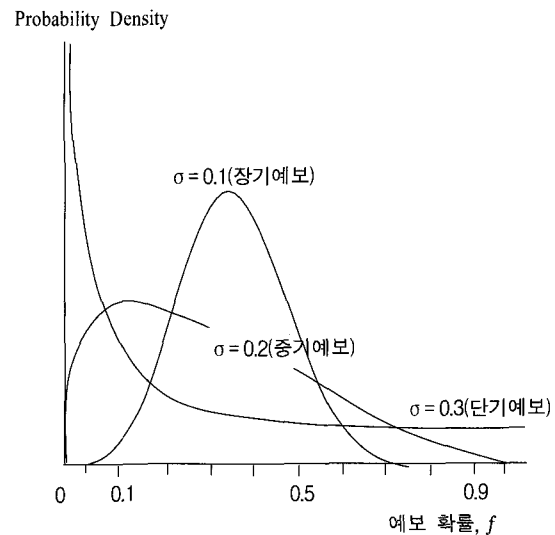
<그림 4> 교정함수(정확한 예보신뢰도는 점선으로 표시됨)

<그림 4>는 확률기상예보 특성을 반영한 네 개의 대표적인 교정함수 $p(o_1|f_i)$ 를 제시하고 있다. 대부분의 확률기상예보에서는 under-confident 유형의 기상예보가 주로 사용되는데, 어떤 악기상의 기후학적 발생빈도 π 를 경계로 하여 예보확률 f 가 π 보다 작은 구간에서는 실제 발생확률보다 높게 예보를 하고, π 보다 큰 구간에서는 실제 발생확률보다 낮게 확률예보를 하는 것이다. Over-confident 예보는 under-confident의 정반대 유형이며, over-forecast는 모든 확률구간에서 실제 발생빈도보다 높게 확률예보를 제공하는 형태이다. 본 연구에서 사용한 위 네 개의 교정함수의 공식 및 기후학적 발생빈도 π 는 <표 1>에 요약되어 있다.

기상예보에 대한 정제분포 $p(f_i)$ 는 아래 식 (9)와 같이 베타 분포(beta distribution)를 사용해서 표현한다[13].

$$p(f) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} (f)^{\alpha-1} (1-f)^{\beta-1} \quad 0 \leq f \leq 1 \dots\dots\dots (9)$$

위 식에서 두 개의 분포 파라미터 α 와 β 는 양의 실수이며 $\Gamma()$ 는 감마 함수(gamma function)를 나타낸다. <그림 5>는 평균(μ) 0.3일 때, 표준편차(σ) 0.1, 0.2 및 0.3의 값을 가지는 세 개의 베타 분포를 나타내고 있다.



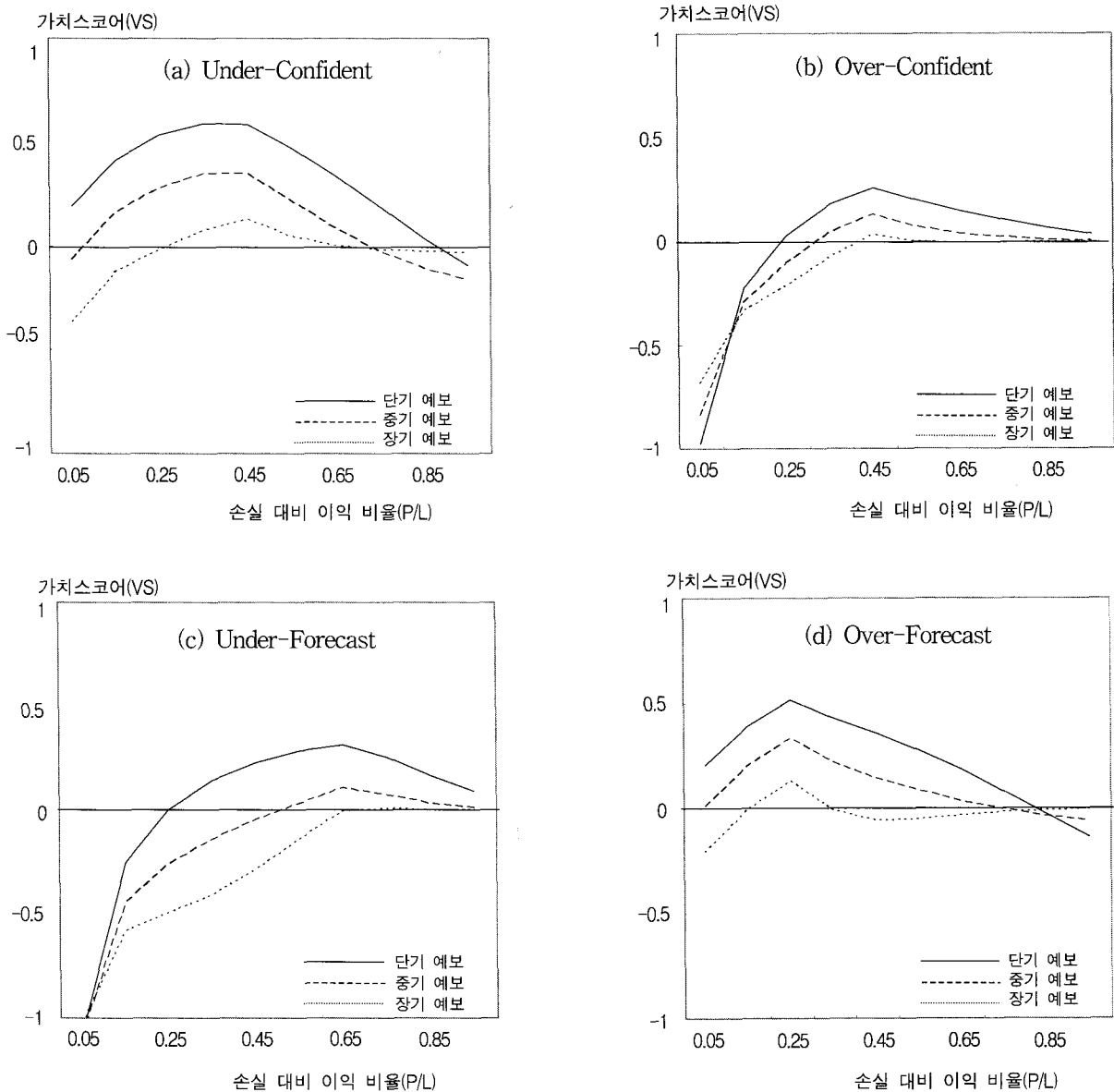
<그림 5> 정제분포($\mu = 0.3, \sigma = 0.1, 0.2, 0.3$)

표준편차 0.1에 대한 그래프 형태는 월간예보 같은 장기예보의 특징과 흡사한 패턴으로 볼 수 있는데[13], 과거 기후학적 발생빈도에 해당하는 평균값 주변에 분포가 형성되어 있어서 정보량이 크지 않다. 이와 반대로 표준편차 0.3의 그래프는 평균을 중심으로 넓고 비교적 고르게 분포한다는 점에서 1~2일 정도의 단기예

보의 패턴을 보인다고 판단할 수 있다[7]. 마지막으로 표준편차 0.2의 그래프는 위 두 장단기예보 패턴의 중간 정도에 해당하므로 중기예보, 즉 주간예보 정도로 간주할 수 있겠다.

<그림 6>은 <그림 5>의 장기, 중기, 단기예보에 대해 <그림 4>와 같은 네 가지 교정함수 예보패턴에 대한 가치스코어 곡선을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 under-confident 패턴의 예보정보가 대체적으로 가장 큰 경제적 가치를 창출하는 반면에 over-confident 및 under-forecast의 성격을 가지는 예보정보가 비교적 낮은 경제적 가치를 제공하는 것으로 분석된다. 실제 기상학 분야에서

도 over-confident에 의한 예보를 비숙련된(no skill) 예보패턴이라고 간주하고 있어 본 연구의 결과와 일치한다고 볼 수 있다. 특히, over-confident와 under-forecast는 작은 P/L 값의 영역에서 음의 가치스코어 값을 갖는 것으로 나타났다. 이와 같은 이유는 두 예보패턴의 특성에서 찾을 수 있는데, <그림 4>에서 보듯이 악기상의 기후학적 발생빈도 π 보다 작은 예보확률 구간에서 over-confident와 under-forecast 예보패턴은 실제 악기상이 발생할 확률 $p(o_i|f_i)$ 보다 더 작은 악기상 예보확률 f_i 을 제공하므로 예보사용자는 악기상에 대한 대비, 즉 소극적 준비전략을 실제보다 적은 빈도로 채택할 것이다.



<그림 6> 장기, 중기, 단기 예보에 있어서 네 가지 교정함수 (a) under-confident, (b) over-confident, (c) under-forecast 및 (d) over-forecast에 대한 가치스코어 곡선(단, 의사결정함수의 파라미터 $\alpha = 15$)

따라서, 작은 P/L 값의 영역에서는 재고비용부담이 한계이익보다 상대적으로 크므로 두 예보패턴에 한 정보의 악영향이 더 크게 나타나게 되어 음의 가치스코어 값을 갖는다고 분석된다. 반면에 over-forecast의 경우는 P/L 값이 큰 구간에서 가치스코어가 음의 값을 갖게 되는데, 이는 전술한 원인과 정반대로서 over-forecast의 예보 특성상 악기상에 대해 실제보다 더 큰 예보확률을 제공받는 의사결정자는 소극적 준비전략을 많은 빈도로 채택할 것이고, 이는 추가이익의 기회를 놓치는 경우가 많아지므로 결국 재고손실보다 추가이익의 비율이 상대적으로 큰 P/L 구간에서 더 큰 악영향을 미치기 때문인 것으로 해석할 수 있다.

또한, <그림 6>의 (a), (b), (c) 및 (d) 모든 유형의 가치스코어 곡선은 $\pi/(1-\pi)$ 주변의 P/L 값에서 최대값을 가지며, 단기예보가 중장기예보보다 더 큰 경제적 가치를 제공할 수 있음을 알 수 있다. 마지막으로 주목해야 할 것은 under-confident 예보의 가치가 전반적으로 다른 유형의 예보에 비해 높게 분포하고 있지만, P/L 값에 따라 유형별 가치는 서로 차이가 있음을 알 수 있다. 예를 들어 P/L 값이 큰 구간에서는 under-confident 예보가, P/L 값이 작은 구간에서는 over-forecast 예보가 가장 높은 가치곡선을 그리며, P/L 값이 $\pi/(1-\pi)$ 주변에서는 under-confident가 가장 큰 경제적 가치를 제공할 수 있다. 결론적으로 P/L 값, 즉 제품 준비량에 대한 손실 대비 한계이익의 비율이 해당 기업의 특성을 반영할 수 있다는 점을 감안한다면, 본 연구에서와 같이 P/L 값에 따른 각 기상예보의 유형별 경제적 가치를 분석하는 것은 각 산업별 의사결정자들 뿐만 아니라 기상정보 제공자에게도 경제적 부가가치를 최대화 하는 기상정보의 제공방법 연구에 유용한 도구가 될 수 있을 것이다.

4. 실제 데이터의 적용

제안된 가치스코어 모형을 실제 기상예보 데이터에 적용해 보았다. 모형에 적용된 데이터는 2003년부터 2005년까지 3년간 서울지역에서의 강우여부를 예측한 확률예보로서 기상청에서 제공한 자료를 사용했다. 최소 0.254mm 이상의 강우량을 보였을 때, 실제 비가 내렸다고 간주하였으며, 12시간 및 24시간의 리드타임(lead time)을 가지는 두 예보를 비교하였다.

<표 2>는 12시간 및 24시간 리드타임 예보 및 실제 관측치간의 결합분포를 나타낸다. 예보확률 f_i 에 대한 결합확률분포 $p(f_i, o_1)$ 의 합은 서울시 강우에 대한 기후학적 발생빈도 π 로 간주될 수 있으며, 실제 값은 앞서 가상데이터에서 가정한 $\pi=0.3$ 과 비슷하다는 것을 알 수 있다.

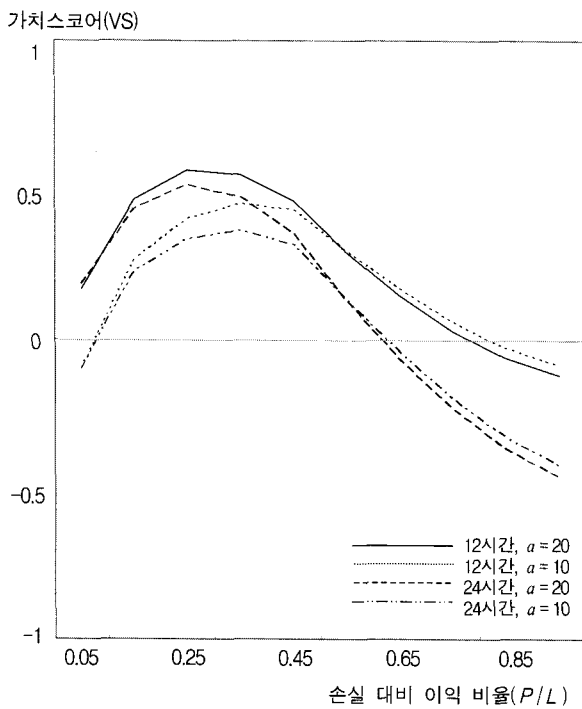
<표 2> 서울지역의 강우예보와 실제 관측치 간의 결합분포

f_i	12시간		24시간	
	$p(f_i, o_0)$	$p(f_i, o_1)$	$p(f_i, o_0)$	$p(f_i, o_1)$
0	0.26277	0.00547	0.16606	0.00091
0.1	0.21442	0.02281	0.27555	0.01642
0.2	0.15967	0.06022	0.18339	0.04927
0.3	0.03467	0.04015	0.04106	0.04927
0.4	0.00274	0.06843	0.00091	0.05657
0.5	0	0	0	0
0.6	0.00182	0.05566	0	0.05475
0.7	0	0.01095	0	0.02281
0.8	0.00091	0.02555	0	0.03923
0.9	0	0.01460	0	0.02281
1	0	0.01916	0	0.02099
합계	0.67701	0.32299	0.66697	0.33303

<그림 7>은 12시간 및 24시간 리드타임의 두 예보에 대한 경제적 가치가 의사결정함수 $decision(f; a, b)$ 의 첫 번째 파라미터 a 값에 따라 어떻게 달라지는지를 손실 대비 이익 비 P/L 의 함수로서 나타내고 있다. <그림 7>로부터 의사결정함수의 파라미터 a 값에 따라 기상예보의 경제적 가치는 서로 차이가 있음을 알 수 있다. 특히 P/L 값이 약 0.55보다 작은 구간에서는 파라미터 a 값이 클수록 즉, 의사결정자의 기상예보에 대한 주관적 신뢰도가 높을수록 기상정보의 가치가 더 크게 나타나며, 그와 반대로 P/L 값이 0.55보다 큰 구간에서는 의사결정자의 주관적 신뢰도가 높을수록 기상정보의 가치는 조금씩 감소하게 된다. 이와 같은 결과는 서울시 기상정보의 경우 손실 대비 이익의 비율이 큰 사업환경에서는 기상정보를 전적으로 신뢰하는 의사결정자가 그렇지 않은 이보다 기대이익이 더 감소할 것임을 나타내고 있는데, 이는 대한민국 기상청의 예보패턴이 악기상에 대해 실제보다 과장된 예보를 제공하고 있기 때문인 것으로 분석된다.

마지막으로 <그림 7>에서 같은 주관적 신뢰도 a 값에 대해 12시간 및 24시간 리드타임의 두 강우예보의 가치스코어를 비교해 보면 가상데이터에서의 결과와 마찬가지로 리드타임이 짧은 예보가 보다 폭넓은 구간의 확률예보를 더욱 정확히 제공해 주므로 그 경제적 가치가 리드타임이 긴 예보보다 더 크다는 것을 알 수 있다.

따라서, 신속한 의사결정도 중요하지만 지연손실을 감수하더라도 좀 더 리드타임이 짧은 정확한 예보를 기다렸다가 의사결정을 내리는 경우와 같은 동적인 의사결정상황(dynamic decision making situation)을 고려하는 것이 유리할 수도 있다고 판단된다.



<그림 7> 2003년에서 2005년 사이 서울지역의 12시간 및 24시간 강우예보에 대한 가치스코어 곡선

5. 결론

본 연구는 의사결정함수 및 과거 C/L모형으로부터 수정된 P/L모형을 도입하여 기업의 의사결정에 있어서 기상예보의 활용가치를 평가하는 방법을 제안하였다. P/L모형은 2x2 손실 대비 비용 비율(cost/loss ratio)에 대한 가정상황을 일반화시키고 실제 기업의 의사결정상황에 적용시키고자 제안되었다. 두 가지 기상사건 및 두 가지 대처행위만을 가정한 기본적인 C/L모형은 두 기상사건과 연속적인 제품준비수준 선택이 가능한 상황을 가정한 손실 대비 이익 비율(profit/loss ratio) 모형으로 확장하여 다루었다.

손실 대비 이익 비율 모형은 실제 기업에서의 의사결정 상황을 반영하기 위해 의사결정자는 추가 이익 및 손실 균형을 최적으로 맞추으로써 얻게 되는 기대이익을 최대화하고자 노력한다고 가정한다. 기대이익을 최대로 하기 위한 의사결정은 기상변화에 따라 다르게 예상되는 시장수요의 크기에 따라 결정된다. 따라서, 본 연구는 제공된 기상확률예보, 예보에 대한 의사결정자의 신뢰도 및 각 사업구조에 따른 P/L값에 의해 결정되는 제품준비수준의 의사결정과정을 표현한 의사결정함수를 제안하였다. 즉, 의사결정함수는 한 기업의 의사결정이 예보정보, 예보에 대한 의사결정자의 주관적 신뢰

도 및 해당 기업 고유의 P/L값에 기초하여 결정된다는 사실을 반영하게 된다.

제안된 손실 대비 이익 비율 상황에서 위에서 언급된 P/L값의 함수로써 기상예보의 경제적인 가치를 단위화하여 나타내기 위해 가치스코어(value score)의 개념이 사용되었다. 가치스코어 곡선은 단기, 중기 및 장기예보에 대해 네 가지 유형의 이론적인 예보시스템(under-confident, over-confident, under-forecast 및 over-forecast)을 가정하여 도출하였다. 그 결과, 예보의 리드타임(lead time)이 작을수록 가치스코어가 가장 높으며, under-confident 유형의 예보제공이 전반적인 P/L구간에서 경제적 가치가 가장 크다고 분석되었다. 또한, 모든 유형의 기상예보는 $P/L = \pi/(1-\pi)$ 주변에 해당하는 의사결정구조를 지닌 기업에게 가장 큰 경제적 가치를 제공한다는 것도 알 수 있었다.

가치스코어를 활용한 경제성 평가 모형은 서울지역의 실제 강수예보 자료를 활용하여 그 유용성 및 적용가능성을 검증하였다. 검증결과 12시간 리드타임의 강수예보가 24시간 예보보다 더 높은 가치스코어를 나타내었는데, 이는 앞서 단기, 중기 및 장기예보의 이론적 데이터를 적용하여 얻은 결과와 실제 데이터의 결과가 같다는 것을 보여주고 있다. 또한, 의사결정자의 예보정보에 대한 신뢰도가 높을수록 낮은 P/L 구간에서 경제적 가치가 더 높았으며, 반대로 P/L값이 큰 사업환경에서는 주관적 신뢰도가 높을수록 기대이익이 작아짐을 알 수 있었다.

결론적으로 기상정보를 활용하여 기업의 이익을 최대화하기 위해서는 예보사용자와 예보제공자가 각각 고려해야 하는 몇몇 필수사항들이 존재한다. 예보사용자는 기상정보에 대한 주관적인 신뢰도를 정해야 하고, 각각의 기상사건에 의해 예상되는 해당 기업의 손실 및 이익구조를 객관적으로 평가해서 이에 맞는 예보사용전략을 결정해야 한다. 예보제공자는 예보시스템의 기본적 성능 즉 정확도를 향상시키는 것뿐만 아니라, 비교적 작은 손실 대비 이익(P/L) 구조를 갖고 있는 기업의 기상예보에 대한 주관적인 신뢰도 향상이 같은 기상정보라도 그 경제적 가치를 제고시킬 수 있다는 결과를 감안한다면 이를 위한 관련 홍보활동을 강화하는 것도 의미 있는 일이라고 할 수 있겠다.

참고문헌

[1] Epstein, E. S. and Murphy, A. H.; "Use and value of multiple-period forecasts in a dynamic model of the cost-loss ratio situation," *Monthly Weather Review*, 116 : 746-761, 1988.

- [2] Katz, R. W. and Murphy, A. H.; "Quality/value relationship for imperfect weather forecasts in a prototype multistage decision-making model," *Journal of Forecasting*, 8 : 75-86, 1990.
- [3] Katz, R. W. and Murphy, A. H. Ed.; *Economic Value of Weather and Climate Forecasts*, Cambridge and New York: Cambridge University Press, 1997.
- [4] Murphy, A. H.; "Decision-making models in the cost-loss ratio situation and measures of the value of probability forecasts," *Monthly Weather Review*, 104 : 1058-1065, 1976.
- [5] Murphy, A. H.; "Decision making and the value of forecasts in a generalized model of the cost-loss ratio situation," *Monthly Weather Review*, 113 : 362-369, 1985.
- [6] Murphy, A. H., Katz, R. W., Winkler, R. L., and Hsu W.-R.; "Repetitive decision making and the value of forecasts in the cost-loss ratio situation: a dynamic model," *Monthly Weather Review*, 113 : 801-813, 1985.
- [7] Murphy, A. H. and Wilks, D. S.; "A case study of the use of statistical models in forecast verification: precipitation probability forecasts," *Weather and Forecasting*, 13 : 795-810, 1998.
- [8] Murphy, A. H. and Winkler, R. L.; "A general framework for forecast verification," *Monthly Weather Review*, 115 : 1330-1338, 1987.
- [9] Murphy, A. H. and Ye, Q.; "Optimal decision making and the value of information in a time-dependent version of the cost-loss ratio situation," *Monthly Weather Review*, 118 : 939-949, 1990.
- [10] Mylne, K. R.; "Decision-making from probability forecasts based on forecast value," *Meteorology Application*, 9 : 307-315, 2002.
- [11] Stewart, T. R., Pielke, R., and Nath, R.; "Understanding user decision making and the value of improved precipitation forecasts-lessons from a case study," *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85 : 223-235, 2004.
- [12] Thompson, J. C. and Brier, G. W.; "The economic utility of weather forecasts," *Monthly Weather Review*, 83 : 249-254, 1955.
- [13] Wilks, D. S.; "A skill score based on economic value for probability forecasts," *Meteorology Application*, 8 : 209-219, 2001.
- [14] Wright, P.; "The harassed decision maker: me pressures, distractions, and the use of evidence," *Journal of Application Psychology*, 59 : 555-561, 1974.
- [15] Zhu, Y. Z., Toth, R. W., Richardson, D., and Mylne, K.; "The economic value of ensemble-based weather forecasts," *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83 : 73-83, 2002.