강수확률예보 만족도 제고를 위한 정책방안 -2004~2013년 서울과 부산을 중심으로-

김인겸¹ · 안숙희¹ · 이승욱¹ · 박기준¹ · 김정윤¹ · 김백조¹ · 이기광²

¹국립기상연구소 정책연구과, ²단국대학교 경영학과

(2014년 8월 16일 접수, 2014년 8월 24일 수정, 2014년 8월 28일 게재 확정)

A Policy Measure for Enhancing the User Satisfaction of the Rainfall Probability Forecast: A Case Study of Seoul and Busan in 2004 to 2013

In-Gyum Kim¹ · Suk-Hee Ahn¹ · Seung-Wook Lee¹ · Ki-Jun Park¹ ·

Jeong-Yun Kim¹ · Baek-Jo Kim¹ · Ki-Kwang Lee²

¹Policy Research Division, National Institute of Meteorological Research

²Business Administration, Dankook University

(Received 16 August 2014, Revised 24 August 2014, Accepted 28 August 2014)

Abstract : In this study, instead of economic estimation of forecast value, we evaluated the value score(VS) of the user satisfaction using the concept of satisfaction/dissatisfaction. We compared the collective Value Scores (cVS) based on outputs of probabilistic forecasts of precipitation seasonally in Seoul and Busan during the period of 2004 to 2013 and finally found the optimum threshold that can improve cVS of both cities. When using 30% threshold, the users can expect a higher cVS compared with those using other thresholds. When using the seasonal optimum threshold in Seoul, the cVS is additionally higher by 9%. These results show the level of satisfaction of the forecast that can be improved when the meteorological communities inform the users the correct threshold of the rainfall probabilistic forecast.

Key Words : forecast value, user satisfaction, Value Score (VS), collective Value Score (cVS), probabilistic forecast

주요어 : 예보 가치, 사용자 만족도, 가치점수, 그룹의 만족가치, 확률예보

1. 서론

기상청은 서비스 수준과 기상정보 사용자들의

인식 사이의 격차를 파악하기 위해 만족도 조사를 실시하고 있다. 조사 결과는 향후 제공할 서비스 전략을 수립하거나 사용자들의 기상정보에 대

한 이해를 돕는 데 사용될 수 있다(KMA, 2011; KMA, 2013). 기상청에서 조사하는 국민들의 기상서비스에 대한 만족도는 2011년 상반기에 81.5점이었으나 꾸준히 하락하여 2013년 하반기에는 68.7점으로 나타났다. 하락한 만족도와 달리 서울 지역 24시간 강수확률예보의 경우 2011년 정확도가 84.4%였고, 2013년에는 88.2%로 오히려 상승하였다. 이는 일정 수준에 다다른 예보정확도와 사용자 만족도가 반드시 정의 상관관계인 것은 아님을 보여준다.

예보정확도를 향상시키는 것만으로는 예보서비스에 대한 사용자 만족도를 개선하는데 한계가 있다. 현재 기상청은 7점 리커트스케일¹⁾을 적용하여 ‘기상서비스 만족도 조사’를 수행하고 있고, ‘○○서비스에 대해 만족하십니까?’라는 단편적인 질문의 응답으로 나타난 만족도만을 파악하고 있다. 그 결과 ‘2013년도 기상업무 국민 만족도 조사[하반기]’에서는 하락한 만족도를 향상시킬 방안으로 ‘상대적으로 낮은 만족도를 보인 20~30대들에게 객관적인 예보정확도 정보를 알리고, 그 수단으로 애플리케이션 혹은 웹포털 사이트를 활용할 것’을 제안하는 것에 그치고 있다(KMA, 2013).

예보에 대한 만족도를 이해하기 위해선 예보가 틀린 경우를 참고할 필요가 있다. 즉, 분석기간 동안의 ①Miss(무예측; 비를 예보하였는데, 맑은 경우)와 ②False Alarm(오보; 맑음을 예보하였는데, 비가 온 경우)의 비율을 고려해야 하는 것이다. 예를 들면, 만약 2012년과 2013년에 Miss와 False Alarm이 동일하게 총 100회 발생하였다고 가정하자. 그런데 2012년엔 Miss가 30회, False Alarm이 70회 발생하고, 2013년엔 Miss 70회, False Alarm 30회가 발생했다면, Miss일 때 상대적으로 큰 불만족을 느끼는 예보사용자는 2013년의 예보에 대한 불만이 크겠지만, 반대로 False

Alarm에 대한 불만족이 크다면 2012년의 예보를 더 불만족스럽게 느낄 것이다. 마찬가지로 Miss와 False Alarm이 동일하게 발생한다 하더라도 표본 집단 내에 사용자들의 지역/나이/직업 등과 의사결정의 결과 예상되는 이익, 비용, 손실 등이 서로 달라 전체 불만족도에 차이가 생길 것이다. 따라서 모집단의 전체 만족도를 효과적으로 추정하기 위해선 예보와 위험기상 발생 유무 사이의 관계 및 개인/그룹의 의사결정 결과에 따른 만족/불만족도를 고려해야 한다.

만족도를 고려한 예보의 가치를 평가하기 위해 예보의 경제적 가치평가에 사용된 Value Score(VS)를 수정하였다. VS는 Murphy(1976)가 예보/대비행동과 위험기상 발생 유무의 관계에 따른 기본모형을 토대로 예보의 가치를 평가하는 것이다. 대비행동-위험기상 발생으로 손실을 완화할 수 있고, 대비행동-위험기상 미발생으로 대비행동에 소요된 비용을 지출할 수도 있다. 미행동-위험기상 발생으로 인해 손실을 온전히 입을 수 있고, 미행동-위험기상 미발생으로 비용이나 손실이 발생하지 않을 수도 있다(Murphy, 1976; Murphy, 1985; Wilks, 2001; Mylne, 2002). 2×2 기본모형은 실제 상황에서의 효과적인 적용을 위해 $N \times N$ 모형으로 확장된 것을 비롯해(Murphy 1977), Katz(1993)는 반복적으로 일어나는 의사결정의 순차적인 모형에 대해 논의하였다. Lee and Lee(2007)는 의사결정자들이 이익을 극대화하기 위해서 강수예보를 활용하는 상황을 가정하고, 의사결정함수를 결합한 비용-이익 모형을 제시하였고, Mylne(2002)는 ROC(Relative Operating Characteristics) 검증과 비용-손실모형을 접목하여 예보사용자의 임계확률에 따른 확률/확정예보의 가치를 평가하였다.

기존의 예보가치 평가 연구들은 예보사용자가 의사결정의 결과로 기대되는 경제적 개념인 비

용-손실 등을 고려하였다. 하지만 Lee and Han (2010), Kim *et al.* (2013), Kim *et al.* (2014)은 비경제적인 개념인 만족도 측면에서 예보가치를 평가하였다. 이들의 만족-불만족모형은 방재 및 손실 절감 혹은 이익확대 측면에서의 예보가치가 아니라 일상생활에서 예보사용자들이 체감하는 만족가치를 검증하는데 유용하게 활용될 수 있다. 또한 그들은 예보 사용자 개인이 아닌 예보사용자 그룹으로 분석의 범위를 확장하였는데, 본 연구의 계절별 예보사용자 그룹의 만족가치 평가에도 동일한 방법을 사용하였다.

한편, 우리나라는 계절변화에 따른 기상의 변화가 심하다. 일 년 강우량의 대부분이 여름철에 집중되기 때문에 강수예보의 정확도가 계절마다 다를 수 있고, 그로 인해 만족도에도 차이가 날 것이다. 본 연구에서는 우리나라의 대표도시인 서울과 부산지역을 중심으로 계절별로 두 지역의 예보에 대한 만족가치를 평가하고, 지역이 서로 다른 예보사용자 그룹의 만족도를 높이기 위해 고려해야 할 사항을 도출하여 예보사용자의 만족도와 신뢰도를 향상시킬 수 있는 기상정책 개발에 도움을 주고자 한다.

2. 연구자료 및 방법

1) 예보 사용자의 의사결정 기준 자료

확률예보 사용자들은 제공되는 예보의 확률에 대해 자신의 신뢰도에 기반한 임계확률로 의사결정을 한다. 즉, 제공되는 예보확률이 자신의 대비행동을 결정하는 임계확률보다 낮으면 위험기상 미발생을 예측하고, 높다면 위험기상 발생을 대비하는 것이다. 본 연구에서는 Morss *et al.* (2010)이 실시한 Picnic시나리오의 설문결과를 차용하였다. 설문조사는 2006년 미국 전역의 일반인을 대

상으로 수행되었고, 응답자분포는 2006년 미국 센서스 자료와 유사하게 조정하였다. 설문은 응답자들에게 “만약 내일 몇 % 확률로 강우가 예보되면, 당신은 야외 소풍계획을 실내로 전환하겠습니까?”라고 질문함으로써, 예보 사용자들의 의사결정 기준이 되는 예보의 임계확률을 알아내고자 하였다. 응답자들은 10%~100%의 예보확률 중에서 야외소풍계획을 실내로 변경하게 되는 임계확률을 10% 단위로 선택하거나 또는 예보확률에 관계없이 야외로 소풍을 가는 것을 선택하는 총 11개의 응답 옵션을 받았다.

Figure 1은 설문 결과 도출된 응답자 분포이다. 본 연구에서는 Figure 1의 응답자들을 편의상 Morss그룹으로 칭하고, 우리나라 확률예보 사용자들의 표본집단으로 가정하였다. Morss그룹은 비록 미국에서 실시된 설문의 결과이지만 다수의 일반인을 대상으로 진행되어 대표성이 있고, 만족도를 평가하기에 적절한 일상적인 물음에 대한 응답이다. 그리고 실제로는 낮은 임계확률에서 예보가치가 높을 것으로 예상되지만 Figure 1의 분포는 높은 임계확률을 선택한 사람이 더 많다. 이는 대다수의 일반인들이 강수확률예보의 정의에 대해서 제대로 알지 못하여 실제 예보정확도와 차이가 나는 의사결정을 한다고 한 연구와도 일치하므로(Murphy, 1977; Joslyn and Nichols,

Figure 1. Respondent distribution for thresholds to take a protective action (Morss *et al.*, 2010).

2009), Morss그룹을 확률예보 사용자 그룹으로 선정하는데 무리가 없다고 판단된다. 본 연구에서는 서울과 부산지역의 VS와 예보사용자 그룹의 만족가치 개념인 cVS(collective Value Score)를 비교하기 위해 Morss그룹의 사용자들이 두 지역에서 동일한 임계확률 분포로 의사결정하는 상황을 가정하여 예보 성능에 따른 사용자들의 만족도 변화를 살펴보았다.

2) 기상자료

예보사용자들의 만족도를 비교하기 위해 2004~2013년 기상청의 서울(지점번호: 108), 부산(지점번호: 159) AWS자료를 사용하였다. 수집된 기상 자료는 강수량 및 05시에 발표된 24시간 강수확률예보 자료로서 기상청의 내부 종합기상 정보시스템인 COMIS4에서 다운로드 받았다.

3) 예보사용의 만족가치(VS)

Table 1은 Lee and Han(2010)이 제시한 2×2 분할표이다. 대비행동/강수예보-강수 발생 경우의 만족도는 용이한 계산을 위해 1, 미행동/미강수예보-강수 미발생 경우의 만족도는 0으로 정하였다(Thornes and Stephenson 2001; Zhang and Morss, 2007). 예보가 틀린 Miss(무예측)와 False Alarm(오보)의 불만족도는 각각 $-A$, $-B$ 로 나타낸다(Kim *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014). Lee and Han(2010)은 레저산업에 종사하는 의사결정자가 예보가 빗나갔을 때 느끼는 불만족 정도를 1~6, Kim *et al.*(2013)과 Kim *et al.*(2014)은 일반인들의 주말 나들이 계획 결정에 따르는 불만족도를 각각 1.5~3, 1.5~10까지 변화시켰다. 본 연구에서는 소용계획 변경이라는 일상적인 의사결정 상황에서 불만족이 만족의 10배까지는 이르지 않겠지만, 예보 오류 상황에서 비판적인 사용자들을 고려하고자, A , B 를 1~5까지 0.5단위로 설정하였

다. Table 1에서 H , M , F , R 은 각 경우가 발생한 총 빈도이고, h , m , f , r 은 H , M , F , R 의 발생 비율이다. $\bar{o}$ 는 분석기간 동안 강수가 발생한 확률이다(Murphy, 1976; Murphy, 1977; Murphy *et al.*, 1980).

Table 1. 2×2 contingency table with satisfaction and dissatisfaction value.

		Forecast rain event / protective action	
		Yes	No
Rain event observed	Yes	Hit H (h) Satisfaction (1)	Miss M (m) Dissatisfaction ($-A$)
	No	False Alarm F (f) Dissatisfaction ($-B$)	Correct Rejection R (r) None (0)

$$h = \frac{H}{H+M+F+R}, m = \bar{o} \times (1 - HR),$$

$$f = (1 - \bar{o}) \times FAR, HR(Hit Rate) = \frac{H}{H+M},$$

$$\bar{o} = \frac{H+M}{H+M+F+R},$$

$$FAR(False Alarm Rate) = \frac{F}{F+R}$$

예보 사용자들은 분석기간 동안에 Miss와 False Alarm의 발생횟수에 따라 $-A \times m$, $-B \times f$ 의 불만족을 느끼고, $1 \times h$, $0 \times r$ 만큼의 만족을 느낄 것이다. 이때 예보 사용자들이 기대할 수 있는 만족도는 식(1)처럼 나타낼 수 있다.

$$S_{forecast} = 1 \times h - A \times m - B \times f + 0 \times r \quad (1)$$

기후학적 레퍼런스는 예보가 주어지지 않을 때 의사결정자가 자신의 불만족도와 과거 위험기상이 발생한 확률정보를 이용하여 위험기상에 대비한 행동을 항상 취하거나/취하지 않는 상황을 가정한(Katz, 1997; Stewart *et al.*, 2004). 이때, 의사결정자는 식(2)처럼 $\bar{o}$ 와 A , B 를 결합한 두 가지 옵션 중에서 큰 만족을 기대할 수 있는 선택을

하게 된다.

$$S_{climatological\ reference} = \max \left(\frac{1 \times \bar{o} - B \times (1 - \bar{o})}{-A \times \bar{o} + 0 \times (1 - \bar{o})} \right) \quad (2)$$

항상 옳은 예보가 주어지는 상황에서 예보 사용자는 위험기상을 완벽히 대비할 수 있고, $\bar{o}$ 만큼의 만족을 느끼게 될 것이다. 완전한 예보를 사용할 때의 기대 만족은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{perfect\ for\ ecast} = \bar{o} \quad (3)$$

$S_{for\ ecast}$ 와 $S_{climatological\ reference}$ 의 차이를 통해 예보가 없는 상황에 비해 예보를 활용할 때의 가치를 추정할 수 있다. 하지만 연구자들은 예보의 가치를 일반화함으로써 서로 다른 시기 및 장소에서 평가된 예보가치의 비교를 위해 VS를 사용해 왔다. VS는 완전한 예보에 대한 확률예보의 수준을 평가한 것으로서 식(4)로 나타낼 수 있다. 제공되는 확률예보가 완전한 예보와 동일한 성능을 가질 때 VS의 최대값은 1이고, 기후학적 레퍼런스보다 낮은 가치를 제공하는 임계확률 구간에서는 음수가 되기도 한다(Katz, 1997; Stewart *et al.*, 2004; Zhang and Morss, 2007).

$$VS = \frac{S_{for\ ecast} - S_{climatological\ reference}}{S_{perfect\ for\ ecast} - S_{climatological\ reference}} \quad (4)$$

4) 예보 사용자 그룹의 만족가치(cVS)

VS는 A, B의 불만족도를 가진 한 명의 예보사용자에 대한 예보의 만족가치를 평가하는 방법으로서 가치가 있다. 하지만 예보정보 제공자들은 자신들의 예보가 다수의 사용자들에게 어느 정도의 만족도로 평가되는지 알고 싶은 것이다. 본 연구에서는 Kim *et al.* (2013)과 Kim *et al.* (2014)이

제안한 방법으로 예보사용자 그룹의 만족가치를 평가하였다.

확률예보 사용자들은 각자의 경험을 바탕으로 예보에 대한 저마다의 신뢰도를 갖고 있다. 그리고 자신만의 임계확률을 기준으로 의사결정하고 있다. 신뢰도는 정확도와 다른 개념으로서 예보 사용자들의 개인적인 판단 근거가 된다. 임계확률에 따라 Table 1의 b , m , f , r 이 달라질 수 있으므로 확률예보 사용자 그룹의 총 기대 만족을 알기 위해서는 사람들의 의사결정 기준이 되는 임계확률을 조사해야 한다. 이렇게 조사된 각 사용자들의 임계확률 사용비율과 해당 임계확률에 대한 예보사용의 만족가치를 곱한 후 모든 임계확률에 대해 더하면 그룹의 기대 만족을 구할 수 있다. 예보 사용 그룹에서 기대할 수 있는 만족은 식(5)로 도출할 수 있다.

$$S'_{for\ ecast} = \sum_{i=1}^{10} (1 \times b_i - A \times m_i - B \times f_i) \times p_i \quad (5)$$

b_i , m_i , f_i 는 각각의 임계확률에 의해 결정되는 H, M, F의 상대적인 빈도이고, p_i 는 그룹 내에서 해당 임계확률을 선택한 사용자들의 비율이다.

2장 3절에서 설명한 것처럼 예보에 대한 그룹의 만족도를 일반화하기 위해 예보가 없을 때 실시되는 의사결정 상황에서의 기대 만족을 평가해야 한다. Thornes and Stephenson(2001)은 $S_{climatological\ reference}$ 이 예보가 주어지지 않는 경우의 기대가치를 계산할 때 $\bar{o}$ 와 같은 기후요소는 물론 예보가 없는 경우를 설명할 수 있는 어떤 방법도 사용가능하다고 하였으므로, 그룹의 예보가치 평가를 위해 의사결정자가 오늘의 기상현상이 내일도 똑같이 발생할 것으로 예측하는 상황을 가정하였다. 즉, 오늘의 기상상태가 내일의 대비행동을 위한 기준이 된다. 이때의 기대 만족가치는 식(6)으로 계산된다. o_{11} 은 어제 비가 내리고, 오늘도 비

가 내린 경우의 비율이다. o_{01} 은 Table 1의 Miss처럼 어제 비가 내리지 않았는데, 오늘 비가 내린 경우의 비율이고, o_{10} 은 Table 1의 False Alarm처럼 어제 비가 내렸는데, 오늘 비가 내리지 않은 것을 의미한다.

$$S'_{non\ for\ ecast} = (o_{11} - A \times o_{01} - B \times o_{10}) \times \sum_{i=1}^{10} p_i \quad (6)$$

식(3)과 마찬가지로 완전한 예보가 주어질 때 모든 구성원은 강수가 예상될 때만 대비행동을 하면 되므로 그룹의 총 만족 가치는 식(7)과 같다.

$$S'_{perfect\ for\ ecast} = \bar{o} \times \sum_{i=1}^{10} p_i \quad (7)$$

cVS는 식(8)로 일반화할 수 있다. 식(4)와 달리 식(8)은 확률예보 사용자 그룹의 임계확률 분포인 p_i 를 사용하였고, 단일 개인이 아닌 예보사용자 표본그룹의 예보가치를 평가하는 방법이다.

$$cVS = \frac{S'_{for\ ecast} - S'_{non\ for\ ecast}}{S'_{perfect\ for\ ecast} - S'_{non\ for\ ecast}} \quad (8)$$

3. 결과 및 고찰

1) 서울과 부산의 예보 정확도와 VS

Table 2는 서울과 부산의 10년간 강수확률예보의 정확도를 나타낸 것이다. Table 2에서 'th(임계확률; threshold)'는 정확도 산출을 위한 예보확률의 기준값이다. 즉, th=30은 분석 기간 중 30% 미만의 확률로 강수가 예보되면 '맑음', 30% 이상이면 '비'로 예보된 것을 가정한다. 10년간의 기상자료를 살펴볼 때, 두 도시의 예보정확도는 임계확률이 40%일 때, 서울과 부산 각각 83.3%, 84.1%로 가장 높다.

계절별 정확도를 살펴보면, Table 3에서 봄, 여름, 겨울은 서울과 부산의 최적 th가 서로 다르고, 겨울의 정확도가 서울, 부산 모두 87.6%로 가장 높고, 여름은 79%정도로 낮다.

Table 2와 Table 3에서 확률예보의 정확도는 임계확률에 따라 달라질 수 있으므로 사용자들의 의사결정 기준확률을 조사하는 작업이 필요함을 짐작할 수 있다. 또한 예보정확도가 계절에 따라서 크게는 8%까지 차이가 나기 때문에 계절 맞춤형 서비스 개선방안이 요구된다고 할 수 있다. 하지만 단순히 맞고 틀림을 계산한 '정확도'는 해당 예보가 사용자에게 어느 정도의 가치로 인식될 수 있는지 혹은 예보사용자들에게 정확도가 가장 높은 40%의 임계확률만을 사용하도록 권유하면 되는 것인지 판단하는 근거가 되기는 어렵다. 왜냐하면 Figure 2의 a~d그래프에서 예보사용자의 만족-불만족을 고려할 때 예보의 가치가 가장 높은 임계확률은 Table 2에서 정확도가 높은 임계확률과 다르게 나타나기 때문이다. A가 크면 VS를 높이는 임계확률이 낮아지고, B가 크면 임계확률이 큰 것이 유리하므로 예보사용자들의 임계확률과 불만족도는 확률예보의 서비스 개선을 위한 정책 마련에 중요하게 고려되어야 하는 요소이다.

Figure 2의 b그래프에서 서울의 경우 False

Table 2. Accuracy of 24h probabilistic precipitation forecast in Seoul and Busan during 2004~2013.

th(%)	Seoul (%)	Busan (%)
10	50.3	51.2
20	69.0	72.9
30	82.0	83.5
40	83.3	84.1
60	82.5	83.3
70	79.1	81.1
80	76.6	79.1
90	73.3	75.6
100	70.5	73.3

Table 3. Seasonal accuracy of 24h probabilistic precipitation forecast in Seoul and Busan during 2004~2013.

(unit: %)

th	Spring		Summer		Fall		Winter	
	Seoul	Busan	Seoul	Busan	Seoul	Busan	Seoul	Busan
10	51.1	59.1	52.6	45.0	49.8	44.8	47.5	55.9
20	71.5	77.2	66.7	64.3	69.2	70.5	68.4	79.6
30	81.5	84.6	79.1	77.8	83.7	84.5	83.8	87.4
40	83.4	84.5	77.1	79.0	85.6	85.3	87.4	87.6
60	82.8	83.6	75.5	77.2	84.3	85.3	87.6	87.3
70	80.9	81.4	69.8	72.9	79.7	83.8	86.3	86.2
80	78.6	79.1	66.3	70.2	77.5	82.4	84.3	84.8
90	76.1	75.3	60.3	65.7	74.6	78.8	82.3	82.8
100	72.6	71.7	54.7	62.0	73.6	77.7	81.3	81.8

Alarm에 대한 불만족이 Miss일 때보다 크면, 낮은 예보정확도를 보이는 여름철 예보가치가 높게 평가되는 것을 볼 수 있다. 이는 서울과 부산의 여름철 강수일수와 관련이 있다. B 가 크면 일반적으로 식(2)의 $-A \times \delta$ 가 결과로 도출되는데, 이 경우 식(4)에서 분자의 값이 커지게 된다. 그리고 Table 4에서 보듯이 서울은 2004년~2013년의 여름철 동안 거의 이틀에 한 번 꼴로 비가 내려 δ 가 상대적으로 크게 나타났다. δ 가 크다는 것은 비가 오지 않은 날이 적다는 의미이므로 예보의 가치평가에서 변수에 포함되지 않는 ' r '이 작다는 뜻이 된다. 또한 비가 온 경우 자체가 많으므로 일정수준의 예보성능을 가진 예보라면 hit의 값도 커질 수 있으므로 식(1)의 예보사용의 기대만족 결과가 커지는 것을 예측할 수 있다.

2) 서울과 부산의 cVS

계절에 따른 예보정확도의 차이는 예보를 사용하는 의사결정자들의 만족도에도 영향을 준다. 서울과 부산의 cVS를 살펴보면 Table 5와 같다. Table 5에서 서울은 cVS가 불만족도인 A , B 의 조합에 따라 최저 0.065에서 최대 0.514까지 도출되고, 부산은 $-0.018 \sim 0.498$ 범위로 나타나는 것을

알 수 있다. Table 2에서 서울보다 부산의 예보정확도가 높음에도 불구하고, 두 도시에서 동일한 임계확률로 의사결정하는 예보사용자 그룹을 가정한 결과인 cVS는 서울이 부산보다 높게 나타났다. 이는 ' δ '와 Table 1의 ' r '과 관련이 있다. 서울에서 강수가 발생한 기후학적 확률인 δ 는 0.303으로 이는 2004~2013년 동안 비가 내린 날이 30.3%임을 나타낸다. 그리고 같은 기간 서울에서 r 즉, 비가 오지 않을 것을 예보하여 맞춘 경우는 임계확률별로 749~2545회이다. 반면 부산의 δ 와 r 은 각각 0.274, 960~2652회로 부산이 서울보다 강수가 적게 발생하고, 비가 오지 않을 것을 예보하여 맞춘 경우는 더 많았다.

그런데 식(1), 식(5)에서 예보 사용의 기대 만족을 계산할 때 r 의 값은 결과에 영향을 주지 않고, δ 는 식(3), (7)에서 보듯이 값이 클수록 cVS 향상에 유리하다.

3) 최적 임계확률 사용의 cVS 개선 효과

사용자들이 Figure 1의 분포대로 임의로 의사결정하는 것이 아니라 기상청의 홍보 및 교육 이후 최적 임계확률을 사용하면 cVS는 어떻게 변할 것인가. Figure 2를 통해 예보의 가치를 향상시키는

Figure 2. The value score of probabilistic precipitation forecast during 2004~2013 (solid line: spring, dotted: summer, dashed: fall, dot-dot-dashed: winter).

Table 4. Seasonal climatological reference of observed rain events in Seoul and Busan.

season \ city	Climatological reference ($\bar{o}$)	
	Seoul	Busan
Spring	0.280	0.291
Summer	0.474	0.391
Fall	0.266	0.227
Winter	0.190	0.184

최적 임계확률이 30~60%임을 알았으므로, 본 절에서는 그룹의 모든 예보사용자들이 예보의 가치가 높을 것으로 기대되는 30~60%의 임계확률을 사용하는 상황을 가정하고, 예보사용자 그룹의 임계확률 변경을 통한 cVS개선 효과를 알아본다.

30~60%를 선택하여 의사결정하는 사용자 그룹과 Morss그룹의 cVS 결과는 Figure 3에서 확인할 수 있다.

Figure 3에서 최적 임계확률을 사용할 경우 Morss그룹보다 나은 cVS를 기대할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 40%와 60%의 임계확률 사용은 특정 A, B조합에서 상당히 큰 cVS를 기대할 수 있지만, A, B의 크기에 관계없이 평균적으로 높은 cVS를 기대할 수 있는 임계확률은 30%로 나타났다. 이는 A, B의 조합에 따른 cVS를 평균한 Table 6에서도 알 수 있다. Morss그룹이 서울과 부산의 예보를 활용할 때의 cVS 평균은 각각 0.285, 0.234에 불과했지만, 30~40%의 단일 임계확률

Table 5. The collective value score in Seoul and Busan during 2004~2013. (top: Seoul, bottom: Busan)

B \ A	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1	0.215	0.178	0.150	0.128	0.110	0.096	0.084	0.073	0.065
1.5	0.290	0.248	0.215	0.189	0.167	0.149	0.134	0.121	0.110
2	0.346	0.302	0.267	0.238	0.215	0.194	0.177	0.162	0.149
2.5	0.389	0.346	0.310	0.280	0.255	0.233	0.214	0.198	0.184
3	0.424	0.381	0.346	0.315	0.289	0.267	0.247	0.230	0.214
3.5	0.453	0.411	0.376	0.345	0.319	0.296	0.276	0.258	0.242
4	0.476	0.436	0.402	0.372	0.345	0.322	0.302	0.283	0.267
4.5	0.496	0.458	0.424	0.394	0.368	0.345	0.325	0.306	0.289
5	0.514	0.476	0.444	0.415	0.389	0.366	0.345	0.327	0.310

B \ A	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1	0.155	0.111	0.079	0.054	0.034	0.017	0.003	-0.008	-0.018
1.5	0.240	0.192	0.154	0.124	0.099	0.079	0.061	0.046	0.033
2	0.305	0.254	0.214	0.181	0.154	0.131	0.111	0.093	0.078
2.5	0.355	0.304	0.263	0.229	0.200	0.175	0.154	0.135	0.118
3	0.395	0.345	0.304	0.270	0.240	0.214	0.191	0.171	0.154
3.5	0.428	0.380	0.339	0.304	0.274	0.248	0.224	0.204	0.185
4	0.455	0.408	0.369	0.334	0.304	0.278	0.254	0.233	0.214
4.5	0.478	0.433	0.394	0.361	0.331	0.304	0.280	0.259	0.240
5	0.498	0.455	0.417	0.384	0.354	0.328	0.304	0.283	0.263

Figure 3. Distribution of collective value score by A, B during 2004~2013.

Table 6. Average cVS of Morss Group and the groups who use one threshold of 30%, 40% and 60%.

threshold	city	Seoul		Busan	
		cVS	ratio	cVS	ratio
	Morss	0,285	1,0 (standard)	0,234	1,0 (standard)
	30%	0,424	1,49	0,375	1,60
	40%	0,418	1,47	0,357	1,53
	60%	0,376	1,32	0,312	1,33

을 사용하면 서울은 최대 49%, 부산은 최대 60% cVS 상승효과를 기대할 수 있다.

4) 계절별 최적 임계확률 사용의 cVS 개선 효과

5장 3절에서 그룹의 예보사용자들이 특정 임계확률을 사용할 때 cVS가 크게 높아질 수 있음을 살펴보았다. 그런데 계절별로 예보정확도, 강수의 발생빈도, 그리고 그로 인한 예보가치가 변화하기 때문에, 단일 임계확률이 아닌 계절별 최적 임계확률을 사용할 때의 cVS개선 효과를 살펴볼 필요가 있다. 만약 전체 기간 동안 단일 임계확률이 아닌 계절별로 구분하여 최적임계확률을 사용할 때 cVS 개선 효과가 크다면 예보사용자들의 예보에 대한 만족도를 높이기 위한 정책제안의 옵션이 늘어날 수 있을 것이다.

Table 7은 ①계절마다 가장 높은 예보정확도를 보인 임계확률, ②(A,B)=(2,1)일 때 계절별 높은 예보가치가 도출되는 임계확률, ③(A,B)=(1,2)일 때 계절별 높은 예보가치가 도출되는 임계확률 각각으로 의사결정한 경우의 cVS결과이다. ①의 경우 서울은 봄 40%, 여름 30%, 가을 40%, 겨울 60%가 최적 임계확률이고, 그룹내 모든 예보사용자들이 계절마다 해당 임계확률을 사용할 때 평균 0.447의 cVS를 기대할 수 있다. 한편, 부산은 봄 30%, 여름~겨울 40%의 임계확률 활용시 0.365의 cVS가 도출된다. ②의 경우 최적 임계확률은 서울의 봄~겨울까지 20%, 20%, 30%, 30%이고,

부산은 20%, 20%, 30%, 20%이다. ③의 경우엔 서울은 40%, 30%, 40%, 40%이고, 부산은 ①의 확률과 동일하다.

Table 7은 ①계절마다 가장 높은 예보정확도를 보인 임계확률, ②(A,B)=(2,1)일 때 계절별 높은 예보가치가 도출되는 임계확률, ③(A,B)=(1,2)일 때 계절별 높은 예보가치가 도출되는 임계확률 각각으로 의사결정한 경우의 cVS결과이다. ①의 경우 서울은 봄 40%, 여름 30%, 가을 40%, 겨울 60%가 최적 임계확률이고, 그룹내 모든 예보사용자들이 계절마다 해당 임계확률을 사용할 때 평균 0.447의 cVS를 기대할 수 있다. 한편, 부산은 봄 30%, 여름~겨울 40%의 임계확률 활용시 0.365의 cVS가 도출된다. ②의 경우 최적 임계확률은 서울의 봄~겨울까지 20%, 20%, 30%, 30%이고, 부산은 20%, 20%, 30%, 20%이다. ③의 경우엔 서울은 40%, 30%, 40%, 40%이고, 부산은 ①의 확률과 동일하다.

Table 7에서 높은 cVS를 기대할 수 있는 최적 임계확률은 예보정확도가 높거나, A보다 B가 클 때 VS가 높은 값으로 도출되는 임계확률이다. 서울은 계절별 최적 임계확률을 사용하면, 30%의 단일 임계확률을 사용할 때보다 8~9%의 추가적인 cVS 개선효과를 기대할 수 있지만, 부산은 오히려 계절에 관계없이 30%의 예보확률만을 의사결정 기준으로 활용할 때 가장 높은 cVS가 도출되었다(Table 6, 7). 부산은 그룹내 모든 사용자들이

Table 7. Average cVS of the user group who use seasonal optimum threshold.

city optimum threshold	Seoul		Busan	
	cVS	ratio (Morss group cVS=1.0)	cVS	ratio (Morss group cVS=1.0)
forecast accuracy	0.447	1.57	0.365	1.56
(A,B)=(2:1)	0.310	1.09	0.195	0.83
(A,B)=(1:2)	0.449	1.58	0.365	1.56

30%임계확률을 활용하면 0.375의 cVS를, 40%의 임계확률을 활용하면 0.357의 cVS가 도출되었다. 그런데 ①, ③의 경우에서 부산은 여름~겨울의 최적 임계확률이 40%로 나타나 Table 6의 30%보다 낮은 결과가 도출된 것으로 사료된다.

4. 결론

많은 연구들에서 확률예보정보의 가치는 주로 비용-손실을 고려한 경제적 평가를 중심으로 이루어져 왔다. 하지만 일반적인 예보사용자들이 매일 활용하는 단순한 의사결정은 경제적인 개념으로 접근하기 어렵다. 한편, 기상정보 제공자들은 예보정보의 신뢰도를 높이기 위해 만족도 조사를 지속적으로 실시하고 있지만, 단순하고 직접적인 설문으로 인해 결과의 정책 활용이 쉽지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 계절별로 구분된 최적 임계확률을 사용할 때 기대할 수 있는 예보 사용자 그룹의 만족가치를 평가함으로써 가상의 현재 그룹과의 비교를 통해 cVS가 개선되는 효과를 살펴보았다. 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 2004~2013년 동안 서울보다 부산의 예보정확도가 높다. 예보정확도가 가장 낮은 계절은 여름이고, 가장 높은 계절은 겨울이다. 예보정확도가 높은 임계확률은 서울과 부산이 서로 다르다. 한편, 예보가치를 높이는 임계확률과 예보정확도를 높이는 임계확률이 서로 다르기

때문에 확률예보에 대한 그룹의 만족도 제고를 위한 정책을 개발하기 전에 Miss, False Alarm에 따른 불만족을 함께 고려하는 작업이 선행되어야 한다.

(2) 예보정확도는 부산이 높았지만, 그룹의 만족가치는 부산보다 서울이 높게 나타났다. 이는 두 도시의 강수발생확률($\hat{a}$)과 비가 오지 않음을 예보하여 맞춘 경우의 비율(Table 1의 r)과 관련이 있다. 즉, 몇몇 개인의 예보사용 가치 혹은 예보정확도만으로는 어느 도시의 사용자들이 더 만족하고 있는지를 알 수 없다. 따라서 예보사용자들이 사용하고 있는 예보의 임계확률을 조사하여 평가하고자 하는 도시, 지역 등의 cVS를 조사함으로써 향후의 서비스 개선 방안에 대해 논의해야 할 것이다.

(3) 그룹내 모든 사용자들이 동일한 임계확률, 그 중에서도 VS가 높게 도출되는 임계확률을 활용하면 서울은 최대 49%, 부산은 60%의 cVS 상승효과가 기대된다. 그리고 30%의 임계확률을 활용할 때 그룹의 만족가치가 가장 높다. 물론 사용자들의 예보 오류에 대한 불만족도인 A , B 를 알고 있다면 두 불만족 조합에 따라 40% 혹은 60%의 임계확률이 더 적합할 수도 있다. 이는 기상커뮤니티가 최적의 임계확률을 임의로 사용하도록 권유하기 전에 예보사용자들의 불만족 성향을 먼저 파악할 필요가 있음을 의미한다. 만약 그룹의 불만족 성향을 파악하기 어렵다면 평균적으로 높은 cVS를 기대할

수 있는 30%의 임계확률을 제시하는 것이 가장 바람직한 방법이 될 것이다.

- (4) 계절에 따라 예보정확도와 VS가 높은 최적의 임계확률은 다르다. (3)에서 설명한 결과는 연중 동일한 임계확률을 사용했을 때의 결과이다. 계절별로 최적의 임계확률을 사용할 경우 서울은 평균 cVS가 0.447로 30%의 단일 임계확률을 사용할 때보다 추가로 약 8%의 cVS 상승을 기대할 수 있다. 반면, 부산은 계절별 최적 임계확률을 사용하더라도 30%의 단일 임계확률 활용의 cVS보다 낮게 나타났다. 계절별 최적 임계확률 혹은 단일 임계확률 사용을 권고하기 전에 지역의 기상특성 조사와 그로인해 예상되는 cVS 평가가 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 Morss그룹이라는 미국인 대상의 설문조사 결과를 차용하였고, 그룹내 모든 사용자에게 동일한 (A,B)의 불만족을 가정하여 cVS를 평가하였다. 향후 한국인을 대상으로 한 설문조사의 실시와, 그룹내 개개인의 (A,B)를 반영한 평가가 요구된다. 하지만 기존의 cVS 평가 결과를 두 도시 간의 비교를 통해 살펴보고, 계절별 최적 임계확률을 사용할 때 더 향상될 수도 있음을 보인데 본 연구의 의의가 있다.

사사

본 연구는 국립기상연구소 2014년 주요사업 “예보기술지원활용연구(NIMR-2014-B-1)”의 지원으로 수행되었습니다.

주

- 1) 태도측정법의 하나. 피험자에게 조사항목에 대한 동의 여부를 묻지 않고, 동의 정도를 표시하도록 하는 측정 방법.

References

- Joslyn, S. and Nichols, R., 2009, Probability or frequency? Expressing forecast uncertainty in public weather forecasts, *Meteorological Application*, 16(3), 309-314.
- Katz, R. W., 1993, Dynamic cost-loss ratio decision-making model with an auto correlated climate variable, *Journal of Climate*, 6(1), 151-160.
- Katz, R. W. and Murphy, A. H., 1997, *Economic Value of Weather and Climate Forecasts*, Cambridge and New York, Cambridge University Press.
- Kim, I.-G., Jung, J.-H., Kim, J.-Y., Shin, J.-H., Kim, B.-J., and Lee, K.-K., 2013, Enhancing the satisfaction value of user group using meteorological forecast information: Focused on the precipitation forecast, *Journal of The Korea Contents Association*, 13(11), 382-395 (in Korean).
- Kim, I.-G., Kim, J.-Y., Kim, B.-J., and Lee, K.-K., 2014, The collective value of weather probabilistic forecasts according to public threshold distribution patterns, *Meteorological Application*, 21(3), 795-802.
- KMA, 2011, *Public Satisfaction Survey on National Weather Service in 2011*, Korea Meteorological Administration: Seoul (in Korean).
- KMA, 2013, *Public Satisfaction Survey on National Weather Service in 2013*, Korea Meteorological Administration: Seoul (in Korean).
- Lee, K.-K. and Lee, J.-W., 2007, The economic value of weather forecasts for decision making problems in the profit/loss situation, *Meteorological Application*, 14(4), 455-463.
- Lee, K.-K. and Han, C.-H., 2010, A decision-making strategy to maximize the information value of weather forecasts in a customer relationship management (CRM) problem of the leisure industry, *Management Science*, 27(1), 33-43.
- Morss, R. E., Lazo, J. K., and Demuth, J., 2010, Examining the use of weather forecasts in decision

- scenarios: results from a US survey with implications for uncertainty communication, *Meteorological Application*, 17(2), 149-162.
- Murphy, A. H., 1976, Decision-making models in the cost-loss ratio situation and measures of the value of probability forecasts, *Monthly Weather Review*, 104(8), 1058-1065.
- Murphy, A. H., 1977, The value of climatological, categorical and probabilistic forecasts in the cost-loss situation, *Monthly Weather Review*, 105(7), 803-816.
- Murphy, A. H., Lichtenstein, S., Fischhoff, B., and Winkler, R., 1980, Misinterpretations of precipitation probability forecasts, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 61(7), 695-701.
- Murphy, A. H., 1985, Decision making and the value of forecasts in a generalized model of the cost-loss ratio situation, *Monthly Weather Review*, 113(3), 362-369.
- Mylne, K. R., 2002, Decision-making from probability forecasts based on forecast value, *Meteorological Application*, 9(3), 307-315.
- Stewart, T. R., Pielke, R., and Nath, R., 2004, Understanding user decision making and the value of improved precipitation forecasts-lessons from a case study, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(2), 223-235.
- Thornes, J. E. and Stephenson, D. B., 2001, How to judge the quality and value of weather forecast products, *Meteorological Application*, 8(3), 307-314.
- Wilks, D. S., 2001, A skill score based on economic value for probability forecasts, *Meteorological Application*, 8(2), 209-219.
- Zhang, F. and Morss, R. E., 2007, An in-person survey investigating public perceptions of and responses to hurricane Rita forecasts along the Texas coast, *Weather and Forecasting*, 22(6), 1177-1190.

책임 편집: 이경미

영문 교열: 이은걸