

기온확률모형에 근거한 날씨보험의 가격결정에 대한 연구*

A Study on Weather Insurance Pricing
Based on Stochastic Temperature Modeling

이 창 수**

Lee Chang-Soo

권 혁 성***

Kwon Hyuk-Sung

하 홍 준****

Ha Hong-Jun

본 논문에서 다루고자 하는 날씨위험은 태풍, 홍수 등 대재해적 재산피해를 야기하는 기상변동이 아닌 기온, 강수량, 적설량, 바람 등 일상적인 날씨변동이 일반적인 예측과 상당한 차이를 보이게 될 가능성을 의미한다. 이와 같은 날씨위험은 기업의 비용증가나 매출액감소 등 재무적 손해로 이어져 기업의 수익성에 악영향을 줄 수 있다. 외국의 경우 이러한 날씨 위험을 관리할 수 있는 수단으로 날씨파생상품이 보편화되어 있지만, 국내에서는 아직 날씨파생상품이 도입되어 있지 않아 현재 날씨보험이 날씨변동에 따른 위험을 관리할 수 있는 유일한 수단이 되고 있다.

본 논문의 주된 목적은 기존의 날씨보험 가격결정 방법과 비교하여 우리나라 날씨변동의 특성을 보다 잘 반영할 수 있는 방법을 제시하는 것이다. 이를 위하여 본 논문에서는 일별최고기온 자료를 이용하여 날씨변동을 표현하기에 적합한 확률모형을 제시하고 모수를 추정하는 과정을 설명하였다. 또한, 제시된 기온확률모형에 근거한 가격결정방법과 기존의 국내 손해보험사가 이용하는 기온지수를 이용하는 가격결정방법을 과거 10년간의 국내 지역별 일별최고기온 자료를 이용한 분석을 통하여 실증적으로 비교하였다.

※ 국문색인어: 기온지수, 기온확률모형, 날씨보험, 날씨위험, Cao-Wei모형
학술진흥재단 분류 연구분야 코드 : B051605

* 본 논문의 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

** 숭실대학교 정보통계 · 보험수리학과 교수(cslee@ssu.ac.kr)

*** 숭실대학교 정보통계 · 보험수리학과 전임강사(hskwon@ssu.ac.kr)

**** 숭실대학교 정보통계 · 보험수리학과 대학원(hhj8121@empal.com)

논문 투고일: 2008. 05. 10, 논문 게재 확정일: 2008. 07. 24

I. 서 론

최근 지구온난화 등에 따른 급격한 날씨변동으로 인한 기업의 경제적 손실이 증가하고 있어 날씨위험의 효율적인 관리의 필요성이 강조되고 있다. 날씨위험은 크게 태풍, 홍수 등 대재해적 재산손실을 야기하는 기상변동과 기온, 강수량, 적설량, 바람 등의 일상적인 날씨변동이 원인이 된다. 전자의 경우는 주로 보험시장에서 관리되고 있는데 관련 상품으로는 자연재해로 인한 재산손실을 보상하는 재산종합보험, 화재보험의 풍수해특약, 농작물 재해보험 및 재보험 등이 있다. 이러한 기상변동위험은 그 특성 상 보험시장의 담보력만으로는 감당하기 어려운 경우가 발생할 수 있어 최근에는 CAT bond 등 ART(Alternative Risk Transfer) 상품을 통하여 자본시장에서 이 위험에 대한 담보력을 일부 제공하고 있다.

본 논문에서 다루고자 하는 위험은 후자의 경우로서, 일반적인 예측에서 상당히 벗어난 더위나 추위, 눈, 비, 바람의 영향에 따른 기업의 생산량이나 매출의 감소, 운송이나 공사 지연으로 인한 비용증가 또는 냉난방용 에너지 수요의 감소 등은 해당 기업의 수익성에 악영향을 줄 수 있다. 이러한 날씨위험을 관리할 수 있는 대표적인 수단으로는 날씨파생상품과 날씨보험을 들 수 있다. 날씨파생상품은 미국 등 금융 선진국에서 계약내용과 거래절차가 이미 정형화되어 선물거래소 등에서 비교적 활발하게 거래가 이루어지고 있다. 선진국에서 활성화되고 있는 날씨파생상품의 형태와 가격결정 방법에 대한 설명은 Element Re(2002)나 Jewson과 Brix(2006)의 자료에 상세히 제시되어 있다. 그러나 이러한 파생상품이 국내에는 아직 도입되어 있지 않다. 따라서 국내에서는 날씨보험이 유일한 위험관리 수단이라 할 수 있는데 기존의 상품을 예로 들면, 예상치 못한 날씨변동으로 인하여 취소된 이벤트행사의 비용을 담보하는 행사취소보험, 날씨와 연계되어 실제로 지급한 경품의 비용을 담보하는 상금보상보험, 날씨변동으로 인한 실제의 매출액이나 이익이 보험가입 시 정한 표준 매출액이나 이익에 미달하는 경우 그 차액을 보상하는 재정손실보험 등이 있다. 이와 같은 기존의 날씨보험 상품들은 판촉행사나 야외콘서트 등 일회성 이벤트행사 위주로 판매되고 있는 실정이고 원칙적으로 실제로 발생한 손해를 보상하는 계약이므로 예상 손실액 산정의 어려움 등으로 시장이 활성화되지 못하고 있는

실정이다. 실제로 날씨보험의 판매실적은 극히 미미한상태로서 FY2004의 계약실적은 41건에 수입보험료의 규모는 약 43억원 수준이다¹⁾. 국내의 날씨보험 운영실태에 대해서는 강정모의 논문(2006)을 참고하기 바란다.

그러나 최근 이와 같은 기존의 날씨보험 상품들의 문제점을 개선한 지수형 날씨보험이 개발되었다. 이 보험의 특징은 기온, 강수량 등 장래의 날씨자료를 지수화하고 그 지수에 연동하여 보험급부를 결정한다. 예를 들면, 이상저온현상에 대비하려는 경우 보험금 지급사유를 결정하기 위하여 보험기간동안 일중 평균기온이 보상기준이 되는 18℃미만이 되는 경우 지수 1을 부여하고, 반대의 경우 지수 0을 부여하여 이후 계산된 지수를 사전에 협정한 경제적 가치로 환산함으로써 실손 보상이 아닌 협정가액보상 형태로 운영이 가능하다.

이러한 접근방법을 위해서 먼저 장래 날씨와 관련한 특정 지표를 정확하게 예측하는 것이 필수적이다. 그러나 이러한 지표의 예측은 매우 어렵기 때문에, 단순히 과거에 관찰된 지수의 경험분포(Empirical distribution)를 그대로 이용하거나, Weibull 분포, Log-normal 분포 등의 분포함수를 이용할 수도 있다. 그러나 이와 같은 방법들은 전자의 경우 날씨의 예측하지 못한 급격한 변동으로 인한 지수의 급격한 변화를 모형에 반영하기 어렵고, 후자의 경우 모형의 꼬리부분²⁾의 형태에 따라 가격이 너무 극단적으로 나올 수 있는 단점이 있다.

본 논문은 이러한 지수적 접근방법 대신 우리나라의 날씨변동의 특성을 보다 적절히 반영하기 위하여 대상 날씨 지표를 확률적 모형을 이용하여 예측하고, 예측된 날씨 지표에 대응하는 지수를 부여하여 보험가격을 결정하는 방법을 제시하고자 한다.

1) 보험개발원, 「날씨위험에 대한 손해보험회사의 역할 강화 방안」, 『CEO Report』, 2006.4. <표 4>.

2) 본 논문에서는 분포의 오른쪽 꼬리부분(tail part)을 의미한다.

II. Cao-Wei모형

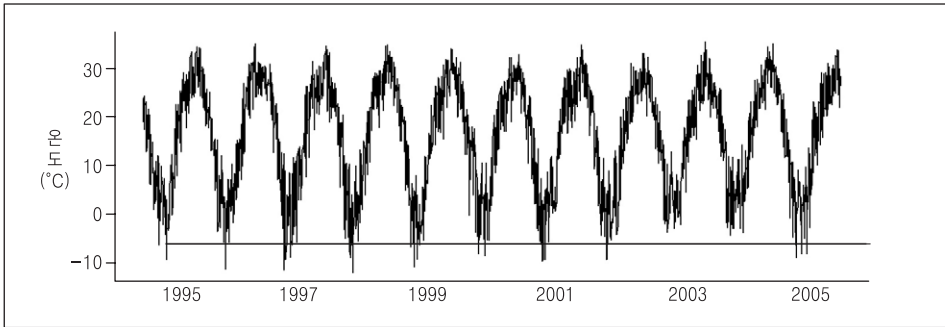
날씨보험의 가격을 합리적으로 결정하기 위해서는 장래의 보험기간 동안의 날씨를 가능한 정확하게 예측하는 것이 중요하다. 시계열 모형은 장, 단기에 발생할 수 있는 날씨의 변동성을 설명하는데 적합한 모형이며, 기존 날씨 예측과 관련한 연구에 주로 사용되어 왔다. 본 논문은 과거의 날씨자료를 적절한 시계열 모형을 이용하여 적합하고 분석에 이용하였다.

1. Cao-Wei 모형

〈그림 1〉에서 서울의 기온자료는 전형적인 계절성과 주기성을 가지고 있음을 알 수 있다. 특정일의 기온은 과거 2~3일전의 기온에 영향을 받는데, 대표적인 예로 겨울의 삼한사온을 들 수 있다. 이론적으로 특정일의 기온은 장래 기온에 지속적으로 영향을 미치는 자기상관함수(Auto Correlation Function, ACF)의 구조를 가지고 있는 것으로 밝혀져 있다. 이런 강한 계절성과 주기성을 지닌 기온의 패턴을 모형화 하는 시도는 많이 이루어졌지만, 기온 자료의 ACF의 구조가 복잡하고, 특정일의 날씨가 이후의 기간까지 영향을 미치기 때문에, 고도의 정확성을 제공하는 모형을 설정하기는 쉽지 않다.

Cao-Wei(2000)는 온도가 나타내는 계절성과 주기적 순환의 특성 외에도 일별 기온은 짧은 기간 중에 강한 자기 상관을 보이며, 기온의 변화는 여름보다는 겨울에 보다 심한 특성을 나타내는 사실을 반영할 수 있는 모형을 제시하였다. 즉, 기온의 강한 계절성과 짧은 기간의 자기상관성 그리고 계절별 기온편차의 차이를 모두 반영할 수 있는 모형을 고안하였다. 이 모형은 보험가격 결정시, 장기기온을 예측해야 한다는 전제를 만족시키는데 기존의 모형보다 우월한 특성을 가지고 있다.

〈그림 1〉 서울지역의 일별 최고기온



또한, 〈그림 2〉의 기온자료는 여름보다는 겨울에 더 심한 변동성을 보이는 특성을 보여주고 있다³⁾. 따라서, 기온을 예측하기 위한 모형을 설계하기 위해 반영해야 하는 기온의 특성은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 기온은 일정범위 내에서 움직이는 특성을 가지고 있다.
- 기온은 강한 계절성과 1일중 주기성을 가진다.
- 단기 Lag에 대한 자기상관성(Autocorrelation)을 가진다.
- 기온의 변동성은 여름보다 겨울에 확대된다.

이러한 특성을 감안하여 Cao-Wei(2000)는 아래와 같은 확률모형을 제시하였다.

$$\epsilon_{yr,t} = Y_{yr,t} - \hat{Y}_{yr,t} \quad \forall yr=1,2,\dots,T, \quad t=1,2,\dots,365$$

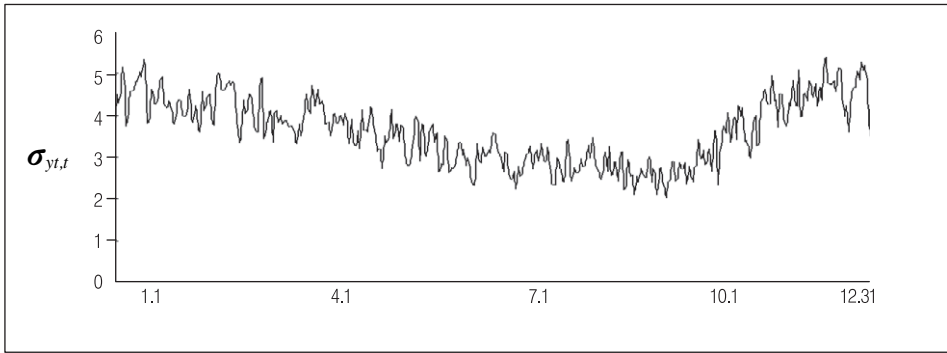
$$\epsilon_{yr,t} = \sum_{i=1}^k \rho_i \epsilon_{yr,t-i} + \sigma_{yr,t} \times \zeta_{yr,t}$$

$$\sigma_{yr,t} = \alpha - \beta \left| \sin\left(\frac{\pi t}{365} + \phi\right) \right|$$

$$\zeta_{yr,t} \sim iid.N(0,1)$$

3) 본 논문에서의 분석대상 기온은 일별 최고온도이다.

〈그림 2〉 서울지역의 일별 최고기온의 편차



$\hat{\hat{Y}}_{yr,t}$ 는 앞에서 제시한 기온의 특성을 반영하기 위하여 사용한 변수이다. 이 변수는 일평균 온도의 예측치를 나타내는데, Cao-Wei모형에서는 이 변수를 장기 평균 예측치로 보고, 장래 기온의 예측 시, 이 변수와 일정 범위 내에서 차이를 가지는 기온들을 생성해 낸다. 그리고 일별기온의 표준편차의 모형에서 모수 σ 는 시작점의 위치를 찾는데 필요하다. $\hat{\hat{Y}}_{yr,t}$ 의 계산과정을 살펴보면 다음과 같다.

가. 우선 과거 T 년 동안의 자료를 이용하여 특정일의 온도를 평균한 $\bar{Y}_t$ 를 구한다. 이는 특정일의 평년 기온 또는 예년 기온이라 불리는 것이다.

$$\bar{Y}_t = \frac{\sum_{yr=1}^T \bar{Y}_{yr,t}}{T}, \quad t=1,2,\dots,365, \quad yr=1,2,\dots,T$$

나. 각 월에 대하여 $\bar{Y}_t$ 의 평균을 구한다. 이는 12개월에 대하여 계산된다.

$$\bar{Y}_m = \frac{\sum_{t=1}^M \bar{Y}_t}{M}, \quad m=1,2,\dots,12, \quad M = \text{해당 월에 포함되는 일수}$$

(예: 2월의 경우 28일)

다. 특정년도(yr)의 특정월(m)에 대한 평균온도를 계산한다.

$$\bar{Y}_{m,yr} = \frac{\sum_{t=1}^M \bar{Y}_{yr,t}}{M} \quad m=1,2,\dots,12, \quad yr=1,2,\dots,T$$

라. 특정 연도의 특정 월의 기온이 예년의 기온에 비하여 높았는지 낮았는지를 계산한다.

$$diff_{m,yr} = \bar{Y}_{m,yr} - \bar{Y}_m \quad m=1,2,\dots,12, \quad yr=1,2,\dots,T$$

마. 특정일의 온도에 대한 예측치, $\hat{Y}_{yr,t}$ 는 예년의 기온을 라에서 계산한 특정 일이 속했던 달의 추세로 조정하여 구하게 된다.

이러한 계산과정을 거치는 이유는 단순히 원래의 기온자료를 바탕으로 모형을 적용하게 되면 기온의 특성을 모두 반영한 모형의 설계가 어렵고, 지구 온난화와 같은 추세를 반영하기도 어렵기 때문이다. 즉 위의 계산과정을 거친 평준화된 평균기온을 장기 예측치로 보고, 실제온도와 이 장기평균의 차이를 모형화 하는 것이 모형의 정확성과 단순성 측면에서 우월하다고 볼 수 있다. 즉, 제시된 모형의 장점은 모형화하기 어려운 개별 기온을 그 대상으로 하는 것이 아니라, 과거의 자료를 바탕으로 장기 평균기온을 먼저 계산하고, 그 장기평균기온과 미래의 기온 차이를 모형의 대상으로 삼는다는 것이다. 물론 그 차이는 계절에 따라 차이가 있기 때문에 일별 기온의 표준편차를 반영해 준다. 또한, 이 모형의 특징은 일별 기온의 표준편차가 매년 일정하다는 가정을 적용하는 것이다. 즉, 일별 기온의 표준편차는 회귀분석에 의하여 추정하고, 이를 매년 예측치에 동일하게 반영한다. 이준행 교수의 논문(2002)에서는 날씨옵션상품의 가격결정에 Cao-Wei의 모형을 적용하는 과정을 상세히 기술하고 있다.

모형에 사용되는 모수들에 대한 추정은 최대우도추정법(Maximum Likelihood Estimation)을 사용할 수 있다. 그런데 모형의 lag를 늘려감에 따라 추정되는 모수

들이 일관성을 가지기가 어렵고, 오차모형과 표준편차 모형의 모수를 동시에 최우 추정법을 이용하여 추정하게 되면, 적합 모형이 기술적 의미는 가질 수 있지만, 자료의 특성을 잘 설명해 주지 못하는 결과를 가져올 수 있게 된다. 따라서 Cao-Wei 모형을 적절히 변형하여 개선할 필요가 있다. Cao-Wei 모형은 정상시계열을 얻기 위해 각 일별 기온의 표준편차를 오차항에 곱해주지만, 이를 오차항에 곱해 주는 방법대신, 모형의 대상인 장기평균온도와의 차이를 표준편차로 나누어 정상시계열을 얻을 수 있다.

2. Cao-Wei모형의 변형

앞서 소개한 Cao-Wei모형을 모수추정의 간편성과 안정성을 개선하고 기온변동 표현 적합성을 높이기 위해 다음과 같이 수정하였다.

$$\epsilon_{yr,t} = Y_{yr,t} - \hat{Y}_{yr,t} \quad \forall yr = 1, 2, \dots, T, \quad t = 1, 2, \dots, 365$$

$$\frac{\epsilon_{yr,t}}{\sigma_{yr,t}} = \sum_{i=1}^k \rho_i \frac{\epsilon_{yr,t-i}}{\sigma_{yr,t-i}} + \zeta_{yr,t}$$

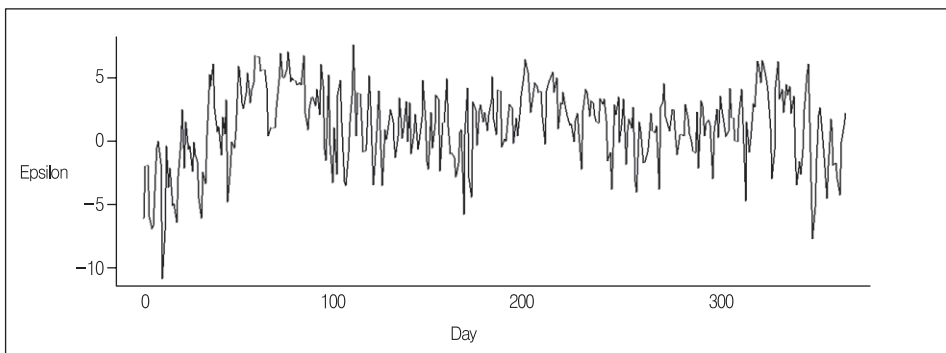
$$\sigma_{yr,t} = \beta_0 + \beta_1 \sin\left(\frac{2\pi t}{365} + \phi\right) + \beta_2 \cos\left(\frac{2\pi t}{365} + \phi\right)$$

$$\xi_{yr,t} \sim i.i.d. N(0, \sigma^2)$$

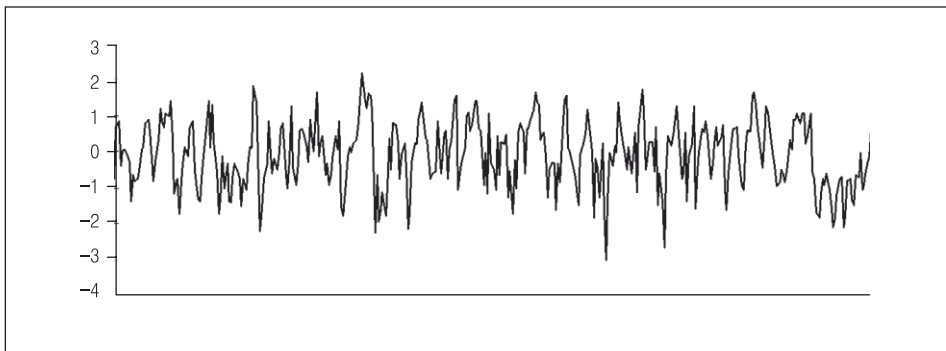
먼저 일별 최고기온 표준편차의 변동 패턴을 보다 정확하게 추정하기 위해 cosine항을 추가하여 일반화하였다. 이 때 변동주기(cycle)를 1년으로 하기 위해 π 를 2π 로 교체하였다. 모형의 모수들은 과거 일별기온의 추정 표준편차를 대상으로, 최소제곱법(LSM)을 이용하여 추정할 수 있다. 표준편차는 년도가 변해도 일정하게 유지된다고 가정하고, 계절에 따라 차이가 나는 기온 변동성의 차이는 각 일자

별 기온의 표준편차로 나누어 주어 일별기온에 대한 오차가($\epsilon_{yr,t} / \sigma_{yr,t}$)가 등분산성을 만족하도록 하였다⁴⁾. 오차항 $\epsilon_{yr,t}$ 에 대해서는 백색잡음(white noise)을 가정하였다. 이러한 가정을 바탕으로 $\epsilon_{yr,t} / \sigma_{yr,t}$ 의 자기상관 구조에 따라 k 차 AR모형의 모수를 최우추정법으로 추정할 수 있다.

〈그림 3〉 서울지역의 평년최고기온과 일별 실제일별 최고기온의 차이($\epsilon_{yr,t}$)



〈그림 4〉 서울지역의 평년최고기온의 $\epsilon_{yr,t} / \sigma_{yr,t}$



4) 실제기온과 장기평균기온의 차이인 오차항은 계절별로 변동성에 차이가 있으므로 각 일자별로 추정된 표준편차로 나누는 변환을 통하여 등분산성을 만족하도록 하였다.

3. 모수추정

위에서 제시한 모형을 바탕으로 과거 서울지역의 일별 최고기온을 이용해 모수들을 추정하였다. 적용 데이터는 1961년 1월 1일부터 2005년 12월 31일 까지의 일별 최고기온을 사용하였다. 우선 Cao-Wei 모형에서 제시한 $\hat{Y}_{yr,t}$ 를 구하고, 이를 이용해 과거 실제기온과의 차이($\epsilon_{yr,t}$)를 구한다. 그 차이를 서울지역의 일별 최고기온의 표준편차로 나눈 값의 시계열을 이용하여 AR(k)모형의 모수를 최우추정법으로 추정하게 된다. 이때 AR모형의 차수를 정해야 하는 문제가 있는데 ACF와 PACF 구조를 살펴본 결과 ACF는 지수적으로 감소하고, PACF는 시차 1에서 스파이크(spike)가 나타나고 나머지는 유의수준 내에 머물고 있기 때문에 AR(1)모형을 선택하였다. AR(1) 모형을 적합한 후의 잔차에 대한 Q-통계량의 p-value가 모든 시차(lag)에서 0.1 보다 커서 보다 복잡한 모형의 적용이 불필요하다고 판단하였다.

〈표 1〉 모형의 추정결과

구 분	AR(k) 차 수	ρ	β_0	β_1	β_2	ϕ	σ^2
추 정 값	1	0.64798	3.57861	0.20832	0	-0.2409	0.083448
추정치의 표준편차	N.A.	0.02820	0.02471	0.03495	0.03495	N.A.	N.A.

주: 1) AR(1) 모형의 AIC는 5.56533이다.

주: 2) 일별 기온의 표준편차에 대해 적합한 회귀모형의 결정계수는 62.25%.

이 모형에서 오차항에 대한 가정을 설정할 때 주의가 필요하다. 오차항을 단순히 표준정규분포로 하게 되면 $\epsilon_{yr,t}$ 의 값이 매우 크게 나올 수 있는데, 이는 위에서 설정한 “기온은 일정범위 내에서 움직인다”라는 기온의 특성을 위배할 수 있는 가능성을 야기한다. 그러므로 추정된 오차항의 분산에 대하여 주의할 필요가 있다. 그리고 오차항이 지역에 따라 정규분포를 만족하지 않는 경우 $\epsilon_{yr,t}$ 에 대하여 log변환과 같은 적절한 변환을 취하게 되면 정규성을 만족하는 오차항을 얻을 수 있다.

III. 날씨보험에 대한 가격결정 방법의 비교

1. 날씨보험 담보

본 연구의 계기가 된 국내 손해보험업계가 개발한 여름철 이상저온 현상에 따른 손실을 보상하는 날씨보험의 담보내용은 다음과 같다.

- 보험기간 : 계약년도의 7월 1일부터 8월 31일(62일)
- 기준온도 : 1일 최고기온을 기준으로 섭씨 29도
- 보험금 지급여부 결정 기준 : 62일 동안에 하루 중 최고기온이 섭씨 29도 미만인 일수가 35일을 초과하는 경우 보험금 지급.
- 지급보험금 : 35일 초과 1일당 단위금액(예를 들어, 2억원)씩 지급. 최대 보험금 지급일수는 25일로 제한.

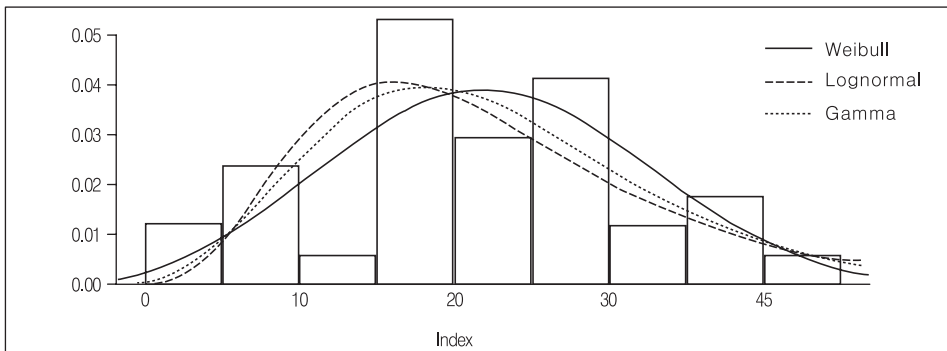
고온 다습한 여름에 집중적으로 수요가 발생하는 상품을 판매하는 기업들은 음료, 빙과, 냉난방기, 리조트 입장권에 대한 판매 증대를 기대하고 생산계획을 수립하게 된다. 그러나 이상저온 현상으로 인해 예상보다 판매량이 미진하게 되면 이익이 감소하거나 손실이 발생할 수 있다. 물론 이상저온 현상이 일시적으로 2~3일 정도의 짧은 기간이라면 손해의 정도가 작겠지만, 이상저온이 지속되는 일수가 하절기인 7월~8월 기간 동안 예상보다 길다면 해당 기업은 상당한 손실을 입을 수 있다. 따라서 날씨보험을 통한 보상 대상은 이상저온일수가 일정 일수를 초과함에 따라 발생하는 손실로 설정되었다. 본 논문에서는 이러한 이상저온 현상을 담보하는 날씨보험 상품을 대상으로 가격 결정모형을 적용해 보았다.

2. 기온지수에 대한 모형을 이용한 보험료의 계산

기온 지수모형(Index Model)은 모형화의 대상 변수가 기온 그 자체가 아니라, 기온을 근거로 산출되는 지수이다. 이 방법에서는 일별 최고기온을 기준으로 자료 기간 중 연도별로 7월 1일에서 8월 31일 사이의 2개월 중 일별 최고기온이 섭씨29도 미만인 일수인 지수 값을 먼저 집계한다. 이렇게 집계된 연도별 지수 값의 분포에 모수적 모형을 적합시킨 후 적합된 모형을 이용하여 순보험료와 리스크를 추정한다.

〈그림 5〉는 1961년부터 2005년까지의 기간에 대해 연도별로 7, 8월 2개월 중 섭씨29도 미만인 일수의 합계치에 대한 히스토그램과 일부 모수적 모형의 적합결과를 보여준다. 날씨보험 상품의 가격은 적합된 모수적 확률분포모형을 이용하여 생성한 난수를 적용한 Monte-Carlo시뮬레이션을 이용하여 결정할 수 있다.

〈그림 5〉 서울지역 섭씨29도 미만인 일수에 대한 Histogram과 분포적합 결과



그런데 분포모형의 적합과 관련한 한가지 문제는 지수는 이산형 분포이지만 적합된 모수적 분포모형은 연속형 분포라는 점이다. 따라서 시뮬레이션 과정에서 생성된 난수를 정수화 시키는 작업이 필요하다. 정수화된 난수의 값이 35를 넘으면 정수화한 난수값에서 35를 차감한 값으로 지급보험금을 결정하게 되며 그 값은 설정

된 보험금 지급조건에 따라 25단위금액을 초과할 수 없다.

과거 실적자료에 대해 몇 가지 모수적 모형을 적합하여 적합도 검정(goodness-of-fit test)을 적용하고 그 결과에 근거하여 검정통계량의 값이 가장 작은 Weibull 분포모형을 기온지수에 대한 모수적 모형으로 선택하였다. Weibull모형을 적용할 때 서울의 경우 주어진 보험금 지급 조건 하에서 순보험료는 1.19이고 표준편차는 3.09로 추정되었다. 적합된 모수적 모형의 가정 하에서는 과거에 실제로는 나타나지 않는 큰 지수값에 대한 가능성도 상당히 크게 추정하게 되는 순보험료 과다추정(over-estimation)의 문제점이 나타난다. 적합된 모수적 모형을 이용하여 시물레이션을 통해 보험료를 산출할 때 오른쪽 꼬리 부분에 대한 확률의 과다배정으로 인하여 실적치에 비해 보험료가 과다 책정될 수 있는 것이다. 이 문제를 해결하기 위하여 기온지수 확률분포모형의 오른쪽 꼬리 부분을 절단하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 또한 적용되는 모수적 모형의 적합도를 높이기 위해서 몇 가지 확률분포를 결합하는 방법을 생각할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 모형을 개선하기 위한 시도는 하지 않았으며 추후의 과제로 남겨 두었다.

3. 기온확률모형을 이용한 보험료의 계산

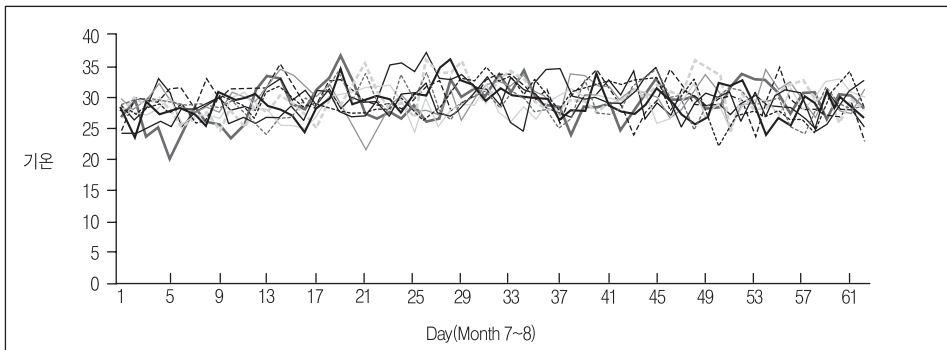
Cao-Wei모형을 변형한 모형을 이용하여 Monte-Carlo 시물레이션을 적용하면 날씨보험에 대한 가격결정과 리스크 평가가 가능하다. 본 논문에서는 추정된 기온확률모형(Daily Temperature Model)을 이용, 1,000회의 시물레이션을 실시하여 2006년의 일별 기온을 가상적으로 생성하였다. 시물레이션을 위한 초기값으로는 2005년 12월 31의 최고기온을 이용하였다. 시물레이션에서 추정된 값은 표준화된 장기평균온도와 실제온도간의 차이값이다. 이 값에 각 일별 표준편차를 곱하고, 다시 장기평균값($\hat{Y}_{yr,t}$)을 더해 장래의 기온을 가상적으로 생성하게 된다.

이때 생성된 기온들 중 29도 미만 일수의 합이 35일을 초과하게 되면 그 초과분만큼의 보험금 지급이 발생하는 것으로 간주하게 된다. 이러한 과정의 반복을 통해 2006년 7, 8월간의 가상적 최고기온 자료가 1,000개 생성되고 각 시물레이션 결과

마다 35일을 초과하는 29도 미만일 수를 계산하여, 이들의 평균값을 순보험료의 추정치로 결정한다.

각 시나리오에 따라 가상적으로 보험금의 지급 여부 및 그 금액이 결정되며, 각 시나리오 하에서의 가상적인 보험금의 평균을 순보험료로 추정하고, 그 표준편차의 평균을 이용하여 안전할증을 적용하게 된다. 생성된 기온 시나리오 중 일부의 그래프를 <그림 6>에 나타내었다.

<그림 6> 기온생성 시뮬레이션



서울지역의 일별 최고기온 자료를 이용하여 추정된 모형을 이용한 시뮬레이션의 결과 서울지역에 대한 순보험료는 0.35, 표준편차는 1.444로 추정되었다.

IV. 실증분석 결과

서울 지역 뿐 아니라 추가로 9개의 지역을 더 선택하여 실증분석을 실시하였다. 1971년부터 1995년까지의 자료를 이용하여, 지수모형과 기온확률모형의 두 가지 접근방법으로 모형을 적합하고, 1000회의 시뮬레이션을 통해 보험료와 표준편차를 계산하였다. 최종적으로 산출된 보험료를 1996년부터 2005년까지의 연도별 섭씨

29도 미만일수의 실적치와 비교하여 어떤 방법이 과거의 자료에 더 부합하고 있는지 평가해보았다. 본 실증분석의 10개 분석 대상 지역은 모두 내륙에 소재한 공통점을 가지고 있다. 해안지역의 경우 내륙지역과 달리 해안지역의 특성을 반영하는 추가적인 요인을 모형에 반영해야만 적절한 모형화가 가능하기 때문에 본 연구에서는 동질성을 가지는 내륙지역만을 분석 대상으로 하였다. 아래의 <표 2>에서 제시한 통계는 분석 대상 10개 지역별 분석기간 중 일별최고기온의 특성을 보여주고 있다. 표의 항목 중 최고기온 및 최저기온 평균은 각각 연도별 7, 8월 중 일별최고기온의 최고치 및 최저치에 대한 평균을 나타낸다. 평균과 표준편차는 연도별 62일(7, 8월 2개월)에 대한 일별최고기온의 평균에 대한 평균과 표준편차의 평균을 나타낸다. 마지막으로 연평균 29도 미만일수는 분석기간 중 섭씨29도 미만일수의 연도별 평균치를 구한 것이다.

<표 2> 지역별 분석기간 중 일별최고기온의 특성

구 분	서 울	광 주	대 전	대 구	춘 천
최고기온 평균	34.4	34.8	34.7	36.8	34.8
최저기온 평균	22.3	23.2	22.4	22.3	21.7
평 균	29.0	30.1	29.9	30.7	29.2
표준편차	2.86	2.63	2.79	3.54	3.09
연평균 29도 미만일수	28.6	20.4	22.1	19.8	26.7

구 분	진 주	수 원	전 주	합 천	충 주
최고기온 평균	34.7	34.0	35.3	35.4	34.8
최저기온 평균	22.4	22.4	23.1	22.1	22.3
평 균	29.7	29.0	30.4	30.0	29.8
표준편차	2.86	2.64	2.76	3.18	2.83
연평균 29도 미만일수	22.3	28.5	19.0	21.9	21.9

또한 순보험료는 시뮬레이션에서 얻은 기대값에 극대한 손실을 대비하기 위한 안전할증을 더한 보험료로 산출하였다. 여기서 안전할증을 반영한 보험료의 공식은 다음과 같다⁵⁾. 본 논문의 실증분석에서는 $k=1$ 로 가정하였다.

$$\text{보험료 산출식: 보험료} = \text{순보험료} + k \times \text{표준편차}$$

〈표 3〉에서는 10개 지역에 대한 분석 결과를 비교하고 있다. 본 논문에서는 이러한 분석결과를 얻는 세부 과정을 밝히지 않았으나 독자 중 요청이 있을 경우 모수 추정 결과 등 〈표 3〉의 결과를 얻는 과정에 대한 세부적 정보를 제공할 수 있다.

〈표 3〉은 지수모형의 경우 비교적 과다한 보험료를 책정하는 것을 보여주고 있다. 이는 앞서 지적한 바와 같이, 실제로는 발생하기 매우 극단적인 경우의 확률을 기온확률모형보다 더 크게 부여하는 문제 때문이다. 기온지수를 이용한 보험료 추정 시 오른쪽 꼬리 부분의 확률이 과다 추정된 적합된 모수적 분포를 이용하는 문제가 있는 것이다. 이에 비하여 기온확률모형의 경우에는 매일 매일의 기온 자료를 이용함으로써 기온의 분포를 보다 정밀하게 표현할 수 있다. 근원적으로 두 접근방법은 과거 정보 이용 측면에서 차이가 있는 것이다. 기온지수 모형을 이용하는 경우 보험기간 동안의 지수값에 대한 정보만을 사용하고 추가적인 정보는 이용하지 않는다. 이에 반해 기온확률모형의 경우 과거의 일별 기온 자료가 가진 정보를 모두 활용하여 보다 세밀한 모형을 추정하여 사용하기 때문에, 모형의 정밀성 측면에서 개선이 이루어진다고 볼 수 있는 것이다.

두 가지 접근방법을 보험료 산출결과라는 측면에서 살펴보면 순보험료 기준으로 기온확률모형은 0.35원, 지수모형은 1.19원의 결과치를 산출하였다. 이는 후자의 방법이 전자보다 약 3.4배 정도 큰 결과이다. 이러한 결과는 앞서 지적한 바와 같이 기온지수의 분포를 표현하기 위해 적용되는 모수적 분포모형의 극단값에 대한 과다 추정 문제 때문이다.

5) k 값의 결정은 보험자의 의사결정 패턴에 따라 어느 정도 주관적으로 결정된다. 본 논문에서는 $k=1$ 로 가정하였다. 정규분포 가정 하에서 이것은 85백분위수를 기준으로 보험료를 책정한다는 것을 의미한다.

〈표 3〉 전국 10개 지역의 실증분석 결과

구 분	지 역	서 울	광 주	대 전	대 구	춘 천
	10 년 간 총 지급보험금	1	4	6	0	0
Daily Temperature Modeling	10 년 간 순보험료 수입	3.50	4.17	2.75	3.43	3.98
	10년간 총손실 (순보험료 기준)	-2.50	-0.17	3.25	-3.43	-3.98
	표 준 편 차	1.44	2.09	1.71	1.79	2.71
	안전할증 반영한 10년간 보험료수입	17.94	25.13	19.85	21.38	31.09
	10년간 총손실 (안전할증 반영한 보험료 적용 시)	-16.94	-21.13	-13.85	-21.38	-31.09
Index Modeling	10 년 간 순보험료 수입	11.9	9.68	8.08	5.05	5.95
	10년간 총손실 (순보험료 기준)	-10.9	-5.68	-2.08	-5.05	-5.95
	표 준 편 차	3.09	3.20	2.58	3.46	3.25
	안전할증 반영한 10년간 보험료수입	42.80	41.73	33.95	39.73	38.49
	10년간 총손실 (안전할증 반영한 보험료 적용 시)	-41.80	-37.73	-27.95	-39.73	-38.49

구 분	지 역	진 주	수 원	전 주	합 천	충 주	합 계
	10 년 간 총 지급보험금	1	3	3	2	1	20
Daily Temperature Modeling	10 년 간 순보험료 수입	4.85	3.43	7.32	4.07	1.56	38.71
	10년간 총손실 (순보험료 기준)	-3.85	-0.43	-4.32	-2.07	-0.56	-18.71
	표 준 편 차	1.85	1.74	1.75	1.32	1.46	
	안전할증 반영한 10년간 보험료수입	23.44	20.88	24.82	17.31	16.24	203.08
	10년간 총손실 (안전할증 반영한 보험료 적용 시)	-22.44	-17.88	-21.82	-15.31	-15.24	-183.08
Index Modeling	10 년 간 순보험료 수입	13.3	11.2	10.2	9.8	8.2	85.16
	10년간 총손실 (순보험료 기준)	-12.3	-8.2	-7.2	-7.8	-7.2	-65.16
	표 준 편 차	2.98	3.33	3.48	2.97	3.21	
	안전할증 반영한 10년간 보험료수입	43.17	44.54	45.07	39.58	40.34	369.12
	10년간 총손실 (안전할증 반영한 보험료 적용 시)	-42.17	-41.54	-42.08	-37.58	-39.34	-349.12

이러한 모수적 분포모형의 문제점으로 인해 기온지수를 이용하는 접근방법의 경우 보험료의 과다추정(over-pricing) 문제가 야기되는 것이다. 이에 반해 기온확률모형의 경우에는 일별 기온의 특성을 반영한 보다 세밀한 모형을 적용하여 시뮬레이션을 하였기 때문에 과거 실적치 분포에 보다 근접한 결과가 나타난다. 안전할증을 적용하기 위한 표준편차의 추정에서도 유사한 현상이 나타난다. 순보험료 추정시와 같은 이유로 기온지수 모형을 이용하는 경우 기온확률모형을 적용하는 경우에 비해 보험금에 대한 표준편차가 훨씬 큰 값으로 추정된 결과를 위의 <표 3>에서 확인할 수 있다.

V. 결론

실증적 비교분석의 결과 현재 날씨보험시장에서 도입된 날씨보험의 가격 산출에 사용되고 있는 기온지수를 이용한 방법에 비해 기온확률모형을 적용하는 경우 추정된 보험료가 크게 낮아지는 것으로 나타났다. IV장에서 설명한 바와 같이 기온지수에 대해 분포모형을 적합하여 보험료를 산출하는 경우 오른쪽 꼬리 부분 확률의 과다추정으로 인한 문제가 있는 것이다. 또한 매일 매일의 기온 자료를 이용하는 모형의 정밀성도 기온확률모형을 이용하는 접근방법의 장점이라 할 수 있다. 물론 본 논문에서 제시한 기온확률모형의 적합성을 개선할 여지는 많다. 그러나 과거자료에 포함된 정보의 활용성 측면에서의 우월성을 감안할 때 앞으로 기온확률모형을 이용한 날씨보험 보험료 산출 방법이 적극적으로 검토되고 채택되기를 기대한다.

본 논문에서 적용을 제시한 기온확률모형은 개선이 필요하다. 예를 들어 본 논문에서 제시한 기온확률모형을 일별 최고기온 데이터에 적용했을 때, AR모형이 기온의 ACF를 정확히 반영하지 못하는 경우가 발생하기도 하였다. 이는 최고기온의 자료를 보정하여 $\hat{Y}_{yr,t}$ 을 얻는 과정에서 보다 정교한 작업이 필요함을 의미한다. 그리고 확률모형의 성과가 내륙지역과 해안지역에서 상이하게 나타날 가능성도 모형에 반영될 수 있어야 한다. 즉, 다른 기상학적인 요인이 반영되지 않은 채 단순한 시계

열 분석 기법만으로 지역별 날씨특성을 반영하는 확률모형을 추정하는 것은 한계가 있다.

날씨보험과 관련한 기본적인 연구 주제는 가격산출 측면이다. 날씨보험의 확산을 위하여 다양한 날씨 관련 변수에 대한 모형화 작업이 이루어져야 할 것이며 그러한 모형을 이용한 가격산출 방법이 제시되어야 할 것이다. 날씨보험에 대한 연구는 가격 결정의 측면뿐만 아니라 다른 주제로도 확산되어야 할 것이다. 우선 날씨보험 계약 포트폴리오에 대한 리스크 평가는 실무적으로 연구가 요구되는 주제이다. 보험사가 날씨보험을 판매할 때 한 지역에만 국한되지 않을 것이다. 여러 지역에서 동일한 날씨보험 상품이 판매되는 경우 날씨보험 계약 포트폴리오에 대한 종합적인 리스크의 평가가 필요하다. 이를 위해서는 먼저 여러 지역에 대한 날씨 관련 변동성을 표현할 수 있는 다변량 모형의 적용이 필요하다. 날씨보험 판매에 따른 파생상품 등을 이용한 리스크 헷징(risk hedging) 방법도 연구가 필요한 주제라고 생각한다.

최근 자본시장통합법이 오는 2009년 초에 시행되는 것으로 확정됨에 따라 날씨 파생상품의 도입도 가속화될 것이며, 이러한 상황에서 날씨보험에 대한 합리적인 가격 결정 방법의 제시가 필요하다. 무엇보다도 수요자가 수급할 수 있는 수준의 보험료가 제시되어야 날씨보험의 가격경쟁력이 확보되고 그 시장이 확대될 수 있을 것이다. 앞으로 다양한 날씨 관련 보험상품에 대한 연구가 활성화되기를 기대한다.

참 고 문 헌

- 강정모, 「날씨보험 활성화 방안」, 『손해보험』, 손해보험협회, 2006.3, pp.25~43.
- 보험개발원, 「날씨위험에 대한 손해보험회사의 역할 강화 방안」, 『CEO Report』 2006.4.
- 이준행, 「날씨옵션상품의 가격결정에 대한 연구:CDD/HDD 지수 옵션을 중심으로」, 『증권학회지』, 제31권, 한국증권학회, 2002, pp.229~255.
- Campbell, Sean D. and Francis X. Diebold, “Weather Forecasting for Weather Derivatives”, *Journal of the American Statistical Association*, Vol.100, No.469, March 2005, pp.6~16.
- Cao, M. and J. Wei, “Pricing the Weather”, *Risk*, May 2000, pp.67~70.
- Diebold, F. X., *Elements of Forecasting*, 3rd ed., Cincinnati: South-Western, 2004.
- Element Re, *Weather Risk Management*, Erik Banks, ed., New York: Palgrave, 2002.
- Jewson, S. and A. Brix, *Weather Derivative Valuation*, Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

Abstract

Subject of this paper is weather risk which means financial risk that a business may be exposed regarding weather events such as high or low temperature, snow or rain more or less than expected, and strong wind. Since there is yet no established market for weather derivatives in Korea, weather insurance is the only available risk financing technique currently. However, despite the rather huge potential demand for such insurance products, the weather insurance market has not been so active so far, mainly due to the lack of feasible products which are reasonably priced from the insureds' viewpoints.

This paper proposes a weather insurance pricing method which better reflects characteristics of weather variability in Korea. In order to do so, this paper suggests adoption of modified Cao-Wei model to represent variability of maximum daily temperature. This paper explains process for the application of suggested model and also attempts to compare the performance of this model and the index model which was used for the pricing of a weather insurance product introduced by property and casualty insurance companies in Korea. The empirical study performed on the temperature data of 10 inland cities including Seoul for last 10 years reveals that consistent over-pricing on the part of the index model.

※ Key words : Cao-Wei model, Stochastic temperature model, Weather Insurance, Weather risk