

강수량 파생상품을 활용한 헤징효과 분석*

윤원철**

요 약

최근의 강수량 부족 사태로 K-water를 비롯한 국내 수력 발전사업자들의 수익이 악화되고 있으며, 향후에도 날씨와 기후변화에 따라 이러한 수익의 불확실성은 높아질 가능성이 있다. 본 연구에서는 K-water가 운영 중인 소양강 수력 발전소를 대상으로 강수량을 기초로 한 가상의 날씨 파생상품을 설계하고, 이를 활용한 경우의 수익 안정화 효과에 대하여 실증적으로 분석하였다. 실증분석 결과에 따르면, 월별로 차이가 있지만 날씨 파생상품을 활용하지 않은 경우에 비해 최저 13%에서 최대 66% 가량 K-water의 수익 변동성이 감소하는 것으로 나타났다.

주요 단어 : 강수량, 파생상품, 헤징효과

경제학문헌목록 주제분류 : C13, D81, F31, G32

* 이 논문은 한양대학교 교내연구지원사업으로 연구되었음(HY-2015년도).

** 한양대학교 경제금융학부 교수. wcyun@hanyang.ac.kr

I. 서 론

산업구조가 팽창하고 복잡해지면서 날씨와 기후의 영향이 모든 산업으로 확산되고 크기도 증가되는 추세이다. 특히 에너지산업은 날씨와 기후 관련 위험과 가장 연관이 큰 분야 가운데 하나이다. 예를 들어, 에너지 소비자는 겨울철의 이상저온이나 여름철의 이상고온으로 말미암아 에너지 소비에 대한 지출이 증가할 수 있다. 에너지 공급자의 경우도 평균적인 온도를 벗어난 경우 에너지 소비가 감소할 수 있고, 이로 인해 매출이 감소하게 된다. 특히, 수력 발전사업자는 강수량에 따라 발전량이 크게 변동할 수 있고, 이로 인해 발전으로부터 발생하는 수익 또한 변동하게 된다.

유례없는 강수량 부족 사태로 K-water를 비롯한 국내 수력 발전사업자들의 발전량이 최근 들어 급격하게 감소하였고, 이에 따라 수익이 악화되었다. 보다 큰 문제는 향후에도 이러한 강수량 부족으로 말미암아 수력 발전사업자들의 수익에 대한 불확실성은 높아질 가능성이 있다는 점이다. 국내에서는 아직까지 강수량을 포함한 날씨 관련 파생상품을 활용한 위험관리가 제대로 정착되고 있지 않다. 하지만 해외 주요국에서는 이미 날씨 관련 보험이나 파생상품을 활용하여 기온, 강수량, 강설량 변동에 따른 해당 사업자의 수익과 비용 흐름의 불확실성을 상당 부분 제거하는 노력이 가시화되어 왔다.

본 연구에서는 강수량을 기초로 한 가상의 날씨 파생상품을 설정하고, 이를 활용하여 K-water가 현재 운영 중인 수력 발전소를 대상으로 날씨 파생상품을 활용한 경우의 수익 안정화 효과에 대하여 실증적으로 분석한다. 이를 위해, 실측된 표본자료를 활용하여 강수량의 통계적 특성과 분포를 파악하고, 강수량지수 파생상품의 가격결정과 이의 도입 효과에 대해 정량적으로 분석한다. 기존 국내 연구에서는 주로 기온을 대상으로 하였으며 강수량을 기초로

한 날씨 보험이나 파생상품에 관한 연구는 미진하였다. 또한 연구의 대부분이 날씨 관련 보험이나 파생상품의 가격결정에 초점을 맞추고 있고, 이들 상품의 도입 효과에 대한 연구는 거의 없는 것으로 파악된다. 따라서 본 연구의 차별성은 국내 특정 수력발전소의 강수량에 대한 실제 표본자료를 활용하여 강수량 파생상품의 적정 가치를 산정할 뿐 아니라 파생상품 도입의 효과를 실증적으로 분석하였다는 데 있다.

본고의 구성은 다음과 같다. 2항에서는 기존 관련 연구들을 살펴보고, 주요 결과를 정리한다. 3항에서는 강수량의 통계적 특성과 이의 분포에 대해 설명한다. 4항에서는 강수량 파생상품의 가격결정에 대하여 기술한다. 5항에서는 강우량을 기초로 한 날씨 파생상품의 헤징효과를 실증적으로 분석한다. 끝으로 6항에서는 요약과 정책적 제안을 제시한다.

II. 기존 문헌조사

날씨 관련 보험이나 파생상품에 관한 국내외 연구는 다수 존재하는데, 주로 보험료의 산정이나 옵션 형태 파생상품의 적정 가치를 결정하는 방법에 관한 연구가 주류를 이루고 있다.¹⁾ 또한 날씨 가운데 주로 기온을 지수화하여 이를 기초자산으로 하는 보험이나 파생상품에 관한 연구가 대부분을 차지하고 있다. 반면 강우량, 강우일수, 적설량, 허리케인 등 다른 기상 요소를 대상으로 하는 실증분석 연구는 상대적으로 미진한 실정이다. 본 연구와 같이 강수량을 대상으로 하는 해외 연구로는 Cao et al.(2004), Carmona and Diko(2005), Leobacher and Ngare(2011), Cabrera et al.(2013) 등을 들 수 있다.

1) 박환일(2011)에서는 대표적인 날씨 관련 보험이나 파생상품으로 대재해채권(catastrophe bond), 농작물재해보험(crop disaster insurance), 날씨보험(weather insurance), 신종날씨보험, 날씨파생상품 등을 상세히 소개하고 있다.

Cao et al.(2004) 연구에서는 강수량의 특색을 반영하여 세 가지 일별 강우 예측모형을 제시하고, 강수량 지수를 기초로 하는 파생상품계약의 가치를 평가하였다. 하지만 강우위험에 대한 시장가격은 제대로 측정하지 못한 단점이 있다. Carmona and Diko(2005)는 강수량 분포에 대한 동태적 확률모형으로 마르코프 점프프로세스 모형(Markov jump process model)을 제안하였다. 또한 해당 확률모형을 기초로 효용무차별 가치평가(utility indifference pricing) 방식을 활용하여 강수량 파생상품의 가치를 평가하였다. Leobacher and Ngare(2011)는 케냐의 특정 지역 강수량 표본자료를 사용하여 강수량지수 옵션의 가격결정에 관한 연구를 진행하였다. 해당 연구에서는 Markovian-Gamma 모형을 사용하여 강수량 예측모형을 설계하고, 효용무차별 가치평가 방식을 활용하여 해당 파생상품의 가치를 평가하였다. Cabrera et al.(2013)에서는 강수량의 표본자료 분포가 정규분포가 아닌 Normal-Inverse Gaussian 분포를 따른다고 가정하고 강수량에 대한 예측모형을 제시하였다. 특히, 해당 연구에서는 미국 강수량 자료와 CME의 선물가격 자료를 활용하여 강수량 파생상품에 대한 위험의 시장가격(market price of risk)을 처음으로 측정한 바 있다.

날씨 관련 보험이나 파생상품에 관한 국내 연구는 해외의 경우처럼 기온이나 강수 등 기상요소를 기초자산으로 하는 옵션 형태의 파생상품에 대한 적정 가치를 결정하는 방법과 이를 토대로 실증적으로 적정 가치를 산출한 연구가 대부분이다. 대표적인 연구로는 이준행(2002), 배광일·정진희(2009), 최창희 외(2012), 최창희 외(2013) 등이 있다. 이준행(2002)의 연구에서는 평균회귀 모형과 Cao and Wei(2000) 모형을 이용하여 서울의 기온 예측모형을 설정하였다. 또한 보험계리 분야에서 일반적인 Burn-Rate 방법과 보다 정교한 형태의 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-Carlo simulation) 방법을 사용하여 기온을 기초자산으로 하는 파생상품의 이론가격을 산정하였다. 실증분석 결과에 따르면, Cao-Wei 모형이 추세를 더 잘 잡아내며 실제 CDD/HDD 지수를 잘 근사하는 것으로 나타나 옵션의 디자인이나 가치평가에 유용한 모형임을 밝혔다.

배광일·정진희(2009)의 연구에서는 과거 한국의 자료들을 이용하여 온도의 프로세스를 가정하고, 미국 시카고와 뉴욕의 HDD 선물시장으로부터 시장위험 가격을 추출하였다. 또한 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 기온을 기초자산으로 하는 파생상품의 가격을 수치적으로 계산하였다. 이와 함께, Alaton et al.(2002)의 결과를 이용하여 온도 프로세스에 해당하는 선물 및 옵션가격에 대하여 근사적 폐쇄해(closed form solution)를 제시하였다.

최창희 외(2012)의 연구에서는 매출이 기온의 변화에 매우 민감하고 강한 상관관계를 가지는 국내 도시가스사업에서 날씨가 미치는 위험을 추정하였다. 또한 효용무차별 가치평가 방식을 활용하여 적정 가치가 추정된 날씨파생상품이 도시가스사업의 수익 변동성에 미치는 영향을 실증적으로 분석하였다. 특히, 해당 연구에서 제시한 날씨파생상품을 활용하여 도시가스업체는 수익을 올리고 수익의 변동성을 줄이는 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.²⁾ 최창희 외(2013)의 연구에서는 강수횟수와 강수량의 확률적 모델링을 통하여 여러 가지 강수보험을 제안하고 추정된 결합분포를 통하여 보험료를 산출하였다. 또한 개별분포와 추정된 코플라(copula)를 이용하여 시뮬레이션 방식에 따라 여러 가지 강수보험의 적정 가격을 결정하는 방법을 제안하였다.

Ⅲ. 강수량의 통계적 특성 및 분포

본 연구의 주된 관심사인 강수량지수 파생상품을 설계하기 위해서는 먼저 강수량지수를 설정해야 한다. 예를 들어, 미국 시카고상품거래소(CME)에서

2) 참고로, 박환일(2011)의 연구에서는 가상의 HDD 변화와 영업이익 변동 분포를 분석하였다. 지수방식의 신종날씨보험을 이용하면 위험관리를 하지 않을 경우에 비해 평균 영업이익이 5% 증가하고 변동성은 60% 감소한다. 그리고 날씨파생상품을 이용하면 위험에 노출되어 있는 경우보다 평균 영업이익이 6% 증가하고 변동성은 47% 감소한다. 신종날씨보험과 날씨파생상품 모두 평균 이익이 증가하고 변동성이 감소하는 효과가 발생하는 것으로 나타났다.

는 2011년도부터 강수량지수 파생상품이 판매되고 있으며, Inch 단위로 측정된 일 강수량의 누적을 기초자산으로 사용한다. 이를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$RF_{T_i} = \begin{cases} if RF_{T_i} > 0, then RF_{T_i} \\ else 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$cRF_{T_i} = \sum_{\tau=T_1}^{T_2} RF_{T_i}$$

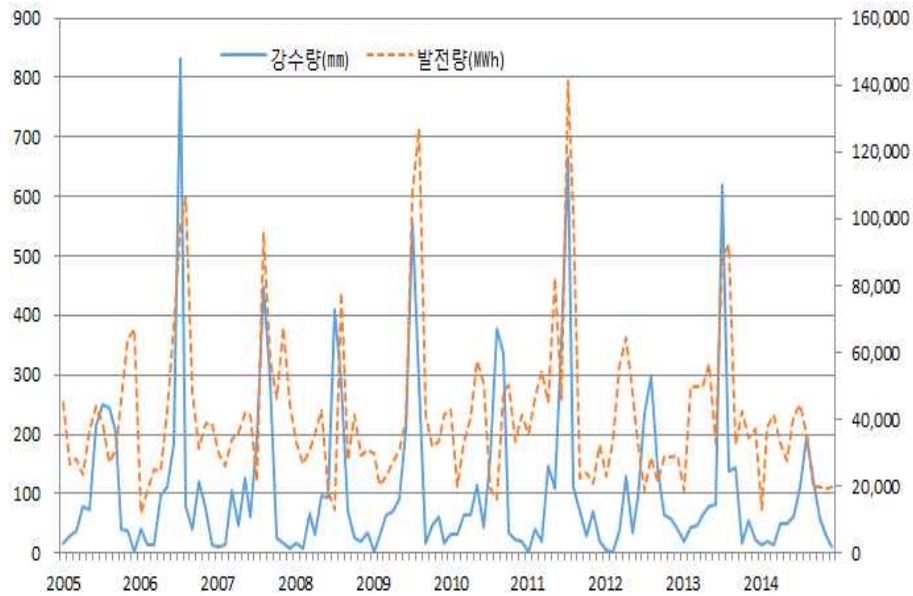
여기서, T_1 = 현재 시점, T_2 = 만기 시점, RF_{T_i} = 일일 강수량, cRF_{T_i} = 일별 누적합산 지수를 의미한다.

이제 강수량에 대한 통계적 특성을 살펴볼 필요가 있다. 일별 강수량의 경우 다음과 같은 특성을 가지고 있다(Cabrera et al., 2013). 첫째, 비가 오는 사건은 이진법적인 모형으로 나타낼 수 있으며, 이로 인해 급격한 변동성을 보인다. 둘째, 강수량은 약한 계절성을 나타내고 있지만 이를 기온과 같이 강수량의 특성으로 간주하기 어렵다. 셋째, 기온과 달리 강수량은 무조건 양의 값을 가진다. 이와 같은 특성으로 말미암아 강수량 예측모형으로는 직접 지수를 모형화하여 이를 표현하는 통계적 혹은 계량적 모형들이 활용되고 있다.

본 연구에서는 입수 가능한 표본자료의 한계로 인하여 특정 수력발전소의 일별 강수량 대신 월간 누적 강수량 자료를 활용하기로 한다. [그림 1]은 2005년 1월부터 2014년 12월까지 최근 10년간 K-water가 운영 중인 소양강 수력발전소의 월별 강수량(mm)과 발전량(MWh)의 추이를 함께 나타낸 것이다. 월별 강수량의 경우 최소값은 0.7mm, 최대값은 832.3mm, 평균값은 108.0mm, 그리고 표준편차는 141.5mm로 나타났다. 월별 강수량 추이의 특징은 하계 기간인 6~9월에 강수량이 많고 동계 기간인 11~2월에 적다는 것이다. 월별 강수량과 발전량 사이의 단순상관계수는 0.52로 나타났다.

[그림 1] 소양강 수력발전소의 월별 누적 강수량 및 발전량 추이

(단위: mm, MWh)



주: 그림의 Y축의 좌측은 강수량을, 우측은 발전량을 나타냄.

자료: K-water 내부자료

표본자료를 대상으로 특정 분포의 적합도(goodness of fit)를 파악하기 위해서는 다양한 형태의 비모수 검정(nonparametric test)을 활용할 수 있다. 본 연구와 같이 표본자료가 상대적으로 많지 않은 소표본의 경우 KS 검정(Kolmogorov-Smirnov test) 등을 활용하여 확률밀도함수(probability density function, PDF)와 표본자료의 유사한 정도를 통계적으로 평가할 수 있다. 이렇게 모형화에 적합한 분포를 찾아낸 후 해당 확률분포의 모수를 추정하여 강수량 예측모형을 설정하게 된다. 또한 이러한 강수량 예측모형을 기초로 하여 몬테카를로 시뮬레이션 과정을 거쳐 월별 강수량을 생성시킨다.

Leobacher and Ngare(2011)를 비롯한 다수의 기존 연구들에서는 강수량의 특징을 설명하기 위해 감마분포(gamma distribution) $\Gamma(\alpha, \beta)$ 를 활용하였다.

감마분포는 2개의 모수를 사용하여 지수분포나 지수분포와 유사한 형태의 분포를 나타내는데 자주 사용된다. 일간 강수량의 경우 도수분포가 지수적으로 감소하는 경우가 많고 월간 강수량의 경우도 지수적으로 감소하거나 강수량이 적은 구간에 분포가 집중되는 현상이 자주 발생한다. 본 연구에서도 월간 강수량이 감마분포를 따른다고 가정한다. 주지할 사항은 특정 월의 1일 강수 분포가 감마분포를 따른다고 가정하면 월 강수량은 동일한 감마분포의 합산이므로 월 강수량 또한 감마분포를 따르게 된다(최창희 외, 2013).

감마분포의 경우 모수인 α (모양 매개모수)와 β (크기 조정모수)에 의해 해당 분포의 모양이 결정된다. 따라서 α 와 β 를 조정하여 월별 누적 강수량 분포와 가장 근접한 분포를 찾아낼 수 있다. <표 1>은 최근 10년간 월별 누적 강수량 표본자료를 활용하여 감마분포를 추정한 결과를 보여준다.³⁾ 표에서 알 수 있듯이, α 와 β 의 추정치 모두에서 p-값이 5% 이하로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

이러한 감마분포를 따르는 난수(random numbers)를 추출하여 시뮬레이션을 실시하게 되면 월별로 강수량 예측 데이터를 생성할 수 있다. [그림 2]는 10년간 1월의 누적 강수량을 10회 시뮬레이션한 결과를 예시한 것이다. 1월의 경우 일간 누적 강수량이 많지 않아 50mm 이내에서 최대 강수량이 결정되고 있다. 또한 시뮬레이션의 특성상 연별로 강수량이 등락을 반복하는 것으로 나타난다.

3) 본 연구에서 감마분포의 모수를 추정하기 위해 사용한 프로그램은 Eviews 6.0이고, 이를 기초로 강수량에 대한 난수를 생성하는 시뮬레이션은 Gauss 6.0을 사용하였다.

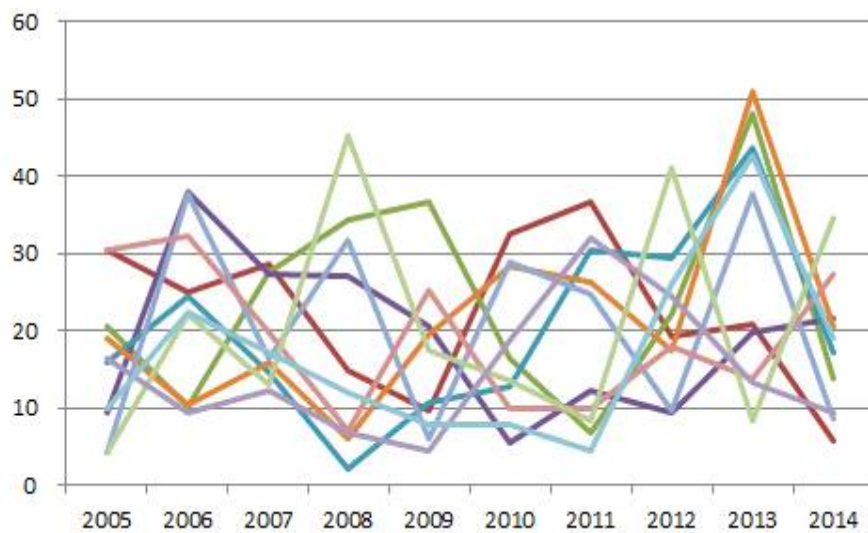
<표 1> 월별 누적 강수량에 대한 감마분포 추정 결과

월	α	β
1	1.3482 (0.0133)	11.4520 (0.0401)
2	1.4748 (0.0139)	15.4393 (0.0383)
3	2.6165 (0.0178)	17.9245 (0.0315)
4	5.0776 (0.0210)	15.2197 (0.0281)
5	8.0815 (0.0225)	11.0029 (0.0270)
6	2.5302 (0.0176)	55.5799 (0.0317)
7	2.6919 (0.0179)	150.1081 (0.0313)
8	4.1985 (0.0202)	58.7372 (0.0288)
9	1.7715 (0.0152)	81.2044 (0.0355)
10	3.3739 (0.0192)	13.7495 (0.0298)
11	3.9394 (0.0199)	11.2225 (0.0291)
12	2.4423 (0.0173)	7.8736 (0.0320)

주: () 안은 z-통계치에 대한 p-값임.

[그림 2] 1월의 누적 강수량에 대한 10회 시뮬레이션 결과

(단위: mm)



IV. 강수량 파생상품의 가격결정

강수량 보험이나 파생상품의 경우 일반적인 시장에서 거래되지 않는 불완전한 날씨를 기초자산으로 사용하기 때문에 시장위험이 존재한다. 따라서 위험이 헤징된 무위험 포트폴리오를 형성하는 것이 불가능하고, 강수량 분포에서 시장위험을 제거해야 한다. Cabrera et al.(2013)에 따르면, 에셔변환(Esscher transform)⁴⁾을 통해 시장위험을 반영한 분포를 만들고, 이러한 시장위험을 헤징시킬 수 있다.

가령 1월 강수량의 분포가 모수가 각각 α 와 β 인 감마분포를 따른다고 가정하면 시장위험이 헤징되지 않은 강수량의 분포는 아래의 확률밀도함수(PDF)를 따른다.

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)} \quad (2)$$

단, $x \geq 0; \alpha, \beta > 0$.

이때 PDF $f(x)$ 를 시장위험을 나타내는 모수(h)를 사용하여 에셔변환하면 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$f'(x; h) = \frac{\exp(hx)f(x)}{\int_{-\infty}^{\infty} \exp(hx)f(x)dx} \quad (3)$$

PDF $f(x)$ 에 e^{hx} 를 곱하면 함수의 적분 값이 1이 되지 않기 때문에 해당

4) PDF를 모수(h)를 통해 새로운 확률분포로 변환시켜주는 것을 말한다.

함수는 더 이상 PDF가 아니다. 이 문제를 해결하기 위해 $e^{hx}f(x)$ 의 적분 값으로 나누어 주어 변환된 함수가 새로운 PDF가 되도록 해준다. 이러한 변환을 통해 위의 감마분포 식을 전환하면 아래의 식과 같아진다.

$$f'(x; \alpha, \beta, h) = \frac{1}{\Gamma(\alpha) \left(\frac{\beta}{1-h\beta} \right)^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-(x/\beta) + hx} \quad (4)$$

단, $x \geq 0; \alpha, \beta > 0$.

모수가 α, β 인 감마분포를 $\Gamma(\alpha, \beta)$ 로 표현하면 위의 식은 $\Gamma(\alpha, \frac{\beta}{1-h\beta})$ 와 같다(성균관대 실사구시팀, 2012). 이렇게 추정된 분포는 시장위험(h)를 제거한 강수량의 분포를 나타낸다. 이러한 감마분포 식을 가지고 몬테카를로 시뮬레이션을 시행하면 된다.

그런데, 에서전환된 분포에서 모수 h 를 추정할 수 있어야 한다. 하지만 현재 국내에서는 강수량지수 보험이나 파생상품이 거래되고 있지 않기 때문에 실제 거래가격 자료를 구할 수 없고, 결과적으로 h 를 추정할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 위험이 제거되지 않은 상태의 이론가격을 산출하기로 한다. 몬테카를로 시뮬레이션 과정을 통해 도출한 이론가격은 시장위험에 노출되어 있는 풋옵션과 콜옵션에 대한 가치이며, 아래와 같이 산출할 수 있다. 본 연구에서는 월별로 10년간 10,000회의 시뮬레이션을 통해 월별 누적 강수량을 시뮬레이션하고, 이의 기댓값을 구하여 콜옵션과 풋옵션에 대한 적정 가치를 산출하였다.⁵⁾

5) 보험을 비롯한 옵션형 파생상품의 가격결정 방법으로는 블랙-숄즈 옵션모형(Black-Scholes option pricing model)과 몬테카를로 시뮬레이션 방법이 주로 활용되고 있다. 하지만 일반상품과 금융상품의 옵션가치 결정에 널리 활용되는 블랙-숄즈 모형의 경우 지수형 날씨보험의 순보험료나 날씨파생상품의 가격결정에는 적합하지 않은 것으로 알려져 있다(이준행, 2002).

$$Call_t = e^{-r(T_2 - T_1)} E_t \{ \max[(cRF_{T_i} - K), 0] \} \quad (5)$$

$$Put_t = e^{-r(T_2 - T_1)} E_t \{ \max[(K - cRF_{T_i}), 0] \} \quad (6)$$

여기서, $Call_t$ 은 콜옵션의 가치, Put_t 은 풋옵션의 가치를 나타낸다. 또한 T_1 과 T_2 는 각각 현재와 만기 시점, cRF_{T_i} 는 일간 누적합산 지수, K 는 해당 옵션의 행사가격, 그리고 r 은 무위험이자율을 나타낸다.

위의 식에서 무위험이자율로 할인하는 것은 위험중립확률(risk-neutral probability)이 존재해야 가능하다. 하지만 날씨지수의 현물시장이 존재하지 않기 때문에 날씨보험이나 날씨파생상품은 무위험 차익거래(no arbitrage) 자체가 불가능하고, 이에 따라 위험중립확률을 가정하는 것이 적절하지 못하다. 하지만 Hull(2006)에서 제시하였듯이, 날씨지수와 시장지수 사이의 상관관계가 전혀 없다면 날씨위험의 시장가격은 영이라고 가정할 수 있다. 따라서 날씨위험의 가격이 영이라는 가정 하에 날씨보험이나 날씨파생상품의 가치평가에서 무위험이자율로 할인하는 것이 가능하다(이준행, 2002).

V. 강수량지수 파생상품의 헤징효과

다음에서는 앞서 도출한 옵션가격을 반영하여 소양강댐의 강수량을 기초로 설계한 날씨 파생상품의 헤징효과를 분석한 과정과 결과를 설명한다. 이를 위해 다음과 같은 헤징시나리오를 설정한다. K-water는 매월 강수량이 일정 수준 이하로 내려가면 유량이 감소하여 댐에서 생산하는 수력 발전량이 감소하고 이에 따라 발전수익이 감소하게 된다. 최근 10년간 월별 누적 강수량과 발전수익을 비교한 결과 누적 강수량이 1mm 감소할 때 마다 발전수익이 241백

만원 감소하는 것으로 나타났다.⁶⁾ 이렇게 누적 강수량 감소에 따라 수익이 감소하는 것을 방지하기 위해 K-water는 세 가지 위험관리 전략을 수립한다. 이들 전략은 (1) 유럽형 풋옵션(European style put option) 매입, (2) 유럽형 콜옵션(European style call option) 매도, 그리고 (3) 유럽형 풋옵션 매입과 유럽형 콜옵션 매도를 합성한 형태의 선도계약(short range-forward) 매도 등이다. 여기서 ‘유럽형’이란 옵션의 만기 이전에는 해당 옵션을 행사할 수 없고, 옵션 만기시에만 해당 옵션을 행사를 할 수 있다는 의미이다. 왜냐하면 누적 강수량을 기초로 한 날씨 파생상품 특성상 한 달 전체의 누적 강수량이 측정되기 전까지는 옵션 행사 여부를 확인할 수 없기 때문이다. 옵션 매입 규모는 전체 발전수익의 일정 부분만을 대상으로 할 수 있지만 본 연구에서는 분석의 편의를 위해 전체 발전수익을 대상으로 하였다.

구체적으로 강수량을 기초로 한 날씨 파생상품의 헤징효과에 대한 시뮬레이션 과정은 아래와 같다.

- 월별로 누적 강수량에 대한 감마분포의 모수 추정
- 추정된 감마분포를 기초로 10년간 월별 누적 강수량에 대한 난수 생성
- 생성된 난수를 활용하여 해당 파생상품에 대한 적정 가치 산출
- 헤징시나리오에 따른 수익흐름 도출
- 헤징하지 않은 경우와 헤징한 경우의 수익흐름(평균 및 표준편차) 비교

풋옵션 형태의 날씨 파생상품을 매입할 경우 K-water가 얻을 수 있는 옵션 만기(T)시 순수익($payoff_T$)은 아래의 식으로 표현할 수 있다. 즉, 월별 누적 강수량이 행사가격 이하이면 순수익은 월별 누적 강수량과 풋옵션으로

6) 월별로 누적 강수량과 발전수익 사이에는 편차가 큰 것으로 나타났다. 따라서 옵션가치 산정을 위한 1mm 당 톱사이즈 또한 월별로 상이하게 설계하는 것이 보다 타당할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 편의상 모든 월에 대해 동일한 톱사이즈를 적용하여 임의로 1만원을 설정하였다.

부터의 수익을 합한 것이 되고, 여기에 풋옵션 프리미엄을 차감하면 된다. 반면 월별 누적 강수량이 행사가격을 초과하면 풋옵션을 행사할 필요가 없고, 순수익은 풋옵션 프리미엄만큼의 손실로 나타난다.

$$\text{If } S_T \leq K, \text{ then } payoff_T = S_T + [(K - S_T) \times tick \times n] - (p_{put} \times n) \quad (7)$$

$$\text{If } S_T > K, \text{ then } payoff_T = S_T - (p_{put} \times n)$$

다음으로, 콜옵션 형태의 날씨 파생상품을 매도할 경우 K-water가 얻을 수 있는 옵션 만기(T)시 순수익($payoff_T$)은 아래의 식으로 나타난다.

$$\text{If } S_T \leq K, \text{ then } payoff_T = S_T + (p_{call} \times n) \quad (8)$$

$$\text{If } S_T > K, \text{ then } payoff_T = S_T - [(S_T - K) \times tick \times n] + (p_{call} \times n)$$

마지막으로, 풋옵션 매입과 콜옵션 매도를 합성한 형태의 날씨 파생상품을 매도할 경우 K-water가 얻을 수 있는 옵션 만기(T)시 순수익($payoff_T$)은 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{If } S_T \leq K, \text{ then } payoff_T = S_T + [(K - S_T) \times tick \times n] \\ + (p_{call} - p_{put}) \times n \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{If } S_T > K, \text{ then } payoff_T = S_T - [(S_T - K) \times tick \times n] \\ + (p_{call} - p_{put}) \times n \end{aligned}$$

여기서, $tick$ 는 틱사이즈, p_{put} 과 p_{call} 은 각각 풋옵션과 콜옵션의 프리미엄, n 은 옵션계약 수를 의미한다. 틱사이즈와 옵션계약 수는 행사가격에 따라 조정 가능하지만 본 연구에서는 편의상 다음에서 제시한 월별로 상이한 행사가격 수준으로 설정하였고, 틱사이즈와 옵션계약 수는 각각 1만원과 1개로 고정하였다.

<표 2>는 월별 강수량의 평균과 표준편차, 그리고 강수량지수 파생상품의 실행가격과 최대한도를 정리한 것이다. 일반적인 보험 설계의 관행을 따라 실행가격은 $(0.5 \times \text{표준편차})$, 최대한도는 $(3.0 \times \text{표준편차})$ 로 설정하였다. 결과적으로 본 연구에서 가정한 강수량지수 풋옵션(콜옵션)은 최근 10년간 매월 누적 강수량의 평균 보다 조금 낮은(높은) 수준 이하로(이상으로) 월간 누적 강수량이 측정될 경우 보상받을 수 있게 된다. 또한 최대 보상 수준은 최근 10년간 매월 누적 강수량의 표준편차의 3배까지로 한정되어 있다. 해당 옵션은 각 월의 직전 1개월 전에 가입하는 것으로 가정한다. 옵션가치 산정에 필요한 할인율로서 무위험 이자율은 연 2%로 가정한다.

<표 2> 월별 강수량지수 옵션의 실행가격 및 최대한도

(단위: mm)

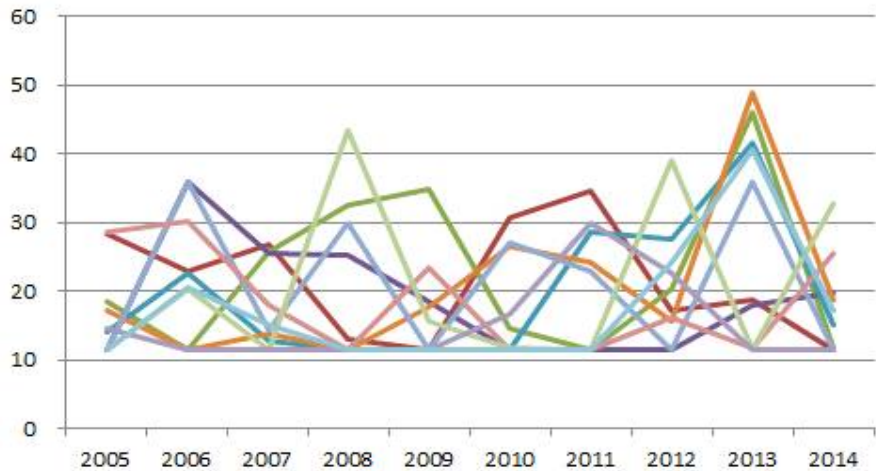
월	평균	표준편차	콜 실행가격	풋 실행가격	최대한도
1	15.44	12.1	21.49	9.39	51.74
2	22.77	13.93	29.74	15.81	64.56
3	46.9	29.09	61.44	32.36	134.16
4	77.28	37.09	95.82	58.74	188.54
5	88.92	29.33	103.59	74.25	176.92
6	140.63	99.13	190.19	91.07	438.01
7	404.07	250.43	529.28	278.86	1155.35
8	246.61	117.67	305.45	187.78	599.62
9	143.85	105.86	196.78	90.92	461.42
10	46.39	30.35	61.56	31.22	137.43
11	44.21	22.07	55.25	33.17	110.42
12	19.23	11.64	25.05	13.41	54.16

[그림 3]은 10년간 1월의 누적 강수량에 대한 감마분포를 기초로 생성한 난수를 활용하여 풋옵션 매입 이후 K-water의 수익을 연도별로 10회 시뮬레이션한 결과를 제시하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 모든 연도에 걸쳐 수익이 일정 수준 이상으로 나타나고 있다. 이는 풋옵션 매입에 따라 1월에 누적 강수량이 실행가격(9.39mm) 이하로 내려가더라도 실행가격과 실제 강수량 차이만큼 보상받을 수 있기 때문이다. 주목할 사항은 수익흐름의 안정화 효과는

언제든지 달성된다는 사실이다. 즉, 풋옵션 매입을 통해 수익이 일정 수준 이하로 내려가면 수익의 감소분을 보상받을 수 있기 때문에 수익흐름의 편차가 줄어들게 되어 결과적으로 수익흐름을 안정화시키는 것이 가능하다. 이러한 수익 안정화 효과는 콜옵션을 매도하거나 풋옵션 매입과 콜옵션 매도를 합성한 경우에도 동일하게 나타난다.

[그림 3] 풋옵션 매입에 따른 헤징된 수익의 시뮬레이션 예시

(단위: mm)



주: 1월 기준 10,000회 시뮬레이션 가운데 초기 10회 시뮬레이션된 결과임.

<표 3>에서 <표 5>는 앞서 제시한 세 가지 형태의 헤징시나리오에 따른 K-water의 수익을 강수량 기준으로 정리한 것이다. 이들 결과는 앞서 옵션계약의 적정 가치 산출에서와 마찬가지로 월별로 10년간 10,000회의 시뮬레이션을 통해 월별 누적 강수량과 옵션가치를 시뮬레이션하고, 이를 활용하여 강수량 기준의 수익을 산출한 것이다. 표에서 수익(1)은 해당 파생상품에 가입하지 않은 경우를, 수익(2)는 해당 파생상품에 가입한 경우를 의미한다. 유의할 사항은 수익(1)과 수익(2)의 수익흐름의 평균값이 동일하게 산출되었는데, 이는 옵션계약의 현재가치가 영이기 때문이다. 즉, 무차익거래조건(no-arbitrage

condition)⁷⁾이 성립하기 위해서는 현재 시점에서 풋옵션이나 콜옵션의 가치가 영이 되어야 하기 때문이다. 그렇지 않으면, 해당 풋옵션이나 콜옵션의 거래 상대방 중 누군가는 거래 즉시 차익을 거둘 수 있다는 의미이다.

이들 표에서 보다 중요한 사실은 수익(1)에 비해 수익(2)의 표준편차가 감소한다는 점이다. 이러한 결과는 앞서 [그림 3]에서도 확인할 수 있었다. 월별로 차이가 있지만 풋옵션 매입의 경우 최저 13%에서 최대 21% 가량, 콜옵션 매도의 경우 최저 32%에서 최대 45% 가량, 합성된 선도계약 매도의 경우 최저 48%에서 최대 66% 가량 수익의 표준편차가 감소하는 것으로 나타난다. 따라서 K-water가 강수량지수에 기초한 날씨 파생상품을 활용할 경우 비록 프리미엄을 지불하더라도 수익의 기대값은 그대로 유지하면서 수익의 편차는 일정 수준 감소시킬 수 있게 된다.

<표 3> 풋옵션 매입의 헤징효과

(단위: mm)

월	평균			표준편차			
	보험료(P)	수익(1)	수익(2)	보험료(P)	수익(1)	수익(2)	$\frac{[(2)-(1)]}{(1)} \times 100$
1	1.82	15.65	15.65	2.64	12.50	10.83	-13.3%
2	3.37	22.98	22.98	4.59	17.92	14.94	-16.6%
3	4.07	47.19	47.19	6.61	27.36	23.23	-15.1%
4	5.18	77.45	77.45	8.85	33.04	27.34	-17.2%
5	5.49	89.00	89.00	9.26	29.39	23.24	-20.9%
6	11.16	140.67	140.67	18.57	84.52	73.07	-13.5%
7	35.63	404.63	404.63	57.81	234.49	197.78	-15.7%
8	19.67	246.32	246.32	32.48	114.81	93.71	-18.4%
9	14.78	144.36	144.36	22.32	102.94	89.13	-13.4%
10	3.09	46.21	46.21	5.34	23.81	20.46	-14.1%
11	3.63	44.02	44.02	5.94	21.25	17.42	-18.1%
12	1.87	19.23	19.23	2.91	11.70	9.86	-15.7%

주: 수익(1)은 풋옵션을 매입하지 않은 경우, 수익(2)는 풋옵션을 매입한 경우임.

7) 모든 자산의 가격이 적절하게 평가되어 거래 당사자 누구도 추가적으로 위험을 감수하지 않으면서 시장에서 초과수익을 낼 수 없는 상황을 의미한다. 즉, 아무런 위험 없이 무위험이자율 이상의 초과수익을 낼 수 있는 차익거래가 존재하지 않은 상황에서 특정 금융자산의 이론적 공정가격이 결정되어야 한다는 이론이다.

<표 4> 콜옵션 매도의 헤징효과

(단위: mm)

월	평균			표준편차			
	보험료(P)	수익(1)	수익(2)	보험료(P)	수익(1)	수익(2)	$\frac{[(2)-(1)]}{(1)} \times 100$
1	3.20	15.65	15.65	6.60	12.50	7.15	-42.8%
2	4.96	22.98	22.98	10.01	17.92	9.80	-45.3%
3	6.37	47.19	47.19	13.07	27.36	17.20	-37.1%
4	7.08	77.45	77.45	14.43	33.04	22.27	-32.6%
5	6.74	89.00	89.00	12.84	29.39	19.85	-32.5%
6	18.23	140.67	140.67	38.62	84.52	54.69	-35.3%
7	53.45	404.63	404.63	109.61	234.49	149.67	-36.2%
8	25.91	246.32	246.32	51.93	114.81	75.41	-34.3%
9	24.97	144.36	144.36	52.26	102.94	61.29	-40.5%
10	4.76	46.21	46.21	9.96	23.81	16.27	-31.7%
11	4.75	44.02	44.02	9.68	21.25	13.92	-34.5%
12	2.78	19.23	19.23	5.77	11.70	7.17	-38.7%

주: 수익(1)은 콜옵션을 매도하지 않은 경우, 수익(2)는 콜옵션을 매도한 경우임.

<표 5> 풋옵션 매입 및 콜옵션 매도의 헤징효과

(단위: mm)

월	평균			표준편차			
	보험료(P)	수익(1)	수익(2)	보험료(P)	수익(1)	수익(2)	$\frac{[(2)-(1)]}{(1)} \times 100$
1	-1.38	15.65	15.65	8.13	12.50	5.13	-59.0%
2	-1.59	22.98	22.98	12.76	17.92	6.09	-66.0%
3	-2.30	47.19	47.19	16.96	27.36	12.24	-55.3%
4	-1.90	77.45	77.45	19.80	33.04	15.52	-53.0%
5	-1.25	89.00	89.00	18.74	29.39	12.57	-57.2%
6	-7.07	140.67	140.67	49.25	84.52	41.06	-51.4%
7	-17.82	404.63	404.63	144.23	234.49	105.77	-54.9%
8	-6.24	246.32	246.32	71.97	114.81	50.30	-56.2%
9	-10.19	144.36	144.36	65.07	102.94	44.52	-56.8%
10	-1.66	46.21	46.21	13.15	23.81	12.38	-48.0%
11	-1.13	44.02	44.02	13.31	21.25	9.32	-56.1%
12	-0.92	19.23	19.23	7.48	11.70	4.95	-57.7%

주: 수익(1)은 풋옵션을 매입하고 콜옵션을 매도하지 않은 경우, 수익(2)는 풋옵션을 매입하고 콜옵션을 매도한 경우임.

VI. 결론 및 시사점

최근까지 날씨나 기후변화 관련 위험을 시장을 통해 관리할 수 있는 수단은 매우 제한적이었다. 하지만 최근 들어 선진국을 중심으로 날씨 관련 보험이나 파생상품 시장이 급속도로 성장하고 있다. 본 연구에서는 K-water가 운영 중인 소양강 수력 발전소를 대상으로 강수량을 기초로 한 가상의 날씨 파생상품을 설계하고, 이를 활용한 경우의 수익 안정화 효과에 대하여 실증적으로 분석하였다.

세 가지 위험관리 시나리오를 토대로 한 실증분석 결과에 따르면, 월별로 차이가 있지만 날씨 파생상품을 가입하지 않은 경우에 비해 최저 13%에서 최대 66% 가량 K-water의 수익 변동성이 감소하는 것으로 나타났다. 다시 말해, K-water가 수익의 기댓값은 그대로 유지하면서 수익흐름의 편차를 일정 수준 감소시킴으로써 수익을 안정화시키는 것이 가능하다는 의미이다. 따라서 강수량에 따라 발전량과 수익이 크게 변동하는 수력 발전사업자의 경우 강수 관련 위험을 체계적으로 분석하여 재무위험으로 파급되는 것을 회피하고 안정적인 경영성과를 달성하기 위해 날씨 관련 파생상품을 적극적으로 활용하는 노력이 요구된다. 금융당국 입장에서는 국내 날씨 관련 파생상품의 활성화에 걸림돌이 되고 있는 규제사항을 점검하고 관련 법령을 정비할 필요가 있다.

접수일(2016년 7월 30일), 게재확정일(2016년 9월 22일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 박환일, “글로벌 날씨 파생상품 시장과 국내 자본시장 도입 필요성”, KRX Market, 2011년 9월호.
- 성균관대 실사구시팀, “국내 산업시장 적합 신(新) 날씨파생상품 기초지수 개발 및 가격결정모형 연구”, 한국거래소, 2012.
- 이준행, “날씨옵션상품의 가격결정에 대한 연구”, 한국증권학회지, 31, 2002, pp. 229-255.
- 배광일·정진희, “날씨파생상품가격결정모형연구”, 선물연구, 17, 2009, pp. 49-66.
- 최창희·신동훈·김창기, “날씨 파생상품을 이용한 국내 도시가스 산업의 날씨 위험 관리”, 선물연구, 20, 2012, pp. 451-481.
- 최창희·이항석·주효찬, “코플라를 이용한 강수의 패턴 분석과 강수 보험의 가격 결정”, 한국데이터정보과학회지, 24, 2013, pp. 603-623.
- Alaton, P., B. Djehiche and D. Stillberger, “On Modeling and Pricing Weather Derivatives,” Applied Mathematical Finance, 9, 2002, 1-20.
- Cabrera, B., M. Odening and M. Ritter, "Pricing Rainfall Derivatives at the CME," SFB 649 Discussion Papers, Humboldt University, 2013.
- Carmona, R. and P. Diko, “Pricing Precipitation Based Derivatives,” International Journal of Theoretical and Applied Finance, 8, 2005, 959-988.
- Cao, M., A. Li and J. Wei, “Precipitation Modeling and Contract Valuation: A Frontier in Weather Derivatives,” The Journal of Alternative Investments, 7, Fall 2004, 93-99.
- Cao, M. and J. Wei, “Pricing the Weather,” Risk, May 2000, 67-70.
- Hull, J., Options, Futures, and Other Derivatives, 6th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall International, 2006.
- Leobacher, G. and P. Ngare, “On Modeling and Pricing Rainfall Derivatives with Seasonality,” Applied Mathematical Finance, 18, 2011, 71-91.

ABSTRACT

Analysis on the Hedging Effects of Derivatives
on Precipitation

Won-Cheol Yun*

Due to a lack of recent precipitation, the revenues of domestic hydro generations including K-water are deteriorating, and their uncertainties are growing in the future. This study designs hypothetical weather derivatives on the precipitation of Soyang-gang dam as an underlying asset, and quantitatively analyzes their revenue-stabilizing effects. According to the empirical results, it is found that the revenue volatilities (in terms of standard deviations) of hedged portfolios become lowered by 13% to 66% or so compared to those of unhedged ones.

Key Words : Precipitation, Derivatives, Hedging Effects

* Professor, Dept. of Economics and Finance, Hanyang University. wcyun@hanyang.ac.kr

