

제주도 태풍위험도 지수 및
지수를 활용한 옵션 파생상품 개발,
옵션과 지수를 연계한 지수형 제주 농민
태풍 보험 설계에 대한 연구

TEAM 비룡아 안농

(김승원, 김하경, 조진우, 최인영)

2025.05

목차

- 1. 서론**
- 2. 문제 분석**
- 3. 연구 목적 및 보고서 구성 개요**
- 4. 태풍 위험도 지수 개발**
- 5. 태풍 위험도 지수를 활용한 태풍 파생 상품 (옵션)
설계**
- 6. 태풍 파생 상품과 연계시킨 지수형 보험 상품 설계**
- 7. 결론**

서론

지구온난화로 인한 전 지구적인 이상 기후 현상으로 폭염, 한파, 폭우 등 이상 기후 현상의 빈도와 강도가 증가하고 있다.

IPCC 보고서에 따르면, 지구 평균 온도가 1°C 상승할 때 극한 호우 강수량이 약 7% 증가한다고 예측하고 있으며, 더욱 강한 태풍의 발생 빈도가 높아질 것으로 예측한다. 이는 기후 변화가 곧 극단적 자연재해의 리스크 증가로 이어짐을 시사한다.

이러한 기후 변화의 추세는 대한민국도 예외가 아니다. 지난 100여 년 동안 지구 전체 평균 기온이 10년마다 $0.07\text{도}(\text{C})$ 씩 오른 반면 한국은 0.2도 씩 올라, 기온 상승폭이 지구 평균의 3배 가까이 되는 것으로 나타났다.¹

또한 2023년 이상기후 보고서에 따르면, 장마철 강수량은 전국 660.2 mm 로 평년 356.7 mm 대비 대폭 증가해 전국적인 기상관측망이 갖춰진 1973년 이래 3위를 기록했다.²

제주도는 지리적으로 한반도의 최남단에 위치해 있어 해마다 태풍이 영향을 미치며, 69년간 제주에 발생한 각종 자연재해 중 태풍 관련 재산피해가 88.5%를 차지한다.³

제주 농림어업이 2021년 지역 내 총생산의 11.1%를 차지하고, 2024년 주민등록세대인구 대비 농가인구는 21.8%의 높은 수치를 보인다.

따라서 태풍으로 인해 제주도 농민들이 피해를 입으면 도내 소득·고용이 동시에 위축되고 제주도의 경제에 큰 타격을 줄 수 있다.

뿐만 아니라, 제주 농업의 피해는 대한민국의 물가, 경제에도 큰 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 2012년 태풍 ‘볼라벤·덴빈’ 이후 쪽파 가격이 하루만에 80 % 넘게 뛰고, 각종 채소, 과일, 수산물 가격이 비 피해로 인해 급등했던 전례가 대표적이다.

결국 제주도의 태풍은 농작물 피해를 일으키고, 이는 지역 경제 뿐만 아니라 전국의 물가를 동시에 압박하는 리스크로 이어진다. 따라서 제주도 농민을 보호하기 위해서는 구조화된 보험이 필수적이며, 이상기후의 영향을 반영해 제주 농업 피해 리스크를 완충할 수 있는 보험 또는 금융 상품의 도입이 반드시 필요하다.

¹ 조재호, 한국 온난화 속도는 지구 평균의 2~3배, 단비뉴스, 2025.02.02, <https://www.danbinews.com/news/articleView.html?idxno=23075>

² 나라살림연구소, 우리나라의 이상기후 현황 및 대응 동향, <https://narasallim.net/project/1438>

³ 변지철, [태풍의 길목 제주] ③ 제주 자연재난 피해 85%가 '태풍'...예방책 곳곳 허점, 연합뉴스, 2020-06-28
<https://www.yonhapnews.co.kr/view/AKR20200626126500056>

1. 문제 분석

1-1. 날씨 파생 상품의 필요성

이상기후로 인한 자연재해는 발생 확률은 크지 않다. 그러나 발생하면 피해 규모가 막대할 수 있는 대형 사고 위험이다. 특히, 이상 기후는 카오스적 특성을 가지고 있으며 점점 심화되는 지구온난화 속 이상 기후로 인한 재해의 빈도가 커지고 있다.

이는 곧 극단적인 이상 기후의 빈도와 심도를 정확히 예측하기에 어렵다는 것을 의미한다. 이상 기후의 예측이 어렵다는 것은 보험사 입장에서 손해액 산출이 어렵다는 것이다. 이로 인해 손해보험사는 보험료를 정확히 추정하지 못해 손해율이 심해질 수 있고, 재무적인 불안정성을 초래할 수 있다.

이상 기후 위험은 하나의 사건이 넓은 지역에 동시에 피해를 주기에 전통적 보험만으로는 분산이 어려운 위험이며, 보험금 지급이 한꺼번에 몰릴 경우 보험사의 준비금에도 부담이 된다.

이 때문에 손해보험사들은 재보험을 대안으로 선택해 왔다.

그러나 이상 기후가 심해지고 있는 상황 속에서 기후 재난이 거듭될수록 재보험 요율이 급등락하는 현상이 잦아지고 있으며, 재보험의 갱신을 가능하기 어려운 갱신 불확실성의 문제가 커지고 있다.

따라서 재보험사 뿐만 아니라 더 큰 자본 시장으로 리스크를 전가시켜야 할 필요성이 대두된다.

날씨 파생 상품은 전통 재보험의 한정적인 자본을 넘어, 글로벌 투자자들의 수요를 흡수할 수 있다.

예를 들면, 날씨 지수는 시장 자산과의 상관계수가 존재하지 않기 때문에 포트폴리오에 편입 시킬 시 포트폴리오 분산 효과를 극대화할 수 있어 따라서 헛지 투자자의 수요를 흡수할 수 있으며, 변동성이 커 투기적 투자자들의 수요도 흡수할 수 있다는 장점이 있기에 현재 보험사의 예상치 못한 카오스적 기후변화로 인한 리스크 관리 방안으로 언급되고 있다.

따라서 자본 시장의 다양한 종류의 투자자 자본으로 재보험의 갱신 불확실성을 최소화할 수 있다는 점에서 날씨 파생상품은 전통적인 재보험보다 이상기후 리스크 관리에 더 효율적이고 적합한 대안이다.

1-2. 지수형 보험의 현황, 필요성

지수형 보험은 통상 정부의 재정적 보조 하에 농가 지역 전체에 자연재해로 인한 농작물 수확 손실이 발생한 경우에 그 피해를 통일된 기준으로 보장해 주는 보험으로, 파라메트릭 보험의 일종이다.

지수형 보험은 지수가 트리거 값을 넘는지만 확인하면 보험금을 지급하기 때문에 손해 사정 절차가 필요 없다. 따라서 전통적 보험보다 손해사정비와 운영비가 낮고, 지급 속도는 훨씬 빠르다.

또한 지수 기반 구조 덕분에 파생상품과의 결합이 용이하며, 트리거 값을 넘을 때 사전에 합의된 금액을 지급하기 때문에 보험사는 현금 흐름을 더 효율적으로 관리할 수 있다.

그러나 아직 우리나라엔 지수형 보험이 활발히 거래되고 있지 않다. 지수형 보험이 우리나라에 정착되기 위해서는 충분한 정부 보조금의 지급이 중요하다. 미국의 경우 정부에서 충분한 보조금을 지급함으로써 보험 가입자가 내야 하는 실질 보험료가 낮아져 지수형 보험이 쉽게 보급될 수 있는 환경을 마련하였다.

국내에서도 최근 파라메트릭 보험에 대한 관심도가 높아지고 있다. 중앙정부는 2027년까지 농작물재해보험 가입률을 70 %로 확대하고 '파라메트릭' 방식을 적용하는 품목을 늘리겠다고 공식 발표했다.⁴

또한, 제주도에서는 농업이 차지하는 중요도가 높다. 제주에서는 제주 농민들이 실질적으로 농업을 잘 영위할 수 있도록 농민 수당을 지급하는 전례가 있다.

이런 정책적 추세를 고려하면 제주도 농민을 위한 지수형 보험은 정부 보조 대상이 될 가능성이 높고, 그렇게 된다면 소비자는 낮은 가격으로 보험 상품을 가입할 수 있어 가입률이 높아질 수 있다.

2. 연구 목적 및 보고서 구성 개요

본 연구의 목적은 독립변수로 강수량, 일최대풍속 등을 두고, 종속변수로 태풍 피해 규모를 둔 후 Random Forest 모델을 통한 통계적 분석을 통해 제주도 태풍 피해 규모 지수를 개발한다.

그 후에, 개발한 태풍 위험도 지수를 기초자산으로 하는 콜옵션과 지수형 보험을 설계함으로 농민·보험사·자본시장 간 리스크를 효율적으로 분배할 수 있는 새로운 패러다임을 제시하는 데 있다.

강수량, 풍속 등과 태풍 피해 규모의 상관관계를 직접 파악하고, 태풍 피해 지수를 만든 후, 지수형 보험과 콜옵션을 금융공학적으로 결합시키면 궁극적으로 농민-보험사-자본시장이 리스크를 분담하여 갖는 새로운 모델을 설계할 수 있다.

이는 기존 보험/재보험 체계가 감당하기 어려운 카오스적인 이상기후 리스크를 자본 시장에 전가시킬 수 있어, 이상기후 탄력성을 높이는 대안이 될 것으로 기대된다.

따라서 본 연구는 피해 규모 지수를 AI 모델을 활용하여 산출한 후, 이를 기반으로 파생상품과 지수형 보험 상품을 결합한 파라메트릭 보호 구조를 개발하여 리스크를 구조적으로 도출한다.

⁴ 박정한, 폭염 등 기후 변화 시대에 '파라메트릭' 보험 가입이 대안, 글로벌이코믹, 2024.07.18, https://www.g-eneews.com/article/Global-Biz/2024/07/2024071806402849fbbec65dfb_1

3. 태풍 위험도 지수 개발

3-1. 개발 배경

해외의 기후 지수와 사례

미국에서는 기후와 관련된 지수가 활발히 연구되고 있으며, 이를 자본 시장과 연계해 다양한 금융상품이 등장하고 있다. 이러한 상품들은 계절성 산업에 속한 기업들의 햇지 수요, 자산운용사와 기관투자자들의 포트폴리오 리스크 분산, 그리고 변동성이 크고 예측이 어려운 자연재해를 이용해 차익을 노리는 투기적 거래자들의 수요까지 폭넓게 아우르고 있다.

실제로 최근 몇 년 사이 미국 기후 및 재해 관련 금융상품 시장은 크게 성장했으며, 다양한 기후지수와 재해 연계 상품들이 큰 인기를 끌고 있다. 대표적으로 시카고상업거래소이 개발한 CME 허리케인 지수는 허리케인 위험 햇지 수요와 다양한 투자 수익을 노리는 투자자들이 거래에 참여해 연간 거래 규모가 45억 달러 이상으로 추정될 정도로 성공하였다.

기후 및 재해 관련 금융상품 시장은 최근 기후변화로 인한 극단적 기상 이변의 빈도와 강도가 증가하면서 더욱 빠르게 성장하고 있다. 2023년 기준 미국 날씨 파생상품 시장 규모는 연간 **150억** 달러를 넘어섰으며, 허리케인 관련 상품이 전체의 30% 이상을 차지한다. 특히 Catastrophe Bonds와 같은 구조화 상품의 거래량은 2020년 대비 40% 이상 증가했다.

이처럼 미국에서는 기후 변화와 자연재해 리스크를 정량화하고, 이를 자본시장과 연계해 위험을 분산하는 다양한 금융상품이 활발히 개발·운용되고 있다. 이는 단순히 보험사의 리스크 관리 차원을 넘어, 자산운용사와 기관투자자, 투기적 거래자 등 다양한 시장 참여자들이 기후리스크를 효과적으로 관리하고, 새로운 투자 기회를 창출하는 데 중요한 역할을 하고 있다.

한국의 기후 지수 사례

대한민국은 최근 기후 변화와 이상 기후에 대응하기 위해 다양한 지수를 개발하고, 금융연계 연구를 활발히 진행하고 있다.

한국은행은 2024년 8월 국내 최초로 “기후위험지수(CRI)”를 공개하며 기후 리스크의 경제적 영향을 체계적으로 분석하기 시작했다. CRI는 이상고온·이상저온·강수량·가뭄·해수면 상승 등 5개 요인을 종합해 16개 시도별로 산출되며, 2001~2023년 전국 평균이 1.731로 나타나 지구온난화의 가속화를 입증했다. 또한, 이 지수는 이상 기후가 실물경제에 미치는 영향력을 정량화했다.

3-2. 개발목적

해외에서 개발된 기후지수를 국내 실정에 맞게 최적화하려는 시도가 꾸준히 이어지고 있고, 국내에서도 태풍과 관련된 지수 연구가 활발하게 진행되고 있다.

이러한 필요성과 기존 연구 성과를 바탕으로, 우리는 자연재해 리스크를 자본시장으로 전가할 수 있는 지수형 보험 설계의 일환으로 우리만의 ‘태풍 위험도 지수’를 개발하게 되었다.

태풍 위험도 지수는 매일 변화하는 기상 조건을 반영해 태풍의 위험도를 예측하는 지수로, 실시간 리스크 관리와 금융상품 설계에 활용할 수 있다.

우리나라는 지역 별로 기후 특성, 인프라 수준, 경제 구조 등이 상이하기 때문에 전국 단위로 획일적인 지수를 산정하는 것보다는, 풍수해 피해가 빈번하고 피해 규모가 큰 특정 지역에 집중하는 것이 효과적이라고 판단했다.

이에 따라, 태풍의 영향이 크고 피해가 반복적으로 발생하는 제주도를 타겟 지역으로 선정했다.

제주도는 지리적 특성상 태풍 상륙 빈도가 높고, 태풍이 농업·관광업 등 지역 경제에 미치는 영향도 크기 때문에, 지역 맞춤형 위험도 지수 개발의 필요성이 더욱 크다.

3-3. 데이터 구조와 전처리

태풍 위험도 지수를 산정하기 위해서는 우선 제주도의 풍수해, 특히 태풍 피해에 대한 신뢰성 있는 데이터가 필요했다.

이를 위해 공공데이터 포털 사이트에서 ‘제주특별자치도_자연재해발생현황’이라는 CSV 데이터를 확보했다. ‘제주특별자치도_자연재해발생현황’이라는 CSV 데이터에는 재해구분, 시작시간, 중심기압(hPa), 순간최대풍속(m/s), 일최대강우량(mm), 재산피해규모(백만원) 등 주요 변수가 포함되어 있다. 예를 들어 1959년 사라호 태풍은 중심기압 965hPa, 순간풍속 46.9m/s, 일 최대 강수량 267.5mm로 251억 원의 재산피해를 기록했다.

목표변수(Y)는 재산피해규모로 설정하고, 독립변수(X)로 중심기압, 순간최대풍속, 일최대강우량 등을 선정했다. 인공지능 모델은 X 변수들 간의 상관관계를 분석해 각 기상 요소가 재산피해에 미치는 영향력(가중치)을 산출한다. 예를 들면 순간풍속 1m/s 증가가 재산피해를 몇 % 증가시키는지, 강우량과의 상호작용 효과는 어떻게 되는지 등을 정량화한다.

초기 데이터는 제주도 태풍 피해 기록(1970~2023년)으로, 중심기압, 순간최대풍속, 일최대강수량만 X 변수로 사용했으나, 모델 성능이 저조하였었다. 이는 Y와 상관관계를 갖는 X변수의 개수가 부족했기 때문이라고 판단하였고 따라서 기상청에서 추가로 평균풍속, 최대풍속, 기온, 누적강수량 등 6개 변수를 확보하여 태풍 발생 기간과 매칭 후 데이터를 보강했다.

더 나아가 X 변수 그리드 탐색을 통해 X 변수 간 상호작용 항(예: 풍속×강수량) 등을 생성해 특징 공학을 수행하였고 최대순간풍속(재해기간) = 0.44, 순간최대풍속_plus_평균풍속(재해기간) = 0.458, 최대풍속(재해기간)*최대순간풍속=0.42 등 다양한 상호작용 변수를 추가하여 최종적으로 12개의 X 값이 있는 데이터를 도출하였다.

3-4. AI를 통한 지수 설계

AI 기술이 보험 업계에 도입되면서 위험 평가와 맞춤형 상품 설계가 발전하고 있지만, AI의 블랙박스 문제로 인해 설명 가능성과 규제 준수가 주요 장벽으로 부상했다. 특히 보험은 소비자 보호와 공정성이 필수적인 분야이기 때문에, 모델의 결정 과정을 명확히 설명할 수 있는 설명 가능한 AI의 접근이 필요하다.

이러한 보험업계에서 AI가 가지는 한계를 고려하여 우리는 다양한 AI 모델을 고려하였지만, 1. 소규모 데이터에 대한 강건성 2. 변수 스케일문제 자동 처리 3. 설명력 제공 4. 비선형 관계 및 복잡한 상호작용 포착 5. 과적합 저항성 6. 안정적인 예측 성능 등의 장점을 가지고 있는 Random Forest 모델이 우리가 가진 데이터셋과 목적에 적합하다고 판단하였고 최종적으로 Random Forest 모델을 선택했다.

또한 최종 데이터셋에서 Y값의 스케일이 X값들에 비해 지나치게 컷기 때문에, 예측의 안정성과 모델의 성능을 높이기 위해 Y값인 재산 피해 규모에는 로그 변환을 적용했으며, 곱셈이 들어간 X변수들은 루트 변환을 통해 스케일을 조정했다. 모델 학습 과정에서는 그리드 탐색을 통해 25000개의 파라미터 조합 중 최적의 파라미터 값을 선정하였다. 결과적으로 데이터는 학습용과 테스트용으로 8:2 비율로 나누어 사용하여 최종 모델을 완성했다.

최종적으로 이 모델은 실시간 기상 데이터(풍속·강수량 등)를 입력 받아 예상 재산피해액을 출력하며, 이 값이 바로 해당 일자의 태풍 위험도 지수로 활용된다. 이 지수는 지수형 보험에서 트리거를 산출할 때 사용하거나 옵션으로 구현시 헛징 수단으로서 유용하게 작용한다.

모델 성능 평가는 MAE, RMSE, R² 세 가지 지표로 진행했다. 성능은 다음과 같다

Evaluation Indicators:

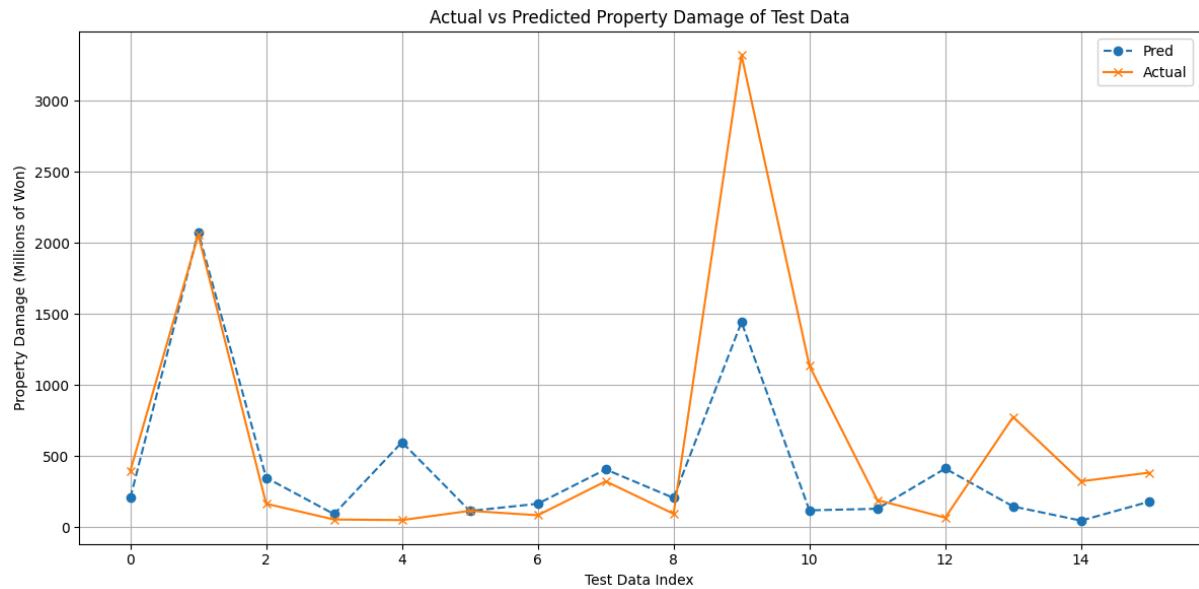
MAE : 354.55

RMSE: 591.98

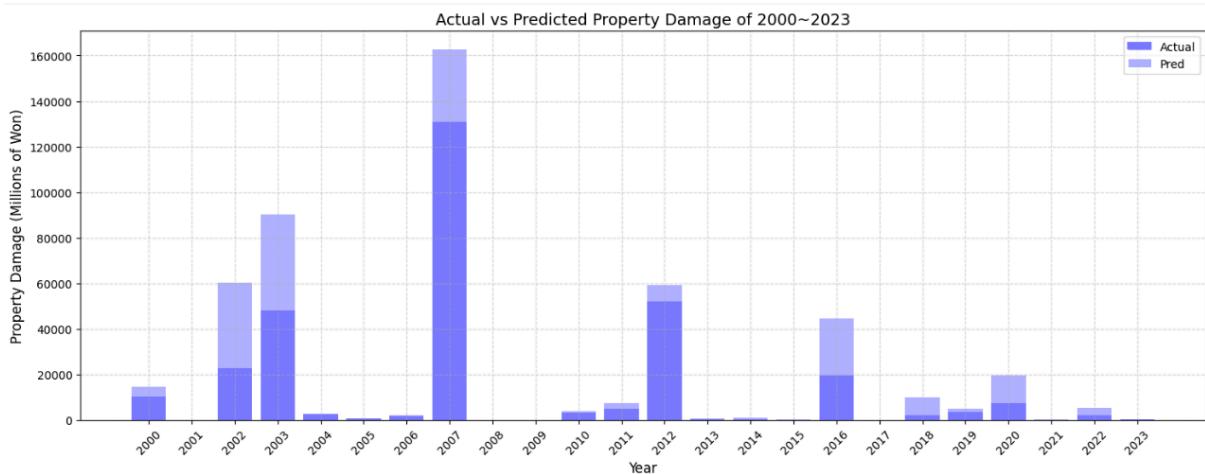
R² : 0.5368

결과적으로 약 0.54의 설명력을 확보했고, 0~130,746까지의 재산 피해 스케일에서 평균 오차가 354 정도로 나타났다. 데이터의 양이 많지 않은 상황에서도 비교적 유의미한 예측

결과를 얻을 수 있었으며, 앞으로 데이터가 더 확보한다면 모델의 정교함도 함께 높아질 것으로 기대된다.



<제주도 태풍 피해액의 테스트 데이터 실제와 예측치 비교>

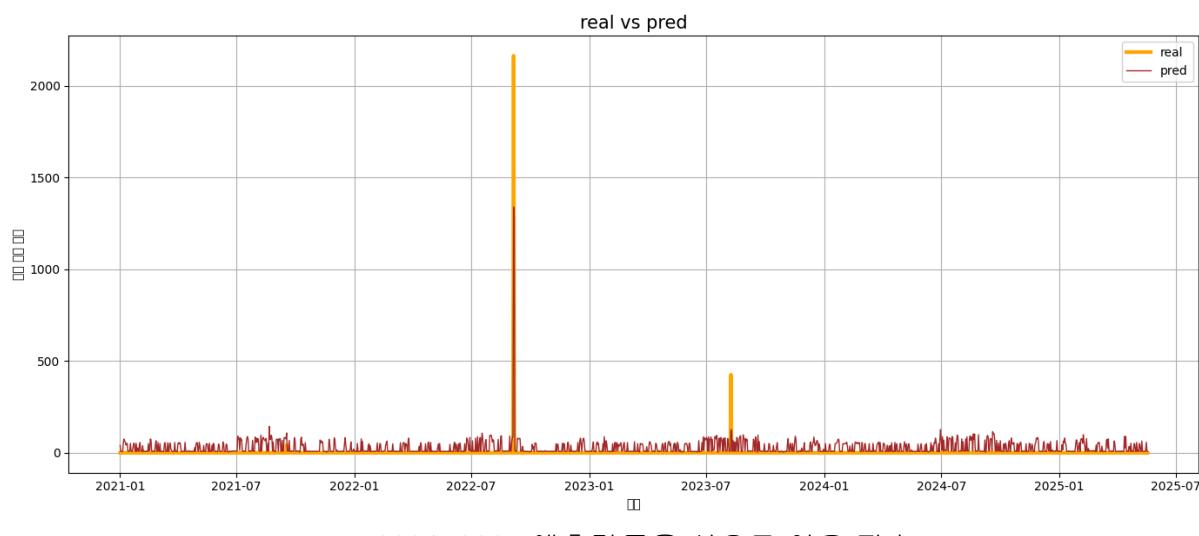
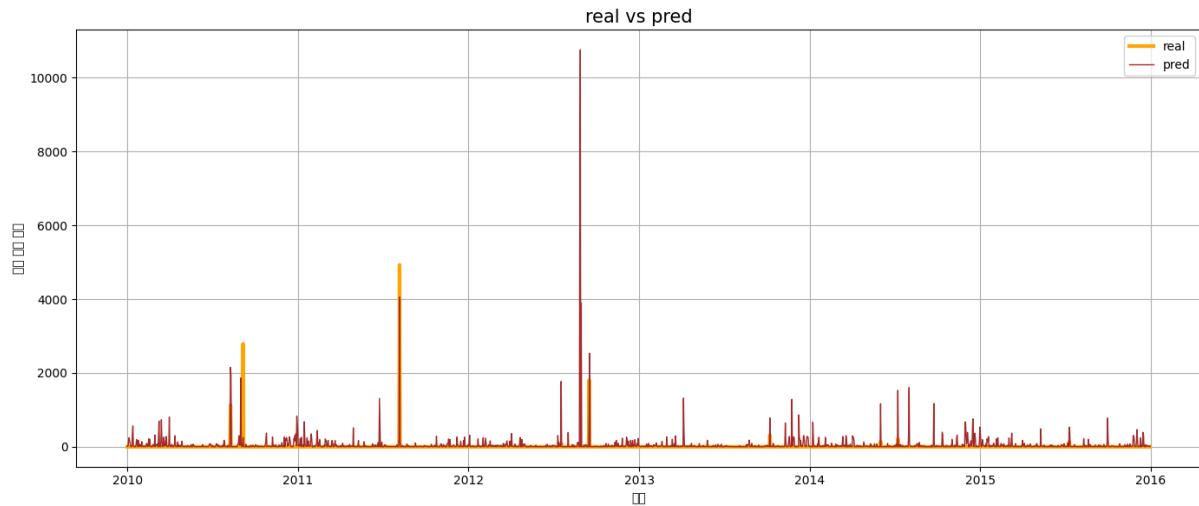


<2000년부터 2023년도 태풍 피해액 실제와 예측치 비교>

이를 바탕으로, 매일의 기상 컨디션을 입력하면 태풍 위험도 (즉, 태풍으로 인한 재산피해 예측값)를 산출할 수 있게 됐다.

이를 실제로 적용하기 위해 태풍이 많이 발생했던 2010~2015년과 최근 2021~2025년까지의 일별 기상데이터를 기상청에서 받아 별도로 구축했다. 이 데이터셋은 12개 변수와 1,932개의 행으로 구성되고, 학습 데이터와 동일한 포맷을 유지했다.

일별 기상 조건을 입력해 매일의 예측값을 저장하고, 이를 선으로 연결해 지수로 시각화했다. 그 결과, 2010~2015년 기간과 2021~2025 동안의 태풍 위험도 지수 추이를 확인할 수 있었다.



4. 태풍 위험도 지수를 활용한 날씨 파생 상품 (태풍 옵션)

콜옵션은 태풍으로 인한 잠재적 손실을 예측하고, 이에 따른 적정 기준 K 및 옵션 프리미엄을 산정하는 방법론을 제시한다. 예측의 정확성과 계약의 안정성을 확보하기 위해 통계적 모델링과 리스크 검증 절차를 포함한다. 본 시장과의 연계를 통해 효율적인 리스크 전가 및 자금 조달 경로를 제공하는 방안을 모색함을 목표로 한다. 궁극적으로 이 옵션 계약은 보험사가 태풍 피해에 대한 재보험 기능을 수행하는 금융 구조로서 활용될 수 있음을 기대한다.

4-1. K, Retention 확정

보험사가 스스로 감당할 수 있는 최대 손실 금액인 **Retention Level** 을 옵션 계약의 행사가격 K 라 정의한다. 즉, 태풍으로 인한 피해액이 K 를 초과할 경우에만 옵션이 실행된다. 산정 공식의 기준은 일반적으로 과거의 대형 재난 피해 데이터, 보험사의 재무 건전성 목표, 그리고 리스크 감수 능력 등을 종합적으로 고려해서 설정되는 특정 금액을 고려했다.

예시에 적용되는 산정 공식

$$: K = \text{자기자본} \times 0.30 \times E[\text{태풍}|\text{제주}] / E[\text{전체 자연재해}|\text{제주}] \times (E[\text{피해}|\text{제주}] / E[\text{피해}|\text{전국}])$$

보험사가 자체적으로 부담할 손실의 최대 한도 K 를 정의한다. 이때 K 는 옵션 계약의 행사가격 역할을 한다. **0.30**은 자기자본의 30%를 리스크 부담 능력의 기준으로 임의 설정한다. 단, 이는 회사의 리스크 **Appetite**에 따라 조정될 수 있는 값임을 명시한다. 이

논문에서는 2024년도 자기자본⁵ 162,895억 삼성화재를 예시로 들겠다. 삼성화재의 자기자본 수치를 사용하여 K값을 계산해보면 $K \approx 157.06$ 억 원이다.

σ 태풍 (태풍 피해액 변동성 계수)은 지난 20년간 발생한 국내 태풍으로 인한 총 피해액 데이터의 변동성을 반영한다. 이때 1970~2023년 기반으로 총 54년의 통계 기간⁶을 바탕으로 한다. 이 기간 중 발생한 총 자연재난 발생 횟수는 174회이고, 태풍 발생 횟수는 77회이다. 따라서 전체 자연재난 중 태풍이 차지하는 비율 $77\text{회}/174\text{회} \times 100\% \approx 44.25\%$ 으로 잡는다.

σ 제주 (제주 비중 계수)는 과거 태풍 피해액 중 제주 지역이 차지하는 평균 비중을 반영한다. 이때 학생신분으로서 얻을 수 있는 데이터가 부족하므로, 우리는 태풍 ‘루사’ 사례를 기준으로 한다. 태풍 ‘루사’의 제주도 피해액은 전국 7조 473억 원 대비 511.5억 원이므로 $\approx 0.7258\%$ 임을 알 수 있다. 다만, 이는 단일 사례이므로 대표성이 한계가 있다. 단, 다양한 태풍 시나리오를 통한 통계적 접근이 필요하는 점을 언급한다.

⁵ 삼성화재 회사소개 중 재무현황, <https://www.samsungfire.com/vh/page/VH.HPMK0204.do>

⁶ 제주 재난안전대책본부 홈페이지 내 방재현황,
<https://bangjae.jeju.go.kr/ctrltower/state/naturaldisaster.htm>

4-2. Premium 산정

행사가격인 K 를 초과하는 손실이 발생할 경우, 그 초과분에 대한 지급을 보장 받기 위해 옵션 구매자가 지불하는 프리미엄을 산정한다. 이 논문에서는 이항 트리 기법을 활용하여 옵션의 공정 가치를 산출하겠다. 프리미엄 산정 기본 공식은 $\text{Premium} = p(\text{확률}) \times Q$ 이다.

무위험 차익 거래가 없는 시장에서 기초자산의 기대수익률이 무위험 이자율과 같도록 만드는 가상의 확률 p 를 간접 추정함을 의미한다. 단위당 기대 손실액 Q 은 옵션이 실행되었을 때 예상되는 단위당 평균 초과 손실액을 EL 을 통해 간접 추정함을 의미한다.

Premium 프리미엄 산정 절차는 아래와 같다.

1) 확률적 예측 모델 구축 및 옵션 공정 가치 산정

미래에 발생할 수 있는 태풍 시나리오를 예측하고 이를 바탕으로 옵션의 공정 가치를 산정한다. 랜덤 포레스트 (Random Forest)을 활용하여 데이터를 증폭시킨 후, 및 이항 트리 모델을 사용하여 도출한다.

1-1) 데이터 수집 및 전처리

1-2) 모델링 (시그마 도출)

랜덤 포레스트 모델은 과거 데이터를 바탕으로 미래의 태풍 피해액을 예측하여 이때 도출된 예측값과 실제 피해액 간의 오차를 분석하여 피해액의 변동성인 σ 를 추정한다. 단, 이항 트리 모델에서는 랜덤 포레스트 모델을 직접 사용하여 미래 시나리오별 피해액을 예측하지 않고, 이 모델을 통해 추정된 피해액의 변동성을 이항트리의 핵심 입력 변수로 활용하는데 의의가 있다.

$$p = \frac{e^{r \times dt} - d}{u - d}$$

리스크 중립 확률인 p 및 기초자산의 상승 u , 하락 d 계수를 산정하여 옵션의 공정 가치를 도출한다.

먼저 리스크 중립 확률 p 산정이다. 무위험 차익 거래가 없는 시장에서 기초자산의 기대수익률이 무위험 이자율과 같도록 만드는 가상의 확률 p 를 통해 위험 프리미엄 제거된 상태에서 옵션 가치를 평가할 수 있게 한다.

이때 dt 를 옵션의 만기 (예: 1년)를 N 번의 스텝으로 분할한 각 시간 단계의 길이로 설정한다. 상승 u 및 하락 d 계수의 계산은 아래와 같다

$$u = \text{math.exp}(\sigma \times \text{math.sqrt}(dt))$$

$$d = 1/u$$

이때 **sigma**가 커지면 **u**와 **d**의 값(상승/하락 계수)이 더 극단적으로 변하게 되고, 이는 다시 리스크 중립 확률인 **p**의 계산에 영향을 미친다. 즉, 피해액의 불확실성(**sigma**)이 커질수록, 이항 트리는 피해액이 더 크게 오르거나 내릴 수 있다고 가정하게 되고, 이 불확실성이 옵션 가격 결정에 반영하게 된다.

따라서 이항 트리의 만기 시점부터 시작하여 옵션 가치를 역방향으로 계산해 현재 시점의 루트 노드까지 거슬러 간다. 최종적으로 루트 노드에 도달한 옵션의 공정 가치 값이 만기까지 발생할 수 있는 모든 시나리오와 그에 따른 다양한 리스크가 반영된 것을 의미하게 된다.

2) Q, 단위당 기대 손실액

옵션이 실행되었을 때 발생하는 평균 초과 손실액을 정의한다. 확률 **p**를 고려하여 최종 프리미엄 산정에 사용한다. 이때 산정 공식은 ① $Q = EL / p$ ② Premium = 옵션의 공정 가치 (`option_tree[0,0]`) $\times (1+\alpha)$ (단, `option_tree[0,0]`이 이미 위험 중립 할인된 **EL**을 내포하고 있음)이다. 이때 Risk Load 인 α 는 모델 예측의 불확실성, 판매자의 자본 비용 등을 반영하는 할증 계수이며 `option_tree[0,0]`은 현재 시점의 루트 노드에 도달하면 이 값이 만기까지 발생할 수 있는 시나리오와 위험 프리미어 제거 등 모든 요소가 반영된 옵션의 공정가치를 의미한다.

Q를 산정하는 데 있어서 필요한 요소는 **EL**, (Expected Loss) 초과손실 기대값과 만기 시점에서 발생할 수 있는 모든 피해에 대한 시나리오를 고려했을 때, **K**를 초과하는 손실에 대해 위험 중립적인 관점에서 기대되는 평균 손실액을 의미한다. 즉, 옵션이 실행되었을 때 기대하는 평균 지급액이다. 산정 공식은 아래와 같다

$$\mathbf{EL} = \text{mean}(\max(0, Y-K))$$

이때 **Y**는 각 시뮬레이션 시나리오에서 예측되어, 한 태풍으로 인한 피해가 발생했을 때 제주 지역의 총 피해액 중 삼성화재가 실질적으로 부담해야 될 손실액을 의미한다. 이때 삼성화재의 손해보험 시장 전체 대비 점유율 28.6%를 적용하여 산출한다. (예상되는 전체 총 피해액 $\times 0.286 = Y$)

이는 풍수해 보험 또는 농민 대상 분야의 개별 점유율 데이터 확보가 어렵기에 삼성화재의 일반적인 시장 영향력을 간접적으로 반영하기 위한 대안으로 활용한다. 따라서 본 **EL** 산정은 위의 가정을 기반하기에 개별 상품군의 실제 점유율과는 차이가 있음을 명시한다.

옵션이 보장하는 범위는 $\max(0, Y-K)$ 로, **K**를 초과하는 손실이 발생했을 경우에만 해당 초과분을 계산하고, **K** 이하인 경우에는 0으로 처리함을 의미한다.

3) 최종 프리미엄 (Premium) 산정

위에서 사정된 옵션 실행 확률 p 와 단위당 기대 손실액 Q 를 곱하여 최종 프리미엄을 산정한다.

이해를 위해 결과값을 도출한다면 아래와 같다.

▶ 미국형 옵션 가격 (이항트리 기반):

- K (백만원): 15,706
- S_0 (평균 피해액): 4,871.43 백만원
- σ (표준편차): 1,998.27 백만원
- p (K 초과 확률): 11.6694%
- EL (초과손실 기대값): 443.35 백만원
- 옵션 프리미엄: 381.59 백만원

우리는 이러한 절차를 통해 제한된 데이터 환경에서도 통계적 모델링과 시뮬레이션을 통해 앞으로 있을 태풍에 대한 위험에 대한 정량적인 계산을 바탕으로 합리적인 옵션 Premium을 산정한다. 또한 과거 데이터 부족이나 환경 변화 등으로 모델의 예측력이 충분히 정량적으로 검증하기 어려운 경우가 있을 경우를 대비하여 Risk Load 를 통해 모델의 예측 불확실성과 대내적 리스크를 보수적으로 반영하여 재무적 안정성을 확보하고 더 나아가, 이 방법을 통해 불확실한 미래 위험에 대한 근거를 제공하여 경영진의 전략적 의사결정을 지원할 수 있음을 기대한다.

본 콜옵션 계약은 전통적인 재보험 시장을 넘어선 새로운 리스크 헛징 수단을 제공한다. 보험사가 보유한 태풍 리스크 중 일정 부분인 K 를 초과하는 손실에 대한 리스크를 불특정 다수의 투자자에게 판매함으로써, 자본시장으로 리스크를 전가할 수 있다.

보험사는 자본 효율성을 높이는 데 중요한 역할을 할 수 있고 투자자 입장에서는 태풍 발생 시에 보험사의 손실을 보전해 주는 대가로 옵션의 Premium 을 수취한다.

이는 새로운 형태의 투자 수익원이 될 수 있음을 시사한다.

5. 지수형 보험 설계

5-1. 연구 설계 과정

앞서, 제주도의 과거 태풍 피해 규모 데이터를 종속변수로, 강수량 및 풍속 등의 기상변수를 독립 변수로 설정해 태풍 위험도 지수를 만들었다. 이 지수를 판단 지수로 해서, 지수형 보험 상품을 구성하려고 한다.

지수형 보험 상품의 순보험료를 산정하기 위해 다음의 절차를 거치고자 한다.

1. 제주도의 과거 태풍 피해 데이터로 분포 분석을 한 후, 피해 규모의 통계적인 특성을 파악하고, 이를 기반으로 기준 지수와 한도 지수를 산정한다.
2. 제주도 태풍 위험도 지수 1단위 당 제주도 농업 피해 금액을 산정한다.
3. 기준 지수를 초과하는 트리거 기대 발생 빈도를 추정한다.
4. 보험 구조는 선형 지급 구조를 채택하고, 기준 지수와 한도 지수의 구간을 나눠 구간에 따라 지급 함수를 설계한다.
5. 순보험료를 산정하고, 제주도 농가 수, 가입률 가정 등을 반영하여 1농가당 적정 보험료를 산출한다.

이와 같은 과정을 통해, 제주도 태풍 위험도 지수를 기반으로 지수 보험을 제안하고자 한다.

5-2. 기초 지수 정의

지수형 보험 상품을 구성하기 위하여, 모델링한 태풍 위험도 지수를 이용할 수 있는지 판단하기 위하여 국제보험감독자협의회(IAIS)에서 발간한 “*Issues Paper on Index-Based Insurances, Particularly in Inclusive Insurance Markets*” 자료를 참고하여 아래의 기준으로 적합도를 판단했다.

1. 변조 불가성

태풍 위험도 지수를 산정할 때 독립 변수로 사용하였던 강수량, 일 최대 풍속 등의 기상 변수의 데이터가 실시간 공표될 수 있는가 기상청에서 실시간으로 측정될 수 있으므로, 변조 불가능성을 충족시킨다고 판단하였다.

2. 상관성과 오차한계

R^2 와, RMSE, mae를 기준으로 기준 지수 적합도를 판단하였고, 0.5368의 설명력, 591.98의 RMSE, 354.5의 mae 값을 가져 유의한 상관관계를 보인다고 판단하였다.

이 두 가지 기준을 고려했을 때, 지수형 보험 상품의 기초 지수로 우리가 발명한 태풍 위험도 지수를 사용하기에 적합할 것이라고 판단하였다.

5-3. 태풍 발생 빈도의 통계적 분포 분석

태풍의 빈도를 예측하기 위해 여러 분포 중 포아송 분포를 선택했다.

포아송 분포는 발생 빈도가 적은 사건을 단위 시간당 발생 빈도를 설명할 때 주로 쓰인다.

또한 사건이 희귀하고 이산적이며, 독립적으로 발생하고, 단위 시간 내 평균 발생률이 일정한 경우에 사용하기에 적절한 분포로 간주된다.

태풍은 단위 시간당 사건 수를 계산할 수 있고, 독립적으로 발생하며, 일반적으로 매년 오는 태풍의 횟수가 1~2회 정도로 평균 발생률이 안정적이기 때문에, 포아송 분포를 통해 태풍의 빈도를 판단하는 것은 적절하다.

1970년~2025년의 각 연도별 태풍의 빈도가 포아송 분포를 따르는지 확인하기 위하여, 발생 횟수 분포에 대한 카이제곱 적합도 검정을 시행하였다.

그 결과, $\lambda \approx 1.40$, $\text{Var} \approx 1.00$ $\chi^2 = 1.39$, $p\text{-value} = 0.4997$ 값이 도출이 되었다.

포아송 분포가 적절하지 않은지를 판단하기 위해서 통상 유의수준(α) = 0.05, 0.01을 사용하는데, $p\text{-value} > 0.05$ 이므로 포아송 분포가 기각될 수 없다고 판단하였다.

따라서 포아송 분포에 적합하다고 판단하고, 분석 결과 도출된 $\lambda \approx 1.40$ 을 분석에 활용하기로 하였다.

5-4. 기준·한도 지수 산정

지수형 보험에서는 기준 지수(트리거)부터 보험금 지급이 시작되고, 한도 지수 이상에서는 최대 지급액이 지급된다.

포아송 분포가 적합하다는 검정 결과를 바탕으로, 반복주기에 따른 초과확률을 계산하였고, 이를 기준 지수와 한도 지수 산정의 근거로 삼았다.

일부 카리브해 파라메트릭 보험에서는 기준 지수와 한도 지수를 풍수해 부문에서 각각 10~30년 반복주기, 75~180년 반복주기 값으로 설정한다.

그러나 한국과는 지리적·기후적 특징이 다르다는 점을 반영해야 했고, 기준 지수에는 해당 사건에서 피보험자가 감당하기 어려운 손실 지점을 설정하고자 했다. 이에 따라 기준 카리브해 지역 파라메트릭 보험의 기준·한도 지수 설정 사례를 참고하되, 위 두 가지 조건을 함께 고려하기 위해 선행 자료를 검토했다.

그 결과, 기준 지수를 산정하기 위해 한국풍공학회에서 발행한 「태풍 시 보험금 청구 자료를 이용한 강풍 취약도 모델링」 논문을 참고하였다. 해당 논문에서는 피해 규모에 유의미한 영향을 미치는 태풍이 연 1회 발생하는 것으로 정의하고 있다.

다만, 이 정의는 한반도 전체에 상륙한 태풍을 대상으로 한 분석을 기반으로 하므로, 제주도 지역에 그대로 적용하기에는 한계가 있다고 판단하였다.

이에 따라, 제주도를 대상으로 하는 본 모델에서는 평균 발생주기를 1.5년으로 조정하는 것이 보다 타당하다고 보고, 이를 기준 지수 산정에 반영하였다. 한도 지수는 또한 연구 사례를 참고하여, 발생 주기를 8년으로 선정하였다.

따라서 최종적으로 아래와 같이 기준·한도 지수를 산정하였다.

기준 지수 반복 주기(1.5년): 초과 확률=0.708, 기준 지수=2791

한도 지수 반복 주기(8년): 초과 확률=0.903, 한도 지수=48149

5-5. 지수 1단위 당 지급액 산출

태풍 위험도 지수 1단위는 제주도 전체 태풍 피해 규모 100만 원에 해당하도록 산정하였다. 따라서, 예를 들어 전체 피해액이 1억 원일 경우, 해당 태풍의 위험도 지수는 100이 된다.

추가적으로, 우리는 전체 태풍 피해가 아닌 농업 분야의 태풍 피해를 대상으로 하고 있기 때문에,

제주도 전체 태풍 피해 중 농업 피해가 차지하는 비중을 반영하기 위한 가중치 산정이 필요했다.

그러나 농업 피해와 직접적으로 연관된 공식 통계 자료는 존재하지 않았기 때문에, '2012년 태풍 볼라벤의 경우 제주 전체 재산피해가 약 110억 원이고, 이 중 농업 피해액이 26%에 해당한다'는 언론 보도 자료를 참고하였다.

유사한 사례 통계가 부족하다는 한계 속에서, 우리는 전체 피해액 중 약 26%가 농업 피해로 추정된다는 근거를 바탕으로 농업 피해 가중치로 0.26을 적용하였다.

결과적으로, 태풍 위험도 지수 1단위는 농업 부문에서의 피해액 260,000원을 설명한다.

5-6. 보험료 산출

선형 지급 구조의 지수형 보험이기 때문에, 보험의 지급 함수는 다음과 같다.

태풍 위험도 지수에 따른 지급액 산정표	
태풍 위험도 지수 범위	지급액 계산 방식
실제 지수 < 2791	지급액 = 0
2791 <= 실제 지수 < 48149	지급액 = (실제 지수-2791) x 260,000
실제 지수 >= 48149	지급액 = (48149-2791) x 260,000

1. 순보험료 산정

순보험료 = 1단위당 지급액 x 트리거 빈도 (=트리거 초과 확률 x 포아송 분포의 모수) x 트리거 초과금 평균액 해당 식을 바탕으로 산출된 순보험료는 다음과 같다.

$$\text{순보험료} = 260,000 \times 0.708 \times 1.4 \times 5739.1 = 1,479,034,939.2\text{원}$$

2. 총보험료 산정

파생 상품을 보험 상품에 결합하는 것이 목표이므로, 총보험료 산정을 위해 콜프리미엄을 순보험료에 더해 준다.

다만, 한도 지수 이상의 태풍이 와서 파생상품 이익이 생긴다면 배당 형식으로 지급한다.

부가요율은 재보험료, 영업비용과 운용수익률을 고려해야된다. 영업비용은 0.24프로로 잡고⁷, 운용수익률은 3프로로 잡았다⁸. 풍수해보험이 일시납이라는 특성을 반영해서 총보험료를 구해보았다.

$$\text{총보험료} = (1,479,034,939 + 381,590,000) \times (1 + 0.21) = 2,251,356,176$$

3. 1인당 보험료

예상 가입 인원은 제주도의 전체 농가 수에 제주도 농작물 재해 보험 가입률 5개년 평균인 41%를 곱한 후, 삼성화재 점유율을 28% 곱하여 산출했다

$$\text{예상 가입 농가} = 30,357 \times 0.41 \times 0.28 = 3,484$$

$$\text{1인당 보험료} = \{(1,479,034,939 + 381,590,000) \times (1 + 0.21)\} / 3,484 = 646,198$$

결론

본 보고서는 이상 기후에 대한 리스크 관리 방안의 새로운 금융 대안으로서, 개발한 기후지수를 기반으로 한 지수형 보험과 날씨 파생상품을 함께 제안하였다.

먼저, 강수량, 풍속 등의 기상 정보를 바탕으로 피해 규모를 통계적으로 예측하는 '제주도 태풍 위험도 지수'를 개발하였으며, 이 지수를 기반으로 구조화된 보험 및 옵션 상품을 설계하였다.

지수형 보험은 빠른 지급과 낮은 운영 비용의 장점이 있으며, 날씨 파생 상품은 재보험의 한계를 넘어 자본시장의 수요를 흡수함으로써 이상기후 리스크를 시장에게 효과적으로 전가할 수 있다.

특히 본 보고서가 제안한 구조는 파생상품과 보험의 결합을 통해 재해 위험에 대한 커버리지를 확장하면서도 보험사의 유동성 리스크를 동시에 줄일 수 있는 혁신적인 방식이다.

⁷ 최환의, 금융당국 모니터링 타겟된 보험사 '사업비율' ... 손보사 "IFRS17 시행 이후 11.7% 늘었다", 보험저널 ,2024.11.08 , <https://www.insjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=24560>

⁸ 이민재, 손보사 운용자산이익률 악화세...하나손보 깜짝 '2위', 조세일보, 2021.09.30, <https://www.joseilbo.com/news/htmls/2021/09/20210930434325.html>

또한 제주도 농민들에게는 안정적인 농업 경영 환경을 제공할 수 있음을 기대한다. 전통 보험에서 발생할 수 있는 보험사의 지급 관련 재무적 불안정성이나 자연 문제로부터 벗어나, 앞으로 일어날 태풍피해액 예상을 위해 개발된 [제주도 태풍 위험 지수] 기반의 투명하고 객관적인 보험금 지급의 예측 가능성을 높일 것이라 본다. 이는 제주 농민들이 기후 변화로 인한 불확실한 피해에 탄력적으로 대응할 수 있도록 하여 재정적 보호로 나아갈 수 있음을 시사한다.

최종 태풍 보험의 보험사 수익성

총 보험료 수입: 3,172,524,848 원

예상 보험금: 767,745,417 원

사업비: 317,252,485 원

순보험료: 2,855,272,363 원

투자수익: 62,625,808 원

순이익: 2,150,152,755 원

손해율: 24.20%

합산비율: 34.20%

가입자 옵션 수익 예상

옵션 총 수익 (EL - 프리미엄): 61,760,000 원

1인당 평균 옵션 배당(수익): 17,727 원

[출처]

1. 류근옥, 보험과 자본시장의 융합, 2016
2. 강계욱 외 1명, 계리모형론, 2021
3. 김경선 KIRI 보험연구원 연구위원, 지수형 기후보험 도입을 위한 정책 방향, 2025.04.21
4. 권순일 KIRI 연구위원, 지수형 보험 관련 이슈 및 산업의 대응 방향, 2025.02.10
5. 기온확률모형에 근거한 날씨보험의 가격결정에 대한 연구, 2008.02.19
6. 국내 날씨보험시장 현황 및 평가, 2012.10.31

7. 박정한, 폭염 등 기후 변화 시대에 '파라메트릭' 보험 가입이 대안, 글로벌이코믹, 2024.07.18,https://www.g-enews.com/article/Global-Biz/2024/07/2024071806402849fbbec65dfb_1
8. 최환의, 금융당국 모니터링 타겟된 보험사 '사업비율' ... 손보사 "IFRS17 시행 이후 11.7% 늘었다", 보험저널 ,2024.11.08 ,<https://www.insjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=24560>
9. 이민재, 손보사 운용자산이익률 악화세...하나손보 깜짝 '2위', 조세일보, 2021.09.30, <https://www.joseilbo.com/news/htmls/2021/09/20210930434325.html>
10. 제주 재난안전대책본부 홈페이지 내 방재현황
11. 삼성화재 회사소개 종 재무현황,<https://www.samsungfire.com/vh/page/VH.HPMK0204.do>
12. 박정한, 폭염 등 기후 변화 시대에 '파라메트릭' 보험 가입이 대안, 글로벌이코믹, 2024.07.18,https://www.g-enews.com/article/Global-Biz/2024/07/2024071806402849fbbec65dfb_1
13. 변지철, [태풍의 길목 제주] ③ 제주 자연재난 피해 85%가 '태풍'...예방책 곳곳 허점,연합뉴스,2020-06-28 <https://www.yonhapnews.co.kr/view/AKR20200626126500056>
14. 조재호, 한국 온난화 속도는 지구 평균의 2~3배,단비뉴스,2025.02.02,<https://www.danbinews.com/news/articleView.html?idxno=23075>