건물 집합에 대한 낙뢰 피해액 추정

Estimation of the Loss Induced by Lightning for the Building Sets

이영규* · 이철주** · 안승일***

Lee, Youngkyu*, Lee, Chuljoo**, and Ahn, Seungil***

Abstract

In this paper, we proposed the empirical formulas to estimate the incident rate induced by lightning for industrial, commercial, and high-rise building sets. The data used is based on the 2009-2013 building sets and lightning observations. The lightning claims are found to increase in proportion to the height of the building that is why the incident rate of the high-rise building set gets to the top. The 5-year moving maximum lightning strikes are more appropriate to use for estimating the lightning loss rather than the 5-year moving average lightning. The accumulated loss during 2009-2013 is 14.6 billion Won and the estimated accumulated loss with the 5-year moving maximum lightning exceeds 1.8 billion Won. We recommend the 5-year moving maximum lightning for loss estimation and expect that the formulas would contribute to the evaluation of pure risk by lightning for the covering insured.

Key words : Lightning, Loss, Insurance, Pure risk, Building

요 지

본 연구에서는 용도에 따른 건물 집단의 낙뢰 사고 발생률을 추정할 수 있는 경험식을 제안한다. 건물 용도는 공장, 일반, 고층건물 집합으로 구분되며, 건물 집합별 2009-2013 5년간 낙뢰 사고 자료와 낙뢰 관측 자료를 이용하여 경험식을 추정한다. 낙뢰 사고는 건물 층수가 많을수록 발생률도 증가하는 것으로 나타나 고층건물에서 사고발생률이 가장 높았다. 내년의 낙뢰 사고건수와 그로 인한 피해액을 예측하는 데는 5개년간 이동평균 낙뢰 횟수보다 5개년간 이동최대 낙뢰 횟수를 이용하는 것이 실무적으로 적합한 것으로 나타났다. 2009-2013 기간의 5년간 누적 낙뢰 사고 피해액은 약 146억 원이었으며 5개년간 이동최대 낙뢰 횟수를 이용한 낙뢰 사고 피해액 추정치는 이보다 18억 원을 초과하였다. 낙뢰 피해액 추정에 5개년간 이동최대 낙뢰횟수 사용을 추천하며 본 연구에서 제시한 낙뢰 피해액 추정기법이 낙뢰 담보 보험 상품의 순위험 평가에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

핵심용어 : 낙뢰, 피해액, 보험, 순위험, 건물

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

재물보험 업계 이슈 중 하나로 낙뢰 사고를 들 수 있다. 2000년 대 중반까지만 하더라도 연평균 낙뢰 사고 빈도가 거의 일정하다고 할 수 있었으나 최근 들어 낙뢰 사고 빈도에 뚜렷한 변화가 감지되고 있으며 이런 변화는 특히 고층건물

에 치중하여 나타나고 있다. Fig. 1은 9개 손해보험사에 가입된 특수건물¹⁾의 연별 낙뢰 사고 건수를 도시하고 있다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 고층건물(High-rise)에 낙뢰 사고가 편중되어 있는 것과 연별 증가 추이를 확인할 수 있을 것이다. 낙뢰 사고 증가 원인으로 크게 두 가지 측면에서 볼 수 있을 것이다. 첫째는 지구온난화로 인한 낙뢰 기후변화 측면, 둘째는 낙뢰에 노출되는 건물 수의 변화 측면이다.

*교신저자. 정회원. 한국화재보험협회 조사연구팀 수석전문위원(Tel: +82-2-3780-0325, Fax: +82-2-3780-0329, E-mail: youngQLee@kfpa.or.kr)

Corresponding Author: Member. Ph.D, Lead researcher, Research and Investigation team, KFPA

**한국화재보험협회 조사연구팀 차장, 건축구조기술사

Deputy Manager, Research & Investigation Team, KFPA

***한국화재보험협회 조사연구팀 과장

Manager, Research & Investigation Team, KFPA

1)특수건물이란 화재로 인한 재해보상과 보험 가입에 관한 법률 시행령 제2조(특수건물)에 정의된 건물을 말한다. 일반적인 특수건물의 특성을 말한다면 층수가 높은 건물이거나 연면적이 큰 건물이라고 말할 수 있을 것이다. 아파트의 경우 16층 이상이어야 특수건물로 분류되며, 일반건물의 경우에는 11층 이상인 건물이 특수건물로 분류되며, 공장의 경우에는 연면적의 합계가 3000제곱미터 이상인 경우 특수건물로 분류된다. 화재보험에서 건물은 크게 주택, 일반, 공장으로 분류하며 본 논문에서 고층건물은 16층 이상의 아파트, 주상복합과 11층 이상의 일반 건물을 말한다.

Fig. 1. Number of claims by lightning 2009-2013.

Fig. 2. Annual lightning strikes on zones of the residential, commercial, and industrial.

첫 번째 의문에 대한 답을 Fig. 2에서 찾을 수 있을 것이다. Fig. 2는 각각 주거지역, 상업지역, 공업지역에서의 연별 낙뢰(뇌운과 대기 사이에 발생하는 방전) 횟수를 보여준다. 주거지역, 상업지역, 공업지역에 대한 구분은 환경부 중분류토지피복지도 2007에 분류된 지역이며 낙뢰 횟수는 각 지역 위치에서의 기상청 레이더낙뢰간측자료(2002-2013)를 근간으로 산출된 수치다. 연별 낙뢰 횟수는 주거, 상업 또는 공업지역에 무관하게 거의 일치하는 수치를 보이고 있다. 연별 낙뢰 횟수를 살펴보면 2002-2004 기간 동안은 거의 일정한 낙뢰 횟수를 보이다가 2005-2007 기간 동안 연속해서 증가하여 2007년에는 연간 약 4회 낙뢰가 관측되었다. 2008년에는 약 2회 낙뢰로 급격히 감소하였으며 2009년에는 2회 낙뢰 밑으로 더 내려갔다. 그러다가 2010년에는 연간 낙뢰 횟수가 5회 이상으로 갑작스럽게 폭등하였으며, 2011-2012 2년 연속 감소하여 2012년에 연간 약 3회 낙뢰가 관측되었다. 2013년에 가장 두드러진 폭등이 있었으며 주거지역과 상업지역에서는 연간 약 7회 낙뢰를 공업지역에서는 연간 약 8회 낙뢰 횟수가 관측되었다. Fig. 2를 통해서 연별 낙뢰 횟수는 오르락내리락을 반복한다는 사실과 그 진폭이 점점 커지고 있다는 특성을 파악할 수 있을 것이다. 또한 그림에는 주거지역의 5개년간 이동평균 낙뢰 횟수가 도시되어 있다. 해당년의 5개년간 이동평균이란 해당년을 포함한 최근 5개년간의 낙뢰 횟수의 평균을 의미한

Fig. 3. Number of the specific buildings classified as the industrial, commercial, and the high-rise.

다. 5개년간 이동평균을 보면 낙뢰의 증가는 2012년까지 두드러진 변화가 보이지 않다가 2013년에 급격하게 증가하는 형국을 보이고 있다. 이를 종합해 보면, 우리나라의 낙뢰는 평균적으로 볼 때 현재로써는 낙뢰가 증가하고 있다는 증거를 찾기는 어렵다는 것과 연별 낙뢰 횟수는 오르락내리락을 반복하며 그 진폭이 시간이 경과할수록 점점 증가하고 있다는 것이다. 연별 낙뢰 횟수의 변화폭이 커지고 있다는 점이 가장 두드러진 점이라고 할 수 있다.

두 번째 의문에 대한 답은 Fig. 3에서 찾을 수 있을 것이다. Fig. 3은 9개 손해보험사에 가입된 공장, 일반, 고층건물로 분류한 특수건물의 연별 개소를 보여준다. 공장, 일반, 고층건물 모두 미소의 변화는 있지만 뚜렷한 변화는 보이지 않고 있다. 이를 통해서 낙뢰에 노출되는 건물 수의 변화가 낙뢰 사고 빈도 변화에 영향을 미친 것은 아니라고 할 수 있을 것이다.

앞에서 살펴본 것과 같이 최근 낙뢰 사고 증가의 원인으로 낙뢰 기후의 변화를 들 수 있을 것이다. 보험 측면에서 낙뢰를 담보하는 보험 상품의 경우 순위험에 변화가 있을 수 있다는 것을 의미하며 따라서 순위험을 재평가하여 앞으로 관리하고 대처할 필요가 있다는 것을 의미한다.

본 연구의 목적은 낙뢰를 담보하는 건물 보험 집합에 대해서 낙뢰 변화에 따른 사고 발생률을 도출하고 이를 토대로 건물 집단의 피해액을 추정하는데 있다. 이와 같은 연구 결과는 보험사 포트폴리오의 낙뢰로 인한 순위험 평가 및 관리에 활용될 수 있을 것이다.

1.2 연구동향

연구동향은 세 가지 분야에서 살펴보았다. 첫째는 낙뢰와 기후 변화 분야, 둘째는 낙뢰로 인한 인명 피해 분야, 마지막 셋째는 낙뢰로 인한 재산 피해 분야이다. 위 세 가지 분야 중 첫째와 둘째 분야의 연구 사례는 많이 접할 수 있었으나, 마지막 셋째 분야에 대한 연구 사례는 극히 드물어 본 연구의 필요성을 다시 한 번 느끼게 되었다.

Reeve and Toumi (1999)는 지구 온도가 증가하면 지구의 낙뢰 활동이 증가할 것이라는 가설을 조사하기 위하여 OTDLS(Optical Transient Detector Lightning Sensor) 자료를

분석하였다. 그 결과 육상에서의 월간 낙뢰 활동은 육상의 월간 습구 온도와 밀접한 관계가 있다는 것이 확인되었다. 또한 지구 육상의 평균적 습구 온도가 1K도 올라가면 낙뢰 활동은 약 40% 증가할 수 있다고 하였다.

Price and Asfur (2006)는 아프리카 지역에서의 장기간 낙뢰 활동 추세를 분석하였다. 1950년 이후로 아프리카의 낙뢰 활동에는 큰 변화도가 보였다. 1960년에 낙뢰 활동이 최대를 보인 후 이후 30년간 낙뢰 활동이 감소하는 추세를 보였다. 이런 장기간의 추세는 지구의 연별 평균 온도 추세와 무관한 것으로 나타났다.

Price (2008)는 지구 온난화에 따른 낙뢰 활동 변화 관계에 대한 많은 논문을 리뷰 하였다. 그는 장기간에 따른 낙뢰 활동 변화 관계 규명을 위한 연구 사례는 없었다는 점을 지적하며 단기간에 따른 낙뢰 활동 변화 연구 사례를 살펴보았다. 그 결과 모든 연구 사례에서 온도와 낙뢰 사이에서 정적 상관관계(positive relationship)를 관찰하였으며 지표 온도가 1도 시 오를 때 마다 낙뢰는 10~100% 증가한다는 점을 포착하였다.

Park (2005)은 신문, 텔레비전 및 기타 매체를 근거로 낙뢰로 인한 인명 피해를 조사하였다. 1926-2004년 기간 동안 낙뢰 사고로 인한 사망자는 209명 이었으며, 부상자는 168명으로 조사되었다.

Mills *et al.*(2006)은 캐나다에서의 낙뢰로 인한 인명 피해를 조사했으며 그에 따르면 낙뢰로 인하여 연간 9-10명이 부상을 입고 92-164명이 사망하는 것으로 나타났다. 인명 피해를 금액으로 환산하는 경우 3.6 백만 달러에서 79.2 백만 달러에 해당한다고 언급하였다.

Ahrens (2013)은 미국의 경우 2007-2011 동안 낙뢰로 인한 화재가 연간 22,600건으로 추정된다고 하였다. 낙뢰 화재로 인하여 연간 9명이 사망하고 53명이 부상을 당하며 451 백만 달러의 재물 피해가 발생하고 있다고 보고하였다. 대부분의 화재는 야외에서 발생하지만 화재관련 대부분의 사망 및 부상, 재물 피해는 주택 화재로 인한 것이라고 덧붙였다. 낙뢰 화재는 계절적으로는 여름에 가장 많이 발생하며 하루에서는 늦은 오후부터 이른 저녁 사이에 가장 많이 발생하는 것으로 조사되었다. 12명의 목숨을 앗아간 2006년 1월 버지니아 구리 광산 폭발은 최근 낙뢰 화재 중 최악의 사고로 기록되었다.

Illiyas *et al.*(2014)은 인도에서의 낙뢰로 인한 사망자수를 조사하였다. 인도에서의 낙뢰로 인한 사망자 수는 자연재해 중(홍수, 산사태, 한파, 폭염, 낙뢰) 1위로 연간 평균 1,755명으로 집계되었다. 이 수치는 세계 다른 어떤 나라보다도 상당히 높은 수치지만 정부 당국은 낙뢰로 인한 인명 및 재산 피해 대비를 위한 정책이 없다는 점을 지적하였다.

Mills *et al.*(2007)은 많은 문헌과 자료를 수집하여 캐나다에서의 낙뢰로 인한 피해를 추정하였다. 낙뢰로 인한 화재사고는 연간 800건 이상이며 피해액으로는 16.4 백만 달러라고

Table 1. Homeowners insurance claims and payout for lightning losses, 2004-2013

Year	Number of Claims	Value of Claims (\$ millions)	Average Cost Per Claim
2004	278,000	\$735.5	\$2,646
2005	265,700	819.6	3,084
2006	256,000	882.2	3,446
2007	177,100	942.4	5,321
2008	246,200	1,065.5	4,329
2009	185,789	798.1	4,296
2010	213,278	1,033.5	4,846
2011	186,307	952.5	5,112
2012	151,000	969.0	6,400
2013	114,740	673.5	5,869

했다. 낙뢰로 인한 재물의 보험사고는 연간 3,900-5,300건이며 금액으로는 7.9 백만 달러에서 23.5 백만 달러에 이른다고 했다. 또한 낙뢰 정전으로 인한 손실은 연간 267 백만 달러에서 445 백만 달러에 이른다고 덧붙였다.

Allstate 보험사(2013)는 미국 텍사스에서 작년 대비 우박과 바람 관련 보험사고 건수는 5% 증가한 반면에 낙뢰 관련 보험사고 건수는 52%가 증가했다고 발표하였다. 하지만 낙뢰 사고의 급작스러운 증가 원인에 대한 분석은 되지 않았다.

Insurance Information Institute (III) (2014)에 따르면 최근 10년간 낙뢰로 인한 미국 주택 보험 사고건수는 Table 1과 같다. 2013년 사고 건수는 최근 10년에서 가장 낮은 수치를 기록하고 있다. 반면에 건당 지급보험금은 전체적으로 지속적인 증가를 보이고 있다. 이는 가정에서 사용하는 전자제품 수가 증가하고 전자제품 가격 상승에 의한 효과라고 지적하고 있다.

1.3 연구내용 및 범위

본 연구에서는 연간 낙뢰 횟수에 따른 건물 집합의 사고 발생률을 분석하고 그에 따른 피해액을 추정한다. 낙뢰 횟수는 기상청 레이다낙뢰관측자료를 사용하여 연별 낙뢰지도(단위 제곱 킬로미터 당 연간 낙뢰 횟수를 알려주는 지도), 5개년간 이동평균 낙뢰지도 및 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 작성한다. 사고 발생률은 2009-2013 기간 동안 9개 손해보험사에 가입된 특수건물의 모수와 낙뢰 사고 자료를 토대로 분석된다.

건물집합의 낙뢰 사고 발생률과 연별 낙뢰지도를 접목하여 추정된 피해액과 실제 피해액을 비교하여 본 연구에서 제시한 피해액 추정기법의 정밀도를 검토한다. 또한 5개년간 이동평균 낙뢰지도 및 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 이용하여 미래의 낙뢰 사고 피해액을 추정하여 제시된 피해액 추정기법의 활용성을 재고해본다.

2. 낙뢰 피해액 추정

본 연구에서는 연별 낙뢰지도를 통하여 건물집합에서의 평균 낙뢰 횟수를 파악하고 낙뢰 횟수에 따른 사고 발생률을 분석하여 경험식을 개발한다. 낙뢰 사고 발생률 경험식을 이용하여 건물 집합에 대하여 피해액을 추정한다.

2.1 낙뢰지도 작성

기상청에서는 레이더낙뢰관측자료를 제공하고 있다. 레이더낙뢰관측자료에는 관측 연월일, 시분초, 뇌격점의 위경도, 강도(극성에 포함된 세기), 다중도(하나의 낙뢰 속에 포함되어 있는 뇌격의 수), 낙뢰형태(대지방전 또는 운간방전) 등의 정보가 포함되어 있다. 이 낙뢰 중 대지방전에 대한 낙뢰만을 이용하여 낙뢰지도를 작성하였다. 낙뢰지도로는 연별 낙뢰지도, 5개년간 이동최대 낙뢰지도, 5개년간 이동평균 낙뢰지도 3종을 작성하였다.

Fig. 4는 2013년 레이더낙뢰관측자료의 모든 대지방전 뇌격점을 표시하고 있다. 낙뢰지도는 가로 세로 각각 100미터 단위 셀 격자로 만들어지며, 각각의 셀에는 낙뢰 횟수 정보가 담겨진다(이와 같은 자료 저장 방식을 래스터(Raster)라고 한다). 낙뢰 횟수는 밀도분석을 통하여 얻어진다. 낙뢰횟수는 셀 중심을 기준으로 2킬로미터 이내에 있는 뇌격점의 개수를 반경 2킬로미터를 갖는 원의 면적으로 나눠서 추정하였다. Fig. 5는 2013년의 낙뢰지도를 보여준다. 동일한 방법으로 2002-2013 기간의 모든 해에 대해서 연별 낙뢰지도를 작성하였다.

연별 낙뢰지도를 토대로 기준년에서의 5개년간 이동평균 낙뢰지도와 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 작성하였다. 5개년간 이동평균 낙뢰지도와 5개년간 이동최대 낙뢰지도는 최근

Fig. 4. Points of lightning strikes in 2013.

5년간의 과거 연별 낙뢰지도를 통하여 내년의 낙뢰 피해액을 추정하는데 사용할 목적으로 생성하였다. 예를 들어 2013년의 낙뢰 피해액을 추정하고자 할 때는 기준년(2013년)을 포함하지 않는 과거 5년(2008-2012)의 연별 낙뢰지도를 이용하여 평균 낙뢰지도 및 최대 낙뢰지도를 작성하였다. 모든 연별 낙뢰지도는 동일한 셀 격자구조를 가지고 있다. 따라서 i 행 j 열의 셀은 모든 연별 낙뢰지도에서 동일한 위치에 놓이게 된다. 2013년 평균 낙뢰지도 i 행 j 열의 낙뢰 횟수는 2008-2012 기간의 각 연별 낙뢰지도의 i 행 j 열 셀 값의 산술평균으로 결정된다. 이와 유사하게 2013년 최대 낙뢰지도 i 행 j 열의 낙뢰 횟수는 2008-2012 기간의 각 연별 낙뢰지도의 i 행 j 열 셀 값의 최대값으로 결정된다.

Fig. 6은 연별 낙뢰지도, 5개년간 이동평균 낙뢰지도 및 5개년간 이동 최대 낙뢰지도로부터 주거지역에서의 평균 낙뢰 횟수를 산출하여 보여주고 있다. 5개년간 이동평균 낙뢰지도로 내년의 낙뢰 횟수를 가늠하는 경우 대략적으로 하한을 추정한다

Fig. 5. Density of the lightning strikes in 2013.

Fig. 6. Number of lightning over the residential zone by the yearly, 5-year moving average, and the 5-year moving maximum lightning maps.

고 볼 수 있을 것이며 5개년간 이동최대 낙뢰지도로 미래의 낙뢰 횟수를 가늠하는 경우 대략적으로 상한을 추정한다고 볼 수 있을 것이다. 5개년간 이동평균 낙뢰지도 및 5개년간 이동최대 낙뢰지도로 2014년 주거지역 평균 낙뢰 횟수를 추정한다면 대략 4회에서 8.5회 사이가 될 것으로 전망된다.

2.2 낙뢰 사고 발생률

Table 2는 9개 손해보험사에 가입되어 있는 특수건물의 2009-2013 기간의 모수와 낙뢰 사고 이력을 보여주고 있다. 표에서 Number of Contracts는 계약건수(건물개소)를 나타내며, Lightning strikes는 건물집합의 평균 낙뢰 횟수를, Claims는 낙뢰 사고건수를, Loss는 지급보험금을, Frequency는 낙뢰 사고 발생률(Claims/Number of Contracts)을 나타낸다. 표에서 보는 것과 같이 고층건물에서 낙뢰 사고 발생률이 상당히 큰 것을 알 수 있다. 낙뢰 횟수는 각 특수건물 위치에서의 연별 낙뢰지도 값을 통해서 얻어진 수치다. Fig. 7은 공장, 일반, 고층건물별 건당 보험지급금을 보여준다. 고층건물의 경우 큰

Fig. 7. Loss per claim for the industrial, commercial, and high-rise.

Fig. 8. Lightning Incidents by Month.

편차 없이 연별 건당 보험지급금이 유사하지만, 공장과 일반의 경우 건당 보험지급금의 편차가 상당히 큰 것을 알 수 있다. Table 2를 보면 공장과 일반 건물의 연간 사고건수는 10개 안팎으로 사고건수가 매우 작다는 점과 사고건별 보험지급금의 범위가 20만 원에서 1억 5천만 원까지 넓다는 점(Fig. 16 참조)이 통계적 유의성을 약화시키고 있다. 이로 인하여 연별 건당 보험지급액의 큰 변화가 감지되고 있다. Fig. 8은 월별 낙뢰 사고건수를 보여주고 있다. 낙뢰 사고는 지표면이 가장 뜨거운 7월과 8월에 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 낙뢰 횟수에 따른 낙뢰 사고 발생률을 그래프를 보여준다. 이 XY 플롯은 거듭제곱의 함수가 가장 적합한 것으로 나타났으며, 공장, 일반, 고층건물 각각에 대한 추세선식은 다음과 같다.

$$y = 0.0004x^{0.7296}, R^2=0.8745 \text{ for the industrial} \quad (1a)$$

$$y = 0.0005x^{0.8759}, R^2=0.2414 \text{ for the commercial} \quad (1b)$$

$$y = 0.0075x^{1.2135}, R^2=0.8357 \text{ for the high-rise} \quad (1c)$$

Table 2. Lightning Claims of the specific building 2009-2013

Year	Occupancy	Number of Contracts	Lightning strikes	Claims	Loss (Won)	Frequency
2009	Industrial	8,649	1.28	4	49,561,567	0.0462%
2010	Industrial	9,825	5.44	11	80,401,444	0.1120%
2011	Industrial	9,429	5.00	17	358,651,982	0.1803%
2012	Industrial	10,264	3.42	10	51,828,037	0.0974%
2013	Industrial	8,794	8.73	16	94,680,181	0.1819%
2009	Commercial	2,576	1.71	1	8,007,910	0.0388%
2010	Commercial	3,131	5.28	16	140,500,404	0.5110%
2011	Commercial	3,128	4.79	7	70,863,969	0.2238%
2012	Commercial	3,776	3.31	12	49,328,361	0.3178%
2013	Commercial	2,993	7.75	3	82,834,936	0.1002%
2009	High-rise	4,654	2.02	69	632,476,185	1.4826%
2010	High-rise	4,777	5.53	195	2,218,035,141	4.0821%
2011	High-rise	3,723	5.92	281	3,006,435,533	7.5477%
2012	High-rise	3,974	3.59	217	2,999,876,696	5.4605%
2013	High-rise	3,967	9.33	446	4,754,109,936	11.2428%

Fig. 9. Claim Rate vs lightning strikes for the industrial, commercial, and high-rise.

여기서 y 는 건물 집합의 낙뢰 사고 발생률을, x 는 건물 집합의 평균 낙뢰 횟수를 나타낸다. 공장과 고층건물의 경우 상관관계가 상당히 높은 것으로 나타나는 반면에 일반의 경우는 상관도가 매우 낮은 것으로 나타나고 있다. 공장 건물의 경우 일반적으로 저층건물로 이루어져 있으며 주변 또한 저층건물 지대로 이루어져 있다. 이런 측면에서 볼 때 저층건물과 고층 건물의 경우에는 낙뢰 횟수와 낙뢰 사고 발생률 간에 상관도가 높은 것으로 나타나고 있다. 반면, 일반 건물의 경우에는 저층 건물과 중층건물이 혼재되어 있으며 그 주변 또한 저층/중층/고층 건물로 이루어져 있다. 이로 인하여 낙뢰 횟수와 사고 발생률 간의 상관도가 낮아진 것으로 추론된다. 일반 건물의 경우 층고와 주변상황을 고려하여 상관도를 높이기 위한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

2.3 낙뢰 피해액 추정

앞에서 낙뢰 사고 발생률에 대한 경험식을 도출하였다. 이 경험식과 낙뢰지도도를 가지고 건물 집합에 대한 연별 낙뢰 사

Table 3. Procedure to estimate the number of claims and the loss for the building set

Building ID	Lightning Strikes	Frequency	Probable Loss (Won)
100196015	5.41127	0.001371	14630.83
100300004	5.49085	0.001386	14787.51
110170003	5.33169	0.001356	14473.53
121110004	3.66056	0.001031	11000.65
130030014	4.85423	0.001267	13515.97
130090010	6.92324	0.001641	17512.32
131220012	7.55986	0.001750	18673.15
.	.	.	.
.	.	.	.
	6.543552 (average)	15.06646 (sum)	160,770,031 (sum)

고 피해액(보험지급금)을 추정하고자 한다. Table 3은 건물 집합의 낙뢰 사고 건수와 피해액을 추정하는 절차의 예시를 보여주고 있다. 이와 같은 절차로 추정하기 위해서는 모수 모든 건물의 위치를 알아야 한다. Table 3의 Building ID는 각 건물에 부여된 태그를 의미하며, Lightning Strikes는 건물 위치에서의 낙뢰지도 수치(낙뢰 횟수)를 의미한다. Frequency는 식 (1a, 1b, 1c)에 낙뢰 횟수를 대입하여 얻은 사고 발생률이다. Probable Loss는 사고 발생률에 Table 4에 제시된 건당 피해액을 곱하여 얻은 특정 건물 한 개소의 확률적 피해액이다. 이와 같이 각각 건물에 대해서 사고발생률과 피해액을 추정한다. 각 건물의 Frequency(사고 발생률)의 합이 건물 집합의 추정 낙뢰 사고 건수가 되며, 각 건물의 확률적 손실의 합이 건물 집합의 추정 낙뢰 피해액이 된다.

Fig. 10은 연별 낙뢰지도, 5개년 이동평균 낙뢰지도, 5개년 이동최대 낙뢰지도에 의한 공장 건물 집합의 낙뢰 사고 건수 추정 결과를 보여주고 있다. 연별 낙뢰지도에 의한 추정 결과는 2011년을 제외한 나머지 해에서 잘 일치하는 결과를 보여주고 있다. 5년간 총 낙뢰 사고 건수는 58건이었으며 연별 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 사고 건수는 3건이 적은 55건이었다. 5개년 이동평균 낙뢰지도로 예측된 5년간 총 낙뢰 사고 건수는 실제 사고 건수보다 13건 적게 추정되었으며 5개년 이동최대 낙뢰지도로 예측된 5년간 총 낙뢰 사고 건수는 실제 사고 건수보다 18건이 크게 추정되었다. 5년간의 누적 오차를 볼 때, 5개년 이동평균 낙뢰지도도를 통하여 내년의 낙뢰 사고 건수를 추정하는 경우 실제 사고건수보다 약 22% 과소 추정하는 것으로 나타났으며 5개년 이동최대 낙뢰지도도를 통하여 내년의 사고건수를 추정하는 경우 실제 사

Table 4. Loss per claim by the 5-year accumulated loss

Occupancy	Accumulated Loss (Won)	Claim Count	Loss per Claim (Won)
Industrial	640,243,443	60	10,670,724
Commercial	352,585,580	40	8,814,640
High-rise	13,883,540,836	1,230	11,287,432

Fig. 10. Estimation of the number of claims for the industrial building set by the yearly, 5-year moving average, and the 5-year moving maximum lightning maps.

Fig. 11. Estimation of loss for the industrial by the yearly, 5-year moving average, and the 5-year moving maximum lightning maps.

고건수보다 약 31% 과대 추정하는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 연별 낙뢰지도, 5개년간 이동평균 낙뢰지도, 5개년간 이동최대 낙뢰지도에 의한 공장 건물 집합의 낙뢰 피해액 추정 결과를 보여주고 있다. 5년간 총 낙뢰 피해액은 6억 4천만 원이었으며 연별 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 피해액은 이보다 약 5천만 원이 적게 추정되었다. 5개년간 이동평균 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 피해액은 실제 피해액보다 약 1억 5천만 원이 적게 추정되었으며 5개년간 이동최대 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 피해액은 실제 피해액보다 약 1억 7천만 원이 크게 추정되었다. 5년간의 누적 오차를 볼 때, 5개년간 이동평균 낙뢰지도를 통하여 앞으로의 낙뢰 피해액을 추정하는 경우 실제 피해보다 약 24% 과소 추정하는 것으로 나타났으며 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 통하여 앞으로의 피해액을 추정하는 경우 실제 피해보다 약 28% 과대 추정하는 것으로 나타났다.

Fig. 12는 연별 낙뢰지도, 5개년간 이동평균 낙뢰지도, 5개년간 이동최대 낙뢰지도에 의한 일반 건물 집합의 낙뢰 사고 건수 추정 결과를 보여주고 있다. 5년간 총 낙뢰 사고 건수는 39건이었으며 연별 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 사고 건수는 10건이 적은 29건이었다. 5개년간 이동평균 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 사고 건수는 실제 사고 건수보다 17건 적게 추정되었으며 5개년간 이동최대 낙뢰지도로 추정된

Fig. 12. Estimation of the number of claims for the Commercial by the yearly, 5-year moving average, and the 5-year moving maximum lightning maps.

5년간 총 낙뢰 사고 건수는 실제 사고 건수보다 1건이 크게 추정되었다. 5년간의 누적 오차를 볼 때, 5개년간 이동평균 낙뢰지도를 통하여 앞으로의 낙뢰 사고 건수를 추정하는 경우 실제 사고건수보다 약 45% 과소 추정하는 것으로 나타났으며 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 통하여 앞으로의 사고건수를 추정하는 경우 실제 사고건수보다 약 4% 과대 추정하는 것으로 나타났다.

Fig. 13은 연별 낙뢰지도, 5개년간 이동평균 낙뢰지도, 5개년간 이동최대 낙뢰지도에 의한 일반 건물 집합의 낙뢰 피해액 추정 결과를 보여주고 있다. 5년간 총 낙뢰 피해액은 약 3억 5천만 원이었으며 연별 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 피해액은 이보다 약 1억 원이 적게 추정되었다. 5개년간 이동평균 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 피해액은 실제 피해액보다 약 1억 6천만 원이 적게 추정되었으며 5개년간 이동최대 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 피해액은 실제 피해액보다 약 4백만 원이 크게 추정되었다. 5년간의 누적 오차를 볼 때, 5개년간 이동평균 낙뢰지도를 통하여 앞으로의 낙뢰 피해액을 추정하는 경우 실제 피해액보다 약 46% 과소 추정하는 것으로 나타났으며 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 통하여 앞으로의 피해액을 추정하는 경우 실제 피해액보다 약 1% 과대 추정하는 것으로 나타났다.

Fig. 14는 연별 낙뢰지도, 5개년간 이동평균 낙뢰지도, 5개

Fig. 13. Estimation of loss for the commercial by the yearly, 5-year moving average, and the 5-year moving maximum lightning maps.

Fig. 14. Estimation of the number of claims for the high-rise by the yearly, 5-year moving average, and the 5-year moving maximum lightning maps.

Fig. 15. Estimation of loss for the high-rise by the yearly, 5-year moving average, and the 5-year moving maximum lightning maps.

년간 이동최대 낙뢰지도에 의한 고층건물 집합의 낙뢰 사고 건수 추정 결과를 보여주고 있다. 5년간 총 낙뢰 사고 건수는 1,208건이었으며 연별 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 사고 건수는 167건이 적은 1,041건이었다. 5개년간 이동평균 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 사고 건수는 실제 사고 건수보다 604건 적게 추정되었으며 5개년간 이동최대 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 사고 건수는 실제 사고 건수보다 139건이 크게 추정되었다. 5년간의 누적 오차를 볼 때, 5개년간 이동평균 낙뢰지도를 통하여 앞으로의 낙뢰 사고 건수를 추정하는 경우 실제 사고건수보다 약 50% 과소 추정하는 것으로 나타났으며 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 통하여 앞으로의 사고건수를 추정하는 경우 실제 사고건수보다 약 11% 과대 추정하는 것으로 나타났다.

Fig. 15는 연별 낙뢰지도, 5개년간 이동평균 낙뢰지도, 5개년간 이동최대 낙뢰지도에 의한 고층건물 집합의 낙뢰 피해액 추정 결과를 보여주고 있다. 5년간 총 낙뢰 피해액은 약 136억 원이었으며 연별 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 피해액은 이보다 약 19억 원이 적게 추정되었다. 5개년간 이동평균 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 피해액은 실제 피해액보다 약 68억 원이 적게 추정되었으며 5개년간 이동최대 낙뢰지도로 추정된 5년간 총 낙뢰 피해액은 실제 피해액보다 약 16억 원이 크게 추정되었다. 5년간의 누적 오차를 볼 때, 5개년간 이동평균 낙뢰지도를 통하여 앞으로의 낙뢰 피해액을 추정하는 경우 실제 피해액보다 약 50% 과소 추정하는 것으로 나타났으며 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 통하여 앞으로

의 피해액을 추정하는 경우 실제 피해보다 약 12% 과대 추정하는 것으로 나타났다.

공장, 일반, 고층건물 구분 없이 5년 동안 누적된 실제 피해액은 약 146억 원이며, 연별 낙뢰지도로 추정된 피해액은 실제 피해액보다 약 20억 원 적게 나타났다. 이런 오차의 원인은 크게 두 가지에서 찾을 수 있다. 첫째는 낙뢰 사고 발생률 경험식에 내재된 오차이다. 경험식의 결정계수가 1이 아닌 이상 오차는 존재할 수밖에 없다. 둘째는 사고별 피해액(지급보험금)의 범위가 넓다는 데 있다. Fig. 16은 각 사고별 피해액의 확률 플롯을 보여주고 있다. 사고별 지급보험금의 분포는 대수정규분포(Log-normal distribution)가 가장 잘 묘사하는 것으로 나타났다. 사고별 피해액이 적게는 몇 만원에서 많게는 몇 억 원까지의 범위를 갖는 것을 알 수 있다. 이렇다 보니 사고 건수가 적은 공장이나 일반의 경우 사고 건수는 적으나 피해액은 큰 경우도 나타나고 있다.

낙뢰 횟수에 따른 사고 발생률을 검토한다거나 피해액을 산출하는 경우에 연별 낙뢰지도를 사용할 수 있다. 하지만 내년의 낙뢰 사고 건수가 얼마나 될 것인지 그로 인한 피해액은 얼마가 될 것인지에 대한 답을 찾고자 할 때는 변동이 심한 연별 낙뢰지도를 사용하는 것이 무의미할 것이다. 이런 경우 5개년간 이동평균 낙뢰지도와 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 활용하여 해답의 범위를 추정할 수 있을 것으로 본다. 본 5개년간 이동평균 낙뢰지도로 추정된 5년 누적 피해액은 실제 피

Fig. 16. Probability plot of the claims for the industrial, commercial, and the high-rise.

Table 5. Estimation of the claims and the corresponding loss in 2014

Map	Occupancy	Number of Contracts	Lightning	Count	Loss (Won)
5-year moving average	Industrial	8,794	4.72	11	113,403,792
5-year moving average	Commercial	2,993	4.50	5	48,426,260
5-year moving average	High-rise	3,967	5.21	193	2,175,587,694
5-year moving max.	Industrial	8,794	9.73	18	189,971,515
	Commercial	2,993	8.84	10	87,392,752
	High-rise	3,967	10.20	411	4,639,536,321

해액(약 146 억 원)보다 약 71억 원 적게 나타났고 5개년간 이동최대 낙뢰지도로 추정된 5년 누적 피해는 실제 피해액보다 약 18억 원 크게 나타났다. 실무적 관점에서 내년의 피해액을 예측하는 경우, 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 활용하는 방안이 보수적인 측면에서 적합할 것으로 사료된다.

만약 2014년의 모수가 2013년의 모수와 같다고 가정하면 5개년간 이동평균 낙뢰지도와 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 활용하여 Table 5와 같이 추정 결과를 제시할 수 있다. 공장 건물 집합의 경우 약 1억 원에서 2억 원의 피해액이 예상되며, 일반 건물 집합의 경우 약 5천만 원에서 9천만 원의 피해액이 예상되고, 고층건물 집합의 경우 약 22억 원에서 46억 원의 피해액이 예상된다.

3. 결 론

우리는 불확실한 현실 속에 살지만 늘 현실을 예측하고 대처하고자 노력한다. 이런 노력이 경영 분야에서는 더욱 크다고 할 수 있다. 최근 지구온난화로 인한 기후변화는 불확실을 더욱 가중시키고 있다. 이는 낙뢰 기후에도 영향을 미치고 낙뢰로 인한 피해액 추정을 어렵게 하고 있다. 이런 시점에서 낙뢰로 인한 피해액 추정 기법 제시는 큰 의미가 있다고 할 수 있다. 본 연구에서 제시한 낙뢰 피해액 추정 기법에는 보완해야 할 사항들이 여전히 존재하고 있다. 본 연구에서 제시한 5개년간 이동최대 낙뢰지도를 활용한 낙뢰 피해액 예측 결과가 한 해의 결과에서는 다소 큰 차이가 있을 수 있지만, 5년간 누적 오차(18억 원)는 실제 피해액보다 12% 과대 추정하고 있다. 이와 같은 추정 오차는 실무에서 받아들여질 만한 오차라고 생각된다. 최근 들어 기후 예측 기술에 많은 발전이 진행되고 있다. 낙뢰에 대한 기후 예측 결과물이 낙뢰 피해액 추정 기법에 활용된다면 낙뢰 피해액 추정치가 더욱 정교해질 것이다.

낙뢰 피해액 추정 기법이 낙뢰 사고를 담보하는 보험 상품을 개발하거나 기존 상품의 낙뢰로 인한 순위험을 추정 및 검증하는데 활용될 수 있기를 기대한다.

References

- Allstate Corporation (2013) Nearly 40% of Texans Admit Being Scared by Texas Weather: Survey, *Insurance Journal*, April 2, 2013.
- Illiyas, Faisal T, Keshav Mohan, Shibu K Mani, A P Pradeepkumar (2014) Lightning Risk in India Challenges in Disaster Compensation, *Economic & Political Weekly*, Vol. XLIX, No. 23, pp. 23-27.
- Insurance Information Institute (2014) Number, Cost of Homeowners Insurance Claims from Lightning Fell in 2013; Dry Conditions, Fewer Powerful Thunderstorms A Contributing Factor, released June 23, 2014.
- Marty Ahrens (2013) *Lightning Fires And Lightning Strikes*, National Fire Protection Association, Fire Analysis and Research Division, 31p.
- Mills, B., d. Unrau, C. Parkinson, D. Jones, J. Yessis and K. Spring (2006) *Striking Back: An Assessment of Lightning-related Fatality and Injury Risk in Canada*, Final Technical Report prepared for the Canadian Lightning Detection Network. Adaptation and Impacts Research Division, Environment Canada, 38p.
- Mills, B., D. Unrau, L. Pentelow, and K. Spring (2007) *Flash Back: A Review of Lightning-related Damage and Disruption in Canada*, Environment Canada, 54p.
- Park, Mansick (2005) *Statistics of Lightning Damage and Lightning Protection Standards in Korea*, Master's thesis, Inha university, Korea.
- Price, C. and M. Asfur (2006) Inferred Long Term Trends in Lightning Activity over Africa, *Earth Planets Space*, Vol. 58, pp. 1197-1201.
- Price, Colin (2008) Thunderstorms, Lightning and Climate Change, *29th International Conference on Lightning Protection, Uppsala, Sweden*, pp. 1-9.
- Reeve, N. and R. Toumi (1999) Lightning Activity as an Indicator of Climate Change, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 125, pp. 893-903.

Received ■ September 16, 2014

Revised ■ September 25, 2014

Accepted ■ October 29, 2014