

물리적 리스크 모델링

이준호

2022.10.26

금융감독원

우리나라의 대표적인 물리적 리스크

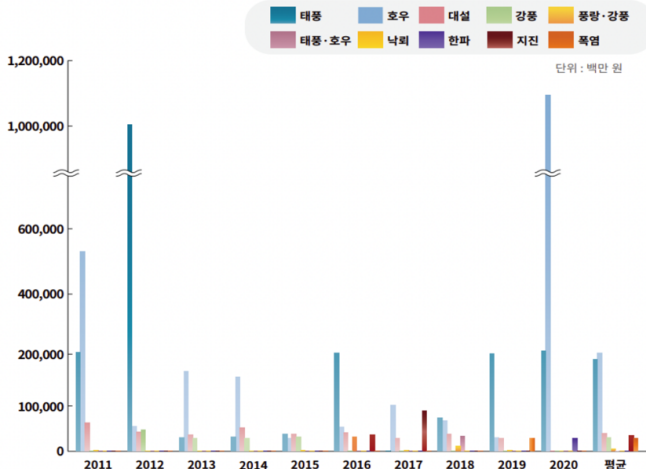
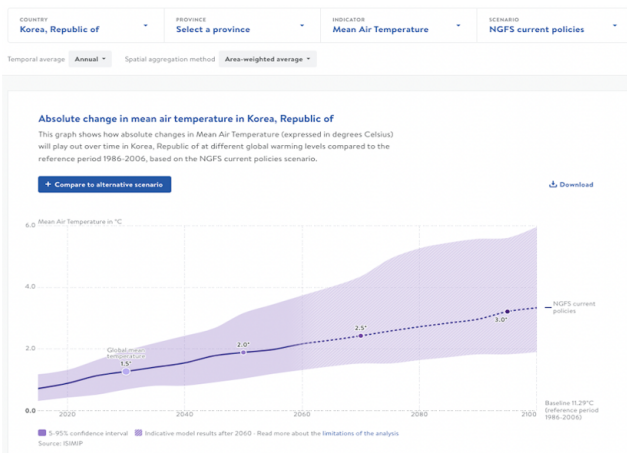


Figure 1: 최근 10년간 원인별 피해액 현황(2020 재해연보)

⇒ 태풍과 홍수를 중심으로 자연재해에 의한 물리적 리스크 측정

Climate impact explorer(Climatic Analytics)

- 국가별 기후 및 지역별 세분화 자료를 5년 주기로 제공
- 극단값과 경제적 피해는 ISIMIP 및 CLIMADA 모형으로 산출
- NGFS시나리오, RCP시나리오별 기후변화 경로



물리적 기후변화 경로를 활용하여 미래시점의 자연재해 및 건강위험으로부터의 금융리스크를 측정

제공되는 변수

경제적 피해	원인별 위험	기후	담수
홍수피해예상액	홍수 지역(인구) 비율	평균기온	표면침식
태풍피해예상액	산불 지역(인구) 비율	강수량	하천유량
	폭염 지역(인구) 비율	적설량	
	홍작 지역(인구) 비율	기압	
	최대침수심	장파복사	

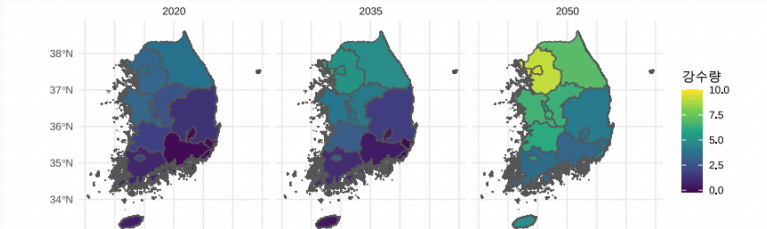
극단값

최고기온, 최저기온, 최대유량, 1%수준 태풍피해예상액 등

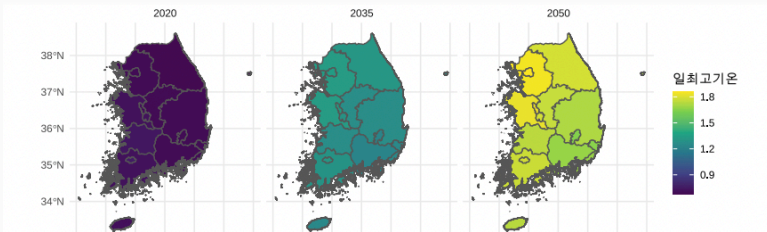
NGFS 기후시나리오에 따른 평균기온 및 강수량 변화

Current polices 시나리오에 따른 기후변화 경로(1986-2006년 평균대비)

- 강수량(백분율 포인트 변화)



- 최고기온(섭씨 온도 변화)



1. 시나리오 작성시 필요한 미래의 기후변수 추정

- 평균기온 등 대표변수를 활용하여 최고기온, 해양기후변수 등 추가 기후변수들 추가로 추정
- NGFS 시나리오 이용시 상당부분 해결 가능

2. 지역별 기후시나리오 구체화(Downscaling)

- 국가단위 또는 광역단위 기후변수값을 광역단위 또는 시군구 단위 등으로 세분화하는 문제
- NGFS 시나리오의 일부 변수(경제적 피해)는 국가단위 값만 제공하거나, 그리드 단위 지역이 너무 큰 문제가 있음

3. 기후변화 리스크 전달모형의 구축(transmission channel)

- 지역별 기후변수의 변화와 자연재해 손해율 및 사망/질병 위험율을 연계
- 과거 데이터를 바탕으로 손해율/위험율을 추정(projection)하거나 가정에 의한 확률론적 접근방법을 이용

대표변수로 부터 다른 기후변수(ex. 최고기온) 추정하거나 지역별 세분화의 문제
극값 이론(Extreme value theory)와 베이지안 계층모형(Bayesian Hierarchical models) 등을 활용(Oliver et al., 2014)

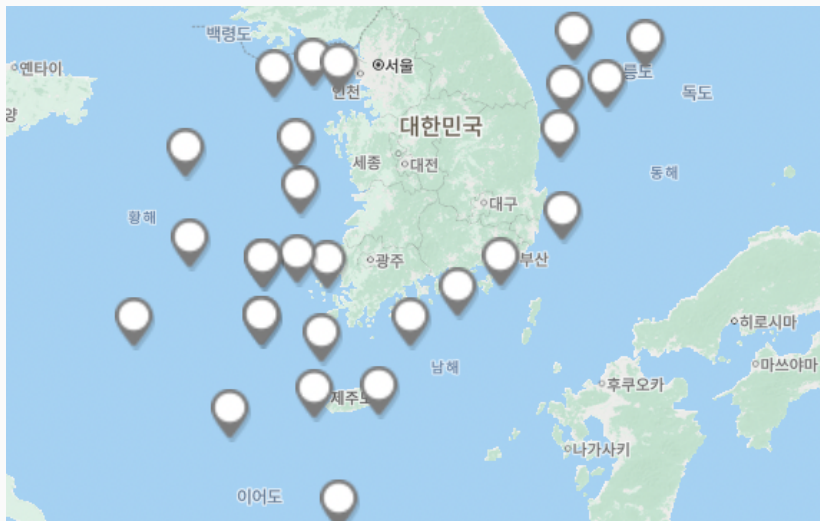
- 극값분포(GEV): 연중 최고기온 등 최대값들의 분포 (vs. 중심극한정리)

$$G(x) = \exp(-(1 + \xi x)^{-1/\xi}), \quad 1 + \xi x > 0, \quad \xi \in \mathbb{R}$$

- 계층모형(Hierarchical model):
관측값을 조건부 GEV로 추정한 후 관측되지 않은 지점(spatial) 또는 미래의 시점(temporal)을 예측하는데 이용
 - 사전분포: $\theta_1 \sim p(\theta_1)$
 - 계층구조: $\theta_2 \mid \theta_1 \sim f(X \mid \theta_1)$
 - 관측값: $y \sim F_{GEV}(y \mid \theta_2)$

예시) 한반도 해역의 해수면 온도(1)

1. 해수면온도 관측(해상부이)



예시) 한반도 해역의 해수면 온도(2)

2. GEV fitting (type II: Gumbel)

관측치 y_i : 해상부이별 i 번째 해의 최고 수온

$y_i \sim \text{Gumbel}(a, b), \quad (\xi = 0)$

$$f(y_i | \theta_2) = \exp \left\{ -\exp \left(-\frac{y_i - a}{b} \right) \right\}, \quad \theta_2 = (a, b = \exp(\phi))$$

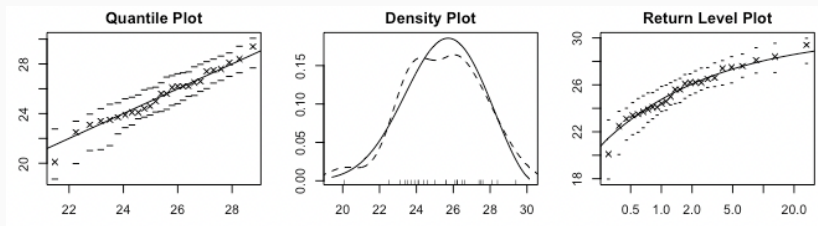


Figure 2: 덕적도 해상부이 관측값의 Gumbel 분포 추정

3. 베이지안 계층모형의 설정

GEV의 각 파라미터 a, ϕ 를 우리가 알고 있는 미래 기후변수 X 를 이용하여 적합

$$\alpha = X\beta_a + \varepsilon_a, \quad \phi = X\beta_\phi + \varepsilon_\phi$$

- 오차항은 확률효과(random effect)를 반영, 오차항간은 독립
- 파라미터의 공간의존성은 독립변수들간의 관계에서 파생

계층구조 및 사전분포의 설정

$$p(\theta_2 \mid \theta_1, X) = p(a \mid \theta_{1a}, X) \cdot p(\phi \mid \theta_{1\phi}, X)$$

$$p(a \mid \theta_{1a}, X) = N(X\beta_a, \tau_a^{-1}I)$$

$$p(\phi \mid \theta_{1\phi}, X) = N(X\beta_\phi, \tau_\phi^{-1}I)$$

$$\theta_1 = (\beta_a, \beta_\phi, \tau_a \tau_\phi)$$

베이지안 추론

- 사후분포 및 예측분포는 MCMC(Markov Chain Monte Carlo) 기법을 이용하여 산출
- STAN, OPENBUGS, JAGS 등 베이지안 샘플러를 이용

지역별 시나리오 구체화(Downscaling)

베이지안 계층 모형을 활용하거나, 별도로 Downscaling을 위한 하위모형 구축

- 광역시도 및 시군구의 지리적 위치 정보를 활용하여 기후변수의 영향력을 직접 측정하거나 Interpolation 방법을 이용

NGFS 기후시나리오의 태풍·홍수 정보 이용시 유의점

1. 보통 기후변화 연구는 피해금액을 자연재해의 강도로 인한 부분과 밀집도로 인한 부분을 구분하나, 시나리오 분석을 별도로 구분할 필요가 없음
2. **(태풍)** 태풍의 피해예상금액은 국가단위 시계열만 제공하고 지역별 세부정보는 없음
⇒ 우리나라 태풍 데이터에 기반한 Downscaling 하위모형 구축이 필요
3. **(홍수)** NGFS시나리오는 침수예상지역 지리정보 및 범람과 관련한 광역 시도단위 정보를 제공하나, 우리나라의 홍수피해는 집중호우가 더 큰 요소임
⇒ 강수량을 이용하여 지역별 호우 피해 예상금액을 산출

태풍피해의 지역별 세분화(1)

1. 행안부의 과거태풍피해 통계

- 광역 시도 단위별 태풍 피해액에 대한 10년간 데이터
- 태풍피해금액은 중위수, 1%수준 태풍피해금액은 최대값을 이용

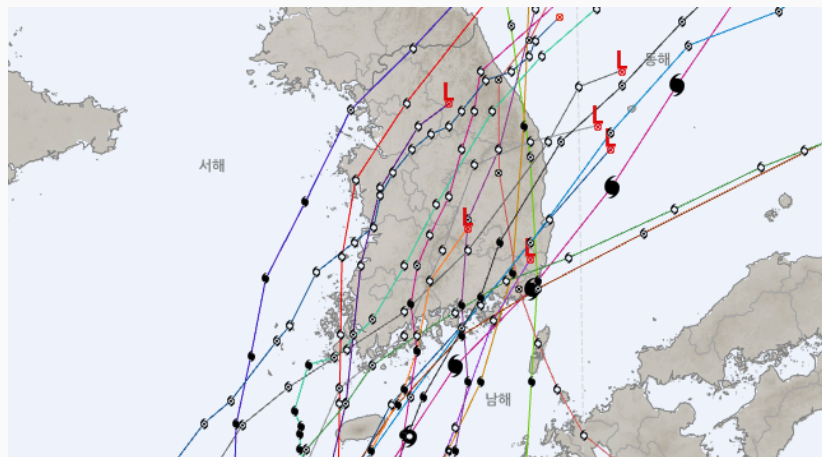
[4.2.10] 최근 10년간 시도별-연도별-원인별 피해현황(태풍)

(금액단위: 천원)

구분	연도	비고	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	합계
서울특별시	가			769,871							62,714	900	833,495
	나			795,352							63,000	900	859,252
부산광역시	가			1,081,301	9,638	2,007	13,333	40,239,240		7,074,146	1,922,896	8,648,016	58,990,516
	나			1,117,089	9,798	2,029	12,941	38,345,031		7,105,043	1,931,608	8,648,016	57,171,555
대구광역시	가			21,223						19,107	28,839	21,669	80,538
	나			21,925						19,190	28,971	21,669	81,765
인천광역시	가			670,745	4,492,522			14,834	4,531		10,356,698	156,318	15,694,609
	나			686,182	4,641,212			15,000	4,318		10,403,903	156,318	15,907,943
광주광역시	가			122,163	17,072,953			26			25,775	629,250	17,850,078
	나			125,341	17,637,916			26			25,803	629,250	18,418,436
대전광역시	가			2,521	328,572						1,459	79,904	412,457
	나			2,587	339,447						1,496	79,904	423,404
울산광역시	가			4,087,830			1,297,823	64,275,479		563,415	2,982,869	4,774,305	77,981,721
	나			4,223,126			1,259,656	61,249,796		566,876	2,996,476	4,774,305	75,069,234
세종특별자치시	가			210,350							9,855	23,488	243,893
	나			217,312							9,900	23,488	250,700
경기도	가			478,160	10,879,470						5,894,090	1,853,993	19,108,650
	나			490,598	11,239,550						5,920,947	1,853,993	19,508,088
강원도	가			6,120,950			3,812,085			1,913,519	32,593,823	73,472,647	117,913,025
	나			6,323,536			3,699,976			1,921,877	32,742,509	73,472,647	118,160,545
충청북도	가			475,242	14,530,829						859,570	2,305,127	18,206,100
	나			487,604	15,011,758						5,355	863,491	18,703,336
충청남도	가			1,050,558	43,475,845					9,549	5,627,610	896,670	51,060,233
	나			1,077,885	44,914,772					9,591	5,653,282	896,670	52,562,200
전라북도	가			75,092,074	100,820,423		13,187			203,365	2,377,126	1,625,531	181,131,705
	나			78,071,369	104,157,292		13,334			204,253	2,387,970	1,625,531	186,459,749
전라남도	가			82,939,574	391,050,724		2,856,757	7,080,920		14,962,358	19,408,633	2,241,376	520,540,342
	나			85,096,985	403,993,391		2,888,644	6,747,596		15,027,708	19,497,171	2,241,376	535,492,870
경상북도	가			44,889	132,057,309	3,553		8,687,041	21,140,203	25,491,132	116,358,798	98,873,712	402,666,638
	나			46,057	136,428,030	3,612		8,431,565	20,145,056	25,602,469	116,889,601	98,873,712	406,420,102
경상남도	가			46,099,276	187,313,230	1,330,925	2,128,133		72,240,395	11,696,578	20,768,957	20,376,003	351,953,498
	나			47,298,403	193,512,765	1,353,014	2,151,887		68,839,775	11,747,665	10,818,083	20,376,003	356,097,595
제주특별자치도	가			4,804,124	57,245,948	318,081	214,975		20,603,229	1,981,888	2,532,382	6,533,467	94,234,093
	나			4,929,088	59,140,626	323,360	217,375		19,633,359	1,990,544	2,543,934	6,533,467	95,311,753
합계	가			212,779,327	971,569,251	1,662,196	5,232,887	13,810,282	225,983,996	63,920,388	211,811,966	222,541,386	1,828,901,679
	나			218,314,109	1,003,715,099	1,689,784	5,291,295	13,404,137	214,964,930	64,199,571	212,778,205	222,541,386	1,966,898,516

2. 기상청의 과거 태풍의 경로 정보를 이용

과거 한반도에 상륙한 태풍의 경로 (2000년 이후)



태풍피해의 지역별 세분화(3)

지역별 태풍의 영향력은 태풍중심과의 거리, 태풍의 강도, 태풍의 최대풍속, 이동속도 등을 이용하여 영향력의 측도를 정의

$$\text{영향력} \propto \frac{\text{강도} \times \text{최대풍속}}{\text{이동속도} \times \text{거리}}$$

기상청 태풍정보 제11-32호

2022년 09월 05일 10시 00분 발표

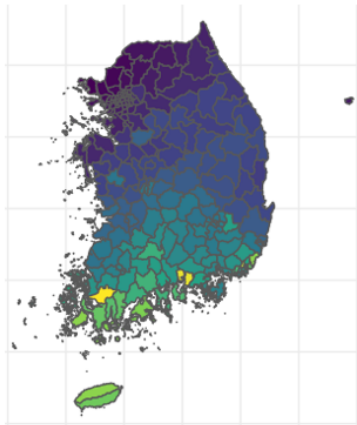
일시	중심위치		중심 기압 (hPa)	최대풍속		강풍반경(km) [예외반경]	폭풍반경(km) [예외반경]	강도	진행 방향	이동 속도 (km/h)	70% 화률 반경 (km)
	위도	경도		초속 (m/s)	시속 (km/h)						
05일 09시 현재	29.8N	124.9E	930	50	180	430[남서 약 340]	180[남서 약 150]	매우강	북	24	-
05일 15시 예상	31.0N	125.3E	935	49	176	430[남서 약 320]	180[남서 약 150]	매우강	북북동	24	30
05일 21시 예상	32.4N	126.2E	940	47	169	420[남서 약 290]	180[남서 약 150]	매우강	북북동	29	60
06일 03시 예상	33.7N	127.5E	945	45	162	400[서북서 약 260]	160[서북서 약 140]	매우강	북동	32	80
06일 09시 예상	35.9N	129.3E	955	40	144	380[서북서 약 230]	150[서북서 약 130]	강	북동	49	110
06일 15시 예상	38.9N	132.0E	960	39	140	370[서북서 약 220]	140[서북서 약 120]	강	북동	68	130
06일 21시 예상	42.2N	135.1E	970	35	126	350[북서 약 220]	130[북서 약 110]	강	북동	74	140
07일 03시 예상	45.5N	138.2E	980	29	104	-	-	-	북북동	75	160

태풍피해의 지역별 세분화(4)

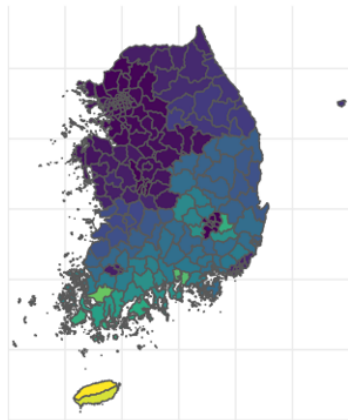
광역시도별 태풍의 피해금액과 시군구별 태풍의 영향력 측도를 결합하여
시군구별로 태풍의 피해금액 분해

- 추정결과

시군구 태풍영향



시군구 피해금액



홍수피해의 지역별 세분화(1)

1. 행안부의 과거 호우피해 통계

- 광역 시도단위별 호우로 인한 피해금액 제공
- 호우 피해금액은 중위수, 1%수준 호우 피해금액은 최대값을 이용

[4.2.10] 최근 10년간 시도별-연도별-원인별 피해현황(호우)

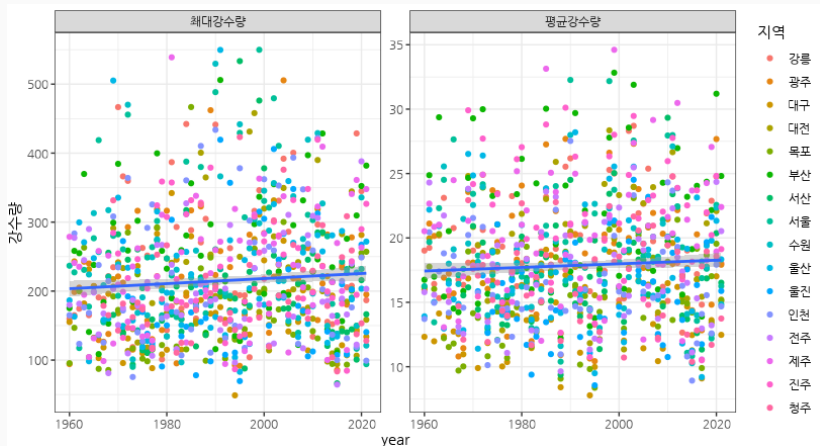
(금액단위: 천원)

연도▶ 구분	비고	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	합계
서울특별시	가	30,522,748	394,735	881,745	36,196		231,359	45,254	2,611,277	62,714	652,200	35,438,228
	나	31,316,701	407,800	886,379	36,600		220,468	44,613	2,622,682	63,000	652,200	36,260,443
부산광역시	가	9,788,564	586,185		93,894,419	1,236	1,889	1,478,376			17,952,095	123,702,764
	나	10,043,183	605,586		94,942,449	1,200	1,800	1,457,426			17,952,095	125,003,739
대구광역시	가	61,789	581				642,070				826,245	1,530,684
	나	63,396	600				611,845				826,245	1,502,086
인천광역시	가	3,477,320	257,982	46,546	8,901	3,709	66,944	2,586,249	284,373	2,732	215,654	6,950,410
	나	3,567,772	266,520	47,319	9,000	3,600	63,793	2,549,600	285,615	2,744	215,654	7,011,617
광주광역시	가		2,323	1,934	55		1,259	2,434	27,996	460	39,430,062	39,466,523
	나		2,400	1,966	56		1,200	2,400	28,117	462	39,430,062	39,466,663
대전광역시	가	3,392,230	12,203				388,111	1,217	2,967,934	5,077	7,044,403	13,811,175
	나	3,480,468	12,607				369,841	1,200	2,980,897	5,100	7,044,403	13,894,516
울산광역시	가	255,712	101,079		6,387,381				1,534		5,571,535	12,317,242
	나	262,364	104,424		6,458,676				1,541		5,571,535	12,398,540
세종특별자치시	가		50,126					32,825	755,302	2,688	1,209,740	2,050,681
	나		51,785					32,360	758,601	2,700	1,209,740	2,055,186
경기도	가	302,213,577	11,108,083	84,242,171	129,356	415,157	3,678,027	2,921,907	19,481,950	732,481	112,237,088	537,159,778
	나	310,074,709	11,475,729	85,640,347	130,800	402,948	3,504,889	2,880,502	19,567,041	735,822	112,237,088	546,649,856
강원도	가	32,144,014	14,640	69,619,958		3,185	17,870,706	7,191,243	5,866,892	996	119,734,250	252,445,885
	나	32,980,139	15,125	70,775,448		3,091	17,029,466	7,089,339	5,882,517	1,001	119,734,250	253,520,376
충청북도	가	7,579,228	1,665,196	83,023	563		2,566,800	58,547,134	9,078,308	5,040	249,745,393	329,270,715
	나	7,776,378	1,720,309	84,401	600		2,445,971	57,717,484	9,117,969	5,063	249,745,393	328,613,568
충청남도	가	20,980,231	14,465,178	68,024	283,719	198,050	3,277,067	24,833,827	1,718,639	49,335	89,485,462	155,368,982
	나	21,525,965	14,943,934	69,153	286,340	192,226	3,122,794	24,481,916	1,726,145	49,560	89,485,462	155,883,495
전라북도	가	14,063,129	5,431,360	67,553	27,988		221,083	72,793	4,369,109	642,933	134,209,959	159,095,907
	나	14,418,677	5,611,123	68,674	28,300		210,676	71,761	4,388,192	645,866	134,209,959	159,693,228
전라남도	가	18,739,388	2,333,081	373,892	8,191,207	535,781		150,549	1,217,243	21,203	214,867,226	246,429,571
	나	19,226,834	2,410,799	380,098	8,282,636	520,024		148,416	1,222,560	21,300	214,867,226	247,079,383
경상북도	가	13,767,636	609,344	117,330	1,638,325	15,455	5,788,314	1,474,333	1,321,157	71,286	20,235,719	45,038,995
	나	14,125,758	629,512	119,277	1,666,612	15,000	5,515,837	1,463,441	1,327,023	71,611	20,235,719	45,149,790
경상남도	가	56,843,461	167,530	44,993	30,044,040	71,521	2,910,850	3,514,359	3,852,530	42,805	81,752,980	179,245,070
	나	58,322,064	173,075	45,740	30,379,385	69,418	2,773,826	3,464,558	3,869,357	43,000	81,752,980	180,893,403
제주특별자치도	가	416,113			5,313		15,111	199,488	11,548		3,584	662,792
	나	426,937			5,157		14,400	196,661	11,598		3,600	669,988
합계	가	514,235,142	37,199,626	155,547,169	140,641,640	1,249,480	37,699,581	103,051,989	53,565,887	1,643,332	1,095,171,626	2,139,965,400
	나	527,611,345	38,330,828	158,128,802	142,211,454	1,212,664	35,886,806	101,591,677	53,799,845	1,650,829	1,095,171,626	2,155,695,876

주) 1. (가)의 피해액은 2020년도 환산가격 기준임
2. (나)의 피해액은 당해 연도 가격 기준임

2. 기상청 주요 지역별 강수량 통계

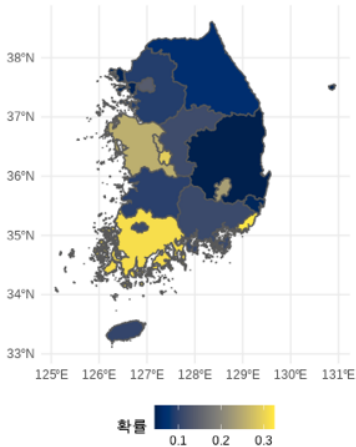
- 전국 지역의 연간 최대 강수량 및 평균 강수량(연속된 3일간 합산)



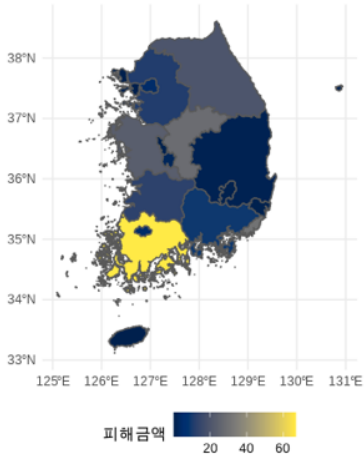
홍수피해의 지역별 세분화(3)

지역별 450mm이상 강수확률을 극값이론과 베이지안 계층모형을 이용하여 추정

집중호우 확률(450mm이상)



피해금액의 기대값



확보된 데이터

- 미래시점별 태풍피해예상금액(중위수)과 1% 수준의 태풍피해 예상금액
- 미래시점의 호우피해예상금액(중위수)와 1% 수준의 호우피해 예상금액

위험률/손해율의 산정

- 과거 손해율 자료를 바탕으로 미래의 손해율을 추정(projection)
- 기대(expected) 금액과 극단(unexpected) 금액을 활용한 확률론적 접근

⇒ 생보사 및 손보사의 과거 데이터를 바탕으로 최종 위험율/손해율 도출한 예정
(담보물의 물리적 피해로 인한 신용리스크 포함)

도움을 주시는 분들(협력그룹)

기관	소속	성명	연구분야
해양과학기술원	해양순환연구센터	장찬주	해양기후변화
홍콩시립대학교	에너지/환경학부	김진수	기후변화
충북대학교	통계학과	박선철	극값통계
세종대학교	수학통계학과	김진표	극값통계

Reference

Lee, J., & de Carvalho, M. (2019). Technological improvements or climate change? Bayesian modeling of time-varying conformance to Benford's Law. Plos one, 14(4), e0213300.

Oliver, E. C., Wotherspoon, S. J., & Holbrook, N. J. (2014). Estimating extremes from global ocean and climate models: A Bayesian hierarchical model approach. Progress in Oceanography, 122, 77-91.

Wikle, C. K., Milliff, R. F., Herbei, R., & Leeds, W. B. (2013). Modern statistical methods in oceanography: A hierarchical perspective. Statistical Science, 466-486.