

우리나라의 확률적설량 산정에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Probable Snowfall Depth in Korea

이 재 준* / 정 영 훈** / 이 상 원***
Lee, Jae Joon / Jung, Young Hoon / Lee, Sang Won

Abstract

This study is to evaluate the probable snowfall depth by the point frequency analysis and to draw the map of probable snowfall depth in Korea. The 14 probability distributions which has been widely used in hydrologic frequency analysis are applied to the annual maximum depth of snowfall data. The parameters of each probability distribution are estimated by method of moments, maximum likelihood method and method of probability weighted moments. The estimated parameters were checked by parameter validity conditions of each assumed probability distribution. Four tests that are χ^2 -test, Kolmogorov-Smirnov test, Cramer von Mises test and probability plot correlation coefficient test are used in this study to determine the goodness of fit of the distributions. Mostly the 2-parameter gamma distribution was determined as appropriate distribution for the annual maximum new snowfall depth. The probable snowfall depth were obtained from appropriate distribution for the selected return periods and the maps of probable snowfall depth were presented. It will be useful to specify the snowfall load for the design of agricultural facilities such as vinyl house and cattle shed.

key words : heavy snow, maximum depth of snowfall, appropriate distribution, probable snowfall depth, snowfall frequency map

요 지

국내의 경우 매년 발생하는 홍수에 대해서는 많은 분석과 대비를 하고 있지만, 겨울철 폭설에 대한 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 기상청 산하 52개 관측지점의 30년 이상의 최심신적설량 자료를 수집하고 각 지점별 적설량의 최적분포형을 결정하여 확률적설량을 산정하였으며, 지역별 확률적설량의 분포를 파악하기 쉽게 재현기간별 확률적설량도를 작성·제시하였다. 지점별 최심신적설량의 적정분포형으로는 2모수 gamma분포가 우세하였고, 과거 주요폭설기록의 재현기간은 약 500년 내외를 보인 2005년, 재현기간 약 200년 정도를 보인 2004년의 확률적 규모를 볼 때 설하중에 대한 설계기준의 확립이 필요하다. 우리나라의 확률적설량은 남부지방인 영·호남 지역 보다 중부지방으로 올라 갈수록 증가하고 있으며, 특히 태백산맥과 소백산맥을 경계로 서쪽과 동쪽의 편차가 뚜렷한 차이를 보이고 있다.

핵심용어 : 폭설, 최심신적설량, 최적분포형, 확률적설량, 확률적설량도

* 정회원 · 국립금오공과대학교 토목환경공학부 교수 (e-mail: jhb365@kumoh.ac.kr)

** (주)효명 기술부

*** 국립금오공과대학교 대학원 토목공학과 석사과정

1. 서론

최근 지구 온난화로 인한 기온상승은 기상이변을 일으키는 원인이 되고 있고, 기상이변은 여름철 홍수와 겨울철 폭설을 발생시켜 많은 피해를 입히고 있으며, 인적 및 물적 피해도 나날이 증가하고 있다. 발생하는 기상이변 또한 과거의 사상을 능가하는 폭우와 폭설, 대형 태풍과 가뭄 등의 극심한 현상으로 나타나고 있어 재난대비 및 피해복구에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다(건설교통부, 한국수자원공사, 2007). 이러한 기상이변 상황은 우리나라도 예외는 아니어서 2000년대에 들어서 매년 여름철 마다 대형 태풍과 집중호우로 인하여 많은 피해를 입고 있으며, 2004년과 2005년 겨울철에는 그동안의 기상관측기록을 갱신하는 폭설이 발생하여 도시와 고속도로의 기능이 마비되고 농업 관련 시설물이 막대한 피해를 입었다.

현재의 한반도는 지리적인 요인과 주변 기상요인이 결합하여 여름철에는 북태평양의 열대성 저기압과 동아시아의 몬순의 영향으로 태풍과 장마로 인한 홍수의 가능성이, 겨울철에는 세력을 확장하는 시베리아 고기압과 중국 남쪽에서 올라오는 고기압과의 사이에 형성되는 기압골의 영향으로 폭설의 위험이 항상 상주하고 있다. 이에 국내에서는 급증하고 있는 자연재해에 대비하여 수년간 지속적으로 많은 연구와 투자가 진행되고 있으며 일부 소기의 성과도 나타나고 있으나, 현재 계획되고 추진중인 재해방지계획 수립 및 설계의 대부분은 여름철 재해를 대비한 것으로서 최근에 들어 증가하고 있는 겨울철 폭설에 대비한 연구와 계획은 미비한 실정이다.

현재까지 적설에 관해 국내에서 진행된 연구로는 이훈과 이태영(1994)이 수치모형을 이용하여 영동지방의 폭설요인을 분석한 바 있고, 강수만 등(2005)이 위성영상을 이용하여 우리나라의 적설분포 및 적설심을 추출하였으며, 국립방재연구소(2005)에서 2004년의 폭설피해를 분석한 자료가 있다. 폭설에 관한 연구는 예전부터 진행되었으나, 최근에 들어와 도시지역의 확대와 도로망의 발달, 농업기술의 개발에 따른 동절기 농작물의 경작 등 주변 여건과 결합하여 폭설피해에 따른 사회적 손실이 여름철 수해에 못지않음이 인식되어 그 필요성이 새로이 제기되고 있다. 따라서 본 연구에서는 급증하고 있는 겨울철 폭설에 대비하여 기상청 산하 주요 관측지점 52개소에 대하여 연 최대 최심신적설량 자료를 수집하고, 확률 통계적인 절차를 수행하여 전국을 대상으로 재현기간별 확률적설량을 작성하여 겨울철 재해방지계획 수립 시 가축 축사

와 비닐하우스 등 농업시설물의 외부하중에 대한 설계 기준으로 참조할 수 있도록 한다.

대상지점은 기록년수 30년 이상인 기상청 산하 52개 지점으로서, 기상 관측소에서 수집한 연 최대 최심신적설량 자료를 국립방재연구소(2002)의 FARD 프로그램을 이용하여 빈도해석을 실시한다. FARD 모형에서는 적용확률분포형을 대상으로 모멘트법, 최우추정법, 확률가중모멘트법을 이용하여 모수를 추정하고, 모수와 확률변수의 범위에 대한 적정성을 검토하고 있으며, 적정분포형 선정을 위한 적합도 검정방법으로는 χ^2 -검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises(CVM) 검정 및 probability plot correlation coefficient(PPCC) 검정의 4가지 방법을 사용한다. 각 지점별로 최심신적설량에 대한 최적분포형이 결정되면 재현기간별 확률적설량을 산정하고 이를 바탕으로 등치선도를 작도하여 제시함으로써 우리나라 전역의 확률적설량의 규모와 공간적 분포도를 파악할 수 있도록 하며, 과거에 기록된 주요 폭설기록의 확률적 규모를 분석하여 구조물의 설하중 선정시 참고가 되게 한다.

2. 분석 이론

2.1 확률분포형

본 연구에서는 FARD 모형을 이용하였으며, 이 모형에서는 수문학 분야에서 널리 쓰이고 있는 다음과 같은 14개의 확률분포형을 적용하여 적정분포형을 결정한다(국립방재연구소, 2002). 이들 확률분포형의 확률밀도함수, 모수의 적합성 조건 및 모수 추정방법, 적합도 검정, 확률량 산정 등의 제반 이론과 절차는 널리 알려져 있으므로 여기서는 상세한 기술을 생략하였다(이재준, 1999, 2001).

- (1) 정규분포
- (2) 대수정규분포 (2모수, 3모수)
- (3) Pearson Type III 분포 (2모수, 3모수)
- (4) Log-Pearson Type III 분포
- (5) Type I 극치분포
- (6) Log-Gumbel 분포 (2모수, 3모수)
- (7) Weibull 분포 (2모수, 3모수)
- (8) 일반극치 분포
- (9) Wakeby 분포(4모수, 5모수)

14개 분포형의 모수를 추정하기 위하여 모멘트법과 최우추정법 및 확률가중모멘트법을 사용하기로 하며, 그 중에서 적합도가 가장 좋은 모수를 최종적으로 채

택하기로 한다. 확률분포의 적합도는 기각력이 가장 뛰어난 PPCC 검정(Filliben, 1975 ; Vogel, 1986)을 1순위로, 2순위로는 χ^2 -검정, 3순위 및 4순위로 Kolmogorov -Smirnov 검정과 Cramer von Mises 검정을 채택하였다(한국수자원학회, 2004 ; 허준행, 1996). 적합도 검정을 통해 최적분포형이 결정되면 이를 바탕으로 확률적설량을 산정하기로 한다.

2.2 확률적설량 산정

확률적설량 산정에는 빈도계수법과 각 확률분포형의 누가분포함수의 역함수를 이용하여 구하는 방법이 있으나, 본 연구에서는 내삽으로 빈도계수를 산정하여 오차가 발생할 수 있는 빈도계수법 보다 추정된 모수를 이용하여 직접 확률적설량을 산정하는 역함수법을 이용하기로 한다(Fisher, 1922 ; 한국수자원학회, 2004).

역함수법은 확률강우량을 누가분포함수의 역함수를 사용하여 구하는 방법으로, 확률분포형의 누가분포함수는 확률변수 x 와 모수 θ 의 함수로 주어진다.

$$F(x) = fct(x, \theta) \quad (1)$$

여기서 누가분포함수 $F(x)$ 는 0에서 1사이의 값을 갖는 비초과확률(q)로서, 식 (1)을 확률변수 x 의 역함수로 구성하면 식 (2)와 같다.

$$x = fct^{-1}(q, \theta) \quad (2)$$

빈도해석에서 사용하는 역함수는 다음 식 (3)~(9)와 같으며, Pearson Type III 분포와 Log-Pearson Type III 분포의 경우에는 확률분포형의 역함수를 구할 수 없으므로 수치계산에 의하여 확률강우량을 구해야 한다.

(1) 정규분포인 경우

$$K_T = (x_T - \bar{x}) / s \quad (3)$$

(2) 대수정규분포인 경우

$$x_T = x_0 + \exp(\mu_y + u \sigma_y) \quad (4)$$

(3) Type I 극치분포인 경우

$$x_T = x_0 - \alpha \ln[-\ln(1 - 1/T)] \quad (5)$$

(4) Log-Gumbel 분포인 경우

$$x_T = x_0 + (\theta - x_0) [-\ln(1 - 1/T)]^{-1/\beta} \quad (6)$$

(5) Weibull 분포인 경우

$$x_T = x_0 + \alpha [-\ln\{1 - (1 - 1/T)\}]^{1/\beta} \quad (7)$$

(6) GEV 분포인 경우

$$x_T = x_0 + \frac{\alpha}{\beta} [1 - \{-\ln(1 - 1/T)\}^\beta] \quad (8)$$

(7) Wakeby 분포인 경우

$$x_T = m + a [1 - \{1 - (1 - 1/T)\}^b] - c [1 - \{1 - (1 - 1/T)\}^{-d}] \quad (9)$$

3. 적용 및 결과분석

3.1 기본자료

수문자료의 확률빈도를 통계적으로 해석함에 있어 서 수문량의 기록년수는 일반적으로 최소 30년 이상이 요구된다. 그러므로 본 연구에서는 국내의 수문관측 실정을 감안하고 관측소의 분포를 고려하여 최소 30년 이상의 기록년수를 가지고 있는 전국 52개 지점의 연 최대치계열 최심신적설자료를 이용하였다. 적설량의 경우는 강설이 내려 쌓이면서 기온에 따라 용설이 되기도 하고 적설이 되기 때문에 강우량과 달리 지속기간을 고려할 수가 없게 된다. 또한 동일한 기상상황하에서 발생한 적설량이 되려면 신적설량을 구하여야 하는데 이 최심신적설량을 기상관측소로부터 취득할 수가 있기 때문에 본 연구에서는 연최대 최심신적설량을 기본자료 사용하였다. 본 연구에서 분석 대상으로 한 기상관측지점과 기록년수는 표 1과 같다.

3.2 적설량의 통계적 특성

각 지점에서 수집한 최심신적설량에 대한 통계적 특성을 파악하기 위하여 최소치와 최대치, 평균과 표준편차, 변동계수 등을 산정하였으며, 이를 수록하면 표 2와 같다. 표 2를 살펴보면, 최소치가 가장 작은 경우는 포항의 1mm이었으며, 예상되는 바와 같이 전체적으로 제주도를 포함한 남부지방에서 적설량 최소치가 가장 많이 발생하였다. 역대 가장 큰 최대값을 나타낸 지점으로는 920mm의 대관령이며, 울릉도와 속초, 강릉 등의 영동지방에서 큰 최심신적설량이 발생하고 있음을 알 수 있다.

표 1. 분석대상 관측지점과 기록년수

지점	기록기간	관측년수 (년)	지점	기록기간	관측년수 (년)	지점	기록기간	관측년수 (년)
속초	'69-'05	37	전주	'65-'05	41	임실	'73-'05	33
대관령	'73-'05	33	광주	'65-'05	41	정읍	'73-'05	33
춘천	'66-'05	40	목포	'65-'05	41	남원	'73-'05	33
강릉	'65-'05	41	제주	'73-'05	33	순천	'73-'05	33
서울	'65-'05	41	서귀포	'73-'05	33	장흥	'73-'05	33
인천	'65-'05	41	진주	'71-'05	35	해남	'73-'05	33
원주	'73-'05	33	강화	'73-'05	33	고흥	'73-'05	33
울릉도	'73-'05	33	양평	'73-'05	33	성산포	'73-'05	33
수원	'65-'05	41	이천	'73-'05	33	영주	'73-'05	33
충주	'73-'05	33	인제	'73-'05	33	문경	'73-'05	33
서산	'68-'05	38	홍천	'73-'05	33	의성	'73-'05	33
울진	'73-'05	33	제천	'73-'05	33	구미	'73-'05	33
청주	'71-'05	35	보은	'73-'05	33	영천	'73-'05	33
대전	'69-'05	37	천안	'73-'05	33	거창	'73-'05	33
추풍령	'65-'05	41	보령	'73-'05	33	합천	'73-'05	33
포항	'72-'05	34	부여	'73-'05	33	산청	'73-'05	33
군산	'68-'05	38	금산	'73-'05	33			
대구	'71-'05	35	부안	'73-'05	33			

표 2. 관측지점별 최심신적설량의 통계적 특성

(단위 : mm)

지점명	최대	최소	평균	표준 편차	변동 계수	지점명	최대	최소	평균	표준 편차	변동 계수
속초	896	23	256.6	205.4	0.800	이천	284	34	101.9	59.6	0.585
대관령	920	92	453.4	225.7	0.498	인제	193	37	104.7	42.2	0.403
춘천	291	39	117.3	58.8	0.501	홍천	243	30	109.1	53.0	0.486
강릉	679	12	270.8	153.1	0.566	제천	200	38	106.2	44.6	0.420
서울	256	35	95.9	52.5	0.547	보은	399	45	114.2	72.0	0.630
인천	300	4	88.1	55.8	0.633	천안	304	43	100.6	52.5	0.522
원주	203	27	100.8	51.5	0.512	보령	168	38	96.3	36.4	0.378
울릉도	889	103	355.8	181.4	0.510	부여	298	48	111.9	53.2	0.475
수원	219	30	86.3	41.4	0.480	금산	248	22	100.0	49.0	0.490
충주	225	31	93.9	51.1	0.544	부안	390	50	149.1	64.6	0.433
서산	237	16	108.4	52.6	0.485	임실	292	84	158.2	52.2	0.330
울진	392	10	119.1	73.2	0.614	정읍	456	56	164.5	78.0	0.474
청주	320	13	106.6	70.5	0.661	남원	356	50	116.2	55.1	0.475
대전	490	26	102.4	84.7	0.827	순천	316	26	79.5	57.2	0.720
추풍령	328	37	114.5	67.4	0.589	장흥	363	5	66.1	62.6	0.947
포항	205	1	48.4	50.7	1.046	해남	352	18	67.5	56.8	0.843
군산	296	42	118.6	53.3	0.449	고흥	215	2	34.9	42.2	1.208
대구	205	7	55.0	44.7	0.813	성산포	166	5	63.1	42.3	0.670
전주	266	24	102.0	53.4	0.523	영주	358	32	104.8	76.1	0.727
광주	352	30	117.2	61.4	0.524	문경	490	22	112.1	98.7	0.880
목포	300	16	84.0	51.3	0.611	의성	219	10	72.7	53.7	0.738
제주	139	6	38.9	27.1	0.696	구미	273	19	76.7	60.6	0.790
서귀포	110	2	34.7	22.7	0.654	영천	166	6	62.0	48.4	0.780
진주	235	2	53.2	51.1	0.960	거창	235	10	103.4	58.2	0.563
강화	272	27	84.7	52.9	0.625	합천	179	3	66.9	50.2	0.750
양평	262	37	97.9	52.7	0.538	산청	235	7	85.6	52.5	0.613

평균치 항목을 보면 34.7~453.4mm의 범위를 보이며 지역적인 특성이 반영되어 영동지방으로 갈수록 평균적설량이 증가하고 있고, 남쪽지방으로 갈수록 감소하고 있음을 알 수 있다. 평균을 중심으로 자료의 분산정도를 나타내는 표준편차와 변동계수의 항목을 보면, 다설지역으로 나타나는 대관령과 속초, 강릉 및 울릉도의 표준편차는 150mm를 상회하고 있고 정읍과 임실, 부안 지점도 표준편차가 매우 크나 그 외의 지역은 대체로 20~60mm의 범위를 보여주고 있으며, 표준편차가 크면 클수록 평균을 기준으로 최소치와 최대치의 차이가 많음을 알 수 있다. 그에 비하여 변동계수의 경우에는 고평과 포항이 1.0을 넘는 아주 큰 값을 보이며, 진주, 장흥, 해남, 문경, 대전, 대구, 속초 등은 0.8 이상을 나타내었다. 이들 지역을 제외하고는 다른 영동지방에서는 0.5 정도의 낮은 값을 나타내었고 기타 지역은 대체로 0.3~0.6의 범위를 나타내고 있다. 즉, 우리나라의 대표적인 다설지역인 대관령과 속초, 강릉 및 울릉도 지점은 적설량이 타 지점들에 비하여 평균을 기준으로 차이가 많은 극치의 값이 존재하지만, 전체적으로 많은 양이 평균을 중심으로 고르게 분포하고 있음을 알 수 있다.

3.3 모수 추정 및 적정성 검토

대상지점 중에서 우리나라의 최대 다설지역인 대관령 지점을 택하여 모수추정치와 추정된 모수의 적정성 검토여부를 나타내면 표 3과 같다. 표 3을 살펴보

면 14개의 적용분포형 중에서 2모수 log-Gumbel분포와 3모수 log-Gumbel분포, 4모수 Wakeby분포와 5모수 Wakeby분포를 제외한 분포형들의 모수가 수렴되었다. 2모수 log-Gumbel분포의 경우에는 모멘트법에서 모수의 발산이 있었으며, 3모수 log-Gumbel분포에서는 3가지 방법 모두에서 수렴되지 않았다. 4모수와 5모수 Wakeby분포에서도 3가지 방법 모두에서 모수들이 발산되어 수렴되지 않았다.

3.4 확률분포형의 적합성 검증

대관령 지점의 모수추정 방법별 적합성 검증 결과를 수록하면 표 4와 같다. 표 4를 살펴보면 표 3에서 모수가 수렴되지 않은 분포형들에서는 적합성이 성립되지 않았으며, 예외로 WKB 분포의 경우에는 모수가 수렴되지 않은 상태에서 적합성이 인정되었으므로 적정분포형 선정에서 제외되었다. 대관령 지점의 적합성은 모수추정 방법별로 GAM2 분포가 우세하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

3.5 적정확률분포형의 선정

3.4절의 적합성 검증 결과를 바탕으로 강설자료에 대한 적정확률분포형을 선정하였으며, 모수추정 방법은 모수추정 단계에서의 간편성과 사용성, 수렴정도 등을 종합적으로 고려하여 확률가중모멘트법을 이용하였고 확률분포의 적합도는 기각력이 가장 뛰어난 PPCC 검정을 1순위, 2순위로는 χ^2 -검정, 3순위

표 3. 모수 추정치와 적정성 검토(대관령 지점)

확률 분포형	모멘트법				최우추정법				확률가중모멘트법			
	Locate	Shape	Scale	판정	Locate	Shape	Scale	판정	Locate	Shape	Scale	판정
NOR	453.424	225.658	-	O.K.	453.424	225.658	-	O.K.	453.424	227.885	-	O.K.
GAM2	-	112.304	4.037	O.K.	-	115.494	3.926	O.K.	-	122.49	3.702	O.K.
GAM3	-139.377	85.9	6.901	O.K.	12.133	120.244	3.67	O.K.	-90.494	99.959	5.441	O.K.
GEV	358.006	198.496	0.107	O.K.	352.745	182.805	0.037	O.K.	348.401	190.22	0.026	O.K.
GUM	351.878	175.945	-	O.K.	349.129	180.298	-	O.K.	346.361	185.487	-	O.K.
LGU2	-	-	-	N.G.	-	299.519	1.699	O.K.	-	322.857	2.777	O.K.
LGU3	-	-	-	N.G.	-	-	-	N.G.	-	-	-	N.G.
LN2	-	6.006	0.47	O.K.	-	5.984	0.54	O.K.	-	6.043	0.523	O.K.
LN3	-679.599	7.013	0.197	O.K.	-178.372	6.387	0.355	O.K.	-340.752	6.636	0.289	O.K.
LP3	7.344	-0.236	5.783	O.K.	7.288	-0.237	5.492	O.K.	7.856	-0.168	11.14	O.K.
WBU2	-	511.961	2.112	O.K.	-	513.583	2.18	O.K.	-	511.902	2.079	O.K.
WBU3	14.128	495.845	2.039	O.K.	65.945	435.384	1.794	O.K.	50.694	452.899	1.802	O.K.
WKB4	-	-	-	N.G.	-	-	-	N.G.	-	-	-	N.G.
WKB5	-	-	-	N.G.	-	-	-	N.G.	73.325	-	-	N.G.

주) NOR : 정규분포, LGU2 : 2모수 log-Gumbel분포, LGU3 : 3모수 log-Gumbel분포, GEV : 일반극치분포
 LN2 : 2모수 대수정규분포, LN3 : 3모수 대수정규분포, LP3 : Log-Pearson Type III분포
 GAM2 : 2모수 Pearson Type III분포, GAM3 : 3모수 Pearson Type III분포, GUM : Type I 극치분포
 WBU2 : 2모수 Weibull분포, WBU3 : 3모수 Weibull분포, WKB4 : 4모수 Wakeby분포, WKB5 : 5모수 Wakeby분포

표 4. 확률분포형에 대한 적합성 검정(대관령 지점)

확률 분포형	모멘트법				최우추정법				확률가중모멘트법			
	χ^2	K-S	CVM	PPCC	χ^2	K-S	CVM	PPCC	χ^2	K-S	CVM	PPCC
NOR	1.727 O.K.	0.088 O.K.	0.064 O.K.	-	1.727 O.K.	0.088 O.K.	0.064 O.K.	-	1.727 O.K.	0.089 O.K.	0.064 O.K.	-
LGU2	-	-	-	-	3.909 O.K.	0.138 O.K.	0.132 O.K.	-	7.182 O.K.	0.142 O.K.	0.240 O.K.	-
LGU3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LN2	2.091 O.K.	0.101 O.K.	0.062 O.K.	0.977 O.K.	2.091 O.K.	0.062 O.K.	0.040 O.K.	0.977 O.K.	2.455 O.K.	0.092 O.K.	0.038 O.K.	0.977 O.K.
LN3	0.273 O.K.	0.072 O.K.	0.028 O.K.	0.977 O.K.	0.636 O.K.	0.072 O.K.	0.027 O.K.	0.977 O.K.	1.364 O.K.	0.061 O.K.	0.022 O.K.	0.977 O.K.
LP3	1.091 O.K.	0.056 O.K.	0.021 O.K.	-	1.091 O.K.	0.063 O.K.	0.024 O.K.	-	1.091 O.K.	0.057 O.K.	0.019 O.K.	-
GAM2	1.091 O.K.	0.071 O.K.	0.025 O.K.	0.988 O.K.	1.091 O.K.	0.066 O.K.	0.023 O.K.	0.988 O.K.	1.091 O.K.	0.056 O.K.	0.021 O.K.	0.987 O.K.
GAM3	1.091 O.K.	0.066 O.K.	0.024 O.K.	0.989 O.K.	2.000 O.K.	0.065 O.K.	0.023 O.K.	0.987 O.K.	1.091 O.K.	0.057 O.K.	0.020 O.K.	0.988 O.K.
GUM	2.091 O.K.	0.088 O.K.	0.034 O.K.	0.985 O.K.	0.636 O.K.	0.074 O.K.	0.029 O.K.	0.985 O.K.	0.636 O.K.	0.065 O.K.	0.025 O.K.	0.985 O.K.
WBU2	0.636 O.K.	0.056 O.K.	0.024 O.K.	0.989 O.K.	0.636 O.K.	0.067 O.K.	0.028 O.K.	0.989 O.K.	1.727 O.K.	0.059 O.K.	0.024 O.K.	0.989 O.K.
WBU3	0.636 O.K.	0.056 O.K.	0.022 O.K.	0.990 O.K.	1.364 O.K.	0.059 O.K.	0.020 O.K.	0.990 O.K.	2.455 O.K.	0.049 O.K.	0.019 O.K.	0.990 O.K.
GEV	0.273 O.K.	0.070 O.K.	0.026 O.K.	0.990 O.K.	1.000 O.K.	0.076 O.K.	0.029 O.K.	0.990 O.K.	1.364 O.K.	0.063 O.K.	0.023 O.K.	0.989 O.K.
WKB4	-	-	-	-	-	-	-	-	0.636 O.K.	0.060 O.K.	0.021 O.K.	-
WKB5	-	-	-	-	-	-	-	-	2.424 O.K.	0.058 O.K.	0.022 O.K.	-

및 4순위로 Kolmogorov-Smirnov 검정과 Cramer von Mises 검정을 채택하였다(한국수자원학회, 2004). χ^2 -검정과 Kolmogorov-Smirnov 검정의 유의수준은 5% 내에서 적합성을 검정하였으며, 적합도 검정결과 전체 52개 지점의 적정확률분포형

결과와 백분율은 표 5 및 그림 1과 같다.

그림 1을 살펴보면 52개 대상지점에서 2모수 감마 분포(GAM2)가 76.9%로 가장 우세하며, GEV 분포가 17.3%로 나타났다.

표 5. 적정확률분포형 선정 결과

지점	적정확률 분포형	지점	적정확률 분포형	지점	적정확률 분포형	지점	적정확률 분포형
속초	GAM2	대전	GEV	이천	GAM2	순천	GEV
대관령	GAM2	추풍령	GAM2	인제	GAM2	장흥	GAM2
춘천	GAM2	포항	GAM2	홍천	GAM2	해남	GAM2
강릉	GAM2	군산	GAM2	제천	GAM2	고흥	GAM2
서울	GAM2	대구	GAM2	보은	GEV	성산포	GAM2
인천	GAM2	광주	GAM3	천안	GEV	영주	WBU3
원주	GAM2	목포	GEV	보령	GAM2	문경	GAM2
울릉도	GAM2	제주	GAM2	부여	GAM2	의성	GAM2
수원	GAM2	전주	GAM2	금산	GAM2	구미	GAM2
충주	GAM2	서귀포	GAM2	부안	GEV	영천	WBU2
서산	GAM2	진주	GAM2	임실	GAM2	거창	GAM2
울진	GEV	강화	GAM2	정읍	GEV	합천	GAM2
청주	GAM2	양평	GAM2	남원	GEV	산청	GAM2

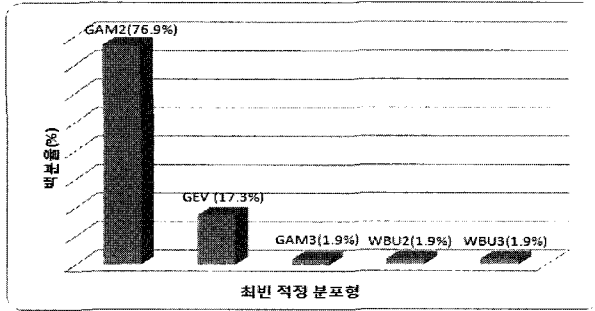


그림 1. 각 지점의 걱정분포형 백분율

3.6 확률적설량 산정

전절에서 얻어진 각 지점별 걱정확률분포형을 이용하여 2.2절에 기술한 역함수법에 의해 확률적설량을 산정하였으며, 이를 수록하면 표 6과 같다.

3.7 확률적설량도 작성

본 절에서는 대상지점에서 산정한 재현기간별 확률

적설량을 근거로 하여 전국 지점에 대한 확률 적설량도를 작성하였다. 재현기간은 과거의 기상관측기록을 상회하는 강설량이 발생하고 있는 현실을 감안하고 통상적으로 사용하고 있는 수문해석빈도를 정하여 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 500년을 선정하였으며, 확률적설량도는 그림 2~9와 같다. 전체적으로 산악 지형인 영동지방을 중심으로 등설선의 간격이 좁게 분포되어 있고, 평야지대나 도시지역으로 내려올수록 등설선의 간격이 넓으며 적설량이 작아지고 있다. 특히 우리나라의 적설량은 남부지방인 영·호남지역 보다 중부지방으로 올라 갈수록 증가하고 있으며, 태백산맥과 소백산맥을 경계로 서쪽과 동쪽의 적설량의 편차가 뚜렷한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

이상과 같은 확률 적설량의 공간적 분포는 거의 모든 재현기간에서 유사하게 발생하고 있어, 우리나라의 경우 재현기간에 따라 적설의 양적인 변화는 있지만 공간적 분포는 대체적으로 일정한 형태를 이루고 있음을 알 수 있다.

표 6. 각 지점의 재현기간별 확률적설량

지점	재현기간별 확률적설량(mm)								지점	재현기간별 확률적설량(mm)							
	5년	10년	20년	50년	100년	200년	300년	500년		5년	10년	20년	50년	100년	200년	300년	500년
속초	394.7	527.8	656.5	822.6	946.2	1068.5	1139.5	1228.6	이천	144.9	179.7	212.2	252.9	282.6	311.5	328.1	348.8
대관령	630.8	769.4	897.4	1056.5	1171.7	1283.7	1348	1427.8	인제	139.1	164.0	186.7	214.4	234.3	253.4	264.4	277.9
춘천	162.4	197.4	229.6	269.7	298.6	326.8	342.9	363.0	홍천	151.1	183.8	213.8	251.2	278.2	304.5	319.5	338.3
강릉	387.0	482.2	571.1	682.7	764.1	843.5	889.2	946.1	제천	142.4	169.1	193.5	223.4	244.9	265.6	277.5	292.2
서울	134.8	165.7	194.3	230.1	256.0	281.3	295.8	313.8	보은	163.3	203.5	241.0	288.1	322.4	355.9	375.2	399.3
인천	128.1	161.8	193.5	233.5	262.9	291.5	308.1	328.7	천안	138.2	166.9	193.3	226.0	249.6	272.4	285.5	301.8
원주	141.3	173.3	203.0	240.1	266.9	293.1	308.1	326.7	보령	126.0	147.2	166.3	189.6	206.2	222.2	231.3	242.6
울릉도	495.3	604.2	704.9	830.1	920.8	1008.9	1059.4	1122.3	부여	150.5	179.1	205.1	237.2	260.2	282.4	295.1	310.9
수원	117.6	141.1	162.7	189.4	208.6	227.2	237.9	251.1	금산	137.4	166.0	192.2	224.8	248.2	271.0	284.0	300.2
충주	133.0	164.5	193.8	230.5	257.2	283.1	298.1	316.7	부안	191.2	230.9	271.5	327.8	373.0	420.8	450.0	488.3
서산	149.4	180.9	210.0	245.9	271.9	297.1	311.6	329.5	임실	200.3	229.0	254.5	285.4	307.2	328.1	339.9	354.5
울진	170.7	211.4	249.9	299.0	335.3	371.0	391.6	417.4	정읍	215.5	263.3	312.0	379.3	433.2	489.9	524.6	569.9
청주	156.0	198.4	238.4	289.1	326.2	362.6	383.6	409.8	남원	147.1	179.4	213.7	263.5	305.3	351.1	380.0	418.7
대전	137.1	188.4	250.0	352.6	451.1	572.3	655.9	777.0	순천	98.9	132.7	175.3	250.2	325.8	423.1	492.6	596.3
추풍령	163.8	204.2	242.0	289.4	324.0	357.8	377.2	401.4	장흥	101.5	135.4	168.2	210.5	242.0	273.1	291.1	313.8
포항	79.1	117.1	155.8	207.6	247.0	286.7	310.0	339.3	해남	97.8	123.2	147.2	177.4	199.4	221.1	233.5	249.1
군산	159.4	189.5	216.9	250.7	274.9	298.3	311.7	328.3	고흥	57.4	87.2	117.9	159.2	190.9	222.9	241.7	265.4
대구	84.3	112.2	139.1	173.8	199.6	225.1	239.9	258.5	성산포	94.3	122.1	148.7	182.5	207.5	232.0	246.3	264.0
광주	158.9	193.3	225.4	265.7	295.1	323.8	340.4	361.0	영주	155.0	198.9	240.6	293.6	332.5	370.8	392.9	420.5
목포	112.4	143.8	177.9	228.7	272.3	321.2	352.6	395.3	문경	173.4	233.5	291.8	367.2	423.4	479.1	511.5	552.1
제주	57.8	74.5	90.4	110.6	125.5	140.1	148.5	159.1	의성	110.8	146.6	181.0	225.2	258.0	290.5	309.3	332.8
전주	142.5	174.3	203.7	240.3	266.8	292.6	307.5	325.9	구미	116.8	154.5	190.7	237.3	271.8	305.9	325.7	350.5
서귀포	51.1	65.4	79.0	96.2	108.8	121.2	128.4	137.4	영천	97.9	131.5	163.4	203.6	232.9	261.4	277.8	298.1
진주	84.8	119.2	153.3	198.1	231.8	265.5	285.2	309.9	거창	147.6	183.7	217.4	259.6	290.4	320.5	337.8	359.4
강화	122.6	154.4	184.3	221.9	249.4	276.3	291.9	311.2	합천	102.4	136.0	168.5	210.4	241.4	272.1	290.0	312.3
양평	137.2	168.3	197.1	233.0	259.1	284.4	299.0	317.1	산청	125.4	159.6	191.9	232.8	262.8	292.2	309.1	330.4

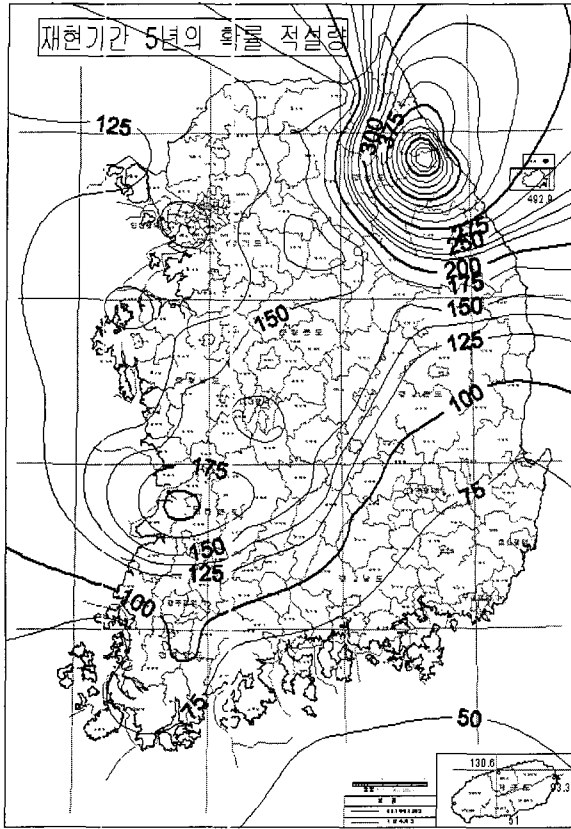


그림 2. 재현기간 5년에 대한 확률적설량도

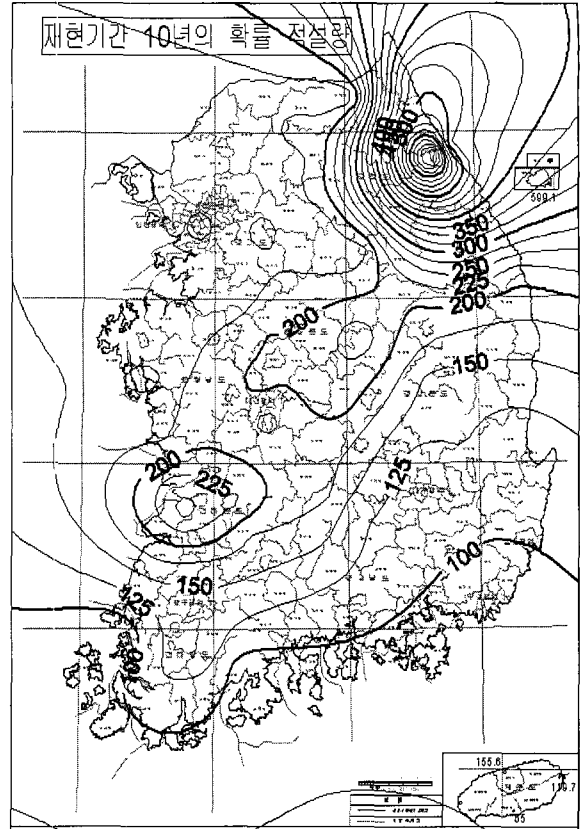


그림 3. 재현기간 10년에 대한 확률적설량도

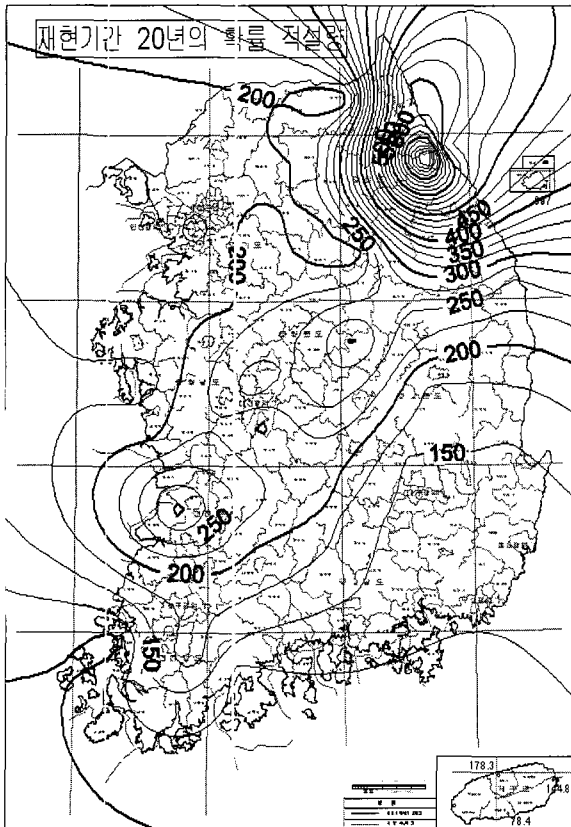


그림 4. 재현기간 20년에 대한 확률적설량도

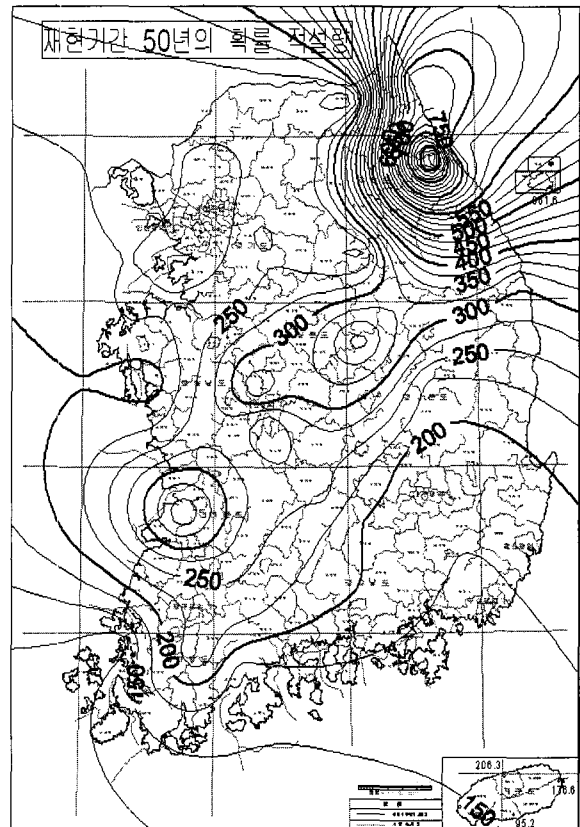


그림 5. 재현기간 50년에 대한 확률적설량도

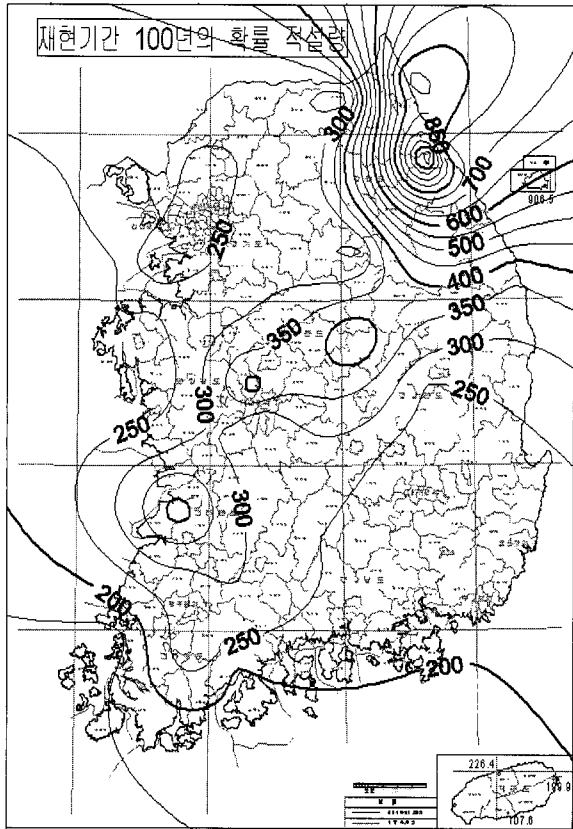


그림 6. 재현기간 100년에 대한 확률적설량도

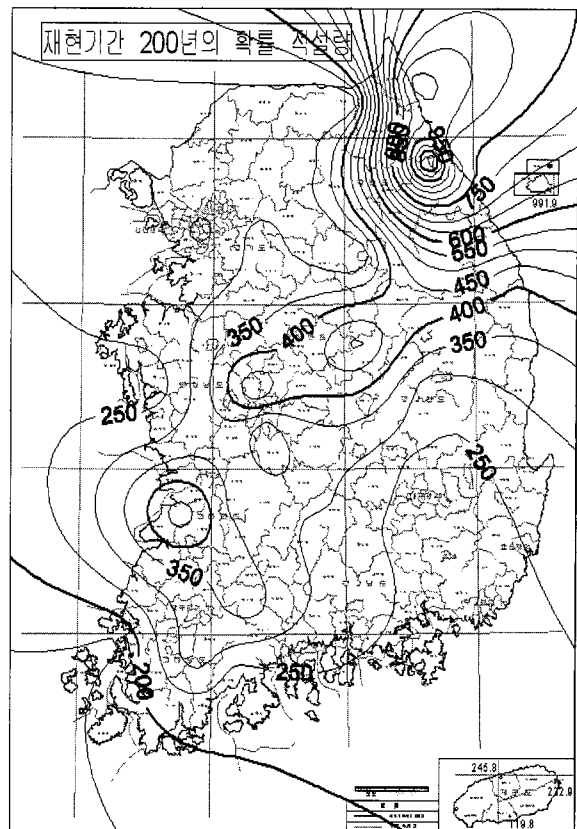


그림 7. 재현기간 200년에 대한 확률적설량도

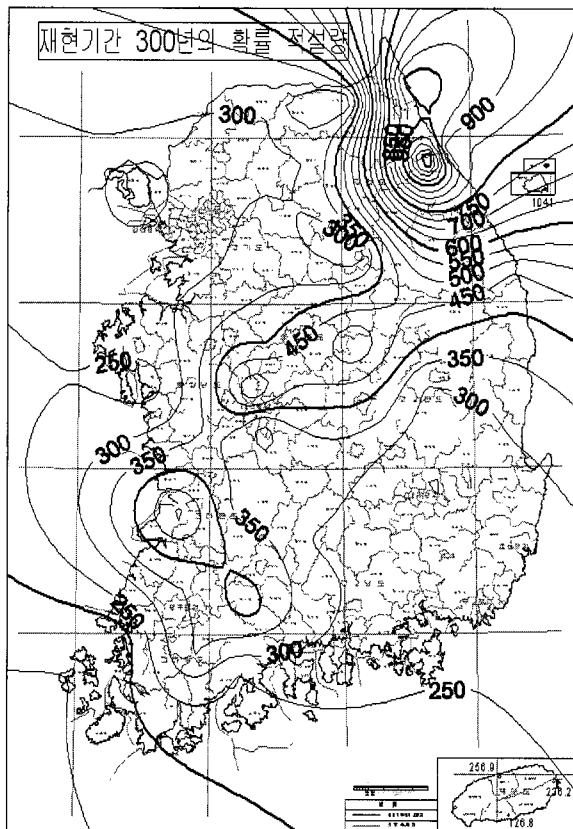


그림 8. 재현기간 300년에 대한 확률적설량도

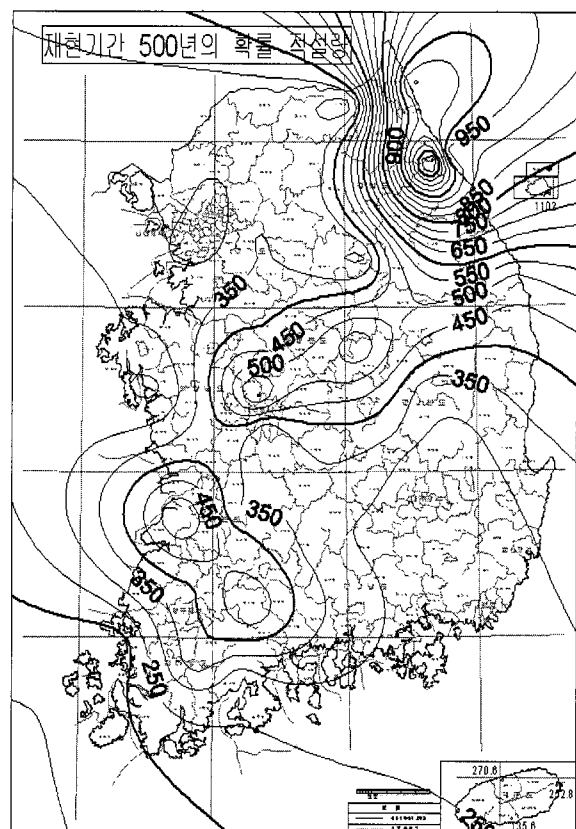


그림 9. 재현기간 500년에 대한 확률적설량도

4. 주요 폭설기록의 규모 분석

4.1 주요 폭설기록

기상청의 기록에 의하면 1904년 전국 각 지점별로 기상관측을 실시한 이래 하루 동안 가장 많은 눈이 내린 곳은 울릉도로서 1955년 1월 20일에 150.9cm의 적설량이 발생하였다. 육지에서는 1992년 1월 31일에 92.0cm가 쌓인 대관령의 적설기록이 있으며, 도시 지역으로는 1969년 1월 28일에 서울지역에서 발생한 25.6cm가 1일 최대 적설량으로 기록되어 있다.

그러나 최근에 들어서는 이러한 과거의 사상을 능가하는 폭설이 2004년과 2005년에 발생하였다. 2004년 3월 5일에 발생한 폭설은 13시간 동안에 충청지역에만 평균 45cm의 적설량을 기록하였고, 5일 하루 동안 대전지역의 최심신적설량은 49cm, 보은 39.9cm, 문경은 49cm로 해당지역에서 기상 관측을 시작한 이후 하루 최대 적설량을 기록했다. 2005년에도 3월 5일에 관측 사상 최대 최심신적설량이 부산을 비롯한 영남지방에 발생하였으며, 경북 영덕 61.0cm, 부산 29.5cm, 울산에 12.7cm의 최심신적설량이 기록되었다. 같은 해 12월 21일에도 호남지방에 폭설이 발생하여 정읍의 경우 과거의 기록인 34.6cm를 초과하는 45.6cm의 최심신적설량이 발생하였다.

4.2 주요 폭설기록의 확률적 규모

기상 이변 등으로 겨울철에도 폭설과 같은 피해가 증가 일로에 있어 최근 소방방재청에서는 폭설도 자연재해의 하나로 포함시켰다. 폭설로 인한 피해의 주요 유형은 교통과 관련한 것을 제외하면 비닐하우스나 축사의 붕괴이다. 붕괴의 원인이 되는 적설하중에 대한 설계기준 등이 미흡한 상황에서 확률적설량의 개념을 도입하면 구조적 안전성이 향상될 것이다. 과거 발생한 주요폭설의 규모를 표 6의 재현기간별 확률적설량을 기준으로 추정해보면 다음과 같다.

2004년 3월 5일에 발생한 대전지점의 49cm 최심신적설량을 본 연구결과와 비교하면 재현기간 약 180년 정도로 추정되는 사상의 규모로 짐작할 수 있다. 2005년 발생한 폭설지역은 정읍(45.6cm), 부안(39.0cm), 광주(35.2cm), 순천(31.6cm)으로서 기상 관측사상 최대 최심신적설량을 경신한 기록으로 광주는 재현기간 약 300년 이상을 보이고 있으며 부안은 재현기간 약 220년 이상 정읍은 재현기간 150년 이상, 순천은 재현기간 약 90년 정도로서 추정된다.

그림 2~9에서 보이는 다설지역이 아닌 위에 언급

한 지역에서 폭설기록의 확률규모가 크게 나타나는 것은 평소 큰 규모의 적설량이 없던 지역에 큰 규모의 눈이 오니까 피해가 더 심해지고 폭설기록의 확률년 또한 크게 산정되었음을 알 수 있다. 그러나 다설지역의 경우는 눈이 자주 또 비교적 많이 내리기 때문에 그에 대한 대비도 다른 지역에 비해 잘 되어 있어 피해가 상대적으로 적다고 볼 수 있으므로 설해에 대비함에 있어서는 지역적 구분이 있을 수 없음을 시사해 주고 있다.

4.3 추후 연구의 필요성 제안

일반적으로 폭설피해의 원인은 폭설의 예측 미흡, 지역의 건축물 설계시 설하중의 고려 미흡, 그리고 설해발생 전·후 대응 미흡 등으로 문제점을 정리할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 체계적인 연구가 필요하고, 연구추진은 단기적으로 우리나라의 지역별 재현기간별 설하중의 계산 제시, 폭설시 국민 행동요령 및 장비조치 방안 개발, 지자체의 효과적인 제설방안 강구, 제설을 위한 시민방재활성화 방안 등을 들 수 있다. 그리고 장기적으로는 강설예보 능력의 향상을 위해 기상예측모형의 운영기술 개발 등이 필요할 것이다.

본 연구에서 제시한 재현기간별 확률적설량과 확률적설량도는 설하중의 설계 및 재난 방재계획 수립 시 합리적인 설하중에 관한 기준으로 제공될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구는 증가일로에 있는 겨울철 기상이변에 대비하여 기상청 산하 주요 관측지점 52개소에 대하여 연 최대 최심신적설량 자료를 수집하고, 14개의 확률분포형에 적용하는 통계적인 절차를 수행하여 전국을 대상으로 재현기간별 확률적설량을 산정하고 확률적설량도를 작성·제시한 것으로서, 본 연구의 수행으로 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 모수의 3가지 추정방법별로 각 지점의 적정분포형이 서로 다르게 나타났으나 기각력이 가장 뛰어난 PPCC 검정을 기준으로 했을 때, 우리나라 연 최대 최심신적설 자료에 대한 적정분포형으로는 GAM2 분포가 우세하였다.
- (2) 연 최대 최심신적설량 자료를 바탕으로 빈도해석을 실시하여 각 지점별 재현기간에 따른 확률적설량을 산정하고 우리나라 전역에 대한 확

률적설량의 공간적 특징을 파악하기 위하여 확률적설량도를 작성·제시 하였다. 재현기간별 확률적설량도를 보면 전체적으로 산악지형에서 많은 확률적설량을 보였으며, 등설선의 간격이 좁게 분포되어 있음을 알 수 있었다. 그에 비하여 평야 지대나 도시지역으로 이동 할수록 확률적설량이 작아졌으며 등설선의 간격 또한 넓게 분포되어 있음을 알 수 있었다.

- (3) 우리나라의 적설량은 남부지방인 영·호남지역보다 중부지방으로 올라 갈수록 증가하고 있으며, 특히 태백산맥과 소백산맥을 경계로 서쪽과 동쪽의 적설량의 편차가 뚜렷한 차이를 보이고 있음을 알 수 있으며, 재현기간에 따라 적설의 양적인 변화는 있지만 공간적 분포는 대체적으로 일정한 형태를 이루고 있음을 알 수 있다.
- (4) 2004년 3월 5일에 발생한 대전지점의 49cm 최심신적설량의 규모는 재현기간 약 180년 정도로 추정되며, 2005년 전라도 지역에 발생한 폭설의 규모는 정읍(45.6cm)은 재현기간 150년 이상, 부안(39.0cm)은 재현기간 약 120년 이상, 광주(35.2cm)는 재현기간 300년 이상, 순천(31.6cm)은 재현기간 약 90년 정도로서 추정된다.
- (5) 재현기간별 확률적설량 및 확률적설량도는 겨울철 비닐하우스나 가축 축사의 설하중 추정 등 구조물 설계 및 재난 방지계획 수립 시 합리적인 설하중에 관한 기준으로 제공될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문으로 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

강수만, 임혁건, 권형중, 김성준 (2005), "NOAA/

AVHRR 위성영상을 이용한 적설분포 및 적설심 추출", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp.948~952.

건설교통부, 한국수자원공사 (2007), 물과 미래 - 지구촌의 물부족 극복, 제15회 세계 물의 날 자료.

국립방재연구소 (2002), 강우분석프로그램 FARD 2002.

국립방재연구소 (2005), 2004 중부지방 폭설피해 조사.

동아일보 (2001), 폭설 관련 기사, 02.16.

이재준, 이정식 (1999), "우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도", 한국수자원학회 논문집, 제32권 제4호, pp.403~415.

이재준, 이정식, 박종영 (2001), "계획강우량 설정을 위한 권역별 확률강우강도식의 유도", 대한토목학회 논문집, 제21권 제1-B, pp.1~10.

이훈, 이태영 (1994), "영동지방의 폭설 요인", 한국기상학회 논문집, 한국기상학회, pp.1~22.

중부일보 (2006), 폭설 관련 기사, 12.06.

한국수자원학회 (2004), "FARD를 이용한 강우통계 분석", 제12회 수공학 워크샵 교재, pp.3~87.

허준행 (1996~1997), 수문통계학의 기초(1)~(5), 한국수자원학회지 기술강좌.

Filliben, J.J. (1975), "The Probability Plot Correlation Coefficient Test for Normality", *Technometrics*, Vol.17, No.1, pp.111~117.

Fisher, R.A. (1922), "On the Mathematical Foundations of Theoretical Statistics", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*, Vol.222, pp. 309~368.

Vogel, R.M. (1986), "The Probability Plot Correlation Coefficient Test for the Normal, Lognormal, and Gumbel Distributional Hypotheses", *Water Resources Research*, Vol.22, No.4, pp.587~590.

© 논문접수일 : 2007년 03월 22일

© 심사의뢰일 : 2007년 03월 22일

© 심사완료일 : 2007년 05월 16일