지역별 재난관리를 위한 위험인자의 공간분포 해석: 2. 취약성

Analysis of Spatially Distributed Risk for Regional Disaster Management: 2. Vulnerability

박민규* · 박무종**

Park, Minkyu · Park, Moojong

Abstract

The observed rainfall data at 59 stations over the Korean peninsula are analyzed for the assesment of the vulnerability for the regional disaster management. The rainfall with return periods and the PMP (probable maximum precipitation) were evaluated for their spatial distribution. Annual maximum rainfall series were spatially analyzed also. The frequency factor of the rainfall with 100 year return periods and PMP was reviewed together. These comparison shows more vulnerable area which the frequency factor of PMP is relatively bigger than other area. Adjustment of the return periods has been a commonly used measure to reduce the vulnerability. The influence of the adjustment into the variations of the rainfall depth was examined to determine the relationship between different return period conditions.

Key words : regional disaster management, vulnerability, frequency factor

요 지

본 연구에서는 전국 59개 지점의 최근까지의 관측강우량을 이용하여 확률강우량 및 가능최대강수량의 분포특성을 평가함으로써 지역별 재난관리를 위한 취약성 요인을 살펴보았다. 공간적 특성을 분석하기 위해 지속기간별 연최대치 계열이 가지는 지역별 특성을 고찰하고, 확률강우량과 가능최대강수량이 가지는 빈도계수를 검토하였다. 검토결과 지역별로 볼 때 가능최대강수량의 빈도계수가 낮은 지역에서 앞으로 큰 취약성을 보일 여지가 많다고 평가되었다. 이러한 취약성을 저감시키기 위한 방안으로 재현기간을 다른 지역에 비해 높게 고려할 필요가 있다. 이와 관련하여 재현기간의 조정이 설계강우량에 미치는 영향을 검토하였으며 국내 재현기간별 확률강우량값이 서로 가지는 관계를 제시하였다.

핵심용어 : 지역별 재난관리, 취약성, 가능최대강수량, 빈도계수

1. 서 론

최근 우리나라의 자연재해가 발생하는 양상은 급격히 변화하고 있다. 이상기후 등의 영향으로 예전에 관측되지 않는 큰 규모의 강우량이 발생하고 있으며, 도시화나 인구 및 자산의 집중이 심화되어 한번 수해가 발생하면 그 피해규모 역시 기존의 기록을 지속적으로 초과하고 있다. 이와 같은 피해양상은 향후 관련 재해대책 및 재난관리의 패러다임이 변화가 필요하다는 것을 일깨워 준다. 여러 가지 다양한 방향이 모색되고 있지만 실제 시행되고 있는 수해와 관련된 취약성을 저감하기 위한 방법들은 여전히 과거와 큰 변화가 없는 것이 큰 특성이다(최충익과 김원, 2006).

수해와 관련된 취약성을 저감시키기 위한 목적으로 주로 사용되는 두 가지 설계상의 주요개념은 확률강우량과 가능최대강수량이다. 그 이전에는 막연히 기록상의 최대피해를 유발

한 강수량 또는 홍수량에 의존하여 수방대책을 수립하여 왔다(Adams and Papa, 2000; USBR, 1984; Yutaka, 1990; 吉川秀夫, 1993; Stephens, 2010). 가능최대강수량은 홍수피해를 절대로 겪지 말아야 할 필요가 있는 대규모 다목적댐 등과 같은 주요시설물에 대해서 예측가능한 최대개념의 설계를 적용하는 개념이다. 두 번째는 그 외 수공구조물에 대해서 경제성 개념에 기초한 최적개념의 설계를 적용하는 것으로 주로 확률강우량이 사용된다(USBR, 1984; 정종호와 윤용남, 2007). 이러한 최적개념의 설계를 적용하는 개념은 특정 설계강우량의 값을 재현기간이라는 일정한 기준으로 제시함으로써 이루어진다. 국가하천급의 하천의 경우 100년 정도, 지방하천급의 하천의 경우 50년 내외의 설계기준을 적용하는 것은 1950년대에 확립된 이러한 치수경제성 개념에 기초하여 결정된 것이다. 또한 이러한 개념은 지역별로 동일한 홍수방어수준을 유지하겠다는 취지를 반영하고 있다. 만약 서로 다

*고려대학교 건축사회환경공학과 연구교수 (E-mail : mkhojin@korea.ac.kr)

**한서대학교 토목공학과 교수 (교신저자)

른 두 지방하천을 동일하게 50년 빈도로 계획하기로 하였다면 두 하천의 제방은 50년에 한번 발생할 규모의 홍수에도 안전한 규모이기 때문에 지역별로 일관성을 가진다는 취지이다(Yutaka, 1990; 吉川秀夫, 1993). 그러나 앞서 소개된 것처럼 최근의 수해가 발생하는 양상을 고려하면 이러한 지역별 일관성 취지는 수해방지 차원에서 큰 문제점을 보인다고 평가된다. 대표적인 사례는 두 지점에서 산정된 실제 확률강우량이 동일 재현기간에서 최대 두 배 이상의 차이를 보이는 경우가 국내에서도 발생하고 있다는 것이다. 뿐만 아니라 수문통계 분석기법 과정에서의 불확실성이 상당히 커서 특정한 확률강우량이 얻어졌을 때 그 신뢰도는 이러한 두 배의 차이를 상쇄하고 있는 경우가 많다(Uhlenbrook et al., 1999; Kobold and Suselj, 2005; 김정호, 2009). 이는 일정한 재현기간이 아닌 계산된 확률강우량의 절대값이라는 측면에서 본다면 확률강우량이 작게 산정된 지점은 그렇지 않은 지역에 비해 수해에 대한 취약성이 크다는 것을 의미한다. 이는 우리나라 전체의 호우발생권역을 하나로 볼 경우 큰 문제가 된다. 지역별로 산정된 설계를 위한 확률강우량의 크기는 다른 반면 수해를 유발하는 태풍의 경우 우리나라 어느 지역이라도 통과할 수 있기 때문이다. 또한 단순히 30~40여년 정도의 과거기록을 가지고 빈도해석을 얻은 확률강우량 산정결과는 단 한 번의 큰 강우량에 의해서도 그 결과가 크게 달라질 수 있는 문제가 있기 때문이다(국토해양부, 2008).

이러한 특성으로 전국의 모든 하천, 하수도를 동일한 재현기간 기준으로 설계하는 것은 수해를 유발하는 인자의 지역별 특성을 고려하지 못한 획일적인 개념이 된다. 이는 수해방지와 재난관리 측면에서 재난안전도(disaster safety)의 취약성을 악화시키는 근본적인 요인이 될 수 있다. 이를 해결하고 우선적으로 효과적인 재난관리를 실시하기 위해서는 취약성을 저감시키기 위한 시설의 기준이 되는 확률강우량이나 가능최대강수량의 값이 어떻게 분포되어 있는지를 파악하는 것이 필요하다. 그리고 취약성 외에 재해위험성, 노출성 등의 재난안전도를 평가하기 위한 다른 인자들을 함께 고려하여 판단한 지역별 특성에 기초하여 재현기간의 적용에 차별을 주는 것이 필요하다.

본 연구에서는 이와 같은 취지에서 우선적으로 최근까지의 강우량 자료를 수집하여 수해를 유발해온 과거의 관측강우량이 공간적으로 어떤 분포를 가지고 있는지를 살펴보았다. 또한 기존의 한국확률강우량도(건설교통부, 2000) 및 한국가능최대강수량도(건설교통부, 2004)에서 제시하고 있는 값들의 공간적 분포특성을 최근까지의 강우량 자료를 보강하여 다양한 방법으로 평가하였다. 마지막으로 지역별로 재현기간을 다르게 적용할 경우 확률강우량이 가지는 값의 차이가 공간적으로 어떻게 나타나고 있는지를 평가하였다.

2. 재난관리를 위한 취약성 평가요소의 자료 구축

재난위험도(disaster risk)는 자연재해를 유발하는 호우사상이나 홍수의 특성 등과 관련된 위험성(Hazard), 위험지역에 있는 경제적 자산이나 인명의 노출성(exposure), 그리고 홍수

방어능력의 부족을 의미하는 취약성(vulnerability)로 구성되어 있다(ISO, 2009). 취약성(vulnerability)의 경우 적절한 재해저감 구조물들을 확충하는 방안 등을 통해 줄일 수 있으며 이러한 저감방법으로 가장 많은 이야기되는 것 중의 하나는 관련 저감시설의 재현기간을 기존보다 크게 하는 것이다. 서울의 예를 들어 큰 수해가 발생한 연도는 84년, 87년, 90년, 98년, 01년, 03년, 06년, 10년으로 이때마다 주요 분석결과에서 주로 언급되는 것은 기존 확률강우분석 결과를 기초로 할 때 1000년 이상의 빈도에 해당하는 강우가 발생하였으며 이와 관련하여 기존 시설물을 설계하는 재현기간을 높일 필요가 있다는 것이 당시의 언론과 각종 학술발표회에서 자주 논의되었다(박민규와 유철상, 2011; 유철상과 박민규, 2011). 그렇지만 이 경우 일괄적인 상향조정보다는 강우의 공간적 분포특성을 고려한 선택적인 고려가 요구된다. 이러한 평가를 위해 우선적으로 최근인 2008년까지 강우량 자료를 전국적으로 모두 구축하고 지속기간별 연최대치계열을 작성하여 전국적인 분포특성을 살펴보는 자료로 이용하였다.

한편 기존 수공학설계에서 기준이 되는 것은 한국확률강우량도(건설교통부, 2000)와 한국가능최대강수량도(건설교통부, 2004)에 수록된 값이다. 이들 자료의 가장 큰 문제점은 우리나라 전역을 대상으로 신뢰도 높은 시장우자료가 작성되기 시작한 것이 1973년이어서 전국을 기준으로 아직까지 평균적으로 시장우량 자료를 보유한 기간은 40년에 미치지 못하는 경우가 많다는 것이다(기상청, 2004). 그에 비해 확률강우량도의 경우 1998년까지의 자료를 사용하는 등 전국평균으로 볼 때 30년에 미치지 못하는 자료를 기초로 확률강우량도와 작성되었으며, 가능최대강수량도의 경우 훨씬 그 기간이 부족하다(국토해양부, 2008). 기존의 설계강우량의 공간분포가 가지는 취약성을 평가하기 위해 최근까지의 자료계열과 비교하여 빈도계수를 산출함으로써 기존의 확률강우량을 재평가하기 위한 자료로 이용하였다.

취약성을 저감하기 위해 재현기간을 조정해야 할 경우 직면하는 가장 큰 문제는 특정 빈도에서 더 큰 빈도로 재현기간을 바꾸더라도 실제 그에 따른 효과가 크지 않을 가능성이 높다는 것이다. 이는 극치사상의 분석이기 때문에 기존 재현기간에서 10~20년을 추가로 고려한다 하더라도 실제 그에 따라 적용되는 확률강우량의 값은 큰 차이가 없을 가능성이 크기 때문이다. 이와 관련하여 재현기간별 확률강우량의 차이가 전국적으로 어떤 분포를 보이는지를 살펴보기 위해 앞서 수집된 2008년까지의 지속기간별 연최대치계열을 이용하여 강우빈도해석을 실시하였다. 이를 통해 재현기간 2년, 3년, 5년, 10년, 20년, 30년, 50년, 70년, 80년, 100년, 150년, 200년, 300년, 500년의 14개 재현기간에 대한 전국 59개 지점의 확률강우량을 산정하고 재현기간의 변화에 따른 값의 변동이 어떻게 나타나는지를 평가하기 위한 자료로 이용하였다. 이때, 확률분포형은 Gumbel 분포형을 전국적으로 동일하게 사용하였고 매개변수 추정방법은 확률가중모멘트법을 이용하였다.

3. 지속기간별 연최대 강우량 계열의 공간분포

본 연구에서는 30년 이상의 관측자료를 보유하고 있는 강우관측소 59개 지점으로부터 시간우자료를 관측하기 시작한 연도부터의 모든 자료를 활용하여 분석을 실시하기로 한다. 이들 시간우자료로부터 1, 6, 12, 24, 48, 72시간의 지속기

간별 연최대치계열을 구축하였다. 구축된 연최대치계열의 평균값의 공간적 분포는 Fig. 1에 나타나 있고 이를 히스토그램으로 정량화시킨 결과는 Fig. 2와 같다. 마찬가지로 연최대치 계열의 최대값을 살펴본 그림은 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다.

지속기간별 연최대치계열의 평균값의 공간분포(Fig. 1)를 보면 지속기간이 짧은 1시간의 경우 전국적인 차이가 크지 않

Fig. 1. 지속기간별 연최대치계열의 평균값의 공간분포

Fig. 2. 지속기간별 연최대치계열의 평균값의 히스토그램

으며 일반적으로 큰 강우량이 발생하는 것으로 알려진 강원도 영동지역의 값이 가장 작게 나타나고 있다. 그렇지만 지속기간이 길어지면서 6시간, 12시간에 이르면 전국적인 편차가 벌어지기 시작하면서 경기북부, 강원도 영동 그리고 남해안 지역이 고르게 큰 강수량을 보인다. 24시간과 48시간의 지속기간 강우량에 이르면 강원도 영동지역의 값이 다른 지역에 비해 월등히 높은 것으로 나타난다. 그리고 72시간의 강우지속기간에서는 중부지역은 대체로 유사하고 남부지역으로 내려올수록 그 값이 작아지는 특성을 가진다.

Fig. 2의 지속기간별 연최대치계열의 평균값의 히스토그램을 보면 1시간은 24 mm에서 52 mm의 범위를 가지며 38 mm 내외로 나타나는 경우가 59개의 관측소 중 21개소로 가장 많았다. 이에 비해 지속기간 12시간의 경우 80 mm에서 170 mm의 범위를 가지며 110 mm에서 140 mm 범위 사이가 36개 관측소가 나타나고 있다. 24시간의 지속기간을 가지면 150 mm 내외를 보이는 경우가 23회로 가장 많고 72시간의 지속기간에서는 190 mm가 19회로 가장 많이 나타나고 있다.

Fig. 3은 지속기간별 연최대치계열에서 가장 큰 값의 공간분포를 보여주는 것이다. 관심대상인 지속기간 1시간의 경우 전국적으로 대부분의 지역이 80 mm 또는 90 mm 이상의 극값을 보인 반면에 대구와 합천 인근 내륙지역에서는 50~60 mm의 값을 보이고 있다. Fig. 3을 계속해서 살펴보면 지속기간 6시간과 12시간의 기록상의 최대값은 경기북부와

강원도 영동지역이 포함된 북부지역에서 큰 값을 보이고 있고 나머지 지역들은 상대적으로 그 차이가 크지 않은 것으로 나타나고 있다. 물론 대구와 합천 지역은 가장 작은 값들이 나타난다. 이러한 양상은 24시간 이상의 지속시간에서의 강우량 공간분포에서도 동일하게 발견된다.

이러한 지속시간별 강우량의 시공간분포를 통해 고찰할 수 있는 것 중의 한 가지는 지역별 설계강우의 시간적 분포와 관련된 특성이다. 연최대치계열의 평균값을 이용한 공간분포 그림의 경우 지속시간별 변화정도가 최대값을 이용한 결과에 비해 완만하다. 한편, 기록상의 최대 강우량을 이용한 결과는 그 변화폭이 상당히 크고 시간의 변화에 따른 강우량 값의 변화정도가 상대적으로 아주 급격한 특성을 가진다. 어떻게 보면 당연한 결과로 받아들일 수 있다. 이에 비해 기존의 우리나라 설계 실무에서 사용하는 Huff 시간분포 모형의 경우 모든 호우자료를 이용하는 관계로 시간의 변화에 따른 값의 변화특성은 Fig. 1 또는 Fig. 2처럼 완만하게 변화하는 특성을 가지는 경우가 대부분이다. 이는 해당 시간분포 모형의 계수들이 우리나라에서 발생하는 호우의 평균적인 특성에 반영하여 유도되었기 때문에 당연한 결과로 볼 수 있다. 그렇지만 수해방지대책에서 확률강우분석으로 얻어진 100년 빈도 등과 같이 고빈도에서의 강우량은 기록상의 최대치와 유사한 값을 가지는 경우가 대부분이다. 이 경우 설계홍수량에서 요구되는 시간분포는 기존의 완만한 시간적 변화의 형상보다는

Fig. 3. 주요지점별 지속기간별 기록최대강우량의 공간분포

Fig. 4. 주요지점별 지속기간별 기록최대강우량 히스토그램

기록상의 최대값들이 보여주는 것과 같이 극단적으로 크게 변화하는 양상을 보여주어야 실제 호우특성을 반영한 홍수량 산정이 적합하게 이루어질 가능성이 있다고 할 수 있다. 이를 지역별로 살펴보면 특히 경기북부, 강원도 영동, 남해안 일부 지역의 경우 전국적인 평균에 비해 보다 큰 시간적 변화특성을 보여야 필요성이 있는 것으로 판단된다. 이에 비해, 대구와 합천을 포함한 지역의 경우 전국적인 평균보다 완만한 변화정도를 가져야 해당 지역의 실제 호우사상의 특성을 반영한 시간분포가 될 것으로 판단된다.

한편, 이러한 연최대 강우량 값들에서 추가로 고려해 볼 수 있는 것은 상대적으로 기록최대값이 작은 지점의 장래 강우량 값의 변동특성이다. 대체로 기록상의 최대값이 작은 이유는 관측기간이 아직까지 길지 않아 최대값을 보일 수 있는 호우사상이 충분히 발생하지 않았기 때문으로 볼 수 있다. 만약 충분한 관측기간이 보장된다면 기록상의 최대값은 지금까지와 상당히 다를 가능성이 높다. 이 경우 수해방지 목적의 확률강우량의 산정값은 지금과 상당히 달라질 것이며 적절한 취약성 저감방안으로서 기여하는 기준이 될 수 있을 것이다. 반대로 충분히 큰 기록상의 최대값이 발생하지 않았다면 이는 해당지역에서 현재 사용하고 있는 확률강우량이 충분히 큰 값으로 추정되지 못하여 장래 특정기간에 큰 호우사상에 취약성을 보이게 될 가능성이 높을 수 있다.

4. 기존 확률강우량 및 가능최대강수량의 공간분포 평가

여기서는 우리나라 각종 수자원 계획 및 설계에서 고려하게 되는 기존의 확률강우량도 및 가능최대강수량도를 대상으로 어느 정도의 빈도계수를 가지는지를 산정하여 공간분포 특성을 살펴보았다. Table 1은 전국 주요 지점별 24시간 100년 빈도 확률강우량과 24시간 가능최대강수량을 건설교통

부의 자료로부터 확보하고, 앞서 3절에서 얻어진 연최대치계열을 이용하여 빈도계수를 산정한 결과를 보여주고 있다. 또한 Fig. 5는 지속기간 24시간 재현기간 100년의 확률강우량도(건설교통부, 2000) 및 100년 빈도 확률강우량의 빈도계수의 분포를 비교한 것이다. Fig. 6은 2004년에 지속기간 24시간의 가능최대강수량도와 이때 가능최대강수량의 빈도계수를 보여주고 있다.

Fig. 5b와 Fig. 6b는 빈도계수 분포의 큰 차이를 보인다. Fig. 5를 보면 확률강우량도의 빈도계수는 전국적으로 고르게 분포한다고 볼 수 있다. 만약 확률강우량이 작성된 자료기간을 동일하게 사용하였다면 Gumbel 분포형 대신 GEV 분포형을 사용한 일부지역을 제외하고는 동일하게 나타나는 것이 당연할 것이다. 이에 비해 가능최대강수량도의 빈도계수의 차이는 상당히 크다. 최소 5.2에서 최대 23.5로 약 18 정도까지 차이를 보이고 있어 100년 빈도 확률강우량의 변동성보다 10배 가까이 큰 범위를 가지고 있다.

이러한 차이는 두 가지 설계기준이 작성된 기본가정의 차이에서 기인한다고 볼 수 있다. 한국확률강우량도는 주어진 지점에서의 자료만을 사용하여 수문통계기법을 적용하여 얻어졌다. 이때 가장 큰 영향을 미치는 인자는 자료의 기간으로 관측기간이 보다 확충되면서 특정 지점의 확률강우량이 크게 달라질 가능성이 크다. 이에 비해 가능최대강수량은 수문기상학적인 방법에 기초하고 있으며 권역별 해석을 실시한다. 미국과 같이 나라가 크다면 여러 권역으로 나누어서 해석을 하는 것이 옳지만 우리나라의 PMP 해석은 전국을 동일권역으로 보고 가능최대강수량을 추정하더라도 문제가 없다(국토해양부, 2008).

이를 미루어서 판단해보면 가능최대강수량도는 전국 주요 지점의 모든 자료를 활용하여 물리적 기초를 가지는 수문기상학적인 방법에 의해 추정되어 적어도 확률강우량의 산정과 같이 자료기간이 부족하여 그 값이 큰 차이를 보일 가능성은

Table 1. 가능최대강수량과 확률강우량의 빈도계수

구분	지점	24시간 연최대치계열		24시간 가능최대강수량 (mm)	Z _{PMP}	24시간, 100년빈도 확률강우량 (mm)	Z _{100yr}
		평 균 (mm)	표준편차 (mm)				
경 기	서울	173.90	83.27	1,080	10.88	516.3	4.11
	인천	152.58	77.36	1,130	12.63	470.6	4.11
	수원	169.45	84.60	1,070	10.64	417.1	2.93
	양평	173.30	83.71	1,000	9.88	446.1	3.26
	이천	162.12	73.24	1,015	11.65	388.9	3.10
영 서	춘천	156.79	62.81	970	12.95	360.2	3.24
	원주	162.33	61.89	940	12.56	418.1	4.13
	인제	149.39	63.74	900	11.78	357.9	3.27
	홍천	162.03	74.98	945	10.44	402.6	3.21
	태백	160.88	64.99	875	10.99	366.2	3.16
영 동	속초	170.98	78.28	950	9.95	476.2	3.90
	대관령	223.55	129.19	900	5.24	598.0	2.90
	강릉	181.68	126.84	970	6.22	498.6	2.50
호 서	서산	146.58	66.35	1,000	12.86	368.8	3.35
	청주	135.60	46.13	910	16.79	279.5	3.12
	대전	153.77	64.18	880	11.32	350.7	3.07
	추풍령	128.14	48.55	800	13.84	279.7	3.12
	제천	155.00	65.83	885	11.09	373.1	3.31
	보은	148.26	75.49	840	9.16	362.1	2.83
	천안	156.31	55.96	970	14.54	338.4	3.25
	보령	146.37	73.04	950	11.00	365.0	2.99
	부여	154.37	76.21	920	10.05	334.5	2.36
	금산	141.01	42.45	860	16.94	284.1	3.37
호 남	군산	131.77	58.59	940	13.79	304.3	2.94
	전주	133.01	49.01	900	15.65	293.7	3.28
	광주	145.81	61.64	1,030	14.34	374.8	3.71
	목포	129.86	57.21	1,120	17.31	342.0	3.71
	여수	159.80	61.22	1,200	16.99	371.4	3.46
	완도	175.72	87.54	1,240	12.16	448.0	3.11
	임실	133.62	46.40	910	16.73	285.9	3.28
	남원	130.10	39.22	940	20.65	253.1	3.14
	장수	140.82	38.55	880	19.17	272.0	3.40
	순천	168.53	59.88	1,100	15.55	369.0	3.35
	해남	162.94	84.75	1,200	12.24	410.1	2.92
	고흥	185.58	101.97	1,260	10.54	475.5	2.84
영 남	안동	110.41	28.44	780	23.54	205.9	3.36
	포항	140.87	84.91	840	8.23	480.3	4.00
	대구	122.16	44.72	920	17.84	254.4	2.96
	울산	154.26	84.02	1,040	10.54	500.9	4.13
	부산	164.81	73.84	1,150	13.34	390.9	3.06
	문경	124.75	35.77	790	18.60	239.8	3.22
	영덕	126.58	56.29	800	11.96	296.8	3.02
	구미	111.79	33.11	795	20.63	212.9	3.05
	합천	145.47	55.26	1,000	15.46	326.9	3.28
	산청	187.88	84.79	1,020	9.81	458.9	3.20
	거제	200.30	93.40	1,210	10.81	476.4	2.96
	남해	205.16	86.37	1,210	11.63	488.8	3.28
평균		152.13	65.58	975	13.62	364.7	3.26
최대		223.55	129.19	1,260	23.54	598.0	4.20
최소		110.41	28.44	765	5.24	205.9	2.36

a. 한국확률강우량도(100년, 24시간)
(건설교통부, 2000)

b. 확률강우량의 빈도계수 분포

Fig. 5. 확률강우량도 및 빈도계수의 분포

a. 한국가능최대강수량도 (24시간, 25km²)
(건설교통부, 2004)

b. 가능최대강수량의 빈도계수 분포

Fig. 6. 가능최대강수량도와 빈도계수의 분포

없다. 관측강우량이 충분한 영국의 경우 1975년에 영국 전역을 대상으로 추정한 가능최대강수량도를 25년이 지난 아직까지도 그대로 사용하고 있다. 확률강우량도의 경우 전면적인 개정을 수차례 하면서 그 값을 보다 정확하게 추정하려 개선해온 것에 비하면 큰 차이가 있다(국토해양부, 2008). 이는 가능최대강수량이 강우량이 나타나고 있는 지역별 특성의 차이를 관측기간에 영향을 보다 많이 받는 확률강우량보다 잘 반영해 주고 있는 것으로 해석할 수 있다. 만약, 자료의 관측기간이 보다 충분해진다면 궁극적으로 전국적인 확률강우

량의 변화폭은 보다 완만해질 것이며 그 값의 분포는 가능최대강수량의 값의 분포에 가깝게 나타날 가능성이 크다. 가능최대강수량의 빈도계수 분포에서 특정 지점의 빈도계수값이 작게 나타나는 지점의 경우 아직까지 발생가능한 충분히 큰 강우량 값이 자료계열에 반영되어 있지 못하다고 해석할 수 있다. 따라서 해당 지역의 경우 현재 확률강우량 값을 이용하여 수공구조물을 계획한다면 다른 지역에 비해 보다 큰 재현기간을 적용하여야 지역별 특성을 고려할 때 취약성을 동등한 수준으로 유지할 수 있을 것으로 보여진다.

5. 재현기간의 차이가 확률강우량에 미치는 영향

앞서 4절에서는 관측강우량 값에 기초하여 가능최대강수량의 빈도계수를 분석할 때 빈도계수값이 작게 나타나는 지역의 경우 앞으로 발생할 극치호우에 취약할 가능성이 상대적으로 높은 것으로 판단하였다. 이 경우 재현기간을 상향조정할 필요가 있으나 임의로 재현기간 만을 조금 증가시키는 것으로는 확률강우량이 얼마나 증가하는지 그리고 그 효과가 어떻게 되는지를 판단하기 어렵다. 이러한 이유로 재현기간의 차이가 확률강우량의 값의 증가에 미치는 영향을 검토하였다. 기존의 재현기간의 차이가 확률강우량에 미치는 영향을 제시한 내용들을 살펴보면 과거 댐시설기준(건설부, 1993)에서는 필댐의 경우 200년 빈도 확률강우량의 1.2배에 대해 설계하도도록 하는 기준이 제시된 바 있었으며 이를 가능최대강수량에 준하는 값으로 고려하였다. 이러한 기준은 당시 일본에서 사용되고 있던 댐의 설계와 관련된 기준을 그대로 인용한 규정으로 보여진다. 한편, 하천설계기준해설(한국수자원학회, 2009)에서는 세굴검토시 100년 빈도 홍수량이 $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 이상인 하천에서는 500년 빈도를 적용하도록 규정하고 있다. 그리고 만약 500년 빈도의 수문량이 부재한다면 100년 빈도

Table 2. 일본의 가능최대강수량, 확률강우량 및 기록최대일우량의 관계

구 분	관 계
가능최대일우량	$=35.9 + 1.30 \times 200\text{년 빈도 일강우량}$
기록최대일우량 / 100년빈도 일강우량	$=1.05$
200년빈도 일강우량 / 100년빈도 일강우량	$=1.12$
가능최대일우량 / 200년빈도 일강우량	$=1.40$
가능최대일우량 / 기록최대일우량	$=1.50$

주) 자료 : 댐설계홍수비율량(일본 농업토목사업협회, 2004), 강우량의 단위는 mm임

Table 3. 재현기간별 확률강우량과 가능최대강수량의 상관관계(전국평균)

재현기간 (년)	강우지속기간별 100년빈도 확률강우량에 대한 비						평균
	1 시간	6 시간	12 시간	24 시간	48 시간	72 시간	
2	0.45	0.43	0.41	0.40	0.39	0.40	0.41
3	0.52	0.50	0.49	0.48	0.47	0.47	0.49
5	0.60	0.58	0.57	0.56	0.56	0.56	0.57
10	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66	0.66	0.67
20	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
30	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
50	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
70	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
80	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
100	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
150	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
200	1.09	1.09	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
300	1.14	1.15	1.15	1.16	1.16	1.16	1.15
500	1.21	1.22	1.22	1.23	1.23	1.23	1.22
PMP	2.05	2.43	2.38	2.74	2.36	2.35	2.39

의 값을 1.7배하여 적용하도록 하고 있다. 이 역시 일본의 관련 하천사방기술기준(일본 건설성, 2003)을 그대로 인용한 것으로 보여진다. 이외 국내에서 최근에 댐 및 비상여수로 등과 관련된 여러 설계 사례를 살펴보면 100년 빈도 확률강우량과 가능최대강수량의 비가 평균적으로 2.5배 내외이지만 큰 것은 4.0 또는 6.0 정도까지 나타나고 있는 것으로 조사되었다(국토해양부, 2008). 한편 일본의 댐설계홍수비율량(농업토목사업협회, 2004)을 살펴보면 가능최대강수량과 확률강우량 및 일본내 기록 최대강수량의 서로간의 관계 등에 대하여 전국적인 조사를 통계적으로 분석하여 다음 Table 2와 같이 제시하고 있다.

이에 비해 우리나라 전국 59지점의 확률강우량 및 가능최대강수량의 상관관계를 분석한 결과는 Table 3과 같다. 이때 확률강우량은 급회 분석결과이며 가능최대강수량은 한국가능최대강수량도(건설교통부, 2004)를 인용하여 적용하였다. Table 3의 값은 전국적인 평균으로 지속기간에 차이에 따른 변화가 크지 않으므로 재현기간별 지속기간의 상관관계 값의 평균하여 살펴보기로 한다. 이에 따르면 200년빈도 강우량은 100년빈도 강우량의 1.1배, 500년빈도 강우량은 100년 빈도 강우량의 1.2배, 가능최대강수량은 100년빈도 강우량의 2.4배, 200년빈도 강우량의 2.2배로 판단할 수 있다. 확률강우량의 산정결과와 경우 자료기간이 확충되면 달라질 수도 있으나 Table 3의 비율의 경우 전국평균의 값을 이용한 것이어서 자료부족의 효과는 무시할 수 있을 것으로 판단된다. Table 2와 Table 3을 비교하면 우리나라에서 나타나는 관계와 일본에서 나타나는 관계로 상당히 다르므로 일본의 관계식을 계속해서 쓰는 것은 적절하지 못한 것으로 판단되었다. 즉, 세굴검토 등을 위하여 500년 빈도의 수문량을 추정하려고 할 때 기존처럼 100년 빈도의 1.7배를 사용하는 것은 일본에서는 적절할 지 모르지만 우리나라의 특성상 과대추정된 수천년 재현기간의 값일 가능성이 높으므로 이를 1.2배 내외로 감소시키는 것이 필요하다.

Fig. 7 및 Fig. 8은 앞서 얻어진 재현기간별 확률강우량 및 가능최대강수량의 서로간의 상관관계에 대한 공간적 분포와 히스토그램을 보여주고 있다. 10년 빈도와 100년 빈도의 확률강우량의 차이와 같이 재현기간별 확률강우량의 차이는

a. 100년 빈도 / 10년 빈도 b. 가능최대강수량도 / 100년 빈도

Fig. 7. 확률강우량과 가능최대강수량의 상관관계의 공간분포

Fig. 8. 확률강우량과 가능최대강수량의 상관관계의 지역별 값의 히스토그램

지역별로 크지 않아 전국적으로 동일한 값을 쓰더라도 큰 문제가 없을 것으로 예상할 수 있다. 이에 비해 확률강우량과 가능최대강수량의 차이는 지역별로 그 차이가 상당히 크게 나타나기 때문에 확률강우량으로부터 몇 배 증가시켜 추정된 가능최대강수량을 비교지표 등으로 사용하는 것은 지역별 차이를 고려하지 못한 일률적인 적용이 될 수 있으므로 주의가 필요할 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 재난관리를 위한 취약성이 전국적으로 분포되어 있는 양상을 살펴보기 위해 최근까지의 강우량 자료를 확충하여 지속기간별 연최대치계열이 가지는 지역별 차이를 고찰하고, 이를 기초로 기존에 사용되어온 확률강우량과 가능최대강수량의 분포특성을 분석하였다.

지속기간별 연최대치 계열이 가지는 공간적인 분포를 보면 지속기간의 변화에 따른 평균적인 분포특성과 최대값의 분포특성의 차이가 큰 것으로 확인된다. 이를 고려하면 설계강우량의 시간분포 모형은 모든 호우사상을 고려한 평균적인 특성을 반영하기 보다는 최대값을 보이는 호우사상의 특성들이 반영되어 제시될 필요성이 있는 것으로 판단된다. 기존 설계에서 기준이 되는 확률강우량과 가능최대강수량에 대해서 최근까지의 관측자료의 연최대치계열을 이용하여 빈도계수를 구해 살펴본 결과 가능최대강수량의 빈도계수의 불균일성이 확률강우량에 비해 높게 나타났다. 이는 확률강우량 값이 향후 큰 강우량 자료가 관측되어 반영되면 변동될 소지가 높은 것으로 판단할 수 있으며 가능최대강수량의 빈도계수가 낮은 지역은 지역별로 볼 때 취약성이 낮은 곳으로 볼 수 있다. 이러한 특성을 보완하기 위해 재현기간이 변화할 때 확률강우량의 변동이 어떻게 나타나는지를 살펴보았으며 이때 국내에서 널리 사용되는 일본의 설계기준을 인용한 값들은 적절하지 못한 것으로 나타나 앞으로 지양해야 할 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 확률강우량과 가능최대강수량을 빈도계수를 이용하여 지역별 취약성을 분석하고 재현기간의 상향조정을

고려하기 위한 기초적인 연구를 수행하였다. 이러한 결과들은 향후 지역별 재난관리를 위한 취약성 저감방안의 수립시에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-자연-2010-35] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 吉川秀夫 (1993) 朝倉土木工學講座 17: 河川工學.
 건설부 (1993) 댐시설기준.
 기상청 (2004) 한국의 기후.
 건설교통부 (2000) 한국확률강우량도.
 건설교통부 (2004) 전국 PMP도 제작성 보고서.
 김정호 (2009) 유출모형 매개변수와 면적평균강우의 불확실성이 유출에 미치는 영향, 석사학위논문, 고려대학교.
 국토해양부 (2008) PMP 및 PMF 산정절차 지침 수립 용역.
 박민규, 유철상 (2011) 독립호우사상의 확률론적 해석: 1. 연최대 호우사상 계열의 작성, 한국방재학회논문집, 제11권, 제2호 pp. 127-136.
 유철상, 박민규 (2011) 독립호우사상의 확률론적 해석: 2. 호우사상의 재현기간, 한국방재학회논문집, 제11권, 제2호 pp. 137-146.
 일본 건설성 (2004) 하천사방기술기준.
 일본 농업토목사업협회 (2004) 댐설계 홍수비유량.
 정중호, 윤용남 (2007) 수자원설계실무, 구미서관.
 최중익, 김원 (2006) 전국 홍수위험도 평가의 국토도시계획적 함의, 대한국토도시계획학회지, 제41권, 제4호, pp. 143-155.
 한국수자원학회 (2009) 하천설계기준해설.
 Adams, B.J. and Papa, F. (2000). *Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models*. John Wiley & Sons, INC., pp. 55-68.
 ISO (2009) *ISO 31000 Risk management – Principles and guidelines*.
 Kobold, M. and Suselj, K. (2005) Precipitation Forecasts and Their Uncertainty as Input into Hydrological Models, *Hydrology & Earth System Sciences*, Vol. 9, No. 4, pp. 322-332.
 USBR(United States Bureau of Reclamation) (1984) *Design of Small Dams*.
 Stephens Tim (2010) *Manual on small earth dams : a guide to siting, design and construction*, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
 Uhlenbrook, S., Seibert, J., Leibundgut, C. and Rodhe, A. (1999). Prediction Uncertainty of Conceptual Rainfall-Runoff Models Caused by Problems to Identify Model Parameters and Structure, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 44, No. 5, pp. 779-798.
 Yutaka Takahashi (1990) 河川工學, Tokyo Daigaku Shuppankai

© 논문접수일 : 11년 04월 06일
 © 심사의뢰일 : 11년 04월 08일
 © 심사완료일 : 11년 04월 26일