

# 연최대홍수량의 점진적 구성기간에 따른 L-모멘트법에 의한 설계홍수량 특성

## Characteristic of Design Flood Flow Using L-Moment According to Gradual Composition of Annual Maximum Flood Flows

송 기 현\*

Song, Ki-Heon

### I. 서 론

우리나라의 기상여건에 의해 거의 매년 발생하는 막대한 인명과 재산의 피해를 줄이기 위해 홍수의 항구적인 대책이 수립되어야 한다. 이를 위해 근본적으로 선행되어야 할 것은 용수공급을 위한 각종 댐 및 수리구조물의 설계지침인 적정 설계홍수량을 유도하는데 있다.

또한 과거 세계의 댐 피해조사에 의하면 댐 파괴의 35% 정도가 물넘이의 부적절한 설계에 기인되었고 이는 곧 부적절한 설계홍수량에 의해 유발되었다는 사실에 비추어 적절한 설계홍수량의 제시가 얼마나 중요한 것인가를 말해주고 있다(AWWA, 1966 : Biswas et al, 1971).

수리구조물의 설계를 위해 사용되는 설계홍수량은 크게 2가지로 구분된다. 하나는 가능최대홍수량(probability maximum flood, PMF)에 의한 설계이며, 다른 하나는 빈도별 홍수량에 의한 설계이다.

PMF에 의한 설계는 우리나라가 2002년 태풍 루사의 피해를 경험한 이후 저수지의 재해대비

설계기준을 정비하여 유역면적 2,500ha, 총저수량 500만톤 이상의 저수지로서 유사시 하류 지역의 재산 및 인명피해가 클 것으로 예상되는 곳에는 PMF를 설계홍수량으로 적용하고 있다. 이것은 기존 설계기준 홍수량에 비하여 평균 2.1배에 달하는 것(농어촌연구원 뉴스레터, 2006)으로 분석되는데 이와 같이 빈도분석에 의한 설계홍수량을 사용하지 않고 PMF를 적용할 경우에는 사회적, 경제적으로 비용에 대한 기대수의 효과에 대하여는 보다 많은 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

빈도별 홍수량에 의한 설계는 저수지의 홍수방어를 위해 유역면적이나 총 저수량별로 저수지 규모를 세분화하여 등급을 정한 후 200년, 300년 및 500년 등의 빈도 홍수량을 적용하고, 저수지의 운용관리 면에서도 비상대처계획(emergency action plan, EAP)을 수립하여 저수지 운영 및 관리기법을 개선할 필요가 있다. 현재 EAP는 저수지 하류지역의 안전성 확보를 위해 2005년 관련법을 정비하여 100만톤 이상의 저수지로서 하류지역에 대한 잠재적 피해량이

\* 한국농촌공사 농어촌연구원 주임연구원(iamwater@ekr.or.kr)

큰 저수지부터 적용하여 수립하고 있다.

본 연구에서는 연최대홍수량의 발생에 대한 대안으로 사용하는 PMF를 적용하는 설계방법이 아닌 빈도분석에 의한 설계홍수량 추정에 관한 내용을 중심으로 분석하고자 하였다.

## II. 적용 이론

### 1. 수문자료의 구성 및 검정

본 연구에서 시도하고자 하는 수공구조물 설계에 필요한 설계홍수량 유도는 강우 및 유출과 같은 수문자료의 구성에 신뢰가 있어야 한다. 특히 확률론적 분석에 의한 설계수문량의 산정과 강우-유출 모형에 의한 유출량의 모의는 실측된 강우량과 유출량에 의해 이루어지기 때문에 수문자료의 중요성은 매우 높다.

Benson(1952)은 연최대치자료와 같은 수문자료의 통계학적 분석을 위해 최소한 20개 이상의 자료를 사용하여야 한다고 하였다.

구성된 수문자료는 통계학적으로 분석 가능 여부를 판단하기 위하여 동질성, 독립성 및 Outlier 검정을 실시한다. 동질성 검정을 위해서는 비매개변수 검정방법인 Mann-Whitney(이하 M-W)의 검정 및 Kruskal-Wallis(이하 K-W) 검정을 적용한다(Bobée, 1991; 선우중호, 1994).

또한 독립성 검정을 위해서는 Wald-Wolfowitz(이하 W-W) 검정을 적용하고(Bobée, 1991), Outlier의 유무를 검정하는 방법으로는 주로 Grubbs-Beck(이하 G-B)에 의한 검정을 실시한다(Bobée, 1991).

### 2. 빈도분석 방법

본 연구에 사용된 L-모멘트법은 확률가중모멘트의 선형조합으로 나타낼 수 있으며, 이를 이용하여 확률분포함수의 매개변수를 추정할 수 있다.

확률가중모멘트는 Greenwood 등(1979)에 의해 제시되었고 현재에는 모멘트법과 최우법 등의 대안으로 가장 널리 쓰이는 매개변수 추정방법이다. 모멘트법과 마찬가지로 모집단의 확률가중모멘트와 표본자료의 확률가중모멘트가 같다고 하여 매개변수를 추정한다. 확률가중모멘트법은 각 변수 값을 크기순으로 나열하고 각점의 발생 확률을 모멘트 차수에 따라 누승하여 모멘트를 산정하는 방법이다.

L-모멘트법은 확률가중모멘트법의 선형조합으로 인해 편의가 제거된 모멘트를 구하는 방법이고 통계학적 효율성 면에서 확률가중모멘트법과 동일하나 L-모멘트비를 사용함으로써 일반 모멘트법과 유사한 L-변동계수, L-왜곡도, L-첨예도 등을 적용함으로써 사용 수문자료의 적정 분포를 판별 할 수 있는 장점이 있다(WMO, 1989; Hosking, 1997; 이순혁, 1999).

## III. 결 과

### 1. 사용 수문자료

본 연구에서는 설계홍수량 변동 특성을 분석하기 위해 우리나라 전국을 대상으로 한강수계의 25개 유역, 낙동강수계의 46개 유역, 금강수계의 23개 유역, 섬진강수계의 8개 유역, 영산강수계의 8개 유역 및 기타수계 8개 유역으로 총 118 유역의 홍수량 자료를 사용하였다. 구성된 연최대홍수량 계열은 후술할 연최대홍수량 계열의 점진적 구성을 위한 시작년을 기준으로 1년씩 추가된 연최대홍수량 계열을 작성하여

독립성, 동질성 및 Outlier 검정을 통한 통계학적 분석여부를 판정하였다. 그 결과 최종적으로 19개 유역이 선정되었다.

한강수계에서는 여주, 청평, 목계, 홍천, 주천 유역이며 낙동강수계에서는 수산, 낙동, 동촌, 봉화, 김천, 이안, 양산 유역이다. 금강수계에서는 규암, 양강교, 용담, 회덕 유역이며 섬진강수계에서는 송정 유역, 영상강수계에서는 남평유역, 만경강수계에서는 대천 유역이다.

## 2. 강수량 변동 기준년 및 연최대홍수량 점진적 구성기간 시작년 설정

L-모멘트법에 의한 설계홍수량 변동 특성을 분석하기 위해서는 연최대홍수량의 점진적 구성을 실시하여야 한다. 연최대홍수량의 점진적 구성을 하기 위해 우선적으로 유출에 직접적인 영향을 미치는 강우량의 변동 기준년을 파악한다. 강수량 변동 기준년을 설정하는데 있어서는 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 수와 관련이 있을 것으로 판단된다.

우리나라 주변에서 매년 발생하는 태풍과 우리나라에 직·간접 적으로 영향을 미치는 태풍의 횟수를 기반으로 강우관측이 전국적으로 개시된 1961년부터 2004년까지의 연강우량을 3개년과 5개년에 걸친 이동평균법과 우기인 6월

부터 9월까지의 누가강우량을 3개년과 5개년에 걸친 이동평균법에 의해 분석하여 우리나라 강우량의 변동 기준년을 설정하였다. 연강우량 및 3개년과 5개년 이동평균법에 의한 결과를 도시한 것은 그림 1과 같고 우기강우량 및 3개년과 5개년 우기 이동평균법에 의한 결과를 도시한 것은 그림 2와 같다.

그림 1 및 그림 2에서 보는 바와 같이 최근 우리나라의 강우량 변동이 1994년을 기준으로 현저하게 증가하고 있는 것으로 나타남에 따라 강우량 변동 기준년을 1994년으로 설정하였다.

따라서 본 연구에서는 대상유역별로 관측개시년도에서부터 1994년을 기준으로 1년씩 증가한 연도의 연최대홍수량에 대한 빈도분석을 실시하고자 하였다. 그러나 1994년 이전의 설계홍수량 변동 특성을 반영하고 이에 대한 원활한 분석을 위해 타년에 비해 태풍의 영향을 비교적 많이 받기 시작한 1990년을 연최대홍수량 계열의 점진적 구성을 위한 분석 시작년(이하 '분석 시작년'으로 칭함)으로 정하였다. 19개 대상유역별로 관측개시년도 부터 분석 시작년인 1990년까지의 연최대홍수량 계열에 대한 빈도분석을 실시하고, 관측개시년도부터 1990년을 시작으로 점진적으로 매 1년씩 증가된 연도까지의 연최대홍수량에 대한 빈도분석을 실시하고자 한다.

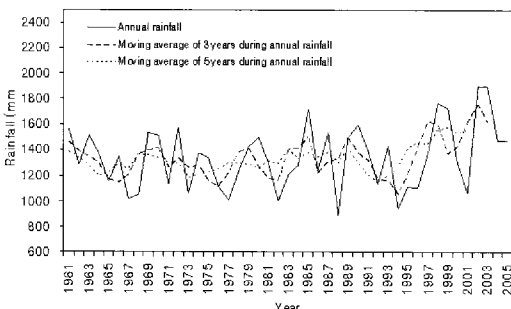


그림 1. 이동평균법에 의한 연강우량 변동

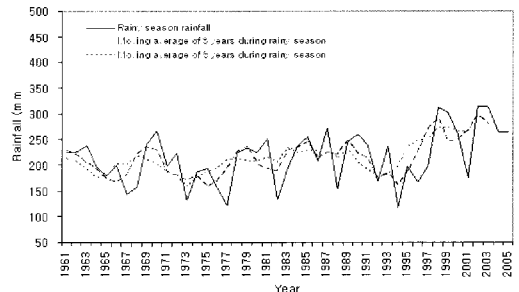


그림 2. 이동평균법에 의한 우기 강우량 변동

### 3. 연최대홍수량 계열의 독립성, 동질성 및 Outlier 검정

본 분석에서는 전절에서 구성된 유역 및 분석 기간별 연최대홍수량 계열의 통계학적 분석 여부를 판단하기 위해 독립성 및 동질성 검정을 각각 Wald-Wolfowitz 및 Mann-Whitney 방법에 실시한다. 또한 구성된 자료의 통계학적 분석을 실시하고자 할 때 극치자료를 포함하여 분석하면 결과가 왜곡될 가능성이 커지기 때문에 이를 방지하기 위한 방편으로 상한과 하한의 극치자료가 포함되었는지의 여부를 판단하는 Outlier 검정 방법인 Grubbs-Beck Test를 실시하였다. 그 결과 대상유역 및 분석기간별로 구성된 연최대홍수량 계열의 독립성과 동질성이 모두 인정되었고 Outlier가 없이 검정되었다.

### 4. 적합도 검정

본 연구에서 선정된 대상유역들의 연최대홍수량 구성 기간별에 따른 적정 확률분포의 선정은 전절에서 산정된 L-모멘트비에 의해 L-모멘트 비도를 도시함으로써 이루어질 수 있다.

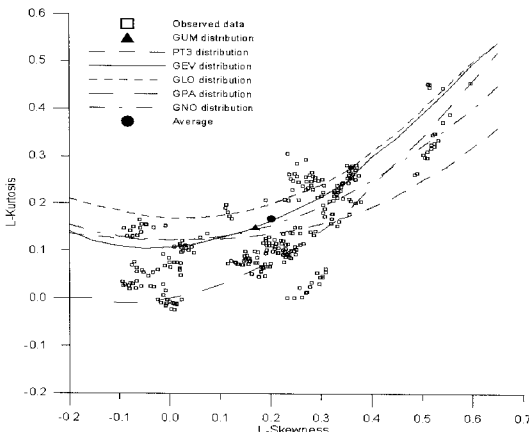


그림 3. L-모멘트비도

그림 3에 나타난 바와 같이 대상유역 및 구성 기간별 연최대홍수량을 L-왜곡도와 L-첨예도의 무차원 L-모멘트 플로팅 포지션점이 Generalized extreme value(GEV) 분포의 곡선 주변에 고루 산재해 있으며, L-모멘트비의 평균값에서 L-왜곡도의 평균값이 0.202로써 타 확률분포의 L-모멘트비 곡선 보다 GEV 분포의 L-모멘트비 곡선에 보다 근접되어 있음을 볼 수 있다. 대상유역 및 구성 기간별 연최대홍수량에 L-모멘트법을 적용하여 L-모멘트비를 플로팅한 결과 GEV 분포가 적절한 확률분포로 나타났다.

### 5. GEV 분포에 의한 설계 홍수량 산정

적정 확률분포로 선정된 GEV 분포에 대한 유역 및 연최대홍수량 계열 구성 기간별 설계홍수량을 유도하기 위해 GEV 분포의 매개변수인 위치매개변수(), 척도매개변수() 및 형상매개변수()를 L-모멘트법에 의해 각각 추정하고 설계홍수량을 유도하였다.

각 유역별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따른 설계홍수량은 재현기간별로 다소의 차이가 있으며 이러한 차이는 재현기간이 증가함에 따라 점차적으로 커지는 경향을 나타내었다.

농업용 저수지의 설계척도인 200년 빈도 홍수량은 한강수계, 금강수계 및 만경강수계에 속한 유역에서 연최대홍수량 계열의 구성 기간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 낙동강수계, 섬진강수계 및 영산강수계에 속한 유역에서는 연최대홍수량 계열의 구성 기간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 각 유역 및 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따라 극치의 연최대홍수량이 포함되었기 때문인 것으로 판단된다. 우리나라는 수

계별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간이 변함에 따라 설계홍수량의 값이 증가하거나 감소하는 뚜렷한 변화를 보여주었다.

### 6. 연최대홍수량 계열 구성 기간에 따른 설계홍수량 변동 특성

각 유역별로 관측개시년도부터 1990년의 연최대홍수량 계열에 대한 빈도별 홍수량과 관측개시년도부터 1990년에서 1년씩 증가된 연도의 연최대홍수량 계열이 포함된 빈도별 홍수량간의 재현기간별 홍수량 변동 특성을 구할 수 있는 변동률 식(1)에 의해 규명하고자 한다.

$$R_v = \frac{(Q_{y,t} - Q_{y,t'})}{Q_{y,t}} \times 100 \quad (1)$$

여기에서  $R_v$ 는 변동률,  $Q_{y,t}$ 는 관측개시년부터 분석 시작년까지의 연최대홍수량에 의해 산정된 재현기간  $t$ 년의 홍수량,  $Q_{y,t'}$ 는 관측개시년부터 분석 시작년을 중심으로 1년씩 증가한 분석년까지의 연최대홍수량에 의해 산정된 재현기간  $t'$ 년의 홍수량이다.

따라서 본 분석에서는 각 유역별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따른 변동률을 산정하였다. 표본 예로 한강수계의 홍천유역에 대한 재현기간별 변동율의 결과는 그림 4와 같다.

그림 4 한강수계의 홍천유역에 대한 재현기간별 변동율그림 4에서 보는바와 같이 각 유역별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따른 설계홍수량의 재현기간별 변동률은 재현기간이 증가함에 따라 전반적으로 커짐을 알 수 있다. 이는 재현기간이 증가함에 따라 설계홍수량간의 값에 대한 편차가 커짐을 나타내며, 사용된 연최대홍수량 계열에서 최대값이 확률론적 분석

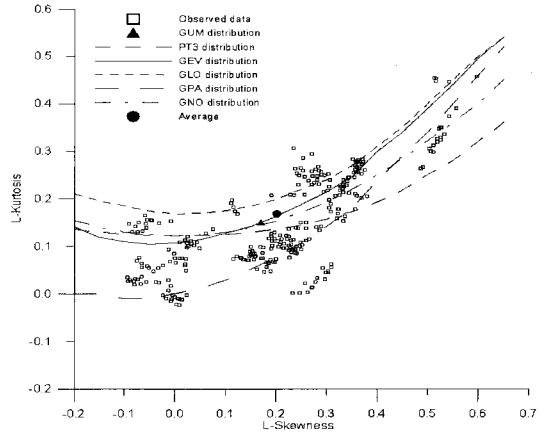


그림 3. L-모멘트비도

에서는 재현기간이 큰 설계홍수량 산정에 미치는 영향이 크다는 것을 의미한다.

수계별로 분석하면, 한강, 금강 및 만경강수계의 경우 재현기간이 커짐에 따라 기준 설계홍수량에 비해 대상 설계홍수량이 감소하는 경향을 보였으며, 낙동강, 섬진강 및 영산강수계의 경우 재현기간이 커짐에 따라 기준 설계홍수량에 비해 대상 설계홍수량이 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 낙동강, 섬진강 및 영산강수계에 속한 유역에서는 2002년 이후의 대상 설계홍수량에서 뚜렷하게 증가하는 양상을 나타내었다. 즉 2002년의 태풍 루사에 의해 대상 설계홍수량이 증가한 것은 우리나라 전 수계에 걸친 것이 아니라 경상남도, 경상북도 및 남해안 지역에 위치한 낙동강, 섬진강 및 영산강수계에 직접적인 영향을 미친 것으로 분석되었다.

### IV. 결 론

우리나라 수위관측소들 중에서 관측기록년수가 20년 이상이고, 수위-유량곡선식이 검증된 한강수계의 5개 유역, 낙동강수계의 7개 유역, 금강수계의 4개 유역, 섬진강수계, 영산강수계

및 만경강수계 각 1개 유역, 총 19개 유역을 선정하고 관측된 홍수량을 사용하여 적정 설계홍수량을 유도함으로써 우리나라의 설계홍수량 특성을 분석하였다. 그 결과 각 유역별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따른 설계홍수량은 재현기간별로 다소의 차이가 있었으며 재현기간이 증가함에 따라 점차적으로 커지는 경향을 나타내었다. 농업용 저수지의 설계기준인 200년 빈도 홍수량은 한강, 금강 및 만경강수계의 유역에서 연최대홍수량 계열의 점진적 구성기간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 낙동강, 영산강 및 섬진강수계의 유역에서는 연최대홍수량 계열의 점진적 구성기간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 변동률에 의한 분석 결과는 한강, 금강 및 만경강수계의 경우 재현기간이 커짐에 따라 기준 설계홍수량에 비해 대상 설계홍수량이 감소하는 경향을 보였으며, 낙동강, 섬진강 및 영산강수계의 경우 재현기간이 커짐에 따라 기준 설계홍수량에 비해 대상 설계홍수량이 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 낙동강, 섬진강 및 영산강 수계에 속한 유역에서는 2002년 이후의 대상 설계홍수량에서 뚜렷하게 증가하는 양상을 나타내었다.

## V. 활용방안

본 연구의 연최대홍수량의 점진적 구성기간에 따른 설계홍수량의 변화 추이를 분석한 결과, 최근 지구온난화에 따른 우리나라 기후 변화를 고려하여 2002년 이후 설계되는 수리구조물의 경우에 설계 빈도 등과 같은 설계 조건들은 사회경제적인 측면과 환경적 요인을 고려하여 수문통계학적 분석에 의한 설계치 보다 큰 값을 사용하여야 할 것이다. 특히 설계재현기간이 증가함에

따라 예상되는 자연재해의 피해는 감소 할 수 있지만 수공구조물 설치에 소요되는 총 투자비용은 증가하기 때문에 앞으로 수문경제학적 분석이 함께 수행되어 최적설계재현기간 결정에 의한 설계홍수량의 제시가 무엇보다도 중요하다고 사료된다.

## 참고문헌

1. 농어촌연구원 뉴스레터, (2006) 재해대비 설계기준 개정내역과 과제.
2. 선우중호, (1994) 수문학, pp.256~263.
3. 이순혁, 박명근, 맹승진, 정연수, 류경식, (1999) "L-모멘트 및 LH-모멘트 기법에 의한 적정 설계홍수량의 유도(II)", 한국농공학회지, Vol. 41, No. 3, pp. 41~50.
4. American Water Works Association, (1996) Spillway Design Practice, AWWA Manual No. M13, New York.
5. Benson, M. A., (1952) Characteristics of Frequency.
6. Curves Based on a Theoretical 1,000 Year Recod in Ref. 7", U.S.G.S., Open File Report, pp.57~74.
7. Bobée B. and F. Ashkar, (1991) The Gamma Family and Derived Distributions Applied in Hydrology, Water Resources Publications.
8. Greenwood J. A., J. M. Landwehr, N. C. Matalas, and J. R. Wallis, (1979) "Probability Weighted Moments: Definition and Relation to Parameters of Several Distributions Expressed in Inverse Form", Water Resources Research, Vol. 15, No. 5, pp.1049~1064.
9. Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis, (1997) Regional Frequency Analysis, Cambridge University Press.
10. World Meteorological Organization, (1989) Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis, pp. A4.1~A4.14.