강우의 스케일 성질을 이용한 특정 지속시간의 강우자료 추정

Rainfall Data Estimation for Specific Durations Using Scaling Invariance

김영일*, 김수영**, 김태순***, 허준행****

Young-Il Kim, Sooyoung Kim, Taesoon Kim, Jun-Haeng Heo

요 지

강우빈도해석기법 중 지점빈도해석은 대상지점의 확률강우량을 추정하기 위한 방법으로, 이를 위해서는 특정 지속시간에 대해 구축된 강우자료가 필요하나 현실적으로 대상지점의 특정 지속시간에 대한 자료가 구축되어 있지 않거나, 휴전선 부근의 지역과 북한지역은 강우자료를 구축하기 어려우므로 인근 지점의 자료를 이용하여 빈도해석을 실시하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 강우자료간의 스케일 성질을 이용하여 특정 지속시간에 대한 연최대강우자료 추정의 정확성을 판단해 보았고, 강우의 스케일 성질을 이용하여 북한지역의 평강, 원산, 장전에서 특정 지속시간에 대한 연최대강우량을 추정하기 위해 세계기상통신시스템(GTS: Global Telecommunication System)을 통하여 자료를 수집한 북한지역 3개 지점에 대해 강우의 스케일 성질을 적용해 보았다.

핵심용어 : 연최대강우자료, 빈도해석, 특정 지속시간, 스케일 성질, 세계기상통신시스템

1. 서론

일반적으로 빈도해석을 이용한 확률강우량의 산정에는 특정지속시간에 대해 구축된 연최대강우자료를 이용하게 되며 우리나라에서는 1시간에서 24시간까지의 지속시간에 대한 자료를 주로 이용하고 있다. 그러나 실제로 강우관측 및 관측지점의 한계로 인해 이용가능한 강우자료가 한정되는 경우가 자주 발생하고, 북한지역에 속한 유역의 경우는 실질적으로 이용할 수 있는 강우자료가 존재하지 않는 등의 문제점이 있다. 따라서 현재 대상지점의 특정 지속시간에 대한 자료가 구축되어 있지 않거나, 휴전선 부근의 지역과 북한지역은 강우자료를 구축하기 어려우므로 인근 지점의 자료를 이용하여 빈도해석을 실시하기도 한다. 화천댐과 같이 유역의 일부가 북한지역에 속해 있는 경우, 이와 같은 문제는 해당 유역의 면적강우량 추정에 심각한 문제를 야기할 가능성이 크다. 따라서 본 연구에서는 세계기상통신시스템에 의한 산출된 북한지역의 세 지점에 대해 강우의 스케일 성질(scaling invariance property)을 이용한 연최대강우량 자료의 구축을 수행하였다. 이를 위해 먼저 우리나라의 강우지점에 대해 스케일 성질(scaling invariance property)을 적용하여 다양한 지속시간에 대한 연최대강우량을 산정하고, 산정된 연최대강우량값과 실제 값을 서로 비교하여 스케일 성질의 적용성을 검토하였고, 적용성이 검증된 스케일 성질을 북한지역의 자료에 적용하여 연최대강우자료를 산정하였다.

2. 기본이론

* 정회원・연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정・E-mail: clearblue01@yonsei.ac.kr

** 정회원・연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정・E-mail: sykim79@yonsei.ac.kr

*** 정회원・연세대학교 토목공학과 BK21교수・공학박사・E-mail: chaucer@yonsei.ac.kr

**** 정회원・연세대학교 사회환경시스템공학부 토목환경공학과 교수・E-mail: jhheo@yonsei.ac.kr

2.1 스케일의 정의

Burlando and Rosso(1996)에 의하면, $X(t)$가 한 지점에서 관측되는 임의의 시간 t에서의 강우강도라고 한다면 일정한 기간 τ동안 발생한 강우강도는 지속적인 시간 축에 대해 도시할 수 있다. 이는 시간 축을 따라 이동하는 지속시간 T내의 강우강도의 연속적인 합을 나타낼 수 있고, 따라서 이것은 지속시간 T에 대한 관측강우량 $Z_T(t)$를 뜻한다. 지속시간 T동안 강우관측소에서 관측된 강우량 $Z_T(t)$은 식 (1)과 같다

$$Z_T(t) = \int_{t-T/2}^{t+T/2} X(\zeta)\, d\zeta \tag{1}$$

관측강우량 $Z_T(t)$는 지속시간 T와 시간축 상의 임의의 시간 t의 영향을 받으며, 시간에 대해 연속적인 $X(t)$의 부분적분을 통해 산정되므로 관측강우량 $Z_T(t)$도 시간에 대해 지속적인 특성을 갖는다.

극한강우사상에 대한 빈도해석은 일반적으로 일정한 기간 τ동안 관측된 최대강우량 H_T를 고려해야 하는데, 최대강우량 H_T는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$H_T = \max(Z_T(t) : t_0 \le t \le t_0 + \tau) \tag{2}$$

여기서, t_0는 임의의 시간을 뜻한다. 즉, 최대강우량 H_T는 $t_0 \le t \le t_0 + \tau$ 사이에서 계산된 $Z_T(t)$의 최대값을 나타낸다. 또한, 최대강우량 H_T의 산정을 위해 H_T의 확률분포를 추정해야 하는데, 이때 확률분포의 확률변수는 임의의 기간 τ동안 관측된 최대강우량이다.

2.2 스케일 인자와 스케일 지수의 추정

임의의 지속시간 T에 대한 연최대강우량을 추정하기 위해서는 스케일 인자 및 스케일 지수의 추정이 필요한데 이 중에서 스케일 인자 λ는 스케일 성질을 적용하고자 하는 지속시간 간의 비를 이용하여 산정할 수 있다. 지속시간 T'의 확률강우량에 스케일 성질을 적용하여 임의의 지속시간 T의 확률강우량을 추정할 경우 스케일 인자는 식 (3)과 같이 산정된다.

$$\lambda = \frac{T}{T'} \tag{3}$$

스케일 지수는 wide sense simple scaling에 근거하여 식 과 같은 raw moment를 이용하여 추정한다. 우선 강우자료에 대한 지속시간별 raw moment를 모멘트 차수 $l = 1, 2, 3, \cdots, m$에 대해 산정하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[H_{\lambda T}^1] &= \lambda^n E[H_T^1] \\ E[H_{\lambda T}^2] &= \lambda^{2n} E[H_T^2] \\ E[H_{\lambda T}^3] &= \lambda^{3n} E[H_T^3] \\ &\vdots \\ E[H_{\lambda T}^m] &= \lambda^{mn} E[H_T^m] \end{aligned} \tag{4}$$

이를 전대수지 상에 나타내어 각 차수별로 raw moment 값들을 선형 회귀하면 모멘트 차수별 선형회귀선의 기울기 ln은 각 모멘트 차수별 스케일 지수가 된다. 여기에서 모멘트 차수 p에 대한 스케일 지수가 ln이라면 n은 wide sense simple scaling에 의해 평균적인 스케일 지수가 된다. 따라서 강우자료에 대한 스케일 성질의 적용은 스케일 지수 n을 이용하게 된다.

3. 세계기상통신망(Global Telecommunication System)

세계기상통신시스템(GTS, Global Telecommunication System)이란 연속적으로 발생하는 대량의 실시간 자료를 수집·처리·분배하기 위하여 통신용 전산기를 주축으로 수치예보용 슈퍼컴퓨터, DB용 전산기, 위성용 전산기, 연구용 전산기 등과 함께 운영되는 종합기상정보시스템(COMIS)을 말한다. 이 시스템은 세계기상통신망의 지역통신센타(RTH)인 동경, 북경과 연결되어 세계기상자료를 교환하고 있고, 국제기상 통신회선을 통해 지상 및 고층관측 자료와 같은 20여종의 세계기상자료와 악기상 예상도 등을 국내 각 기상관서와 관련

기관에 초고속 국가정보통신망을 통하여 실시간으로 전달하고 있다. 음성, FAX, 데이터, 영상자료를 통합하여 일괄 송수신할 수 있는 체계와 함께 기상정보를 국내의 각 기상관서 간에 서로 신속하고 정확하게 교환할 수 있도록 고속다중화장비(T1-MUX)를 이용한 종합유선통신망이 구축되어 있다. 또한 이 통신망은 초고속 국가정보통신망과도 연계되어 있다(부산지방기상청 http://busan.kma.go.kr).

4. 스케일링을 이용한 지속시간별 연최대강우량산정

본 연구에서는 관측기간 30년 이상의 기상청 관할 강우관측 지점 중 자료기간이 긴 상위 5개의 관측소와 북한지역의 세 지점인 원산, 평강, 장전과 비교하여 기본통계량과 지형적으로 유사한 형태를 보이는 지점인 강릉, 포항, 대구를 선택하여 스케일링의 적용성을 검토하였다. 대구는 관측기간 상위 5개 지점 중 하나이며 평강과도 유사한 형태를 보임에 따라 대상지점은 강릉, 서울, 포항, 대구, 전주, 광주, 목포를 포함하여 총 7개를 선택하여 스케일 성질을 적용하였다.

분석 지점에 대해 지속시간 12시간을 기준으로 지속시간 1, 2, 3, 6, 9시간에 대해 하향스케일링을 수행하였고, 지속시간 15, 18, 24시간에 대해서는 상향스케일링 수행하였다. 또한 하향 스케일링 및 상향 스케일링을 통해 추정된 연최대강우량 자료와 원값을 비교·분석하여 적용성을 검토하였다.

표 1과 표 2는 지점별 연최대강우량 오차의 평균값을 나타내는데, 지속시간 12시간을 기준으로 스케일 성질을 적용한 분석결과는 표 1과 같고, 지속시간 24시간을 기준으로 스케일 성질을 적용한 분석결과는 표 2와 같다. 표 1에 의하면 강릉, 서울의 지속시간 24시간의 연최대강우량을 제외하고는 지속시간 6시간에서 24시간까지 오차범위 20%의 정확도로 연최대강우량을 추정할 수 있는 것으로 나타났다. 표 1에서 회색으로 표시된 내용은 20% 이내의 오차를 의미하며, 이를 통해 포항, 대구, 전주에 대해서는 지속시간 3시간까지 20%의 정확도로 적용 가능함을 알 수 있다. 또한 지속시간 12시간을 기준으로 하향스케일링을 했을 때는 상향스케일링을 했을 시보다 정확도가 낮아지는 것을 알 수 있는데, 이는 특정지속시간인 6시간 아래의 지속시간부터는 다른 강우사상에서 최대강우량이 발생되었다고 볼 수 있으며, 지속시간이 짧을수록 강우의 극값 변동 폭이 크다고 말할 수 있다.

표 1. 12시간 기준 연최대강우량 절대상대오차(%)

지속시간 / 지점명	1	2	3	6	9	12	15	18	24	Total
강릉	28.21	24.85	21.37	*12.39*	*7.04*	*0.00*	*7.11*	*12.88*	22.71	*15.17*
서울	28.69	24.86	22.99	*15.29*	*7.24*	*0.00*	*6.89*	*12.19*	22.32	*15.61*
포항	34.79	23.81	*19.75*	*13.05*	*7.25*	*0.00*	*6.06*	*10.70*	*16.27*	*14.63*
대구	38.41	25.09	*19.82*	*11.77*	*6.57*	*0.00*	*6.14*	*9.95*	*14.36*	*14.68*
전주	27.44	20.53	*16.52*	*11.85*	*7.61*	*0.00*	*6.75*	*10.90*	*16.97*	*13.18*
광주	50.05	31.65	21.80	*11.94*	*6.56*	*0.00*	*5.13*	*7.98*	*13.18*	*16.48*
목포	49.88	31.53	23.11	*12.46*	*6.20*	*0.00*	*6.28*	*9.77*	*14.83*	*17.12*
Total	36.78	26.04	20.76	*12.68*	*6.92*	*0.00*	*6.34*	*10.62*	*17.23*	*15.27*

표 2에 따르면 지속시간 24시간을 기준으로 할 경우, 각 7개 지점에 대해 하향스케일링 방법은 지속시간 9시간까지는 오차범위 20% 내의 정확도로 연최대강우량을 추정할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 지속시간 24시간을 기준으로 각 지속시간의 연최대강우량을 산정하는 것은 지속시간 12시간을 기준으로 산정한 값과 비교하여 전체평균 약 4%의 오차가 더 발생함을 알 수 있다. 따라서 스케일링을 통한 지속시간별 연최대강우량의 추정은 12시간과 24시간의 스케일링 방법 중 12시간을 기준으로 스케일링 한 방법이 더 우수한 결과를 나타낸다고 판단되었다.

표 2. 24시간 기준 연최대강우량 절대상대오차(%)

지속시간 / 지점명	1	2	3	6	9	12	15	18	24	Total
강릉	32.07	31.10	28.67	23.98	20.70	*18.11*	*13.78*	*9.10*	*0.00*	*19.72*
서울	33.61	31.11	29.85	25.92	22.45	*18.61*	*14.10*	*9.79*	*0.00*	20.61
포항	34.72	28.22	25.55	20.35	*17.71*	*14.32*	*11.24*	*8.11*	*0.00*	*17.80*
대구	44.91	29.35	24.08	*19.30*	*16.95*	*14.99*	*11.70*	*8.10*	*0.00*	*18.82*
전주	28.16	26.02	23.36	20.52	*17.91*	*14.89*	*11.42*	*7.64*	*0.00*	*16.66*
광주	52.84	34.37	25.31	*17.32*	*15.57*	*13.25*	*10.65*	*8.32*	*0.00*	*19.74*
목포	49.91	33.94	25.83	*19.66*	*16.65*	*14.61*	*10.79*	*7.82*	*0.00*	*19.91*
Total	39.46	30.59	26.09	21.01	*18.28*	*15.54*	*11.96*	*8.41*	*0.00*	*19.04*

5. 북한 지점에 스케일링 적용

본 연구에서는 미계측 지점일라 할 수 있는 화천댐 상류 유역과 근거리에 위치한 지점 3곳인 평강, 원산, 장전에 대하여 GTS에 의해 12UTC(21시-09시), 24UTC(09-21)의 누적강우량을 수집할 수 있었고, 각각의 누적 강우량에 스케일 성질을 적용하여 특정 지속시간별 연최대강우량을 추정하였다.

그림 1은 북한지점에 적용한 3개의 지점의 위치를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 화천댐 유역의 상류와 가장 근접한 북한의 지점이라고 볼 수 있다. 그림 2는 원산에 스케일을 적용하여 추정된 지속시간별 연최대강우량이며, 그림 3는 평강의 스케일 연최대강우량, 그림 4은 장전의 스케일 연최대강우량이다.

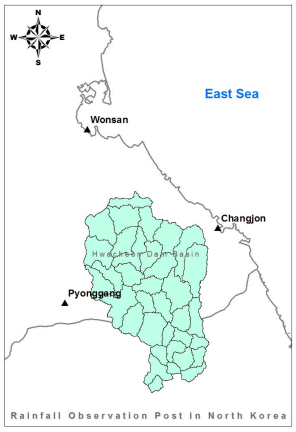

그림 1. 원산, 평강, 장전의 위치도

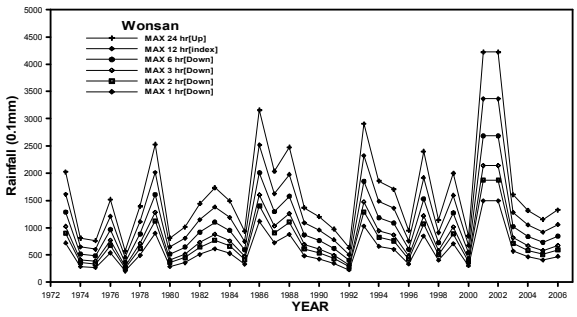

그림 2. 원산의 스케일 연최대강우량 산정

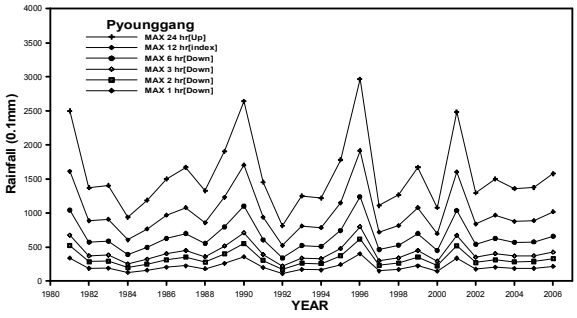

그림 3. 평강의 스케일 연최대강우량 산정

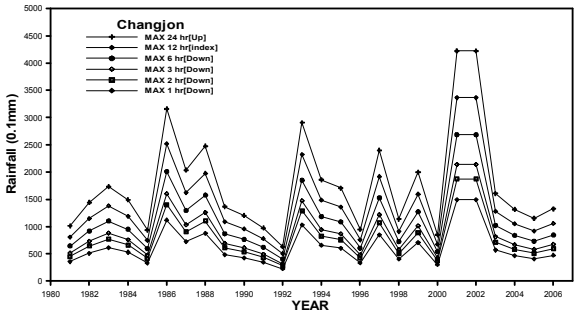

그림 4. 장전의 스케일 연최대강우량 산정

6. 결 론

본 연구에서는 수공구조물의 적정 설계를 위해 사용되는 확률강우량의 입력 값인, 지속시간별 연최대강우량을 산정하기 위해 강우의 스케일 특성을 이용하여 지속시간별 연최대강우량을 추정해 보았다. 그 결과 기상청 7개 지점을 통해 강우의 스케일 특성을 이용하여 특정 지속시간에 따른 연최대강우량을 산정하는 방법은 12시간 또는 24시간을 기준으로 지속시간 6시간에서 24시간까지 평균 15% 이내의 오차를 보이며, 12시간을 기준으로 했을 경우 전체평균 15.27%의 오차를 보이고, 24시간을 기준으로 했을 경우 전체평균 19.04%를 보였다. 즉, 지속시간 12시간을 기준으로 1시간까지 하향스케일을 실시하고 24시간까지 상향스케일링 하는 방법이 정확도 면에서 24시간을 기준으로 1시간까지 하향스케일만을 하여 연최대강우량을 추정하는 것 보다 약 4%정도 정확성을 나타냈다. 이를 바탕으로 미계측 유역인 화천댐 상류유역 인근의 북한 3지점 원산, 평강, 장전에 대해 적용하여 연최대강우량 산정해 해보았다. 이와 같이 자료의 양이 매우 한정된 곳에서 강우의 스케일 특성을 이용한 연최대강우량 추정은 확률강우량 산정과 동시에 강우의 극값을 직관적으로 알 수 있는데 매우 유용한 방법이라 판단된다.

감사의 글

본 연구(보고서)는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설기술혁신사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참고문헌

1. Burlando, P. and Rosso, R. (1996). Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation, Journal of Hydrology, Vol. 187, pp.45-64
2. 부산지방기상청(http://busan.kma.go.kr).