

지점빈도분석과 지역빈도분석을 이용한 확률홍수량 산정

Estimation of Frequency-Based Flood Using At-Site Frequency Analysis and Regional Frequency Analysis

이길성*, 박경신**, 정은성***, 김상욱****

Kil Seong Lee, Kyungshin Park, Eun-Sung Chung, Sang Ug Kim

요 지

본 연구에서는 지점빈도분석과 지역빈도분석을 이용하여 확률홍수량을 산정 하였다. 지점빈도 분석은 Annual Maximum Series(AMS) 및 Partial Duration Series(PDS)를 이용하여 자료를 추출하고 각 자료에 적합한 확률분포를 이용하여 확률홍수량을 산정하였다. 그러나 AMS를 이용한 확률홍수량의 산정은 표본의 개수가 부족하면 이에 따른 변동성(variability)이 커지게 되는 단점이 존재하며, PDS를 사용하면 임계값(threshold)에 따른 주관적 영향이 결과에 반영되는 단점이 존재하는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 PDS를 사용하는 경우의 단점을 해결하기 위해 연 1.7회의 발생횟수를 갖는 자료를 추출하고 몬테 카를로 모의시험을 통하여 주관적 영향을 제거하였다. 또한 두 가지 방법에 의해 산정된 확률홍수량의 비교 검토를 위해 지역빈도분석을 수행하였다. 유역의 면적과 일평균강우량으로부터 확률홍수량을 산정할 수 있는 것으로 알려진 Bayesian-Generalized Least Square(B-GLS) 방법을 이용하여 확률홍수량을 산정하였다. 최종적으로 안양천 유역의 13개 소유역에 대한 세 가지 방법에 의해 산정된 확률홍수량을 비교 검토한 결과, 특정한 방법이 항상 우수하다는 결론은 얻을 수 없었으나 각 유역별로 AMS가 가장 크고 B-GLS가 가장 작은 확률홍수량을 갖는 경향을 나타내었다.

핵심용어 : 지점빈도분석, 지역빈도분석, 확률홍수량, 안양천 유역, Annual Maximum Series, Partial Duration Series, Bayesian-Generalized Least Square, L-moment diagram

1. 서 론

급격한 기후 변화에 의한 이상강우로부터 산정하는 유출량을 대신하여 측정되고 있는 유출량 자료를 이용한 확률홍수량의 산정을 위해 유출량 자료로부터 확률홍수량을 산정하고자 하였다.

일부 서양의 선진국의 경우 오래전부터 홍수빈도해석 지침서의 필요성을 자각하고 이를 제정하기 위한 노력이 시작되었다. 그러나 국내의 경우 대부분의 연구에서 강우-유출모형을 기반으로 한 홍수량 산정방법을 택하고 있는데 최근 홍수량 자료가 꾸준히 확보되고 있어 기존의 방식에서 탈피하여 유출량을 이용한 빈도해석으로 설계홍수량의 산정에 대한 필요성이 대두되고 있다.

홍수량 자료를 직접 이용하여 빈도해석을 할 경우 우리가 이용할 수 있는 시계열의 종류는 크게 두 가지로 연최대 값을 취하는 AMS(Annual Maximum Series)와 임계값(threshold)을 초과하는 자료를 취하는

* 정희원 · 서울대학교 공과대학 건설·환경공학부 교수 · E-mail : kilselee7@snu.ac.kr

** 서울대학교 공과대학 건설·환경공학부 석사과정 · E-mail : diploma@snu.ac.kr

*** 정희원 · 서울대학교 공학연구소 선임연구원 · E-mail : cool77@snu.ac.kr

**** 정희원 · 서울대학교 BK21 SIR 사업단 박사 후 연구원 · E-mail : plethor1@snu.ac.kr

PSD(Partial Duration Series)가 있다. 연최대 계열에 의한 확률홍수량의 산정에서 발생하는 단점 중의 하나는 표본의 개수 즉, 홍수량자료의 필연적으로 부족하다는 것이다. 이럴 경우, 표본의 분산성(sampling variability)이 커지게 된다는 단점이 있다. 연최대 계열의 문제점을 보완하기 위해 초과치 계열방법이 대두되었지만 임계값의 설정은 가장 난해한 부분으로 알려져 있다. 이는 어떤 표본들의 초과 기준이 되는 임계값을 설정할 때 주관적인 판단이 상당부분 포함되기 때문이다. 이를 몬테카를로 모의시험을 이용하여 발생 횟수를 확인하였다. 이렇게 얻어진 빈도분석 결과를 유역특성을 지표로 하여 빈도 해석을 할 수 있는 정대일 등(2007)이 분석한 B-GLS(Bayesian-Generalized Least Square) 회귀에 의한 결과와 비교 하였다.

2. 연구 방법

본 연구의 과정은 AMS와 PDS의 자료 취득 후 확률 홍수량을 산정하여 B-GLS와 비교하는 방법으로 진행하였다. AMS 방법은 1년 중 최고값 1개의 자료를 추출하고 PDS 방법의 경우 다양한 임계값 산정 방법들이 제시되었는데 AMS 보다 좋은 적합성을 갖는 연평균 초과횟수를 Cunnane(1973)이 제안한 연 평균 초과 횟수가 1.6회 이상인 방법과 Lang et al.(1999)이 제안한 연평균발생량이 1.2 ~ 5 회를 갖는 방법을 몬테카를로 모의시험을 통하여 비교하여 본 연구에는 연평균 1.7회의 발생 확률을 갖는 것으로 적용하였다.

AMS는 일 년 중 최대의 값만 뽑기 때문에 자료 추출의 용의성과 자료의 독립성 확보할 수 있으나 자료의 부족으로 인하여 표본의 분산성이 커질 가능성 존재하며 각 해의 1개의 자료가 충분하지 않은 대표성을 가지고 있지 않을 가능성이 크다는 문제점을 가지고 있다.

PDS는 임계값 이상의 자료를 추출하여 뽑아낸 자료들로 극값에 대한 자료의 대표성 커져 상대적으로 자료의 분산성이 작아지는 반면 임계값 산정에 있어서 그 판단이 수행하는 연구자의 판단에 따라 달라지는 경우가 많고 적절한 임계값에 대한 정의를 하기 힘들기 때문에 결과에 대한 신뢰도를 충분히 검토해 보아야 한다.

B-GLS는 유역의 수문자료가 아닌 유역의 물리적 특성자료를 이용하여 확률홍수량을 구할 수 있는 방법으로 수문자료가 없는 지역에서의 홍수량 산정을 할 수 있으나 작은 유역을 대상으로 적용을 한 사례가 없어 적용성에 대한 검토가 필요하다.

3. 적용 및 결과

적용하려는 유역은 안양천 유역 내 총 13개의 소유역으로 왕곡, 오전, 당정, 산본, 학의, 청계사, 갈현, 수암, 삼성, 삼막, 삼봉, 도립, 목감천으로 기존에 구축되어 검증과 보정이 완료된 HSPF의 유출량 자료(이준석, 2007)를 이용하였다. 모의된 자료의 길이는 총 10년으로 일단위 유출을 모의 한 자료이다.

AMS를 이용한 경우는 GEV분포에 적용 시켜 이에 따른 확률 홍수량을 산정하였고 PDS의 홍수 크기는 GP 분포에 적용시켜 산정하였다. 또한 B-GLS는 유역의 면적과 일평균 강우량을 이용하여 parameter를 추정하고 이를 통해 확률홍수량을 산정하였다.

AMS와 PDS 방법을 이용하여 추출한 자료의 적합성을 검토하였다. L-skewness(τ_3)와 L-kurtosis(τ_4)를 이용하여 분포별 유형에 적합한지 판단해 보았다. AMS와 PDS의 τ_3 와 τ_4 는 표 1과 같으며 각 분포에 대한 적합성 검토를 위해 여러 분포와 AMS, PDS를 다음 그림 1에 나타내어 각각 맞는 분포를 확인해 보았다. 그림 1에서 알 수 있듯 AMS는 GEV 분포에 적합하고, PDS는 Pareto 분포에 적합함을 알 수 있다. 각각의 분포와 유역의 특성인자로 부터 산정한 확률홍수량 중 왕곡, 오전, 당정, 학의천의 결과는 표 2, 그림 2, 그림 3, 그림 4, 그림 5와 같다.

PDS의 적합성을 판단하기 위해 몬테카를로 모의실험을 수행하였다. 몬테카를로 모의실험은 미래에 발생할 사상이 과거에 발생할 사상과 통계적으로 유사하다는 가정 하에 실측치의 통계적 특성을 분석하여 얻어진 확률분포형의 매개변수와 확률분포형에 맞게 발생된 난수를 이용하여 정해진 기간에 걸친 무작위 변량을 발생시키는 기법이다(성장현, 2007). 본 연구에서는 Finfrook과 Rao (2003)가 제시한 모의 발생기법 절차를 따라 1000번의 모의수행을 하여 그 결과를 비교해 보았다.

표 1. AMS와 PDS의 L-skewness와 L-kurtosis

	AMS		PDS	
	τ_3	τ_4	τ_3	τ_4
왕곡	0.39388	0.28526	0.56033	0.37840
오전	0.38875	0.25361	0.52397	0.33987
당정	0.28347	0.23040	0.43614	0.29921
산본	0.28095	0.20624	0.43954	0.27327
학의	0.24450	0.14919	0.42414	0.24335
청계사	0.31140	0.26673	0.44544	0.33565
갈현	0.27397	0.20178	0.43676	0.27884
수암	0.31550	0.24507	0.46480	0.31877
삼성	0.29178	0.21516	0.44516	0.28903
삼막	0.29592	0.24901	0.43341	0.32009
삼봉	0.25679	0.16177	0.44165	0.23272
도림	0.25568	0.11741	0.33402	0.16647
목감	0.25773	0.11880	0.36489	0.15057

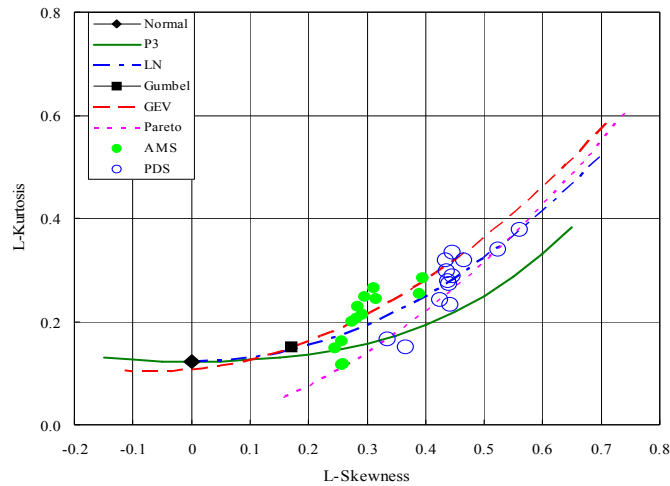


그림 1. AMS와 PDS의 분포별 적합성 검토

표 2. 왕곡, 오전, 당정, 학의천의 AMS, PDS, B-GLS의 확률홍수량 비교

Prob.	AMS				PDS				B-GLS			
	왕곡	오전	당정	학의	왕곡	오전	당정	학의	왕곡	오전	당정	학의
0.01	1.50	1.56	2.63	12.52	1.68	1.33	1.91	10.28	0.58	0.64	2.20	0.74
0.02	1.68	1.74	3.06	16.04	1.77	1.45	2.23	12.66	0.87	0.93	2.69	5.99
0.05	1.99	2.05	3.79	21.94	1.93	1.65	2.77	16.72	1.36	1.42	3.51	14.47
0.1	2.32	2.38	4.55	27.93	2.11	1.87	3.34	20.94	1.86	1.92	4.35	22.72
0.2	2.83	2.88	5.64	36.38	2.38	2.20	4.17	27.03	2.58	2.63	5.53	33.77
0.5	4.26	4.30	8.47	57.65	3.22	3.19	6.38	43.10	4.42	4.45	8.53	58.98
0.8	6.92	6.91	12.97	89.65	4.98	5.12	10.07	69.24	7.29	7.27	13.09	91.21
0.9	9.29	9.22	16.47	113.21	6.72	6.93	13.06	89.95	9.48	9.39	16.47	111.53
0.95	12.17	12.02	20.26	137.76	9.03	9.23	16.41	112.81	11.82	11.65	20.03	130.30
0.98	17.05	16.73	25.92	172.64	13.32	13.28	21.60	147.48	15.25	14.94	25.12	153.59
0.99	21.78	21.28	30.78	201.30	17.89	17.39	26.23	177.83	18.16	17.70	29.34	170.32
0.995	27.69	26.93	36.23	232.18	24.07	22.72	31.58	212.38	21.37	20.74	33.92	186.40
0.998	37.80	36.54	44.47	276.81	35.69	32.24	39.99	265.59	26.16	25.22	40.59	206.76
0.999	47.68	45.88	51.61	313.75	48.13	41.97	47.53	312.49	30.24	29.02	46.15	221.51
입계값	-	-	-	-	2.76	2.68	4.94	34.50	-	-	-	-

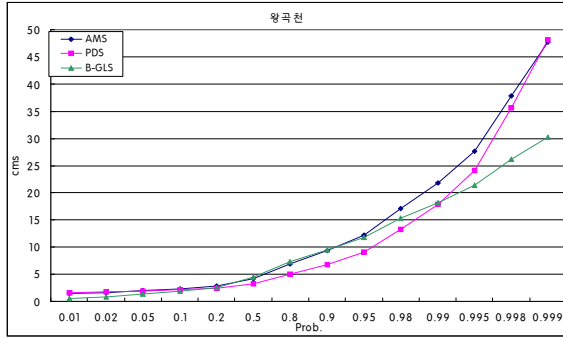


그림 2. 왕곡천의 AMS, PDS와 B-GLS의 확률홍수량 비교

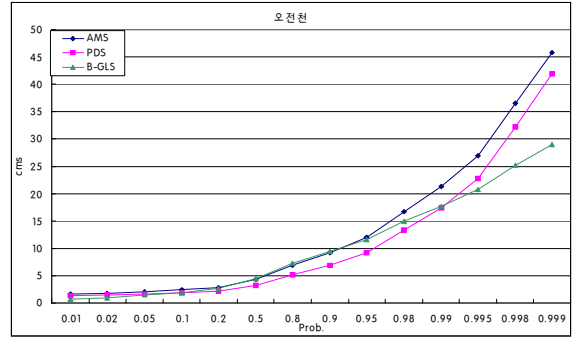


그림 3. 오전천의 AMS, PDS와 B-GLS의 확률홍수량 비교

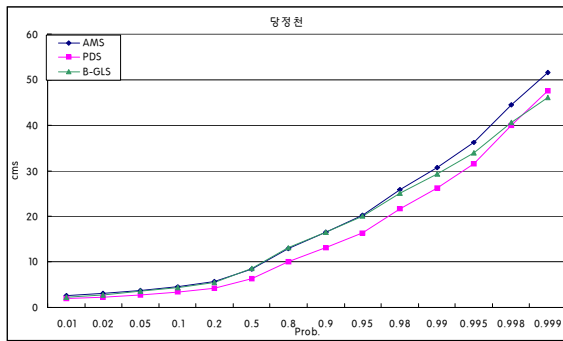


그림 4. 당정천의 AMS, PDS와 B-GLS의 확률홍수량 비교

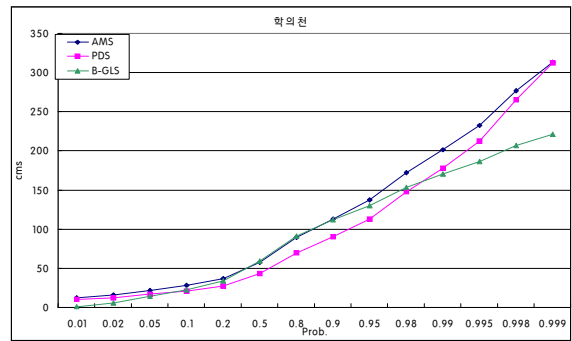


그림 5. 학의천의 AMS, PDS와 B-GLS의 확률홍수량 비교

비교하려는 오차지표는 상대평균제곱근오차(Relative Root Mean Square Error; RRMSE)이다. RRMSE의 수식은 다음과 같으며 그 결과는 표 3, 그림 6과 같다.

$$R-RRMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{m=1}^M \left[\frac{Q_j^m - Q_j}{Q_j} \right]^2}$$

여기서 Q_j 와 Q_j^m 은 각각 실측치에 의한 확률홍수량과 모의 발생된 자료에 의한 확률홍수량, M 은 모의발생 횟수이다. 그림으로 판단해 볼 때 다른 자료길이에 비해 연 1.7회가 RRMSE가 작음을 알 수 있다. 이는 다른 발생수를 본 연구에서 구하지 않았지만 모의실험을 통하여 알 수 있게 해준다.

표 3. 연발생수에 따른 확률홍수량의 RRMSE

Prob.	연발생수						
	4.2	3.7	3.2	2.7	2.2	1.7	1.2
0.05	0.0437	0.0385	0.0274	0.0141	0.0202	0.0089	0.0118
0.1	0.0257	0.0182	0.0105	0.0067	0.0076	0.0039	0.0057
0.2	0.0066	0.0051	0.0039	0.0037	0.0033	0.0017	0.0022
0.3	0.0051	0.0046	0.0033	0.0026	0.0028	0.0013	0.0017
0.4	0.0063	0.0059	0.0036	0.0028	0.0031	0.0014	0.0019
0.5	0.0076	0.0068	0.0050	0.0041	0.0036	0.0019	0.0028
0.6	0.0091	0.0081	0.0051	0.0053	0.0046	0.0030	0.0037
0.7	0.0103	0.0093	0.0065	0.0063	0.0058	0.0039	0.0046
0.8	0.0119	0.0109	0.0081	0.0071	0.0067	0.0048	0.0058
0.9	0.0153	0.0149	0.0117	0.0099	0.0087	0.0066	0.0080
0.99	0.0365	0.0269	0.0193	0.0144	0.0140	0.0121	0.0127

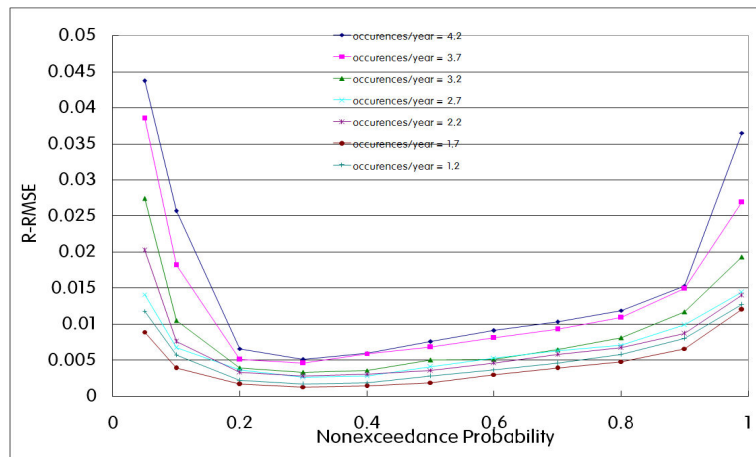


그림 6. 연발생수에 따른 확률홍수량의 RRMSE

4. 결론 및 향후 연구 과제

자료의 축적이 바탕이 되어 강우량으로 부터의 설계홍수량 산정을 지점 빈도해석을 이용한 확률 홍수량의 산정으로 바꾸기 위한 본 연구는 위의 결과에서 보여주듯 각 분포별 확률 홍수량이 비슷한 경향을 나타내고 있다. 연최대의 자료를 기반으로 한 AMS가 PDS보다 큰 확률 홍수량을 가지고 있음을 알 수 있다. 이는 AMS가 한 해의 최고값으로 구성 하는데서 비롯된 결과로 판단되며 이보다 좀 더 본 자료의 대표성을 갖는 PDS가 이보다 적은 확률 홍수량을 갖고 있음을 알 수 있다. 이 두 자료를 바탕으로 B-GLS와 비교한 결과 두 방법에 비해 낮은 확률 홍수량을 갖고 있었다.

B-GLS도 AMS를 이용한 기법으로 본 연구에서 B-GLS와 AMS의 차이가 적었다면 좀 더 좋은 결과를 얻을 수 있지 않았을까 하는 생각이 들며 향후 유량자료와 기상자료의 축적으로 다시 둘의 차이를 비교해 보는 것이 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단(과제번호 1-7-3)의 서울대학교 공학연구소를 통한 연구비 지원(30 %)과 서울대학교 BK21 안전하고 지속가능한 사회기반건설 사업단의 연구비 지원(70 %)에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- 성장현 (2007). 국내 홍수빈도해석 지침서 작성을 위한 연구, 석사학위논문, 서울대학교.
- 이준석 (2007). HSPF를 이용한 안양천 유역의 건천화 방지 대안의 효과 분석, 석사학위논문, 서울대학교.
- 정대일, 스테진저, 김영오, 성장현 (2007). 국내 지역 홍수빈도 해석을 위한 기법 제안: Bayesian-GLS 회귀, 한국수자원학회 학술발표회논문집.
- Cunnane, C. (1979). "A note on the Poisson assumption in partial duration series models.", *Water Resources Research* Vol.15 No.2, pp. 489-494.
- Finfrook, H.L., and Rao, A.R. (2003). "Length of data necessary to identify distributions in flood frequency analysis." 2003 *World Water Congress*, 118, 362.
- Lang, M., Ouarda, T.B.M.J., Bobee, B. (1999) "Towards operational guidelines for over-threshold modeling." *Journal of Hydrology* Vol.225 No.3(4), pp. 103-117