

지역 빈도해석의 적용성 분석

○김경덕¹⁾, 허준행²⁾, 김지훈³⁾, 안상로⁴⁾

1. 서론

지점 빈도해석은 수문자료의 관측기간이 짧은 경우 정확도에 문제를 발생시킬 수 있으므로, 지점내 충분한 수의 자료확보가 선행되어야 한다. 지역 빈도해석은 지점 자료가 부족한 경우 또는 미계측 지점에서 확률 수문량을 결정하기 위하여 제안된 방법으로서 우리 나라와 같이 자료수가 부족한 경우 지역 빈도해석을 사용하면 효율적이고 안정적으로 확률수문량을 산정할 수 있다(이동진과 허준행, 2001; Institute of Hydrology, 1999; Potter와 Lettenmaier, 1990; Heo 등, 1990; Cunnane, 1989; Hosking 등, 1985; Stedinger와 Tasker, 1985). 영국에서 발간한 Flood Estimation Handbook(Institute of Hydrology, 1999)에 의하면 지점 빈도해석은 구하려는 재현기간이 짧고, 대상자료는 충분히 길고 신뢰할 수 있을 때 사용한다. 대상자료의 기간이 구하려는 재현기간 T보다 작은 경우에는 지점 빈도해석은 적절하지 않으며, 대상자료기간이 T에서 2T일 때는 지점 빈도해석과 지역 빈도해석을 동시에 수행하는 것을 추천하고 있다. 대상자료의 기간이 2T이상이면 지점 빈도해석을 사용하는 것으로 충분하며, 비교대상으로 지역 빈도해석을 수행하는 것도 추천하고 있는 실정이다.

최근의 기록적인 호우로 인하여 막대한 홍수피해를 입어 설계기준에 대한 상향조정이 요구되는 시점에서 대상자료의 기간에 비하여 구하고자 하는 재현기간이 대단히 큰 상황이므로 지역 빈도해석을 통하여 신뢰할 수 있는 설계수문량을 재산정하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 대상자료의 크기별로 1,000개의 표본자료를 모의발생하여 빈도해석을 수행함으로써, 지점 및 지역 빈도해석의 적용한계를 파악하고자 하였으며 거동특성을 분석하였다. 또한, 우리 나라 주요 수계에 대하여 지점 및 지역 빈도해석을 수행하여 비교·분석함으로써 적용성을 평가하였다.

2. 본론

빈도해석은 어떤 사상이 발생하는 횟수를 추정하는 방법으로서 특히 극치사상(extreme events)의 빈도를 추정하는 것은 대단히 중요하다. 여러 종류의 관측값들(또는 사상)을 발생시키는 물리 현상들은 다양한 불확실성을 내포하고 있으므로 이러한 자료는 통계적 방법을 통해 해석하게 된다. 물리 현상의 불확실성을 고려한 통계적 방법을 통해 불확실성의 영향을 정량화시킬 수 있기 때문이다. 한 집단의 자료를 빈도해석하는 절차는 이미 확립되어 있는 상태이지만, 보통 여러 관련 자료를 활용할 수 있는 경우가 많다. 여러 관측 지점에서 동종의 자료들이 활용 가능한 경우를 예로 들 수 있다. 각 집단에서 특정 사상에 대한 특성이 유사하다면, 각 집단의 자료를 함께 분석하는 것이 더 정확한 결과를 산출하게 될 것이다. 적절하게 정의된 지역(region) 내에서 여러 관측 지점들의 관측값을 분석하기 때문에 이러한 방법을 '지역 빈도해석(regional

1) 한국시설안전기술공단 진단2본부 댐항만실 과장, 공학박사
2) 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목·환경공학전공 교수
3) 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정
4) 한국시설안전기술공단 진단2본부 댐항만실 실장, 공학박사

frequency analysis)'이라고 한다.

지역 빈도해석에서는 대상 지점의 확률분포와 유사한 확률분포를 갖는 주변 지점의 자료를 사용해서 자료 개수를 증가시킨다. 만일 각각 n개의 자료를 보유한 N개의 지점이 있다면, Nn개의 자료가 재현기간 Nn에 해당하는 quantile, Q_{Nn} 을 정확히 추정할 수 있을 것으로 기대할 수 있지만, 여기에는 문제점이 내포된다. 지점간의 확률분포가 정확히 일치하지 않거나 지점간의 사상이 통계적으로 독립이 아닐 수 있기 때문이다. 그럼에도 불구하고 지역 빈도해석을 수행하여 여러 실제 상황에서 유용하게 쓰일 수 있을 정도로 정확한 quantile 추정량을 얻을 수 있다고 판단한다.

2.1 자료크기에 따른 설계수문량의 신뢰성

본 연구에서는 대상자료의 크기에 따라 설계수문량의 신뢰성을 평가하기 위해 모의실험을 수행하였다. 미국 USGS에서 관측한 Illinois주 S010 지점의 홍수량 자료에 대하여 GEV 분포형을 적용하여 매개변수를 추정하고 이를 모집단으로 가정하였다. 가정한 GEV 분포형에 대하여 자료크기 20에서 100개를 갖는 1,000개의 자료집단을 각각 발생시켰다. gamma, GEV, Gumbel, lognormal, Weibull 분포형을 적용하여 다양한 재현기간의 홍수량을 추정하여 모집단의 홍수량과 비교하였다. 표 1은 모집단이 GEV 분포형이고 적용분포형도 GEV 분포형인 경우 자료크기별(20, 30, 40, 50, 70, 100) 1,000개의 자료집단을 모의발생하여 초과확률에 해당하는 재현기간을 산정하여 평균값을 구한 것이다.

표 1. 대상자료 크기와 재현기간에 대한 초과확률의 평균치

자료크기	재현기간(year)			
	10	20	50	100
참값	0.1(10)	0.05(20)	0.02(50)	0.01(100)
20	0.114(8.7)	0.063(15.8)	0.032(31.2)	0.022(45.6)
30	0.114(8.8)	0.061(16.3)	0.028(35.7)	0.018(54.5)
40	0.109(9.2)	0.058(17.1)	0.027(36.8)	0.017(58.2)
50	0.108(9.3)	0.057(17.5)	0.026(39.0)	0.015(65.8)
70	0.106(9.4)	0.055(18.3)	0.024(40.9)	0.014(70.5)
100	0.104(9.6)	0.053(18.8)	0.023(42.7)	0.013(77.5)

표 1에서 보는 바와 같이 표본자료의 초과확률이 참값의 초과확률보다 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 예를 들면, 자료크기 30개일 때 100년 빈도를 살펴보면 초과확률은 0.018로서 참값인 0.01보다 크게 나타나 실질적으로는 54.5년 빈도에 해당함을 알 수 있다. 이러한 편차는 자료크기에 비하여 큰 재현기간의 수문량을 산정할 때 크게 발생하고 있다. 가정한 모집단의 확률분포형, 적용한 확률분포형에 따라 이러한 특성은 다르게 나타나며, 추출된 자료의 특성에 따라 많은 차이가 발생하게 된다.

2.2 Index-flood 방법

Index-flood 방법은 여러 표본의 통계량을 규합하는데 편리한 방법으로서 index flood란 용어는 초기에 이 방법을 홍수 자료에 적용했기 때문이며, 어떤 종류의 자료에도 적용이 가능하다(Darymple, 1960). 지역 빈도해석의 일반적인 절차는 다음과 같다.

1) 자료 추출(screening of the data)

자료의 오차와 비일관성(incosistency)을 제거하고 동질의 자료(homogeneity)인지 점검해야 한다. 자료의 수집 및 측정 방법에 대한 정보, 빈도함수에 영향을 줄 수 있는 시간에 따른 변화와 이와 관련된 정보가 자

료 추출에 유용하게 사용될 수 있다.

2) 동질 지역의 확인

지역(region)은 빈도함수가 대략적으로 동일한 지점들의 집합으로서 지역 빈도해석의 기본 단위이다. 대략적인 동질성 확보만으로도 지점 빈도해석보다 정확한 결과를 산출할 수 있으므로, 동질성 원칙을 너무 엄격하게 적용할 필요는 없다. 지역은 지형학적으로 구분될 필요는 없지만 대신에 빈도함수를 결정짓는 지점의 특성치들은 유사해야 한다. 적절한 지점 특성들은 자료의 종류에 따라 결정된다. 경위도 역시 지점의 특성치가 될 수 있으며, 지역에 따라 완곡하게 변하는 미계측 특성치들의 대응으로 활용가능하다. 어떤 지역의 동질성은 지점 자료의 요약 통계량(summary statistics)을 계산하고, 지점간 통계량의 변동성과 동질 지역에서 기대되는 특성들을 비교함으로써 검증할 수 있다. L-moments는 이러한 목적에 적합한 통계량이라고 할 수 있다.

3) 빈도함수의 선정

지역이 결정되면 적합한 지역 빈도함수 $q(F)$ 를 선정해야 한다. 이 절차는 적합도 검정을 통해 수행된다. 지역 빈도해석에서는 이러한 일반적인 통계적 절차에 두 가지 사항이 더 고려되어야 한다. 첫째는 활용 가능한 자료가 단일 지점의 자료가 아니라 여러 지점의 자료라는 점이다. 둘째는 선정된 확률분포함수는 자료에 적합해야 하고, 선정된 확률분포함수와 실제 확률분포함수에 의해 추정된 quantile은 안정성(robust)을 확보해야 한다.

4) 빈도함수의 추정

지역빈도함수는 각 지점의 분포함수를 추정하고 추정치들을 지역 평균함으로써 구할 수 있다. 가장 효율적인 방법은 가중평균을 이용하여 각 지점의 L-moments를 조합하는 방법이며, 이 방법을 지역 L-moments 알고리즘(regional L-moments algorithm)이라 한다. L-moments 알고리즘을 수정 또는 확장시켜야 할 두 가지 경우가 있다. 첫째는 핵발전소나 댐 혹은 댐 건설 후보지역에서 quantile 추정량을 구하고자 하는 경우이다. 이러한 특별한 경우에는 특수 지점들이 그 지역(region)의 특성을 반영할 수 있도록 주의를 기울여야 한다. 가능한 특수 지점의 특성치가 동일 지역 내 다른 지점들의 특성을 반영할 수 있도록 해야 하고, 지점 특성치들의 극한값이 그 지역의 특성을 대표하는 일이 없도록 해야 한다. 이렇게 함으로써 그 지역의 특성을 반영하지 못하는 지점들의 quantile 추정량의 편차를 줄일 수 있다. 둘째는 미계측 지점의 quantile 추정량을 구해야 하는 경우이다. 지점의 특성에 근거해서 계속 지점에 의해 구분된 지역 중 하나가 미계측 지점에 할당될 수 있다. 이렇게 하여 미계측 지점에 regional growth curve가 확정된다. 다음은 미계측 지점의 index flood를 찾는 일이다. 가장 합리적인 방법은 index flood를 지점 특성치들의 함수로 간주하고, 계속지점의 자료를 사용함으로써 index flood와 지점 특성치들 간의 관계를 검정하는 것이다.

3. 비교고찰 및 결론

지점 빈도해석방법으로 산정한 영산강 하천정비기본계획(건교부, 1998)의 홍수량 대하여 지역 빈도해석방법으로 홍수량을 산정한 결과 다음 표 2와 같이 지점 빈도해석 결과가 황룡강 송산교지점에서는 220m³/sec가 부족(12.5%)하게, 지식천 하구지점에서는 620m³/sec 과다(19%)하게 나타났다.

수문자료의 기간은 설계수문량 산정의 가장 중요한 요소라 할 수 있다. 우리나라의 경우 대부분 수문 관측소의 자료보유기간이 50년 미만으로 짧은 실정이므로 산정된 설계수문량의 신뢰도 역시 낮다. 따라서, 지점빈도해석만으로 50년 이상의 재현기간에 대한 설계수문량을 산정하는 것은 문제가 있으며, 이에 대한 보완책으로 지역 빈도해석 도입을 검토할 필요가 있다. 다양한 지역 빈도해석 기법의 국내 적용성을 검토하고 국내 도입방안을 모색하여 향상된 신뢰도의 설계홍수량을 추정하는 것이 필요하다고 판단된다.

표 2. 영산강 계획홍수량 지점·지역 빈도해석 비교

하천	산정지점	부호	유역면적 (km ²)	계획홍수량(m ³ /sec)				
				설계빈도	지점빈도	지역빈도	차이	비고
영 산 강	하구둑	YS-1	3,455.0	100	6,720	6,440	-280	
	사포수위표	YS-2	2,592.0	100	6,590	6,430	-160	
	나주수위표	YS-3	2,054.7	200	7,190	7,150	-40	
	본동수위표	YS-4	1,327.0	200	4,390	4,650	290	
	마복수위표	YS-5	682.2	200	2,710	2,760	50	
	광주천합류전	YS-6	561.5	200	2,310	2,360	50	
	증암강합류후	YS-7	386.7	100	1,890	1,950	60	
	증암강합류전	YS-8	240.6	100	1,160	1,220	60	
	오례천합류전	YS-9	170.5	100	850	910	60	
	담양교	YS-10	92.8	200	580	630	50	
	금월교	YS-11	82.0	100	520	570	50	
황룡강	하구	HY-1	564.3	200	1,970	2,190	220	
	송산교	HY-2	538.7	100	1,760	1,980	220	12.5%
지석천	하구	JS-1	657.2	200	3,190	2,570	-620	-19%
	남평수위표	JS-2	576.2	200	3,120	2,850	-270	
	대초천합류전	JS-3	409.4	100	2,080	1,970	-110	
	화순천합류전	JS-4	235.2	100	1,390	1,270	-120	
	춘양천합류전	JS-5	144.8	100	1,060	950	-110	

4. 참고문헌

- 건설교통부(1998). 영산강 하천정비 기본계획.
- 이동진, 허준행(2001). "L-모멘트법을 이용한 한강유역 일강우량 자료의 지역빈도해석.", 한국수자원학회 논문집, 제 34권, 제 2호, pp. 119-130.
- Cunnane, C.(1989). Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis, WMO Operational Hydrological Report, 33.
- Darymple, T.(1960). Flood Frequency Analyses, USGS Water Supply Paper, 1543A.
- Heo, J. H., Boes, D. C., and Salas, J. D.(1990). Regional Flood Frequency Modeling and Estimation, Water Resources Paper, No. 101, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA.
- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R., and Wood, E. F.(1985). "An appraisal of the regional flood frequency procedure in the UK Flood Studies Report.", Hydrological Sciences Journal, Vol. 30, pp. 85-109.
- Institute of Hydrology(1999). Flood Estimation Handbook, Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- Potter, K. W. and Lettenmaier, D. P.(1990). "A comparison of regional flood frequency estimation methods using a resampling method.", Water Resources Research, Vol. 26, pp. 415-524.
- Stedinger J. R. and Tasker, G. D.(1985). "Regional hydrological analysis 1. Ordinary, weighted and generalized least squares compared.", Water Resources Research, Vol. 21, pp. 1421-1432.