

# 한강대교와 여주 지점 홍수량-지속시간-생기빈도 곡선 분석

## Analysis of the Flood-Duration-Frequency(QdF) Curve at Hangangdaegyo and Yeojoo Sites

김광섭\*, 순밍동\*\*, 이동구\*\*\*

Kim, Gwangseob, Sun, Ming Dong, Lee Dong Gu

### 요 지

지속시간과 생기빈도에 따른 홍수량 산정은 여러 수문분야 적용에 있어 매우 유용하며 홍수관련 설계인자를 첨두홍수량 중심에서 지속시간에 대응하는 홍수량으로 확장할 필요가 있다고 하겠다. 본 연구에서는 한강 유역 관측 홍수량의 홍수량-지속시간-빈도 분석을 위하여 샘플지역인 한강대교와 여주 지점의 수위자료와 수위-유량 관계식을 사용한 유출량 자료를 활용하여 경험적 QdF곡선과 이론적 QdF모형을 제시하였다. 지속시간에 따른 분석을 위하여 이동평균자료를 사용하여 획득된 지속기간별 연 최대홍수량 자료를 추출하였다. 한강대교 QdF 곡선의 변동특성은 지속기간과 재현기간이 증가함에 따른 최대홍수량 변화폭이 크게 증가하지 않음을 나타내고 이는 한강대교 지점의 유량이 대표하는 유역이 매우 크며 상류의 댐에 의한 홍수통제 등 인위적 영향에 기인한 것으로 판단된다. 이러한 유역 환경변화로 인한 자료 특성변화에 대한 영향 분석을 위하여 댐건설 전후를 분리한 자료를 이용한 QdF 곡선을 작성, 분석하였다. 댐 건설 전후 강수 자료 자체의 특성 변화와 댐 건설 후 자료기간의 한계를 가짐에도 불구하고 분석결과 댐건설 전후 자료에 대한 QdF 곡선은 댐건설로 인한 유출량 영향 파악을 가능케 하였다. 여주 지점의 QdF 곡선은 지속기간과 빈도변화에 따른 변화양상이 대상 지역 계획홍수량을 넘어서는 자료가 많음을 보였다. 이는 유출량 산정을 위해서 제시된 수위-유량 관계식의 적용범위를 넘어서는 값의 발생으로 인한 인위적인 조정에 기인한 것으로 판단된다. 그러므로 지점별로 분석자료의 타당성 및 정상성을 점검하고 자료에 타당한 개선된 QC과정이 필요함을 알 수 있다. 충주댐 건설전후의 여주 지점 QdF 분석 결과는 특히 댐 건설 후 QdF 곡선의 변화 양상은 댐 건설 후 자료에 대한 새로운 형태의 이론적 QdF모형 제시가 필요함을 보여주었다.

**핵심용어 : 홍수량, 지속시간, 생기빈도, QdF**

### 1. 서 론

기후변화 등 여러 가지 이유로 우리나라의 집중호우로 인한 홍수피해규모가 대형화 추세에 있다. 이와 같은 도시유역 홍수피해를 감소시키기 위한 수공구조물의 설계에 있어 홍수자료의 확률적 변화특성에 대한 올바른 이해는 필수적이라 하겠다. 댐이나 제방, 암거 등 수공구조물의 축조 시 수리·수문학적 최적설계를 위해서는 보다 명확하고 합리적인 홍수량의 추정이 요구되고 있다. 그러므로 보다 명확한 홍수의 크기를 결정하기 위해서 홍수빈도분석이 수행되어야 한다. 홍수빈도분석을 통하여 결정된 홍수량은 댐이나 제방, 암거 등 수공구조물의 규모를 결정하는데 쓰일 뿐만 아니라 치수관리의 바탕으로 사용되므로 정치, 경제, 사회적으로 매우 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다. 지난 수십 년간 홍수빈도해석에 대한 많은 연구가 수행되어져 왔

\* 정회원 · 경북대학교 건축토목공학부 토목공학전공 부교수 · E-mail : [kimsg@knu.ac.kr](mailto:kimsg@knu.ac.kr)

\*\* 경북대학교 건설공학부 토목공학전공 박사과정 · E-mail : [mingdongsun@hotmail.com](mailto:mingdongsun@hotmail.com)

\*\*\* 경북대학교 건설공학부 토목공학전공 박사수료 · E-mail : [ldg@gb.go.kr](mailto:ldg@gb.go.kr)

다. Todd(1957)는 하천 유출량의 빈도해석을 위한 기본원리와 계산과정을 논하였으며, Linsley(1986)는 홍수 산정량의 정도분석에 관한 연구를 수행하였고 Raine과 Valdes(1993)는 홍수빈도해석에 적합한 분포에 관한 연구결과를 제시하였다. Javelle 등(2002)과 Topaloglu (2005) 등에 의해 지역홍수빈도해석이 수행되었다. 현재 우리나라는 홍수량의 결정을 위해 필요한 실측자료가 상당히 부족한 실정이다. 이를 극복하기 위해서 비교적 장기간의 강우자료를 대상으로 빈도분석한 결과와 강우-유출관계를 통하여 설계홍수량을 결정하는 간접적인 방법을 이용하였다. 위와 같은 방법은 대개 미계측 유역에서 신뢰할 수 있는 홍수-유출 자료를 얻을 수 없을 때 활용할 수 있는 방법이며 추정오차가 홍수빈도분석의 결과보다 상대적으로 크다(김승 등, 1993). 몇몇 주요 유역에서는 자동지상관측망, 수문관측망 등이 확충되어 홍수자료가 축적되고 있으며 이를 이용한 홍수빈도분석을 수행할 수 있게 되었다. 홍수빈도분석은 대상 재현기간에 대한 순간 첨두홍수량이나 일 최대유량을 서술한 것이 대부분이다. 그러나 수리학적 구조물에 대한 설계나 홍수 지도 작성을 할 경우, 지속시간에 따른 첨두홍수량과 홍수체적에 대한 정보는 필수적이지만 제시되지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 홍수량-홍수체적에 대한 분석과 홍수-지속시간-빈도(QdF; flood-duration-frequency) 분석을 이용한 홍수정보 제공이 필요한 실정이다. 이를 위하여 본 연구에서는 홍수위험도 QdF 분석체계를 구축하고자 한다. 먼저 홍수자료를 획득 홍수량 빈도 분석을 실시하고 타당한 분포형을 선정한다. 홍수량 자료에 대한 moving average를 사용하여 지속시간 별 경험적 QdF 곡선을 작성하고 이론적 QdF 곡선 산정을 위한 적합한 확률분포 선정과 계수 산정기법에 따른 QdF를 분석하였다.

## 2. 홍수량-재현기간-빈도(flood-duration-frequency: QdF) 해석

하천흐름-지속시간-빈도 곡선은 Galea와 Prudhomme(1993)에 의하여 소개되었다. Galea와 Prudhomme이 제시한 이러한 형태의 곡선들은 오랜 기간동안 통계적인 해석과 모형의 제시 없이 경험곡선으로 사용되어져 왔다. Galea와 Prudhomme(1994, 1995)는 지속시간, 홍수량의 적합한 scaling을 이용한 홍수량-지속시간-빈도(QdF; flood-duration-frequency)곡선을 제시하였다. 또한 그들은 획득된 무차원 QdF곡선은 유역의 크기와 지역의 기후조건에 크게 영향 받지 않음을 발견하였다. 수리학적 구조물에 대한 설계나 홍수 지도 작성을 할 경우, 지속시간, 빈도에 따른 첨두홍수량에 대한 정보를 제공하는 것이 절실히 요구된다고 하겠다. 비슷한 접근법으로 첨두홍수량-홍수체적 분석은 Ashkar (1980)가 처음으로 시도하였다. QdF 분석은 강우에 대하여 공통적으로 이용되는 강우 강도-지속시간-빈도(IdF; intensity-duration-frequency) 분석과 유사하다. 평균 유량은 서로 다른 고정 기간  $d$ 에 대하여 계산한다. 그리고 각각의 기간에 대하여 최대 유량의 빈도 분석을 통하여 분석이 이루어진다. 강우에 대한 IDF 분석과는 다르게 QdF 분석은 그 무한한 가능성에도 불구하고 충분히 개발되고 적용되지 않고 있는 실정이다 (NERC, 1975; Sherwood, 1994; Balocki and Bruges, 1994; Galea and Prudhomme, 1997). 최근에 Javelle 등 (1999)이 ‘작은 재현기간을 가지는 서로 다른 유량들 사이에는 수렴한다’라는 가정에 기반을 둔 수렴-QdF 모형을 제안하였다. 위 가정은 프랑스, Martinique와 캐나다에 위치한 유역들에 대하여 성공적으로 실험이 이루어지면서 공식적인 가정으로 인정되었다(Javelle 등, 2000; Meunier, 2001; Javelle, 2001). 도시유역 홍수위험도 QdF 분석체계 개념은 먼저 대상 지점의 수위자료와 수위-유량 관계곡선식 이력 자료를 획득하여 홍수량 자료로 산정 후 자료의 정상성과 이상치를 분석하고 가용자료에 대하여 본 연구에 사용된 여러 지속시간 즉 1, 3, 5, 10, 15, 20, 24, 30 시간에 대한 첨두홍수량을 산정하기 위하여 이동평균 시계열 자료를 구성하였다. 각 지속시간에 대응하는 연 최대 홍수량 자료를 내림차순으로 정리한 뒤 재현기간에 대한 경험적 QdF 곡선을 작성하였다. 경험적 QdF 곡선에 대응하는 확률 분포형을 선정하는 과정과 확률 분포형에 타당한 계수 산정과정을 거쳐 이론적 QdF 곡선을 작성하였다. 이러한 이론적 QdF 곡선은 유역마다 특성에 타당한 적합 확률 분포형 선정과 QdF 곡선 작성이 필요하다.

## 3. 적용 및 분석

홍수빈도분석과 홍수-지속시간-빈도 분석을 위하여 한강대교 지점과 여주 지점 수위-유량 관계 곡선식 이력 자료를 수집하였다. 한강 수계는 다목적댐 등 여러 댐으로 인한 인위조절 영향이 크므로 자연유량 산정을 위한 filtering이나 댐 건설 전후 자료 필요하다. 그러나 댐 유입 및 방류량의 시간 자료를 확보하지 못한 한계로 인하여 관측홍수량의 댐 영향 filtering 없이 사용하였다. 한강수계 수위 관측지점의 자료년수, 결측년수 등 관측 자료에 대한 기본정보와 자료QC를 통하여 가용자료를 생산하였다. 표1과 2에서 제시한 바와 같이 한강대교

오 여주 지점에 대한 경험적 QdF 곡선과 이론적 QdF 곡선을 작성하였으며 유역특성에 따라 다른 형태의 QdF 곡선을 보여주는 것을 알 수 있다. 즉 여주의 경우 지속시간과 재현 빈도의 증가에 따라 홍수량의 변화 폭이 커지는 일반적인 변화 형태를 보였다. 이는 상류의 인위적인 영향을 비교적 적게 받는 유역 홍수량 변화의 대표적인 형태이다. 이에 반하여 한강대교 지점의 경험적 QdF 곡선의 변화 형태는 지속시간과 재현기간의 증가에도 불구하고 홍수량 변화가 증폭하지 않고 매우 일정한 변화를 보인다. 이는 유역이 매우 크며 상류 댐에 의하여 인위적 영향의 결과로 판단된다. 그러므로 이론적 QdF 곡선 작성을 위하여 대상 지점 전체를 대표하는 하나의 확률 분포형 선정보다 지점에 따라 적합한 확률분포의 선정이 필요하다. 이론적 QdF 곡선 산정을 위한 확률 분포 선정 및 계수 산정과  $\chi^2$  검정과 K-S 검정법을 사용하여 각 분포의 적합성을 검정한 결과를 제시하였다.

한강대교 지점의 경우 적합 분포형임에도 불구하고 특히 긴 재현기간에 대한 홍수량에 있어 큰 차이를 보이고 있다. 전반적인 QdF 곡선 형태는 GPAR 분포에 따른 이론적 QdF 곡선이 경험적 QdF 곡선을 가장 잘 나타내고 있다. 그러나 재현기간 10년-50년 구간이 과소 추정되는 단점과 장기적으로 수렴하는 형태를 지니므로 장기 재현기간에 대하여 다른 분포형에 의한 산정값 보다 홍수량을 과소 추정하는 것으로 나타났다. 여주 지점 전체 자료에 대한 경험적 QdF 곡선과 각종 분포형에 대한 이론적 QdF 곡선, 지속시간 별 이론적 QdF 곡선에 대한 최우도 방법, 모멘트 방법, 확률 가중 모멘트 방법을 이용하여 산정 계수를 이용한 곡선을 나타낸다. 여주 지점의 QdF 곡선의 변화 형태는 전형적인 재현기간 및 지속시간에 따른 변화 양상을 잘 보여준다. 여주 지점에 대해서는 GEV 분포에 적합시킨 이론적 QdF 곡선이 전체 변화를 잘 나타낸다.

표 1. 한강대교 지점의 경험적 및 이론적 QdF 곡선과 선정 분포형에 대한 산정계수, 검정통계량

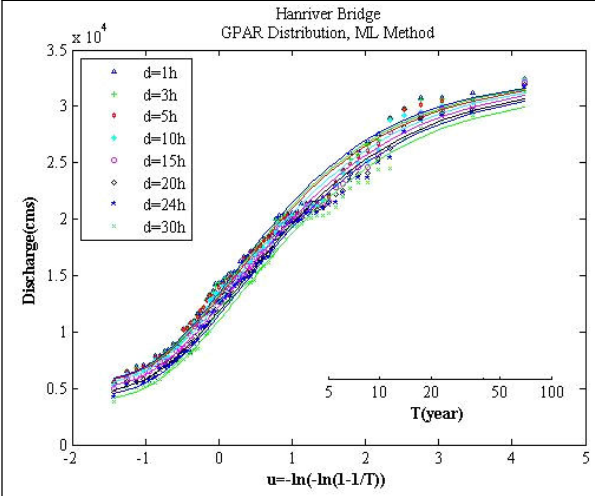
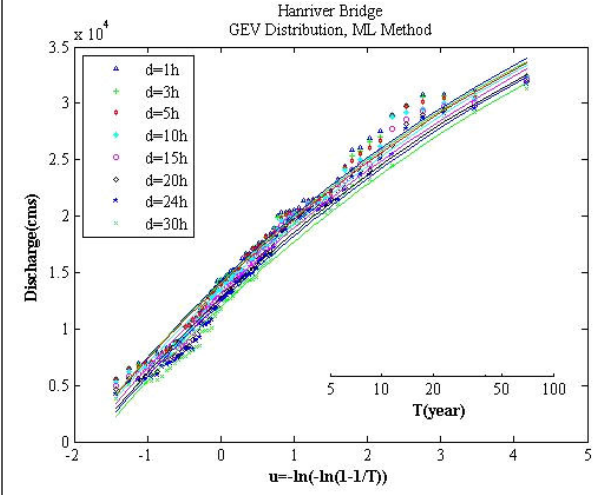
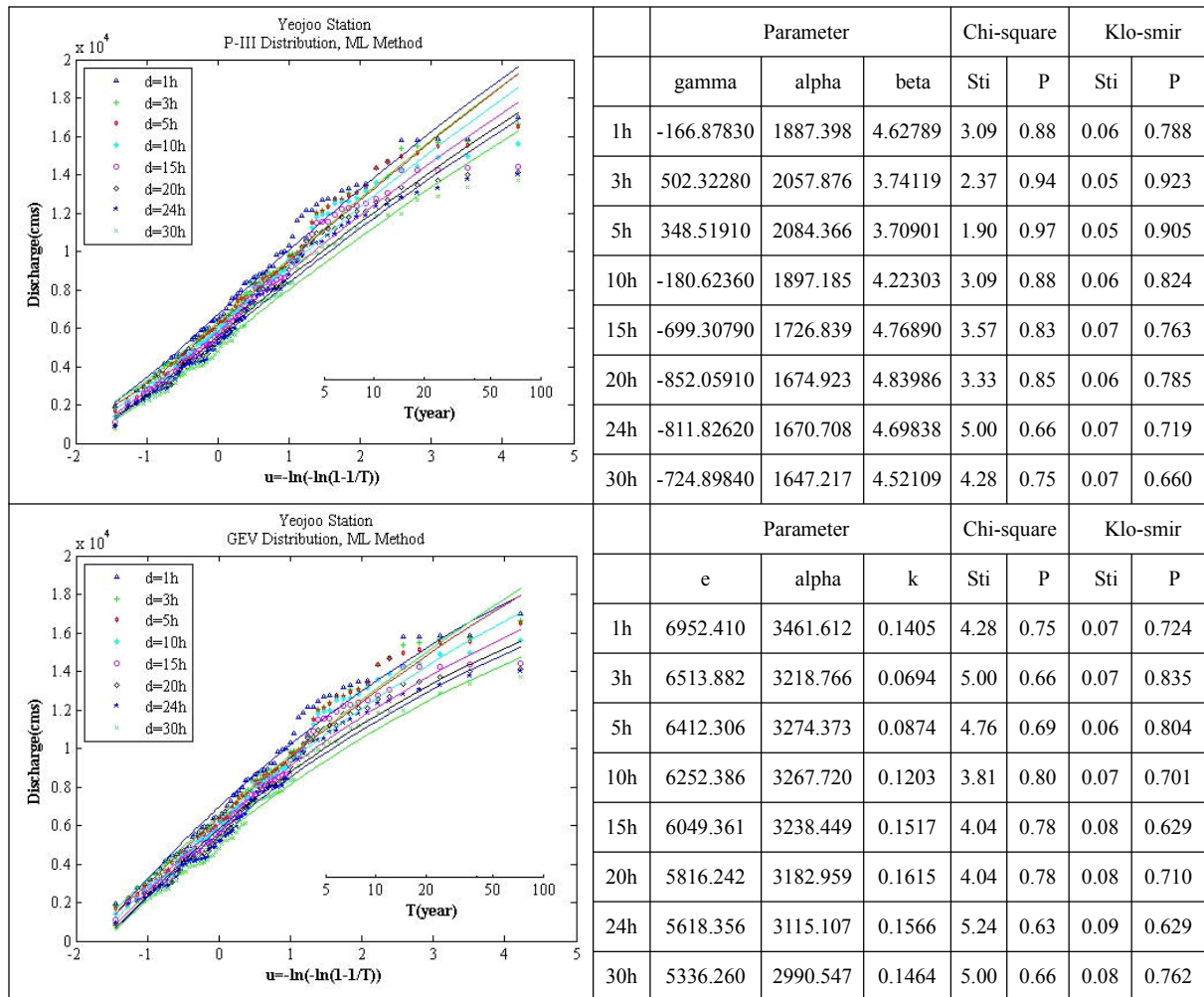
	Parameter			Chi-square		Klo-smir	
	e	alpha	k	Sti	P	Sti	P
1h	5586.1	20212.18	0.74213	3.750	0.81	0.090	0.608
3h	5545.0	19740.27	0.72379	4.250	0.75	0.090	0.686
5h	5487.7	19390.09	0.70956	3.750	0.81	0.080	0.757
10h	5293.7	18748.45	0.68146	5.000	0.66	0.080	0.840
15h	4983.0	18370.26	0.66223	5.250	0.63	0.070	0.941
20h	4599.0	18191.24	0.65120	3.000	0.89	0.050	0.992
24h	4259.0	18167.74	0.64787	3.000	0.89	0.060	0.971
30h	3838.2	17991.14	0.64065	5.000	0.66	0.060	0.957
	Parameter			Chi-square		Klo-smir	
u	alpha	k	Sti	P	Sti	P	
1h	14194.1	6293.95	0.14276	4.250	0.75	0.070	0.909
3h	14073.6	6235.55	0.14106	4.250	0.75	0.070	0.920
5h	13938.2	6192.72	0.13799	3.750	0.81	0.070	0.938
10h	13552.9	6151.79	0.12972	2.000	0.96	0.060	0.954
15h	13145.3	6179.70	0.13000	2.250	0.95	0.080	0.807
20h	12738.7	6225.56	0.13458	4.500	0.72	0.070	0.869
24h	12417.2	6213.52	0.13283	4.750	0.69	0.090	0.723
30h	11953.1	6161.87	0.12828	6.500	0.48	0.090	0.694

표 2. 여주 지점의 경험적 및 이론적 QdF 곡선과 선정 분포형에 대한 산정계수, 검정통계량



#### 4. 결론

제시된 QdF 분석결과는 적합 확률분포와 계수 산정 방법에 따라 매우 다른 홍수량을 보여 주므로 적정 분포 선정이 매우 중요함을 알 수 있다. 전체적인 곡선 형태에 따른 적합성과 달리 정량적인 관점에서 볼 때 한강대교의 계획 홍수량 37,000 cms와 여주 지점의 계획 홍수량 15,600 cms에 타당한 분포형으로는 한강대교 지점의 경우 GEV 분포에 대하여 최우도법과 모멘트법을 이용한 계수 산정의 경우와 Weibull 분포에 대하여 모멘트법을 이용하여 계수를 산정한 두 경우가 200년 빈도 홍수량이 약 37,000 cms로 나타나 타당하다고 하겠다. 전체적인 형태는 GPAR 분포가 잘 모사하고 있으나 200년 빈도 홍수량이 약 32,000 - 33,000 cms로 나타나 다소 과소 추정되는 것으로 나타났다. 여주 지점에 대하여는 전체 분포형이 계획 홍수량 보다 크게 나타났으며 GPAR분포에 대한 최우도법을 이용한 계수 산정의 경우가 지속시간 1시간에 대하여 가장 낮은 200년 빈도 홍수량을 보여주었음에도 불구하고 16,800 cms로 나타나 여주 지점에 대한 설계홍수량 보다 크게 나타났다. 이는 강우-유출 관계식을 사용한 홍수량 산정 시 과대 추정되는 한계에 기인한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(과제명: 내배수 침수재해 저감기술개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.