

한강 고안 지점의 환산수위를 이용한 확률홍수량 산정

The Estimation of Frequency-Based Flood Discharge
by Using Reduced Water Level at GOAN Station in HAN River

이승재*, 서규우**, 허준행***, 조원철****

1. 서 론

본 연구는 한강 고안지점의 새로운 수위-유량 관계곡선을 확립하고, 이를 기준 수위-유량 관계 곡선으로 하여 과거수위자료를 현하상 상태하의 수위로 환산하며, 환산홍수위와 과거홍수량 자료를 이용하여 확률홍수량을 산정하는 데 그 목적이 있다.

팔당댐 하류 수위자료와 유량자료는 홍수시나 갈수시를 망라하고 한강하류부의 홍수관리, 용수 관리 및 수자원의 변동상태를 파악할 수 있는 중요한 기본 자료가 된다. 수문량의 해석으로 얻어지는 수위-유량 관계곡선은 수위관측 자료를 유출량으로 환산시켜 수문자료 해석에 활용할 수 있게 하는 매우 중요한 상관곡선이다. 그러나 자연하천에서는 하도의 구성재료와 유수의 작용에 의해 수위 관측지점에 단면변화가 일어나고, 이로 인하여 과거에 수립된 수위-유량 관계곡선은 적합하지 않게 되어 하상의 경년변화에 따른 새로운 수위-유량 관계곡선의 유도가 필요하다. 하천의 수위자료는 실측되어지는 기본 수문자료이나 관측지점의 변동, 수공구조물의 건설, 토지이용의 변화 등에 따라 수집되어진 자료의 동질성에 영향을 받는다. 그러므로 기왕의 수위자료를 이용하기 위해서는 기준화시킬 필요가 있다. 또한, 수자원계획과 수공구조물의 계획규모와 설계를 위해서는 구조물의 수문학적인 요소와 자연현상을 고려하여 산정된 확률홍수량이 필요하다.

연구 대상지점으로 한강의 주요 수위관측지점인 팔당댐 하류 고안지점을 택하였으며, 1994년 단면을 기준으로 분석하였다. 수리모형실험에서 획득된 수위-유량자료를 이용하여 기준 수위-유량 관계곡선을 확립하였고, 이를 바탕으로 과거의 홍수위자료를 현하상하의 수위(환산수위)로 환산하였다. 환산홍수위와 홍수량자료에 수문사상에서 많이 사용되는 확률분포형을 적용하여 확률가중 모멘트법으로 매개변수를 추정하고, 적합도 검정으로 최적분포형을 선정한 후, 빈도해석을 통해 재현기간별로 확률홍수위 및 확률홍수량을 산정하였다.

한강 고안 수위관측소의 경년별 하상단면변화를 파악하기 위하여 1977년에서 1994년까지 측정

* 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정
** 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정
*** 연세대학교 토목공학과 조교수
**** 연세대학교 토목공학과 정교수

된 횡단면 자료를 그림 1에 나타내었고, 고안지점의 수위-유량 관계곡선의 변화를 알아보기 위해 기왕의 수위-유량 관계곡선식을 표 1에 수록하였다.

표 1. 고안 지점에 대한 기왕의 수위-유량 관계곡선식^{1,5,6,7)}

<단위 : 수위(El.m), 유량(cms) >

번호	h (m)	Q (cms)	수 록 문 헌	비 고
1	$h \geq 5.5$ $1.20 \leq h \leq 5.5$ $h \leq 1.20$	$Q = -6141.47 + 1767.11h + 25.73h^2$ $Q = 46h^{2.66}$ $Q = 4.60 - 139.00h + 82.62h^2$	조선하천조사서 (1929)	· 위 치 : 경기도 남양주군 와부면 능내리 · 관리기관 : 한강홍수통제소 · 관측개시일 : 1914. 11. · 영점표고 변동사항 : - 1914. 11. ~ 1967. 8. <EL. 10.284 m> - 1967. 8. ~ 1981. 12. <EL. 10.255 m> - 1981. 12. ~ 현재 <EL. 8.795 m> · 기타 변동사항 - 1968. 12. 수위표 변동 <고안(을) → 고안> - 1973. 12. 팔당댐 완공 - 1974. 7. T/M 설치 - 1978. 5. 수문관측소 단일화계획에 의거 통제함 <한강 T/M 이용> · 유역면적 : 23,608 km ² <한강전체의 87.7%>
2	$1.00 < h < 2.45$ $2.45 < h < 12.00$	$Q = 19.61 - 92.17h + 108.30h^2$ $Q = 59.49 - 181.18h + 137.95h^2$	한국수문조사서 (1963)	
3	전범위	$Q = 71.80 - 239.99h + 200.56h^2$	한국하천요람 제2편 (1958)	
4	$h \leq 2.00$ $h > 2.00$	$Q = 0.078 - 4.36h + 60.60h^2$ $Q = 48.02h^{2.496}$	한국수문조사연보 (1964)	
5	$h \geq 2.30$	$Q = 88.0h^{2.16}$	한강유역조사사업 1968년도 성과보고서 (1969)	
6	전범위	$Q = 103.32h^{2.073}$	한강홍수예경보 (1986) 한국수문조사연보 (1965)	
7	$h < 11.26$ $h \geq 11.26$	$Q = 16.36h^{2.98}$ $Q = 1160.21h^{1.27}$	한국수문조사연보(1978)	
8		$Q = 3025 - 1867.12h + 130.76h^2$	한강홍수예경보 program 및 정수분석보고서 (1978)	
9	$h \leq 7.0$ $7.0 < h < 13.5$	$Q = 100.872h^{2.2897}$ $Q = 226.5648h^{1.8639}$		
10	$h \leq 7.0$ $h > 7.0$	$Q = 100.872h^{2.2897}$ $Q = 177.246h^{1.981}$	충주다목적댐 건설에 따른 한강홍수예경보 프로그램 개선보고서 (1985)	
11	$h < 5.9$ $h \geq 5.9$	$Q = 198.244h^{1.91187}$ $Q = 226.5648h^{1.8369}$	한강홍수예경보(1986)	

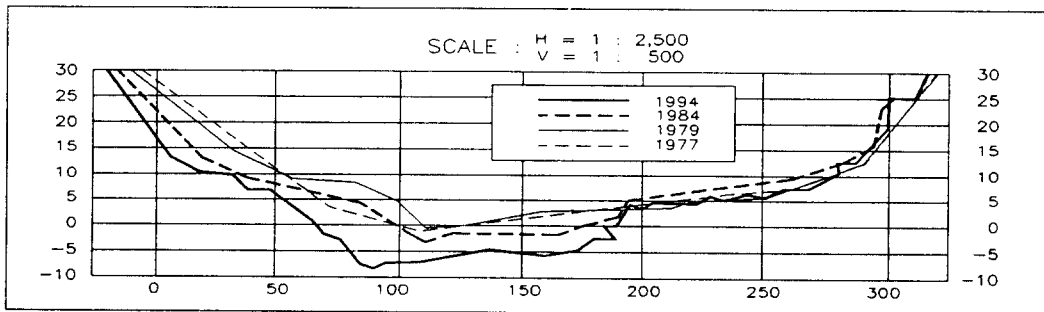


그림 1. 고안지점의 횡단면 변화도(1977, 79, 84, 94)^{1,3,7)}

2. 수위-유량 관계곡선의 확립

하상이 경년별로 변화함에 따라 발생하는 수위-유량 관계곡선의 오차를 보완하고자, 고안 지점

을 중심으로 한 한강의 팔당댐 하류부가 현재 안정하도에 가까운 평형하천 상태를 유지하는 것으로 가정하여 연구를 진행하였다. 기본자료로는 ‘팔당댐 방류량 산정 개선에 관한 연구’에 대한 수리모형실험에서 획득된 수위 대 유량자료를 사용하였다. 이 자료를 최소자승법으로 회귀분석하여 회귀계수와 상관계수를 추정하였으며, 저유량 및 고유량에 대한 적합도를 고려하여 새로운 수위-유량 관계곡선을 유도하였고, 이를 고안지점의 기준 수위-유량 관계곡선으로 확립하였다. 식 (1)은 기준 수위-유량 관계곡선식이며, 그림 2에 1986년 수위-유량 관계곡선과 비교하여 나타내었다.

$$Q = 67.8474 \cdot H^2 + 1120.08 \cdot H + 1415.58 \quad (H=\text{전범위}) \quad (1)$$

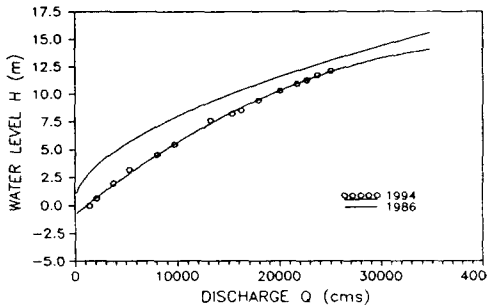


그림 2. 기준 수위-유량 관계곡선도

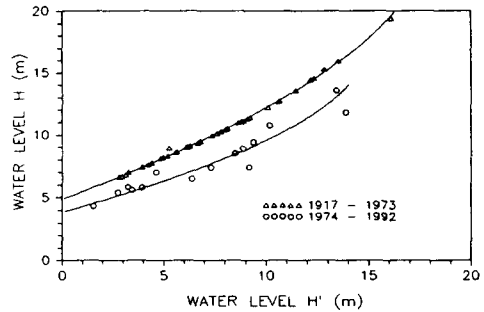


그림 3. 과거홍수위-환산홍수위 관계곡선도

3. 환산홍수위 산정

수위는 하천의 개수계획 수립시나 홍수의 규모를 파악하는 척도가 되는 수문량으로서 유량과 달리 항시 측정되고 있다. 그러나 수위관측지점의 횡단면변화와 자료의 동질성에 영향을 미치는 제반요소의 변동에 따라 동일한 유량에도 각기 다른 수위를 나타낸다.

고안지점에서의 계획하폭변화에 따른 연최고수위 자료의 동질성을 기준화시키는 방법으로 하천 단면에 대한 기하학적인 특성이 변한다고 할 때도 그 단면에서의 유량에는 변화가 없다고 간주, 과거 유량이 현 단면하에서도 동일한 규모의 유량을 나타낸다고 가정하여 1917년 이후 연최고수위자료를 팔당댐 완공 이전(1971~1973)과 완공 이후(1974~1992)의 두기간으로 나누어서 식 (1)의 기준 수위-유량 관계곡선식을 이용하여 현하상 상태하의 수위로 환산하였다.

과거수위-환산수위 관계식은 식 (2), (3)과 같으며, 그림 3에 과거수위-환산수위 관계곡선을 도시하였고, 표 2에 과거홍수위(H)와 환산홍수위(H')를 수록하였다.

$$H' = -0.0368 \cdot H^2 + 1.9896 \cdot H - 8.7670 \quad (1917 \sim 1973) \quad (2)$$

$$H' = -0.0730 \cdot H^2 + 2.6136 \cdot H - 8.7606 \quad (1974 \sim 1992) \quad (3)$$

표 2. 과거홍수위와 환산홍수위^{1,4,6)}

<단위 : 수위(El.m), 유량(cms) >

발생일	관측수위	유량	환산수위	발생일	관측수위	유량	환산수위	발생일	관측수위	유량	환산수위
1917 9. 5	7.62	7,400	4.25	1938 9. 5	8.15	8,600	4.94	1971 8.12	8.30	9,100	5.21
1918 8.17	9.46	12,100	6.77	1939 5.13	3.50	1,100	- 0.29	1972 8.19	15.94	29,000	13.53
1919 7. 7	11.08	16,600	8.83	1940 9. 4	13.58	23,100	11.44	1973 9. 1	7.40	6,900	3.95
1920 7. 8	13.56	23,100	11.44	1946 7.12	6.65	5,300	2.94	1974 7. 9	8.94	9,180	5.26
1921 7. 7	8.65	9,900	5.64	1947 8. 7	10.46	14,900	8.08	1975 7.28	8.50	15,790	8.48
1922 7.30	12.75	21,000	10.63	1954 7.29	9.02	10,860	6.14	1976 8.14	9.41	17,880	9.38
1923 8. 2	9.47	12,200	6.81	1955 7. 4	8.28	9,020	5.17	1977 7.14	6.48	11,340	6.39
1924 7.25	10.50	15,000	8.13	1956 7.16	9.95	13,350	7.37	1978 8.20	10.75	19,840	10.18
1925 7.18	19.38	37,000	16.09	1957 7.18	7.76	7,720	4.44	1979 6.26	8.52	15,830	8.50
1926 8. 6	11.05	16,500	8.79	1958 9. 6	11.40	17,500	9.22	1980 7.23	7.37	13,270	7.33
1927 7.15	10.24	14,200	7.76	1959 9. 1	11.12	16,760	8.90	1981 9. 2	8.89	16,680	8.87
1928 9.16	6.79	5,580	3.13	1960 6.29	8.20	8,700	4.99	1982 8.15	5.80	6,920	3.96
1929 8.18	6.60	5,100	2.81	1961 7.13	7.00	5,800	3.27	1983 9. 1	7.40	17,430	9.19
1930 7.14	12.20	19,700	10.12	1962 9. 8	8.60	9,800	5.59	1984 9. 2	11.80	30,130	13.91
1931 8.20	9.00	10,800	6.11	1963 7.18	10.44	14,760	8.02	1985 10.14	5.61	6,120	3.47
1932 8.31	10.28	14,300	7.81	1964 8.12	10.12	13,860	7.60	1986 8.29	5.84	5,790	3.26
1933 7.30	9.37	11,900	6.67	1965 7.16	15.27	27,000	12.85	1987 8.31	7.00	8,080	4.64
1934 7.24	9.10	11,100	6.27	1966 7.26	14.42	25,100	12.17	1988 7.14	5.41	5,040	2.77
1935 7.23	12.70	20,900	10.60	1967 7.20	8.12	8,500	4.88	1989 7.28	4.32	3,330	1.56
1936 8.12	14.55	25,500	12.32	1968 8.24	8.20	8,700	4.99	1990 9.12	13.55	28,693	13.43
1937 7.20	9.03	10,900	6.17	1969 7.31	11.30	17,300	9.13	1991 7.25	5.19	5,348	2.97
				1970 9.18	10.97	16,210	8.66	1992 8.27	2.60	1,705	0.25

4. 확률홍수량 산정

표 2의 과거홍수량과 환산홍수위 자료를 기본자료로 하여 여기에 10 가지 확률분포형 (gamma-2, gamma-3, GEV, Gumbel, log-Gumbel-2, lognormal-2, lognormal-3, log-pearson type III, Weibull-2, Weibull-3 분포)을 적용하였으며, 확률가중 모멘트법으로 매개변수를 추정하고, 추정된 매개변수의 적합성유무를 판별하였으며, 표 3에 수록하였다.

표 3. 확률분포형의 매개변수와 적합성

적용분포형	lacion parameter	X _{MIN}	X _{MAX}	scale parameter	shape parameter	판정	적용분포형	lacion parameter	X _{MIN}	X _{MAX}	scale parameter	shape parameter	판정
gamma-2	0.000	1100	37000	4094.506	3.391	O-K	lognormal-2	0.000	1100	37000	9.440	0.546	O-K
gamma-3	-18.848	1100	37000	4088.782	3.400	O-K	lognormal-3	-6083.683	1100	37000	9.834	0.368	O-K
GEV	10431.690	1100	37000	5838.968	-0.014	O-K	log-Pearson III	11.208	1100	37000	-0.188	9.683	O-K
Gumbel	10469.380	1100	37000	5916.194		O-K	Weibull-2	0.000	1100	37000	15663.590	1.980	O-K
log-Gumbel 2	0.000	1100	37000	9701.838	2.678	O-K	Weibull-3	2366.561	1100	37000	12826.900	1.575	N-G

추정된 매개변수가 적합성조건을 만족시키는 분포형에 대하여 χ^2 검정, Kolmogorov-Smirnov(K-S) 검정, Cramer Von Mises(CVM) 검정의 방법으로 적합도 검정을 한 결과, 가장 적합도가 좋은 확률분포형은 Gamma-2, Gamma-3 분포형이었고, 그 다음으로 GEV, Gumbel, lognormal-2의 확률분포형이었다. 본 적합도 검정에 의해 Gamma 2 확률분포형을 최적확률분포형으로 선정하여 확률홍수량과 확률홍수위를 산정하였다. 표 4에 매개변수의 적합도 검정결과를 수록하였다.

표 4. 매개변수의 적합도 검정

적용분포형	검정방법	유량자료			적용분포형	검정방법	유량자료		
		계산값	표값	판정			계산값	표값	판정
gamma-2	χ^2 검정	0.10	7.81	Ho	lognormal-2	χ^2 검정	2.05	7.81	Ho
	K-S 검정	0.05	0.15	Ho		K-S 검정	0.15	0.08	Ho
	CVM 검정	0.02	0.46	Ho		CVM 검정	0.46	0.03	Ho
gamma-3	χ^2 검정	0.10	5.99	Ho	lognormal-3	χ^2 검정	2.24	5.99	Ho
	K-S 검정	0.05	0.15	Ho		K-S 검정	0.06	0.15	Ho
	CVM 검정	0.02	0.46	Ho		CVM 검정	0.03	0.46	Ho
GEV	χ^2 검정	2.24	5.59	Ho	log-Pearson type III	χ^2 검정	2.65	0.00	Ho
	K-S 검정	0.06	0.15	Ho		K-S 검정	0.07	0.15	Ho
	CVM 검정	0.46	0.03	Ho		CVM 검정	0.07	0.46	Ho
Gumbel	χ^2 검정	2.05	11.07	Ho	Weibull-2	χ^2 검정	3.19	7.81	Ho
	K-S 검정	0.06	0.15	Ho		K-S 검정	0.07	0.15	Ho
	CVM 검정	0.03	0.46	Ho		CVM 검정	0.04	0.46	Ho
log-Gumbel-2	χ^2 검정	8.14	7.81	Ha	Weibull-3	χ^2 검정	N-G		
	K-S 검정	0.13	0.15	Ho		K-S 검정			
	CVM 검정	0.33	0.46	Ho		CVM 검정			

Ho : 채택, Ha : 기각, N-G : 모수적합성 기각

적합도 검정에서 채택된 확률분포형들에 대해 각기 재현기간별로 확률홍수량과 홍수위를 구하였으며, 표 5에 Gamma-2 분포형에 의한 확률홍수량과 확률홍수위를 수록하였다. Gamma-2 분포형에 의한 확률홍수량과 확률홍수위를 기준으로 하여 회귀식을 구하였고, 아래 식 (4), (5)와 같다. Gamma-2 분포형에 의한 확률홍수량을 정규확률지에 도시하여 그림 4에 나타내었다.

$$Q = 5748.07 \cdot \text{LN}(T) + 10099.5 \quad (4)$$

$$H = 1.9258 \cdot \text{LN}(T) + 6.8353 \quad (5)$$

표 5. 재현기간에 따른 확률홍수량과 확률홍수위

재현기간 (year)	Gamma-2 (cms)	Gamma-2 (H)
2	12546.1	6.98
10	23994.8	11.77
20	28147.3	13.24
50	33329.3	14.95
100	37091.0	16.12
200	40751.6	17.20
300	42855.8	17.80
400	44333.8	18.22
500	45473.0	18.53
1000	48977.5	19.48

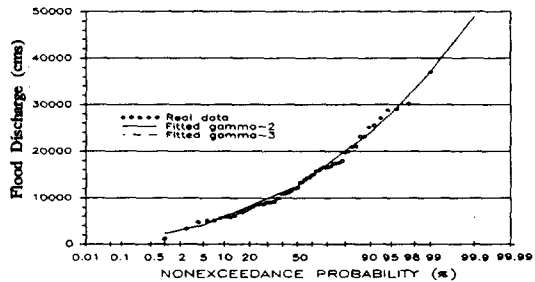


그림 4. 고안지점의 확률홍수량 도시도 (정규 확률지)

5. 비교 고찰

그림 2에서 1986년 수위-유량 관계곡선과 본 연구에서 확립한 기준 수위-유량 관계곡선을 비교해 보면, 그림 1의 하천단면의 비교에서도 알 수 있듯이 10여년의 시간이 경과되면서 평균적으로

하상이 2~3 m 정도 저하된 결과를 확인할 수 있었다. 15,000cms 이하의 유량에서는 동일유량에 대해 2~3 m 정도의 수위저하를 확인할 수 있었고 15,000cms 이상의 유량에 대해서도 1~2 m 정도의 수위저하를 확인하였다.

한강 유역내 기왕의 최대치였던 대홍수들을 본 연구에서 산정한 환산수위와 회귀식에 의해 비교해 보면 다음의 표 6과 같다. 여기서 1984년의 홍수량은 결측되어 팔당댐의 침투방류량으로 대체하였다.²⁾ 표 6에서 보듯이 기왕의 최대홍수량들을 현단면에 의한 환산수위로 재산정해 본결과 1925년의 37,000 cms는 재현기간 98년에 해당되며, 그외는 재현기간이 상당히 낮았다.

표 6. 고안지점에서의 기왕의 최대홍수 비교^{4,8)}

발생년도		1925	1966	1972	1984	1990
홍수량		37,000	25,100	29,000	30,130	28,693
최고수위	관측수위	19.38	14.42	15.94	11.80	13.55
	환산수위	16.09	12.17	13.53	13.91	13.44
재현기간		98	12	23	28	22

6. 결 론

본 연구에서는 수위-유량 관계곡선의 오차를 보완하고자 현 하상상태의 기준 수위-유량 관계곡선을 확립한 후, 기왕의 홍수위 자료의 통일을 기하기 위해 환산수위를 산정하였으며, 환산홍수위 자료와 과거홍수량 자료를 기본자료로 하여 빈도해석을 통해 확률홍수위 및 확률홍수량을 산정하였고, 얻어진 결론은 다음과 같다.

- ① 고안 지점의 새로운 수위-유량 관계곡선 확립
- ② 기왕의 관측최고수위를 현하상상태하에서의 수위환산 및 관계식 확립
- ③ 고안지점의 확률홍수위 및 확률홍수량 산정시 적정분포형은 Gamma-2, Gamma-3 분포

위의 확률홍수량 산정은 1948년~1953년 사이 결측치를 제외한 결과이므로 결측치 자료를 보완하거나 기타 방법 등을 통하여 보다 정확한 확률홍수량 산정이 요구된다.

7. 참고문헌

1. 건설기술연구원, 수위유량관계곡선 자료집, 1993.
2. 건설부, '84 대홍수, 1985. 8.
3. 건설부, 한강 하천정비 기본계획 보고서, 1977, 1978.
4. 건설부, 수문조사년보, 1964~1992.
5. 한국수자원공사, 한강유역조사보고서, pp 177-179, 1979.
6. 한국수자원공사, 전국하천조사보고서, pp II-387, 1992.
7. 한국전력공사, 팔당댐 방류량 산정에 관한 연구, 1995. 4
8. 이원환·조원철·허준행·서규우, "한강 인도교지점에서의 이상홍수 해석", 연세대학교 산업기술연구소 제26집 제1권, pp 29-37, 1994. 6.