

<講 座>

도시 유역에서의 빈도해석(II)  
Urban Hydrologic Frequency Analysis

편 집 부

$$\sum_x \text{prob}(X=X) = \int_x P_x(t) = 0 \quad (20)$$

식 (19)와 Fig. 2를 사용하여 Beargrass Creek data가 정규분포에 맞는지의 적합도를 판단할 수 있다. Fig. 3은 정규분포라는 가정하에서 몇개의 계급에 대한 관측치와 기대치의 빈도를 보여준다. Data는 Fig. 7에 plot되어 있다. Table. 3의 기대되는 상대 빈도수의 값들은 식 (19)와 정규분포에 근거를 두고 있다.

예를들어 2번째 계급에 대하여

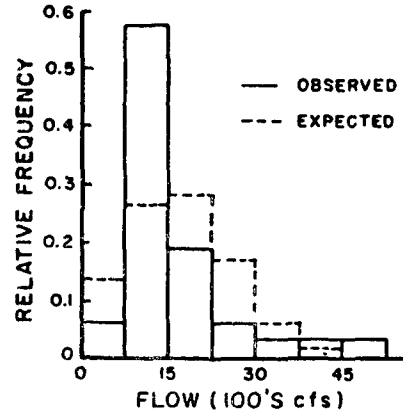
$$f_x(1125) = 750 \frac{1}{\sqrt{2\pi 1006^2}} e^{-1/2(1125-1500)^2/1006^2} = 0.267$$

관측치와 가정한 정규분포 사이의 두번째 시작적인 비교는 정규분포와 Fig. 3에 있는 data를 나타내는 방정식을 사용하여 할 수 있다. 즉 정규분포 가정하에 Fig. 3의 점들을 잇는 선을 긋기 위하여 식(11)을 사용한다.

여러가지의 Q 값에 대하여 prob(Q ≥ q)을 계산하고 prob(Q ≥ q)와 q의 관계를 plot해야 한다. prob(Q = q)는 0이고 Q는 q보다 작거나 커야 하므로 prob(Q ≥ q)는 1 - prob(Q ≤ q)와 같다. prob(Q ≥ q)을 얻기

**Table 4.** Comparison of Observed and Expected Cumulative Probabilities, Beargrass Creek Data(normal distribution)

Q	Observed % ≥ Q	Expected % ≤ Q	Expected % ≥ Q
700	100.0	18.7	81.3
1000	67.7	28.8	71.2
1500	35.5	46.0	54.0
2000	25.8	65.6	34.4
2500	9.6	81.6	18.4
3000	9.6	91.8	8.2
4000	3.2	99.2	0.8
5000	3.2	100.0	0.0
6000	0	100.0	0.0



**Fig 7.** Comparison of observed and expected (under assumption of normal distribution) number of observations in class intervals-Beargrass Creek data.

위하여 먼저 prob(Q ≤ q)을 계산한다. (14), (17)식은 Q=2,500 cfs에 대한 계산을 나타낸다. Table. 4는 여러가지 값의 Q에 대한 계산결과이다. Fig. 8에 prob(Q > q)와 q의 관계가 plot되어 있다.

Fig. 7이나 Fig. 8로부터 Beargrass Creek data에 정규분포가 만족스러운 만큼 근사하지 않는다는 것을 분명히 알 수 있으며 자료에 알맞는 다른 확률 분포 함수를 찾아야 한다. 이것은 정규분포에 대하여 사용한 식 (10), (11) 대신에 pdf와 cdf로 사용할 다른 수학적 함수를 찾아야 하는 것을 의미한다. 여기에는 많은 함수가 있으며 또한 이러한 표현도 확률 분포로 알려져 있다. 홍수 빈도를 기술하는데 있어서 가장 관심을 끄는 3개의 확률 분포는 대수 정규분포(LN) type I 극치분포(EVI), log Pearson type III 분포(LP3)이며, 이 3개의 분포만을 고려한다. Beargrass Creek data를 상대빈도 histogram으로 plot했을 때 왼쪽보다는 훨씬 더 오른쪽으로 꼬리가 잘려져 있는 것을 주의했다. 오른쪽으로 꼬리가 잘린 것은 양의 왜곡도를 갖는다. 정규 분포는 평균에 대하여 대칭이고, 왜곡도는 0이다. LN, EVI, LP3 분포는 양의 왜곡도를 갖는 data에 적용할 수 있다.

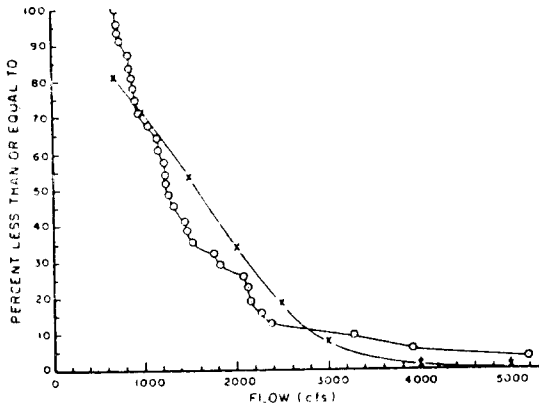


Fig 8. Comparison of flood frequency-Beargrass Creek data-observed and normal distribution.

LN 분포에 있어서 왜곡도  $r$  와 coefficient of variation  $C_v$  는 다음 관계가 있다.

$$r = 3C_v + C_v^3 \quad (20)$$

EV I 분포에 있어서  $r$  는 1.139 이며 LP 3 분포에 있어서는  $r$  값에 대해서는 제한이 없다.

LN, EV I, LP 3 분포에 대하여 pdf 와 cdf 의 식을 표시할 수 있으며 정규 분포에서 행한 방법과 비슷한 방법으로 생각할 수 있다. 그러나 더 간단한 방법을 얻을 수 있으므로 반드시 이렇게 할 필요는 없다. 이러한 분포들에 대하여 더 자세한 설명은 Hann(1977) 을 참고할 수 있다.

Chow(1951)는 여러 종류의 빈도 해석은 다음과 같이 된다는 것을 밝혔다.

$$X_T = \bar{X}(1 + C_v K_T)$$

여기서  $X_T$  는 재현기간  $T$  를 갖는 홍수량의 크기이고  $\bar{X}$  는 원래 data 의 평균이고,  $C_v$  는 원래 data 의 분산계수(coefficient variation)이면,  $K_T$  는 frequency factor 인데 이는 선택된 확률 분포와 원래 data 의 특성의 함수이다.

$C_v$  의 함수로서의 LN 분포에 대한 frequency factor 는 Table 5 에 포함되어 있다. Table 6 은 EVI 분포에 대한 frequency factor 를 포함하고 있다. 이 분포에 대한  $K_T$  를 선택하는데 필요한 것은 sample size 와 요구되는 재현기간이다.

Log Pearson Type III 분포를 사용하는 순서는 다음과 같다.

1.  $n$  개의 원래 관측치는 변형한다. 다음 관계로서  $X_i$  를 이에 log 를 취한 값인  $Y_i$  로 치환한다.

$$Y_i = \log X_i \quad (22)$$

2. log 를 취한 값의 평균인  $\bar{Y}$  를 계산한다.

3.  $Y_i$  의 표준편차  $S_y$  를 계산한다.
4. coefficient of skewness  $C_s$  값을 구한다.

$$C_s = \frac{n^2 \sum Y_i^3 - 3n \sum Y_i \sum Y_i^2 + 2(\sum Y_i)^3}{n(n-1)(n-2)s_y^3} \quad (23)$$

또는

Table 5. Frequency Factors for Lognormal Distribution (Chow, 1964)

Return Period					Corresponding $C_v$
1.01	2	5	20	100	
-2.33	0	0.84	1.64	2.33	0
-2.25	-0.02	0.84	1.67	2.40	0.033
-2.18	-0.04	0.83	1.70	2.47	0.067
-2.11	-0.06	0.82	1.72	2.55	0.100
-2.04	-0.07	0.81	1.75	2.62	0.136
-1.98	-0.09	0.80	1.77	2.70	0.166
-1.91	-0.10	0.79	1.79	2.77	0.197
-1.85	-0.11	0.78	1.81	2.84	0.230
-1.79	-0.13	0.77	1.82	2.90	0.262
-1.74	-0.14	0.76	1.84	2.97	0.292
-1.68	-0.15	0.75	1.85	3.03	0.324
-1.63	-0.16	0.73	1.86	3.09	0.351
-1.58	-0.17	0.72	1.87	3.15	0.381
-1.54	-0.18	0.71	1.88	3.21	0.409
-1.49	-0.19	0.69	1.88	3.26	0.436
-1.45	-0.20	0.68	1.89	3.31	0.462
-1.41	-0.21	0.67	1.89	3.36	0.490
-1.38	-0.22	0.65	1.89	3.40	0.517
-1.34	-0.22	0.64	1.89	3.44	0.544
-1.31	-0.23	0.63	1.89	3.48	0.570
-1.28	-0.24	0.61	1.89	3.52	0.596
-1.25	-0.24	0.60	1.89	3.55	0.620
-1.22	-0.25	0.59	1.89	3.59	0.643
-1.20	-0.25	0.58	1.88	3.62	0.667
-1.17	-0.26	0.57	1.88	3.65	0.691
-1.15	-0.26	0.56	1.88	3.67	0.713
-1.12	-0.26	0.55	1.87	3.70	0.734
-1.10	-0.27	0.54	1.87	3.72	0.755
-1.08	-0.27	0.53	1.86	3.74	0.776
-1.06	-0.27	0.52	1.86	3.76	0.796
-1.04	-0.28	0.51	1.85	3.78	0.818
-1.01	-0.28	0.49	1.84	3.81	0.857
-0.98	-0.29	0.47	1.83	3.84	0.895
-0.95	-0.29	0.46	1.81	3.87	0.930
-0.92	-0.29	0.44	1.80	3.89	0.966
-0.90	-0.29	0.42	1.78	3.91	1.000
-0.84	-0.30	0.39	1.75	3.93	1.081
-0.80	-0.30	0.37	1.71	3.95	1.155

**Table 6.** Frequency Factors for Extreme Value Type I Distribution

Sample size n	5	10	15	20	25	50	75	100	1000
15	0.967	1.703	2.117	2.410	2.632	3.321	3.721	4.005	6.265
20	0.919	1.625	2.023	2.302	2.517	3.179	3.563	3.836	6.006
25	0.888	1.575	1.963	2.235	2.444	3.088	3.463	3.729	5.842
30	0.866	1.541	1.922	2.188	2.393	3.026	3.393	3.653	5.727
35	0.851	1.516	1.891	2.152	2.354	2.979	3.341	3.598	
40	0.838	1.495	1.866	2.126	2.326	2.943	3.301	3.554	5.576
50	0.820	1.466	1.831	2.086	2.283	2.889	3.241	3.491	5.478
60	0.807	1.446	1.806	2.059	2.253	2.852	3.200	3.446	
70	0.797	1.430	1.788	2.038	2.230	2.824	3.169	3.413	5.359
80	0.788	1.417	1.773	2.020	2.212	2.802	3.145	3.387	
90	0.782	1.409	1.762	2.007	2.198	2.785	3.125	3.367	
100	0.779	1.401	1.752	1.998	2.187	2.770	3.109	3.349	5.261
∞	0.719	1.305	1.635	1.866	2.044	2.592	2.911	3.137	4.936

**Table 7.** Frequency Factors for Pearson Type III Distribution

Skew Coef $C_s$	Recurrence Interval in Years							
	1.0101	2	5	10	25	50	100	200
3.0	-0.667	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.8	-0.714	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.6	-0.769	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.4	-0.832	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.2	-0.905	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444
2.0	-0.990	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.8	-1.087	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.6	-1.197	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.4	-1.318	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.2	-1.449	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.0	-1.588	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
.8	-1.733	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
.6	-1.880	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
.4	-2.029	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
.2	-2.178	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0	-2.326	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-.2	-2.472	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388
-.4	-2.615	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-.6	-2.755	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-.8	-2.891	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-1.0	-3.022	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.2	-3.149	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.4	-3.271	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.6	-3.388	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.8	-3.499	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-2.0	-3.605	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.2	-3.705	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907
-2.4	-3.800	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.6	-3.889	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.8	-3.973	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-3.0	-4.051	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667

$$C_s = \frac{n \sum (Y_i - \bar{Y})^3}{(n-1)(n-2)s_y^3}$$

5.  $Y_T = \bar{Y} + S_y K_T$  (24)

여기서  $K_T$ 는 table 7에서 구한다.

위의 관계로 log를 취했다는 것만을 빼고는 식 (21)과 일치한다.

6.  $X_T = \text{anti log } Y_T$  (25)

**Example Analytic Frequency Analysis**

이러한 빈도해석의 3가지 방법을 적용하는 예로서, table 1의 data를 다시 생각하기로 한다. (식 4)와 (식 5)를 적용하면 원래 data의 평균과 표준편차는 각각 1599와 1006으로 계산된다. 그러면 (식 6)에 의해  $C_s$ 가 0.629로 정해진다. 대수 정규분포에 대해서 여러  $T$ 값에 대한  $K_T$ 값은 Table 5에서 구할 수 있고 이렇게 되면 (식 21)에 의해 이에 해당하는  $X_T$ 의 값을 구할 수 있다. 이상의 결과는 Table 8에 있다.

Table 1 극치분포에 대해서 여러 재현기간에 대한  $K_T$ 의 값은 Table 6에 구해지고  $X_T$ 는 식 (21)에서 구해진다. 이 결과도 또한 Table 8에 있다.

Log Pearson Type III 분포를 적용하면,  $\bar{Y}$ 는 7.237로 되었고  $S_y$ 는 0.507로 된다. 그리고  $C_s$ 는 식 (22)에서 0.87로 정해진다. 그러면  $K_T$ 값들이 Table 7에서 구해지고,  $Y_T$ 는 식 (24)에서 계산되며  $X_T$ 는 식 (25)에서 구해진다. 결과는 Table 8에 있다.

이 예에서 알 수 있듯이, 어떤 주어진 빈도에 대해, 어떠한 분포를 선택하느냐가 추정 홍수량에 상당한 영향을 미칠 수 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 특히 비교적 긴 재현기간에 대해서 명확히 나타난다. 사용된 3가지 분포에 따라 가장 잘 fitting된 선(best fitting line)은 figure 9에 잘 나타나 있다.

**Table 8.** Flood Frequency Analysis for Middle Fork Beargrass Creek at Cannons Lane, Louisville, Kentucky

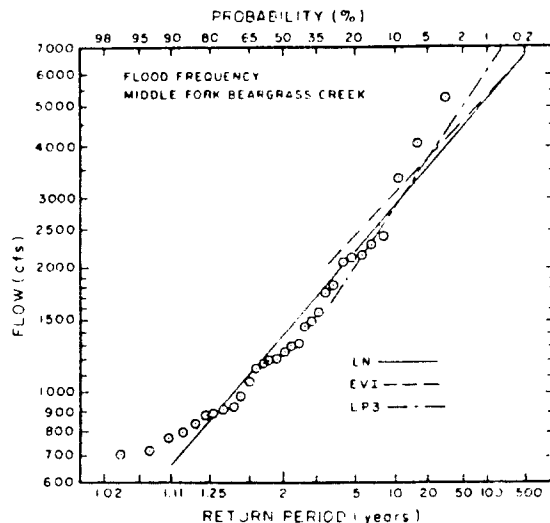
	Return Period (years)		
lognormal distribution	5	25	100
$K_T$	.60	2.11	3.57
$X_T$	2202	3718	5190
extreme value type I			
$K_T$	.863	2.385	3.642
$X_T$	2467	3998	5284
log Pearson type III			
$K_T$	.772	2.011	2.937
$Y_T$	7.628	8.257	8.726
$X_T$	2056	3853	6161

figure 9에서 알 수 있듯이 3가지 분포 중에서 이 data를 가장 잘 설명할 수 있는 것이 어떤 것인지 선택하는 것은 분명히 어려운 일이다. 만일 우리가 coefficient of skew  $N$ 를 고려한다면, 이 data에 대한  $N$ 의 값이 2.13인 반면 EV I에 대한 값은 1.39이므로 EV I를 버릴 수 있다. LN에 대해서  $\gamma$ 와  $C_s$ 는 식 (20)에 의해 관계 지워진다.  $C_s=0.629$ 를 식 (20)에 대입하면  $\gamma$ 의 추정치는 LN의 요구치와 아주 잘 일치하는 값인 2.14가 된다. 여기서 한 가지 문제가 되는 것은 원래 data의 log를 취한 값에 대한 값은 0.87인데 대수 정규분포(LN distribution)에서는 이 값이 0이 되어야 한다는 것이다. 분명히 대수 정규분포(NL)은 이 data에 대해서 적당하지 못하다.

LP3에 대한 결정을 하는데는 coef. of skew를 사용할 수 없다. 왜냐하면 LP3는 3-parameter 분포인데 이 분포는 parameter들을 추정하는데  $\gamma$ 를 사용하기 때문이다.

Fig 9를 보면 LP3은 빈도곡선(frequency curve)의 윗끝부분 data에 있어서 가장 잘 접근한다고 나타나 있다. 나중에 언급되겠지만 이 data 사용에 있어서 하나의 문제는 변화하는 유역조건에 기인한 침투유량에서 일어날 수 있는 비동질성이다. data에 대한 이와 같은 설정에 직면되는 어려움은 하나의 짧은 기록들은 신뢰성이 없는 점들이 야기되고, 따라서 지역적인 빈도해석은 Case 4에서 언급된 과정들이 한 장소에 대해 사용되어야 한다는 것이다.

요약하면 Case 1은 어느 곳의 침투유량의 비교적 긴 기록이 관심있는 지역에서의 관심있는 흐름에 이용



**Fig 9.** Comparison of several probability distributions for the Beargrass Creek data.

가능한가에 있다. 분석방법은 data를 묘사하고 확률 함수를 선별하여 data로부터 어떤 통계치를 추출하기 위해 요구되는 주기를 가진 흐름을 계산하기 위해 적절한 빈도인자(frequency factors)와 더불어 식 (21)을 사용하는 것이다.

Case I에 사용된 가정은 다음과 같다.

1. data는 우리가 선별한 확률분포의 변수(parameter)에 대하여 믿음만한 평가를 제공할만한 충분한 양이다.

2. 하천의 흐름특성은 시간에 대하여 변함이 없다. (stationary data series)

3. 침투유량 관찰은 매년 통계학적으로 독립되었다.

4. data는 고려되어지는 project의 수명동안에 기대되어지는 흐름 거동을 나타낸다.

가정 4는 단지 가정 2의 정적인 상태를 장래의 흐름들로 확장시킨다. 도시지역에 있어서 가정 2,4는 도시화의 과정 그 자체가 하천 흐름 특성을 변화시키는데 있어서 장애가 된다.

대부분 하천유출량 자료에 있어 이와 같은 비 균질성은 대단히 민감하며 오랜시간 혹은 갑작스럽고 큰 규모의 변화가 생길 때 분명해지게 된다. 예를들면 figure 10은 Beargrass Creek 자료에 대한 31년 기록을 그래프로 나타낸 것이다.

침투유량은 750 내지 2000 cfs 범위 정도가 된다. 그것은 2000 cfs을 초과하는 침투유량의 발생 빈도는 시간과 더불어 증가하는 것처럼 나타낸다.

Data의 무작위성은 이와 같은 생각을 확실하게 전술하는 것은 어렵게 만든다.

Case I 홍수빈도 분석에 대한 토론을 종결지움에 있어 기록기간보다 더 큰 주기를 가진 사건(event)의 크기를 산정하기 위한 frequency data의 외삽(extrapolation)에 주의가 필요하다. Figure 9를 보면 31년 기록으로부터 100년 내지 500년 event를 산정하기 위한 외삽은 그렇게 대단한 것은 아니다. 확률지에서의 물리적 거리란 의미에서는 외삽이 그렇게 대단히 크지는 않지만, 원래 길이의 3배 내지 가능하면 15배에 대한 자료를 외삽한다는 의미에 있어서 그것은 대단히 중요한 외삽인 것이다. 무작위 data(random data)의 성질은 이와 같은 종류의 외삽을 매우 위험스럽게 하고 낮은 신뢰성, 소유할 수 있는 상당한 불확실성의 평가치를 유발시키기도 한다. Haan(1977)은 존재하는 불확실성을 평가하는 절차를 보여줄 것이다.

이러한 점을 예증하기 위해 1599 cfs의 평균과 1006 cfs의 표준편차를 가진 대수정규 분포를 가정하고 simulation을 만든다. 과정은 임의로 이 대수정규 분포

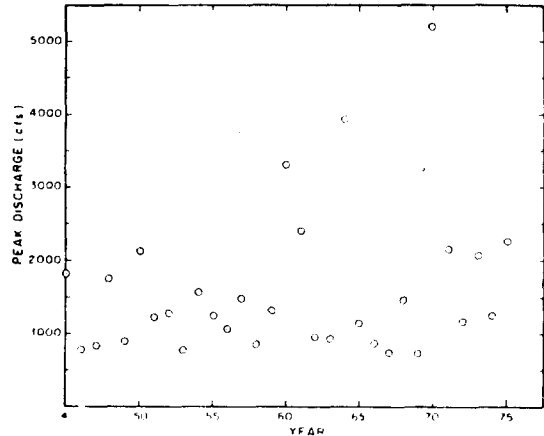


Fig 10. Changing flow condition resulting in non-homogeneous time series.

에서 15개의 관측치를 선택해야 하고 100년 event의 크기를 평가하기 위해 이들 15개의 관측치들을 사용한다. 100년 event는 15개의 generated된 값의 평균과 표준편차를 사용하는 대수정규 분포에 기반을 두어 평가되었다. 이들의 전적인 과정은 100년 홍수에 대한 100개의 계산치를 만들어 내면서 100번 되풀이 된다. 이들 100개의 계산치들의 확률적인 거동은 그다음 분석된다.

다음의 표는 100년 홍수에 대한 추정치의 발생빈도를 보여준다. 참 값은(true value) 5190 cfs이다. 추정치의 평균값은 4945 cfs이다.

100년 빈도의 홍수량을 5000 cfs라 하면 아래 표는

Flow (cfs)	No. of estimates
2500-3000	7
3000-3500	8
3500-4000	13
4000-4500	10
4500-5000	21
5000-5500	15
5500-6000	7
6000-6500	5
6500-7000	6
7000-7500	3
7500-8000	2
8000-8500	2
14000-14500	1
Total	100

단기간의 자료로써 오랜 기간의 홍수를 결정하는데 발생하는 오차를 얻는데 쓰여질 수 있다. 36개의 산정치나 총산정치의 1/3이 100년 빈도의 실제 홍수량이 10% 이내인 것에 주의하고 산정치의 거의 1/2(47)이 20% 이상의 오차가 있고 40% 이상의 산정치들이 15%의 오차를 가지고 1개의 산정치를 갖는 홍수량은 기준 홍수량의 거의 3배에 해당한다. 이러한 수들은 오랜 간격을 두고 발생하는 홍수량(이 경우에 100년 빈도 홍수량)을 사용해서 짧은 기간의 기록(이 경우에 15년 빈도 홍수량)을 결정할 때 발생하는 사항들을 설명한다. 이러한 이유로 의심법이 위험한 것을 알 수 있다.

실제의 경우, 정확한 확률분포를 알 수 없기 때문에 그 가변성은 여기에 나타난 것보다 훨씬 클 것이다. 모집단 분포와 같이 이 예에서는 대수정규 분포로 가정하고 그 가정을 기초로하여 계산한다.

**Case II. 홍수빈도 결정법**

어떤 경우에 유출자료는 관측점으로 부터 상류나 하류방향으로 적당히 떨어진 지점에서 유용하다. 이 경우에 관측점에서 홍수 빈도를 결정하는 여러가지 방법이 있다. 첫째 방법은 CASE I에 쓰인 자료로써 홍수빈도 분석을 행하고 관측점에 이 자료를 적용한다.

하천의 한 지점에서 다른 지점까지의 유출자료의 적용은 여러 방법에 의해 행할 수 있다. 유출자료가 홍수수문곡선을 포함하고 있다면 이 수문곡선은 홍수 추적거리를 따라 지점의 유입량과 유출량에 대해서 적절한 적용을 할 수 있는 관측점을 추적할 수 있다. 이 방법은 아주 좋은 것이기는 하지만, 일반적으로 많은 자료가 필요하고 많은 시간이 소요된다.

둘째 방법은 배수 유역특성과 첨두홍수량을 연관시켜 이 관계를 이용해서 유출량을 결정한다. 이 경우에 사용하는 가장 일반적인 특성은 유역면적이다. 주어진 빈도에 대해 가장 자주 발생하는 첨두유량은 아래식과 같이 유역면적에 관계가 있다.

$$Q_T = aA^b \tag{26}$$

위에서  $Q_T$ 는  $T$ 년 빈도 홍수량,  $A$ 는 유역면적,  $a$ 와  $b$ 는 상수이다. 일반적으로 계수  $b$ 는 0.5~1.0이다.

두 지점의 하천 자료를 사용하면 자료로부터 계수들을 결정할 수 있다. 예를 들면 table 9의 자료에 대해 생각하면 두 지점에서 2년 5년 10년 빈도 홍수량에 대한 자료가 쓰여진다. 식(26)의  $a, b$ 는 재현기간을 적용해서 결정할 수 있다. 10년 빈도 자료에 대해서

$$Q_{10} = aA^b$$

**Table 9. Hypothetical Flood Frequency Data**

T	Area ( $m_i^2$ )		a	b
	0.7	2.3		
years	$Q_T$ (cfs)			
2	750	2250	1041	0.923
5	950	2800	1318	0.909
10	1100	3300	1527	0.923

i)  $3300 = a(2.3)^b$  : 대유역 경우

ii)  $1100 = a(0.7)^b$  : 소 유역 //

i), ii)의 비는

$$\frac{3300}{1100} = \left(\frac{2.3}{0.7}\right)^b$$

대수법칙을 이용해서 풀면  $b = 0.923$ 이다.

이 결과를 i)에 대입하면

$$3300 = a(2.3)^{0.923}$$

로부터  $a$ 가 1527인 것을 얻는다. 2.5년 빈도의 홍수량에 대해서도 같은 계산을 해서 나타낸 것이 table 9이다. 이것으로부터  $b$ 의 평균치 0.92를 얻을 수 있다. 계수  $a$ 는 재현기간  $T$ 의 함수이다.

배수 유역면적이  $1.5 m_i^2$ 인 하천의 한 지점에서 10년 빈도의 홍수량을 결정하기를 원한다면 식(26)과 그 계수들을 간단히 사용해서

$$Q_{10} = 1527(1.5)^{0.92} = 2217 \text{ cfs}$$

또한 자료가 하천의 다른 한 지점에서만 유용하다면 계수  $b$ 를 가정할 수 있으면 그 지점에 대한 유출량을 결정할 수 있다.  $b$ 를 1.0으로 가정하면 유역면적  $0.7 m_i^2$ 에 대한  $a$  값은

$$a = 1100/0.7 = 1571$$

유역면적  $1.5 m_i^2$ 의 10년 빈도 홍수량을 결정할 수 있다.

$$Q_{10} = 1571(1.5)^1 = 2357 \text{ cfs}$$

이런 방법들을 사용할 때 몇몇 유의점들이 검토되어야 한다. 첫째로 가장 중요하게 모든 유역들의 특성으로 인해 일어나는 기본 홍수량은 같아야 한다. 이것은 도시, 농촌, 산림지역이 혼합되어서는 안 된다. 위의 예에서 보면, 세 유역들은 유사하다고 가정한다. 도시 수문학에서 이것은 까다로운 제한 조건이고 일반적으로 대상유역의 면적이 큰 차이점이 없어야 한다는 것이다. 유역면적이 큰 차이가 없다면 계수  $b$ 의 실제값은  $b$ 를 1.0으로 취한 오차가 그리 크지 않기 때문에 그렇게 중요하지 않다.

하천을 따라 유역 특성이 변한다면, 이 계산들은 주어진 재현 기간에 대한 홍수량을 결정하기 위한 목적

으로 쓰일 수 있고 최종적인 결과를 얻는 데는 쓰일 수가 없다. 사용할 자료가 도시와 농촌지역이 혼합되어 있거나 대상 관측점이 도시유역에만 있다면 여기서 직접 적용한 방법에 의해 얻어진 유출량은 부분적인 농촌유역에 근거를 두어서 결정한 계수  $a$  대신에 100% 도시유역에 의한 값들을 적용해서 조정되어야만 한다.

### Case III. 홍수 빈도 결정

관측점의 하천 유출자료는 너무 짧아서 홍수빈도 해석에 사용할 수 없다는 사실은 쉽게 알 수 있다. 이것은 축점 설치 계획이 최근에서야 시작되었거나 하천유출자료가 있는 지역이 최근에 도시화 됨으로서 더 이상 그 자료가 유역을 대표할 수 없기 때문일 것이다.

짧은 하천 유출자료는 홍수빈도해석의 계산과 방법을 검토하는데 중요한 도움이 될 수 있다. 중요한 도시배수 사업이 계획된다면 사업계획 과정의 유용한 부분으로서 먼저 하천유출의 축점기구를 설치하는 것이 현명하다. 이 방법에서 최종적인 설계가 이루어졌다면 어떤 하천 유출자료는 유용하게 쓰일 것이다. 상대적으로 큰 대규모 배수 사업에 대해서는 단 기간동안의 측정방법은 아주 경제적이고, 배수 시스템의 설계에서 결과적으로 개선점을 쉽게 부여할 수 있다.

짧은 하천 유출 자료란 약 10년 이하의 자료를 의미한다. 이와같은 기록은 많은 양의 자료를 포함하지만 CASE I 가 같은 홍수 빈도 해석에는 불충분하다. 아마 기록된 유출을 유발하는 강우의 기록은 유용하게 될 것이고 우량계로서 결정할 수 있다. 현재, 강우와 유출의 기록들은 근사모형에서 경험적인 계수를 결정하는데 쓰일 수 있고, 이 모형은 연속 Simulation 모형, 사상이나 수문 폭선모형, 또는 침투 유량 결정 모형일 수 있다. 채택된 모형 형태는 이용 가능한 자료의 질과 양, 그리고 분석의 목적에 좌우될 것이다. 채택된 모형의 형태에 관계없이 결정되어진 경험적인 계수로 구성되어 있다. 일반적으로 필요한 경험적인 계수의 수는 가장 많은 계수들을 갖는 연속 Simulation 모형으로서 모형의 복잡성에 비례한다. 이러한 모형들의 계수들을 결정하는데 있어서 대상 하천의 실제 자료가 얼마나 중요한지는 알 수 없다.

한때는 모형의 계수들을 결정하고 오랜 기간의 강우 기록을 이 모형을 통해서 오랜 기간의 하천 유출 기록을 결정했다. 이 과정으로 오랜 기간의 하천 유출 기록을 Case I 에서 언급한 것처럼 빈도해석을 할 수 있었고 필요한 경우 Case II 에 의한 방법으로 관측점에 적용했다.

결과적으로 오랜 기간의 강우기록은 조사지역에 대해서 유용하지 않으며 가장 가까운 우량계로 부터의 기록을 사용할 수 있다. 다행히 여러 지역에서 중요한 사상으로부터 침투 유출량을 결정하는데 중요한 영향을 끼치지 않으면서 가까운 지점의 강우기록을 이용할 수 있다. 유역 면적내에서 산악의 영향으로 인한 잠재적인 어려움이 존재한다. 그리고, 이런 경우를 도시 중심으로 부터 바람부는 방향으로 강우가 증가하는 것과 같은 자료에서 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 일반적으로 이와 같은 강우의 가까운 지역으로의 이동은 큰 오차를 발생치 않는다.

적용할 수 있는 오랜 기간의 강우기록이 없는 경우에는 추계학적 강우 generation 모형을 사용해서 합성 강우기록을 만들어 유출모형으로 사용할 수 있다. 수문학 모형의 사용에 대한 자세한 것은 여기서 언급하지 않고 이번이나 그 전의 심포지움의 몇몇 논문으로부터 참고할 수 있다. 이 주제에 관한 책들로 Overton과 Meadows(1976)와 Fleming(1975)의 것이 있다.

짧은 기간의 기록을 갖는 자료를 사용하는 다른 방법은 낮은 재현기간의 홍수량을 결정하는데 짧은 기간의 기록을 사용하는 것이 있다. 2년 빈도 홍수량이 그 예이다. 이 홍수량들의 크기를 안다면 이 홍수량과 재현기간이 큰 홍수량 사이의 지역적인 관계를 사용해서 낮은 빈도의 홍수량의 크기를 결정할 수 있다. 이 관계의 결정은 Case IV에서 언급한다.

### Case IV. 홍수 빈도 결정

자료가 없거나 아주 적은 자료들이 관측점에서 유용한 대신 하천 유출 자료는 가까운 몇몇 지점에 유용하다는 사실을 가끔 알 수 있다. 가까운 지점에서의 대상 지역에서 알려진 자료들을 유용하게 사용할 수 있는 몇가지 방법들이 있다. 이 방법들은 “지역 홍수 빈도 해석”이라 한다.

Dalrymple에 의해 광범위하게 사용되는 지역 홍수 빈도 해석법이 제안되었다. 이 방법은 재현기간과 그 리고 주어진 재현기간의 침투유량과 그 지역의 여러 하천에 대한 대표 홍수량(연평균 홍수량)의 비의 향으로 된 홍수빈도 관계식의 계산으로 되어 있다. 그리고 이 비의 중간값을 재현기간에 대해 figure 11과 같이 Durant와 Blackwell(1959)에 의해 Canala의 Alberta, saskatchewan의 18개 축점에 대한 값들을 그래프로 나타내었다.

이 지역적인 방법의 첫 단계는 대상 유역에서 수문학적 유사성을 가진 가까운 지점들로부터 여러 하

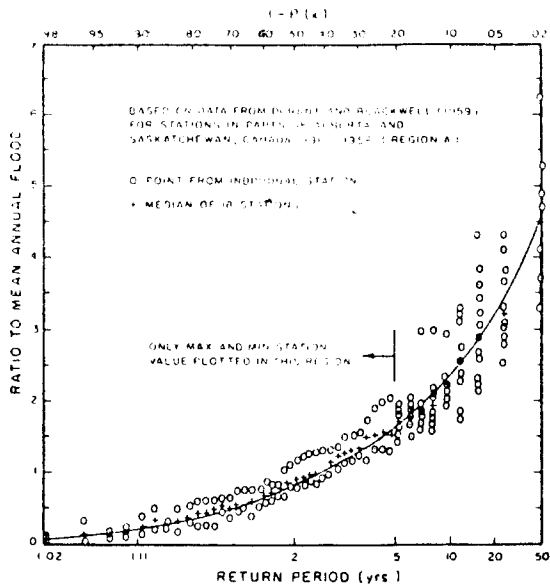


Fig 11. Regional flood frequency curve.

천유출기록들을 채택한다. 이 각각의 지점에서 Case I 홍수빈도 해석이 이루어지고 2년 빈도의 대표 홍수량이 결정된다.  $T$ 년 빈도 홍수량과 이 대표 홍수량의 비는 각 지점들에서 여러  $T$ 의 값들에 대해 계산되고 이 비와  $T$ 와의 관계를 표시한 각점들을 지나는 적합한 곡선을 그린다. (그림 11)

그 다음 단계는 이 대표 홍수량과 유역특성과의 관계를 나타내는 것이다. 유역면적은 일반적으로 다른 지형학적, 물리학적 그리고 기상학적 인자들과 함께 쓰여진다. 이 단계는 아래식으로 표현되는 최저분석을 통해서 일반적으로 시행된다.

$$Q_T = aX_1^b X_2^c \dots X_n^g \quad (27a)$$

또는

$$Q_T = a + bX_1 + cX_2 + \dots + qX_n \quad (27b)$$

$Q_T$ 는 대표 홍수량,  $a, b, \dots, q$ 는 결정계수들이고  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 은 유역 및 기후 인자들이고 최저분석은 다른 통계서적과 Haan(1977)에 의해 언급되어 있다.

세째 단계는 식(27)을 사용해서 대상지점에 대한 대표 홍수량을 결정하는 것이다. 마지막 단계는 지역 홍수빈도 곡선과  $Q_T$ 를 사용해서 주어진  $T$ 에 대한  $Q_T$ 를 계산하는 것이다.

지역 홍수빈도 해석에 대한 위의 방법의 변화는 앞에서 설명한 것처럼 측정기구가 있는 지점에서 여러  $T$  값에 대한  $Q_T$ 의 결정에서 나타나고  $Q_T$ 와 유역인자 및 식(27)에서 처럼  $Q_T$ 에  $Q_T$ 를 대체함으로써 얻어지는 최저분석에 의한 기후 자료와의 관계를 나타낸다. 위의 분리된 각 식은 각  $T$  값에 대해 필요하다. 그리고, 이 식들은 조사 지점에서 요구되는  $Q_T$ 의 값을 결

정하는데 쓰여진다. 이 방법의 한가지 불리한 점은 여러 다른  $T$ 에 대한  $Q_T$  사이의 적당한 관계가 유지되지 않는 가능성이 있다. 이것은  $Q_{25}$ 가  $Q_{10}$ 보다 적게 평가되는 것과 같은 상상을 할 수 있다. Haan(1977)은 다원 최저분석을 사용해서 이 난점을 극복하는 방법에 대해 설명하고 있다.

### Case V. 홍수 빈도 결정

대상 하천이나 부근 하천에 대해 사용할 하천 유출 기록이 없을 때는 주어진 빈도에 대한 유출량을 결정하는 경험적인 방법의 형태를 사용해야만 한다. 자료의 확률분석에 근거를 둔 사상들의 발생빈도의 관점에서 우리는 빈도해석의 영역밖에 있다.

이와 같은 경우에는 여러 형태의 수문학 모형을 채택해야만 한다. 이 모형은 합리식으로 부터 완전한 연속 simulation 모형에 이르면 복잡한 성격을 띠고 있다. 채택된 모형의 형태는 모형의 적합화, 다양한 모형으로부터 모형을 정하는 사람의 정통, 효과적인 모형화의 목적 효과적인 모형화를 이루는데 필요한 시간과 자금, 그리고 유출량 결정의 중요성 등에 영향을 받는다.

연속 simulation에 모형이 채택되고 여러해 동안의 유출량이 결정된다면 이 결정된 자료들은 홍수빈도 분석에 영향을 미칠 수 있다. 사상에 근거를 둔 모형(단위도 방법)이 채택된다면 매년 가장 큰 강우 사상들은 후에 홍수빈도 해석에 관계되는 이 자료들로서 해석되어질 수 있다.

합리적인 과정을 통해 방법이 이루어진다면 결정된 첨두 유량의 빈도는 식에서 사용된 강우의 빈도와 같다고 가정한다. 이 가정은 오랜 기간을 통해서는 나쁘지 않다. 개개의 사상들에 대해서 강우와 그로인한 유출의 재현기간은 그 이전의 토양의 함수상태와 같은 인자들의 영향때문에 꼭 비슷하지는 않다. 그러나, 오랜 기간을 통해서 유출량의 기대 또는 평균 재현기간은 강우의 재현기간과 거의 같다.

Case V의 경우도 효과적인 모형화이고 일반적으로 빈도 해석의 개념이 아닌 수문학 기법의 사용이 요구되므로 이 후에 언급하지 않겠다.

### 홍수빈도 결정의 검토

빈도 해석의 핵심은 나타난 자료들에 대한 특별한 확률 분포를 채택하는 Case I의 경우에 나타난 과정이다. 이 분포의 변수들은 결정되고 다양한 재현기간들에 대해 계산한 사상들의 크기이다. 확률지에 관측 자료를 나타내고 채택된 분포에 따른 최적 곡선을 나타내는 방법들은 이미 서술하였다.





하천 유출량 자료의 빈도 해석에서 주의할 점은 요 구되는 사업기간 동안에 실제 기대되는 유출상태를 대표할 수 있는 가이다. 이것은 도시 수문학에서 유역성 격의 변화로 인한 실제적인 문제이다.

정확한 빈도 해석을 하기 위하여 얼마나 많은 자료가 있어야 하는가에 대한 지침은 없으나, 적어도 15년 동안의 자료와 자료의 제한된 외삽법을 알아야 한다. 외삽법이란 이용가능한 기간의 기록보다 상당히 긴 재현기간을 가진 홍수량을 결정하는 것을 의미하는 것이고, 이 방법을 자주 시행해야만 한다. 그리고, 이러한 방법들로 부터 얻어진 유출량의 결정에 실제하는 불확실성에 대해 알고 있어야 한다.

빈도 해석 기법들은 상대적으로 짧은 기간에 근거를 둔 오랜 간격을 두고 일어나는 사상들의 크기를 결정하는데 있어서의 불확실성 때문에 가끔 비판을 받고, 이러한 비평의 대다수가 정당한 것이다. 경험적인 모형을 채택할 때 오랜 간격을 두고 발생하는 사상들의 결정에 있어서 보다 많은 불확실성을 염두에 두어야만 한다. 통계적인 절차를 통해서 사상(event)을 추정하는 데는 불확실성이 있으나, 이는, modeling approach의 선호도 때문에 빈도 해석 방법을 기각할 명백한 이유가 되지 않는다고 생각한다.

필자의 개인적인 생각으로는 modeling을 통해서 실제 사상(rare event)을 추정하게 되면 더 많은 불확실

성을 포함하게 된다고 생각한다. modeling을 하는 한 가지 이점은 특성이 변화하는 유역의 수문학(hydrology)를 simulate할 수 있다는 것이다. parametric model로서 변화하는 유역을 simulate하면 불변의 유역을 simulate할 때보다 더 많은 불확실성을 포함하게 된다.

이러한 비판적인 견해에 따르면 maynitude of rare events는 추정의 불확실성 때문에 추정을 할 수 없다는 결론을 얻게 된다. 그러나 불행히도 이것은 우리가 선택할 수 없는 일이다. 반드시 추정해서 실제를 수행해야 하는 것이다. 이러한 관점에서 볼 때 빈도 해석이 사용될수만 있다면, modeling보다 더 좋지는 않더라도 최소한 같은 수준으로는 추정할 수 있다고 생각한다.

### APPENDIX C 문제

#### 문제 1.

APPENDIX B에 있는 Rose Creek의 침투유량 자료가 정규 분포를 따른다고 가정할 때,

- a)  $\text{prob}(Q_P > 1200 \text{ cfs})$ ?
- b)  $\text{prob}(Q_P < 1200 \text{ cfs})$ ?
- c) 1200 cfs에 대한 재현기간?
- d) 20년 홍수의 크기
- e)  $\text{prob}(800 < Q_P < 1000)$ ?

#### 문제 2.

APPENDIX B의 Rose Creek data를 사용하여

- a) 대수정규 확률지에 data를 plot하라.
- b) 다음의 각각의 분포에 대해서 best fitting line을 그려라.
  - i) 대수 정규 분포
  - ii) type I 극치 분포
  - iii) log Pearson type III 분포
- c) 다음 분포를 사용하여 100년 홍수량을 추정하라.
  - i) 대수 정규 분포
  - ii) type I 극치 분포
  - iii) log Pearson type III 분포

#### 문제 3.

면적이  $4 \text{ m}_i^2$ 인 유역에 대하여 50년 홍수량을 추정하고자 한다. 이 유역에 대해 적용할 유량 자료가 없으므로 근처의 6개의 하천에 대한 자료를 수집하였다. 홍수 빈도 해석을 하여 다음 표에 있는 결과를 얻었다. 이 자료와 regional flood frequency approach를 사용하여 50년 홍수량을 추정하라.

### APPENDIX B

Peak discharge data-Rose Creek at Nebo, Kentucky

Year	Discharge (cfs)	Year	Discharge (cfs)
1952	624	1961	860
53	722	62	730
54	358	63	680
55	500	64	800
56	884	65	622
57	689	66	571
58	1230	67	350
59	1000	68	920
60	900	69	1240
		70	818

$$\sum Q = 14498$$

$$\sum Q^2 = 1.2131 \times 10^7$$

$$\sum \ln Q = 125.11$$

$$\sum (\ln Q)^2 = 825.92$$

$$\sum (\ln Q)^3 = 5466.13$$

stream	A	B	C	D	E	F
$Q_{50}$	52000	26000	6400	1800	8300	4000
$Q_{20}$	34000	15000	4600	1400	6400	2950
$Q_{10}$	24000	9200	3400	1150	5100	2200
$Q_5$	15000	5100	2400	860	3800	1580
$Q_2$	6300	1640	1200	520	2600	810
$Q_{1-11}$	1700	295	420	240	960	300
Area ( $m_i^2$ )	20	5	3	1	7	2

문제 1 의 해

$$\begin{aligned}
 \text{a) } \text{prob}(Q_T > 1200 \text{ cfs}) &= \text{prob}\left(Z > \frac{1200 - \bar{Q}}{S_Q}\right) \\
 \bar{Q} &= \sum Q/n = 14498/19 = 763 \text{ cfs} \\
 S_Q &= \sqrt{(\sum Q^2 - n\bar{Q}^2)/(n-1)} \\
 &= \sqrt{[1.2131 \times 10^7 - 19(763)^2]/18} = 244 \\
 \text{prob}(Q_T > 1200) &= \text{prob}\left(Z > \frac{1200 - 763}{244}\right) \\
 &= \text{prob}(Z > 1.79)
 \end{aligned}$$

정규분포 표로부터

$$\begin{aligned}
 \text{prob}(Z > 1.79) &= 0.500 - 0.463 = 0.037 \\
 \text{prob}(Q > 1200) &= 0.037
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) } \text{prob}(Q < 1200) &= 1 - \text{prob}(Q > 1200) \\
 &= 1 - 0.037 \\
 &= 0.963
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) } T = 1/p = 1/\text{prob}(Q > 1200) \\
 &= 1/0.037 \\
 &= 27 \text{ 년}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d) } T = 20 \Rightarrow p = 1/T = 0.05 \\
 \text{prob}(Q > Q_{20}) &= 0.05 \\
 \text{prob}(Q < Q_{20}) &= 0.95 \\
 \text{prob}(Q < Q_{20}) &= \text{prob}(Z < Z_{20}) = 0.95
 \end{aligned}$$

정규분포 표로부터

$$\begin{aligned}
 Z_{20} &= 1.645 \\
 \frac{Q_{20} - \bar{Q}}{S_Q} &= Z_{20} = 1.645 \\
 Q_{20} &= Z_{20}S_Q + \bar{Q} = 1.645(244) + 763 \\
 &= 1164 \text{ cfs}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{e) } \text{prob}(800 < Q < 1000) &= \text{prob}\left(\frac{800 - \bar{Q}}{S_Q} < Z < \frac{1000 - \bar{Q}}{S_Q}\right) \\
 &= \text{prob}(0.15 < Z < 0.97) \\
 &= \text{prob}(Z < 0.97) - \text{prob}(Z < 0.15) \\
 &= 0.8334 - 0.5596 \\
 &= 0.274
 \end{aligned}$$

문제 2 의 해

$$\text{a) plotting position} = \frac{m}{n+1}$$

여기서  $m$  은 계급이며,  $n$  은 자료의 수이다.

$m$	$Q$	$pp$	$m$	$Q$	$pp$
1	1240	0.05	11	722	.55
2	1230	0.10	12	689	.60
3	1000	.15	13	680	.65
4	920	.20	14	624	.70
5	900	.25	15	622	.75
6	884	.30	16	571	.80
7	860	.35	17	500	.85
8	818	.40	18	358	.90
9	800	.45	19	350	.95
10	730	.50			

longnormal paper 에  $Q$  와  $pp$  의 관계를 plot 하면 Fig 12 와 같다.

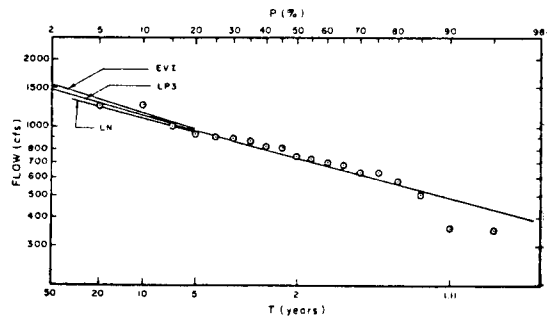


Fig 12. Frequency plot for problem 2.

$$\begin{aligned}
 \text{b) } \bar{Q} &= \sum Q/n = 14498/19 = 763 \\
 S_Q &= \sqrt{(\sum Q^2 - n\bar{Q}^2)/(n-1)} \\
 &= \sqrt{1.2131 \times 10^7 - 19(763)^2/19} = 244 \\
 C_V &= S_Q/\bar{Q} = 244/763 = 0.320
 \end{aligned}$$

best fitting line 을 그리기 위하여 다음과 같이 몇 개의 점에 대해서 계산한다.

$$Q_T = \bar{Q}(1 + C_V K_T)$$

lognormal

$T$	2	5	20
$K_T$	-0.15	0.75	1.85
$Q_T$	726	946	1214

$Q_T$  와  $\frac{1}{T}$  의 관계를 plot 한다. 대수정규 확률지를 사용하였으므로 직선으로 나타내야 한다.

Type I 극치 분포

$T$	5	10	15	20	25	50
$K_T$	0.919	1.625	2.023	2.302	2.517	3.179
$Q_T$	987	1159	1256	1325	1378	1539

$T$	2	5	10	25	50
$K_T$	0.008	0.844	1.276	1.757	2.027
$Y_T$	6.587	6.873	7.021	7.186	7.278
$Q_T$	726	966	1120	1320	1448

$QT$ 와  $\frac{1}{T}$ 을 plot 한다. EV I paper 가 아니라 대수정규지를 사용하므로 꼭 직선으로 plot 되지는 않는다. LN 분포와 EV I 분포에 대한 절차가 서로 유사한 결과를 낳는다는 것에 주의하라. 자료의 왜곡도가 1.139 라면 EV I와 LN 분포는 거의 같다. 이 자료에 대해서

$$C_s = \frac{n^2 \sum Q^3 - 3n \sum Q \sum Q^2 + 2(\sum Q)^3}{n(n-1)(n-2)S_Q^2}$$

$$= \frac{(19)^2 1.0954 \times 10^{10} - 3(19)(14498)}{19(18)(17)}$$

$$= \frac{1.2131 \times 10^7 + 2(14498)^2}{(244)^3}$$

$$= 0.29$$

왜곡도 계수로 봐서 두 분포는 다를 것으로 예상된다. 이 차이는  $Q_{100}$ 을 추정하는 데서 나타날 것이다. EV I 분포에 대한  $\gamma$ 는 1.139 이고 이 자료에 대한  $\gamma$ 의 추정치는 0.29임을 주의하라. 따라서 이 자료는 EV I 분포에 적합하지 않다는 것을 암시한다.

LN 분포에 대해서  $\gamma$ 와  $C_v$ 는 다음 관계가 있다.

$$\gamma = 3C_v + C_v^3$$

$C_v = 0.32$ 를 대입하여  $\gamma = 0.99$ 가 된다. 그러나 LN 분포와는 어느 정도 차이가 있지만 EV I 만큼 많은 차이가 나지 않는다.

### Log Pearson Type III

best fitting line 을 그리기 위하여  $Q_T$ 를 계산한다.

$$Q_T = \exp(Y_T)$$

여기서  $Y_T = \ln \bar{Q} + \text{sen} Q K_T$

$$\ln \bar{Q} = \ln Q / n = 125.11 / 19 = 6.585$$

$$\text{sen} Q = \sqrt{[\sum (\ln Q)^2 - n(\ln \bar{Q})^2] / (n-1)}$$

$$= \sqrt{[825.92 - 19(6.585)^2] / (18)} = 0.342$$

$K_T$ 는  $\ln Q$ 의  $C_s$ 에 대한 함수이다.  $Y = \ln Q$ 라 놓으면

$$C_s = \frac{n^2 \sum Y^3 - 3n \sum Y \sum Y^2 + 2(\sum Y)^3}{n(n-1)(n-2)S_Y^3}$$

$$= \frac{(19)^2 (5466.13) - 3(19)(125.11)}{19(18)(17)}$$

$$= \frac{(825.92) + 2(125.11)^3}{(0.342)^3}$$

$$= -0.058$$

$Q_T$ 와  $\frac{1}{T}$ 을 plot 한다. LP3와 LN의 결과는 서로 매우 밀접하다. 대수의 왜곡도는  $-0.058$ 이며, 거의 0에 가깝다는 것을 주의하라. 자료의 대수치는 정규 분포하며 정규 분포는 왜곡도가 0이므로 LN 분포에 대한 자료의 대수치에 대한 왜곡도는 0이다.

c) 직선상의 점들이 계산된 것과 같은 방법으로  $Q_{100}$ 을 추정된다. 결과는 다음과 같다.

	LN	EV I	LP3
$Q_{100}$	1502	1699	1584

LN과 LP3는 85 cfs 미만의 차이이나 LN과 EV I는 거의 200 cfs 다르다는 것을 주의하라.

이 하천에 대한  $Q_{100}$ 의 가장 좋은 추정치는 1550 cfs이다. 만일 재현기간 100년으로 시설물을 설계하고 설계 홍수량을 적절히 처리할 수 있는 시설물의 파괴가 심각한 것이라면(막대한 경제적 손실 또는 인명 손실), 안전 계수를 고려하여 보다 안전한 대략 설계 홍수량 1700 cfs의 추정치를 사용할 것이다.

문제 3의 해

먼저  $Q_T/Q_I$ 의 값을 계산한다. 여기서  $Q_I$  대신  $Q_2$ 를 사용한다.

watershed	A	B	C	D	E	F
$Q_{50}/Q_2$	8.25	15.85	5.33	3.46	3.19	4.94
$Q_{20}/Q_2$	5.40	9.15	3.83	2.69	2.46	3.64
$Q_{10}/Q_2$	3.81	5.61	2.83	2.21	1.96	2.72
$Q_5/Q_2$	2.38	3.11	2.00	1.65	1.46	1.95
$Q_2/Q_2$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$Q_{1-11}/Q_2$	0.27	0.18	0.35	0.46	0.37	0.37

다음에  $Q_T/Q_2$ 를 plot 하고 자료의 중앙치를 연결하는 smooth line을 그린다.

다음에  $Q_2$ 와 유역 면적에 대해서 plot 한다. 유역면적  $4 m_i^2$ 에 대해서  $Q_2$ 는 1500 cfs로 추정된다.

$Q_{50}/Q_2$ 는 5이므로

$$Q_{50} = \frac{Q_{50}}{Q_2} \times Q_2 = 5 \times 1500$$

50년 홍수량의 추정치는 7500 cfs이다.

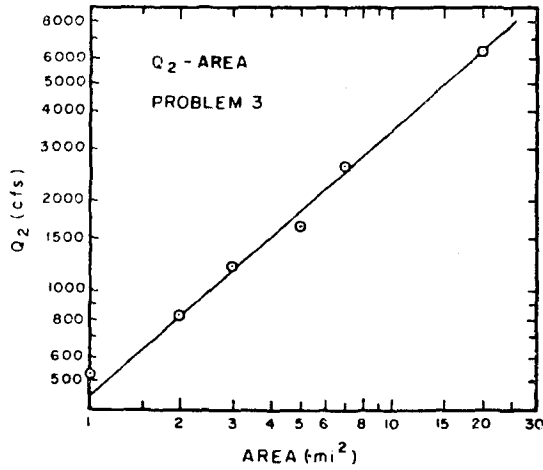


Fig 13.  $Q_2$ -Area relationship for problem 3.

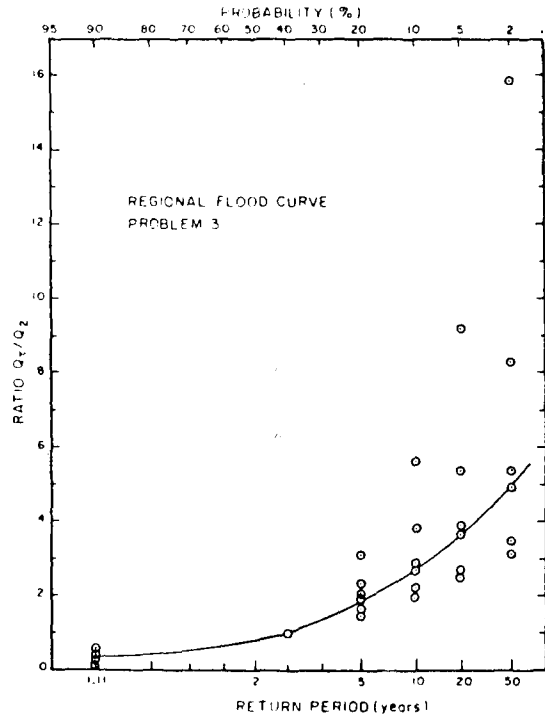


Fig 14. Regional flood curve for problem 3.

新 刊 案 內

〈水文學〉

東 明 社

著 者 : 서울大學校 土木工學科 副教授

工學博士 鮮于仲皓

目 次

韓國水工學歷史, 降水, 蒸發과 蒸散, 흙에서의 물의 움직임, 地下水 水理學, 流出, 水文統計, 水文學의 追跡, 設計洪水量의 決定, 流出現象의 水理學의 考察