선형화기법에 의한 확률강우강도식의 유도

Intensity-Duration-Frequency Curve Based on Linearizing Method

한 정 훈* · 김 경 덕** · 허 준 행*** · 조 원 철****

1. 서 론

하천 개수계획의 수립, 댐 건설, 도시하천 정비계획 및 도시지역 내·배수 처리계획 등과 같은 수공계획을 수립하는 경우에 사용되는 확률강우량은 우량관측지점에서 관측된 임의 지속기간별 매년 최대치 강우계열에 대하여 확률분포를 적용하여 최적분포형을 설정하고 재현기간별 생기확률 빈도를 설정함으로써 추정되며, 이러한 결과를 바탕으로 하여 확률강우강도식이 유도된다.

과거의 최적분포형 선정과 강우지속기간의 설정에 있어 지속기간별 매년 최대치 계열에 대한 최적 확률분포형이 서로 상이하게 해석되어 단시간 확률강우량이 장시간 확률강우량보다 재현기간이 커짐에 따라 크게 되는 역전현상이 발생되기도 하며, 임의지점의 확률강우량과 인접지점의 확률강우량이 확률통계분석에 의한 수치적인 결과에 의해 큰 차이가 나는 가능성도 배제할 수가 없었다.

따라서 본 연구에서는 각 지점의 확률통계적인 최적분포형을 하나로 통일하여 가능한 그러한 역전현상을 가능한 최소화하는 새로운 확률강우량 자료를 산정하고, 재현기간별 분포특성을 충분히 고려하여 우리나라 전역에 대해 하나의 식으로 확률강우량을 산정할 수 있는 확률강우강도식을 제시하고자 한다.

한편, 기존의 확률강우량을 산정하는 식들은 자료상의 특성 함수관계를 잘 드러내는 비선형의 형태로 발전되어 왔는데, 이러한 복잡한 형태의 비선형의 식들은 불확실성이 큰 강우자료의 특성상 잘 수렴하지 않아 식의 계수산정에 어려움이 많을 뿐만 아니라 정도도 떨어지는 경향이 있었다. 이에 대해 비선형의 비수렴성에 대한 보완과 선형에서 갖는 정도의 향상을 위한 선형화 기법을 이용한 식으로 접근하고자 한다.

2. 본 론

본 연구에서는 비교적 강우기록지의 보유연수(21~76년)가 충분한 전국 22개 지점을 해석 대상

---

* 연세대학교 토목공학과 석사과정
** 연세대학교 토목공학과 박사과정
*** 연세대학교 토목공학과 조교수
**** 연세대학교 토목공학과 교 수

지점으로 선정하였으며 각 대상지점과 사용된 강우기록 보유현황은 표 1과 같다.

표 1. 대상 강우지점의 자료년수 및 지속기간

지점명	지속기간(분)	자료년수	지점명	지속기간(분)	자료년수
속 초	5~1440	24	포 항	5~1440	38
춘 천	5~1440	26	군 산	5~1440	24
강 릉	5~1440	34	대 구	5~1440	76
서 울	5~1440	63	전 주	5~1440	51
인 천	5~1440	40	울 산	5~1440	45
원 주	30~1440	24	광 주	5~1440	53
수 원	5~1440	28	부 산	5~1440	50
서 산	5~1440	24	충 무	5~1440	24
청 주	5~1440	25	목 포	5~1440	69
대 전	5~1440	24	여 수	5~1440	49
추풍령	5~1440	37	완 도	30~1440	21

2.1 매개변수 추정과 적합성 조건

표 2 와 표 3 에서와 같이 GEV 분포형이 확률가중모멘트법에 의한 매개변수 추정시 모든 지점에서 매개변수 추정이 가능하였으며, 적정 분포형의 결정은 χ^2 검정 과 Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정 등의 적합도 검정을 통하여 대상 분포형의 기각유무를 판단하였다. (김경덕 등,1995)

표 2. GEV 분포에 대한 매개변수의 추정 (지속시간 : 60 분)

지 점 명	자료의 관측년수	매 개 변 수		
		x_o (Location)	α(Scale)	β(Shape)
속 초	24	130.667	43.138	-0.210
춘 천	22	118.303	40.567	-0.140
강 릉	34	127.346	54.354	-0.063
서 울	63	116.167	46.606	-0.124
인 천	40	106.129	39.374	-0.275
원 주	20	119.857	56.660	-0.169
수 원	28	124.312	44.957	-0.327
서 산	24	111.105	41.780	0.091
충 주	25	105.231	29.970	-0.134
대 전	23	109.248	39.882	-0.151
추풍령	37	102.710	32.600	0.056
포 항	38	95.165	33.561	-0.159
군 산	24	97.390	31.908	-0.175
대 구	76	88.419	37.809	0.042
전 주	51	100.618	39.373	-0.180
울 산	45	116.574	47.638	-0.147
광 주	49	106.508	37.073	-0.019
부 산	50	116.483	53.385	-0.100
충 무	24	119.701	47.853	-0.145
목 포	69	101.175	35.313	-0.093
여 수	49	117.343	45.427	-0.097
완 도	21	136.863	58.031	-0.262

표 3. 적합도 검정 결과 (지속시간 : 60 분)

지역 \ 검정	χ^2			Kolmogorov-Smirnov			Cramer von Mises		
	S	T	결과	S	T	결과	S	T	결과
속 초	1.42	9.49	○	0.14	0.24	○	0.06	0.46	○
춘 천	2.09	9.49	○	0.09	0.25	○	0.03	0.46	○
강 릉	0.94	11.07	○	0.04	0.20	○	0.01	0.46	○
서 울	3.19	11.07	○	0.07	0.15	○	0.06	0.46	○
인 천	2.60	11.07	○	0.13	0.19	○	0.06	0.46	○
원 주	1.50	9.49	○	0.08	0.26	○	0.02	0.46	○
수 원	2.00	9.49	○	0.09	0.22	○	0.02	0.46	○
서 산	8.08	9.49	○	0.08	0.24	○	0.03	0.46	○
청 주	1.20	9.49	○	0.08	0.24	○	0.03	0.46	○
대 전	0.26	9.49	○	0.08	0.25	○	0.03	0.46	○
추풍령	2.33	11.07	○	0.11	0.20	○	0.02	0.46	○
포 항	1.79	11.07	○	0.09	0.19	○	0.07	0.46	○
군 산	0.17	9.49	○	0.09	0.24	○	0.05	0.46	○
대 구	8.92	12.59	○	0.08	0.17	○	0.08	0.46	○
전 주	1.59	11.07	○	0.04	0.17	○	0.01	0.46	○
울 산	4.47	11.07	○	0.08	0.18	○	0.04	0.46	○
광 주	4.62	11.07	○	0.09	0.16	○	0.06	0.46	○
부 산	1.60	11.07	○	0.07	0.17	○	0.04	0.46	○
충 무	1.42	9.49	○	0.07	0.24	○	0.02	0.46	○
목 포	1.91	12.59	○	0.04	0.14	○	0.02	0.46	○
여 수	3.29	11.07	○	0.07	0.17	○	0.04	0.46	○
완 도	1.62	9.49	○	0.07	0.26	○	0.02	0.46	○

S : 검정통계에 의한 값 , T : 표에 의한 값, (○ : 선택 , × : 기각)

2.2 선형화 기법의 회귀분석

선형화 기법의 모형은 Hoon (1993)에 의하여 제안되었으나 그 적용면에서의 부정확한 이해로 주목받지 못하다가 Ahnne (1994)에 의해 그 적용면에의 규명이 이루어져 초기의 보급단계임에도 불구하고 복잡한 비선형에서 선형으로 접근하는 여러 회귀 모형의 추적에 적용되어 지고 있다.

선형화 기법의 회귀 모형안은 불확실성이 크거나 다변수간의 간편한 형의 식을 추정할 때 쓰여질 수 있는데, 비선형회귀에서 갖는 목적값과 변수간 관계의 편이성을 가지면서도 선형회귀에서의 보다 우수한 정도로의 접근성과 비선형의 추적시 발생가능한 비수렴성에 대한 대안으로의 장점을 갖는다. 한편 변수간의 민감도가 큰 경우에는 각 계수의 추적이 다소 쉽지 않은 경우가 있으나 일단 추정된 변수관계가 확정되면 보다 넓은 폭의 사상에 대한 변화의 추적이 가능하다. 따라서 단순한 비선형의 회귀추적이 곤란한 경우나 정도가 저하되는 경우에 선택되어질 수 있는 모형안이라고 하겠다.

선형화 기법의 모형안은 종속병렬형, 독립병렬형, 그리고 복합형의 세가지 형태가 있으며 식 (2.1) ~ 식 (2.3)과 같다.

$$F(f,g) = a_0 + \sum_{k=1}^{l} a_k f^{n_k} g^{m_k} \tag{2.1}$$

$$F(f,g) = a_0 + \sum_{k=1}^{l} (a_k f^{n_k} + b_k g^{m_k}) \tag{2.2}$$

$$F(f,g) = a_0 + \sum_{k=1}^{l}(a_k f^{n_k} + b_k g^{m_k} + c_k f_1^{n'_k} g_1^{m'_k}) \tag{2.3}$$

종속병렬형은 주로 다변수간 관계가 쉽게 파악되거나 변수사이의 관계가 3차 선형관계 이하인 경우에 적용되며, 독립병렬형은 변수간 관계가 명확하지 않거나 정도의 기복이 적은 경우 혹은 이미 정해진 함수 f, g 가 단순한 형태로의 접근이 가능한 경우에 적용되며, 복합형은 변수간 민감도가 매우 크거나 독립병렬형에 대한 보완형으로 이미 정해진 함수 f, g 가 통일 되지 않는 경우 혹은 복잡하게 추정된 종속병렬형과 독립병렬형의 보완으로 식의 단순화하는 일원으로 적용할 수 있다. 보통 식의 단순성을 고려하여 l 값은 병렬형에서는 2 이하로, 복합형은 1 로하여 추정한다. 계수 m, n 과 a_0, a_k 를 구하는 순서에 따라 m, n 을 먼저 정해놓고 계수 a_0, a_k 를 추적하는 후진형과 a_0, a_k 을 먼저 산정한 뒤 m, n 을 추정하는 전진형이 있다.

2.3 모형의 선정

주어진 식에 대한 모형을 종속병렬형으로하여 식 (2.1)에서 주어진 계수들에 대해 식의 편의성과 기존의 모형의 틀에 크게 벗어나지 않는 형태를 얻기 위해 $a_k = 1$, $l = 1$, $n_k = 1$, $m_k = -1$ 으로 하면 기본 모형은 식 (2.4)으로 나타난다.

$$I(t, T) = c + \frac{f(T)}{g(t)} \tag{2.4}$$

여기서 선형화 기법의 식 (2.5) ~ 식 (2.7)의 과정을 반복한다.

$$[f_{i+1}(T)] = \{I_i(t, T) - c_i\}\, g_i(t) \tag{2.5}$$

$$[g_{i+1}(t)] = \frac{f_{i+1}(T)}{I_i(t, T) - c_i} \tag{2.6}$$

$$[I_{i+1}(t, T)] = c_{i+1} + \frac{f_{i+1}(T)}{g_{i+1}(t)} \tag{2.7}$$

이러한 반복적인 계산에 의하여 다음 식 (2.8)과 같은 결론적인 선형의 모형을 산정할 수 있다.

$$I(t, T) = c + \frac{a_0 + a_1 T^{\frac{1}{5}} + a_2 T^{\frac{1}{4}}}{b_0 + b_1 t^{\frac{1}{5}} + t^{\frac{3}{2}}} \tag{2.8}$$

여기서 $[X(x)]$ 는 우변항에 대해 x에 대하여 선형 회귀분석한 식이다. 그리고 식 (2.8)에서 식 (2.9)으로 행렬화하고 선형 회귀분석을 반복하여 식 (2.10)과 같이 허용오차항으로 수렴시켜 각 지점의 계수를 산정한 결과는 표 4에 나타내었다.

$$[I_i(t, T)] = [I_i] \tag{2.9}$$

$$|\varepsilon| = det\left|\sum_{i=1}^{n} \frac{I \cdot [I_i]^{-1}}{n} - E\right| \tag{2.10}$$

여기서 E 는 단위행렬이다. 그리고 이렇게 산정된 확률강우강도식에 의한 각종 회귀계수값을 표 5에 나타냈다.

표 4. 각 지점별 지역계수값 일람표

계수 / 지역	c	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1
속 초	15.09	4.85	-43.60	42.88	-0.4857	0.06619
춘 천	12.98	-22.52	62.93	-30.99	-0.4621	0.17825
강 릉	-31.86	-9.26	138.65	-75.96	-0.0512	0.00014
서 울	10.94	-58.65	160.01	-79.16	-0.2913	0.18995
인 천	-83.26	36.87	231.07	-129.42	0.1623	-0.00104
원 주	-4.06	-19.03	61.35	-29.43	-0.6003	0.00289
수 원	-9.44	-24.58	114.77	-60.54	-0.2983	0.00405
서 산	14.17	-17.91	43.17	-14.37	-0.4421	0.18210
청 주	7.89	-31.17	120.70	-67.76	-0.3049	0.12633
대 전	-28.49	-14.46	147.08	-86.26	-0.2660	0.00166
추풍령	7.31	-20.28	82.93	-46.26	-0.4280	0.17931
포 항	10.47	-28.11	87.99	-48.21	-0.4107	0.20636
군 산	-27.58	3.29	96.45	-52.88	-0.2292	0.00099
대 구	6.05	-60.82	206.17	-115.47	-0.1353	0.28388
전 주	8.37	-40.90	206.64	-122.04	-0.1550	0.22194
울 산	-38.86	-3.28	147.14	-80.55	-0.1195	0.00084
광 주	-5.43	-14.57	83.22	-46.76	-0.4269	0.01162
부 산	9.17	-66.71	241.19	-138.93	-0.0964	0.16770
충 무	-12.02	-18.22	92.41	-47.34	-0.3133	0.00555
목 포	10.59	-20.80	90.58	-53.36	-0.4118	0.16431
여 수	-0.29	-30.61	121.93	-66.94	-0.3056	0.03773
완 도	-184.52	489.25	505.13	-271.81	2.1792	0.00014

표 5. 각 지점별 회귀계수값 일람표

계수 / 지역	상관 계수		결정 계수		표준 편차	
	R_{z-xy}	R_{xy-z}	A	B	A	B
속 초	0.5901	0.2107	0.9642	0.9942	20.015	8.114
춘 천	0.5445	0.1406	0.9901	0.9962	7.927	5.920
강 릉	0.7191	0.2560	0.9802	0.9917	7.278	5.114
서 울	0.6355	0.2206	0.9921	0.9990	5.162	3.734
인 천	0.7365	0.2346	0.9810	0.9940	8.962	5.808
원 주	0.7258	0.3431	0.9951	0.9979	3.901	2.638
수 원	0.6785	0.2663	0.9858	0.9927	8.581	6.995
서 산	0.5702	0.1652	0.9885	0.9949	11.003	7.559
청 주	0.6496	0.1941	0.9949	0.9941	5.819	5.762
대 전	0.6471	0.1679	0.9869	0.9939	8.456	6.278
추풍령	0.5611	0.1221	0.9965	0.9982	3.898	3.731
포 항	0.5733	0.1542	0.9924	0.9975	4.503	3.925
군 산	0.7000	0.1691	0.9880	0.9943	8.274	5.103
대 구	0.6756	0.1596	0.9936	0.9974	4.907	4.044
전 주	0.6645	0.1772	0.9874	0.9897	8.815	8.522
울 산	0.6949	0.2538	0.9850	0.9950	8.720	5.082
광 주	0.5947	0.1420	0.9899	0.9983	5.942	3.841
부 산	0.6884	0.2322	0.9802	0.9898	9.973	8.032
충 무	0.6550	0.2382	0.9920	0.9968	5.722	4.394
목 포	0.5813	0.1082	0.9914	0.9966	5.930	4.364
여 수	0.6632	0.2256	0.9939	0.9977	4.614	3.848
완 도	0.8483	0.5428	0.9626	0.9812	9.636	6.143

A : 기존의 확률강우강도식(유동훈,1995) : $I(t,T) = \dfrac{a_0 + a_1 \log T}{b_0 + b_1 \log t + \sqrt{t}}$

B : 선형화기법에 의한 식 : $I(t,T) = c + \dfrac{a_0 + a_1 T^{\frac{1}{5}} + a_2 T^{\frac{1}{4}}}{b_0 + b_1 t^{\frac{1}{5}} + t^{\frac{3}{2}}}$

3. 결 론

본 연구에서는 우리나라의 강우사상에 대해 단일한 확률분포형(GEV분포)을 가정하여 확률강우량을 산정하고, 선형화 기법을 이용하여 편의성을 고려하면서도 정도도 우수한 확률강우강도식을 유도하였으며 이를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구에서 유도한 확률강우강도식은 기존 비선형 형태에서 발생할 수 있는 비수렴성과 정도의 편협성 등을 개선할 수 있었으며, 선형화 기법에 따른 식의 유도로 보다 광범위한 형태의 접근이 가능하였다.

2 선형화 기법으로 유도된 확률강우강도식은 기존 비선형의 일반형 확률강우강도식과 비교하였을 때 정도가 보다 우수한 것으로 나타났다.

4. 참고 문헌

건설부, "<u>수자원관리기법 개발연구조사보고서</u>", 1988.

이원환, 박상덕, 최성열,"한국대표확률강우강도식에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회 개요집, pp. 135~138, 1992

박상덕, "<u>계획강우의 시간적 분포</u>", 수공학연구발표회지, 1994.

이원환, "<u>한국 대표 확률 강우 강도식의 유도</u>", 1993.

김경덕, 허준행, 조원철, "<u>지속기간별 강우자료의 분포형에 관한 연구.</u>", '95 대한토목학회 학술발표회논문집, pp. 25~28, 1995.

유동훈, "<u>일반형 강우강도식의 적용</u>", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 61~64, 1995.

S.Wolfram, "<u>The Mathematical Approches for Engineering.</u>", AWPC. 1993.

J.M.Ahnne, "<u>The Linearizing Techniques and Applications.</u>", PWS. 1994.