

지속기간의 분리에 따른 확률강우강도식의 산정

김성태⁽¹⁾, 김병식⁽²⁾, 김형수⁽³⁾, 서병하⁽⁴⁾

1. 서론

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 생기빈도를 설정함으로써 추정되며, 이러한 결과를 바탕으로 하여 확률강우강도식이 유도된다(조원철, 1996).

특히 소규모유역의 경우 중·대규모 유역과는 달리 강우량 산정의 편이성을 위하여 강우강도식을 이용하는 단순방법을 통하여 강우강도를 산정하고 있다. 강우강도는 수공구조물의 목적과 중요도에 따라 강우의 재현기간을 선택하여 설계하고자, 유역의 강우강도-지속기간-재현기간(IDF) 곡선 또는 강우강도식으로부터 결정할 수 있다(나창진 등, 1999).

과거의 연구에서 볼 수 있듯이 확률강우강도식을 산정하는 과정에서 짧은 지속기간의 자료와 긴 지속기간의 자료를 함께 분석할 경우, 유도된 강우강도식의 형태가 긴 지속기간 부분을 설명하느냐, 짧은 지속기간 부분을 설명하느냐에 따라 그 나머지 부분에서는 많은 오차가 발생하는 것을 볼 수 있다(건설부, 1998). 따라서 본 연구에서는 Clustering기법을 이용하여 적당한 지속기간군으로 구분한 후, 나뉜 부분 각각에 대한 강우강도식을 유도하여 보다 신뢰성 있는 결과를 얻고자 한다.

2. 분석 대상자료 선정 및 분석 절차

2.1. 분석자료 및 기본 통계치

본 연구에서는 관측기록 년수가 46년으로 비교적 관측정도가 양호한 인천지점의 지속기간별 연최대치 강우자료를 대상으로 L-모멘트법을 이용하여 지속기간에 따른 연최대치 강우자료의 평균, 분산, 표준편차, 왜곡도 등의 통계분석 및 빈도해석을 실시하였다.

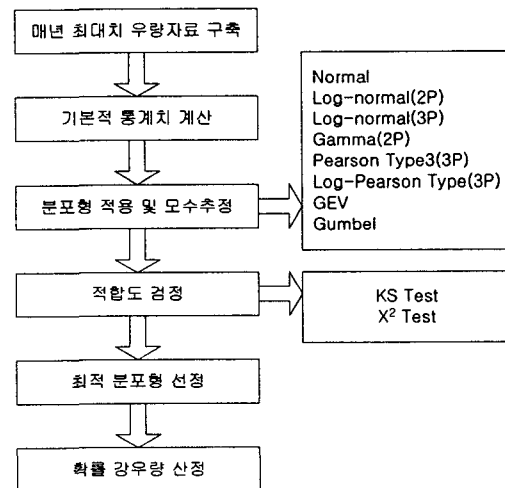


그림 1 지속기간별 확률강수량

- (1) 인하대학교 토목공학과 석사과정
- (2) 인하대학교 토목공학과 박사과정
- (3) 선문대학교 토목공학과 교수·공학박사
- (4) 인하대학교 토목공학과 교수·공학박사

2.2 확률 강우량 산정 절차

(1) 확률분포형 선정

확률분포형으로는 normal, lognormal(2P), lognormal(3P), gamma(2P), Pearson Type-3(3P), log-Pearson Type-3(3P), GEV, Gumbel 등 8가지 분포형을 적용하였다.

(2) 확률분포형에 따른 매개변수의 추정

lognormal(3P), Pearson Type-3(3P), log-Pearson Type-3(3P) 분포형에 L-모멘트법을 적용하여 각 분포형에 따른 Location Parameter, Scale Parameter, Shape Parameter를 구하였다.

(3) 적합성 검토

관측 수문자료가 선정된 이론확률분포에 적합하다는 가설을 검정하기 위하여 확률분포의 적합도 검정을 실시하고, 이를 토대로 최적 확률분포형을 선정한다. 적합도 검정 방법에는 Kolmogorov-Smirnov(K-S)검정, Chi-Square(χ^2), Cramer Von Mises 검정, Probability Plot Correlation Coefficient(PPCC) 검정 등이 있으며(최계운, 1999), 본 연구에서는 K-S Test와 χ^2 Test를 적용하여 적정 확률분포형 선정에 신뢰도를 제고하였다. 하지만, χ^2 검정 방법을 택할 경우 자료의 기록년수로 인한 계급구간수 결정에 관한 문제가 있기는 하지만, 본 연구에서는 46년의 자료를 가지고 수행함으로써 그런 우려는 무시하였다.

(4) 적정 확률 분포형 선정

관측 연 유량계열이 상기한 확률분포 중 어느 하나를 따른다고 가정하여 매개변수를 구한 뒤, 위의 적합성 검토를 한 뒤 적절한 확률 분포형을 선택하게 된다. 하지만 모집단의 분포형을 알 수 없다는 모순을 지니고 있으며 적합도 검정 결과를 살펴보면 대부분이 검정을 통과하게 되므로 최종 선택 대상 확률분포형이 많으며, 또한 적합도 검정은 기간 여부만을 판단할 수 있는 것이지 적합의 정확도와는 관계가 없는 것이기 때문에 적정 확률 분포형을 채택하는데에는 어려움이 따를 수 있다(서병하, 2000). 확률분포형의 선택에 따른 결과의 차이를 볼 수 있으나, 아직까지는 별다른 대안이 없는 관계로 이를 사용하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서도 K-S Test와 χ^2 Test의 결과에 의해서 얻어진 적절한 분포 몇 가지를 선택하여 수행하였다.

(5) Clustering기법에 의한 지속기간의 분리

Clustering기법으로는 k-means clustering Analysis, PAM (Partitioning Around Memoids) Analysis, Fuzzy clustering Analysis 등이 있고, 이 군집방법 중에 대용량 데이터를 빠르게 처리할 수 있으며, 그 알고리즘도 비교적 간단한 방법인 k-means clustering Analysis을 통하여 지속기간간의 군집을 분석한다. 이는 관측치들 사이의 거리를 이용해 주어진 기준을 최적화하도록 구현되므로 최적분리 군집방법이라고도 한다(이동규, 1999). 군집방법에 의해서 지속기간을 구분하여 본 결과 지속기간 90분 전후로 하여 두 개의 군집으로 나뉘는 것을 S-Plus을 이용하여 산출하였다.

(6) 확률 강우량 산정

확률 강우량 산정에는 확률도시법에 의한 방법과 빈도계수를 이용하는 빈도계수법이 있는데, 본 연구에서는 빈도계수법을 이용하였다. 빈도계수법은 빈도계수와 자료의 평균 및 표준오차로 조합된 빈도식에 의해 각종 확률분포형에 대한 특정 재현기간의 수량을 결정하는 것으로서 가장 널리 이용되고 있는 방법이다. 빈도식은 다음과 같다.

$$X_T = \bar{X} + sK_T$$

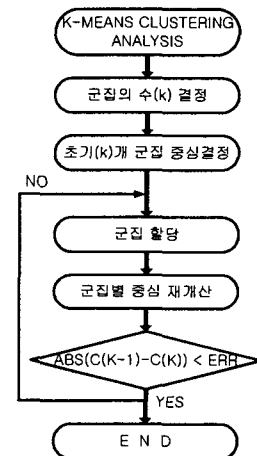


그림 2. Clustering Analysis

여기서 X_T 는 재현기간 T년에 해당하는 변량이며, \bar{X} 는 표본변량 x 의 평균치, s 는 표준편차, 그리고 K_T 는 재현기간 T년에 해당하는 빈도계수이다. 따라서 $K_T \sim T$ 관계가 수립되면 특정 재현기간에 대한 분포형에 따른 빈도계수 K_T 를 구하여 원하는 재현기간의 확률수문량을 구할 수 있다(윤용남, 2001). 본 연구에서는 선정된 3개의 확률 분포형에 대해 빈도해석법을 사용하였다.

(7) 확률강우강도식 산정

강우강도와 지속시간 간의 관계는 지역에 따라 다르나 대체로 다음 세가지 유형의 경험 공식과 통합형으로 표시된다(윤용남, 2001).

$$\begin{aligned} \text{Talbot형} \quad I &= \frac{a}{t + b} & \text{Sherman형} \quad I &= \frac{c}{t^n} & \text{Japanese형} \quad I &= \frac{d}{\sqrt{t + e}} \\ \text{통합형 1} \quad I &= \frac{a}{t^n + b} & \text{통합형 2} \quad I &= \frac{a}{(t + b)^n} \end{aligned}$$

여기서, I는 강우강도, t는 지속시간(min)이며, 식에 관계되어 있는 상수들을 시산법에 의해서 구할 수 있다. 본 연구에서는 통합형을 이용하여 회귀분석을 통하여 상수를 결정하였다.

3. 확률강우량 산정

본 연구에서는 normal, lognormal-2, lognormal-3, gamma-2, Pearson Type-3, log-Pearson Type-3, GEV, Gumbel분포형을 대상으로 Kolmogorov-Smirnov(K-S)검정과 Chi-Square(χ^2)검정을 실시한 결과, lognormal-3, Pearson Type-3, log-Pearson Type-3 등의 3 가지 분포형이 만족되었다.(표 1. 참조) 따라서 본 연구에서는 선정된 3가지 확률분포형을 이용하여 확률강우량을 산정하였다. 또한, 통합형 1 공식에 대해 회귀분석을 실시하여 각각의 분포형에 대한 매개변수 a, b를 결정하였다. 그림 3은 그 결과를 비교한 것이다.

$$\text{통합형 1 ;} \quad I = \frac{a}{t^n + b}$$

표 1. L-Moment법을 이용한 각 분포형에 대한 매개변수 추정

분포형 지속시간	Log-Normal(3P)			Pearson Type-3(3P)			Log-Pearson Type-3(3P)		
	Locat. P.	Scale. P.	Shape. P.	Locat. P.	Scale. P.	Shape. P.	Locat. P.	Scale. P.	Shape. P.
10	-88.5708	4.6379	0.0438	-54.1446	0.2981	231.4487	3.6416	0.1077	9.1941
20	-2.0590	3.1856	0.3204	5.8202	3.9331	4.4686	22.8972	0.0062	3185.9870
30	5.4231	3.0860	0.4496	12.4213	7.4096	2.3240	1.8422	0.0872	17.0467
40	10.2060	3.0638	0.5156	16.9778	9.8786	1.7898	2.4497	0.1198	8.6534
50	10.3215	3.2656	0.5063	18.6204	11.5904	1.8532	2.3991	0.1082	11.3514
60	12.2324	3.3205	0.5348	20.9584	13.8957	1.6698	2.3248	0.0989	14.1087
90	13.8621	3.5917	0.5233	25.3283	17.3309	1.7400	2.2186	0.0822	21.0026
120	8.5150	3.9036	0.4757	24.3007	19.0404	2.0869	0.5749	0.0460	76.2379
180	15.1064	3.9586	0.5147	31.6779	24.0668	1.7962	0.1500	0.0384	106.3556
240	16.0425	4.0824	0.5081	34.8184	26.4482	1.8406	-2.0122	0.0248	255.9312
300	27.3150	3.9799	0.5843	44.0519	33.1067	1.4117	2.5302	0.0790	24.0449
360	31.3657	4.0199	0.6097	48.7145	38.1708	1.3026	2.9609	0.0989	15.6669
1440	58.9219	4.1257	0.8057	77.6702	87.2174	0.7671	4.0282	0.2221	3.8052

표 2. 단일식에 의한 상수

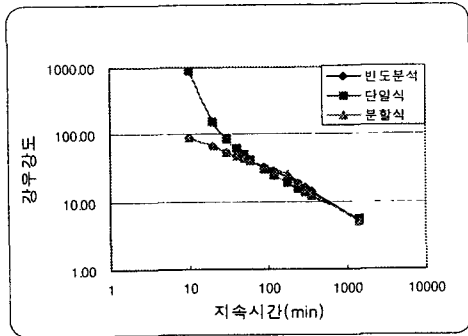
YEAR	Log-Normal (3P)			Pearson Type-3 (3P)			Log-Pearson Type-3 (3P)		
	a	n	b	a	n	b	a	n	b
2	191.4880	0.5360	-3.2309	188.1389	0.5540	-3.3073	193.2289	0.5410	-3.2029
5	288.3313	0.5210	-2.7761	298.5787	0.5290	-2.6374	289.0355	0.5210	-2.7703
10	372.7302	0.4980	-2.3123	387.7993	0.4950	-2.1272	373.2632	0.4780	-2.3100
20	469.8162	0.4670	-1.7933	479.8576	0.4890	-1.6680	472.6674	0.4680	-1.7689
30	533.4626	0.4580	-1.4671	534.7977	0.4990	-1.4238	539.3977	0.4850	-1.4164
50	621.2625	0.4890	-1.0388	604.7478	0.4870	-1.1393	634.1339	0.5210	-0.9312
100	755.8545	0.4980	-0.4251	701.2160	0.4360	-0.7870	785.1002	0.5100	-0.1957
200	910.0188	0.5050	0.2286	798.9863	0.4890	-0.4714	966.8607	0.5010	0.6348
300	1010.3334	0.5230	0.6287	856.8523	0.4750	-0.2985	1090.1410	0.5200	1.1709
400	1086.1962	0.5010	0.9192	897.9509	0.4880	-0.1825	1186.2629	0.5110	1.5749
500	1148.4421	0.5030	1.1566	930.1839	0.4770	-0.0930	1266.2041	0.4990	1.9031
1000	1358.3864	0.5100	1.9067	1030.6151	0.4560	0.1666	1548.7868	0.4870	3.0207

표 3. 분할식에 의한 상수

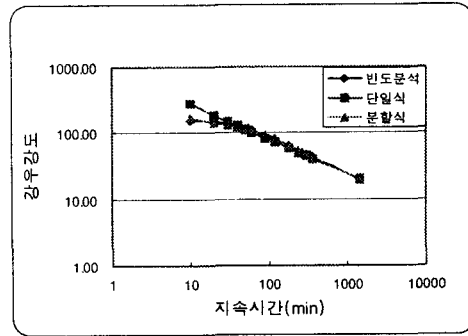
YEAR	Log-Normal(3P)						Pearson Type-3(3P)						Log-Pearson Type-3(3P)					
	분할식 (1)			분할식 (2)			분할식 (1)			분할식 (2)			분할식 (1)			분할식 (2)		
	a	n	b	a	n	b	a	n	b	a	n	b	a	n	b	a	n	b
2	337.9	0.512	0.680	155.0	0.534	-7.39	335.6	0.532	0.653	151.7	0.51	-7.53	340.2	0.521	0.745	155.8	0.499	-7.45
5	506.1	0.511	1.332	236.7	0.521	-6.75	517	0.521	1.417	246.9	0.511	-6.5	503.2	0.511	1.282	237.3	0.489	-6.75
10	641.4	0.508	1.847	311.5	0.514	-6.01	655	0.511	1.941	327.2	0.517	-5.67	638.6	0.521	1.757	314	0.502	-5.88
20	791.4	0.511	2.406	400.6	0.528	-5.17	797.3	0.495	2.447	412	0.52	-4.92	788.4	0.52	2.240	410.2	0.521	-4.78
30	888.3	0.524	2.762	460.6	0.519	-4.62	883.6	0.501	2.741	463.3	0.51	-4.52	888.1	0.51	2.569	478	0.489	-4.02
50	1023.3	0.489	3.259	545.2	0.501	-3.90	996.6	0.504	3.119	529.1	0.499	-4.06	1028.4	0.499	3.038	578.7	0.478	-2.92
100	1230.9	0.477	4.001	678.5	0.493	-2.84	1158	0.488	3.643	620.6	0.485	-3.49	1253	0.478	3.78	750.1	0.456	-1.12
200	1468.8	0.487	4.814	836.6	0.492	-1.67	1324	0.475	4.136	714.4	0.475	-2.97	1528	0.501	4.68	974.8	0.458	1.103
300	1627.5	0.458	5.348	942.1	0.498	-0.95	1425	0.478	4.43	769.9	0.496	-2.7	1715	0.512	5.283	1139	0.487	2.668
400	1750.1	0.478	5.756	1023.1	0.488	-0.41	1500	0.479	4.646	809.6	0.477	-2.51	1866.9	0.489	5.774	1275	0.456	3.913
500	1857.2	0.498	6.136	1090.6	0.483	0.015	1560	0.452	4.827	840.7	0.468	-2.37	1993	0.478	6.174	1393	0.453	4.987
1000	2214.6	0.491	7.308	1323.2	0.472	1.428	1750	0.458	5.36	937.8	0.489	-1.97	2475	0.468	7.748	1847	0.475	8.961

표 4. Log-Normal(3P)에 의한 확률 강우량

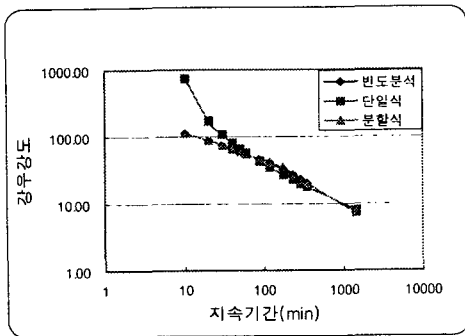
YEAR		10	20	30	40	50	60	90	120	180	240	300	360	1440
		2	분포형	88.80	66.30	54.60	47.40	43.80	39.90	33.47	29.05	22.50	18.83	16.16
2	단일식	935.55	154.27	85.24	61.90	49.86	42.41	30.61	24.79	18.80	15.62	13.59	12.16	5.52
2	분할식	87.94	65.59	54.88	48.24	43.60	40.11	33.24	29.05	25.72	19.13	15.61	13.38	5.07
5	분포형	111.60	88.80	74.80	64.80	60.48	55.60	46.80	41.25	31.97	26.75	22.96	20.73	7.54
5	단일식	746.66	170.00	106.75	81.26	67.13	58.02	42.97	35.26	27.10	22.68	19.82	17.80	8.20
5	분할식	112.58	87.18	74.31	66.09	60.22	55.74	46.77	41.18	35.51	27.08	22.40	19.37	7.59
10	분포형	124.20	103.20	88.80	77.55	72.48	67.20	56.53	49.85	38.80	32.43	28.10	25.50	9.70
10	단일식	438.52	172.57	117.77	92.90	78.32	68.60	51.95	43.13	33.57	28.28	24.84	22.37	10.46
10	분할식	128.02	101.49	87.56	78.48	71.91	66.85	56.59	50.10	42.11	32.88	27.56	24.05	9.76
50	분포형	147.00	133.80	121.00	107.85	101.28	95.20	80.13	70.10	55.27	46.10	41.00	37.70	15.95
50	단일식	292.57	180.95	139.97	117.54	102.99	92.63	73.54	62.65	50.19	42.98	38.16	34.64	16.83
50	분할식	159.34	132.34	117.12	106.77	99.05	92.98	80.28	71.99	57.32	47.05	40.64	36.18	16.01
100	분포형	154.80	146.70	135.40	121.95	114.48	108.30	91.00	79.25	62.87	52.35	47.14	43.57	19.27
100	단일식	276.15	186.77	149.61	128.12	113.73	103.25	83.41	71.79	58.18	50.17	44.74	40.75	20.14
100	분할식	171.83	145.27	129.87	119.21	111.17	104.78	91.26	82.31	64.16	53.64	46.86	42.06	19.33
200	분포형	162.60	159.30	150.20	136.50	128.16	122.00	102.40	88.65	70.77	58.88	53.68	49.87	23.01
200	단일식	268.37	193.59	159.49	138.87	124.67	114.11	93.67	81.37	66.69	57.89	51.86	47.39	23.84
200	분할식	184.14	158.17	142.72	131.87	123.59	116.94	102.71	93.15	71.28	60.57	53.49	48.37	23.07
500	분포형	171.60	176.10	170.60	156.90	147.36	141.20	118.40	101.75	81.83	67.98	63.00	58.90	28.68
500	단일식	265.91	204.03	173.12	153.51	139.58	129.00	107.90	94.83	78.81	68.98	62.15	57.05	29.37
500	분할식	199.72	175.06	159.91	149.04	140.62	133.78	118.87	108.67	81.19	70.33	62.91	57.43	28.73
1000	분포형	178.20	189.00	186.60	173.40	162.72	156.70	131.20	112.10	90.70	75.28	70.58	66.32	33.57
1000	단일식	267.98	212.95	183.97	165.03	151.31	140.73	119.22	105.62	88.65	78.07	70.65	65.06	34.08
1000	분할식	211.50	187.99	173.21	162.44	154.01	147.11	131.86	121.26	89.14	78.20	70.58	64.86	33.61



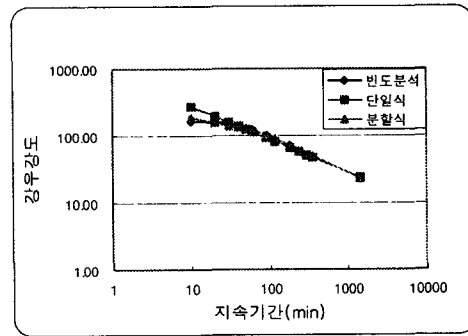
(a) 재현기간 2년



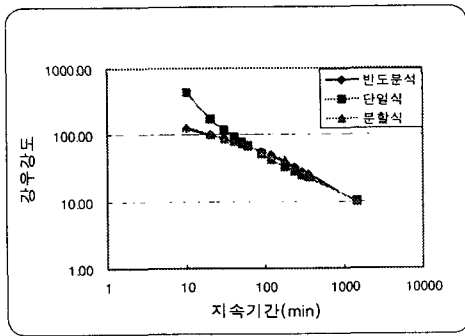
(b) 재현기간 5년



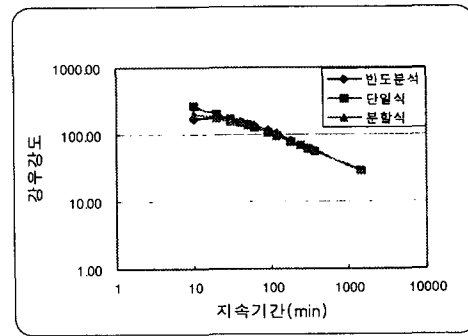
(c) 재현기간 10년



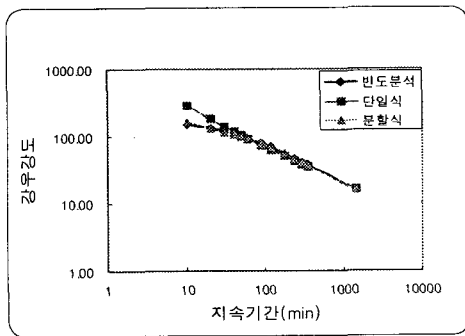
(d) 재현기간 50년



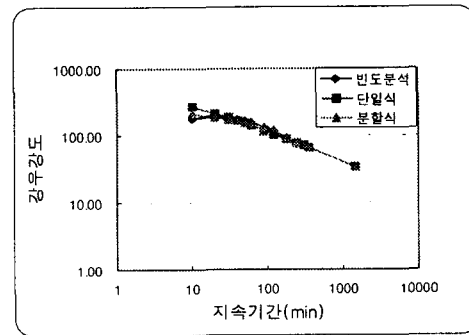
(e) 재현기간 100년



(f) 재현기간 200년



(g) 재현기간 500년



(h) 재현기간 1000년

그림 3. 재현기간별 확률강우강도 산정 방법의 비교

4. 결 론

지금까지의 확률 강우강도식을 산정하는 방법은 지속기간의 길이에 상관없이 하나의 식으로 가정 한 후 회귀분석을 실시하며, 이를 통해 추정된 매개변수로 구성된 회귀식에 의해 확률강우량을 산정하는 방식을 채택해 왔다. 이와 같이 지속기간의 길이에 상관없이 자료를 하나의 회귀식으로 가정하여 분석할 경우, 지속 기간별 확률 강우량자료 전체가 완전히 하나의 회귀식에 일치하지 않기 때문에 많은 오차가 발생하게 된다. 그러나, 본 연구에서는 군집분석방법을 이용하여 지속기간을 장기와 단기로 분리하였다. 이를 통해 얻은 각각의 강우 강도식을 회귀분석하여 강우강도식의 매개변수를 결정한 후, 확률강우량을 산정하였다. 분석결과, 기존의 방법에 비해 오차를 상당히 줄일 수 있었으며 강우강도식을 빈도분석에 이용하기 위해서는 적당한 지속기간군으로 구분하여 식을 유도하는 것이 바람직하다고 판단된다.

5. 참고문헌

- 윤용남(2001). 공업수문학. 청문각. pp.67~71
- 건설부(1988), 한국확률강우량의 작성, 제 2권
- 나창진, 김중훈, 이은태, 안원식(2001) 유전자 알고리즘을 이용한 확률강우강도식의 산정, 2000 한국수자원 학회 학술 발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 218~223
- 이동규, 박정균(1999) 군집분석을 이용한 남한의 여름철 강수지역의 구분, 1999 한국기상학회 학술 발표회 논문집, 한국기상학회, pp 511~518
- 서병하, 송태정(2000) 최적화 기법을 이용한 확률강우강도식의 산정, 2000년도 대한토목학회 학술 발표회 논문집, 대한토목학회, pp 99~102.
- 최계운, 안경수, 권영식, 김현태(1999) 인천지방 확률강우강도식(인천대공식)의 산정, '99년 한국수자원학회 학술 발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 244~249.
- 허준행, 김경덕, 한정훈(1999) 지속기간별 강우자료의 적정분포형 선정을 통한 확률강우강도식의 유도, 한국수자원학회논문집, Vol. 32. No. 3, pp 229~254.
- 허준행, 조원철, 김경덕, 한정훈(1996) 선형화기법에 의한 확률강우강도식의 유도, 한국수자원학회 학술발표 회 논문집 pp.232-237.