

計劃降雨의 時間的 分布

박상덕* 이원환**

1. 서론

강우량 자료를 수공설계의 기본자료로 사용하기 위해서는 그 유역을 대표할 수 있는 지점강우량 자료로부터 계획강우량을 설정하여야 한다. 계획강우량은 임의의 빈도에 해당하는 확률강우강도식으로부터 산정된 확률강우량이 사용되고 있다. 수공계획 유역에 이와같은 강우가 발생하였다 하더라도 강우의 시간적 분포양상에 따라 유역의 수문응답인 유출수문곡선의 형태가 달라질 것이다. 따라서 계획강우량의 시간적 분포를 어떻게 설정하여야 할 것인가 하는 문제는 중요한 과제가 되고 있다. 즉, 수공계획 수립의 기본단계에 있어 반드시 필요한 계획강우의 문제는 확률강우량과 강우량의 시간적 분포로 대별할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 확률강우량 추정에 사용된 지속기간별 매년최대 강우량의 시간분포가 계획강우의 시간적 분포에 고려되어야 한다는 기본 가정하에서 계획강우의 시간적 분포를 추정하고자 하는 것이다.

2. 頻度解析에 의한 시간적 분포

계획강우란 수공구조물설계에 필요한 강우량과 그 시간적 분포를 말한다. 수공구조물의 설계에 있어서 강우의 량은 확률강우량이 사용되고 있으며 그 시간적 분포는 대표적인 기법으로서 Keifer & Chu (1957), Huff (1967), Pilgrim & Cordery (1975), Yen & Chow (1977) 등의 방법에 의하여 결정할 수 있다. 한국건설기술 연구원 (1989)에서는 우리나라의 주요 강우 관측지점에¹ 대하여 이상의 기법을 적용하여 계획강우의 시간분포를 발표한 바 있다.

본 연구에서는 확률강우량의 산정에 사용되는 지속기간별 매년최대치 강우량의 시간적 분포가 계획강우량의 시간적 분포에 고려되어야 한다는 기본 가정하에 계획강우의 시간분포를 추정한다. 따라서 계획강우의 시간분포 추정을 위한 기본자료는 지속 기간별 매년최대치 강우량의 발생시각 부터 종료시각 까지 일정한 시간 단위로 강우량을 구하여 시간별 년 시계열을 구성함으로써 얻어진다. 이렇게 얻어진 시계열에 대하여 빈도해석을 함으로써 임의의 빈도에 해당하는 확률강우량을 산정하고 이를 무차원화 하여 그 지속기간의 계획강우량에 대한 시간분포로 삼는다. 각 시각별 강우량 자료에 대한 빈도해석을 위해서 확률강우량 산정에 많이 적용되고 있는 확률분포 모형들을 도입한다. 즉 정규분포, 변수변환 정규분포, 3변수 대수정규분포, 극치분포(Gumbel 분포)를 확률분포 모형으로 채택한다. 변수변환 정규분포($2\sqrt{\cdot}$, $3\sqrt{\cdot}$, $4\sqrt{\cdot}$, $5\sqrt{\cdot}$, Log)는 이원환에 의하여 우리나라의 매년최대 강우량자료에 적합한 확률분포 모형임이 밝혀져 있으며 본 연구에서도 이와 같은 변수변환을 채택한다. 각 확률분포모형의 적합도는 χ^2 검정에 의하여 판단한다.

* 강릉대학교 자연과학대학 대기과학과 조교수

** 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

3. 기본자료

본 연구를 위한 기본자료는 서울과 대구지점의 지속기간별 매년최대 강우량의 발생시각부터 종료시까지를 10분 단위로 분할 한 강우량이 사용된다. 이는 한국건설기술 연구원의 10분단위 자료로부터 얻어졌으며, 서울지점의 자료보유기간은 1914년부터 1987년 까지이나 1949년부터 1954년 까지 부분결측되어 있으므로 1954년이후 34년간의 자료를 대상으로 하였다. 대구지점은 1916년부터 1987년까지 72년간의 자료를 대상으로 하였다. 매년최대 강우량 추출을 위한 지속기간 구분은 20분부터 180분까지 10분씩 증가시킨 총 17개의 지속기간을 선정하였다.

4. 시간적 분포특성 분석

4.1 적합도 검정

지속기간내 시각별 강우량 년시계열에 대하여 적용된 확률분포 모형의 적합도는 χ^2 검정에 의하여 이루어졌으며 그 결과 기각판정 횟수는 표1 과 같다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 지속기간이 20분에서 60분 까지 비교적 단시간일 때 서울지점의 경우 정규분포(NPD)와 2변수대수 정규분포(LN2PD)를 제외하고는 모두 양호한 결과를 나타내고 있으며 대구는 2승근 변수변환 정규분포(2RNPD), 3승근 변수변환 정규분포(3RNPD)와 3변수 대수 정규분포(LN3PD), 극치분포(EXT1D)가 양호한 결과를 보여주고 있다. 지속기간 70분에서 120분일 때 서울의 경우 2승근, 3승근 및 4승근 변수변환 정규분포(4RNPD)와 3변수대수 정규분포가 양호하고, 대구는 2승근 및 3승근 변수변환정규분포와 3변수 대수정규분포가 양호한 결과를 나타내고 있다. 지속기간 130분에서 180분일 경우에는 서울은 2승근, 3승근, 4승근 및 5승근 변수변환 정규분포(5RNPD)와 3변수 대수정규분포가 양호하고 대구의 경우에는 3승근 및 4승근 변수변환 정규분포와 3변수 대수 정규분포가 잘 적합되는 것으로 나타났다. 전체적으로 볼 때 서울과 대구 모두에서 3승근 변수변환 정규분포가 지속기간별 매년최대 강우의 각 시각별 강우량 년시계열에 적합한 확률분포 모형임을 알수 있으며, 극치분포는 대체로 90분 미만의 단시간 자료들에 적합될 수 있으나 지속기간이 커지면서 잘 적합되지 않는 것으로 나타났다.

표1. 적합도 검정에 따른 기각판정의 수

구분	총 기각 수		I		II		III		$\chi^2_{v, 0.05}$	
	서울	대구	서울	대구	서울	대구	서울	대구	서울	대구
NPD	104	150	9	13	28	46	67	91	9.488	12.592
LN2PD	84	139	7	13	17	42	60	84	9.488	12.592
2RNPD	17	38	1	1	5	6	11	31	9.488	12.592
3RNPD	3	9	0	5	2	1	1	3	9.488	12.592
4RNPD	13	28	1	8	8	10	4	10	9.488	12.592
5RNPD	21	55	2	10	14	17	5	28	9.488	12.592
LN3PD	19	14	2	1	6	2	11	11	7.815	11.071
EXT1D	63	109	2	2	13	30	48	77	9.488	12.592
N	170		20		57		93			

주) I : 지속기간 20분, 30분, 40분, 50분, 60분
 II : 지속기간 70분, 80분, 90분, 100분, 110분, 120분
 III : 지속기간 130분, 140분, 150분, 160분, 170분, 180분
 N : 적합도 검정 수

4.2 무차원 누가시간분포

적합도 검정결과에 따라 채택된 3승근 변수변환 정규분포를 각 지속기간의 시각별 강우량에 적용하여 빈도별 확률강우량을 산정하고 이를 다음과 같이 무차원화하였다.

$$D_{ci} = \frac{\sum_{j=1}^i R_j}{\sum_{j=1}^N R_j}$$

여기서 R_j 는 시각 j 에서 확률강우량, D_{ci} 는 시각 i 에서의 무차원 누가우량, N 은 강우지속기간을 10분간격으로 분할 할 때의 구간수이다. 서울과 대구의 재현기간별 빈도별 무차원 누가우량은 표2, 3과 같다.

4.3 강우분포

계획 강우량은 서울과 대구 지점의 10년 빈도 확률강우강도식으로부터 산정하였으며 산정된 지속기간별 확률강우량은 표4와 같다. 이 계획강우량에 2년, 100년 빈도의 시간분포를 적용하여 나타내면 그림 1. 및 그림 2.와 같다.

서울의 계획 강우량의 시간분포를 보면 그림 1, 2와 표 5.에서도 알 수 있는 바와 같이 지속기간 60분의 경우 시간분포의 빈도가 증가함에 따라 첨두 강우발생시각이 전반부에서 후반부로 이동하고 있으며 첨두강우량은 약간씩 증가하는 경향을 나타내고 있다. 지속기

표2 (a). 서울지점 계획강우의 무차원 누가분포 (재현기간 : 2년)

시각 (분)	지속기간 (분)								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	.44796	.31295	.24629	.19718	.17156	.15367	.12231	.10373	.08764
20	1.00000	.62230	.49258	.41408	.36764	.31192	.25107	.21576	.17729
30		1.00000	.75074	.62253	.54411	.46789	.41416	.35269	.31673
40			1.00000	.81126	.69852	.61009	.54935	.49170	.44223
50				1.00000	.85294	.74770	.66952	.60788	.54780
60					1.00000	.87614	.78755	.70954	.65737
70						1.00000	.90987	.82780	.75298
80							1.00000	.92738	.84262
90								1.00000	.93027
100									1.00000
시각	110	120	130	140	150	160	170	180	
10	.07495	.05772	.06826	.06352	.06569	.06216	.05574	.04878	
20	.16568	.14152	.14575	.13974	.14233	.12611	.11846	.10453	
30	.27613	.24394	.22140	.21234	.22080	.19182	.17944	.16550	
40	.40433	.36126	.34132	.32849	.31204	.29129	.26655	.22996	
50	.51084	.48044	.42066	.40834	.38138	.34635	.32578	.27526	
60	.60157	.56983	.50922	.49909	.46350	.41563	.39198	.33797	
70	.70217	.65549	.60332	.57894	.53102	.48667	.45296	.40592	
80	.78895	.75232	.69557	.66424	.60583	.55239	.52439	.48083	
90	.86982	.83240	.78228	.75136	.67153	.61989	.58362	.55574	
100	.93885	.89199	.85424	.82395	.74270	.67495	.64808	.60801	
110	1.00000	.94413	.90590	.87295	.80474	.74422	.71428	.67421	
120		1.00000	.95572	.91833	.85583	.80994	.77177	.73344	
130			1.00000	.96733	.90693	.85968	.83623	.79094	
140				1.00000	.95620	.91119	.88327	.83797	
150					1.00000	.95914	.92508	.89024	
160						1.00000	.96864	.93205	
170							1.00000	.96864	
180								1.00000	

표2 (b). 서울지점 계획강우의 무차원 누가분포 (재현기간 : 10년)

시각 (분)	지속기간 (분)								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	.50483	.33928	.26619	.18374	.16791	.15142	.12619	.10245	.09553
20	1.00000	.63750	.50563	.41107	.34545	.29523	.24195	.19836	.17565
30		1.00000	.74788	.61837	.53796	.46190	.40992	.32704	.29506
40			1.00000	.83156	.68770	.59428	.54221	.47786	.41294
50				1.00000	.85347	.75523	.66927	.60737	.52773
60					1.00000	.87047	.79895	.71065	.63328
70						1.00000	.91122	.82377	.72804
80							1.00000	.92786	.82434
90								1.00000	.91756
100									1.00000
시각	110	120	130	140	150	160	170	180	
10	.08375	.06220	.06605	.06838	.06702	.06570	.05733	.05135	
20	.16897	.15077	.14795	.14993	.14412	.12853	.12403	.11027	
30	.27458	.23326	.22325	.20828	.22479	.20230	.18577	.16864	
40	.39111	.34077	.35138	.33375	.31909	.30086	.28831	.24108	
50	.49745	.45165	.42272	.40464	.38849	.36023	.34840	.29405	
60	.58922	.54293	.50264	.48870	.45788	.43112	.41124	.35837	
70	.68827	.63421	.60039	.57089	.52372	.49452	.46857	.41351	
80	.77057	.73698	.68626	.65621	.58837	.55907	.52866	.48054	
90	.84850	.80933	.76816	.73651	.65361	.61786	.58103	.54540	
100	.93008	.87694	.83883	.81054	.72360	.67262	.63340	.58432	
110	1.00000	.93035	.88507	.85131	.77995	.73717	.70011	.64432	
120		1.00000	.94121	.90087	.83274	.80288	.75358	.70540	
130			1.00000	.96110	.89264	.85475	.81808	.76378	
140				1.00000	.94899	.91066	.86714	.81243	
150					1.00000	.95792	.91455	.86810	
160						1.00000	.96361	.91621	
170							1.00000	.96000	
180								1.00000	

표2 (c). 서울지점 계획강우의 무차원 누가분포 (재현기간 : 100년)

시각 (분)	지속기간 (분)								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	.53677	.35412	.27787	.17603	.16541	.14986	.12823	.10122	.09974
20	1.00000	.64588	.51286	.40896	.33458	.28679	.23793	.19019	.17497
30		1.00000	.74614	.61579	.53495	.45822	.40760	.31457	.28571
40			1.00000	.84136	.68227	.58598	.53827	.47117	.39983
50				1.00000	.85393	.75956	.66894	.60780	.51901
60					1.00000	.86846	.80546	.71130	.62214
70						1.00000	.91223	.82160	.71555
80							1.00000	.92873	.81530
90								1.00000	.91082
100									1.00000
시각	110	120	130	140	150	160	170	180	
10	.08782	.06487	.06522	.06966	.06728	.06721	.05762	.05246	
20	.17096	.15555	.14893	.15332	.14473	.12947	.12623	.11265	
30	.27478	.22974	.22392	.20540	.22637	.20657	.18743	.16964	
40	.38485	.33297	.35472	.33528	.32147	.30462	.29665	.24527	
50	.49102	.43942	.42239	.40201	.39025	.36601	.35730	.30226	
60	.58235	.53154	.49877	.48274	.45454	.43759	.41822	.36724	
70	.68071	.62509	.59818	.56640	.51884	.49723	.47420	.41757	
80	.76151	.73082	.68154	.65136	.57924	.56124	.52963	.48095	
90	.83762	.79892	.76107	.72851	.64473	.61681	.57958	.54167	
100	.92583	.86989	.83153	.80240	.71411	.67122	.62678	.57576	
110	1.00000	.92293	.87478	.83984	.76824	.73377	.69401	.63222	
120		1.00000	.93338	.89095	.82177	.79982	.74560	.69374	
130			1.00000	.95768	.88606	.85307	.81037	.75259	
140				1.00000	.94557	.91067	.86004	.80159	
150					1.00000	.95752	.91026	.85832	
160						1.00000	.96158	.90918	
170							1.00000	.95605	
180								1.00000	

표3 (a). 대구지점 계획강우의 무차원 누가분포 (재현기간 : 2년)

시 각 (분)	지속기간 (분)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
10	.47976	.32547	.23553	.16226	.12857	.12203	.10897	.10185	.09850	
20	1.00000	.70754	.51652	.38113	.31428	.28135	.25961	.24691	.21492	
30		1.00000	.79752	.62641	.52857	.45084	.41987	.39814	.35820	
40			1.00000	.83773	.71785	.62033	.56730	.53703	.48955	
50				1.00000	.88928	.77288	.70512	.66049	.60298	
60					1.00000	.90508	.81410	.75308	.69552	
70						1.00000	.91666	.83950	.77910	
80							1.00000	.93209	.86865	
90								1.00000	.94029	
100									1.00000	
시 각	110	120	130	140	150	160	170	180		
10	.08823	.08069	.07648	.06111	.05722	.05390	.04545	.04427		
20	.20000	.18443	.16997	.14166	.13351	.12668	.11229	.11458		
30	.30588	.27953	.26345	.23333	.21798	.20485	.18716	.18750		
40	.43529	.38328	.35410	.33333	.31335	.29380	.27005	.25781		
50	.53235	.47838	.44192	.42777	.41144	.39083	.36363	.33333		
60	.62352	.57348	.52124	.49722	.47683	.45552	.44117	.40104		
70	.71176	.65706	.60339	.56944	.54768	.52021	.50267	.46614		
80	.80000	.74063	.67988	.65277	.62397	.58760	.55615	.52343		
90	.87352	.81556	.75920	.72777	.69754	.65768	.62032	.58593		
100	.94117	.88472	.83002	.79166	.76021	.72237	.68716	.64843		
110	1.00000	.94524	.89235	.85555	.81471	.78436	.74598	.71093		
120		1.00000	.94900	.90833	.86103	.83288	.79946	.75781		
130			1.00000	.95833	.91008	.87870	.84759	.80208		
140				1.00000	.96185	.92722	.89304	.85156		
150					1.00000	.96765	.93315	.89843		
160						1.00000	.96791	.94010		
170							1.00000	.97395		
180								1.00000		

표3 (b). 대구지점 계획강우의 무차원 누가분포 (재현기간 : 10년)

시 각 (분)	지속기간 (분)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
10	.48505	.33333	.24371	.16666	.12790	.12113	.10692	.09699	.09061	
20	1.00000	.67857	.51257	.38283	.29796	.26245	.23086	.22401	.20172	
30		1.00000	.78916	.62046	.52470	.43876	.38274	.36605	.33764	
40			1.00000	.82178	.69476	.61372	.53219	.50346	.46170	
50				1.00000	.86482	.75370	.67314	.63048	.57713	
60					1.00000	.88829	.78007	.72286	.66127	
70						1.00000	.90157	.81639	.75620	
80							1.00000	.92263	.85329	
90								1.00000	.93203	
100									1.00000	
시 각	110	120	130	140	150	160	170	180		
10	.07150	.06692	.06337	.05405	.04986	.04957	.04225	.03808		
20	.17875	.16003	.14911	.12702	.11898	.11623	.10936	.10534		
30	.29213	.25703	.24603	.22072	.20385	.19487	.19221	.18233		
40	.41164	.35984	.34203	.31801	.29571	.28119	.26843	.25283		
50	.50868	.45101	.42497	.40180	.38145	.37008	.34714	.31847		
60	.59754	.54025	.50139	.47837	.44706	.43247	.41756	.38087		
70	.68947	.62657	.58527	.54594	.51968	.49829	.48218	.44570		
80	.78651	.71581	.66169	.62612	.59580	.56068	.53604	.50162		
90	.86414	.79922	.74557	.70810	.67366	.62991	.60729	.56239		
100	.93564	.87390	.81826	.77477	.73665	.69743	.67274	.62722		
110	1.00000	.93792	.88536	.84324	.79527	.75812	.72908	.68719		
120		1.00000	.94781	.90090	.84689	.81025	.78044	.73500		
130			1.00000	.95315	.89851	.85982	.82932	.78038		
140				1.00000	.95275	.91282	.87489	.82901		
150					1.00000	.95982	.92212	.88087		
160						1.00000	.96271	.92787		
170							1.00000	.97082		
180								1.00000		

표3 (c). 대구지점 계획강우의 무차원 누가분포 (재현기간 : 100년)

시 각 (분)	지속기간 (분)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
10	.48868	.33684	.24707	.16730	.12561	.11958	.10561	.09482	.08708	
20	1.00000	.66165	.50936	.38365	.28792	.25186	.21716	.21397	.19578	
30		1.00000	.78454	.61826	.52039	.43124	.36435	.35121	.32783	
40			1.00000	.81442	.68189	.60837	.51551	.48845	.44792	
50				1.00000	.84991	.74290	.65610	.61572	.56403	
60					1.00000	.87967	.76303	.70929	.64428	
70						1.00000	.89306	.80598	.74502	
80							1.00000	.91827	.84632	
90								1.00000	.92885	
100									1.00000	
시 각	110	120	130	140	150	160	170	180		
10	.06472	.06143	.05826	.05011	.04647	.04839	.04141	.03582		
20	.17029	.14935	.14021	.11936	.11223	.11263	.10824	.10144		
30	.28700	.24675	.23922	.21412	.19728	.19100	.19475	.17995		
40	.40106	.34915	.33775	.30979	.28759	.27580	.26732	.25040		
50	.49655	.43806	.41828	.38861	.36782	.36188	.34030	.31199		
60	.58408	.52497	.49313	.46879	.43314	.42312	.40713	.37117		
70	.67851	.61288	.57792	.53394	.50679	.48950	.47314	.43639		
80	.77878	.70479	.65419	.61275	.58307	.54989	.52644	.49194		
90	.85888	.79270	.73946	.69749	.66286	.61798	.60024	.55193		
100	.93315	.87013	.81193	.76628	.72643	.68693	.66543	.61876		
110	1.00000	.93456	.88157	.83690	.78605	.74732	.72037	.67713		
120		1.00000	.94694	.89749	.83998	.80085	.77121	.72504		
130			1.00000	.95034	.89215	.85224	.81959	.77093		
140				1.00000	.94826	.89706	.86510	.81964		
150					1.00000	.95674	.91553	.87318		
160						1.00000	.95941	.92270		
170							1.00000	.96940		
180								1.00000		

간 120분에서는 첨두강우의 위치가 50분과 80분으로 두개를 갖고 있으며 첨두강우량은 시간분포 재현기간 2년이 가장 크고 빈도의 증가에 따라 감소하는 추세이다. 지속기간 180분의 경우에는 첨두의 위치가 전방으로 이동하고 있으며 첨두강우량은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 대구지점의 계획강우의 시간분포를 보면 지속기간 60분일 때 첨두는 중앙에 있으며 빈도의 증가에 따라 첨두강우량이 증가하고 있으나 첨두 이외의 강우량 분포는 균일해져가는 경향을 띄고 있다. 지속기간 120분에서 첨두강우량의 크기는 시간분포에 관계없이 거의 일정하나 그 위치가 20분과 40분의 쌍봉에서 40분의 단일봉으로 변하고 중앙 이후부분의 강우량이 증대되는 경향이 있다. 180분의 경우에는 재현기간의 증가에 따라 50분에서 30분으로 이동하고 있고 첨두강우량도 증가하고 있다. 대체적으로 볼 때 서울의 지속기간 120분을 제외한 서울 및 대구지점 계획강우량의 시간분포는 재현기간의 증가에 따라 첨두강우량이 증가하는 경향이 있으나 그 증가율은 미미한 것으로 판단된다.

표4. 서울과 대구의 10년 빈도 계획강우량 단위 mm

계획강우 지속기간		60 분	120 분	180 분
지 점	서울	70.6	99.4	117.4
	대구	55.5	69.8	76.4

표 5. 침투우량 및 침투우량 발생시각

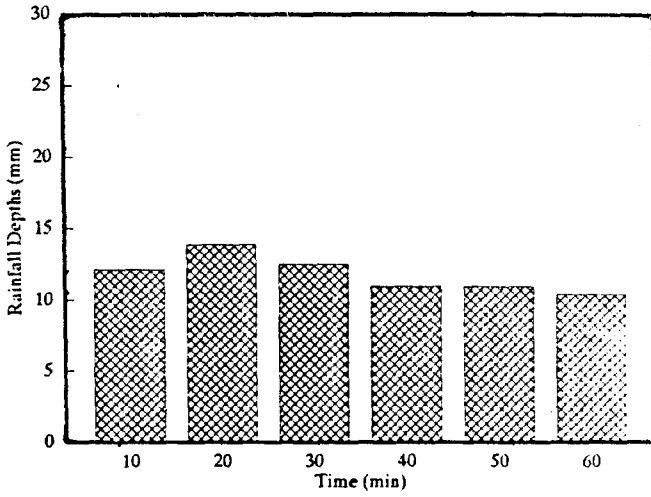
지속기간 (분)	재현기간 (년)	서울		대구	
		침투우량 (mm)	발생시각 (분)	침투우량 (mm)	발생시각 (분)
60	2	13.8	20	11.9	30
	10	13.6	30	12.6	30
	50	14.0	30	12.9	30
	100	14.1	30	12.9	30
	1000	14.4	30	13.1	30
120	2	11.8	50	7.2	40
	10	11.0	50	7.2	40
	50	10.7	50	7.2	40
	100	10.6	50	7.1	40
	1000	10.6	80	7.1	40
180	2	8.8	80	5.8	50
	10	8.5	40	5.9	30
	50	8.8	40	6.0	30
	100	8.9	40	6.0	30
	1000	9.1	40	6.1	30

5. 결론

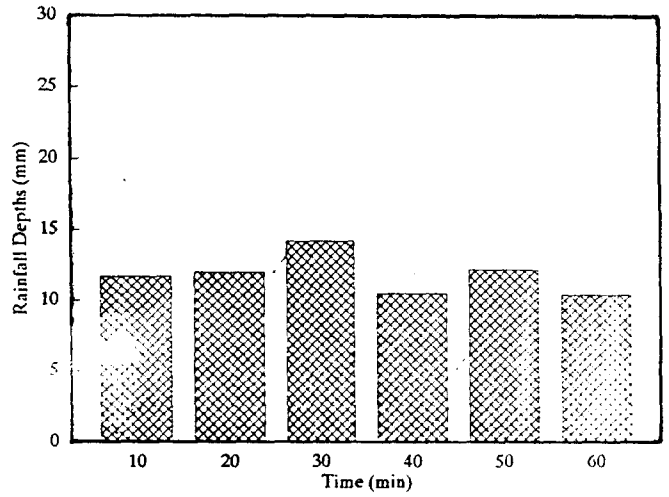
계획강우는 강우량과 그 시간적 분포에 의하여 결정된다. 여기서 강우량은 확률강우량이 사용되고 있으므로 계획강우의 시간적 분포도 확률강우량의 유도에 사용되는 지속기간별 매년최대 강우량의 시간적 분포가 반영되어야 한다는 기본가정하에 본 연구가 수행되어졌다. 따라서 시간적 분포를 결정하기 위하여 지속기간별 매년최대 강우량의 발생시각부터 종료시까지 시각별 년 시계열 강우량을 확률빈도해석하였으며 이를 서울과 대구의 시간분포 결정에 적용하였다. 그 결과 지속기간별 매년최대 강우량의 시각별 년시계열 강우량 자료는 서울과 대구지점에서 모두 3승근 변수변환 정규분포가 적합한 확률분포모형으로 나타났다. 또한 계획강우의 시간적 분포에서 침투강우량은 시간적 분포의 재현기간이 커짐에 따라 증가하는 경향이 있으나 그 증가율은 미미하였다. 본 연구를 통하여 볼 때 계획강우의 시간적 분포를 결정함에 있어서 빈도해석기법을 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

6. 참고문헌

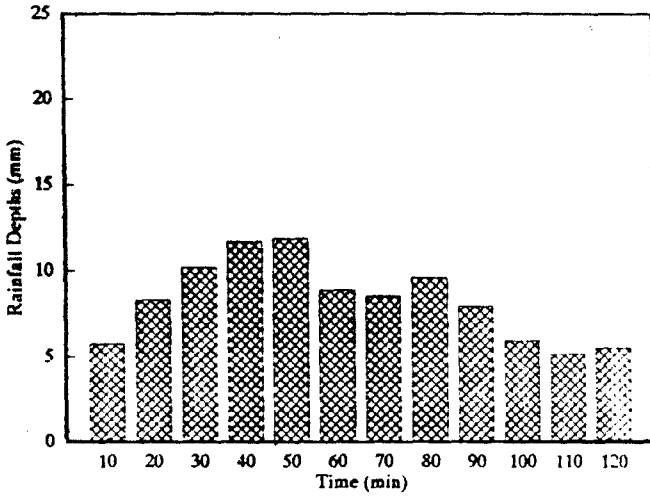
- 이원환, '도시하천 및 하수도 개수계획상의 계획강우량 설정에 관한 추계학적 해석', 대한토목학회지, 제28권 제4호, pp.81-94, 1980.
- 이원환, '우리나라 지점강우의 수문통계적 특성에 관한 연구 -적정분포형 및 확률강우량에 관하여-', 대한토목학회지, 제22권 제 1호, pp.1-20, 1974.
- 이원환, 박상덕, '서울지방의 통합형 확률강우강도식', 대한토목학회 논문집, 제12권 제4호, pp.135-143, 1992.
- 한국건설기술연구원, 지역별 설계강우의 시간적 분포, 건기연 89-WR-111, 1989.
- Kite, G. W., Frequency and Risk Analyses in Hydrology, WRP, 1977.



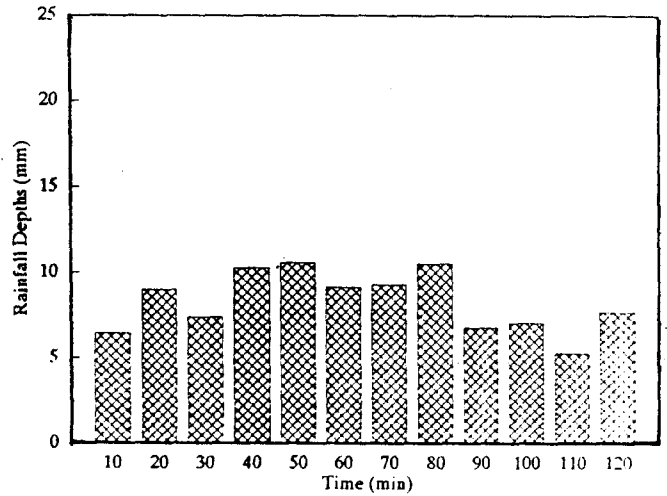
(a) Dn: 60분, Rt: 2년



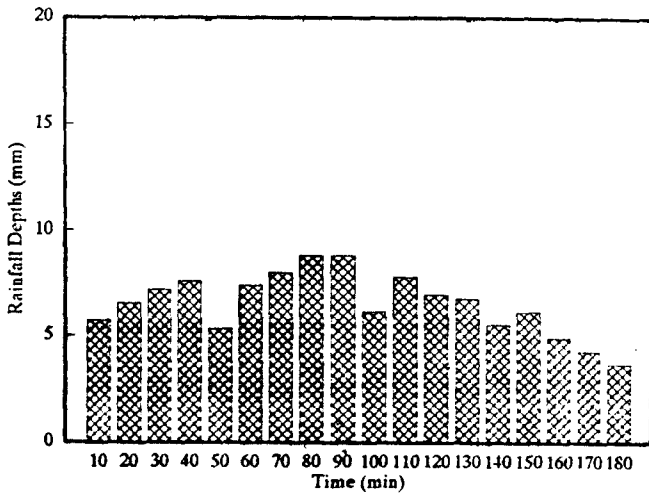
(b) Dn: 60분, Rt: 100년



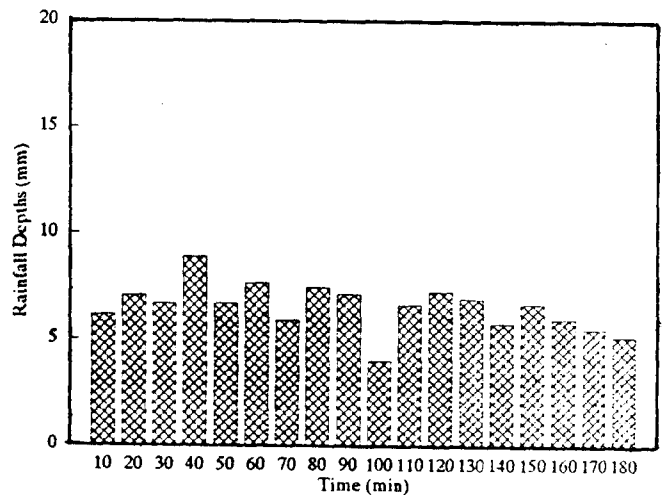
(c) Dn: 120분, Rt: 2년



(d) Dn: 120분, Rt: 100년

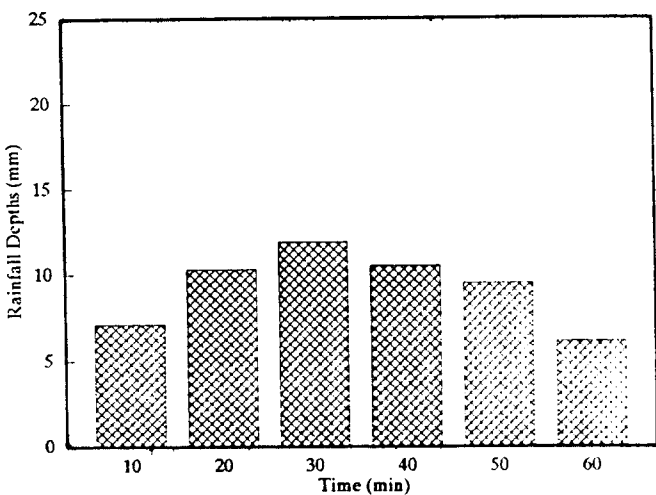


(e) Dn: 180분, Rt: 2년

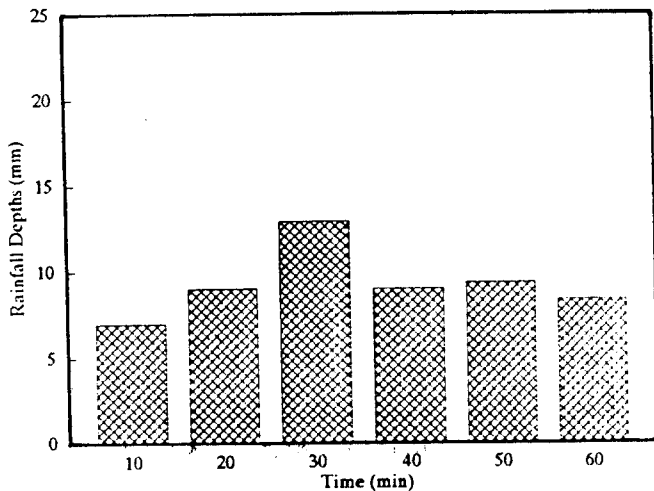


(f) Dn: 180분, Rt: 100년

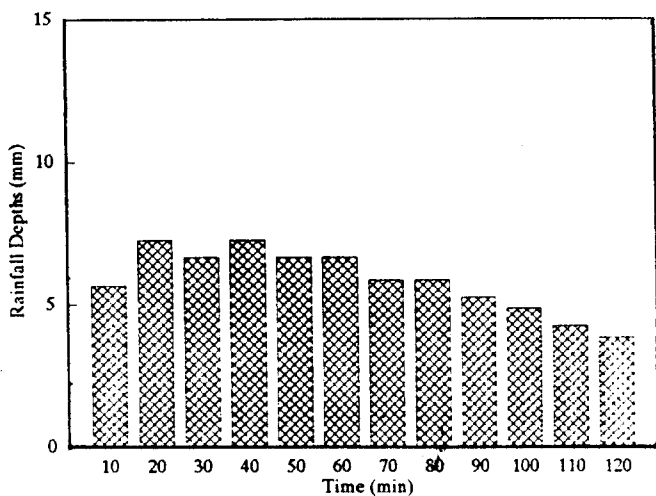
그림 1. 서울지점 계획강우의 시간분포 (Dn : 지속기간, Rt : 시간분포 재현기간)



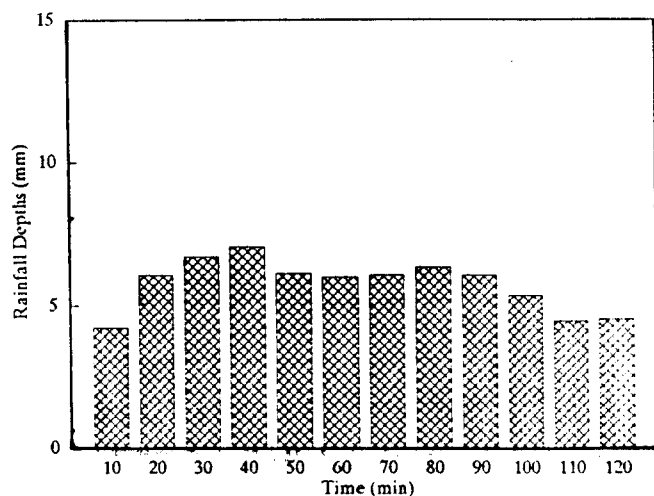
(a) Dn: 60분, Rt: 2년



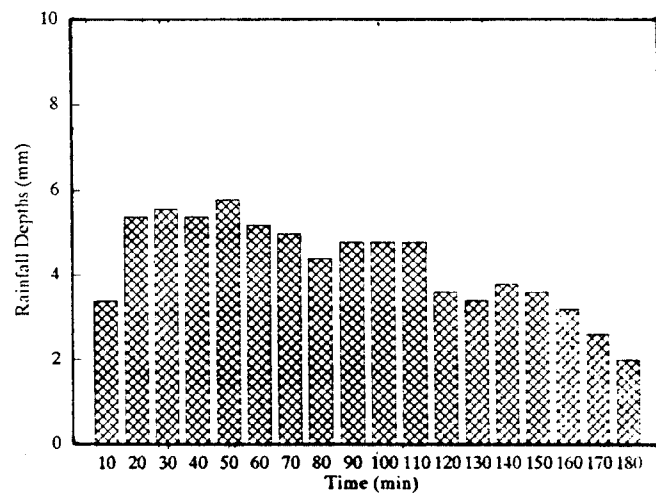
(b) Dn: 60분, Rt: 100년



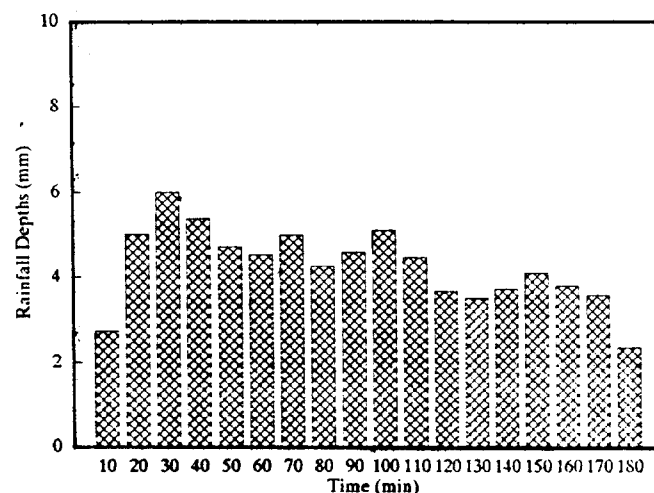
(c) Dn: 120분, Rt: 2년



(d) Dn: 120분, Rt: 100년



(e) Dn: 180분, Rt: 2년



(f) Dn: 180분, Rt: 100년

그림 2. 대구지점 계획강우의 시간분포 (Dn : 지속기간, Rt : 시간분포 재현기간)