

3 차원 입체도시를 통한 평균면적 강우량 산정에 관한 연구

김 경 덕** 조 원 철*

1. 서 론

강우는 모든 수자원의 공급원이고, 강우량은 해당구역의 가용수자원량을 의미하며, 치수 및 이수설계시 중요한 지표가 된다. 우량계를 사용하여 측정한 강우량은 그 점에서의 지점우량(Point Rainfall)이기 때문에 총강우량을 구하기 위해서는 그 영역을 대표할 수 있는 면적우량 값이 필요하다. 따라서 이와 같은 면적우량자료를 얻기 위해서는 강우량의 지역적인 변화를 고려할 수 있도록 적절한 밀도로 위치하는 관측망의 설치 운영이 필요하며, 또한 면적우량 산정기법에 대한 타당성있는 연구적용이 필요하다. 우리나라의 강우사상은 좁은 지역내에서도 대단히 다양하며, 우기(6월 ~ 9월)에 년강수량의 2/3에 해당하는 700 ~ 800 mm가 집중적으로 내린다. 뿐만 아니라 유로가 짧고, 유역의 경사가 급하여 홍수시, 일시에 유하함으로써 매년 막대한 홍수피해를 입고 있다. 특히 한강수계는 유역면적 26,218.90 km² 와 유로연장 469.70 km인 한국 최대하천으로 매년 1129.8 mm의 강우량이 내리고, 6 ~ 9월 사이에 거의 매년 홍수가 발생하고 있다. 따라서, 건설부산하의 한강홍수통제소에서는 한강유역 자동측정시설인 Telemeter 통신시설을 통하여 매시간별 관측수위를 가지고 유량을 계산하여 중앙재해대책본부 및 관계기관에 통보하여 대응책을 마련하고 있다. 그러나 평균면적 강우량 산정시 지점우량 관측소의 자료를 이용하여 오차가 상대적으로 큰 티센(Thiessen)다각형법과 산술평균법을 사용하여 산정하고 있다. 본 연구에서는 티센 다각형법과 산술평균법, 등우선법 등 개략적인 평균면적 강우량산정법을 개선하기 위하여 우량관측지점의 강우량을 크리징법, 거리반비례법, 최소곡률법 등의 2변수 보간을 통해 3차원 도시하고, 미세하게 격자를 세분하여 적분함으로써 강우체적을 계산하여 평균면적 강우량을 산정하고 각 기법을 비교·분석하고자 한다. 실제 면적우량을 알 수 없으므로 어느 보간기법이 정확한지는 단언할 수 없으나, 지점우량값에 충실하면서 실제 강우를 나타내는 기법을 제안하려고 한다.

* 연세대학교 토목공학과 교수

** 연세대학교 토목공학과 박사과정

2. 평균면적 강우량산정

2.1 산술평균법과 티센법을 이용한 평균면적 강우량

산술평균법은 간단히 지점 강우량을 산술적으로 합산하여, 대상구역의 면적으로 나누면 되는데, 65개 각 우량관측소에서 관측한 누가강우량을 산술적으로 합산하고, 대상구역인 한강구역의 총면적으로 나누어서 구하며, 티센법은 다각망을 구성하여 가중계수를 고려하여 산정한다. 표 1은 산술평균법과 티센법으로 구한 평균 면적강우량을 나타내고 있다.

표 1. 산술평균법과 티센법에 의한 평균 면적강우량

호 우 기 간	산술평균법 (mm)	티센법 (mm)
1984년 7월 3일 ~ 7월 7일	167.3	130.9
1984년 8월 27일 ~ 9월 8일	437.9	442.3
1985년 10월 9일 ~ 10월 13일	118.0	114.3
1986년 7월 18일 ~ 7월 20일	87.8	97.2
1987년 7월 21일 ~ 7월 24일	125.4	123.9
1988년 7월 18일 ~ 7월 25일	112.4	105.1
1989년 7월 24일 ~ 7월 30일	233.6	228.9
1990년 6월 18일 ~ 6월 22일	154.3	156.6
1990년 6월 23일 ~ 6월 27일	128.8	123.6
1990년 7월 17일 ~ 7월 19일	97.2	98.8
1990년 7월 23일 ~ 7월 26일	70.7	73.1
1990년 8월 20일 ~ 8월 22일	90.7	89.7
1990년 8월 31일 ~ 9월 3일	126.3	143.8
1990년 9월 9일 ~ 9월 13일	392.5	369.6

2.2 3차원 입체도시를 이용한 평균면적 강우량

한강수계는 유역면적 $26,218.90 \text{ km}^2$ 와 유로연장 469.70 km 인 한국 최대하천으로서 2개의 간천, 북한강과 남한강으로 구성되어 있다. 북한강의 유역면적은 $10,834.80 \text{ km}^2$, 간천유로연장은 317.5 km 이며, 2개의 큰 지천, 소양강과 홍천강이 있다. 북한강에는 소양강댐, 화천댐, 춘천댐, 의암댐, 청평댐이 있고, 홍수저류능력을 가진 평화의 댐이 있다.

남한강은 유역면적이 $12,514 \text{ km}^2$ 이고, 유로연장이 375 km 이다. 충주지점에는 총저류용량 $27.5 \text{ 억 } m^3$ 의 다목적댐인 충주댐이 있다. 유역의 분할은 유역의 경계, 유로의 연장 및 경사 등 지형적 특성과 하도의 구성, 강우분포의 특성, 우량관측소의 위치 등에 따라 유역면적 $4,061 \text{ km}^2$ 의 남한강 상류부, 유역면적 $6,272 \text{ km}^2$ 의 남한강 하류부, 유역면적 $6,700 \text{ km}^2$ 의 북한강 상류부, 유역면적 $5,580 \text{ km}^2$ 의 북한강 하류부, 유역면적 $3,586 \text{ km}^2$ 의 팔당댐 하류부 등 5유역으로 분할할 수 있다. 한강유역의 분할도는 그림 1과 같다.

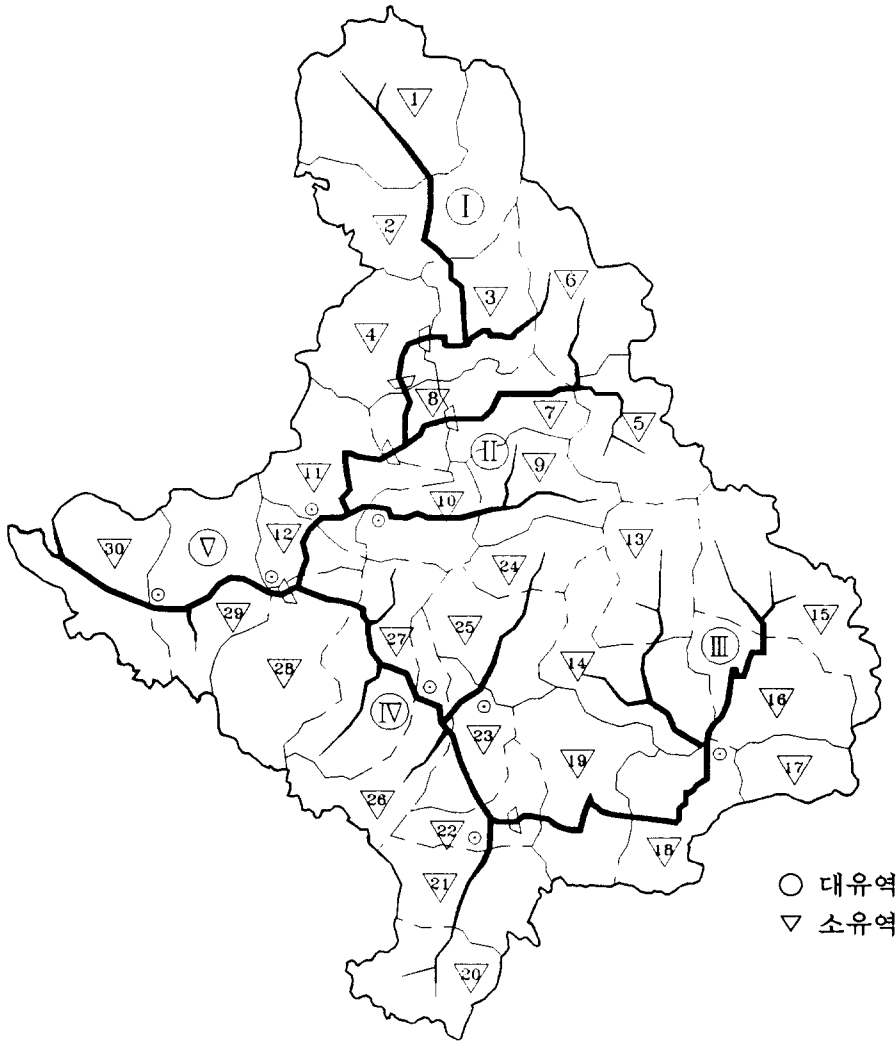


그림 1. 한강유역 분할도

본 연구에서는 한강유역을 크게 5개 소유역으로 분할하여, 각 유역별로 크리징 보간, 거리반비례 보간, 최소곡률법 등 3가지 보간법을 이용하여 평균면적 강우량을 산정하였다. 유역의 경계는 $\frac{1}{250,000}$ 지도를 통하여 좌표를 읽어서 사용하였고, 격자를 세밀하게

분할하고, 크리징 보간, 거리반비례 보간, 최소곡률법을 이용하여 연속적으로 내삽하여 3차원 입체도시한 후, 사다리꼴 공식, Simpson 제 1공식 및 Simpson 제 2공식으로 적분하여 강우체적을 산정하였다. 이와 같이 구한 강우체적을 각 유역의 면적으로 나누어, 평균면적 강우량을 산출하였다. 그림 2는 크리징법에 의해서 입체도시한 것이고, 표 2는 크리징법에 의한 각 대상기간(1984년 ~ 1990년 호우)의 3차원 입체도시를 통한 평균면적 강우량을 나타내고 있다.

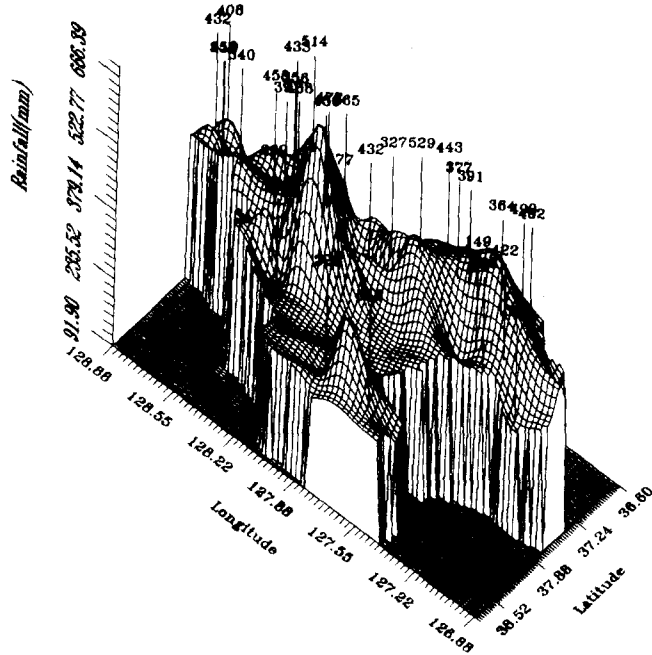


그림 2. 한강 전체유역의 3차원 입체 누가강우량 (1990년 9월 9일 홍수)

표 2. 크리징 보간법에 의한 평균면적 강우량 산정결과

VOLUME APPROXIMATED BY Trapezoidal RULE								
YEAR MON DAY	TOTAL	SUBAREA1	SUBAREA2	SUBAREA3	SUBAREA4	SUBAREA5	SUBAREA12	SUBAREA34
1984 7 3	157.934	135.876	299.097	112.302	164.958	161.006	233.808	138.401
1984 8 27	439.812	584.943	979.312	287.543	372.797	381.131	821.564	329.799
1985 10 8	112.931	79.516	161.335	120.928	128.849	120.543	128.607	124.854
1986 7 8	95.845	193.152	244.180	51.424	57.175	88.060	223.769	54.275
1987 7 21	120.372	82.600	172.383	80.017	132.586	215.468	136.470	106.073
1988 7 18	99.992	58.318	105.615	155.101	133.653	58.073	86.696	144.471
1989 7 24	235.037	196.156	371.662	308.753	237.681	142.314	301.460	273.526
1990 6 18	152.076	175.807	283.663	126.399	154.191	139.200	240.521	140.174
1990 6 23	123.257	93.878	207.328	122.664	123.970	120.433	161.948	123.311
1990 7 17	99.899	125.171	217.080	63.090	80.912	104.958	180.316	71.923
1990 7 23	75.414	85.653	174.360	32.587	67.621	81.339	138.877	49.952
1990 8 20	90.295	88.754	153.168	81.490	97.629	88.140	127.402	89.489
1990 8 30	149.326	247.265	373.567	72.990	114.433	118.870	323.046	93.531
1990 9 9	377.633	352.150	663.212	345.957	364.412	393.166	538.787	355.104
VOLUME APPROXIMATED BY Simpson RULE								
YEAR MON DAY	TOTAL	SUBAREA1	SUBAREA2	SUBAREA3	SUBAREA4	SUBAREA5	SUBAREA12	SUBAREA34
1984 7 3	158.077	136.132	299.033	112.994	165.429	161.031	233.873	138.984
1984 8 27	440.404	585.700	980.427	289.095	373.111	381.069	822.536	330.737
1985 10 8	113.032	79.564	161.270	121.507	128.877	120.591	128.588	125.160
1986 7 8	96.066	193.221	244.938	51.676	57.192	88.176	224.251	54.410
1987 7 21	120.684	83.100	172.432	80.026	133.434	216.853	136.699	106.498
1988 7 18	100.204	58.648	105.441	155.167	134.532	58.669	86.724	144.939
1989 7 24	235.670	196.624	372.385	309.860	238.081	143.186	302.081	274.283
1990 6 18	152.637	176.230	284.247	126.932	154.586	140.702	241.040	140.639
1990 6 23	123.775	94.221	207.862	123.198	124.106	121.358	162.405	123.648
1990 7 17	100.229	125.569	217.748	63.263	81.013	105.737	180.877	72.061
1990 7 23	75.682	86.071	174.932	29.331	67.679	81.865	139.387	48.338
1990 8 20	90.569	88.980	153.482	81.705	97.847	88.869	127.682	89.706
1990 8 30	149.700	247.703	373.980	73.310	114.720	119.744	323.469	93.835
1990 9 9	378.714	352.977	664.582	347.172	364.961	395.686	539.940	355.990
VOLUME APPROXIMATED BY Simpson 3/8 RULE								
YEAR MON DAY	TOTAL	SUBAREA1	SUBAREA2	SUBAREA3	SUBAREA4	SUBAREA5	SUBAREA12	SUBAREA34
1984 7 3	157.782	135.350	298.925	112.212	165.319	160.142	233.495	138.535
1984 8 27	439.308	583.030	978.408	287.314	372.737	379.220	820.257	329.654
1985 10 8	112.808	79.300	161.270	120.887	128.752	119.894	128.482	124.786
1986 7 8	95.707	192.683	243.875	51.386	57.152	87.641	223.398	54.244
1987 7 21	120.340	82.529	172.345	79.983	132.740	215.041	136.419	106.132
1988 7 18	99.990	58.328	105.729	155.115	133.574	57.955	86.768	144.438
1989 7 24	235.378	196.416	371.743	310.085	237.704	142.471	301.613	274.209
1990 6 18	152.017	176.157	283.640	126.992	154.069	139.436	240.767	140.413
1990 6 23	123.480	94.059	207.377	123.236	123.842	120.457	162.050	123.536
1990 7 17	100.023	125.485	217.283	63.395	80.917	105.008	180.564	72.080
1990 7 23	75.495	86.051	174.515	29.353	67.612	81.314	139.130	48.316
1990 8 20	90.439	88.894	153.271	81.802	97.714	88.203	127.520	89.739
1990 8 30	149.496	247.383	373.682	73.436	114.473	118.995	323.162	93.776
1990 9 9	378.058	352.448	663.507	347.879	364.046	391.797	539.083	355.791

3. 비교고찰

각 보간법에 의한 평균면적 강우량은 그림 3과 같이 보간기법에 따라 10 mm 내외의 편차를 나타내고 있으며, 거리반비례 보간기법이 전체적으로 큰 값을 나타내고 있다. 티센법은 1989년에 우량관측소를 증설하였고, 1990년도에 티센 망도와 계수를 재조정하여 평균면적 강우량이 1989년 이후는 비교적 편차가 적었으나, 1984년 경우에는 30 mm 이상이 차이를 나타내고 있다. 따라서 티센법은 관측소의 밀도가 조밀하고 가중계수를 주의해서 선정하여 사용하여야 한다. 산술평균법은 단순히 전체 지점우량을 합산하여 평균함으로써 상당히 유동적으로 보간법에 의한 평균면적 강우량값과 차이를 나타내고 있다. 한 강우역의 면적 (26,218.90 km²) 을 생각할때, 총강우량은 많은 차이를 나타내게 된다. 보간법을 사용하여 3차원 입체도시법을 통한 평균면적 강우량은 보간기법에 따라 10 mm 내외의 편차를 나타내고 있으며, 거리반비례 보간기법이 전체적으로 큰 값을 나타내고 있다.

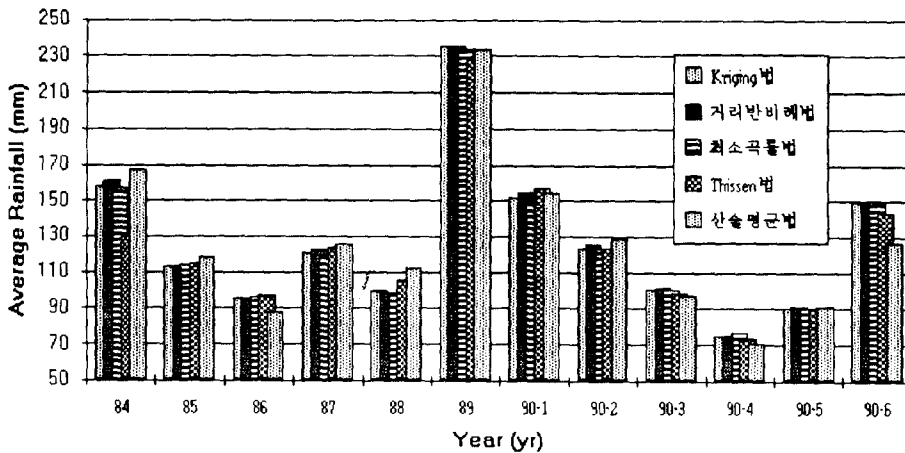


그림 3. 각 산정기법에 의한 평균면적 강우량도

지점우량을 각 보간기법에 따라 보간시키면, 주변의 지점우량의 영향을 받아 관측된 지점우량 역시 변형되게 된다. 지형도 작성시의 보간에서는 이상관측치의 영향을 최소화하여 보간을 하여야 되지만, 강우량의 문제에 있어서는 국부적인 호우 등으로 인한 이상관측치가 충분히 발생할 수 있으므로, 관측된 지점우량을 충실히 고려하면서 보간하는 기법이 실제 강우현상을 잘 나타낸다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 미세하게 격자를 세분하여 각 보간기법에 따라 보간하여 변형된 관측 지점우량을 실제 관측지점 우량과 비교하였다. 비교 대상지점은 전체유역에서 고르게 선택하였다. 표 3은 각 보간기법에 의해 변형된 지점우량과 실제 지점우량과의 편차를 나타내고 있다.

표 3. 관측 지점우량과 보간에 의해 변형된 지점우량의 표준편차

우량관측소	관측된 지점우량	크리징법	거리반비례법	최소곡률법
파천	316.000	289.862	276.269	270.617
춘천	354.000	354.910	337.406	355.653
양평	502.000	487.828	473.520	491.511
의정부	309.000	266.201	311.144	223.987
가평	431.000	405.639	414.748	398.334
간현	456.000	414.799	421.924	398.403
내촌1	450.000	414.590	430.221	404.380
홍천	432.000	446.097	434.420	439.521
부론	443.000	408.574	414.409	415.220
화악	361.000	320.835	354.274	315.487
설성	391.000	437.536	434.756	442.681
임계	432.000	462.020	447.772	458.623
정선	340.000	379.977	382.090	351.506
충주댐	327.000	368.035	390.242	358.563
영월1	356.000	338.791	360.259	267.082
안홍	321.000	358.098	388.163	338.414
제천	365.000	341.212	367.494	299.738
미탄	294.000	323.656	341.974	301.846
왕산	353.000	369.691	385.692	372.872
추양	372.000	398.527	410.826	413.223
용대	399.000	389.086	389.084	399.663
군량	453.000	479.776	448.147	514.680
서화	316.000	341.441	348.030	351.969
표준편차		11.632	18.888	24.495

표 3에서 살펴보면 크리징 보간법이 실제 관측 지점우량간에 편차의 분포가 가장 작은 것으로 나타났으며, 거리반비례법, 최소곡률법 순으로 표준편차가 크게 나타났다. 따라서 크리징 보간법이 지점우량을 충실히 고려하면서 실제 강우분포를 잘 나타낸다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 1984년~1990년 대우시에 한강유역의 65개 우량관측소 지점우량으로부터 2변수 보간기법을 이용한 3차원 입체화 알고리즘을 사용하여 평균면적 강우량을 산정하여 결과는 다음과 같다.

(1) 2변수 보간을 이용하여 3차원으로 도시하고 사다리꼴 공식, 심프슨 제 1, 제 2 공식으로 강우체적을 산정하여 평균면적 강우량을 산정하였다. 심프슨 제 1 공식에 의한 강우체적이 가장 크게 나타나고, 사다리꼴 공식, 심프슨 제 2 공식은 Trend가 나타나지 않았다.

(2) 크리징 보간법이 지점우량을 충실히 고려하면서 실제 강우분포를 나타냈다.

5. 참고문헌

1. 건설부 한강홍수통제소, "한강홍수에경보", 1984~1990.
2. 김 승 외 1인, "한국 연평균 강수량의 추정", 수공학 논총, Vol. 31, pp. 5~16, 1989.
3. 손 광익, "우리나라 확률 강수량 산정에 관한 수문학적 연구", 연세대학교 대학원 석사학위논문, 1981.

4. 이 길춘, " 지점우량의 지역빈도해석에 관한 연구 ", 연세대학교 대학원 박사학위논문, 1987.
5. 이 병설 외 1인, " 면적강수량 산정을 위한 기존 강수량 자료의 검토 ", 한국 기상학회지, Vol. 18, No.2, pp. 1~10, 1982.
6. 정 문교 등, " 한국 면적강수량 산정에 관한 연구 ", 한국수문학회지, Vol. 14, No. 4, pp. 36~52, 1981.
7. 정 상대, " KRIGING 보간법을 이용한 수치지형 해석의 정확도 향상에 관한 연구 ", 연세대학교 대학원 석사학위논문, 1989년.
8. 정 영동, " 수치지형모형의 정확도 향상을 위한 보간법 적용 ", 단국대학교 대학원 박사학위논문, 1991.
9. 한국건설기술연구원, 『면적우량과 강우의 공간변화해석』, pp. 10~90, 1991.
10. Amir Wadi Al-Khafaji and John R. Tooley, " Numerical Methods in Engineering Practice ", Holt, Rinehart and Winston, INC., 1986.
11. Gambolati, G., and Volpi, G., " A Conceptual Deterministic Analysis of the Kriging Technique in Hydrology ", Water Resources Research, Vol. 15. No. 3. pp. 625~629, 1979.
12. Garret N. Vanderplaats, " Numerical Optimization Techniques for Engineering Design ", Macgraw-Hill Book Company, 1984
13. Hiroshi Akima, " Interpolation and Smooth Surface Fitting Based Local Procedures ", Comm. ACM 15,10 , 589~602 ,1970.
14. Hiroshi Akima, " A Method of Bivariate Interpolation and Smooth Surface Fitting Based Local Procedures ", J. ACM 17,1, 1974.