GIS를 이용한 중소하천유역에서의 유역평균강우량 산정방법의 비교
- 위천유역을 중심으로 -

Comparison of the Estimation Method for Mean Areal Rainfall in the small to medium sized Watershed using GIS
-Application to Wi Stream Basin-

○박 종 영*, 이 정 식**, 이 재 준**, 전 병 국***

1. 서 론

수문분석의 입력자료로 사용되는 강우량은 특정지점의 지점강우량이 아닌 해당유역에 대한 유역평균강우량이 이용되며, 정확한 유역평균강우량의 산정은 강우량의 공간적 분포에 대한 대표성을 지님과 동시에 정도 높은 수문분석 수행에 근간이 된다. 공간적인 대표성을 지닌 강우량을 표현하기 위해 밀집된 강우관측망이 형성되어 있다 하더라도 해당유역의 유역평균강우량을 직접적으로 알 수 없으므로 일반적으로 유역내에 존재하는 지점강우량의 보간절차를 통해 미계측 지점의 강우량을 추정하고 있다. 지점강우량을 유역에 걸친 공간적 형태로 전환하기 위한 많은 기법들이 제시되고 있으나 현재 국내 실무에서는 산술평균법, Thiessen 법, 등우선법 등이 주로 이용되고 있으며, 관련연구 또한 제한된 산정기법의 비교검토에 국한되어 있는 실정이다.

최근 GIS(Geographic Information System)는 비약적인 발전으로 다양한 정보의 통합활용 및 여러 가지 분석기능이 제공되어 다양한 분야에서 이용되고 있으며, 특히 방대한 양의 수문인자들을 필요로 하는 수자원분야에서는 GIS를 이용한 수문분석의 필요성이 증대되고 있다. 이와 같이 많은 양의 정보를 관리, 분석하는데 있어 매우 효과적인 GIS의 분석기능을 이용한다면 수문인자 추출시 많은 시간과 노력의 감소를 가져올 수 있으며, 수문분석시 효과적으로 활용할 수 있다.

본 연구에서는 ARC/INFO GIS 시스템을 이용하여 지점강우량을 유역에 걸친 공간적 형태로 전환하기 위해 제안된 기법들을 검토하며, 중소하천유역에서 ARC/INFO GIS 시스템에 의한 유역평균강우량을 산정하여 이를 기존 방법들과 비교·검토함으로서 유역평균강우량 산정에 있어 보다 합리적인 방안을 제시하고자 한다.

2. 유역평균 강우량 산정방법

본 연구에서는 ARC/INFO GIS 시스템에 의해 유역특성인자를 추출하였으며, ARC/INFO GIS 시스템의 적용성 및 실용성을 검토하고자 기존의 유역평균강우량 산정방법인 산술평균법(UM), 면적-형태 가중평균법(GAAWM), Thiessen 다각형법(TP), 면적-고도 가중평균법(IAAWM), 삼각형 가중평균법(TAWM), RDS법, 이축법(TA), 유한요소법(FEM), Kriging법, 수정다각형법(MP) 등의 10가지 방법에 대해 ARC/INFO GIS 시스템을 이용하여 유역평균강우량을 산정하였다.

---

* 금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정
** 금오공과대학교 토목, 환경 및 건축공학부 교수
*** 서도기술단 수자원부

삼각형 가중평균법 적용시 삼각망 외부의 유역면적은 고려하지 않았으며, Kriging법은 Universal Kriging을 사용하여 공간보간을 수행하였고, RDS법의 계수값은 2를 사용하였다.

3. 대상유역 및 기본자료

본 연구에서는 IHP 대표시험유역인 위천유역을 대상유역으로 선정하였다. 위천유역은 경상북도 군위군에 위치하고 있으며 유역면적 472.53km^2, 최장 유로연장 42.83km인 중소유역으로 수위 관측지점에 따라 6개의 소유역으로 나뉘어져 있으며 11개의 강우관측소가 설치되어 운영되고 있다.

ARC/INFO GIS 시스템을 이용하기 위해서 1:5,000의 수치지도 170장을 이용하였으며, 유역특성 분석을 위한 수치고도모델(Digital Elevation Model, DEM)을 작성하기 위해서 50m×50m의 격자를 형성하였다. 유역평균강우량을 산정을 위해 1988년~1999년 동안의 강우 자료 중 일 최대강우량, 월 최대강우량과 연 강우량을 각각 10개씩 선정하여 총 30개의 강우자료를 채택하였다.

4. 적용 및 고찰

4.1 ARC/INFO를 이용한 유역평균 강우량

수치고도모델(Digital Elevation Model, DEM)을 이용하여 유역의 분수계를 결정하였고 DEM으로부터 결정된 대상유역은 그림 1과 같다. ARC/INFO를 이용한 각각의 산정방법들은 그림 2~10에 나타내었다.

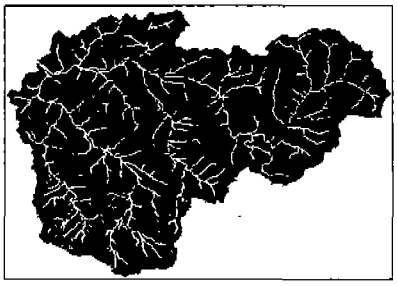

그림 1. DEM으로부터 구한 대상유역

대상유역에서 유역평균강우량 산정방법간의 검토는 자료들의 평균이 서로 차이를 보이고 있으므로 상대적인 산포의 측정에 이용되는 변동계수를 이용하여 각 방법간의 자료를 비교하였으며, 유역평균강우량 산정시 비교적 정확한 방법으로 알려져 있는 Kriging법을 기준으로 기타 방법들과의 평균치에 대한 변화율을 분석하였다.

ARC/INFO를 사용하여 산정한 대상유역의 일, 월, 연 강우량에 자료에 대한 유역평균강우량은 표 1~3과 같다. 표 1~3을 살펴보면, 최대값을 보이는 방법은 호우사상별로 다소 차이를 보이고 있기는 하나 최소값을 보이는 방법은 대체적으로 면적-형태 가중평균법임을 알 수 있다. 이는 대상유역의 강우관측소가 해당 유역에서 상대적으로 낮은 고도에 다수의 강우관측소가 위치하고 있는데서 기인하는 것으로 나타났다. 변동계수는 각 방법별 편차가 크지 않으며, 일 강우량, 월 강우량, 연 강우량의 순으로 작아지는 경향을 보였다. 호우사상별 총 강우량의 크기에 따른 방법별 유역평균강우량의 변동을 검토하고자 최대우량 및 최소우량에 따른 차를 산정하였으며 표 4와 같다. 대체적으로 총 강우량의 크기가 커짐에 따라 최대 및 최소 유역평균강우량을 보이는 방법들간의 편차가 큰 것으로 나타났다.

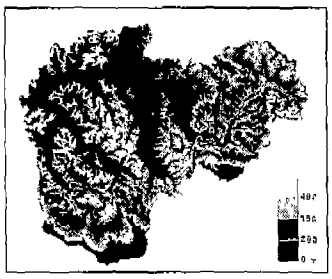

그림 2. ARC/INFO에 의한 GAAWM 법

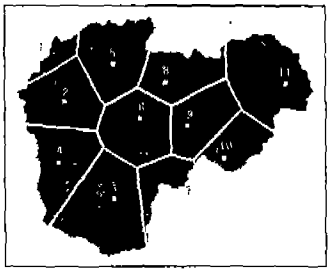

그림 3. ARC/INFO에 의한 Thiessen 법

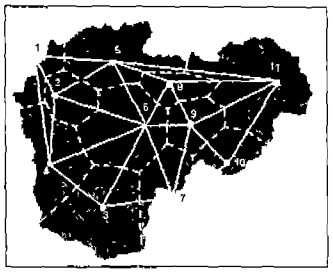

그림 4. ARC/INFO에 의한 IAAWM 법

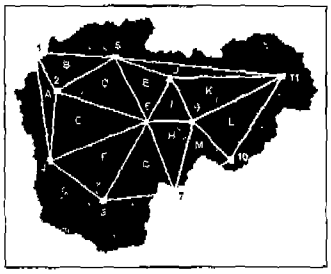

그림 5. ARC/INFO에 의한 TAWM 법

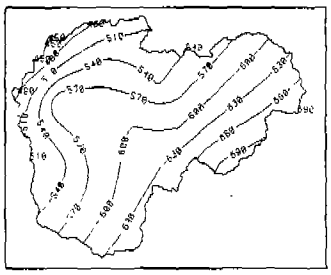

그림 6. ARC/INFO에 의한 Kriging 법

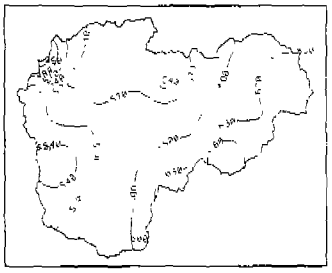

그림 7. ARC/INFO에 의한 IDW 법

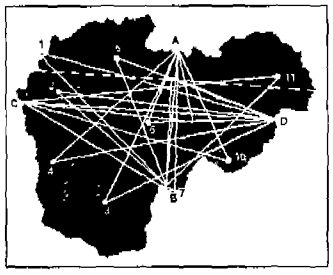

그림 8. ARC/INFO에 의한 TA 법

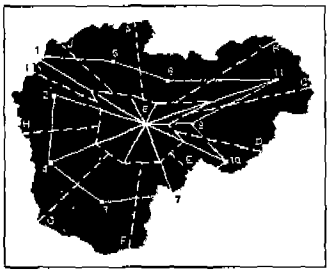

그림 9. ARC/INFO에 의한 MP 법

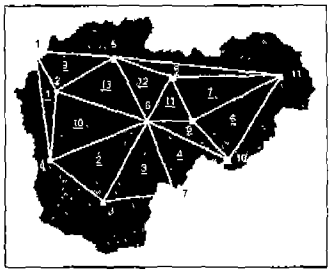

그림 10. ARC/INFO에 의한 FEM 법

표 1. 일 유역평균강우량 및 통계치

(단위 : mm)

Date	UM	GAAWM	TP	IAAWM	TAWM	Kriging	RDS	TA	MP	FEM
89/08/22	68.6	60.7	68.5	70.0	69.6	68.5	68.7	71.3	71.3	69.2
90/09/11	46.0	50.8	43.0	40.6	44.1	44.8	46.1	47.2	38.7	41.9
91/07/11	45.0	39.2	43.5	41.9	44.6	43.2	44.0	45.8	42.1	44.4
92/07/17	65.7	55.8	65.6	65.5	66.1	65.7	65.7	65.9	65.8	65.7
94/07/26	50.9	45.7	47.8	48.1	46.8	47.0	46.7	45.0	49.4	47.7
95/08/30	140.3	116.5	142.5	144.8	140.5	141.5	140.3	137.8	144.9	138.0
96/06/16	69.5	51.8	74.1	75.6	73.2	74.3	73.8	72.1	73.3	73.2
96/07/04	53.4	42.0	57.8	58.9	56.1	57.3	56.3	54.2	56.3	55.9
97/07/05	127.6	101.0	132.4	133.3	132.6	130.7	130.6	127.2	133.7	130.8
98/08/16	78.8	63.2	80.0	80.9	81.4	76.8	76.3	74.7	87.3	81.9
$\bar{x}$	74.58	62.67	75.52	75.96	75.50	74.98	74.85	74.12	76.28	74.87
s	33.32	25.70	35.05	36.02	34.62	34.44	34.04	32.87	36.47	33.99
C_v	0.45	0.41	0.46	0.47	0.46	0.46	0.45	0.44	0.48	0.45

표 2. 월 유역평균강우량 및 통계치

(단위 : mm)

Date	UM	GAAWM	TP	IAAWM	TAWM	Kriging	RDS	TA	MP	FEM
89/07	227.5	193.9	229.2	230.0	229.2	227 1	227.1	222.5	230.9	229.5
90/07	225.9	200.4	229.7	241.8	214.8	233.3	226.0	226 1	231.1	213.4
91/07	395.8	342.3	390.9	381.6	383.6	388 2	389 2	389 4	374.1	388 5
92/07	234.0	199.0	233.9	233.8	234.1	234 0	234 0	234 1	234.2	234 0
94/08	111.9	93.5	104.0	102.8	115.6	102 1	106.7	117 0	118 5	115 7
95/08	318.9	253.9	325.6	322 3	329.7	326.4	327.5	323 0	326 3	327 1
96/09	303.5	225.1	303.9	311.3	286.8	300.2	294.0	281.9	274 3	280.5
97/07	324 0	268 4	328 2	331.2	328.2	326 9	326.9	326.3	327 9	327.5
98/07	220 4	201.5	223 7	228.2	212.3	230 1	228.0	222.3	204.0	215.9
99/09	321.0	236.0	318.2	318.9	300.5	317 8	311.0	305 3	291.1	294 2
$\bar{x}$	268.31	221.38	268.72	270.12	263.48	268.61	267.00	265.10	260 66	262 61
s	79 82	63 73	80.86	79.32	77 31	80 14	79 17	76 21	75 08	77 20
C_v	0 30	0 29	0 30	0.29	0.29	0.30	0.30	0.29	0.29	0 29

표 3. 연 유역평균강우량 및 통계치

(단위 : mm)

Date	UM	GAAWM	TP	IAAWM	TAWM	Kriging	RDS	TA	MP	FEM
89	1,039.2	886.7	1041.2	1044.6	1034.8	1037.2	1036.0	1030.4	1040.6	1037.6
90	1,125.7	961.8	1100 8	1106.9	1109.2	1108.2	1110.8	1122.5	1087.9	1110.7
91	1,243.9	1060.9	1220.9	1208 0	1205.4	1217 3	1217 8	1214 0	1168 9	1206.6
92	879.1	748 1	877.8	877.4	878.4	877.6	877 8	877.9	877.7	878 5
94	596.4	519.5	588.7	589.4	588.0	583.3	585.2	588.6	583.8	589.2
95	834.4	703.2	839.9	843 5	834.1	838.0	836.1	833.5	838 2	829.3
96	1,039.8	871.0	1060.6	1068.5	1048.2	1051.7	1047 6	1023.2	1047.7	1048 1
97	1,052.0	905.1	1053.3	1056.4	1045.2	1046.7	1048.2	1042.7	1032.4	1047.4
98	1,511 9	1317 7	1503.9	1494.4	1390.5	1501.0	1502 2	1472 1	1460 6	1517.4
99	1,152.3	938.7	1135.3	1136.0	1121 4	1136 6	1132.0	1138.8	1102.4	1113.4
$\bar{x}$	1,047.47	891.27	1,042.22	1,042 50	1,025.51	1,039 76	1,039 37	1,034 37	1,023.95	1,037.81
s	246.92	214 09	242.95	239.79	219.21	243 56	243 48	237 17	229 07	244 90
C_v	0.24	0 24	0.23	0.23	0.21	0.23	0.23	0 23	0.22	0 24

정교한 방법으로 알려져 있는 Kriging법을 기준으로 기타 방법들과의 평균치에 대한 변화율을 분석한 결과 일, 월, 연 유역평균강우량 모두 면적-형태 가중평균법을 제외하고는 각 방법별 유역평균강우량이 Kriging법의 4%이내의 변화율을 보였다. 그림 11~13은 대상유역의 유역평균강우량의 평균치에 대한 변화율을 도시한 결과이다.

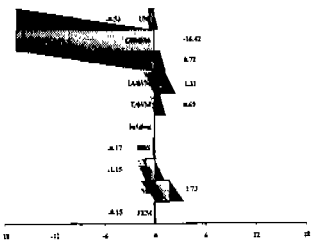

그림 11. 일강우량 변화량

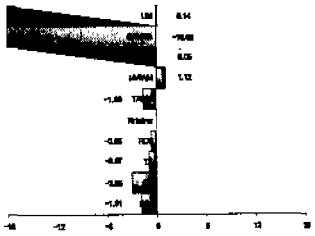

그림 12. 월강우량 변화율

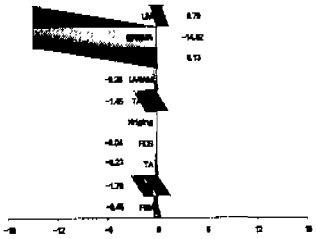

그림 13. 연강우량 변화율

표 4. 호우사상별 강우량의 크기에 따른 유역평균강우량의 차이

일우량

날 짜	총강우량 (mm)	순위	최대		최소		차이 (mm)
			방법	평균우량 (mm)	방법	평균우량 (mm)	
95/08/30	1524.5	1	MP	144.9	GAAWM	116.5	28.4
97/07/05	1435.9	2	MP	133.7	GAAWM	101.0	32.7
96/06/16	841.4	3	IAAWM	75.6	GAAWM	51.8	23.8
98/08/16	793.0	4	MP	87.3	GAAWM	63.2	24.1
89/08/22	752.6	5	MP	71.3	GAAWM	60.7	10.6
92/07/17	722.8	6	TAWM	66.1	GAAWM	55.8	10.3
96/07/04	621.7	7	IAAWM	58.9	GAAWM	42.0	16.9
90/09/11	536.3	8	TA	47.2	MP	38.7	8.5
94/07/26	493.3	9	UM	50.9	TA	45.0	5.9
91/07/11	477.9	10	TA	45.8	GAAWM	39.2	6.6

월우량

날 짜	총강우량 (mm)	순위	최대		최소		차이 (mm)
			방법	평균우량 (mm)	방법	평균우량 (mm)	
91/07	4224.6	1	UM	395.8	GAAWM	342.3	53.6
95/08	3628.8	2	TAWM	329.7	GAAWM	253.9	75.8
97/07	3624.2	3	IAAWM	331.2	GAAWM	268.4	62.8
99/09	3401.5	4	UM	321.0	GAAWM	236.0	85.0
96/09	3226.5	5	IAAWM	311.3	GAAWM	225.1	86.2
98/07	2612.1	6	KRIGING	230.1	GAAWM	201.5	28.7
92/07	2573.3	7	TAWM	234.1	GAAWM	199.0	35.1
90/07	2507.5	8	IAAWM	241.8	GAAWM	200.4	41.4
89/07	2476.1	9	IAAWM	230.0	GAAWM	193.9	36.2
94/08	1177.2	10	MP	118.5	GAAWM	93.5	25.0

연우량

날 짜	총강우량 (mm)	순위	최대		최소		차이 (mm)
			방법	평균우량 (mm)	방법	평균우량 (mm)	
98	16520.9	1	FEM	1517.4	GAAWM	1317.7	199.7
91	13310.7	2	UM	1243.9	GAAWM	1060.9	183.0
99	12551.7	3	UM	1152.3	GAAWM	938.7	213.6
90	12320.7	4	UM	1125.7	GAAWM	961.8	163.8
97	11538.6	5	IAAWM	1056.4	GAAWM	905.1	151.3
96	11478.9	6	IAAWM	1068.5	GAAWM	871.0	197.5
89	11360.9	7	IAAWM	1044.6	GAAWM	886.7	157.9
92	9652.0	8	UM	879.1	GAAWM	748.1	131.0
95	9193.3	9	TP	839.9	GAAWM	703.2	136.7
94	6401.9	10	UM	596.4	GAAWM	519.5	76.9

4.2 기존 방법들과의 비교

국립지리원에서 발행하는 1:50,000지도를 사용하여 기존의 방법에 의한 유역평균강우량을 산정하였으며, 기존의 방법과 ARC/INFO GIS 시스템을 이용한 유역평균강우량 값의 오차를 비교·검토하였다. 기존의 방법에 의한 유역평균강우량을 산정하기 위하여 삼각형 가중평균법과 유한요소법에서는 작성한 삼각망에 의해 포함되지 않는 삼각망 외부의 면적은 고려하지 않았다. 또한 Kriging법은 공간보간을 수행할 수 있는 실용프로그램인 Surfer 6.0을 사용하였으며, 유한요소법은 Akin(1971)이 개발한 전산프로그램을 참고하여 본 연구에 적합하게 수정하여 적용하였다. 식 (1)에 의해서 기존의 방법에 대한 ARC/INFO GIS 시스템을 이용한 유역평균강우량값의 오차를 비교하였으며 그림 14~16에 각 방법별 오차를 나타내었다.

$$\text{오차}(\%) = \frac{\overline{R}_{ARC/INFO} - \overline{R}_O}{\overline{R}_O} \times 100 \qquad (1)$$

여기서 $\overline{R}_{ARC/INFO}$는 ARC/INFO에 의해서 산정한 유역평균강우량 값이며 $\overline{R}_O$는 기존의 방법에 의해

서 산정한 유역평균강우량 값이다.

기존의 방법에 대한 ARC/INFO에 의해서 산정한 유역평균강우량값의 오차는 5%이내를 보이고 있으며 대체적으로 기존의 방법에 거의 근접하는 결과가 산출됨을 알 수 있다.

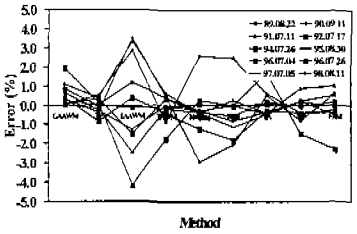

그림 14. ARC/INFO와 기존의 산정 방법간 오차 (일 강우량)

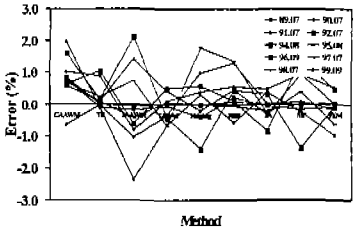

그림 15. ARC/INFO와 기존의 산정 방법간 오차 (월 강우량)

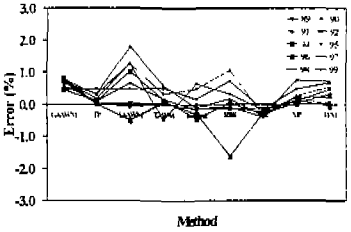

그림 16. ARC/INFO와 기존의 산정 방법간 오차 (연 강우량)

5. 결 론

본 연구에서는 중소규모의 대상유역에 대해서 ARC/INFO GIS 시스템을 이용하여 유역평균강우량을 산정하는 방법에 대한 적용 가능성을 제시하고자 10가지의 유역평균강우량 산정방법간의 비교·분석 및 기존의 유역평균강우량 산정 방법들과 비교·검토를 수행하였다. ARC/INFO GIS 시스템을 사용하여 유역평균강우량을 산정한 결과 산정방법간 차이는 미비한 것으로 나타났으며, 호우사상별로 다소 차이는 보이고 있지만 대체적으로 면적-고도 가중평균법과 수정다각형법이 큰 값을 보이고 있으며, 면적-형태 가중평균값이 작은 값을 나타내고 있다. 강우량의 크기가 커짐에 따라 산정방법들간의 편차가 크게 나타났으며, 대상유역의 강우 관측소의 위치가 고도별로 너무 낮은 곳에 편중해 있기 때문에 면적-형태 가중평균법이 많은 차이를 보이고 있다. 또한 Kriging법에 대한 유역평균강우량의 평균값의 변화율을 산정한 결과 유의할 만한 차이를 보이지 않음을 알 수 있었다. 변동계수를 사용하여 비교해 본 결과 전반적으로 방법들간의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 그리고 일 강우량에서 월 강우량, 연 강우량으로 감에 따라 변동계수의 값이 작아지는 것을 볼 수 있으며, 이는 연 강우량으로 감에 따라 산정방법들간의 근접성이 커짐을 알 수 있었다 또한 기존의 방법에 대한 ARC/INFO GIS 시스템에 의해 산정한 유역평균강우량 값의 오차는 5%이내를 보이고 있으며, 대체적으로 기존의 방법에 거의 근접하는 결과가 산출됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

건설부 (1989~1999). 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서.

성백전 외 6인(1993). 지리정보시스템활용기법, 과학기술원.

Akin, J.E. (1971). "Calculation of Mean Areal Depth of Precipitation", *Journal of Hydrology*, Vol.12, pp.363-376.

ESRI (1994). Cell-based Modeling with GRID, 4th ed., Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands.

Singh, V.P. and Chowdhury, P.K. (1986). "Comparing Some Methods of Estimating Mean Areal Rainfall", *Water Resources Bulletin*, Vol.22, No.2, pp.275-282.