



고도를 고려한 공간보간기법이 대유역 강수량 산정시 미치는 영향 연구

A Study of Spatial Interpolation Impact on Large Watershed Rainfall Considering Elevation

정 혁* · 신형진* · 박종윤* · 정인균* · 김성준*[†]

Jung, Hyuk · Shin, Hyung Jin · Park, Jong Yoon · Jung, In Kyun · Kim, Seong Joon

ABSTRACT

This study was conducted to identify the effect of lapse rate application according to elevation on the estimation of large scale watershed rainfall. For the Han river basin (26,018 km²), the 11 years (2000-2010) daily rainfall data from 108 AWS (Automatic Weather Station) were collected. Especially, the 11 heavy rain and typhoon events from 2004 to 2009 were selected for trend analysis. The elevation effect by IDW (Inverse Distance Weights) interpolation showed the change up to +62.7 % for 1,200~1,600 m elevation band. The effect based on 19 subbasins of WAMIS (Water Resources Management Information System) water resources unit map, the changes of IDW and Thiessen were -8.0 % (Downstream of Han river)~ +19.7 % (Upstream of Namhan river) and -5.7 %~ +15.9 % respectively. It showed the increase trend as the elevation increases. For the 11 years rainfall data analysis, the lapse rate effect of IDW and Thiessen showed increase of 9.7 %~15.5 % and 6.6 %~9.6 % respectively.

Keywords: Thiessen method; IDW method; Elevation; Rainfall; Interpolation

1. 서 론

최근 수문모델에 있어서 준분포형 모형과 분포형 모형이 사용됨에 따라 공간보간기법을 통한 입력자료 생성이 중요한 부분으로 자리 잡았다. 기상자료의 경우 공간상 연속적으로 분포하는 특징을 가지며, 이는 모든 지점에서 그 값이 존재한다는 것을 의미하고, 이러한 데이터를 공간통계자료라 호칭한다. 공간통계자료가 필요한 경우 모든 지점에 대해서 필요한 자료를 측정하는 것이 가장 좋은 방법이나 비용과 시간적인 면을 고려하였을 때 현실적으로 불가능하므로 관측자료를 이용하여 미관측지점에 대해서 예측하는 방법으로 공간보간기법이 사용된다.

강우의 경우 강우확률에 대한 연구가 주류를 이루고 있으며, 강우량의 증감률에 대한 연구도 이루어지고 있다. 고도에 따른 강우량에 대한 연구로는 미계측 지점의 강우 보간에 있어 지형요인을 고려한 바 있으며 (Lee and Jeon, 1994), 고도보정에 의한 여러 기상자료의 공간내삽에 있어, 온도의 경우 -0.0065 °C/m, 습도 -0.01 %, 강우량은 100 m 상승에 따라 5 % 증가

로 내삽을 실시한 바 있다 (Yun et al., 1999). 또한 강우자료에 대하여 다양한 보간기법을 적용하여 그 타당성과 차이에 대하여 연구한 바가 있다 (Cho and Jeong, 2006). 그 외에 PRISM (Parameter-elevation Regressions an Independent Slopes Model)을 사용하여 국내에 맞는 계수, 영향반경과 같은 지리정보의 자료를 생산하여 강수량 보간에 적용한 사례가 있다 (Shin et al., 2008). 고도의 증가에 따른 강수 증가량을 산정함에 있어서 영국에서는 고도와 강우와의 관계를 연구하여 고도의 1,000 m 증가시 강우량 증가량으로 2,040 mm의 값을 산정한 바가 있으며 (Goodale et al., 1998), 미국에서는 1,000 m 증가시 2,170 mm의 수치를 산정한 사례가 있다 (Daly et al., 1994). 그 외에 강수 증가율을 산정한 사례로 고도의 1,000 m 증가시 강우는 74 % 증가한다는 연구가 이루어진 바가 있다 (Smith, 2008).

격자형 공간분포 자료를 만들기 위해서는 미계측지역에 대한 보간이 필요하다. 이에 대하여 공간보간에 쓰이는 여러 방법에 대한 연구가 이루어지고 있다. 대상 유역에 대해서 산술평균법, 면적-형태 가중평균법, Thiessen법, 면적-고도 가중평균법, 삼각형 가중평균법, Kriging법, 거리반비례법, 이측법, 수정다각형법과 유한요소법 등 10가지 기법을 사용하여 비교하였으며 (Lee et al., 2001), 산술평균법, Thiessen법, 등우선법, 삼각형법, IDW (Inverse Distance Weights)법과 Spline법을 이용하여 면적평균강우량을 산정하여 비교한 연구가 진행되나 있다 (Kim, 1999). 그 외에 IDW법, Kriging법, 지역다항식보간법과 방사기반합수

* 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과
 † Corresponding author Tel.: +82-2-444-0186
 Fax: +82-2-444-0186
 E-mail: kimsj@konkuk.ac.kr

2011년 7월 25일 투고
 2011년 10월 6일 심사완료
 2011년 10월 17일 게재확정

를 이용하여 매개변수 설정에 따른 비교 및 평가를 하였다 (Lee et al., 2010). 또한 Spline법, IDW법, Kriging법, Trend Surface 법과 Thiessen법 등 4가지 기법을 사용하여 공간보간기법의 결정에 있어서 판단 기준을 세워 서열을 매기는 방법에 대해서 연구한 바 있다 (Naoum and Tsanis, 2004). Spline법, IDW법과 Kriging법을 이용하여 온도와 강우에 대해서 보간한 사례가 있다 (Irmak et al., 2010). 또한 Kriging법은 통계적으로 우수하지만, 표본의 수가 증가하면 IDW법이 시각적으로 향상된 지도를 만들 수 있다고 분석하였다 (Blackmore and Moore, 1999).

본 연구에서는 Thiessen법과 공간보간기법 중에서 수문분야에서 가장 일반적으로 쓰이는 IDW법을 이용한 대우역 평균강우량 산정에 있어, 고도에 따른 강우증가비율 적용 여부에 따른 보간결과를 비교해 보고자 한다. 특히 고도의 증가시, 강우의 증가율을 적용하는 경우 지역별 강우분포의 변화를 알아보하고자 하였다.

II. 이론고찰 및 대상유역

1. 대상유역

본 연구의 대상유역인 한강유역은 북위 36° 30' ~ 38° 55', 동경 126° 24' ~ 129° 02'에 걸쳐 한반도 중앙부에 위치하고 있으며, 유역면적은 26,355 km²이다 (Fig. 1). DEM (Digital Elevation Model)은 WAMIS (Water Resources Management Information System)의 30 m 공간해상도 자료를 사용하였다. 대상유역의 표고는 0 m ~ 1,547 m, 유역 평균고도는 412.9 m로 공간상 고도의 격차가 크며, 평지지역과 산간지역이 혼재되어 있어 고도에 따른 공간분포를 알아보기 위하여 채택하였다. 유역평균강우량의 산정, 비교를 위하여 수자원단위지도 기준으

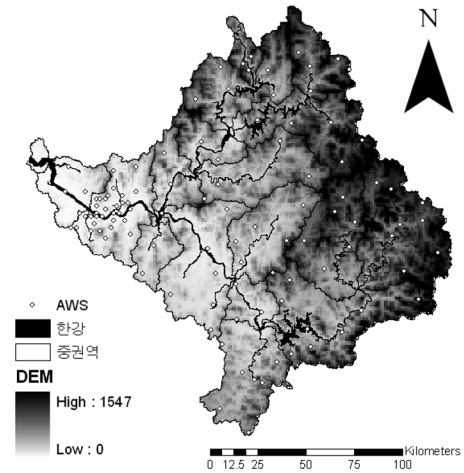


Fig. 1 Location of study area, elevation and rainfall gauging stations

로 임진강유역을 제외한 19개 중권역을 이용하였다.

분석을 위하여 한강유역내 자동기상관측장비 (Automatic Weather Station) 108개소의 2000년부터 2010년까지 관측된 강우자료를 사용하였다. 그 중 강우의 고도고려효과에 대한 경향성 분석을 위하여 2004~2009년의 대상유역에 영향을 미친 호우 및 태풍의 11개 강우사상을 채택하였다 (Table 1).

2. 고도의 적용과 IDW 공간보간

고도에 따른 강수량의 변이는 강수시스템의 종류, 이동방향, 이동속도 등에 의해 결정되므로 시간대별로 정확한 양상을 예측하는 것은 사실상 불가능하다 (Landsberg, 1958). 그러나 Yun et al. (1989, 1999)의 연구결과에 의하면, 연간 총강수량의 분포로부터 유추한 결과 산간지에서 고도 100 m 상승에 따라 5 % 정도씩 증가한다고 하였다. 이들 연구결과를 근거로 본 연구에서는 고도가 1,000 m 상승시 연평균강우량은 74 % 증가율 (Smith, 2008)를 적용하였는데, 이는 역으로 계산하면 고도 100 m 상승에 따라 강우량이 5.7 % 증가하는 것에 해당된다.

이 Lapse rate를 유역에 적용하기 위하여 고도식으로 표현하면 (1)식과 같다. 여기서 H_{DEM} 은 DEM상의 고도, H_{Mean} 은 유역의 평균고도 (412.9 m)이다.

$$Lapse\ rate = 1.056951 \left(\frac{H_{DEM} - H_{Mean}}{100} \right) \quad (1)$$

역거리가중법에 의한 공간내삽법은 관측점과의 거리역수에 가중치를 부여하는 방법으로 관측점과 인접한 점사이의 값은 유사성이 높은 반면 관측점과의 거리가 멀어질수록 유사성이 감소한다는 가정에 기초하며, 다른 보간방법에 비해 알고리즘이 비교적

Table 1 The 2004~2009 rainfall events selected for this study

Event No.	Period		Cumulative Rainfall (mm)	Type
	Year	Date		
1	2004	06.19~06.21	174.6	Heavy rain
2	2004	08.17~08.19	149.7	Typhoon
3	2005	08.02~08.11	146.1	Heavy rain
4	2005	09.17~09.18	58.2	Typhoon
5	2006	07.09~07.29	812.1	Heavy rain, Typhoon
6	2007	08.04~08.10	251.9	Heavy rain
7	2007	09.14~09.18	178.0	Typhoon
8	2008	07.19~07.21	115.5	Typhoon
9	2008	07.23~07.26	220.2	Heavy rain
10	2008	08.02~08.18	180.5	Heavy rain
11	2009	07.11~07.16	284.0	Heavy rain

간단하다. 역거리가중법의 적용에서 가장 중요한 점은 관측지점에 대한 가중치를 계산하는 것이며 본 연구에서는 Frank와 Nielson의 식을 사용하였다.

$$w_i = \frac{d_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n d_j^{-p}} \quad (2)$$

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (3)$$

(2)식은 Shepard (1968)식이며 여기서 p 는 거리의 멱지수(exponent of distance)이고, d_i 는 내삽지점과 관측점의 거리 차이이며 (3)식에 의하여 계산하며 분모항에는 내삽에 적용된 관측지점수만큼의 d_i 합이 적용된다. 여기서 x , y 는 내삽점의 좌표, x_i , y_i 는 각각 관측지점의 좌표이다. 내삽점과 관측지점의 좌표가 중복되는 경우 가중치는 1.0이 되며 해당관측지점의 관측값이 적용된다.

$$w_i = \frac{\left[\frac{D - d_i}{D d_i} \right]^2}{\sum_{j=1}^n \left[\frac{D - d_j}{D d_j} \right]^2} \quad (4)$$

(4)식은 Frank와 Nielson의 가중치 산정식이며 내삽점과 관측점간의 거리가 가장 큰 지점의 가중치를 0으로 적용함으로써

가중치산정에서 제외시키는 방법이다. 여기서 D 는 내삽점과 전체관측점 중 가장 큰 거리이다. (4)식의 가중치 산정식은 Shepard의 방법을 수정한 것으로 Frank (1982)는 29개 내삽방법과 비교한 결과 수정된 가중치 산정식이 우수한 성능을 나타내고 있음을 제시한 바 있다. 이 가중치 산정방법을 적용하기 위해서는 최소 3개 이상의 관측지점이 존재해야 한다.

III. 결과 및 고찰

1. 고도를 고려한 IDW 적용

DEM을 이용하여 각 격자에 해당하는 Lapse rate를 산정한 결과, 한강유역은 평균고도 (412.9 m)를 기준으로 $-19.6\% \sim +83.1\%$ 의 변화율이 산정되었다. 또한 각 Event의 0~400 m 구간과 1200~1600 m의 평균값은 235.4 mm, 363.9 mm로 그 차이가 128.5 mm로 나타났다. Smith (2008)에서는 월별 강우량을 산정하였을 때 $-20.7\% \sim +120.2\%$ 로 나타났으며, 이를 강우사상을 분석한 결과와 비교하였을 때 타당한 것으로 판단된다. 점강우자료에 대해 공간보간을 한 후에 산정된 Lapse rate를 적용하여 대상유역에 대한 강우를 산정하였다. Lapse rate 적용 후에 지형적인 영향을 반영하고 있음을 확인하였다.

Table 2는 11개 강우사상에 대하여 IDW법에 의한 고도고려 전후의 유역강우량을 4개의 표고구간으로 구분하여 정리한 것이다. 고도고려에 따른 유역강우량의 평균변화량을 보면, 0~400 m 구간에서 $+2.0\%$, 400~800 m 구간에서 $+14.5\%$, 800~1200 m 구간에서 $+42.6\%$, 1200~1600 m 구간에서

Table 2 Changes of the rainfall before and after applying lapse rate for the 11 events

Event No.	Elevation (m)											
	0~400			400~800			800~1200			1200~1600		
	B (mm)	A (mm)	R (%)	B (mm)	A (mm)	R (%)	B (mm)	A (mm)	R (%)	B (mm)	A (mm)	R (%)
1 (Heavy rain)	165.1	168.1	+ 1.8	184.6	211.7	+ 14.7	193.2	276.8	+ 43.3	159.0	254.2	+ 59.9
2 (Typhoon)	129.6	131.7	+ 1.6	167.8	190.7	+ 13.7	209.5	299.0	+ 42.7	226.4	377.8	+ 66.9
3 (Heavy rain)	169.9	174.0	+ 2.4	121.8	140.5	+ 15.3	86.7	123.0	+ 41.9	81.2	123.2	+ 51.8
4 (Heavy rain, Typhoon)	69.3	70.5	+ 1.8	46.5	53.5	+ 14.9	32.2	45.6	+ 41.7	29.4	44.2	+ 50.6
5 (Heavy rain, Typhoon)	823.7	840.3	+ 2.0	798.5	913.5	+ 14.4	791.8	1128.5	+ 42.5	752.0	1207.4	+ 60.6
6 (Heavy rain)	248.1	253.3	+ 2.1	264.4	302.9	+ 14.6	221.0	312.8	+ 41.6	222.0	358.9	+ 61.7
7 (Typhoon)	171.0	174.8	+ 2.2	185.9	212.4	+ 14.3	191.9	274.1	+ 42.9	209.6	350.4	+ 67.2
8 (Heavy rain, Typhoon)	136.0	139.7	+ 2.7	92.9	108.0	+ 16.3	74.8	108.5	+ 45.0	87.1	144.2	+ 65.5
9 (Heavy rain)	209.6	213.7	+ 1.9	233.6	267.2	+ 14.4	238.0	340.0	+ 42.8	255.8	426.1	+ 66.6
10 (Heavy rain)	171.3	174.5	+ 1.9	195.7	223.8	+ 14.4	178.5	254.8	+ 42.7	188.7	311.5	+ 65.1
11 (Heavy rain)	296.3	302.2	+ 2.0	273.2	312.3	+ 14.3	246.6	351.3	+ 42.4	249.1	404.8	+ 62.5
Average	235.4	240.2	+ 2.0	233.2	266.9	+ 14.5	224.0	319.5	+ 42.6	223.6	363.9	+ 62.7

B: Before, A: After, R: Rate of Change

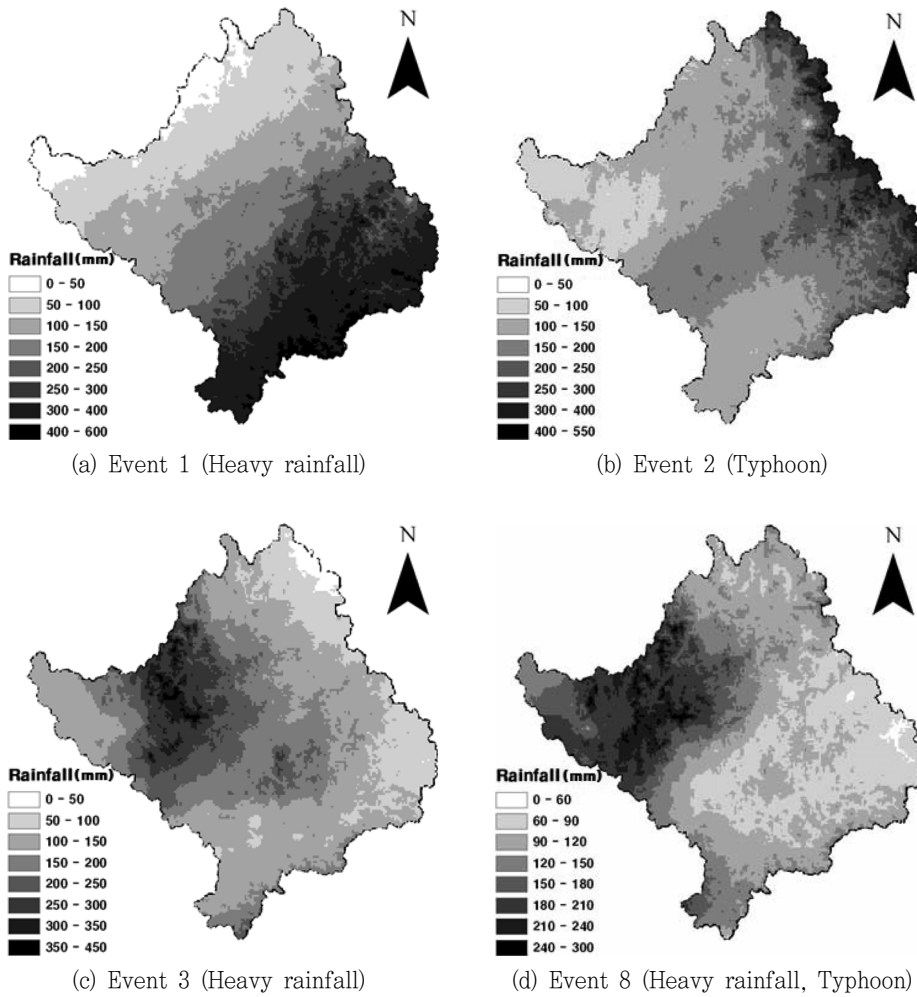


Fig. 2 Rainfall distribution after applying lapse rate for the 4 selected events

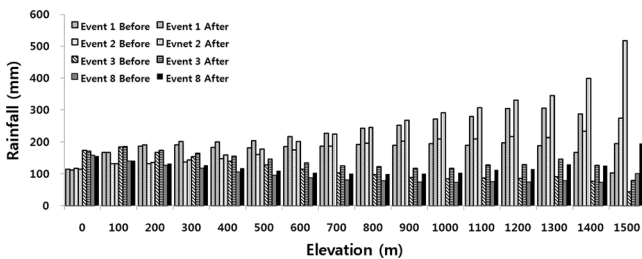


Fig. 3 Rainfall before and after applying lapse rate for the 4 selected events

+ 62.7 %의 값을 보였다. 4개 표고구간의 증가율은 약한 3차 S곡선 ($y = -1.507x^3 + 12.683x^2 - 10.839x$, $R^2 = 0.9947$)으로 표현이 가능하였다.

Fig. 2는 4개 강우사상 (Event 1, 2, 3, 8)에 대한 유역 누가 강우량의 분포도를 보여주고 있으며, Fig. 3은 이들 이벤트의 고도고려 전후의 강우를 100 m단위의 표고구간으로 산정하여

정리한 것이다. Event 1, 2는 상류의 표고가 높은 지역에 강우가 많이 내린 경우이고, Event 3, 8은 하류의 표고가 낮은 지역에 강우가 많이 내린 경우이다. Fig. 3을 보면, 표고가 높아질수록 고도고려 전후의 강우량 차이가 커지는 것을 알 수 있다.

2. IDW 및 Thiessen 법에 의한 고도 고려효과 분석

Fig. 4와 5는 11개 강우사상을 대상으로, IDW법과 Thiessen 법에 의한 고도 적용 전, 후 유역평균강우량을 수자원단위지도의 19개 중권역별로 그 평균과 범위로 나타낸 것이다. 고도 적용 전에는 강우량의 상, 하류부에 따른 경향이 보이지 않았다. 고도를 적용한 후에는 IDW법은 전체적으로 고도가 높은 지역인 한강의 상류부에 있는 유역에서 강우량이 더 크게 나타나고 있으며, 하류부로 내려갈수록 강우량이 작아지는 경향을 보인다. Thiessen 법도 IDW법과 비슷한 경향을 보였다.

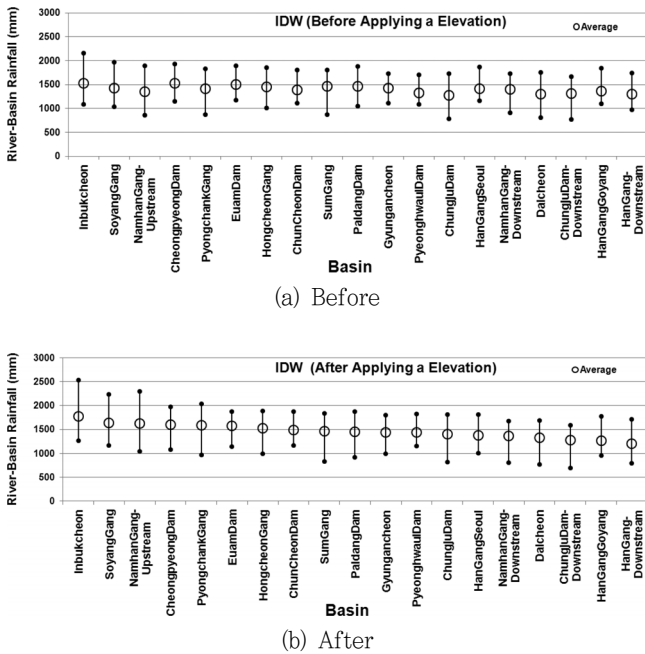


Fig. 4 Rainfall based on 19 WUM (Water Resources Unit Map) before and after applying lapse rate using IDW method

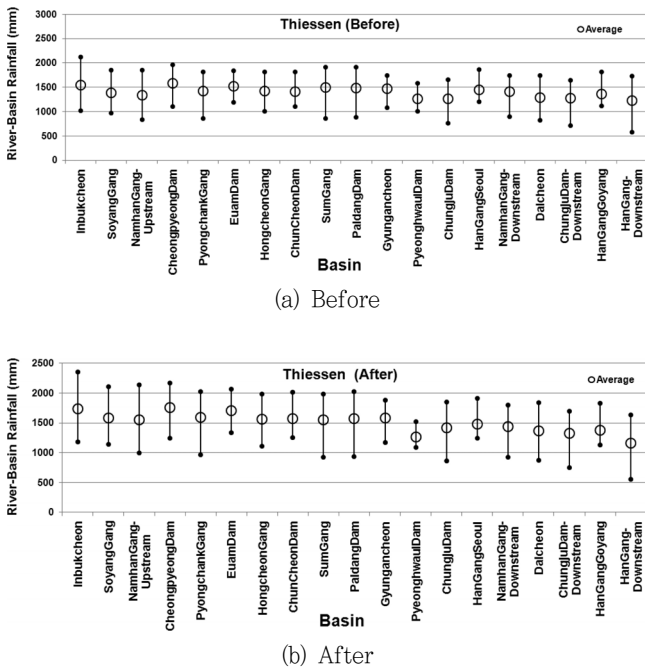


Fig. 5 Rainfall based on 19 WUM (Water Resources Unit Map) before and after applying lapse rate using Thiessen method

고도 적용전을 기준으로 고도 적용후의 중권역별 유역 강우량의 변화를 살펴보면, IDW법이 - 8.0 % (한강하류)~ + 19.7 %

Table 3 Comparison of IDW and Thiessen rainfall (2000~2010) before and after applying lapse rate

Year	IDW			Thiessen		
	Before (mm)	After (mm)	Rate of Change (%)	Before (mm)	After (mm)	Rate of Change (%)
2000	1199.0	1384.9	+ 15.5	1145.9	1254.8	+ 9.5
2001	975.5	1123.4	+ 15.2	986.7	1081.7	+ 9.6
2002	1378.9	1583.4	+ 14.8	1344.2	1463.4	+ 8.9
2003	1832.4	2049.4	+ 11.8	1804.5	1932.4	+ 7.1
2004	1471.4	1631.5	+ 10.9	1449.8	1551.9	+ 7.0
2005	1454.5	1629.6	+ 12.0	1475.9	1574.3	+ 6.7
2006	1567.8	1753.0	+ 11.8	1559.6	1673.7	+ 7.3
2007	1476.5	1662.9	+ 12.6	1469.2	1575.0	+ 7.2
2008	1161.8	1282.3	+ 10.4	1228.9	1316.2	+ 7.1
2009	1358.5	1516.4	+ 11.6	1403.7	1499.7	+ 6.8
2010	1450.3	1590.5	+ 9.7	1527.4	1628.4	+ 6.6
Average	1393.3	1564.3	+ 12.4	1399.6	1504.7	+ 7.6

(남한강상류), Thiessen법은 - 5.7 % (한강하류)~ + 15.9 % (남한강상류)의 증감을 보였다. 전반적으로 유역강우량이 상류로 갈수록 증가하고, 하류로 갈수록 감소하는 경향이 있는 것을 알 수 있었다. 고도적용 전, 후 유역강우량 변화범위의 차이를 산정해본 결과, IDW법은 35.7 % (섬강)~68.5 % (경안천), Thiessen법은 27.6 % (한강하류)~56.1 % (의암댐)로 고도에 의한 경향성을 보이지는 않았다.

Table 3은 2000년부터 2010년까지 일강우량자료들을 대상으로, IDW와 Thiessen법으로 고도효과 고려전후를 산정하고 그 차이를 비교정리한 것이다. Lapse rate를 적용 후가 적용 전에 비하여 IDW법은 강우자료에 비해 9.7~15.5 %, Thiessen법은 6.6~9.6 %의 증가율을 보였다. 거리에 가중치를 두는 IDW법이 Thiessen법에 비해 Lapse rate에 의한 증가율이 더 큰 경향을 보여주고 있다.

IV. 결 론

본 연구는 한강유역 (26,018km²) 내의 108개 자동기상관측소 (AWS)의 11년 (2000~2010)간의 일강우 자료와 2004년~2009년의 11개의 호우 및 태풍사상을 대상으로, IDW 및 Thiessen 방법에 의한 유역강우량 산정시 고도의 영향을 분석하였다.

11개 강우사상을 대상으로 고도를 고려한 경우 IDW 유역평균 강우량은 0~400 m 구간에서 +2.0 %, 400 m~800 m 구간에서 +14.5 %, 800 m~1200 m 구간에서 +42.6 %, 1200 m~1600 m 구간에서 +62.7 %의 변화를 보였다.

지역별 영향을 알아보기 위하여, WAMIS 수자원단위지도의

19개 중권역 단위로 비교한 결과 IDW법은 - 8.0 (한강하류)~ + 19.8 % (남한강상류), Thiessen법은 - 5.7 %~ + 15.9 %의 변화를 보여, 하류에서는 강우량이 감소하는 지역이 있었고, 상류유역으로 갈수록 강우 증가량이 크게 나타났다.

지난 11년간의 강우자료에 대한 유역평균강우량의 고도를 고려한 차이는 IDW가 + 9.7 %~ + 15.5 %, Thiessen법은 + 6.6 %~ + 9.6 %를 보인다. 고도를 고려한 강우자료의 분포형 모형 입력자료로 사용시 수문해석에 있어 양적 차이와 더불어, 지역적인 차이 및 유역특성이 고려되어 결과에 영향을 줄 것으로 생각된다.

수문모형에 있어서 분포형 모형은 공간적인 분포를 볼 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이에 분포형 모형의 입력자료로 쓰이는 강우분포자료에 있어서 고도를 고려한 본 연구는 지형적인 요인을 고려할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 국토해양부 한국건설교통기술평가원의 2010 건설기술혁신사업인 ‘기후변화에 의한 수문영향 분석과 전망’에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Blackmore, S., and M. Moore, 1999. Remedial correction of yield map data. *Precision agriculture* 1(1): 53-66.
- Cho, H. L., and J. C. Jeong, 2006. Application of spatial interpolation to rainfall data. *The Journal of GIS Association of Korea* 14(1): 29-41 (in Korean).
- Daly, C., M. Halbleib, J. I. Smith, W. P. Gibson, M. K. Doggett, G. H. Taylor, Jan Curtis, and P. P. Pasteris, 2008. Physiographically sensitive mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United States. *International Journal of Climatology* 28: 2031-2064.
- Daly C., R. P. Neilson, and D. L. Phillips, 1993. A statistical-topographical model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology* 33: 140-158.
- Franke, R., and G.M. Nielson, 1980. Smooth interpolation of large sets of scattered data. *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 15: 1691-1704.
- Goodale C. L., J. D. Aber, and S. V. Ollinger, 1998. Mapping monthly precipitation, temperature, and solar radiation for Ireland with polynomial regression and a digital elevation model. *Climate Research* 10: 35-49.
- Irmak, A., P. Ranade, D. Marx, S. Irmak, K. G. Hubbard, G. Meyer, and D. L. Martin, 2010. Spatial interpolation of climate variables in Nebraska. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 53(6): 1759-1771.
- Landsberg, H. E., 1958. *Physical Climatology (2nd ed.)*. Gray Printing. DuBois. Pennsylvania pp.446.
- Lee, H. S., 2010. Comparison and evaluation of root mean square for parameter settings of spatial interpolation method. *The Korean Association of Geographic Information Studies* 13(3): 29-41 (in Korean).
- Lee, J. H., and I. K. Jeon, 1994. A rainfall forecasting model for the ungaged point of meteorological data. *The Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 14(2): 307-306 (in Korean).
- Lee, J. S., J. J. Lee, and B. K. Jeon, 2001. Comparison of the estimation method for mean areal rainfall in the Wi Cheon watershed using GIS. *Kumoh National University of Technology* 17: 161-177 (in Korean).
- Kim, C., 1999. Computation of mean areal precipitation using GIS. *The Journal of Honam University* 20(2): 861-871 (in Korean).
- Naoum, S., and I. K. Tsanis, 2004. Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-based DSS. *International Journal of Global NEST* 6(1): 1-20
- Ruelland, D., S. Ardoin-Bardin, G. Billen and E. Servat, 2008. Sensitivity of a lumped and semi-distributed hydrological model to several methods of rainfall interpolation on a large basin in West Africa. *Journal of Hydrology* 361: 96-117.
- Sasaki H., and K. Kurihara, 2008. Relationship between precipitation and elevation in the present climate reproduced by the Non-hydrostatic Regional Climate Model. *Scientific Online Letters on the Atmosphere* 4: 109-112.
- Sasaki H., K. Kurihara, I. Takayabu, and T. Uchiyama, 2008. Preliminary experiments of reproducing the present climate using the non-hydrostatic regional climate model. *Scientific Online Letters on the Atmosphere* 4: 25-28.
- Shepard, D., 1968. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings of the 1968 ACM National Conference*, 517-524.
- Shin, S. C., M. K. Kim, M. S. Suh, D. K. Rha, D. H.

- Jang, C. S. Kim, W. S. Lee, and Y. H. Kim, 2008. Estimation of high resolution gridded precipitation using GIS and PRISM, *Atmosphere* 18(1): 71-81 (in Korean).
19. Smith, C. D., 2008. The Relationship between Monthly Precipitation and Elevation in the Alberta Foothills during the Foothills Orographic Precipitation Experiment. *Cold Region Atmospheric and Hydrologic Studies 2*: 167-185.
20. Yun, J. I., Y. S. Chun, C. S. Lee, and K. B. Yoo. 1988. Relationship between rainfall distribution and site topography in Cheju Island, Korea. *Journal of Atmospheric Research* 5(1): 43-49.
21. Yun, J. I., D. S. Yi, J. Y. Choi, S. I. Cho, E. W. Park, and H. Hwang, 1999. Elevation-corrected spatial interpolation for near-real time generation of meteorological surfaces from point observations. *AgroInformatics Journal* 1(1): 28-33 (in Korean).