공간 강수량 정확도 향상을 위한 공간상세화 방법 평가

Evaluation of Spatial Downscaling Methods for Enhancement of Spatial Precipitation Estimation

황석환* · 함대헌**

Hwang, Seok Hwan · Ham, Dae Heon

Abstract

In order to estimate a reliable spatial precipitation which has high resolution sub-measuring scale, a systematical research for spatial interpolation methods and evaluation of characteristics of them are required. This will be able to reduce disputes on selection of methodologies and estimate uncertainties of downscaled data. Therefore, we assessed the spatial interpolation methods using automatic weather system (AWS)'s daily data of Korea Meteorological Administration (KMA) during past 10 years (2001-2010), so as to reduce arbitrary interpretations of the result by selecting particular regions or storm events. In addition, we adopted inverse distance weighted method (IDW), ordinary kriging method (KRG) and multi-quadric interpolation method (MQI) to produce 5km×5km grid precipitation. For quantitative evaluations of each interpolation method, thiessen polygon method (TSN) was used as a comparison method. When comparing the gridded daily precipitation for the past 10 years (2001-2010) by middle scale basins, differences of whole average for each methods were not significant when using KMA's AWS network. However, in case of regions where stations were sparse and each storm event, significant differences were founded caused by interpolation methods or characteristics of regions.

Key words : Precipitation, Interpolation method, Grid data

요 지

관측정밀도 보다 높은 강수량 공간상세화를 위해서는 공간 내삽법에 대한 체계적인 조사와 기본적인 특성 평가가 선행되어야, 향후 방법적인 면에서 논란의 여지를 줄이고 상세화된 자료에 대한 불확실성도 가능할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 공간 내삽방법에 대한 평가를 수행하고자 한다. 본 연구에서는 특정 지역 혹은 특정 사상 선정으로 인한 결과의 임의성을 최대한 줄이기 위해 우리나라 전역의 10년(2001-2010년)치 기상청 AWS지점 일자료를 사용하였다. 그리고 역거리가중법(Inverse distance weighted method; IDW), 크리깅법(Ordinary kriging; KRG), 다중이차내삽법(Multi-quadric interpolation method; MQI)을 적용하여 5 km×5 km 격자강수량을 재산정 하였다. 각 내삽 방법에 대한 정량적 평가를 위하여 기준 방법으로 본 연구에서는 티센면적가중법(Thiessen polygon method; TSN)을 사용하였다. 2001년부터 2010년까지 10년 동안의 일강수량 공간 상세화 결과를 중권역 단위로 비교하였을 때, 기상청 AWS 관측망을 사용하는 경우 전체 평균에 있어 방법 간 차이는 크지 않았다. 그러나 관측소가 희박한 지역과 개별호우사상의 경우는 지역특성별로 방법 간 유의한 차이가 나타났다.

핵심용어 : 강수량, 내삽방법, 격자강수량

1. 서 론

최근 들어 국지성 호우의 빈발로 강수의 지역적인 편차가 크게 나타나고 있으며, 이러한 상황을 수문기상 분석 및 물 관리 정책에 반영하기 위해서는 유역별 고품질의 고해상도 수문기상 정보가 필수적이라 할 수 있다. 이와 함께 기후변화 전망에 대한 정보 활용 범위가 확대되고 있으며, 다양한

형태로의 기후변화 관련 정보에 대한 수요도 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.

유역별 고품질의 고해상도 수문기상 정보의 필요성이 지속적으로 증가함에 따라 기상청에서는 지상 관측망(ASOS 및 AWS)과 레이더 자료를 바탕으로 격자형 강수량자료를 생산하여 제시하고 있다. 그러나 생산된 자료를 수자원 분야의 관련 분석에 활용하기 위한 기반 연구가 부족한 실정으로 최적

*정회원. 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원(E-mail : sukany@kict.re.kr)

Member. Senior Researcher, Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

**교신저자. 정회원. 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원(Tel: +82-31-910-0550, Fax: +82-31-910-0251, E-mail: daecheon80@kict.re.kr)

Corresponding Author. Member. Researcher, Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

의 수문기상 자료 상세화 기법 도출 및 이에 대한 검증을 통해 수문-기상 연계 기반을 마련하고 생산 정보의 활용성을 강화할 필요가 있다.

ASOS와 AWS 등의 지점 관측자료로부터 공간내삽된 수문 기상 자료는 유역 단위 수문순환 해석의 기초 입력자료로 유용하게 활용 가능하기 때문에 지난 수십여 년 동안 다양한 공간내삽 방법이 개발되었다. 그러나 자료 특성에 따른 방법의 장단점이 존재하고 내삽 결과의 편차가 커서 실무 적용에 어려움이 있었으나 현재까지 기법 간의 신뢰할 만한 비교 검증이 없었던 것이 사실이다. 따라서 격자형 수문기상자료 활용을 위한 최적의 상세화(interpolation) 기법 도출이 필요하고 이를 위해 정도 높은 공간 수문기상자료 획득을 위한 기상분야와 수문분야 관측자료 상세화 기법 체계적 조사와 상세화 자료의 정량적 신뢰도 평가가 필요하다.

국토교통부 홍수통제소와 같이 국내 물관리 기관의 경우 유역별 수문특성을 분석하기 위해 관측소별로 생산되는 지점 기상자료를 유역 단위로 가공하여 수문해석, 수자원 계획 수립 등에 활용하고 있다. 그러나 대부분의 댐 상류 유역은 산악지형으로 구성되어 있으며, 현재 이용되고 있는 유역 평균 강수정보 산정 기법의 경우 대부분 지역효과를 반영하는데 한계가 있어 유역 강우-유출 해석 시 정확도 측면에서 상당한 오차를 유발할 수 있다. 현재 국내에서 활용되고 있는 유역평균 강수량 산정을 위한 공간내삽방법의 경우 통상 산술평균법, 지배면적 가중법, 거리가중법 등이 이용되고 있고 우리나라와 같이 산악지형이 많고 지역 간 강수량 편차가 큰 경우에 현재의 지점 관측수준에서 이러한 방법에 의한 공간 내삽 시 강수량 과대 혹은 과소 추정, 면적강수의 평준화 등의 다양한 문제가 제기되고 있으나 관측 자료의 종류와 유역 특성에 따른 산정 기법의 타당성 검증에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

더불어 기상청에서 격자자료 생산에 사용하는 기법(MQI)과 수자원 실무에서 면적 강수량 산정에 사용하는 기법(TSN) 등이 상이하고 결과에 대한 비교가 없어 실무에 적용하기 어려운 실정이다. 따라서 신뢰성 높은 정보를 생성하기 위해서는 기존 공간 상세화 기법별 불확실성을 객관적으로 분석하고 정량적으로 평가하여 각 방법별 불확실성의 특성과 원인을 규명하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는, 수문해석 정확도 향상 목적에서, 이러한 본격적인 정량적 평가에 앞서, 우선 이러한 관측자료 공간 상세화 기법을 면밀히 조사·검토하여 향후 효율적인 공간상세화 자료 생산을 위한 기반을 마련하고자 한다.

지상학적 특성과 대기 조건을 고려하지 않는 격자화 방법은 지상학적 특성들과 호우시의 대기조건을 고려하지 않지만, 관측소 밀도가 높고 최소 기후 경사를 가진 지점에서는 합리적인 결과를 도출할 수 있다. 대부분의 기본적 형태의 격자화 방법은 게이지 위치만 고려된 지점 관측치로부터 셀 값을 추정한다. 이런 종류의 방법에 IDW가 포함되는데, 이런 방식은 거리 가중을 위한 여러 공식들을 가지고 있으며 종종 관측소가 가중되지 않는 최대 영향 반경을 포함한다. 인접가중법(Natural neighbor method)은, TSN과 유사하게, 대표하

는 영역에 근거해 가중치를 결정한다(Sibson, 1981). 여러 가지 방법들은 격자 값을 만드는데 있어 특정 영역의 과도한 대표성을 피하기 위해서 인접한 관측소의 가중치를 줄이는 기법을 적용한다. 예를 들면 Shepard(1968)는 가까이 분포한 게이지들보다 동떨어져 있는 게이지에 가중치를 더 부여하기 위해서 방위 보정을 병행하였다. 최근에 적용된 이러한 방법으로는 SYMAP 방법(Shepard, 1984; Maurer *et al.*, 2002; Hamlet and Lettenmaier, 2005)과 각거리 가중법(Angular Distance Weighting method, Hofstra and New, 2009)이 있다. Cressman(1959)과 Barnes(1964)은 고밀도 게이지 영역의 보다 정교한 정보를 합성하고 개선한 다중 패스를 사용해 거리가중 내삽법(distance-weighted interpolations)을 개선하였고 최근의 연구로는 Chen *et al.*(2002)이 있다. 또한 관측지점의 자료를 내삽 평면에 맞출 때 관측 자료 지점에서 급격한 결절(sharp breaks)을 방지하기 위하여 박판스플라인(thin plate spline; TPS) 방법이 사용되었다(Hutchinson, 1993). 내삽 표면의 평활정도를 제어하는 매개변수는 교차 검증 에러를 최소화하기 위한 최적화과정을 통해서 조정 가능하다.

크리깅이나 최적 보간법(optimal interpolation; OI) 같은 보다 진보된 격자화 방법들은 지점 관측치의 공간적 공분산을 명확히 고려한다(Cressie, 1993; Gandin, 1965; Daly, 2006; Hofstra *et al.*, 2009). 이런 방법들의 장점은, 보간된 격자와 함께 추정오차도 생산한다는 것이다. 그러나 추정치의 품질은 내삽법의 가정이 유효한 경우에만 보장되기 때문에 추정오차는 신중하게 사용해야 한다(Daly, 2006). 다수의 연구에서 관측소의 위치만 고려하는 방법보다 관측자료의 공간적 공분산을 고려하는 내삽법이 더 좋은 결과를 도출하였다(예, Chen *et al.*, 2002; Hofstra *et al.*, 2008).

본 연구에서는 수문기상분야에서 가장 보편적으로 이용되는 내삽방법인 IDW, KRG, MQI에 의한 차이를 검토하여 보았다. 각 내삽 방법에 대한 정량적 평가를 위하여 기준 방법으로 본 연구에서는 TSN을 사용하였다.

TSN은 주로 우량계가 유역 내외에 불균등하게 분포되어 있는 경우에 유역평균 강수량을 산정하기 위한 산술평균법의 대안으로 사용되는 방법으로, 전 유역면적에 대한 각 관측점의 지배면적을 가중인자로 잡아 이를 각 우량값에 곱하여 합산한 후 이 값을 유역 면적으로 나눔으로써 평균우량을 산정하는 방법이다(윤용남, 2007). 한편으로 voronoi diagram이라고도 불리며, 주로 수문분야 유역평균 강수량 산정에서 국한되어 활용되는 것으로 알려져 있으나, voronoi diagram의 경우 기상 분야의 상세화 등에도 적용되는 기법이다.

부족한 정보에서 더 상세한 정보를 추정하는 것이기 때문에 상세화의 한계는 분명히 존재하고 절대적으로 우수한 내삽방법의 개발은 불가능하다고 본다. 그러나 보다 신뢰도 높은 공간적 상세화를 위해서는 이러한 공간 내삽 추정법에 대한 체계적인 조사와 우리나라 기후 및 지리 조건에서 기본적인 특성 평가가 선행되어야, 향후 방법적인 면에서 논란의 여지를 줄이고 상세화 자료에 대한 불확실성도 기습할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 전체적인 공간적

상세화의 개념, 프로세스, 그리고 방법들에 대해 분석과 강수량을 이용한 정량적 평가를 수행하고자 한다.

2. 분석 자료

2.1 분석 자료 및 대상 유역

본 연구에서는 특정 지역 선정으로 인한 결과의 임의성을 최소화하기 위해 우리나라 전역의 기상청 AWS지점 일강수

Fig. 1. AWS sites of KMA(left) and 117 middle scale Basin (right)

량 자료를 사용하였다. 2001년에서 2010년까지 10년간의 자료를 이용하였다. 그리고 세가지 공간 내삽방법(IDW, KRG, MQI)을 적용하여 5 km×5 km 격자강수량을 생산 하였다. 그림 1은 우리나라 기상청 AWS 관측소 분포(좌)와 중권역 현황(우)이고 표 1은 중권역 정보이다. 그림 1에 나타난 바와 같이 기상청 AWS 지점의 경우는 도서 및 해안지역을 포함하여 전국에 비교적 균일하게 분포되어 있다. 이러한 배치가 강수관측의 공백 지역을 최소화할 수는 있으나 분수령으로 구분된 유역 단위에서는 유역간 관측소 밀도의 차이를 유발한다. 즉 균등 배치된 AWS 관측망은 크기가 다양한 유역의 특성을 고려하지 못해 관측이 취약한 유역이 존재한다. 이러한 점은 AWS 관측망의 배치만을 고려한 도식적인 분석결과이며 유역별로 실제 발생한 강수량의 차이를 정량화하여 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

3. 분석 방법

3.1 역거리가중 방법(IDW)

이 방법은 알려진 주위값들의 가중선형조합을 이용하여 새로운 값을 예측하는 방법 중 하나이다. 일반적으로 지역평균법의 경우 영향반경 내의 모든 자료값에 동일한 가중치를 부여하는 한계가 있어 이를 개선한 방법이 역거리법(김동휘 등,

Table 1. Names of Middle Scale Basins and Coverage Areas

Han rivers			Nakdong rivers			2502	남해도	358.70	Sumjin rivers		
No	Name	Area	No	Name	Area	2503	거제도	533.83	No	Name	Area
1001	남한강상류	2447.85	2001	안동댐	1628.68	2504	낙동강남해	770.55	4001	섬진강댐	763.38
1002	평창강	1773.39	2002	임하댐	1975.77	Geum rivers			4002	섬진강댐하류	237.08
1003	충주댐	2483.82	2003	안동댐하류	980.41	No	Name	Area	4003	오수천	370.89
1004	달천	1614.36	2004	내성천	1816.06	3001	용담댐	930.35	4004	순창	431.35
1005	충주댐하류	524.42	2005	영강	914.43	3002	용담댐하류	127.72	4005	요천	486.53
1006	섬강	1491.01	2006	병성천	433.11	3003	무주남대천	464.08	4006	섬진곡성	183.45
1007	남한강하류	2072.72	2007	낙동상주	224.13	3004	영동천	705.51	4007	주암댐	1029.41
1008	금강산댐	2384.68	2008	위천	1405.99	3005	조강	664.62	4008	보성강	283.78
1009	평화의댐	940.45	2009	낙동구미	179.20	3006	대청댐상류	120.42	4009	섬진강하류	1128.43
1010	춘천댐	1587.36	2010	감천	1005.33	3007	보청천	553.56	4101	섬진강남해	1086.27
1011	인북천	931.22	2011	낙동왜관	1106.16	3008	대청댐	667.48	4102	완도	384.61
1012	소양강	1852.04	2012	금호강	2092.42	3009	갑천	648.98	4103	금산면	124.07
1013	의암댐	721.70	2013	회천	781.70	3010	대청댐하류	129.82	4104	이사천	1048.40
1014	홍천강	1566.05	2014	낙동고령	547.95	3011	미호천	1855.83	4105	수어천	612.71
1015	청평댐	760.61	2015	합천댐	928.94	3012	금강공주	1844.04	4106	여수시	140.60
1016	경안천	561.12	2016	황강	387.16	3013	논산천	666.10	Yeongsan rivers		
1017	팔당댐	43.87	2017	낙동창녕	473.26	3014	금강하구언	536.58	5001	영산강상류	714.80
1018	한강서울	1537.22	2018	남강댐	2293.42	3101	삼교천	1668.04	5002	황룡강	565.04
1019	한강고양	826.33	2019	남강	1185.08	3201	대호방조제	684.24	5003	지석천	663.98
1020	고미향천	2198.07	2020	낙동밀양	1004.68	3202	부남방조제	1336.04	5004	영산강중류	421.18
1021	임진강상류	2194.89	2021	밀양강	1422.30	3203	금강서해	910.96	5005	고막원천	218.95
1022	한탄강	2339.62	2022	낙동강하구언	915.84	3301	만경강	1600.63	5006	영산강하류	470.36
1023	임진강하류	1416.53	2101	형산강	1139.99	3302	동진강	1161.52	5007	영암천	264.51
1024	한강하류	146.40	2201	태화강	660.86	3303	직소천	260.51	5008	영산강하구언	150.53
1101	안성천	1658.66	2301	화야강	324.16	Jeju island			5101	탐진강	493.23
1201	한강서해	1031.64	2302	수영강	541.28	No	Name	Area	5201	진도	437.43
1202	시화호	961.26	2401	왕피천	1405.85	6001	제주서해	378.50	5202	영암방조제	1069.31
1301	양양남대천	1852.93	2402	영덕오십천	905.65	6002	제주북해	348.36	5301	주진천	511.11
1302	강릉남대천	1050.11	2403	대종천	656.59	6003	제주남해	363.56	5302	와탄천	1096.36
1303	삼척오십천	986.64	2501	가화천	785.56	6004	제주동해	761.80	5303	신안군	507.71

2010)이며, 가중치는 거리가 멀어짐에 따라 지수적으로 감소한다.

$$Z_g(x) = \sum_{i=1}^N \alpha_i Z(x_i) \quad (1)$$

$$\alpha_i = \frac{(1/d_i)^p}{\sum_{j=1}^N (1/d_j)^p} \quad (2)$$

여기서 d_i 는 추정치 x 와 관측치 x_i 사이의 거리이다. p 가 0이면 역거리가중 방법의 결과는 산술평균값과 같게 되고, 무한대로 커지면 티센면적가중법(voronoi diagram)의 추정결과와 같아진다. 즉, p 가 커질수록 가까운 점의 영향이 크게 반영되는 현상이 발생한다.

3.2 크리깅 방법(KRG)

범용적으로 사용되는 공간 내삽 방법 중 하나로, 관측하지 않은 특정지점에서의 값을 추정하기 위해 주변의 값들을 선형조합하여 예측하는 방법이다. 추정시 실측값과의 거리 뿐만 아니라 이웃한 값과의 상관성을 고려한다. 본 연구에서는 추정식이 편의되지 않으면서 오차의 분산을 최소화하는 정규크리깅(ordinary kriging) 방법을 사용하였다. 크리깅에서 공간적 상호관계는 일정한 이격거리 만큼 떨어진 자료들의 이질성을 나타내는 베리오그램을 통해 규정되는데, n 개의 자료를 가지는 자료계열 $\{Z(x_i), i = 1, \dots, N\}$ 가 존재한다고 할 때, 해당 자료계열의 경험적 베리오그램(semi-variogram)은 다음 식과 같이 이격거리 d 만큼 떨어진 자료와의 편차 제곱의 평균으로 나타낸다.

$$\hat{\gamma}_Z(d) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(d)} [Z(x_i) - Z(x_i + d)]^2 = \sigma^2 - Cov(d) \quad (3)$$

여기서 $N(d)$ 는 이격거리 d 만큼 떨어진 자료의 개수를 나타낸다. 베리오그램 함수에서 N 는 이방성(anisotropy)을 가정할 경우 방향과 거리 모두를 포함하는 벡터가 되며, 등방성(isotropy)을 가정할 경우 거리만을 의미한다. 그리고 σ^2 은 자료의 분산, $Cov(d)$ 는 이격거리 d 만큼 떨어진 자료의 공분산을 의미한다. 베리오그램은 거리 d 만큼 이격된 두 자료들간의 차이를 제공한 것의 기대값이며, 거리가 가까운 자료들이 유사한 경향을 보이므로 베리오그램은 자료의 거리가 가까울수록 작고 멀어질수록 크다. 이러한 성질의 베리오그램은 이격거리에 따른 자료들의 관계를 분석하여 분석영역의 공간적 자료분포 구조를 파악한 후 미계측구간의 자료값을 추정하는데 활용된다. 이렇게 자료계열에서 베리오그램이 계산되면, 모든 이격거리 d 에서의 베리오그램 값을 산정하는 베리오그램 모델링(베리오그램 함수 적합)을 수행하게 되며, 이 베리오그램값은 크리깅 과정에서 이용된다. 일반적인 최소자승 회귀분석 방법의 일종인 크리깅은 베리오그램으로부터 산정되는 공간적 자기상관을 가중치로 이용하여 이웃한 자료들의 선형조합으로 관측지점 외의 위치에서 값을 추정한다. 정규크리깅에서는 추정 지점을 기준으로 지역적으로 평균이 일

정하다고 가정하는데 임의의 격자점 g 에서의 정규크리깅 추정치 $Z_g(x)$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} Z_g(x) &= E(x) + \sum_{i=1}^{N(x)} \alpha_i(x) [Z(x_i) - E(x)] \\ &= \sum_{i=1}^{N(x)} \alpha_i(x) Z(x_i) + \left[1 - \sum_{i=1}^{N(x)} \alpha_i(x) \right] E(x) \end{aligned} \quad (4)$$

크리깅 가중치의 합이 1이 되는 경우 지역 평균값을 제거(추정값의 편의를 해소)할 수 있어 정규크리깅 추정치는 다음과 같아진다.

$$Z_g(x) = \sum_{i=1}^{N(x)} \alpha_i(x) Z(x_i), \quad \sum_{i=1}^{N(x)} \alpha_i(x) = 1 \quad (5)$$

여기서 정규 크리깅 가중치 $\alpha_i(x)$ 는 불편의 조건과 추정 분산을 최소화함으로써 추정할 수 있다.

3.3 다중이차내삽 방법(MQI)

지역가중법의 일종인 이 방법은 Hardy(1971)에 의해 고안되었다. RBF(Radial basis function)을 이용하는 방법으로 Franke(1982)는 이 방법이 여러 가지 방법들과 비교하여 연속적인 방법보다는 훨씬 우수하며 통계적 방법과는 적어도 비슷한 결과를 낸다는 결론을 얻었다. 이 방법은 Nuss과 Titley(1994)에 의해 기상장에 적용되었다(이대균 등, 2010). RBF를 이용한 내삽식은 다음과 같다.

$$H(X) = \sum_{i=1}^N \alpha_i Q(X - X_i) \quad (6)$$

여기서 $H(X)$ 는 압력이나 온도와 같이 공간적으로 변동하는 배경장이고 $Q(X - X_i)$ 는 RBF로 대상 영역안의 관측지점 X_i 와 다른 지점 X 간의 관계를 나타내는 벡터인수이다. 매개변수 α_i 는 관측치 혹은 특정 방법으로 결정되는 가중인자이다. 확률적 내삽에서는 대상 영역안의 관측지점과 다른 지점간의 공분산 함수(covariance functions)가 기저함수의 역할을 한다. 다중이차 방법에서는 쌍곡면(hyperboloid) 함수가 기저함수로 사용되며 그 형식은 다음과 같다.

$$Q(X - X_i) = \left(\frac{\|X - X_i\|^2}{c^2} + 1.0 \right)^{1/2} \quad (7)$$

여기서 c 는 임의의 상수이다. 상수 c 는 기저함수가 관측지점에서 소실되는 것을 방지하여 무한히 미분 가능케 하고 대각성분과 비대각성분의 상대적인 크기를 조절하여 상관 행렬의 조건수(condition number)에 영향을 준다. 이 상수는 다중이차 매개변수로도 불린다. 여기서 X 는 1차원, 2차원, 혹은 3차원의 위치벡터를 나타낼 수 있다. 예로 2차원의 쌍곡면 함수는 다음과 같다.

$$Q_i(x, y) = \left(\frac{|x - x_i|^2 + |y - y_i|^2}{c^2} + 1.0 \right)^{1/2} \quad (8)$$

매개변수 α_i 를 결정하기 위해, 일련의 선형방정식을 풀어야

한다. 모든 관측지점 (x_j, y_j) 에서 대상 영역에 내삽식을 적용하면 결과는 다음식과 같다.

$$H(x_j, y_j) = \sum_{i=1}^N \alpha_i Q_i(x_j, y_j) \quad (9)$$

여기서

$$Q_i(x_j, y_j) = -\left(\frac{|x_j - x_i|^2 + |y_j - y_i|^2}{c^2} + 1.0\right)^{1/2} \quad (10)$$

관측치 $H(x_j, y_j)$ 는 원시 관측치 혹은 특정 배경장에 대한 관측치의 편차를 나타낸다. $H(x_j, y_j)$ 는 결과적으로 N 개의 미지의 매개변수 α_i 를 가지는 N 개의 식으로 구성된 집합을 나타내게 되는데 행렬 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$H_i = Q_{ij} \alpha_j \quad (11)$$

그리고 이 식을 α_i 에 관해서 풀면 다음과 같다.

$$Q_{ij}^{-1} H_j = \alpha_i \quad (12)$$

실무에서, 역행렬 Q_{ij}^{-1} 뿐만 아니라 매개변수 α_i 도 소프트웨어 라이브러리화된 다양한 계산 기법을 사용하여 선형함수 집합을 풀면 구할 수 있다. 격자점 (x_g, y_g) 로 표현되는 임의의 균일 격자장 H_g 에 대한 해의 내삽은 다음과 같다.

$$H_g = Q_{gi} Q_{ij}^{-1} H_j \quad (13)$$

여기서 행렬 Q_{gi} 의 각각의 요소는 다음과 같이 표현된다.

$$Q_{gi} = -\left(\frac{|x_g - x_i|^2 + |y_g - y_i|^2}{c^2} + 1.0\right)^{1/2} \quad (14)$$

격자점의 수가 관측치의 수와 같을 필요는 없기 때문에 행렬 Q_{gi} 가 정방행렬은 아니다.

4. 분석결과

4.1 지역별 강수량 동질성 검토

우리나라 유역분할 체계는 크게 대권역, 중권역 등으로 나뉜다. 이중 대권역은 5대강(한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강)을 중심으로 문화 및 유역간의 독립된 하천과 해안권역을 5개 특성권역에 포함시켜 제시하고 있다. 그리고 중권역은 대하천 내에서의 하천들간 합류지점들을 분할 기준으로 설정하였다. 중권역 코드는 하천상류에서 하류로, 서쪽에서 동쪽으로, 북쪽에서 남쪽으로 일련번호를 부여하였다. 일반적으로 5대강 권역은 지리적인 동질성 뿐만 아니라 지리적 동질성으로 인한 문화적 동질성을 가지는 지역으로 인식하고 있다. 그러나 실제 강수량 특성도 이러한 지리적 동질성과 유사하게 나타나는데에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 중권역별 면적평균 강수량의 특성을 검토하기 위해 수자원 관리 측면에서 구분된 우리나라 대권역별 강수량의 권역별 동질성 분석을 실시하였다.

중권역 코드는 한강권역, 낙동강권역, 금강권역, 영산강권역, 제주도권역 순으로 배열되어 있고 동서남북을 기준으로 부여

공간 강수량 정확도 향상을 위한 공간상세화 방법 평가

Fig. 2. Scale and Translation in Wavelet Transform

하였기 때문에 중권역 코드순으로 평균 강수량의 변동폭(주기)의 변화를 분석해보면 대권역 별로 평균적인 강수량의 편차(지역적 강수특성)가 존재하는지를 검증해 볼 수 있다. 이는, 대권역별 고유의 강수량 동질성을 가지고 있다면 대권역별로 해당 대권역이 포함하는 중권역 수와 일치하는 주기를 가질 것이기 때문이다.

그림 3은 중권역 코드별로 나열된 10년 평균 연평균 강수량의 주기의 변화를 산정해 본 그림이다. 주기를 산정하기 위해 웨이블릿 변환을 사용하였고, 웨이블릿 기저함수로 Morlet을 사용하였다. 푸리에 변환(Fourier transform)은 시간 영역과 주파수영역간의 변환을 가능하게 하여 신호처리 분야의 비약적인 발전의 모태가 되었으나 기본함수로 sin, cos 함수만을 사용(전역적 분석만 가능)하여 시간에 따른 데이터의 빈도변화를 검출하기 어렵고, 데이터에 불연속 구간이나 날카롭게 도출된 부분이 포함될 경우 신호의 특징 분석이 난 이하고 신호의 시간 정보와 주파수 정보를 동시에 파악할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완해 줄 수 있는 방법으로 웨이블릿 변환(Wavelet transform)이 있는데, 이는 입력 신호를 특정 기저함수의 집합으로 분리하는 과정이다. 기본함수로 sin, cos 함수 외에 다양한 웨이블릿 모함수를 사용하고 각 주파수 영역에 따라 변화하는 다양한 기저함수를 사용(국부적 분석 가능)한다. 그림 2에서 보는바와 같이 웨이블릿 변환은 각 단위영역 데이터의 크기(scale)와 위치(translation) 이동이 가능하고 이로 인해 보다 유연한 데이터의 시간성분 해석이 가능하다. 웨이블릿 변환은 입력신호를 특정기저함수의 집합으로 분리하는 과정으로 웨이블릿 변환에 사용되는 기저함수의 집합은 하나의 기본 웨이블릿 기저함수(mother wavelet basis function)에 대한 시간축 방향으로의 확대 및 축소, 그리고 평행이동을 통해 얻어진다. 여기서 기본 웨이블릿 기저 함수는 특별한 형태의 밴드(band-pass) 필터로 생각할 수 있다. 그리고 웨이블릿 변환에서는 주파수 대역이라는 용어대신 스케일(scale)이라는 용어를 주로 사용하고 입력신호에 대한 웨이블릿 변환을 다른 말로 원신호의 시간, 스케일 공간표현이라고도 한다. Wavelet은 Wavelet의 크기를 결정하는 압축계수(scale)와 시간 축으로의 이동에 관계되는 전이계수(translation)로 구성된 함수의 집합체이다.

$$\psi_{a,b}(t) = a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), a = a_1, a_2, \dots, a_{n-1} \quad (15)$$

여기서 a 는 압축계수이고 b 는 전이계수이다. 웨이블릿 변환

Fig. 3. Spectrum(period) of Wavelet Transform for Middle Scale Basins

(Wavelet transform)이란 임의의 함수(신호)를 시간-주파수 영역에서 동시에 국부성을 만족하는 기저함수의 선형결합으로 표현하는 것이다.

$$f(t) = \sum_{j,k \in \mathbb{Z}} c_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad (16)$$

웨이블릿 변환 분석결과 스펙트럼이 크게 나타나는(밝은 붉은색 영역) 부분이 해당 중권역 주변의 주기를 나타낸다. 여기서 주기는 실제 평균적으로 동질한 강우량을 가지는 중권역의 수로 해석할 수 있다. contour는 95% 신뢰구간에서 작성되었고 반원형의 곡선은 영향곡선(cone of influence)으로 이하 영역은 불확실성이 큰 구간임을 의미한다.

그림 3에서 보듯이, 주기가 뚜렷한(스펙트럼이 큰) 영역의 하한을 기준으로, 1000번대(1001-1303)의 한강과 2000번대(2001-2504)의 낙동강 권역은 주기가 대략 33정도이나 3000번대(3001-3303)인 금강 권역을 기준으로 감소(주기 대략 25)하여 4000번대(4001-4106)인 섬진강 권역은 16정도까지 감소하고 5000번대(5001-5303)인 영산강 권역부터는 급격히 감소하여 제주 권역(6001-6004)의 경우는 4정도까지 감소하는 것을 볼 수 있다. 본 분석에서 주기는 동질성을 가지는 중권역 수이므로 한강과 낙동강 권역은 대략 30여개 중권역이 동질한 강우량을 가지고 있고 금강과 섬진강 권역은 대략 16개 중권역이 동질한 강우량을 가진다고 해석할 수 있다. 이는 실제 대권역별 중권역 수인 한강 권역 30개, 낙동강 권역 33개, 금강 권역 21개, 섬진강 권역 15개, 영산강 권역 14개, 제주 권역 4개와 매우 유사한 결과를 보여주고 있다. 물론 각 권역의 경계부에서는 강수특성의 구분이 명확하지 않고 특히, 동일 권역 내에서도 도서나 해안 지방과 같은 경우는 내륙과 다른 강수특성을 갖는 경우가 많아 명확한 구분은 불가능하다. 따라서 본 분석에서는 최소 동질성 영역을 추출하고자 각 스펙트럼 영역의 하한을 기준으로 분석하였다.

그리고 웨이블릿 변환을 통한 스택트럼 분석에서 주목할 점은, 스펙트럼 밴드의 폭이 영산강 하류부인 남해안 지역부터 제주지역까지 급격히 넓어지는 것을 볼 수 있다. 이는 제주를 포함한 남해안 지역의 경우 내륙과는 확연히 다른 강수특성을 가지고 있음을 의미한다.

결론적으로, 본 분석은 권역별 경계지역에서 강수특성의 구

분이 명확하지 않고 도서나 해안지역과 같이 강수특성이 내륙과 확연히 다른 지역이 존재하여 결과에 일정부분 불확실성이 존재한다. 그러나 이러한 점을 감안한다면 본 분석의 결과는 현재의 동일한 대권역에 속한 지역은 비교적 동질한 강수특성을 보인다는 것을 증명한다. 역으로 대권역 간에는 뚜렷한 강수특성의 차이가 존재한다고 볼 수 있다. 따라서 수자원 설계 등의 실무에서 확률강우량 혹은 면적감소계수(Areal reduction factor) 등을 적용함에 있어, 일부 유역 혹은 권역에서 개발된 식을 다른 권역에 그대로 적용한 사례가 많았는데 이러한 관행적인 적용이 부적절함 증명한다. 그리고 지형 혹은 강수특성의 공간적 변화가 크고 설계 홍수량 산정 시 강우-유출 해석에 의한 의존도가 절대적인 우리나라와 같은 경우에는 사실상 특정지역에서 산정된 값을 다른 지역에 적용 혹은 전이시킬 때 큰 불확실성이 발생하고 이로 인해 설계상 문제가 발생할 수 있음을 주지해야 한다. 더 나아가 동일권역 내에서도 강수특성이 동질성을 가지지 않는 지역이 많을 것으로 추정되므로 보다 상세한 추가 연구가 요구된다.

4.2 중권역별 면적평균 연강수량 비교

내삽방법의 차이로 인해 발생 가능한 유역평균 강수량의 차이를 연평균 차원에서 검토하기 위해 중권역별로 면적평균 강수량을 산정하여 비교하였다. 2001년부터 2010년까지 10년간 AWS 일강수량 자료에 위에서 선정한 내삽방법을 적용하여 격자화한 후 중권역별로 면적평균 강수량을 산정하여 비교하였다(그림 4).

그림 5는 117개 중권역 중 금강산댐과 고미향천 유역을 제외한 중권역(115개 중권)을 대상으로 연 면적강수량의 기초 통계치를 산정한 결과이다. 금강산댐과 고미향천 유역은 휴전선 이북에 위치하여 AWS 관측소가 전무한 지역이기 때문에 제외하였다. (a)는 연도별 유역평균 연강수량의 중권역 평균값으로 오차막대는 TSN 기준으로 $\pm 5\%$ 범위를 나타낸다. 그림 5에 도시된 바와 같이 내삽방법 간의 차이로 인한 연 면적강수량의 정량적 차이에 대한 명확한 통계적 유의성은 확인할 수 없었다. (b)는 연도별 유역평균 연강수량의 중권역에 대한 표준편차로 TSN 대비 IDW가 가장 큰 차이를 보였고 5% 이상의 차이를 나타내는 해도 있었다. (c)는 연도별 유역평균 연강수량의 중권역 최대값으로 TSN 대비 IDW와 KRG가 크게 나타났고 MQI가 가장 작게 나타났다. IDW와 KRG는 TSN 대비 5% 이상의 차이를 보이기도 하였다. (d)는 연도별 유역평균 연강수량의 중권역 최소값으로 2007년을 제외하면 유의한 차이를 보이지 않았다. 분석결과 각 내삽방법간에 차이가 크지는 않으나 연강수량에 대한 통계특성은 상대적으로 IDW와 KRG가 유사한 특성을 보였고 MQI가 TSN과 가장 유사한 특성을 보였다.

그림 6의 통계적 분포(cumulative distribution function, boxplot) 비교에서도 이상치를 제외하면 세가지 내삽방법 모두 TSN 대비 95% 신뢰구간에 포함되었고 유의한 차이가 나타나지 않았다.

그림 7은 중권역별 면적평균 연강수량의 분포를 나타낸다. 중권역별 면적평균 연강수량의 분포는 중권역에 따라 내삽방

Fig. 4 Gridded Precipitation(left) and Areal Precipitation(right) by Interpolation Methods(July 23, 2008)

Fig. 5. Basic Statistics for Annual Areal Precipitation of Middle Scale Basins

법별로 차이가 존재하는데, 이의 주된 요인은 관측소 유무나 밀도와 연관이 가장 크고 그 다음으로 지형적 요인과 같은 지역특성에 따른 강수특성이 요인으로 추정된다. 예로 도서지역, 한강과 임진강 상류와 같이 유역내 관측소가 없거나 편중된 경우(한강하류, 임진강상류, 금강산댐, 고미향천 등)와 제주도 같이 고도에 따라 강수가 편차를 보이는 경우를 들 수 있다. 이 중에서 특히, 금강산댐과 고미향천 유역은 다른 유역과 비교해 역거리법이나 크리깅에 의한 산정값이 현저히

과소 추정된 것으로 보인다. 이러한 현상은 휴전선 북쪽으로 길게 걸쳐 있는 유역에서 나타난다. 관측소의 부재로 인한 과대 적합의 문제도 있을 수 있으나, 역거리법이나 크리깅 방법의 경우는 효과적 보간을 위한 탐색 영역을 설정하는데, 유역의 일부가 이러한 탐색 반경을 초과하여 내삽되지 않은 영역이 발생한 것(내삽 영역 내 면적평균)으로 추정된다. 그리고 제주도 유역은 지형의 영향으로 방법간 차이가 확연히 나타나는데 이에 대한 분석은 별도로 기술하였다.

Fig. 6. Statistical Distributions for Annual Areal Precipitation of Middle Scale Basins

Fig. 7. 10-year Averaged Annual Areal Precipitation for 117 Middle Scale Basins

4.3 내삽방법 간 면적평균 연강수량 편차 비교

중권역 위치 및 크기에 따른 내삽방법 간 면적평균 강수량의 차이를 좀 더 효과적으로 검토하기 위해 TSN 대비 내삽 방법별 절대편차 비를 중권역 별로 산정하여 보았다. 표 2는 2001년에서 2010년까지 중권역별로 산정한 TSN에 의한 연평균 면적강수량 대비 IDW, KRG, MQI에 의한 연평균 면적강수량의 절대편차 비율(TIDW, TKRG, TMQI, %)이다. 식 (3)은 IDW에 대한 절대편차 비율 TIDW를 산정하는 방법이다. 관측소가 전무한 금강산댐 유역과 고미향천 유역, 한강하류 유역 그리고 심하게 편중된 임진강 상류, 임진강 하류는 방법간 비교에 큰 의미를 두기 어려워 본 분석에서는 제외하였다. 비교결과, 앞서 통계적 비교에서 변별이 어려웠던 몇몇 중권역에서 상대적으로 큰 편차를 보이고 있음을 알 수 있다. 관측소 밀도가 희박한 유역, 유역의 규모가 매우 작은 유역, 제주도 지역 등에서 TSN 대비 편차가 큰 지역을 확인할 수 있었다. 이는 이러한 조건의 유역에서 TSN과 여타 공간 내삽방법에 의해 추정된 강수량에 있어 비교적 큰 차이가 발생할 수 있음을 시사한다.

$$TIDW = \frac{|TSN - IDW|}{TSN} \times 100 \quad (17)$$

우선, 유역규모에 따른 편차의 변화를 면밀히 검토해 보고자, 중권역 면적에 따른 TSN 대비 절대편차 비율의 변화를 분석하였다. 분석에 앞서 관측망 배치의 부적절, 지리적인 특이성, 해안 영향 등에 의한 국지적 특성을 배제하고자 표 3

과 같이 이러한 조건에 해당하는 중권역을 차례로 제외시킨 4개의 중권역 그룹으로 구분한 후 분석을 실시하였다. Xa는 전체 중권역에서 관측소가 전무하거나 편중된 휴전선 인근 유역을 제외한 그룹이다. Xb는 Xa 그룹 중 도서가 포함된 해안선이 복잡한 유역을 제외한 그룹이다. Xc는 내륙지역으로 Xb 그룹 중 해안과 인접한 유역을 제외한 그룹이다. Xd는 Xc 그룹 중 유역평균고도가 400 m 이상 되는 유역(남한강상류, 평장강, 충주댐, 소양강, 안동댐, 합천댐, 남강댐, 용담댐, 무주남대천)을 제외한 그룹이다.

분석결과 그림 8과 같이 유역면적과 TSN 대비 절대편차 비율인 TIDW, TKRG, TMQI 간에는 반비례 관계가 나타났다. TIDW, TKRG, TMQI의 경우 상대적으로 유역면적 500 km² 이상에서는 편차가 대부분 중권역에서 2% 이하로 일정해 지는 경향을 보였다. 즉, TSN과 IDW, KRG, MQI에 의해 산정된 유역평균 강수량의 명확한 차이는 나타나지 않았다. 그러나 500 km² 이상의 중권역에서 MQI는 IDW와 KRG에 비해 상대적으로 차이가 크게 나타났다. 유역면적 500 km² 이하에서는 TSN 대비 IDW, KRG, MQI가 급격히 증가하는 경향을 보였다. 유역면적은 지형적인 분수령을 경계로 나누어지므로 유역면적이 작다는 의미는 해당 유역의 지형이 복잡하여 지리적 특이성을 갖고 있다고 볼 수 있다. 따라서 지형적인 영향으로 인근 강수량 관측소 간의 편차가 커서 관측소 지배 영역의 강수량을 동일하게 산정하는 TSN 대비 관측소간 강수량 상관에 따라 비중을 달리하는 IDW, KRG, MQI의 차이가 크게 나타난 것으로 추정된다. 아래의

Table 2. Relative Absolute Deviations for Mean Annual Areal Precipitation by Interpolation Methods(IDW, KRG, MQI) Compared to TSN

Basin code	TIDW (%)	TKRG (%)	TMQI (%)	Basin code	TIDW (%)	TKRG (%)	TMQI (%)	Basin code	TIDW (%)	TKRG (%)	TMQI (%)
1001 [†]	1.79	1.69	1.60	2010	1.85	1.81	3.13	3201**	4.35	2.59	3.10
1002 [†]	0.75	0.58	1.38	2011	0.55	0.51	1.09	3202**	1.43	1.30	1.39
1003 [†]	0.91	1.24	0.99	2012	0.67	1.00	0.79	3203***	1.21	1.28	1.46
1004	0.82	0.78	0.84	2013	1.81	0.64	1.22	3301***	0.84	1.04	1.00
1005	1.95	1.59	1.52	2014	1.53	0.70	1.69	3302***	0.89	0.86	0.84
1006	1.29	1.03	0.80	2015 [†]	1.01	0.66	1.10	3303***	1.72	2.00	4.86
1007	0.45	1.17	1.07	2016	3.06	2.11	4.01	4001	0.94	0.84	1.01
1008*	-	-	-	2017	2.11	0.77	2.39	4002	2.91	2.75	3.82
1009*	-	-	-	2018 [†]	1.57	0.94	2.36	4003	3.13	3.26	2.26
1010**	2.37	0.70	2.08	2019	0.83	0.93	1.44	4004	1.39	1.64	2.05
1011**	1.84	1.38	2.31	2020	1.56	1.82	1.99	4005	1.80	1.47	2.08
1012 [†]	1.73	1.17	0.86	2021***	0.87	0.77	2.08	4006	8.61	4.86	4.48
1013	1.44	1.01	1.23	2022***	1.38	0.88	2.35	4007	1.38	1.08	1.49
1014	1.32	1.73	1.86	2101***	2.50	1.76	1.79	4008	1.82	2.35	3.50
1015	2.15	1.74	1.93	2201***	1.73	0.94	0.99	4009	2.08	1.95	2.46
1016	1.98	1.30	1.66	2301***	2.50	1.58	3.57	4101**	2.01	2.16	1.79
1017***	1.07	1.25	3.40	2302***	1.59	1.52	1.44	4102**	3.61	3.92	4.36
1018	0.99	1.10	0.89	2401***	2.39	0.93	1.38	4103**	5.46	5.84	6.06
1019***	1.06	1.82	1.68	2402***	2.26	1.33	3.04	4104**	1.14	1.09	1.40
1020*	-	-	-	2403***	4.84	2.91	6.13	4105**	2.26	1.22	1.70
1021*	-	-	-	2501***	2.05	1.95	3.48	4106**	3.91	3.94	4.45
1022**	0.74	1.23	1.04	2502**	2.90	1.58	4.36	5001	0.72	0.94	1.40
1023*	-	-	-	2503**	1.29	2.63	2.82	5002	1.54	1.92	2.60
1024*	-	-	-	2504**	2.52	1.71	2.08	5003	1.33	1.27	1.75
1101	0.82	1.08	1.01	3001 [†]	1.49	1.06	0.81	5004	2.96	1.67	3.98
1201**	2.66	1.72	2.80	3002	4.78	3.97	5.87	5005	2.47	2.56	2.53
1202**	1.72	1.79	1.36	3003 [†]	2.72	1.50	3.84	5006***	1.72	2.67	1.51
1301**	1.62	3.10	3.72	3004	1.05	1.10	1.97	5007***	2.68	1.72	2.88
1302***	3.10	1.40	2.18	3005	2.03	1.22	1.02	5008***	2.19	1.52	1.43
1303***	1.69	2.32	1.29	3006	2.19	0.86	2.80	5101***	1.35	1.09	1.75
2001 [†]	1.40	1.42	1.24	3007	1.52	2.08	2.24	5201**	1.16	1.00	1.45
2002	1.67	1.51	0.90	3008	0.78	0.52	0.89	5202**	2.55	2.40	2.79
2003	1.57	1.21	2.53	3009	1.52	1.27	1.90	5301**	2.33	3.02	2.19
2004	1.71	0.82	1.43	3010	1.48	1.94	2.52	5302**	1.33	0.64	1.34
2005	1.52	0.47	0.84	3011	0.89	0.97	0.68	5303**	1.23	1.55	1.09
2006	2.02	3.35	4.87	3012	0.63	0.69	0.76	6001**	10.67	3.74	1.31
2007	1.25	1.37	2.96	3013***	1.14	1.84	2.08	6002**	11.61	2.04	6.50
2008	1.02	0.88	1.17	3014***	1.07	0.89	1.32	6003**	9.77	11.88	5.27
2009	2.39	2.01	3.10	3101***	0.78	0.71	0.84	6004**	2.56	2.42	3.15

Xa group = all middle scale basins - *marked basins, Xb group = Xa group - **marked basins, Xc group = Xb group - ***marked basins, Xd group = Xc group - [†]marked basins

Table 3. 10 Years Mean Annual Precipitation of the Sites Near 3 Middle Scale Basins

병성천(2006)				용담댐하류(3002)				섬진곡성(4006)			
Sc	Tc	wnDay	wmDay	Sc	Tc	wnDay	wmDay	Sc	Tc	wnDay	wmDay
135	0.0007	1211	10.1	238	0.0197	1096	12.1	247	0.0941	1154	12.6
*137	0.5417	1000	10.8	314	-	1230	12.3	315	0.0156	1077	15.6
273	0.0152	993	13.5	647	-	998	12.9	709	0.1287	970	13.8
806	-	857	12.5	*701	0.4748	1014	11.9	755	-	1069	15.0
821	0.3039	906	13.0	757	0.2563	1113	13.5	*768	0.7616	1048	13.1
833	-	972	14.4	758	0.2491	1105	12.6	794	-	1009	15.6
834	0.1017	1028	13.6								
849	0.0368	881	13.0								
Ave		981	12.6	Ave		1093	12.6	Ave		1055	14.3

Sc: Site code, Tc: Thiessen coefficient, wnDay: numbers of wet days, wmDay: mean precipitation of wet days, Ave: Average of near sites values

그림에 예시한 TSN 대비 편차가 상대적으로 큰 유역들을 살펴보면 유역면적이 작고 유역내 관측소가 희박한 지역들임을 알 수 있다.

종합하면, 미계측과 해안 및 도서지역을 제외한 Xd 그룹으로 갈수록 산포도가 작아지는 것으로 나타났다. 유역면적

500 km² 이하에서는 TSN 방법 적용시 지형특성 등에 대한 신중한 검토가 요구된다. 유역면적 전반적으로 KRG가 TSN과 가장 유사한 경향을 보였고 IDW는 작은 유역면적에서 TSN과 편차가 상대적으로 크게 나타나는 경우가 있었다. MQI는 전반적으로 IDW와 KRG에 비해 TSN과 유역면적에

Fig. 8. Relative Absolute Deviations for Mean Annual Areal Precipitation by Interpolation Methods(IDW, KRG, MQI) Compared to TSN. TIDW, TKRG and TMQI Represent Relative Absolute Deviations for IDW, KRG and TMQI Compared to TSN, Respectively.

따라 편차는 약간 크게 나타났으나 편차가 유역면적에 따라 일정한 상관성을 보였다. 그림 8에서 TIDW가 유독 큰 값을 보이는 중권역은 섬진곡성 중권역이다. 따라서 섬진곡성 중권역의 두드러진 편차의 원인을 규명하고자 그림 9와 같이 면적평균 연강수량 편차의 변동을 비교하여 보았다. 비교결과 IDW가 KRG와 MQI에 비해 연별 편차의 변동경향은 유사하나 편차가 크게 나타났다. 여기서 주목할 점은 좌측의 보조축에 도시한 면적평균 연강수량과의 변동 경향이 잘 일치하고 있다는 것이다. TSN과 IDW의 상대편차율(%)은 상관성이 다소 낮은 2001년과 2004년을 제외한 경우 상관관계수 0.93으로 매우 높은 상관관계를 가지고 있다. 즉, 연강수량이 큰 경우 TSN 대비 IDW가 크게 산정되는 경향을 가지고 있다. 정도의 차이는 있지만 KRG와 MQI도 유사한 변동경향을 보이고 있다.

그림 9에 나타난 경향이 중권역 전반적으로 일반적인 경향인지 파악하기 위해 그림 10과 같이 중권역별 TSN 대비 상대편차(%)와 유역평균 연강수량을 도시하여 보았다. 전체 중권역 관점에서 보면, 상관관계가 높지는 않지만 TSN과 IDW, KRG, MQI와의 상대편차와 유역평균 강수량의 크기는 상관성을 가지고 있다고 판단된다. 이는 앞서 유역면적과 절대편차와의 관계와 연관이 있다. 그림에서 유독 유역평균 연강

Fig. 9. Correlations between Annual Rainfall with Relative Deviations of IDW Compared to TSN

수량과 TSN 대비 상대편차가 확연히 다른 경향을 보이는 지점이 있는데 1은 섬진곡성, 2는 용담댐하류 그리고 3은 병성천 중권역이다. 1, 2, 3 중권역은 IDW, KRG, MQI 모두에서 편차가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 이 유역은 공간내삽시 공간내삽 방법 선택에 있어 신중한 검토가 필요한 지역이다.

TSN 대비 여타 방법의 편차가 크게 나타나는 현상이 지역적 특성인지 혹은 관측상의 문제인지를 규명하기 위하여, 병

Fig. 10. Correlations between Annual Rainfall with Relative Deviations of IDW, KRG, MQI Compared to TSN

Fig. 11. Precipitation Gauge Networks and Thiessen Polygons with Large Deviations(left panel's small numbers are a number of wet days and right panel's are mean precipitation per wet days)

성천, 용담댐하류, 섬진곡성 중권역의 강수일수와 강수일수 내 평균일강수량을 산정하여 보았다. 표 3에 나타난 바와 같이 병성천, 용담댐하류, 섬진곡성 중권역에서 지배적인 관측소는 각각 137(상주), 701(무주), 768(곡성) 지점으로 티센계수(T_c)를 볼 때 지배면적이 54%, 47%, 76%로 상당히 비중이 높

은 지점들이다. 2001년에서 2010년까지 10년간의 강수일수는 각각 1000, 1014, 1048일로 인근관측소 평균인 981, 1093, 1055일과 비교해 볼 때 강수일수차이가 크지 않아 관측 상 심각한 문제가 있었다고 보기는 어렵다고 판단된다. 강수일수에 대한 평균일강수량을 보면 각각 10.8, 11.9, 13.1 mm/일로 인근관측소 평균 12.6, 12.6, 14.3 mm/일에 비해 평균적으로 0.7-1.8 mm/일 정도 작게 나타났다. 표 3의 결과와 그림 11의 지형 및 관측소 배치를 종합해 판단해 보면 세 중권역에서 TSN 대비 여타 방법의 편차가 크게 발생한 이유는 지배 관측소의 장기간 결측 등의 문제는 아닌 것으로 판단되며, 지배(支配) 관측소의 면적 비중이 매우 큰데 반해 지배 관측소의 강수량이 주변 관측소에 비해 상대적으로 작은 것이 주요인으로 판단된다. 주변 관측소에 비해 강수량이 작은 이유는, 해당 유역들은 해발 400m 이상의 고산지대 비중이 크고 지형이 복잡하며 지배 관측소가 인근 관측소에 비해 평지에 위치해 있기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 이러한 추정은 관측 환경상의 위해(危害) 요소가 있는 경우는 고려하지 못한 결과로, 향후 이에 대한 면밀한 검토가 요구되고 해당 유역들에 대해 TSN 방법 적용시 신중할 필요가 있다.

4.4 주요호우 사상에 대한 중권역별 면적평균 강수량 비교

그림 12는 2008년과 2010년에 발생한 16개 주요호우 사상에 대하여 내삽방법별로 추정된 중권역별 면적평균 강수량의 분포를 나타낸다. 이는 앞서 분석한 연단위 면적평균 강수량의 비교에서 가늠할 수 없었던 개별 호우사상에 대한 내삽방법별 차이를 분석해 보기 위해 실시하였다. 분석결과 면적평균 강수량의 분포는 내삽방법별로 유사한 경향을 나타내었다. 최소치 범위에서는 거의 차이가 없었으나 최대치 범위에서는 호우사상에 따라 일부 중권역에서 차이가 크게 발생하기도 하였다. 예로 유역내 관측소가 편중된 임진강 상류의 경우 2008년 7월 24일 호우에서 TSN 대비 MQI가 35.6 mm의 편차를 보였다. 이외에도 개별 호우사상에서는 호우의 위치에 따라 편차가 큰 지역들이 다수 발견되었는데 앞서 언급하였듯이 관측소가 편중된 휴전선 인근과 관측소가 전무하거나 밀도가 매우 낮은 내륙 산간 유역 등이 이에 해당하였다.

표 4에서, 제주도 권역과 여수시, 완도 등의 도서 및 와탄천 등 도서를 포함한 복잡한 영역을 가진 해안유역을 제외하면, TSN 대비 3가지 내삽방법이 16개 주요호우 사상에 대해 최대치를 보인 유역과 횡수는 무주남대천(2회), 섬진강댐

Fig. 12. Boxplot on Areal Precipitation of Middle Scale Basins for Major Storms by Interpolation Methods. Four Middle Scale Basins in Jeju Island was Included

하류(4회), 섬진강하류(7회), 임진강상류(4회), 팔당댐(4회), 한강하류(7회)이었다. 최소치를 보인 유역은 대청댐하류(2회), 보청천(4회), 섬진강댐하류(2회), 섬진강하류(2회), 섬진곡성(7회), 순창(2회), 용담댐하류(2회), 임진강상류(2회), 청평댐(4회), 충주댐하류(3회), 한강고양(2회), 한강하류(3회)이었다. 물론 이 숫자는 IDW, KRG, MQI 방법을 모두 산정한 결과로 동일 호우사상에서 3가지 방법에 대해 동일 유역이 최대(혹은 최소)치를 보이는 경우도 있고 서로 다른 유역에서 최대(혹은 최소)치를 보이는 경우도 있다. 이러한 지역은, 주요 호우사상 선정의 영향도 있겠으나, 대부분 고도가 높고 유역면적이 작은 섬진, 영산강 권역 혹은 한강, 금강 상류지역에 위치하고 있어 TSN 대비 편차의 크기는 지형적인 요인이 크게 작용하는 것으로 판단된다.

주요호우 사상 분석의 경우는, 발생지역이나 호우의 규모, 형태 등을 전국적으로 동일한 수준에서 선정하는 것이 거의 불가능하고, 호우의 위치에 따라 중권별로 편차의 크기가 달라지므로, 본 분석에서 누락되었거나 두드러진 지역보다 취약한 지역이 다수 존재할 수 있다. 따라서 본 분석에서 최대, 혹은 최소치를 보인 유역이 호우사상 샘플링의 한계로 우리나라 전체에서 최고 수준의 취약지역이라 단정하는 것은 무리가 있으나, 실제 호우사상에서 반복적으로 취약한 결과를 나타내었으므로 대표적인 취약지역임은 명백하다고 판단된다.

4.5 주요호우 사상에 대한 제주지역 중권역의 면적평균 강수량 비교

제주권역(그림 13)의 4개 중권역인 제주서해(W), 제주북해(N), 제주동해(E), 제주남해(S)에 호우가 위치하는 경우 내삽 방법별로 차이가 크게 나타났다. 유역평균 50 mm 이상 내린

Table 4. Deviations for Areal Daily Precipitation by Interpolation Methods(IDW, KRG, MQI) Compared to TSN

Date	Mtd	Case 1		Case 2		Date	Mtd	Case 1		Case 2	
		max	min	max	min			max	min	max	min
2008-06-18	IDW	14.9	-20.1	14.9	-20.1	2010-07-11	IDW	21.9	-16.6	21.9	-16.6
	KRG	14.6	-13.4	14.6	-13.4		KRG	19.8	-13.8	19.8	-13.8
	MQI	19.8	-12.0	19.8	-12.0		MQI	19.1	-16.7	19.1	-16.7
2008-06-28	IDW	5.2	-19.9	5.2	-6.1	2010-07-16	IDW	17.8	-12.8	17.8	-12.8
	KRG	5.4	-13.8	5.4	-2.9		KRG	16.0	-10.9	16.0	-10.9
	MQI	8.1	-11.6	8.1	-6.0		MQI	23.5	-19.2	23.5	-19.2
2008-07-19	IDW	7.0	-11.9	7.0	-11.9	2010-07-17	IDW	16.1	-11.9	16.1	-11.9
	KRG	5.7	-10.7	5.7	-10.7		KRG	14.8	-9.1	14.8	-9.1
	MQI	17.7	-14.1	17.7	-14.1		MQI	14.2	-13.5	14.2	-13.5
2008-07-20	IDW	24.9	-10.7	24.9	-10.7	2010-08-10	IDW	7.5	-44.7	7.5	-12.6
	KRG	14.7	-5.4	14.7	-5.4		KRG	9.3	-32.2	9.3	-7.3
	MQI	17.4	-11.1	17.4	-11.1		MQI	14.2	-29.5	14.2	-10.7
2008-07-24	IDW	13.7	-11.9	13.7	-11.9	2010-08-11	IDW	15.4	-10.9	15.4	-5.9
	KRG	22.1	-9.2	22.1	-9.2		KRG	11.4	-5.5	11.4	-4.8
	MQI	35.6	-13.5	35.6	-13.5		MQI	14.4	-12.7	14.4	-12.7
2008-07-25	IDW	19.6	-9.1	19.6	-9.1	2010-08-13	IDW	23.5	-7.7	23.5	-7.7
	KRG	10.8	-10.5	10.8	-10.5		KRG	21.7	-7.4	21.7	-7.4
	MQI	16.4	-17.8	16.4	-17.8		MQI	30.9	-9.7	30.9	-9.7
2008-08-22	IDW	6.6	-5.7	6.6	-5.1	2010-09-11	IDW	7.0	-7.8	7.0	-7.8
	KRG	5.3	-4.9	5.3	-4.8		KRG	6.0	-9.8	6.0	-9.8
	MQI	8.3	-16.8	8.3	-16.8		MQI	19.6	-12.4	19.6	-12.4
2010-05-18	IDW	11.5	-37.0	11.5	-11.8	2010-09-21	IDW	9.2	-19.3	9.2	-19.3
	KRG	7.7	-23.1	7.7	-6.3		KRG	7.1	-9.2	7.1	-9.2
	MQI	8.6	-30.7	8.6	-10.8		MQI	10.3	-13.2	10.3	-13.2

Case 1: 금강산댐, 고미향천 중권역 제외, Case 2: 금강산댐, 고미향천, 제주 4개(제주동해, 제주서해, 제주남해, 제주북해) 중권역 제외, max: maximum value(mm), min: minimum value(mm)

Fig. 13. Precipitation Gauge Network and Classification of Four Middle Scale Basins in Jeju Island(Left Panel; Unit of Color Bar is Elevation in Meters), Topography of Jeju Island(Right Panel)

5개 호우사상(2008년 6월 18일, 2008년 6월 28일, 2010년 5월 18일, 2010년 8월 10일, 2010년 8월 11일)을 대상으로 4개 중권역별 면적평균 강수량을 비교해 보았다.

분석결과 그림 14와 같이, 전체적으로 IDW가 크게 나타났고 TSN이 작게 나타났다. 이러한 경향은 호우사상에 상관없이 제주권역 전반적으로 나타나는 경향이므로 내삽 방법별 특성이라고 볼 수 있다. 한가지 주목할 점은 중권역 S의 경우가 다른 중권역에 비해 TSN 대비 여타 방법과의 편차가 가장 크다는 점이다. 이는 S의 경우 다른 중권역에 비해 중심에서 해안까지의 폭이 좁고 경사는 가파른 지형적인 특성

을 가지고 있는데, 이러한 지형적인 특성에 의한 강수량 변화를 상대적으로 TSN이 적절히 반영하지 못하는 것이 요인인 것으로 추정된다.

그리고 권역 개별적으로는 N과 E의 경우 KRG가 TSN 정도로 작았고 MQI는 IDW 정도로 크게 나타났다. 그리고 N과 E의 양상은 거의 같게 나타났다. W와 S의 경우 TSN과 KRG 그리고 MQI의 차이가 작게 나타났다. 그리고 W에서 S로 가면서 TSN 대비 KRG와 MQI가 커지는 경향을 나타냈고 KRG와 MQI는 유사하게 나타났다. 이는 S가 W에 비해 강우량이 크므로 그림 10에서 도출된 결과와 같이 일반적으로 강우량과 편차는 비례관계가 있으므로 TSN 대비 여타 방법의 편차가 커지는 것으로 판단된다. 결국 N과 E, W와 S 그리고 N, E, W, S 각각의 차이는 강우량 또는 강우 이동과 같은 기상특성 차이에 의해 발생한 것으로 판단된다.

본 분석을 통해 볼 때 제주지역 같은 경우는 4개 중권역별로 관측망의 배치, 지형적인 요인 그리고 호우의 이동 특성 등에 의해 내삽방법별로 비교적 일관된 면적평균 강수량 차이를 보이는 것으로 판단된다. 향후 이에 대한 보다 면밀한 연구가 수행된다면 제주지역에 있어 지역별 최적의 관측망 배치 방법과 최적의 내삽방법에 대한 해답을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 고 찰

본 연구의 결과를 토대로 기상청 관측망을 이용하여 격자 자료 생산시 유념에 두어야하는 지역들에 대해 고찰해 보았다. 크게 세가지 유형으로 나눌 수 있는데, 첫 번째가 넓은 유역면적에 관측소가 없거나 희박한 지역이고 두 번째가 내륙 산지의 유역면적이 작고 관측소가 희박한 지역, 그리고 세 번째가 동해안이나 제주지역과 같이 지상학적 특징에 의해 지역별로 기후학적 특징이 뚜렷이 구별되는 지역이다.

이는 몇 가지 특성별로 구분이 가능한데 첫째로 넓은 유역면적에 비해 관측소가 매우 희박한 지역인 임진강상류와 평화의담 유역이다. 이러한 지역은 유역내 지형적 편차로 인한 요인도 있겠지만 가장 큰 요인은 관측소 부족이라 할 수 있다. 이런 유역의 평균강수량 산정의 정확도 향상을 위한 방안은 샘플링 관측자료의 획득이 우선이고 관측망 신설 가능성을 고려할 때 레이더 등의 원격관측이 가장 효과적인 대안

Fig. 14. Areal Precipitation for Four Middle Scale Basins In Jeju Island by Each Interpolation Methods

이라 사료된다. 이를 위해서는 원격관측의 정확도 향상이 전제되어야 한다.

둘째로 유역면적이 매우 작고 관측소가 희박한 경우이다. 예로 병성천, 오수천, 섬진곡성, 섬진강댐하류, 용담댐하류, 한강하류, 낙동구미 유역 등을 들 수 있다. 이러한 유역은 유역내 관측소가 전무하거나 편중된 지역으로 유역규모가 작아 상대적으로 방법별 편차가 크게 발생하는 지역이다. 또한 이러한 지역들은 지형적으로 매우 협소하고 복잡한 지역-유역면적이 작은 내륙 상류지역이 많아 강우의 공간적 변동도 큰 지역이라 추정해 볼 수 있다.

이러한 지역의 경우 타 방법과 티센면적가중법과의 편차가 반복적이고 지속적으로 발생하고 있으므로 티센면적가중법 적용에 있어 주의가 요구된다. 특히 이러한 지역은 지역적 특성(지형, 고도 등)에 의한 영향이 관측소 거리나 배치보다 지배적 일 수 있어 보다 체계적인 관측 적합도 검토가 필요하다.

셋째로, 동해안의 지형적, 지리적 특성에서 기인한 기상학적 특징으로 추정되는 지역으로 대중천과 양양남대천 유역이다. 이 유역은 모두 동해안에 위치하고 남북으로 가늘고 긴 형태를 취하고 있는데 티센면적가중법과 타 방법간에 비교적 뚜렷한 차이를 보이는 경우가 나타났다. 즉, 이러한 유역은 동서 혹은 남북의 지리적 혹은 기상학적 특성이 차이를 보이는데 반해, 현재의 관측망은 티센면적가중법을 적용하기에 적합하게 배치되지 않아, 호우의 형태에 따라, 티센가중평균 강수량이 유역의 강수특성을 적절히 대표하지 못하기 때문인 것으로 추정된다.

마지막으로 제주지역의 지질특성으로 인해, 우리가 강이라 칭할 정도의 상시 하천이 존재하지 않아 수자원 실무적인 측면에서 지표면 유출해석이 거의 전무했다고 볼 수 있다. 따라서 직접유출을 산정하기 위한 유역평균 강수량을 산정하는 자체가 큰 의미가 없을 수도 있다. 그러나 본 연구에서는 고도의 영향에 따른 유역평균 강수량의 차이를 방법별로 비교해 보자는 의도로 분석을 실시하였다. 제주도의 경우는 고도의 영향에 의한 강수량의 편차를 명확히 가늠해 볼 수 있는 좋은 여건을 갖추고 있다.

본 연구를 통하여 제주지역은 현재의 관측망 배치로는 티센면적가중법을 사용하여 유역평균 강수량을 산정하는데 무리가 있음이 명확해졌다. 더불어 제주지역같이 고도에 의한 영향이 뚜렷한 지역에서는 티센면적가중법이 부적절함을 검증하였다.

제주지역의 강수량 관측소는 고도와 지배면적을 적절히 고려해 설치한 것으로 사료된다. 그러나 고도의 편차가 큰 지역에서 관측소의 지그재그식 배치는 티센면적가중법을 적용할 때 오히려 고도에 의한 영향을 감쇄시키는 결과를 가져올 수도 있다. 즉, 고도에 따라 관측소가 일렬로 위치하는 경우(중심을 기준으로 방사형으로 나란히 배치하는 경우)가 고도별로 폴리곤이 나뉘어져 고도의 영향을 보다 효율적으로 반영할 수 있을 것으로 사료된다.

6. 결 론

관측정밀도 이하의 보다 신뢰도 높은 강수량 공간상세화를

위해서는 공간 내삽법에 대한 체계적인 조사와 기본적인 특성 평가가 선행되어야, 향후 방법적인 면에서 논란의 여지를 줄이고 상세화된 자료에 대한 불확실성도 가늠할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지역별로 공간 내삽방법에 대한 취약성 평가를 수행하였다.

수자원 관리 측면에서 구분된 우리나라 대권역별 강수량의 권역별 동질성 분석결과 현재의 동일한 대권역에 속한 지역은 비교적 동질한 강수특성을 가지고 있으나 대권역 간에는 기후학적인 강수특성의 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 특정지역에서 산정된 값을 다른 지역에 적용 혹은 전이시킬 때 큰 불확실성이 발생하고 이로 인해 설계상 문제가 야기될 수 있음을 주지해야 한다.

2001년부터 2010년까지 10년 동안의 일강우량 공간 상세화 결과를 중권역 단위로 비교하였을 때, 기상청 AWS 관측망을 사용하는 경우 전체 평균에 있어 방법 간 차이는 크지 않았다. 이는 우리나라 기상청 AWS 관측망 분포가 비교적 균질하게 분포되어 있기 때문으로 판단된다. 연도별 평균 연강수량을 방법별로 비교해 보면, TSN(10년 평균 1,404 mm)을 기준으로 IDW(1,396 mm) -0.6%, KRG(1,406 mm) 0.1%, MQI(1,410 mm) 0.4% 차이를 보였고, 통계적 분포에서도 세 가지 내삽방법 모두 TSN 대비 95% 신뢰구간에 포함되어, 우리나라 전체 평균적으로는 방법 간 명확한 차이는 나타나지 않았다.

중권역 위치, 크기 및 개별 호우사상 특성에 따른 내삽방법 간 면적평균 강수량의 차이를 좀 더 효과적으로 검토하기 위해 TSN 대비 내삽방법별 절대편차 비를 중권역 별로 산정하여 보았다. 비교결과, 앞서 통계적 비교에서 변별이 어려웠던 몇몇 중권역에서 상대적으로 큰 편차가 나타났다. 관측소 밀도가 희박한 유역, 유역의 규모가 매우 작은 유역, 제주도 지역 등에서 TSN 대비 편차가 큰 지역을 확인할 수 있었다.

유역면적과 TSN 대비 절대편차 비율인 TIDW, TKRG, TMQI 간에는 반비례 관계가 나타났다. TIDW, TKRG, TMQI의 경우 상대적으로 유역면적 500 km² 이상에서는 편차가 대부분 중권역에서 2% 이하로 일정해 지는 경향을 보였고 유역면적 500 km² 이하에서는 TSN 대비 IDW, KRG, MQI가 급격히 증가하는 경향을 보였다. 이는 지형적인 영향으로 인근 강수량 관측소 간의 편차가 커서 관측소 지배영역의 강수량을 동일하게 산정하는 TSN 대비 관측소간 강수량 상관에 따라 비중을 달리하는 IDW, KRG, MQI의 차이가 크게 나타난 것으로 추정된다. 따라서 유역면적 500 km² 이하에서는 TSN 방법 적용시 지형특성 등에 대한 신중한 검토가 요구된다.

유역면적 전반적으로 KRG가 TSN과 가장 유사한 경향을 보였고 IDW는 작은 유역면적에서 TSN과 편차가 상대적으로 크게 나타나는 경우가 있었다. MQI는 전반적으로 IDW와 KRG에 비해 TSN과 유역면적에 따라 편차는 약간 크게 나타났다. 전체 중권역 관점에서 보면 TSN과 IDW, KRG, MQI와의 상대편차와 유역평균 강수량의 크기는 약한 양의 상관성이 나타났다.

TSN 대비 여타 방법에 의한 강수추정의 편차가 특히 크게 나타나는 병성천, 용담댐하류, 섬진곡성 중권역에서 TSN 대비 여타 방법의 편차가 크게 발생한 이유는, 첫째로 유역면적이 500 km² 이하로 작고, 지배 관측소의 면적 비중이 매우 큰데 반해 강수량이 주변관측소에 비해 상대적으로 작은 것이 주요인으로 판단된다. 주변 관측소에 비해 강수량이 작은 이유는 해당 유역이 해발 400 m 이상의 고산지대 비중이 크고 지형이 복잡하며 지배관측소가 인근관측소에 비해 평지에 위치해 있기 때문인 것으로 추정된다. 자료 활용 측면에서는 해당 유역들에서 TSN 방법 적용시 신중할 필요가 있다.

연단위 면적평균 강수량의 비교에서 가능할 수 없었던 개별 호우사상에 대한 내삽방법별 차이를 분석해 보기 위해 주요호우 사상에 대한 중권역별 면적평균 강수량 비교를 실시하였다. 개별 호우사상에서는 호우의 위치에 따라 TSN 대비 여타 방법 간 편차가 큰 지역들이 다수 나타났는데, 이러한 지역은 주요 호우사상 선정의 영향도 있겠으나, 대부분 고도가 높고 유역면적이 작은 섬진, 영산강 권역 혹은 한강, 금강 상류지역에 위치하고 있어 TSN 대비 편차의 크기는 지형적인 요인이 크게 작용하는 것으로 판단된다.

주요호우 사상에 대한 제주지역 중권역의 면적평균 강수량 비교를 실시하였다. 제주권역의 4개 중권역인 제주서해(W), 제주북해(N), 제주동해(E), 제주남해(S)에 호우가 위치하는 경우 내삽방법별로 차이가 크게 나타났다. 비교결과, 전체적으로 IDW가 크게 나타났고 TSN이 작게 나타났다. 이러한 경향은 호우사상에 상관없이 제주권역 전반적으로 나타나는 경향이므로 고도나 지형 조건에 따른 내삽 방법별 특성이라고 판단되고, N과 E, W와 S 그리고 N, E, W, S 각각의 차이는 강우량 또는 강우이동과 같은 기상특성 차이에 의해 발생한 것으로 판단된다. 특히, 중권역 S의 경우가 다른 중권역에 비해 TSN 대비 여타 방법과의 편차가 가장 크게 나타났는데, 이는 S의 경우 다른 중권역에 비해 중심에서 해안까지의 폭이 좁고 경사는 가파른 지형적인 특성을 가지고 있어, 이러한 지형적인 특성에 의한 강수량 변화를 상대적으로 TSN이 적절히 반영하지 못하는 것이 요인인 것으로 추정된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요(시드)사업(지역특성을 반영한 상세 격자강우량 생산기술 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Barnes, S.L. (1964) A technique for maximizing details in numerical weather map analysis, *Journal of Applied Meteorology* 3: 396-409.
- Chen, M., Xie, P., Janowiak, J.E., and Arkin, P.A. (2002) Global land precipitation: A 50-yr monthly analysis based on gauge observations, *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 3, No. 3, pp. 249-266.
- Cressie, N. (1993) *Statistics for Spatial Data*. New York: John Wiley and Sons.
- Cressman, G.P. (1959) An operational objective analysis system, *Monthly Weather Review*, 87, pp. 367-374.
- Daly, C. (2006) Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets, *International Journal of Climatology*, Vol. 26, No. 6, pp. 707-721. doi:10.1002/joc.1322.
- Ferree, J. (2005) "TDWR Data Into AWIPS: OB5 Training." NOAA Warning Decision Training Branch.
- Franke, R. (1982) Smooth interpolation of scattered data by local thin plate splines. *Computers and Mathematics with Applications*, 8, pp. 273-281.
- Gandin (1965) Objective analysis of meteorological fields. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations.
- Hamlet, A.F. and Lettenmaier, D.P. (2005) Production of Temporally Consistent Gridded Precipitation and Temperature Fields for the Continental United States, *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 6, No. 3, pp. 330-336. doi:10.1175/JHM420.1.
- Hardy, R.L. (1971) Multiquadric equations of topography and other irregular surfaces, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 76, No. 8, pp. 1905-1915. doi: 10.1029/JB076i008p01905.
- Hofstra, N. and New, M. (2009) Spatial variability in correlation decay distance and influence on angular-distance weighting interpolation of daily precipitation over Europe, *International Journal of Climatology*, Vol. 29, No. 12, pp. 1872-1880. doi:10.1002/joc.1819.
- Hofstra, N., Haylock, M., New, M., Jones, P., and Frei, C. (2008) Comparison of six methods for the interpolation of daily, European climate data, *Journal of Geophysical Research*, 113. doi:10.1029/2008JD010100.
- Hunter, S.M. (1996) "WSR-88D Radar Rainfall Estimation: Capabilities, Limitations and Potential Improvements", National Weather Service Weather Forecast Office Morristown, TN.
- Hutchinson, M.F. (1993) "On thin plate splines and kriging", In *Computing and Science in Statistics*, 55-62. Edited by M. E. Tarter and M. D. Lock. University of California, Berkeley, CA: Interface Foundation of North America.
- Kim, D., Ryu, D., Choi, Y., and Lee, W. (2010) Application of Kriging and Inverse Distance Weighting Method for the Estimation of Geo-Layer of Songdo Area in Incheon, *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol. 26, No. 1, pp. 5-19.
- Lee, D., Lee, Y., Yoo, C., Lee, M., Han, J., and Hong, J. (2010) Development of air quality assessment methods for evaluating air pollution level in the Seoul metropolitan area, National Institute of Environmental Research, Ministry of Environment, No. 11-1480523-000571-01.
- Massachusetts Institute of Technology (MIT) (2011). FAA Weather Systems.
- Matrosov, S.Y., Campbell, C., Kingsmill, D., and Sukovich, E. (2009) Assessing Snowfall Rates from X-Band Radar Reflectivity Measurements, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 26, No. 11, pp. 2324-2339.
- Maurer, E.P., Wood, A.W., Adam, J.C., Lettenmaier, D.P., and Nijsen, B. (2002) A Long-Term Hydrologically Based Dataset of Land Surface Fluxes and States for the Conterminous United States, *Journal of Climate*, Vol. 15, No. 22, pp. 3237-3251.
- Nuss, W.A. and Titley, D.W. (1994). Use of multiquadric interpolation for meteorological objective analysis, *Monthly Weather Review*, 122, 1611-1631.
- Shepard, D. (1968) "A two dimensional interpolation function for regularly spaced data", *Proceedings: 23rd National Conference of the Association for Computing Machinery*, 517-524. Princeton, NJ: ACM.
- Shepard, D.S. (1984) "Computer mapping: The SYMAP interpolation algorithm", *Spatial Statistics and Models*, G. L. Gaile and C. J. Willmott, Eds., D. Reidel, 133-145.
- Sibson, R. (1981) "A brief description of natural neighbour interpolation", *Interpreting Multivariate Data*, 21-36. Edited by V. Barnett. Chichester, UK: John Wiley and Sons.
- Yoon, Y.N. (2007) Hydrology, Cheong Moon Gak.

© Received May 29, 2013

© Revised June 5, 2013

© Accepted June 19, 2013