PRISM과 상세 지형정보에 근거한 북한지역 강수량 분포 추정

김대준¹ · 윤진일^{2*}

¹(재)국가농림기상센터, ²경희대학교 생태시스템공학과

(2011년 3월 14일 접수; 2011년 3월 28일 수정; 2011년 3월 28일 수락)

Estimation of Monthly Precipitation in North Korea Using PRISM and Digital Elevation Model

Dae-jun Kim¹ and Jin I. Yun^{2*}

¹National Center for Agro-Meteorology, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

²Department of Ecosystem Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

(Received March 14, 2011, Revised March 28, 2011; Accepted March 28, 2011)

ABSTRACT

While high-definition precipitation maps with a 270 m spatial resolution are available for South Korea, there is little information on geospatial availability of precipitation water for the famine – plagued North Korea. The restricted data access and sparse observations prohibit application of the widely used PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model) to North Korea for fine-resolution mapping of precipitation. A hybrid method which complements the PRISM grid with a sub-grid scale elevation function is suggested to estimate precipitation for remote areas with little data such as North Korea. The fine scale elevation – precipitation regressions for four sloping aspects were derived from 546 observation points in South Korea. A ‘virtual’ elevation surface at a 270 m grid spacing was generated by inverse distance weighed averaging of the station elevations of 78 KMA (Korea Meteorological Administration) synoptic stations. A ‘real’ elevation surface made up from both 78 synoptic and 468 automated weather stations (AWS) was also generated and subtracted from the virtual surface to get elevation difference at each point. The same procedure was done for monthly precipitation to get the precipitation difference at each point. A regression analysis was applied to derive the aspect – specific coefficient of precipitation change with a unit increase in elevation. The elevation difference between ‘virtual’ and ‘real’ surface was calculated for each 270m grid points across North Korea and the regression coefficients were applied to obtain the precipitation corrections for the PRISM grid. The correction terms are now added to the PRISM generated low resolution (~2.4 km) precipitation map to produce the 270 m high resolution map compatible with those available for South Korea. According to the final product, the spatial average precipitation for entire territory of North Korea is 1,196 mm for a climatological normal year (1971-2000) with standard deviation of 298 mm.

Key words : North Korea, Precipitation, PRISM, Geospatial information

I. 서 론

한 지역에 주어진 여러 가지 기후조건들 중 강수량

은 작물재배에 필요한 관개수요는 물론, 재배 가능한 작물의 종류를 결정짓는 중요한 요소이다(Yun, 2000). 강수량은 일사량처럼 지면에 도달하는 적산값의 의미

* Corresponding Author : Jin I. Yun
(jiyun@khu.ac.kr)

가 크지만, 일사량에 비해 공간변이가 심한 기상요소로서 지점관측자료를 토대로 지역분포 양상(혹은 면적 강수량)을 추정하기 위해 다양한 기술이 개발되어왔다. 대표적인 방법은 고전적인 작도법(graphical method), 강수량과 지형특성간 상관을 이용하는 지형통계법(topographical method)을 거쳐 거리역산가중법(inverse distance weighting, IDW)이나 krigging으로 대표되는 공간내삽법(spatial interpolation method), 수치모의법(numerical method)으로 발전해왔다(Thiessen, 1911; Phillips *et al.*, 1992; Seino, 1993; Nalder and Wein, 1998). 최근 10여 년간 가장 널리 이용된 방법은 지형통계-공간내삽 하이브리드 기법으로서 수치고도모형(digital elevation model, DEM)과 산악의 여러 요소에 따라 지점마다 가중회귀계수를 달리 추정하도록 하는 산악강수모형을 결합한 PRISM(Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model)이다(Daly *et al.*, 1994; Johnson *et al.*, 1999; Chung *et al.*, 2009; Yun, 2010).

강수관측망이 매우 조밀한 남한의 경우 강수기후도 제작 시 PRISM에 기초하여 5km 해상도 입력 자료를 준비하고 모든 격자점에 대한 가중회귀계수를 구하면 월평균 면적강수량을 추정할 수 있음이 알려졌다(Shin *et al.*, 2008). 나아가 관측밀도가 동일한 조건에서 단위격자점의 크기만 줄일 경우에도 PRISM 방식에 의해 추정된 강수량 분포가 개선되는 것이 확인되면서 각 격자당 회귀모형 도출에 이용되는 관측지점수가 최소 5개가 되도록 적당한 영역을 설정하고 남한 전역을 270m 격자점으로 나누어 고해상도 강수분포도를 제작하였다(Chung *et al.*, 2009).

가뭄, 홍수 등 물과 관련한 재해가 빈발하고 이에 따른 기근이 일상화된 북한에서는 농업의 기반인 강수 자원의 분포를 정밀하게 파악하는 일이 시급하다. 그러나 북한지방의 경우 관측밀도가 매우 낮아 위와 같은 방법으로 강수분포를 추정하는 것은 어렵다. 남한의 경우 이용 가능한 관측지점이 표준기상관측소(Korea Meteorological Administration, KMA) 78개 지점을 비롯하여, 자동기상관측기(Automatic Weather System, AWS)가 468개에 달하지만(기상청, <http://www.kma.go.kr>), 북한의 경우 알려진 강수관측소가 표준기상대 27개에 불과하므로 270m 해상도로 제작되고 있는 남한의 산악강수추정 기법을 북한에 그대로 적용할 경우 그 신뢰도는 남한에 비해 낮아질 수 밖에

없다.

보다 정밀한 북한지방의 강수기후정보를 얻기 위하여 상대적으로 자료가 풍부한 남한의 지형-강수관계를 도출한 후 이를 북한 지방에 적용하는 방법이 제시된 바 있으나(Yun, 2000), 본 연구에서는 남한과 북한간 강수추정 방식의 통일을 위하여 남한에서 이용되고 있는 방식인 PRISM모형을 이용하되 우선 낮은 해상도로 강수분포도를 제작하고, 지형-강수관계로 도출된 보정 값을 이에 적용하는 하이브리드 기법을 통해 낮은 관측밀도를 보완하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 강수량 자료

우리나라 기상청은 세계통신망(Global Telecommunication System, GTS)을 통해 수집한 북한의 기상대 27개 지점 관측 자료를 통계 처리 하여 일별 및 월별 평균값을 제공하고 있다. 이들 관측지점의 해발고도는

Fig. 1. Distribution of precipitation observation points in North and South Korea (empty circles: AWS, filled circles: South Korean synoptic station, filled triangles: North Korean synoptic station).

선봉의 3m로부터 삼지연의 1,368m까지 폭넓게 분포되어 있으며, 지리적 위치는 위도-경도로 표현된다. 기상요소로는 해면기압, 평균/최고/최저기온, 강수량, 상대습도, 평균습도, 평균풍속, 운량 등이 있다. 이들 가운데 1973년부터 2009년까지 36년간의 강수량 자료를 발췌하여 월별 평년 값을 계산하였다.

이에 대응하는 남한의 기상자료는 기상청에서 제공되고 있는 78개 지점의 표준기상관측소와 468개 지점의 자동기상관측기에서 제공되는 월별 평균 강수량 자료를 준비하였다. AWS자료는 2001년부터 2009년까지의 자료를, KMA자료는 1971년부터 2009년까지의 자료를 확보하고 30년 단위의 월별 평년 값을 계산하였다(Fig. 1).

2.2. 남한지역의 지형-강수관계 도출

남한에서 제작되는 강수기후도 해상도인 270m 격자의 수치고도모형에서 AWS와 KMA의 위치를 추출하고, 이 지점들(546개)에 해당하는 고도값을 IDW하여 가상지형을 제작하였다. 다음에는 78개 표준관측소의 고도만을 IDW하여 만든 가상지형과 비교하여 편차를 얻었다. 이것은 상세지형에 비해 강수추정에 이용되는 표준관측지점만으로 이루어진 가상지형의 고도편차이다. 다음에는 AWS+KMA 위치의 강수량자료를 토대로 IDW에 의한 강수표면을 제작하고, 같은 방법으로 표준관측소만의 강수표면을 추정하여 강수편차를 얻었다. 이 두 편차, 즉 '고도편차'와 '강수편차'를 각각 독립변수와 종속변수로 두고 회귀식을 도출하였는데, 격자점을 4방위의 경사향에 따라 분류하여 각 경사향별 회귀식을 얻었다. 이 때 고도편차가 100m 미만인 경우와 400m 이상인 경우에는 고도편차와 강수량 편차 사이에 일관된 경향성이 나타나지 않아서 해당자료를 분석에서 제외시켰다. 도출된 회귀계수 가운데 5% 수준에서 통계적 유의성이 없는 것은 모두 0으로 두었다.

경사향의 결정을 위해 Yun(2000)의 방법에 따라 셀 해상도를 3×3km, 5×5km, 7×7km, ..., 15×15km, 31×31km 등으로 확대하여 고도 평균값을 구한 다음, 방위 별로 인접한 셀과의 고도 차를 비교하여 가장 큰 방위 값을 부여하였다. 이 중 31×31km 해상도 grid의 경사향 값을 크게 동서남북으로 나누어 polygon shape (ArcGIS, ESRI Inc, USA)의 벡터 포맷으로 변환하고, 남부지방의 강수량 관측소를 이 4방위에 중

Fig. 2. Distribution of rainfall stations classified by the four aspects (Filled circles indicate the locations of synoptic weather stations in North and South Korea and automated weather stations of Korea Meteorological Administration).

첩하여 방위별로 4개 그룹으로 분류 하였다(Fig. 2).

한반도의 중부지방에 해당되는 지역에 대해 표준관측소 강수량자료만을 이용하여 PRISM 모형 기반의 2,430m 해상도(기후도 제작 기본픽셀인 30m의 배수)이면서 북한의 27개 지점자료와 PRISM 모형에 의해 제작 가능한 해상도) 강수기후도를 제작하였다. 앞서 얻은 경사향별 회귀모형(고도편차-강수편차 기울기)을 270m 해상도의 고도편차 분포도에 적용하여 보정값을 계산한 다음 이 강수기후도와 격자점 단위로 가감함으로써 270m 해상도 하이브리드 강수기후도를 완성하였다. 이를 기존의 방법(Chung *et al.*, 2009)으로 제작한 270m해상도의 강수기후도와 비교하였다.

2.3. 하이브리드모형의 북한 적용

북한 전역에 대해 270m 해상도의 DEM과 27개 기상대 고도값으로 IDW한 가상지형 간 고도편차를 구한 다음, 앞서 얻은 남한지역 고도-강수량 회귀식의

고도변수를 이것으로 대체하였다. 이 과정을 통해 북한 전역의 270m 격자점에 대해 경사향 별 고도편차에 따른 강수량 보정 값이 계산되었다. 다음에는 북한 전역을 대상으로 2,430m 격자 해상도로 PRISM을 구동하여 산출한 배경강수기후도에 이 보정 값을 적용하여 동일 격자 내부에서 270m 해상도의 아격자(sub-grid) 단위의 최종 강수량분포를 얻었다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 하이브리드 모형의 신뢰성

PRISM모형을 구동하여 2,430m 격자해상도의 강수기후도를 남한 북부지방에 대해 제작하고, 여기에 남부지방 관측자료만으로 도출한 회귀모형 기반의 보정값을 적용하여 270m 해상도의 상세 강수기후도(A)를 최종적으로 얻었다. 기존의 방법대로 AWS+KMA 자료를 모두 이용하여 270m 해상도에서 PRISM방식으로 제작한 남한 북부지방 상세 강수기후도를 참값(O)으로 간주하였다. O를 A와 중첩시켜 얻은 추정강수량과 참값 사이 편차(A-O)는 월별로 -16~+13mm의 분포를 보였다. 사실 O 역시 참값은 아니고 추정값의 일종에 불과하므로 이러한 비교가 큰 의미를 갖는 것은 아니지만, 강수관측밀도가 낮은 지역에서 PRISM기반의 격자규모 강수기후도를 동일 격자 내 상세지형의 특징을 반영하여 아격자 규모에서 보완할 수 있는 한 가지 방법을 찾았다는 데 의의가 있다.

3.2. 북한지방 적용결과

남한에서의 검증결과를 바탕으로 북한 전역으로 그 적용범위를 넓힌 강수기후도가 제작되었다. 이를 위해 4개의 경사향별로 남한 전역의 AWS와 기상대자료를 모두 이용하여 고도편차-강수편차 회귀모형을 도출하였다(Table 1). 회귀모형의 기울기는 경사향 및 월별로 큰 차이가 있으며 대체로 여름철 동향경사면에서 가장 큰 기울기를 보였다. 이는 우리나라 지세가 백두대간을 중심으로 동향사면의 경사가 더 급하고 여름철에는 지형성 강우(orographic convective rainfall)가 흔하기 때문으로 추정된다. 예를 들어 강수대가 서해로부터 영서지방의 완만한 경사를 따라 이동하는 것보다 동해안으로부터 서쪽의 영동지방으로 접근할 때 태백산맥 동사면의 급경사에 의해 고도에 따른 강우증대 효과가 더 커질 것이라고 판단할 수 있다. 회귀모형에

Table 1. Monthly regression coefficients of elevation-precipitation models derived from 30 years' South Korea data for the four downscaled aspects (NS means statistically non-significant)

Month	North	East	South	West
Jan	0.0689	NS	NS	0.0552
Feb	NS	0.0517	0.0302	NS
Mar	0.0333	0.0382	0.0246	0.0156
Apr	0.0388	0.0818	0.0703	0.0574
May	0.0224	0.0802	0.0990	0.0374
Jun	NS	NS	0.0804	0.0568
July	NS	0.1999	0.1032	0.0637
Aug	0.0893	0.3067	0.1101	0.0743
Sep	NS	0.1716	0.1033	0.0312
Oct	NS	NS	0.0180	NS
Nov	0.0166	0.0205	0.0288	0.0111
Dec	0.0364	NS	0.0101	0.0339

따르면 8월 동향사면에서는 고도 100m 증가 시 30mm의 강수량 증가를 기대할 수 있으며 남향사면에서는 여름철에 고도 100m 증가 시 10mm 정도의 강수량 증가를 기대할 수 있다.

1971년부터 2000년까지 평년의 연강수량 추정 분포도를 Fig. 3에 제시하였다. 남한과 동일한 해상도(270m)로서 확대해 보면 아격자 규모 지형의 영향이 반영된 것을 시각적으로 확인할 수 있다.

Fig. 3에서 계산된 강수분포에 따르면 북한지역의 연평균 강수량은 1,196mm로 남한보다 약간 적었고 표준편차는 298mm로 추정되었다(Table 2). 하지만 북한은 남한에 비해 약 23% 넓은 면적을 갖고 있으므로 상세격자(270m)마다 추정된 강수량을 바탕으로 연간 강수자원을 추정해 보면 총 1,466억 ton이 되어, 한국수자원공사에서 추정한 남한의 1,240억 ton에 비해 18% 정도 많은 값이다. 지역별로는 연간 1,500mm 이상의 많은 비가 내리는 지역이 북한 총면적의 14.8%에 해당하는 반면, 1,000mm 이하의 적은 비가 내린 지역은 25.3%에 달한다. 행정구역별로는 북한전역에서 가장 비가 많이 내리는 지역이 강원도 금강군으로 연평균 강수량이 1,775mm이며, 가장 적게 내리는 곳은 함경북도 새별군으로 716mm로 추정되었다.

본 연구는 남한의 지형-강수 관계만 이용하여 북한의 강수분포를 추정하였던 선행연구(Yun, 2000)에 비해 PRISM기법을 추가하고 270m로 해상도를 향상시켰다. 하지만 북한 지방의 실측 강수량에 의해 검증할 수 없었기 때문에 앞으로 북한과의 교류가 확대되어

Fig. 3. Map of annual precipitation in North Korea estimated by the PRISM based hybrid method. Zoomed window shows the junction of 4 counties: Yeonsa, Gyeongseong, Baekam and Eorang in Hamgyeongbuk-do.

Table 2. Mean and standard deviation of the model estimated precipitation in North Korea

Month	Mean (mm)	Standard Deviation (mm)
Jan	32	22.8
Feb	28	14.3
Mar	40	13.6
Apr	71	24.1
May	97	22.9
Jun	132	27.1
Jul	275	62.4
Aug	263	61.1
Sep	149	55.9
Oct	61	24.1
Nov	51	18.1
Dec	29	13.1
Annual	1,196	298.1

많은 지역에 강수관측망을 확충하고 여러 지점의 충분한 자료를 수집함으로써 실용성을 제고해야 할 것이다.

적 요

현재 남한에서는 270m 해상도의 강수분포도가 제작되어 활용되고 있지만, 북한지역에는 강수관측점의 수가 남한에 비하여 매우 적어서 남한과 같은 방법으로 강수분포를 추정하기는 어렵다. 자료가 불충분한 북한 지방의 강수추정을 위해 우선 낮은 해상도의 강수기후도를 PRISM을 이용하여 제작하고 격자 내 지형특성을 반영하기 위해 여기에 상대적으로 자료가 풍부한 남한의 ‘지형-강수 관계’에 근거한 보정값을 더하는 방법을 모색하였다. 남한 지역 270m 해상도의 DEM에서 자동기상관측소와 표준기상관측소 위치의 격자값을 추출하고 이들을 이용하여 AWS+KMA 및 KMA에 해당하는 가상지형을 만든 다음, 둘 간의 편차를 얻었다. 강수량에 대해서도 동일한 작업을 하여 둘 간의 편차를 얻어 경사향별로 고도편차-강수편차 간 회귀식을 도출하였다. 북한 지역의 270m 해상도의 DEM과 27개 기상대 고도 값으로 IDW한 가상지형 간의 편차

를 구한 다음, 남한에서 얻은 회귀식을 적용하여 보정값을 계산하였다. 북한지역에 대해 2,430m 해상도로 PRISM모형을 구동하고 보정값을 적용하여 최종강수량을 얻었다. 제작된 강수기후도에 따르면 북한지방의 연간 총 강수량은 지역평균이 1,196mm이며 표준편차는 298mm인 것으로 추정된다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책 지원 강화사업(RACS 2010-4014)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Chung, U., K. Yun, K. S. Cho, J. H. Yi, and J. I. Yun, 2009: The PRISM-based rainfall mapping at an enhanced grid cell resolution in complex terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**, 72-78. (In Korean with English abstract)
- Daly, C., R. P. Neilson, and D. L. Phillips, 1994: A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology* **33**, 140-158.
- Johnson, G. L., P. A. Pastries, G. H. Taylor, and C. Daly, 1999: Spatial climate products – a new dimension for climate applications. Preprints, *11th Conference on Applied Climatology*, Dallas, Texas, American Meteorological Society, 107-113.
- Nalder, I. A., and R.W. Wein, 1998: Spatial interpolation of climatic normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology* **92**, 211-225.
- Phillips, D. L., J. Dolph, and D. Marks, 1992: A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology* **58**, 119-141.
- Seino, H., 1993: An estimation of distribution of meteorological elements using GIS and AMeDAS data. *Journal of Agricultural Meteorology(Japan)* **48**, 379-383.
- Shin, S. C., M. G. 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**, 71-81. (In Korean with English abstract)
- Thiessen, A. H., 1991: Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review* **39**, 1082-1084.
- Yun, J. I., 2000: Estimation of climatological precipitation of North Korea by using a spatial interpolation scheme. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **2**, 16-23. (In Korean with English abstract)
- Yun, J. I., 2010: Agroclimatic maps augmented by a GIS technology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**, 63-73. (In Korean with English abstract)
- [http://www.kma.go.kr/\(2011.3.1\)](http://www.kma.go.kr/(2011.3.1))