

산악형 강수의 지형학적 영향 요인 추출에 관한 연구

The Factor Analysis of Topography on Precipitation in Jeju-island

윤혜선*, 엄명진**, 조원철***, 허준행****

Hyeseon Yun, Myoung-Jin Um, Woncheol Cho, Jun-Haeng Heo

요 지

본 연구에서는 산악형 강수의 특성을 보이는 제주도의 여러 지형 조건과 강수량의 관계를 확인하고 강수량에 영향을 미치는 주요 인자를 분석하였다. 제주도는 원추형의 형태로 중심에 한라산이 있는 전형적인 산악형 지형이고 해발고도의 분포가 EL.0~1950m로 다양하여 본 연구의 대상지역으로 선정하였다. 강우자료는 제주도 내 기상관서 4개소(제주, 서귀포, 성산포, 고산) 및 자동기상관측소(AWS) 13개소의 관측자료를 활용하였으며, 짧은 자료기간을 보완하기 위해 지역빈도해석을 적용하여 확률강우량을 산정하였다. 본 연구에서는 강수에 영향을 줄 수 있는 지형인자 6개를 지리정보시스템(GIS)을 이용하여 추출하였으며, 추출된 지형인자에 대하여 요인분석으로 대표 인자를 추출하고 요인과 실제변수들의 강수량에 미치는 영향을 확인하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 검정결과 도출된 요인을 이용하면 강수량 산정 시 지형 변수들의 영향을 반영함과 동시에 보다 적은 수의 변수를 이용하여 지형 변수들을 모두 반영하였을 경우와 비슷한 결과를 얻는다는 것을 확인하였다. 따라서 추후 지형 변수들을 추가로 확보하여 지형특성을 반영한 간편하고 합리적인 강수량을 산정하기 위한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 산악형 강수, 지형인자, 강수량

1. 서 론

수자원의 효율적인 이용과 관리를 위하여 강수량의 정확한 예측 및 해석이 중요하다. 특히, 우리나라는 전 국토의 65%가 산악으로 강수의 계절적 불균형과 함께 산악형 강수의 영향으로 발생하는 집중호우나 폭설 등의 자연재해를 대비하고 피해를 최소화하기 위하여 지형적 특징과 강수와의 관계를 분석하는 산악형 강수의 연구가 필요하다. 지형인자와 강수와의 관계분석에 관한 국내외 연구동향을 살펴보면 초기의 연구는 주로 고도증가에 따른 강수량의 증가를 파악하는 것을 목적으로 하였다. 그 후, Spreen(1947)와 Schermerhorn(1967) 등을 시작으로 산악지역의 강수량 산정에 고도, 지형경사, 방향성 등 지형인자들을 이용한 연구가 활발하게 진행 되어왔다(Basist et al., 1994; Marquinez et al., 2002). 반면, 주로 연평균강수량을 대상자료로 한 기존 연구와는 달리 Weisse and Bois(2001)는 French Alps지역의 확률강우량을 이용하여 지형인자의 영향을 받는 강수량을 산정하였다. 국내의 경우, 유철상 등(2004)이 한강유역 전체에 대하여 고도에 따른 강수의 변화를 회귀분석을 통해 추정하였으며, 신성철 등(2008)은 PRISM을 기반으로 고도, 거리, 지향면, 해양도를 고려하여 한반도 강수량 자료를 추정할 수 있는 K-PRISM 모델을 개발하였다. 기존 연

* 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정·E-mail : youn@yonsei.ac.kr

** 정회원·연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정·E-mail : movie21@yonsei.ac.kr

*** 정회원·연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 교수·E-mail : woncheol@yonsei.ac.kr

**** 정회원·연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 교수·E-mail : jheo@yonsei.ac.kr

구동향에서 강수량에 영향을 미치는 인자로 고도, 위도, 경도, 경사, 관측소지역의 기온기 등을 이용하였다. 서로 복잡하게 연결되어 있는 변수들을 강수량 산정에 적용하는데 어려움이 따를 것으로 판단되므로, 본 연구에서는 GIS로 추출한 지형인자들을 변수로 하여 요인분석을 실시하여 지형 변수들의 영향을 반영함과 동시에 보다 적은 수의 변수를 이용하여 강수량 산정 시 지형 변수들을 모두 반영하였을 경우와 비슷한 결과를 얻는 것에 그 목적을 둔다.

2. 대상지역의 선정

본 연구의 대상지역으로 제주도를 선정하였다. 제주도는 섬 중앙에 화산분출로 인해 형성된 한라산(EL. 1,950m)를 정점으로 남쪽은 경사가 심한 반면 북쪽은 완만하고(8.8%~17.6%), 동서쪽은 비교적 높은 지대이면서 평탄하며(5.2%~8.8%) 해안지역(EL.200m 이하)과 중산간지역(EL. 200~500m), 산간지역(EL. 500~1,000m), 그리고 고산지역(EL. 1,000m 이상)이 각각 전체 면적의 54.9, 26.9, 13.7, 4.5%로 분포되어 있어 산악지형의 특징을 보인다. 또한, 지난 30년간 제주도 전 지역의 연평균강수량의 분포를 보면 해안지역, 중간경사지와 산마루의 순으로 각각 1,560mm, 1,780mm, 2,766mm를 기록하여 지형학적 위치가 강수에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

제주도는 기상관서 4개소와 AWS 20개소를 운영 중이다. 그러나 본 연구에서는 산간지역 기상현상의 효과적인 감시를 목적으로 설치되었지만 현재 자료가 제공되지 않는 윗세오름(EL. 1,673m)과 진달래밭(EL. 1,490m) 관측소와 부속도서(추자도, 우도, 마라도, 가파도 및 지귀도)에 설치된 5개소를 제외한 총 17개의 기상관측소(기상관서: 4개소, AWS: 13개소)의 강우자료를 사용하였다. 아래 Fig. 1은 제주도의 고도 및 경사분포와 대상으로 선정된 17개 관측소의 위치를 나타낸 것이다.

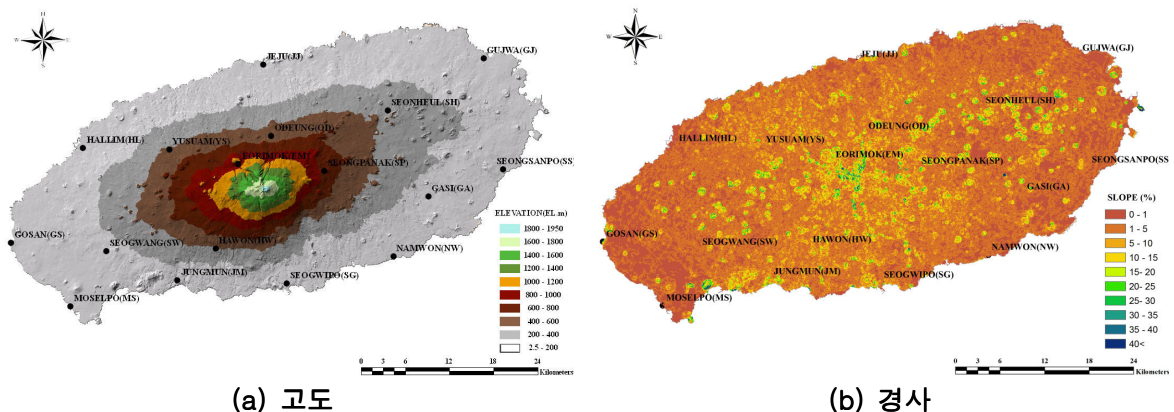


Fig. 1 제주도의 기상관측소 및 고도-경사 분포도

3. 요인분석

요인분석은 여러 개의 변수들 간의 상호관계를 요인(factor)이라 불리는 변수 내의 새로운 공동 변수를 도출하여 요인들이 가지고 있는 특성으로 전체 자료의 특성을 설명하는 다변량 분석기법이다. 본 연구에서는 강수량에 영향을 미치는 지형인자들을 변수로 하여 새로운 요인을 도출하고, 도출된 요인을 지형인자로서 강수량 산정 시 적용하여 지형을 고려한 보다 정확한 강수량을 산정하고자 한다. 연구에 고려된 지형변수들은 ArcGIS의 DEM을 이용하여 산정된 고도(ELV), 경사도(SLP), 지형방향(ASP)을 비롯하여, 한라산 중앙으로부터의 위치(M_DIS), 한라산을 기준으로 한 방향각(THETA), 제주도를 타원으로 간주했을 때의 두 초점에서부터의 거리합(D2PONITS)의 6개

이며, 강수량은 지역빈도해석 기법의 한 방법인 지수홍수법을 이용하여 산출된 확률강우량을 적용하였다.

1) 각 지형변수들의 요인분석 적합여부를 점검하기 위하여 Bartlett의 단위행렬과 Kaiser-Meyer-Olson의 표본적합도를 점검하였다. 지형변수들에 대한 Bartlett 단위행렬 검정결과 유의확률이 0.000으로서 유의수준인 $\alpha \leq 0.01$ 에서도 단위행렬이 아니라는 충분한 증거를 보여주었으며, KMO의 표본적합도 역시 전체 MSA 값이 0.654로 보통수준의 값을 나타내었고, 개별 MSA에서 대체적으로 MSA의 기준값인 0.4를 초과하였지만, THETA의 경우 0.347로 기준을 충족하지 못하였기에 ELV, SLP, ASP, M_DIS, D2POINTS의 5개 요인으로 재점검하여 KMO 표본적합도 전체 MSA의 값을 0.684로, 개별 MSA의 값을 0.430~0.756의 범위로 증가시켜 요인분석의 적합기준을 충족했다.

2) 본 연구의 최종목적인 제주도의 강수량을 산정하는 것으로 대상자가 표본이고 각 변수들이 제주도 전체의 지형자료로 모집단으로 간주할 수 있으며, 또한 자료의 수가 많을 경우 다른 방법보다 더욱 우수한 분석결과를 제공하는 최우추정요인추출법을 최초요인의 추출방법으로 적용하였다. 일반적으로 요인분석 시 Kaiser 기준인 1.0의 고유값을 사용하나 요인수를 과소하게 계산하는 과오를 줄이기 위하여 최소 고유값의 기준을 0.8로 낮추어 적용하였다. 최초요인의 요인공통분산은 ELV, SLP, M_DIS, D2POINTS, ASP 순으로 각각 0.999, 0.994, 0.543, 0.356, 0.086으로 나타났다. 그런데 요인공통분산이 낮은 변수들이 포함되는 경우 고유값이 낮아지고, 요인으로서의 분류가 어려워지므로 요인공통분산에서 가장 낮은 지형변수인 ASP를 제외하고 재분석하였다.

3) 요인은 가능한 한 적으면서 설명력을 높이는 것이 요인분석의 중요한 과제이다. 요인공통분산의 총분산에 대한 비율을 이용하여 요인의 수를 결정할 때 모든 변수들의 요인의 고유값의 합이 적어도 전체의 75% 또는 60%이상 될 수 있을 만큼 충분한 요인의 수를 확보하여야 하는데 본 연구에서는 60%의 기준을 적용하여 요인의 수를 1개로 고려하였다. χ^2 -분포를 이용하여 요인수에 대한 통계적 가설을 검정하면 검정통계량이 1752.324로 유의 확률(0.000)이 유의수준($\alpha \leq 0.01$)을 만족하기 때문에 요인의 수로 1개를 적용할 수 있음이 확인되었다.

4) 최초요인 추출 후 각 변수와 요인의 관계성을 쉽게 판단하기 위하여 요인을 회전시키는 단계를 거치지만 본 연구에서는 1개의 요인이 추출되었으므로 회전의 과정이 생략되었다.

5) 위의 과정으로 대상으로 한 6개의 지형변수 가운데 4개의 변수를 한 요인으로 축약하였다. 이 때 각 변수들의 요인점수는 Anderson-Rubin method를 이용하여 계산된 요인점수들 사이의 독립성이 유지될 수 있도록 산정하였다. 계산된 요인점수의 계수는 ELV, SLP, M_DIS, D2POINTS 순으로 각각 0.966, 0.013, -0.025, -0.014의 값을 가진다.

4. 회귀분석

설정된 지형변수들이 강수량에 미치는 영향을 분석할 때 모든 변수들을 직접 이용하여 다중회귀분석을 실시하면 보다 차원 높고 의미 있는 분석결과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 추출된 요인(GeoFct)과 강수량(Model 1), GeoFct와 관련된 모든 변수들과 강수량(Model 2)을 각각 단순 및 다중회귀분석을 실시하여 요인분석의 유의성을 검토해 보았다. 일반적으로 추정된 회귀방정식의 결정계수는 고려되는 독립변수의 수가 증가할수록 독립변수의 유용성과는 무관하게 증가하는 경향을 보이므로 이러한 단점을 보완하고자 본 연구에서는 회귀식의 정도를 수정된 결정계수를 이용하여 측정하였다.

선형회귀분석을 실시하여 Fig. 2와 같이 재현기간과 지속시간에 따른 GeoFct와 확률강우량 간 상관관계를 도시하였다. 도출된 회귀식에서 지속기간이 길어질수록 선형비례식의 기울기가 증가하였으며, 이는 확률강우량에 대한 지형변수들의 영향이 지속시간의 증가에 따라 가중됨을 의미한

다. 재현기간에 대한 기울기의 변화율도 미미하게 증가하여 지속시간보다는 약하지만 확률강우량 과도 관계성이 있음을 알 수 있다. 이는 수정된 결정계수에서도 확인할 수 있는데, 재현기간에 100년에 대한 지속시간 6시간, 12시간, 24시간의 값이 각각 0.699, 0.766, 0.777로 지속시간에 따른 모형 적합성이 증가하였다. 이 때, 회귀식의 전반적인 확증적 유용성을 나타내는 F 검정통계량과 t 통계량은 각각 0~0.011의 범위를 가져 유의수준인 $\alpha \leq 0.05$ 를 만족하였다.

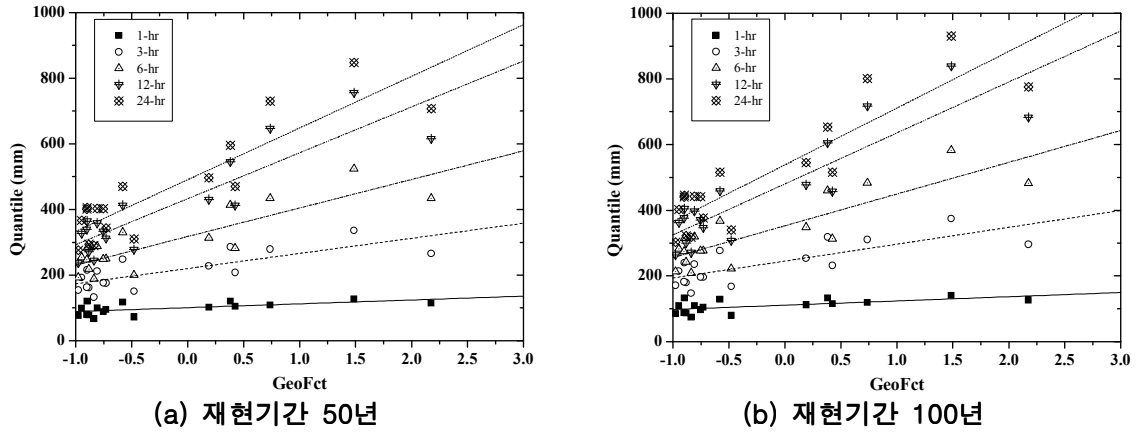


Fig. 2 추출된 요인과 확률강우량 간 상관관계

GeoFct의 4개의 모든 변수들을 직접 이용하여 다중회귀분석을 실시하여 GeoFct와 확률강우량의 산출된 회귀식과 비교·검토하였다. 회귀결과 산출된 회귀식은 대부분 F 검정통계량과 t 통계량이 유의수준 $\alpha \leq 0.05$ 의 범위 내의 값인 0~0.012의 범위의 값을 가지고 있으나 지속시간 1시간에 대해서는 범위를 벗어난 0.076의 값을 가져 본 회귀식이 1시간 이상 지속시간의 강우량에 적용해야 할 것으로 판단된다. 동일 재현기간 100년에 대한 지속시간 6시간, 12시간, 24시간의 수정된 결정계수는 각각 0.666, 0.758, 0.777을 나타내 추출된 요인으로 시행한 회귀분석 결과보다 낮은 값을 가져 GeoFct를 강수량 산정시 반영할 경우 모든 지형 변수 반영할 때와 비슷하거나 더욱 향상된 예측값을 갖는다는 것을 알 수 있다.

Model 1과 Model 2에서 100년 빈도의 강수량을 이용하여 도출된 각각의 회귀식과 지형변수들의 회귀계수 및 각 회귀식의 수정된 결정계수를 Table. 1에 정리하였다.

Table. 1 모형별 회귀계수 및 결정계수

Model	Duration (hr)	Regression Coefficients						R_{adj}^2
		Const.	ELV	SLP	M_DIS	D2POINTS	GeoFct	
1	3	245.304	-	-	-	-	51.421	0.573
	6	352.783	-	-	-	-	96.665	0.699
	9	434.921	-	-	-	-	133.390	0.750
	12	480.267	-	-	-	-	155.252	0.766
	24	538.530	-	-	-	-	172.793	0.777
2	3	604.578	0.116	-1.360	0.000	-0.005	-	0.537
	6	714.523	0.232	-2.194	-0.002	-0.006	-	0.666
	9	929.940	0.323	-4.236	-0.003	-0.007	-	0.739
	12	1015.514	0.397	-6.579	-0.003	-0.008	-	0.758
	24	1021.978	0.460	-9.104	-0.004	-0.007	-	0.777

5. 결론

본 연구에서는 강수량에 영향을 미치는 지형변수들로 새로운 요인을 도출하여 강수량 산정 시 적용하여 지형을 고려한 정확한 강수량을 산정하고자 한다. 따라서 제주도의 강수량에 영향을 미치는 지형요인을 추출하기 위하여 다변량 분석기법 중 하나인 요인분석을 이용하였다. 대상 지형 변수로는 ArcGIS의 DEM 자료인 고도(ELV), 경사도(SLP), 지형방향(ASP)을 비롯하여, 한라산 중앙으로부터의 위치(M_DIS), 한라산을 기준으로 한 방향각(THETA), 제주도를 타원으로 간주했을 때의 두 초점에서부터의 거리합(D2POINTS)의 6개를 적용하였고 강수량은 지역빈도해석 기법의 한 방법인 지수홍수법을 이용하여 산출된 확률강우량을 적용하였다. 그 결과 ELV, SLP, M_DIS, D2POINTS의 지형변수로 이루어진 새로운 요인인 GeoFct를 도출하였으며, GeoFct와 확률강우량의 관계를 회귀분석을 실시하여 GeoFct의 실제 지형변수인 ELV, SLP, M_DIS, D2POINTS를 이용한 회귀분석결과와 비교하였다. 회귀분석 결과 GeoFct를 이용한 경우 4개의 지형변수를 모두 사용하여 회귀식을 구성한 것보다 향상된 회귀식의 정도를 보였다. 따라서, 많은 지형 변수들을 대표할 수 있는 적은 수의 요인들을 이용하면 보다 간편하고 합리적인 강수량을 산정할 수 있을 것이라 판단된다. 다만, 보다 많은 지형인자들을 추출하고 지형공간분석을 통해 실제 강수분포와 비교하는 연구가 필요할 것이다. 또한, 본 연구는 산악형 강수의 영향인자인 기후요소(풍속, 풍향, 온도, 이슬점 등)를 배제하였으므로 보다 정확한 강수해석을 위해서는 추후 제주도의 기후자료를 포함한 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 유철상, 전경수, 김기욱 (2004). "한강유역 강수의 산지효과 추정 - I. 회귀분석 -." 대한토목학회논문집, 제24권, 제1B호, pp. 33-39.
2. 신성철, 김맹기, 서명석, 나득균, 장동호, 김찬수, 이우섭, 김연희 (2008). "GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 강수량 추정." 한국기상학회논문집, 제18권, 제1호, pp. 71-81.
3. Basist, A., Bell, G. D. and Meentemeyer, V. (1994). "Statistical relationships between topography and precipitation patterns." Journal of climate, Vol. 7, No. 9, pp.1305-1315.
4. Marquinez, J., Lastra, J. and Garcia, P. (2003). "Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis." Journal of hydrology, Vol. 270, pp. 1-11.
5. Schermerhorn, V. P. (1967). "Relations between topography and annual precipitation in western Oregon and Washington." Water Resour. Res., Vol. 3, pp. 707-711.
6. Spreen, W. C. (1947). "A determination of the effect of topography upon precipitation." Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 28, pp. 285-290.
7. Weisse, A. K. and Bois, P. (2001). "Topographic effects on statistical characteristics of heavy rainfall and mapping in the French Alps." Journal of applied meteorology, Vol. 40, No. 4, pp. 720-740.