

지속시간 및 표고에 따른 강우량 보정에 관한 연구

Rainfall Adjustment on Duration and Topographic Elevation

엄명진* / 조원철** / 임해욱***

Um, Myoung-Jin / Cho, Woncheol / Rim, Hae-Wook

Abstract

The objective of this study is to develop a method of rainfall adjustment on duration and topographic elevation for rainfall data in Jeju. The method of rainfall adjustment is based on the polynomial regression analysis for the hourly rainfall data and the distribution of observatories of Korea meteorological administration. As the results of modeling have shown, duration and rainfall are more correlated than topographic elevation and rainfall, and the model which considers only an elevation exaggerates the amount of rainfall adjustment. Hence the model of duration-elevation-rainfall is more competitive to the natural rainfall event than the model of topographic elevation-rainfall. However this model requires to supplement a small number of rainfall observatories and short observed period.

keywords : rainfall, duration, topographic elevation, polynomial regression analysis

요 지

본 연구에서는 제주도내 강우 관측자료를 활용하여 강우지속시간 및 표고에 따른 강우량 보정기법을 개발하였다. 이를 위해 기상청 관측소(기상관서:4개소, AWS:13개소)의 시우량 자료와 표고별 분포를 이용하여 표고와 강우지속시간에 대한 다항회귀분석을 수행하였다. 회귀된 모형의 평가에서 강우지속시간은 표고보다 강우량과 좋은 상관성을 나타내었으며, 강우량 보정시 표고만을 고려한 모형은 과도한 보정을 하였다. 따라서 수자원 설계시 기존의 표고만을 고려한 모형보다 본 연구에서 제시된 강우지속시간 및 표고를 동시에 고려한 모형을 적용할 경우 실제 강우 사상을 더욱 잘 반영할 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 제시된 모형은 향후 부족한 표고별 강우 관측소와 짧은 강우 관측기간 등에 대한 보완이 필요하다.

핵심용어 : 강우량, 지속시간, 표고, 다항회귀분석

1. 서 론

우리나라는 매년 2002년 루사 및 2003년 매미 등과

같은 태풍피해와 순간적인 집중호우로 인한 수해가 발생하고 있다. 이러한 수해를 방지하기 위해서 매년 막대한 예산이 투입되어 재해예방에 투입되고 있는 실정

* 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정

Doctoral Student, Dept. of Civil Eng., Yonsei Univ., Seoul, 120-749, Korea
(e-mail: movie21@empal.com)

** 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 교수

Professor, School of Civil and Environmental Eng., Yonsei Univ., Seoul, 120-749, Korea

*** (주)서영엔지니어링 전문 수자원개발기술사

Executive Director, Professional Engineer for Water Resources Development, Seoyeong Engineering Co., Ltd., Seocho-Gu, Seoul, 137-739, Korea

이다. 여러 가지 재해 중 수해를 예방하기 위해서는 정확한 강우량 산정이 매우 중요하다. 국내 관광사업의 중심지이며 국제적 관광지인 제주도는 유역 대부분이 산지로 이루어져 있다. 일반적으로 산지에서는 평지보다 많은 강우가 발생하여 수해 피해가 더욱 크게 발생한다. 그러나 기상청이 관리하는 기상관서 4개소(제주, 서귀포, 성산포, 고산)는 표고 EL.100m이하에 설치되어 있어서 산지에서의 강우량을 산정하기에는 강우자료가 미흡하다. 따라서 최근 기상청은 제주도 전지역에 AWS (Automatic Weather Station, 자동기상관측소) 17개소(부속도서내 4개소)를 추가 설치하여 운영하고 있다. 본 연구에서는 기상관서 관측자료 및 AWS 관측 자료를 이용하여 평지와 산지에서의 강우량의 관계를 분석하고자 한다. 국내의 연구동향을 살펴보면 단순히 표고와 연강우량과의 관계만을 도출할 뿐 전문적인 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 국외에서는 Duckstein et al. (1973)이 Arizona 남부의 Santa Catalinas의 작은 산지지역의 3~7년간 여름철 강우 자료를 이용하여 분석하여 표고차 1000m마다 10.2mm의 강우가 더 발생하고 표고가 높아질수록 0.00097mm/m의 연강우량이 증가한다고 발표하였다. Karneili와 Osborn (1988)은 Arizona 지역의 30년 이상의 강우자료를 가지고 있는 158개소 강우관측소를 이용하여 강수-표고 관계를 분석하였다. Arizona 지역을 세 구역으로 나누었을 때 여름-겨울철 강우량은 표고와 선형 관계가 있다고 나타났고, 여름철 강우량과 표고의 관계를 회귀 분석한 결과 세 구역에서 결정계수 0.97, 0.86 및 0.82의 높은 적합도가 산정되었다. Hanson과 Johnson (1993)은 Idaho 지역의 표고, 연강우량 및 계절 강우량은 선형관계를 가지고, 표고가 다른 2개 지점의 강우지속시간별 확률강우량을 비교하여 강우지속시간이 증가함에 따라 낮은 곳 보다 높은 곳의 강우량이 더욱 크게 증가함을 제시하였다. Johnson과 Hanson (1995)은 PCA (Principal Component Analysis) 기법을 이용하여 Idaho 지역의 지리, 지형 및 대기학적 변화성에 대한 연구를 하였다. Michaud et al. (1995)은 미국 남서부의 여름철 평균 월강우량을 분석하여 표고에 따라 강우량이 증가함을 분석하였으며, DEM (Digital Elevation Model)을 이용한 MSWR (Mean Southwest Rainfall) 모형을 제시하였다. Suzuki et al. (2002, 2004)은 DLTE (Dependence Line on Topographic Elevation) 모형과 부분시계열 강우자료를 이용하여 강우 및 표고와의 관계를 분석하였다. 이러한 연구경향을 살펴보면 단순히 강우지속시간별로 표고가 다른 2개 지점의 관계만을 해석한 Hanson과 Johnson (1993)의 연구이후 표고와 연

강우량의 관계만을 강조하여 해석하고 강우지속시간에 대한 것은 거의 언급하지 않고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 실제 수자원 설계에서는 시우량 자료를 이용하므로 표고와 연강우량의 관계를 적용하는 것은 부적절하다. 따라서 표고와 연강우량과의 관계뿐만 아니라 표고와 강우지속시간에 따른 강우량의 관계를 제시하는 것이 필요하다. 최근 제주도에서는 산간지방이 급속하게 개발되고 있지만 산지 근처 AWS의 관측기간이 짧아서 확률강우량 산정시 이용하지 못하고, 산지 근처와 다른 강우형태를 보이지만 강우관측기간이 충분한 낮은 표고의 기상관서 관측 자료를 이용하고 있다. 그렇지만 일반적으로 기상관서 지점의 강우량은 산간지방의 강우량 보다 작으므로 산지에서의 강우량 산정에는 적합하지 않으므로 강우량에 대한 보정이 필요하다. 그러나 단순히 표고와 연강우량에 대한 관계만을 고려하여 강우보정이 이루어진다면 실제 수자원 설계시 적용되는 시우량 자료는 부적절한 보정이 이루어 질 것이다. 따라서 본 연구에서는 제주도의 강우 관측 자료를 이용하여 지속시간을 고려한 표고와 강우량의 관계를 분석하여 실제 수자원 설계에서 사용가능한 합리적인 강우량 산정 기법을 제시하고자 한다.

2. 제주도의 지형특성

제주도는 동경 126°08' ~ 126°58', 북위 33°06' ~ 34°00'에 위치하고 있으며 총면적은 1848.2km²이다. 대칭형 원추모양의 한라산(EL.1950m)을 중심으로 남북경사도가 1/6~1/9로 급하고, 동서경사도는 1/20~1/18로 완만하다. 특히 돈내코를 중심으로 남남동 지역은 경사도가 제일 크다. 또한 "오름"이라 불리는 기생화산체들이 약 360여개 산재하고 있으며 동쪽 사면을 따라 평균 300~700m의 비교적 높은 오름이 많다(류종인, 1998). 본 연구에서 GIS 자료를 이용하여 지형을 분석한 결과 Table 1 및 Table 2와 같이 500m 이상의 표고는 전체 면적의 17.8%이고, 10% 이상의 경사지는 전체 면적의 20.9%로 산정되었다. 이러한 표고 및 경사별 면적 분포를 분포도 및 그래프로 나타내면 Fig. 1 ~ Fig. 3과 같다.

3. 지속시간 및 표고에 따른 강우량 분포

3.1 강우특성

제주도 지역의 호우 특징은 다음과 같은 3가지로 분류된다(류종인, 1998). 첫째, 습윤공기 확장이 뚜렷하여 850~700hPa 층의 빠른 이류가 있고 한라산 정상을 경계로 역전층이 존재하며, 하층 또는 중층까지의 대기안

Table 1. The Analysis of Elevation

Elevation(EL.m)	Area(km ²)	Ratio(%)
Total	1848.2	100.0
0~500	1519.5	82.2
500~1000	245.8	13.3
1000~1500	66.6	3.6
1500 >	16.3	0.9

Table 2. The Analysis of Slope

Slope(%)	Area(km ²)	Ratio(%)
Total	1848.2	100.0
10 <	1460.0	79.1
10~20	264.9	14.3
20~30	82.2	4.4
30 >	41.1	2.2

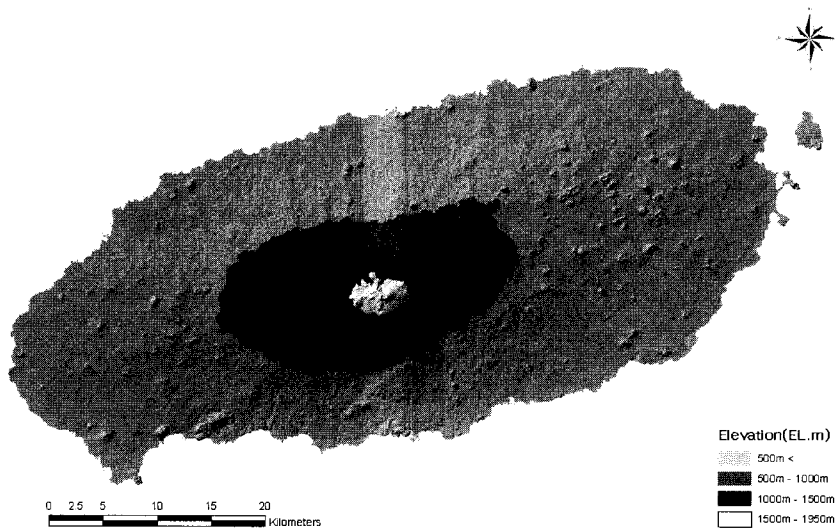


Fig. 1. Map of Elevation in Jeju

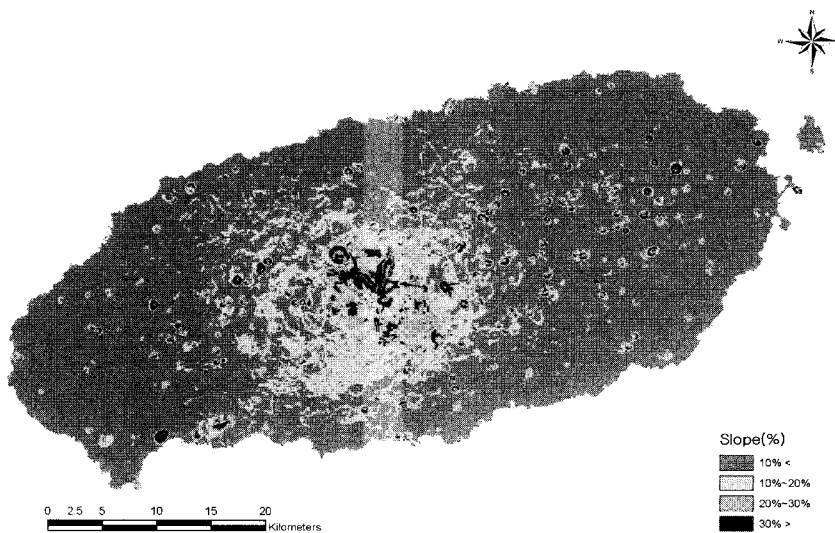


Fig. 2. Map of Slope in Jeju

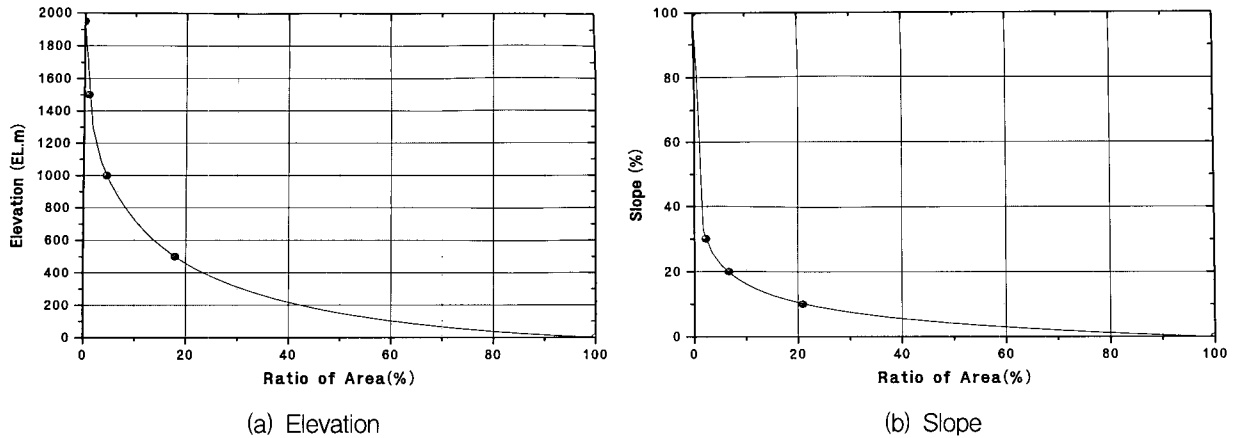


Fig. 3. Hypsometric Curve

정도가 조건부로 불안정하다. 둘째, 상층과 하층에 서풍과 동풍 또는 북서와 남동풍이 각각 불어서 한라산 정상상을 중심으로 강한 수렴대가 형성된다. 셋째, 산악효과 및 하층의 강한 바람에 의하여 포화된 불안정한 공기가 빠르게 상승하여 국지적으로 왕성한 대류가 발생한다. 저기압 접근시 하층에서 풍향과 풍속의 강도, 역전층 유무 및 고도에 따라 영향을 받기 때문에 호우 구역이 중산간 지역이나 풍상층 지역으로 구별된다.

또한 제주도 지역의 집중호우를 분석한 결과에 의하면 제주도 남동부 지역에 집중호우가 많이 발생하고 대

체적으로 풍상층이 풍하층보다 집중호우가 더 많은 것으로 나타났다(류종인, 방익찬; 1997).

3.2 강우자료

제주도내 기상청이 관리하는 기상관측소는 기상관서 4개소와 AWS 17개소가 있다. 기상관서는 최소 30년 이상의 시우량 자료를 보유하고 있으나 AWS의 경우에는 대부분 최근에 관측을 개시하여 자료의 기간이 4~14년으로 짧은 편이다. 이러한 현황을 Table 3에 정리하고, Fig. 4에 기상관측소 위치를 도시하였다.

Table 3. Weather Stations in Jeju

Station	Longitude	Latitude	Elevation (EL.m)	Start Date	Type
Jeju	126° 32'	33° 31'	20.0	1923. 05.	Meteorological office
Seogwipo	126° 34'	33° 15'	50.5	1961. 01.	Meteorological office
Gosan	126° 10'	33° 17'	71.2	1988. 05.	Meteorological office
Seongsanpo	126° 53'	33° 23'	18.6	1971. 05.	Meteorological office
Jungmun	126° 24'	33° 14'	76.0	2002. 01.	AWS
Odeung(Ora)	126° 32'	33° 25'	574.0	2002. 01.	AWS
Hawon	126° 27'	33° 17'	417.0	2002. 01.	AWS
Yusuam	126° 23'	33° 24'	429.0	1993. 01.	AWS
Seonheul	126° 42'	33° 27'	345.0	1993. 01.	AWS
Seogwang	126° 18'	33° 16'	146.0	1993. 02.	AWS
Eorimok	126° 29'	33° 23'	1010.0	1995. 04.	AWS
Hallim	126° 16'	33° 24'	48.0	1994. 02.	AWS
Namwon	126° 43'	33° 16'	73.0	1994. 02.	AWS
Gujwa	126° 51'	33° 31'	40.0	1995. 01.	AWS
Seongpanak	126° 37'	33° 22'	777.0	1998. 11.	AWS
Gasi	126° 46'	33° 21'	120.0	1999. 06.	AWS
Moselpo	126° 15'	33° 12'	20.0	1999. 06.	AWS
Chujado	126° 18'	33° 57'	58.0	1993. 01.	AWS
Udo	126° 57'	33° 30'	62.0	1993. 01.	AWS
Marado	126° 16'	33° 06'	49.0	1993. 01.	AWS
Gapado	126° 16'	33° 09'	20.0	2003. 04.	AWS

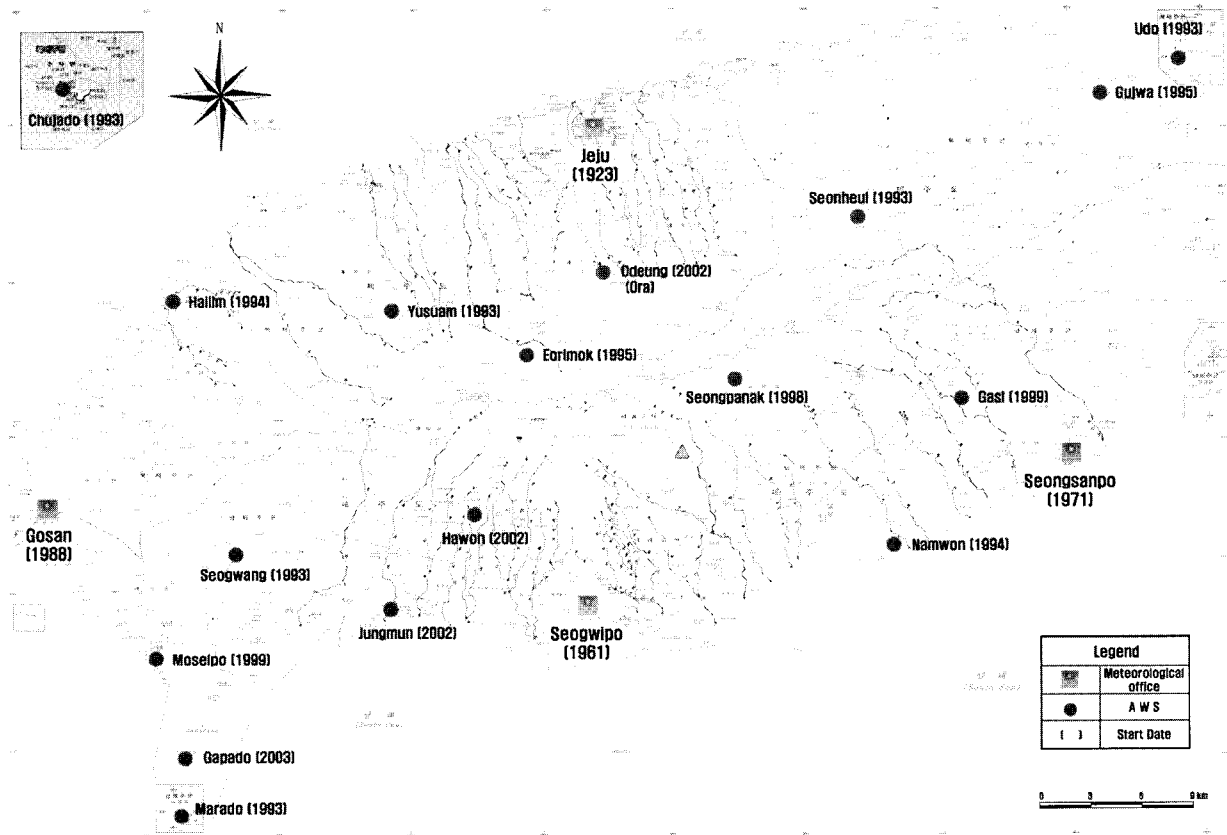


Fig. 4. Map of Weather Stations in Jeju

Table 4. Weather Stations per Elevation

Elevation (EL.m)	0-100	100-200	300-500	500-700	700-1100
Number	9	2	3	2	1

본 연구에서는 제주도와 떨어져 있어 기상현황이 다른 부속도서(추자도, 우도, 마라도 및 가파도)의 AWS 관측자료를 제외한 13개소의 AWS 강우자료 및 기상관서 강우자료를 이용하여 지속시간 및 표고에 따른 강우량을 분석하기로 하였다. 채택된 17개소(기상관서:4개소, AWS:13개소) 관측소의 표고별 분포현황은 Table 4와 같다. 관측소는 표고 0~200m에 64.7%가 위치하고 그 이상의 표고에 35.3%가 분포되어 낮은 표고에 관측소가 많은 것으로 나타났다.

3.3 분석방법

지속시간 및 표고에 따른 강우량 분포를 분석하기 위해서 앞에서 채택한 강우관측소의 시우량 자료를 수집하여 자료의 이상치 및 관측기간이 결측된 해의 자료는 배제하였다. 우선 표고와 강우량의 경향을 파악하기 위하여 관측소별로 최근 8개년(1999-2006)의 연평균강우량을 산정하고 등우선도를 작성하여 표고와 연강우량과의 관계를 알아보기로 하였다. 여기서 AWS 3개소

(중문, 오등 및 하원)는 2002년 자료부터 이용하였고, AWS 2개소(가시 및 모슬포)는 2000년 자료부터 이용하였다. 본 연구에서는 지속시간 및 표고가 강우에 미치는 영향을 파악하기 위하여 다음과 같은 분석방법을 채택하였다. AWS의 관측기간이 6~14년으로 확률강우량을 구하여 분석하기에는 자료가 짧은 편이기 때문에 지속시간 및 관측소별 최대 시우량 자료의 평균값을 이용하여 분석하기로 하였다. 수집된 강우자료에서 관측소별 지속시간별 최대 강우량 값을 추출한 후 평균 최대강우량을 산정하였다. 분석된 결과를 이용하여 지속시간 및 표고가 강우량에 미치는 영향을 파악한 후 그 관계를 다항회귀모형으로 제시하였다. 이러한 분석방법을 간략히 정리해 보면 다음과 같다.

- ① 다양한 표고분포에 따른 시강우자료를 수집한다.
- ② 관측소별 연도 및 지속시간별 최대값을 추출한다.
- ③ 관측소별 지속시간별 평균 최대강우량을 산정한다.

④ 지속시간 및 표고별 평균 최대강우량을 도시 및 분석한다.

3.4 분석결과

강우자료를 분석하여 관측소별 연평균강우량을 산정하였고, 그 결과는 Table 5와 같다. 분석된 자료 및 지형성 강우의 영향을 많이 받는 제주도의 특성을 고려하여 지구통계학적 분석방법인 Kriging 기법을 이용하여 Fig. 5와 같은 등우선도를 작성하였다.

Fig. 5를 보면 표고가 증가할수록 연평균강우량도 증가하는 것으로 나타났다. 다만 한라산을 중심으로 강우량이 증가하지 않고 다소 남동쪽으로 치우친 성판악 부

근을 중심으로 강우량이 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 본 연구에서는 제시한 표고뿐만 아니라 다른 기후 및 지형조건이 강우량에 영향을 미치기 때문이다. 본 연구에서 우선 표고와 강우의 상관관계를 파악하기 위하여 연평균강우량과 표고를 선형회귀분석한 결과 상관계수 0.82의 적합도를 나타내었고, 표고가 증가함에 따라 연강우량이 증가하였다. 그 결과는 Eq. (1) 및 Fig. 6과 같다.

$$y = 2.08135x + 1542.605 \quad (1)$$

여기서, y는 연평균강우량(mm), x는 표고(EL.m)이다.

Table 5. Mean Annual Precipitation

Station	Mean annual precipitation (mm)	Station	Mean annual precipitation (mm)	Station	Mean annual precipitation (mm)
Jeju	1567.6	Hawon	2341.9	Namwon	2100.9
Seogwipo	1930.4	Yusuam	2037.6	Gujwa	1710.0
Gosan	1272.4	Seonheul	2537.9	Seongpanak	4142.9
Seongsanpo	1959.4	Seogwang	1372.6	Gasi	2310.2
Jungmun	1712.3	Eorimok	3032.4	Moselpo	1122.3
Odeung(Ora)	2686.1	Hallim	1202.5		

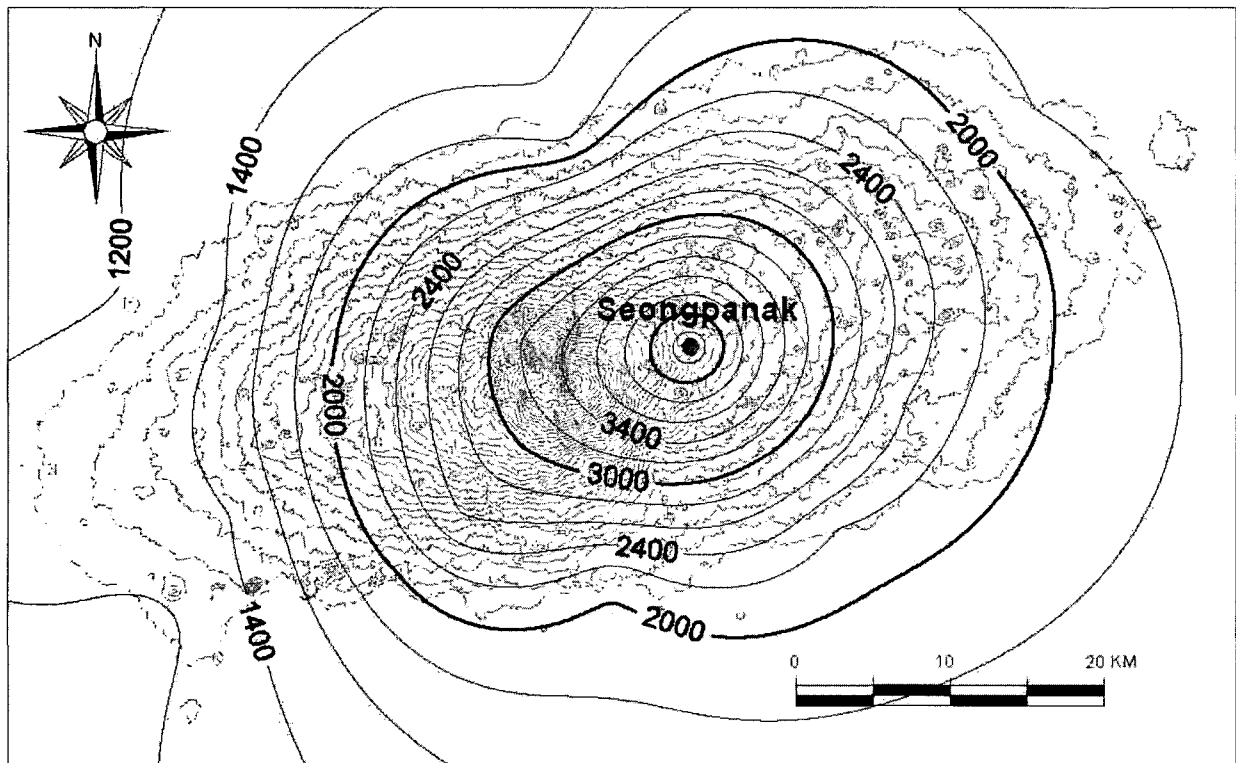


Fig. 5. Rainfall Chart of Mean Annual Precipitation

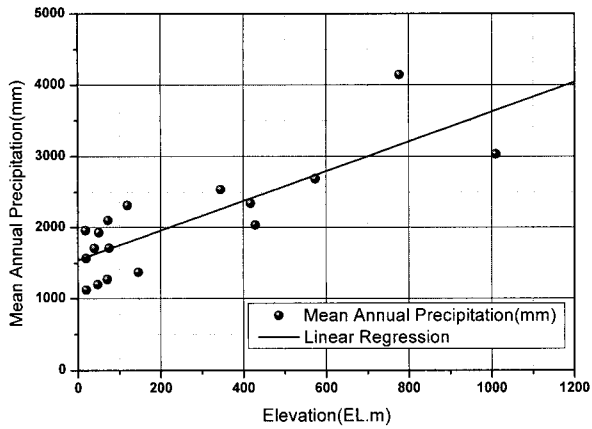


Fig. 6. Mean Annual Precipitation and Linear Regression Curve

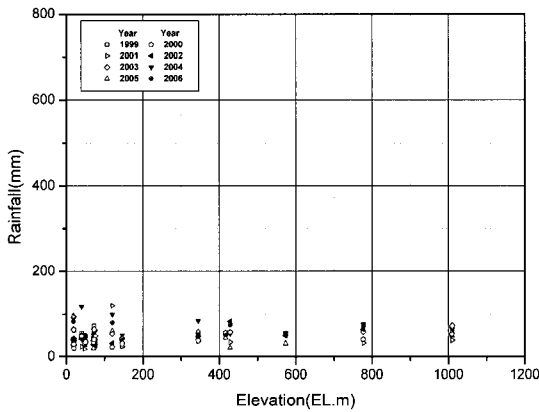
지속시간, 표고 및 강우량의 관계를 알아보기 위하여 강우자료의 지속시간별 최대값을 Fig 7과 같이 도시하였다. Fig. 7을 보면 지속시간 및 표고가 증가함에 따라서 강우량 변화량 및 그 분포범위가 증가하는 것으로

나타났다. 이러한 것을 살펴보면 강우량이 표고뿐만 아니라 지속시간과도 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다. 다만, 지속시간이 짧은 경우에는 표고가 강우량에 미치는 영향이 미미함을 알 수 있다.

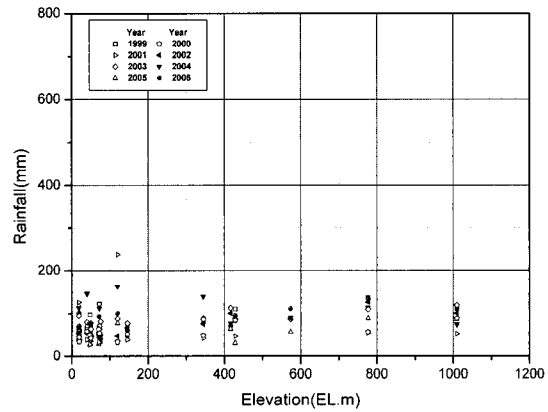
강우자료의 지속시간별 최대값의 평균과 전관측기간의 지속시간별 최대값의 평균을 구하여 Fig. 8과 Fig. 9에 도시하였고, 선형회귀분석을 수행하였다. Fig. 8과 Fig. 9에서 표고가 증가함에 따라 강우량이 증가하였고, 지속시간 및 표고가 동시에 증가할 경우에 강우량이 더욱 증가하였다. 따라서 강우자료의 기간이 증가하더라도 동일한 경향을 나타낼 것이라 판단된다. Fig. 8의 선형회귀분석 결과는 Eq. (2) 및 Table 6과 같다.

$$y = ax + b \quad (2)$$

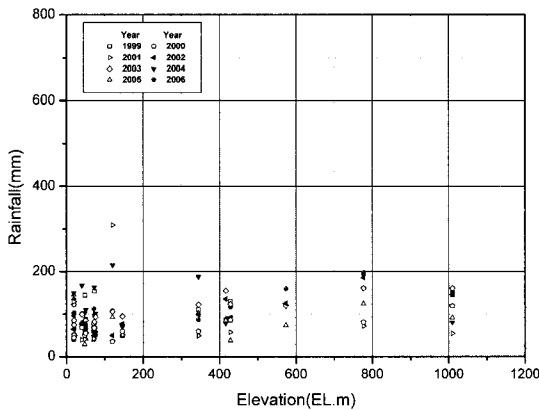
여기서 y는 강우량(mm), x는 표고(EL.m), a와 b는 선형회귀계수이다.



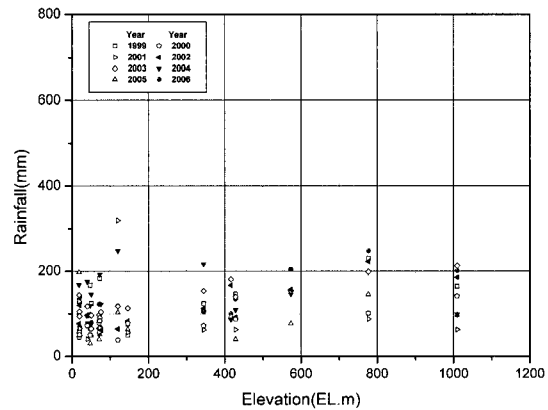
(a) 1hour



(b) 2hour

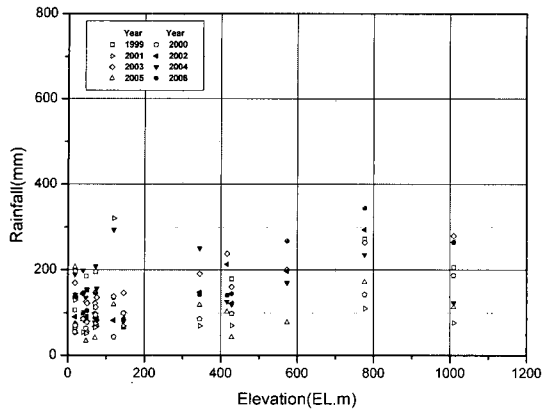


(c) 3hour

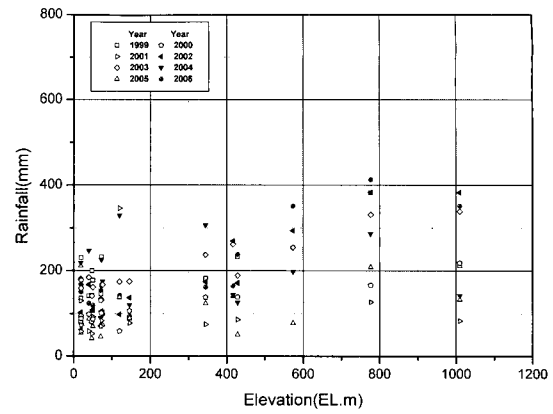


(d) 4hour

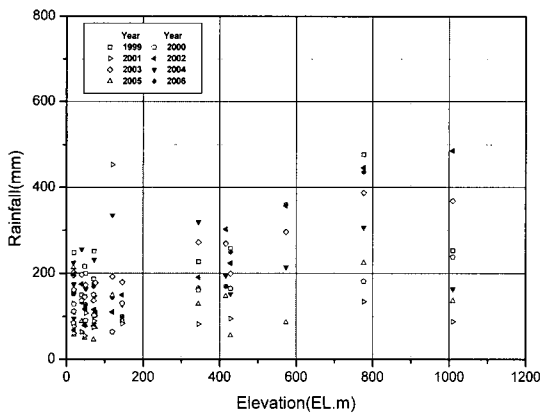
Fig. 7. Maximum Rainfall for each Duration



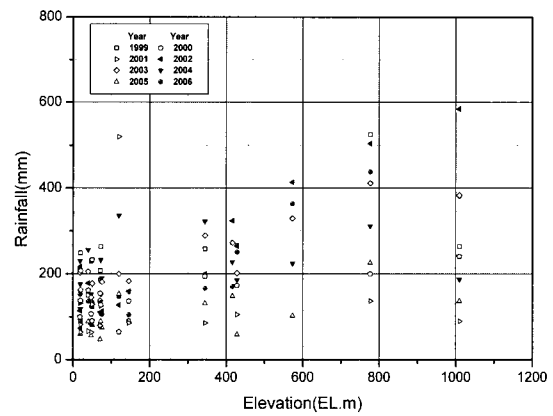
(e) 6hour



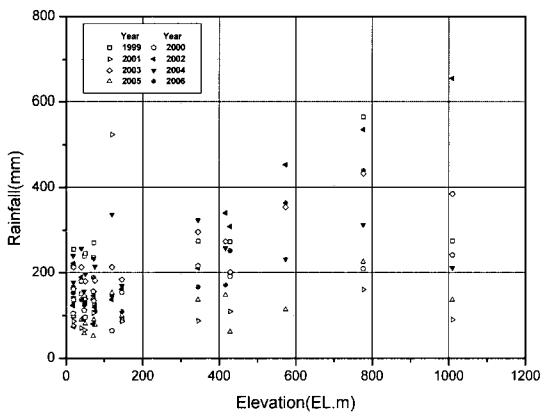
(f) 9hour



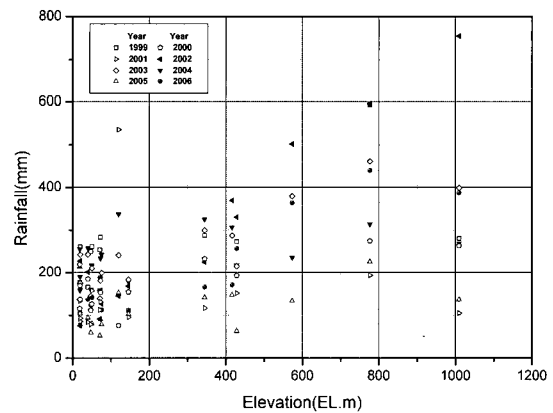
(g) 12hour



(h) 15hour



(i) 18hour



(j) 24hour

Fig. 7. Maximum Rainfall for each Duration (continued)

분석된 결과 강우지속시간 1시간의 경우는 표고가 100m 증가하였을 때 강우량은 1.5mm가 증가하였고, 강우지속시간 12시간의 경우는 표고가 100m 증가하였을 때 강우량은 18.0mm 증가하였고, 강우지속시간 24시간의 경우는 표고가 100m 증가하였을 때 강우량은 22.5mm 증가하였다. 그러므로 산지에서의 강우량은 표

고뿐만 아니라 강우지속시간과도 상관관계가 높음을 알 수 있다. 여기서 강우량은 강우지속시간에 따라 선형적이 아닌 비선형적으로 증가하였다. 따라서 산지에서 강우량을 산정하기 위해서는 표고뿐만 아니라 강우지속시간도 고려해야만 한다.

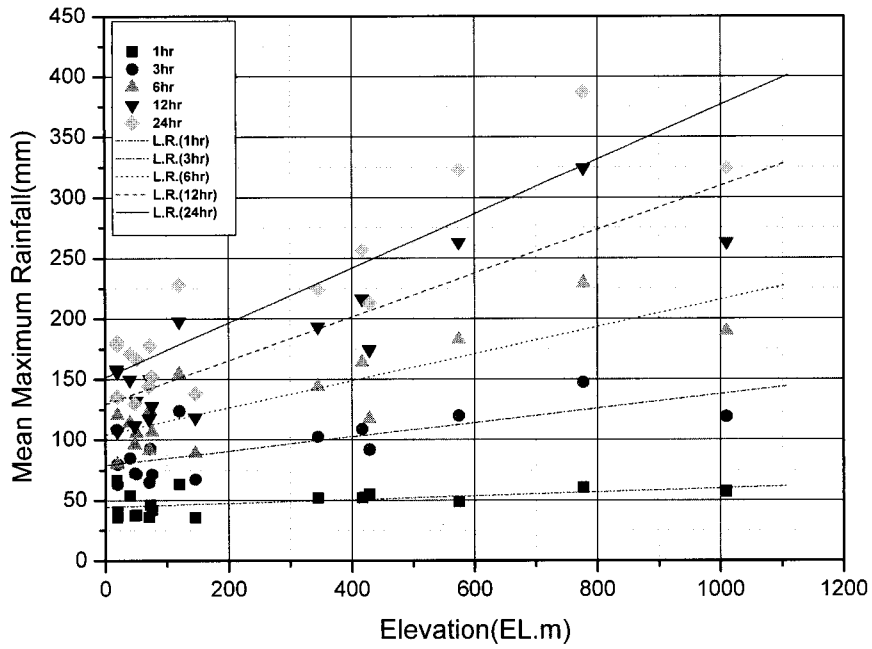


Fig. 8. Mean Maximum Rainfall on Elevation and Duration

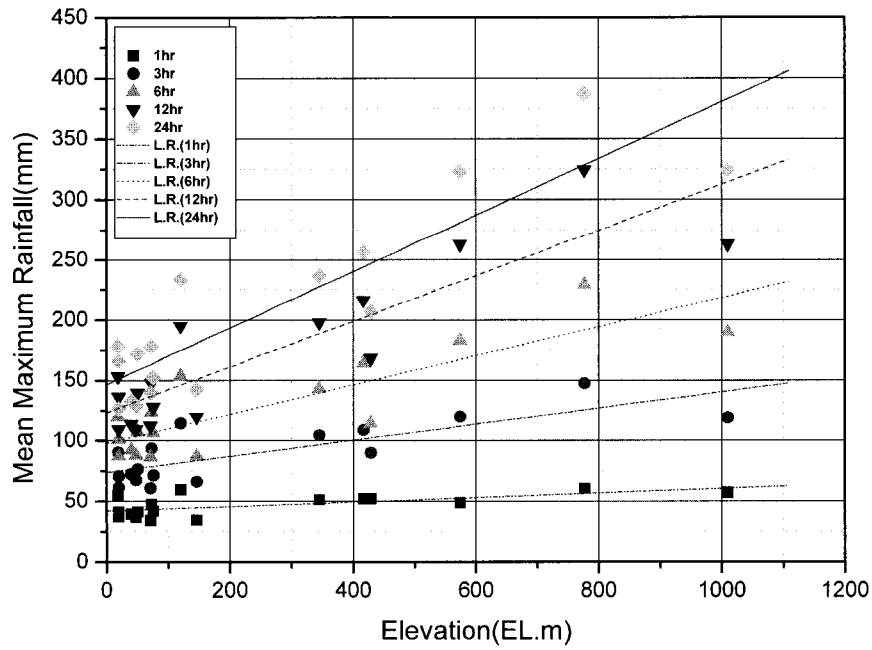


Fig. 9. Mean Maximum Rainfall on Elevation and Duration (all period)

Table 6. Coefficients of Linear Regression

Duration	a	b	Standard deviation	Correlation coefficient
1hour	0.01538	44.43837	9.50196	0.44772
3hour	0.05891	78.88813	18.01399	0.71108
6hour	0.11165	104.12705	24.17972	0.81912
12hour	0.18024	129.33802	31.30136	0.87193
24hour	0.22504	151.50359	34.73178	0.89476

4. 다항회귀분석

강우지속시간의 증가에 따른 강우량 증가비율이 선형적으로 나타나지 않았으므로 본 연구에서는 적합한 모형으로 다항회귀모형(polynomial regression model)을 제시하였다. 다항회귀분석(polynomial regression analysis)이란 종속변수의 변화를 설명하기 위하여 두 개 이상의 독립변수가 사용되는 회귀분석을 말한다. 본 연구에서 제시한 2변수 다항회귀모형은 Eq. (3) 및 Eq. (4)와 같다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \epsilon \quad (3)$$

$$y = \frac{y_o}{y_l} \quad (4)$$

여기서 y 는 강우량보정계수, x_1 는 지속시간, x_2 는 표고, β 는 회귀계수, ϵ 는 오차이고, y_o 는 임의 지점에서 강우량(mm), y_l 는 최저표고에서의 강우량(mm)이다.

본 연구에서는 실제 관측 자료를 이용한 분석(Fig. 10(a))과 Eq. (2) 및 Table 6에서 제시한 선형회귀분석으로 발생시킨 자료를 이용한 분석(Fig. 10(b))을 수행하였다. 실제 관측 자료를 이용하였을 경우에는 성산포의 강우량을 y_l 이라 가정하였고, 선형회귀분석으로 발생시킨 자료를 이용하였을 경우에는 표고 EL.0m의 강우량을 y_l 로 가정하였다. 그 결과는 Table 7 및 Fig. 10과 같다. Fig. 10을 보면 강우지속시간이 증가할수록 표고에 의한 강우 증가량보다 지속시간에 의한 강우 증가량이 크게 나타났다. 따라서 표고보다 강우지속시간이 강우량과의 상관성이 더욱 크다는 것을 알 수 있고 실제 관측자료 보다 선형회귀분석값을 이용하였을 경우가 강우량보정계수가 크게 나타났다. 이러한 차이는 y_l 을 다르게 가정하였고, 선형회귀에 의하여 자료가 이상적으로 생성되었기 때문이다. 그렇지만 표고 및 지속시간에 따른 강우량 증가 현상은 동일하게 나타났다. 또한 지속시간이 증가할수록 강우량은 표고에 의해 더욱 큰 영향을 받음을 알 수 있다.

Table 7. Coefficients of Polynomial Regression

Coefficient	Real value	Adjustment value
β_0	5.7791E-01	8.5797E-01
β_1	3.5247E-02	4.2196E-02
β_2	8.1929E-04	6.2359E-04
β_{11}	-1.1724E-03	-1.7981E-03
β_{22}	-4.3881E-07	0.0000E-00
β_{12}	4.4260E-05	4.6795E-05
Standard deviation	1.7415E-01	7.7469E-02
Correlation coefficient	8.7163E-01	9.8651E-01

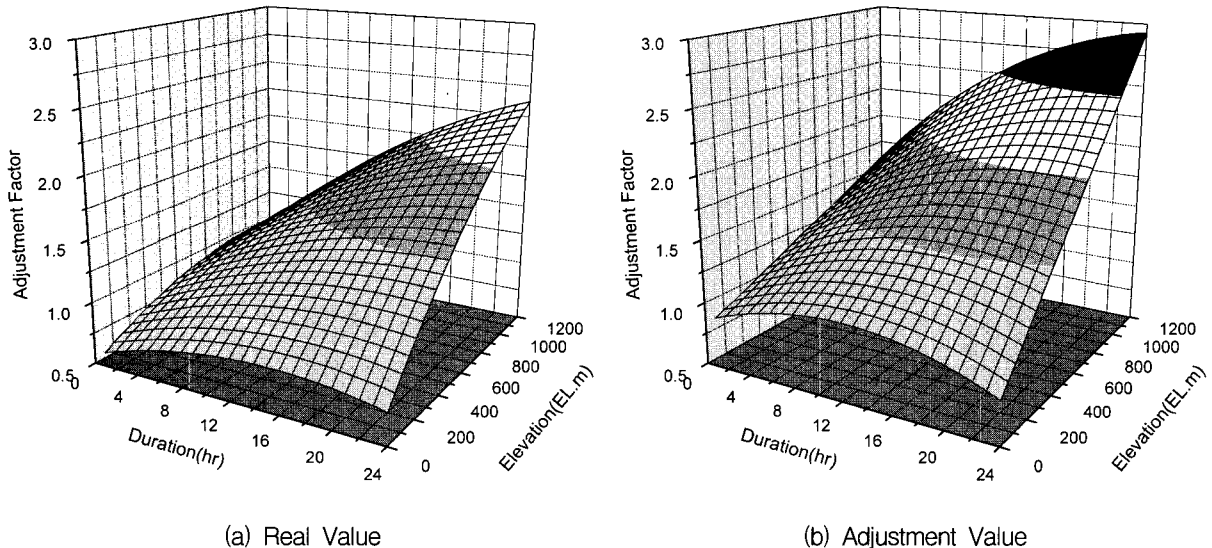


Fig. 10. Rainfall Adjustment Factor on Elevation and Duration

5. 결 론

본 연구는 산지에서 강우 지속시간 및 표고에 따른 강우량 보정에 관한 연구이다. 이를 위하여 제주도 지역의 기상관측소 17개소(기상관서:4개소, AWS:13개소)의 자료를 이용하여 분석한 결과 표고가 증가할 경우 지속시간에 따라 강우량 증가량이 다르게 나타났으며, 지속시간이 작을수록 표고와 강우량의 상관관계가 작은 것으로 산정되었다. 따라서 산지에서의 강우량 산정시 기존의 표고와 연강우량의 관계만을 고려하여 기상관서의 강우량을 보정한다면 과대한 강우량이 산정되나 본 연구에서 제시한 기법을 이용하여 보정한다면 실제 강우량과 비슷한 값을 산정할 수 있다. 이러한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 표고가 증가할수록 지속시간별 시우량은 비선형적으로 증가하였다.
- (2) 지속시간이 작을수록 강우량에 대한 표고의 영향은 미미하였다.
- (3) 지속시간 및 표고에 대한 강우보정계수의 다항회귀식을 제시하였다.

그렇지만 본 연구에서는 AWS 관측기록이 짧고 표고별 관측소가 부족하여 다소 미흡한 적합도를 나타내었다. 또한 지속시간이 짧은 강우의 경우에는 표고보다는 다른 지형 및 기후 조건에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 따라서 추후 풍향, 풍속, 경사 및 지형 등의 독립변수를 추가적으로 고려한다면 더욱 좋은 모형이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

류종인, 방익찬 (1997). "제주지방의 집중호우 경향 분석." **제주대 해양연구논문집**, 제주대학교해양연구소, 제21권, pp. 113-123.

류종인 (1998). 제주도 지방의 집중호우 경향과 사례연구. 석사학위논문, 제주대학교.

Duckstein, L., Fogel, M.M., and Thames, J.L. (1973).

"Elevation effects on rainfall: A stochastic model." *Journal of Hydrology*, Vol. 18, pp. 21-35.

Hanson, C.L., and Johnson, G.L. (1993). "Spatial and temporal precipitation characteristics in Southwest Idaho." *Management of Irrigation and Drainage Systems: Integrated Perspectives*, ASCE, pp. 394-401.

Johnson, G.L., and Hanson, C.L. (1995). "Topographic and atmospheric influences on precipitation variability over a mountainous watershed." *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 34, pp. 68-87.

Karneili, A., and Osborn, H. (1988). "Factors affecting seasonal and annual precipitation in Arizona." *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*, The University of Arizona, Vol. 18, pp. 7-18.

Michaud, J.D., Auvine, B.A., and Penalba, O.C. (1995). "Spatial and elevational variations of summer rainfall in the Southwestern United States." *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 34, pp. 2689-2703.

Suzuki, Y., Nakakita, E., and Ikebuchi, S. (2002). "A Study of Dependence properties of rainfall distribution on topographic elevation." *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering*, Vol. 20, No. 1, pp. 1-11.

Suzuki, Y., Nakakita, E., Hasebe, M., and Ikebuchi, S. (2004). "Study on rainfall-topography relationships in japan with regard to the spatial scale of mountain slopes." *Sixth International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar*, Melbourne, Australia, Poster Session 1.

(논문번호:07-31/접수:2007.03.30/심사완료:2007.07.10)