

PRISM기법을 이용한 강우의 공간분포



정 창 삼
인덕대학 토목환경설계과 조교수
csjeong@induk.ac.kr



엄 명 진
인덕대학 토목환경설계과 겸임교수
movie21@yosei.ac.kr

1. 머릿말

올해도 많은 비가 내려 곳곳에 수해가 발생했다. 이런 수해를 예방하기 위해 방재업무 관계자들이나 시민들은 큰 비가 예상될 때마다 기상청의 예보에 귀를 기울이게 되지만, 늘 웬지 모를 궁금궁에 빠지곤 한다. 우리 지역에는 비가 언제부터 얼마만큼이나 내릴지 정확히 알 수 없기 때문이다. 기상청 예보의 대부분은 “국지성 집중호우”나 “계절라성 집중호우”, 혹은 “곳에 따라 때때로”와 같은 표현을 사용하고 있어 구체성이 부족하고, 상세예보도 “내일 중부지방에는 50~150mm의 비가 내릴 것으로 예측되며, 지역에 따라 최고 300mm의 강우가 예측된다.”와 같은 식의 광범위한 예보를 하고 있기 때문에 내가 근무하고 있는 지역에 언제 얼마동안 얼마만큼의 비가 내릴지 알 수가 없다. 이런 문제를 해결하기 위해 기상청에서는 많은 예산

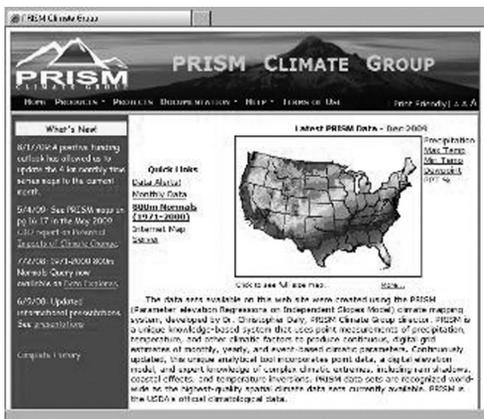
을 투자하여 기상청 홈페이지에 “동네예보 코너”를 개설하여 현재 개발된 최고의 기술을 이용하여 서비스를 제공하고 있으나 관련 방재근무자들의 대다수는 이 자료 외에도 방재기상정보시스템에서 제공하는 레이더나 위성영상 자료 등을 총괄적으로 분석하여 나름대로 지역에 적합한 예측을 통해 방재업무에 임하고 있다. 이러한 예를 보더라도 아직까지 “우리지역에 언제부터 얼마나 많은 비가 내릴지”를 정확히 예측하는 것은 기술적으로 무리가 따르고 할 수 있고 이러한 사실을 받아들이고 있다. 하지만, 내린 비의 경우는 좀 달라야 할 것 같다. 지금까지는 지점 강우관측을 통해 지역별로 얼마만큼의 비가 내렸는가를 판단하고 있지만, 관측소의 지역적 편중이 심하고 국토의 65% 이상을 차지하고 있는 산자유역 등에 대한 공간적 강우 분포를 분석하기에는 무리가 따른다. 나아가 수공구조물의 설계나 사전재해영향성 평가와 같은 방재기준 설정

에서도 점 단위 강우자료나 티센망 각각의 공간 가중치를 적용한 자료들이 적용되어 과다설계 및 과소설계에 대한 문제를 발생시키고 있다. 적절한 강우의 공간분포를 고려하지 못할 경우 설계 강우를 이용한 구조물 설계의 무용론과 같은 문제도 야기할 수 있어 큰 문제가 될 수 있다. 이러한 문제들에 대한 개선 방안의 하나로 미국에서는 NOAA(美 기상청)에서 PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model) 기법을 개발하여 강우의 공간적 분포 정보를 제공하고 있다. 따라서 산지지역이 대부분을 차지하고 있는 우리나라의 현실에서는 고도와 지역적 특성을 고려한 강우의 공간분포 모형의 개발과 적용을 통한 설계 강우량에 대한 연구가 필요하다. 또한, 이러한 연구들을 통해 정밀한 기상관측이 어려운 산악지역에서 발생하는 집중호우나 폭설 등 기상현상의 효과적인 예측을 위해 산악효과를 발생시키는 지형특성과 강수와의 관계를 분석하는 것이 시급하다.

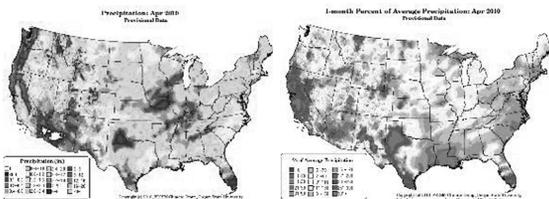
2. 현재까지의 연구

지형특성과 강수와의 관계에 관한 연구는 국내보다는 국외에서 활발히 진행되어 왔다. 초기연구는 주로 고도증가에 따른 강수량의 증가를 파악하는 것을 목적으로 하였으나 Spreen(1947)과 Schermerhorn(1967) 등에 의해 지형인자들을 이용한 강수량산정에 관한 연구가 시작되었다. Basist et al.(1994)은 대규모지역에서 연평균강수량 산정시 공통지형영향인자들을 밝히는 연구를 수행하였으며, 이후 국부지역의 지형인자에 따른 강수량의 변화에 대한 연구도 활발하게 수행중이다(Ninyerola et al., 2000; Wotling et al., 2000; Marquinez et al., 2002). 반면, 주로 연평균강수량을 대상으로 한 기존 연구와 달리 Weisse and Bois(2001)는 French Alps 지역에서 지속시간 및 재현기간별 지형의 영향을 받는 강수량을 산정하여 2,000 m이하의 고도에서는 3시간보다 긴 강우지속시간에 대하여 재현기간이 짧은 경우 더욱 정확하게 강수량이 산정됨을 보였다. 강수 패턴에 대한 지형인자의 물리적 영향을 해석하기 위한 DEM(digital elevation models)을 적용한 연구도 수행되었다(Peck and Schaake, 1990; Daly et al., 1994). 특히, Naoum and Tasanis(2004b)는 GIS를 기반으로 한 AVRU(ArcView Regression Utility)를 개발하여 그리스 Creta섬의 산악지역에서의 강수를 분석하였다.

국내에서도 지형을 적용해 강수를 분석하는 연구가 수행되고 있다. 유철상 등(2004)은 고도와 강수량과의 선형 및 비선형 회귀분석을 수행하여 한강유역에서 강수에 대한 산지효과의 존재여부를 확인하였으나 미미한 것으로 나타났다. 이는 산악효과라는 좁은 지역에 적용되는 지형특성을 한강유역 전체인 대규모 유역에 적용하였기 때문에 지형특성에 의한 효과이외에 기후와 같은 타 요인들의 작용이 더욱 크기 때문으로 판단된다. 엄명진 등(2007)은 제주도의 시우량 자료와 표고별 분포를 이용하여 강우지속기간과 표고와의 관계를 다중회귀분석으로 분석하였으



(그림 1) 미국 NWS의 면적강우량 제공 서비스 (PRISM)



(그림 2) PRISM모형에 의한 2010년 4월 미국 강수량 공간분포

며, 지속기간이 고도보다 강수량과의 상관성이 더 크다는 것을 밝힌바 있다. 다만, 지속기간별 평균 강우량을 사용한 통계적 단점이 있다. 김진성 등(2008)은 제주도를 사면별로 4개의 유역으로 분할하고 Kriging기법을 적용하여 고도에 따른 강우 보정계수를 산정하였으나 유역별 대상 관측소가 적어 분할된 유역의 관측소들은 각 유역의 지형 특성을 대표하기가 어려울 것으로 판단된다. 또한, 엄명진 등(2009)과 정창삼 등(2009)은 강원도 산지유역에 대해 공간분석을 이용하여 강수분포를 분석한 바 있다.

3. 적용 사례

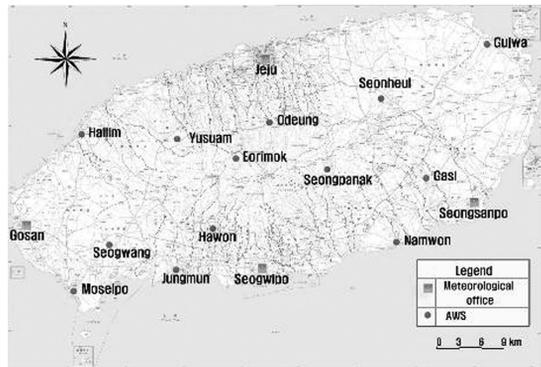
본 고에서는 산악효과가 명확히 예상되는 제주도 지역과 강원도 지역을 대상 유역으로 적용하여 보았으며, 연구 결과들은 엄명진 등(2007)과 정창삼 등(2009)의 논문들을 중심으로 분석하였다.

3.1 제주도

먼저 적용된 대상지역으로 1959년 사라를 비롯한 2002년 루사, 2003년 매미 등과 같은 대형 태풍 내습시 발생한 순간적인 집중호우로 심각한 수해를 경험한 제주도를 선정하였다. 특히, 제주도의 호우는 2007년 태풍 나리 내습시의 강수형태에서 알 수 있듯이 성판악에서 가장 많은 556 mm, 제주시에서 420 mm, 서귀포에서 323 mm와 같은 지역적인 차이를 나타낸다. 또한, 순간적인 집중호우는 태풍 나리의 경우 10일 동안 연평균강수량의 70%에 달하는 강수량이 내려 심각한 피해를 발생시켰다. 이는 섬 전체가 가운데 위치한 한라산을 중심으로 산악지형을 형성하므로 산을 따라 공기가 상승함에 따라 냉각, 포화되어 지형의 영향으로 특정지역의 상공에서 응집한 수증기가 발생시키는 집중호우의 결과로 판단된다.

제주도내에는 지상기상관측이 이루어지는 4개 관서(제주, 서귀포 성산포, 고산)와 악기상 연속감시를 위한 방재용 AWS(Auto Weather Station) 20개소를 설치하여 운

영하고 있다. 그러나 엄명진 등(2007)의 연구에서는 관측소 위치 및 자료기간 등을 고려하여 총 17개의 기상관측소(기상관서: 4개소, AWS: 13개소)의 강우자료를 사용하였다. 각 관측소의 현황과 위치는 다음 그림과 같다.



〈그림 3〉 제주도내 기상관측소 현황

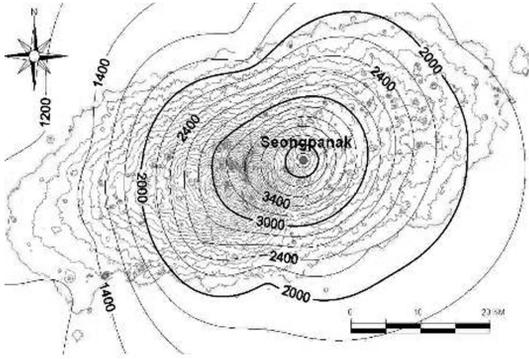
지속시간 및 표고에 따른 강수량 분포를 분석하기 위해서 앞에서 채택한 강우관측소의 시우량 자료를 수집하여 자료의 이상치 및 관측기간이 결측된 해의 자료는 배제하였다. 엄명진 등(2007)의 연구에서는 지속시간 및 표고가 강우에 미치는 영향을 파악하기 위하여 다음과 같은 분석 방법을 채택하였다.

- 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.

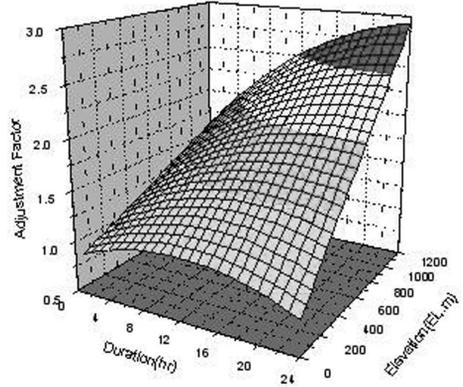
강우자료를 분석하여 관측소별 연평균강우량을 산정하였고, 그 결과는 표 1과 같고 그림 4와 같은 등우선도를 작성하였다.

〈표-1〉 연평균 강수량

관측소	연평균강수량 (mm)	관측소	연평균강수량 (mm)	관측소	연평균강수량 (mm)
제수	1567.6	하원	2341.9	남원	2100.9
서귀포	1930.4	유수암	2037.6	구좌	1710.0
고산	1272.4	선흘	2537.9	성판악	4142.9
성산포	1959.4	서광	1372.6	가시	2310.2
중문	1712.3	어리목	3032.4	모슬포	1122.3
오등(오래)	2686.1	한림	1202.5		

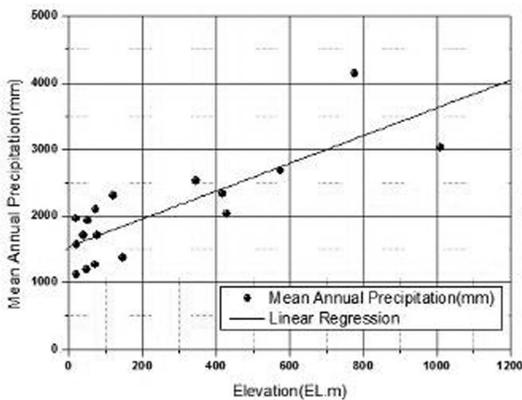


〈그림 4〉 등우선도



〈그림 6〉 고도 및 지속시간에 대한 강우보정계수

그림 4를 보면 표고가 증가할수록 연평균강우량도 증가하는 것으로 나타났다. 다만 한라산을 중심으로 강우량이 증가하지 않고 다소 남동쪽으로 치우친 성판악 부근을 중심으로 강우량이 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 표고뿐만 아니라 다른 기후 및 지형조건이 강우량에 영향을 미치기 때문이다. 또한, 연평균강우량과 표고를 선형회귀분석한 결과 상관계수 0.82의 적합도를 나타내었고, 표고가 증가함에 따라 연강우량이 증가하였다.



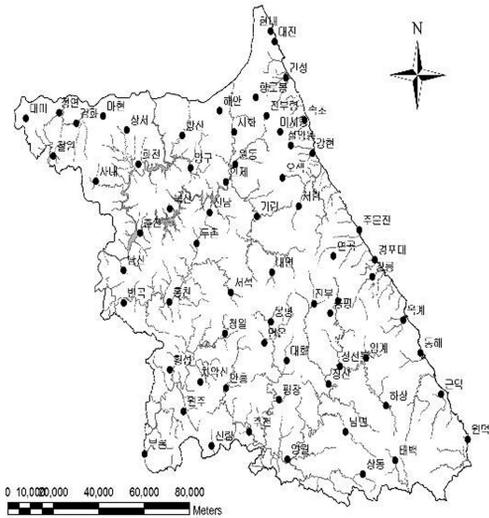
〈그림 5〉 연평균강수량에 대한 선형 회귀

엄명진 등(2007)의 연구에서는 강우지속시간의 증가에 따른 강우량 증가비율이 선형적으로 나타나지 않았으므로 다항회귀모형(polynomial regression model)을 이용하여 적합한 모형을 그림 6과 같이 제시하였다.

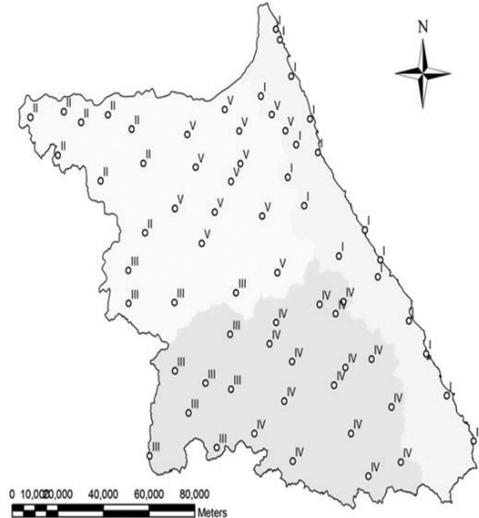
3.2 강원도

강원도는 한반도 중앙부의 동측에 위치하고(북위 37° 02' ~ 38° 37', 동경 127° 05' ~ 129° 22') 태백산맥을 중심으로 영동과 영서로 크게 구분되어 있다. 강원도의 총 면적 20,569km²이며 동서의 길이는 약 150km, 남북은 약 243km에 달하며, 동쪽은 약 314km에 걸쳐 해안선을 이루고 있다. 강원도는 면적의 대부분이 산지로 형성된 산악도(山岳道)이며 태백산맥 동쪽은 경사가 급하여 해안평야의 발달이 취약하고, 태백산맥 서쪽은 경사가 완만하여 남·북한 간의 대하천이 발달하고 산지가 여러 곳에 분포되어 있다. 강원도는 온대성 기후대로 여름에는 고온·다습하며, 겨울에는 한랭·건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하다. 또한, 강원도는 태백산맥의 좌우인 영동지방과 영서지방의 기후가 매우 다른 특성을 보이고 있다. 일반적인 기상특성을 보면 산맥의 급한 경사면을 따라 내려와 바다로 연결되는 영동지방은 해양성기후에 가까운 기상특성을 많이 보이고 있는 반면, 영서지방은 우리나라의 중앙내륙에 위치해 있어 대륙성기후에 가까운 특성을 보이고 있다. 또한 산맥의 정상부를 중심으로 한 산악지방은 산악기후의 특성을 가지고 있어 복잡한 기상현상을 나타내고 있다(강원도청, 2009).

강원도내 관측소로 지상기상관측이 이루어지는 12개소와 악기상 연속감시를 위한 방재용 AWS(Auto Weather



〈그림 7〉 강원도내 강우 관측소



〈그림 8〉 군집분석 결과

Station) 67개소를 설치하여 운영하고 있다. 그러나 본 연구에서는 강원도 기상현상의 효과적인 감시를 목적으로 설치되었지만 자료기간이 7년 미만인 곳을 제외한 지상관측소 11개소 및 AWS 55 개소 (총 66개소)의 시우량 자료를 사용하였다. 자료기간은 각 관측소의 자료시점부터 2008년 12월까지의 자료를 적용하였다. 연구에 적용된 각 관측소의 현황과 위치는 그림 7과 같다.

정창삼 등(2009)의 연구에서는 관측소의 위치, 계절강수량 및 연강수량 등을 고려하여 강수특성이 비슷한 지역으로 세분하였다. 지역구분을 위하여 군집분석 방법인 K-means 방법을 적용하였다. 또한 군집분석 이전에 강수량상이 판이하게 다르다고 알려진 영동지방과 영서지방은 태백산맥을 기준으로 구분하였으며, 군집분석 자료는 각 관측소의 지리적 위치(경도, 위도, 고도), 월별, 계절별 및 연평균 강수량을 적용하였다. 이러한 군집결과는 그림 8에 나타내었다.

지역 I는 영동지방을 나타내며, 지역 II-V는 영서지방을 나타낸다. 군집분석은 영서지방(지역 II-V)에 대하여 실시하였다. 군집분석 결과 북한강 지역은 지역 II 및 지역 V, 남한강 지역은 지역 IV으로 구분되었고 지역III은 북한강 지역 일부 및 남한강 지역 일부로 군집되어졌다.

영서지방을 기준으로 보면 동서방향으로는 지역 II 및 III, 지역 IV 및 V로 구분되고 남북방향으로는 지역 II, III 및 V, 지역 IV으로 구분된다. 이는 영서 지방의 강수 및 지역이 산맥의 영향을 많이 받은 것으로 나타난다. 동서 방향으로 구분된 지역을 살펴보면 지역 II 및 III은 지역 IV 및 V에 비하여 고도가 낮은 것을 알 수 있다. 이는 지역 IV 및 V는 산맥의 형성이 활발히 이루어진 태백산맥과 차령산맥 등의 중심부에 있기 때문이다. 또한 남북 방향으로 구분되어진 지역을 살펴보면 지역 II, III 및 V와 지역 IV는 사이에는 산줄기가 형성 되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 정창삼 등(2009)의 연구에서는 군집분석으로 나누어진 지역 I-V, 영동 및 영서 지방, 강원도 전체 지방에 대하여 계절별(봄, 여름, 가을, 겨울) 및 연평균 강수량을 분석하였다. 본 고에서는 연평균 및 여름철 강수량에 대하여만 수록하였다.

가. 연강수량의 특성

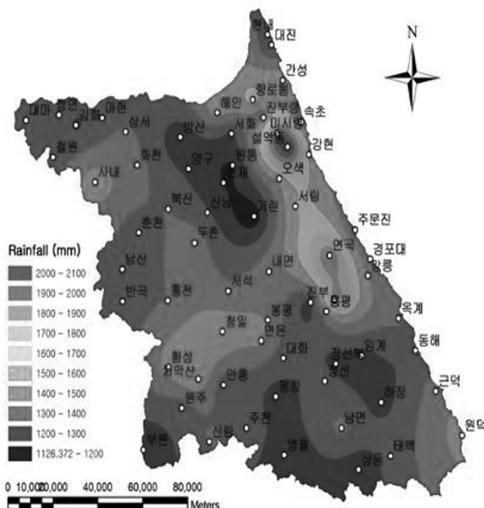
강원도의 연평균 강수특성을 분석하여 그림 9에 나타내었다. 강원도 전체적으로 평균강수량이 1423.23 mm로 우리나라 평균강수량 1283 mm (한국수자원학회, 2009)보다 약 140 mm 많은 연강수량을 보였다. 이는 강원도

지역의 대부분이 산악지형이고 해안에 접하여 있는 면적이 크기 때문인 것으로 판단된다. 영동지방이 영서지방에 비하여 평균강수량이 141.27 mm 크게 나타났다. 이는 영동지방이 해양성 기후의 영향을 받아 가을 및 겨울철에 영서지방보다 많은 강수를 나타내었기 때문이다. 영서지방에서는 지역 III이 유일하게 연평균 강수량이 1400 mm를 넘는 것으로 나타났으나 최대 연강수량은 지역 IV 및 V에서 발생하였다. 이는 지역 IV 및 V가 평균강수량은 지역 III보다 작으나 태백산맥에 근접한 관측지점이 있어 산악기후의 영향을 받은 것으로 판단된다. 그림 9를 살펴보면 연평균 강수량 1300 mm 이하인 지역은 전체 강원도 지역의 16.49%로 대부분의 지역은 우리나라 연평균 강수량보다 많은 강수가 발생하고 있음을 알 수 있다. 연평균 강수량 1300-1600 mm 지역이 76.66%로 강원도 지역 대부분을 차지하나 연평균 강수량이 1600 mm를 넘는 지역도 6.84%에 달하는 것으로 나타났다. 특히 용평 및 대관령 지역 및 향로봉, 미시령, 설악동 및 오색 지역의 강수량이 크게 나타났다. 임계 및 하장 부분의 강수는 전반적으로 낮게 발생하였는데 이는 태백산맥이 그 지역에서 영동지방과 영서지방을 확실히 나눌 정도 높지 않기 때문에 영동지방과 영서지방간의 기후소통이 원활하게 이루어

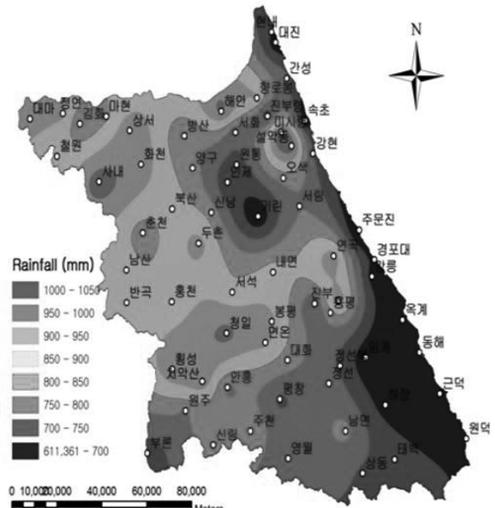
어지기 때문인 것으로 판단된다. 또한 서화, 원통, 인제, 기린, 내면, 진부령, 미시령, 오색, 서림, 연곡 및 대관령 등지에서는 국부적으로 고도에 따른 산악형 강수특성이 나타나는 것으로 판단된다.

나. 여름의 강수 특성

여름철 강원도의 강수특성을 분석하여 그림 10에 나타내었다. 6월에는 북한강 지역(지역 II 및 V) 및 영동지방(지역 I)의 평균 강수량이 작게 나타났다. 또한 영서 지방의 평균강수량이 영동지방 보다 17.7 mm 크게 나타났다. 7월에는 강원도지역에서 연중 최대 편차인 60.08 mm를 나타내어 지역별 강수량 분포가 현저히 다름을 알 수 있다. 북한강 서부 지역(지역 II)의 변동성이 작게 나타났으나 평균 강수량은 가장 큰 400.35 mm를 보였으며 영동지방 및 산악지방(지역 IV 및 V)의 변동성이 크게 나타났으며 그 지역의 강수량 차이가 162.43-193.91 mm로 매우 크게 산정되었다. 따라서 동일 강수 지역에서도 지역별 편차가 심하게 나타날 수 있음을 알 수 있다. 8월에는 강원도 전체 적으로 고르게 강수가 크게 발생하였다. 지역별(지역 I-V) 편차는 크지 않음을 알 수 있다. 여름철에는 영동지방에서 강릉 위쪽의 북부지역의 강수량이 남부 지역보다



<그림 9> 연평균 강우량의 공간분포



<그림 10> 여름철 강우공간분포

매우 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 북한강 지역이 남한강 지역보다 전반적으로 강수량이 크게 분포되었다. 북한강 지역에서는 지역 V중 원통, 인제, 기린 지역을 제외한 모든 지역이 강수량이 크게 나타났으며 남한강 지역에서는 북부지역의 강수량이 크게 나타났고 남부지역으로 갈수록 작게 산정되었다.

4. 결론

앞에서도 언급했듯이 기존의 면적강우량 산정기법으로는 우리나라의 지역특성을 반영하여 강우의 공간분포를 반영하기 힘든 실정이다. 하지만 산악지형이 65% 이상인 우리나라에서는 적합하지 않는 기법이지만 실무에서는 사용의 간편성 및 편리성 등을 이유로 단순 산술평균법 또는 Thiessen의 가중법을 이용하여 유역평균 강우량을 산정하는 실정이다. 편리성 위주로 산정된 유역 평균 강우량은 유출량을 과소하게 추정할 수 있기 때문에 신중한 판단이 필요하다. 이러한 문제점들을 일부 선진국에서는 확실히 인지하고 그에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 현실이다. 특히, 미국에서 지속적인 연구가 이루어지고 있는

PRISM 기법을 이용한 공간분포는 우리에게 많은 시사점을 주고 있다. 특히 강우의 연구를 단기적인 연구로 취급하지 않고 매년 꾸준히 미국 USDA 및 NOAA 등의 지원을 받아 미국 전역에 상세 강우분포 자료를 제공함으로써 재해예방을 위한 노력을 하고 있는 점은 주목할 점이라 판단된다. 최근 들어 기상청에서도 면적강우량의 산정에 많은 관심을 가지고 관련 연구들을 진행하고 있는 것은 매우 긍정적인 신호라 판단된다. 향후 우리나라에서도 강우에 대한 지속적인 연구를 통하여 검증된 자료를 제공할 수 있게 된다면 홍수 재해 예방에 상당한 도움을 주리라 생각된다.

참고문헌

1. 엄명진, 조원철, 임해욱 (2007) 지속시간 및 표고에 따른 강수량 보정에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 40(7), pp. 511-521
2. 정창삼, 엄명진, 조원철 (2009) 공간분석을 이용한 강원도 지역의 강수분포 분석 (I): 강수지역 구분과 계절별 및 연평균 강수량 분석, 한국방재학회 논문집, 9(5), pp. 103-113