

크리깅 기법을 이용한 강우의 공간보정과 분포형 모형의 적용

Spatial Adjustment of Rainfall using Kriging Method and Application of Distributed Model

김진성*, 임해욱**, 엄명진***, 김원일****, 안원식*****

Jin Sung Kim, Hae Wook Rim, Myoung Jin Um, Won Il Kim, Won Sik Ahn

요 지

제주도는 표고가 높은 산악지형으로 이루어져 있으며, 산악지형에서의 강수 발생일수와 강수량 값은 평지보다 월등히 높으므로 수자원 설계시 표고에 따른 강우 보정을 실시한다. 그러나 현재 실무에서 적용되고 있는 시우량 자료를 이용한 표고와 연강우량의 관계에 따른 보정 방법은 여러 문제점을 야기시키고 있다. 이에 본 연구에서는 크리깅 기법을 이용하여 새로운 강우보정 방법을 제시하였으며, 격자형 강우보정계수를 산정하여 보정된 강우를 분포형 모형에 적용하였다. 제주도내 17개 강우관측소 및 제주 재난안전대책본부 41개 관측소의 강우자료를 이용하여 공동크리깅을 수행하였고, 격자 형태의 강우보정계수를 산정하였다. 제주 관측소의 강우자료로 확률강우량을 산정하여 강우보정을 하였고, 분포형 모형에 적용하여 유출량을 산정하였다. 또한, 기존 고도보정 방법 및 HEC-HMS 모형으로 산정된 유출량과 비교하였다. 본 연구에서 제시한 강우보정 방법으로 지속시간에 따른 강우 증가를 고려할 수 있을 뿐만 아니라 고도에 따른 강우보정시 홍수량이 과대 산정되는 문제점을 해결할 수 있었다.

핵심용어 : 강우보정, kriging, Vflo

1. 서 론

제주도는 표고가 높은 산악지형으로 이루어져 있으며, 산악지형에서의 강수 발생일수와 강수량 값은 평지보다 월등히 높다. 제주도 내의 우량관측소는 EL. 20~70 m 정도의 저지대 위치해 있기 때문에 강우량 산정시 고도와 강우량의 관계를 도시하여 고도에 따른 강우보정 실시하고 있다. 그러나 현재 실무에서 적용되고 있는 시우량 자료를 이용한 표고와 연강우량의 관계에 따른 보정 방법은 여러 문제점을 야기시키고 있다.

엄명진 등(2007)은 제주도내 기상관서 관측소 및 AWS(Automatic Weather Station) 강우자료를 이용하여 지속시간을 고려한 표고와 강우량의 관계를 다중회귀분석 방법으로 분석하였으며, 임해욱(2007)은 병문천과 도근천 유역에 HEC-HMS 모형을 이용하여 고도보정 방법의 적용성을 평가하였다. 그렇지만 제주도는 한라산을 중심으로 사면별 기후 특성이 다르므로 하나의 강우보정 식으로 제주도 전 유역의 강우특성을 반영하기에는 다소 무리가 있다.

본 연구에서는 제주도의 지역적 강우특성을 반영하기 위해 지구통계학적 공간자료의 처리기법인 크리깅(Kriging) 기법을 이용하였으며, 공간 분포된 강우를 격자 형태로 변환하였다. 변환된 강우량으로 강우 고도보정계수를 산정하였으며 확률강우량에 보정계수를 적용하여 분포형 모형인 Vflo 모형의 강우입력 데이터를 생성하였다. Vflo 모형으로 산정한 유출 결과와 기존에 발표된 고도보정 방법을 HEC-HMS에 적용하여 산정된 유출 결과를 비교·분석하였다.

* 정회원 · 수원대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : style_move@hanmail.net

** 정회원 · 수원대학교 토목공학과 박사과정 · (주)서영엔지니어링 전무 수자원개발기술사 · E-mail : hwrim@seoyeong.co.kr

*** 정회원 · 연세대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : movie21@empal.com

**** 정회원 · 수원대학교 토목공학과 박사수료 · E-mail : wikim@suwon.ac.kr

***** 정회원 · 수원대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · E-mail : wsan@suwon.ac.kr

2. 기본이론

2.1 크리깅 기법

단순크리깅은 오차분산을 최소로 하는 가중치를 구하여 주위의 알려진 값들의 선형조합으로 미지값을 예측하는 기법이다. 하지만 단순크리깅 추정식은 편향되어 추정식의 평균이 모집단의 평균과 일치하지 않는 문제점이 있으므로, 본 연구에서는 추정식이 편향되지 않으면서 오차분산을 최소로 하는 크리깅 기법인 정규크리깅(Ordinary kriging) 방법을 사용하였다. 또한 두 가지 이상의 변수의 선형조합을 사용하여 자료가 알려지지 않은 지점에서 값을 예측하는 공동크리깅(co-kriging) 방법을 사용하였다(최종근, 2007). 정규크리깅의 방정식은 다음과 같다.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \rho_{ij}^2 - \omega = \sigma_{0i}^2, \quad i=1, n \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2)$$

2.2 분포형 모형 Vflo

Vflo는 GIS를 이용한 물리적 기반의 완전분포형 모형으로 격자형의 지형 매개변수 및 강우 자료를 입력하고, 구축된 배수 격자망에서 운동과 방정식과 유한요소법으로 계산되어지는 흐름에 의한 유출량을 산정하게 된다. 초과강우로부터의 지표 흐름 해석을 위한 1차원 연속 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} = R - I \quad (3)$$

3. 표고에 따른 강우의 보정

3.1 기존 고도보정 방법

제주도 지역의 표고에 따른 강우량 보정을 위한 방법으로는 제주도 수해방지 종합기본계획 보고서(2006)에서 제시한 방법(Jeju, 식(4.a) ~ 식(4.d))이 있으며, 엄명진 등(2007)이 개발한 방법(Um)은 식(5)와 같다.

$$y=0.1692x+100.89 \quad (\text{동측사면}) \quad (4.a)$$

$$y=0.1244x+77.541 \quad (\text{북측사면}) \quad (4.b)$$

$$y=0.1136x+98.88 \quad (\text{서측사면}) \quad (4.c)$$

$$y=0.187x+74.742 \quad (\text{남측사면}) \quad (4.d)$$

여기서 y 는 강우보정율(%), x 는 표고(m)이다.

$$y=\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\beta_{11}x_1^2+\beta_{22}x_2^2+\beta_{12}x_1x_2+ \quad (5)$$

여기서 y 는 강우보정계수, x_1 은 지속시간(hr), x_2 는 표고(m), β 는 회귀계수, ϵ 은 오차이다.

3.2 크리깅을 이용한 고도보정 방법

크리깅을 수행하기 위한 강우입력 자료로서 제주도내 17개 강우관측소(기상관서 4개소, AWS 13개소)의 1998년 ~ 2007년까지 최근 10년간의 시강우자료를 이용하였으며, 각 년도에 따라 지속시간별 최대강우량을 산정하였고, 이를 평균하여 크리깅의 입력변수로 사용하였다. 강우관측 기간이 짧은 AWS의 경우, 관측개시일로부터 2007년까지의 강우자료를 사용하였다. 관측소의 표고 및 지속시간별 최대강우량은 표 1과 같다.

표 1에서와 같이 표고와 지속시간이 증가할수록 강우량이 더욱 커지며, 제주도의 지형적 영향으로 인해 북서지역 보다 남동지역의 강우량이 더욱 크게 나타난다. 제주 재난안전대책본부(41개소)의 2004년 ~ 2007년까지의 시강우자료를 이용하여 6 ~ 9월까지의 평균강우량을 산정하였고 공동크리깅의 이차변수로 사용되었다. 또한, 제주도에 많은 영향을 미친 태풍 나리에 대한 기상청의 CAPPI 합성 레이더 자료를 오경두(2007)가 제시한 레이더 영상 디지털 변환법(RAIDOM, RAdar Image DigitalizatiOn Method)으로 격자 형태의 강우 데이터를 생성하여 크리깅의 입력자료로 사용하였다.

표 1. 지속시간별 최대 강우량의 평균값 (mm)

지역	관측소	표고(m)	강우관측 개시일	지속 시간							
				1hr	2hr	3hr	6hr	9hr	12hr	18hr	24hr
북서지역	제주	20	1923.05	42.6	64.9	86.0	136.4	163.2	183.6	199.0	212.4
	모슬포	20	1999.06	34.5	51.6	60.0	77.8	93.9	106.3	124.3	132.7
	한림	48	1994.02	38.0	60.3	73.2	100.0	114.6	124.2	136.5	143.3
	고산	71.2	1988.05	35.4	55.1	66.3	92.6	106.5	120.2	137.3	146.3
	서광	146	1993.02	37.7	60.4	69.0	89.9	111.9	122.0	136.6	145.6
	유수암	429	1993.01	53.5	81.3	94.2	124.5	158.8	179.1	202.7	216.1
	오라	574	2002.01	55.3	92.8	121.4	187.6	240.3	270.0	312.2	329.1
남동지역	어리목	1010	1995.04	57.3	94.0	117.9	186.4	229.0	262.2	300.8	332.7
	성산포	18.6	1971.05	69.8	93.8	112.7	140.2	161.3	170.6	181.5	199.1
	구좌	40	1995.01	49.4	67.9	81.5	108.5	130.4	143.5	157.9	171.3
	서귀포	50.5	1961.01	43.4	62.9	79.7	114.0	139.4	152.8	169.0	188.3
	남원	73	1994.02	51.3	79.7	97.0	128.0	143.5	153.0	171.0	184.5
	중문	76	2002.01	44.0	63.8	75.6	108.6	125.9	133.4	146.8	156.5
	가시	120	1999.06	57.2	87.7	108.4	144.2	168.7	180.8	206.8	222.9
	선홍	345	1993.01	50.9	78.8	98.2	139.7	174.3	193.8	215.0	233.7
	하원	417	2002.01	61.6	102.2	123.1	176.1	207.2	228.2	251.1	266.5
성관악	777	1998.11	64.4	108.3	148.7	230.2	288.5	325.1	364.8	389.4	

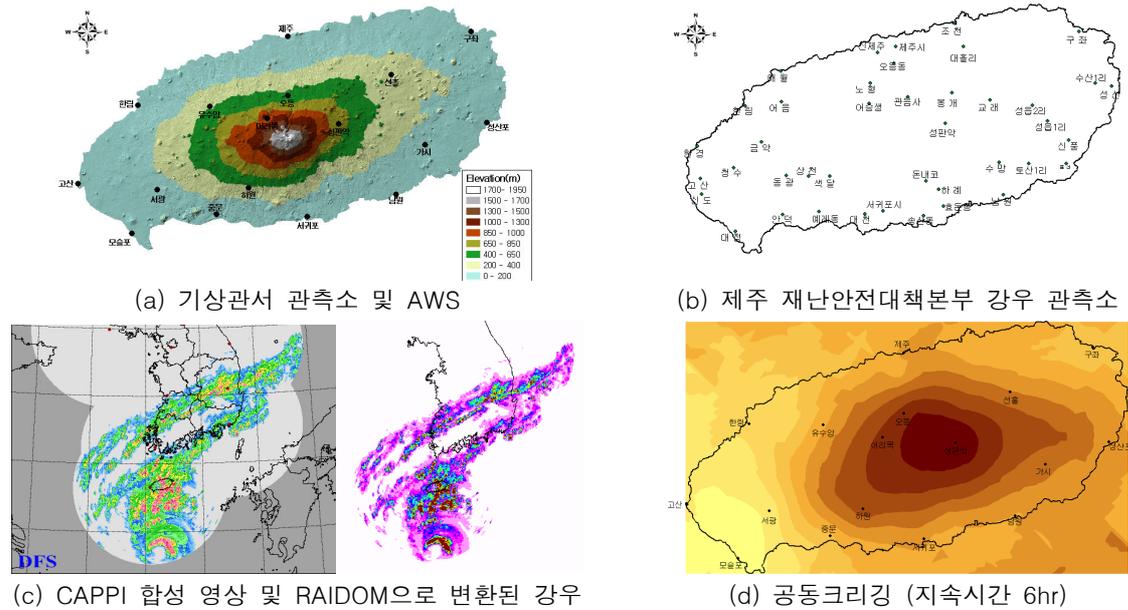


그림 1. 관측소 및 강우 데이터의 처리

강우의 공간분포를 수행하기 위하여 3가지의 크리깅 방법을 수행하였다. 첫 번째 방법으로는 표 1의 강우량을 이용하여 정규크리깅을 실시하였고, 두 번째 방법은 표 1의 강우량을 주변수로 입력하고 태풍 나리의 레이더 강우자료를 이차변수로 하는 공동크리깅 방법이며, 마지막으로 제주 재난안전대책본부의 41개 관측소의 강우자료를 공동크리깅의 이차변수로 입력하는 방법이다. 세 가지의 방법을 비교한 결과 표 2의 RMSE(Root Mean Square Error)의 값이 가장 작은 3번 방법이 가장 적합한 것으로 나타났다. 3번 방법으로 분석된 강우의 공간분포는 그림 1(d)와 같다.

2번 방법의 레이더 강우를 이용한 공동크리깅의 경우, 레이더 강우 분석시 태풍 나리에 대한 자료만을 사용했기 때문에 강우자료의 부족으로 인하여 제주도의 강우 특성을 충분히 반영하지 못해 RMSE가 1번의 정규크리깅 방법보다도 크게 나타난 것으로 판단된다. 이는 공동크리깅의 이차변수 결정시 주변수와 상관관계가 높은 자료를 선정하는 것이 중요하다는 것을 보여준다.

표 2. RMSE 비교

지속시간	1. 정규크리깅	2. 공동크리깅 (레이더 강우자료)	3. 공동크리깅 (대책본부 강우자료)
1hr	8.08	8.01	7.53
2hr	12.47	12.35	9.43
3hr	16.33	16.80	11.04
6hr	24.17	30.24	13.82
9hr	32.60	39.35	15.99
12hr	38.55	45.61	17.65
18hr	45.35	53.10	18.29
24hr	47.79	56.99	20.34

3.3 고도보정 계수의 산정

고도보정 방법의 비교·분석을 위해서 3가지 보정 방법으로 사면별 고도보정 계수를 산정하였다. 대상구역으로는 사면별로 4개 유역을 선정하였다. 북부지역은 유역평균고도 437 m의 병문천 유역, 서부지역은 429 m의 금성천 유역, 남부지역은 679 m의 효돈천 유역, 동부지역은 375 m의 천미천 유역을 선정하였다. 지속시간에 따른 고도보정 계수를 그림 2의 그래프로 도시하였다. 여기서, Jeju 및 Um은 기존 고도방법이며 Kriging은 본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 산정한 계수를 나타낸다. 북부와 서부 그리고 남부와 동부지역의 강우보정 그래프가 비슷한 경향을 나타낸다. 이는 제주도의 사면별 강우의 특성을 잘 보여주고 있다.

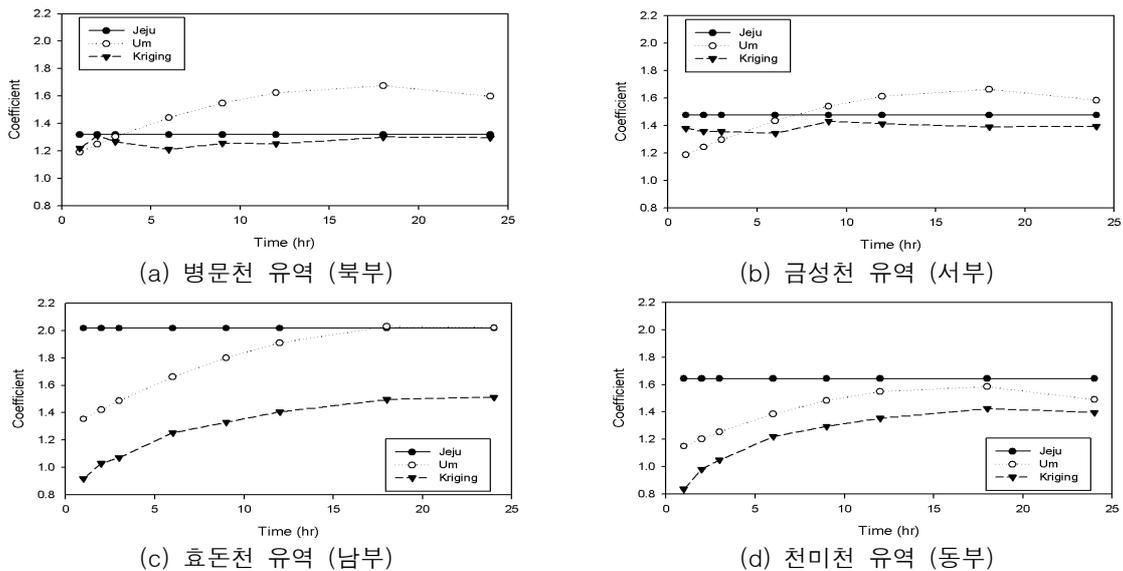


그림 2. 유역별 고도보정 계수의 산정

표 1에서 표고에 따른 강우량 값을 검토해 보면 지형적 영향으로 인하여 표고에 비해 강우량이 낮은 지역이 존재한다. 그러나 기존의 강우 고도보정 방법은 이러한 현상을 반영하지 못하므로 표고가 증가할수록 계수 값도 계속 증가하여 보정 확률강우량이 과대하게 산정된다. 또한 표고별 연평균 강우량만을 이용하여 개발된 Jeju 방법의 경우, 표고별 강우일수를 고려하지 않았으므로 표고가 높은 지역에서의 강우일수 증가에 따른 강우량 오차가 포함되어 있다. 반면에, 크리깅을 이용한 방법은 지속시간별 최대 값을 이용하여 지역별로 강우를 추정하므로 보정계수가 과대 산정되는 문제점을 해결할 수 있을 뿐만 아니라, 지속시간에 따른 강우 증가도 고려할 수가 있다.

4. 분포형 모형의 적용

분포형 모형의 대상유역으로는 임해옥(2007)이 고도 보정된 강우를 HEC-HMS 모형에 적용한 병문천 유역을 선정하였으며, 크리깅을 이용하여 보정한 강우를 Vflo 모형에 적용하여 유출량을 비교하였다. 병문천은 한라산에서 발원하여 북부 해안으로 바로 유입되는 하천이며, 유로연장은 19.28 km, 유역면적은 22.23 km²이며 독사천이 우안에서 합류하는 수지상의 하천 형태를 보이고 있다.

제주관측소의 1961년 ~ 2007년까지의 시우량 자료를 이용하여 50년 빈도의 확률강우량을 산정하였다. 크리깅 방법으로 산정한 강우보정계수를 50 m 격자로 분할하여 확률강우량에 적용함으로써 강우를 보정하였고 분포형 모형에 입력하여 유출량을 산정하였다. 그림 4에서 Jeju 및 Um은 기존 방법과 HEC-HMS 모형으로 산정된 유출수문곡선이며, Kriging은 본 연구 방법과 Vflo 모형으로 산정한 수문곡선이다. 크리깅 기법에 비해 기존 방법의 유출량이 최대 1.5배 정도 크게 산정되었다.

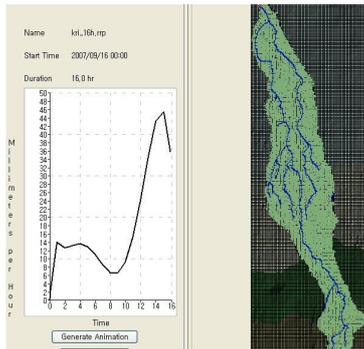


그림3. 분포형 모형의 구축

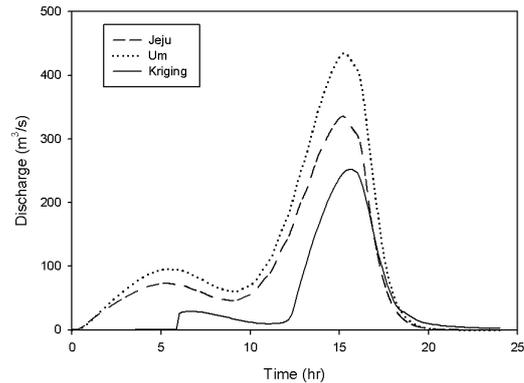


그림4. 유출수문곡선

5. 결론

크리깅 기법을 이용한 강우의 공간분포 방법으로 강우 보정계수를 산정하고 기존의 방법들과 비교·분석하였다. 또한, 기존의 보정방법 및 HEC-HMS 모형으로 산정한 유출량과 크리깅 기법 및 Vflo 모형으로 산정한 유출량을 비교·검토 하였다. 크리깅을 이용한 방법은 강우의 지역적 특성을 반영하므로 표고만을 고려한 기존의 방법을 적용시 강우량이 과대 산정되는 문제점을 해결할 수 있으며, 지속시간이 길어짐에 따라 강우가 더욱 증가한다는 점을 반영할 수 있다. 그러나 대상유역에는 수위표의 부재로 인해 실측치가 존재하지 않으므로 실질적인 검증이 이루어지지 않았으며, AWS 관측 기록이 짧고 레이더 강우 영상이 충분치 않아 공동크리깅 입력변수에 제한이 있었다. 앞으로 강우자료의 확보와 계속되어지는 연구를 통해 더욱 합리적인 강우보정방법이 제시될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 엄명진, 조원철, 임해옥(2007). 지속시간 및 표고에 따른 강우량 보정에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 제40권 7호, pp. 511-521.
2. 오경두(2007). 도시유역의 분포형 강우-유출 모형 구축기술 개발, 제19회 도시홍수재해관리기술 세미나 자료집, pp. 37-45.
3. 임해옥(2007). 고도보정에 따른 강우-유출 모형의 적용성에 관한 연구, 석사학위논문, 수원대학교.
4. 제주도(2006). 제주도 수해방지 종합기본계획 보고서.
5. 최종근(2007). 지구통계학, 시그마프레스.
6. Goovaerts, P.(2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, Journal of Hydrology, Vol. 228, pp. 113-129.
7. Vieux & Associate(2005). Vflo™ 3.0 Desktop User Manual.