

우량계와 강우레이다에 의해 관측된 강우량의 공간 분포 비교

김 병 식* / 김 형 수** / 양 동 민***

Comparison of Spatial Distributions of Rainfall Derived from Rain Gages and a Radar

Byung Sik Kim* / Hung Soo Kim** / Dong Min Yang***

요약 : 수문학적 강우-유출 모형의 가장 중요한 입력 자료는 강우량 자료이다. 기존에는 지상 우량계 관측자료의 점 우량을 티센, 역거리제곱법, 크리깅 등의 내삽방법을 사용하여 영역의 면적강우량을 산정하였다. 그러나 이러한 방법들도 여전히 영역 내의 정확한 강우의 분포 추정에 많은 어려움이 있다. 강우 레이다의 경우 공간적인 측정을 통하여 보다 정확하게 강우의 공간적 분포를 파악할 수 있게 한다. 본 연구에서는 지상 우량계에서 관측된 점 우량을 역거리제곱법(Inverse Distance Squared, IDS)과 크리깅 기법으로 면적강우량의 공간분포를 산출하였고, 이를 강우레이다로부터 추정된 레이다 강우의 공간분포와 비교하였다. 그 결과 레이다에 의해 측정된 강우가 현실적인 강우의 공간 분포를 제공하는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 역거리제곱법, 크리깅 기법, 레이다, 강우의 공간분포

Abstract : Rainfall is one of the most important input data of hydrologic models. Rain gage is used to estimate areal rainfall for hydrologic models using several interpolation method such as Thiessen polygon, Inverse Distance Squared(IDS) and Kriging. However, it is still difficult to derive actual spatial distribution of the rainfall using the aforementioned approaches. On the other hand, radar can offer a significant analytic improvement for rainfall analysis by providing directly more representative of the true spatial distribution of rainfall. In this study, In this study, spatial distributions of rainfall derived form rain gages using IDS and Kriging and rainfall from radar are compared. As results, it is found that using radar can provide actual spatial distribution than rain gages.

Keywords : Inverse Distance Squared, Kriging, Radar, Spatial distribution

1. 서 론

기존의 강우는 지상에 설치된 우량계에 의하여 관측이 되어 왔으며, 우량계는 수문학자들과 수자원 기술자들에게 가장 기본이 되는 도구이다. 우량계는 점 강우량을 제공하고, 점 강우량은 우량계 주변을 둘러싸고 있는 지역의 강우량을 추정하기 위해 이용된다. 이 과정의 성공 여부는 특정

지역에 떨어지는 강우를 실제로 표현할 수 있도록 얼마나 지속적으로 우량계 관측이 실시되었는지에 좌우된다. 전형적으로, 우량계측망은 지역 또는 특정 지역의 강우패턴을 결정하기위해 이용된다. 관측망은 점 강우량의 집합을 제공하고, 이러한 자료들은 강우의 공간 분포를 지도화하기 위해 이용된다. 수문학자들과 수문기술자들은 저해상도의 공간적 규모로 설치되어 있는 우량계를

+ Corresponding author : hydrokbs@kict.re.kr

* 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원

** 인하대학교 사회기반시스템공학과 부교수

*** 노아솔루션(주) 기술연구소 소장

통해 측정된 점 강우량을 공간적 내삽기법을 이용하여 유역에 대한 공간(면적) 강우량으로 변환하고자 하는 노력을 해 왔다. 그러나 수문학자들은 부족한 정보로 인해 우량계 사이의 강우량을 가정하여 유역의 공간 강우량을 추정할 수밖에 없다.

강우의 공간분포는 점 강우의 내삽을 통하여 등우선으로 불리는 폐곡선으로 묘사된다. 이러한 폐곡선의 형상은 어떤 지역의 강우의 공간적 분포를 나타내며, 이 강우의 공간적 분포는 수문학자들에게 가장 중요한 정보를 제공하게 된다. 점 강우량으로부터 유역의 공간 강우량을 추정하는 방법에는 티센 다각형법, 역거리제곱법, 크기강 기법 등의 다양한 내삽 방법들이 있다. 그러나 이러한 방법들은 모두 다음과 같은 단점을 가지고 있다.

티센 다각형법은 1911년에 처음 제안 되었고, 일정한 강우량을 가진 다각형의 강우관측망을 만든다. 이 관측망의 공간분포는 실제 강우량과 크게 차이를 보인다. 이것은 실제 강우의 공간적 분포가 아니 가상의 강우공간분포이기 때문이다. 역거리 방법은 강우 관측소간의 강우량을 내삽하는 방법으로써, 이 방법의 가장 큰 단점은 최대 및 최소의 강우량은 강우관측소가 있는 위치에서 발생된다는 점이다. 그러나 이처럼 수백에서 수천 km^2 의 유역 내에서 항상 최대 및 최소 강우량이 8 in의 구멍을 가진 우량계를 가지고 있는 관측소위치에서만 발생한다는 것이 얼마나 큰 우연인가? 우리는 이러한 가정에 큰 의구심을 가질 필요가 있다.

강우의 공간분포를 추정하는데 있어서 우량관측망의 가장 명백한 약점은 우량계사이의 강우량 분포에 대한 어떠한 정보도 제공하지 못하기 때문에 우량계 사이의 강우 분포 및 그 양을 파악할 수 없다는 점이다. 이로 인해 잘못된 장소와 시간에 잘못된 강우량을 제공하게 된다. 그리고 수문학자들과 수공기술택자들은 강우-유출 모형을 이용하여 유출을 모의를 할 경우, 이러한 문제를 해결하기 위해 모형의 침투율, 저류상수 등과 같은 매개변수를 미세하게 조정한다(Sun 등, 2000). 그러나 이러한 매개변수의 미세 조정은 사실상 수문모형의 면에서는 필요한 조치가 아닐 수도 있다. 가

령, 특정 소유역에서 유출량이 너무나 과대하게 계산되어, 그 소유역의 손실(침투)계수를 조정한다고 하자. 그렇게 되면, 다른 호우사상을 입력했을 때는 과소 산정된 유출량을 얻을 수도 있다. 왜냐하면, 유역의 손실율이 전 보정 작업에 의해 잘못 조정 될 수 있기 때문이다. 아마, 본래의 감소율이 정확하다면, 소유역에 입력된 강우량이 정확하지 않다고 할 수 있다. 그렇다면, 유역에 떨어지는 강우량을 정확하게 볼 수 있는 방법은 무엇일까? 이론적으로는 유역 내 또는 근방에 공간적 내삽을 할 수 있도록 충분히 많은 강우 관측소를 설치한다면 오차를 줄일 수 있을 것이다. 그러나 현실적으로 이 방법은 비용문제 때문에 현실성이 없다고 할 수 있다.

레이다는 기존의 우량계 보다 정확한 강우의 공간 분포를 제공하며 상세하게 강우분포의 특성을 표현 할 수 있다. 즉, 우량계 사이의 강우 추정이 가능하다. 레이다는 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 또는 그 이상의 크기를 갖는 격자 형태로 강우관측을 하기 때문에 일반적인 우량계의 밀도에 비해 상당히 높은 공간 밀도의 강우에 대한 정보를 제공할 수 있다. 반면 레이다는 강우량을 직접 측정하는 것이 아니라 반사도를 이용하여 관측범위 내의 강우량을 상대적으로 측정하기 때문에 지상 우량계와 같이 강우량을 정확하게 측정하는데 많은 어려움이 있다(김병식 등, 2007). 또한 레이더의 전파 특성에 의하여 거리에 따른 감쇄가 발생하거나 지형적인 영향으로 차폐 등이 발생하여 정확한 반사도 값의 측정에 어려움이 생길 수 있다.

본 연구의 목적은 기존의 내삽 방법을 이용하여 우량계에서 관측된 점 우량을 공간 분포하였을 때 레이더에 의해 관측된 실제 강우의 공간분포와 어떠한 차이가 있는지를 분석하는데 있다. 본 연구에서는 ① 우량계를 통하여 관측된 점 강우량을 역거리제곱법(Inverse Distance Squared, IDS)과 크리깅(Kriging) 기법을 이용하여 대상유역에 격자 형태로 공간 분포시켰으며, ② 우량계 자료를 이용하여 추정된 우량의 공간분포와 레이더로 관측한 우량의 공간분포를 비교하였다.

2. 레이다에 의한 강우산정

레이다강우는 대기 중으로 전파를 발사하여 강우 입자로부터 되돌아온 전파의 세기를 Z-R 관계식에 적용하여 산출된다. 레이다로 관측된 반사도를 활용하여 강수강도를 정량적으로 추정하는 기법은 여러 가지 있지만 그 중에서 Marshall-Palmer의 분포도를 이용한 Z-R 관계식이 가장 일반적으로 사용되고 있다.(Zawadzki 등, 1986; Lee, 2003; Joss and Waldvogel, 1990). 레이다 사이트로부터 입체적으로 관측된 반사도를 식(1)과 같은 Marshall-Palmer가 제안한 Z-R 관계식에 적용하여 매 10분마다 1시간 강수강도를 정량적으로 생산하고 있다.

$$Z = AR^b \quad (1)$$

여기서, Z는 레이다 반사도(dBz), R은 지상에서의 강우강도(mm/h) 그리고 A와 b는 경험을 통해 얻어지는 상수이다.

현재까지의 개발된 강우레이다는 완벽한 도구는 아니다. 즉, 강우레이다는 직접 강우량을 측정하는 것이 아니라, 앞에서 언급한 바와 같이 대기 중의 반사도를 측정 후 반사도와 강우강도의 가정된 분포를 이용하여 강우량으로 변환하기 때문에 만일, 이러한 가정이 틀리다면, 왜곡된 강우량을 산정하게 된다. 그러나 강우 입자에 영향을 주는 요소는 상대적으로 인접한 지역에서는 일정하기 때문에 강우레이다는 가까운 인접지역의 상대적 강우량을 정확하게 추정할 수 있다(Hoblit 등, 2005). 다시 말하자면, 강우레이다는 A라는 지역

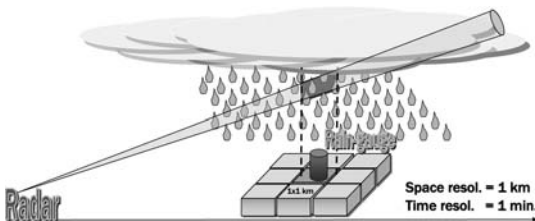


그림 1. 레이다와 우량계에 의한 강우관측 개념

에 얼마나 정확한 강우량이 내렸는지에 대한 정보를 제공하는 것이 아니라, 각 지역에 상대적으로 얼마만큼의 강우가 내렸는지를 제공함으로써 레이다 강우의 공간적 변동에 대한 정보를 제공할 수 있다. 바로 이점은 레이다 강우의 장점이며, 우량계에 의한 강우관측의 최대 약점이기도 하다.

3. 강우의 공간분석

우량계를 이용하여 관측된 점 강우량을 공간(면적) 강우량으로 분포시키기 위하여 여러 가지 방법들이 이용되고 있으며, 특히 컴퓨터 연산처리 속도의 급속한 발달과 함께 여러 가지의 지형통계학적 내삽법들이 각각의 격자점에 강우량 값을 산정하는데 사용되고 있다. 예를 들어, 역거리제곱법, 크리깅, 최우도법(nearest neighbor), 다항 회귀식(polynomial regression) 등이 산포된 점 자료로부터 각각의 격자점의 값을 산정하는데 이용되는 일반적인 방법들이라고 할 수 있다(Keckler, 1995). 이 중에서 수문학 분야에서 가장 일반적으로 쓰이고 있는 방법으로는 역거리제곱법과 크리깅 기법이며 본 연구에서도 이 두 가지 방법을 사용하여 우량계에 의한 점 강우량을 각각의 격자점으로 공간 분포하였다. 두 방법에 대하여 간략히 요약하면 다음과 같다.

3.1 역거리제곱법(Inverse Distance Squared)

역거리제곱법은 다음의 식 (2)에 의하여 각각의 격자점에서의 강우량을 산정한다. 역거리제곱법의 장점은 적용이 간단하고 계산시간이 짧다는 것이다. 그러나 역거리제곱법을 사용하여 계산된 강우 필드의 경우 관측소를 중심으로 원형이 나타나는 “Bull's eye” 효과가 나타난다는 단점이 있다(Curtis, 1999).

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^2} r_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^2}} \quad (2)$$

여기서, R_j 는 j 번째 격자점에서의 강우량, r_i 는 관측소 i 에서의 관측 우량, d_{ij} 는 i 관측소에서 j 격자점까지의 거리, n 은 관측소의 수이다.

3.2 크리깅(Kriging) 기법

크리깅은 추정된 값을 결정하기 위해 하나의 변수를 사용하는 최적화된 내삽 기법으로 강우 격자점에서 불편향된 최소 분산 추정치를 결정하는 추계학적 방법이다. 크리깅에 의한 강우 추정치 R^* 는 식 (3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$R^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i R_i \quad (3)$$

여기서, R_i 는 우량계에 의해 측정된 강우량, λ_i 는 크리깅 가중치이다.

가중치 λ_i 는 추정된 강우량의 분산을 최소화 시켜서 계산되며, 만약 추정치가 불편향 되었다면(λ_i 의 합이 1이면) 식 (4)와 같은 형태로 최소화 된다. 크리깅은 그 결과가 역거리제곱법에 비하여 인위적인 형태를 보이지 않기 때문에 지형통계분야에서 많이 사용되고 있는 방법이다.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(v_i, v_j) + \mu = \gamma(v_i, V) \quad \text{for all } i=1, n \quad (4)$$

여기서, μ 는 라그랑지(Lagrange) 매개변수 (n 개의 가중치 λ_i 가 계산되면), v_i, v_j 는 알려진 두 지점 사이의 위치, v_i, V 는 알고 있는 위치와 추정된 위치 사이의 점이다.

4. 적 용

4.1 대상구역 및 분석자료

본 연구에서는 우량계 강우와 레이더 강우의 공간적 특성을 비교분석을 위하여 임진강 유역을 대상구역으로 선정하였다. 임진강 유역의 경우 전

체 면적 8,117.5 km²(유로연장 254.6 km) 중 3,008.7 km²(유로연장 80.0 km)를 제외한 약 2/3 지역이 휴전선 이북에 위치하고 있으며, 우량 관측을 위해 남한 지역의 경우 건교부에서 18개소의 T/M 관측소를, 기상청에서 13개소의 AWS 관측소를 운영하고 있으나 휴전선 이북 지역의 경우 강우량 등의 각종 수문자료가 거의 전무한 상황이다. 1990년대부터 임진강 유역 및 경기 북부 지역은 반복적인 홍수 피해를 입어 왔다. 그럼에도 불구하고 북한에 위치한 임진강 유역에 대한 수문자료의 관측이 불가능하여 홍수예보 등에 많은 어려움이 있었다. 따라서 이를 해결하고자 국토해양부는 2001년 강화도에 임진강 유역의 강수량 관측을 위한 임진강 강우레이더 관측소를 설치하여 현재 운영 중이다. 그림 2는 임진강 유역도와 강우관측소 현황을 나타낸 것이다. 임진강 강우레이더의 외관은 그림 3과 같으며, 레이더의 특성 및 관측방식은 표 1과 같다.

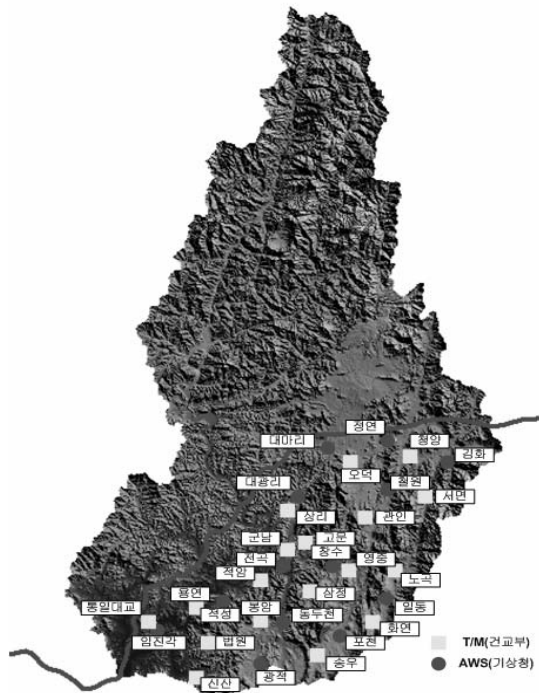
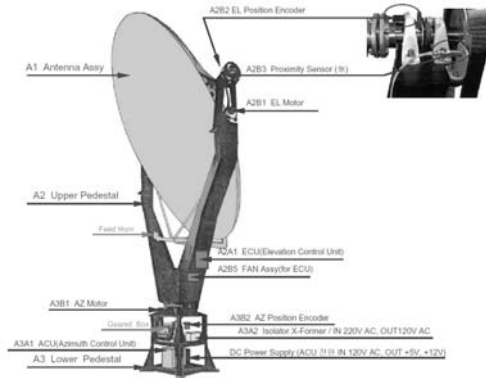


그림 2. 임진강 유역도 및 우량관측소 위치



(a) 강우레이다 관측소 전경과 레이돔



(b) 강우레이다 안테나

그림 3. 임진강 강우레이다

표 2. 임진강 수문레이다의 특성 및 관측방식

레이다(TDR-43250C)의 특성		관측방식	
본체	TDR-43250C (RADTEC(미))	Scan mode	Multi Elevation Volume Scan
주파수	5.645 GHz	Elevation 수	12개(0.4°~2.2°)
PW/PRF	2μs / 500 Hz	사용 Z-R 관계식	$Z = 31R^{1.17}$
송신출력관	Klystron	CAPPI 고도	1 km
첨두출력	250 kW	안테나 속도	15 deg/sec (2.5RPM)
신호처리장치	RVP - 8	관측반경	170km (최대 400km)
안테나	Offset 방식(4.3×5.7) York Type		
빔폭	0.95°		
레이다 제어 및 자료처리	서버-SGI02, OS-IRIX6.5, S/W-IRIS		

본 연구에서는 강우관측소가 거의 없는 이북지역을 제외하고 지상 우량계 관측 자료가 있는 임진강 유역의 남한 지역만을 대상으로 하여 2003년 7월 22일 06시와 07시의 강우 공간 분포를 비교 분석하였으며 레이다 강우의 시간에 따른 공간 분포의 이동성 및 변동성을 파악하기 위하여 2003년 8월 4일, 8월 7일 자료를 이용하였다.

4.2 레이다 강우 처리

임진강 레이다의 경우 정밀자동보정 안테나 방식을 사용하여 지상클러터를 감소시키며 offset

feed 방식을 사용하여 간접에코를 최소화 하고 있다. 본 연구에서는 레이다 강우량은 전 처리된 레이다 자료를 이용하여 격자 형태의 레이다 강우량 자료를 생성하였으며, 이 과정은 CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) 자료 생성, 반사도-강우강도 변환, 30분 누가강우량 계산의 순으로 처리하였다. 본 연구에서는 이미 임진강 레이다 소프트웨어와 하드웨어 자체에서 품질관리가 된 자료를 이용하였기 때문에 이에 대한 언급은 생략하였다. 강우레이다의 강우량 생성과정은 다음과 같다.

4.2.1 CAPPI 자료 생성 및 반사도-강우강도 변환

임진강 강우 레이다는 강우량을 산출하기 위해 1 km 고도에서의 일정고도면 자료(CAPPI)를 사용한다. 일정고도면 자료는 3차원으로 관측한 레이다 원시 체적 자료로부터 일정고도면 근처에 있는 자료를 그림 4와 같이 추출하여 직교좌표계로 변환한 자료이다. 레이다가 3차원으로 대기를 관측한 원시 체적 자료에서는 관측 전략상의 문제로 인하여 자료가 없는 빈 공간들이 존재한다. 이들 빈 공간 자료는 해당 고도의 격자점 주변 값으로 내삽하여 추정한다. 내삽법으로 산정된 일정고도면 자료를 의사-일정고도면(pseudo-CAPPI) 자료라고 하며, CAPPI 자료를 생성하기 위해서는 고도와 방위각, 시선 방향을 따라 내삽하는 거리를 결정하여야 한다. 특히, 연직 방향으로 레이다의 에코 변동이 심하기 때문에, 연직으로 자료를 내삽할 경우 내삽 반경을 너무 크게 해서는 안 되며, 적절한 내삽 반경의 설정은 레이다 관측 전략에 따라 변경된다(국토해양부, 2005).

본 연구에서는 강우량 산출용 CAPPI 자료가 생성되면 ($Z=200R^{1.6}$) Z-R 관계식을 적용하여 강우량으로 변환하였다. 산정된 값은 레이다 관측 주기와 관련된 강우강도로 임진강 강우레이다의 경우 6분의 관측 주기를 갖는 6분 동안의 평균

강우강도를 생성한다.

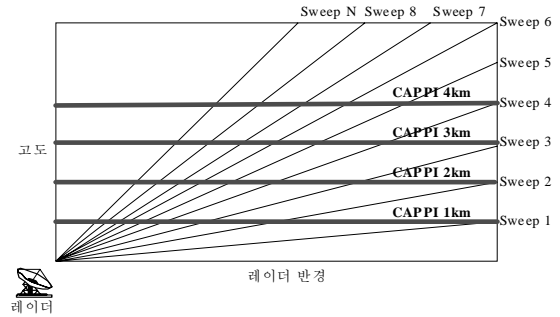


그림 4. CAPPI 자료의 생성

4.2.2 1시간 누적 강우량 산정

임진강 강우레이다 관측 자료는 6분 간격으로 반사도 자료를 산출하며, Z-R 관계식을 적용하여 6분 CAPPI 강우량 자료를 생성한다. 하지만, 홍수예보 모형에서는 1시간 또는 30분 강우량을 사용하므로, 본 연구에서는 6분 강우강도를 6분 강우량으로 변환한 후, 1시간 동안 누적하여 1시간 누적강우량을 생성하였다. 위의 과정으로 생성된 2003년 7월 22일 06시와 07시의 레이다 강우의 영상은 그림 5, 그림 6과 같다. 그림 5와 그림 6은 임진강 강우레이다의 관측 반경인 170km에서의 강우 관측 영상이다. 노란선은 임진강 유역 경계를, 붉은 선은 DMZ를 의미한다.

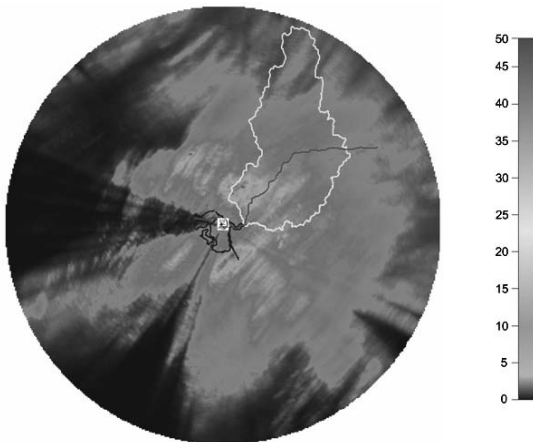


그림 5. 2003년 7월 22일 06:00 레이다 강우 영상

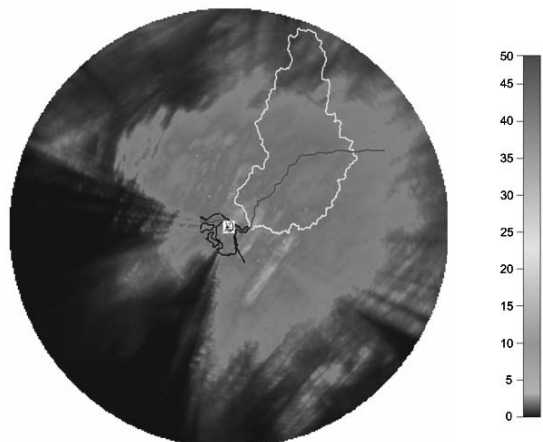


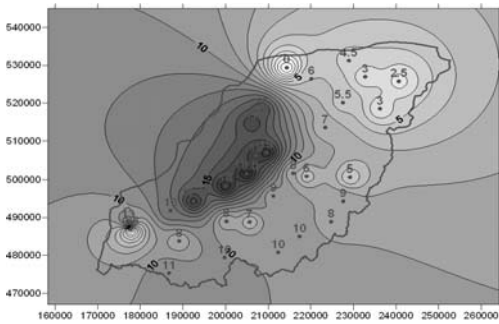
그림 6. 2003년 7월 22일 07:00 레이다 강우 영상

4.3 강우의 공간분포 비교

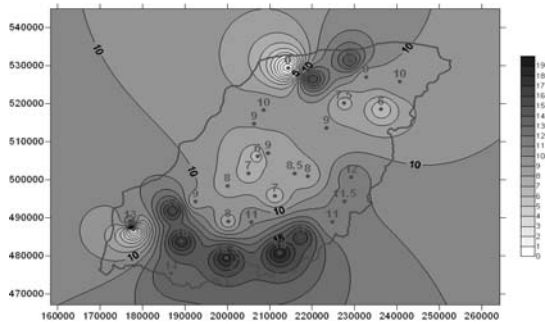
우량계의 점 강우량을 역거리제곱법, 크리깅 기법으로 동일한 격자 규모로 공간 분포한 결과는 그림 7 및 8과 같다.

역거리제곱법에 의한 강우량의 공간분포는 강우관측소를 중심으로 강우량의 공간분포가 강한 원형을 나타내는 황소 눈(bull's eye 효과)이 뚜렷

하게 보이고 강우관측소를 중심으로 최대 강우량과 최소 강우량이 발생하여 주변지역으로 다소 인위적으로 평활 되는 공간분포 특성을 보인다. 크리깅 기법에 의한 공간분포는 역거리제곱법 보다는 부드러운 유선형의 곡선을 보였으나 역거리제곱법과 마찬가지로 관측소간 공간분포가 평활되는 특성을 나타내었다. 그림 9~11은 강우의 공간분포를 3차원 도면으로 나타낸 것이다.

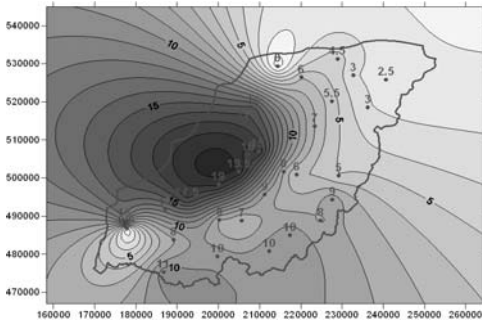


(a) 2003/07/22 06:00

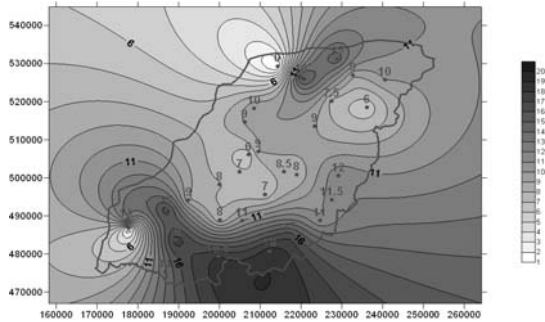


(b) 2003/07/22 07:00

그림 7. 역거리제곱법에 의한 등우선도



(a) 2003/07/22 06:00



(b) 2003/07/22 07:00

그림 8. 크리깅에 의한 등우선도

레이다 강우의 공간분포는 앞의 내삽기법과는 달리 매우 불규칙적인 공간분포를 나타내었으며, 이는 매우 현실적인 강우장(rain field)의 형태라는 것을 쉽게 판단할 수 있다. 또한, 레이다 강우량의 공간분포 경우 우량계의 위치와 다른 위치에서 최대 강우량이 발생함을 알 수 있다. 7월 22일 06시의 강우량의 경우 역거리제곱법과 크리깅 기법에 의한 강우량의 공간분포는 우량계가 밀집

되어 있는 유역의 중심 부근에서 최대 강우량이 발생한 것으로 분석되지만, 레이다 강우량의 공간분포에서는 최대 강우량이 유역의 바깥쪽인 서쪽에 치우쳐 있음을 분석되었다. 7월 22일 07시의 강우에서도 역거리제곱법과 크리깅 기법의 결과는 유역의 남쪽에서 최대 강우량이 발생하는 반면 레이다 강우량은 유역의 남서쪽에서 최대 강우량이 발생한 것을 확인 할 수 있다. 또한, 그림 7과 8

을 통해 알 수 있듯이 내삽 방법을 이용하여 우량계의 점 강우량을 공간 강우량으로 분포시킨 경우는 시간에 따른 강우량의 연속된 변동성을 볼 수가 없지만, 그림 12와 같이 레이더 강우는 연속된 공간적 변동성을 나타내기 때문에 강우가 시간에 따라 유역의 어떤 방향으로 들어와 어떤 방향으로 향하고 있는지를 파악 할 수 있는 정보를 제공한

다. 또한, 지상의 점 강우량을 내삽하여 면적(공간) 강우량을 분포시킨 경우 항상 유역 전체에 강우가 발생하는 것으로 분석 되지만 레이더 강우는 유역 내에서 부분적으로 발생하는 공간 강우를 나타 낼 수 있는 것으로 분석되었다. 이는 강우 발생의 국지성과 이동성 모두를 표현 할 수 있는 레이더 강우의 장점이라고 볼 수 있다.

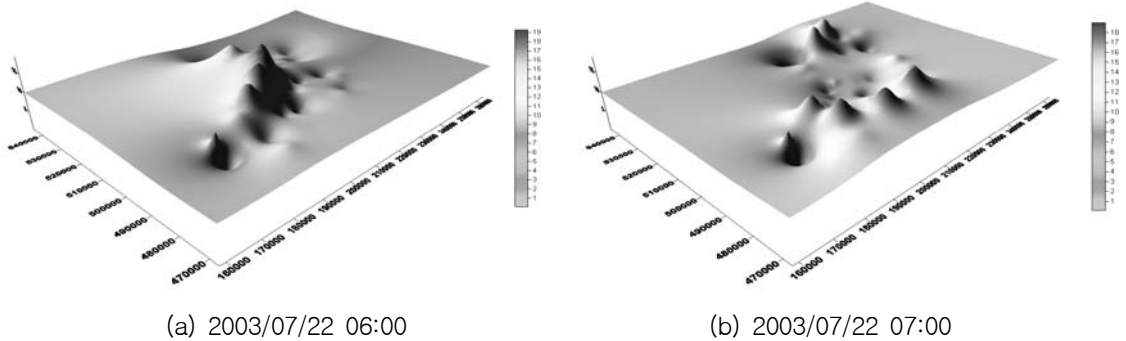


그림 9. 역거리제곱법에 의한 3차원 우량 분포도

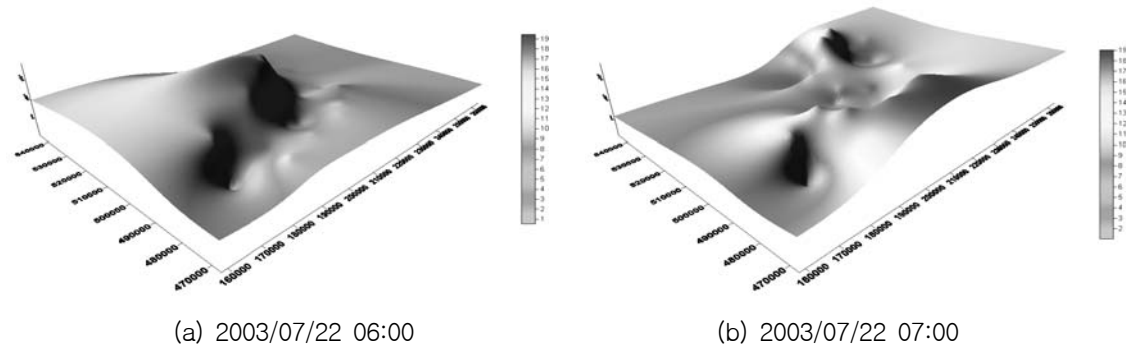


그림 10. 크리깅 기법에 의한 3차원 우량 분포도

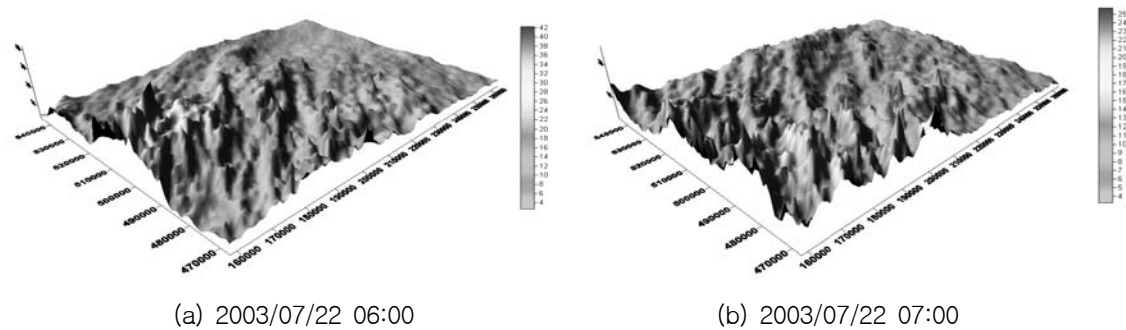
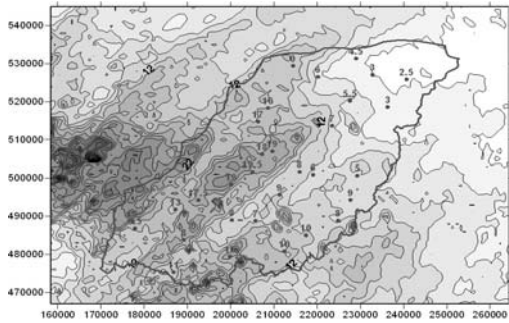
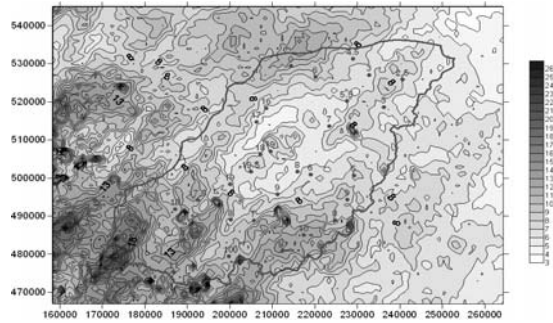


그림 11. 레이더 강우의 3차원 우량 분포도

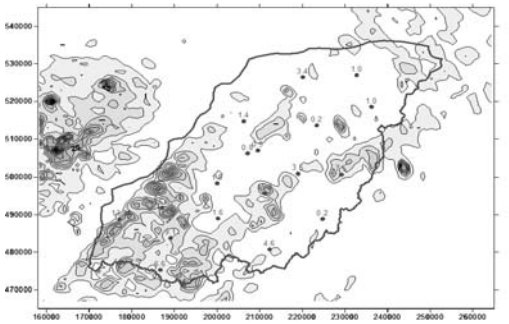
우량계와 강우레이다에 의해 관측된 강우량의 공간 분포 비교



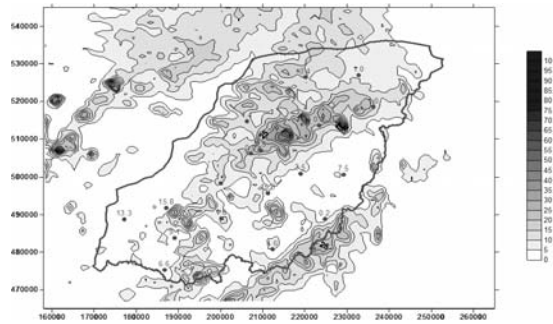
(a) 2003/07/22 06:00



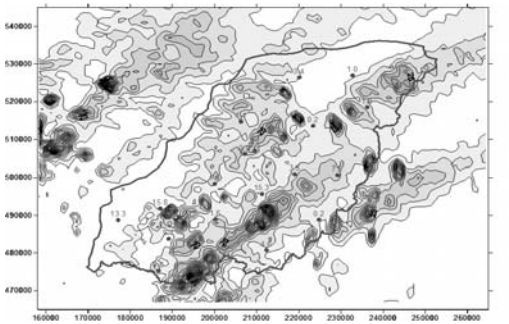
(b) 2003/07/22 07:00



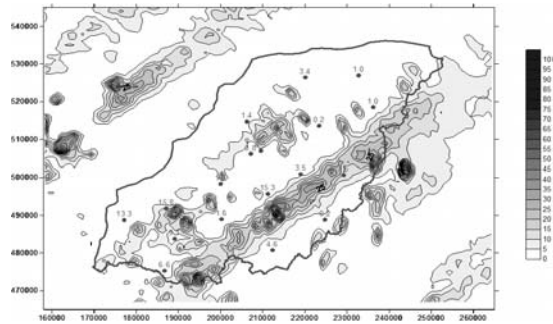
(c) 2002/08/04 21:00



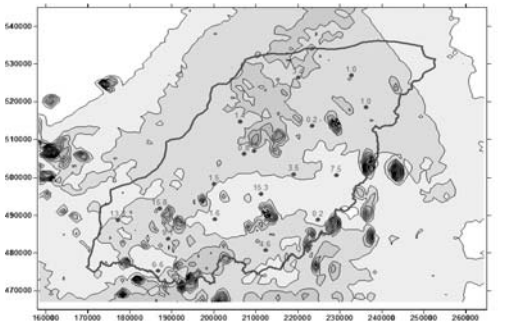
(d) 2002/08/04/ 22:00



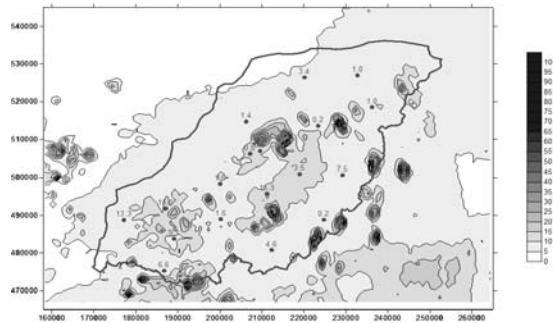
(e) 2002/08/04/ 23:00



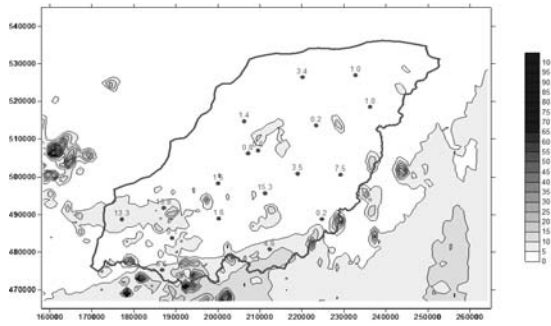
(f) 2002/08/04/ 24:00



(g) 2002/08/07/ 00:00



(h) 2002/08/07/ 01:00



(i) 2002/08/07/ 02:00

그림 12. 레이다 강우의 등우선도

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 내삽 방법을 이용하여 우량계에서 관측된 점 우량을 공간 분포하였을 때 레이다에 의해 관측된 실제 강우의 공간분포와 어떠한 차이가 있는지를 조사하였다. 본 연구에서는 우량계를 통하여 관측된 점 강우량을 역거리제곱법(Inverse Distance Squared, IDS)과 크리깅(Kriging) 기법을 이용하여 대상유역에 격자 형태로 공간 분포시켰으며 임진강 강우레이다를 이용하여 얻어진 1 km× 1 km의 격자 강우의 공간적 분포와 비교·분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 역거리제곱법에 의한 강우의 공간분포는 강우관측소를 중심으로 강우의 공간분포가 강한 원형을 나타내는 황소눈 효과와 강우관측소를 중심으로 최대 강우와 최소 강우가 발생하여 주변지역으로 다소 인위적으로 평활 되는 공간분포 특성을 보이고 있으며, 크리깅 기법에 의한 공간분포는 역거리제곱법 보다는 부드러운 유선형의 곡선을 보였으나 역거리제곱법과 마찬가지로 관측소간 공간분포가 평활되는 특성을 나타내었다.
- (2) 내삽 방법을 이용하여 우량계의 점 강우를 공간 강우로 분포시킨 경우는 시간에 따른 강우의 연속된 변동성을 볼 수가 없기 때문에 강우의 이동에 대한 공간정보를 제공하

지 못하지만, 레이다 강우는 연속된 공간적 변동성을 나타내기 때문에 강우가 시간에 따라 유역의 어떤 방향으로 들어와 어떤 방향으로 향하고 있는지를 파악 할 수 있는 정보를 제공하는 것으로 분석되었다. 또한, 지상의 점 강우량을 내삽하여 면적(공간) 강우량을 분포시킨 경우 항상 유역 전체에 강우가 발생하는 것으로 분석 되지만 레이다 강우는 유역 내에서 부분적으로 발생하는 공간 강우를 나타 낼 수 있는 것으로 분석되었다.

레이다 강우자료의 장점은 강우의 공간정보를 추정할 수 있다는 점이며, 이 점은 지상 강우관측 자료의 최대 약점이다. 반면에 레이다 강우자료의 약점은 지점 강우관측 자료의 장점에 해당되는 특정 위치에서의 정확한 강우량의 추정이 불가능하다는 점이다(Sinclair and Pegram, 2004). 그러므로 앞으로 이러한 두 자료를 병합함으로써, Gauge-adjusted radar rainfall 자료를 생성할 필요가 있으며 이 자료는 관측소 지점에서의 정확한 강우량 추정하며, 강우의 공간정보를 유지할 수 있다는 일거양득의 장점을 가질 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

국토해양부(2005). 강우레이다에 의한 돌발홍수에

- 보시스템 개발 1차년도 보고서, 한국건설기술 연구원
- 김병식, 홍준범, 김형수, 최규현(2007) “조건부 합성방법을 이용한 레이다 강우와 지상 강우자료의 조합”, 대한토목학회 제 27권 (3B) pp. 255-265
- Curtis, D.C., Clyde, B.S. (1999), Comparing spatial distributions of rainfall derived from rain gages and radar, *Journal of Floodplain Management*
- Lee Gyu Won. (2003), *Errors in rain measurement by radar: Effects of variability of drop size distributions*, Doctoral dissertation, McGill University, Montreal, Quebec, Canada
- Hoblit, B.C., Curtis, D.C. (2000), *Next generation rainfall data*, ASCE Watershed and Operations Management 2000 Conference, Ft. Collins.
- Joss, J. and A. Waldvogel. (1990), *Precipitation measurement and hydrology. Radar in Meteorology*, Ed. D. Atlas, Amer. Meteor. Soc., pp. 577-606.
- Keckler, Doug. (1995), *Surfer for windows*, Golden Software
- Sinclair, S., Pegram, G. (2004), Combining radar and rain gauge rainfall estimates for flood forecasting in south Africa, *Sixth International Symposium on Hydrological Application of Weather Radar*, Melbourne, Australia.
- Sun, X., Mein, R.G., Keenan, T.D., Elliot, J.F. (2000), Flood estimating using radar and raingauge data, *Journal of Hydrology*, Vol. 239, pp. 4-18.
- Zawadzki, I., C. Desrochers and E. Torlaschi. (1986), A Radar-raingauge Comparison. Preprints, 23rd *Conf. on Radar Meteorology*, Snowmass, Colorado, Amer. Meteo. Soc., pp. 121-124
- 논문접수일 : 09년 10월 21일
 ○심사의뢰일 : 09년 10월 22일
 ○심사완료일 : 10년 04월 30일