

## Radar Polygon 기법의 개발 : 유사강우발생 확률에 근거한 면적강우량 산정기법

### Development of Radar Polygon Method : Areal Rainfall Estimation Technique Based on the Probability of Similar Rainfall Occurrence

조 운 기\* / 이 동 루\*\* / 이 재 현\*\*\* / 김 동 균\*\*\*\*

Cho, Woonki / Lee, Dongryul / Lee, Jaehyeon / Kim, Dongkyun

#### Abstract

This study proposed a novel technique, namely the Radar Polygon Method (RPM), for areal rainfall estimation based on radar precipitation data. The RPM algorithm has the following steps: 1. Determine a map of the similar rainfall occurrence of which each grid cell contains the binary information on whether the grid cell rainfall is similar to that of the observation gage; 2. Determine the similar rainfall probability map for each gage of which each grid cell contains the probability of having the rainfall similar to that of the observation gage; 3. Determine the governing territory of each gage by comparing the probability maps of the gages. RPM method was applied to the Anseong stream basin. Radar Polygons and Thiessen Polygons of the study area were similar to each other with the difference between the two being greater for the rain gage highly influenced by the orography. However, the weight factor between the two were similar with each other. The significance of this study is to pioneer a new application field of radar rainfall data that has been limited due to short observation period and low accuracy.

**Keywords** : Radar, Areal rainfall, Mean areal precipitation, Thiessen, Weight

#### 요 지

본 연구에서는 실측자료를 기반으로 한 새로운 면적강우량 산정기법인 ‘레이더 폴리곤 기법(Radar polygon Method, PRM)’을 제시하였다. RPM은 (1) 강우공간분포의 실측자료인 기상레이더 자료를 이용하여 지점관측소가 위치한 곳에서의 강우강도와 주변지역의 강우강도를 비교하여 유사강우 발생지도 작성; (2) 위의 단계를 관측소별로 반복하여 각 관측소별 유사강우 발생 확률 지도 작성; (3) 주어진 격자에서의 각 관측소의 유사강우 발생 확률의 비교를 통한 지배범위 결정의 알고리즘으로 관측소별 가중치를 결정하는 방법이다. RPM 방법을 안성천 유역에 적용하여 Thiessen법과 결과를 비교하였다. 안성천 유역의 경우 RPM과 Thiessen방법에 근거한 다각형의 공간적 형태는 관측소 위치의 강우 특성에 따라 차이를 보였으나 관측소별 가중치 값의 차이는 크지 않았다. 본 연구는 관측기간 및 정확도의 문제로 인하여 제한적으로 활용되어 온 레이더 강우관측자료의 새로운 활용분야를 개척하였다는 점에서 큰 의미를 찾을 수 있다.

**핵심용어** : 레이더, 면적강우, 면적평균강우, Thiessen, 가중치

\* 홍익대학교 토목공학과 박사과정 (e-mail: magicgom01@gmail.com)

Ph.D. student, Department of Civil Engineering, Hongik University, Seoul, Korea

\*\* 한국건설기술연구원 수문레이더 재해연구·데이터센터 센터장 (e-mail: dryi@kict.re.kr)

Director, Center of Disaster Research and Hydrologic Data Center Using Radar Measurement, Korea Institute of Construction Technology, Korea

\*\*\* 홍익대학교 토목공학과 석사과정 (e-mail: jhl1782@gmail.com)

Graduate Student, Department of Civil Engineering, Hongik University, Seoul, Korea

\*\*\*\* 교신저자, 홍익대학교 토목공학과 조교수 (e-mail: deokaykim@gmail.com, Tel: 82-2-320-1613)

Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hongik University, Seoul, Korea

## 1. 서 론

물의 순환과정을 연구하는 수문학에서 정확한 강우량의 예측 및 적용은 가장 중요한 부분이다. 특히 이수 및 치수를 목적으로 하는 수문분석에서는 면적평균 강우량을 입력 자료로 사용하고 있으나, 강우의 공간분포는 직접 예측할 수 있는 방법이 없으며, 정확한 면적평균 강우량을 얻기 위해 강우관측망의 밀도를 높이는 것은 한계가 있다. 그러므로 대상구역 강우특성을 대표할 수 있는 지점관측 자료에 여러 가지 기법을 적용하여 산정된 면적평균 강우량을 사용하고 있다.

면적평균 강우량 산정의 정확도가 수문분석의 주요 결과인 유출량 및 침투유량에 미치는 영향은 Yoo et al. (2002)이 모의된 시·공간 강우자료를 유출모형으로 해석하여 강우계의 수에 따른 강우오차와 유출오차의 변화 및 관계를 조사한 결과, 강우 총량에서의 오차가 거의 그대로 유출 총량의 오차에 반영되는 것을 확인했으며, 강우오차는 크게 증폭되어 침투 유출량의 오차에 반영됨을 밝혔듯이 수문분석의 정확성을 높이기 위해서는 정확한 면적강우량의 산정이 매우 중요하다.

기존에 사용되는 면적강우량 산정방식은 산술평균법(Arithmetic mean method), Thiessen의 가중법(Thiessen's weighting method), 등우선법(Isohyetal method) 등이 있다. Yoon (1998)은 현재까지의 경험에 의하면 우량계가 비교적 등분포 되어 있고 구역면적이 약 500 km<sup>2</sup> 미만의 지역에서는 산술평균법도 다른 방법에 못지 않는 정확성을 가지고 있으며, 산악효과가 비교적 적고 구역면적이 약 500~5,000 km<sup>2</sup>인 곳에서는 Thiessen법을 사용하는 것이 좋으며, 구역면적이 커지면 등우선법을 사용하는 것이 가장 정확한 결과를 얻을 수 있으나 우량계의 밀도가 조밀해야 할 뿐만 아니라 등우선을 그리는 과정에서 생기는 주관적 오차에 특별한 주의를 하여야 한다고 제시하였다.

최근에는 분포형 유출모형을 이용한 연구가 활발히 이루어짐에 따라 격자형 강우공간분포 입력 자료가 필요한 모형의 특성상 역거리가중법(Inverse Distance Weighting), 지구통계학적 방법인 Kriging 방법 등이 적용되고 있다. Hong et al. (2006)은 Vflo<sup>TM</sup>모형을 증량천 유역에 적용, HEC-HMS모형과 비교하여 유출총량은 HEC-HMS가 더 잘 재현되고 오차 값은 비슷하나 침투 값과 도달시간에서는 Vflo<sup>TM</sup>이 더 정확한 값을 모의한다는 비교결과를 제시하였다. 이와 같이 아직 분포형 유출모형은 기존에 사용되고 있는 집중형 유출모형에 비하여 더 정확한 결과가 도출되는 것을 확신하지 못하며, 분포형 유출모형 사용에 대

한 설계기준이 없고 사용의 편리성 때문에 분포형 유출모형보다는 집중형 유출모형(lumped model) 주로 사용됨에 따라 IDW와 Kriging 등 격자형 강우공간분포에 편리한 면적평균 강우량 산정방식은 실무에 많이 사용되고 있지 않다.

실무에서는 작성자의 주관적인 판단에 의한 오차발생이 적고 집중형 유출모형에 적용성이 높은 Thiessen법이 주로 사용되고 있다. Thiessen법은 유출분석 대상 유역에 영향을 미치는 관측소 중 인접한 관측소와의 최단거리를 수직으로 이등분하는 선을 결합하여 만든 polygon을 지점 관측소의 영향 범위로 가정 후 각 관측소 영향범위에 포함되는 유역의 면적을 총유역의 면적으로 나누어 관측소별 가중치를 결정하는 방법으로 도식적으로 간단히 관측소별 가중치를 결정하여 면적평균 강우량을 산정할 수 있는 방법이다.

그러나 Thiessen법은 지점관측소와 분석대상 유역의 위치관계를 바탕으로 가중치를 정하는 방법으로 산악·해양 등의 지형적인 영향을 많이 받는 강수의 변화형태(Ho et al., 1988)를 반영하는 데에는 한계가 있다. Thiessen법에 실제 강우특성의 반영을 위하여 Fiedler (2003)는 Thiessen법을 이용한 관측소별 가중계수에 등우선법을 이용하여 Thiessen 지배범위에 대한 면적강우량을 산정 후 지점강우량으로 나눈 비를 적용하여 장기간의 면적평균 강우량을 산정하는 방법을 제시하였으나, 등우선법 자체가 관측된 지점강우량을 관측지점간의 거리에 따라 공간분포 후 이를 바탕으로 그린 등우선도를 기준으로 면적평균 강우량을 산정하는 방법으로 실측자료를 바탕으로 한 면적평균 강우량 산정 방법으로 보기는 어렵다.

이와 같이 실제 강우공간분포의 특성이 반영되며, 실무에 적용 가능하도록 면적평균 강우량 산정방식을 개선하기 위해서는 실측자료를 기반으로 하면서 산정방법이 단순하여 적용성이 뛰어난 면적평균 강우량 산정기법의 개발 필요하다.

최근에는 원격탐사방법의 발달에 따라 기상레이더와 같이 직접 측정에 비하여 정확성은 낮으나 넓은 지역의 강우공간분포 측정이 가능해 졌다. 레이더 강우관측 자료는 아직은 짧은 관측기간과 측정 값의 낮은 신뢰성으로 인하여 수문분석을 위한 기초 자료로 활용되지 못하고 있으나, 레이더 강우관측은 강우공간분포를 예측할 수 있는 유용한 방법으로 지점관측 자료의 공간분포시 레이더 관측자료와 연계한 공간분포기법의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 면적평균 강우량의 산정을 위하

여 강우의 원격탐사 방법인 기상레이더 관측 자료를 이용하였다. 각 관측소의 지배범위는 관측소 지점과 유사한 강우가 발생하는 확률이 높은 지역이라는 가정 하에 레이더로 관측된 동시간 강우강도의 공간분포 자료를 이용하여 지점관측소가 위치한 곳에서의 강우강도와 주변지역의 강우강도를 검토, 지점관측소 위치에서 계측된 강우강도와 일정한 차이 범위 안에 있는 유사한 강우강도가 발생했던 빈도를 기준으로 관측소의 지배범위를 결정하는 방법인 ‘레이더 폴리곤 기법(Radar polygon Method)’을 제시하고자 한다.

## 2. 방법론

### 2.1 Radar Polygon Method (RPM)

본 연구에서 제시하는 기법은 레이더 강우장 내에 다수의 지점 관측소가 존재하는 경우, 레이더 강우자료를 활용하여 각 지점 관측소의 지배범위를 산정하는 방법으로, 레이더 강우장내의 주어진 특정 격자를 다수의 지점 관측소가 자신의 지배범위에 넣기 위하여 경쟁하는 알고리즘이다. 경쟁의 기준은 특정 격자의 레이더 강우량과 지점 관측소 위치에서의 레이더강우량과 유사성이다. 알고리즘은 다음의 4단계로 이루어진다.

1단계 - 관측자료 수집

검토대상지역의 지형적 특징 및 관측소 현황을 고려하여 자료 수집계획 수립 후 검토대상 관측소 과거 강우자료 및 레이더 강우강도 관측 자료를 수집 후 분석목적(장기·단기 분석 등)에 따라 레이더 입력 자료를 구축한다. 본 연구에

이용한 10분 단위의 레이더 계측자료를 이용하여 구축한 강우분포도는 Fig. 1과 같다.

2단계 - 유사강우 발생 분포 지도 작성(SRM)

레이더 자료를 지점관측소 위치를 기준으로 아래와 같은 조건을 이용하여 유사강우발생 분포도를 수집한 모든 레이더 강우장에 대하여 작성한다.

$$\frac{|Rp - Rx|}{Rp} \times 100 \leq i\% \Rightarrow 1, \frac{|Rp - Rx|}{Rp} \times 100 > i\% \Rightarrow 0 \quad (1)$$

$Rp$ : 관측소지점 강우강도,  $Rx$ : 관측소인근 강우강도

$i\%$ : 유사관측치 판단범위 (%)

Fig. 2는 본 연구에서 분석된 안성관측소와 성환관측소에 대한 유사강우 발생 분포도를 보인다.

3단계 - 유사강우 발생분포도 중첩을 통한 유사강우 발생 확률분포 지도 작성(SRPM)

2단계에서 작성된 유사강우 발생분포도를 중첩하여 더한 후 이를 중첩한 발생분포도의 전체 개수로 나누어 유사강우 발생 확률분포 지도를 구한다.

$$\sum SRM / \text{Total Number of SRM} = SRPM$$

$SRM$ : 유사강우 발생 분포 지도

$SRPM$ : 유사강우 발생 확률분포 지도

Fig. 3은 본 연구에서 분석된 안성 관측소와 성환 관측소에서의 유사강우 발생 확률분포 지도를 보여주고 있다.

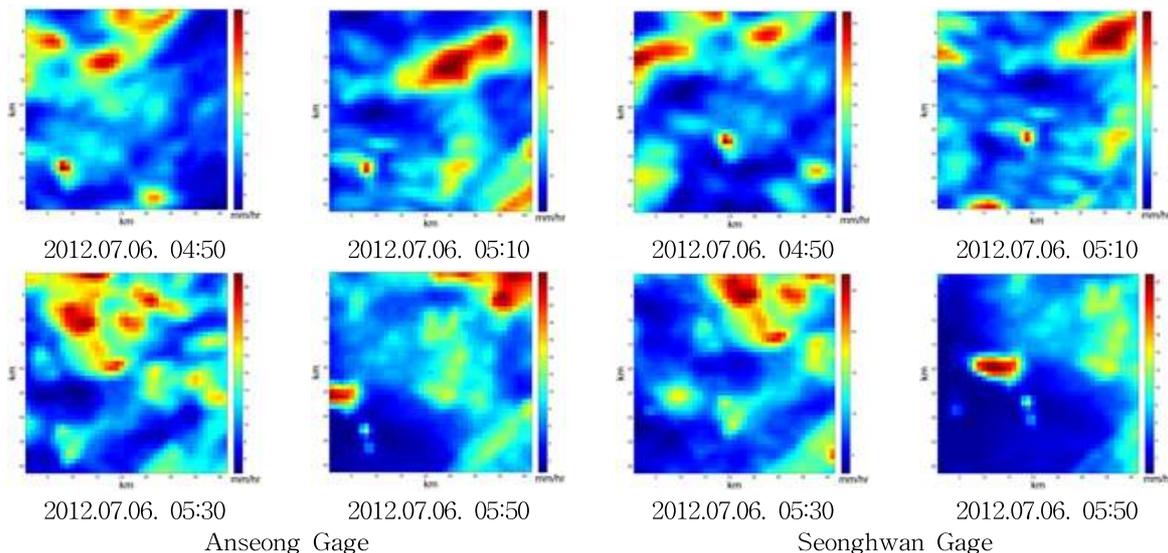


Fig. 1. Radar Precipitation Field

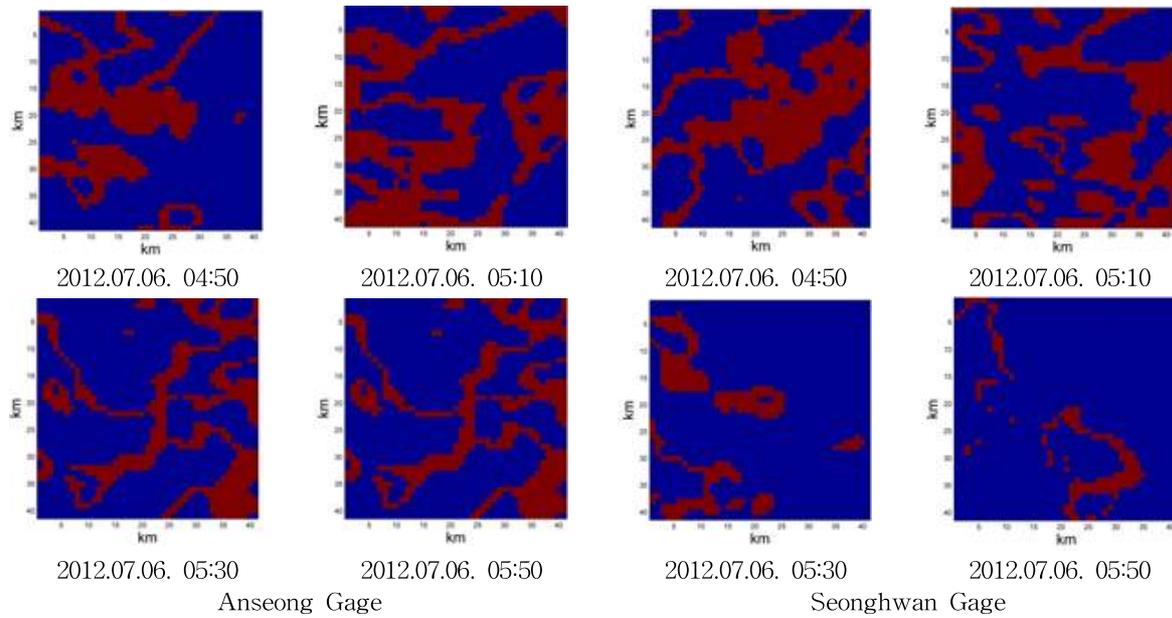


Fig. 2. Similar Rainfall Map

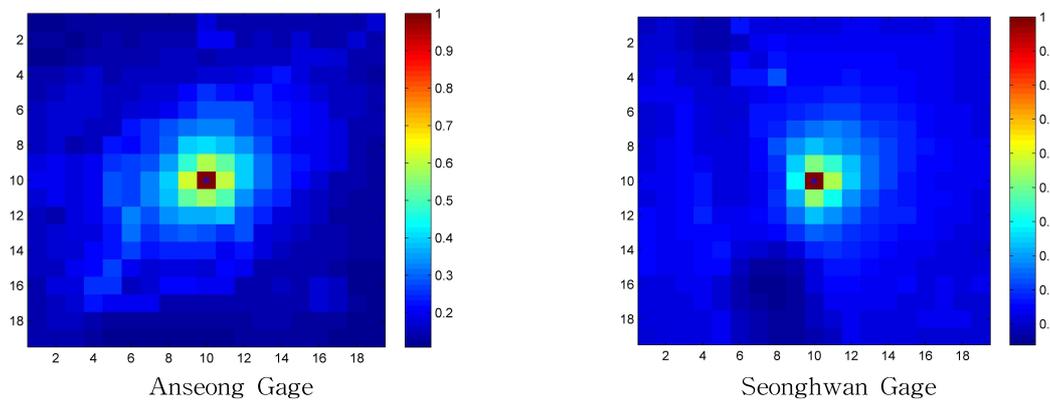


Fig. 3. Similar Rainfall Probability Map

4단계 - 주어진 격자에서의 각 관측소의 유사강우 발생 확률의 비교를 통한 지배범위 결정  
 주어진 격자에서의 서로 다른 관측소의 유사강우 발생 확률 값을 비교하여 가장 높은 발생 확률 값을 가진 관측소를 그 격자의 지배관측소로 할당한다. 안성관측소와 성환관측소의 유사강우 발생 확률분포 지도를 이용한 지배범위 결정결과는 Fig. 4와 같다.

## 2.2 관측소별 가중치 산정

Radar Polygon Method을 이용한 관측소별 가중치의 산정은 Fig. 5와 같은 알고리즘을 따라 수행하였다. RPM을 이용하여 지배범위 결정 후 연관성이 없는 지역에 나타나는 지배범위의 오차 조정을 위하여 Median Filter (Lim,

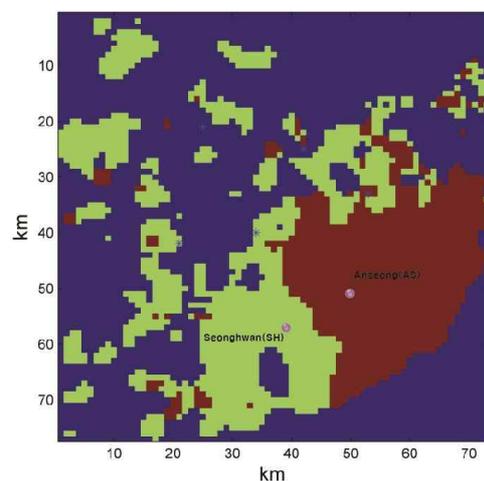


Fig. 4. Governing Territory of Each Gage (Anseong, Seonghwan Gage)

1990)를 이용하여 보정작업을 수행하였다. Median Filter는 인접영역의 픽셀을 픽셀 값에 따라 정렬하여 그 중앙값을 대표 값으로 정하는 필터로 필터적용 전·후는 Fig. 6과 같다. 관측소별 가중치는 관측소 지배범위에 포함된 격자 개수를 대상구역에 포함된 격자 개수로 나누어 산정하였으며, 관측소별 가중치를 다 더하여 1인 아닌 경우 관측소의 지배범위가 대상유역을 모두 포함하고 있지 않는 것이므로 유사관측치 판단범위를 조정하여 다시 수행하도록 알고리즘을 구성하였다.

### 2.3 연구에 적용한 강우레이더 관측자료

본 연구에서는 기상청에서 제공받은 2008~2012년 3월에서 9월까지의 5개년, 10분 단위, 1×1 km 격자 형태의 강우강도 관측 자료를 이용하여 연구를 수행하였다.

수집된 강우강도 계측자료를 모두 적용하여 관측소의 지배범위 및 가중치를 결정할 경우 발생빈도가 높은 약한 강우강도의 강우사상으로 인하여 수문분석의 주요 대상인 발생빈도가 낮은 강한 강우강도의 강우사상의 공간분

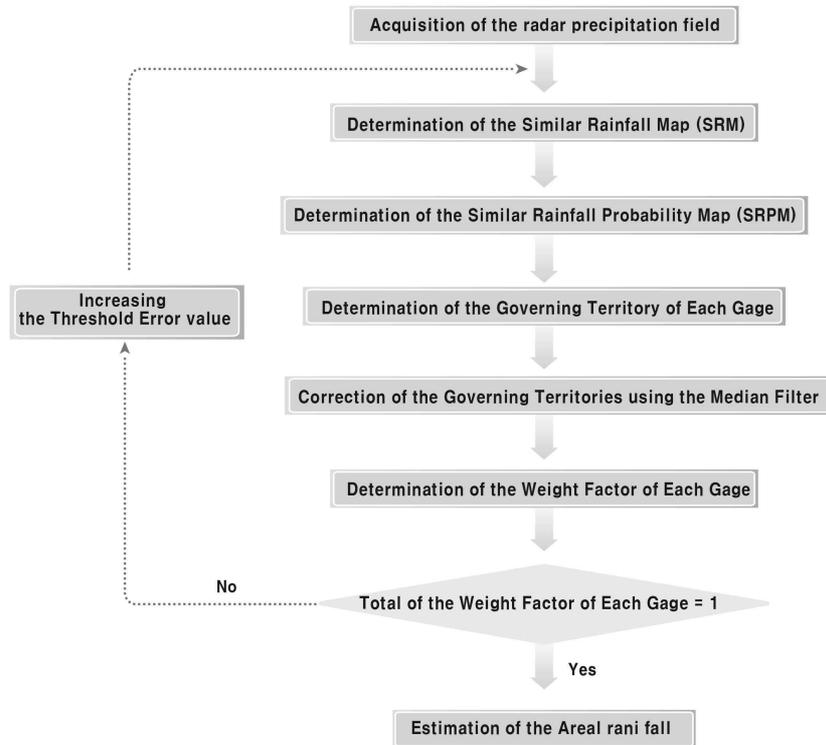


Fig. 5. The Algorithm of Radar Polygon Method

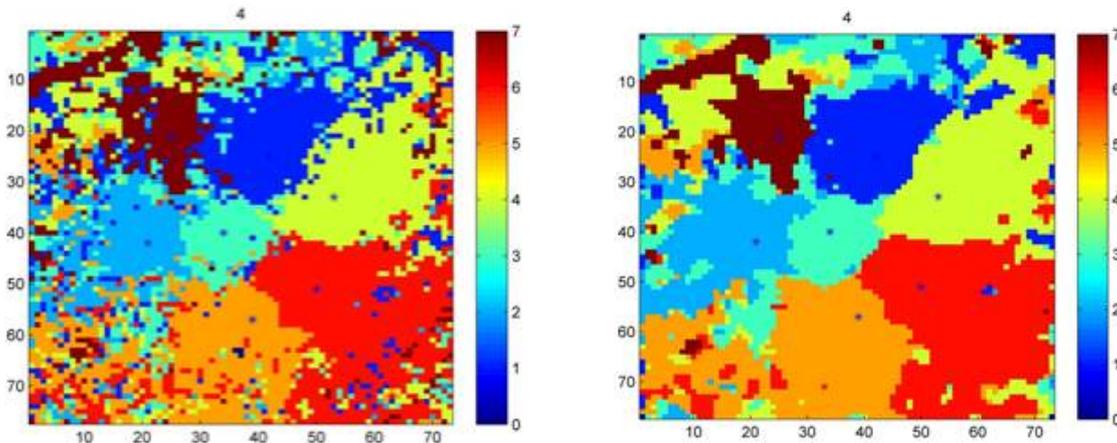


Fig. 6. Result Using the Median Filter

포가 반영되기 어렵다. 그러므로 검토대상 지점관측소의 2008~2012년 6월에서 9월까지의 고정시간 일강우량 자료를 검토하여 매년 일강우량 크기, 1~10순위의 일강우량이 발생한 날짜를 조사하여 매년 강한 강우가 발생한 10일, 총 50일, 7,200개(10 event × 6 imageries per hour × 24 hours × 5 years)의 레이더 강우강도 관측 자료를 금회 제시한 공간분포 기법에 적용하여 관측소의 지배범위 및 대상유역에 대한 가중치를 산정하였다.

### 2.4 대상유역 및 관측소 현황

금회 제시한 RPM의 적용검토 대상유역인 안성천 유역은 유역면적 1,654.61 km<sup>2</sup>, 유로연장 71.05 km로써 독립적인 수계를 이루고 있으며, 유역내 지형의 구성이 산지 및 평야지대를 모두 포함하고 바다를 인접하고 있어 지형에 따른 다양한 강우공간분포 유형이 발생될 것으로 예상되

어 검토 대상유역으로 선정하였다.

적용 강우관측소는 안성천 유역 영향을 미치는 관측소 중 관측소의 위치 및 관측기간을 고려하여 선정된 7개 관측소(수원, 용인, 원삼, 진위, 양감, 안성, 성환)를 대상으로 검토하였으며, Table 1에 본 연구에서 분석에 활용한 강우관측소의 정보를 수록하였다.

## 3. 적용 및 결과

### 3.1 안성천 유역 적용결과

안성천 유역에 RPM을 적용하여 관측소별 지배범위 및 가중치를 산정하였다. 그 결과를 Thiessen's weighting method을 이용하여 산정한 관측소별 가중치와 비교검토 하였으며, 검토한 결과는 Fig. 8, Table 2와 같다.

적용결과 RPM을 이용한 관측소별 가중치는 Thiessen

Table 1. Information of the Rain Gages

Gage Name (ID)	Longitude	Latitude	Management Agency
Suwon (SW)	126-59-15	37-16-12	KMA (korea Meteorological Administration)
Yongin (YI)	127-11-13	37-14-01	MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure, and Transport)
Wonsam (WS)	127-18-36	37-10-06	MOLIT
Jinwi (JW)	127-05-25	37-05-57	MOLIT
Yanggam (YG)	126-56-39	37-04-54	MOLIT
Anseong (AS)	127-16-44	37-00-29	MOLIT
Seonghwan (SH)	127-08-53	36-56-59	MOLIT



Fig. 7. Location Map of Study Area

Table 2. Weight Factor Comparison of RPM and Thiessen Method in Anseong Basin

Classification	YI	YG	JW	WS	SH	AS	SW	Total
Thiessen	0.083	0.123	0.166	0.062	0.273	0.178	0.115	1
Radar	0.101	0.084	0.207	0.079	0.246	0.196	0.087	1
Difference to Thiessen	0.018	0.039	0.04	0.017	0.026	0.017	0.028	0.185
Relative Difference to Thiessen	21.7	31.7	24.1	27.4	9.5	9.6	24.3	-

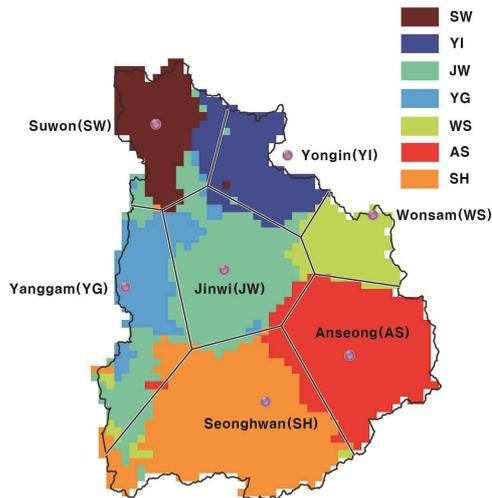


Fig. 8. The RPM Result of Anseong Basin

을 이용한 가중치와 비슷한 결과를 나타냈으나, 관측소별 지배범위의 공간적 분포형태는 차이를 보였다. Thiessen을 이용한 가중치와 큰 차이를 보이지 않는 이유는 관측소의 지배범위 변화에 비하여 안성천 유역면적이 크기 때문에 관측소별 가중치의 변동은 큰지 않은 것으로 판단된다. 그러므로 검토 대상유역이 영향을 미치는 관측소 사이에 위치하고 유역면적이 작을 경우 관측소별 가중치의 값 차이가 크게 나타날 것으로 예상된다.

양감관측소의 경우 다른 관측소에 비해 Thiessen을 이용한 지배범위와 큰 차이를 보였다. 이는 지형적 영향에 의한 것으로 추측되므로 추후 지형적 영향과의 상관관계에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

실무에서 많이 사용되고 있는 면적강우량 산정방법은 관측소간 위치관계를 이용한 기법으로 본 논문에서는 레이더 강우관측 자료를 이용한 실측기반의 면적강우량 산정 방법인 Radar Polygon Method (RPM)를 제시하였다. 또한 이를 안성천 유역에 적용하여 기존의 방법인 Thiessen

polygon 기법과 결과를 비교하였다. 안성천 유역의 경우 RPM과 Thiessen 방법에 근거한 다각형의 공간적 형태는 차이를 보였으나 관측소별 가중치의 값의 차이는 크지 않았다. 이를 바탕으로 본 연구결과 다음과 같다.

- 1) RPM 방법은 (1) 거리 정보를 전혀 활용하지 않으며 오로지 실측 레이더강우자료에만 근거하여 산정되었다는 점, (2) 레이더 강우자료에 반영된 강우의 다양한 시공간적 특성을 고려할 수 있다는 점과 (3) 등우선법과 달리 각 강우 관측소의 선형가중치를 제공할 수 있다는 점에서 기존의 Thiessen 방법을 교체할 수 있는 실용적인 대안이 될 수 있을 것이다.
- 2) RPM 기법을 활용하여 산정한 면적 강우량의 정확성을 검증하기 위해서는 매우 조밀한 강우 지상관측망에 근거한 강우자료와의 비교 검토가 필수적인데, 이러한 자료의 확보는 불가능하므로 RPM이 기존의 Thiessen 방법보다 정확하다는 결론은 얻을 수 없었다.
- 3) 본 연구는 관측기간 및 정확도의 문제로 인하여 제한적으로 활용되어 온 레이더 강우관측자료의 새로운 활용분야를 개척하였다는 점에서 큰 의미를 찾을 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(수문레이더 기반 홍수에경보 및 폭설 추정 플랫폼 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### References

- Fiedler, F.R. (2003). "Simple, practical method for determining station weights using Thiessen polygons and isohyetal maps." *Journal of Hydrologic engineering*, Vol. 8, No. 4, pp. 219-221.
- Ho, C., and Kang, I. (1988). "The variability of Precipi-

- tation in korea.” *Journal of Korean Met Society*, Vol. 24, No. 1, pp.
- Hong, j., Kim, B., and Yoon, S. (2006). “Evaluation of Accuracy of the Physics Based Distributed Hydrologic Model Using Vflo™ Model.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers B*, Vol. 26, No. 6B, pp. 613-622.
- Lim, J.S. (1990). *Two-dimensional signal and image processing*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., pp. 710
- Yoo, C., Kim, S., and Yoon, Y. (2002). “Estimation error of areal average rainfall and its effect on runoff computation.” *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol. 35, No. 3, pp. 307-319.
- Yoon, Y. (1998). *Industry Hydrology*. Cheongmungak, pp. 65.

<p>paper number : 15-068          Received : 3 September 2015          Revised : 21 September 2015          Accepted : 21 September 2015</p>
--