

## 서울시 고밀도 지상강우자료 품질관리방안 도출 Deduction of Data Quality Control Strategy for High Density Rain Gauge Network in Seoul Area

윤성심\* / 이병주\*\* / 최영진\*\*\*

Yoon, Seongsim / Lee, Byongju / Choi, Youngjean

### Abstract

This study used high density network of integrated meteorological sensor, which are operated by SK Planet, with KMA weather stations to estimate the quantitative precipitation field in Seoul area. We introduced SK Planet network and analyzed quality of the observed data for 3 months data from 1 July to 30 September 2013. As the quality analysis result, we checked most SK Planet stations observed similar with previous KMA stations. We developed the real-time quality check and adjustment method to reduce the error effect for hydrological application by missing and outlier value and we confirmed the developed method can be corrected the missing and outlier value. Through this method, we used the 190 stations(KMA 34 stations, SK Planet 156 stations) that missing ratio is less than 20% and the effect of the outlier was the smallest for quantitative precipitation estimation. Moreover, we evaluated reproducibility of rainfall field high density rain gauge network has 3 km<sup>2</sup>/gauge. As the result, the spatial relative frequency of rainfall field using SK Planet and KMA stations is similar with radar rainfall field. And, it supplement the blank of KMA observation network. Especially, through this research we will take advantage of the density of the network to estimate rainfall field which can be considered as a very good approximation of the true value.

**Keywords** : high density, rain gauge network, quality control, SK planet, Seoul

### 요 지

고해상도의 정량적 실황강우장을 산정하기 위해서는 양질의 고밀도 강우관측망 정보가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서 정량적 실황강우장 산정을 위한 입력자료로 SK 플래닛의 고밀도 복합기상센서 관측망과 기존 기상청 관측망을 이용하고자 하였다. 이를 위해 서울지역에 위치한 SK 플래닛의 복합기상센서 관측망을 소개하고, 2013년 7~9월 3개월 동안의 관측자료의 품질을 분석하였다. 품질분석 결과, SK 플래닛 관측소가 일부 관측소를 제외하고 대부분 기존 관측망과 유사하게 강우를 관측하는 것을 확인할 수 있었다. 다만, 일시적인 기계 및 자료 전송 오류로 인해 발생할 수 있는 결측치 및 이상치가 미치는 영향을 최대한 저감하기 위해서 오자료를 실시간으로 보정할 수 있는 품질보정 기법을 개발하였으며, 개발된 기법이 적절히 강우를 보정하는 것을 확인하였다. 이를 통해 결측률이 20% 미만이면서 오자료의 영향이 최소가 되는 190개소(기상청 34개소, SK 플래닛 156 개소)를 정량적 실황강우장 산정에 활용하였다. 또한, 약 3 km<sup>2</sup>의 밀도를 갖는 고해상도 관측망을 이용하여 산정된 강우분포장의 재현성을 기존 기상청 관측망의 결과비교를 통해 평가한 결과, 고밀도 관측망을 통해 산정된 강우분포장의 빈도곡선이 레이더 공간분포장과 유사하며, 기존 기상청 관측망의 공백을 보완할 수 있음을 확인하였다. 특히, 이 결과를 통해 고밀도의 강우관측 결과를 활용한다면 레이더 관측망에 근사한 공간분포된 강우를 산정할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

**핵심용어** : 고밀도, 강우관측망, 품질관리, SK 플래닛, 서울

\* 교신저자, 한국외국어대학교 차세대도시농림융합기상사업단 선임연구원 (e-mail: seongsimyoong@gmail.com, Tel: 82-70-4617-4217)  
*Corresponding Author*, Senior Researcher, WISE Institute, Hankuk University of Foreign Studies, P.O. Box 449-791, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea  
\*\* 한국외국어대학교 차세대도시농림융합기상사업단 책임연구원 (e-mail: bjlee0704@gmail.com)  
Principal Researcher, WISE Institute, Hankuk University of Foreign Studies, P.O. Box 449-791, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea  
\*\*\* 한국외국어대학교 차세대도시농림융합기상사업단 연구소장 (e-mail: junokma@gmail.com)  
Director, WISE Institute, Hankuk University of Foreign Studies, P.O. Box 449-791, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea

## 1. 서론

도시지역에서 돌발적인 홍수나 침수피해를 유발하는 강우는 대부분 단시간 동안 국지적으로 발생하고, 강우의 공간적인 불균질성이 매우 크다. 현재 이러한 도시지역에 발생하는 강우를 감지하는 것은 기상청에서 현업운영 되는 레이더나 강우계 관측망으로부터 얻는 강우자료가 일반적으로 1km<sup>2</sup> 이상의 해상도를 갖고 있기 때문에 어렵다. 특히, 강우자료는 수문학적 피해를 저감시키기 위한 배수시스템 설계, 홍수예보시스템의 개발 및 운영에 활용되는 필수요소로서 중요하지만 강우관측망의 밀도, 자료의 품질, 정확도 측면에서 한계를 갖고 있다.

강우량은 지상강우계를 통해 직접적으로 측정될 수 있지만, 점단위 관측의 한계로 인해 공간적으로 충분한 밀도로 구성된 관측망이 아니면 강우의 공간분포를 구현하는 것이 어렵다. 특히, 유출해석 모형의 입력으로 활용되는 유역평균강우량의 정확한 산정은 수문모형의 모의 및 예측 정확도에 큰 영향을 미치며, 유역 내 설치된 강우계가 많을수록 정확하다. 그러나 지형학적, 경제적 상황으로 인해 이상적인 밀도를 갖는 관측망을 구성하기 어렵고, 밀도가 낮은 관측망으로 측정된 유역평균강우량은 모의된 침투유량에 현저한 오차를 유발한다(Wilson et al., 1979; St-Hilaire et al., 2003; Chen et al., 2010; Michaud and Sorooshian, 1994). 또한, 강우자료의 공간 해상도는 강우 유출모의에 현저한 영향을 주는데, 연구목적으로 고밀도 강우관측망을 구축하여 강우 및 유출특성을 분석한 결과, 고밀도 관측망이 도시지역에서 단시간 동안 특정지역에 집중적으로 내리는 호우를 정확하게 측정함을 확인하였다(Dong et al., 2005; Srinivasan and Nair, 2005; Xu et al., 2013). 강우의 공간분포 관측을 위해서는 지상강우계 뿐만 아니라 위성영상이나 레이더 관측정보를 활용하고 있다. 특히, 일부 사례에서는 우량계 관측망의 품질저하로 인해 발생하는 오차들을 가지고 있는 사례도 있었지만, 몇몇의 사례에서는 우량계 관측망의 관측치와 결합된 레이더, 위성영상이 점단위 혹은 면단위에서 정확한 강우를 제공하는 것이 나타났다(Cheng et al., 2008; Krajewski, 1987). 그러나, 강우량과 강우분포의 정확한 관측을 위한 목적으로 사용되는 지상강우계와 레이더, 위성정보는 각각의 한계를 가지고 있다. 강우계의 경우, 점단위의 관측이라는 공간적인 한계뿐만 아니라, 관측·전송 장비의 결함, 기기 관리 및 자료품질관리 시스템의 부재 인해 이상치나 결측치가 존재한다는 단점이 있다. 위성과 레이더 관측자료는 공간적인 강우관측에는 유리하나 영상픽셀과 반사

도 정보를 강우로 환산하는 과정에서 강우량이 왜곡되어 정량적인 정확도가 낮다는 단점이 있다. 이를 고려하여 국외에서는 강우장의 정확도 향상을 위해 지상강우, 레이더, 위성영상자료를 이용한 다중센서강우추정(Multi-sensor Precipitation Estimator), 1 km 해상도를 갖는 고해상도 강우추정(High-Resolution Precipitation Estimator)과 수문학적 활용에 관한 연구를 수행하고 있다(Kitzmler et al., 2011).

국내의 도시기상 및 수문특성도 앞서 언급한 바와 같이 고해상도의 강우정보를 필요로 하고 있다. 그러나 국내에서는 위성정보를 강우량 추정에 활용하는 연구는 초기단계로, 레이더와 강우계 관측정보를 활용하는 연구 위주로 진행되어져 왔다. 특히, 대규모 도시지역인 서울의 강우관측을 위해 설치되어 있는 관측소는 기상청 35개소, 서울특별시 47개소, 국토해양부 5개소 등에 불과하며, 이들 관측장비는 각 기관별 운영목적에 따라 관측장비, 관측요소, 관측간격 등이 다르므로 이를 융합하여 활용하는 것에는 한계가 있었다. 따라서 서울지역에서 빈번하게 발생하는 강우지속시간이 짧은 국지적인 집중호우나 돌발적인 기상 현상 등은 10분~1시간 단위 관측을 하는 서울특별시나 국토해양부의 관측망으로는 관측하는 것에는 한계가 존재하고 있다. 또한, 발생 범위도 협소하기 때문에 현재의 관측망으로는 관측되지 않는 경우가 빈번하다. 다만, 최근 들어 SK텔레콤의 자회사인 SK 플래닛에서는 SK텔레콤의 기지국 인프라를 활용해 고밀도 복합기상 센서망을 구축하고 있는데, 이를 기존 관측망과 함께 활용한다면 관측의 공백지역을 보완할 수 있을 뿐만 아니라, 고해상도의 강우장을 생성할 수 있을 것으로 판단하였다. 이에 본 연구에서는 정량적 실황강우장 산정을 위한 입력자료로 SK 플래닛의 고밀도 복합기상센서 관측망과 기존 기상청 관측망을 이용하고자 하였다. 이를 위해 신규자료인 서울지역에 설치된 SK 플래닛의 복합기상센서 관측망 현황을 분석하고, 관측자료의 품질분석 및 오차보정수행하였다. 또한, 강우분포시 고밀도 관측망을 이용한 경우의 개선정도를 기존 기상청 관측망 결과와 함께 비교하였다.

## 2. 고밀도 관측망의 현황 및 강우자료 품질분석

관측된 기상자료에는 기계적인 오작동, 통신장애로 인한 자료 전송 오류 등으로 인해 결측치 및 물리적 범위를 벗어난 이상치가 존재할 수 있다. 이러한 오차자료가 포함된 관측자료를 이용할 경우 수문유출해석의 정확도가 저

해되거나 불확실성이 증대된다. 따라서 본 연구에서는 SK 플래닛 관측자료와 기상청 AWS 관측정보를 유용하게 활용하기 위해 자료품질검사를 수행하여 결측률이 높은 관측소를 제외하고, 일부 오자료를 실시간으로 보정할 수 있는 품질보정 기법을 개발하였다.

## 2.1 서울지역 고밀도 지상강우관측망 현황

미국이나 일본 등에서는 NTT DOCOMO, Weather Bug와 같은 이동통신업체들이 국지 기상관측망을 구축하여 기상정보를 생산, 제공하고 있다. 국내의 경우는 SK 플래닛에서는 SK텔레콤의 기지국 인프라를 활용해 복합기상센서망을 구축하고, 기상정보를 수집, 가공하여 방재, 물류, 유통 등에 활용할 수 있는 날씨서비스를 제공하고 있다. 이와 같이 이동통신사업의 기지국을 이용할 경우 자료 전송을 위한 기존 네트워크를 활용하기 때문에 추가적인 부대비용이 필요 없으며 주변에 장애물(canopy)가 없어서 최적의 관측위치에 관측장비를 설치할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 기지국의 CCTV 등을 함께 활용할 수 있어서 기상감시에 대한 활용성을 증대시킬 수 있는 장점이 있다. 2013년 5월 기준으로 SK 플래닛에서는 Fig. 1의 빨간색 별과 같이 서울시 내에 총 262개의 기상 관측센서를 설치를 완료하고 운영 중에 있으며, 2014년에는 경기도 및 6대 광역시에 1,800여개를 설치하고, 2015년에는 약 4,000개소의 전국망을 구축 계획을 가지고 있다. 추가적으로 본 연구에서는 우량계 관측요소와 관측시간간격 등을

고려하여 기존 강우관측망 중 기상청에서 운영 중인 관측소를 활용하였다.

SK 플래닛이 설치한 복합기상센서는 기상청 표준을 준수한 장비이며, Table 1과 같이 기상청 Automatic Weather Station (AWS)와 유사한 기상관측요소를 매 1분단위로 관측하여 실시간 수집하고 있다. 또한, Table 2와 같이 SK 플래닛에서는 정기적인 기지국 유지·보수 인력을 활용한 자동화, 반자동 관측정보 품질관리 시스템을 적용하여 관측자료를 관리하고 있다(www.weatherplanet.co.kr).

## 2.2 SK 플래닛 강우관측자료의 품질 평가

### 2.2.1 결측치 평가

SK 플래닛 관측자료는 자체적으로 품질관리 기준에 따라 자료를 관리하고 있으나, 해당자료에 대한 품질평가가 수행된 바가 없다. 이에 본 연구에서는 SK 플래닛의 2013년 7월 1일부터 9월 30일까지 3개월 동안 1분 간격으로 관측된 정보를 수집하여 결측치와 이상치를 평가하였다. 분석에 사용된 SK 플래닛 관측소는 2013년 9월까지 설치가 완료된 206개소를 대상으로 하였다. 본 연구에서는 결측의 기준을 관측자료가 “NULL” 값으로 저장된 것으로 하고, 관측소별로 저장되는 1분간격의 자료 중 “NULL” 값의 개수를 누적하여 3개월 관측기간에 대한 결측률로 환산하였다. Fig. 2는 각 관측소별 결측률을 분석한 결과이며, 3개월간 관측소별 평균 결측률은 18.71%, 7월 결측

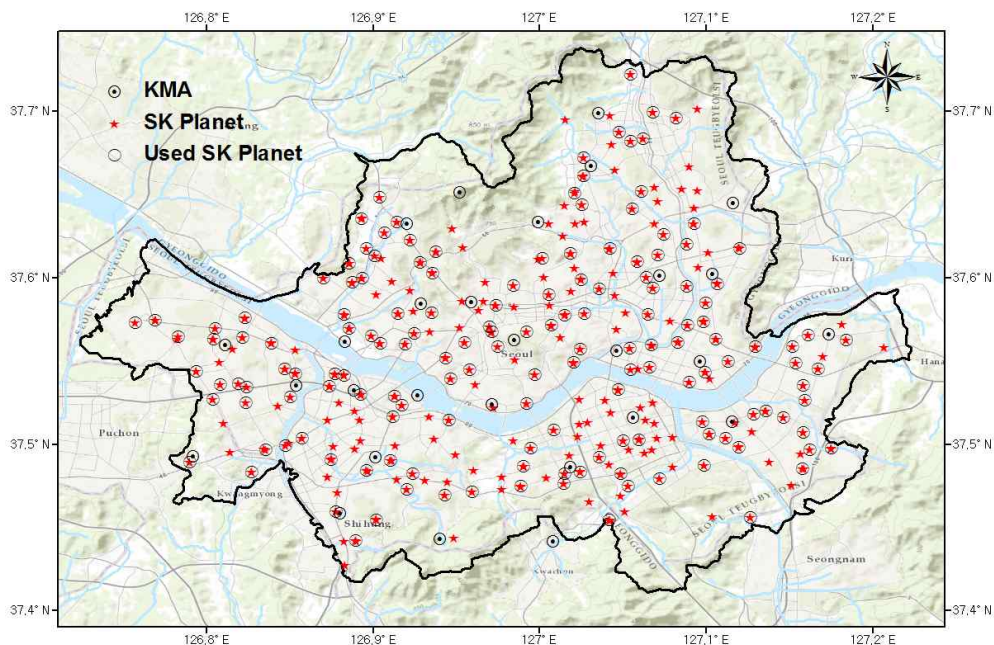


Fig. 1. Weather Gauge Network in Seoul

를 15.94%, 8월 결측률 21.32%, 9월 결측률은 18.88%로 나타났다. 결측치 발생원인은 초기 관측망 구축 단계에서는 유선방식으로 각 관측소별 자료를 수집하였기 때문에 전송방식에 의한 결측과 일부 관측장비의 불량 등을 들 수 있다. 현재는 M2M (Machine to Machine)으로 전송방식 교체, 불량장비의 교체를 통해 결측률을 저감시키고 있다.

자료의 안정성을 확보하기 위해 본 연구에서는 SK 플래닛의 관측소 중 다음 Table 3과 같이 결측률별 가용가능한 관측소를 선정하고, 임계치로 결측률이 20% 미만에 해당되는 156개소만을 활용하여 이상치 평가 및 정량적 강우장 산정에 활용하였다. 본 연구에서는 연속적으로 발생된 결측자료가 없으면서 우량계 밀도를 극대화 할 수 있

Table 1. Detail Structure of SK Planet data

No.	Contents	No.	Contents
1	Station	10	1 minute average spot atmospheric pressure
2	Date/Time	11	1 minute average sea level pressure
3	Latitude	12	Precipitation Existence
4	Longitude	13	Hourly Precipitation
5	Elevation(m)	14	Daily Precipitation
6	1 minute average wind direction	15	15 minute precipitation
7	1 minute average wind speed	16	60 minute precipitation
8	1 minute average temperature	17	max instance wind direction
9	1 minute average humidity	18	max instance wind speed

Table 2. Quality Control Methods Applied to Each Meteorological Variable

Method \ Variable	Temperature	Air Pressure	Relative Humidity	Wind Direction	Wind Speed	Precipitation
Missing value test	○	○	○	○	○	○
Physical limit test	○	○	○	○	○	○
Step test	○	○	○	-	○	-
Internal consistency	-	-	-	○	○	-
Persistence test	○	○	○	○	○	-
Climate range test	○	-	-	-	-	-
Median filter test	○	○	○	-	○	-
Spatial checking	Cressman	Cressman	Cressman	-	-	Madsen-Allerup

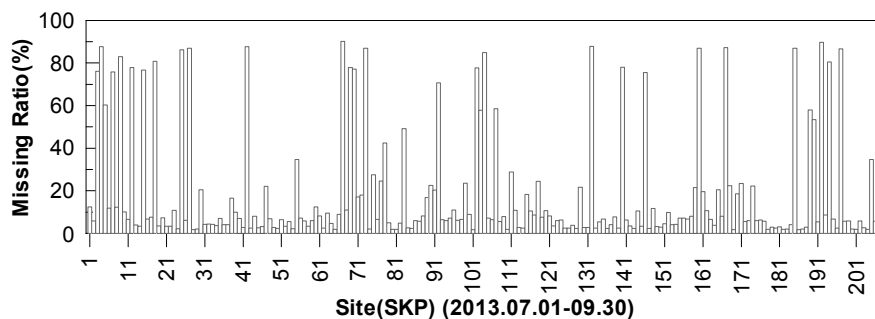


Fig. 2. Missing Ratio During 3 Months

Table 3. Analysis Result of Each Missing Ratio

Period \ Ratio	<10%	<20%	<30%	<40%	<50%
July	130	160	173	181	186
August	137	160	171	174	175
September	146	168	173	175	176
July-September	135(65.5%)	156(75.7%)	171(83%)	173(84%)	175(85%)

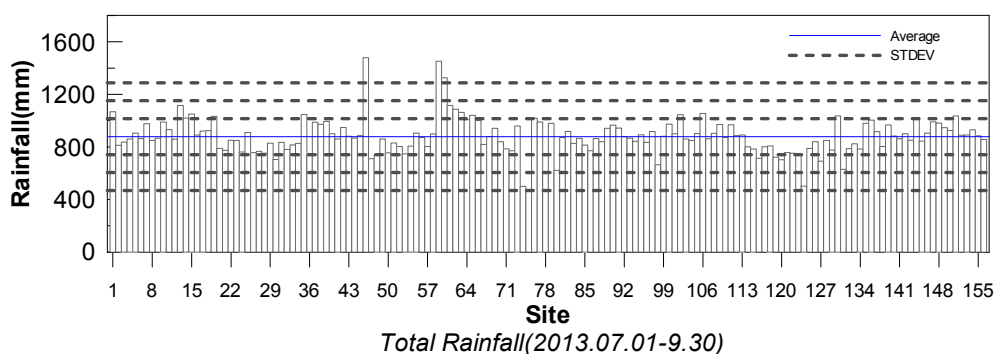


Fig. 3. Accumulated Rainfall of 157 Stations for 3 Month and Average Rainfall and Standard Deviation

도록 우량계수를 확보하고자 결측률의 임계치를 20%로 정하였다.

### 2.2.2 이상치 평가

결측률이 20% 미만인 관측소 자료라고 할지라도 관측 기기 상태 및 장비점검의 불량 등으로 인해 이상치가 발생하여 자료의 정확도를 저하시킬 수 있다. 사용한 자료에서 이상치의 존재여부는 대부분의 관측치로 판단하는 것이 어렵다. 따라서 본 연구에서 사용한 SK Planet 관측소의 이상치 존재 여부는 결측률이 20% 미만인 157개 관측소들의 3개월 누적강우를 산정하고 평균한 값을 기준으로 각 관측소들의 누적강우와의 표준편차를 산정하였다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 157개소의 누적강우 평균은 878.2 mm이며, 표준편차( $\sigma$ )는 136.6 mm이다. 분석대상 SK 플래닛 관측소 157개 중  $\pm\sigma$  범위 밖의 관측소는 34개소,  $\pm 2\sigma$  범위 밖의 관측소는 6개소,  $\pm 3\sigma$  범위 밖 관측소는 3개소가 존재하였다. 보다 상세한 이상치 특성 분석을 위해 Fig. 4는 누적강우가  $+3\sigma$  범위 밖인 관측소 SKP 10140의 3개월간의 시계열 관측자료와 인근 3개의 관측소 강우(KMA 406, KMA 424, SKP 10139)를 함께 도시한 것으로, 전 기간 동안 인근 관측소들과의 강우량 편차가 2~3배 이상 지속되고 있다. 인근 관측소와 SKP 10140 관측소와의 거리는 각각 1,564 m, 4,399 m, 561 m이다. 인근 관측

소간의 거리를 고려한다면 2~3배 이상의 편차가 발생하는 것은 오류일 가능성이 있다고 판단된다. 따라서 이상

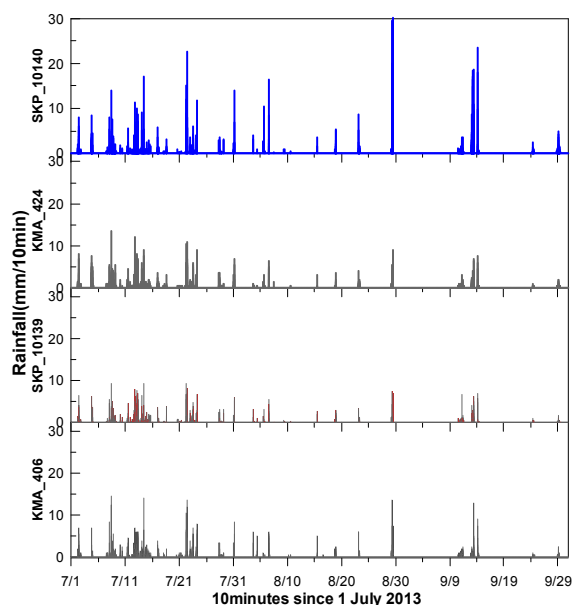


Fig. 4. Time Series analysis of Outlier Station (SKP 10140) and Its Surrounded Stations

치를 자동으로 탐지하고 보정할 수 있는 절차가 자료품질 관리시스템에 포함될 필요가 있었으며, 그 기준으로 10분

누적강우량이  $\pm 3\sigma$ 를 벗어나는 관측소를 이상치로 보고 단순히 제외하지 않고, 보완하도록 하였다.

### 2.2.3 SK 플래닛과 기상청 관측지점 시계열 분석

본 연구에서는 동일한 강우 사상에 대해 SK 플래닛 관측소가 기존 기상청 관측소를 포함한 인근 관측소와 어느 정도 유사하게 강우를 관측하고 있는지를 시계열 분석을 통해 평가하였다. 본 절에서 인근 관측소간의 총강우량, 상관계수 등의 비교 및 시계열 분석에 사용한 호우기간은 2013. 7. 12-15(4일)이다. 이를 위해 티센다각형 분석을 통해 선정된 서울지역의 유역평균강우 산정에 영향을 주는 35개 기상청 AWS를 기준으로 가장 가까운 거리에 위치하는 2개의 SK 플래닛 관측소, 1개의 기상청 AWS 관측소를 선정하여 분석을 수행하였다.

우선 본 연구에서는 운영기관이 다른 관측소 간 강우관측의 동질성을 분석하기 위해 35개소 KMA AWS 관측소와 이에 대응되는 가장 가까운 SK 플래닛 관측지점을 추출하였다. Fig. 5는 이들 KMA AWS 관측소와 SK 플래

닛 관측소의 분석호우기간 동안의 총강우량, 상대오차, 상관계수 분석을 수행한 결과이다. 이들 결과를 통해서 관측소간의 상대오차가  $\pm 0.25$  이상이면 상관계수가 0.8 이하인 10개 관측소를 강우관측에 이상이 있다고 판단하였으며, 시계열 비교를 추가하였다.

시계열 분석 결과를 통해 결측 및 편차 특성을 고려하여 총 6개의 형태로 분류할 수 있었으며, 그 형태를 설명하면 다음과 같다. Case 1은 KMA와 SK 플래닛이 모두 유사하게 관측되는 경우(Fig. 6(a)), Case 2는 SK 플래닛 관측소가 인근 관측소 강우보다 과소 관측한 경우(Fig. 6(b)), Case 3은 KMA AWS 관측소가 인근 관측소 강우보다 과소 관측한 경우(Fig. 6(c)), Case 4는 SK 플래닛 관측소가 분석 기간동안 결측 100%인 경우(Fig. 6(d)), Case 5는 KMA AWS 관측소가 결측 100%인 경우(Fig. 6(e)), Case 6은 부분 결측으로 인해 특정 시점에서 10분 누적강우가 과대 추정되거나 강한 강우강도가 감지된 사례(Fig. 6(f))이다.

최종적으로 본 연구에서는 2013년 자료를 이용한 서울

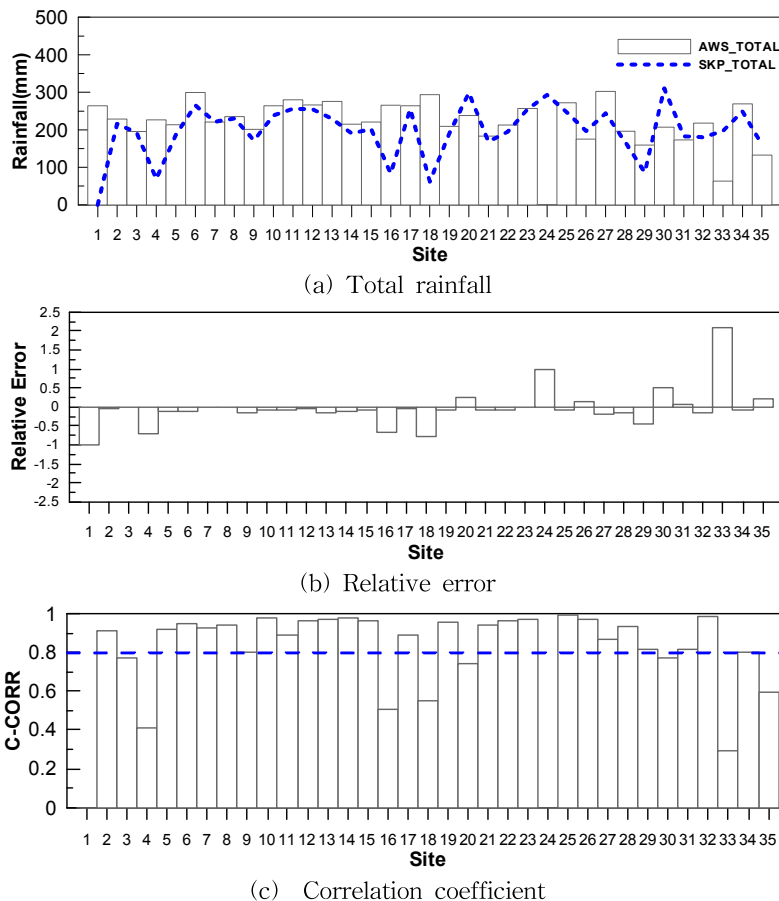


Fig. 5. Analysis Results of Total Rainfall, Relative Error and Correlation Coefficient between KMA and SK Planet Stations (2013. 7. 12-15)

지역 정량적 실험강우장 산정을 위해서 결측이 지속적으로 유지되는 관측소는 제외하고 인근 관측소간의 강우 편차가 큰 지점은 다음 절에 제시할 이상치 보정기법을 통해 보완하였다. 이는 관측밀도를 최대한 유지하면서 가용 가능 관측정보 활용을 극대화하기 위해서이다. 따라서 Fig. 1과 같이 자료 품질에 이상이 없는 기상청 34개소(KMA), SK 플래닛 156 개소(Used SK Planet)를 본 연구에서는 사용하게 되었다.

### 3. 오자료 보정

앞 절의 분석결과에서 확인할 수 있듯이 SK 플래닛과 기상청에서 운영하고 있는 자동기상관측장비(Automatic Weather System, AWS)로 실시간 수집되는 관측 자료에는 기기고장, 교정편차, 편향오차 등의 관측 장비 자체의 오류와 전기 및 통신 장애 등에 의한 오류들이 포함되어 있다(Wade, 1987; WMO, 2004; Heo et al., 2005). 특히, 강우정보의 수문학적 활용을 위해서는 품질관리를 통해 결측치나 이상치로 인한 부정확성을 최소화하는 것이 필요하다. 기상분야에서 품질관리란 사용자가 관측 자료를 최적으로 사용할 수 있도록 오류자료 검출과 오차 보정을 통하여 관측 자료의 정확도를 최대한 높이는 것을 말한다(WMO, 2004; KMA, 2006). 이러한 관측 자료의 품질관리는 사용자에게 보다 정확한 자료를 제공하기 위해 필수적

일 뿐만 아니라 결측치나 이상치를 판별해서 제거하고, 인근 관측소의 관측정보를 참고하여 보정하여 사용하는 것이 수문학적 해석의 정확도 측면에서 효율적이다. 현재 기상청에서는 기상 관측 자료 실시간 품질관리시스템(Real-time Quality control system for Meteorological Observation Data, RQMOD)을 개발하여 실시간으로 수집되는 지상, 고층, 해양의 기상 관측 자료에 대한 품질관리를 수행하고 관측 자료에 품질 정보 플래그를 추가하여 사용자에게 제공한다. 이 중 AWS에 대한 품질관리는 물리한계검사, 기후범위검사, 단계검사, 지속성검사, 내적일치성검사, 중앙값필터검사로 이루어져 있다(KMA, 2006). 또한, 홍수통제소에서는 고품질 수문자료의 확보를 위해서 국가 수문자료 품질관리 시스템을 구축한 후 결측 및 이상치 판별을 하고 인근 관측소 자료나 해당 관측소 자료를 이용하여 수정·보완하고 있다(Kim et al., 2008).

본 연구에서는 기존 기상청과 홍수통제소의 자료품질관리시스템을 분석한 후 관리가 용이하도록 Table 4와 같이 결측치 및 이상치 판단 기준을 결정하였다.

우선 관측자료가 “NULL”값으로 기록되어 있으면 결측이라고 판단하고, 10분 누적강우량이 100 mm일 경우를 물리적 한계로 정의하여, 이를 초과하는 경우를 이상치로 판단하였다. 특히, 이상치 판단 기준은 공간표준편차 분석과 Madsen-Allerup 방법을 적용하였으며, 그 방법에 대한 설명은 다음과 같다. 공간표준편차 분석은 영향반경(7

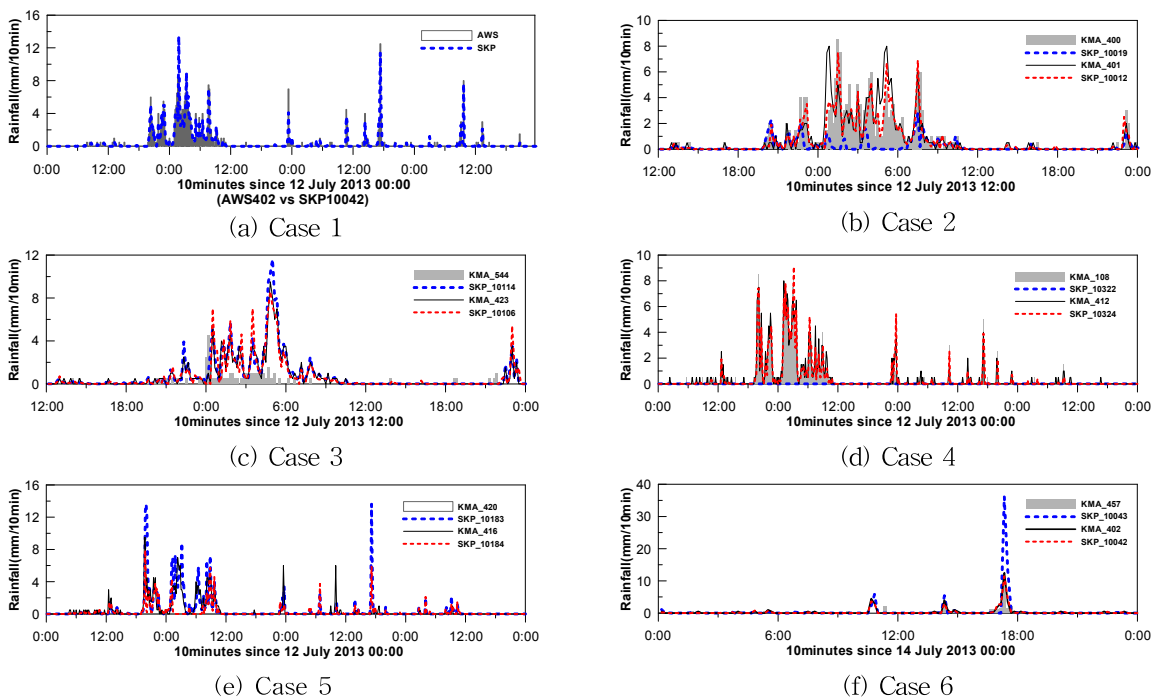


Fig. 6. Time Series Analysis Result for KMA AWS and Corresponding SK Planet Station

km) 이내 관측소들의 표준편차를 산정한 후 Fig. 7과 같이 관측소 i의 관측값  $P_i$ 가  $\mu+3\sigma$ 를 초과하거나,  $\mu-3\sigma$  미만이면  $P_i$ 를 이상치로 판단하는 것이다. Madsen-Allerup 분석은 강수량의 이상값을 검출하기 위한 검사로서, 24시간 누적강수량이 4 mm 이상인 지점에 대해 수행을 해야 하며, 검사지점 인근의 강수량이 있는 12개소 이상의 관측소에 대해 강수량의 빈도분포를 구하고, 빈도분포로부터 Madsen-Allerup 지수  $T_{it}$ (Eq. (1))를 산정한다.

$$T = \frac{x - M_t}{q_{t,75} - q_{t,25}} \quad (1)$$

여기서,  $q_{t,25}$ 는 25% 사분위수,  $q_{t,75}$ 는 75% 사분위수에 해당하는 관측통계값,  $M_t$ 는 중간값이며,  $T_{it}$ 가 2.0을 초과하면 “의심”으로 판정한다.

이 판단 기준에 따라 분류된 결측치와 이상치는 보정에 사용할 수 있는 가용관측소(반경 7 km 인근 관측소)자료에 결측이 없을 경우 RDS(Reciprocal Distance Squared) 방법을 이용하여 보정한다. 다만 가용관측소가 없거나 결

측일 경우에는 보정이 필요한 관측소에 대응되는 레이더 실패강우장의 지점강우로 대체하고자 한다. RDS 방법은 이상/결측된 관측소의 강우를 인근 관측소들의 관측치에 가중치를 주어 평균한 값으로 보완하는 방법으로 거리가 가까운 관측소일수록 큰 가중치를 갖게 된다.

본 연구에서는 Fig. 8의 절차에 따라 결측 및 이상치를 자동으로 판단하고 보정하는 시스템을 개발하였으며, 다음 Fig. 9는 자동으로 탐지된 이상치의 보정 결과를 도시한 것으로, 보정 효과의 비교를 위해 보정 전, 후의 강우와

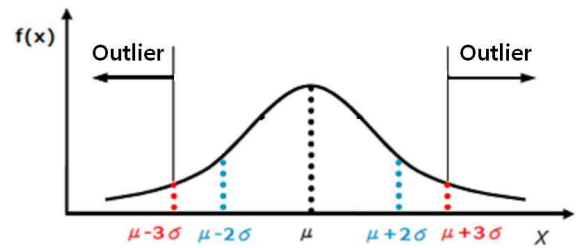


Fig. 7. Definition of Outlier using Spatial Standard Deviation Analysis

Table 4. Criteria of Missing and Outlier Data

Status	Criteria
Missing value	Recorded observation data as “NULL” value
Outlier	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Physical limit : <math>R_{10min} &gt; 100mm</math></li> <li>• Included in the criteria after spatial checking</li> <li>- Spatial standard deviation: <math>P_i &gt; \mu+3\sigma</math>, <math>P_i &lt; \mu-3\sigma</math></li> <li>- Madsen-Allerup method: <math> T_{it}  &gt; 2.0</math></li> </ul>

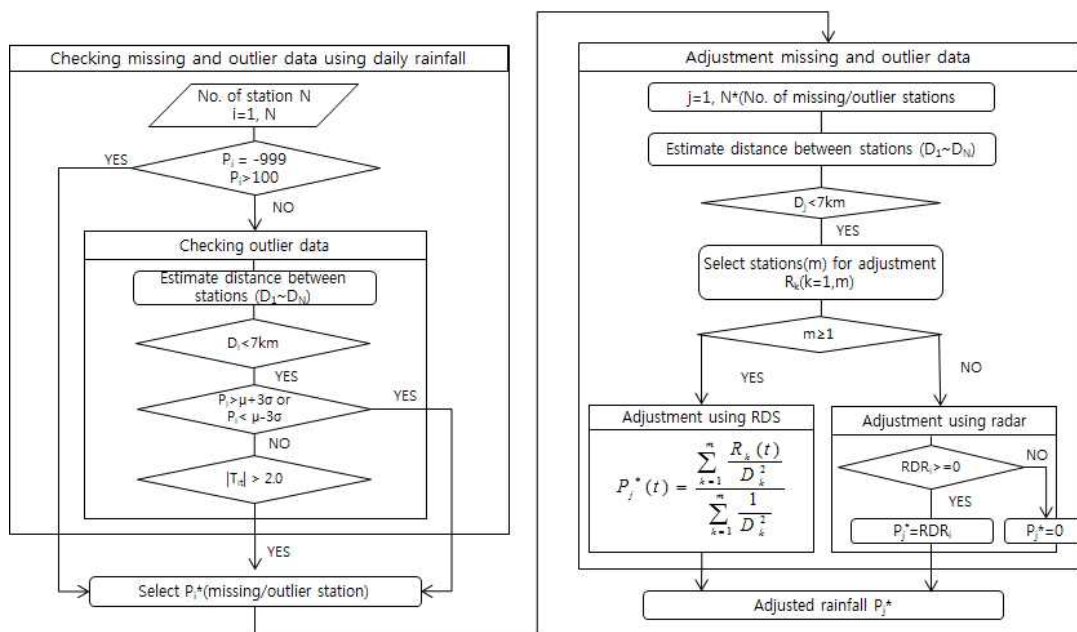


Fig. 8. Quality Control Process for Missing and Outlier Data



최근리 관측소의 강우를 함께 시계열로 도시하였다.

Fig. 9(a)와 (b)는 SK 플래닛 관측소 SKP 10140와 기상청 AWS 544의 관측강우가 공간표준편차 분석시  $3\sigma$ 를 벗어나 이상치로 판별되어 보정된 결과로, 파란색 막대그래프는 보정 전 강우, 빨간색은 보정 후 강우, 검은색은 최근리 관측소의 강우자료를 나타낸다. Fig. 9(c)는 Madsen-Allerup 지수  $T_{it}$ 가 2를 초과하여 이상치로 판별되어 보정된 결과이다. 보정결과 이상치 값들이 인근 관측소 값과 유사하게 보정됨을 확인할 수 있다.

후속 논문에서는 본 연구에서 구축한 강우관측자료 품질관리시스템으로 결측 및 이상치가 보정된 강우자료를 이용해서 고밀도 관측망을 이용한 정량적 강우량 산정에 사용하고자 한다.

#### 4. 고밀도 강우관측망 적용에 따른 공간강우빈도분포 분석

3절에서는 신규 설치된 관측장비의 정확도를 검토하였으며, 해당 분석을 통해 SK 플래닛 관측소가 일부 관측소

를 제외하고 대부분 기존 관측망과 유사하게 강우를 관측하는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 SK 플래닛이 서울시 전역에 설치한 기상복합센서와 기존 기상청 AWS를 포함하여 고밀도 관측망 정보를 신뢰하고 활용할 수 있었다. 본 절에서는 기존 기상청 관측망만을 이용할 경우 약  $18\text{km}^2$ 의 밀도를 갖는데 반해 약  $3\text{km}^2$ 의 밀도를 갖는 관측망이 서울지역 강우의 공간분포를 모의하는 것을 어느 정도 개선시킬 수 있는지 확인하고자 하였다.

이를 위해 2013년 7월부터 8월 사이에 발생한 주요 호우사상(7월 2일, 4일, 12~15일, 22일, 23일, 8월 6일)을 대상으로 기상청 AWS 관측망의 강우만으로 강우를 분포시키고, KMA와 SK 플래닛 관측망의 강우를 함께 분포시켜 각각 누적하여 Fig. 10(a)와 (b)로 표현하였다. 강우분포는 정규크리깅을 이용하여 산정하였으며, 강우 베리오그램 분석을 통해 문턱값은 0.9488, 상관거리는 7 km, nugget값은 0.01로 결정하였다. 공간해상도는 1km로 하였다. Fig.10(a)와 (b)의 파란색 원과 노랑색 원은 각각 기상청과 SK 플래닛 관측지점을 표시한 것이다. Fig. 11(a)의 결과를 보면 특정 강우지점을 기준으로 강한 강우강도

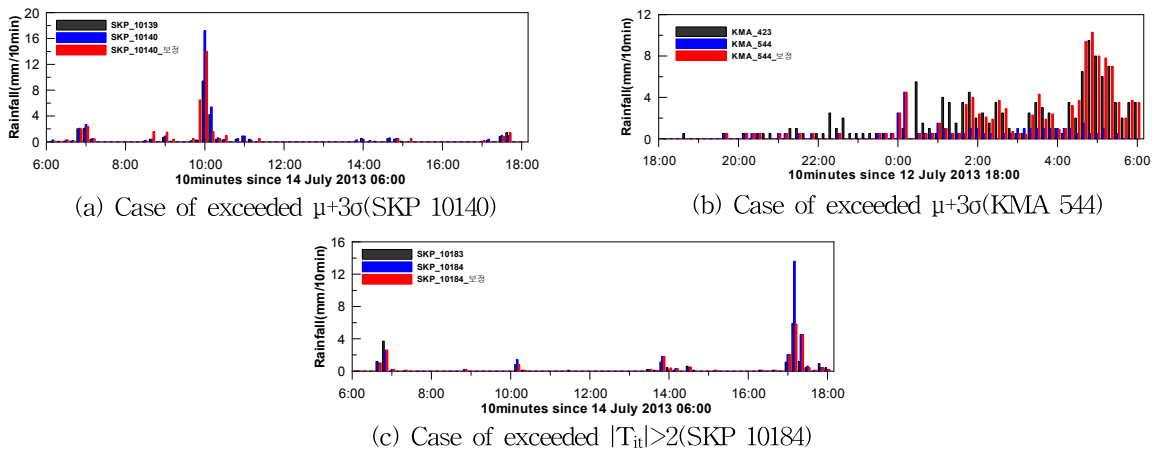


Fig. 9. Quality Control Results

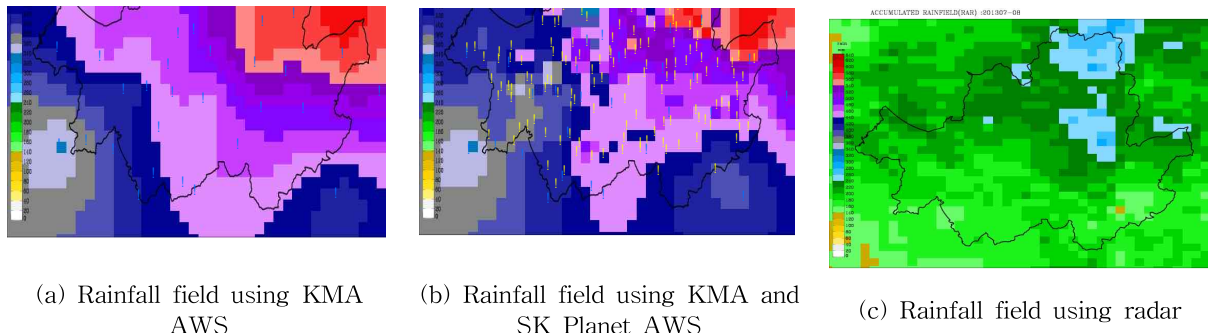


Fig. 10. Accumulated Rainfall Field using Kriging Method and Radar Rainfall

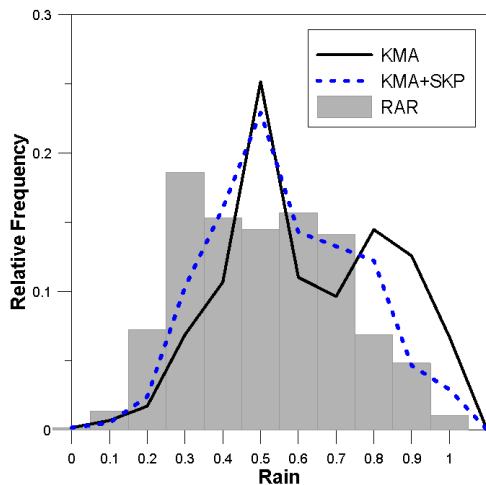


Fig. 11. Relative Frequency Analysis for Each Accumulated Rainfall Field

의 격자들이 집중적으로 분포되면서 전반적으로 평활화되는 경향을 확인할 수 있었다. 이에 반해 Fig. 10(b)의 결과를 보면 강우의 공간분포가 평활화되는 경향이 보다 줄어들고 비균질적으로 묘사되는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 레이더강우가 강우의 공간분포 측면에서 참에 가까운 값을 갖는다는 점을 고려하여 Fig. 10(c)와 같이 동일한 호우사상을 대상으로 기상청 RAR (Radar-AWS Rainrate) 시스템에서 제공하는 레이더 강우량을 누적하여 동일지역에 대해 추출하였다. 레이더 강우와 지점의 관측강우로 분포된 강우장들은 양적인 편차가 존재하지만 SK 플래닛을 함께 사용한 경우가 레이더 강우장과 보다 유사하게 표현되는 것을 확인할 수 있다.

특히, 강우분포장의 재현성을 정량적으로 평가하기 위해 서울시 영역내 포함하는 격자점의 강우만을 이용하여 표준화한 후 상대빈도를 Fig. 11과 같이 분석하였다. 막대 그래프는 레이더 강우분포장의 빈도분포를 나타내며 두 개의 첨두를 갖는 것을 확인할 수 있다. 기상청 AWS만을 이용한 강우분포장의 빈도곡선(검은실선)은 상대적으로 강한 강우강도를 갖는 격자 수가 많아 오른쪽으로 두 번째 첨두곡선이 치우쳐져 있어, 레이더 공간분포장과는 다른 분포양상을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 이에 반해 기상청 AWS와 SK 플래닛을 함께 이용하여 산정된 강우분포장의 빈도곡선(파란 점선)은 레이더 공간분포장과 유사함을 확인할 수 있다. 이 결과를 통해 고밀도의 강우관측 결과를 활용한다면 레이더 기반 참강우장에 근사한 공간분포된 강우를 산정할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구에서 정량적 실황강우장 산정을 위한 자료로 SK 플래닛의 고밀도 복합기상센서 관측망과 기존 기상청 관측망을 이용하고자 하였다. 이를 위해 서울지역에 위치한 SK 플래닛의 복합기상센서 관측망을 소개하고, 관측 자료의 품질분석을 수행하였다. 품질분석 결과, SK 플래닛 관측소는 일부 관측소를 제외하고 대부분 기존 관측망과 유사하게 강우를 관측하는 것을 확인할 수 있었다. 다만, 일시적인 기계 및 자료 전송 오류로 인해 발생할 수 있어 이로 인한 결측치 및 이상치가 수문유출해석의 정확도에 미치는 영향을 최대한 저감시키고자, 오자료를 실시간으로 보정할 수 있는 품질보정 기법을 개발하고, 적절히 강우를 보정하는 것을 확인하였다. 이를 통해 본 연구에서는 결측치를 제외하면서 오자료의 영향이 최소화된 190개소(기상청 34개소, SK 플래닛 156개소)를 정량적 실황강우장 산정에 활용할 수 있게 되었다. 또한, 약 3km<sup>2</sup>의 밀도를 갖는 고해상도 관측망을 이용한 강우분포장의 재현성을 기존 기상청 관측망의 결과와 비교하였다. 빈도곡선 분석결과, 고밀도 관측망을 통해 산정된 강우분포장의 빈도곡선이 레이더 공간분포장과 유사하며, 기존 기상청 관측망의 공백을 보완할 수 있음을 확인하였다. 특히, 이 결과를 통해 고밀도의 강우관측 결과를 활용한다면 참강우장에 근사한 공간분포된 강우를 산정할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 후속 연구에서는 본 연구에서 구축한 강우관측자료 품질관리시스템으로 결측 및 이상치가 보정된 지상강우관측자료와 레이더 자료를 결합하여 정량적 정확도가 개선된 실황강우장을 산정하고자 한다.

## 감사의 글

본 연구는 기상청 차세대도시농림융합스마트기상서비스개발(WISE) 사업(KMA-2012-0001)의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- Chen, D., Ou, T.H., Gong, L.B., Xu, C.-Y., Li, W.J., Ho, C.-H., and Qian, W.H., (2010). "Spatial interpolation of daily precipitation in China: 1951-2005." *Advances in Atmospheric Sciences*, Vol. 27, No. 6, pp. 1221-1232.
- Cheng, K.S., Lin, Y.C., and Liou, J.J. (2008). "Rain-gauge network evaluation and augmentation using geosta-

- tistics." *Hydrological processes*, Vol. 22, No. 14, pp. 2554-2564.
- Dong, X., Dohmen-Janssen, C.M., and Booij, M.J. (2005). "Appropriate spatial sampling of rainfall or flow simulation." *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 50, pp. 279-298.
- Heo, B.-H., Lee, J.-A., Chu, Y.-O., Kim, J.-H., Park, N.-C., Cho, J.-Y., Oh, S.-J., Noh, M.-S., and Lee, Y.-J. (2005). "Statistical procedure of AWS observation data to determine the threshold value for the RQMOD (real-time quality control system for meteorological observation data)." Proceedings of the autumn meeting of Korean Meteorological Society, pp. 390-391.
- Kim, C.S., Kim, H.S., Cho, H.S., and Kim, H.R. (2008). "Establishment of national quality control system for the hydrologic data." Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, pp. 1823-1827.
- Kitzmler, D., Cooten, S.V., Ding, F., Howard, K., Langston, C., Zhang, J., Moser, H., Zhang, Y., Gourley, J.J., Kim, D.S., and Riley, D. (2011). "Evolving Multi-sensor Precipitation Estimation Methods: Their Impacts on Flow Prediction Using a Distributed Hydrologic Model." *Journal of hydrometeorology*, Vol. 12, pp. 1414-1431.
- KMA (2006). "Real-time quality control system for meteorological observation data (I) Application." 11-1360000-000206-01(Tech. Note 2006-2), 157 pp.
- Krajewski, W.F. (1987). "Cokriging radar-rainfall and rain gauge data." *Journal of Geophysical Research*, Vol. 92, No. d8, pp. 9571-9580.
- Michaud, J.D., and Sorooshian, S. (1994). "Effect of rainfall-sampling errors on simulations of desert flash floods." *Water Resources Research*, Vol. 30, pp. 2765-2775.
- Srinivasan, G., and Nair, S. (2005). "Daily rainfall characteristics from a high density rain gauge network." *Current Science*, Vol. 6, pp. 942-946.
- St-Hilaire, A., Ouarda, T.B.M.J., Lachance, M., Bobee, B., Gaudet, J., and Gignac, C. (2003). "Assessment of the impact of meteorological network density on the estimation of basin precipitation and runoff: a case study." *Hydrological Processes*, Vol. 17, pp. 3561-3580.
- Wade, C.G. (1987). "A quality control program for surface mesometeorological data." *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol. 4, pp. 435-453.
- Wilson, J.W., and Brandes, E.A. (1979). "Radar measurement of rainfall-a summary." *American Meteorological Society*, Vol. 60, No. 9, pp. 1048-1058.
- WMO (2004). Guidelines on quality control procedures for data from automatic weather stations. *CIMO/OPAG-SURFACE/ET ST&MT-1/Doc. 6.1(2)*, 10pp.
- Xu, H., Xu, C.Y., Chen, H., Zhang, Z., and Li, L. (2013). "Assessing the influence of rain gauge density and distribution on hydrological model performance in a humid region of China." *Journal of Hydrology*, Vol. 205, pp. 1-12.

paper number : 14-093

Received : 19 September 2014

Revised : 3 February 2015

Accepted : 23 February 2015