

발 간 등 록 번 호

11-1360577-000024-01

기상레이더센터 기술노트 WRC2014-05

레이더 강수량 추정값 후처리 보정기법 개선 및 과거자료 재생산

2014. 12.



기상레이더센터

KMA Weather Radar Center

레이더 강수량 추정값 후처리 보정기법 개선 및 과거자료 재생산

기상레이더센터장	권태순
레이더분석과장	고정석
기상연구관	박혜숙
기상연구사	석미경
연구원	이민호



기상레이더센터

K M A Weather Radar Center

목 차

제1장 서 론	1
제2장 자료 및 방법	3
2.1 자료	3
2.2 방법	6
2.3 국지우량계보정기법 과정	8
2.3.1 자료 품질관리	10
2.3.2 검증 방법	11
제3장 국지우량계보정기법 변수 최적화	13
3.1 영향반경의 최적화	14
3.2 지수변수의 최적화	37
제4장 강수사례 분석	39
4.1 정량적 검증	39
4.2 정성적 검증	40
제5장 레이더 강수량 추정값 재생산 및 분석	60
5.1 레이더 강수량 추정값 재생산	60
5.2 면적 강수량 분석	61
제6장 요약 및 결론	65
참고문헌	66

제1장 서 론

최근 지구온난화로 인한 집중호우, 태풍과 같은 위험기상이 빈발함에 따라 시·공간적으로 고 분해능 자료인 기상레이더의 역할과 중요성이 커지고 있다. 특히 산악 지형이 많은 우리나라는 국지적인 집중호우 사례가 많이 발생하기 때문에 이를 적절히 탐지하기 위해서 정량적으로 정확한 레이더 강수량 추정값이 필요하다.

기상청 기상레이더센터는 기상레이더 자료를 이용하여 지상 강수량에 근접한 강수량 추정값을 산출하기 위해 지속적으로 노력을 해 오고 있다. 기상레이더센터는 2006년부터 시간에 따라 변하는 강수유형에 적합한 레이더 강수량 산출식을 실시간으로 계산하여 레이더 반사도로부터 강수량 추정값을 산출하는 RAR (Radar-AWS Rainrate) 시스템을 개발하였다. 본 연구에서는 RAR 산출자료에 대한 후처리 보정기법으로 국지우량계보정기법(Local Gauge Correction, LGC)을 적용하여 분석하였다. 국지우량계보정기법은 지상 우량계 자료와 레이더 강수량 추정값과의 차이를 레이더자료 각 격자점에 보정 및 적용하는 방식으로 국지적 강우 탐지에 효과가 있다(Kim et al, 2013). 하지만 기존의 국지우량계보정기법은 산출하는 과정에서 매우 오랜 분석 시간과 전산 자원이 소모되기 때문에 10분 단위로 산출되는 실시간 레이더 자료에 적용하기에는 한계가 있어 본 연구에서 실시간 계산이 가능하도록 최적화하였다.

본 기술노트의 2장에서 국지우량계보정기법의 방법을 기술하였고, 3장에서는 매 10분마다 생산되는 실시간 레이더 자료에 국지우량계보정기법을 적용할 수 있도록 국지우량계보정기법의 주요 매개 변수들의 값을 최적화하였다. 4장에서는 사례 분석을 통해 국지우량계보정기법 적용에 따른 정량적·정성적 정확도를 검증하였다.

마지막으로 최근 들어 가뭄과 같은 자연재해가 빈발함에 따라 지속적인 물 관리의 중요성이 증가하고 있다. 이에 따라 효율적인 물 관리를 위해서 면적강수량에 대한 분석이 반드시 필요한 실정이다. 특히 레이더 기반 면적강수량 자료는 지상

우량계 자료만으로 얻을 수 없는 산악 및 해안지역, 북한지역에 대한 강수량 정보를 획득할 수 있다는 장점을 지닌다. 따라서 5장에서는 레이더 면적강수량 자료를 생산하여 수문, 방재 및 농·임업 등 타 분야에 자료를 제공하고자 2010~2014년간 5년간의 RAR 자료를 재생산하여 면적강수량 자료를 산출하였다. 또한 과거 5년간의 대 권역 및 도 영역의 연월별 강수량 추이를 분석하였으며 향후 재생산된 면적강수량 자료를 기후 연구 및 수자원 관리 분야 활용하고자 한다.

제2장 자료 및 방법

2.1 자료

레이더 강수량 추정값 산출을 위해 사용되는 입력 자료는 레이더 반사도 자료 중 CAPPI¹⁾ 자료와 전국 642개 AWS 강수량 자료 이다. AWS 자료는 매분 자료가 생산되며, 0.5mm의 분해능을 가진다(그림 2.1(a)). (그림 2.1(b))은 RAR²⁾에서 산출된 1.5km CAPPI 합성장이며, 이는 공간 해상도 1km, 시간 해상도 10분으로 현재 기상청 레이더 표출 시스템에 제공되고 있다.

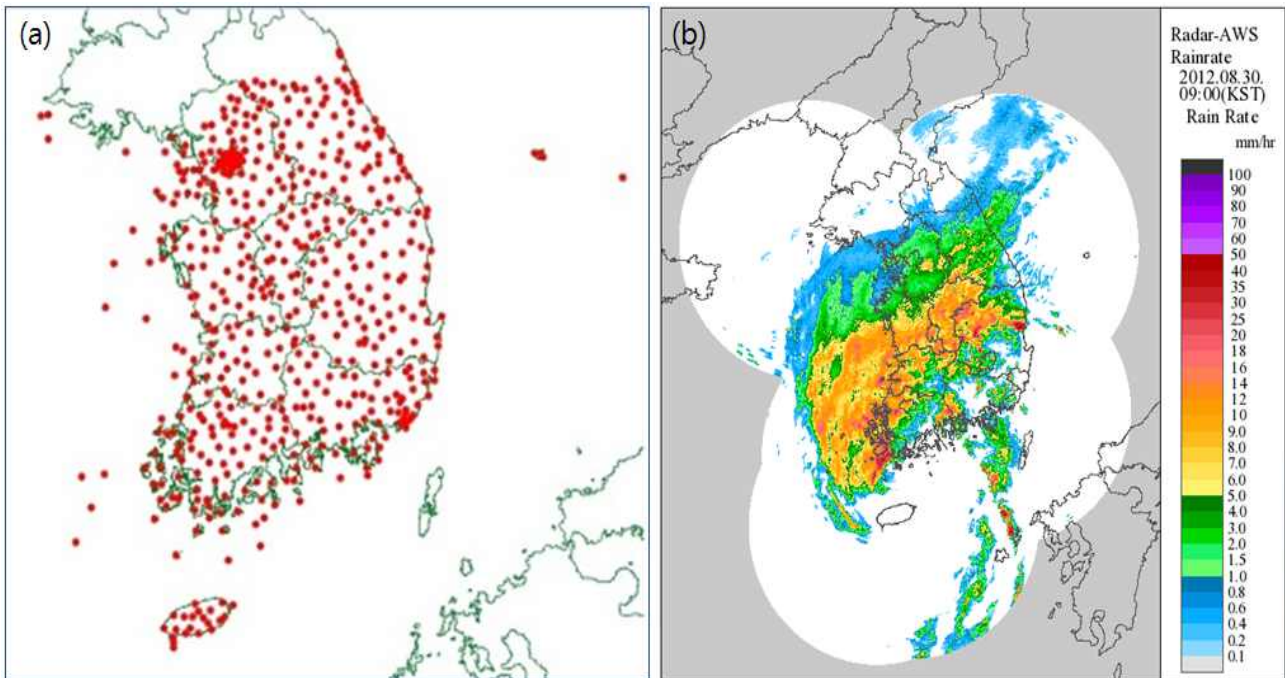


그림 2.1 (a) 전국 우량계 지점 분포와 (b) 레이더 RAR 합성 강수장 관측 영역

다음은 본 기술노트에서 변수 최적화 및 사례 분석을 실시하기 위한 강수사례이다(표 2.1 참조). 2012년부터 2014년까지 10개 강수 사례를 최적화 및 정확도 검증에 활용하였으며, 총 10개 사례 중, 7개 사례가 여름 강수 사례이고 3개 사례가 겨울 강수 사례이다. 국지우량계보정기법은 국지 강수 사례에 효과가 크기 때문에

1) CAPPI : Constant Altitude Plan Position Indicator

2) RAR : Radar and Rain Ratio

국지적 강수 발생이 많은 여름철 강수 사례를 중점적으로 이용하였다. 각각의 강수 사례에 대한 기간별 누적 강수량의 분포는 다음과 같다(그림 2.2와 2.3 참조).

표 2.1. 분석사례

사례	기 간	강수시스템	누적강수량 (mm)
사례 1	2012.07.06. 0400 ~ 07.06. 1600 KST	장마전선	154.5
사례 2	2012.08.15. 0400 ~ 08.16. 0000 KST	집중호우	335.5
사례 3	2012.08.30. 0400 ~ 08.31. 0000 KST	태풍	229.0
사례 4	2012.12.21. 0900 ~ 12.21. 1700 KST	층상형 강수	38.5
사례 5	2013.01.31. 2200 ~ 02.01. 1700 KST	층상형 강수	226.0
사례 6	2013.07.04. 1600 ~ 07.05. 2000 KST	장마전선	264.0
사례 7	2013.08.23. 0300 ~ 08.23. 1700 KST	집중호우	122.5
사례 8	2013.09.14. 0200 ~ 09.14. 1400 KST	집중호우	232.0
사례 9	2013.11.24. 1400 ~ 11.25. 0400 KST	층상형 강수	177.5
사례 10	2014.07.02. 1600 ~ 07.03. 0800 KST	장마전선	126.0

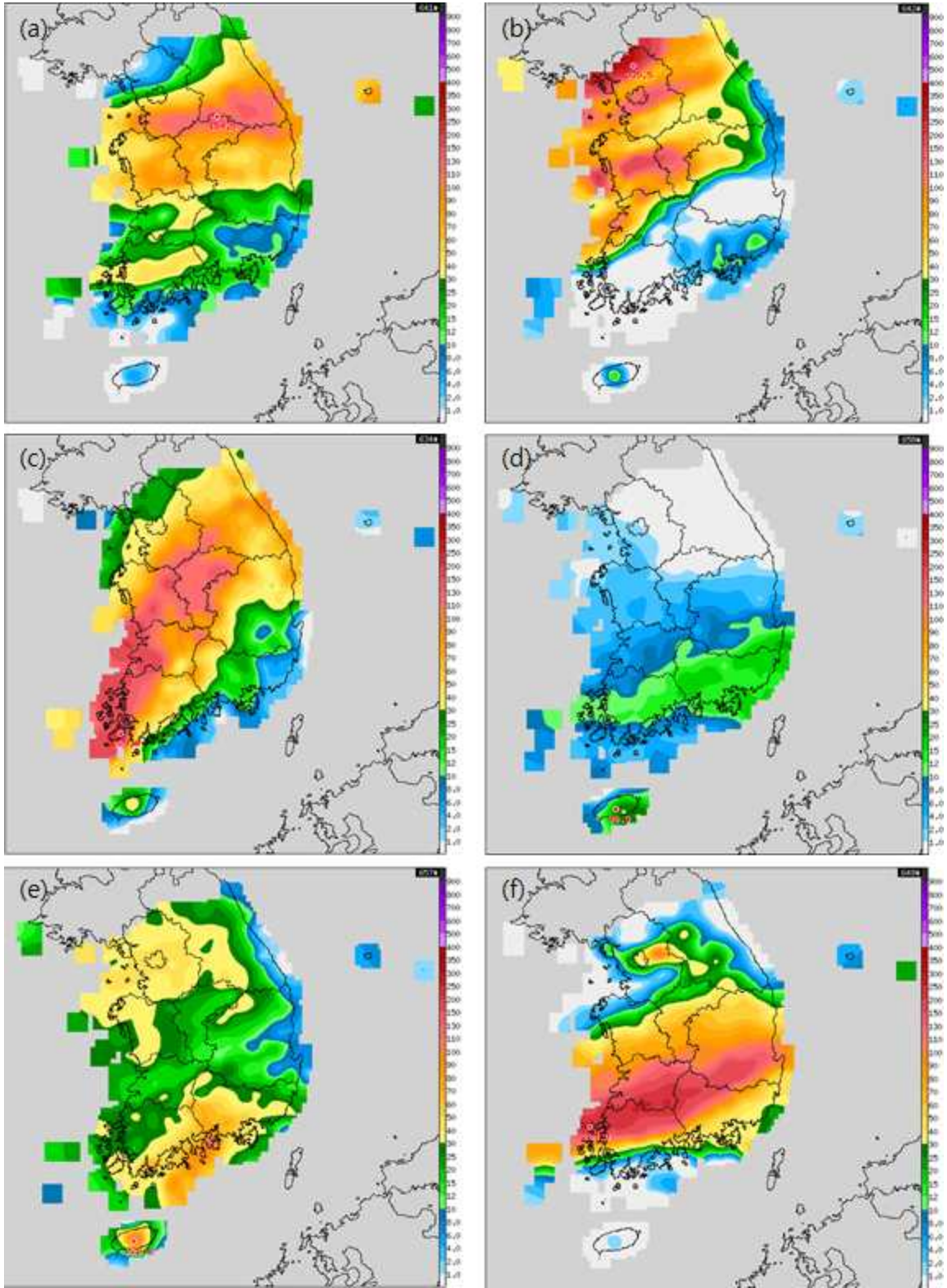


그림 2.2 사례별 총 누적 강수량 공간 내삽 분포

(a) 사례 1, (b) 사례 2, (c), 사례 3, (d) 사례 4, (e), 사례 5, (f) 사례 6

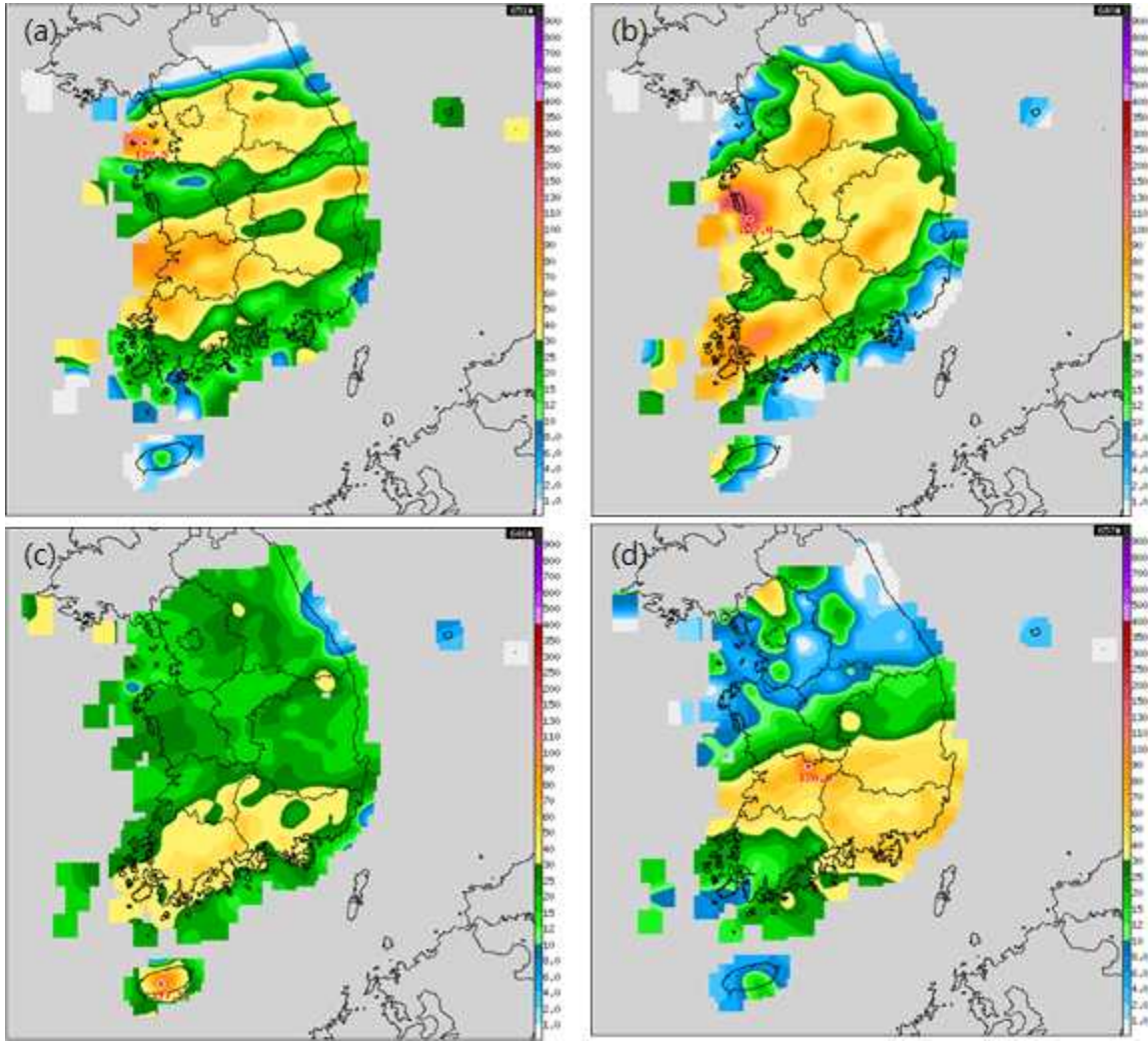


그림 2.3 사례별 총 누적 강수량 공간 내삽 분포

(a) 사례 7, (b) 사례 8, (c) 사례 9, (d) 사례 10.

2.2 방법

먼저 국지우량계보정기법 설명에 앞서 RAR 과정을 간략히 소개 하고자 한다. RAR는 레이더 반사도 자료와 지상 우량계의 강수량 자료를 이용하여 매 10분마다 실시간으로 한반도 영역에 대해서 강수량 추정값을 산출한다. 이때 RAR에서 강수량 추정값을 산출하기 위해 Window Probability Matching Method (이하 WPMM) 이론을 이용한다. WPMM은 우량계에서 관측된 강수량 추정값과 우량계에 근접한 영역의 레이더 반사도를 각각 대응시켜 확률밀도함수로 재산정하여 레이더 반사도 (Z)와 우량계 강수량(R)과의 관계식인 Z - R 관계식을 결정하는 방법이다(Rosenfeld

et al., 1993). 레이더 반사도 자료와 우량계 강수량을 이용하여 강수량 추정값을 산출하기 위한 WPMM은 실시간으로 강수 시스템의 특성에 따라 Z-R 관계식을 산출하여 강수량 추정값을 산출한다(석미경 외, 2005). 본 연구에서 국지우량계 보정기법을 최적화하고 사례 분석을 위해, RAR 1.5km CAPPI 합성 강수장을 사용하였다.

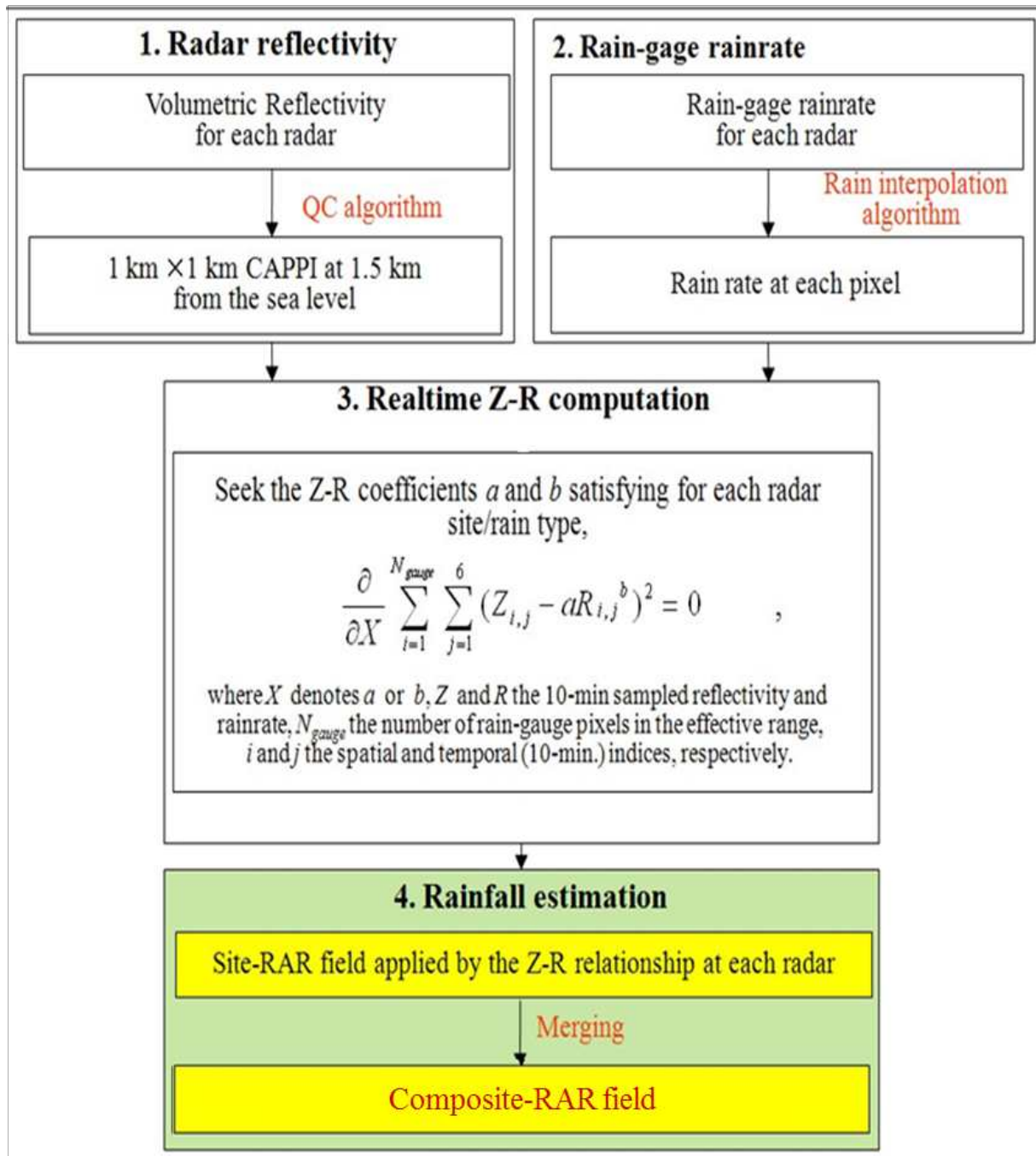


그림 2.4 RAR 처리 과정

2.3 국지우량계보정기법 과정

국지우량계보정기법의 적용 과정을 자세히 살펴보면, 다음과 같다(그림 2.5).

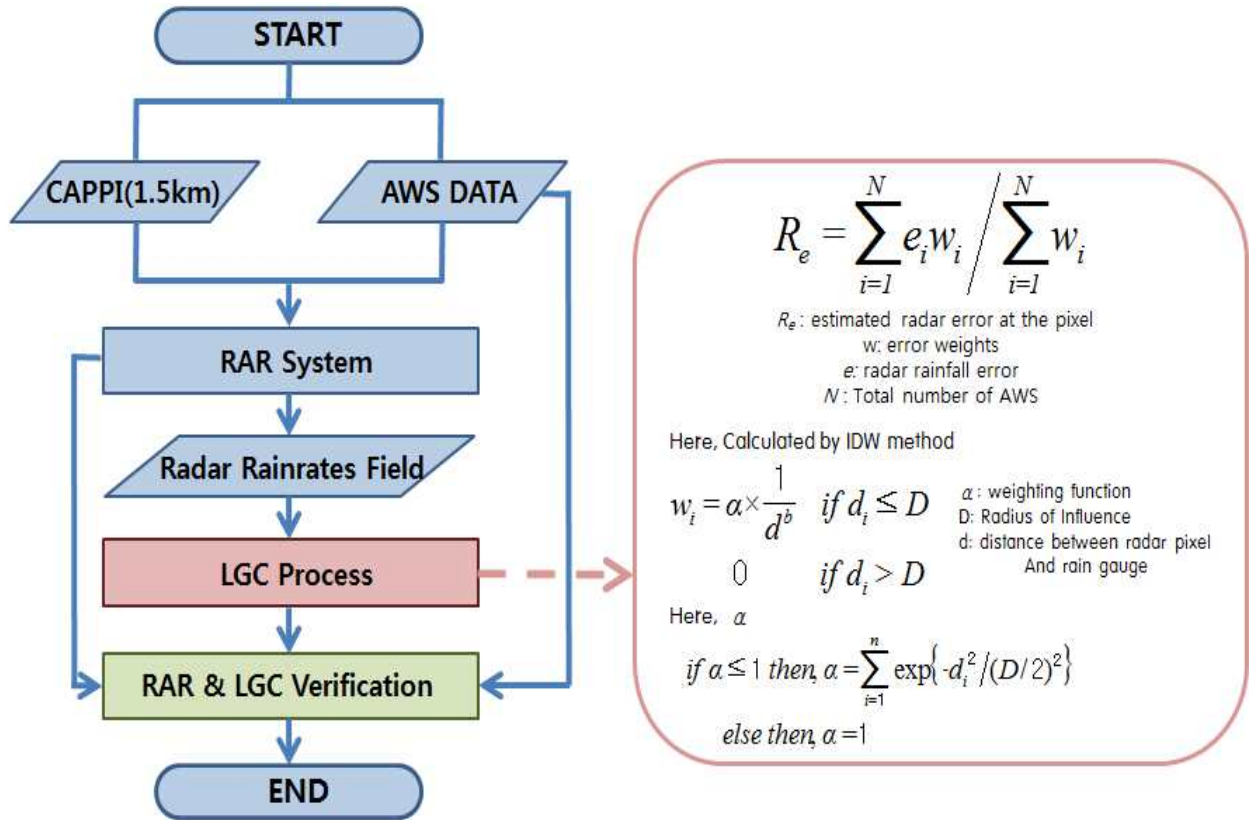


그림 2.5 국지우량계보정기법 과정

첫째, 입력 자료인 각 레이더 사이트 자료와 지상 우량계 강수량 자료를 받아 RAR를 실행하여 RAR 합성 강수장을 만든다. RAR 합성 강수장에 후처리 보정기법으로 국지우량계보정기법을 적용한다.

둘째, 전체 642개의 지상 우량계 지점 자료를 보정용 우량계 321개소, 검증용 우량계 321개소로 분리시켜 분석 및 검증하였다.

셋째, 역거리가중기법(Inverse Distance Weighting, IDW)에 따라 강수량 추정값을 보정한다(Simanton and Osborn, 1980). 역거리가중기법은 보정용 우량계 강수량과 레이더 강수량 추정값과의 차이값을 일정한 수식을 적용하여 주변 격자점에 보정한다(식 2.1).

$$Correction(R_e) = \frac{\sum_{i=1}^n e_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2.1)$$

여기서 R_e 는 각각의 격자점 마다 보정해주는 강수량 보정값이며 소문자 n 는 보정 격자점으로부터 영향반경 내에 있는 우량계 지점의 총 개수이다. e_i 는 i 지점에서의 보정용 우량계 강수량과 레이더 강수량 추정값과의 차이값, w_i 는 i 지점에서의 보정가중치이다. 보정가중치 w_i 는 다음과 같이 계산된다(식 2.2).

$$w_i = \begin{cases} \alpha \times \frac{1}{d_i^b} & \text{if } d_i \leq D \\ 0 & \text{if } d_i > D \end{cases} \quad (2.2)$$

여기서 α 는 우량계 자료 개수 및 격자점과의 거리에 대한 영향 변수이며 d_i 는 i 격자와 보정용 우량계 지점과의 거리, D 는 영향반경이며 b 는 지수변수이다. 이 때 α 는 다음과 같이 계산된다(식 2.3).

$$\begin{aligned} \text{if } \alpha \leq 0 \text{ then, } & \alpha = \sum_{i=1}^n \exp\left[\frac{-d_i^2}{D^2/4}\right] \\ \text{else then} & \alpha = 1 \end{aligned} \quad (2.3)$$

역거리가중기법은 매개변수인 영향반경 D 와 지수변수 b 의 설정이 매우 중요하다. 왜냐하면 영향반경 D 와 지수변수 b 에 설정을 어떻게 하느냐에 따라 보정가중치(w_i)가 달라지며 이는 곧 격자점 마다 보정하는 강수량 보정치(R_e)가 달라지기 때문이다. 적절한 영향반경 D 와 지수변수 b 를 가정하고 식 2.2에 따라 보정가중치가 계산되면 식 2.1에 따라 보정용 우량계 지점의 주변에 위치한 레이더 격자점의 강수량 추정값을 보정할 수 있다.

마지막으로, 역거리가중기법의 주요 매개 변수들의 값을 일정한 간격으로 바꾸면서 다양한 조합으로 적용하여, 최종적으로 가장 우수한 검증 결과가 산출된

때의 매개 변수값들을 최적 매개 변수값으로 선택한다. 기존 연구에서는 영향반경 D 와 지수변수 b 쌍의 조합을 통한 반복법으로 최적 영향반경 D 와 지수변수 b 의 쌍을 찾았다(Zang et al, 2011). 본 기술노트에서도 역시 다양한 사례 분석을 통해 가장 최적 영향반경 D 와 지수변수 b 쌍을 찾는다. 보정된 강수량 추정값은 평균 절대값오차(Mean Absolute Estimation, MAE), 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE), 상관계수(correlation coefficient) 등의 검증 지표를 이용하여 정확도 검증을 실시하였다.

2.3.1 자료 품질관리

국지우량계보정기법에서는 먼저 보정용 321개의 지상 우량계 강수량 자료와 격자별 레이더 강수량 추정값과 차이값(v)을 계산하고 국지우량계보정기법의 입력 자료로 이용한다. 이때 AWS 지상 우량계 지점에서의 차이값 자료(v)가 입력 자료로서 적합한 자료인지 품질을 점검할 필요가 있다. 이는 레이더 반사도 자료나 지상 우량계 강수량 자료는 바람에 의한 강우 소산, 강우 감쇠, 대기 굴절 등에 의해 관측 오류가 포함될 여지가 많은데, 특정 AWS 지상 우량계 지점에서의 레이더 강수량 추정값과 지상 우량계 강수량과의 차이값(v)이 매우 큰 경우, 이 차이값은 관측 오류가 많이 포함되어 있다고 판단할 수 있다. 이러한 자료들이 국지우량계 보정기법의 보정값으로 활용될 경우, 오히려 주변 격자점을 과대 혹은 과소 보정하여 결과 자료의 질을 저하시키게 된다. 따라서 적절한 자료 품질 관리 기법을 통하여 분석에서 제외시킬 필요가 있다. 본 기술노트에서는 Kwon et al. (2007)이 제안한 자료 품질관리 기준을 이용하였다. 품질관리 과정을 살펴보면, 우선 지상 우량계 강수량 자료와 격자별 레이더 강수량 추정값과의 차이값(v)이 정규분포를 따른다고 가정한다. 다음으로 차이값의 신뢰구간은 표준편차의 4배($\pm 4\sigma$)로 설정한다. 이에 따라 RAR 기반 강수량 추정값과 지상 우량계 강수량 자료와의 차이값이 평균값에서부터 $\pm 4\sigma$ 이내로 들어올 확률은 99.97%가 된다. 마지막으로 이 범위를 벗어나는 자료는 이상(abnormal)자료로 판단하고 분석에서 제외한다 (식 (2.4)와 그림 2.6 참조).

자료 제거 조건: $v \geq 4\sigma$ 혹은 $v \leq -4\sigma$ (2.4)

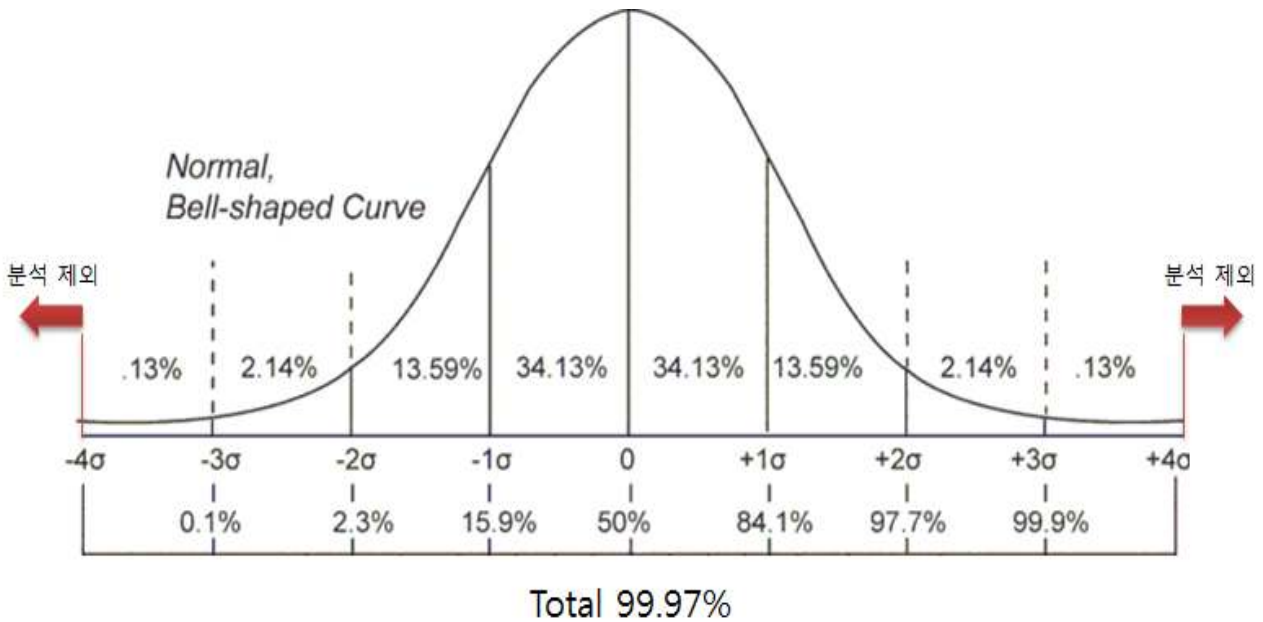


그림 2.6 우량계 자료 필터링을 위한 정규분포

2.3.2 검증 방법

국지우량계보정기법을 적용한 강수량 추정값이 산출되면 정확도 검증을 위해 국지우량계보정기법 적용 전의 RAR 기반 강수량 추정값 자료와 비교 분석을 실시하였다. 검증 지표로는 MAE, RMSE, 상관계수를 이용하였다.

$$MAE = \frac{1}{T} \left[\sum_{i=1}^T |R_i - G_i| \right] \quad (2.5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (R_i - G_i)^2} \quad (2.6)$$

$$\text{상관계수} = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n (R_{i,t} - \bar{R})(G_{i,t} - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n (R_{i,t} - \bar{R})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n (G_{i,t} - \bar{G})^2}} \quad (2.7)$$

여기서 $R_{i,t}$ 는 i 번째 우량계의 t 시간 때 지상 우량계 강수량 관측값이며, $G_{i,t}$ 는

i 번째 AWS의 t 시간 때 레이더 강수량 추정값이다. r 는 총 N 개이며, t 는 총 T 까지 있다. MAE(mm/hr)는 레이더 강수량 추정값과 지상 우량계 강수량 간의 차이값 (v)의 절대값에 대한 평균값이다. RMSE(mm/hr)는 레이더 강수량 추정값과 AWS 강수량 관측값 차이를 제곱근하여 평균을 취한 값이다. 상관계수는 레이더 강수량 추정값과 AWS 강수량 관측값 간의 차이의 일치와 위상을 측정하며 -1에서 1 사이의 값을 가진다. 두 값이 완전히 일치한 경우에 상관계수는 1의 값을 가진다.

제3장 국지우량계보정기법 변수 최적화

기존 국지우량계보정기법에서 영향반경 D 는 10km에서 500km까지 10km 간격으로 변환시키고(50개의 변수값) 지수변수 b 는 0.5에서 3.0까지 0.5 간격으로 변환시켜(6개의 변수값), 총 300가지 조합 중 RAR 강수량 추정값 정확도가 가장 우수한 최적 매개 변수값들을 찾게 된다. 이러한 과정은 약 30분간의 계산 과정을 거치게 된다. 이에 따라 국지우량계보정기법이 적용된 강수량 추정값을 산출하는데 1시간 정도의 시간 지연이 발생되며, 실시간 자료에 적용하기 위해서는 계산과정을 단축시킬 필요가 있다. 또한 기존 국지우량계보정기법 기반 강수량 추정값 자료는 매시간 정각 기준 자료를 기반으로 최적 영향반경 D 와 지수변수 b 의 값을 산출하며, 이 값을 적용하여 이후 1시간 자료를 보정하기 때문에 정각 시간 이후 보정된 강수량 추정값들이 최적값이라 볼 수 없다. 다시 말해 정각 기준 10분 자료의 강수 시스템에서 나타나던 관측 오차가 이후 1시간동안 동일하게 적용되기 때문에, 실시간 변화하는 강수 시스템의 특성을 감안하면 관측 오차의 반영에 대한 정확도의 한계점은 분명히 존재한다. 따라서 기존 국지우량계보정기법의 특성상 실시간 자료에 적용하기 힘들고, 정각 시간 기준으로 산출된 최적 매개 변수를 이 후 시간대에 적용했을 때 최적화된 결과가 아니라는 한계점들을 고려하여 본 기술노트에서는 시간마다 다른 매개 변수를 산출하기보다 우리나라 지역 특성과 강수 유형에 맞는 최적 변수를 다양한 사례 분석을 통해 하나의 최적 매개 변수를 산출하여 이를 10분 단위로 산출되는 실시간 레이더 자료에 적용하도록 한다. 본 장에서는 표 2.1에서 제시한 사례를 기반으로 영향반경 D 와 지수변수 b 를 정량적·정성적 검증 및 분석을 실시하여 최적화 하였다.

3.1 영향반경의 최적화

영향반경 D 는 보정 격자점에서 어느 정도 떨어진 AWS 우량계 지점의 자료까지 강수량 추정값 보정에 이용할 것인가를 결정하는 매개변수이다. 영향반경에 따라 강수량 추정값 보정에 이용되는 AWS 우량계 지점의 수가 변하기 때문에 영향반경에 따른 검증값의 변화를 모의하는 것은 국지우량계보정기법의 매우 중요한 과정 중에 하나이다. 본 장에서는 영향반경을 10km에서 80km까지 10km 간격으로 변화시키면서 각각의 영향반경에서 보정된 강수량 추정값에 대한 정량적·정성적 검증 및 분석을 실시하였다.

(1) 사례 1 (2012년 7월 6일 0800 KST)

2012년 7월 6일 08시 사례의 정성적인 검증분석 결과 파란색 원안의 서해안 지역에서 보정 영향반경이 커짐에 따라 주변 강수영역과 어울리지 않은 원형 형태의 불연속적인 이미지가 반경에 비례하여 커지고 있다(그림 3.1 참조). 그 원인을 분석하면 파란색 원안에서 보정에 활용된 우량계 지점은 서해 격렬도 지점으로 주변 반경 40km 이내 지역에 우량계 지점이 없어 주변 격자 지점은 주로 격렬도 지점 하나의 자료에서 보정이 된다. 격렬도 지점에서의 레이더 강수량 추정값과 우량계 강수량 차이가 2장에서 소개한 자료 품질관리의 기준은 만족하나 차이가 비교적 클 경우, 역거리가중기법에 따라 우량계 영향반경 내에 있는 격자점을 보정하면 결과적으로 원형의 불연속적인 형태가 나타날 수 있는 확률이 높아진다. 이는 주로 우량계 지점이 드문 산악 지역이나 해상 지역에서 나타날 수 있으며 그 대표적인 지역이 서해안 지역이다.

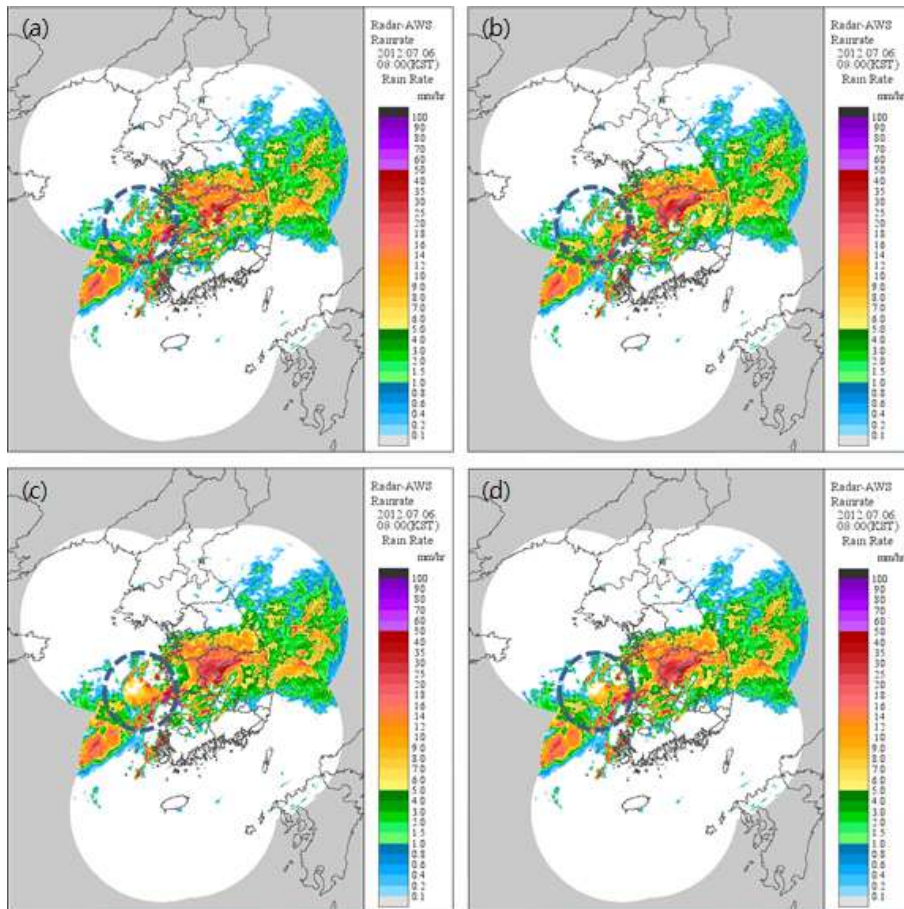


그림 3.1 2012년 7월 6일 08시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교

(a) 영향반경 10km, (b) 영향반경 20km, (c) 영향반경 30km, (d) 영향반경 40km

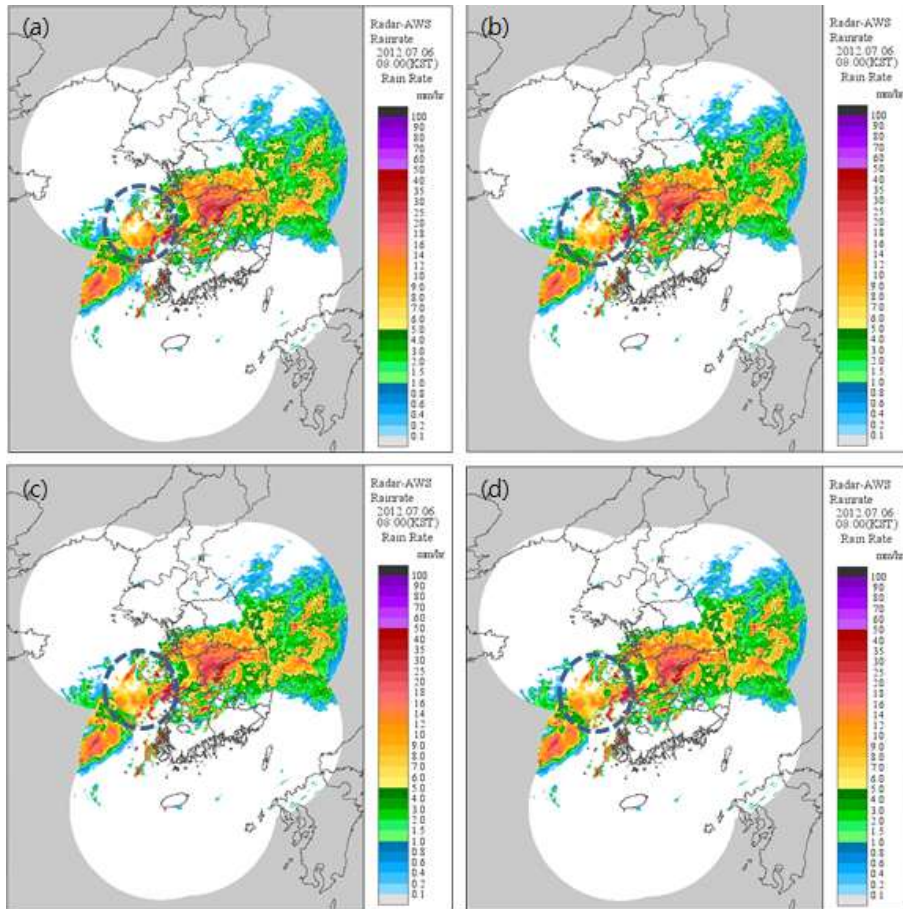


그림 3.1 2012년 7월 6일 08시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교(계속)

(a) 영향반경 50km, (b) 영향반경 60km, (c) 영향반경 70km, (d) 영향반경 80km

사례 1의 정량적인 검증으로 최적의 영향반경을 모의한 결과 20km가 가장 적합한 반경으로 산출 되었다(표 3.1 참조).

표 3.1. 사례 1에서 영향반경(D)에 따른 검증값

D(km)	10	20	30	40	50	60	70	80
MAE(mm/hr)	3.27	2.98	3.01	3.06	3.09	3.11	3.12	3.13
RMSE(mm/hr)	6.38	6.02	6.11	6.15	6.19	6.23	6.24	6.25
상관계수	0.64	0.69	0.68	0.67	0.67	0.66	0.66	0.66

(2) 사례 2 (2012년 8월 15일 1200 KST)

2012년 8월 15일 12시 사례의 경우, 서해안 지역, 강원북부 산간 지역과 북한 지역은 우량계 지점이 드물거나 없기 때문에 영향반경에 비례한 원형의 보정 이미지가 보이고 있다(파란색 점선 원)(그림 3.2 참조). 비교적 뚜렷한 불연속적인 형태의 이미지가 나타나는데 그 이유를 분석하면 다음과 같다. 먼저, 이 사례의 경우 경기도 남부 서해안 지역에서 강원도 북부 산간 지역까지 띠 형태로 매우 좁은 강한 강수대가 형성되고 주변 지역으로는 약한 강수가 기록되고 있었다. 이때 좁은 띠 형태의 강수 특성상 중심부에 강한 강수 에코가 존재하기 때문에 중심부에서 레이더 강수량 추정량과 우량계 강수값이 차이가 클 확률이 높아진다. 이 자료가 강원도 북부 산간 지역과 북한 지역 같은 우량계 지점이 드물거나 없는 지역에 그대로 하나의 우량계 자료가 주변 격자점 보정에 활용된다. 결과적으로 서해안 지역과 강원 북부 산간 지역에 강한 관측 오차가 발생함에 따라 이 자료를 기반으로 주변 격자 지점을 보정했기 때문에 강원도 북부 지역과 북한 지역에 원형의 불연속적인 형태가 나타났다. 반면 경기 남부 지역의 경우 우량계 지점이 조밀하게 위치하기 때문에 보정이 뚜렷하게 나타나지 않는다. 이는 역거리가중 기법의 특성상 보정에 참여하는 우량계의 개수가 많아지면서 강한 관측 오차가 격자 보정에 활용되더라도 다른 우량계 지점의 자료들이 격자 보정에 참여하여 강한 관측 오차의 영향을 감소시켰기 때문으로 판단된다.

사례 2의 정량적인 검증으로 최적 영향반경을 모의한 결과 20km가 가장 적합한 반경으로 산출 되었다(표 3.2 참조).

표 3.2. 사례 2에서 영향반경에 따른 검증값

D(km)	10	20	30	40	50	60	70	80
MAE(mm/hr)	3.53	3.45	3.55	3.65	3.70	3.75	3.77	3.77
RMSE(mm/hr)	7.84	7.75	7.85	8.01	8.06	8.11	8.12	8.12
상관계수	0.82	0.83	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81

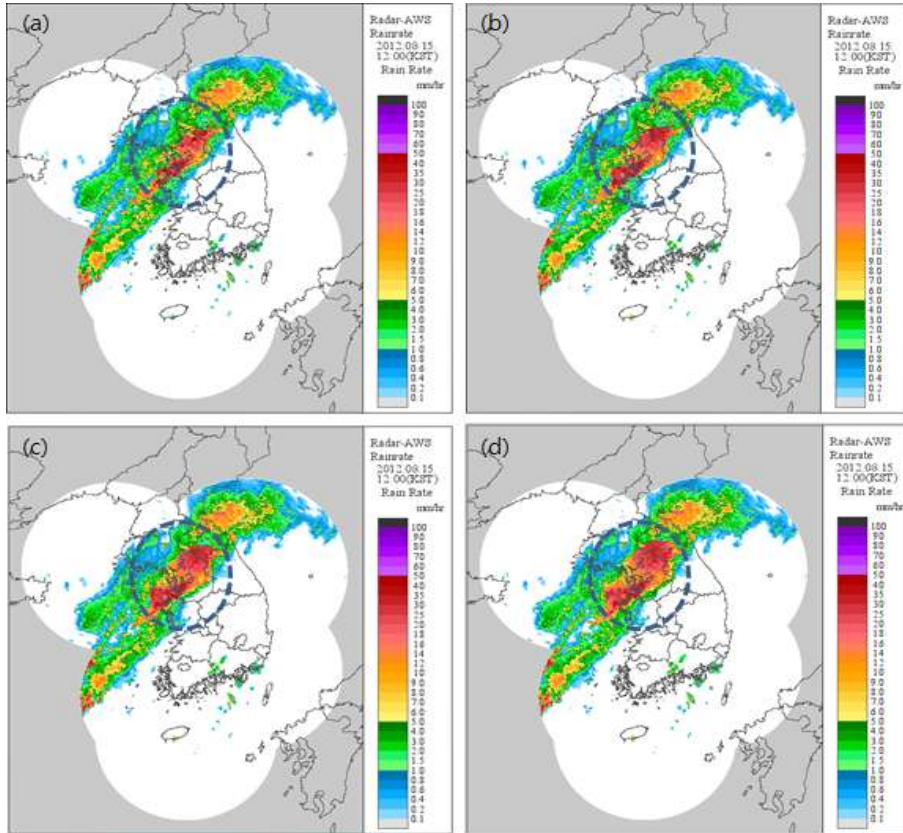


그림 3.2 2012년 8월 15일 12시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교
 (a) 영향반경 10km, (b) 영향반경 20km, (c) 영향반경 30km, (d) 영향반경 40km

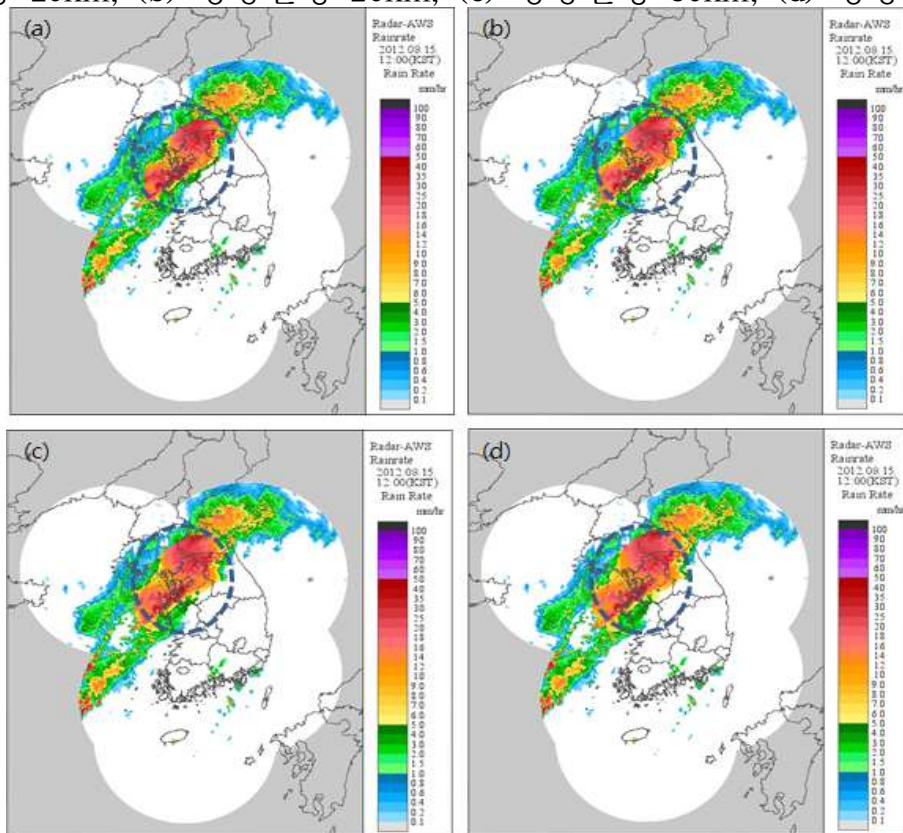


그림 3.2 2012년 8월 15일 12시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교(계속)
 (a) 영향반경 50km, (b) 영향반경 60km, (c) 영향반경 70km, (d) 영향반경 80km

(3) 사례 3 (2012년 8월 30일 0900 KST)

2012년 8월 30일 09시 사례의 정성분석 결과 사례 1(2012년 7월 6일 08시), 사례 2(2012년 8월 15일 12시)와는 달리 영향반경의 변경에 따른 보정된 강수량 추정값의 불연속적인 이미지가 적었다(그림 3.3 참조). 이는 우량계 지점이 드문 산악 및 해상 지역에서 강한 관측 오차가 거의 발생하지 않았기 때문으로 판단된다.

최적의 영향반경을 모의한 결과, 30km에서 정량적 검증이 가장 우수한 것으로 나타났다(표 3.3 참조).

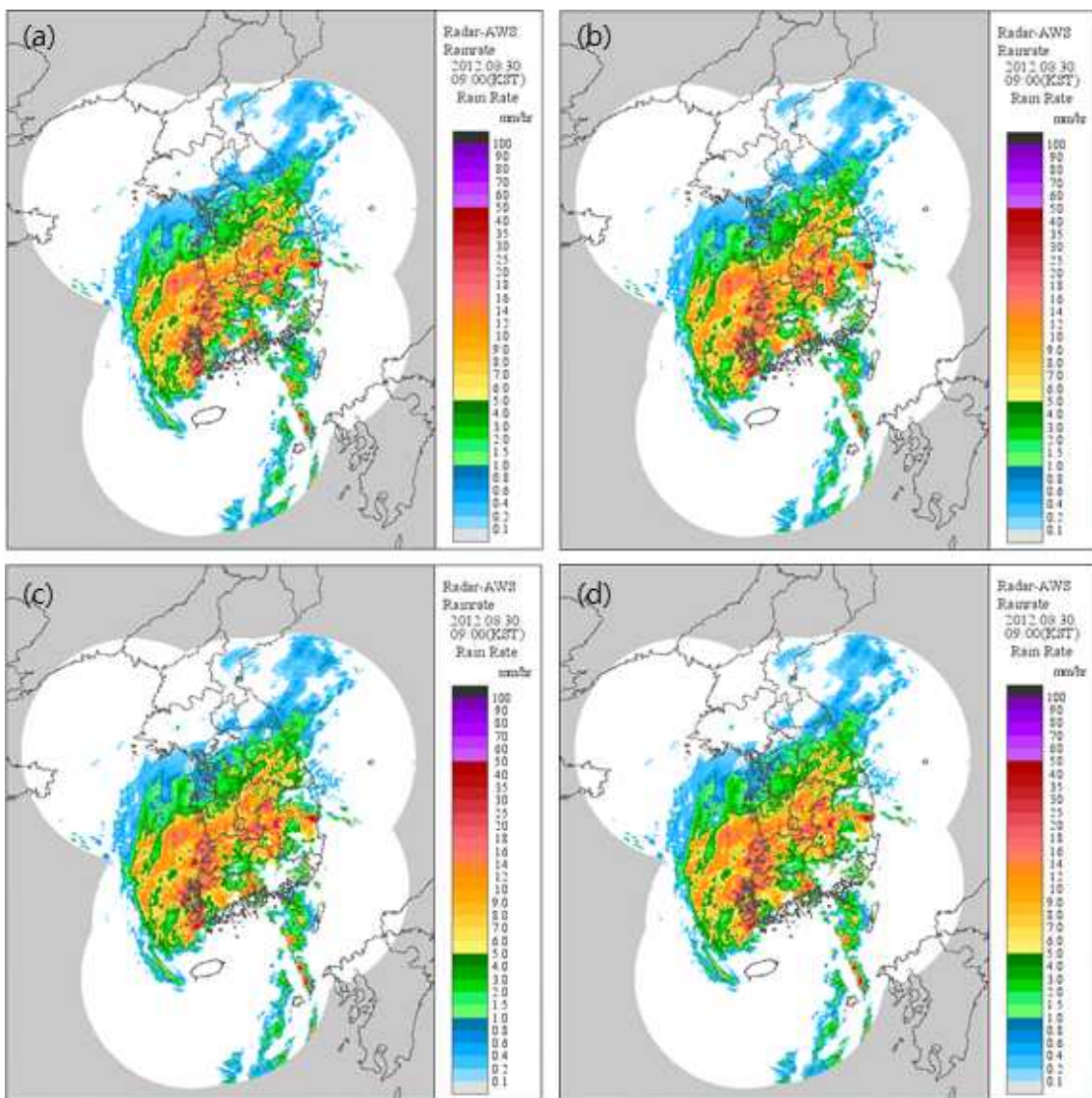


그림 3.3 2012년 8월 30일 09시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교

(a) 영향반경 10km, (b) 영향반경 20km, (c) 영향반경 30km, (d) 영향반경 40km

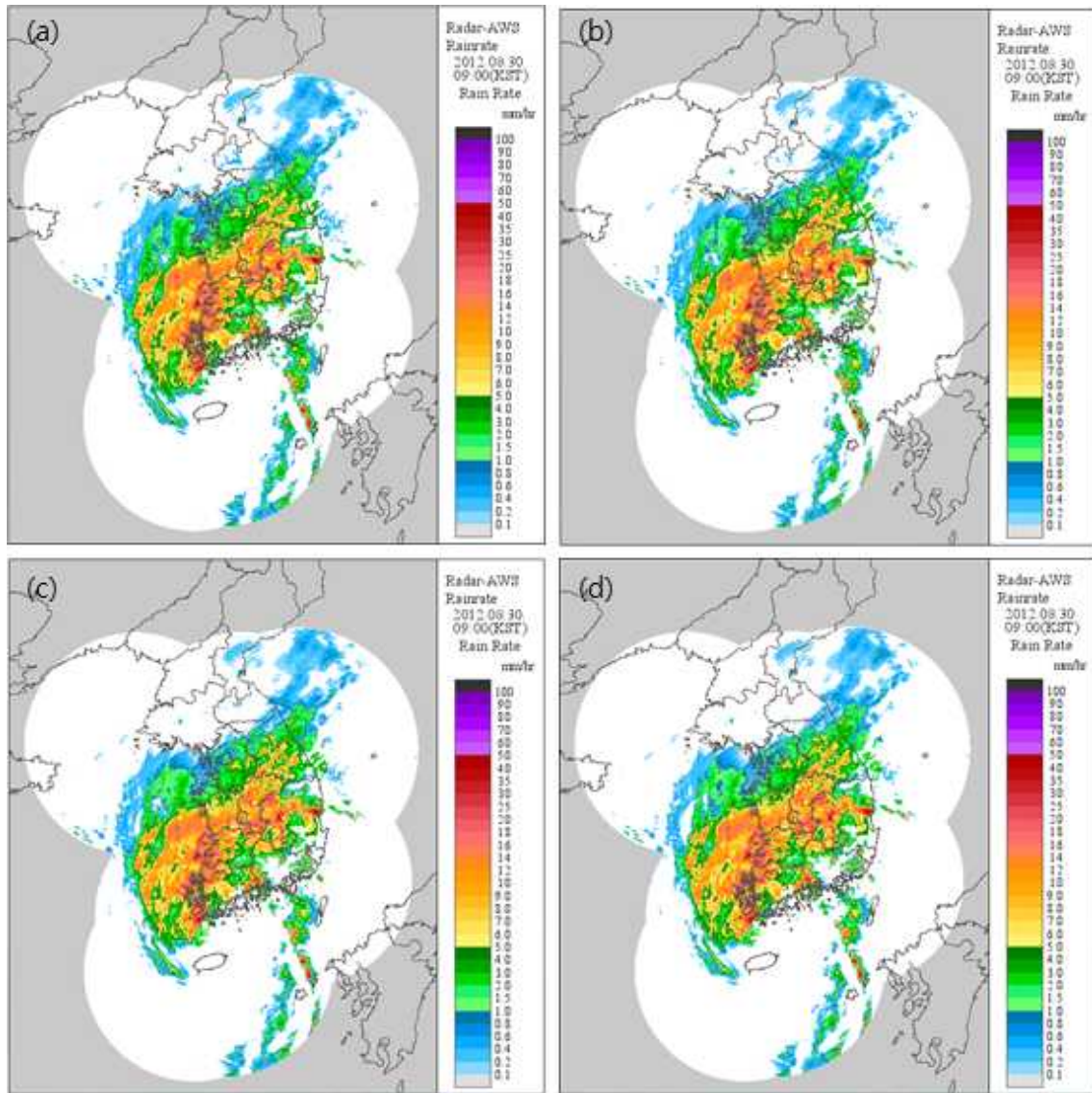


그림 3.3 2012년 8월 30일 09시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교(계속)
 (a) 영향반경 50km, (b) 영향반경 60km, (c) 영향반경 70km, (d) 영향반경 80km

표 3.3. 사례 3에서 영향반경에 따른 검증값

D(km)	10	20	30	40	50	60	70	80
MAE(mm/hr)	2.27	2.00	2.00	2.02	2.04	2.06	2.07	2.09
RMSE(mm/hr)	4.99	4.59	4.56	4.59	4.61	4.64	4.66	4.68
상관계수	0.74	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77

(4) 사례 4 (2012년 12월 21일 1600 KST)

2012년 12월 21일 16시 사례의 정성분석 결과 사례 3(2012년 8월 30일 09시)과 같이 주변 강수대와 어울리지 않은 원형의 불연속적인 이미지가 거의 없이 강수량 보정이 실행되었다(그림 3.4 참조).

정량적인 검증으로 최적의 영향반경을 모의한 결과 20km가 가장 적합한 반경으로 산출 되었다(표 3.4 참조).

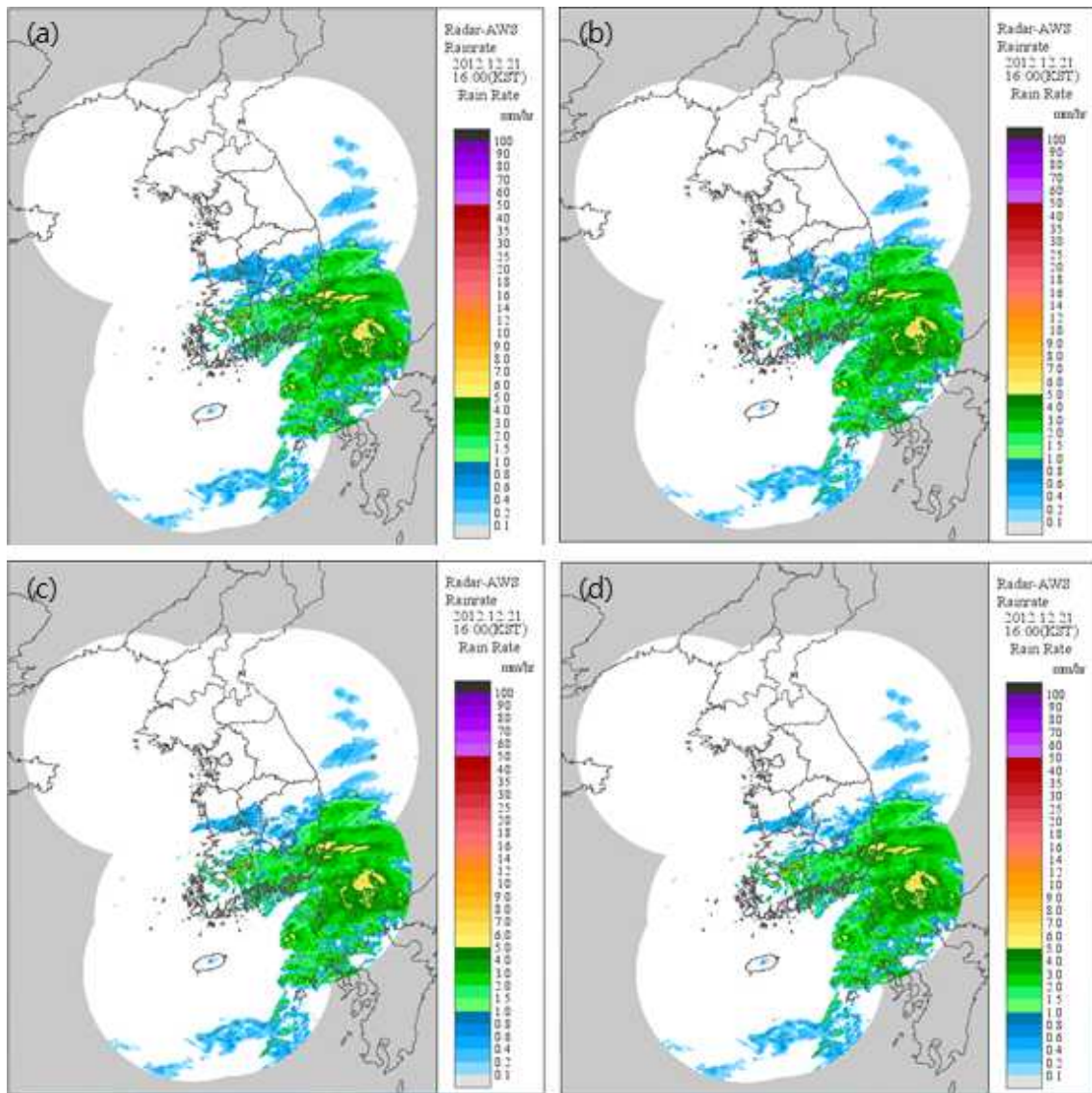


그림 3.4 2012년 12월 21일 16시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교

(a) 영향반경 10km, (b) 영향반경 20km, (c) 영향반경 30km, (d) 영향반경 40km

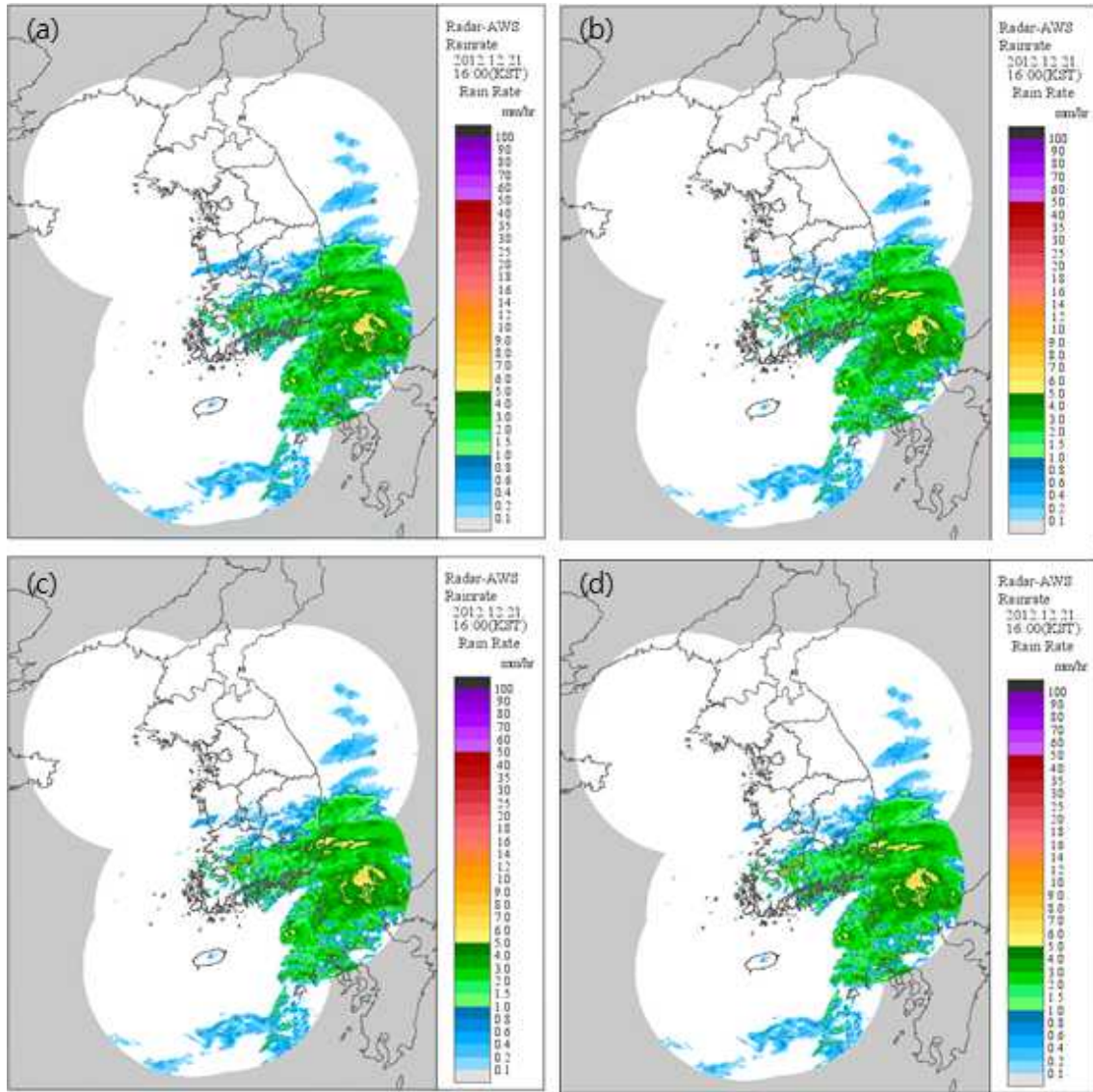


그림 3.4 2012년 12월 21일 16시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교(계속)
 (a) 영향반경 50km, (b) 영향반경 60km, (c) 영향반경 70km, (d) 영향반경 80km

표 3.4. 사례 4에서 영향반경에 따른 검증값

D(km)	10	20	30	40	50	60	70	80
MAE(mm/hr)	0.69	0.62	0.63	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
RMSE(mm/hr)	1.41	1.29	1.29	1.29	1.29	1.30	1.30	1.30
상관계수	0.50	0.58	0.58	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57

(5) 사례 5 (2013년 2월 1일 1300 KST)

2013년 2월 1일 13시 사례의 경우 영향반경이 커짐에 따라 서해안에서 보정된 강수량 추정값이 뚜렷이 표출됨을 확인할 수 있다(파란색 점선 원)(그림 3.5 참조). 이는 앞서 분석한 2012년 7월 6일 08시와 2012년 8월 15일 12시 사례와는 달리 원형의 불연속적인 형태는 보이지 않는데, 격자 보정이 하나의 우량계 지점이 아닌 다수의 우량계 지점에서 보정 되었기 때문으로 판단된다.

정량적인 검증값으로 최적 영향반경을 모의한 결과 30km가 가장 적합한 반경으로 산출 되었다(표 3.5 참조).

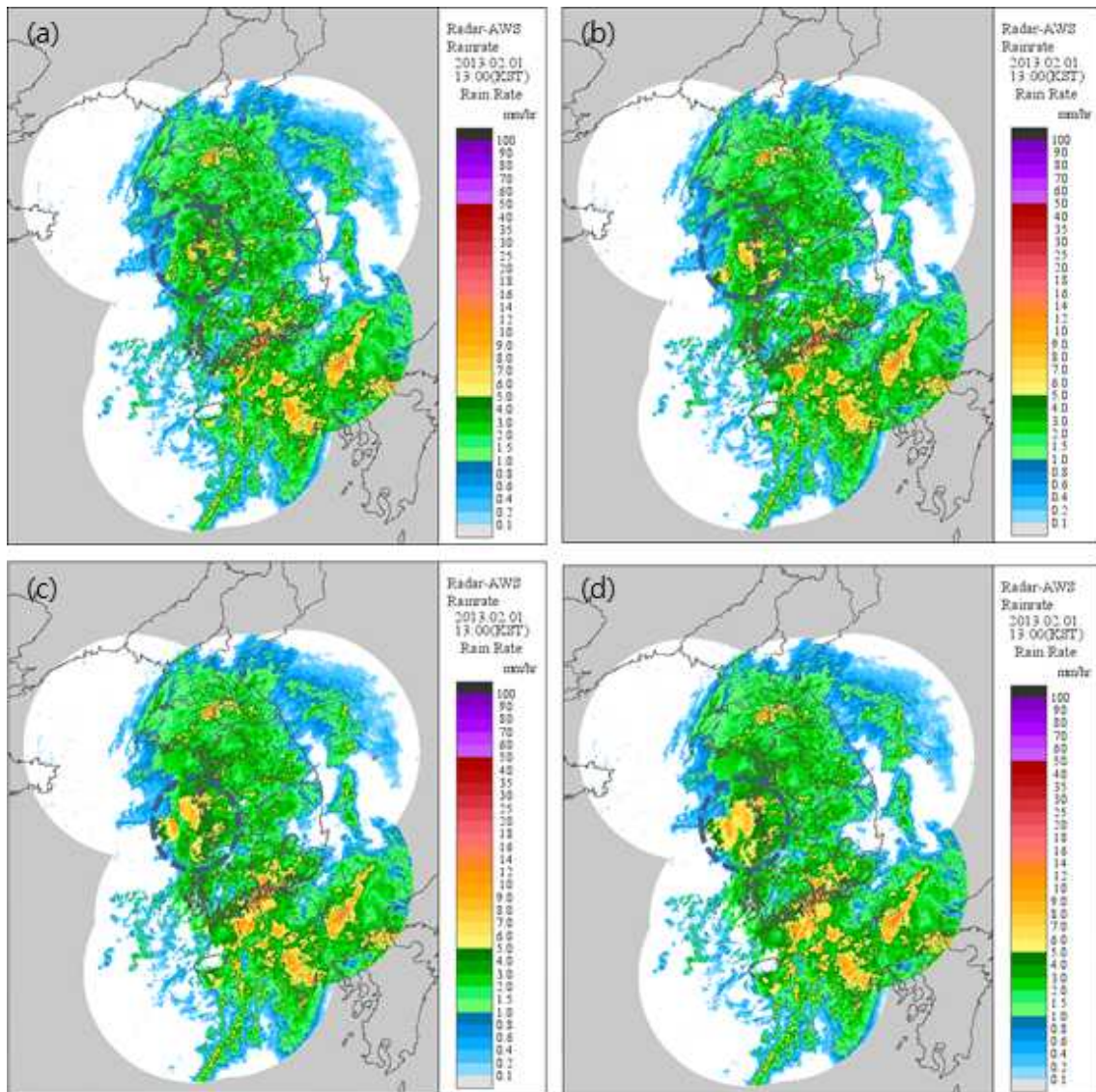


그림 3.5 2013년 2월 1일 13시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교

(a) 영향반경 10km, (b) 영향반경 20km, (c) 영향반경 30km, (d) 영향반경 40km

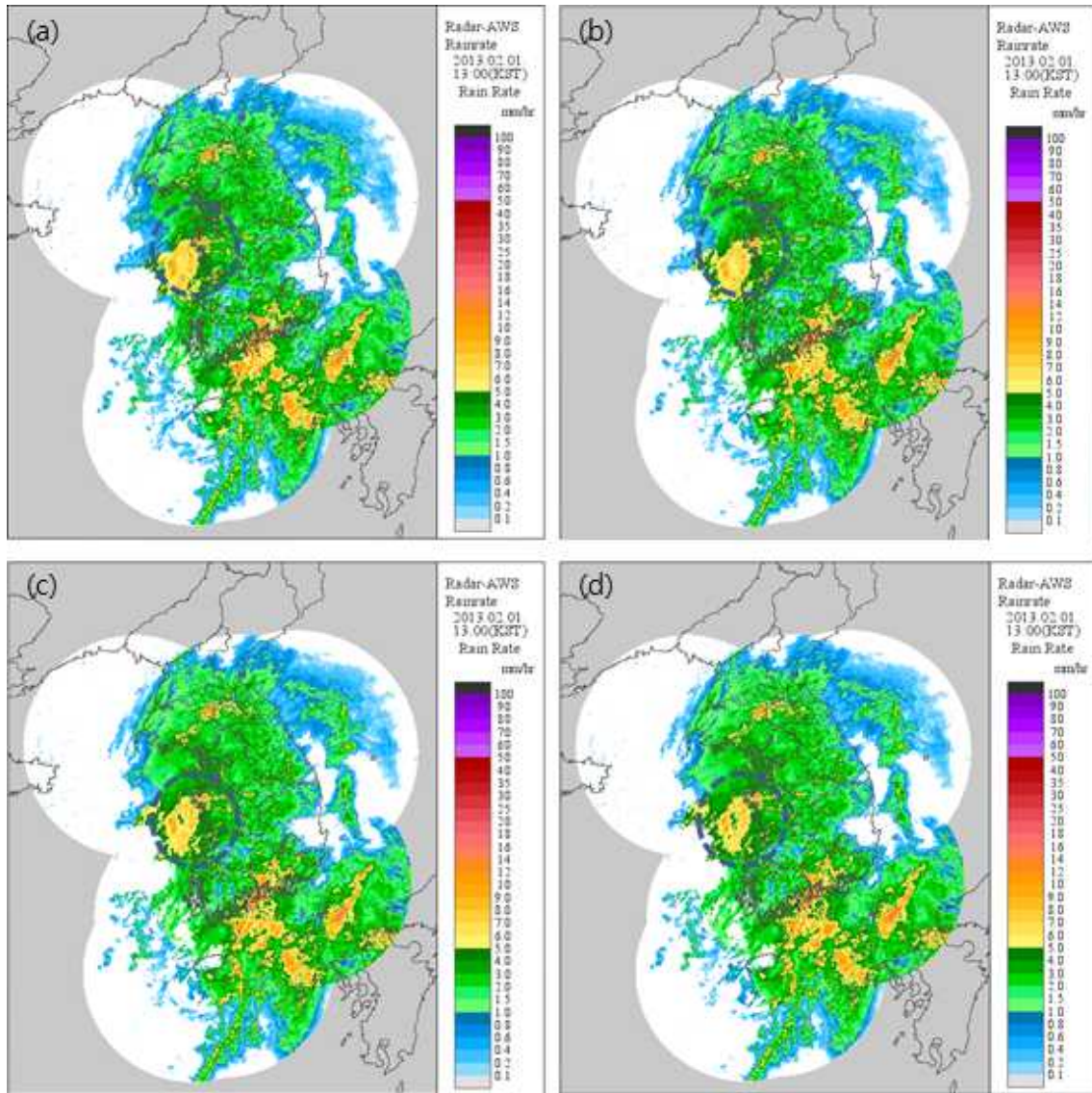


그림 3.5 2013년 2월 1일 13시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교(계속)

(a) 영향반경 50km, (b) 영향반경 60km, (c) 영향반경 70km, (d) 영향반경 80km

표 3.5. 사례 5에서 영향반경에 따른 검증값

D(km)	10	20	30	40	50	60	70	80
MAE(mm/hr)	0.82	0.76	0.75	0.76	0.76	0.77	0.77	0.78
RMSE(mm/hr)	1.71	1.62	1.60	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63
상관계수	0.73	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.75	0.75

(6) 사례 6 (2013년 7월 5일 0000 KST)

2013년 7월 5일 00시 사례의 경우 영향반경이 커짐에 따라 서해안 지역과 경북 북부 동해안 지역에 보정된 강수량 추정값을 뚜렷하게 확인할 수 있다(파란색 점선 원)(그림 3.6 참조). 영향반경이 커질수록 파란색 원안의 동해안 지역에서 강수 보정이 뚜렷한데 이는 해안 지역에 우량계 지점이 없기 때문에 해안 지역에서 가장 가까운 내륙 지역(영덕 지점) 하나의 우량계 지점의 자료로써 보정하기 때문으로 판단된다. 반면 우량계 지점이 비교적 조밀한 경북 내륙 지역에는 비교적 강수 보정이 뚜렷하게 드러나지 않고 있다.

정량적인 검증으로 최적의 영향반경을 모의한 결과 30km가 가장 적합한 반경으로 산출 되었다(표 3.6 참조).

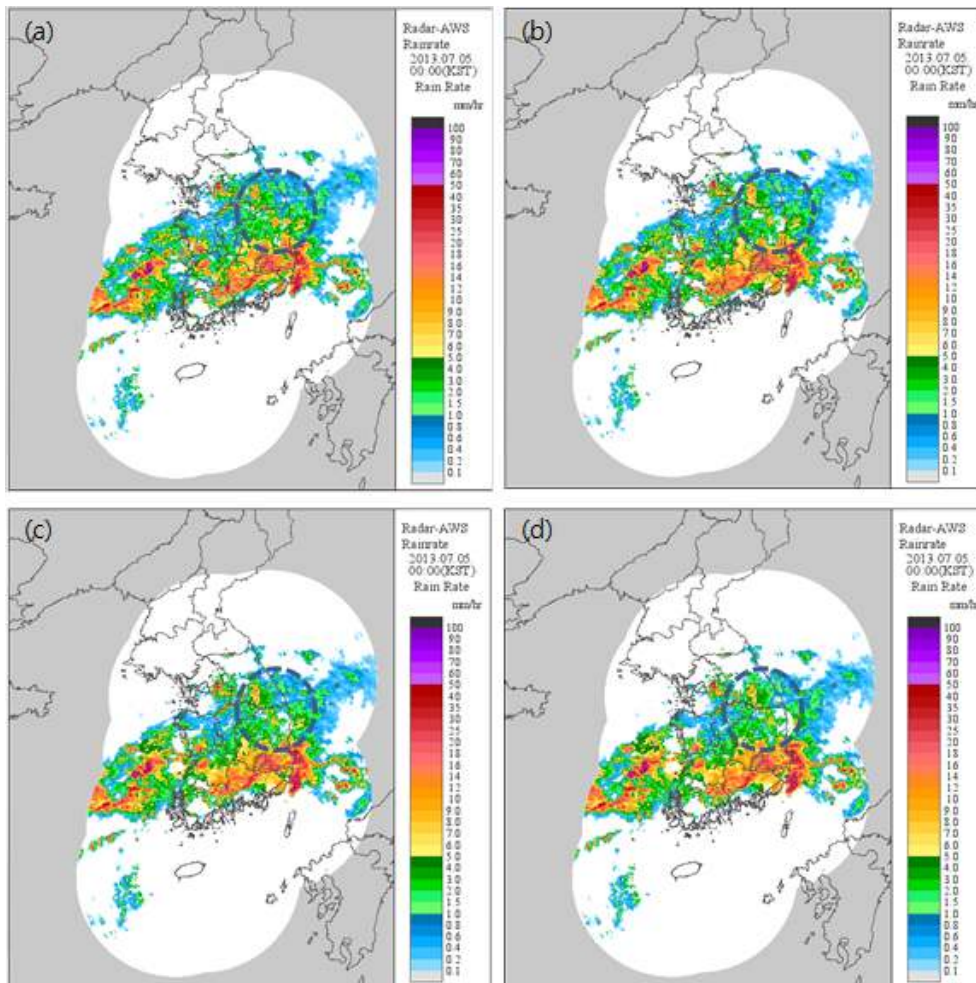


그림 3.6 2013년 7월 5일 00시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교

(a) 영향반경 10km, (b) 영향반경 20km, (c) 영향반경 30km, (d) 영향반경 40km

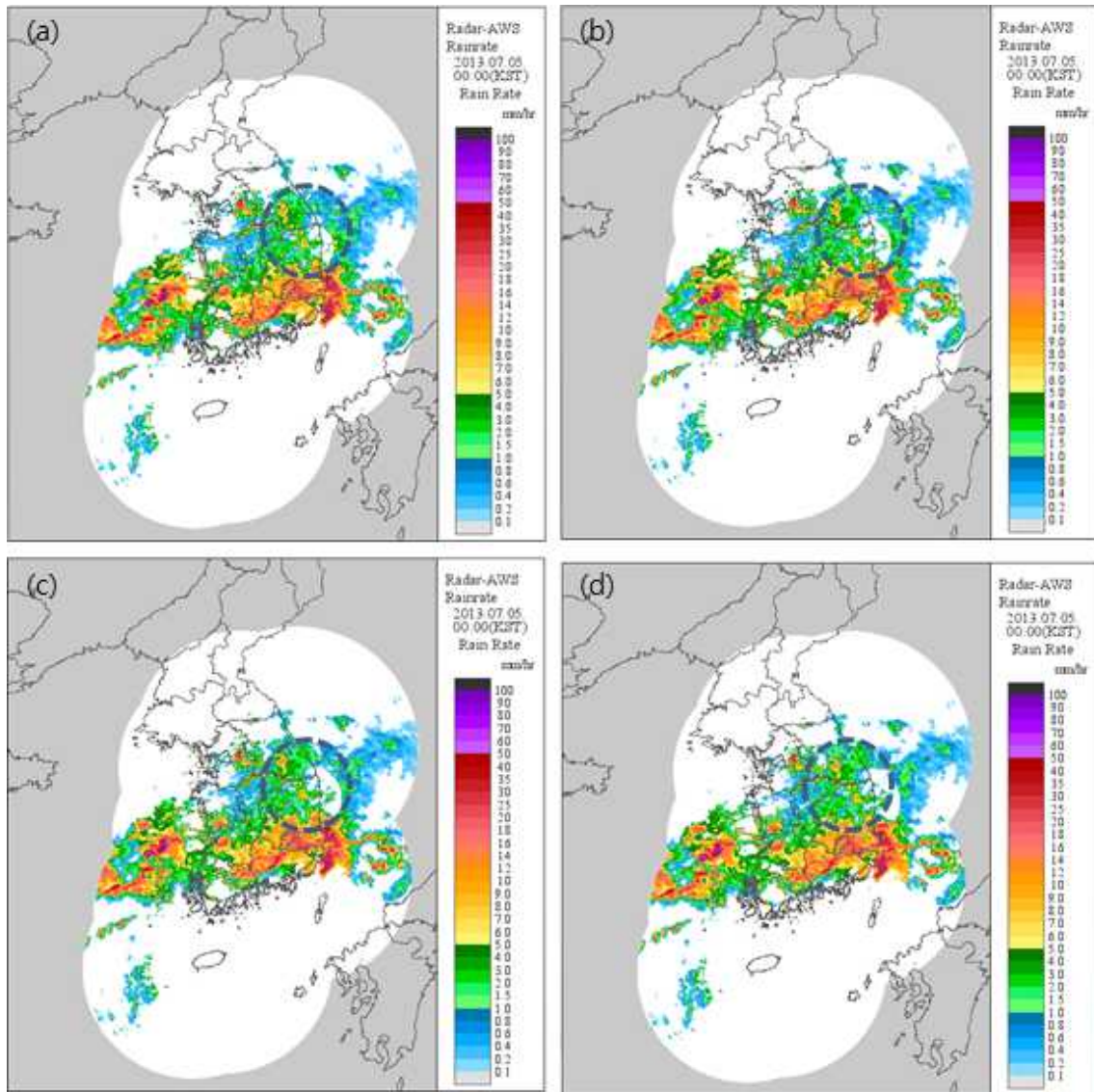


그림 3.6 2013년 7월 5일 00시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교(계속) (a) 영향 반경 50km, (b) 영향반경 60km, (c) 영향반경 70km, (d) 영향반경 80km

표 3.6. 사례 6에서 영향반경에 따른 검증값

D(km)	10	20	30	40	50	60	70	80
MAE(mm/hr)	2.85	2.65	2.64	2.64	2.65	2.67	2.69	2.70
RMSE(mm/hr)	5.39	5.12	5.11	5.11	5.13	5.14	5.15	5.16
상관계수	0.61	0.66	0.66	0.66	0.66	0.65	0.65	0.65

(7) 사례 7 (2013년 8월 23일 1200 KST)

2013년 8월 23일 12시 사례의 경우 영향반경이 커짐에 따라 전라도 지역과 경상 남북도 경계 지역에서 강수량 추정값의 보정 정도가 약하게 나타나고 있다(파란색 점선 원)(그림 3.7 참조).

정량적인 검증으로 최적 영향반경을 모의한 결과 20km가 가장 적합한 반경으로 산출 되었다(표 3.7 참조).

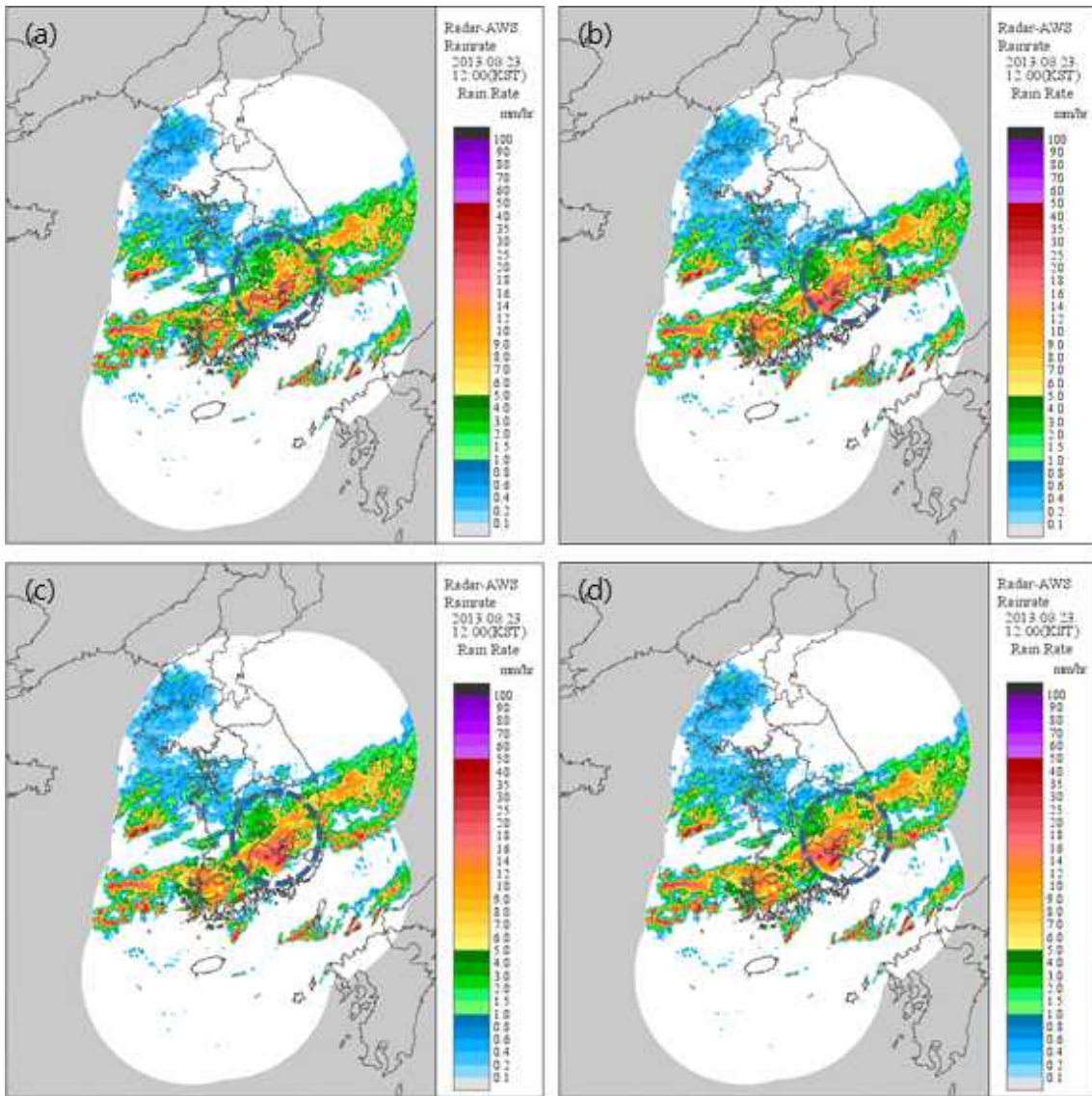


그림 3.7 2013년 8월 23일 12시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교

(a) 영향반경 10km, (b) 영향반경 20km, (c) 영향반경 30km, (d) 영향반경 40km

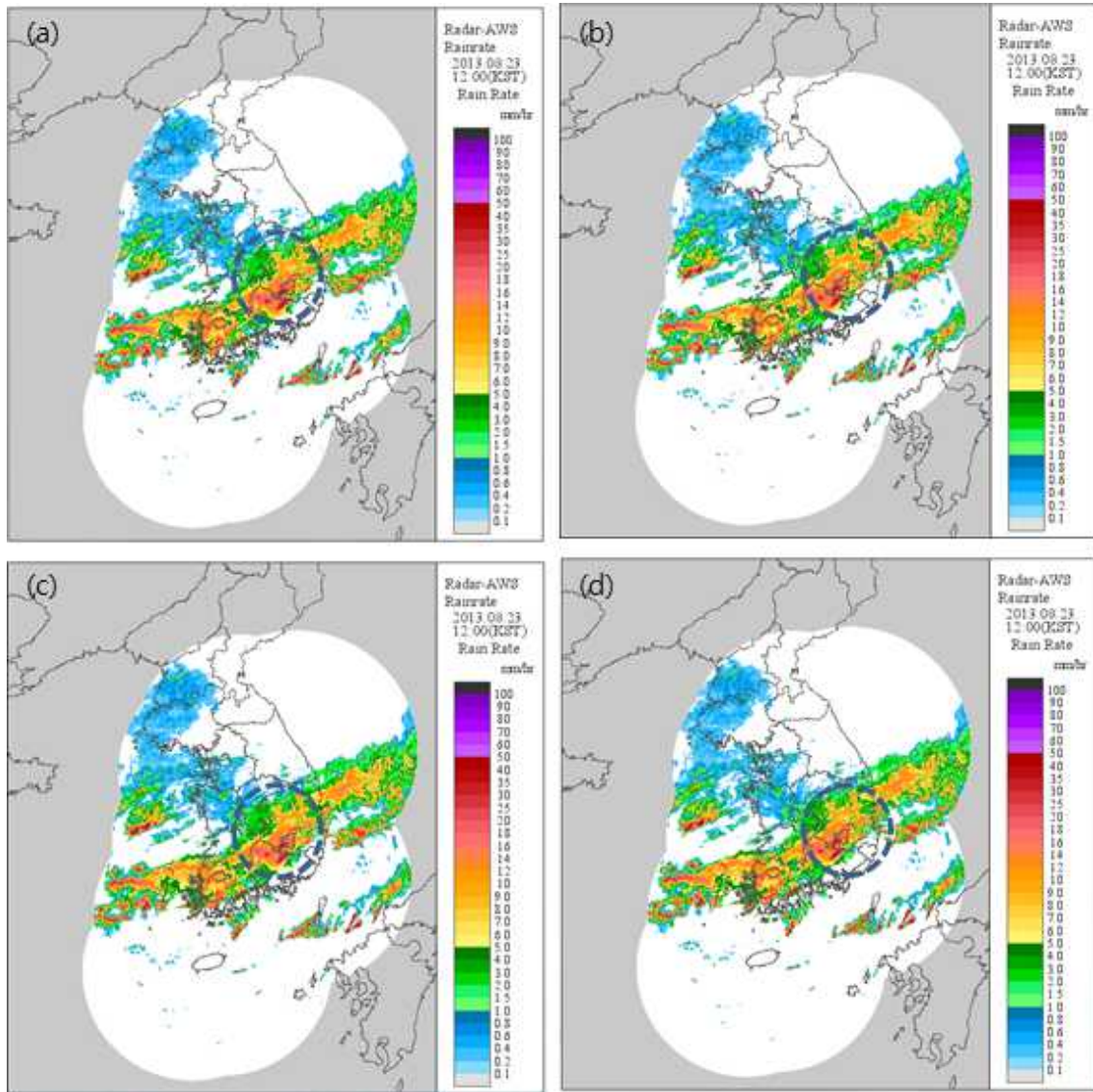


그림 3.7 2013년 8월 23일 12시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교(계속)
 (a) 영향반경 50km, (b) 영향반경 60km, (c) 영향반경 70km, (d) 영향반경 80km

표 3.7. 사례 7에서 영향반경에 따른 검증값

D(km)	10	20	30	40	50	60	70	80
MAE(mm/hr)	3.02	2.86	2.89	2.90	2.92	2.94	2.95	2.95
RMSE(mm/hr)	6.27	6.06	6.14	6.15	6.17	6.20	6.20	6.20
상관계수	0.56	0.62	0.60	0.59	0.59	0.58	0.58	0.58

(8) 사례 8 (2013년 9월 14일 1000 KST)

2013년 9월 14일 10시 사례의 경우 영향반경이 커짐에 따라 전반적으로 충청도 및 경상도 지역에서 강수량 추정값의 보정이 약하게 나타나고 있다(파란색 점선 원)(그림 3.8 참조).

정량적인 검증으로 최적 영향반경을 모의한 결과 20km가 가장 적합한 반경으로 산출 되었다(표 3.8 참조).

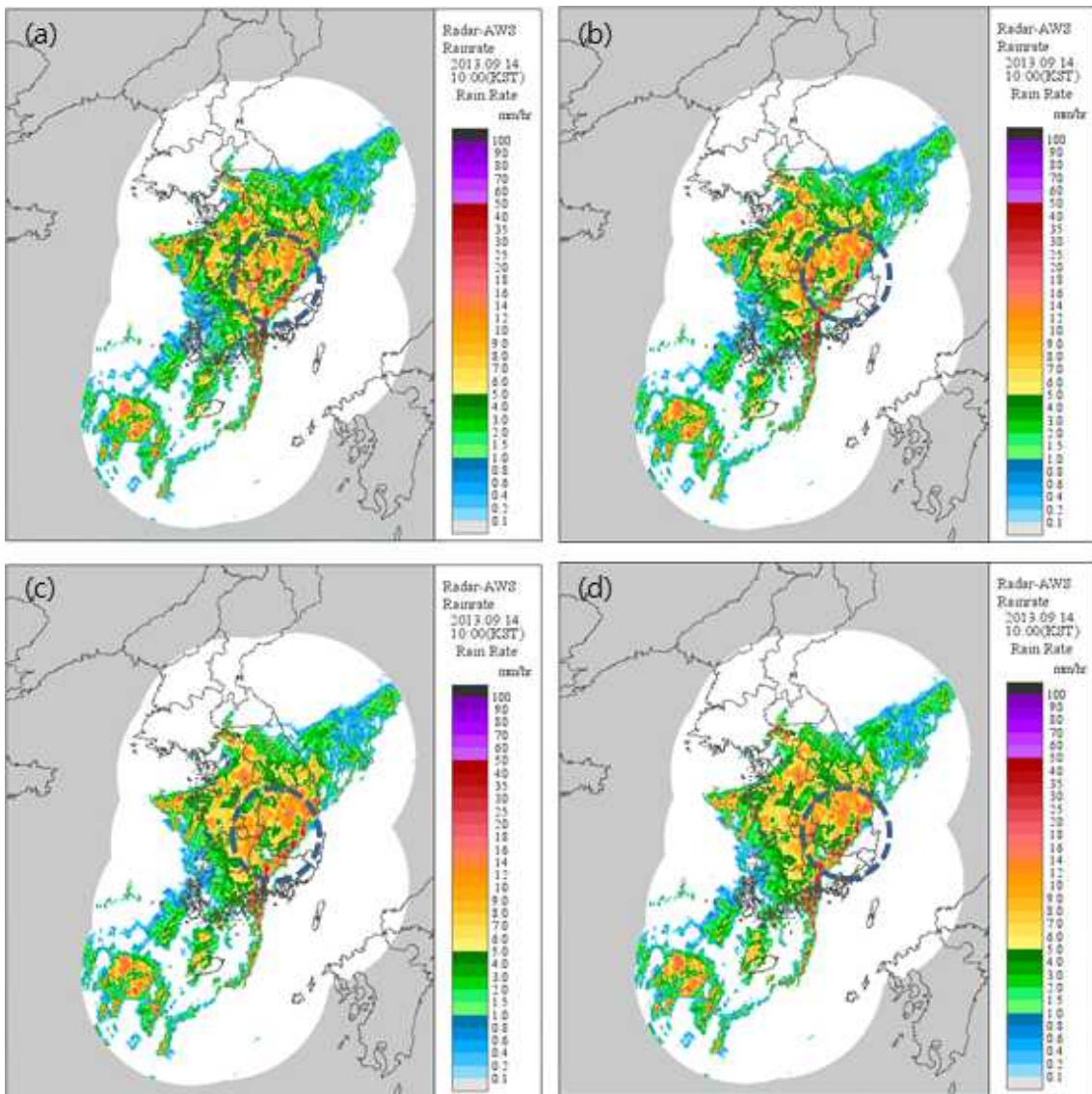


그림 3.8 2013년 9월 14일 10시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교

(a) 영향반경 10km, (b) 영향반경 20km, (c) 영향반경 30km, (d) 영향반경 40km

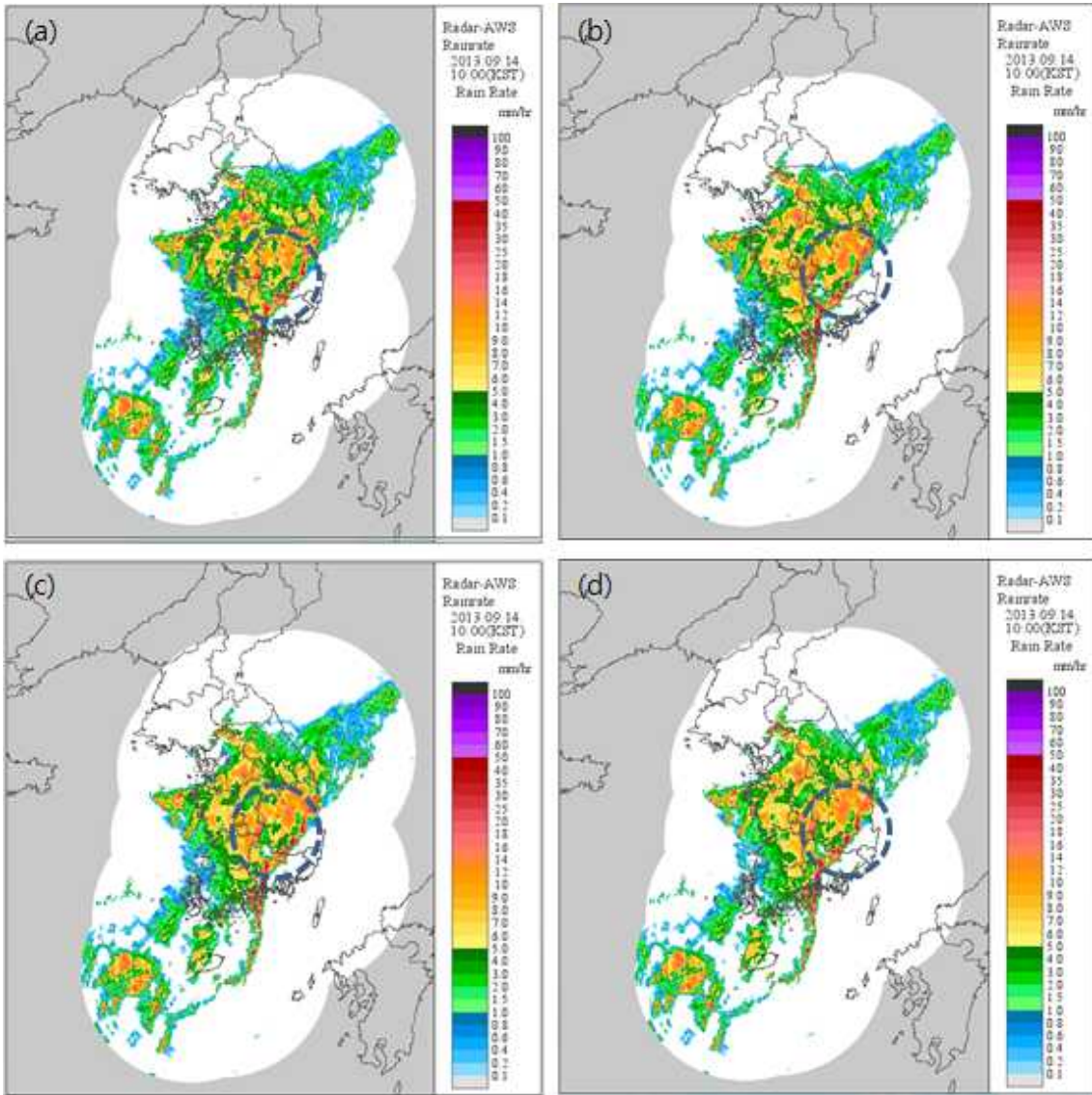


그림 3.8 2013년 9월 14일 10시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교(계속)

(a) 영향반경 50km, (b) 영향반경 60km, (c) 영향반경 70km, (d) 영향반경 80km

표 3.8. 사례 8에서 영향반경에 따른 검증값

D(km)	10	20	30	40	50	60	70	80
MAE(mm/hr)	3.00	2.79	2.85	2.89	2.91	2.91	2.92	2.93
RMSE(mm/hr)	6.26	6.06	6.10	6.16	6.17	6.17	6.16	6.16
상관계수	0.56	0.60	0.59	0.58	0.58	0.58	0.58	0.57

(9) 사례 9 (2013년 11월 25일 0000 KST)

2013년 11월 25일 00시 사례의 경우 영향반경이 커짐에 따라 우량계가 드문 강원도 북부 동해안 지역과 제주도 동쪽 해상 지역에서 반경에 비례하여 보정된 강수량 추정값이 뚜렷이 보이고 있다(파란색 점선 원)(그림 3.9 참조). 특히 강원 북부 동해안 지역에서 영향반경이 커질수록 해상 지역의 강수 보정이 뚜렷하게 나타난다. 이는 2013년 7월 5일 00시 사례와 비슷하게 해상 지역에는 우량계 지점이 없기 때문이며, 반면 강원도 내륙 지역은 우량계가 다수 존재하기 때문에 강수 보정이 눈으로 구분될 정도로 뚜렷하게 나타나지 않는다.

정량적인 검증으로 최적 영향반경을 모의한 결과 30km가 가장 적합한 반경으로 산출 되었다(표 3.9 참조).

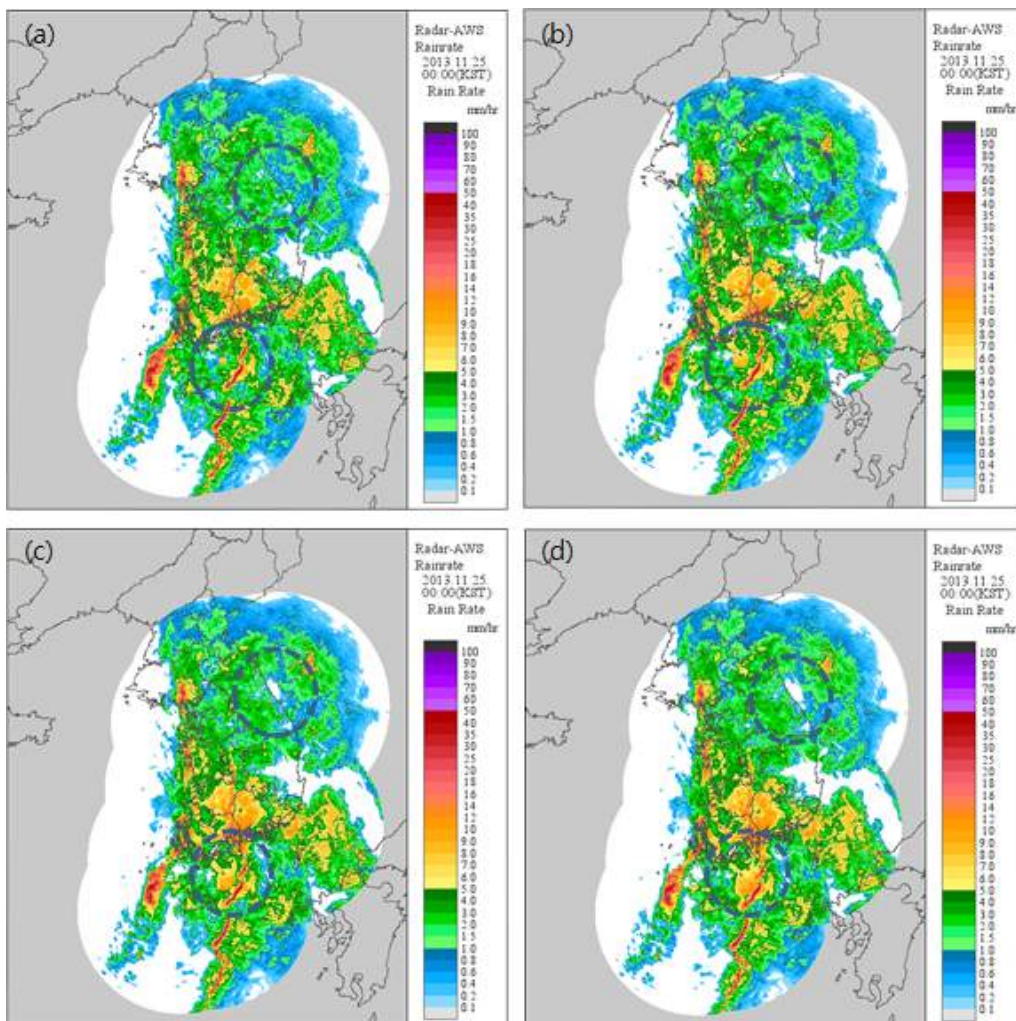


그림 3.9 2013년 11월 25일 00시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교

(a) 영향반경 10km, (b) 영향반경 20km, (c) 영향반경 30km, (d) 영향반경 40km

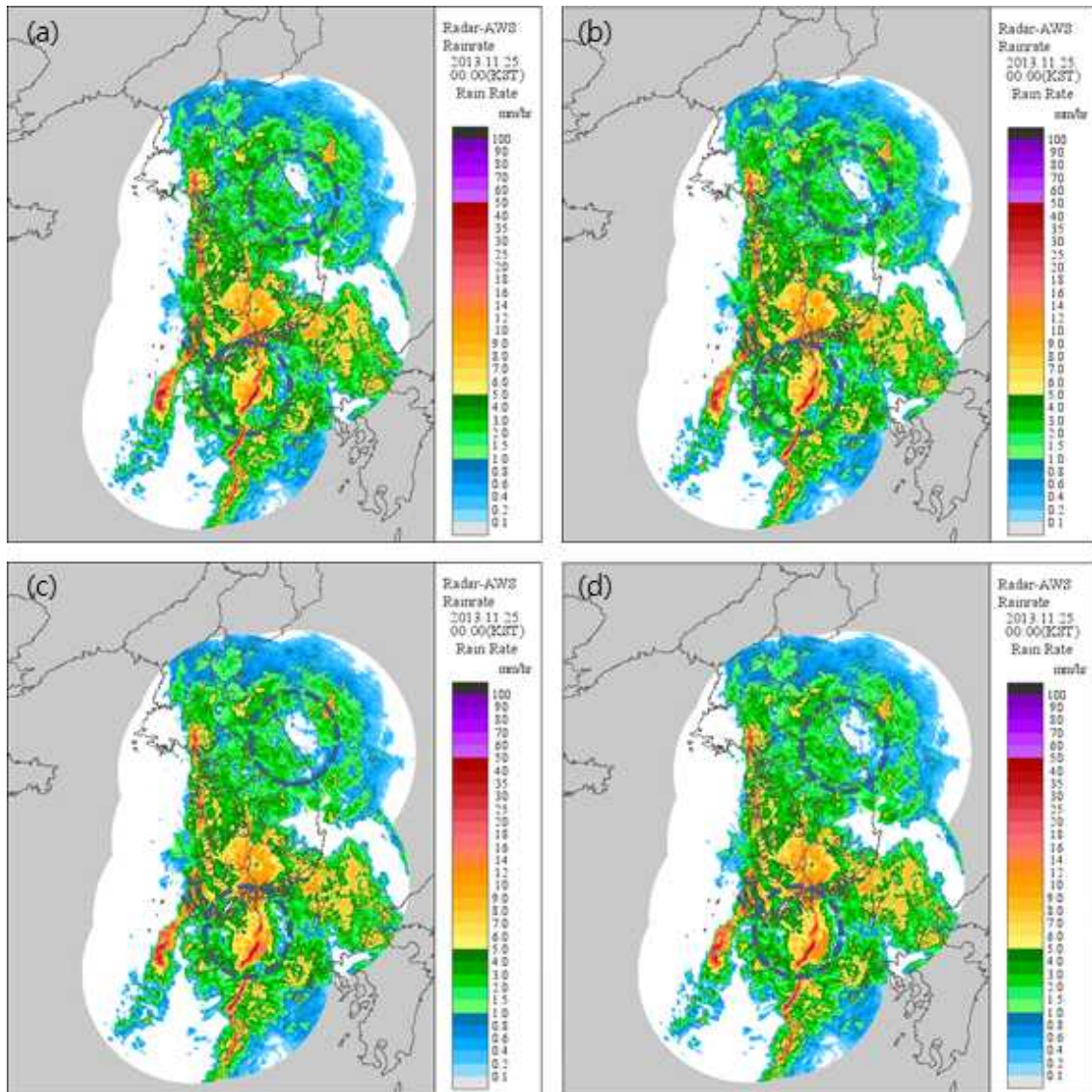


그림 3.9 2013년 11월 25일 00시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교(계속)
 (a) 영향반경 50km, (b) 영향반경 60km, (c) 영향반경 70km, (d) 영향반경 80km

표 3.9. 사례 9에서 영향반경에 따른 검증값

D(km)	10	20	30	40	50	60	70	80
MAE(mm/hr)	1.10	1.00	0.99	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03
RMSE(mm/hr)	2.46	2.31	2.28	2.29	2.32	2.33	2.33	2.33
상관계수	0.70	0.75	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74	0.74

(10) 사례 10 (2014년 7월 3일 0000 KST)

2014년 7월 3일 00시 사례의 경우 영향반경이 커짐에 따라 충청도 해안 지역과 충청도 지역에 보정된 강수량 추정값이 뚜렷이 보이고 있다(파란색 점선 원)(그림 3.10 참조).

최적의 영향반경을 모의한 결과, 20km에서 정량적 검증이 가장 우수한 것으로 나타났다(표 3.10 참조).

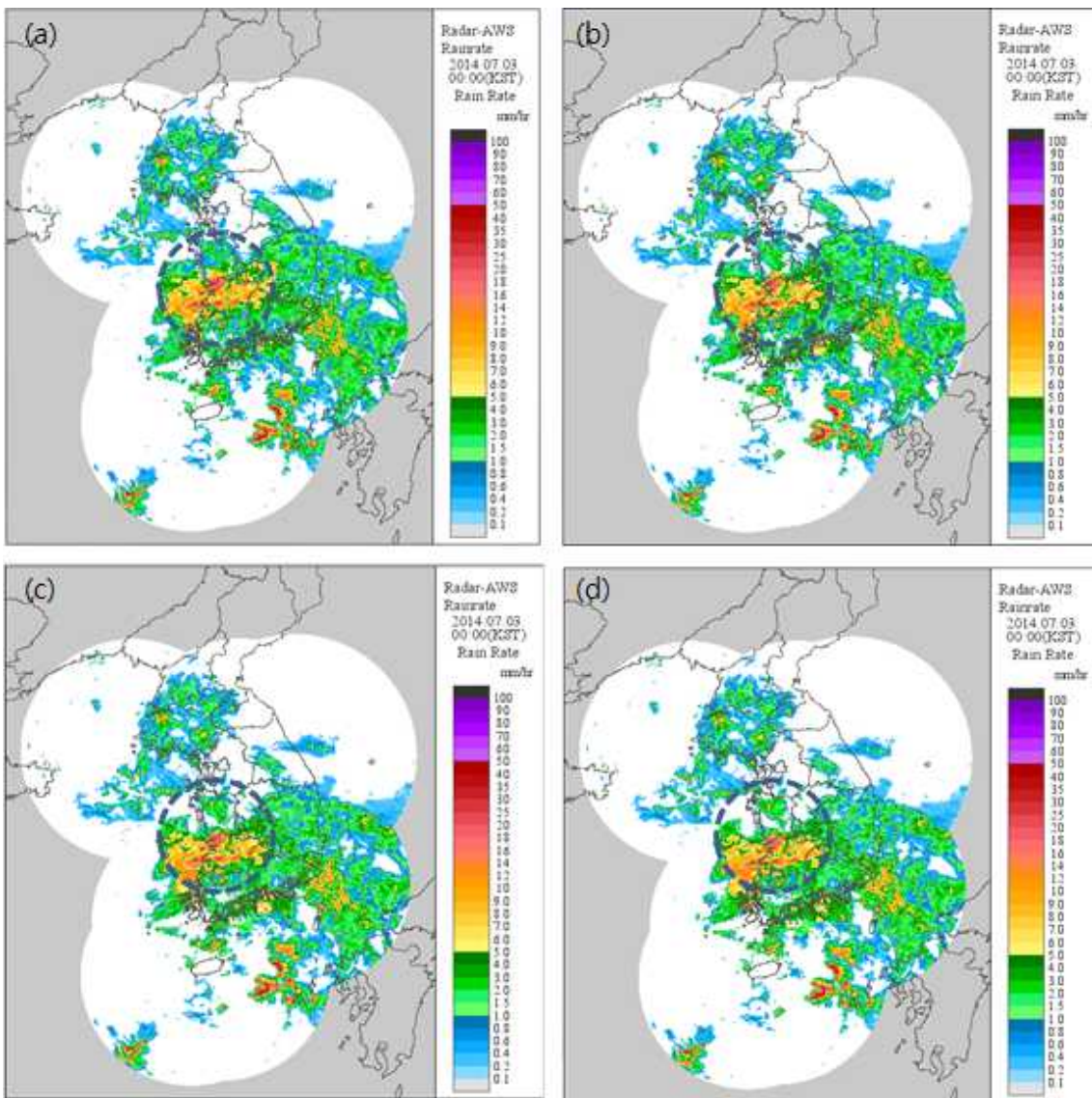


그림 3.10 2014년 7월 3일 00시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교

(a) 영향반경 10km, (b) 영향반경 20km, (c) 영향반경 30km, (d) 영향반경 40km

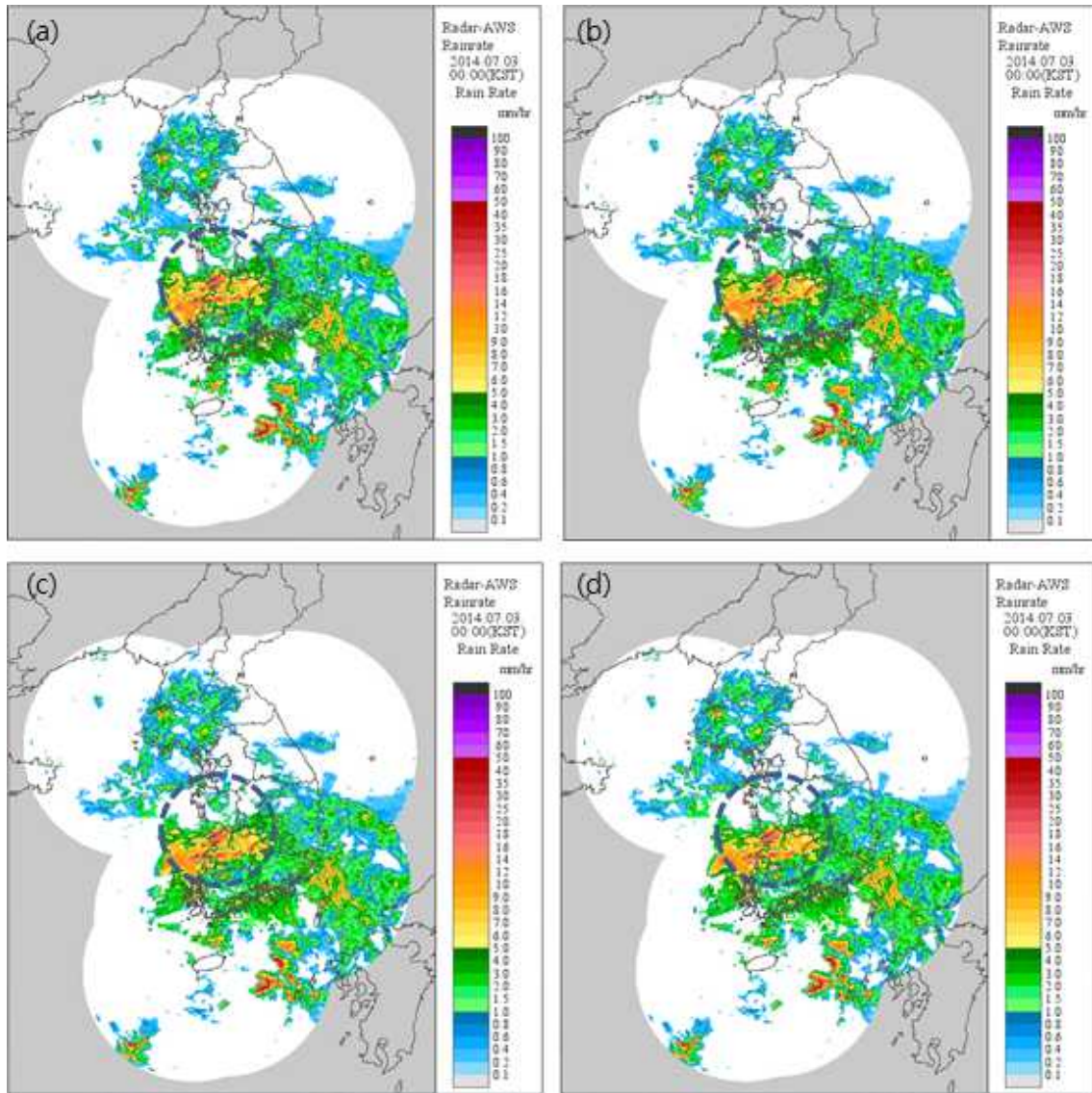


그림 3.10 2014년 7월 3일 00시 영향반경(D)별 레이더 강수량 비교(계속)
 (a) 영향반경 50km, (b) 영향반경 60km, (c) 영향반경 70km, (d) 영향반경 80km

표 3.10. 사례 10에서 영향반경에 따른 검증값

D(km)	10	20	30	40	50	60	70	80
MAE(mm/hr)	1.95	1.74	1.75	1.76	1.77	1.77	1.77	1.78
RMSE(mm/hr)	4.23	4.08	4.09	4.10	4.11	4.12	4.12	4.13
상관계수	0.58	0.60	0.60	0.60	0.59	0.59	0.59	0.59

10개의 사례분석 결과 정량적인 검증값의 경우 영향반경 D가 사례 1, 2, 4, 7, 8, 10에서는 20km, 사례 3, 5, 6, 9에서는 30km에서 대체적으로 가장 개선된 결과값을 보였다. 정성적인 이미지 분석 결과 우량계 지점 분포가 드문 해안지역이나 산악지역에서 불연속적인 보정 이미지가 생성되었는데, 격자점을 보정할 때 활용되는 보정용 우량계 지점 자료가 드문 지역에서 주로 발견된다. 즉, 보정용 우량계 지점에서의 관측 오차값이 자료 품질관리 기준에는 만족하나, 충분히 크거나 작을 경우 해당 자료를 활용하여 주변 격자점을 보정할 때, 주변 강수대의 색지수와 자연스럽게 어울리지 않고 원형의 불연속적인 격자 보정이 진행된다. 반면 우량계 분포가 매우 조밀한 지점에서는 보정 적용되는 우량계 자료가 많아 역거리가중 기법의 가중치 계산시 다양한 우량계 정보가 활용이 되기 때문에 불연속적인 이미지가 거의 나타나지 않는다. 따라서 정성적 이미지 분석을 실시할 때 이런 특성을 고려할 필요가 있다.

전체 사례별 최적 영향반경 분석 결과에서 영향반경에 따른 검증값의 변화 추세를 살펴보면 MAE의 경우 반경 20km에서 가장 작은 결과값을 보이고 이후 영향반경이 커질수록 점차 커진다(그림 3.11 참조). RMSE 역시 MAE와 마찬가지로 추이를 보이고 있다(그림 3.12 참조). 상관계수의 경우 큰 개선 폭은 보이지 않으나 영향반경 20km와 30km에서 가장 개선된 값을 보이고 있다(그림 3.13 참조). 종합적으로 결론 내리면 검증값이 가장 개선된 영향반경은 20km이며, 이를 최적 영향반경으로 설정하여 이후 지수변수 최적화에도 적용하였다(표 3.11 참조).

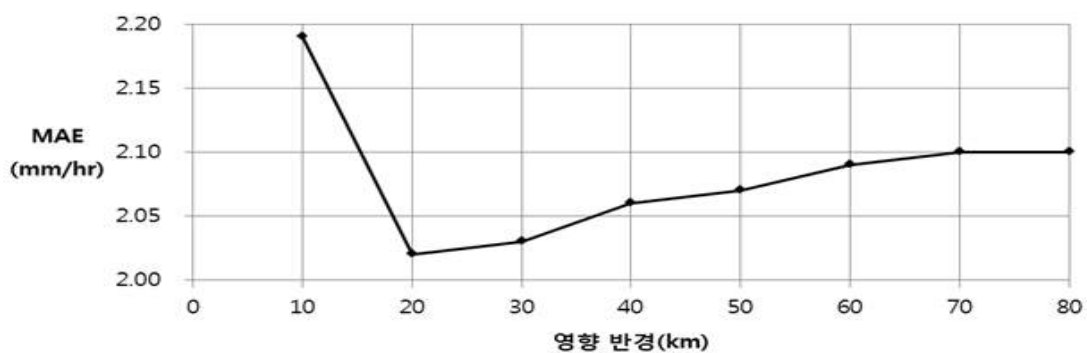


그림 3.11 영향반경에 따른 MAE 추이

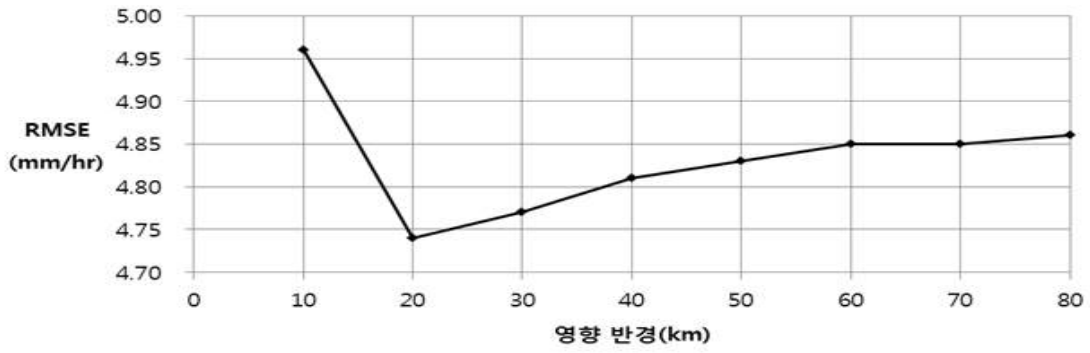


그림 3.12 영향반경에 따른 RMSE 추이

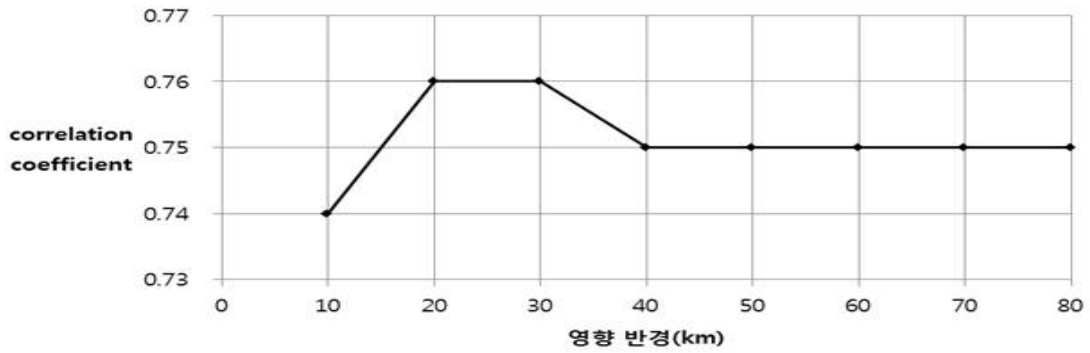


그림 3.13 영향반경에 따른 상관계수 추이

표 3.11. 영향반경에 따른 평균 검증값

D(km)	10	20	30	40	50	60	70	80
MAE(mm/hr)	2.19	2.02	2.03	2.06	2.07	2.09	2.10	2.10
RMSE(mm/hr)	4.96	4.74	4.77	4.81	4.83	4.85	4.85	4.86
상관계수	0.74	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

3.2 지수변수의 최적화

지수변수 b 는 거리에 따른 보정값 가중치에 영향을 미치는 변수이다. 지수변수 값이 커질수록 보정하고자 하는 레이더 격자점에서 근거리에 위치한 지상 우량계 자료의 가중치가 커진다. 이는 보정하고자 하는 레이더 격자점의 강수량 추정값이 근거리에 위치한 지상 우량계 자료에 영향을 많이 받는다는 것을 의미한다. 반대로 지수변수 값이 작아지면 영향반경 안에 있는 지상 우량계 자료의 보정 가중치가 균등해져 거리에 따른 영향이 줄어들는다. 즉, 거리에 따른 격자점 보정 가중치의 차이가 줄어들기 때문에 영향반경 내에 있는 지상 우량계 강수량 관측값들은 거리에 관계없이 레이더 격자점의 보정값에 비슷한 영향을 미치게 된다. 본 기술노트에서는 1.0에서 3.0까지 0.5 단위로 변경하며, 이에 따른 결과를 분석하였다. 이때 영향반경(D)의 영향을 배제하기 위해 최적화 과정에서 산출되었던 20km로 고정시키고 분석을 실시하였다. 사례별 분석 및 평균 결과(표 3.12 참조)를 살펴보면, 지수변수 값이 변함에 따라 다양한 검증 결과가 나타났으며, 영향반경 D 와 달리 어떤 변수 값에 수렴하지 않았다. 또한 각각 지수변수에서 검증 결과값이 매우 유사하여, 지수변수 값의 변화에 따른 개선의 의미가 없어 널리 사용되는 2.0 값을 적용하였다.

표 3.12. 지수 변수에 따른 사례 검증 결과

사례	검증 종류	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
사례 1	MAE(mm/hr)	3.01	2.99	2.98	2.97	2.98
	RMSE(mm/hr)	6.07	6.04	6.04	6.02	6.02
	상관계수	0.55	0.69	0.69	0.69	0.69
사례 2	MAE(mm/hr)	3.55	3.49	3.45	3.43	3.42
	RMSE(mm/hr)	7.85	7.78	7.75	7.74	7.74
	상관계수	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83
사례 3	MAE(mm/hr)	2.00	1.99	2.00	1.99	2.00
	RMSE(mm/hr)	4.57	4.57	4.59	4.58	4.59
	상관계수	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
사례 4	MAE(mm/hr)	0.62	0.62	0.62	0.63	0.63
	RMSE(mm/hr)	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
	상관계수	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
사례 5	MAE(mm/hr)	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
	RMSE(mm/hr)	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62
	상관계수	0.75	0.76	0.76	0.76	0.75
사례 6	MAE(mm/hr)	2.66	2.65	2.65	2.65	2.65
	RMSE(mm/hr)	5.14	5.13	5.12	5.11	5.12
	상관계수	0.66	0.66	0.66	0.67	0.67
사례 7	MAE(mm/hr)	2.86	2.86	2.86	2.85	2.86
	RMSE(mm/hr)	6.07	6.06	6.06	6.05	6.05
	상관계수	0.61	0.62	0.62	0.62	0.62
사례 8	MAE(mm/hr)	2.81	2.80	2.79	2.78	2.78
	RMSE(mm/hr)	6.06	6.06	6.06	6.03	6.02
	상관계수	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
사례 9	MAE(mm/hr)	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
	RMSE(mm/hr)	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31
	상관계수	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
사례 10	MAE(mm/hr)	1.75	1.74	1.74	1.74	1.74
	RMSE(mm/hr)	4.11	4.09	4.08	4.07	4.06
	상관계수	0.60	0.60	0.60	0.60	0.61
평균	MAE(mm/hr)	2.04	2.03	2.02	2.01	2.01
	RMSE(mm/hr)	4.77	4.75	4.74	4.73	4.73
	상관계수	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76

제 4 장 강수사례 분석

본 장에서는 기존 국지우량계보정기법을 적용하기 전 RAR 강수량 추정값의 합성장 자료와 적용 이후 합성장 자료에 대해 정량적·정성적으로 비교 분석하였다. 사례는 변수 최적화에서 적용한 10개의 사례와 동일하다(표 2.1 참조).

4.1 정량적 검증

사례 분석에서 강수량 추정값 정확도를 검증하기 위해 절대평균값오차(MAE), 평균제곱근오차(RMSE), 상관계수(correlation coefficient)을 이용하였다. 결과적으로 모든 사례에서 국지우량계보정기법을 적용했을 때 기존 RAR 강수량 추정값보다 정확도가 개선되었다. 사례별 분석 결과뿐만 아니라 전체 사례에 대한 검증결과 평균값 역시 상당히 개선됨을 확인하였다. MAE는 약 22%, RMSE와 상관계수는 모두 13%가량 개선되는 것으로 나타났다(표 4.1 참조).

표 4.1. 사례별 검증값 비교

사례	종류	MAE(mm/hr)	RMSE(mm/hr)	상관계수
사례 1	RAR	3.86	7.04	0.55
	LGC	3.06	6.21	0.67
사례 2	RAR	4.65	9.25	0.74
	LGC	3.58	8.02	0.81
사례 3	RAR	2.82	5.47	0.67
	LGC	2.10	4.85	0.75
사례 4	RAR	0.76	1.28	0.60
	LGC	0.60	1.12	0.70
사례 5	RAR	0.95	1.63	0.53
	LGC	0.69	1.35	0.69
사례 6	RAR	3.13	5.81	0.54
	LGC	2.65	5.12	0.66
사례 7	RAR	3.37	6.59	0.57
	LGC	2.88	5.94	0.67
사례 8	RAR	3.35	6.56	0.51
	LGC	2.79	6.06	0.60
사례 9	RAR	1.28	2.64	0.65
	LGC	1.00	2.31	0.75
사례 10	RAR	2.17	4.54	0.53
	LGC	1.74	4.08	0.60
평균	RAR	2.59	5.47	0.67
	LGC	2.01	4.74	0.76
	개선(%)	0.58(22%)	0.73(13%)	0.09(13%)

4.2 정성적 검증

(1) 사례 1 (2012년 7월 6일 0800 KST)

그림 4.1(a)는 장마 전선이 통과했던 2012년 7월 6일 08시의 AWS 우량계 관측값 공간분포, 그림 4.1(b)는 RAR 강수량 추정값 표출영상, 그림 4.1(c)는 국지우량계 보정기법 적용 후의 강수량 추정값 표출영상이다. 충청북도 및 경상북도 경계 지역에서 강수량 보정이 뚜렷이 보이고 있다. 이러한 강수 보정에 대한 정성적 검증을 위해 우량계 강수값과 레이더 강수량 추정값과의 지점별 차이값을 공간 내삽한 자료로 분석하였다. 경북 북부 지역과 전라북도 및 경상남도 지역에 부분적으로 강한 과대 추정을 보이고 있으며 충청도 일부 지역에서 과소 추정을 보이고 있다. 특히 AWS-RAR 표출 영상에서 파란색 원으로 표시된 경상북도 북부 지역이 분홍색 계열의 강한 과대 추정과 충청남도 지역의 경우 파란색 계열의 과소 추정 지역이 보이고 있다(그림 4.2(a) 참조). 다음 AWS-LGC 표출영상을 살펴보면, 파란색 원으로 표시된 경상북도 북부지역의 과대 추정 지역과 충청남도 지역의 과소 추정 지역이 상당히 개선되어 분홍색 계열의 면적이 상당히 축소됨을 확인할 수 있다. 그 밖에 RAR 강수량 추정값이 과소하게 추정되던 전라북도 및 경상남도 지역도 국지우량계보정기법이 적용되면서 비교적 개선됨을 확인할 수 있다(그림 4.2(b) 참조).

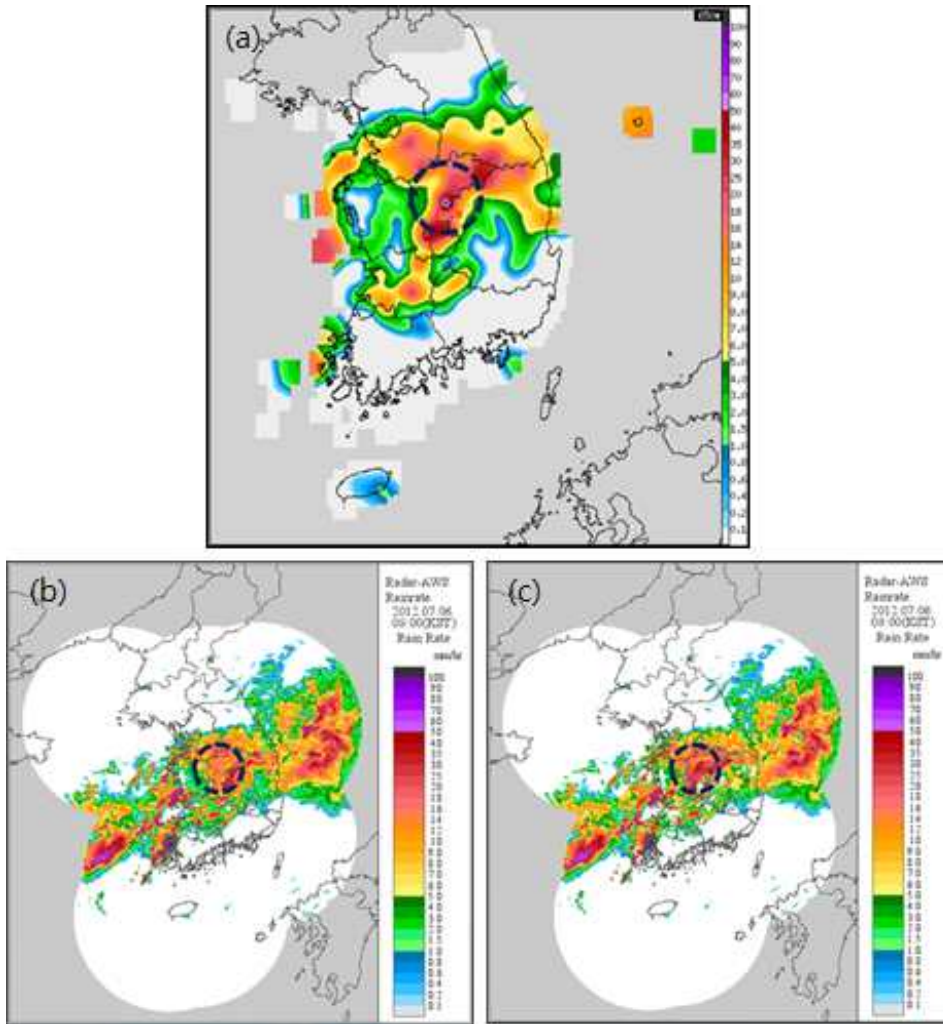


그림 4.1 표출영상 비교 (a) AWS 우량계 강수량 관측값, (b) RAR 강수량 추정값, (c) LGC 적용한 강수량 추정값 (2012년 7월 6일 0800 KST)

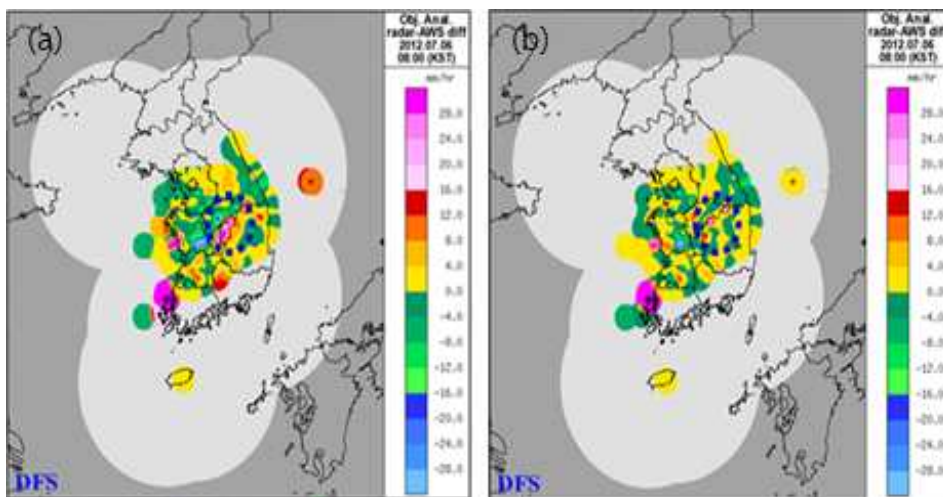


그림 4.2 검증 결과 영상 비교 (a) AWS와 RAR 강수량 차이(AWS-RAR), (b) AWS와 LGC 강수량 차이(AWS-LGC) (2012년 7월 6일 0800 KST)

(2) 사례 2 (2012년 8월 15일 1200 KST)

그림 4.3(a)는 국지성 강수가 강하게 내렸던 2012년 8월 15일 12시의 AWS 우량계 강수량 관측값 공간분포와 그림 4.3(b)는 RAR 강수량 추정값 표출 영상, 그림 4.3(c)는 LGC 적용 후 강수량 추정값 표출영상이다. 파란색 원으로 표시된 강원 북부 지역과 경기만 일대에 강수량 보정이 뚜렷이 나타난다. 이러한 강수 보정에 대한 정성적 검증을 위해 AWS 우량계 강수량 관측값과 레이더 강수량 추정값과의 지점별 차이값을 표출한 자료를 분석하였다. RAR 강수량 추정값은 강원 북부 지역과 경기만 지역에 매우 강한 과소 추정이 보이며, 경기 남부 지역에는 과대 추정이 보이고 있다. 특히 AWS-RAR 공간 내삽 자료상의 파란색 원으로 표시된 강원도 북부 지역과 경기만 일대(그림 4.4(a))에 옅은 파랑색인 매우 강한 과소 추정이 보인다. 다음 AWS-LGC 공간 내삽 자료를 살펴보면, 국지우량계보정기법을 적용함으로써 과소 추정 지역들이 상당히 개선됨을 확인 할 수 있다. 옅은 파란색 계열의 강한 과소 추정 지역들이 초록색 계열의 약한 과소 추정 지역으로 바뀌었다. 기타 경기도 남부 지역에서도 강한 과대 추정이 일부 개선됨을 확인 하였다(그림 4.4(b) 참조).

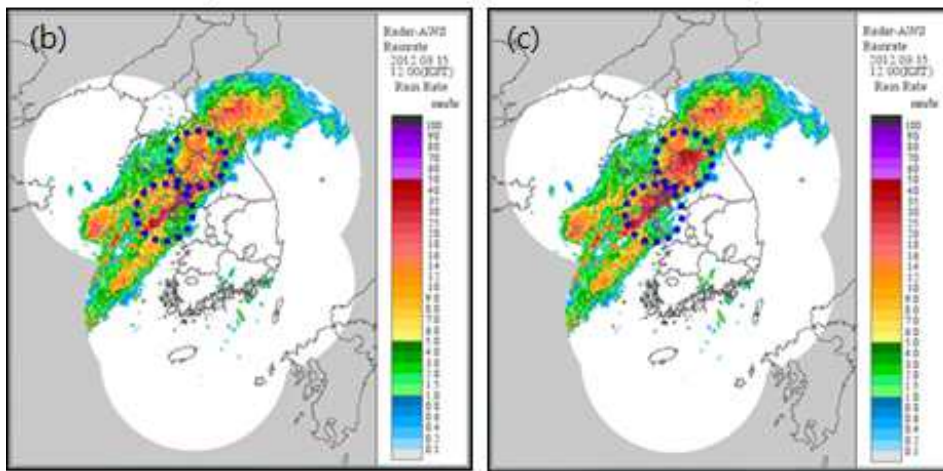
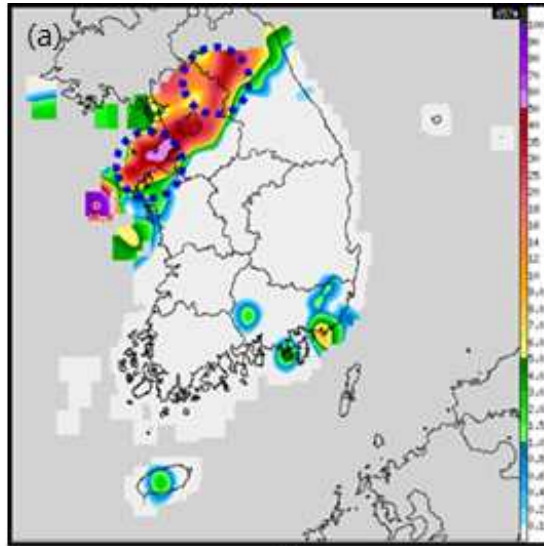


그림 4.3 표출영상 비교 (a) AWS 우량계 강수량 관측값, (b) RAR 강수량 추정값, (c) LGC 적용한 강수량 추정값 (2012년 8월 15일 1200 KST)

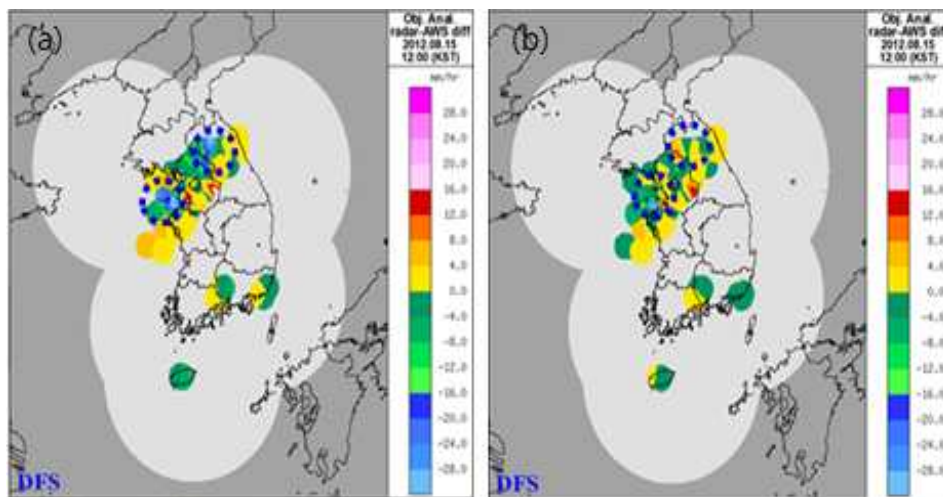


그림 4.4 검증 결과 영상 비교 (a) AWS와 RAR 강수량 차이(AWS-RAR), (b) AWS와 LGC 강수량 차이(AWS-LGC) (2012년 8월 15일 1200 KST)

(3) 사례 3 (2012년 8월 30일 0900 KST)

그림 4.5(a)는 태풍 블라벤이 통과했던 2012년 8월 30일 09시의 AWS 우량계 강수량 관측값 공간분포와 그림 4.5(b)는 RAR 강수량 추정값 표출영상, 그림 4.5(c)는 LGC 적용 후 강수량 추정값 공간분포이다. 강수가 내륙 지역 전역에 기록되고 있으며, 경상북도 북부 지역을 비롯한 중부 지역에 강수량 보정이 약하게 보이고 있다. 이러한 강수 보정에 대한 정성적 검증을 위해 AWS 우량계 강수량 관측값과 레이더 강수량 추정값과의 지점별 차이값을 표출한 자료를 분석하였다. AWS-RAR 강수량 공간분포를 살펴보면, 중부 지역 전반에 걸쳐 RAR 강수량 추정값의 과소 추정 지역들이 보이고 있으며, 특히 경상북도 북부지역에 RAR 강수량 추정값이 매우 작게 추정됨을 알 수 있다(그림 4.6(a) 참조). AWS-LGC 강수량 공간분포를 살펴보면, 파란색 원으로 표시된 경상북도 북부 지역에서 국지우량 보정기법의 적용으로 레이더 강수량 추정값이 상당히 개선됨을 확인 할 수 있다. 또한 기타 중부 지역에 보이던 약한 과대 추정도 개선되었다(그림 4.6(b) 참조).

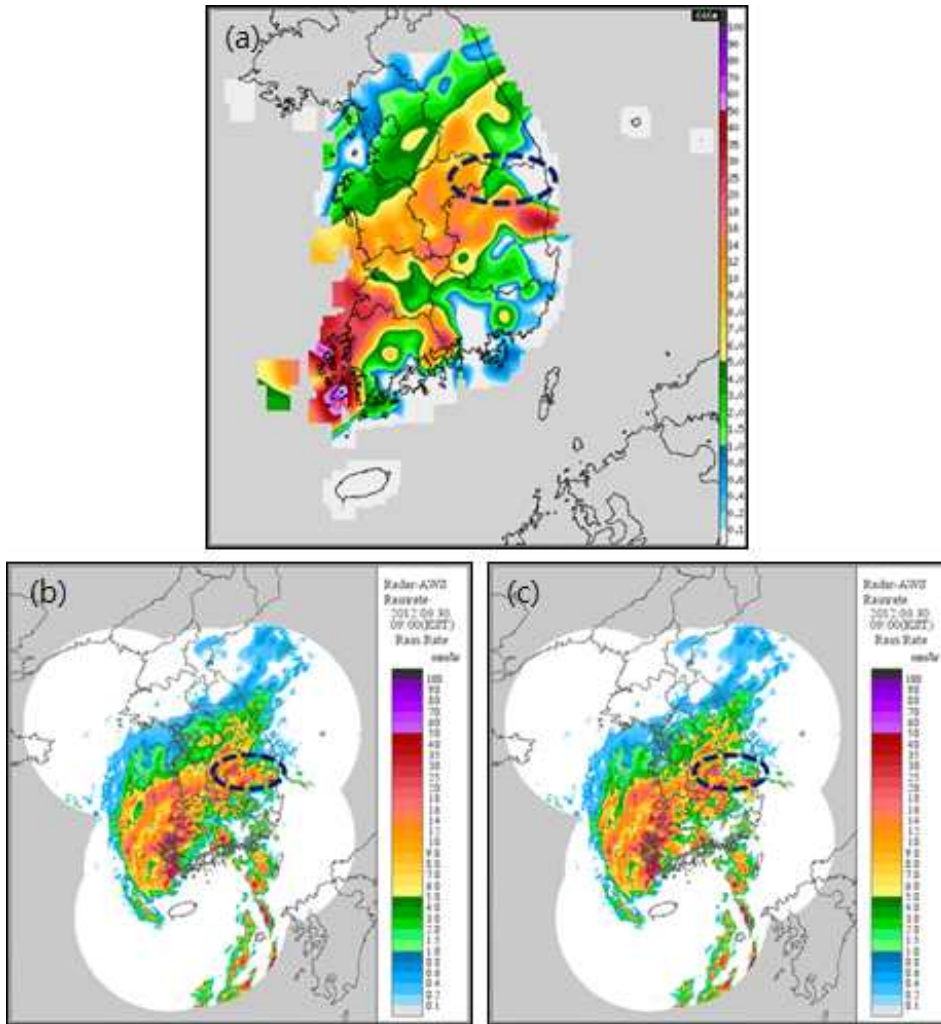


그림 4.5 표출영상 비교 (a) AWS 우량계 강수량 관측값, (b) RAR 강수량 추정값, (c) LGC 적용한 강수량 추정값 (2012년 8월 30일 0900 KST)

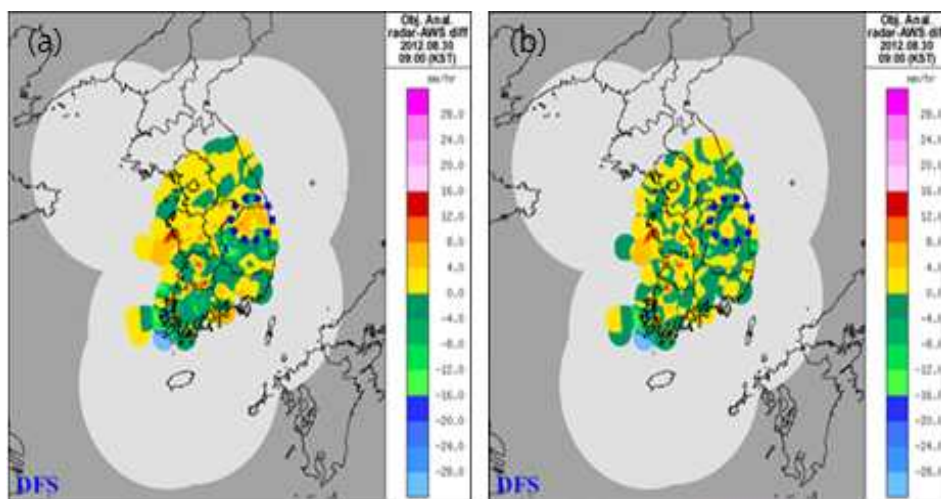


그림 4.6 검증 결과 영상 비교 (a) AWS와 RAR 강수량 차이(AWS-RAR), (b) AWS와 LGC 강수량 차이(AWS-LGC) (2012년 8월 30일 0900 KST)

(4) 사례 4 (2012년 12월 21일 1600 KST)

그림 4.7(a)는 층상형 강우 시스템이 통과했던 2012년 12월 21일 16시의 AWS 우량계 강수량 관측값 공간분포와 그림 4.7(b)는 RAR 강수량 추정값 표출영상, 그림 4.7(c)는 LGC 적용 후 강수량 추정값 표출영상이다. 경상남도를 중심으로 남부 지역 전역에 강수가 기록되는 가운데 경상남북도 접경 지역에 띠 형태의 비교적 강한 강수 에코가 국지우량계보정기법을 적용 후 약하게 보정이 되었다. 이러한 강수 보정에 대한 정성적 검증을 위해 AWS 우량계 강수량 관측값과 레이더 강수량 추정값과의 지점별 차이값을 표출한 자료를 분석하였다. 분석결과, AWS-RAR 강수량 공간분포에서 노란색 계열의 과소 추정된 RAR 강수량 추정값(그림 4.8(a) 참조)이 국지우량계보정기법을 적용함으로써, AWS-LGC 상에서는 초록색 계열의 약한 과소 추정 지역으로 바뀌고 있다. 기타 경상북도 전역 곳곳에 보이던 노란색의 약한 과대 추정이 일부 보정되고 있다(그림 4.8(b) 참조).

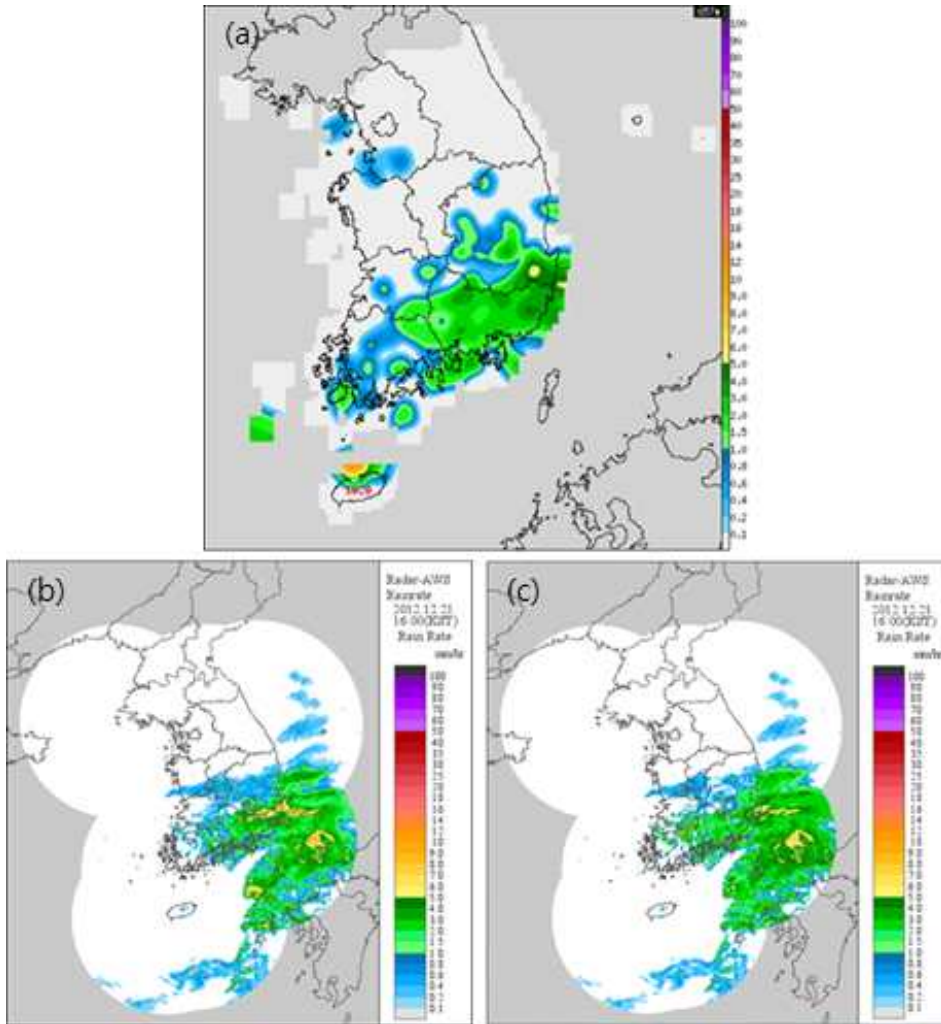


그림 4.7 표출영상 비교 (a) AWS 우량계 강수량 관측값, (b) RAR 강수량 추정값, (c) LGC 적용한 강수량 추정값 (2012년 12월 21일 1600 KST)

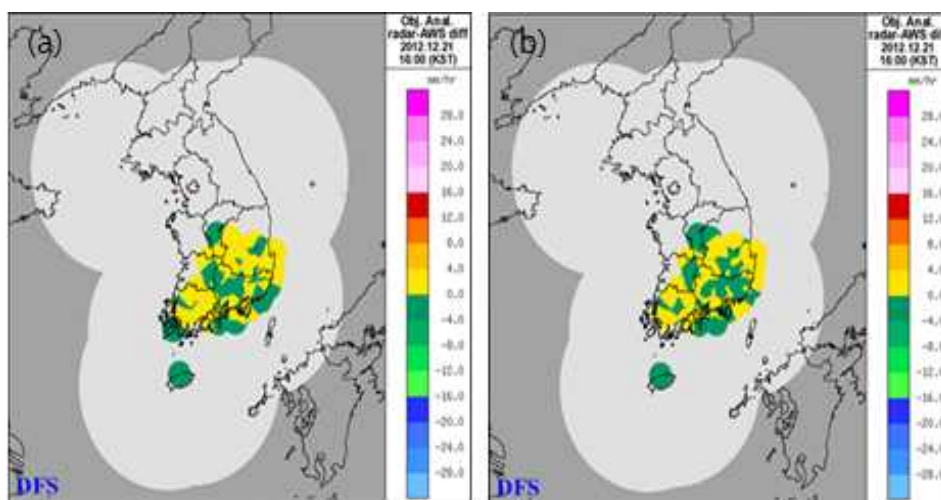


그림 4.8 검증 결과 영상 비교 (a) AWS와 RAR 강수량 차이(AWS-RAR), (b) AWS와 LGC 강수량 차이(AWS-LGC) (2012년 12월 21일 1600 KST)

(5) 사례 5 (2013년 2월 1일 1300 KST)

그림 4.9(a)는 층상형 강우대가 전국을 덮었던 2013년 2월 1일 13시의 AWS 우량계 강수량 관측값 공간분포와 그림 4.9(b)는 RAR 강수량 추정값 표출영상, 그림 4.9(c)는 LGC 적용 후 강수량 추정값 표출영상이다. 중부 지역에서는 눈이 내렸고 지상 기온이 높았던 남부 지역에서는 비가 내렸던 강수 사례로 충청도 내륙 지역에 비교적 강한 강수 에코가 국지우량계보정기법을 적용 후 약하게 보정되었다. 또한 충청도 해안 지역에서도 강수 보정이 이루어 졌다. 이러한 강수 보정에 대한 정성적 검증을 위해 AWS 우량계 강수량 관측값과 레이더 강수량 추정값과의 지점별 차이값을 표출한 자료를 분석하였다. AWS-RAR 강수량 공간분포를 살펴보면, 과소 추정된 RAR 강수량 추정값에 의해 주황색 계열로 나타난 충청도 내륙 지역이 국지우량계보정기법을 적용한 후 개선되고 있음을 확인하였다(그림 4.10(a) 참조). 하지만 RAR 강수량 추정값이 과소 추정된 전라남도 진도 지역(빨간색 원)은 국지우량계보정기법을 적용한 후 과소 추정 지역이 오히려 확대되었다. 이는 진도 지역이 해안가로 AWS 자료가 드문 지역이기 때문에, 수가 적은 우량계 자료를 이용하여 주변 격자점을 보정했기 때문으로 판단된다(그림 4.10(b) 참조).

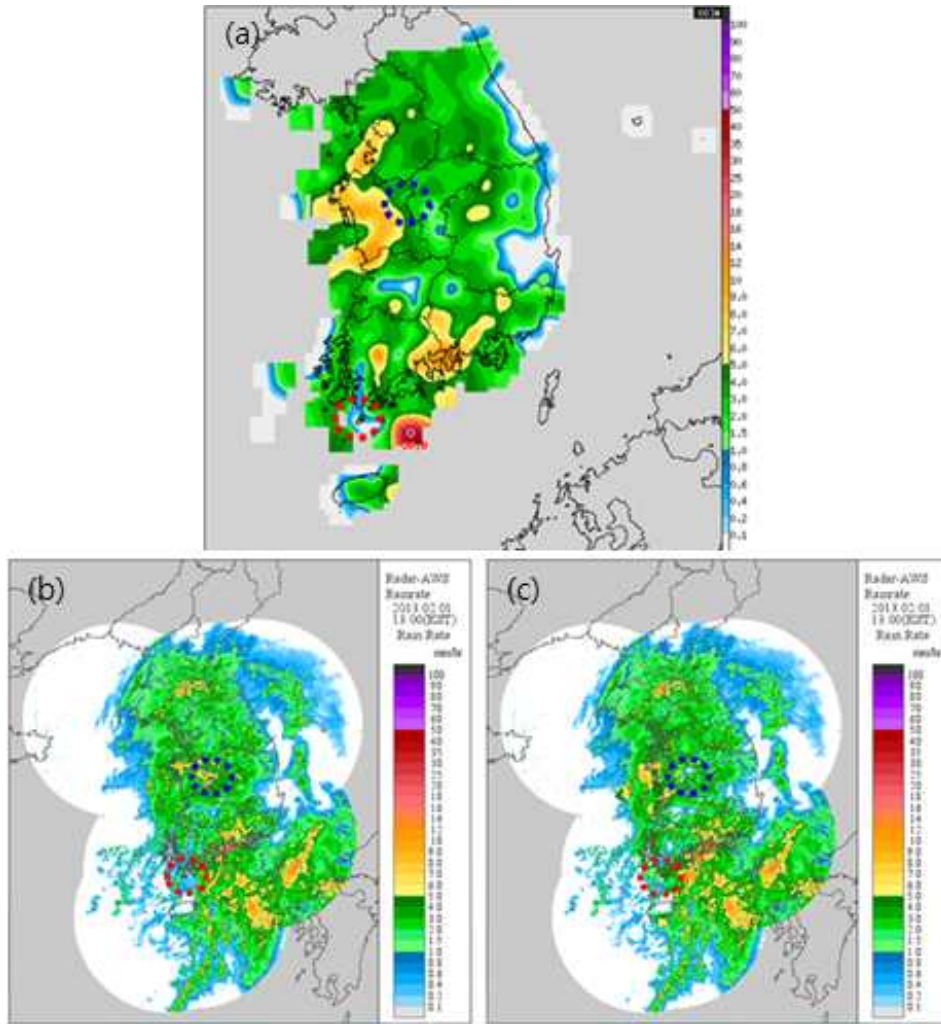


그림 4.9 표출영상 비교 (a) AWS 우량계 강수량 관측값, (b) RAR 강수량 추정값, (c) LGC 적용한 강수량 추정값 (2013년 2월 1일 1300 KST)

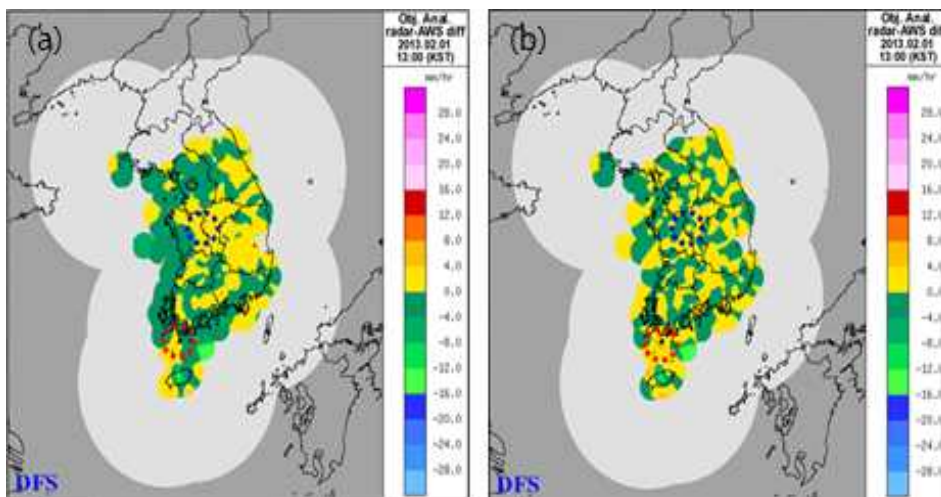


그림 4.10 검증 결과 영상 비교 (a) AWS와 RAR 강수량 차이(AWS-RAR), (b) AWS와 LGC 강수량 차이(AWS-LGC) (2013년 2월 1일 1300 KST)

(6) 사례 6 (2013년 7월 5일 0000 KST)

그림 4.11(a)는 장마전선이 통과했던 2013년 7월 5일 00시의 AWS 우량계 강수량 관측값 공간분포와 그림 4.11(b)는 RAR 강수량 추정값 표출영상, 그림 4.11(c)는 LGC 적용 후 강수량 추정값 표출영상이다. 경상남북도 일대에 강한 강수가 기록되는 가운데 충청도 해안 지역과 지리산 일대에 강수 보정이 이루어지고 있다. 이러한 강수 보정에 대한 정성적 검증을 위해 AWS 우량계 강수량 관측값과 레이더 강수량 추정값과의 지점별 차이값을 표출한 자료를 분석하였다. AWS-RAR 강수량 공간분포를 보면, 파란색 원으로 표시된 충청북도 해안 지역과 지리산 지역에 RAR 강수량 추정값이 과소 추정되면서 붉은색 계열을 나타내며, 부산 지역에는 오히려 과대 추정이 되었다(그림 4.12(a) 참조). AWS-LGC 강수량 공간분포를 살펴보면, RAR 강수량 추정값이 과대/과소 추정되었던 지역들에 대해 비교적 잘 보정되었다. 기타 경상북도 일부 지역에 보이던 과소 추정된 RAR 강수량 추정값도 비교적 개선되었음을 확인하였다(그림 4.12(b) 참조).

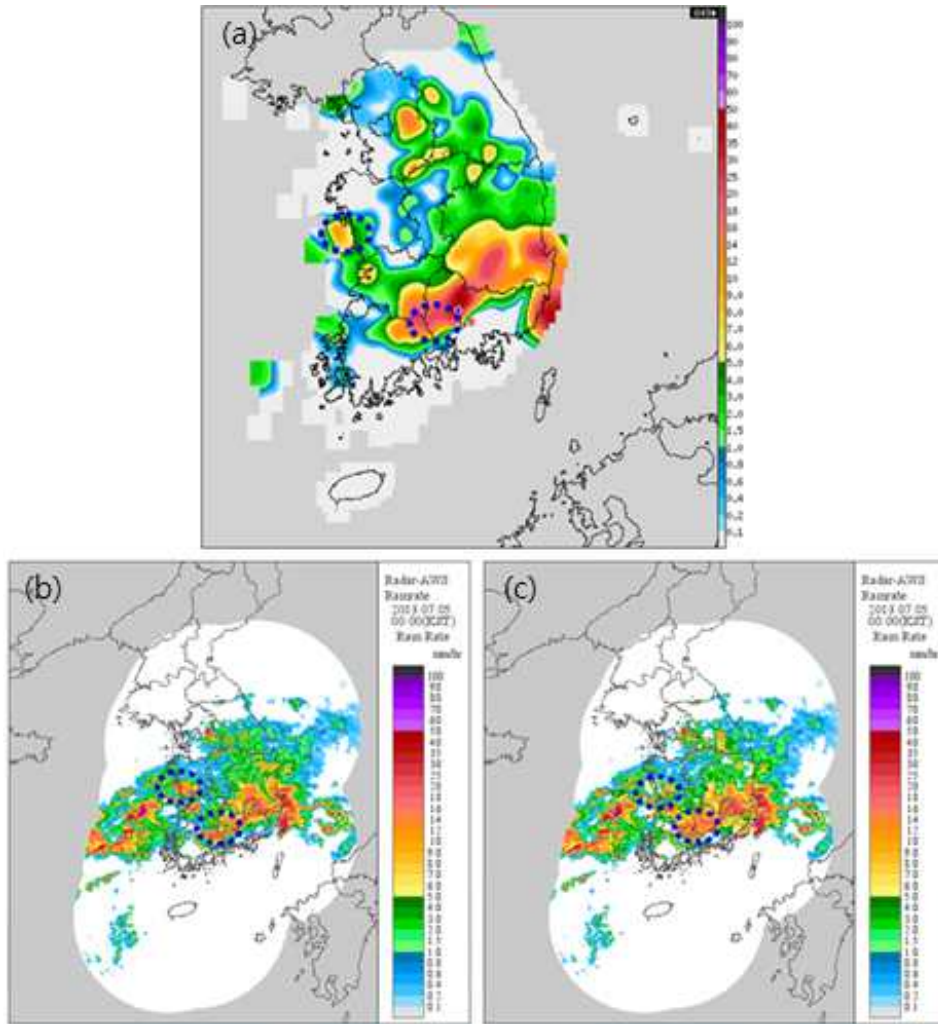


그림 4.11 표출영상 비교 (a) AWS 우량계 강수량 관측값, (b) RAR 강수량 추정값, (c) LGC 적용한 강수량 추정값 (2013년 7월 5일 0000 KST)

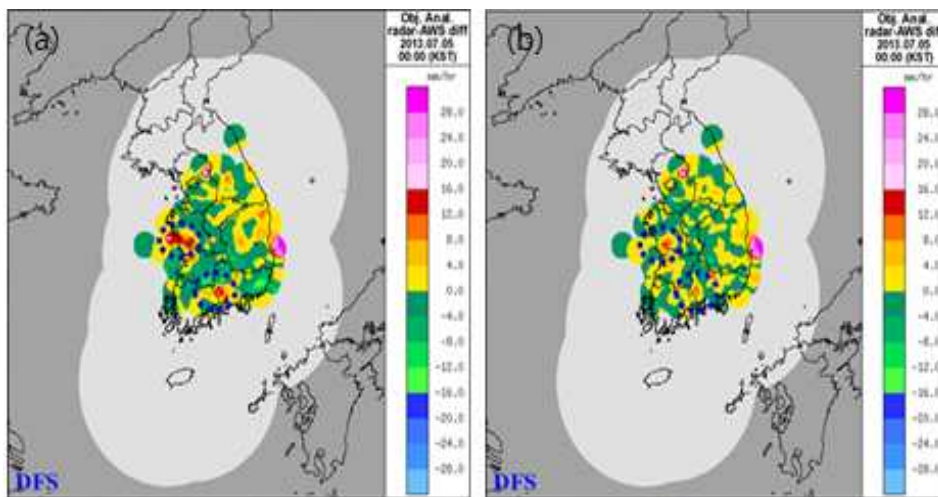


그림 4.12 검증 결과 영상 비교 (a) AWS와 RAR 강수량 차이(AWS-RAR), (b) AWS와 LGC 강수량 차이(AWS-LGC) (2013년 7월 5일 0000 KST)

(7) 사례 7 (2013년 8월 23일 1200 KST)

그림 4.13(a)는 기압 전선이 통과했던 2013년 8월 23일 12시의 AWS 우량계 강수량 관측값 공간분포와 그림 4.13(b)는 RAR 강수량 추정값 표출영상, 그림 4.13(c)는 LGC 적용 후 강수량 추정값 표출영상이다. 경상북도 남부지역부터 전라북도 해안 지역까지 띠 형태로 강한 강수 에코가 보이는 가운데 강수 보정이 뚜렷하게 보이고 있다. 이러한 강수 보정에 대한 정성적 검증을 위해 AWS 우량계 강수량 관측값과 레이더 강수량 추정값과의 지점별 차이값을 표출한 자료를 분석하였다. AWS-RAR 강수량 공간분포를 보면, 파란색 타원형으로 표시된 경상북도 내륙 지방부터 전라북도 해안 해안지역까지 RAR 강수량 추정값이 매우 과대 추정 하였다(그림 4.14(a) 참조). AWS-LGC 강수량 공간분포를 살펴보면, 이러한 과대 추정이 비교적 개선되고 있음을 확인하였다. 하지만 빨간색 원으로 표시한 경상남도 내륙 지역의 경우 기존 자료에는 오히려 보이지 않던 강한 강수 오차가 나타났다. 원인을 분석하면, 인접 지역의 파란색 원 안에 있던 RAR 강수량 추정값의 과대 추정 지역을 보정하다 주변 지역까지 보정했기 때문으로 판단된다(그림 4.14(b) 참조).

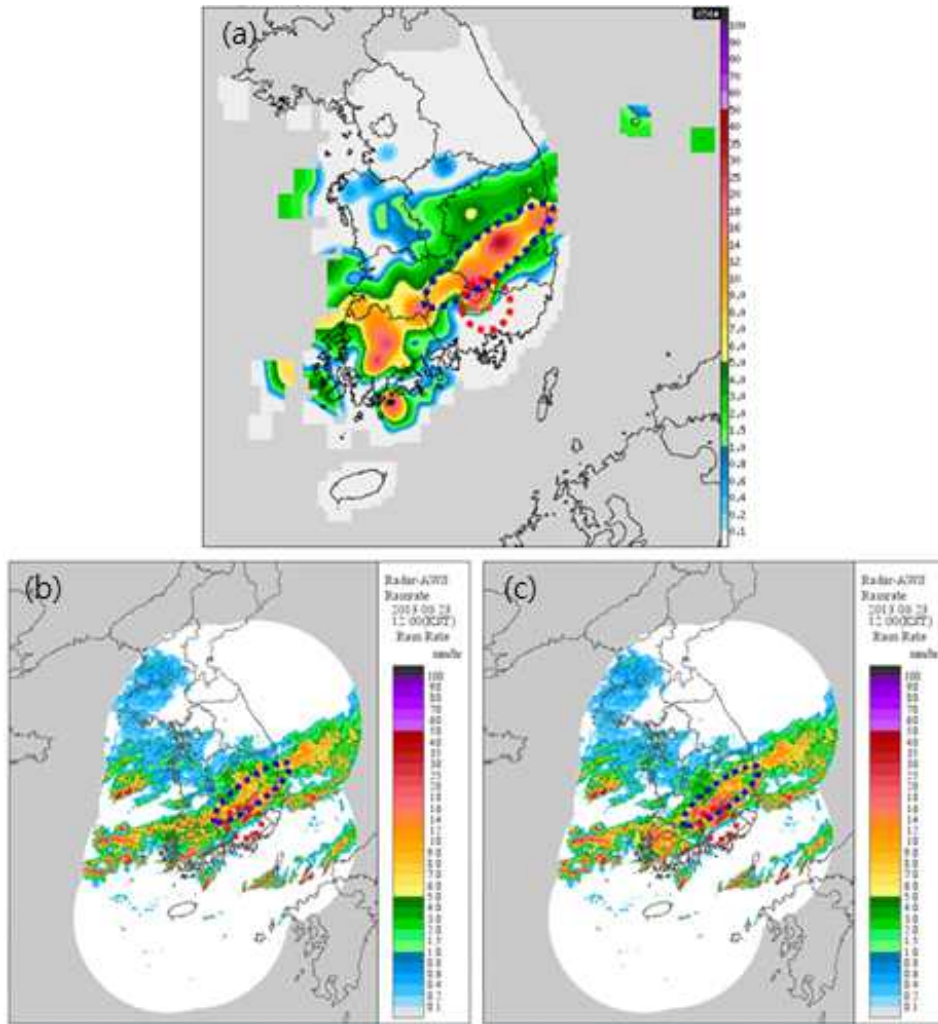


그림 4.13 표출영상 비교 (a) AWS 우량계 강수량 관측값, (b) RAR 강수량 추정값, (c) LGC 적용한 강수량 추정값 (2013년 8월 23일 1200 KST)

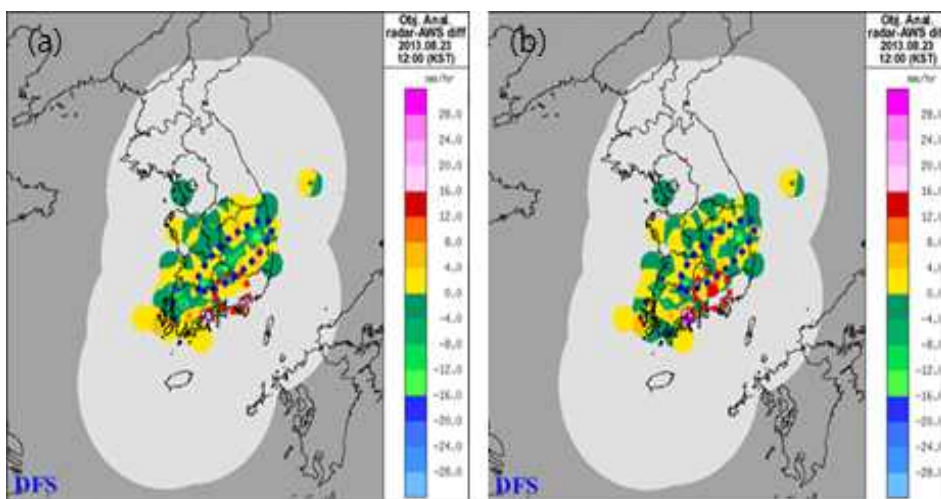


그림 4.14 검증 결과 영상 비교 (a) AWS와 RAR 강수량 차이(AWS-RAR), (b) AWS와 LGC 강수량 차이(AWS-LGC) (2013년 8월 23일 1200 KST)

(8) 사례 8 (2013년 9월 14일 1200 KST)

그림 4.15(a)는 기압골이 통과 했던 2013년 9월 14일 12시의 AWS 우량계 강수량 관측값 공간분포와 그림 4.15(b)는 RAR 강수량 추정값 표출영상, 그림 4.15(c)는 LGC 적용 후 강수량 추정값 표출영상이다. 서울 지역을 포함한 중부 지역을 중심으로 전체적인 강수 보정이 이루어 졌다. 이러한 강수 보정에 대한 정성적 검증을 위해 AWS 우량계 강수량 관측값과 레이더 강수량 추정값과의 지점별 차이값을 표출한 자료를 분석하였다. AWS-RAR 강수량 공간분포를 보면, 파란색 타원형으로 표시한 경기도 내륙지역에서 RAR 강수량 추정값의 과대 및 과소 추정된 지역이 나타난다(그림 4.16(a) 참조). AWS-LGC 강수량 공간분포를 살펴보면, 국지 우량계보정기법 적용 후, 이러한 과대 및 과소 추정이 비교적 개선되고 있음을 확인하였다(그림 4.16(b) 참조).

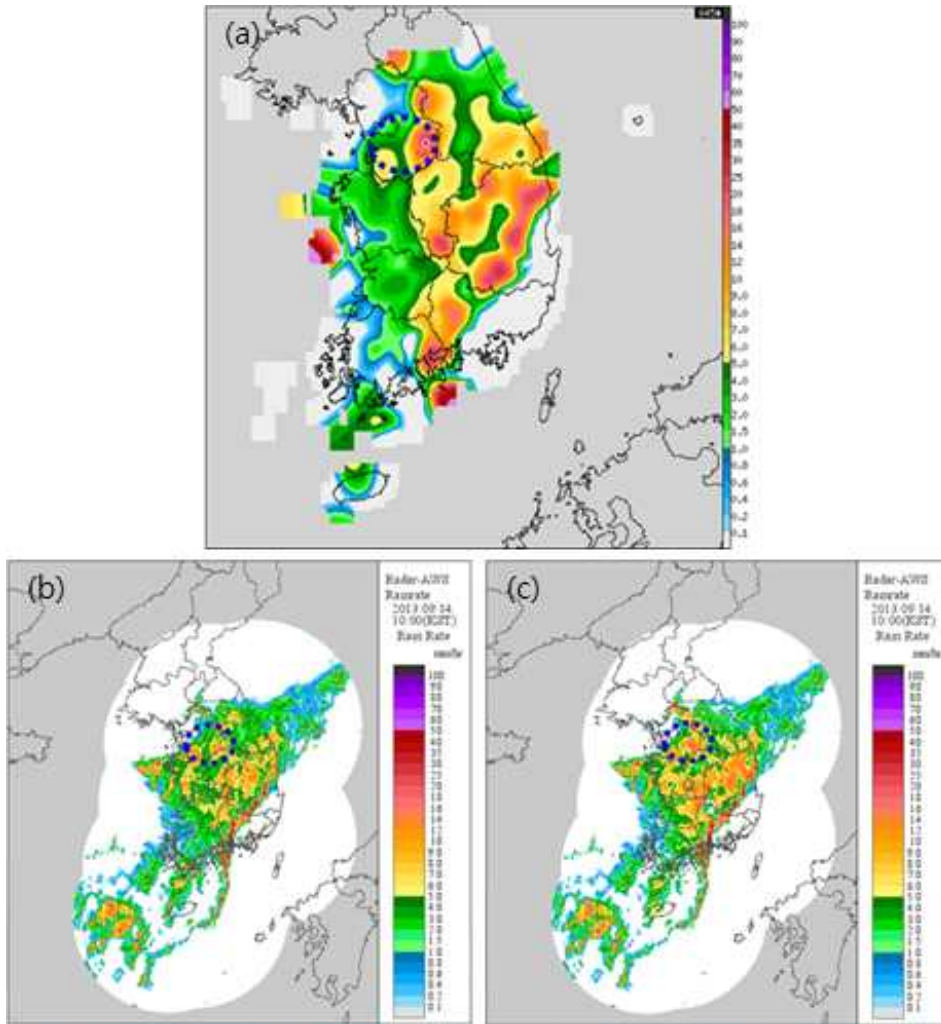


그림 4.15 표출영상 비교 (a) AWS 우량계 강수량 관측값, (b) RAR 강수량 추정값, (c) LGC 적용한 강수량 추정값 (2013년 9월 14일 1200 KST)

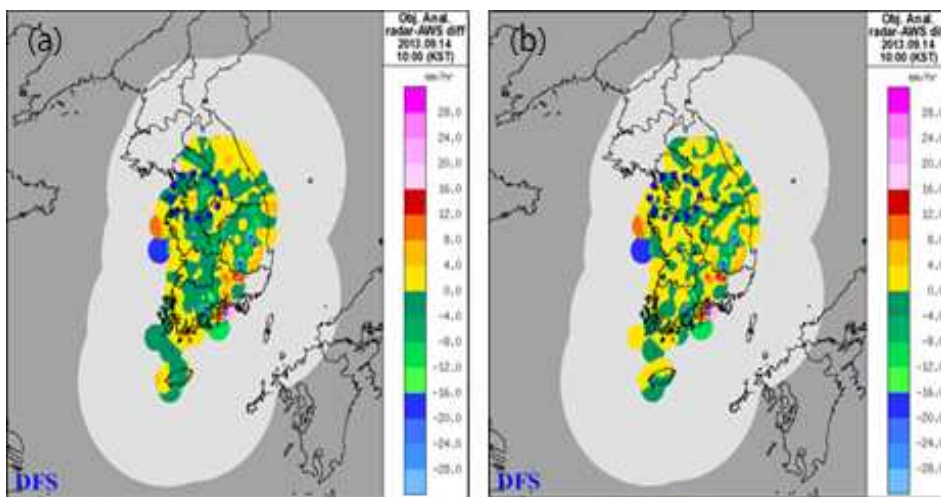


그림 4.16 검증 결과 영상 비교 (a) AWS와 RAR 강수량 차이(AWS-RAR), (b) AWS와 LGC 강수량 차이(AWS-LGC) (2013년 9월 14일 1200 KST)

(9) 사례 9 (2013년 11월 25일 0000 KST)

그림 4.17(a)는 기압골이 통과했던 2013년 11월 25일 00시의 AWS 강수량 관측값 공간분포와 그림 4.17(b)는 RAR 강수량 추정값 표출영상, 그림 4.17(c)는 LGC 적용 후 강수량 추정값 표출영상이다. 이러한 강수 보정에 대한 정성적 검증을 위해 AWS 강수량 관측값과 레이더 강수량 추정값과의 지점별 차이값을 표출한 자료를 분석하였다. AWS-RAR 강수량 공간분포를 보면, 파란색 타원형으로 표시한 경상북도 지역과 충청북도 접경 지역에 RAR 강수량 추정값이 다소 과대 추정되었음을 알 수 있다(그림 4.18(a) 참조). AWS-LGC 강수량 공간분포를 살펴보면, 이러한 과소 추정이 비교적 개선되고 있음을 확인하였다(그림 4.18(b) 참조).

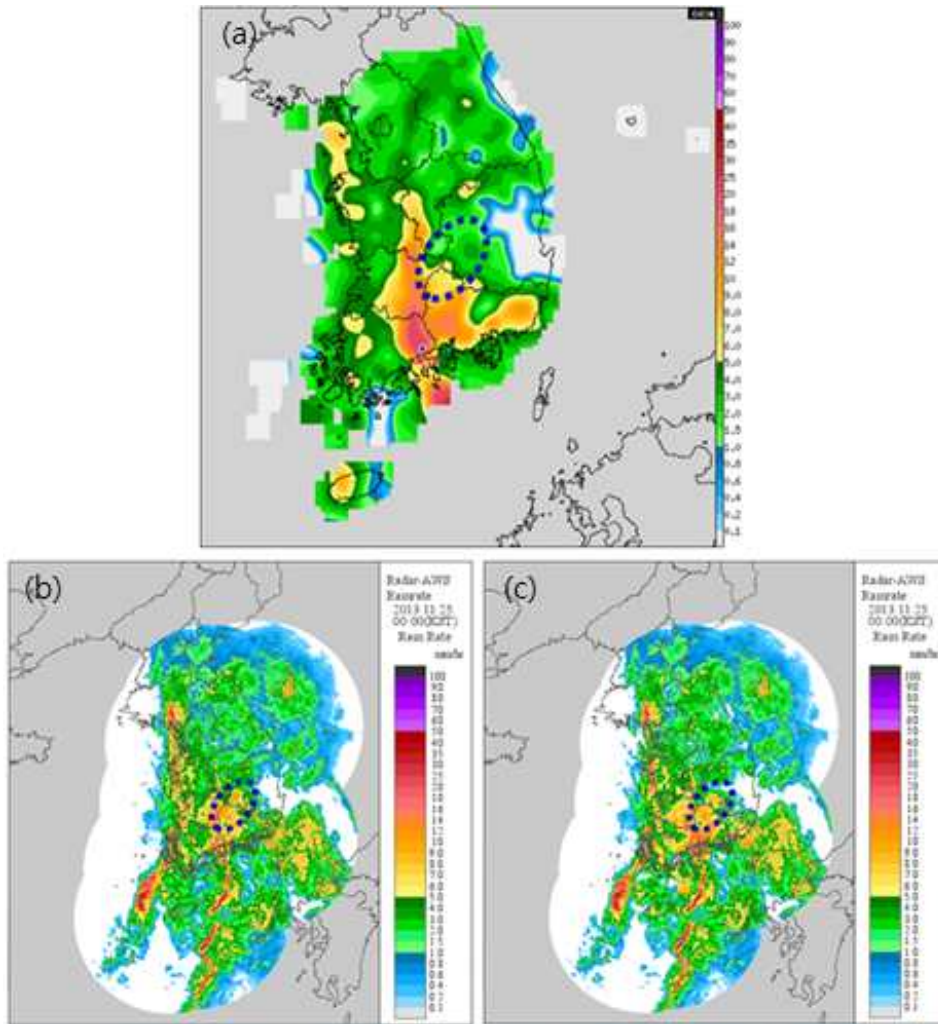


그림 4.17 표출영상 비교 (a) AWS 우량계 강수량 관측값, (b) RAR 강수량 추정값, (c) LGC 적용한 강수량 추정값 (2013년 11월 25일 0000 KST)

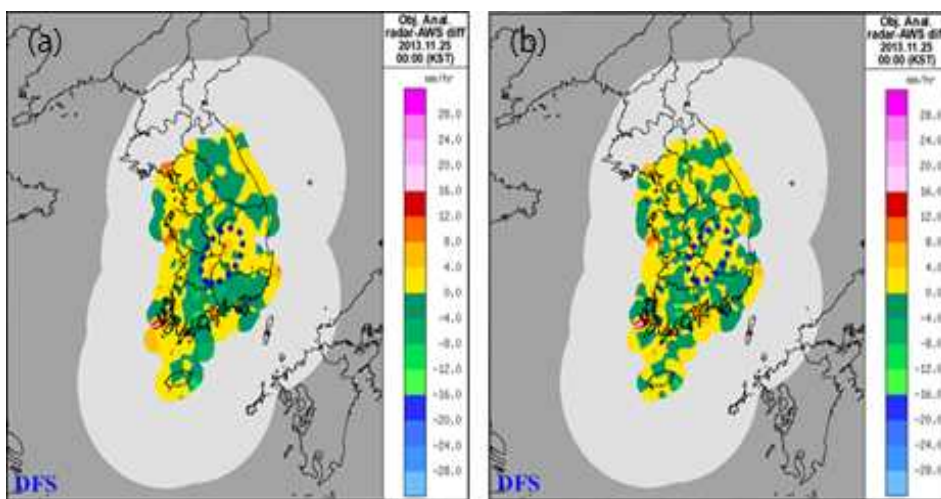


그림 4.18 검증 결과 영상 비교 (a) AWS와 RAR 강수량 차이(AWS-RAR), (b) AWS와 LGC 강수량 차이(AWS-LGC) (2013년 11월 25일 0000 KST)

(10) 사례 10 (2014년 7월 3일 0000 KST)

그림 4.19(a)는 기압골이 통과했던 2014년 7월 3일 00시의 AWS 우량계 강수량 관측값 공간분포와 그림 4.19(b)는 RAR 강수량 추정값 표출영상, 그림 4.19(c)는 LGC 적용 후 강수량 추정값 공간분포이다. 이러한 강수 보정에 대한 정성적 검증을 위해 AWS 우량계 강수량 관측값과 레이더 강수량 추정값과의 지점별 차이값을 표출한 자료를 분석하였다. AWS-RAR 강수량 공간분포를 보면, 파란색 타원형으로 표시한 전라북도와 충청남도 접경 지역에서 RAR 강수량 추정값이 다소 과소 추정하고 있다(그림 4.20(a) 참조). 다음 AWS-LGC 강수량 공간분포를 살펴보면, 이러한 과대 추정이 비교적 개선되고 있음을 확인하였다. 기타 충청도와 경상북도 내륙 지역에 보이던 약한 과대 추정 지역이 개선되고 있다(그림 4.20(b) 참조).

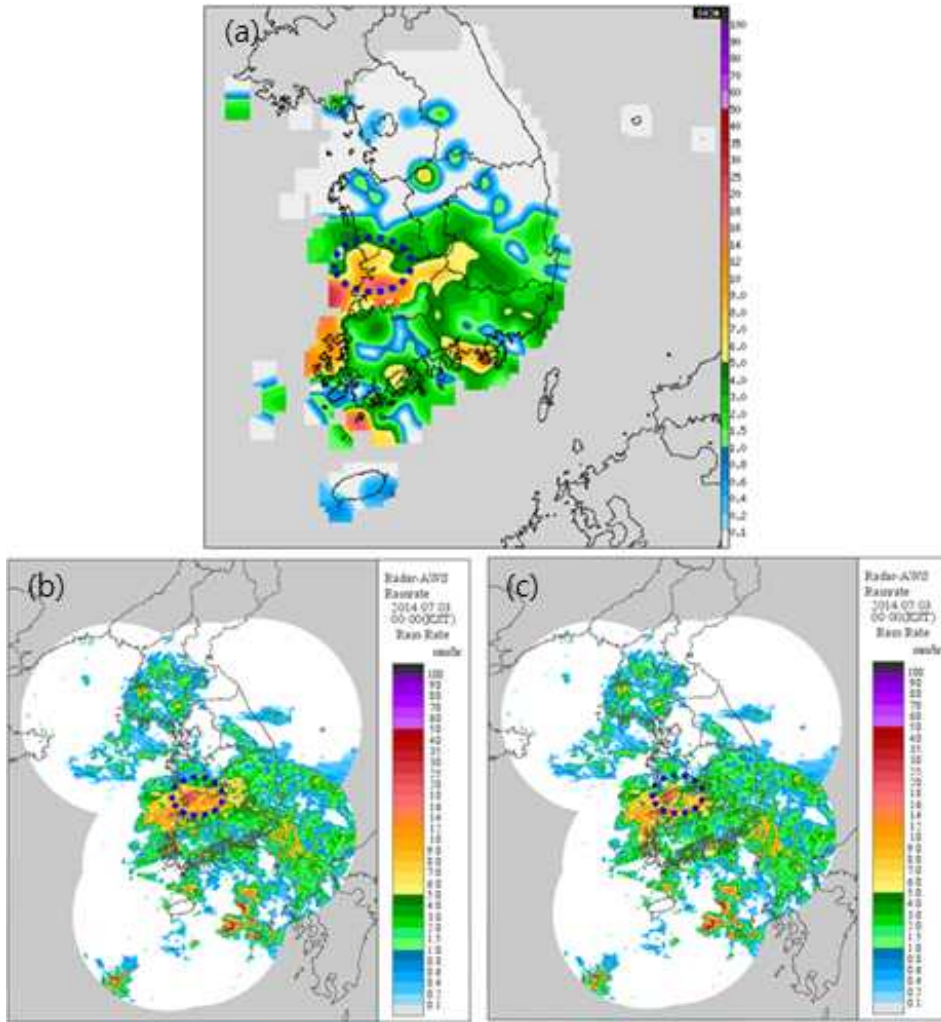


그림 4.19 표출영상 비교 (a) AWS 우량계 강수량 관측값, (b) RAR 강수량 추정값, (c) LGC 적용한 강수량 추정값 (2014년 7월 3일 0000 KST)

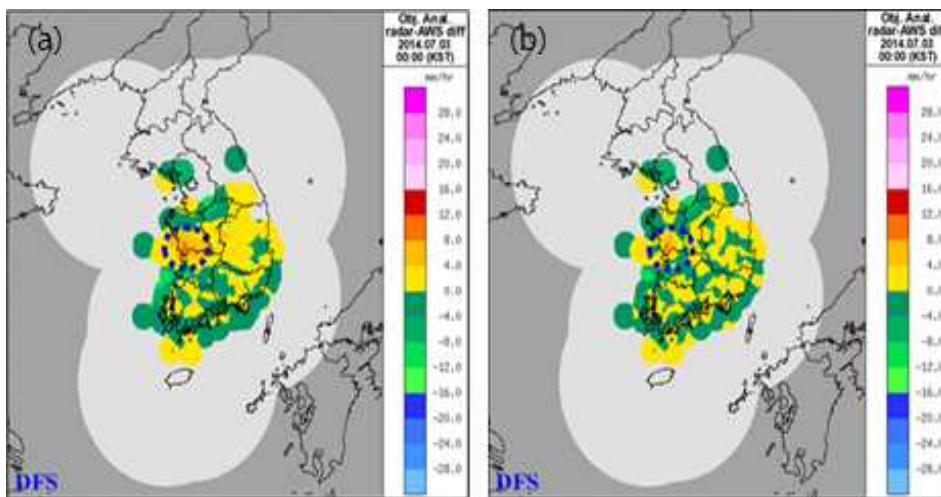


그림 4.20 검증 결과 영상 비교 (a) AWS와 RAR 강수량 차이(AWS-RAR), (b) AWS와 LGC 강수량 차이(AWS-LGC) (2014년 7월 3일 0000 KST)

제5장 레이더 강수량 추정값 재생산 및 분석

5.1 레이더 강수량 추정값 재생산

본 연구에서는 레이더 강수량 추정값을 이용하여 기후통계적 분석의 기반을 마련하기 위해 과거 5개년(2010년~2014년)에 대하여 레이더 강수량 추정값(RAR)을 재생산하였다. 또한 재생산된 레이더 강수량 추정값을 이용하여 면적 강수량을 생산하고 분석하였다. 그림 5.1은 재생산한 자료의 예로써 2012년 8월 30일 06시부터 12시까지 6시간 도별 누적강수량 표출 자료이다. 이 자료는 기상청 표출 시스템에서 제공되고 있는 형식의 결과 파일이다.

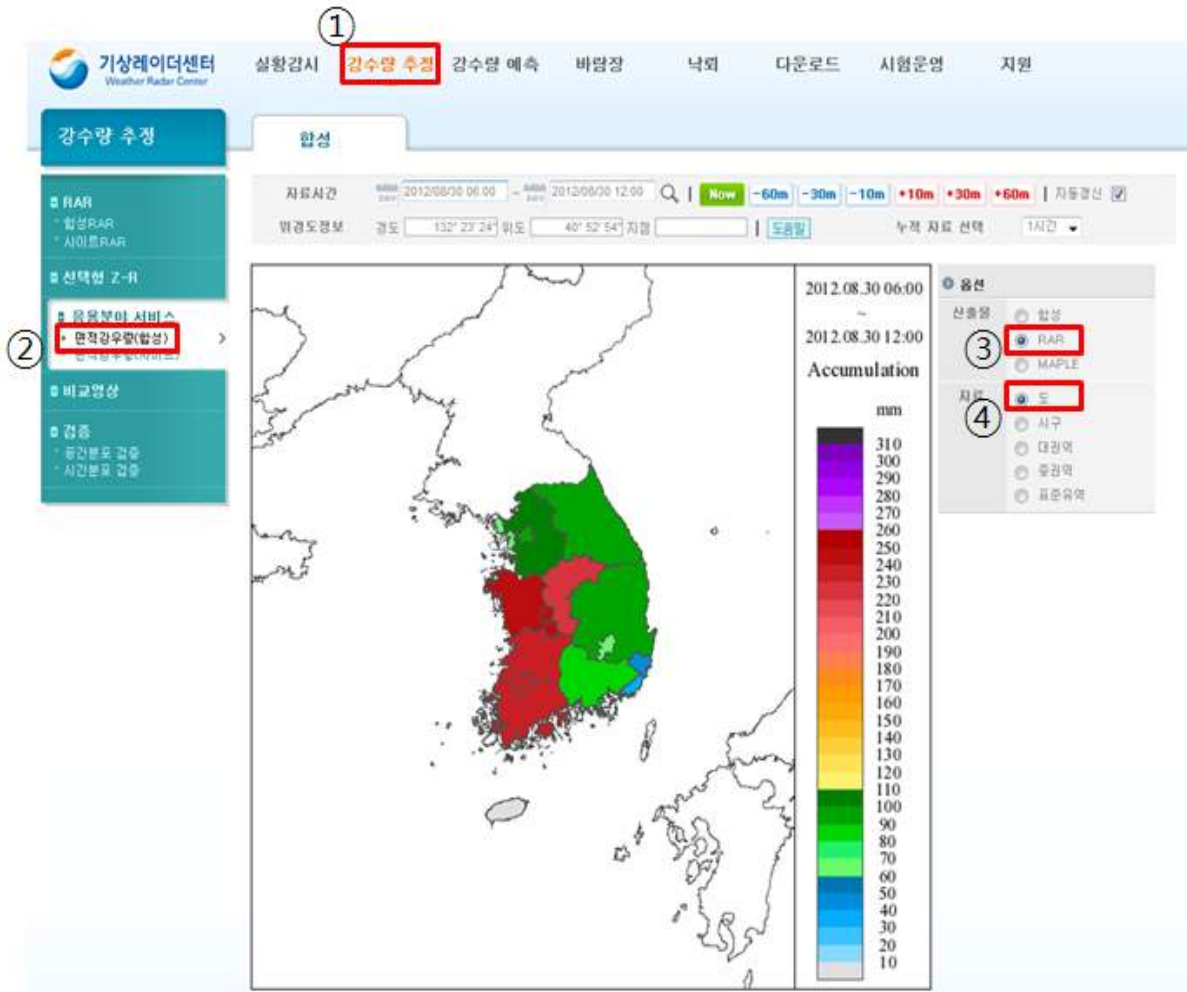


그림 5.1 레이더표출시스템 RAR 산출 강수량 기반 면적 강수량 표출영상 예시 (2012년 8월 30일 0600 ~ 1200 KST)

5.2 면적 강수량 분석

기상청 레이더표출시스템(그림 5.1)에서는 도, 시군, 대 권역³⁾, 중 권역⁴⁾, 표준 유역⁵⁾ 이상 총 5개의 산출 영역을 제공한다. 도 영역의 경우 총 15개 구역, 시군 영역은 247개 구역, 대 권역은 27개 구역, 중 권역은 117개 구역, 표준유역은 840개 구역으로 구성되어 있다.

본 장에서는 2010년부터 2014년 자료까지 재생산 된 RAR 산출 강수량 추정값을 활용하여 도 영역과 주요 대 권역에 대해 구역별로 면적 강수량 변동 양상을 분석하였다.

(1) 광역시 및 도 영역 면적 강수량 월별 분석

광역시 및 도 영역은 총 15개의 구역으로 이루어져 있으며, 우리나라의 행정 구역과 거의 일치한다. 분석 결과 평균 면적 강수량 최대 지역은 제주도로 연 강수량이 평균 1,427.5mm로 기록 되었으며, 최소 지역은 강원도로 891.0mm가 기록 되었다. 5년 동안 연 최대 면적 강수량은 2014년 제주 지역으로 1,834.5mm 이며, 최소 강수량은 2013년 부산 지역으로 500.3mm가 기록이 되었다. 월별 강수량 추세를 분석하면 제주도를 제외한 지역에서 7~9월 여름에 강수가 집중되고 있으며 제주도의 경우 연중 꾸준히 많은 강수가 기록되고 있다. 특히 서울 지역에서 우면산 산사태가 발생했던 2011년 7월의 경우 월 면적 누적 강수량이 약 985mm으로 거의 일년 평균 강수량에 근접하고 있음을 확인하였다(그림 5.2와 5.3 참조).

3) 대권역 : 한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강(국가 하천 기준)

4) 중권역 : 대권역의 유역(지방 1급 하천)

5) 표준유역 : 중권역의 상세 유역(지방 2급 하천)

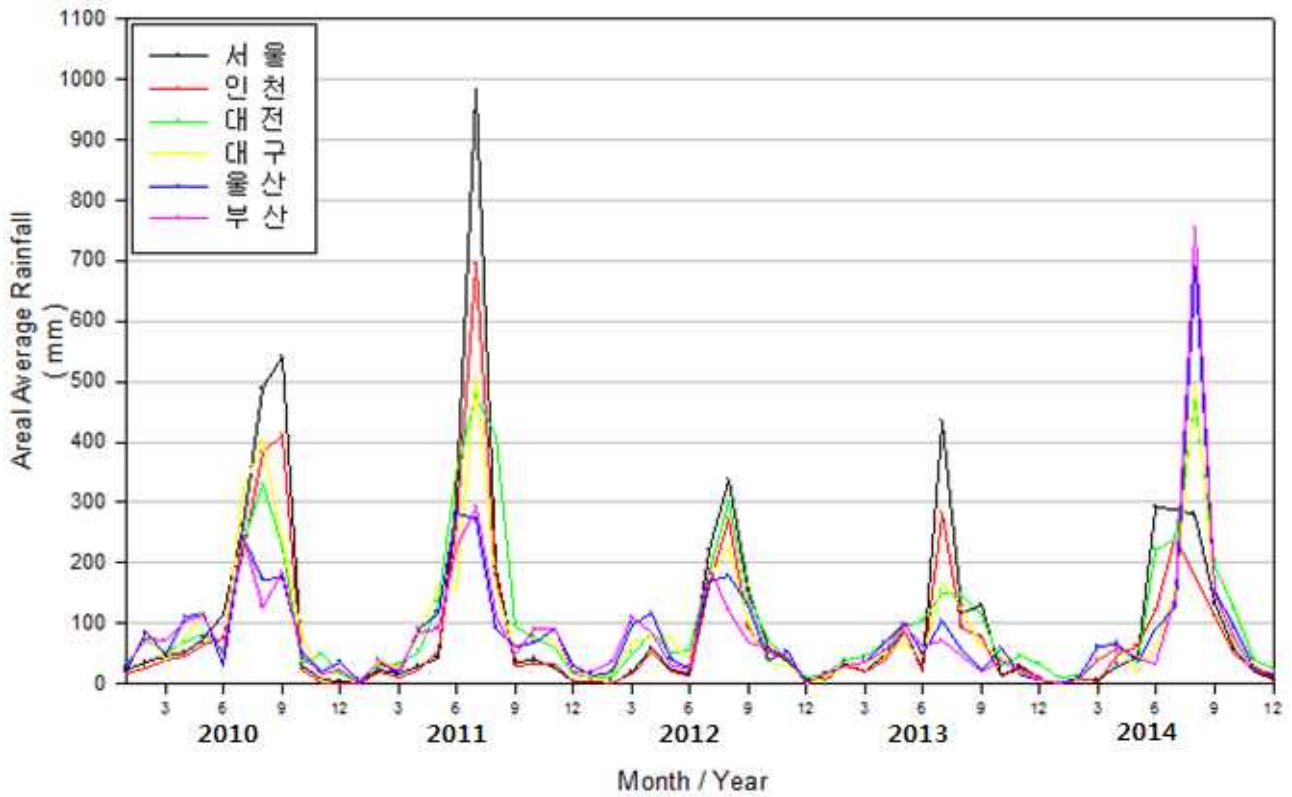


그림 5.2 광역시별 면적 강수량 월별 변동(2010~2014년)

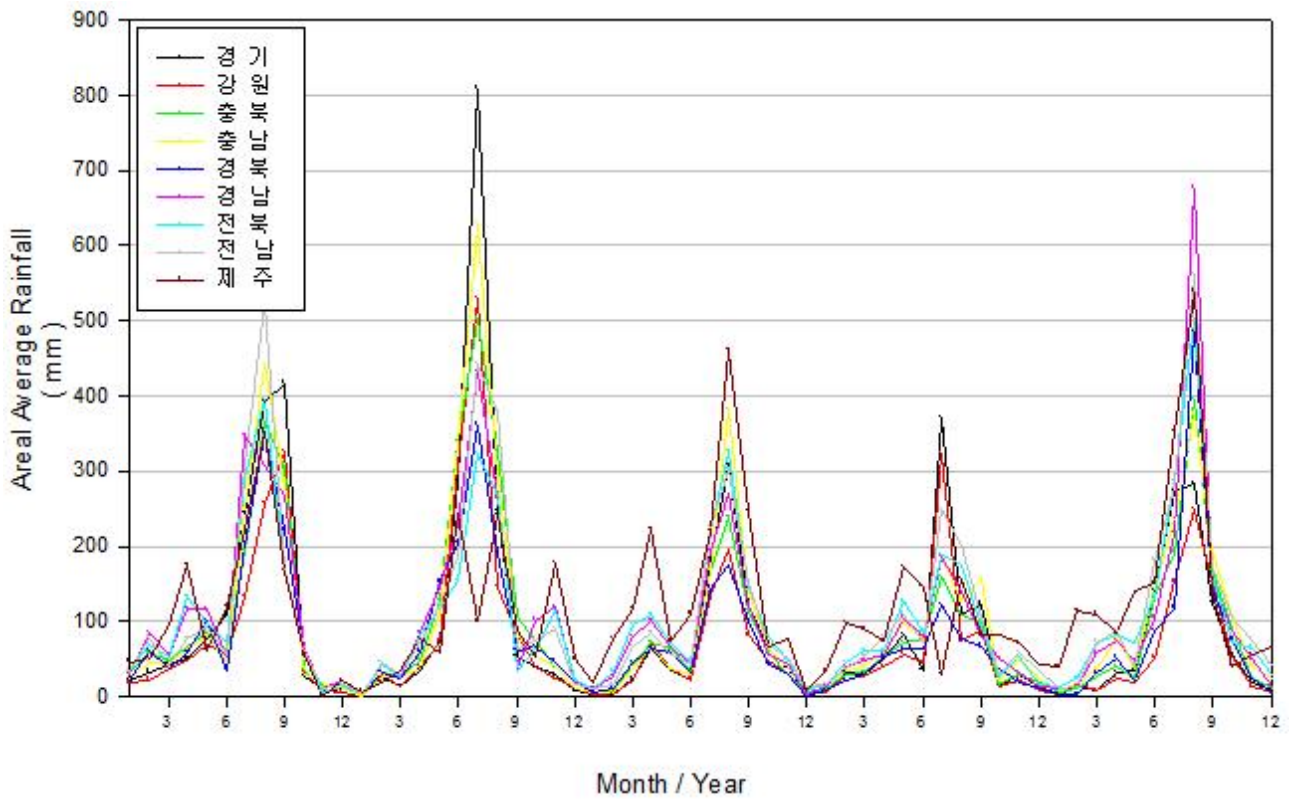


그림 5.3 도별 면적 강수량 월별 변동(2010~2014년)

(2) 주요 대 권역 면적 강수량 분석

대 권역은 총 27개의 구역으로 이루어져 있으며, 우리나라의 강 유역과 일치한다. 주요 대 권역별 분석 결과 울릉도 권역을 제외한 평균 면적 강수량 최대 권역은 섬진강 권역으로 연평균 1,411.1mm가 기록 되었으며 최소 권역은 북한강 권역으로 925.5mm가 기록 되었다. 울릉도 권역의 경우 강릉 레이더에서 170km 이상 떨어져 강수 관측에 오차가 많이 발생하기 때문에 분석에서 제외하였다. 연 최대 면적 강수량은 2011년 금강 권역으로 1,666mm가 기록이 되었으며 최소 강수량은 2014년 북한강 권역으로 693.4mm가 기록이 되었다. 연간 강수량 추세를 살펴보면 2010년부터 2014년까지 전국 연평균 강수량은 1,132mm이며 2013년도의 경우 전국적으로 연평균 강수량이 804.3mm가 기록되어 많은 지역에서 가뭄이 발생하였다. 특히 2012, 2013, 2014 3년간 임진강 및 북한강 유역의 평균 면적 강수량을 살펴보면 각각 764.1mm, 754.9mm로써 강수량이 매우 적음을 확인할 수 있다. 두 지역에서의 실제 5년간 연평균 강수량은 각각 932mm, 926.5mm인 것과 비교했을 때 매우 적은 양임을 확인할 수 있다. 실제 2013년도 겨울철 북한강 소양강댐 유역에서 계획되던 지역 축제가 유량 부족으로 취소된 경우가 발생한 사례가 있었다. 월별 강수량 시계열 추세를 분석하면 대다수 지역에서 7~9월 여름에 강수가 집중되고 있음을 확인할 수 있다(그림 5.4 참조).

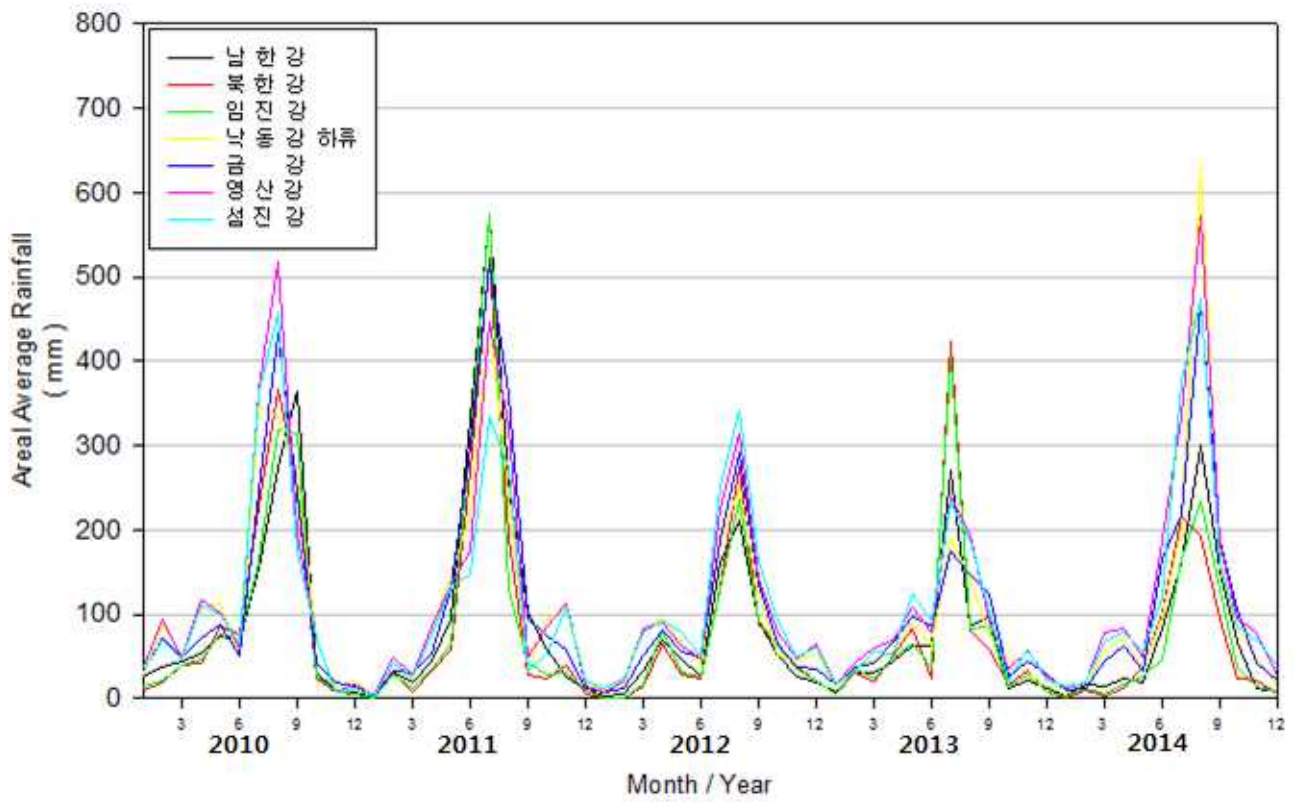


그림 5.4 주요 대권역별 면적 강수량 월별 변동(2010~2014년)

제6장 요약 및 결론

기상청 기상레이더센터는 기상레이더 자료를 이용하여 지상에 근접한 강수량 추정값을 산출하기 위해 지속적으로 노력을 해 오고 있다. 본 연구에서는 기존의 레이더 강수량 추정값 산출 기법(RAR)에 대해 후처리보정기법으로 국지우량계 보정기법을 적용하고 분석하였다.

또한 10개 사례에 대하여 최적화된 국지우량계보정기법을 적용하여 강수량 추정값을 검증하였다. 영향반경 D 와 지수변수 b 에 최적 변수 값인 20km와 2.0이 각각 적용된 국지우량계보정기법을 적용한 강수량 추정값과 국지우량계보정기법을 적용하지 않은 RAR 강수량 추정값을 비교한 결과, 국지우량계보정기법을 적용함으로써 강수량 추정값이 개선됨을 확인하였다. 정량적인 검증 결과, MAE는 약 22%, RMSE와 상관계수는 각각 약 13% 개선되었다. 정성적인 검증 결과, 부분적으로 보이던 지상 우량계 강수량 관측값 비하여 RAR 산출 강수량이 과대 및 과소 추정된 지역에 대하여 강수량 공간분포가 상당히 개선됨을 확인하였다. 다만 지상 우량계 지점이 드문 지역이나 지상 우량계 강수량 관측값과 RAR 강수량 추정값의 차이가 지나치게 크거나 작은 지점에 있어서 지상 우량계 지점 자료 품질관리에서 제거되지 않는 경우, 국지우량계보정기법을 적용한 강수량 추정값 표출 영상에서 주변 격자점을 불연속적으로 표출되는 경우가 간혹 발생하였으며, 이는 향후 개선할 필요가 있다.

마지막으로 레이더 기반 강수량 자료는 우량계 자료가 없는 산악, 해안 및 북한 지역의 강수량 정보를 획득할 수 있는 장점을 가진다. 따라서 레이더 기반 강수량 자료를 기반으로 면적 강수량을 산출한다면 수자원을 효율적으로 관리할 수 있는 정보를 제공할 수 있다고 판단하여 2010년부터 2014년까지 RAR 기반 레이더 강수량 자료를 재처리 하여 면적강수량 자료를 산출하였다. 대 권역 및 도 영역의 연월별 누적 강수량을 산출하여 연평균 강수량 및 극값, 월별 강수량 극값, 지역 및 계절별 강수 특성 등을 분석을 실시하였으며 이러한 분석 결과는 수문기상 및 방재, 농·임업 등 수자원 관리를 필요로 하는 분야에 제공하여 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 석미경, 남경엽, 김영화, 오성남., 2005: WPMM을 이용한 레이더 반사도로부터 정량적 레이더 강우강도의 추정, *한국기상학회지*, 41, 123-138.
- Chumchean, S., A. Sharma and A. Seed, 2006: An integrated approach to error correction for real-time radar-rainfall estimation. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 23, 67-79.
- Kim, K.H., Lee, G.W., Kang, D.H., Kwon, B.H. and Han, K.Y., 2013: Adjustment of radar precipitation estimation based on the local gauge correction method. *Korean Earth Sci*, 35, 115-130.
- Kwon, H.J., Park, S.B., Kang, M.S., Yoo, J.I., Yuan, R. and Kim, K., 2007: Quality control and assurance of eddy covariance data at the two koflux site. *Korean journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 9, 260-267.
- Marshall J.S., and Palmer W.M.K.. 1948: The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*, 5, 165-166.
- Rosenfeld, D., B. D. Wolff and D. Atlas, 1993: General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate. *J. Appl. Meteor.*, 32, 50-72.
- Simanton, J.S. and Osborn, H.B., 1980: Reciprocal distance estimate of point rainfall. *Journal of the Hydraulics Division American Society of Civil Engineers*, 106, 1242-1246.
- Zhang, J. S., Howard, K., Langston, C., Vasiloff, S., Kaney, B., Arthur A., Van C.S., Kelleher K., Kitzmiller D., Ding F., Seo, D.H. Wells, E., and Dempsey C., 2011: National mosaic and multi-sensor QPE (NMQ)

system: Description, results, and future plans, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92, 1321-1338.

기상레이더센터 기술노트 발행목록

- WRC2010-01 : 채프에코 식별 및 제거 알고리즘
- WRC2010-02 : 레이더 강수량 예측시스템 활용 매뉴얼
- WRC2010-03 : 레이더 기반 태풍 추적 및 감시
- WRC2010-04 : 레이더 반사도 합성기법 분석
- WRC2010-05 : 이중편파 기상레이더 밴드 특성

- WRC2011-01 : 강릉기상레이더 운영을 위한 기술노트
- WRC2011-02 : 기상레이더를 이용한 조류이동 감시
- WRC2011-03 : 레이더 모멘트자료 표준형식 지정을 위한 자료형식 분석
- WRC2011-04 : 클러스터링 및 퍼지추론기법 이용한 채프에코 식별
- WRC2011-05 : 낙뢰관측자료 통합표출 알고리즘 개발
- WRC2011-06 : 2011년 레이더자료 공동활용시스템 개발
- WRC2011-07 : 레이더자료 품질관리 모듈 개발
- WRC2011-08 : 레이더를 활용한 중규모 사례 분석
- WRC2011-09 : 레이더 분석현업 업무매뉴얼

- WRC2012-01 : 이중편파레이더 자료 활용법
- WRC2012-02 : 2012년 여름철 위험기상 레이더 분석보고서

- WRC2013-01 : 2012년 겨울철 위험기상 레이더 분석보고서
- WRC2013-02 : 기상레이더 자료분석 가이드스
- WRC2013-03 : 레이더 바람자료 품질검증 기술노트
- WRC2013-04 : 대기수상체 분류 알고리즘 사용자 매뉴얼

- WRC2013-05 : 에코 종류별 이중편파변수 특성 분석 보고서
- WRC2013-06 : 레이더 기반 뇌우탐지 기술 보고서
- WRC2013-07 : S-밴드 이중편파레이더 정량적 강수량추정 시험기술개발
및 사례검증(I)
- WRC2013-08 : 2차원 영상우적계 관측자료의 시뮬레이터 활용방안
- WRC2013-09 : 레이더자료 퍼지 품질관리 알고리즘 최적화 연구
- WRC2013-10 : 대기수상체 분류 알고리즘 검증 및 사례분석 I
-
- WRC2014-01 : 레이더자료 통합품질관리기술 개발 (III)
- WRC2014-02 : 레이더 원시신호(I/Q)의 이중편파변수 및 신호특성분석
- WRC2014-03 : 한반도 강우특성을 반영한 강우입자크기분포 특성분석
- WRC2014-04 : S-밴드 이중편파레이더 정량적 강수량 추정 시험기술개발
및 사례검증(II)
- WRC2014-05 : 레이더 강수량 추정값 후처리 보정기법 개선 및 과거자료
재생산