기상청 기상레이더의 품질관리와 강수량추정기술 현황 및 향후계획

차 주 완
기상청 기상레이더센터
레이더분석과

한 혜 영
기상청 기상레이더센터
레이더분석과

박 종 서
기상청 기상레이더센터
레이더분석과

Ⅰ. 서 론

최근 서울 경기도, 강원도 영서지역에 내린 집중호우로 서울 강남이 침수되고 우면산 산사태가 발생하여 많은 인명과 재산피해가 발생하였다(2011년 7월 26일~28일). 중부지방은 7월 27일 단 하루만에 이 지역 연평균 강수량인 1,100~1,400mm의 약 1/4 정도가 내렸으며, 특히 동두천과 문산에서는 관측 이래 일 최다 강수량을 경신하는 등 기록적인 집중호우가 내려 언론에서는 '100년만의 폭우'라는 수식어를 붙이기도 하였다. 최근 기후변화로 짧은 시간에 많은 양의 비가 좁은 지역에 쏟아지는 집중호우의 발생빈도가 증가하고 있다. 우리나라의 여름철 강수량은 1980년대에는 700mm에 못 미쳤으나 2000년대에는 750mm 이상으로 증가하였으며, 2011년에는 1000mm를 넘어섰다. 시간당 30mm 이상 집중호우의 발생빈도 또한 증가하여 1980년대 평균 60회에서 2000년대 82회, 2011년에는 133회로 여름철 강수량과 비교해 가파르게 증가하고 있다.

이러한 넓은 영역에서 높은 시·공간 분해능의 자료를 제공하기 위한 기상레이더는 짧은 시간에 급격히 발달하는 국지적인 위험기상의 실황감시 및 예보에 필수적이다. 그러나 레이더자료는 기상에코와 함께 지형에코, 파랑에코, 이상전파에코, 점에코, 이착에코, 채프에코 등의 비기상에코들을 포함하고 있어 이를 제거하지 않고 강수량을 추정하게 되면 강수의 과대추정 혹은 실황감시에 혼란을 일으킬 수 있다. 이에 기상청은 채프에코를 제외한 비강수에코를 자동으로 제거하기 위하여 미국 국가재해기상연구소와 3년간 공동으로 품질관리 알고리즘을 개발하여 2006년부터 현업에서 활용하고 있다. 이 알고리즘의 경우 비강수에코 뿐 만 아니라 겨울철 강설에코나 약

한 강수에코를 제거하고, 채프에코는 제거를 하지 못하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 레이더별 관측자료에 기반한 최적의 퍼지 알고리즘을 개발하고, 채프에코 제거 알고리즘을 개발하였다. 또한 기상청은 2010년 6월 국방부, 국토해양부, 행정안전부와 범정부적 기상-강우레이더 공동활용 업무협약을 체결하고, 레이더자료 공동활용시스템 구축사업을 주관하여 추진하고 있다. 기상예보와 홍수예보에서 레이더자료를 정량적으로 활용하기 위해서는 가장 먼저 선행되어야하는 중요한 요소 중에 하나가 품질관리이다. 그리하여 범정부적으로 표준화된 품질관리 알고리즘을 개발하기 위하여 2011년부터 퍼지 품질관리 알고리즘을 개발하고 있으며, 기존의 단일편파 레이더 뿐 만 아니라 새로 도입되는 이중편파 레이더까지 고려한 통합된 품질관리 알고리즘을 연차별로 개발해 나갈 계획을 가지고 있다.

이러한 기상레이더의 품질관리를 거친 자료는 레이더강수량추정기술에 적용되어 고해상도(1km*1km) 레이더강수량추정값을 산출하게된다. 기상청에서는 현재 실시간으로 Z-R(레이더반사도-우량계 강우강도)을 산출하여 강우강도를 추정하는 레이더-AWS 강우강도(Real-time adjustted Radar-AWS Rain rate; 이하 RAR) 산출 시스템을 개발하여 운영하고 있다. RAR 산출시스템은 강우강도를 추정하기 위해서 WPMM (Window Probability Matching Method) 이론을 이용하며, 이는 우량계에서 관측된 강우강도와 우량계에 근접한 영역의 레이더 반사도를 각각 대응시켜 확률밀도함수로 재산정하여 반사도인자(Z)와 강우강도(R)의 관계식인 Z-R 관계식을 결정하는 방법이다.

범정부적으로 표준화된 품질관리 알고리즘을 개발하기 위하여 2011년부터 퍼지 품질관리 알고리즘을 개발하고 있으며, 기존의 단일편파 레이더 뿐 만 아니라 새로 도입되는 이중편파 레이더까지 고려한 통합된 품질관리 알고리즘을 연차별로 개발해 나갈 계획을 가지고 있다.

2011년 부터는 RAR 시스템 보다 선진화된 강수량추정시스템을 개발하기 위해 다중센서기반의 레이더강수량추정시스템(Multisensor-QPE(Quantitative Precipitation Estimate; 이하 M-QPE)에 대한 연구를 수행중이다.

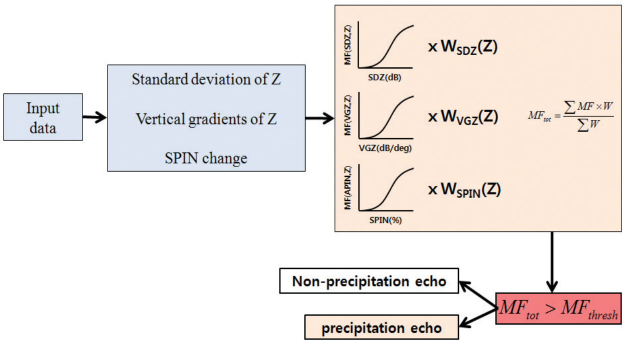
본 연구에서는 기상청에서 개발하여 현업에 적용중인 퍼지함수 품질관리기술과 레이더강수량추정기술을 소개하고 그 기술에 대한 사례결과를 분석하였다.

Ⅱ. 연구방법

1. 기상청 신규 품질관리기술

퍼지 품질관리 알고리즘은 강수에코와 비강수에코가 서로 섞여 있는 모호한 지점에 대해서 효과적인 판단을 할 수 있도록 해준다. 퍼지 원리를 이용한 지형(GRE: GRound Echo) 및 이상전파(AP: Anomalous Propagation)에코의 탐지는 신호처리에 의한 방법과는 달리 레이더 자료가 생성된 후 자료처리 과정에서 수행되는 방법이다. 따라서 이미 레이더에서 생성된 관측변수로부터 GRE 및 AP에코에 대한 정보를 수집한 뒤 통계분석을 수행해야 한다. 이 때 레이더로부터 생성된 관측변수의 수가 많을수록 퍼지 원리에 의한 지형에코로의 탐지 정확도는 높아진다. 국내 현업용 레이더의 경우 일반적으로 관측변수는 필터링을 거친 후의 레이더 반사도, 시선속도, 그리고 스펙트럼폭 세 가지인 경우가 있고 여기에 필터링 거치기 전의 레이더 반사도 자료까지 더해져서 네 가지인 경우도 있다.

관측된 레이더 반사도 자료에서 강수에코와 비강수에코가 섞



〈그림 1〉 퍼지 알고리즘의 모식도

여 있는 모호한 영역에 대해서 퍼지 알고리즘을 적용하면 효과적인 판단을 해 줄 수 있다. <그림 1>은 퍼지 알고리즘을 적용하여 비강수에코를 판단하는 과정을 모식화한 것이다.

먼저 레이더에서 생성된 관측변수가 입력되면 이로부터 퍼지 소속변수들을 계산한다. 퍼지 소속변수는 비강수 에코와 강수 에코와의 구별이 용이한 변수들로 결정된다. 일반적으로 주로 사용되는 퍼지 소속변수로 반사도의 표준편차와 연직기울기, 그리고 시선속도를 들 수 있다. 퍼지 소속변수들이 퍼지 엔진에 입력이 되면 각각의 소속변수들에 대해서 비강수 에코에 대한 소속 값을 얻을 수 있다. 소속 값은 0에서부터 1까지의 범위를 가지며 0은 100% 비강수에코, 1은 강수 에코를 의미한다.

이 때 소속값은 이미 정의되어진 소속함수에 의해 결정되는데 이 때 사용된 소속함수는 여러 관측 사례로부터 얻어진 비강수 에코에 대한 자료를 이용하여 통계적 방법에 의해서 정의된다. 각각의 레이더별로 과거자료를 이용하여 퍼지소속함수를 구하기 때문에 그 분포가 레이더의 특성별로 다르게 나타난다. 각 소속변수로부터 얻어진 각각의 소속값에 가중치를 부여한 뒤 모두 합산하면 비강수 에코에 대한 총 소속값을 얻을 수 있다. 총 소속값도 0에서부터 1까지의 범위를 가지게 되며 0은 비강수에코를 1은 강수 에코를 의미한다. 최종 소속값에 임계값을 적용하여 임계값보다 낮으면 비강수에코로, 높으면 강수에코로 판단하게 된다.

퍼지 원리를 이용한 지형(GRE: GRound Echo) 및 이상전파(AP: Anomalous Propagation)에코의 탐지는 신호처리에 의한 방법과는 달리 레이더 자료가 생성된 후 자료처리 과정에서 수행되는 방법이다.

1.1. 지형에코 지도 작성

각각의 레이더별로 최적의 퍼지 소속함수를 도출하기 위해서는 지형에코와 강수에코에 대한 통계적 특성이 필요하다. 각 에코의 특성에 대한 통계를 구하기 위해서는 지형에코와 강수에코만을 가려내어 통계분석을 해야 하는데 이 때 에코를 구별해주는 참조자료인 지형에코 지도가 필요하다. 지형에코는 레이더 파가 지형지물에 의해 반사되어 돌아오는 신호로 항상 레이더 영상에서 레이더 주변에 강한 에코로 나타난다. 강수에코가 나타나지 않고 지형에코만 나타난 사례를 이용하여 평균누적 반사도를 계산, 지형에코 지도를 작성한다. 작성된 지형에코 지도는 지형에코의 평균 반사도를 나타낸다. 지형에코 지도는 강수 사례시 비강수에코, 특히 지형에 의한 비강수에코를 구별할 때 사용된다. 강수에코와 지형에코가 혼재되어 있을 때 지형에코 지도와 서로 비교하여 지형에코 영역에 존재하는 강수에코를 제거하면 지형에코의 영향을 받지 않는 강수에코만 선택할 수 있다. <그림 2>는 고산, 성산의 지형에코지도이다. 고산, 성산레이더는 바다와 인접하여 있어서 파랑에코의 영향이 지형에코 지도에 나타난다. 파랑에코는 지형에코는 아니지만 지형에코 지도에 포함되면서 강수에코를 구별할 때 지형에코 뿐만 아니라 파랑에코의 영향을 받지 않는 강수에코를 선택할 수 있다.

1.2. 퍼지 소속변수계산

퍼지 알고리즘에 입력되는 소속변수들은 적용하고 레이더 산출물의 특성에 따라 다양하게 결정할 수 있다. 일반적으로 기상 레이더에서는 반사도와 시선속도 그리고 스펙트럼 폭이 생성되므로 이를 이용한 소속변수들을 사용한다. 반사도 자료를 이용한 반사도의 연직기울기 혹은 표준편차 등이 있고, 도플러 속도 자료를 이용한 소속변수로는 시선속도 혹은 시선속도의 표준편차, 그리고 스펙트럼 폭 자료를 이용할 경우에는 스펙트럼 폭의 중앙값 등 다양한 소속변수들을 산출할 수 있으며 이를 레이더 에코 판별에 사용할 수 있다. 퍼지 알고리즘을 현업용 레이더에 적용하고 있는 대표적인 두 기관인 미국기상청 (National Weather Service, NWS)과 McGill대학의 마샬 레이더 관측소(Marshall Radar Observatory, MRO)의 경우 각각의 기관마다 소속함수의 특성과 가중치가 다르다. NWS에서 현업으로 운

영 중에 있는 REC(Radar Echo Classifier)내에 있는 AP 탐지시 사용되는 소속변수들을 살펴보면 MDVE(Radial Velocity), MDSW(Median Spectrum Width), TDBZ(Texture of the Reflectivity), SDVE(Standard Deviation of Radial Velocity), SPIN change 혹은 SPIN(Reflectivity SPIN), SIGN (Reflectivity SIGN)등이 있다(Kessinger et al., 2001).

기상청에서 보유하고 있는 단일편파 기상레이더의 산출물은 DZ, CZ, VR, SW의 4가지이다. DZ는 필터링 전의 레이더 반사도, CZ는 필터링 후의 레이더 반사도, VR은 필터링 후의 레이더 시선속도 자료를, 그리고 SW는 필터링 후의 레이더 스펙트럼 폭을 의미한다. 여기서 DZ를 제외한 나머지 관측 변수들은 다 필터링 후의 자료들이기 때문에 반사도 자료를 제외한 시선속도와 스펙트럼 폭 자료에서 지형에코에 대한 에코 특성이 제거되었다. 따라서 소속변수들을 산출할 때 사용되는 자료는 오직 반사도 자료뿐이며 이는 다양한 소속변수들을 사용할 수 없음을 뜻한다. 반사도를 이용한 퍼지 소속변수는 반사도의 표준편차(SDZ), 반사도 연직 기울기(VGZ), 게이트간의 변곡점 변화율(SPN)이다.

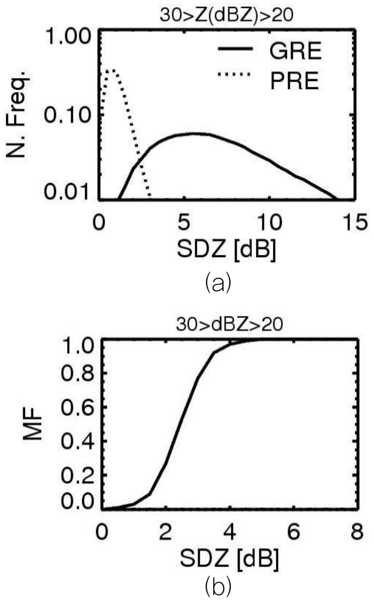
1.3. 퍼지 소속함수

각 기상레이더에 대해서 선정된 지형에코 및 강수에코 사례를 이용하여 소속변수별 도수분포를 구하였다. 산출된 도수분포를 이용하여 지형에코가 지형 및 강수에코에 대해 나타날 확률을 계산하는데 이를 퍼지 소속함수라 한다.

$$MF_{GRE}(Var_i) = \frac{F_{GRE}(Var_i)}{F_{GRE}(Var_i) + F_{PRE}(Var_i)}$$

여기서 Var는 퍼지 알고리즘에 사용되는 변수를 의미하는 것으로 본 연구에서는 SDZ, VGZ 또는 SPIN을 의미한다.

그리고 아래첨자 i는 각각의 변수들의 계급 값을 나타낸다. 지형에코에 대한 소속함수는 지형에코에 대한 도수값을 지형에코와 강수에코에 대한 전체 도수 값으로 나누어 산출한다. 예를 들어 변수 SDZ에서 2dB를 가지는 지점에서 지형에코 대한 소속값을 구해보자. 〈그림 3(a)〉와 같이 SDZ가 2dB일 때 지형에코 대한 빈도수는 0.015이고 같은 지점에서 강수에코에 대한 빈도수는 0.035이다. 위 공식을 사용하면 SDZ가 2dB인 지점에서 소속값은 약 0.3이 되므로 〈그림 2(b)〉와 같이 표현된다. 즉 레이더 반사도 자료 중 주어진 지점의 반사도 값이 20~30dBZ 사이이고 소속변수 SDZ가 2dB를 가지게 되면 이 지점은 지형에코일 가능성이 30% 라는 것을 의미한다.



〈그림 2〉 SDZ의 (a) 분포함수와 이로부터 유도된 SDZ의 (b) 소속함수

이러한 방법으로 각 반사도 등급에 해당하는 지형에코에 대한 SDZ, VGZ 및 SPIN의 소속함수를 얻을 수 있다.

1.4. 퍼지 변수별 가중치

각 기상레이더에서 지형에코에 대한 SDZ, VGZ, 그리고 SPIN의 소속함수를 반사도 강도별로 산출한다.

이때 강수에코 및 지형에코의 도수분포가 서로 많이 겹쳐져 있을 경우엔 지형에코에 대한 소속함수를 도출할 수 없다. 즉 강수에코와 지형에코에 대한 도수분포가 겹치는 영역이 작으면 작을수록 강수에코와 지형에

코의 구별이 용이하며 그 반대의 경우일 때에는 강수에코와 지형에코의 구별이 어렵게 된다. 이러한 특성을 이용하여 기상레이더로부터 산출된 소속변수들에 부여되는 가중치를 결정한다. <그림 3>은 반사도의 강도가 20~30 dBZ 일 때 각 소속변수별로 가중치를 결정할 때 고려되는 영역을 나타낸 것이다. 가중치를 결정하기 위해 <그림 3(a)> SDZ, <그림 3(b)>VGZ, <그림 3(c) > SPIN에서 두 에코의 도수분포가 서로 겹쳐지는 영역에 대해 음영으로 나타낸다.

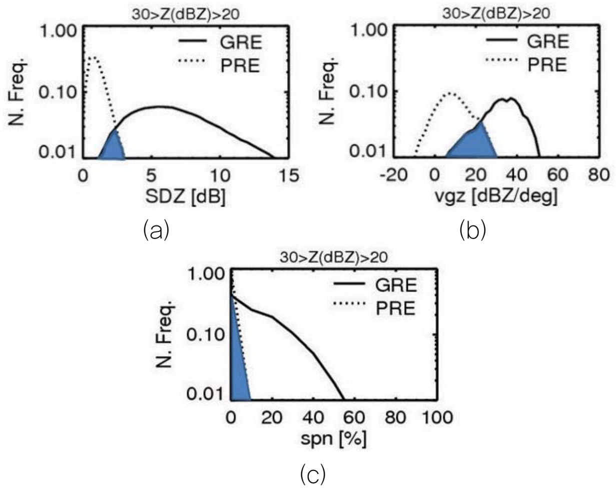
> **RAR 산출 시스템은 크게 레이더 반사도 자료 처리, 우량계 강수량 자료처리, 실시간 Z-R 관계식 산출, 강수량 추정, 합성의 과정으로 나눠진다.**

<그림 3>의 (a)SDZ에서 강수에코와 지형에코의 분포가 겹쳐지는 영역이 가장 작게 나타났고 VGZ와 SPN은 겹쳐지는 영역의 넓이가 비슷하다. 이러한 경우에는 SDZ에 가장 높은 가중치를 부여하게 된다. 가중치를 계산하는 방법은 아래의 식을 이용한다.

$$W_{SDZ} = \frac{1}{S_{SDZ} \times S_{tot}}, \quad W_{VGZ} = \frac{1}{S_{VGZ} \times S_{tot}},$$

$$W_{SPN} = \frac{1}{S_{SPN} \times S_{tot}}$$

$$S_{tot} = \frac{1}{S_{SDZ}} + \frac{1}{S_{VGZ}} + \frac{1}{S_{SPN}}$$

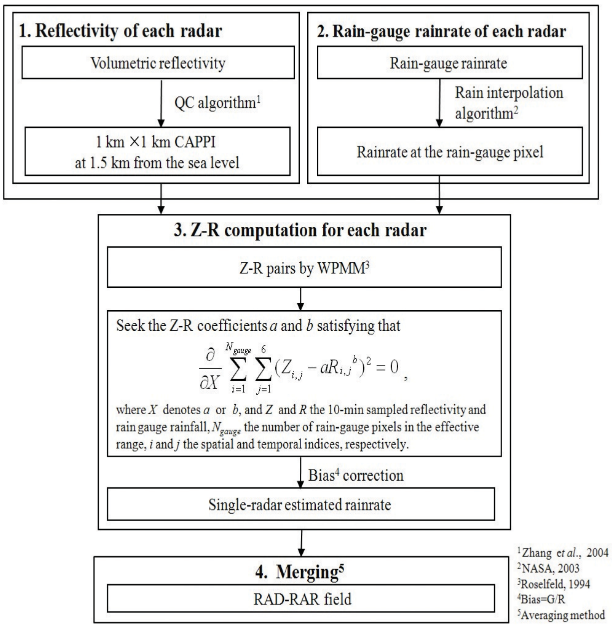


<그림 3> 지형에코 및 강수에코의 도수분포도(GRE:지형에코, PRE:강수에코)

이 때 S_{SDZ}, S_{VGZ}, 그리고 S_{SPN}은 각각 SDZ, VGZ, 그리고 SPN에서 강수에코와 지형에코의 도수분포가 겹쳐지는 영역의 넓이를 의미한다. 각 퍼지변수에서 구해진 중첩영역의 역수의 합과 퍼지변수에서 중첩영역의 역수를 곱함으로서 가중치를 산출한다.

2. 기상청 레이더강수량추정기술

<그림 4>는 RAR 산출 시스템에 대한 알고리즘을 나타낸다. RAR 산출 시스템은 크게 레이더 반사도 자료처리, 우량계 강수량 자료처리, 실시간 Z-R 관계식 산출, 강수량 추정, 합성의 과정으로 나눠진다. 레이더 반사도는 우선 품질관리(Quality Control; QC)과정을 거치면서 비강수에코(Non-Meteorological echo)를 제거하고, Mohr 방법(Mohr and Vaughan, 1979)을 사용하여 1 km×1km의 해상도를 가지는 1.5 km 고도의 CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) 자료를 만든다. 우량계 자료는 1분 간격으로 관측된 일 누적 강우강도 자료를 TRMM-GSP



<그림 4> RAR시스템 자료처리 흐름도

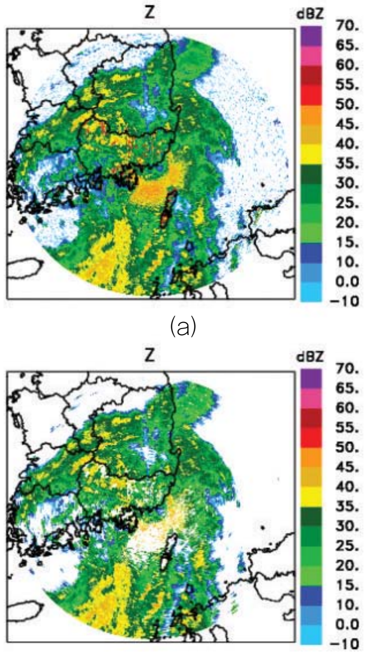
(Tropical Rain Measuring Mission-Gauge Software Package) 알고리즘을 사용하여 시간당 강우량(mm/h)로 전환하여 사용한다. 이렇게 산출된 레이더 강우강도 자료와 우량계 자료를 이용하여 시간적으로는 우량계의 0-9분 자료를 추출하고 공간적으로는 ±1 격자점 자료를 이용하여 Z-R쌍을 만들고 Z-R 쌍의 개수가 임계치 이상이면 최소자승적합(least square fitting) 으로 Z-R 관계식의 a, b 계수를 산출한다. 다음으로는 각 레이더 사이트에 대해서 실시간으로 보정지수를 산출하여 레이더 추정 강우강도를 보정한다. 보정지수는 레이더 강수에 대한 우량계 강수의 비로 값이 1보다 작으면 우량계 강수에 대해 레이더 강수가 과대추정, 1보다 크면 과소추정을 의미한다.

레이더 및 우량계의 처리와 Z-R 관계식의 a, b 계수의 결정, 보정지수 산출과 관련된 더 자세한 사항은 국립기상연구소 보고서(2010)를 참고하기 바란다.

Ⅱ. 분석결과

1. 품질알고리즘 적용결과

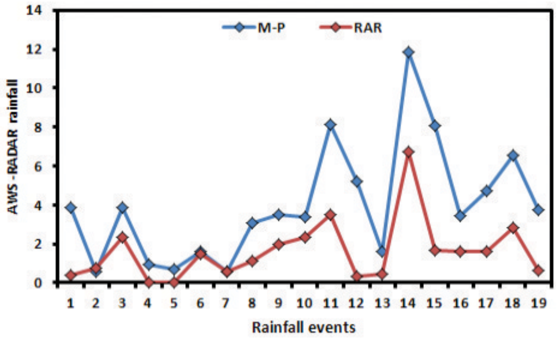
기상청 7개소 레이더자료를 이용하여 개발한 퍼지 품질관리기법을 적용하였다. <그림 5>는 구덕산 레이더에서 관측된 2010년 08월 11일 0600KST 사례에 대해서 퍼지 알고리즘을 적용한 결과의 예이다. <그림 5(a)>는 DZ를 나타내고 <그림 5(b)>는 퍼지 알고리즘을 적용하여 지형에코가 제거된 PPI 영상이다. 경상남도 지역과 대마도의 지형에코가 효과적으로 제거되었다. 또한 내륙과 해상에 나타나고 있는 노이즈 역시 점에코 제거 알고리즘으로 인해 효과적으로 제거되었으나, 부산 앞바다 부근의 파랑에코는 모두 제거되지 못하고 일부 남아 있는 것을 알 수 있다.



<그림 5> 구덕산 레이더 2010년 08월 11일 0600KST 사례에 대해 (a) 퍼지 적용 전과 (b) 적용 후의 PPI

<표 1> 오성산 레이더 사이트의 QPE 검증 결과

오성산레이더의 유효우량계 개수: 12지점	강우량	
	AWS Mean	Radar Mean
1시간 누적 강우량 (mm/h)	10.713985	2.63976 (M-P (200R^1.6))
		12.3735(RAR)

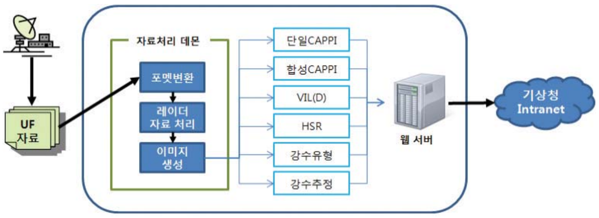


<그림 6> M-P와 RAR QPE 방법에 따른 AWS 강우강도와 레이더 강우강도의 차이(오성산레이더)

2. 기상청 레이더강수량추정기술 적용결과

본 연구에서는 <그림 6>과 <표 1>은 같이 오성산 레이더의 2007년 8월 4일 강수사례를 살펴보면, M-P (Marshall -Palmer) 관계식을 적용한 경우보다 유효우량계 개수에는 미치지 못하지만 RAR 시스템으로부터 Z-R 관계식을 산출하여 QPE를한 레이더 강우강도가 실제 AWS 강우강도와 더욱 차이가 작게 나타남을

알 수 있다. 오성산 레이더의 AWS의 유효 우량계 개수 기준은 30 지점이다. 기상연구소(2009)에서는 2008년 여름철 사례 중 전국적으로 집중호우가 발생한 사례에 대하여 M-P 관계식을 적용한 레이더 QPE 결과와 우량계 자료의 R/G(레이더/우량계) 비율이 M-P 관계식을 적용하였을 경우 약 25.9%로 심각한 과소추정을 보였다고 한다.



〈그림 7〉 신규 레이더강수량추정 자료처리 시스템 개요도
(*) (VIL(D): 연직누적수분량, HSR: 하이브리드스켄 관측값)

Ⅲ. 결론 및 제언

앞서 레이더별 퍼지 품질관리 알고리즘 개발기법에 대해 알아보았다. 퍼지 품질관리기법은 현재 기상청에서 실시간 시험적용 하고 있으며, 본 알고리즘은 현행의 품질관리 알고리즘에서 문제점으로 대두되는 강설에코를 제거시키는 단점이 보완되었다. 그러나 아직은 반사도 자료를 만을 사용하는 한계점으로 인해 높은 산이 존재하는 영역에서 지형에코가 효과적으로 제거되지 않거나 이상전파가 강하게 나타나는 경우 제거가 잘 되지 않는 문제점들이 남아있다. 현재 적용중인 퍼지 품질관리 알고리즘은 개발 초기버전으로 자동으로 비강수에코를 제거하는 기술은 완벽하지 않아 최적화를 통한 지속적인 알고리즘 성능 개선이 요구된다. 기상레이더센터는 2012년 국토부와 국방부 레이더에 대해서도 퍼지 품질관리 알고리즘을 개발하여 시험적용하고 있으며, 지속적인 알고리즘 성능개선에 노력을 다할 것이다. 또한, 향후 도입되는 이중편파레이더자료를 활용하게 되면 좀 더 정확한 고품질의 레이더자료를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 레이더 반사도를 이용한 RAR시스탬의 개발내용에 대한 설명과 이를 검증하기 위해 2007년 8월4일 레이더 반사도를 이용한 RAR시스템의 강우량 추정값과 지상 AWS 강우량관측값을 비교하였다. 2007년 8월 4일 전체를 보았을 때 RAR의 1시간 강우량추정값은 기존의 M-P관계식을 이용한 강우량추정값보다 25% 정도의 향상이 있음을 알 수 있었다

최근 기상청에서 개발 중이 MQPE는 보다 선진화된 강수량추정 기술을 확보하기 위해 레이더기반 다중센서 활용 기술을 개발하고 있다. 〈그림 7〉은 M-QPE 개발 흐름도이다.

기상청 M-QPE개발의 특징은 기존의 RAR시스템과 달리 신경망 자료처리 기술을 이용한 품질관리자료를 활용한다. 그리고 이 자료를 기본으로 하여 하이브리드 스캔방법 및 강수유형분류에 의한 강수량추정을 할 수 있는 기술이다. 특히 수문 등 지상의 정확한 강수량추정을 위해 LGC (Local Gauge Correction)기법에 의해 보다 지상강우량에 맞추어진 레이더 강수량추정값을 생산 할 수 있는 방법을 택하고 있다.

기상청은 또한 레이더 기상관측의 획기적인 발전을 위해 이중편파레이더시스템을 단계적으로 도입 할 예정이다. 이러한 이중편파레이더를 이용한 강수량추정기술을 M-QPE 시스템내 활용하기 위한 기술개발을 추진중이다. 이러한 M-QPE 시스템이 국내환경에 최적화된다면 레이더 강수량추정기술 향상에 많은 기여를 할 것으로 고려된다.

참 고 문 헌

[1] 기상연구소, 역학기반의 정량적 강수예측 선도기술개발(II), 110 pp. 2009.

[2] 기상연구소, 실황자료를 활용한 초단기 예측모델 성능향상 연구(I), 148 pp. 2010.

[3] 기상레이더센터 기술노트(WRC2011-07), 레이더자료 품질관리 모듈 개발, 147 pp. 2011

[4] Kessinger, C., S. Ellis, and J. vanAndel, NEXRAD data quality: The AP clutter mitigation scheme. Preprints, *30th Int. Conf. on Radar Meteorology, Munich, Germany, Amer. Meteor. Soc.*, 707-709, 2001.

[5] 국립기상연구소, 이중편파레이더 활용기술연구, 308 pp. 2010.

[6] Battan, L. J., Radar Observations of the Atmosphere. *The University of Chicago Press*, 324p, 1973.

[7] Marshall, J. S., and W. M. Palmer, The distribution of raindrops with size. *J. Meteor.*, 5, 165–166, 1948.

[8] Mohr, C. G. and R. L. Vaughan, An economical procedure for Cartesian interpolation and display of reflectivity factor data in three–dimensional space. *J. Appl. Meteor.*, 18, 661–670, 1979.

[9] Rosenfeld, D., D. B. Wolff, and D. Atlas, General probability–matched relations between radar reflectivity and rain rate. *J. Appl. Meteor.*, 32, 50–72, 1997.

차 주 완

1997년 2월 부산대학교 대기과학과(석사)
2008년 2월 연세대학교 대기과학과(박사수료)
2011년 10월~현재 기상레이더센터 레이더분석과 (기상연구관)

〈관심분야〉
기상레이더자료분석, 구름 및 강수 물리과정 관측 및 수치모의

한 혜 영

2010년 4월~현재 기상레이더센터 레이더분석과 (기상주무관)

박 종 서

2011년 10월~현재 기상레이더센터 레이더분석과 (레이더분석과장)