Atmosphere. Korean Meteorological Society Vol. 24, No. 1 (2014) pp. 77-87 http://dx.doi.org/10.14191/Atmos.2014.24.1.077 pISSN 1598-3560 eISSN 2288-3266

연구노트 (Research Note)

단일편파 레이더자료 품질관리기술 특성 분석

박소라^{1),*} · 김헌애¹⁾ · 차주완²⁾ · 박종서¹⁾ · 한혜영¹⁾

¹⁾기상청 기상레이더센터 레이더분석과, ²⁾국립기상연구소 황사연구과

(접수일: 2013년 10월 10일, 수정일: 2013년 11월 13일, 게재확정일: 2013년 12월 4일)

Analysis of Quality Control Technique Characteristics on Single Polarization Radar Data

Sora Park^{1),*}, Heon-ae Kim¹⁾, Joo Wan Cha²⁾, Jong-Seo Park¹⁾, and Hye-Young Han¹⁾

¹⁾Radar Data Analysis Division, Weather Radar Center, KMA, Seoul, Korea ²⁾Asia Dust Research Division, National Institute of Meteorological Research, KMA, Seoul, Korea

(Manuscript received 10 October 2013; accepted 4 December 2013)

Abstract The radar reflectivity is significantly affected by ground clutter, beam blockage, anomalous propagation (AP), birds, insects, chaff, etc. The quality of radar reflectivity is very important in quantitative precipitation estimation. Therefore, Weather Radar Center (WRC) of Korea Meteorological Administration (KMA) employed two quality control algorithms: 1) Open Radar Product Generator (ORPG) and 2) fuzzy quality control algorithm to improve quality of radar reflectivity. In this study, an occurrence of AP echoes and the performance of both quality control algorithms are investigated. Consequently, AP echoes frequently occur during the spring and fall seasons. Moreover, while the ORPG QC algorithm has the merit of removing non-precipitation echoes, such as AP echoes, it also removes weak rain echoes and snow echoes. In contrast, the fuzzy QC algorithm has the advantage of preserving snow echoes and weak rain echoes, but it eliminates the partial area of the contaminated echo, including the AP echoes.

Key words: Quality control, anomalous propagation echoes, ORPG quality control, fuzzy quality control

1. 서 론

레이더자료에는 강수에코뿐만 아니라 채프, 새, 곤 충, 이상전파에코 등과 같은 비강수에코도 함께 나타 난다. 이러한 비강수에코들은 별도로 제거하지 않으 면 강수에코로 오인하여 강수량 추정에 오류를 유발 할 수 있다. 따라서 비강수에코를 제거하는 품질관리 는 강수량 추정 과정보다 선행되어야 하는 중요한 단 계이다.

레이더자료는 입체관측 후 신호처리 과정에서 GAMIC

Phone : +82-2-2181-0868, Fax : +82-2-833-0429 E-mail : sorapark@korea.kr (2013)의 Infinite Impulse Response (IIR) 또는 Siggia and Passarelli (2004)가 제시한 gaussian model adaptive processing (GMAP)을 거쳐 1차 품질관리가 수행된다. 신호처리 과정의 품질관리는 레이더 설치 지점의 주 변 지형에 관련된 에코만이 제거되어 채프, 새, 곤충 및 이상굴절에 의해 나타나는 지형에코와 같은 이상 전파에코가 제거되지 않는다. 따라서 원시자료의 반 사도, 시선속도 등과 같은 레이더 모멘트를 이용하여 비강수에코를 제거하는 품질관리 단계가 수행되어야 한다. 모멘트 자료를 이용한 품질관리 방법에는 퍼지 이론(Kessinger *et al.*, 2003; Cho *et al.*, 2006; Gourley *et al.*, 2007), 베이즈 이론(Nicol *et al.*, 2011), 신경망 이론(Grecu and Krajewski, 2000; Lakshmanan *et al.*, 2007)이 있으며, 이와 관련된 연구가 국내외에서 계속 진행 중에 있다.

^{*}Corresponding Author: Sora Park, Radar Data Analysis Division, Weather Radar Center, 61 Yeouidabang-ro, Dongjak-gu, Seoul 111-222, Korea.

국외의 경우 National Weather Service (NWS)에서 는 퍼지이론에 기반을 둔 Radar Echo Classifier (REC) 품질관리가 현업에서 운용된 바 있으며(Kessinger et al., 2003), 2009년 5월부터는 퍼지기술로 비강수에코 영역을 판단하고 이 영역에 대해 신호처리 필터링을 적용한 Clutter Mitigation Decision (CMD) 품질관리 가 현업에 운용 중에 있다(Hebbert et al., 2009). 또한 Lakshmanan et al. (2007)은 신경망 기법으로 반사도 자료만을 이용하여 에코를 제거하는 품질관리 기법을 연구용으로 개발하였다. Cho et al. (2006)은 캐나다 McGill 대학의 퍼지 품질관리 기법의 소속함수를 과 거사례를 이용한 통계분석으로 생성하고, 강수에코와 비강수에코의 확률밀도분포에서 중첩면적을 역가중치 로 이용하여 퍼지 품질관리를 연구한 바 있다. 국내 의 경우 국립기상연구소에서 2009년에 오성산 레이더 를 기반으로 단일편파레이더 퍼지 품질관리 알고리즘 을 개발하였다(Cho et al., 2009). 기상레이더센터에서 는 단일편파레이더에 대해 2006년부터 Open Radar Product Generator (ORPG) 품질관리 알고리즘을 현업 에서 활용 중에 있다. 또한 2011년부터는 퍼지 품질 관리 알고리즘과 채프 품질관리 알고리즘을 개발하여 시험운영 중에 있으며(WRC, 2013), 2012년부터는 이 중편파레이더를 기반으로 한 퍼지 알고리즘을 개발하 여 시험운영 중에 있다. 기상레이더센터의 모든 품질 관리 알고리즘들은 모두 레이더 모멘트 자료를 이용 한 품질관리 방법으로 수행된다.

우리나라는 군사적인 상황과 삼면이 바다로 둘러싸 이고 산악지대가 많은 지형적 요인으로 채프에코와 이상전파에코가 빈번히 발생한다. Han et al. (2011)에 따르면 한반도에서는 채프에코가 연중 232일간 63.3% 의 발생비율로 기상레이더에 관측되었다. 하지만 이 상전파에코의 발생현황에 대한 자세한 조사는 이루어 진바 없다. 또한 기상레이더센터의 신규 품질관리 기 술인 퍼지 품질관리에 대해서 소개 된바 있으나(Cha et al., 2013), 국내 적용 품질관리기술에 대한 자세한 비교 분석은 이루어진바 없다. 따라서 본 연구에서는 비강수에코 중 이상전파에코의 발생현황을 조사하고 단일편파레이더의 현업에 운용중인 ORPG 품질관리 기술과 시험운영 중인 퍼지 품질관리 기술의 특성을 사례연구를 통해 분석하고자 한다.

2. 기상레이더센터 품질관리 기술

기상레이더센터의 단일편파레이더에 적용중인 품질 관리 기술은 ORPG 품질관리와 퍼지 품질관리 및 채 프 품질관리가 있다. 하지만 본 연구에서는 ORPG와 퍼지 품질관리 기술에 대해서 비교 분석하므로 두 품 질관리 기술에 대해 간단히 소개한다.

한국기상학회대기 제24권 1호 (2014)

기상레이더센터는 2003년부터 2005년까지 미국 국 립재해기상연구소와 기상청이 공동 개발한 ORPG 품 질관리 기술을 2006년 6월부터 현업에 적용하여 레이 더 자료에서 나타나는 지형에코, 파랑에코, 이상전파에 코, 점 및 선 에코, 이착에코와 같은 비강수에코를 제 거하고 있다. ORPG 품질관리는 레이더의 신호처리기 에서 IIR 및 GMAP 필터가 적용되어 지형에코가 보정 된 반사도(Corrected Reflectivity, CZ)를 이용하고 있다 . ORPG 품질관리는 일정 고도를 정하여 주어진 레이 더 게이트에 대하여 아래 고도각과 바로 위 고도각 반 사도의 차이로 반사도 연직기울기를 구하고 임계값보 다 값이 큰 게이트는 이상전파에코과 같은 비강수에코 로 간주하고 제거한다. 또한 점 에코와 선 에코를 제 거하는 과정을 수행한다(Lee et al., 2004; WRC, 2013). 하지만 단순히 반사도의 연직기울기만을 이용하여 원 거리의 비강수에코는 제거되지 않는다(You et al., 2006).

국립기상연구소에서는 2009년 오성산 레이더에 대 해 연구용 퍼지 품질관리 알고리즘을 개발하였다(Cho et al., 2009). 이를 바탕으로 기상레이더센터에서는 범 정부적 표준화된 품질관리 알고리즘을 개발하기 위해 단일편파레이더와 이중편파레이더에 적용할 수 있는 퍼지 품질관리 알고리즘을 2011년부터 연차 별로 개 발 중에 있다(WRC, 2013). 퍼지 품질관리 알고리즘은 지형에코필터 적용전의 반사도(Uncorrected Reflectivity, DZ)를 입력자료로 사용하여 반사도 표준편차, 반사도



Fig. 1. Weather radar network operated by Korea Meteorological Administration (KMA) and its coverage (light gray). Fuzzy QC is test operated on 7 radar site (red) in KMA.

연직기울기, Steiner and Smith (2002)가 제안한 게이 트간의 변곡점 변화율(SPINchage)을 퍼지변수로 계산 한다. 각 퍼지 변수에 대해 비강수에코와 강수에코의 통계분석을 통해 각 변수들의 비강수에코 소속함수를 생성하여 품질관리를 수행한다(Cha *et al.*, 2013). 또 한 고립점 제거 및 연속성 검사 등의 후처리 알고리 즘이 추가적으로 수행한다.

단일편파레이더의 퍼지 품질관리는 DZ 자료를 입 력자료로 사용하므로 기상레이더센터의 11개의 레이 더 중에서 광덕산(GDK), 관악산(KWK), 강릉(GNG), 오성산(KSN), 구덕산(PSN), 고산(GSN), 성산(SSP)의 7개 레이더에만 적용되어 시험운영 중에 있다(Fig. 1). 퍼지 품질관리의 변수들은 반사도 구간별로 구분되어 계산되고 소속함수를 생성한다. 최종 소속값은 Cho *et al.* (2006)의 가중치 적용 방법에 따라 각 변수의 소 속값에 비강수에코와 강수에코가 중첩되는 영역의 역 가중치를 적용하여 구해진다.

3. 연구 자료 및 연구 방법

비강수에코 사례 분석에는 기상레이더센터의 숙련 된 전문가들이 작성한 레이더 합성영상자료의 3시간 간격(0100, 0400, 0700, 1000, 1300, 1600, 1900, 2200 KST) 해설영상을 이용하였다(Fig. 2). 사용된 레이더



Fig. 2. An example of radar echo type flag image made by radar experts in WRC.

해설영상자료는 1년 기준으로 2,920개 영상 중 95% 에 해당하는 2,774개의 해설영상자료이다. 해설영상에 는 강수, 소나기, 뇌전, 강설, 이슬비, 진눈깨비 등의 강수에코의 표시와 더불어 채프, 이상전파, 전파간섭, 이착에코 등 비강수에코에 대한 정보도 제공되어 강 수에코와 비강수에코를 레이더 영역별로 판단하기 용 이하다. 2012년 6월부터 2013년 5월에 제공된 해설영 상의 정보를 레이더와 시각별로 각각 정리하여 이상 전파에코의 시·공간적 발생빈도분포를 통계 분석하였다.

그리고 2012년 6월부터 2013년 5월까지 각 사이트 별 최저 고도각 반사도 평면위치표시영상(Plan Position Indicator, PPI)을 강우, 강설, 비강수사례로 분류하여 정성적으로 비교하고, DZ, CZ, ORPG 품질관리 반사 도, 퍼지 품질관리 반사도 자료에 대해서 일별 누적 을 수행하여 각 레이더 게이트의 누적된 사용된 빈도 를 조사하여 품질관리의 정성적인 특성 분석을 하였 다. 또한 두 품질관리 기술을 정량적으로 비교하기 위 해 일 누적 영상간의 보존율, 제거율, 감소율, 첨가율 을 분석하였다. 보존율은 PPI 자료의 전체 레이더 게 이트 수에 대해서 비교하는 두 자료가 결과 값이 같 은 게이트의 비율이며, 제거율은 기준이 되는 자료에 는 값이 존재하지만 비교 자료에는 자료값이 null 값 으로 저장되는 게이트의 비율을 말한다. 감소율은 비 교되는 자료가 완전히 null 값이 되지는 않았지만 기 준자료의 값보다는 감소되는 게이트의 비율을 말하며, 첨가율은 기준 자료의 값보다 비교자료의 값이 더 증 가하는 경우의 게이트 비율을 첨가율로 정의하였다.

4. 결과 및 토의

4.1 이상전파에코 발생빈도 분석

3시간별 레이더 해설영상을 이용하여 2012년 6월부 터 2013년 5월의 1년 동안 시·공간상의 이상전파에 코 발생현황을 조사하였다. 모든 레이더에서 이상전 파에코는 총 4,705회가 발생하였고 9월과 10월이 각



Fig. 3. Monthly occurrence frequency of AP.

Atmosphere, Vol. 24, No. 1. (2014)



Fig. 4. Total occurrence frequency of AP on each radar site for an year.

각 820회(17.4%)와 780회(16.6%)로 높은 빈도를 보였 으며, 5월에는 957회로 전체 발생빈도의 20.3%의 비 율로 이상전파에코가 가장 많이 관측되었으며 1월이 0.5%의 발생률로 가장 낮게 나타났다(Fig. 3). 봄철과 가을철에 모든 레이더에서 이상전파에코가 많이 발생 하는 반면 겨울철에 이상전파에코의 빈도가 가장 적 게 나타남을 알 수 있다. 이는 Jung and Lee (2010)의 고산 라디오존데에서 이상굴절과 빔간힘 발생확률이 봄철과 가을철에 가장 높은 결과와 일치한다. 봄철과 가을철에 기단의 이동으로 대기층이 안정해지고 수증 기 유·출입의 영향으로 대기안정도가 더 높아지면서 레이더 빔의 이상굴절이 많이 발생한 것으로 사료된 다. 연간 레이더별 발생분포는 구덕산 레이더가 분석 기간 자료의 약 40%에 해당하는 1,025회로 가장 많



Fig. 5. Occurrence frequency of AP on each 3 hours time for an year.

한국기상학회대기 제24권 1호 (2014)

이 발생했으며, 강릉 레이더에서 300회로 가장 적게 나타났다(Fig. 4). 구덕산 레이더는 파랑에코가 계속해 서 관측되어 이상전파에코의 빈도가 높게 나타난 것 으로 추정된다.

발생시각에 따른 이상전파에코의 발생분포 분석 결과 모든 레이더에서 2200 KST와 0100 KST에 이상 전파에코가 가장 많은 빈도를 보였으며, 1600 KST에 가장 적은 발생빈도를 보였다(Fig. 5). 이상전파에코는 주로 일출 전과 일몰 후에 레이더 영상에서 나타난 다. 오성산 레이더(KSN)의 경우 일출 전에는 이상전 파에코가 주로 해상에서 관측되며 일몰 후에는 내륙 에서 이상전파에코가 관측되는 경향을 보였다. 내륙 에 위치한 광덕산, 관악산, 오성산 레이더는 주야간 의 차이가 확연히 나타나는 반면 상대적으로 해안에 위치한 구덕산, 고산, 성산 레이더에서는 주야간의 시 간대에서 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는



Fig. 6. (a) AWS Rain exist image at 1810 KST 23 Apr. 2013, CZ PPI images (b) NoQC, (c) ORPG QC, and (d) fuzzy QC at 1810 KST 23 Apr. 2013 at lowest elevation angle (0.0° elevation angle) observed by PSN. (e) Vertical CZ image on A-B line in (b). Each radial ring is the 100 km range ring.

Jung and Lee (2010)의 분석 결과인 고산 라디오존데 자료에서 0000 UTC와 1200 UTC에 월별로 빔갇힘 발 생비율은 차이가 없는 반면, 오산 고층기상관측 자료 에서는 두 시각의 빔갇힘 발생비율이 차이가 나는 결 과와 일치한다. 해안에 위치한 레이더는 시간대에 상 관없이 육상보다 높은 습도에서 관측되므로 이상굴 절의 발생가능성이 높을 것으로 사료된다. 이러한 결 과는 이상굴절이 수증기의 영향을 크게 받는다는 점 을 시사한다.

4.2 품질관리기술 특성 분석

매 10분 간격으로 표출되는 반사도 영상과 일 반사 도 자료를 누적한 영상을 통해 기상레이더센터에서 단일편파레이더에 활용 중인 ORPG 품질관리와 퍼지 품질관리 기술의 특성 분석을 하였다. 특히 일 누적 반사도 영상을 활용한 분석에서는 비강수에코 특히 지형에코에 관한 부분을 특징적으로 나타나기 때문에 특성 분석에 효과적이다.

4.2.1 반사도 영상을 활용한 특성 분석

반사도 영상에서 ORPG와 퍼지 품질관리 결과의 영 상을 비교하였다. 영상은 최저고도각의 PPI를 사용하 였고, CZ 값이 표출되었다. 두 품질관리기술에 대한 강우, 강설, 비강수에코 사례에 대해서 분석하고, 정 성적 검증대상으로 동시각의 Automatic Weather System (AWS) 강우감지 영상과 None quality control (NoQC) CZ 영상을 함께 비교하였다.

첫 번째로 강우사례의 경우에 대해 분석하였다. 2013 년 4월 23일 강우감지 영상(Fig. 6a)에서 부산지역에 도 강우는 감지되었고, 구덕산 레이더에서 관측된 지 형 필터를 거친 반사도의 PPI (Fig. 6b)에서도 부산지 역 일대에는 강수에코가 존재하였다. ORPG 영상(Fig.



Fig. 7. (a) AWS Rain exist image on 1 Jan. 2013, CZ PPI images (b) NoQC, (c) ORPG QC, and (d) fuzzy QC CZ at 0630 KST 1 Jan. 2013 at lowest elevation angle observed by GDK.

한국기상학회대기 제24권 1호 (2014)

82

상층에코의 유입을 감시할 수 있으며 이슬비나 강우 강도가 적은 강우를 감지하기에 용이하다. 하지만 퍼 지 품질관리는 지형마스크에서 일정 반사도 이상의 값을 갖는 지점의 에코를 표출하지 않는 품질관리 선 택사항이 적용되어, 해당지점에 강수에코가 있어도 제 거된다는 단점이 있다. 특히 관악산, 광덕산 레이더에 서 지형마스크의 영향으로 에코가 표출되지 않은 곳 이 많이 있어 수도권 강우감시에 어려움이 있다(Fig. 6d). 두 번째로 강설에코 사례의 경우에 대해 분석하였

6c)에서는 빨간색으로 표시된 부산지역에 강수에코가 제거되었으나 퍼지 반사도 영상(Fig. 6d)에서는 해당 영역의 강수에코가 표출되었고 일부 지형마스크 영역 에 강수에코가 나타나지 않았다. ORPG 품질관리는 반사도가 낮은 강수에코가 존재하는 곳을 과다 제거 하는 경우가 있다. 특히 강우강도가 0.2 mm h⁻¹로 낮 은 강수에코의 영역을 과다 제거하는 경향이 나타난 다. 이에 반해 퍼지 품질관리는 반사도가 낮은 강수 에코 영역을 보존한다. 따라서 퍼지 품질관리 기술은



Fig. 8. (a) Composite image of COMS satellite at 0628 KST 13 Apr. 2013, CZ PPI images (b) NoQC, (c) ORPG QC, and (d) fuzzy QC at 0630 KST 13 Apr. 2013 at lowest elevation angle (0.0° elevation angle) observed by GSN. (e) Vertical CZ image on A-B line in (b).

다. 한반도의 겨울철 강설구름은 서해상의 한기 이류 에 의해 발생하는 경우가 빈번히 있으며 이렇게 발생 된 강설구름은 고도가 낮고 층후가 두껍지 않다. 또 한 겨울철 강설에코의 경우 강설의 낮은 유전율로 인 하여 실제 반사도보다 레이더 영상에 낮은 반사도로 관측된다(Rinehart, 2010). 이러한 이유로 ORPG 품질 관리에서는 강설에코를 비강수에코로 간주하여 제거 하는 경우가 많다(Fig. 7c). 2013년 1월 1일 강설사례 의 광덕산 레이더 ORPG 반사도 영상에서도 서울을 비롯한 경기 지역의 강설에코가 제거되어 나타났다. 하지만 퍼지 품질관리에서는 강설에코를 잘 보존하고 있다. 이러한 특성상 겨울철 예보에는 ORPG 품질관 리보다는 퍼지 품질관리 결과를 활용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

마지막으로 비강수에코 사례에 대해서 분석하였다. 레이더자료 품질관리는 비강수에코를 잘 제거하는 것 이 가장 중요하다. 우리나라는 중위도에 위치하며 삼 면이 바다로 둘러싸인 지리적인 영향으로 일출과 일 몰 전후로 기상레이더에서 이상전파에코가 자주 관측 된다. 이러한 이상전파에코는 상층에코 또는 강우강 도가 낮은 층운형 강수에코와 혼돈될 수 있으므로 제 거되어야 한다. 고산레이더는 일출 전에 서해상에서 이상전파에코를 빈번히 표출한다. 2012년 10월 21일 0620 KST (2012.10.20. 2120 UTC)의 천리안 위성 합 성영상에는 한반도 상공에 구름이 존재하지 않으며 제주 서해상에도 강수구름이 나타나지 않았다(Fig. 8a). 하지만 고산레이더의 품질관리 되지 않은 반사도 영 상(Fig. 8b)에는 제주 서해상에 동심원 형태로 200 km 까지 20 dBZ 이하의 이상전파에코가 나타났다. Figure 8c의 ORPG 품질관리 영상에서는 이러한 이상전파에 코가 대부분 제거된 반면 퍼지 품질관리 영상(Fig. 8d) 에서는 반경 100 km 이상의 에코를 제거하지 못했다. 결과적으로 이상전파에코는 ORPG 품질관리에서 더 잘 제거되는 것으로 분석된다.

4.2.2 일 누적 반사도 영상을 활용한 특성 분석

반사도를 누적하여 누적 강수량으로 환산하고 AWS 의 일 누적 강수량과의 비교를 통해 품질관리 기술을



Fig. 9. Daily accumulated reflectivity images of (a) NoQC DZ, (b) NoQC CZ, (c) ORPG QC CZ, and (d) fuzzy QC CZ. Daily accumulated frequency images of (e) NoQC DZ, (f) NoQC CZ, (g) ORPG QC CZ, and (h) fuzzy QC CZ. (i) AWS daily accumulated rain fall, (j) accumulated reflectivity bias, and (k) accumulated frequency bias of ORPG QC CZ - fuzzy QC CZ at 30 Dec. 2012 on the lowest elevation angle observed by KSN.

한국기상학회대기 제24권 1호 (2014)

Preservative rate (%)				Removed rate (%)			
DZ	CZ	CZ	ORPG	DZ	CZ	CZ	ORPG
- CZ	- ORPG	- fuzzy	- fuzzy	- CZ	- ORPG	- fuzzy	
42.9	14.6	32.1	16.6	1.13	38.2	4.4	2.8
12.1	21.2	21.1	61.0	11.6	71.2	42.2	3.0
Decreased rate (%)			Added rate (%)				
DZ	CZ	CZ	ORPG	DZ	CZ	CZ	ORPG
- CZ	– ORPG	- fuzzy	- fuzzy	- CZ	- ORPG	- fuzzy	- fuzzy
56.0	46.6	63.5	3.0	0.0 0.2	0.6	0.0	77.59
76.0	7.5	36.7	2.9		0.1	0.0	33.1
	DZ - CZ 42.9 12.1 DZ - CZ 56.0 76.0	Preservative DZ CZ - CZ - ORPG 42.9 14.6 12.1 21.2 DZ CZ - CZ - ORPG 56.0 46.6 76.0 7.5	Preservative rate (%) DZ CZ CZ - CZ - ORPG - fuzzy 42.9 14.6 32.1 12.1 21.2 21.1 DZ CZ CZ - CZ - ORPG - fuzzy 56.0 46.6 63.5 76.0 7.5 36.7	Preservative rate (%) DZ CZ CZ ORPG - CZ - ORPG - fuzzy - fuzzy 42.9 14.6 32.1 16.6 12.1 21.2 21.1 61.0 Decreased rate (%) DZ CZ CZ ORPG - CZ - ORPG - fuzzy - fuzzy 56.0 46.6 63.5 3.0 76.0 7.5 36.7 2.9	Preservative rate (%) DZ CZ CZ ORPG DZ - CZ - ORPG - fuzzy - fuzzy - CZ - CZ 42.9 14.6 32.1 16.6 1.13 12.1 21.2 21.1 61.0 11.6 Decreased rate (%) DZ CZ CZ ORPG DZ - CZ - ORPG - fuzzy - fuzzy - CZ DZ CZ CZ ORPG DZ - CZ - ORPG - fuzzy - CZ 56.0 46.6 63.5 3.0 0.0 76.0 7.5 36.7 2.9 0.2	Preservative rate (%) Removed DZ CZ CZ ORPG DZ CZ CZ - CZ - ORPG - fuzzy - fuzzy - fuzzy - CZ - ORPG - ORPG 42.9 14.6 32.1 16.6 1.13 38.2 - 12.1 21.2 21.1 61.0 11.6 71.2 Decreased rate (%) Added rate (%) DZ CZ CZ - CZ - ORPG - fuzzy - fuzzy - CZ - ORPG DZ CZ CZ ORPG DZ CZ - CZ - ORPG - fuzzy - fuzzy - fuzzy - CZ - ORPG 56.0 46.6 63.5 3.0 0.0 0.6 76.0 7.5 36.7 2.9 0.2 0.1	Preservative rate (%) DZ CZ CZ ORPG DZ CZ CZ CZ - CZ - ORPG - fuzzy - fuzzy - CZ - ORPG - fuzzy 42.9 14.6 32.1 16.6 1.13 38.2 4.4 12.1 21.2 21.1 61.0 11.6 71.2 42.2 Decreased rate (%) Added rate (%) DZ CZ CZ CZ - D2 CZ CZ ORPG DZ CZ CZ DZ CZ CZ ORPG DZ CZ CZ CZ - CZ - ORPG - fuzzy - fuzzy - fuzzy - fuzzy - fuzzy - fuzzy 56.0 46.6 63.5 3.0 0.0 0.6 0.0 76.0 7.5 36.7 2.9 0.2 0.1 0.0

 Table 1. Rate of preservative, removed, decreased, and added bias between each daily accumulated reflectivity data on snow case (30 Dec. 2012) and AP case (21 Oct. 2012).

검증하는 연구가 수행된 바 있다(Kwon et al., 2013). 하지만 레이더 자료 품질관리의 특성을 살펴보기 위 한 검증방법으로 누적 강수량을 사용하는 것은 강수 량으로 환산하는 식에 따라 강수량이 변동 될 수 있 으므로 이 방법은 검증방법으로 적합하지 않다. 따라 서 품질관리 기술의 검증을 위해 환산된 강수량을 활 용한 검증 방법 이외에 일 누적 반사도를 비교하는 방법이 적절하다고 판단되어 일 누적 반사도 영상을 통한 각각의 품질관리 기술의 특성을 분석하였다. 또 한 누적에 사용한 게이트의 빈도를 통해 일 누적 반 사도 강도뿐만 아니라 공간적인 발생분포도 분석하였다. 먼저 강설사례에 대해서 특성 분석하였다. 2012년 12월 30일에 서해상에서 발달하는 구름대의 영향으로 남서해안에서 강설이 관측되었다. 특히 제주에는 11.4 mm의 일 강수량이 기록되었으며 남서해안에서 6 mm 이상의 일 강수량이 나타났다(Fig. 9). 이 날 레이더 일 누적 반사도영상에서 내륙 일부 지역을 제외한 곳 에서 강수현상이 나타났다. DZ 누적영상(Fig. 9a)에는 50 dBZ 이상에서 지형에코 영역이 나타났으나 다른 영상들(Figs. 9b~d)에서는 지형에코가 나타나지 않았 다. 제거된 지형에코는 신호처리 단계에서 제거되는 영역에 해당한다. DZ 누적반사도의 빈도분포(Fig. 9e) 에서도 140회 이상의 높은 빈도가 나타나며 이 곳은 일 중 내내 지형클러터가 감지되는 지역으로 레이더 빔의 부방사부 또는 이상굴절에 의해 나타나는 곳으 로 사료된다. CZ 일 누적 반사도 영상(Fig. 9b)에서는 지형에코를 제외한 강설에코가 나타났으며 퍼지 일 누적 반사도 영상(Fig. 9d)에도 지형마스크 영역을 제 외한 강설에코가 나타났다. 하지만 ORPG 일 누적 반 사도 영상(Fig. 9c)에는 누적 영역은 좁아지고 강도도 줄어들었다. 또한 누적영역의 빈도분포도 낮게 나타 났다(Fig. 9g). 이는 강설이 있던 날 ORPG 품질관리 가 반사도 영역을 과다제거하고 있음을 보여준다. Figure 9j는 ORPG 반사도(Fig. 9c)와 퍼지 반사도(Fig.

9d)의 차이를 나타낸 것으로 전체 영역에서 0 또는 음 의 값의 분포가 나타났으며, Fig. 9k는 두 품질관리의 빈도분포 차이로 역시 음의 빈도를 보였다. 이는 ORPG 품질관리가 퍼지 품질관리보다 강설에코를 과다제거 하고 있음을 시사한다.

두 가지 품질관리 기술을 정량적으로 비교하기 위 해 일 누적 영상간의 보존율, 제거율, 감소율, 첨가율 을 분석하였다(Table 1). 강설에코의 보존율에서는 CZfuzzy (32.1%)가 CZ-ORPG의 값(14.6%)보다 2배 이상 높은 영역을 보존하였으나 제거율에 있어서 CZ-ORPG 값이 38.2%로 퍼지 품질관리(4.4%)의 제거율에 비해 서 약 8배 높게 제거되었다. 강설사례는 에코들이 보 존되어야 함에도 ORPG의 경우 강설에코 제거율이 높 게 나타났으며 반면 퍼지 품질관리는 ORPG에 비해 77.6% 강설에코를 보존하였다. 결과적으로 ORPG 품 질관리는 강설에코를 비강수에코로 오인하여 제거하 였기 때문에 겨울철 강설예보에 ORPG 품질관리보다 퍼지 품질관리 결과의 활용도가 높은 것으로 판단된다.

두 번째로 이상전파가 발생한 날에 대해 분석하였 다. 강수현상이 없는 맑은 날 반사도 영상을 일 누적 할 경우 지형에코를 제외한 에코들은 나타나지 않는 다. 그러나 이상전파에코 등과 같은 비강수에코가 레 이더에 관측되어 누적되는 경우가 종종 있다. 특히. 구덕산 레이더는 부산에 위치하고 있어 연중 파랑에 코가 나타나며 연중 국내 운영레이더 관측지점 중 이 상전파에코가 가장 많이 관측되는 지점이다. Figure 10은 2012년 10월 21일 이상전파에코만 존재했던 날 의 구덕산 레이더 일 누적 반사도 영상이다. DZ 누 적 영상(Fig. 10a)에서 경상도 내륙에 검은색 영역으 로 지형에코가 나타났으며, 부산앞바다에 부채살 모 양으로 노란색 및 붉은색의 강도를 갖는 파랑에코 및 섬에 의한 지형에코가 나타났다. 이 날은 빔의 이상 굴절이 심하게 발생한 사례일로 일본 열도에도 지형 에코가 나타났다. CZ 누적 영상(Fig. 10b)에서는 Fig.



Fig. 10. Same as Fig. 9 at 21 Oct. 2012 observed by PSN.

10a에서 지형으로 판단된 부분이 제거되어 경상도 일 대의 지형에코가 제거되었고, 쓰시마 섬 일대의 지형 에코와 일본 내륙의 지형에코가 일부 제거되어 표출 되었다. 하지만 여전히 파랑에코와 이상전파에코는 나 타났다.

ORPG 반사도 누적 영상(Fig. 10c)에서는 구덕산 레 이더 인근의 파랑에코와 이상전파에코를 대부분 제거 되었으며, 반경 100 km 이상의 이상전파에코는 제거 하지 못하고 표출되었다. 퍼지 품질관리 반사도 누적 영상(Fig. 10d)에서는 경상도 일대의 지형에코 부분과 일본내륙의 강도가 높은 반사도 영역은 제거 되었으 나, 이상전파에코는 반사도 강도가 줄어들었을 뿐 여 전히 표출되었다. Table 1의 제거율에서도 ORPG의 제거율이 퍼지품질관리의 제거율보다 약 30% 정도 높다. 결과적으로 이상전파에코와 파랑에코는 퍼지 품 질관리에 비해 ORPG 품질관리에서 더 잘 제거되는 것으로 분석된다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 2012년 6월부터 2013년 5월까지 발

한국기상학회대기 제24권 1호 (2014)

생한 이상전파에코의 시공간적 발생현황을 조사하고 기상레이더센터에서 단일편파레이더에 적용하여 현업 에 운용중인 ORPG 품질관리와 시험운영중인 퍼지 품 질관리를 사례별로 정성적으로 분석하였다. 품질관리 기술에 대한 특성을 분석하기 위해서 10분 간격으로 표출되는 최저 고도각 반사도의 PPI 영상과 일 누적 영상 사례를 활용하였다. 그 결과, 이상전파에코는 모 든 레이더에서 5월에 전체 발생률의 20.3%로 가장 많 이 나타났으며 1월에 0.5%의 발생률로 가장 적게 나 타났다. 계절별로는 봄철과 가을철에 가장 많이 발생 하는 반면 겨울철에는 거의 발생하지 않았다. 관측지 점별로는 구덕산 레이더에서 이상전파에코가 가장 많 이 나타났고 강릉레이더에서 가장 적었으며, 시간적 으로는 2200 KST와 0100 KST에 가장 많은 발생빈 도가 나타났으며, 1600 KST에 발생빈도가 가장 낮았 다. 이상전파에코는 주로 일출 전과 일몰 후에 해상 과 내륙에 분포한다. 내륙에 위치한 레이더는 주야간 의 이상전파에코 발생 빈도 차가 큰 반면 해상에 위 치한 레이더에서는 주야간의 발생빈도 차가 거의 없 었다. 이러한 결과는 이상굴절이 수증기의 영향을 많 이 받고 있음을 알 수 있다.

ORPG와 퍼지 품질관리 기술의 특성 분석 결과, ORPG 품질관리는 이상전파에코와 같은 비강수에코 는 잘 제거하는 장점이 있는 반면 강설에코를 과다 제거하여 겨울철 예보에 적합하지 않는 단점이 있다. 반면, 퍼지 품질관리는 강설에코나 약한 강수에코를 잘 보존하는 장점이 있는 반면 비강수에코를 완벽히 제거 할 수 없는 단점이 있다.

두 품질관리 기술은 하나의 반사도 자료만을 입력 변수로 사용하여 품질관리를 수행하므로 품질관리 성 능에 한계가 존재한다. 이러한 한계점을 개선하고자 기상레이더센터는 지형에코가 필터링 되지 않은 시선 속도를 복원하여 퍼지 품질관리 알고리즘의 입력변수 로 활용하는 기술을 개발 중이며, 이 기술은 품질관 리 성능 향상에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 2013년 "범부처 융합 이중편파레이더 활 용 기술개발"사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Cha, J. W., H.-Y. Han, and J. S. Park, 2013: Current state and future plan of quality control and quantitative precipitation estimation for KMA weather radar data. *The Magazine of the IEEK*, **40**, 129-136 (in Korean).
- Cho, Y. H., G. Lee, K. E. Kim, and I. Zawadzki, 2006: Identification and removal of ground echoes and anomalous propagation using the characteristics of radar echoes. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 23, 1206-1222.
 - _____, ____, K. D. Ahn, Y. H. Lee, and D.-E. Chang, 2009: detection and elimination of Anomalous propagation and ground echo using fuzzy logic approach. *Proceeding of the Autumn Meeting of KMS*, 2009, 136-137.

GAMIC, 2008: Welcome to GAMIC. http://www.gamic.com.

- Gourley, J. J., P. Tabary, and J. P. du Chatelet, 2007: A fuzzy logic algorithm for the separation of precipitating from nonprecipitating echoes using polarimetric radar observations. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 24, 1439-1451.
- Grecu, M., and W. F. Krajewski, 2000: An efficient methodology for detection of anomalous propagation echoes in radar reflectivity data using neural networks. J. Atmos. Oceanic Technol., 17, 121-129.
- Han, H. Y., B. H. Heo, S. H. Jung, G. W. Lee, C. H. You, and J. H. Lee, 2011: Elimination of chaff echoes in reflectivity composite from an operational weather

radar network using infrared satellite data. *Atmo-sphere*, **21**, 285-301.

- Hubbert, J. C., M. Dixon, and S. M. Ellis, 2009: Weather radar ground clutter. Part II: Real-time identification and filtering. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 26, 1181-1197.
- Jung, S.-H., and G. Lee, 2010: Statistical characteristics of atmospheric conditions related to radar beam propagation using radiosonde data in 2005-2006. *J. Korean Earth Sci. Soc.*, **31**, 584-599.
- Kessinger, C., S. Ellis, and J. V. Andel, 2003: The radar echo classifier: A fuzzy logic algorithm for the WSR-88D. Proc. 3rd Conf. on Artificial Intelligence Applications to the Environmental Science, Long Beach, CA, Amer. Meteor. Soc., pp 1.6.
- Kwon, S., G. Lee, S.-H. Jung, H.-S. Park, M.-K. Suk, J. W. Cha, and C.-K. Lee, 2013: Precipitation estimation campaign: comparison of quality control for radar data and estimation technics. *Proceedings of the Spring Meeting of KMS*, 2013, 120-121 (in Korean).
- Lakshmanan, V., A. Fritz, T. Smith, K. Hondl, and G. Stumpf, 2007: An automated technique to quality control radar reflectivity data. J. Appl. Meteor. Climatol., 46, 288-305.
- Lee, Y. J., C.-H. You, J.-H. Lee, and B. S. Kim, 2004: Quality control system development of radar data in KMA. *Proceedings of the Autumn Meeting of KMS*, 2004, 88-89 (in Korean).
- Nicol, J. C., A. J. Illingworth, T. Darlington, and J. Sugier, 2011: Techniques for improving ground clutter identification. *Proc. Symp. Weather Radar and Hydrol.*, Exter, UK.
- Rinehart, R. E., 2010: *Radar for Meteorologists*. Fifth edition Rinehart Publishing, 482 pp.
- Siggia, A., and R. Passarelli, 2004: Gaussian model adaptive processing (GMAP) for improved ground clutter cancellation and moment calculation. Proc. Third European Conf. on Radar in Meteorology and Hydrology, Visiby, Sweden, Copernicus GmBH, 67-73.
- Steiner, M., and J. Smith, 2002: Use of three-dimensional reflectivity structure for automated detection and removal of nonprecipitating echoes in radar data. J. Atmos. Oceanic Technol., 19, 673-686.
- WRC, 2013: Weather radar data analysis guidance. WRC technical notes WRC 2013-02, 71 pp (in Korean).
- You, C.-H., W. G. Kim, J.-H. Lee, D. I. Lee, and K. E. Kim, 2006: Single polarization radar data quality control algorithm. *Proceedings of the Spring Meeting* of KMS, 2006, 150-151 (in Korean).