

## 국지적 기상 레이다에서의 기상 변화 탐지 방법 분석

이종길\*

### Analysis of Detection Method for the Weather Change in a Local Weather Radar

Jonggil Lee\*

\*Professor, Department of Information and Telecommunication Engineering, Incheon National University, Incheon, 22012 Korea

#### 요 약

대부분의 기상 레이다 시스템은 중장거리용으로 매우 넓은 지역의 전체적인 기상 현상을 파악하는 목적으로 사용된다. 그러나 최근에 와서는 국지적인 재난현상의 빈발 가능성이 높아짐에 따라 국지적인 기상 레이다를 활용한 기상이변 현상의 탐지가 매우 중요한 문제이다. 따라서 이러한 국지적인 기상 이변 탐지목적의 기상 레이다는 저고도 탐지 및 급변하는 기상상황의 빠른 탐지가 필요하다. 또한 상대적으로 지표면 클러터가 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 본 논문에서는 풍속의 변화정도 및 거리에 따른 풍속의 변화율을 이용하여 돌풍 및 풍속 전단현상 등의 급변하는 기상 위험 등을 탐지할 수 있는 방법을 제안하고 분석하였다. 제안한 방법은 탐지과정에서의 지표면 클러터에 의한 영향을 최소화 할 수 있고 빠른 탐지를 위한 간단한 알고리즘 구현이 가능한 방식으로 향후 기상변화 탐지에 유용하게 활용될 수 있음을 보였다.

#### ABSTRACT

Most of weather radar systems are used to monitor the whole weather situation for the very wide and medium-to-long range area. However, as the likelihood of occurrence of the local weather hazards is increased in recent days, it is very important to detect these wether phenomena with a local weather radar. For this purpose, it is necessary to detect the fast varying low altitude weather conditions and the effect of the ground surface clutter is more evident. Therefore, in this paper, the newly suggested method is explained and analyzed for detection of weather hazards such as the gust and wind shear using the fluctuation of wind velocities and the gradient of wind velocities among range cells. It is shown that the suggested method can be used efficiently in the future for faster detection of weather change through the simple algorithm implementation and also the effect of the ground clutter can be minimized in the detection procedure.

**키워드** : 풍속 급변, 저고도 기상 탐지, 국지적 기상 변화, 기상 레이다

**Keywords** : The abrupt shift of wind speed, Detection of low elevation weather, Local weather change, A weather radar

Received 11 July 2021, Revised 23 July 2021, Accepted 20 September 2021

\*Corresponding Author Jonggil Lee(E-mail:jnglee@inu.ac.kr, Tel:+82-32-835-8286)

Professor, Department of Information and Telecommunication Engineering, Incheon National University, Incheon, 22012 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.10.1345>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

전자파를 활용한 민수용 기상 레이더 시스템은 지금까지 다양한 목적으로 널리 활용되어왔다. 현재 우리나라에서 운용되고 있는 대부분의 기상 레이더는 중장거리용으로 매우 넓은 영역에 걸친 기상 상황을 파악하는 목적으로 유용하게 활용되고 있다. 그러나 최근에 자주 발생되고 있는 국지적 기상이변 현상 등의 탐지 및 예보, 조기 경보 등의 목적에는 적합하지 않다. 따라서 기존의 중장거리 기상레이더로 파악하기 어려운 영역들을 국지적인 기상 레이더들을 이용하여 더 세밀하게 보완할 수 있는 방법들이 지속적으로 연구되고 있다[1-4]. 이러한 단거리 기상 레이더 시스템이 담당하는 영역은 기존의 중장거리 레이더로 관측이 어려운 저고도 및 매우 소규모로 발생하는 돌풍 등의 급변하는 기상 현상들이다. 따라서 빠른 기상신호 획득 및 처리뿐만 아니라 높은 해상도가 요구된다. 또한 저고도 탐지의 특성상 강력한 지표면 클러터의 영향을 받게 된다. 특히 지역적으로 발생하는 돌풍 및 풍속의 급변 현상에 의하여 발생할 수 있는 헬기 및 항공기 등의 사고나 인명피해 및 재산손실 등을 방지하기 위해서는 이러한 풍속의 변화정도를 신속하게 탐지하여 조기에 위험 영역에 대한 정보를 알려주는 것이 매우 중요하다. 따라서 이러한 목적의 기상 레이더에서는 탐지 영역의 공백을 메우기 위하여 저고도 탐지가 가능하여야 할뿐만 아니라 빠른 기상 변화 현상을 실시간으로 파악하여 급변하는 풍속 정보들에 의한 특징적인 현상을 추출하여 재난예보나 위험사항들을 사전에 알려줄 수 있어야 할 것이다[5-6].

앞에서 언급한 바와 같이 이러한 목적의 국지적인 기상 레이더의 경우 저고도 탐지가 필수적인데 시스템 운용환경을 고려하여 보면 우리나라의 지형 특성상 강력한 지표면 반사에 의한 클러터가 기상정보를 왜곡시킬 가능성이 매우 높다. 또한 풍속 정보는 일반적으로 기상 반사 신호의 도플러 전력스펙트럼에서의 평균 도플러 주파수 값을 계산하여 해당 영역에서의 풍속으로 나타내고 있으나 잔존하는 강력한 클러터에 의해 매우 큰 오차가 발생할 수 있다. 따라서 실제로 풍속의 급변 현상 등을 파악하기 위해서는 해당영역의 도플러 스펙트럼의 모드(mode)인 첨두치를 추정하여 풍속의 변화 정도를 탐지하는 것이 효율적이다.

그러므로 본 논문에서는 이러한 급변하는 풍속에 의

한 기상 위험 또는 기상 변화 현상의 탐지를 위하여 저고도 탐지용 국지적 기상 레이더에서의 풍속 정보를 보여주는 도플러 전력 스펙트럼에서의 모드들을 추정함으로써 기상변화에 따른 위험 현상의 조기 탐지 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 적용하면 강력한 지표면 또는 산악에 의한 클러터가 존재하는 경우에도 풍속의 변화정도를 매우 정확하게 파악하여 기상 변화에 의한 위험 현상을 조기에 탐지할 수 있는 가능성을 제시하였다.

## II. 기상 신호에서의 도플러 주파수 추정

기상 레이더 시스템에 수신되는 전자파 반사 신호는 눈, 비, 우박 등의 강우입자 및 대기 중의 먼지 입자의 산란에 의하여 일어난다. 그러므로 이러한 기상신호로부터 풍속 정보를 추출하기 위해서는 일반적으로 수신 도플러 전력 스펙트럼의 평균 도플러 주파수를 다음과 같이 계산하여 추정한다.

$$\hat{f}_d = \frac{\sum_{i=1}^N f_i \hat{s}(f_i)}{\sum_{i=1}^N \hat{s}(f_i)} \quad (1)$$

식 (1)에서의  $\hat{s}(f_i)$  는 추정된 도플러 전력 스펙트럼을 나타낸다. 이러한 풍속정보는 전체적인 도플러 스펙트럼 추정을 하지 않더라도 펄스 페어(pulse pair) 추정이라 불리는 방법을 적용하여 샘플링 시간,  $T_s$  에서의 자기상관(autocorrelation) 추정치를 이용하여 아래와 같이 구할 수도 있는데 알고리즘이 간단하고 연산량이 작기 때문에 아직도 많은 기상 레이더에서 활용되고 있는 방법이다[7].

$$\hat{f}_{pp} = \frac{1}{2\pi T_s} \arg[\hat{R}(T_s)] \quad (2)$$

식 (2)에서의  $\arg$  는 복소 자기상관 추정 값의 라디안으로 표시되는 위상을 의미하며 자기 상관 추정치,  $\hat{R}$  는 수신되는 시간 영역 기상 신호, S의 펄스열들로부터 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{R}(T_s) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} S^*(iT) S(iT + T_s) \quad (3)$$

식 (3)에서의 \* 는 켈레 복소수를 의미하며  $T$  및  $T_s$  는 각각 펄스열들 및 펄스 간의 간격을 표시한다. 그러나 이러한 방법들을 저고도 기상 탐지가 주목적인 국지적 기상레이더에 적용할 경우에는 잔존하는 강력한 지표면 클러터로 인하여 도플러 주파수 및 풍속정보 추정 에 심각한 왜곡을 발생 시킬 수 있다. 강력한 지표면이나 산악 클러터에 의한 반사파 전력이 기상 신호 전력에 비하여 커질수록 SCR(signal-to-clutter ratio)이 낮아지게 되며 이러한 경우 추정 오차는 더 커지게 된다. 그런데 눈, 비등의 강우입자들에 의한 기상신호의 반사전력이 나타나지 않고 대기 중의 먼지 입자 등에 의한 반사 전력만을 얻을 수 있는 경우와 같은 맑은 날씨의 시스템 운용 상황에서는 매우 낮은 SCR 값이 나타날 수 있다. 이러한 상황에서의 FFT(Fast Fourier Transform) 또는 펄스 패어 추정에 의한 풍속 정보는 거의 무의미한 값을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 도플러 스펙트럼의 모드인 침두치 값의 도플러 주파수를 추정함으로써 풍속의 변화정도를 탐지할 수 있는 기법을 제안하였다. 강력한 지표면 클러터가 존재하지 않는 경우에도 이러한 도플러 모드 추정은 매우 중요한 의미를 가지는데 이는 해당 영역의 풍속정보를 대표하는 값은 일반적으로 평균 도플러 주파수가 아닌 모드 도플러 주파수 값에 의해 결정된다고 보는 것이 보다 더 합리적이다.

따라서 돌풍 등의 풍속의 변화정도에 따른 위험현상을 탐지하기 위해서는 이러한 모드 값들에 의하여 대표되는 풍속들이 어느 정도로 급변하는지를 표시하기 위해서는 거리에 따른 풍속의 변화율을 나타낼 수 있는 다음과 같은 GR(gradient) 정보를 도출하여야 한다.

$$GR = \text{Gradient of wind speed} = \Delta V / \Delta R \quad (4)$$

식 (4)에서의  $\Delta R$  은 거리 셀 들 간의 거리를  $\Delta V$  는 해당 거리 셀들 간의 풍속의 차이를 나타낸다. 따라서 이러한 풍속 변화에 따른 공간상의 GR 값이 클수록 풍속의 순간 변화가 해당 영역에서 크게 발생한다는 것을 의미한다. 따라서 돌풍 또는 풍속에 따른 전단 현상(wind shear)에 의하여 심각한 위험이 초래될 가능성이 높다고 할 수 있다. 이러한 기상 현상을 예견할 수 있는 또 하나의 척도는 특정 지역에서의 평균 풍속에 대한 변동성 정도(degree of fluctuation) 라고 할 수 있다. 국지적 기상 레이더의 경우 운영목적의 특성상 거리 해상도가 매우

높기 때문에 해당 영역에서의 평균 풍속을 중심으로 변동성 정도를 표시한다면 풍속의 급변에 따른 기상위험 현상을 탐지하는 유용한 지표가 될 수 있다. 이와 같은 변동성(FL: fluctuation) 정도는 해당 거리 셀 영역에서의 평균 속도와와의 차이의 제곱을 이용하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$FL = \sqrt{\sum_{l=1}^K (\hat{V}_l - \bar{V})^2 / K} \quad (5)$$

식 (5)에서의  $\hat{V}_l$  은 거리 셀, L 에서의 도플러 주파수 추정에 의한 풍속 추정치를 의미한다. 또한  $\bar{V}$  는 K 개의 해당 거리영역 셀들에서의 평균 풍속 값을 나타낸다. 이러한 FL-GR(fluctuation-gradient) 값들은 일반적인 경우에 대부분 선형적인 상관관계로 표시될 것으로 예상할 수 있으나 그렇지 않은 기상현상도 다수 발생할 수 있다. 따라서 위험 값을 계산할 때 이러한 파라미터 값들을 활용하여 정규화한 NFL-NGR(normalized fluctuation-gradient) 평면에서의 원점으로부터의 거리를 위험 값으로 결정하는 것이 가장 적절할 것이다. 따라서 기상변화나 급변현상의 위험 정도를 판단하기 위한 위험 값 RV(risk value)를 다음과 같이 제안하였다.

$$RV = \sqrt{(NFL)^2 + (NGR)^2} \quad (6)$$

식 (6) 에서의 NFL 및 NGR 은 최대치를 1로 정규화한 FL 및 GR 값들을 의미한다. 그러므로 이러한 파라미터 값들을 이용하면 결정 평면(decision plane)에서의 원점에서 부터의 거리를 기준 값으로 하여 기상변화나 급변에 따른 위험 정도를 용이하게 판단할 수 있을 것이다.

이제 다음 장에서는 이러한 기상위험이나 변화 현상을 나타내는 파라미터 값들을 얻기 위해서 먼저 침두치 추정을 통한 풍속정보 추출 방법에 대하여 고찰하였다.

### III. 스펙트럼 모드 추정 및 분석

기상 신호의 침두치인 스펙트럼 모드를 추정할 수 있는 방법에는 몇 가지 종류가 있으나 여기에서는 AWGN (additive white Gaussian noise)으로 표시되는 일반적인 배경잡음에서 가장 탁월한 성능을 보일 수 있는 고유해석(eigen analysis) 기법을 적용하였다[8]. 신호 부 공간

고유벡터 (signal subspace eigenvectors) 와 잡음 부 공간 벡터와는 직교한다는 특성을 이용하여 신호의 주파수 성분을 분리하여 추출하는 방식이다. M개의 복소 정현파 (complex sinusoids) 신호와 하나의 잡음 부 공간 고유벡터만을 고려한다면 수신된 기상 신호의 M+1개의 자기상관 추정치 (autocorrelation estimates) 행렬로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{R}_{M+1} \mathbf{v}_{M+1} = \rho \mathbf{v}_{M+1} \quad (7)$$

식 (7)에서  $\hat{R}$ 은 자기상관 추정치를  $\mathbf{v}$  는 하나의 잡음 부 공간 벡터를  $\rho$  는 배경잡음 관련 고유 값(eigen value)을 나타낸다. 식 (7)의 고유 벡터를 구하면 다음과 같은 식의 근을 구하는 방법으로 기상 신호의 침투 주파수를 추정할 수 있다.

$$\mathbf{s}_i^H \mathbf{v}_{M+1} = \sum_{k=1}^{M+1} v_{M+1}[k] \exp(-j2\pi f_i k T) = 0 \quad (8)$$

식 (8)에서  $\mathbf{s}_i$  는 dimension M+1 을 갖는 신호벡터를  $H$ 는 conjugate transpose 를 의미한다.

이제 이러한 방법을 적용하여 전형적인 수신 기상 신호들의 모드 도플러 주파수를 추정하여 보았다. 국지적인 기상 레이더 수신 신호에는 강력한 지표면 클러터가 잔존하는 경우가 빈번하게 발생할 수 있으므로 잔존 클러터를 포함하는 다양한 기상 도플러 신호들의 모의 구현을 통하여[9] 클러터와 풍속을 나타내는 도플러 스펙트럼 모드 추정 값들을 표시하였다. 그림 1에서 SCR 값이 0dB 로 기상신호 전력과 잔존 클러터 전력이 거의 유사하게 나타나는 경우를 나타내었다. 또한 그림 2에서는 SCR 값이 -10 dB 로 클러터 잔존 전력이 기상 신호에 비하여 높게 나타나는 경우를 표시하였다. 결과 그림들로부터 알 수 있는 바와 같이 모든 상황에서 지표면 잔존 클러터 및 기상 도플러 모드 추정치들이 정확하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

이제 이러한 방법을 이용하여 기상 스펙트럼 및 잔존 클러터의 모드를 추정함으로써 거리 별 풍속 정보 및 잔존 클러터 정보가 어떻게 나타나는지 살펴보았다. 그림 3에서는 SCR이 0dB인 경우에 앞에서와 같이 각 거리 방(range cell) 별 모의 구현된 기상 스펙트럼에서의 정확한 풍속정보와 식 (1)의 FFT 방법을 이용하여 계산한 도플러 주파수 추정에 의한 평균 풍속 추정치들을 같이

표시하였다.

그림 3의 결과는 기상 신호전력이 상대적으로 약하여 잔존 클러터 전력과 동일하게 나타나는 경우이다. 따라서 결과 그림에서 보는 것처럼 FFT 에 의한 풍속 추정치는 참값과는 큰 오차가 발생하고 있음을 알 수 있다.

그러나 모드 추정의 경우에는 그림 4의 결과에서처럼 거의 정확하게 잔존 클러터와 기상 도플러 스펙트럼의 모드들을 추정하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 4에서는 두 개의 모드 추정 값에서 강한 쪽과 약한 쪽이 번갈아서 나타나는데 잔존 클러터와 기상 신호전력이 동일하여 상대적인 추정 전력 값이 거의 유사하기 때문에 나타나는 현상으로 모드 추정치의 정확도에는 문제가 없음을 알 수 있다.

모드 추정에 의한 풍속 추정치의 정확도에 대한 확실한 검증을 위하여 이제 잔존 클러터가 더 강력하게 나타나는 경우를 살펴보았다. 비, 구름 등을 동반하지 않는 기상신호전력은 매우 약하게 나타나는 경우가 빈번하게 발생하며 이러한 상황에서는 강력한 지표면 반사에 의한 잔존 클러터가 훨씬 크게 나타날 수 있다. 그림 5에서의 경우와 같이 지표면 반사에 의한 잔존 클러터가 훨씬 크게 나타나는 경우에는 기존의 FFT 에 의한 풍속 추정치는 그림 5에서 보는 것처럼 실제 풍속 값과는 전혀 다른 거의 무의미한 추정치들을 나타낸다. 그러나 그림 6의 풍속 모드 추정치들은 강력한 잔존 클러터에도 불구하고 클러터의 모드 추정치와 기상 도플러 모드 추정치들을 비교적 정확하게 보여준다.

그러므로 이러한 모드 추정 방법을 이용하면 국지적 기상 레이더 운용환경에서와 같이 강력한 잔존 클러터가 존재하는 상황에서도 기상 도플러 스펙트럼 주파수의 추정에 의한 풍속 추정을 비교적 정확하게 할 수 있음을 알 수 있다.

이제 이러한 모드 추정치들을 이용하여 앞에서 설명한 기상 변화나 기상 위험 탐지를 위한 파라미터 값 추출에 적용하여 그 결과 값들을 고찰하고자 한다. 따라서 이러한 분석을 위하여 거리 방에 따른 15개의 서로 다른 풍속 변화 현상을 SCR 값을 변화시키면서 모의 구현 하였다.

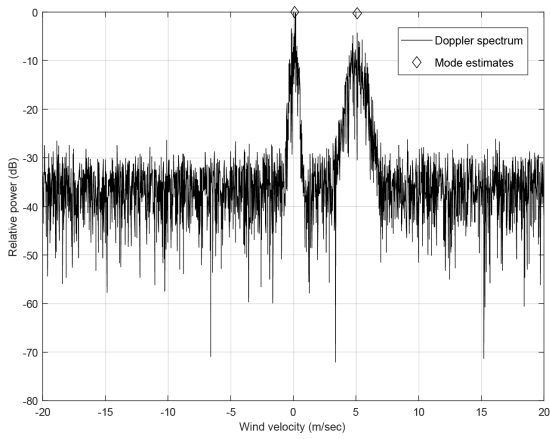


Fig. 1 Mode estimates of the weather Doppler spectrum with SCR of 0dB

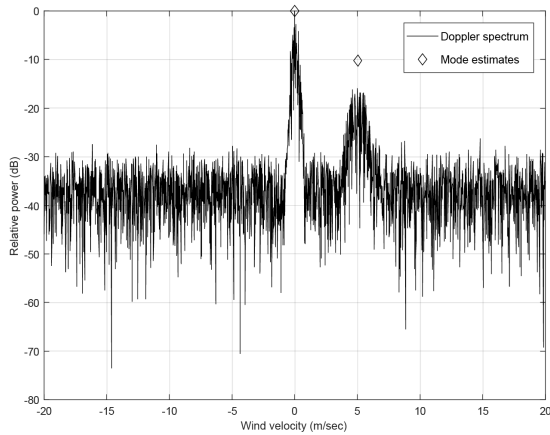


Fig. 2 Mode estimates of the weather Doppler spectrum with SCR of -10dB

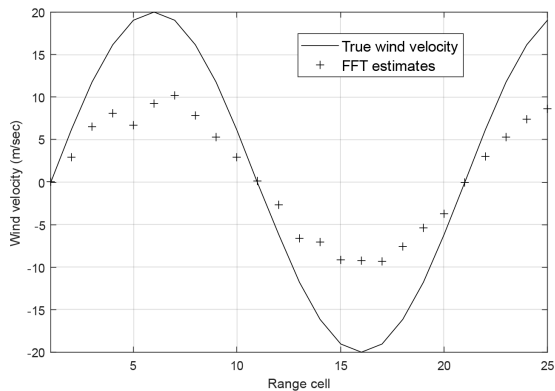


Fig. 3 True wind velocity and FFT estimates of 25 range cells with SCR of 0dB

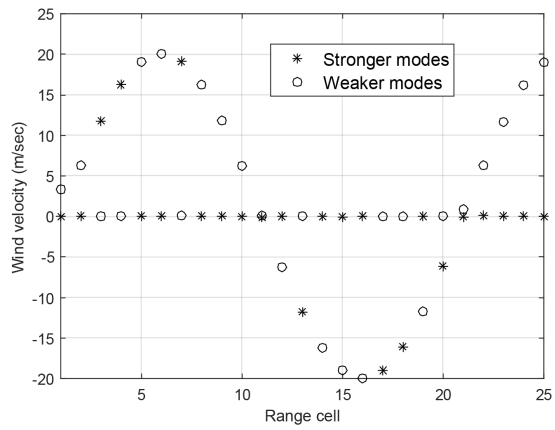


Fig. 4 Stronger and weaker modes estimation of 25 range cells with SCR of 0dB

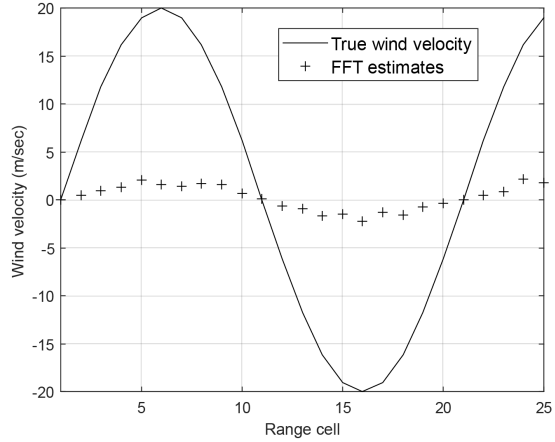


Fig. 5 True wind velocity and FFT estimates of 25 range cells with SCR of -10dB

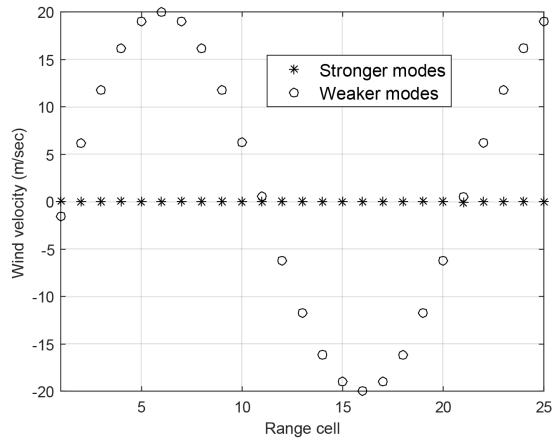


Fig. 6 Stronger and weaker modes estimation of 25 range cells with SCR of -10dB

#### IV. 기상 변화 탐지 결과 분석 및 고찰

앞장에서 설명한 바와 같이 모드 추정을 통한 기상 급변 현상 등의 탐지를 위하여 식 (4) 및 식(5)에서 정의한 풍속에서의 GR 과 FL 값들을 추출하여 기상 위험 현상 등을 분석하여 보았다. 국지적 기상 레이더의 특성상 강력한 지표면 반사에 의한 잔존 클러터가 존재하기 때문에 각 거리 방별 두 개의 모드 추정치들을 도출하였으며 이러한 추정치 값들을 이용하여 GR 과 FL 파라미터 값들을 계산하였다. 여기에서는 20개의 거리 방을 가정하여 배경잡음을 포함하는 SCR 에 따라 각 거리 방 별 기상 신호를 모의 구현하였다. 모의실험에서의 SCR 파라미터 값은 각각 10dB, 0dB, -10dB 로 선정하였으며 20개의 거리 방에 따른 풍속은 최대 절대치 풍속에 따라 그림 3이나 그림 5와 같이 풍속의 변화정도가 사인파 형태로 반대 방향의 풍속이 거의 대칭적으로 표시되는 경우를 가정하였다. 또한 풍속의 최대 절대치를 2 m/sec 에서 30 m/sec 까지 2 m/sec 간격으로 증가시키면서 20개의 거리 방에 대한 FL과 GR을 추출하여 SCR에 따른 총 15개 경우의 기상 변화 현상에 대한 파라미터 값들을 도시하였다.

여기서 기상 신호에 대한 GR은 20개의 거리 방에서의 풍속의 최대차이를 거리구간으로 나누어서 표현하였으며 FL은 풍속의 평균값을 구한 후 계산하였다. 잔존 클러터로 인하여 각 거리 방 별로 두 개의 모드 추정치가 얻어지나 잔존 클러터에 의한 모드 추정치는 풍속이 거의 0 으로 모두 나타나기 때문에 이러한 값들을 모두 포함하여도 GR과 FL 파라미터 값 추출에 미치는 영향은 거의 없다고 할 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 SCR 값을 변화시키면서 각각에 대한 최대 풍속 값을 다르게 하여 각 파라미터 값들을 추출함으로써 기상 변화 또는 급변 현상 등에 관련된 기상 위험 탐지 가능성을 검증하였다. 그림 7은 SCR 이 10dB 인 경우로 그림 7에서 알 수 있는 것처럼 풍속의 최대치가 증가함에 따라 GR과 FL이 모두 선형적으로 증가하는 형태로 나타남을 볼 수 있다.

모의실험에서 가정한 풍속 변화정도의 특징적인 현상으로서 모든 기상위험 현상에서 GR과 FL 이 선형적으로 나타난다고 할 수는 없다. 때로는 GR과 FL 관계가 상반되게 나타나는 기상위험 현상도 발생할 수 있다. 따라서 두 개의 기상 위험 지표인 GR과 FL을 모두 감안하

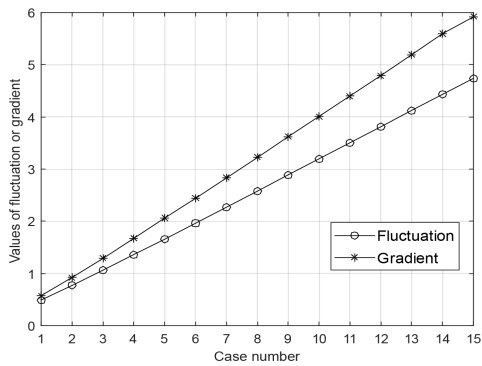
여 기상 급변 현상에 대한 결정 및 사전 경보를 제공하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 이러한 방식은 기상 변화 위험에 대한 탐지 확률 및 신뢰성을 높이고 불필요한 경보를 줄일 수 있을 것이다. 따라서 그림 8에서는 NFL-NGR 평면상에서의 15개의 케이스에 대한 위험 값들을 표시하였다. 또한 위험 값, RV(risk values)들의 변화하는 양상을 확인하기 위하여 원점으로부터 같은 거리를 갖는 서클의 반경(radius)들을 식 (6)을 이용하여 계산한 후 동일 위험 값들을 나타내는 등고선(contour) 형태로 그림 8에 같이 표시하였다.

그림 8에서 알 수 있는 것처럼 결정 평면상의 원점과 위험 파라미터들에 의해 표시된 점과의 거리가 멀어질수록 위험 정도를 나타내는 위험 값이 증가한다는 것을 알 수 있다. 그림 8에서는 케이스별로 표시되는 평면상에서의 점과 원점사이의 거리를 표시하는 위험 값들이 선형적으로 증가하고 있는 사례들을 보여주고 있음을 확인할 수 있다.

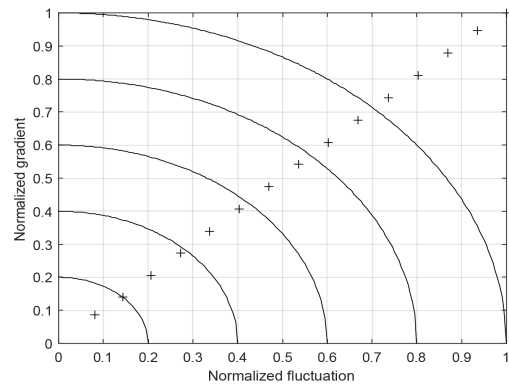
동일한 모의 기상현상에서 SCR 값이 0dB 인 경우에서의 15개의 케이스들에 대한 FL과 GR 값들을 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 확인할 수 있는 것처럼 잔존 클러터와 기상 신호 전력이 거의 같은 열악한 SCR 값을 보이는 상황에서도 FL과 GR 값이 그림 7의 결과 값들과 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 10의 결과에서 보는 것처럼 NFL-NGR 평면상에 표시한 위험 값인 RV 값들도 거의 동일하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

그림 11에서는 강력한 잔존 클러터 때문에 기상신호 수신 전력의 SCR 이 -10dB 로 나타나는 매우 열악한 경우를 살펴보았다. 주로 비구름을 동반하지 않는 맑은 날씨인 경우에 해당되나 이러한 상황에서도 풍속 급변 등의 기상변화에 의한 위험현상이 발생할 가능성이 상존하므로 이러한 현상의 탐지를 위한 파라미터 값들이 제대로 추출되고 있는지를 확인하였다.

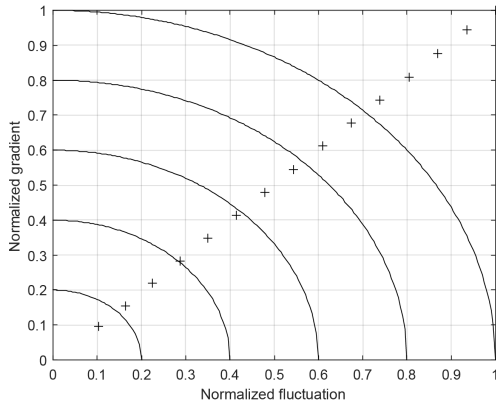
그림 11의 결과에서 보는 것처럼 매우 낮은 SCR 값에도 불구하고 FL 및 GR 값들이 그림 7에서와 같이 제대로 추출되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 그림 12의 결과에서 알 수 있는 것처럼 두 개의 정규화 된 파라미터들을 이용한 NFL-NGR 평면상에 표시된 점들로부터의 각 경우 별 위험 값들도 SCR에 무관하게 거의 동일하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.



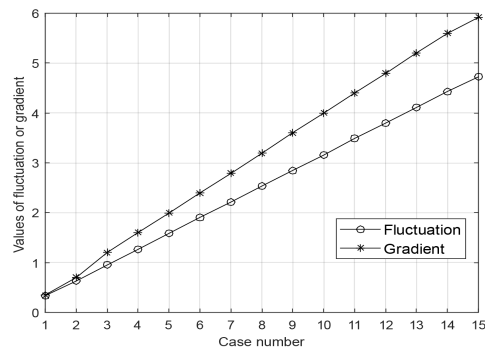
**Fig. 7** Gradient and fluctuation values calculated from mode estimates of 20 range cells for 15 cases having different absolute maximal wind velocities with SCR of 10dB



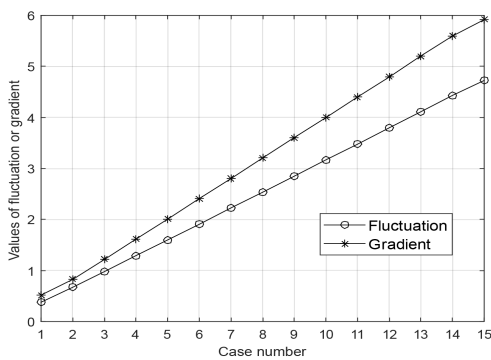
**Fig. 10** Normalized fluctuation and gradient values for 15 cases having different absolute maximal wind velocities with SCR of 0dB



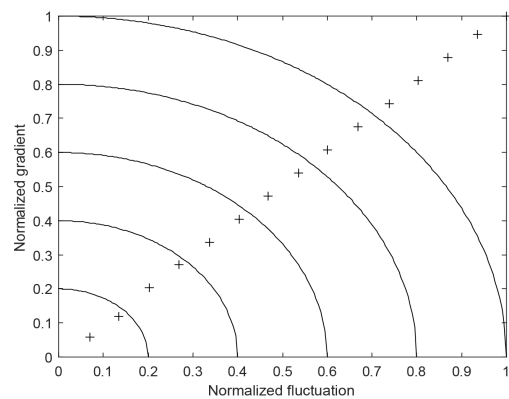
**Fig. 8** Normalized fluctuation and gradient values for 15 cases having different absolute maximal wind velocities with SCR of 10dB



**Fig. 11** Gradient and fluctuation values calculated from mode estimates of 20 range cells for 15 cases having different absolute maximal wind velocities with SCR of -10dB



**Fig. 9** Gradient and fluctuation values calculated from mode estimates of 20 range cells for 15 cases having different absolute maximal wind velocities with SCR of 0dB



**Fig. 12** Normalized fluctuation and gradient values for 15 cases having different absolute maximal wind velocities with SCR of -10dB

## V. 결론

국지적 기상 레이다는 저고도에서 자주 발생하는 돌풍이나 순간적인 폭우 등 위험을 초래하는 기상 변화 현상들을 탐지하고 감시 및 추적하여 재난 방지를 위한 조기 경보용으로 활용되어질 시스템이다. 그러나 국지적 기상 레이다의 가장 큰 문제점은 낮은 빔 고각으로 인한 강력한 지표면 클러터의 잔존 가능성이 매우 높다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 SCR 값에 거의 영향을 받지 않으면서도 풍속의 급변 현상이나 돌풍 등에 의해 발생하는 위험 현상들을 조기에 알려줄 수 있는 기상 변화 탐지 방법을 제안하였다. 그림의 결과들에서 알 수 있는 바와 같이 모드 추정에 의한 FL 및 GR 파라미터 추출 후 위험 값을 계산하는 방식은 SCR 값에 매우 강인한 특성을 가질 수 있음을 보였다.

향후 연구에서는 다양한 실제적인 기상 위험 상황에서의 측정 데이터들을 획득하여 제안한 방법의 효용성 및 적용 가능성 등을 추가적으로 검증할 계획이다.

### ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Incheon National University Research Grant in 2020.

## REFERENCES

- [ 1 ] J. A. Ortiz, J. L. Salazar-Cerreno, J. D. Díaz, R. M. Lebrón, N. A. Aboserwal, and L. Jeon, "Low-Cost CMOS Active Array Solution for Highly Dense X-Band Weather Radar Network," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 68, no. 7, pp. 5421-5430, July. 2020.
- [ 2 ] A. D. Byrd, R. D. Palmer, and C. J. Fulton, "Development of a Low-Cost Multistatic Passive Weather Radar Network," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 58, no. 4, pp. 2796-2808, Apr. 2020.
- [ 3 ] S. Turso, T. Bertuch, S. Brüggewirth, A. Danklmayer, and P. Knott, "Electronically steered cognitive weather radar - a technology perspective," in *Proceedings of 2017 IEEE Radar Conference*, Seattle: WA, pp. 563-566, 2017.
- [ 4 ] P. Kollias, D. J. McLaughlin, S. Frasier, M. Oue, E. Luke, and A. Sneddon, "Advances and applications in low-power phased array X-band weather radars," in *Proceedings of 2018 IEEE Radar Conference*, Oklahoma City: OK, pp. 1359-1364, 2018.
- [ 5 ] J. Cai, Y. Zhang, R. J. Doviak, Y. Shrestha, and P. W. Chan, "Diagnosis and Classification of Typhoon-Associated Low-Altitude Turbulence Using HKO-TDWR Radar Observations and Machine Learning," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 57, no. 6, pp. 3633-3648, June. 2019.
- [ 6 ] S. Pulkkinen, V. Chandrasekar, and A. -M. Harri, "Nowcasting of Precipitation in the High-Resolution Dallas - Fort Worth (DFW) Urban Radar Remote Sensing Network," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 11, no. 8, pp. 2773-2787, Aug. 2018.
- [ 7 ] D. S. Zrnica, "Estimation of spectral moments for weather echoes," *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, vol. 17, no. 4, pp. 113-128, Oct. 1979.
- [ 8 ] V. F. Pisarenko, "The retrieval of harmonics from a covariance function," *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, vol. 33, no. 3, pp. 347-366, Sept. 1973.
- [ 9 ] J. Lee, "The efficient clutter simulation method for airborne radars," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 23, no. 9, pp. 1123-1130, Sept. 2019.



이종길(Jonggil Lee)

1990년 5월 미국 Clemson University, Electrical Eng. (Ph.D.)

1991년 1월~1993년 2월 삼성전자 특수연구소

1993년 3월~현재 인천대학교 정보통신공학과 교수

※관심분야: 무선통신, 레이다 신호처리, 레이다 시스템