

## 항공기 탑재 AESA 레이더의 비행 시험을 통한 DBS 영상 형성

### Doppler Beam Sharpening Image Formation through Flight Trials of Airborne Active Electronically Scanned Array Radar

김태형 · 유성현 · 신종환 · 강연덕 · 장성훈\* · 김선주\*

Tae-Hyung Kim · Seong-Hyun Ryu · Jong-Hwan Shin · Yeon-Duk Kang · Sung-Hoon Jang\* · Seon-Joo Kim\*

#### 요 약

AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더를 항공기에 탑재하여 비행을 통해 DBS(Doppler Beam Sharpening) 영상을 획득한 시험 결과를 제시한다. AESA 레이더를 이용하여 DBS 영상을 획득할 때 AESA 레이더의 빔 운용 특징을 고려한 빔 운용 및 영상 형성 방법을 설계하였으며, 요구되는 방위각 해상도의 영상을 얻기 위한 PRF(Pulse Repetition Frequency) 및 파형 선정 방법에 대하여 기술한다. DBS 영상 형성을 위해 설계한 DBS 영상 구현 단계를 제시하고, 그 주요 단계에 대하여 기술한다. AESA 레이더를 수송기의 램프도어에 설치하여 비행을 통해 DBS 영상을 획득한 방법을 기술하고, 그 획득한 영상 결과들을 항공 지형 사진과 비교하여 보여준다.

#### Abstract

This study presents the results of the acquisitions of Doppler beam sharpening(DBS) images, obtained through flight trials of the airborne active electronically scanned array(AESA) radar. To use the AESA radar for DBS image acquisition, we designed methods for beam operation and image formation considering the beam operation peculiarities of the AESA radar. Selection methods of pulse repetition frequency(PRF) and waveforms to achieve the required azimuth resolution of the images are described, and the steps for implementation of our image formation method are presented and explained. Under the condition of mounting the AESA radar on the ramp door of cargo plane, methods for obtaining DBS images through flight trials are also explained, and the obtained images are compared with aerial ground photographs.

Key words: DBS, Airborne AESA Radar, Flight Test, Air To Ground, Ground Images

#### I. 서 론

DBS(Doppler beam sharpening)는 공대지 모드에서 항공기 펄스 도플러 레이더의 방위각 해상도를 높이는 기술이다. 안테나의 방위 방향 빔 폭 안에 들어오는 지면에 대

한 레이더 반사 신호의 세부적인 방위 방향별 도플러 차이를 이용하여 지면을 보다 세밀하게 나누어 봄으로써 방위각 해상도를 높인다. 기존의 기계식 조향 레이더는 DBS 영상을 획득하기 위해 영상을 획득할 지면 영역을 일정한 방위 방향 속도로 스캔하면서 펄스(pulse)를 송신

LIG넥스원(주) (LIG Nex1 Co., Ltd.)

\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received June 24 2019 ; Revised August 15, 2019 ; Accepted August 21, 2019. (ID No. 20190624-061)

· Corresponding Author: Tae-Hyung Kim (e-mail: thkim07@gmail.com)

하며, 펄스 단위로 빔을 조향하여 스캔한다고 볼 수 있다<sup>[1]</sup>. 그러나 본 논문의 전자식 조향을 하는 AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더는 아주 짧은 펄스 단위로는 빔 조향을 하지 않고 버스트(burst) 단위로 빔을 조향한다. 즉, 영상을 획득할 지면 영역을 버스트 단위로 조향하여 특정 방위 방향 간격으로 스캔한다. 이러한 AESA 레이더의 빔 운용 특징을 고려하여 DBS 영상 형성 단계 및 방법을 설계하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 AESA 레이더를 이용한 DBS 영상 형성 기능 구현을 위해 설계한 DBS 영상 구현 단계를 제시하고, 그 주요 단계의 기능 및 알고리즘을 기술한다.

본 논문에서 제시한 DBS 영상 형성 방법으로 비행 시험을 통해 획득한 DBS 영상 형성 결과를 제시한다. AESA 레이더를 수송기(cargo plane)의 후방에 설치하고 후방으로 송신 신호를 방사하여 DBS 영상 획득 시험을 하였다. 일반적으로 항공기 레이더는 항공기의 앞쪽에 장착되어 항공기가 이동하는 방향으로 빔을 방사하지만, 본 논문의 비행시험은 수송기의 뒤쪽으로 빔을 방사하면서 획득하므로 비행기의 이동방향과 빔의 방사방향이 반대가 된다. 이런 수송기 탑재 비행 시험 상황의 특성을 DBS 영상 형성 방법에 반영하여 비행시험을 수행하였다. 본 논문에서는 또한 비행을 통해 DBS 영상을 획득한 방법을 기술하고, 그 획득한 영상 결과들을 항공 지형 사진과 비교하여 보았으며, 비교 결과로 유용한 DBS 영상이 형성됨을 확인하였다. 비행 시험을 통해 AESA 레이더를 이용하여 DBS 영상을 획득한 사례는 이 시험 결과에서 제시한 것이 국내에서 최초이다.

## II. DBS 기술 개요

그림 1은 DBS 관련 기하학적 정의이다. 플랫폼은 지면과 수평을 이루면서 등속으로 비행한다고 가정한다. 플랫폼의 속도 벡터(vector)가 y와 z축이 이루고 있는 평면위에 있도록 3차원 xyz 좌표계를 정의한다. 플랫폼은 yz평면 위에서 움직이며, 현재로는 z축 위에 있다. 그림 1에서  $V_a$ 는 플랫폼 속도,  $H_a$ 는 플랫폼 고도, RP(reference point)는 지상위의 한 지점,  $\alpha_k$ 는 플랫폼 및 y축 기준에서 RP의 방위각(azimuth angle),  $\beta_H$ 는 플랫폼 및 z축 기준에서 RP

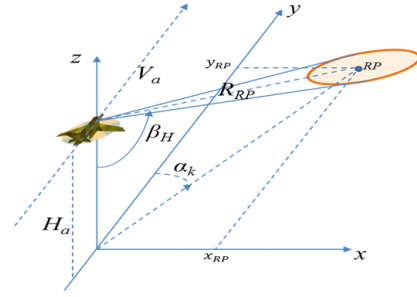


그림 1. DBS 관련 기하학적 정의  
Fig. 1. Geometry for DBS.

의 주사각(look angle),  $R_{RP}$ 는 플랫폼에서 RP까지의 거리, 그리고  $x_{RP}$ 와  $y_{RP}$ 는 RP의 x 및 y좌표이다.

그림 1의 정의에서 RP 지점의 도플러는 다음과 같다.

$$f_{D_{RP}} = \frac{2 V_a \sin \beta_H \cos \alpha_k}{\lambda} \quad (1)$$

여기서  $\lambda$ 는 전송 파장이다. 식 (1)에서 볼 수 있듯이  $\beta_H$ 가 고정된 상태에서  $\alpha_k$ 의 값이 달라지면 도플러 값이 달라진다. 즉, RP를 중심으로 안테나 빔을 조향할 때 안테나 빔 폭 안에서 RP와 동일 거리에 있는 지점들의 도플러 값이 다르며, 이런 빔 폭 안에 있는 각 지점들의 도플러 차이를 이용하여 방위 해상도를 높인 영상을 얻는다. 그림 1에서  $y_{RP}$ 는 다음 식으로 구할 수 있다<sup>[2]</sup>.

$$y_{RP} = \frac{\lambda R_{RP} f_{D_{RP}}}{2 V_a} \quad (2)$$

그러면  $x_{RP} = \sqrt{R_{RP}^2 - H_a^2 - y_{RP}^2}$ 이다.

$R_{RP}$  거리에서 요구되는 방위 방향 거리 해상도,  $\Delta CR$ , 또는 방위각 해상도,  $\Delta \alpha$ 가 결정되어 있으면, 요구되는 도플러 해상도,  $\Delta f_{d_k}$ 는 다음 식과 같다<sup>[2]</sup>.

$$\begin{aligned} \Delta f_{d_k} &= \frac{2 V_a}{\lambda} \Delta \alpha \sin \beta_H \sin \alpha_k \\ &= \frac{2 V_a}{\lambda} \frac{\Delta CR}{R_{RP}} \sin \beta_H \sin \alpha_k \end{aligned} \quad (3)$$

그러면 요구되는 조리개 시간(aperture time),  $T_a$ 는  $T_a = 1/\Delta f_{d_k}$ 이다.  $T_a$ 는 요구되는 도플러 해상도를 획득하기 위해 필요한 최소 버스트 시간으로 볼 수 있다.

### III. DBS 영상 구현 단계 및 알고리즘 설계

AESA 레이더를 이용한 DBS 영상 형성 기능 구현을 위해 설계한 DBS 영상 구현 단계는 그림 2와 같다. 먼저 사용자에게 의해 거리모드 및 영상형성 중심지점(central reference point: CRP) 지정이 이루어지면(designation of range mode and image formation center point), 거리모드에 따라 사전에 정의된 값으로 전시 지면 크기 및 요구해상도를 결정한다(decision of display surface size and required resolution). 사용자에게 의한 CRP의 지정은 RBGM(Real Beam Ground Map) 모드에서 RBGM 영상에서의 좌표를 기준으로 이루어지는데, 그림 3은 다기능 시현기(multi-function display: MFD) 상에 전시되는 RBGM 영상에 대한 좌표 정의를 설명하고 있다. 그림 3에서  $(x_{CRP}, y_{CRP})$ 는 지정된 CRP 지점의 좌표를 나타내며,  $(0,0)$ 은 플랫폼 바로 아래의 지면의 좌표이다. MFD 상의 RBGM 영상에서 맨 아래쪽 중심을  $(0,0)$ 로 정의하고, CRP의 좌표 값을 결정한 것이며, 플랫폼은 지면에서  $(0,0)$  위치의 상공에 위치하고 있는 것이다<sup>3)</sup>. CRP 지정에 따라 사전 정의된 전시 지면 크기의 DBS 영상을 획득하려면, 한 번의 버스트 빔으로 형성할 수 없기 때문에 여러 버스트에서 획득한 각 부 영상들을 패칭(patching)하여 DBS 영상을 형성해야 한다. 이런 사항과 AESA 레이더는 버스트 단위로 빔 조향을 한다는 특징을 고려하여 사전 정의된 크기의 전시 지면에 대한 DBS 영상을 획득하기 위한 방위 방향 버스트 빔의 개수와 안테나 빔 조향각 및 빔 그리드를 결정한다(decision

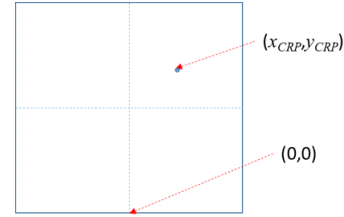


그림 3. MFD(다기능 시현기) 상의 DBS 영상 좌표 정의  
Fig. 3. Coordinates for DBS image upon MFD(Multi Function Display).

of beam steering angle and beam number/grid). 다시 말해서 버스트 빔의 개수 및 빔 그리드 등의 결정은 플랫폼 고도, CRP 좌표  $(x_{CRP}, y_{CRP})$ , 안테나 빔 폭 등의 정보를 이용하여 결정하며, 영상을 획득할 지면 영역을 버스트 단위로 조향하여 특정 방위 방향 간격으로 스캔한다. CRP 지정에 따라(거리모드에 따라) 사전 정의된 요구 방위 방향 해상도 정보에 의해 요구 도플러 해상도를 식 (3)으로 계산하고 조리개 시간 및 최소 요구 버스트 시간,  $T_a$ 를 계산하여 파형 결정에 이용한다(calculation of required Doppler resolution and aperture time). PRF(Pulse Repetition Frequency)는 식 (4)로 결정되는 가용 PRF 범위에서 결정한다(decision of PRF).

$$\frac{v_a \sin(\beta_{az}) \sin(\beta_H) \sin(\alpha_k)}{\lambda/2} \leq PRF \leq \frac{C/2}{(R_{\max} - R_{\min})} \quad (4)$$

여기서  $\beta_{az}$ 는 안테나 빔의 방위 방향 빔 폭,  $C$ 는 광속도, 그리고 식 (4)의  $\beta_H$ 와  $\alpha_k$ 는 CRP를 기준으로 했을 때의 값이다.  $R_{\min}$ 과  $R_{\max}$ 는  $R_{\min} = H_a / (\cos(\beta_H - \beta_{el}/2))$ ,  $R_{\max} = H_a / (\cos(\beta_H + \beta_{el}/2))$ 이며,  $\beta_{el}$ 은 안테나 빔의 고각 방향 빔 폭이다. 최소 요구 버스트 시간,  $T_a$ 와 식 (4)의 범위에서 선택한 PRF, 거리모드에 따라 사전에 정의한 펄스폭 등의 정보로 파형을 결정한다. 본 논문에서는 PRF 값의 최종적 선정은  $2v_a \sin(2\beta_{az}) \sin(\beta_H) \sin(\alpha_k) / \lambda$ 의 값으로 하였다. 이것은 식 (4)의 PRF 범위 하한치 계산식에 안테나 빔의 방위 방향 빔 폭의 2배 값을 적용했을 때의 값이다. 이런 선정의 이유는 안테나 빔의 주엽 영역 외에도 높은 이득을 가지는 부엽 영역에서 들어오는 반사 신호가 도플러 주파수 쪽에 겹쳐서(folded) 들어오는 것을 방지하

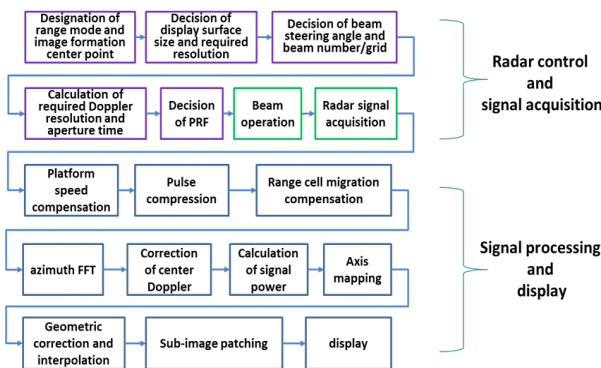


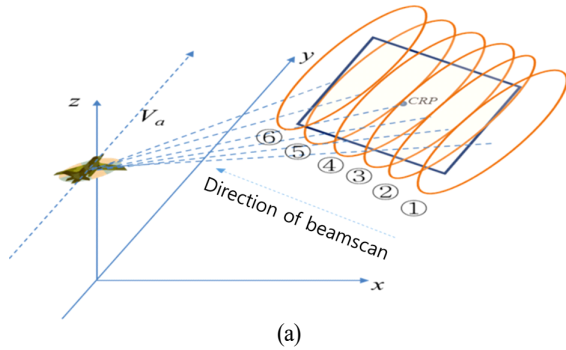
그림 2. DBS 영상 형성 처리 흐름

Fig. 2. The flow of processing for DBS image formation.

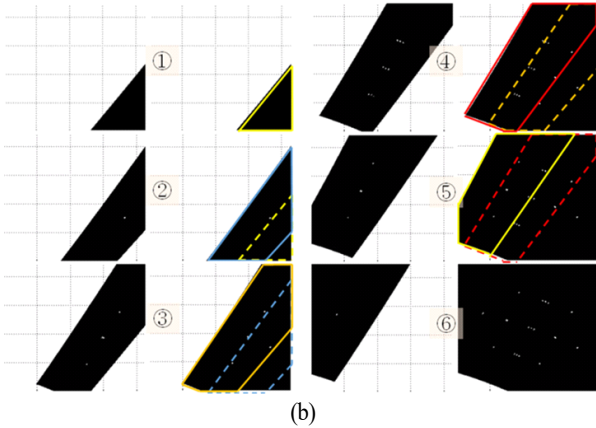
기 위함이다. 즉, 안테나 빔의 주엽뿐만 아니라, 일부 부엽 영역까지 강하게 들어오는 지면 반사 신호를 영상 형성에 사용하고, 나머지 부엽 영역에 들어오는 약한 지면 반사 신호를 무시할 수 있다는 것이다. 이렇게 PRF를 선정하고, 각 버스트에서 안테나 빔이 조사한 지면 영역에 대하여 버스트 간에 빔이 겹치는 영역이 넓도록 빔 그리드를 형성하였다. 이는 지면 반사 신호가 약할 수 있는 안테나 부엽 영역에서 획득되는 지면 영역의 영상이 빔 겹침 영역이 있는 바로 다음 버스트에서 확실히 형성되도록, 다음 버스트는 그 해당 지면 영역이 주엽에서 획득되도록 고려한 것이다. 이런 파형 및 빔 그리드가 결정되면, 통제제어를 통해 레이더 빔을 운용(*beam operation*)하여 레이더 신호를 획득(*radar signal acquisition*)하고 DBS 영상을 신호처리를 통해 형성 및 MFD에 전시한다.

그림 2의 플랫폼 속도보상(*platform speed compensation*)은 레이더 지면 반사 신호에서 플랫폼 속도에 의한 도플러를 없애는 것으로, 각 버스트에 대해서 안테나 빔 중심에 대한 지면 반사 신호의 도플러가 제로(*zero*) 도플러가 되도록 보상하는 것이다. 이것은 플랫폼 속도에 의한 도플러에 해당하는 매 펄스마다의 위상변화량을 레이더 획득 신호의 매 펄스마다 제거해 줌으로써 구현된다. 펄스 압축(*pulse compression*)은 경사 거리 해상도를 높이기 위함이다<sup>[2]</sup>. 버스트 별로 펄스마다 적용되는 거리 셀 이동보정(*range cell migration compensation*)은 플랫폼의 움직임에 의한 버스트 내의 펄스마다 동일 거리 셀에 대한 지면 반사 지점의 이동을 보상한다. 거리 셀 이동보정은 한 지점의 반사 신호가 버스트 내의 펄스마다 동일 거리 셀에 들어오게 한다. 거리 셀 이동보정은 각 버스트의 안테나 빔 중심에 대한 지면 반사 신호의 도플러 속도 값을 이용하여, 참고문헌 [4]에서 제시한 방법을 사용하여 구현된다. 방위방향 FFT(*Fast Fourier Transform*)는 각 버스트에 대해 도플러 처리<sup>[2]</sup>를 하는 것이다(*azimuth FFT*, 펄스들의 동일 거리 셀의 샘플링 데이터들에 대하여 FFT 처리를 한다). 중심 도플러 보정(*correction of center Doppler*)은 안테나 빔의 중심에 대한 지면 반사 신호의 도플러가 거리/도플러 맵(*map*)의 도플러 축에서 도플러 축의 가운데에 오도록 보정한다. 이것은 각 버스트에서 획득한 영상의 중심(안테나 빔의 중심에 해당하는 지면 영역)이 거

리/도플러 맵의 중심에 오도록 하기 위함으로, 방위방향 FFT까지 처리된 거리/도플러 데이터를 도플러 축 방향으로 PRF/2 만큼 원형 자리이동(*circular shift*)을 시킴으로써 구현된다. 신호전력 크기 계산(*calculation of signal power*)은 처리된 신호의 전력 크기를 구하여 버스트 단위로 거리/도플러 전력 맵을 형성하는 단계이다. 축 매핑(*axis mapping*)은 거리/도플러 전력 맵의 데이터와 MFD 화면의 DBS 영상에 해당하는 지면 좌표 ( $x_{RP}, y_{RP}$ ) 사이를 식 (2)의 관계식으로 매핑(*mapping*)하는 단계이다. 축 매핑을 하더라도 거리/도플러 전력 맵의 각 거리/도플러 지점의 데이터와 MFD 화면의 DBS 영상 픽셀(*pixel*)에 해당하는 지면 좌표의 위치 값이 정확히 일대일로 매핑되지 않는다. 그래서 정확히 매핑되지 않는 DBS 영상 픽셀 지점들의 밝기 크기 값(*gray level value*)은 보간(*interpolation*) 등의 방법으로 구해야 한다. 기하학적 보정 및 보간(*geometric correction and interpolation*)은 거리/도플러 전력 맵과 축 매핑 결과를 이용하여 MFD 화면상의 DBS 영상 픽셀 지점들에 해당하는 밝기 크기 값들을 보간법으로 구하는 단계이다. 최근접점 보간법(*nearest-neighbor interpolation*)이나 선형 보간법(*linear interpolation*) 등을 쓸 수 있으며, 본 논문에서는 최근접점 보간법으로 구현하였다. 보간은 2차원으로 구현하였으며, MFD 화면상에서 x축을 먼저 보간하고, 그 다음 y축을 보간하였다. 기하학적 보정 및 보간 단계를 거치면 매 버스트에서 형성한 부 영상들이 만들어진다. 부 영상 패칭(*sub-image patching*)은 각 버스트가 형성한 부 영상(DBS 영상의 조각)들을 패칭하여(이어 붙여서) 요구되는 전시 지면 크기 형태로 DBS 영상을 형성하는 단계이다. 그림 4는 요구되는 전시 지면 영역의 영상을 얻기 위한 버스트 단위의 빔 조향 및 스캔(*scan*), 그리고 형성되는 부 영상들의 패칭을 통한 DBS 영상 형성의 진행과정을 보여준다. 그림 4(a)는 ①부터 ⑥까지 버스트의 빔 조향과 빔 폭 영역이 지면을 비추는 영역을 개념적으로 보여 주고 있다. 얻고자 하는 네모난 지면 영역을 한 버스트 빔이 다 비추지 못하는 것을 볼 수 있다. 그림 4(b)는 ①부터 ⑥까지 버스트에서 차례대로 획득되는 지면에 대한 부 영상들과 이 부 영상들을 패칭하여 DBS 영상을 형성하는 진행 과정을 보여주고 있다. 그림 4(b)의 ①에서 ⑥번까지 그림들의 왼쪽 열들의 그림은 각 버스



(a)



(b)

그림 4. DBS 영상 획득을 위한 AESA 레이더의 버스트 단위 빔 조향 및 DBS 영상 형성의 진행 과정  
Fig. 4. Beam steering of each burst of AESA radar for acquisition of DBS image, and progressive procedure of DBS image formation.

트에서 획득되는 부 영상들을 나타내며, 오른쪽 열들의 그림은 ①부터 ⑥까지 차례로 부 영상들을 패칭하여 DBS 영상이 형성되는 과정을 보여준다. 패칭하여 DBS 영상이 형성되는 과정의 그림들에서 버스트 간에 빔이 겹치는 지면 영역에 의한 각 부 영상들의 겹치는 영역 부분을 확인할 수 있도록 실선 및 점선을 이용하여 각 부 영상 조각 모양을 표시하였다. 그림 4를 통해 인접한 버스트 간의 각 부 영상들의 표시 영역이 겹치도록 빔 그리드가 형성되었음을 확인할 수 있다. 버스트 간에 빔이 겹치는 지면 영역에 대하여 형성한 부 영상들이 겹치는 DBS 영상 영역의 영상 픽셀의 밝기 크기 값은, 각 버스트에서 형성한 밝기 크기 값들 중에서 최대값을 선택하여 해당 픽셀의 밝기 값으로 결정하였다(즉, 겹치는 영역의 버스트들의 신

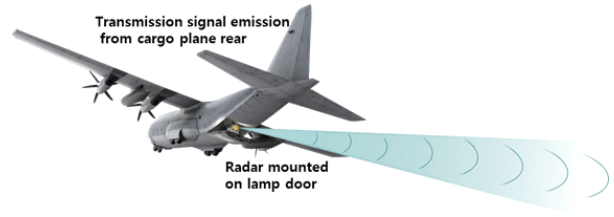


그림 5. AESA 레이더의 수송기 탑재 시험 환경 형상  
Fig. 5. Configuration for flight tests of AESA radar installed on cargo plane.

호전력 중에서 최대값을 선택하여 DBS 영상을 형성하였다). 최종적으로 형성된 DBS 영상은 그레이 스케일(gray scale) 영상으로 변환되어 MFD를 통해 전시(display)된다.

#### IV. 수송기 탑재 시험 환경과 DBS 영상 획득

AESA 레이더를 이용한 DBS 영상 형성 기능 구현을 위해 설계한 DBS 영상 구현 단계 및 알고리즘을 비행시험을 통해 확인하였다. 그림 5는 DBS 영상 획득 시험을 위한 시험 환경 형상을 표현하였다. AESA 레이더를 수송기의 램프도어에 설치하고, 램프도어 개방 상태에서 수송기는 전방으로 비행하면서 후방으로 송신 신호를 방사하여 DBS 영상 획득 시험을 하였다. 본 논문의 비행시험 환경은 수송기의 후방으로 빔을 방사하면서 영상을 획득하므로 비행기의 이동방향과 빔의 방사방향이 반대가 되는 특수한 상황이 된다. 이런 수송기 탑재 비행 시험 상황의 특성을 DBS 영상 형성 방법에 반영하여 비행시험을 수행하기 위해 고려해야 할 사항은 두 가지가 있다. 첫 번째는, 매 버스트마다 항공기의 이동에 의해 동일 지상 위치의 항공기와와의 거리가 달라지는데, 각 버스트로부터의 획득한 부 영상을 패칭하여 DBS 영상을 형성할 때 버스트 간의 지상 거리 위치 이동 보상을 항공기의 앞 쪽으로 빔을 방사할 때와는 반대로 보상해야 한다는 것이다. 그림 2의 축 매핑 과정에서 버스트간의 지상 거리 위치 이동 보상을 고려할 수 있다. 그림 3의 좌표 개념에서 y축 방향으로 매 버스트마다 항공기의 이동을 거리를 보상하여 축 매핑을 하는 것이다. 이 논문의 수송기 탑재 시험 환경에 맞게 후방 방사를 고려하여 버스트간의 지상 거리 위치 이동 보상을 하였다. 두 번째는 항공기 후방으로 빔을



방사하면 항공기의 앞쪽으로 빔을 방사할 때와는 반대로 지면 반사 신호의 도플러 성분이 형성된다는 점이다. 주엽 클러스터의 중심 도플러가 전방 방사 때와는 부호가 반대가 되며(퇴각하는 방향으로 주엽 클러스터의 중심 도플러가 형성됨), 주엽 클러스터 중심 도플러를 기준으로 지상 반사 신호의 도플러가 방위 방향에서 전방 방사 때와는 반대로 형성된다. 이 논문의 비행시험 환경에서 지면 반사 신호의 도플러 성분이 전방 방사 때와는 반대가 되는 사항도 그림 2의 플랫폼 속도 보상 및 축 매핑 과정에서 고려할 수 있다. 먼저 주엽 클러스터의 중심 도플러에 대한 사항은 그림 2의 플랫폼의 속도 보상 과정에서 자연스럽게 반영이 된다. 그리고 주엽 클러스터 중심 도플러를 기준으로 지상 반사 신호의 도플러가 방위 방향에서 전방 방사 때와는 서로 반대가 되는 현상은 그림 2의 축 매핑 과정에서 거리/도플러 맵 데이터를 MFD 화면상의 좌표에 매핑할 때 주엽 클러스터 중심 도플러 위치를 중심으로 하여 도플러 방향(방위 방향)으로 뒤집어서(flip) 매핑하여 고려하였다.

추가적으로 DBS 영상의 화질과 관련하여 고려해야 할 사항은 MFD 화면 픽셀이 나타내는 거리 해상도와 운영 파형에 의한 획득되는 레이다 반사 신호의 거리 및 방위 해상도와 관계이다. 그리고 획득되는 레이다 반사 신호 전력의 최대/최소 범위(dynamic range)을 고려한, 거리/도플러 전력 맵의 전력 크기 값과 영상 픽셀의 그레이 스케일 값과의 매핑이다. 먼저 운영 파형에 의해 획득되는 거리 및 방위 해상도가 MFD 화면의 픽셀이 나타내는 거리 및 방위 해상도와 비슷하거나, 보다 높게 파형을 운영하도록 하였다. 이렇게 파형을 운영하여야 기하학적 보정 및 보간 과정을 거쳐서 나온 영상의 왜곡이 없게 DBS 영상을 얻을 수 있다. 참고로 방위 방향 해상도는 식 (3)을 이용해 버스트 시간을 결정할 때 결정된다. DBS 영상의 명암비(contrast ratio)를 고려하여 획득되는 전력 크기 값을 그레이 스케일 값으로 매핑하였다.

## V. DBS 영상 획득 시험 결과

이 절에서는 제시한 DBS 영상 형성 방법으로 비행 시험을 통해 획득한 DBS 영상 형성 결과를 제시한다.

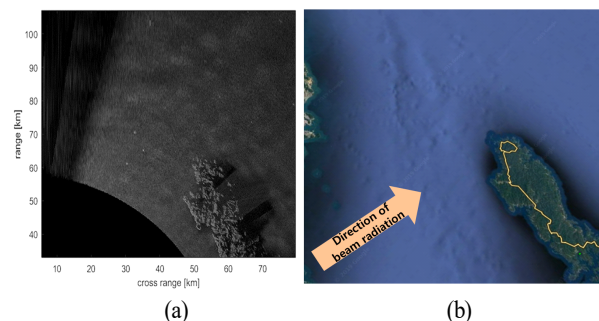


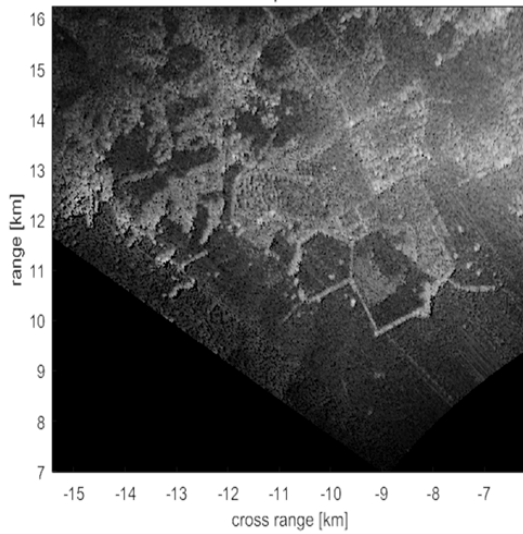
그림 6. 획득된 DBS 영상과 항공사진의 비교 1

Fig. 6. Comparison 1 between the obtained DBS image and the aerial photograph.

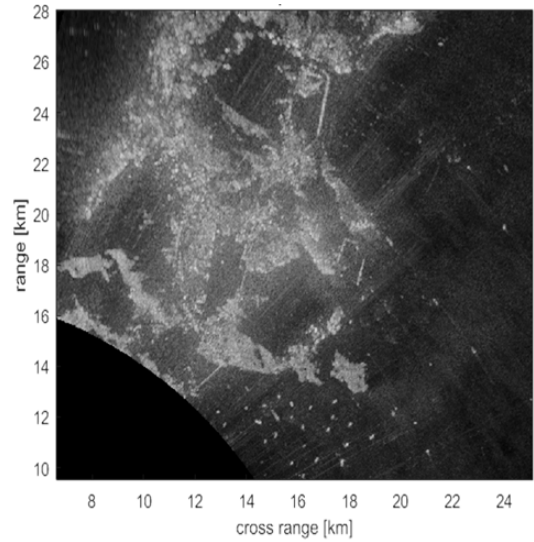
그림 6은 약 2.6km의 고도에서 약 80km의 거리에 있는 대마도 근처에서 획득한 DBS 영상을 항공사진과 비교하여 보여 주고 있다. 그림 6(a)는 획득한 DBS 영상이고, 오른쪽은 해당 지역의 항공사진이다. 수송기는 획득한 DBS 영상 지역의 왼쪽 아래의 상공에서 해당 지역으로 빔을 방사했기 때문에 오른쪽 위의 방향으로 그림자 영역이 생기는 것을 볼 수 있다(그림 6의 항공사진에서 빔 방사 방향을 화살표로 표기). 안테나 빔이 높은 산 쪽으로 방사되면 산의 앞쪽에서만 레이다 반사 신호가 있고, 산의 뒤쪽은 레이다 반사 신호가 발생할 수 없어서 산의 뒤쪽은 그림자가 진 것과 같은 그림자 영역이 생기게 된다. 항공사진에서 대마도 지형의 산과 해안선 모양을 고려할 때, 획득한 DBS 영상이 바다와 해안선 및 대마도 지형을 잘 표현하고 있는 것으로 확인할 수 있다.

그림 7은 약 2.6km의 고도에서 약 16km의 거리에 있는 부산신항 근처에서 획득한 DBS 영상을 항공사진과 비교하여 보여 주고 있다. 그림 7(a)는 획득한 DBS 영상이고, 아래쪽은 해당 지역의 항공사진이다. 수송기는 획득한 DBS 영상 지역의 오른쪽 아래의 상공에서 해당 지역으로 빔을 방사했으며, 왼쪽 위의 방향으로 높은 지형에 의한 그림자 영역이 생기는 것을 볼 수 있다(그림 7의 항공사진에서 빔 방사 방향을 화살표로 표기). 항공사진에서 평지의 공단, 골프장, 간척지 및 해안선 모양을 고려할 때, 획득한 DBS 영상이 해당 지역의 지형을 잘 표현하고 있는 것으로 확인할 수 있다.

그림 8은 약 2.6km의 고도에서 약 25km의 거리에 있는



(a)



(a)



(b)



(b)

그림 7. 획득된 DBS 영상과 항공사진의 비교 2

Fig. 7. Comparison 2 between the obtained DBS image and the aerial photograph.

부산항 근처에서 획득한 DBS 영상을 항공사진과 비교하여 보여 주고 있다. 그림 8의 위쪽은 획득한 DBS 영상이고 아래쪽은 해당 지역의 항공사진이다. 수송기는 획득한 DBS 영상 지역의 왼쪽 아래의 상공에서 해당 지역으로 빔을 방사했으며, 오른쪽 위의 방향으로 높은 지형에 의한 그림자 영역이 생기는 것을 볼 수 있다(그림 8의 항공사진에서 빔 방사 방향을 화살표로 표기). 항공사진에서 부산항, 남항대교, 광안대교 및 해양선 모양을 고려할 때,

그림 8. 획득된 DBS 영상과 항공사진의 비교 3

Fig. 8. Comparison 3 between the obtained DBS image and the aerial photograph.

획득한 DBS 영상이 해당 지역의 지형을 잘 표현하고 있는 것으로 확인할 수 있다.

그림 6에서 8의 DBS 영상에서 y축 방향의 해상도는 사용된 파형의 거리해상도에 의해 결정되며, x축 방향의 해상도는 식 (3)에서 나타나는 방위각 해상도( $\Delta\alpha$ )에 의해 결정된다. 그림 8의 DBS 영상 형성에 사용한 파형의 한 버스트 시간은 약 428 ms였으며, 식 (3)으로부터 방위각 해상도( $\Delta\alpha$ )는 약  $0.05^\circ$  및 방위 방향 거리 해상도( $\Delta CR$ )

는 약 22m였다. 그림 8의 DBS 영상에서 각 픽셀간의 거리는 25.5m이다. 즉, 그림 8의 DBS 영상을 형성하기 위하여 MFD 화면의 픽셀이 나타내는 거리 및 방위 해상도와 비슷한 거리 및 방위 해상도를 가지는 파형을 운영하였다. 그림 8의 DBS 영상 중앙 근처 지점들에 대해 3 dB폭 기준으로 거리해상도를 측정해보면 30 m 내외이다.

## VI. 결 론

AESA 레이더를 이용하여 DBS 영상을 형성하기 위한 DBS 영상 형성 단계 및 알고리즘을 설계 및 제시하였다. 또한 DBS 영상 획득 시험에서 좋은 영상을 형성하기 위한 파형 선정 및 주요 고려사항에 대하여 설명하였다. AESA 레이더를 수송기의 램프도어에 설치하고, 램프도어 개방 상태에서 후방으로 송신 신호를 방사하여 DBS 영상 획득 시험을 하였고, 그 획득한 영상 결과들을 항공지형 사진과 비교하여 보았다. 항공사진과 획득한 DBS 영상의 비교 결과로 지상의 지형 및 시설물들을 잘 확인할 수 있는 유용한 DBS 영상을 형성하였음을 확인하였

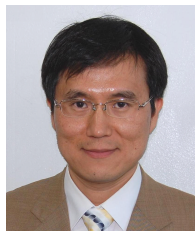
다. 국내에서 비행 시험을 통해 AESA 레이더를 이용하여 유용한 DBS 영상을 획득하였다.

## References

- [1] G. Pietrzyk, P. Samczynski, A. Gorzelanczyk, and K. Kulpa, "Real-time implementation of Doppler beam sharpening technique with simple motion estimation," in *First European Radar Conference, 2004 (EURAD)*, Amsterdam, The Netherlands, 2004, pp. 185-188.
- [2] M. A. Richards, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, New York, NY, McGraw-Hill, 2005.
- [3] G. V. Morris, L. Harkness, *Airborne Pulsed Doppler Radar*, 2nd ed. Norwood, MA, Artech House, 1988.
- [4] T. H. Kim, J. G. Seo, J. S. Yoon, and J. H. Bae, "Range cell migration compensation for coherent integration in air-to-air mode of aircraft radar," in *Proceedings of the Korea Institute of Military Science and Technology 2017*, Jeju, Jun. 2017, pp. 151-153.

김 태 형 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5296-2389>



1999년 3월: 부산대학교 전자공학과 (공학 석사)

2007년 3월: 부산대학교 전자공학과 (공학 박사)

2010년 11월: 국방과학연구소 연구원

2010년 12월~현재: LIG넥스원(주) 감시정찰연구소 수석연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템, 패턴인식 등

유 성 현 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-6427-1286>



2005년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)

2005년 2월~2008년 3월: LG전자 MC 연구소

2008년 4월~현재: LIG넥스원 감시정찰 2연구소 수석연구원

[주 관심분야] 능동위상배열 체계설계 및 분석, 레이더 모델링 & 시뮬레이션



신 중 환 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-3691-5774>



2012년 2월: 인하대학교 컴퓨터정보공학  
(공학사)  
2013년 1월~현재: LIG넥스원 선임연구원  
[주 관심분야] 레이더 통제/제어 및 인공  
지능 등

장 성 훈 [국방과학연구소/연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-9943-2126>



1996년 2월: 서울시립대학교 전자공학과  
(공학사)  
1998년 2월: 서울시립대학교 전자공학과  
(공학석사)  
2015년 2월: 서울시립대학교 전자공학과  
(공학박사)  
1998년 2월~현재: 국방과학연구소 책임

연구원

[주 관심분야] 능동 위상 배열 레이더 시스템, 항공기 레이더 등

강 연 덕 [LIG넥스원/연구위원]

<https://orcid.org/0000-0003-0527-3641>



1993년 2월: 한국항공대학교 항공전자공  
학과 (공학사)  
1996년 2월: 한국항공대학교 전자공학과  
(공학석사)  
2000년 8월: 한국항공대학교 전자공학과  
(공학박사)  
2000년 9월~현재: LIG넥스원(주) 감시정

찰연구소 연구위원

[주 관심분야] 레이더 시스템, 초고주파 소자, 전자파 해석 등

김 선 주 [국방과학연구소/연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2099-9953>



1988년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학  
석사)  
1988년 3월~현재: 국방과학연구소 책임  
연구원  
[주 관심분야] 반도체 송수신모듈설계, 능  
동 위상 배열 레이더 시스템 설계, 항공  
기 레이더 등