

Matrix Pencil 방법에 의한 비행기 모형의 ISAR 영상화

ISAR Imaging of Airplane-like Targets by Matrix Pencil Method

유지희 · 권경일 · 이용희

Ji-hee Yoo · Kyoung-II Kwon · Yong-Hee Lee

요 약

이 논문에서는 MP(Matrix Pencil) 방법을 이용한 ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) 영상에 대한 실험적 연구결과를 기술하였다. 측정은 CR(Compact Range) RCS 측정시설을 이용하였으며 두 가지 종류의 표적이 사용되었다. 첫 번째 표적은 MP의 성능을 확인하기 위하여 길이가 짧고 반경이 작은 원통형 표적이고 두 번째 표적은 실제 비행기 형상과 같이 복잡한 구조를 가진 무인항공기 모형이다. ISAR 영상을 얻기 위하여 MP와 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용하였으며 실험 결과를 비교해 보면 MP 방법을 사용하는 것이 기존의 FFT를 사용하는 것보다 더 좋은 영상을 얻을 수 있다는 것을 입증하였다.

Abstract

This paper presents a experimental study of Inverse Synthetic Aperture Radar(ISAR) imaging using Matrix Pencil(MP) method. A series of measurement for two types of target model was done in a Compact Range(CR) facility. The first target is a set of distributed slim cylinders to get a ISAR image of point-like scatterers. The second is UAV model representing a complex real target. The results show that ISAR images by MP method are better than by conventional FFT method under the realistic measurement conditions.

I. 서 론

레이다는 표적으로부터 반사된 전자기파를 적절히 처리하고 분석하여 표적에 대한 정보를 얻는다. 레이다가 출현한 초기에는 획득 가능한 표적의 위치 정보에 국한되었으나, 위상배열 레이다와 같은 다기능/고성능 레이다로는 표적에 대한 보다 다양하고 깊이 있는 정보획득을 기대해 왔다. 레이다 분야의 기술이 점차 발전함에 따라 표적의 구별 혹은 인식처럼 새로운 차원의 레이다 역할이 가능해지고 있다. 즉, 표적의 위치와 속도는 물론이고 표적의 종류를 구별하거나 분류(Target Classification)가 가능한 레이다가 출현하는 단계가 되었다. 이 기술을 '비협조 표적인식(NCTR, Non-Cooperative Target

Recognition)'이라고 부른다. NCTR의 접근방법은 매우 많지만 표적의 RCS 영상을 얻어서 표적을 식별하는 것이 현실적으로 실용화 가능한 방법으로 알려져 있다. 레이다에서 표적의 전자파 반사 특성은 레이다 반사 단면적(RCS, Radar Cross Section)으로 정의된다. 레이다 반사 단면적은 표적의 형상, 재질, 주파수와 바라보는 각도에 따라서 변화한다. 표적의 형상이 복잡할수록 RCS는 주파수와 방위각에 따라서 민감하게 변한다. 이것은 표적에 의한 반사파는 표적을 이루고 있는 각각의 산란점에서 반사된 각각의 반사파의 벡터 합으로 결정되기 때문이다.

레이다로 표적의 RCS 분포를 측정하는 방법 중에서 가장 간단하게는 거리방향의 산란점 분포인 I

국방과학연구소 (Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20001211-144

· 수정완료일자 : 2001년 1월 12일

차원 영상(Range Profile)을 이용하는 방법과 2차원 상에서 표적의 ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar)을 이용하는 방법이 있다^{[1],[2]}. 거리방향 산란점 분포 영상은 표적 반사신호를 시간 축(거리방향에 해당)에서만 보는 것이다. 레이더의 신호 대역폭을 키우면 표적의 세세한 1차원 영상을 얻을 수 있어 NCTR에 가장 많이 사용한다. 2차원 영상을 얻는 방법은 기본적으로 거리방향 산란점 분포에 횡방향 정보를 추가로 얻기 위하여 ISAR개념을 적용하는 것이다^[3]. 그간 ISAR 영상을 만드는 방법으로 FFT(Fast Fourier Transform), MUSIC(Multiple Signal Classification)^[4]과 MP(Matrix Pencil)^[5] 방법 등이 사용되어 왔다. FFT는 주파수 영역과 시간영역의 관계가 명확하고 방법이 간단하다는 장점이 있다. 그러나 고해상도 영상을 얻기 위하여 넓은 주파수 대역과 합성 개구면이 요구되는 것이 단점이다. 개구면이 커지면 얻어진 데이터는 표적의 이동으로 발생하는 산란점의 이동 및 RCS의 변화로 인하여 영상의 왜곡현상이 나타날 수 있으며 실제 레이더 적용 측면에서 더 많은 시스템 자원과 신호처리를 요구한다. 따라서 최근에는 MP와 같이 적은 데이터로 고해상도 ISAR 영상을 얻는 방법에 관한 연구가 많이 시도되고 있다.

이 논문에서는 MP방법으로 2차원 ISAR 영상 생성 기술에 대한 실험적 연구결과를 발표하려는 것이다. 실험은 두 가지 종류의 표적에 대하여 이루어졌다. 첫 번째는 MP의 기본적인 성능을 확인하기 위한 목적으로 점으로 이루어진 표적(Point Scatterers)의 ISAR 영상을 얻기 위한 실험이고 두 번째는 실제의 무인 항공기 형상을 가진 길이 약 2.1 m의 모델을 사용하여 ISAR 영상을 얻는 실험으로 비교를 위해 FFT 방법을 이용한 영상도 제시하였다. 표적의 측정은 컴팩트 레인지(Compact Range)에서 실시하였다.

II. 데이터 모델 및 MP 알고리즘

2-1 데이터 모델

ISAR 영상을 얻기 위한 레이더와 표적의 상대위

치에 관한 기하학적 배치 및 좌표계는 그림 1과 같다. 이 그림에서 ISAR 영상을 얻기 위하여 거리방향 및 횡방향 데이터를 수집할 경우 다음 식과 같이 표현할 수 있다^[5].

$$s(\theta, f) = \sum_{i=1}^I a_i \exp\left(-j \frac{4\pi}{c} f(d + x_i \cos \theta - y_i \sin \theta)\right) \quad (1)$$

θ : 표적의 각위치

f : 주파수

a_i : i 번째 산란점의 반사계수

I : 산란점의 개수

c : 광속

d : 레이더와 표적 사이의 거리

(x_i, y_i) : i 번째 산란점의 좌표

산란점을 구하는 문제를 간단하게 만들기 위해 다음과 같은 몇 가지 가정을 한다. 첫째, 표적의 ISAR 영상은 점표적 즉, 산란점들의 공간적 분포로 이루어지는 것이고, 각 산란점의 반사계수는 복소상수(Complex constant)이다. 둘째, 표적이 안테나로부터 충분히 떨어져 있어 표적이 자리한 곳이 원전계 조건(Far Field Condition)을 만족한다. 셋째, 표적과 레이더 사이의 거리는 알고 있어서 이 거리에 의한 위상은 식 (1)로부터 없앨 수 있다. 넷째, 표적의 각각의 방위각 위치에 대해 일련의 주파수 $f_m = f_L + m\Delta f$ ($m = 0, 1, \dots, M-1$)가 보내지고 그에 대한 반사파가 수신된다. 다섯째, 표적은 각각의 위치 $\theta_n = n\Delta\theta$ ($n = 0, 1, \dots, N-1$)를 갖는다. 여섯째, 주파수 간격 $M\Delta\theta$ 는 중간 주파수 $f_0 = f_i + (M-1)$

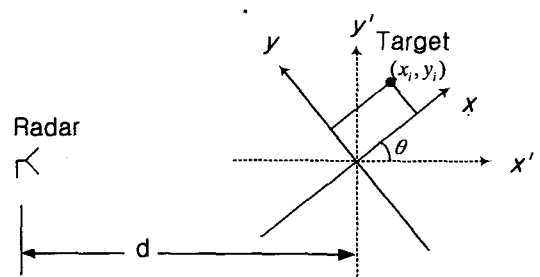


그림 1. 레이더에 대한 움직이는 표적의 좌표

Fig. 1. Coordinates of moving target with respect to radar.

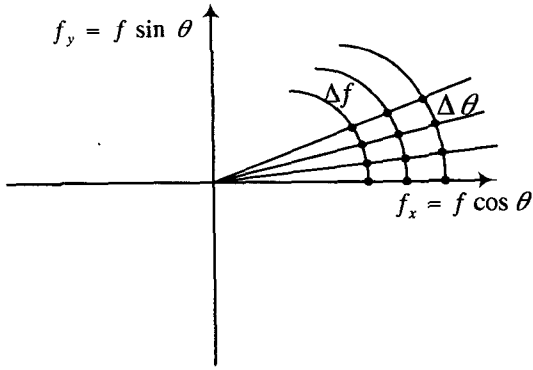


그림 2. 스텝 주파수와 각도에 따른 ISAR 데이터의 위치

Fig. 2. Grid on which step-frequency ISAR data is located.

$\Delta f/2$ 보다 훨씬 작다. 일곱째, 각도 간격 $N\Delta\theta$ 는 1 보다 훨씬 작다. 이상과 같이 가정하면, 식 (1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$s(m, n) = \sum_{i=1}^L b_i \exp(j2\pi f_{xi}m + j2\pi f_{yi}n) = \sum_{i=1}^L b_i p_i^m q_i^n \quad (2)$$

이 식의 각 변수는 다음과 같이 주어진다.

$$b_i = a_i \exp\left(-j\frac{4\pi}{c} x_i f_L\right) \quad (3)$$

$$f_{xi} = -\frac{2}{c} \Delta f x_i \quad (4)$$

$$f_{yi} = \frac{2}{c} \Delta \theta y_i \quad (5)$$

$$p_i = \exp(j2\pi f_{xi}) \quad (6)$$

$$q_i = \exp(j2\pi f_{yi}) \quad (7)$$

위 식의 관계로부터 $s(\theta, f)$ 를 측정으로부터 알고 있으면 각 점 표적으로부터 생긴 산란파의 크기 a_i 와 그 위치 좌표 (x_i, y_i) 를 찾아내어 사상(mapping)하면 산란점들로부터 ISAR 영상이 얻어진다. 이때 위상 모호성(Phase ambiguity)을 피하기 위해 $-0.5 < (f_{xi}, f_{yi}) < 0.5$ 를 만족해야 한다.

2-2 MP 알고리즘

먼저 다음과 같은 강화행렬(Enhanced matrix)을

만든다.

$$S_e = \begin{bmatrix} S_0 & S_1 & \cdots & S_{M-K} \\ S_1 & S_2 & \cdots & S_{M-K+1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{K-1} & S_K & \cdots & S_{M-1} \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서 $\{S_m; m=0, 1, \dots, M-1\}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$S_m = \begin{bmatrix} s(m, 0) & s(m, 1) & \cdots & s(m, N-L) \\ s(m, 1) & s(m, 2) & \cdots & s(m, N-L+1) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ s(m, L-1) & s(m, L) & \cdots & s(m, N-1) \end{bmatrix} \quad (9)$$

다음은 S_e 의 특이점 조합(SVD, Singular Value Decomposition)을 계산한다.

$$S_e = U \Sigma V^H \quad (10)$$

여기서 $U = [u_1, u_2, \dots, u_{min}]$ 는 왼쪽 특이 벡터이고 $V = [v_1, v_2, \dots, v_{min}]$ 은 오른쪽 특이 벡터이다. $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{min})$ 는 하향 특이값(Descending Singular Values)으로 구성되어 있다. \min 은 S_e 의 열과 행 크기 중에서 작은 것을 선택함을 의미한다. 다시 말해서 KL 과 $(M-K+1)(N-L+1)$ 에서 작은 값을 선택함을 의미한다. SVD를 식 (2)에 보인 데이터 구조와 연관시키기 위해 식 (2)를 식 (9)에 넣으면 다음과 같이 된다.

$$S_m = Q_c B P_d^m Q_r \quad (11)$$

여기서,

$$Q_c = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ q_1 & q_2 & \cdots & q_L \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_1^{L-1} & q_2^{L-1} & \cdots & q_L^{L-1} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$B = \text{diag}(b_1, b_2, \dots, b_L) \quad (13)$$

$$P_d = \text{diag}(p_1, p_2, \dots, p_L) \quad (14)$$

$$Q_r = \begin{bmatrix} 1 & q_1 & \cdots & q_1^{N-L} \\ 1 & q_2 & \cdots & q_2^{N-L} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1 & q_L & \cdots & q_L^{N-L} \end{bmatrix} \quad (15)$$

이다. 식 (11)을 식 (8)에 넣으면 다음과 같이 된다.

$$S_e = E_c B E_r \quad (16)$$

여기서,

$$E_c = \begin{bmatrix} Q_c \\ Q_c P_d \\ \dots \\ Q_c P_d^{K-1} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$E_r = [Q_r, P_d Q_r, \dots, P_d^{M-K} Q_r] \quad (18)$$

이다. 만약 K 와 L 이 다음 식이 만족한다면,

$$\begin{cases} I+1 \leq K \leq M-I+1 \\ I+1 \leq L \leq N-I+1 \end{cases} \quad (19)$$

$\text{rank}(E_c) = I, \text{rank}(E_r) = I$ 이므로 $\text{rank}(S_d) = I$ 인데 이것은 다음을 의미한다.

$$\sigma_i = \begin{cases} > 0 & \text{for } i \leq I \\ 0 & \text{for } i > I \end{cases} \quad (20)$$

다음 단계는 $i > I$ 일 때의 σ_i 가 $i \leq I$ 일 때의 값보다 무시할 정도로 작게 되는 I 를 다음과 같은 관계를 이용해 구한다.

$$\text{range}(E_c) \perp \text{range}(U_n) \quad (21)$$

$$U_n = [u_{I+1}, u_{I+2}, \dots, u_{min}] \quad (22)$$

2차원 주파수를 찾아내는 데 효율적인 계산을 위해 다음과 같은 계산 방법을 도입한다. 만약 E_1 과 E_2 를 E_c 에서 각각 끝부분과 처음부분의 L 개의 열이 삭제된 경우라고 정의하고 이와 동일하게 U_s 로부터 U_1 과 U_2 를 정의할 수 있다. 여기서 T 라는 비특이 정사각 행렬(Nonsingular Square Matrix)에 의해 $U_1 = E_1 T, U_2 = E_2 T$ 라는 관계가 성립한다. 이러한 관계를 식 (17)에 적용시키면 다음과 같은 식이 된다.

$$\begin{aligned} U_2 - pU_1 &= (E_2 - pE_1)T \\ &= E_1(P_d - pI)T \end{aligned} \quad (23)$$

여기서 I 는 적절한 차원(Dimension)을 가진 항등 행렬이다. $i=1, 2, \dots, I$ 일 때, p_i 는 MP $U_2 - pU_1$ 의 일반화된 고유값(Generalized Eigenvalue)이다. q_i 도 마찬가지로 구할 수 있다. 정리해 보면, 먼저 U_1, U_2, U_1', U_2' 을 형성하고 일반화된 고유값 $U_2 - pU_1$ 와 $U_2' - qU_1'$ 각각을 계산함으로써 p_i 와 q_i 를 추정한다.

식 (6)과 (7)에 의해 p_i 와 q_i 를 f_{xi} 와 f_{yi} 로 변환하고, 구해진 f_{xi} 와 f_{yi} 를 제대로 짝을 맞춘다. 여기서 Y. Hua^[5]에 의한 방법을 쓰는 대신 새로운 짝맞춤 방법(Pairing method)^[6]을 사용하여 2차원 산란점을 구한다. Y. Hua에 의한 방법으로는 주파수들의 짝이 제대로 맞춰지지 않기 때문이다.

III. 실패적에 대한 ISAR 영상 비교

구현된 알고리즘이 제대로 동작하는지 보기 위해 임의로 가정된 산란점 데이터에 대하여 시뮬레이션을 해 보았다. 이 때 주파수는 9 GHz~9.93 GHz 범위에서, 주파수 간격(Δf)은 30 MHz로, 주파수 수는 32개 설정하였다. 방위각은 0도부터 시작하여 간격 $\Delta\theta$ 를 0.1도씩 32개를 설정하였다. 비교를 위해 그림 3에서 FFT를 이용해 얻은 영상을 먼저 보았다(이하 FFT 영상). MP 알고리즘을 이용한 시뮬레이션 결과는 그림 4에서 보는 바와 같이 미리 설정된 산란점 위치와 MP 방법을 사용해서 추출된 위치가 일치함을 알 수 있다.

시뮬레이션으로 MP 알고리즘과 프로그램을 검증한 후 컴팩트 레인지를 이용해서 점표적을 놓고 측정된 값으로 다시 검증해 보았다. 점표적의 배치는 그림 4와 동일하게 하였고 측정 주파수, 측정각

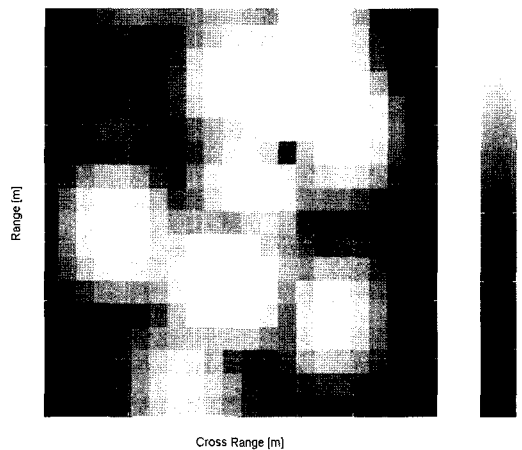


그림 3. 비행기 모양으로 분포된 점 표적의 FFT 영상

Fig. 3. FFT ISAR image of airplane-likely distributed points target.

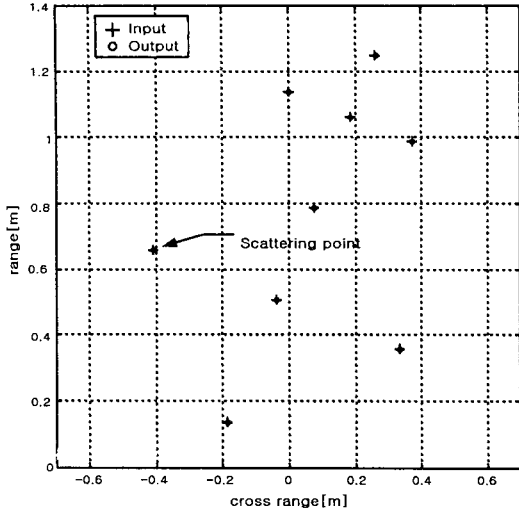


그림 4. 비행기 모양으로 분포된 점 표적의 시뮬레이션 결과 (+:입력, o:출력)

Fig. 4. Simulation results for the airplane-likely distributed points target (+ : input, o : output).

도도 시뮬레이션과 같이 하였다. 점 표적은 길이 6 cm, 지름 0.8 cm의 금속 봉을 사용하였다. 주어진 측정변수를 가지고 FFT를 적용할 경우 이론적으로 거리 분해능은 15 cm, 방위각 분해능은 18.5 cm이다. 그림 5는 MP방법을 이용해 얻은 점 표적에 대한 영상이다(이하 MP 영상). 동일한 측정조건에서는 FFT 영상에 비해 MP 영상이 분해능이 훨씬 좋을 수 있다. 그림 6은 MP의 산란점 추출 알고리즘을 이용하여 산란점을 추출한 것으로 시뮬레이션과 동일한 경향을 보여줌을 알 수 있다.

실표적에 대한 데이터를 MP로 얻은 영상을 보기 위해 무인 항공기 모형(UAV Model)에 대한 일반적인 RCS를 측정하고 ISAR 영상을 측정하였다. 그림 7은 실물의 외형을 보이기 위해 기하학적 형상을 나타낸 그림이다. 이 표적은 길이가 약 2.1 m이고 양 날개폭은 1.2 m이다. 그림 8은 수평편파에 대하여 방위각 방향에 따라서 변하는 RCS 측정결과를 나타낸 그림이다. 측정결과를 보면 일반적인 비행기 구조에서 나타나는 전형적인 RCS 패턴임을 알 수 있다. 즉, 원통 모양인 모형의 몸체 양 측면에서 RCS 첨두치가 존재하고, 앞과 뒤에서 본 RCS도 공

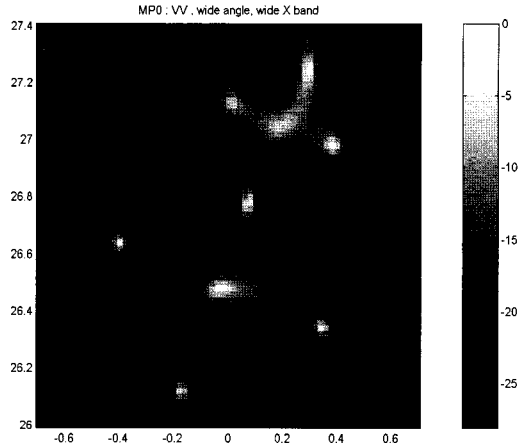


그림 5. 비행기 모양으로 분포된 점 표적의 MP 영상

Fig. 5. MP ISAR image of airplane-likely distributed points target.

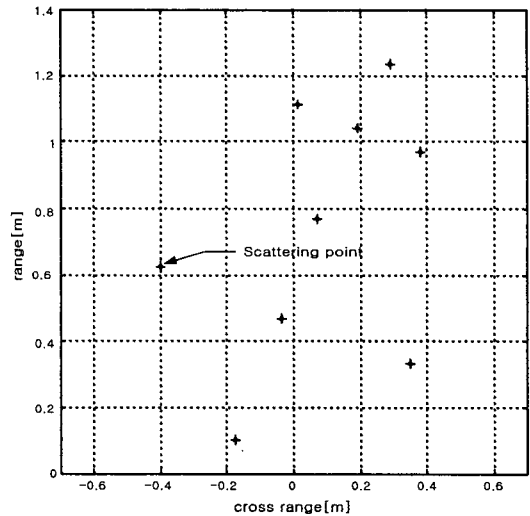


그림 6. MP 알고리즘을 이용해 추출된 산란점 분포 위치 추출

Fig. 6. Positions of point scatterers extracted by MP algorithm.

기 흡입구와 배출구 때문에 비교적 크다는 것, 그리고 관측 방향에 따라 RCS 크기의 변화가 매우 심한 것이 비행기의 전형적인 RCS 패턴이다. 모형의 외형이 동체축에 대해 대칭이므로 RCS 패턴도 대칭

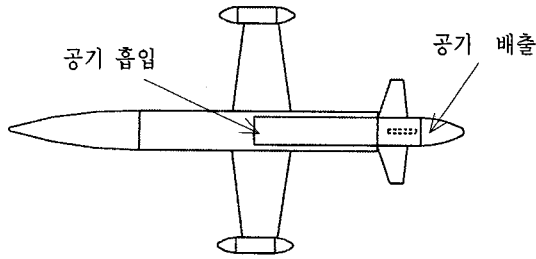


그림 7. 측정에 사용된 UAV 모형의 형상으로 아래에서 올려다 본 윤곽(길이 211.5 cm, 폭 120.0 cm)

Fig. 7. Outline drawing of the UAV model for ISAR imaging (length 211.5 cm, width 120.0 cm).

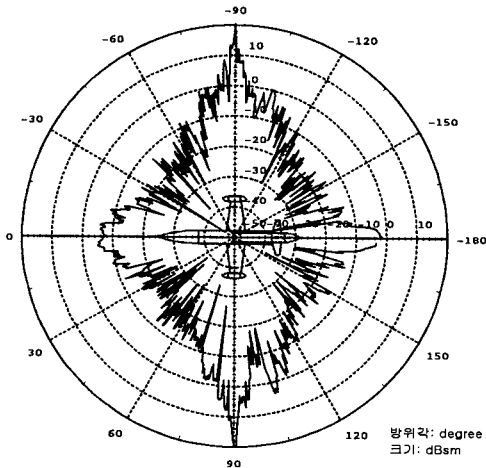


그림 8. UAV 모형의 전체 방위각에 대한 RCS 다이어그램

Fig. 8. RCS diagram of the UAV model.

을 이루고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 대칭성을 보아 측정시설의 품질을 쉽게 가늠할 수도 있다.

다음은 모형에 대해 ISAR 영상 생성 알고리즘인 MP 방법과 FFT 방법을 적용하고 두 결과를 비교하였다. 주요 관찰각에 따른 산란점 분포 영상을 얻기 위하여 중심각이 0°(표적이 기수가 레이다 쪽으로 향하는 있는 경우), 45°, 90°인 방향에서 ISAR 영상을 측정하였다. MP 알고리즘을 적용하기 위한 측정에서는 9.535 GHz부터 10.465 GHz까지 32개 주파수를 사용하였으며, 측정각도는 $\Delta\theta$ 를 0.1도씩 32개

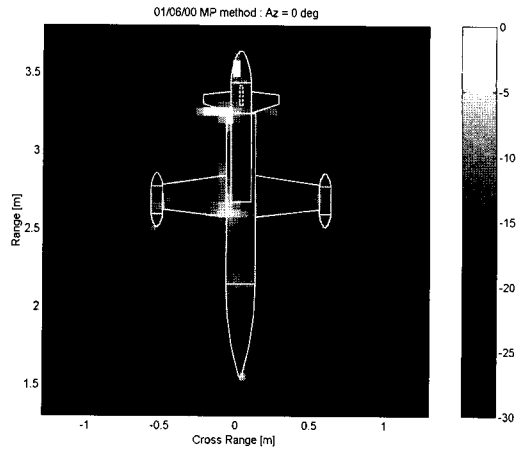


그림 9. 0° 방향에서 본 UAV 모형의 MP ISAR 영상 측정결과

Fig. 9. MP ISAR image of the UAV model seen by 0° of azimuth direction.

각도에 대하여 측정하였다. FFT 영상을 얻기 위한 측정에서는 주파수 범위를 넓혀 9.25 GHz에서 10.75 GHz까지로 하고 401개 주파수로 측정하였으며, 측정 각도 $\Delta\theta$ 를 0.2도씩 41개의 각도에 대하여 측정하였다. 이렇게 측정조건을 정한 이유는 FFT방법의 이론적인 거리 분해능과 방위 분해능을 같은 10 cm

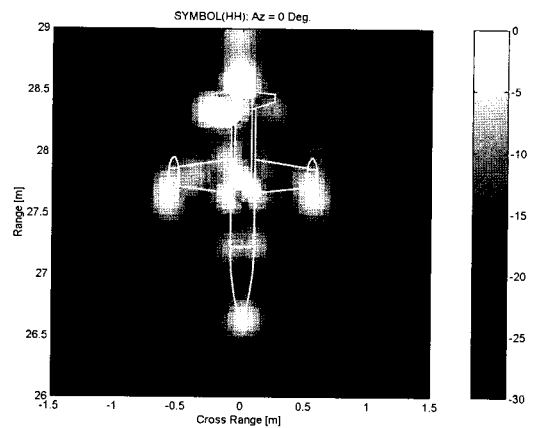


그림 10. 0°에서 본 UAV 모형의 FFT ISAR 영상 측정결과

Fig. 10. FFT ISAR image of the UAV model seen by 0° of azimuth direction.

로 하기 위해서다. 이런 측정조건에서 표적과의 최대 거리 제한 R_{max} 은 40 m가 된다. 그림 9에서는 정면(관측방향 0도)에서 본 MP방법으로 얻은 ISAR 영상(이하, MP영상)이고 그림 10은 FFT방법으로 얻은 영상이다. 두 경우 모두 산란점의 위치가 비슷하게 나타내고 있지만 MP의 경우가 훨씬 명확하게 산란점의 위치를 보여준다. 그림 11은 45도 방향에서 본 MP영상이며, 그림 12는 90도에서 본 MP영상이다. 그림 11에서 표적의 오자이브 전단 과 동체와 연결부위가 반사점을 만들고 있고, 날개와 몸체가 이루는 불연속점, 구조물의 끝과 수직 반사점(Specular Point)들로부터의 반사를 확실하게 나타난다. 그리고 그림 11에서 알 수 있듯이 주익 위에 있는 공기 흡입구로 들어간 일부 전자기파는 흡입구 내부에서 마치 도파관처럼 전달되고 불연속면에서 다시 반사하는 등 다양하게 시간 지연을 갖는 반사파를 만들므로 ISAR 영상에서는 표적크기를 벗어나서도 어떤 반사점이 있는 것처럼 나타난다. 그림 12에서는 원통형의 몸체와 사각 기둥형태인 공기 흡입구, 그리고 수직 꼬리날개로부터 산란되는 강한 반사파가 뚜렷한 산란점을 만드는 것을 확인할 수 있다.

마치 도파관(Oversized Waveguide)처럼 생긴 공기 흡입구 내부에서 일어나는 다중반사를 구체적으

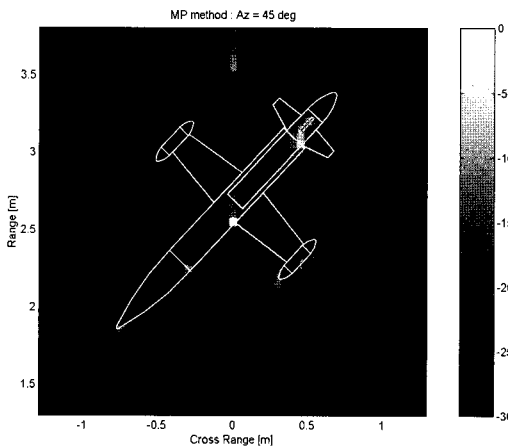


그림 11. 45°에서 본 UAV 모형의 MP ISAR 영상 측정결과
 Fig. 11. MP ISAR image of UAV model seen by 45° of azimuth direction.

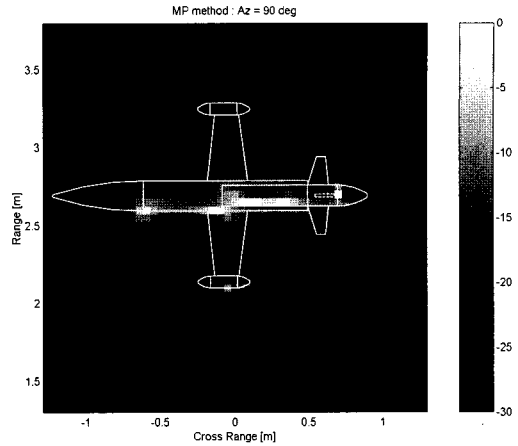


그림 12. 90°에서 본 UAV 모형의 MP ISAR 영상 측정결과
 Fig. 12. MP ISAR image of the UAV model seen by 90° of azimuth direction.

로 확인하기 위하여 공기 흡입구/배기구를 금속 테이프로 막고 ISAR 영상을 측정한 것이 그림 13이다. 그림 13은 45도에서 측정하여 흡입구의 영향을 보여준 그림이며, 그림 14의 135도에서 본 영상은,

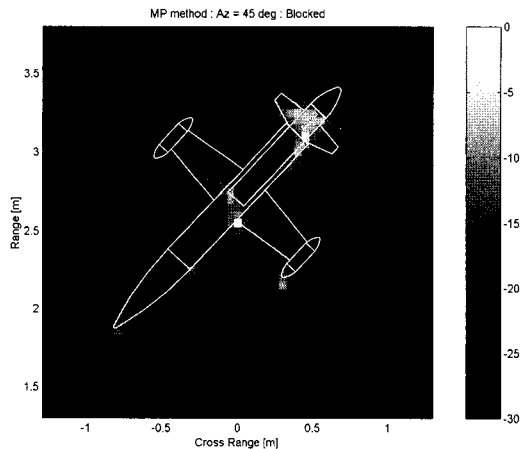


그림 13. UAV 모델에서 흡/배기구를 막고 45°에서 본 MP ISAR 영상 측정결과
 Fig. 13. MP ISAR image of the UAV model seen by 45° of azimuth direction. The inlet and outlet of the engine are covered by metal sheets.

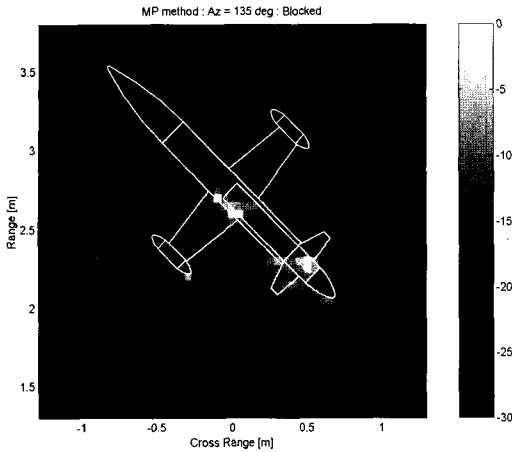


그림 14. UAV 모델에서 흡/배기구를 막고 135° 에서 본 MP ISAR 영상 측정결과
 Fig. 14. MP ISAR image of the UAV model seen by 135° of azimuth direction. The inlet and outlet of the engine are covered by metal sheets.

엔진 배기구의 영향을 보기 위한 것이다. 그림 13, 14와 그림 11과 비교해 보면 공기 흡입구나 배기구를 막으면 표적의 크기를 벗어난 산란점 영상이 나타나지 않음을 알 수 있다. 이것은 표적의 특정한 부위를 변화시키면서 그 부위가 RCS에 어떻게 기여하는지 알 수 있다.

IV. 맺음말

지금까지 MP 알고리즘을 이용해 ISAR 영상을 얻는 이론적 방법을 소개하고 그 우수성을 측정으로부터 얻은 영상을 통해 설명하였다. 측정 모형으로는 MP 알고리즘과 관련 프로그램을 확인하는 비행기 모양으로 분포된 점 표적과 항공기 외형을 대표하는 UAV 모델을 사용하였다. MP 영상의 우수성을 실험적으로 보이기 위해 FFT 영상과 비교하였다. 그 결과 ISAR 영상획득에서 MP 방법은 FFT보다 ‘좁은 주파수 대역과 합성 개구면의 크기’에서도 월등히 좋은 해상도의 영상을 얻을 수 있음을 확인하였다. MP 영상은 해상도가 우수하므로 표적을 이루는 각각의 산란점의 위치가 뚜렷하게 구별되어

표적의 각 부분에서 반사하는 반사점을 일일이 구별하는 것이 가능하다. 각 부위의 반사점을 구별한다는 것은 표적의 RCS를 줄이는 연구에 일부 도움을 줄 수 있다.

측정시스템에서도 MP는 FFT에 비하여 주파수 대역폭과 측정각도 범위가 좁아도 된다. 이것은 측정시간 즉, 레이더 입장에서 보면 표적의 관찰 시간을 크게 줄이고서도 ISAR 영상을 얻을 수 있다는 것이다. 또한 MP 방법은 위의 특징과 장점 이외도 K와 L값만 적절히 잡아주면 잡음에 강하여 NCTR 기술로서 레이더에 적용시켜 실용화하는데 돌파구를 제공할 가능성에 대해 관심을 끈다. 한편 FFT의 경우 시간 영역과 거리 영역에서의 관계가 주파수 대역폭과 분해능 등의 물리적 관계가 명확하지만 MP에서는 이러한 상응관계가 밝혀져 있지 않은 것이 취약점이라고 볼 수 있다. 또한 MP 방법에서는 데이터를 처리하는 시간이 더 걸리는 단점이 있으므로 MP를 이용한 ISAR 영상을 레이더 NCTR에 적용하기 위해서는 관측 주파수 범위나 각도 범위를 줄였을 때의 영향 등 다각도에서 점검하면서 보다 깊은 연구를 더 진행시켜야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Hsueh-Jhy Li, Sheng-Hui Yang, "Using range profiles as feature vectors to identify aerospace objects," *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, vol. 41 no. 3, pp. 261-291, March, 1993.
- [2] A. Zyweck, "High-resolution radar imagery of the Mirage III aircraft," *IEEE Trans. on Antennas Propagat.*, vol. 42, no. 9, pp. 1365-1360, Sep., 1994.
- [3] Dean L. Mensa, *High Resolution Radar Cross-Section Imaging*, Artech House, 1991.
- [4] 전자파 특화센터(국방과학연구소) 2 단계 중간 보고서, TEMD-409-990510, 1999. 6.
- [5] Y. Hua and F. Baqai, "Imaging of point scatterers from step-frequency ISAR data," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 29, no. 1, pp. 195-204, Jan., 1993.
- [6] Stephanie Rouquette and Mohamed Najim, "A

new pairing step for the MEMP method," 1998
IEEE(Conference Record of Thrity-First Asilo

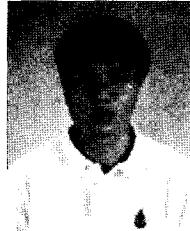
mar Conference on Signals, Systems, and Com-
puters, 1997), vol. 2, pp. 1715-1719.

유 지 희



1997년 2월: 포항공과대학교 전자
전기공학과(공학사)
1999년 2월: 포항공과대학교 전자
전기공학과(공학석사)
1999년 3월~현재: 국방과학연구
소 연구원
[주 관심분야] RCS 측정, 표적인식

권 경 일



1988년 2월: 경북대학교 전자공학
과(공학사)
1990년 2월: 경북대학교 전자공학
과(공학석사)
1990년 3월~현재: 국방과학연구소
선임연구원
[주 관심분야] RCS 측정, 표적인식

이 용 희

현재 국방과학연구소 책임연구원