

## 표적모의장치를 이용한 SAR 장비의 성능 분석

# Performance Analysis of SAR System Using Radar Target Simulation Equipment

권순구 · 여환용 · 박성민 · 한지훈 · 정창식\* · 김기완\* · 신현익\*

Soon-Koo Kweon · Hwan-Yong Yeo · Sung-Min Park · Ji-Hoon Han ·  
Chang-Sik Jung\* · Ki-Wan Kim\* · Hyun-Ik Shin\*

### 요 약

본 논문에서는 합성개구레이다(Synthetic Aperture Radar: SAR) 장비의 성능 분석을 위하여 레이더 표적모의장치를 설계, 제작한 결과를 선보인다. 먼저 표적모의장치의 기능과 성능에 대해 설명하고, SAR 장비와 연동하기 위한 표적 시나리오 생성방법에 대해 설명하였다. 또한 제작된 표적모의장치를 이용하여 SAR 장비의 시간지연 값을 간단하고 정확하게 측정하고 보상하는 방법을 개발하였다. 시간지연이 보상된 SAR 장비와 표적모의장치를 이용하여 SAR 영상에서 점표적을 획득하고, IRF(Impulse Response Function) 분석을 통해 성능을 분석하였다. 그 결과, 방위방향 IRF의 PSLR(Peak to Side Lobe Ratio)은  $-13.25$  dB, 해상도는  $0.49$  m로 이론값과 매우 유사한 값을 보였다.

### Abstract

In this work, we have designed and manufactured radar target simulation equipment for the performance analysis of synthetic aperture radar(SAR) systems. First, we have explained the function and performance specification of the target simulation equipment and point target scenario generation for validation of the SAR system. In addition, we have developed a simple and accurate calibration method for the time delay of the SAR system using the manufactured target simulation equipment. We have analyzed the point target impulse response function of the SAR image acquired using the SAR system and the target simulation equipment. It was observed that the measured peak to side lobe ratio( $=-13.25$  dB) and resolution( $=0.49$  m) are in good agreement with the corresponding theoretical values.

Key words: Synthetic Aperture Radar, Radar Target simulation Equipment, Radar Cross Section

## I. 서 론

SAR 영상은 광학 영상과는 달리 기후, 시간에 관계없이 전천후로 획득이 가능하다는 장점으로 인해 지표면 정보 식별, 해상 감시, 재해 감시뿐만 아니라, 군사 목

적 등 다양한 분야에서 활용되고 있다<sup>[1],[2]</sup>. SAR 장비의 주요 탑재 플랫폼은 위성 또는 항공기와 같이 빠르게 이동하는 플랫폼으로 일정 시간 동안의 신호를 수집하고 합성하여 영상을 형성하게 된다<sup>[3]</sup>. 그러므로 지상에서 운용되는 레이더 시스템에 비해 SAR 장비는 실

LIG 넥스원(주) 감시정찰연구소(SAR R&D Laboratory, LIG Nex1 Co., Ltd., Korea)

\*국방과학연구소 (The 3rd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea)

· Manuscript received December 5, 2017 ; Revised February 7, 2018 ; Accepted February 10, 2018. (ID No. 20171205-120)

· Corresponding Author: Soon-Koo Kweon (e-mail: soonkoo.kweon@lignex1.com)

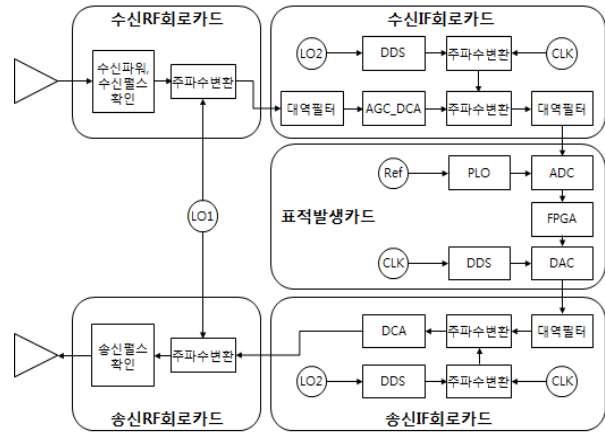
제 플랫폼에 탑재하기 전에 시스템의 성능 분석에 큰 제약이 따른다. 표적모의장치는 SAR 장비의 이동에 따른 표적의 신호를 모사해 주어 지상에서도 표적의 영상을 형성하여 성능을 분석할 수 있도록 해준다<sup>[4]</sup>.

표적모의장치의 기능에는 시간지연, 위상제어, RCS (Radar Cross Section) 제어가 있다. RCS 제어 기능은 표적의 반사신호 세기를 거리에 따라 변화도록 모사해 주어 원하는 RCS의 표적영상을 획득할 수 있게 해주는 기능이다. 시간지연 기능은 SAR 장비와 표적 간의 거리를 펄스마다 왕복시간으로 계산하여 표적모의장치의 DRFM(Digital Radio Frequency Memory)에서 지연시키는 기능이다. 그러나 이러한 시간지연은 DRFM의 샘플링 주파수에 의해 제한되는데 SAR 장비의 경우 일반적으로 높은 PRF(Pulse Repetition Frequency)로 운용되며 비행속도, 경사거리 등을 고려했을 때 샘플링 주파수가 아무리 높아도 펄스마다 변하는 시간지연을 영상형성을 위해 필요한 단위까지 표현하기에는 부족하다<sup>[5]</sup>. 그러므로 샘플링 주파수로 제어가 어려운 단위는 위상제어를 통해 모사해준다.

본 논문에서는 SAR 장비의 성능 분석을 위하여 시간지연, 위상제어, RCS 제어 기능을 갖는 표적모의장치를 제작한다. 표적모의를 위한 시나리오 생성방법을 정의하고, 표적모의장치를 이용하여 SAR 장비의 시간지연 오차를 보상한 후 SAR 영상의 점표적(point target) IRF(Impulse Response Function)에서 PSLR(Peak to Side Lobe Ratio), 영상해상도 등을 확인한다.

## II. 표적모의장치 설계

설계된 표적모의장치는 본 논문에서 사용한 SAR 장비와 동일한 X-밴드 주파수를 사용하며, 고해상도 SAR 표적 모의를 위해 광대역의 신호를 모의할 수 있도록 하였다. 표적모의장치는 그림 1(a)와 같이 총 5장의 회로카드로 구성하였다. 먼저 수신RF회로카드에서 수신 신호 세기와 펄스를 확인한 후 1차 주파수 하향을 한다. 수신IF회로카드는 대역 외의 신호를 제거하고 중간 주파수(Intermediate Frequency: IF)단으로 하향한다. 표적발생카드는 수신신호를 디지털로 변환한 후 DRFM 기능을 이용하여 저장된 칩(chirp) 신호를 FPGA(Field-



(a) 표적모의장치 구성도  
(a) Target simulation equipment diagram



(b) 제작된 표적모의장치  
(b) Manufactured target simulation equipment

그림 1. 표적모의장치  
Fig. 1. Target simulation equipment.

Programmable Gate Array)에서 디지털 처리된 후 거리에 맞게 지연되어 출력된 후 다시 아날로그 신호로 변환된다. 송신IF회로카드에서는 대역필터를 통과한 후 DCA(Digital Control Attenuator)를 이용하여 거리에 맞는 레벨을 출력하도록 한다. 송신RF회로카드에서 신호를 X-밴드로 상향시킨 후 송신하는 펄스 개수를 점검한다. 또한 무선 ethernet을 이용하여 원거리에서 표적모의장치를 제어할 수 있도록 설계하였다. 그림 1(b)는 제작된 표적모의장치의 사진이다.

그림 2는 표적모의장치의 타이밍도이다. 그림과 같이 표적모의장치는 SAR 장비와의 거리, 표적모의장치 내부지연 등을 고려하여 SAR 수신타이밍에 맞게 신호

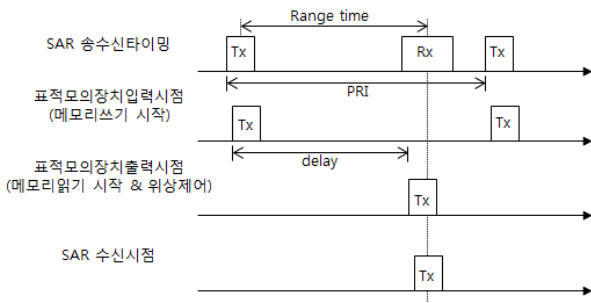


그림 2. 표적모의장치 타이밍도  
Fig. 2. Target simulation equipment timing diagram.

를 동기화하게 된다. 제작된 표적모의장치 DRFM의 샘플링 주파수는 2 GHz로 시간지연 해상도는 0.5 ns이다. 위상제어는 360°를 16 bit로 제어하므로 위상제어 해상도가 0.0055°가 된다.

### III. 시나리오 생성 및 영상 형성

SAT(Synthetic Aperture Time) 동안 SAR 플랫폼과 표적간의 거리변화를 펄스 별로 모의한 결과는 그림 3의 점선과 같다. 이때 경사거리는 20 km이며 영상해상도 1 m를 만족하도록 SAT를 설정하였다. 그림 3의 실선은 표적모의장치의 샘플링 간격인 0.5 ns 단위로 해당 시나리오를 구현했을 경우의 시간지연을 보여준다. 그림과 같이 표적모의장치의 시간지연 조절만으로는 SAR

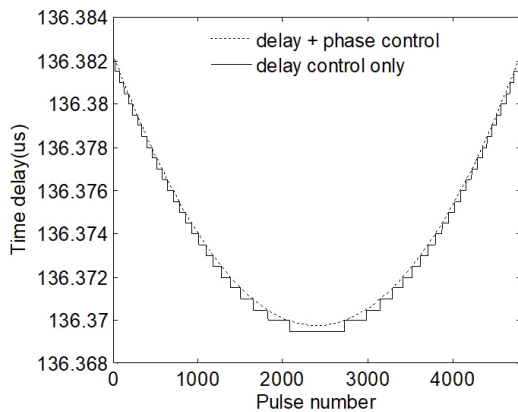


그림 3. 위상제어기능 유무에 따른 시간지연 값 비교  
Fig. 3. Time delay comparison between delay+phase control and delay control only.

표적의 시간지연을 정밀하게 모사할 수 없다.

DRFM의 시간지연 후 남은 시간지연 값을 위상제어 값으로 계산한 결과는 식 (1)로 SAR와 표적 간의 거리에 의한 위상 값에서 DRFM으로 제어된 시간지연에 해당하는 위상 값을 빼고 남은 위상 값을 360°로 나눈 값이다.

$$\phi = \frac{4\pi R_t \times F_c}{c} - \frac{4\pi R_d \times F_{IF}}{c} = \frac{4\pi R_t \times F_c}{c} - 2\pi F_{IF} t_d \quad (1)$$

여기서,  $R_t$ : SAR와 표적 간의 거리

$R_d$ : 표적모의장치로 제어된 거리

$t_d$ : 표적모의장치로 제어된 시간지연

$F_c$ : SAR 송신 주파수

$F_{IF}$ : 표적모의장치 중간 주파수

식 (1)에서 SAR와 표적 간의 시간지연을 위상 값으로 계산할 때는  $F_c$ 를 사용하지만, DRFM으로 제어된 시간지연을 계산할 때는  $F_{IF}$ 를 사용한다. 왜냐하면 DRFM으로 제어된 시간지연은 IF 대역에서 위상제어가 이루어지므로  $F_{IF}$ 를 사용하여야 한다. 위상제어 후 다시 송신 주파수 대역으로 주파수 상향을 하더라도 위상제어 값은 변하지 않으므로 거리  $R_t$ 에 의한 위상 값은  $F_c$ 를 사용하게 된다.

그림 4는 표적모의장치로 제어된 시간지연을 제외한 나머지 시간지연에 대한 위상보상 값을 나타낸다. 그림과 같이 SAR와 표적의 펄스 간 거리변화는 중심에서 가장 적으며, 가장자리로 갈수록 커진다. 중심에서 펄스 간 거리변화는 0.1° 수준으로 위상제어해상도인 0.0055°보다 충분히 큰 것을 확인할 수 있다.

이와 같이 표적모의장치에서 시간지연과 위상제어를 통해 SAR와 표적 간 시간지연을 모사한 신호는 DCA를 이용하여 거리에 맞는 신호세기로 출력하게 된다. 표적모의장치의 출력레벨은 레이다방정식과 Friis 전송 방정식을 이용하여 계산한다<sup>[6]</sup>.

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_{SAR}^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (2a)$$

$$P_{in} = P_t G_{SAR} G_{TSE} \frac{\lambda^2}{(4\pi R_i)^4} \quad (2b)$$

$$P_r = P_{out} G_{SAR} G_{TSE} \frac{\lambda^2}{(4\pi R_i)^4} \quad (2c)$$

$$G_{loop} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{4\pi\sigma}{(G_{TSE}\lambda)^2} \times \left(\frac{R_i}{R}\right)^4 \quad (2d)$$

- 여기서,  $P_t$ : SAR 송신전력
- $P_r$ : SAR 수신전력
- $P_{in}$ : 표적모의장치 입력 전력
- $P_{out}$ : 표적모의장치 출력 전력
- $G_{TSE}$ : 표적모의장치 안테나 이득
- $G_{SAR}$ : SAR 안테나 이득
- $G_{loop}$ : 표적모의장치 loop 이득
- $R$ : SAR와 표적 간의 모의 거리
- $R_i$ : SAR와 표적모의장치 간의 실제 거리
- $\sigma$ : 모의할 표적의 RCS

식 (2a)는 레이더방정식으로 SAR 장비의 송수신안테나는 동일하다고 가정하였다. 식 (2b)는 SAR 장비에서 송신하여 표적모의장치로 입력되는 신호의 세기를

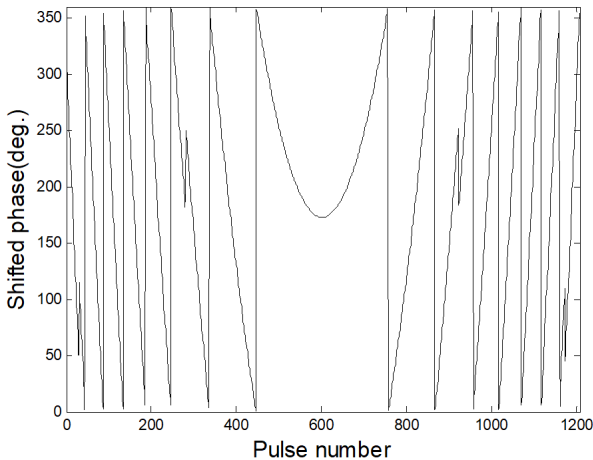


그림 4. 표적모의장치 시나리오의 위상제어 값  
Fig. 4. Phase control value of target simulation equipment scenario.

계산한 식이며, 식 (2c)는 표적모의장치에서 송신하여 SAR 장비로 입력되는 신호의 세기를 계산한 식이다. 여기서 장치 케이블 손실 등을 고려하여 정확한 송수신전력을 구하여야 한다. 식 (2a)~식 (2c)를 이용하면 식 (2d)와 같이 표적모의장치의 loop 이득을 구할 수 있고, DCA를 조절하여 해당이득을 모사할 수 있다.

#### IV. 표적모의장치를 이용한 SAR 장비 지연 측정

표적모의장치를 이용하여 SAR 영상을 획득하기 위해 SAR 장비와 표적모의장치를 원전계(far-field) 조건이 되도록 설치하고 SAR 안테나와 표적모의장치 안테나가 boresight가 되도록 정렬하여야 한다. 그러나 본 논문에서는 공간제약으로 인해 SAR 장비와 표적모의장치의 안테나를 제거하고, RF 케이블로 SAR 장비 송신과 표적모의장치 입력, 표적모의장치 출력과 SAR 장비 수신을 연결하여 실험하였다. SAR 장비의 운용주파수는 X-밴드이며, 300 MHz의 대역폭을 갖는다. 시험에 사용한 알고리즘은 PFA(Polar Format Algorithm)이며 고해상도 SAR 영상을 획득하기 위해 디램핑(deramping) 기법을 이용하였다<sup>[7],[8]</sup>. 고해상의 SAR 영상을 획득하기 위해선 광대역의 LFM(Linear Frequency Modulation) 파형을 사용하며, 광대역 신호를 처리하기 위해서 일반적으로 디램핑 기법(deramp compression processing)을 사용한다. 디램핑 기법은 수신된 칩신호를 송신 칩신호와 커핑하여 단일 주파수의 정현파 신호로 변환시켜 수신 대역폭을 낮춰 하드웨어 설계 시 대역통과필터(band pass filter)의 대역폭, 샘플링 주파수 등을 줄일 수 있는 기법이다. 소프트웨어의 경우 역시 데이터 양과 신호 처리 속도를 향상시킬 수 있다.

레이더시스템에서 표적의 정확한 위치를 파악하기 위해선 시스템 내부의 지연 값을 측정하여 보상에 주어야 한다. 특히 SAR 장비에서는 내부 지연으로 인해 RCMC(Range Cell Migration Correction) 오차가 발생하게 되면 방위방향 IRF 성능이 떨어지게 되어 영상 퍼짐 현상이 발생하게 된다<sup>[9]</sup>.

디램핑을 이용하지 않는 일반적인 SAR 장비에서는 신호처리 시에 시스템 내부 지연을 고려하여 정합필터링을 수행하면 해결된다. 하지만 디램핑 기법의 경우,

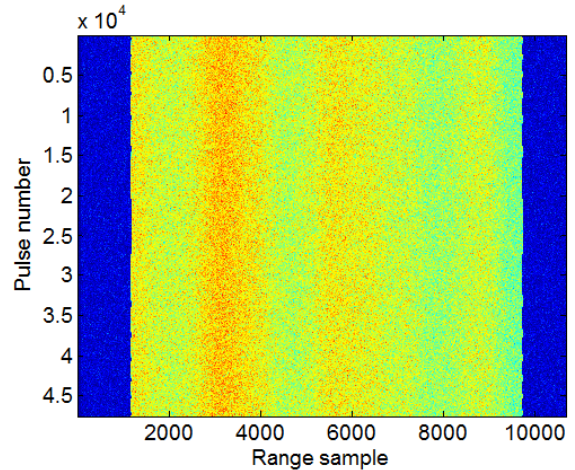
전체 송수신 지연도 중요하지만 수신신호와 디램핑 LO 신호가 커플링되어 IF 단으로 하향되는 위치에서의 지연 값도 중요하다. 디램핑 기법에서 송수신 지연이 발생하면 신호처리되는 주파수에 오차가 발생하게 되므로 실제 송신하는 신호의 타이밍 제어를 통해 지연보상을 해준다. 이와 같이 지연 값 측정 시의 복잡성과 안테나를 포함했을 때 측정방법의 모호성 등에 의해 측정에 어려움이 발생한다. 그러나 표적모의장치를 이용하면 간단하게 측정할 수 있다.

디램핑 기법에서 디램핑 LO 신호는 경사방향 영상폭을 고려하여 펄스폭을 정해야하므로 송신 펄스폭보다 크며, 송신 칩 rate와 같으므로 대역폭도 비례하여 증가하게 된다. 본 논문에서 송신 펄스폭은 40 us, 대역폭은 300 MHz, 디램핑 LO의 펄스폭은 50 us, 대역폭은 375 MHz로 동일한 칩 rate에 펄스폭 차이를 10 us로 설정하여 경사거리방향 영상폭을 1.5 km가 되도록 설정하였다. 다음 식 (3)은 IF 단으로 하향되는 위치에서의 1차 시스템 지연 값을 계산하는 수식이다.

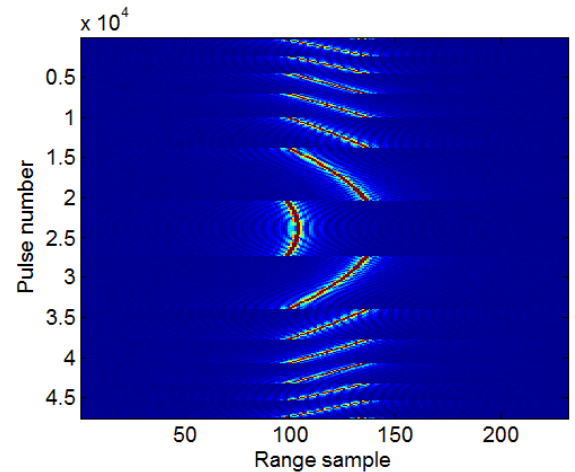
$$t_d = [(f_{tx} - f_{deramp}) - f_{rx}] \times \frac{T}{B} \quad (3)$$

- 여기서,  $f_{tx}$ : 송신 칩의 중심 주파수
- $f_{deramp}$ : 디램핑 LO의 중심 주파수
- $f_{rx}$ : IF 단 신호의 중심 주파수
- $T$ : 펄스폭
- $B$ : 대역폭

표적모의장치로 영상중심에 표적을 위치하도록 시나리오를 설정하고 샘플링된 데이터는 그림 5(a)와 같다. 이러한 시간축 데이터에 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행하여 주파수 축으로 변환하면 그림 5(b)와 같이 변한다. 디램핑 기법에서 단일표적은 단일 주파수로 수신되므로 영상 중심에 위치한 표적은 수신신호와 디램핑 LO 신호가 중심 주파수에서 커플링되며, 이때IF 단으로 하향된 단일 주파수는 수신신호 중심 주파수와 디램핑 LO 신호 중심 주파수의 차로 나타난다. 그림 5(b)는 거리방향 FFT를 수행한 이후 RCM(Range Cell Migration)을 보여준다. RCM이 일정 거리방향 샘플 간



(a) 수신된 raw 데이터  
(a) Acquired raw data



(b) 거리방향 FFT 수행 후 데이터  
(b) Amplitude data after range FFT

그림 5. AD 샘플링 데이터  
Fig. 5. AD sampling data.

격으로 끊긴 형태를 보이는 것은 RGD(Range Gate Delay)가 샘플링 간격만큼 이동되기 때문이다.

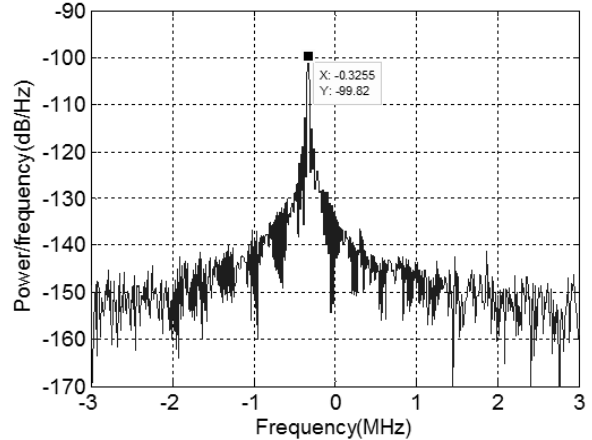
디램핑 기법은 송신과 디램핑 LO의 펄스폭 차이에 의해 경사거리 영상폭이 제한된다. 정합필터 기법을 사용하는 경우 이러한 제약없이 빔폭에 해당하는 경사거리 정보를 수신할 수 있지만, 디램핑 기법은 송신장치의 duty와 대역폭 성능제약에 따라 영상폭이 제한될 수밖에 없다.

또한 방위방향으로 고해상도의 SAR 영상을 얻기 위해서는 SAL(Synthetic Aperture Length)가 증가하게 되며 SAL가 증가하면 RGD의 변화도 커지게 된다. 이러한 이유들로 인해 경사거리 영상폭에 해당하는 신호가 모두 수신되도록 디래핑 LO의 타이밍을 RGD 변화에 맞춰 이동시켜 주어야 한다. 타이밍 제어는 파형발생기의 클락 주파수와 관계가 있다. 본 논문에서 사용한 SAR 장비의 클락 샘플링 주파수는 10 MHz로 100 ns 단위로 타이밍을 조절할 수 있다. 영상중심과의 거리를 계산한 후 영상중심으로부터 수신된 신호가 디래핑 LO 신호의 중심에 위치하게 되면 타이밍을 100 ns 이동시키게 되므로 타이밍이 변하기 직전의 중간 주파수는 항상 중심 주파수가 된다.

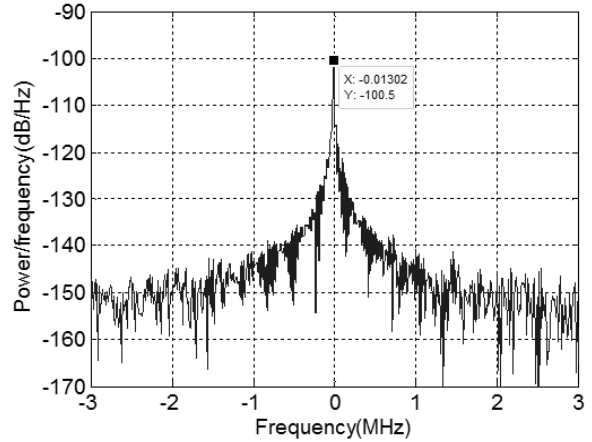
그림 6(a)는 RGD가 변하는 위치에서의 파형의 중간 주파수를 보여준다. 이때 중심 주파수를 0으로 이동시켜 분석에 용이하도록 하였다. 파형의 중간 주파수는 -0.3255 MHz로 식 (3)을 이용하여 시간지연을 계산해보면 43 ns가 된다. 그림 6(b)는 시스템 시간지연인 43 ns를 보상하기 위해 수신타이밍을 43 ns 지연시킨 후 수신한 데이터에서 파형의 중간 주파수를 확인한 결과로 정확하게 중심에 위치한 것을 알 수 있다.

2차 시스템 지연은 최종적으로 수신된 AD 데이터에서의 지연이다. 디래핑 LO 신호와 커플링된 신호는 이후 몇 차례 하향과 필터를 통과된 후 디지털 신호로 샘플링된다. 이러한 과정에서 발생한 지연으로 인해 샘플링되는 위치가 변하게 되며, 이것은 거리오차로 나타나게 된다. 거리오차가 발생하면 RCMC가 완벽하게 수행되지 않아 경사거리 방향 FFT 이후 표적이 있는 위치에서 방위방향으로 파형 간 위상차이가 발생하게 된다.

그림 7(a)는 거리오차로 인해 파형 간 위상오차가 발생한 경우의 그림이다. 그림에서와 같이 거리오차로 인해 migration 형태가 남아 있고, RGD가 변하는 부분에서 위상이 튀는 것을 확인할 수 있다. 2차 시스템 지연은 샘플링된 파형데이터를 거리방향으로 이동하여 잔여오차가 최소가 되는 지연 값을 찾으면 된다. 이때지연시간은 이동한 샘플의 수를 샘플링 주파수로 나눠서 구할 수 있다. 그림 7(b)는 395 ns를 지연시켜 위상오차가 최소가 되게 한 그림이다.



(a) 1차 지연 보상 전 중간 주파수  
(a) IF spectrum before 1st-order delay compensation



(b) 1차 지연 보상 후 중간 주파수  
(b) IF spectrum after 1st-order delay compensation

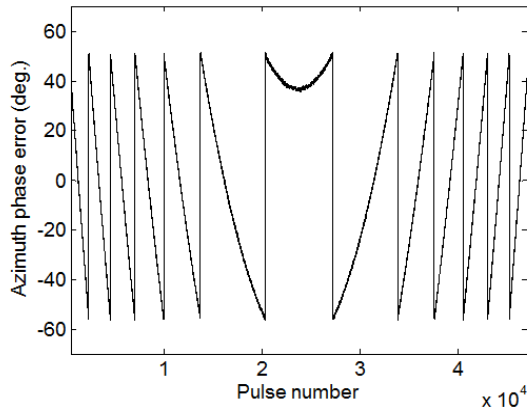
그림 6. 1차 시스템 지연 측정결과  
Fig. 6. 1st-order system delay measurement.

## V. SAR 영상 분석

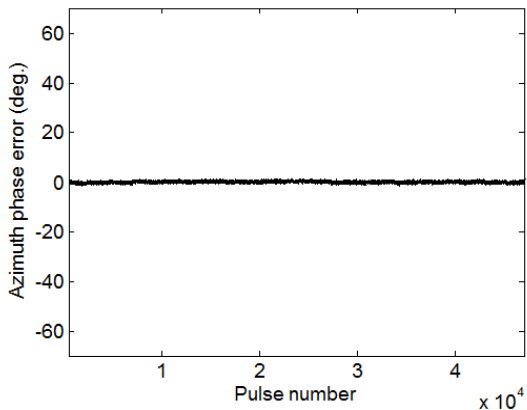
측정된 1, 2차 시스템 지연을 보정한 후 SAR 영상을 획득하여 표적의 IRF를 분석한다. 시험에 사용한 표적은 경사거리가 80 km 떨어져 있으며, SAR 장비는 고도 5 km에서 50 m/s로 이동하도록 시나리오를 설정하였다.

IRF 분석은 거리방향과 방위방향으로 이루어지며 거리방향 IRF의 경우 송신파형과 디래핑 LO 파형의 진폭, 위상특성의 영향이 크며, 방위방향 IRF는 시스템





(a) 2차 지연 보상 전 파형 간 위상  
(a) Pulse to pulse phase before 2nd-order delay compensation

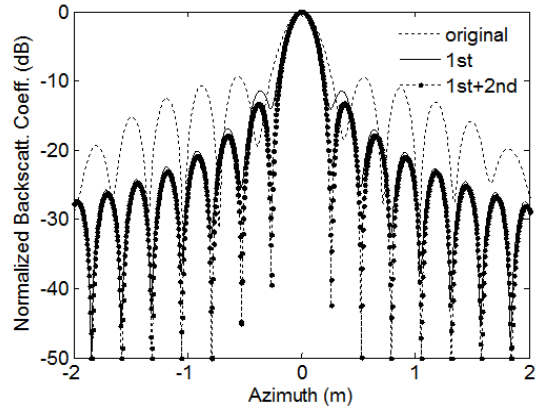


(b) 2차 지연 보상 후 파형 간 위상  
(b) Pulse to pulse phase after 2nd-order delay compensation

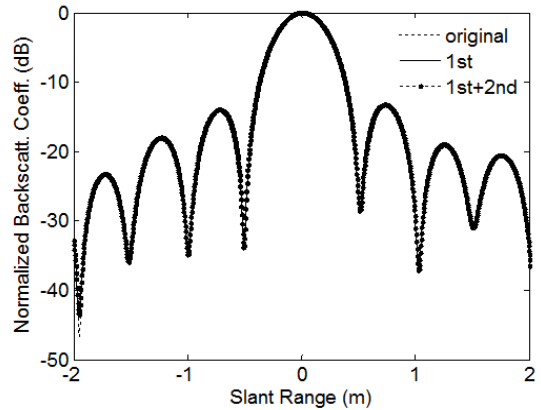
그림 7. 2차 시스템 지연 측정결과  
Fig. 7. 2nd-order system delay measurement.

지연과 요동에 의한 위치오차 등의 영향이 크다. 그림 8은 1차, 2차 지연 보상 전후의 표적의 방위방향, 경사거리방향 IRF를 비교한 그림이다. 그림 8(a)에서 방위방향 IRF의 해상도와 PSLR은 1차 지연, 2차 지연 보상에 따라 점차적으로 좋아지는 것을 알 수 있다. 그림 8(b)에서 경사거리방향 IRF의 해상도와 PSLR은 거의 변화 없이 동일한 것을 알 수 있다.

그림 9는 지연보상 전과 1차, 2차 지연보상 후의 점 표적의 SAR 영상을 비교한 그림이다. 거리방향으로 0인 지점이 시나리오 상 표적의 위치이다. 지연보상 전은 거리방향으로 6.5059 m 오차를 보이지만 지연보상



(a) 방위방향 IRF  
(a) Azimuth IRF



(b) 경사거리방향 IRF  
(b) Slant range IRF

그림 8. 1차, 2차 지연 보상 전후의 표적 IRF 비교  
Fig. 8. Comparison of point target in SAR image with IRF after 1st and 2nd-order system delay compensation.

후에는 정확하게 중심에 위치하는 것을 알 수 있다. 이러한 거리변화는 1차 시스템 지연 값인 43 ns를 거리로 계산한 6.4455 m와 유사하다. 그 이유는 그림 6에서 처럼 디래핑 기법에서는 주파수 하향 이후 중간 주파수값으로 위치를 계산하기 때문이다. 2차 시스템 지연은 방위방향 IRF의 퍼짐현상과 관계가 있으며, 그림 9와같이 지연 보상 후 방위방향의 부엽(side lobe)이 많이 감소한 것을 알 수 있다.

표 1은 표적 IRF 분석내용을 정리한 결과로 방위방향 해상도와 PSLR은 시간지연 보상 전 0.63 m, -9.37 dB

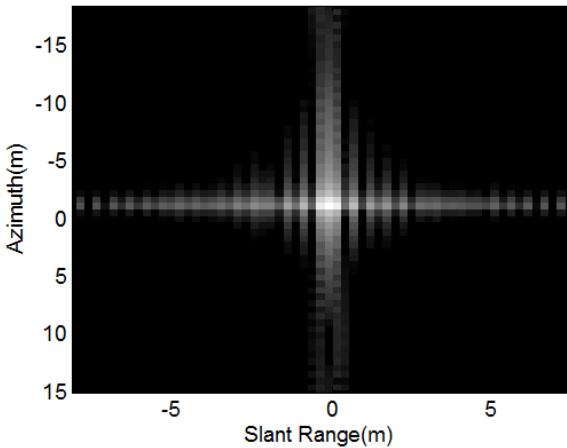
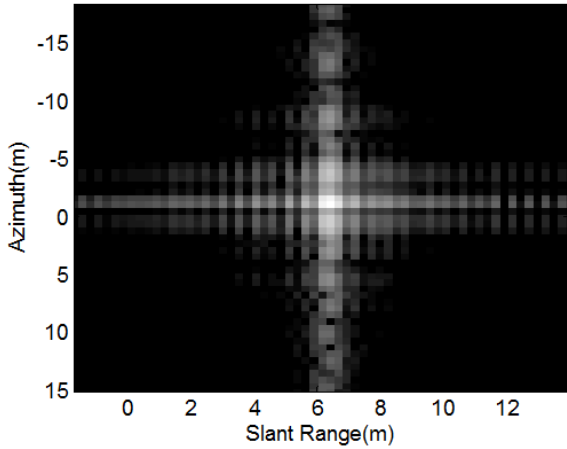


그림 9. 1차, 2차 지연 보상 전후 영상 비교  
Fig. 9. SAR image comparison between original and delay compensation.

표 1. 표적 IRF 분석 결과  
Table 1. Analysis result of target IRF.

지연보상 단계	해상도(m)		PSLR(dB)	
	방위	경사거리	방위	경사거리
설계 값	0.50	0.44	-13.26	-13.26
보상 전	0.63	0.44	-9.37	-13.26
1차 보상	0.50	0.44	-11.44	-13.21
2차 보상	0.49	0.44	-13.25	-13.23

로 설계치보다 나쁘지만, 1차 보상 후 0.5 m, -11.44 dB로 해상도는 설계 값과 동일하고, PSLR은 2 dB 정도 떨어진다. 2차 보상 후에는 해상도가 0.49 m로 오히려 낮아졌지만, PSLR은 0.01 dB 높아 오차범위 이내이다. 경사거리방향 IRF는 보상 전, 1차 보상 후, 2차 보상 후 모두 설계 값과 매우 유사한 결과로 시간지연과는 상관관계가 낮은 것을 알 수 있다.

## VI. 결 론

지상에서 SAR 장비의 성능 분석을 위해 시간지연, 위상제어, RCS 제어 기능을 갖춘 표적모의장치를 제작하였다. 그리고 표적모의장치의 샘플링 주파수, 감쇄 값 등과 SAR 장비의 규격 등을 고려하여 표적모의장치의 시나리오를 생성하였다. 제작된 표적모의장치를 이용하여 간단하면서 정확하게 SAR 장비의 시간지연을 측정하는 방법에 대해 연구, 적용하였으며, 지연이 보상된 SAR 장비에서 영상을 획득한 후 점표적의 IRF를 분석한 결과, 설계 값과 매우 유사한 값을 보였다.

본 논문에서는 공간제약으로 인해 안테나를 제거하고, SAR 장비와 표적모의장치를 직접 연결하여 실내 실험을 수행하였지만 보다 정확한 성능 측정을 위해서는 실내실험과 방사실험을 병행할 필요가 있다. 방사 실험은 안테나의 VSWR(Voltage Standing Wave Ratio)에 의한 경사거리방향 IRF 성능 열화와 물리적인 안테나 경로에 의한 추가적인 거리지연 등을 포함한 성능 측정이 가능하다. 하지만 방사실험 시 원전계 조건을 만족하기 위해 수십m 거리의 이격이 필요하고, 지면에서의 반사를 회피하기 위해 높이 조건이 만족되어야 한다. 또한 외부 노이즈 신호와 표적모의장치 송수신 안테나 이격거리 등이 분석의 정확도를 낮출 수 있다.

표적모의장치를 이용하여 지상에서 SAR 장비 성능의 많은 부분을 분석할 수 있지만, 실제 비행 시 발생 가능한 변수를 다 고려하진 못 한다. 그 중 대표적인 것이 비행체 요동과 안테나 지향오차로 비행체 요동은 영상 포커싱에 문제를 발생시키며, 안테나 지향오차는 영상촬영지역에서의 수신신호세기를 감소시켜 NESZ (Noise Equivalent Sigma Zero)가 증가하는 문제를 일으킨다. 이러한 문제들을 최소화하기 위해 추가적으로



요동보상과 오토포커스 기법에 대한 검증이 필요하며, 안테나 빔패턴측정, 항법장치와 안테나 간의 3차원 정렬을 수행 및 보상하여 지향오차를 최소화할 수 있다. 이러한 노력을 통해 개발한 SAR 장비의 성능 요구구격을 만족시킬 수 있다.

### References

[1] F. T. Ulaby, R. K. Moore, and A. K. Fung, *Microwave Remote Sensing Active and Passive*, vol. 3, Artech House, 1986.  
 [2] K. Ouchi, "Recent trend and advance of synthetic aperture radar with selected topics," *Remote Sensing*, vol. 5, no. 2, pp. 716-807, 2013.  
 [3] M. I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1962.  
 [4] 이종필, 이일근, 이영훈, "위상제어방식 활용 레이다

시험용 모의표적신호 발생기 구현," 한국정보기술학회논문지, 12(1), pp. 53-59, 2014년 1월.  
 [5] S. A. Hovannessian, *Introduction to Synthetic Array and Imaging Radars*, Dedham, Artech House, 1980.  
 [6] C. A. Balanis, *Antenna Theory*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 1997.  
 [7] W. G. Carrara, R. S. Goodman, and R. M. Majewski, *Spotlight Synthetic Aperture Radar*, MA, USA, Artech House, 2007.  
 [8] I. G. Cumming, F. H. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data*, Artech House, 2005.  
 [9] A. Moreira, P. Prats-Iraola, M. Younis, G. Krieger, I. Hajnsek, and K. P. Papathanassiou, "A tutorial on synthetic aperture radar," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, vol. 1, no. 1, pp. 6-43, Mar. 2013.

### 권 순 구



2007년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)  
 2009년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)  
 2014년 8월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학박사)  
 2014년 7월~현재: LIG 넥스원(주) 감시정찰연구소 4팀 선임연구원  
 [주 관심분야] SAR 시스템, 마이크로파 원격탐사, 전파 산란

### 박 성 민



2009년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)  
 2011년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)  
 2011년 1월~현재: LIG 넥스원(주) 감시정찰연구소 3팀 선임연구원  
 [주 관심분야] 전파 산란, 마이크로파 원격탐사, SAR 시스템 개발

### 여 환 용



1995년 2월: 한양대학교 제어계측공학과 (공학사)  
 1997년 2월: 한양대학교 제어계측공학과 (공학석사)  
 2005년 8월~현재: LIG 넥스원(주) 감시정찰연구소 4팀 수석연구원  
 [주 관심분야] SAR/레이다 체계 설계/시험평가, RF 회로설계

### 한 지 훈



2006년 2월: 경희대학교 전파통신공학과 (공학사)  
 2005년 12월~2007년 4월: LG Philips LCD 공정기술팀 연구원  
 2007년 5월~현재: LIG 넥스원(주) 감시정찰연구소 4팀 선임연구원  
 [주 관심분야] SAR/레이다 체계 설계/시험평가, 안테나 설계

정 창 식



1990년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1992년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
1992년 3월 ~ 현재: 국방과학연구소 연구원

[주 관심분야] SAR/레이다 체계 설계/시험평가, SAR 영상처리

신 현 익



1986년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1988년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
2004년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)  
1988년 2월 ~ 현재: 국방과학연구소 연구원

[주 관심분야] SAR/레이다 체계 설계/시험평가, SAR 영상처리

김 기 완



2000년 2월: 전북대학교 기계공학부 항공우주공학전공 (공학사)  
2002년 2월: 전북대학교 정밀기계공학과 항공우주공학전공 (공학석사)  
2006년 2월: 한국과학기술원 기계공학과 항공우주공학전공 (공학박사)

2006년 1월 ~ 현재: 국방과학연구소 연구원

[주 관심분야] SAR/레이다 체계 설계/시험평가, 전자장비 냉각