

# RCS/ISAR를 이용한 레이다 표적분석 기법 및 소프트웨어 개발

A Development of the Analysis Technique for Radar Target Signature and the Software Using RCS/ISAR

**권 경 일\***  
Kwon, Kyoung-IL

**유 지 희\***  
Yoo, Ji-Hee

**정 명 수\***  
Chung, Myung-Soo

**윤 태 환\***  
Yoon, Taehwan

## ABSTRACT

A development of a software on radar target signature analysis is presented in this paper. The target signature includes Radar Cross Section(RCS) prediction, Range Profile(RP) processing and Inverse Synthetic Aperture Radar(ISAR) processing. Physical Optics(PO) is the basic calculation method for RCS prediction and Geometrical Optics(GO) is used for ray tracing in the field calculation of multiple reflection. For RP and ISAR, Fast Fourier Transform(FFT) and Matrix Pencil(MP) method were implemented for post-processing. Those results are integrated into two separate softwares named as Radar Target Signature Generator(RTSG) and Radar Target Signature Analyser(RTSA). Several test results show good performances in radar signature prediction and analysis.

주요기술용어(주제어) : Radar Cross Section(RCS, 레이다 반사 단면적), Range Profile(RP, 거리방향 산란점 분포), Inverse Synthetic Aperture Radar(ISAR, 역합성 개구면 레이다), Physical Optics(PO, 물리광학), Geometrical Optics(GO, 기하광학), Matrix Pencil(MP)

## 1. 머리말

현대의 정밀무기 및 정보획득에는 레이다와 초고주파 탐색기 등 전자파를 매개체로 사용하는 무기체계의 비중이 증대되어 왔다. 이러한 무기체계의 요구구격은 대상표적의 특징에 따라서 결정되며, 표적의 특징은 주로 레이다 반사 단면적(Radar Cross Section, RCS)으로 표현된다. 레이다 반사 단면적은 측정을

통하여 획득하거나 표적 모델링을 통한 시뮬레이션으로부터 얻을 수 있다. 측정을 통한 방법은 실제 표적을 사용할 수 있으나 방대한 시설과 고가의 장비가 필요하게 된다. 실험적 측정의 단점을 극복하기 위하여 RCS 측정에 모형을 사용할 경우에는 비교적 적은 비용으로 RCS 데이터를 얻을 수 있으나, 실제 표적을 전자기적으로 동등하도록 정확히 모사하는 것이 매우 어렵다. 이에 반하여 시뮬레이션을 통한 방법은 측정에 비하여 매우 저렴한 비용으로 데이터를 얻을 수 있고, 측정에서는 얻기 힘든 다양한 각도에 대한 데이터의 획득이 가능하다. 또 측정대상 표적을 구할 수 없거나, 스텔스 기술을 체계에 적용해야하는 경우

† 2004년 6월 7일 접수 ~ 2004년 6월 22일 심사완료

\* 국방과학연구소(Agency for Defense Development)  
주저자 이메일 : kikwon@add.re.kr

에는 시뮬레이션에 의한 방법이 보다 효과적이다. 그러나 시뮬레이션에는 복잡한 전자기학적인 계산과 표적의 기하학적 데이터를 취급하여야 하므로 정확하고 속도가 빠른 계산기법을 개발하는 것이 쉽지 않다.

초고주파 센서에 대한 표적 특성의 분석과 정보의 획득 형태는 매우 다양하다. 일반적으로 RCS는 관찰 각도, 주파수, 편파에 대한 함수이며, 영상 레이다(Synthetic Aperture Radar, SAR)나 대공 레이다의 ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar)에서는 2차원 평면에서의 각각의 위치에 대한 함수이다. 또 초고주파 근접신관이나 탐색기의 경우에는 RCS가 거리의 함수로 나타나기도 한다. 이러한 다양성은 각 센서와 표적의 상대적 특성에서 기인하는 것으로 다양한 방법을 동원하여 데이터의 획득이 이루어지고 있다. 만약 데이터 확보를 측정 시설에만 의존할 경우 방대한 시설을 확보하여야하므로 많은 비용이 요구되며, 특히 적성국 체제는 측정 표적의 획득이 불가능할 수 있다. 이러한 다양한 형태의 표적에 대한 RCS 데이터 요구를 충족시키기 위하여 Epsilon, XPatch 등 레이다 표적 시뮬레이션 소프트웨어가 개발되어 사용되고 있다<sup>[1,2]</sup>.

Epsilon은 영국의 DERA(Defence Evaluation and Research Agency)의 주도로 Roke Manor사에서 개발한 RCS 분석 소프트웨어이며, 고주파 해석방법에 의한 RCS 계산기능과 RP/ISAR 영상생성 기능을 포함하고 있다. Xpatch는 미국에서 개발한 레이다 표적분석 소프트웨어로서 고주파 해석방법 뿐만 아니라 저주파 해석방법을 적용한 복합형 RCS 계산방법을 적용할 수 있으며, RP(Range Profile), ISAR, SAR 영상의 시뮬레이션과 3차원 산란점 추출 기능을 포함하고 있어서 NCTR(Non-Cooperative Target Recognition), SAR-ATR(Automatic Target Recognition)의 데이터베이스 구축에 적용되고 있다. 이 소프트웨어는 미국의 400여개 기관에서 운영되고 있으나 국외 반출 금지 품목으로 지정되어 있어 획득이 불가하며, 기타 국가의 소프트웨어는 Xpatch에 비해 제한된 기능만을 보유하고 있다.

본 논문에서는 초고주파 센서에 대한 표적분석 기술과 관련 소프트웨어의 개발결과에 대하여 기술하였다. 여러 가지 표적분석 기술을 적용한 표적 분석 소

프트웨어는 앞에서 언급한 바와 같이 여러 센서와 표적의 다양한 조우 조건을 시뮬레이션 할 수 있도록 설계되었으며, RCS 값의 계산뿐만 아니라 1, 2차원 영상을 통한 산란점 분석이 가능하도록 RP/ISAR 분석 기능을 동시에 개발하였다. RCS의 계산에는 PO 기법과 광선추적(Ray Tracing) 기법이 사용되었으며, RP/ISAR 영상 생성에는 MP(Matrix Pencil) 기법과 FFT(Fast Fourier Transform) 기법을 적용하였다. 시뮬레이션에 사용될 표적은 CAD 모델로 제작하여 평면으로 재구성한 후에 RCS의 계산에 적용되었다. RCS 계산기법은 코너 반사판, 비행체 형상의 모델에 적용하여 실용성을 확인하였으며, 얻어진 RCS 데이터를 이용하여 ISAR 영상이 얻어짐을 확인하였다. 또 다양한 방법에 의한 데이터 전시방법을 고안하여 RCS 데이터 분석에 활용할 수 있음을 확인하였다.

## 2. 표적신호 분석 기술의 개발

레이다 표적기술은 크게 RCS 계산 기술과 RP/ISAR 분석 기술로 나누어진다. RCS 계산은 저주파 해석기술과 고주파 해석기술로 세분화되며, 고주파 해석 기술은 이미 잘 알려진 바와 같이 PO(Physical Optics)와 GO(Geometrical Optics)를 사용하고 회절과 해석기법인 PTD(Physical Theory of Diffraction)과 GTD(Geometrical Theory of Diffraction) 기법을 추가하여 끝단에서 회절과를 계산한다. 고주파 해석기법은 표적이 파장에 비하여 충분히 크고 형상의 변화가 적은 경우에 사용한다. 이에 반하여 표적이 작거나 형상의 변화가 큰 경우에는 저주파 해석기법인 MOM(Method-of-Moments), FEM(Finite Element Method), FD-TD(Finite Difference-Time Domain)를 사용한다. 표적이 큰 경우에도 표적 내에서 국부적으로 작은 산란체가 존재할 경우에는 고주파 해석방법만으로는 해석이 부정확하거나 불가능할 수 있으므로 이런 경우에는 국부적으로 저주파 해석법을 적용하는 복합기법을 사용한다<sup>[1]</sup>.

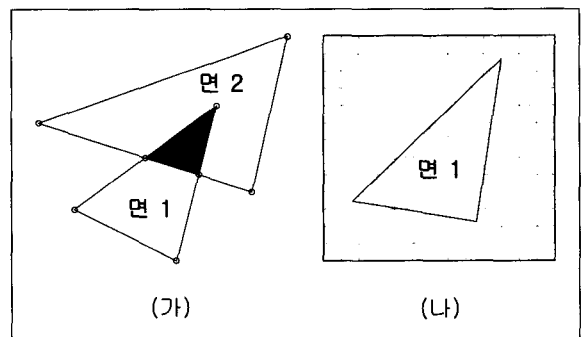
고주파 해석기법을 적용하여 표적에서의 전자파 산란을 계산하면 저주파 기법보다 계산시간이 적게 걸리는 하지만 수십 미터에 이르는 실제 표적의 RCS

계산에는 효과적인 그림자 영역의 제거, 다중반사의 계산 등과 같은 기법을 구현하여야 한다. Xpatch의 경우에는 SBR(Shooting-and-Bouncing Ray) 기법이 다중반사파의 계산에 사용되며, Zpatch와 GRECO의 경우에는 컴퓨터 하드웨어를 이용한 화소(pixel) 단위의 그림자 처리 기법을 개발하여 사용하였다<sup>[3,4]</sup>. 이러한 기법들은 그림자 처리에서 면과 면 사이의 차를 구하는 과정과 다중 반사파의 계산에서 면과 면 사이의 공통영역을 구하는 과정의 복잡함을 회피하기 위하여 고안된 것이다. SBR 알고리즘은 입사방향에 수직한 평면에 많은 수의 ray를 만들어 ray tracing을 하게 되는데 정확도를 개선하려면 ray의 수를 증가시켜야 한다. 그림 1은 다중 반사파를 계산하기 위하여 GO를 적용하는 방법을 비교한 것으로 (가)는 ray를 작게 분할하지 않고 표적을 구성하는 면을 출발 ray로 하는 경우이며, (나)는 SBR 기법을 적용하는 경우를 비교한 것이다. 그림 1의 (가)는 GO를 이용하여 N번째 다중 반사파를 계산할 때 N-1번째 반사면인 면 1을 N번째 반사면인 면 2에 투영하여 공통영역을 구하는 방법을 나타낸 것이며, 이 경우 면 1은 자연스럽게 하나의 삼각형 ray를 형성하게 된다. SBR은 그림 1의 (나)와 같이 면 1에서 입사한 ray 중에서 반사된 ray에 대하여 면 2에서 반사파를 계산한다. 이 경우 면 1의 경계면에 존재하는 ray는 계산에서 포함하거나 제외될 수 있는데, 이 기법에 의한 오차를 최소화하기 위해서는 가능한 범위에서 ray를 충분히 작게 분할하여야 한다. 만약 그림 (나)에서 면 1의 경계면에 위치한 ray에 대하여 그림 (가)와 같이 공통영역을 계산하면 계산의 정확성은 증가시킬 수 있으나 SBR이 가지는 단순성이 없어지므로 알고리즘의 장점이 사라지게 된다. 다중 반사파의 계산에서 그림 1의 (가)와 같은 기법을 사용하게 되면 계산해야 할 ray의 수가 SBR에 비하여 매우 적으므로 계산시간을 많이 줄일 수 있다. 그러나 이 방법 역시 다각형의 공통영역을 구하는 알고리즘이 매우 정확하고 여러 가지 조건에서 안정적으로 동작하여야만 실제 적용이 가능하다. 본 개발 기술에서는 (가)의 방법을 선택하였고 오류와 계산시간을 최소화할 수 있는 알고리즘을 개발하여 적용하였다.

여러 가지 센서에 대하여 표적 신호의 시뮬레이션

에 사용하려면 RCS 예측기술은 원전계(far-field) 뿐만 아니라 근접전계(near-field)에서도 RCS의 계산이 가능하도록 구성되어야 한다. 근접전계 RCS는 산란체로부터 매우 가까운 거리에서 발생하는 리액턴스 성분을 포함하는 RCS가 아니라 표적과 송수신 위치 간의 거리가 원전계 조건을 만족하지 않는 경우의 RCS를 지칭한다. 근접전계에서의 RCS를 계산할 때에는 표적을 구성하는 면을 작게 분할하여 각각의 면이 송수신점으로부터 원전계 조건을 만족하여 각각의 면에는 원전계에서와 동일한 방법으로 RCS를 계산한다. 각 면에 대한 원전계 계산결과에 송수신점과의 거리를 고려하여 위상을 반영하면 근접전계에서의 RCS를 얻게 된다. 이 방법은 대형 반사판 안테나의 근접전계의 패턴 계산과 근접전계에서의 RCS 계산에 응용된 바가 있으며 동일한 방법을 근접전계 계산에 적용하였다<sup>[5,6]</sup>.

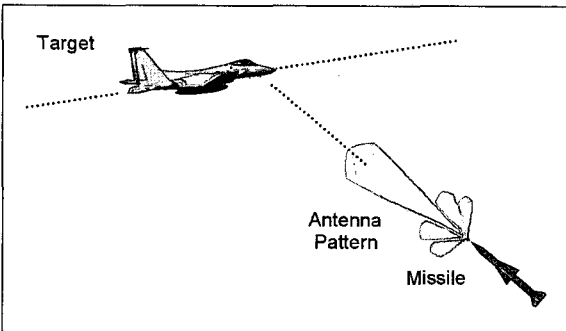
센서와 표적 간에는 각각의 특징에 따라서 다양한 조우형태가 존재할 수 있다. 표 1은 주요 전자파 센서와 표적의 이동 유무 및 상대적인 거리를 정리한 것이고, 그림 2는 표적에 접근하는 센서를 나타낸 그림이다. 표 1에 나타난 바와 같이 대부분의 경우 센서와 표적의 상대적 이동이 존재하며 특히 탐색기와 근접신관은 센서와 표적이 모두 이동함을 알 수 있다. 또 경우에 따라서는 상대적인 거리가 원전계 조건을 만족하지 않는 경우도 발생한다. 본 표적분석 소프트웨어에서는 이러한 센서와 표적의 기동특성을 반영할 수 있도록 센서의 선형운동, 표적의 선형운동 및 회



[그림 1] 다중 반사의 계산 방법 (가)GO를 이용한 공통영역 계산 (나)SBR을 이용한 공통영역의 계산

[표 1] 주요 초고주파 센서와 표적과의 상대적 관계

센서	표적 종류	센서 운동	표적 운동	거리
대공 레이다	항공기, 유도탄 등	×	○	원전계
해상 감시 레이다	함정	○	○	
영상 레이다	차량, 건물, 항공기 등	○	×	원전계
탐색기	항공기, 유도탄, 함정 등	○	○	원전계, 근접전계
근접신관	항공기, 유도탄 등	○	○	근접전계



[그림 2] 센서와 표적간의 상대적 관계

전운동을 모델링하여 입력할 수 있도록 설계하였다. 표적의 재질특성은 그림 4와 같이 다층구조로 정의할 수 있으며, 사용자는 각각의 층의 재질특성을 주파수의 함수로 정의할 수 있다.

표적의 각 요소에 의한 반사파의 분석에는 RP와 ISAR 영상을 사용한다. RP는 1차원 영상으로 임펄스 형태의 송신 펄스를 사용하거나 대역폭의 넓은 주파수 변조형 펄스를 사용하여 얻을 수 있다. 일정 범위의 각도에 걸쳐 수집된 RP를 이용하여 2차원 ISAR 영상을 얻을 수 있으며, 이 때 얻어지는 횡방향 분해능은 회전중심으로부터의 거리에 따라서 발생하는 도플러 신호의 차이에 의한 것이다<sup>[7]</sup>. RP/ISAR는 각 구성요소에 의한 RCS 기여도를 분석할 수 있으므로 스텔스 표적의 진단이나 NCTR(Non-

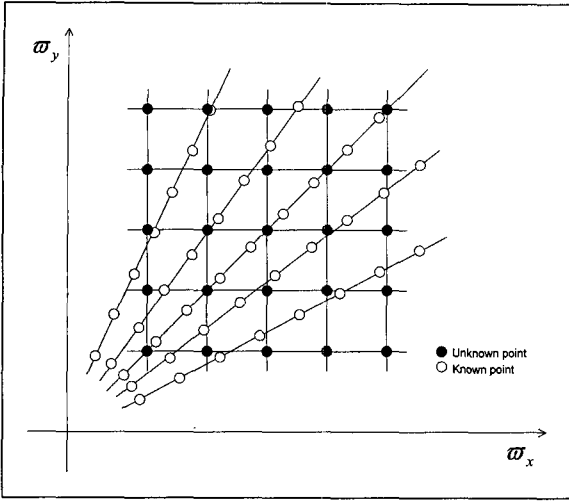
Cooperative Target Recognition)과 ATR(Automatic Target Recognition)에서 표적을 식별하는 용도로 사용된다. 또 산란점의 위치를 정확히 구하면 레이다 송신 파형에 대하여 반사파의 파형을 정확히 모사할 수 있으므로 표적 시뮬레이션 도구로써도 매우 유용하다. 즉 근접전계 센서의 수신파형을 얻을 필요가 있는 경우 RCS의 시뮬레이션에는 송신 파형을 직접 사용할 수 없으므로 고해상도의 RP를 구하고 이를 센서의 송신파형과 convolution을 취하여 반사 신호를 얻을 수 있다.

RP/ISAR 영상을 생성 기법에는 Fourier 변환기법, MUSIC(Multiple Signal Classification), MP(Matrix Pencil) 등 여러 가지 방법이 있다. 이 방법 중에서는 Fourier 변환에 의한 방법이 가장 일반적으로 사용되는 방법이며, 주파수 대역 및 각도 범위에 대하여 거리방향 분해능  $\Delta R$  과 횡방향에 분해능  $\Delta R_c$ 는 다음과 같이 주어진다<sup>[7]</sup>.

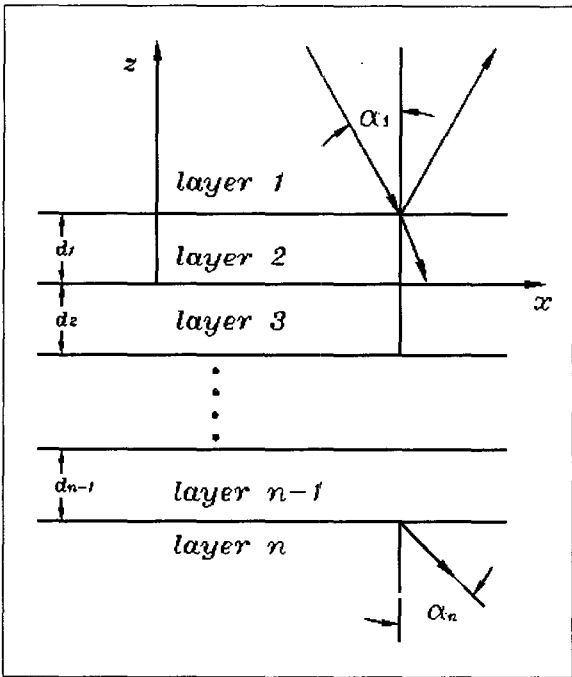
$$\Delta R = c/2B$$

$$\Delta R_c = \lambda/(2 \sin \theta)$$

여기에서 B는 송신파형의 대역폭이고  $\lambda$ 는 파장이며  $\theta$ 는 각도범위이다. FFT는 구현하기가 용이하고 대역폭과 해상도에 대한 명확한 물리적 관계가 주어진다. 이와는 달리 MUSIC, MP 등과 같은 방법은 작은 대역폭의 데이터로도 고해상도의 영상을 얻을 수 있는 반면에 주파수-도플러 영역과 거리 영역에서의 관계가 명확하지 않으나 좁은 각도와 주파수 대역폭의 데이터에서 고해상도 영상을 얻을 수 있는 장점이 있다. 표적분석 소프트웨어에는 Fourier 변환에 의한 기법과 MP 방법에 의한 기법을 모두 구현하여 적용하였다. Fourier 변환 기법에는 부엽수준을 줄이고 보간법에 의한 영상의 질을 개선하기 위하여 zero-padding 및 윈도우 기법을 적용할 수 있도록 하였다. 특히 그림 3과 같이 파수(wave number) 영역에서 방사선 상에 위치하는 RCS 데이터를 Fourier 변환에 적합하도록 사각형으로 변환하는 과정(polar formatting)을 적용하여 ISAR 영상의 번짐 현상이 발생하지 않도록 하였다.



[그림 3] Polar formatting



[그림 4] 다층구조의 재료정의

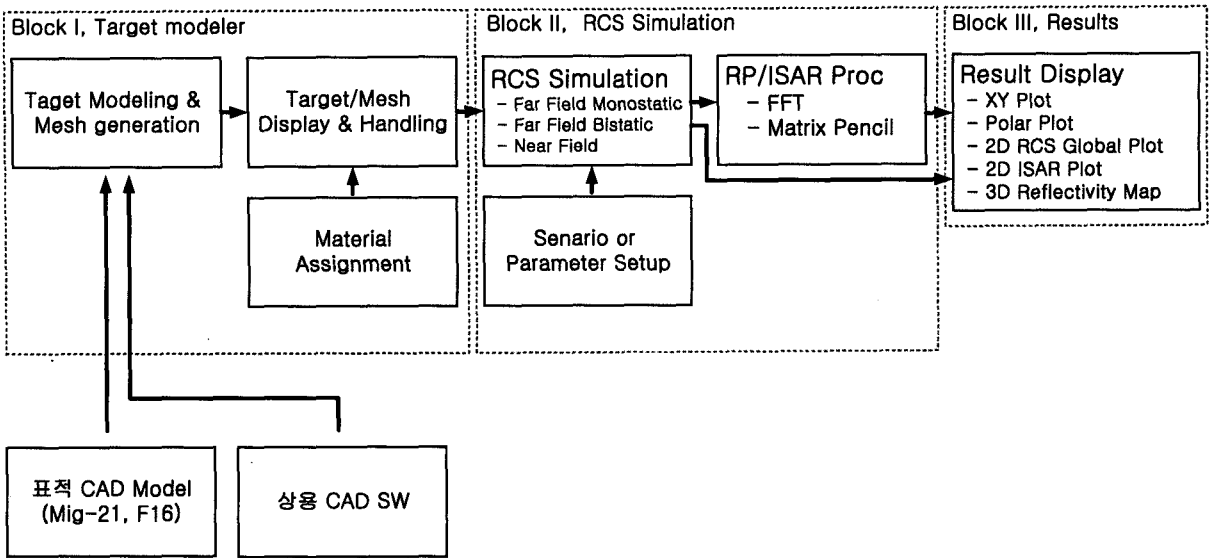
### 3. 표적분석 소프트웨어의 설계

표적분석 소프트웨어의 기본 설계 개념은 자체적으로 3차원 CAD 모델링, mesh 데이터 생성, RCS 계

산, RP/ISAR 영상생성과 데이터 전시 기능을 가지도록 설계하였으며 주요 기능은 그림 5와 같다. 전체 소프트웨어는 기능별로 분류할 경우 다음 3개의 블록으로 구성된다. 첫 번째 블록은 표적의 모델링과 관련된 기능을 가진 블록이며, 두 번째 블록은 RCS/RP/ISAR 시뮬레이션과 관련된 기능이다. 세 번째 블록은 데이터 전시와 관련된 기능으로 RCS 계산결과를 직접 전시에 사용하기도하고 RP/ISAR 영상생성 결과를 전시하기도 한다. 세 블록의 기능은 하나의 소프트웨어로 제작하기 보다는 기능별로 분류하여 2개의 소프트웨어로 분리하였다. 첫 번째 소프트웨어는 블록 1과 블록 2의 RCS 계산기능으로 이루어져 있으며, 두 번째 소프트웨어는 블록 2의 RP/ISAR 영상생성 기능과 데이터 전시 기능을 포함한다. 이들 소프트웨어의 이름은 각각의 기능을 참고하여 RTSG (Radar Target Signature Generator)와 RTSA(Radar Target Signature Analyzer)로 정하였다.

상용 CAD 모델의 입력은 CATIA에서 생성된 CAD 모델 파일을 입력할 수 있으며 각각의 모델은 사용자가 정의하는 표면의 재질 특성을 그림 4와 같이 반영할 수 있도록 하였다. 표면 재질은 다층구조를 기본으로 사용자가 각층의 두께와 비유전율, 비투자율을 정의할 수 있다. 비유전율과 비투자율은 주파수의 함수이므로 ASCII 데이터 파일을 통한 입력이 가능하도록 설계되었다.

RTSG의 분석기능에는 각도에 대한 RCS, 거리에 대한 RCS와 reflectivity map을 얻을 수 있는 세 가지 모드가 있다. 각도에 대한 RCS 계산은 구 좌표계에서 정의되는  $\theta$ 와  $\phi$ 에 대한 범위와 간격을 설정하여 RCS를 계산할 수 있는 모드이다. 거리에 대한 RCS 계산모드는 표적의 위치, 속도, 각속도 등과 같은 표적의 운동변수와 레이더의 속도, 안테나 지향각 등 레이더 변수를 입력하고 데이터 시간간격 및 수를 입력하면 표적과 레이더의 위치에 대한 RCS 값을 얻을 수 있다. Reflectivity Map 모드는 표적 각 부위에서의 전자파 반사를 계산할 수 있도록 각각의 면에 의한 산란파를 해당 면의 면적으로 나누어서 얻어지는 값으로서, 사용자는 해상도와 관찰각도를 입력하면 입력한 해상도에 대한 분해능으로 표적 각 부위의 반사파를 얻을 수 있다.



[그림 5] 표적 분석 소프트웨어의 구성

RP/ISAR 분석은 RTSG에서 계산된 결과에 RP/ISAR 영상생성 기법을 적용하는 것으로, FFT의 경우에는 polar formatting의 적용여부, 내삽 및 외삽을 통한 데이터 확장 방법의 선택, 여러 가지 윈도우 등의 선택옵션이 있고 MP의 경우에는 파라미터의 설정에 의한 전체 계산 영역이 모두 필요하지 않은 경우 보고자 하는 영역만 설정하면 계산시간을 줄여서 결과를 확인할 수 있다.

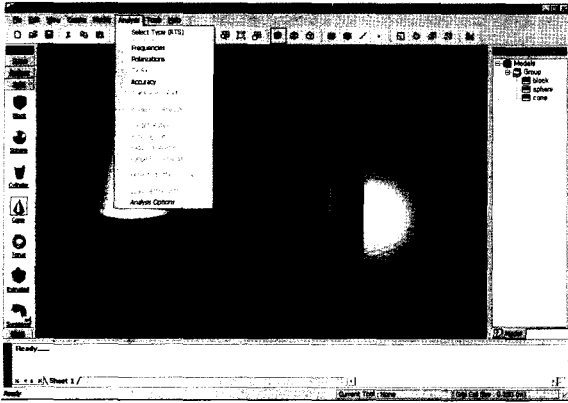
데이터의 전시 기능은 방대한 양의 데이터를 효과적으로 전시할 수 있도록 XY plot, polar plot, RCS statistics plot, global plot,  $\theta$ - $\phi$  plot, spectral plot 등의 전시방법을 사용하였다. RCS statistics plot은 얻어진 RCS 데이터에서 사용자가 일정구간을 선택하면 선택된 데이터의 확률분포를 전시한다. Global plot은 polar plot의 변형으로 여러 각도에 대한 여러 주파수 데이터 혹은 RP를 하나의 plot으로 볼 수 있는 것이다. 이 plot은 polar plot과는 달리 각각의 각도에 대한 RCS 값을 동일 반지름 상의 선에 색깔로 표시하며, 다른 주파수나 거리는 다른 반지름의 원주위에 표시하게 되어 많은 양의 데이터를 하나의 그래프에 전시할 수 있다.  $\theta$ - $\phi$  plot은 특정  $\theta$ 와  $\phi$ 에서 얻어진 RCS 값을 구의 해당점에 색으로 표시하여  $\theta$

와  $\phi$ 의 변화에 대한 RCS 변화를 동시에 분석할 수 있도록 고안된 방법이며, spectral plot은 2차원 ISAR 영상을 그리기 위한 plot이다.

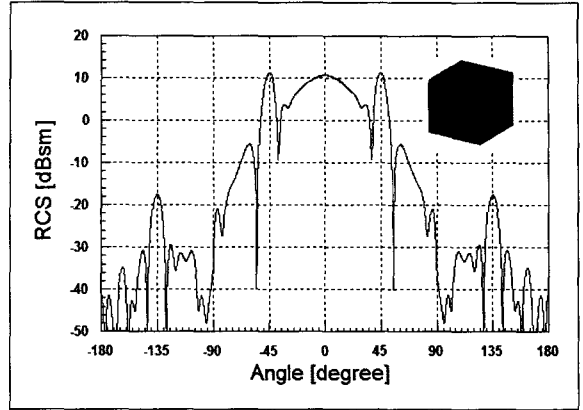
#### 4. 제작 및 시험결과

그림 6은 제작된 모델링 및 RCS 시뮬레이션 소프트웨어인 RTSG이며 그림 7은 RP/ISAR 및 데이터 전시 소프트웨어인 RTSA이다. 모델링은 CAD에서의 기본 형상인 선, 면, 입방체의 입력과 수정 및 변형이 가능하며, RCS 시뮬레이션 기능은 Analysis 메뉴에 종합되어 있다. 다중 쓰레드(multi-thread)는 1~4까지 선택할 수 있다.

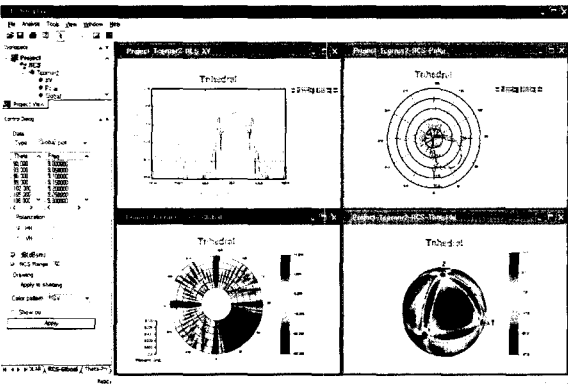
RTSA는 RTSG에서 생성된 RCS 계산 결과를 전시하거나 RP/ISAR 신호처리 결과를 전시하기 위한 것으로 그림 7에서와 같이 왼쪽에 여러 가지 plot을 생성할 수 있는 tree 구조와 데이터 선택 윈도우로 이루어졌으며, 전시 데이터의 선택은  $\theta$ ,  $\phi$ , 주파수, 편파와 같이 매우 복잡한 선택사항을 간단하게 선택할 수 있도록 데이터를 표시하고 사용자가 데이터의 구간을 선택하도록 하였다.



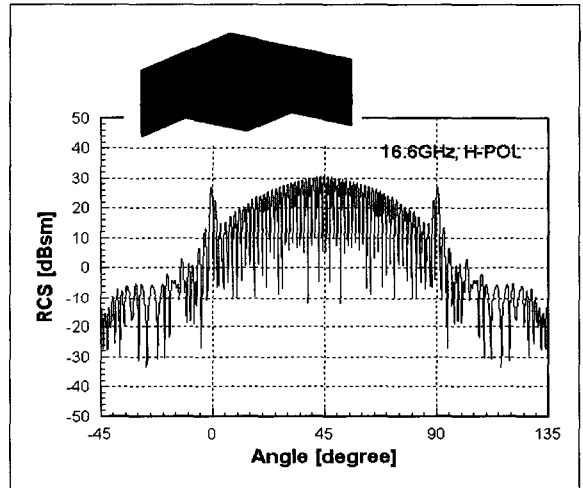
[그림 6] 모델링 및 RCS 시뮬레이션 소프트웨어 (RTSG)



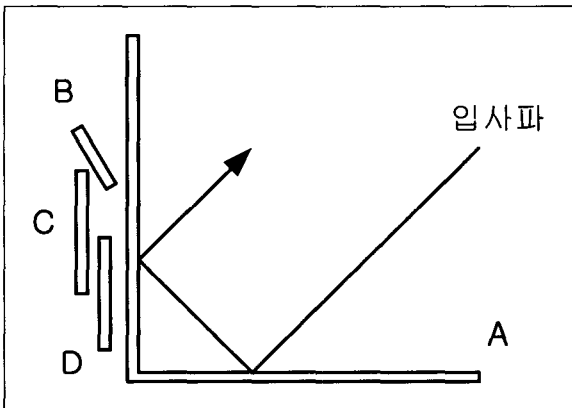
[그림 9] Trihedral 코너 반사판의 RCS



[그림 7] RP/ISAR 영상생성 및 데이터 전시 소프트웨어(RTSA)



[그림 10] 변형된 코너 반사판의 RCS 계산결과

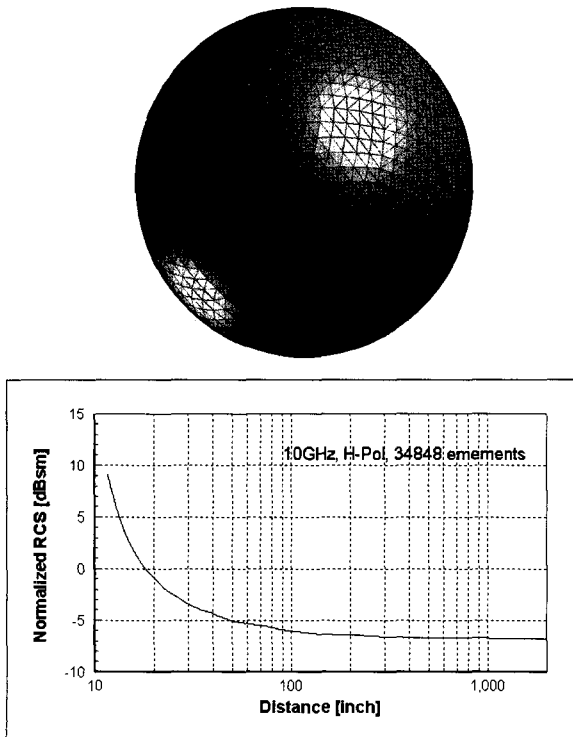


[그림 8] 변형된 코너 반사판을 이용한 RCS 계산용 지표 표적

RCS/RP/ISAR 기술의 정확성을 확인하기 위하여 다양한 지표 표적(benchmark target)을 사용하였다. 지표 표적은 구현된 알고리즘이 정상적으로 동작하는지를 확인할 수 있는 것이어야 하는데 코너 반사판은 매우 유용한 지표 표적이다. 코너 반사판의 경우 1차 반사뿐만 아니라 2, 3차 반사까지 고려하여야 하는 구조이기 때문에 지표 표적으로 매우 많이 응용되는 표적이다. 특히 계산 결과의 연속성과 대칭성을 쉽게 확인할 수 있다. 소프트웨어의 시험에서는 기본형 코너 반사판과 함께 그림 8과 같이 변형된 코너반사판을 사용하여 예측기술을 시험하고 보완하였다. 그림에서 육면체 B, C, D가 A의 그림자 영역에 속하는

각도에서 RCS를 계산한 결과는 육면체 B, C, D가 없는 경우의 RCS와 동일하여야 하므로 별도의 측정을 하지 않고 RCS 계산 기법이 정상적으로 동작하는지를 확인할 수 있다. 이러한 방법은 코너 반사판 뿐만 아니라 다른 지표 표적에도 적용이 가능하다. 그림 9는 대표적인 지표 표적의 하나인 trihedral 코너 반사판의 RCS이며 그림 10은 참고문헌 [10]에서 사용한 수정된 코너 반사판의 RCS 계산결과이며 두 결과가 잘 일치함을 확인하였다.

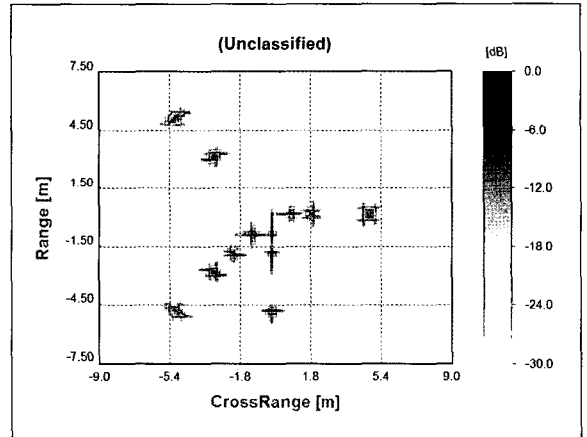
그림 10은 근접전계에서의 RCS 계산기법을 확인한 결과이다. 표적으로는 20인치 구를 사용하였으며 그림에 나타난 바와 같이 10인치에서 1000인치 사이에서 RCS를 계산하였다. 표시된 RCS는 원점으로부터 송수신 위치까지의 거리를 계산 대상면의 중심으로부터 송수신 위치까지의 거리로 정규화된 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 원거리에서는 GO에 의한 RCS 값으로 수렴하며, 근거리로 접근할수록 RCS 값이 커짐을 알 수 있다. 계산을 위한 설정조건이 문헌



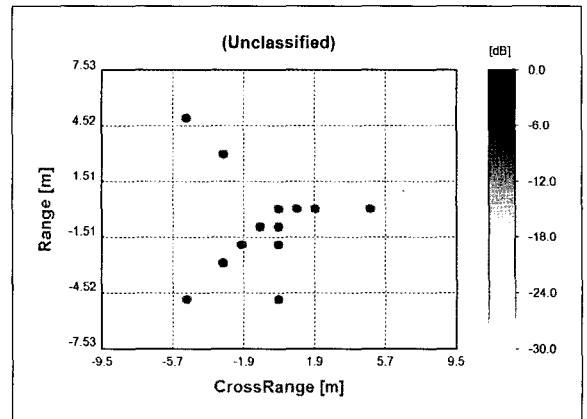
[그림 11] 구에 대한 근접전계 계산결과

[6]의 설정조건과 동일하며 동일한 계산 결과를 얻어짐을 확인하였다.

2차원 ISAR의 영상은 구 배열을 사용하여 시험하였다. 그림 12는 2차원 평면상에 반지름 1cm의 구 13개가 배열된 경우이다. 앞쪽에 위치한 구에 의한 그림자 발생을 없도록 하기 위하여 고각방향(elevation)으로의 관측각도를 수형방향으로부터 10도 위쪽으로 설정하였다. 주파수는 9.0GHz에서 10.0GHz까지이며 주파수 간격은 10MHz이다. 각도는 -3도부터 3도까지이고 각도 간격은 0.05도이므로 거리방향 및 횡방향 분해능은 15cm이다. 그림 12(가)는 얻어진 RCS 데이터에 FFT(Fast Fourier Transform) 기법만을



(가)



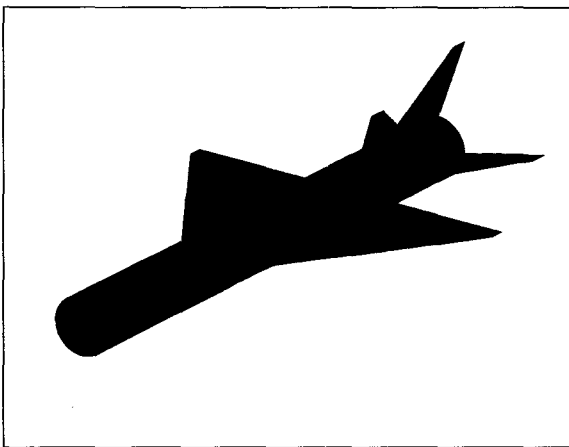
(나)

[그림 12] 구 배열의 ISAR 영상

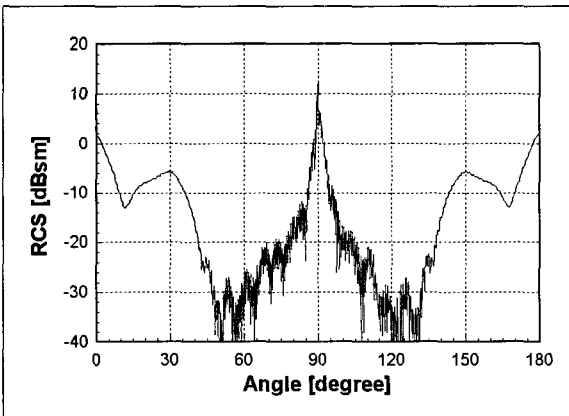


적용한 것으로 회전중심에서 멀어질수록 영상의 번짐 현상이 발생함을 알 수 있으며 원점에 위치한 것도 높은 부엽수준을 나타내고 있다. 이 데이터에 polar formatting, zero padding과 Hamming window 함수를 적용하면 그림 12(나)와 같이 영상의 번짐현상이 제거되었고 부엽수준도 감소하였음을 알 수 있으며, 윈도우 함수에 의한 분해능의 저하현상도 동시에 관찰할 수 있다.

그림 13은 소프트웨어를 시험하기 위하여 제작한 비행체 형상의 CAD 모델이다. 이 모델은 기하학적 구조는 참고 문헌 [6]의 것과 동일하며, 표적의 앞과 뒤에 다중반사를 일으키는 원통이 있는 것이 특징이다. 그림 14는 10GHz에서 계산된 RCS 값으로 문헌

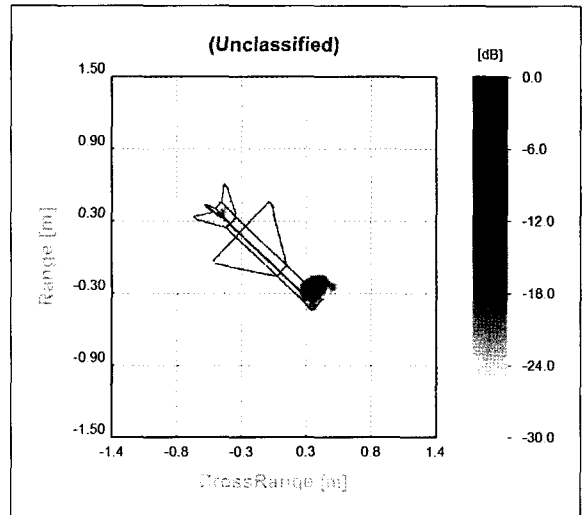


[그림 13] 검증에 사용된 비행체 형상의 CAD 모델

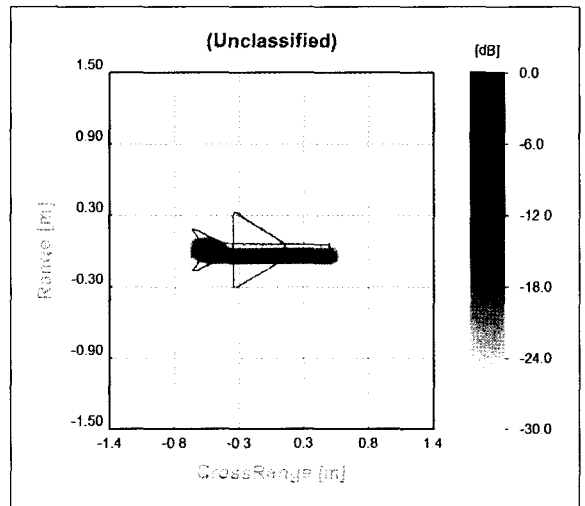


[그림 14] 비행체 형상의 CAD 모델의 RCS 계산결과

[6]의 결과와 비교하면 10~40도 부근이 가장 큰 차이를 나타내고 있는데 이 것은 문헌 [6]에서는 앞뒤에 위치한 원통에서의 다중반사에 의한 영향을 정확히 계산하지 못한 것으로 추정된다. 그림 15는 그림 13의 CAD 모델의 ISAR 영상이다. 주파수 범위는 9.0~12.0GHz이고 주파수 간격은 50MHz이다. 회전



(가)

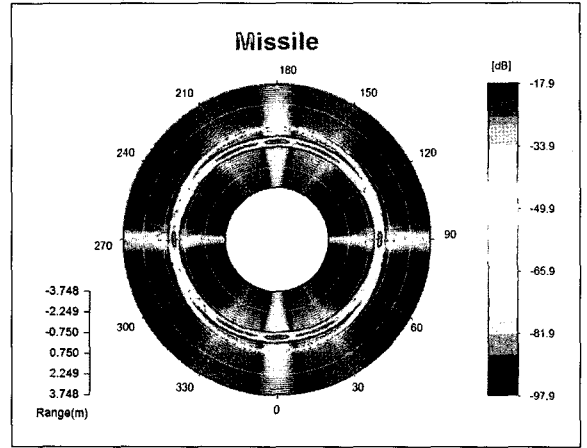


(나)

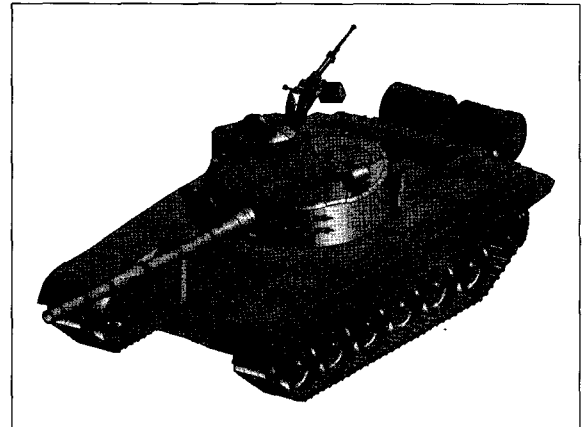
[그림 15] (가) 45도에서 비행체 CAD 모델의 ISAR 영상 (나) 측면(90도)에서의 비행체 형상의 ISAR 영상

중심각도 45 및 90도이며 회전범위는 중심각도에서  $\pm 18$ 도를 0.3도 간격으로 회전하여 얻은 RCS 데이터를 사용하였다. (가)에서는 앞쪽에 위치한 원통의 입구에서의 산란파와 원통 끝에서 발생하는 다중반사파를 관찰할 수 있으며, 90도에서 얻어진 ISAR 영상에서는 수직 꼬리날개와 원통의 측면으로부터 산란이 일어남을 관찰할 수 있다. 그림 16은 비행체 CAD 모델에 대하여 방위각이 변화할 때 주파수에 대한 RCS의 변화를 나타낸 global plot이다. 주파수 범위는 9.0~10.0GHz이다. 이 그림에서 전면 및 후면은 해당 주파수 대역에서 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 방위각이 90도인 경우에는 변화가 적지 않음을 알 수 있는데 이 것은 원통의 측면과 꼬리날개에 의한 산란파가 주파수에 따라서 상쇄 또는 보강간섭을 일으키기 때문이다. 그림 17은 방위각의 변화에 대한 RP를 나타낸 global plot이다. 정면에서는 원통의 입구와 내부에서의 반사파를 볼 수 있으며, 30도 부근에서는 원통 내부에서의 반사파가 지속됨을 알 수 있으며, 측면에서는 꼬리날개에 의한 반사파와 원통의 측면에 의한 반사파를 관찰할 수 있다.

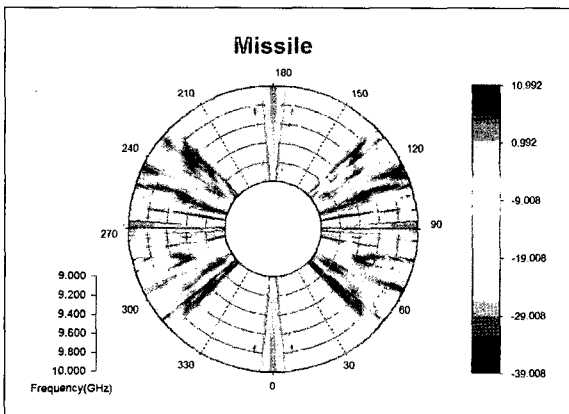
그림 18은 RCS 계산에 사용되는 탱크의 CAD 형상이다. 그림 19는 계산된 RCS 결과로서 약 8만개의 면으로 이루어진 CAD 모델에 대하여 1개의 각도에서 약 280초의 계산 시간이 소요되었다. 컴퓨터는 Intel사의 Zeon CPU(2.0 GHz)를 장착한 4 CPU 위



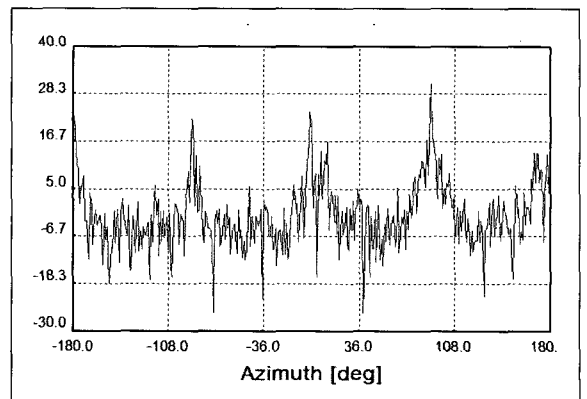
[그림 17] 비행체 형상의 CAD 모델의 방위각에 대한 RP 특성을 나타낸 global plot



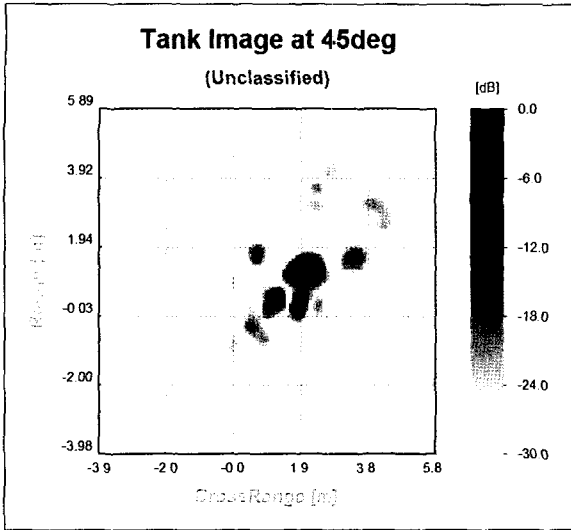
[그림 18] T-72 CAD 모델



[그림 16] 비행체 형상의 CAD 모델의 방위각 및 주파수 특성을 나타낸 global plot



[그림 19] 탱크 CAD 모형에 대한 RCS 계산결과



[그림 20] 탱크 CAD 모형에 대한 ISAR 영상

크스테이션에서 1개의 CPU만을 사용하였을 때 얻은 결과이다. 그림 19는 탱크 CAD 모형에 대한 ISAR 영상이다. 중심주파수는 10.25GHz이고, 중심각도는 45도이며 거리 및 횡방향 분해능은 30cm이다.

### 5. 맺음말

지금까지 초고주파 센서 표적의 특성분석을 위한 RCS 계산, RP/ISAR 영상처리 및 소프트웨어의 설계와 제작에 관한 기술개발 결과를 기술하였다. RCS 예측기술은 CAD 모형에 적용하여 효과적으로 적용될 수 있음을 확인하였으며, ISAR 영상생성 기법 또한 성공적으로 적용하였다. RCS의 해석에는 고주파 기법을 사용하였으며, 거리 및 송수신 위치를 일반화하여 근접전계 RCS의 계산이 가능함을 입증하였다. 그러나 표적의 모델링에 필요한 CAD 소프트웨어 설계에 대한 원천 기술과 표적을 면으로 재구성하는 능력은 국내 기술기반이 취약하여 실용적인 기술개발에는 오랜 시간이 소요될 것으로 예상되었다. 또 고비용의 다중 CPU에 의한 병렬 처리기술의 구현보다는 저가의 컴퓨터를 이용한 clustering 기술을 활용하는 것이 보다 효율적일 것으로 판단되었으며, 관련 기술의 개발 필요성이 요구되었다. 향후에는 RCS 예측에

고주파 해석기술뿐만 아니라 저주파 해석기술을 개발하여 적용이 필요할 것으로 판단되며, 특히 근접전계 예측기술의 경우에는 실제에 가까운 표적에 대한 입증 필요하지만 방대한 측정시설이 요구되므로 효과적인 입증 및 적용연구가 필요할 것으로 예상된다. 개발된 기술은 향후 NCTR, ATR 및 스텔스 등 표적신호 관련 기술의 개발에 기여하는 바가 적지 않을 것으로 예상되며, 현재 개발된 소프트웨어에 대한 다양한 시험 및 보완을 통하여 완성도 높은 소프트웨어의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. Huges, "XPATCH4: The next generation in high frequency electromagnetic modeling and simulation software", *IEEE Intl. Radar Conf.*, pp.844~849, May 2000.
- [2] Simpson S H W, Galloway P E R and Harman M, "Application of Epsilon™ A Radar signature prediction and analysis tool", *Intl. Radar Symposium IRS 98 Munich, Germany*, Sep. 1988.
- [3] J. L. Schmitz, R. A Kipp and G. Kim, "Zpatch-A high frequency bistatic signature prediction code", *IEEE Intl. Radar Conf.* pp.232~236, May 1997.
- [4] J. M. Rius, M. Ferrando and L. Jofre, "GRECO: Graphical electromagnetic computing for RCS prediction in real time", *IEEE Ant. Propag. Man.*, vol. 35, no. 2, pp.7~16, April 1993.
- [5] 권경일, 홍동희, "컴팩트 레인지용 파라보릭 반사판의 전자파 특성분석," *대한전자공학회*, 제33권 A편 제8호, pp.1523~1530, 8월 1996.
- [6] Shyh-Kang Jeng, "Near-field scattering by physical theory of diffraction and shooting and bouncing rays", *IEEE Trans. on Ant. and Propag.*, vol 46, no. 4, pp.551~558, April, 1998.

- [7] D. L. Mensa, High Resolution Radar-Cross Section Imaging, Boston: Artech House, 1991.
- [8] 유지희, 권경일, 이용희, "Matrix pencil방법에 의한 비행기 모형의 ISAR 영상화", 한국 전자과학회 제12권, 제2호, pp.299~307, 2월 2001.
- [9] D. Klement, J. Preissner and V. Stein, "Special problems in applying the physical optics method for backscatter computations of complicated object", IEEE Trans. on Ant. and Propag., vol. 36, no. 2, pp.228~237, Feb. 1988.