

K-band에서 전자파 산란 측정 기법에 관한 연구

오동훈, 박철민, 최병혁, 천창울, 김형석*
 서울시립대학교, *중앙대학교

A Study on the measurement of RCS at K-band

D.H Oh, C.M Park, B.H Choi, C.Y Cheon, H.S Kim*
 University of Seoul, *Chung-ang Univ

Abstract - 전자파 산란을 측정하는 능동 원격 탐지 시스템은 전자파를 표적에 가한 후, 그 표적으로부터 돌아오는 전자파의 양으로 표적에 대한 정보를 얻는 시스템이다. 본 논문에서는 회로망 분석기(HP8510C)를 이용하여 표적으로부터 돌아오는 전자파의 양을 측정하여 시간 영역에서의 해석을 통하여 K-band에서의 레이더 단면적(RCS)을 측정하는 방법에 대해 서술한다.

1. 서 론

능동 원격 탐지 시스템은 특정 주파수의 전력을 물체에 가하여 물체에 전달된 후 반사, 산란 되어 돌아오는 전력을 측정하여 물체의 위치와 특성을 파악하는 시스템이다. 본 논문에서는 회로망 분석기를 이용하여 K-band의 CW(Continuous Wave)전자파를 전파 무반향실에서 물체에 가하여 물체로부터 산란되어 돌아오는 전력을 측정하는 능동 원격 탐지 시스템을 구현하는 방법에 대하여 기술하였다. 안테나를 통하여 들어오는 원하지 않는 신호들을 제거하기 위한 시스템은 소프트웨어적으로 구현하였으며, 보정 작업을 거친 후 단순한 형태의 금속판과 생체 조직에 대한 RCS를 측정하여 계산된 결과와 비교 하였다.

2. 본 론

2.1 레이더 단면적 측정 기술

단일 안테나를 통하여 얻은 물체의 RCS는 다음과 같은 수식으로 정의된다.

$$\sigma_{3D}(monostatic) = \lim_{r \rightarrow \infty} \left[4\pi r^2 \frac{|E^s|^2}{|E^i|^2} \right] \quad (1)$$

여기서 r 은 측정 거리를, E^i 와 E^s 는 물체에 입사된 전계와 물체에 의해 산란되어 안테나로 들어온 전계를 나타낸다. 식(1)은 전파의 평면파 조건인 far-field 상황에서의 값이기 때문에 K-band에서 표준 혼 안테나로 측정을 할 경우에 측정 거리 r 은 약 $2D^2/\lambda \approx 2.53m$ 이상이 되어야 한다. (D 는 안테나의 최대 크기, λ 는 파장) [1].

근거리 RCS 측정을 위한 방법으로는 단축거리 전계 측정 장비(Compact range)를 사용하여 평면파를 만들어 내는 방법이 일반적이지만 본 논문에서는 제한된 크기의 전파 무반향실에서 평면파를 만들어 내는 방법으로 유전체 렌즈 혼 안테나를 사용하였다. 유전체 렌즈 혼 안테나는 혼 안테나에 유전체 렌즈를 장착하여 빔 폭을 좁게 해줄 뿐만 아니라 안테나 바로 앞에서부터 평면파를 만들어 준다. 따라서 근거리에서 far-field 조건을 만족시켜 근거리 RCS 측정을 가능하게 해준다.

회로망 분석기에서 발생된 K대역의 CW신호는 회로망

분석기 자체의 보정 이후의 커넥터와 안테나에 의해 반사된 원하지 않는 신호들이 주파수 데이터로 포함 되어 있다. 게다가 전파 무반향실에서의 측정은 표적에 의하여 산란된 대부분의 전자파가 흡수체에 흡수되지만 완전하게 표적에서의 산란파만을 안테나를 통하여 검출하기란 불가능하기 때문에 RCS 측정을 위해서 원하지 않는 신호들을 제거하는 기술은 필수적이다.

원하지 않는 신호들을 제거하는 기술은 하드웨어적인 시스템으로 구현하는 것과 소프트웨어적인 시스템으로 구현하는 것으로 나눌 수 있다. 하드웨어적인 시스템 구현은 일정한 주기를 갖는 펄스 신호를 만들어 안테나에 의한 반사와 다른 곳에서 산란되어 들어오는 신호들을 제거하고, 표적에 의해 산란되는 신호만을 받아들일도록 시스템을 구현하는 것이다. 소프트웨어적인 시스템 구현은 회로망 분석기로부터 얻은 주파수 데이터를 시간 데이터로 변환하여 원하지 않는 신호들을 제거하고 원하는 신호만을 추출해 내는 과정을 프로그래밍을 통하여 구현하는 것이다. [2].

본 논문에서는 특정한 소자와 하드웨어가 필요 없는 소프트웨어 gating을 구현하여 원하지 않는 신호들을 제거 하였다.

회로망 분석기에서 PC로의 데이터 전송은 GPIB 케이블을 사용하였으며, 계측기 연동과 시간 영역에서의 원하지 않는 신호들의 제거는 Agilent사의 계측기 연동 프로그램인 VEE 6.1를 사용하였다.

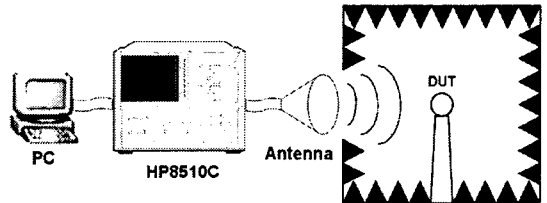


그림1. 소프트웨어 Gating을 이용한 RCS측정 환경

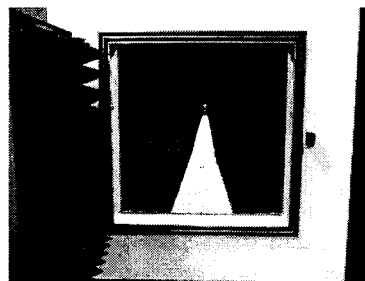


그림2. 전파 무반향실에서의 표적 설치

2.2 소프트웨어 gating과 측정 결과의 보정

측정을 위한 회로망 분석기의 주파수 대역은 19.5~26.7GHz 로 설정을 하였고, 데이터 샘플의 수는 801개로 하였다. 실험의 주파수 대역은 시간 영역에서의 분해능을 결정하고, 주파수 영역에서의 데이터 샘플의 수는 시간 영역의 물리적으로 측정 가능한 거리를 결정한다. [3].

소프트웨어적 시스템으로 원하지 않는 신호들을 제거하기 위해서는 일단 회로망 분석기를 통하여 측정된 주파수 영역의 데이터를 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 하여 시간 영역으로 변환해야 한다. 표적이 없는 상태에서의 측정된 배경 데이터와 표적(DUT)을 놓은 상태에서의 측정 데이터를 분석해보면 그림3과 같다.

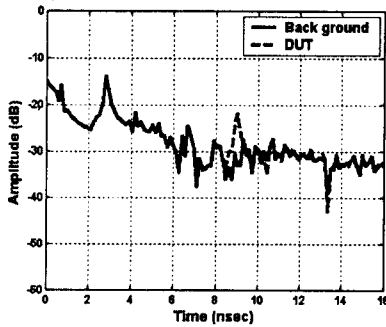


그림3. 배경과 표적의 시간 영역 데이터

표적이 없는 상태에서의 측정값과 표적이 있는 상태에서의 측정값을 비교하여 그 차이가 나타나는 시간으로부터 전자파가 왕복한 시간을 알 수 있고, 그로부터 표적의 거리를 계산할 수 있다. 두 데이터에서 공통적으로 나타나는 약 3×10^{-9} 초에서의 큰 반사는 안테나 끝부분에 의해 나타나는 것이고, 표적에 의한 산란파는 약 9×10^{-9} 초에서 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 안테나로부터 표적의 거리 r 은 식(2)로부터 구할 수 있다.

$$r = \frac{\Delta t}{2} \times c = 0.9m \quad (2)$$

측정된 시간 영역의 데이터에서 표적의 데이터만 추출하기 위해서는 gating 필터를 구현하여 원하지 않는 신호들을 제거하여야만 한다. 데이터 처리 프로그램으로 구현된 시간 영역에서의 gating 필터는 그림4와 같다.

통과 대역은 표적에 의해 산란되어 들어오는 신호의 시간 대역으로 결정된다. 또한 통과 대역에서의 출렁거림, 경사도와 저지 대역의 레벨은 원하지 않는 신호들의 적절한 제거를 위해 Gating 필터의 변수들을 적절히 조절해야만 한다.

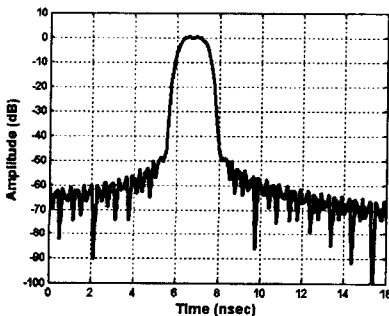


그림4. 시간 영역에서의 gating 필터

Gating 필터를 통하여 추출된 시간 영역의 데이터를 FFT하여 다시 주파수 영역으로 변환하면 물체의 주파수에 따른 RCS 특성을 얻을 수 있다. 하지만 최종적으로 정확한 RCS를 구하려면 다음의 수식(3)을 통하여 배경에 대한 오차를 보정해줘야 한다.

$$\sigma_{DUT}(f) = \frac{DUT(f) - B(f)}{Cal(f) - B(f)}^2 \cdot \sigma_{cal}(f) \quad (3)$$

$B(f)$ 는 배경에 대한 측정 데이터, $Cal(f)$ 는 기준 물체에 대한 측정 데이터이고, $\sigma_{cal}(f)$ 는 기준 물체의 계산된 RCS이다. 여기에 표적의 측정 데이터 $DUT(f)$ 를 넣으면 표적의 보정된 RCS를 구할 수 있다. 보정 과정을 거친 측정된 표적의 RCS 값과 계산된 표적의 RCS 값을 비교함으로써 보정 결과를 확인할 수 있다. [4].

보정을 위한 물체는 주로 쇠구를 사용하는데, 쇠구는 중심점을 기준으로 완전한 대칭 구조이기 때문에 단일 안테나로 측정할 경우 입사각과 반사각에 의한 RCS가 거의 일정하기 때문에 보정을 위한 물체로 사용하기가 용이하다.

본 실험에서는 25.4mm의 반지름을 갖는 쇠구를 기준 물체로, 15.88mm의 반지름을 갖는 쇠구를 표적으로 측정하였다. 보정된 측정된 RCS와 수식으로 계산한 표적의 RCS를 비교하여 구현된 시스템의 보정 상태를 확인하였으며 오차는 약 1dB 이내였다.

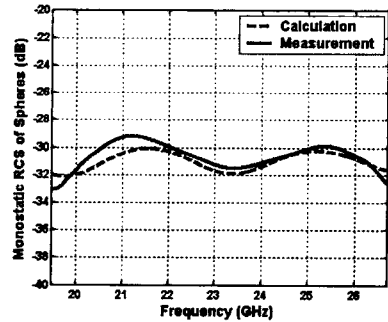


그림5. 반지름이 15.88mm인 쇠구의 RCS

2.3 임의의 물체의 RCS 측정

주파수 영역에서의 정확한 보정 결과를 확인 한 후에는 임의의 물체에 대해서 RCS를 측정하였다.

한 변의 길이가 2mm인 정사각형 모양의 구리판의 RCS를 측정하였다. 반지름이 25.4mm인 쇠구를 기준 물체로 측정하고, 배경에 의한 오차를 수식을 통하여 보정하였다. 측정된 RCS와 계산된 RCS를 비교하면 측정 주파수 대역 내에서 약 1dB의 오차를 보였다.

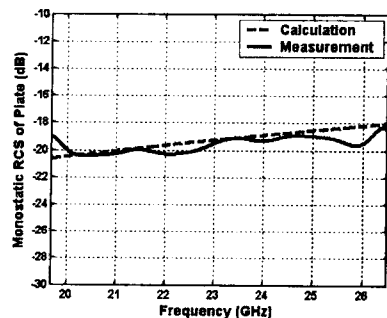


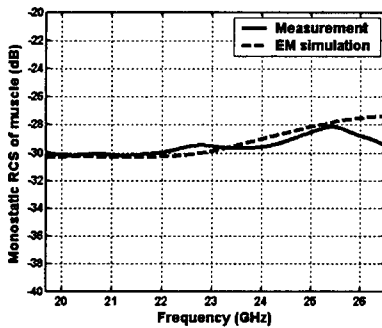
그림6. 한 변이 2mm인 정사각형 구리판의 RCS

RCS는 금속에만 국한된 개념이 아니기 때문에 측정하고자 하는 물체는 생체 조직이나 유전체가 될 수도 있다. 근육과 지방의 유전율은 크게 차이 나기 때문에 전자파의 산란 정도가 다르고, RCS를 측정하여 각각의 특성을 구분 지을 수 있다.

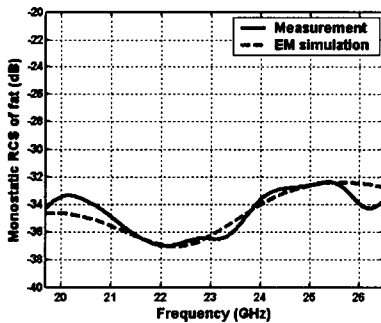
본 실험에서는 인체와 특성이 가장 유사한 돼지에서 근육과 지방의 표본을 채취하였고, 회로망 분석기를 이용하여 복소 유전율을 측정하였다. [5].

각 표본의 크기는 가로12mm×세로12mm×높이15mm의 모든 면이 평평한 직육면체 형태이다. 형상에 따라 RCS 값의 변화가 크기 때문에 측정되는 물체의 형상이 중요하다.

측정한 표본의 유전율 데이터를 EM simulation (ElectroMagnetic Simulation)의 물질 정보에 입력하여 RCS를 계산하고, 이를 실제 측정된 RCS와 비교를 하였다.



(a) 근육의 RCS



(b) 지방의 RCS

그림7. 근육과 지방의 RCS

측정된 RCS는 EM Simulation에 의해 계산된 RCS와 거의 일치 하였으며, 유전율이 크게 차이 나는 유전체의 판별이 가능 하다는 것을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 근거리에서 전파 무반향실의 물체의 RCS를 측정하는 방법에 대해서 기술 하였다. far field조건을 만족시키기 위해 렌즈 혼 안테나를 이용하여 평면파를 만들었고, 회로망 분석기로부터 받은 데이터를 시간 영역에서의 신호 처리 과정을 통하여 원하지 않는 신호들을 제거 하였다.

쇠구를 이용하여 측정된 데이터의 보정 결과는 계산된 RCS와 약 1dB 이내의 오차를 보였다. 또한 단순한 구조의 금속판의 RCS를 측정, 보정하여 계산된 RCS와 약 1dB의 오차를 보이는 결과를 얻어 낼 수 있었다. 유전율이 차이 나는 생체 조직에 대해서는 EM simulation 결과

와 일치하는 정확한 RCS 특성을 얻어낼 수 있었다.

구현된 시스템을 이용하여 차후에는 단순한 형태의 측정에서부터 복잡하고 다양한 물체의 RCS를 측정하는 방향으로 실험을 전개할 수 있고, 유전율의 차이를 이용하여 생체 조직의 이상 여부와 특성을 판별하는 방향으로 실험을 전개해 나갈 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Constantine A. Balanis, "Advanced Engineering Electromagnetics", p570-658, John Wiley & Sons, 1989
- [2] Greg S. McCarter, "Practical Considerations in Selecting Software or Hardware Gating for RCS Measurement systems", IEE Colloquium, p1001-1011, Jan 1991
- [3] '8510C Network Analyzer System - Operating and Programming Manual', Agilent Technologies, May 2001
- [4] J. Garat, 'Microwave Techniques for Radar Cross Section Measurements A Review', Electrotechnical conference, vol 1, p13-16, May 1996
- [5] Eummin Jeong, Geunseok Jeong, Jung-mu Kim, Jae-Hyoung Park, Jei-won Cho, Changyul Cheon, Yong-kwen Kim, Youngwoo Kwon, "Multi-layer processed probes for permittivity measurement", Microwave Symposium Digest, 2004 IEEE MTT-S International, Vol.3 p1813-1816, June 2004