



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년06월29일

(11) 등록번호 10-1532033

(24) 등록일자 2015년06월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01S 13/02 (2006.01) G01S 7/40 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0055093

(22) 출원일자 2014년05월08일

심사청구일자 2014년05월08일

(56) 선행기술조사문헌

JP2013113611 A

JP2010266423 A

JP2005275792 A

JP2010237069 A

(73) 특허권자

인하대학교 산학협력단

인천광역시 남구 인화로 100, 인하대학교 (용현동)

(72) 발명자

고일석

경기도 성남시 분당구 동판교로 122, 206동 2401호 (백현동, 백현마을2단지아파트)

정기환

서울특별시 성동구 독서당로 375, 3동 705호 (응봉동, 신동아아파트)

(74) 대리인

특허법인엠에이피에스

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 변영석

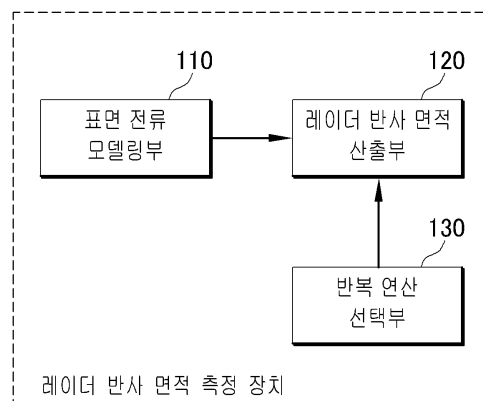
(54) 발명의 명칭 레이더 반사 면적 측정 장치 및 방법

(57) 요약

산란체의 레이더 반사 면적 측정 시, 기설정된 물리 광학 근사법(Physical Optics, PO)를 사용하여 산란체의 형상에 맞춘 표면 전류 초기 값을 산출하고, 표면 전류 초기 값을 기설정된 자기장 적분 방정식(Magnetic Field Integral Equation, MFIE)에 기반한 반복적 물리 광학 근사법(Iterative Physical Optics, IPO)을 사용하여 반복 연산 처리하고, 반복적 물리 광학 근사법에 따른 반복 연산 처리의 결과에 따라 산란체의 레이더 반사 면적을 산출하되, 반복적 물리 광학 근사법을 사용한 반복 연산 처리 시 반복 연산 처리 중 전류 크기가 발산하는 순간 반복 절차를 중지한다.

대표도 - 도1

100



명세서

청구범위

청구항 1

레이더 반사 면적(Radar Cross Section, RCS) 측정 장치에 있어서,

기설정된 물리 광학 근사법(Physical Optics, PO)을 사용하여 산란체(scatterer)의 형상에 맞춘 표면 전류 초기 값을 산출하는 표면 전류 모델링부; 및

상기 표면 전류 초기 값을 기설정된 자기장 적분 방정식(Magnetic Field Integral Equation, MFIE)에 기반한 반복적 물리 광학 근사법(Iterative Physical Optics, IPO)을 사용하여 반복 연산 처리하고, 상기 반복적 물리 광학 근사법에 따른 반복 연산 처리의 결과에 기초하여 상기 산란체의 레이더 반사 면적을 산출하는 레이더 반사 면적 산출부를 포함하되,

상기 레이더 반사 면적 산출부는,

상기 표면 전류 초기 값에 기초한 상기 반복적 물리 광학 근사법에 따른 반복 연산 처리 시 전류 크기가 발산하는 순간 반복 절차를 중지하는 레이더 반사 면적 측정 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 레이더 반사 면적 산출부는,

기설정된 복수의 종류의 반복적 물리 광학 근사법 중 적어도 하나를 사용하되,

상기 반복적 물리 광학 근사법은,

자코비(Jacobi) 반복법, 가우스 지델(Gauss-Seidel) 반복법, SOR(Successive Over Relaxation) 반복법 및 리치 드슨(Richardson) 반복법 중 적어도 하나를 포함하는 레이더 반사 면적 측정 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 산란체의 형상에 따른 크기를 측정하고, 기설정된 복수의 기준 크기 범위 중 상기 측정된 크기가 해당하는 기준 크기 범위에 사전에 매칭된 상기 반복적 물리 광학 근사법 중 적어도 하나를 선택하되,

상기 레이더 반사 면적 산출부가 상기 선택한 반복적 물리 광학 근사법에 기초하여 상기 레이더 반사 면적을 산출하도록 하는 반복 연산 선택부를 더 포함하는 레이더 반사 면적 측정 장치.

청구항 4

레이더 반사 면적(Radar Cross Section, RCS) 측정 장치를 통한 산란체(scatterer)의 레이더 반사 면적 측정 방법에 있어서,

기설정된 물리 광학 근사법(Physical Optics, PO)를 사용하여 상기 산란체의 형상에 맞춘 표면 전류 초기 값을 산출하는 단계;

상기 표면 전류 초기 값을 기설정된 자기장 적분 방정식(Magnetic Field Integral Equation, MFIE)에 기반한 반복적 물리 광학 근사법(Iterative Physical Optics, IPO)을 사용하여 반복 연산 처리하는 단계; 및

상기 반복적 물리 광학 근사법에 따른 반복 연산 처리의 결과에 따라 상기 산란체의 레이더 반사 면적을 산출하는 단계를 포함하되,

상기 반복적 물리 광학 근사법을 사용하여 상기 반복 연산 처리하는 단계는,

상기 반복 연산 처리 중 전류 크기가 발산하는 순간 반복 절차를 중지하는 레이더 반사 면적 측정 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 반복 연산 처리하는 단계는,

기설정된 복수의 종류의 반복적 물리 광학 근사법 중 적어도 하나를 사용하되,

상기 반복적 물리 광학 근사법은,

자코비(Jacobi) 반복법, 가우스 지델(Gauss-Seidel) 반복법, SOR(Successive Over Relaxation) 반복법 및 리처드슨(Richardson) 반복법 중 적어도 하나를 포함하는 레이더 반사 면적 측정 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 반복 연산 처리하는 단계 이전에,

상기 산란체의 형상에 따른 크기를 측정하는 단계; 및

기설정된 복수의 기준 크기 범위 중 상기 측정한 크기가 해당하는 기준 크기 범위에 매칭된 상기 반복적 물리 광학 근사법을 상기 반복 연산 처리할 반복적 물리 광학 근사법으로 선택하는 단계를 더 포함하는 레이더 반사 면적 측정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 산란체의 레이더 반사 면적(Radar Cross Section, RCS)을 측정하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 대규모 물체의 레이더 반사 면적(RCS)을 계산하기 위해, 다양한 방식들이 적용되고 있다. 종래에는 대표적인 고주파 근사 방법인 PO(Physical Optics) 방식을 사용하여 RCS를 측정하고 있으며, 이러한 PO 방식에서는 입사 파에 의해 여기된(induced) 산란체 위의 표면 전류를 예측하고, 이를 기반으로 물체의 산란파를 계산한다. 일반적으로, 최종 산란파의 정확도는 예측된 표면 전류의 정확도에 비례하나, PO방식에서는 산란체에서의 다중 반사를 무시하여 정확도에 한계가 있었다.

[0003] 한편, 대한민국등록특허 제 2014-0011153 호(발명의 명칭: 레이더 반사 단면적 측정장치 및 이를 이용한 측정방법)에서는, 측정 대상체의 레이더 반사 단면적을 무반사실 내부가 아닌 반사가 존재하는 일반 환경에서 측정하기 위해, 레이더 신호에 의해 반사되는 반사체를 기준으로 측정영역에서 회전하며 안테나의 방사패턴에 따른 반사체의 레이더 반사 단면적 값을 산출하고, 반사체 및 측정 대상체를 기준으로 측정영역에서 회전하며 안테나의 방사패턴에 따른 반사체 및 측정 대상체의 레이더 반사 단면적 값을 산출하고, 반사체의 레이더 반사 단면적 값과 반사체 및 측정 대상체의 레이더 반사 단면적 값을 디컨볼루션함으로써 측정 대상체의 레이더 반사 단면적 값을 계산하는 구성을 개시하고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 실시예는 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 산란체의 다중 반사를 고려하여 정확한 RCS를 측정하는 장치 및 방법을 제공하고자 한다.

[0005] 다만, 본 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상술한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 일 측면에 따른 레이더 반사 면적 측정 장치는, 기설정된 물리 광학 근사법(Physical Optics, PO)을 사용하여 산란체(scatterer)의 형상에 맞춘 표면 전

류 초기 값을 산출하는 표면 전류 모델링부 및 상기 표면 전류 초기 값을 기설정된 자기장 적분 방정식(Magnetic Field Integral Equation, MFIE)에 기반한 반복적 물리 광학 근사법(Iterative Physical Optics, IPO)을 사용하여 반복 연산 처리하고, 상기 반복적 물리 광학 근사법에 따른 반복 연산 처리의 결과에 기초하여 상기 산란체의 레이더 반사 면적을 산출하는 레이더 반사 면적 산출부를 포함하되, 상기 레이더 반사 면적 산출부는, 상기 표면 전류 초기 값에 기초한 상기 반복적 물리 광학 근사법에 따른 반복 연산 처리 시 전류 크기가 발산하는 순간 반복 절차를 중지한다.

[0007]

그리고, 본 발명의 다른 측면에 따른, 레이더 반사 면적 측정 장치를 통한 산란체(scatterer)의 레이더 반사 면적 측정 방법은, 기설정된 물리 광학 근사법(Physical Optics, PO)를 사용하여 상기 산란체의 형상에 맞춘 표면 전류 초기 값을 산출하는 단계; 상기 표면 전류 초기 값을 기설정된 자기장 적분 방정식(Magnetic Field Integral Equation, MFIE)에 기반한 반복적 물리 광학 근사법(Iterative Physical Optics, IPO)을 사용하여 반복 연산 처리하는 단계; 및 상기 반복적 물리 광학 근사법에 따른 반복 연산 처리의 결과에 따라 상기 산란체의 레이더 반사 면적을 산출하는 단계를 포함하되, 상기 반복적 물리 광학 근사법을 사용하여 상기 반복 연산 처리하는 단계는, 상기 반복 연산 처리 중 전류 크기가 발산하는 순간 반복 절차를 중지한다.

발명의 효과

[0008]

전술한 본 발명의 과제 해결 수단에 의하면, IPO 기법을 적용하여 산란체의 다중 반사를 고려한 RCS를 산출함으로써, RCS 측정 결과의 정확도를 높일 수 있는 효과가 있다.

[0009]

또한 본 발명의 과제 해결 수단에 의하면, RCS 측정 시 적용되는 IPO 기법을, 행렬 연산에 사용할 수 있는 수치 해석 기법 중 자코비(Jacobi) 반복법, 가우스 지텔(Gauss-Seidel) 반복법, SOR(Successive Over Relaxation) 반복법 및 리처드슨(Richardson) 반복법 중 적어도 하나를 사용함으로써, IPO 연산 시 수렴성을 조절할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0010]

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더 반사 면적 측정 장치의 구성을 나타내는 블록도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에서 산란체의 표면 전류 모델링 방식을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 자코비 반복법을 사용한 RCS 측정 결과의 예를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 종류의 IPO를 사용한 RCS 측정 결과의 예를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 입체적 산란체를 고려한 복수의 종류의 IPO를 사용한 RCS 측정 결과의 예를 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 산란체의 레이더 반사 면적 측정 방법을 설명하기 위한 순서도 이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011]

아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0012]

명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0013]

이하에서는 본 발명이 적용되는 네트워크를 데이터 센터 네트워크로 설명하도록 한다. 그러나, 본 발명이 적용되는 네트워크는 데이터 센터 네트워크에 한정되는 것이 아니라, 복수의 노드 장치 간에 유선 및 무선 링크 중 적어도 하나의 링크가 연결되어 데이터 트래픽이 발생하는 다양한 네트워크에 적용될 수 있다.

[0014]

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더 반사 면적 측정 장치의 구성을 나타내는 블록도이다. 그리고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 산란체의 표면 전류 모델링을 설명하기 위한 도면이다.

[0015]

먼저, 도 1에 도시한 바와 같이 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더 반사 면적 측정 장치(100)는 표면 전류 모

모델링부(110), 레이더 반사 면적 산출부(120) 및 반복연산 선택부(130)를 포함한다.

[0016] 표면 전류 모델링부(110)는 산란체(scatterer)의 형상에 맞춰 표면 전류를 모델링한다. 이때, 표면 전류 모델링부(110)는 기설정된 물리 광학 근사법(Physical Optics, PO)를 사용하여 산란체(scatterer)의 형상에 맞춘 표면 전류 초기 값을 산출한다.

[0017] 참고로, 본 발명의 일 실시예에서는, 산란체의 크기가 크고 표면이 충분히 부드럽다(smooth)라고 가정하며, 이에 따라 산란체의 표면은 국소적으로 무한 평면으로 간주할 수 있다. 표면 전류 모델링부(110)는 임의의 물체(즉, 산란체)의 구조를 고려하기 위해, 산란체의 표면을 특정한 기본 형상(예를 들어, 작은 삼각형) 평면들로 분할하고, 각 기본 형상 표면에 여기되는 전류를 PO 근사법을 사용하여 산출한다. 참고로, 표면 전류 모델링부(110)를 통해 산출된 표면 전류를 하기 레이더 반사 면적 산출부(120)가 반복적 물리 광학 근사법(Iterative Physical Optics, IPO)을 통해 반복 연산 처리함으로써 산란체의 산란파(즉, 레이더 반사 면적, RCS)를 산출할 수 있다.

[0018] 구체적으로, 표면 전류 모델링부(110)는, 도 2에서 도시한 바와 같이, 산란체의 표면 위의 전체 전자기파를 입사파와 반사파의 합으로 근사화 한다. 이때, 표면 전류 모델링부(110)는 산란체의 표면 전류를 다음 수학식 1에서와 같이 모델링한다.

[0019] <수학식 1>

$$\vec{J}_c \approx \hat{n} \times (\vec{H}^i + \vec{H}^r)$$

[0020]

[0021] 상기 수학식 1에서 $\vec{H}^i$ 는 입사 자계, $\vec{H}^r$ 는 반사 자계, $\vec{J}_c$ 는 표면 전류, $\hat{n}$ 은 표면 밖으로 향하는 단위법선벡터(unit normal vector)이다. 이때, 표면 전류는 입사파가 존재하는 조명 영역(lit region)에서만 존재하고, 음영 영역(shadow region)에서는 0으로 간주된다.

[0022] 다음으로, PO(Physical Optics) 근사 해법을 사용하여, 상기 수학식 1을 PEC 표면 상에서 다음 수학식 2와 같이 근사화한다.

[0023] <수학식 2>

$$\vec{J}_{po} = \begin{cases} 2\hat{n} \times \vec{H}^i, & \text{lit regions} \\ 0, & \text{shadow regions} \end{cases}$$

[0024]

[0025] 다음으로, 레이더 반사 면적 산출부(120)는 표면 전류 모델링부(110)를 통해 모델링된 표면 전류식(즉, 표면 전류 초기 값을 산출한 식)에 기초하여 기설정된 IPO 기법에 따라 산란체의 레이더 반사 면적을 산출한다.

[0026] 이때, 레이더 반사 면적 산출부(120)는 표면 전류 초기 값을 기설정된 자기장 적분 방정식(Magnetic Field Integral Equation, MFIE)에 기반한 IPO 근사법을 사용하여 반복 연산 처리하고, IPO에 따른 반복 처리의 결과에 기초하여 산란체의 RCS를 산출한다. 이때, 레이더 반사 면적 산출부(120)는 표면 전류 초기 값에 기초한 IPO에 따른 반복 연산 처리 시 전류 크기가 발산하는 순간 반복 절차를 중지하여 수렴성을 조절한다. 이에 따라, PO 근사 해법에 따라 산출된 일차 표면 전류에 기초하되 산란체에서의 다중 반사를 고려한 레이더 반사 면적을 산출할 수 있어 정확도를 높일 수 있다.

[0027] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더 반사 면적 산출부(120)는 IPO 근사법으로서 기설정된 복수의 종류의 반복법 중 적어도 하나를 사용하되, 복수의 반복법은, 자코비(Jacobi) 반복법, 가우스 지델(Gauss-Seidel) 반복법, SOR(Successive Over Relaxation) 반복법 및 리처드슨(Richardson) 반복법 중 적어도 하나를 포함한다.

[0028] 구체적으로, 레이더 반사 면적 산출부(120)는 아래에서 설명할 수학식 3 내지 수학식 18을 이용하여 산란체의 레이더 반사 면적을 산출한다.

[0029] IPO 방법은, PO에 의해 산출된 일차 표면 전류(즉, 표면 전류 초기 값)를, 다음의 수학식 3과 같은 반복법을 사용하여, 반복적으로 표면 전류 사이의 상호 작용을 예측한다.

[0030] <수학식 3>

$$\vec{J}(\vec{r}) = 2\hat{n}(\vec{r}) \times \vec{H}^i(\vec{r}) - \frac{1}{2\pi} \iint_{s-\delta s} \hat{n}(\vec{r}) \times [(\vec{r} - \vec{r}') \times \vec{J}(\vec{r}')] [1 + jk_0 r] \frac{e^{-jk_0 r}}{r^3} d\vec{r}'$$

[0031]

[0032] 여기서 $\vec{r}$ 은 관측점의 위치벡터이고, $\vec{r}'$ 은 표면 전류의 위치 벡터이다. 그리고 k_0 는 자유공간의 파수(wave number)이다. 참고로, 상기 수학식 3의 적분은 코시의 원칙에 따른 값(Cauchy's principle value)이다.

[0033] 한편, IPO 방법은 $\vec{J}$ 를 다음과 같은 수학식 4 및 수학식 5에 따른 반복법을 이용하여 예측할 수 있다. 이때, 하기 수학식 4 및 수학식 5에 따른 반복법은 자코비(Jacobi) 반복법을 적용하였다.

[0034] <수학식 4>

$$\vec{J}_0(\vec{r}) = 2\hat{n}(\vec{r}) \times \vec{H}^i(\vec{r}) = \vec{J}_{po}$$

[0035]

[0036] <수학식 5>

$$\vec{J}_n(\vec{r}) = \vec{J}_{n-1}(\vec{r}) - \frac{1}{2\pi} \iint_{s-\delta s} \hat{n}(\vec{r}) \times [(\vec{r} - \vec{r}') \times \vec{J}_{n-1}(\vec{r}')] [1 + jk_0 r] \frac{e^{-jk_0 r}}{r^3} d\vec{r}'$$

[0037]

[0038] 이상에서, 초기 값 은 PO방법에 의한 $\vec{J}_{po}$ (즉, 표면 전류 초기 값)와 같다.

[0039] 이때, 상기 수학식 5에서의 수렴은 산란체의 크기가 작은 경우에 보장될 수 있다. 즉, 산란체의 크기가 매우 큰 경우, $n \rightarrow \infty$ 일 때 $\vec{J}_n$ 은 일반적으로 발산한다. 따라서, 레이더 반사 면적 산출부(120)는 전류 크기가 최초 지엽적 최소값(first local minimum)에 이르면 반복 절차를 중지시켜 수렴성을 조절한다.

[0040] 구체적으로, 레이더 반사 면적 산출부(120)는 상기 수학식 4 및 5를 이용하여 표면 전류를 계산하되, 원거리(far-field)에서의 산란파는 헤르츠 벡터(Hertz vector)를 이용하여 계산한다.

[0041] 헤르츠 벡터는 하기 수학식 6과 같다.

[0042] <수학식 6>

$$\vec{\Pi}_e(\vec{r}) \sim -\frac{jZ_0}{4\pi k_0} \frac{e^{jk_0 r}}{r} \int_{s'} \vec{J}(\vec{r}') e^{-jk_0 \hat{r} \cdot \vec{r}'} d\vec{s}'$$

[0043]

[0044] 상기 수학식 6에서 Z_0 는 자유 공간 상의 특성 임피던스이다.

[0045] 이때, 산란파의 전계는 하기 수학식 7과 같다.

[0046] <수학식 7>

$$\vec{E}^s \sim -k_0^2 \hat{r} \times \hat{r} \times \vec{\Pi}_e$$

[0047]

[0048] 이에 따른 산란 행렬(scattering matrix)은 다음 수학식 8에서와 같이 표현된다.

[0049] <수학식 8>

$$\begin{bmatrix} E_h^s \\ E_v^s \end{bmatrix} \sim \frac{e^{jk_0 r}}{r} \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_h^s \\ E_v^s \end{bmatrix}$$

[0050]

[0051] 상기에서 하첨자 h는 수평 편파(h-pol)를 의미하고, 하첨자 v는 수직 편파(v-pol)를 의미한다.

[0052] 최종적으로, 레이더 반사 면적 산출부(120)는 하기 수학식 9의 수식에 따라 산란체의 레이더 반사 면적을 산출한다.

[0053] <수학식 9>

$$\sigma_{mn} = 4\pi |S_{mn}|^2$$

[0054]

[0055] 상기 수학식 9에서 m과 n은 상기 h 또는 v를 나타낸다.

[0056] 한편, 상기 수학식 4 및 수학식 5는 자코비 반복법에 기초한 표면 전류 산출식이다.

[0057] 이때, 레이더 반사 면적 산출부(120)는 자코비 반복법과 동일 또는 상이한 수렴 조건을 갖는 반복법을 사용하여 산란체의 레이더 반사 면적을 산출하여, IPO의 수렴성을 조절할 수 있다.

[0058] 구체적으로, 레이더 반사 면적 산출부(120)는 가우스-지델 반복법, SOR 반복법 및 리처드슨 반복법을 사용하여 레이더 반사 면적을 산출한다.

[0059] 우선, 상기 수학식 3은 다음 수학식 10 및 수학식 11과 같이 표현될 수 있다.

[0060] <수학식 10>

$$\begin{aligned} \vec{J}(\vec{r}) &= \vec{J}_0(\vec{r}) - L_1[\vec{J}(\vec{r})] \\ [I + L_1]\vec{J}(\vec{r}) &= L\vec{J}(\vec{r}) = \vec{J}_0(\vec{r}) \end{aligned}$$

[0061]

[0062] <수학식 11>

$$[I + L_1]\vec{J}(\vec{r}) = L\vec{J}(\vec{r}) = \vec{J}_0(\vec{r})$$

[0063]

[0064] 여기서, I는 항등 행렬을 의미하고 L₁은 상기 수학식 3의 적분 연산자(integral operator)이다. 그리고 L=I+L₁이다.

[0065] 이때, 행렬 L을 대각 행렬(W)과 비대각 행렬(R)로 나누면 L=W-R이 되고, 상기 수학식 11은 다음 수학식 12와 같이 표현된다.

[0066] <수학식 12>

$$W\vec{J}(\vec{r}) = \vec{J}(\vec{r}) = R\vec{J}(\vec{r}) + \vec{J}_0(\vec{r})$$

[0067]

[0068] MFIE에서는 W=I이고, 수학식 12에서 $\vec{J}$ 를 계산하기 위해, 자코비(Jacobi) 반복법을 사용하면 다음 수학식 13과 같이 표현된다.

<수학식 13>

$$\begin{aligned}\vec{J}^{m+1} - \vec{J}^m &= \Delta \vec{J}^{m+1} \\ &= R(\vec{J}^m - \vec{J}^{m-1}) = R\Delta \vec{J}^m\end{aligned}$$

여기서, 가우스-지텔(Gauss-Seidel) 반복법을 적용하면, 행렬 L을 대각 행렬과 하부삼각행렬(E), 상부삼각행렬(F)로 나눈다. 즉, $L=W-E-F$ 이다.

이에 따라, 상기 수학식 11을 다시 표현하면 다음의 수학식 14와 같다.

<수학식 14>

$$(W-E)\vec{J}(r) = F\vec{J}(r) + \vec{J}_0(r)$$

따라서, 가우스-지텔 반복법은 다음 수학식 15와 같이 정의된다.

<수학식 15>

$$(W-E)\Delta \vec{J}^{m+1} = F\vec{J}^m$$

한편, 가우스-지텔 반복법의 수렴 조건은 자코비 반복법과 동일하나, 수렴 및 발산 속도가 자코비 반복법의 2배 이므로, 수렴 시 자코비 반복법보다 효율적으로 $\vec{J}$ 를 산출할 수 있다.

또한, 레이더 반사 단면 산출부(120)는 가우스-지텔 반복법의 수렴 속도를 개선하기 위하여 SOR 반복법을 사용할 수 있다.

구체적으로, SOR 반복법은 이완법(relaxation method) 중 하나로서, 가우스-지텔 반복법을 수정하여 구현할 수 있다.

이러한 SOR 반복법은 다음의 수학식 16과 같다.

<수학식 16>

$$\Delta \vec{J}^{m+1} = \bar{w} \Delta \vec{J}^m(GS) - (\bar{w}-1) \Delta \vec{J}^m$$

이때, GS는 가우스-지텔 반복법의 결과이며, $\bar{w}$ 는 가중치이다. 참고로, $\bar{w}=1$ 이면, 상기 수학식 16은 가우스-지텔 반복법과 동일하다. 따라서, $\bar{w}$ 를 조절하여 SOR 반복법은 가우스-지텔 반복법에 비해 수렴 속도를 개선할 수 있다.

그런데, 면적이 거대한 산란체인 경우 IPO 시 거의 모든 경우 발산하므로, 가능한 수렴 속도를 빠르게 하는데 중점을 둔 SOR 반복법보다, 느리더라도 향상된 해(improved solution)에 접근할 수 있는 반복법을 사용할 수 있다.

구체적으로, 리처드슨(Richardson) 반복법은 수렴성을 늦출 수 있다. 이러한 리처드슨 반복법을 통해 IPO 시 최종 산출된 표면 전류의 정확도를 향상시킬 수 있다. 참고로, 리처드슨 반복법 또한 SOR 반복법과 같이 $\bar{w}$ 를 조절하여 수렴 속도를 개선할 수 있다.

리처드슨 반복법은 다음의 수학식 17 및 수학식 18과 같다.

<수학식 17>

$$\vec{J}^{m+1} = \vec{J}^m + \bar{w}(\vec{J}_0 - L\vec{J}^m)$$

[0090]

<수학식 18>

$$\Delta \vec{J}^{m+1} = \Delta \vec{J}^m - \overline{w} L \Delta \vec{J}^m$$

[0091]

[0092]

다음으로, 반복 연산 선택부(130)는 산란체의 형상에 따른 크기를 측정하고, 기설정된 복수의 기준 크기 범위 중 상기 측정한 크기가 해당하는 기준 크기 범위에 사전에 매칭된 IPO근사법 중 적어도 하나를 선택하여 레이더 반사 면적 산출부(120)로 전달한다. 이에 따라, 레이더 반사 면적 산출부(120)는 선택한 반복적 물리 광학법에 기초하여 산란체의 레이더 반사 면적을 산출한다.

[0093]

이하, 도 3 내지 도 5를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더 반사 단면 측정 장치(100)를 통해 산출된 산란체의 레이더 반사 단면 값과 기존의 측정 방식들에 의한 결과값을 비교하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 IPO 근사법을 사용한 RCS 산출의 높은 정확도를 보이도록 한다.

[0094]

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 자코비 반복법을 사용한 RCS 측정 결과의 예를 나타낸 도면이다. 그리고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 종류의 IPO를 사용한 RCS 측정 결과의 예를 나타낸 도면이다. 또한, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 입체적 산란체를 고려한 복수의 종류의 IPO를 사용한 RCS 측정 결과의 예를 나타낸 도면이다.

[0095]

먼저 도 3에서는, 2개의 정사각형 PEC 평판으로 이루어진 코너 리플렉터(dihedral reflector)의 모노스태틱 RCS 결과에 대해, 본 발명의 일 실시예에 따른 IPO 근사법에 따른 산출 결과와, PO 근사법을 사용한 산출 결과 및 기존에 알려진 수치 해석 해를 비교한 결과를 나타내었다. 참고로, 도 3에서 코너 리플렉터 정사각형의 한 면의 크기는 $2.5\lambda \times 2.5\lambda$ 이고 두께는 0.1λ 로 설정하였으며, 주파수는 300MHz로 가정하였다. 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더 반사 면적 측정 장치(100)가 사용한 IPO 근사법은 자코비 반복법인 것을 나타내었다.

[0096]

도 3의 (a)와 (b)에 따르면, 다중 반사를 고려하지 않는 일차 PO방법에 비해 IPO방법의 정확도가 매우 높으며, IPO 방법에 따른 RCS 측정 결과가 수치 해석 해와 거의 유사한 것을 알 수 있다. 이때, 도 3의 (a)는 수평 편파인 경우이고, (b)는 수직 편파인 경우를 나타내었다.

[0097]

다음으로, 도 4에서는 코너 리플렉터에 입사파가 비스듬히 입사하는 경우(oblique incidence)의 바이스태틱 RCS 결과에 대해, 본 발명의 일 실시예에 따른 IPO 근사법에 따른 산출 결과와, PO 근사법을 사용한 산출 결과 및 기존에 알려진 수치 해석 해를 비교한 결과를 나타내었다. 참고로, 도 4에서 코너 리플렉터의 각 평면의 크기는 $6\lambda \times 6\lambda$ 이고 두께는 0.1λ 로 설정하였으며, 입사각은 $\theta_i = 270^\circ$, $\phi_i = 180^\circ$ 인 것을 나타내었다. 이때, 도 4는 S_{hh} 의 바이스태틱 결과를 보여준다. 측정 라인(observation line)은 입사파를 포함하는 평면이다.

[0098]

도 4에서와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 종류의 IPO 방법(즉, 자코비 반복법, 가우스-지텔 반복법, SOR 반복법 및 리처드슨 반복법)은 모두 유사한 측정 결과를 나타낸다. 이때, SOR 반복법과 리처드슨 반복법의 가중치는 1.2이다.

[0099]

한편, SOR 반복법의 수렴속도는 다른 반복법을 보다 가장 빠르고 리처드슨 반복법의 수렴속도가 가장 느리다. 이러한 SOR 반복법의 경우, 측정 각도마다 약 2번의 반복 과정을 가지며, 리처드슨 반복법의 경우 4번의 반복 과정을 가진다. 그리고 자코비 반복법은 리처드슨 반복법과 마찬가지로 약 4번의 반복 과정을 가지며, 가우스 지텔 Gauss-Seidel 반복법은 SOR 반복법과 같이 약 2번의 반복과정을 가진다.

[0100]

다음으로, 도 5는 입체적인 산란체를 고려하였으며, PO방법과 IPO방법을 이용하여 바이스태틱 RCS 결과를 비교하였다. 도 5에서는 IPO 방법으로서, 자코비 반복법, 가우스-지텔 반복법, 및 SOR 반복법을 사용하였다.

[0101]

도 5에서는 두 상자의 크기가 위의 작은 상자가 $16 \times 16 \times 16[m^3]$ 이고, 아래의 큰 상자가 $40 \times 40 \times 40[m^3]$ 이며, 입사각은 $\theta_i = 45^\circ$ 인 것을 나타내었다. 측정라인 (observation line)은 입사파를 포함하는 평면이다. 또한 도 5의 (a)는 수직 편파이고, (b)는 수평 편파인 것을 나타내었다.

[0102]

도 5에서와 같이, 후방 산란(backscattering) 부분에서 PO방법은 IPO 방법들에 비해 큰 차이를 보이나, 여러 IPO방법들의 정확도는 매우 비슷함을 알 수 있다. 단, 가우스-지텔 반복법인 경우 도 4 및 도 5에서와 같이, 부엽(side-lobe)의 크기가 다른 방법에 비해 큰 것을 알 수 있다. 즉, 가우스-지텔 반복법의 발산 속도가 빠름

을 알 수 있다. 그러므로, SOR 반복법의 가중치는 0.1과 0.16을 사용하여 수렴 속도를 줄였다. 일반적으로 가우스-지델 반복법은 반복 횟수가 작은 경우가 아닌, 큰 경우에는 적용 시 효율이 적다. 그러므로, SOR 반복법 또한 가우스-지델 반복법과 같이 반복 횟수가 적은 경우에 사용 할 수 있다.

[0103] 이하, 도 6을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 레이더 반사 면적 측정 장치(100)를 통한 산란체의 레이더 반사 면적 측정 방법에 대해서 상세히 설명하도록 한다.

[0104] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 산란체의 레이더 반사 면적 측정 방법을 설명하기 위한 순서도 이다.

[0105] 먼저, 기설정된 PO 근사법을 사용하여 산란체의 형상에 맞춘 표면 전류를 모델링한다(S610).

[0106] 구체적으로, 기설정된 PO 근사법을 사용하여 산란체의 형상에 맞춘 표면 전류 초기 값을 산출한다. 참고로, 단계 (S610)은 상기 수학식 1 및 2을 통해 산출할 수 있다.

[0107] 그런 다음, 표면 전류 초기 값을 MFIE에 기반한 IPO를 사용하여 반복 연산 처리한다(S620).

[0108] 이때, IPO는 자코비(Jacobi) 반복법, 가우스 지델(Gauss-Seidel) 반복법, SOR(Successive Over Relaxation) 반복법 및 리처드슨(Richardson) 반복법 중 적어도 하나이다. 또한, 표면 전류 초기 값에 기초한 상기 반복적 물리 광학 근사법에 따른 반복 연산 처리 시 전류 크기가 발산하는 순간 반복 절차를 중지한다.

[0109] 참고로, 단계 (S620)은 상기 수학식 3, 4 및 5를 통해 산출할 수 있다. 또한, 적용되는 IPO의 종류에 따라 상기 수학식 10 내지 18을 통해 구할 수 있다.

[0110] 상기 단계(S620)의 반복 연산 처리 결과에 따른 표면 전류가 산출된다(S630).

[0111] 한편, 산란체가 대규모의 물체인 경우 원거리에서의 산란파를 헤르츠 벡터를 이용하여 계산한다(S640).

[0112] 참고로 단계 (S640)은 상기 수학식 6을 통해 산출할 수 있다.

[0113] 그런 다음, 헤르츠 벡터를 이용한 계산 결과에 기초하여 산란파의 전기(electric field)를 산출한다(S650).

[0114] 이때, 산출된 산란파의 전기는 산란 행렬로 표현된다. 참고로 단계(S650)은 상기 수학식 7 및 8을 통해 구할 수 있다.

[0115] 그런 후, 산출된 산란파의 전기에 기초하여 산란체의 레이더 반사 면적을 산출한다(S660).

[0116] 참고로, 단계 (S660)은 상기 수학식 9를 통해 산출할 수 있다.

[0117] 한편, 본 발명의 일 실시예에서는 상기 단계 (S620) 이전에, 산란체의 형상에 따른 크기를 측정하고, 기설정된 복수의 기준 크기 범위 중 상기 측정된 크기가 해당하는 기준 크기 범위에 매칭된 IPO(즉, 복수의 종류의 반복법 중 어느 하나)을 상기 반복 연산 처리할 IPO근사법으로 선택하는 절차를 더 수행할 수 있다. 이처럼, 산란체의 크기에 따라 좀 더 수렴성의 효율이 좋은 IPO 근사법을 선택하여 사용할 수 있다.

[0118] 본 발명의 실시예는 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 통신 매체는 전형적으로 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈, 또는 반송파와 같은 변조된 데이터 신호의 기타 데이터, 또는 기타 전송 메커니즘을 포함하며, 임의의 정보 전달 매체를 포함한다.

[0119] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

[0120] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0121]

100: 레이더 반사 면적 측정 장치

110: 표면 전류 모델링부

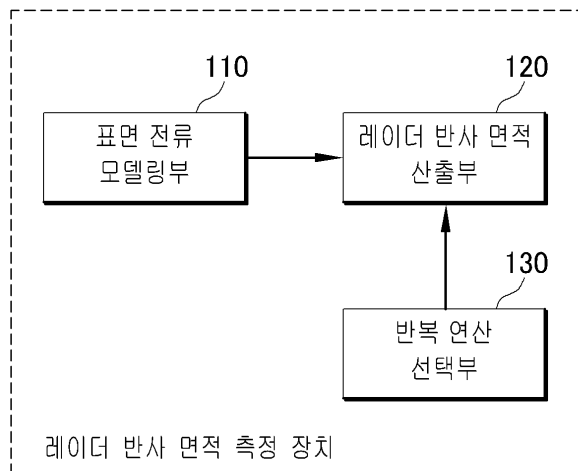
120: 레이더 반사 면적 산출부

130: 반복 연산 선택부

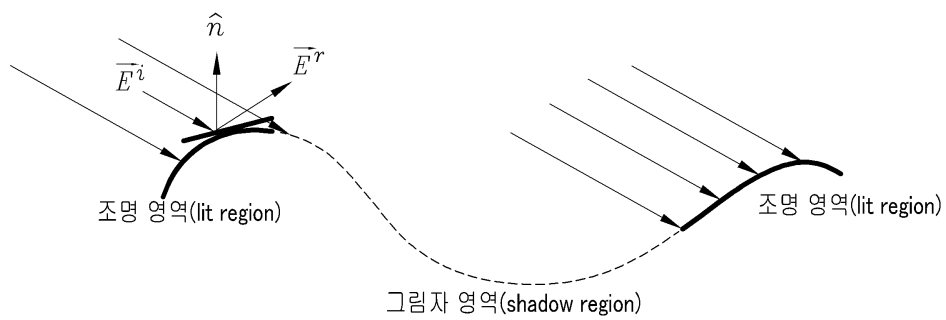
도면

도면1

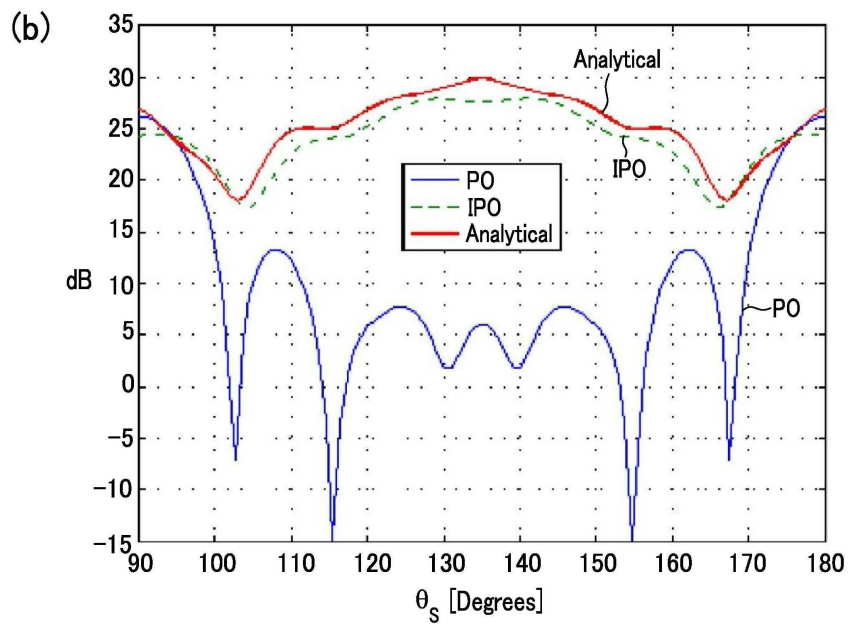
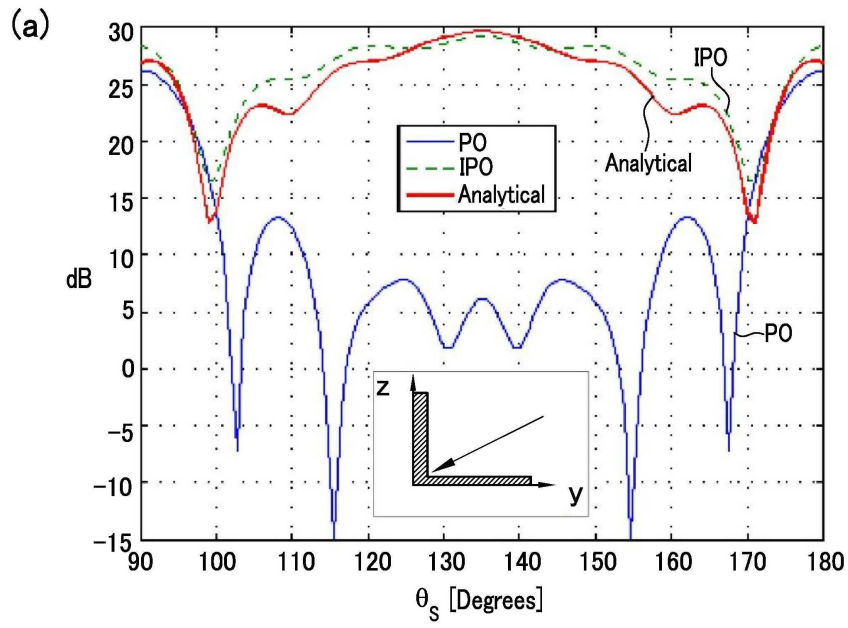
100



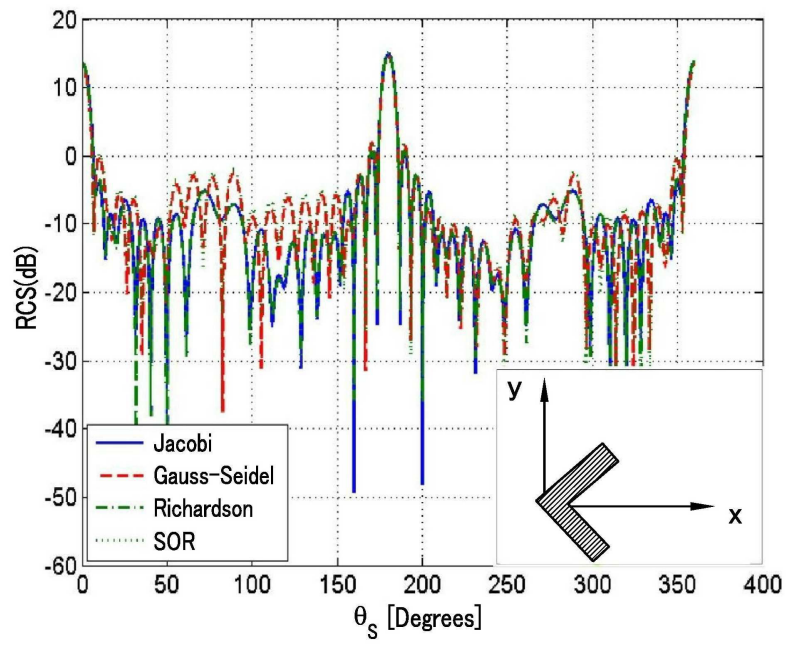
도면2



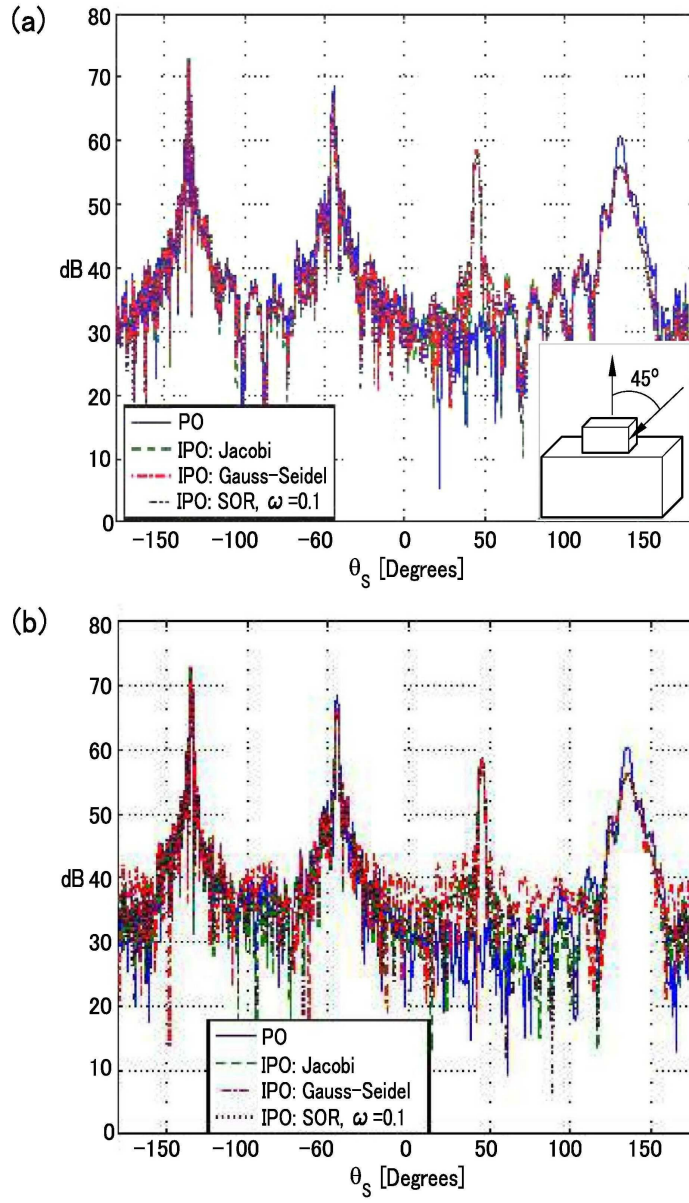
도면3



도면4



도면5



도면6

