

광선 그룹화를 이용한 SBR 가속기법

이재인^{*,1)} · 윤달재²⁾ · 양성준¹⁾ · 양우용³⁾ · 배준우³⁾ · 김시호⁴⁾ · 명로훈¹⁾

¹⁾ 한국과학기술원 전기 및 전자공학부

²⁾ 한국표준과학연구원 첨단측정장비연구소

³⁾ 한화시스템(주) 해상 MFR 팀

⁴⁾ 국방과학연구소 제3기술연구본부

Acceleration of the SBR Technique using Grouping of Rays

Jae-In Lee^{*,1)} · Dal-Jae Yun²⁾ · Seong-Jun Yang¹⁾ · Woo-Yong Yang³⁾ · Jun-Woo Bae³⁾ ·
Si-Ho Kim⁴⁾ · Noh-Hoon Myung¹⁾

¹⁾ School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea

²⁾ Advanced Instrumentation Institute, Korea Research Institute of Standards and Science, Korea

³⁾ Naval MFR Team, Hanwha Systems, Korea

⁴⁾ The 3rd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 4 July 2018 / Revised 9 August 2018 / Accepted 5 October 2018)

ABSTRACT

The SBR technique is one of the asymptotic high frequency method, where a dense grid of rays are launched and traced to analyze the scattering properties of the target. In this paper, we propose an accelerated SBR technique using grouping a central ray and 8 surrounding rays around the center ray. First, launched rays are grouped into groups consisting of a central ray and 8 surrounding rays. After the central ray of each group is preferentially traced, 8 surrounding rays are rapidly traced using the information of ray tracing for the central ray. Simulation result of scattering analysis for CAD models verifies that the proposed method reduces the computational time without decreasing the accuracy.

Key Words : RCS Analysis(RCS 분석), SBR Technique(SBR 기법), Ray Tracing(광선 추적)

1. 서론

RCS(Radar Cross Section)은 표적의 전자기적 산란

특성을 나타내는 중요한 레이다 특성 중 하나이다. 실제 환경에서 표적에 대한 RCS를 측정하는 것은 많은 비용과 시간이 요구되기 때문에, 캐드(CAD, Computer Aided Design)에 대한 시뮬레이션을 통해 RCS 해석에 소요되는 비용과 시간을 절감할 수 있다.

SBR(Shooting and Bouncing Ray)기법은 고주파 산란

* Corresponding author, E-mail: lji610@kaist.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

해석 기법 중 하나로써, 높은 주파수에서 다중 반사에 대한 산란 해석을 고속으로 수행할 수 있다는 장점을 가진다^{1,2}. 광선 추적 기법에 산란과 해석을 더한 SBR기법은 다음과 같이 동작한다. 0.1파장 간격의 광선 다발을 캐드를 향해 사출하고, 각각의 광선에 대해 GO(Geometrical Optics) 법칙에 따라 광선 추적을 수행한다. 그리고 각 광선의 마지막 반사점에서 등가전류를 통해 산란파를 계산하는 PO(Physical Optics) 적분을 적용하여, 각각의 광선에 대한 RCS 값을 계산한다. 광선 추적은 광선과 삼각패치가 교차하는지를 판별하는 광선-삼각패치 교차시험을 기초하며, 하나의 광선에 대한 광선 추적은 여러 삼각패치와의 교차시험을 통해서 수행된다³⁻⁵. 하나의 광선에 대해서도 여러 번의 교차시험을 수행해야하기 때문에, SBR기법의 계산시간은 대부분 광선 추적 수행에 소요된다. SBR기법을 코드로 구현할 때, GPU를 통한 병렬처리 가속을 적용하여 광선추적 과정을 고속으로 수행할 수 있다^{6,7}.

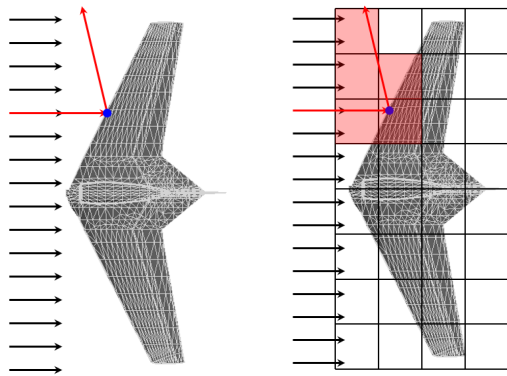
SBR기법의 정확도는 캐드의 삼각패치 크기에 직접적인 영향을 받지 않는다. 해석 주파수에 따라서 삼각패치의 크기를 달리해야하는 다른 기법들과는 다르게, SBR기법은 해석 주파수에 따라서 삼각패치 크기를 변화시킬 필요가 없다는 것이 특징이다. 2개의 삼각패치로 모델링된 평면 캐드와 여러 개의 삼각패치로 모델링된 평면 캐드는 계산시간의 차이만 있으며, 산란 해석 결과는 동일하다. 때문에 정확도에 영향을 미치지 않는다면, SBR기법을 고속으로 수행하기 위해서 삼각 패치의 숫자를 최소화하는 것이 바람직하다. 이를 이용하여 다중 해상도 사출 간격을 이용한 가속기법이 제안되었었다⁸. 0.1파장 간격으로 광선을 사출하지 않고, 먼저 0.2파장 간격을 가지는 광선들을 사출한 후, 이 정보를 이용하여 0.1파장 간격을 가지는 광선들의 사출 횟수를 감소시키는 방법이다. 정사각형 모양을 이루는 0.2파장 간격의 4개의 광선들이 모두 같은 삼각패치에 교차하거나, 4개의 광선들이 모두 교차하지 않는 경우에, 이 정사각형 안에 있는 0.1파장 간격의 광선들에 대한 광선 추적을 생략할 수 있게 된다. 이는 0.2파장이 아닌, 0.4파장, 0.8파장 간격의 광선들을 우선적으로 사출할 수도 있다. 이 기법은 삼각패치 하나의 크기가 한 번의 길이가 최소 0.2파장인 정사각형을 포함할 수 있어야지 효율적으로 적용될 수 있는 가속기법이다. 삼각형이 정사각형을 포함하기 위해서는 삼각형의 모든 변의 길이가 정사각형의 변

의 길이보다 훨씬 커야한다. 따라서 삼각패치의 모든 변의 길이가 0.2파장보다 훨씬 커야한다는 조건을 요구한다. 이 조건을 완화하기 위해서 한 번의 길이가 0.1파장보다만 크면 적용할 수 있는 가속기법을 제안하고자 한다.

본 논문에서는 0.1파장보다 큰 삼각패치를 포함한 캐드에 대해 SBR기법을 수행할 경우, 계산 시간을 줄이기 위한 방법을 제안한다. SBR기법은 일반적으로 광선 사출 간격인 0.1파장보다 큰 삼각패치를 포함하는 캐드에 대해 산란 해석을 수행하게 된다. 광선 간격보다 삼각패치가 크기 때문에, 하나의 광선과 이 광선을 중심으로 하는 주변의 광선들은 같은 삼각패치에 교차할 가능성이 존재한다. 중심 광선에 대해 광선 추적을 수행하면, 중심 광선과 교차하는 삼각패치 정보를 얻을 수 있다. 주변 광선들을 광선 추적할 때, 우선적으로 중심 광선과 교차한 삼각패치와 교차시험을 수행함으로써, 주변 광선 각각이 중심 광선과 같은 삼각패치에 교차하는지를 판별할 수 있다. 중심 광선과 같은 삼각패치에 교차한다고 판별된 경우, 한 번의 교차시험만으로 광선 추적을 수행할 수 있게 된다. 따라서 제안하는 방법은 다음과 같이 수행하게 된다. 하나의 광선을 중심으로 주변 8개 광선을 합친 9개의 광선을 그룹화하고, 중심이 되는 광선에 대해 우선적으로 광선 추적을 수행한다. 그리고 중심 광선에 대한 광선 추적 정보를 이용하여, 주변 8개 광선의 광선 추적에 필요한 교차시험의 횟수를 감소시켜, 광선 추적을 고속으로 수행하게 된다. 2절에서는 기존 SBR기법인 복셀을 적용한 SBR기법에 대해서 간략하게 설명한다. 3절에서는 제안하는 방법인 광선 그룹화를 이용한 SBR 가속기법에 대해서 다룬다. 4절에서는 캐드에 대한 시뮬레이션을 통해 제안하는 고속 기법을 검증한다. 5절에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 복셀을 적용한 SBR기법

본 절에서는 기존의 SBR기법인 복셀을 적용한 SBR기법에 대해서 간략하게 소개한다^{9,10}. SBR기법은 0.1파장 간격의 광선을 사출하고, 각각의 광선에 대해 광선 추적을 수행한다. 이 때, 광선 추적은 광선과 삼각패치가 교차하는지를 판별하는 광선-삼각패치 교차시험을 기초로 하여 수행된다³⁻⁵. Fig. 1.(a)에서처럼 하나의 광선에 대한 광선 추적은 그 광선과 모든 삼각



(a) Before applying Voxel (b) After applying Voxel

Fig. 1. Application of SBR technique to a CAD model

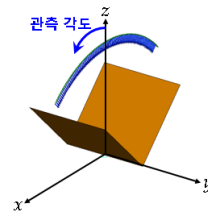
패치 간의 교차시뮬을 통해서 수행된다. 모든 광선에 대한 광선 추적을 수행하기 위해서는 모든 광선과 모든 삼각패치에 대해 교차시뮬을 수행해야 한다. 하지만 표적의 크기와 해석 주파수에 따라 사출 광선의 수는 수백만 개에서 수천만 개, 삼각패치의 수는 수십만 개에서 수백만 개가 된다. 이 경우, 수행해야 되는 교차시뮬의 횟수가 매우 많아지기 때문에, 계산량이 급격하게 증가한다. 이를 개선하기 위해, 공간을 일정하게 분할하여 교차시뮬의 횟수를 줄일 수 있는 복셀(Voxel)을 적용한다. 하나의 광선에 대한 광선 추적을 수행할 때, 광선이 지나가는 공간을 복셀을 통해 제한할 수 있다. Fig. 1.(b)에서 붉은 광선이 지나가는 복셀을 붉은 색으로 표기하였다. 이를 이용하면 각 광선에 대해 광선 추적을 수행할 때, 교차시뮬의 대상을 각 광선이 지나가는 복셀에 포함된 삼각패치만으로 제한할 수 있다. 이는 SBR기법 수행 시간을 효과적으로 개선한다. 본 논문에서도 복셀을 적용한 SBR기법을 사용하였으며, 복셀을 적용한 SBR기법은 다음과 같이 요약된다.

- ① 캐드가 입력되었을 때, 공간을 복셀로 나눔
- ② 각각의 복셀에 접촉하는 삼각패치를 리스트로 작성^[11]
- ③ 사출된 광선이 지나가는 복셀을 하나씩 계산
- ④ 광선이 지나가는 복셀에 포함된 삼각패치들과 교차시뮬
- ⑤ 사출되는 전체 광선에 대해서 반복 수행

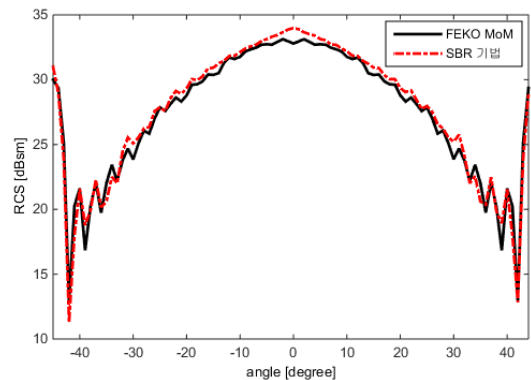
복셀의 크기는 광선 추적의 정확도에 영향이 없으며, 계산 속도에만 영향을 끼친다. 일반적으로 복셀의

크기가 작아 공간을 잘게 분할할수록 계산 속도가 빨라진다. 하지만, 복셀의 크기가 작아질수록 메모리의 사용량이 증가한다. 특히 일정 크기 이하가 될 경우, 계산 시간의 이득이 미미해지기 때문에, 상대적으로 메모리 사용에서의 손해가 커지게 된다^[9], 본 논문에서는 메모리와 계산 속도를 고려하여, 복셀의 개수를 삼각패치의 개수를 3제곱을 한 값에 가장 가까운 정수를 3제곱한 값으로 하였다.

본 논문에서는 사용하는 SBR기법 코드는 복셀을 적용한 SBR기법을 기초로 하여, 제안하는 방법을 적용하지 않은 기존의 SBR기법 코드와 그룹화 개념을 적용한 제안하는 SBR기법 코드이다. 그 기반이 되는 복셀을 적용한 SBR기법 코드가 제대로 구현이 되었는지를 확인하기 위해서, Fig. 2.(a)와 같이 1 m x 1 m 크기의 평판을 직각으로 이어붙인 dihedral corner reflector CAD 모델에 대해, 상용 산란파 해석 툴인 FEKO의 MoM기법과 구현한 SBR기법을 비교하였다. Fig. 2.(a)와 같이 CAD 모델에 대해 theta 각도를 -45도 ~ 44도까지 1도 간격으로 바뀌가면서 3 GHz에서 VV-편파에 대한 RCS를 해석하였다.



(a) Dihedral corner reflector CAD model



(b) RCS graph for coner reflector CAD model

Fig. 2. Dihedral corner reflector CAD model and RCS graph

Fig. 2.(b)에서 흑색 실선이 FEKO의 MoM기법의 결과를 나타내며, 적색 점선이 구현한 SBR기법을 통해서 얻은 결과를 나타낸다. MoM기법의 결과와 SBR 코드를 통해서 얻은 결과가 매우 유사함을 확인할 수 있다. 이 결과를 통해서 SBR 기법이 제대로 구현이 되었으며, 이를 통해서 CAD 모델에 대한 산란해석을 수행할 수 있음을 나타낸다.

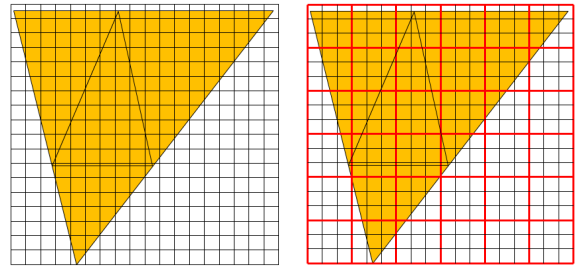
3. 광선 그룹화를 이용한 SBR 가속기법

SBR기법은 일반적으로 광선 사출 간격인 0.1과장보다 큰 삼각패치가 포함된 캐드 모델에 대해 산란 해석을 수행한다. 본 절에서는 이를 이용하여, 광선 추적에 소요되는 시간을 감소시키기 위한 가속기법을 제안한다.

Fig. 3.(a)는 하나의 복셀 안에 4개의 큰 삼각패치로 이루어진 삼각형 캐드가 존재하고, 삼각형 캐드의 정면을 향해 광선 다발을 사출, 광선 추적을 수행하는 것을 묘사한 그림이다. 검정 실선으로 이루어진 사각형이 0.1과장 간격을 의미하며, 각 사각형의 중심이 광선들이 사출되는 위치이다. 이 때, 사출되는 광선들은 각각 4번의 광선-삼각패치 교차시험을 수행하여야 한다.

교차시험의 횟수를 줄이기 위해, Fig. 3.(b)처럼 9개의 광선을 그룹화하고, 중심 광선에 대한 광선 추적 정보를 이용하는 방법을 제안한다. Fig. 3.(b)에서 붉은색 사각형이 각각의 그룹을 의미하며, 중심 광선이 삼각패치와 교차하는 경우와 삼각패치와 교차하지 않는 경우가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 방법 또한 중심 광선이 삼각패치와 교차하는 경우와, 교차하지 않는 경우로 나뉘어 적용된다.

중심 광선이 삼각패치와 교차하는 경우, 주변 광선의 광선 추적을 수행할 때, 교차시험의 횟수를 줄이는데 사용할 수 있다. 그룹화를 적용하기 전, Fig. 3.(a)와 같이 주변 광선이 4개의 삼각패치와 교차시험을 수행해야 할 경우, 그룹화를 적용한다면 중심 광선과 교차한 삼각패치에 대해 교차시험을 우선적으로 수행한다. 주변 광선과 중심 광선이 동일한 삼각패치와 교차하는 경우, 단 한 번의 교차시험만으로 해당 광선에 대한 광선 추적을 수행하게 된다. 주변 광선과 중심 광선이 다른 삼각패치에 각각 교차하는 경우에는, 그룹화를 이용하지 않는 기존과 마찬가지로 4번의 교차시험을 수행한다.



(a) Before grouping rays (b) After grouping rays

Fig. 3. Description of ray launching for 4 triangle patch

중심 광선이 삼각패치와 교차하지 않는 경우에는, 해당 그룹의 주변 광선에 대한 광선 추적을 생략할 수 있다. 해당 그룹의 상하좌우 그룹의 중심 광선 또한 삼각패치와 교차하지 않는다면, 해당 그룹의 광선은 모두 캐드와 교차하지 않는다는 것을 Fig. 3.(b)를 통해서 확인할 수 있다. 때문에 단순히 주변 4개 그룹의 중심 광선에 대한 교차 여부를 확인하는 것만으로 8개의 주변 광선의 광선 추적을 생략하게 된다. 해당 그룹의 상하좌우 그룹의 중심 광선 중 하나라도 삼각패치와 교차한다면, 해당 그룹의 주변 광선들은 삼각패치와 교차할 가능성이 존재하므로, 기존의 광선 추적과 동일하게 4개의 삼각패치와 교차시험을 수행한다. 광선 그룹화를 이용한 광선 추적은 아래와 같이 요약된다.

- ① 중심 광선들에 대해 우선적으로 광선 추적 수행한다.
- ② 중심 광선이 교차한 그룹의 경우, 주변 광선에 대한 광선 추적 수행한다. 이 때, 중심 광선이 교차한 삼각패치와 우선적으로 교차시험 수행한다. 중심 광선과 동일한 삼각패치와 교차한다면 한 번의 교차시험으로 광선 추적을 종료한다. 같은 삼각패치에 교차하지 않는다면, 중심 광선에 대한 광선 추적 정보를 이용하지 않는 기존의 광선 추적과 동일하게 수행된다.
- ③ 중심 광선이 교차하지 않지만, 주위(상하좌우) 그룹의 중심 광선이 교차하는 그룹의 경우, 주변 광선에 대한 광선 추적 수행한다. 이 경우에는 중심 광선이 교차하지 않기 때문에, 중심 광선에 대한 광선 추적 정보를 이용하지 않는 기존의 광선 추적과 동일하게 수행된다.
- ④ 중심 광선이 교차하지 않고, 주위(상하좌우) 그룹의 중심 광선 또한 교차하지 않는 그룹의 경우, 주변 광선에 대한 광선 추적을 생략한다.

Fig. 4는 제안하는 방법을 순서대로 묘사한 그림이다. Fig. 4.(a)는 첫 번째 과정을 나타내며, X 표시는 사출된 중심 광선을 의미하고 붉은 색은 삼각패치와 교차했음을, 파란색은 삼각패치와 교차하지 않음을 나타낸다.

Fig. 4.(b)는 두 번째 과정을 묘사하는 그림이다. x 표시는 사출된 주변 광선을 의미하며 중심 광선과 마찬가지로 붉은 색은 삼각패치와 교차했음을, 파란색은 삼각패치와 교차하지 않음을 나타낸다. 그림을 통해서 중심 광선과 주변 광선이 같은 삼각패치에 교차하는 경우가 있음을 확인할 수 있으며, 이 경우 단 한 번의 교차시험만으로 광선추적을 수행하였다. 두 번째 과정은 다중 반사에서도 적용될 수 있다. 중심 광선이 다중 반사를 일으킨다면, 다중 반사의 광선 추적 정보를 이용하여, 주변 광선의 다중 반사 광선 추적을 고속으로 수행할 수 있다. 모든 반사에 대해 중심 광선과 동일한 삼각패치와 교차한다면, 중심 광선의 정보를 이용하여 고속으로 광선 추적을 수행하게 된다. 다중 반사 도중, 중심 광선과 동일한 삼각패치와 교차하지 않게 되는 경우에는, 다음 반사에 대한 광선 추적을 수행할 때, 중심 광선에 대한 정보를 이용하지 않는다.

Fig. 4.(c)는 세 번째 과정을 나타내며, 중심 광선이 교차하지 않더라도, 주변 광선은 삼각패치와 교차할 수 있으므로, 주변 광선에 대한 광선 추적이 필요하다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 4.(d)는 네 번째 과정을 의미하며, 파란색으로 채워진 그룹의 경우, 주변 광선에 대한 광선 추적이 생략되었음을 나타낸다.

이 방법을 이용할 경우, 교차 시험의 횟수를 감소시킬 수 있으나, 정확도 관점에서 손실이 발생할 가능성이 생기게 된다. Fig. 5.(a)와 같이 원래 중심 광선은 삼각패치1에 교차를 하고, 주변 광선은 삼각패치2에 교차하는 예시를 보자. 이 때, 제안하는 방법을 이용하면, Fig. 5.(b)에서처럼 주변 광선이 교차하는 삼각패치를 삼각패치2가 아닌 삼각패치1로 판단할 가능성이 발생하게 된다. 이러한 오차는 중심 광선과 주변 광선의 거리 차이가 클수록 발생할 가능성이 증가하게 된다. 이로 인해서 광선 그룹의 개수가 많을수록 계산 효율이 증가함에도 불구하고, 광선 그룹의 개수를 무작정 증가시킬 수 없는 제약을 가지게 된다. 본 논문에서는 가속기법으로 인한 오차를 최소화하기 위해서 중심 광선과 주변 광선의 최대 거리 차이가 0.1과장이 되는 9개를 광선을 그룹으로 하는 방법을 제안하며, 이를 시뮬레이션을 통해 검증한다.

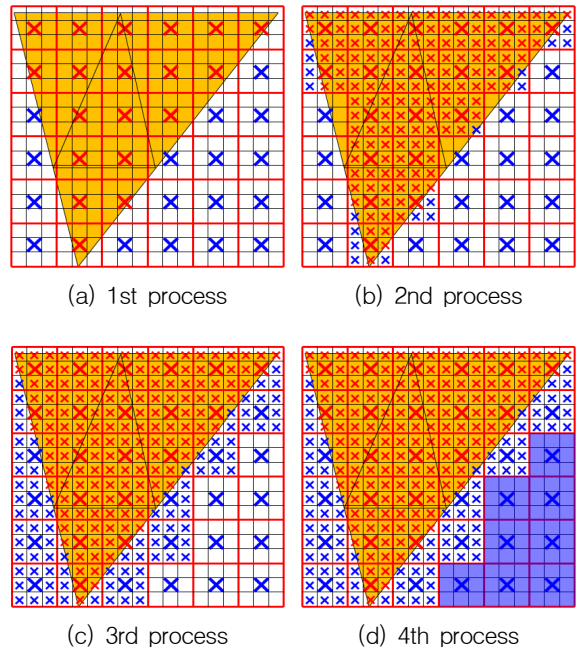


Fig. 4. Description of the proposed method

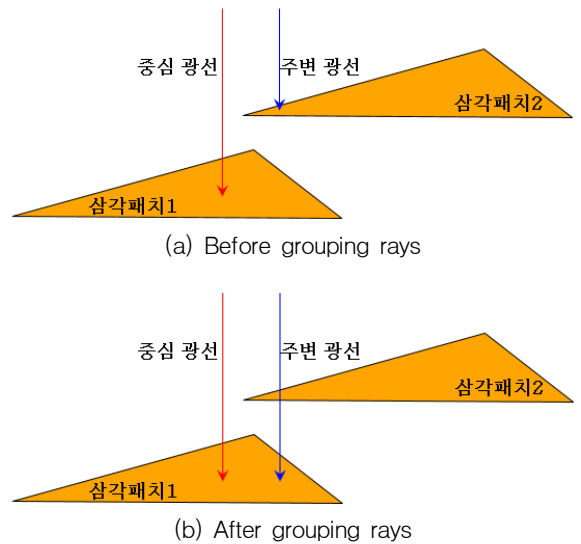


Fig. 5. error caused by using grouping rays

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 절에서는 캐드 모델에 대한 시뮬레이션 결과를 통해, 제안된 가속기법의 유용성에 대해 검증한다. 그

그룹화 적용 여부에 다른 SBR기법의 계산 시간 및 정확도 변화를 분석하기 위해, 복셀을 적용한 SBR기법을 기초로 하여, 제안하는 방법을 적용하지 않은 기존의 SBR기법과 그룹화 개념을 적용한 제안하는 SBR기법을 구현하였으며, 두 기법의 성능을 비교 분석한다. 시뮬레이션에서 CAD 모델에 대하여 고각을 0도에서 359도까지 바꿔가면서, 입사파는 수직 편파를 가지며, 수직 편파에 대한 RCS 해석(VV편파)을 통해 정확도를 분석한다. 시뮬레이션은 개인용 컴퓨터를 통해서 수행되었다(Intel Core i5-760 CPU @ 2.80 GHz, 8 GB RAM).

먼저 T-50 캐드 모델에 대한 RCS(Radar Cross Section) 해석을 수행한다. Fig. 6(a)에 도시된 19.8 m × 13.2 m × 3.9 m 크기의 T-50 캐드 모델에 대해, Fig. 6(b)와 같이 고각을 0도에서 359도까지 1도 간격으로 1 GHz에 대한 VV-편파 RCS 분석을 수행하였다. T-50 캐드 모델은 약 20만개의 1/4파장 크기의 삼각패치로 모델링되었다. 기존의 SBR기법과 제안하는 SBR기법의 RCS 결과 그래프를 Fig. 7로 나타내었다. 기존의 SBR기법의 결과는 흑색 실선으로, 제안하는 SBR기법의 결과는 적색 점선으로 표현하였다. Fig. 7을 통해서 기존의 기법과 제안하는 기법의 RCS 결과가 매우 유사한 것을 확인할 수 있다. 이러한 오차를 NRMSE(Normalized Root Mean Square Error)를 통해서 분석할 수 있다. NRMSE는 RMSE(Root Mean Square Error)에 기준이 되는 데이터의 최대값과 최소값의 차이를 나눈 값에 100을 곱하여 %로 표기한다. 이 때, Fig. 7에서의 NRMSE는 0.012765 %로 매우 작은 값을 가지며, 정확도의 감소가 매우 미미함을 나타낸다. 이를 통해서 제안하는 기법의 결과가 정확도를 유지함을 확인할 수 있다. 기존의 SBR기법은 RCS 해석에 63분을 소요하였으며, 제안하는 기법은 53분을 소요하였다. 제안하는 기법을 통해서 약 16 %의 계산시간이 감소되었음을 확인할 수 있다.

다음으로 스텔스 폭격기 캐드 모델에 대한 RCS 해석을 수행한다. Fig. 8(a)에 도시된 24.9 m × 52.4 m × 6.6 m 크기의 스텔스 폭격기 캐드 모델에 대해, Fig. 8(b)와 같이 고각을 0도에서 359도까지 1도 간격으로 1 GHz에 대한 VV-편파 RCS 분석을 수행하였다. 스텔스 폭격기 캐드 모델은 약 40만개의 5/16파장 크기의 삼각패치로 모델링되었다. 기존의 SBR기법과 제안하는 SBR기법의 RCS 결과 그래프는 Fig. 9로 나타내었다. 기존의 SBR기법의 결과는 흑색 실선으로, 제

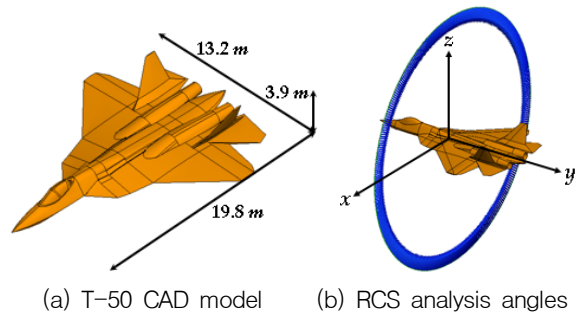


Fig. 6. T-50 CAD model and RCS analysis angles

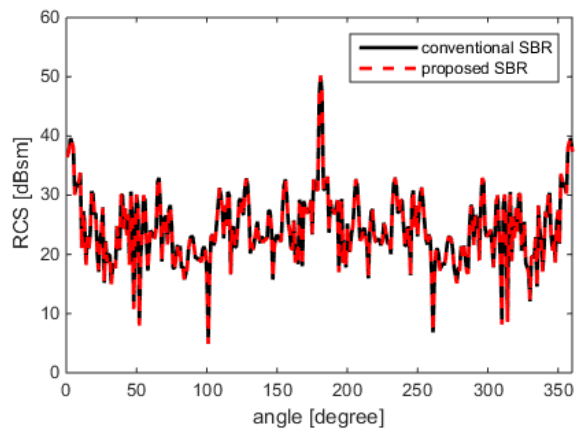


Fig. 7. RCS(VV-pol) graph for T-50 CAD model

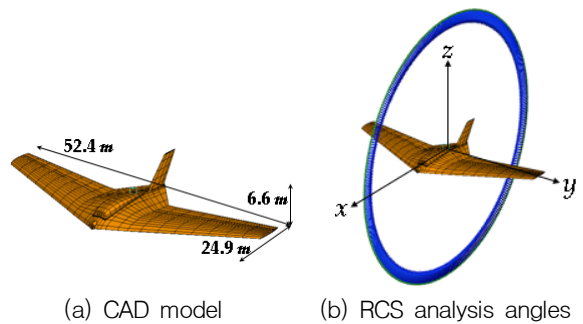


Fig. 8. Stealth bomber CAD model and RCS analysis angles

안하는 SBR기법의 결과는 적색 점선으로 표현하였다. Fig. 9를 통해서 기존의 기법과 제안하는 기법의 RCS 결과가 매우 유사한 것을 확인할 수 있다. NRMSE는 0.0017 %로 매우 작은 수치를 가지며, 정확도의 감소가 매우 미미함을 나타낸다. 이를 통해서 제안하는 기

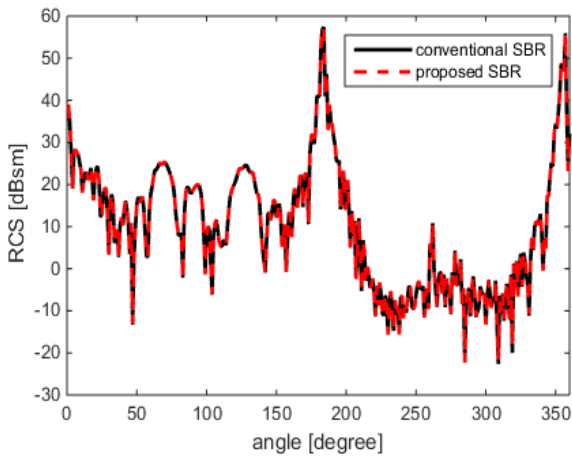


Fig. 9. RCS(W-pol) graph for stealth bomber CAD model

법의 결과가 정확도를 유지함을 확인할 수 있다. 기존의 SBR기법은 RCS 해석에 253분을 소요하였으며, 제안하는 기법은 196분을 소요하였다. 제안하는 기법을 통해서 약 23 %의 계산시간이 감소되었음을 확인할 수 있다.

두 캐드 모델에 대한 RCS 해석 결과를 통해, 제안하는 방법이 정확도를 유지하면서 계산시간을 감소시키는 것을 확인하였다. 이는 제안하는 SBR기법을 통해 캐드 모델에 대한 산란 해석을 효율적으로 수행할 수 있음을 나타낸다.

5. 결론

본 논문에서는 광선 그룹화를 통해 고속으로 산란 파를 계산하는 SBR 가속기법을 제안하였다. 광선 사출 간격인 0.1과장보다 큰 삼각패치로 모델링된 캐드에 대해서 SBR기법을 적용할 경우, 하나의 삼각패치에 여러 광선이 교차한다는 것을 이용한 방법이다. 하나의 광선을 중심으로 주변 8개의 광선을 묶어 9개의 광선을 그룹화하고, 중심 광선에 대한 광선 추적 정보를 이용함으로써, 광선 추적에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있었다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 방법이 정확도를 유지하면서 계산시간을 감소시키는 것을 확인하였다. 본 논문에서는 9개 광선을 그룹화하는 방법을 제안하고 검증하였다. 하지만, 정확도의 감소를 감소할 수 있다면, 25개 광선, 36개 광선 혹은 그 이상

의 개수를 그룹화하여 적용할 수 있다. 이 경우, 정확도에 대한 손해뿐만이 아니라, 삼각패치의 크기 또한 그만큼 커야한다는 제약을 가지게 된다.

제안하는 기법에 대한 추가적인 연구가 필수적이다. 먼저, 제안하는 기법은 다중 해상도 사출 간격을 이용하는 가속기법인 논문 [8]의 기법과도 함께 적용될 수 있다. 특히 배와 같이 큰 삼각패치로 모델링 되는 CAD의 경우에는, 다중 해상도 사출 간격을 이용하는 가속기법이 매우 효율적이며, 때문에 다중 해상도 사출 간격을 이용하는 가속기법에 제안하는 기법을 함께 적용시킨 기법에 대한 연구가 추가적으로 이루어질 필요성이 있다. 그리고 논문에서 사용된 코드는 CPU를 이용하는 코드이다. GPU 사용을 통해 병렬 처리를 가속하여, 광선 추적 수행을 가속시킬 수 있으며^[6], GPU 코드에 제안하는 기법을 적용하여 GPU를 이용한 병렬 처리 코드에서도 제안하는 기법에 대한 결과를 검증해 볼 필요가 있다.

후 기

이 연구는 한화시스템의 “스텔스 표적용 전자파 산란특성 분석” 과제 및 BK21+의 연구비 지원으로 연구되었으며, 도움에 감사드립니다.

References

- [1] Hao Ling, Chou, R.-C., and Shung-Wu Lee, “Shooting and Bouncing Rays: Calculating the RCS of an Arbitrarily Shaped Cavity,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 37, Issue 2, pp. 194-205, Feb. 1989.
- [2] S. W. Lee, H. Ling, and R. Chou, “Ray-Tube Integration in Shooting and Bouncing Ray Method,” *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 1, Issue 8, pp. 286-289, Oct. 1988.
- [3] Badouel, Didier, “An Efficient Ray-Polygon Intersection,” *Graphics Gems*, Academic Press Professional, Inc., pp. 390-393, Aug. 1990.
- [4] Amanatides, John, and Kia Choi, “Ray Tracing Triangular Meshes,” *Proceedings of the Eighth Western Computer Graphics Symposium*, Vol. 43,

- 1997.
- [5] Segura, Rafael J., and Francisco R. Feito, "Algorithms to Test Ray-Triangle Intersection. Comparative Study," In Proceedings of WSCG., 2001.
- [6] Y. Tao, H. Lin, and H. Bao, "GPU-based Shooting and Bouncing Ray Method for Fast RCS Prediction," IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 58, No. 2, pp. 494-502, Feb. 2010.
- [7] C. Y. Kee and C.-F. Wang, "Efficient GPU Implementation of the High-Frequency SBR-PO Method," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., Vol. 12, pp. 941-944, Jul. 2013.
- [8] S. H. Suk, T. I. Seo, H. S. Park, and H. T. Kim, "Multiresolution Grid Algorithm in the SBR and its Application to the RCS Calculation," Microw Opt. Technol. Lett., Vol. 29, No. 6, pp. 394-397, 2001.
- [9] Cleary, John G., and Feoff Wyvill, "Analysis of an Algorithm for Fast Ray Tracing using Uniform Space Subdivision," The Visual Computer, Vol. 4, Issue 2, pp. 65-84, Mar. 1988.
- [10] Andrew Woo, "Ray Tracing Polygons using Spatial Subdivision," Proceedings of the Conference on Graphics Interface, Vol. 92, pp. 184-191, 1992.
- [11] Voorhies, Douglas, "Triangle-Cube Intersection," Graphics Gems III, pp. 236-239, 1992.