

해상표적에 대한 레이더 Glint 영향 측정 및 분석

김 은 일^{*,1)}

¹⁾ 국방과학연구소 제3기술연구본부

Measurement and Analysis for Radar Glint Effect of Maritime Target

Eunil Kim^{*,1)}

¹⁾ The 3rd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 10 March 2014 / Revised 29 May 2014 / Accepted 13 June 2014)

ABSTRACT

In this paper, the glint effect of maritime target to a radar system was analyzed by simulation and field test with a barge and corner reflectors. From the experiment, we proposed a glint measurement method of a real maritime target and it was indicated that the glint effect between the simulation results and real measurement is similar. Also it was founded that the glint effect is related to the relative amount of RCS(Radar Cross Section) difference among major scattering point and minor scattering points. Finally, the experiment showed the glint effects of the rotating barge with some different combinations of scattering points.

Key Words : Glint(글린트), Maritime Target(해상 표적), Scattering Points(산란점)

1. 서론

레이더 시스템이 표적을 포착 및 추적할 때에 지면과 해수면으로부터의 클러터(Clutter) 및 다중경로(Multipath) 신호, 표적으로부터의 여러 가지 전자 방해책(Electronic Counter Measure), 주파수 변화에 따른 Scintillation 효과, 그리고 표적의 산란점 특성에 따른 Glint 현상 등의 영향을 받게 된다. Glint는 레이더 시스템이 복잡한 산란점을 갖는 물체의 초고주파 반사

신호를 추적할 때 여러 산란점으로부터 반사 신호가 결합됨에 따라 동일한 위상을 갖는 위상면이 왜곡되는 현상이다^[1]. 이런 현상으로 인해 레이더 시스템의 안테나가 신호를 수신하여 표적의 방향을 판단할 때에 실제 물체가 위치한 방향이 아닌 다른 방향으로 판단하는 오차가 생기게 된다. 참고문헌^[2]에 따르면 표적과 레이더 시스템의 거리가 가까울수록 각도 오차가 커지기 때문에 결과적으로 레이더 시스템의 성능에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 특히 소형 레이더 시스템을 장착한 유도탄의 표적 포착 및 종말 유도 단계에서 이런 Glint 영향에 민감하게 반응하여 표적 명중률이 떨어질 수 있는 것이다.

* Corresponding author, E-mail: eunilkim@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

레이더 시스템의 추적 알고리즘 성능을 확인하고 강인하게 만들기 위하여 대상 표적에 대한 Glint 특성을 측정하여 영향을 분석하는 것은 매우 중요한 일이다. 이론적인 Glint 현상의 모델링^[3]이나 실험실 내에서의 시뮬레이션을 통한 Glint 감소 알고리즘^[4] 등은 지금까지 많은 연구가 되어왔다. 본 논문은 레이더 시스템의 신뢰성을 높이기 위하여 기존의 모델들을 이용하는데 그치지 않고 대상표적의 산란점 해석에 기반하여 코너 리플렉터를 활용한 해상 표적 모사를 통하여 Glint를 측정하고 분석하였다. 이를 통하여 더욱 신뢰성이 높은 레이더 시스템을 개발하고자 한다.

본 논문의 본문에서는 일반 함정(Generic Ship)의 산란점 특성을 모델링 및 시뮬레이션을 통하여 살펴보고, 이를 통해 얻은 Generic Ship의 산란점 특성을 실제 바지선과 코너 리플렉터를 이용하여 모사하였다. 바지선과 코너 리플렉터의 정보를 이용하여 실제 야외 추적 시험을 하기 전에 Glint 분석 시뮬레이션을 통하여 Glint 특성을 사전에 예측해 보았고, 실제로 바지선 모의표적을 이용한 야외 추적시험 결과를 바탕으로 Glint 특성을 측정하여 분석하였다. 또한 결론에서는 시뮬레이션과 실제 시험 결과의 유사점과 차이점을 분석하고, Glint 특성과 표적 산란점들의 RCS간 관계에 대해 종합하여 제시하였다.

2. 본 론

2.1 일반 함정(Generic Ship)의 산란점 특성

해상 표적에 대한 레이더 신호 특성과 산란점 분석을 위하여 Fig. 1과 같이 해상 표적과 유사한 Generic Ship을 CAD를 이용하여 모델링하였다. 이 모델의 크기는 가로 63m, 세로 12m, 높이 15m이고, 분석조건은 레이더는 Monostatic, 고각은 10도~40도를 10도 간격, 방위각은 0도~360도를 0.2도 간격으로 하여 전 방위에 대한 전자기와 신호 특성을 분석하였다.

2D ISAR 영상 분석 방식을 통하여 Generic Ship 모델의 산란점 특성을 추출하고자 하였다. 2D ISAR 영상은 거리방향(Range) 산란점 분포에서 일정한 범위의 각도에 걸쳐 수집된 횡방향(Azimuth) 산란점 분포를 표현한 영상으로써 산란점의 위치 및 크기를 추정할 수 있다.

Generic Ship의 모델을 이용하여 전 방위의 신호 특성을 확인하였다. 또한 바지선 모델을 이용하여 구한

바지선의 전 방위 신호특성을 통해 바지선 자체의 신호가 작게 나타나고, 다중경로 영향을 적게 받기 위하여 관심 방위각과 고각영역을 각각 105 ± 20 도와 10~30도로 결정하였다. Fig. 2는 고각 30도와 방위각 105도에 대한 2D ISAR 영상이고 대략 4개의 산란점이 추출된 결과를 나타낸다. 산란점 위치 보았을 때 시선 방향과 직각을 이루는 평면이 존재하는 부분에서 큰 신호특성을 나타내었다. 이러한 산란점 특성을 바탕으로 바지선에 코너 리플렉터들을 설치하여 실제 해상 표적과 비슷한 산란점 특성을 나타내도록 모사하고자 하였다.

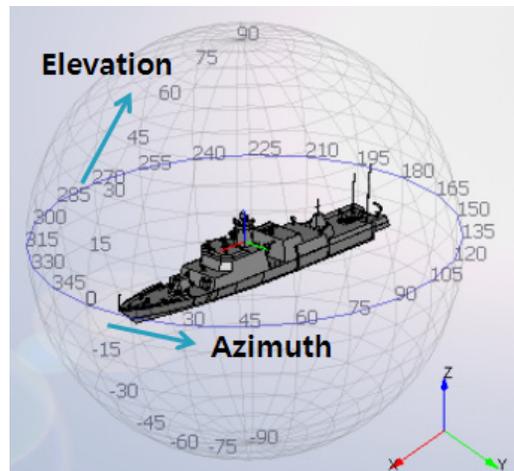


Fig. 1. Generic ship model

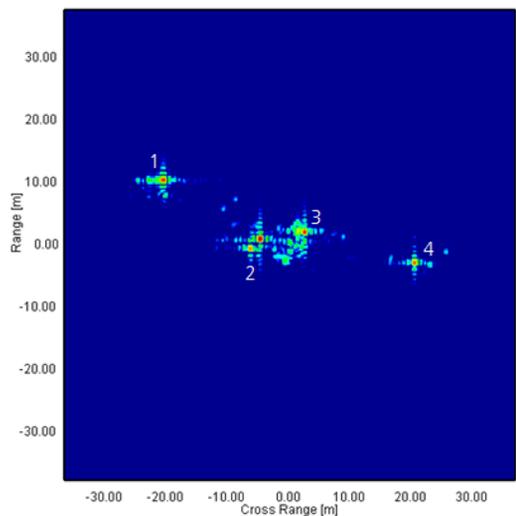


Fig. 2. 2D ISAR image of generic ship model

2.2 바지선을 활용한 Generic Ship 모사

산란점은 대상 표적의 형상 및 각도에 따른 고유한 특성이므로 전 방위에서 Generic Ship의 산란점 특성과 일치하도록 모사하는 것은 어렵기 때문에, 관심 고각과 방위각 영역에서의 산란점 특성을 유사하게 모사하였다. Generic Ship의 모델의 너비, 폭과 실제 바지선의 너비, 폭을 고려하여 코너 리플렉터 설치 위치를 정하였고, Fig. 2의 2D ISAR 영상을 기반으로 몇 가지 다른 크기의 RCS를 갖는 코너 리플렉터를 제작하여 Fig. 3과 같이 바지선에 설치하였다.

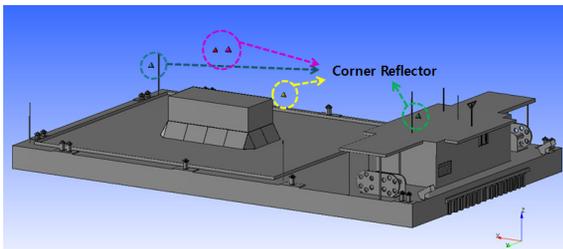


Fig. 3. Position of corner reflectors

코너 리플렉터는 RCS 크기 순으로 A, B, C 세 가지를 제작하여 시험에 사용하였고, A의 RCS 크기는 C의 5배, B의 RCS 크기는 C의 3배가 되도록 제작하였다. 또한 시험에 따라 코너 리플렉터의 조합을 다르게 하여 산란점들의 RCS 크기에 따른 Glint 특성을 관찰하였다. 시험에 사용한 코너 리플렉터의 조합은 아래 Table 1과 같다.

Table 1. Combination of corner reflectors for each scenario

시나리오	코너 리플렉터
시나리오 1	A 1개
시나리오 2	A 1개, B 3개
시나리오 3	A 1개, C 3개
시나리오 4	B 1개, C 3개

시나리오 1은 레이더 시스템의 신호 추적 기준점을 설정하기 위한 시험으로써, 시선각과 레이더 시스템의 추적 각도를 정렬하였다. 다수의 산란점을 설치하지 않고 큰 산란점 하나만 설치하여 레이더 시스템이 추적하는 각도를 측정하고 시선각에 대한 오차(Bias)를

구한 후, 이를 기준으로 모든 시험에서의 시선각 Bias를 보상하였다. 시나리오 2, 3, 4는 코너 리플렉터의 RCS 크기를 다르게 조합하였을 때 어떠한 Glint 특성 결과가 나타나는지 보기 위한 시험이다.

2.3 Glint Simulation

야외 추적시험을 하기 전에 Glint 특성을 예측해 보기 위하여 Glint 효과를 모사할 수 있는 시뮬레이션 프로그램을 자체적으로 작성하였고, 프로그램의 개략도는 아래 그림과 같다.

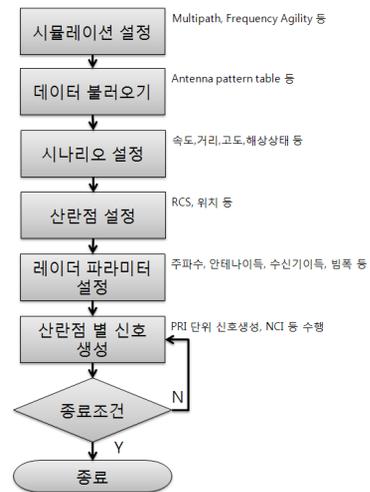


Fig. 4. Flow diagram of simulation program

시뮬레이션은 다중경로를 모사할 수 있도록 설정하였고, 레이더 시스템의 고도, 레이더 시스템과 바지선의 거리, 바지선의 회전 각도, 코너 리플렉터의 설치 위치와 RCS 크기, 레이더 시스템의 파라미터 등을 야외 시험의 조건과 동일하게 입력하였으며, 코너 리플렉터의 RCS 조합에 따라 아래와 같은 시뮬레이션 결과를 얻었다.

Aspect Angle은 레이더 시스템과 표적이 이루는 각도를 말하고, 시뮬레이션에서는 회전하는 해상 표적의 Glint 특성을 보고자 해상 표적의 Yaw를 변화시킴으로써 생성하였다.

Glint 거리 값은 Glint 현상으로 발생하는 시선각 오차 각도를 레이더와 함정표적의 거리를 이용하여 환산한 것이다. 모든 시험에서 사용된 거리는 야외시험에서의 거리를 기준으로 하였고 레이더와 함정표적간의 거리는 약 750m 이다. 또한 시나리오간의 결과를 비교

하기 위하여 평균과, 표준편차의 3배수인 3-Sigma 값을 이용하였다. 이는 추적하고 있는 중심점(평균)으로부터 얼마나 흔들리는지(3-Sigma)를 비교하기 위한 척도로 적합하다고 판단되었기 때문이다.

표적이 Yaw 방향으로 회전하고 있기 때문이다. 결과를 객관적인 수치로 나타내기 위해서 평균과 3-Sigma 값을 기준으로 진폭의 크기를 계산하면 Azimuth 방향 추적 위치의 평균은 0.16m, 3-Sigma는 5.62m이고, Elevation 방향 추적위치의 평균은 -1.35m, 3-Sigma는 1.38m을 보이고 있다.

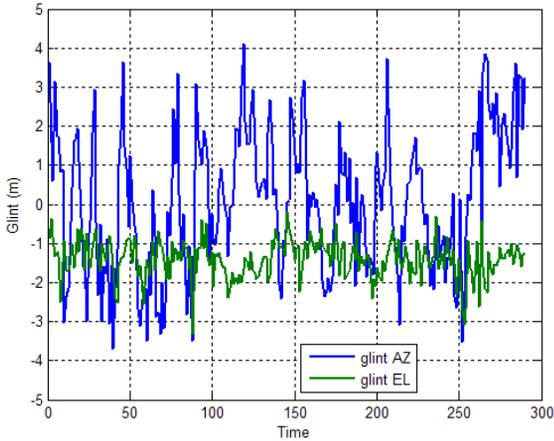


Fig. 5. Glint simulation result of scenario 2 with time

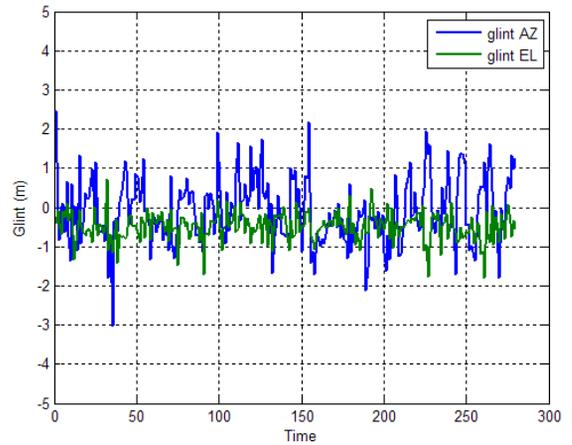


Fig. 7. Glint simulation result of scenario 3 with time

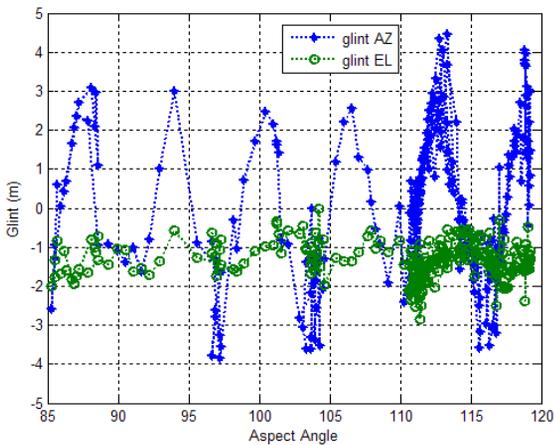


Fig. 6. Glint simulation result of scenario 2 with aspect angle

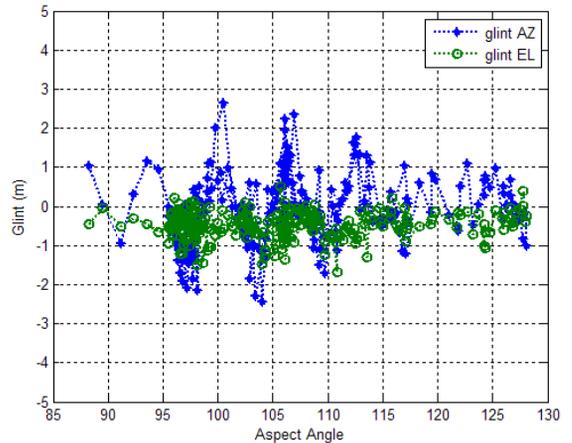


Fig. 8. Glint simulation result of scenario 3 with aspect angle

Fig. 5와 Fig. 6은 시나리오 2의 시간과 Aspect Angle에 따른 Glint 시뮬레이션 결과이다. 시나리오 2는 A 리플렉터 1개와 B 리플렉터 3개 조건에서 Glint 특성을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과를 보면 Elevation 방향보다 Azimuth 방향으로 Glint 영향이 크게 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 해상 표적의 산란점들의 위치가 Azimuth 방향으로 넓게 분포되어 있고,

Fig. 7과 Fig. 8은 시나리오 3의 시간과 Aspect Angle에 따른 Glint 시뮬레이션 결과이다. 시나리오 3은 시나리오 2 보다 코너 리플렉터들 간의 RCS 차이를 더 크게 만들었을 때 Glint 효과를 확인하는 것이 목적이다. 가장 큰 산란점과 작은 산란점간의 차이가 커짐으

로써 Glint 효과가 작아지는 것을 예상하였다. 시뮬레이션 결과를 보면 전체적인 Glint 영향이 줄어들었다는 것을 알 수 있다. Azimuth 방향 추적위치의 평균은 -0.08m, 3-Sigma는 2.59m이고, Elevation 방향 추적위치의 평균은 -0.48m, 3-Sigma는 1.03m 이다.

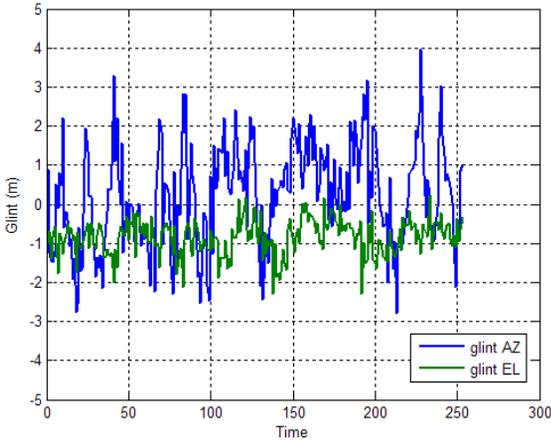


Fig. 9. Glint simulation result of scenario 4 with time

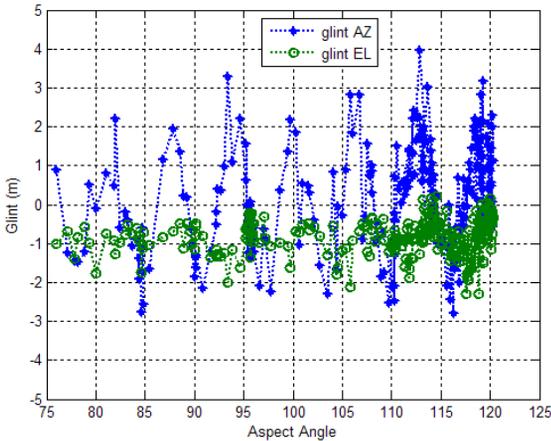


Fig. 10. Glint simulation result of scenario 4 with aspect angle

Fig. 9와 Fig. 10은 시나리오 4의 시간과 Aspect Angle에 따른 Glint 시뮬레이션 결과이다. 시나리오 4에서는 코너 리플렉터들 간의 상대적인 RCS 차이를 시나리오 2와 시나리오 3의 중간정도로 설정하고, 절대적인 RCS 값을 모두 낮춰서 Glint 효과에 어떤 영향을 미치는지 보고자 하였다. Azimuth 방향 추적위치

의 평균은 0.23m, 3-Sigma는 3.90m 이고, Elevation 방향 추적위치의 평균값은 -0.85m, 3-Sigma는 1.36m 이다. 시뮬레이션 결과를 정리해보면 Table 2와 같다.

Table 2. Summary of glint simulation results(Unit : m)

시나리오	AZ 평균	EL 평균	AZ 3σ	EL 3σ
시나리오 2	0.16	-1.35	5.62	1.38
시나리오 3	-0.08	-0.48	2.59	1.03
시나리오 4	0.23	-0.85	3.90	1.36

시나리오 2의 리플렉터 조합이 가장 큰 Glint 영향을 유발하였으며, 시나리오 3의 리플렉터 조합에 대해서는 가장 작은 glint 영향이 발생하였다. 시나리오 4의 리플렉터 조합은 중간정도의 결과를 보였다. 이를 통해 Glint 특성은 주 산란점과 부 산란점들의 절대적인 RCS 크기보다는 상대적인 크기 차이에 영향을 받는다고 판단할 수 있다. 그리고 시나리오 2와 3을 비교했을 때 예상했던 바와 같이 주 산란점과 부 산란점의 RCS 차이를 크게 함으로써 Glint 영향이 감소하였다.

Fig. 6, Fig. 8, Fig. 10의 Aspect Angle에 따른 Glint 값의 변화 결과를 보면 해상 표적을 회전시킬 때 선형적으로 회전시키지 않았기 때문에 같은 Aspect Angle에서 여러 개의 Glint 값이 나타나고 있다. 이론적으로는 동일한 조건의 같은 Aspect Angle에서 Glint 값이 유사하게 나와야 되겠지만, 실제 바다 환경을 모사하기 위해 Sea State를 1 Level로 설정하였고, 해상 표적의 Yaw 뿐 아니라 Pitch와 Roll에도 파도를 모사한 랜덤한 값을 넣어주었기 때문에 다르게 나온 것이라 판단된다. 시나리오들의 결과를 종합적으로 볼 때 관심 각도 영역에서는 어떤 특정 각도에서 일정하게 큰 값이 나타났다고 볼 수는 없다.

2.4 야외 시험 환경

2.4.1 장착대

야외시험을 위하여 레이더 시스템과 CCD 카메라를 장착할 수 있는 치구를 제작하였고, Fig. 11과 같은 모습으로 시험을 진행하였다. CCD 카메라의 영상을 이용하여 레이더 시스템이 바라보고 있는 기준점을 맞추고 CCD 카메라와 레이더 시스템의 장착 위치 차이에 의한 시선각 Bias는 시나리오 1을 통해 측정하여 보상에 주었다.

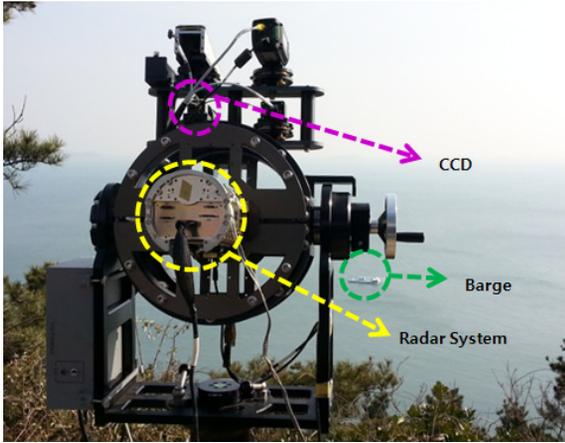


Fig. 11. Mount apparatus for field experiment

2.4.2 바지선 회전

바지선과 레이더 시스템의 Aspect Angle에 따른 Glint 영향을 측정하기 위하여 레이더 시스템이 표적을 추적하는 중에 바지선을 제자리에서 회전하도록 하였다. Aspect Angle은 Fig. 12에서 레이더 시스템과 표적이 이루는 각도를 의미하고, GPS 데이터를 이용하여 식 (1)과 같이 계산하였다.

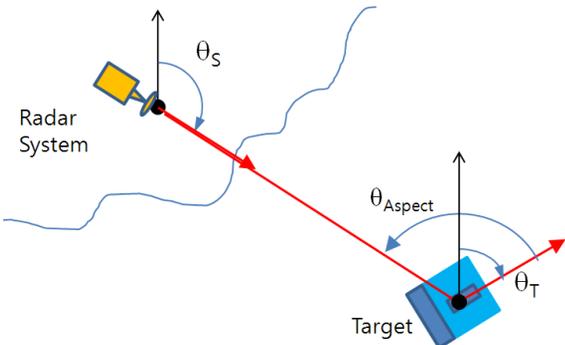


Fig. 12. Aspect angle between radar system and barge

$$\theta_{Aspect} = \theta_T + 180^\circ - \theta_s \quad (1)$$

θ_s : 레이더 시스템의 헤딩각

θ_T : 바지선 헤딩각

θ_{Aspect} : 레이더 시스템과 바지선의 각도

2.4.3 광학 중심 오프셋

시나리오마다 시험을 시작할 때 CCD 영상의 중심에 바지선의 추적 기준점을 맞추었지만, 바지선이 회전하면서 다소 움직이기 때문에 CCD 영상의 중심으로부터 벗어나게 된다. 이에 따라 레이더 시스템의 시선각이 변하게 되는데 이 오차를 광학 중심 오프셋이라고 표현하였고, 이것을 보상해 주기 위해 CCD 영상에서 Marker를 찍어 좌표를 저장할 수 있는 프로그램을 작성하였다. Fig. 13과 같이 CCD 영상을 불러와서 원하는 지점의 좌표를 프레임별로 저장하였고, 영상의 중심에서부터 Azimuth 방향과 Elevation 방향으로 이동한 오프셋을 구하였다.

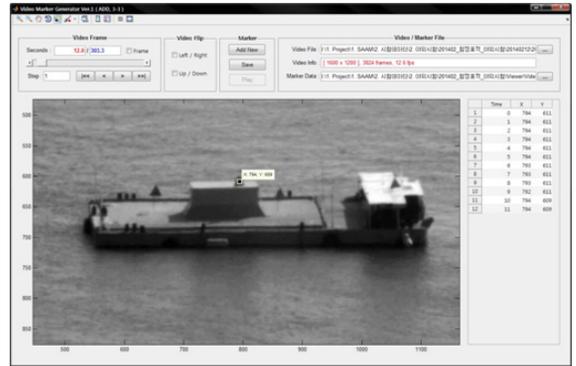


Fig. 13. CCD video marker program

오프셋 만큼의 시선각 오차를 보상해 주기 위하여 우선 Azimuth와 Elevation 별로 1 픽셀당 시선각 차이를 식 (2)를 통하여 계산하였고, CCD 영상 Marker 프로그램을 이용하여 구한 오프셋을 곱하여 Azimuth와 Elevation 방향의 시선각 오차를 보상해주었다. 식 (2)에서 1픽셀당 시선각 차이를 구하는 방법은 CCD 영상으로부터 바지선의 폭 30m가 562 픽셀, 컨테이너의 높이 2.6m가 48 픽셀 정보를 기준으로 하여 계산하였다.

$$offset_{\angle Az} = atan((30/562)/range) * offset_{Az} \quad (2)$$

$$offset_{\angle El} = atan((2.6/48)/range) * offset_{El}$$

$offset_{\angle Az}$: Azimuth 방향 시선각 오차

$offset_{\angle El}$: Elevation 방향 시선각 오차

$offset_{Az}$: Azimuth 방향 오프셋

$offset_{El}$: Elevation 방향 오프셋

$range$: 레이더 시스템과 바지선의 거리

2.4.4 Glint 계산

Glint 계산은 실제 측정한 레이더 시스템의 추적각도에서 장착 위치 차이에 의한 시선각 Bias를 보상해주고, 추적중 CCD 카메라 영상으로부터 구한 광학 중심 오프셋을 보상해준 값을 이용한다. 식 (3)을 이용하여 Azimuth 방향과 Elevation 방향 각각 이런 방법을 이용하여 최종 보상된 시선각을 구하고,

$$Glint_{\angle Az} = LA_{Az} - LA_{BiasAz} - offset_{\angle Az} \quad (3)$$

$$Glint_{\angle El} = LA_{El} - LA_{BiasEl} - offset_{\angle El}$$

$Glint_{\angle Az}$: Azimuth 방향 Glint 각도

$Glint_{\angle El}$: Elevation 방향 Glint 각도

LA_{Az} : Azimuth 방향 시선각

LA_{El} : Elevation 방향 시선각

LA_{BiasAz} : Azimuth 방향 시선각 Bias

LA_{BiasEl} : Elevation 방향 시선각 Bias

식 (4)를 통해 Azimuth 방향과 Elevation 방향의 Glint 값을 구한다.

$$Glint_{Az} = range * \tan(Glint_{\angle Az}) \quad (4)$$

$$Glint_{El} = range * \tan(Glint_{\angle El})$$

$Glint_{Az}$: Azimuth 방향 Glint

$Glint_{El}$: Elevation 방향 Glint

2.4.5 시간 동기화

레이더 시스템의 송수신 데이터와 CCD 카메라의 영상 데이터, 바지선의 GPS 데이터의 시간 동기화를 위하여 GPS 시간을 기준으로 모든 데이터의 시간 동기를 맞추었다.

2.5 야외 시험 결과

2.5.1 시나리오 1

시나리오 1은 바지선에 코너 리플렉터 A를 한 개만 설치하고 시험을 진행하였다. 이것은 레이더 시스템과 CCD 카메라의 장착 위치 차이에 따른 시선각 Bias를 구하여 모든 시나리오에서 발생하게 되는 시선각 오차를 보상하기 위한 시험이다.

시험 결과 Fig 14와 같이 Azimuth 방향으로 평균 -0.64도, Elevation 방향으로 평균 -0.16도의 시선각 Bias

가 생기는 것을 확인하였다. 이것은 CCD 카메라로 바지선의 코너 리플렉터를 영상의 중심에 오게 촬영하였을 때 레이더 시스템의 추적각도 Bias 값이다.

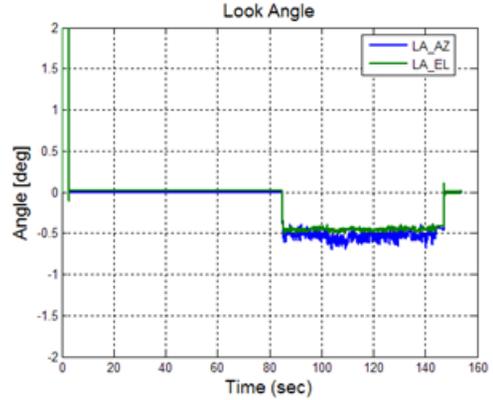


Fig. 14. Look angle bias of radar system

2.5.2 시나리오 2

시나리오 2는 바지선에 코너 리플렉터 A 한 개와 B 세 개를 설치하였고, 시뮬레이션에서처럼 Aspect Angle을 회전시키면서 시험을 진행하였다. Fig. 15처럼 실제 환경적 한계와 바지선의 특성상 시간에 따라 선형적으로 회전시키지는 못하였다.



Fig. 15. Aspect angle of scenario 2

시나리오 2의 결과 그래프 중 Fig. 16에서는 시간에 따른 Azimuth방향, Elevation 방향 각각의 Glint 특성을 나타내고, Fig. 17은 Aspect Angle에 따른 Glint 특성을 나타내고 있다. Azimuth 방향으로 평균 3.95m, 3-Sigma는 5.02m 만큼의 Glint가 발생하였으며, Elevation 방향

으로는 평균 -1.58m, 3-Sigma는 3.76m 만큼의 Glint가 발생하였다.

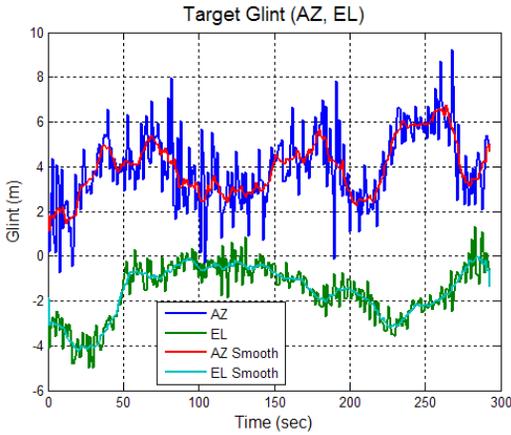


Fig. 16. Glint graph of scenario 2 with time

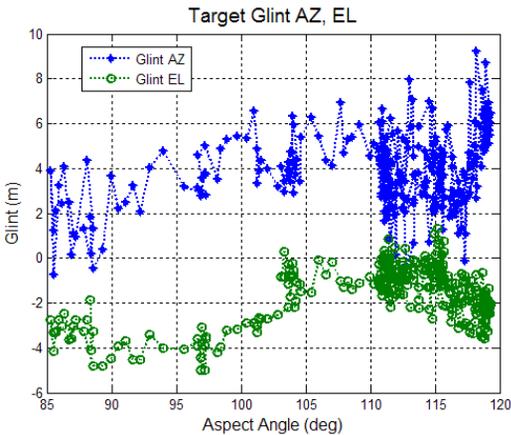


Fig. 17. Glint graph of scenario 2 with aspect angle

2.5.3 시나리오 3

시나리오 3은 바지선에 코너 리플렉터 A 한 개와 C 세 개를 설치하고 똑같은 환경에서 시험을 진행하였다. 시나리오 2보다 산란점들 간의 RCS 차이를 좀 더 크게 한 경우에 대한 Glint 특성을 측정하였다.

Fig. 18, Fig. 19, Fig. 20의 결과 그래프를 보면 시뮬레이션 결과로부터 예상하였듯이 시나리오 2 보다 Glint가 작아졌음을 확인할 수 있다. Azimuth 방향으로 평균 2.63m, 3-Sigma는 4.00m 만큼의 Glint가 발생하였으며, Elevation 방향으로는 평균 -1.00m, 3-Sigma는 3.10m 만큼의 Glint가 발생하였다.

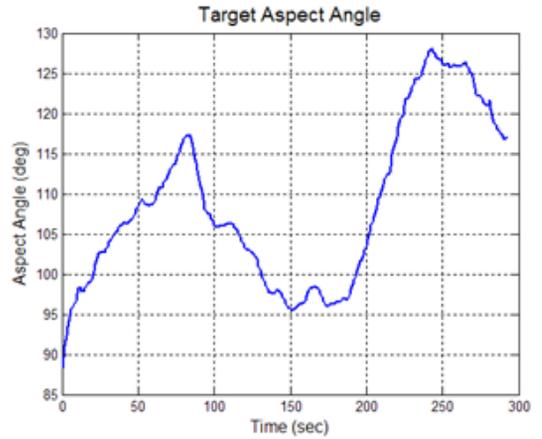


Fig. 18. Aspect angle of scenario 3

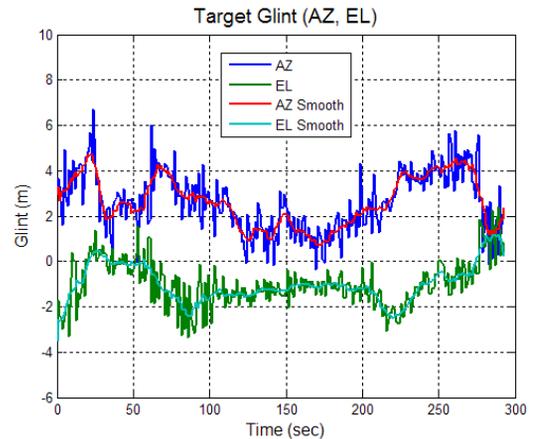


Fig. 19. Glint graph of scenario 3 with time

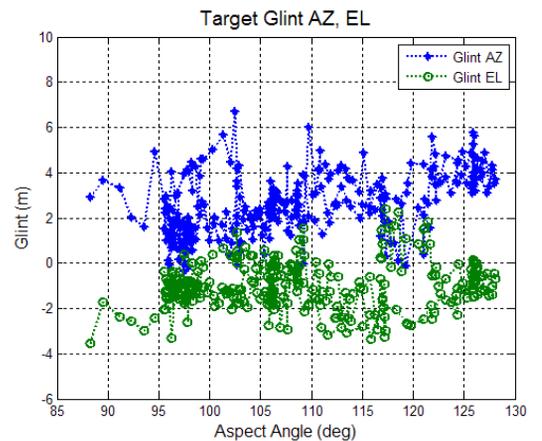


Fig. 20. Glint graph of scenario 3 with aspect angle

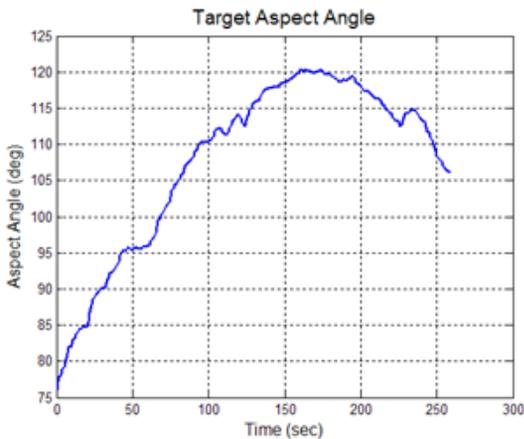


Fig. 21. Aspect angle scenario 4

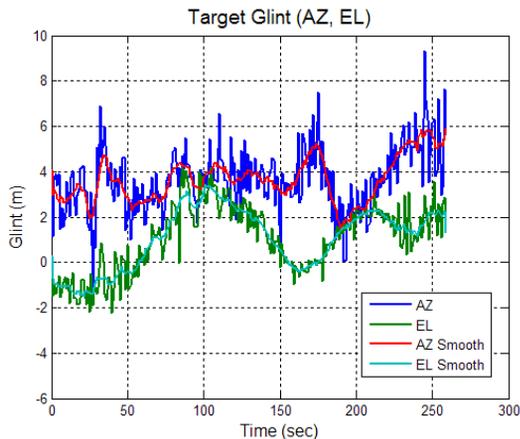


Fig. 22. Glint graph of scenario 4 with time

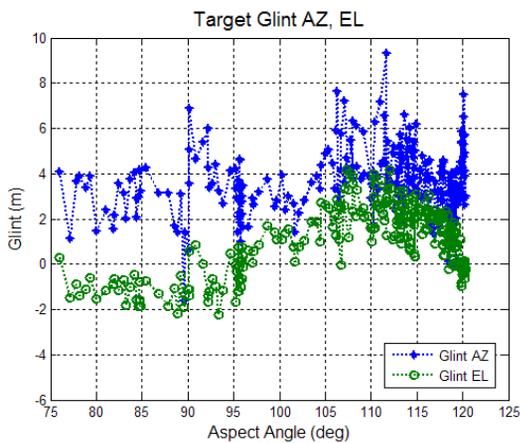


Fig. 23. Glint graph of scenario 4 with aspect angle

2.5.4 시나리오 4

시나리오 4는 바지선에 코너 리플렉터 B 한 개와 C 세 개를 설치하고 시험을 실시하였다. 산란점들간의 상대적인 RCS 차이는 시나리오 2와 시나리오 3의 중간정도이고, 전체적으로 절대적인 RCS 크기가 작아진 상황에서의 Glint 특성을 확인하고자 하였다.

Fig. 21, Fig. 22, Fig. 23의 시험 결과 그래프를 보면 Azimuth 방향으로 평균 3.65m, 3-Sigma는 4.29m 만큼의 Glint가 발생하였으며, Elevation 방향으로는 평균 1.04m, 3-Sigma는 3.74m 만큼의 Glint가 발생하였다.

2.5.5 시험 결과 정리

아외 시험 시나리오별 결과 그래프를 정리하면 아래 Table 3와 같이 정리된다.

Table 3. Summary of field experiment results(Unit : m)

시나리오	AZ 평균	EL 평균	AZ 3σ	EL 3σ
시나리오 2	3.95	-1.58	5.02	3.76
시나리오 3	2.63	-1.00	4.00	3.10
시나리오 4	3.65	1.04	4.29	3.74

시뮬레이션 결과와 시험 결과를 비교하면 평균값은 유사한 패턴이 보인다고 할 수 없고, 3-Sigma 값을 기준으로 삼으면 Glint 특성이 유사하게 나왔다고 판단된다. 시뮬레이션에서 결과대로 시나리오 2의 3-Sigma 값이 가장 크고, 시나리오 3이 가장 작았다. 그리고 시나리오 4는 중간정도의 값을 보이고 있다. 이는 Glint 폭이 평균으로부터 얼마나 차이가 나는지에 관한 지표로서 Glint 영향의 정도를 판단하는데 중요한 역할을 한다. 시험에서는 바지선의 GPS 값을 이용하여 바지선의 Yaw를 계산하였고, 바지선의 Pitch와 Roll 값은 저장하지 못하였기 때문에 시뮬레이션과 실제 시험의 평균 값에 차이가 발생했다고 판단된다.

Aspect Angle에 따른 Glint 크기는 바지선이 선형적으로 회전하지 않았기 때문에 시뮬레이션의 결과처럼 같은 각도에서 여러 개의 값을 나타내고 있다. 앞에서 언급한 것과 같이 이론적으로는 동일한 조건의 같은 Aspect Angle에서 Glint 값이 유사하게 나와야 되겠지만, 실제 바다에서는 시간에 따른 파도 변화에 의해서 바지선의 Pitch와 Roll이 변하기 때문에 다르게 나온

것이라 판단된다. Fig 17, Fig 20, Fig 23을 종합해 보았을 때, 시뮬레이션과 마찬가지로 관심 각도 영역 내에서는 특정 각도에서 Glint 값이 크게 나온다고 판단하기는 힘들다.

위의 분석을 바탕으로 Glint 특성은 산란점들의 상대적인 크기 차이에 영향을 받는다는 것을 확인하였고, 본 논문에서 제안한 실제 해상 환경에서 표적의 Glint 특성을 측정하는 방법이 3-Sigma 관점에서 유효하다는 결론을 얻을 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 해상 표적의 Glint 특성을 분석하여 레이더 시스템의 표적 탐지 및 추적 성능을 향상시키기 위해 Glint 특성을 모의하는 시뮬레이션을 수행하였고, 실제 해상 표적의 Glint를 측정하는 방법을 제안하였다.

실제 해상 표적을 유사하게 모사하기 위한 Generic Ship 모델을 만들었고, 그 모델로부터 주요 산란점들의 위치를 추출하였으며, 그 위치를 기준으로 바지선에 코너 리플렉터를 설치하여 유사한 특성을 모사하였다. 이 정보를 기반으로 시뮬레이션을 통해 Glint 특성을 예측하였고, 야외 시험을 통해 얻은 데이터를 기반으로 시뮬레이션 결과와 Glint 특성을 비교 분석하였다.

또한 각기 다른 RCS를 갖는 코너 리플렉터의 조합을 통해 Glint 특성이 산란점들의 상대적인 RCS 차이에 영향을 받는다는 것을 알 수 있었고, Glint의 3-Sigma 값이 시뮬레이션과 야외 시험이 동일한 양상을 보임을 확인함으로써 본 논문에서 제안한 Glint 측정 방법이 유효하다는 것을 증명하였다.

본 논문에서 아쉬운 점은 레이더와 표적간의 거리가 고정되어 있었다는 것이다. 표적에 근접할수록 Glint 현상이 커질 것이기 때문에 레이더와 표적간의 거리를 좁히면서 Glint 현상을 측정해 보았으면 더욱 유의한 결과를 얻을 수 있었을 것이다. 향후에는 거리에 따른 Glint 현상을 분석하는 방향으로 발전할 수 있을 것이며, 본 논문을 통해 해상 표적의 Glint 특성을 분석하고 레이더 시스템의 표적 탐지 및 추적 성능을 향상 시키는데 도움이 될 것이라 기대한다.

References

- [1] Lindsay, James E., "Angular Glint and the Moving, Rotating, Complex Radar Target," *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on* 2, pp. 164-173, 1968.
- [2] DUNN, J. H., D. D. Howard, and A. M. King., "Phenomena of Scintillation Noise in Radar-Tracking Systems," *Proceeding of the IRE* 47.5, pp. 855-863, 1959.
- [3] Richard H. Delano, "A Theory of Target Glint or Angular Scintillation in Radar Tracking," *Proceedings of IRE Trans.*, pp. 1778-1784, 1953.
- [4] Loomis, J. M., and Edward R. Graf, "Frequency-Agility Processing to Reduce Radar Glint Pointing Error," *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on* 6, pp. 811-820, 1974.
- [5] Byron Edde, *Radar Principles Technology Applications*, Prentice Hall, pp. 216-230, 1993.