

전장네트워크 기반 이지스급 함정의
공중방어능력에 관한 연구
(A Study on the Air Defense Capability of
Aegis Class Ships the Netted Battlefield)

임희동, 권용수*

Abstract

This paper describes a comprehensive analysis of the air defense capability of Aegis class ships on the netted battlefield. A principal threat to ships at sea is anti-ship cruise missiles. The missiles flies lower, faster, and with less radar cross section than its predecessors. Therefore, the ship of the 21st century must have the future operational capability based NCW to engage this threat and then the survivability of ship can be guaranteed. This operational concept is reflected in Aegis ship and CEC of US navy. In the near future, the korean navy will be possessed a few Aegis class ships. In this view, this paper has analyzed the intercept range of the sea-skimming ASCM to measure the area defense capability of the Aegis ship in PCW and NCW, respectively and presented the air defense capability of the ship on the netted battlefield .

* 국방대학교 관리대학원

1. 서 론

연안 위주의 해상작전환경은 대양에 비해 육지의 지형, 기상, 모래바람, 새떼 등과 같은 자연적인 클러터와 인위적인 클러터(예를 들면, 전자 방해, 채프 등의 전자전 공격 등)가 혼재하고 있어 레이더의 탐색공간과 센서 거리를 제한시키는 요인이 되고 있다. 이러한 연안환경과 더불어 오늘날의 비약적인 과학기술의 발전에 따라 보다 정교하고 기동성을 갖는 전자전 체계, 해면밀착비행(sea-skimming) 순항미사일, 피탐지 감소기술을 사용한 표적, 전역탄도미사일(TBM: Theater Ballistic Missile), 상용 선박/항공기 사이에 위장된 플랫폼과 같은 적의 다양한 무기체계는 연안지역에서의 해상작전을 더욱 복잡하게 만들고 있다. 특히, 고정밀화/장사정, 고속화와 고기동성, 그리고 고지능화 되어 가고 있는 대함 순항미사일(ASCM: Anti-Surface Cruise Missile)은 해상작전을 수행하는 함정에게 큰 위협이 되고 있다.

따라서 미래의 공중·미사일방어 작전은 기존의 플랫폼 위주의 단일군 체계로는 작전요구 조건을 만족시킬 수 없는 합동개념으로 요격체계(PGM: Precision Guided Munitions), 조기경보 및 감시체계(ISR: Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) 그리고 C4I체제로 이루어지는 네트워크 기반의 신시스템 복합체계(new system of systems)로 구성되어야 할 것이다[1].

이에 따라 신개념의 미래함정은 이러한 작전환경과 위협 하에서 적절하고 적시성있는 작전능력을 갖기 위해 플랫폼간 탐지체계와 무장 그리고 각종 전투자산간의 체계연동을 통하여 네트워크 중심의 전투능력을 구현함으로써 함정의 생존성을 보장받을

수 있을 것이다. 이러한 미래 작전개념을 반영한 것이 구역방어(area defense) 능력을 가진 이지스(Aegis) 함정과 해상 전장관리체계인 협동교전능력(CEC: Cooperative Engagement Capability)이다.

현재의 한국 해군은 공중위협세력에 대한 자함방어(point defense)능력을 보유하고 있지만, 한국형 이지스 함정을 보유하게 됨에 따라 구역방어능력을 갖추게 될 것이다. 그러나 지금까지의 해상 공중방어체계와 관련된 분야의 연구는 함정을 표적으로 공격해 오는 다수의 공중 위협표적과 교전하기 위하여 탐지, 추적능력과 유효 사정거리가 서로 다른 다수의 무기체계를 이용하여 원거리로부터 근거리로 이르는 다층방어체계를 통한 최적의 표적할당과 격추율의 최대화에 중점을 두고 있다. 즉, 플랫폼 중심의 자함방어에 대한 연구가 주를 이루고 있다[2, 3].

이러한 관점에서 본 논문은 한국 해군이 보유하게 될 이지스급 함정의 운용환경 하에서 CEC를 기본모델로 플랫폼 중심전(PCW: Platform Centric Warfare)과 네트워크 중심전(NCW: Network Centric Warfare) 개념을 적용하여 저고도 대함 순항미사일에 대한 요격거리를 비교 분석함으로써 전장네트워크 기반 이지스 함정의 공중방어능력을 제시했다.

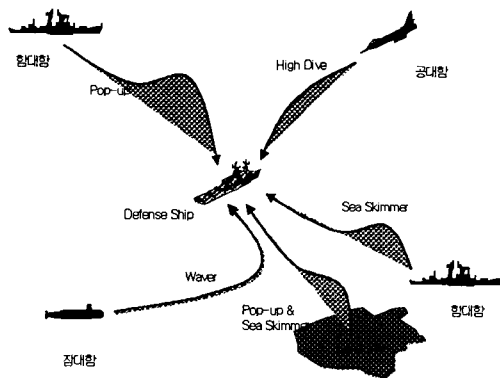
2 함정의 공중방어능력 고찰

2.1 대함 순항미사일 특성

지난 40여년 동안 대함 순항미사일은 여러 가지 형태로 발전하였다. 가능한 한 원거리까지 정확하게 도달시켜 보다 강한 파괴력으로 표적을 무력화시키기 위해 여러 가지 기술이 발전되어 왔다. 1996년 9

월 발표된 미 해군의 브리핑 자료 'Ship Self Defense: An Imperative for Littoral Warfare' 에 의하면, 장래의 기술 진보와 계속된 전 세계적 확산으로 보다 낮게 날고, 더 빠르며, 스텔스 및 기동성이 더 우수한 차세대 대함 순항미사일 위협이 나타날 것으로 전망된다[4]. 특히, 전장영역이 대양에서 연안 해역으로 이동함에 따라 연안에서의 복잡한 환경은 함정 탑재센서의 성능을 저하시켜 대함 순항미사일을 방어할 수 있는 함정측의 대응시간을 현저히 감소시키는 요인으로 작용하고 있다.

기존의 순항미사일은 아음속이 주를 이루지만, 1990년대 이후부터 초음속 대함 순항미사일이 증가 추세를 보이고 있다. 그러나 초음속 대함 순항미사일의 경우는 아음속에 비해 기체가 크고 큰 기동능력이 요구되며, 연료 소모율이 크다. 또한, 고속으로 비행하는 미사일은 저속에 비해 재공격의 어려운 점이 있어 현존 순항미사일의 대부분은 아음속 상태에서 사거리를 늘리려 주력하고 있다.



<그림 1> 대함 순항미사일의 공격형태

일반적으로 대함 순항미사일은 발사대로부터 부스터에 의해 발사된 후 다시 하강하여 일정 고도로 순항비행하고, 종말단계에서 레이더 혹은 적외선 센서에 의해 조기 탐지되는 것을 피하기 위해 약 2m 까지 고도를 더욱 낮추어 비행을 한다[5]. 또한, 대함 순항미사일은 <그림 1>에서와 같이 연안, 해상, 수중 및 공중 등 다양한 플랫폼에서 발사가 가능하고 복잡한 기동패턴을 보유함으로써 함정에서의 조기대응을 어렵게 하며, 함정에서 전자공격으로 대응하는 경우에는 pop-up 기동하여 high diving 형태로 공격하는 특징을 지니고 있다.

2.2 레이더 탐지성능에 따른 대함 순항미사일 대응가능시간

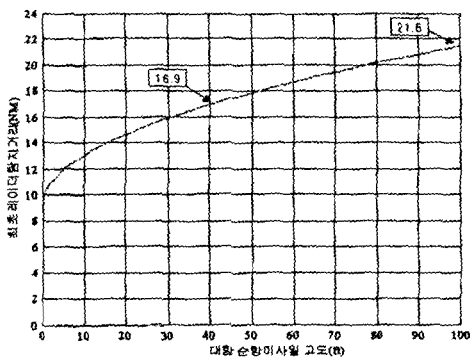
함정의 탐지거리는 레이더 성능이외에 해면의 곡면(horizontal curvature)에 의해 제한을 받는다. 즉, 고주파 레이더일수록 수평선 너머 도달하는 에너지가 작으므로 적 함정을 비롯한 저고도로 비행 접근하는 항공기나 미사일의 탐지거리는 수평면에 의해 크게 제약을 받는다. 해상에서의 탐지거리는 레이더의 성능이나 기타 요소가 변하지 아닐 경우 다음의 식으로 표현된다[6].

$$R_h = 1.23(\sqrt{h_{radar}} + \sqrt{h_{ascm}}) \text{ [NM]} \quad (1)$$

여기서, h_{radar} 와 h_{ascm} 은 ft로 나타낸 각각 레이더와 대함 순항미사일의 고도이다. <그림 2>는 자함 레이더 고도를 55ft로 가정했을 때의 표적고도에 따른 레이더 탐지거리를 나타낸다. 대함 순항미사일의 고도가 100ft일 때 최초 레이더 탐지거리는 21.6NM이 되며, 대함 순항미사일의 고도가 40ft일

때 최초 레이더 탐지거리가 16.9NM이 됨을 알 수 있다.

회전방식의 재래식 레이더는 통상 4초를 주기로 회전하며, 탐색방향에 대한 표적자료만을 처리한다. 이와 같은 레이더에 의해 표적을 확정하여 탐지하기까지는 레이더가 표적을 3회 이상 연속 주사해야 한다. 또한, 표적에 대한 정확한 침로와 속력의 산출까지는 이로부터 2~3회의 추가적인 주사가 필요하다. 이에 반해, 위상배열 레이더는 동시에 많은 빔이 송·수신되기 때문에 최초 탐지한 빔 자료와 거의 동시에 다른 빔이 입력되면서 프로그램화된다. 따라서, 위상배열 레이더의 표적 확정시간은 불과 수 밀리초에 불과하며, 표적의 침로 및 속력도 1초 이내에 결정된다. 위상배열 레이더의 최대 장점은 탐지로부터 발사까지 반응시간의 현저한 감소이다.

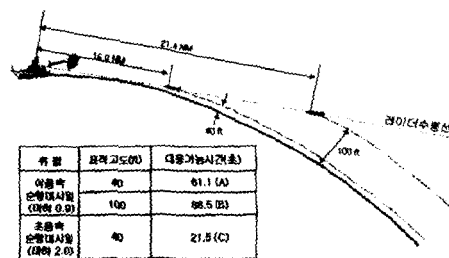


<그림 2> 표적고도에 따른 레이더 탐지거리

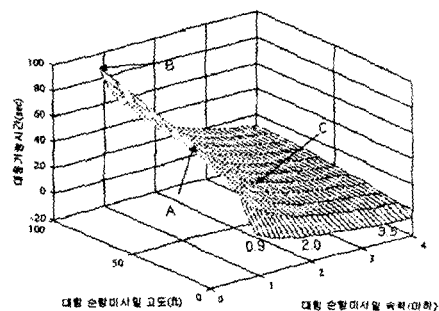
<그림 3>은 함정에 위상배열 레이더를 장착했을 경우 대함 순항미사일의 공격에 대해 어느 정도의 대응시간을 가질 수 있는지를 나타낸다. <그림 3.a> 에서 보는 바와 같이 위협표적은 아음속 대함

순항미사일과 초음속 순항미사일로 구분하였으며, 순항단계의 대함 순항미사일이 탐지 가능하다는 조건 하에 위협 표적의 고도를 40ft와 100ft로 가정하였다.

<그림 3.a>는 자함으로부터 5NM 지점에서 위협표적을 요격할 수 있는 대응가능시간을 나타낸다. 또한, 대함 순항미사일의 고도와 속력에 따른 함정에서의 대응시간을 <그림 3.b>에 나타냈다. 특히, 대함 미사일이 아음속으로 접근할 때는 접근고도가 낮아질수록 급격히 대응시간이 짧아짐을 알 수 있다.



(a)



(b)

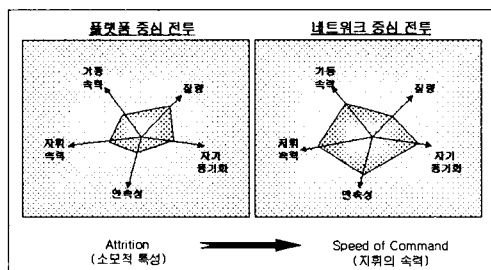
<그림 3> 자함으로부터 5NM 지점에서 차단 가능시간 (자함 레이더 고도: 50ft, 대공미사일 속력: 마하 2.5)

3. 네트워크 중심전과 협동교전능력

3.1 네트워크 중심전 개념

네트워크 중심전(NCW)은 다변화된 미래위협에 효과적으로 대응할 수 있는 개념으로 센서와 지휘통제체계, 그리고 슈터의 네트워크화에 의해 상황인식을 공유함에 따라 지휘속력을 증가시키고 작전템포를 가속화시키며 자기동기화와 생존성을 증대시키는 정보우위의 작전개념이다.

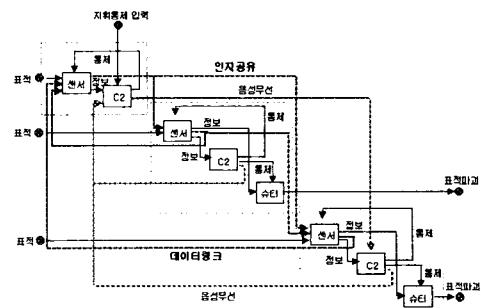
기존의 플랫폼중심 전투수행개념에서는 질량중심, 즉 중량이 큰 많은 함정을 넓은 해역에 배치하여 소모적 특성을 갖는 전략개념이 주류를 이루었으나, 미래 해상전 수행개념은 <그림 4>에서 보는 바와 같이 지휘속력(speed of command)의 전투절차 수행의 연속성에 중점을 두게된다. 특히, 지휘속력은 정보우위를 통한 전장지위의 우월성을 보장하는 최선의 방법이다. CAISR에 의해 센서와 무기체계를 네트워크화 함으로써 모든 제대의 지휘관과 전투 수행자가 상황 변화에 대해 자기동기화(self-synchronization)하여 적응적 대응능력을 보유하게 된다.



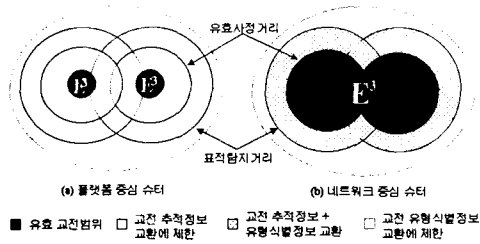
<그림 4> 네트워크중심 전투개념에서의 해상전략 변화

NCW의 핵심은 <그림 5>와 같이 탐지, 지휘, 통제 및 교전능력이 디지털 데이터링크를 통해 강력하게 네트워크화 되어 플랫폼내의 센서-C2-슈터 및 플랫폼-플랫폼 간의 실시간 정보를 공유함으로써 시너지 효과를 얻게 된다.

또한, 교전범위 관점에서 플랫폼 전력의 유효 교전범위(E3: Effective Engagement Envelope)는 <그림 6>과 같이 표적을 자체 센서로 탐지·식별·추적하고, 유효 교전거리 내에 위치하였을 경우 교전이 가능하다. 표적이 유효 사정거리 내에 위치하지 않으면, 교전할 수 없을 뿐만 아니라 표적이 유효 사정거리 이내에 위치하여도 표적을 식별할 수 없기 때문에 교전이 지연된다. 그러나 네트워크 중심 전력은 네트워크체계에 의해 자동으로 결합하여 표적을 추적, 식별하여 공격할 수 있는 가용시간과 교전거리가 크게 증가된다. 단일 플랫폼 전력의 정보는 불확실하지만, 다른 플랫폼 전력의 정보와 융합하여 정확한 표적 정보를 원거리에서 획득할 수 있다. 따라서, 네트워크 전력은 플랫폼 전력보다 유효 교전범위가 확대되고, 교전반응시간이 단축된다.



<그림 5> 네트워크 중심 작전 개념



<그림 6> 플랫폼 전력과 네트워크 전력의 교전범위

3.2 협동교전능력

3.2.1 협동교전능력 개념 및 구성

전장관리체계(BM: Battle Management)의 네트워크 기반운용은 정보자산을 공유함으로써 전투력을 획기적으로 향상시킨다. 위협평가, 표적할당/교전통제, 공격작전 및 센서관리의 전장관리 기능이 네트워크 기반의 BM/CAI를 통해 이루어짐으로써 공중·미사일방어능력을 극대화시킬 수 있다.

미국과 같은 선진국은 공중 및 미사일 위협에 대한 효과적인 대응을 위해 조기경보/전파, 지휘통제체계 개선 및 통신체계의 상호 운용성 향상에 중점을 두고 있다. 특히, 우주배치 및 기타 정보체계로부터 수집된 정보를 융합하여 공·지·해 작전요소간 실시간 정보 공유가 가능한 네트워크를 구축하고 있다. 이를 위해 우주배치 감시센서를 개발하며, 해상 전장관리 능력향상을 위해 CEC와 이지스 함정의 전투체계 개선에 역점을 두고 있다.

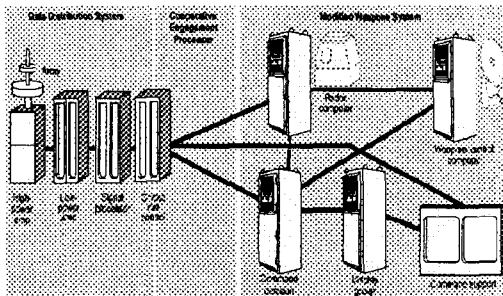
대표적인 해상 네트워크 전장관리체계인 CEC는 다른 센서와 무기를 갖고 분산된 전투함정/플랫폼으로부터 제공되는 측정자료의 융합에 의해 얻어진 사격통제 가능 수준의 전술표적정보인 복합트랙(composite track)을 공유하여 서로 동일한 전장상황

을 유지함으로써, 광역 공중방어능력을 단일 전구 광역 공중방어체계(single theater wide air defense)로 구성할 수 있다[7]. 즉, 각 부대가 협동교전 프로세서에 내장된 동일한 데이터처리 알고리즘을 사용하여 공중위협에 대한 추적 정보 또는 통합된 하나의 공중 상황정보를 전시하므로 네트워크내의 다른 센서를 마치 자신의 센서인 것처럼 사용할 수 있어 한 부대의 센서가 탐지한 것은 모든 부대의 센서가 탐지한 것과 같은 효과를 갖게 된다. CEC는 공중 위협과 대응하기 위한 새롭고 혁신적인 교전방식으로서 다중 센서 융합 기술을 사용하여 플랫폼(함정) 중심의 교전보다는 전투 그룹을 형성시켜주는 네트워크 중심의 교전을 가능하게 해준다.

분산 배치되어 있는 다른 플랫폼으로부터 사격통제 가능 수준의 자료를 공유하기 위해서는 원격자료가 마치 자신의 플랫폼으로부터 획득되는 것과 같이 동일한 질과 시간으로 각 플랫폼의 레이더와 무기통제 하부체계에 전달되어야 한다. 이러한 능력을 만족시키기 위해 CEC는 <그림 7>과 같이 협동교전 프로세서(CEP: Cooperative Engagement Processor)와 자료 전송요소로 알려진 자료분배체계(DDS: Data Distribution System)의 두 가지 하부체제로 구성된다. CEP는 협동교전에 있어 적기에 정확한 사격통제가 가능하도록 플랫폼의 전투체계와 직접 연동되어 있으며, 선정된 표적의 식별정보뿐만 아니라 복합트랙 상황을 자체의 무기체계에 전송한다. 복합트랙은 자체의 센서 측정자료와 DDS를 통해 입력된 다른 플랫폼의 측정자료, 그리고 IFF 정보자료 등이 복합된 동일 공중상황으로써, 센서 자체에 의해 획득된 다른 어떤 자료보다도 정밀하고 정확하다. 그러나 CEP는 자신의 플랫폼뿐만 아니라 CEC

네트워크 내의 모든 전투세력으로부터 입력된 자료를 처리해야 하기 때문에 모든 전력의 전투체계에 필적하는 대용량의 처리능력과 효율을 지녀야 한다. CEP는 일반적으로 정확한 시간 범위 내에서 자료의 전달이 확실하게 이루어지도록 자체 플랫폼 센서와 직접 접속되어 있다.

또한, CEC 시스템은 추적 데이터를 공유하기 위한 통신 수단을 필요로 하고 있다. DDS는 CEP와 상호 연결되어 다른 CEC와 통신을 한다. DDS는 <그림 7>과 같이 네트워크로 연결된 CEC 시스템을 탑재한 함정이 갖고 있는 고출력 송신기와 위상배열 안테나로 구성되어 있다. 각각의 노드로부터 측정된 추적 정보는 그 후 합성되어 통합된 단일 공중 상황정보를 만든다. 네트워크에 가해진 적 재밍 효과를 제거하기 위해서는 주파수 도약(frequency hopping) 기법, 인터리빙(interleaving) 기법 등을 사용해야 한다.



<그림 7> CEC 체계구성

3.2.2 CEC를 통한 전투력 증대 효과

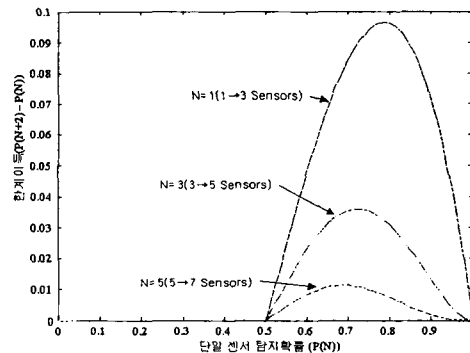
(1) 탐지공간 확장 및 탐지확률 증가

탐지공간은 <그림 8>과 같이 한 대의 레이더를 운용하는 것보다 다수의 레이더를 사용함으로써 확장효과를 볼 수 있다. 이것은 타 함정의 레이더 탐색영역에 있는 표적정보를 전송 받음으로써 자함의

탐색영역 밖의 표적을 탐지하는 동일한 효과를 볼 수 있다. 특히, 항공기에서 데이터 링크를 통해 표적 정보가 큐잉될 때는 더욱 큰 영역을 탐지하게 된다. 또한, 다수의 레이더를 중첩 운용하면 단일 레이더보다 탐지확률이 증가된다.

다수의 레이더에서 한 스캔에서의 탐지확률이 P_d 일 때 각 스캔에서 탐지되지 않을 확률은 $(1 - P_d)$ 가 되며, 연속적으로 2회 탐지되지 않을 확률은 $(1 - P_d)^2$ 이 된다. 그러나 두 대의 레이더를 사용한다면 중첩 구역의 어떤 표적에 대해 두 레이더가 동시에 연속 2회 동일표적을 탐지 못할 확률은 $(1 - P_d)^2$ 이 되므로 두 레이더 중 최소한 어느 한 대가 탐지할 확률은 $1 - (1 - P_d)^2$ 이 된다[8]. 따라서, 이 두 확률을 비교할 때 두 레이더에 의한 탐지확률이 크며, 동일한 탐지확률에 대해서는 각 레이더의 탐지확률이 P_d 보다 작아도 됨을 알 수가 있다.

<그림 8>은 네트워크에 의한 센서융합의 한계이득을 나타낸다. 3개의 센서를 융합할 때 가장 효과적이나, 그 이상의 센서에 대한 이득은 점차 감소됨을 알 수 있다.

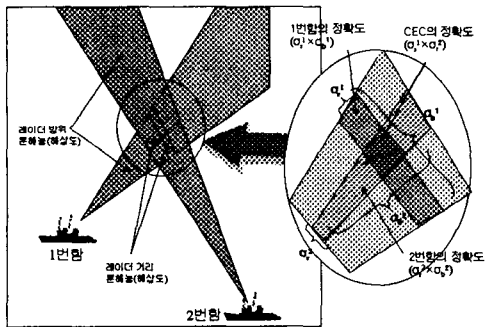


<그림 8> 센서 융합 한계이득[9]

또한, 레이더의 탐지확률이 아주 낮은 경우와 아주 높은 경우에도 전체적인 탐지확률 이득에 별로 영향을 미치지 않는다. 따라서 센서 융합은 각 센서의 탐지확률이 0.5~0.95일 때 효과적이다.

(2) 위치 및 추적오차의 개선

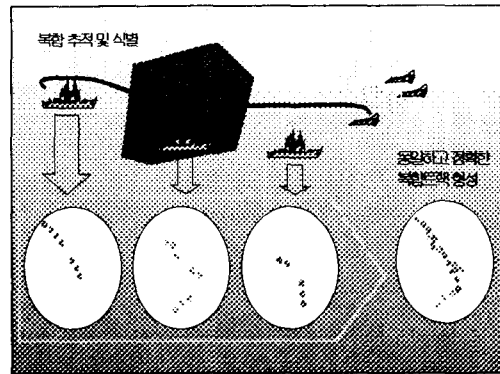
레이더는 거리측정 오차가 방위측정 오차보다 적으므로 서로 다른 방위에서 표적을 탐지하여 이를 서로 연관시킬 때 방위측정 오차가 <그림 9>에서 보는 것과 같이 크게 감소된다. 네트워크된 레이더에서는 동일한 표적에 대해서 둘 또는 그 이상의 측정데이터들을 사용하게 되므로 전체 시스템의 정확도가 개선된다.



<그림 9> 레이더 측정오차의 개선

(3) 추적의 연속성 및 표적 식별 유지

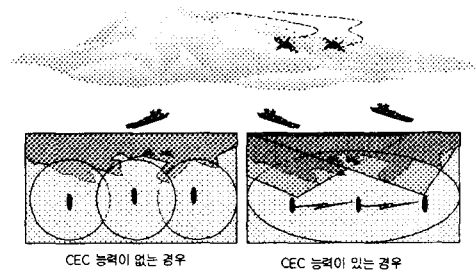
각 함정으로부터 측정된 표적자료는 <그림 10>과 같이 센서 네트워크 기술을 통해 실시간으로 표적자료를 공유하고 모든 플랫폼이 동일한 자료와 컴퓨터 알고리즘을 사용하여 복합트랙을 형성하여 동일한 전술상황을 구성함으로써 표적추적의 연속성을 가질 수 있다.



<그림 10> 복합추적 및 식별

(4) 클러터 감소효과

연안환경에서 작전하는 함정이 항공기나 미사일을 탐지할 때 육지 또는 극심한 지상 클러터의 영향을 심하게 받는다. 그러나 <그림 11>과 같이 방어 함정들이 CEC를 이용하여 탐색구역 협조시 공격표적의 탐지 및 추적거리를 증가시켜 결과적으로 전투 공간을 확장할 수 있다. CEC로 협동작전시 한 함정은 전체 공간을 탐지하고, 다른 함정은 지상 클러터 지역을 집중적으로 탐색하여 모든 함정에 자료를 전파한다.



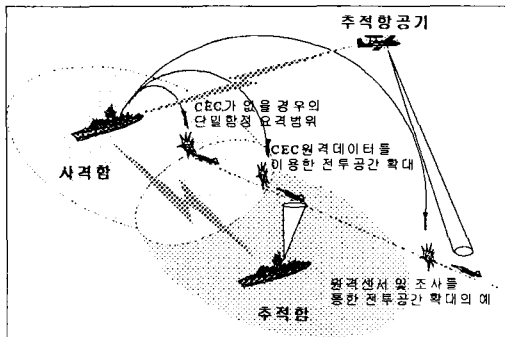
<그림 11> 연안작전시 레이더의 운용

(5) 대전자전 대응능력 향상

단일 레이더에 비해 레이더 네트워크체계를 구축할 경우는 이를 구성하는 레이더파의 특성과 스캔을 및 주사방향 등을 서로 달리 사용함으로써 어느 한 주파수 대역이 전자적 재밍을 받더라도 다른 레이더에는 영향을 미칠 수 없다. 또한 재밍을 당하는 레이더도 주파수변경 능력 등 전자보호 능력이 우수할 경우 모든 레이더를 동시에 재밍하기는 어렵다. 대공미사일 사격함의 추적 레이더가 재밍을 받을 경우 인근 함정에서 공격미사일을 추적하여 추적데이터를 사격함에 전송하고, 사격함은 이를 이용하여 사격문제를 해결하여 대응할 수 있다.

(6) 전투공간 확대

CEC는 여러 플랫폼으로부터의 정보를 융합하여 정확한 큐잉, 개선된 표적식별 지속성, 연속적인 추적을 통해 조기에 표적을 탐지하도록 하여 무기체계의 교전거리를 안정적으로 증가시킨다. <그림 12>와 같이 CEC를 사용할 경우, 함정은 대함미사일 레이더 수평선을 통과하기 전에 항공기로부터 링크된 다른 함정의 추적자료를 이용하여 요격미사일을 발사하게 된다.



<그림 12> CEC를 통한 전투공간 확대 개념

4. 전장네트워크 기반 함정의 공중 방어능력에 대한 효과 분석

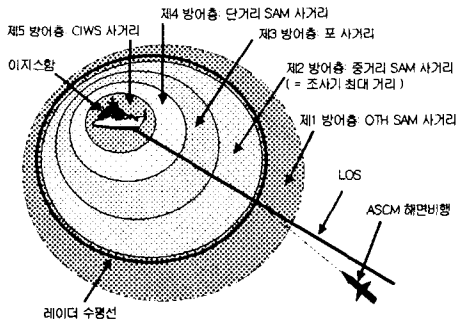
4.1 순항미사일 방어능력 효과측정 고려요소

가. 함정의 교전 방어층

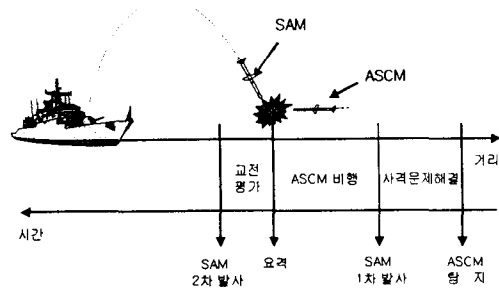
공중 위협에 대한 다중방어 개념은 함정을 표적으로 공격해 오는 다수의 공중 위협표적과 교전하기 위해 탐지/추적능력과 유효 사정거리가 서로 다른 다수의 무기체계를 사용하여 원거리로부터 근거리에 이르는 단계적 방어를 뜻한다.

다중방어를 위한 무기체계는 함정의 임무와 특성에 따라 무장을 다르게 탑재하고 함정과 항공기 등 전투세력을 효율적으로 운영함으로써 다양한 방어능력을 보유하게 된다. 기본적으로 모든 함정은 단독 작전과 자함방어를 위해 단거리 대공미사일, CIWS, 대공포, 디코이 등과 같은 단거리무기를 탑재하며, 방어해야 할 핵심 세력을 중심으로 하는 구역방어나 광역방어(outer defence)는 중·장거리 대공미사일 등을 탑재한다.

여기서는, 편의상 항공기 교전구역(FEZ: Fighter Engagement Zone)이나 협동교전구역(CEZ: Cooperative Engagement Zone)에서 항공기의 지원이 없는 것으로 가정하고 미사일 교전구역(MEZ: Missile Engagement Zone)내에서만 장거리 및 중거리 대공미사일(SAM: Surface to Air Missile)을 사용하는 것으로 하여, 초저고도로 접근하는 대함 순항미사일에 초점을 맞추었다. <그림 13>과 같이 함정에서 표적을 탐지 후 교전할 수 있는 방어층을 5 단계로 고려했다.



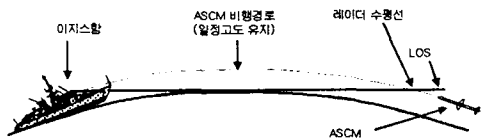
<그림 13> 함정의 교전 방어층



<그림 15> 시간별 교전절차

나. 대함 순항미사일의 비행 궤적 및 대공미사일의 운용

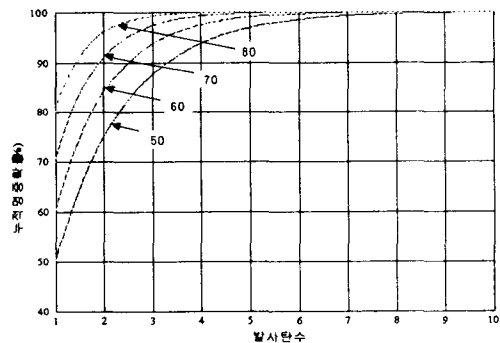
대함 순항미사일은 점차 고정밀화/장사정, 고속화와 고기동성, 그리고 고지능화 추세이지만, 본 논문에서는 편의상 <그림 14>와 같이 고도 40ft를 일정하게 유지하면서 직선경로를 비행하는 것으로 단순화시켰다. 또한, 함정에서 보유하고 있는 대공미사일의 궤적은 2차원적인 요소만 고려하였으며, <그림 15>는 시간별 교전절차를 나타낸다.



<그림 14> 대함 순항미사일의 비행궤적

$$P_{MN} = 1 - (1 - P_M)^N \quad (2)$$

<그림 16>은 단발명중에 따른 누적명중을 나타낸 것이다. 대공미사일의 단발명중확률이 0.7인 경우 두 번째 발사시 명중확률은 0.91이 되는 것을 알 수 있다.



<그림 16> 대공미사일 단발명중에 따른 누적 명중확률

다. 대공미사일의 단발명중에 따른 누적명중확률
대공미사일의 단발명중에 따른 누적명중확률은 다음식과 같이 나타낼 수 있다. 대공미사일의 단발명중확률을 P_M 이라고 했을 때 누적 명중확률은, P_{MN} 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

4.2 대함 순항미사일 방어 효과 분석

여기서는 저고도로 함정에 접근하는 대함 순항미사일에 대해서 네트워크 환경 하에서 이지스 전투체계를 갖춘 함정이 어느 정도의 구역방어 임무를 수행할 수 있는지를 분석하였다.

모델링을 통해 고려할 사항은 함정의 교전방어 층에 따른 무장의 효과적인 운용성이다. 단거리 대공미사일, 대공포, CIWS, 그리고 디코이 등과 같은 자함방어무기는 함정의 생존성을 보장하기 위한 최후의 수단이므로 자함방어의 유효 교전범위 내에서는 장거리 대공미사일에 비해 효과적일 수 있다. 따라서 자함방어를 위한 유효 교전범위를 5NM로 설정하였다. 즉, 자함으로 접근중인 저고도의 대함 순항미사일을 자함으로부터 5NM 이상의 교전범위에서 SM-2 장거리 대공미사일이 어느 정도의 효과가 있는지를 PCW 개념과 NCW 개념을 적용하여 대함 순항미사일의 요격거리를 분석하였다.

<표 18> 이지스 전투체계 및 대공미사일 특성

구 분		제 원
이지스 전투체계	레이다 고도(ft)	55
	조사기 고도(ft)	60
	SAM 최대사정거리(NM)	50
	탐지거리	Radar horizon
	SAM 발사시 전체지연시간(초:dt _r)	10
	표적피해평가시간(초:dt _w)	1
이지스 SAM 특성	속력(마하)	2.5
	P _k (요격확률)	0.7
	최대거리(NM)	50
	발사지연시간(초:dt _L)	2

PCW 적용은 함정 자체의 센서와 무장을 통해 대함 순항미사일을 요격하는 것처럼 동일한 조건 하에서 전체 지연시간이 증가되었을 경우로 하였다. 또한, NCW는 외부 센서를 통해 탐지거리만 증대시킨 상태에서 자함에서 대공미사일을 발사하여 대함 순항미사일을 요격하는 것과 CEC 체계를 보유한 블

릿폼들을 통해 탐지거리를 증대시키고 타 함정에서 중기유도 및 종말 조사를 실시하였을 경우로 하였다.

여기서, 이지스 전투체계와 대공미사일(SAM)의 특성 및 제원은 <표 1>과 같이 가정했으며, 대함 순항미사일의 고도는 40ft로 했다. 다음 식은 대함 순항미사일을 최초 탐지로부터 요격까지의 지연시간 (T_{INT}), 최초차단거리(R_{INT}) 그리고 첫발 요격에 실패했을 때 두 번째 미사일의 요격시간(T'_{INT})을 각각 나타낸다[10].

$$T_{INT} = \frac{R_{DET} - (dt_T \times V_{ASCM})}{V_{SAM} + V_{ASCM}} \quad (3)$$

$$R_{INT} = V_{SAM} \times T_{INT} \quad (4)$$

$$T'_{INT} = \frac{R_{INT} - (dt_{KA} + dt_L) \times V_{ASCM}}{V_{SAM} + V_{ASCM}} \quad (5)$$

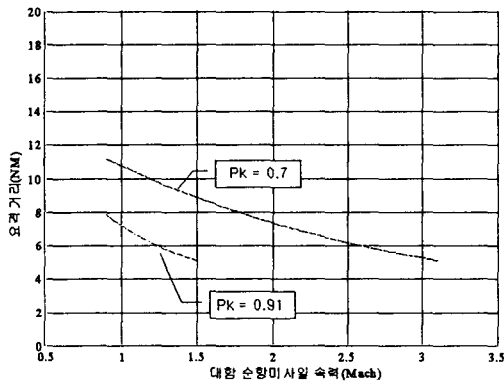
또한, 두번째 발사시의 요격거리는 식 (5)에서 얻은 T'_{INT} 를 식 (4)에 대입하여 쉽게 얻을 수 있다. <그림 17>은 식 (3)~(5)를 이용하여 대함 순항미사일의 속력에 따른 대공미사일의 요격거리를 나타낸다. 요격확률(P_k)이 0.7은 대함 순항미사일에 대한 대공미사일의 첫 발사시의 요격점을 나타내며, 요격확률 0.91은 첫 발사 실패 후 두 번째 대공미사일 발사시의 요격점을 나타낸다.

가. PCW 관점에서의 대함 순항미사일 요격거리

PCW 개념을 적용한다는 것은 단일 함정 자체의 센서와 무장을 통해서 대함 순항미사일을 요격함을 의미한다. 대함 순항미사일의 고도가 40ft일 때, 최초 레이더 탐지거리는 16.9NM이다. 이것은 표적과의 교전이 표적을 최초 탐지한 16.9NM부터 시작됨을 나타

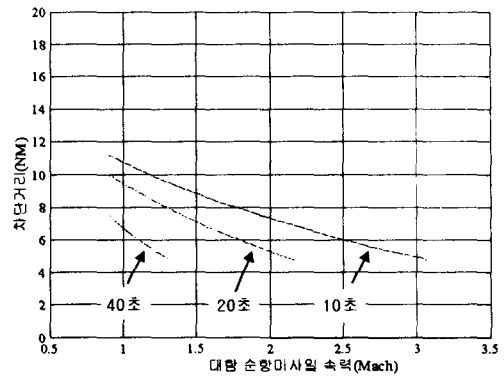
낸다. 따라서 PCW 개념에서는 레이더 수평선 내에서 만 교전이 가능함을 알 수 있다.

이지스 함정의 구역방어 임무를 반경 10NM 이상 요구하게 될 경우 대함 순항미사일의 속력이 아음속일 경우에만 한번의 요격기회를 가질 수 있으며, 대함 순항미사일의 속력이 마하 1.3이상으로 접근할 때는 반경 10NM의 요구된 임무구역을 보호할 수 없게 된다. 또한, 대함 순항미사일의 속력이 마하 1.5이상 일 때는 단 한번의 요격기회를 가지게 된다.

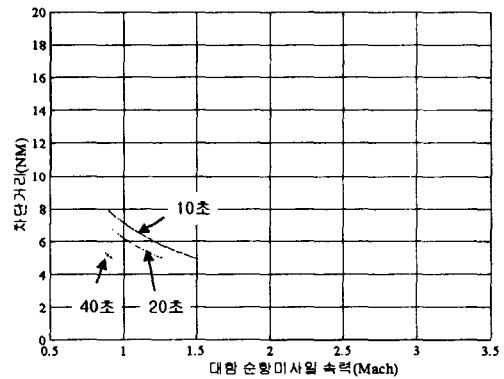


<그림 17> 대함 순항미사일의 속력에 따른 요격거리 (최초 레이더 탐지거리에서 표적 접촉시)

<그림 18>은 전체지연시간이 증가할수록 함정에서 요격할 수 있는 거리가 짧아짐을 나타낸다. 지연시간이 20초 이상일 경우, 아음속의 대함 순항미사일에 대해서도 10마일의 구역방어 임무를 수행할 수 없게 된다. 지연시간이 40초일 경우에는 <그림 18.b>에서 보는 바와 같이 아음속일 때에 비해 두 번의 교전기회를 갖게 된다.



(a) Pk = 0.7 일때

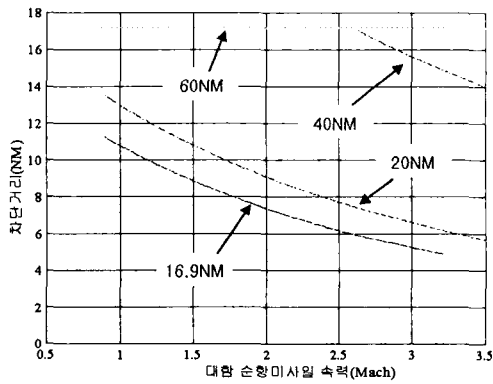


(b) Pk = 0.91 일때

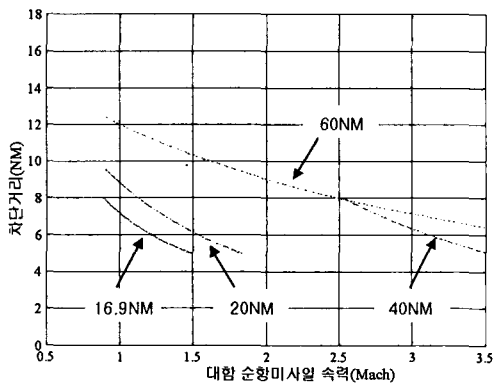
<그림 18> 지연시간 증가에 따른 요격거리

나. NCW 관점에서의 대함 순항미사일 요격거리
NCW 개념을 적용하였을 경우, 두 가지 관점으로 생각할 수 있다. 첫째는 외부의 센서를 통해 탐지거리를 증대시켰지만 다른 플랫폼에서 SM-2 대공미사일을 중기유도 및 조사를 하지 못할 경우, 발사함정에서 조사하여 요격하는 것이며, 둘째는 CEC를 통해 탐지거리가 증대되고 다른 플랫폼을 통해 자함에서 발사한 대공미사일에 대한 중기유도와 종말조사가 가능할 경우에 대해 대함 순항미사일에 대한 요격거리를 분석하였다. <그림 19>는 탐지거리

만 증대하였을 경우, 대함 순항미사일에 대한 요격 거리의 계산 결과이다.



(a) Pk = 0.7 일 때

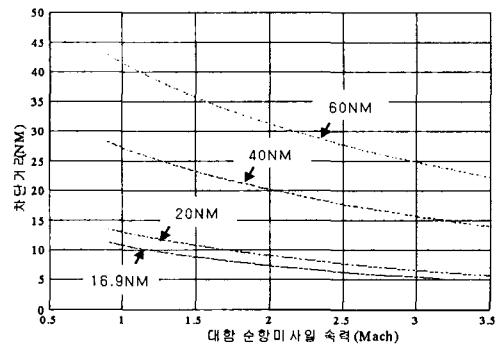


(b) Pk = 0.91 일 때

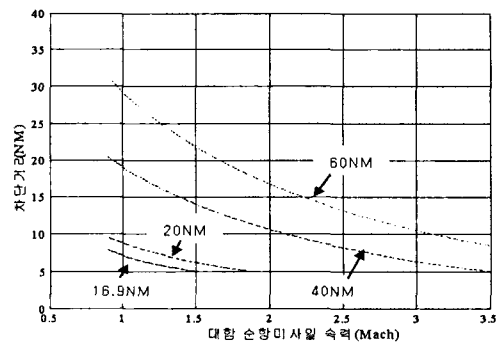
<그림 19> 탐지거리증대를 통한 요격거리

<그림 19>와 같이 다른 플랫폼을 통해 탐지거리를 증대시켰을 경우, 단일 함정 자체의 센서와 무장을 통해서 대함 순항미사일을 요격하는 PCW 개념보다 교전거리가 확장되었다. 그러나 레이더 수평선 너머에 있는 다른 플랫폼에서 중기유도 및 종말조사가 이루어지지 않기 때문에 자함에서 발사된 대공미사일은 자함의 조사기 수평선(illuminator

horizon) 탐지범위(최대 17.3NM) 내에서만 조사가 가능하여 탐지거리가 60NM로 증대되었다 하더라도 첫 발사시 요격할 수 있는 최대거리는 17.3NM 이상이 된다. 플랫폼간의 네트워크가 이루어지면 표적의 조기탐지 및 추적이 가능해지므로 결국 요격거리를 조사기 수평선까지 연장하는 결과를 얻게된다.



(a) Pk = 0.7 일 때



(b) Pk = 0.91 일 때

<그림 20> CEC를 통한 요격거리

그러나, 방어하는 입장에 있는 함정은 표적에 대한 추적정보를 미리 보유하고 있었지만 다른 플랫폼에서 중간유도 및 종말조사가 이루어지지 않아 대함 순항미사일의 위협이 조사기 수평선을 지날 때까지 기다려야만 교전이 가능하기 때문에 요격이 지연된다.

5. 결 론

본 논문은 한국 해군이 보유하게 될 이지스급 함정의 운용환경 하에서 CEC를 기본모델로 PCW과 NCW 개념을 적용하여 저고도 대함 순항미사일에 대한 요격거리를 비교 분석함으로써 전장네트워크 기반 이지스 함정의 공중방어능력을 제시했다.

PCW 개념에서는 함정은 위협 표적이 레이더 수평선을 지날 때까지 기다려야 교전이 가능하기 때문에, 위협 표적이 함정에 근접하게 될 때까지 요격이 지연되지만, NCW개념을 적용하게 되면, 함정은 위협 표적이 레이더 수평선을 통과하기 전에 요격이 가능하므로 구역방어 임무를 효과적으로 수행할 수 있음을 알 수 있다.

본 연구결과는 구역방어능력을 보유한 함정이 해상에서 전투전단(대)를 형성하여 해상작전 임무를 수행할 시 대함 순항미사일의 방어작전 뿐만 아니라, 해상에서의 구역방어체계 개념 정립 및 해상/공중 작전을 모의하기 위한 기초자료가 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 권용수, “네트워크 전장관리체계 발전방안”, 국방대학교 「안보연구시리즈 제2집 5호」, 2001.12. p.146.
- [2] 김경기 외 2명, “함정 대공방어체계 최적 구성 방안 연구”, 국방과학연구소, 1996.11.
- [3] 박철성, “해상 대공방어 체계 연구(표적할당 및 격추율에 대한 최적화)”, 「제1회 해상무기체계 발전세미나」, 국방과학연구소, 1996.6.
- [4] 김성희 외 3명, “이지스함-미국의 이지스함 현황”, 국방과학연구소 조사분석서, 2001.12, p.103.
- [5] 김영수, “함대함 미사일의 발전과정과 특성변화 분석”, 국방과학연구소, 1998.7, pp.22-31.
- [6] Ball,R.E., *The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design*, AIAA, 1986. p.244.
- [7] *The Cooperative Engagement Capability*, John Hopkins APL Technical Digest, Volume 16, Number 4(1995), pp 377-396.
- [8] 고순주, “해군 구역 대공방어체계 개념연구”, 「해양연구논총 제22집」, 해군 해양연구소, 1999.6, p.355.
- [9] David L. Hill, *Mathedmatical Techniques in Multisensor Data Fusion*, Artech House, 1992, pp.25-26.
- [10] Hideto Ito, *A Study of the Measures of Effectiveness for the JMSDF AEGIS Destroyer in a Littoral, Air Defense Environment*. Master's Thesis, Naval Post Graduate School, Monterey, california, march 1995, p.22.