

국회 외교통일위원회

정책연구 17-03

한반도 환경에서의 사드체계의 군사적 효용성 분석

2017. 12

국회 외교통일위원회

제 출 문

국회 외교통일위원장 귀하

본 보고서를 2017년 국회 외교통일위원회의
“한반도 환경에서의 사드체계의 군사적 효용성
분석”에 관한 연구용역과제의 최종보고서로
제출합니다.

2017. 12

책임연구원: 장영근 (한국항공대학교 교수)

이 보고서는 국회 외교통일위원회에서 주관하는 정책연구개발 용역사업에 의해 수행된 것으로 수록된 내용은 연구자의 개인적인 의견이며, 국회 외교통일위원회의 공식적인 견해가 아님

목 차

1. 서 론	1
2. 북한의 탄도미사일 현황	3
3. 핵탄두 탑재가 가능한 노동미사일	11
4. 고고도미사일방어체계(사드)의 구성 및 특성	14
5. 한국 내의 북한 핵미사일 예상 공격 표적 분석	21
6. 탄도미사일 요격의 기본 원리	23
7. 한반도 전장 환경에서 사드의 방어능력 분석	27
가. 북한 노동 핵미사일의 주요 표적 공격에 따른 사드의 방어능력 분석	27
나. 북한 노동 핵미사일의 주요 표적 공격에 따른 사드의 방어능력 분석결과 요약	44
다. 경북 성주에 사드체계 배치 시 사드의 방어능력 분석결과	47
라. 북한 노동 핵미사일 고각발사 시 한국 공격에 따른 사드의 방어 능력 분석	65
마. 북한 황주에서 노동미사일 공격 시 경북 성주에 배치한 사드의 방어능력 분석 및 결과	83
바. 300km급 단거리 스커드-B 미사일의 공격에 따른 방어능력 분 석	96
8. 사드체계의 군사적 효용성 평가 및 제안	125
9. 향후 추가 분석을 위한 제안사항	128
<부록 1> 북한 핵미사일 공격에 대응하는 사드 포대의 한반도 배치 분석 결과	129
<부록 2> 북한 최단거리 KN-02 탄도미사일 공격에 대한 사드의 방어능력 분석	135

1. 서 론

북한의 핵과 미사일 위협은 갈수록 심화되어 2017년 11월 29일 실질적으로 미국 본토를 타격할 수 있는 사거리(600kg의 핵탄두를 탑재하고 최소 11,000~15,000km 수준의 사거리 보유 분석)를 가진 대륙간탄도미사일(ICBM)을 개발한 것으로 추정되고 있다. 2016년 9월 백두산엔진의 지상연소시험을 시작으로 북한의 ICBM 개발은 급속하게 진행되어 현재 화성-15형의 개발에 까지 이르렀다. 북한의 ICBM 개발은 미국 본토를 타격할 수 있는 사거리를 주 목표로 이루어져 아직 재진입기술(Reentry Technology)은 검증되지 못한 상황으로 판단된다. 북한은 미국 본토를 타격할 수 있는 사거리의 화성-15 ICBM을 성공적으로 시험 발사함으로써 한반도 정세는 한치 앞도 내다보기 어려운 상황으로 가고 있다.

북한은 2016년 1월 6일 기습적으로 4차 핵실험을 감행한데 이어 2월 7일 장거리 로켓 광명성호(이전의 은하-3호 발사체와 동일한 것으로 추정)를 발사하여 광명성 4호 위성을 우주궤도에 성공적으로 올렸다. 당일 정부는 중대하는 북한의 위협에 대응하기 위해 한미동맹의 미사일방어 태세를 향상시키는 조치로서 주한미군의 사드(THAAD; 고고도미사일방어체계) 한반도 배치 가능성에 대한 공식 협의를 시작한다고 발표하였다. 이후 한미 양국은 한반도에 사드배치를 전격적으로 결정하고 배치지역도 최종적으로 경북 성주군으로 결정하였다. 2017년 3월에는 사드체계의 일부 구성품이 한국에 도착했으며 2017년 9월 사드 발사대 4기가 성주에 추가 배치되며 사드 한 포대가 갖추어져 체계운용을 시작하였다.

그동안 사드 도입과 관련하여 다양한 논란이 지속되어 왔다. 예를 들어, 사드가 한국의 방위 범위를 벗어나 중국의 안보 이익을 저해한다는 주장, 사드의 X-밴드 레이더가 중국 내륙의 군사활동을 감시할 수 있다는 주장, 그리고 중심이 짚은 한반도 환경에서 군사적으로 효용성이 낮다는 주장 등이 대표적인 논란들이다.

사드는 미국 주도의 미사일방어체계(MD; Missile Defense)에서 이지스 SM-3 및 PAC-3와 함께 핵심적인 요격체계 중 하나이다. 사드는 공격 중인 미사일로부터 특정지역을 방어할 수 있는 지역방어체계이다. 미국 본토보다

는 동맹국과 해외의 미군 주둔지역 및 미군기지 등을 방어하기 위한 체계라는 의미이다.

본 연구에서는 과연 고고도(고도 40~150km)에서 공격하는 미사일을 방어하는 사드가 북한의 탄도미사일을 어느 정도 막아낼 수 있을지, 군사적 실용성은 얼마나 있는지, 그리고 우리 국가안보에 얼마나 실질적 도움이 되는지 판단하기 위해 사드의 성능에 대한 정량적인 분석을 수행한다. 본 분석에서는 한반도 전장 환경에서 핵탄두 탑재가능성이 높은 노동미사일로 한국의 인구밀집지역, 주요 군사시설 그리고 국가기간시설 등을 공격할 때 사드체계의 배치 위치에 따른 미사일의 요격 성공 가능성에 대한 시뮬레이션 및 분석을 수행하였다.

사드체계 배치는 단순히 고성능의 레이더와 미사일발사대 몇 포대를 어디에 설치해야 하는지의 문제에만 국한하지 않는다. 강력한 전자파를 발산하는 레이더의 특성상 안전한 운용을 위해 상당히 넓은 부지가 요구되어, 우리나라와 같이 인구밀도가 높은 지역이 대다수인 작은 나라에서는 사드체계 운용부지 선정에도 큰 논란이 유발될 수 있다.

이 분석 결과가 사드미사일의 한반도 배치에 대한 정책적 결정을 할 때 기준자료로 활용되었으면 한다. 참고로 본 분석에서 사드체계의 레이더 및 요격미사일에 대한 세부 성능 데이터가 가용하지 않아, 제한된 가용데이터를 기준으로 성능 및 제원을 역산출하여 요격 성능분석의 자료로 사용하였기 때문에 분석 결과가 오차를 가질 수 있음을 미리 밝혀둔다.

2. 북한의 탄도미사일 현황

북한은 1980년경 소련의 스커드-B 미사일을 이집트로부터 획득한 것으로 추정하고 있으며, 역설계(Reverse Engineering)를 통해 이후 스커드 B 미사일을 독자개발 버전인 화성-5 미사일로 개량했다. 이후 북한은 화성-6 (스커드 C) 미사일의 개조 개발을 시작했고, 이어서 중거리 탄도미사일인 노동미사일을 개발하여 1995년 전력화 배치하였다.

북한은 노동미사일의 개발을 완료할 때쯤 중거리미사일인 대포동-1 개발을 시작했다. 대포동-1 미사일은 단기간에 적은 비용으로 개발할 수 있도록 새로운 엔진을 개발하지 않고 기존에 보유하고 있던 노동 엔진과 스커드 엔진을 조합 활용한 것으로 알려졌다. 대포동-1 미사일은 1단 추진체는 노동 엔진, 그리고 2단 추진체는 스커드 엔진을 갖는 2단으로 구성된 미사일이다. 1990년대 중반에 북한은 3단으로 구성된 대포동-2 장거리미사일의 설계 및 개발을 시작했다. 1단은 4기의 노동미사일 엔진을 클러스터링하고, 2단은 1기의 노동미사일 엔진을 사용한 것으로 추정된다. 비행시험의 실패에도 불구하고 미 정보당국은 대포동-2 미사일이 소형 경량의 핵탄두를 싣고 미국 서해안을 타격할 수 있다고 주장해왔다. 대포동-1 미사일은 1998년 8월 31일에 우주발사체 발사를 빙자하여 비행시험을 수행했다. 하지만 3단 로켓의 고장으로 인해 광명성 1호 소형위성을 지구궤도에 올려 넣는데 실패했다.

2003년에 미국의 위성 영상은 무수단 BM-25로 알려진 북한의 새로운 중장거리탄도미사일(IRBM) 개발을 보여주었다. 이 미사일은 옛 소련의 R-27(SS-N-6) 액체추진제 잠수함발사탄도미사일(SLBM)로부터 유래된 것으로 보였다. 소련의 R-27 SLBM은 1960년대부터 1980년대까지 배치되었고 사거리는 2,500km까지 나오는 것으로 알려졌다. 옛 소련의 붕괴 이후 R-27 프로그램 개발에 종사했던 소련의 일부 과학자들이 북한으로 이동해서 관여한 것으로 추정하고 있다.

북한은 무수단미사일의 영상을 제공하지는 않았지만 2007년에 처음으로 선보였다. 2009년 말에는 북한이 무수단미사일을 이란에 수출한 것으로 보도되었다. 무수단미사일은 2010년 10월에 외국 언론을 초청한 군사퍼레이드에서 처음으로 모습을 드러냈다. 10월의 퍼레이드에서는 당시까지 거의 알려지지

않았던 노동미사일의 파생 미사일을 처음으로 공개했다. 이는 이란의 가더(Ghader)-1 미사일과 매우 유사한 삼중콘(Triconic Nose Cone) 형상을 가지고 있었다.

2006년 7월 북한은 대포동-2 장거리미사일을 포함하여 다양한 탄도미사일 시험발사를 수행했다. 대포동-2 미사일은 이륙 후 약 40~42초만에 폭발했다. 2009년 4월 5일 북한은 은하-2호 위성발사체를 발사했다. 이는 대포동-2 미사일을 변경한 장거리로켓이었다. 비록 북한 언론매체가 위성을 궤도로 성공적으로 발사하였다고 주장했지만 누구도 우주궤도에서 북한의 위성체를 발견하지 못했다. 3단 로켓의 발사는 1단 추진체가 한반도와 일본 사이의 수역에 낙하되면서 기술적으로 실패한 것으로 보였다. 탑재체와 함께 나머지 단은 태평양 해역으로 추락한 것으로 추정된다.

2012년 4월 12일, 북한은 김일성 탄생 100주년을 맞이하여 은하-3호 로켓을 이용하여 위성을 궤도에 올리는 발사를 시도했다. 발사는 1단 엔진의 연소 종료시점에서 실패하여 1단 추진체는 서해 앞바다로 추락하였다. [그림 1]은 은하-3호 발사체와 대포동 2호 장거리미사일의 모습을 보여준다.



[그림 1] 은하-3호 발사체(좌) 대 대포동-2호 장거리미사일(우)

2012년 12월에 북한은 서해발사장에서 은하-3호 장거리로켓을 재발사하여 성공적으로 위성을 궤도에 올려놓았다. 북한은 이 로켓을 평화적 용도의 우주발사체로 주장하였지만 내포된 기술은 장거리미사일 기술검증을 위한 발사로 판단된다. 핵탄두를 운반하기 위해서 로켓은 재진입체(Reentry Vehicle)를 추가해야 하는데, 이는 첨단기술 및 고급 소재를 필요로 하며 북한은 이러한 기술을 보유하고 있지 않은 것으로 평가했다. 하지만, 북한은 대기권 재진입에 따른 고온에 견딜 수 있는 소재 기술을 가지고 있다는 것을 보여주기 위해 2016년 3월 15일 스커드 엔진으로부터 내뿜는 배기가스에 견디는 재진입체 노즐 콘 형상의 소재 삭마 특성시험을 보여준 바 있다.

한편 2016년 3월 24일 북한은 [그림 2]에서 보여주는 바와 같은 고 추력의 고체추진제 로켓모터 지상연소시험 장면을 보여주었다.



[그림 2] 고 추력 고체추진제 로켓모터의 지상연소시험 광경

북한은 2007년 무수단미사일을 공개한 후 2016년 초까지 단 한 차례도 무수단미사일의 시험비행을 수행한 적이 없었다. 북한은 2016년 들어 연속적으로 무수단미사일 시험발사를 시도했다. 4월 15일 첫 발사에 실패한 이후 13 일 만인 4월 28일 2~3차 발사를 시도했다. 5월 31일에는 4차 발사를 시도하였으며 6월 22일 5~6차 발사시험을 연속적으로 감행했다. 이 과정에서 오직

6차 발사시험 한 차례만 성공했을 뿐이고 나머지 시도에서는 모두 실패했다.

북한은 단거리 전술탄도미사일인 KN-02를 제외하고는 모든 미사일에 액체추진제를 사용해왔다. 액체추진제는 강력하고 효율적인 추진시스템이고 연소조절과 방향제어가 가능하나, 복잡한 구조장치를 가지며 보관이 까다롭고 액체추진제를 주입하는데 긴 시간이 소요되어 전장 환경에서 단점을 가진다. 그러나 고체추진제는 일단 미사일 제작 후에는 추진제 주입과 같은 발사준비가 불필요하여 전장 환경에서 필요시 바로 발사할 수 있기 때문에 은밀성과 신속성이 뛰어나다.

북한은 2016년 4월 23일과 7월 9일 고체추진제 로켓모터를 사용한 북극성-1 SLBM의 시험발사를 수행하였고 8월 24일 고각발사를 통해 사거리 500km를 비행하여 성공하였다. 이후 2017년 2월 12일 북한은 북극성-1 SLBM의 시험발사 성공 이후 6개월 만에 북극성-2 중거리미사일의 시험발사를 성공적으로 수행하였다. [그림 3]은 북극성-1 SLBM의 시험발사 장면을 보여준다.



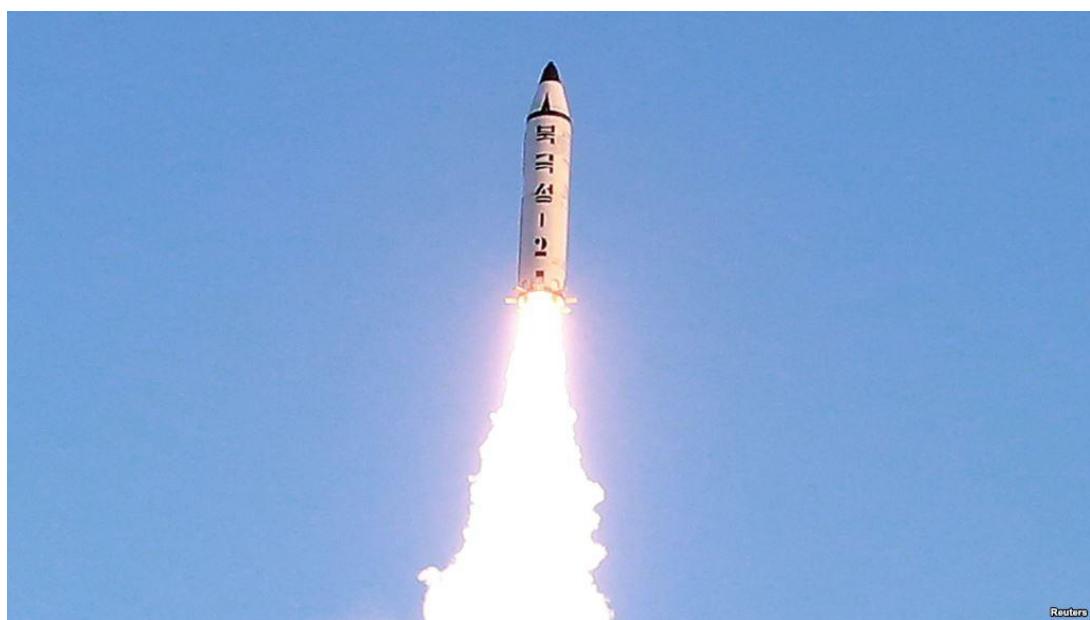
[그림 3] 2016년 4월 23일 북극성-1 SLBM 시험발사 장면

북한은 북극성-1 SLBM과 북극성-2 중거리미사일의 성공적인 시험발사를 통해 고체추진제를 사용한 탄도미사일 기술에 상당한 진전을 이루었다. 이후

북한은 고추력 대형액체엔진인 백두산엔진을 이용하여 2017년 5월 14일 화성-12 IRBM을 고각으로 발사했다. [그림 4]와 [그림 5]는 액체추진제를 사용하는 화성-12 IRBM과 고체추진제를 사용하는 북극성-2 중거리미사일의 시험발사 장면을 각각 보여준다.



[그림 4] 2017년 5월 14일 화성-12 IRBM 시험발사 장면



[그림 5] 2017년 2월 14일 북극성-2 중거리미사일 시험발사 장면

2017년 7월 4일과 7월 28일에는 백두산엔진을 1단 추진체로 탑재한 화성-14 ICBM을 고각으로 발사했으며, 2017년 8월 29일과 9월 15일에는 화성-12 IRBM을 일본 열도를 통과하며 정상궤적으로 발사하여 성공하였다. 북한은 화성-12 IRBM의 성공적인 정상궤적 시험발사와 함께 전력화 배치를 선언하였다. 이후 약 2.5개월 동안 탄도미사일 발사를 시도하지 않고 있다가 11월 29일 새벽에 신형의 화성-15 ICBM을 고각으로 시험발사했다. 화성-15 ICBM은 4,475km의 정점고도와 950km의 사거리를 비행한 후 일본 배타적경제수역(EEZ) 내에 탄착한 것으로 알려졌다. 이는 정상궤적으로 발사할 경우 13,000~14,000km의 사거리를 갖는 것으로 추정할 수 있으며, 본 연구팀에서 분석한 결과 600kg의 표준핵탄두를 탑재할 경우 11,000~12,500km(구조중량비; 8~10%)의 사거리, 그리고 450kg의 핵탄두를 탑재할 경우 12,500~15,000km(구조중량비 8~10%)의 사거리를 가진다. 이는 미국 동부를 포함한 본토를 타격할 수 있는 사거리 성능을 보유하는 ICBM을 처음으로 개발했다는 의미이다. [그림 6]과 [그림 7]은 화성-14 ICBM의 시험발사 장면 및 화성-15 ICBM의 시험발사 중 2기의 엔진 클러스터링을 보여준다.



[그림 6] 2017년 7월 4일 화성-14 ICBM 시험발사 장면



[그림 7] 2017년 11월 29일 화성-15 ICBM 시험발사 장면 및 엔진 클러스터링

북한은 화성-15 ICBM 시험발사 이후 미국, 러시아, 중국에 이어 세계 4번째로 10,000km급의 ICBM 보유국으로 인정받을 가능성이 높으며, 현재 고체 추진제 로켓모터를 사용한 IRBM과 ICBM을 제외한 모든 종류의 미사일을 보유하게 되었다. [표 1]은 북한의 탄도미사일 현황을 정리한 것이다.

북한과 한국의 지정학적 위치를 고려한다면 북한이 탄도미사일을 이용하여 한국을 공격할 단거리미사일급의 탄도미사일에 의한 정상궤적 발사나 중거리미사일급 탄도미사일의 추진제 조절을 통한 정상궤적 발사 또는 고각발사를 통해 시도할 가능성이 가장 높다.

단거리미사일인 스커드 미사일의 발사용량이나 크기 등을 고려할 때 북한이 핵탄두미사일로 한국을 공격할 경우에 노동미사일에 의한 공격이 가장 유력할 것으로 추정된다. 따라서 본 연구에서는 노동미사일의 추진제 조절을 통한 정상궤적 발사와 고각발사, 그리고 개조된 스커드-B 미사일의 정상궤적 발사를 고려하여 사드의 요격 능력을 분석하였다.

[표 5] 북한의 탄도미사일 현황

구분	액체추진제	고체추진제
단거리미사일(SRBM) (0~1,000km)	스커드-B 스커드-C 스커드-ER	KN-02
중거리미사일(MRBM) (1,000~3,000km)	노동 무수단	북극성-1형(SLBM) 북극성-2형
중장거리미사일(IRBM) (3,000~5,500km)	화성-12형	
대륙간탄도미사일(ICBM) (5,500km~)	대포동-1형 대포동-2형 화성-14형 화성-15형	-

3. 핵탄두 탑재가 가능한 노동미사일

전술한 바와 같이 현재 상황에서 탑재중량이 제한되고 사거리가 짧은 스커드 미사일에 핵탄두를 탑재하여 공격하는 데는 상당한 제한이 따를 것으로 예측된다. 따라서 우리에게 가장 위협이 되는 잠재적 핵탄두미사일은 사거리가 1300~1500km에 이르는 중거리미사일인 노동미사일이다. 미사일은 설계 및 개발할 때 도달할 수 있는 최소 및 최대 사거리를 요구조건으로 설정하여 설계할 수 있으며, 통상 추력조절장치(추진제의 Cutoff 이용)의 장착이 가능하도록 설계한다. 북한 노동미사일의 경우 추력조절을 통해 1~1.5톤의 핵탄두를 싣고 500km 안팎의 단거리 발사도 충분히 가능하다. 이는 북한의 북부 미사일운용지역에서 서울이나 대전을 향해 핵공격을 감행할 수 있는 거리이다.

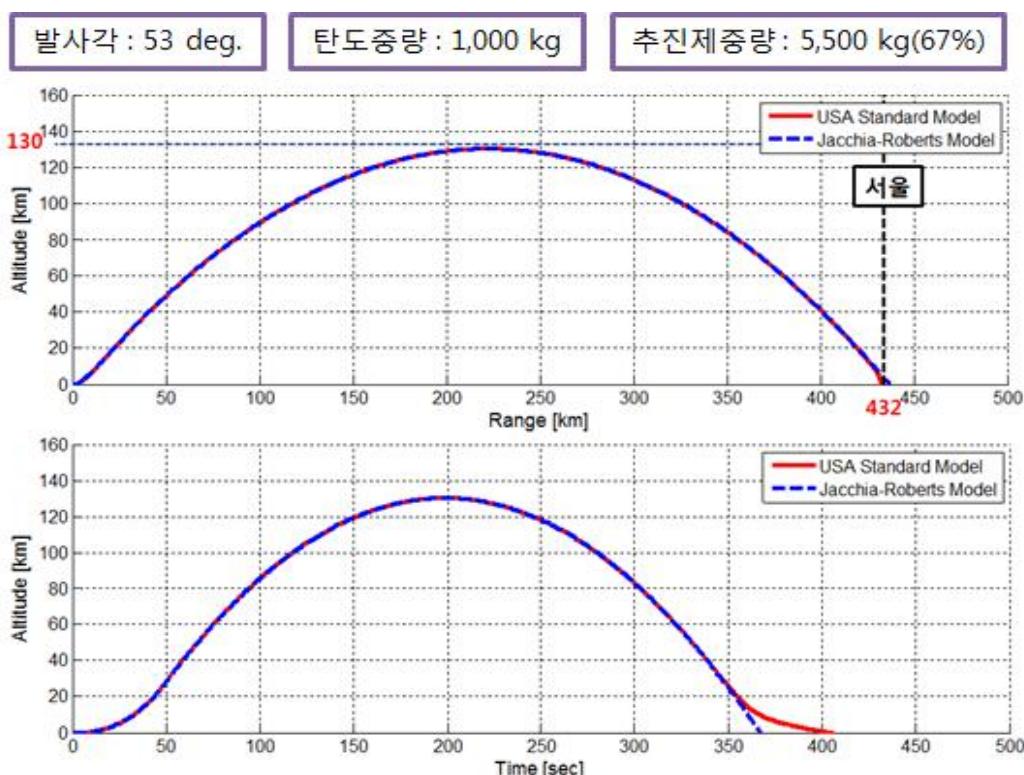
노동미사일의 제원 및 성능 특성은 [표 2]와 같다. 1단 액체추진제 로켓으로 이루어졌으며 최대 사거리는 1,300~1,500km에 이르는 것으로 알려져 있다. 북한의 지리적 한계 때문에 아직 최대 사거리의 시험비행은 수행한 바 없으나 동해를 향해 400~650km의 단거리 시험발사는 1993년 이후 수차례에 걸쳐 수행한 바 있다.

[표 6] 노동미사일 제원 및 성능 특성

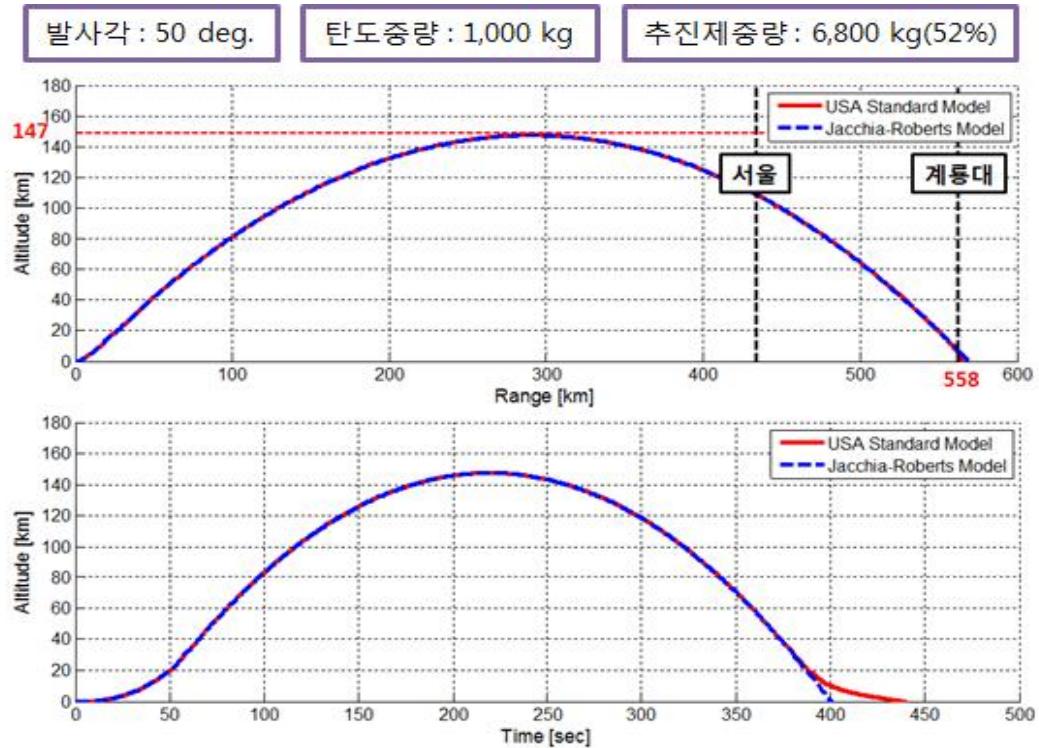
변수	값
길이	16 m
직경	1.35 m
최대사거리	1,300~1,500 km
탄두 중량	1,000 kg
전조 중량	2,000 kg
추진제 중량	13,000 kg
비추력	226 sec
연소시간	110 sec
추력	260 kN

주요 표적에 대한 노동미사일의 궤적분석 결과

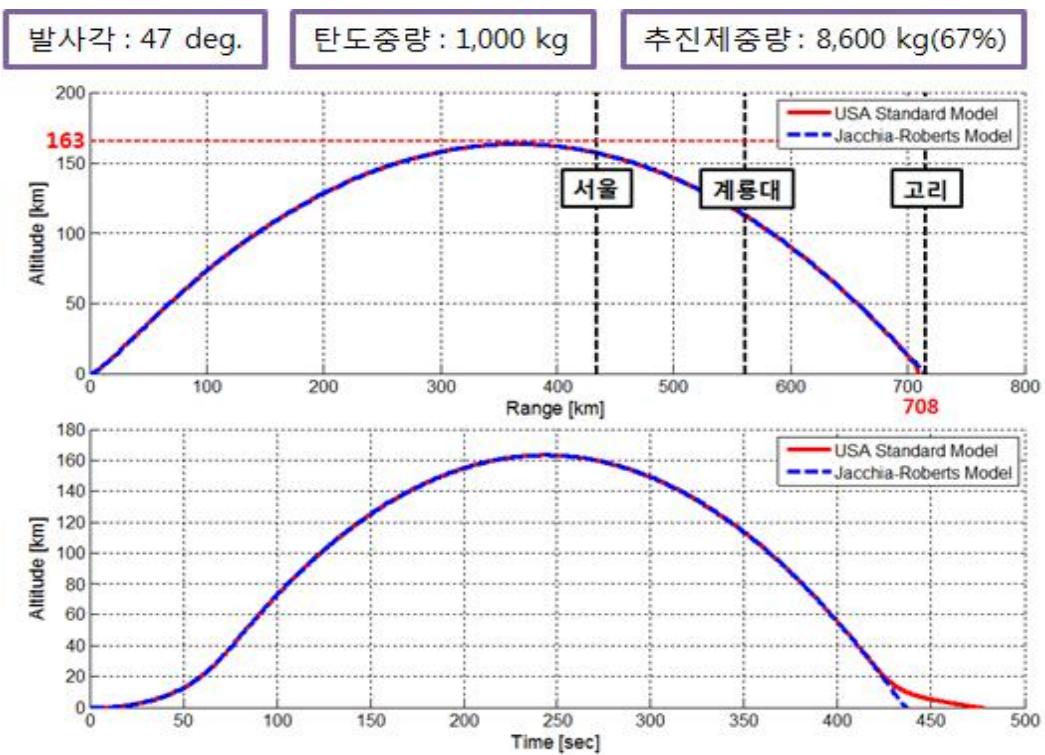
본 연구에서는 인구밀집지역인 서울, 군 지휘본부가 위치한 충남 계룡대 및 국가핵심시설인 경남 고리원전을 표적으로 공격할 때 노동미사일의 제원 및 성능을 기반으로 궤적을 분석하였으며, [그림 8]부터 [그림 10]은 대표적으로 서울, 충남 계룡대 및 부산 기장의 고리 원전을 타격할 때의 노동미사일의 궤적분석 결과를 보여준다. 서울부터 남해안까지 사거리가 708km 정도이며, 미사일의 최고 고도는 163km 안팎까지 상승하는 것을 볼 수 있다. [그림 9]에서 충남 계룡대를 타격하는 경우에는 사거리가 558km 수준으로 짧고 상대적으로 적은 양의 추진제를 탑재하여 발사하며 미사일 궤적의 최고 고도는 147km에 머무는 것을 알 수 있다. 탄두중량은 1톤을 기준으로 하였으나 1.5톤 이상으로의 증가도 가능할 것이다. 또한 노동미사일은 기본적인 형태의 단일 탄두를 가지는 탄도미사일로 가정하였으며 다탄두 형태나 미사일의 회피기동은 본 분석에서 고려하지 않는다.



[그림 8] 표적이 서울인 경우 고도-사거리 / 고도-시간 그래프



[그림 9] 표적이 계룡대인 경우 고도-사거리 / 고도-시간 그래프



[그림 10] 표적이 고리인 경우 고도-사거리 / 고도-시간 그래프

4. 고고도미사일방어체계(사드)의 구성 및 특성

사드의 구성

고고도미사일방어체계(THAAD; Terminal High Altitude Area Defense Missile)는 미 육군에서 개발한 탄도미사일 요격체계이며 제작사는 록히드 마틴(社)이다. 현재는 미사일방어청(MDA; Missile Defense Agency)의 사업이 되었다.

적의 탄도미사일을 요격하는 사드 미사일은 대기권 내의 성층권과 전리층 사이에서 탄도미사일을 요격한다. 사드 요격미사일은 미사일에 내장된 KV (Kill Vehicle)이라는 요격체가 적의 탄도미사일을 파괴한다. 요격체는 패트리엇-3(PAC-3) 미사일과 같이 탄도미사일에 직접 충돌해 파괴하는 “Hit-to-Kill” 방식을 사용한다. 이러한 “Hit-to-Kill” 방식은 운동에너지만으로 표적을 제거하며 핵과 화학탄을 탑재한 탄도미사일을 요격하는데 효과적인 것으로 알려져 있다.

[그림 11]은 발사통제 및 통신(Fire Control & Communication)과 부스터(Booster) 및 요격체(Kill Vehicle), 발사대(Launcher), 레이더(Radar) 등으로 구성된 사드 체계의 구성 및 특성을 보여준다.

Fire Control & Communication	Booster & Kill Vehicle	Launcher	Radar
 <ul style="list-style-type: none">미사일 요격 계획 및 제어탄도미사일방어시스템(BMDS)의 정보처리 및 상호운용유연한 미사일 요격 운용	 <ul style="list-style-type: none">내기권(Endo)/외기권(Exo)에서 운용 가능1단 고체추진제 부스터Hit-to-Kill 방식Single Shot Probability of Kill (SSPK)	 <ul style="list-style-type: none">1개 발사대 당 8기의 미사일1개 포대 당 6대의 발사대 운용제정전에 30분 소요	 <ul style="list-style-type: none">이동식 X-band 레이더미사일 탐지 및 추적광범위한 탐지범위(~2,000km)

[그림 11] 고고도미사일방어체계(사드) 체계 구성

발사통제 및 통신장치는 미사일의 요격계획을 수립하고 미사일의 지상관제 및 제어를 담당한다. AN/TPY-2 레이더에서 적의 탄도미사일을 포착하여 표

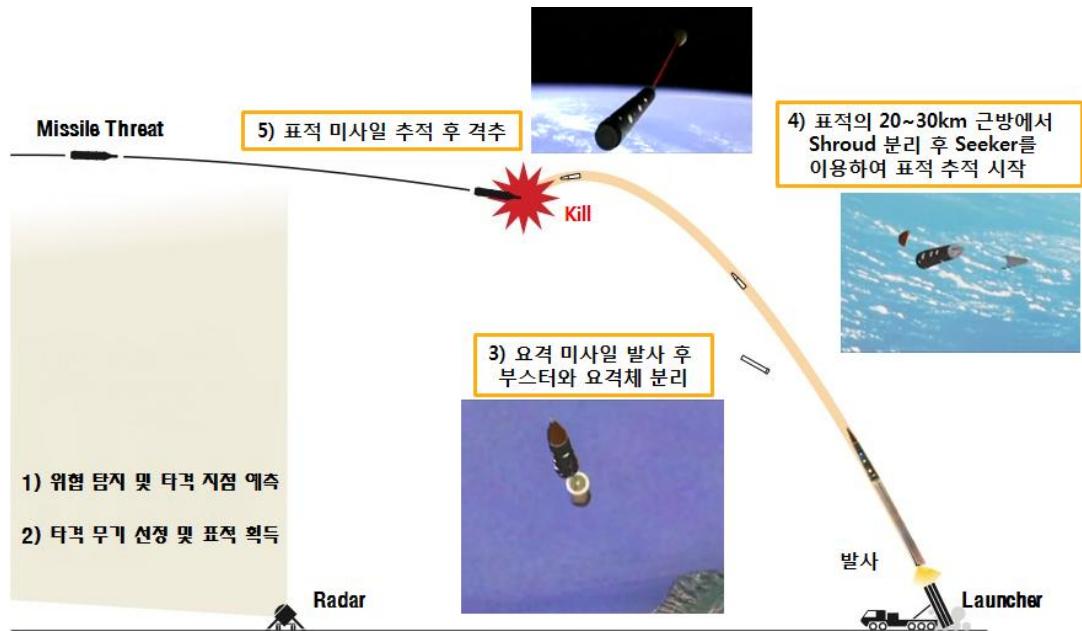
적정보를 보내면 발사통제 및 통신장치에서는 탄도미사일의 비행궤적을 계산하여 요격미사일을 발사하고 실시간으로 미사일의 지상유도를 제어한다.

부스터 및 요격체는 사드 요격미사일을 의미하며 고도 40~150km, 사거리 최대 200km에서 운용이 가능하다. 부스터는 1단 고체추진제 로켓을 이용하며 추력편향제어(TVC; Thrust Vector Control) 방식으로 비행방향 및 자세를 제어한다. 부스터는 대기권 밖에서 분리되며 실제 탄도미사일을 요격하는 요격체는 적외선 추적기(IR Seeker)를 이용하여 탄도미사일을 추적한다. 요격체는 궤도수정을 위해 무게중심 부근의 4개의 궤도제어장치(DCS; Divert Control System) 노즐과 자세제어를 위한 요격체 후미의 6개의 자세제어장치(ACS; Attitude Control System) 노즐로 구성된 궤도수정 및 자세제어장치(DACS; Divert and Attitude Control System)에 탑재된 10개의 추력기를 이용하여 궤도와 자세를 제어한다.

사드미사일 발사대(Launcher)는 1개 발사대 당 8개의 미사일을 발사할 수 있으며, 미사일을 발사한 후 다음 발사를 준비하는데 30분 이상 소요되는 것으로 알려졌다.

사드요격체계에서 요격미사일을 어느 방향으로 발사하고 요격시간 및 요격지점 등에 대한 사전 계산을 위한 데이터를 제공하는 장비가 레이더이다. 레이더는 사드체계 비용 중 거의 절반 이상을 차지하는 것으로 알려져 있다. 사드체계의 X-밴드 레이더(Radar) AN/TPY-2는 동일한 장비 내에서 소프트웨어 및 통신체계가 상이한 두 가지 모드 및 기능을 구현한다. 전방배치모드(FBM; Forward-Based Mode)는 미사일이 상승할 때 탐지하고 추적하는 역할을 하며 조기경보레이더(Early Warning Radar)에 해당한다. 종말모드(TM; Terminal Mode)는 하강단계에서 실제 공격하는 미사일을 요격하기 위해 추적 및 식별하는 역할을 수행한다. 레이더의 탐지거리는 종말모드의 경우 약 1,000km, 전방배치모드의 경우 약 4,600km까지 가능한 것으로 알려져 있다. 특히 레이더는 특성상 시야각(FOV; Field of View)의 조절을 통해 탐지거리 를 조절할 수 있다. 즉, 시야각을 좁히면 상대적으로 긴 거리를 탐지할 수 있고 시야각을 넓히면 탐지거리가 줄게 된다. 종말모드에서 전방배치모드로 또는 그 역으로 전환하는 경우 8시간 정도가 소요되는 것으로 알려져 있다. 현재 미국은 한층 신속한 대응을 위해 모드 전환이 필요 없는 개량형 사드

레이더를 개발 중인 것으로 알려져 있다.



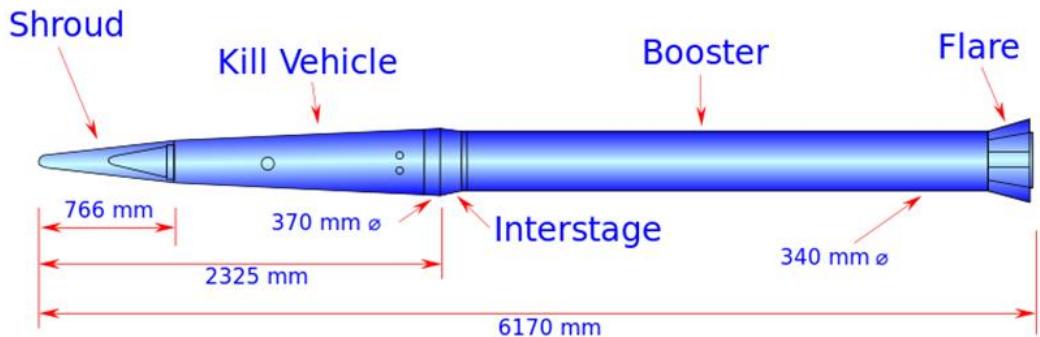
[그림 12] 고고도미사일방어체계(사드) 미사일 요격 개념

[그림 12]는 사드체계의 미사일 요격개념을 보여준다. 적의 탄도미사일이 발사된 후 X-밴드 레이더에서 미사일을 포착하게 되면, 예상 타격지점을 예측하여 요격미사일을 발사하게 된다. 요격미사일은 비행하는 동안 지상에서 실시간으로 유도되며 부스터와 요격체가 분리된다. 요격체는 지속적으로 표적을 향해 비행하다 표적 20~30km 근처에 도달하게 되면, 보호덮개(Shroud)를 분리하고 적외선 탐색기(IR Seeker)를 이용하여 표적을 정밀추적하기 시작한다. 정밀추적을 지속하다 최종적으로 표적과 충돌하여 적의 탄도미사일을 파괴하게 된다.

사드 요격미사일의 특성 및 제원

본 분석을 위해 사용된 사드 요격미사일의 제원 및 특성은 인터넷에서 발표된 제원을 기준으로 하였으며, 사드 미사일의 특성 및 성능은 이들 제원을 기반으로 유추하여 도출하였다. [그림 13]은 사드 요격미사일의 제원 및 형상을 보여준다.

길이	직경	최대속도	사거리	최대고도	요격방식	유도방식	중량
6.17 m	0.34 m	M 9.4	200 km	150 km	직접명중	Active	900 kg



[그림 13] 사드 요격미사일 제원 및 형상

기본적으로 사드 요격미사일은 분리형 유도식 형태로 탄도미사일의 위치와 방향 데이터를 실시간으로 전송받아 추적한다. 1단 부스터(Booster)에서 추력 편향제어(TVC, Thruster Vector Control) 방식으로 방향 및 자세를 제어하며, 부스터 분리 후 요격체는 궤도수정 및 자세제어장치(DACS; Divert and Attitude Control System)를 이용하여 방향과 자세를 제어한다. 본 분석에서는 분석 조건의 단순화를 위해 일단 사드 미사일을 1단 탄도미사일 형태로 분석을 수행하였다.

현재 공개된 사드 미사일의 중량은 900kg으로 알려져 있으나, 추진제 질량, 견조 질량, 비추력 등 미사일의 궤도분석에 필요한 세부 정보는 알 수 없다. 본 분석에서는 일반적인 고체로켓추진제를 고려하여 성능을 나타내는 비추력은 270초, 연소시간은 9초로 가정하였으며, 비추력과 미사일의 제원을 바탕으로 사드 요격미사일이 최대 요격고도 150km 이상까지 상승하는데 요구되는 추력(124kN)과 추진제 중량(440kg)의 조합을 추정하였다. 이러한 가정 및 추정을 통해 사드 요격미사일 궤도분석에 사용된 인자들은 [표 3]과 같다. 전술한 바와 같이 제시한 분석결과는 사드미사일의 정확한 규격이 적용하지 않아 오차가 있을 수 있음을 밝혀둔다.

[표 7] 사드 요격미사일 궤적 분석 조건

변수	값
길이	6.17 m
직경	0.34 m
사거리	200 km
최대 요격고도	150 km
건조 중량*	460 kg
추진제 중량*	440 kg
비추력*	270 s
연소시간	9 s
추력	124 kN

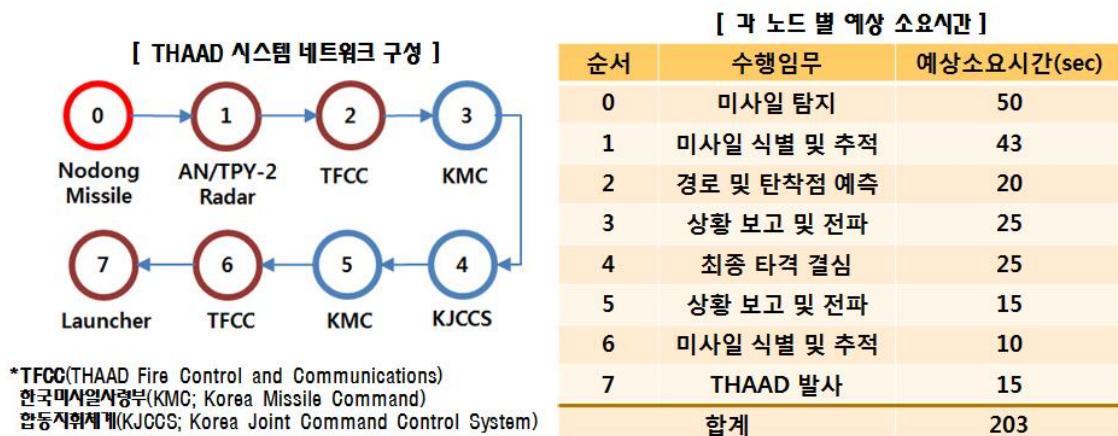
* 가정치

사드 체계의 네트워크 구성 및 노드별 예상 소요시간 분석

사드 요격미사일의 발사준비 전에 먼저 적의 미사일 탐지와 식별을 수행하여야 하며, 여기에 소요되는 시간은 2012년 북한의 은하-3호 발사체 발사 시에 한국군 세종대왕함의 탐지 및 식별 사례를 기준으로 산출하였다. 사드 발사준비 소요시간은 총 110초로 가정하였으며, 다음 표와 같이 이는 미사일을 발사하기 위한 절차를 분석하여 각 절차 별로 소요되는 시간의 합으로 계산하였다. 따라서 적의 미사일 탐지 및 식별부터 발사준비까지 사드 미사일 발사를 위해 소요되는 총 시간은 203초로 예측하였다. [그림 14]는 사드 시스템 구성과 시스템을 구성하는 각 노드별로 예상되는 소요시간을 나타낸다.

사드체계의 네트워크 구성에서 0번 노드는 노동미사일이 발사된 상황을 의미하며, 발사된 노동미사일을 사드체계에 포함되는 레이더가 탐지하기까지 약 50여초가 소요되는 것을 가정(은하-3호 발사체 탐지 기준)하였다. 미사일을 탐지한 후 해당 미사일이 어떤 종류인지 식별하고 추적하는데 소요되는 시간은 약 43초로 가정(은하발사체 식별 및 추적 기준)하였다. 그 후 사드체계의 TFCC는 해당 적 미사일의 경로 및 탄착 지점을 예측하며, 예측 결과를 한국미사일사령부(KMC)로 전달한다. 미사일사령부는 합동지휘체계(KJCCS)로 상황 보고를 한 후, 발사 승인을 받아 사드 요격미사일을 발사한다. 0번과 1번 노드를 제외한 나머지 노드에서 소요되는 시간은 보고 및 통신체계의 현 실성을 가정하여 도출하였다. 본 연구에서는 사드체계의 요격 발사를 전자동

으로 전환하였을 경우 네트워크 소요시간을 110초가 아닌 50초로 가정하여 추가 분석도 수행하였다



[네트워크 자동화 시]

순서	수행임무	예상소요시간(sec)
0	미사일 탐지	50
1	미사일 식별 및 추적	43
2	경로 및 탄착점 예측	사드체계 자동화를 통한 시간 단축
3	상황 보고 및 전파	
4	최종 타격 결심	
5	상황 보고 및 전파	
6	미사일 식별 및 추적	
7	사드 발사	
합계		143

[그림 14] 사드 체계의 네트워크 구성 및 자동화 및 비자동화 시 노드별 예상 소요시간

북한 핵미사일 대응체계로서의 킬 체인 및 KAMD와의 연동

정부에서는 북한의 핵미사일 위협에 대응하는 방안으로 두 가지 체계 구축을 추진하고 있다. 하나는 북한 이동식미사일발사대(TEL)의 명확한 발사징후

를 탐지 및 식별하여 발사 전 선제타격을 통해 무력화하는 방안인 킬-체인(Kill-Chain) 체계이며, 다른 하나는 일단 킬-체인 선제타격시스템을 피하여 북한이 미사일 공격을 해오는 경우 우리 영토로 날아오는 미사일을 요격미사일로 격추하는 한국형미사일방어체계(KAMD)이다.

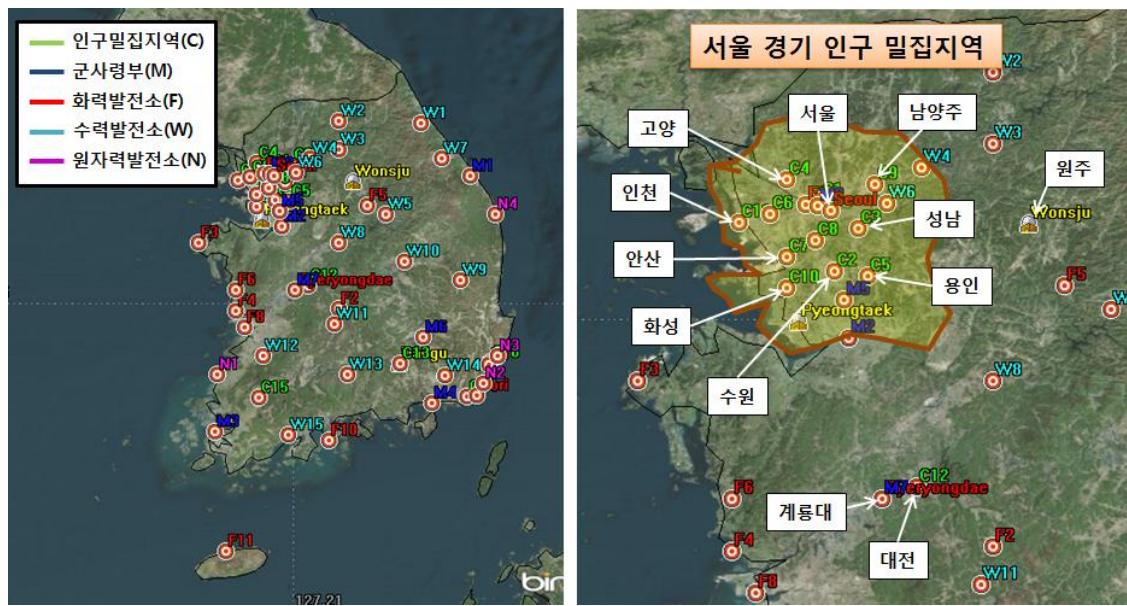
하지만, 현재 우리나라가 보유하고 있는 요격미사일은 요격능력이 극히 제한적인 패트리엇(PAC)-2 미사일뿐이며, 향후 KAMD 체계구축에서 획득하고자 하는 요격미사일 체계(PAC-3)도 대부분 저층방어 위주로 되어 있어 중고도 및 고고도방어체계인 사드체계는 방어능력만 검증된다면 북한의 핵미사일 위협에 중요한 연동 방어체계가 될 것이다. 하지만, 이러한 연동체계는 KAMD가 미국의 미사일방어체계(MD)와 연동된다는 의심의 눈초리를 피할 수 없는 상황을 맞을 수 있다.

5. 한국 내의 북한 핵미사일 예상 공격 표적 분석

먼저 사드 요격미사일의 요격범위에 대한 분석을 위해 전시에 국내 주요 타격 목표물을 가정하였다. 목표물은 크게 청와대, 정부종합청사, 국방부, 과천정부청사를 포함하는 서울시 전역 및 경기도 일원과 인구가 백만 명 이상인 주요 광역시, 주요 군사령부, 발전소 등으로 구성된다. 특히 서울시와 경기도는 한국 인구의 절반이 거주하기 때문에 북의 핵미사일 공격에 대한 실질적인 보호 대응책이 요구된다. 경기도의 주요 목표 도시는 인구 50만 이상의 도시를 대상으로 하였으며, 군사령부에서는 육군, 해군과 공군, 기타 주한 미군 및 3군 본부가 위치한 기지를 대상으로 한다. 발전소의 경우 화력발전소, 수력발전소, 원자력발전소를 대상으로 한다. 이를 모두 포함하는 주요 목표물 위치는 총 53곳이며 [표 4]와 같다. 또한 다음의 [그림 15]는 전시 주요 목표물을 지도에 표시한 모습을 나타낸다.

[표 8] 전시 주요 목표물 위치

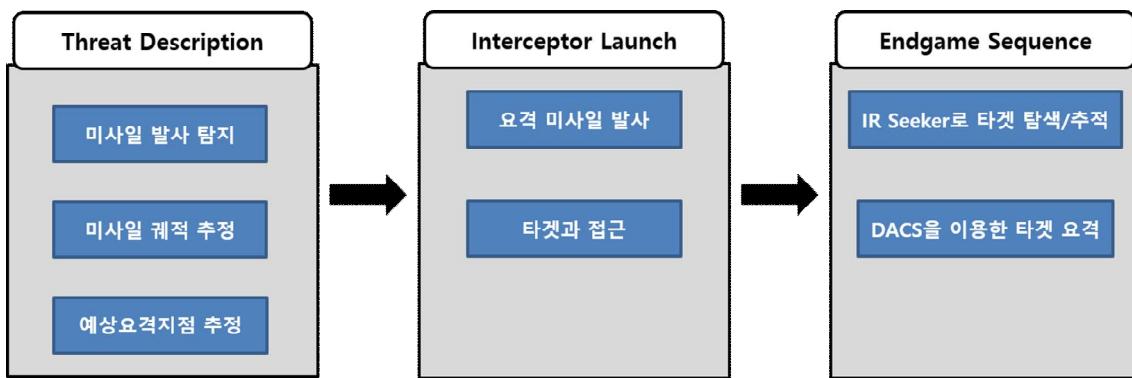
주요시설	위 치
인구밀집지역	청와대, 정부청사, 국방부, 합참 등을 포함하는 서울시 전역 및 경기도 일원(수원, 성남, 고양, 용인, 부천, 안산, 안양, 남양주, 화성) 및 주요 광역시(인천, 대전, 대구, 부산, 울산, 광주)
군사령부	(해군) 1함대, 2함대, 3함대, 잠수함사령부 (공군) 북부전투사령부, 남부전투사령부 (기타) 계룡대, 용산 기지
발전소	(화력) 당진, 보령, 서천, 군산, 여수, 영남, 영월, 영동, 마산 등 (수력) 양양, 청평, 청송, 예천, 무주, 신청, 삼량진, 화전, 춘천 등 (원자력) 월성, 고리, 한울, 영광



[그림 15] 전시 주요 타격 목표를 위치 및 서울 경기 인구 밀집지역

6. 탄도미사일 요격의 기본 원리

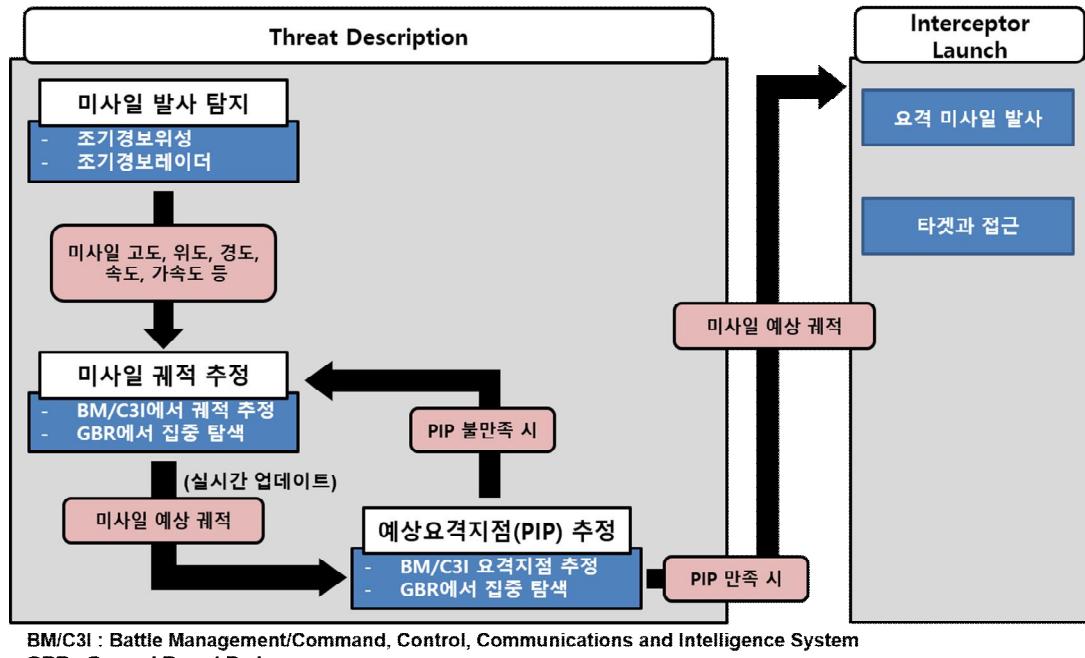
다음 [그림 16]은 탄도미사일 요격의 3단계를 나타낸다. 탄도미사일 요격단계는 미사일 발사를 탐지하고 궤적을 추정하여 예상요격지점을 추정하는 위협평가(Threat Description) 단계, 예상요격지점으로 요격미사일을 발사하여 목표물과 접근하는 요격미사일 발사(Interceptor Launch) 단계, 요격미사일에서 요격체(Kill Vehicle)가 분리되어 탄도미사일의 탄두를 탐색하여 요격하는 요격종료(Endgame Sequence)의 3단계로 분류할 수 있다.



[그림 16] 탄도미사일 요격의 3단계

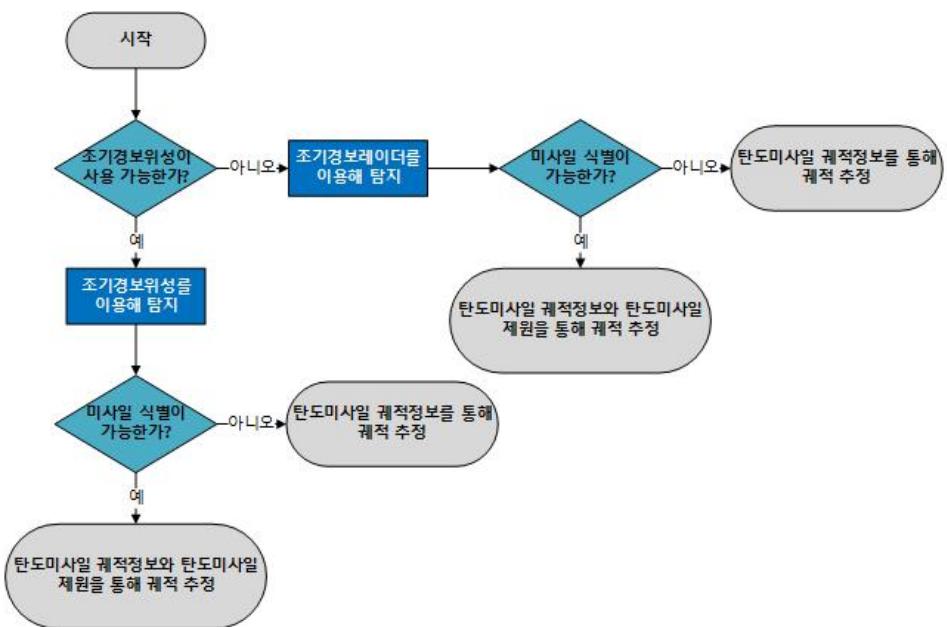
[그림 17]은 위협평가 단계를 보여준다. 위협평가 단계에서는 조기경보위성이나 조기경보레이더를 통해 적의 탄도미사일 발사를 탐지한다. 미사일 발사 탐지의 경우 조기경보위성의 가용여부와 미사일 식별 가능여부에 따라 미사일 궤적을 추정하는 조건이 달라진다. 조기경보위성이 사용가능한 경우 탄도미사일 발사 초기부터 탄도미사일 궤적정보(고도, 위도, 경도, 속도, 가속도 등)를 통해 미사일 궤적을 추정할 수 있다. 조기경보위성의 사용이 불가능한 경우 지상의 조기경보레이더를 통해 탐지하며 조기경보레이더를 통해 미사일을 탐지할 경우 탄도미사일 발사 초기 궤적정보를 확보하기 어렵다. 조기경보위성과 조기경보레이더로 탄도미사일을 탐지 후 식별이 가능한 경우 현재 궤적정보와 탄도미사일의 제원을 통해 탄도미사일의 궤적을 추정할 수 있다. 이를 통해 단순 궤적정보만을 통한 추정에서 식별된 탄도미사일의 최대사거리, 정점고도, 비행시간 등을 참고하여 예상되는 최대사거리, 정점고도 비행시간 등의 오차를 줄일 수 있으며 빠른 시간 내에 예상요격지점을 추정

할 수 있다. 이후 조기경보위성과 조기경보레이더는 미사일 발사를 탐지한 이후에도 지속적으로 미사일을 추적하여 BC/C3I(Battle Management/Command, Control, Communications and Intelligence)에 궤적정보를 전송하고 BM/C3I에서 궤적을 추정하여 예상요격지점(PIP; Predicted Intercept Point)을 추정하며 만족할만한 오차가 나오는 시점까지 실시간으로 예상요격지점이 업데이트 된다.



[그림 17] 탄도미사일 요격의 위협평가 단계

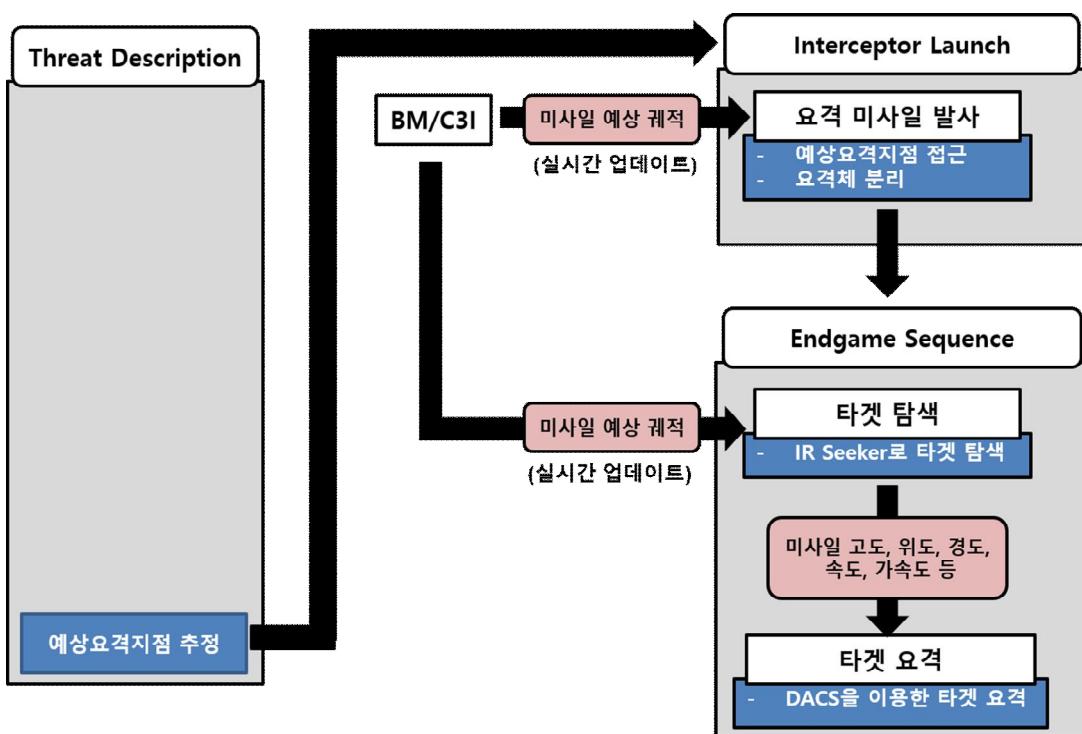
[그림 18]은 이러한 조기경보위성의 가용여부와 탄도미사일 식별여부에 따른 탄도미사일 발사 탐지 및 궤적추정 과정을 나타낸다.



[그림 18] 탄도미사일 발사 탐지 및 궤적추정 과정

[그림 19]는 탄도미사일 요격의 위협평가 단계 이후 요격미사일 발사단계와 앤드게임 시퀀스 단계를 보여준다. 위협평가 단계에서 요격지점을 추정한 후 요격미사일이 발사된다. 요격미사일은 예상요격지점까지 부스터를 이용해 비행하며 예상요격지점 부근에서 요격체가 분리된다. 분리된 요격체는 BM/C3I의 추정된 실시간으로 업데이트 되는 미사일 예상궤적 정보와 적외선 추적기(IR Seeker)를 통해 목표물을 탐색 및 추적하며 궤도수정 및 자세제어장치(DACS)를 통해 목표물을 요격한다.

본 분석에서는 조기경보위성이 없는 한국의 상황을 고려하여 조기경보위성의 사용은 불가능하며 이지스함의 AN/SPY-1 레이더 및 지상의 조기경보레이더인 그린파인(Green Pine)을 통해 미사일 탐지 및 식별이 가능함을 가정하여 분석하였다.



[그림 19] 탄도미사일 요격의 요격미사일발사, 앤드게임 시퀀스 단계

7. 한반도 전장 환경에서 사드의 방어능력 분석

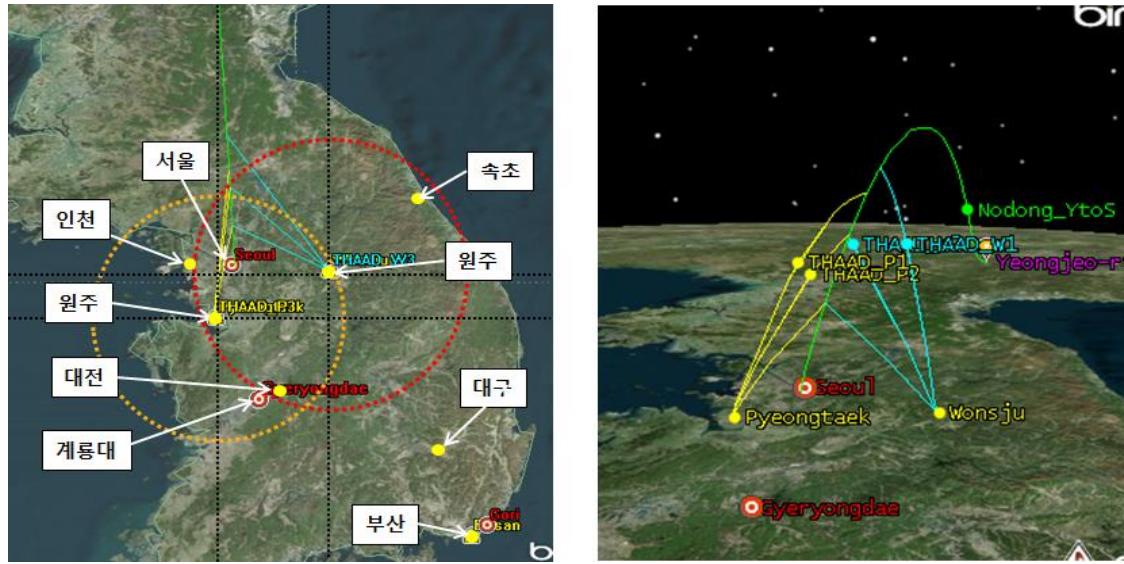
가. 북한 노동 핵미사일의 주요 표적 공격에 따른 사드의 방어능력 분석

본 절에서는 북한이 후방의 미사일운용지역(영저리)에서 핵탄두를 장착한 노동미사일을 이용해 서울, 충남 계룡대 및 경남 고리 원전에 대한 공격을 감행한다는 가정 하에 경기도 평택, 강원도 원주 및 대구 등에 배치하는 사드 요격미사일을 통해 요격할 수 있는 발사가능시간, 요격가능시간, 요격가능고도, 사거리 등을 분석하였다. 서울을 공격하는 경우를 [Case 1], 계룡대를 공격하는 경우를 [Case 2], 그리고 고리원전을 공격하는 경우를 [Case 3]로 구분하였다.

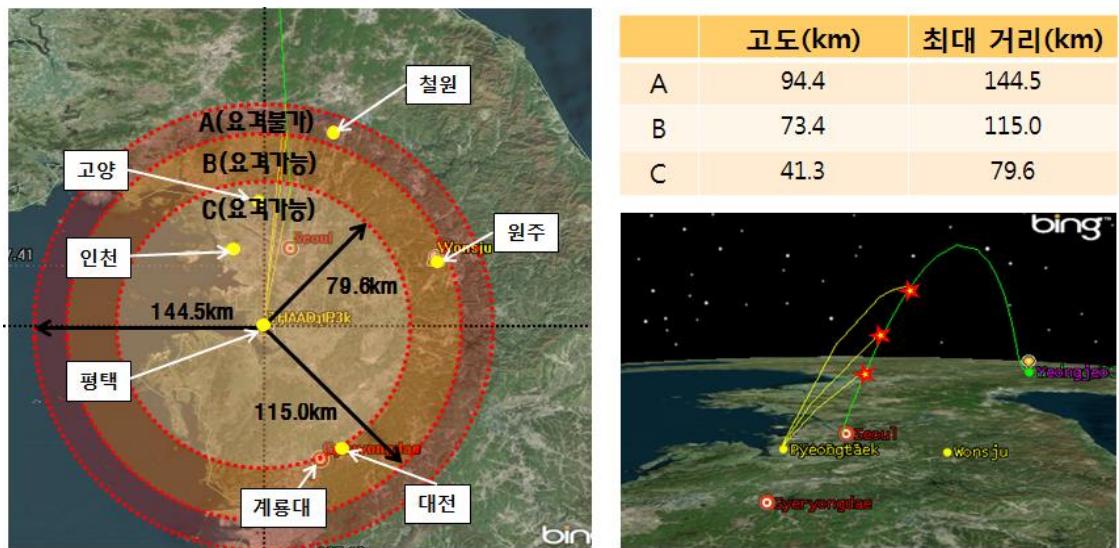
[Case 1] 북한 노동 핵미사일의 서울 공격에 따른 사드의 방어능력 분석

[그림 20]은 노동미사일이 서울을 공격하는 경우인 [Case 1]에 대해 평택과 원주에서 사드 요격미사일을 통해 요격하는 형상을 소프트웨어를 통해 모사한 것이다. 각 사드 미사일 배치 지점에서 보여준 원은 북한의 노동미사일이 서울을 공격할 경우에 요격할 수 있는 최대 사거리를 나타낸다.

[그림 21]은 노동미사일의 서울 공격 시 평택에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 1-1]에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대 사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드 체계의 발사준비 시간을 고려한 요격가능 최대고도, 그리고 사드 미사일 성능만을 고려한 요격 가능 최대고도 등을 모두 고려하여 분석하였다. 이는 해당 사드배치 지역에서 미사일 성능만을 고려할 때 요격이 가능한 고도라도 사드 발사준비가 완료되지 못하면 시간 내에 발사를 못해 요격이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문이다.



[그림 20] 서울 공격 시 평택·원주에서 요격하는 경우[Case 1]



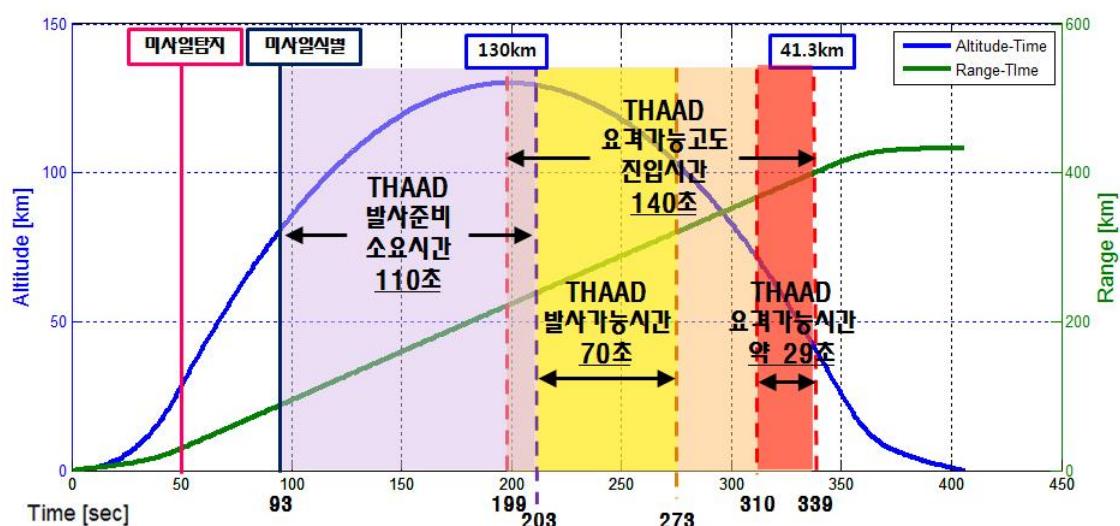
[그림 21] 서울 공격 시 평택의 사드미사일로 요격할 경우[Case 1-1]의 고도 및 최대 사거리

[그림 21]은 노동미사일의 서울 공격 시 평택에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 1-1]에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대 사거리를 보여주고 있다. 전술한 바와 같이 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드 체계의 발사준비시간을 고려한 요격가능 최대고도, 그리고 사드 미사일 성능만을 고려한 요격 가능 최대고도 등을 모두 고려하여 분석하였다. 이는 해당 사드배치 지역에서 미사일 성능만을 고려할 때 요격이 가능한 고도라도 사드 발사준비가 완료되지 못하면 시간 내에 발사를 못해 요격이 불가능

한 상황이 발생할 수 있기 때문이다.

[그림 21]의 A는 평택에 배치된 사드를 통해 서울 공격을 목표로 날아오는 노동미사일을 요격할 수 있는 최대고도 및 최대사거리이며 94.4km의 고도 및 144.5km의 사거리를 나타낸다. 이는 사드 요격미사일의 성능만을 고려할 때 도달할 수 있는 고도와 사거리이나, 노동미사일의 탐지 및 식별 그리고 사드 발사준비시간으로 요구되는 총 시간인 203초 이전에 요격미사일을 발사해야 요격이 가능한 고도이기 때문에 실제 요격이 불가능한 고도이다. B는 이를 탐지, 식별 및 사드 발사준비시간 등을 모두 고려한 후에 요격이 가능한 최대고도 73.4km 및 사거리 115.0km를 나타낸다. C는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소고도 41.3km 및 사거리 79.6km를 보여준다. [그림 21]에서 보는 바와 같이 노동미사일의 서울 공격 시 평택에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 1-1]에 요격이 가능한 고도는 41.3km에서 73.4km의 범위로 한정됨을 알 수 있다.

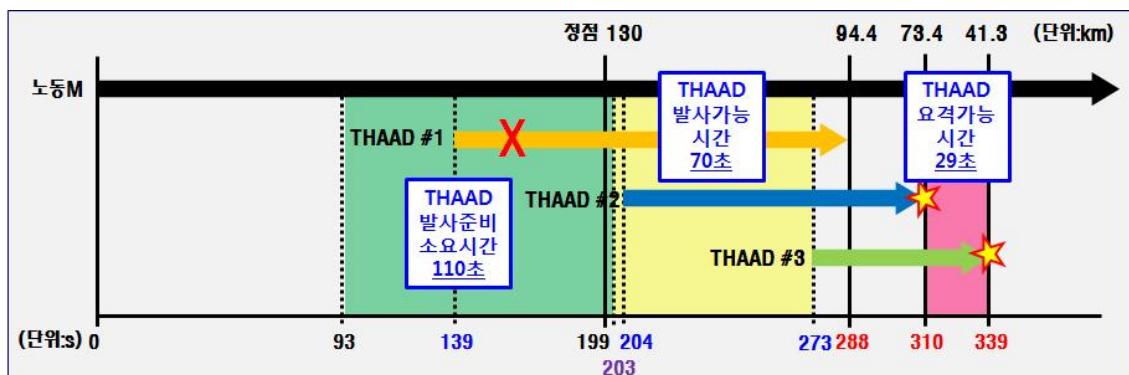
다음의 [그림 22]는 평택에서 사드 요격미사일을 통해 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입 시간, 요격가능시간 등을 보여준다.



[그림 22] 서울 공격 시 평택의 사드미사일로 요격할 경우[Case 1-1]의 타임라인

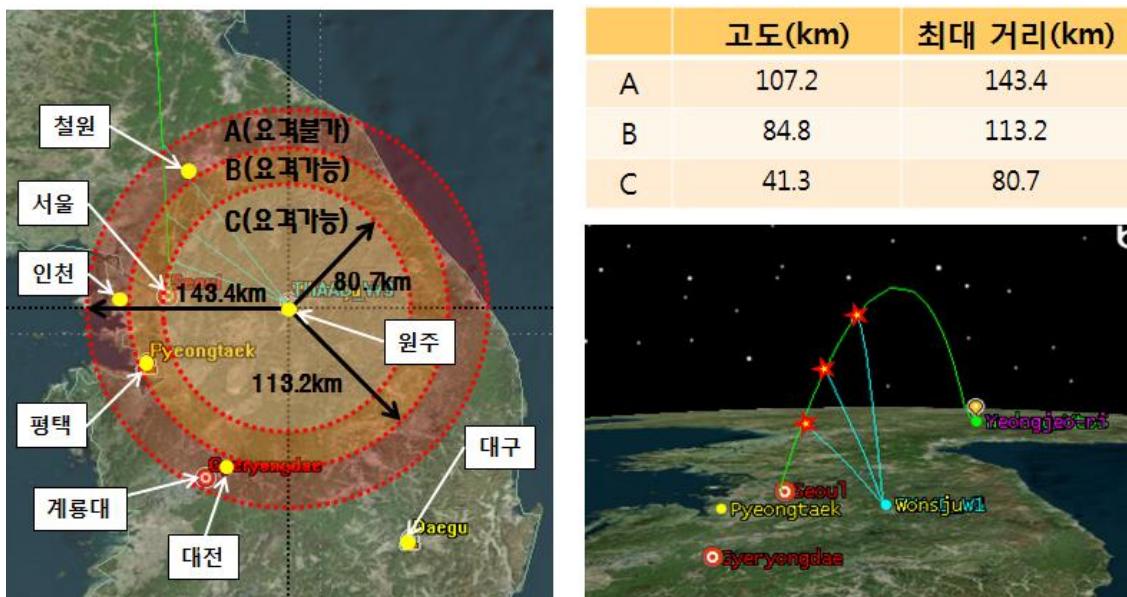
요격가능고도 진입시간은 노동미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드미사일 발사지점에서 노동미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 노동미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 노동미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다. 서울을 향해 발사된 노동미사일을 평택에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 70초임을 알 수 있다.

[그림 23]은 서울 공격 시 평택에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 평택에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 94.4km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 149초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 64초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 평택에서 요격 가능한 최대 고도는 사드 #2의 73.4km이다. 사드 #2 발사 후 적의 미사일을 처음 요격하는 시점은 310초이며, 따라서 서울 공격 시 평택에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 310초부터 사드 #3이 고도 41.3km에서 요격하는 시점인 339초까지 총 29초가 된다.



[그림 23] 서울 공격 시 평택의 사드미사일로 요격할 경우[Case 1-1]의 각 미사일 별 타임라인

[그림 24]는 노동미사일의 서울 공격 시 원주에 배치된 사드미사일로 요격하는 경우[Case 1-2]에 대해 사드미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드체계의 발사준비시간을 고려한 요격가능 최대고도, 그리고 사드미사일 성능만을 고려한 요격가능 최대고도 등을 모두 고려하여 분석하였다. 이는 해당 사드 배치지역에서 미사일 성능만을 고려할 때 요격이 가능한 고도라도 사드 발사준비가 완료되지 못하면 시간 내에 발사를 못해 요격이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문이다.

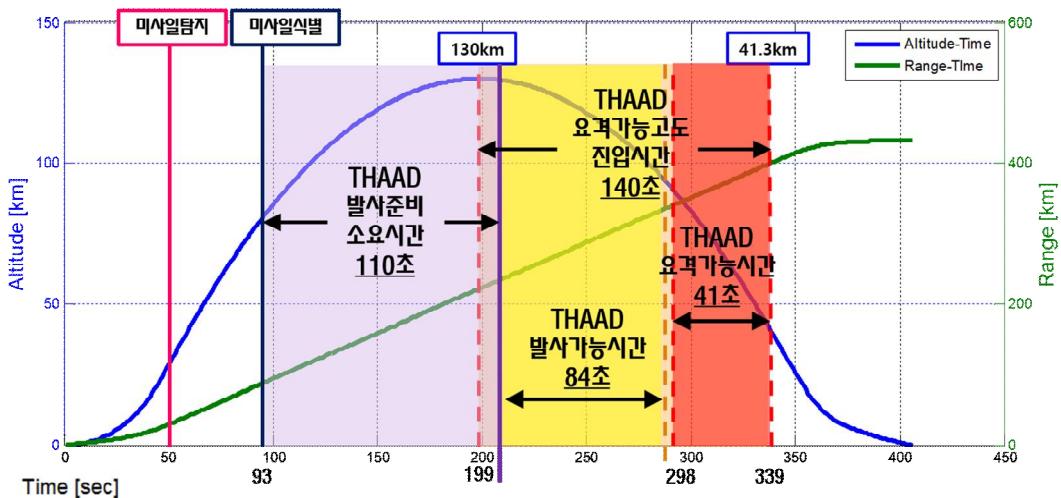


[그림 24] 서울 공격 시 원주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 1-2]의 고도 및 최대사거리

A는 원주에 배치된 사드를 통해 서울 공격을 목표로 날아오는 노동미사일을 요격할 수 있는 최대고도 및 최대사거리이며 107.6km의 고도 및 143.4 km의 사거리를 나타낸다. 이는 사드 요격미사일의 성능만을 고려할 때 도달 할 수 있는 고도와 사거리이나, 노동미사일의 탐지 및 식별 그리고 사드 발사준비시간으로 요구되는 총 시간인 203초 이전에 요격미사일을 발사해야 요격이 가능한 고도이기 때문에 실제 요격이 불가능한 고도이다. B는 이들 탐지, 식별 및 사드 발사준비시간 등을 모두 고려한 후에 요격이 가능한 최대 고도 84.8km 및 사거리 113.2km를 나타낸다. C는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소고도 41.3km 및 사거리 80.7km

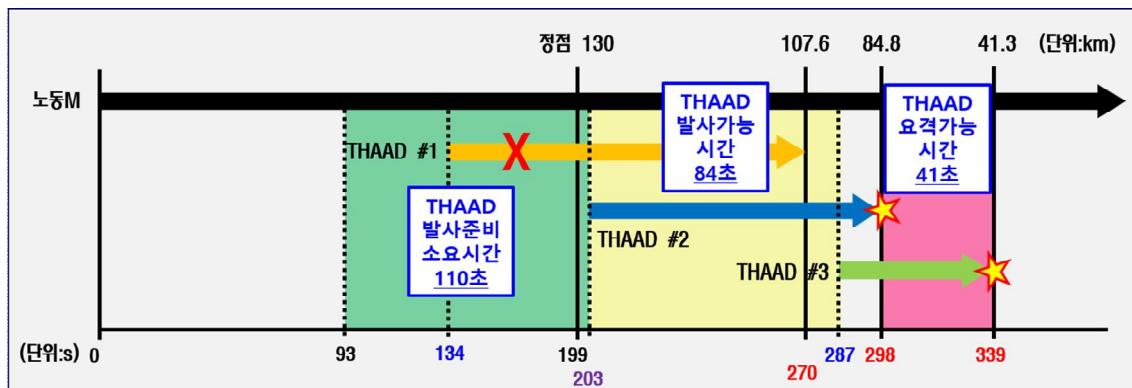
를 보여준다. 따라서 노동미사일의 서울 공격 시 원주에 배치된 사드미사일로 요격하는 경우[Case 1-2]에 요격이 가능한 고도는 41.3km에서 84.8km의 범위로 한정됨을 알 수 있다.

[그림 25]는 원주에서 사드 요격미사일을 통해 서울을 향하는 노동미사일을 요격하는 경우[Case 1-2], 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 변화와 이에 따른 사드미사일 관련 시간들을 나타낸다. 서울을 향해 발사된 노동미사일을 원주에서 사드 요격미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 84초임을 알 수 있다.



[그림 25] 서울 공격 시 원주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 1-2]의 타임라인

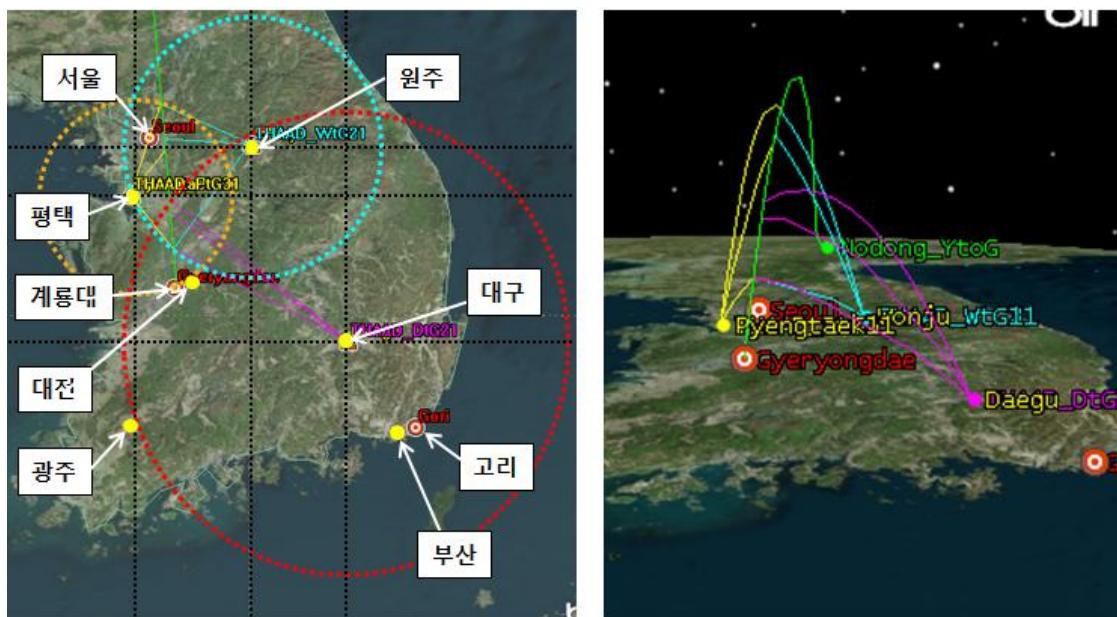
[그림 26]은 서울 공격 시 원주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 원주에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 107.2km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 136초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 69초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 원주에서 요격 가능한 최대 고도는 사드 #2의 84.8km이다. 사드 #2 발사 후 적의 미사일을 처음 요격하는 시점은 298초이며, 따라서 서울 공격 시 원주에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 298초부터 사드 #3이 고도 41.3km에서 요격하는 시점인 339초까지 총 41초가 된다.



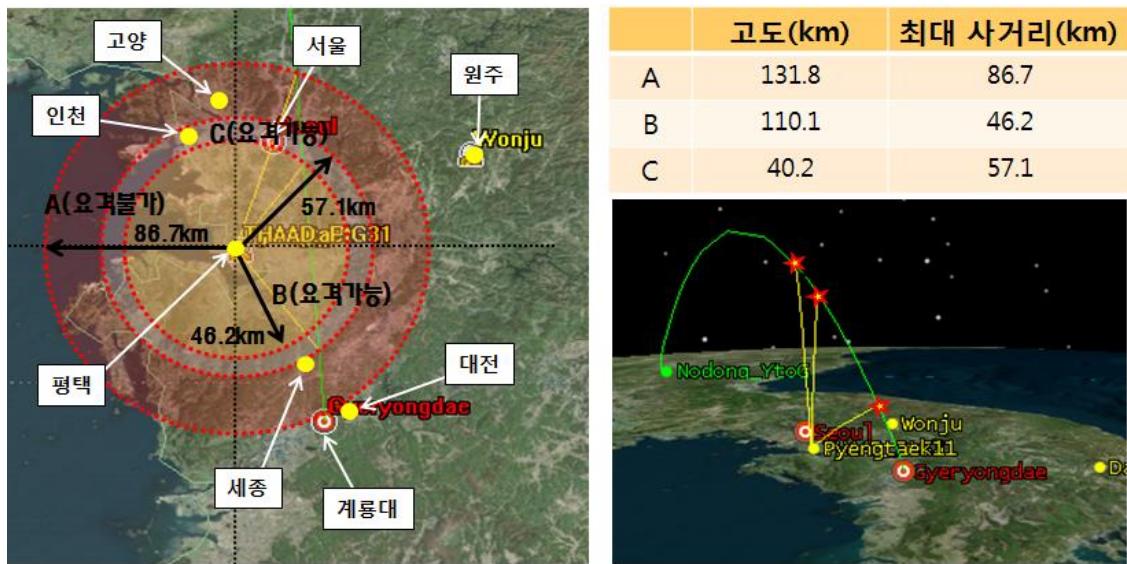
[그림 26] 서울 공격 시 원주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 1-2]의 각 미사일 별 타임라인

[Case 2] 북한 노동 핵미사일의 계룡대 공격에 따른 사드의 방어능력 분석

[그림 27]은 노동미사일이 계룡대을 공격하는 경우인 [Case 2]에 대해 평택과 원주, 대구에 배치된 사드 요격미사일을 통해 요격하는 형상을 보이고 있다. 각 사드 미사일 배치 지점에서 보여준 원은 북한의 노동미사일이 계룡대를 공격할 경우에 요격할 수 있는 이론적인 최대사거리를 보여준다.



[그림 27] 계룡대 공격 시 평택·원주·대구에서 요격하는 경우[Case 2]



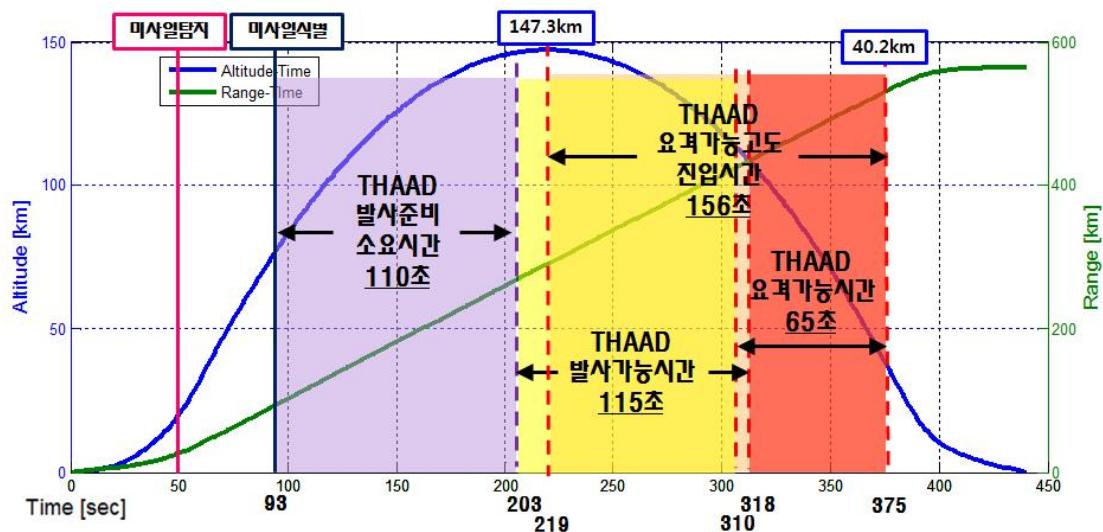
[그림 28] 계룡대 공격 시 평택의 사드미사일로 요격할 경우[Case 2-1]의 고도 및 최대사거리

[그림 28]은 노동미사일의 계룡대 공격 시 평택에 배치된 사드미사일로 요격하는 경우[Case 2-1]에 대해 사드미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드체계의 발사준비시간을 고려한 요격가능 최대고도, 그리고 사드미사일 성능만을 고려한 요격가능 최대고도 등을 모두 고려하여 분석하였다. 이는 해당 사드 배치지역에서 미사일 성능만을 고려할 때 요격이 가능한 고도라도 사드 발사준비가 완료되지 못하면 시간 내에 발사를 못해 요격이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문이다.

A는 평택에 배치된 사드를 통해 계룡대 공격을 목표로 날아오는 노동미사일을 요격할 수 있는 최대 고도 및 최대 사거리이며 131.8km의 고도 및 86.7km의 사거리를 나타낸다. 이는 사드 요격미사일의 성능만을 고려할 때 도달할 수 있는 고도와 사거리이나, 노동미사일의 탐지 및 식별 그리고 사드 발사준비시간으로 요구되는 총 시간인 203초 이전에 요격미사일을 발사해야 요격이 가능한 고도이기 때문에 실제 요격이 불가능한 고도이다. B는 이들 탐지, 식별 및 사드 발사준비시간 등을 모두 고려한 후에 요격을 할 수 있는 최대 고도 110.1km 및 사거리 46.2km를 나타낸다. C는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소 고도 40.2km 및 사거리 57.1km를 보여준다. 따라서 노동미사일의 계룡대 공격 시 평택에 배치된 사

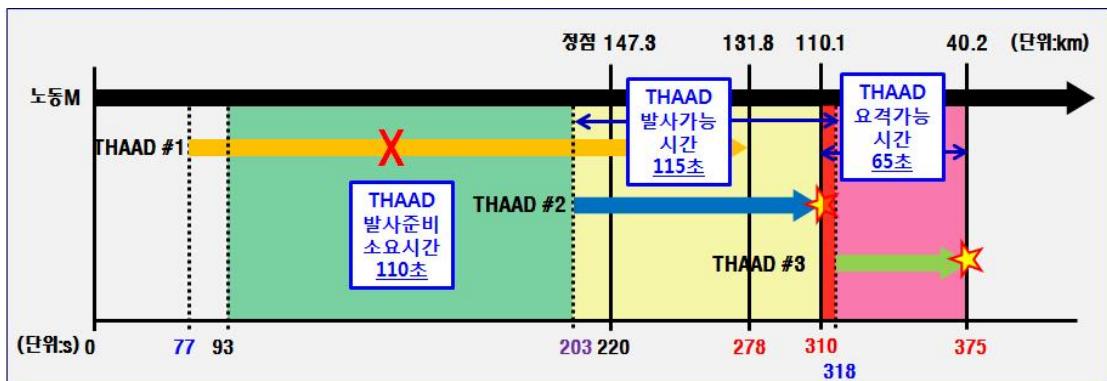
드미사일로 요격하는 경우[Case 2-1]에 요격이 가능한 고도는 40.2km에서 110.1km의 범위로 한정됨을 알 수 있다.

[그림 29]는 평택에서 사드 요격미사일을 통해 계룡대를 향하는 노동미사일을 요격하는 경우[Case 2-1]에 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 변화와 이에 따른 사드미사일 관련 시간들을 나타낸다. 계룡대를 향해 발사된 노동미사일을 평택에서 사드 요격미사일을 이용하여 요격하는 경우, 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 115초 정도임을 확인할 수 있다.



[그림 29] 계룡대 공격 시 평택의 사드미사일로 요격할 경우[Case 2-1]의 타임라인

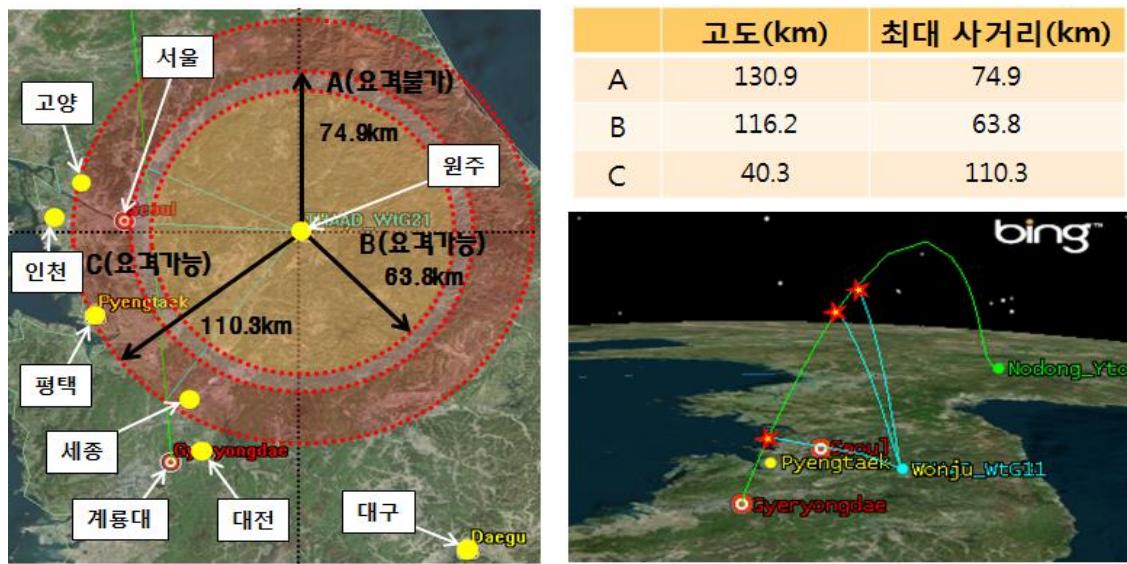
[그림 30]은 계룡대 공격 시 평택에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 평택에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 131.8km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 201초가 소요되며, 이 경우 사드 레이더가 적 미사일을 식별하기 전에 사드미사일을 발사를 해야 한다는 결론이 된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 식별시간 및 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 평택에서 요격 가능한 최대 고도는 사드 #2의 110.1km이다. 사드 #2 발사 후 적의 미사일을 처음 요격하는 시점은 310초이며, 따라서 계룡대 공격 시 평택에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 310초부터 사드 #3이 고도 40.2km에서 요격하는 시점인 375초까지 총 65초가 된다.



[그림 30] 계룡대 공격 시 평택의 사드미사일로 요격할 경우[Case 2-1]의 각 미사일 별 타임라인

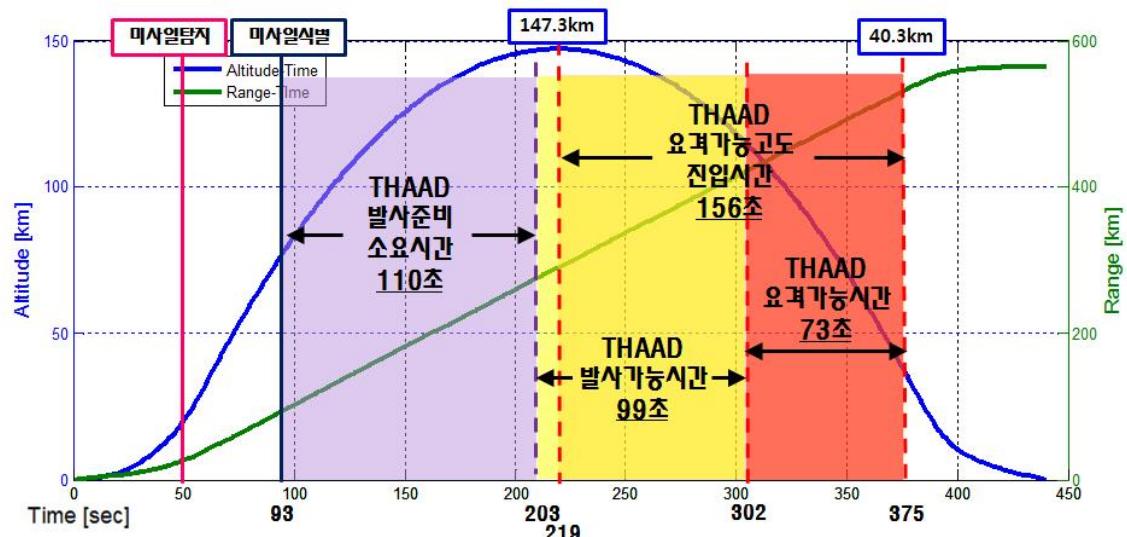
다음의 [그림 31]은 노동미사일의 계룡대 공격 시 원주에 배치된 사드미사일로 요격하는 경우[Case 2-2]에 대해 사드미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드체계의 발사준비시간을 고려한 요격가능 최대고도, 그리고 사드미사일 성능만을 고려한 요격가능 최대고도 등을 모두 고려하여 분석하였다. 이는 해당 사드 배치 지역에서 미사일 성능만을 고려할 때 요격이 가능한 고도라도 사드 발사준비가 완료되지 못하면 시간 내에 발사를 못해 요격이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문이다.

A는 원주에 배치된 사드를 통해 계룡대 공격을 목표로 날아오는 노동미사일을 요격할 수 있는 최대 고도와 최대 사거리이며 각각 130.9km 및 74.9km를 나타낸다. 이는 사드 요격미사일의 성능만을 고려할 때 도달할 수 있는 고도와 사거리이나, 노동미사일의 탐지 및 식별 그리고 사드 발사준비시간으로 요구되는 총 시간인 203초 이전에 요격미사일을 발사해야 요격이 가능한 고도이기 때문에 실제 요격이 불가능한 고도이다. B는 이들 탐지, 식별 및 사드 발사준비시간 등을 모두 고려한 후에 요격을 할 수 있는 최대 고도 116.2km 및 사거리 63.8km를 나타낸다. C는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소 고도 40.3km 및 사거리 110.3km를 보여준다. 따라서 노동미사일의 계룡대 공격 시 원주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 2-2]에 요격이 가능한 고도는 40.3km에서 116.2km의 범위로 한정됨을 알 수 있다.



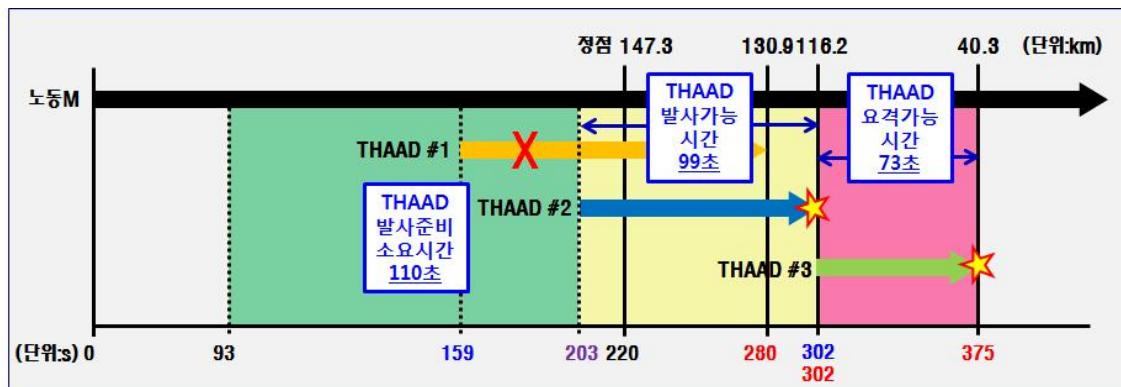
[그림 31] 계룡대 공격 시 원주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 2-2]의 고도 및 최대사거리

[그림 32]는 원주에서 사드 요격미사일을 통해 계룡대를 향하는 노동미사일을 요격하는 경우, 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 변화와 이에 따른 사드미사일 관련 시간들을 나타낸다. 계룡대를 향해 발사된 노동미사일을 원주에서 사드 요격미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 99초임을 알 수 있다.



[그림 32] 계룡대 공격 시 원주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 2-2]의 타임라인

[그림 33]은 계룡대 공격 시 원주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 원주에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 130.9km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 121초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 44초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 원주에서 요격 가능한 최대 고도는 사드 #2의 116.2km이다. 사드 #2 발사 후 적의 미사일을 처음 요격하는 시점은 302초이며, 따라서 계룡대 공격 시 원주에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가능 시간은 302초부터 사드 #3이 고도 40.3km에서 요격하는 시점인 375초까지 총 73초가 된다.

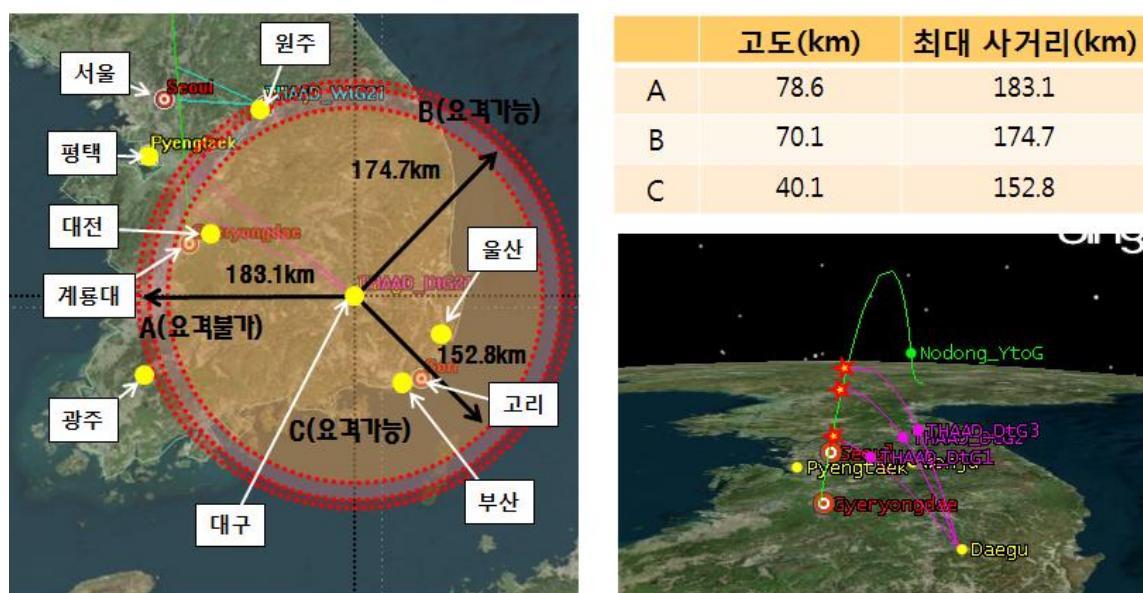


[그림 33] 계룡대 공격 시 원주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 2-2]의 각 미사일 별 타임라인

[그림 34]는 노동미사일의 계룡대 공격 시 대구에 배치된 사드미사일로 요격하는 경우[Case 2-3]에 대해 사드미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드체계의 발사준비시간을 고려한 요격가능 최대고도, 그리고 사드미사일 성능만을 고려한 요격가능 최대고도 등을 모두 고려하여 분석하였다. 이는 해당 사드 배치지역에서 미사일 성능만을 고려할 때 요격이 가능한 고도라도 사드 발사준비가 완료되지 못하면 시간 내에 발사를 못해 요격이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문이다.

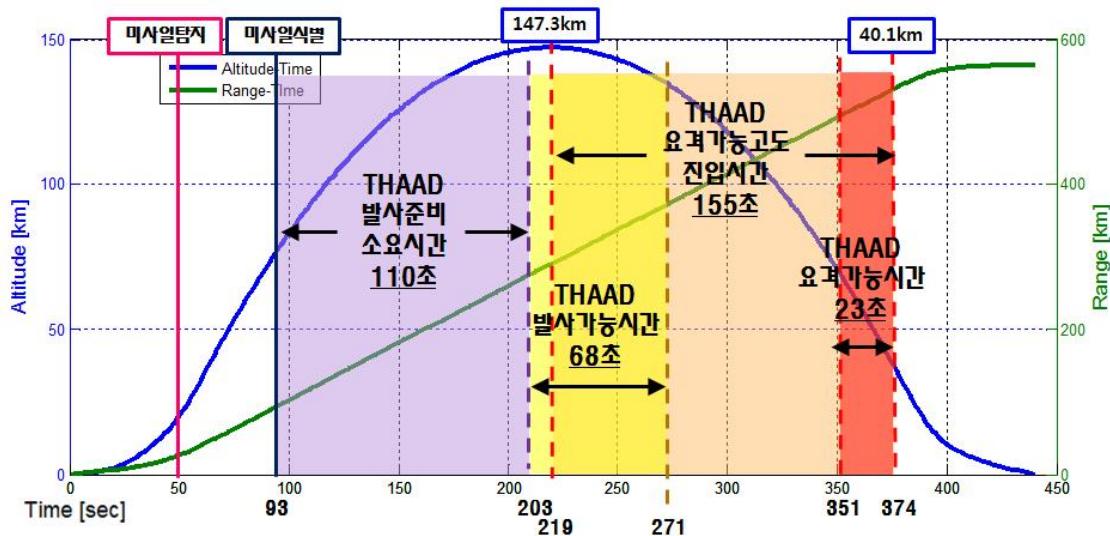
A는 대구에 배치된 사드를 통해 계룡대 공격을 목표로 날아오는 노동미사

일을 요격할 수 있는 최대 고도와 최대 고도 시의 최대 사거리이며 78.6km의 고도 및 183.1km의 사거리를 나타낸다. 이는 사드 요격미사일의 성능만을 고려할 때 도달할 수 있는 고도와 사거리이나, 노동미사일의 탐지 및 식별 그리고 사드 발사준비시간으로 요구되는 총 시간인 203초 이전에 요격미사일을 발사해야 요격이 가능한 고도이기 때문에 실제 요격이 불가능한 고도이다. B는 이를 탐지, 식별 및 사드 발사준비시간 등을 모두 고려한 후에 요격을 할 수 있는 최대 고도 70.1km 및 사거리 174.7km를 나타낸다. C는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소 고도 40.1km 및 사거리 152.8km를 보여준다. 따라서 노동미사일의 계룡대 공격 시 대구에 배치된 사드미사일로 요격하는 경우[Case 2-3]에 요격이 가능한 고도는 40.1km에서 70.1km의 범위로 한정됨을 알 수 있다.



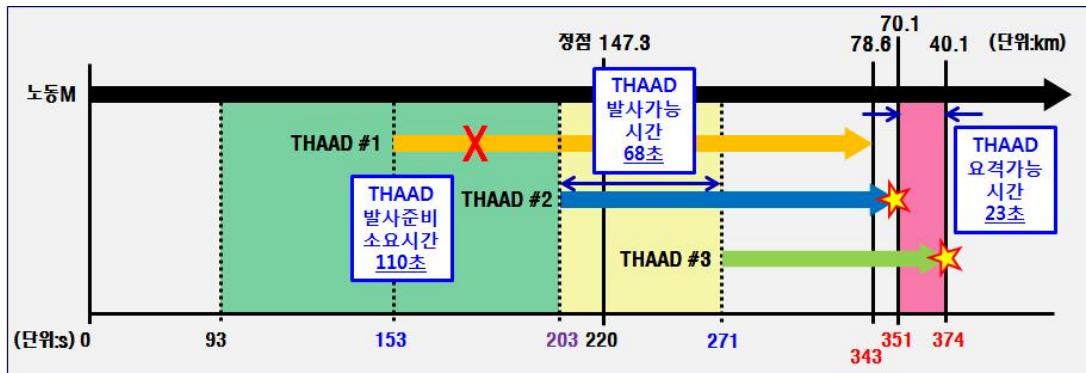
[그림 34] 계룡대 공격 시 대구의 사드미사일로 요격할 경우[Case 2-3]의 고도 및 최대사거리

[그림 35]는 대구에서 사드 요격미사일을 통해 계룡대를 향하는 노동미사일을 요격하는 경우, 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 변화와 이에 따른 사드미사일 관련 시간들을 나타낸다. 계룡대를 향해 발사된 노동미사일을 대구에서 사드 요격미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 68초임을 알 수 있다.



[그림 35] 계룡대 공격 시 대구의 사드미사일로 요격할 경우[Case 2-3]의 타임라인

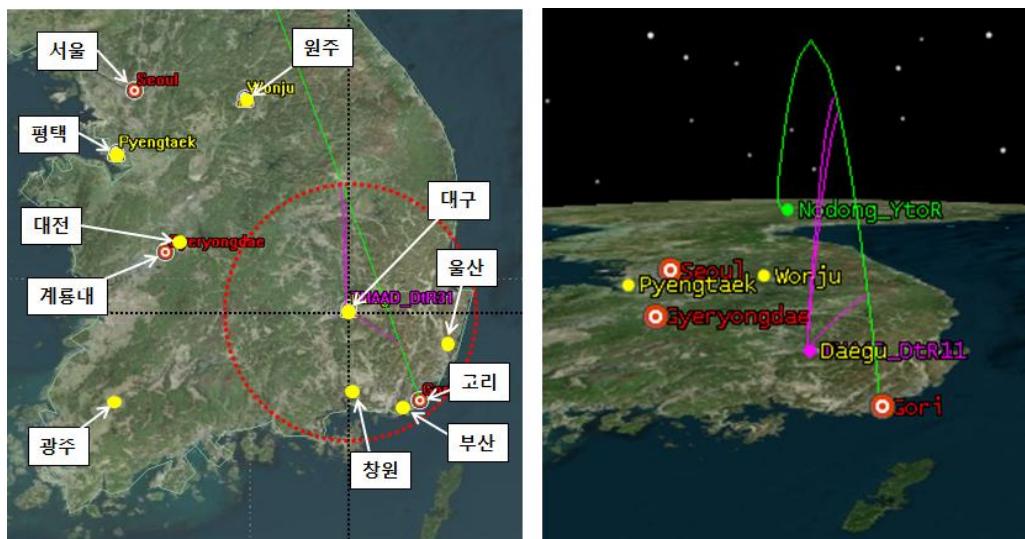
[그림 36]은 계룡대 공격 시 대구에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 대구에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 78.6km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1 발사 후에 요격까지 190초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 50초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 대구에서 요격 가능한 최대 고도는 사드 #2의 70.1km이다. 사드 #2가 발사 후 적의 미사일을 처음 요격하는 시점은 351초이며, 따라서 계룡대 공격 시 대구에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 351초부터 사드 #3이 고도 40.1km에서 요격하는 시점인 374초까지 총 23초가 된다.



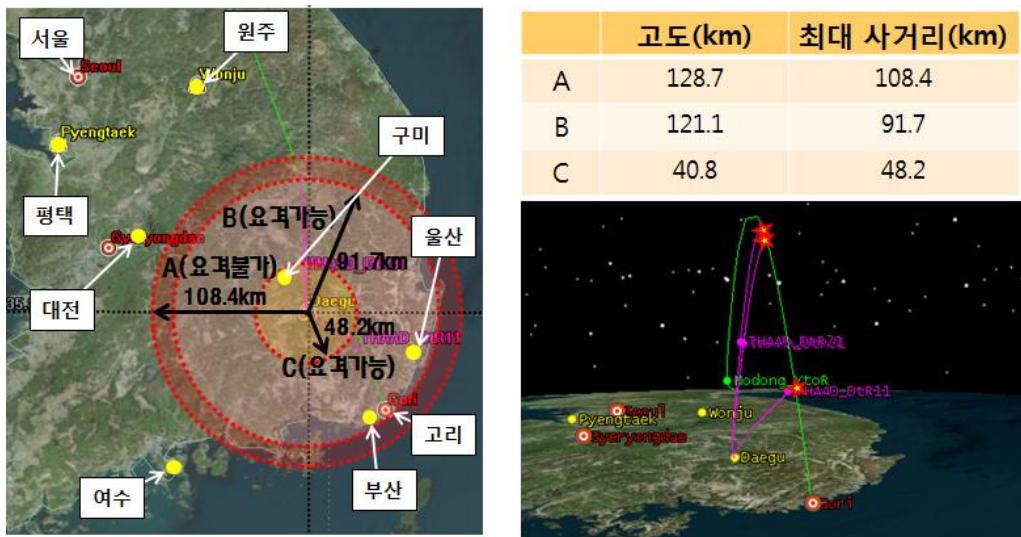
[그림 36] 계룡대 공격 시 대구의 사드미사일로 요격할 경우[Case 2-3]의 각 미사일 별 타임라인

[Case 3] 북한 노동 핵미사일의 고리 원전 공격에 따른 사드의 방어능력 분석

[그림 37]은 노동미사일이 경남 고리 원전을 공격하는 경우인 [Case 3]에 대해 대구에서 사드 요격미사일을 통해 요격하는 형상을 나타낸다. 경남 고리 원전 공격 시에 평택이나 원주에 배치되는 사드 요격미사일은 사거리 또는 고도가 달지 않아 요격 가능성이 없다. 각 사드미사일 배치 지점에서 보여준 원은 북한의 노동미사일이 고리 원전을 공격할 경우에 요격할 수 있는 이론적인 최대사거리를 보여준다.



[그림 37] 고리원전 공격 시 대구에서 요격하는 경우[Case 3]



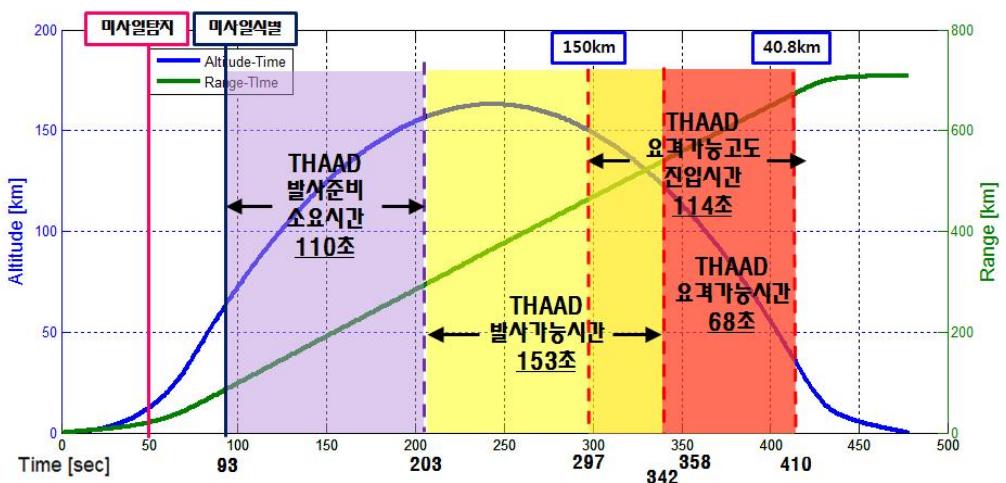
[그림 38] 고리 원전 공격 시 대구의 사드미사일로 요격할 경우[Case 3]의 고도 및 최대 사거리

[그림 38]은 노동미사일의 계룡대 공격 시 대구에 배치된 사드미사일로 요격하는 경우[Case 3]에 대해 사드미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드체계의 발사준비시간을 고려한 요격가능 최대고도, 그리고 사드미사일 성능만을 고려한 요격가능 최대고도 등을 모두 고려하여 분석하였다. 이는 해당 사드 배치지역에서 미사일 성능만을 고려할 때 요격이 가능한 고도라도 사드 발사준비가 완료되지 못하면 시간 내에 발사를 못해 요격이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문이다.

A는 대구에 배치된 사드를 통해 고리원전 공격을 목표로 날아오는 노동미사일을 요격할 수 있는 최대 고도 및 최대 사거리를이며 128.7km의 고도 및 108.4km의 사거리를 나타낸다. 이는 사드 요격미사일의 성능만을 고려할 때 도달할 수 있는 고도와 사거리이나, 노동미사일의 탐지 및 식별 그리고 사드 발사준비시간으로 요구되는 총 시간인 203초 이전에 요격미사일을 발사해야 요격이 가능한 고도이기 때문에 실제 요격이 불가능한 고도이다. B는 이들 탐지, 식별 및 사드 발사준비시간 등을 모두 고려한 후에 요격을 할 수 있는 최대 고도 121.1km 및 사거리 91.7km를 나타낸다. C는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소 고도 40.8km 및 사거리 48.2km를 보여준다. 따라서 노동미사일의 고리 원전 공격 시 대구에 배치된

사드미사일로 요격하는 경우[Case 3]에 요격이 가능한 고도는 40.8km에서 121.1km의 범위로 한정됨을 알 수 있다.

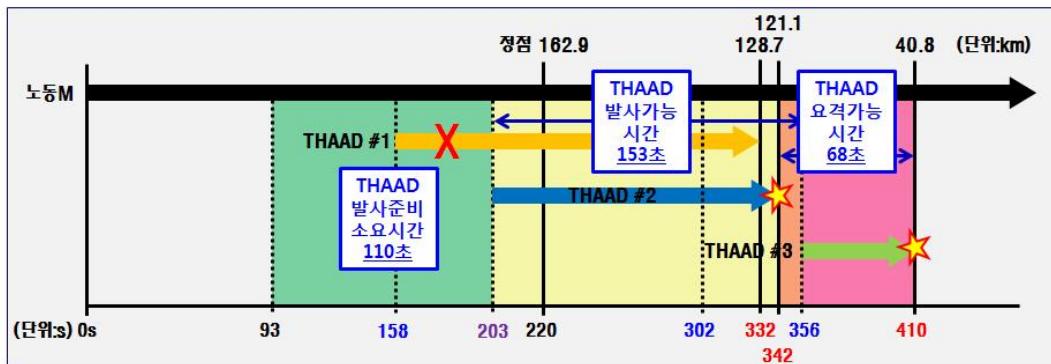
[그림 39]는 대구에서 사드 요격미사일을 통해 고리 원전을 향하는 노동미사일을 요격하는 경우, 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 변화와 이에 따른 사드미사일 관련 시간들을 나타낸다. 고리원전을 향해 발사된 노동미사일을 대구에서 사드 요격미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 153초임을 알 수 있다. 하지만 고리 원전에 대한 공격 시 대구에서 요격하는 경우 발사가능시간과 요격가능시간의 차가 85초이며, 이는 앞서 서울과 계룡대에 대한 공격 시 원주와 평택에서 요격하는 경우에 비해 시간차가 훨씬 큰 것을 알 수 있다.



[그림 39] 고리 원전 공격 시 대구의 사드미사일로 요격할 경우[Case 3]의 타임라인

[그림 40]은 고리 원전 공격 시 대구에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 대구에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 128.7km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 174초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 45초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비 시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 평택에서 요격 가능한 최대 고도는 사드 #2의 121.1km이다. 사드 #2 발사 후 적의 미사일을 처음 요격하는 시점은 342초이며, 따라서 계룡대 공격 시 평택에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가

능시간은 342초부터 사드 #3이 고도 40.8km에서 요격하는 시점인 410초까지 총 68초가 된다.



[그림 40] 고리 원전 공격 시 대구의 사드미사일로 요격할 경우[Case 3]의 각 미사일 별 타임라인

나. 북한 노동 핵미사일의 주요 표적 공격에 따른 사드의 방어능력 분석결과 요약

본 분석에서 노동 핵미사일의 주요 표적인 서울, 충남 계룡대 및 고리 원전 공격에 대해 평택, 원주 그리고 대구 등의 각 사드 배치 지역에서의 요격 능력을 분석하였으며 이를 종합하면 [표 5]와 같다.

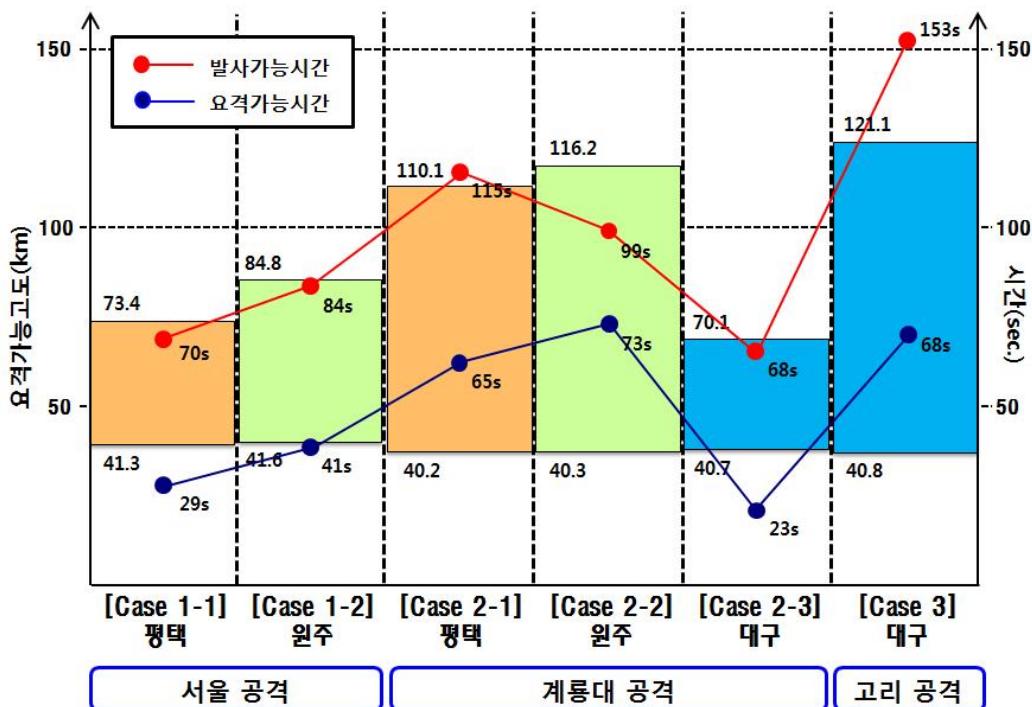
[표 9] 사드 요격미사일 요격가능시간 분석 요약

	사드(THAAD) 배치 지역			
	평택	원주	대구	
목표 지역	서울 용산	발사가능시간: 70 sec 요격가능시간: 29 sec	발사가능시간: 84 sec 요격가능시간: 41 sec	사거리/고도 불충분
	계룡대	발사가능시간: 115 sec 요격가능시간: 65 sec	발사가능시간: 99 sec 요격가능시간: 73 sec	발사가능시간: 68 sec 요격가능시간: 23 sec
	고리 원전	사거리/고도 불충분	고도 불충분	발사가능시간: 153 sec 요격가능시간: 68 sec

노동미사일이 서울을 향하는 경우 위치상 평택과 원주에서 사드 요격미사

일을 이용하여 요격이 가능하며, 대구에서는 사거리와 고도가 불충분하여 요격이 불가능하다. 계룡대를 목표로 하는 경우는 평택과 원주, 대구 세 지점에서 모두 요격미사일을 이용한 요격이 가능하다. 고리 원전을 목표로 하는 경우 대구에서 사드 요격미사일을 이용한 요격이 가능하며, 원주에서는 고도가 불충분하며 평택에서는 사거리와 고도가 불충분하여 요격이 불가능하다.

[그림 41]은 위 분석결과를 각 [Case]별로 요격 고도, 발사가능시간 및 요격가능시간에 대해 막대 그라프로 보여주고 있다. 노동 핵미사일이 서울을 공격하는 경우 평택과 원주에서 사드 미사일 요격이 가능하였으며 요격범위(요격가능고도)는 원주가 평택보다 넓은 것을 확인할 수 있다.



[그림 41] 사드 요격미사일 시간 및 요격고도 분석결과 그래프

원주 배치 사드 미사일의 요격고도는 41.6km~84.8km이고, 평택 배치 사드 미사일의 요격고도는 41.3km~73.4km이다. 또한 발사가능시간과 요격가능시간 또한 원주가 평택보다 길기 때문에 요격을 위한 사드체계 배치 장소로서 유리하다. 따라서 노동 핵미사일로 서울을 공격하는 경우 원주 배치의 사드 요격미사일이 발사, 요격가능시간 및 요격범위 측면에서 유리하기 때문에, 서울·경기 수도권의 인구밀집지역을 보호하기에는 사드체계의 배치 장소로

서 원주가 평택보다 유리하다는 것을 알 수 있다.

전체적으로 서울 공격 시에 북한의 탄도미사일의 최고 고도 및 중심거리가 짧아 요격할 수 있는 고도도 제한적이기 때문에 150km의 고도로부터 하강하는 적의 미사일을 요격할 수 있는 고고도미사일방어체계인 사드의 효용성은 상대적으로 낮을 수밖에 없다.

노동 핵미사일이 계룡대를 공격하는 경우 평택과 원주, 대구 모든 지점에서 요격이 가능하였으며 요격범위(요격가능고도)는 원주가 평택과 대구보다 넓은 것을 알 수 있다. 원주 배치 사드 미사일의 요격고도는 40.3km~116.2km이고, 평택 배치 사드 미사일의 요격고도는 40.2km~110.1km이다. 한편 대구 배치 사드 미사일의 요격고도는 40.7km~70.1km로서 대구기지로부터 요격지점까지의 거리가 길어 요격능력은 상당히 제한적일 것으로 예측된다. 즉 발사가능시간과 요격가능시간 또한 원주, 평택, 대구 순으로 나타나며, 이는 계룡대 인근 군 지휘부나 핵심 군사시설을 보호하기에 원주 배치 사드 체계가 가장 적합하다는 것을 의미한다. 대구의 경우 계룡대에서 평택과 원주에 비해 먼 거리에 위치하여 발사가능시간 및 요격가능시간이 제한되는 것을 알 수 있다.

전체적으로 계룡대 공격 시에 북한의 탄도미사일의 최고 고도 및 중심거리는 서울 공격의 경우에 비해 증가하며, 따라서 요격할 수 있는 고도 범위도 증가하기 때문에 고고도미사일방어체계인 사드의 효용성은 서울 공격 시 보다 높아진다.

끝으로 노동 핵미사일이 고리 원전을 공격하는 경우 오직 대구에서만 요격이 가능하며 고리 원전이 북한으로부터 멀어 노동미사일의 비행시간이 증가됨에 따라 발사가능시간 및 요격가능시간이 상대적으로 여유로운 것을 알 수 있다. 대구 배치 사드 미사일의 요격고도는 40.8km~121.1km이고, 평택과 원주에 배치되는 사드 미사일은 요격이 불가능함을 알 수 있다.

앞선 분석들을 통해 노동 핵미사일 표적이 될 수 있는 서울, 계룡대, 고리 원전지역에 대해 가장 높은 수준의 요격환경을 제공하는 사드 배치 예상 지역을 확인하였다. 서울과 계룡대의 경우 원주에 배치된 사드 미사일을 발사하여 노동 핵미사일을 요격하는 것이 가장 유리하며, 고리 원전의 경우 대구에서만 사드 미사일로 노동 핵미사일을 요격할 수 있다.

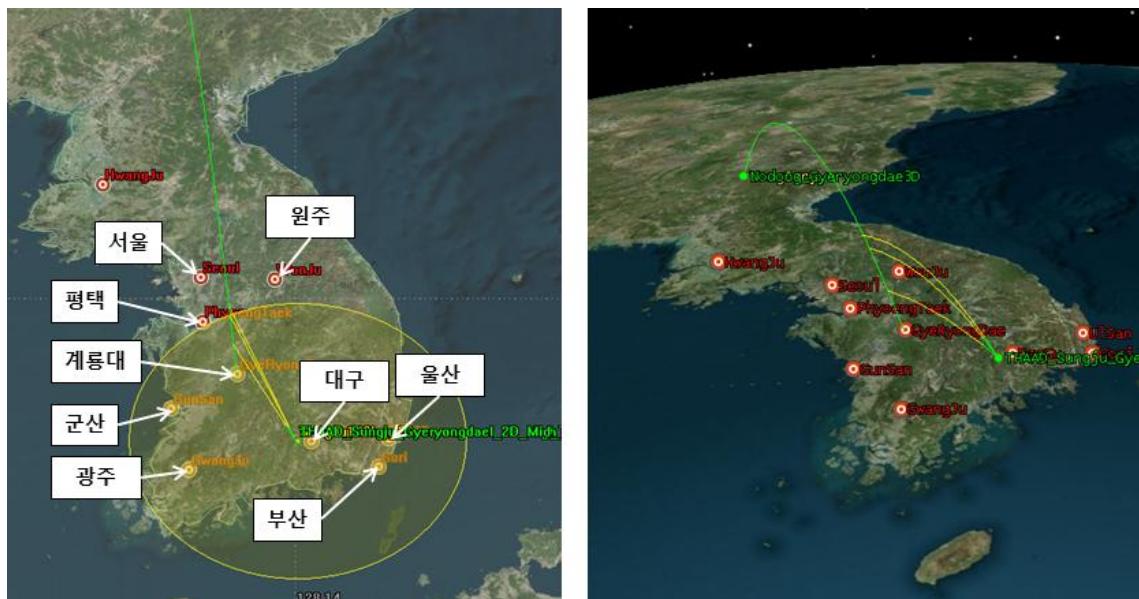
다. 경북 성주에 사드체계 배치 시 사드의 방어능력 분석결과

정부는 사드체계 배치를 경상북도 성주군 초전면 소성리의 롯데골프장으로 최종 결정하였다. 따라서 본 연구에서는 추가적으로 노동 핵미사일의 주요 표적인 충남 계룡대, 평택 미군기지 및 군산 미군기지 공격에 대해 성주 지역에 사드 배치 시의 사드의 방어능력을 분석하였다.

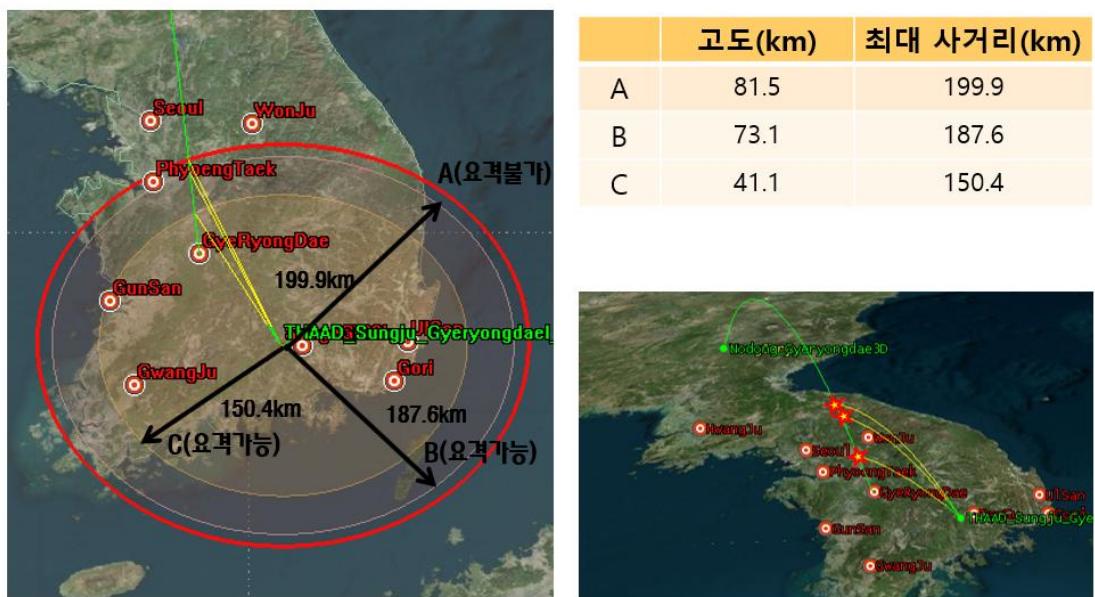
[Case 4] 북한 노동 핵미사일의 계룡대 공격에 따른 사드의 방어능력 분석

[그림 42]는 노동미사일이 계룡대를 공격하는 경우[Case 4]에 대해 성주에서 사드 요격미사일을 통해 요격하는 형상을 소프트웨어를 통해 모사한 것이다. 사드 미사일 배치 지점에서 보여준 원은 북한의 노동미사일이 계룡대를 공격할 경우에 요격할 수 있는 최대사거리를 나타낸다.

[그림 43]은 노동미사일의 계룡대 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 4]에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드 체계의 발사준비 시간을 고려한 요격가능 최대고도, 그리고 사드 미사일 성능만을 고려한 요격 가능 최대고도 등을 모두 고려하여 분석하였다. 이는 해당 사드 배치 지역에서 미사일 성능만을 고려할 때 요격이 가능한 고도라도 사드 발사준비가 완료되지 못하면 시간 내에 발사를 못해 요격이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문이다.



[그림 42] 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우[Case 4]

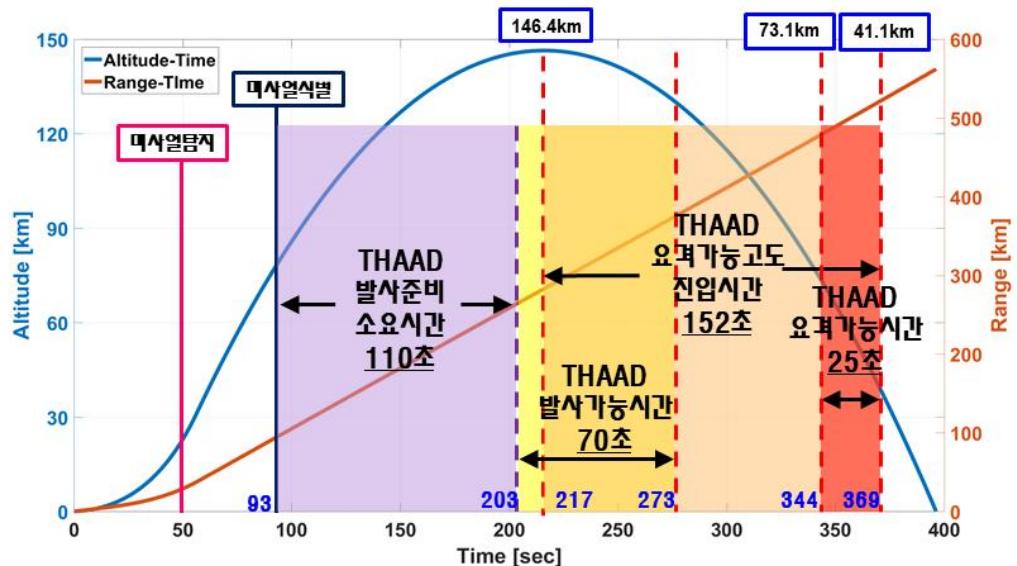


[그림 43] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 4]의 고도 및 최대 사거리

[그림 43]의 A는 성주에 배치된 사드를 통해 계룡대 공격을 목표로 날아오는 노동미사일을 요격할 수 있는 최대고도 및 최대사거리이며 81.5km의 고도 및 199.9km의 사거리를 나타낸다. 이는 사드 요격미사일의 성능만을 고려 할 때 도달할 수 있는 고도와 사거리이나, 노동미사일의 탐지 및 식별 그리

고 사드 발사준비시간으로 요구되는 총 시간인 203초 이전에 요격미사일을 발사해야 요격이 가능한 고도이기 때문에 실제 요격이 불가능한 고도이다. B는 이들 탐지, 식별 및 사드 발사준비시간 등을 모두 고려한 후에 요격이 가능한 최대 고도 73.1km 및 사거리 187.6km를 나타낸다. C는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소 고도 41.1km 및 사거리 150.4km를 보여준다. 결국 노동미사일의 계룡대 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 4]에 요격이 가능한 고도는 41.1km에서 73.1km의 범위로 한정됨을 알 수 있다.

다음 [그림 44]는 성주에서 사드 요격미사일을 통해 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

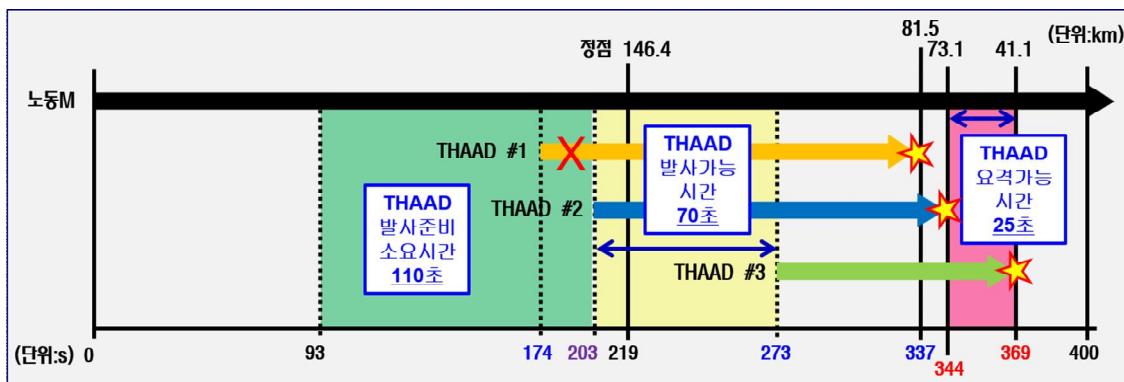


[그림 44] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 4]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 노동미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드미사일 발사지점에서 노동미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사

드 요격미사일을 발사해야 노동미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 노동미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다. 계룡대를 향해 발사된 노동미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 70초임을 알 수 있다.

[그림 45]는 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 성주에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 81.5km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 163초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 29초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 성주에서 요격 가능한 최대 고도는 사드 #2의 73.1km이다. 사드 #2 발사 후 적의 미사일을 처음 요격하는 시점은 344초이며, 따라서 계룡대 공격 시 성주에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 344초부터 사드 #3이 고도 41.1km에서 요격하는 시점인 369초까지 총 25초가 된다.

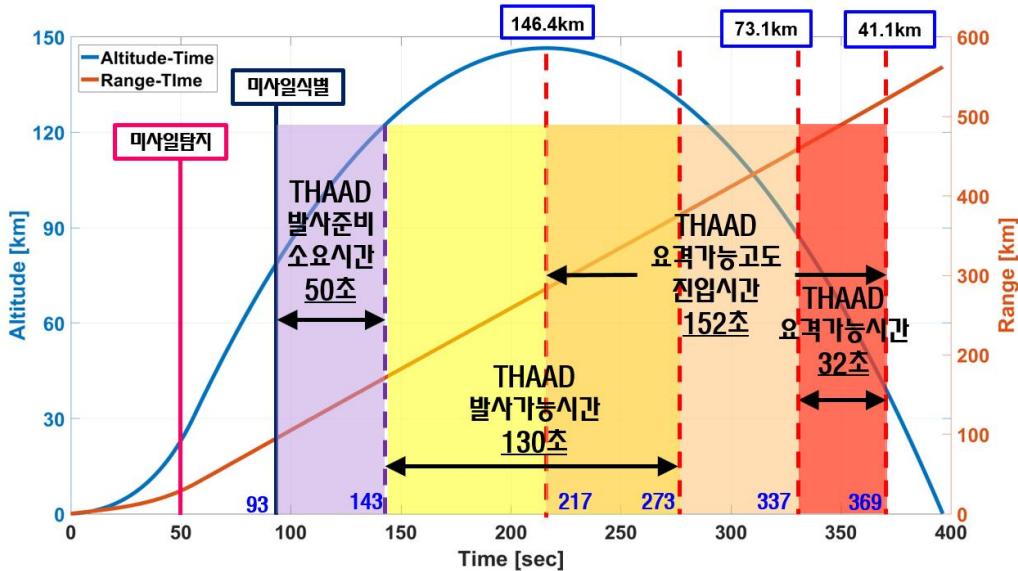


[그림 45] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 4]의 각 미사일 별 타임라인

미군 사드 운용부대에서는 적 미사일의 탐지, 추적 및 식별 후, 사드 발사까지 소요되는 시간을 자동화하여 소요시간을 최소화한 것으로 알려져 있으며, 네트워크 소요시간이 약 50초 정도라고 가정하면 요격가능시간의 추가 확보가 가능하다. 기존의 분석에서는 약 110초 정도 소요되는 것으로 가정하

였다.

다음의 [그림 46]은 사드체계의 네트워크 자동화시 성주에서 사드 요격미사일을 통해 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.



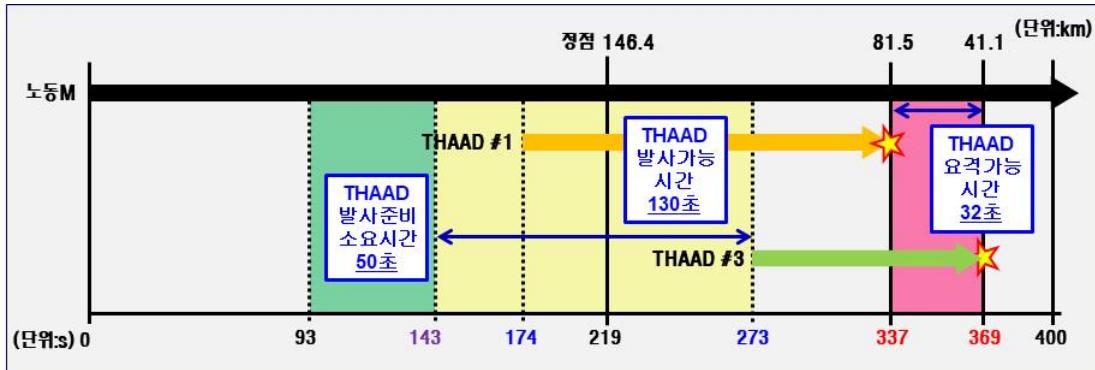
[그림 46] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 4]의 타임라인
(네트워크 자동화 시)

네트워크 자동화 시에는 계룡대를 향해 발사된 노동미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 130초임을 알 수 있다.

[그림 47]은 사드체계의 네트워크 자동화시 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 기존 사드 발사준비시간이 110초인 경우 사드 #1은 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능했으나, 사드 발사준비시간을 네트워크 자동화로 50초로 단축하면 사드 요격미사일의 최대성능으로 요격이 가능함을 의미한다.

따라서 계룡대 공격 시 성주에서 사드 미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 고도 81.5km에서 요격하는 시점인 337초부터 사드 #3이 고도 41.1km에서

요격하는 시점인 369초까지 총 32초가 된다.



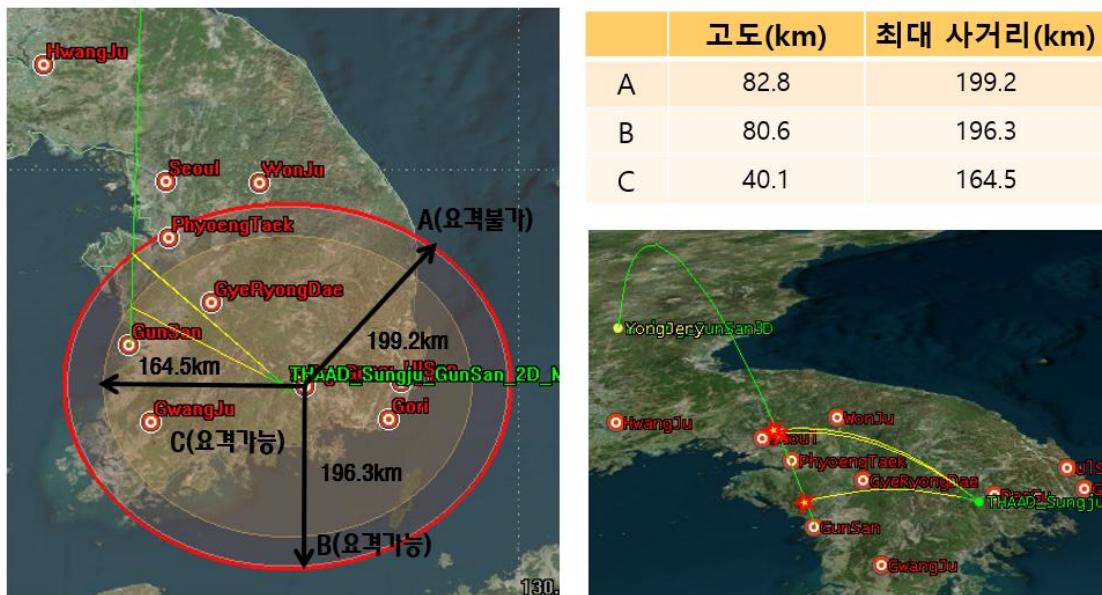
[그림 47] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 4]의 각 미사일 별 타임라인 (네트워크 자동화 시)

[Case 5] 북한 노동 핵미사일의 군산 공격에 따른 사드의 방어능력 분석

[그림 48]은 노동미사일이 군산을 공격하는 경우[Case 5]에 대해 성주에서 사드 요격미사일을 통해 요격하는 형상을 소프트웨어를 통해 모사한 것이다. 사드 미사일 배치 지점에서 보여준 원은 북한의 노동미사일이 군산을 공격할 경우에 요격할 수 있는 최대사거리를 나타낸다.

[그림 49]는 노동미사일의 군산 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우 [Case 5]에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드 체계의 발사준비시간을 고려한 요격가능 최대고도, 그리고 사드 미사일 성능만을 고려한 요격 가능 최대고도 등을 모두 고려하여 분석하였다. 이는 해당 사드 배치 지역에서 미사일 성능만을 고려할 때 요격이 가능한 고도라도 사드 발사준비가 완료되지 못하면 시간 내에 발사를 못해 요격이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문이다.

[그림 48] 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우[Case 5]

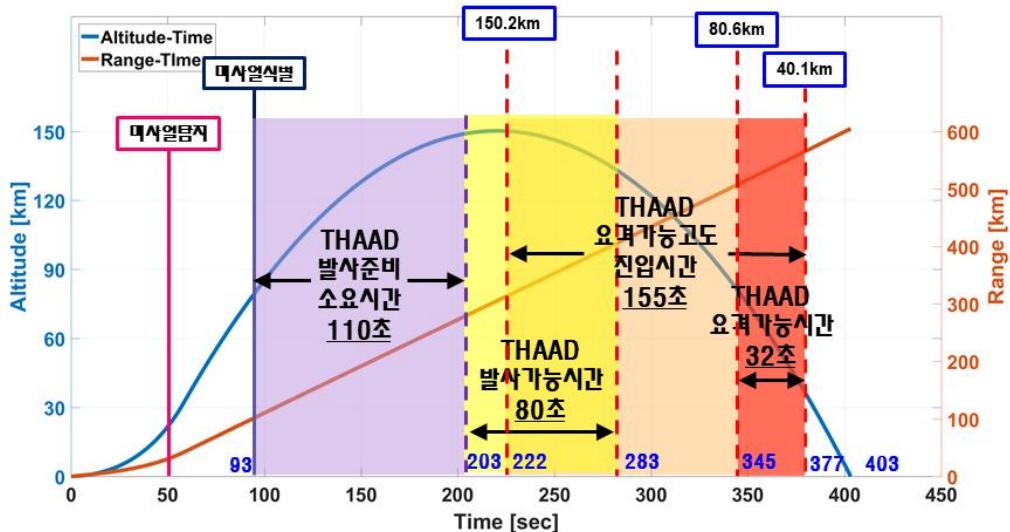


[그림 49] 군산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 5]의 고도 및 최대 사거리

[그림 49]의 A는 성주에 배치된 사드를 통해 군산 공격을 목표로 날아오는 노동미사일을 요격할 수 있는 최대 고도 및 최대 사거리를이며 82.8km의 고도 및 199.2km의 사거리를 나타낸다. 이는 사드 요격미사일의 성능만을 고려할 때 도달할 수 있는 고도와 사거리이나, 노동미사일의 탐지 및 식별 그리고 사드 발사준비시간으로 요구되는 총 시간인 203초 이전에 요격미사일을 발

사해야 요격이 가능한 고도이기 때문에 실제 요격이 불가능한 고도이다. B는 이를 탐지, 식별 및 사드 발사준비시간 등을 모두 고려한 후에 요격이 가능한 최대 고도 80.6km 및 사거리 196.3km를 나타낸다. C는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소 고도 40.1km 및 사거리 164.5km를 보여준다. 결과적으로 노동미사일의 군산 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 5]에 요격이 가능한 고도는 40.1km에서 80.6km의 범위로 한정됨을 알 수 있다.

다음의 [그림 50]은 성주에서 사드 요격미사일을 통해 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입 시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

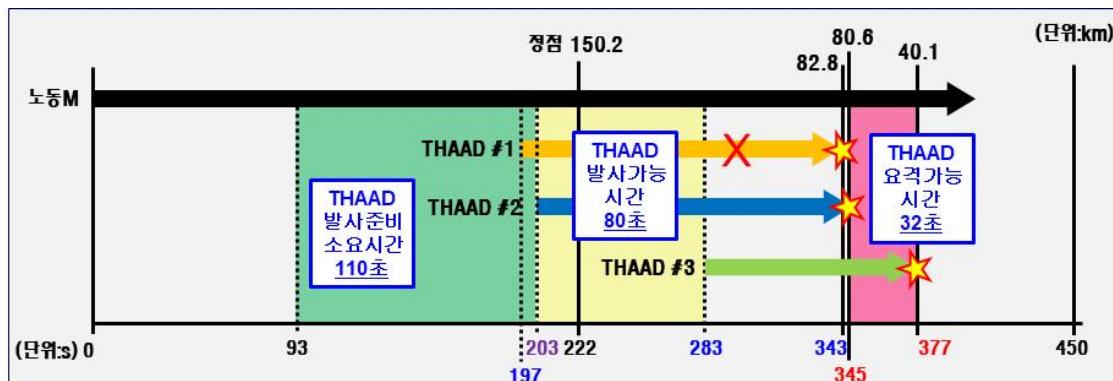


[그림 50] 군산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 5]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 노동미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드미사일 발사지점에서 노동미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 노동미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 노

동미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다. 군산을 향해 발사된 노동미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 80초임을 알 수 있다.

[그림 51]은 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 성주에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 82.8km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 146초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 6초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 성주에서 요격 가능한 최대 고도는 사드 #2의 80.6km이다. 사드 #2 발사 후 적의 미사일을 처음 요격하는 시점은 345초이며, 따라서 군산 공격 시 성주에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 345초부터 사드 #3이 고도 40.1km에서 요격하는 시점인 377초까지 총 32초가 된다.

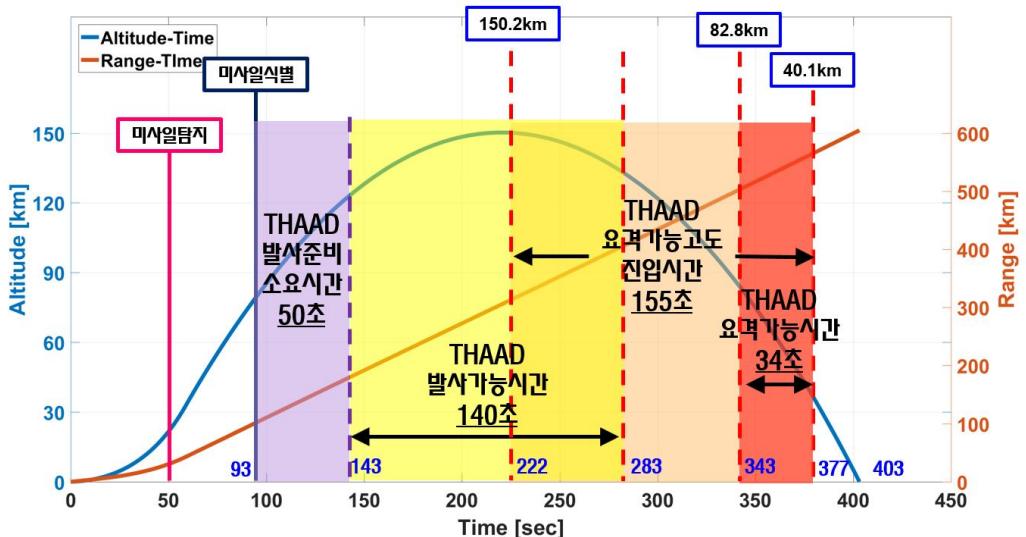


[그림 51] 군산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 5]의 각 미사일 별 타임라인

미군 사드 운용부대에서는 적 미사일의 탐지, 추적 및 식별 후, 사드 발사까지 소요되는 시간을 자동화하여 소요시간을 최소화한 것으로 알려져 있으며, 네트워크 소요시간이 약 50초 정도라고 가정하면 요격가능시간의 추가 확보가 가능하다. 기존의 분석에서는 약 110초 정도 소요되는 것으로 가정하였다.

다음의 [그림 52]는 사드 체계의 네트워크 자동화시 성주에서 사드 요격미

사일을 통해 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

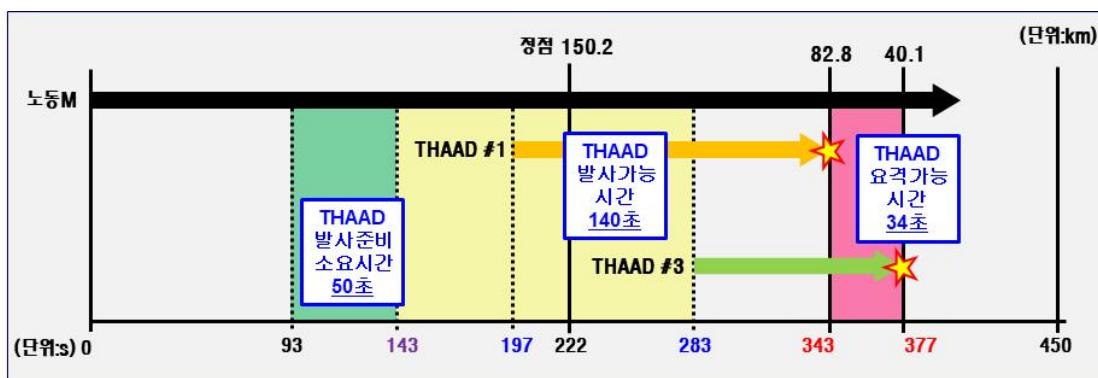


[그림 52] 군산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 5]의 타임라인
(네트워크 자동화 시)

군산을 향해 발사된 노동미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 140초임을 알 수 있다.

[그림 53]은 사드체계의 네트워크 자동화시 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 기존 사드 발사준비시간이 110초인 경우 사드 #1은 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능했으나 사드 발사준비시간을 네트워크 자동화로 50초로 단축하면 사드 요격미사일의 최대성능으로 요격이 가능함을 의미한다.

따라서 군산 공격 시 성주에서 사드 미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 고도 82.8km에서 요격하는 시점인 343초부터 사드 #3이 고도 40.1km에서 요격하는 시점인 377초까지 총 34초가 된다.



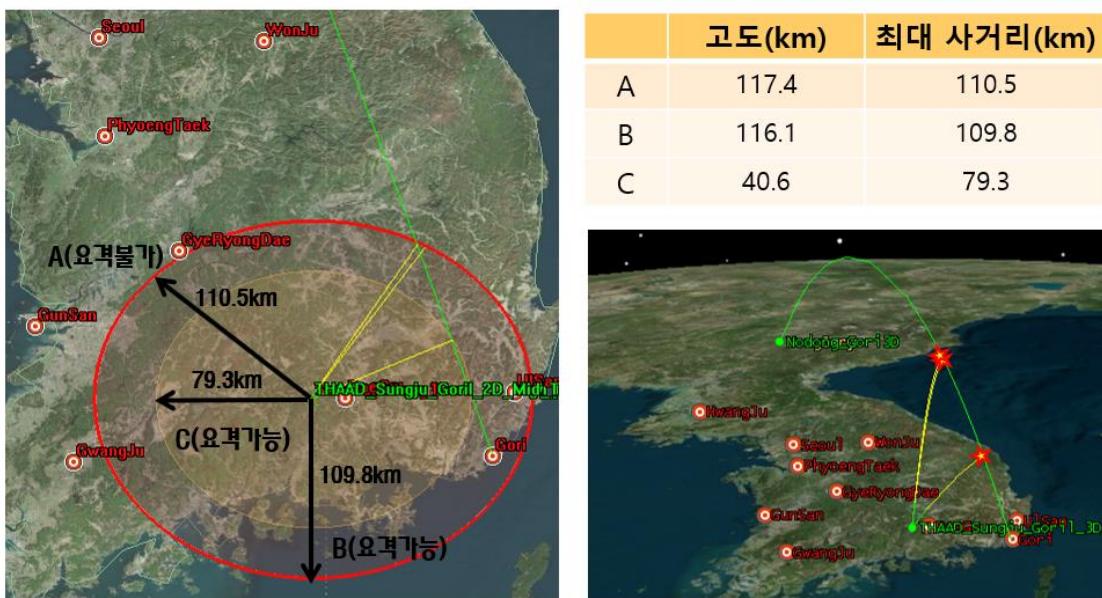
[그림 53] 군산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 5]의 각 미사일 별 타임라인 (네트워크 자동화 시)

[Case 6] 북한 노동 핵미사일의 고리 공격에 따른 사드의 방어능력 분석

[그림 54]는 노동미사일이 고리를 공격하는 경우[Case 6]에 대해 성주에서 사드 요격미사일을 통해 요격하는 형상을 소프트웨어를 통해 모사한 것이다. 사드 미사일 배치 지점에서 보여준 원은 북한의 노동미사일이 고리를 공격할 경우에 요격할 수 있는 최대사거리를 나타낸다.

[그림 55]는 노동미사일의 고리 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우 [Case 6]에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드 체계의 발사준비시간을 고려한 요격가능 최대고도, 그리고 사드 미사일 성능만을 고려한 요격 가능 최대고도 등을 모두 고려하여 분석하였다. 이는 해당 사드 배치 지역에서 미사일 성능만을 고려할 때 요격이 가능한 고도라도 사드 발사준비가 완료되지 못하면 시간 내에 발사를 못해 요격이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문이다.

[그림 54] 고리 공격 시 성주에서 요격하는 경우[Case 6]

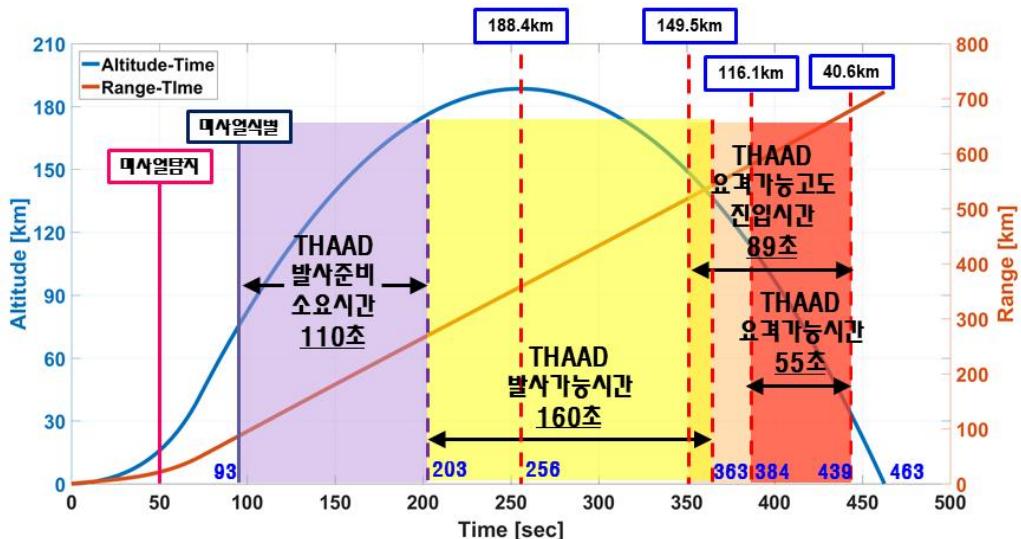


[그림 55] 고리 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 6]의 고도 및 최대사거리

[그림 55]의 A는 성주에 배치된 사드를 통해 고리 공격을 목표로 날아오는 노동미사일을 요격할 수 있는 최대고도 및 최대사거리이며 117.4km의 고도 및 110.5km의 사거리를 나타낸다. 이는 사드 요격미사일의 성능만을 고려할 때 도달할 수 있는 고도와 사거리이나, 노동미사일의 탐지 및 식별 그리고 사드 발사준비시간으로 요구되는 총 시간인 203초 이전에 요격미사일을 발

사해야 요격이 가능한 고도이기 때문에 실제 요격이 불가능한 고도이다. B는 이를 탐지, 식별 및 사드 발사준비시간 등을 모두 고려한 후에 요격이 가능한 최대 고도 116.1km 및 사거리 109.8km를 나타낸다. C는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소 고도 40.6km 및 사거리 79.3km를 보여준다. 결과적으로 노동미사일의 고리 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 6]에 요격이 가능한 고도는 40.6km에서 116.1km의 범위로 한정됨을 알 수 있다.

다음의 [그림 56]은 성주에서 사드 요격미사일을 통해 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입 시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

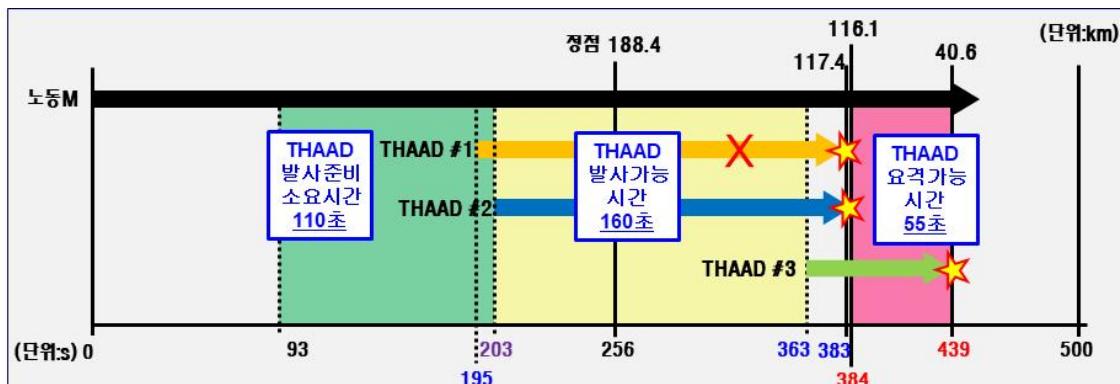


[그림 56] 고리 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 6]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 노동미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드미사일 발사지점에서 노동미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 노동미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 노

동미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다. 고리를 향해 발사된 노동미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 160초임을 알 수 있다.

[그림 57]은 고리 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 성주에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 117.4km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 188초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 8초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 성주에서 요격 가능한 최대 고도는 사드 #2의 116.1km이다. 사드 #2 발사 후 적의 미사일을 처음 요격하는 시점은 384초이며, 따라서 고리 공격 시 성주에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 384초부터 사드 #3이 고도 40.6km에서 요격하는 시점인 439초까지 총 55초가 된다.

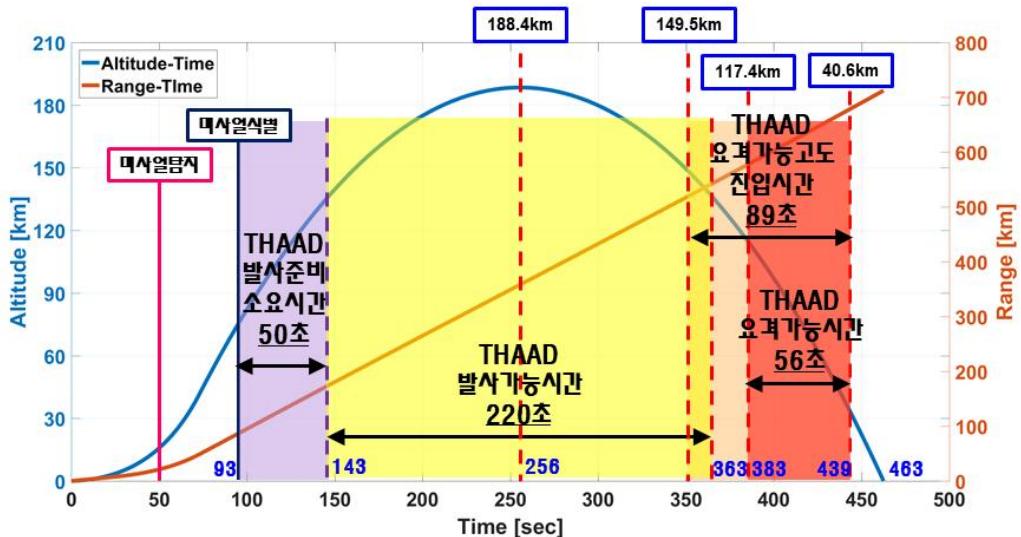


[그림 57] 고리 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 6]의 각 미사일 별 타임라인

미군 사드 운용부대에서는 적 미사일의 탐지, 추적 및 식별 후, 사드 발사까지 소요되는 시간을 자동화하여 소요시간을 최소화한 것으로 알려져 있으며, 네트워크 소요시간이 약 50초 정도라고 가정하면 요격가능시간의 추가 확보가 가능하다. 기존의 분석에서는 약 110초 정도 소요되는 것으로 가정하였다.

다음의 [그림 58]은 사드체계의 네트워크 자동화시 성주에서 사드 요격미사일을 통해 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도

및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

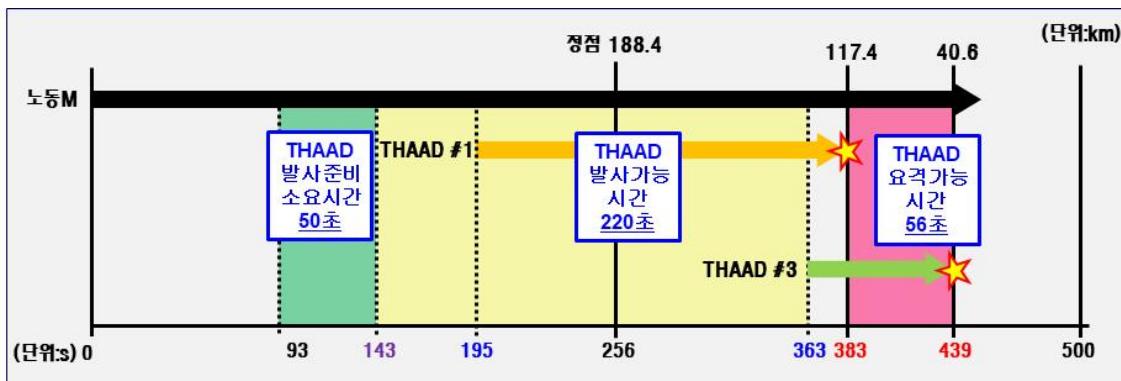


[그림 58] 고리 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 6]의 타임라인
(네트워크 자동화 시)

고리를 향해 발사된 노동미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 220초임을 알 수 있다.

[그림 59]는 사드체계의 네트워크 자동화시 고리 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 기존 사드 발사준비시간이 110초인 경우 사드 #1은 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능했으나 사드 발사준비시간을 네트워크 자동화로 50초로 단축하면 사드 요격미사일의 최대성능으로 요격이 가능함을 의미한다.

따라서 고리 공격 시 성주에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 고도 117.4km에서 요격하는 시점인 383초부터 사드 #3이 고도 40.6km에서 요격하는 시점인 439초까지 총 56초가 된다.



[그림 59] 고리 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 6]의 각 미사일 별 타임라인 (네트워크 자동화 시)

위에서 살펴본 바와 같이 노동미사일이 서울 및 수도권을 향하는 경우 성주에서 사드 요격체계로서는 사거리와 고도가 불충분하여 요격이 불가능하다. 계룡대를 목표로 하는 경우는 70초의 발사가능시간과 25초의 요격가능시간을 가진다. 평택 미군기지를 목표로 하는 경우는 발사가능시간이 가용하지 않으며 요격가능시간도 고도 불충분으로 가용하지 않다. 군산 미군기지를 목표로 하는 경우는 80초의 발사가능시간과 32초의 요격가능시간을 가지며 고리원전을 목표로 하는 경우는 160초의 발사가능시간과 55초의 요격가능시간을 가진다. [표 6]은 성주를 포함한 사드배치 지역 별, 그리고 목표지역에 대한 사드 요격체계의 가용한 발사가능시간과 요격가능시간을 분석한 결과를 도표로 제시한 것이다.

[표 10] 성주를 포함한 사드 요격미사일 요격가능시간 분석 요약

		사드(THAAD) 배치 지역			
		평택	원주	대구	성주
목 표 지 역	서울 용산	발사가능시간 : 70 sec. 요격가능시간 : 29 sec.	발사가능시간 : 84 sec. 요격가능시간 : 41 sec.	사거리/고도 불충분	사거리/고도 불충분
	계룡대	발사가능시간 : 115 sec. 요격가능시간 : 65 sec.	발사가능시간 : 99 sec. 요격가능시간 : 73 sec.	발사가능시간 : 70 sec. 요격가능시간 : 25 sec.	발사가능시간 : 70 sec. 요격가능시간 : 25 sec.
	고리 원전	사거리/고도 불충분	고도 불충분	발사가능시간 : 153 sec. 요격가능시간 : 68 sec	발사가능시간 : 160 sec. 요격가능시간 : 55 sec.
	평택	-	-	-	발사가능시간 : 0 sec. 요격가능시간 : N/A (고도불충분)
	군산	-	-	-	발사가능시간 : 80 sec. 요격가능시간 : 32 sec.

전술한 바와 같이 미군 사드 운용부대에서는 적 미사일의 탐지, 추적 및 식별 후, THAAD 발사까지 소요되는 시간을 자동화하여 소요시간을 최소화 한 것으로 알려져 있으며, 네트워크 소요시간이 약 50초 정도라고 가정하면 요격가능시간의 추가 확보가 가능하다. 기존의 분석에서는 약 110초 정도 소요되는 것으로 가정하였다. 따라서 이 경우 적 미사일의 탐지, 추적 및 식별부터 발사준비까지 사드 미사일 발사를 위해 소요되는 총 시간은 143초로 예측되었다.

사드배치지역이 경상북도 성주일 때 이를 기반으로 분석한 발사가능시간

및 요격가능시간은 [표 7]과 같다. 계통대를 공격하는 경우 네트워크 자동화를 통해 발사가능시간은 70초에서 130초로 60초 증가하였고 요격가능시간은 25초에서 32초로 7초 증가하였다. 고리원전을 공격하는 경우 네트워크 자동화를 통해 발사가능시간은 160초에서 220초로 60초 증가하였고 요격가능시간은 55초에서 56초로 1초 증가하였다.

군산을 공격하는 경우 네트워크 자동화를 통해 발사가능시간은 80초에서 140초로 60초 증가하였고 요격가능시간은 32초에서 34초로 2초 증가하였다.

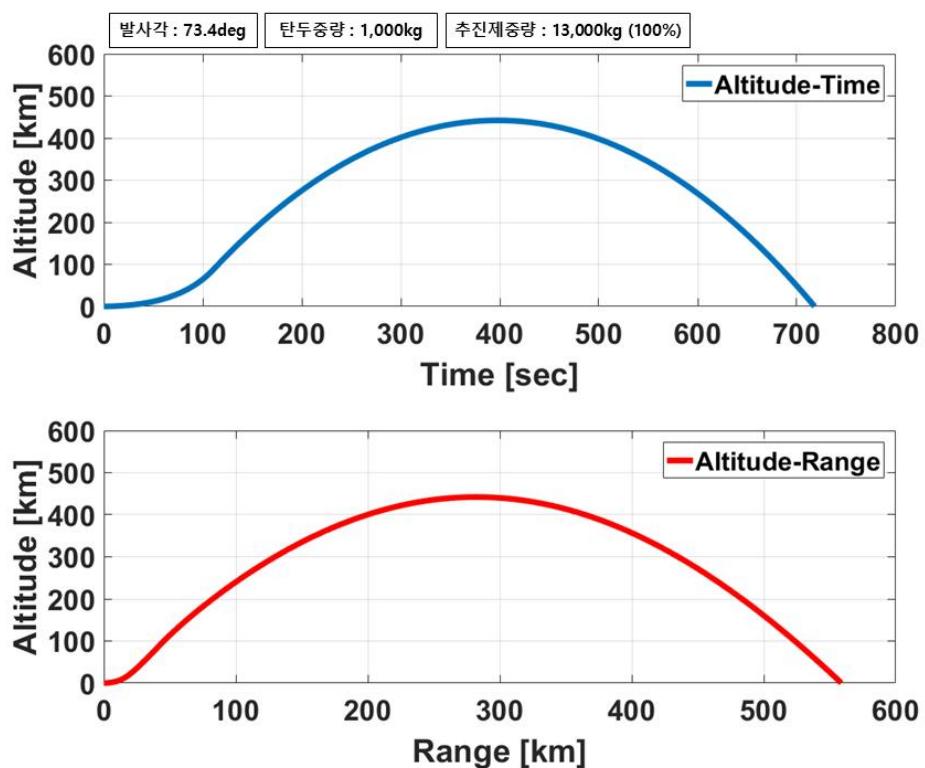
네트워크 자동화를 통해 발사가능시간은 현저하게 늘릴 수 있으나 요격가능시간에는 큰 영향이 없는 것을 확인할 수 있다.

[표 11] 네트워크 자동화 시 사드 요격미사일 요격가능시간 분석 요약

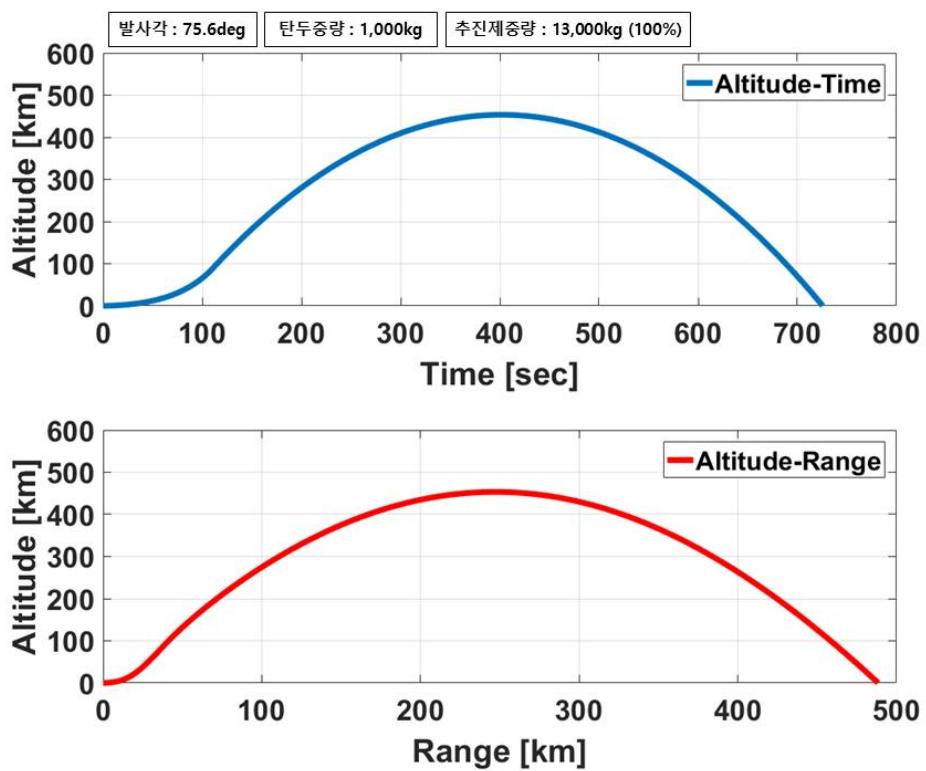
		사드(THAAD) 배치 지역		
		성주		
목 표 지 역	계통대	발사 준비시간 110초	발사 준비시간 50초 (네트워크 자동화)	비고
		발사가능시간 : 70 sec 요격가능시간 : 25 sec.	발사가능시간 : 130 sec 요격가능시간 : 32 sec.	발사가능시간 : 60 sec. 증가 요격가능시간 : 7sec. 증가
	고리 원전	발사가능시간 : 160 sec. 요격가능시간 : 55 sec.	발사가능시간 : 220 sec. 요격가능시간 : 56 sec.	발사가능시간 : 60 sec. 증가 요격가능시간 : 1 sec. 증가
	평택	발사가능시간 : 0 sec. 요격가능시간 : N/A (고도불충분)	발사가능시간 : 0 sec. 요격가능시간 : N/A (고도불충분)	고도불충분
	군산	발사가능시간 : 80 sec. 요격가능시간 : 32 sec.	발사가능시간 : 140 sec. 요격가능시간 : 34 sec.	발사가능시간 : 60 sec. 증가 요격가능시간 : 2 sec. 증가

라. 북한 노동 핵미사일 고각발사 시 한국 공격에 따른 사드의 방어능력 분석

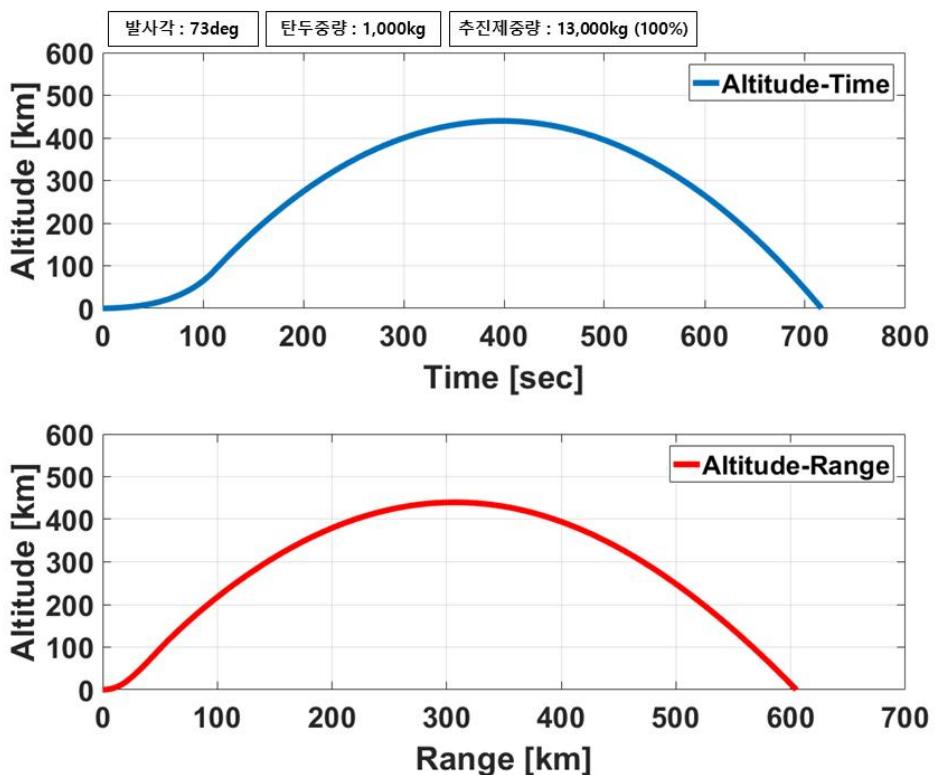
[그림 60]부터 [그림 63]은 노동미사일에 추진제를 100% 채우고 사거리 줄이기 위해 약간의 고각발사를 시행하여 공격할 경우에 서울, 계룡대, 평택, 군산, 고리를 타격할 때의 노동미사일의 궤적분석 결과를 보여준다. 여기서 탄두질량은 충분한 무게인 1톤을 탑재한다고 가정을 하였다.



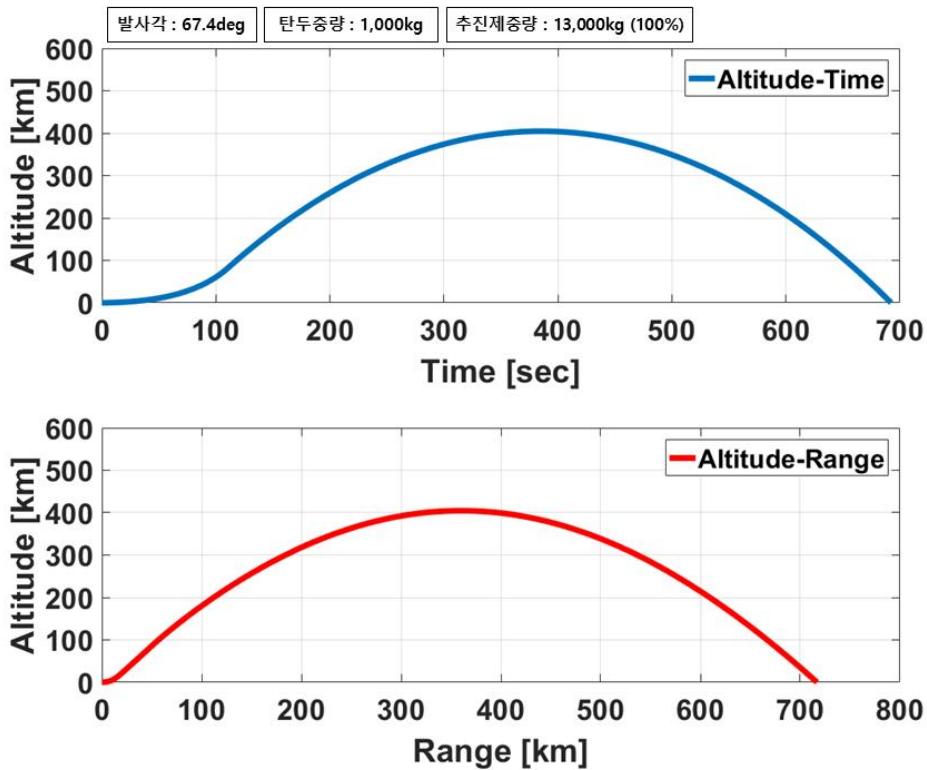
[그림 60] 표적이 계룡대인 경우 고도-사거리/고도-시간 그래프



[그림 61] 표적이 평택인 경우 고도-사거리/고도-시간 그래프



[그림 62] 표적이 군산인 경우 고도-사거리 / 고도-시간 그래프

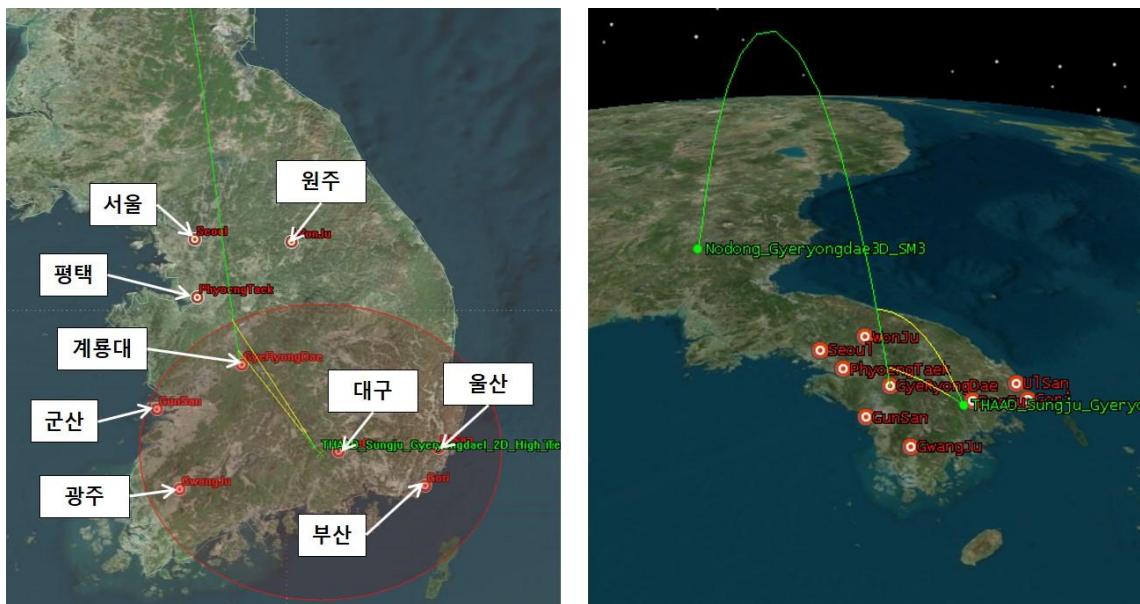


[그림 63] 표적이 고리인 경우 고도-사거리/고도-시간 그래프

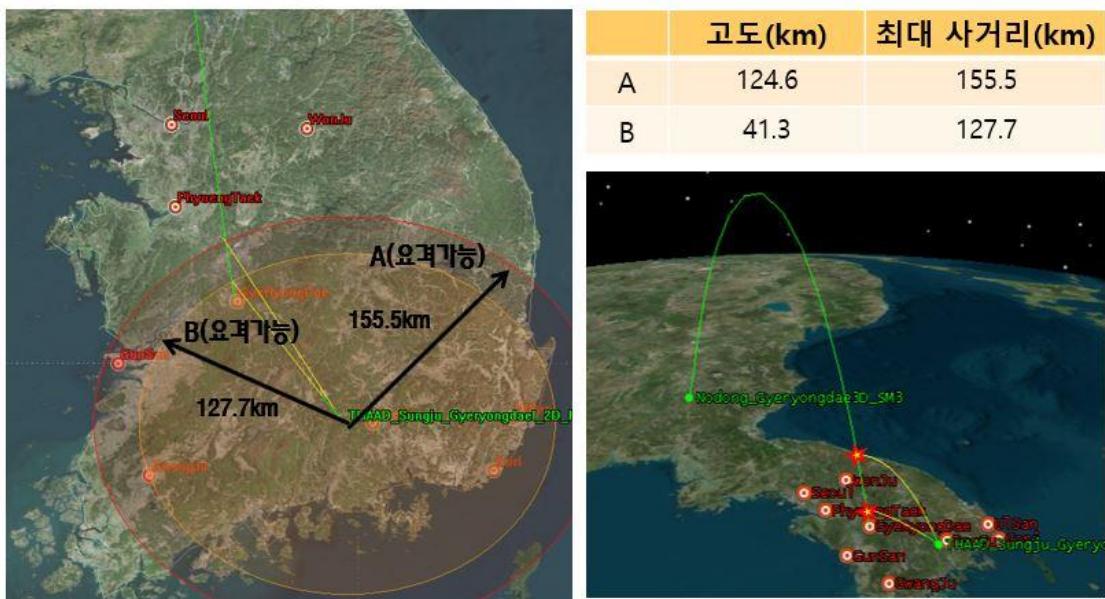
[Case 7] 북한 노동 핵미사일의 계룡대 공격에 따른 사드의 방어능력 분석

[그림 64]는 노동미사일이 계룡대를 고각발사를 통해 공격하는 경우[Case 7]에 대해 성주에서 사드 요격미사일을 통해 요격하는 형상을 소프트웨어를 통해 모사한 것이다. 사드 미사일 배치 지점에서 보여준 원은 북한의 노동미사일이 계룡대를 공격할 경우에 요격할 수 있는 최대사거리를 나타낸다.

[그림 65]는 노동미사일의 계룡대 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 7]에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드 체계의 발사준비 시간을 고려한 요격가능 최대고도를 고려하여 분석하였다.



[그림 64] 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우[Case 7]

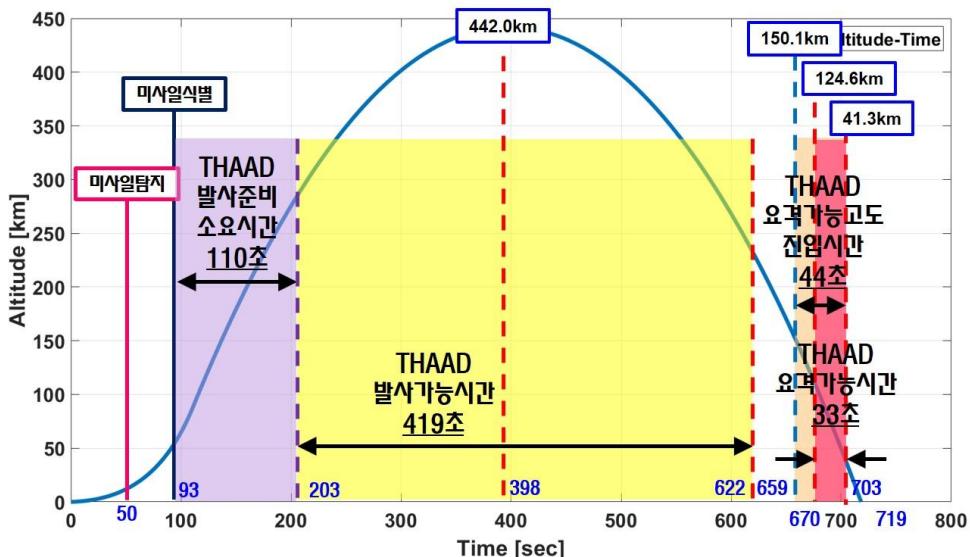


[그림 65] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 7]의 고도 및 최대 사거리

[그림 65]의 A는 성주에 배치된 사드를 통해 계룡대 공격을 목표로 날아오는 노동미사일을 요격할 수 있는 최대고도 및 최대사거리이며 124.6km의 고도 및 155.5km의 사거리를 나타낸다. 이는 사드체계의 발사준비시간을 고려한 요격미사일의 도달할 수 있는 고도와 사거리이다. B는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소 고도 41.3km 및 사거리

127.7km를 보여준다. 결국 노동미사일이 고각발사로 계룡대 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 7]에 요격이 가능한 고도는 41.3km에서 124.6km의 범위로 상당히 넓어짐을 알 수 있다.

다음의 [그림 66]은 성주에서 사드 요격미사일을 통해 고각발사된 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

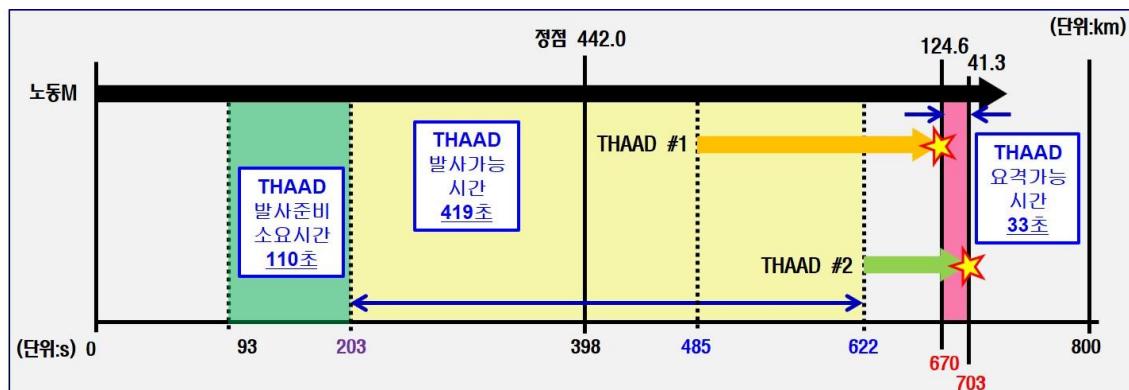


[그림 66] 계룡대 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 7]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 노동미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드미사일 발사지점에서 노동미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 노동미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 노동미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다.

계룡대를 향해 발사된 노동미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 419초임을 알 수 있다.

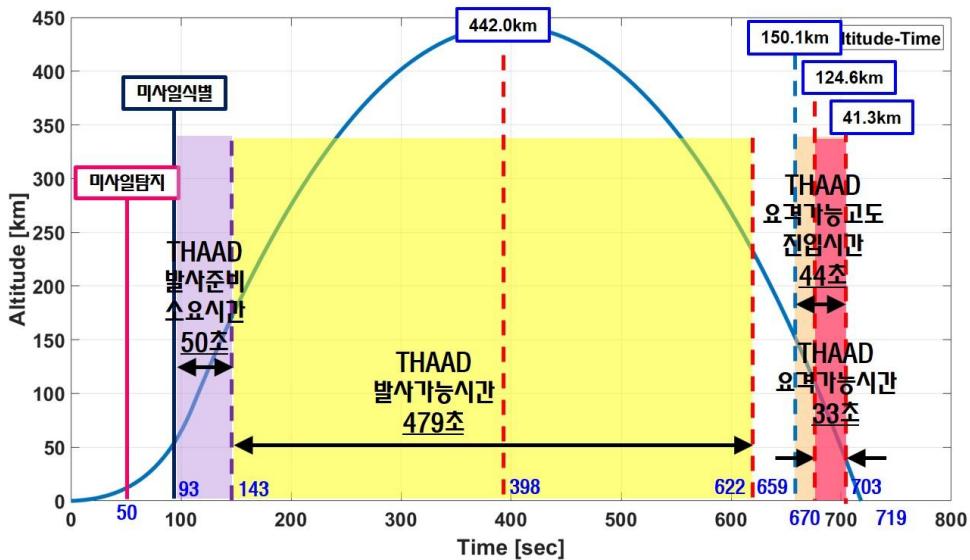
[그림 67]은 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 성주에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 124.6km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 185초가 소요된다. 따라서 계룡대 공격 시 성주에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 670초부터 사드 #2이 고도 41.3km에서 요격하는 시점인 703초까지 총 33초가 된다.



[그림 67] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 7]의 각 미사일 별 타임라인

전술함 바와 같이 미군 사드 운용부대에서는 적 미사일의 탐지, 추적 및 식별 후, 사드 발사까지 소요되는 시간을 자동화하여 소요시간을 최소화한 것으로 알려져 있으며, 네트워크 소요시간이 약 50초 정도라고 가정하면 요격가능시간의 추가 확보가 가능하다. 기존의 분석에서는 약 110초 정도 소요되는 것으로 가정하였다.

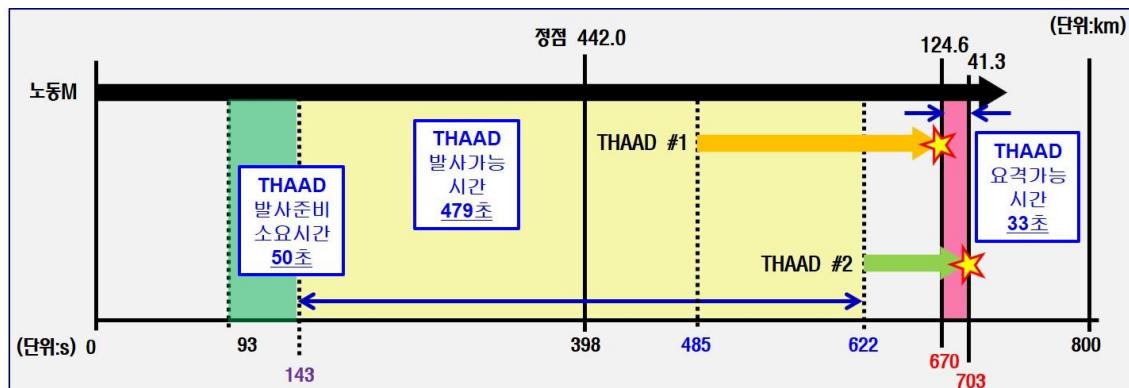
다음의 [그림 68]은 사드체계의 네트워크 자동화시 성주에서 사드 요격미사일을 통해 고각발사된 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.



[그림 68] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 7]의 타임라인
(네트워크 자동화 시)

계룡대를 향해 발사된 노동미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 479초임을 알 수 있다.

[그림 69]는 사드체계의 네트워크 자동화시 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 사드 요격미사일의 성능의 한계로 인해 사드 발사준비시간이 110초에서 50초로 감소하여도 요격가능시간은 변하지 않는 것을 확인 할 수 있다.

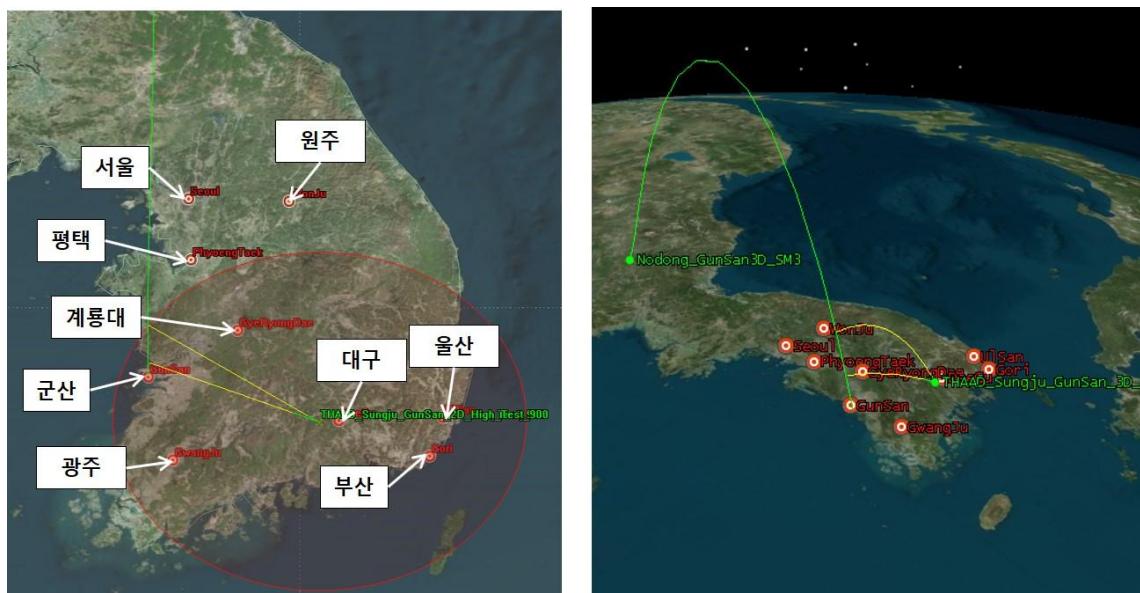


[그림 69] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 7]의 각 미사일 별
타임라인 (네트워크 자동화 시)

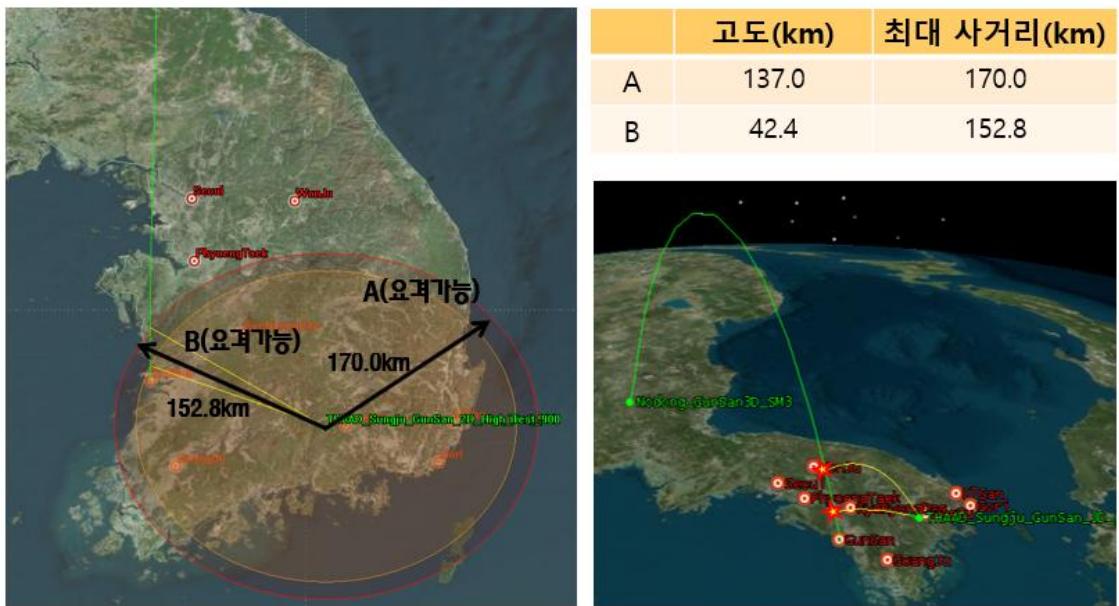
[Case 8] 북한 노동 핵미사일의 군산 공격에 따른 사드의 방어능력 분석

[그림 70]은 노동미사일이 군산을 공격하는 경우[Case 8]에 대해 성주에서 사드 요격미사일을 통해 요격하는 형상을 소프트웨어를 통해 모사한 것이다. 사드 미사일 배치 지점에서 보여준 원은 북한의 노동미사일이 군산을 공격할 경우에 요격할 수 있는 최대 사거리를 나타낸다.

[그림 71]은 노동미사일의 군산 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 8]에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드 체계의 발사준비시간을 고려한 요격가능 최대고도를 고려하여 분석하였다.



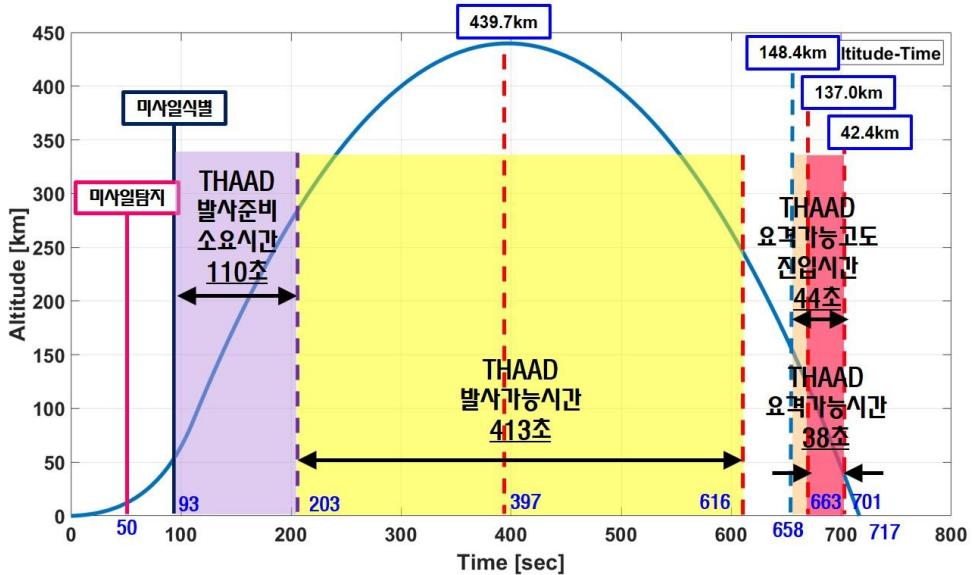
[그림 70] 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우[Case 8]



[그림 71] 군산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 8]의 고도 및 최대 사거리

[그림 71]의 A는 성주에 배치된 사드를 통해 군산 공격을 목표로 날아오는 노동미사일을 요격할 수 있는 최대고도 및 최대사거리이며 137.0km의 고도 및 170.0km의 사거리를 나타낸다. 이는 사드체계의 발사준비시간을 고려한 요격미사일의 도달할 수 있는 고도와 사거리이다. B는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소 고도 42.4km 및 사거리 152.8km를 보여준다. 결국 고각발사된 노동미사일의 군산 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 8]에 요격이 가능한 고도는 42.4km에서 137.0km의 범위로 넓어짐을 알 수 있다.

다음의 [그림 72]는 성주에서 사드 요격미사일을 통해 고각발사된 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

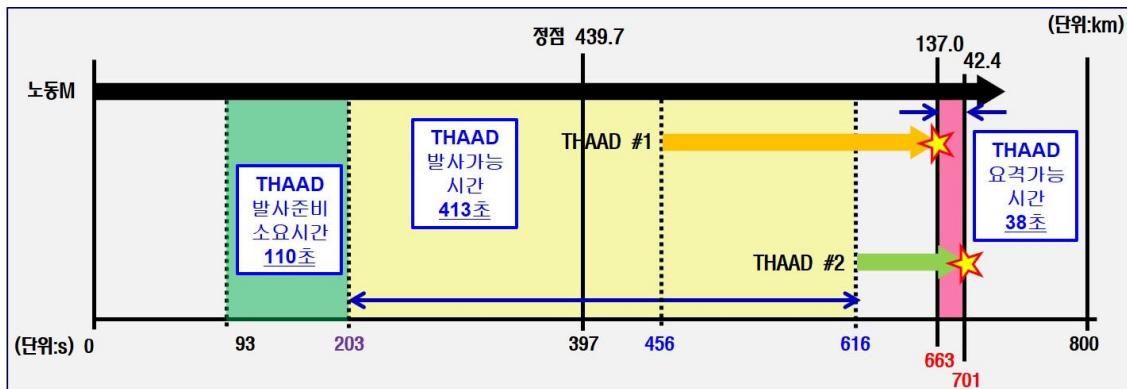


[그림 72] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 8]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 노동미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드미사일 발사지점에서 노동미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 노동미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 노동미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다.

군산을 향해 고각발사된 노동미사일을 성주에서 사드 미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 413초임을 알 수 있다.

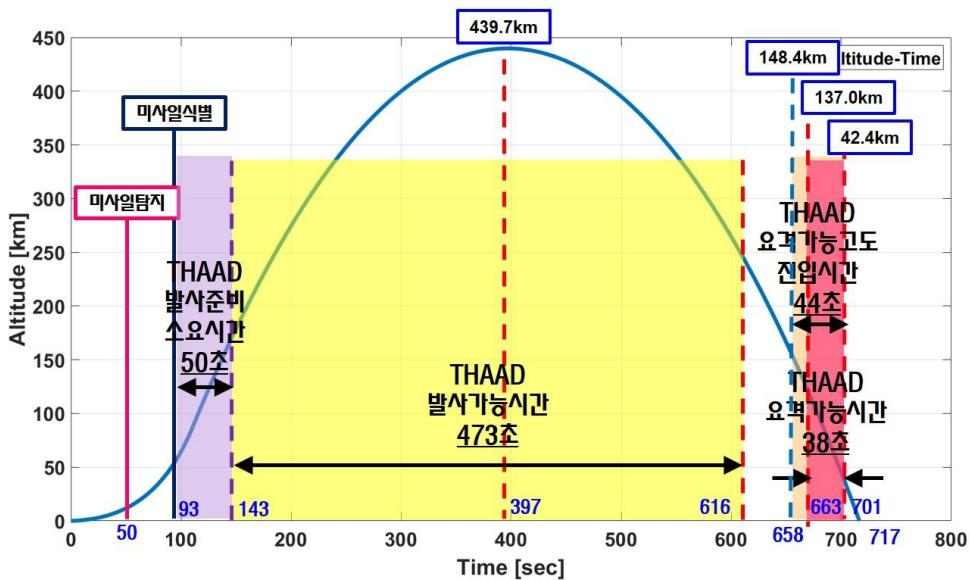
[그림 73]은 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 성주에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 137.0km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 207초가 소요된다. 따라서 군산 공격 시 성주에서 사드 미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 663부터 사드 #2이 고도 42.4km에서 요격하는 시점인 701초까지 총 38초가 된다.



[그림 73] 군산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 8]의 각 미사일 별 타입라인

미군 사드 운용부대에서는 적 미사일의 탐지, 추적 및 식별 후, 사드 발사 까지 소요되는 시간을 자동화하여 소요시간을 최소화한 것으로 알려져 있으며, 네트워크 소요시간이 약 50초 정도라고 가정하면 요격가능시간의 추가 확보가 가능하다. 기존의 분석에서는 약 110초 정도 소요되는 것으로 가정하였다.

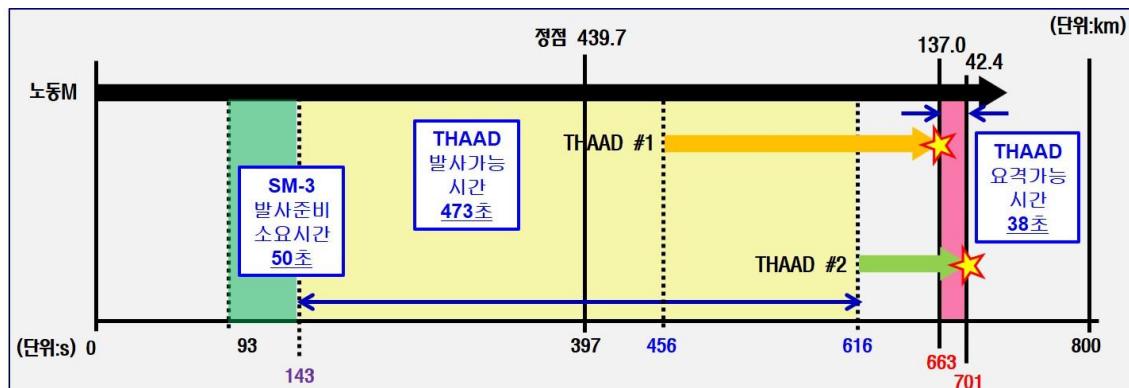
다음의 [그림 74]는 사드체계의 네트워크 자동화시 성주에서 사드 요격미사일을 통해 고각발사된 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.



[그림 74] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 8]의 타임라인
(네트워크 자동화 시)

군산을 향해 발사된 노동미사일을 성주에서 사드 미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 473초임을 알 수 있다.

[그림 75]는 사드체계의 네트워크 자동화시 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 사드 요격미사일의 성능의 한계로 인해 사드 발사준비시간이 110초에서 50초로 감소하여도 요격가능시간은 크게 변하지 않는 것을 확인할 수 있다.

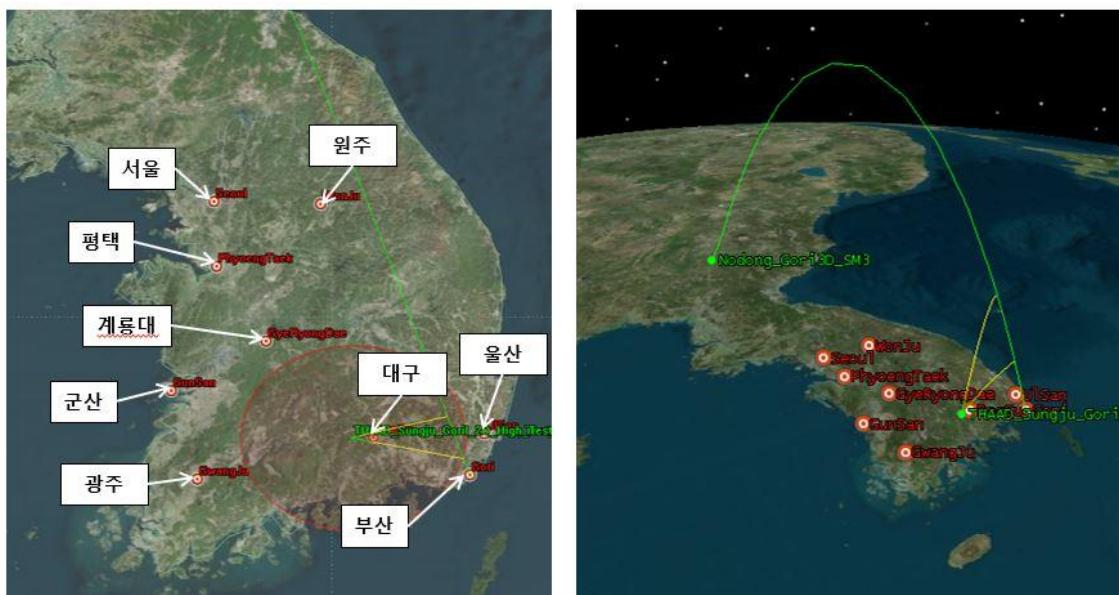


[그림 75] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 8]의 각 미사일 별
타임라인 (네트워크 자동화 시)

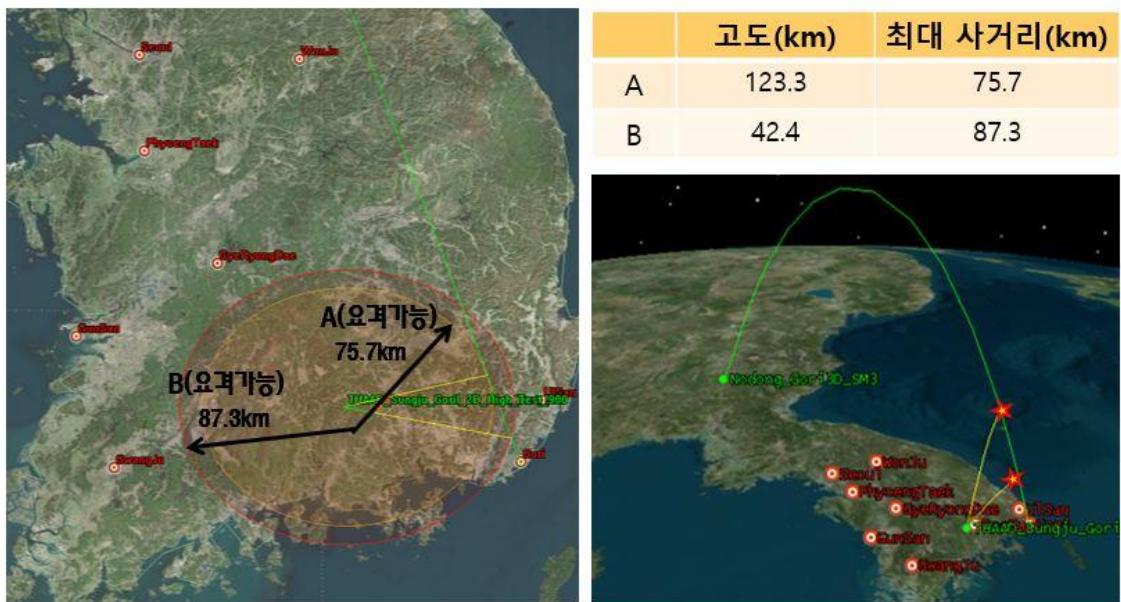
[Case 9] 북한 노동 핵미사일의 고리 공격에 따른 사드의 방어능력 분석

[그림 76]은 노동미사일이 고리를 공격하는 경우[Case 9]에 대해 성주에서 사드 요격미사일을 통해 요격하는 형상을 소프트웨어를 통해 모사한 것이다. 사드 미사일 배치 지점에서 보여준 원은 북한의 노동미사일이 고리를 공격할 경우에 요격할 수 있는 최대사거리를 나타낸다.

[그림 77]은 노동미사일의 고리 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 9]에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. 요격 고도는 사드 요격가능 최소고도(40km), 사드 체계의 발사준비시간을 고려한 요격가능 최대고도를 고려하여 분석하였다.



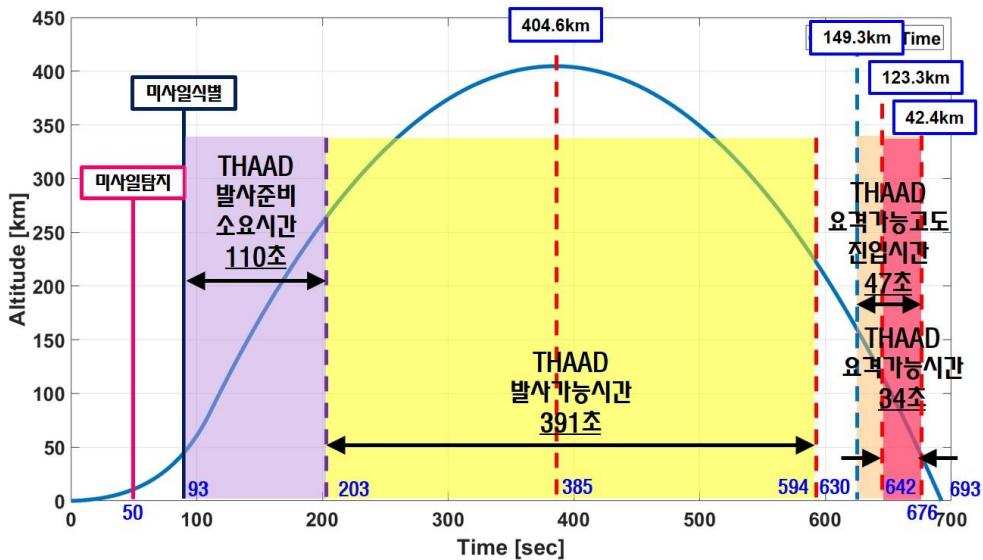
[그림 76] 고리 공격 시 성주에서 요격하는 경우[Case 9]



[그림 77] 고리 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 9]의 고도 및 최대 사거리

[그림 77]의 A는 성주에 배치된 사드를 통해 고리 공격을 목표로 날아오는 고각발사된 노동미사일을 요격할 수 있는 최대 고도 및 최대 사거리이며 123.3km의 고도 및 75.7km의 사거리를 나타낸다. 이는 사드체계의 발사준비 시간을 고려한 요격미사일의 도달할 수 있는 고도와 사거리이다. B는 사드의 요격이 가능한 최소 운용고도 40km를 기준으로 분석한 최소 고도 42.4km 및 사거리 87.3km를 보여준다. 결과적으로 노동미사일의 고리 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우[Case 9]에 요격이 가능한 고도는 42.4 km에서 123.3km의 범위로 넓어짐을 알 수 있다.

다음의 [그림 78]은 성주에서 사드 요격미사일을 통해 노동미사일을 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입 시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

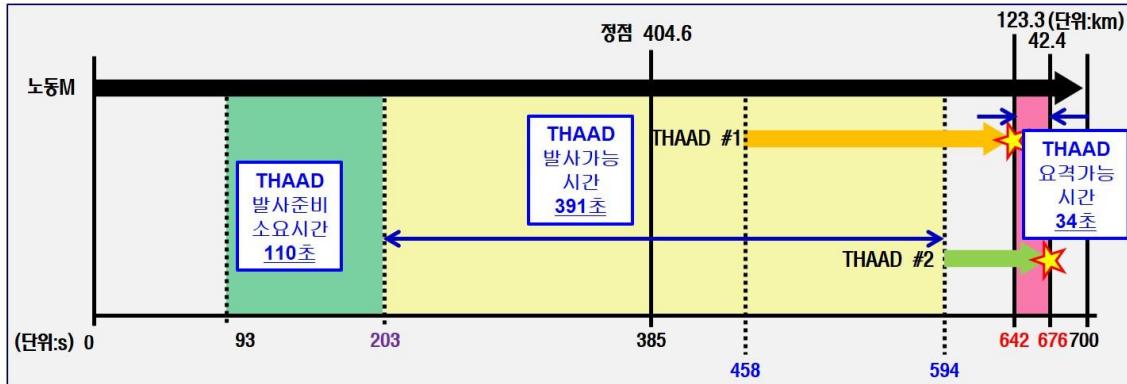


[그림 78] 고리 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 9]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 노동미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드미사일 발사지점에서 노동미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 노동미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 노동미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다.

고리를 향해 고각발사된 노동미사일을 성주에서 사드 미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 391초임을 알 수 있다.

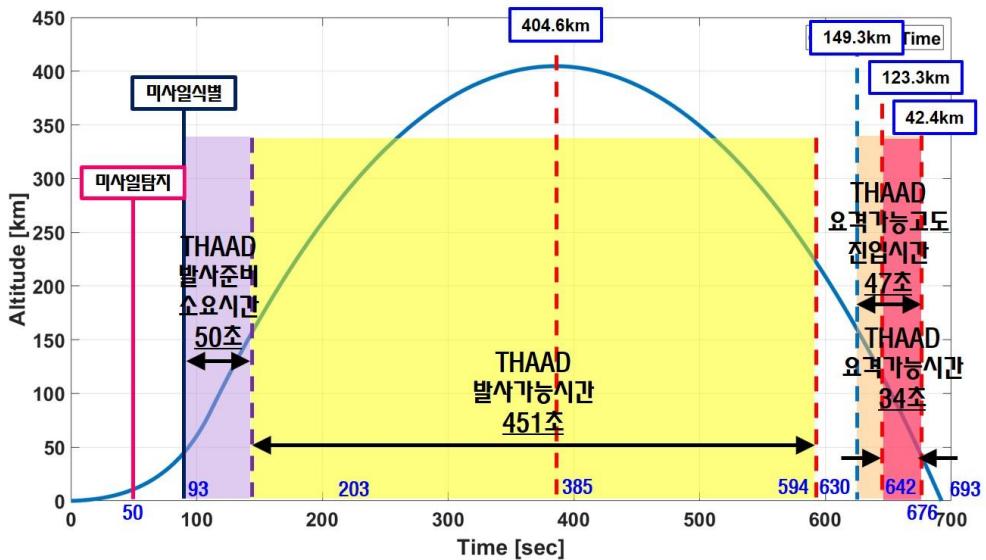
[그림 79]는 고리공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 전술한 바와 같이 성주에서 요격할 수 있는 가장 높은 고도는 123.3km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 184초가 소요된다. 따라서 고리 공격 시 성주에서 사드 미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 642초부터 사드 #2이 고도 42.4km에서 요격하는 시점인 676초까지 총 34초가 된다.



[그림 79] 고리 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 9]의 각 미사일 별 타임라인

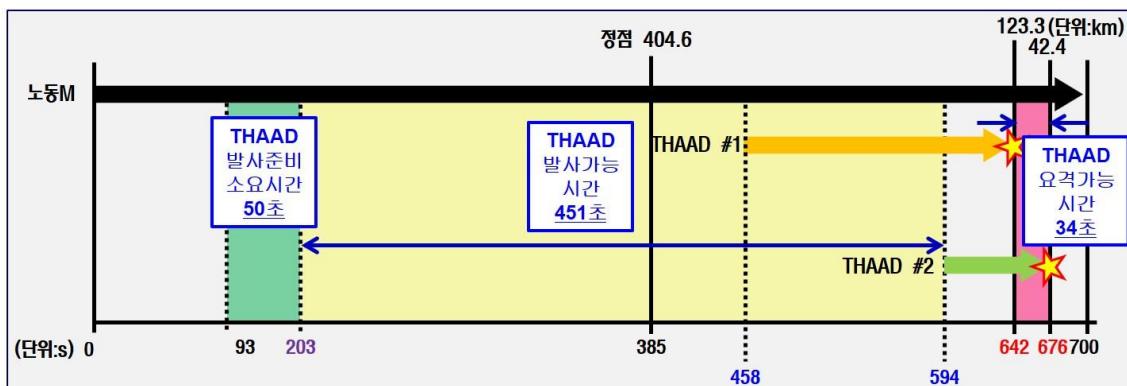
미군 사드 운용부대에서는 적 미사일의 탐지, 추적 및 식별 후, 사드 발사 까지 소요되는 시간을 자동화하여 소요시간을 최소화한 것으로 알려져 있으며, 네트워크 소요시간이 약 50초 정도라고 가정하면 요격가능시간의 추가 확보가 가능하다. 기존의 분석에서는 약 110초 정도 소요되는 것으로 가정하였다.

다음의 [그림 80]은 사드체계의 네트워크 자동화시 성주에서 사드 요격미사일을 통해 고각발사된 노동미사일로 요격하는 경우 노동미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.



[그림 80] 고리 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 9]의 타임라인
(네트워크 자동화 시)

고리를 향해 고각발사된 노동미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 391초임을 알 수 있다. [그림 81]은 사드체계의 네트워크 자동화시 고리 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 사드 요격미사일의 성능의 한계로 인해 사드 발사준비시간이 110초에서 50초로 감소하여도 요격가능시간은 크게 변하지 않는 것을 확인할 수 있다.



[그림 81] 고리 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 9]의 각 미사일 별
타임라인 (네트워크 자동화 시)

사드배치 지역이 경상북도 성주일 때 이를 기반으로 분석한 발사가능시간 및 요격가능시간의 요약은 [표 8]과 같다. 노동미사일이 서울 및 수도권을 향하는 경우 성주에서 사드 요격체계로서는 사거리와 고도가 불충분하여 요격이 불가능하다. 계룡대를 목표로 하는 경우는 419초의 발사가능시간과 33초의 요격가능시간을 가진다. 평택 미군기지를 목표로 하는 경우는 고도 및 사거리 불충분으로 발사가능시간과 요격가능시간이 적용하지 않다. 군산 미군기지를 목표로 하는 경우는 413초의 발사가능시간과 38초의 요격가능시간 가지며 고리원전을 목표로 하는 경우는 391초의 발사가능시간과 34초의 요격가능시간을 가진다.

[표 12] 네트워크 자동화 시 사드 요격미사일 요격가능시간 분석 요약

		사드(THAAD) 배치 지역		
		성주		
목 표 지 역	발사 준비시간 110초	발사 준비시간 50초 (네트워크 자동화)	비고	
	계룡대	발사가능시간 : 419 sec 요격가능시간 : 33 sec.	발사가능시간 : 479 sec 요격가능시간 : 33 sec.	발사가능시간 : 60 sec. 증가 요격가능시간 : 0 sec. 증가
	고리 원전	발사가능시간 : 391 sec. 요격가능시간 : 34 sec.	발사가능시간 : 451 sec. 요격가능시간 : 34 sec.	발사가능시간 : 60 sec. 증가 요격가능시간 : 0 sec. 증가
	평택	발사가능시간 : 0 sec. 요격가능시간 : N/A (고도불충분/ 사거리불충분)	발사가능시간 : 0 sec. 요격가능시간 : N/A (고도불충분/ 사거리불충분)	고도불충분/ 사거리불충분
	군산	발사가능시간 : 413 sec. 요격가능시간 : 38 sec.	발사가능시간 : 473 sec. 요격가능시간 : 38 sec.	발사가능시간 : 60 sec. 증가 요격가능시간 : 0 sec. 증가

따라서 적 미사일의 탐지, 추적 및 식별부터 발사준비까지 사드 미사일 발사를 위해 소요되는 총 시간은 143초로 예측되었다. 하지만 네트워크 자동화를 고려하여 분석한 결과 네트워크 자동화를 통해 발사 준비시간을 단축하여 발사가능시간을 늘릴 수는 있으나, 요격가능시간은 변화가 크게 없다는 것을 확인할 수 있다.

마. 북한 황주에서 노동미사일 공격 시 경북 성주에 배치한 사드의 방어능력 분석 및 결과

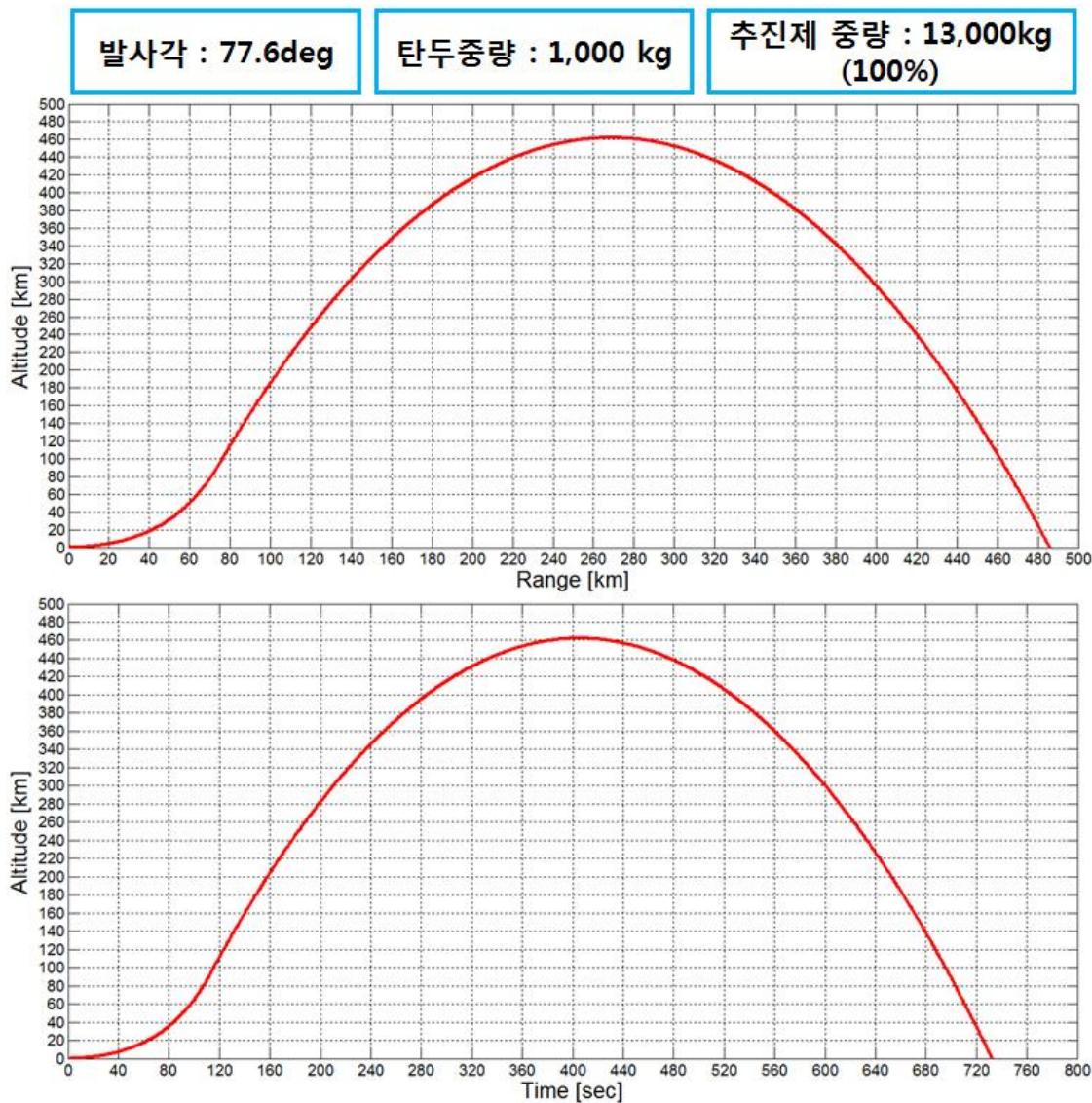
주한미군의 사드 배치가 경북 성주로 결정된 이후, 북한은 2016년 7월 19일 황해도 황주에서 동해상으로 노동미사일 2기 및 스커드미사일 1기를 발사했다. 북한이 발사한 미사일 3기 가운데 노동으로 추정되는 2기는 고각발사를 통해 약 500~600km를 날아갔고, 나머지 1기는 발사 직후 비정상적 궤도로 비행하다 공중 폭발한 것으로 군은 평가하고 있다.

우리 군은 북한이 지난해부터 노동미사일을 고각발사하는 것은 한국의 요격망을 회피하는 것과 함께 소형 핵탄두 탑재 능력을 시험하려는 것으로 추정하고 있다. 북한이 경북 성주에 배치되는 사드체계와 신형 PAC-3 미사일 방어망을 뚫고 노동미사일로 최적의 핵 공격을 수행하기 위해 핵탄두 규모와 발사 각도를 조합해 다양한 발사시험을 진행하는 것으로 보인다.

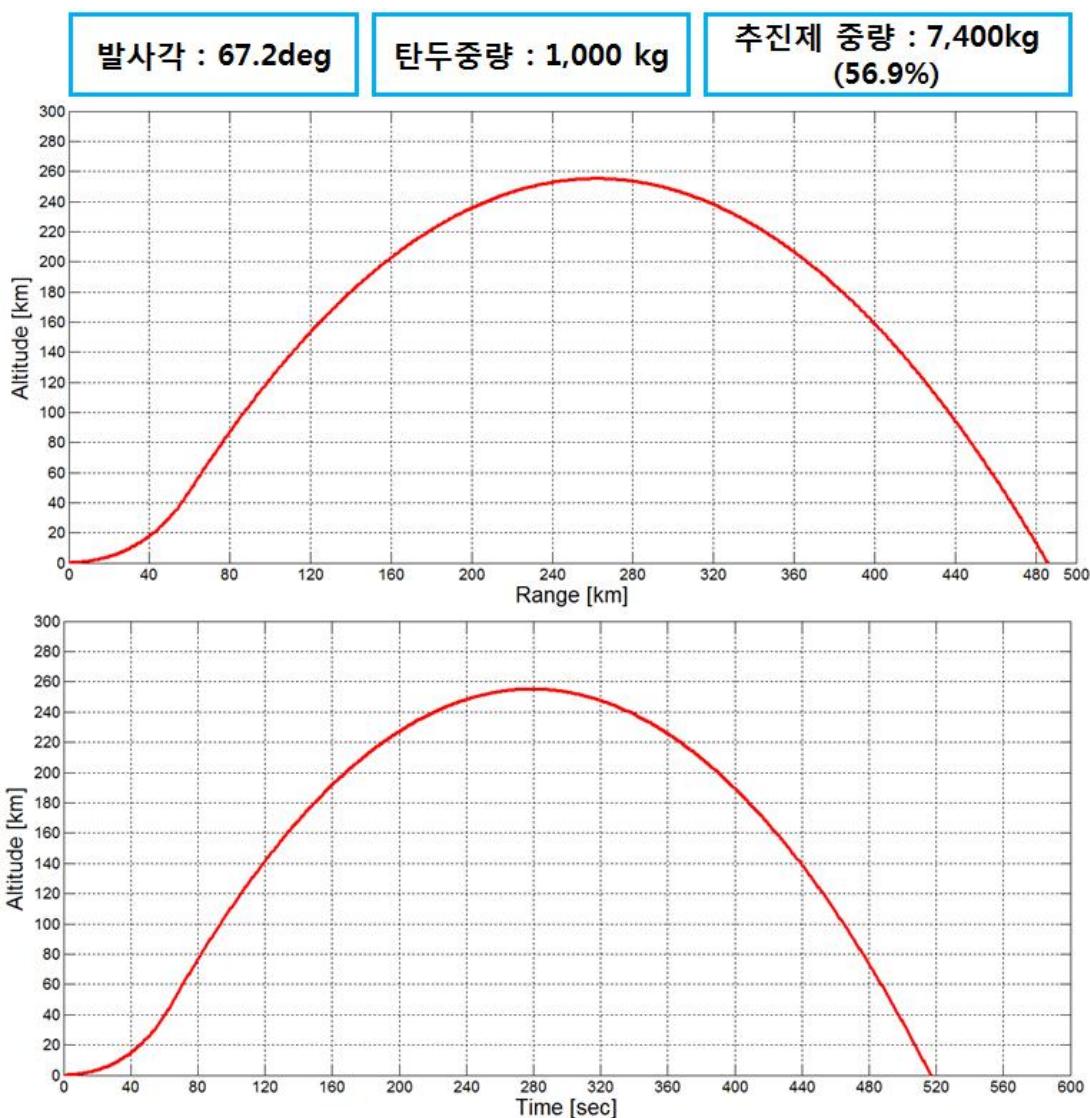
황주에서 부산지역을 표적으로 한 노동미사일의 궤적분석 결과

본 절에서는 국내 사드 요격미사일 배치 지역으로 결정된 성주를 기준으로 하여 부산지역을 표적으로 공격할 때 노동미사일의 제원 및 성능을 기반으로 궤적을 분석하였다. 2016년 7월 19일 북한에서는 황주에서 노동미사일과 스커드 미사일을 고각발사 발사한 것을 보도하였으며, 이와 관련하여 노동미사일의 발사 위치를 황주로 가정하여 분석하였다. [그림 82]와 [그림 83]은 부산을 표적으로 공격할 때 노동미사일의 궤적분석 결과를 보여준다. [그림 82]는 노동미사일의 연료량을 가득 채운상태로 고각발사하는 경우, 그리고 [그림 83]은 연료량 조절을 통해 발사하는 경우의 궤적이다. 황주에서 부산까지의 거리는 약 487km이며, 연료량을 가득 채운상태로 발사하는 경우 최

대고도는 약 462km로 추정되었다. 연료량 조절을 통해 발사하는 경우는 최대고도가 약 253km까지 상승하도록 제한하였다. 탄두중량은 1톤을 기준으로 하였으나 1.5톤 이상으로의 증가도 가능할 것이다. 또한 노동미사일은 기본적인 형태의 단일 탄두를 가지는 탄도미사일로 가정하였으며 다탄두 형태나 미사일의 회피기동은 본 분석에서 고려하지 않는다.



[그림 82] 추진제를 100% 채웠을 경우 고도-사거리/고도-시간 그래프



[그림 83] 추진제를 57% 채웠을 경우 고도-사거리/고도-시간 그래프

사드체계의 네트워크 구성 및 노드별 예상 소요시간 분석

사드 요격미사일의 발사준비 전에 먼저 적의 미사일 탐지와 식별을 수행하여야 하며, 여기에 소요되는 시간은 2012년 북한의 은하-3호 발사체 발사 시에 한국군 세종대왕함의 탐지 및 식별 사례를 기준으로 한 기존의 것과 국방부에서 제시한 발사 운용준비 시간을 적용하였다. 먼저 기존의 탐지 및 식별시간의 경우 사드 발사준비 소요시간은 총 110초이다. 국방부에서 제시한 발사 운용준비시간은 총 50초로 미군의 사드시스템의 자동화가 고려된 시간이다. 탐지 및 식별시간은 93초로 기존의 탐지 및 식별시간과 동일하다. 다

음 [표 9]는 기존의 미사일을 발사하기 위한 절차를 분석하여 각 절차 별로 소요되는 시간과 네트워크 자동화가 이루어질 경우에 대한 시간을 각각 보여준다. 따라서 적의 미사일 탐지 및 식별부터 발사준비까지 사드 미사일 발사를 위해 소요되는 총 시간은 각각 203초와 143초로 추정하였다.

[표 13] 사드 체계의 네트워크 구성 및 노드별 예상 소요시간
[각 노드별 예상 소요시간 – 1]

순서	수행임무	예상소요시간(sec)
0	미사일 탐지	50
1	미사일 식별 및 추적	43
2	경로 및 탄착점 예측	20
3	상황 보고 및 전파	25
4	최종 타격 결심	25
5	상황 보고 및 전파	15
6	미사일 식별 및 추적	10
7	사드 발사	15
합계		203

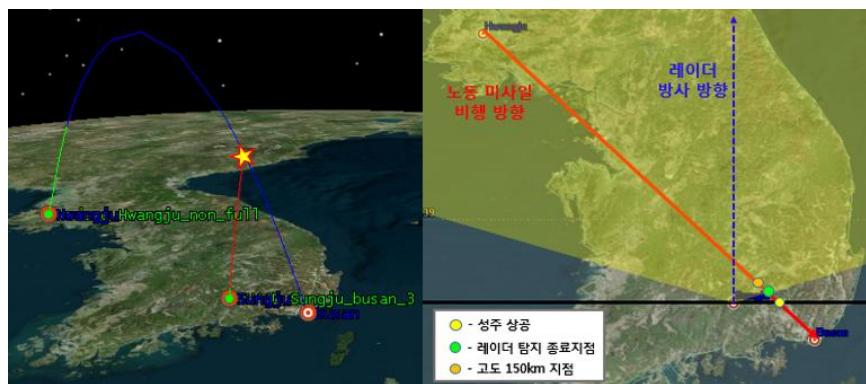
[각 노드별 예상 소요시간 – 2]

순서	수행임무	예상소요시간(sec)
0	미사일 탐지	50
1	미사일 식별 및 추적	43
2	경로 및 탄착점 예측	
3	상황 보고 및 전파	
4	최종 타격 결심	
5	상황 보고 및 전파	
6	미사일 식별 및 추적	
7	사드 발사	
합계		143

본 장에서는 북한의 황해도 황주에서 핵탄두를 장착한 노동미사일을 이용해 부산에 대한 공격을 감행한다는 가정 하에 현재 경상북도 성주에 배치된 사드 요격미사일을 통해 요격할 수 있는 발사가능시간, 요격가능시간, 요격 가능고도, 사거리 등을 분석한 절차 및 결과를 보여준다. 한편, 성주에 배치된 사드 레이더의 미사일 탐지 및 요격미사일의 유도 범위가 130도 반경을 고려하여 분석하였다.

[Case 10] 노동미사일의 연료를 57% 채우거나 Cutoff 하여 발사한 경우

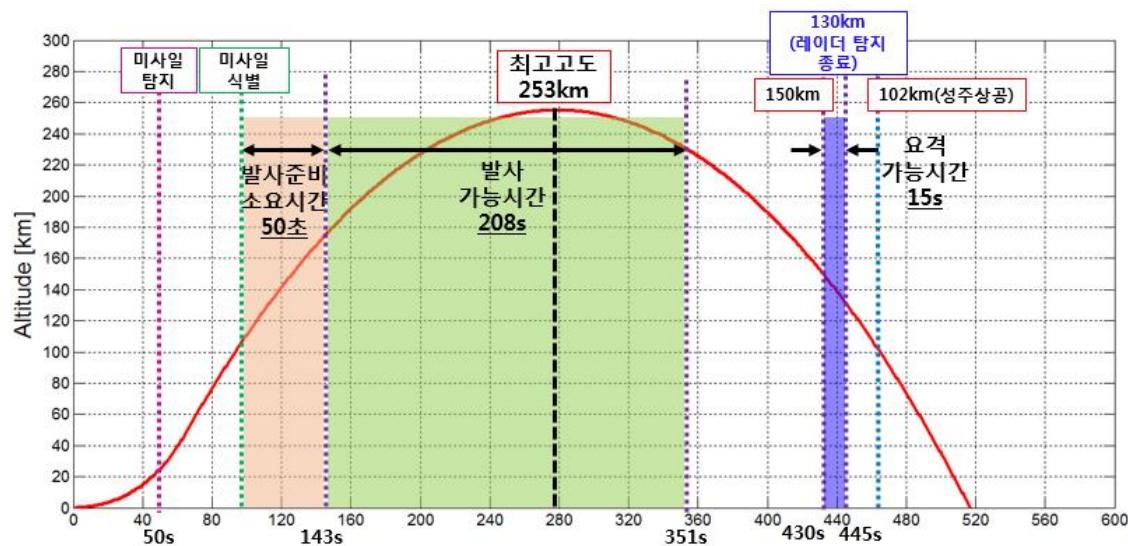
[그림 84]는 추진제 중량을 57%만 채우거나 Cutoff 하여 약 250km의 최대고도 성능을 나타내는 노동미사일이 황주에서 부산을 공격하는 경우[Case 10]에 대해 성주에서 사드 요격미사일을 통해 요격하는 형상을 소프트웨어를 통해 모사한 것이다. 성주에서 사드 요격가능 최대고도인 150km를 타격하는 형상과 사드 레이더 방사방향(12시 방향), 사드 요격미사일의 요격위치를 각각 보여주고 있다.



**[그림 84] 황주에서 부산 공격시 성주에서 요격하는 경우
레이더 방사 및 미사일 요격 형상(Case 10)**

[그림 85]~[그림 88]은 위에서 설정한 노동미사일이 부산을 타격하는 경우에 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. [Case 10-1]은 네트워크 자동화 시 발사준비시간을 50초로 가정하였을 경우이고, [Case 10-2]는 발사준비시간을 110초

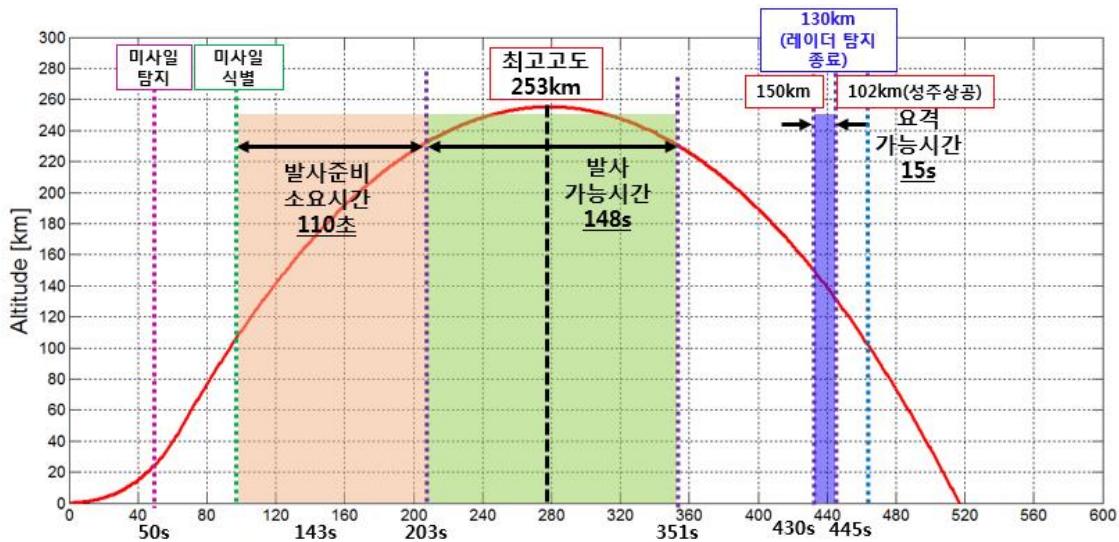
로 가정하였을 경우로 분석하였다. 요격고도는 최소 요격고도(40km), 사드체계의 요격가능 최대고도(150km), 그리고 사드미사일 성능 및 레이더 탐지 및 유도 범위를 고려한 요격가능 최대고도 등을 고려하여 분석하였다. 이는 부산지역을 타격할 경우 해당 사드 배치 지역에서 노동미사일이 레이더망으로부터 벗어나게 되면 요격이 가능한 고도라도 요격이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문이다.



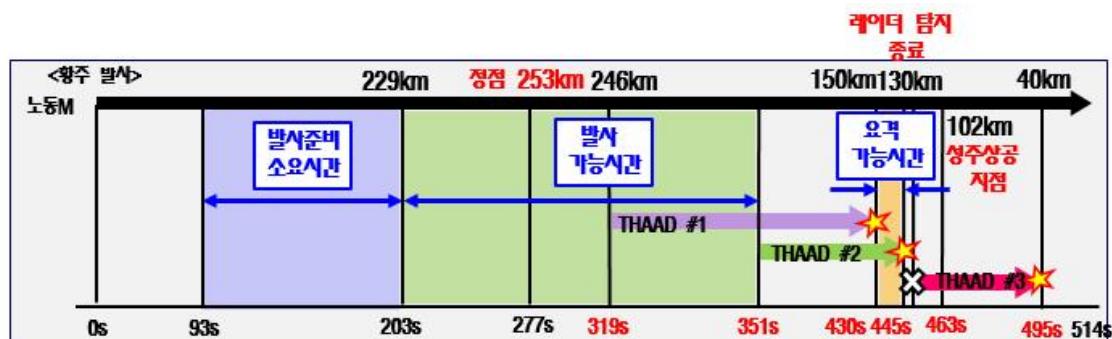
[그림 85] 부산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우의 타임라인(Case 10-1)



[그림 86] 부산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우의 사드 미사일 타임라인(Case 10-1)



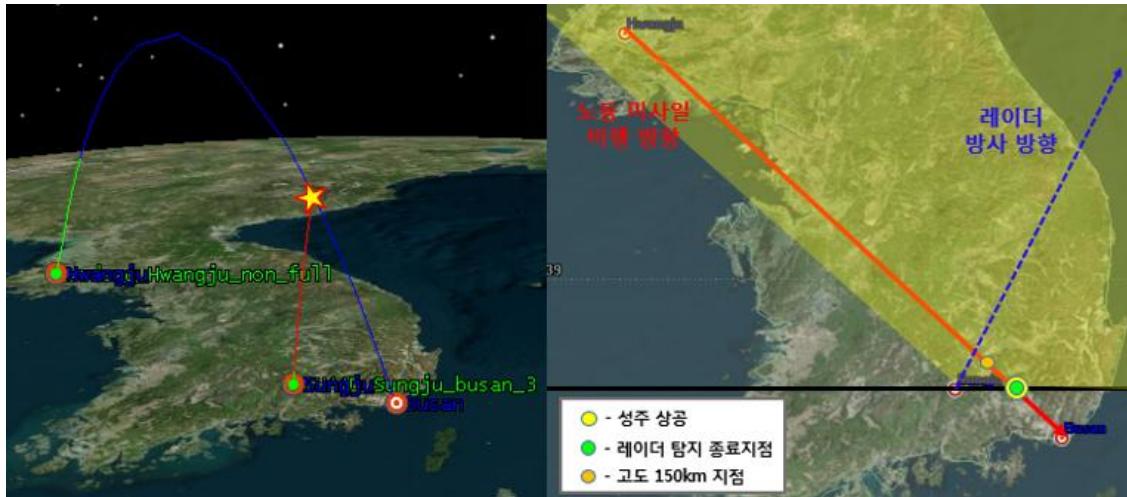
[그림 87] 부산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우의 타임라인(Case 10-2)



[그림 88] 부산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우의 사드 미사일 타임라인(Case 10-2)

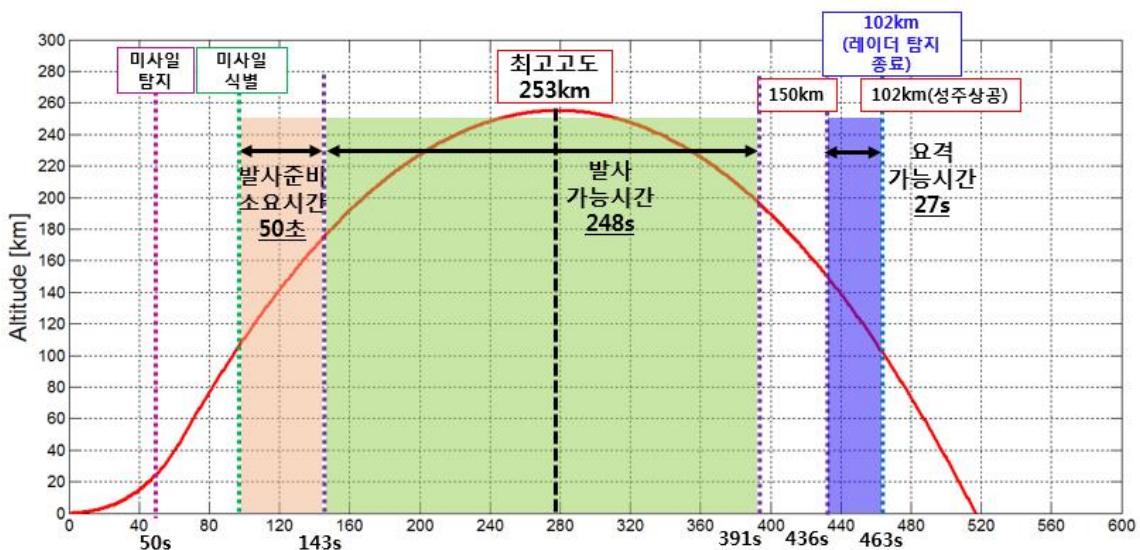
앞서 분석한 결과와 같이 레이더 탐지 및 유도 방위각이 130도로 제한되어 있어 요격 가능한 고도에 제한이 따른다. 따라서 레이더 방사 방향에 따라서 사드 요격미사일의 요격가능시간을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

다음 [그림 89]는 노동미사일을 탐지 및 요격미사일을 유도하기 위한 레이더의 방사 방향을 25도 이동시켜 1시 방향으로 할 경우 소프트웨어를 통해 모사한 형상을 보여준다. 레이더 방사 방향을 25도 이동시킬 경우 레이더를 이용한 노동미사일 탐지는 성주 상공을 지나는 시점의 고도까지 가능하다.



[그림 89] 부산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 레이더 방사방향 변경(1시 방향)

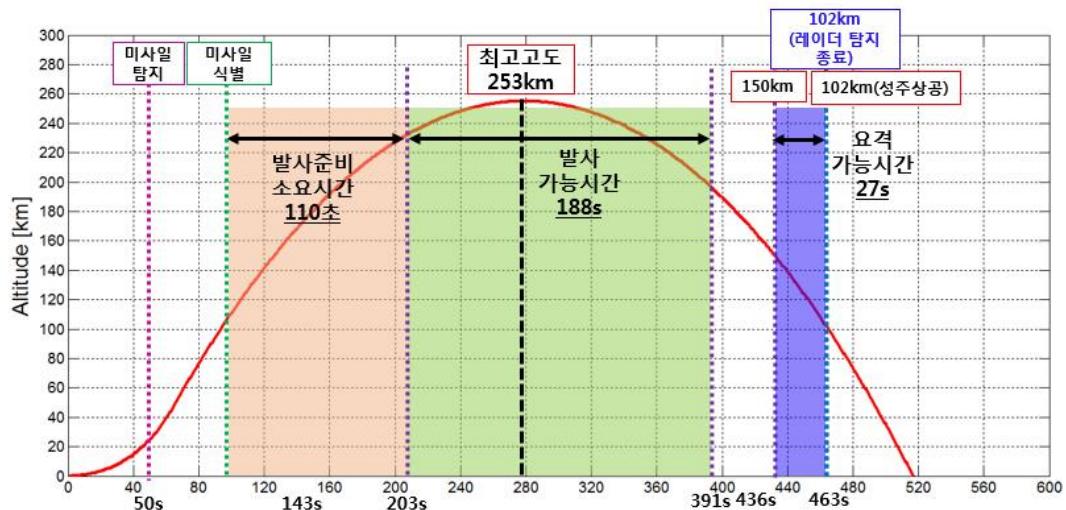
[그림 90]에서 [그림 93]은 위에서 설정한 노동미사일의 부산 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. [Case 10-1]은 네트워크 자동화 시 발사준비시간을 50초로 가정하였을 경우, [Case 10-2]는 발사준비시간을 110초로 가정하였을 경우로 분석하였다. 두 경우 모두 요격가능시간이 27초까지 확보될 것으로 보이며, [Case 10-1]은 발사가능시간이 248초, [Case 10-2]는 발사가능시간이 188초 정도로 분석되었다.



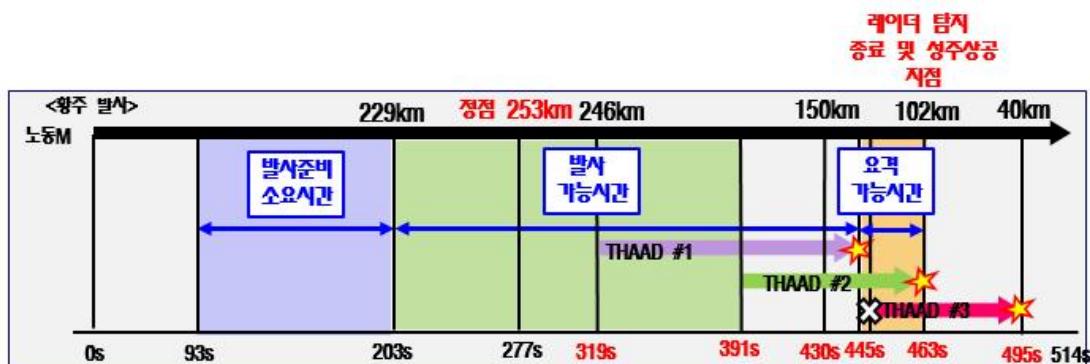
[그림 90] 부산 공격 시 성주 레이더 방향이 1시방향일 경우의 타임라인(Case 10-1)



[그림 91] 부산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우의 사드 미사일 타임라인(Case 10-1)

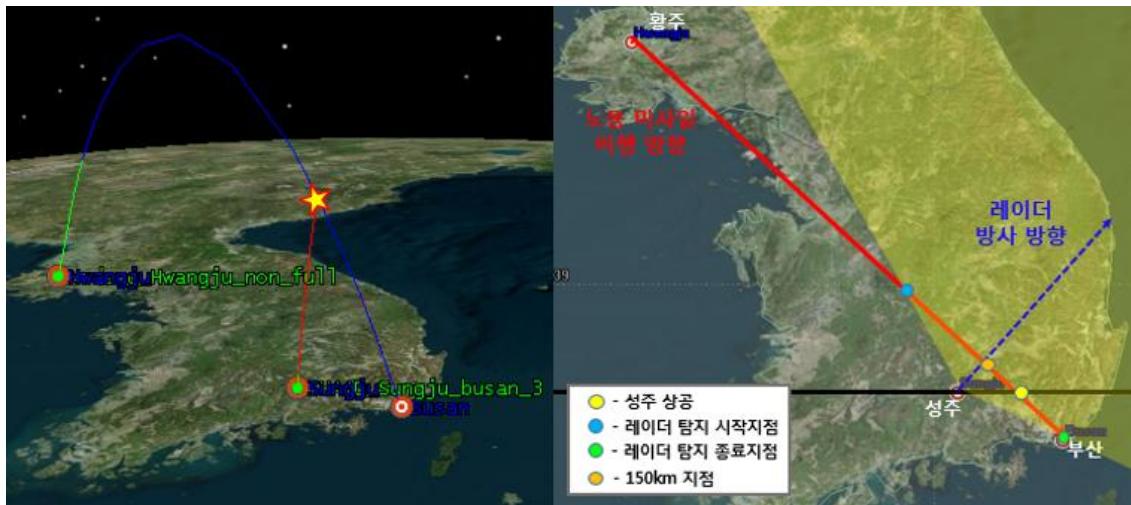


[그림 92] 부산 공격 시 성주 레이더 방향이 1시방향일 경우의 타임라인(Case 10-2)



[그림 93] 부산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우의 사드 미사일 타임라인(Case 10-2)

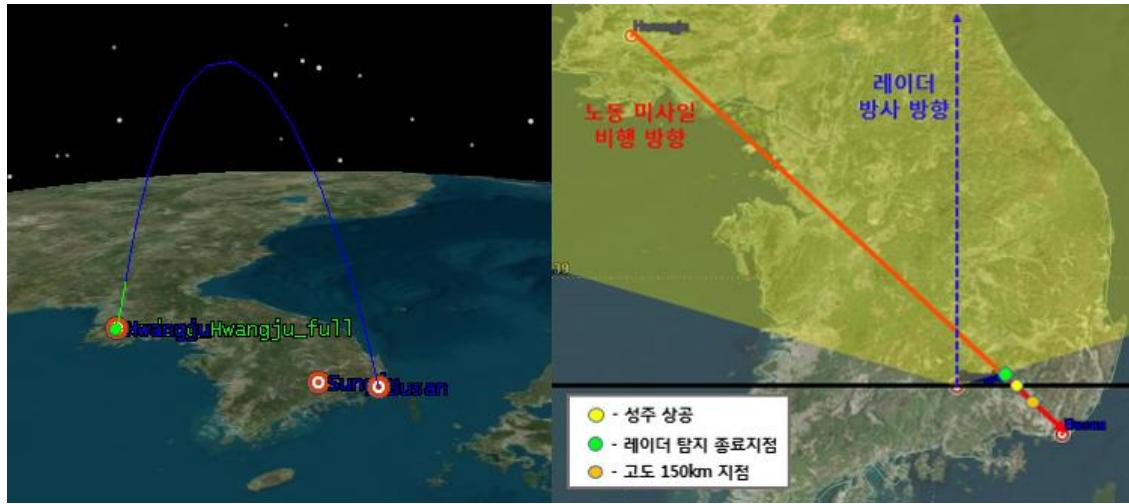
다음 [그림 94]는 노동미사일을 탐지하고 사드 요격미사일을 유도하기 위한 레이더의 방사 방향을 50도 이동시켰을 경우 소프트웨어를 통해 모사한 형상을 보여준다. 레이더 방사 방향을 50도 이동시킬 경우 레이더를 이용한 노동미사일 탐지는 부산지역까지 가능하지만 황주에서 발사되는 노동미사일을 발사 위치부터 탐지하는데 제한이 생기므로 사드 요격미사일의 효용성이 매우 낮으며 요격시간 분석의 의미가 거의 없다.



[그림 94] 부산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 레이더 방사 및 미사일 타격
형상(Case 10)

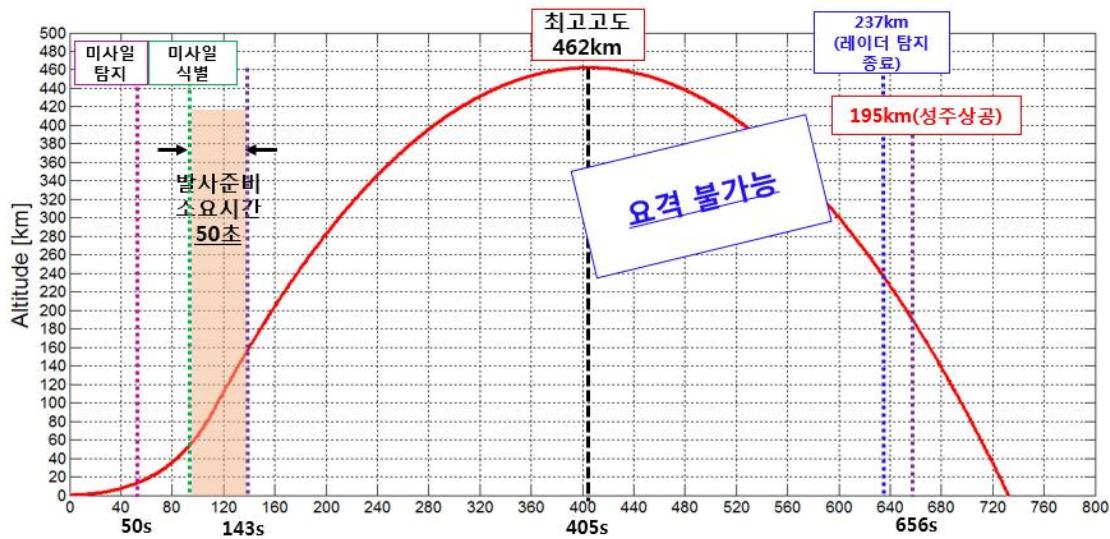
[Case 11] 노동미사일의 연료를 100% 채우고 고각 발사를 한 경우

[그림 95]는 황주로부터 발사된 노동미사일의 부산 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우에 대해 분석한 결과를 보여주고 있다. [Case 11-1]은 노동미사일의 연료량을 100%로 하여 발사할 경우이며, 노동미사일이 성주 상공을 지날 때 고도가 195km이고, 사드 요격미사일의 최대요격고도에 미치지 못하므로 요격이 불가능한 것을 알 수 있다. 레이더 탐지 종료시점의 고도 또한 237km로 상당히 높은 고도임을 알 수 있다. 이는 발사준비시간이 110초의 경우인 [Case 11-2]에서도 동일한 결과를 얻는다.

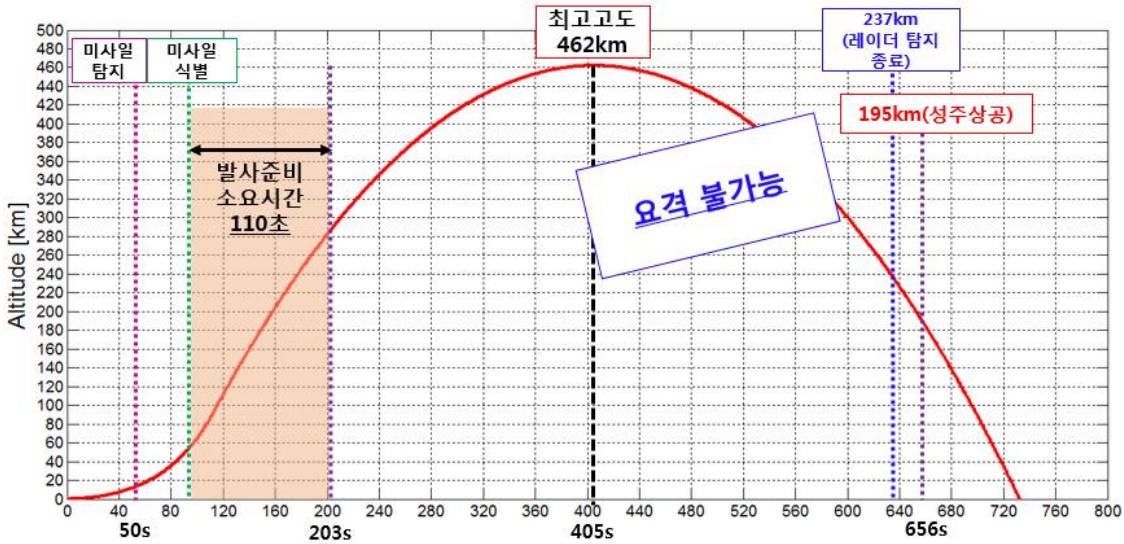


[그림 95] 부산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 레이더 방사 및 미사일 타격 형상(Case 11)

[그림 96]과 [그림 97]은 위에서 설정한 노동미사일의 부산 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대 사거리를 보여주고 있다. [Case 11-1]은 네트워크 자동화 시 발사준비시간을 50초로 가정하였을 경우, [Case 11-2]는 발사준비시간을 110초로 가정하였을 경우로 분석하였다. 두 경우 모두 사드 요격미사일의 요격고도가 불충분하며, 사드 레이더의 탐지 범위를 벗어나므로 요격이 불가능한 것으로 분석된다.

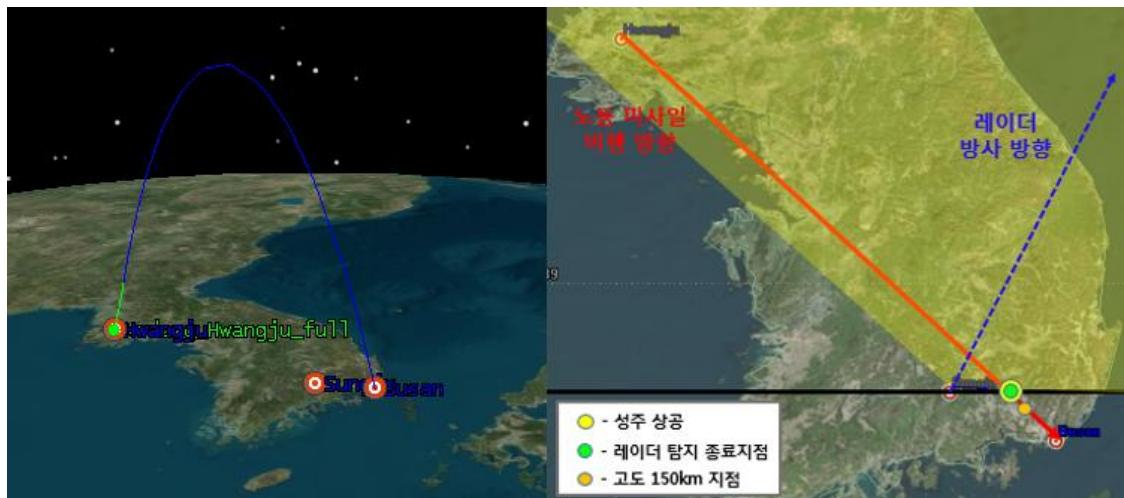


[그림 96] 부산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우의 타임라인(Case 11-1)



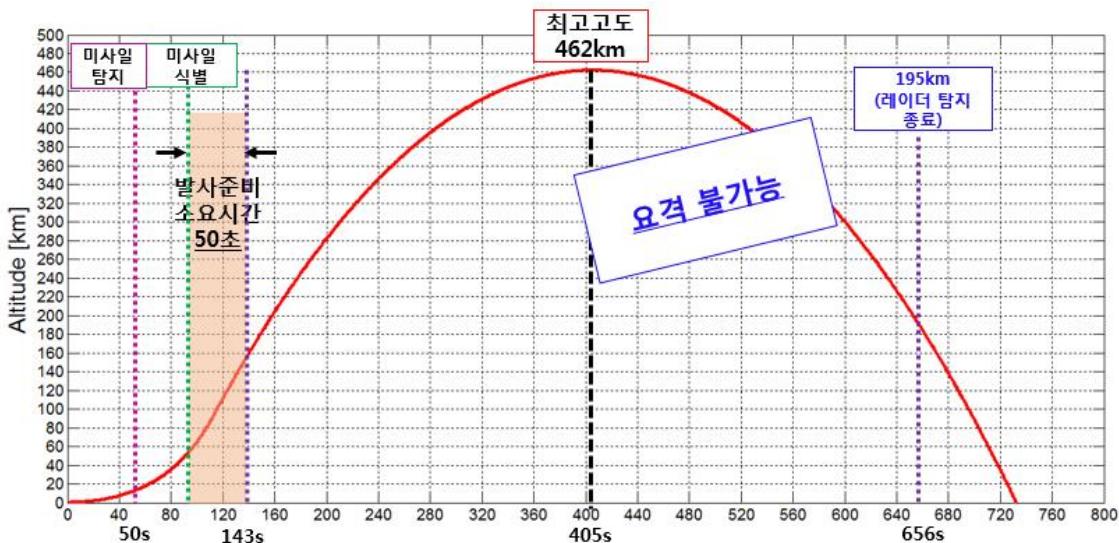
[그림 97] 부산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우의 타임라인(Case 11-2)

앞서 분석한 결과와 같이 레이더 탐지 및 유도 방위각이 130도로 제한되어 있어 요격 가능한 고도에 제한이 따른다. 따라서 레이더 방사 방향에 따라서 사드 요격미사일의 요격가능시간을 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 다음 [그림 98]은 노동미사일을 탐지하기 위한 레이더의 방사 방향을 25도 이동시켰을 경우 소프트웨어를 통해 모사한 형상을 보여준다.

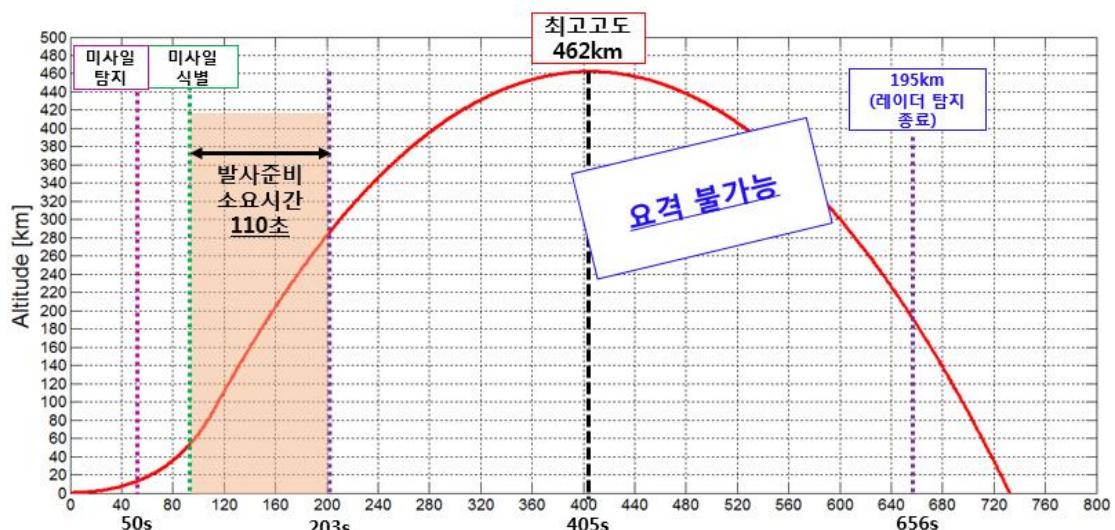


[그림 98] 부산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 레이더 방사방향 변경(1시 방향)

[그림 99]와 [그림 100]은 위에서 설정한 노동미사일의 부산 공격 시 성주에 배치된 사드 미사일로 요격하는 경우에 대해 사드 미사일의 궤적 및 최대사거리를 보여주고 있다. [Case 11-1]은 네트워크 자동화 시 발사준비시간을 50초로 가정하였을 경우, [Case 11-2]는 발사준비시간을 110초로 가정하였을 경우로 분석하였다. 두 경우 모두 사드 요격미사일의 요격고도가 불충분하여, 사드 레이더의 탐지 범위를 벗어나므로 요격이 불가능할 것이다.

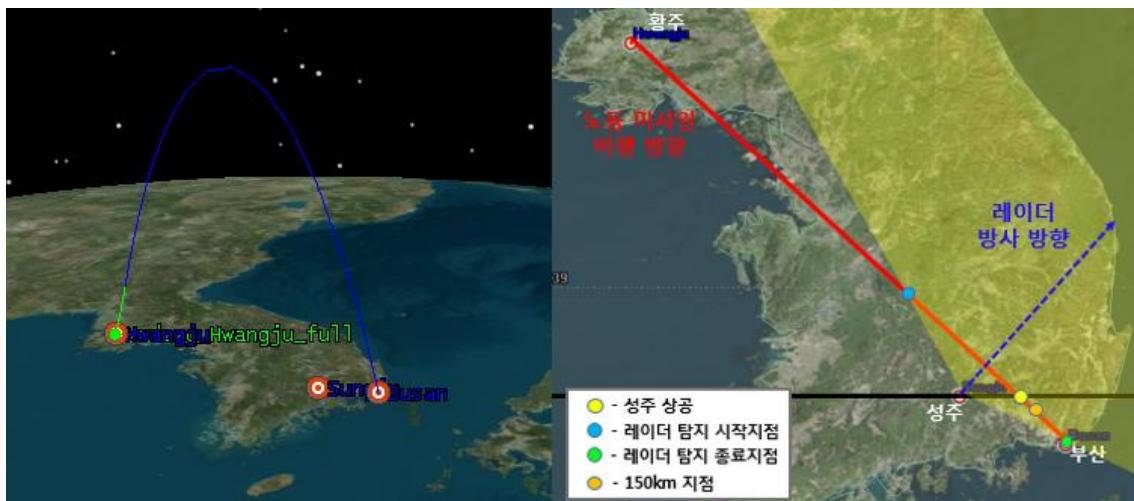


[그림 99] 부산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우의 타임라인(Case 11-1)



[그림 100] 부산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우의 타임라인(Case 11-2)

다음 [그림 101]은 노동미사일을 탐지하기 위한 레이더의 방사 방향을 50도 이동시켰을 경우 소프트웨어를 통해 모사한 형상을 보여준다. 레이더 방사 방향을 50도 이동시킬 경우 레이더를 이용한 노동미사일 탐지는 부산 지역까지 가능하지만 황주에서 발사되는 노동미사일을 발사 위치부터 탐지하는데 제한이 생기므로 사드 요격미사일의 효용성이 매우 낮으며 요격시간 분석의 의미가 거의 없다.



[그림 101] 부산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 레이더 방사방향 변경(2시 방향)

바. 300km급 단거리 스커드-B 미사일의 공격에 따른 방어능력 분석

현재 상황에서 탑재중량이 제한되고 사거리가 짧은 스커드 미사일에 핵탄두를 탑재하여 공격하는 데는 상당한 제한이 따를 것으로 예측된다. 하지만 북한은 600기 이상의 스커드 미사일을 전력화 배치한 것으로 추정되며 스커드 미사일의 사거리(300km)를 고려한다면 휴전선 인근에서 서울은 물론 평택, 계룡대, 군산 또한 타격할 수 있다. 본 절에서는 북한이 스커드-B 미사일로 서울, 평택 계룡대를 타격할 경우 성주의 사드방어능력에 대하여 분석한다.

스커드-B 탄도미사일의 성능 및 특성

북한은 스커드-B 미사일을 1980년대 초에 이집트로부터 들여와 역설계를 통해 자체 개발한 것으로 추정하고 있다. 스커드-B 미사일은 액체로켓엔진으로 등유와 휘발유의 혼합물인 TM-185 연료 및 적연질산 산화제를 사용하며 사거리가 약 300km 이르는 것으로 알려졌다. 스커드-B 미사일의 제원 및 성능 특성은 [표 10]과 같다.

[표 14] 스커드-B 제원, 성능 특성 및 형상

변수	값
길이	11.25m
직경	0.88 m
최대 사거리	300 km
최대 속도	마하 5
원형공산오차	450 m 이하
탄두 중량	985 kg
건조 중량	2,200 kg
추진제 중량*	3,700 kg
비추력*	225 s (Sea) 255 s (Vac)
연소시간*	63 s
추력*	130 kN (Sea) 154 KN (Vac)

* 가정치

주요 표적에 대한 스커드-B 미사일의 궤적분석 결과

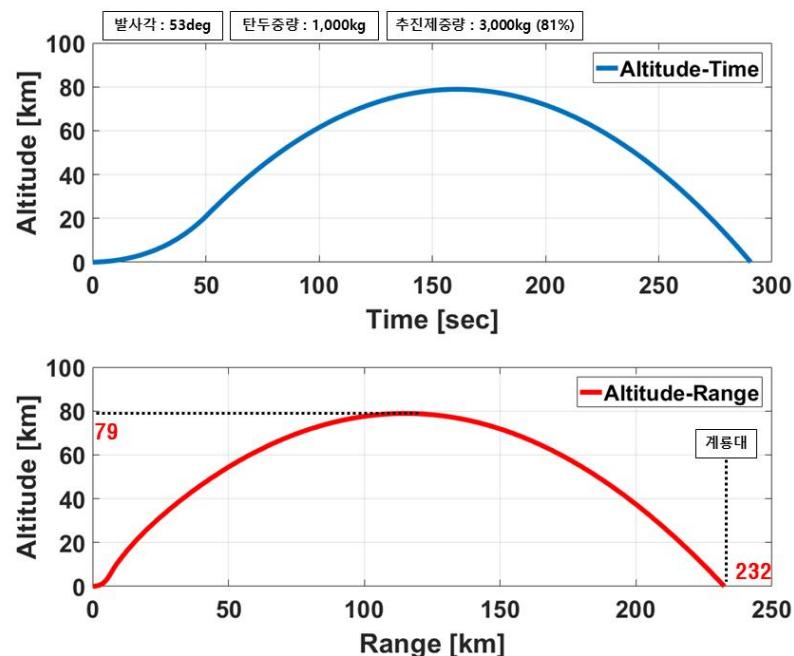
본 절에서는 군 지휘본부가 위치한 충남 계룡대 및 미군기지가 위치한 평택과 군산을 표적으로 공격할 때 스커드-B 미사일의 제원 및 성능을 기반으로 궤적을 분석하였다. 사드의 최대 요격사거리인 200km를 고려하여 서울을 타격하는 경우는 고려하지 않았으며, 스커드-B 미사일의 최대사거리 300km를 고려하여 고리 원전을 타격하는 경우도 고려하지 않았다.

[Case 12] 계룡대 타격 시

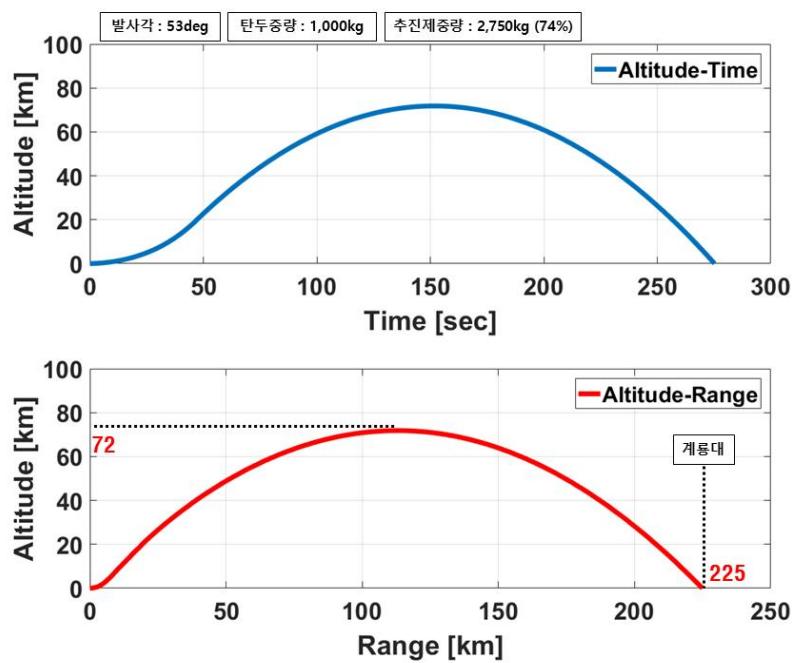
다음 [그림 102]~[그림 105]는 황해남도 광동인근, 황해북도 안봉리인근, 강원도 평강군인근의 TEL-1~TEL-3 위치에서 계룡대 타격 시 궤적을 보여준다. 정점고도는 72~79km이며 사거리는 225~242km임을 확인할 수 있다.



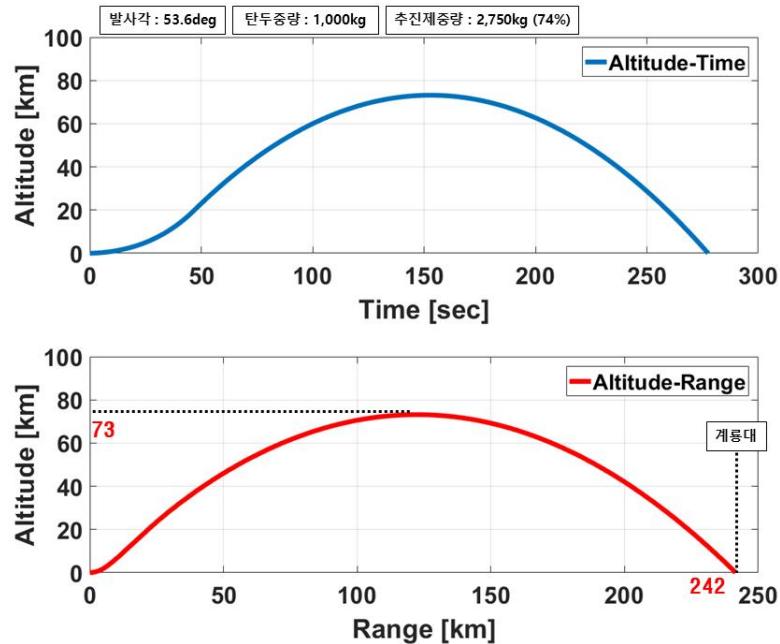
[그림 102] 계룡대 타격 시 스커드-B 미사일의 궤적



[그림 103] 표적이 계룡대인 경우 황해남도 광동인근 TEL-1에서
발사 시 고도-시간/고도-사거리 그래프



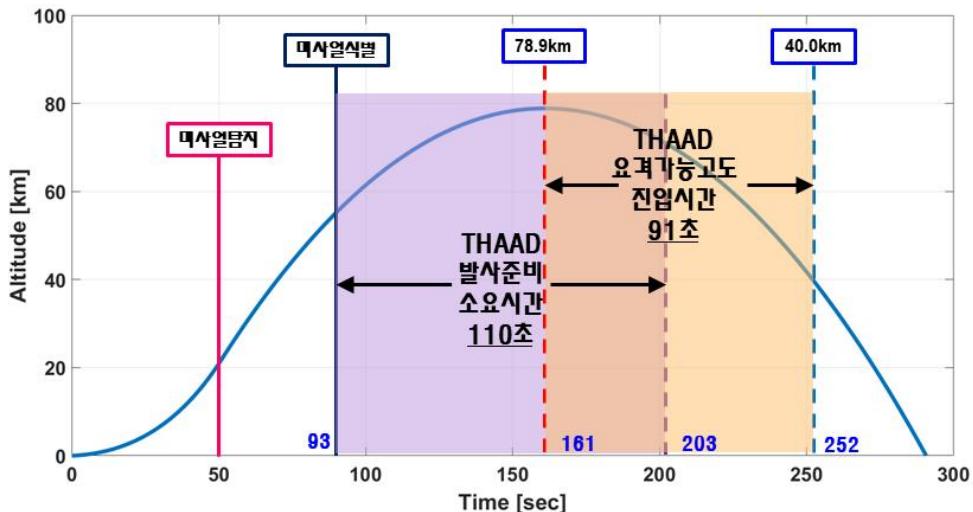
[그림 104] 표적이 계룡대인 경우 황해북도 안봉리인근 TEL-2에서
발사 시 고도-시간/ 고도-사거리 그래프



[그림 105] 표적이 계룡대인 경우 강원도 평강군인근 TEL-3에서
발사 시 고도-시간/ 고도-사거리 그래프

[Case 12-1] 황해남도 광동 인근 TEL-1에서 발사

다음의 [그림 106]은 성주에서 사드 요격미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.



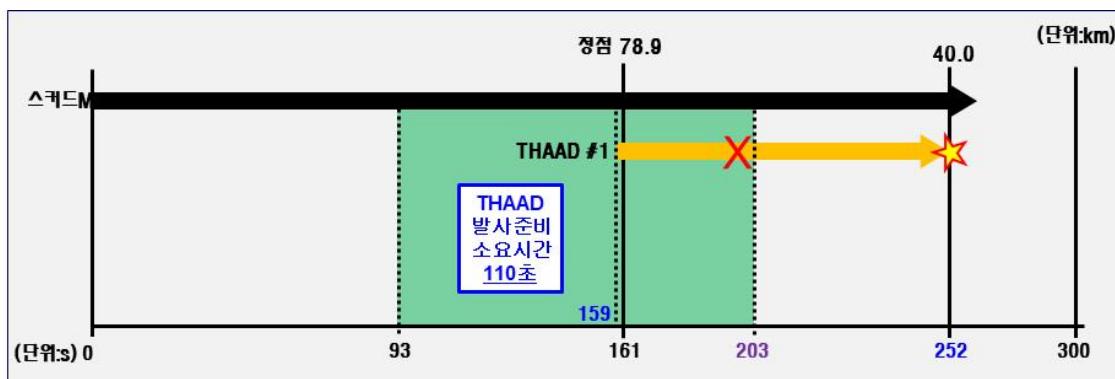
[그림 106] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-1]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 스커드-B 미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드 미사일 발사지점에서 스커드-B 미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 스커드-B 미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 스커드-B 미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다.

계룡대를 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 0초임을 알 수 있다.

[그림 107]은 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우의 타임라인을 보여

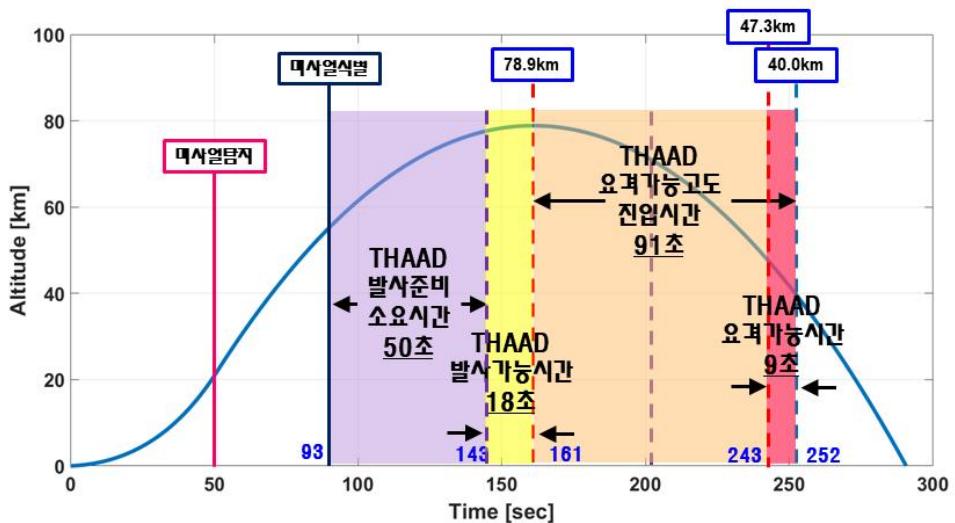
준다. 성주에서 요격할 수 있는 가장 낮은 고도는 40.0km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 93초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 44초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 계룡대에서 요격이 불가능하다.



[그림 107] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-1]의 타임라인

미군 사드 운용부대에서는 적 미사일의 탐지, 추적 및 식별 후, 사드 발사까지 소요되는 시간을 자동화하여 소요시간을 최소화한 것으로 알려져 있으며, 네트워크 소요시간이 약 50초 정도라고 가정하면 요격가능시간의 추가 확보가 가능하다. 기존의 분석에서는 약 110초 정도 소요되는 것으로 가정하였다.

다음의 [그림 108]은 사드체계의 네트워크 자동화 시 성주에서 사드 요격 미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

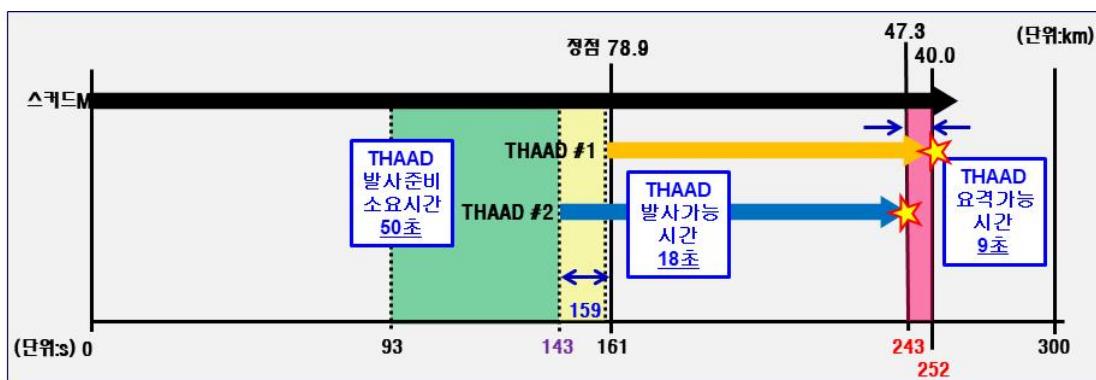


[그림 108] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-1]의 타임라인 (네트워크 자동화 시)

계룡대를 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 18초임을 알 수 있다.

[그림 109]는 사드체계의 네트워크 자동화 시 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 기존 사드 발사준비시간이 110초인 경우 사드 #1은 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능했으나 사드 발사준비시간을 네트워크 자동화로 50초로 단축하여 고도 40.0km에서 요격이 가능하다. 네트워크 자동화 시 발사준비가 끝난 직후 발사 시 사드 #2(THAAD #2)로 지정한다. 사드 #2는 사드 체계 전체를 고려했을 때 최대고도에서 요격이 가능하며 요격 가능한 최대고도는 47.3km이다.

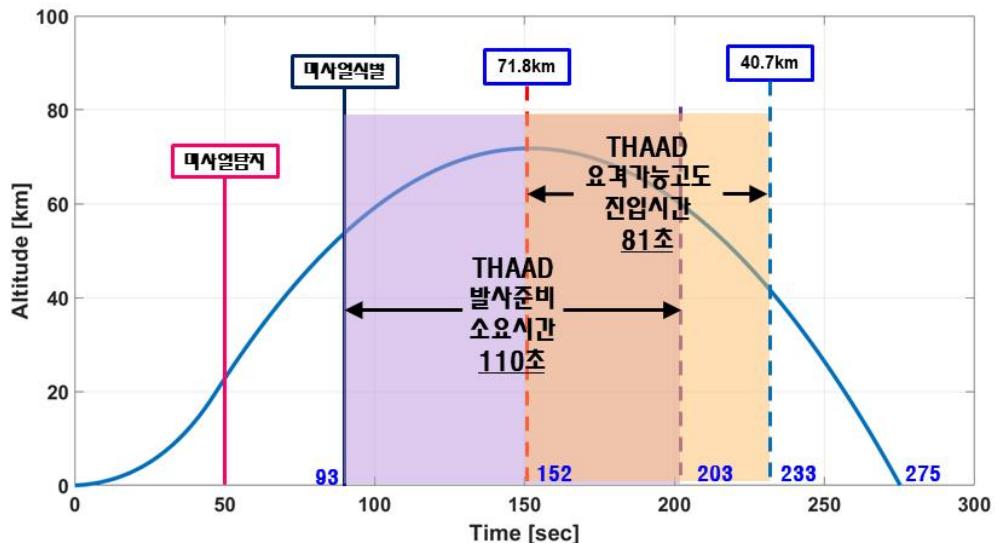
따라서 계룡대 공격 시 성주에서 사드미사일로 요격할 경우 요격가능시간은 고도 47.3km에서 요격하는 시점인 243초부터 사드 #1이 고도 40.0km에서 요격하는 시점인 252초까지 총 9초가 된다.



[그림 109] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-1]의 타임라인 (네트워크 자동화 시)

[Case 12-2] 황해북도 안봉리 인근 TEL-2에서 발사

다음의 [그림 110]은 성주에서 사드 요격미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능 고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.



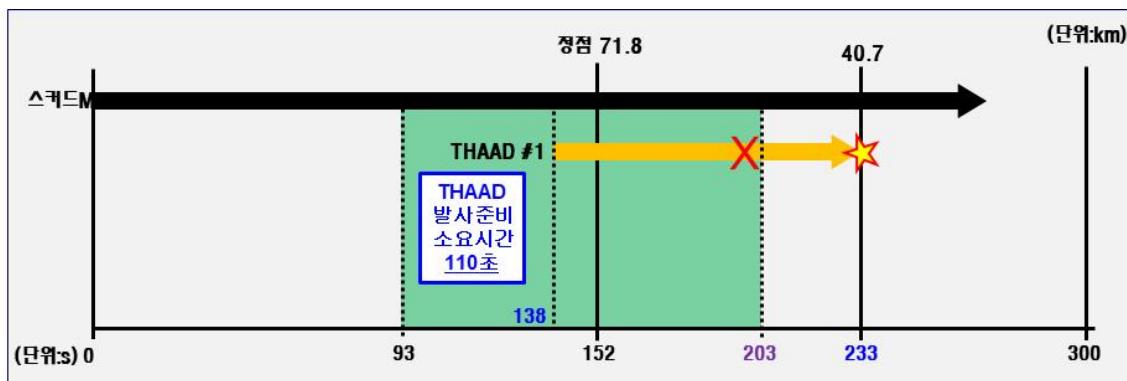
[그림 110] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-2]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 스커드-B 미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격미사일

발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드미사일 발사지점에서 스커드-B 미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 스커드B 미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 스커드-B 미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다.

계룡대를 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 0초임을 알 수 있다.

[그림 111]은 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우의 타임라인을 보여 준다. 성주에서 요격할 수 있는 가장 낮은 고도는 40.7km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 95초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 65초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 계룡대에서 요격이 불가능하다.

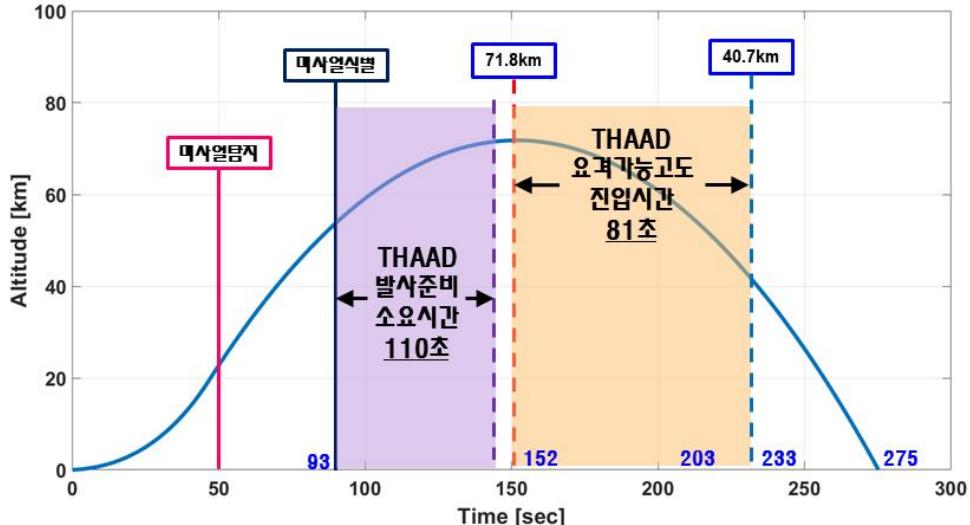


[그림 111] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-2]의 타임라인

미군 사드 운용부대에서는 적 미사일의 탐지, 추적 및 식별 후, 사드 발사까지 소요되는 시간을 자동화하여 소요시간을 최소화한 것으로 알려져 있으며, 네트워크 소요시간이 약 50초 정도라고 가정하면 요격가능시간의 추가 확보가 가능하다. 기존의 분석에서는 약 110초 정도 소요되는 것으로 가정하였다.

다음의 [그림 112]는 사드 체계의 네트워크 자동화시 성주에서 사드 요격

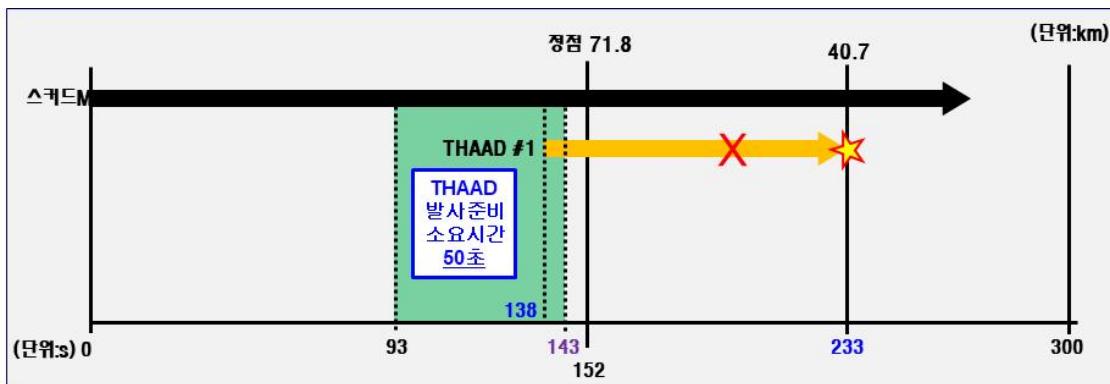
미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.



[그림 112] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-2]의 타임라인
(네트워크 자동화 시)

계룡대를 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 0초임을 알 수 있다.

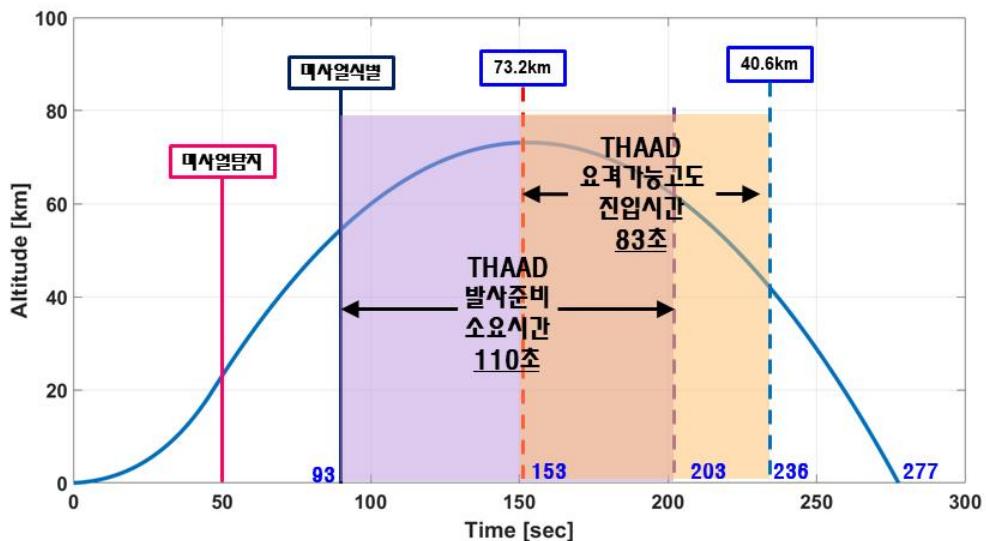
[그림 113]은 사드체계의 네트워크 자동화 시 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 기존 사드 발사준비시간이 110초인 경우 사드 #1은 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능했으며 사드 발사준비시간을 네트워크 자동화로 50초로 단축하여도 요격이 불가능함을 알 수 있다.



[그림 113] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-2]의 타임라인
(네트워크 자동화 시)

[Case 12-3] 강원도 평강군 인근 TEL-3에서 발사

다음의 [그림 114]는 성주에서 사드 요격미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능 고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.



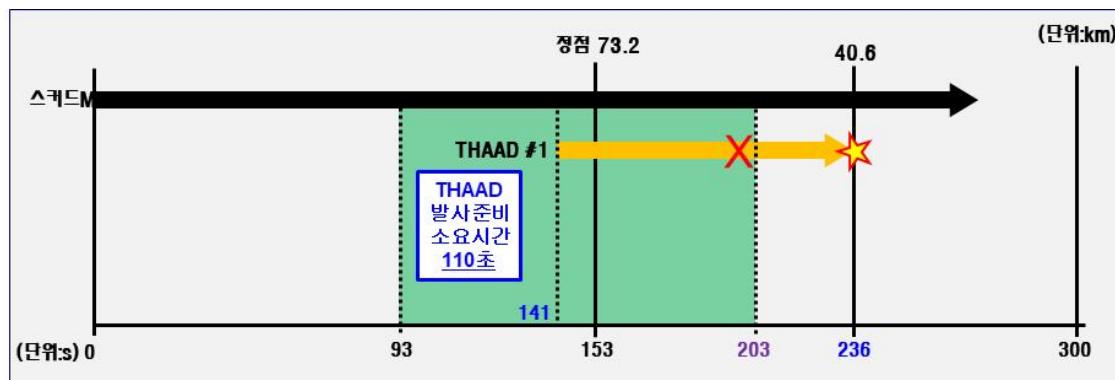
[그림 114] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-3]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 스커드-B 미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격

미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드미사일 발사지점에서 스커드-B 미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 스커드-B 미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 스커드-B 미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다.

계룡대를 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드 미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 0초임을 알 수 있다.

[그림 115]는 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우의 타임라인을 보여준다. 성주에서 요격할 수 있는 가장 낮은 고도는 40.6km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 95초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 62초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 계룡대에서 요격이 불가능하다.

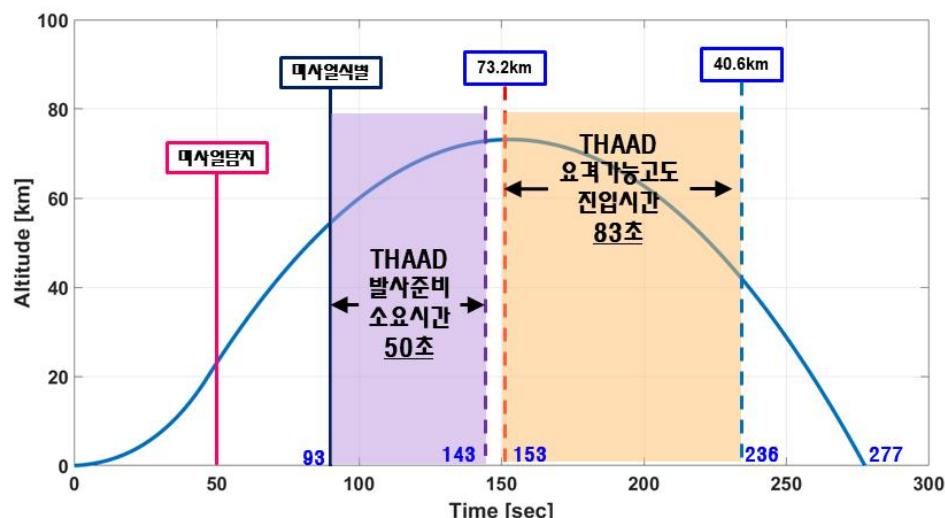


[그림 115] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-3]의 타임라인

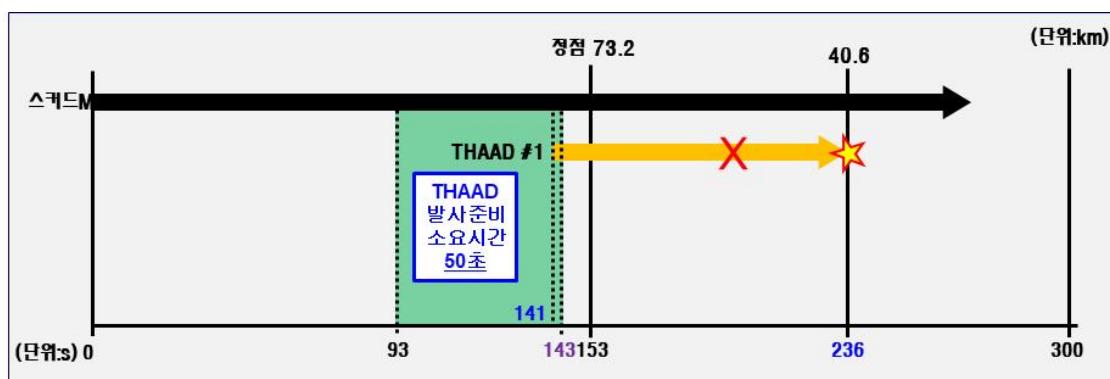
다음의 [그림 116]은 사드체계의 네트워크 자동화 시 성주에서 사드 요격미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

계룡대를 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드 미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 0초임을 알 수 있다.

[그림 117]은 사드체계의 네트워크 자동화 시 계룡대 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 기존 사드 발사준비시간이 110초인 경우 사드 #1은 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능했으며 사드 발사준비시간을 네트워크 자동화로 50초로 단축하여도 요격이 불가능함을 알 수 있다.



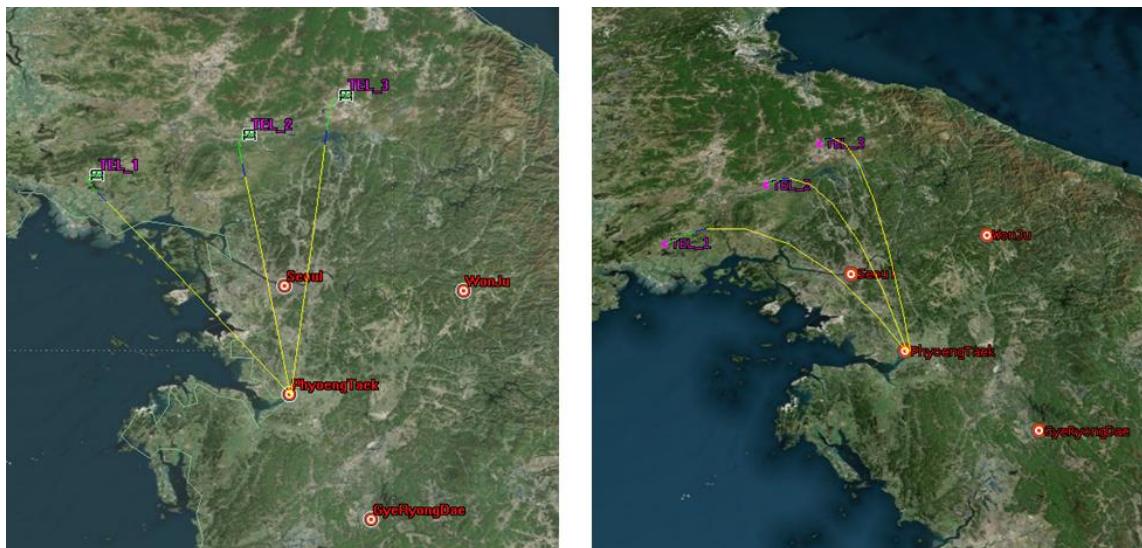
[그림 116] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-3]의 타임라인 (네트워크 자동화 시)



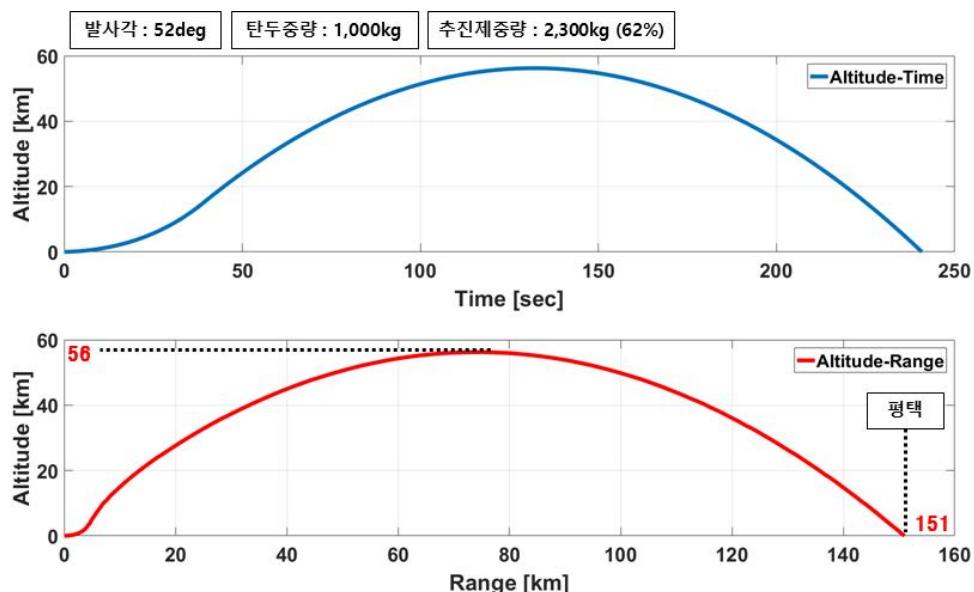
[그림 117] 계룡대 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 12-3]의 타임라인 (네트워크 자동화 시)

[Case 13] 평택 타격 시

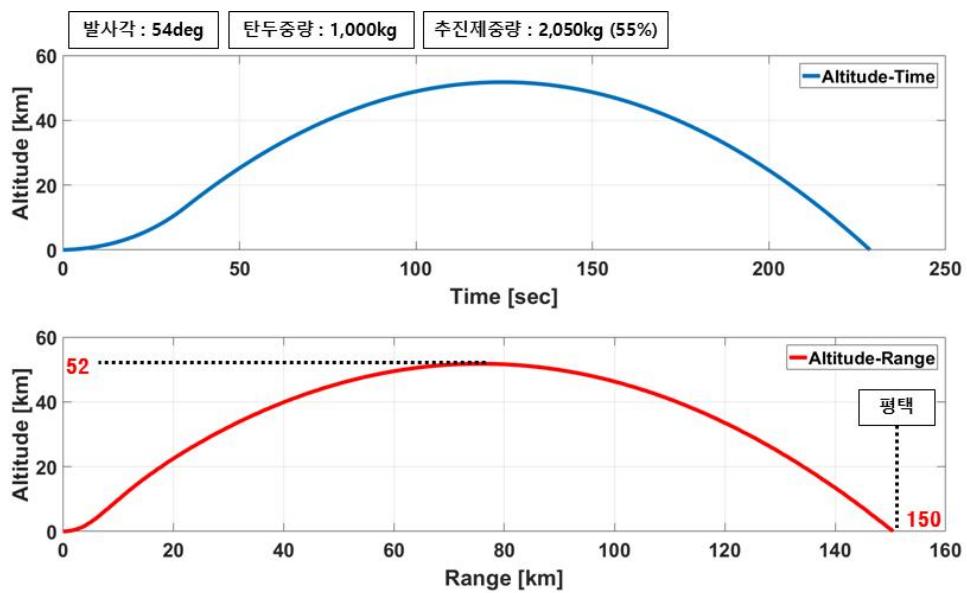
다음 [그림 118]~[그림 121]은 황해남도 광동인근, 황해북도 안봉리인근, 강원도 평강군인근의 TEL-1~TEL-3 위치에서 평택 타격 시 궤적을 보여준다. 정점고도는 51~56km이며 사거리는 150~174km임을 추정할 수 있다.



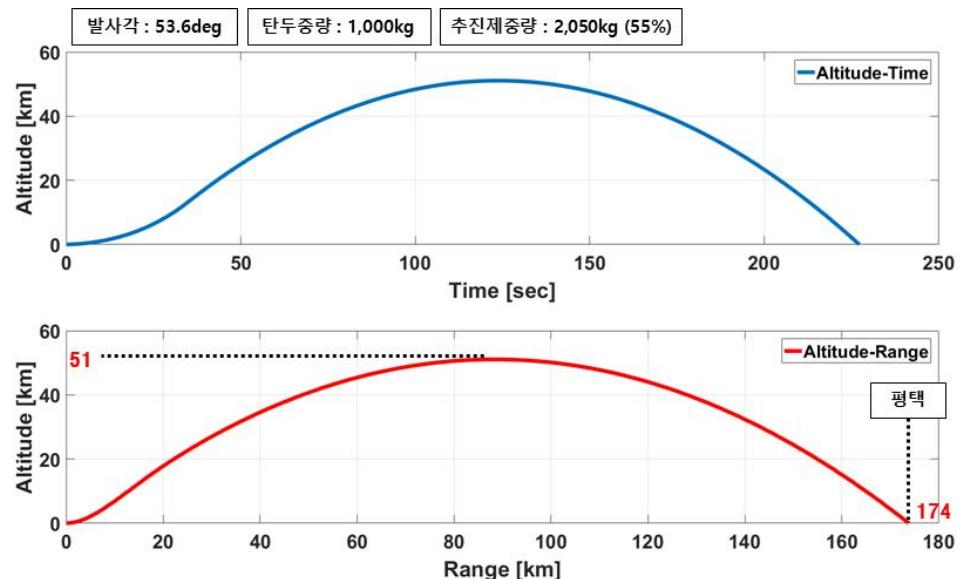
[그림 118] 평택 타격 시 스커드-B 미사일의 궤적



[그림 119] 표적이 평택인 경우 황해남도 광동인근 TEL-1에서 발사 시 고도-시간/고도-사거리 그래프



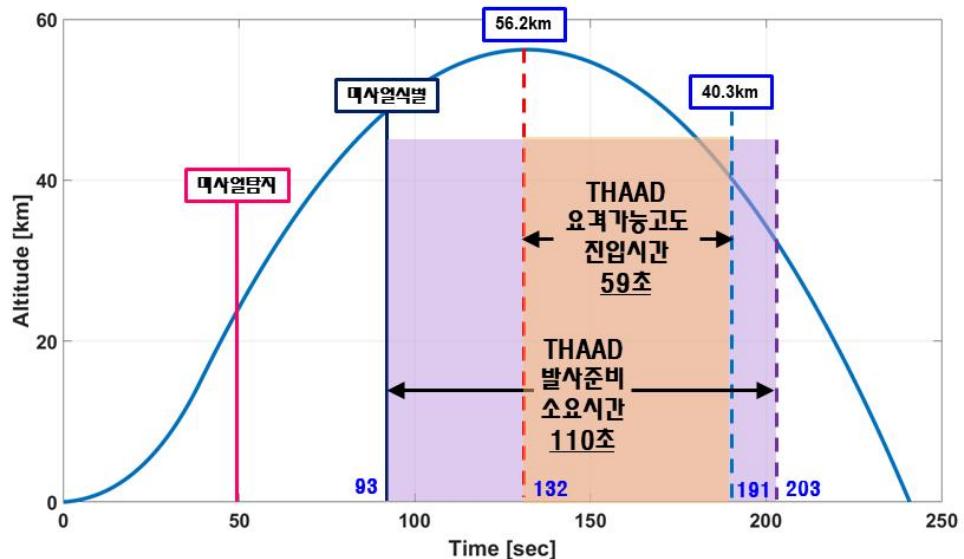
[그림 120] 표적이 평택인 경우 황해북도 안봉리인근 TEL-2에서 발사 시 고도-시간/고도-사거리 그래프



[그림 121] 표적이 평택인 경우 강원도 평강군인근 TEL-3에서 발사 시 고도-시간/고도-사거리 그래프

[Case 13-1] 황해남도 광동 인근 TEL-1에서 발사

다음의 [그림 122]는 성주에서 사드 요격미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타낸다.

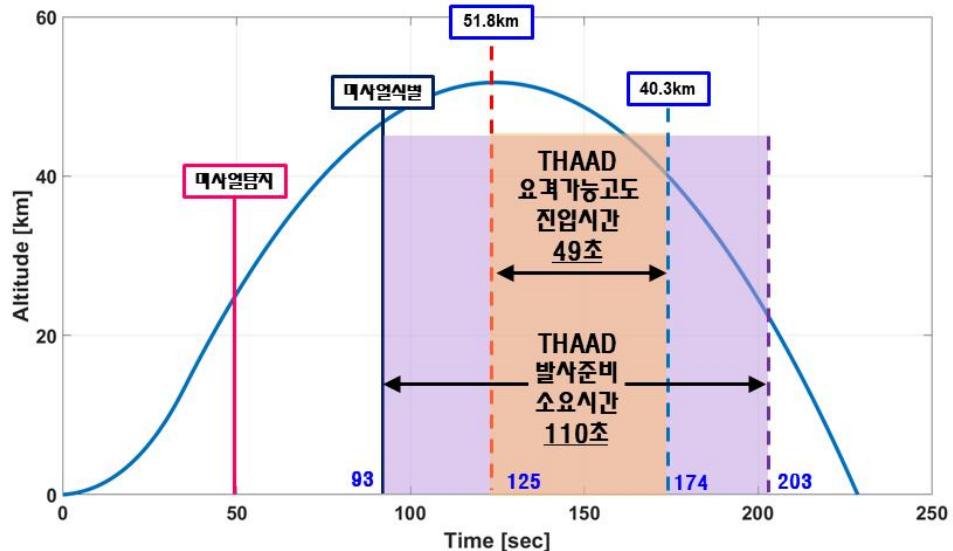


[그림 122] 평택 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 13-1]의 타임라인

앞서 사드 요격미사일이 미사일을 탐지하고 발사까지 소요되는 시간이 최소 203초로 분석되었으며, 203초 이후 스커드-B 미사일의 비행고도는 이미 40km 이하로 떨어져 요격이 불가능하다.

[Case 13-2] 황해북도 안봉리 인근 TEL-2에서 발사

다음의 [그림 123]은 성주에서 사드 요격미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타낸다.

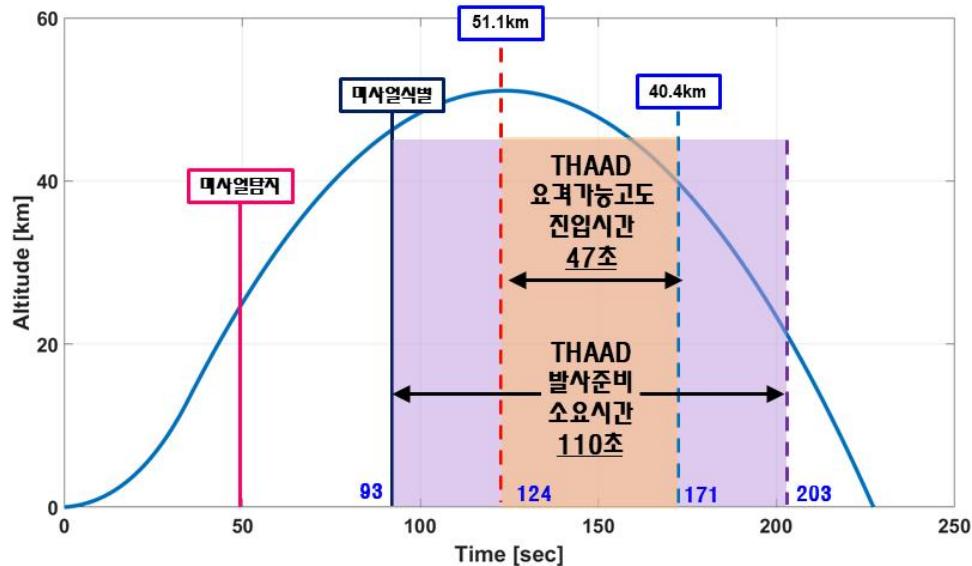


[그림 123] 평택 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 13-2]의 타임라인

앞서 사드 요격미사일이 미사일을 탐지하고 발사까지 소요되는 시간이 최소 203초로 분석되었으며, 203초 이후 스커드-B 미사일의 비행고도는 이미 40km 이하로 떨어져 요격이 불가능하다.

[Case 13-3] 강원도 평강군 인근 TEL-3에서 발사

다음의 [그림 124]는 성주에서 사드 요격미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타낸다.

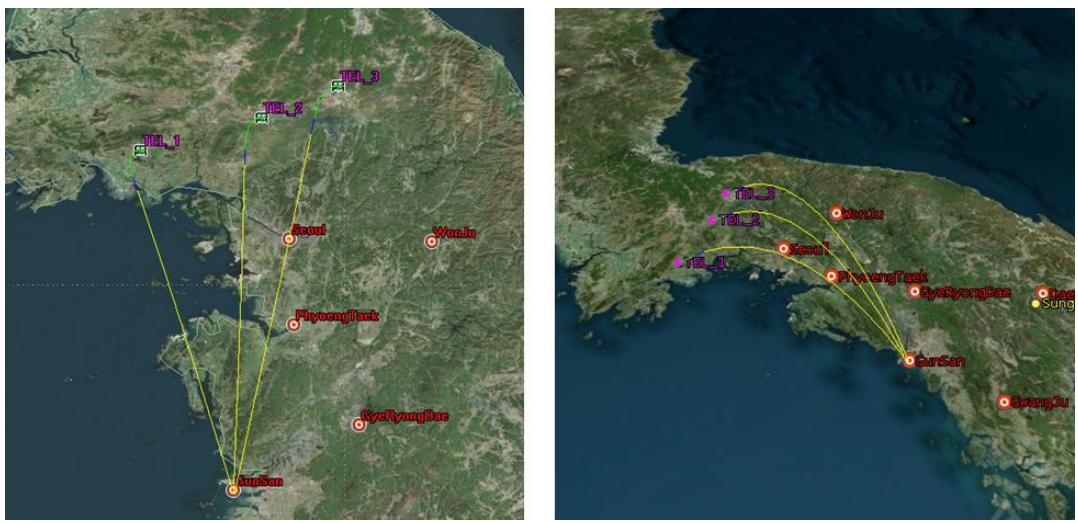


[그림 124] 평택 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 13-3]의 타임라인

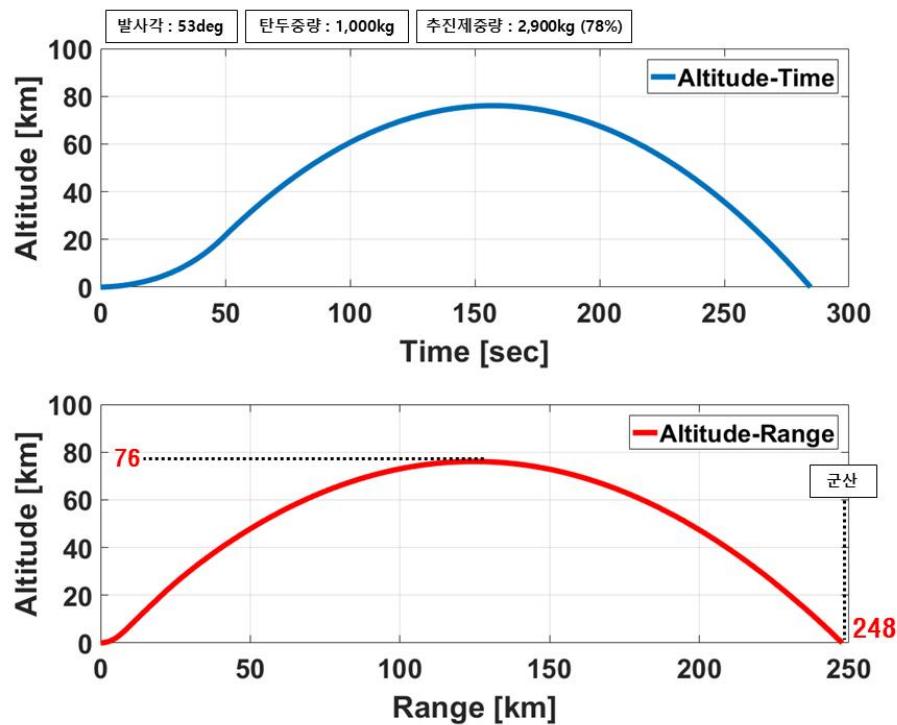
앞서 사드 요격미사일이 미사일을 탐지하고 발사까지 소요되는 시간이 최소 203초로 분석되었으며, 203초 이후 스커드-B 미사일의 비행고도는 이미 40km 이하로 떨어져 요격이 불가능하다.

[Case 14] 군산 타격 시

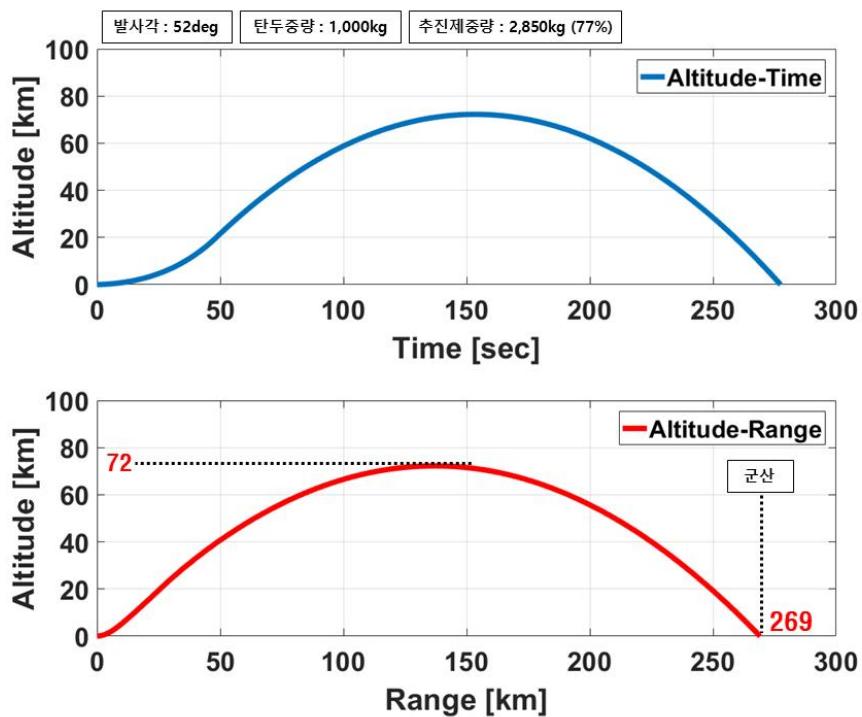
다음 [그림 125]~[그림 128]은 황해남도 광동인근, 황해북도 안봉리인근, 강원도 평강군인근의 TEL-1 ~ TEL-3 위치에서 군산 타격 시 궤적을 보여준다. 정점고도는 72~77km이며 사거리는 248~298km임을 추정할 수 있다.



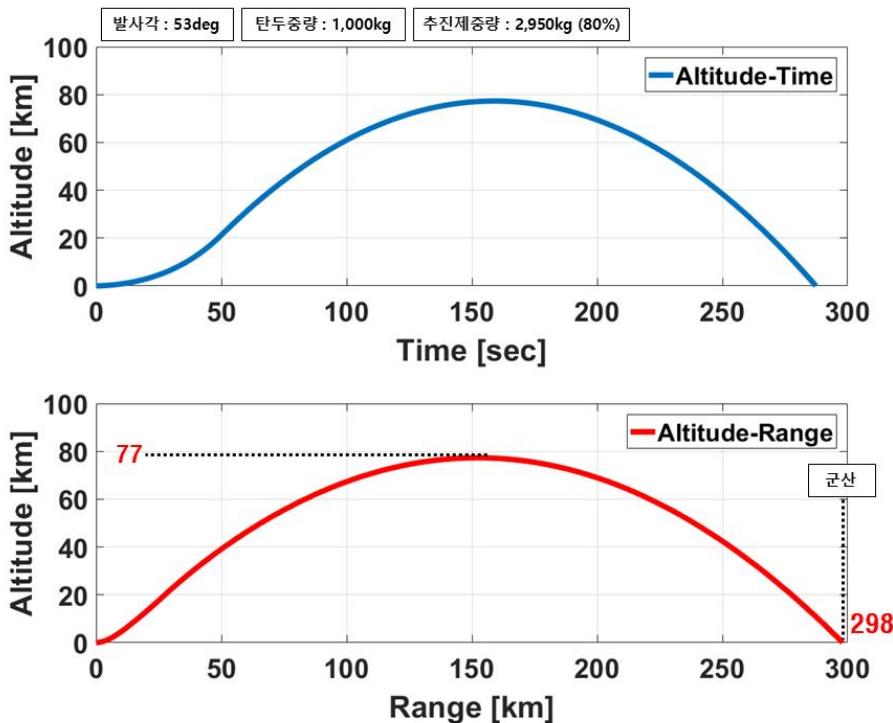
[그림 125] 군산 타격 시 스커드-B 미사일의 궤적



[그림 126] 표적이 군산인 경우 황해남도 광동인근 TEL-1에서 발사 시 고도-시간/ 고도-거리 그래프



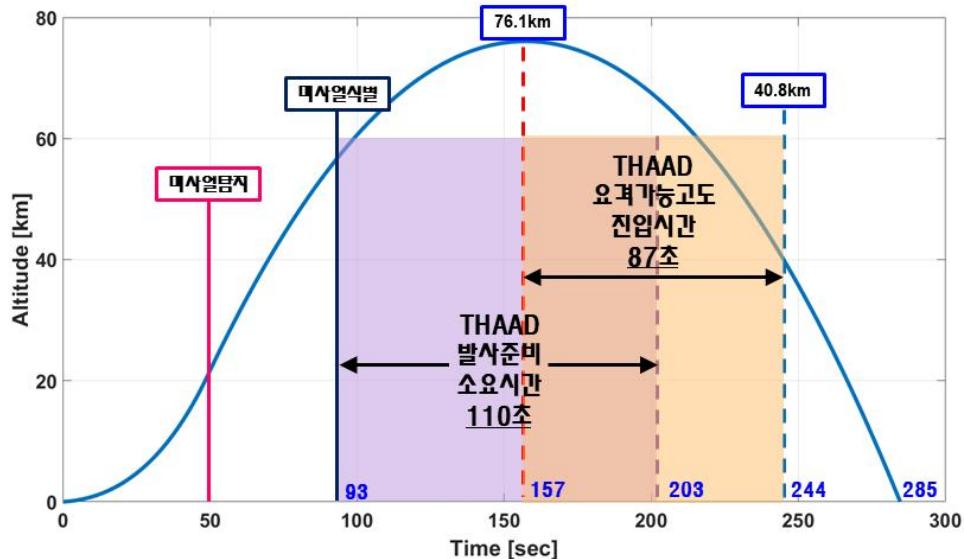
[그림 127] 표적이 군산인 경우 황해북도 안봉리인근 TEL-2 발사 시 고도-시간/ 고도-사거리 그래프



[그림 128] 표적이 군산인 경우 강원도 평강군인근 TEL-3에서 발사 시 고도-시간/ 고도-사거리 그래프

[Case 14-1] 황해남도 광동 인근 TEL-1에서 발사

다음의 [그림 129]는 성주에서 사드 요격미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타낸다.



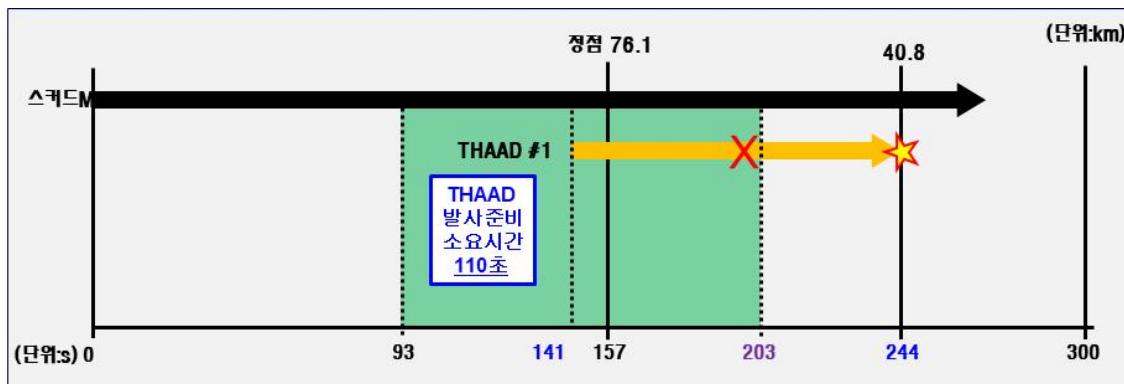
[그림 129] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 14-1]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 스커드-B 미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격 미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드미사일 발사지점에서 스커드-B 미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 스커드-B 미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 스커드-B 미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다.

군산을 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드 미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 0초임을 알 수 있다.

[그림 130]은 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우의 타임라인을 보여준

다. 성주에서 요격할 수 있는 가장 낮은 고도는 40.8km로 해당 사드 미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 98초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 62초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 군산에서 요격이 불가능하다.

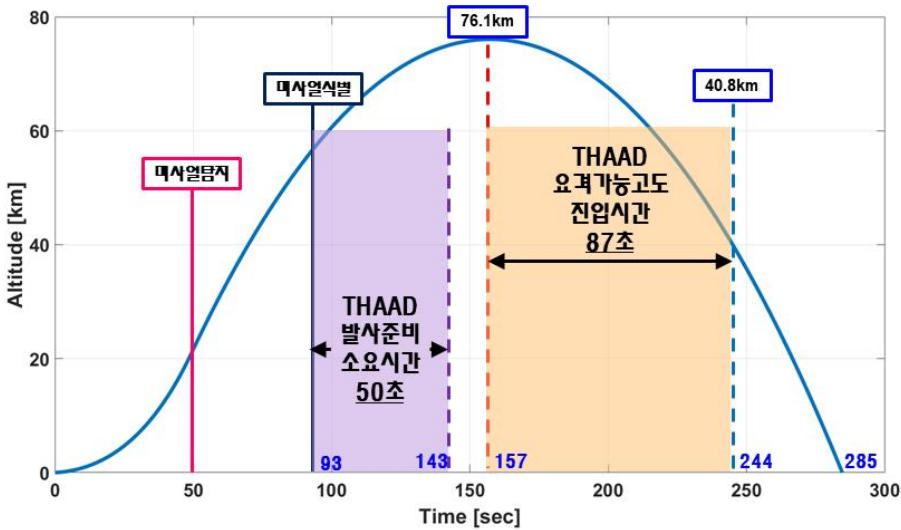


[그림 130] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 14-1]의 타임라인

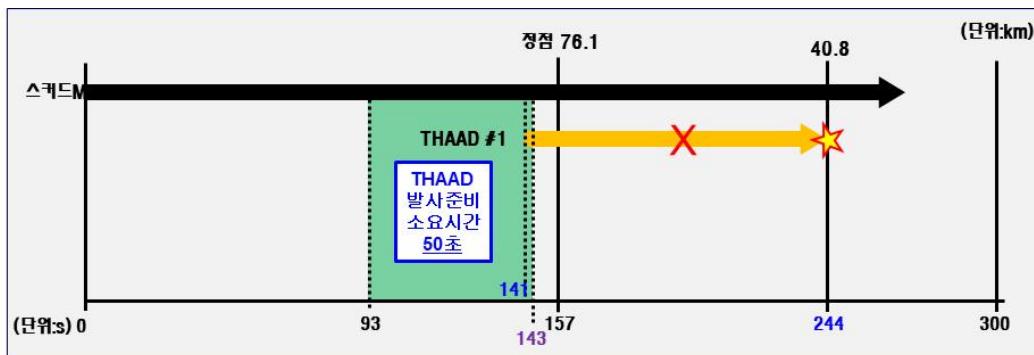
다음 [그림 131]은 사드체계의 네트워크 자동화 시 성주에서 사드 미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

군산을 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드 미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 0초임을 알 수 있다.

[그림 132]는 사드체계의 네트워크 자동화 시 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 기존 사드 발사준비시간이 110초인 경우 사드 #1은 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능했으며 사드 발사준비시간을 네트워크 자동화로 50초로 단축하여도 요격이 불가능함을 알 수 있다.



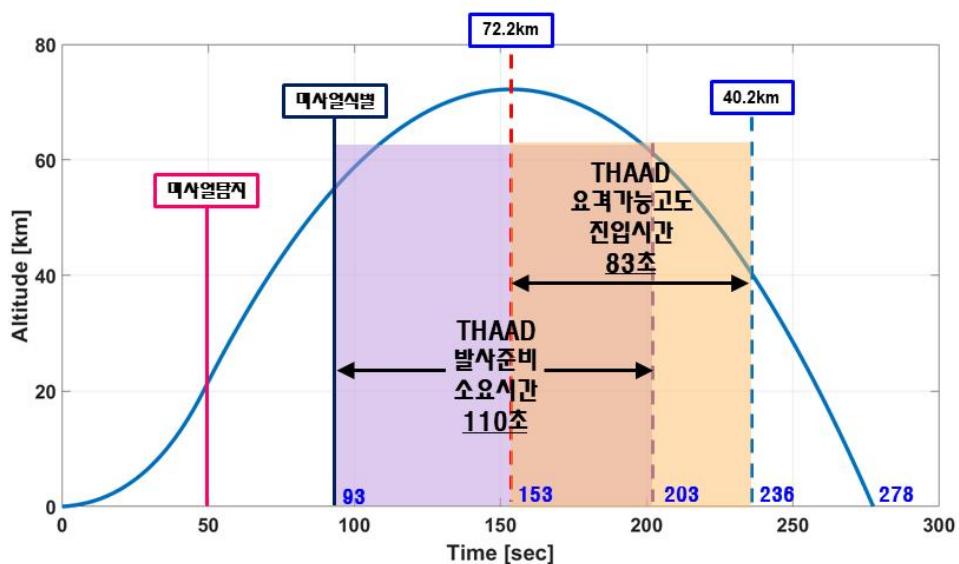
[그림 131] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 14-1]의 타임라인 (네트워크 자동화 시)



[그림 132] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 14-1]의 타임라인 (네트워크 자동화 시)

[Case 14-2] 황해북도 안봉리 인근 TEL-2에서 발사

다음 [그림 133]은 성주에서 사드 요격미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타낸다.

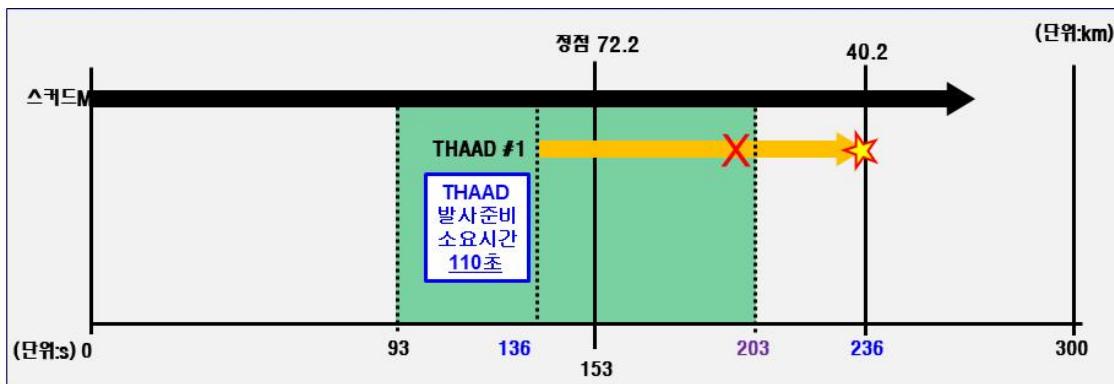


[그림 133] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 14-2]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 스커드-B 미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격 미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드미사일 발사지점에서 스커드-B 미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 스커드-B 미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 스커드-B 미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다.

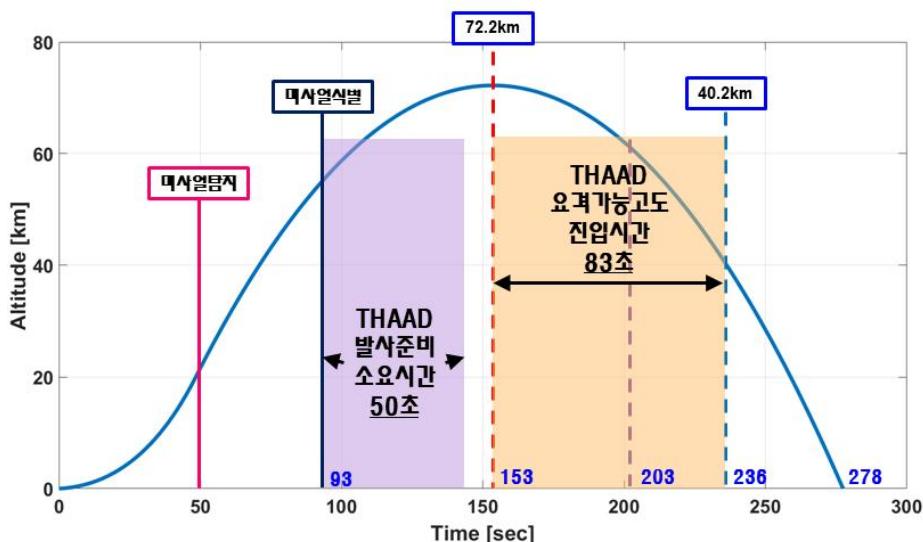
군산을 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드 미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 0초임을 알 수 있다.

[그림 134]는 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우의 타임라인을 보여준다. 성주에서 요격할 수 있는 가장 낮은 고도는 40.2km로 해당 사드 미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 110초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 67초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 군산에서 요격이 불가능하다.



[그림 134] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 14-2]의 타임라인

다음 [그림 135]는 사드체계의 네트워크 자동화시 성주에서 사드 요격미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비 소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.

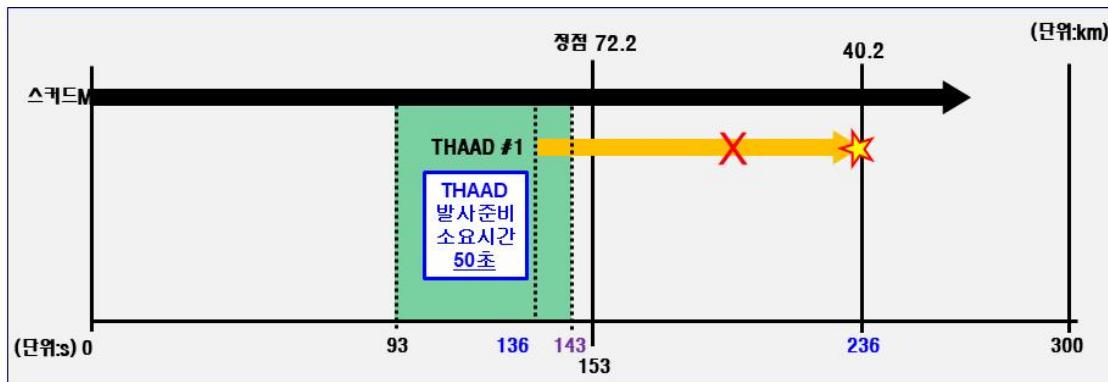


[그림 135] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 14-2]의 타임라인 (네트워크 자동화 시)

군산을 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드 미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 0초임을 알 수 있다.

[그림 136]은 사드체계의 네트워크 자동화 시 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 기존 사드 발사준비시간이 110초인 경우 사드 #1은 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시

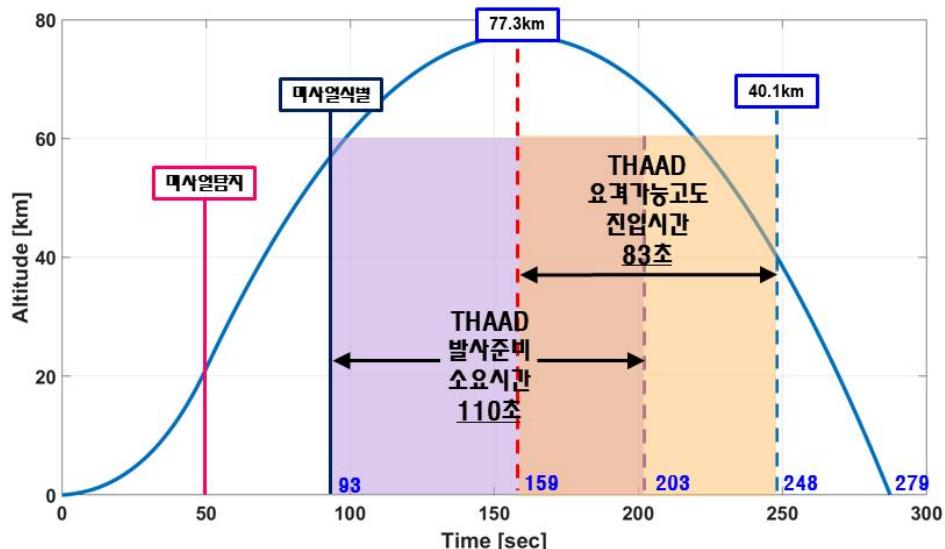
간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능했으며, 사드 발사 준비시간을 네트워크 자동화로 50초로 단축하여도 요격이 불가능함을 알 수 있다.



[그림 136] 군산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 14-2]의 타임라인
(네트워크 자동화 시)

[Case 14-3] 강원도 평강군 인근 TEL-3에서 발사

다음의 [그림 137]은 성주에서 사드 요격미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타낸다.

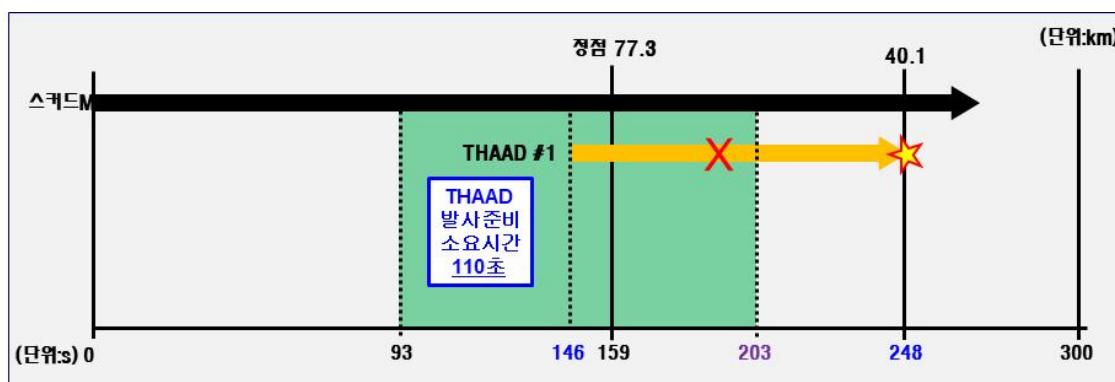


[그림 137] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 14-3]의 타임라인

요격가능고도 진입시간은 스커드-B 미사일의 하강고도가 사드의 운용고도로 알려진 40~150km를 지나는 시간을 의미한다. 발사가능시간은 사드 요격 미사일 발사준비가 완료된 후로부터 해당 사드 미사일 발사지점에서 스커드-B 미사일이 하강고도 40km 이하를 지나기 전까지 요격을 수행할 수 있는 시간을 의미한다. 이 시간은 사드 요격미사일의 비행시간까지 고려하며, 이 시간 내에 사드 요격미사일을 발사해야 스커드-B 미사일을 요격할 수 있음을 의미한다. 마지막으로 요격가능시간은 발사가능시간 동안 발사된 사드 요격미사일이 실제 스커드-B 미사일을 요격할 수 있는 시간대를 의미한다.

군산을 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드 미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 0초임을 알 수 있다.

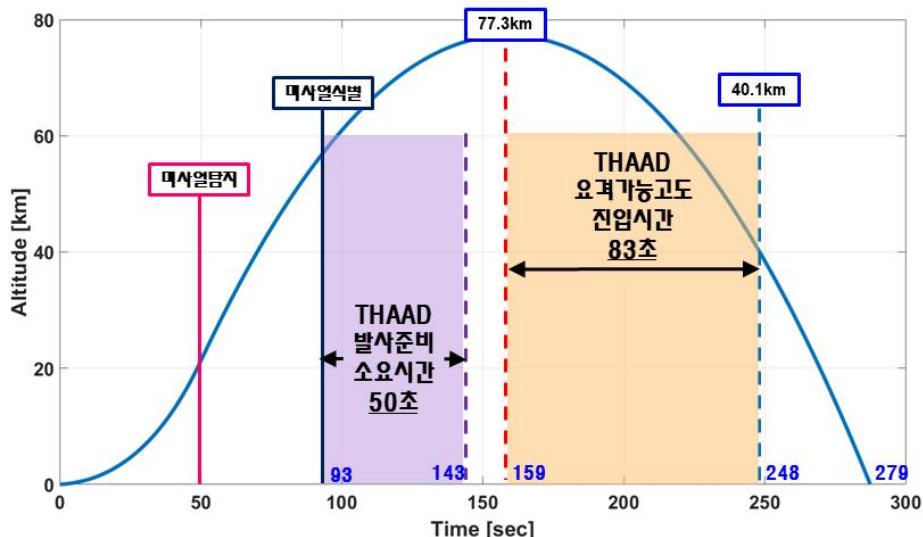
[그림 138]은 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우의 타임라인을 보여준다. 성주에서 요격할 수 있는 가장 낮은 고도는 40.1km로 해당 사드미사일은 사드 #1(THAAD #1)로 지칭한다. 사드 #1은 발사 후에 요격까지 102초가 소요되며, 이 경우 사드 발사준비시간과 57초 동안 중첩된다. 따라서 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제로 요격이 불가능함을 의미한다. 사드체계 전체를 고려하는 경우 군산에서 요격이 불가능하다.



[그림 138] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 14-3]의 타임라인

다음의 [그림 139]는 사드체계의 네트워크 자동화 시 성주에서 사드 요격 미사일을 통해 스커드-B 미사일을 요격하는 경우 스커드-B 미사일의 시간에 따른 고도 및 사거리 그래프를 나타내며, 시간 진행에 따른 사드 발사준비

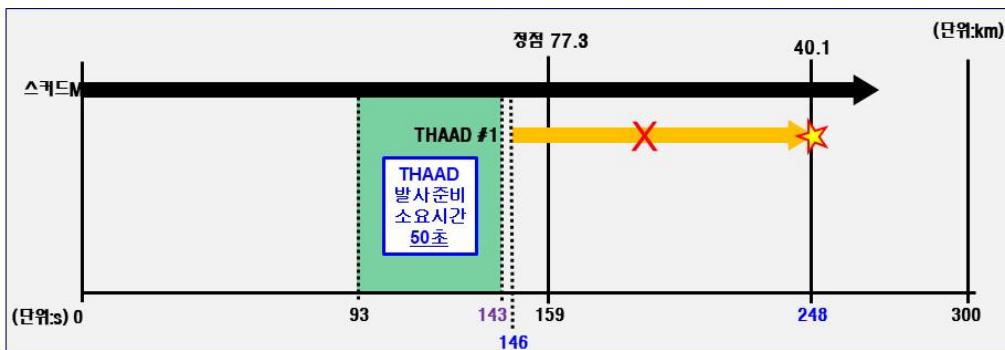
소요시간, 발사가능시간, 요격가능고도 진입시간, 요격가능시간 등을 보여준다.



[그림 139] 군산 공격 시 성주의 사드 미사일로 요격할 경우[Case 14-3]의 타임라인 (네트워크 자동화 시)

군산을 향해 발사된 스커드-B 미사일을 성주에서 사드 미사일을 이용하여 요격하는 경우 사드 미사일을 발사할 수 있는 시간은 총 0초임을 알 수 있다.

[그림 140]은 사드체계의 네트워크 자동화시 군산 공격 시 성주에서 요격하는 경우 각 미사일 별 타임라인을 보여준다. 기존 사드 발사준비시간이 110초인 경우 사드 #1은 사드체계 전체를 고려할 경우 충분한 발사준비시간이 확보되지 않아 사드 #1은 실제적으로 요격이 불가능했으며 사드 발사준비시간을 네트워크 자동화로 50초로 단축하여도 요격이 불가능함을 알 수 있다.



[그림 140] 군산 공격 시 성주의 사드미사일로 요격할 경우[Case 14-3]의 타임라인 (네트워크 자동화 시)

결론적으로 스커드-B 미사일이 서울 및 수도권을 향하는 경우 성주에서 사드 요격체계로서는 사거리와 고도가 불충분하여 요격이 불가능하다. 계룡대와 평택 그리고 군산을 목표로 하는 경우는 사드의 발사준비시간 110초를 고려한다면 사드 요격미사일의 상당수의 비행시간이 사드 발사준비시간과 중첩되어 요격이 불가능하다.

사드배치지역이 경상북도 성주일 때 이를 기반으로 분석한 발사가능시간 및 요격가능시간은 [표 11]과 같다. 계룡대를 공격하는 경우 네트워크 자동화를 통해 발사가능시간은 18초, 요격가능시간은 9초 증가했으나 실질적인 요격은 어려울 것으로 판단된다.

[표 15] 사드 요격미사일 요격가능시간 분석 요약

		사드(THAAD) 배치 지역		
		성주		
목 표 지 역	발사 준비시간 110초	발사 준비시간 50초 (네트워크 자동화)	비고	
	서울 용산	사거리 불충분	사거리 불충분	사거리 불충분
	계룡대	요격불가	발사가능시간: 18 sec 요격가능시간: 9 sec	실질적 요격불가
	평택	요격불가	요격불가능	요격불가
	군산	요격불가	요격불가능	요격불가

8. 사드체계의 군사적 효용성 평가 및 제안

본 사드체계의 군사적 효용성 분석에서는 사드체계의 레이더 및 요격미사일에 대한 세부 성능 데이터가 가용하지 않아 제한된 가용데이터를 기준으로 성능 및 제원을 역산출하여 요격 성능분석의 기초자료로 사용하였다.

그리고 북한의 노동미사일은 핵탄두의 낙하 시에 회피기동이나 가짜 탄두(Decoy)인 기만체를 전개하지 않는 단순 상황을 가정하였다. 정상적인 궤적으로 발사되어 상승 중에 공격 미사일을 탐지, 추적 및 식별을 하고 공격 미사일 엔진의 연소가 종료된 후에 미사일은 정점을 찍고 자유낙하를 통해 지상으로 하강하게 되며 이때 요격을 피하기 위해 회피기동과 같은 비정상적인 운용을 하지 않는다고 가정하였다.

기상상황이 좋지 않은 악천후에는 미사일 요격 성능은 떨어질 수밖에 없지만 본 분석에서는 이러한 기상상황의 외란을 고려하지 않고 분석하였다.

사드기지가 공격 미사일의 비행궤적 직하에 위치하면 사드기지를 통과한 이후에는 레이더에 의한 추적이 불가능하여 요격이 불가능하게 된다. 따라서 요격 미사일은 비행궤적면의 측면이나 정면에서 Hit-to-Kill에 의한 파괴만 가능하다. 특히 사드 포대가 비행궤적면의 측면에 위치하는 경우 공격 미사일의 낙하 속도가 빠르면 요격 미사일은 이를 파괴할 수 없다.

최근 북한에서 스커드-ER 미사일의 일제발사를 통해 시연한 것처럼 동시에 여러 기의 미사일을 발사하면 요격미사일의 요격능력은 더욱 떨어질 수밖에 없다. 사드체계의 경우에 5기의 공격 미사일이 동시에 공격을 할 때 시뮬레이션을 통한 요격은 시연한 것으로 알려져 있지만, 실제 전장에서 탄도미사일의 동시 발사에 따른 요격능력은 검증된 사례가 없다.

또한 공격 미사일이 요격미사일의 사거리 및 고도 범위에 포함된다고 해도 이는 지리적으로 발사가능시간 범위 내에 들어온다는 의미이지 반드시 공격 미사일을 요격할 수 있다는 의미는 아니다. 결국 사드체계 한 포대만 있으면 한반도의 1/2~2/3 지역을 방어할 수 있다는 논리는 타당하지 않으며, 사드포대의 배치 위치 및 타격지역 등에 따라 상당한 차이가 존재할 것이다.

사드체계는 중·단거리미사일 및 IRBM(Intermediate Range Ballistic Missile; 준장거리미사일)의 하강 시 종말단계의 고고도에서 높은 효용성을 갖지만,

북한의 스커드 미사일처럼 사거리가 짧고 최고 고도가 150km 안팎의 단거리 미사일에 대해서는 요격 효과가 매우 제한적인 것을 알 수 있다.

한반도에서 이러한 사드체계의 제한적인 성능을 보완하기 위해서는 실질적으로 한국형 미사일방어체계(KAMD)와 연계 운용할 필요가 있다. 이런 경우 미국의 미사일방어체계(MD)와 한국의 KAMD는 연계 운용이 불가피할 것이다. 북한의 핵미사일에 대한 방어수단으로서 우리나라가 독자적으로 개발 중인 장거리지대공미사일(L-SAM)과 사드미사일로 40km~100km 수준의 고도에서 1단계 요격(하강 중 수차례의 요격미사일 발사 가능)하고, 실패 시 패트리엇(PAC)-3 미사일이나 국내에서 개발하는 중거리지대공미사일(M-SAM)을 통해 하층 고도인 10km~40km에서 2단계 요격함으로써 요격 성공 가능성 및 완성도를 극대화하는 방안은 유용할 것이다.

본 분석에서 북한의 핵미사일 공격에 대한 탐지 및 식별에 93초, 그리고 경로 및 탄착점 예측, 상황 보고 및 전파, 타격 결심 그리고 사드 발사까지 소요되는 시간을 110초로 가정하였다. 전술한 바와 같이 사드체계에서 사용하는 AN/TPY-2 레이더의 정확한 성능이 공개되지 않아 북한의 미사일 탐지 및 추적에 93초를 가정하였으나, 가장 최신의 사드 레이더 성능은 이보다 우수한 것으로 알려져 있다. 또한, 110초로 가정된 발사준비 소요시간도 선조치 후 보고하는 제도를 도입하거나 대부분의 네트워크 시간을 자동화한다면 소요시간을 최소로 줄일 수 있고 이는 상대적으로 발사가능시간 및 요격가능시간이 증가시켜 사드의 전체적인 요격능력을 증진할 수 있을 것이다.

결국, 북한의 영저리에서 발사된 노동미사일의 서울(용산) 공격 시의 사거리는 432km이고, 계통대 공격 시의 사거리는 558km이기 때문에 사거리 300km~500km를 가지는 북한의 스커드 미사일로 공격하는 경우에도 사드체계는 유사한 요격 성능을 가질 것으로 예상된다. 한편, [첨부 2]에서 분석한 바와 같이 100km~160km의 짧은 사거리를 갖는 초단거리 미사일은 요격고도가 40km~150km로 알려진 사드 요격미사일을 이용하여 요격하는 것이 불가능하다. 즉, 앞서 사드 요격미사일이 미사일을 탐지하고 발사까지 소요되는 시간이 최소 203초로 분석되었으며, 203초 이후 KN-02의 비행고도는 이미 30km 이하로 떨어져 요격이 불가능하다.

결국 종심거리가 짧은 한반도의 지형적 특성과 북한 탄도미사일 특성을 고

려할 때, 가성비가 낮은 사드 고고도미사일방어체계 보다는 30km~70km의 고도에서 요격할 수 있는 국내개발을 추진 중인 장거리지대공미사일(L-SAM)과 10km~30km의 고도에서 요격이 가능한 중거리지대공미사일(M-SAM)을 국내 개발하여 독자적인 다층미사일방어체계를 구축하는 것이 한반도 전장 환경을 고려하여 군사적 효용성이 높은 KAMD 체계가 될 것이다. 하지만, 현재 개발을 거의 완료한 M-SAM의 경우 요격미사일의 최고 속도가 마하 4.5 정도에 불과해 최고 속도 마하 9로 비행하는 노동미사일을 요격하는 것은 정면 충돌(Head-on Kill) 외에는 거의 불가능할 것이며, L-SAM의 경우 이제 막 국내 체계개발을 시도하고 있으나 결코 전력화 일정을 맞추며 개발하는 것은 매우 어려울 것으로 추정된다.

궁극적으로 사드 및 미국의 미사일방어체계와 별도로 국내에서 추진 중인 KAMD에 대해서는 기술적 타당성 및 군사적 효용성 등이 재검증될 필요가 있다.

9. 향후 추가 분석을 위한 제안사항

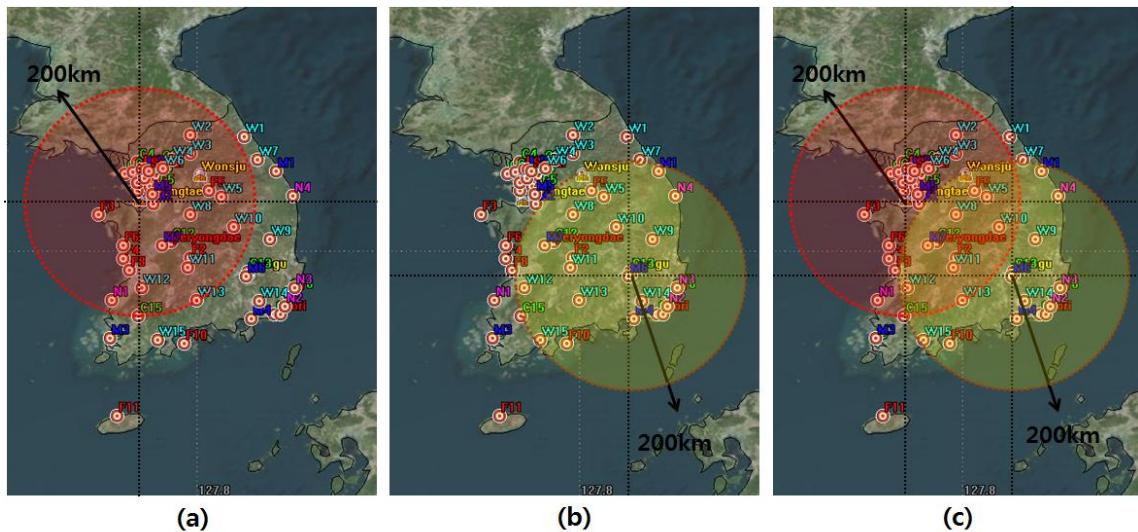
본 분석은 사드 요격미사일을 1단 탄도미사일로 가정하여 수행되었으며, 이에 따라 여러 가지 한계를 가질 수 있다. 보다 정확한 분석을 위해서는 사드 요격미사일의 상세한 제원, 규격 및 성능 데이터가 필요하다. 특히 요격체(Kill Vehicle)와 부스터로 분리되는 사드 요격미사일의 경우 각각의 시스템에 대한 자세한 규격과 제원이 요구된다. 예를 들어, 요격체(Kill Vehicle)와 부스터 각각의 견조 질량, 추진체 질량 및 추진시스템의 추력과 비추력 등이다.

또한 사드 요격미사일은 유도식 요격미사일로 실시간으로 적 탄도미사일의 위치와 방향 데이터를 전송받아 추적하기 때문에, 본 분석에서 수행된 방식과는 다른 비행궤적을 보일 수 있다. 앞서 설명하였듯이 1단 부스터는 추력 편향제어(TVC) 방식으로, 요격체는 궤도수정 및 자세제어장치(DACS)를 이용하여 비행 방향과 자세를 제어한다. 따라서 사드 요격미사일의 요격궤도를 알기 위해서는 보다 자세한 사드미사일(요격체 포함) 규격을 바탕으로 요격체의 모델링을 수행하여 요격궤도에 대한 최적화 분석이 요구된다.

그리고 공격 미사일의 식별 후 의사결정 및 요격 미사일의 발사까지 소요되는 네트워크 시간을 알 수 있다면 요격성능 분석이 더욱 정확해질 수 있을 것이다.

[부록 1] 북한 핵미사일 공격에 대응하는 사드 포대의 한반도 배치 분석 결과

사드 요격미사일의 최대비행거리는 약 200km로 알려져 있다. [그림 A1]은 이를 기준으로 평택과 대구에 사드체계 포대를 각각 배치하는 경우와 평택과 대구에 포대를 함께 배치하는 경우에 사드 요격미사일이 주요시설을 목표로 하는 적의 탄도미사일을 요격할 수 있는 이론적 범위를 나타내고 있다.



[그림 A1] (a)평택에 1개 배치, (b)대구에 1개 배치, (c)평택과 대구에 각각 1개 배치

[그림 A1]에서 나타내는 범위를 바탕으로 각 포대 배치의 효용성을 분석하였다. [표 A1]은 각 상황에 대한 사드 포대 배치를 통해 보호 가능한 표적들과 각 상황별 효용가치 분석 결과를 나타낸다. 효용가치는 각 표적에 중요도 및 파괴 후 위험성에 따른 가중치를 부과하여 요격범위 내 표적의 수에 곱하여 도출하였다.

[표 A1] 사드 포대 배치에 따른 보호 가능 표적 및 효용가치 분석 결과

사드 포대 배치	요격범위 내 표적				효용 가치
	인구밀집지역	군사령부	발전소	합계	
평택 1개 배치	12	4	화력 : 7 수력 : 10 원자력 : 1	35/53 (66.1%)	45.0
대구 1개 배치	5	4	화력 : 6 수력 : 9 원자력 : 2	26/53 (49.1%)	35.7
평택·대구 각각 1개 배치	16	6	화력 : 10 수력 : 13 원자력 : 3	48/53 (90.5%)	69.2
가중치	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인구밀집지역 : (인구비례) ▪ 화력발전소 : 0.5 ▪ 원자력발전소 : 5.0 ▪ 군사령부 : 2.0 ▪ 수력발전소 : 0.5 				

표적 가중치 중 인구밀집지역은 각 도시별로 인구수에 비례하여 책정하였으며 그 결과는 다음의 [표 A2]와 같다.

또한 원자력발전소는 공격당할 경우 전력 생산에 차질이 생기는 것뿐만 아니라, 방사능 누출 등 심각한 2차 피해를 야기할 수 있으므로 다른 목표대상들에 비해 높은 가중치를 부여하였다.

효용가치 분석 결과에서 나타나는 바와 같이 평택과 대구에 1개 포대를 배치하는 경우 가장 넓은 요격범위를 가지며, 이에 따라 가장 높은 효용가치를 갖는 것으로 나타났다.

[표 A2] 인구 밀집지역의 인구 및 가중치

지역 명	인구수	가중치	지역 명	인구수	가중치
서울시	10,104,515	10.104	남양주시	638,048	0.638
수원시	1,175,276	1.175	화성시	548,509	0.548
성남시	974,877	0.974	인천광역시	2,904,876	2.904
고양시	1,008,703	1.008	대전광역시	1,531,287	1.531
용인시	963,416	0.963	대구광역시	2,492,658	2.492
부천시	854,103	0.854	부산광역시	3,517,898	3.517
안산시	706,674	0.706	광주광역시	1,476,891	1.476
안양시	600,286	0.600	울산광역시	1,167,232	1.167

평택에 1개 포대를 배치하는 경우 남한의 최대 인구 밀집지역인 서울·경기 지역을 보호할 수 있으며, 이는 대구에 1개 포대를 배치하는 것보다 높은 효용가치를 갖는 것으로 나타났다. 대구의 경우 평택에 1개 포대를 설치하는 것보다 원자력 발전소를 더 많이 보호할 수 있으며, 제 2의 인구 밀집지역인 경남의 남동지역을 방어할 수 있다. 효용가치 분석 결과에서 나타나는 바와 같이 평택과 대구에 1개 포대를 배치하는 경우 가장 넓은 요격범위를 가지며, 이에 따라 가장 높은 효용가치를 갖는 것으로 나타났다. 평택에 1개 포대를 배치하는 경우 남한의 최대 인구 밀집지역인 서울·경기 지역을 보호할 수 있으며, 이는 대구에 1개 포대를 배치하는 것보다 높은 효용가치를 갖는 것으로 나타났다. 대구의 경우 평택에 1개 포대를 설치하는 것보다 원자력 발전소를 더 많이 보호할 수 있으며, 제 2의 인구 밀집지역인 경남의 남동지역을 방어할 수 있다.

이러한 분석결과는 단순 사드 미사일의 최대 유효사거리만을 고려한 결과로 유효사거리 내에 표적이 위치하더라도 실제로는 요격이 불가능한 경우가 존재할 수 있으며, 사드의 비행 고도가 고려될 경우 보다 복잡한 결과가 나타날 수 있다. 또한 주요 표적에서 발전소의 수와 비중이 비교적 높은 편이며, 한정된 수를 대상으로 분석이 진행되기 때문에 효용가치 분석에 한계가

존재한다. 또한 표적 지역의 수는 어느 정도 한정된 범위에서 산출되었으며, 사드 미사일의 유효사거리 내에 위치하는 지에 대한 여부에 따라 효용가치를 산출된 결과로 전술적·경제적 측면이 고려되지 못하였다. 하지만 이러한 한계에도 불구하고 본 접근방식을 통해 사드 포대의 적절한 배치 위치 및 적정한 포대의 소요 수 등에 대해 논할 수 있음을 시사한다.

사드 체계의 획득비용은 1.5조~2조원에 이르는 것으로 알려져 있다. 따라서 사드 체계가 북한의 핵미사일을 방어하는데 매우 유용하더라도 천문학적인 비용 때문에 다수의 포대를 구축하는데 한계가 있을 수밖에 없다. 다음은 위에서 분석한 우리나라의 주요 공격표적(인구밀집지역, 군사시설, 원전 등)에 대해 북한의 핵미사일 공격을 효율적으로 막기 위한 사드 포대의 수량은 얼마나 되는지 그리고 사드 포대의 설치 위치는 어디가 최적인지 분석한다.

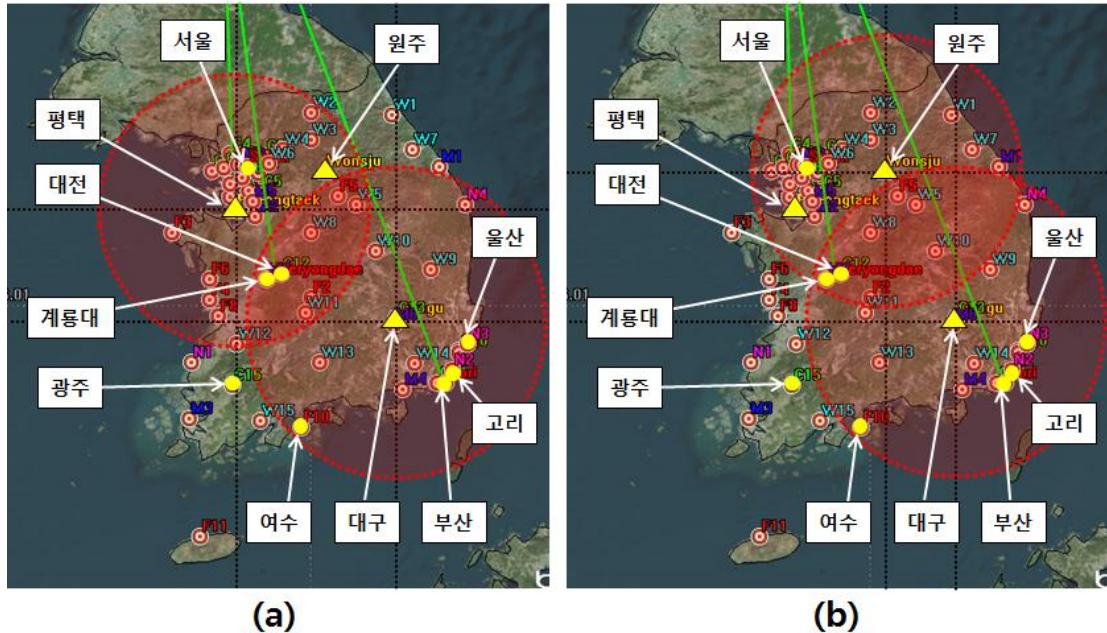
앞서 사드 포대의 위치에 따른 효용성 분석을 통해 2개의 포대를 설치하는 경우 비용 대비 가장 높은 효용성을 갖으며, 가장 많은 인구 밀집지역과 핵심 군사시설, 핵발전 시설 등을 보호할 수 있음을 확인하였다. 사드 포대의 위치는 현재 평택과 원주, 대구 등이 언급되고 있으며, 두 개의 포대를 배치 시에 평택-대구, 원주-대구, 평택-원주로 총 세 가지 방안을 예상할 수 있다. 다음은 각 방안에 따라 가장 넓은 영역을 보호할 수 있는 최적의 배치를 구하고자 한다.

먼저, [방안 1]은 평택과 대구에 사드를 1개 포대씩 배치하는 경우이며, [방안 2]는 원주와 대구에 1개 포대씩 배치, [방안 3]은 평택과 원주에 1개 포대씩 각각 배치하는 경우의 조합이다.

[그림 A2]에서 좌측 (a)는 평택과 대구에 사드 1개 포대씩 배치되는 [방안 1]의 경우의 요격 가능범위를 지도 위에 표기하였으며, (b)는 원주와 대구에 사드 1개 포대씩 배치되는 [방안 2]의 경우의 요격 가능범위를 지도 위에 표기하였다.

[방안 1]의 경우 요격가능 범위는 평택과 대구를 중심으로 크게 사선으로 가로지르는 형태로 나타난다. 평택에 배치된 사드는 서울·경기 인구 밀집지역과 수도권 주위의 중요 군사시설, 그리고 계룡대와 같은 군 지휘부 등을 보호하며, 대구에 배치된 사드는 광주와 부산·경남 인구 밀집지역, 고리, 월성 원자력 발전소에 대해서도 보호가 가능한 것을 확인할 수 있다.

[방안 2]의 경우 요격가능 범위는 원주와 대구를 중심으로 남한을 위아래로 관통하는 형태로 나타난다. 원주에 배치된 사드는 서울·경기 인구 밀집 지역과 수도권 주위의 중요 군사시설, 그리고 계룡대와 같은 군 지휘부 등을 보호하며, 동해안 영역과 울진 원자력 발전소 등도 보호할 수 있다. 대구에 배치된 사드는 [방안 1]과 마찬가지로 광주와 부산·경남 인구 밀집지역, 고리, 월성 원자력 발전소에 대해 보호가 가능한 것을 확인할 수 있다.

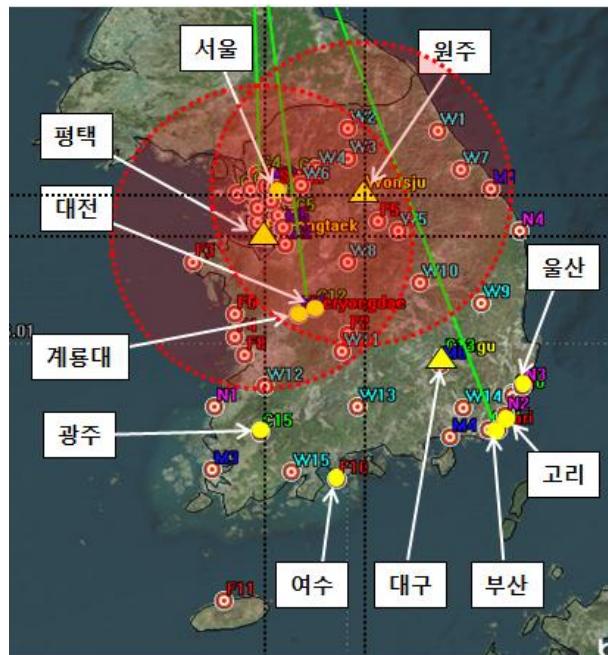


[그림 A2] (a) 방안 1: 평택·대구에 1개 포대 배치,
(b) 방안 2: 원주·대구에 1개 포대 배치

[방안 1]과 [방안 2]의 요격범위는 실질적으로 크게 차이가 없으나, 요격범위 내에 보호되는 유효 지역들은 [방안 2]가 더 많다. [방안 1]의 경우 강원 지역 및 동해안에 대한 보호가 불가능하다. 특히, 울진 원자력 발전소가 동해안에 위치하고 있는 것을 감안하면 [방안 1]에서 동해안 지역을 보호할 수 없는 상황은 국가안보에 또 다른 취약점이 될 수 있다. 반면 [방안 2]의 경우 원주를 기준으로 수도권 핵심지역 보호와 함께 동해안과 강원지역에 대해 폭넓은 보호가 가능하다. 결국 이는 비슷한 요격범위를 갖는 [방안 1]과 [방안 2]에서 [방안 2]가 [방안 1] 보다 효과적인 미사일 방어가 가능함을 의미한다.

[그림 A3]은 평택과 원주에 사드 1개 포대씩 배치되는 [방안 3]의 경우에

전체 요격범위를 지도 위에 표기하였다.



[그림 A3] 방안 3: 평택·원주에 1개 포대 배치

[방안 3]의 경우 평택과 원주에 배치된 사드 포대는 수도권 핵심지역과 충남, 경북, 동해안을 포함하는 강원지역을 폭넓게 보호할 수 있으나, 남한의 제2의 인구 밀집지역이며 국내 원자력 발전소 절반 이상이 위치하고 있는 부산·경남 지역을 보호하지 못하는 것을 알 수 있다. 또한 경남지역에는 창원, 울산 등 대규모 방산단지가 밀집하고 있으며, 이러한 시설들이 적의 공격에 고스란히 노출되게 된다. 따라서 이는 앞서 [방안 1]과 [방안 2]와 비교할 때 굉장히 비효율적인 포대 배치로 판단된다.

결론적으로 사드 배치 후보지로 알려진 평택, 원주, 대구에 총 2개의 포대를 배치한다고 가정할 경우, 원주와 대구에 1개 포대씩 배치하는 [방안 2] 조합이 가장 효율적이며 요격가능 범위를 극대화할 것으로 판단된다.

[부록 2] 북한의 최단거리 KN-02 탄도미사일 공격에 대한 사드의 방어능력 분석

다음은 북한이 최단거리 탄도미사일로 알려진 KN-02를 이용하여 아군의 군사기지인 평택이나 오산을 공격하는 경우에 대해 고고도미사일방어체계인 사드의 요격 능력을 분석하고자 한다.

KN-02 단거리 탄도미사일의 성능 및 특성

KN-02 미사일은 액체추진제를 사용하는 노동이나 스커드미사일과 달리 고체추진제를 이용하는 북한의 최단거리 이동식미사일이다. KN-02 탄도미사일은 러시아의 “SS-21 스캐럽(Scarab)” 미사일을 기반으로 한다. 북한은 SS-21 스캐럽 A형 미사일을 시리아에서 들여와 역설계를 통해 KN-02를 개발한 것으로 알려졌다.

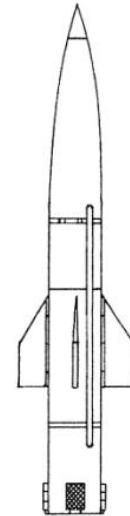
KN-02 탄도미사일은 사거리가 약 160km에 이르는 것으로 알려졌으며 함정과 항공기, 육상에서 모두 발사할 수 있다. 이러한 KN-02의 사거리는 휴전선 인근에서 발사 시에 서울은 물론 서울 이남의 군사시설, 특히 평택이나 오산까지 공격할 수 있다. 또한 고체추진제를 이용하기 때문에 추진제를 주입하는 등의 발사에 대한 사전징후를 거의 표출하지 않으면서 이동식 차량에싣고 장소를 이동하면서 발사를 할 수 있기 때문에 매우 위협적인 미사일로 분류된다. 북한은 2004년부터 2007년까지 모두 12발의 KN-02 탄도미사일을 동해상으로 시험 발사한 것으로 파악되며, 가장 최근의 발사는 2013년 5월 18일에 3기의 미사일을 동해상으로 발사한 것으로 알려졌다. 현재 KN-02는 북한 전방에 배치되어 미군 평택기지를 제 1타격 목표로 삼고 있는 것으로 관측된다.

KN-02 미사일의 제원 및 성능 특성은 [표 A3]과 같다. 1단의 고체추진제로켓으로 이루어졌으며 최대 사거리는 160km에 이르는 것으로 알려져 있다.

[표 A3] KN-02 제원, 성능 특성 및 형상

변수	값	형상
길이	6.4 m	
직경	0.65 m	
최대 사거리	160 km	
최대 속도	1.8 km/sec	
원형공산오차	100 m 이하	
탄두 중량	250 또는 485 kg	
건조 중량	200 kg	
추진제 중량*	1800 kg	
비추력*	270 s	
연소시간*	14 s	
추력*	120 kN	

* 가정치

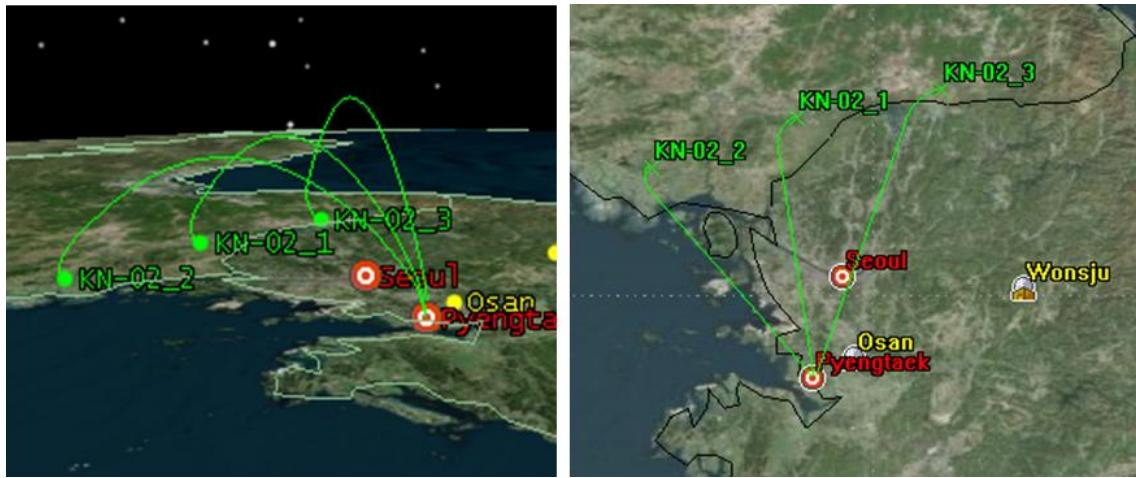


KN-02 미사일은 원형공산오차(CEP; Circular Error Probability)가 100m 이하로 북한 탄도미사일 중 정확도가 가장 높은 것으로 알려졌다. KN-02 미사일은 관성항법장치를 이용하여 항법비행을 하며, SS-21을 바탕으로 개발되어 러시아판 GPS인 GLONASS를 사용하는 것으로 추정되고 있다.

KN-02 단거리 탄도미사일의 궤적분석

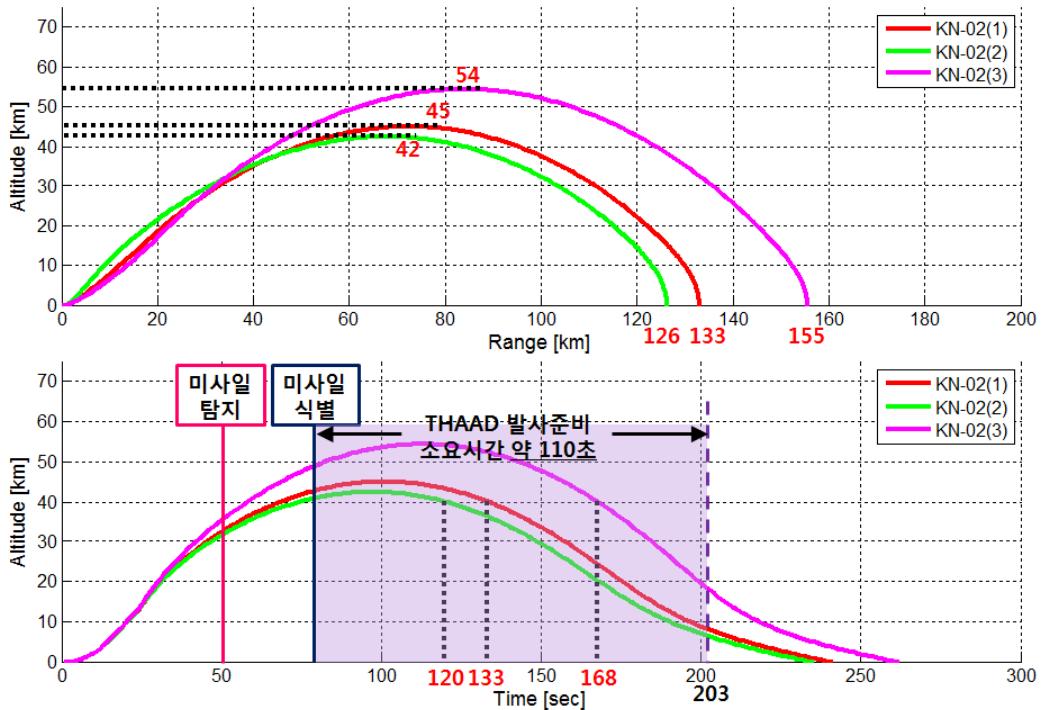
KN-02 고체추진제 탄도미사일의 궤도분석을 위해 위와 같이 추진제 중량과 비추력, 연소시간 및 추력을 가정하였다. 기존에 알려진 최대 사거리 160km와 최대 속도 등을 기준으로 가정하였으며, 비추력의 경우 고체추진제의 일반적인 성능 값을 사용하였다.

[그림 A4]는 휴전선 인근 임의의 세 지점에서 KN-02 탄도미사일을 발사하여 평택의 미군 기지를 공격하는 경우를 모사한 것이다.



[그림 A4] 휴전선 인근에서 평택을 목표로 KN-02가 발사되는 경우

[그림 A5]와 [표 A4]는 휴전선 인근 세 지점에서 KN-02 미사일을 발사하여 평택을 공격할 때, 앞서 가정한 KN-02의 성능 및 제원을 바탕으로 예측한 궤적분석 결과이다.



[그림 A5] 표적이 평택인 경우 KN-02의 각 발사위치에서 고도-사거리 / 고도-시간 그래프

[표 A4] 각 위치에서 발사된 KN-02 미사일 궤적 분석결과

	KN-02(1)	KN-02(2)	KN-02(3)
최대고도	45.0 km	42.4 km	54.3 km
최대사거리	133.1 km	126.3 km	155.65 km
최대속도	1.65 km/s	1.79 km/s	1.58 km/s
비행시간	235 sec	241 sec	263 sec

KN-02 탄도미사일의 평택기지 공격에 따른 사드의 방어능력 분석 결과

세 지점 중 평택에서 가장 먼 세 번째 위치에서 발사된 KN-02 미사일의 최대 사거리는 155km 그리고 최대 고도는 54km로 나타났으며, 나머지 두 위치에서 발사된 KN-02 미사일은 40km를 약간 웃도는 최대 고도를 나타내었다. 따라서 요격고도가 40~150km로 알려진 사드 요격미사일을 이용하여 KN-02 미사일을 요격하는 것은 불가능할 것으로 판단된다. 즉, 앞서 사드 요격미사일이 미사일을 탐지하고 발사까지 소요되는 시간이 최소 203초로 분석되었으며, 203초 이후 KN-02의 비행고도는 이미 30km 이하로 떨어져 요격이 불가능하다.

결국 고고도미사일방어체계인 사드 요격미사일로서는 KN-02와 같은 저고도·초단거리 미사일의 경우 현실적으로 요격이 불가능하며, 이와 같은 초단거리 탄도미사일에 대한 방어체계는 별도의 시스템이 요구된다.