

순수 러시아 미사일 시대 연 '토폴-M'

글 | 정규수 _ 박사 root20@kornet.net

토폴-M, 야르스 및 불라바는 모두 러시아의 미사일 설계국인 모스크바 열처리기술연구소(MITT)에서 개발했거나 개발하고 있는 러시아의 차세대 대륙간 탄도탄(ICBM)과 잠수함 발사 미사일(SLBM)이다. 이 미사일들은 순수 러시아 기술로 설계되고 러시아 부품만으로 제작되는 공통점을 지니고 있다. 소련 붕괴 당시 미사일 부품의 75% 정도가 우크라이나와 벨로루시에서 생산되었던 것을 감안한다면 이 미사일을 개발하는 과정에서 러시아가 당면했을 어려움을 짐작할 수 있다.

소련 붕괴로 미사일개발 난항, 1993년에 비로소 본격화

소련 붕괴로 인한 우크라이나의 독립은 러시아 미사일 업계에는 크나 큰 충격이었다. 소련에서 가장 크고 중요한 미사일 개발기구인 유즈노예와 미사일 생산시설인 유즈마쉬가 우크라이나의 드네프로페트로프스크에 있었고, 소련이 붕괴되기 얼마 전에 신설된 고체로켓 공장도 우크라이나에 있었다. 더구나 소련의 ICBM 관성유도장치를 개발하고 생산하였던 AiP NPO(전에는 NII-885로 불렸음)도 우크라이나의 카르코프 지역에 있다. 소련 붕괴로 러시아는 액체 및 고체로켓 ICBM의 설계인력과 생산능력의 대부분을 상실하게 된 셈이다. 그러나 ICBM 경우와는 달리 소련의 유일한 SLBM 개발기구인 마키예프설계국이나 생산시설은 모두 러시아 내에 존재했고, 러시아에게는 다행스럽게도 SLBM용 관성유도장치 역시 러시아의 옴스크 지역에서 생산되고 있었다.

1976년 첼러메이설계국의 ICBM 설계부서가 폐쇄된 후 MITT는

러시아 영토 내의 유일한 ICBM 설계국이 되었고, 소련붕괴 후 MITT와 산하 미사일 생산 공장은 러시아가 보유한 유일한 ICBM 개발·생산기부로 남게 되었다. 그러나 MITT는 역사적으로 고체연료 이동식 ICBM만 개발하였고, ICBM의 관성유도장치와 안전-보호-장치(PAL) 등의 생산시설 대부분은 우크라이나에 남아 있었다. 수명이 한계에 달한 소련제 미사일을 대체하기 위한 미사일 개발이 시급히 요구되었지만, 소련 붕괴 후 새로운 미사일 개발은 물론이고 유산으로 물려받은 구소련 미사일을 유지관리만 하는데도 상당한 어려움에 봉착하였다.

1992년 3월 유즈노예와 MITT에서 공동으로 개발하다 소련 붕괴로 취소된 '유니버설 미사일' 대신 순수 러시아제 미사일인 토폴-M의 개발이 결정되었고, MITT의 수석 설계사 라피진과 솔로모노프에게 그 임무가 주어졌다. 1993년 2월 27일 러시아 연방정부는 토폴-M 미사일의 본격적인 개발을 법령으로 결정함으로써 순수 러시아 미사일 시대가 열리게 되었다.

토폴-M, 탄도탄요격미사일에 효과적으로 대응

유니버설 미사일은 사일로와 야지 이동식 공용으로 사용이 가능한 ICBM으로 1990년대 초에 개발이 시작되었다. 유니버설 미사일이란 이름은 한 가지 미사일 두 가지 배치모드로 사용될 수 있다는 데서 유래했다. 원래 계획에 의하면 유즈노예설계국에서는 사일로 모델을 개발하고 MITT에서는 이동식모델을 개발하는 것이었다. 하지만 소련의 붕괴로 유즈노예설계국이 손을 떼게 되면서 1992년

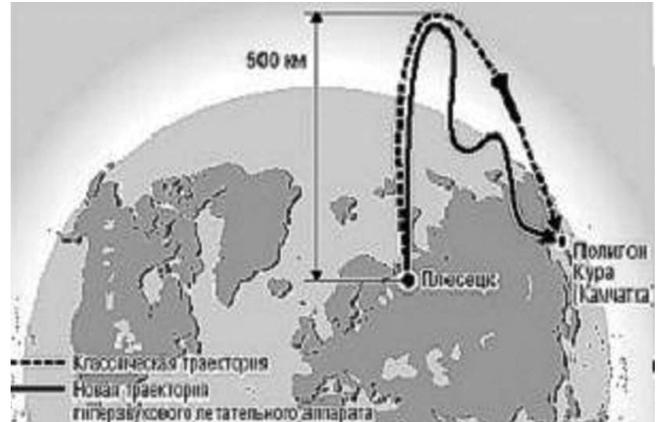


토폴-M 사일로의 상부모습. 둥근 반구형태의 돌출부는 핵폭발에서도 살아남을 수 있는 UHF 통신 안테나로 추정 된다.

4월 프로젝트 전체가 모스크바의 MITT로 이관되었다. 이렇게 해서 시작된 ICBM 프로젝트가 토폴-M이다. 이 미사일은 러시아기술로 설계하고 러시아 부품을 사용하여 러시아에서 생산하는 첫 번째 ICBM이었다. 토폴과 마찬가지로 토폴-M도 3단 고체로켓으로 야지 이동식과 사일로 고정식의 두 가지 종류로 개발되었다. 토폴은 도로를 따라 이동하다가 미리 측량이 끝난 정해진 지점에서만 발사가 가능하였다.

반면 토폴-M은 야지 이동능력도 향상되었고, 어떤 장소에서도 즉시 발사할 수 있도록 발사대에 독자적 항법장치를 갖추고 있다. 완전히 새로운 미사일로 개발하는 대신 MITT는 어려운 경제상황을 고려하고 원활한 부품조달을 위해 이미 개발 완료된 토폴을 토대로 토폴-M을 개발하기로 결정했다. 토폴에 비해 발사중량은 약 5% 정도 무거워졌고, 탑재량은 20% 증가하였다. 이러한 외형상의 차이 외에도 토폴-M은 미국이 현재 보유한 미사일 방어(MD) 시스템이나 미래에 예측되는 더 발전된 ABM 시스템도 돌파할 수 있는 여러 가지 대응수단을 갖추고 있는 것으로 소개되고 있다.

미국이 탄도탄 방어망(BMD 2004)을 추진하기 위해 탄도탄요격 미사일협정(ABMT)을 일방적으로 탈퇴한 후 러시아는 지나치다 할 정도로 BMD 돌파능력을 강조해 왔다. 토폴-M은 연소단계, 자유낙하단계 및 재돌입단계 등 비행의 전 과정에서 예측되는 갖가지 요격을 회피하기 위한 각종 대응수단을 강구하고 있는 것으로 알려지고 있다. 공개된 매체에서 소개된 토폴-M 및 토폴-M의 RV가 보유한 ABM 대응수단을 요약해보면 미사일 축을 중심으로 회전, 용제물질 외피, 3단 모터 완전 소진, 지그재그 부스트궤도, 짧은 연소시간, 낮은 탄도, 극초음속 기동성 RV, 종말유도, 스텔스 RV, 내



토폴-M RV의 비행궤적. 러시아 국방부가 발표한 2004년 2월 18일 토폴에 실려 발사된 토폴-M RV의 비행궤적

핵설계 등이다.

용제물질 덧붙이고 미사일축을 중심으로 회전

사실 위에 열거한 특성들이 어디까지가 사실이고 어디까지가 허구인지 알 수 있는 정보는 없다. 그래서 일단 러시아가 주장하는 대로 토폴-M이 위와 같은 특성을 가지고 있다고 가정하고 다음과 같이 두 가지 측면에서 진실에 접근해보려 한다. 첫째는 위와 같은 토폴-M의 특성을 러시아나 미국의 현재 과학기술 수준으로 실현할 수 있겠는가 하는 것이고, 두 번째는 설사 과학 기술적으로는 가능하다 할지라도 경제성 또는 ICBM 운용 전략 측면에서 그렇게 하는 것이 과연 이득이 있겠는가 하는 것이다.

발사단계에서 미사일을 축 중심으로 회전시키고 1단 2단 모터 케이스를 용제물질로 둘러싸으로써 발사단계에서 있을 수도 있는 상대방에 의한 레이저 요격을 무력화시켰다고 한다. 지금까지 알려진 탄도탄 요격용 레이저의 출력은 작동중인 액체로켓 표면의 한 곳을 집중적으로 수 초 이상 조사할 수 있을 때만 겨우 파괴할 수 있을 정도이다. 고체로켓의 모터 케이스는 훨씬 견고하므로 파괴하기가 더욱 힘들 것이다.

부스팅 단계의 미사일은 연료소모로 질량이 줄어들고 이에 따라 가속도는 끊임없이 변화한다. 따라서 미래의 위치를 예측하여 레이저를 한 점에 집중하기가 결코 쉽지 않다. 더구나 로켓모터가 2~3초당 1회 꼴로 천천히 진행 축을 중심으로 회전을 한다면 한 곳에 집중적으로 레이저를 조사하는 것 자체가 불가능하다. 설사 요격용 레이저가 한 점 주위를 아주 짧은 시간만 조사해도 모터를 파괴할 수 있을 정도로 강력해진다 해도 모터 케이스를 몇 밀리미터 두께

의 용제물질로 둘러싼다면 레이저의 에너지가 안으로 침투하는 것을 막아줄 수 있다.

용제물질을 덧붙이는 방법 또는 스펀시키는 방법은 모두 기술적으로나 경제적으로 그리 큰 부담이 없을 것으로 보인다. 어차피 미국이나 소련이나 대기와 마찰로 인한 고체연료 온도 상승을 막기 위해 단열재로 코크 같은 용제물질을 1, 2단 모터에 덧붙여 왔기 때문에 용제물질 코팅에는 별다른 기술적인 문제는 없을 것이다. 다만 용제물질 추가로 미사일의 탑재량이 그만큼 주는 것은 감수해야 한다.

3단 모터 완전 소진시키고 부스트궤도 변형

토폴-M은 ICBM에 통상적으로 적용하는 TTP에 의한 연소종료 속도 조절 방법을 쓰는 대신 3단 모터를 소진시키는 GEMS 속도 조절 방법을 사용하는 것으로 추정된다. 현재 러시아 내에서 관성 유도장치를 제조할 수 있는 곳은 옴스크에 있는 SLBM 관성유도장치 생산 공장뿐이다. 따라서 MITT는 토폴-M에 사용할 ICBM 관성유도장치를 우크라이나에서 수입하여 사용하든가, 아니면 러시아의 옴스크에서 생산한 SLBM 유도장치를 채택하든가 둘 중 하나를 선택해야 했을 것이다. 그러나 토폴-M이 처음부터 순수 러시아제로 계획된 것을 감안한다면 러시아제 외에 다른 선택은 있을 수 없었을 것이다.

근래에 와서는 토폴-M과 블라바 SLBM은 같은 관성유도장치를 사용한다는 주장도 나오고 있다. 블라바는 GEMS 타입 유도를 할 것이 확실하기 때문에 토폴-M 역시 GEMS 유도방식을 사용할 것으로 추정할 수 있다. 러시아는 이미 단일 탄두 미사일인 R-31에 이 유도방식을 적용한 이후 R-29R, R-29RM 및 R-39 등 다탄두 SLBM 유도에 모두 GEMS 방식을 사용하는 것으로 추정되기 때문에 같은 유도방식을 토폴-M에 적용한다 해도 기술적 또는 경제적으로 아무 문제가 없을 것으로 보인다.

미사일의 최대 사거리에 있는 표적을 겨냥하는 경우에는 다른 선택이 없지만, 최대 사거리보다 가까운 표적을 겨냥할 때에는 잉여 에너지를 에너지관리조정기법(GEMS)에 소모해야 하기 때문에 필요하다면 궤도를 임의의 지그재그 형태로 프로그램할 수도 있다. 부스트 단계의 궤도를 예측하여 항공기 탑재형 레이저(ABL)로 한 점을 수 초 간 조사하는 것 자체가 아주 힘든 기술임은 잘 알려진 사실이다. 더구나 부스트궤도가 임의로 이리저리 바뀐다면 ABL로 미사일을 요격한다는 것은 거의 불가능할 것이다. GEMS 기술을

응용하는 부스트궤도 변형기술은 이미 러시아에서는 자리 잡힌 기술로서 그 응용에 별 부담이 없을 것으로 생각한다.

연소시간 짧고 탄도 낮아 ABL로 요격 불가능

MITT는 집중적인 노력의 결과 토폴-M의 부스트 타임을 R-36M2 보이보데의 부스트 타임에 비해 4.5분의 1로 줄일 수 있었다고 했다. 적외선 탐지기를 탑재한 인공위성은 탄도탄 발사를 부스트 단계에서 탐지할 수 있는 가장 확실한 방법으로 인정되고 있다. 현재 미국이 활용하고 있는 탄도탄 발사 탐지용 적외선 위성으로는 DSP라는 정지위성 시스템이 있다. 첫 번째 DSP 위성이 1970년에 발사된 후 지금까지 40년 가까이 미국의 눈으로서 전 세계에서 발사되는 모든 탄도탄을 발사단계에서 성공적으로 탐지해 왔으며 2007년 11월 마지막 DSP인 23번째 위성이 발사되었다.

지상의 적외선 잡음을 방지하기 위해 DSP 위성은 물 분자가 흡수하는 적외선 대역인 2.7~2.9 μ m 파장을 가진 적외선을 사용하고 있다. 이러한 이유로 DSP는 발사된 탄도탄이 수증기가 별로 없는 10km 이상의 고도에 도달해야 비로소 미사일의 분사가스를 탐지할 수 있다. 차세대 탐지위성으로 개발되고 있는 STSS(DSP를 대체할 궤도 우주기반 적외선센서)에서는 대략 7km 고도에 올라 온 로켓의 분사가스를 탐지할 수 있다고 한다. 일레로 미니트맨-I과 같은 고체 로켓이 10km 고도에 이르려면 발사 후 약 35초가 지나야 하고, DSP 위성이 이것을 발견하여 1km³ 내로 위치를 확인하기까지 다시 30여 초의 시간이 소요된다. 다시 말하자면 미니트맨이 발사되고 65초가 지나야 미사일의 대략적인 위치가 확인될 수 있다는 뜻이다.

지금 계획하고 있는 STSS가 실현될 경우 미사일은 발사 후 30초 후에 대략 7km 상공에서 발견될 것이고, 위치확인을 위해 다시 15초 정도가 소요되므로 미사일이 발사된 후 요격 미사일을 발사하기까지 최소한 45초가 필요하다. STSS는 2008년에 발사될 예정으로 있지만, 예산 초과와 기술적인 문제 때문에 장래가 불투명하다. 따라서 미국이 가진 ICBM 발사 탐지능력은 당분간은 DSP 수준을 유지할 것으로 보인다.

미니트맨 타입의 미사일이 발사되고 65초가 경과되어야 방어측이 부스트단계 방어미사일(BPI)을 발사하기 위한 준비로 들어가거나 ABL을 이용해 요격 준비를 할 수 있게 된다. 그러나 만약 발사된 토폴-M의 연소시간이 120초 이내라고 한다면, BPI로 이러한 미사일을 요격하는 것은 현실적으로 불가능하다. 65초 전에 발사한 토폴-M과 같은 빠른 미사일을 그보다 느린 요격 미사일로 55

초 안에 따라잡아 요격하는 것은 거의 불가능하다. ABL 경우도 비슷하다. DSP에서 큐를 받은 ABL 탑재 항공기가 예측되는 지점으로 레이더를 조준하고 미사일을 추적하여 레이저로 공격하기 전에 연소가 끝나기 때문에 ABL 공격도 무위로 돌아갈 수밖에 없다. 더구나 극도로 평편하고 낮은 궤도를 택할 경우 장래 인공위성에 배치될 가능성이 있는 운동에너지탄이나 빔 에너지 무기도 거리가 너무 멀어 실효를 거두기 힘들다. 따라서 토폴-M을 BPI 개념으로 요격하는 것도 거의 불가능할 것으로 보인다.

1960년대에 미국은 100g(중력가속도의 100배) 이상으로 가속되는 스프린트 미사일을 개발한 적이 있다. 스프린트 미사일은 5초 안에 음속의 10배(3.4km/s) 속도로 가속될 수 있고 기체는 구조적으로도 튼튼하여 25kg의 충격파에도 견딜 수 있었다. 이 때 공기마찰로 인해 표면 온도는 무려 3천400℃까지 올라간다. 스프린트도 환상적인 가속도를 가진 미사일이었지만 같은 시점에 미 국방성 고등연구계획국(ARPA)에서 연구용으로 개발하던 HIBEX는 더욱 환상적인 가속도를 자랑했다. HIBEX는 400g의 가속도를 낼 수 있었으며 사일로를 벗어나는데 1/4초 밖에 걸리지 않았다고 한다. 하지만, 스프린트나 HIBEX는 소형 로켓으로 수 초 이내에 연료를 소진하고 에너지의 대부분을 공기 마찰로 손실함으로써 사거리는 아주 짧을 수밖에 없었다.

이와 같이 미국은 1960년대 중반에 이미 초고가속 미사일의 고체 모터 설계를 성공하였고, 초고가속에 따른 기체와 부품들의 열적·기계적 스트레스 문제를 해결했으며, 특히 충격에 예민한 기계적 자이로의 문제점을 레이저 자이로로 대체함으로써 해결하였다. 50년 가까이 지난 지금 러시아가 짧은 연소시간을 가진 로켓을 개발했다 해도 그리 놀랄 일은 아닐 것이다. 토폴-M의 가속도는 연소종료 시간으로 미루어 평균적으로 미니트맨의 1.5배 내외일 것으로 추정된다. 토폴-M은 미니트맨-III과 비슷한 크기와 무게와 외양을 가지고 있지만 연소시간은 미니트맨-III의 67%에 불과하다. 하지만 페이로드와 사거리는 미니트맨과 비슷하므로 러시아는 상당히 어려운 기술적 문제를 어떻게든 해결했음이 틀림없다.

통상적 자유낙하 벗어나 토폴-M의 RV 궤도 복잡

통상적으로 ICBM은 MET로 발사되도록 프로그램되는 것이 보통이다. MET는 또 다른 표현으로는 최대사거리 탄도라고 한다. MET는 가장 작은 속도로 가장 멀리 가는 탄도이기도 하지만 양각 오차가 CEP에 미치는 영향이 제일 작은 탄도이기도 하다. MET에

서 1만km 사거리를 기준으로 볼 때 궤도의 최고 고도는 대략 1천km가 조금 넘고 RV의 재돌입 각도는 23° 근방이다. 그러나 모든 정황으로 보아 토폴-M은 MET뿐만 아니라 ICBM 사거리에 대한 DT 사격도 염두에 두고 개발한 것으로 보인다.

참고 그림은 2004년 2월 18일 토폴의 비행시험 직후 러시아 국방부가 언론에 공개한 RV의 비행궤적이다. 점선은 통상적인 자유낙하탄도를 나타내는 반면 실선은 토폴의 RV가 실제로 비행한 궤적을 나타내고 있다. 토폴-M의 탄두 비행시험에서 토폴-M을 사용하지 않고 토폴을 사용한 이유는 토폴-M의 생산이 여의치 않았고 토폴의 비행특성도 비슷하기 때문에 굳이 RV 비행시험에 아까운 토폴-M을 사용할 필요가 없었을 것으로 본다. 이 그림에서 보는 바와 같이 토폴-M RV의 실제 궤도는 탄도로부터 상당히 벗어나서 복잡한 궤도를 그리는 것을 알 수 있다. RV의 궤도가 이렇게 예측할 수 없는 형태를 가진다면 푸틴 대통령의 장담처럼 요격은 거의 불가능하다.

그림에서 보는 것이 사실이라면 토폴-M의 최고 고도는 500km를 넘지 않을 것으로 추정되고 이는 통상적인 미사일 최고 고도의 반도 되지 않는 것이다. 이와 같이 탄도가 낮고 평편할 경우 RV는 탄도의 대부분이 조기 경보 레이더와 추적 레이더의 지평선 밑에 놓이게 되어 표적에 아주 근접할 때까지 탐지되지 않는다. 고도가 500km 미만인 경우 레이더에 탐지되지 않고 접근할 수 있는 거리는 대략 2천200km 정도로 추정된다. 실사 2천200km 거리에서 탐지가 된다 하여도 초속 6km/s 이상의 RV가 표적에 명중할 때까지 소요되는 시간은 고작 6~7분밖에 되지 않아 방어 측은 당황할 수밖에 없다.

일반적으로 DT를 따른 비행시간은 MET를 따른 비행시간보다 훨씬 짧다. 이러한 특성 역시 방어 측의 가늠이나 짧은 준비시간을 더욱 짧게 만들어 ABM을 무력하게 만드는 역할을 한다. 그러나 탄도탄 방어망 돌파능력을 향상시켜주는 것이 DT지만 재돌입시 정확도를 낮추는 약점을 가지고 있다. 공기역학적 '트림-플랩'만으로 유도되는 비교적 간단한 기동성 재돌입체로 기존의 RV를 대체하여 재돌입 각도를 22~23° 정도 또는 그 이상으로 만들어 줄 수 있다면 MET와 대등한 또는 더높은 정확도를 보장해 줄 수 있다. ㉓



글쓴이는 서울대학교 물리학과 졸업 후 피츠버그대학교에서 박사학위를 받았으며, 국방과학연구소에서 30년 간 연구원으로 근무 후 2006년 정년퇴직했다.