

# 자유자재로 비행하고 레이저 요격에도 멀쩡

글 | 정규수\_ 박사 rooi20@kornet.net

2007년 12월, 러시아의 전략로켓군(SRF)과 전략함대(SF)는 아주 바쁜 한 달을 보냈다. 12월 8일 실시한 '토폴' 대륙간탄도탄(ICBM)의 비행시험을 필두로 17일과 25일에는 잠수함발사미사일(SLBM) '시네바'의 비행시험을 실시하였다. 특히 25일에는 시네바 외에 다탄두 ICBM인 'RS-24 야르스'의 비행시험도 함께 실시하였는데, 이번에 행한 야르스의 발사시험은 2007년 5월 29일에 이은 두 번째 비행시험이었다. 이외에도 2007년 6월 28일과 11월 10일에는 러시아가 야심적으로 개발하고 있는 SLBM '블라바'의 비행시험도 실시한 바 있다. 최근에 와서 더욱 잦아진 러시아의 미사일 비행시험과 다양한 종류의 신형 장거리 탄도탄을 보고 있노라면 우리가 아직도 냉전시대 한 가운데에 서 있는 것은 아닌가 하는 착각마저 든다.

## 신비의 베일에 싸인 러시아 슈퍼미사일

지난 몇 년간 우리는 사일로 배치 토폴-M, 야지 이동식 토폴-M, 잠수함 발사 블라바 및 다탄두 미사일 야르스에 대한 비행시험과 러시아 미사일의 환상적인 성능에 대해 들어왔다. 러시아 지도부는 미사일 비행시험에 성공할 때마다 '미국이나 다른 나라의 어떠한 대탄도탄 방어망도 돌파할 수 있는 미사일'이라든가 혹은 '세계 어느 나라도 갖지 못한 새로운 핵미사일'이라고 강조해왔다. 블라바는 러시아가 성공적으로 개발한 ICBM인 토폴-M을 잠수함 탑재용으로 개발한 것이라고도 하고, 또 한편에서는 블라바

이동식 ICBN 토폴



의 지상발사 ICBM도

개발되고 있다고 한다. 가장 최근에 비행시험을 시작한 야르스는 탄두를 10기까지 탑재할 수 있는 몰로데츠(Molodets : SS-24)급의 새로운 다탄두 미사일이라고도 소개되었으나, 다탄두를 탑재한 토폴-M이라는 견해가 힘을 얻고 있다.

언론에 공개된 정보를 접하다 보면 러시아의 미사일 개발현황은 상당히 어수선하고, 혼란스러우며, 신비스럽기까지 하다. 물론 ICBM이 등장한 1959년 이후 지금까지 자국의 ICBM이나 SLBM에 대한 궁금증을 다 풀어준 나라는 어디에도 없다. 과거 소련은 미사일 개발계획은 물론 비행시험, 부대 배치 및 미사일 특성 등 미사일 전반에 대해 완전히 비밀에 부쳐왔다. 따라서 소련 미사일 개발에 대해서는 오직 가정과 추정만 무성했을 뿐이다. 이 때의 혼란이 정보부재에 기인한 것이라고 본다면 지금의 혼란은 러시아 지도부가 다분히 의도적으로 흘린 과다하고 애매한 정보에서 야기된 듯싶다. 러시아 대통령, 국방장관, 전략로켓군 사령관, 미사일 설계연구소 소장 또는 국방부 대변인 등이 수시로 기자회견이나 발표형식을 빌려 일반에게 공개한 미사일 자료들은 러시아 미사일의 꿈같은 성능에 대한 감탄을 자아내게 만들었다.

기자회견장에서 흘러나온 정보를 기준으로 성능을 재현해보면 토폴-M은 '슈퍼미사일'이 틀림없다. 발사단계에서 표적에 이르기까지 전 구간에서 비행경로를 이리저리 무작위로 계속 바꿀 수도 있고, 특히 재돌입 과정에서는 극초음속 기동으로 대기권을 들락날락할 뿐만 아니라 표적을 향해 자동으로 종말유도된다. 만약 레이저로 요격을 당하면 외피에 덧붙인 응제물질이 내부를 보호하고,

500m 거리에서 폭발하는 핵탄두도 미사일이나 페이로드를 파괴할 수 없도록 내핵 특성도 강화했다고 한다. 하지만 이들 발사나 회전에서 상상력을 자극하는 화려한 수식어를 걷어내고 실제로 토폴-M의 특성을 들여다보는 것이 그리 쉬운 일이 아니다. 아마도 이런 것이 '진실게임'이 아닐까.

### 토폴-M, 2015년 이후 러시아 핵전력 주축 예상

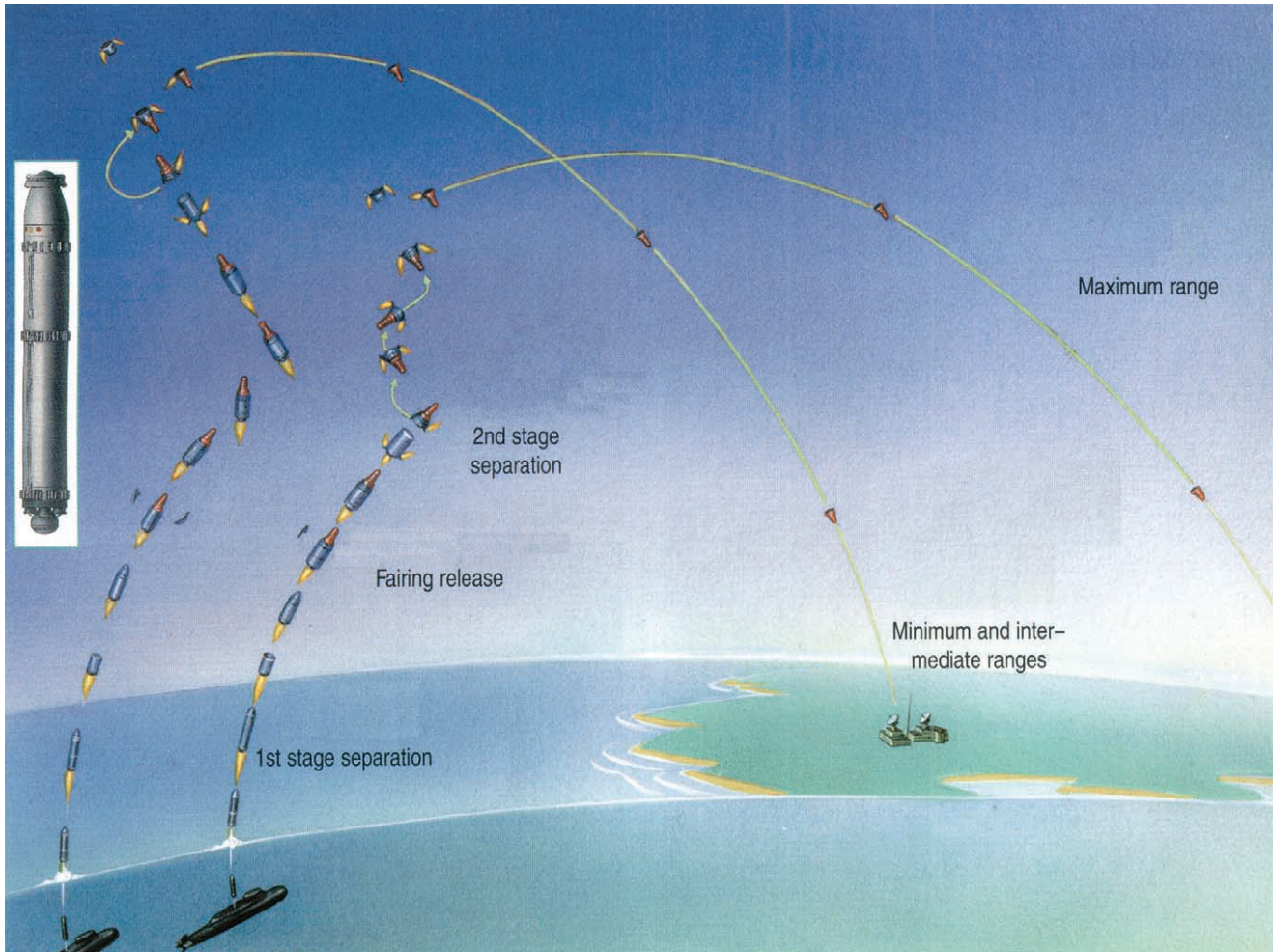
러시아 미사일은 유난히 많은 이름을 가지고 있다. 같은 토폴-M을 놓고도 누가 말하느냐에 따라 RT-2PM2, 15Zh65, RS-12M2, SS-27 및 시클 등 다양하게 불린다. 한 가지 미사일이 이렇게 많은 이름으로 불리는 것이 토폴-M만은 아니다. 모든 소련 및 러시아의 전략 미사일이 가지고 있는 공통점이 바로 복잡한 이름 체계가 아닐까 한다.

토폴-M은 러시아에서 부르는 '애칭'으로 미국의 피스키퍼나 트라이던트와 같은 맥락에서 보면 된다. RT-2PM2라는 이름은 러시아(혹은 소련) 군부에서 부르는 공식 명칭이고, 15Zh65는 생산 공장 및 부품업체에서 사용하는 이름으로 Zh는 고체로켓을 나타내는 코드다. 미국과 소련은 군축회담(SALT & START)에서 서로 혼동하지 않고 부를 수 있는 공식명칭을 새로 만들었는데 RS-12M2가 바로 토폴-M을 지칭하는 전략무기회담용 명칭이다.

한편 나토(NATO)는 러시아/소련의 미사일마다 암호명을 지어 부르고 있는데 '시클'이 바로 토폴-M의 그러한 이름이다. 그러나 시클은 원래 토폴(SS-25)의 나토 코드명이었기 때문에 더욱 혼란스럽다. 미국의 국방정보국(DIA)은 정보국대로 같은 미사일을 SS-27(SS-29)이라고 부른다. 러시아 미사일의 복잡하고 다양한 이름은 이미 혼란스러운 상황을 좀 더 혼란스럽게 만들고 있는 것이 사실이다.

일전 뉴스에서 보니 러시아 군부 수뇌들이 모인 자리에서 토폴-M을 SS-27이라고 말했다가 푸틴 대통령의 질책을 받았다고 하니 미사일의 이름이 부당스러운 것은 비단 우리뿐이 아닌 듯싶다. 우리는 가능한 한 러시아 미사일을 러시아 애칭으로 부르도록 하겠다.

이름이야 어찌되었건 토폴-M, 야르스 및 불라바는 2015년 이후 러시아 핵전력의 중심에 서게 될 것이 분명하다. 지금은 혼란과 신비의 베일 속에 가려진 채 언론에만 오르내리는 이 미사일들도 앞



SLBM R-31의 GEMS 방법에 의한 사거리 조절

으로 5년, 10년이 지나면 러시아 핵전력의 주축으로 우리 앞에 실체를 드러낼 것이 분명하다. 러시아가 추구하는 미래 미사일 시스템의 특징과 성능을 5년 먼저 알고 있으면 앞으로 러시아가 추구하는 전략적 선택을 예측하고 이해하는데 많은 도움이 될 것이다. 따라서 현 시점에서 이들 미사일을 둘러싼 여러 가지 오해와 진실을 가려보는 것은 분명 의미 있는 일일 것이다.

**뉴턴 운동방정식 · 지구중력이 탄도탄 탄도 결정**

이번 호에서 소개하고자 하는 미사일들은 분류상 탄도탄이라 알려진 미사일이다. 탄도탄에 대한 기술적 배경을 먼저 간단히 소개함으로써 앞으로 러시아의 신형 미사일에 대한 설명과 분석을 이해하는데 도움이 될 것이다.

탄도탄은 통상적으로 도시, 산업시설, 항구, 비행장, 군사시설,

지휘소, 미사일 사일로 등 지상에 고정된 좌표를 표적으로 삼는 것이 관례다. 우리가 흔히 알고 있는 대공 미사일, 대함 미사일 또는 대전차 미사일 등은 모두 비행시간 내내 표적을 향해 유도되지만 탄도탄은 사거리의 거의 전 구간을 표적을 향해 자유낙하하는 것이 크게 다른 점이다. 이렇게 중력의 영향 하에 자유낙하하는 운동을 '탄도비행'이라고 한다. 탄도비행 중에는 중력 이외의 다른 힘은 비행체에 작용하지 않는다. 따라서 탄도비행 물체가 날아가는 길인 탄도는 물체의 운동을 기술하는 뉴턴의 운동방정식과 지구중력에 의해 완전히 결정된다.

그러나 뉴턴방정식은 비행체 위치의 시간에 대한 2차 미분방정식이기 때문에 탄도는 두 '세트'의 적분상수를 포함하게 된다. 이들 상수는 탄도비행 시작시점(시간  $t=0$ )에서 비행체의 위치와 속도, 즉 '초기위치'와 '초기속도'라는 두 가지 초기조건에 의해 정

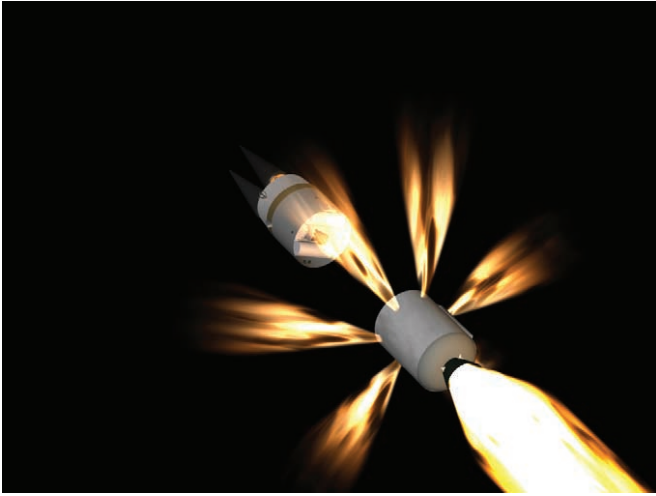


미공군의 레이저 요격기

해지는 것이 가장 자연스럽다. 이것이 물리 교과서에서 통상적으로 탄도 문제에 접근하는 방식이기도 하다. 그러나 탄도탄 문제에서 적분상수를 정하는 방법은 통상적인 물리 문제에서 상수를 정하는 방법과 좀 다르다.

탄도탄은 표적을 명중시켜야 하는 '사명'을 지니고 태어났다. 탄도탄이 이러한 사명을 완수하기 위해서는 초기위치에서 시작된 탄도탄의 탄도는 반드시 표적의 위치를 지나가도록 정해져야 한다. 이것이 바로 탄도탄이 표적에 명중하기 위한 조건이다. 이러한 조건들은 탄도에 들어오는 적분상수들을 정하기에 충분하다. 그러나 이것으로 문제가 모두 해결된 것은 아니다. 주어진 초기위치와 주어진 표적위치를 연결하는 탄도를 따라 비행하는 물체는 항상 표적을 명중시키는 것은 사실이다. 하지만 이러한 탄도가 무한히 많은 것이 문제다.

우리가 통상적으로 쓰는 명중이란 말은 탄환이나 화살 같이 움직이는 물체가 표적을 관통하는 것을 의미한다. 시위를 떠난 화살은 유한한 속도로 움직이는 관계로 일정한 비행시간(TOF)이 지나야 표적에 도달할 수 있다. 표적의 위치 자체는 시간에 무관하게 고정되어 있지만 탄도비행체의 위치는 시간의 함수이므로 비행체가 표적에 명중하길 원하는 시간 TOF 값을 명시해야 비로소 탄도가 유일하게 결정되기 때문이다. 따라서 탄도탄의 명중 조건은 시간  $t=0$ 에서 탄도탄의 위치와  $t=TOF$ 에서 위치가 각각 초기위치와 표적위치가 되도록 상수들을 결정하는 것과 대등하다. 통상적인 물리 교과서의 탄도문제는 초기조건 문제였는데 비해 같은 문제라도 탄도탄에서는 경계조건 문제로 바뀐 것을 알 수 있다. 초기조건 문제로 풀어도 탄도탄의 탄도문제를 해결할 수는 있다. 하지만 원하는 표적을 명중시키는데 필요한 초기속도를 찾기가 그리 쉽지 않다.



미니트벤 -3 미사일의 3단에 장착된 TTP가 작동하는 가상도

따라서 설명한 경계조건 문제로 전환해 푸는 것이 탄도탄에 적용하는데 훨씬 편리하고 직접적이다. 초기위치와 표적위치 및 비행시간 TOF를 정해주면 표적을 명중시킬 탄도가 결정된다.

사실 TOF를 어느 정도 임의로 정할 수 있다는 것은 탄도탄의 운용 전략상 중요한 개념이다. 예를 들어 잠수함 한척에서 탑재한 SLBM을 모두 발사하려면 수분의 시간이 소요된다. 그러나 전략상 이들 미사일에 탑재한 모든 탄두가 동시에 각각 표적에 도달하기를 원할 수 있다. 아니면 짧은 시차를 두고 순차적으로 도달하기를 원할 수도 있다. 이러한 희망사항은 각 RV의 TOF를 적절히 배정해 줌으로써 만족될 수 있다.

### ‘람베르트 유도’ 통해 정해진 시각에 표적 명중

남은 문제는 어떻게 하면 탄도탄이 이렇게 결정한 탄도를 따라 비행하도록 만들 수 있느냐 하는 것이다. 이것이 바로 탄도탄의 유도 조종 문제다. 일단 탄도탄이 탄도비행을 시작하면 우리는 어떠한 조종도 할 수 없다. 따라서 탄도탄 유도조종은 탄도비행을 시작하는 시간  $t=0$ 에서 완료되어야 한다. 우리가 탄도탄의 유도조정을 통해 조절할 수 있는 파라미터는 초기위치와 초기속도뿐이다. 물리학에서 속도라는 물리량은 크기와 방향을 갖는 벡터량으로 정의되는데, 크기는 속력으로 알려진 빠르기이고 방향은 국지지평면에 대한 비행각도(양각)와 표적을 향한 방위각을 일컫는다.  $t=TOF$  라는 시각에 표적을 명중한다는 경계조건으로부터  $t=0$  때 위치(초기위치)에서 가져야 할 속도, 즉 초기속도 값을 유일하게 결정할 수 있다.

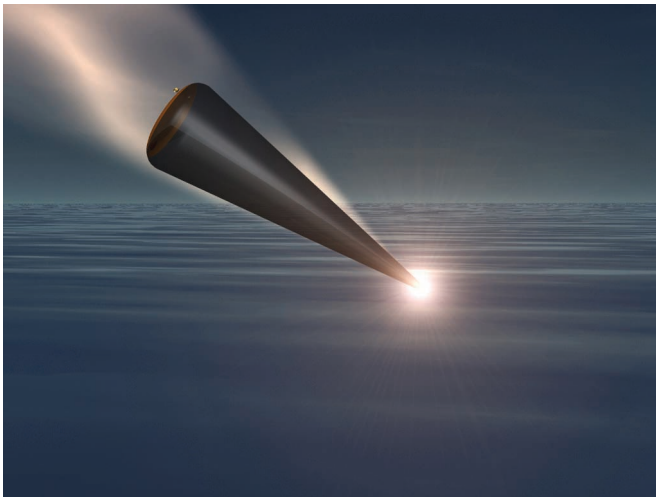
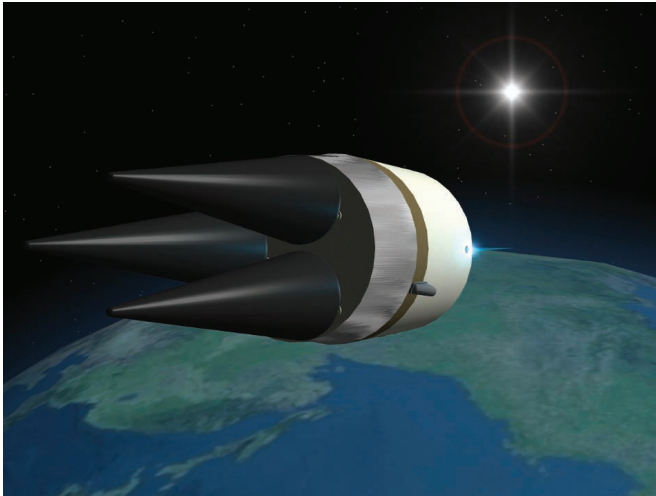
역사적으로 이 문제를 처음으로 연구한 사람의 이름을 따서 이

러한 초기속도를 ‘람베르트 속도’라고 부르고, 해당되는 속력과 각도는 각각 람베르트 속력과 람베르트 각도라고 부른다. 람베르트 속도의 의미는 탄도비행을 시작하는 위치에서 탄도탄이 람베르트 속도를 갖도록 탄도탄을 유도조종해 준다면 탄도탄은 반드시 정해진 시각에 표적을 명중시키게 된다는 뜻이다. 탄도비행 시작점에서 탄도탄이 람베르트 속도를 갖도록 조종하는 과정을 역사적으로 ‘람베르트 유도’라고 부른다.

탄도탄 문제에서는 사실 초기위치가 무엇을 의미하는지에 대해서도 설명이 필요하다. 이해를 돕기 위해 탄도탄을 포탄의 경우와 비교해 생각해 보자. 물론 공기 영향이 커서 이상적인 탄도에서는 좀 벗어나긴 하지만 대포의 포탄도 탄도를 따라 운동한다. 포탄에서 초기속도는 포탄이 포신을 막 벗어나는 순간의 속도인 포구속도를 의미하고, 초기위치는 포구의 위치를 말한다. 탄도탄에서는 마지막 로켓모터의 연소가 종료되면, 로켓모터는 탄두로부터 떨어져 나가고 탄두는 거의 완벽한 진공 중에서 중력의 영향만 받으며 이상적인 탄도비행을 시작하게 된다. 마지막 로켓모터의 연소종료 속도가 바로 람베르트 속도가 되어야 하고 연소가 종료되는 위치가 바로 초기위치가 되는 것이다.

대포의 경우는 포신의 길이가 짧기 때문에 포의 발사 위치나 포구 위치를 구별해 구별할 필요가 없었다. 하지만 탄도탄의 경우는 평균 가속도가 포탄이 포신 속에서 받는 가속도의 수 천분의 1도 안 되기 때문에 최종 속도가 6~7km/s로 가속되려면 2~10분 사이의 가속 시간이 소요될 뿐 아니라 마지막 단의 모터가 종료될 때 고도도 180~200km에 이르고 발사점으로부터 지상 거리도 100km 이상 떨어지게 된다. 따라서 탄도탄에서 발사점의 위치는 탄도비행 시작점의 위치와 수 백 km 떨어져 있는 것이 보통이다. 대포로 따지면 포신의 길이가 수 백 km 되는 경우에 해당된다고 보면 된다.

지금까지 설명에서 보듯이 표적의 위치와 초기위치 및 원하는 비행시간 TOF는 유도 프로그램에서 입력 데이터로 선택할 수 있는 값이지만, 특히 초기 위치는 어느 정도 임의성을 가진 값이다. 그리고 람베르트 속도는 이에 따라 결정된다. 일단 탄도비행이 시작되면 탄두는 표적을 향해 자유낙하하게 되므로 탄두에 별도의 로켓추진기관을 부착하지 않는 한 탄두를 유도 조종하는 것은 불가능하다. 그러나 로켓모터가 동작 중인 부스팅 단계라 불리는 가속단계에서는 추력방향을 조종하거나 보조로켓을 이용하여 궤도와 속도를 제어하는 것이 항상 가능하다. 탄도탄에 탑재한 관성항법장치 혹은 천측-관성항법장치는 가속되고 있는 미사일의 매 순간의 위



러시아 슈퍼미사일 탄도비행 가상도

치, 속도 및 가속도를 측정하여 항법컴퓨터에 전달한다. 이 데이터에 근거하여 항법컴퓨터는 프로그램된 초기위치에서 램베르트 속도에 도달하도록 궤도를 조정해 나간다. 이러한 일련의 과정을 탄도탄의 유도조종이라고 하며, 램베르트 속도에 도달하는 즉시 로켓 모터의 작동을 중지시키는 것으로 탄도탄의 유도조종은 완료된다.

### GEMS 방법으로 요격 피하고 사거리 조절

여기서 미사일을 추진하는 로켓이 액체로켓이나 고체로켓이나에 따라 로켓 모터 작동중지 방법에는 큰 차이가 있다. 액체로켓인 경우, 연소실로 연료를 공급하는 펌프의 작동을 중단시킴으로써 로켓 모터 작동을 즉시 중지시킬 수 있다. 그러나 고체연료 로켓인 경우 연소실 내에는 이미 연료와 산화제가 잘 혼합된 고체형태의 연

료가 충전되어 있다. 따라서 고체로켓 모터에서는 일단 연소가 시작되면 연료가 소진되기 전에는 연소를 비파괴적으로 종료시킬 수 있는 방법이 없다.

초창기 고체로켓 미사일 개발자들은 이러한 문제를 해결하기 위해 마지막 로켓 모터 상단 가장자리에 위로 비스듬히 추력중단배기구(TTP)라 부르는 연소가스 배출구를 마련하였다. TTP는 로켓 모터 상단에 비스듬히 5~6개의 구멍을 내고 다시 막아놓아 정상적으로 모터가 작동할 때는 연소가스가 새어나가지 않는다. 그러나 모터를 인위적으로 중단시켜야 할 때는 미리 설치한 성형작용을 폭발시켜 구멍을 개방함으로써 고온고압의 연소가스가 새어나가 진행 방향의 가속도를 급감시킴과 동시에 연소실 내의 압력을 급속히 감소시켜 연소를 종료시키는 역할을 한다. 이러한 TTP 개념은 처음으로 폴라리스-A1에 적용되었고, 그 후 고체로켓 ICBM에 집중적으로 적용되어 왔다.

그러나 때로는 미사일에 탄두를 탑재하는 배열방법에 따라 TTP 방법으로는 로켓모터를 중단시킬 수가 없는 경우가 생긴다. TTP가 작동할 때 분출되는 고온 고압가스가 탄두를 파괴할 수 있기 때문에 TTP를 사용하는 것이 불가능하다. ICBM 사거리를 갖는 고체로켓 SLBM이 바로 그러한 경우에 해당되는데 이점에 대해서는 추후 다시 설명하기로 한다.

그래서 미국과 소련은 초장거리 SLBM을 위해 TTP를 대신할 새로운 유도조종 방법을 개발하게 되었다. 트라이던트-I C4나 트라이던트-II D5에서는 3단-모터를 램베르트 속도에서 인위적으로 중단시키는 대신 3단-모터 연료가 소진되는 순간에 정확하게 램베르트 속도가 되도록 부스팅 단계의 궤도를 조작하여 잉여 에너지를 미리 소비한다. 이와 같은 궤도 조작은 유도 컴퓨터의 지시로 수행되며, 표적지정 프로그램에 미리 입력하여 둔다. 이러한 유도조정 방법을 일컬어 에너지관리조종기법 또는 약자로 GEMS라고 부른다. 처음에는 주로 SLBM 유도에 쓰여 왔지만 최근에는 토폴-M과 같은 최신 ICBM 유도에도 이용되는 것으로 알려지고 있다. GEMS는 부스팅 궤도를 방어측이 예측할 수 없도록 프로그램 할 수도 있기 때문에 부스팅 단계 요격을 회피하는 효과적인 방법으로도 이용되고 있다. ㉔



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