

‘물수제비 재돌입’으로 사거리 늘리고 요격 피해

글 | 정규수 _ 박사 root20@kornet.net

재돌입체(RV)의 재돌입 그림에서 보여주는 실제 토폴-M의 RV 궤적은 더 이상 탄도궤도를 따르는 저궤도 탄도(DT)가 아니다. 재돌입하는 RV의 고도가 극단적으로 바뀐 것으로 그려져 있고 이와 같은 사실은 또 다른 발표에서도 확인된 바 있다. 대기층으로 재돌입하던 RV가 다시 대기권 밖으로 나갔다가 다시 재돌입하고 그 후는 표적으로 종말유도된다고 한다. 이러한 발표 후 토폴-M의 RV는 극초음속 스크램제트라고 언론매체에 오르내리기 시작했으며, 스크램제트 RV 이름이 ‘이글라’라고 구체적으로 언급되기도 했다. 더구나 잠수함 발사 미사일(SLBM) 블라바에도 같은 극초음속 MaRV를 탑재할 것이라고 한다.

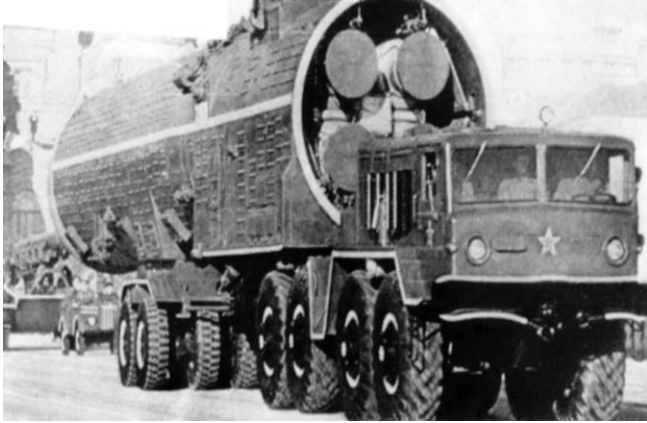
MaRV에 스크램제트 이용엔 기술적으로 요원

스크램제트는 대기권 내에서만 작동이 가능하고 많은 양의 연료를 짧은 시간에 소모한다. 대기 중에서 초음속 비행체를 극초음속으로 가속시키든가 지속적인 극초음속 기동을 하는 것이 목적이라면 산화제를 싣고 다니지 않아도 되는 스크램제트가 로켓에 비해 분명 큰 이점이 있다. 비추력(I_{sp})이 280초인 로켓모터를 이용해 초속 6km/s로 움직이는 비행체의 방향을 30도만 바꾸려 해도 페이로드 무게의 두 배와 맞먹는 연료와 산화제가 필요하다. 따라서 재돌입 과정에서 로켓 모터를 이용하여 방향전환을 하는 것은 페이로드 무게에 극심한 제약을 가져오므로 현실성이 별로 없다. 이에 반해 스크램제트의 비추력은 일반적으로 로켓에 비해 월등 높다. 그러나 로켓의 비추력은 속도에 거의 무관한 반면 스크램제트의 비추

력은 마하 값에 따라 상당히 변화한다.

탄화수소를 연료로 사용하는 경우 스크램제트의 비추력은 로켓의 비추력에 비해 낮은 속도(마하 5 이하)에서는 2~3배 크고 고속으로 갈수록 줄어들어 마하 10 근방에서는 1.5배 정도가 되는 것으로 예측된다. 수소연료를 사용할 경우는 이보다도 훨씬 높아 마하 5~6 근방에서는 거의 10배에 달한다. 하지만 속도가 증가할수록 계속 감소하여 마하 20 이상에서는 로켓 수준으로 떨어진다. 스크램제트가 로켓에 비해 단연 유리한 속도영역은 대략 마하 5~10으로 추정된다. 따라서 이 속도 영역에서 연속적인 기동이 필요하다면 스크램제트를 첫 번째 고려대상으로 생각해 볼 수 있다.

하지만 스크램제트로 마하 10을 성공한 것은 X-43A가 처음이며 그것도 극히 최근의 일이다. 아직까지는 X-43A 및 ‘DLL HOLOD’ 등에 의한 몇 번의 시험비행을 성공했다고 전해졌을 뿐 어느 속도 영역에서도 실용적인 비행에 성공한 스크램제트엔진은 아직은 없는 듯하다. 무게와 크기를 무시한다 해도 스크램제트를 MaRV에 이용하기에는 기술적으로 요원해 보인다. 특히 러시아가 주장하는 2004년 2월 18일 토폴-M RV의 재돌입 속도에서의 곡예 비행이 사실이라 할지라도 그것이 스크램제트에 의한 것은 아닐 것이다. 설사 미래 어느 시점에 스크램제트가 실용화된다고 해도 RV의 무게와 부피 면에서 오는 제한과 경제적인 부담은 피할 수 없을 것으로 보인다. 더구나 RV의 직경이 극도로 제한될 수밖에 없는 블라바에도 탑재할 것을 전제로 한다면 스크램제트 극초음속 RV는 고려대상에서 제외해도 무방할 듯싶다.



구소련의 ABM 갈로시

대기권에 진입한 후에 다시 대기권 밖으로 나가든가 또는 대기권 내에서 극초음속 기동이 필요하더라도 굳이 스크램제트 같이 기술적 위험부담이 크고 부피가 나가는 시스템을 고려해야 할 이유는 없다. 소련은 40년 전에 이미 존드 6을 소위 '물수제비 방법'으로 지구로 귀환시키는데 성공한 적이 있다. 존드 6호는 지구의 대기권을 떠나 달을 돌아 지구로 귀환한 소련의 달로켓 이름이다. 미국이나 러시아는 앞으로 달 탐험선 귀환에 이 방법을 사용할 것을 고려 중인 것으로 알고 있다.

물수제비 방법을 사용하면 지구탈출속도보다 훨씬 더 큰 속도로 재진입할 때도 역추진로켓 없이 지구로 귀환할 수 있다. 탈출속도 이상으로 재돌입할 때, 대기권을 적당한 각도로 스치듯이 진입하게 되면 조그만 양력으로도 마치 물수제비처럼 다시 대기권 밖으로 튕겨나가게 되지만 공기마찰에 의해 속도는 줄어들게 된다. 속도가 탈출속도보다 작아졌다면 지구인력에 의해 다시 대기권으로 재돌입하게 된다. 그러나 이번에는 속도가 처음보다 작기 때문에 보다 큰 각도로 재진입시켜도 안전하게 귀환할 수 있을 것이다.

토폴-M RV는 물수제비 재돌입 방법의 MaRV

재돌입 속도가 너무 크면 이론상으로는 이 과정을 몇 번이고 반복할 수 있지만 대개는 한두 번이면 충분할 것이다. 이러한 방법을 '물수제비 재돌입'이라고 부른다. 물수제비 재돌입은 원래 달 탐험에서 비롯되었고, 앞으로도 우주탐사에서 귀환선의 연료와 무게를 절감하는 방법으로 사용될 것이다. 이 방법은 우주선의 귀환뿐만 아니라 탄도탄의 RV 재돌입에도 적용할 수 있는 개념이다. 보조로

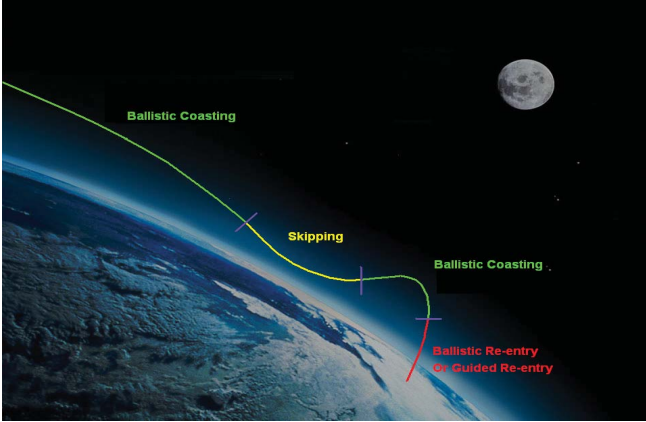


레이다파 흡수페인트로 도장한 스텔스전투기 F-117 나이트호크

켓이나 스크램제트에 의한 동력비행을 하지 않고도 RV에 비교적 간단한 트림-플랩을 장착한 비동력-공기역학적인 MaRV만 사용해도 정밀한 스킵을 유도하기에 충분하다.

스킵의 첫단계는 상승이고, 두 번째 단계는 통제된 대기권 탈출이다. 통제된 탈출이란 다음 단계인 자유낙하 재돌입에서 RV가 표적을 명중시킬 수 있도록 스킵에 의한 대기권 탈출속력과 각도를 정밀제어하는 것을 말한다. 스킵 후 두 번째 재돌입은 충분한 각도를 가지고 자유낙하에 의한 재돌입을 하도록 프로그램할 수 있을 것으로 보인다. 이러한 재돌입을 위해 트림-플랩을 제거하거나 RV 내로 접어 넣는 방법도 있을 것이다. 물론 재돌입 후에 20~30 km 고도에서 러시아의 항법위성 네트워크인 그로나스 시스템의 도움을 받으면서 트림-플랩에 의한 회피운동과 종말유도를 하는 것도 가능할 것이다. 물수제비 재돌입 방법을 사용하면 사거리도 많이 연장할 수 있고 방어측에 의한 요격을 불가능하게 할 수도 있다.

우리는 토폴-M의 속도가 통상적인 대륙간 탄도탄(ICBM)보다 빠르고 탄도가 낮고 편평한 것으로 알고 있다. 이러한 탄도는 물수제비 재돌입을 수행할 수 있는 아주 이상적인 조건을 제공한다. 1960년대 중반에서 1970년대 중반에 걸쳐 미국은 Mk500-이베이더라는 비동력 MaRV의 비행시험을 여러 차례 성공적으로 수행한 적이 있지만 당시에는 경제성과 운용상의 효율성 때문에 실제로 미사일에는 탑재하지 않은 것으로 알려지고 있다. 러시아도 미국과 유사한 MaRV 능력을 보유하고 있을 것이다. 이와 같은 능력과 존드 5, 6호 귀환경험을 토대로 물수제비 재돌입체를 개발했을 수 있을 것이다. 이러한 상황으로 미루어 토폴-M의 RV는 가볍고 간단



물수제비 재돌입방법



미-일 미사일방어시스템

한 트림-플랩을 사용하여 물수제비 방법으로 재돌입하는 MaRV 일 것으로 추정된다.

IR 탐지 회피 위해 풍선·액체질소 냉각방법 사용

스텔스 RV 가능성에 대해 생각해 보자. 일반적으로 RV를 탐지하는 방법으로는 레이더에 의한 능동적인 탐지 방법과 적외선(IR) 탐지기와 같은 IR 센서에 의한 수동적인 탐지방법이 있다. 레이더에 의한 탐지를 피하는 방법은 RV 표면을 레이더파 흡수 페인트(RAM)로 도장하는 방법과 레이더파를 레이더 쪽으로 반사시키지 않는 형태로 설계하는 방법이 있다. 그러나 RV의 형상은 재돌입 과정에서 내부의 탄두를 마찰열로부터 보호하고 표적을 정확히 명중시키는데 적합한 뾰족한 원뿔 형태로 이미 고정되어 있다.

같은 원뿔형태의 RV라도 레이더를 향해 어느 면을 노출시키느냐에 따라 레이더 단면적(RCS)은 수천수만 배 달라진다. 이러한 성질을 이용하여 알려진 레이더 기지를 향해 원추의 뾰족한 끝을 향하게 함으로써 RCS를 극소화할 수 있다. 모든 조기경보 레이더와 탐지 레이더의 위치는 이미 완벽하게 알려져 있기 때문에 RV의 자세 제어 시스템만 소형화할 수 있다면 충분히 고려할 수 있는 방법이다. 그러나 러시아가 RV를 RAM으로 도장할 가능성은 크지만 RCS를 줄이기 위해 RV의 방향까지도 조종하지는 않을 듯하다.

RV는 지상의 대기온도와 같은 온도로 발사되어 절대 0도에 가까운 우주를 배경으로 비행하게 된다. 이러한 RV를 IR 탐지기로 관측하면 깜깜한 우주를 배경으로 밝게 빛나는 표적으로 나타날 것이다. 더욱이 태양 빛을 받는 면은 더욱 두드러지게 보일 것이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 액체질소를 흘려 RV를 냉각시키거나 알루미늄 풍선으로 RV를 둘러싼 뒤 내부를 배터리를 이용해 모두 같은 온도로 유지시키는 것은 잘 알려진 방법이다. 미국의 GBI의 운동에너지탄은 IR 센서에 의해 종말 유도되므로 IR 탐지를 피하는 것은 아주 중요하다. 따라서 러시아는 IR 탐지를 피하기 위한 풍선 또는 액체질소 냉각방법을 틀림없이 사용할 것이다.

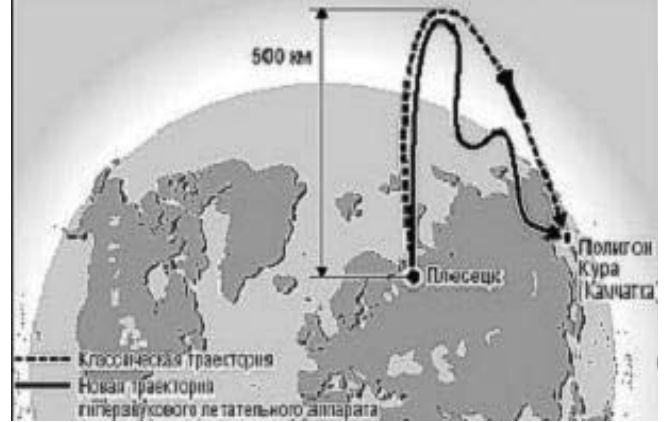
“500m 거리에서 핵폭발 있어도 RV 멀쩡” 주장

끝으로 내핵설계에 대해 생각해 보자. 여기서 내핵설계란 가까이서 핵탄두가 폭발했을 때 미사일이나 RV가 견딜 수 있도록 설계했다는 뜻이다. 대기권 내에서 핵폭발이 일어나면 그 주변에 수천 기압 이상의 초과압력을 가진 충격파와 이에 수반되는 폭발이 생기고 중성자와 감마선 같은 투과력이 강한 방사선 외에 연X-선 같이 RV 표면이나 미사일 표면을 용제시키는 고에너지 복사선을 방출하는 것으로 알려졌다.

이러한 방사선들은 RV 내부의 핵탄두를 직접 고장내거나 아니면 표면의 어느 한쪽만 집중적으로 용제시켜 재돌입 시 불타버리게 한다. 이외에도 핵폭발 시 발생하는 강력한 전자기 충격파(EMP)는 탑재한 전자장비들을 못 쓰게 만들 수 있다. 이러한 핵폭발이 대기권 외에서 일어난다면 공기 중에서 발생하는 충격파가 없는 대신 폭발잔해의 운동에너지와 방사선이 더욱 강하게 나타날 것으로 보인다. 폭발부의 핵심에서 발생하는 중성자, 감마선 및 X-선을 흡수하고 산란시킬 주변의 공기가 없기 때문에 방출된 중성자와 감마선 및 X-선이 훨씬 더 멀리 퍼져나갈 수 있다.



스크램제트로 마하 10을 성공한 NASA의 X-43A



토폴-M RV의 비행궤적

지금은 운동에너지탄이나 파편탄을 사용하여 RV를 요격하는 체제로 ABM 시스템이 발전되었지만 초창기에는 모든 ABM에는 핵탄두가 장착되었다. 대기권 밖의 요격 시스템에는 X-선 방출이 보장된 탄두를 사용하였고, 대기권 내 요격 미사일에는 중성자탄이 주로 사용되었다고 한다. 지금은 자국 내의 핵폭발 피해와 여론을 고려하여 재래식 탄두로 무장하고 있지만 상황이 변하면 언제 다시 핵탄두로 교체될지 모른다는 우려에서 러시아는 토폴-M과 RV를 내핵특성을 갖도록 설계한 듯하다.

토폴-M의 RV는 500m 거리에서 폭발하는 핵폭발도 견딜 수 있게 설계되었다고 주장하지만, 이러한 주장이 정확히 무엇을 의미하는지는 알 수 없다. 예상한 탄두의 위력이 얼마인지 또는 어떤 특성을 가진 탄두인지 전혀 설명이 없는 상황에서 이러한 주장은 별 의미가 없기 때문이다. 1k의 폭발이 있을 때와 1Mt의 폭발이 있을 때 RV의 생존확률이 같을 수 없고, 생존을 위한 설계의 난이도도 천양지차일 것이다. 아마도 러시아가 미국의 단거리 요격 미사일 스프린트의 1kt급 위력을 가진 중성자 탄두를 염두에 두고 개발한 것이 아닌가 생각된다. 하지만, 스프린트 미사일은 폐기된 지 이미 오래되었고 현재 미국이 배치 중인 MD의 탄두는 모두 처음부터 소형 운동에너지탄(EKV)을 탑재하도록 설계되었다. 따라서 러시아가 주장하는 내핵설계는 선제공격을 건디어 내기 위함이 아니면 장래에 있을지도 모를 핵 탑재 ABM에 대비하려는 것으로 추측된다.

RV 내핵 설계 기술적으로 가능할 것

지금 미국의 MD에서 사용하는 EKV의 무게는 대략 64kg이고,

대부분은 추진제 무게라 미래에도 EKV에 핵탄두를 탑재할 가능성은 거의 없어 보인다. EKV 자체를 ABM 핵탄두로 대체할 수는 있겠지만, 그렇게 하려면 완전히 새로운 MD 시스템을 구축하는 노력이 다시 필요하게 될 것이다.

다만 지금은 핵실험금지협약(CTBT) 때문에 핵실험을 실시할 수 없어 RV의 생존 여부를 실험으로 확인할 수는 없겠지만, 러시아의 축적된 데이터와 기술로 500m 거리에서 kt급 중성자탄두 폭발에 살아남을 수 있는 RV를 설계하는 것이 그리 힘들어 보이지는 않는다. 1960~70년대에 영국이 개발한 폴라리스-T3 세벌린 시스템도 500m 거리의 10kt급 가젤탄두 폭발에 살아남는 것이 설계목표였다. 1.2톤의 페이로드를 가진 토폴-M에 단 1기의 RV만 탑재한다면 RV에 상당히 두꺼운 방사선 차폐물을 부착할 여유가 있을 것이다. 물론 살아남더라도 폭발 충격에 의해 원래 표적에서 멀리 튕겨 나간 위치에 탄착할 가능성은 피할 수 없을 것으로 보인다. 더구나 러시아가 실제로 물수제비 재돌입 방법을 적용하고 있다면 어차피 두꺼운 차폐는 가중된 마찰열 차폐를 위해서도 필수적이기 때문에 한꺼번에 두 가지 목적을 달성하게 되는 셈이다. 기술적으로는 가능하다 하더라도 그렇게까지 할 필요가 있을지는 의문으로 남는다. ㉔



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