

## 원자력 로켓은 가능한가?(상)

미국은 21세기 초에 사람을 달과 화성에 보내려고 준비하고 있다. 달에는 이미 사람이 갔다 왔지만 그런 정도가 아닌 달나라 기지 건설을 구상하고 있는 것이다. 이런 우주의 대역사가 실현되기 위해서는 보다 강력한 추진 시스템이 필요하다. 그래서 미 항공우주국(NASA)은 핵심이 될 강력추진 장치로 원자력 로켓을 연구하고 개발을 재개했다. 과연 원자력 로켓은 가능할까를 알아본다. (편집자주)

### 20년만에 재검토

1973년, 미국은 그때까지 추진해온 원자력 로켓 개발계획(네바계획)을 중지했다. 그 후 20여년이 지난 오늘에 와서 두가지 새로운 흐름이 주목을 끌게 되었다.

그 첫째는 1991년 4월에 미국과 학자연맹의 스티븐 아프터굿씨가 공표한 것으로 미국의 전략방위구상(SDI)의 기밀계획중 하나인 코드 네임 턴바윈드에 따라 SDI관련의 무기를 지구 궤도에 쏘아 올리기 위해서는 원자력 로켓의 필요성을 느껴 개발을 추진중에 있다고 했다.

둘째는 전 아폴로 계획의 우주비행사였던 부쉬 대통령 자문위원회의 스타포드 위원장의 신데시스 그룹이 달과 화성에 사람을 보내 탐사하기 위해서는 원자력 로켓의 개발이 필요하다고 지적한 사실이 있다.

턴바윈드계획에서는 약 70-80억 달러의 예산으로 원자력 로켓을 개발하여 시험비행까지를 한다는 것이다. 전략방위구상국(SDIO)과 국방부는 초기 개발비로 4천만달러를 이미 썼다는 것

이다.

이 계획의 핵심은 소위 파티클 베드로라고 부르는 원자로를 이용하는 것이다.

이 원자로는 보통 경수로에서 쓰이는 막대모양의 핵연료가 아닌 별도의 우라늄 입자에 탄소를 발라 지르코늄 카바이드로 피복한 지름 0.5mm가량의 미세한 판대기 모양의 연료를 쓴다. 이 원자로를 쓴 엔진에서는 수소나 헬륨과 같은 가스를 로심으로 보내 일거에 폭발적 팽창기류를 분출시켜 로켓을 추진하려는 것이다.

종래의 화학로켓과는 달리 원자력 추진에서는 엔진 속을 산소가 통과하지 않는다. 그 때문에 비추력이 매우 커져서 고성능의 로켓이 실현가능하게 된다. 여기 쓰이는 원자로는 현재 발전등에 쓰이는 고체로심이 아닌 미립자로 된 파티클 베드로를 채용하는 것은 열전달효율을 높이기 위한 것이다.

이 엔진의 개발자에 의하면 파티클 베드로를 이용한 로켓은 20-34톤의 추력을 내며 최종적으로는 113톤 이상까지의 추력을 낼 수 있다고 한다. 이

원자력 추진 로켓이 문제가 되는 것은 타이탄이나 아틀라스 로켓의 상단부 추진엔진으로 쓰이거나 또는 8개 가량을 뭉쳐 단단식 로켓으로 사용하려는 점이다. 지금까지 연구된 원자력 로켓은 지구 궤도까지 올라간 뒤 점화된다는 것이었다. 이와같은 이유는 지구상에서 점화,발사될 때 핵진동 안전상에 위험이 크다고 생각했기 때문이다. 실제로 원자로의 배기 가운데 방사성 물질이 섞이거나 로 차체의 고장등에 따라 사용후의 연료가 위험한 방사선을 방출하는데 따른 위험을 피하기 위해 서인데 지금에 와서는 이런 리스크는 회피할 수 있다고 생각하게 되었다. 이 경우는 레이저 무기나 입자 빔 무기등은 군사용이므로 다소 위험성이 내포되어도 발사의 효율을 중시하여 리스크의 결과를 배재할지도 모른다는 우려가 있다.

### 한계성 극복위해

신데시스 그룹의 보고에 나오는 제안은 21세기 초에 유인 화성탐사를 한다는 목표달성을 위해서는 화학로켓

의 한도를 극복하기 위해 원자력 로켓이 필요하다는 것이었다. 이 제안은 현재 미국의 우주개발관계자들 사이에 점차 합의가 이루어지고 있다는 것이다. 그러나 가장 효율이 높은 핵융합식 로켓은 2천년대 중반이나 되어야 실현되기 때문에 우선은 핵분열식 원자력 로켓을 만들 수 밖에 없다고 보고있다.

NASA에서 핵분열식 로켓엔진의 연구를 시작한 것은 1958년 NASA가 발족된지 얼마 안되고 부터였다.

1961년에는 케네디 대통령이 아폴로계획에 대한 유명한 연설 가운데서 원자력 추진 기술의 가속화를 바란다고 말하고 이 기술은 인간을 언제인가 달나라를 넘어 그밖의 천체까지도 의욕적인 탐사를 가능케하는 수단을 제공할 것이라고 했다.

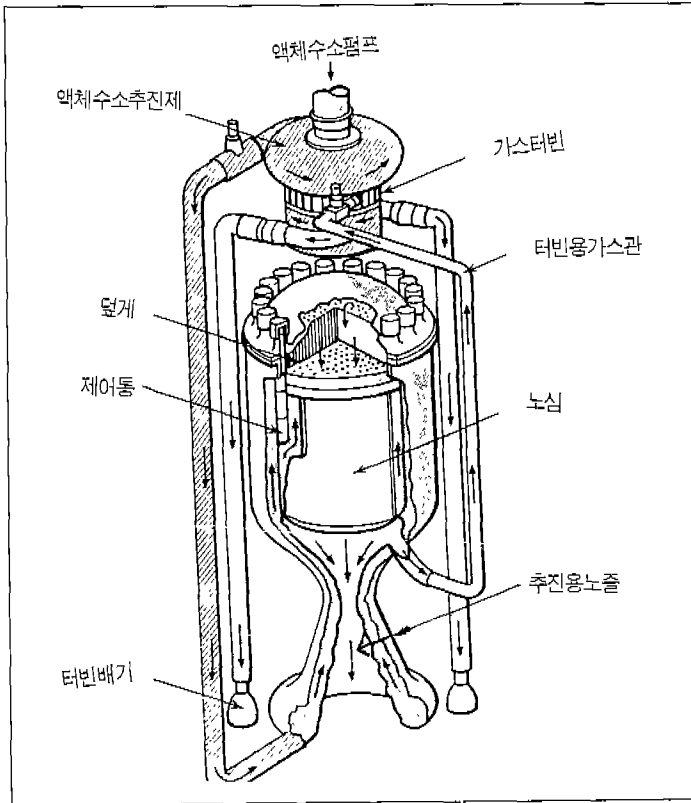
그후 1969년에 시험용 원자력 로켓의 지상 분사 시험을 성공리에 마쳤다.

그로부터 3년후 원자력 로켓의 개발이 중지되었다. 그 이유는 국제적 우선사항의 변화였으나 실제로는 미국 정부의 예산삭감으로 유인 호성탐사계획 자체가 중지되었기 때문이었다.

1991년의 신데시스보고는 이전의 개

발연구가 어디까지 도달했는지 밝히고 2014-15년에 사람이 달과 화성을 탐사하려면 원자력추진 로켓이 반드시 필요하다고 주장했다.

우주탐사용의 원자력 로켓은 앞으로 재정면과 기술면에서 여러가지 곤란에 직면하게 될 것이다. 다행히 부시 정부가 1991년부터 소규모이지만 개발연구를 재개하였는데, 1996년까지 원자력 엔진의 형식 선정을 끝내고 본



최초의 시험용 원자력 로켓 추진장치

격적인 원자력 로켓이 구체적 제작에 들어갈 것으로 보인다. 이미 보잉사는 화성행 우주선용으로 핵열추진 시스템을 권장하고 있는 형편이다.

**추력과 비추력**

로켓의 성능을 결정하는데 필요한 두가지 특성이 곧 추력과 비추력이다. 이 두 특성은 에너지원의 종류와 그 에너지가 로켓의 배기중에 포함된 지향성 운동 에너지에 어느정도의 비율로 변환되는가에 달렸다.

로켓의 추진장치는 질량(분사가스)을 로켓의 진행방향과 반대로 배출시켜서 추력 즉 추진력을 얻게되고 이 힘으로 전진하게된다. 따라서 추력은 기본적으로 배출되는 질량 즉 배기의 운동량과 관계된다. 여기서 배기의 운동량이란 배기의 무게와 그 속도를 곱한값이다.

그런데 추진장치의 성능을 나타내는 가장 편리한 지표는 추력보다는 비추력 쪽이다. 그것은 추진성능이 절대적 질량에 의해 결정되기 보다는 효율에 의해 결정되기 때문이다. 비추력은 1kg(또는 1파운드)의 추진제가 내는 1초당의 추력을

의미한다. 다시말하면 1kg의 연료가 1kg의 추력을 계속 낼 수 있는 시간을 초로 나타낸 것이다. 추력이 어쨌든 비추력이 커지면 커질수록 로켓 엔진의 분사력도 커진다. 또 이 비추력은

## 조사 해외

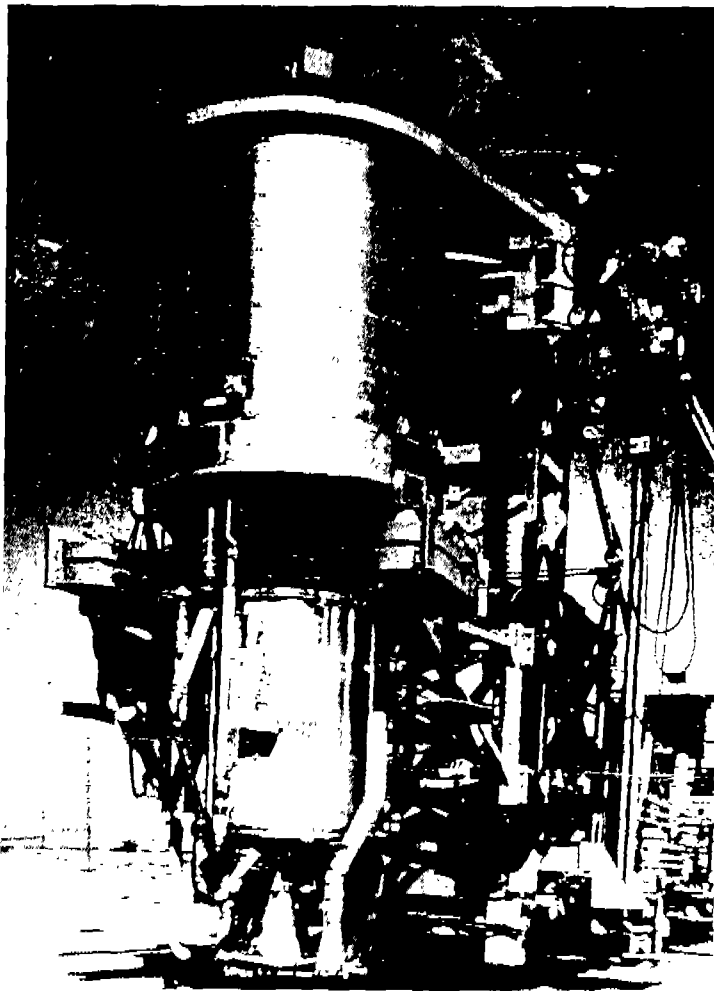
추진계(분사가스)의 온도를 분자의 평균중량으로 나눈 수치의 제공근에 비례한다.

달이나 화성으로가는 장거리 우주선을 날게하는 이상적 우주선이 지녀야할 추진 시스템은 저질량으로 가볍고 추력이 크며 또한 높은 비추력을 가져야 한다. 그래야 비행시간을 단축하고 지구 궤도로 출발할 때의 초기 질량을 적게 되기 때문이다. 그런점에서 본다면 가장 진보한 화학 로켓이라도 흑성간 유인비행을 하기에는 추력이나 비추력이 많이 부족하다.

높은추력과 비추력의 두가지가 다 요구되는 이유는 무엇인가? 그것은 장거리 유인우주비행에서는 자연 우주선의 크기도 커지고 무거워지는데다 속도변경 능력이 불가결하기 때문이다. 비행시간이 되도록 짧아야 우주공간의 방사선 유출과 무중력 환경에서 일하는 승무원의 건강을 염려해서이다.

원자력 로켓이 다른 화학로켓보다 뛰어난 가장 큰 이유는 이 시스템이 화학로켓과 같은 온도 혹은 저온에서도 화학로켓보다 훨씬 큰 배기속도를

낼 수 있기 때문이다. 특히 발전용 핵분열식이나 핵융합식에서는 핵반응에서 생긴 에너지를 열전달상의 제약 없이 추진력으로 변환할 수 있다. 이것은 구조재료의 한계온도에 관계없다



지상시험에 쓰인 원자력로켓엔진의 외양

는 뜻도 된다.

현재의 수소/산소 연료를 쓰는 로켓 엔진의 운전시 온도는 약 2700℃, 비추력은 약 450초이다. 또 추력을 낡는 배기(연소생성물질)의 분자량은 18이었다. 이에 비해 고체 로심의 원자력 로켓에서는 추진제로 수소를 이용하여 분자량은 2에 불과하다. 따라서

수소추진제를 원자로의 로심에 보내고 화학로켓과 같은 온도까지 가열하면 비추력(배기속도)은 3배가 된다. 다만 실제의 고체로심의 원자력 로켓 엔진은 좀더 저온에서 운전하기 때문에 이 때의 비추력은 화학로켓의 2배로 약 900초 즉 15분으로 된다.

이에 비해 발전형의 가스로심 원자력 로켓엔진이나 핵융합 로켓 엔진에서는 이론적으로 2,000초에서 수10만초라는 엄청난 비추력을 얻게 된다. 이것은 우라늄 핵분열 프라즈마나 핵융합 프라즈마의 초고온이 반사열로 작용하여 유체에 전도되어 그결과 에너지의 변환효율이 현저히 높아지기 때문이다.

이런 이유로 각국이 핵연료를 쓰는 원자력 로켓 엔진이 있으면 좋다는 것은 알았으나 최초로 개발

에 나선것은 역시 미국이었다.

### 미국의 개발·시험경과

미국의 원자력 로켓 개발은 앞에서도 지적했지만 1958년 NASA설립과 동시에 공공으로부터 이관되어 그런대로 연구가 계속되었고 1969년경에

이 어려운 연구는 기본적으로 완료되어 지상시험에 들어갔다. 1961년에 네바계획이 시작되어 시제 엔진의 시험까지 마쳤다가 1973년에 중지되었다. 이때까지 네바계획은 1968년 가격으로 약 10억 달러 이상을 썼다.

네바계획에서 보여준 미국의 원자력 로켓 엔진은 가스냉각고체로심방식이 주였지만 그 밖의 형식도 아울러 연구되었다. 주요한 형식을 보면 다음과 같다.

- 폐쇄통합 고온 사이클형 원자로
- 파티클 베드방식 가스로심 원자로형
- 핵분열 전기추진식 로켓(이븐로켓)

이상 세가지 방식을 간단히 소개해 본다.

### 고온 배출 사이클형

네바 계획에서 개발된 XE프라임은 액체수소의 추진제를 쓰는 폐쇄결합 고온배출 사이클형 원자력 로켓엔진은 다음과 같은 성능을 시험에서 달성했다.

- 출력 : 1,100mw(110만 kw)
- 연소실 온도 : 2240℃
- 연소실내 압력 : 580Psia(1cm<sup>2</sup>당 39kg)
- 노즐유량 : 매초 약 32kg
- 총유량 : 매초 약 36kg 그 중 453g은 냉각 장치로 보낸다.
- 비추력 : 710초

엔진은 상하 2단으로 구성되고 하단에는 원자로와 압력용기, 노즐, 하단 추진 구조 외부 엔진덮개 기타 보기가 들어가고 상단에는 터보 펌프등 상단추진구조와 보기가 들어가게

되어있다.

이 방식에서는 먼저 추진제인 수소가 터보 펌프로 엔진운전 압력까지 압력이 가해져 배관을 통해 흐르는 사이에 로체를 냉각하다가 로심에 도달하면 가열되어 폭발적으로 팽창한 수소 가스를 노즐을 통해 외부로 분출한다. 이 분출력이 곧 로켓의 추력이 되는 것이다.

원자로의 로심은 지름 19cm, 길이 132cm의 육각형으로 된 흑연 혼합의 우라늄봉이 여러개 묶음으로 들어가고 그곳에는 연료봉 하나마다 수소가스 통과용의 구멍이 개당 19개씩 뚫여져있다.

로심의 주위에는 핵분열의 연속반응을 얻기위한 중성자 반사체로 둘러싸여 있다. 원자로 전체는 압력용기에 들어있다.

이 원자로에서 가장 어려운 기술적 요소는 수소흡입구 부근에서는 초저온에서 건디는 재료가 필요했으며 동시에 배출구에서는 2,500도의 고온에 건디는 재료요소를 개발하는 일이었다.

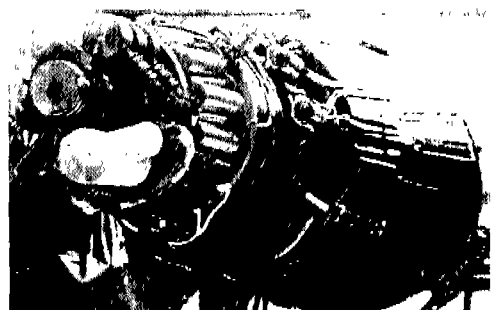
1968년 12월부터 다음해 9월까지 네바다 사막에서 개발된 원자력 로켓엔진의 분사시험을 했다. 이때의 각부구조에는 비행용으로 설계되어 28회에 걸쳐 시동되었고 출력을 변경하면서 도합 3시간 48분간 운전되었다. 그 중 3분 30초는 출력 1,100mw, 추력 5만 5천 파운드의 연속 운전이었다.

이 실험을 통하여 XE프

람임 엔진이 기본적으로 신뢰성, 안전성이 계획치를 만족시켜 네바 원자력 로켓의 실현성을 보장하게 되었다. 그리하여 비행용 엔진의 설계를 시작했는데 이때 수소의 공급과 통과를 약간 변경하여 로심출력 1,500mw(150만kw) 로심온도 2,360℃, 추력 약 34톤, 비추력 825초로 되었다. 설계가 진행중인 1973년에 정부에 의해 중단되었다.

여기까지가 원자력로켓의 시험 개발단계라면 1991년에 다시 제작이 재개될 때까지 중단된 상태에서 그대로 두게 되었다. 흔히 역사에서 만일이라는 말이 소용없다고 하지만 그당시 중단하지 않고 원자력 로켓엔진의 설계가 계속되고 실제로 사용되었다라면 지금 우리가보는 스페이스 셔틀은 좀더 일찍 완성되었고 어쩌면 스페이스 프랜으로 옮겨져 지금쯤은 우주정거장이 실용단계에 와 있을지도 모를 일이다.

여하간 우주개발이 50년의 역사를 겪는 오늘에 와서야 상업 베이스의 인공위성 발사가 가능해졌다. 그렇다면 다음단계는 우주여행의 상업화단계가 될 것인데 여기에는 원자력 엔진이 필수적인 것이다. (계속)



구 소련이 개발하려던 원자력 로켓의양