

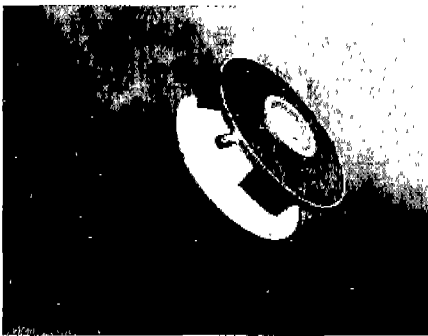
패스파인더호를 성공시킨 첨단기술들



김진철
한국항공우주연구소
위성본체연구그룹장

기술적 측면에서 본 패스파인더의 성공

1997년 7월 4일 오전 10시 7분(미국시간) 패스파인더호는 화성표면 아레스엘리스 평원에 안착을 했다. 지구로부터 평균직선 거리 일억 구천 백만km 떨어진 화성에 6개월에 걸쳐 비행거리 사억 구천만km를 날아가서 착륙한 것이다. 화성에 착륙할 때까지 5번의 궤도수정을 거쳐 화성에 착륙한 것은 플프에서 예기되는 홀인원보다 더 어려운 일이었다. 패스파인더호가 지구발사에서부터 화성착륙까지의 기술적 난제들을 어떻게 극복했는지 살펴보기로 한다.



화성까지의 항해

패스파인더호는 1996년 12월 플로리다에 있는 케네디 우주센터에서 델타 II 로켓에 의해 발사되었다. 델타 II 로켓은 전장 27.8m의 델타

중형로켓 시리즈의 최신형으로서 주로 미국의 GPS 위성을 발사하는데 사용되어져 왔으며 한국의 통신방송 위성인 무궁화호 위성을 쏘아올린 발사체이기도 하다.

델타 II 로켓에 의하여 지구궤도에 올리지면 여기서 화성까지 가기위한 마지막 점화가 이루어지게 되는데 이를 차내기 상태(Kick-

stage)라고 한다. 여기서 지구중력권을 벗어나서 화성까지 비행하는 추진력을 얻게된다. 화성까지의 먼거리를 항해하기 위해서는 위치와 비행방향을 알려주는 장치가 필요하다. 우주공간에서 기준점은 태양을 사용하는데 태양센서장치가 항상 태양을 감지하여 태양과의 상대위치를 알려주므로써 자기위치를 확인할 수 있다. 다음은 화성까지의 비행경로를 찾는 것인데 지상에서 모사시험한 경로를 따라가면서 별의 위치를 확인하여 비행경로가 정확하지 지상에서 자료를 전송받아 점검을 하게되며 비행경로를 수정할 때에는 패스파인더안에 내장된 자세정보관리 컴퓨터가 방향을 계산해준다. 계산된 방향을 지상에서 확인하고 수정명령을 보내면 궤도수정장치에 의해 방향을 조정하게 된다. 이러한 과정을 비행중에 3차례 반복하면서 비행경로 오차는 초기의 75m/s에서 1m/s으로 줄어들게 된다. 화성에 도착하기 10일전부터 화성진입궤도에 들어가는데 4번째의 궤도수정과 마지막 궤도조정을 정밀하게 수행하면 최종적으로 0.5m/s 이하의 오차를 갖게되며 안정성을 증가시키기 위하여 회전속도를 증가시켜준다. 이후부터는 지상의 비행경로 점검팀은 물러나고 화성의 진입 및 착륙팀에게로 임무가 넘겨진다.

화성착륙

화성표면으로의 착륙상황을 살펴보면 먼

저 화성의 대기권 진입 30분전에 순항 단 분리가 이루어지며 동시에 착륙선을 포함 하는 비행체의 사출이 이루어진다. 이전에 화성에 착륙한 바 있던 바이킹호와 같이, 패스파인더호는 캡슐형상의 진입 우주비행체안에 포장된채로 화성에 도착한다. 그렇지만 바이킹호가 착륙선을 펼치기 전에 화성 궤도로 진입하던 것과는 달리 패스파인더호는 대기권으로 직접 진입 하며 약 7.3km/s의 속도로 얇은 상층대기권에 진입한다. (바이킹의 진입속도는 4.5/s였다). 진입시 안정성의 확보를 위해 2rpm의 속도로 착륙선은 회전하게 되며 대기권과 14.8도의 각도를 가지고 진입한다.

패스파인더의 열차단장치

진입비행체의 열 차단장치는 화성대기에 진입후 3분동안 비행체의 속도를 줄이게 되는데 이때 가열을 받게되며 이를 차단하는 기능을 수행함으로써 내부장치를 보호하게된다. 최고의 가열현상은 40km상공에서 약 1분에 걸쳐 나타난다. 비행체의 속도는 그후 163초동안 대략 400m/s로 줄게되며 이때 내장된 컴퓨터는 12.5m의 지름을 갖는 낙하산을 펼치는 명령을 내리게된다. 화성의 표면에서의 고도로 보면 낙하산은 약 8.6km에서 펼쳐지게 된다. 이 낙하산은 착륙선의 속도를 지표면에 닿을때까지 약 60m/s로 줄이는 역할을 한다.

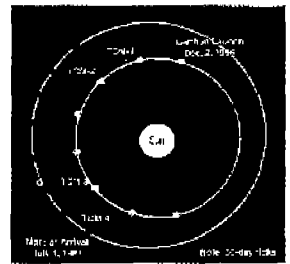
착륙선에 내장된 레이더 고도계는 착륙 전 25초에서 35초동안 고도 1.5km 상공

에서 동작하게 된다. 300m 상공에서(이때는 착륙 8초전쯤임) 우주선주위에 5.2m의 공모양의 보호막을 치는 네 개의 에어백이 약 0.3초내로 펼쳐지게 된다. 그후 4초동안, 지표면위 50m에서 100m 사이에서 착륙선 옆에 장착된 세 개의 고체 로켓이 점화되어 역분사를 시키면서 착륙속도를 늦추게 된다.

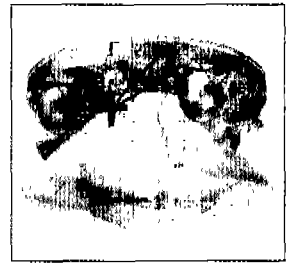
패스파인더의 화성진입

그후 2초내로 약 12m 상공에 도달하면 낙하산과 고체로켓이 분리되면서 그후 착륙선은 최고 20m/s의 속도로 지면과 충돌하며 주위의 에어백에 의해 충격을 완하시키면서 여러번 튀거나 구른 후에 착륙이 이루어지게 된다.

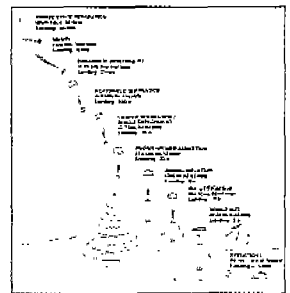
패스파인더에 장착된 에어백은 착륙시 행성의 표면으로부터 오는 충격의 방향에 상관없이 착륙선을 보호하는 역할을 한다. 이런 우수한 특성은 표면이 울퉁불퉁하여 착륙의 적지는 아니지만 과학적으로 중요한 화성의 지표면에 착륙이 가능하도록 한다. 따라서 에어백의 설계는 매우 중요하며 또한 매우 엄격한 시험의 통과를 요구했으며 NASA JPL에서 설계하고 NASA Lewis 센터에서 화성지표면과 유사한 상태에서 시험을 수행하여 발사 8개월 전인 1996년 4월에 완수되었다. 패스파인더에 사용된 에어백은 매우 높은 강도를 가진 벡트란(Vectran)이라 불리는 섬유의 다층 구조로 이루어져 있다. 패스파인더에 사용된 에어백은 총 4개이며 각각은 0.9m의 반지름과 1m의 간격



패스파인더호의 지구로부터 화성까지의 궤적



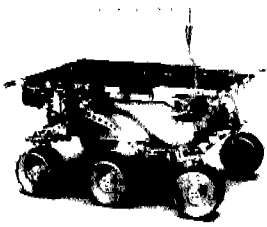
패스파인더의 열차단장치



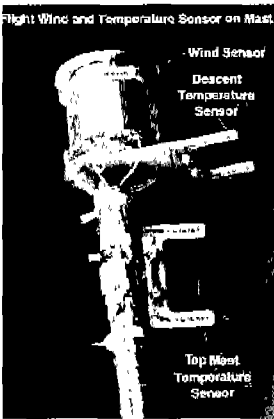
패스파인더의 화성진입



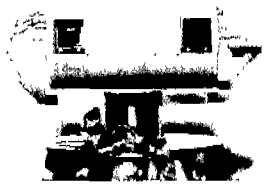
에어백의 낙하충돌 시험



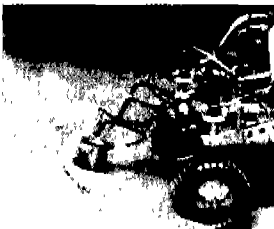
탐사로봇인 소저너



대기구조분석기의 형상



이미저의 머리부분의 모습



소저너에 장착된
알파-양자 X선 분광기

을 가진 6개의 구가 모여 이루어져 있어 전체형상은 24개의 울퉁불퉁한 구가 합쳐진 것처럼 보인다.

패스파인더는 착륙후 먼저 에어백을 회수하고 통신점검을 비롯한 탐사를 위한 시스템 점검을 수행하고 그후 화성표면을 실제로 직접 탐사할 소형 탐사선인 소저너를 내보내기 위해 지상으로 내려가는 3개의 경사판을 펼치는 순서를 밟는다. 소저너는 원래 착륙후 10시간 후부터 활동을 개시하는 것으로 예정되었다. 그러나 실제로는 바로 에어백이 수축되지 않아 경사판을 펼치는 것이 지연되었으며 이에 과학자들은 태양전지판중 1개를 움직여 에어백을 거두어들이는 명령을 내렸고 소저너가 내려갈 경사도가 확보되었다. 그러나 이번에는 패스파인더와 소저너사이의 통신이 정상적으로 수행되지 않아 원격조정이 불가능한 순간이 닥쳐왔다. 이런 우여곡절을 거쳐 드디어 착륙후 37시간만인 미국시간으로 7월 6일 오전 2시에 소저너의 개방로를 확보하고 소저너가 드디어 화성표면으로 내려서 역사적인 탐사에 들어가게 되었다.

패스파인더의 탐사기술

패스파인더는 탐사용 소형로봇인 소저너와 함께 3가지 다른 장치를 이용하여 화성 표면을 조사하는데 이미저라는 카메라(IMF), 그리고 알파-양자 X선 분광기(APXS) 그리고 대기구조 분석장치(ASI/MET) 들이 바로 그것들이다. 패스파인더의 중요한 탑재체중의 하나인 소저

너는 무게가 11.5kg정도이다. 소저너의 역할은 화성표면을 돌아다니면서 여러 가지 자료를 획득하며 과학실험을 수행한다. 소저너의 경우 몇가지 독창적인 설계가 이루어졌는데 화성지표면의 낮은 온도에서도 견딜수 있도록 영하 80도에서도 작동할 수 있는 저온 구동기가 그 하나이며 알루미늄 경합금으로 만들어진 T자형 원통 구조물을 가지며 그리고 제작 기술자들이 설계에 공동으로 참여도록하여 종합 베어링 설계 및 복잡한 기계가공을 수행하도록 하였다. 소저너는 모선인 패스파인더에 3개의 강철 케이블로 연결되어 있다가 모선이 화성에 착륙하면 화학 절단장치에 의해 절단되며 모선으로부터 분리된다.

소저너의 또다른 독창적인 설계는 JPL이 개발한 "로커-보기(Rocker-Bogie)"라는 6개의 바퀴가 상하로 자유롭게 움직일 수 있게 만든 완충 작동기이다. 차축이나 스프링을 쓰지않고 두 개의 시스템으로 구성되어 바퀴지름 두배크기의 장애물도 극복할 수 있으며 그 자리에서 회전할 수도 있다. 소저너의 전원공급은 등판에 부착된 이주 가벼운 비화칼륨 전지로 구성된 태양열 전지판을 이용해 얻게 된다. 밤이나 혹은 전원수요가 매우 클 경우에는 내장된 배터리를 이용하여 전원을 얻는다. 패스파인더 자체의 동력조달도 비화칼륨 태양전지를 사용하는 고정된 태양전지에 의해 이루어진다. 이 태양전지는 순항중 모든 정상 상태 동작에 대해 필요한 전원을 공급할 수 있으나 발사시나 화성 대기권으로의 진입 및 착륙시에는 내장된 충전 배터리를 이용한다.

이미지는 두 개의 카메라로부터 특수한 필터에 의해 제공되는 칼라이미지를 제공하는 시스템이다. 이미지의 역할은 화성의 지표면의 지질학적 형성과정과 지표면과 대기의 상호작용 등을 촬영하는 것이다. 이 카메라의 해상도는 매우 높으며 약 1km 떨어진 거리에서 1m 정도의 물체가 관측 가능하다. 이 카메라에 의해 일반적인 지표의 생김새라든가 지표 구성물질의 모양 등이 하루에 일정한 주기를 두고 찍혀 지구로 전송될 것이다.

알파-양자 X선 분광기는 지표면을 구성하고 있는 바위와 같은 물질들의 주 구성물질을 분석하는 역할을 한다. 이런 물질들에 대한 올바른 이해는 화성 지표면과 지표위의 흙과 같은 구성물질에 대한 많은 의문점들을 풀어줄 것이다.

마지막으로 대기구조 분석장치는 화성대기에 진입해 표면에 착륙하는 동안에 화성대기의 온도와 밀도를 측정한다. 세 방향의 가속도계는 대기 압력을 측정할 것이고 압력, 온도, 풍향 그리고 풍속과 같은 기상 관측에 대한 자료들은 하루에 한번씩 여러 가지 기상관측 기구를 이용하여 측정될 것이다. 이렇게하여 측정된 자료들은 화성 표면에서 바람에 의해 운반되는 작은 물질들에 작용하는 힘을 이해하는데 중요한 역할을 할 것이다. 그밖에 패스파인더의 두 방향의 X-Band 안테나와 도플러추적을 이용한 심해우주 네트워크(DSN)은 화성의 궤도 및 회전에 대한 의문점을 풀어줄 것이다.

패스파인더호의 기술적 성공이 갖는 의의

패스파인더호의 의미를 기술적인 측면에서

보면 우선 적은 예산 범위 내에서 순항 및 착륙 후 과학탐사를 완전하게 할 수 있는 시스템의 개발이라고 할 수 있다. “더 좋게, 더 빠르게, 더 싸게” 라는 모토아래 이번의 패스파인더 계획은 비용을 1억 5천만불 사용하여 기존의 탐사선 비용(약 5억에서 10억불)을 1/10로 줄였다. 이러한 기술이 가능했던 것은 기존의 기술유산이라고 할 수 있는 탐사선들의 실패에서 얻어진 귀중한 경험과 이를 극복한 기술진들의 노력이라 할 수 있다. 토성 탐사선 이었던 카시니호, 70년대 화성 탐사선이었던 바이킹호 등의 우수한 기술을 활용하였으며 또한 최근의 관측자료를 이용하여 불확실성을 대폭 줄여 설계에 반영하였다. 바이킹호에서 얻어진 화성지표면 자료를 이용하여 지상에서 화성 모의환경을 만들어 착륙 실험을 수차례함으로써 착륙이 성공토록한 것은 좋은 예라고 할 수 있다. 그리고 근래의 우수한 컴퓨터 환경은 20년 전에는 불가능했던 설계 및 모의시험을 가능케 했던 것이다. 이러한 기술적 유산과 과거의 실패에서 얻어진 경험을 최대한 살리고 다소의 위험을 감수하더라도 무게와 비용이 많이드는 여분의 장비(Redundancy)를 과감히 삭제함으로써 비용을 최소화하는 기술적 진보를 이루게 되었다. 그리고 70년대의 바이킹호 이후 최초로 화성에 착륙한 탐사선이라는 면에서 인류에 우주개발에 대한 의지를 더욱 확고히 하게 했다.

이상에서 살펴본 바와 같이 패스파인더호는 외계에 대하여 지대한 동경심을 가지고 있는 인류에 있어 여러 가지 면에서 새로운 시대를 열었다고 말할 수 있다.