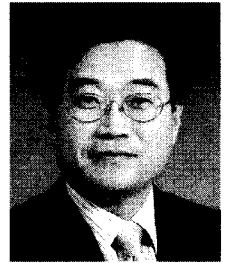
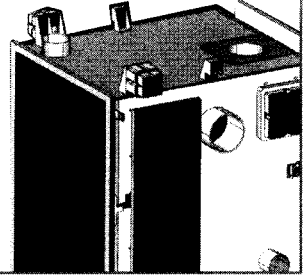


# 유인 우주선과 지구귀환기술



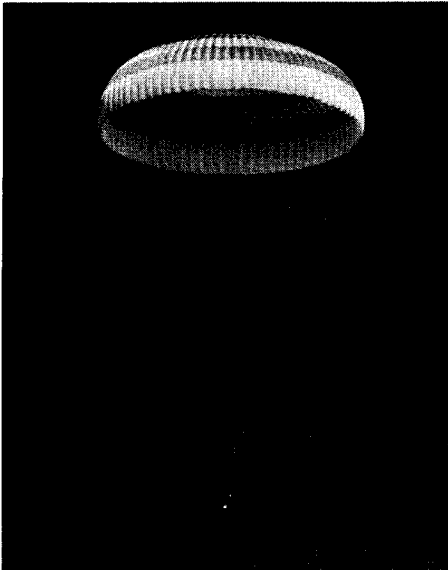
채연석

전 한국항공우주연구원장  
gogospace@naver.com

**지난** 4월 19일 한국 최초의 우주인 이소연 박사가 소유즈 TMA-11호를 타고 무사히 귀환을 하였다. 이날의 소유즈 TMA-11호 귀환에서 예정되었던 착륙 장소에서 420km 앞선 곳에 착륙하여 탑승 우주인들은 높은 G 때문에 고생을 하였고 우주인 구조팀이 우주선을 찾는 데도 많은 시간이 걸렸다. 비행기의 비행에서 가장 힘든 기술이 안전하게 착륙하는 기술이듯 우주비행 역시 안전하게 지구로 귀환하는 것이 가장 어렵고 힘든 기술이다. 각국의 유인 우주선과 귀환과정을 살펴보자.

## 1. 러시아의 유인 우주선

러시아의 유인 우주선은 1961년 4월 12일 가가린이 탑승하여 지구를 1회전 한 직경 2.3m의 공 모양의 보스토크 최초의 우주선이 있다. 보스토크 우주선은 지구로 귀환할 때 우주선과 우주인이 별도로 낙하산을 펴고 착륙하도록 설계되어 있다. 그 후 보스호트 우주선에서는 최대 3명까지 탑승시키면서 낙하산의 윗부분에 역추진 로켓을 부착 속도를 줄이며 우주인이 탑승한 채 착륙시켰다. 보스호트 우주선은 우주에서 오랫동안 우주비행을 하는데 문제가 많아 소유스 우주선이 탄생하였다.



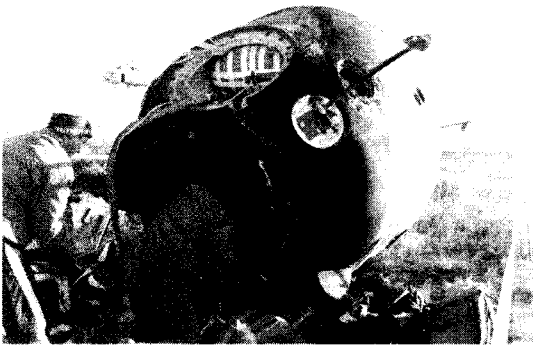
소유스TM-33호 우주선의 캡슐이 대형 낙하산을 펼치고 착륙하고 있다.

### 1) 소유스(Soyuz)

첫 소유스 우주선은 우주에서 다른 우주선과 도킹할 수 있도록 개발된 첫 우주선이며 1967년 4월 23일 첫 발사된 이래 지난 40년 동안 계속해서 사용되었다. 소유스 우주선은 그동안 2번의 귀환사고가 있었다. 첫 번째 사고는 소유스 1호가 우주를 비행하고 귀환하다가 낙하산 줄이 꼬여 충격이로 우주인이 사망한 사고와 1971년 6월 발사된 소유스 11호가 귀환하며 우주선에 문제가 생겨 3명의 우주인이 모두 사망한 것이다. 당시의 소유스 우주선에 탑승한 우주인들은 우주로 발사할 때나 귀환할 때 우주복을 입지 않았다. 이후 러시아는 소유스 우주선을 탑승하는 우주인들에게 우주복을 입히기 시작하였고 그 이후 귀환과정에서 사망사고는 발생하지 않았다. 소유스는 현재까지 가장 오랫동안 가장 많이 사용된 우주선으로 이를 개량하여 소유스 T로 그리고 TM으로 개량되었다가 2002년부터 최신형인 TMA로 개량되어 12호에는 한국 최초의 우주인이 탑승하였다. 소유스 TMA 우주선은 전체 길이 7.2m,

평균 직경 2.2m, 무게 7.2톤이며 크게 궤도모듈, 귀환캡슐, 서비스모듈의 3부분으로 구성되어 있다. 궤도모듈은 지름 2.2m의 길이 2.6m의 타원형 공처럼 생겼고 우주에서 우주정거장과 도킹할 수 있도록 직경 80cm의 도킹포트가 앞쪽에 있으며 뒤쪽에는 직경 70cm의 귀환캡슐과 통하는 통로가 있으며 무게는 1.2톤이다. 궤도모듈에는 화장실과 식량공급시설이 있으며 밖을 볼 수 있는 직경 15cm 크기의 둥근 창문이 있다. 지구궤도에서 우주비행을 하는 동안에 우주인들이 주로 머무는 장소이다.

귀환캡슐은 지름 2.2m, 길이 2.1m의 원추형이며 무게는 2.9톤으로 궤도모듈 바로 뒤에 붙어 있다. 궤도모듈과 연결되는 직경 70cm의 통로와 기밀문이 있다. 발사할 때와 지구로 귀환할 때 3명의 우주인이 탑승한다. 우주선의 비행 상태를 알려주는 계기판과 조종하는 핸들, 귀환용 낙하산, 귀환할 때 우주선의 내부온도를 고온으로부터 냉각해주고 건조하게 해주는 장치, 가속도 측정기, 각종비행을 기록하고 측정하는 장치, 특수계산기, 생명유지에 필요한 물품, 건전지 그리고 세 명의 우주인이 앉을 수 있는 특수 의자가 설치되어 있다. 귀환캡슐은 지구 대기권 통과할 때 발생하는 고열에 견딜 수 있도록 표면이 복합재료로 만들어져있으며 밑바닥에는 6개의 소형 고체 추진제 로켓이 장착되어 있어 지상에 착륙 직전 작동하여 착륙 충격을 줄여준다. 귀환캡슐에는 랑데부와 도킹할 때 외부를 볼 수 있는 잠망경과 직경 15cm의 둥근 창문이 각각 한 개씩 있다. 소유스 TMA는 키가 190cm 정도 인 우주비행사도 탑승이 가능하도록 개량되었다. 서비스모듈은 귀환캡슐 뒤에 붙어 있는데 길이 2.5m, 지름 2.2m의 원통형 모양인데 무게는 2.9톤이다. 이 모듈에는 궤도 변경이나 자세를 제어할 때 사용하는 작은 로켓과 지구로 돌아올 때 사용하는 역추진 로켓과 추진제통이 들어있다. 지구와의 통신장치, 산소



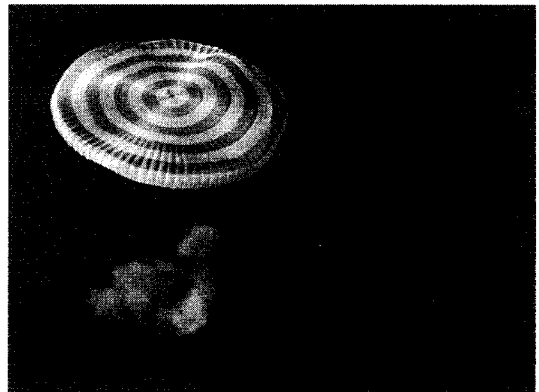
지상에 착륙한 소유스 캡슐에서 우주인을 탈출시키기위해 준비를 하고 있다.

및 컴퓨터 시스템도 여기에 있다. 모듈의 곁에는 양쪽으로 가로, 세로 1m의 태양전지 판 4장이 붙어있는데 태양전지 판을 펼쳤을 때 전체의 폭은 10.6m이며 우주궤도에 진입한 이후 펼친다. 소유스는 지금까지 모두 101회 발사된 가장 안전한 우주선이다. 발사와 귀환할 때에 사용하는 소콜 우주복과 의자도 개인별로 체형에 딱 맞게 맞춤형으로 제작함으로써 귀환할 때 생길 수 있는 충격을 온 몸에 잘 분산시켜 우주인이 생명을 지킬 수 있도록 하였다. 소콜 우주복은 우주선에 문제가 발생하여 내부 공기가 밖으로 유출되는 경우에도 2시간 동안은 우주인의 생명을 지킬 수 있도록 특수하게 제작되었다.

- 귀환과정

귀환 6시간 30분전 소유스 우주선은 국제우주정거장에 옮겨 탄다. 우주인들은 소콜 우주복을 입고 3시간 정도 귀환 우주선을 점검한 후 문제가 없으면 정거장과 스프링을 이용 분리한다. 그리고 3분후 15초 동안 로켓을 분사하여 우주정거장으로부터 떨어진 후 2시간 반 뒤 4분 17초 동안 로켓을 분사 우주선의 비행 속도를 초속 7.397km에서 7.298km로 속도를 초속 100m 줄여준다. 이때가 착륙 44분 9초전이다. 그리고 착

륙 25분 50초전에 140km 상공에서 기계실을 분리시킨다. 착륙 22분 56초전에 고도 102km의 대기권에 진입한다. 착륙 21분 11초전 고도 80.3km 상공에서 속도는 초속 7.594km로 가속되며 이때부터 컴퓨터로 자세조정이 시작된다. 착륙 16분 20초전에는 지상 33.2km에 도달하며 낙하속도는 초속 1.964km로 대폭 줄어들며 우주선은 대기와 가열되어 온도가 섭씨 1500도까지 상승한다. 이때 G값도 최대가 되어 4까지 올라간다. 착륙 14분 27초전에 지상 10.8km에서 낙하속도는 초속 213m 이며 낙하산을 펼치고 착륙한다. 착륙 지상 2m 상공에서 6개의 로켓을 분사하며 부드럽게 착륙한다. 그런데 이 소연 우주인이 탑승한



지상에 착륙직전 6개의 로켓이 분사하며 착륙 충격을 줄이고 있다

소유스 TMA-11호는 착륙 25분 50초전 고도 140km에서의 기계선 분리가 순조롭게 진행되지 않으면서 우주선의 낙하속도가 증가하고 지상 33km에서의 최대 G 값도 8 이상으로 높아지며 착륙 충격이 커졌던 것 같다.

2) 클리퍼(Kliper)

러시아는 소유스 우주선을 대체할 차세대 우주선을 구상하고 있다. 새 우주선의 이름은 클리퍼(Kliper)인데 2006년 결정된 구조는 귀환모듈, 서비스커주모듈, 그리고 응급회수시스템모듈의 3개

모듈로 구성되어있다.

귀환모듈(RV)은 무게 9,200kg이며 극초음속 글라이더와 원뿔형태의 승무원실로 구성되어 있다. 승무원은 2명씩 3조로 6명이 탑승할 수 있도록 의자가 배치되어있고 양 옆에는 작은 창문이 4개 달려있어 밖을 구경 할 수 있다. 둥근 탑승문은 뒤쪽에 있다. 서비스-거주모듈(SHM)은 무게 4,800kg으로 소유스 우주선의 궤도모듈과 비슷한 형태이다. 이 모듈에는 추진시스템이 포함되어있어 우주정거장과 랑데부 및 도킹할 때 이용하고 우주정거장에서 분리하기위해 역추진 로켓을 분사할 때도 이용한다. 이 모듈의 제일 뒤 부분에는 도킹포트가 있어 우주정거장과 도킹할 때는 이 부분으로 하며 반대쪽은 귀환모듈과 연결되어 있다. 대기권에 재돌입할 때 귀환모듈과 분리되어 대기권에 돌입하며 태워진다.

응급회수시스템(ERS) 모듈은 3,300kg으로 서비스-거주모듈 뒤 부분을 감싸고 있다. 우주선이 궤도에 진입할 때 필요에 따라 추진시스템으로 사용할 수 있으며, 발사할 때 문제가 발생하면 승무원 비상탈출용 추진시스템으로 사용할 수 있다. 궤도에 진입할 때 분리되어 대기권에서 태워 버린다. 클리퍼의 전체 길이는 12m, 몸통의 평균 직경은 3.9m, 최대 날개폭은 8m이다. 승무원실의 체적은 20m<sup>3</sup>, 무게는 14톤, 탑재물은 500kg이다. 귀환할 때의 무게는 300kg의 화물을 포함해서 10톤 정도의 무게를 개발목표로 한다.

귀환할 때는 서비스-거주모듈의 로켓을 분사하여 비행속도를 떨어뜨린 후 1,200km를 비행할 예정인데 대기권을 통과한 다음에 시속 500km의 속도로 낙하한다. 낙하산을 이용하여 비행속도를 더 줄인 다음 활주로에 비행기처럼 착륙시킬 계획이다. 클리퍼는 390km의 궤도에서 5일간 비행할 수 있으며 수명은 15년 동안 60회 정도 재사용하는 것이 개발 목표인데 유럽우주기구(ESA)와 공동개발을 협의 중이다.

## 2. 미국의 유인 우주선

미국의 우주선은 1인승 우주선인 머큐리, 2인승 우주선인 제미니 우주선이 있었고 모두 낙하산을 펼치고 바다에 착수시켰다. 그리고 이를 개량하여 달 탐사용 3인승 아폴로 우주선을 개발 하였다.

### 1) 아폴로(Apollo)

아폴로 우주선은 미국의 달 탐험을 위해 1960대 후반에 개발된 우주선이다. 구조는 사령선과 기계실, 그리고 달착륙선으로 구성 되어 있다.

사령선(CM : Command module)은 세 명의 우주인을 태우고 지구를 출발하여 달로 갔다가 또 다시 지구로 돌아오는 유일한 우주선이다. 사령선은 지름 3.9m, 높이 3.47m의 원추형이며 발사할 때의 무게는 5.9톤, 지구로 돌아올 때의 무게는 5.4톤이다. 사령선의 부피는 6.17m<sup>3</sup>이며 여객기의 객실이나 조종실과 비슷하다.

달을 왕복하는 동안 이곳은 우주인의 작업장, 연구실, 통신실, 침실 및 화장실 역할까지도 하기 때문이다. 의자는 좌우로 움직이고, 옆으로 누워 잠을 잘 수도 있다. 선내는 쾌적하여 온도는 항상 섭씨 26도, 습도는 40~80%로 조절되고 섭씨 10~70도 온도의 물을 언제나 사용할 수 있도록 설계하였다. 아래쪽에는 단열복합재료로 만들어 붙여 지구 재돌입할 때 고열에 우주선이 견딜 수 있도록 하였다. 기계선(SM : Service Module)은 사령선 뒤에 붙어 있는데, 이는 아폴로 사령선에 필요한 각종 전기와 산소, 그리고 사령선이 자위로 움직일 수 있도록 각종 동력을 제공한다.

기계선의 뒤에는 10톤 추력의 로켓도 붙어 있는데 이는 달 탐험을 마친 후 아폴로 우주선이 지구로 귀환할 때 달 탈출용 로켓으로 사용된다.

기계선의 지름은 3.9m, 길이 7.56m, 무게 24.523톤이다. 그리고 기계선의 옆에는 45kg의 추력을 낼 수 있는 16개의 추력기가 붙어 있어, 사방

팔방으로 우주선이 자유로이 움직일 수 있도록 설계되었다. 영화로도 유명한 아폴로 13호는 이 기계실에 있는 산소통이 폭발하여 일어난 일이다.

1968년부터 1972년 까지 11회 사용 되었다.

아폴로 11호 사령선의 귀환은 달 탐사를 끝낸 달착륙선이 달 궤도에서 사령선과 도킹한 뒤 두 우주인이 사령선으로 옮겨 타고 시속 8,850km(초속 2.46km)로 가속, 달 궤도를 벗어나 지구로 되돌아오는 비행을 시작하며 귀환이 시작된다. 3일 간의 비행으로 지구 대기권에 도달하며 대기권에 진입하기 16분 전에 캡슐 뒤에 붙어있는 기계실을 떼어버린다. 이때 분리시간은 예정시간에서  $\pm 0.01$ 초의 오차만 허용될 뿐이며 대기권의 진입 각도는 수평으로부터 5.4~7.4도이다. 대기권에 재돌입할 수 있는 구멍은 지구 상공 120km에서 지름 64km 이내이다. 예정대로 대기권에 돌아온 아폴로 11호는 지름 25m의 주 낙하산 세 개를 펼치고 초속 9m의 속도로 태평양에 착수하였다.

## 2) 우주왕복선(Space Shuttle)

궤도선이 우주선 역할을 하는 곳으로 여러 번 왕복해서 지상과 우주를 갔다 왔다 한다.

제일 마지막으로 제조한 인데버의 경우 크기는 길이 37.24m, 높이 17.25m, 날개 폭 23.79m, 무게는 68.6톤이며, 전후방 자세 제어용 연료를 채웠을 때의 무게는 88톤으로 늘어난다. 짐을 싣는 화물칸의 길이는 18.3m, 지름은 4.6m이며 최대 25톤의 짐을 싣을 수 있다.

2006년 12월 발사한 디스커버리 호는 발사 때의 궤도선과 화물의 무게는 120.4톤이지만 지구로 돌아올 때의 무게는 102톤이었다. 비행기처럼 생긴 궤도선의 앞부분에는 승무원이 탑승하는데, 7명까지 탑승할 수 있도록 설계하였다.

승무원은 조종사 한 명, 선장 한 명, 비행임무 전문가 한 명, 탑재물 전문가 한 명, 기타 세 명의 승객이나 기술자가 탑승한다. 승무원실은 2층 구

조로 되어 있는데 창문이 있는 위층이 비행 조종실로써, 우주왕복선의 궤도 비행, 대기권 재진입, 화물칸의 화물 이동, 착륙 등을 제어할 수 있는 각종 계기판들이 놓여 있으며, 일반 여객기와 비슷한 모양을 하고 있다.

발사할 때와 지구에 재돌입할 때 이곳에는 네 명이 탑승하며 나머지 인원은 아래층에 탑승한다. 아래층에는 화장실, 침실, 식당 및 조리시설, 그리고 각종 창고로 되어있다. 승무원실의 공기는 질소와 산소를 혼합하여 지상과 똑같은 대기압으로 만들어놓았기 때문에, 승무원들은 우주복을 입지 않고도 지낼 수 있다.

우주왕복선에서 필요한 전기는 연료전지로부터 공급되는데, 연료전지는 액체산소와 액체수소를 이용하기 때문에 전기와 함께 물도 생산되며, 이 물은 승무원들의 식수나 음식물 만드는 데, 그리고 화장실용으로 쓰인다. 궤도선의 뒷부분에는 주 엔진(SSME: Space Shuttle Main Engine)이 3개 부착되어 있다. 주 엔진은 우주왕복선이 발사될 때 외부탱크에 채워져 있는 추진제인 액체산소와 액체수소를 태워서 밀어 올리는 힘을 만드는 곳이다. 각 엔진이 100%의 성능에서 185,450kgf의 추력을 생산한다.

한 번의 발사에서 주 엔진의 작동 시간은 8분 30초이며, 7.5시간 연속해서 사용할 수 있도록 설계되었다. 주 엔진을 외부탱크와 궤도선에 부착시켜 놓은 이유는, 외부탱크는 한 번만 사용하고 버리지만 아주 값이 비싼 주 엔진은 궤도선에 부착하여 궤도선과 함께 여러 번 사용하기 위함이다. 주 엔진의 크기는 길이 4.2m, 노즐 출구의 최대 지름 2.25m, 무게 3,150kg이며 연소시간은 520초, 비추력은 452초이다. 연소실의 화염온도는 섭씨 3,300도나 되며, 엔진 1개의 가격은 600억원(\$60M) 정도이니 우주왕복선에 장착된 3개의 엔진가격만도 1,800억 원이다. 우주인 탑승하게 됨으로 신뢰성이 높아야한다. 따라서 우주왕

복선의 1회 비행에 1조 3천억 원이라는 천문학적 비용이 드는 것도 큰 문제이다. 그동안 비행 중 2대가 폭발하였고 나머지 3대를 2010년까지만 사용할 계획인데 우주왕복선에서 가장 중요한 기술은 지구로 돌아오면서 대기와 마찰로 생기는 고열로부터 우주선을 보호하는 기술이다.

1982년부터 현재까지 2008년 초까지 모두 123회 우주비행을 하였다. 우주왕복선은 지금까지 1986년 발사하며 폭발사고 발생하였으며 그리고 2003년 2월 1일 귀환하며 시고가 발생하여 10여명의 우주인이 모두 사망하였다. 이 대형 우주사고 이후 미국은 새로운 우주왕복선의 제작 없이 현재 남아있는 3대의 우주왕복선을 가지고 2010년까지 사용한 뒤 은퇴시킬 예정이다.

### 3) 오리온(Orion)

현 미국이 개발을 시작한 미국의 차세대 우주선은 오리온(Orion)이다. 오리온은 승무원 모듈(Crew Module)과 서비스 모듈(Service Module), 그리고 발사도중 생기는 비상시기에 승무원 모듈을 안전한 곳으로 탈출시키는 발사비상시스템(Launch Abort System)으로 구성되어 있다.

승무원 모듈은 원추형으로 아폴로 달 탐사 프로그램에서 사용한 아폴로 캡슐과 같은 모양인데 크기만 키운 것이다. 직경은 5.5m이고 높이는 3.6m, 무게는 9,506kg이고, 내부 체적은 11m<sup>3</sup>로 아폴로 우주선보다 2.5배 넓다. 이렇게 아폴로 우주선으로 확대시킨 것은 이미 아폴로 캡슐은 달 탐험 계획에서 성공적으로 여러번 사용하며 그 안전성이 입증되었기 때문에 개발 기간과 위험성을 줄일 수 있기 때문이다. 한번 발사에서 16일간 활동할 수 있도록 설계할 예정이다. 서비스 모듈은 직경 5.5m 길이 3.46m의 원통형이며 엔진까지 포함하면 전체 길이는 6.22m이다. 그리고 추력 3,402kgf의 엔진이 장착되고 9.15Kw의 전력을 생산할 수 있는 3604cm<sup>2</sup>의 태양전지판이 설치되고 무게는 13,647kg이다. 승무원 모듈

과 서비스 모듈을 합한 무게는 25톤이며 지구에 착륙할 때의 승무원 모듈의 무게는 7.337톤이다. 아폴로 캡슐과는 달리 바다가 아닌 육지에 낙하산을 펴고 착륙하며, 달 탐험에서는 4명을 탑승하고 우주정거장을 왕래할 때는 6명이 탑승할 수 있으며 10회 정도 재사용이 가능하도록 개발하여 2014년 우주정거장으로 첫 발사할 계획이다.

## 3. 최고의 귀환기술

우주비행에서 가장 위험하고 가장 중요한 기술은 안전한 귀환기술이다. 그러나 위에서 살펴본 바와 같이 지구궤도에서 속도를 줄여 귀환을 시작을 시작하고 복합재료를 이용하여 대기권을 통과하며 속도를 대폭 줄인 뒤 낙하산으로 착륙하는 방법이 현재로서는 유일한 방법이다.

현재 미국은 2010년 우주왕복선의 퇴역이후 새로운 우주선 오리온이 개발되는 2015년까지 러시아의 소유스 우주선을 이용하여 국제 우주정거장에 자국 우주인을 보내고 귀환 시킬 계획이다. 뿐만 아니라 현재 개발하고 있는 미국의 새로운 우주선 오리온도 러시아의 소유스 우주선과 같은 방식으로 지구에 귀환 하는 방식을 채택하였다.

미국의 우주왕복선은 비행기처럼 활주로에 착륙을 하여 안전한 착륙 방법 같기도 하지만 착륙 지역의 기상에 따라 착륙을 연기하거나 다른 지역에 착륙을 하여야하는 불편함도 있다. 그리고 아직은 20여 톤의 무거운 비행기와 같은 우주선이 지구로 귀환하는 것은 기술적으로 많은 문제점이 있다.

현재로서 우주선의 가장 안전한 지구귀환 방법으로는 귀환 우주선의 무게가 가볍고 러시아의 소유스 형태로 귀환하는 방법이다. 사실 유인 우주선의 귀환에서 가장 중요한 것은 안락한 귀환도 중요하지만 우주인이 확실하고 안전하게 지구로 귀환하는 것이다. 📖