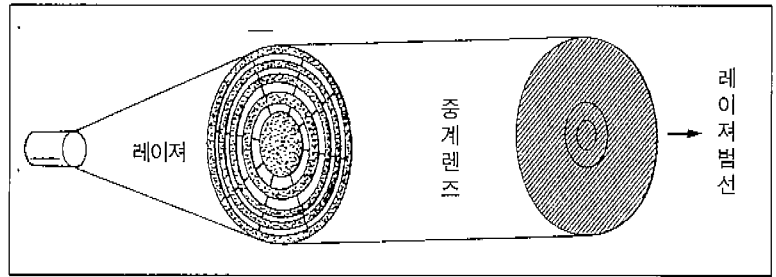


우주추진의 미래기술

레이저광범선

태양광범선은 당연히 태양에서 멀어지면 멀어질수록 추진력이 저하된다. 만약 태양계의 밖으로 나가서도 어느 정도의 유효한 비행속도를 유지하려면 태양 대신 무엇인가 강력한 광원을 이용하여 범선의 돛을 추진해주지 않으면 안된다. 여기서 구상된것이 인공적으로 빛을 보내는 '레이저광추진범선'이며 이것을 이용한 것을 Light Sail이라고 이름지었다. 태양계 내에 강력한 레이저 발진기지를 설치하면 곳인 항성간의 공간까지 진출한 라이트세일 레이저 빔을 계속해서 보내 범선을 추진하려는 이 아이디어는 '62년 당시 휴즈연구소에 재직하던 로버트 포워드에 의해 처음으로 제창되었다. 그때의 구상은 명왕성에 레이저 기지를 건설하고 레이저범선을 항성간 탐사선으로 하여 태양계 밖으로 보낸다는 것이었다.

'66년에는 부다페스트대학의 G. 마르크스가 레이저광 범선의 추진에 관한 기본적인 공식을 작성하여 그 성능을 결정하는 요소를 다음과 같이 정리했다. 레이저 빔의 출력이 일정할 때 라이트 세일이 얼마



라이트 세일의 원리

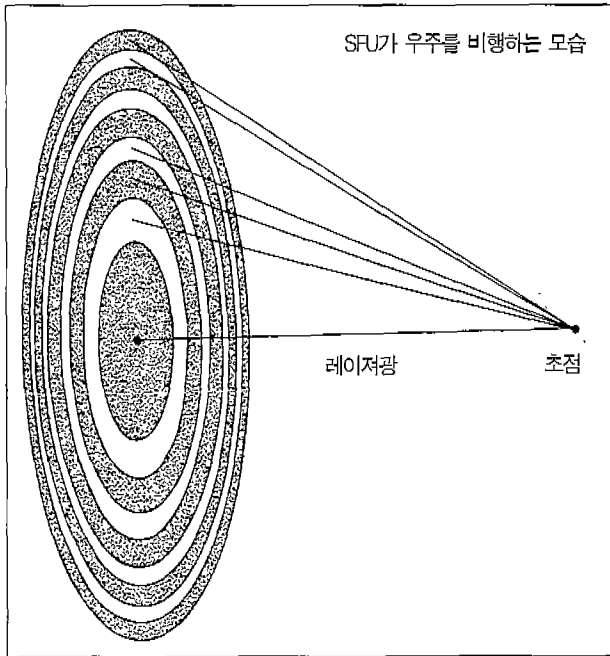
나 장시간 추진이 유지되느냐 하는 것은 빔의 수집결 속도에 의해서 결정된다. 즉 돛을 받아낼 수 있을 때까지 빔의 확산을 최대한 억제하는 일이 중요하게 된다. 또 빔의 수집결속도는 레이저의 파장에 반비례하며 발진장치의 출력계 구경에 정비례하므로 사용하는 레이저는 단파장으로 또 출력계(거울 또는 렌즈)의 구경은 큰 것이 유리하다.

만약 한번의 길이가 정방형인 안테나에서 파장 1옴스트롬(1만분의 1미크론)의 X선 레이저를 쏘았다 하면 5광년 후의 레이저 빔 확대는 10km사방 이내로 머물게 된다. 이 크기를 상회하는 돛을 만들면 대단히 거대하나 적어도 태양계로부터 5광년에 걸쳐 라이트세일의 가속을 지속할 수 있다는 계산이 된다.

다만 이 시스템은 특유의 약점이 있다. 그것은 무거운 페이로드를

운반할 수 없다는 점과 여기에 세일이 전적으로 추진될 뿐 감속이 안된다는 점이다.

물론 이것은 전호에 말한 태양광 범선 추진 시스템과도 같은 현상인 것이다. 가령 지구에서 화성으로 향하는 태양광 범선을 목적하는 다른 혹성에서 멈추게 하는데는 그 혹성이 가진 대기를 브레이크로 사용하거나 태양과는 반대방향에서 태양의 반사광을 조사하여 감속시킬 수가 있다. 그러나 태양계 근방의 항성은 적어도 태양에서 4.3광년이상 떨어져 있는 곳을 가고있는 라이트 세일에는 이 방법은 이용할 수 없다. 가령 목적지가 어느 항성 주위를 회전하고 있는 혹성으로 거기에 대기가 있다고 알려져 있으면 대기를 브레이크로 이용할 수도 있다. 그러나 인류가 그 확실한 증거를 쥐고있는 라이트 세일을 보낼 수 있는 것은 상당한 장래의 일이 될 것이다.



파라렌즈의 모식도

1960년 미국의 우주기술자 필립 노렘은 이 문제에 대한 해답을 발표했다. 우선 라이트 세일을 목적하는 별 계열의 방향과는 다른 방향의 항성간 우주에 보낸다. 그리고 이 라이트세일이 태양계에서 목적하는 별 계열까지의 거리를 상회하는 먼 곳까지 도달한 곳에서 레이저 빔을 보내는 것을 중지한다.

거기서 우주선으로부터 두개의 전도성이 긴 와이어를 반대방향으로 뻗힌다. 그렇게하면 와이어가 하전하여 자장을 만든다. 이 자장과 항성간 우주의 은하자장이 상호작용하여 우주선은 차츰 큰 커브를 그리면서 이윽고 부메랑과 같이 목적하는 별 계열의 건너편으로 회전해 들어가고 거기서 태양계 방향으

로 근접해 오게 된다. 이 때 태양계에서 다시 레이저를 비추어 주면 마침내 목적하는 별 계열의 라이트 세일을 정지시킬 수가 있다는 것이다.

또 이 방법으로는 너무 멀리 돌아 목적지에 도달할 때까지 방대한 시간이 소요된다. 또 은하자장의 강도에 약간의 국부적 흐트러짐이 있어도 돛의 자장과 은하자장의 상호작용은 계산대로는 되지 않는다.

'84년 이 라이트 세일의 감속방법에 대해 로버트 하워드 가 획기적일 뿐만 아니라 어느 정도 현실성이 있는 아이디어를 보냈다. 그가 생각한 라이트 세일은 동심운상에 2단 혹은 3단으로 분할할 수 있는 둥근 돛을 사용한다.

다음으로 그 비행과정을 포워드의 시나리오에 따라 찾아가보자.

우주항해 예상장면

그가 라이트 세일에 의한 최초의

무인탐사비행의 목표로 삼은 곳은 태양계에서 가장 가까운 항성의 하나로 거리 4.3광년의 알파 센타우리(켄타우루스좌 알파성)이다. 이 비행에 사용하는 레이저광범선은 2단식으로 돛의 외경은 실로 100km이고 총중량은 785톤에 달한다. 추진용 레이저의 파장은 1미크론으로 당초의 출력은 7.2테라와트(테라조)다. 태양계에 설치되는 레이저 기지는 대량의 태양에너지를 얻으며 또 그 광압으로 기지전체가 날아가 버리지 않을 정도의 거리 즉 수성의 명암경계선상을 회전하는 태양동기궤도에 두게된다. 수성의 중력으로 매어 두려는 것이다.

이 궤도상에는 다수의 레이저 발진장치가 설치되며 여기서 만들어지는 레이저는 같은 궤도상의 레이저 통합장치에 보내져서 하나의 빔에 묶여 진다. 이 빔이 태양에서 15천문단위(1천문단위약 1억 5천만km)떨어진 토성과 천왕성의 중간에 떠 있는 렌즈를 향해 조사되고 이 렌즈를 통해 라이트세일에 보내지게 되는 것이다.

이 중계용 렌즈는 직경이 1000km나되는 거대한 것으로 와이어로 받치는 플라스틱 박막에 동심운상의 빈틈이 열린 소위 '프레넬 존 렌즈'로 되어 있다. 렌즈는 레이저 빔을 회전시켜 하나의 초점에 모을 수가 있다.

휴즈연구소의 연구원이었던 포

워드의 동료 오멜러가 이것을 연구하여 그 외견이 어떤 종류의 경주용차가 정지할때 사용하는 감속용 낙하산과 비슷하여 이것을 '파라렌즈'라고 불렀다.

이 파라렌즈의 중량은 소재에 따라 다르나 만약 파장 1미크롬의 레이저 빔을 사용하려고 하면 50만 톤정도가 된다고 포워드는 계산하고 있다. 지름이 달 지름의 3분의 1이나 되는 마크로구조라는 것을 생각할 때 그다지 무거운것은 아니다'라고 그는 논문에서 쓰고 있다. 렌즈는 태양공전궤도에 올라 있는 것이 아니고 수성에서 보내오는 레이저광의 압력으로 공간에 정지되어 있게 된다.

그런데 파라렌즈를 통해 보내지는 레이저 빔은 4.3광년후의 알파 켄타우리 부근에서도 빔의 확산을 지름 100km정도로 억제된다. 라이트세일은 이 레이저 빔을 받아 초당 0.005m/sec²체급으로 가속하여 40년후에는 광속의 약 21%, 초속 6만3000km에 달해 목적인 별 계열에 접근한다. 여기서 감속과정에 들어간다. 돛 외측의 제1단과 관측 기기를 탑재한 제2단(직경 30km)를 따로 떼어내는데 이 시점에서 태양계로 부터의 레이저 강도는 26테라와트까지 증가된다. 따로 떨어진 도넛형의 제1단은 다시 속도를 올리면서 날아간다. 한편 제2단은 제1단의 표면에서 반사하는

레이저를 받아 서서히 속도를 낮추어 1년후에는 알파 켄타우리에 정지한다.

같은 원리를 이용하여 3단식 셀로 하면 그중의 제 1단을 태양계로 귀환시키는 왕복비행도 가능하다. 이번에는 태양계로부터 10.8광년 떨어진 이프시론 에리다니(에리다누스좌 이프시론)에 유인탐사선을 보낸다고 하자.

이 라이트세일의 외경은 앞의 2단식 셀의 10배인 1000km가 되며 유인용 설비를 적재한 총중량은 7만 8천500톤이 된다. 이것을 4만 3000테라와트의 레이저로 추진해 주면 20년후의 속도는 광속의 반에 달한다.

여기서 레이저를 7만 5000테라와트까지 증강하여 외측의 제1단과 내측의 제2단을 따로 떼어 제2단을 감속시킨다. 제2단은 이속고 이프시론 에리다니에 정지하여 탐사를 개시한다. 그리고 귀환시에는 제2단과 제일 안쪽의 제3단을 따로 떼어 다시 태양계로부터 레이저 조사를 개시한다. 제2단은 이 별 계열을 통과하여 날아가며 이 제2단에 의해 반사되는 빛을 받은 제3단은 최고속도 0.5광속으로 바로 태양계를 향해 돌아온다. 이 왕복 비행에 요하는 시간은 약 51년이다. 우주비행사들은 어떻게든 살아 있는 동안에 지구로 귀환할 수 있을 것이다.

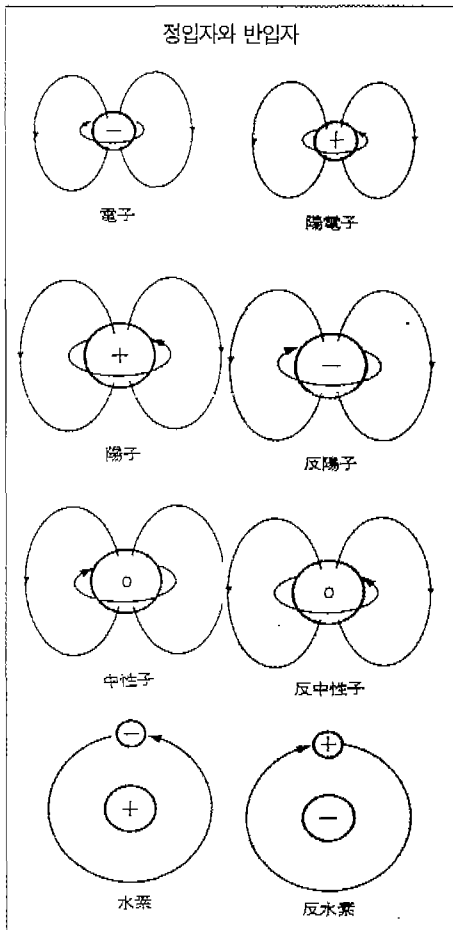
마이크로터 추진범선

레이저광 추진범선은 유인항성 간 비행을 가능하게 하는 우수한 추진 시스템이지만 최초의 설비투자가 막대해지기 때문에 초기 항성 간 탐사에 쓰여질 것으로 생각하기 어렵다. 포워드는 이와같은 초기탐사에 알맞은 아이디어도 제안하고 있다.

'85년에 발표한 '스타워스프'라고 불리우는 탐사기가 그것이다.

이것은 빛이 아니고 마이크로파로 추진되는 범선이다. 전항에서 말한바와 같이 전자파는 자기 파장보다 작은 전도체의 구멍을 빠져나갈 수 없다. 따라서 mm에서 cm단위의 파장을 가진 마이크로파는 그물코가 거칠어도 튀어 되돌아오게 된다. 포워드가 구상하는 스타워스프는 굵기 0.1미크롬의 알루미늄선으로 만들어진 거대한 6각형의 그물로 그물코의 지름은 0.3cm이며 지름 1km의 망전체의 중량은 불과 16g이다. 망의 교차점에는 모두 작은 광 센서에 짜 넣어지게 되나 전부 10억개의 센서를 포함한 스타워스프의 총중량은 겨우 20g밖에 안된다.

스타워스프는 10기가와트(1000만 kW)의 레이저를 받아 매초 1130m로 약 115G라는 대가속으로 태양계를 발진하여 3만 5000초 후(약 10시간후)에는 벌써 0.2광



속에 달해 순항비행으로 옮겨진다. 이렇게하여 알파 켈타우리에 20년 후에 도달한 탐사기는 이 별 계열의 광학영상을 태양계로 보내온다. 지금으로는 이것보다 비용이 적게 들며 현실성이 높은 항성간 탐사계획은 없는 것 같다.

반물질 로켓

우주선의 성능을 결정하는 가장 중요한 요소의 하나가 '에너지 변환 효율'이다. 우주선에 탑재한 연

료가 에너지로 변하는 효율이 높으면 높을수록 뛰어난 연료이며 그와같은 연료를 최적의 방법으로 사용하는 로켓엔진이야말로 가장 뛰어난 추진시스템이다.

예를들면 핵융합 로켓의 경우 가장 실용성이 높은 연료로 중수소와 헬륨3의 편성으로도 E0.004밖에 안된다.

이것은 연료 질량의 최대 0.4%만이 에너지로 변환할 수 있는 것을 뜻한다. 가령 E1 즉 연료를 100% 손실없이 에너지로 변환할 수 있는 로켓이 있다고 하면 그 로켓의 '최적분사속도' U는 광속과 동일하게 된다. 즉 이 우주에서 속도의 한계인 광속으로 분사를 할때 이 추진 시스템은 가장 높은 효율로 연료를

소비할 수가 있다. 그리고 이 궁극의 로켓을 실현할 수 있는 연료라고 하면 원칙적으로는 하나밖에 생각할 수가 없다. 그것이 '반물질'이다.

물리학에서는 우리들의 우주에 보통 존재하는 물질을 '정물질'이라고 부르며 이것을 구성하고 있는 양자나 전자 중성자 등의 입자를 '정입자'라고 부른다. 모든 정입자는 질, 양, 수명도 같으나 전하등의 양자수의 부호가 반대인 '입자'가 존재한다고 생각되고 있고 그것이

실험에 의해 확인되고 있다. 예로서 플러스의 전하를 가진 양자에 대해서는 마이너스의 전하를 가진 '반양자'가 마이너스의 전하를 가진 전자에 대해서는 플러스의 전하를 가진 '양전자'가 존재하고 전하를 가지지않는 중성자에는 바리온수가 마이너스인 '반중성자'가 존재한다. 그리고 이들 '반입자'로 이루어진 '반원자'에 의해 만들어지는 것이 '반물질'이다.

이 반물질 또는 반입자는 점 물질 또는 입자와 접촉하는 순간 심하게 반응을 일으켜 양자의 질량이 100%에너지로 변하는 대폭발을 일으킨다. 물질이 깨지고 에너지만으로 되는 이 반응을 '대 소멸'이라고 하며 이때 아인슈타인의 유명한 공식 $E=mc^2$ (에너지=질량×광속²)에 따라 대단히 큰 에너지가 나온다. 예로서 1g의 질량이 완전히 에너지로 변하면 약100조줄의 에너지가 생긴다. 이것은 TNT화약으로 27킬로톤의 폭발 에너지에 상당한다. 바꾸어 말하자면 불과 수그램정도의 정·반 물질이 대소멸을 일으킨것 만으로 히로시마급의 원자폭탄을 상회하는 엄청난 에너지가 발생하는 것이다.

이 대소멸반응을 추진 에너지로서 이용할 수 있다면 핵분열이나 핵 융합하고는 비교가 안되는 뛰어난 추진시스템이 실현되는 것이다.