

④ 미국의 달 탐사

달 탐사 후 화성에도 우주인 보낸다

글 | 최상혁 _ NASA 랭리연구센터 수석과학자 sang86@cox.net

항공기 기술은 라이트 형제가 노스캐롤라이나의 해변인 키티 호크의 모래밭에서 1903년 12월 17일 처음 비행을 시도하여 성공하였지만, 이 기술은 유럽으로 건너가 1차 세계대전을 거치면서 더 발전되었다. 미국은 항공기의 원조였던 반면, 단지 우편물 배달과 같은 공공업무에 사용하였을 뿐 항공기술 미치광이 이외에는 기술 개발에 있어 유럽에 뒤져 있었다. 1차 세계대전에서 유럽이 항공기를 전쟁에 유용하게 사용하는 것에 주목한 미국은 육군에서 항공대를 창설하였고, 본격적인 항공기 개발을 위하여 1915년 우드로 윌슨 대통령 당시에 5천 달러의 예산으로 국립항공자문위원회(NACA)를 설립하였다. 이와 함께 버지니아의 햄프턴에 랭리 연구소를 차려 2차 세계대전을 거쳐 1958년에 현재의 NASA로 흡수될 때까지 각종 항공기와 로켓을 개발하였다.

美, 독일 로켓 과학자 귀화시켜 로켓 개발

1957년 10월 4일 소련이 스푸트니크 1호 인공위성을 쏘아 올린 후, 이에 경악한 미국은 인공위성 계획으로 해군의 뱅가드와 육군의 익스플로러 계획을 세워 소련의 로켓 기술을 추격하였다. 해군의 뱅가드 로켓은 연이은 실패로 포기한 반면, 육군이 이끌었던 익스플로러 계획은 1958년 1월 31일 익스플로러 1호 인공위성을 성공적으로 발사하여, 지구주위의 '반알렌대'라 불리는 지구 자장에 의한 방사능대를 발견하여 미국의 손상된 체면을 되찾았다. 이를 계기로 1958년 7월 미 국회에서 국립항공 우주 법령이 통과된후에 동년 10월 1일 국립항공자문위원회(NACA), 미 해군과 육군의 로

켓 계획들을 함께 모아 현재의 국립항공우주국(NASA)을 설립하였다.

미국의 로켓 기술의 주축이 되었던 미 육군의 익스플로러 계획에 의해 2차 세계대전 때의 독일의 베르너 폰 브라운 팀이 개발했던 V-2 로켓을 개량해서 레드스톤 로켓을 만들고, 더 개량해서 주피터-C 로켓, 그리고 미국의 자존심을 만회시킨 익스플로러 1호를 만들었다. 후에 달 탐사에 쓰인 새턴 로켓도 V-2 로켓 기술을 더욱 개량해서 발전시킨 것이었다. 이는 2차대전 말에 독일 북부에 위치한 피네판데 연구소에서 V-2 로켓을 개발하고 있던 베르너 폰 브라운과 127명에 이르는 독일 로켓 과학자들을 전범으로 미국에 압송하여 귀화시킨 후 미국의 로켓 연구를 계속하게 함으로써 가능했다.

한 가지 재미있는 사실은 독일의 로켓 기술은 미국의 가다드(프린스턴대학에서 클라크대학으로 옮김) 교수가 개발한 액체연료 로켓에서 비롯됐다는 것이다. 폰 브라운은 "1920년대의 가다드 교수의 로켓연구가 현대 독일의 로켓기술에 비해 조잡하였지만, 그의 많은 기술들이 독일의 로켓 개발에 쓰였다"고 밝혔다. 가다드 교수도 1939년 이전에 많은 독일 과학자들이 자문을 받아 갔으며 자신의 기술이 폰 브라운에 의해 V-2를 개발하는 데 쓰였다고 1944년 밝힌 바 있다. 이를 다시 정리해 보면, <그림 1>에서 보는 것처럼 가다드의 로켓으로부터 시작해 V-2, 레드스톤, 주피터-C, 익스플로러 1, 그리고 새턴 5로 이어지는 로켓의 족보가 이루어진 셈이다.

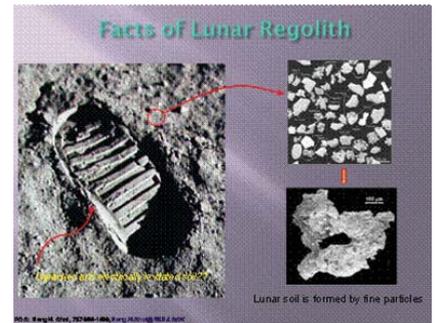
현대에 와서 이루어진 기이하고 거대한 과학 및 공학의 역사로



〈그림 1〉 가다다 로켓에서 시작된 로켓 개발 족보



〈그림 2〉 NASA에서 개발되고 있는 박판으로 만든 망원경



〈그림3〉 아폴로 우주인이 남긴 달 표면의 발자국

과학에서는 맨해튼 프로젝트를 들 수 있고, 공학에서는 아폴로 프로젝트를 들 수 있다. 이와 같이 미국의 우주탐사는 아폴로 계획을 통해서 인간을 달에 착륙시킬 수 있었고, 인류역사상 처음으로 인류의 꿈을 이루는데 혁혁한 공을 세웠다. 이로부터 생긴 부수적인 기술 집적은 현대 인류 문명의 혁신에 획기적인 역할을 하였다.

달 표면에 천체망원경 설치 계획

광활한 우주 속에서 우리가 눈으로 또는 광학기기를 통해서 볼 수 있는 별들의 숫자(3×10^{22})는 물방울 속에 들어있는 물 분자의 숫자보다도 많다. 그 중에는 우리가 살고 있는 지구와 비슷한 행성이 수없이 많이 존재할 것으로 믿고 있다. 태양계에 있는 행성처럼, 다른 별을 중심으로 공전하는 별들은 2008년까지 261개가 발견되었다. 앞으로도 계속 더 발견될 것으로 보인다.

지구는 태양계에서 다른 8개의 행성과 이웃하고 있는데, 이러한 별들을 가까운(10광년 이내) 우주에서 발견하려면 적어도 허블 천체망원경처럼 직경이 200m가 되는 천체망원경이 지구 밖 외계에 있어야만 한다. 이렇게 큰 망원경을 지구궤도에 올리는 것은 매우 어렵지만 망원경 부품을 달에 가지고 가서 달 표면에 설치하면 우주의 엄청난 신비함을 밝힐 수 있다. 달은 지진 활동이 없고 공기가 없어서 목표물의 또렷한 영상을 얻는데 아주 적합하다. 이밖에도 아직까지 밝혀지지 않은 역동적인 우주의 모습을 볼 수 있고, 암흑 물질, 암흑에너지, 반중력 등 지금까지 있어왔던 의문점들에 대해서서 답을 얻을 수 있을 것이다.

〈그림 2〉는 NASA에서 개발되고 있는 박판으로 만들어진 망원경의 기술을 보여준다. 박판으로 만든 망원경 구조물은 가볍기 때문에 외계에 설치하는 경비를 많이 절약할 수 있다. 그러나 박판은

망원경의 정밀도를 20nm이하로 유지하는데 엄청난 기술이 필요한 것이 단점이다.

1천년 동안 쓸 핵융합 연료 채취 가능할까?

달은 생성 이후 지금까지 중력이 지구의 6분의 1밖에 안 돼 공기를 잃어 진공상태에 있고, 내부에 용암이 존재하지 않아 지진현상이 없다. 그리고 달의 공전 위치가 아주 기이하게 놓여있어 대부분의 운석들이 소나기처럼 달을 두들기다 보니 표면이 곱보처럼 되어 있고, 달 표면의 토양은 지난 46억 년 동안 운석에 의해 분쇄되어 아주 미세하게 되어 있다. 이러한 달의 운석반이 역할로 인해 지구는 운석의 소나기에서 보호를 받아 왔던 것이다.

달에는 공기가 없기 때문에 생성 이후 46억 년 동안 태양에서 뿔어져 나온 물질들을

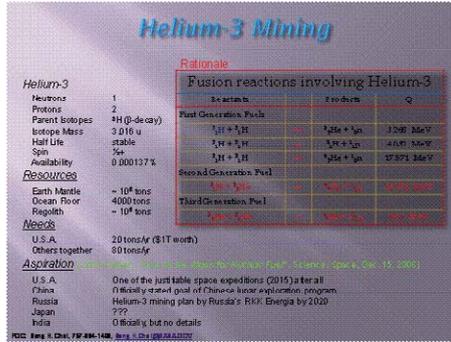
미세한 달의 토양입자들이 거의 흡수해 왔다. 위의〈표〉는 달 토양에 흡수되어있는 가스들을 보여준다. 이 표에는 나타나 있지 않지만, 태양풍으로부터의 전자들도 많이 박혀있어 정전기 현상으로 미세한 토양입자들이 달 표면에서 푸석푸석하게 조금 붕 떠있는 상태로 있는 것을 아폴로 우주인들의 발자국을 통해서 볼 수 있다(그림 3). 그렇지 않다면 중력이 작다하더라도 표면은 물과 바람이 없어 단단하게 굳어 있어야 한다.

2008년 2월에 아폴로 17호 우주인이었던 해리스 '잭' 슈미트 박사가 필자가 있는 NASA의 랭리연구소를 방문한 적이 있다. 슈미

	H	He	C	N	Ne	Ar
Apollo 11	20-200	20-84	95-215	45-110	2-11	1.3-12
Apollo 12	1-100	14-68	23-170	46-149	1.2-6	0.5-4.6
Apollo 14	20-200	5-16	42-225	25-150	0.14-1.6	0.4-2.2
Apollo 15	10-200	5-19	21-180	33-135	0.6-108	0.5-2.7
Apollo 16	1-100	3-36	31-280	4-209	0.4-1.2	0.6-3
Apollo 17	10-200	13-41	4-200	7-94	1.2-2.7	0.6-2.6



(그림 3-1) 아폴로 17호 우주인 슈미트 박사



(그림 4) 세계 각국의 헬륨-3 채취 계획. 달에 매장된 헬륨을 1년에 100만톤씩만 채취해도 전 인류가 에너지 원으로 1천년을 사용할 수 있다.

트 박사는 1972년 12월에 달에 착륙한 첫번째의 지질학자였고, 후에는 뉴멕시코주를 통해 미연방의회 상원의원으로 1977년부터 1983년까지 봉사했으며, 지금은 NASA의 자문위원회 의장과 위스콘신대학의 교수로 일하고 있다. 그의 방문 세미나 때, 그에게 몇 가지 질문을 던졌다. “달에 가서 지질조사를 했을 때 그곳에 금강석이 있었는지 확인했었나? 달에 금강석이 많다면 민간 기업들이 금강석 채광을 위해 먼저 서두를 테니 NASA가 굳이 많은 돈을 들여 달에 갈 필요가 없을 것이다.” 그는 지금까지 가지고 온 달 토양 샘플에서는 금강석의 흔적을 찾지 못했다고 했다. 필자가 다시 “달에는 핵융합에 쓰이는 헬륨-3가 상당히 있는 것으로 알려졌는데 채취 가능성이 있는가?”하고 물으니 그는 “맞다. 달에는 엄청난 양의 헬륨-3가 있는데, 채취방법을 연구한 일은 아직 없다”고 했다.

달의 토양에 적체되어 있는 헬륨-3의 양은 100만톤 정도일 것으로 예측되었다. 헬륨-3는 핵융합 반응에 있어서 가장 효율적인 연료로 알려져 있고, 현재 전 지구에 필요한 에너지를 충족시키기 위해서는 1년에 헬륨-3를 100톤만 채취하면 된다(그림 4). 달에 있는 헬륨-3의 양은 지구에서 필요한 에너지의 증가를 고려한다 할지라도 앞으로 1천 년 이상 공급할 수 있는 어마어마한 양인 것이다. 이것을 돈으로 환산하면 몇 천조 달러에 해당하는 돈이 된다. 또 헬륨-3의 핵반응은 방사능 물질을 발생시키 않기 때문에 매우 안전하고, 온실가스에 대한 염려도 자동적으로 사라지게 된다.

세계 각국 ‘헬륨-3’ 채취기술 개발 계획 세워

주목할 만한 다른 이유는 헬륨-3가 지구에 풍부한 중수소와 함께 쓰일 수 있기 때문에 헬륨의 절대 필요량을 상대적으로 줄일 수

있다는 것이다. 이러한 유리한 이유 때문에 벌써 여러 나라들이 헬륨-3를 채취하려는 계획을 세워 놓고 있는데, 아직 유럽국가나 한국에서는 이와 같은 정책이 서있는 것 같지 않다. 기술 수준이 높다고 하지만, 엄청난 재원이 필요한 과학 정책이라 이러한 목적을 달성하기 위해 막대한 재원을 투자한다는 것은 국가재정에 여러 가지 부담을 초래할 수 있다. 따라서 국제적 협력을 통해서 국가의 경제적 부담을 줄이는 것도 한 가지 방안이다. 미국은 다른 나라들과 협력하여 국제 우주정거장을 개발하였듯, 달과 화성 탐사에 있어서도 다른 나라들의 제한된 참여를 허용할지도 모른다. 이러한 협조

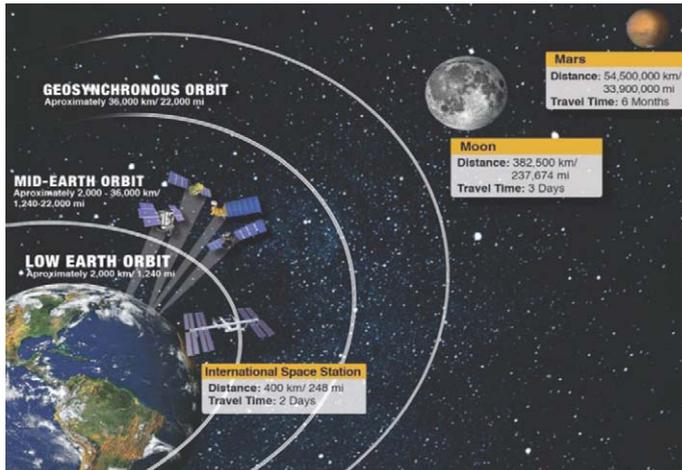
는 서로에게 경제적인 부담을 경감시키는 것과 동시에, 재능의 집적과 빠른 발전 속도를 낼 수도 있다.

현재로는 발전용으로 쓸 수 있는 핵융합로가 없지만, 현재의 기술발전 속도를 고려하면 2050년경 헬륨-3를 쓸 수 있는 핵융합로가 만들어질 수 있기 때문에 지금부터 헬륨-3를 채취하려는 계획은 시간상으로 매우 적절한 것으로 보인다. 지난해 9월과 12월에 필자가 두 차례 한국을 방문하였을 때 한국 모대학의 연구진과 잠깐 이야기를 나눌 수 있었는데, 그들은 헬륨-3 채취기술 개발을 위해 NASA와 기술협력을 체결하고 공동연구를 하려는 준비를 하고 있었다. 그들이 공동연구를 통해 하고자 하는 과제는 이미 필자가 관리하는 실험실에서 기초적인 연구가 진행되고 있는 중이다. 양쪽 국가가 허락한다면 공동연구를 하는 것이 앞으로 두 국가의 이익을 위해서 매우 바람직스러운 것으로 보인다.

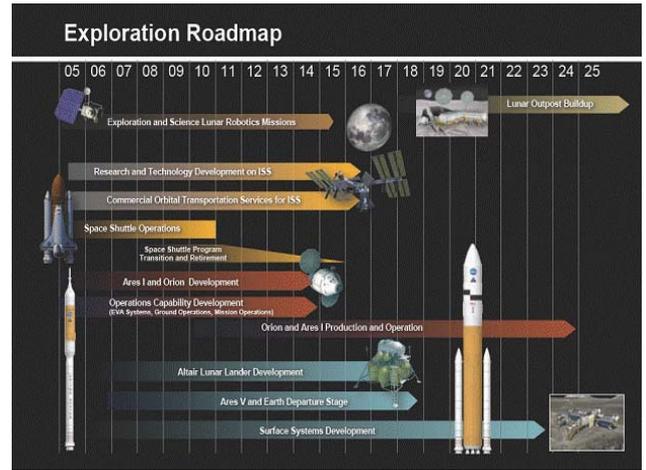
그밖에도 미국의 달이나 화성의 탐사는 아폴로 프로젝트가 보여주었던 사회에 매우 많은 파급효과를 준다. 달이나 화성탐사를 성공적으로 이끌기 위해선 교육 및 산업의 뒷받침이 필요하기 때문에 인재 개발과 산업기술 개발에 엄청난 투자를 하게 되고, 이와 같은 투자는 향후 미국경제의 건전성과 세계를 이끌 수 있는 국력 신장을 가져온다. 우주탐사의 결과는 또 새로운 문화와 문명을 이끄는 역할을 할 것임에 의심의 여지가 없다.

NASA, 유인 우주탐사 ‘달 탐사 병합 계획’ 추진

현재 NASA에서 계획된 유인 우주탐사계획에는 첫째 달을 다시 방문하여 탐사기지를 세우고 장기적이고 체계적인 탐사를 함과 동시에, 둘째는 나중에 이어질 화성탐사를 위한 전초기지 역할을 하



〈그림5〉 달 탐사 병합 계획에 따르면 달에 가는데 3일 걸린다.



〈그림6〉 달 탐사에 필요한 개발 계획

아폴로 프로젝트와 달 탐사 병합계획 비교

	아폴로프로젝트	달 탐사 병합계획
발사체	새턴 V	에리스-I(오리온 우주선) 에리스-V(알테어 달 착륙선, 선적물품)
우주선	아폴로(3인승)	오리온(달 4인승, 화성 6인승)
달 착륙선	루나 모듈(LM)	알테어
달 탐색 우주인	2명의 우주인	달 3명의 우주인, 화성 4명의 우주인
달 탐색 장비	로버	전초기지, 로버, 탐색장비 14.5 톤
탐색 체재 기간	3일	7일 또는 전초기지와 함께 210일
착륙 지점	적도 근처	달 표면 어느 곳이나
탐색 활동	토양 샘플 채취, 충격실험, 광통신 실험 등	광물조사, 발전장치, 통신, 우주 망원경, 우주 GPS, 등

도록 계획되어 왔다.

우선 아폴로 계획과 이번에 준비되는 달 탐사 병합계획(CxP)을 하나씩 비교하면 달에 가는 시간은 〈그림 5〉와 같이 3일이 걸린다. 달에 가는 방법도 아폴로 우주선과 비슷하게 우주인 4명을 태운 우주선을 에리스-1 로켓으로 지구의 궤도에 올려놓은 후, 달 착륙선과 탐색장비를 갖춘 에리스-5 로켓이 지구궤도에 도착되면 달착륙선과 오리온이 각각 에리스-1과 에리스-5로부터 분리된 후, 도킹을 통해 서로 결합되어 달로 향하게 되는 것이다. 달 탐색에 필요한 개발계획은 〈그림 6〉에 잘 나타나 있다. 우주인 발사체인 에리스-1과 오리온은 2014년까지 완성이 되어 퇴역하는 스페이스 셔틀을 대신해 국제우주정거장(ISS)에 우주인과 물품을 나르는 일들 한다. 2020년까지 화물선인 에리스-5 발사체가 완성되면 그때 달 탐사를 위한 우주인 발사체 에리스-1과 화물 수송 발사체인 에리스-5

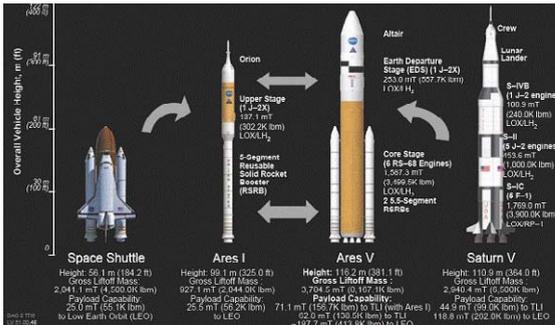
가 함께 사용될 것이다.

달 탐색 목적을 수행할 발사체는 에리스-1과 에리스-5 두 가지이다. 에리스-5 로켓은 우주왕복선에 쓰였던 고체 부스터 로켓을 한 단계 더 크게 제작해 두 개를 양쪽에 부착, 187.7톤을 지구궤도(LEO)에 올릴 수 있도록 하였는데, 전체적인 추진력은 아폴로계획 때 쓰인 새턴-5 로켓보다 조금 더 강력하다.

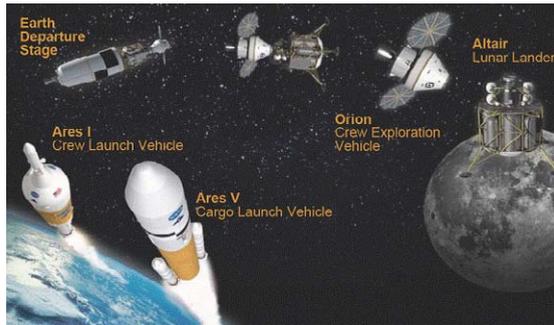
지금은 NASA에서 추진하는 우주탐사 계획을 반대하는 여론이 없지만, 다른 대안을 제시하는 경우는 있다. 예를 들면, 우주왕복선 부스터 로켓을 개조해 25.5톤의 적재화물을

올릴 수 있는 에리스-1 대신에 적재용량은 적지만 현재 미 국방부에서 이미 사용 중인 델타-4나 아틀라스-5를 사용하자는 것이다. 이렇게 하면 개발비가 많이 절약되기 때문이다. 다른 제안 중의 하나는 옛날의 새턴-5(지구궤도까지의 적재량 : 118.8톤, 달까지의 적재량 : 50톤)를 개량한 새턴-6을 사용하면 지구궤도까지 적재량은 250톤, 달까지 적재량은 100톤 정도 이상으로 증가시킬 수 있어 발사경비가 1kg당 3천 달러까지 내릴 수 있다고 한다.

새 행정부는 미국의 우주 탐사계획을 어떻게 할 것인가에 대해서 아직도 뚜렷한 정책발표가 없었다. 그러나 어떠한 변화가 오더라도 근본적인 우주탐색 정책에는 변화가 없으리라는 의견이 지배적이다. 지금은 오히려 다른 나라들의 달 탐사 계획이 미국의 우주 정책을 빨리 추진하는 데 도움이 되고 있다. 왜냐 하면, 달 탐사로 인한 기술력의 신장은 말할 것도 없고, 이로 인한 국방, 경제, 교육,



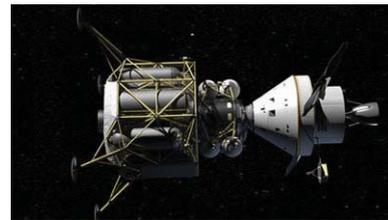
〈그림 7〉 발사체 규모



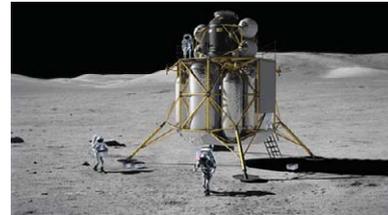
〈그림 8〉 달 탐사 시나리오



〈그림 9〉 애리스-5에서 분리된 시발추진체가 오리온과 도킹해 달로 향할 준비를 한 모습(상상도)



〈그림 10〉 달의 궤도에 진입하기 위해 달착륙선 알테어와 우주선 오리온이 도킹한 모습(상상도)



〈그림 11〉 달에 착륙한 알테어(상상도)

사회에 미치는 영향은 이루 헤아릴 수 없기 때문이다. 〈그림 7〉은 발사체의 규모를 보여준다. 달에 가게 되는 시나리오를 위에서 간단하게 설명했는데, 〈그림 8〉은 이를 더 잘 보여준다.

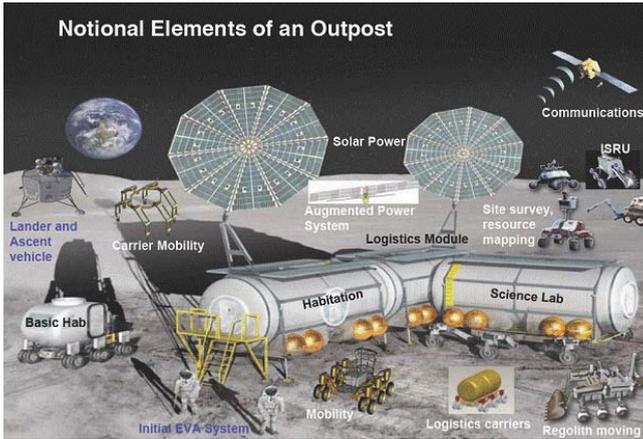
2020년 우주인 3명 달 착륙, 화성탐사 준비

〈그림 9〉에서 보듯 지구궤도에 진입된 애리스-1(오리온)과 애리스-5(알테어+시발추진체)로부터 오리온과 알테어, 시발추진체가 각각 분리되고 난 후, 서로 도킹하여 달로 향할 준비를 마친다. 이때 오리온 우주선의 탑승 우주인 수는 4명인데, 시발추진체의 추진력으로 달의 궤도에 도착하게 된다. 시발추진체는 달에 갈 수 있는 추진력을 준 후에 분리되고 〈그림 10〉에서 보이는 달착륙선 알테어와 우주선 오리온만 달의 궤도에 진입하게 된다. 달의 궤도에서 달착륙선 알테어와 우주선 오리온이 분리되어, 오리온은 1명의

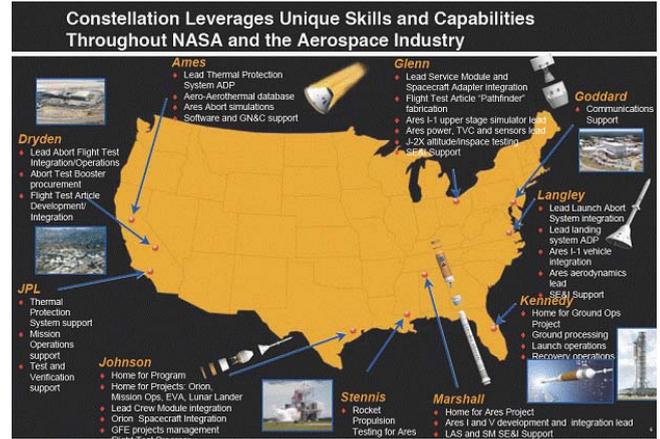
우주인과 달 궤도에 남아 있고, 3명의 우주인은 오리온에서 알테어로 옮겨 타, 달에 착륙할 준비를 마친다. 달 표면에 도착할 지정된 장소에 이르면, 알테어가 오리온에서 떨어져 나와 역추진 로켓을 이용해 달 표면에 연착륙을 하게 된다.

〈그림 11〉은 달에 착륙된 알테어를 보여준다. 3명의 우주인은 그들에게 맡겨진 역할을 수행하기 위하여 로버와 기타 장비를 해체해 달 표면에 내려놓고 기동 준비를 마친다. 달 표면에서의 활동은 달의 토양과 지질검사, 광물질 검토, 물이 있을 가능성 조사, 과학장비 설치를 통해 태양풍 조사, 헬륨-3 분포 조사, 우주인들의 달의 중력 상태에서의 건강과 활동기능 조사, 전초기지 설립에 필요한 조건 조사 등이다.

〈그림 12〉는 달 탐사에 쓰일 모든 장비와 차량들, 우주인 거주처, 통신장비, 저장창고 등이다. 이러한 시설과 장비를 마련하는 것은



〈그림 12〉 달 탐사에 필요한 장비들



〈그림 13〉 NASA의 각 연구소에서 개발하고 있는 우주탐사 기술들

단시일 내에 이루어지는 것이 아니고, 연구소에서 오랜 연구를 통해 달 탐사에 쓰일 수 있다는 것을 인증을 해야만 탐사장비나 설비로 쓰일 수 있다. 〈그림 13〉은 NASA의 각 연구소에서 우주탐사를 위해서 어떠한 부분이 개발되고 만들어지고 있는지를 보여준다. 2040년에 실시될 화성탐사 계획까지 고려하면 엄청나게 웅대한 프로젝트이다. 현재 이 일에 참여하는 NASA의 직원 중 85%는 2040년이 되기 전에 은퇴를 하지만, 새로운 세대가 분분 나며지를 이끌 것이다.

현 교육방식 탈피해야 미래 위한 준비 가능

현재 미국에서는 재능 있는 과학자나 기술자들의 수가 엄청나게 부족하기 때문에 지금 어린 세대를 특별히 교육하여 앞으로 다가올 문제를 막지 않으면 NASA가 계획한 우주탐사 계획은 많은 문제를 안고 갈 것이다. 지금 항공우주분야에서 일하는 사람들 중, 나이가 45세 이상인 사람들이 65%를 이룬다. 따라서 이런 추세가 계속되면 15년 후에 어떻게 100만 명이 넘는 기술자와 과학자들을 채워 넣을 수 있을지 의문이다. 미국은 전통적으로 외국에서 온 우수한 인재들을 통해서 현재의 국력을 유지해 왔다. 그러므로 어디에 있던 훌륭한 재능을 발휘할 수 있도록 준비한 젊은이들은 그들의 꿈을 이룰 수 있는 길이 쉽게 열릴 것이다.

꿈을 실현시키기 위해서는 현재 한국에서 탈바꿈하지 못하고 있는 지식 교육방식에서 벗어나야 한다. 지적체계는 지식, 지혜 및 예지로 이루어져 있다. 지식은 이미 존재해 있고 원하는 자는 언제나 취할 수 있는 과거에 속하는 지적자산이다. 그런데 지혜는 현재에

존재하지 않지만 찾는 자에게 주어지기 때문에 현재에 속하는 지적 자산이다.

지적인 발전은 대체적으로 세 가지 경로로 얻을 수 있다. 그 첫째는 모방과 훈련을 통해서 얻어지는 지식이다. 이것은 지금까지 누적되어 왔던 모든 사물에 관한 정보나 생각과 실험에 의해 쌓여진 결론들을 이해하고 습득하는 과정에서 이루어진다. 현재의 많은 교육방식을 자세히 살펴보면, 지식의 습득을 중심으로 과거에 대한 모방과 그에 필요한 훈련을 시키는 것에 많은 비중을 두고 있음을 볼 수 있다. 따라서 지적 습득을 위한 교육방식은 최대 다수의 성과를 위해 기본적인 분야로 시작해 전문분야까지 시차와 함께 분류하여 집중적으로 훈련시켜 왔다.

그러면 과연 우리가 이와 같은 훈련을 통해서 인류 문명 발전에 기여를 할 수 있을까를 생각해 볼 필요가 있다. 지적 발전은 많은 경험을 통해 얻어지는 지혜와 단지 준비된 자에게만 부여될 예지가 더 부여될 때만이 가능하다고 지적된다. 지금까지의 지적발전을 위한 주요한 목적 및 수단으로는 교육적 체계를 도입해 사용해 왔는데, 전반적인 실패는 교육의 중심이 지식을 근거로 한 데 있다. 한국의 많은 젊은이들이 훌륭한 교육을 통하여 그들의 꿈을 키우고, 세계의 문명발전에 기여하기를 바란다. **☞**



글쓴이는 인하공과대학 졸업 후 오리건주립대학에서 석사·박사학위를 받았다. 햄프턴대학교 물리학과 겸임교수, 노퍽주립대학교 광학공학과 겸임교수 등을 지냈으며, 현재 NASA의 나노 빔 연구실 책임자 등을 겸하고 있다.