

## 화성 탐사를 위한 식품 시스템 설계

강석원

농업공학연구소 품질안전성판정연구실

### Designing Food Systems for Mars Explorations

Sukwon Kang

Quality and Safety Evaluation Lab., National Institute of Agricultural Engineering

#### Abstract

Human exploration of the solar system will include missions lasting years at a time. Such missions mandate extensive regeneration of life support consumables with efficient utilization of local planetary resources. As mission durations extend beyond one or two years, regenerable human life support systems which supply food and recycle air, water, and wastes become feasible; resupply of large volumes and masses of food, water, and atmospheric gases become unrealistic. Additionally, reduced dependency on resupply or self sufficiency can be an added benefit to human crews in hostile environments far from the security of Earth. Thus, advanced countries are conducting the researches on bioregenerative life support system which is called Advanced Life Supporting System. The Food Processing and Nutrition (FP&N) System is an element of the Advanced Life Support System which is responsible for developing shelf food systems for space vehicles and long duration missions that use a combination of extended shelf life stored foods and raw food products produced from higher plants. FP&N System research addresses nutritional, psychological, safety, and acceptability requirements, while minimizing mass, volume, power, waste and trace gas emissions. In doing so, the FP&N System must address different mission scenarios that present challenges beyond conventional knowledge concerning food. Assurance of food quality and food safety is an essential component in the maintenance of crew health and well-being. Food quality and safety efforts should be focused on monitoring the shelf stability of processed food ingredients, on identification and control of microbial agents of food spoilage, including the development of countermeasures to ameliorate their effects.

**Key words:** advanced life support system, food processing and nutrition System, food, space, safety, well-being

#### 서 론

미국 우주 항공국(NASA, National Aeronautics and Space Administration)에서 보낸 화성 탐사 로봇 스피릿(Spirit)이 7개월에 가까운 우주여행 끝에 2004년 1월 4일 화성에 착륙하였고, 쌍둥이 탐사 로봇 오퍼튜니티(Opportunity)도 1월 25일 스피릿의 착륙 지점과 정반대인 메리디아니 고원에 착륙해 탐사

임무를 수행하고 있다. 이러한 착륙이 성공하기 이전에 2003년 유럽은 화성 탐사 착륙선 '비글 2호'를, 1999년에 미국은 화성 기상 탐사선(Mars Climate Orbiter)과 화성 극지 착륙선(Mars Polar Lander)을 잃었고, 이외에도 수많은 화성 탐사선이 통신두절이 되어 탐사 임무를 수행할 수 없었다. 이처럼 화성 탐사를 하기 위해 지구에서 화성까지 가는데 많은 시간이 걸리며, 예측하기 힘든 상황에 부딪치면 신속하게 대응하기 힘들기 때문에 무인으로 로봇을 조정해 화성 탐사를 하기가 용이하지 않아 사람이 직접 상황을 판단하고 대처할 수 있도록 유인 우주선을 보내야 한다고 주장하고 있다. 이를 위해서는 유인 우주선 내에 사람이 생존할 수 있는 시스템을

Corresponding author: Sukwon Kang, Quality and Safety Evaluation Laboratory, National Institute of Agricultural Engineering, Suwon 440-100, Kyonggi-do, Republic of Korea.  
Phone: 031-290-1908, Fax: 031-290-1930  
E-mail: skang@rda.go.kr

구축해야만 한다.

그동안 달까지의 우주 여행의 경우나 지구 주위를 여행하는 경우에는 그 기간이 짧아 필요한 음식, 산소, 물 그리고 기타 생존에 필요한 물자를 우주선에 싣고 갈 수 있었지만, 화성까지의 왕복 소요 시간은 3년여 이상으로 이 기간동안 우주선 승무원들이 소비할 산소, 물 그리고 식량의 양은 방대한 양으로, 이를 우주공간으로 쏘아 올리는 데는 많은 에너지와 경비가 요구된다. 또한 가공 식품만으로는 우주선 승무원들의 심리적 안정을 만족시킬 수 없기 때문에 가공되지 않은 신선한 야채와 곡물을 섭취할 수 있어야 한다. 이에, 우주선 승무원들이 필요로 하는 것들을 재생산이 가능하도록 하는 것이 더 경제적이며 실용적이기에 생명지원시스템(Life Support System) 구축에 대한 연구가 미국, 일본 그리고 유럽에서 활발히 진행 중이다.

이러한 시스템에 대한 연구를 위해, 음식을 마련하고, 정수하고, 산소와 식량을 생산하고, 발생된 폐기물들을 재처리할 수 있는 밀폐되고 모든 자원이 순환되는 공간으로 첨단생명지원 시스템(Advanced Life Support System)을 미우주항공국에서는 개발하고 있다. 이 시스템은 사람이 생활하는 공간(human), 생물생산(biomass production), 식품가공 및 영양공급 (food processing and nutrition), 그리고 폐기물 처리 및 재활용 시스템(waste processing and resource recovery)들로 구성되어 있다.

사람이 생활하는 공간은 사람들이 의식주를 해결하며 또한 업무를 수행하는 공간이며, 생물생산 시스템은 사람들이 먹을 식량을 공급하고, 호흡에 의해 발생한 이산화탄소를 광합성에 이용하고 산소를 발생시키고, 물을 정화하는 식물을 기르는 시스템이다. 식품가공 및 영양공급 시스템은 사람에게 요구되는 영양분과 식성에 맞도록 음식을 가공하는 시스템이다. 폐기물 처리 및 재활용 시스템은 생물생산에 필요한 자양분, 이산화탄소, 산소, 물 그리고 여러 자원을 재처리하여 활용할 수 있도록 해주는 시스템이다.

선진국들은 왜 화성 유인 탐사선에 수많은 연구비와 연구인력, 그리고 방대한 자원을 동원해 인간이 생존할 수 있는 시스템을 구축하려고 하는 것일까? 지구라는 생명지원시스템이 점차 그 자연적 기능을 상실하여 가고 있거나, 황폐화되어 가고 있다. 이러한 기능을 다시 되살리고 척박한 땅을 활용하고, 기존의 생태계를 보호할 필요성이 높아가고 있

다. 아무리 과학 기술이 발달되어도 인류가 생존하기 위해 필요한 공기, 물 그리고 음식은 꼭 필요한 것들이다. 이 시스템에 대한 연구에서 얻은 지식과 기술은 인류가 지구라는 생태계에서 살아가는데 필요로 하는 에너지, 식량, 물, 공기 등에 대한 전반적인 이해와, 다양한 농업, 환경, 생물학적, 그리고 생태학적 시스템에 적용할 수 있으며, 농업에 있어 친환경적 해결 방법에 활용할 수 있으며, 우리 인류가 직면하고 있는 식량난, 수자원 고갈 등과 같은 문제들을 해결하는데 도움이 될 것이다.

본 고에서는 미 우주항공국에서 지원하는 화성탐사사와 같은 장기 우주 체류시 인간의 생명을 지키기 위해 필요한 생명지원시스템에 대해 전반적으로 살펴보고, 식품 및 식품산업 관련분야에서의 현재까지의 연구개발과 발전현황에 대하여 살펴보고, 향후 전망에 대하여 논하였다.

### 첨단생명지원 시스템(Advanced Life Support System)

첨단생명지원 시스템은 밀폐된 생태학적 환경 내에서 식품, 공기 그리고 물을 재활용하고 생산하기 위한 물리화학적 방법 대신 생물학적 공정을 사용하기 위한 시스템이다. 광합성을 하는 작물은 사람에게 필요한 공기를 생성하고, 공기 중의 수분을 흡수하거나 배출하여 원하는 수분을 정화하여 공급해주고, 또한 씨앗이나 열매가 맺히면 이를 수확해 가공하면 식량으로 활용 가능하다. 수확 후 발생한 폐기물과 사람이 만들어 내는 폐기물을 다시 작물을 재배하기 위한 영양소로 재활용한다.

이처럼 첨단 생명지원 시스템은 사람이 생활하고 활동하는 공간, 식량, 산소, 그리고 물을 제공할 생물 생산, 수확한 작물을 가공할 식품가공 및 영양공급, 그리고 발생된 폐기물을 처리하고 재활용할 수 있도록 하는 폐기물 처리 및 재활용으로 구성되어 있다. 이 첨단 생명지원 시스템에 대한 연구는 생물생산 시스템, 식품가공 및 영양공급 시스템, 폐기물 처리 및 재활용 시스템 그리고 이들 각각의 시스템과 전체 첨단생명지원 시스템에 대한 시스템 연구 및 분석으로 이뤄져 있다(Fig. 1).

생물생산 시스템이란 지구상에서 작물을 재배하는 환경을 인공적으로 작물을 키울 수 있도록 만들어준 환경이다. 이를 위해 작물 성장 챔버 및 온실의 설계와 제작에 대한 연구를 수행하고 있다. 작

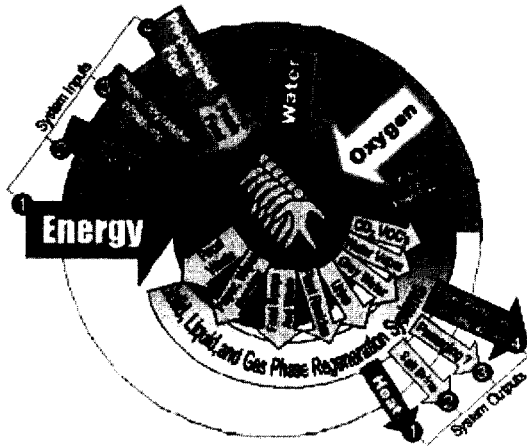


Fig. 1. A Schematic diagram of Advanced Life Support System.

물에 필요한 공기, 수분, 광, 온도, 그리고 자양분의 정확한 필요량, 이를 효과적이며 안정적으로 공급하는 환경조절시스템 등에 대한 연구가 이뤄지고 있다. 먼저 우주선 승무원이 필요로 하게 될 열량과 영양소를 근거로 재배할 작물들을 선정하여 각각의 작물 성장에 필요한 온도, 수분, 광, 공기, 및 자양분의 공급이 작물 성장에 미치는 영향을 분석하여 필요한 요소들이 안정적으로 공급되지 못할 때 대처방안들을 제시하고자 하였다(Logendra *et al.*, 2001). 작물 재배에만 우주선 승무원들이 매달릴 수 없기 때문에 자동화된 작물 재배를 위한 설계와 제작이 이뤄지고 있고, 작물의 성장에 대한 제어공학적 조절을 자동화하고(Logendra *et al.*, 2001), 기계 시각을 이용해 작물의 성장과 움직임을 모니터링할 수 있도록 하였다. 태양에너지에 의존한 전통적인 재배 방법은 양자 효율이 떨어질 뿐만 아니라 열 손실이 많다. 이를 해결하기 위해 작물의 유전자를 조작하여 전분생산성을 높이거나 낮은 광원 분포로 에너지 손실을 줄이기 위한 비전통적인 방법을 찾고 있다.

과거 우주인들의 식단은 대부분 미리 가공되어 먹기 편하도록 하였으나 우주인들이 식욕을 잃거나, 식사를 하지 않는 경우가 많아, 자연에서 얻은 곡식, 채소, 그리고 과일을 섭취함으로써 식욕을 얻고, 심리적으로 안정이 될 수 있도록 가공하고 또한 영양섭취가 충분할 수 있도록 할 필요성이 생겼다. 따라서 식품가공 및 영양공급 시스템에 대한 연구는 우주선과 장기 임무 수행 동안 저장 식품의 유통기한

을 안전하게 늘리고 수확한 곡물로부터 원하는 식품으로 가공하는 것이 중요한 일이다. 이를 위해 요구되는 질량, 부피, 에너지, 폐기물 그리고 유해 가스를 최소화하고, 요구되는 영양소를 공급하고, 심리적 안전, 안전성 그리고 다른 요구 조건들을 만족시켜야 한다. 이러한 요구 조건을 만족시키기 위해서는 관습적인 지식이나 방법을 넘어서 직면한 도전들을 해결해야만 한다. 현재로는 채식위주의 식단을 구성하고 새로운 음식들을 개발하고, 간단하게 음식을 가공할 수 있는 소형 압출기(extruder)와 같은 다용도 기능을 가진 식품 공정 기기들이 설계 제작되고 있다(Dhanasekharan과 Kokini, 2000; Prakash와 Kokini, 2000; Zasyplin과 Lee, 1998). 개발된 압출기에 쌀과 콩가루를 원료로 사용한 경우 발생하는 가스들에 대한 분석이 이뤄졌다(Vodovotz *et al.*, 2000). 장기 저장 시 음식의 성분 변화에 따른 유해여부에 대해서도 연구의 필요에 따라, 생물생산 시스템 팀에서 개발하거나 이용한 작물의 성분 및 특성을 분석하였다(Zasyplin과 Lee, 1999; Ioffe *et al.*, 2002).

우주선 승무원 한 명이 매일 유발하는 쓰레기의 양은 30 kg으로 주로 입안과 몸을 씻고, 세탁하고, 설거지하고 발생하는 하수, 소변, 공기 중에서의 응축된 물, 그리고 작물에서 발생한 폐기물과 같이 재활용이 가능한 것을 포함한 양이다. 이외에도 재활용이 불가능한 쓰레기로는 에너지, 미리 포장된 음식, 종이, 열, 남은 포장, 그리고 생분해가 되지 않는 것들이다. 이처럼 재활용이 가능한 대소변, 생활하수, 농작물 쓰레기의 흐름과 생물학적으로 재생이 가능한 시스템에 대해서는 화학적, 물리적 그리고 생물학적 특성을 항상 고려해야 한다. 이러한 폐기물 처리 및 재활용에 대한 연구는 폐기물의 대상을 기체, 물 그리고 고형 폐기물로 분류하여 인간이 생활하는 밀폐된 공간에서 발생하는 먼지나 가스는 어떠한 것들이 있고, 어떻게 순환하거나 정화할 것인지, 생명 생산 시스템 내에서 작물이 성장하는 동안 발생하는 가스의 영향, 각종 폐수의 재활용에 대한 연구, 그리고 각종 쓰레기를 어떻게 재활용할 것인지 등에 관해 연구를 하고 있다.

사람이 생활하는 공간에서는 각종 건축자재에서 발생하는 가스가 어떤 것들이 있는지, 인체에는 유해한지, 그리고 어떻게 제거하거나 처리를 할 것인지 등에 대한 연구가 이뤄졌다. 생명생산 시스템에서도 각종 가스가 작물의 성장에 미치는 영향에 대

한 정확한 연구와 농도 조절, 특히 작물성장에 민감하게 영향을 미치는 에틸렌 가스를 제거하고 농도를 조절하는 방법을 개발하였다(Werasak *et al.*, 2001). 또한 물리적-화학적인 농산물 폐기물 처리 대신 생물학적인 방법으로(Hogan *et al.*, 2000; Hogan *et al.*, 2002; Levri *et al.*, 2002) 안전하고 경제적인 방법을 이용하고자 퇴비에 대한 연구가 이뤄졌으며, 퇴비 조성, 운영 및 재활용 방법을 제시했다(Hogan *et al.*, 2001). 질소성분은 생물생산에 필요한 중요 성분으로 퇴비에서 발생하는 암모니아를 활용하도록 하였다. 또한 바이오 필터를 개발하여 각종 공기 내 오염물과 에틸렌, 암모니아와 같은 가스를 제거하도록 하였다(Russell *et al.*, 1998; Jitendra *et al.*, 1998; Tambwekar *et al.*, 1998).

생명지원 시스템은 복잡한 시스템으로 미리 시스템에 대한 계획, 분석, 설계 및 운영 등에 관한 자료가 시스템이 완성되어 잘못된 제작이나 운영에 의해 발생하는 경제적, 시간적 손실을 줄일 필요가 있다. 이를 위해 본 팀에서는 생명지원시스템 전체와 각각의 세부 시스템에 대한 시스템 공학적 분석과 각 세부 시스템에 필요한 모델을 개발하였다(Kang *et al.*, 2001).

현재의 기술을 바탕으로 한 생명지원 시스템은 시간이 지나면 다시 수정할 필요가 있기 때문에 시간이 지나고 새 기술이나 지식이 나오더라도 빠르게 대처할 수 있는 시스템 분석 기법이 필요하다(Rodriguez *et al.*, 2000). 따라서 생명지원 시스템의 설계 및 제작의 목표를 정하고 여러 연구진들의 연구 성과나 진척정도에 대한 분석이 이뤄졌다(Rodriguez *et al.*, 1997; Rodriguez *et al.*, 1998). 새로 발견되는 지식과 발전하는 기술에 대처하기 위해 객체지향적으로 생명지원시스템을 분석하고 모델들을 개발하였다. 이외에도 우주인이 생활하는데 필요한 산소, 물, 식량, 그리고 안전한 보호 시스템 등에 대한 분석이 객체지향적 기법으로 이뤄졌으며(Goudarizi *et al.*, 2002), 작물생산시스템에 대해서는 각각의 작물에 대한 성장모델 개발, 작물의 성장 조절에 대한 연구, 동일 공간에 여러 작물 재배에 대한 재배관리기술, 자동화, 기계화에 따른 시스템의 효율적이고 경제적인 운영에 대한 연구가 진행되었다(Fleisher와 Ting, 1998; Fleisher *et al.*, 2001; Fleisher *et al.*, 1999; Kang *et al.*, 2000; Kang *et al.*, 2000a; Kang *et al.*, 2000b). 식품가공과 영양분석 시스템에 관해서는 우주인들의 식단을 효율적으로

로 짜기 위해 식단의 영양가 및 필요 열량을 기준으로 생물생산시스템에서 생산해야 하는 수확량에 대한 분석을 경영정보 관리시스템 기법을 이용해 분석하였으며(Kang과 Both, 2001), 식단을 기준으로 필요로 하는 식품가공 기계, 필요한 자원 등을 객체지향적 기법으로 분석하고 예측할 수 있는 모델을 개발하였다(Hsiang *et al.*, 2000; Hsiang *et al.*, 2001; Kang *et al.*, 2000; Rodriguez *et al.*, 2000). 폐기물 처리 및 재활용 시스템에 대해서는 퇴비조성을 최적화하고(Kang과 Hogan, 2001), 퇴비를 효율적으로 생산하고 운영하는 방법에 대한 모델들을 개발하였다(Rodriguez *et al.*, 2001). 또한 물리-화학적 그리고 생물학적 폐기물 처리 방법 간의 장단점과 각각의 모델을 개발하여 보았다(Kang *et al.*, 1999; Kang *et al.*, 2000; Rodriguez *et al.*, 1999).

## 식품 시스템

식품의 품질과 안전성을 보장하는 것은 우주선 승무원의 육체 그리고 정신 건강에 필수적인 요건이다. 식품의 품질과 안전성에 대한 노력은 가공된 식품 성분의 유통기간 동안의 안정성을 감시하고, 식품 부패를 일으키는 미생물의 확인과 조절, 이러한 효과를 개선하기 위한 대비책의 개발 등에 초점을 맞추어야 한다. 모든 식품과 가공 공정에 대해 식품위해요소중점관리기준(Hazard Analysis Critical Control Points, HACCP)가 적용되어야 한다. 식품 시스템 개발 목표는 다음과 같다.

① 최소한 3년 동안의 임무 수행기간동안 우주선 승무원에게 공급할 영양분이 풍부하고 먹음직스러우며, 다양한 음식을 제공할 수 있는 식품 저장 시스템을 개발하고자 한다. 음식은 3에서 5년간의 유통기간동안 안전성, 만족성, 그리고 영양소를 유지할 수 있어야 한다. 유통기간의 연장은 새로운 식품 보존 방법과 포장에 의해 달성될 것이다.

② 포장된 음식에서 발생하는 쓰레기를 최소화하기 위한 새로운 포장 기술을 개발한다.

③ 최소로 가공된 야채를 만들어 내는 방법을 개발한다.

④ 마이크로 중력 상태에서 자동화되고 신뢰할 수 있으며, 안전하고, 승무원이 음식을 준비할 시간, 동력, 물, 질량 그리고 부피를 최소화 할 수 있는 작물을 가공할 설비를 개발한다.

현재 진행 중인 연구는 화성으로 가는 우주선과 달이나 화성에 설치할 기지에서 필요로 하는 식품 가공 시스템을 위해 우주 왕복선과 국제 우주 정거장(international space station, ISS)을 대상으로 이곳에서 필요로 하는 식품가공 시스템을 개발하고 있다.

먼저 그동안 개발되어온 식품 시스템에 대해 살펴보고 앞으로의 식품시스템에 대한 연구에 대해 언급하였다.

## 과거 우주 식품

### 머큐리(Mercury)

머큐리 프로젝트(1961년~1963년)가 미국으로서는 처음으로 지구 궤도에 인간을 올려 보낸 경우이다. 세 번의 지구 궤도 비행은 34시간까지였다. 존 글렌(John Glenn)이 1962년 세 번째 머큐리 임무에서 알루미늄 튜브 안에 담겨 있던 사과소스를 직접 먹은 것이 미국 우주승무원이 우주에서 음식을 먹은 첫 사례였다(Lane과 Rambaut, 1994; Nanz *et al.*, 1967). 포장 설계 요구조건을 충족시켜서 우주선 내에 어떤 음식 부스러기가 남지 않도록 하였다. 그러나, 치약같은 튜브에서 음식을 먹는 것은 먹는 사람이 먹는 동안 보거나 냄새를 맡지 못한다는 단점이 있어 못마땅해 하였다. 식품의 조직감도 튜브의 구멍과 튜브에 채워 넣는 기술에 의해 한정되었다. 튜브 안에 담긴 식품이외에도 큐브로 만들어진 음식도 사용되었다(Heidelbaugh, 1966). 먹을 수 있는 크기의 이들 큐브는 고단백질, 고용해질 지방, 설탕 그리고 과일이나 견과류의 고칼로리 혼합물이었다. 이들 식품도 튜브와 같은 문제점을 갖고 있었는데, 비록 설탕 과자를 설탕 큐브로 압축시킨 것과 같이 대응되는 식품과 처음에 성분들은 같았지만 유사한 조직감이나 입안에서의 느낌은 가지고 있지 않았다. 비록 우주 비행 전 시식에서 인기가 있었던 큐브로 된 식품이었어도 입도 대지 않은 상태에서 임무 수행 후 그대로 가지고 왔다. 냉동 건조된 분말 가루 또한 음식으로 제공되었지만 물을 다시 부어 먹기 힘들고 비산 가루가 장비를 망가트릴 우려가 있었다. 머큐리 승무원들에게 제공된 음식은 맛이 없다는 것은 모두 인정하였다. 머큐리 프로젝트 기간동안의 식품에 대한 연구 개발의 초점은 고열량, 영양분이 충분하고, 그리고 입에 맞는 음식이었다. 단기간의 임무 수행기간으로 특별히 음식을 저장할 설비가 없었다.

### 제미니(Gemini)

10번의 제미니 임무(1965년~1966년) 기간동안 두 승무원이 최대 2주간의 우주 여행을 하였다. 제미니 프로그램을 위해서는 포물리(formulation)와 포장에 포함된 음식이 설계되었다. 개인 당 2,500 kcal 열량을 함유한 메뉴로 무게와 부피가 제한되어, 농축된 음식이 강조되었다. 식품과 식품 포장에 대한 상세한 설명, 그리고 검사 과정이 최대한의 식품 안전을 위해 개발되었다. 제미니 우주선의 요구조건을 만족시키고, 영양, 감각 그리고 미생물의 필요조건을 충족시키는 음식에 대한 분석 방법이 설정되었고, 현재 전세계 식품 산업에서 널리 사용되는 식품위해요소중점관리기준(HACCP)이 적용되기 시작했다. 고습과 산소층 특성을 가진 포장 재질이 혹독한 우주 여행 동안 견딜 수 있는 것으로 개발되었다. 승무원들은 계속 한 입에 먹을 수 있는 크기의 큐브 혹은 튜브에서 음식을 찢어서 먹었다. 비록 음식이 지상에서의 실험에서 만족할 만 했으나, 비행 중 먹기에는 적합하지 않았고, 승무원들은 체중이 줄어들었다(Smith *et al.*, 1971).

### 아폴로(Apollo)

아폴로 프로그램(1968년~1972년)은 인간을 달에 착륙시키는 것이 목적이었으며 미국 우주 탐험 역사상 가장 활발한 우주 프로그램이었다. 초기 아폴로 프로그램에서 이용된 식품들은 제미니 경우와 유사했다. 하지만, 후기 아폴로 프로그램에서는 음식의 종류가 다양해 졌으며 식품의 중요한 설계 요소인 품질이 개선되었다(Smith *et al.*, 1975). 임무수행 기간이 길어질수록, 승무원이 음식을 먹는 것이 점점 더 중요해졌다. 음식을 먹지 않으면, 음식에 의해 제공되는 영양소는 사용될 수 없다. 더욱이 사람은 식사에서 다양한 음식을 좋아하고 선호한다.

후기 아폴로 임무기간에는 레토르트와 통조림이 사용되어 식품이 개선되었다. 식품을 증류기에 넣고 열로 살균처리하여 장기간 음식을 대기온도하에 저장할 수 있게 되었다. 아폴로 승무원들이 처음으로 온수를 사용할 수 있게 되어 음식에 쉽게 물을 부어 다시 수화(水化)시키고 음식의 맛을 개선시켰다. 그리고 처음으로 승무원들이 수저를 사용해 개발되어 있는 용기 위에 음식을 놓고 먹었다. 구부러지는 포장과 열안정화된 음식이 메뉴에 포함된 아폴로 8호부터 숟가락을 사용하기 시작했다. 아폴로 승무원들은 또한 우주 여행 역사상 처음으로 우

주 공간에서 방사선 처리된 음식을 먹었다(Bourland *et al.*, 2000).

초기 아폴로 프로그램에서 직접 포장에서 입으로 들어가는 문제를 해결하기 위해 그릇과 손가락이 포함된 포장이 개발되었다. 수분은 한 방향으로 되어 있는 수분 포트를 통해 공급되었다. 그리고 포장의 윗부분이 절단되고, 내용물은 손가락으로 떠먹었다. 비록 이는 보통의 식사 과정에 접근했지만, 한 손은 포장을 잡고, 다른 손은 수저를 잡아야 해서 양손이 필요하다. 이 수저-그릇 방식은 아폴로, 스카이랩, 아폴로-소유즈, 그리고 처음 네 우주 왕복선 임무에서 사용되었다. 스카이랩의 경우 임무 기간동안 프로그램 후반기에는 임무 수행기간을 늘리기 위해 포장된 음식만 공급됐다.

아폴로 프로그램을 위해 개발된 독특한 식품과 포장방법은 박 형태의 음식이다. 이는 우주선 승무원의 손을 사용하지 않고 우주복 안에서 사용될 수 있도록 설계되었다(Smith *et al.*, 1971). 포장된 바는 승무원의 팔뚝에 맞도록 되어 입에 닿을 수 있도록 하여 한 입씩 베어 물 수 있도록 되어있다. 이 과일 바는 과일 껍질로 압축되어 먹을 수 있는 전분 필름으로 포장되어 있다.

초기 우주 여행에서 사용된 식품 시스템보다 개선되고 향상되었음에도 불구하고, 아폴로 승무원들의 대부분은 충분한 영양소를 섭취하지 않았다. 적절한 영양소 섭취는 어울리는 음식이 익숙한 형태로 인간에게 제공될 때 가능하다는 것이 명백해졌다(Smith *et al.*, 1975).

## 스카이랩

스카이랩 프로그램(1973년~1974년)에서는 미국에 의해 우주 공간에서 매우 광범위한 신진대사 연구가 이뤄졌다. 스카이랩에서 얻어진 데이터는 아직도 우주에서의 기본적인 필요한 영양분 정보를 제공하고 있다. 비행임무 초기에 시도된 모든 음식은 분석을 위한 샘플로 제공되고 베이스라인을 설정해 준다. 또한 밀폐된 공간에 56일간 세 우주 승무원이 실험으로 음식을 먹어 보았다. 이들 실험에 사용된 음식은 37 개의 다른 영양소에 대해 분석되었다. 여섯 가지 영양소의 특별 함량 수준은 비행임무 중 초기 21일 그리고 후기 18일 동안 유지되었다.

1973년 스카이랩에서의 식품 시스템은 오늘까지 우주 공간에서 사용된 음식 시스템 중에서 가장 먹

음직스럽고 다양하였다. 6일간의 메뉴 사이클에 72 가지의 다른 음식을 선택할 수 있었다. 스카이랩은 냉동고, 냉장고 그리고 음식을 데우는 설비를 갖춘 첫 미국 우주 프로그램이었다(Fig. 2). 우주선내 냉동고에서 승무원들은 아이스크림, 필렛 미농, 그리고 가재를 먹을 수 있었고, 냉장고에서 찬 음료수와 후식을 먹을 수 있었다. 일반적으로 사용되고 있는 칼, 포크, 그리고 수저 이외에도 플라스틱 밀봉을 열기 위한 가위가 추가되었다(Turner와 Sanford, 1974).

기존의 다른 우주선과는 다르게 스카이랩은 식사를 할 수 있는 식당과 탁자가 사용될 수 있는 공간이 있는 큰 내부 공간이 있었다. 세 명으로 구성된 팀의 식사는 대단히 정상적인 업무 수행으로 탁자 주위에 있는 고정기에 발을 고정시키고 앉아서 식사를 하였다. 식탁은 음식을 미리 준비하기 위해 타이어가 장착된 음식 가열기가 설치되어 있었다. 결국, 스카이랩 승무원들은 지금까지 미국 우주 승무원들 중에서 가장 영양소를 잘 섭취한 기록을 갖고 있다.

스카이랩 프로그램을 위해 계획된 모든 음식은 초기 임무 과정 중에 발사되어 마지막 승무원들이 섭취했을 때는 2년 이상이 되었다. 결국 알루미늄 캔에 포장된 대부분의 음식은 2년의 유통기간동안 잘 보존되었다(Klicka와 Smith, 1982). 가열이 필요한 냉동 음식과 열안정화된 몇몇 품목은 가열동안 흘러지 않고 저중력 하에서 열기 용이하게 하기 위해, 뚜껑 아래에 막을 넣고 알루미늄 캔에 포장하였다. 모든 알루미늄 캔은 지구상과 우주선 상이 절

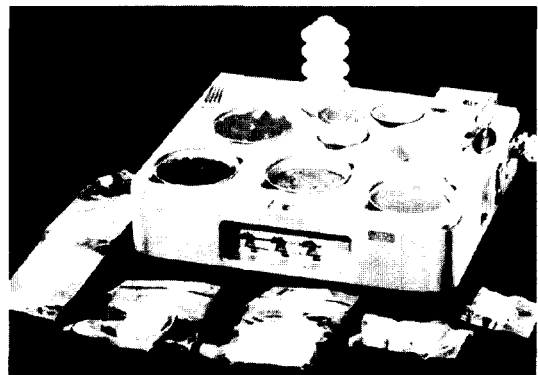


Fig. 2. Example of a Skylab Food Heating and Serving Tray (image MSFC-702604, available at <http://nix.nasa.gov/nix.cgi>).

대 압력이 14.7lb/in<sup>2</sup>에서 5.0 lb/in<sup>2</sup>로 바뀌는 것을 견딜 수 있도록 깡통 안에 밀봉되었다(Johnson, 1977). 스카이랩 식품의 질은 비록 임무 초기에 태양판이 퍼지지 않아 우주선 내 온도가 54°C까지 도달 한 적이 있었지만 2년 동안 변함이 없었다. 고온은 약간의 갈변을 일으켰지만, 높은 포장 경계로 인해 식품은 먹을 만했다. 비타민은 열에 의해 파괴될지도 모르는 양을 보충하기 위해 마지막 두 임무 수행을 위해서는 공급되었다. 스카이랩 4 임무는 56일에서 84일로 연장되었다. 고칼로리 바가 연장된 시간에 대해 대략 필요한 열량의 반을 제공하기 위해 개발 되었다.

### 현재 우주 식품

#### 우주왕복선

미 우주왕복선(1981년부터 현재까지)은 짧은 임무 기간과 저장공간과 전기 동력의 부족으로 냉동고와 냉장고가 없는 식품 시스템으로 되돌아갔다(Bourland *et al.*, 1993). 식판 위의 개방되어져 있는 용기에 음식을 담아 먹는 것을 기본으로 한 새로운 식품 시스템 개념이 사용되었다. 물을 넣은 포장된 음식은 식판에 놓고 먹을 수 있고, 수저-그릇 포장에 사용된 30 단계이상의 포장 구성 과정을 극복할 수 있도록 개발되었다. 수화(水化) 스테이션과 전통적인 오븐이 있는 취사실은 온·냉수를 첨가할 수 있게 해주었고, 음식을 제공할 수 있는 온도로 음식을 데울 수 있도록 되었다. 전 우주왕복선 프로그램을 통해, 식품 포장 공정은 단순화되고 자동화되었다. 수화와 음식 포장은 쓰레기를 줄이는 방향으로 조정되었다. 음료 포장은 얇은 포일 포장으로 대체되었고, 수화 음식 포장은 휘는 포장으로 대체되었는데 두 가지 모두 콤팩트하게 하였다. 새로운 포장 방법에 맞도록 식판도 조정되었다(Fig. 3).

우주 왕복선에 사용된 음식은 기존의 프로그램에서 개발된 것도 있지만, 대기 온도에 저장할 수 있는 일반 상업화된 식품을 사용하는 것을 강조하였다. 상업화된 제품의 사용은 장단점이 있는데 장점은 제품을 생산하는데 많은 노력이 필요치 않고, 승무원들에게 친숙하고 증명된 음식을 사용할 수 있다는 것이다. 단점은 상업화된 제품은 성분이 변하거나, 더 이상 생산하지 않을 수 있다. 또한 상업화된 제품의 영양성분은 권장량 이상의 설탕과 지방을 함유한다.



Fig. 3. Example of a food tray used aboard the Space Shuttle (image STS009-05-153, available at: <http://nix.nasa.gov/nix.cgi>).

우주왕복선에서 사용되는 연료전지(fuel cell)의 부산물로 생기는 물로 사용할 수 있어서, 음료수를 포함한 전체 식품의 50% 정도는 건조된 상태로 보관한다(Bourland, 1993). 건조된 식품은 식품에 따라 온수 혹은 냉수를 부어 원래상태로 되게 한다. 물의 양과 물을 부어 놓는 시간은 각각의 식품에 따라 다르기 때문에 포장지 겉면에 설명서가 붙어있다. 제공된 음식은 열안정화된 것, 방사선으로 살균한 것, 자연 그대로의 형태인 것 그리고 중간정도의 함유율을 갖는 음식이다. 부피와 질량을 줄이기 위해, 일반적으로 깡통에 저장하던 열안정화된 음식을 구부러지는 파우치에 넣었다. 이온화 방사선 조사로 살균된 방사선 처리된 음식도 똑같이 잘 휘는 파우치에 넣었다. 만일 필요하다면 이들 식품은 강제 열풍 대류 오븐 안에서 적정 온도까지 데울 수 있다. 땅콩, 과자, 그레놀라 바 같은 자연 형태 그대로의 음식과 건조된 과일 같은 중간 정도 함유율의 음식이 잘 휘는 파우치 안에 포장되었다. 중간 정도 함유율의 음식은 미생물이 성장하지 못하도록 수분함량을 제한하여 안정되게 하였다. 음료는 먹기 전에 다시 물을 부어 먹을 수 있도록 분말형태였다(Bourland *et al.*, 1982). 단기 임무와 우주선 내의 압력 조건 때문에 포장재의 경계와 강도를 약하게 해도 되었지만, 인화성과 가스가 발생하는 것은 엄격하게 규제하였다.

우주왕복선 프로그램에서 식품의 선택 수가 기존의 임무 경우 보다 훨씬 더 많아졌다. 모든 임무 수행을 위해서 우주선 승무원들에게 설문조사하고, 표준 메뉴를 설계하여 메뉴를 짰다. 네 번의 임무 수

행 후 우주선 승무원이 선택한 메뉴 플랜으로 발전되었다. 승무원들의 의견을 바탕으로 개개인에게 선호하는 메뉴로 짜여졌다. 이 메뉴 플랜은 모든 우주 왕복선 프로그램에 적용되었고 대부분의 승무원들에게 임무를 준비하는 데 매우 중요한 부분이다. 우주선 승무원들은 350개 이상의 식품 항목에서 그들이 원하는 메뉴를 선택할 수 있다. 각각의 메뉴는 함유된 영양소에 대해 영양사들이 분석하고 권장 영양소를 균형 있게 공급하기 위해 대체 음식이 추천되기도 한다. 현재 우주 왕복선 프로그램에서 제공되는 대부분의 식품들은 철분과 소금 함량이 높고 섬유소가 적다는 것을 제외하고는 권장 영양소를 만족시킨다. 하지만 우주 여행 중에 승무원들끼리 음식을 바꿔 먹거나 식료품 저장실에서 스낵이나 다른 음식을 골라 먹을 수 있어서 실제 섭취한 규정량은 비행 전 영양적으로 균형 있게 짠 메뉴와 다를 수 있다.

식품의 질이나 선택에 대한 우주선 승무원들의 불평은 매우 적었다. 그러나 다양한 식품, 개인적 선호된 메뉴, 냉·온수, 그리고 음식을 데우기 적당한 오븐에도 불구하고, 우주선 승무원들의 영양섭취는 충분하지 못했다(Lane *et al.*, 1994). 줄어든 영양섭취는 음식의 질과는 상관없고, 승무원들이 너무 바빠 충분한 양의 음식을 먹을 시간이 없었다. 단기간의 임무 수행으로 인한 우주 적응 증후군도 영향을 준 것으로 보인다.

## 국제 우주 정거장(international space station, ISS)

### 우주왕복선과 미르 우주 정거장

국제 우주 정거장 프로그램의 1 단계로 러시아와 미국간에 미르 우주정거장에서 미국 우주 승무원들이 일하고 살수 있다는 동의를 이뤄졌다. 이 임무를 통해 미국은 국제 우주 정거장의 초기 단계를 위한 장기 체류 연구와 경험을 얻을 수 있었다. 미국이 처음 참여한 미르 임무는 장기 체류 임무 1(Long Duration Mission 1, LDM-1)로서 소유즈 우주선에 미국인 한 명과 두 명의 러시아 우주인이 탑승하여 1995년 3월 미르 우주 정거장에 도착하였다. 미국 우주 승무원은 112일에서 188일까지의 기간 동안 미르 우주 정거장에 1998년 5월까지 체류하였다.

초기 프로그램에서는 러시아와 협상한 음식 플랜을 기초로 미르와 우주 왕복선 음식이 모두 사용되

었다. 미국과 러시아는 각각 반씩의 음식을 제공하였다. 미르 정거장에서 필요로 하는 음식은 모아서 러시아의 프로그레스 우주선과 미국 우주 왕복선 비행을 통해 운반되어 미르 정거장 식품 저장 컨테이너에 가득 채워졌다. 식품의 저장 기한은 최소한 9개월 이상이었다. 일반적으로 우주 왕복선 식품에 라벨링이 되어있지 않은 유통기한이 미르에 가져가는 모든 음식에 쓰여졌다.

미르 취사실에는 두 개의 음식을 데우는 히터가 있었다. 하나는 튜브, 캔 그리고 빵을 위해 각각 네 개의 벽이 있었다. 미르 승무원들은 우주왕복선의 물보다 온도가 약간 높아서 재수화할 수 있는 음식을 데우지는 않았다. 미르 음식 히터는 65°C 정도로 음식을 데울 수 있었지만 우주 왕복선 음식 포장과 맞지 않았다. 초기 우주 왕복선 임무에 사용되었던 여행용 가방 크기의 음식 데우는 기계가 미르의 전기 사양에 맞춰 변경된 후 미르로 운반해 우주 왕복선 음식을 데우는 데 사용되었다.

메뉴를 설계하기 전에 미르 우주 정거장에서 사용되던 샘플을 미국에서 영양 분석을 하였다. 이 분석에서 얻은 데이터를 사용해 메뉴를 짰다. 미국과 러시아는 승무원의 평가, 요구되는 영양분, 그리고 분석 데이터를 이용해 공동 임무를 위한 메뉴를 동의하였다. 철분과 소금을 제외하고는 기본 메뉴는 대부분의 요구 사항을 만족시켰지만 다양성은 한정되었다. 러시아의 무인 우주선 프로그레스와 왕복 우주선으로 배달된 신선한 과일과 야채 그리고 스낵이 메뉴의 다양성을 높였다. 미르에서의 메뉴 형태는 6일을 한 사이클로 하루 네 번의 식사로 A, B, C, D 식사로 구성되어 있다. 식사 A와 C는 러시아가 제공하고, 식사 B와 D는 미국이 제공한다. 그러나 식사 D는 하루 중 아무 때나 먹을 수 있는 간식으로 식사로 치지 않는다. 러시아는 세끼 식사는 2,500 kcal 그리고 간식은 500 kcal로 준비하였다. 모든 승무원들은 다양성이 제한되고 러시아와 미국의 음식이 혼합된 독특한 형태로 매우 스트레스를 받았다(Lane *et al.*, 1994).

### 국제 우주 정거장

국제 우주 정거장에는 현재 세 명의 승무원이 있을 수 있다. 임의의 탐험이나 임무가 주어지면 한 명 내지 두 명의 승무원이 미국에서, 다른 인원은 러시아에서 온다. 탐험 기간은 90일 이상을 통상 넘지 않지만 탐험 4(Expedition 4)의 기간은 189일이다.



국제 우주 정거장에서의 식품 시스템의 목표는 지구에서의 식품시스템에 가깝게 하고 기존의 식품 시스템보다 더 받아들일 수 있게 하는 것이다. 국제 우주 정거장의 식품은 우주 왕복선의 것과 유사하다. 건조되거나, 열안정화 되거나, 방사선 조사되거나, 중간 수분을 가지고 있거나 그리고 자연 그대로인 식품이 각각 포장되어 있다. 음식은 한 용기에 포장되어 실시간 메뉴 교환이 가능하고, 마이크로 중력 상태에서 다른 용기로 음식을 옮길 필요가 없게 했다. 우주 왕복선과는 다르게 국제 우주 정거장은 연료 전지 대신 태양 전지로 전기 동력이 공급되어 연료 전지에서 여분의 물 공급이 식품 시스템에 가능치 않다. 그래서 재 수화 식품 대신 열안정화된 식품에 더 초점을 두었다(Bourland *et al.*, 1989). 지난 3년간, 국제 우주 정거장 승무원들에게 더 많은 다양한 식품을 제공하기 위해 잔슨 우주 센터에 근무하는 식품공학자들이 55개의 새로운 식품을 개발해왔다.

임무 수행을 시작하기 전에 우주 승무원들은 국제 우주 정거장에 제공될 식품을 평가한다. 수용 가능성을 기준으로 영양소 권장량에 맞도록 메뉴가 개발된다. 승무원들은 이 메뉴를 심사하고 바꿀 수 있도록 하였다. 초기에는 메뉴 사이클이 6일이었는데 지금은 8일이다. 장기적으로는 10일 메뉴 사이클을 계획하고 있다. 초기 식단은 하루를 기준으로 구성되었는데, 승무원들의 요구로 음식 용기에 야채, 음료 그리고 주 음식과 같이 항목별로 구성하게 하여 식단 선택에 대한 재량권이 더 주어졌다.

이중 언어 표기와 영양소와 감각 정보를 교환할 수 있는 데이터 베이스가 국제 우주 정거장 식품 시스템을 위해 개발되었다. 러시아어와 영어로 된 내용물과 준비 설명서 라벨이 모든 식품을 위해 미국에 의해 준비되었다. 미국에 제공한 바코드 인식기로 라벨을 스캔하여 특정 비행 기간에 섭취한 식품에 대한 기록을 하도록 하여 신진 대사 연구에 이용할 수 있게 하였다. 모든 식품에 유효기간이 표시되었고, 유효기간을 넘긴 식품은 다른 쓰레기와 같이 빈 프로그레스 우주선에 실렸다가 우주선이 대기권에서 재진입하면서 대기권으로 던져져 소각 되도록 하였다.

국제 우주 정거장에 숙소 모듈 안에 있는 취사실에 냉장고와 냉동고를 설치할 계획이다. 냉동 식품 시스템은 일정 크기로 개인 취향에 맞도록 포장할 계획이다. 다섯 개 포장 크기가 한번의 식사에 적

당하도록 최적화되었다(Bourland, 1993).

## 미래 우주 식품

국제 우주 정거장 다음의 가능한 단계는 지구 궤도를 벗어나 인간이 우주에 장기 체류하는 것이다. 이러한 임무 수행 기간은 달 표면이나 다른 행성 위에 2년 반 이상일 것이다. 이러한 장기 탐험 임무를 위한 식품 시스템의 우선적인 목표는 먹음직스럽고, 영양 많고 그리고 안전한 식품 시스템을 제공하고 부피, 질량 그리고 쓰레기를 줄이는 것이다. 인간의 장기 탐험 임무에서 식품 시스템의 최고 중요성이 과소평가되어서는 안 된다. 장기 우주 임무 동안, 여러 생리적인 효과가 발생할 수 있다. 체중 감소, 액체의 변동, 탈수, 변비, 전해질 불균형, 칼슘 손실, 칼륨 손실, 적혈구 감소 그리고 우주 멀미 등이 생길 수 있다. 장기 임무로 인해 요구되는 영양소의 변화를 식품이 제공할 수 있다(Anon, 1996). 예를 들어 칼슘의 일일 권장량은 1,000 mg이지만 장기 우주 임무 중에는 일일 권장량이 1,000에서 1,200 mg이다. 반대로 철분의 일일 권장량은 우주공간에 의한 변화를 관찰한 결과 우주 여행 중에는 18 mg 대신 10 mg으로 낮다(Alfrey *et al.*, 2000). 물리적인 변화이외에도, 승무원들은 수면 장애, 고독감, 과민성, 타인에 대한 비평, 우월 강박관념, 두통, 낮은 사기, 근심, 개인적 적응 문제, 낮은 집중, 그리고 정신운동성의 방해 같은 정신적 변화를 겪게 될 것이다. 식품 시스템은 우주선 승무원들이 생존하는 데 필요로 하는 영양소를 공급할 뿐만 아니라 익숙하지 않고 성격에 맞지 않는 환경에서 익숙한 요소가 됨으로써 승무원들의 웰빙(well-being)을 향상시킨다.

식품 시스템의 만족은 장기 임무 수행과 우주 비행에서 관찰되는 부분적 에너지 보충에 더욱 중요하다(Lane과 Smith, 1998). 감소된 에너지 섭취량은 승무원의 생존을 심각하게 위협할 수 있다. 매우 다양한 음식 항목이 승무원들의 선택권을 제공하고 메뉴에 대해 물리지 않게 하기 위해 필요하다(Vodovortz *et al.*, 1997). 음식은 영양소를 제공할 뿐만 아니라, 식사시간은 중요한 사회화 이벤트를 제공한다. 크게 만족스러운 식품은 장기 우주 임무의 스트레스를 줄이는데 지대한 역할을 할 수 있다.

식품 시스템은 국제 우주정거장과 우주 왕복선에 필요한 기술에 더 초점을 맞춰 개발해 가면서, 점

차 장기 탐험을 지원할 수 있는 기술로 점차 초점을 맞출 것이다. 식품 시스템 개발은 이중 작업 접근 방식이 요구된다(Perchnok *et al.*, 2001). 즉, 이동 식품 시스템 (Transit Food System)은 이동하는 동안과 달이나 행성 지상에 초기에 머무르는 경우 필요한 식품시스템을 운반하는 경우이다. 달/행성 표면 식품 시스템(Lunar/Planetary Surface Food System)은 장기 지상 체류시 적절 영양분을 승무원들에게 제공하는 시스템이다. 이들 두 식품 시스템은 본질적으로 다르다. 이동 식품 시스템은 마이크로 중력 하에서 운영되고, 달/행성 표면 식품 시스템은 더 많은 유연성과 더 지구에서와 같은 작업이 가능한 부분 중력 하에서 운영된다(Fig. 4).

식품 시스템이 개발되어 가면서 공기 회수, 물 회수, 생물생산, 고품 폐기물 관리 그리고 열 조절 시스템과 점차적으로 통합하고 이들 시스템에 미치는 영향을 결정해주어야 한다. 다른 생명 지원 시스템이 필요로 하는 것과 구속되는 것들이 식품 시스템과 균형을 이뤄 장기 우주 임무 수행을 위해 잘 통합된 생명 지원 시스템을 제공할 수 있어야 한다. 식품 시스템은 전체 식품 시스템이 개발되어 감에 따라 동력의 이용가능성, 부피, 그리고 물의 이용가능성들을 고려할 필요가 있다.

**이동 식품 시스템**

**포장 식품 시스템**

이동 식품 시스템에 사용될 대부분의 식품 품목

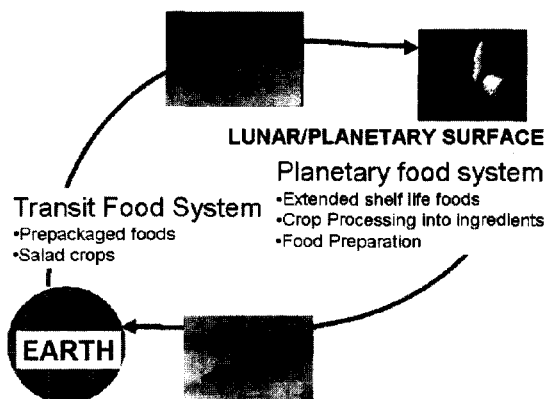


Fig. 4. The Food Processing and Nutrition System is a combination of two food systems: a prepacked transit food system and a lunar/planetary that includes processed crops.

은 우주 왕복선이나 국제 우주 정거장에서 사용된 것들과 유사한 식품을 미리 포장한 것이 될 것이다. 현재 보전 방법 이외에 고품질 식품을 제공할 다른 기술들이 고려되고 있는데 특히 이 방법들은 유통기한을 연장시키고, 만족도를 개선하고 영양소를 개선할 것이다.

2년 반 이상의 장기 임무를 위한 가장 큰 도전들 중에 하나는 3년에서 5년까지의 유통기한을 갖는 만족할 만한 음식을 제공하는 것이다. 유통기한은 식품의 질이 더 이상 유지되지 않을 때까지의 시간으로 정의할 수 있다. 의심할 여지없이 식품 안전성이 주요 고려 대상이다. 추가로 식품 시스템은 승무원들에 유일한 영양소의 공급원이기 때문에, 영양소의 손실은 유통기한에 도달한 시점에 발생한다. 또한, 유통기한은 외관 상태, 조직감 혹은 냄새와 같은 식품의 품질 요인의 변화로 결정할 수 있다.

포장 시스템에는 더 많은 것이 고려되어야 한다. 공정과 저장 조건, 부피 제한, 고품 폐기물 관리 시스템의 요구조건에 적합해야 한다. 이동 중에 발생하는 전체 쓰레기 중에 식품 포장이 차지하는 비중이 가장 높은 것으로 평가된다. 생분해되고, 재활용이 가능하거나 먹을 수 있는 포장재 사용으로 고품 폐기물 관리에 부담을 적게 주도록 해야 한다. 만일 많은 음식을 먹지 않아 버려지게 되면 고품 폐기물 관리 시스템에 심각한 영향을 준다. 임무 수행 기간동안 식품의 유통기한이나 식품의 안전성과 만족성을 유지하는 것이 매우 중요하다.

**샐러드용 작물**

신선한 상태로 먹을 수 있는 샐러드용 작물들 또한 이동 식품 시스템에 포함된다. 이들 신선 야채 작물은 또한 가공이 많이 필요치 않아 행성 표면에서 초기에 재배할 수 있는 작물로 고려되고 있다. 당근, 토마토, 상추, 무, 시금치, 배추, 양파 등이 고려되고 있는 신선 야채 작물이다(Barta *et al.*, 1999). 이들 작물은 메뉴의 다양성, 조직감 그리고 색을 제공한다. 이러한 다양성은 정신적으로 안정감을 증대시킨다.

**달/행성 표면 식품 시스템**

**작물 공장**

저장된 식품과 샐러드용 작물은 영구 생활 기지가 건설되기 전까지 달/행성에 머무는 초기 단계에

사용될 것이다. 임무 기간이 길어질수록 시스템 분석은 작물이 영구 기지 내에서 재배되어야 하고 메뉴의 기본적 구성요소여야 한다. 일단 행성 표면에 기지가 건설되면, 작물은 수경재배 방법으로 재배될 것이다. 더 많은 작물이 이용 가능하게 되면, 식품 시스템은 수확한 작물에서 가공된 재료로 준비된 식품으로 포장 식품의 일부를 대신 할 것이다. 이들 작물은 음식물의 제공원일 뿐만 아니라 산소와 이산화탄소의 생물적 발생 또한 제공한다(Barta와 Henninger, 1994). 제안된 작물은 감자, 고구마, 밀, 콩, 땅콩, 쌀 그리고 강낭콩이다. 이 식품 시스템은 식품공정 과정의 설계와 개발 그리고 작물로부터 대량 식품 재료로 변환할 장비에 의해서 생물생산 시스템에서 자라는 작물의 이용을 최대화할 것이다(Barta et al., 1999).

식품 공정 기술은 임무의 제한, 즉, 식품 안전성과 만족성, 그리고 승무원 작업시간, 저장 부피, 동력, 물의 사용과 유지 스케줄을 최소화해야 하는 제약성을 만족시켜야 한다. 기기와 공정 지역은 쉽게 청소되고 살균되어야 한다(Vodovotz et al., 1997).

식품 시스템은 작물의 다양성에 의한 제약과 승무원 식사를 만들기 위한 요구사항 간의 균형을 이뤄야 한다. 작물의 품질, 수확량, 그리고 영양분 성분의 변동이 예상되는데, 수경재배 양액 안의 영양분의 변동은 수확된 작물의 성분에 영향을 줄 것이다. 결국 생산된 재료의 기능성(functionality)에 영향을 줄 것이고, 최종 식품 산물의 성능에 영향을 줄 것이다. 가장 큰 고려사항은 재활용이 불가능한 수확된 작물이 적은 양의 음식을 제공하고 결국 승무원들에게 영양 결핍을 가져올 가능성이 있다. 더욱이 식품으로 사용하지 않은 부분은 더욱 고품질 폐기물 관리 시스템에 무리를 가져올 수 있다. 작물이 효과적으로 이용되는 것을 확실히 하기 위해서, 근사 방법을 근거로 재료의 기능성을 예측하기 위한 실험 방법이 개발되어야 한다. 결국 식품 준비 과정의 개량이 효력을 발휘할 것이다 (Vodovotz and Barta, 1998).

작물의 기능성에 있어서의 변화의 예는 수경 재배로 자란 밀의 단백질 함량이 일반 포장에서 자란 밀보다 많을 것으로 예상된다. 고 단백질 함량은 밀가루 반죽의 혼합 시간을 증가 시킬 뿐만 아니라 이 밀가루에서 만들어진 빵과 국수의 품질에도 영향을 준다. 수경 재배된 밀의 기능성을 결정하기 위한 연구과제가 진행 중인데, 밀의 단백질을 정량화

하고, 특성을 찾아내고 만족할 만한 밀가루 빵이 준비되도록 노력하고 있다.

다른 생명 지원 시스템에 주는 식품 시스템의 영향을 지속적으로 고려해야 한다. 사용된 모든 물은 재활용되어야 하기 때문에 식품가공기계는 식품 공정 중에 사용하는 물의 양을 최소화하도록 설계되어야 한다. 상업적으로 이용 가능한 식품 가공 장비는 물의 사용을 최소화할 것을 요구하지 않기 때문에 식품 시스템에 사용하기 전에 심각하게 변경할 필요가 있다. 만일 상업적으로 이용 가능한 장비가 변경이 가능하지 않다면, 식품가공기계는 새로 재설계되어야 한다. 이러한 시도는 식품 공정 중에 물의 재활용을 가능하게 한다. 또한, 공정 장비는 물의 사용과 버릴 물을 최소화하면서 쉽게 세척할 수 있어야 한다. 버리게 되는 물에는 재활용 가능한 영양소를 포함하고 있기 때문에 버리는 물에서 최대한 많은 양의 영양소를 수거하기 위해 필터를 거쳐 재활용된다. 공기 오염과 소음은 최소화한다.

부피와 질량을 최소화하기 위해 다목적 식품가공기계가 개발되고 있다. 다목적 장비의 예는 두유, 두부, 콩비지 그리고 유장 가공기계(STOW)이다(Fig. 5). STOW는 콩으로부터 모든 사용 가능한 재료를 만드는 데 사용될 수 있다. 최소한의 변경으로 STOW는 조직감이 부드러거나 단단하거나 혹은 더 단단한 순두부 혹은 보통 두부를 생산할 수 있다. 첫 시작기가 제작되어 현재 시험 중에 있다. 이 STOW 시작기의 실험을 기초로 개선된 STOW가 설계되고 만들어질 것이다. 가능성이 있는 다른 식품 가공기계는 글루텐/전분 분리기, 껍질 분리기/부유기, 템페(tempeh) 가공기, 제분기, 스팀기, 착유기 그리고 사출 성형기 등이다(Toerne et al., 2001). 몇몇

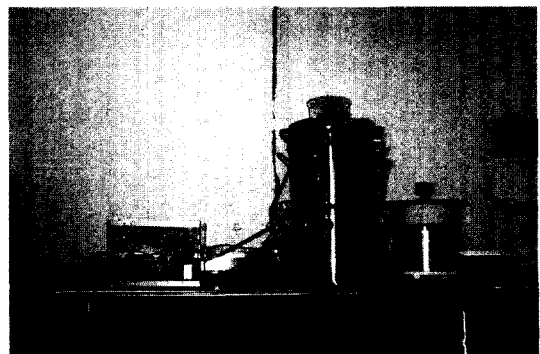


Fig. 5. Developed STOW prototype.

장비는 모터 같은 부품을 같이 공유하여 부피와 질량을 줄였다.

### 음식 준비

달/행성 식품 시스템의 마지막 과제는 취사실에서 음식 준비이다. 재공급되는 품목이외에 가공된 작물로 만들어진 식품과 함께 식단이 짜질 것이다. 재공급되는 항목들은 최소화할 것이다. 이들 개발된 조리법은 승무원의 시간을 최소로 이용하고, 안전하고 영양 많고 만족스러운 식품 시스템을 제공할 것이다. 식단은 승무원들이 지겨워하지 않도록 충분한 다양성을 제공할 것이다.

여러 품목들이 취사실에서 음식 준비하는 동안 사용될 수 있는 가능성이 있는 것으로 판명되었다. 마이크로웨이브/대류 오븐, 건조기, 빵 제조기, 국수 제조기, 주서, 식품가공기, 베이글 제조기, 믹서, 쌀 밥솥, 계량기 그리고 건조 오븐이 그런 품목들이다. 이들 품목들 중 몇몇 기계는 장기 탐험 임무에 사용되기 전에 약간의 조정이 필요하다.

저장 조건과 메뉴 품목의 저장을 위한 수용 가능한 식품 포장도 결정될 것이다. 포장은 유통기한과 사용을 극대화하면서 무게와 부피를 최소화할 수 있어야 한다. 승무원 작업 시간은 식품 준비와 이후의 청소와 살균을 포함한 취사실에서의 공정을 최소화해야 한다. 식품 준비 동안 식품 시스템에 의해 먹을 수 있는 물의 필요, 버리는 물, 그리고 고품 폐기물 발생 양들이 다른 생명 지원 시스템과 통합하여 결정되고 제공될 것이다.

## 결 론

화성탐사를 위한 식품 시스템 설계를 위해 먼저 식품 시스템이 우주선 승무원들의 생존을 위해 필요한 첨단 생명 지원 시스템의 필요와 각 세부 시스템에 대해 살펴보고, 식품 시스템의 발전과 앞으로의 발전방향에 대해 살펴보았다. 식품의 품질과 안전성을 보장하는 것은 우주선 승무원의 육체 그리고 정신 건강에 필수적인 요건이다. 처음의 튜브 식품에서 많은 진척이 있어 왔으며 앞으로 장기 임무 수행을 위해 더 많은 진척이 있을 것이다. 달이나 행성에서의 미래의 임무를 수행하기 전까지 수많은 시간이 지나갈 것이고 많은 일들이 생길 것이다. 행성 임무에서 언급한 재활용 이슈는 지구에도 적용할 수 있다. 또한 HACCP이 식품공정에 적용

되듯이 또한 새로이 개발된 식품과 장비 그리고 공정 등이 일반 식품 산업에 소개되었고 우주 식품 시스템을 위한 연구는 일반인들에게도 그 혜택이 주어져 왔으며 앞으로도 그럴 것이다. 어떻게 인간의 건강과 정신건강을 유지하는가 하는 것은 식품 과학자와 식품 산업 종사자들에 의해 그 연구가 계속될 것이다. 이 연구의 대부분은 식품과 식품의 성분, 식품 생산 공정, 식품 기계 등이다. 앞으로 개발될 식품 시스템을 예측하는 것은 쉽지 않다. 그러나, 안전하고, 영양가 많고 만족스러운 식품을 제공하는 것일 것이다.

## 문 헌

- Alfrey, C.P., L. Rice and S.M. Smith. 2000. Iron metabolism and the changes in red blood cell metabolism. In: Lane, H.W., and D.A. Schoeller, eds. *Nutrition in spaceflight and weightlessness models*. New York: CRC Press
- Anon. 1996. *Nutritional requirements for International Space Station missions up to 360 days*. JSC-28038. Houston, TX: NASA Johnson Space Center
- Barta, D.J. and D.L. Henninger. 1994. Regenerative life support systems why do we need them? *Adv. Space. Res.* **14**(11): 403-410
- Barta, D.J., J.M. Castillo and R.E. Fortson. 1999. The biomass production system for the Bioregenerative Planetary Life Support Systems Test Complex: preliminary designs and considerations (paper 99012188). Paper presented at the Society of Automotive Engineers, Proceedings of the 29th International Conference on Environmental Systems
- Bourland, C., V. Kloeris, B. Rice and Y. Vodovotz. 2000. Food systems for space and planetary flights. In: Lane, H.W., and D.A. Schoeller, eds. *Nutrition in spaceflight and weightlessness models*. New York: CRC Press
- Bourland, C.T. 1993. The development of food systems for space. *Trends Food Sci. Tech.* **4**(9): 271-276
- Bourland, C.T., M.F. Fohey, R.M. Rapp and R.L. Sauer. 1982. Space Shuttle food package development. *Food Tech.* **36**(9):38-43
- Bourland, C.T., M.F. Fohey, V.L. Kloeris and R.M. Rapp. 1989. Designing a food system for space station freedom. *Food Tech.* **43**: 76-81
- Bourland, C.T., R.M. Rapp and M.C. Smith. 1977. Space Shuttle food system. *Food Tech.* **31**(9):40-41, 44-45
- Chen, B.Y. and H.W. Janes. 1997. Multiple forms of ADP-glucose pyrophosphorylase from tomato fruit. *Plant Physiology.* **113**(1): 235-241
- Chen, B.Y., Y. Wang and H.W. Janes. 1998. ADP-glucose pyrophosphorylase is localized to both the cytoplasm and plastids in developing pericarp of tomato fruit. *Plant*

- Physiology*. **116**(1): 101-106
- Dhanasekharan, M. and J.L. Kokini. 2000. Viscoelastic flow modeling in the extrusion of a dough-like fluid. *Journal of Food Process Engineering* **23**: 237-247
- Fleisher, D.H. and K.C. Ting. 1998. Top level model of the biomass production component of an Advanced Life Support System. *ASAE Paper No.* 98-4157
- Fleisher, D.H., K.C. Ting, M. Hill and G. Eghbali. 1999. Top level modeling of biomass production component of ALSS. *SAE Paper No.* 1999-01-2041
- Fleisher, D.H., S. Kang and K.C. Ting. 2001. Modeling and Control of Plant Production in Advanced Life Support Systems. *ASAE Paper No.* 014084
- Goudarzi, S., J. Cavazzoni and A.J. Both. 2002. Dynamic modeling of crew performance for long duration space missions. *SAE Paper No.* 02ICES-196
- Heidelbaugh, N.D. 1966. Space flight feeding concepts: characteristics, concepts for improvement, and public health implications. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* **149**(12): 1662-1671
- Hogan, J. A., R.M. Cowan, J.A. Joshi, P.F. Strom and M.S. Finstein. 1998. On the development of Advanced Life Support System maximally reliant on biological systems. *SAE Paper No.* 981535
- Hogan, J., S. Kang, J. Cavazzoni, J. Levri and C. Finn. 2000. A simulation study comparing incineration and composting in a Mars-based advanced life support system. *Life Support and Biosphere Science*. **7**(1): 107
- Hogan, J.A., J.C. Ramirez Perez, W. Lertsiriyothin, P.F. Strom and R.M. Cowan. 2001. Integration of composting, plant growth and biofiltration for Advanced Life Support Systems. *SAE Paper No.* 2001-01-2211
- Hogan, J.A., J.W. Fisher, M.P. Alazraki and J.A. Levri. 2002. Considerations in selection of solid waste management approaches in long-duration space missions. *SAE Paper No.* 2002-01-2476
- Hsiang H., S. Kang and K.C. Ting. 2001. Analysis tool for food processing and nutrition (FPN) subsystem in advanced life support systems (ALSS). *ASAE Paper No.* 013020
- Hsiang, H., S. Kang and K.C. Ting. 2000. Simulation of food processing and nutrition in Advance Life Support System. *ASAE Paper No.* 006002
- Ioffe, M.L., C.I. Moraru and J.L. Kokini. 2002. Influence of modified starches on the structure of beef jerky analog during storage. *Journal of Food Science*. **67**(2):682-687
- Jitendra, J., R.M. Cowan, J.A. Hogan, P.F. Strom and M.A. Finstein. 1998. Gaseous ammonia removal in biofilters: Effect of biofilter media on products of nitrification. *SAE Paper No.* 981613
- Johnston, R.S. 1977. Skylab medical program overview. In: Johnston, R.S., and L.F. Dietlein, eds. *Biomedical results from Skylab*. Washington, DC: NASA
- Kang, S. and J A. Hogan. 2001. Optimization of feedstock composition and pre-processing for composting in Advanced Life Support Systems. *SAE Paper No.* 2001-01-2297
- Kang, S. and A.J. Both. 2002. A management information system to study space diets. *Life Support and Biosphere Science*. **8**(3/4): 191-197
- Kang, S., H. Hsiang and K.C. Ting. 2000. Modeling Food Processing within Advanced Life Support Systems (ALSS). *Life Support and Biosphere Science*. **7**(1): 121
- Kang, S., J. Hogan and K.C. Ting. 1999. Modeling of waste processing and resource recovery components in Advanced Life Support Systems: Composting and Incineration. *ASAE Paper No.* 993097
- Kang, S., J. Hogan and K.C. Ting. 2000. Modeling of composting for waste processing and resource recovery in Advanced Life Support Systems. *Life Support and Biosphere Science*. **7**(1): 111
- Kang, S., K.C. Ting and A.J. Both. 2001. Systems studies and modeling of Advanced Life Support System. *Agricultural and Biosystems Engineering*. **2**(2): 41-49
- Kang, S., Y. Ozaki and K.C. Ting. 2000. Requirements for Mechanization, Automation, and Robotics System (MARS) within Biomass Production Systems (BPS) of an Advanced Life Support System (ALSS). *Life Support and Biosphere Science*. **7**(1): 122
- Kang, S., Y. Ozaki, K.C. Ting and A.J. Both. 2000. Automation for Biomass Production within Advanced Life Support Systems. 2nd IFAC/CIGR International Workshop on Bio-Robotics, Information Technology and Intelligent Control for Bioproduction Systems, Sakai, Osaka, Japan (November 25-26, 2000): 275-280
- Kang, S., Y. Ozaki, K.C. Ting and A.J. Both. 2000. Identification of appropriate level of automation for biomass production systems within an Advanced Life Support System. *ASAE Paper No.* 003075
- Klicka, M.V. and M.C. Smith. 1982. *Food for U.S. manned space flight. Technical report Natick TR82/019*. Natick, MA: US Army R&D Center
- Lane, H.W. and P.C. Rambaut. 1994. Nutrition. In: Nicogossian, A.E., C.L. Huntoon, and S.L. Pool, eds. *Space physiology and medicine*. Philadelphia: Lea and Febiger
- Lane, H.W. and S.M. Smith. 1998. Nutrition in space. In: Maurice, S., J.A. Olson, and M. Shike, eds. *Modern Nutrition in Health and Disease*. Williams & Wilkins. pp. 783-788
- Lane, H.W., S.M. Smith, B.L. Rice and C.T. Bourland. 1994. Nutrition in space. Lessons from the past applied to the future. *Am. J. Clin. Nutr.* **60**: 801S-805S
- Levri, J.A., M. Alazraki, J.A. Hogan and J.W. Fisher. 2002. Requirements development issues for Advanced Life Support Systems: Solid waste management. *SAE Paper No.* 2002-01-2479
- Li, X., J. Xing, T.J. Gianfagna and H.W. Janes. 2002. Sucrose regulation of ADP-glucose pyrophosphorylase subunit genes transcript levels in leaves and fruits. *Plant Science*. **162** (2): 239-244

- Logendra, L.S., T.J. Gianfagna and H.W. Janes. 2001. Using mini-rockwool blocks as growing media for limited-cluster tomato production. *Horttechnology*. **11**(2): 175-179
- Logendra, L.S., T.J. Gianfagna, D. R. Specca and H.W. Janes. 2001. Greenhouse tomato limited cluster production systems: crop management practices affect yield. *Hortscience*. **36**(5): 893-896
- Nanz, R.A., E.L. Michel and P.A. Lachance. 1967. Evolution of space feeding concepts during the Mercury and Gemini space programs. *Food Tech*. **21**(12):1596-1602
- Perchonok, M., E. Vittadini, B. Swango, M. Toerne and L. Peterson. 2001. Bioregenerative Planetary Life Support Systems Test Complex (BIO-Plex) food processing system; a dual task approach (paper 0123212001). Paper presented at the Society of Automotive Engineers, Proceedings of the 31st International Conference on Environmental Systems
- Prakash, S. and J.L. Kokini. 2000. Estimation and prediction of shear rate distribution as a model mixer, *Journal of Food Engineering*. **44**: 135-148
- Rodriguez, L.F., C. Finn, S. Kang and J.A. Hogan. 2001. Modeling of a composting system within BIO-Plex. *SAE Paper No.* 2001-01-2323
- Rodriguez, L.F., H.-H. Hsiang and K.C. Ting. 2000. Top-Level modeling of food processing and nutrition (FP&N) component of Advanced Life Support System (ALSS). *SAE Paper No.* 2000-01-2262
- Rodriguez, L.F., K. Chao and K.C. Ting. 1998. Object oriented tool for ALS project analysis on the internet. *SAE Paper No.* 981753
- Rodriguez, L.F., K.C. Ting and K. Chao. 1997. Information flow analysis of NJ-NSCORT. *SAE Paper No.* 972293
- Rodriguez, L.F., S. Kang and K.C. Ting. 2000. Top Level modeling of an ALSS utilizing object oriented techniques. Manuscript Number F4.3-0003. 33RD COSPAR Scientific Assembly. Warsaw, Poland. (July 16-23, 2000)
- Rodriguez, L.F., S. Kang, J. Hogan and K.C. Ting. 1999. Top-Level modeling of waste processing and resource recovery component of an ALSS. *SAE Paper No.* 99-01-2044
- Russell, J.F., R.M. Cowan, D.A. Vaccari and J. Jitendra. 1998. Modeling ammonia removal in biofilters: Physical and chemical calibration. *SAE Paper No.* 981591
- Smith, M.C., C.C. Huber, and N.D. Heidelbaugh. 1971. Apollo 14 food system. *Aerospace Med*. **42**(11): 1185-1192
- Smith, M.C., N.D. Heidelbaugh, P.C. Rambaut, R.M. Rapp, H.O. Wheeler, C.S. Huber and C.T. Bourland. 1975. Apollo food technology. In: *Biomedical results of Apollo*. Washington, DC: US Government Printing Office
- Tambwekar, J., R.M. Cowan, J. Joshi, P.F. Strom and M.A. Finstein. 1998. Removal of trace concentrations of Ethylene from air by biofiltration: Preliminary results. *SAE Paper No.* 981614
- Toerne, M.E., B. Swango, I. Byford and M.H. Perchonok. 2001. Food processing systems for long-term planetary missions: the design of a prototype for soy processing (paper 012322). Paper presented at the Society of Automotive Engineers, Proceedings of the 31st International Conference on Environmental Systems
- Turner, T.R. and D.D. Sanford. 1974. *Skylab food system TMX-58139*. Houston, TX: NASAJSC
- Vodovotz, Y. and D. Barta. 1998. Wheat processing in an enclosed environment: hydroponically grown wheat to bread. *Life Support Biosphere Sci*. **5**(1):79-81
- Vodovotz, Y., C.T. Bourland and C.L. Rappole. 1997. Advanced life support food development: a new challenge (paper 972363). Paper presented at the Society of Automotive Engineers, Proceedings of the 26th International Conference on Environmental Systems
- Vodovotz, Y., D. Zasytkin, W. Lertsiriyothin, T.C. Lee and C.T. Bourland. 2000. Quantification and characterization of volatiles evolved during extrusion of rice and soy flours. *Biotechnology Progress*. **16**(2): 299-301
- Weerasak L., B. K. Khoo, J. Lech, T. G. Hartman, J. A. Hogan, R. M. Cowan, L. S. Logendra and S. Kania. 2001. A Technique for measurement of Volatile Organic Compound (Voc) emission rates from small salad crops. *SAE Paper No.* 2001-01-2427
- Zasytkin, D.V. and T.C. Lee. 1998. Extrusion of soybean and wheat flour as affected by moisture content. *Journal of Food Science*. **63**(6): 1058-1061
- Zasytkin, D.V. and T.C. Lee. 1999. Extracellular ice nucleators from *Pantoea ananas*: effects on freezing of model foods. *Journal of Food Science*. **64**(3): 473-478