

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 42(12), 1037-1044(2014)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.12.1037

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

KAU 기계적 달 복제토 개발 및 달착륙선 착륙장치의 낙하시험

유석호\*, 김현덕\*, 임재혁\*\*, 박정선\*\*\*

Development of KAU Mechanical Lunar Simulants and Drop Test of Lunar Landing Gears

Seok-Ho Yoo\*, Hyun-Duk Kim\*, Jae Hyuk Lim\*\* and Jung-Sun Park\*\*\*

Department of Aerospace and Mechanical Engineering, Graduate School at Korea Aerospace University\*

Korea Aerospace Research Institute, Satellite Structure Team\*\*

Department of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University\*\*\*

ABSTRACT

In this study, we designed a drop test system considering lunar surface environment and tested landing gear of experimental lunar lander. The lunar lander would be landed at soil place for soft landing. When the lunar lander touches down, the acceleration of the lander is largely affected by mechanical characteristics of the lunar soil. Accordingly, a drop test using lunar soil is needed to verify the performance of the lunar landing gear. Because the lunar soil is not available generally, we developed a lunar simulant KAUMLS(Korea Aerospace University Mechanical Luna Simulant) based on mechanical properties of the lunar soil of NASA's LUNA PROJECT. In addition, drop tests on steel plate and dry sand are performed to evaluate impact characteristics by the surface environment.

초 록

본 연구에서는 달환경을 고려한 달착륙선 충격흡수장치의 시험장치 구성 및 시험을 수행하였다. 달착륙선은 착륙 시 충격 완화를 위하여 토양이 있는 지역을 착륙지점으로 선정한다. 착륙 시 발생하는 달착륙선의 가속도는 착지면의 특성의 영향을 받아 결정된다. 달착륙선의 충격흡수장치의 시험에서 달 토양을 직접 사용할 수 없기 때문에, 복제토를 사용하여 착륙시험을 수행해야 한다. 본 연구에서는 NASA의 달탐사 프로젝트를 통해 획득된 달 토양의 정보를 기반으로 달 토양과 기계적 성질이 유사한 달 복제토 KAUMLS를 개발하여 달착륙선 충격흡수장치의 낙하시험을 수행하였으며, 지면특성에 따른 충격특성 분석을 위하여 단단한 철판과 건조된 모래위에서의 낙하시험을 수행하였다.

**Key Words :** Shock absorber(충격흡수장치), Lunar landing gear(달착륙선 착륙장치), Drop test(낙하시험), Lunar Simulant(달 복제토)

1. 서 론

달 탐사 프로젝트는 달 자원의 확보와 우주산

업의 개발을 위한 목적으로 2000년대 이후 제 2의 성장기에 접어들어 우주 선진국에서는 달 탐사 연구에 적극적으로 참여하고 있다. 우리나라

† Received : August 8, 2014 Revised : October 23, 2014 Accepted : October 28, 2014

\* Corresponding author, E-mail : jungsun@kau.ac.kr

는 2013년 대한민국 최초의 우주 발사체 KSLV-I (Korea space launch vehicle-I)의 발사성공으로 우주 선진국으로 도약 할 수 있는 기틀을 마련했으며, 국가우주개발진흥 기본계획에 따라 2020년대에 한국형 발사체를 이용한 달 궤도선 및 달착륙선의 발사가 예정 되어있다.

달착륙선의 착륙장치는 달 지면 도달 시 발생하는 충격으로부터 탑재장비를 보호하기 위해 충격흡수장치가 장착되며, 충격흡수장치의 성능 시험을 위해 낙하시험이 수행되고 있다[1][2]. 충격흡수장치의 낙하시험에서 달 토양을 모사하기 위한 방법으로 단단한 철판과, 건조된 모래를 낙하지면으로 활용한 낙하시험이 수행되고 있으나, 이는 실제 달 토양 특성과 차이를 보인다[3]. 이에 따라 본 연구에서는 달 토양을 모사하기 위해 달 토양의 입도분포와 입자들 간의 결합력이 유사한 달 복제토를 개발하였으며, 이를 낙하지면으로 사용하여 달 토양의 특성을 고려한 낙하시험을 수행하였다. 또한 이에 대한 비교를 위해 단단한 철판과, 건조된 모래위에서의 낙하시험을 통해 그 적절성 여부를 판단하였다.

## II. 기계적 달 복제토 개발

### 2.1 달 토양 모델

달의 표면으로 알려져 있는 달 표토(lunar regolith)는 태양에너지 노출에 의한 화학적 변형과 운성충돌로 인한 물리적 변형을 거친 돌과, 미네랄, 유리파편의 혼합물로 주로 각력암(breccia) 파편의 먼지형태로 존재하여 약한 결합력을 갖는다. 또한 달 표토의 깊이는 측정 지역마다의 차이를 보이나 0.2~3.0 m 깊이의 부드러운 표토와 그의 단단한 표토로 구성되어 있다.

달 토양의 충격시험과 관련된 기계적 특성은 bearing capacity의 영향을 가장 크게 받는데, bearing capacity( $k$ )는 식 (1)에서와 같이 정의되며, 식 (1)에서  $q$ : 접촉면에 작용하는 압력,  $d$ : 압입된 깊이이다.

$$k = \frac{q}{d} \tag{1}$$

달 탐사 프로젝트를 통해 측정된 달 표면의 bearing capacity 분포는 Fig. 1과 같이 4.0~6.0 kPa/cm 와 8.0~20.0 kPa/cm 범위에서 주로 분포한다[4][5].

착륙 시 토양이 풋 패드에 전달하는 하중을 예측하기 위해서는 bearing capacity를 이용할 수

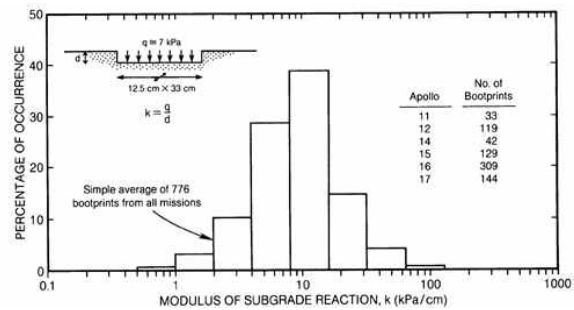


Fig. 1. Comparison of load bearing capacity for lunar surface[5]

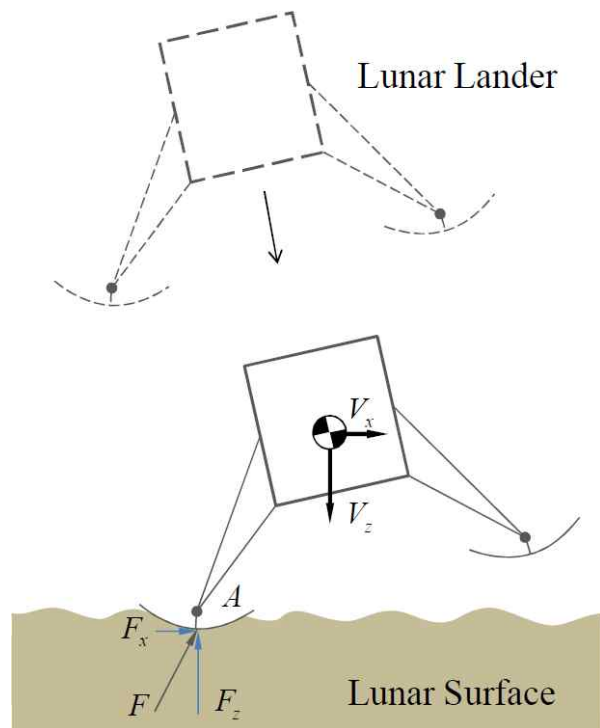


Fig. 2. Touchdown model on lunar surface

있다. 하지만 bearing capacity는 정적 환경에서 예측되기 때문에 충격하중이 가해질 경우 토양의 bearing capacity는 변화하게 된다.

충격이 진행되는 동안의 풋 패드에 전달되는 하중  $F$ 는 그림에서와 같이  $F_x$ 와  $F_z$ 의 합으로 나타낼 수 있으며 식 (2)와 같다.

$$F = F_z + F_x \tag{2}$$

착륙장치 풋 패드에 수직방향으로 작용하는 힘인  $F_z$ 는 정적 환경에서 측정된  $k_1$ (bearing capacity)와 함께 파여진 깊이( $z$ )와 속도에 따라 결정되는 보정 bearing capacity인  $k_2, k_3$ 를 정의할 경우 식 (3)에서와 같이 나타낼 수 있으며, 여

기서  $A_z$ 는 풋 패드의 면적이다. 동일한 방법으로 토양에 수평한 방향인  $x$ 방향에 대하여 식을 정리하면, 식 (4)과 같이 나타낼 수 있으며, 식 (4)에서  $k_4$ 는 정적 상태에서 수평방향의 bearing capacity이며,  $k_5$ 와  $k_6$ 은 깊이 및 속도에 따라 결정되는 보정 bearing capacity이며,  $A_x$ 는  $x$ 방향에서 바라본 풋 패드의 면적이다.

$$F_z = A_z z [k_1 + k_2 z + k_3 \dot{z}] \quad (3)$$

$$F_x = A_x z [k_4 + k_5 x + k_6 \dot{x}] \quad (4)$$

식 (3~4)와 같이 착륙이 진행되는 동안 풋 패드에 작용하는 하중은 압축 변위 및 속도에 따라 변화하여 충격 시 발생하는 충격 가속도 및 하중을 예측하기 위해서는 달토양을 고려한 착륙시험이 요구된다.

### 2.2 달 복제토 KAU Mechanical Lunar Simulant 개발

달 탐사와 관련된 연구가 진행됨에 따라 달 환경 구현을 위한 달 복제토 개발 연구의 중요성이 부각되고 있으며, 이에 따라 우리나라를 비롯해 미국, 일본, 중국, 캐나다 등의 국가에서 Table 1과 같은 달 복제토를 개발하였으며, 지속적인 연구가 수행되고 있다[7]. 기존 연구에서 달 복제토 연구의 주목적은 달 기지의 건설의 위한 연구의 일환이었다. 이에 따라 기존의 복제토는 기계적 화학적 성분을 모두 모사하여 개발되었다.

본 연구에서 개발하고자 하는 달 복제토는 충격시험 사용목적으로 충격흡수 성능에 관여하지 않는 화학적 성분은 고려하지 않고 입자크기 (grain size)와, 입도분포, 입자밀도 등 기계적 성질만 만족하는 달 복제토를 개발하였다. 복제토 개발에서 기준으로 사용한 달 토양의 샘플인 lunar soil 14163의 입도 분포는 Fig. 3과 같으며, bearing capacity는 4.45 kPa/cm이다.

본 연구에서는 달 복제토 개발을 위하여 6종류의 표준체를 선정하였다. 표준체 격자(sieve sizes) 크기를 기준으로 Table 2의 sieve sizes를 결정하였으며, Fig. 3을 분석하여 각 범위에 해당하는 토양의 비율을 Table 2와 같이 나타내었다.

Table 2를 기준으로 표준체를 이용하여 체분석을 통해 입도별로 시료를 구분하였고, 구분 작업을 마친 시료를 결정된 입도 분포와 동일한 비율로 혼합하여 Fig. 4와 같은 달 복제토 KAUMLS(Korea aerospace university mechanical luna simulant)를 개발 하였다.

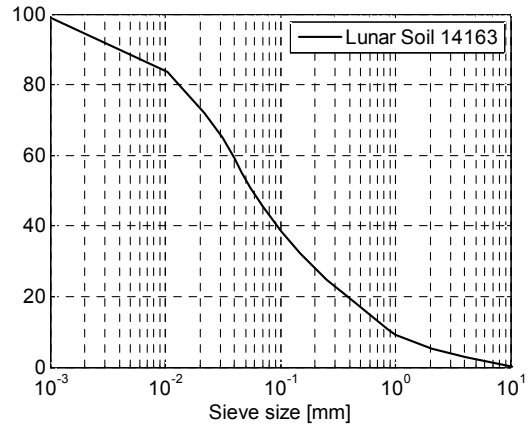


Fig. 3. Grain size distribution for soil 14163 (from Graf 1993, data from King)

Table 1. Current development status of lunar simulant

	Apollo 14	Lunar Soil 14163	CAS-1 China (2009)	JSC-1 U.S.A (1994)	FJS-1 Japan (1998)	KOHLs-1 Korea (2010)
SiO <sub>2</sub>	48.1	47.3	49.24	47.71	49.14	54.56
TiO <sub>2</sub>	1.7	1.6	1.91	1.59	1.91	0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.4	17.8	15.8	15.02	16.23	16.73
FeO	10.4	10.5	11.47	10.79	13.07	-
MnO	0.14	0.1	0.14	0.18	0.19	0.18
MgO	9.4	9.6	8.72	9.01	3.84	2.32
CaO	10.7	11.4	7.25	10.42	9.13	5.44
Na <sub>2</sub> O	0.7	0.7	3.08	2.7	2.75	2.28
K <sub>2</sub> O	0.55	0.6	1.03	0.82	1.01	3.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.51	-	0.3	0.66	0.44	0.21
LOI	-	-	0.52	0.11	0.43	
Total	99.6	99.6	99.46	99.01	98.14	91.48

Table 2. Grain size distribute for KAU mechanical lunar simulant

Sieve sizes (μm)	Weight Percentage (%)
2360 ~ 1180	4
1180 ~ 600	6
600 ~ 300	8
300 ~ 150	10
150 ~ 75	17
Finer than 75	55



Fig. 4. KAU mechanical lunar simulant

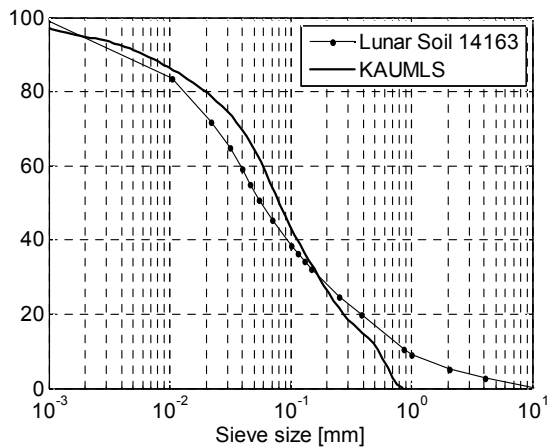


Fig. 5. Grain size analysis results for KAU lunar mechanical simulant

KAUMLS의 입도분포와 결합력을 확인하기 위해 레이저 회절을 이용한 입도 분석과, 압입 시험을 수행하여 bearing capacity를 측정하였다. 입도분석은 0.4 ~ 2000  $\mu\text{m}$ 의 분석 범위를 갖는 레이저 입도 분석기를 이용해 측정하였으며, 측정된 결과는 Fig. 5와 같은 분포를 보인다. KAUMLS는 6개의 표준체에 의해 개발되었기 때문에 lunar soil 14163의 평균입도와 다소 차이를 보이나 전반적인 입도 분포는 달 토양을 모사함을 확인 하였다.

본 연구에서 개발된 KAUMLS의 Bearing capacity를 계산하기 위하여 압입시험을 수행하였다. 압입시험은 아폴로 프로젝트에서 수행된 시험 조건과 동일한 압입면적  $425.5 \text{ cm}^2$ 과 임의의 압입면적  $136.0 \text{ cm}^2$ 에 7.0kPa의 압력을 갖도록 제작된 치구를 이용하여 수행되었다[6].

압입시험을 통해 측정된 KAUMLS와 건조된 모래의 평균 bearing capacity는 Table 3에 나타내었으며, 압입 면적에 따라 KAUMLS의 평균 bearing capacity는 5.59 kPa/cm와 7.47 kPa/cm로 측정 되었다. 이는 달 표면의 4.0~6.0 kPa/cm

Table 3. Grain size distribute for KAU mechanical lunar simulant

Indentation area[ $\text{cm}^2$ ]	Surface	Depth [cm]	Bearing capacity [kPa/cm]
425.5	KAUMLS	1.17	5.59
	Dry sand	0.21	33.53
136.0	KAUMLS	0.94	7.47
	Dry sand	0.16	41.79

와 8.0~20.0 kPa/cm 범위 내에 분포하고 있으며, 함께 측정한 건조된 모래의 bearing capacity보다 기준샘플 lunar soil 14163의 Bearing capacity인 4.45 kPa/cm에 근사한 값을 보이며, 이에 따라 달 토양 특성을 고려하기 위해 개발된 KAUMLS가 달 토양의 기계적 성질을 충분히 모사함을 확인 하였다.

### III. 시험장치 구성

#### 3.1 착륙시험용 수직낙하 시험장치

본 연구에서 구성한 달착륙선 착륙장치의 낙하 시험기는 Fig. 6과 같다. 시험 장치에는 수직낙하를 유도하는 수직 가이드 봉, 베어링이 장착된 몸체와 착륙장치, 토양, 센서 등으로 구성 되었다.

수직 가이드 봉은 지름 50 mm 강철봉과 시험 중 강철봉에 전달되는 하중으로부터 지지하기 위한 와이어가 강철봉 끝단에 연결되어 있다. 착륙

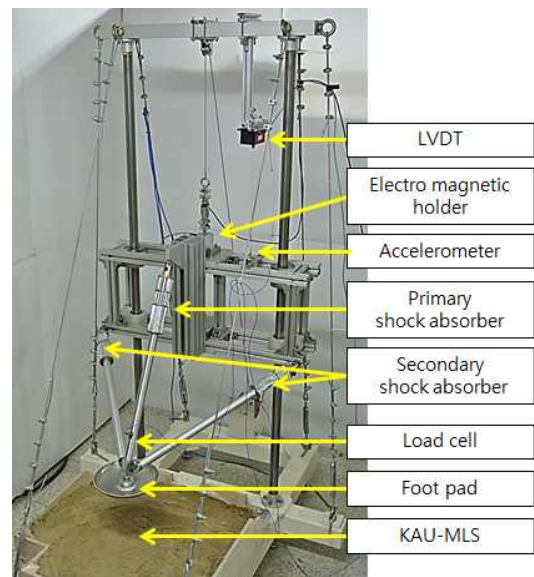


Fig. 6. Vertical drop tester for impact test of a lunar landing gear

장치의 몸체는 알루미늄 프레임으로 제작되었으며, 강철봉과의 몸체의 부드러운 상대운동을 위하여 몸체에는 베어링이 부착되어 있다.

착륙장치는 트러스 구조로 충격흡수 장치가 장착되어 있는 3개의 스트럿이 있으며, 착륙 시 발생하는 충격의 많은 부분을 담당하는 주 스트럿 1개와 주 스트럿의 지지 및 측면 충격을 담당하는 보조 스트럿이 양쪽으로 2개 장착되어 있다. 시험 데이터 획득은 충격 시 몸체에 전달되는 하중 측정을 위하여 주 스트럿 하단에 동하중측정용 센서 (piezo-electric load cell)를 장착하였으며, 수직방향의 속도 및 거리 측정을 위하여 몸체에는 와이어식 LVDT 변위 센서를 장착하였다. 시험 시 발생하는 충격을 평가하기 위하여 가속도계를 사용하였다. 지면의 조건은 5 mm철판, 건조된 모래 그리고 본 연구에서 개발한 달 복제토(KAUMLS)를 사용하였다.

### 3.2 지상시험용 달착륙선 충격흡수 장치

달착륙선 착륙장치에 장착되는 충격흡수 장치는 Fig. 7과 같이 알루미늄 허니콤 그리고 알루미늄 허니콤을 구분하는 분리판(honeycomb separator)과 굽힘 하중 지지를 위한 가이드 구조로 구분할 수 있다. 알루미늄 허니콤은 스트럿 외부에 장착하여 알루미늄 허니콤의 면적 선택과 반복시험에 따른 교체가 용이하도록 설계 되었다. 알루미늄 허니콤 분리판은 3 mm 두께의 알루미늄으로 제작되었으며, 알루미늄 허니콤은 가이드를 따라 허니콤의 두께 방향으로 압축되며 에너지를 흡수한다. 본체와 장착되는 부분은 볼 조인트로 설계

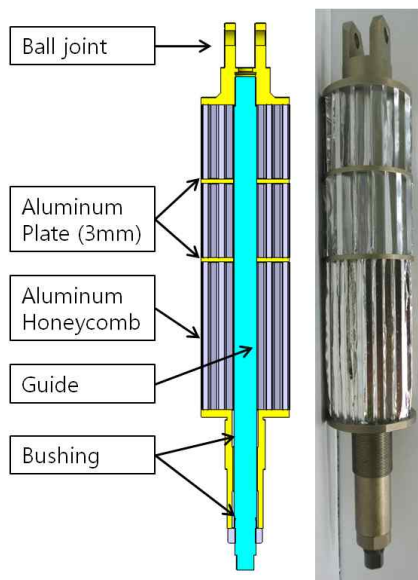


Fig. 7. Shock absorber of the landing gear

되어 에너지 흡수에 따라 트러스 부재의 길이가 변하더라도 조인트가 파손되지 않도록 설계되었다.

충격흡수용 허니콤은 총 3단으로 설계되었으며, 1, 2단 허니콤은 3단 허니콤과 비교하여 상대적으로 강도가 약하게 설계된다. 이렇게 설계되는 이유는 착륙 1, 2단 허니콤의 4개의 착륙장치가 동시에 착륙할 경우 달착륙선의 수직방향 가속도가 10g를 넘지 않도록 하는 기준으로 설계되며, 3단 허니콤의 경우 착륙 시 달착륙선의 자세 또는 토양의 굴곡으로 인하여 2개의 착륙장치가 대부분의 충격을 흡수 할 때 모든 에너지를 흡수 할 수 있도록 설계된다. 따라서 본 시험 장치의 경우 착륙 시 발생하는 대부분의 충격은 1단 허니콤이 흡수를 담당하게 된다.

### 3.3 충격흡수용 알루미늄 허니콤

충격흡수 장치에 사용되는 알루미늄 허니콤은 총 2종으로 각 허니콤의 제원은 Table 4에 나타내었다. 알루미늄 허니콤은 재료의 소성변형을 통하여 에너지를 흡수하며, 소성변형을 통해 에너지를 흡수하는 구간에서는 하중이 일정한 특징을 가진다. 하지만 압축초기에는 좌굴유발을 위하여 좌굴이후 보다 2~5배정도 높은 하중이 요구되는데, 이러한 특성은 충격흡수장치용으로는 적합하지 않다. 압축 초기의 좌굴 특성을 제거하

Table 4. Property of crushable aluminum honeycombs

Property	[mm]	Honeycomb	
		a	b
Foil thickness	[mm]	0.06	0.05
Cell size	[mm]	9.525	6.325
Static Crush strength	[MPa]	0.55	1.17
honeycomb area	[mm <sup>2</sup> ]	2140	2000

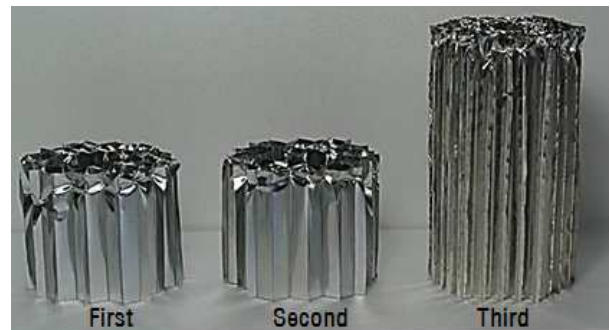


Fig. 8. Crushable aluminum honeycombs

는 방법은 알루미늄 허니콤을 충격흡수에 장착하기 전에 외력을 가하여 초기좌굴을 적용한 뒤 충격흡수장치에 장착하는 것이다. 본 연구에서는 나사의 피치가 2인 바이스를 이용하여 알루미늄 허니콤에 2 mm의 초기 변위를 가하여 초기 좌굴이 유발된 허니콤을 사용하였으며, 그 형상은 Fig. 8과 같다.

#### IV. 착륙장치 낙하시험

달착륙선용 충격흡수장치의 설계 요구조건으로는 지면도달속도 3 m/s에서 착륙선의 최대가속도 발사 조건과 동일하게 10 g를 기준으로 설계하였다.

본 연구에서는 기준 속도인 3.0 m/s와 비교를 위하여 2.5 m/s, 3.5 m/s 에 대한 시험을 추가로 수행하였으며, 지면 조건으로는 개발된 KAUMLS와 함께 모래 및 철판에 대한 시험을 추가로 수행하여 지면조건에 따른 비교를 수행하였다.

달착륙선의 착륙속도( $V$ )는 낙하높이( $h$ ) 와의 관계  $V = \sqrt{2g(9.81m/s^2)h}$  를 이용하여 낙하높이를 결정함으로써 조절하였다. 착륙장치의 성능평가를 위해 사용된 토양의 두께는 1968년 미국의 Surveyor 7의 착륙으로 측정된 달 표토의 두께를 바탕으로 150 mm으로 결정하였다[3].

시험에서 측정된 데이터는 착륙이 진행되는 동안 주 스트럿에 전달되는 하중 및 최대가속도, 착륙 후 충격흡수용 허니콤의 압축 변위를 측정하였다.

##### 4.1 단단한 철판 위에서의 낙하시험

달착륙선은 착륙 위치에 따라 암석과 같이 단단한 지면에 낙하할 경우 내부 장비를 보호할 수 있도록 설계 되어야 한다. 이에 따라 단단한 지면을 모사하기 위해 5 mm의 철판위에서 낙하시험을 수행하였으며, 낙하시험을 통해 측정된 수직낙하 가속도와 충격흡수용 알루미늄 허니콤의 압축 변위는 Table 5에 나타내었으며, 3.0 m/s의 낙하속도에서 시간에 따른 하중 데이터는 Fig. 9와 같다.

낙하시험 결과 3.0 m/s의 낙하속도에서 착륙장치의 풋 패드가 지면에 도달 하는 순간 충격하중이 2.38 kN으로 측정 되었으며, 이후 충격흡수장치에 장착된 알루미늄 허니콤이 순차적으로 압축 변형함으로써 충격에너지 흡수가 이루어졌다. 또한 본체의 수직방향 가속도는 낙하속도에 따라 각각 15.2 g와 15.4 g, 16.8 g로 측정되었는데,

Table 5. Lunar lander drop test results for steel plate

Velocity [m/s]	Compression displacement [mm]			Maximum Acceleration [g]
	First	Second	Third	
2.56	37.8	29.0	0.4	15.2
3.03	37.9	39.5	18.9	15.4
3.60	39.4	40.2	31.4	16.8

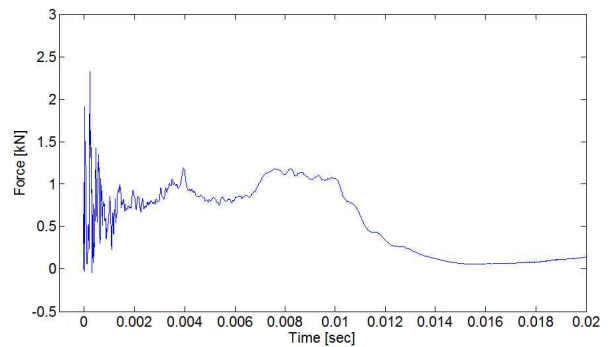


Fig. 9. Force-time curve of the landing gear on the steel plate

이는 강성이 높은 풋 패드와 철판이 충돌하는 순간 발생하는 값으로, 낙하속도에 따른 영향이 상대적으로 작게 나타남을 확인할 수 있었다.

##### 4.2 건조된 모래 위에서의 낙하시험

모래와 같이 토양은 수분을 포함하고 있을 경우 입자 사이에 응집력이 생겨 기계적 물성이 증가한다. 달 복제토의 경우 비용문제로 인하여 대량으로 제조 할 수 없어 기존 연구에서는 달착륙선의 충격시험에서 건조된 모래를 사용하였다[1].

단단한 철판위에서의 시험에서와 같이 낙하시험을 통해 측정된 수직가속도와 알루미늄 허니콤의 압축 변위는 Table 6에 시간-하중 그래프는 Fig. 10에 나타내었다. 건조된 모래위에서의 낙하시험은 단단한 철판위에서의 낙하시험과 달리 모래의 감쇠효과로 인하여 충격 초기에 급격히 증가되는 하중영역이 나타나지 않고, Fig. 9와 비교하여 부드럽게 착지 되는 것을 확인하였다. 또한 충격흡수용 알루미늄 허니콤의 압축변형에 따른 에너지 흡수는 주로 착륙장치의 '1단'과 '2단'에 장착된 알루미늄 허니콤에서 에너지 흡수가 이루어졌으며, 알루미늄 허니콤 전체의 압축변위가 감소하는 것을 확인하였다. 또한 낙하속도에

Table 6. Lunar lander drop test results on the dry sand

Velocity [m/s]	Compression displacement [mm]			Maximum Acceleration [g]
	First	Second	Third	
2.57	38.6	16.1	0.7	4.37
3.09	39.0	39.5	0.3	6.45
3.60	39.5	39.8	17.8	6.48

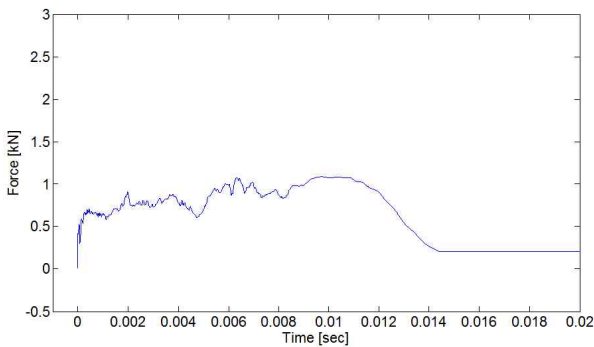


Fig. 10. Force-time curve of the landing gear on the dry sand

따라 기체의 수직방향 가속도가 각각 4.37 g, 6.45 g, 6.48 g로 감소하는 것을 확인 하였다.

### 4.3 KAUMLS위에서의 낙하시험

KAUMLS위의 시험은 건조된 토양과 같은 150 mm깊이의 달 복제토 위에서 수행되었다. 시험을 통하여 계측된 수직가속도와 알루미늄 허니콤의 압축변위는 Table 7과 같으며, 3.0 m/s의 낙하속도에서의 시간에 따른 하중 그래프는 Fig. 11과 같다. KAUMLS위에서의 낙하시험은 건조된 모래위에서의 시험과 유사하게 지면의 감쇠효과로 시간-하중 그래프에서 충돌 직후 급격히 증가되는 현상이 나타나지 않았으며, 착륙 직후 값이 건조된 모래보다 더 낮은 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한 본체의 수직방향 가속도는 2.91 g, 5.38 g, 5.80 g로 10 g보다 작은 값을 보이며, 건조된 모래를 사용한 시험조건 보다 약 10~30 %의 낮은 가속도를 보임을 확인할 수 있었다. 하지만 Table 6과 Table 7에서 보여주는 바와 같이 알루미늄 허니콤의 변형량은 오히려 건조된 모래 보다 KAUMLS에서 증가하는 경향을 보인다. 달 복제토는 모래보다 더 부드러워 충격직후 가속도는 줄이는 반면 충격흡수효과는 더 낮은 것을 확인할 수 있었다.

Table 7. Lunar lander drop test results on the dry KAUMLS

Velocity [m/s]	Compression displacement [mm]			Maximum Acceleration [g]
	First	Second	Third	
2.56	39.3	20.1	0.2	2.91
3.07	39.4	39.4	6.2	5.38
3.60	39.3	41.8	22.4	5.80

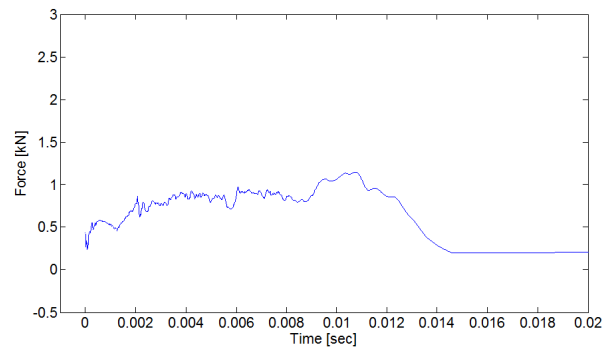


Fig. 11. Force-time curve of the landing gear on the KAUMLS

## V. 결 론

본 연구에서는 달의 지면 환경을 고려한 달 착륙선의 충격시험을 위하여, 달 토양과 입도 분포 및 기계적 성질이 유사한 달 복제토 KAUMLS를 개발하여 달착륙선의 수직낙하시험에 적용하였다. 시험결과에 대한 비교 분석을 위하여 그동안 달착륙선의 착륙시험에 주로 사용되어 왔던 건조된 모래와, 철판에 대한 시험을 함께 수행하였다.

시험 결과 착륙 시 발생하는 가속도는 KAUMLS를 사용하여 달의 표면을 고려한 시험에서 5.80 g로 건조된 모래위에서 수행된 시험결과 6.48 g보다 낮은 수치를 나타내었다. 시험 결과에서와 같이 설계된 충격흡수 장치는 설계요구조건인 10g 보다 더 낮은 착륙가속도를 가짐을 확인할 수 있었다. KAUMLS위의 시험에서는 허니콤에 흡수되는 에너지의 양이 모래를 사용한 시험보다 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있었으며, 이는 달토양이 모래와 비교하여 에너지 흡수 효과는 상대적으로 작은 것을 의미하며 달착륙선의 충격흡수 장치는 이를 고려하여 설계되어야 한다.

## References

- 1) Kim, H. D., Lee, H. H., Kim, S., Park, J. S., Kim, S. W., Lim, J. H., and Hwang, D. S., "Design of the KAU Lunar for shock Absorption Structure Test," Proceedings of the 2010 KASA Fall Conference, pp.837-840, 2010.
- 2) Rongquang L., Changjie L., Zongqun D., and Chuang W., "Design and Selection of Aluminum Foam for Impact Damper of Legged Lunar Lander," IEEE, 2008.
- 3) Scott, R. F., and F. I. Roberson, Soil mechanics surface sampler, Surveyor Program Results, NASA SP-184, Wash., DC, 1969.
- 4) Lim, J. H., Kim, K. W., Jeon, J. H., Son, T. J., Lee, M. S., Kim, A. H., and Hwang, D. S., "An Analysis on Drop Test Results of the Landing Gear of Korean Lunar Lander's Demonstrator," Proceedings of the 2012 KASA Fall Conference, pp. 179-183, 2012.
- 5) ESA-NEXT Team, "Next Lunar Lander with in-situ science and mobility: Phase A Mission Study, Lunar Environment Specification," NEXT-LLLES-ESA (HME)-0001, 2008.
- 6) Hill, E., Mellin, M. J., Deane, B., Liu, Y., and Taylor, L. A. "Apollo sample 70051 and high and low-Ti lunar soil simulants MLS-1A and JSC-1A: Implications for future lunar exploration," Journal of Geophysical Research, vol 112 issue E2, pp.1991-2012 2007.
- 7) Ko, S. W., Jang, B. C., Koo, J. K., and Lee, T. S., "Study for Korea Lunar Simulant Prototype Development," KSCE 2009 Convention, pp.3598-3601, 2009.