

달암석 연구 현황과 그 결과

(Studies of Apollo 11 and 12 Lunar Eines)

과학기술처 국립지질조사소

이학박사 이 정 환(李正煥)

목 차

- | | |
|--|---|
| <p>I. 머리말</p> <p>II. 달암석 연구내용 및 방법</p> <p>1. 연구진 및 편성</p> <p>2. 연구내용</p> <p>(1) 암석광물연구</p> <p>(2) 방사화학연구</p> <p>(3) 일반화학연구</p> | <p>3. 연구범위</p> <p>4. 연구방법</p> <p>III. 연구시설과 사용된 시험기기</p> <p>V. 연구결과 요약</p> <p>1. 제공된 시료</p> <p>2. 결과 요약</p> |
|--|---|

달암석 연구 현황과 그 결과

I. 머리말

옛날 전설에 달에는 계수나무가 우거져 있고 이 계수나무 사이에는 토끼들이 평화스럽게 살고 있다고 전하여지고 있다시피 달은 신비스럽기만 하든것이 1610년 유명한 이태리의 천문학자 Galileo(1564—1642)가 처음으로 망원경을 사용하여 달표면을 관찰하면서 부터 차차 달은 육안으로 볼수있는 물리성에 관하여 과학적으로 풀리기 시작하여

(1) 달은 지구나 태양 화성 목성과 같이 태양계의 하나로서 지구의 주위를 돌고 있다는 사실과

(2) 그 크기는 지구의 4분의 1이고 그 무게는 지구의 8분의 1이며 지구로 부터의 거리는 약 38만 km 라는 것을 알았으며 따라서 지구는 4분의 1이 육지이고 4분의 3이 바다로 되어 있다는 사실과 비교할때 달의 크기는 우리가 살고 있는 육지의 크기와 비슷하다는 것과

(3) 달표면은 크고적은 많은 구멍이 있다는 것

을 천문학자에 의하여 알수 있었다.

그후 계속하여 태양계중에서도 우리가 살고있는 지구에서 가장 가까운 거리에 있는 달에 대하여 순수한 과학적인 면에서 달은 어떻게하여 생겼으며 무엇으로 만들어져 있는지 또는 생물이 살고 있는가 등을 연구하는 동시에 나아가서는 우리가 살고있는 지구 육지면적은 한정되어 있는 반면에 인구는 폭발적으로 늘어남으로서 장차 인류 생존을 위하여서는 육지 이외에 우주천체나 해저 개발을 하지 않으면 안될 것이 라는 생각에 따라 미국은 1961년부터 달연구 계획을 수립하여 1969년 7월 아폴로 11호 우주인 암스트롱 선장이 인류역사의 최초로 달에 착륙하여 암석시료 22kg을 채취하여 무사히 지구로 돌아올때까지 약 45만명의 과학자와 기술자가 동원되었고 이 연구사업에 투자된 예산만도 약 240억불이 소요되었으며 이 아폴로 11호 달 암석 시료를 연구하기 위하여 1차로 미국을 위시하여 영국 일본 독일 호주 캐나다 벨기 핀란드 스웨덴 스위스등 10개국에서 과학자 356명이 참가하였고 아폴로 12호 암석연구에는 한국을 위시하여 이태리 인도 노르웨이 스페인 프랑스등

6개국 이 다시 2차로 추가 참가하게 되어 동남 아에서는 우리나라와 일본이 참가하고 있을 뿐 이다.

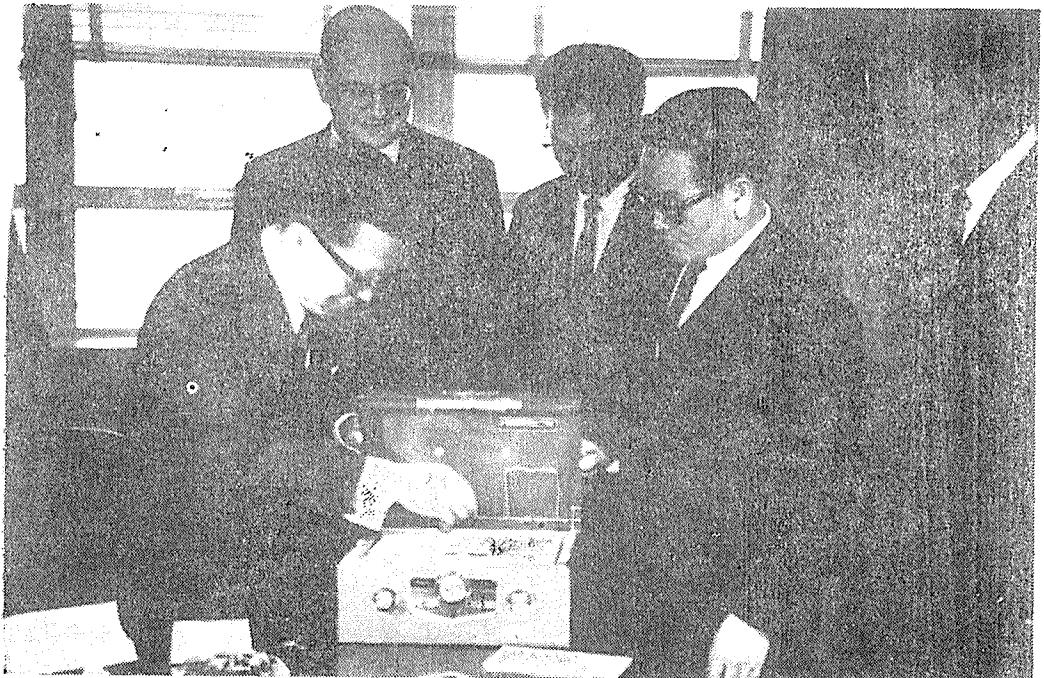
사실 아폴로 11호 암석연구를 위한 연구진은 세계 각국의 저명한 과학자들로서 이미 1965년 에 구성이 결정되어 있었으나 우리 한국에서는 어느 기관이나 과학자도 그때까지 연구신청을 못 하였다가 1967년 4월에 우리나라에 최초로 과학기술처가 설치되고 또 동양 제 1의 연구시설 과 연구요원을 가지고있는 과학기술연구소가 설립되었고 원자력연구소나 지질조사소에도 그동안 연구시설이 많이 갖추어 짐으로서 우리 과학 기술진도 달암석 연구에 참가하여도 손색없으리 라 생각되어 과학기술처 장관의 승인을 얻어 정식 으로 국립 지질조사소에서 1969년 2월에 미 국 항공우주국(NASA) 본부에 연구계획서를 제 출하여 승인을 얻고 1970년 3월 27일에 주한 미국대사를 통해 아폴로 12호암석 3.2g와 7월 22일에는 아폴로 11호암석 2.01g을 추가 인수 하였으며 또 NASA 본부로 부터 아폴로 14호 암석 연구 계획서를 제출하라는 요청을 받고 1970년 7월 10일에 정식 신청서를 제출중에 있으며 앞으로 계속하여 아폴로 달암석 연구 계획에 참

가하게 될 것이다.

6명의 우리연구진은 좋은 결과를 얻을수 있 게 최선의 노력을 다하였으며 이 연구에 적극 참 가함으로써 20세기 과학의 첨단인 달암석 연구 에 세계 각국의 과학자와 같이 참가하게 됨으로 서 과학을 통한 국위선양과 연구결과 발표를 통 한 국제기술·교류를 증진시키는 동시에 국내 과 학기술 향상에 많은 도움이되고 또 계속 아폴로 14호~19호 연구에 참가하여 달에 관한 연구를 통해 국제 우주과학 발전에 기여하게 되기를 다 점하면서 1970년 5월 1일부터 12월 30일까지 아폴로 11호 및 12호 달암석에 관한 연구를 실 시한 내용과 그 결과를 여기에 요약 소개하여 관심있는 여러분에게 참고되기를 바라는 동시에 특히 이 연구를 위하여 예비비를 지출하여 주신 정부당국 여러분과 이 귀중한 연구자료를 분양 하여준 미국정부 당국에 감사를 드리는 바이며 또 이 연구를 추진할수있게 격려하여 주신 공학 박사 김기형 과학기술처 장관께 심심한 사의를 표하는 바이다.

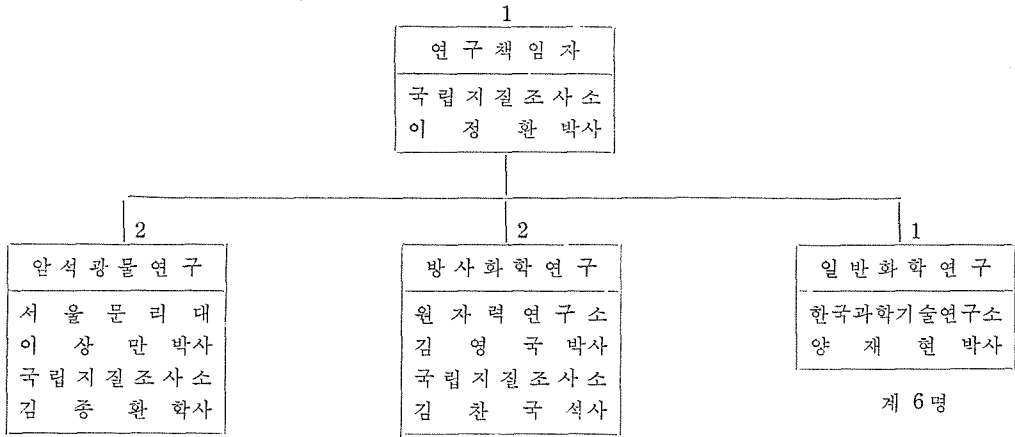
II. 달암석 연구내용 및 방법

1. 연구진 및 편성



월석의 구성광물의 감정 형성과정의 연구와 그 구성 성분을 분석하고 달 진화과정 및 달의 역사에 관한 연구를 실시하기 위하여 이방면에 전문가를 당락하고 또 국내 연구기관의 시험시설

을 공동으로 활용할수있게 하는 동시에 연구시설의 보안 조치등을 고려하여 다음과 같은 6명의 인원과 편성을 가지고 연구가 진행되었다.



2. 조사연구내용

(1) 암석광물 연구

- 1) 월석의 구조와 조직을 구명하고 이들의 유형을 분류하여 그 성인을 밝혔다.
- 2) 월석의 구성광물과 그구성비를 밝혔다.
- 3) 월석을 구성하고 있는 상호간의 관계를 현미경하에서 연구함으로써 월석의 고결 역사를 구명하였다.
- 4) 월석 구성광물 각각에 대한 굴절률 광축각등 일반 광학적 특징을 밝혔다.
- 5) 월석 구성광물 각각에 대한 X-선 회절분석에 의하여 X-선적 특징을 구명하였다.
- 6) 월석과 월진에 대한 적외흡수 분광학적 특징을 연구하였다.
- 7) 월석의 구성광물들의 화학성분과 결정학적 특징과의 관계를 밝혔다.
- 8) 월석과 지구의 암석 및 운석의 모든 성질을 비교하였다.
- 9) 월석의 충격변성 작용을 구명하였다.
- 10) 이상의 연구결과로 부터 월석의 성인과 아울러 달의 생성기구를 구명하여보았다.

(2) 방사화학 연구

- 1) 모든 방사능 계측기를 동원하여 월석 및 월진의 각종 방사능을 조사하였다.

- 2) 월석중에 포함되어 있는 희토류 금속의 각원소를 분리정량하였다.

(3) 일반화학 연구

- 1) 모든 분석시설을 동원하여 월석 및 월진의 전성분을 완전 분석하였다.
- 2) 월석중 산소의 $^{16}O/^{18}O$ 비를을 조사연구하였다.
- 3) 위 각항의 결과를 태양대기 지구성분 분포 및 운석 조성과 비교 검토하였다.
- 4) 월석의 미세구조를 결정학적으로 조사 검토하였다.

3. 연구범위

(1) 암석광물 연구

- 1) 월석과 월진의 구성광물을 광학적 결정학적 및 암석학적으로 모든 특징을 연구하였다.
- 2) 월석과 지구암석의 모든 성질을 비교하고 그 차이점을 밝혔다.
- 3) 달과 지구의 관련성을 성인적인 면에서 검토해 보았다.

(2) 방사화학 연구

- 1) 월석 및 월진의 자연방사능(U^{235} , U^{238} , Th^{232} , K^{40} , Rb^{87} , 등)을 측정하였다.
- 2) 월석중에 들어있는 희토류 금속(La-Lu) 149종 원소를 분리한후 정량하였다.

(3) 일반화학 연구

1) 월석중에 들어있으리라고 예상되는 중요성분 약 45종을 정량적으로 분석하고 이 결과를 아폴로 11호 월석분석 결과와 제주도산 현무암 분석결과 및 이미 보고된 태양 대기 지구평균 성분분포와 각종 운석성분 결과와 비교 검토하였다.

2) 월석을 전자현미경으로 조사 연구하고 대표적인 결정체의 결정구조를 조사하여 조성성분을 연구하였다.

3) 월석의 조성 산화물을 연소시켜 산화물의 $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ 비를 측정하고 지구와 제주도산 현무암의 평균산소 등위원소비와 비교 검토하였다.

4. 연구방법

(1) 암석광물 연구

1) 편광현미경 관찰에 의하여 투명광물들의 구조 조직 및 기타 모든 특징을 연구하였다.

2) 광석 반사현미경에 의하여 불투명 광물들의 구조와 조직 및 기타 모든 특징을 연구하였다.

3) X-선 회절법에 의하여 구성광물들의 정확한 동정과 함께 결정학적인 특징을 연구하였다.

4) 화학분석과의 결정학적 특징으로 부터 구성광물의 결정 화학적인 특징을 밝혔다.

5) 적외흡수분광기에 의하여 구성광물의 흡수분광스펙트럼을 연구하였다.

(2) 방사화학 연구

1) 희토류 금속을 분리한 후 이들 원자로 (Triga Mark II)로 활성화한 다음 Cation Exchange Resin 과 α -Hydroxy Isobutyric Acid 또는 EDTA 를 사용하여 원소별로 분리하고 γ -Analyser 로 계측정량하였다. 이때 각 희토류금속의 검출 한계는 다음과 같다.

원 소 명	검출한계 ($\mu\text{g}=10^{-6}\text{ g}$)
La(Lanthanum)	0.01
Tb(Terbium)	0.1
Ce(Cerium)	0.1
Dy(Dysprosium)	0.0001

Pr(Praseodymium)	0.08
Ho(Holmium)	0.002
Nd(Neodymium)	1.8
Er(Erbium)	0.003
Sm(Samarium)	0.001
Tm(Thulium)	1.0
Eu(Europium)	0.0001
Yb(Ytterbium)	0.015
Gd(Gadolinium)	0.02
Lu(Lutetium)	0.2

이때 얻은 결과를 다른 실험결과와 비교 확인하였다.

3) 이상 얻은 결과를 지구상의 현무암 특히 제주도산 현무암의 그것과 비교 검토하였다.

(3) 일반화학 연구

1) 성분분석

월석을 Emission Spectrometer 와 X-ray Fluorescence 를 이용하여 검출할수있는 모든 원소의 종류와 대략의 조성을 파악한다음 인공적 배합시료를 만들어 정량적으로 분석하고 이와 병행하여 Atomic Absorption 법으로 정량하여 비교 검토하였다. 현재보유하고 있는 Cathode Lamp 와 검출한계 (ppm 단위)는 다음과 같다.

원소명	검출한계 (ppm)
Ag(은)	0.01
Cd(카드뮴)	0.004
Al(알루미늄)	0.1
Co(코발트)	0.01
As(비소)	0.5
Cr(크롬)	0.01
Au(금)	0.02
Cu(동)	0.005
B(붕소)	6.0
Fe(철)	0.01
Ga(가륨)	0.1
Ba(바륨)	0.05
Hf(하후남)	8.0
Be(베리륨)	0.002
K(포타슘)	0.005
Bi(비스머스)	0.1

La(란타넘)	2.0
Ca(칼슘)	0.002
Li(리튬)	0.005
Mg(마그네슘)	0.003
Sb(안치모니)	0.1
Mn(망간)	0.005
Se(세레늄)	0.5
Mo(수은)	0.03
Si(규소)	0.1
Na(소듐)	0.002
Sr(스트론튬)	0.02
Ni(니켈)	0.01
Hg(수은)	0.5
Pb(연)	0.03
In(인듐)	0.05
Pd(파라듐)	0.02
Ti(치타늄)	0.1
Pt(백금)	0.1
u(우라늄)	30.0
Ru(류대늄)	0.3
W(중석)	3.0
Zn(질코늄)	5.0
Tm(스름)	0.15
Te(태류륨)	0.1
V(바나듐)	0.08
Ta(탄다륨)	5.0
Zn(아연)	0.002

또한 Spectro Photometry Polarography 및 습식으로 분석하여 결과를 검토하고 분석의 정확도를 향상시켰다.

2) °16/°18의 비

월석중 산소는 월석을 Graphite와 혼합하여 He 기류중에서 Induction Furnace에서 연소시켜 Molecular Sieve에 Trap한 다음 He로 Elute시켜 산소 총량을 분석하고 이것을 Mass-Spectrometer에 연결시켜 °16/°18비를 측정하였다.

3) 결정구조

월석을 전자현미경으로 25만배로 확대(Resolution 4.5 Å)하여 관찰하고 단일 결정체에 대한 Electron Diffraction Pattern을 얻어 결정구조를 연구하여 성분을 조사하였다.

4) 결과의 비교 고찰

위 모든 연구결과를 종합검토하고 이미 보고된 보고문의 아폴로 11호 월석지구표면의 원소 성분 태양대기의 원소분포등과 비교하여 달의 성분과 생성 유태등에 관한 최대한의 지식을 얻는데 노력하였다.

Ⅲ. 연구시설과 사용된 시험기기

달암석 연구에 동원된 연구실은 16개에 전자현미경등 20개의 주요연구기기가 사용되었으며 이들을 열거하면 다음과 같다.

1. 광물암석연구기기

(1) Electron Microscope(전자현미경)

전자파를 이용한 높은 배율 현미경으로서 광물의 결정상태를 연구하는데 사용되었음.

(2) X-R Diffraction (X-선 회절분석기)

광물의 결정구조 연구.

(3) Polarization Microscope(편광현미경)

각광물 결정체에 태양광선이 통과할때 각방향의 진동하고 있는 편광을 검출하여 광물감정을 함.

(4) Reflection-Microscope(반사현미경)

암석광물을 잘 갈아서 각 금속광물의 표면에 나타나는 광택과 각광물의 특성과 지화학 반응을 식별하여 광물을 감정함.

(5) Refracto-Meter(굴절계)

광물의 굴절률을 측정함.

2. 화학분석 연구기기

1) X-ray Fluorescent Spectrograph(X-선 형광분광분석기) Philips Electronic Instrument 52530형을 사용 정량분석함. (si, al, fe, ca, mg, li: mn, cr, zr, y 등)

2) Spectrophotometer(분광도계)

Beckman Model 24의 Quartz Spectrophotometer를 사용 원소의 흡광도를 측정하여 분석함.

3) Atomic Absorption Spectrophotometer(원자흡광분광도계)

원소의 원자흡광을 이용하여 미량성분의 정량을 함(si, al, fe, ca, mg, k, na, ni, cr 등)

4) Emission Spectrograph(발광분광분석기)

원소의 스펙트럼을 표준물질과 비교분석함.

5) Polarograph(전기분해장치)

산화환원 물질질의 확산전류를 측정하여 정량 분석함.

6) Flamephotometer(염광광도계)

Spectrophotometer 에 염광장치와 가스조절기를 부착 사용하여 불꽃 반응을 이용하여 알카리의 정량을함. (Na, K 등)

7) Fluorimeter(현광광도계)

우라늄의 분석에 사용함.

8) Sulfur, Determinator(유황측정계)

광물중의 유황을 정량함.

9) Carbon Determinator(탄소측정계)

광물중의 탄소정량.

10) Gas Chromatograph(가스측정계)

각 가스에 대한 정성 및 정량측정함.

11) Triga Mark II Reactor(250 kw)

원자로를 이용 회트류급속을 활성화함.

12) Multichannel Analyzer(방사화분석기)

13) Low-Background Scintillation Pulse Analyser 및 Semiconductor Pulse Analyser(방사능측정기) u^{238} , u^{235} , k^{40} , Rb^{87} 등을 측정 하는데 사용하였다.

IV. 연구결과 요약

1. 제공된 시료

1970년 3월 27일에 NASA로부터 인수된 달 암석 시료는 1969년 11월 19일 아폴로 12호가 Procclaram Oceanun 에 위치하고 있는 Copernicus 의 남서쪽에서 채취한 시료 23 kg 중에서 3.2 g 을 분양 받았으며 NASA 시료번호 (2070-98(fines))였고 또 1969년 7월 24일 아폴로 11호가 달표면의 분화구 Sabi-ne D 의 서남쪽 약 10 km 지점에 있는 코요의바다의 서남부에서 채취한 시료 22 kg 중에서 2.01 g 을 NASA 시료번호 10048-148(fines)로서 1970년 7월 22일에 추가로 분양 받아 연구에 사용된 총시료는 5.03 g 이었다.

2. 결과요약

(1) 분양 받은 시료는 육안으로 보면 진한 흑회색 또는 검은색을 띠는 적은 암석의 입자가 흙모양의 분말중에 혼합되어 있는 것이었으며 외관상으로는 우리나라 제주도에서 흔히 볼수있는 현무암(Olivine-Basalt)을 분말로 만든것과 거의

같은 것이었다.

그러나 11호와 12호 시료의 색깔은 같지 않았고 약간 다른점이 있었다.

(2) 11호 및 12호시료의 광물입도(粒度)의 평균 크기는 각각 14 마이크론과 18 마이크론 이었고 전자가 후자보다 암편과 조각편을 더 많이 함유한다.

(3) 구성광물의 함유량이 많은것부터 열거하면 보통회석 Bytownite, 유리질물질, 불투명광물 Tridymite, Cristobalite, 감람석, Sanidin 및 조각편을 포함한 암편등이다.

(4) 구성광물의 용융(熔融 Fusion) 현상은 특이한것으로서 이 현상은 매우 다양하여 완전히 진행된것, 부분적인것, 점이적인것등을 볼수있으며 광물이 완전히 용융(熔融)되면 불규칙한 모양의 유리 또는 균질한 과립(Spherule)을 형성할 것이며 부분적인 용융 현상이 광물편의 가상자리 또는 광물의 밑부분에서 관찰된다.

완전 용해에서 전혀 용융되지 않은 광물체의 점이적 용융현상이 Concentric Spherule 에서 관찰되는데 과립 중심부의 용융되지 않은 휘석잔류체는 갈색의 혼합유리물로 둘러싸이고 이는 다시 깨끗한 황색유리로 포위되어있다.

완전 용융 또는 부분적 용융은 운석의 충격변석재 용이나 2차 분출물의 충격으로서 형성될수 있는 것이다.

용융체의 어떤것은 충격지점 근처의 용융분출물에서 형성된 것이다.

동심원적 과립에서 관찰되는 점이적인 용융현상은 운석의 충격에 의한 것으로는 설명할수 없다.

따라서 유리질과립의 일부는 열의 원천은 알수없으나 휘석입자를 녹이기 적합한 기계적인 가열에 의해서 형성되어진 것으로 생각된다.

(5) 달암석의 성분중 주성분인 철과 티탄은 지구의 현무암에 비해 훨씬 많은 양이 함유되어있으며 특히 11호에 티탄 함유량은 특징적이다.

(6) 칼슘과 마그네슘의 함유량 역시 지구암석의 약배정도 풍부하며 알카리 암석의 그것과도 비교 안될만큼 많이 포함되어 있다.

(7) 부성분인 크롬의 경우도 지구의 현무암에 비해 약 10~30 배 많이 포함되어 있다.

(8) 월진의 부성분인 알카리 함유량은 제주도 현무암뿐 아니라 지구 어느곳의 암석과 비교하여도 적으며 나트륨같은 비교적 비등점이 낮은 화합물을 만드는 성분은 더욱 적어서 지구의 약 10 분지 1 정도이다.

(9) 월진은 티탄뿐만 아니라 질코늄의 함유량도 지구의 현무암에 비해 대단히 많으며 미량 원소인 Ytrium도 지구에 비해 약 10 배 가량 높다.

(10) Surveyer 5호가 달의 먼거리에서 측정한 결과와 실제 시료의 분석 결과가 비슷함을 보아 달의 시료는 그 화학적 조성이 대단히 균일할뿐더러 달표면의 넓은 지역에 걸쳐 그 조성이 균일함을 생각할수있다.

(11) 지구에서 발견된 운석의 구성성분을 달과 비교 검토하여 보면 운석은 달처럼 많은 티탄을 가지고 있지 않으며 달암석은 운석에 많이

함유되어 있는 Nickel나 Cobalt 같은 금속의 함유가 적다는 사실등을 알수 있었다.

따라서 지금까지 지구상에 낙하되는 운석(Meteorite)은 달에서 떨어져 왔다는 설이 유력하였으나 운석의 기원이 반드시 달이 아님을 생각하게 한다.

(12) 달표면의 많은 구멍의 생성원인도 월진의 화학조성과 운석의 화학조성을 비교 검토하여 본다면 운석의 충돌에 의한 생성설은 그 증거가 희박하고 오히려 화산설에 가까운 감이 든다.

추 기

결과 요약 기재사항은 1970년 12월 20일에 필자등 6명의 연구진이 월석연구보고서로서 과학기술처에 제출한 연구논문을 종합 인용한것임.

