

## <Review>

# 2006 - 2008 대한민국 남극운석 탐사

이종익

한국해양연구원 부설 극지연구소 극지지구시스템연구부

### 요 약

현재까지 인류가 소유한 운석의 약 80% 정도(40,000여개)가 1970년대 중반부터 자국 정부의 지원을 받는 운석탐사대에 의해 남극에서 회수되었다. 남극에서 운석탐사를 지속적으로 수행하는 나라는 미국, 일본, 이탈리아, 중국 등 4개국이고, 우리나라는 2006년부터 시작하였다. 2006년부터 2008년까지 3 차례의 탐사를 통해 티엘산맥(Thiel Mts)의 청빙지대에서 총 29개의 남극운석을 확보했다. 미국을 제외한 나머지 나라는 남극연구 전문기관에서 운석을 체계적으로 관리하고 있다. 남극운석은 연구용으로만 사용되기 때문에 남극운석을 회수한 기관은 일정기간 내에 정해진 기준에 의해 운석을 분류하고, 적절한 절차를 거쳐 전 세계 연구자들에게 분배하여야 한다. 극지연구소도 2010년부터 소유한 남극운석을 공개적으로 분배할 예정이다. 본 논평에서는 남극에서 운석이 농집되는 과정과 선행국가의 운석탐사 동향에 대해 살펴보고, 우리나라 남극운석 탐사 결과를 보고한다. 그리고 중장기 운석탐사 계획에 대해서도 간략하게 논의한다.

**주요어:** 남극운석, 농집과정, 청빙지대, 운석탐사, 티엘산맥

**J. I. Lee, 2009, 2006 - 2008 Korea Expedition for Antarctic Meteorites (KOREAMET). Journal of the Geological Society of Korea. v. 45, no. 6, p. 621-637**

**ABSTRACT:** About 40,000 meteorite specimens have been recovered from Antarctica since the mid 1970's by the government-supported expedition parties. USA, Japan, Italy and China are continuously operating expedition parties, and Korea has operated since 2006. During 2006 - 2008 austral summer seasons, three Korea Expedition for Antarctic Meteorites (KOREAMET) recovered 29 meteorites at blue ice fields of Thiel Mountains. The government-funded or -supported institutions are systematically controlling Antarctic meteorites for the research. They should classify the meteorites by recommended scheme, and distribute to researchers through proposal evaluation. Korea Polar Research Institute will distribute the meteorites from 2010. In this review, concentration mechanisms of Antarctic meteorites and expeditions for meteorites by the other nations are briefly reviewed. The results of the three KOREAMET and future plans are reported.

**Key words:** Antarctic meteorites, concentration mechanism, blue ice field, expedition for meteorites, Thiel Mountains

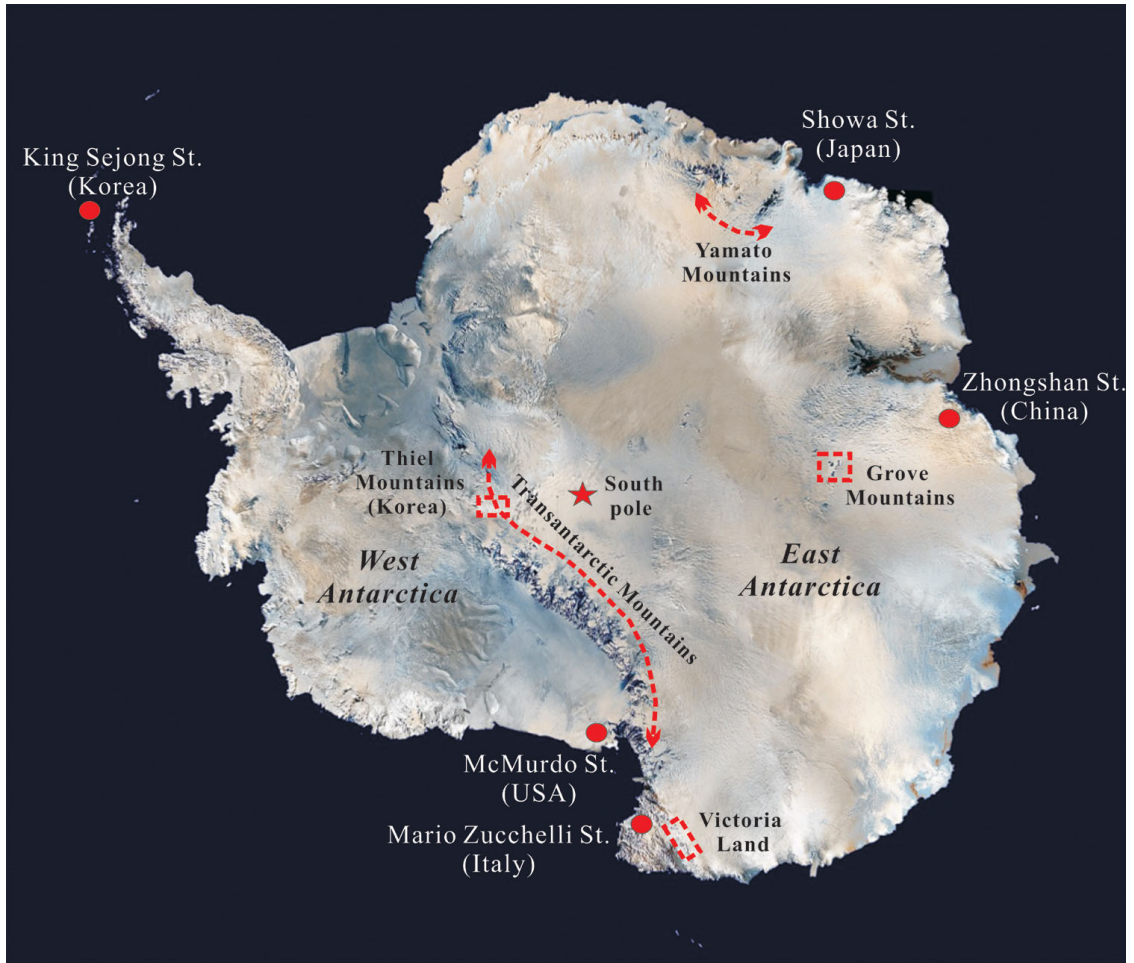
(J. I. Lee, Division of Polar Earth System Research, Korea Polar Research Institute, KORDI, Incheon 406-840, Korea)

## 1. 서 론

지구 표면적의 3% 정도에 불과한 남극 대륙에서 현재까지 인류가 확보하고 있는 운석의 약 80% 정도가 발견되고 있으며, 회수된 남극운석의 개수는 정식 보고되지 않은 것까지 합치면 현재 40,000여개

에 달한다. 따라서 남극은 지구의 '운석 저장소'라고 불릴만하다. 남극 대륙의 대표적인 청빙지대(blue ice field)에서 다량의 운석이 발견되는 것은 빙하의 흐름과 관련된 여러 요소들이 운석을 한 곳에 모으는 독특한 작용 때문이며, 이런 작용은 현재도 일어나고 있다(Cassidy *et al.*, 1992). 21세기 들어 여러

‡ Corresponding author: +82-32-260-6241, E-mail: jilee@kopri.re.kr



**Fig. 1.** Satellite image of Antarctic continent, showing major recovery sites of meteorites and logistic stations of USA, Japan, Italy, China and Korea. Each country except Korea has major recovery sites close to their stations.

첨단장비(인공위성, GPS, 로봇, 금속탐지기 등)가 활용됨에도 불구하고, 남극운석을 찾는 가장 유용한 도구는 사람의 눈(human eye)이며, 이 도구는 앞으로 상당 기간 강력한 역할을 할 것으로 생각된다. 한편 운석탐사를 위해서는 남극대륙 내부까지 장비와 인력을 수송하기 위해 항공기 또는 여러 대의 설상차가 동원되어야 하고, 대원들의 안전을 보장할 수 있는 지원시스템을 필요로 하기 때문에 상당한 예산이 투입되어야 한다. 따라서 남극에 과학기지를 갖고 있는 수십개 국가 중에서 일부의 국가만이 운석탐사를 지속적으로 수행하고 있다(그림 1).

남극에서의 모든 과학 활동과 마찬가지로 회수된 남극운석은 연구용으로만 사용되어야 한다. 성문화

된 법률은 아니지만, 미국과 일본은 외교협정(protocol)을 통해 동일한 기준으로 남극운석을 관리하고 있고, 이 협정 내용은 남극운석을 보유하고 있는 다른 나라에게도 적용되고 있다. 여기서 가장 중요한 점은 남극운석을 회수한 기관은 일정기간 내에 정해진 기준에 의해 운석을 분류하고, 홈페이지 또는 뉴스레터 등을 통해 공개한 후, 적절한 절차를 거쳐 전 세계 연구자들에게 분배하여야 한다는 것이다. 미국과 일본은 일년에 평균 두 차례 뉴스레터를 발간하여 운석을 공개한 후 분배하고 있다(예를 들면, Kojima, 2001; Allen, 2002). 최근 아프리카 사막에서 다량의 운석이 회수되어 상업적으로 확보할 수 있음에도 불구하고, 많은 운석학자들이 남극에서 보다 많은, 보다 새로운 운석이

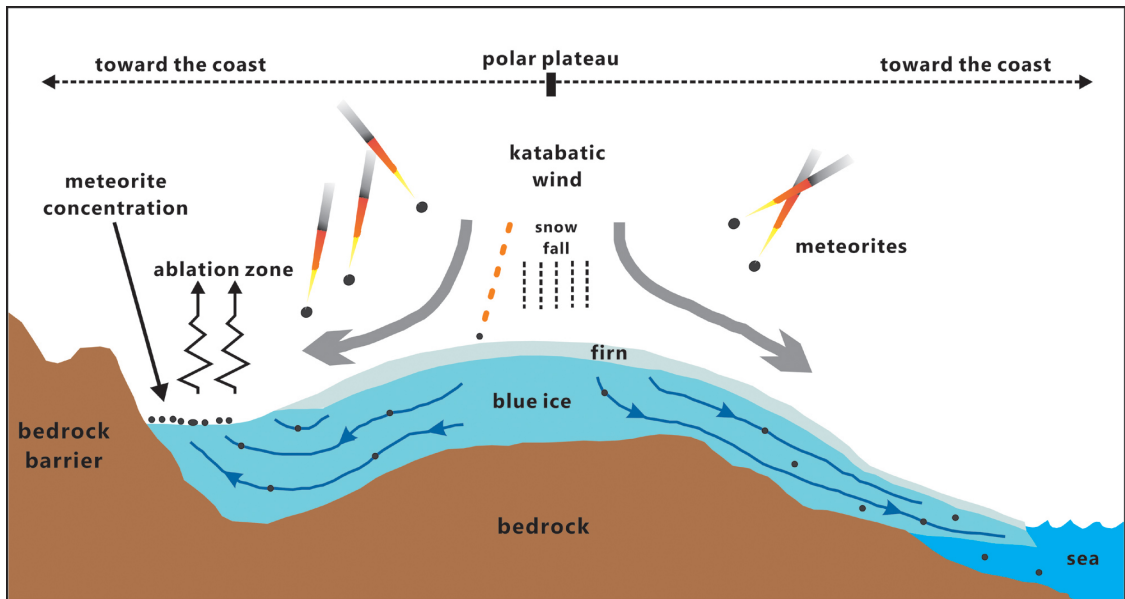


Fig. 2. General principles of meteorite concentration mechanism (uphill setting) in Antarctica, modified after Cassidy *et al.* (1992).

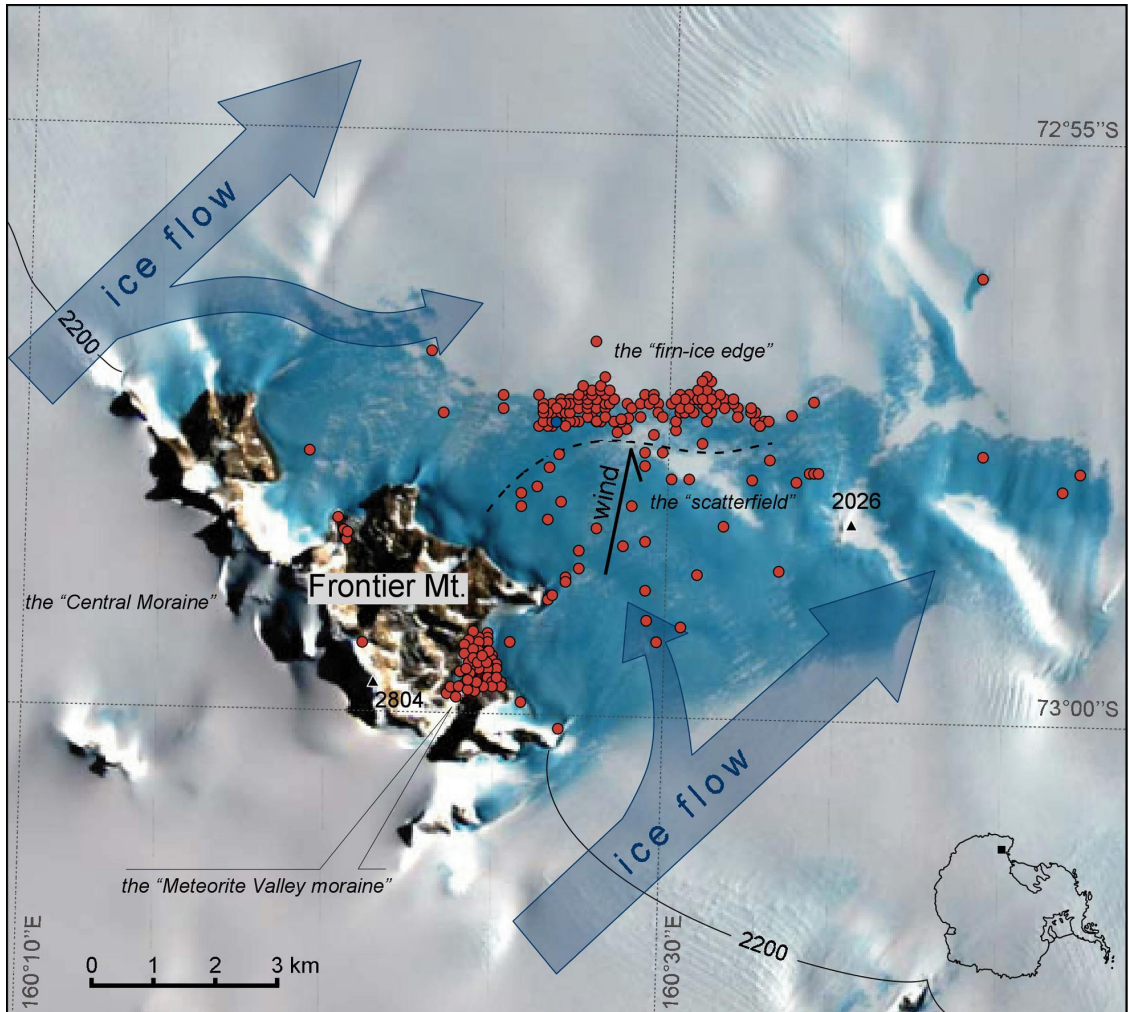
회수되기를 기대하는 이유가 바로 이것이다. 남극운석은 낙하한 운석과 사막운석에 비해 크기는 작지만, 방대한 회수량으로 인해 모든 종류의 운석을 포함하고 있고, 이들 남극운석에 의해 새로운 그룹이 만들어 지기도 한다(Harvey, 2003). 특히 그룹 별로 소수에 불과한 시원적인 분화운석(primitive achondrites; 최변각, 2009)은 현재까지 거의 대부분 남극에서 회수되었다. 극지연구소도 그동안 회수하여 분류가 완료된 수십 개의 남극운석을 2010년 초 공개하고 분배할 예정이다. 이를 계기로 우리나라에서도 남극운석에 대한 관심이 고조되고, 운석 연구가 활성화되기를 기대한다.

2006 - 2008 남극 하계기간 중 세 차례의 남극운석탐사를 통해 운석 회수에 성공함으로써, 우리나라도 세계 5대 남극운석 보유국가가 되었다. 이번 논평에서는 남극에서 운석이 농집되는 과정과 일본, 미국, 이태리, 중국 등 선행국가의 운석탐사 동향에 대해 살펴보고, 우리나라 남극운석 탐사 결과를 보고하고자 한다. 그리고 중장기 운석탐사 계획에 대해서도 간략하게 논의하고자 한다.

## 2. 남극 운석 농집 과정

최초의 남극운석은 1912년 호주의 모슨(Douglas

Mawson) 탐사대에 의해 동남극 아델리 해안(Adelie Coast)에서 발견되었다(Mawson, 1915). 이 탐사대의 지질학자인 F.L. Stillwell은 완벽한 용융각(fusion crust)을 갖는 직경 10 cm의 이 돌이 운석임을 인식하고, 귀국 한 후 연구결과를 발표하였다(Bayly and Stillwell, 1923). 1957년 국제지구물리의 해를 계기로 남극대륙에서 체계적인 과학탐사와 본격적인 상주기지 건설이 시작된 이후, 1960년대 초반까지 몇 개의 철질 운석과 석질 운석이 발견되었다(Harvey, 2003 and references therein). 이 중 1961년 12월 티엘산맥(Thiel Mountains)의 웨더(Wrath) 산 북동부의 모레인(morain)과 인접한 청빙지대에서 발견된 팔라사이트(pallasite)(우리나라도 현재 이것과 같은 pair라고 생각되는 3.5kg과 5kg의 두 개의 팔라사이트를 소유하고 있음)는 모레인과 연관성과 심한 풍화작용을 받은 점 때문에 최근에 낙하한 운석이 아니라 장기간에 걸쳐 이동해 온 것으로 인식되었다(Ford and Tabor, 1971). 그러나 당시 유일한 운석이었기 때문에 농집 과정에 대한 체계적인 연구로는 진전되지 못했다. 이 시기에 동남극에 쇼와(Showa)기지를 건설한 일본은 1969년 12월 제10차 남극연구단(JARE, Japanese Antarctic Research Expedition)의 빙하유동 연구그룹을 내륙에 파견하



**Fig. 3.** The representative downhill setting for meteorite trap, Frontier Mountains, Victoria Land in Antarctica, modified after Folco (2006).

여 조사하던 중 동남극 야마토산맥(Yamato Mountains, 그림 1)의 청빙지대에서 5개 그룹에 해당하는 9개의 운석을 발견하였다(Yoshida *et al.*, 1971). 이때부터 남극의 특정지역에 운석이 농집된다는 사실을 인식하기 시작한 일본은 같은 지역에서 1973년에 12개와 1974년에 663개의 운석을 회수하였다(Shiraishi *et al.*, 1976). 1970년대 중반부터 미국이 남극횡단산맥(Transantarctic Mountains)에서 운석을 회수하기 시작하면서 양국이 보유한 운석 숫자도 급격하게 증가하였고, 운석 농집 과정에 대한 연구도 활발하게 진행되었다.

남극운석은 장기간에 걸쳐 현재의 발견 장소에

떨어진 것(direct infall; Huss, 1990)이라는 일부의 주장이 있기는 하지만, 농집 과정에 대한 가장 일반적인 견해는 장기간에 걸친 빙하의 유동에 의해 낙하한 운석이 이동해서 특정지역에 모이게 된다는 것이다(ice flow model; Cassidy *et al.*, 1992). 그림 2는 이 모델을 간단하게 모식화한 것이다. 현재 남극 대륙은 동남극 중앙부가 가장 높다(예를들면, Dome Argus, >4,000 m). 이런 고지대로부터 중력에 의해 빙하가 해안으로 흐르게 되는데, 이런 큰 흐름은 적어도 수백만년 이상 지속되고 있는 것으로 생각된다. 이런 흐름이 해안 지역의 산맥에 가로막히게 되면, 산맥에 접한 부분에 보통 100 km<sup>2</sup> 이하의 많은



청빙지대가 형성된다. 청빙지대의 형성에는 대륙중 양부에서 불어오는 강한 활강풍(katabatic wind)과 남극의 건조한 기후가 큰 역할을 한다. 청빙지대에서는 빙하의 집적보다는 유실이 훨씬 빠르게 일어나기 때문에, 오래된 얼음층이 지속적으로 노출된다. 결국 컨베이어 벨트와 같은 역할을 하는 빙하의 흐름에 의해 대륙의 여러 장소에 낙하한 운석이 청빙지대에 모이게 된다. 그림 2와 같이 청빙지대가 이상적으로 산맥의 내륙측 고지대에 형성되어 많은 운석이 모이는 장소를 'uphill setting'이라고 하는데, 대표적인 곳은 가장 많은 운석이 회수된 야마또산맥이다. 야마또산맥 주변에 발달한 청빙지대는 면적이 4,000 km<sup>2</sup> 이상이다.

비교적 작은 산맥 또는 산체에서는 청빙지대가 해안측 저지대에 형성되고, 이곳에서 많은 운석이 회수된다. 이런 곳을 'downhill setting'이라고 하는데, 대표적인 장소는 빅토리아랜드(Victoria Land)의 프론티어산맥(Frontier Mountains)이다(Folco *et al.*, 2002; 그림 3). 이런 곳에서는 빙하 속도, 얼음 두께, 얼음 삭박율, 지형, 바람 등 다양한 요인에 의해 운석의 농집이 결정되는데, 자세한 내용은 위 논문을 참조하길 바란다. 또 주변에 큰 산체가 없이 얼음 절벽으로 둘러싸인 모레인에서 많은 운석이 회수되기도 하는데, 대표적인 지역으로 엘리펀트 모레인(Elephant Moraine)이 있다(Harvey, 2003).

미국의 맥머도(McMurdo)기지와 인접한 남극 횡단산맥의 미티오라이트힐즈(Meteorite Hills)에서는 위에 설명한 세 가지 환경에서 모두 많은 운석이 회수되었다(Harvey, 2003). 따라서 남극에서 운석이 농집되는 과정은 기본적으로 빙하 흐름의 규제를 받지만, 특정 청빙지대 또는 모레인에 운석이 농집되는 과정은 앞서 언급한 여러 요인의 상호작용에 의해 결정된다. 결국 이런 복합적인 과정을 이해하기 위해서는 상당기간의 정량적인 관측이 필요하다.

### 3. 남극 운석 탐사 국제 동향

1970년대부터 남극의 특정 청빙지대에서 다량의 운석이 농집될 수 있다는 점을 인식한 일본과 미국은 이때부터 운석 회수를 목적으로 한 탐사대를 지속적으로 파견하고 있다. 1970년대 중반 일본과 미국의 연합 탐사대에 의해 남극 횡단산맥에서 공동 탐

**Table 1.** Number of meteorites recovered from JARE.

Year	JARE	Japan	Remark
1912			First Antarctic Meteorite
1961			
1962			
1964			
1969	JARE-10	9	
1973	JARE-14	12	
1974	JARE-15	663	
1975	JARE-16	308	
1976		11	(11)Japan-USA
1977		249	(310)Japan-USA
1978		227	(311)Japan-USA
1979	JARE-20	3697	Lunar meteorite by JARE
1980	JARE-21	13	
1981	JARE-22	133	Lunar meteorite by USA
1982	JARE-23	211	
1983	JARE-24	42	
1984	JARE-25	59	
1985			
1986	JARE-27	817	
1987	JARE-28	352	Asuka meteorite
1988	JARE-29	1597	Asuka meteorite
1989			
1990	JARE-31	48	
1991			
1992	JARE-33	3	
1993			
1994	JARE-35	16	
1995			
1996			
1997			
1998	JARE-39	4180	
1999			
2000	JARE-41	3554	Martian meteorite by JARE
Total		16201	

JARE: Japanese Antarctic Research Expedition

사가 수행되었고, 1970년대 말부터 미국과 일본은 독자적인 운석탐사대를 지속적으로 파견하고 있다. 1990년대 이태리가 동남극 빅토리아랜드에 운석탐사대를 파견했고, 1990년대 말 중국이 자국의 동남극기지 주변의 그로브산맥(Grove Mountains)에서 운석탐사에 가세함으로써 4개국에 지속적인 남극운석탐사 체제를 구축하였다. 우리나라는 2006년 처음으로 티엘산맥에 운석탐사대를 파견하여 운석회수

**Table 2.** Lunar and Martian meteorites collected from JARE.

Lunar meteorites			Martian meteorites		
Name	Weight(g)	Rock type	Name	Weight(g)	Rock type
Yamato-791197	52	Anorthositic breccia	Allan Hills-77005	480	Shergottite
Yamato-793169	6	Gabbro	Yamato-793605	16	Shergottite
Yamato-793274	9	Basaltic-anorthositic breccia	Yamato 980459	82	Shergottite
Yamato-82192	37	Anorthositic breccia	Yamato 000593	13700	Nakhilite
Yamato-82193	27	Anorthositic breccia	Yamato 000749	1283	Nakhilite
Yamato-86032	648	Anorthositic breccia	Yamato 000802	22	Nakhilite
Asuka-881757	442	Gabbro	Yamato 000027	9	Shergottite
Yamato 981031	186	Basaltic-anorthositic breccia	Yamato 000047	5	Shergottite
Yamato 983885	290	Basaltic-anorthositic breccia	Yamato 000097	24	Shergottite

에 성공하였다. 현재 남극에 상주기지를 보유한 20여개 국가 중에서 이 5개국이 자국의 정부 예산으로 운석탐사를 수행하고 있다(그림 1).

### 3.1 일본의 남극운석 탐사

1969년 아마토산맥의 청빙지대에서 우연히 9개의 운석을 회수한 일본은 현재까지 20여 차례 운석탐사대를 파견하여 16,000개 이상의 남극운석을 회수해 세계 최대 남극운석 보유국가의 위상을 유지하고 있다(Kojima, 2006; 표 1). 운석탐사는 주로 쇼와기지에서 남서쪽으로 수백 km 이상 떨어진 아마토산맥, 벨리카산맥(Belgica Mountains) 그리고 소론다네산맥(Sor Rondane Mopuntains) 주변에서 실시하고 있으나, 가장 주된 운석 회수 지역은 아마토산맥이다. 탐사는 대형 설상차 2-3대와 소형 스노우모빌(snow mobile) 2-3대를 동원해 쇼와기지를 출발해 약 4개월간 8-10인의 탐사대에 의해 수행되고 있다. 월동대의 가장 주요한 임무로 운석탐사를 부여한 1979, 1988, 1998, 2000년 탐사에서는 각각 1,000개 이상의 운석을 회수하기도 하였으며(표 1), 현재까지 각각 9개의 달 운석과 화성 운석을 보유하고 있다(표 2). 2000년대 들어 운석탐사가 이루어지지 않다가 금년부터 3년 동안 위에 언급한 지역에서 운석탐사가 재개된다. 과거의 탐사와 다른 점은 운석탐사대를 탐사지역에 가까운 일본의 아스카기까지 항공기로 수송한다는 점이다.

회수된 남극운석은 동경소재 극지연구소(NIPR, National Institute of Polar Research)의 남극운석센터에서 총괄적으로 관리한다. 분류가 완료된 운석은 매년 1-2회 뉴스레터를 통해 국제사회에 공개하

고 있으며, 적절한 선정 절차를 거쳐 연구용 시료를 분배한다. 매년 6월 동경소재 극지연구소에서 국제 규모의 남극운석 심포지움을 개최하고, 이 결과를 회보(proceedings)로 발간하고 있다.

### 3.2 미국의 남극운석 탐사

1973년 국제운석학회에서 일본이 1969년에 아마토산맥에서 5개 그룹 9개의 운석을 발견했다는 것에 영향을 받은 미국은 1975년에 운석탐사대(ANSMET, Antarctic Search for Meteorites)를 조직하고, 1976년부터 남극횡단산맥에서 미국 국립과학재단(NSF, National Science Foundation)의 지원으로 탐사를 시작하였다(Harvey, 2003). 1976, 1977, 1978, 3 시즌 동안 남극 로스섬에 위치한 맥머도기지에서 헬기로 지원 가능한 거리의 남극횡단산맥 일원에서 미국-일본 연합으로 운석탐사를 실시하여 약 500여개의 운석을 회수하였다. 이후 거의 매년 독자적인 운석탐사대를 남극횡단산맥의 50여개 지역에 투입하여 현재까지 16,000여개(총 질량 약 3톤)의 운석을 회수하였다(그림 4). 운석탐사대팀은 대형 수송기의 지원하에 맥머도기지 또는 남극점기지를 출발하여 탐사지역으로 이동하며, 5-7주간 각 5-6인의 2개 팀으로 탐사를 실시했다. 최근에는 보다 효율적인 운석 회수를 위해 남극횡단산맥의 대표적인 청빙지대에 대한 빙하유동 연구를 통해 운석의 농집 과정을 규명하는 연구도 병행되고 있다(Harvey, 2003). 청빙지대에서는 강한 바람에 의한 승화작용(sublimation)의 효과로 빙하의 유실이 매우 빠르게 일어나는 점을 주목하고 같은 지역에서도 주기적으로 탐사를 실시하고 있다.

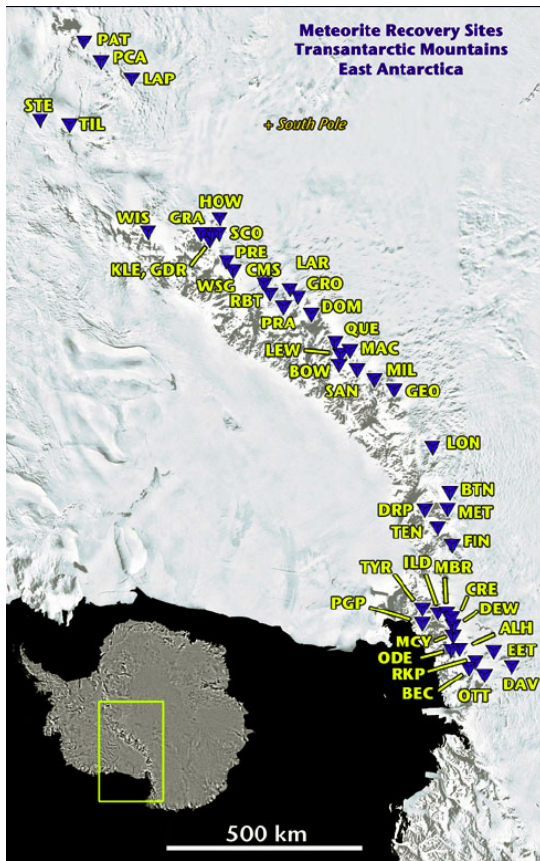


Fig. 4. Meteorite recovery sites of Transantarctic Mountains by ANSMET, USA.

미국은 운석 회수 프로그램(미국 국립과학재단의 지원을 받는 운석탐사대)과 큐레이션(curation) 프로그램(운석의 관리, 분류, 분배, 연구를 담당하는 NASA)을 양분하여 운영하고 있다. 운석탐사대에 의해 회수된 운석은 모두 휴스톤에 위치한 나사 존슨 우주센터(NASA JSC, NASA Johnson Space Center)에 냉동상태로 도착하고, 이곳의 청정실험실에서 1차 처리와 분류가 이루어진다. 철 운석과 평형화된 O-콘드라이트는 장기보관을 위해 스미소니언 연구소(Smithsonian Institution)로 보내지고, 연구가치가 높은 시료는 분배를 위해 존슨 우주센터에서 보관한다. 현재까지 17,000여개의 연구용 시편이 전 세계 500여명의 운석학자에게 분배되었다(Richter *et al.*, 2006).

### 3.3 이태리의 남극운석 탐사

동남극 빅토리아랜드에 마리오 주첼리(Mario Zucchelli)

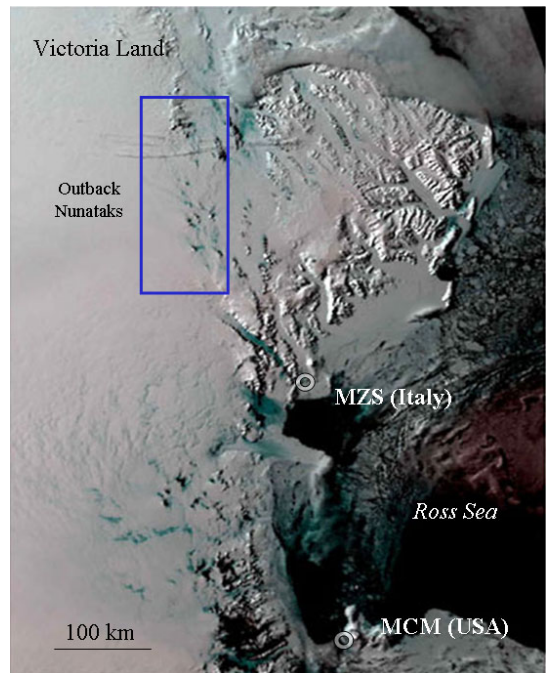


Fig. 5. Satellite image of Victoria Land, Antarctica. Blue box shows the main recovery field of meteorites by Italian expedition. MCM; McMurdo Station, MZS; Mario Zucchelli Station.

기지를 운영하고 있는 이태리는 1990년부터 이 지역에서 운석탐사를 시작하였다(그림 5). 1990년과 1993년에는 유럽 각국과 EUROMET 형태로 탐사를 실시하였고, 이후 2년 주기로 독자적으로 운석탐사를 실시하여 총 7차례에 걸친 탐사가 이루어졌다(Folco, 2006). 조사지역은 프론티어산맥, 밀러부트(Miller Butte), 로버츠부트(Roberts Butte) 그리고 요하네스스 누나타스(Johannessen Nunataks)를 포함하는 북부 빅토리아랜드이다. 7차례의 조사를 통해 730여개(총 26.5 kg)의 운석을 회수하였는데, 그 대부분이 프론티어산맥에서 발견되었다. 마리오 주첼리기지에서 남쪽 250 km 지점에 위치한 조사지역까지의 이동은 경비행기 또는 헬기가 지원한다. 산악전문가를 포함하는 3-5인의 탐사대가 남극에서 기온이 가장 양호한 12월에서 1월 중에 약 한 달간 고립된 캠프에서 생활하며 조사를 수행한다.

운석 탐사와 운석의 관리는 시에나에 위치한 국립남극박물관(Museo Nazionale dell'Antartide)에서 담당하고 있다. 회수된 운석은 1년 이내에 Meteoritical

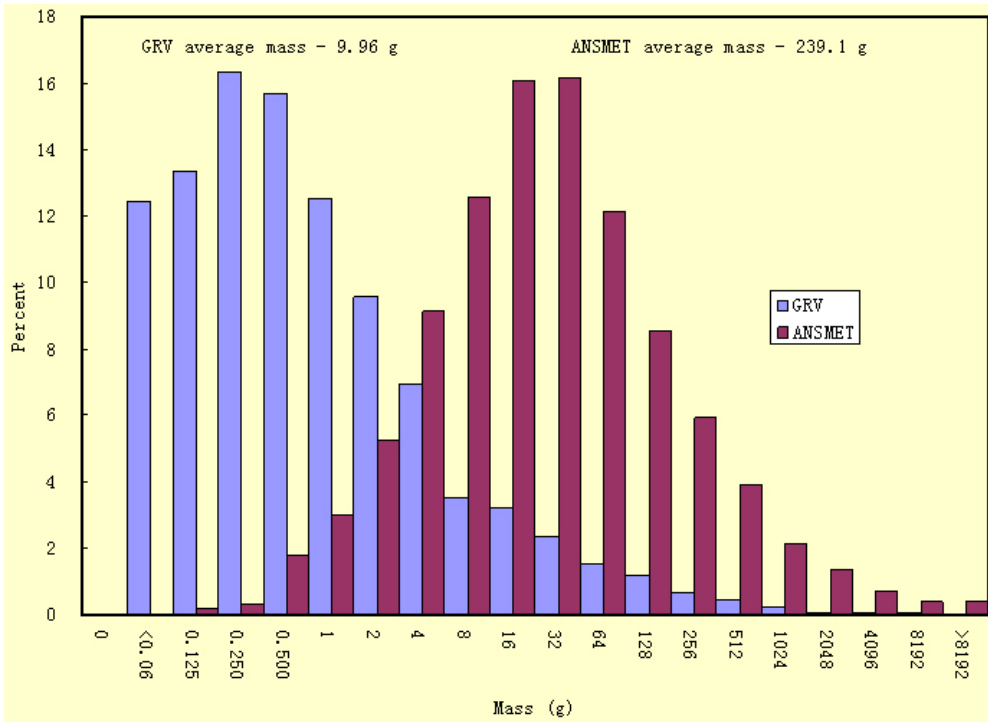


Fig. 6. Mass histogram showing Chinese (GRV) and USA (ANSMET) collections of Antarctic meteorites, modified after Miao and Lin (2006).

Bulletin과 온라인을 통해 전 세계에 공표하고 있으며, 현재까지 약 250여개의 연구용 시편을 분배 하였다.

3.4 중국의 남극운석 탐사

중국은 1998년부터 동남극 중산기지에서 남쪽으로 500여 km 지점에 위치한글로브산맥(Grove Mountains) 주위의 청빙지대에서 4차례(1998, 1999, 2002, 2005 시즌)의 운석탐사를 실시하였으며, 그 결과 9,838개의 운석을 회수하였다(Miao and Lin, 2006). 운석탐사대는 상하이 소재 극지연구소와 북경 소재 지질-지구물리연구소 전문가가 주축이 되어 약 10여명으로 구성된다. 운석탐사는 일본과 유사하게 설상차 3대 등의 중대형 장비를 동원하여 대륙횡단을 통해 현장에 접근하는 방법으로 이루어진다. 1998 시즌에 4개와 1999 시즌에 28개의 운석을 글로브 산맥에서 발견한 이후, 대형 운석탐사대를 조직하여 2002 시즌에는 4,448개, 2005 시즌에는 5,354개 등 다량의 운석을 회수하는 성과를 얻었다. 현재까지 글로브 산맥 주변에 분포하는 청빙지역 총 550 km<sup>2</sup> 중에서 약 150 km<sup>2</sup> 정도의 지역이 조사 완료되었다. 중국

탐사대의 남극 운석은 약 80% 정도가 모레인에서 그리고 나머지 20% 정도가 청빙지대에서 회수되었다. 특히 모레인에서 회수된 운석은 청빙지대에서 얻은 것보다 대체적으로 변질이 심하고, 크기가 작아 분류가 어려운 것도 상당수 존재하는 것으로 판단된다. 처음 3차례에 걸쳐 채집된 운석 총 4,480개의 무게는 0.01g에서 4,360g 까지 다양하며, 평균 9.96g이다(그림 6). 특히 1g 미만으로 분류가 힘든 운석이 상당수를 차지하고 있다. 미국 운석탐사대에 의해 회수된 운석의 평균무게 239.1g과 비교하면 전체적으로 매우 작은 크기의 운석을 다량 회수한 것으로 보인다.

4. 대한민국 남극 운석 탐사

4.1 사전 기획

2007/08 국제 극지의 해(IPY, International Polar Year)를 맞이하면서 선진 각국이 제안한 남극 횡단 연구 프로그램에 우리나라도 주도적으로 참여하고, 2009년 쇄빙연구선 건조와 2012년 남극 제2대륙기



지 건설에 대비한 대륙형 극지연구 프로그램을 개발하고자, 선진 4개국만이 수행 중인 남극대륙 운석 탐사 프로그램을 2005년부터 기획하기 시작하였다. 남극대륙에서의 연구 경험이 없는 상태에서 무리하게 운석탐사 프로그램을 추진하기 보다는 미국, 일본, 이태리, 중국 등이 추진 중인 프로그램의 장·단점을 면밀하게 분석하고, 우리나라 특성에 맞는 프로그램을 개발하기 위해 운석탐사 국가들을 철저히 벤치마킹하였다. 2005년 6월부터 약 1년간 남극운석을 국가주도형 사업으로 수집하고, 운석의 분류 및 연구를 수행하고 있는 미국, 일본, 중국 등의 전문가관(미국 나사 존슨 우주센터, 일본 극지연구소, 중국 지질-지구물리연구소)을 차례로 방문하였다. 3개국 모두 자국의 막대한 예산이 투입되는 운석탐사에 다수의 우리나라 탐사대를 동참시키는 것은 불가능하고, 우리나라가 필요한 모든 예산을 투입한다고 하더라도 현지에서 회수되는 운석은 자국의 소유이어야 한다는 의견을 제시하였다. 일본 측은 기본적으로 운석탐사는 월동연구대가 수행하기 때문에 일본의 월동연구대로 참여해야만 한다는 의견을 제시하였다. 중국 측은 1-2명의 탐사대를 동참시킬 수는 있지만 최소 4개월 이상의 시간이 소요되어야 한다는 의견을 주었다. 3개국 탐방을 통해 운석소유에 대한 각국의 입장이 완고함을 파악하고, 우리나라 소유의 운석을 확보하기 위해서는 독자적으로 탐사대를 파견하는 것이 유일한 방법임을 인식하게 되었다.

2006년 8월 세계 4대 남극운석 탐사국가의 책임자급 전문가를 초청하여 국제 남극 운석탐사 워크숍(International Workshop on Antarctic Meteorite

Survey)을 서울대와 공동으로 개최하였다. 이 때 총 5개국 6명(미국 2명 포함)의 발표자가 자국의 남극 운석 탐사 현황과 운석의 관리/분류 시스템에 대해 발표하였고, 우리나라도 2006년 12월 실시 예정인 남극운석 탐사 프로그램에 대해 발표하였다. 그리고 전문가들의 자문을 구해 구체적인 탐사계획을 수립하였다. 이 워크숍을 통해 우리나라 최초의 운석탐사 프로그램의 문제점에 대해 집중적인 토의를 할 수 있었고, 현장에서 발생 가능한 많은 문제점을 상당 부분 보완할 수 있었다. 특히 탐사예정 지역인 남위 80도, 서경 80도 부근의 엘스워츠산맥 패트리어트힐즈 부근은 고도가 1,000 m 이하로 낮고, 기온이 높아 운석 탐사 지역으로는 적합하지 않을 것이라는 미국 측의 제안을 받아들여, 새로운 지역에 대한 위성사진 등을 확보한 후 최종 조사 지역으로 남위 81-82도, 서경 80-90도, 고도 1,000 m 이상의 세 개 지역(마틴힐, 내쉬힐, 피릿힐)을 선정하였다.

남극대륙 패트리어트힐즈까지의 장비와 인력 운송 및 현지에서의 경비행기, 소노우모빌 등의 탐사 지원은 서남극에서 유일한 영국계 탐사지원 회사인 ALE(Antarctic Logistics & Expeditions)의 지원을 받기로 하고, 2006년 12월 29일 입남극, 2007년 1월 27일 출남극으로 계약하였다. 2차, 3차 남극운석 탐사도 상기 회사의 지원을 받았다.

#### 4.2 제1차 남극 운석 탐사(2006/07)

2006년 11월 7-8일 서울 우이동 소재 코오롱 등산 학교에서 남극대륙 현장 적응 능력 배양을 위해 암벽과 빙벽 훈련 그리고 생존 장비 운용 방법에 대해

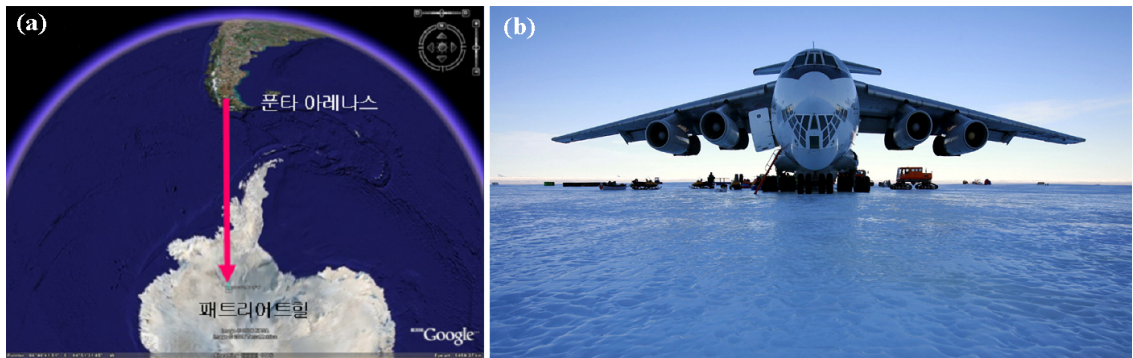
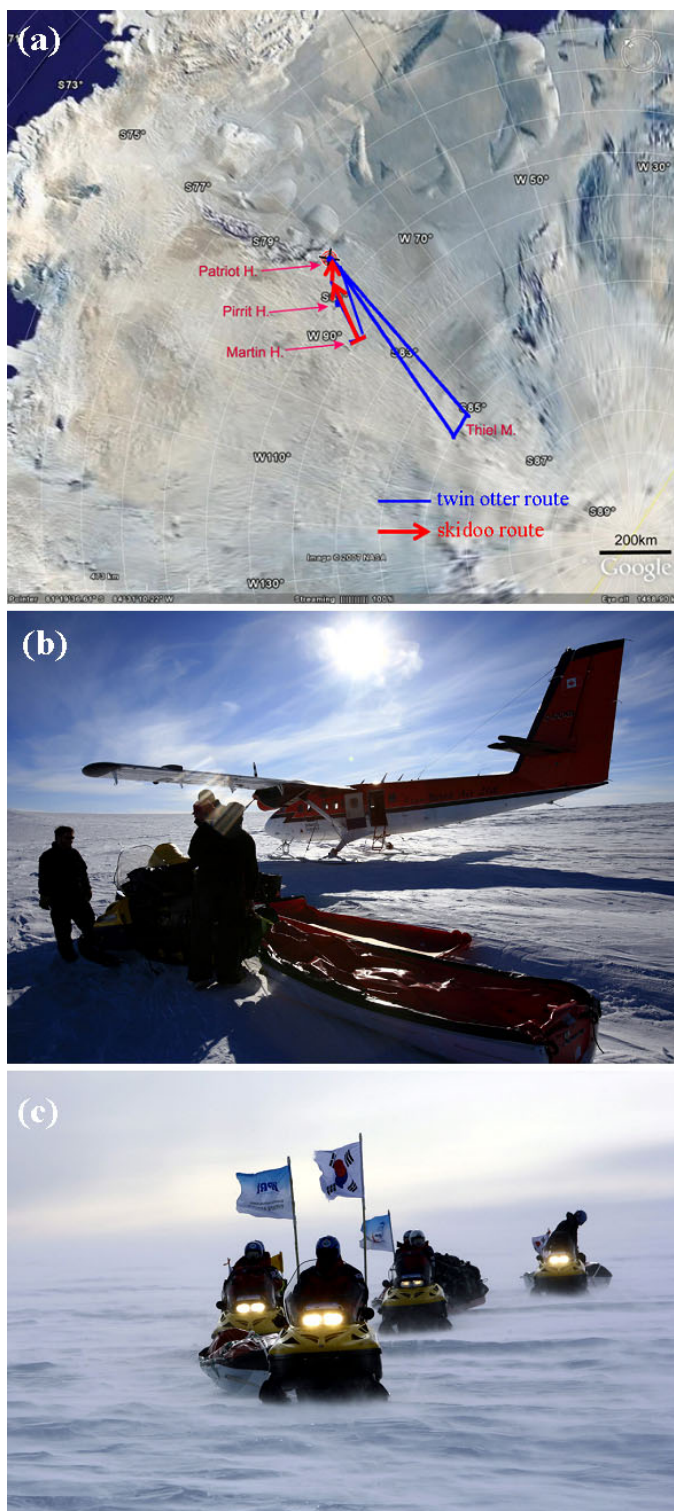


Fig. 7. (a) Aerial route between Punta Arenas, Chile and Patriot Hills, Antarctica and (b) Russian cargo airplane, Ilvushin IL76.



**Fig. 8.** (a) Aerial route by twin otter and subaerial route by skidoo for the 1st KOREAMET, (b) Canadian twin otter landed on snow and (c) snow mobiles (skidoos) traversing snow field.



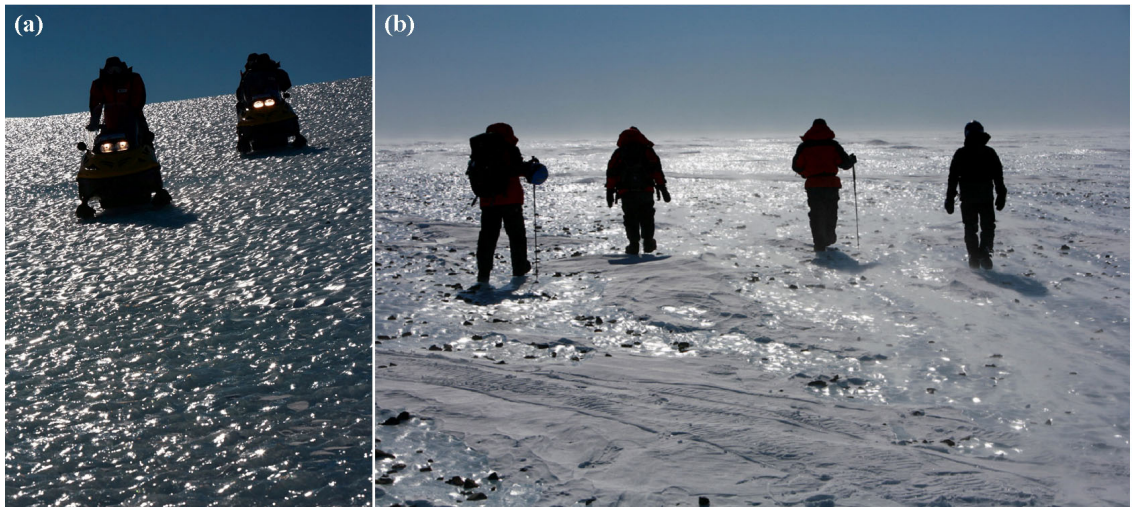


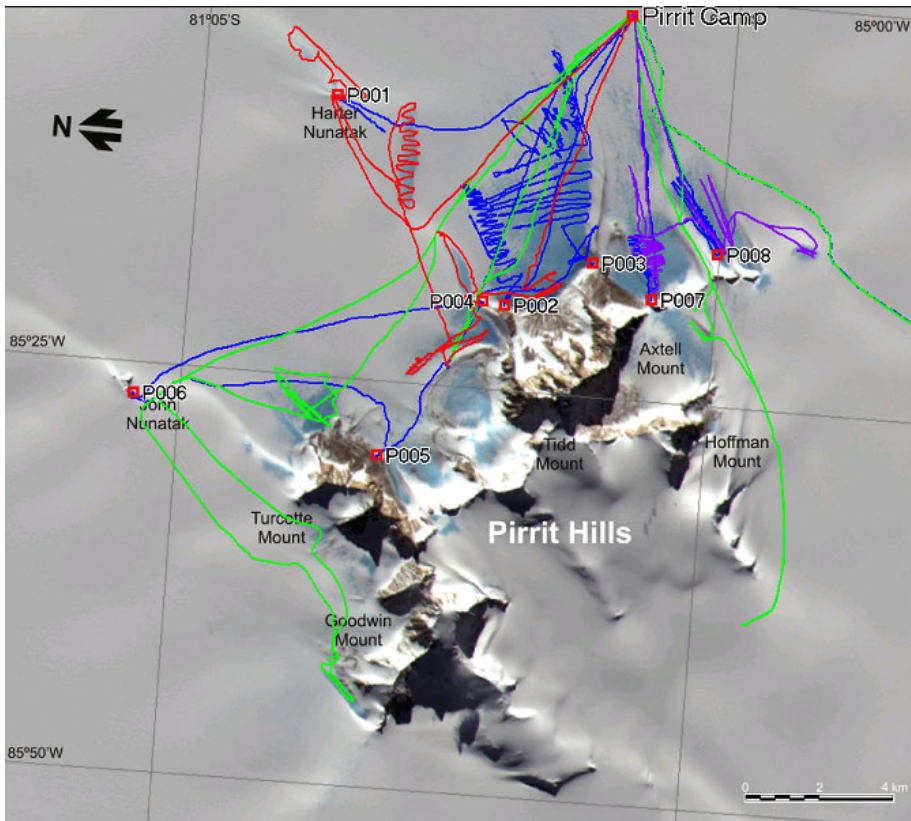
Fig. 9. Searching for meteorites (a) by snow mobiles and (b) on foot during the 1st KOREAMET.

교육을 받았다. 2006년 12월 19일 인천을 출발하여 2007년 1월 6일까지 남미 칠레의 폰타아레나스와 주변지역(또레스 델 빠이네와 우슈아이아)에서 장비 점검 및 현지적응훈련을 실시하고, 부족한 장비보완 및 운석탐사 시 예상되는 각종 문제점에 대한 최종 점검을 실시하였다.

남극 현지의 기상 악화로 인해 예정일 보다 9일이나 늦은 2007년 1월 7일 입남극하여, 1월 30일까지 서남극대륙 패트리엇힐 주변(남위 81도와 85도 사이)의 4개 청빙지역에서 운석 회수를 위한 집중적인 탐사를 수행하였다. 운석탐사대는 3인의 연구원과 2인의 전문산악인 그리고 1인의 탐사전문작가 등 6인과 남극 현지에서 대륙탐사 경험이 풍부한 영국인 전문가인 1인의 지원을 받는 등 총 7인으로 구성되었다. 칠레 폰타아레나스에서 패트리엇힐즈까지 편도 약 3,000 km는 러시아제 수송기(Ilvushin IL76, 약 5시간 소요)를 이용하였고(그림 7), 남극 현지에서의 이동은 경비행기(twin otter)와 스노우모빌을 활용하였다(그림 8). 패트리엇힐즈 베이스캠프에서는 이전의 전문성 습득 여부에 관계없이 스노우모빌 등의 장비 운용 기술, 크레바스 탈출 등의 비상 구출 훈련, 그리고 위성전화기 등의 통신장비 운용에 대한 훈련을 받았다. 운석탐사 지역에서는 바람 방향의 수직 방향(서남극 대륙 안쪽에서는 항상 남풍임)으로 나란하게 이동식 캠프를 설치하였다. 캠프에서는 스코트형 텐트 4개, 외국 가이드 텐트 1

개, 화장실 및 장비보관용 텐트 1개, 스노우모빌 4대, 연료 저장소를 운영하였고, 비상용 이글루 1개도 설치하였다. 패트리엇힐즈 베이스캠프와는 매일 일정시간에 위성전화기를 이용한 교신을 실시하여, 당일의 조사내용, 위치, 대원들의 건강상태 등을 보고하고, 다음날의 기상상태에 대한 정보를 받았다.

청빙지대에서의 운석탐사는 인근 산지에서 유래한 기반암 파편이 많은 경우는 주로 도보로, 적은 경우는 주로 스노우모빌을 이용하였는데(그림 9), 그림 10은 피릿힐 지역에서 운석탐사를 위해 스노우모빌과 도보로 이동한 경로를 나타낸 것이다. 제 1 탐사지역인 마틴힐과 내쉬힐(남위 82도, 서경 90도, 고도 약 1,200-1,500 m)은 1월 11일부터 17일까지 총 7일 동안 탐사를 실시하였다. 내쉬힐은 초기 정찰을 통해 청빙지대의 발달이 미약함을 파악하고 운석탐사 지역에서 제외하였다. 마틴힐 북쪽의 폭 1 km, 길이 10 km 정도의 청빙지역에 대한 집중적인 탐사를 실시하였으나 운석 회수는 실패하였다. 흑색 내지는 짙은 회색의 저변성 퇴적암으로 구성된 마틴힐에서 암석 시료 20여점을 채취하였다. 제 2 탐사지역인 피릿힐(남위 81도, 서경 85도, 고도 약 1,100 m)에서는 마틴힐에서 110 km를 스노우모빌로 이동하여 캠프를 새로 설치하고 1월 19일부터 22일까지 총 4일을 조사하였다. 분화말기의 담홍색 화강암 산지로 구성된 피릿힐 북측의 4-5개로 분리된 청빙지역에서 집중적인 운석 탐사를 실시했으나 운석 회수는 실패하



**Fig. 10.** Satellite image of Pirrit Hills, West Antarctica, showing survey routes by each snow mobile during the 1st KOREAMET.

였고, 기반암 연구를 위한 화강암 시료 20여점을 채취하였다.

1월 23일 피릿힐을 출발하여 패트리엇힐즈 베이스캠프로 육상 이동 귀환한 후, 1월 28일 제 3 탐사 지역인 티엘산맥 몰튼에스카프먼트(Moulton Escarpment; 남위 85도, 서경 90도, 고도 약 2,200 m)까지 경비행기로 이동하였다. 총 7시간의 짧은 탐사를 수행하기 위해 최소 장비(스노우모빌 1대)만을 이용하였으며, 시간 절약을 위해 경비행기를 청빙지역에 바로 착륙시켰다. 결국 이 지역에서 우리나라가 최초로 소유하는 남극 운석 5개를 회수하였다(그림 11). 1월 30일 폰타아레나스에 위치한 극지연구소 소유 현지사무소로 귀환한 후 곧바로 운석을 진공 포장하여 냉동 컨테이너에 입고한 후 우리나라로 선박 운송하였다. 운석탐사대는 2월 5일 인천으로 귀환하였고, 운석은 3월 말 극지연구소에 도착하여, 서울대와 공동으로 분류작업을 시작하였다.

### 4.3 제2차 남극 운석 탐사(2007/08)

티엘산맥 몰튼에스카프먼트 청빙지대에서 우리나라 최초로 운석 회수에 성공한 것을 계기로 제2차 남극 운석 탐사는 티엘산맥 주변 전체 청빙지대를 대상으로 결정하였다. 미국 지질조사소(USGS)로부터 티엘산맥 지형도를 입수하고, 이 지역 청빙지대에 대한 위성사진을 항공우주연구원에 의뢰하여 아리랑위성 1호가 찍은 위성사진을 2007년 11월에 확보하였다. 지형도와 위성사진을 합성하여 네비게이션이 가능한 지도를 제작하였다(그림 12). 1차 탐사에서 문제가 되었던 텐트를 비롯한 막영장비, 취사장비, 통신장비 등을 대폭 보강하였다. 2차 탐사대는 연구원 1인과 외국인 가이드 1인이 교체되고, 탐사전문작가가 제외되어 총 6인으로 구성되었다.

티엘산맥은 남극점에서 서쪽으로 약 500 km 지점인 남위 85도, 서경 90도 부근에서 북서-남동 방향으로 발달하는 총 연장 100여 km에 해당하는 산맥





Fig. 11. 5 ordinary chondrites recovered from the 1st KOREAMET.

으로 고도는 1,600 - 2,800 m 정도이다. 산맥의 정점은 모두 암반으로 연장되지 않고, 중간 중간에 유사한 고도의 얼음 절벽(ice escarpment)이 암반들을 연결하고 있다. 남측에서 흘러온 빙하가 막히는 남서쪽 고지대의 고도는 2,000 - 2,400 m 정도이다. 암반 정점과 얼음 절벽은 대체적으로 북동쪽으로 급경사면을 이루고 있고, 경사면 아래 북동쪽 저지대의 고도는 1,600 - 1,700 m 정도이다. 암상은 거의 대부분이 변질을 많이 받은 담홍색 또는 연녹색의 시대미상 반상화강암과 화강반암으로, 이 화강암류가 산맥의 남동쪽 끝 부분에서 역시 시대미상의 저변성 퇴적암층을 관입하고 있다. 위성사진에 의하면 몰튼에스카프먼트를 포함하는 전체 티엘산맥에서 대부분의 청빙지대는 산맥의 북쪽 또는 북동쪽의 저지대에 발달한다.

우리나라 입장에서 티엘산맥이 운석 탐사 지역으로 적합한 이유는 1961년 대형 팔라사이트가 발견되었다는 점(Ford and Tabor, 1971) 이외에도 지원회사인 ALE가 패트리어트힐즈와 남극점의 중간지점인 이곳에 경비행기용 활주로(skiway)와 유류보급 시설을 하계기간 중에 운영한다는 점이다. 하계기간이 시작되는 2007년 11월에 트랙터를 이용해 티엘산

맥 활주로 부근에 대부분의 장비(스노우모빌 4대, 유류 및 막영장비)를 육상수송 한 후 12월 19일 경비행기로 티엘산맥에 투입되어 2008년 1월 6일까지 총 19일 간 운석탐사를 수행하였다. 당초에는 12월 10일 입남극 예정이었으나, 예정일에 패트리어트힐즈를 포함한 서남극 일원에 약 60 cm 정도의 비정상적인 폭설이 내려 활주로는 폐쇄되는 관계로 입남극이 8일간 지연되었다. 결국 탐사 초기에는 대부분의 청빙지대도 눈에 덮혀 어려움을 겪기도 하였다. 이 기간 동안 스노우모빌 1대 당 평균 1,000 km를 달려 베이스캠프 주변 티엘산맥에서 4개와 몰튼에스카프먼트에서 12개 등 총 16개의 운석을 회수하였다(그림 12와 13). 그림 14는 제2차 탐사기간 동안 회수된 운석 중 대표적인 것을 보여준다. 회수한 운석을 인천의 극지연구소까지 운송한 과정은 제1차 탐사 때와 동일하다.

#### 4.4 제3차 남극 운석 탐사(2008/09)

제2차 탐사에서 비정상적인 폭설로 인해 많은 청빙지대의 조사가 어려웠기 때문에, 제3차 탐사는 이미 확보한 안전루트를 그대로 이용하여 청빙지대 위주로 조사를 하기로 기획하였다. 탐사대는 외국인

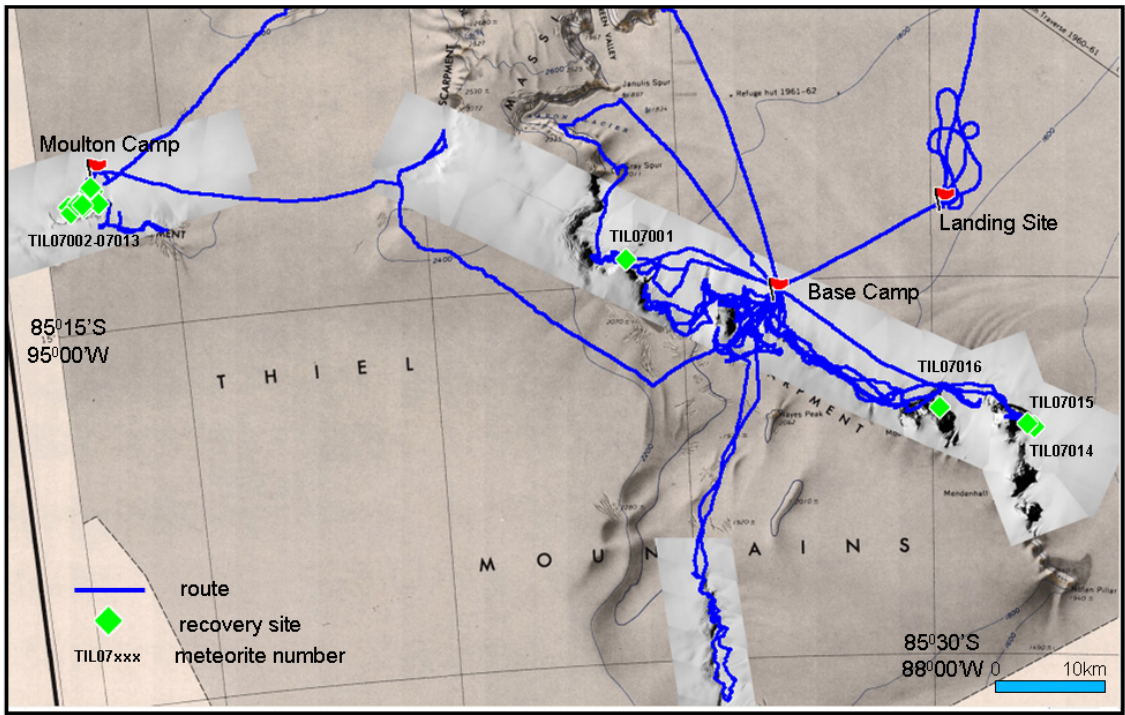


Fig. 12. Survey route and recovery sites of meteorites around Thiel Mountains by the 2nd KOREAMET.

가이드를 제외하고, 우리나라 연구원 3인과 전문산악인 2인으로 구성하였고, 기동성을 살리기 위해 스노우모빌을 5대로 하였다. 2008년 12월 13일 티엘산맥에 도착한 후, 2009년 1월 6일까지 총 25일 간 모든 청빙지대를 조사하여 총 8개의 운석(티엘산맥에서 5개, 몰튼에스카프먼트에서 3개)을 회수하였다(그림 13과 15). 제2차 때보다 청빙지대의 발달이 양호하여 큰 기대를 걸었으나, 예상과 달리 회수된 운석수가 더 적었다. 그러나 회수된 운석 중에는 현재까지 가장 큰 5kg의 석철질운석 팔라사이트 한 개가 포함되어있다. 그림 16은 제3차 탐사기간 동안 회수된 운석 중 대표적인 것을 보여준다. 회수된 운석을 보다 빨리 분류하여 운석학회에 보고하기 위해 폰타아레나스 현지사무소에서 클린벤치와 진공포장기를 이용하여 포장한 후 무박 3일간의 항공수송을 통해 2009년 1월말 극지연구소로 운송하였다.

5. 결과 및 제언

결과적으로 제일 먼저 운석탐사를 계획하였던 남

위 81-82도, 서경 80-90도, 고도 1,100 - 1,500 m 정도의 서남극 세 개 지역(마틴힐, 내쉬힐, 피릿힐)에서의 운석 회수는 실패하였다. 운석이 농집되지 않은 다양한 원인을 생각해 보면, (1) 고립된 작은 산지는 빙하 흐름의 차단이 효율적이지 않다, (2) 비교적 낮은 고도에서 여름철에 기온이 낮지 않아 노출된 운석이 태양 복사로 다시 가라앉았다, 또는 (3) 경험 부족 등을 들 수 있다. 아마도 이 문제는 여러 복합적인 요인이 작용했을 것으로 생각된다. 그러나 이를 해결하기 위해서는 해당 지역에 대한 장시간의 모니터링이 필요하기 때문에 추후 과제로 남겨 놓는다.

티엘산맥(남위 85도, 서경 90도, 고도 1,600 m 이상)에서 3차례에 걸친 운석탐사를 통해 총 29개의 운석을 회수하였다. 현재까지 회수한 우리나라 남극 운석의 암석학적, 지구화학적 특징은 이 특별호의 다른 부분(최변각 외, 2009)에서 보고하기로 한다. 총 29개 운석 중 1개는 몰튼에스카프먼트의 남쪽 고지대의 모레인에서 발견되었다. 나머지 28개는 모두 북쪽 또는 북동쪽의 저지대에서 발견되었는데, 이 중 1개가 모레인에서 그리고 27개가 청빙지대에서



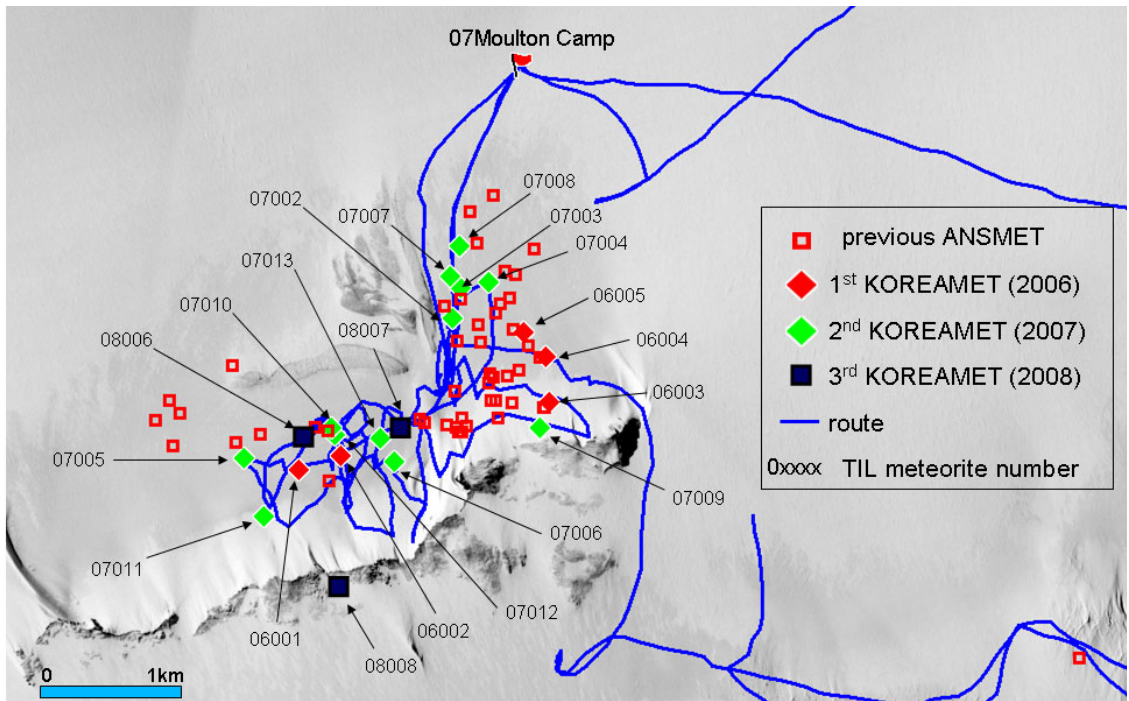


Fig. 13. Satellite image of the Moulton Escarpment, showing survey route of the 2nd KOREAMET and recovery sites of meteorites by ANSMET and KOREAMET.

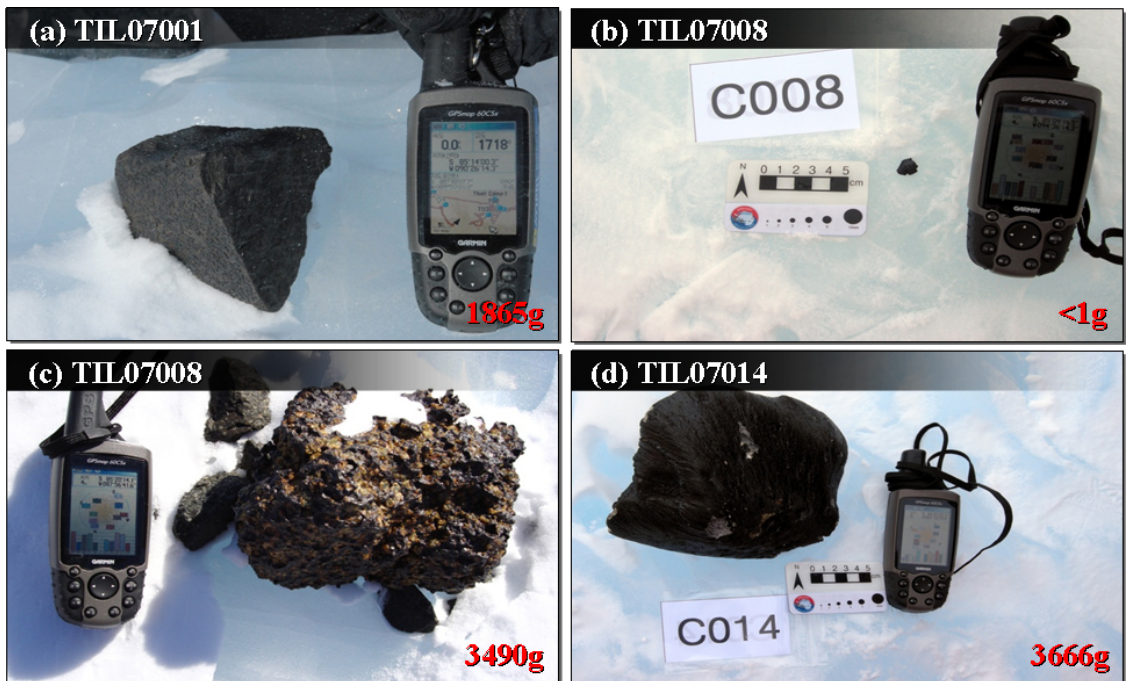


Fig. 14. Representative meteorites recovered by the 2nd KOREAMET. (a) ordinary chondrite, (b) carbonaceous chondrite, (c) pallasite and (d) eucrite.

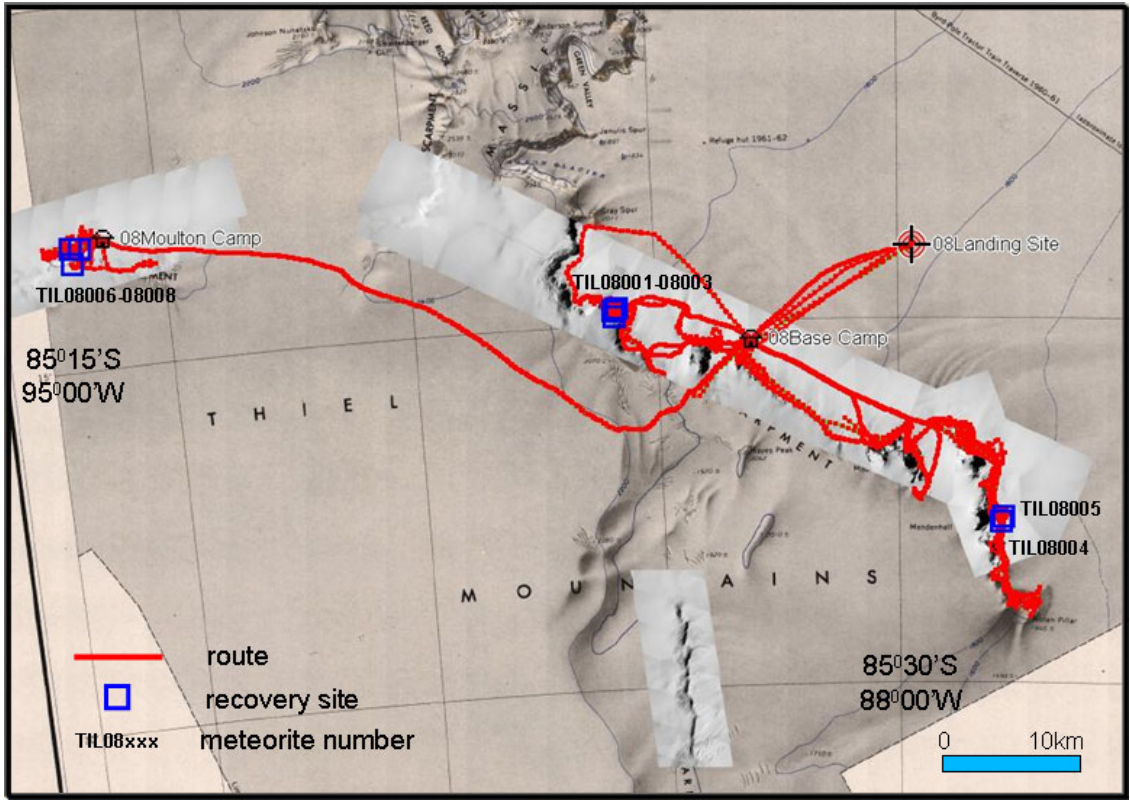


Fig. 15. Survey route and recovery sites of meteorites around Thiel Mountains by the 3rd KOREAMET.

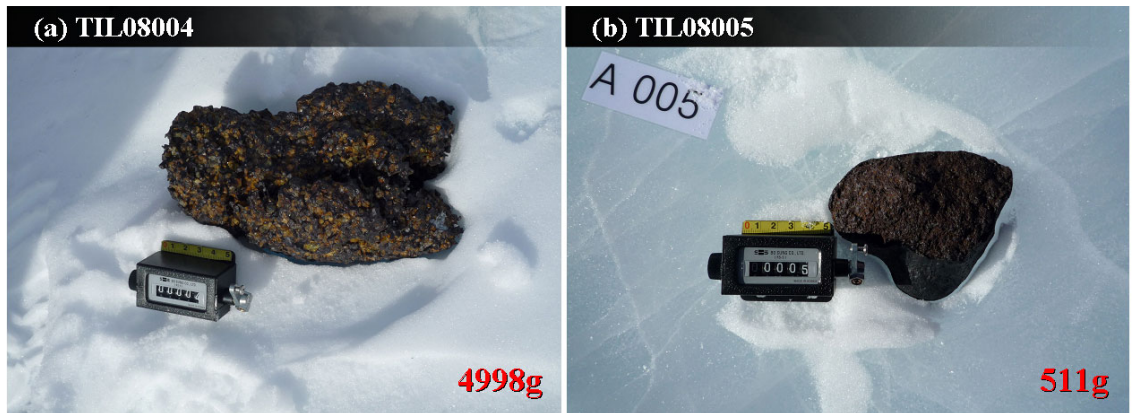


Fig. 16. Representative meteorites recovered by the 3rd KOREAMET. (a) pallasite and (b) ordinary chondrite.

발견되었다. 몰튼에스카프먼트에서 이전의 미국 운석탐사대 탐사 결과(그림 13)와 함께 고려하면 티엘 산맥 부근에서의 운석의 농집 과정은 'downhill setting'에 해당한다고 할 수 있다. 대부분의 운석이 티엘산맥 본체에 인접한 청빙지대보다 4 km 정도의

소규모 몰튼에스카프먼트에서 회수되었다는 점은 효율적인 운석 농집과정이 산맥의 크기에 크게 의존하지 않는다는 점을 시사한다.

남극대륙의 특정 지역에서 운석을 회수하는 것도 중요하지만, 운석의 농집과정을 이해하는 것 또한



지속적인 탐사를 위해서 매우 중요하다. 유감스럽게도 현재 우리나라 운석탐사대의 규모와 경험 면에서 이 문제를 단기간에 해결하기에는 역부족이다. 앞서 언급한 바와 같이 이 문제의 해결은 인공위성을 자유자재로 활용하거나, 현지에 GPS 시스템을 가동하는 등 장기간의 모니터링 연구가 가능한 인프라 시스템을 필요로 한다. 다행스럽게도 극지연구소는 2012년까지 남극대륙에 제2기지를 건설할 예정이다. 다른 나라의 운석탐사는 모두 자국기지의 독자적인 지원에 의해 동 남극대륙 내부의 혹독한 환경 속에서 수행되고 있다. 자국 기지로부터 수송과 장비의 지원이 없는 운석탐사와 운석농집과정에 대한 지속적인 연구는 요원하다. 향후 수년간은 현재와 같은 형태로 남극횡단산맥 부근에서 운석탐사가 수행될 예정이지만, 2010년대 중반부터는 우리나라 대륙기지의 지원을 받는 안정적인 운석탐사 시스템이 구축되기를 기대해 본다.

## 사 사

세 차례 운석탐사에서 함께 고생한 대원 여러분께 깊이 감사드립니다. 프로젝트 기획 초기에 많은 조언을 해준 R. Harvey 교수, H. Kojima 교수, B. Miao 교수, K. Righter 박사, R. Folco 박사 등 각국의 운석탐사 선배들에게도 감사를 드립니다. 남극 현장에서 최상의 지원을 해준 ALE 사의 M. Sharp 사장님과 스태프들, 국내에서 필수 장비들을 협찬해 준 코오롱스포츠, 불로식품, 흥진HJC 관계자 분들에게도 감사를 드립니다. 원고 교정과 도면 작업을 도와준 극지연구소 안인수, 이효민, 추미경 연구원에게도 감사드립니다. 이 연구는 극지연구소 일반사업 '남극운석탐사와 운석연구센터 설치 운영(PP09030)'에 의해 이루어졌다. 이 논평을 읽고 심사해 주신 박계현 편집위원장과 이승구, 이승렬 박사님께 감사드립니다.

## 참고문헌

최변각, 2009, 운석의 분류와 암석학적, 지구화학적 특성. 지질학회지, 45, 173-186.  
 Allen, C., 2002, Antarctic Meteorite Newsletter 25. NASA Johnson Space Center, Houston Texas, 16 p.  
 Bayly, P.G.W. and Stillwell, F.L., 1923, The Adelie Land meteorite. Australasian Antarctic Expedition 1911-14,

Science Reports, Ser. A4, 1-13.  
 Cassidy, W.A., Harvey, R.P., Schutt, J.W., Delisle, G. and Yanai, K., 1992, The meteorite collection sites of Antarctica. Meteoritics, 27, 490-525.  
 Folco, L., Capra, A., Chiappini, M., Frezzotti, M., Mellini, M. and Tabacco, I.E., 2002, The Frontier Mountain meteorite trap (Antarctica). Meteoritics & Planetary Science, 37, 209-228.  
 Folco, L., 2006, Antarctic meteorite research by the Italian Programma Nazionale delle Ricerche in Antartide (PNRA). International Workshop on Antarctic Meteorite Survey (Abstracts), Seoul, August 24, 113-115.  
 Ford, A.B. and Tabor, R.W., 1971, The Thiel Mountains pallasite of Antarctica. US Geological Survey Professional Paper, 750-D, 56-60.  
 Harvey, R., 2003, The origin and significance of Antarctic meteorites. Chemie der Erde Geochemistry, 63, 93-147.  
 Huss, G.R., 1990, Meteorite infall as a function of mass: Implications for the accumulation of meteorites on Antarctic ice. Meteoritics, 25, 41-56.  
 Kojima, H., 2001, Meteorite Newsletter: Japanese collection of Antarctic meteorites, 10. Antarctic Meteorite Research Center, NIPR, Tokyo.  
 Kojima, H., 2006, Program of the Japanese meteorite search in the Antarctica and the curation. International Workshop on Antarctic Meteorite Survey (Abstracts), Seoul, August 24, 55-56.  
 Mawson, D., 1915, The Home of the Blizzard 2. Heinemann, London.  
 Miao, B. and Lin, Y., 2006, Grove Mountains: A new meteorite concentration site in East Antarctica: Introduction of Chinese Antarctic meteorite search program. International Workshop on Antarctic Meteorite Survey (Abstracts), Seoul, August 24, 79-81.  
 Righter, K., Satterwhite, C. and McBride, K., 2006, Processing, Storage and contamination issues in handling Antarctic meteorites in the laboratory. International Workshop on Antarctic Meteorite Survey (Abstracts), Seoul, August 24, 33-34.  
 Shiraishi, K., Naruse, R. and Kusonoki, K., 1976, Collection of Yamato meteorites, Antarctica in December 1973. Nankyoku Shiryo (Ant Record), 55, 49-60.  
 Yoshida, M., Ando, H., Omoto, J., Naruse, R. and Ageta, Y., 1971, Discovery of meteorites near Yamato Mountains, East Antarctica. Japanese Antarctic Record, 39, 62-65.

투 고 일 : 2009년 11월 23일

심 사 일 : 2009년 11월 23일

심사완료일 : 2009년 12월 24일