

프랜츠 요셉 빙하의 지형적 특성과 빙하 후퇴의 원인

심 인 선*

The feature of geomorphology and a factor of retreat in Franz Josef Glacier

IN Sun Sim*

요약 : 프랜츠 요셉 빙하는 해발고도 250 m의 낮은 고도에 위치한다. 프랜츠 요셉 빙하는 낮은 고도에도 불구하고 타즈만해에서 불어오는 습윤한 편서풍과 고산의 지형적 특색으로 빙하가 존재한다. 지난 소빙기를 끝으로 지구의 기후 온난화로 빙하는 점점 후퇴하고 있으며 2002년과 2003년 사이에도 빙하는 후퇴했다. 후퇴의 원인을 기후요소로 비교 분석하여 후퇴의 원인이 기후에 있음을 확인하였다. 빙하 주변에 알파인 단층이 지나가며 변성암이 분포하고 빙하 후퇴의 흔적으로 찰흔과 그루브가 다수 관찰되고 있다
주요어 : 빙하, 편서풍, 고산, 소빙기, 알파인 단층, 변성암, 찰흔, 그루브

Abstract : The Franz Josef Glacier is sited 250 m above sea level. The moisture westerly winds from Tasman Sea and the feature of the alp geomorphology have made the Franz Josef Glacier. That is why the Franz Josef Glacier is.

The Franz Josef Glacier has receded during the past century in response to global warming since the end of the Little Ice Age in the 1890s. Even between 2002 and 2003, the Franz Josef Glacier is confirmed retreating.

This is confirmed by climate factors. The expressing of the Franz Josef Glacier retreating in 2003 which is advanced air temperature and amount of precipitation in 1998 than compared another years. There are lots of metamorphic rock as known biotite, schist, greywack and the Alpine Fault is passing near the Franz Josef Glacier. The grooved and scratching trend surface the rock are observed as the evidence of retreating glacier left.

key word :

I. 서론

1. 연구목적

세계에는 유수에 의한 지형, 건조 지형, 석회암 지형, 화산 지형, 빙하 지형 등 다양한 형태의 지형이 존재하며 이러한 지형 중 석회암 지형, 화산 지형과 유수에 의한 지형은 우리 나라에서 많이 볼 수 있는 지형이나 빙하 지형은 우리 나라에서는 찾아보기 힘든 지형으로 이북의 개마

고원과 중강진 그리고 이남은 경상도 남도 밀양의 얼음골 같은 지역에서 만 찾아 볼 수 있다.

빙하 지형은 남극과 북극 그리고 아프리카 적도의 고도 4600 m에 위치한 케냐의 킬리만자로 산의 정상과 같이 고도가 높은 지역까지 소규모 로나마 전세계적으로 고르게 분포하고 있으나 전체적으로 후퇴하고 있는 것이 추세이다. 그러므로 빙하 지형이 분포 할 지라도 높은 고도의 관찰하기 어려운 지역에 있으며 인간이 육안으

* 동국대학교 지리학과 석사과정

로 쉽게 관찰 할 수 있는 빙하는 전세계에 소규모의 상태로 분포하고 있다.

제 3기 이후로 빙하는 점점 후퇴하고 있으며 제 4기 플라이스토세 중에는 북반구는 빙원이 넓게 캐나다는 전부 빙하로 덮여 있었으나 산업 혁명으로 인한 공업의 발달과 교통량 그리고 인구의 폭발적인 증가에 따른 대기 오염은 기후 온난화를 가중시키고 있고 이에 따라 현세에 와서 빙하의 범위는 점점 축소되고 있다. 이러한 빙하 축소는 해수면을 낮게 하여 지형의 변화와 인간 환경에 많은 영향을 가져 올 것이다.

뉴질랜드는 남섬과 북섬으로 이루어 졌으며 북섬은 화산 지형이 그리고 남섬은 고산과 해양성 기후의 특성으로 인해 서쪽 해안에 140여개의 많은 빙하가 발달하고 있다.

서쪽 해안에 발달한 많은 빙하 가운데서 프랜츠 요셉 (Franz Josef)마을에 분포하는 빙하는 낮은 고도에 위치하여 많은 사람들이 쉽게 접근 할 수 있을 뿐 아니라 육안으로 빙하 관찰이 가능한 지형적 특성을 가지고 있다. 또 빙하 하면 생각 할 수 있는 얼음만 있는 빙하가 아닌 빙하 지역에서 몇m 떨어지지 않은 지역에 삼림이 우거져 있는 모습을 볼 수 있다. 빙하 전면에 흐르는 하천은 빙하가 융해되어 암말이 섞여 회색 빛을 나타내고 빙하가 융해되면서 떨어져 내린 얼음 덩어리가 떠내려가는 모습도 볼 수 있다.

연구 지역의 가장 큰 특징은 뉴질랜드의 지질 구조적 특성을 잘 나타내는 알파인 단층으로 이것이 프랜츠 요셉 빙하 전방 2 km을 통과하므로 이 지역의 암석들이 잘게 잘리거나 산이 갈라지는 지형적 특성을 잘 관찰 할 수 있다. 이러한 경관적 특색으로 프랜츠 요셉 빙하는 남섬 서해안의 주요한 관광 자원이 되고 있다.

프랜츠 요셉 빙하는 12,000년 전 프랜츠 요셉 빙하곡에서 해안까지 200 m 길이로 발달한 활동

적인 빙하였고 그 흔적을 답사를 통해 찰흔이나 그루브 같은 것으로 확인 할 수 있었다. 그리고 비록 빙하가 후퇴하고 있다 할 지라도 빙하지역 등반 안내인에 따르면 가장 깊은 빙하 깊이는 600m 정도의 깊이를 가진다고 한다. 프랜츠 요셉 빙하는 시간적인 비례로 보면 후퇴하고 있으나 1979년(사진9)와 지금과의 빙하 상태를 비교하면 강화된 상태로 볼 수 있고 다시 2002년과 2003년(사진 11, 12) 의 단기간의 빙하 상태를 비교하면 후퇴한다고 볼 수 있다.

기후 온난화로 인해 많은 빙하가 후퇴하고 있고 그 면적이 줄어들수록 이는 인간 환경에 많은 영향을 줄 것이라 추측된다. 그러므로 프랜츠 요셉 빙하의 작은 빙하 연구는 큰 빙하 지역을 연구하는 표본으로 좋은 사례가 될 것이다.

이 연구의 목적은 뉴질랜드 프랜츠 요셉 빙하를 사례로 하여 연구지역 빙하 지형의 특성 그리고 기후 요소로 2002년과 2003년의 빙하 후퇴 원인이 무엇인지 분석하고 빙하 후퇴가 이 지역에 미치는 영향을 연구하여 프랜츠 요셉 지역의 환경에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 문헌연구와 현지답사 그리고 기후 통계 자료를 병행하였다. 연구 목적을 설정하고 연구 목적 달성 가능성을 점검하기 위한 1차 답사가 2002년 1월 28일~2월 4일에 있었으며 문헌 자료는 인터넷을 이용하여 뉴질랜드의 대표적인 학회인 니와 (NIWA: National Institute of Water & Atmospheric Research)라는 학회를 통해 이 지역 연구를 위한 지질과 지형에 문헌과 이 지역연구 논문을 참고 문헌으로 사용하였다.

이 문헌 자료를 바탕으로 제 2차 답사는 2002년 12월 22일~2003년 1월 12일 실시하였다. 답사 시에는 뉴질랜드 지질 연구소에서 1975년 발행

한 프랜츠 요셉 마을과 마운틴 쿡(Mt. Cook)의 1:250,000 지질도, 2001년도 랜드 인포메이션(Land Information) 발행의 1:50,000의 지형도를 사용하였다. 답사 시에는 연구 지역 가이드를 통해 연구 지역 빙하 상태를 수집하였고 3회의 빙하 등반과 빙하 주변 지역의 지질과 암석 그리고 하천의 상태와 빙하 후퇴의 증거를 조사했다. 또 헬리콥터를 이용하여 정상 상의 설원 상태와 이 지역에 발달한 다른 빙하를 조사하였다.

답사 후 학회 니와(NIWA)에서 뉴질랜드의 주요한 도시가 아니어서 구할 수 없었던 프랜츠 요셉 마을과 인근 지역인 마운틴 쿡 보호지역 그리고 마운틴 쿡 Ews의 1982년에서 2002년의 20년간의 일별 기후 자료인 강수, 기온, 바람의 속도 그리고 일사량의 기후자료를 A 4용지 500장의 분량을 4번에 걸쳐 이 메일로 전송 받아 월별, 년별 그리고 계절별로 평균 계산하여 하나의 표로 담았고 이것을 이용하여 순위별로 막대 그래프를 그려 각 연도의 기후 요인을 상대적으로 비교 분석하여 빙하 후퇴의 원인을 분석하는 주요 자료로 사용하였다. 일별 자료를 다시 월별 자료로 자료 정리 할 때는 일별 자료 중 하루라도 완벽하지 않은 자료는 불완전한 자료로 처리하였고 불완전한 자료를 보완하기 위해 이 월별 자료를 여름과 겨울 그리고 최고, 최저로 다각적으로 분석하여 기후자료로 이용하였다. 이렇게 만들어진 기후 통계자료는 2003년 빙하 후퇴를 분석하는 주요한 자료로 사용하였다.

3. 연구 지역 개관

프랜츠 요셉 빙하는 뉴질랜드 남섬 서쪽 해안의 국립공원 보호구역에 위치해 있다. 프랜츠 요셉 빙하는 호주인 줄리어스 본 하스트(Julius von Haast)가 1865년 빙하를 탐험하고 그 이름을 지어 지금까지 널리 알려지게 되었다.

프랜츠 요셉 빙하는 7000년 정도 되었으며 길이 10 km, 해발 250 m 로 남서해안으로 43.5°기울어져 있고 해안에서 19 km, 프랜츠 요셉마을에서 5 km 떨어져 있다. 빙하 전면에는 프랜츠 요셉 빙하 그리고 좌측의 피츠산맥 지류 빙하, 캔러리 협곡에서 흘러나오는 용빙수가 와이호강 상류에서 합쳐져 흐른다.

빙하 후퇴의 흔적으로 프랜츠 요셉 마을 주변에 많은 크고 작은 호소가 있고 이것은 이 지역의 중요한 관광 자원이 되고 있다.(그림 1)

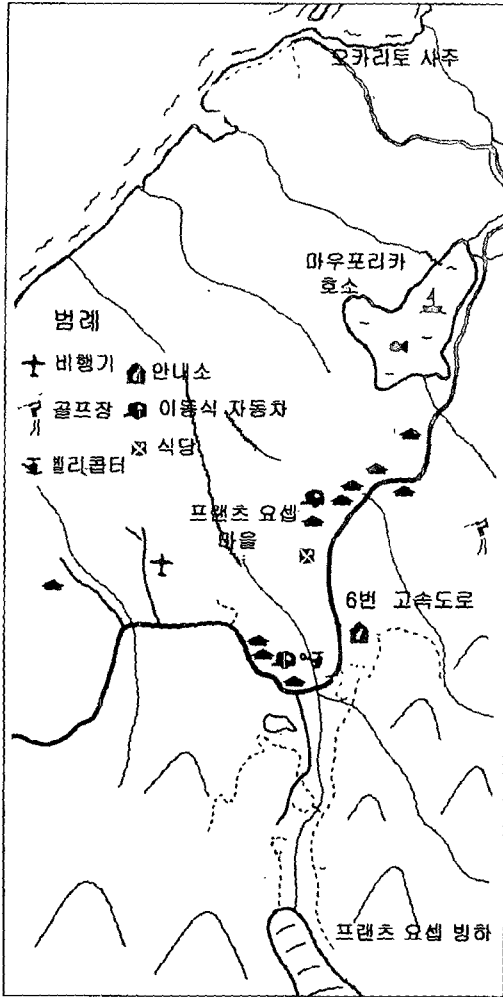
이 지역의 빙하 관광은 1900년 쯤 소규모의 게스트 하우스로 시작되어 2000대인 지금 뉴질랜드에서 가장 각광 받는 명소가 되고 있다. 깊은 산골인 프랜츠 요셉 타운과 외부를 연결해주는 것은 6번 고속도로이며 이 도로를 이용하여 많은 관광객을 수용하고 있다.

2001년 인구 조사에 따르면 전체인구는 321명이며 연령별로 보면 15~64세가 80% 이상을 차지한다. 321명의 인구 중 90.8%가 외국인이며 원주민의 거주는 10% 미만으로 나타났다. 이 지역 원주민은 대부분 농경에 종사하며 그 이외의 사람들은 주로 외부에서 관광업에 관련된 서비스업에 종사하기 위해 거주하는 것으로 분석된다.

2. 뉴질랜드의 환경

1) 지질과 지형

뉴질랜드는 남위 34°~ 47°, 서경 33°에서 53°, 동경 160°에서 173°에 위치하는 섬나라로 남서쪽의 태평양과 북섬, 남섬의 두 개의 섬 그리고 크라이스트처치(Christchurch)의 동쪽에 있는 차삼 아일랜드(Chatham Island)와 캠펠 아일랜드(Campell)와 같은 작은 섬으로 구성되어 북섬과 남섬 사이에 쿡 해협(Cook Strait)이 있다. 남북으로 1,600km 길게 뻗어 있고 폭은 450km, 면적은 270,500km²이다.



(그림 1) 프랜츠 요셉 마을 지도



사진 1. 프랜츠 요셉 마을 전경 (2003년 1월 5일)

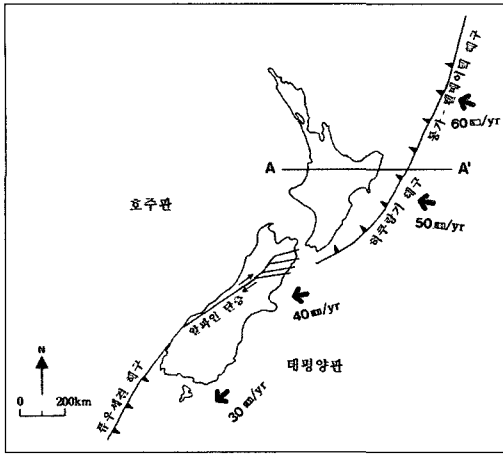
뉴질랜드는 이스트 케이프(East Cape) 북동쪽을 시작으로 태평양 판은 인도-판인 캘메이텍

(Kermadec), 히커랑기(Hikurangi)해구를 경계로 하여 연간 60mm 정도 섭입(subduction)되며 북섬에서도 남쪽에 위치한 동쪽의 네이피어(Napier)는 연간 50mm로 섭입되어 같은 북섬에서도 다른 섭입크기를 가진다.(그림 2)

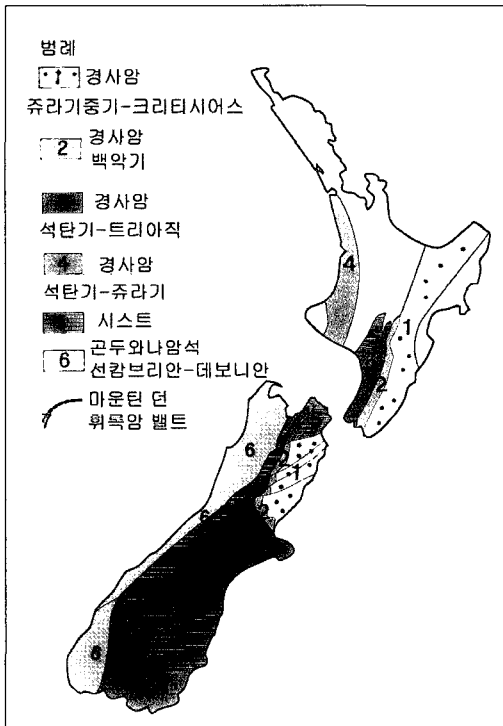
웰링턴(Wellington) 남쪽은 인도-호주판이 태평양판에 부딪쳐서 융기하면서 남섬에 서던 알프스를 만들고 이로 인해 이 지역에 알파인 단층(Alpine Fault)이 발생하게 된다. 알파인 단층을 따라 남섬 동쪽의 크라이스트처치와 하스트(Hast)가 연간 30mm정도 섭입되고 더 남쪽인 밀포드 사운드(Milford Sound)는 섭입 방향이 바뀌면서 태평양판이 인도-호주판에 의해 들러지는 섭입 형태에 따라 고도가 높은 산맥이 발달한다.

뉴질랜드 암석의 3/4은 사암, 이암, 각섬석, 역암 석회암이나 사암과 이암이 교대로 퇴적된 경사암과 다양한 암석 변화를 나타내는 시스트, 운모 같은 변성암이 분포하며 특히 연구 지역의 서쪽해안은 곤두와나에 기원을 둔 오래된 시기의 암석이 분포하고 있다.(그림 3)

인도-호주판과 태평양 판의 경계부에 위치한 뉴질랜드는 구조 활동의 영향으로 섭입대에 위치한 북섬은 주로 화산 지형으로 이루어져 있으며 지역 별로 보면 북섬은 화산의 영향으로 안산암, 현무암 등의 화산암과 용결 응회암(Ignimbrite)이 널리 분포하는데 화산암은 주로 중앙부 고원, 코로만델반도(Coromandel), 노스랜드(Northland) 등지에, 용결 응회암은 중앙부의 고원에서 화산암과 혼합되어 나타난다. 남섬은 북섬에 비해 연대가 높은 암석이 많이 분포하여 편암, 변성암이 많이 분포하고 알파인 단층의 활동에 따라 서던 알프스(Southern Alps)와 같은 높은 고도의 산맥이 형성되고 변성암계의 암석들이 발달한다. 암석의 연대는 동쪽이 대체로 1억 6천



(그림 2) 뉴질랜드에서 호주판과 태평양 판의 이동 (A-A' 태평양판이 호주판으로 섭입되는 지점)



(그림 3) 뉴질랜드 암석 분포도

만년 정도이고 서던 알프스를 중심으로 한 서쪽은 대체로 3억 4천만 전에 형성된 것으로 보이는 경사암 같은 변성암계의 암석이 분포한다.

2) 기후

(1) 온도와 강수

죄펜의 기후구분에 따르면 해안지방은 온대 습윤 하계 냉량 기후지역, 그리고 남섬의 내륙지방은 온대 스텝 기후지역으로 분류된다. 특히 남섬은 타즈만해 (Tasman Sea)에서 불어오는 습윤한 편서풍이 바람 맛이 사면인 북동-남서 방향의 서던 알프스에 부딪치며 많은 강수량이 발생시키고 반면에 바람의지인 동쪽은 건조한 기후가 발생, 서던 알프스를 중심으로 동과 서에 대조적인 기후 차이를 나타내고 있다.

뉴질랜드의 기후는 전체적으로 서늘하다. 남섬의 남부 지역을 제외한 전 지역의 여름날씨는 20°C 이하이며 겨울에도 5°C 이상으로 춥지 않다. 남섬의 연 평균 온도는 10°C 이고 북섬은 16°C 이나 남섬 산악지대의 경우 고도가 높아지면서 100 m 마다 0.7°C 정도로 온도가 낮아져서 고도에 따라 지역별로 기온의 차이가 나타난다.

뉴질랜드는 점점 기후에 심각한 변동을 나타내는데 1997년에 뉴질랜드의 넬슨(Nelson), 말보로우(Marlborough), 캔터베리 (Canterbury), 마나와타(Manawatu), 브러(Buller) 지역은 평년 보다 강수량이 적었고 반면에 헉스 베이(Hawke Bay)와 코로멘델(Coromandel)은 평년보다 많은 강수량이 발생했는데 이는 라니냐(La Niña)와 엘니뇨(EL Niño)가 혼합된 기후 때문으로 추측하고 있다. 이와 같이 해양의 온도 변화는 뉴질랜드 온도와 강수 변화에 주요한 원인으로 작용하는데 지역보다 약간 적은 강수량을 가진다.(그림 5)

대체적으로 라니냐는 1월에서 3월까지 열대풍에 영향을 주고 있으나 1996~1997년 말 그 영향이 약해지고 엘니뇨가 강해지며 남섬은 편서풍이 강해지면서 더 많은 강수량이 발생하고 있고 1998년 이후 다시 라니뇨로 인해 집중호우가 발생하고 있다.

심인선

라니노와 엘리노 현상에 따른 온도 상승으로 뉴질랜드 전역이 결빙 일수가 적어지고 밤 기온이 상승하고 북섬의 동쪽에는 가뭄이 남섬의 서쪽 해안에서 홍수가 발생하고 있다.

북섬 주요 지역의 강수량은 대체적으로 1000

mm를 약간 넘으며 남섬의 마운틴 쿡과 호키타키 지역은 서던 알프스의 지형적 영향으로 2500~4000mm가 넘는 강수량을 가지고 이는 다른 지역에 비해 2배이다. 반면에 남섬의 브랜햄과 티카포 호수등은 서던 알프스의 지형적 영향과 해양 기후의 영향을 적게 받아 같은 마운틴 쿡과 호키타키 지역에 비해 절반 정도의 강수량으로 북섬의 다른 지역에 비해 절반의 강수량으로 지형의 영향을 적게 받는다고 할 수 있다.

(표 1) 뉴질랜드 주요 지역 위도와 경도

지역	위도	경도
오클랜드	36.900 °S	174.367 °E
기스본	38.650 °S	177.983 °E
타우포 화산대	38.683° S	176,067° E
웰링턴	41,283° S	174,767° E
브랜햄	41,517 °S	173,950° E
호키타키	42.717 °S	170.983 °E
크라이스처치	43.533 °S	172.617 °E
마운틴 쿡	43.733 °S	170.100 °E
티카포 호수	44.017 °S	170.467 °E
퀸스타운	45.033 °S	168.383 °E
던딘	45.900 °S	170.517 °E

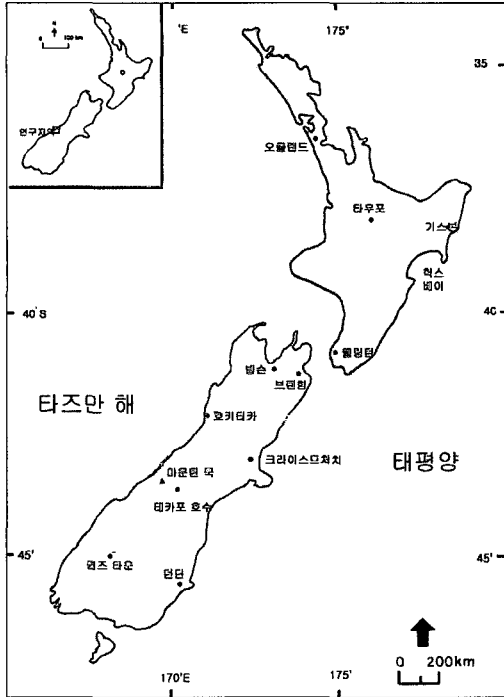
3. 프랜츠 요셉 빙하 지역

1) 지형적 특성

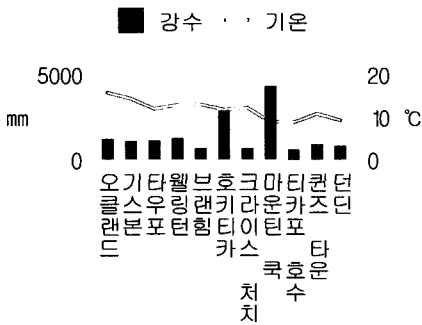
프랜츠 요셉 빙하는 고도가 낮은 지역에서 발달하는 곡 빙하이다. 빙하 도로가 끝나면 주차장이 있고 주차장에서 100m 거리에서 프랜츠 요셉 빙하의 정면을 볼 수 있는데 12,000년 전 빙하가 해안까지 발달했었음을 추측 할 수 있는 빙하 후퇴 후 생기는 많은 지류를 볼 수 있다. 주차장

(표 2) 뉴질랜드 주요 지역 온도와 강수(단위: °C, mm)

지역	구분\월	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12												합계
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
오클랜드	온도	19.3	19.8	18.5	16.2	13.7	11.6	10.8	11.3	12.6	14.1	15.8	17.8	15.7
	강수	74	78	128	105	91	128	122	115	104	94	85	87	1,211
기스본	온도	19.2	18.9	17.4	14.8	12.0	10.0	9.3	10.2	11.8	13.8	15.9	17.8	14.3
	강수	54	78	99	103	97	125	119	93	101	63	65	67	1,064
타우포	온도	17.4	17.5	15.6	12.5	9.6	7.6	6.7	7.6	9.4	11.5	13.6	15.7	11.9
	강수	85	77	83	74	87	99	105	109	90	102	85	108	1,104
웰링턴	온도	16.9	17.1	15.8	13.8	11.5	9.5	8.8	9.2	10.6	12.0	13.4	15.3	12.8
	강수	72	62	92	100	117	147	136	123	100	115	99	86	1,249
브랜햄	온도	18.2	17.9	16.7	13.7	10.4	7.9	7.4	8.5	10.8	12.8	14.9	16.7	12.9
	강수	47	27	54	64	58	56	71	70	44	70	43	54	658
호키타키	온도	15.6	16.0	14.7	12.5	10.0	8.0	7.5	8.2	9.8	11.3	12.7	14.3	11.7
	강수	250	172	217	249	245	233	232	224	250	286	240	278	2,876
크라이스처치	온도	17.4	17.1	15.5	12.8	9.6	6.9	6.6	7.7	10.0	12.3	14.0	16.0	12.1
	강수	42	39	54	54	56	66	79	69	47	53	44	49	652
마운틴쿡	온도	14.6	14.8	12.5	9.4	6.1	3.0	2.2	3.7	6.6	8.9	10.8	12.8	8.8
	강수	411	255	422	362	365	287	278	298	310	452	390	461	4,291
테카포 호수	온도	15.2	15.1	12.7	9.5	6.0	2.5	1.7	3.4	6.6	9.1	11.1	13.3	8.8
	강수	41	35	52	52	50	58	52	62	51	57	41	48	599
퀸스타운	온도	16.7	16.6	14.4	11.1	7.6	4.6	4.1	5.8	8.6	10.9	13.0	16.0	10.8
	강수	78	58	80	75	89	82	65	73	69	95	72	77	913
던딘	온도	15.2	15.1	13.7	11.9	9.2	7.0	3.9	4.7	7.1	9.4	10.3	12.8	9.3
	강수	72	63	70	60	72	74	69	65	53	71	63	82	814



(그림 4) 뉴질랜드 주요 도시

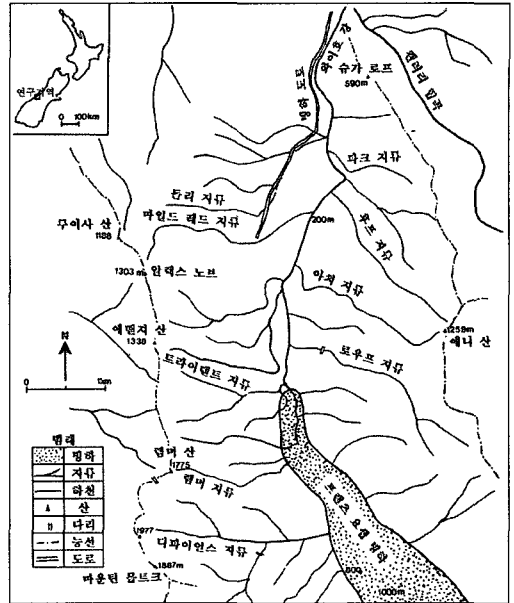


(그림 5) 뉴질랜드 주요 지역 기온과 강수량

을 나와 빙하 전면이 보이는 지점에서 바로 빙하 후퇴의 흔적을 나타내는 찰흔과 그루브를 암석위에서 많이 찾아 볼 수 있다. (그림 6)

(1) 빙하곡의 형태

프랜츠 요셉 빙하의 설원은 원형이고 이 설원

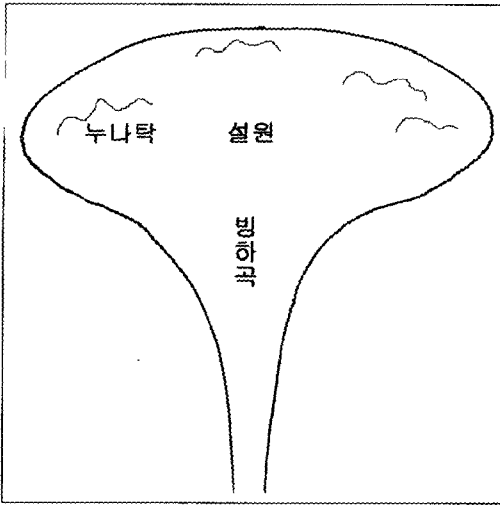


(그림 6) 프랜츠 요셉 빙하 지역

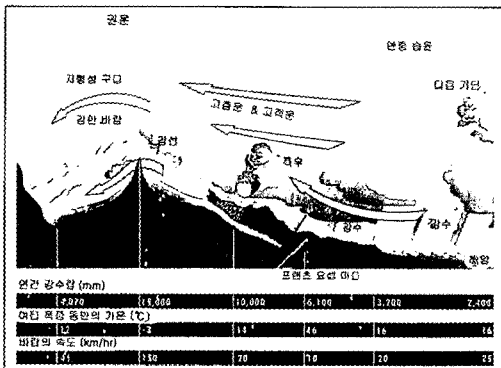
은 넓은 원형의 후라이팬 형태이다.(그림 7) 빙하의 설원 뒤쪽 가장자리에는 누나탁이 있고 빙하가 쌓일 수 있는 권곡은 존재하지 않아 이 지역에 쌓인 강설은 빠르게 곡을 통해 이동하면서 쌓여 빙하 곡을 형성하고 빙하 입구까지 퇴석과 함께 빙하 면에 굴식과 마식을 일으키며 이동한다.

(2) 빙하 생성의 원인

프랜츠 요셉 빙하지역은 겨울에도 한 낮은 온도가 영상을 유지하지만 산악지대의 지형적 특성으로 밤이 되면 기온이 급강하하여 낮 동안에 융해되었던 얼음이 결빙되어 지속적으로 빙하가 유지된다. 서쪽 타즈만에서 불어오는 습윤한 편서풍은 고도가 높은 서던 알프스를 오르며 산악지대의 냉각된 공기와 합해져서 폭우와 폭설을 발생시켜 정상 설원에 지속적으로 강설을 발생 만년설을 만들면서 곡빙하를 형성한다. 서쪽 해안의 연간 강수량은 연간 최대가 3.2m이나 주요 분기점에서 높은 고도의 산악지대 강설량은 15m에 이른다.(그림 8) 따라서 이러한 지형적 특



[그림 7] 프랜츠 요셉 빙하 곡의 형태



[그림 8] 서던 알프스의 강수와 강설의 매커니즘

색으로 뉴질랜드 남섬에는 프랜츠 요셉 빙하를 포함한 크고 작은 140여개의 곡빙하가 발달한다.

일반적으로 북-서풍의 영향으로 남섬의 서쪽 해안에 강수량이 많으나 엘리뇨가 발생했던 1998년에는 여름 편서풍 영향이 강했고 겨울에는 남풍이 탁월해져 육지와 주변 해양, 서던 알프스에 많은 양의 강수와 집중호우가 발생했다.

그러나 몇 년간의 엘리뇨 현상 이후 이와는 반대되는 라니뇨 현상으로 북동풍이 강해지고 바람은 습윤하여 북섬의 북-동부에 많은 집중 호우가 발생하였고 반면에 남섬의 남과 남-서부에서는 강수량이 감소되었다. 결과적으로 해양 한냉



사진 2. 빙하 전면(2002년 12월 26일)

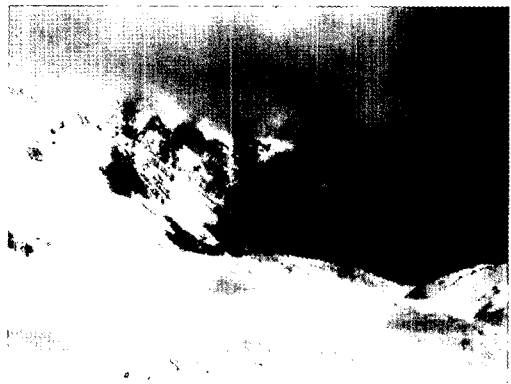


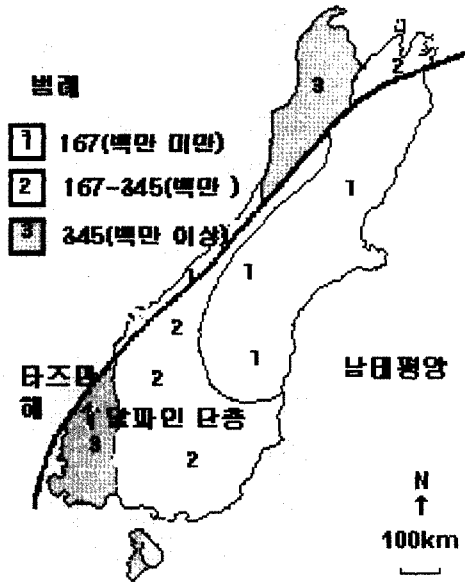
사진 3. 설원에서 곡으로 흘러내리는 만년설(2002년 12월 26)

현상인 라니뇨의 영향은 오히려 뉴질랜드를 더 온화하게 하고 이것은 빙하의 후퇴를 더욱 더 촉진시키는 원인으로 작용할 것이라 추정된다.

(3) 빙하 주변 지역 암석의 특징

연구지역은 곤드와나에 기원한 오래된 암석이며 두 판이 부딪치는 지점에 위치함에 따라 산맥이 융기하면서 변화된 변성암으로 이루어진다. 빙하의 입구에 들어서면 가장 먼저 발견되는 암석은 흑운모(Biotite), 녹니석(Chlorite), 시스트

그리고 경사암으로 이 지역의 주요 암석은 경사암(Greywack)과 시스트로 변성암이 대부분 차지함을 알 수 있다. 흑운모는 검은 색을 띠며 흰색 밴드가 섞여 있다.(사진 5) 녹니석은 녹색과 황토색이 변성되어 휘어진 모습으로 발견되고



(그림 9) 남섬의 암석 분포 년대



사진 4. 규질 점토암(2002년 12월 26일)

빙하 전면에 많이 분포하며 문헌 자료에 의하면 석영이 열과 압력에 의해 변성된 석류석도 있으나 흰색 석영만 찾아 볼 수 있다. 167 백 만년 이상 된 암석이 남섬의 대부분을 차지하고 연구 지역도 167 백 만년 이상 된 변성암이 대다수를 차지하는 오래된 암석이 있다.(그림 9)

(4) 알파인 단층

알파인 단층은 두 판의 경계에 위치한 뉴질랜드 남섬에서 발생하는 주요한 구조현상으로



사진 5. 흑운모(2002년 12월 26일)



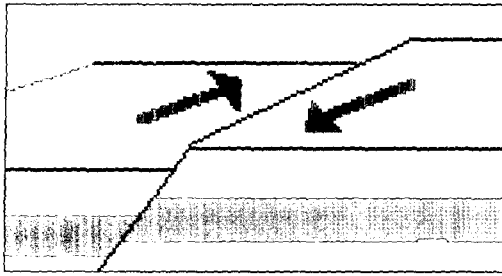
사진 6. 퇴석이 만들어 놓은 자연제방(2002년 12월 26)



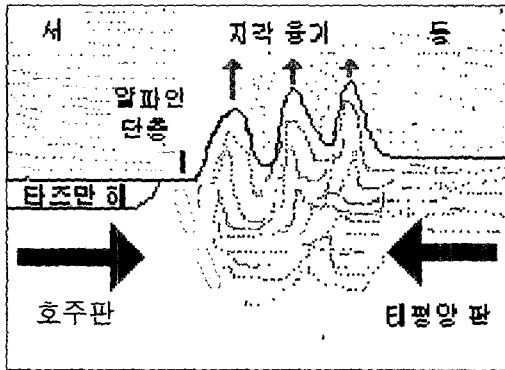
사진 7. 알파인 단층을 따라 잘리고 있는 산(2002년 12월 24일)

500km정도 길이 범위에서 작용하고 있으며 연구 지역도 2 km 전방에서 이 단층선의 영향을 받아 산이 갈라지고 있다.(사진 7)

북쪽 섭입대의 말보로우에서 시작되는 이 단층 작용은 매우 커다란 단층선으로 남쪽의 섭입대로 이어져 남섬의 서쪽 해안에서 작용한다. 이 말보로우 단층 시스템은 북-서, 남-서로 작용



(그림 10) 빙하 주변의 단층 모식도

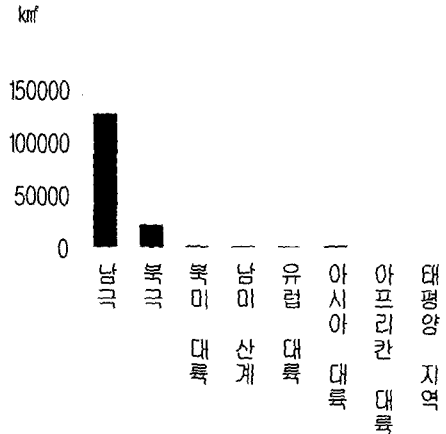


(그림 11) 서던 알프스 모식도

하는 주향-경사 단층의 연속선이다.
 북섬의 판은 움직이며 화산 활동을 발생시키고 남섬은 다른 지질 구조의 작용으로 판들이 부딪치며 융기하여 거대한 서던 알프스를 만들고 있다. 또 이러한 힘들로 인해 서던 알프스는 횡 단층, 변환 단층과 같은 단층 현상을 발생하며 수평적, 수직적 이동을 한다.(그림 10)
 알파인 단층을 따라 판들은 각각 빠르게 다른 방향으로 이동하는데 여기 남섬의 주요 부분이 250°정도 호주 판 위로 충상 단층 작용하고 압축력을 있게 하면서 서던 알프스를 만든다.(그림 11) 서던 알프스는 비대칭을 이루는데 서쪽의 정상 부분은 좁은 해안 평야로 부터 단층이 표면이 도달되는 지역 15 km 안에서 가파르고 좁게 분포하고 동쪽 지역은 캔터베리 평야와 같은 넓고 완만한 경사의 평야를 형성하고 있다.
 서던 알프스의 암석은 새롭게 융기되는 암석



(그림 12) 플라이스토세 시기의 빙하 분포 (단위: 백 km²)
 주: *그래프에 표시 되지 않은 지역은 분포 면적이 백 km² 미만인 소규모 분포 지역이다.



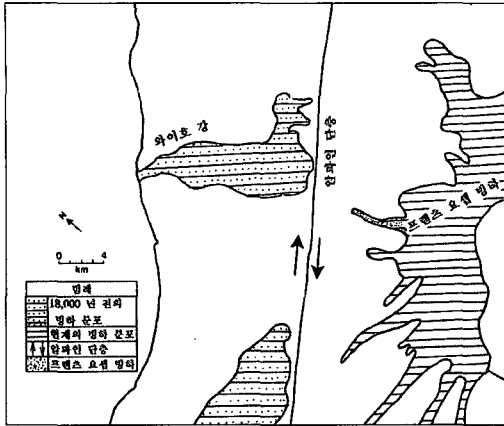
(그림 13) 현재 빙하 분포(단위: 백 km²)
 주 : *그래프에 표시 되지 않은 지역은 분포 면적이 백 km² 미만인 소규모 분포 지역이다.

으로 만들어져 대체로 그 연도가 늦다고 할 수 있다. 알파인 단층은 그림 10과 같이 수평적인 이동을 하고 융기가 있으나 절반은 침식된다. 알파인 단층은 연구 지역인 프랜츠 요셉 빙하의 전면 1~2km 사이를 지나간다.

2) 빙하의 후퇴와 경관 변화

(1) 세계의 빙하

지구상의 빙하는 호주 대륙을 제외한 모든 육



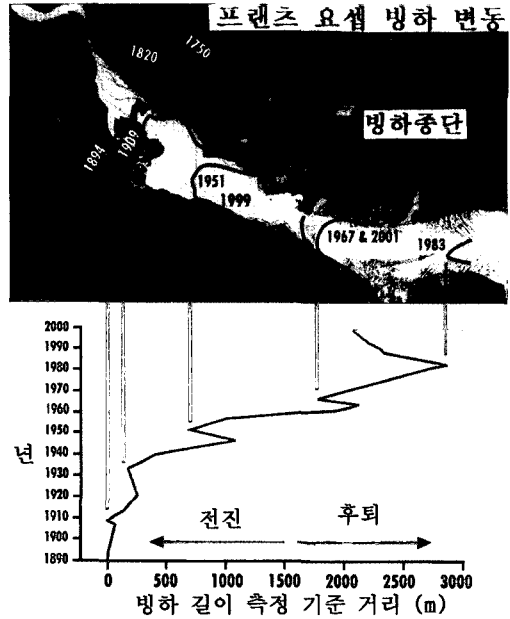
[그림 14] 18.000년 전과 현재의 빙하 범위

지 지역에 고루 분포하며 위도가 낮은 지역은 주로 고산지역에 분포한다. 연구에 따르면 현재 영구 빙하는 지구의 육지 지역을 10%(1.5 × 10⁷ km²) 정도 덮고 있는 것으로 알려져 있다. 3백 만 년 전(플라이스토세)에는 캐나다와 뉴잉글랜드, 알래스카 대부분지역 그리고 그린란드, 아이슬란드, 영국과 아일랜드 지역이 빙하로 덮여 있었는데 이는 지구의 29%에 해당하는 면적이다.

플라이스토세 동안에는 현재와 마찬가지로 남극과 그린란드 대부분 지역에 빙하가 분포하여 현재와 플라이스토세 시기의 빙하 분포 범위가 크게 달라지지 않은 것으로 보아 빙하의 형성에 위도가 크게 작용함을 알 수 있다.

표 3과 그림 13에서 알 수 있듯이 남극과 북극을 제외한 다른 지역은 빙하의 범위가 100km² 미만의 적은 범위로 한정되어 있다. 빙하의 형성에 위도가 크게 작용함을 알 수 있다.

그림 12와 그림 13을 비교해 보면 전체적으로 플라이스토세 시기의 빙하는 현재 보다 3배쯤 많이 분포하였으며 지역 별로 보면 남극과 북미(그린란드)가 가장 넓은 빙하 분포를 가지며 세계 빙하의 80%를 차지한다. 남미와 알래스카도 현재 보다 10배 정도 그리고 태평양 지역도 현재에 비해 더 많은 빙하가 분포하였다.



[그림 15] 빙하의 전진과 종단면의 변화

(2) 프랜츠 요셉 빙하의 후퇴

요셉 빙하는 7000년 정도 된 빙하로서 정상 의 설원에서 12km 길이로 확장되어 있었고 본류 빙하 외에도 3개의 지류 빙하를 유지시킬 수 있는 커다란 규모의 빙하였다.

오늘날 빙하의 종단은 해안에서 19km 정도 타운에서 5km 떨어져 있다.(그림 14) 이 지역의 빙하 후퇴 상태의 증거로는 빙하 후퇴 후에 남겨진 퇴석과 찰흔 그리고 그루브를 통해서이다.

1894년의 빙하를 중심으로 강화와 후퇴를 반복하는 빙하 종단면의 길이를 보면 기준이 되는 암석에서 계속 후퇴하며 특히 1750년과 1820년의 소빙기를 끝으로 1983년의 후퇴 그리고 1999년과 2001년은 약간의 강화를 나타내고 있다.(그림 15)

빙하가 일시적으로는 강화와 후퇴를 반복하고 있으나 전체적으로는 후퇴의 양상이 강하게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

1939년~1949년 사진 8은 빙하 전면에 호수가 있는 것으로 보아 빙하가 강화되었던 시기였음



사진 8. 1939-1949년 프랜츠 요셉 빙하



사진 9. 1979년의 프랜츠 요셉 빙하

을 알 수 있다. 1979년의 사진 9는 빙하는 종단면이 많이 짧아져 빙하의 후퇴를 그리고 사진 10의 1990년 빙하는 80년대 빙하의 재강화로 빙하의 종단면이 길어진 것을 볼 수 있다. 이와 같이 사진 자료를 통해서도 빙하는 시간에 따라 전진과 후퇴를 반복하고 있음을 알 수 있다.



사진 10. 1990년 프랜츠 요셉 빙하

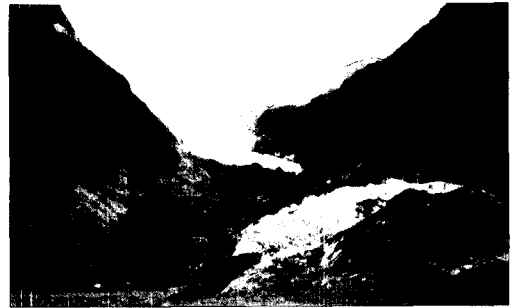


사진 11. 2002년의 빙하(동굴 표시 ↓ 2002년 2월 4일)



사진 12. 2003년 후퇴하는 빙하 (동굴 표시 ↓ 2003년 1월 2일)

2002년과 2003년의 빙하 종단면을 비교하면 2002년 2월에는 동굴이 선명하게 나타나 있는 반면 2003년의 빙하 동굴은 함몰하여 그 형태를 잘 알 수 없을 정도로 넓어져 있음을 볼 수 있



사진 13. 2003년 빙공과 퇴석들(2003년 1월 2일)



사진 16. 이전의 지류 빙하에서 흘러나오는 폭포들
(2003년 1월 3일)

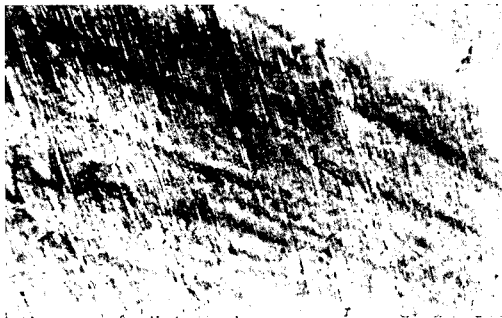


사진 14. 그루브(→): 빙하 이동 흔적(2003년 1월 2일)



사진 17. 크레바스(2003년 1월 2일)



사진 15. 2002년의 빙하를 노란 줄로 표시(2002년 12월 26일)

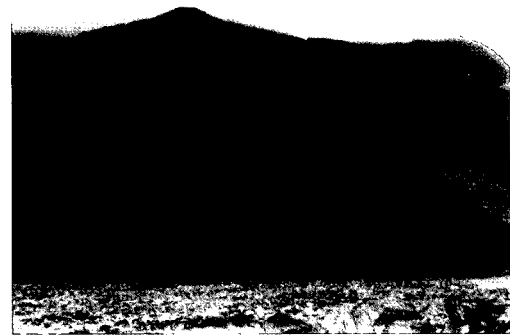


사진 18. 양배암 : 빙하 이동 흔적 (2002년 12월 27일)

다.(사진 11과 12, 동굴 위치 : 화살표) 또 지난해의 파란 빙하 얼음의 모습보다는 빙하가 이동하면서 흘러 내려온 퇴석으로 빙하가 더 검게 오염되어 있었고 더 많은 빙하 균열이 발견되고 있으며 빙하가 융해되면서 만들어진 작은 구멍

들은 빙하의 융해를 더욱더 촉진하고 있다. 사진 15는 2002년에 비해 후퇴한 빙하를 노란 줄로 표시하고 있다.

빙하 후퇴의 또 다른 증거는 것은 수목선(Trim line)이다. 빙하가 후퇴하면 바로 암석의



사진 19. 빙공들(→)(2003년 1월 3일)



사진 22. 빙하와 식생 (2003년 1월 3일)



사진 20. 빙하에 운반되는 퇴석(2003년 1월 4일)

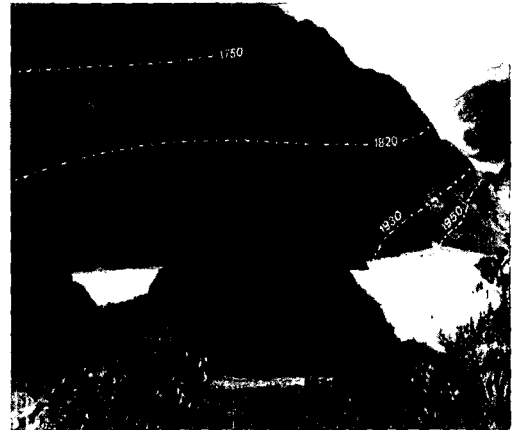


사진 23. 빙하와 수목선의 변화



사진 21. 퇴석의 풍화가 진행 중인 토양(2003년 1월 3일)

풍화가 뒤따르게 되는데 암석의 풍화시기와 속도에 따라 다른 종류의 토양이 만들어지고 빙하 후퇴시기에 따라 다른 식생대가 분포하게 된다. (사진 23) 따라서 빙하의 시기가 오래된 토양에서 키가 크고 잎이 무성한 수목이 발달하는 것을 육안으로 관찰할 수 있다. 이전의 빙하 지역에서 고사리과의 식생이 자라고 있으며 퇴석의

풍화가 진행 중에 있고 이 빙하 주변 지역은 활엽수보다는 침엽수 계통의 식생이 많이 분포하는 것이 관찰되었다.(사진 21, 22)

(3) 빙하 후퇴와 원인

산업혁명을 기점으로 한 전세계의 공업화와 급격한 인구증가는 CO₂를 증가시켜 대기 오염의 가속화와 기후 온난화를 유발하여 전세계에 분포하는 빙하 면적을 축소하고 있다.

연구지역인 프렌츠 요셉 빙하도 점점 후퇴하는데 빙하 후퇴의 직접적인 원인으로 작용하는 기후요소로 그 원인을 분석해 보았다.

1943년 프렌츠 요셉 빙하 정상에서 추락한 비

행기 잔여물이 빙하 입구에 도달하는데 6년 4개월이 걸렸고 이는 빙하 이동시간의 기준이 되고 있다. 이것으로 프랜츠 요셉 빙하의 매일 이동거리 는 하루 4 m정도로 추정한다. 또 다른 추론을 보면 프랜츠 요셉 정상 의 강설은 다른 꼭 빙하에 비해 10배 이상 빠르고 강설의 증가에 대한 빙하의 반응은 5년 정도의 시간이 소요된다고 추정한다. 그러므로 2003년 1월 프랜츠 요셉 빙하의 후퇴를 나타내는 시간은 5년에서 6년 정도로 추정하여 이것을 기후 자료로 확인하였다.

프랜츠 요셉 빙하 후퇴를 위해 사용된 기후자료는 위치 상으로 빙하와 가장 인접한 프랜츠 요셉 타운과 인접한 마운틴 쿡 보호지역(The Hermitage)과 마운틴 쿡 Ews 두 지역 765m 고도에서의 기후 통계 자료를 기초로 하여 빙하 후퇴의 원인을 조사하였다. 특히 1982년~1999년의 자료는 마운틴 쿡 보호지역(The Hermitage)의 통계를 2000년~2002년은 마운틴 쿡 Ews의 통계 자료를 혼합하여 사용했다.

[표 3] 프랜츠 요셉 마을의 위도, 경도와 고도

지역	위도(°)	경도(°)	고도(m)
프랜츠 요셉 마을	43.4	170.2	155
마운틴 쿡 보존지역, 마운틴 쿡 Ews	43.7	170.1	765

표 4의 프랜츠 요셉 마을 기후 자료를 사용해 1982년~2002년까지의 기후자료를 상위순서 5개로 분류하여 그래프로 그려보았다. 그리고 2003년의 빙하 후퇴에 영향을 주는 1998년이 상위순서에서 어떠한 순위로 나타나는지 비교 분석 하므로써 이 시기의 기후가 빙하 후퇴와 직접적인 관련이 있는지 추론해 보았다.

이 상위 순서 그래프를 비교한 결과 빙하 후퇴에 영향을 주었던 1998년이 5개 부분 모두에 상위 순서를 나타내고 있다.

[표 4] 프랜츠 요셉 빙하의 강수와 기온(1982~2002)

연도	최고강수(mm)	최고기온(°C)	겨울 최고기온(°C)	여름 최고기온(°C)	겨울 최저기온(°C)
1982	*	*	11.9	18	*
1983	6899.1	14.4	11.4	16.9	6.5
1984	6450.1		12.4	18.7	7.4
1985	5004.7		12.2	19.7	7.4
1986	4449.5	16	12.1		7.1
1987	6263.3	15.7	12.1	19.4	7.2
1988	6807.4	15.3	11.8	19.4	6.8
1989	5120.7				7.5
1990	6112.9	15.7	12.2	19.5	6.9
1991	5902.6	14.8	11.5	17.9	
1992	4694.6	14.7	10.5	18.8	
1993	5722.5	14.8	11.4	18.4	*
1994	6052.9	14.9	10.9	19.4	*
1995		15.2	*	19.4	*
1996	*	*	*	19.7	*
1997	*	*	12.4	18.7	*
1998		15.7	12.4	19.5	7.1
1999	5102.1	*	*	*	7.6
2000	*	*		*	*
2001	5135.8	*	12.3	18.8	*
2002	*	*	*	19.5	*

주: *연간 월별 자료 중 완벽하지 않은 자료.
색 : 상위 순위

표 5의 1982~2002년 마운틴 쿡과 Ews 연간 여름 최고 기온, 강수량 겨울, 여름 최고 기온 상위순서를 비교 분석하면 1998년이 4개의 상위순서에 모두 나타나고 있다.

표 6, 7의 바람의 속도와 일사량 자료를 분석한 결과 1982~2002년의 연도별 최고 바람의 속도 순위 그리고 여름 바람의 속도, 1982~2002년의 연도별 일사량 마운틴 쿡 보호지역과 마운틴 쿡 Ews의 1982 ~ 2002년의 연간 최고, 겨울과 여름 최고 바람의 속도 그리고 연간 최고, 겨울과 여름 최고 일사량의 상위 분석을 보면 빙하의 강화에 영향을 주는 겨울 바람 최고 속도를 제외하고 1998년이 6개중 5개의 그래프에서 상위순서로 나타나고 있다.

[표 5] 마운틴 쿡 보호 지역과 Ews 강수와 기온 (1982~2002)

연도	최고강수 (mm)	최고기온 (°C)	겨울 최고기온 (°C)	여름 최고기온 (°C)	겨울 최저기온 (°C)
1982	5117.6	13.1	6.8	18.7	3.2
1983		12.7	6.6	17.6	
1984	4816.9	13.9	8.7	18.4	3.9
1985	3596.6	*	*	*	3.8
1986	3496.2	13.8	6.5	18.7	3.8
1987	4779.4	14.2		18.8	4.1
1988	5255.6	14.6		19.2	4.3
1989	3861.7		7.9	20.4	*
1990	4763.5	14.4	7.4	20.1	4.2
1991	3968.3	13.6	6.9	19.3	3.1
1992	3677.5	13.4	6.5	19.1	
1993	3923.7	13.9		18.7	3.3
1994		*	7.1	20.8	3.5
1995		13.9	6.1		3.5
1996	4133.3	*	6.5	20.1	
1997	4118	*	8.3	*	*
1998	5055.3		8.6		4.4
1999	3960.1		8.6		4.5
2000	*	*	*	*	*
2001	*	*	6.8	19.1	*
2002	4010.6	13.6		18	*

주 : *연중 월별 자료 중 완벽하지 않은 자료.
음영 : 상위 순위

1982~2002년 프랜즈 요셉 마을의 연간 최고 강수량, 겨울 최고 기온, 여름 최고 기온 그리고 겨울 최고 기온, 연간 최저 기온 중 높은 순서로 표를 만들었다. 이 표를 분석해 보면 엘리노 현상이 강화되었던 1998년의 기후 요소들은 지난 22년간의 기후 분석 순위에서 상위를 나타내어 대부분 온난화와 강수가 강화되었던 시기로 분석되었고 고도 상으로 프랜즈 요셉 빙하와 비슷한 지역에 위치한 인근의 마운틴 쿡과 마운틴 쿡 Ews 지역도 기후 요소들이 이와 유사한 특징을 나타내었다. 그리고 프랜즈 요셉 마을에는 없는 자료인 최고 순위와 겨울, 여름의 일사량 분

[표 6] 1982~2002년 마운틴 쿡 보호 지역 여름, 겨울 바람속도

연도	바람 최고속도 (km)	바람 최저속도 (km)	겨울 평균속도 (km)	여름 평균속도 (km)
1982	451.9		117.16	207.45
1983	308.5		96.46	227.03
1985	234.6		123.46	229.63
1986	303.6	126.2	181.26	203.69
1987	350.1	142.7	173.96	276.40
1988		185.7		290.40
1989	293.8	115.6	149.26	228.26
1990	389.9	113	130.46	
1991	305.2	121.4	159.16	245.53
1992	298.6	115.7	178.76	256.13
1993	338.6	165.9		249.40
1994	350.2	144.1	196.10	270.40
1995	365.2	184		281.73
1996	327.8	106.1	151.06	231.30
1997		142.9		
1998		127.1	159.20	
1999	312.6	143.6	155.70	247.06
2000	303.7	127.9	157.40	*
2001	303.7	125	164.40	272.20
2002	315.4	141.3	170.06	266.90

주: * 연중 월별 자료 중 완벽하지 않은 자료.
음영 : 상위 순위

석에서도 1998년의 자료가 기후 분석자료에서 상위를 차지하고 있음을 알 수 있다. 그리고 빙하 강화에 영향을 주는 바람의 최저 속도와 일사량 최저는 순위에 들지 않았다. 그러므로 2003년의 빙하 후퇴는 환경적인 요소 보다 엘리노의 기후 변동에 따른 결과로 추정된다.

(4) 빙하 후퇴와 지형 변화

빙하 후퇴의 가속에 따라 빙하 하천의 영향력도 커지게 된다. 프랜즈 요셉 빙하 와 이 빙하의 좌측에 있는 캘러리 빙하(Callery Glacier)의 용빙수와 퇴적물이 와이호강(Waiho River) 상류

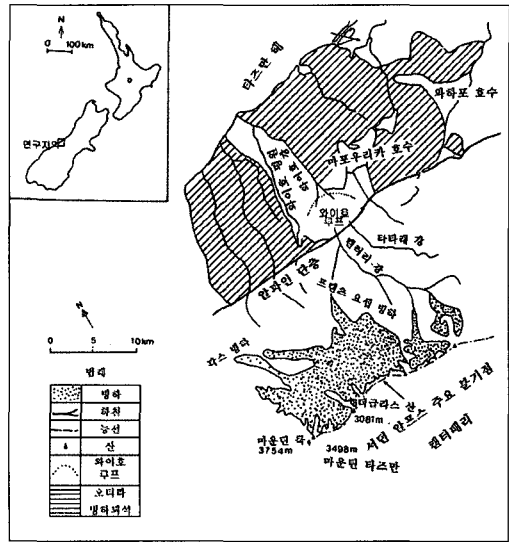
[표 7] 1982~2002년 마운틴 쿡 보호 지역 여름, 겨울 일사량 평균

연도	최고 일사량 (hr)	최저 일사량 (hr)	겨울일사량 평균 최고 (hr)	여름일사량 평균 최고 (hr)
1982	6.46	3.14		5.86
1983	6.3	2.4	2.93	4.93
1985	6.4		2.63	5.36
1986	5.8		2.37	5.23
1987	5.8	2	2.46	5.30
1988	6.4	1.9	2.56	5.53
1989	6.6	2.1	3.03	5.93
1990	6	1.9	2.30	5.73
1991	5.6	2	2.73	5.33
1992	6.6		2.20	5.73
1993	5.7	3.4	*	5.03
1994	7.3	1.9	2.33	
1995	6.5	2	2.60	5.96
1996	6.5	1.9	2.70	5.76
1997	6	2.9	*	*
1998	6.4	2.1	2.90	5.90
1999		2.1		
2000	6.6	2.1	2.93	*
2001		2	3.03	*
2002	6.3	2.1	2.80	5.50

주: * 연중 월별 자료 중 완벽하지 않은 자료.
음영 : 상위 순위

에서 합해져 와이호강 상류 침식을 가속화하고 있다. 이 빙하 후퇴와 침식의 영향으로 와이호강 다리 2km 쯤에 위치하는 작은 화강암 산 캔바스노브(Canavans Knob ; 사진 27)가 만들어 졌고 침식으로 와이호강 상류 양쪽 벽도 황폐화되고 있다. 그리고 지속적인 침식으로 프랜츠 요셉 타운쉽과 6번 고속도로와 빙하를 연결해주는 다리가 심각하게 손상되고 있다.(사진 25)

상류의 삭평형과는 반대로 하류에는 강한 퇴적이 이루어져 타타래(Tatara Fan) 선상지와 다리를 중심으로 5 km 쯤에 고대 중단 퇴석인 와이호 루프(Waiho Loop)와 같은 빙하 퇴석 지형이 형성되었다. (그림 16) 와이호 루프는 1만 2천



[그림 16] 빙하의 후퇴와 와이호 강의 변화

년 전 프랜츠 요셉 빙하가 강화되었던 흔적을 나타내는 증거로 퇴석이 길이 5 km, 높이 80 m 의 길고 작은 언덕 모양으로 쌓여 있으며 그 위를 수목이 덮고 있다.(사진 26)

퇴석들은 지난 빙기를 끝으로 해안에서 산의 깊은 곳까지 방대한 퇴적물을 퇴적 시키며 충격 선상지인 해안 평야를 지속적으로 만들고 있다. 결론적으로 빙하후퇴는 빙하 퇴적물의 이동을 좀더 빠르게 하여 상류는 삭평형이 지속되고 하류는 와이호강의 충격 선상지의 넓이를 확대 시키게 될 것이다. 만일 이 지역에 집중 호우 발생 시 또는 빙하의 급격한 후퇴에 따른 음빙수의 증가로 하천이 범람하고 상류의 삭평형이 가속화되면 이 지역의 유일한 다리는 심각한 손상을 받을 것이며 또한 와이호 강 좌측의 제방이 범람한다면 휴일 공원과 타운 쉽 그리고 대도시를 연결해주는 6번 고속도로, 12 여개의 숙소들과 이 지역의 관광객을 위한 편의 시설들이 손실 될 것이며 따라서 이는 이 지역의 관광 산업에 커다란 손실을 가지게 될 것이다.



사진 24. 와이호강 상류(2003년 1월 6일)



사진 25. 프랜츠 요셉 마을과 빙하를 연결해 주는 다리



사진 26. 빙하의 후퇴와 와이호 루프(→:알파인 단층, 동근 곡선 숲: 와이호 루프)



사진 27. 캔버스 노브(2003년 1월 6일)

4. 결론

1. 빙하와 수목은 반비례의 관계이나 프랜츠 요셉 빙하는 빙하에서 몇 m 밖에 떨어지지 않은 지역에 수목이 발달하며 빙하의 강화와 후퇴를 반영하는 수목선이 관찰된다. 빙하 후퇴의 증거로 빙하 전면에서 빙하 주차장의 2km사이에 많은 찰흔이 발견 되고 있다. 또 지난 2002년과 2003년의 단기간의 비교에도 빙하는 후퇴하고 있음이 답사를 통해 확인 되었다.
2. 기후 자료 분석에 의하면 이상 기후 현상인 엘니뇨의 영향에 따른 기온상승과 강수의 증가가 주요한 원인 것으로 추정된다. 그러나 이외에도 짧은 기간 동안 발생하는 집중호우와 바람은 빙하의 후퇴를 촉진 할 것으로 추측된다.
3. 빙하의 급격한 후퇴나 지형성 강우로 인한 하천의 범람은 제방 좌측에 위치한 홀리데이 공원과 프랜츠 요셉 마을에 분포하는 12여 개의 숙소와 다른 도시를 연결해 주는 고속도로를 침수시킬 것이며 와이호강 상류에서의 침식을 가속화하여 빙하 주변 지역의 자연 환경은 황폐화 될 것으로 추정된다.

文 獻

1. 국내문헌

가. 연구논문

김종욱, 1998, 뉴질랜드 지형, 지리·환경 교육, 6(2), pp 51~69

2. 외국문헌

가. 단행본

Davies, T.R. Long term management of facilities on an active alluvial fan - Waiho River,

- Westland, 1997, Journal of Hydrology New Zealand New Zealand No 2 p 129~130
- Geoff Hicks and Hamish Campbell, 1998, Awesome forces(THE NATURAL HAZARDS THAT THRETEEN NEW ZEALAND, Te Papa Tongarewa p 53~55.
- GP Publications, 1998, New Zealand Official Yearbook p 5
- Glen Coates, 2002, The Rise and Fall of the Southern Alps, CANTERBURY UNIVERSITY PRESS pp 31~56, p 63
- JJAITKEN, 1996, Plate tectonics for curious kiwis, Institute of Geological & Nuclear Sciences Limited Lower Hutt, New Zealand pp 34~40
- Jocelyn Thornton, 2002, Field Guide to New Zealand GEOLOGY, Reed Books p 79
- Jefley J. Aitken, 1999, ROCKED AND RUPTURED Geological Faults in New Zealand, Institute GEOLOGICAL & NUCLEAR SCIENCES p 50, p 23
- 나. 연구논문
- J Gough. D Johnston. M J McSaveney, 1999, Community response to natural hazard risk at Franz Josef Glacier, Institute of Geological & Nuclear Sciences Report p 31
- 다. 기타
- VISTOR CENTRE, 2001, GLACIER COUNTRY Institute of Geological & Nuclear Science Limited, 1992, The Franz Josef and Fox Glaciers
- Franz Josef Glacier Guides, 2001/2002, The most incredible Glacier experienc Ice Talonz Superior Glacier Grip pp 1~6
- 프랜츠 요셉 마을과 마운틴 쿡(Mt. Cook)의 1:250,000 지질도
http:// www.niwa.cri.nz/eau/resources/climate/station— 뉴질랜드 기후
- http:// members.tripod.com/Nzphoto/south/04 Glaciers.htm — 알파인 단층
- http:// eosdata.gsfc.nasa.gov/DAAC_DOCS /geomorphology /GEO_9GEO_Richard S.Williams, Jr. — 빙하와 빙하 경관
http:// www.otago.ac.nz/geology —알파인 단층
http:// www.rsnz.govt.nz/publish/jrsnz/2002/020.pdf — 빙하의 퇴적
- http:// www.geo.arizona.edu/~chagbo/geology.html — 서던 알프스 지질
- http:// geology, kangwon. ac. kr/lecture /kine/sen /senoo.html — 강원 대학교
- http:// members.tripod.com/Nzphoto/volcano. atectonic2.htm — 뉴질랜드 파스와 프랜츠 요셉 빙하
- http:// kea.cs.uni-magdeburg.de/thorhaue/travel98 /22121998/ 22121998 -5.html — 와이호 강
- http:// kr.softwise.yahoo.com/preiew?did=591488&url — 지구의 에너지
- http:// www.niwa.cri.nz/edu/students/faq/enln — 나와 학생을 위한 기후
- http:// www-odp.tamu.edu/publications/prelim/181_ prel/181fig11.html — 프랜츠 요셉 빙하
- http:// www.gns.cri.nz/earthact/crustal/index.html — 판운동과 변형
- http:// www.nzine.co.nz/features/franz.html — 프랜츠 요셉 빙하의 특징
- http:// www.glaciercountry.co.nz/glcaier —빙하의 나라