

프랜츠 요셉빙하의 지형적 특성과 빙하후퇴의 원인

심인선

동국대학교 석사과정

I. 서론

1. 연구목적

이 연구의 목적은 뉴질랜드 프랜츠 요셉 빙하를 사례로 하여 연구 지역 빙하 지형의 특성 그리고 기후 요소로 2002년과 2003년의 빙하 후퇴 원인이 무엇인지 분석하고 빙하 후퇴가 이 지역에 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)를 통해 이 지역 연구를 위한 지질과 지형에 관한 문헌과 이 지역을 연구했던 논문을 참고 문헌으로 사용하였다. 이 문헌 자료를 바탕으로 제 2차 답사는 2002년 12월 22일~2003년 1월 12일 실시하였다. 답사 시에는 뉴질랜드 지질 연구소에서 1975년 발행한 프랜츠 요셉 마을과 마운틴 쿡의 1:250,000 지질도, 2001년도 랜드 인포메이션 발행의 1:50,000의 지형도를 사용하였다.

3. 연구 지역 개관

프랜츠 요셉 빙하는 뉴질랜드 남섬 서쪽 해안의 국립공원 보호구역에 위치해 있다. 프랜츠 요셉 빙하는 호주인 주리어스 본 하스트가 1865년 빙하를 탐험하고 그 이름을 지어 지금까지 널리 알려지게 되었다.

프랜츠 요셉 빙하의 나이는 7000년 정도이며 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, 켈러리 협곡에서 흘러나오는 용빙수가 와이호강 상류에서 합쳐져 흐른다. 빙하 후퇴의 흔적으로 프랜츠 요셉 마을 주변에 많은 크고 작은 호소가 있으며 이것은 빙하와 함께 이 지역의 중요한 관광 자원이 되고 있다. 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 연결해 주는 것은 6번 고속도로이며 이 도로를 이용하여 많은 관광객을 수용하고 있다.

II. 뉴질랜드의 환경

1. 지질과 지형

뉴질랜드는 남위 34~ 47°, 서경 33°에서 53°, 동경 160°에서 173°에 위치한다. 남서쪽의 태평양과

북섬, 남섬의 두 개의 섬 그리고 크라이스트처치의 동쪽에 있는 차삼 아일랜드와 캄펠 아일랜드 그리고 북섬과 남섬 사이에 쿡 해협이 있고 남북으로 1,600km 길게 뻗어 있으며 폭은 450km, 면적은 270,500km²이다.

뉴질랜드는 이스트 케이프 북동쪽에서 태평양판이 인도-판인 켈메이텍, 히커랑기 해구를 경계로 하여 연간 60mm 그리고 북섬의 남동쪽에 위치한 네이피러는 연간 50mm로 섭입되어 같은 북섬에서 다른 섭입 크기를 가진다.

웰링턴 남쪽은 인도-호주판이 태평양판에 부딪쳐 융기하여 남섬에 서던 알프스를 만들고 또 이 지역에 알파인 단층(Alpine Fault)이 발생하게 된다. 알파인 단층을 따라 남섬 동쪽의 크라이스트처치와 하스트가 연간 30mm정도 그리고 더 남쪽인 밀포드 사운드는 섭입 방향이 바뀌어 태평양판이 인도-호주판에 들러지는 섭입 형태로 가파른 높은 산맥이 발달하게 된다.

뉴질랜드 암석의 3/4은 사암, 이암, 각섬석, 역암 석회암이나 사암과 이암이 교대로 퇴적된 경사암과 시스트, 운모와 같은 변성암이 분포한다.

인도-호주판과 태평양판의 경계에 놓여 있는 뉴질랜드는 구조 활동을 가지며 북섬은 주로 화산 지형으로 안산암, 현무암 등의 화산암과 용결 응회암이 분포한다. 지역 별로 보면 화산암은 주로 중앙부 고원, 코로만델반도, 노스랜드 등지에, 용결 응회암은 중앙부 고원에서 화산암과 함께 나타난다. 남섬은 연대가 높은 편암, 경사암이 분포하고 알파인 단층의 활동에 따라 서던 알프스가 형성된다. 암석의 연대는 동쪽이 1억 6천만년 정도이고 서던 알프스를 중심으로 한 서쪽은 3억 4천만 전에 형성된 것으로 보이는 경사암 같은 변성암계의 암석이 분포한다.

(표 1) 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

출처 : 니와(NIWA: National Institute of Water & Atmospheric Research)

2. 기후

1) 온도와 강수

콰펜의 기후구분에 따르면 해안지방은 온대 습윤 하계 냉량 기후지역, 그리고 남섬의 내륙지방은 온대 스텝 기후지역으로 분류된다. 특히 남섬은 타즈만해 (Tasman Sea)에서 불어오는 습윤한 편서풍이 바람맞이 사면인 북동-남서 방향의 서던 알프스에 부딪치며 많은 강수량이 발생시키고 반면에 바람의 지인 동쪽은 건조한 기후가 발생, 서던 알프스를 중심으로 동과 서에 대조적인 기후 차가 나타난다.

뉴질랜드의 기후는 남섬의 남부 지역을 제외한 전 지역의 여름날씨가 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, 말보로우, 캔터베리, 마나와타, 브러 지역은 평년 보다 강수량이 적었고 반면에 헉스 베이와 코로멜델은 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 라니냐와 엘니뇨 현상에 따른 온도 상승으로 뉴질랜드 전역이 결빙 일수가 적어지고 밤 기온이 상승하고 북섬의 동쪽에는 가뭄이 남섬의 서쪽 해안에서 홍수가 발생하고 있다 그러므로 이러한 기후 변화는 빙하 후퇴에 영향을 줄 것으로 추정된다.

Ⅲ. 프랜츠 요셉 빙하 지역

1. 지형적 특성

프랜츠 요셉 빙하는 고도가 낮은 지역에서 발달하는 곡빙하이다. 빙하 도로가 끝나면 주차장이 있고 주차장에서 100m 떨어진 곳에서 프랜츠 요셉 빙하 정면을 볼 수 있는데 12,000년 전 빙하가 해안까지 발달했었음을 추측 할 수 있는 빙하 후퇴 후 생기는 많은 지류를 볼 수 있다. 주차장을 나와 빙하 전면이 보이는 지점에서 바로 빙하 후퇴의 흔적을 나타내는 찰흔과 그루브를 찾아 볼 수 있다.

1) 빙하곡의 형태

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

2) 빙하 생성의 원인

프랜츠 요셉 빙하지역은 겨울에도 한 낮의 기온은 영상이나 산악지대의 지형적 특성으로 밤에는 기온이 급강하 해 융빙수가 결빙되어 지속적으로 빙하가 유지된다. 서쪽 타즈만에서 불어오는 습윤한 편서풍은 서던알프스를 오르며 산악지대의 냉각된 공기와 합해져서 폭우와 폭설을 발생시키고 이것으로 정상의 설원이 유지되면서 곡빙하를 형성하게 된다. 서쪽 해안의 강수량은 연간 최대가 3.2m 이나 주요 분기점에서 강설량은 15m에 이른다. 이러한 지형적 특색으로 뉴질랜드 남섬에는 프랜츠 요셉 빙하를 포함한 크고 작은 140여개의 곡빙하가 발달한다.

3) 빙하 주변 지역 암석의 특징

연구지역은 곤드와나에 기원한 오래된 변성암이며 두 판이 부딪치는 지점의 알파인 단층 영향으로 산맥이 융기하고 새롭게 만들어진다. 이 지역의 주요 암석은 경사암과 시스트로 변성암이 대부분이고 빙하의 입구에 들어서면 가장 먼저 발견되는 암석은 흑운모, 녹니석, 시스트 그리고 경사암으로 흑운모는 검은 색을 띄며 흰색 밴드가 섞여 있다. 녹니석은 녹색과 황토색이 변성되어 휘어진 모습으로 발견되고 문헌 자료에 의하면 석영이 변성된 석류석도 있으나 흰색 석영만 찾아 볼 수 있다.

관광 안내소에 따르면 이 지역에 규질 점토암도 다수 분포하고 지질도에 따르면 이 빙하지역은 화강암의 광성화 작용으로 금을 함유한 석영이 많이 분포하므로 빙하 후퇴 후 이 지역에서 많은 금이

발견 될 것이 예측된다.

일반적으로 빙하 전면에 퇴석이 쌓이나 연구 지역은 빙하의 이동으로 쌓이지 않고 퇴석은 하천 양쪽에 쌓이거나 와이호강 상류와 하류로 흘러간다.

4) 알파인 단층

알파인 단층은 두 판의 경계에 위치한 뉴질랜드 남섬에서 발생하는 주요한 구조 현상으로 500km 정도의 범위로 작용하고 연구 지역도 2 km 전방에서 단층의 영향을 받아 산이 갈라지고 있다. 남섬은 판들이 부딪치며 융기하며 알파인 단층을 따라 판들은 각각 빠르게 다른 방향으로 이동하는데 여기 남섬의 주요 부분이 250°정도 호주 판 위로 충상 단층 작용하고 압축력을 가지며 횡 단층, 변환 단층과 같은 단층 현상을 발생하며 이동하며 서던 알프스를 만든다.

서던 알프스는 비대칭을 이루는데 서쪽의 정상 부분은 좁은 해안 평야로부터 단층이 표면이 도달되는 지역 15 km 정도로 가파르고 좁게 분포하고 동쪽 지역은 캔터베리 평야는 넓고 완만한 경사를 가진다.

서던 알프스의 암석은 새롭게 융기되는 암석으로 만들어져 대체로 그 연도가 늦다고 할 수 있다. 알파인 단층은 수평적인 이동을 하고 융기가 있으나 절반은 침식되어 실제 융기는 원래 융기율의 절반 정도이다.

2. 빙하의 후퇴와 경관 변화

1) 프랜츠 요셉 빙하의 후퇴

빙하는 지난 2백 만 년 동안 육지를 빙상으로 그리고 해수면을 100m 정도 낮게 하였다. 프랜츠 요셉 빙하는 7000년 정도 된 빙하로서 정상의 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. 이 지역의 빙하 후퇴 상태를 가장 잘 알 수 있는 것은 빙하 후퇴 후에 남겨진 퇴석과 찰흔 그리고 그루브를 통해서이다.

1894년의 빙하를 중심으로 강화와 후퇴를 반복하는 빙하 종단면의 길이를 보면 기준이 되는 산에서 계속 후퇴하며 특히 1750년과 1820년의 소빙기를 끝으로 1983년의 후퇴 그리고 1999년과 2001년은 약간의 강화를 나타내고 있다. 빙하가 일시적으로는 강화와 후퇴를 반복하고 있으나 전체적으로는 후퇴의 양상이 강하게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

1939년~1949년 사진 8은 일시적으로 빙하가 강화되었던 시기였고 1979년의 사진 9 빙하의 후퇴를 그리고 사진 10의 1990년 빙하는 80년대 빙하 재 강화로 빙하의 일시적 강화로 볼 수 있다.

2002년과 2003년의 빙하를 비교하면 2002년 2월에는 동굴이 선명하게 나타나 있는 반면 2003년의 빙하 동굴은 함몰하여 그 형태를 잘 알 수 없을 정도로 넓어져 있다. 퇴석으로 빙하가 더 검게 오염되어 있고 더 많은 빙하 균열이 발견되고 빙하가 융해되며 만들어진 작은 구멍들은 빙하의 융해를 더욱 더 촉진시키고 있다. 사진 13은 2002년에 비해 후퇴한 빙하를 노란 줄로 표시하고 있다. 수목선은 빙하 후퇴 후 암석의 풍화시기와 속도에 따라 다른 종류의 토양이 만들어지고 빙하 후퇴시기에 따라

다른 식생대가 분포한다.이전의 빙하 지역에서 고사리과의 식생이 자라고 퇴석의 풍화가 진행 중이며 빙하 주변 지역은 침엽수 계통의 식생이 많이 분포하는 것이 관찰되었다.

2) 빙하 후퇴와 원인

산업혁명을 기점으로 한 전 세계의 공업화와 급격한 인구증가로 Co₂가 증가하여 대기 오염의 가속화와 기후 온난화로 전세계의 빙하 면적을 축소하고 있다.

연구지역인 프랜츠 요셉 빙하도 점점 후퇴하는 양상을 보이는데 빙하 후퇴의 직접적인 원인으로 작용하는 기후요소로 그 원인을 분석해 보았다.

1943년 프랜츠 요셉 빙하 정상에서 추락한 비행기 잔여물이 빙하 입구에 도달하는데 6년 4개월이 걸렸고 이는 빙하 이동시간의 기준이 되고 있다. 이것으로 프랜츠 요셉 빙하의 매일 이동거리는 하루 4 m정도로 추정한다. 또 다른 추론을 보면 프랜츠 요셉 정상의 강설은 다른 곳 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 추정해 볼 수 있으며 이것을 기후 자료로 확인하였다.

프랜츠 요셉 빙하 후퇴를 위해 사용된 기후자료는 위치상으로 빙하와 가장 인접한 프랜츠 요셉 타운과 인근 지역인 마운틴 쿡 보호지역과 마운틴 쿡 Ews 두 지역의 765m 고도에서 기후 통계 자료를 기초로 하여 빙하 후퇴의 원인을 조사하였다. 특히 1982년~1999년의 자료는 마운틴 쿡 보호지역의 통계를 2000년~2002년은 마운틴 쿡 Ews의 통계 자료를 사용했다.

표 2의 상위 순서를 비교한 결과 빙하 후퇴에 영향을 주었던 1998년이 5개 부분 모두에 그리고 표3의 1982~2002년 마운틴 쿡과 Ews 연간 여름 최고 기온, 강수량 겨울, 여름 최고 기온 상위 순서를 비교 분석하면 1998년이 4개의 상위 순서에 나타난다.

표 4, 5의 바람의 속도와 일사량 자료를 분석한 결과 빙하의 강화에 영향을 주는 겨울 바람 최고 속도를 제외하고 1998년이 6개중 5개의 순서에서 상위로 나타나고 있다. 표를 분석해 보면 엘리노 현상이 강화되었던 1998년의 기후 요소들은 지난 22년간의 기후 분석 순위에서 상위를 나타내어 대부분 온난화와 강수가 강화되었던 시기로 분석되었고 고도 상으로 프랜츠 요셉 빙하와 비슷한 지역에 위치한 인근의 마운틴 쿡과 마운틴 쿡 Ews 지역의 기후 요소도 이와 유사한 특징을 나타내었다.

[표 2] 프랜츠 요셉 빙하의 강수와 기온(1982~2002)

연도	최고 강수(mm)	최고 기온(°C)	겨울 최고 기온(°C)	여름 최고 기온(°C)	겨울 최저 기온(°C)
1982	*	*	11.9	18	*
1983	6899.1	14.4	11.4	16.9	6.5
1984	6450.1	16.2	12.4	18.7	7.4
1985	5004.7	16.2	12.2	19.7	7.4
1986	4449.5	16	12.1	20.1	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	16.7	12.8	21	7.5
1990	6112.9	15.7	12.2	19.5	6.9
1991	5902.6	14.8	11.5	17.9	6.4
1992	4694.6	14.7	10.5	18.8	6.2
1993	5722.5	14.8	11.4	18.4	*
1994	6052.9	14.9	10.9	19.4	*
1995	7631.5	15.2	*	19.4	*
1996	*	*	*	19.7	*
1997	*	*	12.4	18.7	*
1998	7263	15.7	12.4	19.5	7.1
1999	5102.1	*	*	*	7.6
2000	*	*	12.6	*	*
2001	5135.8	*	12.3	18.8	*
2002	*	*	*	19.5	*

주: * 완벽하지 않은 자료, 음영 : 상위 순위

그리고 프랜츠 요셉 마을에는 없는 자료인 최고 순위와 겨울, 여름의 일사량 분석에서도 1998년의 자료가 기후 분석에서 상위를 차지하고 있다. 그리고 빙하 강화에 영향을 주는 바람의 최저 속도와 일사량 최저는 순위에 없다. 그러므로 2003년의 빙하 후퇴는 엘리노의 기후 변동에 따른 결과로 추정된다.

3) 빙하 후퇴와 지형 변화

빙하 후퇴에 따라 빙하 하천의 영향력도 커지게 된다. 프랜츠 요셉 빙하와 이 빙하의 좌측에 있는 켈러리 빙하의 용빙수와 퇴적물이 와이호강상류에서 합해져 와이호강 상류 침식을 가속화하고 있다. 빙하 후퇴와 침식으로 와이호강 다리 2km 쯤에 위치하는 화강암 산 캔바스 노브가 만들어 졌고 와이호강 상류 양쪽 산 벽도 황폐화되고 있다. 그리고 침식으로 프란츠 요셉 타운쉽과 6번 고속도로와 빙하로 연결되는 다리가 손상되고 있다.

하류에는 퇴적으로 타타래선상지와 다리에 서 5 km 쯤에 있는 와이호 루프는 1만 2천년 전 프랜츠 요셉 빙하의 강화 흔적으로 퇴석이 길이 5 km, 높이 80 m로 길고 작은 언덕 모양으로 쌓이고 그 위를 수목이 덮고 있다.

결론적으로 빙하 후퇴는 빙하 퇴적물의 이동을 빠르게 하여 상류는 삭평형이 지속되고 하류는 와이호강의 충적선상지의 넓이를 확대시키게 될 것이다. 만일 이 지역에 집중 호우 발생 시 또는 빙하의 급격한 후퇴에 따른 용빙수의 증가로 하천이 범람하고 상류의 삭평형이 가속화되면 이 지역의 유일한 다리는 심각한 손상 받을 것이며 또 와이호 강 좌측의 제방이 범람하면 휴일 공원과 타운 쉽 그리고 대도시를 연결해주는 6번 고속도로, 12 여개의 숙소들과 관광객을 위한 편의 시설들이 손실 될 것이

[표 3] 마운틴 쿡 보호 지역과 Ews 강수와 기온 (1982~2002년 평균자료)

연도	최고 강수(mm)	최고 기온(℃)	겨울 최고 기온(℃)	여름 최고 기온(℃)	겨울 최저 기온(℃)
1982	5117.6	13.1	6.8	18.7	3.2
1983	5370.8	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	8.9	18.8	4.1
1988	5255.6	14.6	8.8	19.2	4.3
1989	3861.7	14.8	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	5243.3	*	7.1	20.8	3.5
1995		13.9	6.1	21.1	3.5
1996	4133.3	*	6.5	20.1	3.1
1997	4118	*	8.3	*	*
1998	5055.3	15	8.6	21.5	4.4
1999	3960.1		8.6		4.5
2000	*	*	*	*	*
2001	*	*	6.8	19.1	*
2002	4010.6	13.6	8.1	18	*

주 : * 완벽하지 않은 자료. 음영 : 상위 순위

[표 4] 1982~2002년 마운틴 쿡 보호지역 여름, 겨울 바람속도

연도	바람 최고 속도(km)	바람 최저 속도(km)	겨울 평균 속도(km)	여름 평균 속도(km)
1982	451.9		117.16	207.45
1983	308.5		96.46	227.03
1985	234.6	101.7	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	312.40
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	206.16	281.73
1996	327.8	106.1	151.06	231.30
1997		142.9	206.63	
1998	354.9	127.1	159.20	316.35
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: * 완벽하지 않은 자료. 음영 : 상위 순위

다 따라서 이는 연간 30만에 이르는 이 지역의 관광 산업에 커다란 손실을 줄 것이다.

IV. 결 론

1. 빙하와 수목은 반비례의 관계이나 프렌츠 요셉 빙하는 빙하에서 몇 m 밖에 떨어지지 않은 지역에 수목이 발달하며 빙하의 강화와 후퇴를 반영하는 수목선이 관찰된다.

2. 지난 소빙기 이후로 빙하는 점점 후퇴하고 있다. 빙하 후퇴의 증거로 빙하 전면에서 빙하 주차장의 2km사이에 많은 찰흔이 발견되고 있다. 또 지난 2002년과 2003년의 단기간의 비교에도 빙하는 후퇴하고 있음이 답사를 통해 확인되었다.

3. 기후 자료 분석에 의하면 이상 기후 현상인 엘리뇨의 영향에 따른 1998년의 기온상승과 강수의 증가가 주요한 원인인 것으로 추정된다. 그러나 이러한 요소 외에도 짧은 기간 동안 발생하는 집중호우와 바람은 빙하의 후퇴를 촉진할 것으로 추측된다.

4. 빙하의 급격한 후퇴나 지형성 강우로 인한 하천의 범람은 제방 좌측에 위치한 홀리데이 공원과 프렌츠 요셉 마을에 분포하는 12여 개의 숙소와 다른 도시를 연결해 주는 고속도로를 침수시킬 것이며 와이호강 상류에서의 침식을 가속화 하여 빙하 주변 지역의 자연 환경은 황폐화 될 것으로 추정된다.

文 獻

김종욱, 1998, 뉴질랜드 지형, 지리·환경 교육, 6(2), pp 51-69
 Davies, T.R. 1997, Long term management of facilities on an active alluvial fan - Waiho River, Westland, Journal of Hydrology New Zealand New Zealand No 2 pp 129-130
 Geoff Hicks and Hamish Campbell, 1998, Awesome Forces(The Natural Hazards That Threaten New Zealand, Te Papa Tongarewa pp 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
 Jefley J. Aitken, 1996, Plate Tectonics for Curious Kiwis, Institute of Geological & Nuclear Sciences Limited Lower Hutt, New Zealand pp 34-40
 Jefley J. Aitken, 1999, Rocked and ruptured geological Faults in New Zealand, Institute Geological & Nuclear Sciences p 50, p 23

[표 5] 1982~2002년 마운틴 쿡 보호 지역 여름, 겨울 일사량

연도	최고 일사량 (hr)	최저 일사량 (hr)	겨울일사량 평균최고 (hr)	겨울일사량 평균최고 (hr)
1982	6.46	3.14	2.5	5.86
1983	6.3	2.4	2.93	5.7
1985	6.4	1.7	2.63	5.36
1986	5.8	2.6	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	1.7	2.20	5.73
1993	5.7	3.4	*	5.03
1994	7.3	1.9	2.33	6.63
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	7.1	2.1	3.06	7.36
2000	6.6	2.1	2.93	*
2001	7.6	2	3.03	*
2002	6.3	2.1	2.80	5.50

주: *완벽하지 않은 자료. 음영 : 상위 순위

- Jocelyn Thornton, 2002, Field Guide to New Zealand Geology, Reed Books p 79
- 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
- Vistor Centre, 2001, Glacier Country
- Institute of Geological & Nuclear Science Limited, 1992, The Franz Josef and Fox Glaciers 1:250,000 지질도 (프랜즈 요셉 마을과 마운틴 쿡)
- <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.](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,atectonic_2, htm](http://members.tripod.com/Nzphoto/volcano,atectonic_2.htm)— 뉴질랜드 팍스와 프랜즈 요셉 빙하
- http://kea.cs.uni-magdeburg.de/thorhaue/travel_98/22_121998/22121998_-5.html — 와이호 강
- <http://kr.softwise.yahoo.com/preiew?did=591488&url>—지구의 에너지
- <http://www.niwa.cri.nz/edu/students/faq/enln>—니와 학생을 위한 기후
- http://www-odp.tamu.edu/publications/prelim/181_prel/181fig11.html—프랜즈 요셉 빙하
- <http://www.gns.cri.nz/earthact/crustal/index.html>—판운동과 변형
- <http://www.nzine.co.nz/features/franz.html>— 프랜즈 요셉 빙하의 특징
- <http://www.glaciercountry.co.nz/glcaier>—빙하의 나라