

ABSTRACT

극지방의 빙하에서 획득한 얼음코어시료는 과거의 대기 및 기후 환경을 복원하고 그 변화를 파악하는데 유용하다. 그중 주로 대기 미세먼지와 가스로부터 기원하는 주요이온성분들(Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , F^- 등)의 조성과 농도변화 특성은 과거의 대기환경 변화를 복원함에 있어 필수적인 요소이다. 본 연구에서는 남극장보고과학기지에서 북쪽으로 약 85 km 떨어진 스틱스($73^\circ 51.10'\text{S}$, $163^\circ 41.22'\text{E}$, 1623 m)에서 획득한 약 9 m의 편코어(firm core)에서 35년간의 주요이온성분들의 기록을 복원하고, 비해염기원 이온성분들(nss-SO_4^{2-} , nss-Ca^{2+} , nss-Cl^- , F^-)의 특성을 파악하고자 하였다. 비해염기원 이온성분 중 플루오르이온(F^-)은 nss-SO_4^{2-} 와 더불어 과거 대규모 화산활동을 지시하는 대표적인 프록시로 알려져 있다. 특히 F^- 은 nss-SO_4^{2-} -피크가 관찰되지 않는 특정 지역 화산활동을 식별할 수 있는 프록시로 활용할 수 있다. 하지만 극지역의 눈과 빙하코어의 F^- 는 미량(sub-ppb)으로 함유되어 있기 때문에 대규모 화산활동과 관련된 남극지역의 일부 연구를 제외하면 비교할 만한 자료가 거의 없는 실정이다. 분석 결과 F^- 의 농도범위는 $0.04 \mu\text{g/L} \sim 8.80 \mu\text{g/L}$, SO_4^{2-} 는 $16.30 \mu\text{g/L} \sim 2117 \mu\text{g/L}$, Ca^{2+} 는 $2.38 \mu\text{g/L} \sim 311 \mu\text{g/L}$ 수준으로 나타났으며, 상대적으로 높은 농도의 F^- 가 0.1 m, 1.4 m, 3 m, 6.5 m, 8 m 부근에서 관찰되었다. 이는 일부 비해염기원 이온성분들과 유사한 경향을 나타냈다.

EXPERIMENTAL

Clean room condition

Picarro, WS-CRDS

Dionex, IC system

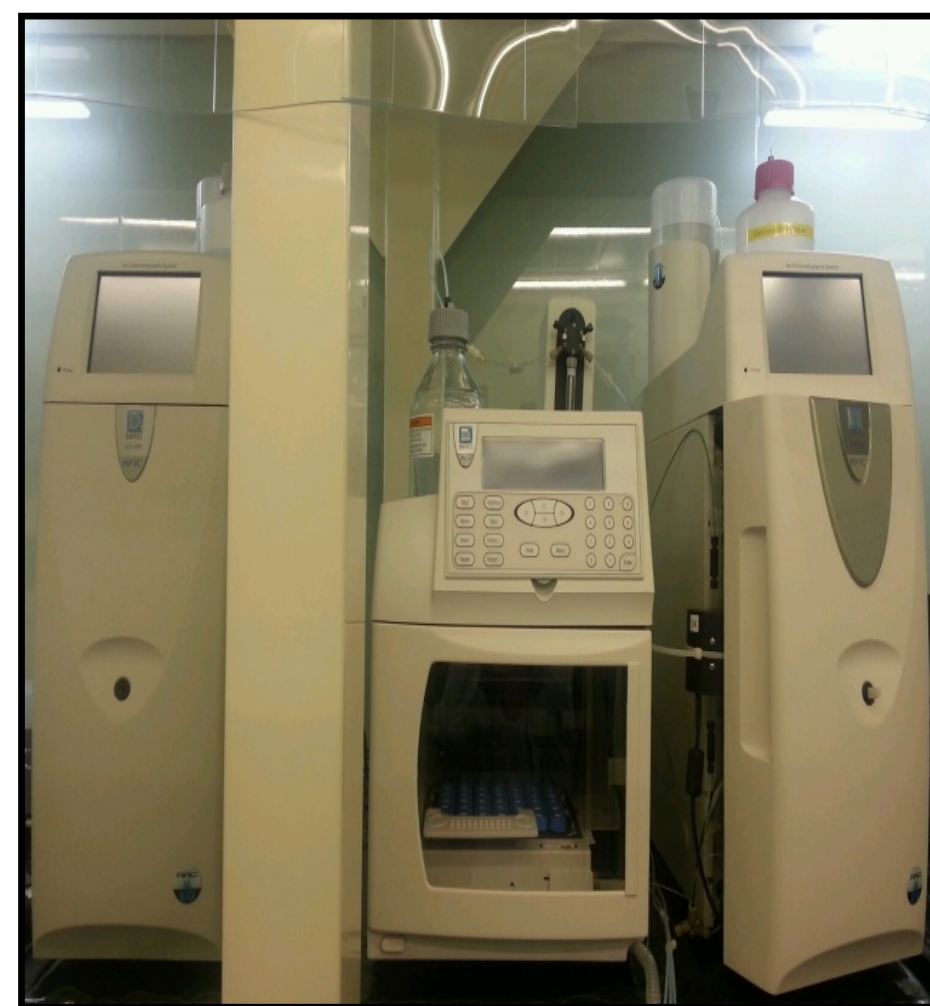


Table 1.
Summary of analytical performances of the methods

Chemical species	$\delta^{18}\text{O}$, δD	Ions
Analytical precision	$\delta^{18}\text{O} < 0.2 \text{ ‰}$, $\delta\text{D} < 2 \text{ ‰}$	$< 10 \text{ ‰}$

SAMPLING SITE

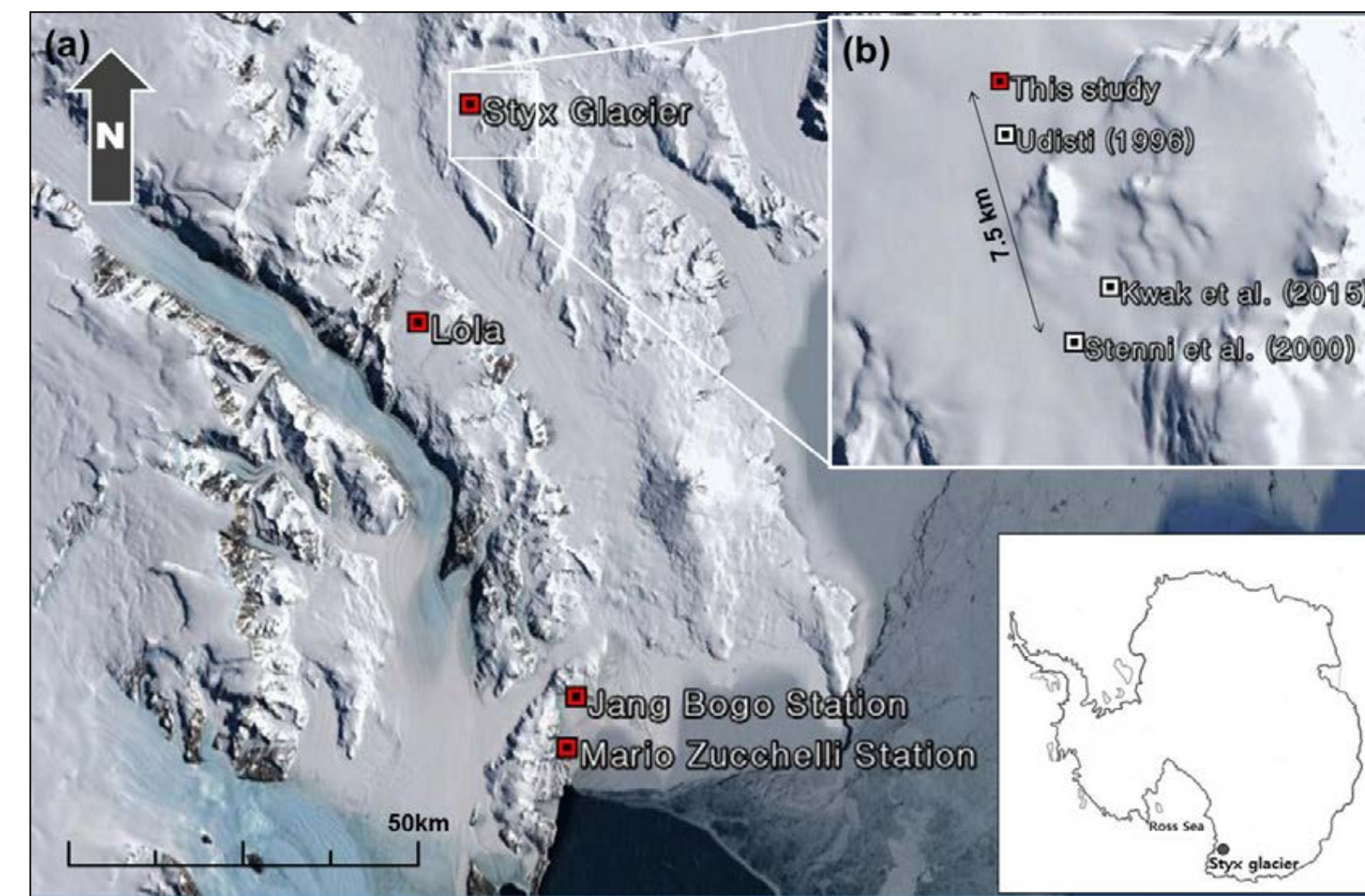


Fig. 1. Location map showing the sampling site on the Styx Glacier. (Han et al., 2015)

Table 2.
Geographical and sampling information.

Sampling site	Styx Glacier
Location	$73^\circ 51.10'\text{S}$, $163^\circ 41.22'\text{E}$
Altitude	1623 m
Depth	9 m
Sample number	147



Fig. 2. Sampling of the Styx firn core.

RESULT & DISCUSSION

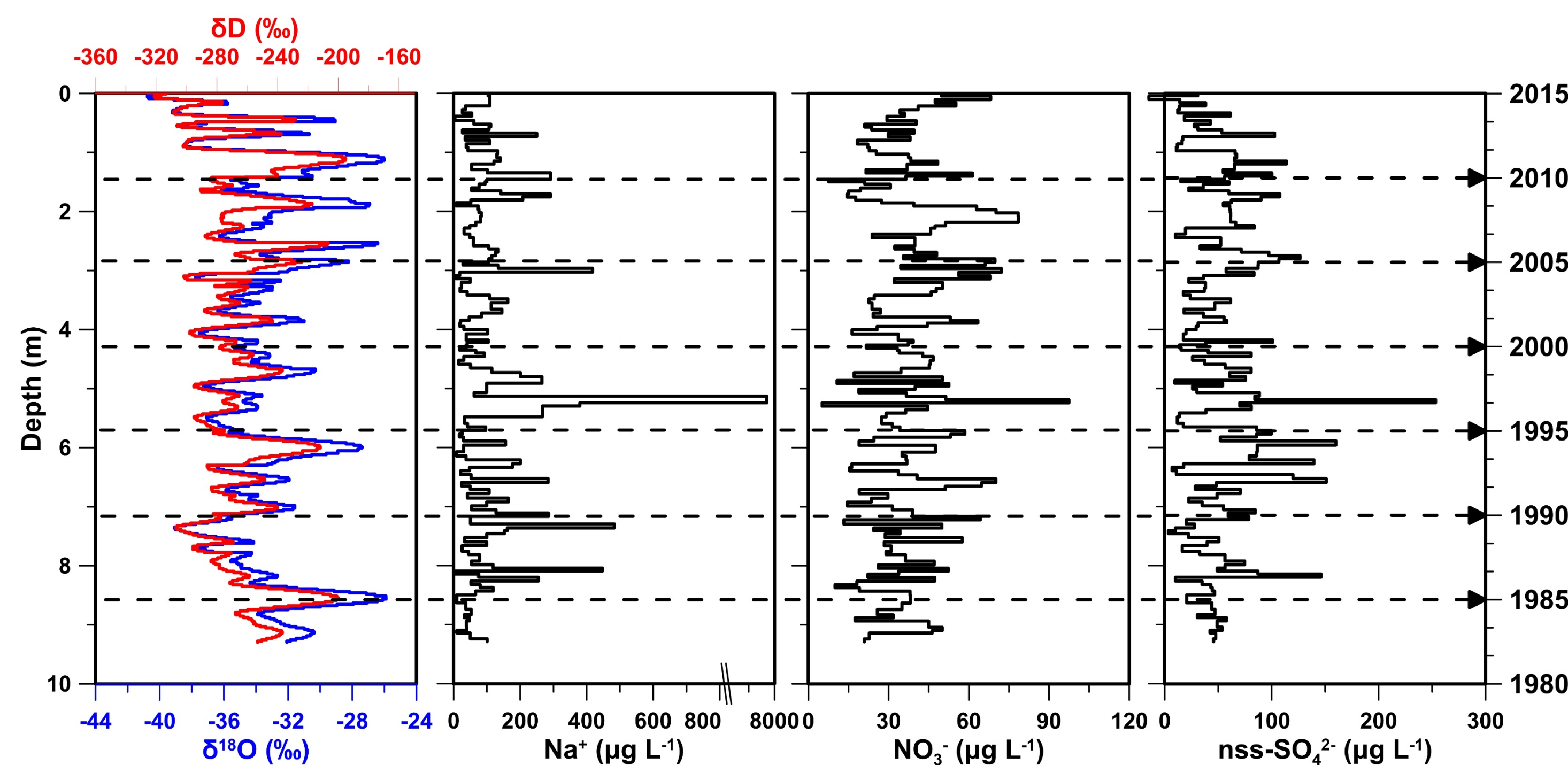


Fig. 3. Vertical profiles of $\delta^{18}\text{O}$, δD , Na^+ , NO_3^- , and nss-SO_4^{2-} .

- 물 분자의 수소, 산소 동위원소비(δD , $\delta^{18}\text{O}$), 주요 이온(Na^+ , NO_3^- , nss-SO_4^{2-})을 통하여 빙하코어의 연대측정을 실시하였다.
- δD 와 $\delta^{18}\text{O}$ 의 계절변화를 통해 연구지역의 연평균 적설량(약 $123 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)을 확인 하였으며, 9 m 편코어(firm core)는 1980년 가을부터 2014년 여름까지 약 35년의 기간을 나타내는 것으로 확인되었다.

Table 3.

Concentration ranges of F^- in our firm core samples and comparison with the previous studies in Antarctica.

No.	Site	Location	Elevation	Accumulation rate	F^- concentration	Source
1	Dome C	-	-	-	0.12 ng g^{-1}	Saigne et al. (1987)
2	The Terra Nova Bay	-	-	-	$0.1 - 6.20 \text{ ng g}^{-1}$	Udisti et al. (1994)
3	Vostok	$78^\circ 28'\text{S}$, $163^\circ 48'\text{E}$	3490 m	$2.2 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	$25.3, 76.2 \text{ pg g}^{-1}$	Wagnon et al. (1999)
4	Dome Fuji	$77^\circ 18'\text{S}$, $39^\circ 47'\text{E}$	3785 m	8 cm yr^{-1}	$0.15 - 0.68 \text{ ng g}^{-1}$	Hong et al. (2012)
5	Styx	$73^\circ 54'\text{S}$, $163^\circ 46'\text{E}$	1750 m	$226 \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	$0.54 - 6.21 \text{ ng g}^{-1}$	Kwak et al. (2015)
6	Styx	$73^\circ 50.98'\text{S}$, $163^\circ 42.64'\text{E}$	1623 m	$142 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	$0.13 - 10.26 \text{ ng g}^{-1}$	Nyamgerel et al. (unpublished)
7	Hercules neve	$73^\circ 03'\text{S}$, $165^\circ 25'\text{E}$	2860 m	50 cm yr^{-1}	$0.28 - 3.28 \text{ ng g}^{-1}$	KOPRI
8	Styx	$73^\circ 51.10'\text{S}$, $163^\circ 41.22'\text{E}$	1623 m	$123 \text{ kg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	$0.04 - 8.80 \text{ ng g}^{-1}$	This study

REFERENCES

- Saigne, C., S. Kirchner, and M. Legrand. "Ion-chromatographic measurements of ammonium, fluoride, acetate, formate and methanesulphonate ions at very low levels in Antarctic ice." *Analytica Chimica Acta* 203.1 (1987): 11–21.
- Udisti, Roberto, Silvano Bellandi, and Giovanni Piccardi. "Analysis of snow from Antarctica: a critical approach to ion-chromatographic methods." *Fresenius' journal of analytical chemistry* 349.4 (1994): 289–293.
- Legrand, Michel, and Paul Mayewski. "Glaciochemistry of polar ice cores: a review." *Reviews of geophysics* 35.3 (1997): 219–243.
- Wagnon, P., R. J. Delmas, and M. Legrand. "Loss of volatile acid species from upper firn layers at Vostok, Antarctica." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 104.D3 (1999): 3423–3431.
- Hong, Sungmin, et al. "Evidence of global-scale As, Mo, Sb, and Tl atmospheric pollution in the Antarctic snow." *Environmental science & technology* 46.21 (2012): 11550–11557.
- Kwak, Hoje, et al. "A Study on High-Resolution Seasonal Variations of Major Ionic Species in Recent Snow Near the Antarctic Jang Bogo Station." *Ocean & Polar Research* 37.2 (2015).
- Severi, Mirko, et al. "A novel fast ion chromatographic method for the analysis of fluoride in antarctic snow and ice." *Environmental science & technology* 48.3 (2014): 1795–1802.

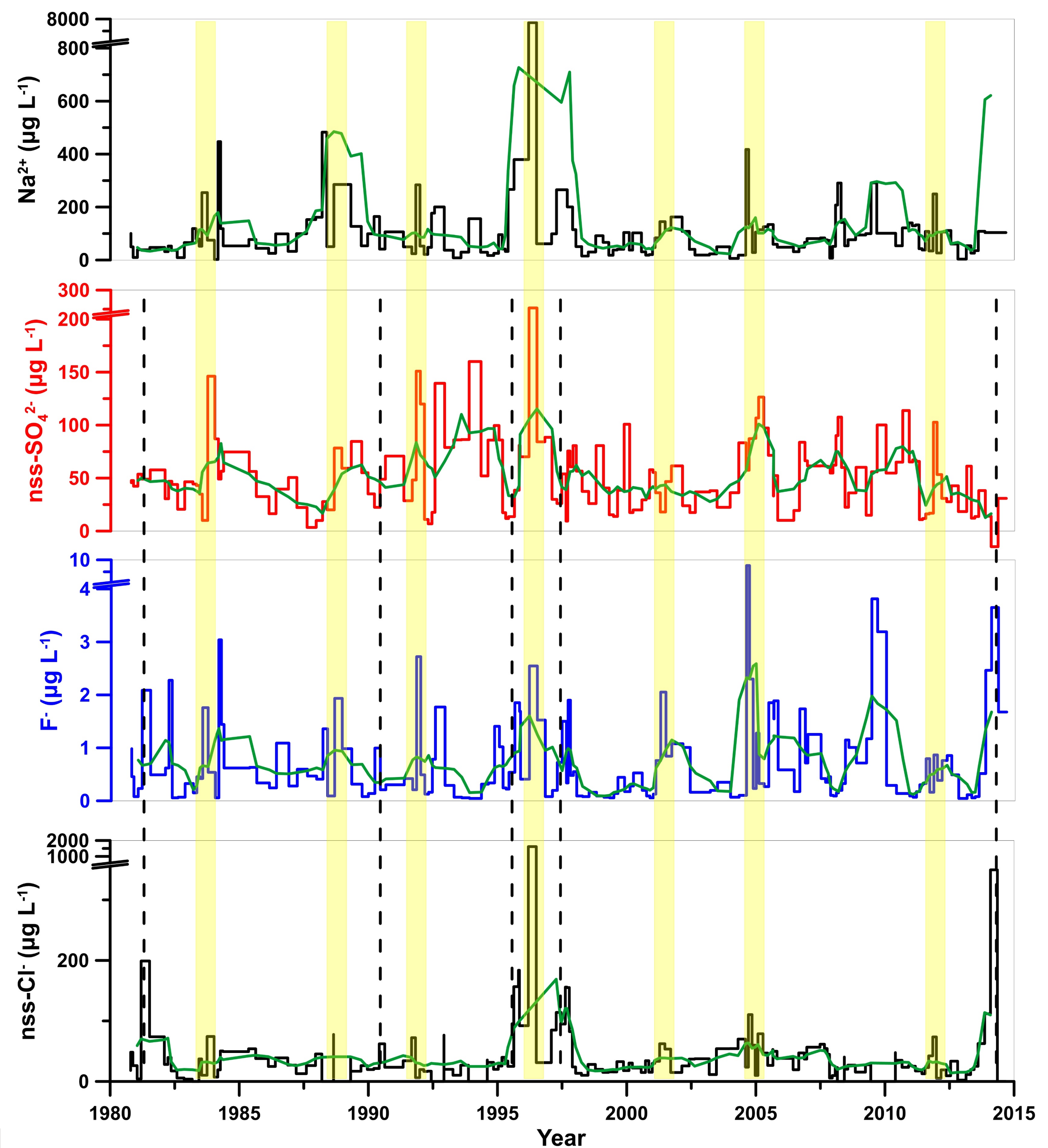


Fig. 4. Na^+ , nss-SO_4^{2-} , F^- and nss-Cl^- concentration profiles of Styx firn core (9 m). The green lines represent the 5 point running average.

- 분석결과, 화산 프록시인 nss-SO_4^{2-} 가 증가하지 않고 F^- 와 nss-Cl^- 가 동시에 증가하는 구간들이 확인되었다. (Fig. 4.의 점선)
- 이를 통해 남극대륙내 화산 폭발의 프록시로서 F^- 의 이용가능성을 확인할 수 있다.
- 화산기원의 F^- 를 명확히 확인하기 위하여 향후 납이나 미량금속원소들의 분석이 필요하다.
- 해염기원인 Na^+ 와 비해염기원인 F^- 의 경향성이 유사한 구간들이 확인되었다. (Fig. 4.의 노란색 박스) 향후 해염에 따른 F^- 의 보존적 특징에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.
- 또한 남극대륙에서 분석된 F^- 의 선행연구를 참고하여 지역에 따른 유입경로에 대한 연구가 필요하다.