

# 에베레스트 산에서 시추한 빙하 코어 내의 중금속 농도 변화 예비 연구

이강현<sup>1</sup>, 홍성민<sup>1</sup>, 허순도<sup>1</sup>, 윤아람<sup>1</sup>, S. Hou<sup>2</sup>, K.J.R. Kevin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Korea Polar Research Institute, KORDI,  
Songdo Techno Park, Incheon 406-840, Korea

<sup>2</sup>Cold and Arid Regions Environmental and  
Engineering Research Institute, Lanzhou 730000, China

<sup>3</sup>Department of Applied Physics, Curtin University, Australia

## 1. 서 론

극지방이나 중·저위도 고산지대에 분포하는 빙하에는 과거의 대기환경 변화에 대한 다양한 프록시 기록들이 그대로 보존되어 있어서 지난 수십 년간 빙하코어를 시추하여 지구환경변화의 기록을 복원하고자 하는 연구들이 활발히 진행되어 왔다 (Petit *et al.*, 1999; Thompson *et al.*, 2000; EPICA community members, 2004; Hong *et al.*, 2004). 특히 대기에서 순환되는 독성 중금속의 지화학적 거동에 미친 인간 활동의 영향을 규명하고자 하는 많은 연구들은 흥미로운 결과를 제시했다. 예를 들면, 그린란드 빙하코어 연구에서는 그리스-로마 시대에 대규모로 진행된 비철 금속 채광과 제련에 의해 2000여 년 전에 이미 납(Pb)과 구리(Cu)에 의해 반구 규모적인 대기오염이 발생하였다는 사실이 밝혔으며(Hong *et al.*, 1994, 1996), 남극 빙하코어 연구에서는 지난 19세기 말 이후 납, 크롬(Cr), 아연(Zn), 우라늄(U), 비스무스(Bi) 등의 원소들에 의한 인위적인 중금속 대기오염이 지구상 가장 청정한 지역인 남극에서도 진행되고 있음이 밝혀지기도 했다(Planchon *et al.*, 2002). 한편, 산업혁명 이후 인간 활동이 가장 번성한 유럽 알프스 산맥의 고산 빙하에서는 1800년대 이후 납의 농도 변화가 유럽 지역의 광산 채굴이나 자동차 연료 내 납 성분의 유무 등 인간 활동과 밀접하게 연관되어 있는 것으로 나타났다(Schwikowski *et al.*, 2004).

아시아 지역은 전 인류의 50%가 거주하고 있음에도 불구하고 유럽에 비해 산업화가 늦게 시작되어 환경오염의 심각성이 적게 평가되었기 때문에 인간 활동의 영향을 보여주는 중금속에 대한 연구가 아직 많이 수행되지 않았다. 본 연구에서는 세계 최초로 에베레스트 산에서 시추한 빙하코어 내의 중금속을 분석하여 과거 1500년간 이 지역에서 발생한 중금속의 지화학적 거동 변화와 그러한 변화에 미친 인간 활동의 영향을 평가하기 위한 예비 조사 결과를 제시하였다.

## 2. 연구 방법

2001년과 2002년, 에베레스트 산 북쪽 사면, 해발 6518m에 위치한 East Rongbuk 빙하 지역에서 중국 극지 빙하 연구소의 빙하코어 시추 팀이 각각 117.06m, 108.83m, 95.80m 길이의 빙하 코어를 시추하였는데, 본 연구에서는 이 중 2002년에 시추한 108.83m 빙하 코어를 분석하였다 (Fig. 1).

빙하 코어의 연대 추정에는 프랑스 그레노블 빙하 연구소와 중국 극지 빙하연구소에서 실시하였으며, 분석 결과 시료 최 하부의 연대가 AD484년에 해당하였다 (Hou *et al.*, 2005).

미량 금속 원소 분석은 1969년에 해당하는 26m 깊이에서 최 하부까지 매 2-3m 간격으로 모두 43개의 section을 분석하였으며, 각 section의 길이는 30~60cm로써 빙하 코어의 상부에서는 6개월에서 2년의 기간에, 하부에서는 5~17년까지의 기간에 해당하였다.

시추작업에서 발생하는 빙하 코어의 오염에 의한 영향을 배제하기 위해 냉동 실험실 내에서 각 section을 표면에서 내부로 3개의 layer에 걸쳐 깎아 냈으며, layer 시료와 내부 코어 시료의 농도를 비교하여 외부 오염의 영향이 완전히 배제되었는

지를 확인하였다 (Candelone et al., 1994).

중금속 원소 분석은, Ba과 Pb 및 Pb 동위 원소비는 열 이온화 질량 분석기 (TIMS: VG354)로, V, Cr, Mn, Cu, Zn, Cd, Bi는 유도 결합 플라즈마 질량 분석기 (ICP-MS: Perkin Elmer Elan 6100)로 분석하였다.

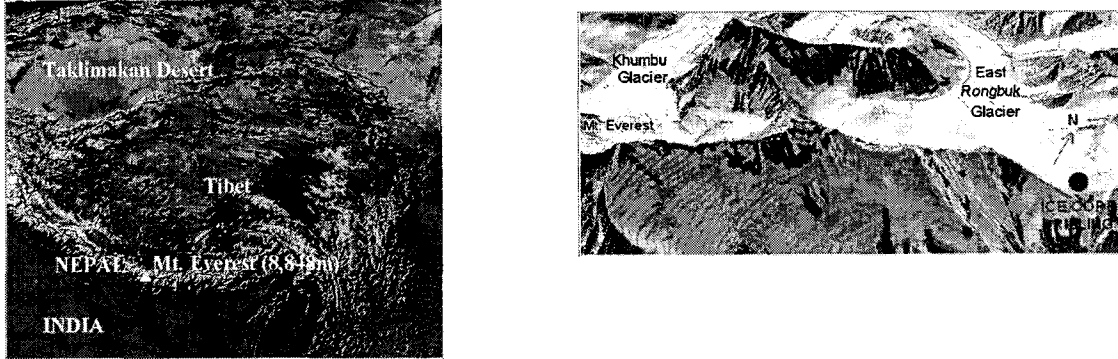


Fig. 1. Map of Tibetan plateau and ice core drilling site on Mt. Everest

### 3. 결과 및 결론

본 연구에서 분석한 에베레스트 산의 빙하 코어 내 중금속 농도는 Table 1과 같이 나타났다. 이 결과를 세계에서 가장 청정한 지역으로 알려져 있는 남극의 Coats Land에서 시추한 빙하 코어에서 나타난 자료와 비교하면 에베레스트 산의 빙하 내 중금속 농도가 Coats Land의 자료 보다 수십에서 수백 배 높게 나타났다. 또한, 산업혁명 이후 인간 활동에 의해 중금속의 농도가 급격하게 증가한 것으로 밝혀진 유럽의 알프스 산맥에서 시추한 빙하 코어와 비교해 보면, 현재 인간 활동에 가장 많이 영향을 받은 Zn, Cd, Pb 등의 경우, 에베레스트 산의 빙하 코어가 알프스의 빙하 코어보다 10배 이상 낮은 값을 보였다 (Fig. 2).

연대에 따른 에베레스트 산의 빙하 코어 내 중금속의 농도 변화를 살펴보면, 대부분의 원소에서 미약하게나마 증가하는 양상을 보였다. 이러한 농도 증가 양상이 자연적인 지화학적 순환에서 기인한 것인지, 아니면 인간 활동에 의한 환경오염의 증거인지를 살펴보기 위해 빙하 코어 시료의 중금속 대 Ba의 농도비를 대륙 지각의 평균 농도비로 나누어 평준화 시킨 Enrichment factor ( $EF_c$ )를 계산하여 보았다.  $EF_c$  값의 변화는 원소별로 다르게 나타났는데, Cr, V 등은 전체적으로 1에 근사한 값을 보인다. 이것은 이들 원소들이 대부분 지각물질에서 기원한다는 것을 의미한다. 반면에 Bi나 Pb의  $EF_c$  값은 1800년대 이후부터 뚜렷한 증가 양상을 보였는데, 이러한 결과는 이 지역에서도 유럽과 같이 중금속의 지화학적 순환이 인간 활동의 영향을 받았을 가능성을 제시해 주고 있다 (Fig. 3).

중금속 기원의 변화 가능성은 Pb 동위원소비에서도 나타나고 있는데, 1800년 이후,  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 의 조성비가 감소하는 추세를 보였다 (Fig. 4).

Table 1. The concentration ranges of trace metals in ice recovered from Mt. Everest. The mean values are given in parentheses.

(unit: pg/g)

Ba	Pb	V	Cr	Mn	Cu	Zn	Cd	Bi
172-174	13-140	23-345	36-318	351-410	14-197	29-577	0.15-2.2	0-23
8	(55)	(98)	(114)	5(1510)	(68)	(152)	1	(3)
(923)							(0.75)	

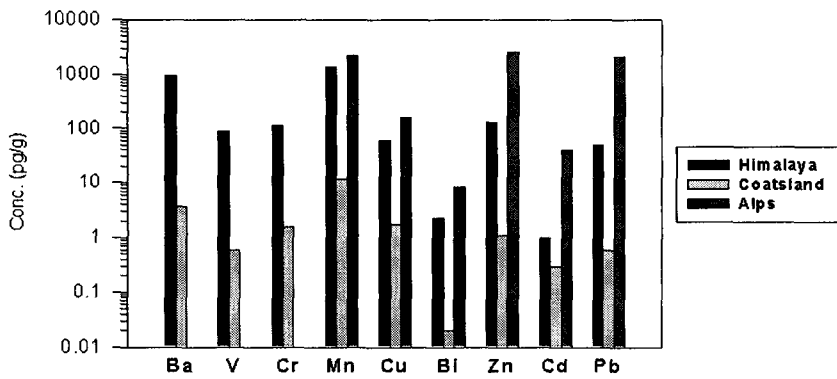


Fig 2. Concentrations of trace metals in ice recovered from Mt. Everest (this study), Coats Land in Antarctica (Planchon et al., 2002) and the Alps (Van de Velde et al., 1998).

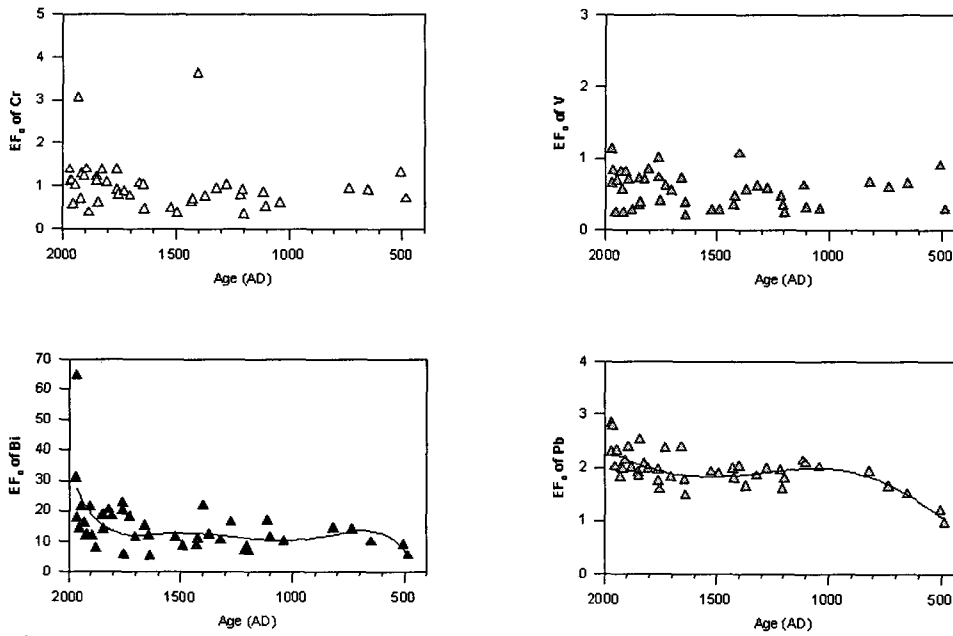


Fig. 3. The variations in  $EF_c$  values of Cr, V, Bi and Pb in ice from Mt. Everest

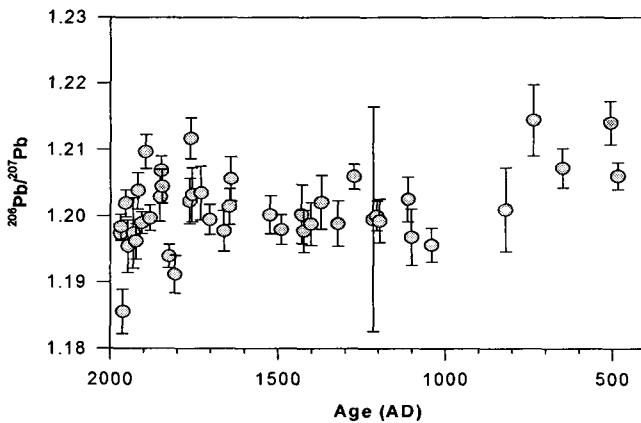


Fig. 4. The variation in Pb isotope ratio in ice from Mt. Everest

#### 4. 참고 문헌

- Candelone, J.P., S. Hong, C.F. Boutron, 1994, An improved method for decontaminating polar snow or ice cores for heavy metal analysis, *Analytica Chimica Acta*, 299, 9-16.
- EPICA community members, 2004, Eight glacier cycles from an Antarctic ice core, *Nature*, Vol. 429, 623-628.
- Hong, S., J.P. Candelone, C.C. Patterson, C.F. Boutron, 1994, Greenland ice evidence of hemispheric lead pollution two millennia ago by Greek and Roman civilizations, *Science*, Vol. 265, 1841-1843.
- Hong, S., J.P. Candelone, C.C. Patterson, C.F. Boutron, 1996, History of ancient copper smelting pollution during Roman and Medieval times recorded in Greenland ice, *Science*, Vol. 272, 246-249.
- Hong, S., C. Barbante, C. Boutron, P. Gabrielli, V. Gaspari, P. Cescon, L. Thompson, C. Ferrari, B. Francou and L.M. Bourgoïn, 2004, Atmospheric heavy metals in tropical South America during the past 22000 years recorded in a high altitude ice core from Sajama, Bolivia, *J. Environ. Monit.*, Vol. 6, 322-326.
- Hou, S., D. Qin, J. Jouzel, V. Masson-Delmotte, U.V. Grafenstein, A. Landais, N. Caillon, J. Chappellaz, 2005, Age of Himalayan bottom ice cores, *J. Glaciol.*, 467-468.
- Petit, J.R., J. Jouzel, D. Raynaud, N.I. Barkov, J.-M. Barnola, I. Basile, M. Bender, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delaygue, M. Delmotte, V.M. Kotlyakov, M. Legrand, V.Y. Lipenkov, C. Lorius, L. Pepin, C. Ritz, E. Saltzman & M. Stievenard, 1999, Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica, *Nature*, Vol. 399, 429-436.
- Planchon, F.A.M., C.F. Boutron, C. Barbante, G. Cozzi, V. Gaspari, E.W. Wolff, C.P. Ferrari, P. Cescon, 2002, Changes in Heavy metals in Antarctic snow from Coats Land since the mid-19th to the late-20th century, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 200, 207-222.
- Schwikowski, M., C. Barbante, T. Doering, H.W. Gaeggeler, C. Boutron, U. Schotterer, L. Tobler, K.V.D. Velde, C. Ferrari, G. Cozzi, K. Rosman and P. Cescon, 2004, Post-17th -Century changes of European lead emissions recorded in High-Altitude Alpine snow and ice, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 38, No. 4, 957-964.
- Thompson, L.G., T. Yao, E.M. Thompson, M.E. Davis, K.A. Henderson, P.-N. Lin, 2000, A high-resolution millennial record of the south asian monsoon from Himalayan ice cores, *Science*, Vol. 289, 1916-1919.
- Van de Velde, K., C.F. Boutron, C.P. Ferrari, A.L. Moreau, R.J. Delmas, C. Barbante, T. Bellomi, G. Capodaglio and P. Cescon, 2000, A two hundred years record of a atmospheric Cadmium, Copper and Zinc concentrations in high altitudes snow and ice from the French-Italian Alps, *Geophys. Res. Lett.* Vol. 27, No. 2, 249-252.