

ABSTRACT

* 극지에서 시추한 빙하코어 내 미량원소의 농도 변화 기록은 인간 활동이 자연환경에 미치는 영향을 추정할 수 있는 프록시로 활용되어 왔다. 그러나 빙하코어시료 내 미량원소가 pg g^{-1} 수준의 극미량으로 존재하기 때문에 이들 원소의 농도를 정확하게 분석하기 위해서 분석 과정동안 시료와 직접적 영향이 있는 실험환경에서의 2차 오염을 최소화 하여야 한다.

* 극지연구소 빙하연구실은 위 사항을 고려하여 공기, 물, 산을 직접 관리운영하고 있다. 청정실험실로 유입되는 모든 공기는 3단계의 filter를 거쳐 정화된 공기가 들어올 수 있도록 설계하였다. 물은 Millipore Milli-Q System을 활용하여 milli-Q를 2번 정제한 Sub-boiled water를 실험에 활용하고 있으며 질산은 GR grade급 2번 정제하여 실험 장비 세척에 활용한다.

* 본 연구에서는 빙하코어 내 극미량 무기원소를 분석하기 위한 빙하연구청정실험실 조성 및 운영의 제반사항과 Boutron (1990) 산세척 과정을 개선한 빙하연구의 산세척 과정을 소개하고자 한다.

CLEAN LABORATORY

* 빙하연구실험실은 Class 1000-10 (1ft^3 의 공간 내에 $0.5 \mu\text{m}$ 이하의 입자 개수가 1000-10개 이하)의 청정실험실로 설계되었다. (Figure 1).

* 빙하연구실험실로 유입되는 공기는 Pre filter \rightarrow Medium filter (85% 포집효율) \rightarrow HEPA(High Efficiency Particulate) filter ($0.3 \mu\text{m}$ 입자 99.97%의 제거 효율) 또는 ULPA(Ultra Efficiency Particulate) filter ($0.3 \mu\text{m}$ 입자 99.97%의 제거 효율) 통과하여 청정실험실 내에 유입되는 공기의 먼지 입자를 최소화하였다.

* Clean room 내부에는 Class 10의 ULPA(Ultra Efficiency Particulate) filter ($0.1 \mu\text{m}$ 입자 99.9995%의 제거 효율) 수직층류형 기류방식 Clean booth와 Clean bench를 설치하여 dust-free 실험환경에서 빙하시료의 추가적인 오염을 차단하기 위해 추가 설치하였다. (Figure 2, 3).

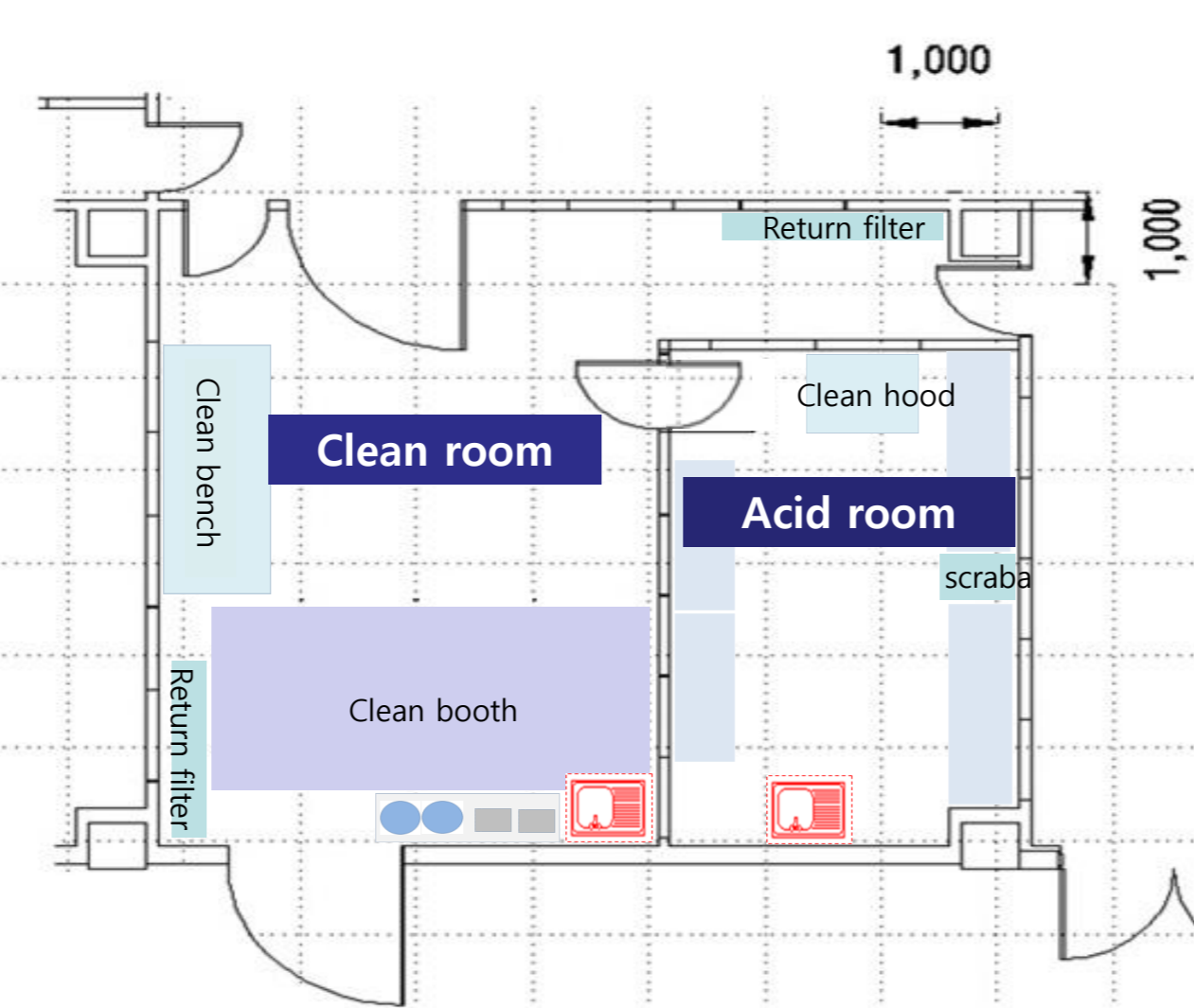


Figure 1. Clean laboratory

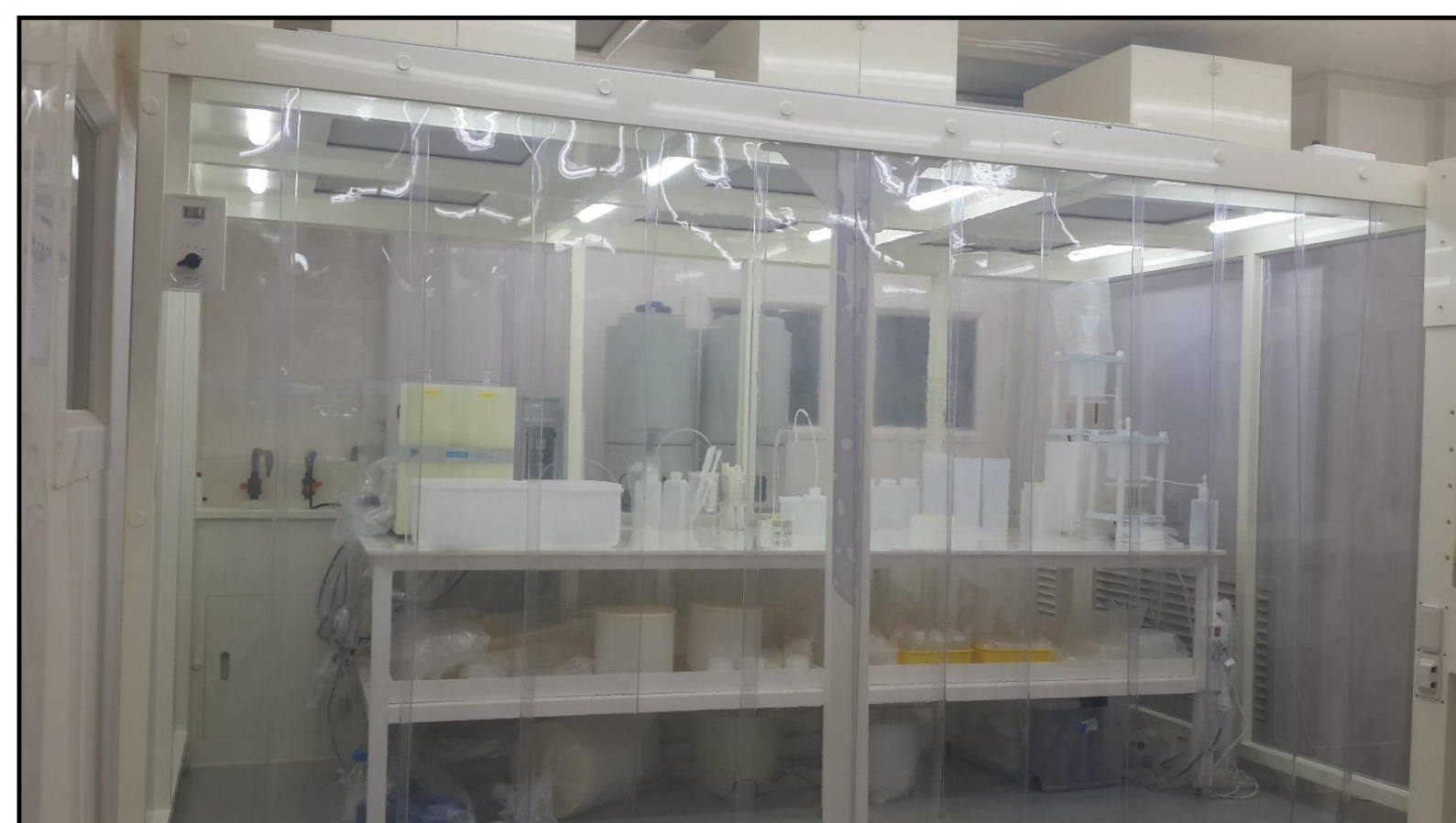


Figure 2. The clean booth in the clean laboratory



Figure 3. The clean bench in the clean laboratory

WATER

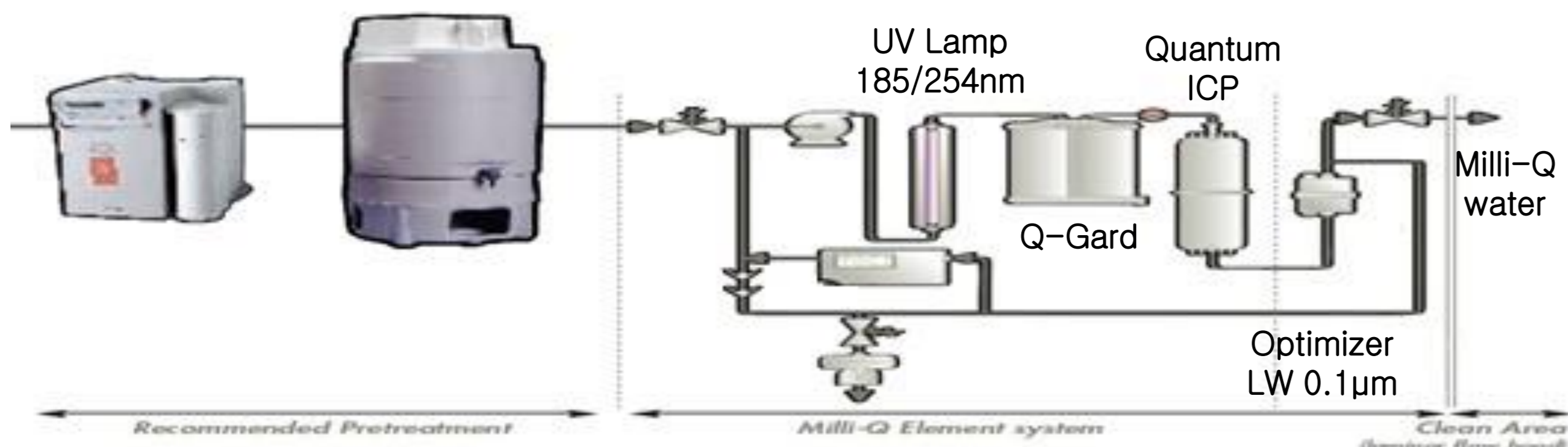


Figure 4. Merck Millipore Milli-Q System



Figure 5. DuoPUR Sub-boiling distillation system, Mileston

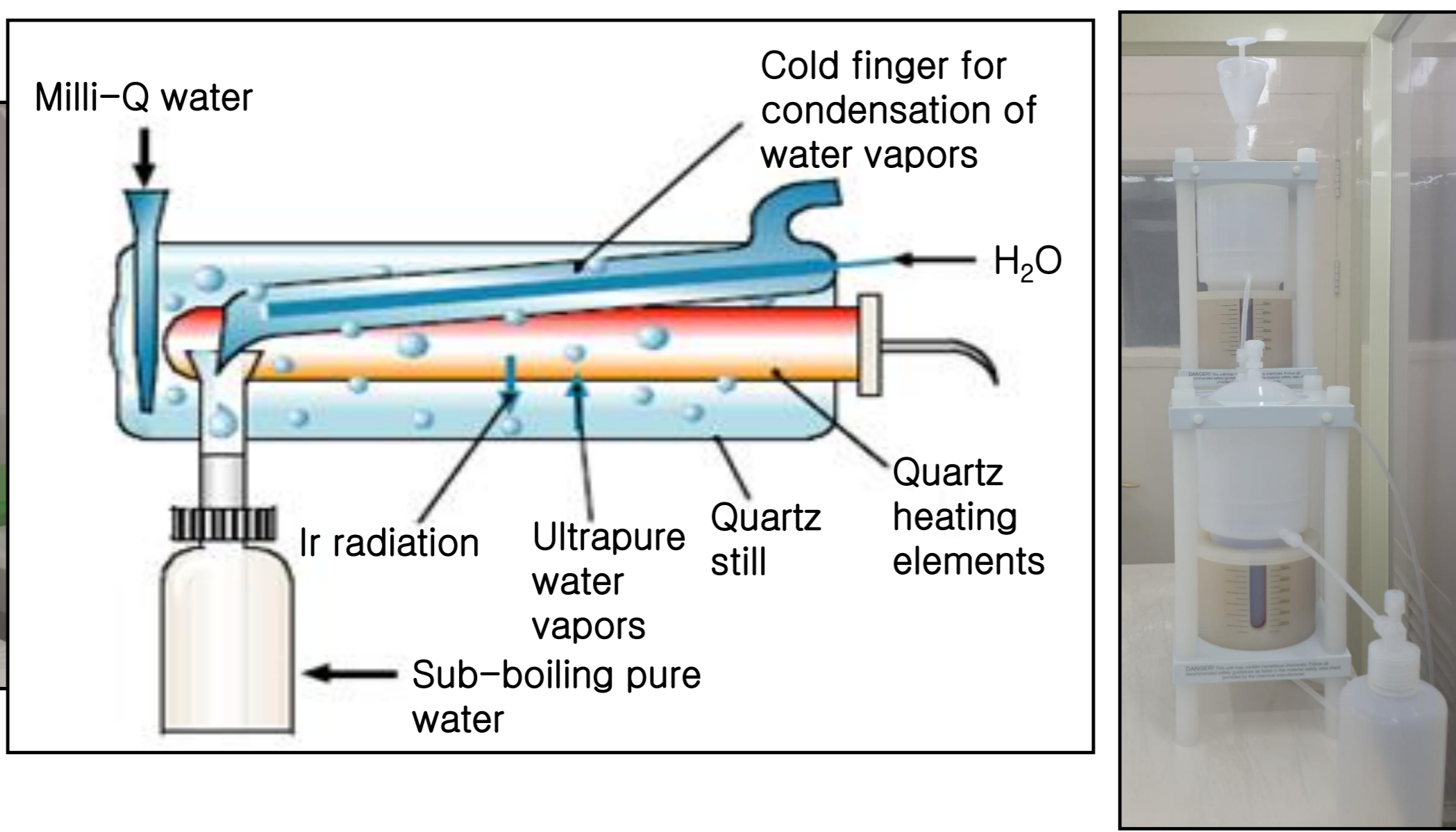


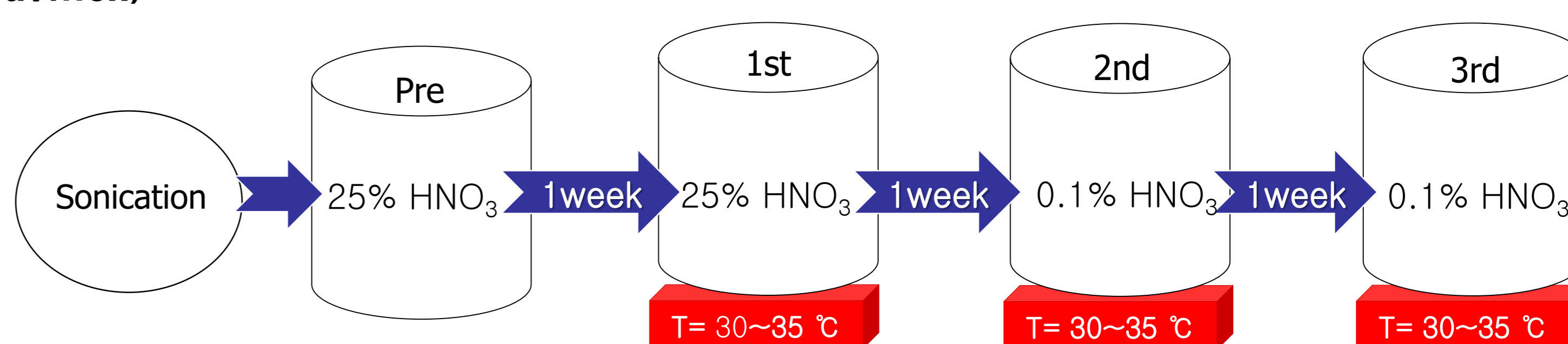
Figure 6. Sub-boiled water (DTS-1000) Sub-boiling distillation system, Savillex

* 실험에 사용되는 물은 Merck Millipore 사의 Milli-Q water를 2번 sub-boiling하여 정제한 3차 증류수를 Mileston사의 DuoPUR Sub-boiling distillation system과 Savillex사의 DTS-1000로 2번 sub-boiled 하여 사용하고 있다(Figure 4, 5, 6).

ACID



Figure 7. Double distillation Sub-boiled System (DTS-1000 Sub-boiling distillation system, Savillex)



- > sonication : Liquinox, Alconox
- > Pre : 25% HNO₃, GR grade, DONGWOO Fine-chem
- > 1st : 25% HNO₃, Sub-boiled HNO₃
- > 2nd & 3rd : 0.1% HNO₃, Sub-boiled HNO₃

Figure 8. Acid cleaning process for low level trace element analysis in polar ice core



Figure 9. Acid Vessels cabinet



RESULTS AND DISCUSSION

Elements	Location	Concentrations of various samples (pg g^{-1})						Detection limit
		Greenland		Antarctica		High-altitude Mountain		
		GRIP ^a	GRIP ^b	Vostok ^c	EPICA Dome C ^d	Lambert Glacier ^e	Mt. Everest ^f	
Al27(MR)	Mean	10.7	8.33	40.3			121	1.73
	Min-Max	0.20-43	3.90-16.00	1.80-186			6-827	
As75(HR)	Mean			8.23		10.7	20	0.09
	Min-Max			1-34		1.41-24	2-125	
Ba137(LR)	Mean			121	107	2.40		0.60
	Min-Max			4.50-475	2-657	0.52-7.6		
Bi209(LR)	Mean			0.35	0.37	0.03	5	0.01
	Min-Max			0.03-1.00	0.04-27	0.007-0.08	0.1-34	
Cd111(LR)	Mean	2.65	0.27		1.08	0.22	2	0.02
	Min-Max	0.20-8.90	0.15-0.59		0.2-20	0.04-0.85	1-5	
Co59(MR)	Mean			5.24	3.46		36	0.01
	Min-Max			0.50-26	1-15		3-211	
Cr52(MR)	Mean			17.5	12.6		104	0.26
	Min-Max			2.60-53	6-29		19-505	
Cu63(MR)	Mean	265			11.4	5.10	76	0.13
	Min-Max	6.60-2650			2-25	1.23-18	6-432	
Mn55(MR)	Mean			254		3.9	1302	0.12
	Min-Max			14-1297		0.17-10	102-6884	
Ni60(MR)	Mean						85	0.42
	Min-Max						4-450	
Pb208(LR)	Mean	252				4	77	0.17
	Min-Max	13-2700				1.29-9.6	5-530	
Rb85(LR)	Mean			27.3	24.0		372	0.01
	Min-Max			1.50-115	1.2-124		20-2106	
Sb121(LR)	Mean						1	0.03
	Min-Max						0.4-6	
Sr88(LR)	Mean			247			70	0.15
	Min-Max			19-926			8-576	
V51(MR)	Mean			23.8		0.8	111	0.01
	Min-Max			1.50-121		0.1-11	11-620	
Zn66(MR)	Mean	134	24.0				475	0.57
	Min-Max	16-390	11-50				39-2469	

^a Boutron et al., 1993; ^b Hong et al., 1997; ^c Gabrielli et al., 2005a; ^d Gabrielli et al., 2005b; ^e Hur et al., 2007; ^f Lee et al., 2008

Figure 10. Concentrations of various samples and detection limit

* 분석 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해서 분석과정에 사용되는 초순수의 바탕 값을 측정된 결과 Cd 0.005 pg g^{-1} , Co 0.057 pg g^{-1} , Cu 0.288 pg g^{-1} , Zn 0.287 pg g^{-1} 로 측정되어 낮은 농도 측정에 적합하다고 판단된다. 또한 본 연구에서 확인된 ICP-SFMS의 검출한계는 sub-ppt 이하로 존재하는 빙하시료의 극미량 분석에 적합하다

REFERENCES

- Boutron, C. F., Ducroz, F. M., Görlach, U., Jaffrezo, J. L., Davidson, C. I., & Bolshov, M. A. (1993). Variations in heavy metal concentrations in fresh Greenland snow from January to August 1989. *Atmospheric Environment, Part A: General Topics*, 27(17), 2773-2779.
- Hong, S., Candelone, J. P., Patterson, C. C., & Boutron, C. F. (1996). History of ancient copper smelting pollution during Roman and Medieval times recording in Greenland ice. *Science*, 272(5259), 246.
- Hong, S., Candelone, J. P., & Boutron, C. F. (1997). Changes in zinc and cadmium concentrations in Greenland ice during the past 7760 years. *Atmospheric Environment*, 31(15), 2235-2242.
- Gabrielli, P., Barbante, C., Boutron, C., Cozzi, G., Gaspari, V., Planchon, F., ... & Cescon, P. (2005). Variations in atmospheric trace elements in Dome C (East Antarctica) ice over the last two climatic cycles. *Atmospheric Environment*, 39(34), 6420-6429.
- Do Hur, S., Cunde, X., Hong, S., Barbante, C., Gabrielli, P., Lee, K., ... & Ming, Y. (2007). Seasonal patterns of heavy metal deposition to the snow on Lambert Glacier basin, East Antarctica. *Atmospheric Environment*, 41(38), 8567-8578.
- Hong, S., Lee, K., Hou, S., Hur, S. D., Ren, J., Burn, L. J., ... & Boutron, C. F. (2009). An 800-year record of atmospheric As, Mo, Sn, and Sb in central Asia in high-altitude ice cores from Mt. Qomolangma (Everest), Himalayas. *Environmental Science & Technology*, 43(21), 8060-8065.
- Lee, K., Do Hur, S., Hou, S., Hong, S., Qin, X., Ren, J., ... & Boutron, C. F. (2008). Atmospheric pollution for trace elements in the remote high-altitude atmosphere in central Asia as recorded in snow from Mt. Qomolangma (Everest) of the Himalayas. *Science of the Total Environment*, 404(1), 171-181.
- de Velde, K. (1999). Trace element determination in alpine snow and ice by double focusing inductively coupled plasma mass spectrometry with microconcentric nebulization. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 14(9), 1433-1438.

* 본 연구는 한국해양과학기술원 부설 극지연구소의 주요사업 "빙하코어를 활용한 남극 빅토리아랜드 고해상도 기후·환경 복원연구" (PE19040) 의 지원으로 수행되었습니다.