

# 알래스카 치나 온천의 지열이용 사례

## Case Study for Geothermal Energy Uses of Chena Hot Springs in Alaska

김진상\*, 최재기\*\*

\*주엑서지엔지니어링 이사, \*\*KC에너지주 전무이사

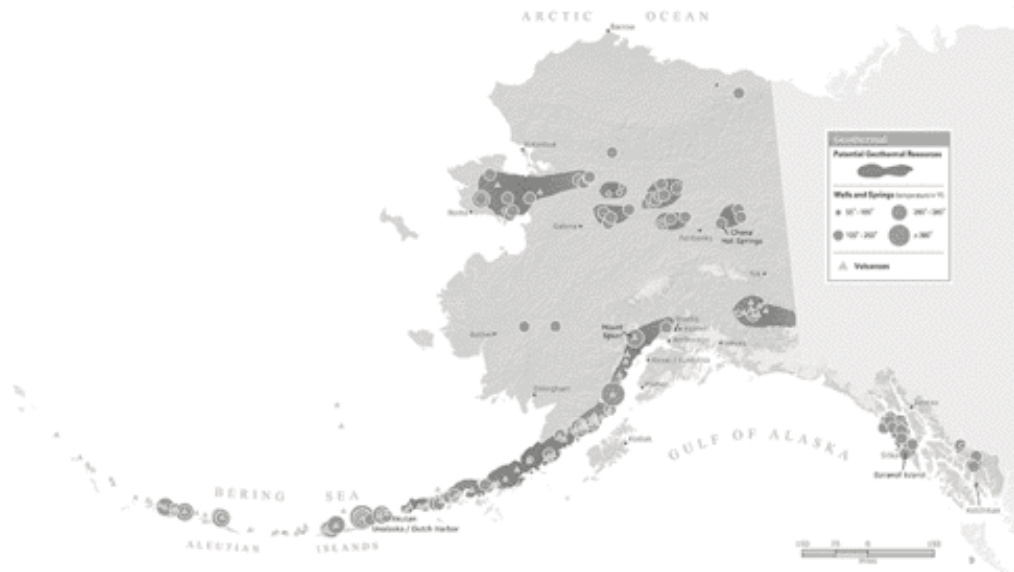
### 1. 서론

알래스카에 위치한 치나 온천 (Chena Hot Springs)는 74℃의 온수가 생산되고 있다. 여기에는 유기 랭킨사이클(Organic Rankine Cycle)을 이용하는 발전기가 설치되어 있으며, 이는 세계에서 가장 낮은 온도에서 지열을 이용하여 발전하는 것으로 알려져 있다. 지열발전 시스템 이외에도 지열수를 열원으로 이용하는 흡수식 냉동기가 얼음 박물관 건물을 유지하는데 이용되고 있

다. 단지 내에 위치한 숙박 시설의 공간난방과 급탕에 지열이 활용되고 있고, 야채 및 과일을 재배하는 온실에도 이용되어 연중 가동되고 있다. [1]

### 2. 치나온천

알래스카 치나 온천은 북위 65.05°에 위치하고 있으며, 알래스카에서 두 번째로 큰 도시인 페어뱅크스(Fairbanks)에서 동쪽으로 75km 정도 떨어져 있다. 치나 온천에 인접한 페어뱅크스는 연



[그림 1] 알래스카의 지열자원 지도[2]

평균 기온이  $-2.8^{\circ}\text{C}$ 이며, 1월의 평균 최저 기온은  $-28.3^{\circ}\text{C}$ 이며, 평균 최고 기온은  $-18.9^{\circ}\text{C}$ 이다. 반면 7월의 평균 최저 기온은  $11.7^{\circ}\text{C}$ 이며, 평균 최고 기온은  $22.2^{\circ}\text{C}$ 에 달한다.

### 2.1 치나온천의 지열자원

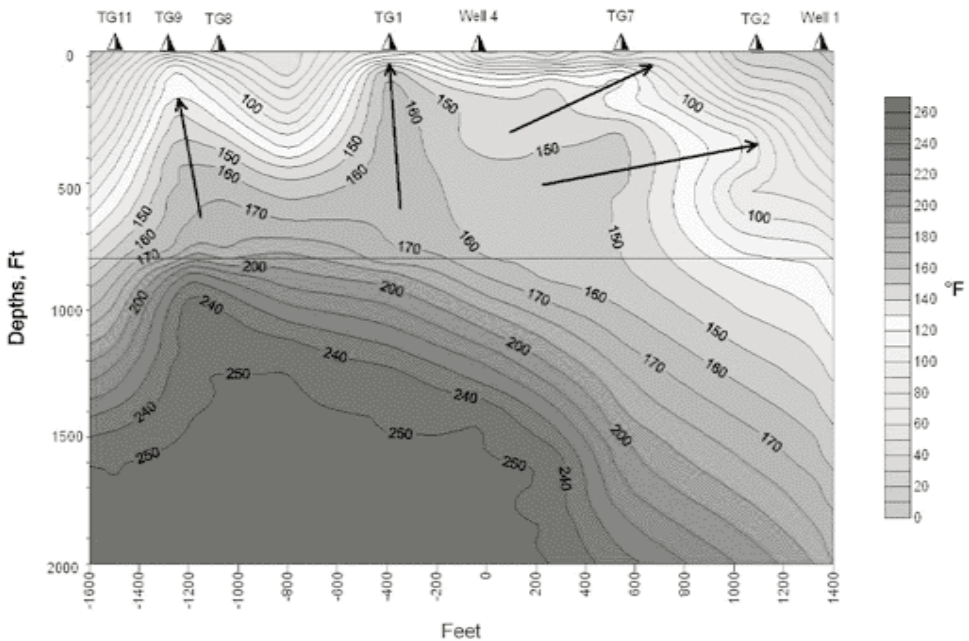
치나 온천은 알래스카의 중부에 걸쳐서 위치한 중저온 지열을 발산하는 환상대에 위치한 온천중의 하나이다. 이 환상대는 그림 1과 같이 시워드(Seward)반도에서 캐나다의 유콘(Yukon)지방에 이르는 알래스카의 중앙을 횡단하며, 여기에 위치한 온천은 대부분 제3기의 심성암체에 위치하고 있다. 주변의 고온의 암반을 균열을 따라서 순환하고 지열수가  $74^{\circ}\text{C}$ 로 지상으로 퍼올려지고 있으며, 화학적인 데이터에 따르면  $121^{\circ}\text{C}$ 까지 상승하였던 것으로 알려져 있다.[3]

치나 온천에는 미국 에너지성-지열자원탐사 프로그램에 의하여 11개의 관정이 시추되어 있으며, 리조트에 의해서 7개가 시추되어 있으며, 천

공 깊이는 약 311m(1,020피트)이내 인 것으로 알려져 있다. 여기서 얻어지는 결과를 바탕으로 얻어진 온도 예측 모델은 그림 2와 같다. 현재에는 200kW급의 지열발전기가 2대 설치되어 400kW의 전력을 생산할 수 있는 능력을 보유하고 있으나, 위의 분석을 근거로 추가 개발하여 지열자원을 활용하는 경우에는, 1~10MW의 전력을 생산할 수 있을 것으로 추정하고 있다.[1]

### 3. 치나온천의 지열 이용

치나 온천은 상대적으로 낮은 온도의 지열수를 이용한 발전 사례로서 널리 알려져 있으며, 또한 지열을 이용하여 냉방을 수행하는 사례로서 또한 알려져 있다. 그리고 온실의 난방 그리고 건물의 난방에도 지열이 활용되고 있다. 이러한 지열의 이용과 더불어, 노천 온천 및 실내 수영장에서도 지열이 사용되고 있어서, 지열이 여러가지 형태로 다양하게 사용되고 있는 사례이다. 다른 지열발전



[그림 2] 치나온천 지역의 지열온도 분포[2]

사이트에 비하여 낮은 온도의 지열수를 여러가지 방식으로 다양한 적용분야에 활용하고 있다.

### 3.1 지열 발전

일반적인 지열 발전이 90°C가 넘는 온수를 이용하는데 비하여, 치나 온천은 74°C의 비교적 낮은 온도의 지열수를 이용하여 전기를 발생시키고 있다. 여기에 사용되는 제품은 UTC(United Technology Corporation)사의 PureCycle™ 200이 적용되고 있다. 이는 유기랭킨사이클(Organic Rankine Cycle, ORC)을 채택한 제품으로서, 증기를 이용한 발전에 널리 사용되는 Rankine Cycle과 동일한 원리를 가지고 있다. 일반적인 Rankine 사이클은 열을 공급하는 보일러 또는 열교환기, 터빈과 여기에 연결된 발전기, 그리고 냉각탑과 연결된 열교환기(응축기)와 펌프로 구성되어 있다[4]. 지열을 이용하는 ORC 발전기는 보일러 대신에 지열을 이용하여 작동유체를 증발시키는 열교환기로 공급되는 점이 다르며, 열원의 온도가 증기를 이용한 발전을 사용할 수 없으므로 다른 종류의 작동유체를 적용한다.

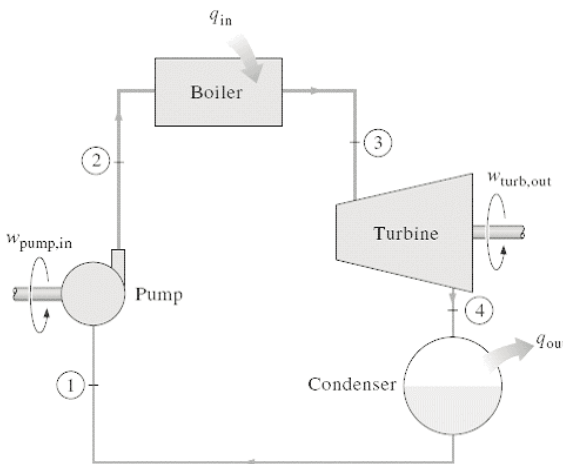
치나 온천에 적용된 PureCycle™은 R134a를 적용하여 74°C의 낮은 온도의 지열을 사용할 수

있도록 하는 것이 특징이며, 이는 세계에서 가장 낮은 지열을 이용하는 발전 시스템으로 알려져 있다. 치나 온천의 지열 발전소는 알래스카 최초의 발전소이며, 알래스카의 다른 지열발전소는 현재 설치 중이며, 현재까지는 유일한 지열발전소로 알려져 있다.

지열발전 시스템은 응축기는 하절기에 Monument Creek 계곡을 흐르는 낮은 온도의 물을 기준으로 수냉식 응축기를 설계하였다. 외기온도가 낮은 알래스카의 동절기에는 계곡의 물이 동결되어서 응축기에 공급할 수 없으므로 물 대신 외기를 이용하는 공냉식 응축기를 추가로 설치하여 수원이 결빙되는 경우에 원활하게 운전하도록 하였다. 공냉식과 수냉식을 복합한 응축기를 적용하여 지열발전 시스템을 높은 효율에서 운전할 수 있도록 설계한 것이 치나 온천 지열발전 시스템의 특징이다. 지열발전 시스템의 설계 조건은 표 1과 같다.

#### 3.1.1 지열 발전기

UTC Power사 PureCycle의 외관은 그림 4와 같이 원심식 냉동기와 동일하다. 이 제품은 실제로 Carrier사의 350RT급 19XR 원심식 냉동기를 기반으로 제작되었다. 원심식 압축기 대신에 래디얼 터빈으로 교체하고, 팽창변을 펌프로 교체한 것 이외에 나머지 부품을 그대로 사용하는 것을 원칙으로 개발되었다. 압축기를 구성하는 부품도 대부분이 그대로 사용되었다. 냉매에 운동에너지를 전달하는 임펠러(impeller)가 작동유체의 운동에너지를 회수하는 역할을 수행하는 터빈 휠(turbine wheel)로 사용되며, 냉매의 운동에너지를 압력으로 변환하는 파이프 디퓨저(diffuser)가 터빈시스템의 노즐(nozzle)로 사용되었다고 보고



[그림 3] 유기랭킨사이클의 기본구조[4]

<표 1> 지열수 및 응축수 설계 조건[5]

항목	Heat Source	Heat Sink
유입 온도(°C)	73.3	4.4
방류 온도(°C)	54.4	10
유량[LPM]	2,000	6,100

되어 있다.[5]

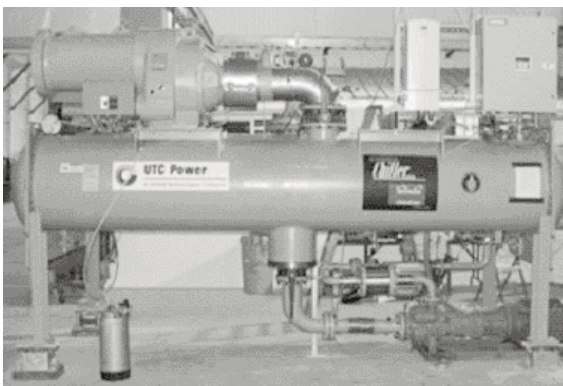
표 1의 지열발전기 시스템의 설계조건에 해당하는 발전기 유니트의 사양은 표 2와 같다. UTC Power사는 계열사인 Carrier사 대량생산 제품인 원심식 냉동기의 부품을 가능한 한 그대로 사용하여, 유기 랭킨사이클을 이용한 발전기 제품을 표준화하고 가격을 낮추려고 노력하고 있다.

### 3.2 지열이용 흡수식 냉동기

흡수식 냉동기는 기계적인 압축기를 사용하지 않고 열로서 구동하는 냉동시스템으로서 전기를 거의 소비하지 않는 시스템으로서 국내에서 상업용 건물의 냉방에 널리 사용되는 시스템이다. 비교적 높은 온도(약 95℃)의 열을 이용하는 흡수식 냉동기는 국내외에서 많이 이용되고 있으며, 리튬 브로마이드/물이 사용된다.

<표 2> 설계조건에서 지열발전기 주요사양[5]

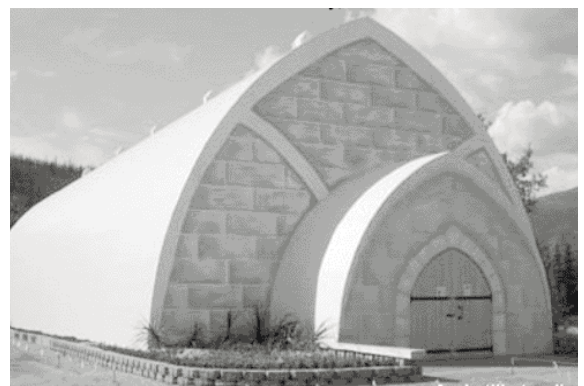
항목	설계값
작동유체 유량	26.8 lbm/s
터빈 입구 압력	232 psia
터빈 출구 압력	63.6 psia
터빈 발전량	250kW
펌프 소비동력	40kW
시스템 출력	210kW



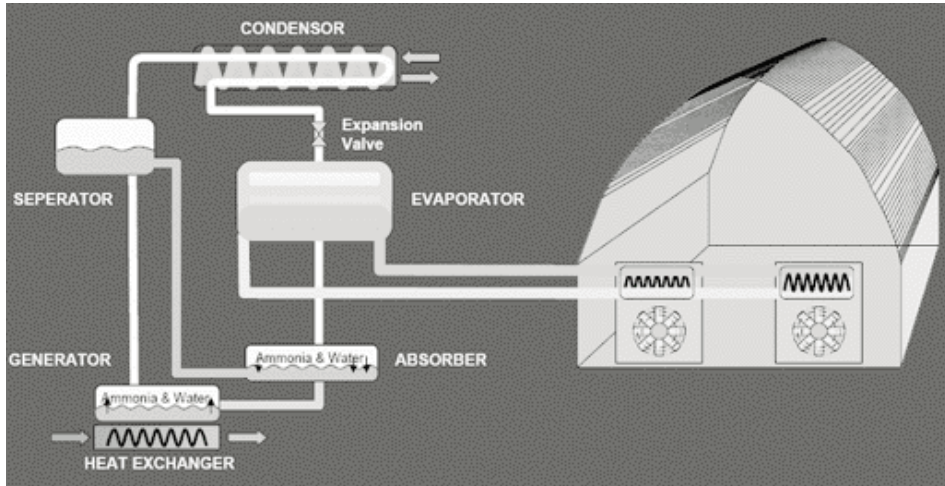
[그림 4] UTC Power사의 지열발전기 외관

흡수식 냉동기는 오로라 얼음 박물관(Aurora Ice Museum, 그림 5)에서 얼음 구조를 유지하고 실내온도를 유지하는 데 사용된다. 이 얼음 박물관은 최초에는 얼음 호텔로서 추진되었으며, 2004년도에 건설되었다. 숙박시설에 관련된 소방 및 환기 등에 관한 규제 및 운영비용으로 인하여 얼음 박물관으로 2005년에 재 개장하였다. 하절기 얼음 박물관의 운영을 위하여 700kW급(200RT)의 Trane 냉동기가 운전되어야 했으며, 지열 발전시스템이 적용되기 이전에는 별도로 500kW급 발전기를 설치하여 운영하여 왔다. 염화칼슘 수용액이 브라인으로 사용되고 있으며, 그림 6과 같이 영하 -29℃의 온도로 얼음 박물관으로 유입되어 실내온도를 -4℃를 유지하며, 원활한 운전을 위하여 최소 1시간의 부하를 담당할 수 있는 7.56m<sup>3</sup>의 저장조를 설치하였다.[6]

비교적 낮은 온도인 74℃의 지열수를 사용하는 흡수식 냉동기는 암모니아/물을 사용하며, 이러한 방식은 디젤 발전기의 폐열등을 이용하는 어업용 제빙기에서 사용되고 있다. Energy Concepts사가 제작한 53kW급(15RT) 흡수식 냉동기(그림 7)가 설치되었으며, 보조로 압축식 냉동기가 설치되어 있다. 이 얼음 박물관에는 2005년 하반기에만 10,000명이상의 관람객이 방문하였으며, 하절기에 외기 온도가 32℃가 되는 날에도 개장하여 연중 운영하고 있다.



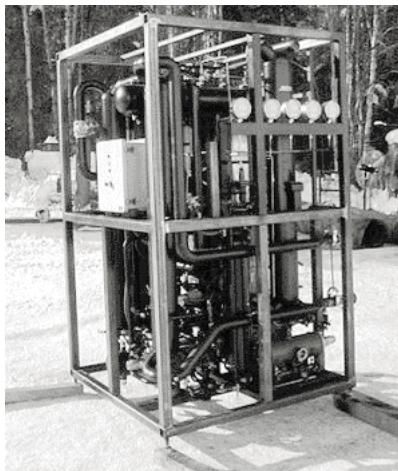
[그림 5] 오로라 얼음 박물관의 외관



[그림 6] 흡수식 냉동기의 적용 선도



[그림 8] 치나온천 리조트내의 온실



[그림 7] 흡수식 냉동기의 외관



[그림 9] 온실의 내부 사진

### 3.3 직접이용 - 온실

치나 온천은 자급 지역사회를 목표로 삼고 있다. 에너지와 더불어 식품 생산에서도 독립을 추구하고 있다. 2004년도에 지열을 이용하여 공간온도를 조절하는 온실을 그림 8과 같이 설치하였으며, 이 지역 동절기에 기록되는 외기온도  $-43^{\circ}\text{C}$ 에서도 실내온도를  $29^{\circ}\text{C}$ 로 유지할 수 있다. 이 온실에서는 그림 9와 같이 토마토, 양상추, 완두콩, 고추, 오이 등의 야채를 재배한다.[7]

### 3.4 직접이용 - 기타

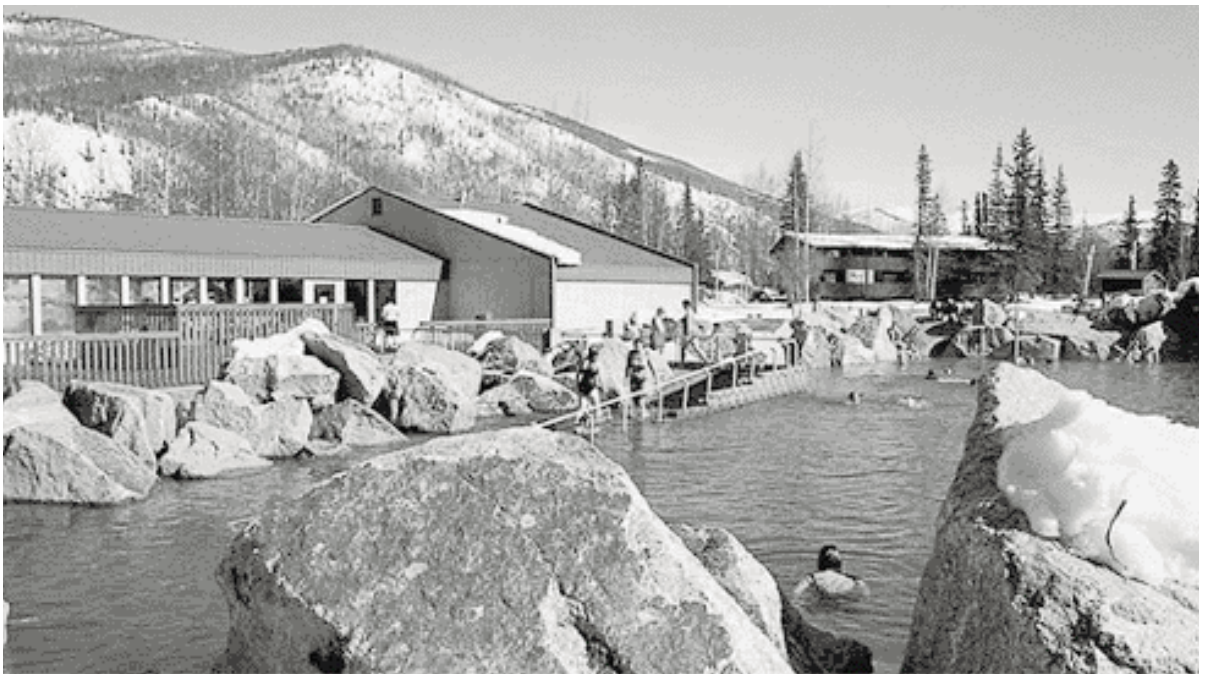
치나온천 리조트는 사무 건물 및 여러 개의 숙박 시설로 구성되어 있는데, 이러한 건물의 난방 및 급탕에 지열수가 공급되고 있다. 리조트 내에 주거시설 이외에 실내 수영장이 설치되어 있으며, 이 수영장의 가운데도 지열수가 사용되고 있다. 알래스카지역의 동절기 추운 날씨까지 포함하여 연중 노천 온천을 운영하고 있다(그림 10).

## 4. 결론

국내에서도 치나온천의  $74^{\circ}\text{C}$ 와 동일하거나 높은 온수를 생산하는 온천이 존재하고 있다. 또한 국책연구사업으로 심부지열을 개발하는 과제가 진행되고 있다. 국내에서 지열 발전 실용화나 지열 직접 이용 활성화가 가까워지고 있다.

치나 온천은 국내에 비하여 낮은 응축수가 존재하고 또한 동절기 외기 온도가 낮으므로, 지열 발전이나 흡수식 냉동기의 성능 측면에서는 국내에 비하여 다소 유리하다. 그러나 국내에서는 동절기에 훨씬 낮은 온도의 해수를 다량으로 이용할 수 있는 장점이 있다. 또한 지열을 직접 이용하는 경우에도 가온 부하가 적은 국내가 농업이나 산업에 이용 측면에서도 훨씬 유리하다.

국내에 적용하는 경우에 여러가지 인자를 다각적으로 고려하여 검토될 필요가 있다. 유용한 지열수를 이용하여 발전, 지열냉방 그리고 직접이용



[그림 10] 치나온천 리조트의 노천온천

에 이르기 까지 다단계로 활용하는 치나온천의 사례는 국내 심부지열 이용에 방향을 제시하고 있다. 심부에서 많은 노력을 통하여 얻은 지열수를 높은 온도에서 낮은 온도까지 다단계로 이용하는 것이 그 하나가 될 것이다.

### 참고 문헌

- [1] Erkan, K., et. al., Thermal Characteristics of the Chena Hot Springs Alaska Geothermal System, Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, CA, 2007
- [2] Alaska Energy Authority, Renewable Energy Atlas of Alaska, pp 8~9, 2006
- [3] Kolker, A., et. al., Geologic Setting of the Chena Hot Springs Geothermal System, Alaska, Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, CA, 2007
- [4] Cengel, Y.A. and Boles, M. A., 2006, Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th ed, McGraw-Hill
- [5] Chena Power, Chena Power Geothermal Power Plant, Final Project Report, Alaska Energy Authority, 2007
- [6] Absorption Chiller for the Chena Hot Springs Aurora Ice Museum, GHC Bulletin, pp. 5~6, September 2006
- [7] Chena Hot Springs, Lund. J.W., GHC Bulletin, pp. 2~4, September 2006