

第 96 回 碩士學位論文
指導教授 李 彦 求

경제성 평가를 통한 지하철 역사의
지하수 활용방안에 관한 연구

A Study on the Utilization of Underground Water
in Subway Stations based on Economic Analysis

中央大學教 大學院
建築學科 建築計劃 및 環境專攻
梁 致 榕
2001年 12月

경제성 평가를 통한 지하철 역사의
지하수 활용방안에 관한 연구

A Study on the Utilization of Underground Water
in Subway Stations based on Economic Analysis

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함

2001年 12月

中央大學敎 大學院
建築學科 建築計劃 및 環境專攻
梁 致 榕

梁 致 榕의 碩士學位 論文을 認定함.

審查委員長 _____ (印)

審 查 委 員 _____ (印)

審 查 委 員 _____ (印)

中央大學敎 大學院
建築學科 建築計劃 및 環境專攻
梁 致 榕
2001年 12月

목 차

제 1 장 서 론.....	1
1.1 연구의 배경 및 목적.....	1
1.2 연구의 내용 및 방법.....	3
제 2 장 지하수를 이용한 냉방시스템 및 경제성 평가에 대한 이론적 고찰..	6
2.1 지하철 역사의 지하수 활용현황.....	6
2.2 지상건물에서의 지하수 이용현황 및 이용시스템.....	8
2.2.1 지하수 활용 축열식 히트펌프 시스템.....	8
2.2.2 외기에냉 시스템.....	10
2.2.3 냉각수 열교환 시스템.....	11
2.3 지하철 역사에서의 적용가능 냉방시스템.....	12
2.3.1 외기에냉 시스템.....	13
2.3.2 냉각수 열교환 시스템.....	15
2.4 경제성 평가기법.....	17
2.4.1 LCC 분석의 개념.....	17
2.4.2 LCC 분석 기법.....	18
제 3 장 지하철 역사의 지하수 방출량 조사 및 범주화.....	21
3.1 조사 개요.....	21
3.2 지하철 역사의 지하수 방출량 조사.....	22
3.2.1 지하철 역사의 집수정 현황.....	22
3.2.2 호선별 평균 지하수 방출량.....	24
3.2.3 지하수 방출량에 따른 지하철 역사의 분류.....	25
3.2.4 지하수 방출량에 따른 범주화.....	27
3.3 지하철 역사의 수온조사.....	28
제 4 장 지하수 방출량에 따른 지하철 역사 냉방시스템의 장비용량저감 효과분석.....	30

4.1 대상역사의 개요.....	30
4.1.1 대상역사의 일반사항.....	30
4.1.2 대상역사의 냉방 및 지하수 관련설비 현황.....	32
4.1.3 대상역사의 냉방부하 및 장비용량.....	33
4.2 지하수를 이용한 외기에너지 시스템 적용시 장비용량 저감효과 분석.....	37
4.2.1 기본가정 및 계산방법.....	37
4.2.2 지하수 방출량에 따른 냉각가능 도입외기의 비율.....	39
4.2.3 장비용량의 변화.....	40
4.3 지하수를 이용한 냉각수 열교환 시스템 적용시 장비용량 저감효과 분석.....	43
4.3.1 기본가정.....	43
4.3.2 지하수 방출량에 따른 장비용량 변화.....	43
4.4 시스템별 장비용량 비교평가.....	46
제 5 장 경제성 평가를 통한 지하철 역사의 지하수 활용방안 제시.....	48
5.1 초기투자비 산정 및 연간 운전비용 분석.....	48
5.1.1 초기투자비 산정.....	49
5.1.2 연간 운전비용 분석.....	53
5.2 순현재가치를 이용한 전생애평가.....	57
5.2.1 외기에너지 시스템.....	58
5.2.2 냉각수 열교환 시스템.....	60
5.3 경제성 평가를 통한 지하철 역사의 지하수 활용방안.....	62
제 6 장 결 론.....	65
연구의 한계 및 제언.....	67
참고문헌.....	68
국문초록.....	70
ABSTRACT.....	72

표 목 차

<표 2.1> 축열식 히트펌프 시스템의 장·단점.....	10
<표 2.2> 외기예냉 시스템의 장비별 운전동력 계산식.....	15
<표 3.1> 호선별 지하철 역사의 집수정 현황(단위:개).....	23
<표 3.2> 분류체계에 의한 집수정 현황(단위:개).....	23
<표 3.3> 호선별 평균 지하수 방출량(단위:l/hr).....	24
<표 3.4> 지하수 방출량에 따른 역사의 수 (단위:개).....	24
<표 3.5> 지하수 방출량에 따른 범주화(단위:개).....	27
<표 3.6> 지하수 방출량에 따른 호선별 역사 수(단위:개).....	27
<표 4.1> 대상역사의 건축개요.....	31
<표 4.2> 대상역사 설계기준 온·습도.....	34
<표 4.3> 대상역사의 냉방부하.....	34
<표 4.4> 대상역사의 냉방시스템관련 장비일람표.....	36
<표 4.5> 외기예냉 시스템의 장비용량 계산에 사용된 기본가정.....	37
<표 4.6> 지하수 방출량에 따른 냉각가능 도입외기의 양과 비율.....	39
<표 4.7> 지하수 방출량에 따른 예냉시스템에서의 냉동기, 냉각탑 용량변화....	40
<표 4.8> 지하수 방출량에 따른 외기예냉 시스템 장비별 동력.....	42
<표 4.9> 지하수 방출량에 따른 외기예냉 시스템 총 장비동력 감소비율.....	42
<표 4.10> 냉각수 열교환 시스템의 운전동력 계산의 기본가정.....	43
<표 4.11> 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템 냉각탑 용량의 변화...44	44
<표 4.12> 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템의 장비별 동력.....	45
<표 4.13> 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템 장비동력 감소비율....	46
<표 4.14> 지하수 방출량에 따른 시스템별 장비용량 비교.....	47
<표 5.1> 지하수 방출량에 따른 외기예냉 시스템 적용시 초기투자비(단위:천원).....	50
<표 5.2> 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템 적용시 초기투자비(단위:천원)	51
<표 5.3> 지하수 방출량 범주에 따른 시스템별 초기투자비(단위:천원).....	52

<표 5.4> 산업용 전력(갑) : 계약전력 300kW 미만의 요금체계.....	54
<표 5.5> 냉방기간동안의 운전비용 산출결과.....	55
<표 5.6> 지하수량 분류에 따른 시스템별 운전비 및 절감비율(단위:천원).....	56
<표 5.7> 이자율과 물가상승율에 따른 연도별 실질할인율.....	57
<표 5.8> 국내 기자재별 내구연한(단위:년).....	58
<표 5.9> 외기예냉 시스템의 LCC 누적분석 결과(단위:천원).....	59
<표 5.10> 냉각수 열교환 시스템의 LCC 누적분석 결과(단위:천원).....	61
<표 5.11> 시스템별 경제성 분석결과 비교분석.....	62

그림 목 차

(그림 1.1) 연구의 흐름도.....	5
(그림 2.1) 지하철 역사에서의 지하수 배출현황.....	7
(그림 2.2) 지하철 역사의 지하수활용 비율.....	8
(그림 2.3) 축열식 히트펌프 시스템의 계통도.....	9
(그림 2.4) 지하수를 이용한 외기에냉 시스템 계통도.....	11
(그림 2.5) 해수를 이용한 냉각수 열교환 시스템.....	12
(그림 2.6) 외기에냉 시스템의 구성 및 냉각감습과정.....	13
(그림 2.7) 외기에냉 시스템 계통도.....	14
(그림 2.8) 냉각수 열교환 시스템의 계통도.....	16
(그림 3.1) 지하수 방출량 조사를 위한 분류체계.....	22
(그림 3.2) 호선별 평균 지하수 방출비율.....	25
(그림 3.3) 지하수 방출량 범위에 따른 역사의 분포.....	26
(그림 3.4) 지하수 방출량 범위에 따른 역사의 분포비율.....	26
(그림 3.5) 지하수의 월별, 일별 수온 분포.....	28
(그림 4.1) 대상역사 층별 평면도.....	31
(그림 4.2) 대상역사 단면도.....	32
(그림 4.3) 대상역사의 공조설비 계통도.....	32
(그림 4.4) 대상역사의 위생설비 계통도.....	33
(그림 4.5) 지하철 역사 냉방부하의 요소별 비율.....	35
(그림 4.6) 외기에냉 시스템 흐름도.....	38
(그림 4.7) 도입외기 비율 계산과정 및 방법.....	38
(그림 4.8) 지하수 방출량에 따른 외기에냉 시스템에서의 냉동기, 냉각탑용량 변화추이.....	41
(그림 4.9) 지하수 방출량에 따른 외기에냉 시스템 총 장비용량 변화추이.....	42
(그림 4.10) 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템 냉각탑 용량 변화추이.....	44
(그림 4.11) 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템 총 장비용량	

변화추이.....	46
(그림 4.12) 지하수 방출량에 따른 시스템별 장비용량 변화추이 비교.....	47
(그림 5.1) 경제성평가 진행절차.....	48
(그림 5.2) 지하수량에 따른 시스템별 초기투자비 변화 추이.....	53
(그림 5.3) 지하수 방출량에 따른 시스템별 운전비용 변화 추이.....	56
(그림 5.4) 외기예냉 시스템의 LCC 누적분석 결과.....	59
(그림 5.5) 냉각수 열교환 시스템의 LCC 누적분석 결과.....	61
(그림 5.6) 시스템별 경제성 분석결과 비교분석.....	63

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

인구의 도시집중화에 따른 교통문제와 생활공간의 확보문제는 현대 도시가 당면한 대표적인 문제로 토지 이용효율을 높이기 위한 지하공간의 활용은 필연적이다. 특히, 지하공간을 활용한 지하철은 지상교통이 복잡해짐에 따라 효율적으로 공간을 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있어 국내 대도시에서는 보편화되어 있는 교통수단이다.

1974년 제1기 지하철 개통을 시작으로 현재 2기 지하철역사가 완공되고 있는 서울시의 경우, 일 평균 400만명 이상의 이용승객과 40% 이상의 높은 수송 분담율을 보이는 대표적인 교통수단으로 정착되고 있다. 그러나, 지하철 수송인원의 증가에 따른 열차운행 횟수의 증가는 지하터널내의 열축적 현상을 심화시키게 되어 건설 후 일정기간이 경과하면서 역사 내의 온도가 지속적으로 상승되고 있다¹⁾. 이와 같은 지하철 역사내의 온도상승은 대중교통시설이 갖추어야 하는 쾌적한 실내환경을 악화시키는 요인이 되고 있으며, 이에 따라 서울시에서는 신축되는 역사뿐만 아니라 기존의 역사에도 냉방시설을 추가로 설치하는 노력을 하고 있다.²⁾ 그러나, 지하철 역사에 냉방시설이 추가로 설치될 경우의 에너지 소비는 필연적이므로, 지하구조물의 특수성을 이용함과 동시에 가능한 한 적은 양의 에너지를 소비하면서 이용객들에게 쾌적한 실내환경을 제공하기 위해서는 현재 사용되지 않는 미이용 에너지로서의 지하수를 적극적으로 활용할 수 있는 방안을 모색하여야 할 것이다.

지하수는 연간, 일간 온도변화가 적으며, 지하수온은 하절기의 경우 대기온도

1) 김흥민, 지하철 온열화현상 및 환경기준, 냉동공조기술, Vol.8, No.6, pp.40 ~ 43.

2) <http://www.metro.seoul.kr/kor/friend/2/8/8.html>

보다 낮고, 동절기의 경우 대기온도보다 높은 특성을 가지고 있다. 서울지하철공사와 도시철도공사에 자료³⁾에 의하면 현재 1~8호선까지의 각 지하철역과 본선에서 방출되는 지하수량은 14만톤 이상으로 조사되고 있으며, 특히 1기 지하철에 비해 심도가 깊은 2기 지하철(5~8호선)에서는 1기 지하철(1~4호선)보다 2배가 넘는 지하수량이 방출되는 것으로 알려지고 있다.

한편, 지하수와 같은 미이용 에너지를 건물에 활용하기 위해서는 기술적인 측면에서의 뒷받침뿐만 아니라 경제적인 측면에서의 타당성이 검증되어야만 그 활용범위가 넓어질 수 있게 된다. 건물에서의 미이용 에너지의 활용방법은 일반건물을 대상으로 많은 연구가 이루어지고 있으나 이용기술은 열교환이나 히트펌프(heat pump)방식에 의한 배기나 배수의 열회수에 관한 내용이 대부분이다. 반면, 지하수는 대부분 잡음수로 활용되고 있고 이를 건물의 냉난방 에너지로 활용하는 경우는 현재 매우 적은 실정이며, 그 이유는 지하수의 안정적 확보의 어려움, 초기투자비의 증가 가능성, 기술적인 문제 등으로 적용에 어려움에 기인하고 있다. 그러나 지하수가 안정적으로 확보되고 적절한 지하수 이용시스템이 선정된다면 지하수의 에너지 활용은 충분한 가치가 있으리라고 판단된다. 특히 지하철의 경우는 냉방위주의 건물로서 외기도입량이 매우 크고 많은 지하수가 방출되는 특징을 가지고 있기 때문에 지하수 활용시 얻을 수 있는 경제적 이익을 평가하여 그 활용방안이 제시된다면 최근 시행된 건설교통부의 지하수법⁴⁾⁵⁾에서 규정하고 있는 지하수 재이용 계획 수립시에도 기초적인 자료가 될 수 있으리라 판단된다.

따라서 본 연구에서는 현재 서울 지하철역사의 지하수 방출량을 조사, 분석하여 그 양을 3단계로 범주화함으로써 지하철 역사에서의 지하수 활용시 기초자료

3) <http://www.metro.seoul.kr/kor/seoulnews/citynews/new221/221-8.html>

4) <http://www.hani.co.kr/section-005100007/2001/12/005100007200112182258034.html>

5) 건설교통부 개정 지하수법 : 지하철역사 또는 터널 1개소에서 1일 300톤 이상 지하수가 유출되거나, 특별시 또는 광역시에 설치하는 건축물로서 21층 이상이거나 연면적 10만제곱미터 이상인 건축물에서 1일 30톤 이상의 지하수가 유출되는 경우는 이를 생활용, 공업용, 소방용 등으로 적절히 이용하기 위한 계획을 수립하여 관할 시·군·구에 신고하여야 함.
2001.12.19. 시행.

로 활용할 수 있도록 하였다. 이후, 지하철 역사의 냉방시스템에 지하수를 활용하였을 경우 지하수 방출량에 따른 장비용량 및 냉방에너지 절감효과를 분석하고 이를 경제적인 측면에서 평가함으로써 지하철 역사에서의 경제적인 지하수 활용방안을 제시하고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 지하철 역사에서 문제시되고 있는 여름철의 냉방에너지 절감을 위한 지하수 활용방안을 경제적인 측면에서 평가하는 것을 연구의 범위로 제한하였다. 본 연구는 크게 4단계로 이루어져 있으며 각 단계별 내용과 방법은 다음과 같다.

1. 지하수를 이용한 냉방시스템 및 경제성 평가에 대한 이론적 고찰

1단계에서는 지하철 역사에서의 지하수 활용현황을 고찰하였다. 또한, 현재 지상건물에서 이용하고 있는 지하수의 활용방안 중 냉방시스템에 대한 부분을 문헌을 통해 고찰하고 각 시스템의 기술적인 특성 및 운전비용 산출방법을 파악함으로써 지하철 역사에서의 적용가능성을 검토하였다. 경제성 평가방법은 문헌고찰을 통하여 그 방법의 종류와 특성을 파악함으로써 이후 본 연구에서 활용할 경제성 평가기법을 선정하였다.

2. 지하철 역사의 지하수 방출량 조사 및 범주화

2단계에서는 서울지하철공사 및 도시철도공사를 방문하여 서울지하철 8개 호선 전 역사에 대한 연평균 지하수 방출량을 조사한 후, 방출량을 대, 중, 소의 3단계로 범주화함으로써 1단계에서 고찰한 냉방시스템에 적용하였을 경우의 냉방부하 저감효과를 분석하는 데 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다. 또한, 현재 서울시에서 측정하고 있는 지하수의 수온을 관련기관을 방문하여 조사하였다.

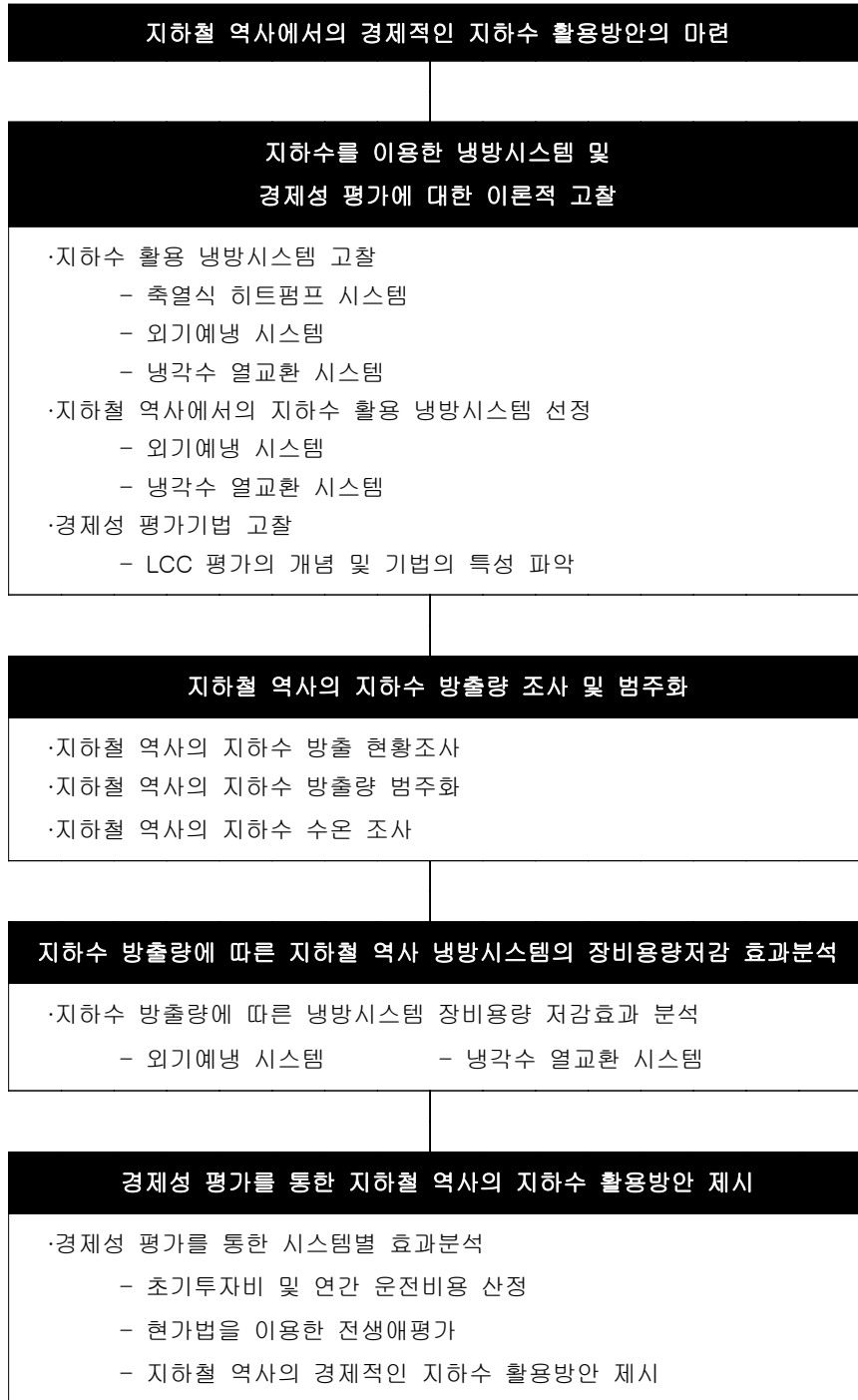
3. 지하수 방출량에 따른 지하철 역사 냉방시스템의 장비용량저감 효과분석

3단계에서는 2단계에서 범주화된 지하수 방출량을 외기예냉 시스템 및 냉각수 열교환 시스템에 적용한 후 적용하지 않았을 경우의 냉방시스템과 비교한 장비 용량 저감효과를 분석하였으며, 분석자료는 이후 경제적인 지하수 활용방안을 마련하기 위한 경제성 평가에서 활용하고자 하였다.

4. 경제성 평가를 통한 지하철 역사의 지하수 활용방안 제시

4단계에서는 전생애평가(LCC: Life Cycle Cost) 기법 중 순현재가(NPV : Net Present Value)법을 이용하여 생애기간동안의 시스템 구성에 필요한 투자비 및 3 단계에서 분석한 지하수의 방출량에 따른 냉방에너지 절감량을 비교, 평가함으로써 지하철 역사에서의 경제적인 지하수 활용방안을 제시하였다.

(그림 1.1)에 본 연구의 흐름도를 나타내었다.



(그림 1.1) 연구의 흐름도

제 2 장 지하수를 이용한 냉방시스템 및 경제성 평가에 대한 이론적 고찰

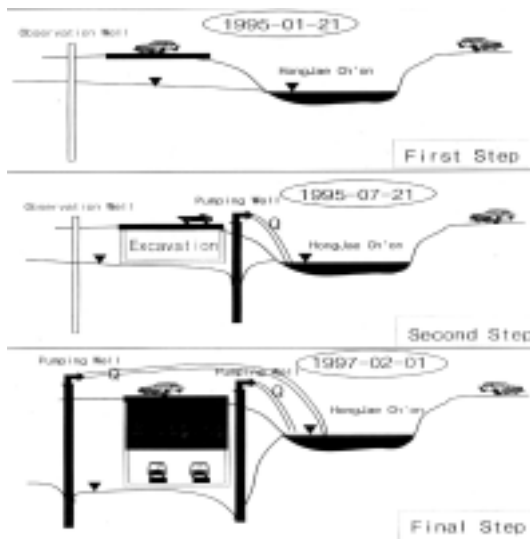
본 장에서는 현행 지하철 역사에서의 지하수 활용현황 및 일반 건물에서 지하수를 활용한 냉방시스템의 종류와 그 특징을 파악함으로써 지하철 역사에서의 지하수 적용 가능성을 검토하였다. 또한 운전비용 산출방법을 소개하고 경제성 평가방법 및 특성을 파악하여 본 연구에서 활용할 경제성 평가기법을 선정하였다.

2.1 지하철 역사의 지하수 활용현황

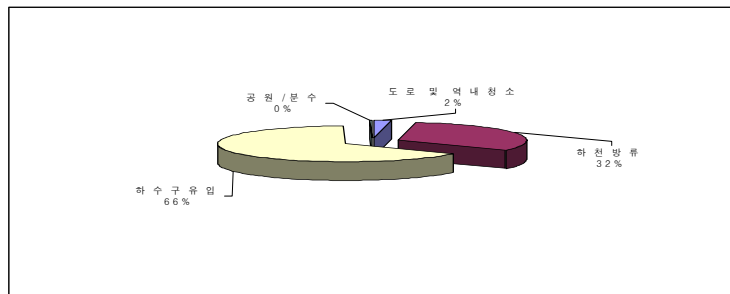
지하수층은 일반적으로 지하 4~5m층에 형성되지만 지하철 역사는 이보다 더 깊이 굴착되므로 역사에서는 필연적으로 지하수가 방출되며 현재 방출되는 지하수는 대부분 역사 외로 방출되고 있다. 또한, 지하철 역사에서 방출되는 지하수의 사용현황을 살펴보면, 대부분의 역사에서 지하수를 청소용수나 화장실용수로 사용하고 있으며¹⁾, 이러한 용도 역시 그 사용량은 극히 일부분이고 대부분의 지하수는 외부로 배수되고 있다.

(그림 2.1)은 지하철 역사의 공사가 진행됨에 따라 강제로 지하수위를 낮추기 위해 많은 양의 지하수를 인접하천 및 하수구로 배출하는 개념을 나타내고 있으며, (그림 2.2)는 현재 지하철역사에서의 지하수 활용비율을 그래프로 나타낸 것이다.

1) <http://www.munhwa.co.kr/munhwa/20000710/A29000801.html>



(그림 2.1) 지하철 역사에서의 지하수 배출²⁾



(그림 2.2) 지하철 역사의 지하수활용 비율³⁾

한편, 건설교통부는 지하철 역사와 같은 지하구축물에서 방출되는 지하수의 적극적인 활용 및 오염방지를 위해서 지하수법 개정안을 마련하기로 하였고⁴⁾, 그 실천방안으로 5호선 여의도역사에서 나오는 지하수를 여의도셋강의 생태공원에

2) 김윤영. 도시지역 지하수의 수리지질학적 특성: 서울지역 지하수 시스템분석. 서울대학교 박사학위논문.2000 p.98

3) 한국지질자원연구원, 지하수 오염방지 및 응용화 기술연구-서울지역, 1995, p.71.

4) 지하철·터널 등 지하구축물에서 방류되는 지하수가 매년 증가하고 있어 이를 생활용수, 청소용수 등으로 활용하는 방안을 강구하고 지하수에 영향을 미치는 토지굴착행위를 제도적으로 관리하여 폐공발생 방지를 도모함-지하철 등에 용출되는 지하수는 1일 약20만톤임(서울, 부산, 대구 등 합계)

활용하고 있다. 이러한 노력은 생태공원 조성사업의 근간을 이루고 있으며, 생태 연못, 저습지, 수초수로, 생태서식처 등 친수공간의 조성에 지하수를 효과적으로 이용함으로써 경제적으로도 성공을 거두고 있다. 또한 성내천 상류의 시범하천구 간에는 수변공간 조성사업으로 자연형 수중보와 둔치를 조성하였고, 체육시설, 징검다리, 공연장 등의 환경친화적 시설을 설치하고 있다. 현재 서울시는 하천 정화사업의 일환으로 동대문, 신설동, 길음, 중계, 태릉입구 등 10개 지하철역사에 직경 200~300mm의 관로 2km를 설치하여 청계천 등 10개 하천에 하루 10,400ton의 지하수를 방류하고 있으며 점차 확대해 나갈 예정이다⁵⁾.

이와 함께 지하수를 지하철 역사의 환경개선과 에너지절약을 위한 에너지원으로 활용할 수 있다면 보다 경제적이고 합리적일 것이라 판단된다.

2.2 지하수 이용 시스템의 종류 및 적용성

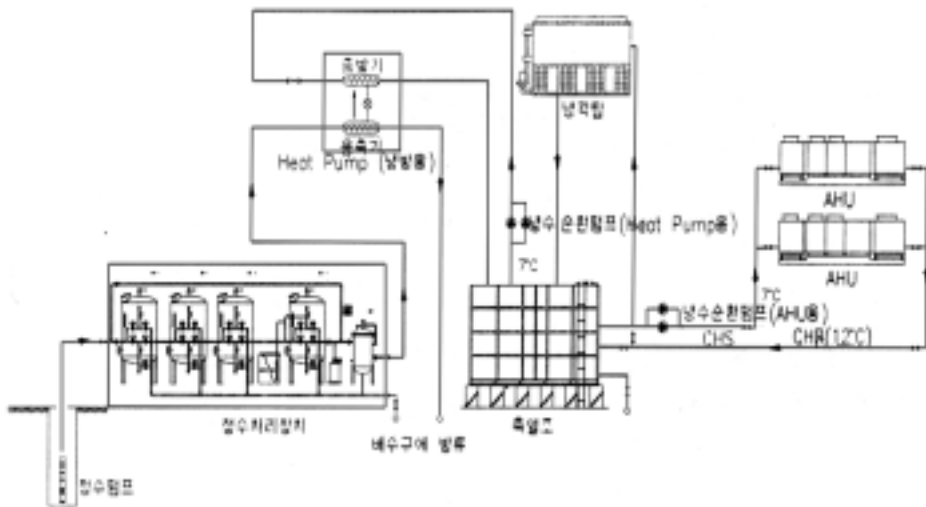
2.2.1 지하수 활용 축열식 히트펌프 시스템

히트펌프 시스템은 외기, 건물배수, 지하수, 우물물 등의 저온열원으로부터 열을 흡수하여 실내공기, 온수 등의 고온을 필요로 하는 곳에 열을 방출하는 장치를 의미하며, 히트펌프는 열원과 열매의 종류에 따라 공기 대 공기 방식, 공기 대 물 방식, 물 대 공기 방식, 물 대 물 방식, 이중 응축기 방식으로 분류된다. 또한, 축열식 히트펌프 시스템은 대수에 따라 멀티형과 단일형으로 구분된다.

(그림 2.3)은 지하수를 활용한 축열식 히트펌프 시스템의 개념을 나타낸 것이다. 지하수는 경수연화장치를 거쳐 히트펌프의 응축기를 통과하게 되며, 히트펌프의 응축기에서 배출된 열은 저온의 지하수와 열교환을 하여 보다 높은 온수를 얻을 수 있게 된다. 또한, 이 열을 축열조에 저장하여 난방 및 급탕에 이용함으로써 축열조 설치로 부분부하 또는 부하증가에 대응할 수 있다. 이러한 연구는

5) <http://www.munhwa.co.kr/munhwa/20000710/A29000801.html>

상당히 진행되고 있고 실용화되어 있으나 지하수이용은 안정적인 수량확보의 어려움 및 초기투자비 증가, 에너지 회수 후 지하수 활용방안에 한계가 있다. 즉, 지하수의 열 회수만을 목적으로 지하수를 개발한다면 경제적인 측면(초기투자비, 유지관리비)에서 적용이 곤란하고 생활용수로서는 사용량에 한계가 있기 때문에 우리나라에서 일반건물에서 적용된 예를 조사하기가 곤란하였다. 지하철의 경우는 냉방 위주의 건물로서 난방은 전체 냉방부하에 비해 1/78정도⁶⁾의 적은 양으로서 역무원실에 주로 공급되고 있기 때문에 축열식 히트펌프를 이용한 난방 시스템은 적용이 곤란하다. <표 2.1>에 축열식 히트펌프 시스템의 장단점을 정리하였다.



(그림 2.3) 축열식 히트펌프 시스템의 계통도

6) 한상태, 지하철 발생 지하수의 활용방안, 월간 냉동공조기술, (사)한국냉동공조기술협회, Vol.9, No.10, 1992, p.60.

<표 2.1> 축열식 히트펌프 시스템의 장·단점⁷⁾

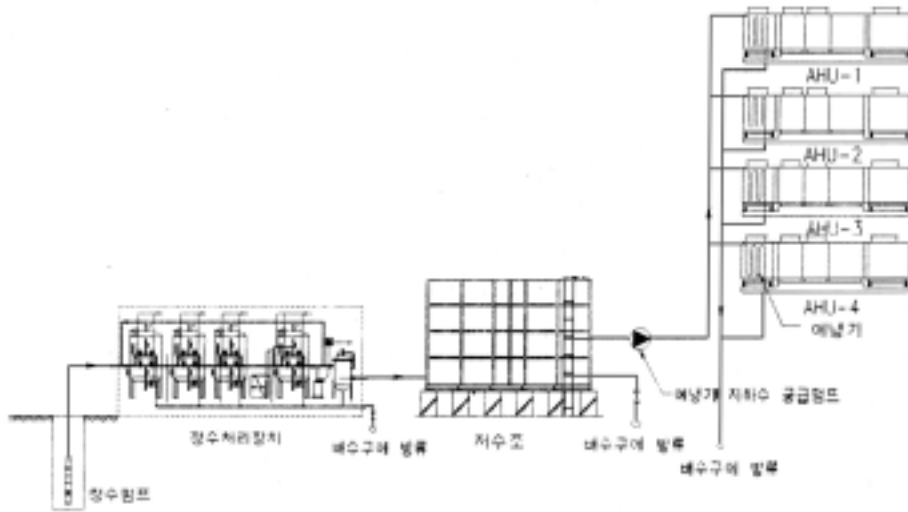
장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> - 축열로 열원 설비용량의 감소 - 축열시스템의 고효율 운전 - 열회수로 에너지 절약 - 부분부하 및 부하증가에 대응 - 열원기기 고장대책에 대한 융통성 	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 구축으로 초기투자비 증대 - 지하수량의 지속적 확보 - 펌프의 동력 증가 - 수처리설비 필요 및 유지비 증가 - 장비의 중량 증가 및 설치공간 확보

2.2.2 외기에냉 시스템

지하수를 이용한 외기의 예냉 시스템은 공기조화기로 인입되는 외기량이 많고, 실내를 저온으로 유지시켜야 할 경우에 이용되며, 외기부하의 일부분 또는 전부를 예냉코일에서 처리하므로 지하수를 이용하지 않았을 경우에 비해 냉동기 용량 및 냉각탑, 냉수, 냉각수 순환펌프 등 냉동기 주변장비의 용량을 감소시킬 수 있으며, 냉방배관의 관경도 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다⁸⁾. 또한, 리모델링시 이러한 시스템을 적용할 경우 기존의 냉동기나 냉각탑의 교체 없이 공기조화기에 예냉코일만을 부가하여 설치할 수 있으며 수질이 양호할 경우는 별도의 경수 연화장치 없이 기존의 지하저수조에서 순환용 급수펌프를 설치하여 공급되고 환수된 물은 지하나 직접 옥상의 정수용 물탱크에 저장하여 잡용수로 공급할 수 있다. (그림2.4)에 지하수를 이용한 외기에냉 시스템의 계통도를 나타내었다.

7) 김진천, 축열식공조시스템, 신기술, 2000, p.5.

8) 건설교통부, 지하전철구간의 환경관리방안 및 오염도 저감에 관한 연구, 1차년도 중간 보고서, 한국건설기술연구원, 2000, p.243.

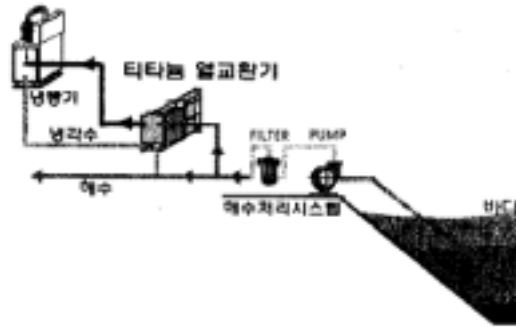


(그림 2.4) 지하수를 이용한 외기에열 시스템 계통도

한편, 일반 건물은 보편적으로 공기조화기로 도입되는 외기와 실내에서의 회수 공기를 약 3:7의 비율로 사용하나, 지하철 승강장의 경우 회수공기를 사용하지 않고 전량(100%) 외기를 사용하며 대합실만이 외기와 회수공기를 약 3:7비율로 사용한다. 따라서 지하철 역사의 승강장과 같이 외기 도입량이 많으면 많을수록 미 활용 에너지를 이용한 외기의 예열 시스템은 경제적인 측면에서 적용가치가 증가하게 된다.

2.2.3 냉각수 열교환 시스템

냉방시스템에 있어서 냉각탑은 중량, 냉각수의 비산, 통행, 설치공간 확보, 레지오넬라(legionnaire) 균과 같은 병원균발생 등의 문제점을 가지고 있는 것이 현실이다. 냉각탑은 응축기의 발열을 외부로 방출하는 역할을 한다는 점을 감안할 때 응축기 발열을 흡수할 수 있는 열매체가 충분하다면 냉각탑 없이도 냉방시스템이 구성될 수 있게 된다. 이러한 원리는 해수와 같이 충분한 양의 열매체가 존재하는 경우 이론적으로 적용 가능하며, (그림 2.5)는 냉각탑을 사용하지 않고 해수로 직접 냉동기의 발생열을 처리하는 시스템을 나타낸 것이다.



(그림 2.5) 해수를 이용한 냉각수 열교환 시스템⁹⁾

한편, 지하수의 온도는 17°C 이하로 충분히 낮기 때문에 이러한 원리를 지하수에 적용한다면 냉각탑 없이도 응축기의 발열을 흡수할 수 있게 된다. 그러나 지하수량이 지역마다 다르고 지속적인 수량확보를 예견할 수 없고 해수와 같이 충분하지도 않기 때문에 냉동기 발생열의 일부를 지하수로 처리함으로써 냉각탑 용량을 감소시킬 수 있으며 급수펌프의 신설 및 동력비가 추가되는 대신, 냉각수 순환펌프 및 냉각탑용 송풍기 용량은 감소되어 에너지 소비량도 저감시킬 수 있게 된다. 따라서 냉각수 열교환 시스템의 경우 지하철 역사의 특징이라고 할 수 있는 높은 외기부하, 도로의 냉각탑 설치로 인한 주변 환경오염, 설치 공간의 부족으로 인한 문제점을 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

2.3 지하철 역사에서의 적용가능한 지하수 활용 냉방시스템

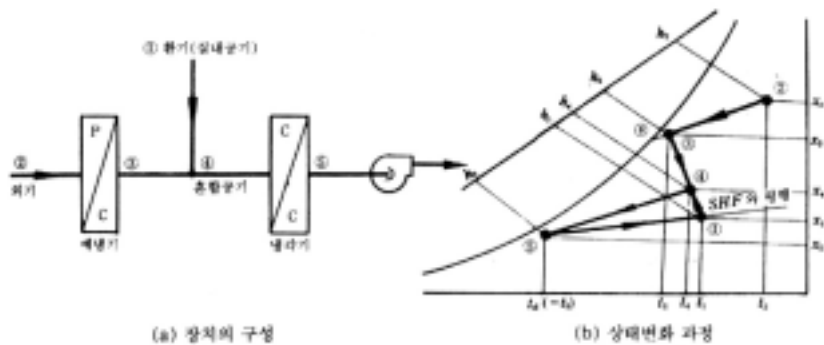
지하수를 이용한 냉방시스템을 성능측면에서의 특징과 경제적인 측면에서의 일반적인 장단점을 토대로 본 연구에서는 지하철 역사에서의 적용가능 냉방시스템으로 외기에 냉 시스템과 냉각수 열교환 시스템을 선정하였다. 본 절에서는 두 가지 시스템을 지하철 역사에 적용하였을 경우의 기본계통과 운전동력 계산방법을 검토함으로써 추후 시스템별 장비용량 산정 및 이에 따른 경제적인 이익을 평가하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

9) 연창근, 해수를 이용한 냉각수 시스템의 적용 사례, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2001, pp. 164 ~ 165

2.3.1 외기에냉 시스템

(1) 기본계통

외기에냉 시스템은 앞서 언급한 바와 같이 일반적인 공기조화기의 외기입구에 예냉코일만을 추가함으로써 간단히 구성할 수 있다. 시스템을 구성하는 기본개념 및 시스템 내에서의 공기상태변화를 (그림 2.6)에 나타내었다.



(그림 2.6) 외기에냉 시스템의 구성 및 냉각감습과정¹⁰⁾

(그림 2.6)의 (a)는 장치의 구성 및 원리를 나타내는 것으로 외기 ②가 공기조화기의 예냉코일로 유입되어 냉각·감습되면 ③의 상태로 되며, 실내의 회수공기(Return Air) ①과 혼합되어 ④의 상태로 된 후 냉각코일에서 다시 냉각·감습됨으로써 ⑤의 상태로 송풍되는 체계를 나타내고 있다. 또한, (그림 2.6)의 (b)로부터 외기부하의 일부인 (h_2-h_3)의 부하가 예냉코일에서 제거됨으로써 냉방부하가 줄어들 수 있다는 것을 습공기선도상의 공기변화 상태로부터 알 수 있다. 지하철역사에 적용 가능한 외기에냉 시스템의 계통도를 (그림 2.7)에 나타내었다.

10) 진호근, 공기조화 난방설비의 이론과 설계, 대광서림, 1995, p.62.

(그림 2.7) 외기에냉 시스템 계통도

(2) 운전동력 계산방법

외기에냉 시스템의 구성장비별 운전동력은 순환펌프동력, 냉각탑 용량에 따른 배기팬 동력 및 냉동기 압축기 출력 등 각 구성장비의 소요동력을 합하는 것으로 산출될 수 있으며, 각 장비별 동력의 계산방법은 <표 2.2>와 같다.

<표 2.2> 외기에냉 시스템의 장비별 운전동력 계산식¹¹⁾

항 목	계 산 식	적 용 값
냉각수 · 냉수펌프 출력동력	$P = \frac{Y \times Q \times H}{102 \times \eta} \dots\dots\dots <식 2.1>$ <p> P : 전동기 출력 (kW) 1kw = 102 kgf/m · s Q : 유량 (m³/s) H : 펌프의 양정 (m) T : 물의 비중량 (kgf/m³) 즉, T=998 (kgf/m³) η : 펌프의 효율 (%) </p>	· 냉수펌프 - η : 0.63 - H: 25m · 냉각수펌프 - η : 0.62 - H: 30m
냉각수 및 냉수 소요수량	$L = \frac{Q_{ac}}{\Delta t \cdot C_w \cdot 60} \dots\dots\dots <식 2.2>$ <p> L : 냉각수 및 냉수량(l/min) Q_{ac} : 냉각부하[kcal/hr] C_w : 물의 비열 (1kcal/kg℃) Δt : 물의 입 · 출구 온도차[℃] </p>	Δt : 5℃
냉각탑 용량산정	$q_R = q_E \times q_{\eta} \dots\dots\dots <식 2.3>$ <p> q_R : 냉각탑의 계산용량(kcal/h, ton) q_E : 냉동기 계산용량 (kcal/h, ton) q_η : 냉동기 능력에 대한 응축기에서 제거되는 열량의 비율 </p>	
압축기출력	냉동기 1kW 당 압축기 출력을 0.1747kW로 계산	
냉각탑배기팬동력	냉각탑 1RT 당 냉각탑배기팬 동력은 0.21909kW로 계산	

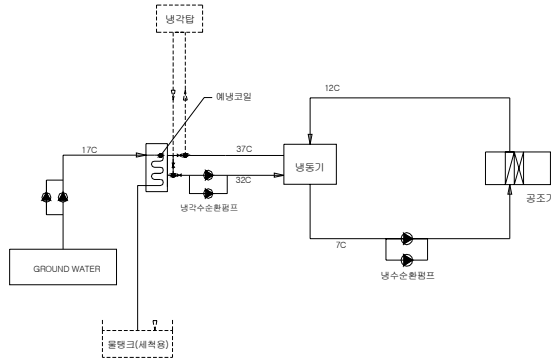
2.3.2 냉각수 열교환 시스템

(1) 기본계통

(그림 2.8)은 지하철 역사에서 적용 가능한 냉각수 열교환 시스템의 계통도를 나타내고 있다. 냉각수 열교환 시스템은 저온의 지하수로 순환냉각수를 간접 열

11)진호근, 공기조화 · 난방설비의 이론과 설계, 대광서림, 1995, pp. 171 ~ 178

교환시킴으로써 경도가 비교적 높은 지하수로 인한 냉동기 응축코일내의 스케일(scale)의 생성을 억제하고 냉각탑을 통한 열 배출량을 감소시키는 시스템이다. 이 시스템은 냉동기 및 공기조화기의 용량 및 관련배관 시스템은 적용 이전과 동일하나 냉각탑을 비롯한 관련 펌프 및 배관시스템의 용량 및 동력비를 줄일 수 있다.



(그림 2.8) 냉각수 열교환 시스템의 계통도

(2) 운전동력 계산방법

냉각수 열교환 시스템의 경우 냉동기의 용량과는 상관없이 냉각탑의 용량만에 영향을 미치므로 운전동력 역시 냉각탑의 용량을 구함으로써 산출될 수 있다. 냉각탑의 용량을 구하는 식은 <식 2.4> 및 <식 2.5>와 같다.

$$q_R = (q_E \times q_{\parallel}) - q_3 \quad \dots\dots\dots\text{<식 2.4>}$$

$$q_3 = C_w \times G \times \Delta t \quad \dots\dots\dots\text{<식 2.5>}$$

- q_R : 냉각탑의 계산용량(kcal/hr, ton)
- q_E : 냉동기 계산용량 (kcal/hr, ton) = $q_1 + q_2$
- q_{\parallel} : 냉동기 능력에 대한 응축기에서 제거되는 열량의 비율 = $(q_1 + q_2) \div q_1$
- q_1 : 냉동기 부하(kcal/hr)
- q_2 : 압축기상당부하(kcal/hr)
- q_3 : 지하수에 의한 제거열량부하(kcal/hr)
- C_w : 물의 비열 (1kcal/kg °C)
- G : 지하수량(/hr)

2.4 경제성 평가기법

본 절에서는 LCC(Life Cycle Cost) 분석기법의 개념과 종류 및 종류별 특성을 파악함으로써 이후 본 연구에서 활용할 경제성 평가기법을 선정하고자 하였다.

2.4.1 LCC(Life Cycle Cost) 분석의 개념

LCC 분석은 「설비투자의 경제계산」이라는 분야로 종래부터 전개해 온 기법의 일부를 「건물의 비용비교」라는 측면에서 다룬 기법으로, 이 두 가지는 현재의 시간적 가치를 고려하여 비교한다는 점은 동일하지만 「설비투자의 경제계산」이 「비용」과 「수익」의 양면을 다룬 것인데 비해 「건물의 비용비교」를 위한 LCC 분석은 수익은 무시하고 비용만을 다룬 점에 차이가 있다.

LCC 분석의 목적은 최소의 투자비용으로 최대의 효과를 얻는 일이다. 그러나 건축분야에서 성능을 비용이나 숫자로 환산해서 정량적으로 파악하는 것은 어려운 일이므로 LCC 분석에서는 비교하는 대안들의 성능이 사전에 정해진 규정치 이상이면 동일 레벨로 취급하는 것이 일반적이다.

또한, LCC 분석은 시스템의 경제성을 높이기 위한 의사결정이라 말할 수 있다. 이것은 설비기기와 같이 LCC 중 운전비나 보전비가 차지하는 비율이 초기투자비의 몇 배에 달하는 것에서는 아주 유효하고 필요한 방법이며, 특히 1970년대 말 석유파동 이후 에너지 비용의 급증에 따라 에너지절약 계획에서 널리 사용되기에 이르렀다.

한편, LCC 분석에는 미래의 발생비용을 현재의 가치로 환산하는 과정을 포함한다. 이 때 할인율을 적용하게 되는데, 그 이유는 화폐는 시간이 지나면 그 가치도 변화하는 특성을 가지고 있기 때문이다. 따라서 발생시점이 다른 화폐의 객관적 비교를 위해서는 특정 시점으로 화폐의 가치를 환산해야 하며 이때 환산을

하기 위해서는 할인율이 이용된다. 실질할인율은 <식 2.6>으로 나타낼 수 있다.

$$\text{실질할인율}(i) = \frac{1+i'}{1+j} - 1 \dots\dots\dots <\text{식 2.6}>$$

i' : 이자율
j : 물가상승률

2.4.2 LCC 분석 기법

(1) 순현재가치법(Net Present Value method, NPV)

순현재가치는 대안이 유효한 기간동안 그 대안에 투입되는 각 시점의 투입액과 그 대안으로부터 얻어지는 각 시점의 수입을 모두 현시점의 금액으로 등가 계산한 후 선정기준에 따라 최선안을 선정하는 방법이다. 현재가액법 또는 순현재가액법이라고도 하는데 각 대안에 대한 미래의 수입과 지출을 이와 등가인 현재가로 계산함으로써 각 대안의 상대적인 우열을 쉽게 구별할 수 있는 방법으로 현재가액(Present-Worth Amount)은 선정된 이율(i)에 대하여 투자에 대한 수입과 지출을 현재의 가치로 계산한 순현재가(Net Present Value)를 말한다¹²⁾.

$$PW_j(i) = \sum_{t=0}^n F_{jt} (1+i)^{-t} \quad (\because -1 < i < \infty) \dots\dots\dots <\text{식 2.7}>$$

$PW_j(i)$ = 현재가액 또는 순현재가

F_{jt} = 대안 j의 t 연도 말에서의 현금흐름

i = 이율

이 때의 의사결정 기준은 상호 배타적인 투자안의 경우는 순현재가가 가장 큰 투자안을 선택하고 독립적인 투자안의 경우는 순현재가가 0보다 크면 투자가치가 있는 것으로 판정한다¹³⁾.

12) 함효준, 경제성공학, 동현출판사, 1998, pp.198~199.

13) 김광춘, 경제성 분석에 의한 사무소건물의 건축규모 결정에 관한 연구, 서울대 석사 학위논문, 1997, p.10.

(2) 내부수익률법(Internal Rate of Return method, IRR)

내부수익률이란 단일 투자안에 대하여 표현한다면 일련의 수입과 지출을 현금으로 바꾸어 0이 되게 하는 이율을 말하며, 빌린 자금을 대하여 아직 갚지 않은 미지불액에 대한 이율이라 할 수 있는데 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$0 = PW(i_j^*) = \sum_{t=0}^n F_{jt} (1 + i_j^*)^{-t} \dots\dots\dots <식 2.8>$$

F_{jt} = 대안 j 의 t 연도 말에서의 현금흐름

i_j^* = 대안 j 에 대한 수익률 또는 IRR

(3) 편익/비용 비율 분석법(Benefit/Cost Ratio method, BCR)

편익/비용 분석이란 어떠한 사업이나 계획에 대한 경제적인 혜택과 비용을 구성하고 있는 모든 요인들을 정부나 또는 사회라는 공공의 입장에서 규명하고 측정하는 체계적인 방법이다¹⁴⁾. 순현재가는 절대치로 나타내기 때문에 투자규모가 다른 여러 투자안이 있을 때 각 투자안의 경제성비교가 어렵기 때문에 B/C 비율을 사용하면 투자액의 단위당 순현재가를 계산할 수 있어서 서로 규모가 다른 투자안을 쉽게 비교할 수 있다.

(4) 분기점 분석법(Break-Even Point method, BEP)

분석대상이 되고 있는 두 개 또는 그 이상의 대안들이 동일한 변수에 의해 이들의 비용이 변화할 때 이들 대안의 비용이 같게 되는 변수의 양을 분기점(Break-Even Point)이라고 한다¹⁵⁾. 이런 선택된 변수들이 어떤 특정한 수치가 대안들의 가치를 같게 만들 때 그 관계를 비김점 혹은 무승부(stand off)라 하고, 이런 경우에는 어떤 대안을 선택하여도 그 경제적인 가치는 동일한 것이라 할 수 있다.

14) 함효준, p.496.

15) 함효준, p.447.

(5) 회수기간법(Payback Period method)

총 투자액이 완전히 회수될 때까지의 시간을 측정함으로써 대안을 비교하는 방법으로 자본비용이나 제한된 자원에 대한 금융관계에 대한 곤란한 상황(이윤 등)을 고려할 필요가 없다는 것이 이 방법의 장점이라 할 수 있다. 그러나 회수기간 이후의 수익은 모두 무시하고 회수기간내의 현금흐름에서는 화폐의 시간가치를 무시하고 있다는 점에서 투자안의 수익성을 평가하는 기준으로는 적합하지는 않다¹⁶⁾. 따라서 이율을 감안하여 회수기간을 결정하기 위해서는 현금흐름의 증가를 계산하여야 하는데 이것을 할인회수기간법(Discounted Payback Period)이라고 하며 비교적 많이 쓰이는 기법이다.

(6) 감가상각(Depreciation)

설비나 부동산 같은 고정자산은 미래의 현금흐름을 제공하기 위하여 획득해야 할 경제적 자산이다. 일반적으로 감가상각이란 사용과 시간에 따라 고정자산의 효용성이 점진적으로 감소하는 것이라고 정의한다¹⁷⁾.

(7) 민감도 분석법(Sensitivity Analysis)

민감도 분석이란 하나의 변수가 변화함에 따라 최종 결과가 얼마나 민감하게 변화하는가를 분석하는 것이다. 요소들의 일정한 변화가 결과에 큰 영향을 끼칠 때 그 상황은 그 요소에 민감하다고 말하고 이와 같은 분석을 민감도분석(Sensitivity Analysis)이라고 한다¹⁸⁾.

이상 살펴본 LCC 기법 중 순현재가법은 비교적 간단하면서 대안들간의 상대적인 우열을 쉽게 구별할 수 있는 기법임에 따라 현재 널리 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서도 순현재가법을 추후 경제성 평가에서 활용하고자 하였다.

16) 김광춘, p.11.

17) Chan S. Park, 김진옥 외 11인역, 현대공업경제학, 경문사, 2000, pp.341 ~ 371.

18) 함효준, p.478.

제 3 장 지하철 역사의 지하수 방출량 조사 및 범주화

본 장에서는 서울지하철공사 및 도시철도공사를 방문하여 서울지하철 8개 노선 전 역사에 대한 연평균 지하수 방출량을 조사한 후, 방출량을 대, 중, 소의 3단계로 범주화함으로써 앞서 선정한 냉방시스템에 적용하였을 경우의 공기조화기부하 및 장비용량 저감효과를 분석하는 데 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

3.1 조사 개요

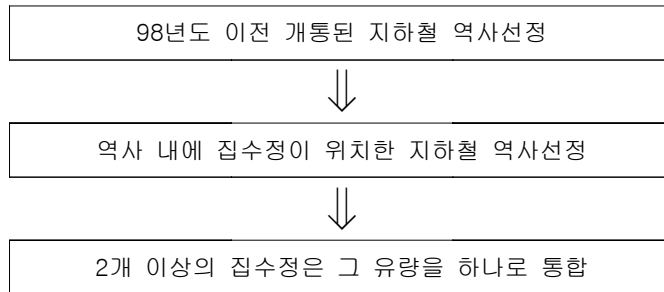
지하수를 지하철 역사의 냉열원으로 활용할 수 있는 가능성을 검토하기 위해 1~4호선은 서울지하철공사를 방문하여 최근 5년간 분기별 평균 지하수배출량 자료를 조사하였으며, 5~8호선은 도시철도공사를 방문하여 분기별 평균 지하수량에 관련된 자료를 확보하였다. 본 연구에서는 지하철 역사의 지하수 방출량을 조사한 후 동일한 조건에서의 합리적인 결과를 유도하기 위하여 다음과 같은 방법의 분류체계를 정립하였다.

첫째, 계절별, 연도별 지하수량의 변화율을 파악하기 위해서는 다년간의 지하수 방출량 자료를 분석해야 하므로 98년도 이전에 개통된 지하철 역사를 선정하여 1차 분류한다.

둘째, 집수정 현황을 조사한 결과, 지하에 위치한 대다수의 역사는 1개 이상의 집수정을 역사 내에 설치하여 지하수를 저장하고 있으며, 일부 지하철 역사는 본선에서 발생하는 지하수를 저장하기 위하여 본선 내에 지하수 집수정을 설치한 곳도 있는 것으로 나타났다. 그러나 본선 내에 위치한 대다수의 집수정은 역사 환기실에서 멀리 떨어져 있으므로 공조시스템의 열원으로 사용하기에는 다소 무리가 따르게 된다. 따라서 본선 내에 위치한 지하수 집수정은 대상에서 제외한 후, 역사 내에 설치되어 있는 집수정만으로 지하수 방출량을 범주화한다.

셋째, 역사 내에 2개 이상의 집수정을 가지고 있는 경우는 그 유량을 합한 후 하나의 집수정이 있는 것으로 간주하여 방출량을 분류한다.

본 연구에서의 지하철 역사 지하수 방출량 조사를 위한 분류체계는 (그림 3.1) 과 같이 정리된다.



(그림 3.1) 지하수 방출량 조사를 위한 분류체계

3.2 지하철 역사의 지하수 방출량 조사

3.2.1 지하철 역사의 집수정 현황

지하철 역사 전 구간의 지하수 집수정 현황을 살펴본 결과는 <표 3.1>과 같이 나타났다. 8개 노선 총 191개 역사에서 229개의 지하수 집수정을 설치하여 역사에서 방출되는 지하수를 저장하고 있었으며, 본선 내에 집수정을 설치한 곳도 66개소에 이르는 것으로 나타났다. 또한, 앞서 언급한 바와 같이 개통기간이 짧아 지하수 자료가 불충분한 역사도 2기 지하철 역사에서 다수 나타났다. <표 3.1>의 결과를 바탕으로 앞서 설정한 분류체계에 따라 역사를 재분류한 결과는 <표 3.2>와 같으며, <표 3.2>에 나타난 163개 역사 224개 집수정의 지하수량을 본 연구의 대상범위로 하였다.

<표 3.1> 호선별 지하철 역사의 집수정 현황¹⁾

(단위 : 개)

분류	역사 수		집수정 수		개통시기
	전체역사	지하수 배출역사	역사 내	본선 내	
1호선	72	9	11	4	서울-청량리 : 1974. 8. 15
2호선	50	34	37	19	전 구간 : 1984. 5. 22
3호선	51	29	30	7	전 구간 : 1994. 4. 01
4호선	48	20	20	6	전 구간 : 1994. 4. 01
5호선	50	41	41	19	전 구간 : 1996. 12. 30
6호선	38	6	37	5	전 구간 : 2000. 12. 15
7호선	42	37	38	3	전 구간 : 2000. 8. 01
8호선	17	15	15	3	전 구간 : 2000. 7. 02
합 계	368	191	229	66	-

<표 3.2> 분류체계에 의한 집수정 현황

(단위 : 개)

분류	집수정 수	집수정이 역사 내에 위치하는 역사 수
1호선	15	9
2호선	56	34
3호선	37	29
4호선	26	20
5호선	60	41
6호선	-	-
7호선	17	17
8호선	13	11
합 계	224	163

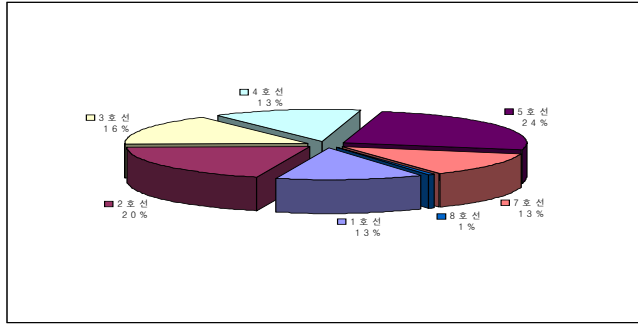
1) www.subway.seoul.kr/sub1.html

3.2.2 호선별 평균 지하수 방출량

앞서 분류체계에 의해 선정된 역사를 대상으로 지하철 역사의 시간대별·호선별 지하수 방출량을 파악하기 위하여 98년 이후 4년간 역사에서 방출된 지하수량을 조사한 후 그 값을 평균하여 평균 지하수 방출량으로 산정하였다. 산정결과, 5호선이 약 3백2십만/hr로 전체의 24%를 차지하면서 가장 많은 지하수를 방출하고 있는 것을 알 수 있었으며, 시간대별로는 1년 중 장마철인 3/4분기(7~9월)에 가장 많은 약 2천백만/hr의 지하수를 방출하고 있는 것을 알 수 있었다. 특히 3/4분기의 값은 타 분기에 비해 약 3배에 이르는 값으로 여름철 우수가 지표하부로 스며들어 지하수의 형태로 방출되고 있음을 알 수 있었으며, 지하수의 양이 증대됨에 따라 냉방열원으로서의 활용가능성이 더욱 높아짐을 알 수 있었다. <표 3.3>에 호선별 평균 지하수 방출량을 나타내었고, (그림 3.2)에 호선별 지하수 방출비율을 나타내었다.

<표 3.3> 호선별 평균 지하수 방출량 (단위 : //hr)

	1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기	평 균
1호선	892,300	1,027,600	1,207,800	1,005,600	1,033,325
2호선	1,395,400	1,613,700	2,887,900	1,539,700	1,859,175
3호선	1,071,800	1,232,600	4,046,600	1,180,900	1,882,975
4호선	902,300	1,038,700	5,082,600	1,015,700	2,009,825
5호선	1,735,100	1,996,400	7,241,200	1,957,100	3,232,450
6호선	-	-	-	-	-
7호선	867,500	998,200	1,168,600	978,500	1,003,200
8호선	35,100	41,000	55,800	37,900	42,450
합 계	6,899,500	7,948,200	21,690,500	7,715,400	11,063,400



(그림 3.2) 호선별 평균 지하수 방출비율

3.2.3 지하수 방출량에 따른 지하철 역사의 분류

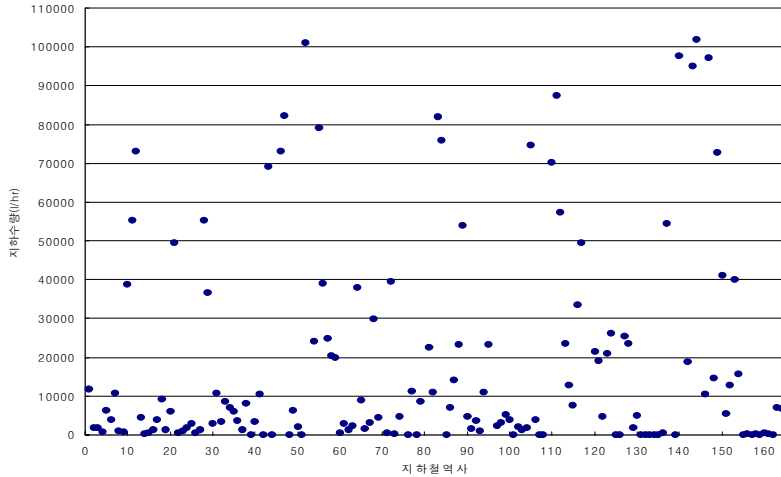
163개 역사의 지하수 방출량 조사자료를 토대로 그 양을 10,000/hr 범위로 구분하여 범위별 지하철 역사의 수를 정리한 결과는 <표 3.4>와 같다.

<표 3.4> 지하수 방출량에 따른 역사의 수

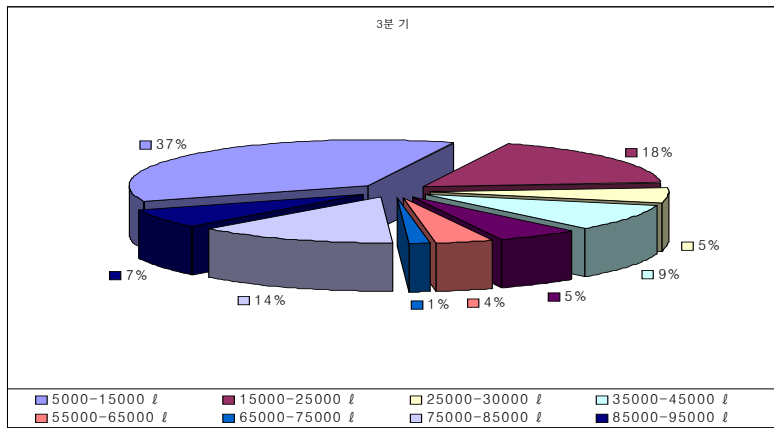
(단위 : 개)

유량(/hr)	1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기	평 균
5,000이하	83	81	76	81	78
5,000-15,000	25	20	27	28	28
15,000-25,000	14	15	13	13	14
25,000-30,000	11	15	4	6	7
35,000-45,000	5	7	7	6	9
45,000-55,000	8	6	4	7	5
55,000-65,000	3	4	3	5	5
65,000-75,000	1	0	1	4	2
75,000-85,000	2	3	10	3	3
85,000-95,000	2	2	5	2	4
95,000-105,000	9	10	13	8	8
합 계	163	163	163	163	163

(그림 3.3)과 (그림 3.4)는 이상의 자료를 근거로 지하수 방출량 범위에 따른 역사 수의 분포와 비율을 나타낸 것이다. (그림 3.4)로부터 약 60%의 역사는 10,000ℓ/hr 이하의 방출량 범위에 분포하고 있어 지하수 방출량이 상대적으로 적은 역사가 다수 존재함을 알 수 있지만, 약 40%의 역사에서는 10,000ℓ/hr 이상의 많은 양의 지하수를 방출하고 있음을 알 수 있다.



(그림 3.3) 지하수 방출량 범위에 따른 역사의 분포



(그림 3.4) 지하수 방출량 범위에 따른 역사의 분포비율

3.2.4 지하수 방출량에 따른 범주화

본 연구에서는 지하철 역사에서 지하수를 이용하여 여름철의 냉방에너지를 절감하는 효율적인 시스템 선정에 관한 연구이므로 연중 지하수 방출량 조사자료 중 3/4분기만을 대상으로 방출량의 범위를 범주화하였다. 범주화는 지하수 방출량 30,000/hr의 범위를 기본단위로 대, 중, 소의 3단계로 하였다. 또한 본 연구의 목적이 지하수를 냉방열원으로 이용하는 여러 방법 중 선정된 시스템의 경제성 평가를 위한 것이기 때문에 방출량이 5,000/hr 이하로 지나치게 작거나 95,000/hr 이상으로 지나치게 큰 범위의 역사는 범주화 대상에서 제외하였다. <표 3.5>에 지하수 방출량을 3단계로 분류한 결과를 나타내었으며, <표 3.6>에 지하수 방출량에 따른 호선별 역사의 수를 나타내었다.

<표 3.5> 지하수 방출량에 따른 범주화 (단위 : 개)

	지하수량(/hr)	3/4분기
극대	95,000이상	12 (7%)
대	65,000 ~ 95,000	14 (9%)
중	35,000 ~ 65,000	14 (9%)
소	5,000 ~ 35,000	47 (29%)
극소	5,000이하	76 (47%)

<표 3.6> 지하수 방출량에 따른 호선별 역사 수 (단위 : 개)

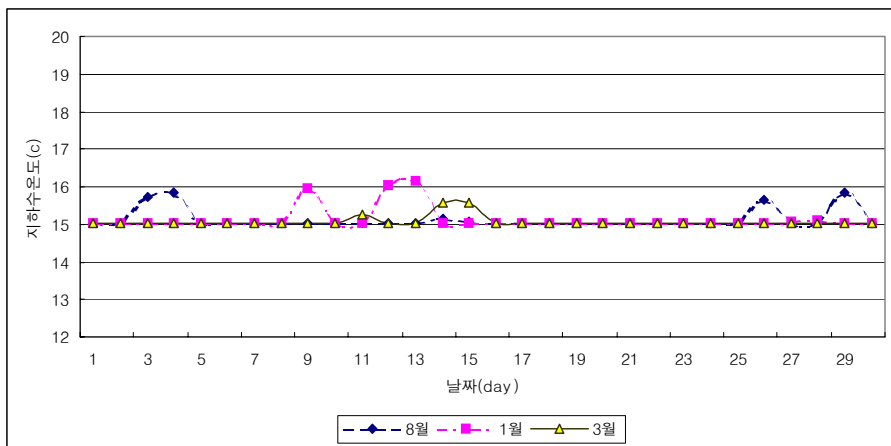
지하수량(/hr)	1호선	2호선	3호선	4호선	5호선	6호선	7호선	8호선
95,000이상			3	3	3	-	3	
대(65,000 ~ 95,000)	-	2	3	2	3	-	4	-
중(35,000 ~ 65,000)	-	4	3	1	3	-	2	1
소(5,000 ~ 35,000)	3	8	7	9	11	-	6	2
5,000이하	6	20	13	8	20	-	2	8

3.3 지하철 역사의 수온 조사

본 절에서는 지하수를 냉방열원으로 사용하는 시스템을 구성하는 데 있어서 방출량과 함께 시스템의 성능에 영향을 미칠 수 있는 지하수의 수온을 조사함으로써 이후 시스템의 성능 및 경제성을 평가하는 기초자료로 활용하고자 한다.

일반적으로 얇은 층의 지하수 온도는 지중온도 및 외기온도에 따라 영향을 받지만, 항온층이 있는 심도가 깊은 층은 얇은 층 지하수와 같은 시간적인 변화를 나타내지 않으며, 일정한 증온률에 따라 심도와 함께 수온이 높아지는 특징을 가진다. 또한 지역에 따라서는 지질 및 지리적인 영향을 받아 변화하기도 한다²⁾.

현재 서울시에서는 187곳에 취수공을 설치하여 지하수의 수온을 측정하고 있기 때문에 본 연구에서는 2001년 9월 서울시청 취수과를 방문하여 관련자료를 확보하였다. 지하수 측정결과에 의하면 대부분의 지하수온도는 14~16℃로 균일한 분포를 나타내고 있으며, (그림 3.5)에 대표적인 취수공의 일별, 월별 지하수 온도분포를 나타내었다.



(그림 3.5) 지하수의 월별, 일별 수온 분포

2) 이기복, 地下水 핸드북, 과학기술, 연도, pp. 223~225

그러나 지하철 역사에서 방출되는 지하수의 경우, 지속적인 지하철의 내부 발열 및 구조체의 축열로 인해 수온이 다소 상승할 것으로 예상³⁾되므로 본 연구에서는 이와 같은 점을 감안하여 지하수의 수온을 17℃로 가정한 후 연구를 수행하였다.

3) 한상태, 지하철 발생 지하수의 활용방안, 냉동공조기술, Vol.9, No.9, 1992, p.57

제 4 장 지하수 방출량에 따른 지하철 역사 냉방시스템의 장비용량저감 효과분석

본 장에서는 전형적인 상대식 형태를 갖춘 대상역사를 선정하여 3장에서 범주화된 지하수 방출량을 외기에냉 시스템 및 냉각수 열교환 시스템에 적용하였을 경우의 최대부하를 계산함으로써 기존의 공조시스템과 비교한 냉방부하 및 시스템 장비용량의 저감효과를 분석하였으며, 분석자료는 이후 경제적인 지하수 활용 방안을 마련하기 위한 경제성 평가에서 활용하고자 하였다.

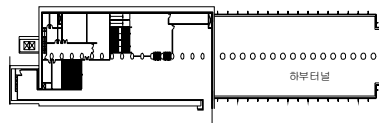
4.1 대상역사의 개요

4.1.1 대상역사의 일반사항

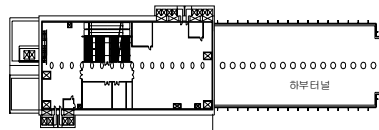
지하수를 활용한 지하철 역사 공조시스템의 냉방부하 저감효과를 분석하기 위하여 본 연구에서는 최근에 완공된 7호선의 S역사를 대상역사로 선정하였다. 대상역사의 선정배경은 본 연구의 목적이 지하수를 냉방시스템에 활용하기 위한 경제적인 방안을 제시하기 위한 것이므로 최근 완공되어 냉방설비를 갖추고 있으면서 전형적인 역사의 형태를 갖추고 있는 역사를 선정하고자 함이다. S역사는 2001년 5월에 개통된 연면적 7,960m²의 지하4층 역사로, 지하1층과 3층은 대합실, 지하2층은 환기실과 전기실 및 지하4층은 승강장으로 구성되어 있으며, 전형적인 상대식 역사이다. 대상역사의 일반사항과 건물규모를 <표 4.1>에 나타내었으며, (그림 4.1)과 (그림 4.2)에 대상역사의 층별 평면도 및 단면도를 도시하였다.

<표 4.1> 대상역사의 건축개요

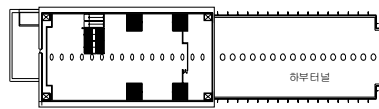
역사명	7호선 S역사	층	바닥면적 (㎡)	층고 (m)	천장고 (m)	주용도
층 수	지하4층	지하1층	2,476	4.6	3.0	대합실, 기능실
연면적	7,960㎡	지하2층	1,904	4.6	3.0	환기실, 물탱크실
승강장형태	상대식	지하3층	1,904	4.6	3.0	전기실, 내부통로
구 조	철근콘크리트구조	지하4층	1,958	4.6	3.0	승강장



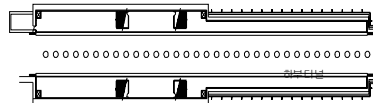
지하1층평면도



지하2층평면도



지하3층평면도



지하4층평면도

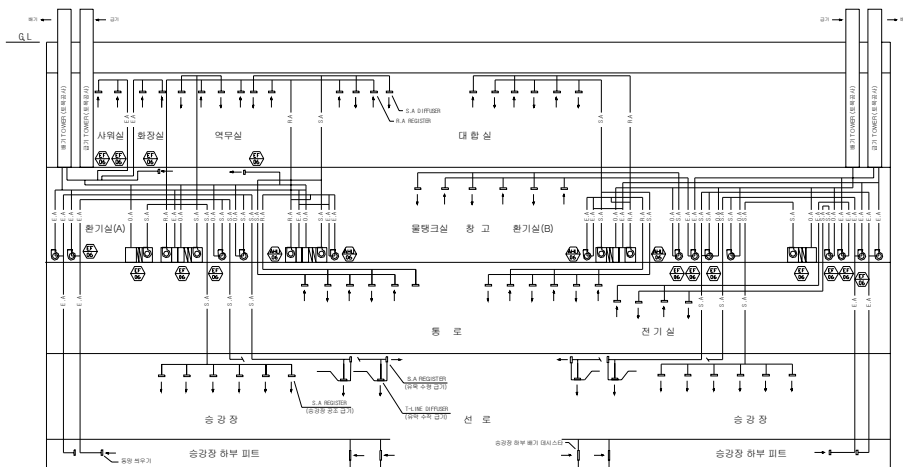
(그림 4.1) 대상역사 층별 평면도



(그림 4.2) 대상역사 단면도

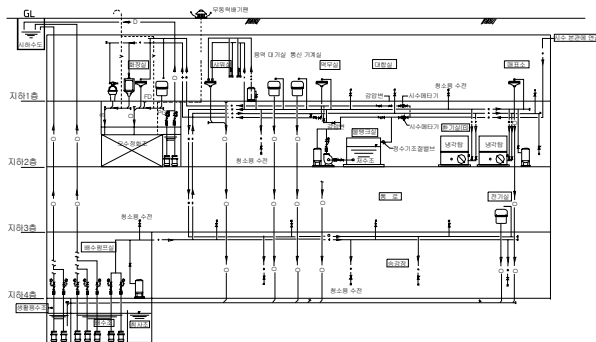
4.1.2 대상역사의 냉방 및 지하수 관련설비 현황

대상역사의 경우, 일반적인 지하철 역사와 동일하게 역사를 좌측과 우측 두 개의 구역으로 공조구획(Zoning)한 후 양측의 환기실에서 해당 존을 담당하여 냉방 시스템을 가동하고 있다. 특히, 승강장 지역은 실내 공기를 전부 배기하고 100% 외기만을 공기조화기에서 인입하여 냉각, 공급하는 전외기방식을 채택하고 있는 반면, 대합실은 외기 및 환기덕트에 의한 혼합공기를 공기조화기에서 냉각한 후 급기하여 냉방하고 있다. 또한, 열차발열 및 열차 냉방기 응축열이 선로부에서 승강장 하부로 이동하는 것을 차단하기 위하여 승강장 상부배기와 하부배기 시스템을 적용하고 있다. (그림 4.3)에 대상역사의 공조설비 계통도를 도시하였다.



(그림 4.3) 대상역사의 공조설비 계통도

한편, 대상역사의 지하수 처리현황을 살펴보기 위하여 위생설비도면을 검토한 결과, 배관수로, 집수정 및 배수펌프를 설치하여 지하철 본선으로 유입되는 지하수를 처리하고 있었으며, 집수정의 지하수 일부는 청소용수, 화장실 용수로 사용되나 대다수의 지하수는 우수 등과 함께 수중배수펌프에 의해 외부로 배출되고 있었다. (그림 4.4)에 대상역사의 위생설비 계통도를 도시하였다.



(그림 4.4) 대상역사의 위생설비 계통도

4.1.3 대상역사의 냉방부하 및 장비용량

(1) 대상역사의 냉방부하

대상역사의 공조설비도면과 부하계산서를 근거로 설계기준 온·습도 및 냉방부하를 조사하였으며, <표 4.2>¹⁾에 부하계산에 사용된 설계기준 온·습도를 나타내었다. 부하계산서를 토대로 대상역사의 냉방부하를 조사한 결과, 승강장 냉방부하의 83% 이상이 열차주행 발열, 열차 냉방기 발열 및 열차풍 등 열차로부터 발생되고 있었으며, 약 13%만이 인체 및 조명과 같은 내부 발열에 기인하는 것을 알 수 있었다.

1) 서울지하철 7호선 정차장 시설설계, 부하 및 장비계산서, S역사, 서울지하철건설본부, 1991.

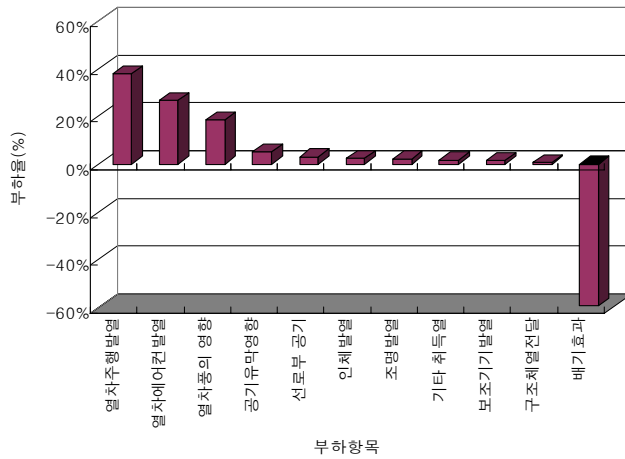
<표 4.2> 대상역사 설계기준 온·습도

	건구온도(℃)	상대습도(%)	절대습도(kg/kg')	전열량(kcal/kg)
외 기	28.9	77	0.0195	18.8
승강장	28	67	0.0160	16.5
대합실	28	67	0.0160	16.5
지중온도	지하 5m 이하에서 연중 15℃로 가정			
본선 내 온도	외기온도 + 4℃			

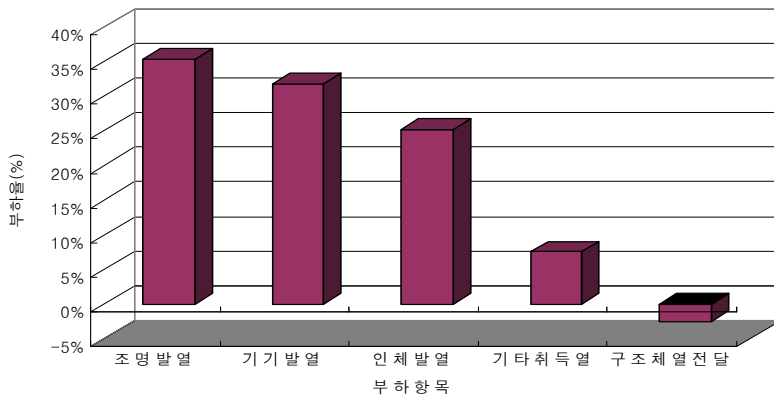
대합실은 승강장과 달리 열차풍에 의한 영향이 없으므로 실내의 사람, 조명, 각종 기기에 의해 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있었으며, 열손실은 구조체를 통하여 약 3%만이 존재하는 것으로 나타나 승강장에 비해 상대적으로 작은 부하를 나타내고 있다. <표 4.3>에 대상역사의 냉방부하를 정리하였으며, (그림 4.5)에 냉방부하의 요소별 비율을 승강장과 대합실로 나누어 나타내었다.

<표 4.3> 대상역사의 냉방부하

	현열 (kcal/hr)	잠열 (kcal/hr)	전열 (kcal/hr)
승강장	257,402	271,100	528,502(74%)
대합실	156,149	29,167	185,316(36%)
계			713,818(100%)
현열비	승강장 : 0.49 대합실 : 0.84		



(a) 승강장의 부하요소 비율



(b) 대합실의 부하요소 비율

(그림 4.5) 지하철 역사 냉방부하의 요소별 비율

(2) 대상역사의 장비용량

본 연구에서는 대상역사의 장비용량 현황을 파악하기 위하여 기본설계보고서를 토대로 현재 갖추어진 냉방시스템 관련장비의 용량을 조사하였다. 조사결과, 냉동기 180USRT 2대, 냉각탑 197RT 2대가 사용되고 있었으며, 승강장의 공기조화기 용량이 대합실보다 큰 것으로 나타났다. <표 4.4>에 대상역사의 냉방시스템에 관련된 장비의 용량을 정리하였다.

<표 4.4> 대상역사의 냉방시스템관련 장비일람표

장 비 명		용 량	
냉동기		<ul style="list-style-type: none"> • 수량 : 2대 • 형식 : 전동 Turbo • 용량 : 180USRT • 압축기 상당부하 : 30kW • 냉수 입 · 출구온도 : 12℃, 7℃ 	
냉각탑		<ul style="list-style-type: none"> • 수량 : 2대 • 형식 : 증발식 밀폐형 • 용량 : 197RT • 냉각수 입 · 출구 온도 : 37℃, 25℃ • 송풍기 동력 : 15kW 	
공 기 조 화 기	승 강 장	급기팬	<ul style="list-style-type: none"> • 형식 : Air Foil Double Suction • 풍량 : 620 CMM • 모터 : 19kW
		배기팬	• 없음
		냉수코일	<ul style="list-style-type: none"> • 냉방부하 : 378,000kcal/hr • 입 · 출구 공기온도 : 28.9℃DB, 25.7℃DB • 면적 : 4.2㎡
	대 합 실	급기팬	<ul style="list-style-type: none"> • 형식 : Air Foil Double Suction • 풍량 : 580 CMM • 모터 : 22kW
		배기팬	<ul style="list-style-type: none"> • 형식 : Air Foil Double Suction • 풍량 : 540 CMM • 모터 : 11kW
		냉수코일	<ul style="list-style-type: none"> • 냉방부하 : 163,000kW • 입 · 출구 공기온도 : 28.3℃DB, 23.7℃DB • 면적 : 3.9㎡
팬		<ul style="list-style-type: none"> • 승강장 유막급기팬 <ul style="list-style-type: none"> - 풍량 : 690 CMM - 동력 : 15kW • 대합실 배기팬 <ul style="list-style-type: none"> - 풍량 : 1,000 CMM - 동력 : 11kW 	

4.2 지하수를 이용한 외기에냉 시스템 적용시

장비용량 저감효과 분석

본 절에서는 앞서 살펴 본 지하수를 이용한 외기에냉 시스템을 지하철 역사의 냉방시스템에 적용하였을 경우의 냉방부하 저감효과 및 지하수량에 따른 도입외기의 처리비용을 계산함으로써 그 효과를 분석하고자 하였다.

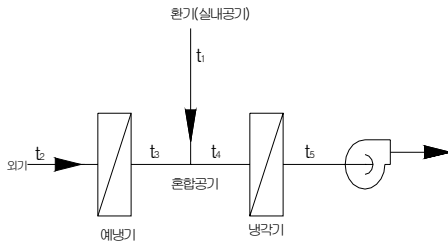
4.2.1 기본가정 및 계산방법

외기에냉 시스템은 기존의 공기조화기에 예냉코일을 설치한 시스템이므로 대 상역사 기본설계보고서의 장비 용량을 기준으로 도입외기의 비율을 계산하였다. 또한, 예냉코일의 입·출구 온도차는 일반적으로 실무에서 사용하는 5℃로 가정 하였고, (그림 4.6)에 나타난 식에 의해 엔탈피 차는 5.65kcal/kg로 하였다. 외기 예냉 시스템 장비용량 계산에 사용된 기본가정은 <표 4.5>와 같다.

<표 4.5> 외기에냉 시스템의 장비용량 계산에 사용된 기본가정

항 목	값
도입외기량	대합실 : 21,000CMH 승강장 : 74,000CMH 총 도입외기량 : 95,000CMH
예냉코일 지하수 입·출구온도	17℃, 22℃
예냉코일 장치노점온도	19.5℃
예냉코일 Bypass Factor	10%
예냉코일 전후 외기온도차	입구 : 28.9℃ 출구 : 20.44℃ 엔탈피차 : 5.65 kcal/kg

(그림 4.6)에 예냉기 입·출구의 공기상태변화를 나타내었고, (그림 4.7)에 도입 외기의 비율을 계산하기 위한 과정과 방법을 정리하였다.



$t_5 =$ 예냉기 장치노점 온도
 $t_1 = 28^\circ\text{C}$ (67%) $\cdot h_1 = 18.8$
 $t_2 = 28.9^\circ\text{C}$ (77%) $\cdot h_2 = 16.5$
 $t_3 = t_5 + (t_2 - t_5) \times B \cdot F$
 $= 19.5 + (28.9 - 19.5) \times 0.1$
 $= 20.44^\circ\text{C}$ $\cdot h_3 = 10.85$
 $t_4 = t_3 + (t_1 - t_3) \times (1 - \text{외기도입비율})$
 $= 20.44 + (28 - 20.44) \times (1 - 0.3)$
 $= 25.732^\circ\text{C}$
 $t_5 = 19.5^\circ\text{C}$
 $\Delta h_{(3-2)} = 5.65 \text{ kcal/kg}$

(그림 4.6) 외기예냉 시스템 흐름도

(1) 지하수 발생량에 따른 예냉기 냉각열량 산출

$$q_0 = G \times C \times \Delta t \dots\dots\dots \text{<식 4.1>}$$

q_0 : 냉각열량 (kcal/hr)

G : 지하수량 (//hr)

C : 물의 비열(= 1kcal/kg $^\circ\text{C}$)

Δt : 지하수 입출구 온도차(= 5 $^\circ\text{C}$)

(2) 도입 외기량 계산

$$Q_0 = \frac{q_0}{(h_2 - h_3)} \div 1.2 \text{kg/m}^3 \dots\dots\dots \text{<식 4.2>}$$

Q_0 : 외기 도입량 (m 3 /hr)

h_2 : 예냉기입구 공기엔탈피(kcal/kg)

h_3 : 예냉기출구 공기엔탈피(kcal/kg)

(4) 도입 외기율 계산

$$\frac{Q_0}{Q_1} \times 100 \dots\dots\dots \text{<식 4.3>}$$

Q_0 : 외기도입량(m 3 /hr)

Q_1 : 총급기량 (m 3 /hr)

(그림 4.7) 도입외기 비율 계산과정 및 방법

4.2.2 지하수 방출량에 따른 냉각가능 도입외기의 비율

본 절에서는 지하수 예냉코일로 냉각가능한 외기량을 계산함으로써 외기에 냉 시스템에서의 지하수 활용가능성을 나타내는 지표로 활용하고자 하였다.

<식 4.2>에 의해 지하수 방출량에 따른 냉각가능 도입외기의 비율을 계산해 본 결과, 방출량이 '소'(5,000~35,000l/hr)일 경우는 4~27%, '중'(35,000~65,000l/hr)일 경우 27~50% 및 '대'(65,000~95,000l/hr)일 경우 50~74%의 값을 나타내었다. 또한, 지하수 방출량이 30,000l/hr 증가할 때마다 냉각가능한 도입외기의 비율은 약 23%씩 증가하는 것을 알 수 있었다. 한편, 본 연구에서의 범주 중 가장 많은 용량인 95,000l/hr의 지하수 방출량의 경우에서도 설계기준 도입외기 95,000CMH의 70% 정도만 예냉이 가능하므로 기존 공조시스템의 전체 도입외기량을 예냉시키기 위해서는 128,820 l/hr²의 지하수량이 필요한 것으로 계산되었다. <표 4.6>에 지하수 방출량에 따른 냉각가능 도입외기의 양과 비율을 정리하였다.

<표 4.6> 지하수 방출량에 따른 냉각가능 도입외기의 양과 비율

지하수량 (l/h)	냉각열량 (kcal/h)	냉각가능 도입외기량 (CMH)	냉각가능 도입외기비율(%)
소 (5,000 ~ 35,000)	25,000 ~ 175,000	3,687 ~ 25,811	4% ~ 27%
중 (35,000 ~ 65,000)	175,000 ~ 325,000	25,811 ~ 47,935	27% ~ 50%
대 (65,000 ~ 95,000)	325,000 ~ 475,000	47,935 ~ 70,059	50% ~ 74%
최대(128,820)	644,100	95,000	100%

대합실은 실내의 회수공기를 재사용하므로 외기 전량을 사용하는 승강장에 비해 도입외기량이 적다. 따라서 대합실의 경우 지하수량 35,000l/hr 이상이면 전체

2) <식 4.2>에서 예냉코일의 냉각열량(q_0)은

$$q_0 = Q_0 \times (t_2 - t_3) \times 1.2 \text{kg/m}^3 = 95,000 \times 5.65 \times 1.2 = 644,100 \text{kcal/hr}$$

<식 4.1>에서 필요지하수량(G)는

$$G = q_0 \div (C \times \Delta t) = 644,100 \div (1 \times 5^\circ\text{C}) = 128,820 \text{ l/hr}$$

로 구할 수 있다.

도입외기를 예냉할 수 있는 것으로 계산되었다.

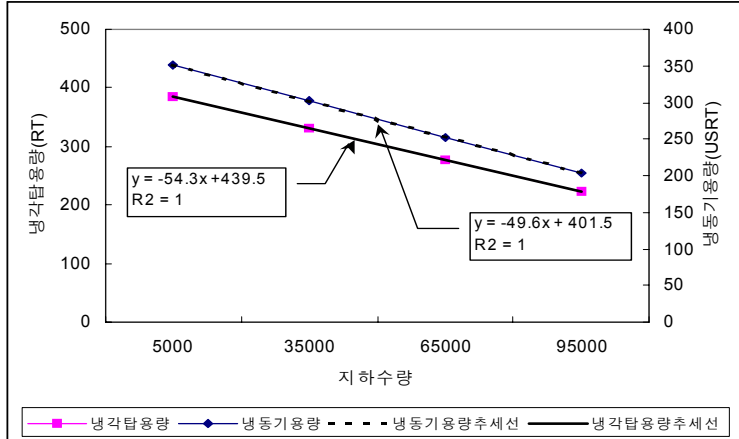
4.2.3 장비용량의 변화

(1) 냉각탑 및 냉동기 용량 변화

외기에냉 시스템의 경우, 예냉코일에서 부하의 일부를 담당하므로 냉동기 및 냉각탑의 용량이 감소된다. <표 4.4> 및 <표 4.6> 의해 지하수 활용에 따른 냉각탑 및 냉동기 용량의 저감율을 계산한 결과, 지하수 방출량이 ‘소’(5,000~35,000l/hr)일 경우 2~16%, ‘중’(35,000~65,000l/hr)일 경우 16~30% 및 ‘대’(65,000~95,000l/hr)일 경우 30~44%의 용량을 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다. 방출량이 30,000l/hr 증가할 때마다 약 14%의 냉각탑 및 냉동기 용량이 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 설계기준 도입외기 전량을 예냉시키기 위한 지하수량 128,820l/hr의 조건에서는 냉동기 및 냉각탑 용량이 59% 정도 감소되는 것으로 나타났다.

<표 4.7> 지하수 방출량에 따른 예냉시스템에서의 냉동기, 냉각탑 용량변화

지하수량(/hr)	냉동기용량(USRT)	냉각탑용량(RT)	감소율(%)
소(5,000 ~ 35,000)	352 ~ 302	385 ~ 331	2 ~ 16
중(35,000 ~ 65,000)	302 ~ 253	331 ~ 277	16 ~ 30
대(65,000 ~ 95,000)	253 ~ 203	277 ~ 222	30 ~ 44
최대(128,820)	147	161	59
기존안(총 용량)	180×2대=360	197×2대=394	-



(그림 4.8) 지하수 방출량에 따른 외기예냉 시스템에서의 냉동기, 냉각탑용량 변화추이

(2) 장비동력 감소 효과

2장의 계산방법에서 살펴 본 <식 2.1>~<식 2.3>을 이용하여 지하수 방출량 증가에 따른 장비별 용량 감소량을 계산한 결과, 방출량이 30,000l/hr 증가할수록 압축기 용량 35kW, 배기팬 용량 10kW 및 펌프의 용량이 3kW씩 감소하는 것으로 나타난 반면, 지하수 급수펌프의 동력은 7~8kW정도 증가하는 것으로 나타났다.

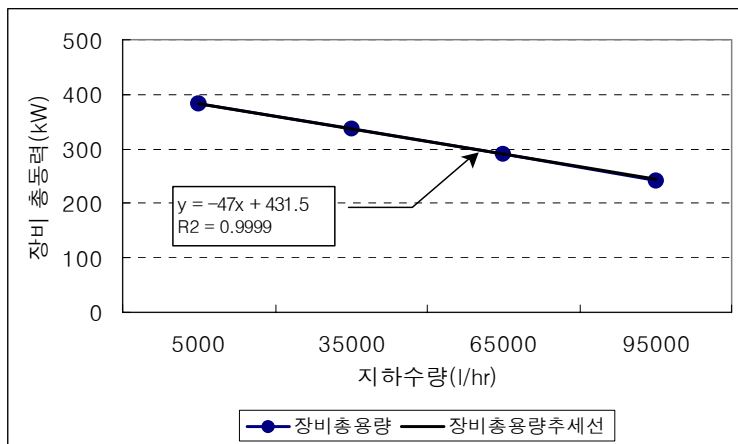
기존 시스템과 비교한 지하수 활용 외기예냉 시스템의 총 장비동력 감소비용을 계산한 결과, 지하수 방출량이 ‘소’(5,000~35,000l/hr)일 경우 2~14%, ‘중’(35,000~65,000l/hr)일 경우 14~26% 및 ‘대’(65,000~95,000l/hr)일 경우 26%~38% 감소하는 것으로 나타났으며, 방출량이 30,000l/hr 증가할수록 장비동력은 약 12%씩 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한, 설계기준 도입외기 전량을 예냉할 수 있는 지하수량 128,820l/hr이 방출될 경우, 기존의 장비동력에 비해 약 51%를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. <표 4.8>과 <표 4.9>에 지하수 방출량의 증가에 따른 감소된 장비동력을 나타내었으며, (그림 4.9)에 지하수 방출량의 변화에 따른 외기예냉 시스템의 동력(kW)을 비교하였다.

<표 4.8> 지하수 방출량에 따른 외기에냉 시스템 장비별 동력

지하수량 (//hr)	냉각수 펌프 (kW)	냉각탑 배기팬 (kW)	냉동기 압축기 (kW)	냉수펌프 (kW)	지하수 집수펌프 (kW)
소(5,000 ~ 35,000)	26 ~ 23	72 ~ 62	261 ~ 224	23 ~ 20	2 ~ 9
중(35,000 ~ 65,000)	23 ~ 20	62 ~ 51	224 ~ 187	20 ~ 17	9 ~ 16
대(65,000 ~ 95,000)	20 ~ 16	51 ~ 41	187 ~ 150	17 ~ 13	16 ~ 23
128,820	13	30	107	10	31
기준안	28	74	267	24	-

<표 4.9> 지하수 방출량에 따른 외기에냉 시스템 총 장비동력 감소비율

지하수량 (//hr)	장비총동력 (kW)	감소비율 (%)
소(5,000 ~ 35,000)	384 ~ 338	2% ~ 14%
중(35,000 ~ 65,000)	338 ~ 291	14% ~ 26%
대(65,000 ~ 95,000)	291 ~ 243	26% ~ 38%
최대(128,820)	191	51%
기준안	393	-



(그림 4.9) 지하수 방출량에 따른 외기에냉 시스템 총 장비용량 변화추이

4.3 지하수를 이용한 냉각수 열교환 시스템 적용시 장비용량 저감효과 분석

본 절에서는 앞서 살펴 본 지하수를 이용한 냉각수 열교환 시스템을 지하철 역사 냉방시스템에 적용하였을 경우의 장비용량 저감효과를 계산하고자 하였다.

4.3.1 기본가정

냉각수 열교환 시스템의 성능을 계산하기 위하여 본 연구에서는 냉동기에 공급되는 지하수 입출구 온도차를 지상 냉각탑의 입출구 설계 온도차인 5℃로 가정하였고, 지하수가 냉각수 열교환 목적으로 이용되었으므로 냉동기의 용량에는 영향을 주지 않는 것으로 가정하였다. <표 4.10>에 냉각수 열교환시스템의 운전 동력계산 조건을 나타내었다.

<표 4.10> 냉각수 열교환 시스템의 운전동력 계산의 기본가정

항 목	값
냉동기 용량	기존(360 USRT)
냉각수 입출구 온도차	5℃
지하수 냉각코일 입출구 온도차	5℃

4.3.2 지하수 방출량에 따른 장비용량 변화

(1) 냉동기 및 냉각탑 용량변화

냉각수 열교환 시스템의 냉각탑용량 감소율을 기존안과 비교한 결과, 지하수 방출량이 ‘소’(5,000~35,000l/hr)일 경우 2~15%, ‘중’(35,000~65,000l/hr)일 경우 15~27% 및 ‘대’(65,000~95,000l/hr)일 경우 27~40% 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 방출량이 30,000l/hr 증가할수록 냉각탑 용량이 13% 정도씩 감소하며, 냉동기에서 발생하는 전량의 부하를 처리하기 위해서는 263,652l/hr의 지하수 방출량

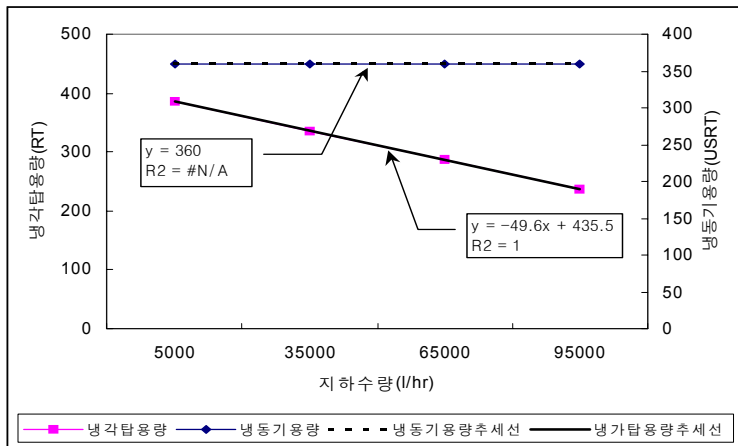
이 필요한 것으로 계산되었으며, 계산결과로부터 이 양의 지하수가 방출될 경우 냉각탑의 사용없이도 냉동기의 운전이 가능한 것을 알 수 있었다. <표 4.11>과 (그림 4.10)에 지하수 방출량의 변화에 따른 냉각수 열교환 시스템 냉각탑 용량의 변화를 나타내었다.

<표 4.11> 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템 냉각탑 용량의 변화

지하수량(//hr)	냉동기용량(USRT)	냉각탑용량(RT)	감소율(%)
소(5,000 ~ 35,000)	360	386~336	2 ~ 15
중(35,000 ~ 65,000)	360	336~287	15 ~ 27
대(65,000 ~ 95,000)	360	287~237	27 ~ 40
최대(263,652)*	360	없음	100
기존안	360	394	-

*전 응축열 처리를 위한 지하수량(냉각탑 394 RT기준)

$$263,652//hr=(360USRT \times 3,024kcal/USRT+267kW \times 860kcal/kW) \div 5^{\circ}C(\text{지하수온도차}) \div 1kcal/kg^{\circ}C$$



(그림 4.10) 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템 냉각탑 용량 변화추이

(2) 장비동력 감소효과

앞서 2장에서 살펴 본 냉각수 열교환 시스템에서의 <식 2.4>에 의해 지하수 방출량 30,000l/hr 증가에 따른 장비별 용량을 계산한 결과, 냉각탑 배기팬과 냉각수 펌프의 용량은 각각 8~10kW 및 3~5kW 감소하는 반면, 지하수 급수펌프는 6~10kW 증가하는 것으로 나타났다.

또한 지하수를 활용한 냉각수 열교환 시스템의 장비 총 용량을 기존 시스템과 비교한 결과, 지하수 방출량이 '소'(5,000~35,000l/hr)일 경우 2~3%, '중'(35,000~65,000l/hr)일 경우 3~4% 및 '대'(65,000~95,000l/hr)일 경우 기존안에 비해 4~5% 감소하는 것으로 나타났으며, 지하수량이 30,000l/hr 증가할 때마다 총 장비 용량이 약 1% 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 냉동기에서 발생하는 전량의 부하를 처리하기 위해서는 263,652l/hr의 지하수량이 필요하게 되며, 방출량이 충족될 경우 기존안에 비해 약 11%의 장비용량을 감소할 수 있었다.

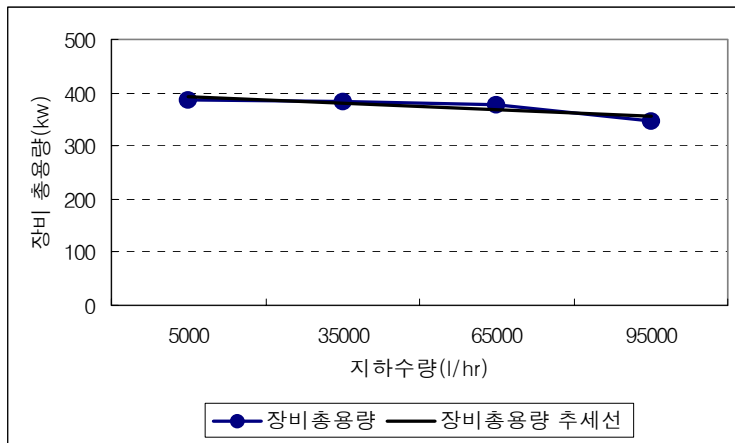
<표 4.12>에 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템의 장비별 용량변화를 나타내었고, <표 4.13>에 지하수 방출량의 변화에 따른 냉각수 열교환 시스템의 총 장비용량 저감효과를 나타내었으며, (그림 4.11)에 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템의 장비용량 변화추이를 그래프로 정리하였다.

<표 4.12> 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템의 장비별 동력

지하수량 (l/hr)	압축기 (kW)	냉수펌프 (kW)	냉각탑 배기팬 (kW)	냉각수 펌프 (kW)	지하수 급수펌프 (kW)
소(5,000 ~ 35,000l/hr)	267	24	72 ~ 64	22 ~ 19	2 ~ ~ 8
중(35,000 ~ 65,000l/hr)	267	24	64 ~ 55	19 ~ 16	8 ~ 16
대(65,000 ~ 95,000l/hr)	267	24	55 ~ 47	16 ~ 12	16 ~ 23
최대(263,652)	267	24	0	0	63
기존안	267	24	74	28	-

<표 4.13> 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템 장비동력 감소비율

지하수량 (l/hr)	장비 총동력 (kW)	감소비율 (%)
소(5,000 ~ 35,000)	387 ~ 382	2 ~ 3
중(35,000 ~ 65,000)	382 ~ 378	3 ~ 4
대(65,000 ~ 95,000)	378 ~ 373	4 ~ 5
최대(263,652)	348	11
기존안	393	0



(그림 4.11) 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템 총 장비동력 변화추이

4.4 시스템별 장비용량 비교평가

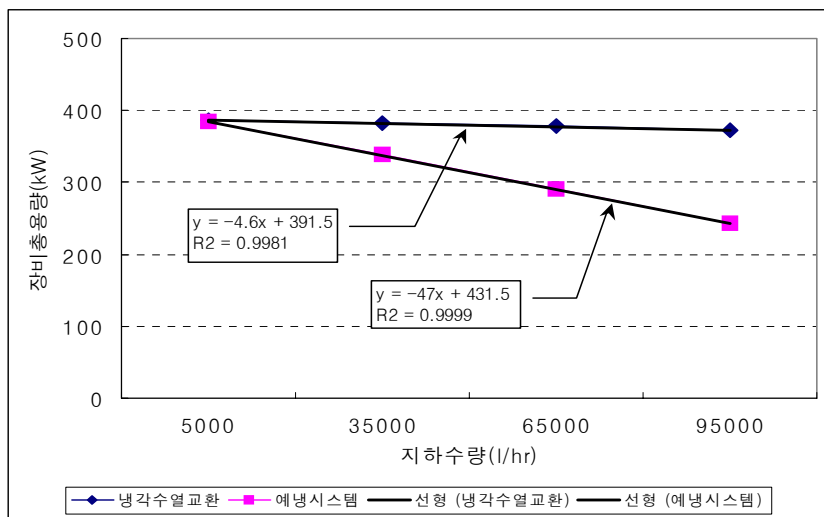
본 절에서는 이상 살펴 본 외기예냉 시스템과 냉각수 열교환 시스템의 지하수 방출량에 따른 장비용량 감소효과를 상호 비교함으로써 두 시스템간의 상대적인 성능을 평가하고자 하였다.

평가결과, 장비동력 측면에서 외기예냉 시스템이 적용될 경우 냉각수 열교환 시스템에 비해 지하수량이 ‘소’(5,000~35,000l/hr)에서 3~44kW, ‘중’(35,000~65,000l/hr)에서 44~86kW 및 ‘대’(65,000~95,000l/hr)에서 86~130kW의 감소효과가 더 있는 것으로 나타났다. 즉, 지하수 방출량이 증가할수록 외기예냉 시스템

이 냉각수 열교환 시스템에 비해 장비동력이 크게 감소함을 알 수 있었으며, 방출량이 30,000/hr 증가할 때마다 외기에냉 시스템이 냉각수 열교환 시스템에 비해 약 44 kW정도의 장비동력을 더 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 외기에냉 시스템을 사용할 경우 냉동기와 냉각탑의 동력을 동시에 감소시킬 수 있게 되지만, 냉각수 열교환 시스템을 사용할 경우 단지 냉각탑의 용량만을 감소시키는데 그 원인이 있다. <표 4.14>와 (그림 4.12)에 지하수 방출량에 따른 시스템별 최대 장비동력을 나타내고 있다.

<표 4.14> 지하수 방출량에 따른 시스템별 장비용량 비교

지하수량(//hr)	외기에냉시스템(kW)		냉각수열교환(kW)		시스템간의 동력 차 (kW)
	총 동력	절감동력	총 동력	절감동력	
소(5,000 ~ 35,000)	384 ~ 338	9 ~ 55	387 ~ 382	6 ~ 11	3 ~ 44
중(35,000 ~ 65,000)	338 ~ 291	55 ~ 102	382 ~ 378	11 ~ 15	44 ~ 86
대(65,000 ~ 95,000)	291 ~ 243	102 ~ 150	378 ~ 373	15 ~ 20	86 ~ 130
최대(128,820)	191	202	-	-	-
최대(263,504)	-	-	348	45	-
기준안	393	-	393	-	-



(그림 4.12) 지하수 방출량에 따른 시스템별 장비동력 변화추이 비교

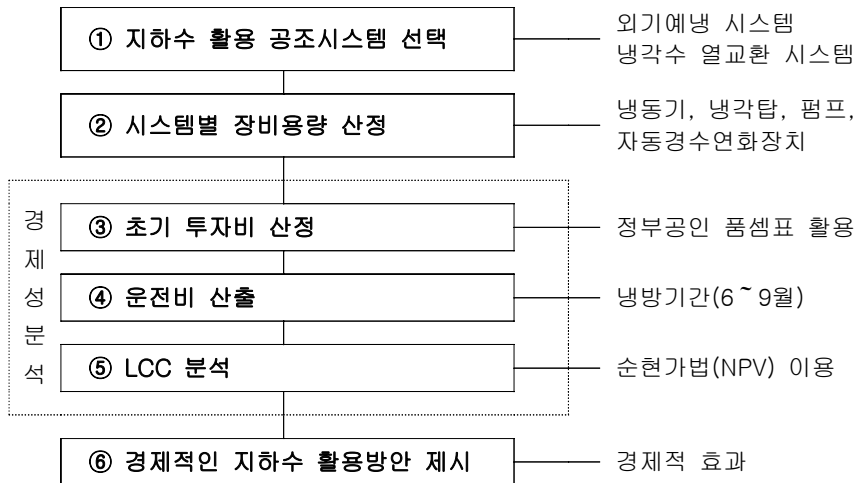
제 5 장 경제성 평가를 통한

지하철 역사의 지하수 활용방안 제시

본 장에서는 4장에서 분석한 지하수의 방출량에 따른 냉방시스템 장비용량 저감효과를 토대로, 기존의 지하수를 활용하지 않은 경우의 냉방시스템과 지하수를 활용한 외기에냉 시스템 및 냉각수 열교환시스템의 초기투자비 및 연간운전비용을 전생애평가(LCC: Life Cycle Cost) 기법 중 순현재가(NPV : Net Present Value)법을 이용하여 분석하였다.

5.1 초기투자비 산정 및 연간 운전비용 분석

본 절에서는 외기에냉 시스템과 냉각수 열교환 시스템에 있어서 시스템별 초기투자비를 산정하고, 4장에서 분석한 냉방시스템의 장비용량을 토대로 연간 운전비용을 계산하였다. 경제성 평가는 생애기간동안의 초기투자비와 운전비용을 토대로 순현재가법을 이용하여 수행되었으며, (그림 5.1)에 본 연구에서 수행된 경제성평가의 절차를 정리하였다.



(그림 5.1) 경제성평가 진행절차

5.1.1 초기투자비 산정

(1) 산정범위

4장에서의 냉동기 및 주변기기 장비용량 산정결과를 토대로 시스템별 초기투자비를 산출하였다. 기존 시스템과 지하수 활용 시스템의 비교를 위한 초기투자비 산정범위는 열원설비(냉동기, 냉각탑, 냉수 및 냉각수펌프)와 지하수 급수설비(지하수 급수펌프, 자동 경수연화장치)만으로 제한하였으며, 배관설비 및 공기조화기는 대상범위에서 제외하였다. 또한, 인건비, 각종 경비, 이윤 및 부가세 등은 고려하지 않았으며, 실제 사용된 장비 비용만을 산정범위로 하였다. 또한, 기존 지하철역사의 냉방부하 및 장비용량은 S역사의 기본설계보고서를 기준으로 하였으며, 장비 비용은 정부공인 품셈표¹⁾를 기준으로 산정하였다.

(2) 초기투자비 산출결과

<표 5.1>과 <표 5.2>에 외기예냉 시스템 및 냉각수 열교환 시스템의 초기투자비 산출결과를 나타내었다. 지하수 방출량에 따른 외기예냉 시스템 적용시 초기투자비의 투자비율을 적용 이전 시스템과 비교한 결과, 지하수 방출량 ‘소’(5,000~35,000l/hr)일 경우 102~94.3%의 범위로, 지하수 방출량이 5,000l/hr 전후일 때는 초기투자비가 기존 시스템에 비해 더 많이 소모되는 것으로 나타났다. 그러나, 지하수 방출량이 ‘중’(35,000~65,000l/hr)일 경우와 ‘대’(65,000~95,000l/hr)일 경우에는 각각 94.3~90.0% 및 90.0~86.7%로 기존 시스템 설치시의 소모비용보다 절감되는 것으로 나타났다. 이는 지하수 방출량이 적을 경우 냉방시스템 장비용량 저감효과에 비해 경수연화장치와 예냉코일의 설치비용이 더 많이 들기 때문으로 판단되며, 지하수의 방출량이 많을 경우 냉동기 및 주변 장비용량의 비용 절감액이 경수연화장치와 예냉코일의 추가설치 비용보다 더 크기 때문으로 판단된다.

1) www.jajae.co.kr

<표 5.1> 지하수 방출량에 따른 외기에냉 시스템 적용시 초기투자비

지하수량	장비명	용량	대수	초기투자비(단위:천원)
기존	냉동기	180(USRT)	2	84,240×2(대)=168,480
	냉각탑	197(RT)	2	27,000×2(대)=54,000
	냉수펌프	32(HP)	3	772×3(대)=2,316
	냉각수펌프	38(HP)	3	772×3(대)=2,316
	경수연화장치	-	-	-
	지하수급수펌프	-	-	-
	총 액			
5,000 //hr	냉동기	176(USRT)	2	84,240×2(대)=168,480
	냉각탑	193(RT)	2	27,000×2(대)=54,000
	냉수펌프	30(HP)	3	772×3(대)=2,316
	냉각수펌프	35(HP)	3	772×3(대)=2,316
	경수연화장치	5,000(//hr)	1	2,700×1(대)=2,700
	지하수급수펌프	3(HP)	3	315×3(대)=945
	총 액			
35,000 //hr	냉동기	151(USRT)	2	73,800×2(대)=147,600
	냉각탑	166(RT)	2	25,080×2(대)=50,160
	냉수펌프	27(HP)	3	706×3(대)=2,118
	냉각수펌프	31(HP)	3	706×3(대)=2,118
	경수연화장치	35,000(//hr)	1	10,640×1(대)=10,640
	지하수급수펌프	10(HP)	3	515×3(대)=1,545
	총 액			
65,000 //hr	냉동기	127(USRT)	2	72,000×2(대)=144,000
	냉각탑	139(RT)	2	20,080×2(대)=40,160
	냉수펌프	23HP)	3	650×3(대)=1,950
	냉각수펌프	27(HP)	3	650×3(대)=1,950
	경수연화장치	65,000(//hr)	1	14,320×1(대)=14,320
	지하수급수펌프	25(HP)	3	706×3(대)=2,118
	총 액			
95,000 //hr	냉동기	102(USRT)	2	68,640×2(대)=43,480
	냉각탑	111(RT)	2	17,740×2(대)=21,740
	냉수펌프	17(HP)	3	558×3(대)=1,674
	냉각수펌프	21(HP)	3	558×3(대)=1,674
	경수연화장치	95,000(//hr)	1	18,550×1(대)=18,550
	지하수급수펌프	30(HP)	3	772×3(대)=2,316
	총 액			

<표 5.2> 지하수 방출량에 따른 냉각수 열교환 시스템 적용시 초기투자비

지하수량	장비명	용량	대수	초기투자비(천원)
기존	냉동기	180(USRT)	2	84,240×2(대)=168,480
	냉각탑	197(RT)	2	27,000×2(대)=54,000
	냉수펌프	32(HP)	3	772×3(대)=2,316
	냉각수펌프	38(HP)	3	772×3(대)=2,316
	경수연화장치	-	-	-
	지하수급수펌프	-	-	-
	총 액			
5,000 //hr	냉동기	180(USRT)	2	84,240×2(대)=168,480
	냉각탑	193(RT)	2	27,000×2(대)=54,000
	냉수펌프	32(HP)	3	772×3(대)=2,316
	냉각수펌프	30(HP)	3	772×3(대)=2,316
	경수연화장치	5,000(//hr)	1	2,700×1(대)=2,700
	지하수급수펌프	3(HP)	3	315×3(대)=945
	총 액			
35,000 //hr	냉동기	180(USRT)	2	84,240×2(대)=168,480
	냉각탑	168(RT)	2	25,200×2(대)=50,400
	냉수펌프	32(HP)	3	772×3(대)=2,316
	냉각수펌프	26(HP)	3	606×3(대)=1,818
	경수연화장치	35,000(//hr)	1	10,640×1(대)=10,640
	지하수급수펌프	10(HP)	3	515×3(대)=1,545
	총 액			
65,000 //hr	냉동기	180(USRT)	2	84,240×2(대)=168,480
	냉각탑	144(RT)	2	23,580×2(대)=47,160
	냉수펌프	32(HP)	3	772×3(대)=2,316
	냉각수펌프	21(HP)	3	550×3(대)=1,650
	경수연화장치	65,000 (//hr)	1	14,320×1(대)=14,320
	지하수급수펌프	21(HP)	3	706×3(대)=2,118
	총 액			
95,000 //hr	냉동기	180(USRT)	2	84,240×2(대)=168,480
	냉각탑	119(RT)	2	21,740×2(대)=43,480
	냉수펌프	32(HP)	3	772×3(대)=2,316
	냉각수펌프	16(HP)	3	458×3(대)=1,374
	경수연화장치	95,000(//hr)	1	18,550×1(대)=18,550
	지하수급수펌프	31(HP)	3	772×3(대)=2,316
	총 액			

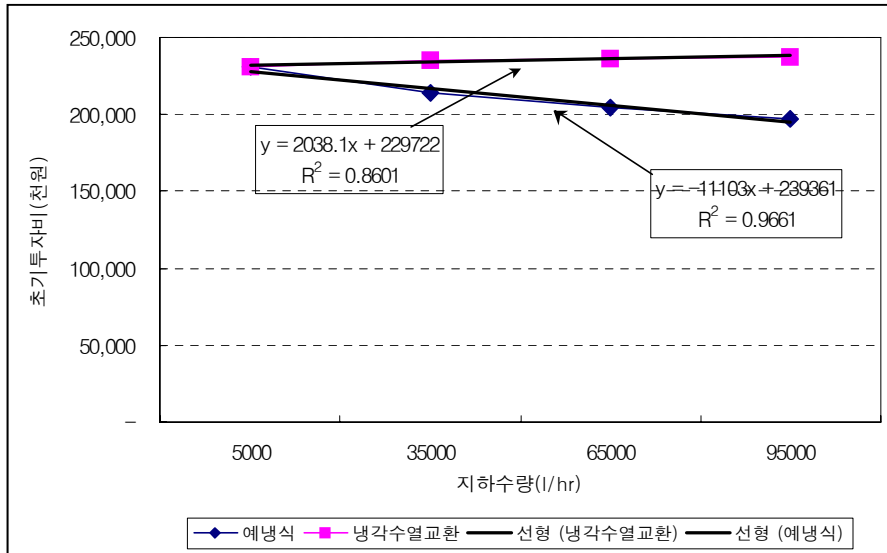
한편, 냉각수 열교환 시스템 적용시 초기투자비의 투자비율을 적용 이전 시스템과 비교한 결과, <표 5.3> 및 (그림 5.2)의 결과를 나타내었다. 즉, 지하수 방출량이 ‘소’(5,000~35,000l/hr)일 경우 102~103.56%, ‘중’(35,000~65,000l/hr)일 경우 103.56%~103.93%, ‘대’(65,000~95,000l/hr)일 경우 103.93~104.14%로 모든 범주에서 기존의 지하수 활용 이전 시스템보다 초기투자비가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 냉각탑 용량의 저감에 따른 비용절감에 비해 지하수 급수펌프와 자동경수연화장치의 초기시설 투자비의 비용이 더 크기 때문으로 판단된다.

또한, 지하수 방출량의 증가에 따른 시스템별 초기투자비 변화율을 분석하여 <표 5.3>과 (그림 5.2)에 정리하였다. <표 5.3>으로부터 외기에냉 시스템의 경우 방출량이 30,000l/hr 증가할 때마다 초기투자비는 약 4% 감소하는 반면, 냉각수 열교환 시스템은 방출량이 30,000l/hr 증가 할 때마다 약 0.5%증가함을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터 지하철 역사에서 지하수 활용 냉방시스템을 적용할 경우, 외기에냉 시스템이 초기투자비 측면에서 보다 유리함을 알 수 있었으며, 지하수의 방출량이 95,000l/hr일 경우 절감액은 약 3천만원임을 알 수 있었다.

<표 5.3> 지하수 방출량 범주에 따른 시스템별 초기투자비

분 류		외기에냉 시스템	냉각수 열교환 시스템
기 존	초기투자비(천원)	227,112	
	비율(%)	100%	
소(5,000~35,000 l/hr)	초기투자비(천원)	230,757 ~ 214,181	230,757~235,199
	비율(%)	101.60% ~ 94.31%	102%~103.56%
중(35,000~65000 l/hr)	초기투자비(천원)	214,181~204,498	235,199~236,044
	비율(%)	94.31%~90.04%	103.56%~103.93%
대(65,000~95,000 l/hr)	초기투자비(천원)	204,498~196,974	236,044~236,516
	비율(%)	90.04%~86.73%	103.93%~104.14%



(그림 5.2) 지하수량에 따른 시스템별 초기투자비 변화 추이

5.1.2 연간 운전비용 분석

(1) 산출조건

운전비용은 장비 및 시스템의 종류, 건물의 부하, 운전관리 상태에 따라 큰 차이를 나타낸다. 특히 지하철 역사는 일반 건물과는 달리 지하공간에 위치함에 따라 직접적으로 태양에 의한 일사의 영향이 없고, 벽체를 통한 열이동은 외기가 아닌 주변 토양과 이루어지는 부하특성을 가진다. 또한 지하철 역사 내의 발열은 조명이나 설비기기 외에도 열차의 전기장치 및 승객의 인체발열, 열차풍으로 인한 발열 등 부하의 특성이 일정하지 않은 복잡성을 가지므로 역사 냉방시스템의 운전동력 및 운전시간을 정확히 계산하는 것은 사실상 불가능한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 지하수 활용 시스템별 냉방에너지 소비량을 계산하는데 있어서 먼저 장비별 소요동력을 산출한 후 산출된 동력과 냉방기간의 운전시간을 곱함으로써 냉방기간의 소요동력을 계산하였다. 장비동력은 4장에서 산정된 지하수 방출량에 따른 값을 사용하였으며, 역사의 냉방 운전시간은 냉방기간인

6~9월의 열차 운행시간으로 가정하여 4개월간 1,440시간²⁾³⁾을 사용하였다. 또한, 지하철 역사의 전기요금체계⁴⁾는 ‘산업용전력(갑) : 계약전력 300kW 미만의 선택(Ⅱ) 요금’으로 적용하였다. <표 5.4>에 적용된 전기요금체계를 나타내었다.

<표 5.4> 산업용 전력(갑) : 계약전력 300kW 미만의 요금체계⁵⁾

구분	기본요금 (원/kW)	전력량요금(원/kWh)		
		여름철 (7~8월)	봄, 가을철 (4~6,9월)	겨울철 (10~3월)
저압전력	4,240	65.10	49.10	52.90
선택(Ⅰ) 요금	4,490	64.80	48.90	52.50
	4,140	63.90	48.10	51.70
선택(Ⅱ) 요금	5,170	61.40	45.50	49.10
	4,790	60.60	44.80	48.40

(2) 산출결과

<표 5.5>에 냉방기간의 시스템별 운전비용 산출결과를 나타내었으며, <표 5.6>과 (그림 5.3)에 방출량 범주별 운전비용을 기존 시스템과 비교하여 분석하였다. 분석결과, 지하수 방출량에 따른 외기예냉 시스템 운전비용 비율은 방출량이 ‘소’(5,000~35,000l/hr)일 경우 기존 시스템에 비해 98~86%. ‘중’(35,000~65,000l/hr)일 경우 86~74% 및 ‘대’(65,000~95,000l/hr)일 경우 74~62%인 것으로 나타났으며, 냉각수 열교환 시스템의 경우 방출량 ‘소’(5,000~35,000l/hr)일 경

2) 조울연, 서울2기 지하철의 설비운영현황, 공기조화·냉동공학, 제27권 제2호, 1998

3) 역사의 냉방시스템 운전시간은 현재 역사에서의 냉방스케줄에 의해 계산되었으며, 냉방기간 4개월(6~9월)동안 열차의 운행시간(5~21시)을 기준으로 냉방스케줄(45분on/15분off)에 따라 계산하였다.

냉방시스템의 운전시간은 4개월×30일×16시간×0.75=1,440시간이다.

4) 서울시 도시철도공사 실무자와의 면담을 통해 현재 지하철 역사에서의 전력요금체계를 확인한 결과, ‘산업용전력(갑):계약전력 300kW미만의 선택(Ⅱ)요금’이 적용되는 것으로 나타났다.

5) http://www.kepco.co.kr/cyber/cyber3_4.html

우 99~98%, ‘중’(65,000~95,000l/hr)일 경우 98~96% 및 ‘대’(65,000~95,000l/hr)일 경우 96~95%로 나타났다.

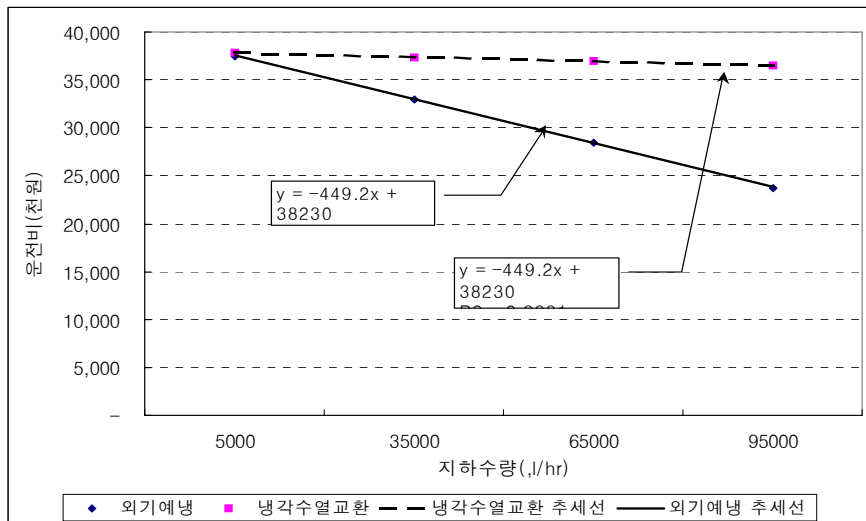
<표 5.5> 냉방기간동안의 운전비용 산출결과

분류		기본요금	사용 전력량요금
기존 시스템		393kw×5,170원×4개월 =8,127,240(원)	393kw×12시간×30일×(61.40원×2개월 +45.50원×2개월)=30,248,474(원)
		운전비	38,375,664(원)
예 냉 시 스 템	5,000 //hr	384kw×5,170원×4개월 =7,941,120(원)	384kw×12시간×30일×(61.40원×2개월 +45.50원×2개월)=29,555,712(원)
		운전비	=37,496,832(원)
	35,000 //hr	338kw×5,170원×4개월 =6,989,840(원)	338kw×12시간×30일×(61.40원×2개월 +45.50원×2개월)=26,015,184(원)
		운전비	33,005,024(원)
	65,000 //hr	291kw×5,170원×4개월 =6,017,880(원)	291kw×12시간×30일×(61.40원×2개월 +45.50원×2개월)=22,397,688(원)
		운전비	28,415,568(원)
	95,000 //hr	243kw×5,170원×4개월 =5,025,240(원)	243kw×12시간×30일×(61.40원×2개월 +45.50원×2개월)=18,703,224(원)
		운전비	23,728,464(원)
냉 각 수 열 교 환 시 스 템	5,000 //hr	387kw×5,170원×4개월 =8,003,160(원)	387kw×12시간×30일×(61.40원×2개월 +45.50원×2개월)=29,786,616(원)
		운전비	37,789,776(원)
	35,000 //hr	382kw×5,170원×4개월 =7,899,760(원)	382kw×12시간×30일×(61.40원×2개월 +45.50원×2개월)=29,401,776(원)
		운전비	37,301,536(원)
	65,000 //hr	378kw×5,170원×4개월 =7,817,040(원)	378kw×12시간×30일×(61.40원×2개월 +45.50원×2개월)=29,093,904(원)
		운전비	36,910,944(원)
	95,000 //hr	373kw×5,170원×4개월 =7,713,640(원)	373kw×12시간×30일×(61.40원×2개월 +45.50원×2개월)=28,709,064(원)
		운전비	36,422,704(원)

<표 5.5>로부터 지하수 방출량의 증가에 따른 시스템별 운전비 절감비율을 분석해 본 결과, 지하수량이 30,000l/hr증가할 때마다 외기에냉 시스템의 경우 약 12%, 냉각수 열교환 시스템은 약 1%씩 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 본 연구에서 범주화된 지하수량 중 95,000l/hr의 외기에냉 시스템을 사용할 경우 기준안에 비해 운전비 절감액이 가장 큼을 알 수 있었으며, 이 때의 절감액은 약 14,650,000원으로 나타났다.

<표 5.6> 지하수량 분류에 따른 시스템별 운전비 및 절감비율

분류		외기에냉 시스템	냉각수열교환 시스템
기준	운전(천원)	38,376	
	비율(%)	100%	
소(5,000~35,000 l/hr)	운전비(천원)	37,497~33,005	37,790~37,302
	비율(%)	98 ~ 86%	98 ~ 97%
중(35,000~65000 l/hr)	운전비(천원)	33,005~28,416	37,302~36,911
	비율(%)	86 ~ 74%	97 ~ 96%
대(65,000~95,000 l/hr)	운전비(천원)	28,416~23,728	36,911~36,423
	비율(%)	74 ~ 62%	96 ~ 95%



(그림 5.3) 지하수 방출량에 따른 시스템별 운전비용 변화 추이

5.2 순현가법을 이용한 전생애평가

본 절에서는 LCC 평가기법 중 순현가법을 이용하여 지하수 활용 냉방시스템 별 경제성을 평가함으로써 생애기간동안 발생하는 비용 측면에서의 시스템별 효과를 분석하고자 하였다.

경제성 평가에서는 냉각탑과 냉동기의 내구연한을 15년으로 가정하였고, 냉수 및 냉각수펌프, 지하수 급수펌프, 경수연화장치의 내구연한은 10년으로 가정하였다. 또한, 유지보수율은 10%, 보수기간은 10년으로 하여 LCC 누적분포를 통해 지하수 활용 외기에냉 시스템과 냉각수 열교환 시스템의 기존 시스템에 대한 투자회수기간을 산정하였으며, 계산에 필요한 실질할인율은 금리자유화 이후인 1993년부터 2000년까지의 평균치 4.5%를 적용하였다.

<표 5.7>에 1993년부터 2000년까지의 한국은행과 통계청 자료에 의한 이자율(정기예금금리)과 물가상승율에 따른 연도별 실질할인율을 정리하였으며, <표 5.8>에 장비별 내구연한을 나타내었다.

<표 5.7> 이자율과 물가상승율에 따른 연도별 실질할인율⁶⁾

연 도	이 자 율	소비자물가지수	물가상승율	실질할인율
1993	8.5%	90.1	4.8%	3.53%
1994	9.3%	95.7	6.2%	2.92%
1995	8.8%	100.0	4.5%	4.11%
1996	9.8%	104.9	4.9%	4.67%
1997	12.6%	109.6	4.5%	7.75%
1998	9.1%	117.8	7.5%	1.49%
1999	8.0%	118.8	0.8%	7.14%
2000	7.3%	121.5	2.3%	4.89%
1993-2000년 평균	9.18%	107.30	4.44%	4.5%

* 주: 소비자물가지수는 1995년을 100으로 기준한 것임.

6) LCC기법에 의한 도로포장형식의 경제성 분석에 관한 연구, 권석현, 중앙대학교 석사학위논문, 2000, p.37

<표 5.8> 국내 기자재별 내구연한⁷⁾

(단위 : 년)

장 비 명	내구연한
압축식냉동기	15
경수연화장치	11
냉각탑	15~20
AHU	15~20
볼류트펌프	9

5.2.1 외기에냉 시스템

외기에냉시스템은 기존 시스템에 비해 초기투자비와 운전비가 저렴한 것으로 나타났다. 따라서 외기에냉 시스템에 있어서 LCC 누적분석(실질할인율 : 4.5%, 생애주기 : 15년)을 통해 기존 시스템에 대한 투자회수기간을 산정한 결과, 지하수 방출량이 5,000~35,000l/hr인 경우 약 6년이 소요되는 것으로 나타났다. 그러나, 방출량이 35,000~65,000l/hr의 경우 투자 원년부터 기존 시스템에 비해 비용 절감효과가 나타나는 것으로 분석되었다.

<표 5.9>와 <그림 5.4>에 외기에냉 시스템의 LCC 누적분석의 결과를 나타내었으며, 냉동기와 경수연화장치의 내구연한이 15년인 반면, 펌프는 내구연한이 10년이므로 10년째 누적비용이 갑자기 증가하나 지하수량에 상관없이 기존안에 비해 경제적인 것으로 나타났다.

7) 김남규, 사무소 건물 설비시스템의 통합적 성능개선 방법에 관한 연구, 중앙대학교 박사학위논문, 2000, p.89.

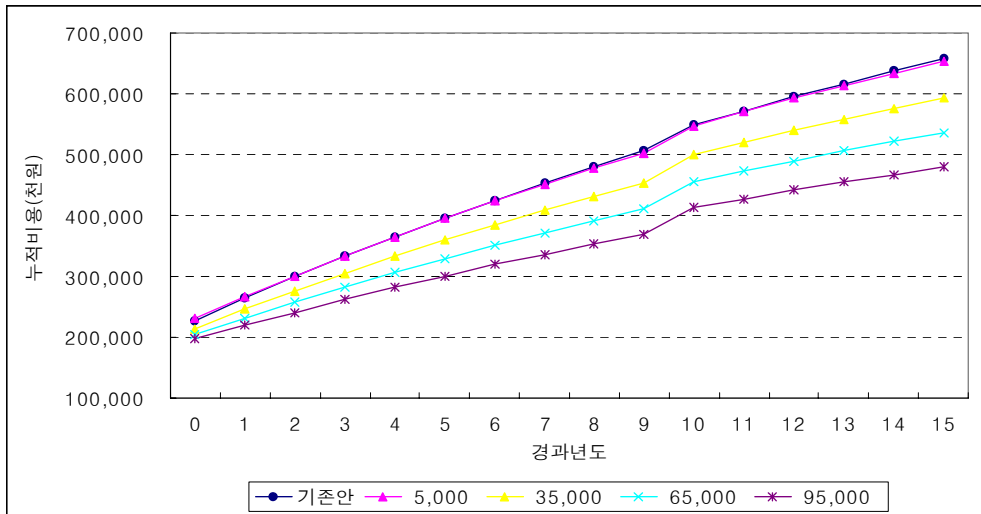
<표 5.9> 외기예냉 시스템의 LCC 누적분석 결과

(단위 : 천원)

지하수량 (/hr)	원년	1년	2년	3년	4년	5년	6년	7년
기존안	227,112	263,834	298,976	332,604	364,783	395,577	425,045	453,244
5,000	230,757	266,638	300,975	333,832	365,275	395,364	424,157	451,710
35,000	214,181	245,765	275,988	304,911	332,587	359,072	384,417	408,670
65,000	204,498	231,689	257,710	282,610	306,438	329,239	351,059	371,939
95,000	196,674	219,380	241,109	261,901	281,799	300,839	319,060	336,496

지하수량 (/hr)	8년	9년	10년	11년	12년	13년	14년	15년
기존안	480,229	506,052	548,370	572,016	594,645	616,299	637,020	656,849
5,000	478,076	503,308	547,641	570,746	592,856	614,014	634,260	653,635
35,000	431,878	454,087	499,706	520,043	539,505	558,129	575,951	593,005
65,000	391,920	411,041	455,602	473,111	489,866	505,900	521,243	535,926
95,000	353,181	369,148	412,683	427,304	441,296	454,685	467,497	479,758

* 음영부위는 투자회수기간을 표시



(그림 5.4) 외기예냉 시스템의 LCC 누적분석 결과

5.2.2 냉각수 열교환 시스템

냉각수 열교환 시스템은 자동 경수연화장치와 지하수 급수펌프의 설치로 기존 시스템에 비해 초기투자비는 증가하지만 냉각탑의 장비용량 감소로 운전비는 감소하게 된다. LCC 누적분석(실질할인율 : 4.5%, 생애주기 : 15년)을 통해 기존 시스템에 대한 투자회수기간을 산정한 결과, 지하수 방출량이 5,000l/hr일 경우 8년, 35,000l/hr일 경우 9년, 65,000l/hr일 경우 8년 및 95,000l/hr일 경우 6년으로 계산되었다.

여기서, 35,000l/hr 이상의 경우 지하수량이 증가할수록 투자회수 기간이 줄어들지만, 5,000l/hr의 경우에서 투자회수기간이 오히려 늘어난 이유는 경수연화장치의 초기투자비 차이에 기인하는 것으로, 경수연화장치의 초기투자비가 35,000l/hr에서 65,000l/hr의 용량으로 증가할 경우 10,640,000원에서 14,320,000원 정도의 초기투자비 차이가 나는 반면, 5,000l/hr에서 35,000l/hr로 증가할 경우에는 2,700,000원에서 10,640,000원으로 초기투자비용이 급격히 커지기 때문이다.

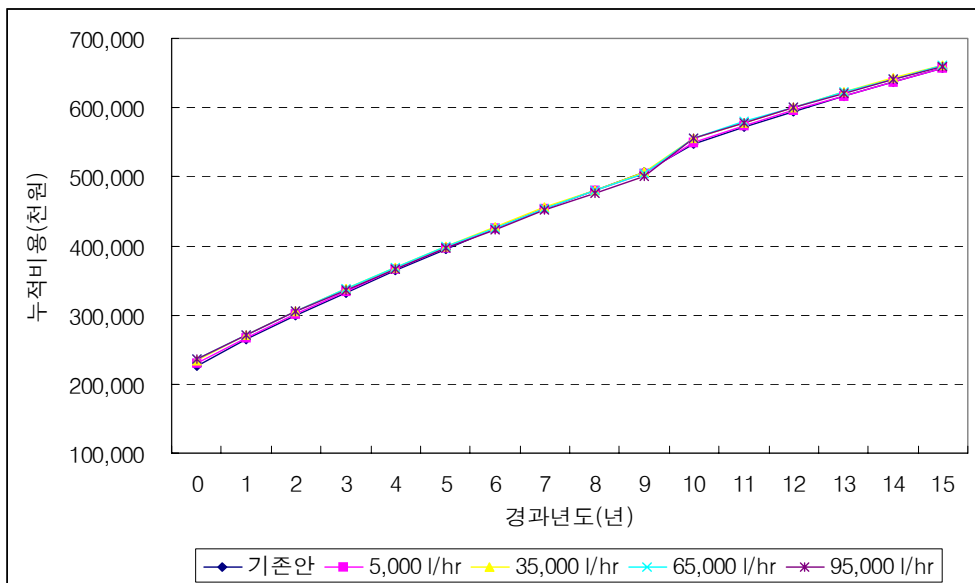
<표 5.10>과 (그림 5.5)에 시스템의 LCC 누적분석 결과를 나타내었다. 외기에 냉 시스템에서와는 달리 냉동기와 경수연화장치의 내구연한이 15년인 반면, 펌프는 내구연한이 10년임에 따라 생애주기 15년 범위내에 펌프교체와 유지관리로 인해 10년 이후에는 지하수량 방출량에 상관없이 기존시스템에 비해 비용손실이 일어나는 것을 (그림 5.5)의 기울기 변화로부터 알 수 있다.

<표 5.10> 냉각수 열교환 시스템의 LCC 누적분석 결과

(단위 : 천원)

지하수량 (l/hr)	원년	1년	2년	3년	4년	5년	6년	7년
기존안	227,112	263,834	298,976	332,604	364,783	395,577	425,045	453,244
5,000	230,757	266,919	301,523	334,638	366,326	396,650	425,668	453,436
35,000	235,119	270,814	304,971	337,658	368,937	398,870	427,513	454,923
65,000	236,044	271,365	305,164	337,508	368,460	398,078	426,421	453,544
95,000	236,516	271,370	304,722	336,639	367,181	396,408	424,376	451,140
지하수량 (l/hr)	8년	9년	10년	11년	12년	13년	14년	15년
기존안	480,229	506,052	548,370	572,016	594,645	616,299	637,020	656,849
5,000	480,009	505,437	549,960	573,245	595,528	616,851	637,256	656,783
35,000	481,152	506,252	555,919	578,904	600,899	621,947	642,088	661,362
65,000	479,498	504,335	556,440	579,184	600,949	621,776	641,706	660,779
95,000	476,751	501,260	556,288	578,731	600,208	620,760	640,427	659,247

* 음영부위는 투자회수기간을 표시



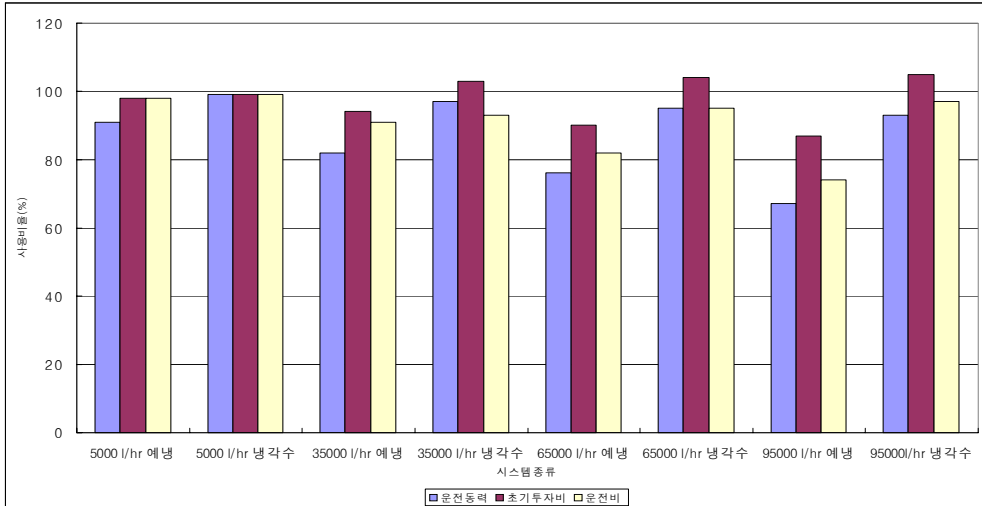
(그림 5.5) 냉각수 열교환 시스템의 LCC 누적분석 결과

5.3 경제성 평가를 통한 지하철 역사의 지하수 활용방안

이상의 경제성 분석결과를 통해 본 절에서는 두 시스템을 초기투자비와 운전 비용에 따른 투자회수기간 측면에서 비교함으로써 지하철 역사에서의 경제적인 지하수 활용방안을 제안하고자 하였다.

<표 5.11> 시스템별 경제성 분석결과 비교분석

지하수량	시스템	항목	초기 투자비	운전비	투자 회수기간 (년)
	기존안	비용(천원)	227,112	38,375	-
		사용비율(%)	100%	100%	
5,000 l/hr	예냉시스템	비용(천원)	230,757	37,496	6
		사용비율(%)	101.60%	97.7%	
	냉각수열교환시스템	비용(천원)	230,757	37,789	8
		사용비율(%)	101.60%	98.47%	
35,000 l/hr	예냉시스템	비용(천원)	214,181	33,005	-
		사용비율(%)	94.31%	86.00%	
	냉각수열교환시스템	비용(천원)	235,199	37,301	9
		사용비율(%)	103.56	97.20%	
65,000 l/hr	예냉시스템	비용(천원)	204,498	28,415	-
		사용비율(%)	90.04%	74.04%	
	냉각수열교환시스템	비용(천원)	236,044	36,910	8
		사용비율(%)	103.93	96.18%	
95,000 l/hr	예냉시스템	비용(천원)	196,974	23,728	-
		사용비율(%)	86.73%	61.83%	
	냉각수열교환시스템	비용(천원)	236,516	36,422	6
		사용비율(%)	104.14	94.91%	



(그림 5.6) 시스템별 경제성 분석결과 비교분석

<표 5.11>과 (그림 5.6)은 두 시스템에 대한 경제성 비교 분석결과를 나타내며, 결과는 다음과 같다.

첫째, 기존시스템에 대한 초기투자비율로 비교 분석한 결과, 외기에냉 시스템은 지하수량 35,000~95,000l/hr의 범위에서 94~86% 감소하는 반면, 냉각수열교환 시스템은 103~104% 증가하는 것으로 나타났다.

둘째, 기존시스템에 대한 운전비 저감율을 분석한 결과, 외기에냉 시스템은 지하수량 35,000~95,000l/hr 범위에서 97~61%의 큰폭의 저감율을 나타낸 반면, 냉각수열교환 시스템은 3~1%의 소폭의 저감율을 나타내었다.

셋째, 기존시스템에 대한 투자회수기간 분석결과, 지하수량 35,000~95,000l/hr 범위내에 외기에냉 시스템은 10년이내에 투자회수가 가능하고, 교체비용에 상관없이 경제적인 것으로 나타난 반면, 냉각수열교환 시스템은 10년 이내 투자회수가 이루어지나, 냉수 및 냉각수펌프 교체 이후 비용손실이 일어나는 것으로 나타났다.

따라서, 외기예냉 시스템이 냉각수 열교환 시스템에 비해 지하수 방출량이 증가할수록 초기투자비와 운전비 측면에서 더욱 많은 비용이 절감됨을 알 수 있고, 지하철 역사에 있어서 지하수를 활용한 냉방시스템을 선정할 경우에는 외기예냉 시스템이 냉각수 열교환 시스템에 비해 보다 경제적이고 효율적인 것으로 판단된다.

제 6 장 결 론

본 연구에서는 현재 서울 지하철역사의 지하수 방출량을 조사, 분석하여 그 양을 3단계로 범주화함으로써 지하철 역사에서의 지하수 활용시 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다. 이후, 지하철 역사의 냉방시스템에 지하수를 활용하였을 경우 지하수 방출량에 따른 냉방에너지 절감효과를 분석하고 이를 경제적인 측면에서 평가함으로써 지하철 역사에서의 경제적인 지하수 활용방안을 제시하고자 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 지하수가 방출되는 163개 역사의 224개 집수정을 대상으로 냉방기인 3/4분기 동안의 지하수 방출량을 조사한 결과, 약 60%의 역사는 10,000(l/hr) 이하의 방출량 범위에 분포하고 있어 지하수 방출량이 상대적으로 적은 역사가 다수 존재함을 알 수 있었지만, 약 40%의 역사에서는 10,000(l/hr) 이상의 많은 양의 지하수를 방출하고 있음을 알 수 있었다. 또한, 30,000(l/hr)의 범위를 기본단위로 범주화한 결과, 소용량(5,000~35,000l/hr)의 범주에 14개 역사, 중용량의 범주에 14개 역사 및 소용량의 범주에 46개 역사가 포함됨을 확인할 수 있었다.

(2) 지하수 활용 외기에 냉 시스템의 총 장비용량(RT) 감소비율을 계산한 결과, 지하수 방출량이 '소'(5,000~35,000l/hr)일 경우 2~16%, '중'(35,000~65,000l/hr)일 경우 16~30% 및 '대'(65,000~95,000l/hr)일 경우 30~44% 감소하는 것으로 나타났으며, 방출량이 30,000l/hr 증가할수록 장비용량은 14%씩 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한, 설계기준 도입외기 전량을 예냉할 수 있는 지하수량 128,820l/hr이 방출될 경우, 기존의 장비용량에 비해 약 59%를 저감할 수 있는 것으로 나타났다.

(3) 지하수를 활용한 냉각수 열교환 시스템의 장비 총 용량(RT)을 기존 시스템과 비교한 결과, 지하수 방출량이 '소'(5,000~35,000l/hr)일 경우 2~15%, '중'(35,000~65,000l/hr)일 경우 15~27% 및 '대'(65,000~95,000l/hr)일 경우 기존

안에 비해 27~40% 감소하는 것으로 나타났으며, 지하수량이 30,000l/hr 증가할 때마다 총 장비용량이 약 13%씩 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 냉동기에서 발생하는 전량의 부하를 처리하기 위해서는 263,652l/hr의 지하수량이 필요하게 되며, 이러한 양이 방출될 경우 냉각탑의 사용없이도 냉방운전이 가능함을 알 수 있었다.

(4) 외기예냉 시스템과 냉각수 열교환 시스템의 지하수방출량에 따른 장비동력 (kW) 감소효과를 상호 비교한 결과, 장비동력 측면에서 외기예냉 시스템이 적용될 경우 냉각수 열교환 시스템에 비해 지하수량이 '소'(5,000~35,000l/hr)에서 3~44kW, '중'(35,000~65,000l/hr)에서 44~86kW 및 '대'(65,000~95,000l/hr)에서 86~130kW의 저감효과가 더 있는 것으로 나타났다.

(5) 외기예냉 시스템에 있어서 LCC 누적분석(실질할인율 : 4.5%, 생애주기 : 15년)을 통해 기존 시스템에 대한 투자회수기간을 산정한 결과, 지하수 방출량이 5,000~35,000l/hr인 경우 약 6년이 소요되는 것으로 나타났다. 그러나, 방출량이 35,000~65,000l/hr의 경우 투자 원년부터 기존 시스템에 비해 비용절감효과가 나타나는 것으로 분석되었다.

(6) 냉각수 열교환 시스템에 있어서 LCC 누적분석(실질할인율 : 4.5%, 생애주기 : 15년)을 통한 기존 시스템에 대한 투자회수기간 산정결과, 지하수 방출량이 5,000l/hr일 경우 8년, 35,000l/hr일 경우 9년, 65,000l/hr일 경우 8년 및 95,000l/hr일 경우 6년으로 분석되었다.

이상의 연구결과로부터 지하철 역사에 있어서의 지하수를 활용한 냉방시스템을 선정할 경우에는 외기예냉 시스템이 냉각수 열교환 시스템에 비해 보다 경제적이고 효율적인 것으로 판단된다.

연구의 한계 및 제언

본 연구는 지하수량에 따른 냉동기 및 냉각탑의 용량을 선정하는 최대부하의 개념만을 고려한 것으로 추후 계절변화에 따른 지하수량과 외기온도와의 관계를 고려한 기간부하와 이를 토대로 한 연간 에너지 소비량에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[단행본]

1. 김영호, 건축설비, 보문당, 1992.
2. 김진천, 축열식공조시스템, 신기술, 1999.
3. 김진옥 외 11인역, 현대공업경제학, 경문사, 2000.
4. 유동렬, 건축설비계획, 문운당, 1997.
5. 이기복. 地下水 핸드북, 과학기술.1999.
6. 진호근, 공기조화 난방설비의 이론과 설계, 대광서림.1995.
7. 함효준, 경제성공학, 동현출판사, 1998.

[학술 및 학위논문]

1. 권석현, LCC기법에 의한 도로포장형식의 경제성 분석에 관한 연구, 중앙대 석사학위논문, 2000.
2. 김광춘, 경제성 분석에 의한 사무소건물의 건축규모 결정에 관한 연구, 서울대 석사학위논문, 1997.
3. 김남규, 사무소 건물 설비시스템의 통합적 성능개선 방법에 관한 연구, 중앙대 박사학위논문, 2000.
4. 김동석, 건물 냉열원으로서의 연못 활용 가능성에 대한 연구, 서울대 석사학위논문, 2000.
5. 김홍민, 지하철 온열화현상 및 환경기준, 냉동공조기술, Vol.8, No.6.
6. 연창근, 해수를 이용한 냉각수 시스템의 적용 사례, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2001.
7. 조율연, 서울2기 지하철의 설비운영현황, 공기조화·냉동공학, 제27권 제2호, 1998.
8. 차철현. 지하철의 열차풍이 정거장내 공기환경에 미치는 영향에 관한연구. 한양대 석사학위논문. 1995.
9. 한상태, 지하철 발생 지하수의 활용방안, 냉동공조기술, Vol.9, No.9, 1992.

[연구보고서]

1. 건설교통부, 지하철구간의 환경관리방안 및 오염도 저감에 관한 연구, 1차년도 중간보고서, 한국건설기술연구원, 2000.
2. 서울지하철 7호선 정차장 시설설계, 부하 및 장비계산서, S역사, 1991.
3. 통상산업부, 도시미활용에너지 이용 열펌프시스템 개발에 관한 최종보고서 - 하수열원 열펌프 시스템 개발을 중심으로, 통상산업부, 1997.
4. 통상산업부, 지하철 폐열이용 지역열병합시스템의 도입 타당성 연구에 관한 최종보고서, 1997.
5. 한국지질자원연구원, 지하수 오염방지 및 응용화 기술연구-서울지역, 1995.

[국외서적]

1. ASHRAE, ASHRAE Handbook, Heating, Ventilating, and Air Conditioning APPLICATION, 1995.
2. Department Of Transportation, Subway Environmental Design Handbook, 1976.

[Web-Sites]

1. <http://www.hani.co.kr/section-005100007/2001/12/005100007200112182258034.html>
2. <http://www.jajae.co.kr>
3. http://www.kepco.co.kr/cyber/cyber3_4.html
4. <http://www.metro.seoul.kr/kor/friend/2/8/8.html>
5. <http://www.metro.seoul.kr/kor/seoulnews/citynews/new221/221-8.html>
6. <http://www.munhwa.co.kr/munhwa/20000710/A29000801.html>

국 문 초 록

경제성 평가를 통한 지하철 역사의 지하수 활용방안에 관한 연구

중앙대학교 대학원

건축학과 건축계획 및 환경전공

양 치 용

현재 일반 지상건물의 경우, 건물 주위에서 방출되는 지하수를 열원으로 활용하여 건물의 에너지 소비량을 절감하는 노력이 이루어지고 있지만, 상대적으로 다량의 지하수를 가지고 있는 지하철 역사의 경우, 그 활용이 극히 저조한 실정이다. 따라서, 지하철 역사의 냉방시스템에 지하수를 활용하였을 경우 지하수 방출량에 따른 냉방에너지 절감효과를 분석하고 이를 경제적인 측면에서 평가함으로써 지하철 역사에서의 경제적인 지하수 활용방안을 제시하고자 하였다.

본 연구를 통해 얻은 결과를 요약해 보면 다음과 같다.

(1) 지하수가 방출되는 163개 역사의 224개 집수정을 대상으로 지하수 방출량 30,000l/hr의 범위를 기본단위로 범주화한 결과, 소용량(5,000~35,000l/hr)의 범주에 14개 역사, 중용량의 범주에 14개 역사 및 소용량의 범주에 46개 역사가 포함됨을 확인할 수 있었다.

(2) 지하수 활용 외기에 냉 시스템의 총 장비용량 감소비율을 계산한 결과, 지하수 방출량이 '소'(5,000~35,000l/hr)일 경우 2~16%, '중'(35,000~65,000l/hr)일 경우 16~30% 및 '대'(65,000~95,000l/hr)일 경우 30%~44% 감소하는 것으로 나타났다. 방출량이 30,000l/hr 증가할수록 장비용량은 약 14%씩 감소하는 것을 알 수 있었다.

(3) 지하수를 활용한 냉각수 열교환 시스템의 장비 총 용량을 기존 시스템과 비교한 결과, 지하수 방출량이 '소'(5,000~35,000l/hr)일 경우 2~15%, '중'(35,000~65,000l/hr)일 경우 15~27% 및 '대'(65,000~95,000l/hr)일 경우 기존안에 비해 27~40% 감소하는 것으로 나타났으며, 지하수량이 30,000l/hr 증가할 때마다 총 장비용량이 약 13%씩 감소하는 것으로 나타났다.

(4) 외기예냉 시스템과 냉각수 열교환 시스템의 지하수방출량에 따른 장비용량 감소효과를 상호 비교한 결과, 장비용량 측면에서 외기예냉 시스템이 적용될 경우 냉각수 열교환 시스템에 비해 지하수량이 '소'(5,000~35,000l/hr)에서 3~44kW, '중'(35,000~65,000l/hr)에서 44~86kW 및 '대'(65,000~95,000l/hr)에서 86~130kW의 저감효과가 더 있는 것으로 나타났다. 즉, 지하수 방출량이 증가할수록 외기예냉 시스템이 냉각수 열교환 시스템에 비해 장비용량의 저감율이 큼을 알 수 있었다.

(5) 외기예냉 시스템에 있어서 LCC 누적분석(실질할인율 : 4.5%, 생애주기 : 15년)을 통해 기존 시스템에 대한 투자회수기간을 산정한 결과, 지하수 방출량이 5,000~35,000l/hr인 경우 약 6년이 소요되는 것으로 나타났다. 그러나, 방출량이 35,000~65,000l/hr의 경우 투자 원년부터 기존 시스템에 비해 비용절감효과가 나타나는 것으로 분석되었다.

(6) 냉각수 열교환 시스템에 있어서 LCC 누적분석(실질할인율 : 4.5%, 생애주기 : 15년)을 통한 기존 시스템에 대한 투자회수기간 산정결과, 지하수 방출량이 5,000l/hr일 경우 8년, 35,000l/hr일 경우 9년, 65,000l/hr일 경우 8년 및 95,000l/hr일 경우 6년으로 분석되었다.

이상의 연구결과로부터 지하철 역사에 있어서의 지하수를 활용한 냉방시스템을 선정할 경우에는 냉각수 열교환 시스템보다는 외기예냉 시스템이 보다 경제적이고 효율적인 것으로 판단된다.

ABSTRACT

A Study on the Utilization of Underground Water in Subway Stations based on Economic Analysis

Yang, Chi-Yong
Dept. of Architecture
The Graduate School
Chung-Ang University
Advised by Prof. Rhee, Eon-Ku.

Underground water generated in subway stations can be reused as the energy source for cooling systems in subway stations, and the effect of cooling systems using underground water on energy saving can be larger than that of existing systems. Although this potential advantage is obtained by applying underground water to a existing cooling system, and much underground water is generated in subway stations in Seoul, it is reported that the rate of using the underground water in a cooling system is small.

This study categorized the generation rate of the underground water in subway stations in Seoul. This categorized generation rate will be used as the fundamental data to study the underground water cooling systems. Next, when underground water is applied to the cooling system, the energy saving potential is analyzed, according to the generation rate of underground water in subway station. Finally, based on the analysis of energy saving potential, the economic evaluation is conducted using NPV(Net Present Value) method, one of the LCC(Life Cycle Cost) analysis method. Through this process, more efficient and economic underground water application method for the cooling systems in subway stations was suggested.

The results of this study can be summarized as follows.

(1) The underground water generation rate in Seoul subway stations was

categorized based on the amount of underground water. 46 stations, 14 stations and 14 stations are classified as little(5,000~35,000l/hr), medium(35,000~65,000l/hr) and much(65,000~95,000l/hr), respectively.

(2) Outdoor air precooling system using underground water can cut down the size(RT) of cooling equipment, such as chiller, cooling tower. The ranges of reduced value were identified as category little, category medium and category is 2-16%, 16-30% and 30~44%, respectively.

(3) Cooling water heat exchange system using underground water also can cut down the size(RT) of cooling tower. The ranges of reduced value were identified as category little, category medium and category is 2-15%, 15-27% and 27~40%, respectively.

(4) When the effect of power reduction(kW) between two systems using underground water was compared, more underground water is generated, higher cut down effect is obtained. However, the amount of power reduction in outdoor air precooling system is higher than cooling water heat exchange system.

(5) According to the result of LCC analysis, the calculated payback period for the outdoor air precooling system that category little is applied is about 6 years. However, when other categories is applied, the payback period shows that the cost saving effects occur since the origin year of the system application.

(6) In cooling water heat exchange system, the calculated payback period is about 9 years, about 8 years, and about 6 years for category little, category medium and category much, respectively.

From the results of this study, when the cooling system using underground water in subway station is employed, outdoor air precooling system is more economic and efficient than cooling water heat exchange system.

<감사의 글>

이 짧은 글로 감사의 마음을 대신할 순 없겠지만, 조그마한 결실을 맺을 수 있게 도와주신 모든 분들께 진심으로 감사 드립니다.

항상 지난 2년 동안 자상하신 가르침으로 모든 길을 일러주시고 올바른 학문의 길로 인도해주신 이언구 교수님께 감사 드립니다. 그리고 항상 관심을 두시고 논문의 허술함을 지적해 주신 박찬식 교수님, 송국섭 교수님께도 감사말씀을 전합니다.

논문을 쓸 때뿐만 아니라 모든 일에 도움을 주신 분들이 너무 많습니다. 항상 너그러운 마음으로 후배들을 해주시는 김남규 선배님, 털털한 웃음이 매력적인 김세훈 선배님, 미국에 계시는 박진철 선배님, 가슴이 따뜻하신 이동주 선배님, 모든 일에 항상 열심이신 권영철 선배님, 그리고 한 연구실에서 동고동락을 같이 해온 나수연 선배님, 전성원 선배님, 이관호 선배님, 이상형 선배님, 전주영 선배님께 감사의 말씀드립니다.

또한 여러 번 포기하고 싶을 때 따뜻한 한마디의 말로 용기를 북돋아 주셨던 프로젝트 팀장 기훈이형, 친구같이 편안하게 얘기할 수 있는 형규형, 한번 동기는 영원한 동기인 홍석이형, 수진이, 미경, 경애, 근영이, 선배 같은 후배 소연이, 논문 작성중 너무나 많은 도움을 주었던 후배들 진철, 승현, 선, 현진, 경욱, 진명 이등 중앙대학교 건축환경연구실 가족 모든 분들께 감사의 마음을 전합니다.

또한 논문작성 중 많은 자료와 조언을 해주신 ECTA 이호준 선배님, 대양공조 설비 권태성 상무이사님, 도시철도공사 안형준님 그 외 여러분에게도 감사의 마음을 전하며, 특히 건축에 대해 보다 넓은 학문을 접할 수 있는 계기를 마련해주신 관동대학교 정재국 교수님께 감사의 말씀드립니다.

끝으로, 오늘이 있기까지 사랑으로 키워주신 아버지, 어머니와 가족 모두에게 감사를 전하며, 저를 위해 아낌없는 관심을 보여주신 여러분들에게 다시 한번 진심 어린 감사의 말씀드립니다.

2001년 12월 연구실에서