

지하철 역사 지하수를 이용한 에어와셔에 관한 연구

김동규* · 김회률** · 정용현* · 김종열*** · 금종수*†
(†*부경대학교 · **(주)GE 엔지니어링 · ***동명대학교)

Study on Air Washer using Underground Water in the Subway Stations

Dong-Gyu KIM* · Hoe-Youl KIM** · Yong-Hyun CHUNG* · Jong-Ryul KIM*** · Jong-Soo KUM*†

(*Pukyung National University · **GE Engineering · ***Tongmyong University)

Abstract

Busan subway transportation system has been established a key role in the society last 20 years. However many people are suffering from hot and humid environment at subway station and platform due to deteriorated ventilation system as well as insufficient air conditioning system in existing stations and platforms. As a result, these systems require revitalization. There is about 5400tons of low temperature underground water is generated from subway stations every day. By using this method and air washer we are trying to lower the temperature. Air washer is commonly used for removing humidity but in this experiment it will be used as air precooling. This research offers result of experiment using air washer system to lower the temperature in large spaces like subway station. The experiment result has shown when L/G was the same, at condition which water spray temperature at 18°C resulting inlet and outlet temperature difference larger. Also, in the same water spray temperature conditions, larger L/G condition showed a greater temperature difference. LCC evaluation of both system were shown that air washer system of using underground water will save 53% of the initial cost than refrigeration system, and save 75% of operating cost.

Key words : Air washer, Precooling, Underground water, L/G, LCC

I. 서론

도시의 과도한 인구 집중으로 인하여 지상에서 지하로의 진출에 이르게 되었다. 지하 공간을 이용한 대중교통수단으로 지하철은 다른 교통수단보다 안정성 및 정시성이 높다는 점에서 서울에서의 개통을 시작으로 전국적으로 확산되었다.

국내에서 처음으로 도입된 지하철 개통 시기는 서울 1974년, 부산 1985년이다. 지하철을 건설 할 당시에는 교통수단으로서의 역할을 최우선으로 함으로써 지하 환경 및 차후에 변하게 될 환경적 변수에 대해서는 고려되지 않았다. 뿐만 아니라 냉방이 고려되지 않았으며, 지하 공간에 체류한 공기를 내보내고 신선외기를 도입하는 환기는 열

†Corresponding author : 051-629-6178, jskum@pknu.ac.kr

* 이 논문은 2008학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임(PK-2008-034).

차 이동에 따라 터널 내의 공기를 배출하고 외부 공기를 들이는 방식의 자연환기를 채택했다. 지하철이 처음 개통되어 운행되었던 시기에는 지하 내부 온도의 일정함을 유지 하여 지하공간만의 열적 특성을 가지고 있었으나 개통 이후 지하철 이용 승객의 증가와 지하철 운행 횟수 증가, 부대시설 증가, 내부 발열 및 축열, 시설의 노후화로 인하여 냉방시설이 미비된 지하역사의 열 환경은 매우 악화되어 있는 실정이다.

현재 부산지하철 전 구간에서 하루 평균 약 1만 5천 톤의 지하수가 용출되고 있다. 이 중 30%에 해당하는 약 4천 370톤의 지하수는 이용되고 있고, 나머지 70%의 지하수는 다시 하수도로 버려지고 있는 실정이다. 지하수는 여름철에는 외기보다 온도가 낮아 미활용 에너지로서 이용 가치가 높다. 따라서 지하역사에서 용출되고 있는 지하수의 막대한 축열 능력을 이용하여 지하역사로 공급되고 있는 급기를 예냉시킨다면 지하역사의 열환경을 개선할 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 기존 지하철역사 환기설비 리모델링과 관련된 종래연구(건설교통부, 2002; 김호성 외, 2004; 김희철, 2010; 김희철 외, 2009; 부산지역환경센터, 2009)를 조사하였다. 종래 연구결과를 토대로 지하수를 이용하여 공조기로 들어가는 외기 온도를 예냉하기 위한 에어와셔 시스템에 대하여 모형실험과 실제 역사를 대상으로 한 리모델링시 경제성 평가를 통해 에어와셔 시스템의 적용 타당성을 검토하였다.

II. 본 론

1. 에어와셔 개념

에어와셔는 공기에 분무수를 접촉시킴으로써 물과 공기의 열교환과 동시에 수분의 교환에 의해 공기의 습도조절과 먼지나 냄새를 제거하는 것으로서 주로 산업용 가습장치로 사용된다. 에어와셔의 효율은 공기와 작은 물방울이 접촉하여

포화상태까지 다다른 정도를 포화효율 η_s 로 식(1)과 같이 정의하고, 에어와셔의 형식 및 풍속, 분무수 입자의 크기, 분무수량에 따라 다르다.

$$\eta_s = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_s} \times 100 = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_s} \times 100 = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_s} \times 100 \quad (1)$$

여기서

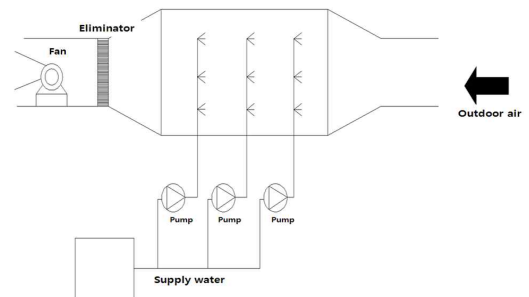
t_1, x_1, h_1 : 입구공기의건구온도, 절대습도, 엔탈피
 t_2, x_2, h_2 : 출구공기의건구온도, 절대습도, 엔탈피
 t_s, x_s, h_s : 포화공기의건구온도, 절대습도, 엔탈피

분무수를 통해 열 및 물질전달을 행하는 에어와셔에서 공기의 질량유량대비 물의 질량유량의 비를 의미하는 무차원 함수로서 액기비는 식(2)와 같이 정의된다.

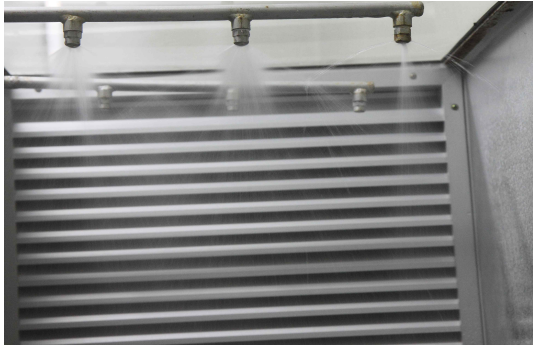
$$L/G = \frac{\text{액체의 질량유량}}{\text{공기의 질량유량}} \quad (2)$$

2. 실험 장치

실험용 에어와셔 장치의 개략도는 [Fig. 1]과 같다. 장치의 분무 노즐은 3 뱅크(bank) 타입이며, 크기는 1000mm×600mm×600mm이다. 분무노즐로 공급되는 수량은 전압조정기로서 펌프의 회전수를 조절하여 가변하였고, 노즐을 통한 분사 형식은 [Fig. 2]와 같이 장치 윗부분에서 아래로 물이 분사되는 형식이다. 물을 공급하는 노즐 관경은 15mm이고, 에어와셔 장치 출구쪽에는 물의



[Fig. 1] Schematic of experimental device

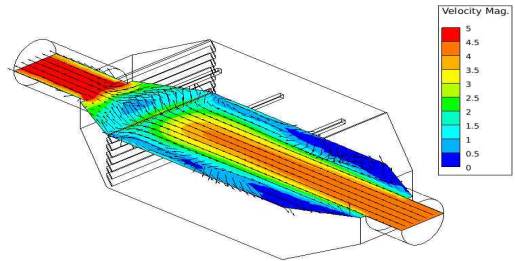


[Fig. 2] Air washer nozzles

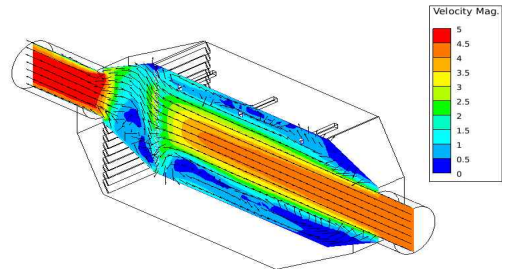
비산을 막기 위한 엘리미네이터가 설치되어 있다. 또한 장치내에서 기류의 확산을 파악하기 위해 상용프로그램인 STAR-CD를 사용하여 <Table 1>의 조건에서 기류 시뮬레이션을 수행하였다.

<Table 1> Conditions of simulation

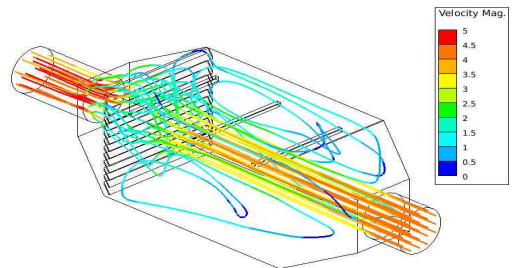
Items	Conditions
Mesh type	Tetrahedral
Internal temperature	32℃
Inlet velocity	4.4m/s



(a)Horizontal cross section

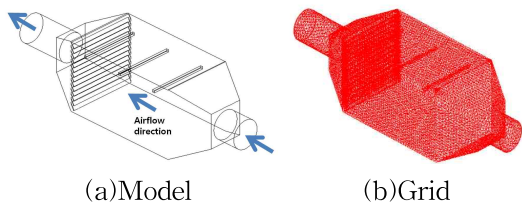


(b)Vertical cross section



(c)streamlined shape

[Fig. 4] Cross section and streamline



(a)Model

(b)Grid

[Fig. 3] Analysis model and grid configuration

[Fig. 3]은 장치에 대한 모델링 및 격자형상이고, [Fig. 4]는 장치 내부의 엘리미네이트를 중심으로 기류의 흐름과 확산을 가로, 세로 단면 형상과 유선형상으로 나타냈다. 시뮬레이션 결과 기류는 엘리미네이트를 중심으로 충분히 확산되어 흐르는 것으로 나타났다. <Table 2>에 실험에 사용된 장비 및 사양을 나타냈다.

<Table 2> List of experimental equipments

Equipment	Specification	Number
Thermo Recorder	TR-72U	3
Data Logger	MV-200	1
Pump	20liter/min	2
Fan	1000m ³ /h	1
Slidacs	1KVA	2

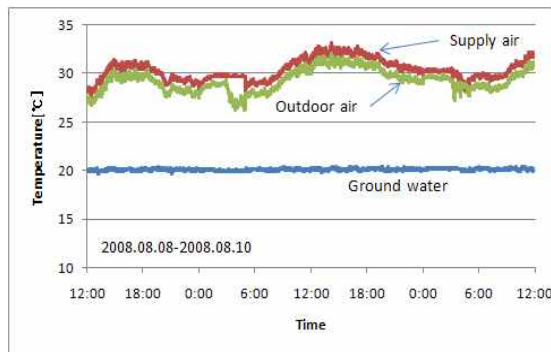
3. 실험 조건

실험조건은 <Table 3>과 같이 공급풍량, 1뱅크(bank)당 공급수량, 급기온도, 공급수온 등을

고려하였다. 풍량은 500m³/h를 기준으로 하였고, 에어와셔로 공급되는 급기온도는 [Fig. 5]와 같이 여름철에 지하역사로 도입되어 승강장으로 공급되는 급기온도 측정 데이터(부산지역환경센터, 2009)를 참고로 하여 32℃를 기준으로 하였다. 일반적으로 냉각감습용의 에어와셔의 경우 L/G는 0.4~2.2이지만, 본 장치의 경우는 현재 지하역사에서 사용 중인 공기조화기 필터 세정용 장치를 기준으로 1 뱅크(bank) 당 액기비(L/G)≒2~4를 나타냈다. 데이터는 Thermo Recorder를 이용해 에어와셔를 통과한 공기의 온도 및 습도를 측정하였다. 또한 노즐로 공급되는 냉수의 수온은 열전대를 이용하여 측정하였다.

<Table 3> Conditions of experiment

Items	Conditions
Supply air volume(m ³ /h)	500
Inlet air temperature(℃)	32±1
Water spray temperature(℃)	18, 20, 22
Bank number	1, 2 bank
Water spray volume	7, 15 liter/min

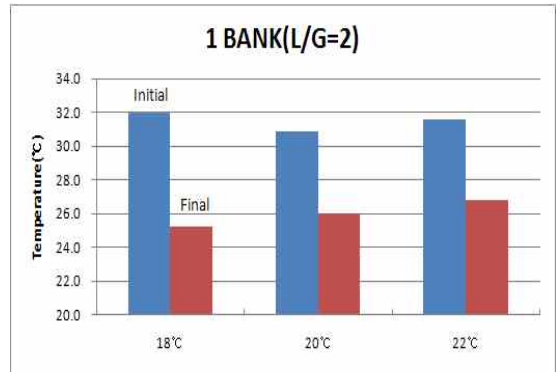


[Fig. 5] Ground water and outdoor temperature in underground station

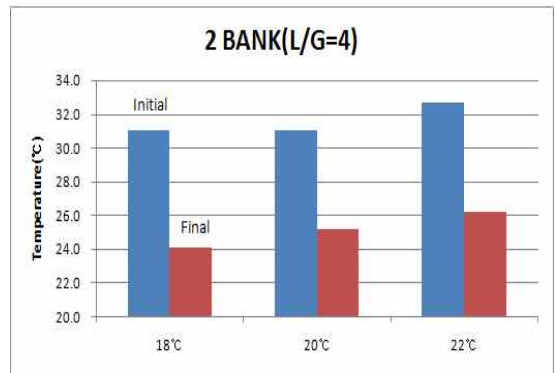
4. 실험결과 및 분석

에어와셔로 공급되는 급기온도는 약 31℃~33℃를 유지 하였고, 장치 출구 온도 및 효율 측

정은 60초 동안 실시하였다. 장치내 공급수량은 분당 15, 30 Liter로 하였다. 노즐 공급수온에 따른 출구공기 온도 하강폭을 실험초기와 후기로 나누어 평균하여 [Fig. 6]과 [Fig. 7]에 나타내었다.



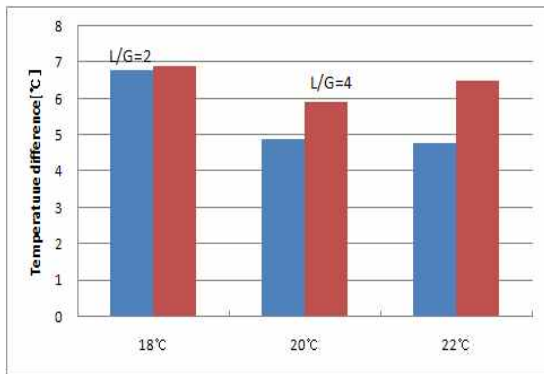
[Fig. 6] Atomizing water temperature and outlet air temperature(L/G=2)



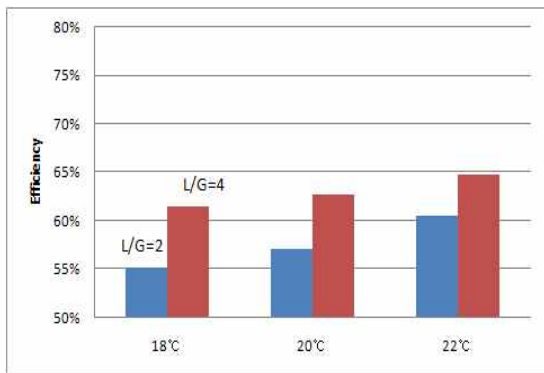
[Fig. 7] Atomizing water temperature and outlet air temperature(L/G=4)

액기비에 따른 온도 하강폭은 큰 차이가 없었고, 분무수 온도 18℃조건에서 약 7℃, 20℃ 및 22℃조건에서 약 5~6℃의 하강폭을 나타내었다. 일반적으로 공기는 에어와셔를 통과하게 되면 에어와셔 표면의 수분에 의한 증발잠열로 인해 주위 공기의 열을 빼앗게 되고 따라서 통과하는 공기의 온도는 떨어지게 된다(김태형 외, 2008; 유경훈, 2006). [Fig. 8]은 분무수온과 액기비에 따른

에어와서 출구공기 온도 강하폭을 비교한 것이다. 동일한 액기비인 경우 분무수의 온도가 낮은 18°C조건이 나머지 조건에 비해 에어와서 입출구 공기 온도차가 상대적으로 크게 나타났고, 동일한 분무수 온도조건에서는 액기비가 큰 쪽이 온도차가 크게 나타났다. 이는 도입되는 공기의 온도와 분무수와의 온도차로 기인한 것으로 판단된다. 따라서 분무수량이 많고 분무온도가 낮을수록 냉각효과가 큼을 알 수 있다.



[Fig. 8] Outlet air temperature by atomizing water temperature and L/G ratio



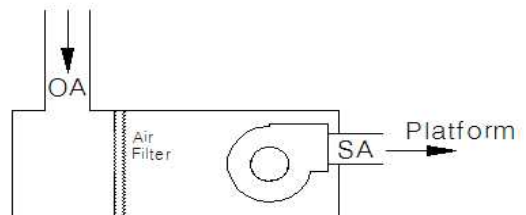
[Fig. 9] Air washer efficiency according to atomizing water temperature

[Fig. 9]는 분무수 온도에 따른 포화효율을 나타낸 그래프이다. 포화효율은 에어와서의 증발냉각 정도를 나타내는 지표로서 사용된다(김효경, 2005). 액기비에 따른 에어와서 효율은 동일한 분

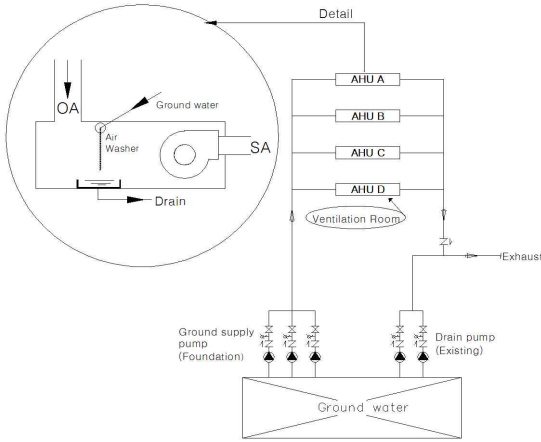
무수 온도 조건에서 액기비가 큰 쪽이 약 5% 정도 높았고, 동일한 액기비에서 분무수 온도가 높을수록 에어와서의 포화효율은 증가함을 알 수 있다. 이는 액기비가 크기 때문에 나타나는 현상으로 [Fig.8] 등을 고려할 때 분무수 온도의 낮음과 수량의 증대에 의한 냉각효과로 판단된다.

5. LCC 분석

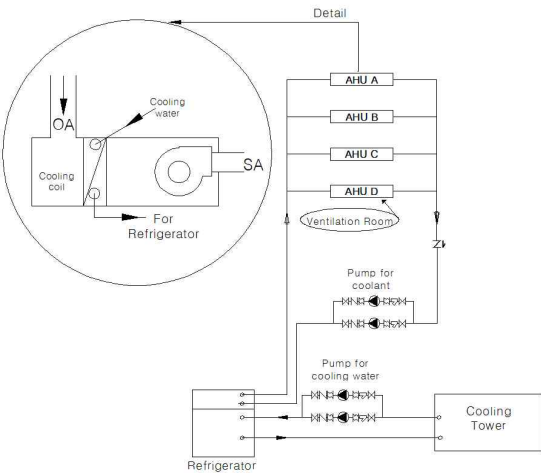
기존 지하역사 승강장의 열악한 열환경을 개선하기 위하여 지하역사에서 용출되는 지하수를 활용하여 승강장으로 도입되는 외기를 예냉할 수 있는 에어와서 타입의 시스템과 냉동기를 사용하여 승강장을 냉방하는 경우에 대하여 부산에 있는 ○역사를 대상으로 경제성을 검토하였다. 역사는 외기를 도입하기 위한 환기실이 4군데로 구성되어 있고, [Fig. 10]과 같이 외기를 도입하여 승강장으로 공급하고 있으며, 외기를 예냉할 수 있는 지하수가 1일 약 480ton 정도가 용출되고 있다. 각 시스템의 개념도는 대상역사의 공기조화설비 시스템을 리모델링 하는 경우를 가정하여 [Fig. 11] 및 [Fig. 12]에 나타내었다(김희를, 2010). 시스템의 냉방기간은 6월부터 9월까지로 하였고, 지하수 활용 에어와서 시스템은 수증펌프를 사용하여 55,300 kcal/h의 열량을 처리하는 에어와서 4개소에 지하수를 공급하는 시스템이다. 장치 비용은 통상 지하수를 활용하기 위해 사용하는 밀폐형 열교환기 시스템과 비교해 차이가 없다. 냉동기를 사용하는 시스템은 냉동기, 냉각탑, 순환 펌프류, 팽창탱크 등으로 구성되어 있다.



[Fig. 10] Ventilation system in subway platform



[Fig. 11] Supply diagram for air washer system



[Fig. 12] Supply diagram for refrigeration system

공조시스템 평가시에는 평가 내용의 정량화, 경제성과 같은 현실적인 내용이 충분히 반영되어야 하므로 에너지 절약성과 경제성이 주된 평가 요소라 할 수 있다. 본 연구에서는 시스템 초기 투자비용, 운전비용 등을 서로 비교하여 <Table 4, 5>에 나타냈다(김희률, 2010). <Table 6>은 내구연수 20년, 할인율 4%(복리할증계수 28.7781)를 기준으로 하여 계산한 LCC 비교표이다(김희률, 2010; 정순성, 1999).

<Table 4> Comparison the initial cost of Air washer system and refrigeration system

Air washer system				
Initial Cost[₩]	Equipment	Air washer	26,000,000	
		Pump [11kW * 3]	24,000,000	
		Sub total	50,000,000	
	Construction	Plumbing	80,000,000	
		Automatic control work	2,000,000	
		Electric work	2,000,000	
		Sub total	84,000,000	
	Total		134,000,000	

Refrigeration system				
Initial Cost[₩]	Equipment	Refrigeration machine [100 RT]	70,000,000	
		Cooling tower [100 RT]	20,000,000	
		Cooling coil [50,000 kcal/h * 4]	26,000,000	
		Pump for coolant [7.5kW * 2]	6,000,000	
		Pump for cooling water [11kW * 2]	6,000,000	
		Expansion tank [500 Lit]	1,500,000	
		Sub total	129,500,000	
	Construction	Plumbing	150,000,000	
		Automatic control work	20,000,000	
		Electric work	10,000,000	
		Sub total	180,000,000	
	Total		309,500,000	

<Table 5> Comparison the running cost of Air washer system and refrigeration system

		Air washer system	Refrigeration system
Power consumption	Power[kW]	22	88
	Running time[h]	10	10
	Running Period[day]	120	120
	Sub total[kW]	26,400	105,600
Electric charge[₩]	Base rate	589,600	2,358,400
	Charge	2,640,000	10,560,000
	Sub total	3,229,600	12,918,400
Running costs[₩]		3,229,600	12,918,400

<Table 6> Comparison the life cycle cost of Air washer system and refrigeration system

	Air washer system	Refrigeration system
Initial costs[₩]	134,000,000	309,500,000
Running costs[₩]	3,229,600 × 28.7781*	12,918,400 × 28.7781*
Total[₩]	226,941,750	681,267,000

* compound interest factor

LCC 비교로부터 지하수 활용 에어와셔 시스템이 경제적임을 알 수 있다. 따라서 양 시스템의 초기 투자비용과 연간 운전비를 비교한 결과 지하수 활용 공조시스템은 냉동기 활용 공조시스템에 비해 초기 투자비는 약 53% 정도 절감되고, 냉방기간 동안의 운전비는 약 75% 정도 경감됨을 알 수 있다.

Ⅲ. 결 론

- 1) 에어와셔 모형장치를 통한 기초실험 결과 지하철 역사에서 용출되는 지하수를 활용하는 경우 외기의 예냉이 가능함을 확인하였다.
- 2) 동일한 액기비인 경우 분무수의 온도가 낮은 18℃조건이 에어와셔 입출구 공기 온도차가 크게 나타났고, 동일한 분무수 온도조건에서는 액기비가 큰 쪽이 온도차가 크게 나타났다.
- 3) LCC분석결과 지하수 활용 시스템과 냉동기 시스템의 경제성을 비교한 결과 지하수 활용 시스템은 냉동기 활용 시스템에 비해 초기 투자비는 약 53% 정도 절감되고, 냉방기간 동안의 운전비는 약 75% 정도 경감됨을 알 수 있다.

참고 문헌

건설교통부(2002). 대형시설물 등의 유출지하수자원 활용방안 연구.

김태형 외 4인(2008). 분무수 온도 변화에 따른 에어와셔의 온습도 특성에 관한 실험적 연구, 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집, 446~451.

김호성 외 4인(2004). 지하철 역사 지하수를 이용한 히트펌프시스템 타당성 연구, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 1369~1374.

김희를 외 4인(2009). 외기 예냉설비를 활용한 지하철 승강장 환기설비 개선에 관한 연구, 한국생활환경학회지, 275~279.

김희를 외 4인(2009). 자연에너지 활용을 위한 지하철 승강장 열환경에 관한 연구, 수산해양교육연구, 269~277.

김희를 외 4인(2009). 자연에너지를 활용한 지하철 승강장 리모델링에 관한 연구, 대한건축학회 지회 논문집, 729~732.

김희를 외 5인(2010). 지하수를 이용한 도시철도 지하 승강장 열환경 개선 설계 사례, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 264

김희를(2010). 자연에너지를 활용한 지하역사 승강장 열환경 개선 방안에 관한 연구, 부경대학교 학위논문.

김효경 역(2005). 공기조화 개정 3판, 동명사, 247~261.

부산지역환경센터(2009). 부산지하철 1호선 승강장 열환경 개선방안에 관한 연구

유경훈(2006). 열회수식 에어와셔 시스템 선행 연구, 한국생산기술연구원.

정순성(1999). HVAC시스템의 의사결정을 위한 LCC영향도 다이어그램 개발에 관한 연구, 동아대학교 학위논문.

- 논문접수일 : 2010년 10월 12일
- 심사완료일 : 1차 - 2010년 11월 06일
2차 - 2010년 11월 25일
- 게재확정일 : 2010년 11월 30일