

지하철의 설비설계

Design procedure for a subway facilities

김 양 훈
Y. H. Kim

현대엔지니어링(주) 플랜트제2사업본부



- 1956년생
- 공기조화설비분야에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

대중교통 수단으로써 지하 도시철도의 건설은 국내 대도시 지역에서 매우 활발하게 진행되고 있다. 2기 서울지하철 건설사업이 막바지에 이르고 있고, 3기 서울지하철 기본설계가 진행되고 있다. 또한 부산, 대구, 인천, 광주, 대전 등 대도시 지역에 있어서도 지하 도시철도가 운행되고 있거나 향후 건설 계획이 상당수 예정되어 있다. 초기 지하철에서는 급배수 및 자연환기가 기계설비시설의 전부였다고 말할 수 있다. 그러나 최근 지하철 지하공간 계내에 있어서 지하수 고갈, 냉방차량 및 열차운행횟수의 증가로 인한 터널내 온열화 현상 및 환경오염 문제는 승객과 지하철 근무자들의 건강에 매우 심각한 영향을 주고 있는 바, 지하공간의 환경개선을 위한 시설로서의 공조 및 환기설비는 그 역할이 매우 중요하다 할 수 있다.

따라서 본 원고에서는 지하철 열부하 계산방법이 일반건물에서의 냉난방부하 계산방식과 그 개념에서 차이가 있으므로 부하계산공식 소개 및 그 사례를 중심으로 기술코자 한다.

2. 열부하 계산

2.1 개요

지하철 정거장 및 터널은 지하구조물에 의해 한정된 지하 공간으로서 직접적으로 태양에 의한 일사의 영향이 없고 벽체를 통한 열 이동은 외기가 아닌 주변 토양이라는 것이 일반건물과 다른 점이다. 지하철내의 열발생은 고정된 조명이나 설비기기외에 열차의 전기장치 및 승객으로부터 발생되며, 열차와 함께 이동한다. 또 열차풍에 의해 그 열이 터널에 이동되며 일부가 본선 환기설비에 의해 외부로 배출되는 등 지하철내의 열분포는 매우 복잡하다. 이러한 지하철내의 발생 열 및 이동현황을 도시하면 그림 1과 같이 나타낼 수가 있다.

본 장에서는 정거장 및 터널의 공조환기설비 용량을 결정하기 위한 열부하 산출 방식에 대해 소개하고자 한다.

2.2 지하철 열부하 특성

지하철 열부하는 공조설비 용량 선정의 기본이 되므로 지하철 환경제어와 직접적인 연관이 있다

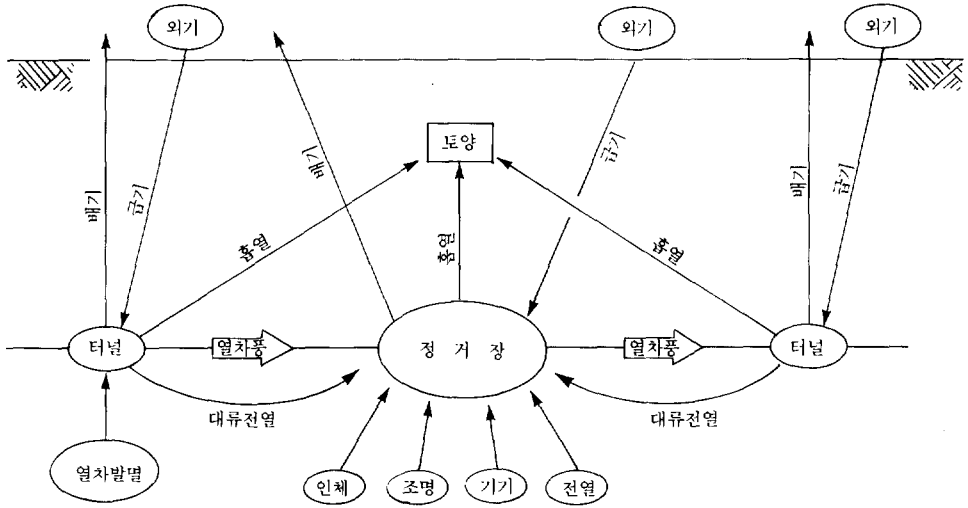


그림 1 지하철내의 발생열 및 이동

표 1 전동차의 발생열 분석

발열종별	에너지원	발열시작	발열체
열차저항열 <ul style="list-style-type: none"> 차량저항열 공기저항열 곡선저항열 	전기, 운동, 위치 에너지	주행시	차륜, 레일, 차축, 베어링, 기어, 이음, 스프링, 차체표면, 구축표면, 공기
역행 손실열 <ul style="list-style-type: none"> 주전동기 손실열 제어기 손실열 전동차선 손실열 	전기에너지	역행시	주전동기, 제어기기, 집전선
제동열	운동, 위치에너지	제동시	차륜, 제륜자, 주전동기, 제어기기
보조기기열 <ul style="list-style-type: none"> 전동발전기열 공기압내기열 	전기에너지	수 시	전동발전기, 공기압축기, 조명, 냉방기, 난방기, 환기선, 선풍기, 통신기기, 방송기기
인체열	대사에너지	수 시	승객, 승무원

고 볼 수 있다. 이러한 점에서 지하철 열부하 즉 지하철 공조의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 열차가 주행하면서 열을 발산하므로 동적인 열부하 특성이 있다.
- ② 토양의 흡열에 따른 경년변화나 히트싱크 현상이 발생한다.

③ 지하철내 최대발생열원은 주행하는 열차로부터 발생됨에 따라 출퇴근시 러시아워에 의한 2회 피크부하가 발생한다.

④ 열차풍의 열적, 유체역학적 부하가 있다. 지하철 열부하의 상당부분을 차지하고 있는 전동차의 발생열을 분석하면 표 1과 같다.

2.3 지하철 열부하 산출방식

지하철내의 열부하는 고정된 조명이나 설비기 외에 열차로부터 발생되며, 열차와 함께 이동한다. 열차에서 발생하는 열량은 열차의 주행 및 제동운전시 발생하는 열량외에 전동차내의 조명, 냉방 응축열 및 보조기기들로부터 발생된다. 이러한 차량 내에서 발생하는 열량은 제작사 자료에 기초하는 반면, 전동차의 주행발열 및 제동발열은 궤도의 표고차, 굴곡도, 거리, 터널의 단면적 및 열차 주행조건 등에 따라 변하게 된다. 따라서 열차의 주행발열을 산출하는데는 아래와 같이 크게 3가지 방법이 적용되고 있으나 이중 어느 것이 정확하고 현실적인가에 대해서는 현재 까지 논란의 여지가 있다.

- ① 열차 주행저항 공식에 의한 방법
- ② 열차의 위치, 속도에너지에 의한 방법
- ③ 열차 소비전력에 의한 방법

2.3.1 열차 주행저항 공식에 의한 방법

터널내를 주행하는 열차에 소비되는 에너지를 주행, 타력 및 제동운전등으로 구분하여 산출하고 이를 발열량으로 환산하는 방식이다.

(1) 주행운전시 발열량

$$q_b = \frac{W}{J} \left\{ \frac{(V_c^2 - V_p^2)}{2g} + (H_c - H_p) + R \times 10^{-2} \times (\chi_c - \chi_p) \right\} \times \frac{1 - \eta_m}{\eta_m} \times N + \frac{W}{J} \times R \times 10^{-3} \times (\chi_c - \chi_p) \times N$$

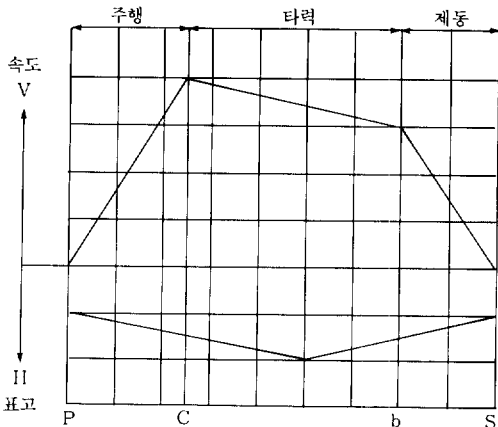


그림 2 터널내 열차속도 및 표고차

(2) 타력운전시 발열량

$$q_c = \frac{W}{J} \left\{ \frac{(V_c^2 - V_b^2)}{2g} + (H_c - H_b) \right\} \times N$$

(3) 제동운전시 발열량

$$q_b = \frac{W}{J} \left\{ \frac{(V_b^2 - V_s^2)}{2g} + (H_b - H_s) \right\} \times N$$

여기서

q_b = 주행운전시 전동기 발열량(Kcal/hr)

q_c = 타력운전시 발열량(Kcal/hr)

q_b = 제동운전시 발열량(Kcal/hr)

V = 열차속도(m/sec)

H = 표고(m)

χ = 표정거리(m)

η_m = 주전동기 효율

(($1 - \eta_m$)/ η_m 은 약 0.1로 한다.)

W = 1편성당 열차 총중량(승객포함) (kg)

N = 시간당 통과열차수(열차/hr)

J = 열의 일당량(427 kg·m/kcal)

g = 중력가속도(9.8m/sec²)

R = 열차 주행 저항(kg/ton)

$$R = 1.32 + 0.0164 \times V_k + \frac{\{0.028 + 0.0078(n - 1)\}}{W_{ton}} \times V_k^2$$

V_k = 주행시 열차 평균 속도(Km/hr)

n = 열차편성 차량수(량/열차)

W_{ton} = 열차 총중량(ton)

2.3.2 열차의 위치, 속도에너지에 의한 방법

열차주행저항 공식에 의한 열차 발열 산출방식은 터널부와 인접한 정거장의 열차 주행부하를 합리적으로 배분하는데 어려움이 있으며 또한 실험에 의해 유도된 열차의 주행저항공식 역시 논란의 여지가 많다. 반면 열차의 위치, 속도에너지에 의한 방법은 정거장간을 주행하는 열차의 총 주행발열량을 구하고 그때 주행한 시간 비율로 터널내 부하와 정거장의 승강장 부하를 계산하는 방식으로 다음과 같다.

$$Q_{tr} = \left\{ \frac{(W_e + W \cdot n)}{J} \times \frac{V^2}{2g} + \frac{W_e \cdot \Delta h}{J} \right\}$$

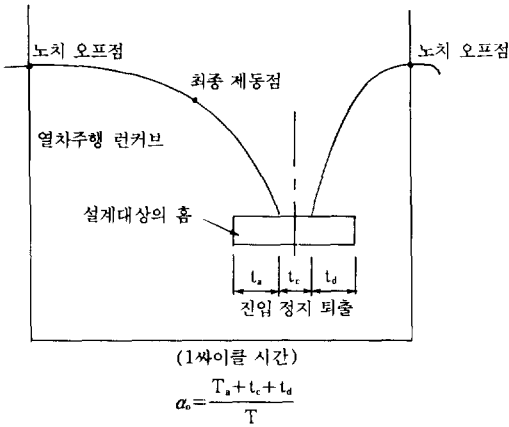


그림 3 열차 발생열 비율

$$\times (1 - \beta)(1 + \alpha_a)(1 + \alpha_s) \times N$$

- Q_{tr} : 열차주행 총 발열(kcal/hr)
- W_e : 승객포함 열차 총 중량(kg)
승객수는 구간 통과인원
- W : 열차의 공차 중량(kg)
- n : 관성계수 : 0.08
- J : 열의 일당량 : 427kg·m/kcal
- V : 최종 제동지점에서의 속도(m/sec)
- Δh : 최종 제동지점과 정거장 중심의 표고차 (m)
- g : 중력가속도 : 9.8m/sec²
- β : 재발전율 : 0.3
- α_a : 열차가속에 의한 발열 부가계수 : 0.25
- α_s : 보조기기에 의한 발열 부가계수 : 0.05
- N : 시간당 통과 열차수(열차/hr)
- α_o : 승강장의 부하비율(= $\frac{t_a + t_c + t_d}{T}$)
- α_r : 터널의 부하비율(= 1 - α_o)

2.3.3 열차 소비전력에 의한 방법

차량 및 궤도설계가 반영된 열차 시뮬레이션 자료에 의해 각 구간마다 열차 주행에 따르는 전력 소비량을 산출하여 이를 발열량으로 환산하는 방법으로 다음과 같다.

$$q_r = K_o \times \ell \times 860 \times W$$

여기서

q_r = 정거장간 열차 총 주행발열(kcal/hr)

K_o = 역간 한대의 열차 소비전력 (kwh/ton·km)

ℓ = 역 중심간 거리(km)

W = 열차중량(승객포함)(ton/hr)

여기서 정거장 승강부의 열차주행발열과 터널부의 발열량을 산출하는 방법은 여러가지가 있으나 통상 다음과 같이 적용한다.

- 1) 터널부 = 역간주행부하 - 제동부하
- 2) 정거장 승강장부 = 제동부하 + 터널부하 × (0.15~0.25)

2.4 정거장의 열부하 계산

정거장은 발생하는 열부하 성분의 특성상 승강장 지역, 대합실 지역, 직원근무지역 및 기능실 등으로 나누어 열부하를 분석하는 것이 바람직하다.

2.5 본선 터널의 열부하 계산

본선 터널의 열부하 산출은 지하터널내 축열현상으로 인한 승객의 불쾌감을 방지하기 위한 배열 등 송풍량 산출의 기준이 된다.

3. 열부하 계산 사례

표 2 본선 냉방부하 계산서

HYUNDAI ENGINEERING CO., LTD.										10/16/96		
본선 구간 [209] ↔ [210]										(11km 040-11km 930)		
I. 설계기준조건												
1. 터널형태												
	길이 (m)	높이 (m)	넓이 (m)	표면적 (㎡)	체적(㎥)	총 표면적 (㎡)	총 체적 (㎥)					
개착식(복선)												
터널식(복선)												
개착식(단선)												
터널식(단선)	740	5	5.0	14,800	18,500							
소 계	740					29,600	37,000					
2. 부하 비열 설계 조건												
(하행) 기지 → 영남대						(상행) 영남대 ← 기지						
	209	→	역후터널	역전터널	→	210	209	→	역전터널	역후터널	→	210
진입시간			15	진입시간		15	진입시간		14	진입시간		14
정차시간			30	정차시간		30	정차시간		30	정차시간		30
퇴출시간			13	퇴출시간		13	퇴출시간		14	퇴출시간		14
CYCLE			105	CYCLE		105	CYCLE		104	CYCLE		104
정거장부하율			0.55	정거장부하율		0.55	정거장부하율		0.56	정거장부하율		0.56
본선부하율			0.45	본선부하율		0.45	본선부하율		0.44	본선부하율		0.44
이전노치오프			23	이전노치오프		22	이전노치오프		26	이전노치오프		27
이후노치오프			24	이후노치오프		25	이후노치오프		20	이후노치오프		19
역후부하비율			0.51	역후부하비율		0.47	역후부하비율		0.57	역후부하비율		0.41
부하비율			0.230	부하비율		0.212	부하비율		0.251	부하비율		0.180
II. 부하 계산												
발 열 원	AM 08				PM 03				PM 07			
	하	행	상	행	하	행	상	행	하	행	상	행
	역후터널	역전터널	역전터널	역후터널	역후터널	역전터널	역전터널	역후터널	역후터널	역전터널	역전터널	역후터널
[209]	[210]	[209]	[210]	[209]→	[210]	[209]←	[210]	[209]→	[210]	[209]←	[210]	
1. 역전, 후터널열차주행발열(Qtrt, kcal/hr)												
Qtrt(계)	158,294		152,099		98,637		98,583		146,170		143,614	
β	80,405	77,889	87,149	64,950	50,757	47,880	56,750	43,833	74,772	71,398	82,559	61,055
β ₂	0.23	0.21	0.25	0.18	0.23	0.21	0.25	0.18	0.23	0.21	0.25	0.18
Qtrt ₁ : 역전터널주행발열량 = Qtr × β Qtrt ₂ : 역후터널주행발열량 = Qtr × β ₂												
Qtr: 열차주행총발열량 β: 역전터널부하비율 β ₂ : 역후터널부하비율												
Qtr	349,587	367,399	347,208	360,835	220,681	225,849	226,096	232,406	325,095	336,785	328,921	339,194
J	427	427	427	427	427	427	427	427	427	427	427	427
g	9.8	9.8	938	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
Δh	0	0	1.41	2.22	0	0	1.41	2.22	0	0	1.41	2.22
혼잡율	126	158	89	102	53	66	37	43	82	103	58	66
봉과인원	29,434	36,827	20,764	23,766	8,830	11,048	6,229	7,130	19,132	23,938	13,497	15,448
승차정원	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970
편성수	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
N	24	24	24	24	17	17	17	17	24	24	24	24
V	19.9	19.9	19.8	19.6	19.9	19.9	19.8	19.6	19.9	19.9	19.8	19.6
W	248,000	248,000	248,000	248,000	248,000	248,000	248,000	248,000	248,000	248,000	248,000	248,000
We	315,221	332,293	295,482	302,417	276,276	283,211	267,740	270,941	291,747	302,951	278,943	283,211
주행시간	46		45		46		45		46		45	
주행시격	2.5	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5
부하비율	0.740	0.254	0.240	0.650	0.740	0.254	0.240	0.650	0.740	0.254	0.240	0.650
- 열차주행 총발열공식 $Q_{tr} = \left\{ \frac{(We + W \cdot n)}{J} \times \frac{V^2}{2g} + \frac{We \cdot \Delta h}{J} \right\} \times (1 - \beta) \times (1 + \alpha) \times N$ (kcal/hr)												
We: 승객포함열차중량(kg) W: 열차공차중량(kg) n: 관성계수 0.08 J: 열의일당량(427kg·m/kcal)												
V: 최종제동속도(m/sec) Δh: 최종제동속도지점과 정거장 중심의 표고차(m) g: 중력가속도(9.8m/sec ²)												
β: 재발전을 0.3 α: 열차가속에 의한 발열 부가계수 0.25 αs: 보조기에 의한 발열 부가계수 0.05												
N: 시간당 봉과열차수(열차/hr), 혼잡율(%), 봉과인원(인/hr) 승차정원: (인/hr·Tr) 편성수: 열차편성수(량/Tr)												

표 3 승강장 냉방부하 계산서

HYUNDAI ENGINEERING CO., LTD.

역사명 : (209)		역사길이		149m		승강장 면적		: 1,730m ²	
I. 설계기준조건		건구 온도 (°C DB)	습구 온도 (°C WB)	상대 습도 (% RH)	절대 습도 (kg/kg')	엔탈피 (kg/kg')	체류 시간 (sec)		
1. 외 기 조 건	AM 08	26.3	23.3	76	0.0168	16.5	30		
	PM 03	32.9	26.4	60	0.0191	19.6	30		
	PM 07	29.0	24.7	68	0.0177	17.9	30		
2. 실내조건(승강장)			29.0	65	0.0164	16.94	지중 온도		
3. 터 널 조 건	AM 08	30.3			0.0166		15		
	PM 03	36.9			0.0178		15		
	PM 07	33.0			0.0171		15		
설 계 시 각		AM 08		PM 03		PM 07			
		하행	상행	하행	상행	하행	상행		
4. 공 차 중 량	kg/Tr	248,000	248,000	248,000	248,000	248,000	248,000		
5. 총 중 량	kg/Tr	332,395	292,509	273,319	261,353	302,857	276,931		
6. 통과 열차수(N)	Tr/h	24	24	17	17	24	24		
7. 열차 편성수(n)	량/Tr	8	8	8	8	8	8		
8. 승 차 인 원	인/Tr	7,581	306	2,274	92	4,928	199		
9. 하 차 인 원	인/Tr	188	1,628	56	488	122	1,058		
10. 통 과 인 원	인/Tr	36,827	19,422	11,048	5,827	23,938	12,624		
11. 열 차 정 원	인/Tr	970	970	970	970	970	970		
12. 혼 잡 율	%	158	83	47	25	103	54		
14. 운 전 시 격	min	2.5	2.5	3.5	3.5	2.5	2.5		
II. 부 하 계 산									
1. 열차주행발열(Qtrs : kcal/hr)		Qtrs(계)	714,607	451,945	665,706				
Qtrs = Qlr × α		Qlr	347,208	367,399	226,096	225,849	328,921	336,785	
Qlr : 열차주행총발열량(kcal/hr)		α	0.55	0.56	0.55	0.56	0.55	0.56	
α : 정거장부분부하비율		Qtrs	190,964	205,743	124,353	126,475	180,907	188,600	
2. 열차냉방기발열(Qac : kcal/hr)		Qac(계)	206,724	146,429	206,724				
Qac = f × Ts / 3600 × N		ac	32,000	32,000	32,000				
f : 열차냉방기발열량(kcal/hr)		m	14.3	14.3	14.3				
f = (Ac + m × 860) × n		n	8	8	8				
Ac : 냉방용량(kcal/hr·량)		f	354,384	354,384	354,384				
m : 압축기모터정격(kW/량)		Ts	43.5	44.0	43.5	44.0	43.5	44.0	
n : 열차편성수(량/열차)		N	24	24	17	17	24	24	
N : 통과열차수(열차/hr)		Qac	102,771	103,953	72,796	73,633	102,771	103,953	
Ts : 정거장체재시간(sec) = (정거장 입출시간) × 1/2 + 정거장정지시간		점입시간	13	15	13	15	13	15	
		퇴출시간	14	13	14	13	14	13	
3. 열차보조기발열(Qax : kcal/hr)		Qax(계)	18,813	13,326	18,813				
Qax = (860 × K × Ts × N) / 3,600		K	37.5	37.5	37.5				
K : 보조기사용전력(8량기준-kW)		Ts	43.5	44	43.5	44	43.5	44	
Ts : 정거장체재시간(sec)		N	24	24	17	17	24	24	
N : 통과열차수(열차/hr)		Qax	9,353	9,460	6,625	6,701	9,353	9,460	
4. 배기효과(Qupe : kcal/r)		Qupe	846,130	550,530	802,119				
Qupe = 4 × (Qtrs + Qac + Qax)		Qtrs	714,607	451,945	665,703				
E : 승강장배기효율 = 0.9		Qac	206,724	146,429	206,724				
		Qax	18,813	13,326	18,813				
5. 인체발열(Qp : kcal/hr)		Qp	33,874	12,430	22,018				
Qp = Qp(S) + Qp(L)		Qp(S)	13,255	4,846	8,616				
Qp(S) = ((d/L) + (t/2)) × (Qs/60) × M1 + (d/L) × (Qs/60) × M2		Qp(L)	20,619	7,566	13,402				
Qp(L) = ((d/L) + (t/2)) × (Qs/60) × M1 + (d/L) × (Qs/60) × M2		L	74.5 +	74.5	74.5				
Qp(S) : 현열발열량(kcal/hr)		d	60	60	60				
Qp(L) : 잠열발열량(kcal/hr)		t	2.5	3.5	2.5				
L : 보행거리(=역사길이 1/2(m))		M1	7,887	2,366	5,127				
d : 승객보행속도(m/min)		M2	1,816	545	1,180				
t : 열차운전시격(min)		Qs	45	45	45				
Qs : 인체현열량(kcal/hr)		QL	70	70	70				
QL : 인체잠열량(kcal/hr)									
M1 : 상, 하행 승차인원(인/hr)									
M2 : 상, 하행 하차인원(인/hr)									
6. 조명발열(Ql : kcal/hr)		Ql	35,707	35,707	35,707				
Ql = P × A × 1.2 × 860		P	0.02	0.02	0.02				
P : 조명발열(kW/m ²)		A	1,730	1,730	1,730				
A : 승강장면적(m ²)									
1, 2 : 환산계수									

HYUNDAI ENGINEERING CO., LTD

역시명 : (209)	설계시각	AM 08		PM 03		PM 07	
		하행	상행	하행	상행	하행	상행
7. 열차풍(Qa; kcal/hr) $Qa = Qa(S) + Qa(L)$ $Qa(S) = 0.29 \times Va \times \Delta \times N \times 0.3$ $Qa(L) = 715 \times Va \times \Delta x \times N \times 0.3$ Qa(S) : 현열 발열량(kcal/hr) Qa(L) : 잠열 발열량(kcal/hr) Va : 열차풍가상공기량(m ³ /hr) Δ : (본선내온도 - 승강장내온도)(°C) Δx : 외기절대습도 - 승강장절대습도(kg/kg) 0.3 : 열차풍가상공기량의 승강장 인입비율(30%) N : 통과열차수(열차/hr)	Qa	9,546		43,060		30,088	
	Qa(S)	5,428		23,368		16,704	
	Qa(L)	4,118		19,692		13,384	
	Va	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	N	24	24	17	17	24	24
	Δ	1.3	1.3	7.9	7.9	4.0	4.0
	Δx	0.0004	0.0004	0.0027	0.0027	0.0013	0.0013
	Qa(S)	2,714	2,714	11,684	11,684	8,352	8,352
	Qa(L)	2,059	2,059	9,846	9,846	6,692	6,692
8. 공기유막(Qo; kcal/hr) $Qo = Qo(S) + Qo(L)$ $Qo(S) = 0.29 \times Vs \times L \times \Delta \times 0.5$ $Qo(L) = 715 \times Vs \times L \times \Delta x \times 0.5$ Qa(S) : 현열 발열량(kcal/hr) Qa(L) : 잠열 발열량(kcal/hr) Vs : 공기유막공기량(m ³ /hr.m) Δ : 설계외기온도 - 설계실내온도(°C) Δx : 외기절대습도 - 실내절대습도 L : 역사길이 × 2배(m)	Qa	-11,108		136,850		41,548	
	Qa(S)	-17,500		50,556		0	
	Qa(L)	6,392		86,294		41,548	
	Va	150	150	150	150	150	150
	L	149	149	298	298	298	298
	Δ	-2.7	-2.7	3.9	3.9	0.0	0.0
	Δx	0.0004	0.0004	0.0027	0.0027	0.0013	0.0013
	Qa(S)	-8750	-8750	25,278	25,278	0	0
	Qa(L)	3196	3196	43,147	43,147	20,774	20,774
9. 구조체열전달(Qw; kcal/hr) $Qw = k \times A \times \Delta$ k : 벽체열관류율(kcal/m ² ·°C·hr) A : 구조체부분면적(m ²) Δ : 온도차(승강장온도, 인접온도)(°C)	Qw(계)	5,271					
	인접온도	k	Δ	Qw			
	바닥	39	1	1,730.0	10	17,300	
	벽체	15	0.54	1,863.0	+14	+14084	
	천정	40	1.08	173.0	11	2,055	
10. 기기발열(Qm; kcal/hr) $Qm = Qm1 + Qm2 + Qm3$ $Qm = N(A) \times P \times 860$ N : 해당기기 대수 A : 전사면적(m ² /역당) P : 기기 사용전력(kW/m ² , kW/대) Qm1 : 전시등의 발열량(kcal/hr) Qm2 : 안내게시기의 발열량(kcal/hr) Qm3 : 엘리베이터의 발열량(kcal/hr) Qm4 : 에스컬레이터의 발열량(kcal/hr)	Qm(계)	31,390					
	용량	N	Δ	P	Qm		
	전시등	-	50	0.2	8,600		
	안내게시기	15	-	0.02	258		
	엘리베이터	2	-	2.1	3,612		
	에스컬레이터	4	-	5.5	18,920		
11. 기타취득열(Qf; kcal/hr) $Qf = \{Qtrs + Qac + Qax - Qupe + Qp(S) + Ql + Qa(S) + Qo(S) + Qw + Qm\} \times 0.1$ 1. 열차주행발열 2. 열차냉방기기발열 3. 열차보조기기발열 4. 배기효과 5. 인체발열 6. 조명발열 7. 열차풍 8. 공기유막 9. 구조체열전달 10. 기기발열	Qf	18,818		21,989		20,021	
	비율	0.1		0.1		0.1	
	소계	188,184	31,129	219,892	113,552	200,214	68,334
	1. Qtrs	714,607		451,945		665,706	
	2. Qac	206,724		146,429		206,724	
	3. Qax	18813		13,326		18,813	
	4. Qupe	846,130		550,530		802,119	
	5. Qp	13,255	20,619	4,864	7,566	8,616	13,402
	6. Ql	35,707		35,707		35,707	
	7. Qa	5,428	4,118	23,368	19,692	16,704	13,384
	8. Qo	-17500	6,392	50,556	86,294	0	41,548
9. Qw	5,271		5,271		5,271		
10. Qm	31,390		31,390		31,390		
12. 안전율 부하(qmg; kcal/hr) $Qmg = \{Qtrs + Qac - Qax - Qupe + Qp(S) - Ql + Qa(S) + Qo(S) + Qw + Qm - Qf\} \times (1 - Fm)$ Fm = 안전율 = 0.1(10%)	Qmg	207,002	31,113	24,188	11,355	31,390	6,833
	안전율	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	소계	207,002	31,129	241,881	113,552	220,235	68,334
III. 승강장 총 열량		kcal/hr	USRT	kcal/hr	USRT	kcal/hr	USRT
	총열량	261,944	87	390,976	129	326,792	108
	총현열	227,702		266,069		251,625	
	총잠열	34,242		124,907		75,167	
IV. 비고	Gn	69,200		69,200		69,200	
	Gp	5,010		1,840		3,250	
	외기부하	-37,756	-12	228,249	75	82,376	27
	단위부하	130		358		237	

열차운행 SIMULATION DATA

HYUNDAI PRECISION & INDUSTRY CO., LTD.
 Rail Systems Center - Energy Management Model
 Train Performance Simulation - Detailed Output

DAEGU LINE NO 2 : TC+M1+M2+T1+T2+M1+M2+TC : LOAD = 18TON/CAR
 DAEGU #2

POWERED CAR DATA		TRAILING CAR DATA									
Full Weight(tonnes) ...	404.20		00	948.4	67.88	10.480	3,817,000	3,322,000	0.29560		
Car length(m)	144		0.	949.4	68.95	10.500	3,822,000	3,326,000	0.28880		
Car auxiliary load(kw)	167.20		.00	950.4	69.99	10.520	3,825,000	3,329,000	0.27790		
OTHER TRAIN PARAMETERS				951.4	70.99	10.540	3,826,000	3,330,000	0.27150		
Train weight(tonnes)	404.20			953.1	72.62	10.570	167,200	0	-0.10540		
TRACTION AND MOTION CHARACTERISTICS				953.1	72.59	10.580	124,900	0	-0.11160		
DAEGU LINE NO 2 : TC+M1+M2+T1+T2+M1+M2+TC : LOAD = 18TON/CAR				954.1	72.18	10.600	46,080	0	-0.12360		
DAEGU #2				955.1	71.74	10.620	-40,130	0	-0.13680		
DGDG				956.1	71.25	10.640	-131,400	0	-0.14690		
31.5 KMS TRAVELLED IN 53 MINUTES AND 35 SECONDS				957.1	70.72	10.660	-231,100	0	-0.16270		
35.2 KPH AVERAGE SPEED 80.0 KPH TOP SPEED				958.1	70.13	10.670	-339,700	0	-0.18010		
MAXIMUM ACCELERATION IS 83 METERS PER SECOND SQUARE				959.1	69.48	10.690	-457,800	0	-0.19950		
MAXIMUM BRAKING IS -.69 METERS PER SECOND SQUARE				960.1	68.76	10.710	-585,900	0	-0.22090		
ENERGY CONSUMPTION				961.1	67.97	10.730	-724,500	0	-0.24470		
19.67 KWH / CAR KM 00 KWH / TRAILING CAR KM				962.1	67.09	10.750	-873,900	0	-0.27100		
78.32 WH / GROSS TONNE KM .00 WH / TRAILING TONNE KM				963.1	66.11	10.770	-1,035,000	0	-0.30010		
TOTAL ENERGY CONSUMED IS 618.905 KWH				964.1	65.03	10.790	-1,322,000	0	-0.35270		
AVERAGE POWER (IN TIME) IS 693.016 KW				965.1	63.76	10.810	-1,833,000	0	-0.46340		
PEAK POWER IS 3884.134 KW				966.1	62.1	10.820	-2,443,000	0	-0.58300		
167.2 AUX KW / VEHICLE .0 AUX KW / TRAILING CAR				967.1	60	10.840	-3,321,000	0	-0.69440		
ENERGY COMPONENTS IN KWH				968.1	57.5	10.860	-4,321,000	0	-0.69440		
ELECTRICAL ENERGY INPUTED TO THE TRAIN				969.1	55	10.870	-5,169,000	0	-0.69440		
618.9 NET INPUT				970.1	52.5	10.890	-6,018,000	0	-0.69440		
1079.1 GROSS INPUT				971.1	50	10.900	-7,066,000	0	-0.69440		
-506.1 RECOVERED THROUGH REGENERATION				972.1	47.5	10.910	-8,214,000	0	-0.69440		
출대시간 열차속도 열대거리 Elec. To wheel 열차가속도				973.1	45	10.930	-9,563,000	0	-0.69440		
(sec)	(km/h)	(km)	(Watt)	(Watt)	(m/sec^2)						
208	30										
916.4	0	10.120	167,200	0	0.83330	991.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
917.4	3	10.120	499,800	302,700	0.83330	992.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
918.4	6	10.120	833,300	606,200	0.83330	993.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
919.4	9	10.120	1,168,000	910,700	0.83330	994.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
920.4	12	10.130	1,504,000	1,216,000	0.83330	995.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
921.4	15	10.130	1,841,000	1,523,000	0.83330	996.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
922.4	18	10.140	2,180,000	1,831,000	0.83330	997.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
923.4	21	10.140	2,520,000	2,141,000	0.83330	998.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
924.4	24	10.150	2,862,000	2,453,000	0.83330	999.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
925.4	27	10.150	3,207,000	2,786,000	0.83330	1000.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
926.4	30	10.160	3,553,000	3,081,000	0.83330	1001.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
927.4	33	10.170	3,833,000	3,336,000	0.81820	1002.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
928.4	35.94	10.180	3,879,000	3,378,000	0.75910	1003.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
929.4	38.68	10.190	3,881,000	3,379,000	0.70410	1004.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
930.4	41.21	10.200	3,862,000	3,362,000	0.65570	1005.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
931.4	43.57	10.210	3,839,000	3,342,000	0.61460	1006.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
932.4	45.78	10.230	3,795,000	3,302,000	0.50440	1007.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
933.4	47.6	10.240	3,743,000	3,254,000	0.47270	1008.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
934.4	49.3	10.250	3,737,000	3,248,000	0.45130	1009.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
935.4	50.93	10.270	3,760,000	3,270,000	0.43630	1010.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
936.4	52.5	10.280	3,777,000	3,285,000	0.42170	1011.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
937.4	54.02	10.300	3,788,000	3,295,000	0.40760	1012.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
938.4	55.48	10.310	3,794,000	3,300,000	0.39390	1013.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
939.4	56.9	10.330	3,799,000	3,305,000	0.38120	1014.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
940.4	58.27	10.340	3,806,000	3,311,000	0.36970	1015.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
941.4	59.6	10.360	3,809,000	3,314,000	0.35850	1016.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
942.4	60.9	10.380	3,809,000	3,314,000	0.34760	1017.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
943.4	62.15	10.390	3,805,000	3,310,000	0.33700	1018.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
944.4	63.36	10.410	3,798,000	3,304,000	0.32670	1019.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
945.4	64.54	10.430	3,792,000	3,299,000	0.31700	1020.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
946.4	65.68	10.450	3,803,000	3,308,000	0.30980	1021.1	0	11.040	167,200	0	0.00000
947.4	66.79	10.460	3,811,000	3,316,000	0.30260	209	30				

열차운행 SIMULATION DATA

< 208 → 209 >

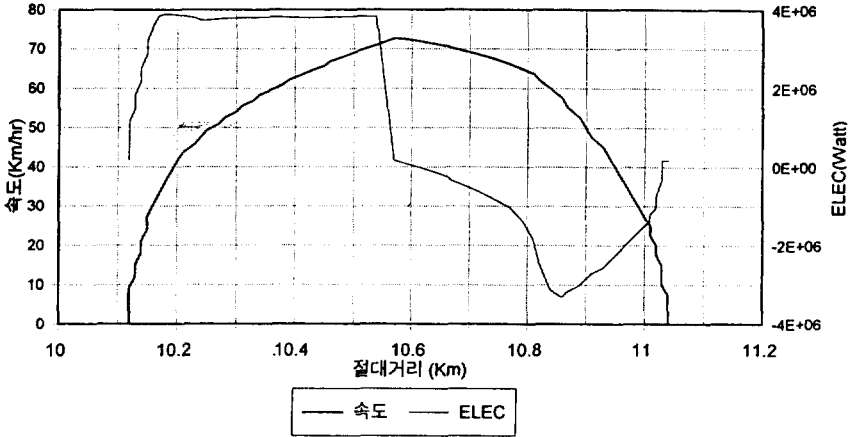


그림 4 열차운행 선도

4. 맺음말

이상으로 열부하계산사례를 소개하였으나, 지하철에서의 기계설비는 기본적으로 지하공간에서의 쾌적한 환경을 제공하고자 하는데 그 목적이 있다.

향후 지하철에 있어서는 승강장에서의 스크린도어(Screen Door) 설비의 도입, 지하철 터널 내에서 열차의 이동에 따른 공기유동해석을 통한

효율적인 열차풍 제거, 효율적인 제진설비의 도입 및 소음에 대한 대책 등 기계설비분야에서의 많은 노력과 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 일본 유통교통시설
2. 대구도시철도 2호선 기계설비분야 기본설계 관련 자료