

젯트팬 종류식 터널의 폐지응용 제어로직에 관한 연구

유 지 오^{*}, 남 창 호^{*}, 신 현 준^{**}

신흥대학 건축설비과, *범창종합기술(주), **건설기술연구원 건설설비연구그룹

The Study of Jet Fan Control Logic for Longitudinal Ventilation in Road Tunnel

Ji Oh Yoo^{*}, Chang Ho Nam^{*}, Hyun Jun Shin^{**}

Department of Building Equipment Engineering, ShinHeung College, KyungGee 117, Korea
Bunchang Engineering Inc., Seoul, Korea

Korea Institute of Construction Technology, KyungGee, Korea

(Received January 12, 2000; revision received May 2, 2000)

ABSTRACT : In tunnel ventilation, the purpose of ventilation control is to keep the required pollution level with minimum consumption of energy. But tunnel ventilation has large disturbances caused by discharge of pollutants, traffic forces especially strong for longitudinal ventilation. Hence in this paper, the tunnel ventilation control logic applying fuzzy control theories is proposed and the simulation program of tunnel ventilation control is developed. The characteristics of longitudinal ventilation with jet fans are estimated and the effect of the proposed tunnel ventilation control is verified by the simulation program.

Key words : Tunnel ventilation(터널환기), Longitudinal ventilation system(종류식 환기방식), Jet fan(젯트팬), Ventilation system control (환기제어)

기호설명

- A : 단면적 [m^2]
 C : 오염물질의 농도 [ppm, 1/m]
 D : 확산계수 [m^2/s]
 F : 환기력 및 마찰저항
 L : 길이 [m]
 N : 교통량 및 팬 대수[대/km · lane]
 q : 단위길이 당 송배기량 [$m^3/m \cdot s$]
 S : 오염물질 발생량 [m^3/s]
 t : 시간 [s]
 V : 풍속 [m/s]

그리스 문자

- η : �ett팬 효율 [%]
 ρ : 공기의 밀도 [kg/m^3]
 ζ : 국부마찰손실계수
 λ : 벽면마찰계수

상첨자

- + : + 방향
 - : - 방향

하첨자

* Corresponding author
 Tel.:+82-351-870-3315; fax:+82-2-870-3313
 E-mail address:jolew@shinheung-c.ac.kr

r : tunnel

t : 차량
j : Jet fan
n : 자연환기

1. 서론

도로터널에서 환기는 차량 및 장대터널의 증가와 함께 그 중요성이 대두되게 되었으며, 문제시되는 오염물질은 생리적인 영향을 미치는 CO가스와 가시거리를 저해하여 안전운행에 영향을 주게 되는 매연이 추가 되며, 터널의 환기 시스템은 오염물질의 농도를 허용기준 이하로 유지하기 위하여 신선공기를 공급하는 기계시설과 이를 제어하기 위한 제어 시스템으로 구성된다.

환기 시스템에 대한 설계는 최근까지도 외국의 경험 및 설계기준에 전적으로 의존하고 있어 시스템 설계 및 선정시에 많은 문제점을 안고 있을 뿐만 아니라, 제어분야는 많은 경험과 노하우를 필요로 하기 때문에 외국시장의 개방에도 불구하고 터널환기분야에 있어서 가장 취약한 분야로 실측 및 해석적인 연구가 시급한 실정이다.

환기제어 시스템은 터널내 상황을 감시하기 위한 감시센서(CO, VI센서, 교통량센서, 풍속센서, 주행속도 센서)와 환기기 및 제어부로 구성되며, 환기제어는 평상시 운영비의 경감과 환기의 신뢰성 확보를 목적으로 하는 평상제어와 터널 화재시 피난과 소화활동을 지원하기 위해 풍속을 소정의 속도로 유지하기 위한 비상제어로 대별된다.

터널내 오염농도는 차량의 수 및 자연풍의 영향을 받으며, 또한 차량의 주행속도에 따라 허용기준치가 변하고 오염농도의 정도에 따라 제어출력이 변하게 되므로 터널제어는 비정상상태의 제어특성을 갖는다. 현재 외국의 경우에는 다양한 제어기법을 도입하여 제어하고 있으나^(1,2), 국내에는 예상되는 몇 개의 운전모드를 정해놓고 모드별로 운전되는 젯트팬 대수를 미리 정하여 운전하고 있으며 실제 운전되는 젯트팬 대수는 운전자의 경험에 의한 시행착오에 의해 결정되고 있는 실정이다.⁽³⁾

따라서 본 연구에서는 종류식(jet fan방식)환기 방식의 터널에서 제어로직 구현을 위해 터널길이 및 대형차 혼입율에 따른 환기특성을 파악하고 이를 기초로 하여 오염물질의 농도 및 변화량을

입력치로 하여 젯트팬 가동댓수를 출력으로 하는 페지옹용 젯트팬 제어로직을 개발하며, 또 교통량 변화에 따른 비정상상태의 터널내 풍속 및 오염물질의 농도계산을 수행하기 위한 제어 시뮬레이션 프로그램을 개발하고 이를 통해서 효율적인 제어를 실현할 수 있는 제어기법의 개발에 목적 있다.

2. 종류식 환기방식에 대한 이론

2.1 터널내 압력 평형식

제어 목적상 교통류의 변화에 따른 터널내 오염물질의 농도 예측을 위해서는 비정상 상태하의 풍속을 구할 필요가 있으며, 이는 터널내 공기에 작용하는 압력 평형식으로부터 구할 수 있다. 터널내 공기에 작용하는 각종 환기력 및 저항력은 식(1)이 되며, 이 식을 Runge Kutta method에 의해서 풀어 시간에 따른 터널내 풍속을 구하였다.

$$\rho A_r L_r \frac{dV_r}{dt} = \sum F \quad (1)$$

여기서,

$$\sum F = F_t + F_j + F_r + F_n \quad (2)$$

이며, 이것은 터널내 공기주에 작용하는 힘의 합을 의미하며, F_t : 차량의 주행에 의한 교통환기력, F_j : 젯트팬의 환기력, F_r : 벽면마찰 및 입출구 손실, F_n : 자연풍에 의한 환기저항을 나타내는 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁽⁴⁾

$$F_t = \frac{\rho}{2} A_m \{ N_t^+ (V_t - V_r)^2 - N_t^- (V_t + V_r)^2 \} \quad (3)$$

$$F_j = \eta_j N_j |V_j| A_j (V_j - V_r) \quad (4)$$

$$F_r = \frac{\rho}{2} A_r (1 + \zeta + \lambda \frac{L_r}{D_r}) V_r |V_r| \quad (5)$$

$$F_n = \frac{\rho}{2} A_n (1 + \zeta + \lambda \frac{L_r}{D_r}) V_n |V_n| \quad (6)$$

2.2 도로터널내의 오염물질 확산식

도로터널의 공기오염은 차량의 배기ガ스에 의한 것으로 차량에서 배출되는 오염물질은 이류확산에 의해서 이동 · 확산된다. 터널내의 오염물질의 농도분포는 터널내 공기 유동이 극히 발달된

난류유동이기 때문에 터널 단면상에서 공기의 유동속도와 마찬가지로 균일한 것으로 가정한다.

터널내 임의 검사체적에서 오염물질의 이동방정식은 식(7)과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V_r \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{Cq_{ex} - C_i q_{in}}{A_r} + S_v \quad (7)$$

윗식을 $\bar{t} = \frac{V_r t}{L_r}$, $\bar{x} = \frac{x}{L_r}$ 로 무차원화하면 식(8)로 표현된다.

$$\frac{\partial C}{\partial \bar{t}} + V_r \frac{\partial C}{\partial \bar{x}} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 C}{\partial \bar{x}^2} - \frac{(Cq_{ex} - C_i q_{in})L_r}{V_r A_r} + \frac{L_r S_v}{V_r} \quad (8)$$

식(8)에서 Pe는 Peclet($V_r L_r / D$)수로 확산효과에 대한 이류효과의 비를 나타내는 것으로 도로터널의 길이가 1 km에 달하는 경우에 10^3 에서 10^4 정도 order의 수가 된다. 따라서 식(8)의 2차 미분항은 무시할 수 있으며, 또 q_{ex} 및 q_{in} 은 각각 제어면을 통한 유출입 되는 공기의 량이므로 젯트팬 방식의 종류 환기에서는 모두 0이 된다.

따라서 식(8)은 식(9)와 같이 나타낼 수 있으며, 이 식을 차분하여 시간에 따른 터널내 오염물질의 농도분포를 구하였다.

$$\frac{\partial C}{\partial \bar{t}} + V_r \frac{\partial C}{\partial \bar{x}} = S_v \quad (9)$$

여기서, S_v 는 터널내 단위체적당 오염물질 발생량으로 도로공사의 설계기준⁽⁵⁾에 준하여 구한다.

3. 제어기법

제어기법은 퍼지제어(fuzzy logic control)을 응용하였으며 퍼지논리 제어기는 3개의 부분, 즉 1) 실제의 오염농도 및 변화량을 퍼지화하는 퍼지화부(fuzzifier) 2) 규칙을 사용하여 퍼지추론하는 추론부(inference engine), 3) 퍼지추론 결과를 제어출력으로 변환하는 출력부(defuzzifier)로 구성되며, 또 정규화를 위한 데이터 테이블과 추론을 위한 제어규칙 테이블이 있다.

3.1 퍼지화부

퍼지화부는 센서에서 계측되는 제어입력값(오염물질의 농도 및 농도의 변화량)을 Table 1로 정규화 하여 퍼지상수(A)를 구한다.

본 연구에서는 CO농도와 변화량을 제어입력으로 하는 경우와 매연에 의한 오염정도를 나타내는 K (소멸계수; extinction coefficient)와 변화량을 제어입력으로 하는 경우로 나누어 퍼지화 하였으며, K 의 경우에는 K 에 대한 허용기준이 차량의 주행속도에 따라서 변하기 때문에 $V_t < 30$ $30 < V_t \leq 50$, $V_t > 50$ km/h로 나누어 정규화 테이블을 작성하였다. 즉 주행속도가 30km/h 이하에서는 $K=0.012$ m^{-1} , 30에서 50인 경우에는 $K=0.008$, 50이상에서는 $K=0.007$ 을 정규화 기준값으로 하였다. Table 1은 $V_t > 50$ 인 경우에 K 및 ΔK 의 정규화 테이블이다.

또한 CO농도는 저속($V_t < 30$)에서는 125 ppm, 정상운행시($V_t > 30$)에는 100 ppm을 기준으로 정규화 하였다.

Table 1 Quantization table

$\Delta K \times 10^3$	$K \times 10^4$	Qn.	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
2.4이상	12이상	6	1	0					
1.6~2.4	11~12	5	0.5	0.5					
0.8~1.6	10~11	4	0	1	0				
0.4~0.8	9~10	3		0.5	0.5				
0.2~0.4	8~9	2		0	1	0			
0.05~0.2	7~8	1			0.5	0.5			
-0.05~0.05	6~7	0			0	1	0		
-0.2~-0.05	5~6	-1				0.5	0.5		
-0.4~-0.2	4~5	-2				0	1	0	
-0.8~-0.4	3~4	-3					0.5	0.5	
-1.6~-0.8	2~3	-4					0	1	0
-2.4~-1.6	1~2	-5						0.5	0.5
-2.4이상	1이하	-6						0	1

3.2 추론부

정규화 테이블로부터 오염농도(K 또는 CO) 및 오염농도의 변화량(ΔK 또는 ΔCO)에 대한 퍼지상수를 구하고 제어규칙(Table 2)을 이용해서 퍼지규칙을 정한다. 본 연구에서는 입력 값에 따라 2개 또는 4개의 제어규칙이 정해지게 된다. 본 연구에서는 Mandami에 의해서 제안된 추론법⁽⁶⁾(Max-Min법)을 적용하여 제어출력을 구하였다.

n 개의 퍼지규칙으로 구성된 제어기의 경우 제어규칙 R_i 는 다음과 같이 표현된다.

$$R_i: \text{If } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{i2} \text{ then } w \text{ is } C_i$$

여기서, x_1, x_2 는 제어입력 변수이며, w 는 제어 출력변수이다.

Mandami의 Max-Min추론을 적용하면 각 제어 규칙에 대한 결론 $C^*(w)$ 은 식(11)과 같이 표현된다.

$$C^*(w) = A_{i1}(x_1) \wedge A_{i2}(x_2) \wedge C_i(w) \quad (11)$$

여기서, 멤버쉽 함수 $A(x)$ 는 x 가 퍼지집합 A 에 속하는 정도를 식(12)와 같이 0에서 1로 나타낸 것이다. 즉 조건부 변수가 명확한 값(crisp value)을 갖는 경우에는 1, 그렇지 않은 경우에는 0이 된다.

$$A_i(x_1) = \begin{cases} 1 & (x_1 = x_1^0) \\ 0 & (x_1 \neq x_1^0) \end{cases} \quad (12)$$

따라서, n 개의 퍼지규칙으로 구성된 제어기의 경우에 최종의 추론값 $C^*(w)$ 는 식(13)과 같다.

$$C^*(w) = C_1^*(w) \vee C_2^*(w) \vee \dots \vee C_n^*(w) \quad (13)$$

3.3 비퍼지화 (defuzzification)

추론된 $C^*(w)$ 는 직접 제어출력으로 사용할 수 없으므로 이를 제어출력으로 변화하여야 하는 데 이를 비퍼지화라 하며, 식(14)로 표현되는 무게중심법(Center of weight)법에 의해서 제어출력 w^o 를 구했다.

Table 2 Fuzzy Rule

$K \setminus K$	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	Z
PM	PM	PM	PM	PS	PS	Z	NS
PS	PM	PM	PS	PS	Z	NS	NS
Z	PM	PS	PS	Z	NS	NS	NM
NS	PS	PS	Z	NS	NS	NM	NM
NM	PS	Z	NS	NS	NM	NM	NB
NB	Z	NS	NS	NM	NM	NB	NB

$$w^o = \frac{\sum_{i=1}^n C_i^*(w) \cdot w}{\sum_{i=1}^n C_i^*(w)} \quad (14)$$

또 제어출력(w^o)은 -6에서 6으로 표현되며, 이로부터 젯트팬수의 변화량은 식(15)로 계산한다.

$$\Delta N_f = w^o \cdot N_{f_{max}} / 6 \quad (15)$$

4. 제어 시뮬레이션

Table 3에 제시된 모델터널을 대상으로 종류환기 방식의 환기특성을 검토하고 제어 시뮬레이션 프로그램에 의해서 제어로직 및 각종 상수에 대한 검토를 수행하였다.

4.1 모델터널의 환기특성

Fig. 1은 모델터널에서 젯트팬 수(N_f)에 따른 터널내 풍속(V_f)을 주행속도($V_t=10 \sim 80 \text{ km/h}$)를 변수로 해서 나타낸 것이다. 터널내 풍속은 주행속도가 30 km/h 이상인 경우에는 기울기의 차이는 있으나 젯트팬 수가 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있으며, 젯트팬 수가 0대 일 때 터널내 풍속은 교통환기력에 의한 풍속으로 일반적으로 피스톤 속도 또는 자연환기속도라 하며, 주행속도가 증가하면 증가하며, 증가하는 정도는 고속이 될수록 점차 감소하는 경향을 갖는다.

Table 3 Specification of model tunnel

Physical characteristics	Length (m)	2000
	Average grade (%)	1
	Heavy vehicle ratio (%)	30
	Area (m ²)	65.51
	Hydraulic diameter (m)	8.243
	Perimeter (m)	31.79
	Lane	2
	Altitude (m)	400
Air flow parameter	Traffic flow	1-way
	Wind velocity (m/s)	2.5
	Flow entrance coefficient	0.6
	Flow exit coefficient	1
	Friction coefficient	0.025

Table 4 Units of required jet fan

V_t	10	20	30	40	50	60	70	80
ϕ	C O							
22.5	4	12	2	11	-	7	-	6
25.0	4	15	2	13	-	10	-	9
27.5	4	19	3	16	-	13	-	13
30.0	4	23	3	19	-	15	-	17
32.5	5	28	4	23	-	18	-	22
35.0	5	34	4	27	-	21	-	26

Table 4는 대형차 혼입율(ψ)이 22.5%~35%의 범위에서 모델터널 대해서 주행속도별로 요구되는 젯트팬 수를 나타낸 것이다.

CO를 환기대상으로 하는 경우에는 20 km/h이하의 주행속도에서는 환기를 위해 젯트팬의 설치가 필요하나 주행속도가 30 km/h이상에서는 모든 경우에 젯트팬이 필요 없는 것으로 나타났다. 또 혼입율이 증가하면 젯트팬 수는 증가하고 있으나 거의 차이가 없는 것으로 나타나고 있다.

매연(K)을 환기대상으로 하는 경우에도 최대 젯트팬 수는 주행속도가 가장 작은 10 km/h에서 나타나고 있으며, 혼입율이 증가하면 크게 증가하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

따라서 터널제어 로직을 구성하는 경우에는 CO보다는 매연을 대상물질로 해야 할 것으로 판단되며, 터널내 대형차 혼입율은 설계 조건대로만 운행되는 것이 아니므로 젯트팬 선정시 이에 대한 고려도 포함되어야 할 것으로 판단된다.

지체시(10 km/h)에 K의 허용 값은 도로공사 기준⁵⁾에 0.008로 정하고 있으나, 이 값을 설계에

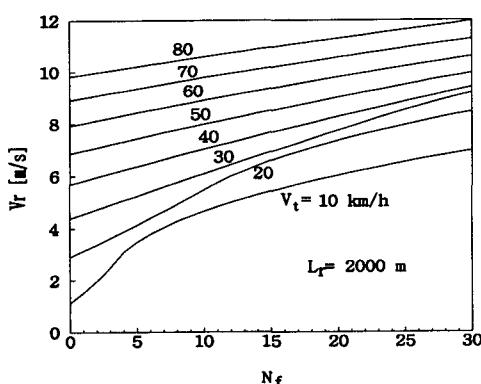


Fig. 1 Variation of air flow velocities with jet fan.

적용하는 경우에 환기용량이 과대해지기 때문에 일반적으로 터널설계시 저속시에는 가시거리가 문제시되지 않는다는 측면에서 무시하고 있으나, 본 연구에서는 PIARC⁽⁷⁾에서 제시하는 터널 폐쇄 조건에 해당하는 0.012 m^{-1} 를 넘으면 저속이기 때문에 가시거리는 그다지 문제가 되지 않을 지라도 극도로 불쾌감을 야기할 것이라는 판단 하에 10 km/h에서 허용기준으로 0.012 m^{-1} 하여 젯트팬 수는 24대로 결정했다.

Fig. 2는 제어 시뮬레이션 프로그램의 타당성을 확인하기 위해서 Ohashi⁽⁸⁾에 의해서 실측된 데이터(●)와 계산결과(실선)를 비교한 것으로 연장이 880m인 터널에서 6대의 젯트팬을 가동하는 경우 시간에 따른 풍속변화 및 정지시 풍속변화를 나타낸 것이다.

젯트팬을 가동하는 경우에 정상상태에 도달한 후의 풍속은 잘 일치하고 있으나, 실측결과보다 속도증가가 급격한 것으로 나타나고 있다. 이는 실제의 경우에는 젯트팬 가동후 정상출력에 도달하는 시간이 필요하나 본 프로그램에서는 이에 대한 고려를 하지 못하고 가동순간 최대출력을 내는 것으로 처리하였기 때문에 이로부터 발생하는 차이라고 판단된다. 또 정지시에는 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. Ohashi는 터널내 풍속 측정시 한 단면에서 18개 지점의 풍속을 측정하여 평균풍속을 구하고 있다.

Fig. 3은 모델터널에 대해서 시뮬레이션 프로그램에 의해서 계산된 풍속 및 오염물질의 농도를 현재 터널설계 기준⁽⁵⁾에 의해 계산된 결과와 비교한 것으로 본 프로그램에 의해서 계산되는

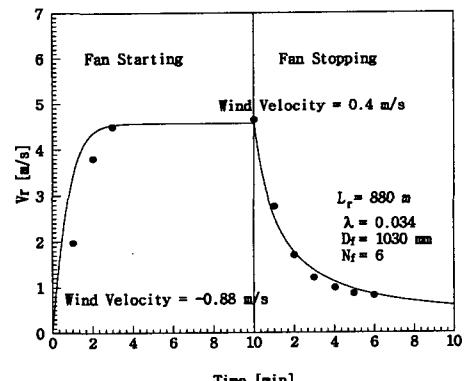


Fig. 2 Comparison air flow velocities at starting and stopping of jet fans.

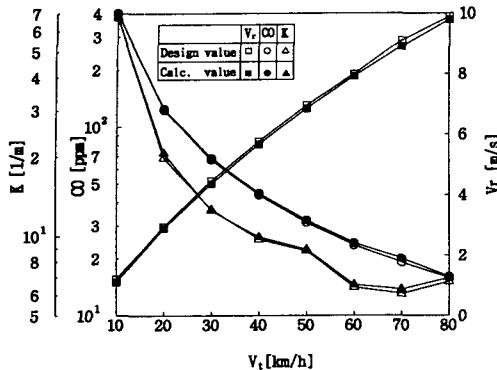


Fig. 3 Comparison design and computed value.

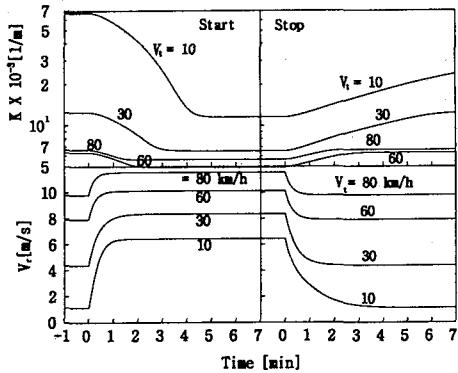
풍속이 설계치 보다 평균 1%정도 낮게 나타나고 있으며, 이에 따라서 터널내 오염물질의 농도는 약간 크게 나타나고 있으나 오차는 1%이내로 거의 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 젯트팬 운전에 따른 터널내 풍속 및 오염농도(K)가 정상상태에 도달하는데 걸리는 시간지연을 알아보기 위해서 터널 길이가 2000 m이고 주행속도가 10, 30, 60, 80km/h일 때 시간에 따른 V_r 및 K의 변화를 나타낸 것으로 그림에서 start는 젯트팬을 가동하지 않고 있는 상태에서 24대의 팬을 동시에 가동하는 경우이며, stop은 젯트팬을 정지하는 경우이다.

터널내 풍속은 일정시간이 경과한 후에 정상상태에 도달하며, 시간지연은 가동시보다 정지시에 더 크게 나타나고 있으며, 또한 주행속도가 증가할수록 시간지연은 감소하는 것으로 나타났다. 또 오염물질의 농도는 풍속이 정상상태에 도달하는데 걸리는 시간보다 더 많은 시간지연이 발생함을 알 수 있다.

또 Fig. 5는 터널길이가 1500~2500 m인 범위에서 터널길이가 풍속이 정상상태에 도달하기 위한 시간지연에 미치는 영향을 주행속도에 따라 나타낸 것이다. 이때 젯트팬은 24대를 동시에 가동하는 경우이다.

지체교통(주행속도 30 km/h이하)에서는 주행속도가 30 km/h 일 때 시간지연이 가장 크게 나타나며, 이때 시간지연은 최대 235초에서 최소 145초이며, 또 원활 교통(40 km/h이상)에서는 주행속도가 증가할 수록 시간지연은 감소하는 경향을 가지며 최대 191초에서 최소 118초의 분포를 보

Fig. 4 Variation of V_r and K at starting and stopping of jet fan ($N_f=24$).

이고 있다. 또 원활시에는 계산범위에서는 터널길이가 증가하여도 시간지연은 그다지 커지지 않는 것으로 나타나고 있다.

따라서 교통환경력이 크게 작용하는 원활 주행시보다는 지체시에 시간지연이 보다 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

4.2 제어로직에 대한 검토

제어로직에 대한 검토를 위해서 터널제어 시뮬레이션 프로그램을 작성하였으며, 모델터널을 대상으로 가상 교통량을 이용하여 제어를 수행하여 보았다.

가상교통량은 식(15)로 표현되는 단위 길이당

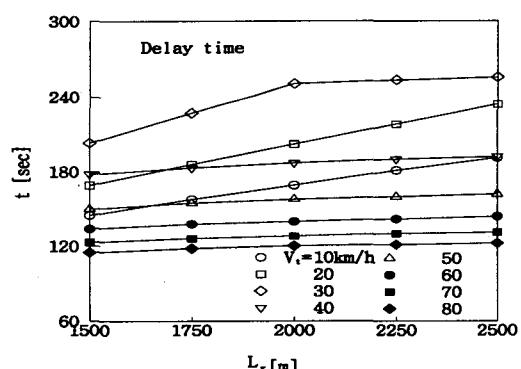


Fig. 5 Variation of delay time with tunnel length.

터널내 차량수(DPC : Density of passenger car)를 기준으로 하였으며, 이 값은 주행속도와 일대일로 대응되는 관계를 가지므로 이로부터 터널내 주행속도를 구하였다.

$$N_t = \frac{1}{2} (N_{t_{\max}} - N_{t_{\min}}) \left\{ \sin \left(\frac{1}{2} \left(\frac{4t}{3600} \pi - 1 \right) \right) + 1 \right\} + N_{t_{\min}} \quad (15)$$

Fig. 6은 가상 교통량 하에서 자연환기시 터널내 풍속과 오염물질의 농도를 나타낸 것으로 이 경우에는 터널내 오염물질의 농도는 저속에서 증대하는 경향을 갖는다.

또 그림에서 오염물질의 최대농도는 교통량이 최대가 되는 시점에서 즉시 나타나는 것이 아니라 상당한 시간이 경과한 후에 나타나고 있다.

또 정상상태라는 가정 하에 계산되는 설계시에는 정체시(10 km/h)에 CO의 최대농도는 390 ppm 이상이 되는 것으로 계산되고 있으나, 시뮬레이션 결과에서는 약 300 ppm 정도로 나타나고 있는데, 이것은 시간지연에 의한 것으로 판단된다. 또 주행속도가 80 km/h 부근에서 오염농도가 최소가 되고 있으며, 이 경우에는 시간지연이 거의 없는 것으로 나타나고 있다.

Fig. 7은 제어주기를 3분으로 하여 K 및 ΔK 를 제어입력으로 하는 경우에 V_r 과 N_t , CO농도 및 K를 나타낸 것이다.

그림에서 K는 허용기준을 중심으로 하여 다소의 편차를 보이며 제어되고 있음을 알 수 있다. 이때 기준값에 대한 편차는 8.4%로 나타나고 있

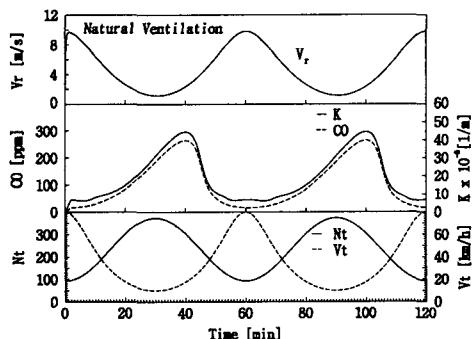


Fig. 6 Results of simulation for natural ventilation.

으나 편차가 이와 같이 크게 나타나는 것은 원활한 교통흐름의 경우에는 작은 편차를 보이고 있으나 저속시에 편차가 상대적으로 크기 때문에으로 판단된다. 또 그림에서 CO농도는 K를 만족하면 모든 경우에 만족하는 것을 알 수 있다.

그림에서 저속시 K값은 허용기준인 0.008을 초과하고 있는데, 이것은 프로그램에서 저속시 허용기준을 0.012로 하고 있기 때문이다.

Fig. 8은 CO농도 및 변화량을 제어입력으로 제어하는 경우를 나타낸 것이다. 이 경우에 CO의 농도는 허용기준 이하를 유지하고 있으나 K값은 허용농도를 크게 상회하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 상대적으로 음 적게 요구되는 CO농도를 제어대상으로 하는 경우에는 K값을 기준이하로 유지하기 위해서 보단 엄격한 기준의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 9는 제어주기에 따른 평균오차 및 24대의 젯트팬을 전시간 동안 가동하는 것에 대한 가동률을 나타낸 것이다.

그림에서 제어주기를 1분에서 7분으로 하는 경우에 오차율은 7.5%에서 11.8%정도로 증가하며, 가동률은 70%에서 56%정도로 감소하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 제어주기가 짧을 수록 오차가 작은 제어가 실현될 것으로 판단되나 젯트팬 가동률이 증가하기 때문에 소비동력이 증대하므로 터널제어에서는 시간지연을 고려하여 적절한 제어주기를 선정하고 실제 터널 개통 후에 이에 대한 조정을 행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

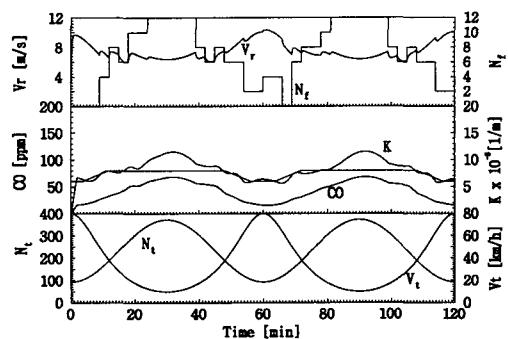


Fig. 7 Results of simulation for jet fan control (Control interval : 3 min, control value : K).

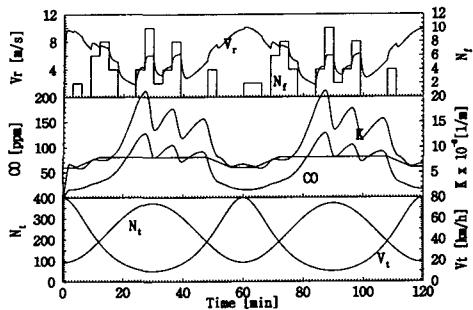


Fig. 8 Results of simulation for jet fan control. (control interval : 3 min, control value : CO)

5. 결론

본 연구에서는 종류환기방식(jet fan방식)의 터널의 제어를 위해서 제어측면에서의 환기특성을 파악하여 퍼지로직에 의한 제어알고리즘을 구현하였으며, 또 제어 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 프로그램의 타당성을 확인하고 또 이를 이용하여 제어로직에 대한 검토를 수행하였다.

- 제어 시뮬레이션 프로그램의 타당성을 검토하기 위해서 Ohashi의 실측결과와 비교한 결과, 비교적 잘 일치하고 있다.
- 대형차 혼입율이 증가해도 CO농도를 허용기준으로 유지하기 위한 젯트팬 소요댓수는 그다지 증가하지 않으나, 매연의 경우에는 증가폭이 크게 나타나고 있다.
- 젯트팬을 가동/정지시 터널내 풍속이 정상상태에 도달하기 위한 시간지연은 주행속도가 30 km/h일 때 가장 크게 나타나고 있으며, 주행속도가 40 km/h 이상에서는 주행속도가 증가하면 시간지연이 작게 나타나고 있다.
- 제어 시뮬레이션 결과, 터널내 오염농도는 자체시에 중대하는 경향을 갖으며, 이에 따라 젯트팬 소요댓수는 자체시에 결정되며, 매연을 대상으로 환기제어를 구성하면 저속시에도 CO가스의 농도를 허용농도 이하로 유지할 수 있음을 알 수 있다.
- 제어주기가 짧을수록 허용기준을 초과하는 오차율은 감소하나 소비동력이 증가하는 경향을 보이고 있다.

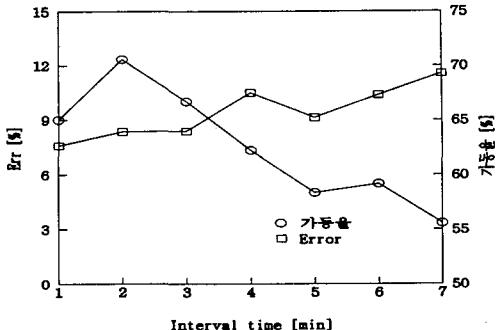


Fig. 9 Comparison of mean error per -centage with control interval

참고문헌

- Tatsuro Yoshimochi, 1993, A ventilation control system using fuzzy control for two-way traffic tunnel in highway, Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels 8th Int. Sym., pp. 873~881.
- K.Ikebe, 1993, Verification of saving energy effect by road tunnel ventilation control system based on knowledge engineering and Fuzzy theory. Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels 8th Int. Sym., pp.883~901.
- Korea Highway Corporation. 1996, The study on ventilation system of tunnel, Seoul.
- Metropolitan Expressway Public Corporation, 1993, The report of ventialtion system of tunnel, Tokyo.
- Korea Highway Corporation, 1977.10, A standard of ventilation system of highway tunnel, Seoul.
- E.H Mandami, 1977, Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant, Proc. IEE, Vol.121, No.12, pp.1585~1588.
- Permanent International Association of Road Congress, 1987, XIII World Road Congress, Brussels, 87 Report
- H. Ohashi, 1979, A study on a longitudinal ventilation system using the enlarged jet fans, Aerodynamics & Ventilation of Vehicle Tunnels 2th Int. Sym., pp.D2-19~44.