

# 터널 일산화탄소 농도 제어를 위한 직렬 제어 알고리즘

한도영\*, 윤진원\*

국민대학교 기계·자동차공학부, \*국민대학교 기계공학과 대학원

## A Cascade Control Algorithm for the CO Level Control of a Long Road Tunnel

Doyoung Han<sup>\*</sup>, Jinwon Yoon<sup>\*</sup>

*Department of Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul, Korea*

*<sup>\*</sup>Graduate school of Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul, Korea*

*(Received March 19, 2004; revision received December 10, 2004)*

**ABSTRACT:** For a long road tunnel, a tunnel ventilation system may be used in order to reduce the pollution level below the required level. To control the tunnel pollution level, a closed loop control algorithm may be used. The cascade control algorithm, which composed of a jet fan control algorithm and an air velocity setpoint algorithm, was developed to regulate the CO level in a tunnel. The verification of control algorithms was carried out by dynamic models developed from real tunnel data sets. The simulation results showed that control algorithms developed for this study were effective to control the tunnel ventilation system.

**Key words:** Road tunnel ventilation system(도로터널 환기 시스템), CO control algorithm(일산화탄소 제어 알고리즘), Dynamic model(동적 모델), Neural network(신경망), Jet fan control algorithm(제트팬 제어 알고리즘), Air velocity setpoint algorithm(풍속 설정 알고리즘)

---

### 기 호 설 명

$C_L$  : 일산화탄소 농도  
 $EV_r$  : 터널내 평균 풍속  
 $ETr$  : 평균 통합 차량정보  
 $Tr$  : 통합 차량정보  
 $Vr$  : 터널내 풍속  
 $t$  : 시간

$W$  : 가중치  
 $b$  : 바이어스

### 1. 서론

차량의 증가와 도로터널의 장대화에 따라 도로 터널의 환기가 중요시되고 있다. 터널 환기의 목적은 자동차에서 배출되는 일산화탄소(CO), SOx, NOx, 매연 등의 오염물질을 터널 외부로 배출함으로써 운전자의 안전을 보장하는데 있다. 이러한 오염물질 중 생리적인 영향을 미치는 일산화탄소와 가시거리를 저해하는 매연을 주로 측정하

---

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel: +82-2-910-4675; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: dyhan@kookmin.ac.kr

여 이를 허용기준 이하로 유지하고 신선한 공기를 공급하도록 터널 환기 제어가 수행되고 있다.

그러나, 국내 실정상 비선형적 특성을 지니고 있는 터널 유동 특성을 고려한 제어 알고리즘이 아닌 단순 제어 알고리즘만을 터널 환기 시스템에 적용하고 있어 오염물질 증가와 시거리 감소에 의해 운전자의 안전을 위협하고 있으며 에너지가 과소비되고 환기 설비의 수명이 단축되어 경제적인 손실을 초래하고 있다.<sup>(1)</sup> 따라서 개루프 구조의 단순 제트팬 대수 제어 알고리즘 대신 터널의 특성에 적절히 대응할 수 있는 폐루프 구조의 제어 알고리즘의 개발이 요구되고 있으나 터널 환기 설계를 위주로 국내의 연구가 진행되고 있어 제어 알고리즘에 대한 연구가 미진한 실정이다.

본 논문에서는 터널의 환기 제어를 위해 제트팬 제어 알고리즘과 풍속 설정 알고리즘을 적용한 직렬 제어 알고리즘을 개발한 후 실측 데이터를 사용한 동적 모델<sup>(2,3)</sup>에 적용하고 그 성능을 검증하여 터널의 비선형적 특성에 대응할 수 있는 폐루프 구조의 터널 환기 제어 알고리즘을 제시하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 동적 모델

터널 환기를 위한 제어 알고리즘 개발을 위하여 터널내 일산화탄소의 동적 모델과 터널내 풍속의 동적 모델을 개발하였다. 대관령 제 5 터널에서 2002년 2월 21일과 2002년 2월 27일 사이에 실측된 데이터를 사용하여 학습된 신경망을 터널내 일산화탄소 동적 모델로 사용하였고 육십령 터널에서 실측된 데이터<sup>(4)</sup>를 사용하여 모델링한 시간 지연을 갖는 1차 시스템을 터널내 풍속 동적 모델로 사용하였다.

### 2.1 터널 일산화탄소 동적 모델

신경망을 사용하여 터널내 일산화탄소의 동적 모델을 구성하였으며 신경망의 구조는 Fig. 1에서와 같이 입력층, 출력층, 그리고 2개의 은닉층으로 구성되어 있다. 신경망의 출력인 현재의 일산화탄소 농도  $C_L(t)$ 을 추정하기 위하여 신경망의 입력항으로서 현재의 10분간 터널내 평균 풍속  $EV_r(t)$ , 과거 3개의 10분간 터널내 평균 풍

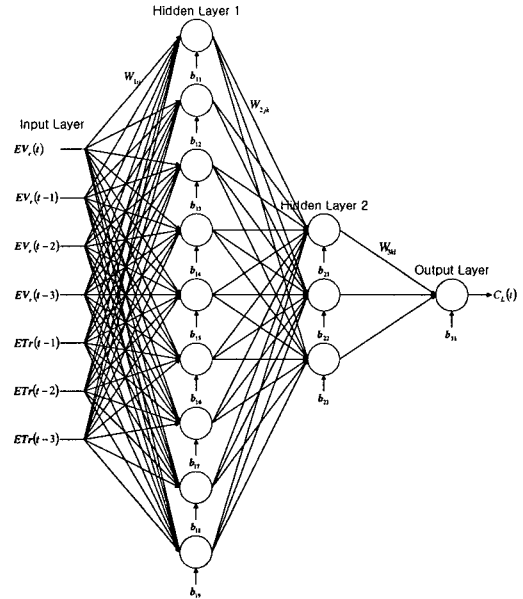


Fig. 1 Tunnel CO dynamic model.

속  $EV_r(t-1)$ ,  $EV_r(t-2)$ ,  $EV_r(t-3)$ , 과거 3개의 10분간 평균 통합 차량정보  $ETr(t-1)$ ,  $ETr(t-2)$ ,  $ETr(t-3)$  등 총 7개를 선정하였으며 10분간 평균 통합 차량정보를 계산하기 위하여 사용된 통합 차량정보  $Tr(t)$ 는 식 (1)과 같이 정의하였고<sup>(5,6)</sup>

$$Tr(t) = 0.0514n_1(t)V_1(t) + 0.0870n_2(t)V_2(t) + 0.0757n_3(t)V_3(t) + 0.2945n_4(t)V_4(t) + 0.3394n_5(t)V_5(t) \quad (1)$$

여기서  $n_h(t)$ ,  $V_h(t)$ 는 소형, 중소형, 중형, 대형, 초대형 차종의 각각의 대수와 평균속도를 의미한다. 기하학적 피라미드 방법을 고려한 후,<sup>(6-8)</sup> 수렴정도와 학습시간을 고려하여 신경망의 첫 번째 은닉층의 뉴런 개수는 9개, 두 번째 은닉층의 뉴런 개수는 3개로 선정하였으며, 첫 번째 은닉층의 전달 함수는 Tangent-sigmoid 함수, 두 번째 은닉층의 전달 함수는 Log-sigmoid 함수, 출력층의 전달 함수는 Pure-linear 함수를 사용하였고, 학습 방법으로는 Newton 방법과 최급강하법이 조합된 Levenberg-Marquardt 방법의 역전파 알고리즘을 적용하였다.<sup>(9)</sup>

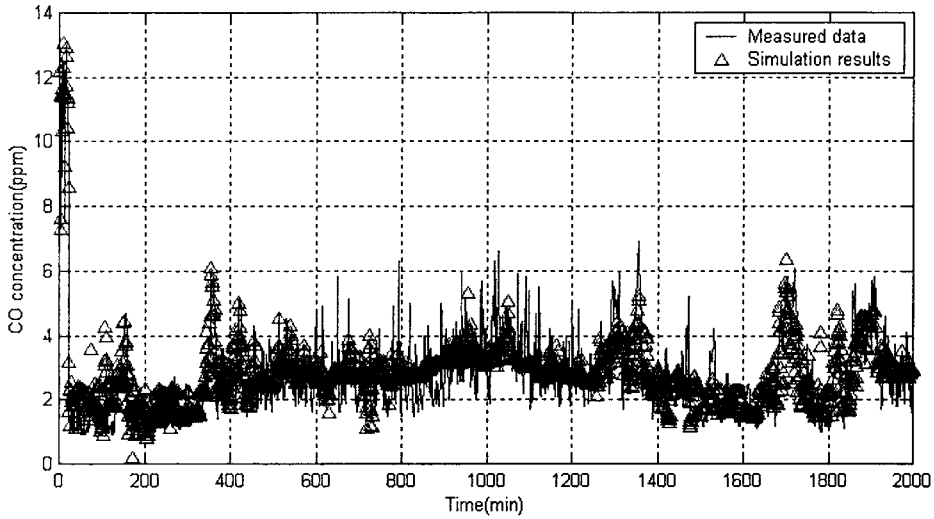


Fig. 2 Simulation results from CO model.

Fig. 2에는 대관령 제 5 터널의 실측 일산화탄소 농도와 실측 데이터로부터 학습된 Table 1과 Table 2와 같은 가중치  $W_{ijk}$ 와 바이어스  $b_{ij}$ 를 사용한 신경망에 의해 추정된 일산화탄소 농도를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 실측 일산화탄소 농도는 통과 차량의 대수, 속도, 터널내 풍속의 변화에 따라 1.3 ppm에서 11.3 ppm까지 측정

Table 1 Weight

		$W_{1ij}$						
$i \setminus j$		1	2	3	4	5	6	7
1		5.67	-3.26	2.25	2.60	-10.13	11.71	-6.79
2		1.62	-3.38	0.56	3.55	2.98	-3.39	1.98
3		-3.14	4.35	3.51	-7.81	-1.10	2.21	0.20
4		0.89	0.55	1.88	-3.75	-4.04	2.02	3.11
5		0.83	0.84	0.84	0.78	1.02	1.03	0.95
6		31.07	7.01	7.42	7.41	30.45	-9.98	-32.62
7		5.18	-4.81	4.93	-4.69	3.98	-4.24	3.65
8		2.79	-1.17	3.42	-4.32	-3.29	1.69	2.31
9		-3.67	4.52	10.47	10.35	-19.52	20.97	-19.69

		$W_{2jk}$								
$k \setminus j$		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		0.55	0.36	0.82	3.70	3.57	2.50	-0.73	-1.34	-1.12
2		28.84	-13.04	-8.12	-13.42	9.47	-31.42	-3.65	1.22	1.47
3		-0.32	6.10	4.60	9.12	-2.65	0.38	2.43	-1.55	-0.49

		$W_{3kl}$		
$l \setminus k$		1	2	3
1		-2.62	8.11	10.73

Table 2 Bias

		$b_{1i}$								
$i$		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		1.52	-2.36	1.60	1.40	2.84	-15.88	-4.51	-1.71	-15.98

		$b_{2j}$		
$j$		1	2	3
1		5.27	9.92	-7.16

		$b_{3k}$
$k$		1
1		-4.18

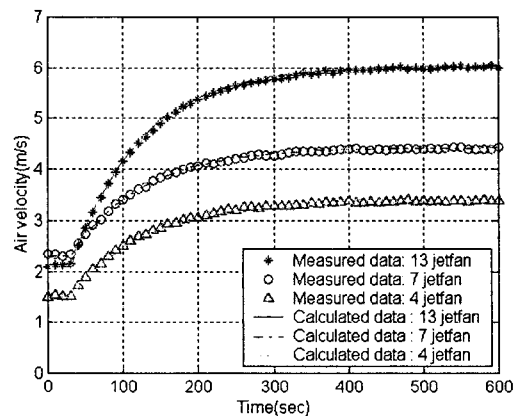


Fig. 3 Simulation results from air velocity model.

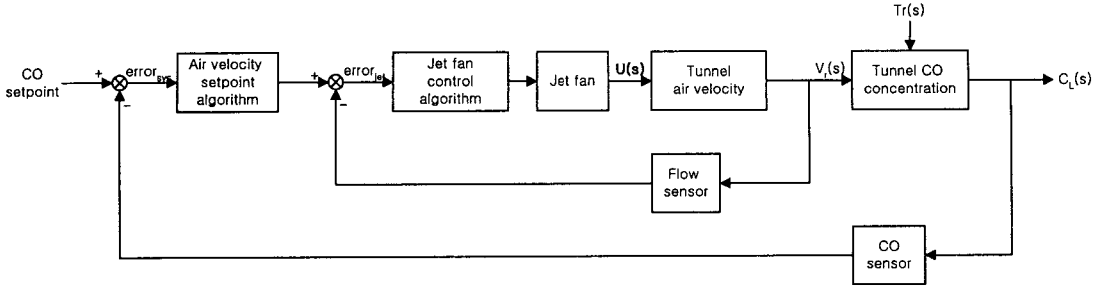


Fig. 4 Tunnel CO control algorithm.

되었으며, 실측 일산화탄소 농도와 일산화탄소 동적 모델에 의해 추정된 일산화탄소 농도와와 평균오차는 0.20 ppm으로 터널일산화탄소 제어알고리즘 개발에 적절히 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

### 2.2 터널 풍속 동적 모델

제트팬 제어 알고리즘의 개발에 터널 풍속 동적 모델을 사용하기 위하여 제트팬 가동대수  $U(s)$ 에 대한 터널내 풍속  $V_r(s)$ 의 동적 모델을 식 (2)와 같이 시간 지연을 갖는 1차 시스템으로 가정하였으며<sup>(10)</sup>

$$\frac{V_r(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-T_d s}}{\tau s + 1} \quad (2)$$

여기서  $K$ 는 정상상태 게인,  $T_d$ 는 시간지연,  $\tau$ 는 시정수를 의미한다.

Fig. 3에는 육십령 터널에서 실측된 터널내 풍속과 실측 데이터로부터 계산된 3.9, 30, 96의  $K$ ,  $T_d$ ,  $\tau$ 를 갖는 터널 풍속 동적 모델로부터 추정된 터널내 풍속 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 실측된 터널내 풍속과 터널 풍속 동적 모델로부터 추정된 터널내 풍속 간의 평균 오차는 0.2 m/s로서 개발된 터널 풍속 동적 모델을 터널내 풍속 제어 알고리즘 개발에 적절히 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

### 3. 터널 일산화탄소 제어 알고리즘

터널 환기 제어 시스템의 터널 일산화탄소 제어 알고리즘으로서 Fig. 4와 같은 직렬 제어 알고리즘(Cascade control algorithm)을 사용하였다. 직렬 제어 알고리즘은 터널내 풍속을 설정하는 풍속 설정 알고리즘과 설정된 풍속으로 제트팬 제어를 수행하는 제트팬 제어 알고리즘으로 구성되어 있다. 터널내 센서를 통해 측정된 일산화탄

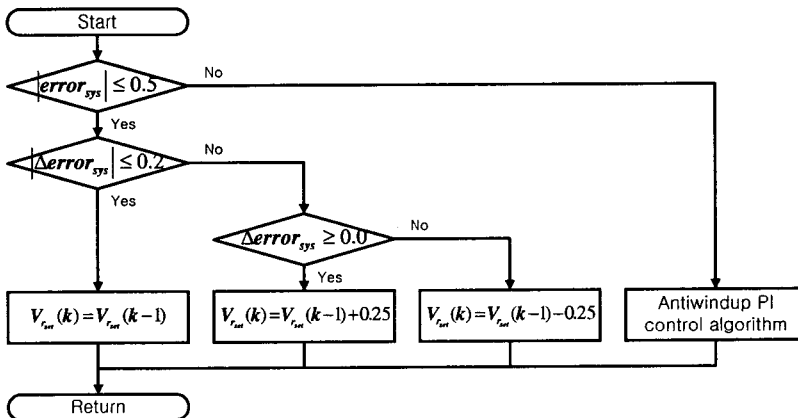


Fig. 5 Air velocity setpoint algorithm.

소 농도와 일산화탄소 농도 설정값을 사용하여 풍속 설정 알고리즘으로부터 터널내 풍속 설정값을 설정한 후, 설정값으로 터널내 풍속을 유지하기 위하여 제트팬 제어 알고리즘을 사용하여 제트팬을 제어하였다.

### 3.1 풍속 설정 알고리즘

터널 환기 설비인 제트팬의 잦은 기동/정지를 방지하면서 효과적으로 오염물질을 제거하기 위하여 12분 주기로 제어를 수행하는 Fig. 5와 같은 풍속 설정 알고리즘을 사용하였다.<sup>(10)</sup> 측정된 일산화탄소 농도와 설정값과의 오차  $error_{sys}$ 의 절대값이 0.5 ppm을 초과한 경우에는 비례게인은 5.0, 적분상수는 0.5, 반와인드업 게인은 20.0으로 선정한 반와인드업 비례적분 제어 알고리즘을 사용하여 풍속값을 설정하였고, 0.5 ppm 이하인 경우에는  $error_{sys}$  변화율  $\Delta error_{sys}$ 를 계산하여 절대값이 0.2 ppm/min 이하인 경우 풍속설정값을 과거 풍속설정값과 같게 유지시켰고, 0.2 ppm/min을 초과한 경우 오차가 비교적 크게 증가되고 있다고 판단되어  $\Delta error_{sys}$ 의 크기가 양수인 경우 풍속 설정값을 0.25 m/s씩 증가시키고 음수인 경우 풍속 설정값을 0.25 m/s씩 감소시킴으로써 구성하였다.

### 3.2 제트팬 제어 알고리즘

터널내 풍속을 풍속 설정 알고리즘에 의해 설정된 풍속으로 제어하기 위하여 3분 주기로 Fig. 6과 같은 제트팬 제어 알고리즘을 사용하였다.<sup>(10)</sup> 제트팬 제어 알고리즘은 터널내 풍속 설정값과 측정값과의 오차  $error_{jet}$ 를 변수로 한 비례게인 0.05, 적분상수 0.7인 비례적분 제어 알고리즘을 사용하여 제어출력을 계산한 후 터널에 설치되어 있는 공기 유동 속도를 측정하는 플로우 센서의 오차 특성을 고려하여  $|error_{jet}|$ 가 0.5 m/s보다 클 경우에는 계산된 제어출력을 정수화하여 제트팬 가동대수를 결정하였고  $|error_{jet}|$ 가 0.5 m/s보다 작을 경우에는 제트팬의 잦은 기동/정지를 방지하기 위하여 현재의 제어 출력이 과거의 제어 출력에 비해 1.2 이상 증가 시에는 제트팬 가동 대수를 1대 증가시켰고 1.2 이상 감소 시에는 제트팬 가

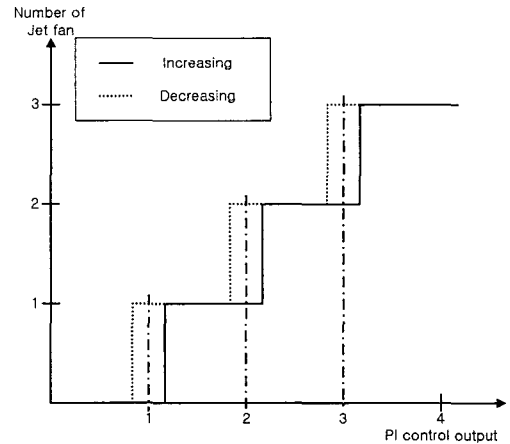


Fig. 6 Jet fan control algorithm.

동 대수를 1대 감소시켰다. 이 때 사용된 사역대의 크기는 반복 시뮬레이션을 통해 결정하였다.<sup>(10)</sup>

## 4. 제어 알고리즘 성능 분석

실측 데이터를 바탕으로 개발된 시뮬레이션 프로그램을 통해 제트팬 제어 알고리즘과 터널 일산화탄소 제어 알고리즘의 성능을 분석하였다. 제어 알고리즘에서 사용된 비례적분 제어기는 z-변환을 통해 1분의 샘플링 시간을 갖는 이산 형태로 정의하였다.<sup>(11)</sup>

### 4.1 제트팬 제어 알고리즘 제어 성능

제트팬 제어 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 2.5 m/s의 일정한 속도로 공기가 터널에 유입된다고 가정하고 설정값의 계단 변화 시험을 위하여 터널내 풍속 설정값을 0분에서 100분 사이에는 7 m/s로 설정하고 100분에서 200분 사이에는 9 m/s로 설정한 후 기본 비례적분 제어 알고리즘을 적용한 경우와 본 연구에서 개발된 제트팬 제어 알고리즘을 적용한 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 보듯이 기본 비례적분 제어 알고리즘을 사용한 경우 평균 오차가 0.07 m/s이었고 제트팬 제어 알고리즘을 사용한 경우 평균 오차가 0.15 m/s로서 오차는 증가하였으나, 제트팬 가동 대수의 변화는 기본 비례적분 제어 알고리즘을 적용한 경우 200분 동안 97회

변화하였고 제트팬 제어 알고리즘을 적용한 경우 단 5회 변화하여 제트팬 가동 대수 변화가 현저히 감소되었음을 확인할 수 있었다.

외란으로 2.5와 3.0 m/s 사이의 임의의 속도로 공기가 터널에 유입된다고 가정후후 기본 비례적분 제어 알고리즘을 적용한 경우와 본 연구에서 개발된 제트팬 제어 알고리즘을 적용한 경우에 대한 설정값의 계단 변화 시험을 수행하여 그 결과를 Fig. 9과 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 보듯이 기본 비례적분 제어 알고리즘을 사용한 경우 평균 오차가 0.3 m/s이었고 제트팬제어 알고리즘을 사용한 경우 평균 오차가 0.51 m/s로서 약간 증가하였으나, 제트팬 가동 대수의 변화는 기본 비례적분 제어 알고리즘을 적용한 경우 200분 동안 57회 변화하였고 제트팬 제어 알고리즘을 적용한 경우 단 14회 변화하여 제트팬 가동대수 변화가 현저히 감소되었음을 알 수 있었다.

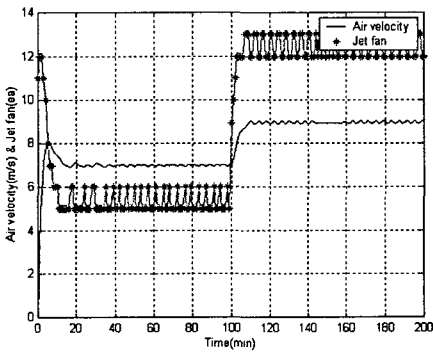


Fig. 7 Air velocity control by PI algorithm (w/o disturbance).

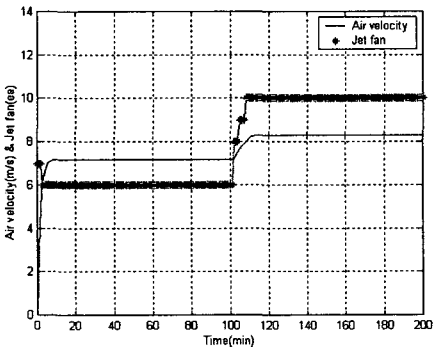


Fig. 8 Air velocity control by jet fan control algorithm(w/o disturbance).

유입된 차량의 속도에 따라 터널내 풍속은 매우 민감하게 변하게 된다. 터널 통과 차량의 속도가 느려지면 반응 속도가 느려져  $\tau$ 가 커지게

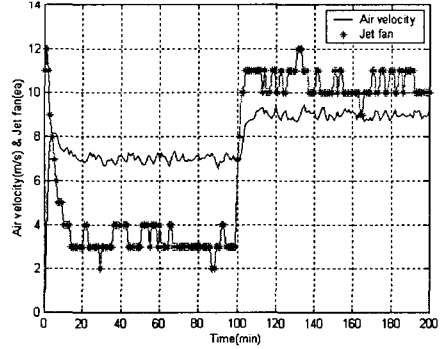


Fig. 9 Air velocity control by PI algorithm (with disturbance).

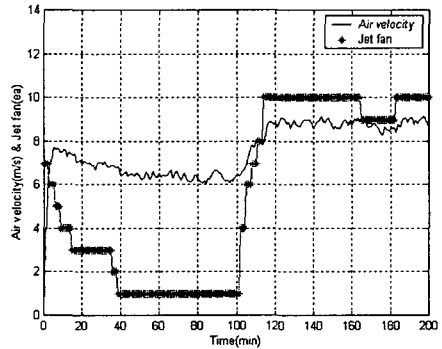


Fig. 10 Air velocity control by jet fan control algorithm(with disturbance).

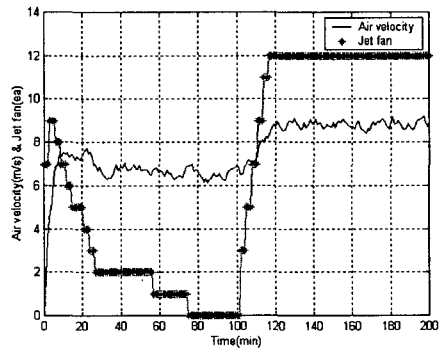


Fig. 11 Air velocity control by jet fan control algorithm in the case of tunnel model parameter variation.

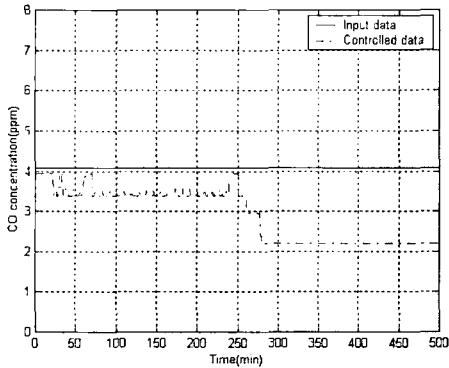


Fig. 12 CO control by PI control algorithm (w/o disturbance).

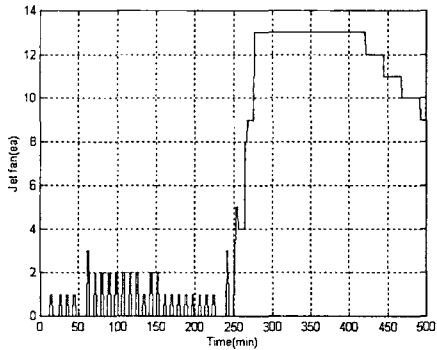


Fig. 13 Operating jet fans for PI control algorithm(w/o disturbance).

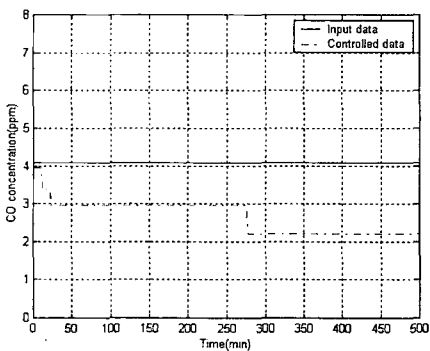


Fig. 14 CO control by tunnel CO control algorithm(w/o disturbance).

된다. 터널 통과 차량의 속도가 감소되었다고 가정하여  $\tau$ 를 100에서 200으로 증가시킨 후 2.5~3.0 m/s 사이의 임의의 속도로 공기가 터널에 유입

Table 1 Average number of cars in tunnel

Size	Passenger car(Small)	Passenger car(Large)	Truck (Small)	Truck (Medium)	Truck (Large)
Cars/min	0.5	0.9	2.8	4.0	11.3

Table 2 Average speed of cars in tunnel

Lane	1st	2nd	3rd
km/h	106.1	123.6	115.9

된다고 가정하여 제트팬 제어 알고리즘의 계단 변화 시험을 수행하였다. Fig. 11에서와 같이 터널내 풍속은 정상상태에서 설정값과의 평균오차가 0.5 m/s로서 시상수가 증가하기 전과 같이 잘 제어되고 있으며 제트팬 가동 대수도 200분 동안 16회 변화하여 터널 모델의 파라미터가 변했음에도 불구하고 터널내 풍속이 풍속 설정값으로 안정되게 제어되고 있음을 확인할 수 있었다.

#### 4.2 터널 CO 제어 알고리즘 제어 성능

제트팬 제어 알고리즘과 풍속 설정 알고리즘이 직렬로 연결된 터널 일산화탄소 제어 알고리즘을 검증하기 위하여 10분간 평균 교통량과 평균 차량 속도를 Table 1과 Table 2와 같이 가정하고 터널내 풍속을 4.2 m/s로 가정하면 일산화탄소 동적 모델에 의해 일산화탄소 농도는 4.1 ppm로 계산되며 입력항에 대해 외란으로 0.5 ppm의 일산화탄소 농도 변화, 0.2 m/s의 터널내 풍속 변화, 최대 7%의 통합 교통량 변화를 가정하여 외란이 없는 경우와 외란이 있는 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 12와 Fig. 13은 외란이 없는 경우에 대한 기본 비례적분 제어 알고리즘의 시뮬레이션 결과로서 일산화탄소 설정값은 0분에서 250분 사이에는 3.4 ppm, 250분에서 500분 사이에는 2.4 ppm으로 설정되었다. Fig. 12에서와 같이 일산화탄소 농도는 평균오차 0.42 ppm으로 설정값에 비교적 잘 제어되고 있지만 Fig. 13에서와 같이 제트팬 가동 대수는 66회 변화하여 잦은 기동/정지가 반복되고 있음을 알 수 있었다. Fig. 14와 Fig. 15는 외란이 없는 경우에 대한 터널 일산화탄소 제어 알고리즘의 제어 결과를 보여준다. Fig. 14에서와 같이 일산화탄소 농도는 평균오차 0.6 ppm으로 비례적분 제어 알고리즘의 제어 결과에 비해 약

간 증가하였지만 Fig. 15에서와 같이 제트 팬 가동 대수는 10회 변화하여 잦은 기동/정지 없이 안정되게 제어되고 있음을 확인할 수 있었다.

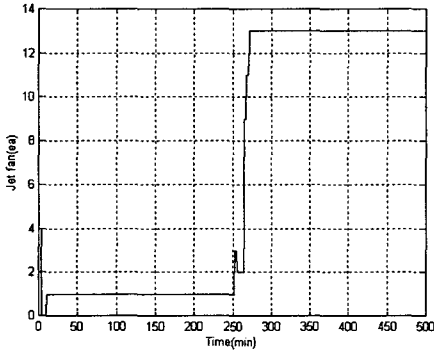


Fig. 15 Operating jet fans for tunnel CO control algorithm(w/o disturbance).

Fig. 16과 Fig. 17은 외란이 있는 경우에 대한 기본 비례적분 제어 알고리즘을 적용한 계단 변화 시험 결과를 보여준다. Fig. 16에서와 같이 일산화탄소 농도는 평균오차 0.45 ppm으로 설정값으로 비교적 잘 제어되고 있지만 Fig. 17에서 보듯이 제트팬 가동 대수는 88회 변화하여 무리한 기동/정지 반복하고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 18과 Fig. 19는 외란이 있는 경우에 대한 터널 일산화탄소 제어 알고리즘의 계단 변화 시험 결과를 보여준다. Fig. 18에서와 같이 일산화탄소 농도는 평균오차 0.53 ppm으로 기본 비례적분 제어 알고리즘에 비해 약간 증가하였지만 Fig. 19에서 보듯이 상승 시간은 327초에서 201초로 38.5% 감소하였고 제트팬 가동 대수는 9회 변화하여 상대적으로 많은 성능 개선이 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

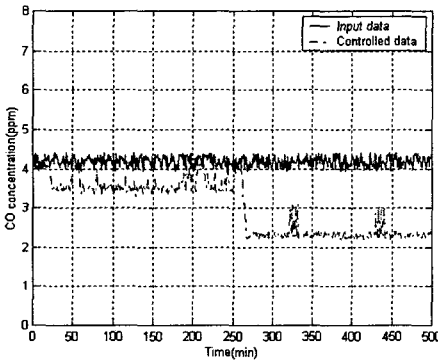


Fig. 16 CO control by PI control algorithm (with disturbance).

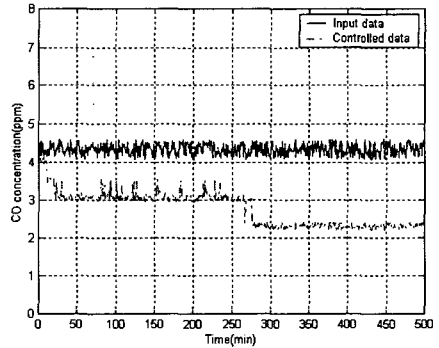


Fig. 18 CO control by tunnel CO control algorithm(with disturbance).

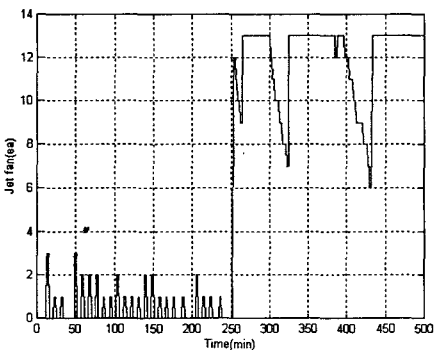


Fig. 17 Operating jet fans for PI control algorithm(with disturbance).

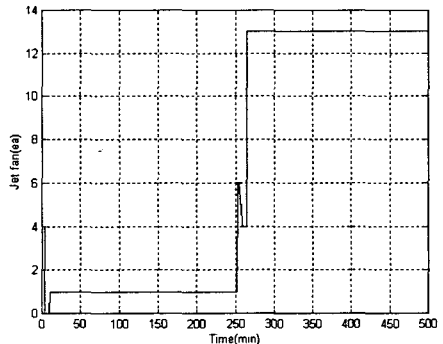


Fig. 19 Operating jet fans for tunnel CO control algorithm(with disturbance).



## 5. 결 론

터널내 CO 농도를 추정하기 위하여 7개의 입력으로 구성된 입력층과 9개, 3개로 구성된 두 개의 은닉층을 갖는 신경망 동적 모델을 개발한 후, 신경망 동적 모델을 통해 계산된 CO 농도와 실제측정값을 비교한 결과 평균오차가 0.20 ppm으로서 제어 알고리즘 개발과 성능 검증에 적절히 사용될 수 있음을 확인하였다. 또한 터널내 풍속 동적 모델로서 시간 지연을 갖는 1차 시스템을 개발한 후 실측 데이터와 모델에 의한 추정값을 비교한 결과 평균 오차가 0.2 m/s로서 개발된 모델이 풍속 제어 알고리즘 개발에 적절하게 사용될 수 있음을 확인하였다.

터널내 CO 농도를 제트팬을 사용하여 적절히 제어하기 위하여 제트팬 제어 알고리즘과 풍속 설정 알고리즘으로 구성된 직렬 제어 알고리즘을 개발하였다. 제트팬 제어 알고리즘으로 제트팬의 기동/정지를 감소시키기 위하여 사역대를 적용한 수정 비례적분 제어 알고리즘을 개발하였으며 풍속 설정 알고리즘으로 CO 농도 오차와 오차 변화율을 이용한 수정 비례적분 제어 알고리즘을 개발하였다.

개발된 동적 모델을 사용하여 제트팬 제어 알고리즘의 성능을 분석한 결과 외란이 존재하고 시스템 파라미터가 변화하여도 강인하게 제어되었으며 기본 비례적분 제어 알고리즘을 사용한 경우에 비해 제트팬 가동 대수 변화가 현격히 감소되었음을 알 수 있었다. 또한 터널내 CO 농도 제어 성능은 외란의 유무에 상관없이 기본 비례적분 제어 알고리즘을 적용한 경우에 비해 제어 정확도도 비슷하였으며 특히 상승시간이 감소되었고 제트팬 기동/정지 변화가 현격히 감소되어 터널 환기 시스템의 에너지 비용과 유지보수 비용이 절감될 수 있음을 확인하였다.

## 참고문헌

1. Han, D., 2001, Technical Analysis of Facilities in Tunnel, SAREK
2. Han, D., and Yoon, J., 2002, Modeling of pollution in vehicle tunnel for ventilation control, Proceedings of the SAREK, pp. 700-705
3. Han, D., and Yoon, J., 2001, Development of Real-Time Automatic Ventilation System for Nonlinear Road Tunnel, MOCIE
4. Yoo, J., Shin, H., Yun, C., Lee, D., and Lee, Y., 2002, Development of dynamic simulation program for tunnel ventilation, Proceeding of the SAREK, pp. 689-694
5. Han, D., and Yoon, J., 2003, Development of Dynamic Models of Road Tunnel Pollution by Neural Networks, KICT
6. Han, D., and Yoon, J., 2004, Dynamic model of the road tunnel pollution by neural networks, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol 16, No. 9, pp. 838-844
7. Haykin, S., 1999, Neural Networks, Prentice Hall
8. Magnus, N., 2000, Neural Networks for Modeling and Control of Dynamic Systems, Springer Verlag
9. Chapra, S. C., and Canale, R. P., 2002, Numerical Methods for Engineers, McGraw Hill
10. Han, D., and Yoon, J., 2002, Development of Real-Time Automatic Ventilation System for Nonlinear Road Tunnel, MOCIE
11. Phillips, C. L., Nagle, H. T., 1995, Digital Control System Analysis and Design, Prentice Hall