

일산화탄소 농도 예측 기능을 사용한 터널 환기 제어 알고리즘

한도영[†], 윤진원^{*}

국민대학교 기계·자동차공학부, ^{*}국민대학교 기계공학과 대학원

A Tunnel Ventilation Control Algorithm by Using CO Density Prediction Algorithm

Doyoung Han[†], Jinwon Yoon^{*}

Department of Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul 000-000, Korea

^{*}Graduate school of Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul 000-000, Korea

(Received May 7, 2004; revision received September 7, 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 feedforward prediction algorithm and the cascade control algorithm were developed to regulate the CO level in a tunnel. The feedforward prediction algorithm composed of the traffic estimation algorithm and the CO density prediction algorithm, and the cascade control algorithm composed of the jet fan control algorithm and the air velocity setpoint algorithm. The verification of control algorithms was carried out by dynamic models developed from the actual tunnel data. The simulation results showed that control algorithms developed for this study were effective for the control of the tunnel ventilation system.

Key words: Road tunnel ventilation system(도로터널 환기 시스템), Cascade control(직렬 제어), Feedforward control(피드포워드 제어), Traffic estimation algorithm(교통량 추정 알고리즘), CO density prediction algorithm(일산화탄소 농도 예측 알고리즘), Jet fan control algorithm(제트팬 제어 알고리즘), Air velocity setpoint algorithm(풍속 설정 알고리즘)

기 호 설 명

C_L : 일산화탄소 농도
 ETr : 평균 통합차량정보
 EV_r : 터널내 평균 풍속
 t : 시간
 W : 가중치

b : 바이어스

1. 서 론

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 보장하는 데 있다. 이러한 오염물질 중 생리적인 영향을 미치는 일산화탄소와 가시거리를 저해하는 매연을 주로 측정하

[†] 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 터널 환기의 목적 달성을 위한 에너지가 과소비되고 환기설비의 수명이 단축되어 경제적인 손실을 초래하고 있다.⁽¹⁾ 따라서 개루프 구조의 단순 제트팬 댁수 제어 알고리즘 대신 터널의 특성에 적절히 대응할 수 있는 폐루프 구조의 제어 알고리즘의 개발이 요구되고 있으나 국내외로 이에 대한 연구가 미진한 실정이다.

본 논문에서는 제트팬 제어 알고리즘과 풍속 설정 알고리즘으로 구성된 직렬 제어 알고리즘(Cascade control algorithm)과 교통량 추정 알고리즘과 일산화탄소 농도 예측 알고리즘으로 구성된 피드포워드 제어 알고리즘(Feedforward control algorithm)을 개발한 후 이를 통합하여 실측 데이터를 사용한 동적 모델에 적용하여 터널의 환기 제어 성능을 확인함으로써 폐루프 구조의 터널 환기 제어 알고리즘을 제시하였다.

2. 터널의 동적 모델

터널 환기를 위한 제어 알고리즘의 개발과 성능분석을 위하여 터널내 일산화탄소 동적 모델

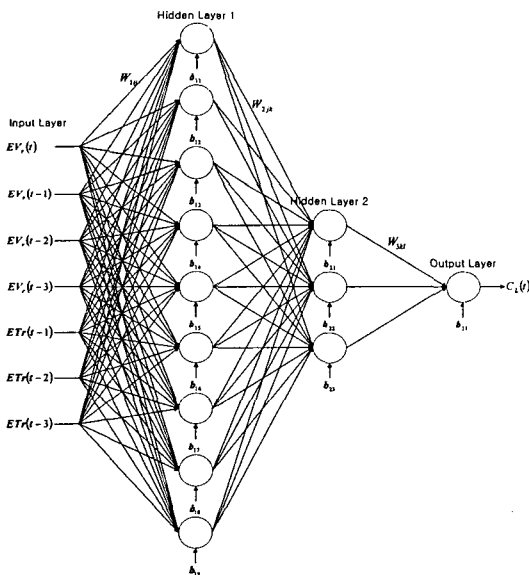


Fig. 1 Tunnel CO dynamic model.

과 터널내 풍속 동적 모델을 개발하여 사용하였다.⁽²⁾ 터널내 일산화탄소 동적 모델로 사용된 신경망은 Fig. 1과 같이 입력층, 출력층 2개의 은닉층으로 구성되어 있다. 출력인 일산화탄소 현재 농도 $C_L(t)$ 을 계산하기 위하여 현재 10분 평균 풍속 $EV_r(t)$ 와 과거 3개의 10분 평균 풍속 $EV_r(t-1)$, $EV_r(t-2)$, $EV_r(t-3)$, 과거 3개의 10분 평균 통합차량정보 $ETr(t-1)$, $ETr(t-2)$, $ETr(t-3)$ 등 총 7개의 입력항을 사용하였다. 10분 평균 통합차량정보는 통합차량정보 $Tr(t)$ 를 식(1)과 같이 정의한 후 계산하였으며⁽³⁾

$$Tr(t) = 0.0514n_{11}(t)V_{11}(t) + 0.0870n_{12}(t)V_{12}(t) + 0.0757n_{13}(t)V_{13}(t) + 0.2945n_{14}(t)V_{14}(t) + 0.3394n_{15}(t)V_{15}(t) \quad (1)$$

$n_{ii}(t)$, $V_{ii}(t)$ 는 각각 소형, 중소형, 중형, 대형, 초대형 차종의 대수와 평균 속도를 의미한다. 수렴 정도와 학습 시간을 고려하여 신경망의 첫번째 은닉층의 뉴런 개수는 9개, 두번째 은닉층의 뉴런 개수는 3개로 사용하였고 첫번째 은닉층의 전달 함수는 Tangent-sigmoid 함수, 두번째 은닉층의 전달 함수는 Log-sigmoid 함수, 출력층의 전달 함수는 Pure-linear 함수를 사용하였으며,^(4,5) 신경망의 학습 방법으로는 역전파 알고리즘으로서 Levenberg-Marquardt 방법을 적용하였다.⁽⁶⁾ Table 1과 Table 2는 대관령 제5터널의 실측 데이터를 사용하여 학습된 신경망의 가중치 W_{ijk} 와 바이어스 b_{ij} 를 보여준다.⁽⁷⁾

제트팬 가동대수 $U(s)$ 에 대한 터널내 풍속 $V_r(s)$ 의 동적 모델로서 식(2)와 같은 시간 지연을 갖는 1차 시스템을 사용하였으며^(8,9)

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

여기서 K 는 정상상태 게인, T_d 는 시간지연, τ 는 시정수를 의미한다. 육십령 터널에서 실측 데이터를 사용하여 K 는 3.9, T_d 는 30, τ 는 96으로 선정하였다.

Table 1 Weights for the tunnel CO dynamic model

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

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

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

Table 2 Biases for the tunnel CO dynamic model

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

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

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

3. 터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘

터널 환기 시스템을 사용하여 터널내 일산화탄소 농도를 제어하기 위하여 Fig.2와 같은 직렬 제어 알고리즘과 피드포워드 예측 알고리즘으로 구성된 터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘을 사용하였다. 직렬 제어 알고리즘은 터널내 풍속을 설정하는 풍속 설정 알고리즘과 설정된 풍속으로 제트팬 제어를 수행하는 제트팬 제어 알고리즘으로 구성되어 있고, 피드포워드 예측 알고

리즘은 교통량 예측 알고리즘과 일산화탄소 농도 예측 알고리즘으로 구성되어 있다. 교통량 예측 알고리즘으로부터 예측된 통합차량정보와 현재 측정된 터널내 풍속을 사용하여 일산화탄소 농도 예측 알고리즘으로부터 일산화탄소 농도를 예측한 후, 예측값과 터널내 센서를 통해 측정된 일산화탄소 농도 측정값, 그리고 일산화탄소 농도 설정값을 사용하여 풍속 설정 알고리즘으로부터 터널내 풍속 설정값을 설정하고, 설정값으로 터널내 풍속을 유지하기 위하여 제트팬 제어 알고

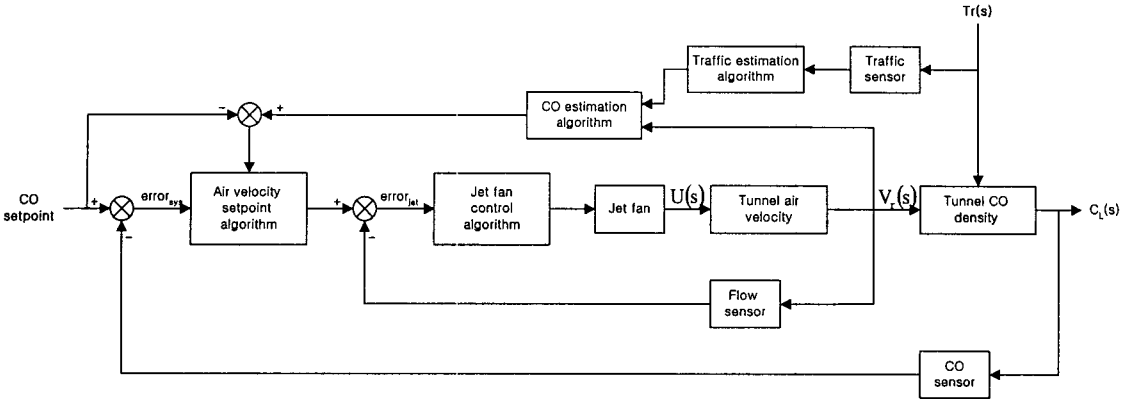


Fig. 2 Tunnel CO density control algorithm.

리즘을 사용하여 제트팬을 제어하였다.

3.1 피드포워드 예측 알고리즘

피드포워드 예측 알고리즘은 교통량 추정 알고리즘과 일산화탄소 농도 예측 알고리즘으로 구성되어 있다. 터널내 교통량 추정 알고리즘은 Fig. 3과 같이 입력층, 출력층, 2개의 은닉층으로 구성되어 있다. 출력항인 6분 후의 평균 통합차량정보 $ETr(t+6)$ 을 추정하기 위하여 현재 10분 평균 통합차량정보 $ETr(t)$ 와 과거 6개의 10분 평균 통합차량정보 $ETr(t-1), ETr(t-2), \dots, ETr(t-6)$ 등 총 7개를 신경망의 입력항으로 사용하였고, 수렴 정도와 학습 시간을 고려하여 첫번째 은닉층의 뉴런 개수는 7개, 두번째 은닉층의 뉴런 개수는 3개로 선정하였다. 신경망의 가중치 W_{ijk} 와 바이어스 b_{ij} 를 학습하기 위하여 대관령 5터널의

실측 데이터를 사용하였으며 학습된 가중치 W_{ijk} 와 바이어스 b_{ij} 는 Table 3과 Table 4와 같다.

일산화탄소 농도 예측 알고리즘으로 Fig. 1과 같은 터널내 일산화탄소 동적 모델을 사용하였다. 6분 후의 일산화탄소 농도 $C_L(t+6)$ 을 예측하기 위하여 신경망의 입력으로 교통량 추정 알고리즘으로부터 추정된 $ETr(t+3), ETr(t+4), ETr(t+5)$ 와 $V_r(t+3), V_r(t+4), V_r(t+5), V_r(t+6)$ 대신 풍속 변화가 적다고 가정하여 현재의 풍속 $V_r(t)$ 를 사용하였다. 예측된 6분 후의 터널내 일산화탄소 농도와 일산화탄소 농도 설정값 간의 오차와 현재의 일산화탄소 농도와 일산화탄소 농도 설정값 간의 오차를 직렬 제어 알고리즘에서 사용되고 있는 풍속 설정 알고리즘의 입력으로 사용하여 터널내 풍속 제어를 수행하였다.

3.2 직렬 제어 알고리즘

터널 환기 설비인 제트팬의 잦은 기동/정지를 방지하면서 효과적으로 오염물질을 제거하기 위하여 12분 주기로 제어를 수행하는 풍속 설정 알고리즘을 사용하였다. 측정된 일산화탄소 농도와 설정값과의 오차의 절대값이 0.5 ppm을 초과한 경우에는 비례 계인은 5.0, 적분상수는 0.5, 반와인드업 계인은 20.0으로 선정된 반와인드업 비례적분 제어 알고리즘을 사용하여 풍속값을 설정하였고, 0.5 ppm 이하인 경우에는 오차 변화율을 계산하여 절대값이 0.2 ppm/min 이하인 경우 풍속 설정값을 과거 풍속설정값과 같게 유지시켰고, 0.2 ppm/min을 초과한 경우 오차가 비교적 크게 증

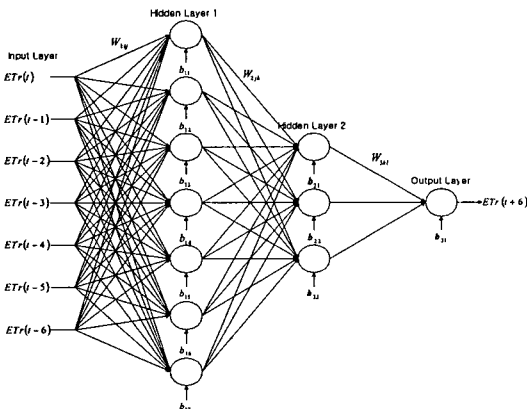


Fig. 3 Traffic estimation algorithm.

Table 3 Weights for the traffic estimation algorithm

		W_{1ij}						
$i \backslash j$	i	1	2	3	4	5	6	7
1	1	-29.59	-2.36	-49.17	42.10	-47.69	47.34	48.94
2	2	-0.18	0.15	-0.00	0.14	-0.16	0.41	-0.52
3	3	3.42	0.39	-2.27	-4.29	-9.33	-4.57	14.59
4	4	53.96	-11.99	8.75	-40.89	24.21	-74.63	53.93
5	5	-3.82	-11.18	-10.27	1.02	7.02	1.11	-6.08
6	6	-1.74	7.99	-7.34	2.17	-3.42	7.98	-2.01
7	7	-0.03	3.82	-6.63	1.33	2.01	-5.36	5.77

		W_{2jk}						
$k \backslash j$	j	1	2	3	4	5	6	7
1	1	-0.13	-3.16	-3.17	-0.27	2.38	-0.47	-0.85
2	2	-0.22	-16.18	19.03	-0.55	20.74	-2.27	-64.64
3	3	-0.04	-1.24	-0.91	-0.08	3.12	-0.12	-0.26

		W_{3kl}		
$l \backslash k$	k	1	2	3
1	1	-28.28	16.20	90.95

Table 4 Biases for the traffic estimation algorithm

		b_{1i}						
i	i	1	2	3	4	5	6	7
1	1	-64.71	0.95	-3.35	-51.07	0.59	-7.11	-4.45

		b_{2ji}		
i	j	1	2	3
2	2	5.27	9.92	-7.16

		b_{3ki}
i	k	1
3	3	-4.18

감되고 있다고 판단되어 오차 변화율의 크기가 양수인 경우 풍속 설정값을 0.25 m/s씩 증가시키고 음수인 경우 풍속 설정값을 0.25 m/s씩 감소시키도록 구성하였다.

터널내 풍속을 풍속 설정 알고리즘에 의해 설정된 풍속으로 제어하기 위하여 3분 주기로 제트팬 제어 알고리즘을 사용하였다. 제트팬 제어 알고리즘은 터널내 풍속 설정값과 측정값과의 오차를 변수로 한 비례 게인 0.05, 적분상수 0.7인 비례 적분 제어 알고리즘을 사용하여 제어 출력을 계산한 후 오차의 절대값이 0.5 m/s보다 클 경우에는 계산된 제어 출력을 정수화하여 제트팬 가

동 대수를 결정하였고 0.5 m/s보다 작을 경우에는 제트팬의 잦은 기동/정지를 방지하기 위하여 현재의 제어 출력이 과거의 제어 출력에 비해 1.2 이상 증가시에는 제트팬 가동 대수를 1대씩 증가시켰고 1.2 이상 감소시에는 제트팬 가동 대수를 1대씩 감소시켰다.

4. 터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘 성능 분석

터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 먼저 피드포워드 예측 알고리즘

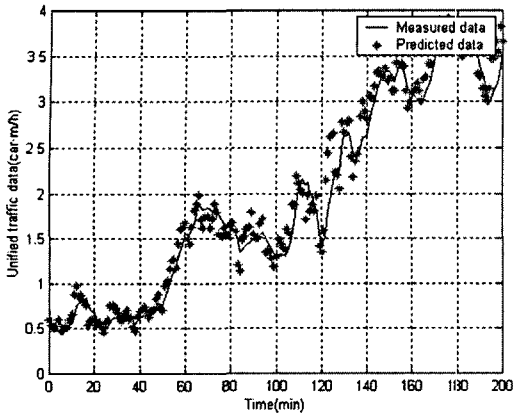


Fig. 4 Traffic estimation results.

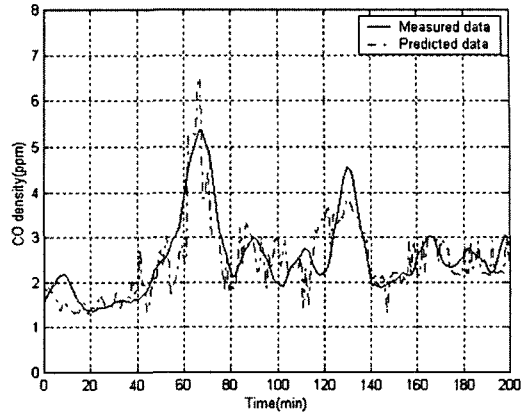


Fig. 5 CO density prediction results.

Table 5 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

의 예측 성능을 분석한 후 직렬제어 알고리즘만을 사용한 경우를 기준으로 하여 터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘의 상대적인 성능을 비교 분석 하였다.

4.1 피드포워드 예측 알고리즘의 예측 성능

피드포워드 예측 알고리즘은 터널내 교통량을 추정할 수 있는 교통량 추정 알고리즘과 추정된 교통량을 사용하여 터널내 일산화탄소의 농도를 예측할 수 있는 일산화탄소 농도 예측 알고리즘으로 구성되어 있다. 대관령 제5터널에서 측정된 교통량 데이터를 이용하여 교통량 추정 알고리즘을 통해 추정된 6분 후의 통합 차량정보와 실측된 통합 차량정보를 비교한 결과가 Fig. 4에 나타나어져 있으며, 그림에서 보듯이 절대오차의 평균이 0.14 car·m/h 이내로 잘 예측되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 예측된 통합차량정보를 사용하여 일산화탄소 농도 예측 알고리즘으로부터 예측된 6분 후의 일산화탄소 농도와 실측된 일산화탄소 농도를 비교한 결과가 Fig. 5에 나타나어져 있으며 그림에서 보듯이 절대오차의 평균이 약 0.5 ppm 이내로 비교적 잘 예측되고 있어 피드포워드 예측 알고리즘으로 적절히 사용할 수 있음을 확인하였다.

Table 6 Average speed of cars in tunnel

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

4.2 터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘의 제어 성능

터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 계단변화시험을 수행하였다. 초기 250분 동안 일산화탄소 농도를 2.9 ppm으로 설정하였다가 250분 이후 2.4 ppm으로 재설정하였다. 시뮬레이션 입력값으로 Table 5와 Table 6과 같은 평균 교통량과 평균 차량속도를 선택하였으며 정상상태에서의 제어 안정성 분석을 위해 계산된 통합 교통량에 최대 7%, 일산화탄소 농도에 대해 최대 0.5 ppm, 터널내 풍속에 최대 0.2 m/s의 임의의 외란을 가정하였다. Fig. 6과 Fig. 7은 터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘에 의한 제어 결과를 보여준다. 그림에서와 같이 일산화탄소 농도는 설정값을 중심으로 절대오차의 평균이 0.11 ppm으로 제어되었으며 체트팬 가동대수도 불안정한 기동/정지 없이 잘 제어되었음을 알 수 있었다.

터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘의 동적 제

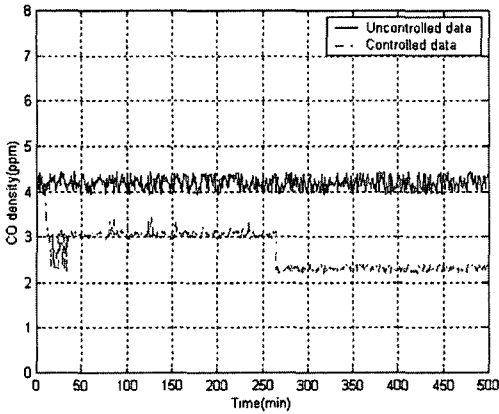


Fig. 6 CO control results.

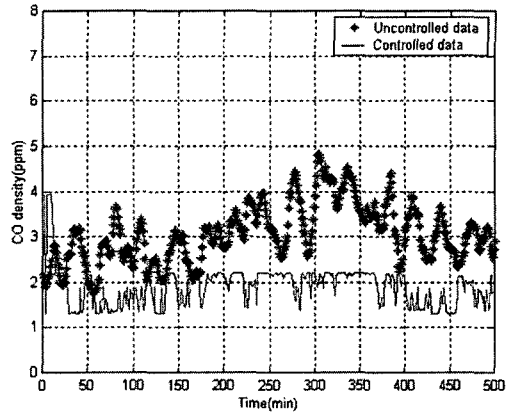


Fig. 9 CO control results; cascade control algorithm.

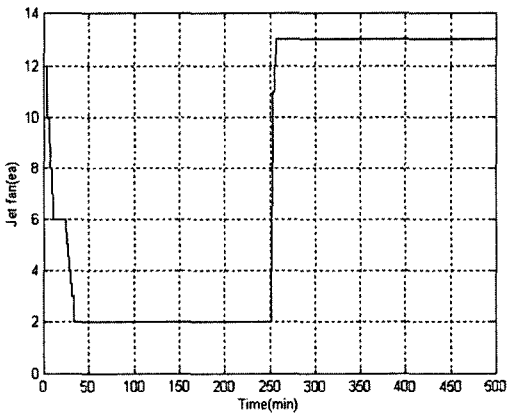


Fig. 7 Operating jet fans.

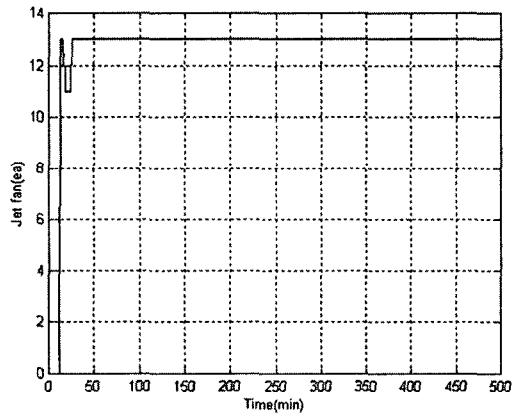


Fig. 10 Operating jet fans; cascade control algorithm.

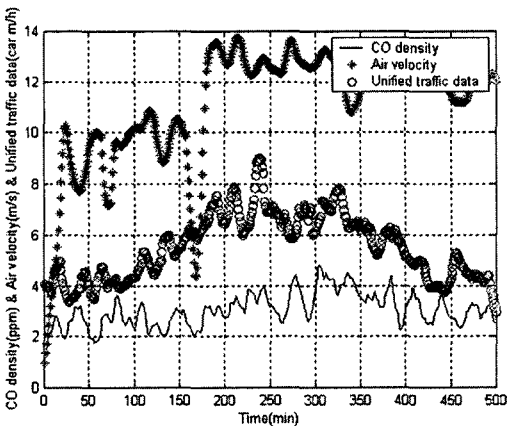


Fig. 8 Measured data.

어 성능을 검증하기 위해 대관령 5터널에서 실측된 Fig. 8과 같은 일산화탄소 농도, 터널내 풍속,

교통량을 사용하여 직렬 제어 알고리즘만을 사용한 경우를 기준으로 한 터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘의 상대적인 성능 시험을 수행하였다. Fig. 9과 Fig. 10은 직렬 제어 알고리즘만을 사용한 경우에 대한 제어 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 일산화탄소 농도는 설정값을 기준으로 절대오차의 평균이 0.42 ppm으로 비교적 잘 제어되었으며 500분 동안의 제트팬 평균 가동 대수는 12.7대/min이었다. Fig. 11과 Fig. 12는 터널 일산화탄소 제어 알고리즘을 사용한 경우에 대한 제어 결과를 보여준다. 그림에서 보듯이 일산화탄소 농도는 설정값을 기준으로 절대오차의 평균이 0.43 ppm으로 비교적 잘 제어되었으며 500분 동안의 제트팬 평균 가동 대수는 9.8대/min으로서 직렬 제어 알고리즘만을 사용한 경우에 비해 변

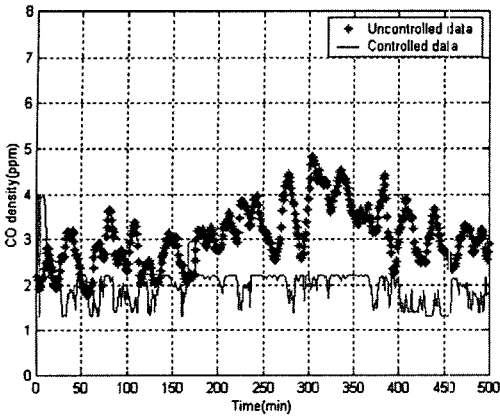


Fig. 11 CO control results; the tunnel CO density control algorithm.

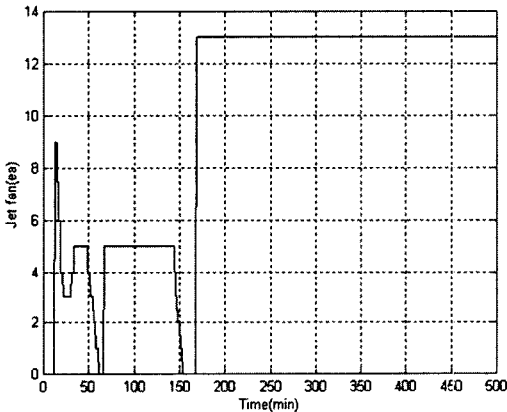


Fig. 12 Operating jet fans; the tunnel CO density control algorithm.

화 회수는 증가하였으나 가동 대수는 약 22% 감소됨을 확인할 수 있었다. 이는 직렬 제어 알고리즘만을 사용한 경우 주기 12분 동안 제어 주기 중간에 제트팬 가동과 교통량 변화에 의해 일산화탄소 농도가 감소하는 것을 감지하지 못하나 터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘을 사용할 경우 피드포워드 예측 알고리즘에 의해 그 중간 시간인 6분 후의 일산화탄소 농도를 예측하여 일산화탄소 농도 변화를 터널내 풍속 설정값에 미리 반영하였기 때문이다. 가동시간이 짧기 때문에 초기 전력소모 증가 현상을 무시할 수 있는 제트팬의 특성을 고려할 때 제트팬 가동 대수의 감소는 소비전력의 감소로 판단될 수 있으므로 터널 일산화탄소 농도 제어 알고리즘을 사용한 경우 직렬 제어 알고리즘만을 사용한 경우에 비해 약

22%의 소비전력 감소가 예상된다.

5. 결 론

터널내 일산화탄소 농도를 추정하기 위하여 7개의 입력에 대해 9×3×1 구조의 신경망 동적 모델을 사용하였고 터널내 풍속 동적 모델로 시간지연을 갖는 1차 시스템을 사용하였다.

터널내 일산화탄소 농도를 제트팬을 사용하여 적절히 제어하기 위하여, 제트팬 제어 알고리즘과 풍속 설정 알고리즘으로 구성된 직렬 제어 알고리즘과 교통량 추정 알고리즘과 일산화탄소 농도 예측 알고리즘으로 구성된 피드포워드 예측 알고리즘을 개발하였다. 터널내 풍속 설정값을 설정하는 풍속 설정 알고리즘과 잦은 기동/정지를 방지하면서 설정된 풍속으로 터널내 풍속을 제어하는 제트팬 제어 알고리즘은 비례 적분 제어 알고리즘을 수정하여 구성하였으며 피드포워드 예측 알고리즘을 7×3×1 구조의 신경망으로 구성된 교통량 추정 알고리즘과 9×3×1 구조의 신경망으로 구성된 일산화탄소 농도 예측 알고리즘으로 구성하여 6분 후의 일산화탄소 농도를 예측하였다.

개발된 각종 제어 알고리즘의 성능을 동적 모델을 사용하여 분석한 결과 피드포워드 예측 알고리즘의 경우 예측된 6분 후의 일산화탄소 농도를 절대오차의 평균이 0.5 ppm 이내로 잘 예측하였고, 일산화탄소 농도 제어 알고리즘의 경우 농도 계단 변화 시험에서 절대오차의 평균이 0.11 ppm 이내로 잘 제어되면서 제트팬 가동 대수 변화가 매우 안정적임을 확인할 수 있었다. 또한 실측 데이터로부터 주어진 외란에 대해서도 직렬 제어 알고리즘만을 적용한 경우에 비해 평균 오차는 비슷하였고 제트팬 가동 대수 변화는 증가하였으나 제트팬 총 가동 대수가 22% 감소하여 터널 환기 시스템의 에너지 비용과 유지보수 비용이 절감될 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 2004년도 국민대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

1. Han, D., 2001, Technical Analysis of Faci-

- lities 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., 2002, Development of Real-Time Automatic Ventilation System for Nonlinear Road Tunnel, MOCIE.
 4. Haykin, S., 1999, Neural Networks, Prentice Hall.
 5. Magnus, N., 2000, Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic Systems, Springer Verlag.
 6. Chapra, S. C. and Canale, R. P., 2002, Numerical Methods for Engineers, McGraw Hill.
 7. Han, D. and Yoon, J., 2003, Development of Dynamic Models of Road Tunnel Pollution by Neural Networks, KICT.
 8. Kim, T. H., Hwang, I. J., Kim, J. Y., Hong, D. H. and Chung, J. S., 2002, Control of Longitudinal Ventilation Facilities for Design and Operation, Proceedings of the SAREK, pp. 1468-1473.
 9. Franklin, G. F., Powell, J. D. and Emami-Naeini, A., 2003, Feedback Control of Dynamic Systems, Prentice Hall.