

도로터널 환기시설 T.A.B. (제트팬 방식)

터널 환기 설비는 터널에서 발생하는 오염물질을 희석 배출하여 터널에서의 안전운행 및 쾌적한 환경을 유지함을 목적으로 한다. 이를 위해서 각종 환기설비가 필요하게 되며, 이에 대한 설계 검토가 요구되고 있다. 본 원고에서는 제트팬 방식의 터널에서 풍속 측정을 중심으로 하여 측정결과 및 분석 결과를 소개하고자 한다.

유 지 오

개 요

도로터널의 장대화에 따라 차량의 주행으로 인해서 발생하는 오염물질을 배출하여 운전자의 안전운전과 쾌적한 환경조건을 유지하기 위한 환기설비가 필요하게 되었으며, 현재까지는 설계에 의존해서 환기설비를 시설하고 환기설비의 용량의 적정성이나 운전상태 및 요구 풍량의 만족여부에 대한 검토 및 검증에 위한 테스트의 수행이 전무하였다.

제트팬 방식의 종류식 환기 터널에서는 제트팬은 터널내 기류에 승압력을 주어 터널내 기류를 유지하는 것을 목적으로 한다. 그러나 국내에서는 제트팬 방식의 환기설계에서 요구되는 각종 설계 데이터, 즉 승압력에 따른 실제 풍속, 직열운전시와 병열운전시에 특성, 벽면마찰계수, 제트팬 이격거리 등은 외국의 문헌에서 제시되는 값을 인용하여 설계하며, 설계 당사자들조차 많은 의문점을 가지고 있는 실정이다.

따라서 설계의 신뢰성을 확보하기 위해서는 이에 대한 연구나 측정조사를 통해 보다 많은 기초설계 데이터를 확보할 수 있도록 터널 T.A.B.에 대한 인식의 제고가 필요하다.

한국도로공사에서는 이에 대한 중요성을 인식하여 시공사 및 설계자의 노력에 의해서 99년 이후에 준공된 둔내 터널 및 수리·수암터널에 대해서 터널환기설비에 대한 T.A.B.가 수행되었으며, 현재 올해안에 개통예정인 육십령 터널과 죽령터널에 대해서도 터널환

기설비에 대한 T.A.B.용역이 계획되고 있다.

본 고에서는 수리·수암터널의 T.A.B.수행 내용중에서 터널내 풍속측정과 분석 결과에 대해서 간단히 기술하고자 한다.

터널 T.A.B.의 목적

터널 T.A.B.의 본래 목적은 환기가 가동에 따른 터널내 풍속 및 정압의 측정하여 터널에 투입되는 환기설비의 용량, 적정운전 여부를 평가하여, 그렇지 못한 경우에 이에 대한 조정을 실시하고 차량의 운행시 터널 환경을 예측함을 목적으로 한다.

또한 이로부터 부가적으로 터널환기 설비 설계를 위한 기초 데이터 즉, 제트팬의 직열 또는 병열운전 특성, 제트팬 이격거리, 제트팬 1대당 승압력, 제트팬 댓수에 따른 터널내 풍속, 자연환기력, 터널내 풍속 분포, 벽면 마찰계수 등에 대한 기초데이터를 확보하므로써 신뢰성있는 터널 환기설비를 위한 기초자료의 축적에 중요성을 부여할 수 있다. 또한 이를 통해서 국내 터널환기기술의 자립화, 환기설비의 최적화, 설계의 신뢰성 확보, 운전·운영비의 최소화 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

수리·수암터널의 제원

수리·수암터널은 서울 외곽 순환 고속도로상에 각

〈표 1〉 수리·수압터널의 제원

구 분	수 압 터 널		수 리 터 널	
	일산→판교 (상행터널)	판교←일산 (하행터널)	일산→판교 (상행터널)	판교←일산 (하행터널)
도로구분	고속도로		고속도로	
차로수	4차로 (쌍굴)		4차로 (쌍굴)	
터널연장 (m)	1253.8	1293.8	1865.58	1882.08
구배(%)	+ 2.0%	- 2.0%	-0.52	+0.52
도로구분	구릉지적용	평지적용	평지적용(고도:124m)	
내공단면적(㎡)	132.842		132.842	
대표직경(m)	11.375		11.375	
설계속도(km/h)	80		80	
환기기용량	φ1,600 x제트팬 4대		φ1,600 x제트팬 6대	

〈표 2〉 추정 일 교통량

구 분	일 교통량 (AADT)							합 계
	승용차	버 스		트 릭				
		소형	대형	소형	중형	대형	특수	
판교방향	129,359	15,785	3,668	141	36,555	5,324	2,281	193,113
일산방향	129,359	15,785	3,668	141	36,555	5,324	2,281	193,113
비 고	대형차 혼입율 24.77% 디젤 차량 혼입율 33.01%							

각 산본~안양, 안양~논곡 구간에 위치한 터널로 터널 제원 및 교통량은 표 1 및 2와 같다.

수리 수압터널은 모두 4차선 일방향 쌍굴 터널이며, 자연환기가 가능한 터널로 제트팬은 화재시 배연과 방재목적으로 설치되었으나, 현재에는 오염물질을 배기하기 위한 환기 목적으로도 가동되고 있다.

표 2에서 대형차 혼입율 33% 정도로 이는 우리나라 고속도로의 평균값을 상회하는 것으로 상당히 높은 것으로 나타나고 있다.

터널 풍속 및 정압의 측정

터널내 풍속은 터널 단면상에 그림 1에 나타낸 바와

같이 18개 지점에 풍속센서를 설치하여 데이터 수집기에 의해서 5초 간격으로 동시에 측정하여 정상상태에 도달한 후의 값을 평균하여 사용하였으며, 터널 단면상의 정압은 그림에 표시한 바와 같이 8개의 지점에 정압관을 설치하여 프래셔트랜스 듀서를 통해 데이터 수집기로 5초 간격으로 샘플링하여 정상상태의 데이터를 평균하여 사용하였다.

T.A.B.에 사용된 측정장비 및 센서는 표 3에 나타났다.

측정위치

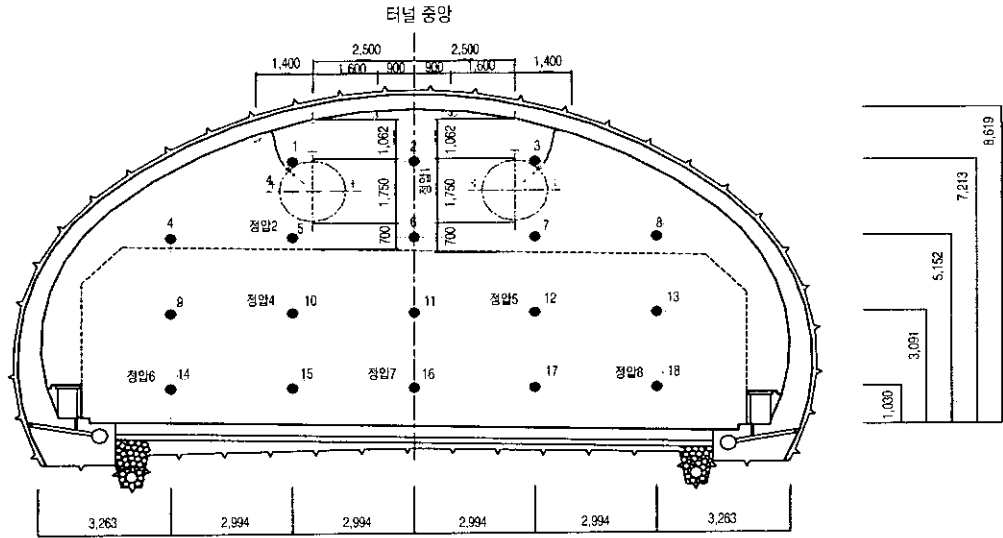
터널내 풍속 및 정압은 외기의 상태에 따라서 변하기 때문에, 그림 1과 같이 단면상의 풍속 분포를 측정하며, 동시에 일정간격으로 터널 종방향의 측정이 수행되어 횡단면상의 풍속 및 정압분포와 종단면상의 풍속 및 정압의 분포에 대한 측정이 수행되어야 동시성을 확보될 수 있으나 종방향의 풍속분포를 동시에 측정하는 것은 불가능하여 센서 설치개대를 표 4와 같이 이동하여 측정하였다.

참고로 터널내 정압분포에 대한 측정은 제트팬에 의한 흡압력을 검토하기 위해서 아주 중요한 인자로 종방향에 대한 동시 측정이 필수적으로 요구되나 현실적으로 불가능하여 외국의 경우에는 차량에 센서를 탑재하여 차량을 이동하며 측정하는 예가 있으며, 그림 2와 같은 결과를 얻고 있다. 그림 2는 터널연장이 6560 m이고, φ1315 mm의 제트팬이 8대가 가동하는 경우이다.

풍속측정 결과 및 분석

그림 3 및 4는 각각 판교방향 및 일산방향의 터널에서 제트팬 대수에 따라서 300 m 지점에서의 터널 내 평균 풍속 및 이론적으로 계산되는 풍속을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 판교방향의 경우에는 실측결과가 벽면 마찰계수를 0.025로 하여 계산한 이론계산 결과보다 0.25~0.5 m/s 정도 범위에서 크게 나타나고 있으며, 일산방향에 대해서는 제트팬을 1대만 가동하는 경우를 제외하고는 거의 일치하는 결과를 얻고 있



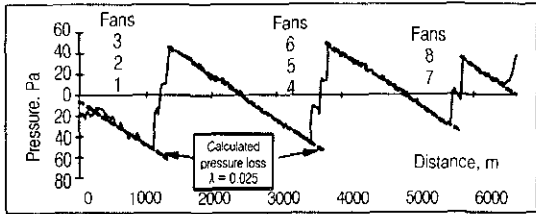
[그림 1] 터널단면상에 풍속 및 정압센서 위치

<표 3> 측정센서 및 계측기

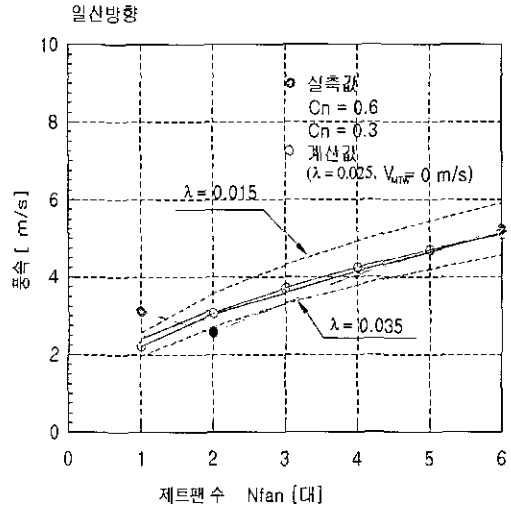
장 비 명	측 정 범 위	허 용 오 차	장 비 사 양		교정주기 (개월)	교 정 일
			제 조 회 사	형 식 (모델명)		
공 통 장 비						
온도측정장비 (공기계통)	-40 ~ 50 °C	±0.5%F.S	Testoterm	Testo 925	12	99. 02. 22
	-20 ~ 105 °C		TES	TES - 1300	12	99. 03. 05
소음측정장비	20 ~ 130 dB	±0.5dB	CEL	CEL - 328	12	99. 03. 23
			Ono Sokki	LA - 210	12	98. 12. 28
공 통 장 비						
다점 풍속계	0.1 ~ 50 m/s	±0.15m/s, ±0.3m/s	Kanomax	System 6264		
정 압 센 서	2.5" W/C	±1%	Selra	264		
데이터 취득장치	-5~5DCV, I/O:16CH		Data scan	7327		
풍 속 계	0 ~ 20 m/s	±0.1m/s, ±0.3m/s	Elektronix	EE61 - VC5		
풍속측정장비	0.5 ~ 15 m/s	R.S의 ±10%	Testoterm	Testo 450	12	99. 03. 03
습도측정장비	10 ~ 90% RH	R.S의 ±2%	Testoterm	Testo 450	12	99. 04. 23
풍향풍속계	0 ~ 360° 0 ~ 50 m/s		Lastem	Babuc - ABC DGB055 - EV		

〈표 4〉 수암터널(일산방향)의 종방향 측정위치

조 건	측 정 점 (m)	비 고
자 연 풍	34, 44, 64, 74	터널출구 기준
1대 정회전	45, 90, 135, 180, 210, 240, 270	기준은 팬 토출구로부터의 거리
2대 정회전	병렬 45, 90, 135, 180, 210, 240, 315, 360	
	직렬 90, 135, 180, 270	
4대 정회전	90, 135, 180, 270, 360, 450, 540, 630, 720, 810, 900	



[그림 2] 터널내 종방향 압력분포



[그림 4] 제트팬 수에 따른 터널내 풍속비교 (수리터널 : 일산방향)

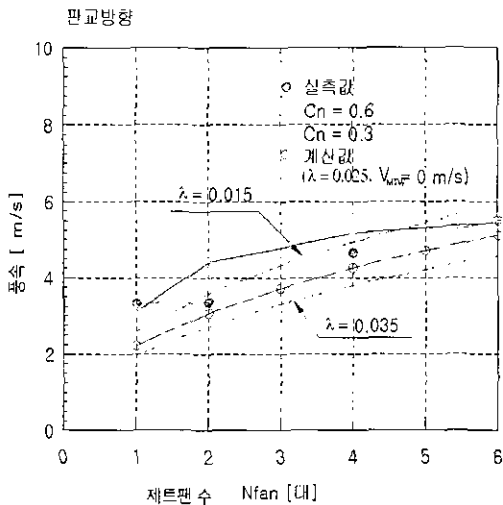
다.

따라서 터널 내 풍속을 계산하기 위해서 사용하고 있는 계산방법은 비교적 정확한 것으로 생각할 수 있다.

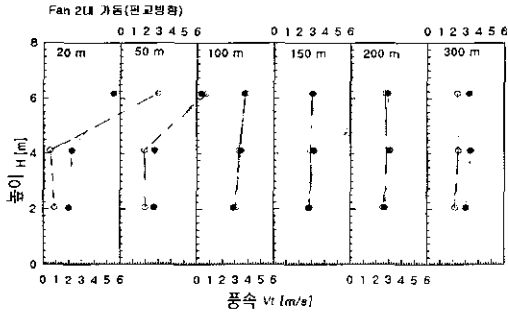
그러나 터널 내 예상되는 풍속에 관계없이 일률적으로 터널 내 마찰계수(λ)를 0.025를 적용하고 있으나, 유체역학적으로 벽면마찰계수는 Re와 상대조도의 함수이므로 당 터널과 같이 터널의 상당직경이 큰 경우에는 벽체의 상대조도(ϵ/D)가 터널단면이 작은 경우보다 작아지므로 이에 대한 고려가 있어야 할 것으로 판단된다. 또 풍속이 작은 경우(제트팬을 1대 만 운전하는 경우, 풍속 2.5m/s이내)에는 외기의 영향을 보다 많이 받게 되므로 본 측정결과와 이론 계산결과가 상당한 차이를 보이고 있는 것으로 판단된다.

그림 5~7은 제트팬으로 부터의 이격거리에 따라서 터널 높이에 따른 풍속 변화와 2대 운전시 직렬운전과 병렬 운전시의 풍속을 나타낸 것이다.

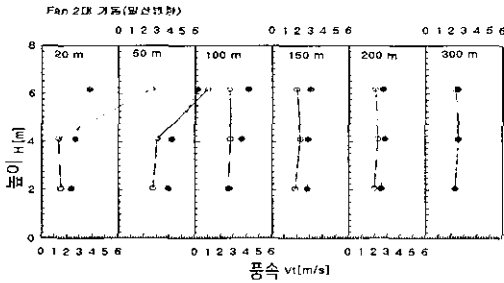
단면상에서 높이에 따른 풍속은 2.06, 4.12, 6.18m 지점의 평균 풍속을 나타낸 것으로 제트팬으로 부터의 이격거리가 100m 이하인 경우에는 높이에 따라서 상당한 차이가 나타나고 있으며, 이격거리가 증가할수록 그 차이가 점차 작아지고 있으며, 150m 이상 되면



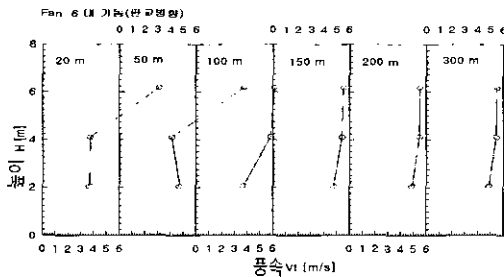
[그림 3] 제트팬 수에 따른 터널내 풍속비교 (수리터널 : 판교방향)



[그림 5] 제트팬으로 부터의 거리 및 높이차에 따른 터널 내 풍속분포(제트팬 2대 가동시 : 판교방향)



[그림 5] 제트팬으로 부터의 거리 및 높이차에 따른 터널 내 풍속분포(제트팬 2대 가동시 : 일산방향)



[그림 5] 제트팬으로 부터의 거리 및 높이차에 따른 터널 내 풍속분포(제트팬 6대 가동시 : 판교방향)

거의 균일해 지는 것으로 나타나고 있어 팬의 직경이 1600mm 인 경우에는 이격거리를 150m 이상으로 하면 충분한 분류효과를 기대할 수 있는 것으로 판단할 수 있다.

또 그림 5와 6은 각각 판교방향과 일산방향에서 2대의 제트팬을 병렬운전(○)하는 경우와 직렬운전(●)하는 경우의 터널 내 풍속분포를 나타내고 있는 것이다.

판교방향의 경우그림 5 200m 지점까지는 거의 동일한 풍속분포를 보이고 있으나 300m 지점에서는 직렬운전하는 경우가 풍속이 다소 높게 나타나고 있다. 일산방향의 경우그림 6에는 이격거리가 300m 지점보다 작은 경우에는 직렬운전시의 풍속이 높게 나타나고 있으며 300m 지점의 풍속은 거의 동일하게 나타나고 있어, 측정결과에 일괄성이 없어 직렬운전과 병렬운전시 특성을 명확하게 판단하기는 곤란한 것으로 나타나고 있다. 이는 풍속 측정 당시에 외기 조건이 상이하기 때문에 자연풍에 대한 정확한 보정이 필요하나, 터널 내 자연풍의 영향은 부력 및 기압차 등이 복합적으로 영향을 미치기 때문에 이에 대한 정확한 보정이 곤란하였다.

따라서, 측정 결과만으로는 직렬운전과 병렬운전시의 효과를 정확하게 평가하는 것이 어려우며, 이에 대한 보다 많은 실측데이터의 축적 및 연구가 있어야 할 것으로 판단된다.

맺음말

터널환기설비에 대한 T.A.B. 측정 결과중에서 터널 내 풍속에 관련된 내용을 소개하였다.

본 고에 소개된 자료는 범창중합기술(주)의 T.A.B. 결과를 요약한 것으로 자연풍에 대한 정확한 보정이 어려웠기에 비교적 오차가 크게 나타나고 있으나, 현재의 설계기준에 주어지는 각종 데이터를 인용하여 터널내 평균 풍속을 구한 결과, 제트팬의 이격거리 및 터널내 풍속 등은 이론치와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타나는 다행스런 결과를 얻고 있는 것으로 판단할 수 있다.

현재로서는 터널 환기설비에 대한 T.A.B.에 대한 중요성이 그다지 부각되지 않은 상태로 이에 대한 연구 결과나 국내의 자료 축적은 아주 미약한 실태로 터널 설계에 임하는 설계 당사자조차 확신 없이 외국의 자료에 의존하여 설계하고 있는 형편으로 신뢰성 있는 설계를 위해서는 보다 많은 터널에 대한 연구와 실측이 요구된다고 생각된다. ㉞