

터널형 지하공간내의 자연환기력 분석

이창우^{1)*}, 박홍채²⁾

A Study on the Natural Ventilation Force in Tunnels

Chang-Woo Lee and Hong-Chae Park

Abstract Force induced by the natural ventilation in tunnel is likely to generate adverse influences on the airflow during the normal operation and create even more unfavorable circumstances during the tunnel fire. The influence of the natural ventilation is required to take into account in designing and operating the ventilation as well as safety systems. The magnitude of natural ventilation force depends on a variety of factors associated with the topographical, meteorological and physical features of tunnel. Unfortunately, at this moment those are difficult to quantify and none of the countries has suggested its estimation method in the design guideline. This study aims at quantifying the natural ventilation force at a local highway tunnel by three different methods. The first method employs direct measurement of the pressure at portals, while the second applies a stepwise approach to eliminate the piston effect ahead of deriving the natural ventilation force and the third method uses the concept of barometric barrier.

Key words Tunnel ventilation system, Natural ventilation force, Chimney effect, Piston effect, Barometric barrier

초 록 터널내 자연환기력은 터널의 정상운영시 뿐만 아니라 터널내 화재와 같은 비상시에 기류 유동상의 심각한 문제를 야기할 수 있다. 따라서 자연환기력의 영향은 터널 환기 및 방재시스템 설계시에 반드시 고려하여야한다. 자연환기력의 결정에 영향을 미치는 변수에는 지형, 기상, 터널의 물리적 특성에 관련된 다양 변수들이 포함된다. 그러나 이들 변수간의 정량적인 관계의 이해가 복잡하여 현재 어떤 나라에서도 국가기준에 자연환기력의 예측방법을 제시하고 있지 않다. 본 논문에서는 국내 고속도로터널을 대상으로 자연환기력의 정량화 연구를 수행하였다. 정량화를 위하여 첫째, 양 갱구의 기압차 측정방법, 둘째, 피스톤효과에 의한 영향을 제거하는 방법, 셋째, 기압장벽고 방법을 적용하였다.

핵심어 터널 환기시스템, 자연환기력, 굴뚝효과, 피스톤 효과, 기압장벽고

1. 서 론

터널내 기류유동에 관련된 환기력은 교통환기력(piston effect), 설비 환기력, 자연환기력 등이 있으며 이들 중에 현재까지 정량화 모델이 제시되고 않는 유일한 환기력이 자연환기력이다. 터널 외부 기상조건의 변화에 따라 유도되는 터널내 환기력의 순간 변동은 터널내에서 정상류 유동을 기대하기 어려운 가장 중요한 요인이 되고 있다.

지하공간에 작용하는 자연환기력은 외부풍에 의하여

갱구에 작용하는 풍압 및 내외부 공기밀도 차이에 의한 유동효과에 의하여 작용한다. 일반적으로 풍압에 의한 효과가 밀도차이에 의한 효과, 즉 굴뚝효과에 비하여 상대적으로 큰 편이다. 풍압은 갱구주위의 지형적 형태에 따라 좌우되나 건축구조물에 작용하는 풍압계수 연구결과와 같이 정형적인 분류가 어려운 지형적 특성으로 인하여 터널갱구에 작용하는 풍압효과에 대한 연구는 극히 제한적이다.

하저 또는 해저터널 갱구의 풍압계수 축소모형 연구인 Blendersmann 1976), Maarsingh and Swart(1991)의 연구 결과 풍압계수는 최대 0.8정도이며 철도터널 현장 연구인 West and Pope(1985)의 연구결과는 0.66~1.68 범위의 풍압계수를 보이고 있다. 한편, 터널 주변 지형에 의한 자연환기력 추정 방법으로 기압장벽고(barometric barrier)의 개념을 Roche(1991)가 제안하고 있으며 이

¹⁾ 동아대학교 에너지·자원공학과 교수

²⁾ 동아대학교 에너지·자원공학과 석사

* 교신저자 : cwlee@dau.ac.kr

접수일 : 2009년 6월 12일

심사 완료일 : 2009년 6월 24일

게재 확정일 : 2009년 6월 25일

는 굴뚝효과를 제외한 자연환기력의 최대가능값의 의미를 가지며 장벽고와 자연환기력이 선형관계를 가진다는 가정하에서 자연환기력의 크기를 예측하는 방법을 제시하고 있다. Casale(2006)은 몽블랑터널의 경우 이탈리아에서 프랑스쪽으로 부는 편현상의 영향으로 자연환기력의 측정결과 최대 1000Pa에 달하는 것으로 발표하였다. 국내에서는 김효균(1999)가 터널내 환기력의 이론식을 이용하여 도로터널에서의 자연환기력을 추정하였으며 이창우 등(2006)은 국내 고속도로터널에서의 현장측정을 통한 사례연구에서 자연환기력이 최대 126Pa, 굴뚝효과에 의한 자연환기력은 최대 10Pa 정도임을 보였다.

그러나 현재까지의 국내외 연구는 극히 제한된 조건 하에서 수행되었으며, 국내특성과 맞지 않아 연구 결과의 국내적용에는 한계가 있다. 국내도로터널의 현장연구를 통한 자연환기력 관련 연구는 1990년도에 이창우 등이 발표한 “도로터널내 자연환기력 연구”로부터 시작되었다. 현재 국내 터널 중 산악터널 및 임해 장대터널의 일부에서는 자연환기력에 의한 터널내 자연풍속이 설계속도(2.5m/s)의 2배가 넘는 경우가 관찰되고 있어 시스템운영상에 많은 문제를 야기하고 있으며 터널의 점진적인 장대화 경향을 고려할 때 이에 대한 연구가 시급한 실정이다. 특히, 운행방향과 반대로 작용하는 자연환기력은 환기설비에 의한 설계 환기효과를 기대할 수 없으므로 터널내 환경이 악화되거나 화재발생 시에는 화재연의 제거가 어려워지므로 안전한 대피로 확보에 상당한 문제가 예상되므로 정상운행 및 비상시 모든 경우에서 터널의 안전성에 심각한 문제의 발생이 우려된다.

본 연구에서는 국내터널을 대상으로 자연환기력의 측정 및 예측방안을 검토함으로써 궁극적으로는 자연환기력의 예측 모델개발에 기초자료를 제공함을 목적으로 한다.

2. 자연환기력의 추정 및 측정

2.1 적용 방법

(1) 기압차에 의한 자연환기력 추정(방법1)

터널내에 작용하는 환기력의 합은 터널의 총 압력손실의 크기와 같다는 힘의 평형식을 적용하여 환기력을 분석한다. 총환기력은 기류유동에 따른 손실부분을 제외하면 자연환기력, 교통환기력, 기계환기력의 합이므로 교통 및 기계환기력이 없을 경우 자연환기력이 유일한 작용력이 된다. 따라서 차량운행이 없는 시간에 환기설비의 가동을 중단한 상태에서의 측정 환기력은 자

연환기력이며 터널 입출구 지점의 기압차를 자연환기압으로 정의할 수 있다.

압력차이가 단순 고도차에 의한 위치압차로 인한 경우에는 기류의 유동이 없다. 따라서 외부풍에 의하여 터널강구에 작용하는 풍압에 의한 자연환기압인 양갱구의 기압차이는 두 곳에서 측정한 기압에서 고도차 및 온도차에 의한 영향을 제거하여야 하며 이 과정을 경정이라고 한다. 1950년부터 기상청에서 사용하고 있는 다음 식을 이용한 경정기압 계산에서는 터널평균고도를 기준점으로 하고 있다.

$$P_r = P_0 \cdot \exp \left[\frac{g \cdot \Delta h}{R \cdot \left(273.15 + \frac{t(t+T\Delta h)}{2} + \epsilon_m \right)} \right]$$

P_r : 경정기압	P_0 : 원기압
R : 건조공기기체상수	g : 현지중력가속도
T : 기온감률	ϵ_m : 수증기영향보정치
Δh : 고도차	t : 온도

(2) 터널내 유도풍속을 이용한 추정(방법2)

터널 내부 기류유동은 환기력에 의해 발생하고 난류 하에서의 터널내 풍속은 환기압의 자승근에 비례한다. 터널의 교통특성(차중구성비, 차속, 교통량)자료로부터 다음식을 이용하여 교통환기력을 추정할 수 있으며, 일차원 정상류 유동이라고 가정할 경우에는 교통환기력만에 의한 유도 풍속의 추정도 가능하다. 환기설비의 가동이 없는 경우에 측정한 터널 내부 풍속에서 교통환기력에 의해 유도되는 풍속의 추정값을 제거함으로써 자연환기력만에 의한 유도 풍속을 추정하여 자연환기력을 역산하는 방법을 적용하였다.

-교통환기력과 유도풍속

$$\Delta P_t = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{A_m}{A_r} \cdot N \cdot (U_{veh} - U_r)^2$$

$$U_t = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \frac{P_t}{\xi_t + \xi_c + \lambda \cdot \frac{L_r}{D_r}}}$$

ΔP_t : 교통환기력	ρ : 터널내부밀도
A_r : 터널내공단면적	U_{veh} : 차속
U_r : 터널내풍속	ξ_c : 출구손실계수
U_t : 교통환기력에 의한 유도풍속	
A_m : 등가저항면적	D_r : 대표직경
N : 터널내차량수	L_r : 터널길이
λ : 벽면마찰계수	ξ_t : 입구손실계수

-자연환기력

$$\Delta P_{MT} = \left(\xi_i + \xi_e + \lambda \cdot \frac{L_r}{D_r} \right) \frac{\rho}{2} U_n^2$$

- ΔP_{MT} : 자연환기력 ξ_i : 입구손실계수
- U_n : 자연환기력에 의한 풍속
- L_r : 터널길이 D_r : 대표직경
- λ : 벽면마찰계수 ξ_e : 출구손실계수

(3) 기압장벽고에 의한 자연환기력 추정(방법3)

전술한 바와 같이 자연환기력은 외부풍에 의한 갱구 풍압 및 터널 내외부 온도·밀도차에 따른 굴뚝효과로 구분된다. Roche(1991)는 Fig. 1에서와 같이 기압장벽고(barometric barrier)개념을 적용하여 지형과 외부풍에 의한 풍압효과만에 의한 자연환기력의 최대 가능값을 추정하는 방법을 제안하였다.

$$H2 = \frac{H2(1) + H2(2)}{2}$$

$$H = \frac{H1 + H2}{2}$$

$$P_{amax} = 0.4(Pa/m) \cdot H$$

- P_{amax} : 지형 및 풍압에 의한 자연환기력의 최대값
- H : 기압장벽고(m)
- $H1$: 등선의 최저고도와 터널평균 고도와의 차(m)
- $H2$: 터널 갱구로부터 좌우측으로 터널길이 만큼 떨어진 지점에서의 고도평균값과 터널평균고도와의 차(m)
- L : 터널연장(m)

Roche의 기압장벽고의 정의는 입·출구부근의 지형에 국한되어 있으며 터널축에 직각인 면의 고도의 평균값

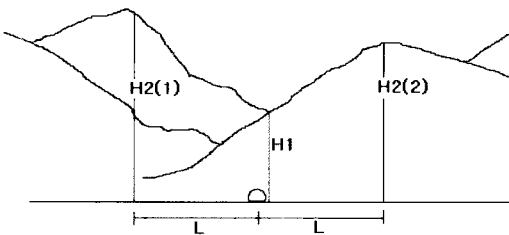


Fig. 1. 기압장벽고 개념(Roche, 1991)

과 최저고도만을 이용함으로써 3차원적으로 다양한 모양을 가지는 장애벽면 크기를 정확히 정량화하고 있지 못하다. 또한 적용 범위를 터널진행방향의 수직방향으로 터널의 연장 2배로 정의하고 있지만 터널진행방향으로는 적용 범위는 주관적으로 가정하고 있다. 따라서 축방향 분석 범위에 대한 차이 및 입·출구로부터 거리에 따른 지형의 변화 영향을 반영하지 못하고 있다는 문제점을 보인다.

따라서 본 연구에서는 축방향으로의 진행 거리별 3차원적 지형특성을 고려하기 위하여 대상 거리에서의 기준단면에 갱구로부터 투영된 지형의 투형면적과 같은 가상의 직사각형(가로는 터널의 연장 2배)의 높이를 기압장벽고로 정의함으로써 Roche의 문제점을 해결하였다. 투영거리는 갱구로부터 점진적으로 증대시킨 후 구한 기압장벽고의 수렴값을 최종 기압장벽고로 선택하였다. 이와 같은 방법은 3차원적 지형의 풍압효과를 잘 반영할 수 있는 장점이 있으며 국내 도로터널을 대상으로 현장실험 결과와 비교검토 과정을 거쳤다(이창우, 2008).

2.2 자연환기력 측정

(1) 대상 터널 및 측정방법

본 연구는 대구-포항 고속도로에 위치하는 입고4 터널의 대구방향구간에서 수행하였으며, 터널의 주요 특성 및 제원은 Table 1과 같다. 자연환기력의 추정을 위하여 터널 내부, 외부, 입구, 출구 4지점에서 계측을 실행하였으며 계측지점 및 계측항목은 Fig. 3과 Table 2와 같다.

계측은 18일간(2006.5.26~2006.6.12) 연속적으로 진행되었고, 교통환기력 관련 변수는 현장 계측설비를 이용한 계측자료를 사용하였다. 터널내부 기압은 10초,

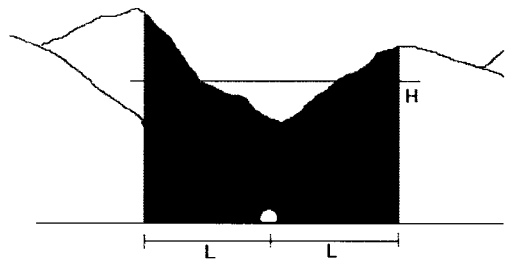


Fig. 2. 기압장벽고 추정 개념(이창우, 2008)

Table 1. 입고4 터널 주요 특성 및 제원

길이	내공단면적	대표직경	평균고도	평균구배	환기방식	환기설비
1667m	101.12m ²	11.35m	220.66m	2.29%	종류식	제트팬 (φ1530) 8대

Table 2. 계측지점 및 계측항목

지점	고도(m)	위치	계측항목 및 측정시간간격
1	204.97	입구갱구 내부 150m	기압(10초), 온도(1분), 상대습도(1분), 풍속(1분)
2	236.36	출구갱구 내부 150m	기압(10초), 온도(1분), 상대습도(1분), 풍속(1분)
3	208.23	입구갱구 직상부	기압(5분), 온도(5분), 상대습도(5분), 풍향/풍속(5분)
4	246.35	출구갱구 직상부	기압(5분), 온도(5분), 풍향/풍속(5분)

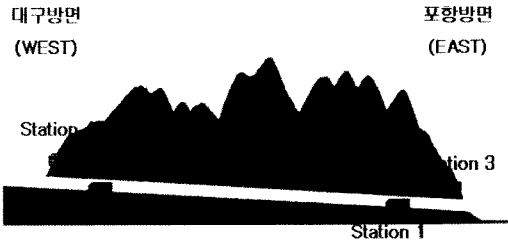


Fig. 3. 계측 지점 배치도

기타 변수는 1분 단위로 계측하였으며 외부 기상변수 측정은 5분 단위로 측정하였다.

(2) 측정 결과

- 풍속

전형적인 24시간 동안의 내부풍속분포를 보여주는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 내부풍속의 경우 4~7m/s

범위를 보이며 대부분 순풍으로 불고 있으나, 교통량이 상대적으로 적은 00:00~06:00 시간대에서 풍속이 급격히 감소하여 역풍으로 전환되는 경우가 발생한다. 풍속은 교통환기력 및 자연환기력의 순간 변화에 따라 변동폭이 큰 편이다.

- 내부기압

측정기압의 경우 97.08~97.26 KPa 범위를 보이며, 입구(Station 1)와 출구(Station 2)에서의 기압차는 239~473Pa의 범위로 항상 양의 값이 보인다. 그러나 경정기압으로 환산한 값의 차이는 -100Pa~150Pa이 되므로 Fig. 5 및 6에 도시한 바와 같이 내부기류가 역풍으로 전환되는 현상을 풍속분포 뿐만 아니라 경정기압차에서도 확인할 수 있다.

기압, 풍속, 온도 등과 같은 외부기상조건, 터널내부 교통량, 차종구성, 차속 등과 같은 교통환기력을 결정하는 변수들은 순간적으로 변하므로 터널내 환기력 및 풍

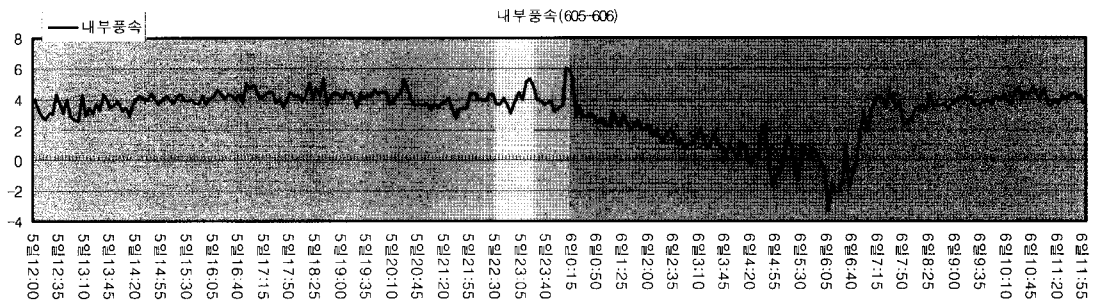


Fig. 4. 측정내부 풍속 결과

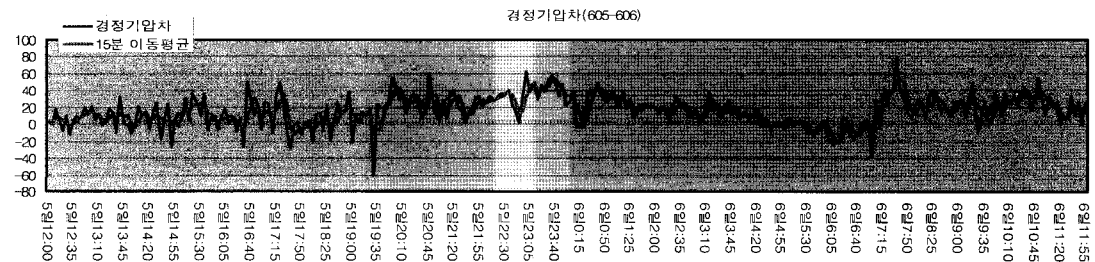


Fig. 5. 경정기압차 분포

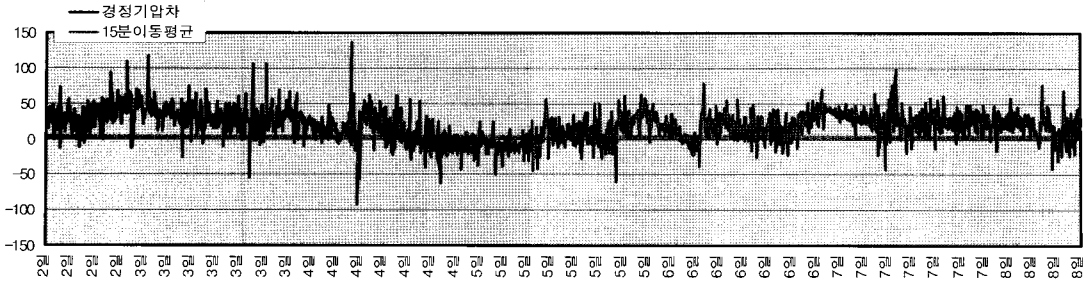


Fig. 6. 7일간(6월2일~6월8일) 경정기압차 분포

속 분포는 정상상태를 유지하지 않고 천이단계(transient state) 또는 준정상상태(pseudo steady state)에 있다. 따라서 이들 변수의 순간변화에 따른 오차를 최소화하기 위하여 15분 이동평균값을 분석대상으로 하였다. 15분 이동평균의 차이는 -28.1~22.3Pa로 큰 차이를 보이지 않는다.

- 교통량, 차속 및 교통환기력

Fig. 7에 도시한 교통량은 1분당 차종별 교통량을 측정된 결과이다. 00:00~04:00 사이의 교통량은 상대적으로 적으며 차종 구성비는 시간에 따른 일정한 경향이 없이 불규칙하다. 차속의 경우 3차선의 평균 차속이며 일반적으로 90km/h 이상의 고속주행을 보이며 편차는 20km/h로 작은 편이다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 교통환기력은 평균 45Pa 이고 순간적으로는 200Pa 이상의 높은 값을 보여주고 한다. 교통량 뿐만 아니라 차속, 차종구성비, 터널내 풍속에 의하여 결정되는 교통환기력의 크기는 교통량 보다 대형차의 차종구성비에 더욱 상관성을 보이고 있으므로 단순한 교통량과 교통환기력이 정비례 하지 않는 것은 Fig. 7 및 Fig. 8에 잘 나타나 있다.

2.3 분석 결과

(1) 기압장벽고

기압장벽고에 의한 자연환기력을 추정하기 위하여 임고4 터널의 중간지점을 기준으로 갱구로부터 모든 단면을 투영한 단면의 형태를 Fig. 9에 도시하였다. 투영단

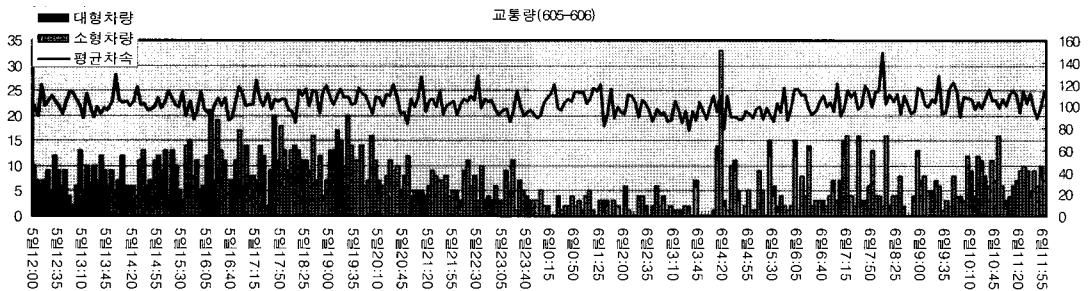


Fig. 7. 교통환기력 결정 변수 분포

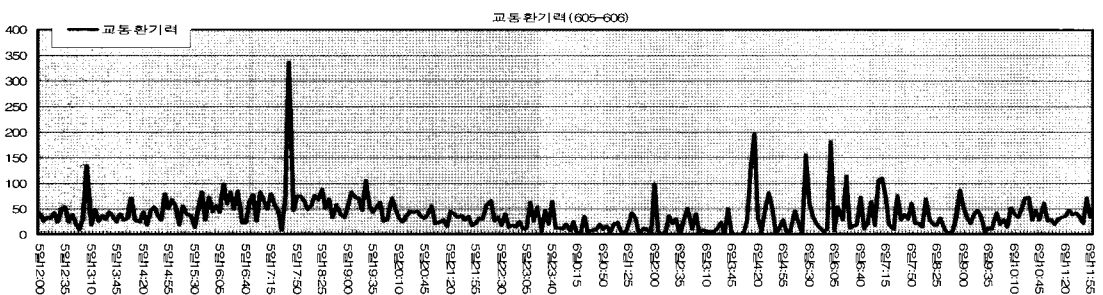


Fig. 8. 교통환기력 분포

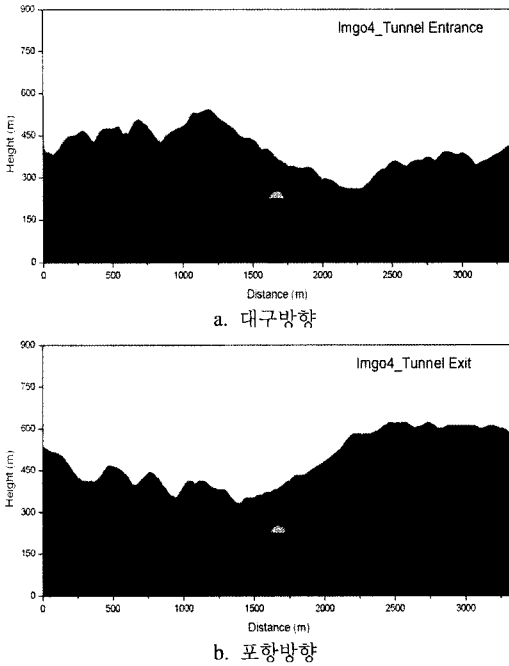


Fig. 9. 중합투영면적 (터널 중간지점 기준)

Table 3. 기압장벽고에 의한 추정결과

방향	기압장벽고(m)	추정 자연환기력(Pa)	
		0.4Pa/m ⁽¹⁾	0.45Pa/m ⁽²⁾
대구	179.1	71.6	80.6
포항	265.9	106.4	119.7

주) ⁽¹⁾ Roche(1991) ⁽²⁾ 이창우(2008)이 제안한 기압장벽고에 따른 자연환기력의 증가율임.

면으로부터 계산한 장벽고(H)는 대구방향 179.1m, 포항방향 265.9m이다. 이에 따른 자연환기력은 위의 Table 3과 같다.

(2) 결과 분석

방법 2에 의하여 추정한 터널내 유도풍속의 분포를 Fig. 10에 도시하였다. 교환환기력과 자연환기력에 의하여 각각 유도된 풍속은 유사한 분포를 보인다. 측정 풍속과 교환환기력에 의하여 유도되는 풍속의 차이가 자연환기력만에 의한 풍속과 일치하지는 않는 가장 큰 이유는 교환환기력을 1분간 측정된 차종별 교통량 및 차속으로 계산한 유도 기류를 정상류로 가정한 데 있다. 그러나 교환환기력이 상대적으로 작은 시간대에는 이와같은 가정에 따른 오차가 미미해지므로 양갱구에서 측정된 기압차에 따른 방법 1의 추정결과는 Fig. 12와 Fig. 13에 도시한바와 같이 방법 2 즉, 유도풍속에 의한 자연환기력 추정결과와 매우 유사한 값을 보여주고 있다.

외부 풍속은 터널외부의 갱구 상부에서 측정하였다. 따라서 Fig. 11에서 보는 바와 같은 측정치는 외부풍압의 영향이 큰 범위 내 지점에서 측정된 결과이므로 풍압효과가 “0”인 갱구면에 직접적으로 작용하는 외부풍의 풍속 및 기압은 아니다. Fig. 11의 터널 갱구외부 및 기상대의 풍속자료는 모두 터널 축방향을 기준으로 변환한 풍속값이다. 그러므로 풍압효과를 분석하기 위하여서는 외부풍속은 갱구주변 즉 풍압효과가 상대적으로 큰 갱구벽면 상에서 측정된 값이 아니라 인근 기상대의 광역 풍속을 적용하는 것이 타당하다. 방법 1에 양갱구 경정기압차로 구한 자연환기력은 Fig. 12과 Fig. 13에 도시하였으며 추정결과는 방법 2와 근사한 값을 보이고 있다.

한편 터널내외부 공기밀도차에 의한 굴뚝효과 크기를 Fig. 14에 도시하였으며 총 자연환기력과 굴뚝효과만에 의한 자연환기력의 상관관계를 산포도 형태로 Fig 15에 정리하였다. 굴뚝효과는 자연환기력의 크기 및 방향에 관계가 없으나 차량 진행방향으로의 효과가 상대적으로 우세하게 나타나고 있다.

주요 추정결과의 내용을 정리하면 다음과 같다.

(1) 방법 1에 의한 자연환기력의 범위는 Table 4에서

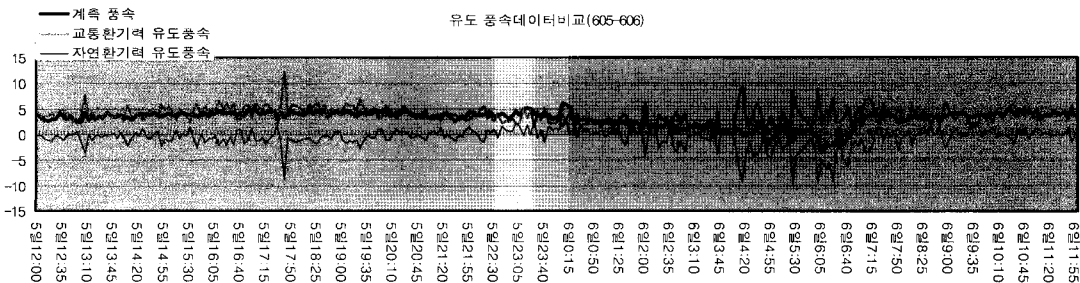


Fig. 10. 터널내 유도풍속의 분포

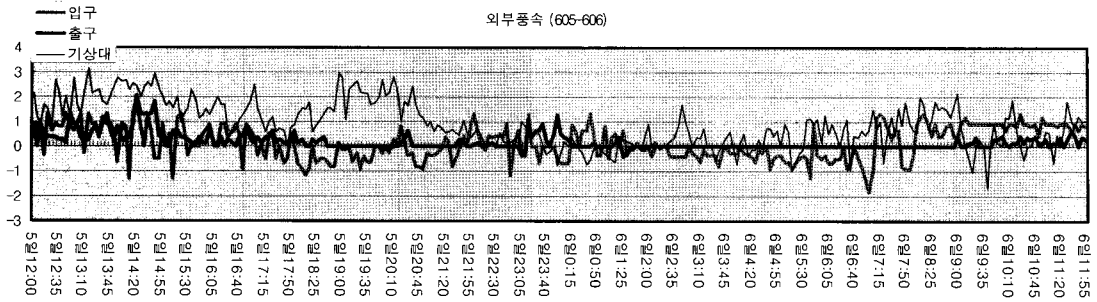


Fig. 11. 양 갱구 외부에서 측정된 풍속 (터널 후방향 기준)

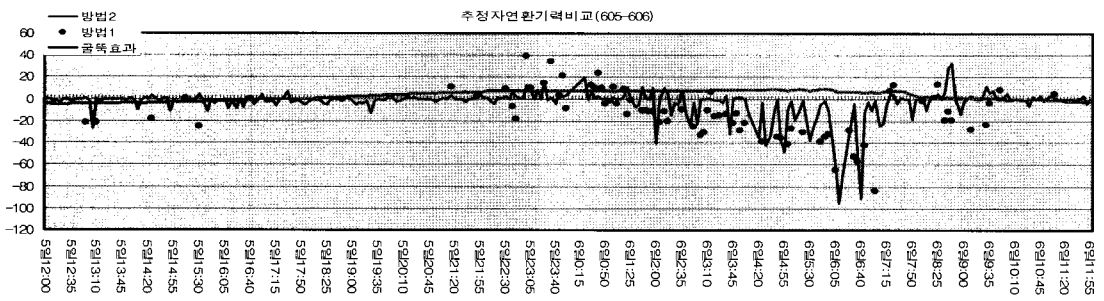


Fig. 12. 자연환기력 추정 결과 (1)

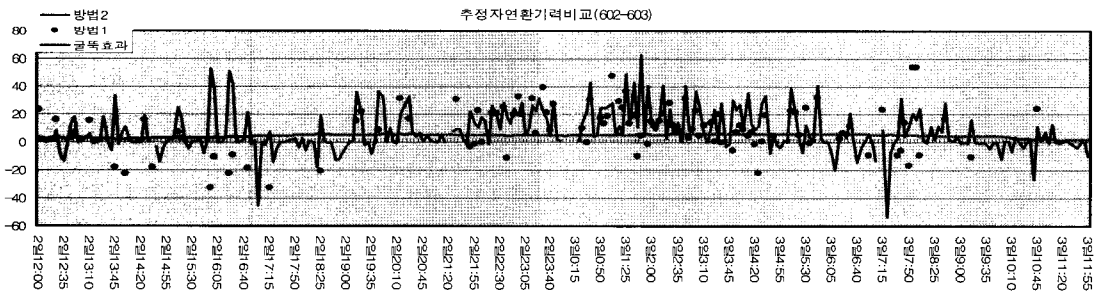


Fig. 13. 자연환기력 추정 결과 (2)

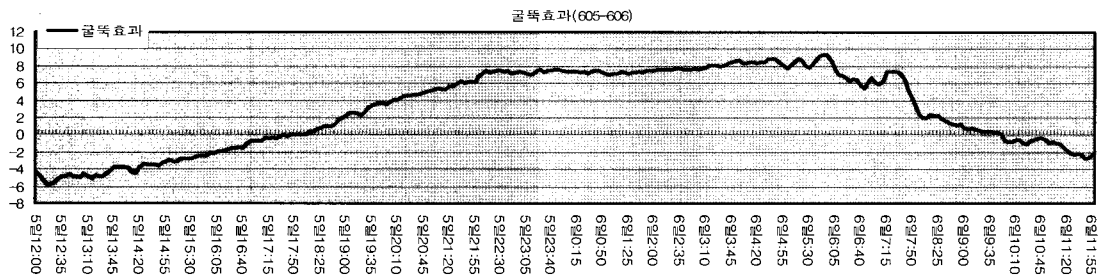


Fig. 14. 관측효과에 의한 자연환기력 분포

보는 바와 같이 -126.2~109.6Pa의 범위이며 평균은 -12.3Pa 정도로 자연환기력의 우세방향은 차량 운

행 방향과 반대방향이다. 자연환기력이 음인 시간대의 평균은 -26.9Pa이고 양의 시간대는 14.6Pa이

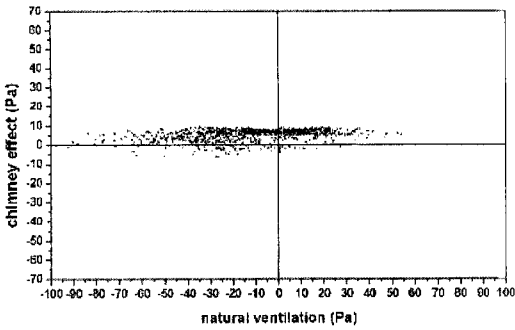


Fig. 15. 총 자연환기력과 굴뚝효과 산포도

다. 한편 추정값의 분산은 음의 자연환기력의 경우가 작은 편이다.

- (2) 방법 2에 의한 경우는 -99.8~62.7Pa 정도이며 방법 1에 비하여 상대적으로 작게 나타난다. 전체 시간대의 평균은 -6.1Pa로 방법 1과 같이 음의 자연환기력이 우세하며 추정값의 분산도 음의 경우가 작은 편으로 나타났다.
- (3) 방법 3, 즉 기압장벽고에 의해 추정된 자연환기력은 최대 가능값을 의미하며 양의 자연환기력은 최대값 71.6Pa, 음의 최대값은 106.4Pa로 추정되어 방법 1 및 2에 의하여 측정 또는 추정된 값의 최대값과 아주 유사한 수준을 보이고 있다.
- (4) 한편 굴뚝효과에 의한 자연환기력의 크기는 Fig 14에 나타난 바와 같이 -7~10Pa 범위를 보인다.

2.4 방법간 비교검토

3가지 방법에 의한 추정결과의 비교분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

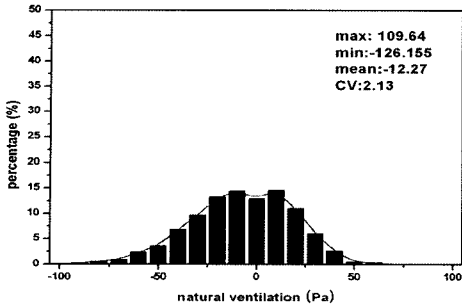
- (1) 방법 1 및 2에 의한 추정값의 범위는 각각 -126.2

~109.6Pa 및 -99.8~62.7Pa 이며 방법 3에 의한 최대 가능값은 -106.5, +71.6Pa이다. 방법 3의 경우 굴뚝효과를 고려하지 않고 있으므로 굴뚝효과 추정범위 -7~10Pa의 범위를 고려하면 음의 자연환기력의 최대값은 방법 1, 2, 3의 경우 각각 -126.2Pa, -99.8Pa, -113.5, 양의 경우 각각 109.6Pa, 62.7Pa, 81.6Pa이다. 추정 최대 자연환기력의 차이는 음의 경우 26.4Pa, 양의 경우는 46.9Pa 정도로 측정치에 비하여 약간 작게 나타난다

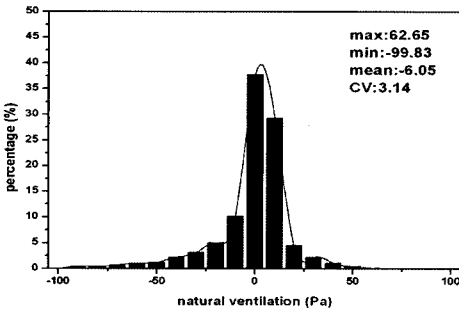
- (2) 교통량이 작은 시간, 즉 교통환기력이 낮은 경우에는 방법1과 방법 2의 결과가 상당히 근사한다.
- (3) Fig. 16은 방법 1과 방법 2의 추정값의 분포도이다. 방법 1 및 2의 경우, ±10Pa 범위에 위치한 추정값은 각각 27.6%와 67%이다. 방법 2의 경우 방법 1에 비하여 자연환기력을 상대적으로 작게 추정하는 경향을 보인다. 추정방법 1이 교통환기력의 영향을 최소화하기 위하여 교통환기력이 낮은 시간대만을 대상으로 한 것이므로 대부분 음의 자연환기력을 보이는 시간대를 기준으로 하고 있으나 방법 2는 전체 시간대를 분석대상으로 하였기 때문이다.
- (4) 기압장벽고에 의한 자연환기력의 최대가능값 추정의 경우에 Roche의 제안 증가율 0.4Pa/m 보다 국내터널을 대상으로 제안된 증가율 0.45Pa/m의 경우가 방법 1의 측정결과와 비교시 상대적으로 근접함을 알 수 있다. 따라서 갱구 주변의 외부풍의 풍압효과에 의한 자연환기압의 예측방법인 기압장벽고에 의하여 추정된 자연환기압은 입출구 갱구에서의 기압차에 의하여 측정된 자연환기압의 최대치를 비교적 정확히 추정할 수 있음을 보여주고 있다.
- (5) 양의 범위가 우세한 굴뚝효과에 의한 자연환기력은 Fig. 17에 보는 바와 같이 양의 범위에서는 비교적 분산이 작은 편이다.

Table 4. 자연환기력 분석결과 요약

방법	자연환기력(Pa)									
	전체시간대			역방향 작용 시간대			순방향 작용 시간대			
	범위	평균	변동 계수	범위	평균	변동 계수	범위	평균	변동 계수	
1	-126.2~109.6	-12.3	2.13	-126.2~-0.2	-26.91	0.70	0.0~109.6	14.6	0.88	
2	-99.8~62.7	-6.1	3.14	-99.8~-0.1	-13.94	1.35	0.0~62.7	6.9	1.44	
3	증가율 0.4Pa/m	-106.4~71.6			106.4 (대구방향)			71.6 (포항방향)		
	증가율 0.45Pa/m	-119.7~80.6			119.7 (대구방향)			80.6 (포항방향)		



A. 방법 (1)



B. 방법 (2)

Fig. 16. 추정 방법별 분포도

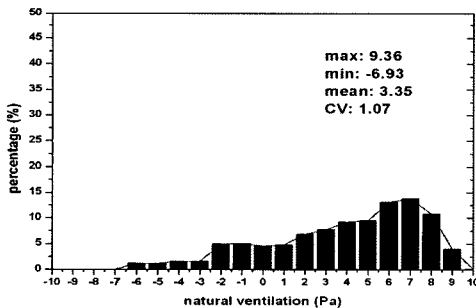


Fig. 17. 굴뚝효과에 의한 자연환기력 분포도

3. 결론

본 연구는 국내도로터널에 작용하는 외부풍 및 굴뚝효과에 의한 자연환기력의 측정 및 추정방법 연구를 목적으로 하였으며 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 자연환기력의 분석을 위하여 첫째, 양갱구의 기압차 측정, 둘째, 교통환기력을 제외한 자연환기력만에 의한 유도풍속의 역산, 셋째, 기압장벽고에 의한 추정방법을 적용하였다.
- (2) 측정된 자연환기력은 -126.2~109.6Pa, 교통환기력을 제거한 후 역산하는 방법의 적용 결과는 -99.8

~62.7Pa, 증가율 0.45Pa/m를 적용한 기압장벽고 방법의 추정결과는 -119.7~80.6Pa로 나타났다.

- (2) 방법 2의 차이는 추정시간대의 차이에서 대부분 기인하며, 직접 측정방법인 방법 1과 기압장벽고 방법 2과는 상당히 유사한 결과를 보인다.
- (3) 최대 자연환기력의 추정시에 적용 방법간 차이가 현저하지 않다. 즉, 양 갱구에서 측정된 기압차에 의한 자연환기력의 측정결과와 기압장벽고에 의한 최대가능값의 추정결과와 매우 유사한 결과를 보인다. 따라서 자연환기력 증가율 0.45Pa/m를 적용하여 국내터널에서의 외부풍에 의한 풍압효과가 유도하는 자연환기압의 최대값 추정방법으로 기압장벽고 방법의 국내 적용상에 문제가 없을 것으로 판단된다.
- (4) 굴뚝효과에 의한 자연환기력은 -7~10Pa 정도이며 외부풍의 풍압효과가 상대적으로 큰 비중을 차지하는 총 자연환기력의 크기와는 상관관계를 전혀 보이지 않는다.
- (5) 장대터널의 건설이 본격화됨에 따라 터널의 환기 및 방재시스템의 최적 설계 및 운영을 위하여 주요 설계인자 중의 하나인 자연환기력에 관한 지속적인 정량화 연구가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 건설교통부 산학연 중점연구사업인 “지하공간 환경개선 및 방재기술 연구사업 -도로터널 환기시스템연구”의 일환으로 수행되었으며 “자원개발특성화대학사업”을 통한 지식경제부의 지원, 동아대학교의 연구지원 및 현장실험시의 한국도로공사의 협조에 감사드립니다.

참고문헌

1. Blendermann, W., 1976, “On a probabilistic approach to the influence of a wind on the longitudinal ventilation of road tunnels”, proceedings of 2nd AVVT, pp. B1-1-24.
2. Weiss, H.H. and K. Dolejsky, 1985, “An investigation of atmospheric pressure differences affecting the longitudinal ventilation of road tunnels”, proceedings of 5th AVVT, pp. 189-203.
3. Roche, L., 1991 “Meteorological influence on tunnel ventilation: three new field experiment”, proceedings of 7th AVVT, pp. 513-544.
4. Lepage, M.F., and G.D. Schuyler, 1991, “Wind-tunnel experiment on wind effect at tunnel portals”, proceedings of 7th AVVT, pp. 545-562.

5. Maarsingh, R.A. and L. Swart, 1991, "Wind-tunnel experiment on wind effect at tunnel portals", proceedings of 7th AVVT, pp. 545-562.
6. 김효규, 1999, 국내도로터널내 자연환기력 분석연구. 동아대학교 대학원 석사 논문.
7. 한국도로공사, 2001, "도로설계요령 제4권 터널" pp. 234-267.
8. 이창우, 이정복, 2005, "도로터널내 교통신기력 연구", 한국암반공학회, pp.163-166.
9. Casale, E., et al., 2006, "Influence of the natural ventilation on the transverse ventilation", 12th AVVT, pp. 479-494.
10. 이창우, 박홍채, 조홍률, 2006, 도로터널내 자연환기력 영향분석, 한국터널공학회 2006년 제7차 터널기계화 시공기술 심포지움 논문집, pp.113-125.
11. 이창우, 조홍률, 박홍채, 2006, 도로터널 제트팬 환기효과 현장연구, 한국지구시스템공학회 제87회 추계학술발표회 논문집, pp.21-28.
12. 이창우, 2008, 도로터널 환기 및 방재시스템 개발연구, 국토해양부 2003 산학연 공동연구개발사업 "지하공간 환경개선 및 방재기술 연구사업" 최종 보고서.
13. 김상현, 길세원, 이창우, 조우철, 2009, "장대도로터널의 자연환기력 예측 사례연구", 한국터널공학회 춘계학술발표회논문집, pp.189-196.

이 창 우



1978년도 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1983년도 미국 펜실베이니아주립대학교 대학원 자원환경공학 및 OR 공학석사
 1986년도 미국 펜실베이니아주립대학교 대학원 자원환경공학 및 OR 공학박사
 Tel: 051)200-7769
 E-mail: cwlee@dau.ac.kr
 현재 동아대학교 지구환경공학부 교수

박 홍 채



2006년도 동아대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 2008년도 동아대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 Tel: 010-4944-6339
 E-mail: hongchae79@nate.com