

장대터널 환기사갱의 환기효과 사례연구

김두영, 윤수정, 이창우(동아대학교)
조우철((주)나우이엔지)

1. 서론

장대터널 건설시 작업의 효율성 및 환경성을 고려하여 건설되는 사갱은 공사기간 동안에 국한하여 이용되는 것이 아니라 터널 완공이후에도 환기 및 방재 목적으로 적극 활용이 가능하다. 국내 최장대 철도터널로 건설되고 있는 영동선 철도터널(술안터널)의 경우, 16.24 km 연장의 초장대 터널로 본 터널외에 2개의 사갱과 1개의 수갱이 건설되고 있으며 이들은 완공시 환기 및 방재시스템의 주요 구간으로 활용이 계획되고 있다. 또한 최근 설계 및 계획단계에 있는 여러 장대터널의 경우에도 초기에 굴착되는 사갱을 유사한 용도로 사용하는 것이 고려되고 있다. 그러나 규모가 큰 터널에 굴착되는 사갱을 통한 기류의 유동은 자연환기력의 큰 영향을 받게 되어 기류 유동의 변화폭 및 분산이 상대적으로 커지게 되므로 정확한 환기압 및 환기량의 추정이 용이하지 않다. 따라서 전체 터널의 환기 및 방재시스템의 최적화에 많은 문제점을 초래할 가능성이 예상된다.

본 연구에서는 술안터널을 대상으로 사갱의 환기효과를 분석하고 향후 예상되는 환기량을 추정함으로써 유사한 형태의 장대터널에 굴착될 사갱의 환기효과를 극대화할 수 있는 기초자료를 제공함을 목적으로 한다.

2. 현장실험

2.1 터널개요

16.24km 길이의 술안터널 (그림 1)은 단선병렬터널로 건설되고 있으며 완공 후에는 제1 및 2사갱은 수직갱과 같이 단면을 양분하여 급배기 덕트로 활용되며 화재시에는 배연 덕트로 활용할 계획이다. 현장실험이 수행된 시점 (2008년 11월 28일)에는 본 터널의 경우 내부 라이닝 및 바닥포장작업이 진행 중이었으며, 제1사갱은 라이닝작업 전 상태였다.

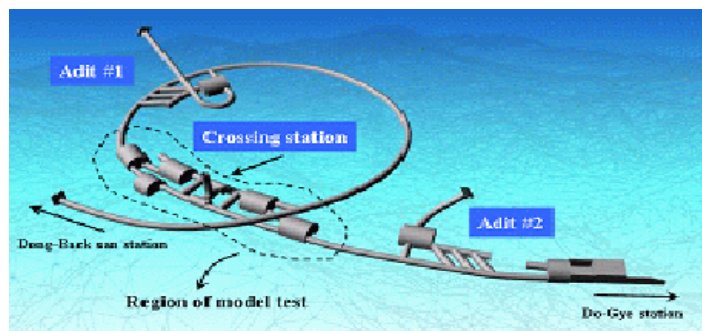


그림 1. 영동선 철도터널(술안터널)

2.2 조사 목적 및 방법

현장실험의 주 목적은 자연환기력만에 의한 환기량의 측정이다. 즉, 터널에 작용하는 자연환기력의 발생요인은 (1) 갱구에 작용하는 외부풍에 의한 풍압, (2) 터널내외부 온도차에 의한 굴뚝효과(chimney effect)이므로 이들 요인별 자연환기력을 추정하기 위한 현장조사를 수행하였다.

현장 조사는 체적기준의 환기량 분포와 기압분포를 측정하기 위하여 그림 2과 표1에서와 같이 총 5개 지점에서 풍향/풍속, 온도/습도, 기압을 실시간 측정하였다. 실시간 측정은 장비 및 인력의 이동이 없는 01:00부터 06:30 사이에 수행하였다.

표 1. 현장측정 지점별 설치장비 및 측정변수

측정지점	위치	설치장비	측정변수
1	영주방향 갱구로부터 50m	기압계, 풍향/풍속계, 온/습도계	기압, 풍속/풍향, 온/습도, 공기밀도 (측점 4의 경우 기압제외)
2	#1 사갱으로부터 120m		
3	영주방향 갱구로부터 6.63km		
4	수갱으로부터 650m		
5	강릉방향 갱구로부터 350m		

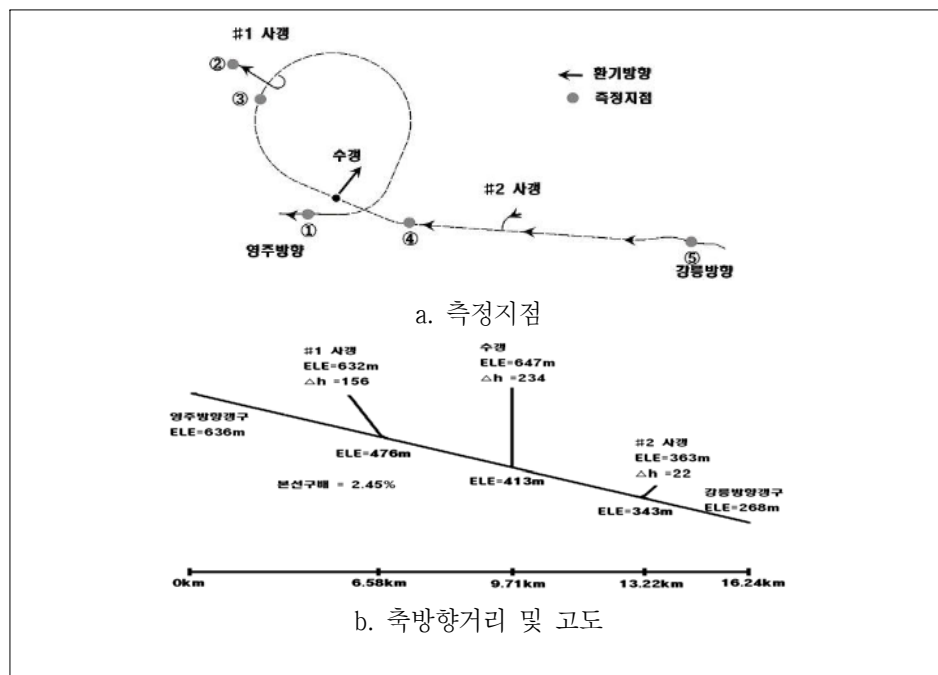


그림 2. 현장 측정지점 개요

2.3 현장실험 결과

2.3.1 환기량, 환기방향 및 온도 분포

측정위치별 환기량의 시간별 분포는 그림 3에, 각 측정별 온도 및 외부 온도의 분포는 그림 4에 도시하였다. 한편, 외부온도는 강원도 태백시의 기상관측소 자료를 적용하였다.

본터널의 환기는 그림 2에서와 같이 강릉방향 갱구로부터 영주방향 갱구 방향으로 이루어졌으며, 강릉방향 갱구 및 제2사갱을 통하여 입기된 기류는 수직갱, 제1사갱 및 영주방향 갱구로 배기되고 있었다.

총 입기량은 71.04m^3 이며 제2사갱을 통하여 32.60m^3 가 배기되었다. 본 터널 구간(제2사갱과 수직갱사이 구간)에서의 평균풍속은 1.7m/s 이었으며 제2사갱에서의 풍속은 최대 0.97m/s , 평균 0.54m/s 로 나타났다.

한편, 온도는 외부 온도가 평균 1.37°C , 입기갱도 부근에서는 5.69°C , 제1사갱 하부에서는 12.54°C , 갱구 (영주방향) 부근에서는 9.22°C 이었다.

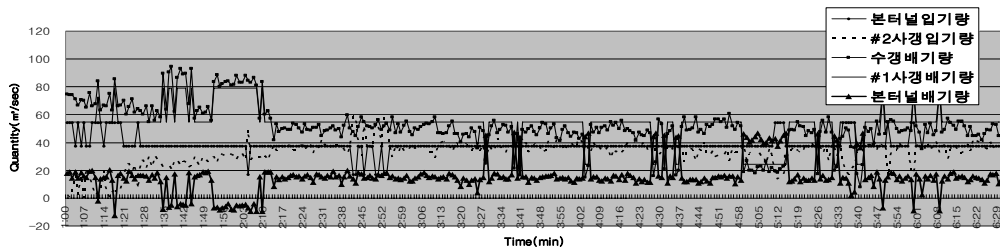
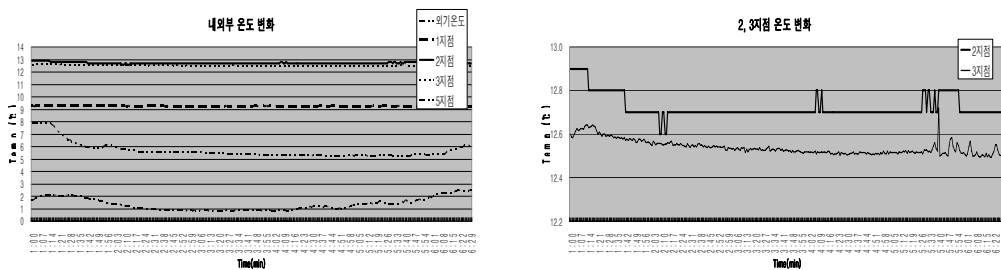


그림 3. 위치별 환기량 분포



a. 측정지점별 온도분포

b. 제1사갱 상하부 온도

그림 4. 위치별 온도 분포

2.3.2 기압분포

5개의 측정위치별 기압분포는 그림 5와 같다. 환기방향이 ⑤ -> ④ -> ③ -> (② 또는 ①)이므로 측정기압의 상대적 크기순서 또한 동일하게 나타난다. 한편, 그림 2에서와 같이 영주방향 갱구점 ①과 제1사갱 출구갱구 ②는 고도도 각각 636m 와 632m 로 거의 고도가 낮은 ②점의 기압이 ①의 기압보다 다소 크게 측정된다. 양 갱구(①과 ⑤)사이 기압차는 4191Pa , 제1사갱 상하부(②와 ③사이) 기압차는 1561Pa 로 측정되었다.

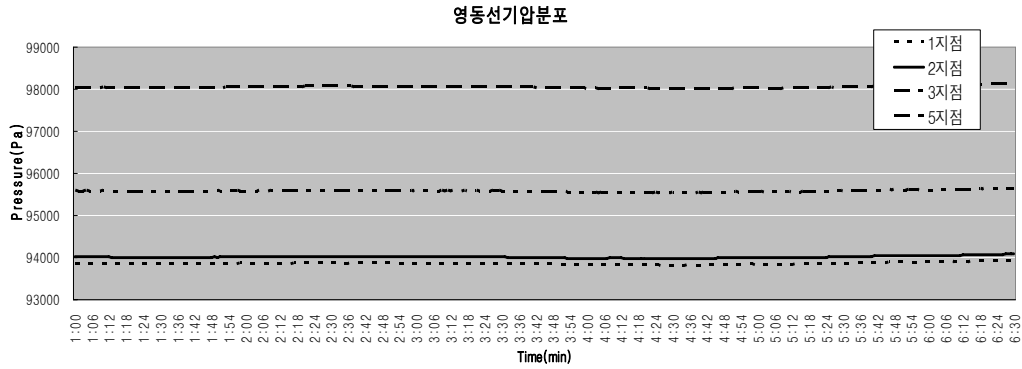


그림 5. 기압분포

3. 제1사갱의 환기효과

제1사갱의 하부점으로부터 입기방향으로 100m 떨어진 측정점 ③과 제1사갱 출구점으로부터 120m 내부에 위치한 측정점 ②사이의 기압차 분포는 그림 6과 같으며 평균 1560.61 Pa, 표준편차 5.42Pa이다. 그러나, 측정한 기압차이로부터 두 지점사이의 고도차에 의한 압력차이를 보정할 경우에는 기압차이가 그림 7과 같다. 보정후의 기압차 평균은 30.14 Pa, 표준편차 5.42Pa이다.

실제 제1사갱에 작용하는 자연환기압 즉 보정후의 기압차를 이용하여 제1사갱을 통한 예상 풍속을 추정하였다. (1) 갱도 마찰계수를 0.3 (현재의 도로터널 마찰계수 0.025의 12배 정도)으로 가정하고 (2) 자연환기력 이외의 환기력이 작용하지 않는 경우에, 터널내 압력손실과 자연환기력간의 관계식을 고려하여 추정한 예상풍속은 그림 8과 같으며 도시한 바와 같이 실측 풍속과 거의 유사한 값 (풍속차의 평균 0.11m/s, 표준편차 0.21m/s)을 보여주고 있다.

$$NVP(\text{자연환기압}) = (1 + 0.6 + \lambda \frac{L}{D_h}) \frac{1}{2} \rho v^2$$

λ : 마찰계수 ρ : 밀도
 L : 길이 v : 풍속
 D_h : 대표직경

그림 10은 영주방향 갱구로부터 직선거리로 4.2km 떨어진 태백시에 위치한 기상관측소의 풍속 자료이다. 현장 실험시에 터널 주변의 외부풍속의 크기분포 자료이며 평균 0.53m/s로 풍속이 미미한 수준이었으며 외부풍에 의한 터널내 기류 유입은 극히 제한적이었을 것으로 추정된다. 따라서 터널내 기류유동을 가능케 하는 것은 터널내외부 온도차이에서 비롯된 공기밀도차로 인한 환기력으로 판단되며 크기는 평균 30Pa 정도로 추정된다.

한편, 현재 진행 중인 작업이 모두 완료된 후의 양 갱구가 개방된 상태의 제1사갱내 기류 유동을 추정하였다. 라이닝 작업과 바닥 포장 작업이 완료된 후의 마찰계수를 0.05(도로터널의 2배)정도로 가정할 경우 위의 계산식을 적용하여 추정한 풍속은 그림 9에서와 같이

평균 2.27m/s, 표준편차 0.21m/s 정도로 대폭 증가하게 되며 현재 수준보다 2.3배 정도의 수준에 달하게 된다.

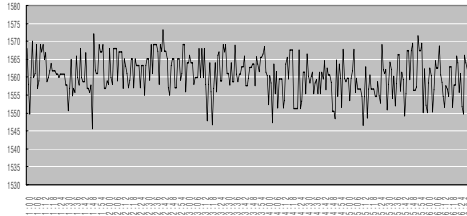


그림 6. 제1사갱 상하부 기압차
(측정기압 기준)

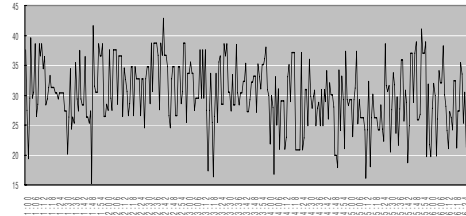


그림 7. 제1사갱 상하부 기압차
(고도차 보정후)

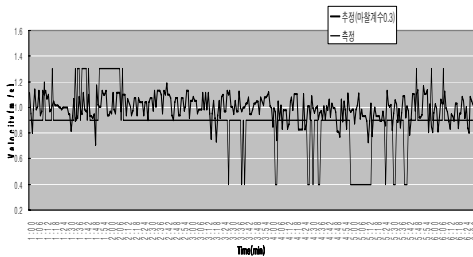


그림 8. 제1사갱내 실측풍속과
추정풍속(마찰계수 0.3 가정) 비교

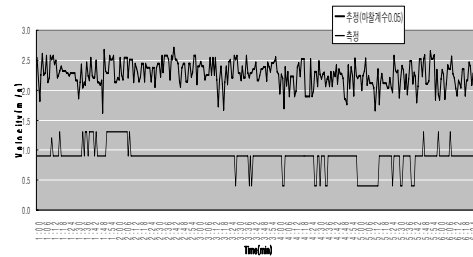


그림 9. 제1사갱내 완공 후의
예상풍속 변화 (마찰계수 0.05가정)

표 2. 제1사갱내 풍속 변화

구 분	측정 풍속 (m/s)	추정 풍속 (m/s)		
		현재(마찰계수 0.3) A	완공 후(마찰계수 0.05) B	증가율 (B/Ax100, %)
평균	0.89	0.99	2.27	229
표준편차	0.20	0.09	0.21	

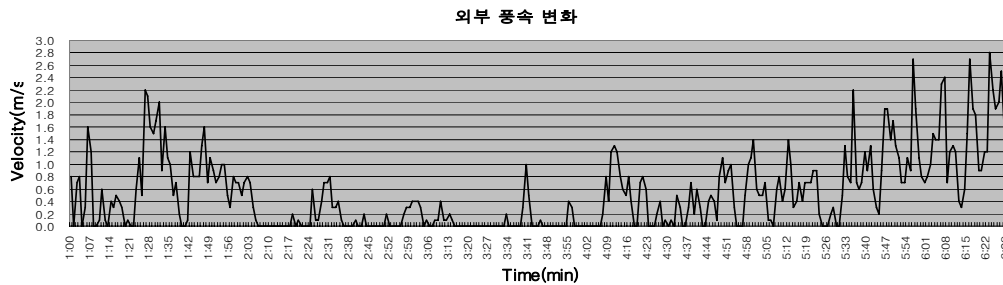


그림 10. 외부 풍속 (강원도 태백시 황지동 기상관측소 자료)

4. 결론

국내 최장대 터널이 되는 영동선 철도터널, 솔안터널을 대상으로 연구한 장대터널의 사갱의 환기효과에 관한 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 길이 1.51km, 고도차 156m, 단면적 53m²인 제1사갱의 상하부 기압차는 평균 1560.61Pa 이었으며 고도차에 의한 보정 후의 기압차는 30.14Pa 로 나타남.
- 2) 내외부 온도차, 즉 공기밀도차에 의한 굴뚝효과가 자연환기력의 대부분을 점하였다.
- 3) 사갱내의 측정 풍속은 0.89m/s, 환기량 54m³/s이었으나, 진행 중인 작업이 모두 완료된 후의 제1사갱내 예상풍속은 평균 2.27m/s정도로 현재 수준보다 2.3배 증가할 것으로 추정된다.
- 4) 사갱을 통한 환기량은 외부풍속의 영향이 현저할 경우에 더욱 커질 것으로 예상되어 환기측면에서 충분한 활용가치가 있으나 방향 및 크기의 변동폭이 큰 자연환기력의 정확한 예측을 통한 제어시스템의 구축이 반드시 요구된다.

참고문헌

1. 이창우, 조홍률, 박홍채, 2006, 도로터널내 자연환기력 영향분석, 한국터널공학회 2006년 제 7차 터널기계화 시공기술 심포지움
2. Casale, E. et al., 2006, "Influence of the natural ventilation on the transverse ventilation conditions", 12th AVVT, p.479-494
3. 이창우, 조홍률, 박홍채, 2007, 터널형 지하공간에서의 자연환기력 현장연구, 2007 춘계 암반공학회 학술발표회, p358-371
4. 이창우, 박홍채, 최판규, 2007 자연환기력(NVF)이 제트팬운전효율에 미치는 영향분석 연구, 한국지구시스템공학회 제 89회 추계학술발표회 논문집, p209-296
5. Lee C, Park H and Cho H, 2007, "On the natural ventilation in local road tunnels: effects of the natural ventilation on the jet fan performance", Proceedings of the 9th Asian International Conference on Fluid Machinery, Jeju, Korea, No. AICFM9-215