

터널 내 작업소음 평가

The Evaluation of Work Noise in Tunnel under Construction

윤창연(Chang-Yeon Yun)[†]

두산건설 기술연구소

Institute of Technology, Doosan Engineering&Construction, Seoul 135-714, Republic of Korea

(Received January 7, 2014; revision received January 23, 2014; Accepted: January 24, 2014)

Abstract To assess a various of workplace noise environment in the tunnel construction site, the measurement is performed while tunnel constructing work. This study focuses on the sound attenuation according to the sound frequency characteristics and the distance from various works in the tunnel. Also, the noise distribution while blasting work is measured according to distance in this study. In addition, the boring processing, muck treatment, and tunnel lining by distance are measured for the noise distributions.

Key words Work noise(작업소음), Blasting noise(발파소음), Boring noise(천공소음), Muck treatment(버럭처리)

[†] Corresponding author, E-mail: cyyun@doosan.com

1. 서 론

터널공사는 공정이 매우 복잡한 일반 건축공사와는 달리 굴착과 복공의 비교적 단순반복적인 작업특성을 지니고 있다. 터널공사 현장은 접근성 등의 제약으로 인하여 투입장비 소음에 대한 연구는 많지 않다.⁽¹⁾ 그리고, 터널공사를 수행하는 대다수의 현장에서 적용되는 NATM(New Austrian Tunnel Method) 공법의 특성상 근로자는 작업시간 동안에만 소음에 노출되는 특성이 있으며 터널 현장에 투입되는 작업자의 수는 많지 않아 소음도 보다는 안전에 한정하여 관리하고 있는 것이 현실이다.⁽²⁾

본 논문에서는 철도 노반신설 터널공사 현장을 대상으로 터널 내 무선통신 통합기술 적용 및 작업자 영향에 대한 기초 데이터 축적의 목적으로 투입장비에 대한 작업소음을 비롯한 거리별 발생소음도 및 발파소음을 측정, 평가하였다.

2. 본론

2.1 현장 및 측정개요

2.1.1 현장 개요

당 현장은 NATM 공법을 사용하여 굴착 중인 철도 노반신설 터널공사 현장으로, 양쪽 끝에서 중앙으로 동시에 굴착이 진행되고 있으며 출입구 및 터널 내의

전경은 Fig. 1과 같다.

NATM 굴착공법의 기본원리는 터널 굴착에 따른 주변지반에 집중되는 최대응력이 지반강도의 허용치 이내에 들 수 있고, 경제적인 단면형태를 통하여 지반 본래의 강도를 최대한으로 유지할 수 있도록 슛크리트와 락볼트 등 지반과의 부착성이 좋은 적절한 지보공을 적기에 설치하여 주변지반을 안정시키며 계측을 통하여 시공 중 그 안전성을 확인하는 것이라고 말할 수 있다. 즉, 지반자체가 터널을 형성하는 주된 지보역할을 수행하도록 적절한 지보부재를 적절한 시기에 설치하도록 하는 노력을 필요로 하는 공법이다.

Fig. 2의 ①지점은 점보드릴을 이용한 굴착작업, ②지점은 막장 1,600 m 이격지점으로 라이닝작업이 진행되고 있으며 발파소음 동시 측정지점이다. ③지점은 터널 입구이며 막장에서 2,490 m 이격지점이다.

Fig. 3은 터널 내부에서 작업중인 소음원을 대상으로 공정별로 각각 발파, 천공작업, 버럭처리 작업, 라이닝 작업에 대한 작업소음 환경을 수행하는 장면이다.

2.1.2 측정 개요

터널 내부의 암종류는 편마암으로 구성되어 있으며, 발파유형은 전단면식으로 발파계획 수립 시 상부 및 하부암반으로 나누어 1일 2회 발파작업이 수행되고 있다. 하루 암반에 대한 발파 시 2개지점에서 동시 측정을 수행하였다. 한편, 발파패턴은 Fig. 4와 같다. 발파 작업 시 주요부위인 확대공의 공수는 6~10개, 장약량



(a) Entrance of tunnel



(b) Inner part of tunnel.

Fig. 1 View of tunnel construction.

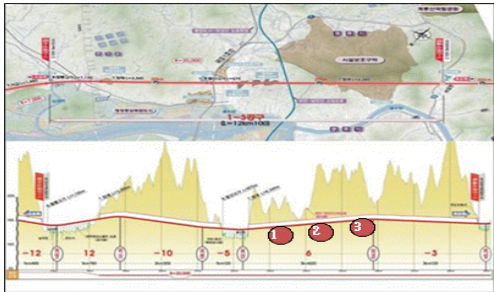


Fig. 2 Measurement location.

은 1.75 kg, 지발당 장약량은 7.0~12.25 kg으로 계획하였다.

공당 간격은 800~1,100 mm이며 점보드릴을 사용하여 천공작업을 진행하였다. 막장의 발파작업 시에는 안전을 위하여 작업자의 출입을 전면 통제된 상태에서 수행하였다.

발파소음 측정은 발파 시 최단거리로 접근할 수 있는 막장 1,600 m 지점 및 터널 입구인 2,490 m 2개 지점을 선정하였으며, 거리감쇠와 주파수대역 특성을 파악하기 위하여 동시 측정을 수행하였다.

환경부 소음진동 환경오염공정시험기준 발파소음 측정방법에 준하여 1/3 Octave Band 분석이 가능한 정밀 소음계를 사용하여 측정 후 1/1 Octave Band 대역별로



(a) Measurement of sound characteristics using 1/3 Octave Band Analyzer(boring)



(b) Measurement of sound characteristics using 1/3 Octave Band Analyzer(blasting)



(c) Measurement of sound characteristics using 1/3 Octave Band Analyzer(muck treatment)



(d) Measurement of sound characteristics using 1/3 Octave Band Analyzer(lining work)

Fig. 3 Measurement scene.

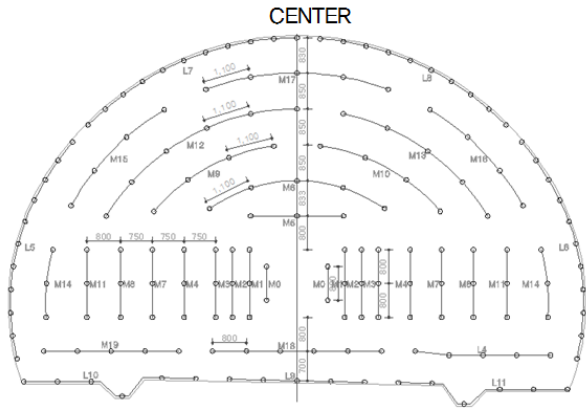


Fig. 4 Blasting pattern.

변환하여 분석하였다. 청감보정회로는 A특성에 고정하였고 동특성은 Fast 모드로 하여 측정을 수행하였다. 측정점은 지면 위 1.2~1.5 m로 하며 배경소음도를 측정점과 동일한 장소에서 측정함을 원칙으로 하고 있다. 측정소음도는 발파소음이 지속되는 시간 동안에 측정하였으며, 최고치인 L_{max} 값을 측정소음도로 하였다.⁽³⁾

한편, 터널 내부 주요 소음원은 버럭처리 작업을 수행하는 굴삭기 소음과 덤프트럭에 의한 운반작업 소음과 슛크리트 및 방수처리가 완료된 지점에는 라이닝작업으로 파악되어 이에 대한 거리별 감쇠효과를 파악하기 위하여 측정, 평가를 수행하였다. 건설소음의 전달특성과 측정거리에 따른 주파수별 소음레벨의 특성 파악을 목적으로 동시측정을 원칙으로 하였으며 소음진동공정시험방법에 준하여 측정하였다. 주파수 범위는 25 Hz~8 kHz까지 1/3 Octave Band 중심주파수대역별로 측정후 1/1 Octave Band 중심주파수대역별로 변환하여 분석을 수행하였으며 전 대역 음압레벨도 dB(A) 값으로 측정 및 분석하였다.

거리별로 10~70 m 이격된 장소에서 10 m 간격으로 발생소음도를 측정하였다. 또한, 데이터의 신뢰도를 높이기 위하여 소음원 발생위치가 동일한 경우에 한정하여 분석을 수행하였다.

2.2 시공 공정별 작업소음 분석

2.2.1 발파소음

발파소음의 주파수별 소음레벨은 Fig. 5와 같이 막장 1,600 m 이격거리에서는 저주파수대역인 125 Hz에서 83.5 dBA로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 125 Hz의 주변주파수대역인 63 Hz에서 83.0 dBA, 250 Hz에서 80.8 dBA로 나타났다. 터널입구인 막장 2,490 m 이격거리에서는 저주파수대역인 125 Hz에서 78.4 dBA로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 125 Hz의 주변주

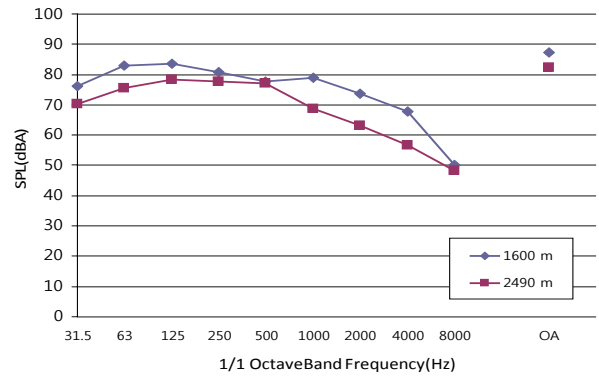


Fig. 5 Frequency characteristics of blasting noise.

파수대역인 250 Hz에서 77.8 dBA, 500 Hz에서 77.0 dBA로 나타났다. 전 주파수대역에서 거리감쇠에 의한 효과가 나타났다. 주파수대역별로는 500 Hz에서도 0.6 dB의 최소차이를 보였으며 4,000 Hz에서 11.1 dB의 최대차이를 보였다. 주파수대역별로 1,000 Hz 이상의 고주파수대역에서 비교적 큰 차이를 보이는 특성을 보이고 있다.

2.2.2 천공소음

점보드릴을 사용하여 발파 준비를 위한 천공작업에 대해서, Fig. 6과 같이 거리별로 10~70 m 이격된 장소에서 발생소음도를 측정하였다.

Fig. 7은 점보드릴을 이용한 천공작업 소음의 거리감쇠 특성을 파악하기 위하여 천공위치로부터 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m의 7개 측정점에서 소음레벨을 측정하고 회귀분석한 결과이다. 이 결과로부터 천공 시 발생하는 소음레벨은 천공조건, 현장여건 등에 따라 차이는 있으나 그림에서와 같이 측정거리가 2배됨에 따라 소음레벨은 3.0 dB정도 감쇠하는 특성을 보여주고 있다.

천공작업 소음의 주파수 특성은 125 Hz 이상에서 거리별로 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 63 Hz 이하에서는 파장이 긴 저주파수대역에서 반사에 의한 에너지에 의해 거리별 감쇠효과가 상쇄되어 나타나는데, 이는 일반적인 건설소음은 자유공간에서 점음원으로 거리가 두배로 될 때마다 6 dB 감쇠하는데 반하여^(4,6) 터널 내부의 표면재질이 슛크리트 및 방수처리에 의한 반사재의 특성을 보여 거리별 음 전달 특성에 반사음의 중첩에 의한 영향이 반영되어 나타나는 현상으로 판단된다.

2.2.3 버럭처리 작업소음

백호를 이용한 버럭처리 작업에 대해서 거리별로 10~70 m 이격된 장소에서 발생소음도를 측정하였으며

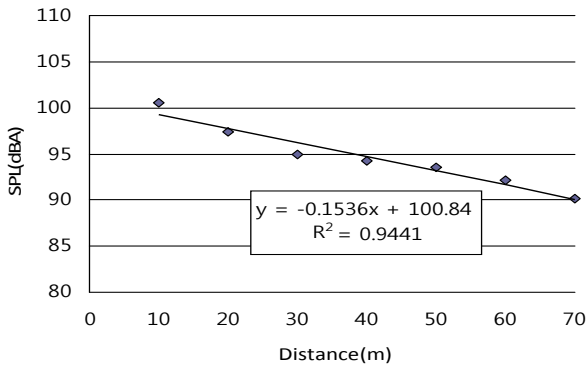


Fig. 6 Frequency characteristics of boring noise.

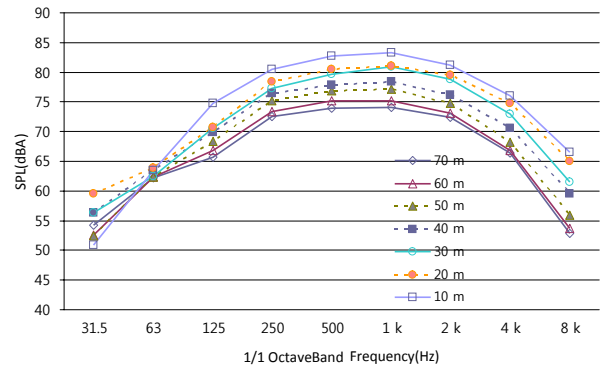


Fig. 9 Frequency characteristics of muck treatment work noise.

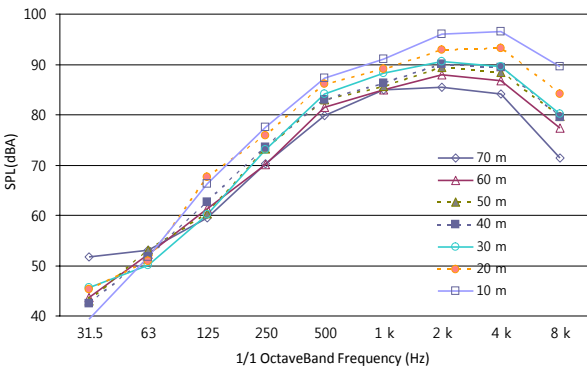


Fig. 7 Sound level of boring noise.

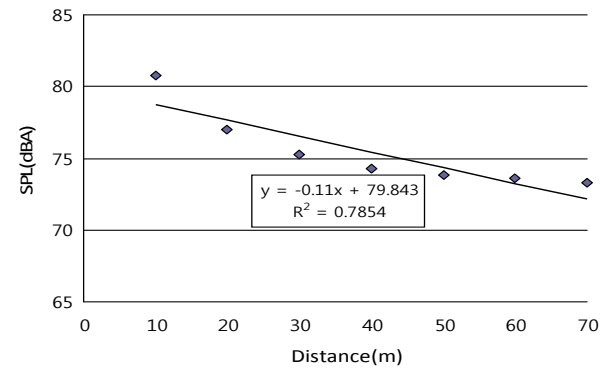


Fig. 10 Sound level of lining work.

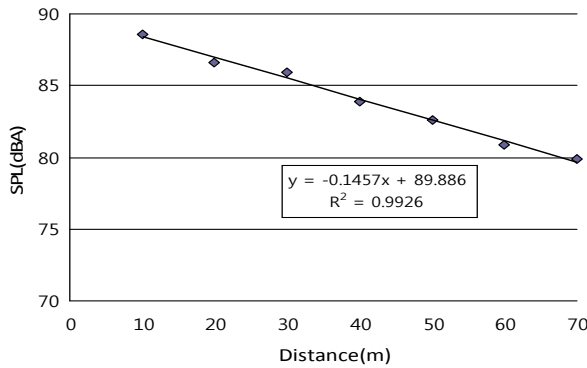


Fig. 8 Sound level of muck treatment work.

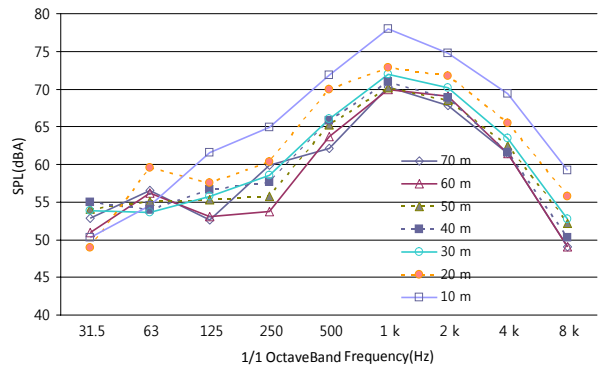


Fig. 11 Frequency characteristics of lining work noise.

측정값은 Fig. 8과 같다. Fig. 9는 백호를 이용한 버럭 처리 작업소음의 거리감쇠 특성을 파악하기 위하여 백호작업 위치로부터 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m의 7개 측정점에서 소음레벨을 측정하고 회귀 분석한 결과이다. 이 결과로부터 작업 시 발생하는 소음레벨은 현장여건 등에 따라 차이는 있으나 그림에서와 같이 측정거리가 2배됨에 따라 소음레벨은 2.0 dB 정도 감쇠하는 특성을 보여주고 있다.

버럭처리 작업소음의 주파수 특성 역시 125 Hz 이상

에서 거리별로 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 터널의 특성상 파장이 긴 저주파수대역인 31.5~63 Hz에서 반사에 의한 에너지에 의해 거리별 감쇠효과가 상쇄되고 나타나고 있다.

2.2.4 라이닝 작업소음

라이닝 작업에 대해서 상기와 동일한 방식으로 거리

별로 10~70 m 이격된 장소에서 발생소음도를 측정하였으며 측정값은 Fig. 10과 같다. Fig. 11은 라이닝 작업소음의 거리감쇠 특성을 파악하기 위하여 작업위치로부터 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m의 7개 측정점에서 소음레벨을 측정하고 그 결과를 회귀 분석한 결과이다. 이 결과로부터 작업 시 발생하는 소음레벨은 현장여건 등에 따라 차이는 있으나 그림에서 같이 측정거리가 2배됨에 따라 소음레벨은 3.8 dB정도 감쇠하는 특성을 보여주고 있다. 또한, 라이닝작업의 특성상 소음원이 다지점에서 발생하고 있는 이유로 거리별 발생소음도는 버럭처리 작업 및 막장작업과 달리 회귀 분석 값이 상대적으로 낮게 나온 것으로 판단된다.

라이닝 작업소음은 주파수 특성상 500 Hz 이상에서 거리별로 특성을 반영하고 있는 것으로 나타났다. 다른 작업에 비하여 음원이 다지점에서 발생하고 있는 특성에 기인하고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

철도 노반 신설공사 터널현장을 대상으로 발파소음을 비롯하여 천공소음, 버럭처리소음, 라이닝 작업소음에 대하여 거리별로 측정을 수행하였다. 거리별 소음에 대한 평가 결과는 다음과 같다.

(1) 발파소음 측정결과 총합소음레벨(O.A.)은 막장 1,690 m 지점에서 87.3 dBA, 막장 2,490 m 지점에서 82.5 dBA로 나타났다. 특히, 1,000 Hz 이상의 고주파수 대역에서 비교적 큰 차이를 보이는 특성을 보였다.

(2) 발파를 위한 천공작업 및 백호를 이용한 버럭처리 작업은 거리별로 10~70 m 이격된 지점에서 발생소음도를 측정한 결과, 거리감쇠 효과가 매우 잘 반영되는 특성을 보이고 있다. 측정거리가 2배됨에 따라 천공작업의 소음레벨은 3.0 dB, 버럭처리작업의 소음레벨은 2.0 dB 정도 감쇠되는 특성을 보여주고 있다. 각각의 작업소음에 대한 주파수대역별 분석결과, 125 Hz 이상에서 거리별로 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

(3) 라이닝 작업소음은 버럭처리 작업은 거리별로 10~70 m 이격된 지점에서 발생소음도를 측정한 결과, 측정거리가 2배됨에 따라 천공작업의 소음레벨은 3.8

dB정도 감쇠되는 특성을 보여주고 있다. 주파수대역별로는 500 Hz 이상에서 거리별로 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 이는 천공 및 버럭처리 작업에 비하여 음원이 다지점에서 동시 발생하고 있는 작업 특성에 기인하는 것으로 파악된다.

(4) 일반적인 건설소음과 달리, 터널 내부 작업소음은 거리별 저감량이 상대적으로 적게 나타나는데 이는 샷크리트 작업 및 방수처리로 인하여 표면 마감재가 반사재로 구성되어 반사에 의한 음의 중첩현상으로 인한 특성에 기인한 것으로 판단된다.

향후, 도로현장 등을 대상으로 다양한 작업소음에 대하여 터널 내부의 투입장비의 거리별 음전달 감쇠량과 음원특성의 주파수대역별 평가를 거쳐 터널 내부의 작업환경 소음 데이터베이스 구축을 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(12첨단도시C01)에 의해 수행되었습니다.

Reference

1. Jang, J. K., 2012, Development of Applicable Health Management Manual for Construction Business II-civil Engineering Project, Occupational Safety and Health Research Institute.
2. Jang, J. K., 2013, Noise Generation Characteristic for Tunnel Construction Equipments, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 9, pp. 841-849.
3. ME Notification, Blasting Noise Measurement Method for Restriction Standards, No. 2010-142, ES 03303.2.
4. Kim, H. S., 1998, Evaluation and Development of Prediction Method for Noises in Construction Field, LH.
5. Kim, J. S., 2012, Construction Sound Theory and Practice.
6. Kang, D. J., 2003, Characteristics of Construction Machinery Noise, NIER.