

# The Study of Scattering Dust and Radiation Dose in Pedestrian Tunnels in Metropolitan Area

Hongmoon Jung

Department of Radiological Science, Daegu Health College

Received: June 22, 2020. Revised: August 01, 2020. Accepted: August 31, 2020

## ABSTRACT

In the present, external environmental factors affect human health. In particular, the most important issue is fine dust in these days. Because fine dust is inhaled through the human respiratory system is known to be harmful to health. Tunnels for cars and people can also be easily seen around us. This study, the amount of scattering radiation was measured for walkable tunnels about dust. For the measurement method, dust and radiation dose in the tunnel were measured on good weather (fine dust level: 0 ~ 30  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) and normal day (fine dust level: 0 ~ 80  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ). The measurement resulted in an increase of 10~20 % of dust in the center of the tunnel on a good weather day and an increase of 20~30 % of dust in the center of the tunnel on normal weather. On the other hand, the results of tunnel measurement of radiation dose increased by 10~20 % at the center of the tunnel non-depending on the weather. As a result, pedestrians should pay attention to scattering dust and scattered radiation while moving through the tunnel. Therefore, it is recommended to wear a filter mask of PM2.5 or less during frequent tunnel walking.

Keywords: metropolitan pedestrian environment in tunnel, pedestrian dust in tunnel, tunnel radiation dose in pedestrian tunnel, fine dust inside pedestrian tunnels

## I. INTRODUCTION

국내에는 수많은 터널이 존재한다. KOSIS 보고에 따르면 국내에는 총 2,566개소 터널이 존재하며 서울에는 72개소 경기도 491개소의 터널이 존재한다고 공시되어있다.<sup>[1]</sup> 이중 서울시에는 약 15개 이상이 보행이 가능한 터널로 알려져 있다. 터널을 보행 중에는 차의 매연가스로 인한 철(Fe)금속 성분의 미세먼지가 발생하며 이는 터널공기중의 약 40 % 를 차지한다고 알려져 있다.<sup>[2]</sup> 또한 다양한 오염물질이 존재하는데 라돈, 석면, 포름알데하이드 등이 터널내부에 존재한다고 알려져 있다. 이러한 발암 물질입자들은 인체의 내부에 침착되어질 경우 오랜 시간이 지나면 폐암을 발생시킬 수 있는 원인이 되는 발암인자로 작용된다. 라돈이 그중에

서 가장 위험한 것으로 알려져 있다. 라돈에 의해 발생될 수 있는 폐암은 국내보고에 따르면 간암과 위암에 비해 급격하게 증가되는 상황이 보고되었다. 2004년의 질병통계의 따르면 전체 암의 26%를 비중을 차지한다고 보고되었다.<sup>[3]</sup> 라돈의 증가현상을 발생시키는 암반층은 화강암대로 알려져 있다. 터널의 개통 공사 중 많은 분진이 발생된다고 보고되었는데 발생된 분진 속에는 라돈이 다량 포함되어 있기 때문에 반드시 주의를 기울여야 한다. 이에 정부는 라돈 기준을 제시하였는데 현재의 환경부가 제시한 법정기준은 148 Bq / m<sup>3</sup> 이다. 국내 터널 내부에는 이러한 법정기준을 약 6~9 % 를 초과한다는 연구결과가 보고되었다.<sup>[4]</sup>

터널을 보행할 수 있는 공간으로 개선 하고자 국내의 지방자치단체와 서울시에서는 많은 노력을

\* Corresponding Author: Jung hong-moon E-mail: redmoon74@dhc.ac.kr Tel: +82-53-320-4523 Address: Daegu Health College, 15[Taejeon-Dong] youngsong-ro, buk-gu, Daegu, 702-722, Republic of Korea

기울이고 있다. 라돈의 저감 및 미세먼지 감소를 위해서는 수월한 터널내의 공기순환이 가장 우선 조건으로 제시된다. 이번 연구에서는 보행자가 직접 터널을 도보로 통행하였을 경우를 예상하여 터널내부 환경에 각종먼지와 비산 방사선에 노출될 수 있는 양을 측정하고자 하였으며 미세먼지가 증가 할수록 터널 내부의 방사선량과의 상관관계를 알아보려고 하였다. 왜냐하면 현재까지 터널내부의 먼지와 방사선량의 연관 조사가 미비한 상태이기 때문이다. 따라서 이번 연구를 통해 보행가능 터널내부에 먼지 증가에 따른 방사선량을 측정하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 터널내의 미세먼지측정 및 비산 방사선측정

서울과 경기도 내의 보행가능터널을 무작위 7곳을 선정하여 직접 보행하여 터널외부에서부터 내부까지 도보로 이동하여 미세먼지측정기 및 방사선량의 측정기를 사용하여 조사하였다. 우선 미세먼지 측정기는 휴마HI-120 를 사용하여 측정하여 수치를 기록하였다. 날씨에 따른 변수를 측정하기 위해 일기예보 기상청에서 발표하는 날씨가 좋은 날 (미세먼지의 수준이 PM2.5, 0~30  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) 에 측정하였고 그리고 날씨가 보통인 날 (미세먼지 PM2.5, 0~80  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) 에도 측정하였다. 오차를 최소화하기 위해 동 장소에서 10회 이상 측정하였다. 측정기에서 제공해주는 미세먼지 입자수준 PM2.5 (2.5  $\mu\text{m}$ )와 일반먼지 입자 수준 PM 10 (10  $\mu\text{m}$ )의 측정을 각각 따로 계산하였다. 또한 방사선의 측정은 방사선량측정기 (Digital radiation survey meter model: RSM-100)를 사용하여 측정한 후 수치를 기록하였다. 날씨에 따른 변수를 측정하기 위해 일기예보 기상청에서 발표하는 날씨가 좋은 날 (미세먼지의 수준이 PM2.5, 0~30  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) 에 한번 측정하였고 그리고 날씨가 보통인 날 (미세먼지 PM2.5, 0~80  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) 에도 측정하였다. 오차를 최소화하기 위해 동 장소에서 10회 이상 측정하였다.

### 2. 통계적 분석

분석한 데이터는 평균에  $\pm$  표준편차를 표시하였

으며 통계적 유의 검사인 엑셀 t-student의 P-value가 0.05 이하인 것이 통계적으로 유의한 결과로 간주하였다.

## III. RESULT

Fig. 1은 미세먼지 수준이 좋은 날 (0~30  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) 에 터널 외부의 미세먼지를 측정하였고 터널 초입에서부터 중심부 지나 반대편 출구까지 거리측정을 확인하여 미세먼지를 측정한 결과이다. 먼저 미세먼지입자 수준 (PM2.5) 측정결과는 외부에서 평균 17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 측정 터널 입구에서는 평균 25  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  이며 100 m 거리에서는 평균 29  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  그리고 중심부에서는 평균 38  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ 이 측정되었다. 일반먼지입자 먼지수준(PM10)측정결과는 외부에서 평균 27  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ 이 측정 터널 입구에서는 평균 40  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  이며 100 m 거리에서는 평균 60  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  그리고 중심부에서는 평균 70  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ 이 측정되었다.

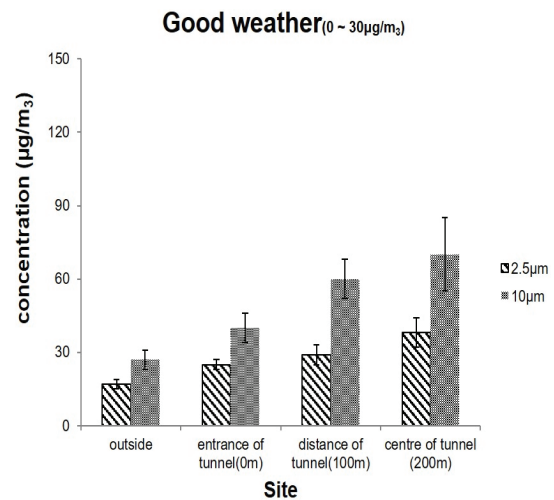


Fig. 1. Total dust concentration according to the tunnel location on the day of fine dust level below 30 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ .

Fig. 2는 미세먼지 수준이 보통 날 (0~80  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) 에 터널 외부의 미세먼지를 측정하였다. 미세먼지 입자 수준 (PM2.5) 측정결과는 미세먼지가 좋은 날과 같은 방법으로 측정하였다. 외부에서는 평균 29  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ 이 측정 터널 입구에서는 평균 35  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  이며 100 m 거리에서는 평균 40  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  그리고 중심부에서는 평균 50  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ 이 측정되었다. 일반 먼지입자 먼지수준(PM10)측정결과는 외부에서 평균

75  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ 이 측정 터널 입구에서는 평균 89  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  이며 100 m 거리에서는 평균 97  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  그리고 중심부에서는 평균 110  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ 이 측정되었다.

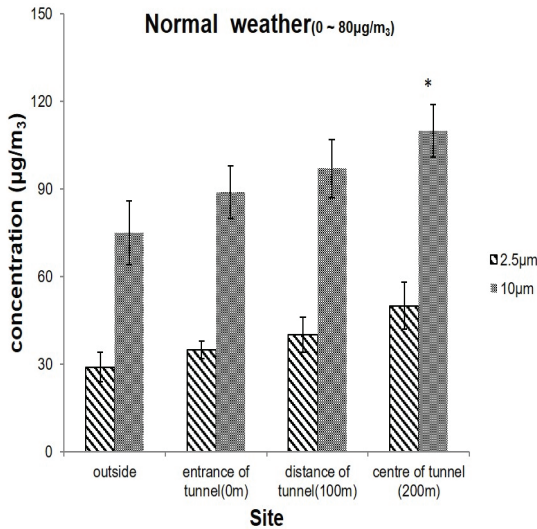


Fig. 2. Total dust concentration according to the tunnel location on the day of fine dust level below 80  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ .

Fig. 3은 터널내의 비산 방사선량의 측정결과이다. 미세먼지 수준이 좋은날에 측정한 결과로 외부에서 평균 0.1  $\mu\text{Sv} / \text{h}$ 이 측정 터널 입구에서는 평균 0.25  $\mu\text{Sv} / \text{h}$  이며 100 m 거리에서는 평균 0.33  $\mu\text{Sv} / \text{h}$  그리고 중심부에서는 평균 0.45  $\mu\text{Sv} / \text{h}$  이 측정되었다.

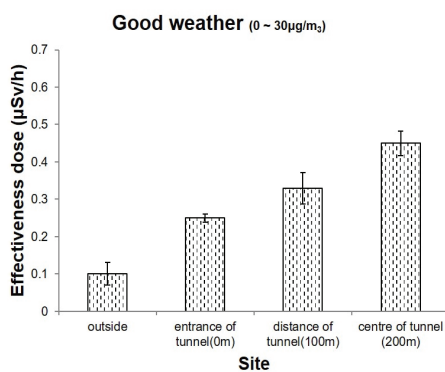


Fig. 3. Radiation dose rate according to the tunnel location on the day of fine dust level below 30  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ .

Fig. 4는 미세먼지 수준이 보통날(0~80  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) 터널내의 비산 방사선량의 측정결과이다. 터널 외부에서는 평균 0.12  $\mu\text{Sv} / \text{h}$ 이 측정 터널 입구에서

는 평균 0.29  $\mu\text{Sv} / \text{h}$  이며 100 m 거리에서는 평균 0.42  $\mu\text{Sv} / \text{h}$  그리고 중심부에서는 평균 0.51  $\mu\text{Sv} / \text{h}$ 이 측정되었다.

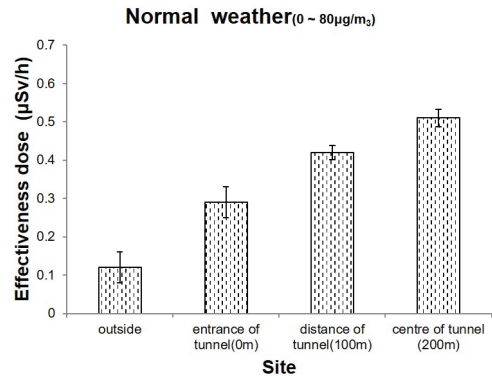


Fig. 4. Radiation dose rate according to the tunnel location on the day of fine dust level below 80  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ .

Fig. 5는 터널 초입에서부터 터널 중심부까지 터널 내의 보행 위치에 따른 비산 먼지량과 방사선량이 증가되는 경향을 백분율로 나타낸 그림이다. 이 결과는 터널 초입에서 미세먼지와 방사선량 측정을 기준으로 중심부로 이동하는 거리에 따른 상대적인 측정량을 기록하여 나타내었다.

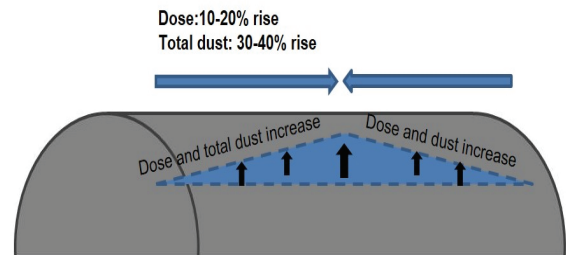


Fig. 5. Schematic diagram of increase of dust and radiation dose according to location in tunnel.

터널의 길이는 각각이 다르지만 길이가 평균 200 m이며 가장 중심부위는 평균 100 m 였다. 거리에 따른 터널내의 측정은 초입에서부터 반대편 출구 방향으로 미세먼지 측정기 와 방사선량측정기 두 대를 사용하여 도보로 반대편 출구까지 이동하면서 촬영한 동영상 데이터 기록한 후 실험 결과를 도출하였다. 터널 중심부로 갈수록 맑은 날 보통 날 모두 미세먼지량이 터널 초입에서 측정한 미세먼지량보다 터널 중심부에서 전체적인( PM2.5 및

PM10) 미세먼지량이 30-40%가 증가되는 결과를 얻었다. 또한 방사선 측정량도 맑은 날 보통 날 경우도 터널 초입에서 측정한 방사선 측정량보다는 터널의 중심부로 갈수록 방사선 측정량이 10-20% 증가하는 것을 확인할 수 있다.

#### IV. DISCUSSION

보행 가능한 터널의 오염은 토양, 도로의 비산, 자동차 브레이크의 마모, 철(Fe)종류, 중금속 등의 대체로 6가지 오염원이 존재한다고 보고되었다.<sup>[5]</sup> 나노입자수준 (0.006~10  $\mu\text{m}$ )의 분석을 통해 터널내부 입자 환경도 분석이 된다. 보고에 따르면 입자의 크기가 0.83~9.2  $\mu\text{m}$  중에는 철성분이 높으며 입자크기가 약 2~9  $\mu\text{m}$  중에 철성분과 구리(Cu)성분이 높게 나타난다고 한다.<sup>[6]</sup> 따라서 현재에는 많은 연구자들이 터널이나 지하철내의 미세먼지와 환경방사선에 관심을 가지며 연구에 몰두하고 있다.<sup>[7-11]</sup> 이번 연구에서의 결과는 흥미로운 결과를 나타내었는데 터널내부에 전체적인 먼지가 증가할수록 방사선량이 증가하는 것이 아니라 미세먼지 PM2.5의 수준의 양이 증가할수록 방사선량이 증가되는 결과를 얻었다. 또한 날씨가 좋은 날 또는 보통 날 모두 터널내의 먼지량은 중심부로 갈수록 증가하는 결과를 얻었다. 하지만 이번 실험에서 몇 가지 고려되지 못한 점은 미세먼지와 방사선량의 측정시 자동차의 운행량 고려하지 못한 점 그리고 7군대의 수도권에 한정된 보행 가능한 터널이라는 점 그리고 정확한 터널내의 미세입자 분석을 위해 스펙트로메터를 사용하지 못한 점에서 더 많은 연구가 수행되어야 한다. 이번 연구는 미세먼지의 정확한 분석을 알아내지는 못하였지만 터널내부의 미세먼지의 증가에 따라 방사선량 증가의 상관관계는 추정할 수 있었다. 특히 라돈으로 추정되는 비산 방사선의 양은 PM2.5와 상관관계가 있는 것으로 조사되었기 때문에 이는 추가적인 연구가 필요하다.

#### V. CONCLUSION

실험결과에 의하면 터널의 중심부로 갈수록 전체 미세먼지량이 30-40% 증가되었다. 미세먼지가

터널초입보다 중심내부가 PM2.5는 10%의 증가하였고 일반먼지 입자 PM10 역시 20-30% 중심부로 갈수록 증가되었다. 그리고 터널외부의 미세먼지의 수준이 나뉠수록 터널내부의 먼지수준도 증가되는 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 방사선량은 날씨와 상관없이 터널 초입보다는 중심내부로 갈수록 10-20% 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 결론적으로 터널내부 비산먼지는 터널외부의 공기의 먼지수준과 연관이 있지만 터널내의 비산 방사선량은 외부의 공기의 질에 영향을 적게 받는 결과로 나타났다. 결론적으로 일반인이 터널 보행 중에는 비산 먼지와 비산 방사선에 주의를 기울여야 한다. 따라서 빈번한 터널 보행 시에 PM2.5 이하의 필터 마스크 착용을 권고한다.

#### Reference

- [1] kosisdomain  
[http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=116&tblId=D\\_T\\_MLTM\\_1040](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=116&tblId=D_T_MLTM_1040)
- [2] D. K. Park, W. S. Jung, B. C. Jung, "Influence of Ventilation on the Subway Radon Level", The Korean Society for railway, Vol. 3, No. 2, pp. 97-102, 2000.
- [3] W. T. Jeong, "Dust collection optimization of tunnel cleaning vehicle with cyclone-based prefilter", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 19, No. 3, pp. 124-124, 2013.  
<http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.3.679>
- [4] J. S. Shin, D. H. Jeong, W. T. Jeong, "Suction System Flow Control of Tunnel Dust Cleaning Vehicle", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 29, No. 9, pp. 122-122, 2018.
- [5] D. Park, T. Lee, D. Hwang, W. Jung, Y. Lee, K. Cho, D. Kim, K. Lee, "Identification of the source of PM10 in a subway tunnel using positive matrix factorization", Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 64, No. 12, pp. 1361-1368, 2014.  
<https://doi.org/10.1080/10962247.2014.950766>
- [6] M. Kim, H. Liu, J. T. Kim, C. Yoo, "Evaluation of passenger health risk assessment of sustainable indoor air quality monitoring in metro systems based on a

non-Gaussian dynamic sensor validation method",  
Journal of Hazardous Materials, Vol. 278, pp.  
124-133, 2014.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.05.098>

- [7] M. H. Kim, K. S. Han, H. S. Kim, H. Sik. Gong,  
C. H. Kim, J. C. Jeong, "A study on diffusion and  
distribution of PM10 in metropolitan subway tunnel",  
The Korean Society for Urban Railway, Vol. 4, No.  
4, pp. 577-582, 2016.
- [8] H. S. Do, S. J. Choi, M. S. Park, J. K. Lim, J. D.  
Kwon, et al, "Distribution Characteristics of the  
Concentration of Ambient PM-10 and PM-2.5 in  
Daegu Area", Journal of Korean Society of  
Environmental Engineers, Vol. 36, No. 1, pp. 20-28,  
2014. <http://dx.doi.org/10.4491/KSEE.2014.36.1.20>
- [9] J. B, Kim, "Assessment and Estimation of Particulate  
Matter Formation Potential and Respiratory Effects  
from Air Emission Matters in Industrial Sectors and  
Cities/Regions", Journal of Korean Society of  
Environmental Engineers, Vol. 39, No. 4, pp.  
220-228, 2017.  
<http://dx.doi.org/10.4491/KSEE.2017.39.4.220>
- [10] C. S. Bae, H. W. Park, "Particulate Matter and  
Automobile", Journal of the Korean Society of  
Automotive Engineers, Vol. 41, No. 9, pp. 38-43,  
2019.
- [11] I. Kim , K. Park, K. Lee, M. Park , H. Lim , H.  
Shin , S.D. Kim, "Application of Various Cytotoxic  
Endpoints for the Toxicity Prioritization of Fine  
Dust (PM2.5) Sources Using a Multi-Criteria  
Decision-Making Approach", Environment Geochem  
Health, 2019.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10653-019-00469-2>

# 수도권 보행터널 내부에 존재하는 비산 먼지와 방사선량의 연구

정홍문

대구보건대학교 방사선과

## 요 약

외부의 환경적인 요인은 인간 건강에 많은 영향을 준다. 특히 요즘시대에 가장 중요한 맹점은 미세먼지이다. 미세먼지는 인간의 호흡기를 통해 흡입되면 폐 속에 깊이 침투되기 때문에 다양한 건강 문제를 발생시킨다. 우리의 생활주변 환경에서는 자동차와 사람이 통행할 수 있는 터널을 쉽게 볼 수 있다. 이번 연구에서는 서울 및 경기도 내의 보행 가능한 터널 7개를 무작위로 선정하여 터널 내부의 먼지 량과 비산 방사선량을 측정하여 먼지 량과 방사선량의 상관관계를 알아보려고 하였다. 측정방법은 날씨가 좋은날 (미세먼지수준:  $0\sim 30 \mu\text{g} / \text{m}^3$ )과 보통날 (미세먼지수준:  $0\sim 80 \mu\text{g} / \text{m}^3$ )을 선택하여 터널내부의 먼지 량과 방사선량을 각각 측정하였다. 측정 결과는 미세먼지 수준이 적은 날 즉, 날씨가 좋은 날은 보행터널 중심에서 10-20 % 먼지가 증가되었으며 미세먼지의 수준이 보통인 날은 터널 초입보다는 터널 중심에서 20-30 %의 먼지가 증가되는 결과를 얻었다. 반면에 방사선량의 터널 측정결과는 날씨에 의존하지 않고 터널 초입보다는 터널 중심에서 10-20 % 방사선량이 증가가 되는 것으로 측정되었다. 결론적으로 사람이 오랜 시간 터널에 머무를 경우에는 비산 먼지와 비산 방사선에 주의를 기울여야한다. 따라서 빈번하게 일반인이 터널 보행 시에 본인의 건강을 위해 PM2.5 이하의 필터 마스크 착용을 권고한다.

중심단어: 수도권 보행 터널환경, 보행 터널내부 먼지, 보행 터널 방사선량, 보행 터널내부 미세먼지

## 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	정홍문	대구보건대학교 방사선과	교수