

CART분석을 이용한 지하철 소음모형 개발 및 특성 연구

The Development of Models and the Characteristics for Subway Noise Using the Classification and Regression Trees

김태호[†] · 송인석* · 이재명** · 원제무***

Tae-Ho Kim · In-Suk Song · Jae-Myung Lee · Jai-Mu Won

Abstract The subway is a necessary public transportation in big cities, which many citizens are using now. However, the demands for subway inner circumstance by citizens are growing recently. Among them, the noise problem is the hot issue to be solved. So, in this study we classified the characteristics of subway noise using the classification and regression trees (CART) based on noise level data in line No. 5 in Seoul. After that We developed the models for effect of subway noise and analyzed the characteristics through it. The result of this study is that we need to consider the type of geometry design and operational factors when the problem of subway noise improves, because the factors which weigh with subway noise are different by type of geometry and operational part.

Keywords : The characteristics of noise, Classification and Regression Trees, Subway

요 지 대도시에서 지하철은 많은 도시민들에게 필요한 대중교통수단이다. 그러나 이용수요가 증가함에 따라 환경에 관련된 많은 문제가 발생하였다. 본 연구는 최근 사회적 관심사가 되어 있는 지하철 차내소음 문제를 연구대상으로 선정하였다. 지하철 5호선의 기하구조 및 운영요인을 수집하고, CART분석을 통해 소음자료 특성을 반영한 소음 영향모형을 개발하였다. 모형개발결과 지하철 기하구조 및 운영적 측면의 유형별로 소음에 미치는 영향들에 차이가 있는 것으로 나타났다.

주 요 어 : 소음특성, 회귀분류나무(의사결정나무법), 지하철

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

도시의 극심한 교통 혼잡으로 인하여 대중교통수단의 중요성은 날이 부각되고 있는 실정이다. 이러한 대중교통수단 중 지하철의 경우에는 도시민의 가장 중요한 교통수단이라 말할 수 있다.

지하철의 경우 다른 대중교통수단과는 달리 정확한 시간에 예정된 장소로 도착할 수 있는 장점이 있다. 또한 점차 확

장되어지는 네트워크로 인하여 앞으로 지하철의 수송분담비율이 점차 높아질 것으로 예상되어진다.

그러나 기존의 건설위주의 운영방식으로 인하여 지하철의 정시성 및 네트워크의 확장성은 높아졌지만, 환경적인 측면에서는 지하철을 이용하는 시민들의 욕구를 채워주지 못하고 있는 실정이며, 특히 지하철 운행시 발생하는 소음문제는 이를 이용하는 시민들에게 새로운 환경적 문제로 인식되고 있다.

소음문제는 분당선(1994년)을 시작으로 사회적인 문제로 나타나기 시작하였으며 이는 단순 유지관리비용을 최소화하기 위하여 콘크리트 궤도로 설계방식으로 인하여 콘크리트 궤도를 사용하여 발생한 문제로 소음에 대한 고려가 미흡한 결과로 발생한 대표적인 사례이다. 기존에 사용하던 유도상 궤도는 자갈과 자갈사이의 공극이 지하철의 운행시 발생하

† 주저자 : 본학회 정회원, 김태호, 대전대학교 도시공학과 강사
E-mail : traffix@hanmail.net
TEL : (02)2299-1470 FAX : (02)2220-1214

* 교신저자 : 송인석, 한양대학교 도시대학원 박사과정

** 이재명, 한양대학교 도시대학원 박사과정

*** 원제무, 한양대학교 도시대학원 교수

는 소음을 흡수하는 역할을 하고 있었으나 콘크리트궤도의 경우 이러한 소음을 흡수 할 수 있는 공극이 없어 대부분의 소음이 반사되어 지하철 내부 및 역사로 전달되기 때문이다.

이렇듯 지하철의 운영요소와 지하철 소음에 대한 연구가 필요하나, 아직은 미흡한 상태이다. 또한 정부는 지하철 건설시 환경요소(소음 및 진동)에 관련된 요인들을 배제한 채 경제성 부분만을 중심으로 타당성을 검토하고 있는 실정이다. 이러한 결과로 정부는 지하터널 구조물의 축소, 차량의 높이의 축소, 궤도부설 공법의 변경을 통한 공사비와 유지비의 절약방법만을 택하였다. 다시 말하면, 소음과 건설관련 영향인자의 관계는 전혀 고려하지 않고 있다는 것이다. 그래서 지하철 개통시 운행열차의 소음으로 인한 문제가 이용 승객으로부터 크게 제기되고 있어 이를 줄이는 방안이 절실히 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이런 지하철 운행시 발생하는 소음의 근원이 되는 영향인자를 찾아내고 이런 변수들을 개선함으로써 향후 건설되는 지하철 소음 인자를 제거하여 쾌적하고 안락한 지하철 환경을 만들어 줄 수 있는 기초 자료로 사용하는 것을 목적으로 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위 및 방법에 대하여 살펴보면 다음과 같다. 일반적으로 지하철과 관련하여 발생하는 소음은 크게 세 가지로 구분 된다. 첫째, 지하철 연변에 거주하는 사람들이 지하철 통과 시에 전달되는 주변소음공해, 둘째, 정거장에 기다리거나 승하차하는 사람들이 진입전동차에서 전달되는 정거장 소음공해, 셋째, 최근에 부각되고 있는 소음의 문제로 지하철 이용 승객이 차내에서 겪는 차내 소음공해의 문제이다.

본 연구에서는 다양한 소음공해문제 중에서 지하철의 서비스측면과 가장 연관관계가 높으며, 이용자들이 장시간 노출될 수 있는 차내 소음 문제를 중심으로 연구의 범위를 한정하였다. 또한, 조사 대상노선의 결정은 지난 1999년에 녹색교통에서 조사한 소음측정 결과를 토대로 전동 차내 평균소음도(78.8dB)가 가장 심각한 지하철 5호선의 차내 소음을 측정할 실제자료를 이용하였다.

이렇게 측정된 지하철의 차내 소음도와 운영요소(기하구조 및 운영 변수들)간의 관계를 파악하기 위하여 산점도(Scatter Diagram), 상관분석(Correlation Analysis)을 수행하였다. 산점도 분석결과를 토대로 CART(Classification And Regression Tree)을 실시하여 지하철 소음에 가장 많은 영향을 미치는 운영요소들을 파악함과 동시에 소음의 발생 크기에 따른 특성을 분류하여 모형을 개발하였다.

2. 변수의 선정 및 자료조사

2.1 지하철 소음 영향변수의 선정

본 연구에서 사용될 분석방법인 CART분석과 회귀분석을 이용하여 영향모형을 개발할 경우 가장 중요한 부분은 변수의 선정부분이라고 할 수 있다. 회귀분석이란 경험적인 자료들을 토대로 실제적인 현상을 설명하는 모형의 개발방법으로 독립변수는 종속변수를 설명하는 대부분의 변수들을 포함하여야 하기 때문이다.

부가적으로 CART분석에 대한 설명을 추가하면, 종속변수(차내 소음)를 설명하는데 중요한 역할을 담당하는 독립변수 선정 및 유사한 특성을 갖는 몇 개의 소집단으로이진 분류하는 방법이다.

본 연구에서는 지하철 차내 소음에 영향을 미치는 변수들의 우선순위 및 자료의 특성분류에 적용한다.

이러한 변수선정과정에 신중을 기하기 위하여 기존의 소음 관련 연구를 고찰하여 1차적으로 사용가능 변수들을 선정하였다.

Table 1. References of noise and importance variables

Author (year)	Articles	Analysis	Variables	
			Dependent	Independent
Lee. in mo (1994)	· Prediction and Control of Noise and Vibration in Buildings from Underground Rail Systems	Regression	Subway vibration & Noise	Track form, Tunnel ground, Tunnel size, Speed, Weight
Kim. ki-chen (1997)	· A Study on the relationship between a subway noise and construction cost	Multi-Objective	Subway vibration & Construction costs	Speed, Tunnel cross section, tunnel type, Curve radius
Kim. hee-cheul (1997)	· The Proposal of a Noise Prediction Equation due to the Subway Operation	Regression	Subway noise	Track form
Lee. yun-su (2002)	· A Study on the Sound and Vibration Level of Subway in Seoul Area	Frequency & correlation		Noise, Vibration
Kim. tea-ho (2005)	· The Effect of Subway Geometric and Operational Elements on Noise for 5th Subway Line in the Seoul City	Regression	Subway noise	Speed, Tunnel form, Tunnel size, Curve Radius, track form

본 연구에서 지하철 소음에 영향을 미치는 변수는 수없이 많다. 하지만 전반적인 기존의 소음관련연구를 검토하여 본 결과 소음에 영향을 미치는 변수는 지하철의 속도, 터널의 단면적, 터널의 유형, 선로의 곡선 및 궤도유형 등이 가장 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

관련 문헌 연구를 바탕으로 선정된 변수들은 다음과 같다.

- 종속변수: 지하철 차내의 소음도
- 독립변수: 지하철의 속도, 터널의 단면적, 터널의 유형, 선로의 곡선반경, 궤도형태 및 간접효과 변수들

자료) 도시철도공사 내부자료

Table 2. A form of coding data

ID	Speed (km/h)	Noise (dB)	Tunnel form	Curve radius	Track form
1	0	67	1	250	0
2	0	71.2	1	250	0
3	0	67	1	250	0
4	55	73.9	1	1500	0
5	60	76.7	3	250	0
6	60	77.1	3	1500	0
7	60	75	3	1500	0
8	45	75.3	3	1500	0
9	0	66.7	7	400	0
10	0	68.8	7	400	0

- 주 1) 터널의 형태는 다음과 같이 구분함.
 1: 정거장개착 2: 정거장터널 3: 복선개착 4: 복선터널
 5: 단선개착 6: 단선터널 7: 교량 8: 지상 9: 고가
- 주 2) 터널의 형태 Dummy 구분은 단선, 복선, 교량의 형태로 구분
 1: 복선(복선터널, 복선개착)
 -1: 단선(정거장 개착, 단선터널)
 0: 교량
- 주 3) 궤도의 유형은 다음과 같이 구분함.
 0: 궤도의 바닥을 자갈로 채워놓음
 1: 궤도의 바닥을 콘크리트로 채워놓음

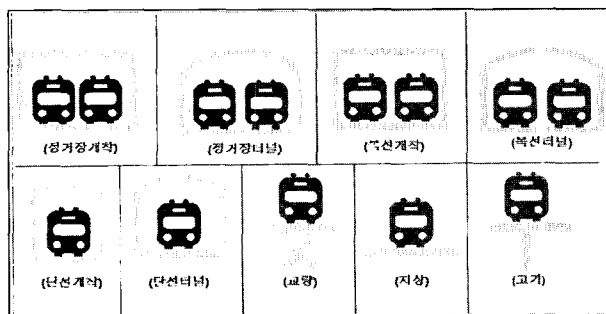


Fig. 1. The shape of a tunnel

또한, 분석방법을 경험적인 자료를 이용한 모형개발이므로 회귀분석을 이용하였다. 그러나 지하철 소음에 영향을 미치는 복합변수의 특성에 대한 연구는 미흡하므로 CART분석을 추가하여 소음자료를 적절하게 묘사할 수 있는 분석을 수행한다.

2.2 자료 조사

본 연구의 자료조사는 문헌고찰을 통해 선정된 변수를 가지고 본 연구의 대상노선인 지하철 5호선에서 운행 중인 전동차 내에서 한국공업규격의 소음측정방법에 의거 소음을 10초 간격으로 측정된 500여개의 자료를 토대로 결측치와 이상점 제거를 통해 선택된 359개의 문헌자료를 이용하였다.

연구에 사용되어질 자료의 유형에 관한 예시는 다음 Table 2와 같으며, 변수의 척도는 터널의 형태와 궤도유형은 명목형 척도이며 그 외 변수의 경우 연속형 척도로 명시하였다.

3. 자료의 특성 분석

3.1 기술통계분석

자료의 특성을 파악하기 위하여 기술통계분석 및 빈도분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 소음의 최대값은 91.70dB이며 최소값은 65.40dB로 나타났으며, 속도의 경우 최소 0.00km/h에서 최대 88.00km/h인 것으로 나타났다.

환경부에서 선정된 소음규제 기준은 70dB(소음진동 규제법 시행규칙) 정도이다. 하지만 분석결과 지하철 5호선의 소음도가 평균적으로 76.34dB로 나타나 기준을 초과하고 있는 것으로 나타났다.

터널형태의 경우 지하철 5호선의 터널형태는 복선 형태와 단선형태가 전체의 95%로 나타났다. 궤도유형의 경우에는 궤도의 바닥에 콘크리트를 채워놓은 것이 27%, 자갈을 채워놓은 것이 73%로 나타났다.

Table 3. Data descriptive statistics analysis

Items	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.
Noise	359	65.40	91.70	76.34	6.15
Speed	359	0.00	88.00	37.98	26.76
Curve radius	359	250.0	1500	1144.82	484.04

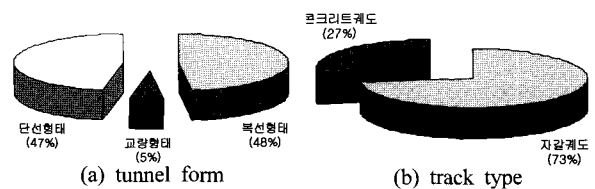


Fig. 2. The tunnel form and track type

3.2 변수의 관계파악

본 연구에서는 측정된 지하철 차내 소음도와 운영요소(기하구조 및 운영변수들)간의 관계를 파악하기 위하여 상관분석을 수행하였다.

변수들간의 상관분석 결과를 나타내는 Table 4를 살펴보면 소음에 대한 기하구조 및 운영요소들의 상관관계계수가 평균 0.25이상으로 상관성이 있는 것으로 나타났다.

4. 유형별 소음모형의 개발

4.1 유형별 소음 모형개발 개요

지하철의 기하구조형태 및 운영요소에 따라 소음에 어떠한

Table 4. The relationship between a noise and the type of geometry design-operational factors

Items	Noise	Speed	A tunnel form	Tunnel size	Curve radius	Track type
Noise	1	0.748	-0.357	0.438	0.264	0.270
Speed	0.748	1	-0.475	0.592	0.036	-0.178
A tunnel form	-0.357	-0.475	1	-0.775	0.043	0.191
Tunnel size	0.438	0.592	-0.775	1	-0.101	-0.147
Curve radius	0.264	0.036	0.043	-0.101	1	0.079
Track type	0.270	-0.178	0.191	-0.147	0.079	1

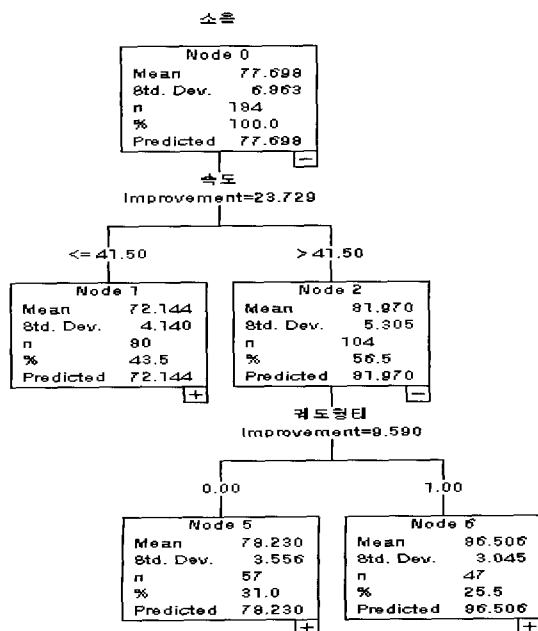


Fig. 3. The CART analysis of the noise trait

영향을 미치는지 살펴본다. 유형구분을 통하여 파악된 결과를 토대로 다음과 같은 모형식을 구축한다.

[유형별 소음 모형식]

$$Y_{noise\ 1,2,\dots,n} = f$$

[속도, 터널형태, 터널크기, 곡선반경, 궤도형태]+상수

여기서, $Y_{noise, 유형별}$: CART로 분류된 소음특성

4.2 CART분석을 이용한 지하철 소음유형 구분

CART(Classification And Regression Tree)를 이용하여 지하철에서 발생하는 소음을 기준으로 기하구조 및 운영요소의 유형을 구분하였다.

CART분석을 통하여 구분되어진 분석결과 속도와 궤도형태로 인하여 소음에 크기가 구분되어지는 것으로 나타났다. 특히 속도가 41.50km/h를 기준으로 2개의 군집(Node1, Node2)로 구분되는 것으로 나타났다.

다음으로 Node1번 군집에서는 더 이상 구분이 되지 않아 Node1번을 최종 유형으로 설정하였다. 반면 Node2번 군집에서는 다시 궤도형태에 따라 소음의 크기가 2개의 유형으로 구분되는 것으로 나타났다.

결과적으로 CART분석을 통하여 최종적으로 도출되어진 도시철도 기하구조는 총 3개의 유형으로 구분되어졌다. 각의 유형별 특징을 살펴보면 다음과 같다. 유형1은 속도가 41.50

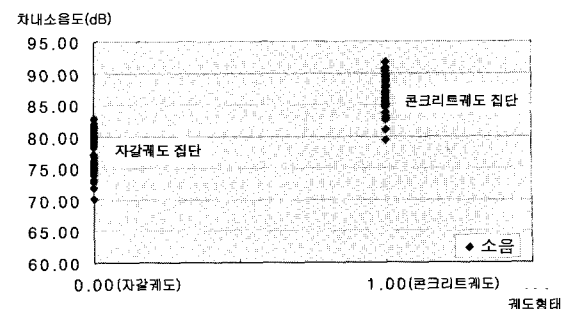
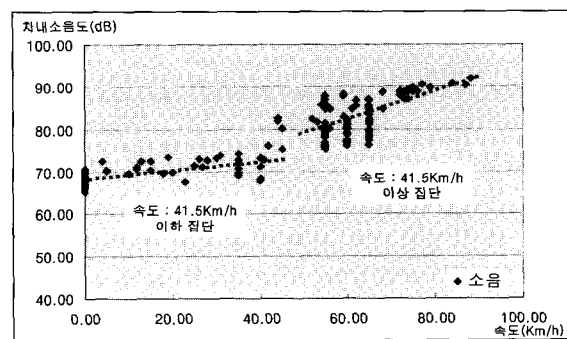


Fig. 4. The Scatter Diagram (used the CART analysis)

Table 6. The result of CART analysis

TYPE	Classification standards	Noise (dB)
1	Less than 41.50km/h	72.14
2	More than 41.50km/h & gravel track	79.23
3	More than 41.50km/h & concrete track	86.51

Table 7. Paired samples test(T-test)

Items	t	Sig. (95%)	p-value	Apply
Less than 41.5km/h vs More than 41.5km/h	11.97	p<0.05	0.00	○
More than 41.5km/h vs Gravel track vs Concrete track	-15.04		0.00	○

Table 8. Model Summary of type1

Model	R	R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.75	0.65	3.83
2	0.80	0.75	3.51

a Predictors: (Constant), 궤도형태

b Predictors: (Constant), 궤도형태, 터널형태

Table 9. Model's Coefficients of type 1

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	69.78	0.82	-	85.40	0.00
	A track form	3.30	0.97	0.37	3.40	0.00
2	(Constant)	70.47	0.77	-	91.62	0.00
	A track form	3.80	0.90	0.42	4.22	0.00
	A tunnel form	-1.90	0.49	-0.39	-3.88	0.00

a Dependent Variable: 소음

Table 10. Model Summary of type2

Model	R	R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.85	0.56	3.57

a Predictors: (Constant), 곡선, 속도, 터널형태, 터널크기

이하의 구간으로 소음도는 평균 72.14인 것으로 나타났다. 유형 2의 경우 속도가 41.50이상인 구간이며 궤도형태가 자갈(명목변수 0)인 형태로서 평균 소음도는 79.23인 것으로 나타났다. 마지막으로 유형 3은 속도가 41.50이상인 구간이며, 궤

도형태는 콘크리트(명목변수 1) 형태로서 평균소음도가 86.51로 매우 높게 나타났다.

결과적으로 가장 소음도가 높은 구간의 기하구조 특징은 열차의 속도가 41.50km/h이상의 구간에서 궤도의 형태가 콘크리트인 경우에 가장 높은 것으로 나타났다. 또한 열차 속도가 41.50km/h이하의 경우에는 궤도의 형태 및 기타 기하구조가 소음 특성을 구분하는 기준으로 적합하지 않는것으로 나타났다.

속도별, 궤도형태별 집단 간 차이검증을 위하여 t-test를 수행한 결과 신뢰수준 95%내에서 차이가 있는 것으로 나타났다(|t| ≥ 2, p값이 신뢰수준 95%내에서 유의수준 0.05보다 작으면 집단 간에는 특성 차이가 있다).

4.3 유형별 소음 영향 모형 개발

앞서 분석되어진 CART 분석결과를 토대로 소음도를 기준으로 3개의 유형으로 구분하였다. 이렇게 구분되어진 유형의 기하구조를 토대로 유형별 소음 영향 모형을 개발하였다.

1) 유형 1 소음 모형(속도 41.5km/h 이하)

유형 1의 회귀분석결과 다음과 같다. 두 개의 모형이 도출되었으며 모형 1의 경우 R²값이 0.65으로 나타났으며, 모형 2의 경우 0.75로 나타났으며 본 연구에서는 모형의 적합성이 높은 모형 2를 사용하였다.

유형1의 도출되어진 주요 변수를 살펴보면 궤도형태와 터널형태인 것으로 나타났다. 궤도형태가 콘크리트일 때 소음은 자갈일 때보다 3.80배정도가 증가되는 것으로 나타났다. 그리고 터널형태의 경우 단선일 경우 지하철의 소음이 복선일 때보다 1.9배 정도 높아지는 것으로 나타났다. 모형을 검증한 결과 모형 계수의 유의성이나 다중공산성 및 자동상관은 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

2) 유형 2 소음 모형(속도 41.5km/h 이상, 자갈궤도)

유형 2의 회귀분석결과 한개의 모형이 도출되었으며 R²값이 0.56으로 나타나 앞서 유형 1과 비교하여 다소 낮은 모형 설명력을 가지는 것으로 도출되었다.

유형 2의 모형계수값을 살펴보면 속도 터널크기, 터널형태, 곡선반경이 주요 변수로 도출되었다. 변수들의 부호를 살펴보면 속도, 터널크기는 모두 양의 부호를 가지는 것으로 나타났으며, 터널형태, 곡선반경은 음의 부호를 가지는 것으로 나타났다.

소음과 기하구조와의 관계를 살펴보면 속도는 높으면 높을수록 0.19배의 소음이 증가하며, 터널의 크기가 클수록 0.15

Table 11. Model's Coefficients of type 2

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	55.22	11.73	-	6.41	0.00
	Speed	0.19	0.12	0.23	1.54	0.03
	A tunnel form	-0.28	0.52	-0.10	-0.53	0.00
	Tunnel size	0.15	0.21	0.18	0.74	0.03
	Curve radius	-0.01	0.00	-0.02	-0.10	0.05

a Dependent Variable: 소음

Table 12. Model Summary of type3

Model	R	R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.78	0.62	1.85

a Predictors: (Constant), 곡선, 속도, 터널형태, 터널크기

Table 13. Model's Coefficients of type 3

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	55.50	2.09	-	36.10	0.00
	Speed	0.20	0.03	0.77	8.14	0.00
	A tunnel form	-0.45	0.41	-0.14	-1.10	0.00
	Tunnel size	-0.05	0.03	-0.23	-1.88	0.04

a Dependent Variable: 소음

Table 14. A type of final noise forecasting models

No	A type of noise forecast models	R ²
1	$Y = 69.78 + 3.80X_1 - 1.90X_2$	0.75
2	$Y = 55.22 - 0.28X_2 + 0.15X_3 + 0.19X_4 - 0.01X_5$	0.56
3	$Y = 55.50 - 0.45X_2 - 0.05X_3 + 0.20X_4$	0.62

주: X_1 :궤도형태, X_2 :터널형태, X_3 :터널크기, X_4 :속도, X_5 :곡선반경

배의 소음이 증가하는 것으로 나타났다. 반면 터널의 형태는 앞서 유형 1과 동일하게 단선일 경우 복선일 때보다 0.28배 정도의 소음이 증가하는 것으로 나타났으며, 곡선반경은 크면 클수록 소음은 0.01이 감소하는 것으로 나타났다. 모형의 검증결과 모든 변수는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 하지만 곡선반경은 5%의 신뢰수준을 겨우 만족하는 것으로 나타났다.

3) 유형 3 소음 모형(속도 41.5km/h 이상, 콘크리트궤도)

유형 3의 회귀분석결과 모형의 설명력(R²)은 0.62로 나타났다. 모형의 계수값은 Table 12와 같다.

유형 3의 모형에서는 속도, 터널형태와 터널크기가 주요 변수로 도출되었다. 도출되어진 계수값을 살펴보면 앞서 유형 1과 유형 2와 동일하게 속도는 양의 값을 가지는 것으로 나타났다. 터널형태와 터널크기는 음의 값을 가지는 것으로 나타났다. 또한 최종 도출되어진 변수모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

4) 소음 모형 개발결과 종합

도출되어진 모형을 종합하여 살펴보면 다음과 같다. 유형 1의 모형설명력이 가장 높으며 다음으로 유형 3, 유형 2 순으로 나타났다.

모든 유형의 설명변수는 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 부호 또한 적합한 것으로 도출되었다. 모든 유형에서 주요변수로 선택되어진 항목은 터널형태 및 크기로서 지하철의 소음을 결정하는 여러 기하구조 중 가장 중요한 항목인 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 다양한 소음공해문제 중에서 지하철의 서비스측면과 가장 연관관계가 높으며, 이용자들이 장시간 노출될 수 있는 차내 소음 문제를 중심으로 지하철 5호선의 자료를 토대로 소음과 그의 영향요소들간의 관계특성을 파악할 수 있는 지하철 소음 영향관계모형을 개발하였다.

그에 대한 결과 및 시사점은 다음과 같다.

첫째, CART분석을 통하여 유사한 형태의 기하구조 유형을 구분한 결과 속도와 궤도형태로 인하여 소음의 크기가 구분되어지는 것으로 나타났다. 가장 소음도가 높은 구간의 기하구조 특징은 속도가 41.50km/h이상의 구간에서 궤도의 형태가 콘크리트인 경우에 가장 높은 것으로 나타났다.

둘째, 기하구조 유형별 소음 영향 모형 개발 결과 유형 1일 경우 소음에 영향을 미치는 변수로는 궤도형태와 터널형태인 것으로 나타났으며, 유형 2의 경우에는 속도, 터널크기, 터널형태, 곡선반경이, 유형 3의 경우에는 속도, 터널형태와 터널크기가 소음에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이는 지하철 기하구조 및 운영적 측면의 유형별로 각각 소음 또는 영향을 미치는 요인들이 다름을 나타내는 것이다. 따라서 향후 지하철 소음문제 개선시 기하구조 유형 또는 운영적 측면에 대한 고려가 필요하다.

향후 연구과제로는 본 연구는 지하철 5호선에 한정하여 수

행한 것이므로 전체 지하철 노선에 대한 연구가 필요하며, 지하철 소음에 영향을 미치는 변수에 대한 보완(지하철 차량의 설비 등)이 필요하다.

참고문헌

1. 이인모, 최상순(1994), 지하철 차량운행에 의한 인접구 조물의 소음·진동영향 평가에 관한 연구, 터널과 지하공간 Vol.4.
2. 김기천(1997), 지하철의 소음과 건설비의 관계에 관한 연구, 서울대 학위 논문.
3. 김희철, 허영(1997), 지하철 운행에 의한 소음의 예측식 제안, 터널과 지하공간 Vol.7.
4. 김태호, 원제무, 이수범(2001), 버스 쌍현상 모형개발에 관한 연구, 대한국토도시계획학회지.
5. 김태호(2002), 버스정류장간 총 통행시간 모형을 이용한 버스 쌍현상 분석에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문.
6. 이연수, 김민영, 신재영(2002), 서울시내를 운행중인 지하철 소음·진동특성에 관한 연구, 대한환경공학회, Vol.24, No.7.
7. 김태호, 원제무, 배현웅, 김경도(2005), 지하철의 기하구조와 운영 요소가 소음에 미치는 영향에 관한 연구, 국토계획. Vol.40, No.3.

(2007년 8월 28일 논문접수, 2007년 10월 1일 심사완료)