creative commons
C O M M O N S D E E D

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000236516

2008年 8月
博士學位論文

고층 아파트의 도로교통소음 전파특성에 관한 연구

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

環 境 工 學 科

廉 東 益

고층 아파트의 도로교통소음 전파특성에 관한 연구

A Study on the Propagation Characteristics of Road Traffic Noise in High-rise Apartment

2008 年 *8* 月 *24* 日

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

環 境 工 學 科

廉 東 益

고층 아파트의 도로교통소음 전파특성에 관한 연구

指 導 敎 授　崔 炯 一

이 論文을 工學博士 學位申請 論文으로 提出함.

2008 年　*4* 月

朝 鮮 大 學 校　大 學 院

環 境 工 學 科

廉　東　益

廉東益의 博士學位論文을 認准함

委員長　　朝鮮大學校 敎授　　金 正 和 印

委　員　　朝鮮大學校 敎授　　申 大 允 印

委　員　　朝鮮大學校 敎授　　鄭 京 勳 印

光州廣域市
保健・環境硏究院 部長

委　員　　朝鮮大學校 敎授　　崔 炯 一 印

委　員　　白 桂 辰 印

2008 年　*6* 月

朝鮮大學校 大學院

목 차

List of Tables ······ iii
List of Figures ······ v
Abstract ······ Ⅷ

Ⅰ. 서 론 ······ 1

Ⅱ. 이론적 고찰 ······ 4

2.1 도로교통소음의 특성과 평가방법 ······ 4
2.1.1 도로교통소음의 발생원인 ······ 4
2.1.2 교통소음의 특성 ······ 5
2.1.3 교통소음의 전달 및 감쇠특성 ······ 10
2.1.4 교통소음의 발생 영향 인자들 ······ 13
2.1.5 교통소음의 전달 영향인자들 ······ 16
2.1.6 교통소음의 주행 특성 ······ 19

2.2 소음의 측정방법과 규제기준 ······ 27
2.2.1 측정방법 ······ 27
2.2.2. 소음의 규제기준 ······ 29

2.3 도로교통소음의 예측기술 동향 ······ 31
2.3.1 국가별 도로교통소음 예측모델 ······ 31
2.3.2 국내의 도로교통소음 예측모델 ······ 37
2.3.3 국내 도로교통소음 연구개발 동향 ······ 42
2.3.4 친환경적인 주택건설 요건과 전망 ······ 47

III. 조사 및 측정방법 ······ 53

3.1 조사대상 ······ 53
3.2 측정방법 ······ 53
3.2.1 차종별 소음레벨 및 주파수 특성 측정 ······ 54
3.2.2 아파트 내부에 분포된 소음레벨 및 주파수 특성 ······ 54

3.3 모델링 ······ 57
3.3.1 모델링 조건 ······ 57
3.3.2 분석지점의 선정 ······ 57

IV. 결과 및 고찰 ······ 62

4.1 차종별 주파수 특성 ······ 62
4.1.1 주행 시 차종별 주파수 특성 ······ 62
4.1.2 출발 시 주파수 특성 ······ 79

4.2 아파트 공간의 주파수감쇠 특성 ······ 97
4.2.1 창 밖에서 측정 ······ 97
4.2.2 발코니에서 측정 ······ 100
4.2.3 거실중앙에서 측정 ······ 103
4.2.4 공간에 따른 주파수 감쇠 변화 ······ 106

4.3 RAYNOISE를 이용한 소음도 분석 ······ 110
4.3.1 창 밖에서 주파수 특성 ······ 110
4.3.2 발코니에서 주파수 특성 ······ 114
4.3.3 거실에서 주파수 특성 ······ 118
4.3.4 공간에 따른 주파수 감쇠 변화 ······ 127

VI. 결 론 ······ 131
참 고 문 헌 ······ 134

List of Tables

Table 1. Acceleration noise by vehicle type and speed ········· 22

Table 2. Steady state noise by vehicle type and speed ········· 23

Table 3. Sound level reference ········· 29

Table 4. Environmental sound level reference ········· 30

Table 5. Main factors of CRTN ········· 32

Table 6. Main factors of FHWA TNM ········· 34

Table 7. Main factors of ASJ RTN ········· 36

Table 8. Main factors of expressway noise prediction for national institute of environmental research ········· 38

Table 9. Sound power level of each vehicle on the steady-driving-state of KHTN ········· 41

Table 10. Study on the road traffic noise status and prediction in korea ········· 44

Table 11. Sound pressure level of occurrence sound ········· 55

Table 12. Standards of modelling ········· 58

Table 13. Frequency characteristics of bus noise(1 bus passage) ········· 63

Table 14. Frequency characteristics of bus and normal vehicles noise ········· 64

Table 15. Frequency characteristics of bus noise(2 buses passage) ········· 66

Table 16. Frequency characteristics of van noise ········· 68

Table 17. Frequency characteristics of van and normal vehicles noise ········· 69

Table 18. Frequency characteristics of truck noise(1 ton) ········· 71

Table 19. Frequency characteristics of truck and normal vehicles noise ········· 72

Table 20. Frequency characteristics of truck noise(11 ton) ········· 74

Table 21. Frequency characteristics of motorcycle noise ········· 75

Table 22. Frequency characteristics of motorcycle
and normal vehicles noise ······ 76
Table 23. When the bus starts, frequency characteristics of bus noise
(First time) ······ 81
Table 24. When the bus starts, frequency characteristics of bus noise
(Second time) ······ 82
Table 25. When the bus starts, frequency characteristics of bus noise
(Third time) ······ 83
Table 26. While the bus stops, frequency characteristics
of occurrence sound ······ 88
Table 27. When normal vehicles start, frequency characteristics
of normal vehicles noise(First time) ······ 91
Table 28. When normal vehicles start, frequency characteristics
of normal vehicles noise(Second time) ······ 92
Table 29. Frequency variation to window outside by floor ······ 98
Table 30. Variation of frequency attenuation to window outside by floor ······ 99
Table 31. Frequency variation to balcony by floor ······ 101
Table 32. Variation of frequency attenuation to balcony by floor ······ 102
Table 33. Frequency variation to livingroom by floor ······ 104
Table 34. Variation of frequency attenuation to livingroom by floor ······ 105
Table 35. Frequency variation to window outside by floor ······ 111
Table 36. Frequency variation to balcony by floor ······ 115
Table 37. Variation of frequency attenuation by space ······ 128
Table 38. Variation of frequency by opening and closing of window ······ 130

List of Figures

Fig. 1. Frequency characteristics of road vehicles noise to building ···············6
Fig. 2. Change of real time unit level of traffic noise ··7
Fig. 3. Change of real time unit level of traffic noise by traffic signal ·····8
Fig. 4. Change of 24 hour traffic noise level ··9
Fig. 5. Point source of sound ··11
Fig. 6. Line source of sound ··12
Fig. 7. Interrelation of traffic speed and distance
by travelling of vehicle ···14
Fig. 8. Relationships of Traffic speed and Leq
under freely flowing conditions ···14
Fig. 9. Acceleration and deceleration of vehicle from crossroad ·······················15
Fig. 10. Sound attenuation provided by a semi-infinite screen ····························17
Fig. 11. Pass-by noise spectra of typical passenger vehicle(Verna) ·················20
Fig. 12. Pass-by noise spectra of typical light goods vehicle(Santafe) ··········20
Fig. 13. Pass-by noise spectra of typical heavy vehicle(15 t dump truck) ······20
Fig. 14. Pass-by noise spectra of typical heavy omnibus(Gran Bird) ·················20
Fig. 15. Acceleration noise of vehicle by year ··21
Fig. 16. Relationship between steady state speed and noise level ·····················24
Fig. 17. Relationship between acceleration and noise level ·································25
Fig. 18. Relationship between distance from road and floor
of maximum noise level ···26
Fig. 19. Flow chart of calculation in HW-NOISE ··40
Fig. 20. Measuring status of apartment ···54
Fig. 21. Measurement site of point ② in apartment ··56
Fig. 22. Measurement site of point ③ in apartment ··56

Fig. 23. Measurement site of point ④ in apartment ······ 56
Fig. 24. Stereograph of B. apartment ······ 59
Fig. 25. Field Point at 1m from a apartment outer wall ······ 60
Fig. 26. Field Point at balcony a apartment inside ······ 60
Fig. 27. Field Point of indoor of apartment ······ 61
Fig. 28. Frequency characteristics of bus noise(1 bus passage) ······ 63
Fig. 29. Frequency characteristics of bus and normal vehicles noise ······ 64
Fig. 30. Frequency characteristics of bus noise(2 buses passage) ······ 66
Fig. 31. Frequency characteristics of van noise ······ 67
Fig. 32. Frequency characteristics of van and normal vehicles noise ······ 69
Fig. 33. Frequency characteristics of truck noise(1 ton) ······ 70
Fig. 34. Frequency characteristics of truck and normal vehicles noise ······ 72
Fig. 35. Frequency characteristics of truck noise(11 ton) ······ 73
Fig. 36. Frequency characteristics of motorcycle noise ······ 75
Fig. 37. Frequency characteristics of motorcycle and normal vehicles noise ······ 76
Fig. 38. Frequency characteristics of vehicles noise by type (Z characteristic) ······ 77
Fig. 39. Frequency characteristics of vehicles noise by type (A characteristic) ······ 78
Fig. 40. When the bus starts, frequency characteristics of bus noise ······ 80
Fig. 41. When the bus starts and stops, frequency characteristics of bus noise ······ 85
Fig. 42. Frequency comparison of bus noise in operation of the bus ······ 86
Fig. 43. While the bus stops, frequency characteristics of occurrence sound ······ 87
Fig. 44. While the bus stops, frequency comparison of occurrence sound ······ 89

Fig. 45. When normal vehicles start, frequency characteristics of normal vehicles noise ········ 90
Fig. 46. When normal vehicles start and stop, frequency characteristics of normal vehicles noise ········ 93
Fig. 47. Frequency comparison of normal vehicles noise in operation of normal vehicles ········ 94
Fig. 48. When vehicles start, frequency comparison of bus and normal vehicles noise ········ 95
Fig. 49. Frequency variation to window outside by floor ········ 98
Fig. 50. Variation of frequency attenuation to window outside by floor ········ 99
Fig. 51. Frequency variation to balcony by floor ········ 100
Fig. 52. Variation of frequency attenuation to balcony by floor ········ 102
Fig. 53. Frequency variation to livingroom by floor ········ 103
Fig. 54. Variation of frequency attenuation to livingroom by floor ········ 105
Fig. 55. Variation of frequency attenuation by space(1 floor) ········ 107
Fig. 56. Variation of frequency attenuation by space(5 floor) ········ 107
Fig. 57. Variation of frequency attenuation by space(8 floor) ········ 108
Fig. 58. Variation of frequency attenuation by space(11 floor) ········ 108
Fig. 59. Variation of frequency attenuation by space(14 floor) ········ 109
Fig. 60. Noise level to window outside by floor ········ 112
Fig. 61. Noise level to balcony by floor ········ 116
Fig. 62. Variation of noise level to livingroom(balcony window1 opening) ········ 119
Fig. 63. Variation of noise level to livingroom(balcony window1 closing, balcony window2 opening, bedroom2 window opening) ········ 122
Fig. 64. Variation of noise level to livingroom(balcony window1 closing, balcony window2 opening, bedroom2 window closing) ········ 125
Fig. 65. Variation of frequency attenuation by space ········ 128
Fig. 66. Variation of frequency by opening and closing of window ········ 130

Abstract

A Study on the Propagation Characteristics of Road Traffic Noise in High-rise Apartment

By Yeom Dong-ick
Advisor : Prof. Choi Hyung-il,
Department of Environmental Engineering,
Graduate School of Chosun University

Quantitative evaluation for the sound source to predict the noise in the field point for the Road Traffic Noise was conducted. The traffic noise level and frequency characteristics as per types of cars for wave process until the noise reaches the field point was measured. Suggesting countermeasures against traffic noise, the result of modeling the noise level distribution of the apartment using RAYNOISE is as follows.

1. Frequency Characteristics as per type of Car

(1) Frequency Characteristics while Driving

Under freely flowing conditions of traffic, when you drive a bus on a public road, the traffic noise level showed a change of 6.2 dB(Z) from 83.1 dB(Z) to 89.3 dB(Z).The change of traffic noise level was 6.3 dB(Z) from 81.7 dB(Z) to 88 dB(Z) when a van was driven, and 10.8 dB(Z) from 79.5 dB(Z) to 90.3 dB(Z) when a one-ton truck was driven. Also, the change of traffic noise level was 18.6 dB(Z) from 81.3 dB(Z) to 99.9 dB(Z) when a motorcycle was running. All vehicles except for the motorcycle showed similar noise levels of 31.5, 500, 1 k and 2 kHz. The bus showed the highest noise level at 63 Hz and 125 Hz, and a van and an 11 ton

truck showed the highest levels at 125 Hz. The one-ton truck was measured at 63 Hz for the highest noise level. The motorcycle was measured at 250 Hz with the highest noise level of 96.7 dB(Z) and at 500 Hz with 95.5 dB(Z), indicating the highest noise level among specific vehicles.

(2) Characteristics of Frequency upon Departure

The noise level when an urban bus stops to depart was 94.6 dB(Z), which is higher than that of stoppage and driving. When a bus stops, the normal cars have an influence on the noise level, and after departure, it brings out the highest noise at 250 Hz and 500 Hz, which is caused by noises from the engine and exhaust. The noise level when a normal car stops to depart was higher than that of stoppage and driving at 85.7 dB(Z). It is high at 63 Hz as it is being reduced from 250 Hz. While a normal car is stopping, higher noise is made at 31.5 Hz, which is considered to be caused by engine noise.

2. Characteristics of Noise Level Attenuation as per Frequency of Apartment Space

The noise level outside of a window and in the center of a living room was measured to be lower on the 1st floor. Noise levels were similar on the 5th and 8th floors and lower on the 11th floor and on an 8th floor balcony. Comparing the difference of measured values on the balcony and in the center of the living room had a minus value for an applicable value of 62%, which means the balcony is the path where the sound is being passed. Because the center of the living room is a closed space, it is considered that the sound became higher by reflection and diffraction of sound in the living room. Change of frequency Attenuation as per space in the 1st, 5th and 8th floors showed the attenuated condition becoming greater as frequency rose by 1 kHz, and it became greater on the higher floors at

31.5 Hz and 63 Hz. On the 11th floor, 63 Hz appeared to have a higher attenuated condition, and it was attenuated similarly in general.

3. Modeling Using RAYNOISE for Noise Level and Characteristics of Frequency in Apartment Space

Noise levels measured on the exterior wall of the apartment, on the balcony and in the center of a living room revealed to be higher in low frequency bandwidths in the lower floors. They decreased on the higher floors including the 7th and 8th floors, increased, then decreased again on the 9th floor.

The noise level in the living room was 45.3 dB(Z), which appeared to be higher than that of the balcony(41.1 dB(Z)). It was also higher than the balcony in all frequency bandwidths.

When actually measured, the noise level was rather high in the center of the living room. The balcony, which is a moving path of traffic noise, showed a low noise level. Traffic noise that went through the balcony might have come into the living room with a higher level of noise due to sound reflection and diffraction. We then compared noise levels in two cases while the window of the living room was open. The first case kept the window of balcony 2(bed room 2 directions) closed while the window of balcony 1(living room directions) remained open. The second case kept the window of balcony 1(living room directions) closed while the window of balcony 2(bed room 2 directions) remained open. The noise level in the center of the living room was 45.0 45.6 dB(Z) in the former case and 28.5 29.5 dB(Z) in the latter, thus showing the attenuated effect of 15.9 16.6 dB(Z). The attenuated effect appeared to be 16.9 17.9 dB(A) characteristics of A.

Ⅰ. 서 론

우리나라의 도로교통소음의 양상은 도시의 경우, 상·공업지역은 물론 주거지역까지 교통소음의 영향권에 있으며, 고속도로 등 각종 도로망의 확장으로 농촌에 이르기까지 교통소음의 영향권은 확대되고 있는 실정이다.

교통소음 배출원은 자동차, 기차, 비행기 등으로서 발생소음도가 매우 높을 뿐만 아니라 교통량의 급격한 증가로 교통소음문제가 날로 심각해지고 있고 도로교통소음의 영향범위가 날이 갈수록 확대되고 있으며, 인구밀도가 높은 우리의 열악한 주거환경에 비추어 그 영향 또한 간과할 수 없는 실정이다. 특히, 자동차는 도로망이 확장되고 차량보유대수가 지속적으로 증가하고 있어 대도시 주된 소음원으로 주목받고 있다.

우리나라의 자동차 등록대수는 1970년대에는 13만대에 불과했으나, 이후 급속한 경제성장에 따라 국민 소득수준이 증가하면서 높은 증가율을 보여 2005년 말 기준으로 약 117배가 증가한 1,539만대가 등록되었으며[1), 고속도로는 물론 국도나 지방도 등 주요간선도로는 24시간 교통이 끊이지 않아 인근 주민들은 밤낮 구별없이 소음에 시달리고 있고 그 피해지역도 광범위하다.

소음진동에 대한 2006년 민원건수는 16개 시·도의 수질, 대기, 폐기물, 소음 등 환경관련 전체민원 135,230건 중 소음·진동민원이 32,800건으로 24.3%를 차지하였으며, 소음발생원별로 분석한 결과, 전체민원 중 생활소음 93.2%(30,574건), 공장소음 3.9%(1,284건), 도로·철도 1.9%(618건), 항공기 소음 1.0%(324건) 순으로 나타났다.

이에. 도로교통소음에 대한 수음 점에서의 소음예측을 위해서 발생원에 대한 정량적인 평가와 더불어 소음이 수음 점에 도달하기까지의 전파과정에 대한 연구가 필수적이다. 도로교통소음은 공중의 대기를 통해서 직접 전파되거나 지면에서의 반사 및 여러 장애물에 의한 반사와 회절을 한 후 수음 점에 도달하게 된다. 이러한 도로교통소음의 특성은 매우 복잡하며 정확한 발생원 규명과 전파특성에 대한 체계적인 연구가 요구된다[2)]. 또한, 도로교통소음은 발생원이 특정 차량과 시간적으

로 정해져 있지 않으며 차량의 종류, 시간대, 속력 등 변수에 따라 영향을 받는다.

정부에서는 교통소음의 방지대책으로 교통소음・진동규제지역 지정, 방음벽과 저소음노면의 설치, 자동차 소음을 줄이기 위하여 철저한 정비와 함께 자동차 제작사로 하여금 저소음자동차 개발을 위해 자체기술 개발 및 선진기술을 도입하도록 유도, 주민홍보 등을 하고 있다.

교통소음에 의한 소음피해 저감대책의 일환으로 학교, 주거지역 등 정온지역을 규제지역으로 지정하여 관리하는 것을 목적으로 지난 1993년부터 규제지역을 관리하였으나 교통소음규제지역의 지정방법이 획일화되어 있고, 각 자치단체의 사후관리가 미흡한 실정으로 제대로 운영되고 있지 못하고 있다. 이에 이 등5)은 규제지역 관리의 문제점으로 규제지역 내 안내 표시판 미비, 시민 인식의 부족, 강제적 관리수단 미흡, 소음기준 준수에 대한 기초자료 미확보, 시행 세칙이나 규정 미비, 규제지역 불필요 지역 지정, 충분한 이격거리 미확보 등을 제시하였다.

환경부에서는 교통소음 줄이기 위한 대책으로 교통소음한도를 초과하는 지역에 대하여는 2005년까지 방음벽 718㎞, 저소음노면 64㎞를 설치하였다. 또한 자동차 소음을 줄이기 위하여 철저한 정비와 함께 자동차 제작사로 하여금 저소음자동차 개발을 위해 자체기술 개발 및 선진기술을 도입하도록 유도하고 있다. 또한, 자동차소음허용기준을 자동차의 종류에 따라 2002년까지 단계적으로 1～4 dB로 강화하였다[3].

교통소음의 방지대책은 실시장소에 따라 음원측과 전반경로 그리고 수음측으로 구분할 수 있다. 음원측에서의 대책은 저소음포장도로, 자동차 자체 대책 등이 있고, 전반경로 대책으로는 도로변 소음전파의 차단으로 이격거리 확보, 방음벽, 방음림, 방음 둑 등이 있다. 또한 수음측에서의 대책은 외부 소음에 대한 주택의 차음(유리창의 재질 개선), 실내의 흡음처리가 있다.

정부에서 실시하고 있는 교통소음의 방지대책은 음원측과 전반경로 대책이 대부분이며 수음측에 대한 방지대책은 주민홍보 등이며 이에 대한 구체적 제시방안도 미미한 실정이다.

이에, 본 연구에서는 우리나라 국민들이 창문을 열고 생활하는 봄, 여름 그리고 가을에 많이 발생하는 교통소음에 대한 수음측에서의 대책으로 가정에서 할 수 있는 교통소음 대책을 제안하고자 신축아파트 단지를 대상으로 소음원에서 차량의 일반 주행 시와 정체 후 출발할 때로 구분하여 차종에 따른 교통소음의 주파수에 따른 소음레벨을 측정하고, 측정소음도를 이용 모델링하여 향후 친환경적인 주택건설을 유도하기 위해 건축주, 설계자, 건설업자 및 사용자가 환경문제에 대하여 공통적으로 인식할 수 있는 정확한 정보와 인식을 위한 방안을 마련하는데 필요한 자료를 제공하고자 한다.

Ⅱ. 이론적 고찰

2.1 도로교통소음의 특성과 평가방법

2.1.1 도로교통소음의 발생원인

도로교통소음은 주행하는 자동차에서 발생하여 도로주변으로 전달되는 환경소음의 하나로서 크게 기계가동에 의한 소음(엔진, 흡배기, 냉각용 날개, 경음기 등)과 주행(마찰)소음으로 나눌 수 있고 소음의 전파 매체에 따라 공기전달 음과 고체전달 음으로 구분할 수 있다.

엔진에서는 보통 왕복 엔진에 의해 구동됨으로 주기적인 충격이 있으며 이로 인해 엔진의 측면으로부터 소음을 발생시킨다. 또한 흡배기는 주기적으로 공기 및 가스를 흡입 및 배출하기 때문에 소음원이 된다. 특히 배기는 고압가스를 폭발적으로 배출하기 때문에 소음이 크고 이로 인하여 소음기를 설치하고 있으며, 이것은 20 phon 이상 소음을 감쇠시키고 있다. 냉각용 날개는 고속회전에 의한 소음원으로서 자동차 밖으로 노출되고 있지 않기 때문에 비교적 소음이 적다.

경음기는 자동차 소음 이라기보다는 위험을 알리는 것이기 때문에 소리를 발생시키는 목적으로 사용되어지나 이 소리의 양도 커지면 소음이 된다. 주행소음은 도로의 상태에 따라 영향을 받고 주행속도가 커지면 문제가 되며 주행 시 타이어 마찰음은 자동차 주행이 고속화됨으로 인하여 문제가 되고 있다.

공기전달 음은 공기 중으로 전달되어 방음벽, 방음 둑 및 건물의 외피 등에 의해 어느 정도 차단된 후 실내에 전달되며 고체전달 음은 지반이나 건물의 구조체를 통해 전달되는 음으로서 건물에 근접한 경우 전달된다.

교통소음은 교통량, 교통흐름과 관련된 차량 종류 및 차량운행 방법 등에 따라 달라지며, 또한, 도로의 직진성, 토지지형의 조건, 건물이나 차폐물에 의한 음의 반사와 차폐 효과 등의 복합적인 소음 발생인자들에 의향 영향을 받는다.

도로교통소음은 정서적 피해와 휴식 및 수면방해, 작업이나 정신집중의 방해, 두통, 위장장애 등 신체적 영향을 초래하고 지가하락 등 사회적 영향을 주기도 한다.

2.1.2 교통소음의 특성

가. 주파수 스펙트럼 특성[5)]

Fig. 1은 도시나 교통체증이 일어나는 지역과 교통이 원활한 지역에 대한 건물 내부와 외부에서 측정한 1/1 옥타브 밴드 스펙트럼을 비교한 것이다. 도시지역의 교통흐름(60 ㎞/h 이하) 주파수 스펙트럼의 특성은 63 ㎐(linear)에서 음향 에너지가 집중되어 있으며, 이러한 특징은 주로 과부하 상태에서 주행하는 대형 디젤엔진 차량에 의한 배출 소음 레벨과 관련되어 있다. 정상운행(80 ㎞/h 이상) 속도의 외부 소음 스펙트럼은 대부분 차량들이 최대 기어 상태와 저부하 상태에서 일정한 속도를 유지하며 주행하는 관계로 저주파수에서 에너지 집중현상이 교통체증이 일어나는 지역에 비해 낮게 나타난다. 그러나 주로 타이어/도로 표면의 마찰소음은 저속 주행보다는 고속주행에서 큰 영향을 미치고, 기계적인 소음은 동력전달장치와 관련되어 있기 때문에 에너지 집중현상은 고주파수 영역에서 나타난다.

사람의 청감감각은 주파수에 따라 레벨크기가 같더라도 느끼는 크기가 틀리는 비선형적인 특성을 고려하여 소음계측기 내 보정회로를 설치하여 사람의 청감 특성을 가진 음압크기로 계측 될 수 있게 한 보정회로곡선이다.

청감보정곡선은 A, B, C, D, F 보정곡선이 있으며 A, B, C는 등청감크기레벨 40phon, 70phon, 100phon 곡선을 뒤집어 놓은 것과 같은 보정회로를 가진다. A보정 측정치가 사람의 청감특성과 가장 좋은 상관관계를 가지기 때문에 가장 많이 사용되고 있으며, C보정 측정치는 환경부 자동차 소음규제 평가항목 중 경적소음을 측정할 때, 한편 D보정곡선은 1kHz~10kHz의 주파수를 특별히 강조한 특별 곡선으로 항공기소음 측정에 사용한다.

저주파수 성분의 스펙트럼은 A-보정에 의해 상당히 감소되었기 때문에 건물 외부소음[dB(A)]은 교통체증이 일어나는 경우보다 교통이 원활한 경우에 더 크게 나타났다. 건물 내부소음[dB(A)] 스펙트럼의 경우, 건물 내의 절연재에 의해 고주파수 성분을 크게 감쇠시키기 때문에 교통 체증이 일어나는 경우의 내부소음은 저주

파수 성분을 상당히 많이 포함된다.

교통소음은 차량 설계, 도로 설계 또는 개선된 건물 절연재들을 이용하여 감소시킬 수 있으며, 소음 규제법 안들에 의해서도 충격성 소음을 감소시킬 수 있다. 저주파수 소음은 고주파수 성분보다 쉽게 건물단면을 통과할 수 있기 때문에, 저주파수 소음의 평가를 위해서는 dB(B)와 dB(C)와 같은 다른 단위를 사용하는 것이 좀 더 적절할 수 있다.

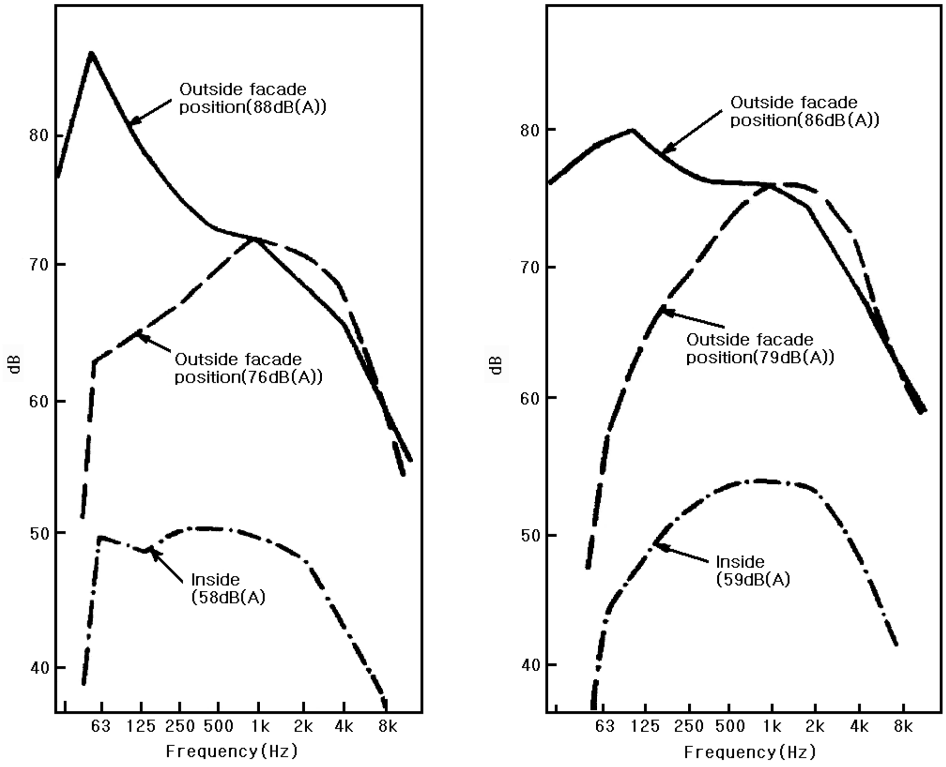


Fig. 1. Frequency characteristics of road vehicles noise to building.

나. 단위 시간 특성[5)]

교통소음은 시간에 따라서도 달라진다. 시간 단위는 개별적인 차량 음압의 결과를 살펴보는 단기간 지속시간과 시간, 하루, 주 단위 레벨의 변화를 살펴보는 장기간 지속시간이 있다. 국내·외 교통소음의 물리적인 평가는 1시간, 18시간, 24시간 등의 단위를 사용하고 있다.

Fig. 2의 왼쪽 그림은 자동차 전용도로로부터 서로 다른 두 거리에서 기록된 교통소음의 소음레벨-시간이력을, 오른쪽 그래프는 Gaussian 백분위수법(percentile scale)을 사용한 누적분포도를 보여준다. 이는 도로로부터 거리가 멀어질수록 모든 백분위수레벨의 overall값은 감소하지만, 레벨의 변화 또한 감소한다. 레벨변화의 특성은 두 지점의 레벨 분포표준편차의 변화로 특성화되어 나타난다. 이것으로 자동차 전용도로에서 거리가 멀수록 거의 일정한 소음 레벨을 방사하는 것처럼 들리는 이유를 설명할 수 있다. 또한, 차량이 분산된 곳에서의 교통소음은 Gaussian 특성에 따라 일직선으로 나타날 수도 있다.

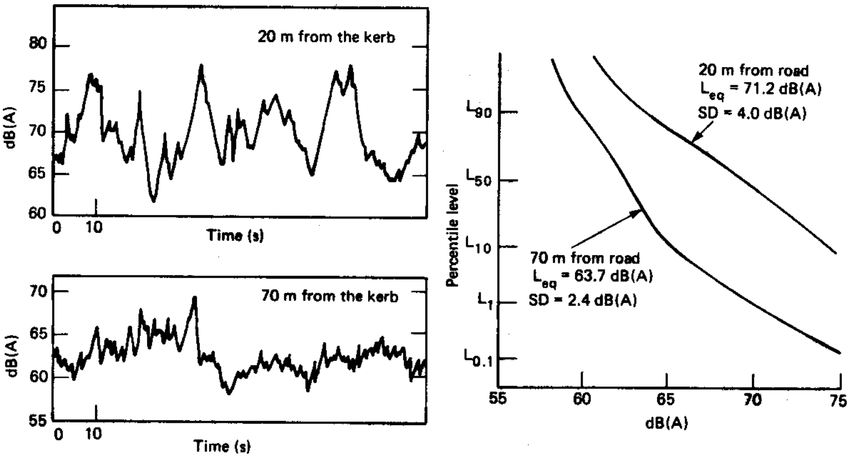


Fig. 2. Change of real time unit level of traffic noise.

Fig. 3은 도시 교통소음의 통계학적 분포도와 시간이력을 측정한 것으로, 1차선 도로에 교통신호를 설치하고 이 지점을 중심으로 역주행방향(upstream) 80m 지점과 주행방향(downstream) 50m 지점에서 측정하였다. 이 경우에 있어서, 시간-레벨 특성과 누적 분포 결과는 소음의 전달특성보다는 교통흐름과 소음방사 결과의 특성에 따라 좌우된다. 역주행방향 차량들은 주로 감속 또는 정지하거나 출발신호에 따라 가속하기 시작한다. 주행방향 차량들은 일정속도로 가속하며, 소음 특성은 교통신호간격(초록, 노랑, 빨강)에 따라 규칙적인 주기 변동을 갖는다. 이런 상태하에서 중앙값 백분위수레벨, Leq(L_{eq}는 변동이 심한 평가방법으로 측정시간동안의 변동 소음의 에너지를 시간적으로 평균하여 이를 대수 변환시킨 것) 값들은 두 지점에서 비슷하게 나타날지라도 주행방향 소음상태는 역주행방향보다 소음 변동이 더 크게 나타난다.

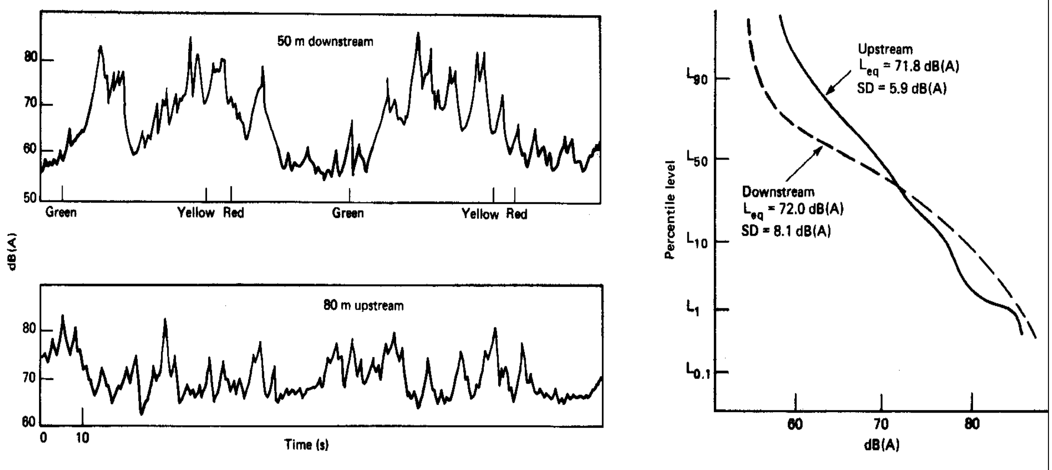


Fig. 3. Change of real time unit level of traffic noise by traffic signal.

장기간에 걸친 교통소음의 변동은 주로 교통량과 대형 차량의 비율에 따라 달라지는데 측정 시간 중에 그 음압 레벨을 넘는 시간의 총합이 x%가 되는 소음레벨을 L_N로 표현하면, L_N은 소음 레벨의 누적도수 분포로부터 쉽게 얻을 수 있는 평가척도를 이용할 때 대부분 주간동안의 한 시간단위 L_{10}, Leq값은 변동 폭이 약 2 dB(A) 정도로 일정한 교통소음레벨을 유지하는 경향을 나타내는 반면, 야간인 경우는 소음 변동 폭이 더 커지는 경향을 나타내는데, 특히, 교통 흐름이 매우 적은 지역에서는 심하게 나타난다. Fig. 4는 각각 15분 동안에 걸쳐 평균한 L_1과 L_{eq}의 일반적인 평일 시간대 교통 소음 분석표를 보여준다.

장기간 소음변동은 계절별 또는 주말·연휴 동안의 교통량 변화에 따른 소음의 변동이 심한 곳에서 중요한 자료로 사용된다. 이는 교통량과 차량 혼입률에 따른 것이며, 특히, 다양한 날씨상태의 영향으로 발생할 수 있다.

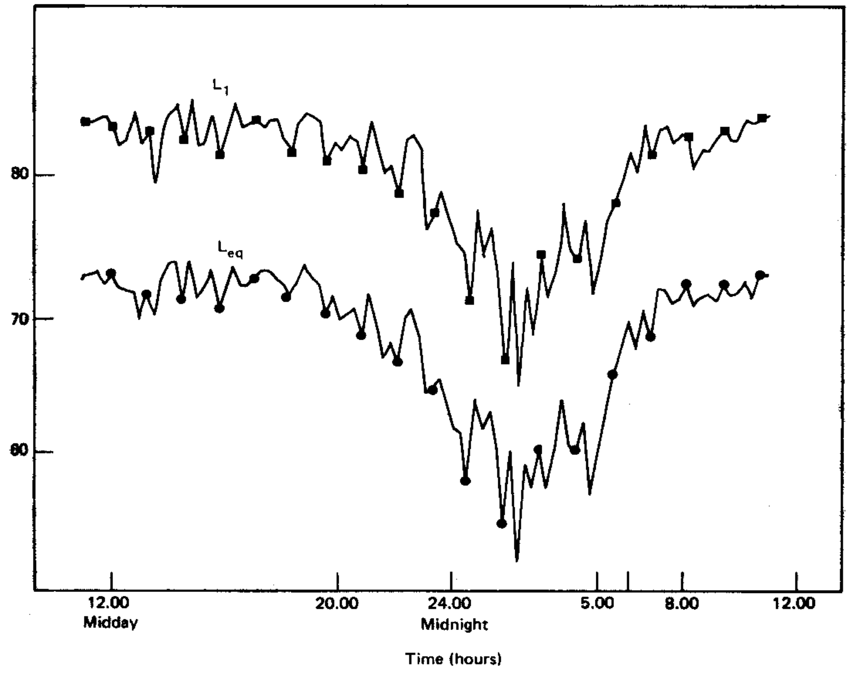


Fig. 4. Change of 24 hour traffic noise level.

2.1.3 교통소음의 전달 및 감쇠특성

음은 거리가 멀어질수록 점점 약해진다. 음이 발생하면 음파는 반사면이 없는 음장 내에서는 음원을 중심으로 구면파(球面波)로 확산된다. 따라서 음원에서 거리가 멀어짐에 따라 구상(球狀) 면적은 반경의 2제곱에 비례하여 커지므로 단위 면적당 통과하는 에너지는 감소하게 되는 것이다. 그러므로 음의 강도는 음원으로부터 떨어진 거리의 2제곱에 반비례하여 약해진다. 음의 감쇠현상은 음원의 형상과 크기 등에 따라 다르나 주로 거리에 큰 관계가 있다.

즉, 음원의 면적이 클 때는 면음원(面音源)으로 되어 감소 정도가 적어지며, 점음원(點音源)의 반 정도로 추정된다. 또 음원의 면적이 작을 때는 점음원으로 되어 음의 감소는 커지며, 면적과 거리에 관계가 있다.

음원의 형상이나 크기는 매우 다양하나 기본적으로 점음원, 선음원, 면음원의 3가지 형태로 분류할 수 있다. 거리에 의한 거리감쇠를 계산할 때는 각 형태별로 주어진 계산식으로 구하면 된다. 그러나 공기 중에서 발생되는 음은 압력밀도와 파동현상이므로 전파과정에서 반사(reflection), 굴절(refraction), 흡수(absorption), 회절(diffraction), 간섭(interference)등의 현상이 일어난다.[6)]

가. 점음원의 거리감쇠[7)]

점음원이란 음원의 크기에 비하여 상당히 멀리 떨어진 위치에 있는 음원을 말하며, 음원에서 방사되는 음은 주위에 반사체가 없는 자유음장(자유공간)에서는 음원을 중심으로 Fig. 5와 같이 구면상으로 확산되며, 음의 강도는 면적과 동일한 음원으로부터 거리의 2제곱에 반비례하여 감소하는데 이를 역 2제곱 법칙이라 한다. 보통 음원으로부터 측정거리가 2배가 되면 6dB(A) 정도가 감소된다.

점음원에서 음이 방사되는 경우 음원으로부터 r(m) 떨어진 장소의 음압레벨(SPL)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

자유공간(자유음장)일 때는 식(2-1)과 같고

$$SPL = PWL - 20\log r - 11 \tag{2-1}$$

반자유공간(반자유 음장)일 때는 식(2-2)과 같다.

$$SPL = PWL - 20\log r - 8 \tag{2-2}$$

SPL : 수음점의 음압레벨 (dB(A))
PWL : 음향 파워레벨 (dB(A))
r : 음원으로부터 떨어진 거리 (m)

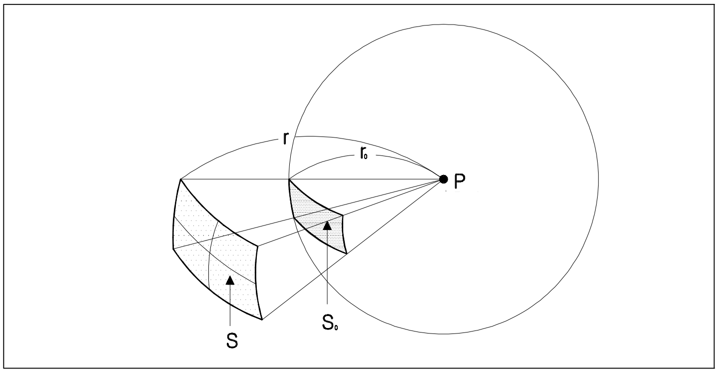


Fig. 5. Point source of sound.

나. 선음원의 거리감쇠[7)]

고속도로와 같은 도로상에서의 자동차소음, 철도소음과 같이 점 음원의 연속적인 집합상태와 같은 경우로 음원이 선상(線狀)을 형성하고 있을 때를 선음원이라 한다. 선음원의 경우 음파는 선 음원을 축으로 Fig. 6과 같이 원통형으로 펴져나간다. 보통 음원으로부터 측정거리가 2배가 되면 3 dB(A) 정도가 감소된다.

선 음원으로부터 r(m)만큼 떨어진 장소의 음압레벨(SPL)은 다음과 같다.

자유공간일 때는 식(2-3)과 같고

$$SPL = PWL - 10\log r - 8 \qquad (2\text{-}3)$$

반자유공간일 때는 식(2-4)와 같다.

$$SPL = PWL - 10\log r - 5 \qquad (2\text{-}4)$$

SPL : 수음점의 음압레벨 (dB(A))
PWL : 음향 파워레벨 (dB(A))
r : 음원으로부터 떨어진 거리 (m)

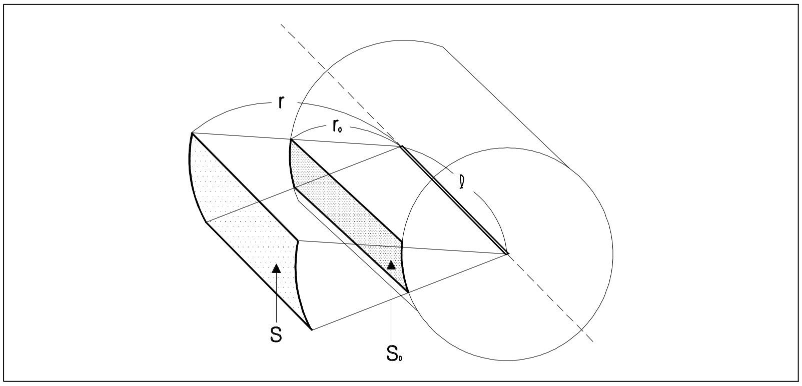


Fig. 6. Line source of sound.

또한, Fig. 6과 같이 거리 r_o의 선음원에서 방출되는 음압레벨을 SPL_o라 하고, 거리 r($r > r_o$)에서 음압레벨을 SPL이라고 할 때 소리의 감쇠는 식(2-5)과 같이 계산할 수 있다.

$$SPL = SPL_o - 10\log\left(\frac{r}{r_o}\right) \qquad (2\text{-}5)$$

2.1.4 교통소음의 발생 영향 인자들

주로 도로교통에 의한 소음레벨, 즉 소음원 발생은 차량흐름의 형태, 교통량, 차량속도와 차량의 혼입률에 따라 달라지며, 도로표면의 종류와 도로의 기울기 등에도 영향을 받는다. 이러한 여러 가지 발생인자들이 갖는 교통소음 특성을 분석함으로써 도로교통 소음의 발생적 원인을 알아보고자 하였다.

가. 교통 흐름의 종류

차량운전에 있어서, 서로 다른 방식의 운전방식을 나타내는 Fig. 7은 도시지역의 도로를 주행시 차량속도와 거리에 대한 그래프로, A지점은 감속/가속 상태 즉, 정지선과 교통신호체계 등이 있는 곳이고, 평균속도 $\bar{V}$와 표준편차 σv가 모두 낮은 지역과 관련되어 있다. B지점은 교통흐름이 원활한 지역, 즉, $\bar{V}$는 높고 σv가 낮은 지역과 관련되어 있으며, C지점은 포화상태에서 부분적으로 정지/시동의 흐름을 갖는 지역으로 $\bar{V}$는 낮고 σv는 높다. D지점은 일부 시간동안에는 차량속도가 빠르며, 그 외의 시간 동안에는 차량속도가 느린 지역으로, $\bar{V}$와 σv가 모두 높다.

서로 다른 도로에서 교통흐름은 거리와 시간에 종속적이며, 시간의 종속성은 교통소음 시간이력과 교통소음의 통계학적 레벨에 영향을 끼친다.

(1) 교통이 원활한 경우[8)]

이 교통흐름의 형태는 교통흐름이 상호작용 없이 자유롭게 이동하는 곳을 말한다. 일반적으로 차량들은 최대기어 상태로 운전하며, 거의 일정한 속도로 운행한다. 여기서 교통흐름과 속도의 관계는 속도 제한 치와 대형차량의 백분율에 따라 좌우되며, Fig. 8(a)처럼 포화된 상태에서 흐름이 증가될 시, 평균속도는 감소한다.

이러한 관계는 흐름의 비율과 주행속도가 교통소음에 결정적인 영향을 미친다는 것을 말한다. 흐름비율이 증가할 때, 교통소음 L_{eq}는 최대로 증가하고, 소음이 우세한 곳에서 차량 속도는 감소하는 경향을 나타낸다[Fig. 8(b)].

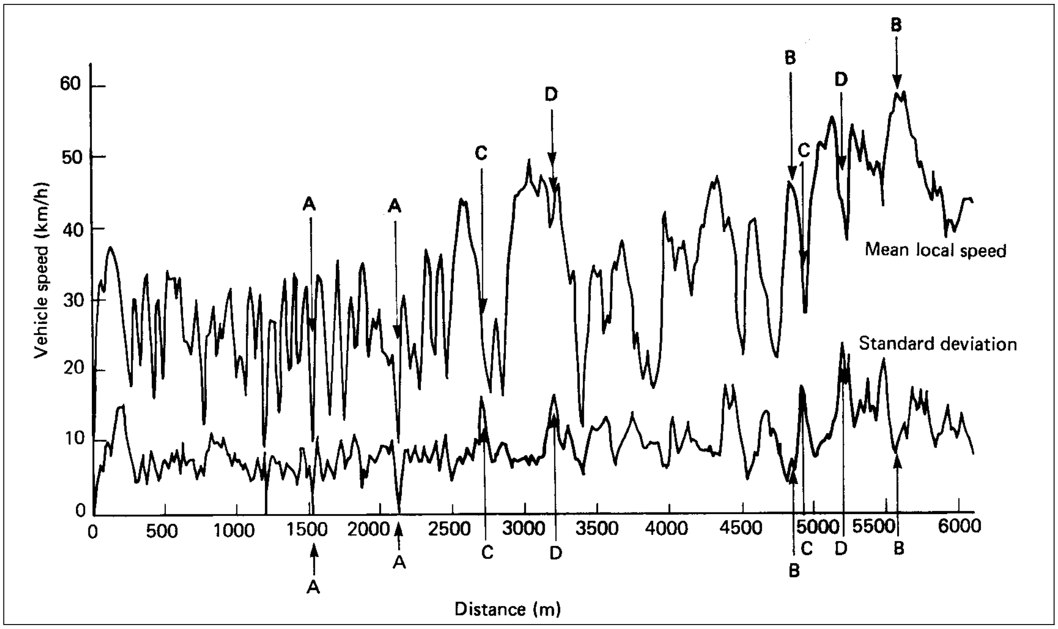


Fig. 7. Interrelation of traffic speed and distance by travelling of vehicle.

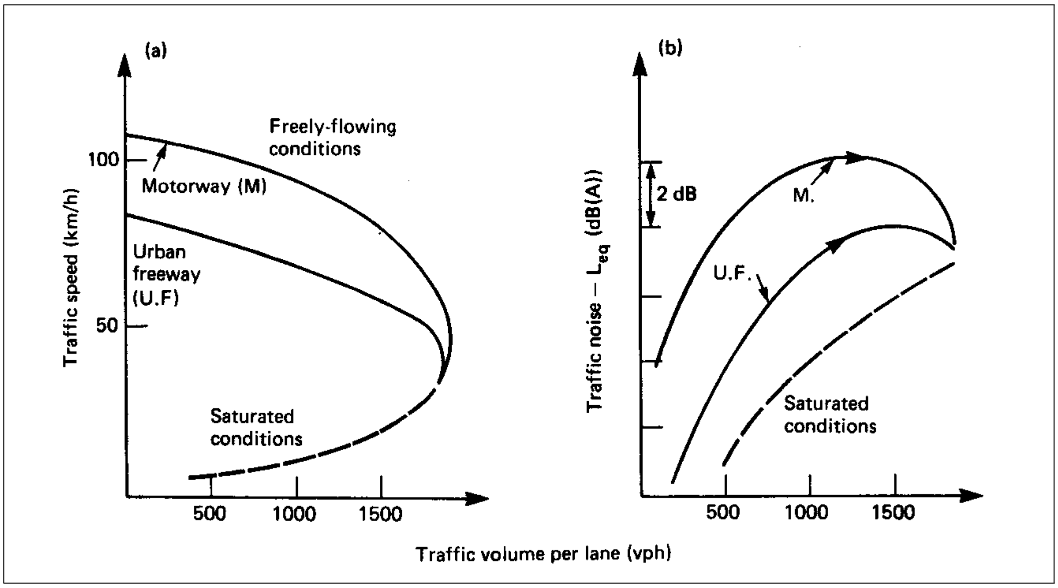


Fig. 8. Relationships of Traffic speed and Leq under freely flowing conditions[Typical speed/flow(a) and Leq/flow(b)].

(2) 교통이 원활하지 않은 경우[8)]

이러한 흐름의 형태는 차량 간의 상호작용이나 정지선 또는 교통신호 통제시스템이 있어 차량들이 서행 또는 멈추는 지역에서 발생한다. Fig. 9는 교차로에서 차량이 정지선에 접근할 때, 일부 대표적인 감속/가속 정도를 나타낸다.

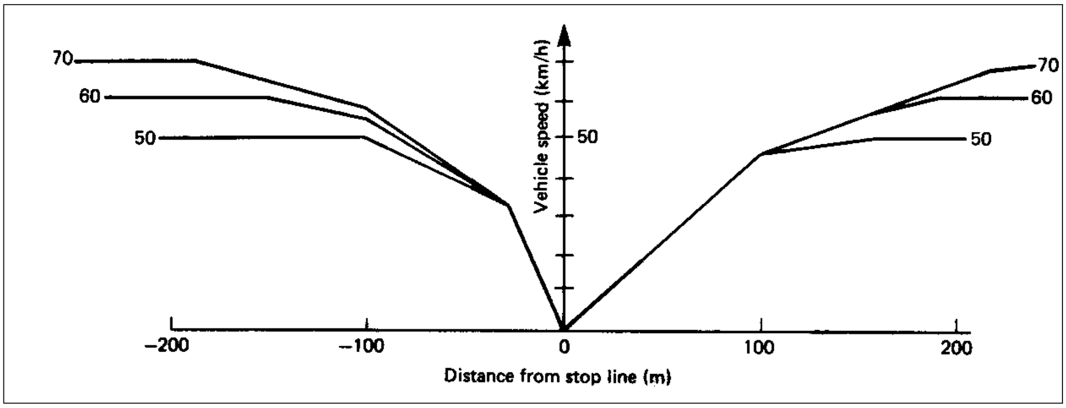


Fig. 9. Acceleration and deceleration of vehicle from crossroad.

나. 평균속도와 대형차량의 백분율[5)]

속도는 주로 통행이 원활한 상태인 50～60 ㎞/h (high speed)이상의 속도와 통행이 원활하지 않은 상태인 50～60 ㎞/h (low speed)이하의 속도로 2개의 속도로 나눌 수 있다. 저속주행에서 평균소음레벨은 주행속도와 독립적인 관계를 가진다. 차량소음의 중요한 음원들은 엔진의 회전속도와 관련되어 나타난다.

다. 도로의 경사도와 표면[5)]

교통소음레벨은 도로의 경사도에 영향을 받는다. 경사도의 영향은 대형차량들의 비율에 따라 좌우되며, 22.5°의 경사도에서 표준상태에서 소음의 증가는 대략 4 dB(A) 정도였다. [5)]

도로/타이어 간의 마찰소음이 지배적이기 때문에 도로표면구조는 도로주행시의

소음레벨에 큰 영향을 끼친다. 대체로, 최근에 홈이 파인 콘크리트나 역청 물질을 표면에 피복시킨 결이 새겨진 표면을 사용하는 도로에서 차량주행소음은 콘크리트 또는 아스팔트 표면보다 대략 3 dB(A) 높게 발생되었으며, 흡음특성과 표면이 좋은 구조를 조합시킨 도로표면에서는 표준화된 표면보다 약 2～3 dB(A) 더 낮았다.

2.1.5 교통소음의 전달 영향인자들[5)]

교통소음의 전달은 인자들의 수에 의해 영향을 받는다. 인자들은 이격거리에 의한 감쇠현상과 지표면에 의한 전달파장의 간섭효과, 방음벽 등의 장애물에 의한 차단현상, 식물들에 의한 영향, 기후의 변화에 따른 영향 등을 포함한다.

가. 거리 감쇠

자유공간에서 점음원인 경우, 거리의 역제곱 법칙에 따라 20logd만큼 감소하여 거리가 2배 될 때마다 6 dB(A) 감소한다. 이 감쇠함수는 도로상의 연속 차량들 간격이 도로로부터 수음점까지의 이격거리와 같아질 때까지 계속 유지되지만, 차량흐름이 증가함에 따라 10logd만큼 감쇠하는 선음원에 가까워진다.

실제로, 감쇠율은 소음 지표에 따라 달라진다. 이론에서 감쇠상수는 대부분 Leq에 대해 10을 사용하고 중간범위 백분위수레벨에서는 감쇠계수를 가정하여 사용한다.

거리감쇠에 있어 공기흡음 효과도 고려해야 하나, 일반적으로 도로로부터 300m 이내의 거리에서는 공기흡음효과를 고려하지 않는다.

교통소음 원으로부터 소음에너지의 기하학적 전달 원리인 지반의 영향은 이론적으로 정립된 기초 물리현상으로 설명할 수 있다. 결정된 인자들은 음원과 수음원간의 이격거리, 높이, 그리고 음향임피던스와 지표면의 전달계수 등이다. 지반효과는 중주파수 범위(250～1000㎐, 특히 500㎐)에 부정적인 간섭작용을 한다.

나. 교통 소음의 차폐와 회절

방음벽 차폐 량은 상단 부분과 끝 지점에서 회절 된 음향에너지양과 방음벽 투과 량에 따라 달라지지만, 일반적으로 방음벽의 투과손실은 무시한다. 대부분의 방음벽형태는 도로주변에 직립한 얇은 벽이며, 현재는 형상이 복잡하고 다양한 방음벽 형식들이 존재한다.

현재 가장 대표적인 방음벽효과에 사용되는 이론은 계산과정을 단순화시켜 만든 Maekawa 그래프로 Fig. 10과 같으며, Fresnel Number, $N=2\delta/\lambda$의 함수로서 점음원과 수음점에 대한 감쇠를 보여준다. δ는 회절음과 직접음의 경로차로 a+b-d로 정의한다. 이 방법은 사용하기에 단순하며, 어떠한 입사각에 대해서도 효과적으로 사용할 수 있다.

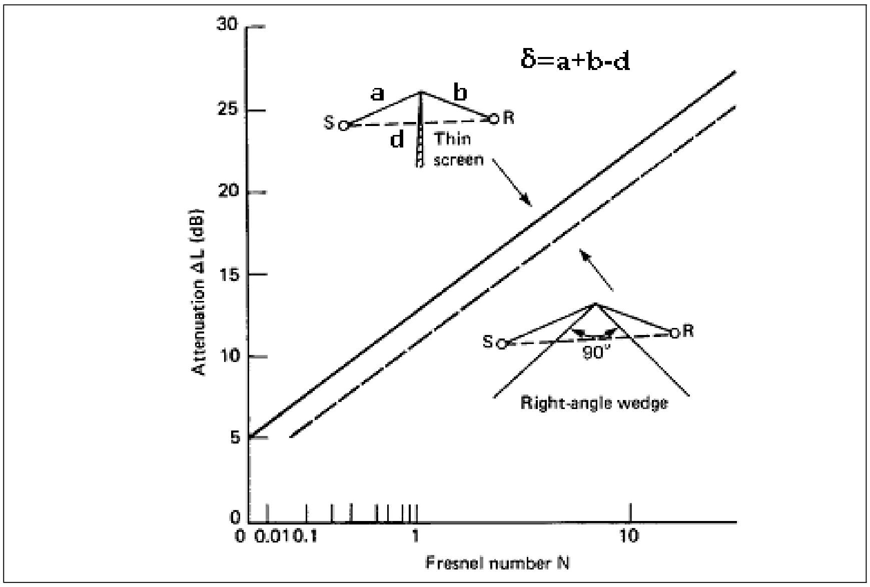


Fig. 10. Sound attenuation provided by a semi-infinite screen.

다. 대기 상태의 영향

풍속과 온도의 수직적인 변화는 높이에 따라 달라지는 음향속도와 방향 때문이다. 음이 풍하 쪽으로 전달되거나 기온역전일 경우, ↷쪽으로 이동하며, 맞바람이 불거나 온도가 저하된 경우에는 ↺쪽으로 이동한다. 일반적으로 암역(暗域:Shadow Zone)에서의 소음 레벨감소는 10～30 dB 사이로 제한된다.

라. 수목에 의한 음향 감쇠

초목, 관목들의 설치는 미적인 요소로 많은 도움이 되고 있으나 소음감쇠효과는 과대평가되고 있다. 관목은 나무뿌리와 낙엽들 및 기타 요소들로부터 생성된 지반의 다공질성분에 의해 지반의 흡음성질을 향상시켜 저주파음의 전달에 영향을 미치며, 고주파수음은 나무줄기, 나뭇가지 및 나뭇잎의 흡음 등에 의한 분산현상에 의해 영향을 받는다. 목초지에 비해, 밀집한 관목지에 대한 과잉감쇠는 대략 10 m 당 0.5～1.5 dB(A)로 관찰되었다.

마. 반사와 분산(Reflection and scattering)

건물과 건물 사이에서 발생하는 다수의 반사작용은 분산과 회절을 동시에 발생시킬 수 있다. 반사작용에 있어서, 건물 면은 임사음의 각과 동일한 각으로 반사되는 거울이미지처럼 작용하는 역할을 하고, 흡수된 음향에너지는 입사음의 주파수와 입사각에 따라 달라진다. 입사파의 분산은 표면 거칠기와 관련 있으며, 반사경계선에서 발생한다. 반사된 에너지는 모든 방향으로 전달되며, 빌딩이 밀집된 지역에서, 분산은 분산인자들 때문에 소음발생의 중요한 인자가 될 수 있지만, 일반적으로 예측모델에서는 무시된다.

2.1.6 교통소음의 주행 특성[2)]

가. 차종별 주파수 특성

승용자동차에서 대표적으로 베르나의 주행소음 주파수 특성은 Fig. 11과 같다. 베르나가 50, 70, 90 ㎞/ h의 속도로 주행할 때 모두 1,000 ㎐에서 각각 66.5, 69.9, 74.2 dBA의 가장 높은 소음을 배출하고,63 ㎐에서 제2의 peak치를 발생하고 있다. 한편 같은 속도로 정상 주행할 때에도 전부 1,000 ㎐에서 각각 65.3, 70, 73.1 dBA의 가장 높은 소음을 배출하고 대체로 125 ㎐에서 제2의 peak치를 발생하고 있다. 제2의 peak치는 엔진소음에 기인한 것으로 판단된다.

소형화물자동차 중에서 대표적으로 싼타페(LPG)의 주행소음 주파수 특성은 Fig. 12와 같다. 싼타페(LPG)가 50, 70 ㎞/ h의 속도로 가속 주행할 때 500㎐에서 66.5, 68 dBA의 가장 높은 소음을 배출하고,90 ㎞/ h의 속도로 가속주행 시는 1,000 ㎐에서 70.6dBA의 가장 높은 소음을 발생하며 125 ㎐에서 제2의 peak치를 배출하고 있다. 한편 동일한 속도로 정상 주행할 경우 모두 1,000 ㎐에서 각각 62.6, 67.7,70.8 dBA의 가장 높은 소음을 배출하고 대체로 63 ㎐에서 제2의 peak치를 발생한다.

중량자동차 중에서 대표적으로 15 톤 덤프의 주행소음 주파수특성은 Fig. 13과 같다. 15톤 덤프가 50km/ h의 속도로 가속 주행할 때 1,000 ㎐에서 78.4dBA의 가장 높은 소음을 발생하고 63 ㎐에서 제2의 peak치를 배출하며 30, 50, 70 km/h의 속도로 정상 주행할 경우 모두 1,000 ㎐에서 각각 73.5, 76.6,80.1 dBA의 가장 높은 소음을 발생하고 30 km/ h의 속도의 경우 125 ㎐에서, 50, 70 km/h 속도의 경우 63 ㎐에서 제2의 peak치를 발생하고 있다.

중량자동차 중에서 대표적으로 45인승 버스인 Gran Bird의 주행소음 주파수 특성은 Fig. 14와 같다. Gran Bird가 30 ㎞/ h의 속도로 가속 주행할 때 500 ㎐에서 50, 70 ㎞/ h 속도의 경우 1,000 ㎐에서 각각 76.7, 74.3, 76.4 dBA의 가장 높은 소음을 배출하고

30, 70 ㎞/h의 경우 63 ㎐에서, 50 ㎞/ h의 경우 125 ㎐에서 제2의 peak를 발생

하고 있다. 한편 30 ㎞/ h의 속도로 정상 주행할 때 2,000 ㎐에서, 50, 70 ㎞/ h 속도의 경우 1,000 ㎐에서 각각 71.7, 71.6, 73.9 ㏈A의 가장 높은 소음을 배출하고 제2의 peak치는 63 ㎐에서 발생하고 있다.

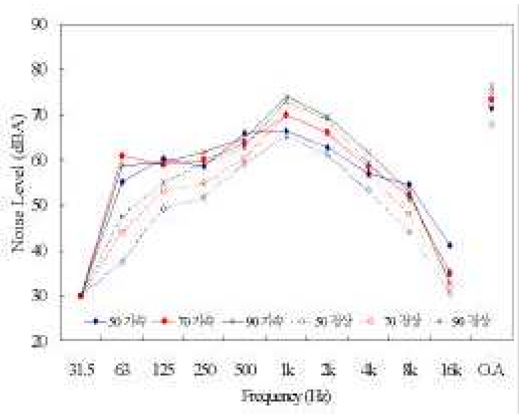


Fig. 11. Pass-by noise spectra of typical passenger vehicle(Verna).

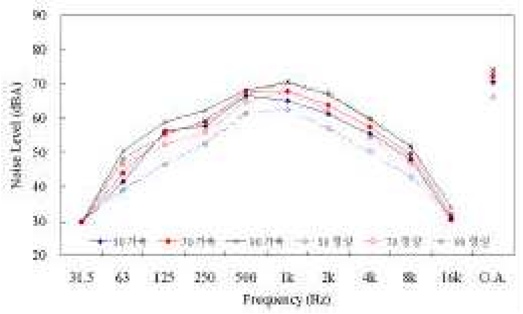


Fig. 12. Pass-by noise spectra of typical light goods vehicle(Santafe).

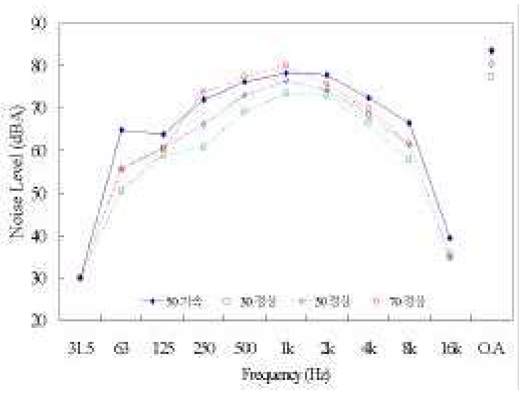


Fig. 13. Pass-by noise spectra of typical heavy vehicle (15 t dump truck).

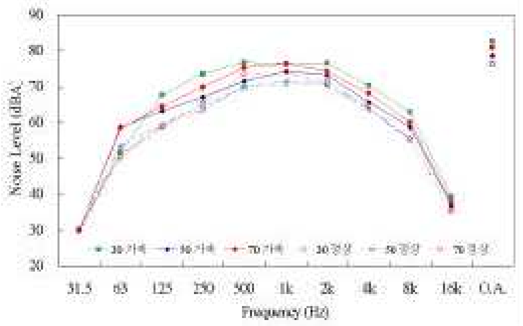


Fig. 14. Pass-by noise spectra of typical heavy omnibus(Gran Bird).

나. 주행소음의 특성

(1) 년도 별 가속주행소음

94년도부터 2000년까지 신규제작 차 및 수입차에 대한 소음인증 시험 시 조사한 차종별 가속주행소음을 년도 별로 분류하면 Fig. 15와 같다.

중량자동차는 매년 0.4～1.6 dB씩 소음도가 감소하는 양상을 보이고, 승용차는 97년도까지 0.5～1.4 dB씩 소음도가 감소하다가 98년에 0.5 dB 증가, 99년 0.2dB 감소, 2000년 다시 0.5 dB 증가하는 양상을 보이고 있다. 이륜차의 경우도 97년까지 1.3～1.6 dB씩 소음도가 감소하다가 98년 0.7 dB, 99년 0.9 dB, 2000년 2.0 dB 증가 양상을 보이고 있으나, 자동차의 소음허용기준(이륜차의 경우 80 dBA)을 충족시키고 있으며 이와 같은 현상은 배기량이 더 큰 이륜차가 상대적으로 더 늘어났기 때문으로 판단된다. 가장 높은 소음을 배출하는 중량자동차는 년차 적으로 강화된 소음허용기준을 충족시키기 위해서 꾸준히 배출소음이 저감되고 있다.

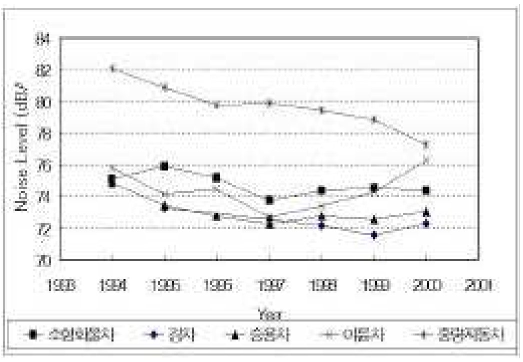


Fig. 15. Acceleration noise of vehicle by year.

(2) 가속주행소음

국내 신규제작 차 및 수입자동차 119대를 대상으로 조사한 차종별 · 속도별 가속주행소음에서 경자동차가 50 ㎞/ h 속도에서 70, 90 ㎞/ h의 속도로 가속 주행할 때 차량주행중심선으로부터 7.5 m 떨어진 거리에서 소음도는 평균 2.5, 5.2 ㏈씩 증가하고, 승용자동차의 경우 2.6, 5.1 ㏈, 소형화물자동차의 경우 1.9, 4.5 ㏈ 증가하는 양상을 보이고 있다. 가속주행 시에 속도가 약 2배 증가함에 따라 소음도는 4∼5 ㏈ 증가하였다.

Table 1. Acceleration noise by vehicle type and speed

Type of Vehicle	Speed (㎞/ h)	Noise Level (dBA)		Attenuation (dBA)	No. of Sample
		7.5 m	15 m		
Light Vehicle	50	70.2	64.7	5.4	2
〃	70	72.7	67.5	5.2	2
〃	90	75.4	69.5	6.0	2
Passenger Vehicle	50	72.0	66.4	5.6	67
〃	70	75.6	69.2	5.4	34
〃	90	77.1	71.9	5.3	32
Light Goods Vehicle	50	73.7	68.4	5.3	24
〃	70	75.6	70.4	5.3	15
〃	90	78.2	73.2	5.0	12
Heavy Vehicle (Bus)	30	81.4	77.1	4.3	4
〃	50	79.4	73.8	5.6	8
〃	70	79.2	73.7	5.5	8
〃	90	81.2	75.4	5.8	4
Heavy Vehicle (Truck)	30	83.1	77.9	5.2	5
〃	50	81.7	75.6	6.1	13
〃	70	81.8	76.4	5.4	9
〃	90	81.1	75.7	5.4	4
Motorcycle	50	73.7	69.3	4.4	2

(3) 정상주행소음

국내 신규제작차 및 수입자동차를 대상으로 조사한 차종별 · 속도별정상주행소음은 경승용차가 50 ㎞/ h 속도에서 70, 90 ㎞/ h의 속도로 정상 주행할 때 7.5 m 떨어진 거리에서 3.4, 7.7 ㏈ 씩 증가하고, 승용차의 경우 4.3, 7.9 ㏈, 소형화물자동차의 경우 5.5, 7.3 ㏈, 중량자동차 중 버스는 1.4, 4.6 ㏈, 트럭은 2.1, 1.1 ㏈ 증가하는 양상을 보이는데 중량이 작은 차량일수록 소음증가량이 크다는 것을 알 수 있다.

Table 2. Steady state noise by vehicle type and speed

Type of Vehicle	Speed (㎞/ h)	Noise Level (dBA)		Attenuation (dBA)	No. of Sample
		7.5 m	15 m		
Light Vehicle	50	67.7	62.5	5.2	2
〃	70	71.7	65.9	5.2	2
〃	90	75.4	70.0	5.5	2
Passenger Vehicle	50	66.3	60.9	5.5	31
〃	70	70.7	54.0	5.7	32
〃	90	74.2	67.5	5.7	30
Light Goods Vehicle	50	70.1	65.1	5.7	16
〃	70	73.8	69.0	4.7	15
〃	90	77.4	72.3	5.1	12
Heavy Vehicle (Bus)	30	75.8	71.0	4.8	4
〃	50	75.9	70.3	5.6	8
〃	70	77.3	71.9	5.3	8
〃	90	80.5	75.0	5.5	4
Heavy Vehicle (Truck)	30	76.3	70.4	5.9	8
〃	50	78.3	72.2	6.1	13
〃	70	80.4	74.5	5.9	12
〃	90	79.4	74.1	5.3	4

(4) 자동차 주행속도와 소음도의 관계

(가) 정상주행속도와 소음도

각종 차량이 50~90 ㎞/h의 속도로 정상 주행할 때 차량주행중심선으로부터 7.5 m 떨어진 거리에서 측정한 주행속도와 소음도의 관계 및 그 관계식을 Fig. 9에 보이고 있다. 승용차의 주행속도가 2배로 증가할 때 소음도는 9.3 ㏈정도 증가하며, 소형화물차의 경우 8 ㏈ 정도, 중량자동차 중 버스의 경우 5.1 ㏈정도, 중량자동차 중 트럭의 경우 소음도는 3 ㏈정도 증가한다. 대체적으로 차량의 중량이 클수록 소음도의 증가량이 줄어듦을 알 수 있다.

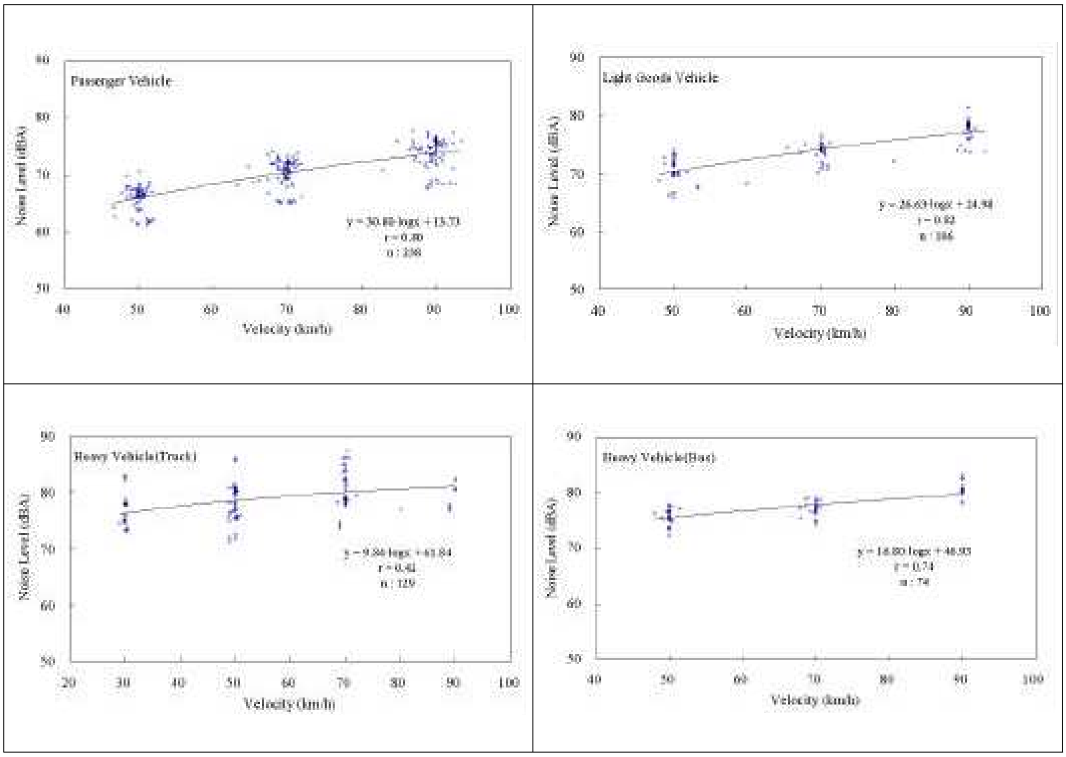


Fig. 16. Relationship between steady state speed and noise level.

(나) 가속주행속도와 소음도

자동차가 50~90 ㎞/ h의 속도로 가속 주행할 때 7.5 m 떨어진 거리에서 측정한 주행속도와 소음도 및 그 관계식을 Fig. 10에 나타내고 있다. 승용차의 주행속도가 2배 증가할 때 소음도는 4.9 ㏈정도, 소형화물차의 경우 4.3 ㏈정도 증가한다.

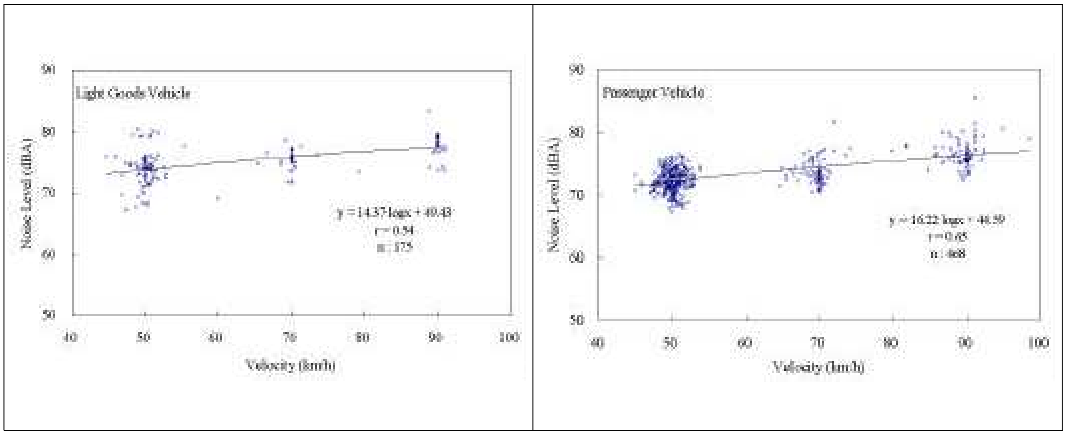


Fig. 17. Relationship between acceleration and noise level.

다. 최고 소음도를 나타내는 층

측정·조사된 15개 측정지점에 대하여 각각의 최고 소음도를 나타내는 아파트의 층은 소음계의 측정오차 이내(0.5dB)의 근소한 차이를 보이는 경우도 있었으나 4~17층까지로 그 범위가 매우 넓으며 도로와 아파트까지의 이격거리는 8.5~38.0m 범위이다.

도로단과 아파트와의 거리가 멀수록 최고 소음도를 나타내는 층은 높아진다고 할 수 있다. 이 같은 결과가 나타난 원인은 낮 시간 동안 상·하층 대기온도 차이에 의한 소리의 굴절 때문인 것으로 추정된다. 즉 아파트와 도로 단까지의 거리가 가까운 경우 음파가 진행하는 거리가 짧기 때문에 대기의 온도차에 의한 굴절의 영향이 미약하므로 상대적으로 저층에서 높은 소음도 분포를 보이는 반면, 거리가 먼

경우 음파가 진행하는 거리가 길고 상대적으로 굴절의 영향을 많이 받기 때문에 고층에서 높은 소음도 분포를 보이는 것으로 추정된다.

최고 소음도의 분포가 어느 특정한 층에 국한되지 않고 여러 층에 걸쳐 분포되어 있는데, 이러한 현상의 요인으로 추정되는 것은 바람의 영향을 들 수 있다. 측정당시 바람의 변화에 따라 음파의 진행방향이 영향을 받았기 때문인 것으로 생각된다.

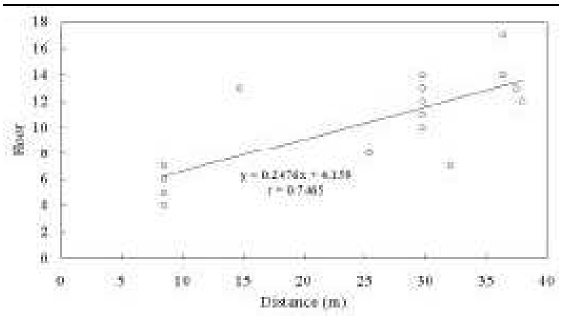


Fig. 18. Relationship between distance from road and floor of maximum noise level.

2.2 소음의 측정방법과 규제기준

2.2.1 측정방법

가. 환경기준의 측정방법

(1) 측정점

옥외측정을 원칙으로 하며, “일반지역”은 당해지역의 소음을 대표할 수 있는 장소로 하고, “도로변지역(주1)”에서는 소음으로 인하여 문제를 일으킬 우려가 있는 장소를 택하여야 한다. 측정점 선정 시에는 당해지역 소음평가에 현저한 영향을 미칠 것으로 예상되는 공장 및 사업장, 건설사업장, 비행장, 철도 등의 부지 내는 피해야 한다.

(주1) **도로변지역**의 범위는 도로 단으로부터 차선 수×10m로 하고, 고속도로 또는 자동차 전용도로의 경우에는 도로 단으로부터 150m이내의 지역을 말한다.

- 일반지역의 경우에는 가능한 한 측정점 반경 3.5m이내에 장애물(담, 건물, 기타 반사성 구조물 등)이 없는 지점의 지면 위 1.2~1.5m로 한다.
- 도로변 지역의 경우에는 장애물이나 주거, 학교, 병원, 상업 등에 활용되는 건물이 있을 때에는 이들 건축물로부터 도로방향으로 1m 떨어진 지점의 지면 위 1.2~1.5m 위치로 하며, 건축물이 보도가 없는 도로에 접해 있는 경우에는 도로 단에서 측정한다. 다만, 상시측정용의 경우의 측정높이는 주변 환경, 통행, 촉수 등을 고려하여 지면 위 1.2~5m높이로 할 수 있다.

(2) 청감보정회로 및 동특성

- 소음계의 청감보정회로는 A특성에 고정하여 측정하여야 한다.
- 소음계의 동특성은 원칙적으로 빠름(fast)을 사용하여 측정하여야 한다.

나. 규제기준의 측정방법

(1) 생활소음

- 측정점은 피해가 예상되는 자의 부지경계선 중 소음도가 높을 것으로 예상되는 지점의 지면 위 1.2~1.5m높이로 한다.
- 측정점에 담, 건물 등 높이가 1.5m를 초과하는 장애물이 있는 경우에는 장애물로부터 소음원 방향으로 1~3.5m떨어진 지점으로 한다. 다만, 그 장애물이 방음벽이거나 충분한 차음이 예상되는 경우에는 장애물 밖의 1~3.5m떨어진 지점 중 암영대(暗影帶)의 영향이 적은 지점으로 한다.
- 위의 규정에도 불구하고 피해가 우려되는 곳이 2층 이상의 건물인 경우 등으로서 피해가 우려되는 자의 부지경계선에 비하여 소음도가 더 큰 장소가 있는 경우에는 소음도가 높은 곳에서 소음원 방향으로 창문·출입문 또는 건물벽 밖의 0.5~1m떨어진 지점으로 한다.

다. 소음한도의 측정방법

(1) 도로교통소음

- 측정점은 피해가 예상되는 자의 부지경계선 중 소음도가 높을 것으로 예상되는 지점에서 지면 위 1.2~1.5m높이로 한다.
- 측정점에 담, 건물 등 높이가 1.5m를 초과하는 장애물이 있는 경우에는 장애물로부터 도로방향으로 1~3.5m떨어진 지점으로 한다. 다만, 그 장애물이 방음벽이거나 충분한 차음이 예상되는 경우에는 장애물 밖의 1~3.5m떨어진 지점 중 암영대(暗影帶)의 영향이 적은 지점으로 한다.
- 위의 규정에도 불구하고 피해가 우려되는 곳이 2층 이상의 건물인 경우 등으로서 피해가 예상되는 자의 부지경계선에 비하여 소음도가 더 큰 장소가 있는 경우에는 소음도가 높은 곳에서 소음원 방향으로 창문·출입문 또는 건물 벽 밖의 0.5~1m떨어진 지점으로 한다.

2.2.2. 소음의 규제기준

가. 생활소음 규제기준

소음·진동규제법 제 23조 및 동법 시행규칙 제29조의2 제3항 관련

Table 3. Sound level reference [단위 : dB(A)]

대 상 지 역	소 음 원 (시 간 별)		조 석 (05:00~08:00) (18:00~22:00)	주 간 (08:00~18:00)	심 야 (22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 그 밖의 지역에 있는 학교·병원·공공도서관	확성기	옥외 설치	70이하	80이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	50이하	55이하	45이하
	공 장		50이하	55이하	45이하
	사업장	동일건물	45이하	50이하	40이하
		기타	50이하	55이하	45이하
	공 사 장		65이하	70이하	55이하
기타지역	확성기	옥외 설치	70이하	80이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60이하	65이하	55이하
	공 장		60이하	65이하	55이하
	사업장	동일건물	50이하	55이하	45이하
		기타	60이하	65이하	55이하
	공 사 장		70이하	75이하	55이하

참고)

1. 소음의 측정방법과 평가단위는 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제2호에 따른 환경오염공정시험기준에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른다.
3. 규제기준치는 생활소음의 영향이 미치는 대상지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 옥외에 설치한 확성기의 사용은 1회 3분 이내로 하여야 하고,, 15분이상의 간격을 두어야 한다.
5. 공사장의 진동규제기준은 주간의 경우 특정 공사의 사전신고 대상 기계」장비를 사용하는 작업시간이 1일 2시간 이하일 때는 +10dB(A)을, 2시간초과 4시간이하일 때는 +5dB(A)을 규제기준치에 보정한다.
6. 발파소음의 경우 주간에만 규제기준치(광산의 경우 사업장 규제기준)에+10dB를 보정한다.
7. 공사장의 규제기준 중 다음 지역은 공휴일에만 -5dB를 규제기준치에 보정한다.
   가) 주거지역
   나) 「의료법」에 따른 종합병원,「초·중등교육법」및「고등교육법」에 따른 학교 및「도서관법」에 따른 공공도서관의 부지경계로부터 직선거리 50m 이내의 지역
8 “동일건물”이란「건축법」제2조에 따른 건축물로서 지붕과 기둥 또는 벽이 일체로 되어 있는 건물을 말하며, 동일 건물에 대한 생활소음규제기준은 다음 각 목에 해당하는 영업을 행하는 사업장에만 적용된다.
   가) 「체육시설의 설치·이용에 관한 법률」제10조에 따른 체력단련 장 업 · 체육도장 업 · 무도학원 업 · 무도장 업
   나) 「학원의 설립·운영 및 과외교습에 관한 법률」제2조에 따른 음악교습을 위한 학원·교습소
   다) 「식품위생법 시행령」제7조에 따른 단란주점영업·유흥주점영업
   라) 「음악산업진흥에 관한 법률」제2조에 따른 노래연습장 업

나. 환경정책기본법

Table 4. Environmental sound level reference [단위 : dB(A)]

지역구분	적용대상지역	기 준	
		낮(06:00~22:00)	밤(22:00~06:00)
일반지역	"가"지역 "나"지역 "다"지역 "라"지역	50 55 65 70	40 45 55 65
도로변지역	"가" 및 "나"지역 "다"지역 "라"지역	65 70 75	55 60 70

비고 :

1. 지역구분별 적용대상지역의 구분은 다음과 같다.

가. "가"지역

(1) 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제36조제1항의 규정에 의한 관리지역 중 보전관리지역과 자연환경 보전지역 및 농림지역

(2) 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제36조제1항의 규정에 의한 도시지역 중 녹지지역

(3) 국토의 계획 및 이용에 관한 법률시행령 제30조의 규정에 의한 주거지역중 전용주거지역

(4) 의료법 제3조의 규정에 의한 종합병원의 부지경계로부터 50미터 이내의 지역

(5) 초·중등교육법 제2조 및 고등교육법 제2조의 규정에 의한 학교의 부지경계로부터 50미터 이내의 지역

(6) 도서관 및 독서진흥법 제2조의 규정에 의한 공공도서관의 부지경계로부터 50미터 이내의 지역

나. "나"지역

(1) 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제36조제1항의 규정에 의한 관리지역 중 생산관리지역

(2) 국토의 계획 및 이용에 관한 법률시행령 제30조의 규정에 의한 주거지역중 일반주거지역 및 준주거지역

다. "다"지역

(1) 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제36조제1항의 규정에 의한 도시지역 중 상업지역과 동조 동항의 규정에 의한 관리지역 중 계획관리지역

(2) 국토의 계획 및 이용에 관한 법률시행령 제30조의 규정에 의한 공업지역 중 준 공업지역

라. "라"지역

(1) 국토의 계획 및 이용에 관한 법률시행령 제30조의 규정에 의한 공업지역 중 일반공업지역 및 전용공업지역

(2) 도로라 함은 1종렬의 자동차(2륜 자동차를 제외한다)가 안전하고 원활하게 주행하기 위하여 필요한 일정 폭의 차선을 가진 2차선이상의 도로를 말한다.

(3) 이 소음환경기준은 항공기소음·철도소음 및 건설작업소음에는 적용하지 아니한다.

2.3 도로교통소음의 예측기술 동향

도로교통소음의 예측방법에는 크게 모형실험에 의한 예측과 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 예측으로 나눌 수 있다. 모형실험에 의한 예측은 오래전부터 많이 사용되어온 방법이지만, 최근 들어 컴퓨터의 성능과 해석 모델링 기법이 발달하면서 그 사용이 많이 줄어들고 있는 실정이다. 하지만 모형제작과 실험에 많은 비용과 노력이 소요됨에도 불구하고 복잡한 지형, 지물 등 컴퓨터 시뮬레이션으로 해석하기 어려운 대상의 소음예측에는 아직까지도 불가항력으로 사용되고 있다.

도로교통소음과 같은 옥외 소음의 예측 계산에 적용할 수 있는 방법으로, 파동음향적 특성을 고려하여 경계요소 법(BEM)으로 계산하거나, 기하학적인 특성에 회절현상을 고려한 경상 음원법(mirror image source method), 음선 추적법(ray tracing method) 등으로 계산하는 방법이 있다.

경계요소 법에 의한 계산방법은 음파의 위상차에 의한 간섭현상 등 훨씬 정확하고 정밀한 검토가 가능하지만 도로교통소음의 전파와 같이 넓은 영역에서는 방대한 계산량과 도로 형상과 포장 상태 및 주변 지형 · 지물 등의 특성을 모두 고려한 세부적인 모델링이 어렵다. 이에 비해 기하음향학적으로 계산한 결과도 통계적으로 보면 만족할만하기 때문에 우리나라를 포함한 많은 국가에서는 대부분 기하음향학에 기초한 도로교통소음 예측 방법을 사용하고 있다.

2.3.1 국가별 도로교통소음 예측모델[9)]

가. 영국의 CRTN

영국의 수송국(department of transport)에서는 1975년에 도로교통소음의 예측모델인 CRTN(Calculation of Road Traffic Noise)을 제안한 후 1995년에 다시 이를 개정하였다. 개정된 CRTN모델에 반영된 주요 인자를 Table 5에 각각 나타내었다. CRTN 모델의 경우 도로 및 지형 · 지물이 복잡한 경우에도 비교적 용이하게 적용할 수 있으나 차종 구분이 단순하고, 공기에 의한 흡음 효과, 기상 효과 등은

반영되지 않았다. 특히, 미국 FHWA의 소음 예측 모델과 같이 고속도로 방음대책 수립에 있어서 가장 중요한 요소인 회절 효과 산정에 있어서 높이 방향의 회절 효과만을 반영하고 폭 방향 회절을 고려하지 않아 방음벽 길이 설계의 최적화를 도모하기 어렵다.

Table 5. Main factors of CRTN(Model 1995)

항 목	내 용
소음 평가 물리량	총합 10% 시간율 소음레벨
차종 구분	• 소형차 : 차체 중량 1,525kg 이하 • 대형차 : 차체 중량 1,525kg 이상
적용속도 범위	• 20~130km/h
기본 차량 소음예측인자	• 시간당 차량 통행량 • 전체 차량 평균 주행 속도 • 대형차 혼입 비 • 차량 소음 발생 위치 • 도로 구배
소음 전달기구 고려사항	• 거리 감쇠 • 노견 지면 감쇠 • 방음벽, 지형에 의한 단일 및 다중회절효과 (최대 20dB) • 방음벽, 건물, 절토부 지형 등에 의한 반사효과 • 도로와 수음점간의 각도 • 밀집 주택에 의한 감쇠

나. 독일의 RLS-90

독일의 소음 예측 모델인 RLS-90(Richtlinien fű̆r den Lắrmschutz and Stra β en, 1990)의 경우, 시간당 교통량의 중앙값과 2.8 ton을 초과하는 트럭의 비율로부터 지면으로부터 높이 4m, 25m 떨어진 기준점에서의 기본 소음 레벨은 식(2-7)에 의해 산정된다.

$$L(25m) = 37.3+10\log[M(1+0.082p)] \quad (2\text{-}7)$$

이때, 차량 속도는 일반승용차의 경우 100km/h, 트럭의 경우 80km/h이고, 도로면은 그루빙이 되지 않은 아스팔트 포장이며, 도로의 구배는 5% 미만일 때를 기준으로 하였다.

차량속도, 아스팔트 종류, 구배 및 반사면 등에 대한 조정을 고려하여 음원의 레벨을 계산한다. RLS-90 모델에서 적용할 수 있는 차량 속도의 범위는 승용차의 경우 30~130km/h이며, 트럭의 경우 30~80km/h이다. 차량 속도 보정 값인 Cs는 식(2-8)에 의해 계산된다.

$$C_s = L_{car} - 37.3 + 10\log\frac{100+(10^{0.1\times C})P}{100+8.23P} \quad (2\text{-}8)$$

$$C = L_{트럭} - L_{승용차}$$

$$L_{트럭} = 23.1 + 2.5\log(V_{트럭})$$

$$L_{승용차} = 27.8 + 10\log[1 + (0.02\,V_{승용차})^3$$

도로의 구배가 5% 이상인 경우에는 0.6g-3의 보정이 적용되며, 여기서 g는 도로 차선의 구배를 나타낸다. 교통 신호등 부근에서는 소음 레벨이 높아진다. 교통 신호등으로부터 수음점이 100, 70 또는 40m 떨어진 경우 1, 2 또는 3dB(A) 정도가 추가로 더해져야 한다.

RLS-90 모델에서는 동일한 속도에서 발생하는 소음이 브레이크와 가속 조작으로 인해 증가하는 것으로 가정한다. 전파 모델은 유한 길이 부분, 확산, 공기 흡음, 지면 감쇠, 반사면에 대한 보정을 계산한다.

다. 미국의 TNM

미국의 연방고속도로국(FHWA)에서는 1977년에 고속도로 소음 예측 방법인 FHWA highway traffic noise prediction model(FHWA-RD-77-108, 108 model)을 제안하였는데, 이에 반영된 주요 인자를 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Main factors of FHWA TNM(Model 108)

항 목	내 용
소음 평가 물리량	63Hz에서 9kHz까지의 옥타브밴드에서의 시간율 소음레벨 Ln 및 이의 Overall 레벨
차종 구분	• 승용차와 소형 화물차 : 차량 중량 10,000lb 이하 • 중형 트럭 : 차량 중량 10,000lb~26,000lb인 화물차 • 대형트럭 : 차량 중량 26,000lb 이상 화물차
적용 속도 범위	20~70 MPH
기본 차량 소음 예측 인자	• 시간당 차량 통행량 • 차종별 평균 주행 속도 • 차종별 혼입비 및 소음 발생위치 • 도로 구배
소음 전달기구 고려 사항	• 거리감쇠 • 지면, 숲에 의한 감쇠 • 방음벽, 지형에 의한 단일 회절 효과 (최대 20dB) • 방음벽 반사 효과 (최대 3dB)

FHWA의 모델은 차종별 소음 발생 위치를 보정할 수 있는 등 나름대로 장점이 있으나 고속도로 방음대책 수립에 있어서 가장 중요한 요소인 회절 효과 산정에 있어서 높이 방향의 회절 효과만을 반영하고 있고 폭 방향 회절 현상과 절토부 등에서 흔히 방생하는 다중 회절 현상을 반영할 수 없어 방음벽 설계의 최적화를 도모할 수 없다.

한편, 미국 연방고속도로국에서는 1998년 3원에 상기 소음 예측 방법을 개선한 방법인 ‘TNM(Traffic Noise Model)' 을 마련하고 현재 이를 시험적으로 적용하고

있다. 새롭게 개선된 방법은 소음 레벨이 1/3옥타브 밴드로 산정되며, 여러 지형 조건, 공기 흡음, 방음벽의 차음 영향 등의 음향 전달에 대한 최근 연구 결과를 반영하였고, 도로 양측에 설치되는 방음벽의 다중 회절영향에 대해서도 분석이 가능하여 기존 방법보다 정확한 소음 예측 및 방음벽 설계가 가능한 것으로 알려져 있다.

라. 일본의 ASJ RTN

일본음향학회에서는 1974년에 도로교통소음 조사연구위원회를 조직한 후 도로교통소음 예측 방법 개발에 대한 지속적인 연구 조사를 수행하고 있다. 상기 위원회는 1975년에 소음 레벨의 중앙치를 평가량으로 하는 도로교통 소음 예측 방법(ASJ model 1975)을 발표하였으며, 1993년에는 소음 평가량을 국제적으로 일반화하고 있는 등가소음레벨(Leq)로 하고, 일정한 단면의 일반 도로에 적용할 수 있는 교통소음 예측방법(ASJ model 1993)을 발표하였다.

한편, 일본에서 1997년 6월에 환경영향평가법이 법제화되고, 1999년 6월부터 시행에 들어감에 따라 관련 일본 정부기관에서 구체적인 소음계산방법에 대한 검토가 요구될 뿐만 아니라 소음환경기준 평가량이 1998년에 기존의 50% 시간율 소음레벨에서 등가소음레벨로 변경됨에 따라 일반 도로는 물론 도로 주변 지역에 대해 등가소음레벨에 근거한 도로교통소음의 평가 및 예측 방법의 적용이 요구되었다. 이에 일본 도로교통소음 조사 연구위원회에서는 ASJ model 1993의 적용 범위 확대와 예측 정확도의 향상을 도모한 도로교통소음의 예측 계산 모델 ASJ model 1998을 1999년 발표하였다.

이 예측방법에는 일반도로, 도로특수부를 포함한 거의 모든 구조와 형태의 도로를 대상으로 하였으며 교량과 고가도로 주변의 소음예측도 포함하고 있다. 그 후, 계산범위의 확대와 계산 정밀도를 보다 향상시킨 ASJ RTN-model 2003을 2004년에 발표하였다. (Table 7)

Table 7. Main factors of ASJ RTN(Model 2003)

항 목		내 용
소음 평가 물리량		63 Hz에서 4 kHz까지의 옥타브 밴드 또는 50 Hz에서 5 kHz까지의 1/3옥타브밴드에서의 등가소음레벨 Leq및 이의 Overall 레벨
차종구분	4차종 분류	• 승용차 : 정원 10 인 이하의 차량 • 소형화물차 : 배기량 50 cc초과, 전장 4.7m 이하의 차량 • 중형차 : 전장 4.7m를 초과하는 화물차 중 대형차를 제외한 차량 승차정원 11~29 인의 중형 버스 • 대형차 : 총 중량 8 톤 이상 또는 최대 적재량 5톤 이상의 화물차 승차정원 30인 이상의 대형 버스 대형 특수자동차
	2차종 분류	• 소형차 류 : 상기 4차종 분류에서 승용차 + 소형화물차 • 대형차 류 : 상기 4차종 분류에서 중형차 + 대형차
적용속도		• 자동차 전용 및 일반도로의 일정 속도주행구간 : 40~140km/h • 일반 도로의 불규칙한 속도 주행구간 : 10~60km/h • IC 등 가감속 주행 구간 및 정지구간 : 0~80km/h
정확도 보장 예측 범위		도로로부터 수평거리 200m, 높이 12m
표준 기상 조건		바람이 없고, 기온 구배가 심하지 않는 상태
대상도로		• 도로 일반부 - 평탄부 - 성토부 - 절토부 - 고가부 • 도로특수부 - 인터체인부 - 터널 개구부 주변 - 반 지하 도로 - 고가 · 평면도로 병설부 - 복층 고가부
기타 대상 조건		• 차량주행상태 - 정상주행상태 - 비정상주행상태 • 포장의 종류 - 밀입도 아스팔트포장 - 배수성(흡음성) 아스팔트포장

2.3.2 국내의 도로교통소음 예측모델[9-10)]

국내에서 개발된 주요 도로소음 예측 모델은 국립환경연구원에서 발표한 예측 모델과 환경영향평가에 사용되고 있는 HW-NOISE, 한국도로공사에서 개발한 KHTN 등이 있다.

가. 국립환경과학원 모델

국립환경과학원에서는 1989년에 고속도로, 일반도로 및 철도에 대해 교통소음 예측 식을 발표하였다. 고속도로 소음에 적용되는 예측 식은 식(2-9)과 같다.

$$L_{eq} = -7 + 10\log Q + 22\log V$$

$$+\triangle T + \triangle W + \triangle R + \triangle \Theta - \triangle D \quad dB(A) \qquad (2\text{-}9)$$

여기서, Q는 시간당 교통량(vehicles/h), V는 평균 차속(km/h)이며, △T는 대형차 혼입비, 도로구배 및 차량 속도 등에 따른 보정 값으로써 평균차속 56km/h를 기준으로 식(2-10)과 같이 산정한다.

$$V \le 56\,km/h \quad \triangle T = 10\log 1 - F \cdot t + 9.82 F \cdot t (V/105)^{-3.2} \qquad (2\text{-}10)$$

$$V > 56\,km/h \quad \triangle T = 10\log 1 - F \cdot t + 33.7 F \cdot t (V/105)^{-1.2}$$

여기서, F는 구배계수로서 구배 2%이하인 경우 F=1, 구배 2~6%인 경우 F=1.4, 구배 6%이상인 경우에는 F=2의 값을 적용하며, t는 전체 교통량에 대한 대형차 비율을 나타내는 대형차 혼입비이고 △W는 노폭 보정 값이다.

국립환경과학원의 소음 예측 식은 Table 8의 인자를 이용하여 비교적 도로 및 지형·지물이 간단한 경우에는 용이하게 적용할 수 있다는 장점이 있으나, 차종 구분이 단순하고, 절토부, 성토부, 구조물부 등의 다양한 도로 환경 등을 정확하게 반영할 수 없을 뿐만 아니라 방음벽을 포함한 지형 · 지물에 의한 다중 회절 및 반사 효과와 공기 흡음 효과, 기상 효과 등이 고려되지 않았다.

Table 8. Main factors of expressway noise prediction for national institute of environmental research

항　　목	내　　용
소음 평가 물리량	총합 등가소음레벨 Leq
차종 구분	• 소형차 : 승객 및 화물 포함 차량 총중량 2.5톤 이하 • 대형차 : 승객 및 화물 포함 차량 총중량 2.5톤 이상
적용 속도 범위	별도 구분 없음
기본 차량 소음 예측 인자	• 시간당 차량 통행량 • 차량 평균 주행 속도 • 대형차 혼입비 • 차량 소음 발생 위치 • 도로 구배
소음 전달기구 고려사항	• 거리 감쇠(지면 흡음 조건과 비 흡음 조건으로 구분) • 노견 거리 • 도로와 수음점간의 각도 • 회절 감쇠 (전파 경로 차에 따라 6 단계로 구분, 최대 회절효과 :22dB)

나. HW-NOISE

국내 고속도로의 환경영향평가에 사용되는 소음 예측 프로그램 HW-NOISE의 예측식은 식(2-11)과 같고, Fig. 19에 Flow chart를 나타내었다.

$$L_{eq} = PWL + 10\log_{10}\frac{1}{2ds} + \triangle L_i + \alpha d + \alpha i \, dB(A) \tag{2-11}$$

d ; 음원(도로단)에서 수음점(소음 예측 대상) 까지의 직선거리(m)

△Li ; 종단 구배의 보정값

αi ; 지표 조건 등 여러 가지 원인에 의한 보정 값

s ; 평균 차두 간격(s = 1000V/N)

V ; 평균차속(km/h)

N ; 평균 교통량(대/h), 주간 및 야간의 첨두 시간 교통량

PWL은 음원(도로단)에서의 차량 운행에 따른 소음크기이며 식(2-12)와 같다.

$$PWL = 72.4 + 20\log V + 10\log(a_1 + 3.8a_2) \tag{2-12}$$

V ; 평균 차속(km/h)

a_1, a_2 ; 각각 대형차 및 소형차의 혼입율 (소형차 및 15인승 이하 소형버스와 중 소형트럭(5톤 미만)은 소형차로 분류하고, 그 이외는 대형차로 적용)

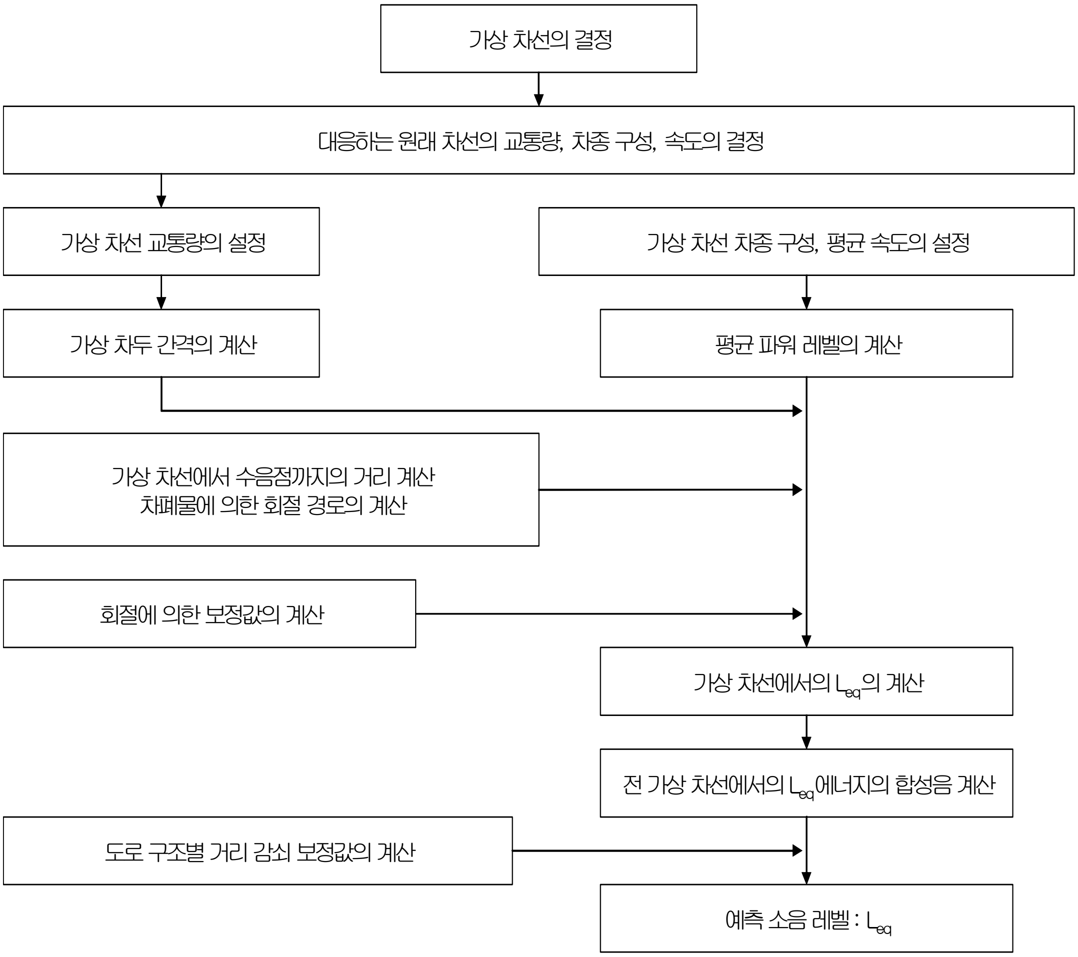


Fig. 19. Flow chart of calculation in HW-NOISE.

다. 한국도로공사 KHTN

한국도로공사에서는 국내의 지형 및 교통특성을 고려하여 고속도로 교통소음에 대한 예측모델인 KHTN(Korea highway traffic noise)를 개발하여 도로교통기술원의 홈페이지 상에서 지상에서 일반에게 공개하고 있다. KHTN은 ASJ model 1998에 의한 음향파워 산정 식을 국내 고속도로에서의 실측을 통해 보정하고 ISO 9613에 의한 전파 특성 계산 방법을 적용하고 있다.

Table 9에 KHTN의 차량별 음향파워레벨을 나타내었다.

Table 9. Sound power level of each vehicle on the steady-driving-state of KHTN

[V : 차량 평균주행속도(km/h)]

포장종류	아스팔트		콘크리트	
	4차종 분류	2차종 분류	4차종 분류	2차종 분류
대형차	$56.22+30\log_{10}V$	$55.02+30\log_{10}V$	$58.86+30\log_{10}V$	$57.66+30\log_{10}V$
중형차	$53.22+30\log_{10}V$		$55.96+30\log_{10}V$	
소형 화물차	$49.42+30\log_{10}V$	$48.52+30\log_{10}V$	$52.06+30\log_{10}V$	$51.16+30\log_{10}V$
승용차	$48.22+30\log_{10}V$		$50.86+30\log_{10}V$	

일본의 경우에는 일본음향학회를 중심으로 조직된 도로교통소음 조사연구위원회에 의해 지속적으로 예측모델이 수정 · 보완되고 있어 그 발전이 두드러진다고 볼 수 있다. 국내에서도 이러한 연구가 진행되지 않은 것은 아니지만, 보다 우수한 모델의 개발을 위해서는 지금보다 조직적이고 체계적인 노력과 지원이 필요하다고 생각한다.

2.3.3 국내 도로교통소음 연구개발 동향

가. 연구개발 동향[10)]

현재 사용되고 있는 교통소음 예측모델은 도로변 수많은 환경적 요인으로 인한 신뢰성 저하 및 환경영향평가 혹은 도시계획 시 많은 문제점이 제기되고 있다. 교통소음 예측모델의 환경적요인은 도로 폭, 노면성상, 노면포장상태, 도로구배 등과 같은 도로특성, 자동차속도, 차종구성, 화물적재량, 교통량 등과 같은 교통특성, 도로변의 건물배치, 건물의 폭, 건물높이, 가로수 식재상태 등과 같은 도로변 특성, 온도, 습도, 바람등과 같은 기상특성, 지표면의 상태에 따른 지표면 특성 등이 있다.

이러한 각기 다른 여러 요인을 갖고 있기 때문에 교통소음 예측모델을 일률적으로 적용할 수 없으며, 예측모델의 개발 또한 어려운 실정이다. 따라서 기존의 예측모델을 적용하는데 있어서 실측데이터를 통한 소음보정이 필요하며, 이러한 소음보정은 보다 신뢰성 있는 소음예측을 가능하게 할 수 있다.

도로교통소음 예측방법에는 음원요소. 전파요소, 수음요소의 3가지 사항에 대한 계산이 진행되며 음원특성, 전파특성의 방정식, 이론과 실제를 일치시키기 위한 보정방법 등이 제시되어 있다. 따라서 도로교통소음예측모형들의 유형은 그 성질상 대별하여 본다면, 경험적 모델, 음향학적 해석모델, 확률론적 모델과 축소모형실험에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 경험적인 모델에는 국립환경과학원식(‘87년 식, ’99년 식), Johnson/Sanders model, Hajek model, 해석적 모델에는 일본 음향학회실, 미연방도로국(FHWA) 소음예측모델 등이 있다.

경험적 모델에 의한 방법은 실제도로에서 소음레벨을 실측하고 동시에 교통조건(교통량, 주행속도, 차종구성 등), 도로조건(노면상황, 횡단형상 등), 전방조건(음원으로부터의 거리, 지표면 상대, 기상상태 등) 가운데 소음레벨에 관계된다고 생각할 수 있는 몇 가지 요인의 물리량을 계측하여 이들 요인의 물리량과 소음레벨사이의 관계식을 통계처리에 의하여 구하며, 계산도 용이하지만 일반성이 부족하기 때문에 각종 조건마다 적용할 수 있는 예측 식을 얻기 위해서는 각각의 조건마다

통계적으로 유의한 실측자료를 수집할 필요가 있다.

음향학적 해석모델에 의한 방법은 이론식에 기초한 계산방법으로 소음원의 음향 방사 특성이 음 전달 경로가 단순한 경우에는 유효하다. 그러나 실제로는 소음원이나 전파과정에 개입하는 요소가 단순하지 않은 경우가 많으며, 기존의 이론이나 수식에 의해 수 계산을 할 경우에 환경조건을 단순하게 정리하거나 근사적인 조건으로 바꾸어 계산하기 때문에 많은 오차를 발생시킬 수 있다.

또한, 도로 및 교통조건이 단순한 경우, 소음레벨의 평균치를 구하는 데에 편하지만 각종 조건마다 통계적으로 유의한 실측자료를 필요로 한다는 문제점이 있고, 도로상황이 복잡한 경우, 예측치를 얻기 어렵다는 결점을 갖고 있다.

확률론 모델에 의한 방법은, 해석모델이 현상을 확정적으로 취급하고 있는데 비해 불확정적으로 취급하고 있다. 예를 들면, 음원인 자동차의 음향파워의 크기나 배치를 들 수 있다. 음향파워에 관해서는 음원의 파워레벨이 어떤 일정 치에 대해서 확률분포하고 있다고 생각하지만, 파워에 변동이 있는 경우의 자동차 배치에 관해서는 차두 간격이 지수분포 등으로 되어 있는 모델이 발표되어 있다. 이 방법은 조사대상과 예측대상이 동등 또는 그것에 가까운 조건이라면 정확도가 높은 예측식을 얻을 수 있는 반면 일반성이 부족하다.

축소모형실험에 의한 방법은 음원의 설정, 경계조건의 설정 등이 합리적이라면 정확도가 높은 예측 식을 얻을 수 있다. 그러나 이 방법은 조건설정 때문에 막대한 설비와 비용이 필요하므로 비교적 소규모적인 것이나 복잡한 공간에 대해 사용하게 된다.

따라서 도로교통소음에 대한 영향을 사전에 예측하고 악영향에 대한 소음방지대책을 수립하기 위하여 도로교통소음에 대한 예측 모형에 대한 연구가 필요하다. 한편, 국내 도로교통소음 현황 및 예측식 관련연구에 대하여 정리하면 Table 10과 같다.

Table 10. Study on the Road traffic noise status and prediction in korea

내 용	특 징
아파트단지에서 국립환경과학원 도로교통소음 예측식('99)에 대한 통계학적 평가 및 검증	• NIER('99)에 대한 지면 1.5m부터 수음점 15층까지 실측치와 예측치 검증 • 단지 내에서 지면 1.5m만 적용가능, 1.5m 이상 적용 불가능 • 단지 및 간선도로에 적용하기 무리 • 새로운 개념의 예측 식 개발이 필요
Leq의 실측치값을 이용한 도로교통소음 환경기준 설정에 관한 연구	• 주야간 교통량에 따른 소음도 차이를 분석, 변동 폭 야간이 큼 • 차량 속도가 낮을수록 등가소음레벨 값의 변동 폭이 작음 • 대형차 혼입률과 도로교통소음간의 상관관계 없음 • 국립환경과학원식(NIER)이용 지면에서 주야간 24시간 측정결과 주간이 야간보다 실측값과 예측치 값이 오차범위가 작음 • 단 적절한 측정지점 및 측정횟수가 부족함
개발 예정지역 도로교통소음 음향파워레벨 산정과 응용에 관한 연구	• 예측식들(국립환경과학원식(NIER),CRTN식,ASJ-model식 및 E.D.방법과 VCT방법)로 구한 음향파워레벨과 실측값으로 구한 음향파워레벨의 차는 ±2dB(A) 미만으로 비교적 정확 • 단 지면에서 측정된 데이터에 관하여 검증, 지면 1.5m 이상 높이에서 검증 필요
도로교통소음 현황과 예측	• 국립환경과학원 '87년도 예측식(NIER)을 보완한 식 개발 • 도로특성 평가 : 주간 및 야간 교통소음 환경기준 초과 • 거리 2배 멀어질 때 평균소음도 3.5dB(선음원 감쇠 효과) • 간선도로 서울시 다른 지역보다 통행량 많아 평균 3.2dB 높음 • 고속도로 교통소음이 간선도로 교통소음 보다 평균 4.4dB 높음 • 도로변 공동주택 수직고도별 소음도는 주변 환경에 따라 전파양상 차이를 보이지만 도로와의 이격거리가 멀수록 최고 소음도를 나타내는 층이 높아지는 경향 • 보완된 식에 대한 적절한 설명 부족 및 식에 대한 검증 없음

continued

내 용	특 징
도로교통소음 저감을 위한 방음벽의 문제점 및 효과	• 국립환경과학원 '87년도 예측식(NIER)을 보완한 식 개발 • 도로특성 평가 : 주간 및 야간 교통소음 환경기준 초과 • 거리 2배 멀어질 때 평균소음도 3.5dB(선음원 감쇠효과) • 간선도로 서울시 다른 지역보다 통행량 많아 평균 3.2dB 높음 • 고속도로>간선도로 보다 평균 4.4dB높음, 도로변 공동주택 수직고도별 소음도는 주변 환경에 따라 전파양상 차이를 보이지만 도로와의 이격거리가 멀수록 최고 소음도를 나타내는 층이 높아지는 경향 • 보완된 식에 대한 적절한 설명 부족 및 식에 대한 검증 없음
공동주택단지의 도로소음 저감대책연구	• 공동주택단지의 도로소음 저감방안 연구를 제시한 결과 도로변에 위치한 공동주택 층별 소음도를 측정하여 1,2층은 방음벽 효과가 비교적 컸고 5층 정도 높이에서는 방음벽 효과가 거의 없는 것으로 나타남 • 또한 3층 또는 5층 이상에서의 소음도는 환경정책기준법과 주택건설기준 등에 관한 규정이 소음기준인 65dB(A)을 초과한 결과를 제시
아파트단지 교통소음 측정방안에 관한 연구 -강북 강변도로 사례를 중심으로-	• 교통량과 차량속도 관계 규명 : 차량속도가 교통량보다 기여도가 큼 • 아파트 단지 내 도로교통소음은 평면적 및 입체적으로 영향 • 한 지역을 사례로 분석한 결과로 다양한 지역 및 측정횟수를 통한 측정 및 분석이 필요
고속도로 교통소음 예측 -자동차 주행소음의 음향파워레벨 평가-	• 고속도로 교통소음 예측 및 자동차 주행소음의 음팡파워레벨에 대한 평가를 수행 • 주로 일본음향학회 제시한 음향 파워 평가식과 비교하여 아스팔트 포장에 따른 차이를 평가 • 국내에서 운행되고 있는 차량에 대한 정상, 단속 및 가감속 주행상태 등을 반영한 속도별 음향파워레벨의 필요성을 제시
도로교통소음 예측식 개발	• 방음벽 유무에 따라 4개의 실험값을 방음벽 유무, 이격거리 및 층별 높이에 따른 예측 값과 비교하여 2~4dB 정도의 신뢰할 수 있는 예측식을 산정 • 그 측정지역의 샘플이 상당히 낮고 구체적으로 어떤 교통량, 차속 및 이격거리등 여러 가지 환경소음에 대한 정보 또한 낮아 예측식의 보안 필요

나. 연구개발 방향 및 기대효과[10)]

외국에서는 여러 가지 유형의 도로 교통소음 예측 식을 개발함은 물론 예측 식에 대한 검증 결과를 보고하여 발전시켜 나가고 있는 실정이다. 하지만 국내에서는 현재까지 수음점을 대상으로 1.5m 이상 높이(수직분포 음압레벨)에서 아파트 층별로 동시에 측정하여 예측 식에 대한 평가 및 검증된 연구는 단지 내 도로에서 15층 까지만 예측하는 식이 있는 실정이다.

또한, 국립환경과학원식(NIER('99))을 이용하여 단지 및 간선도로에서 실측치와 예측 식에 대한 검증 결과 국립환경과학원식(NIER('99))은 도로 단으로부터 10m 이내는 허용오차 범위 내에 잘 맞지만 그 이상의 이격 거리 시 허용오차가 증가되고 또한 간선도로 10개 지점을 대상으로 측정 분석하여 아파트 층별로 수직음압분포(지면 10m 이상 높이)를 평가한 결과 평균 Leq 1h에 대한 표준편차가 ±3dB 이상으로 나타나 상당히 신뢰성에 문제가 많은 것으로 조사되었다.

즉, 현재 국립환경과학원식(NIER('99))으로 예측한 값을 이용하여 간선도로 도로단에서 10m 이상 떨어진 지역의 도로로부터 이격거리 설정, 방음벽 수립 및 층고조정 등이 이루어지고 있는 상황이고 향후 아파트 완공 후 고층에 거주하는 주민들이 소음에 노출될 것으로 판단된다.

따라서 도로특성에 맞는 예측모델 개발을 통하여 신도시 친환경 주거단지조성을 위한 소음저감 대책방안을 수립하고 도시계획 및 주거단지계획의 기본설계 단계에서부터 적극적으로 대처할 수 있어야 한다. 또한 소음 영향을 고려한 주거단지내의 토지이용방안이나 소음원의 발생 및 전달 경로를 고려한 건물배치방안, 주변 환경을 최대한 보호하는 방법을 제시할 수 있도록 소음환경 평가 지표개발도 필요하다.

그리고 도로교통소음 예측식 연구개발을 통하여 활용할 내용으로는 국내 주요 간선도로 및 단지 내 도로의 소음전파특성을 파악(차종분류에 따른 소음전파 특성을 파악함으로써 향후 도로개선을 위한 참고자료 활용)하여, 새로운 도로소음 측정 및 분석기법을 제공하고, 수음점 고층까지 도로소음 예측이 가능하도록 도시계획 및 주거단지 계획 시 토지이용방안 등에 의사결정권을 부여하며, 주요 간선 및 단지도로 3차원 영상의 소음도 분포지도를 제시하여 신도시 개발 시 개발사업자 혹

은 영향평가 관리자에게 효율적인 환경소음 저감대책을 수립할 수 있도록 의사결정 리스크 관리 모델을 개발하여야 할 것으로 판단된다.

정책개발 및 제도개선 및 기대효과로는 도로변에 아파트 등 공동주택 건설시 '주택건설기준 등에 관한 규정' 제9조(소음으로부터 보호)와 '공동주택의 소음측정기준'(건설교통부고시 제463호,'86.10.15)에 따라 1층의 실측소음도와 5층의 예측 소음도를 합하여 평균한 소음도를 적용하여 방음대책을 세우고 있어 고층 거주자 소음노출 피해가 심각한 점을 고려하여 택지개발 사업 시, 공동주택 수립 시 도로부터 이격거리, 방음벽 높이, 층고조정 등 환경소음영향평가 수립이 체계적인 원인분석 없이 주관적인 지표로 활용되고 있으므로 검증된 소음 예측 식을 토대로 소음 발생원과 소음 거리 영향인자를 체계적이고 과학적으로 분석하여 최적의 환경소음 저감 지표를 제시하여야 할 것으로 판단된다.

2.3.4 친환경적인 주택건설 요건과 전망

친환경적인 주거단지는 환경문제를 근본적으로 해결하고, 예방하고자 하는 목적하에 모든 개발행위와 경제활동에서 환경을 중요하게 배려하여 환경에 미치는 악영향을 최소화시키자는 개념으로 사용되는 주거단지를 말한다. 미시적으로는 자연과 동화되어 건강하고 쾌적한 생활을 하고, 중시적으로는 단지 주변 자연환경과 친밀하고 아름다운 조화를 이루고, 거시적으로는 지구환경의 보전에 이르기까지 직접적, 간접적으로 우리들이 둘러싸여 생활하는 환경과 친화하는 주택의 이미지이다.

이러한 친환경적인 건축은 에너지 파동이 있었던 1970년대에 유럽, 미국 등지에서 연구가 본격적으로 시작되었다. 독일어권에서는 생태건축으로 명칭 되며, 일본에서는 환경공생건축으로, 그리고 영국에서는 녹색건축 또는 기후순응 형 건축으로 명칭 되고 있으나, 유사한 목적을 지향하면서 실현방안에서 미세한 차이를 두고 개념들이 발전해 왔다. 이러한 개념들을 바탕으로 친환경적인 주거의 목적을 요약하면 다음과 같이 정리될 수 있다.

첫째, 자연 환경의 이용과 조화, 그리고 생태건축개념을 통한 거주자의 건강한 생활을 영위할 수 있는 환경 제공, 둘째, 자연 자원의 경제적 이용 및 주민 참여와 동등한 배분 및 환경 보호에 목표를 두는 지속가능한 개발이며, 셋째, 지구환경의 보전 및 주변 한경과의 관계를 고려하고 거주자의 건강과 쾌적성을 중심으로 하는 환경공생건축을 수행하는 것으로 볼 수 있다.

친환경적인 주거 개념이 우리나라에 도입되기 시작한 것은 1992년 UN환경회의에서 공식적으로 주창한 지속가능한 개발 개념이 건축분야 뿐만 아니라 사회 전반적인 정책에 도입되기 시작하면서부터이다. 더욱이 대량 공급 위주의 주거단지 개발에서 생활의 질적 향상을 요구하는 주거환경에 대한 일반인들의 요구와 맞물려 주거환경 계획의 기본 개념으로 자리 잡기 시작하였다.

이후 환경정책학회 및 건설관련 연구소를 비롯하여 국내 학자들의 다양한 연구를 거쳐 2000년에 들어 친환경 인증기준이 마련되면서 본격적인 친환경주택에 대한 인지도가 높아지고 있는 현실이다.

정부(건설교통부, 환경부)에서 시행하고 있는 친환경건축물 인증제도의 세부시행지침에서는 "친환경건축물"을 지속가능한 개발의 실현을 목표로 인간과 자연이 서로 친화하며 공생할 수 잇도록 계획·설계되고 에너지와 자원 절약 등을 통하여 환경오염부하를 최소화함으로써 쾌적하고 건강한 거주환경을 실현한 건축물이라고 정의하고 있다. 이에 따라 현재 시행되고 있는 인증제도에서는 친환경적인 공동주택을 평가하기 위하여 4개 평가부문(토지이용 및 교통, 에너지·자원 및 환경부하, 생태환경, 실내환경)에 총 44개의 평가지표들을 선정하여 운영하고 있다.

따라서 국내외 환경성인증제도의 현황과 친환경적인 주택을 건설함에 있어 4개의 평가부문 중 실내 환경에 초점을 맞춰 열 환경, 음 환경, 빛 환경, 공기환경 요건 중 음 환경에 대해 살펴보고, 향후 친환경 주택건설을 위한 개선방향 및 전망에 대해 다음과 같이 나타내었다.

가. 음 환경

환경부 중앙환경분쟁조정위원회의 한경분쟁 조정현황에 따르면 친화경적인 주택건설에 있어서 소음 진동문제가 가장 크게 나타나고 있음을 알 수 있고, 2003년 10월 현재 소음관련 환경분쟁조정 처리 건수는 968건에 이르고 있다.

이러한 원인은 국내 주거환경이 단독주택의 형태에서 공동주택의 형태로 변화되고 있고, 공동주택의 고층화에 따른 구조계획의 합리화, 원가절감 등으로 인해 구조체가 경량화 되고 물량위주의 시공으로 인해 층간 또는 세대 간의 차음성능이 저하되고 이로 인해 소음관련 민원 및 분쟁사례가 급증하였다고 볼 수 있다. 따라서 건축물에서의 음 환경에 대한 적극적인 관심이 필요하다 할 것이다.

친환경 주택의 기술을 일반적으로 에너지절약기술, 공해저감기술, 쾌적 환경기술 및 자원절약기술로 나눌 수 있다고 하면 음 환경 관련기술은 주로 쾌적 환경기술이라는 영역에서 다루어 질 수 있을 것이며, 친환경 주택건설의 실현을 위해 음 환경에서 고려되어야 하는 요소기술과 법적 규제기준, 친환경건축물 인증제도에서 다루고 있는 음 환경 분야의 평가기준은 다음과 같다.

나. 친환경 주택건설의 음 환경 설계

주거용 건물은 식사, 취침, 휴식 등 기본적 인간생활인 의식주를 유지하는 기능뿐만 아니라 지적생산 활동을 하는 공간이다. 특히 공동주택은 개성이 다른 각양의 사람들이 주야를 불문하고 벽이나 바닥 하나를 사이에 두고 생활하고 있어 다양한 활동패턴에 대응할 수 있도록 고도의 음향공간을 조성할 필요가 있다.

(1) 실내소음레벨

실내소음의 경우 국내에 법적인 규제기준이 마련되어 있지 않다. 따라서 현재 실내소음에 대한 기준은 국외에서 실내소음에 관한 연구를 통해 마련된 기준을 허용권고치로 사용되고 있다.

외부소음의 정도 등에 따라 차이가 있을 수 있으나, 일반적으로 NC(Noise Criteria) 25~35 또는 소음레벨 30~35 dB(A)가 권장되고 있다.

(2) 세대 경계벽의 차음성능

주택건설기준 등에 관한 규정 제14조(세대 간 경계 벽 등) 및 건설교통부고시 제1995-191호(벽체의 차음구조 지정기준)에서 법적인 최소한도를 규정하고 있으며, 음향투과손실로 30 dB(125 Hz), 45 dB(500 Hz), 55 dB(2000 Hz)을 기준으로 적용하고 있다.

일반적으로 국내 공동주택은 벽식 구조를 채택하고 있어 세대 간 경계 벽은 보통 두께 150~200㎜의 철근콘크리트구조로 이루어져 있기 때문에 기본적으로 공기전달 음에 대해서는 차음성능 상 문제가 되는 경우는 거의 없다. 그러나 최근 공급이 활성화되고 있는 철골구조공법을 적용한 초고층 주상복합주택에서는 경량화, 가변성 부여 등의 이유로 건식공법으로 세대 간 경계 벽을 시공하는 사례가 많다. 이 경우 차음성능은 벽식 구조에서 적용되는 철근콘크리트구조에 비해 상대적으로 낮아질 우려가 크기 때문에 세밀한 검토가 필요하다.

(3) 경계바닥의 차음성능

주택건설기준 등에 관한 규정(제 14조 3항)에서 층간 바닥충격음 차단성능 기준을 신설하였으며, 한국산업규격에서 규정하는 측정방법(KS F 2810-1, 2810-2) 및 평가방법(KS F 2863-1, 2863-2)에 따라 경량충격음레벨은 58dB 이하, 중량충격음레벨은 50dB 이하가 되도록 하거나 건설교통부장관이 지정하는 표준바닥구조로 하도록 규정하고 있다. 경량충격음은 2004년 4월 23일부터 적용되었으며, 중량충격음은 2005년 7월 1일부터 적용될 예정이다.

층간소음 저감을 위해 최근 주택공급업체에서는 콘크리트 슬래브와 온돌 구성층 사이에 절연재(완충재)를 시공하는 사례가 많아지고 있으나 재료의 특성에 따라 저감효과가 매우 다양하게 나타나므로 절연재 시공만으로 층간소음에 대한 차단성능을 충분히 확보할 수 있다고 판단하는 데는 무리가 있다. 따라서 바닥마감재로부터 슬래브 하부의 이중천정에 이르는 5~7개 바닥구성 층의 차음 특성을 파악하여 시스템으로 저감대책을 수립 적용하는 것이 바람직하다.

(4) 건물외피(창호, 외벽)의 차음성능

외부소음 유입을 차단하기 위한 건축적 수법으로서 건물외피의 차음성능에 대해서는 법적인 규제기준은 없으나, 상기 실내소음레벨 목표를 만족하기 위해 필요한 차음량을 산정하여 적용할 수 있다. 따라서 건축물이 위치한 부지의 소음도에 따라서 필요 차음량이 달라진다.

(5) 설비소음

현재 국내 설비소음 관련법적기준은 없지만 급배수 소음기준에 대한 법적 기준(40 dB(A)이하) 마련을 검토 중이다.

생활의 편리성을 제공하기 위해 건물에 설치되는 각종 설비기기는 소음을 유발하는 원인이 되는 경우가 많아 음 환경의 측면에서는 오히려 쾌적성을 저해하는 요소가 되므로 설계 시 유의할 필요가 있다.

다. 친환경건축물 인증제도의 음 환경 평가기준

친환경 주택을 장려하고 최적의 설계방안을 모색하고자 하는 가이드라인으로서 선진외국의 여러 나라에서는 건물의 환경성능 인증 제도를 만들어 시행하여 왔다.

1991년 영국의 'BREEAM'을 시작으로 캐나다의 ' GBTool', 미국의 'LEED', 일본의 '환경공생주택' 등이 그 대표적인 것이다. 이중 'BREEAM'에서는 지역 환경 및 실내 환경 부문에서 소음을 평가 항목으로 고려하고 있으며, 배점은 총 41점 중 2점을 적용하고 있다. 또한 ' GBTool(ver 1.57)'에서는 실내 환경부문내에 소음을 30%의 가중치를 두고 평가에 적용하고 있다.

우리나라는 대한주택공사, 한국에너지기술연구원, 한국건설기술연구원, 한국능률협회인원, 개한건축학회 등에서 환경성능 인증기준에 대한 연구를 수행하여 평가항목 및 기준을 구체화하고 있다. 국내 대표적인 환경성능 인증제도로서는 건설교통부와 환경부가 공동으로 2001년 12월에 시행지침을 마련하여 시행하고 있는 '친환경건축물(Green Building)' 인증제도이다.

공동주택 및 주거복합건축물(주거부문)에서는 이웃세대와 분쟁의 주요인이 되고

있는 층간 경계바닥의 차음성능과 세대 간막이 벽의 차음성능에 대해 공통적으로 적용하고 있으나, 평가방법과 배점에서는 다소 차이를 보이고 있다.

특히 평가방법에서 큰 차이를 보이고 잇는데. 이는 두 건축물의 평가기준이 준비되는 시점(공동주택분야 2001년, 주거복합건축물분야 2002년)이 약 1년 정도의 시간적인 차이가 있었고, 그 사이에 국제규격(ISO)과의 부합화에 따라 평가방법에 대한 한국산업규격(KS F 2862 및 KS F 2863, 2002. 6.7)의 개정이 이루어졌기 때문이다.

친환경적인 주택건설을 위해 국내외 친환경건축물 인증제도의 현황, 열 환경, 음 환경, 빛 환경, 공기환경 등 실내 환경에 대한 요건과 법적기준, 친환경 주택 건설의 문제점 및 개선방향 등에 대해 살펴보았다. 향후 친환경적인 주택의 계획을 위해서는 몇 개의 친환경적인 요소들의 적용에 치우치기 보다는 건축물의 전 생애(건설, 운영과 폐기)에 걸쳐 친환경적인 건축물이 될 수 있어야 하며, 해당 단지와 건축물의 친환경성 증진과 함께 주변 지역과 지구차원의 친환경성 제고에도 많은 노력을 기울여야 할 것이다. 또한, 친환경적인 주택건설을 유도하기 위해서는 건축주, 설계자, 건설업자 및 사용자가 환경문제에 대하여 공통적으로 인식할 수 있는 정확한 정보와 인식제고를 위한 방안이 마련되어야 할 것이다.

Ⅲ. 조사 및 측정방법

3.1 조사대상

차종별 주파수 특성은 G시의 8차선 도로에서 교통흐름이 방해받지 않는 상태로 교통신호등과 버스승강장이 없는 곳과 버스승강장과 교통신호등이 있는 곳에 대표 지점을 선정하여 도로교통소음도를 측정하였다.

아파트의 주파수 특성은 신축공사가 마무리되는 B 아파트를 대상으로 측정하였으며, 주변의 도로교통상황은 100 m 이내에 개통된 도로 및 철도가 없는 곳으로 하였으며, RAYNOISE를 이용한 모델링 대상은 위와 동일한 B 아파트를 대상으로 하였다.

3.2 측정방법

소음측정기기는 SC-30(CESVA)을 사용하였으며, Microphone은 Type C-130, Microphone Preamplifier는 PA-13으로 구성되어 있다.

도로교통소음측정은 Microphone을 지면으로부터 1.2m 높이로 소음원 방향으로 유지하였으며, 반사음 등의 영향을 최소화하기 위해 측정자와 주변물체로부터 최소한 50cm이상의 거리를 이격시켜 소음진동 오염공정 시험법의 측정방법에 준하여 측정하였다.

주파수 특성은 1/1 옥타브밴드로 분석하였고, 주파수 보정회로는 소음계의 지시치를 우리들의 청감에 접근시키기 위하여 **소음의 물리량에 감각적인 보정 특성이 가해진 전기 회로로 측정치가 청감과의 대응이 좋다는 A특성과, 주파수 보정이 되지 않은 물리적인 양을 나타내는 Z특성**을 사용하여 비교하여 특성을 분석하였다.

3.2.1 차종별 소음레벨 및 주파수 특성 측정

교통소음측정은 비교적 교통량의 변동이 적다고 판단되는 평일 낮 시간대 14:00 ~ 16:00 시에 교통흐름이 원활한 경우에 측정하였다. 측정 장소는 차량의 주행에 따른 주파수 특성을 관찰하기 위하여 100 m 이내에 큰 사거리와 버스 승강장이 없는 곳과 차량의 출발과 정지 상태에서 주파수 특성을 관찰하기 위하여 버스 승강장과 횡단보도가 있는 곳을 선정하였다.

3.2.2 아파트 내부에 분포된 소음레벨 및 주파수 특성 측정

가. 음의 발생

음의 발생은 음 발생장치 AP600(CESVA)과 무지향성 스피커 BP012(CESVA)를 사용하였고 White noise를 발생시켰다.

음의 발생 위치는 지면에서 1m, 아파트까지의 거리는 30 m 이고, Fig. 20에 나타내었다.

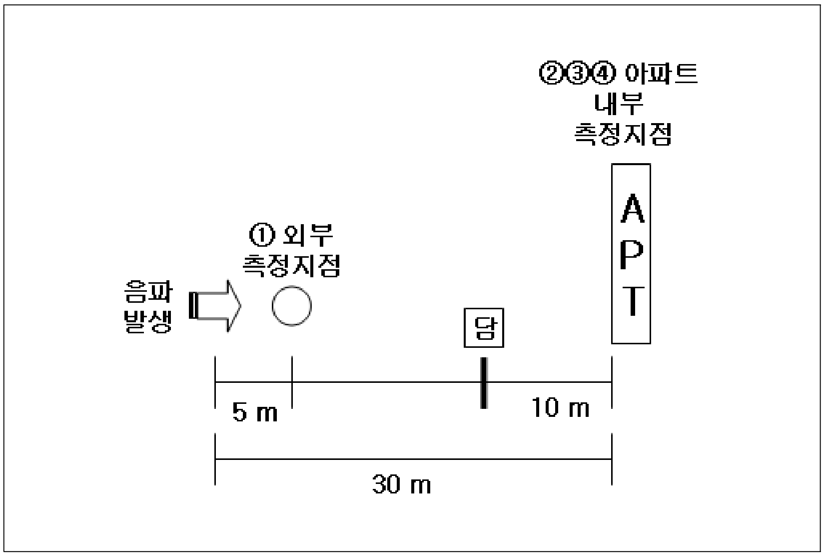


Fig. 20. Measuring status of apartment.

발생된 음의 특성은 등가소음레벨 82.0 dB(Z), 79.8 dB(A)이며, 평균 주파수별 등가소음레벨 dB(A)값을 Table 11에 나타내었다.

Fig. 20의 음의 발생위치에서 5m 떨어진 외부측정지점에서(①지점) 측정하였고, 아파트 내부 1층과 5층 측정 시 외부측정지점의 5분간 평균 데이터를 A, 아파트 내부 8층 측정 시 외부측정지점에서의 3분간 평균 데이터를 B 그리고 아파트 내부 11층과 14층 측정 시 외부측정지점에서의 5분간 평균 데이터 C로 구분하여 나타내었다.

Table 11. Sound pressure level of occurrence sound

	LZT	LAT	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
A	81.6	79.2	60.9	63.4	72.5	76.3	72.3	71.0	73.0	72.0	72.4	63.7
B	82.1	80.1	59.0	62.7	72.5	76.4	72.8	71.9	73.8	73.1	73.6	64.1
C	82.3	80.2	61.1	63.6	72.6	76.5	73.0	71.9	74.0	73.3	73.5	64.3
average	82.0	79.8	60.3	63.3	72.5	76.4	72.7	71.6	73.6	72.8	73.2	64.0

나. 측정 지점

아파트 층간소음레벨의 측정 장소는 1층, 5층, 8층, 11층 그리고 14층에서 측정하였고, 각 층에서 공간에 따른 측정지점은 3지점(②, ③, 그리고 ④지점)으로 나타내었다.

②지점은 환경부고시에 의한 측정지점으로 아파트 발코니에서 1m 밖의 지점이고 거실 방면이다(Fig. 21). ③지점은 아파트 내부 발코니로서 창문과 거실창의 중간으로 발코니 중앙이고, 거실 방면이다(Fig. 22). ④지점은 아파트 내부 거실의 중앙지점이다(Fig. 23).

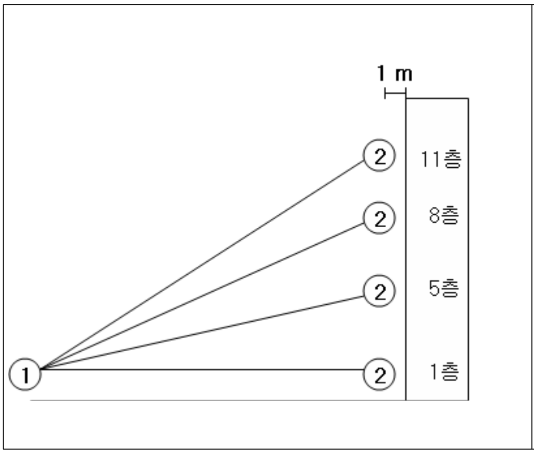


Fig. 21. Measurement site of point ② in apartment.

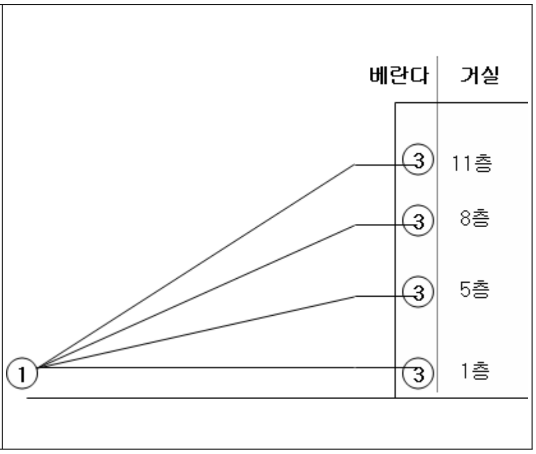


Fig. 22. Measurement site of point ③ in apartment.

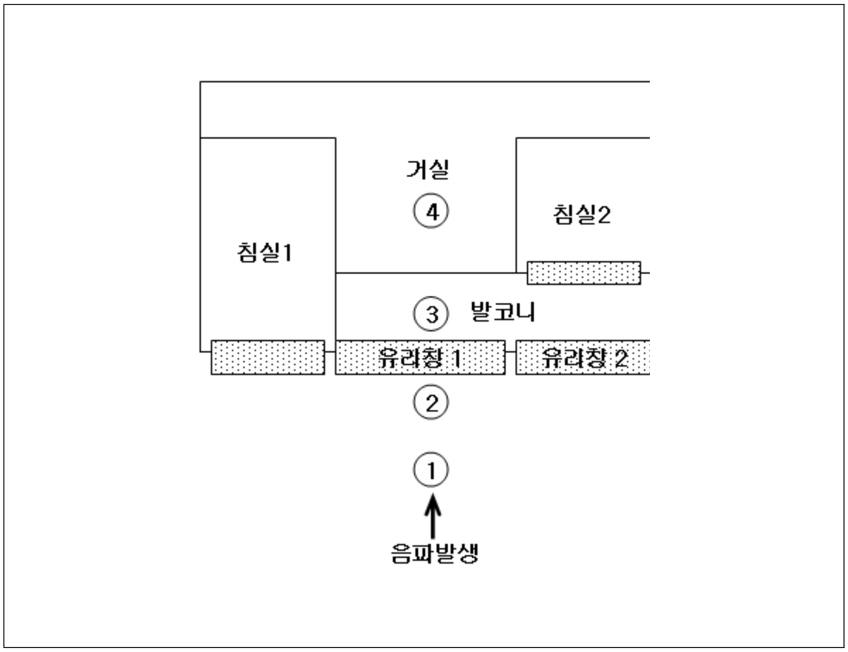


Fig. 23. Measurement site of point ④ in apartment.

3.3 모델링

외부 소음 음압레벨 분포 등 물리적인 지표의 예측 및 계산을 위하여 3차원 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 RAYNOISE R3.1을 이용하였다. 이 프로그램은 기하음향학(Geometrical Acoustics)의 원리를 이용하고 있으며, 이것으로부터 유도된 모든 수학적 모델은 빛의 RAY와 동일한 반사법칙을 추구하여 음파들을 빛으로서 다루고 있고, 음선추적법(Ray Tracing Method, RTM)과 허상투영법(Mirror Image Source Method, MIOR)의 이점들을 조합한 삼각형(Triangle) Beam Method(TBM)를 이용하여 설계단계에서 발생음의 전달 및 영향 등의 외부 소음 음장 특성을 예측·분석 하였다.

3.3.1 모델링 조건

본 연구에서 음원에서 음이 발생하여 아파트에 전달 및 영향을 줄 때 외부인자와 설계조건은 Table 12와 같다. 대기의 조건은 습도 50 %, 음속 343.32 m/s, 온도 20 ℃이고 음원에서 발생하는 음선의 개수는 2000개를 선정하였다. 벽에서의 회절은 있으나 확산은 없는 상태이다.

B 아파트의 3D modeling을 돌리기 위한 개략도는 Fig. 24와 같다. 각 층의 평면도는 Fig. 24의 (a)와 같고 하나의 공간으로 unit[Fig. 24의 (b)]를 만들었으며 아파트의 Wire Mesh는 Fig. 24의 (c)에 나타내었다.

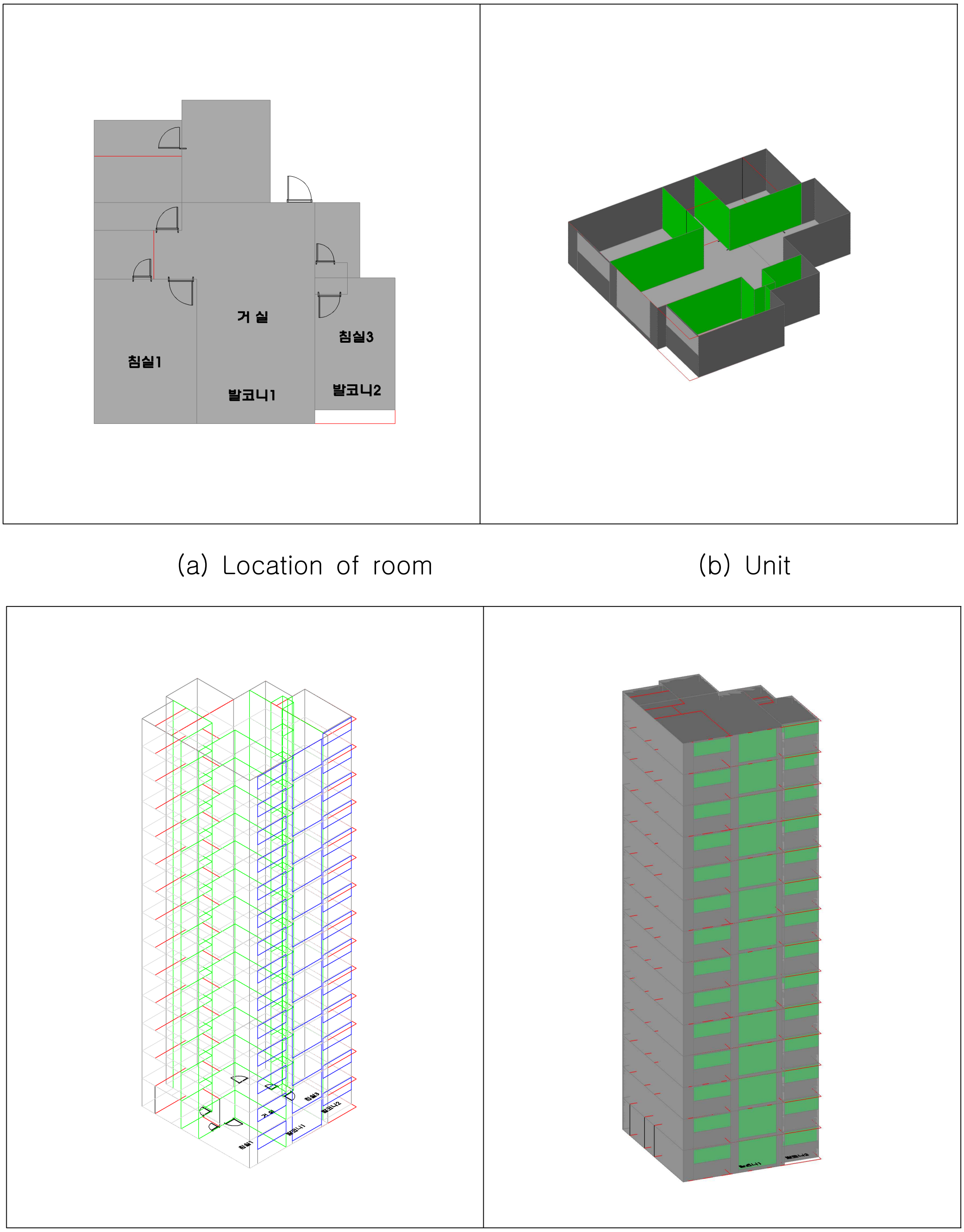
3.3.2 분석지점의 선정

모델링에 이용한 분석지점은 3가지로 구분하여 선정하였다.

첫째, 환경부에서 정하고 있는 소음의 측정방법 중 피해가 우려되는 곳이 2층 이상의 건물인 경우 소음도가 높은 곳에서 소음원 방향으로 창문 출입문 또는 건물벽 밖의 0.5 ~ 1 m 떨어진 지점으로 규정하고 있기 때문에 아파트 외벽 1 m

Table 12. Standards of modelling

Condition			
Temperature	(C)	:	20
Relative Humidity	(%)	:	50
Sound Velocity	(m/s)	:	343.32
Air Absorption	(dB/100m)	:	0, 0, 0.1, 0.1, 0.3, 0.6, 2.1, 7.4
Number of rays		:	2000
Reflection Order		:	20
Dynamic Range		:	90
Time Window		:	2000
Echo Store		:	10
Ray Path Store		:	5
Histogram Interval		:	10
Histogram Length		:	40
Storelevel		:	1
Statistical Tail Correction			
No Wall Diffusion			
Diffraction			
Triangular Beam Method			
MAPPING COMPUTATION			
METHOD		:	TRIANGULAR BEAM TRACING
SOURCE SELECTION		:	1
NUMBER OF RAYS PER SPHERE		:	2000
MIRROR ORDER		:	20
Start	calculation...		
Computing source		:	1
Number of rays to calculate		:	88200



(a) Location of room (b) Unit

(c) Wire Mesh (d) 3D modeling

Fig. 24. Stereograph of B. apartment.

떨어진 지점에 field point를 선정하여 주파수 특성을 파악하였다(Fig. 25).

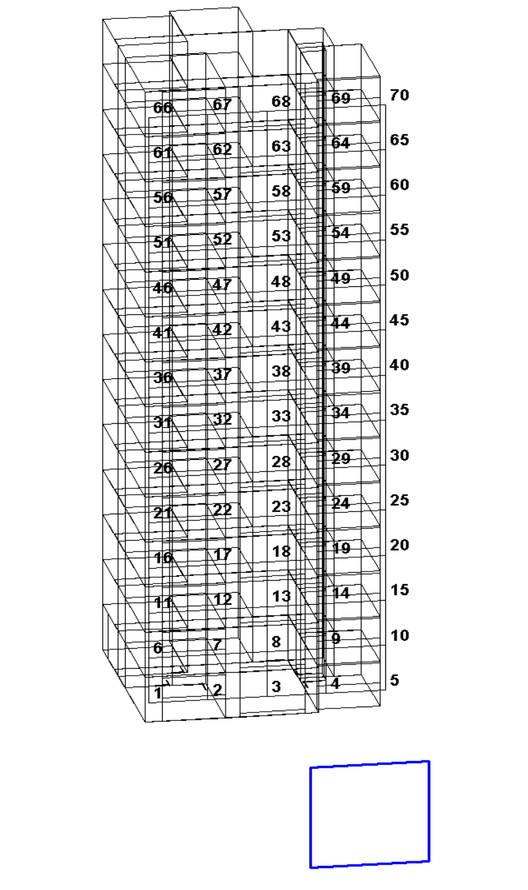


Fig. 25. Field point at 1m from a apartment outer wall.

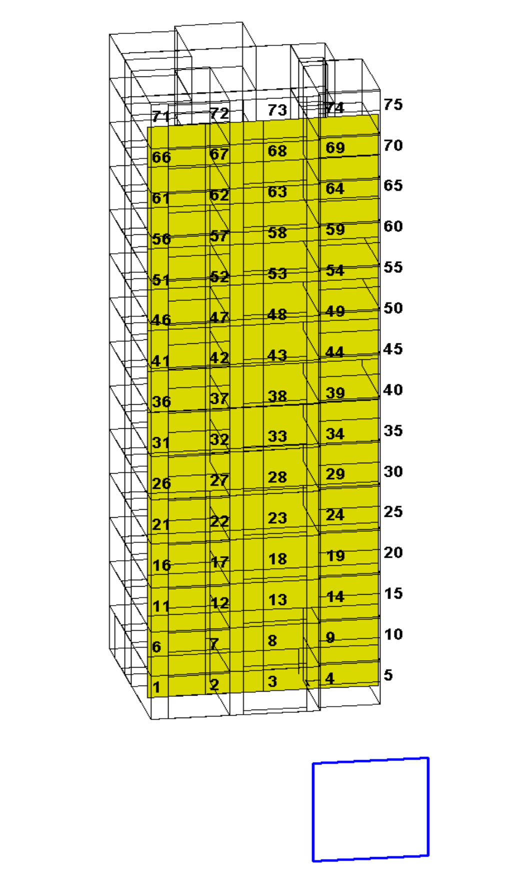


Fig. 26. Field point at balcony a apartment inside.

둘째, 외부 음이 거실까지 전달되는 동안 발코니를 통하여 전달되기 때문에 거실의 유리창은 열린 상태이고 발코니의 유리창도 열린 상태에서 발코니에 field point를 선정하여 주파수 특성을 파악하였다(Fig. 26).

셋째, 외부 음이 거실의 유리창이 열린 상태에서 발코니와 침실의 유리창이 열리고 닫힘에 따른 거실, 침실1 그리고 침실2의 주파수 특성을 파악하기 위하여 거실, 침실1 그리고 침실2에 field point를 선정하였다(Fig. 27).

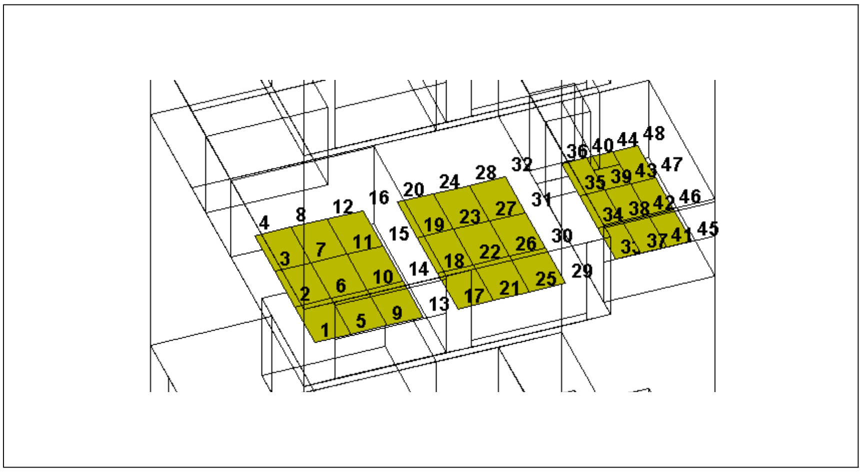


Fig. 27. Field point of indoor a apartment.

Ⅳ. 결과 및 고찰

4.1 차종별 주파수 특성

4.1.1 주행 시 차종별 주파수 특성

간선도로 단으로부터 2m 떨어진 거리에서 소음레벨을 측정하고 1/1 옥타브밴드로 주파수 특성을 분석하였다.

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 특정차량이 측정지점을 통과할 때 주파수 특성을 분석하였고 특정차량의 선정은 버스, 승합차(15인승), 트럭(1 Ton, 11 Ton), 오토바이를 대상으로 하였다.

비교대상인 일반차량은 특정차량을 제외한 경승용차와 승용차이며, 일반차량의 주파수 특성은 위의 각 특정차량이 측정지점을 통과하기 전 특정차량의 음이 영향을 주지 않는 4초 이상 전의 음의 주파수를 측정하였고 특정차량간의 중복 통행은 없었다.

가. 버스의 주파수 특성

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 시내버스가 3차선(보도에서 2번째 차선)을 주행하고 측정지점(6초경과지점 이하 측정지점으로 한다.)을 통과할 때 소음레벨을 측정하고, 주파수 특성을 분석하였는데 버스가 측정지점을 1대 통과할 때와 2대 연속 통과할 때를 구분하여 분석하였다.

버스 1대가 측정지점을 통과할 때 주파수 특성(Z특성)은 Fig. 28, Table 13과 같다.

버스가 측정지점으로 가까워지면서 소음도가 85.2 ~ 87.8 dB(Z)로 높아져서 측정지점을 통과할 때 89.3 dB(Z)로 가장 높았고, 통과 후에도 2초 동안 소음도가 88.9 ~ 87.7 dB(Z)로 높게 측정되었다.

버스가 측정지점을 통과할 때 주파수특성은 Z 특성일 때 버스의 소음도가 63, 125 Hz에서 peak치가 발생하여 각각 84.6, 84.4 dB(Z)로 높게 나타나는 것으로 보아 버스의 소음도는 저주파 영역의 소리가 지배적임을 알 수 있다.

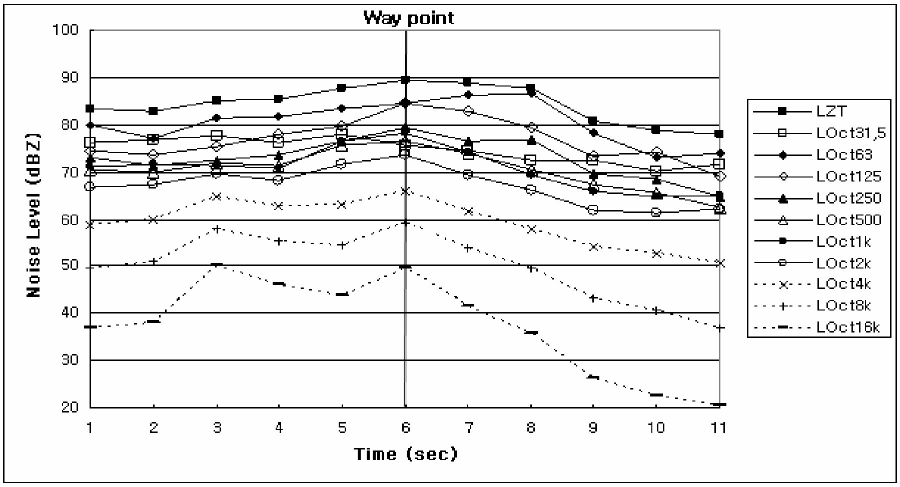


Fig. 28. Frequency characteristics of bus noise(1 bus passage).

Table 13. Frequency characteristics of bus noise(1 bus passage)

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency Time (sec)	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
1	83.5	76.2	79.9	74.5	73.0	70.5	70.9	66.6	58.6	49.6	36.8
2	82.7	76.7	77.2	73.7	71.3	69.9	71.6	67.2	59.9	50.9	38.1
3	85.2	77.5	81.4	75.4	72.5	71.8	71.2	69.5	64.6	57.8	50.0
4	85.3	76.2	81.7	77.8	73.7	71.2	70.8	68.3	62.7	55.4	46.2
5	87.8	77.8	83.4	79.6	76.6	75.5	76.6	71.5	63.0	54.5	43.8
6	89.3	75.5	84.6	84.4	79.4	76.4	78.2	73.6	65.9	59.3	49.6
7	88.9	74.4	86.2	82.7	76.6	74.0	74.1	69.2	61.6	53.8	41.4
8	87.7	72.6	86.4	79.3	76.8	70.6	69.4	66.2	57.9	49.5	35.7
9	80.9	72.6	78.1	73.3	69.5	67.2	66.0	61.8	54.0	43.1	26.3
10	78.7	70.1	73.1	74.1	68.6	65.7	64.8	61.4	52.8	40.7	22.6
11	77.9	71.6	73.9	69.1	64.8	62.3	65.0	62.2	50.7	37.0	20.7

강 등[2)]도 가속 및 정상주행소음을 연구한 도로교통소음(II)에서 중량자동차 중 대표적으로 45인승 버스의 주행소음 주파수 특성이 50, 70 km/h 속도의 경우 1 KHz에서 각각 74.3, 76.4 dB(Z)의 가장 높은 소음을 배출한 것으로 보고되었다.

일반차량과 버스의 주행 시 소음도와 주파수 특성을 비교하면 Fig. 29, Table 14와 같다. 일반차량의 소음도는 버스가 측정지점을 통과하기 전 버스의 교통소음이 영향을 주지 않는 1초와 2초경과 시의 도로교통소음을 측정하였고, 특정차량간의 중복 통행은 없었다.

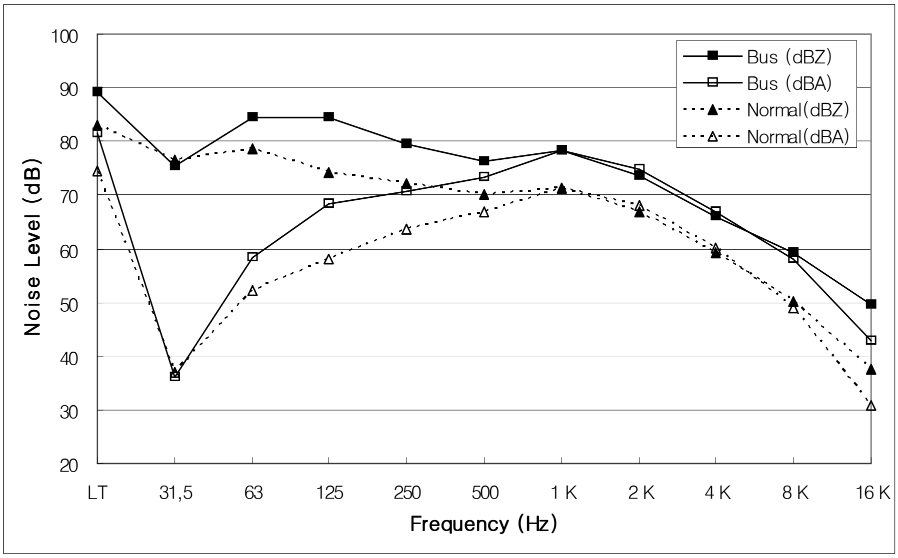


Fig. 29. Frequency characteristics of bus and normal vehicles noise.

Table 14. Frequency characteristics of bus and normal vehicles noise

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Vehicle	LT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
Bus (dBZ)	89.3	75.5	84.6	84.4	79.4	76.4	78.2	73.6	65.9	59.3	49.6
Bus (dBA)	81.4	36.1	58.4	68.3	70.8	73.2	78.2	74.8	66.9	58.2	43.0
Normal(dBZ)	83.1	76.5	78.6	74.1	72.2	70.2	71.3	66.9	59.3	50.3	37.5
Normal(dBA)	74.5	37.1	52.4	58.0	63.6	67.0	71.3	68.1	60.3	49.2	30.9

주파수특성은 Z 특성일 때 버스와 일반차량의 소음도는 31.5, 63 Hz에서 제1의 peak치가 발생하여 각각 84.6, 78.6 dB(Z)로 높게 나타나 저주파 영역의 소리가

지배적임을 알 수 있고, A 특성일 때는 주파수가 높아질수록 버스와 일반차량의 소음도가 높아지다가 1 KHz에서 각각 79.2, 71.3 dB(A)로 가장 높게 나타났고 2 KHz에서부터 소음도는 다시 감소하였다. 강 등[2)]도 가속 및 정상주행소음을 연구한 도로교통소음(II)에서 승용자동차에서 대표적으로 베르나의 주행소음 주파수 특성은 50, 70, 90 km/h 속도의 경우 1 KHz에서 각각 65.3, 70.0, 73.1 dB(A)의 가장 높은 소음을 배출한 것으로 보고한 바 있으며, 본 실험의 A특성은 같은 경향을 보이고 있다. 또한 중고주파 영역에서는 Z특성과 A특성이 같은 경향을 보이고 있다.

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 일반차량이 주행하는 도로에 버스가 주행하게 되면 도로교통소음도는 Z 특성일 때 83.1 dB(Z)에서 89.3 dB(Z)로 6.2 dB(Z)의 변화를 보이고, A 특성일 때 도로교통소음도는 74.5 dB(A)에서 81.4 dB(A)로 6.9 dB(A)의 변화를 나타내 두 주파수 특성에서 비슷한 경향을 나타내는 것을 알 수 있다.

버스 2대가 측정지점을 1초 간격으로 연속해서 통과할 때 주파수 특성은 Fig. 30, Table 15와 같다.

첫 번째 버스가 측정지점(6초경과)으로 가까워지면서 소음도가 81.4 ~ 85.9 dB(Z)으로 높아져서 측정지점을 통과할 때 92.2 dB(Z)로 가장 높았고, 두 번째 버스가 통과할 때(7초경과)는 90.2 dB(Z)로 측정되었다. 통과 후에도 소음도가 89.4 ~ 85.7 dB(Z)으로 3초 동안 높게 측정되었다.

버스 2대가 통과 시에는 1대가 통과할 때보다 최고소음도가 2.9 dB(Z) 높게 측정되었고, 통과 후의 소음도도 1초 동안 더 높게 측정되었다.

버스가 측정지점을 통과할 때 주파수특성은 Z 특성일 때 버스의 소음도는 63, 125, 250 Hz에서 제1의 peak치가 발생하여 각각 86.7, 85.8, 86.1 dB(Z)로 높았고 1 KHz에서 78.7 dB(Z)로 제2의 peak치가 발생하였다.

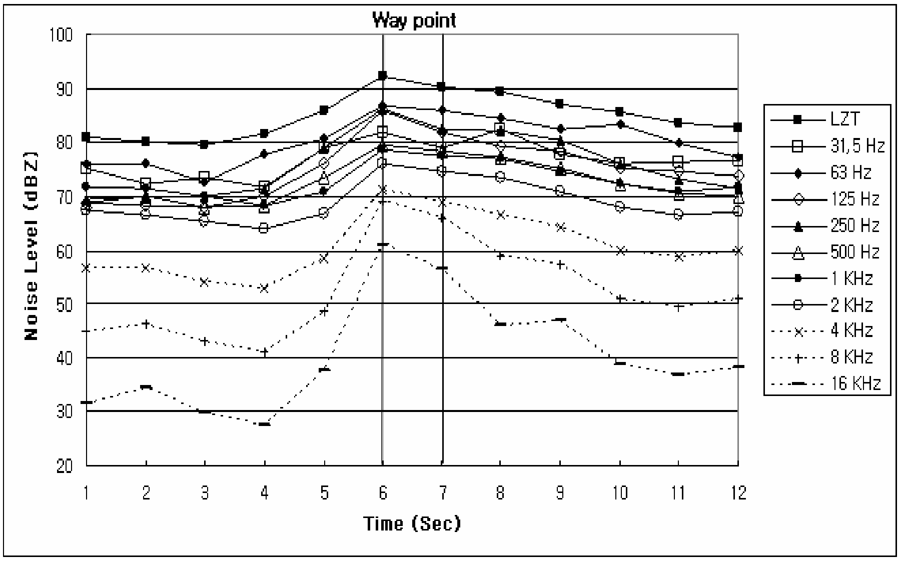


Fig. 30. Frequency characteristics of bus noise(2 buses passage).

Table 15. Frequency characteristics of bus noise(2 buses passage)

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Time (sec)	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
1	80.8	75.2	76.1	68.7	69.5	68.9	71.6	67.4	56.8	44.7	31.5
2	80.2	72.2	75.9	68.2	70.0	70.0	71.5	66.5	56.8	46.3	34.5
3	79.4	73.5	72.7	67.8	70.0	68.0	69.9	65.3	54.2	43.2	29.8
4	81.4	71.8	77.8	70.0	71.3	68.1	68.3	63.9	53.0	41.2	27.4
5	85.9	79.0	80.7	76.1	78.8	73.3	70.8	66.7	58.3	48.6	37.6
6	92.2	81.7	86.7	85.8	86.1	79.5	78.7	75.9	71.1	69.1	61.0
7	90.2	78.9	85.8	81.8	82.5	78.2	77.5	74.7	68.9	65.8	56.3
8	89.4	82.3	84.3	79.1	82.0	77.2	77.0	73.4	66.4	59.0	46.1
9	87.1	77.7	82.3	78.2	80.3	75.3	74.5	70.7	64.2	57.2	47.0
10	85.7	75.9	83.2	75.2	76.1	72.2	72.3	68.0	59.9	51.0	38.8
11	83.5	76.2	79.9	74.5	73.0	70.5	70.9	66.6	58.6	49.6	36.8
12	82.7	76.7	77.2	73.7	71.3	69.9	71.6	67.2	59.9	50.9	38.1

나. 승합차의 주파수 특성

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 15인승 승합차가 3차선(보도에서 2번째 차선)을 주행하고 측정지점을 통과할 때 소음레벨을 측정하고 주파수 특성을 분석하였다.

승합차가 측정지점을 통과할 때 주파수 특성은 Fig. 31, Table 16과 같다.

승합차가 측정지점으로 가까워지면서 소음도가 84.9 ~ 85.8 dB(Z)으로 높아지며 측정지점을 통과할 때 88.0 dB(Z)로 가장 높았고 통과 후에도 소음도가 85.9 ~ 84.8 dB(Z)으로 2초 동안 높게 측정되었다.

승합차가 측정지점을 통과하며 주파수특성은 Z 특성일 때 승합차의 소음도는 63, 125 Hz에서 제1의 peak치가 발생하여 각각 81.3, 83.9 dB(Z)로 가장 높았고 1 KHz에서 74.3 dB(Z)로 제2의 peak치가 발생하여 버스와 같은 주파수 대역의 소음도가 지배적임을 알 수 있다.

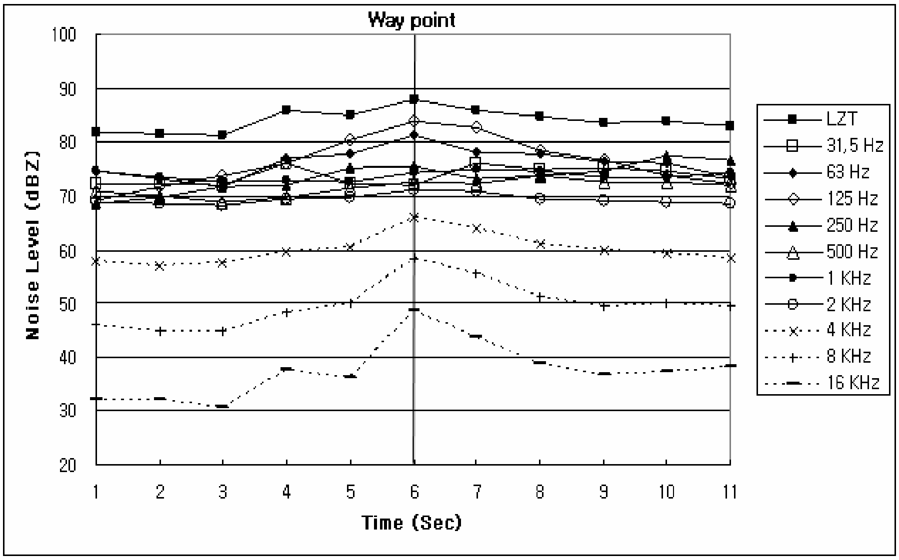


Fig. 31. Frequency characteristics of van noise.

Table 16. Frequency characteristics of van noise [Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency Time (sec)	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
1	81.9	72.2	74.7	69.1	68.6	70.9	74.6	68.7	57.9	46.1	32.2
2	81.4	72.2	73.1	71.8	69.8	69.9	73.4	68.5	57.1	44.9	32.2
3	81.1	71.9	71.8	73.7	71.6	68.7	72.7	68.3	57.5	44.8	30.8
4	85.8	75.9	76.9	76.0	72.0	69.6	72.9	69.3	59.6	48.3	37.7
5	84.9	72.2	77.9	80.4	75.3	71.3	72.5	69.6	60.5	50.0	36.2
6	88.0	71.9	81.3	83.9	75.5	72.5	74.3	71.0	65.9	58.4	48.5
7	85.9	75.9	78.0	82.6	73.2	72.3	74.9	70.7	64.0	55.4	43.8
8	84.8	74.9	77.8	78.3	73.6	73.7	74.5	69.4	61.1	51.2	38.8
9	83.6	75.3	76.3	76.5	74.5	72.5	73.4	69.2	59.9	49.6	36.7
10	83.7	74.5	76.1	73.8	77.5	72.7	73.3	68.8	59.4	49.9	37.3
11	82.9	73.1	73.4	72.3	76.7	72.0	74.3	68.4	58.3	49.4	38.1

일반차량과 승합차의 주행 시 주파수 특성을 비교하면 Fig. 32, Table 17과 같다. 일반차량의 소음도는 승합차가 측정지점을 통과하기 전 승합차의 교통소음에 영향을 주지 않는 1초와 2초경과의 교통소음을 측정하였고, 특정차량간의 중복 통행은 없었다.

주파수특성은 Z 특성일 때 일반차량의 소음도는 31.5, 63 Hz에서 peak치가 발생하여 각각 72.2, 73.9 dB(Z)로 높게 나타나 저주파영역의 소음이 지배적임을 알 수 있으나, A 특성일 때는 주파수가 높아질수록 소음도가 높아지다가 1 KHz에서 74.0 dB(A)로 가장 높았고 2 KHz에서부터 소음도가 감소하는 경향을 보여 일반적인 경향을 나타내었다.

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 일반차량이 주행하는 도로에 승합차가 주행하게 되면 도로교통소음도는 Z 특성일 때 81.7 dB(Z)에서 88 dB(Z)로 6.3 dB(Z)의 변화와 A 특성일 때 도로교통소음도는 78.1 dB(A)에서 76.1 dB(A)로 2.0 dB(A)의 변화를 나타내어 Z특성에서 큰 차이를 보였고, 일반차량과 승합차는 31.5, 63 Hz와 1 KHz에서부터 Z와 A의 주파수 특성은 동일한 경향을 나타내었다.

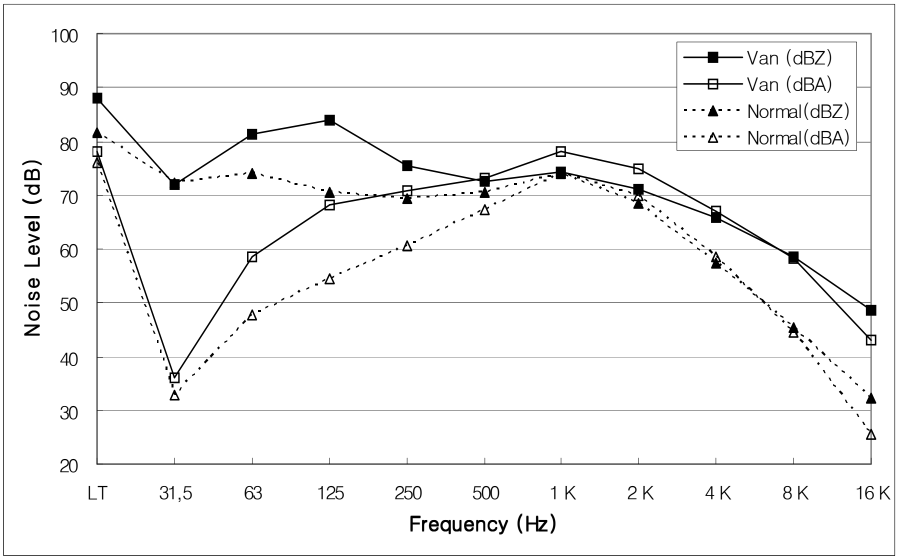


Fig. 32. Frequency characteristics of van and normal vehicles noise.

Table 17. Frequency characteristics of van and normal vehicles noise

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency Vehicle	LT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
Van (dBZ)	88.0	71.9	81.3	83.9	75.5	72.5	74.3	71.0	65.9	58.4	48.5
Van (dBA)	78.1	32.5	55.1	67.8	66.9	69.3	74.3	72.2	66.9	57.3	41.9
Normal(dBZ)	81.7	72.2	73.9	70.5	69.2	70.4	74.0	68.6	57.5	45.5	32.2
Normal(dBA)	76.1	32.8	47.7	54.4	60.6	67.2	74.0	69.8	58.5	44.4	25.6

다. 트럭의 주파수 특성

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 교통상황에서 1 ton 트럭과 11 ton 트럭이 3차선(보도에서 2번째 차선)을 주행하여 측정지점을 통과할 때 소음레벨을 측정하고 주파수 특성을 분석하였다.

1 ton 트럭이 측정지점을 통과할 때 주파수 특성은 Fig. 33, Table 18과 같다.

1 ton 트럭이 측정지점에 가까워지면서 소음도가 84.1 ~ 86.5 dB(Z)으로 높아지다가 측정지점을 통과할 때 90.3 dB(Z)로 가장 높았고, 통과 후에도 소음도가 88.2 ~ 84.0 dB(Z)으로 3초 동안 높게 측정되었다.

1 ton 트럭이 측정지점을 통과하며 Z 주파수특성일 때 1 ton 트럭의 소음도는 63, 125 Hz에서 peak치가 발생하여 각각 87.6, 84.4 dB(Z)로 가장 높게 나타나 버스와 함께 저주파영역에서 높은 소음도를 나타내었다.

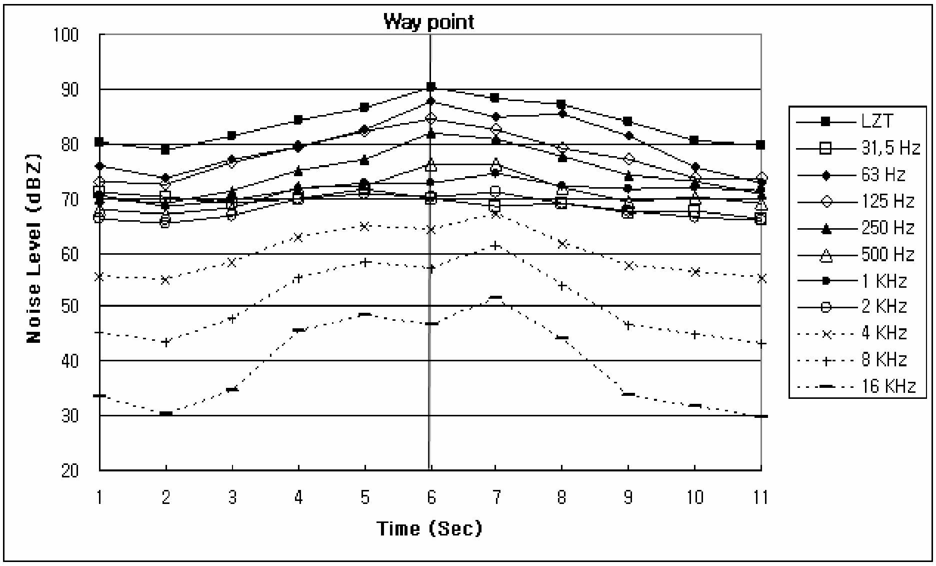


Fig. 33. Frequency characteristics of truck noise(1 ton).

Table 18. Frequency characteristics of truck noise(1 ton)

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Time (sec)	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
1	80.2	71.0	76.0	73.1	69.8	67.8	70.5	66.2	55.5	45.3	33.6
2	78.7	70.1	73.7	72.6	68.9	67.0	68.5	65.2	54.9	43.4	30.2
3	81.4	69.1	77.0	76.5	71.2	68.1	69.7	66.8	58.0	47.7	34.5
4	84.1	69.8	79.4	79.4	75.0	71.8	71.6	70.0	62.7	55.4	45.6
5	86.5	71.6	82.4	82.1	77.1	72.2	72.9	70.8	64.6	58.0	48.3
6	90.3	69.8	87.6	84.4	81.8	76.2	72.7	70.1	64.2	56.9	46.6
7	88.2	68.5	84.8	82.4	80.7	76.3	74.5	71.1	67.1	61.2	51.4
8	87.2	69.1	85.5	79.0	77.5	71.8	72.1	68.9	61.5	53.9	44.0
9	84.0	67.2	81.4	77.1	74.1	69.4	71.5	67.5	57.7	46.8	33.8
10	80.6	67.7	75.6	73.5	73.1	70.2	72.0	66.4	56.3	45.0	31.8
11	79.5	66.2	72.9	73.6	70.7	69.1	71.4	66.0	55.2	43.2	29.7

일반차량과 1 ton 트럭의 주행 시 주파수 특성을 비교하면 Fig. 34, Table 19와 같다.

일반차량의 소음도는 1 ton 트럭이 측정지점을 통과하기 전으로 1 ton 트럭의 교통소음이 영향을 주지 않는 1초와 2초경과 시 교통소음을 측정하였고 특정차량 간의 중복 통행은 없었다.

주파수특성은 Z 특성일 때 일반차량의 소음도는 63 Hz에서 제1의 peak치가 발생하여 각각 74.9 dB(Z)로 높았고 1 KHz에서 69.5 dB(Z)로 제2의 peak치가 발생하여 저주파수대역의 소음도가 지배적임을 알 수 있다.

A 특성일 때의 소음도는 주파수가 높아질수록 소음도가 높아지다가 1 KHz에서 69.5 dB(A)로 가장 높았고 2 KHz에서부터 소음도는 다시 감소하는 경향을 보여 일반적인 경향을 나타내었다.

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 일반차량이 주행하는 도로에 1

ton 트럭이 주행하게 되면 도로교통소음도는 Z 특성일 때 79.5 dB(Z)에서 90.3 dB(Z)로 10.8 dB(Z)의 변화를 보이고, A 특성일 때 도로교통소음도는 72.6 dB(A)에서 78.9 dB(A)로 6.3 dB(A)의 변화를 나타내어 Z와 A주파수 특성에서 일반차량과 1 ton 트럭은 63 Hz와 1 KHz에서 트럭의 소음도가 큰 차이를 나타내는 것을 알 수 있으며, 1kHz 이상에서는 일반적인 경향을 보이고 있다.

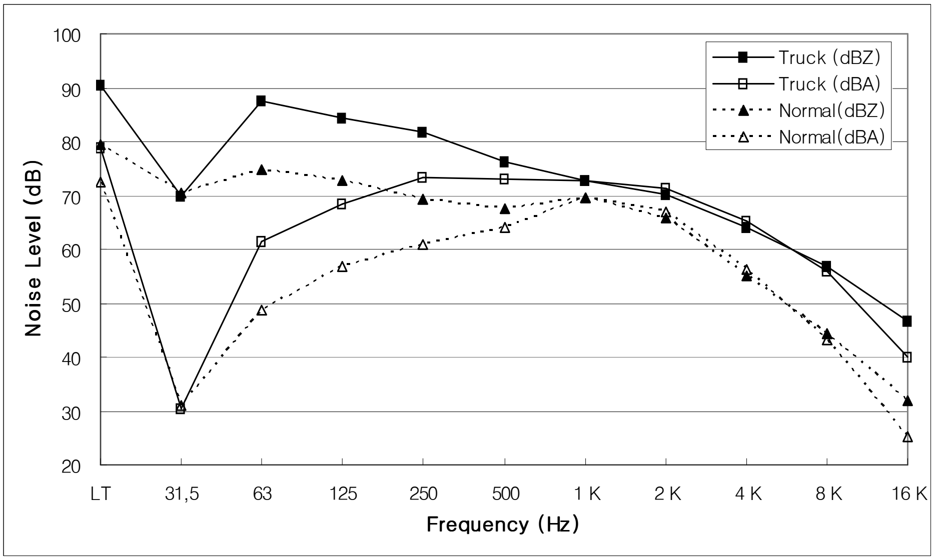


Fig. 34. Frequency characteristics of truck and normal vehicles noise.

Table 19. Frequency characteristics of truck and normal vehicles noise

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Vehicle	LT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
Truck (dBZ)	90.3	69.8	87.6	84.4	81.8	76.2	72.7	70.1	64.2	56.9	46.6
Truck (dBA)	78.9	30.4	61.4	68.3	73.2	73.0	72.7	71.3	65.2	55.8	40.0
Normal(dBZ)	79.5	70.6	74.9	72.9	69.4	67.4	69.5	65.7	55.2	44.4	31.9
Normal(dBA)	72.6	31.2	48.7	56.8	60.8	64.2	69.5	66.9	56.2	43.3	25.3

11 ton 트럭이 측정지점을 통과할 때 소음레벨과 주파수 특성은 Fig. 35, Table 20과 같다.

11 ton 트럭이 측정지점으로 가까워지면서 소음도가 84.7 dB(Z)로 높아지다가 측정지점을 통과할 때 86.5 dB(Z)로 가장 높았고 통과 후에도 소음도가 86.2 dB(Z)으로 1초 동안 높게 측정되었다.

11 ton 트럭이 측정지점을 통과할 때 소음도는 Z 주파수특성일 때 11 ton 트럭의 소음도는 63, 125, 250 Hz에서 peak치가 발생하여 각각 79.1, 81.6, 79.5 dB(Z)로 가장 높게 나타나 저주파대역의 소음도가 지배적인 경향을 나타내었다.

11 ton 트럭은 40 km/h 이하로 주행하여 다른 차량들과의 소음을 청각으로 구별하기 힘드나 16 KHz에서 53.2 dB(Z)의 제 2의 peak치가 발생하여 일반차량과 특정차량들 보다 높게 측정되어 고주파대역의 소음도가 영향을 나타냄을 알 수 있다.

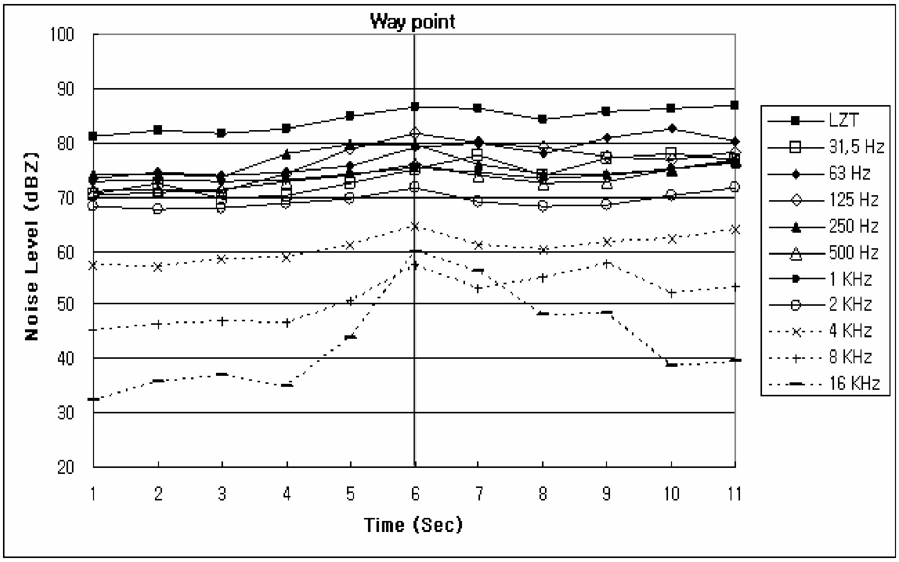


Fig. 35. Frequency characteristics of truck noise(11 ton).

Table 20. Frequency characteristics of truck noise(11 ton)

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Time (sec)	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
1	81.2	70.5	73.3	70.3	74.3	70.9	72.9	68.2	57.2	45.1	32.4
2	82.1	72.4	74.5	70.8	74.1	71.4	73.1	67.5	56.9	46.4	35.7
3	81.6	69.7	73.8	70.9	73.7	71.3	72.7	67.9	58.4	46.9	36.9
4	82.6	70.2	74.4	74.1	77.9	72.8	73.1	68.7	58.6	46.7	35.0
5	84.7	72.5	75.6	78.7	79.7	73.8	74.1	69.5	61.1	50.6	43.9
6	86.5	75.1	79.1	81.6	79.5	75.9	75.2	71.7	64.5	57.4	59.8
7	86.2	77.6	80.0	79.9	75.9	73.9	74.6	69.0	60.9	53.1	56.2
8	84.3	73.9	77.9	79.2	74.2	72.6	73.3	68.1	60.2	55.0	48.1
9	85.6	77.1	80.8	77.4	74.3	72.8	73.8	68.6	61.5	57.5	48.5
10	86.3	77.8	82.5	76.9	75.1	75.0	75.0	70.1	62.2	52.1	38.7
11	86.9	76.8	80.1	78.2	76.3	76.7	76.6	71.6	63.9	53.4	39.6

라. 오토바이의 주파수 특성

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 오토바이가 3차선(보도에서 2번째 차선)을 주행하고 측정지점을 통과할 때 소음레벨을 측정하고 주파수 특성을 분석하였다.

오토바이가 측정지점을 통과할 때 주파수 특성은 Fig. 36, Table 21과 같다.

오토바이가 측정지점으로 가까워지면서 소음도가 84.1 ~ 92.4 dB(Z)으로 높아지다가 측정지점을 통과할 때 99.9 dB(Z)로 가장 높았고 통과 후에도 소음도가 99.1 ~ 85.3 dB(Z)으로 3초 동안 높게 측정되었다.

오토바이가 측정지점을 통과할 때 Z 주파수특성에서 오토바이의 소음도는 250, 500 Hz에서 각각 96.7, 95.5 dB(Z)의 peak치가 발생하였다.

A 특성일 때는 주파수가 높아질수록 소음도가 높아지다가 500 Hz에서 92.3 dB(A)로 가장 높았고 1 KHz에서부터 소음도는 다시 감소하였다.

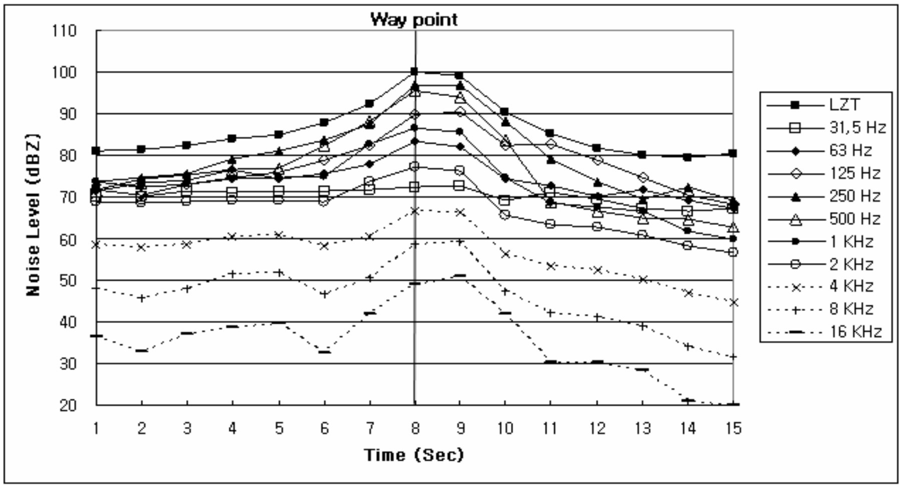


Fig. 36. Frequency characteristics of motorcycle noise.

Table 21. Frequency characteristics of motorcycle noise

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Time (sec)	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
1	81.2	70.1	71.9	71.7	73.6	71.4	73.8	68.8	58.7	48.1	36.4
2	81.4	70.3	74.2	70.4	74.5	73.3	72.5	68.6	57.9	45.7	32.7
3	82.4	71.5	75.2	73.0	75.6	74.1	73.0	68.7	58.7	48.0	37.1
4	84.1	71.2	76.6	74.7	79.1	76.5	74.2	69.3	60.5	51.6	38.7
5	84.9	71.5	74.4	75.8	81.2	76.9	74.5	69.3	60.8	51.8	39.6
6	87.8	71.4	75.6	78.7	83.5	82.4	75.0	68.8	58.2	46.6	32.6
7	92.4	71.8	77.8	82.3	87.6	88.3	82.6	73.7	60.5	50.4	41.9
8	99.9	72.4	83.4	89.9	96.7	95.5	86.4	77.1	66.7	58.5	49.0
9	99.1	72.6	82.0	90.5	96.7	93.8	85.5	76.2	66.3	59.2	51.0
10	90.5	69.3	74.3	82.3	88.3	83.5	74.6	65.8	56.4	47.4	41.9
11	85.3	71.1	72.6	82.8	79.1	68.9	68.6	63.5	53.4	42.1	30.2
12	81.8	69.4	70.3	78.7	73.7	66.6	67.6	62.7	52.6	41.2	30.2
13	80.1	67.1	71.9	74.7	69.4	64.9	66.5	60.9	50.3	39.1	28.4
14	79.6	66.6	69.2	70.4	72.4	64.6	61.9	58.3	47.0	34.3	21.0
15	80.4	67.2	67.3	68.3	69.1	62.8	59.7	56.5	44.8	31.7	20.1

일반차량과 오토바이의 주행 시 주파수 특성을 비교하면 Fig. 37, Table 22와 같다. 일반차량의 소음도는 오토바이가 측정지점을 통과하기 전으로 버스의 교통소음이 영향을 주지 않는 1초와 2초경과의 도로교통소음도를 측정하였고 특정차량간의 중복 통행은 없었다.

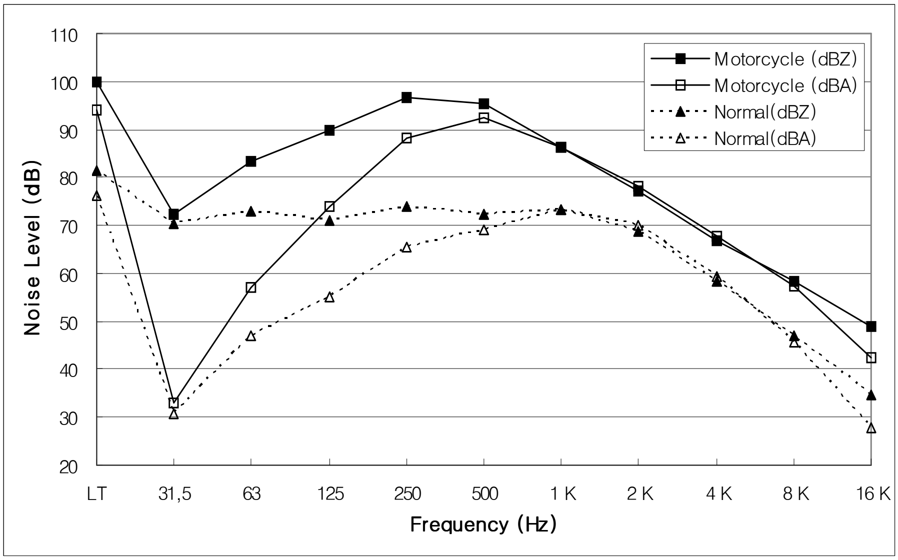


Fig. 37. Frequency characteristics of motorcycle and normal vehicles noise.

Table 22. Frequency characteristics of motorcycle and normal vehicles noise [Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Vehicle	LT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
Motorcycle (dBZ)	99.9	72.4	83.4	89.9	96.7	95.5	86.4	77.1	66.7	58.5	49.0
Motorcycle (dBA)	94.2	33.0	57.2	73.8	88.1	92.3	86.4	78.3	67.7	57.4	42.4
Normal(dBZ)	81.3	70.2	73.1	71.1	74.1	72.4	73.2	68.7	58.3	46.9	34.6
Normal(dBA)	76.2	30.8	46.9	55.0	65.5	69.2	73.2	69.9	59.3	45.8	28.0

주파수특성은 Z 특성일 때 일반차량의 소음도는 63, 250, 1 KHz에서 각각 73.1, 74.1, 73.2 dB(Z)의 peak치가 발생하여 앞의 결과와 비슷한 경향을 나타내

었으나 오토바이의 경우 250Hz와 1kHz에서 높은 소음도를 나타내었고 일반적인 경향과 비슷한 경향을 나타내었다.

A 특성일 때는 주파수가 높아질수록 소음도가 높아지다가 1 KHz에서 73.2 dB(A)로 가장 높았고 2 KHz에서부터 소음도는 다시 감소하여 일반적인 경향을 보였다. 교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 일반차량이 주행하는 도로에 오토바이가 주행하게 되면 도로교통소음도는 Z 특성일 때 81.3 dB(Z)에서 99.9 dB(Z)로 18.6 dB(Z)의 변화와 A 특성일 때 도로교통소음도는 76.2 dB(A)에서 94.2 dB(A)로 18.0 dB(A)의 변화를 나타내어 일반차량보다 오토바이의 소음도가 높을 뿐만 아니라 물리적인 양과 감각적인 양이 크게 나타남을 알 수 있다.

마. 차종에 따른 주파수 특성 비교

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 특정차량이 측정지점을 통과할 때의 차종에 따른 소음레벨과 주파수 분석을 Z특성과 A특성으로 비교한 결과는 다음과 같다. Z 특성으로 차종에 따른 주파수를 분석한 결과는 Fig. 38과 같다.

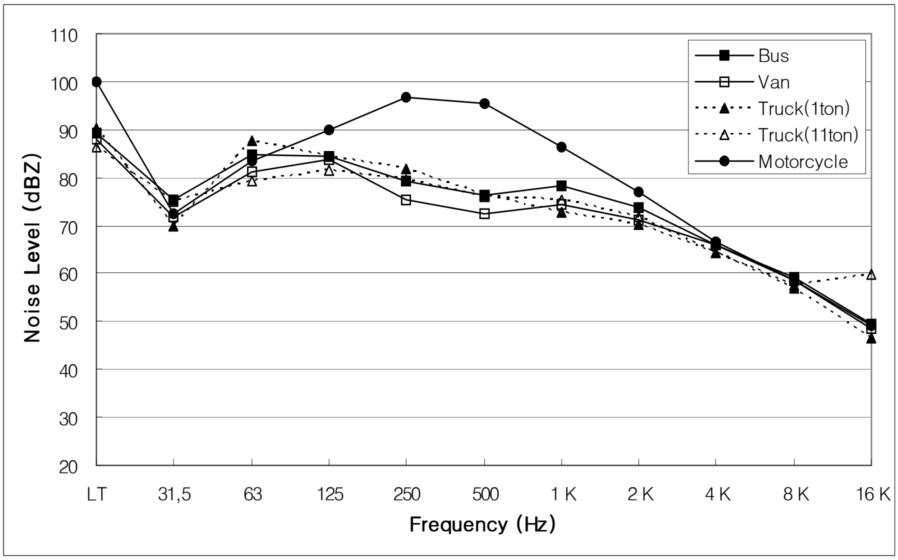


Fig. 38. Frequency characteristics of vehicles noise by type(Z characteristic).

오토바이를 제외한 차량들은 31.5, 500, 1K, 2K Hz에서 비슷한 소음도를 보였으며, 버스는 63 Hz(Z)와 125 Hz에서 소음도가 높았고, 승합차와 11 ton 트럭은 125 Hz에서 소음도가 가장 높았다. 1 ton 트럭은 63 Hz에서 소음도가 가장 높게 측정되어 저주파대역의 소음도가 높은 것을 나타내었다.

오토바이는 250 Hz에서 소음도가 96.7 dB(Z)로 가장 높게 측정되었고, 500 Hz에서도 소음도가 95.5 dB(Z)로 높게 측정되어 특정차량들 중 가장 높은 소음도를 보였으며 중고주파대역에서 높은 소음도를 나타냄을 알 수 있다.

A 특성으로 차종에 따른 주파수를 분석한 결과는 Fig. 39에 나타내었다.

버스, 승합차 그리고 11 ton 트럭은 31.5 Hz에서부터 소음도가 높아져 1 KHz에서 가장 높게 측정되었고, 1 ton 트럭은 250 Hz에서 소음도가 73.2 dB(A)로 가장 높았고 1 KHz에서는 소음도가 72.7 dB(A)로 측정되었으며, 물리적인 양을 나타내는 Z특성 보다 나은 소음도를 나타내었고 청감보정을 한 주파수 경향을 나타내었다. 오토바이는 500 Hz에서 소음도가 92.3 dB(A)로 가장 높았고 250 Hz에서 88.1 dB(A), 1 KHz에서 86.4dB(A)로 나타나 중주파수대역에서 높게 나타났으며 주파수대역의 영향은 일반적인 경향을 보였다.

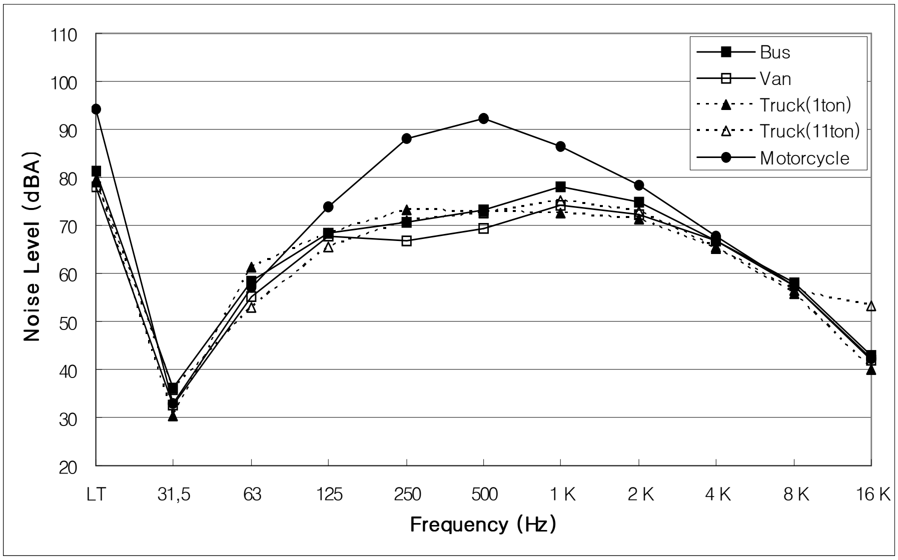


Fig. 39. Frequency characteristics of vehicles noise by type(A characteristic).

4.1.2 출발 시 주파수 특성

간선도로 단으로부터 2 m 떨어진 거리에서 측정한 소음도를 1/1 옥타브밴드로 주파수 특성을 분석하였다.

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 시내버스가 정차하였다가 출발할 때의 주파수 특성을 분석하였고, 일반차량들이 신호등에서 정차하였다가 출발할 때의 주파수 특성을 분석하였다.

가. 시내버스의 출발 시 주파수 특성

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 시내버스 1대가 정류장에서 정차하였다가 출발할 때의 소음레벨과 주파수 특성을 3회 분석한 결과는 Fig. 40, Table 23 ~ 25과 같다.

1회 측정 시 버스는 5초에 승강장에 도착하여 15초 까지 11초간 정차하여 소음도는 76.3 ~ 79.5 dB(Z)의 분포를 보였고, 16초에 출발하여 3초 후(19초경과) 소음도가 93.0 dB(Z)로 가장 높게 측정되었다.

2회 측정 시 버스는 6초에 승강장에 도착하여 11초 까지 6초간 정차하여 소음도는 78.2 ~ 81.2 dB(Z)의 분포를 보였고, 12초에 출발하여 2초 후(14초경과) 소음도가 95.1 dB(Z)로 가장 높게 측정되었다.

3회 측정 시 버스는 5초에 승강장에 도착하여 10초 까지 6초간 정차하여 소음도는 80.9 ~ 86.0 dB(Z)의 분포를 보였고, 11초에 출발하여 2초 후(13초경과) 소음도가 94.4 dB(Z)로 가장 높게 측정되었는데 주파수별 소음도 경향은 운행 시의 경향과 비슷하게 나타남을 알 수 있다.

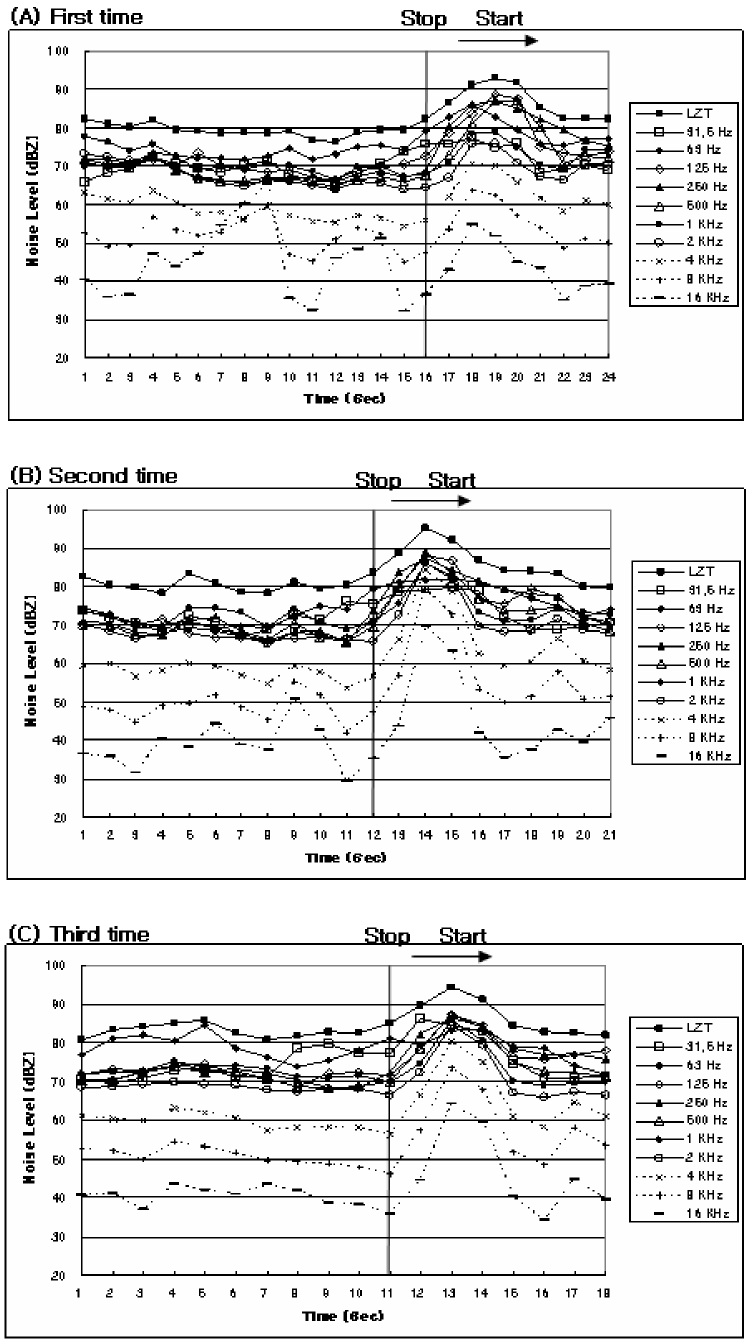


Fig. 40. When the bus starts, frequency characteristics of bus noise.

Table 23. When the bus starts, frequency characteristics of bus noise (First time) [Leq(1 Sec), dB(Z)]

	Sec	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
	1	82.1	65.7	70.1	71.0	71.7	71.8	77.6	73.2	63.1	52.5	40.3
	2	81.1	68.2	70.2	69.8	70.4	71.6	76.3	72.2	61.4	49.0	35.7
	3	80.1	69.1	70.6	70.0	70.4	70.5	73.9	71.4	60.4	49.5	36.5
	4	81.8	72.2	73.5	71.8	72.4	72.4	75.7	72.6	63.6	56.8	47.1
Stop	5	79.4	70.7	72.8	69.9	68.9	69.0	72.3	69.5	60.5	53.3	43.8
	6	79.2	69.4	72.1	73.4	67.1	66.9	69.3	66.6	57.6	52.0	47.2
	7	78.4	68.4	72.0	69.9	66.4	66.2	69.7	65.4	57.9	52.9	54.5
	8	78.8	70.4	71.6	69.2	65.5	66.2	69.2	64.6	56.3	56.3	60.1
	9	78.6	71.3	72.6	68.3	66.1	67.0	70.7	66.4	59.3	59.9	65.2
	10	79.0	67.9	74.5	69.1	66.8	66.9	70.1	66.2	56.9	46.9	35.5
	11	76.7	66.0	71.7	66.8	65.6	67.0	68.5	65.0	55.5	45.3	32.3
	12	76.3	65.8	73.1	66.5	64.7	65.6	66.4	63.7	55.4	50.9	46.1
	13	78.8	68.1	75.2	68.9	67.2	66.4	69.8	66.1	57.1	54.0	48.2
	14	79.5	70.6	75.3	69.6	68.5	67.1	70.0	65.4	56.6	52.1	51.2
	15	79.5	73.8	74.3	70.5	66.9	65.7	67.3	63.7	54.3	45.0	32.1
Start	16	82.1	75.8	79.1	72.6	68.7	67.4	68.0	64.3	56.0	47.5	36.4
	17	86.5	75.7	82.7	78.7	80.3	72.9	70.9	66.9	61.9	53.7	42.8
	18	91.1	77.4	86.1	83.5	85.8	81.2	78.6	75.7	70.5	63.5	54.8
	19	93.0	74.9	82.8	88.6	87.1	87.0	78.7	75.9	69.9	62.3	51.6
	20	91.7	75.9	79.3	87.5	85.0	87.1	74.7	71.0	65.9	57.0	44.9
	21	85.4	68.3	76.1	75.0	82.1	80.1	70.3	67.2	61.6	53.9	43.4
	22	82.4	69.3	75.4	73.3	79.4	70.7	69.1	66.4	58.1	48.6	35.0
	23	82.6	70.2	76.9	72.6	76.5	72.6	74.4	70.6	61.0	51.0	38.6
	24	82.3	69.0	77.0	73.7	75.5	72.0	74.1	70.2	59.8	50.1	39.1

Table 24. When the bus starts, frequency characteristics of bus noise (Second time) [Leq(1 Sec), dB(Z)]

	Sec	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
	1	82.4	73.8	74.3	70.0	71.1	70.2	73.6	70.2	59.3	48.6	36.2
	2	80.4	71.7	72.7	70.0	70.4	69.9	72.4	68.5	60.1	47.8	35.8
	3	79.8	70.5	70.5	69.8	68.2	67.3	69.2	66.5	56.7	44.8	31.5
	4	78.2	68.3	70.0	71.6	67.3	67.4	69.5	68.0	58.4	49.1	40.2
Stop	5	83.3	72.3	71.1	67.8	70.9	71.2	74.3	69.4	59.9	49.7	38.3
	6	80.9	71.1	69.2	66.8	69.0	71.7	74.5	68.4	59.4	51.9	44.3
	7	78.5	67.0	69.7	66.9	67.5	68.5	73.3	67.0	57.0	48.5	39.0
	8	78.2	68.6	69.4	65.9	65.8	66.2	69.5	65.2	54.7	45.4	37.6
	9	81.2	72.8	72.5	66.5	68.2	70.3	74.0	68.2	59.5	55.1	50.8
	10	79.4	71.3	74.9	66.7	68.4	66.8	70.6	67.3	57.8	51.8	42.6
	11	80.2	76.0	74.0	66.6	65.3	65.6	68.6	66.1	53.4	42.0	29.4
Start	12	83.7	75.5	79.3	71.1	73.9	69.5	71.0	65.7	56.5	47.2	35.2
	13	88.6	78.7	81.0	79.7	83.7	79.7	75.5	72.6	66.1	56.9	43.8
	14	95.1	79.1	81.8	88.1	87.2	88.8	85.8	86.2	84.3	79.1	69.7
	15	92.1	79.6	82.1	86.8	84.1	83.4	82.8	81.9	78.9	72.7	63.2
	16	86.8	78.9	81.2	76.7	81.4	76.8	73.2	69.7	62.5	53.2	42.0
	17	84.2	72.0	79.1	75.6	79.1	73.8	71.1	68.2	59.4	50.0	35.4
	18	84.0	69.1	76.8	79.4	77.9	73.9	71.3	68.4	60.3	51.4	37.4
	19	83.4	68.6	74.9	77.1	77.6	74.7	74.3	71.5	66.5	57.8	42.5
	20	80.0	69.6	72.1	72.0	72.0	70.5	73.2	68.8	60.7	50.7	39.4
	21	79.8	70.7	74.1	70.7	69.9	68.5	72.8	67.8	58.3	51.2	45.6

Table 25. When the bus starts, frequency characteristics of bus noise (Third time) [Leq(1 Sec), dB(Z)]

	Sec	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
	1	80.8	70.3	76.9	71.7	70.2	70.3	72.2	68.4	61.0	52.8	40.6
	2	83.4	69.7	81.2	73.2	70.4	70.4	72.5	68.8	60.4	52.2	41.1
	3	84.3	71.1	81.9	72.6	72.6	72.4	72.8	69.2	60.0	49.8	36.9
	4	85.0	73.0	80.7	74.0	75.2	73.8	75.2	70.0	63.2	54.4	43.4
Stop	5	86.0	73.4	84.4	74.6	72.8	72.5	73.7	69.3	62.0	53.2	41.9
	6	82.5	71.3	78.7	71.9	73.3	72.8	74.1	69.1	60.6	51.6	40.8
	7	80.9	71.4	76.2	70.6	72.0	70.8	73.2	67.9	57.6	49.6	43.3
	8	81.7	78.6	73.8	68.7	70.4	68.6	71.4	67.3	58.1	49.4	41.9
	9	82.9	79.6	75.6	72.1	68.4	68.5	71.0	68.1	58.3	48.6	38.6
	10	82.4	77.3	78.1	72.5	68.4	68.7	71.5	68.3	57.9	48.0	38.4
	11	85.1	77.2	81.0	71.5	72.4	70.1	69.9	66.5	56.2	46.3	35.7
Start	12	89.6	86.2	79.5	78.3	82.2	78.5	74.7	72.3	66.5	57.5	44.5
	13	94.4	84.5	83.2	87.3	86.5	87.4	86.0	84.5	80.4	73.5	64.3
	14	91.4	82.7	83.5	84.4	84.2	83.9	80.7	79.5	74.8	67.9	59.8
	15	84.4	75.3	79.1	76.4	78.5	74.8	70.2	67.0	61.1	51.9	40.3
	16	82.9	71.1	78.5	75.8	76.8	72.6	69.0	65.8	58.3	48.4	34.2
	17	82.4	71.0	74.2	77.0	77.1	72.4	69.7	67.2	64.5	57.9	44.9
	18	81.9	71.4	71.8	78.1	75.8	71.4	70.0	66.5	61.1	53.4	39.3

버스가 정류장에 정차하고 있을 때와 출발 후의 Z주파수특성과 A주파수특성을 비교한 결과는 Fig. 41과 같다.

1회 측정시 버스가 정류장에 정차하고 있을 때 7초경과 8초경과의 소음도를 평균하여 출발 후의 최고값과 비교하였다. 버스가 정차하고 있을 때 63 Hz에서 71.8 dB(Z)의 소음을 배출하고 1 KHz에서 69.5 dB(Z)로 제2의 peak치를 발생하고 있다. 버스가 출발 후 최고값(19초경과)에서는 125 Hz에서 88.6 dB(Z)의 소음을 배출하고 있다.

2회 측정시 버스가 정류장에 정차하고 있을 때 7초경과 8초경과의 소음도를 평균하여 출발 후의 최고값과 비교하였다. 버스가 정차하고 있을 때 63 Hz에서 69.6 dB(Z)의 소음을 배출하고 1 KHz에서 71.4 dB(Z)로 제2의 peak치를 발생하고 있다. 버스가 출발 후 최고값(14초경과)에서는 125, 250, 500 Hz에서 각각 88.1, 87.2, 88.8 dB(Z)의 소음을 배출하고 있다.

3회 측정시 버스가 정류장에 정차하고 있을 때 7초경과 8초경과의 소음도를 평균하여 출발 후의 최고값과 비교하였다. 버스가 정차하고 있을 때 31.5, 63 Hz에서 75.0 dB(Z)의 소음을 배출하고 1 KHz에서 72.3 dB(Z)로 제2의 peak치를 발생하고 있다. 버스가 출발 후 최고값(13초경과)에서는 125, 250, 500 Hz에서 각각 87.3, 86.5, 87.4 dB(Z)의 소음을 배출하고 있다.

주파수별 소음레벨은 측정지점에서의 소음레벨 경향과 비슷하게 나타났으며, 정차 시 보다 출발 시에 소음도가 약 10dB(Z)정도 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

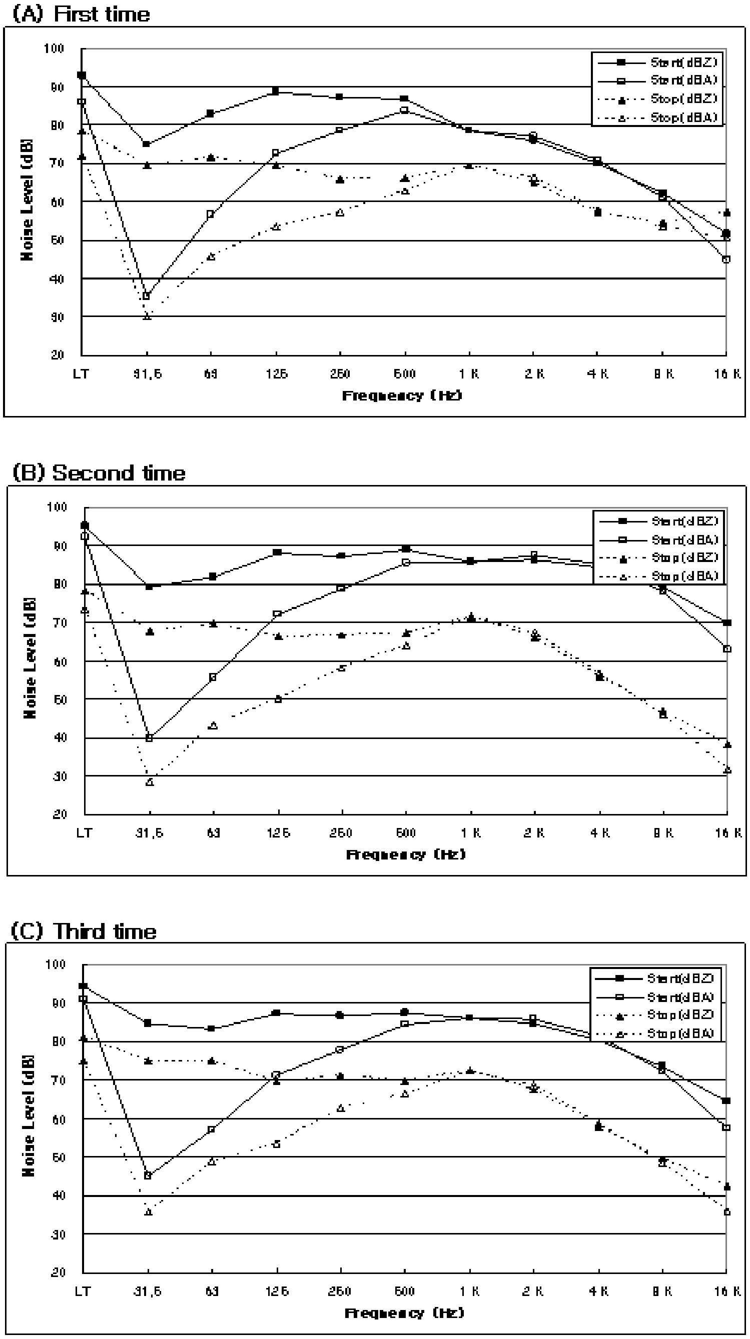


Fig. 41. When the bus starts and stops frequency characteristics of bus noise.

시내버스의 운행에 따른 정차, 출발 후, 주행 시의 소음도를 주파수특성에 따라 비교한 결과는 Fig. 42와 같다.

시내버스가 정차 하였다가 출발할 때의 소음도는 94.6 dB(Z)로 정차와 주행 시보다 높고 출발할 때는 125, 250, 500 Hz에서 소음도가 높고 1 KHz에서부터 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 정차 시에는 31.5, 63, 1K Hz에서 소음도가 높으며 일반 주행 시에는 63 Hz와 125 Hz 저주파대역에서 소음도가 높은 것을 관찰할 수 있다.

버스가 정차 시에는 일반차량의 주행소음도가 소음레벨에 영향을 미치고, 출발 후에는 250 Hz와 500 Hz에서 높은 소음을 배출하는데 이는 엔진소음과 배기계 소음에 기인된 것으로 판단된다.

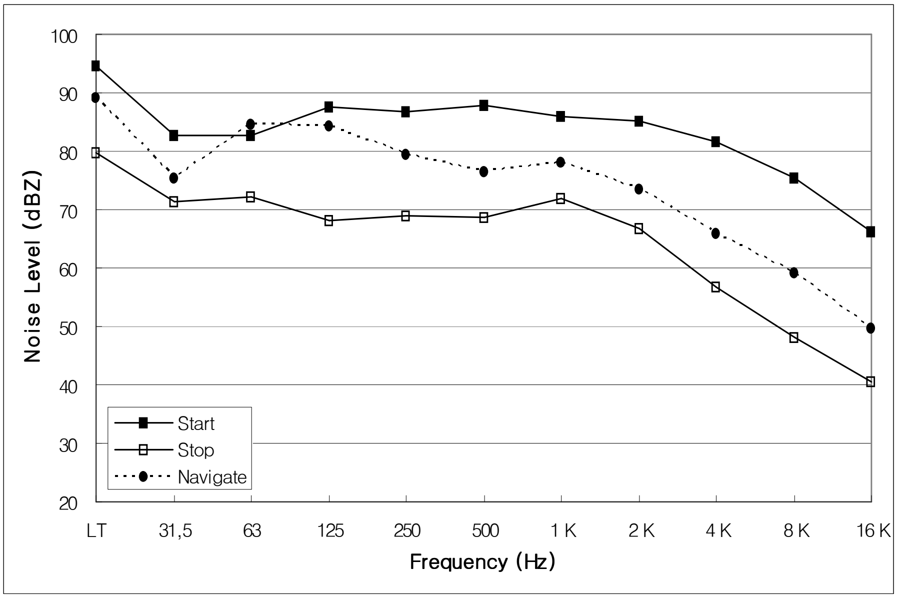


Fig. 42. Frequency comparison of bus noise in operation of the bus.

나. 시내버스의 정차음 특성

시내버스가 정류장에 정차 시 발생하는 음이 커서 특정 음이 발생할 때와 발생하지 않을 때를 비교하였으며, 특정음의 구분은 일반인에게 귀에 거슬리는 음으로 ‘끼이이익’ 소리가 발생할 때를 말한다.

Fig. 43은 정차 시 특정 음이 발생할 때이며 특정 음이 발생하는 3초와 4초에서 83.3 dB(Z)와 83.5 dB(Z)로 소음도가 높아졌다가 정차 하였을 때 소음도가 79.6 dB(Z)로 낮아진 것을 알 수가 있다.

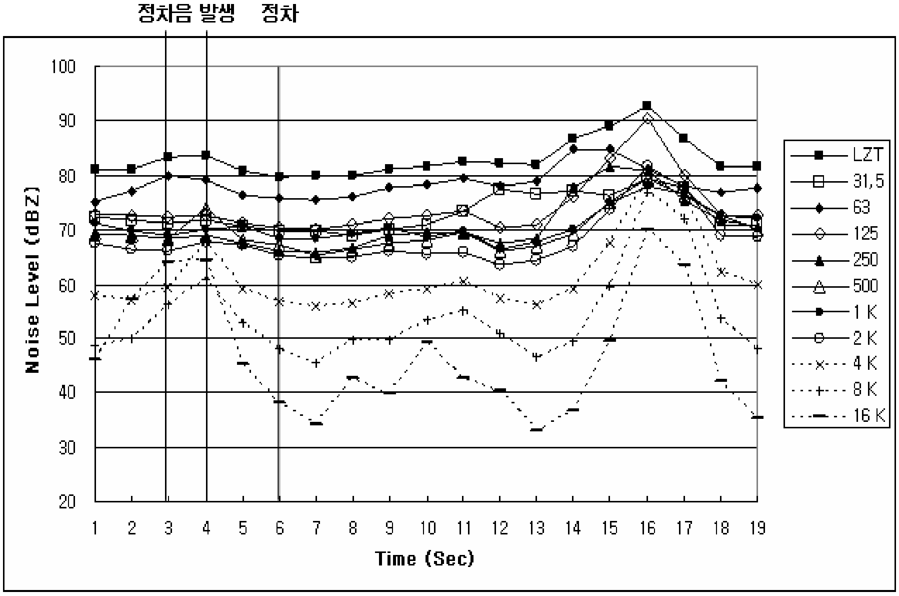


Fig. 43. While the bus stops, frequency characteristics of occurrence sound.

Table 26. While the bus stops, frequency characteristics of occurrence sound [Leq(1 Sec), dB(Z)]

	Sec	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
	1	81.1	72.4	75.1	72.9	69.3	69.1	71.2	67.5	58.0	48.6	46.1
Noise	2	81.2	71.8	77.2	72.7	68.9	68.9	69.8	66.4	57.0	50.1	57.1
Noise	3	83.3	71.1	80.0	72.2	68.3	68.2	68.8	66.0	59.4	56.1	64.0
Noise	4	83.5	71.6	79.2	72.6	69.0	74.1	70.1	67.9	67.9	60.9	64.5
	5	80.9	70.5	76.2	71.3	67.6	68.1	70.5	67.2	59.0	52.8	45.1
Stop	6	79.6	69.7	75.7	70.3	66.1	67.1	68.2	65.1	56.8	47.9	38.1
	7	79.8	69.8	75.3	70.0	65.9	65.2	68.3	64.7	56.0	45.5	34.2
	8	79.9	68.8	75.9	71.0	66.7	66.4	69.3	64.9	56.6	49.6	42.7
	9	81.2	69.9	77.7	72.0	68.9	67.6	70.3	66.2	58.3	49.7	39.8
	10	81.6	70.8	78.1	72.7	69.5	68.1	68.7	65.4	59.1	53.4	49.2
	11	82.5	73.5	79.4	73.3	69.4	69.5	69.7	65.9	60.3	55.1	42.5
	12	82.3	77.4	78.0	70.2	67.6	66.2	66.4	63.6	57.3	50.7	40.4
	13	81.9	76.5	78.7	70.8	68.2	67.0	67.8	64.5	56.1	46.6	33.0
Start	14	86.8	77.0	84.8	76.0	77.6	69.1	70.1	66.9	59.1	49.4	36.6
	15	88.9	76.2	84.8	83.1	81.5	75.0	74.8	73.7	67.4	59.7	49.3
	16	92.6	79.3	81.2	90.3	80.8	79.3	78.0	81.5	79.1	76.9	70.0
	17	86.8	77.6	77.9	79.8	75.3	76.2	76.4	77.6	76.3	72.1	63.4
	18	81.7	70.8	76.8	72.7	71.7	72.6	72.6	69.0	62.1	53.5	42.0
	19	81.5	70.8	77.7	72.7	70.7	69.9	72.1	68.7	59.9	48.1	35.3

Fig. 44는 정차 시 특정 음이 발생할 때와 발생하지 않을 때를 버스가 정류장에 정차하기 4초전부터 주파수를 비교 하였으며, A는 특정 음이 발생할 때이고 B, C 그리고 D는 특정 음이 발생하지 않을 때이며 시내버스의 출발 시 주파수 특성의 1회, 2회 그리고 3회 측정의 정차 시 자료(4.1.2 가, Table 23~25)이다.

전체적으로 주파수특성은 비슷한 경향을 보이나 특정 음이 발생하는 A는 정차하기 4초전부터 16 KHz에서 소음도가 높아지는 경향을 보이며, 3초전에는 8 KHz와 16 KHz에서 소음도가 높아지고 2초전에는 4, 8, 16 KHz에서 소음도가 높아졌다.

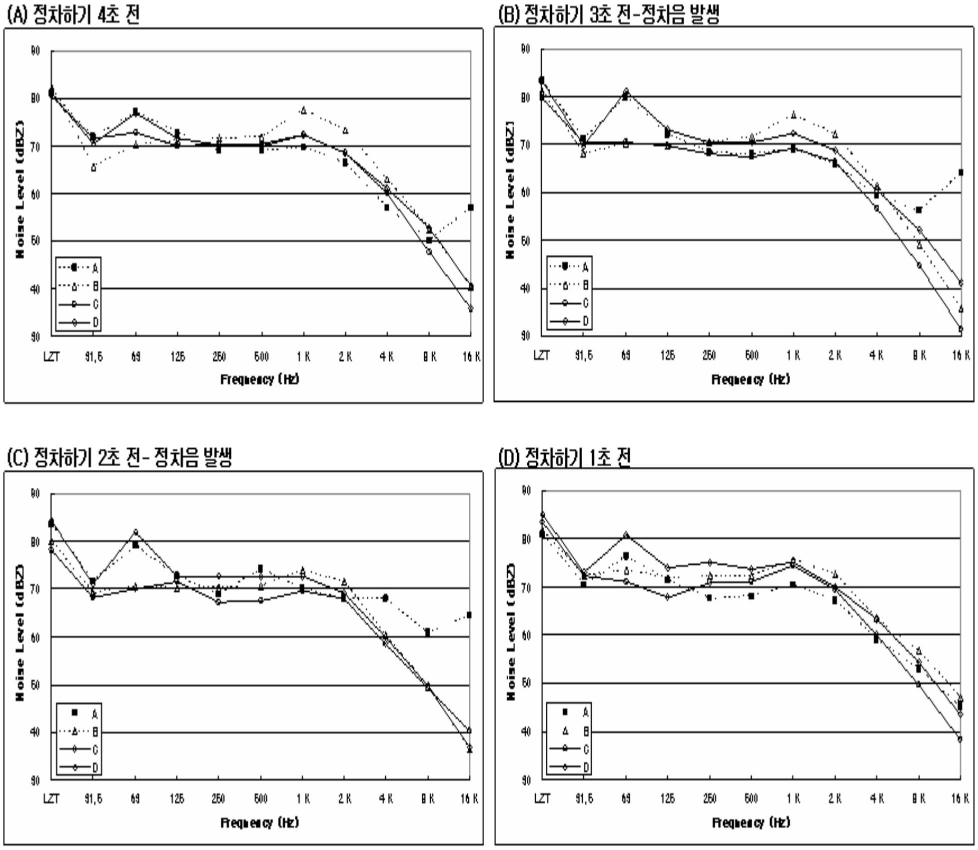


Fig. 44. While the bus stops, frequency comparison of occurrence sound.

다. 일반차량의 출발 시 주파수 특성

일반차량들이 신호등에서 정차하였다가 출발할 때의 주파수 특성을 2회 분석한 결과는 Fig. 45, Table 27 그리고 Table 28과 같다.

1회 측정 시 일반차량들이 적색 신호등에서 정차 시 10초 동안 소음도는 79.6 ~ 82.6 dB(Z)의 분포를 보였으며, 출발 후 15초에서 소음도가 88.0 dB(Z)로 가장 높게 측정되었다.

2회 측정 시 일반차량들이 적색 신호등에서 정차 시 10초 동안 소음도는 78.3 ~ 81.9 dB(Z)의 분포를 보였으며 출발 후 16초에서 소음도가 83.3 dB(Z)로 가장 높게 측정되었다.

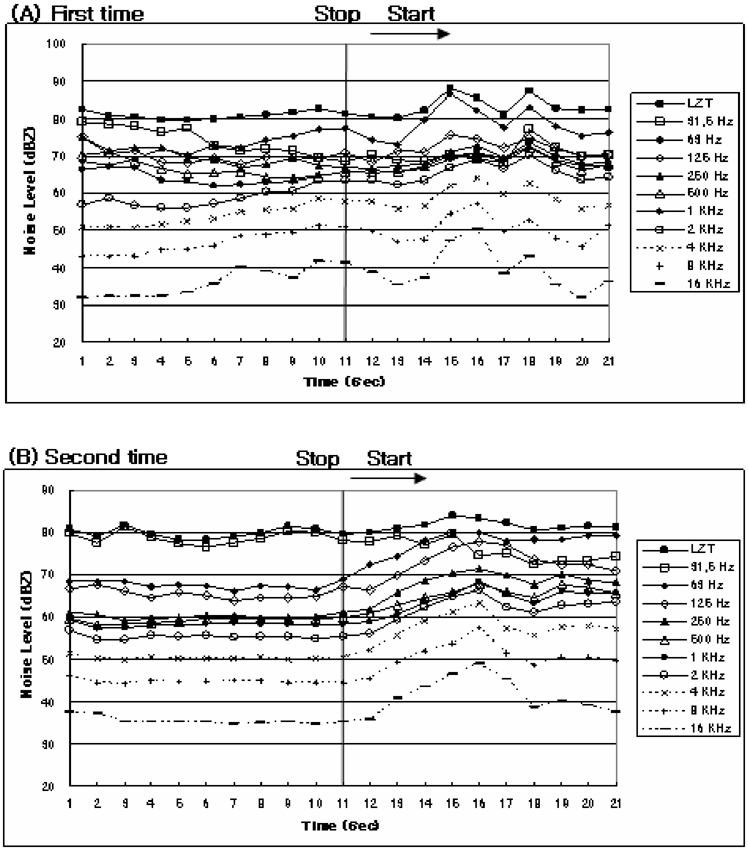


Fig. 45. When normal vehicles start, frequency characteristics of normal vehicles noise.

Table 27. When normal vehicles start, frequency characteristics of normal vehicles noise(First time) [Leq(1 Sec), dB(Z)]

	Sec	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
	1	82.3	78.9	68.5	74.9	74.9	70.2	66.3	56.8	51.0	43.1	31.9
	2	80.6	78.4	67.3	70.6	71.4	71.0	67.2	58.7	51.0	43.1	32.1
	3	80.5	77.8	69.2	71.3	72.2	68.5	66.7	56.6	50.7	43.1	32.3
	4	79.6	76.1	71.8	68.2	72.3	66.5	63.5	56.0	51.4	44.7	32.3
Stop	5	79.6	77.4	70.2	68.0	69.5	65.1	63.0	56.1	52.4	45.1	33.2
	6	79.8	72.5	72.7	69.5	68.9	65.4	61.9	57.1	52.8	45.9	35.5
	7	80.5	71.3	72.1	67.7	66.9	65.7	62.4	58.7	55.0	48.7	40.1
	8	81.1	71.9	74.1	69.7	67.8	64.3	62.8	60.2	55.6	48.9	39.0
	9	81.6	71.4	75.4	69.7	69.4	64.0	63.2	60.6	55.8	49.4	37.3
	10	82.6	69.4	77.0	69.3	67.4	64.6	64.6	63.5	58.7	51.3	41.7
	11	81.4	68.5	77.2	70.8	66.7	65.7	65.8	63.4	57.8	51.0	41.4
Start	12	80.4	70.2	74.1	68.3	66.5	65.3	65.9	63.4	57.6	49.8	38.6
	13	80.1	68.9	73.0	71.3	67.3	65.7	65.6	62.2	55.8	46.9	35.4
	14	82.2	68.6	79.5	71.2	67.6	67.0	66.6	63.5	56.7	47.5	37.3
	15	88.0	70.1	86.7	75.6	71.2	70.1	69.1	66.9	61.9	54.3	47.1
	16	85.5	69.2	82.1	74.4	72.7	70.4	70.7	69.0	64.0	57.2	50.3
	17	81.1	68.2	77.6	72.1	69.5	68.6	69.3	66.4	59.8	49.9	38.4
	18	87.3	77.1	83.0	74.8	72.4	72.1	73.7	70.2	62.6	52.6	42.9
	19	82.7	72.2	78.0	71.8	68.7	68.5	69.9	66.0	58.3	47.8	35.3
	20	82.2	69.9	75.4	69.8	67.3	66.0	67.6	63.5	55.8	45.6	31.8
	21	82.3	70.1	76.3	70.4	67.2	67.6	68.3	64.2	56.6	51.2	36.3

Table 28. When normal vehicles start, frequency characteristics of normal vehicles noise(Second time) [Leq(1 Sec), dB(Z)]

	Sec	LZT	31.5 (Hz)	63	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	16 K
	1	80.9	79.9	68.4	66.6	61.2	59.7	59.3	56.8	51.5	45.8	37.5
	2	79.1	77.6	68.3	67.7	60.5	58.1	57.3	54.7	50.1	44.3	37.3
	3	81.9	81.4	68.3	66.1	59.2	58.4	57.3	54.7	49.9	44.1	35.1
	4	79.6	78.8	67.2	64.5	59.5	58.7	58.1	55.7	50.3	44.9	35.3
Stop	5	78.4	77.2	67.5	65.9	59.9	58.9	58.2	55.3	50.1	44.6	35.1
	6	78.3	76.6	67.4	65.2	60.3	59.7	58.3	55.7	50.2	44.7	35.2
	7	79.1	77.5	66.2	63.8	60.4	59.6	58.5	55.2	50.2	44.9	34.7
	8	79.8	78.6	67.3	64.5	59.8	59.7	58.4	55.4	50.3	44.8	34.9
	9	81.5	80.4	67.2	64.5	59.7	59.7	58.3	55.4	49.9	44.3	35.1
	10	80.7	80.0	66.3	64.8	60.2	59.5	58.1	55.0	50.2	44.5	34.7
Start	11	79.6	78.0	68.9	67.0	61.2	59.8	58.4	55.3	50.5	44.5	35.3
	12	80.1	77.9	72.2	66.4	61.9	60.9	58.8	56.1	52.2	45.3	35.7
	13	81.1	79.3	74.2	69.9	65.9	62.8	60.7	59.3	55.7	49.3	40.6
	14	81.8	77.0	78.0	73.3	68.7	64.5	63.5	62.4	59.1	51.8	43.4
	15	83.9	79.6	80.0	76.5	70.3	65.8	65.3	64.9	61.1	53.6	46.3
	16	83.3	74.6	80.0	77.9	71.2	67.9	68.4	66.4	63.3	57.4	48.8
	17	82.2	75.0	78.1	77.1	69.8	65.9	65.4	62.4	57.4	51.4	45.1
	18	80.6	72.3	78.2	73.6	67.7	64.5	63.3	61.2	55.5	48.7	38.7
	19	81.1	73.4	78.4	72.2	70.1	67.7	66.1	62.9	57.6	50.3	40.3
	20	81.5	73.2	79.2	72.3	68.7	66.8	65.6	63.2	57.9	50.3	39.3
	21	81.3	74.3	79.3	70.7	68.2	65.7	65.5	63.5	57.2	49.7	37.4

일반차량들이 신호등에서 정차하고 있을 때와 출발할 후의 최고값을 비교한 결과는 Fig. 46과 같다.

1회 측정 시 일반차량이 정차하고 있을 때 7초경과 8초경과의 소음도를 평균하여 출발 후의 최고값과 비교하였다. 일반차량이 정차하고 있을 때 31.5, 63 Hz에서 각각 71.6, 73.1 dB(Z)의 높은 소음을 배출하고, 일반차량이 출발 후 최고값(15초경과)에서는 63 Hz에서 86.7 dB(Z)의 가장 높은 소음을 배출하고 있다.

2회 측정 시 일반차량이 정차하고 있을 때 7초경과 8초경과의 소음도를 평균하여 출발 후의 최고값과 비교하였다. 일반차량이 정차하고 있을 때 31.5, 63 Hz에서 각각 78.1, 66.8 dB(Z)의 높은 소음을 배출하고, 일반차량이 출발 후 최고값(16초경과)에서는 63 Hz에서 80.0 dB(Z)의 가장 높은 소음을 배출하고 있다.

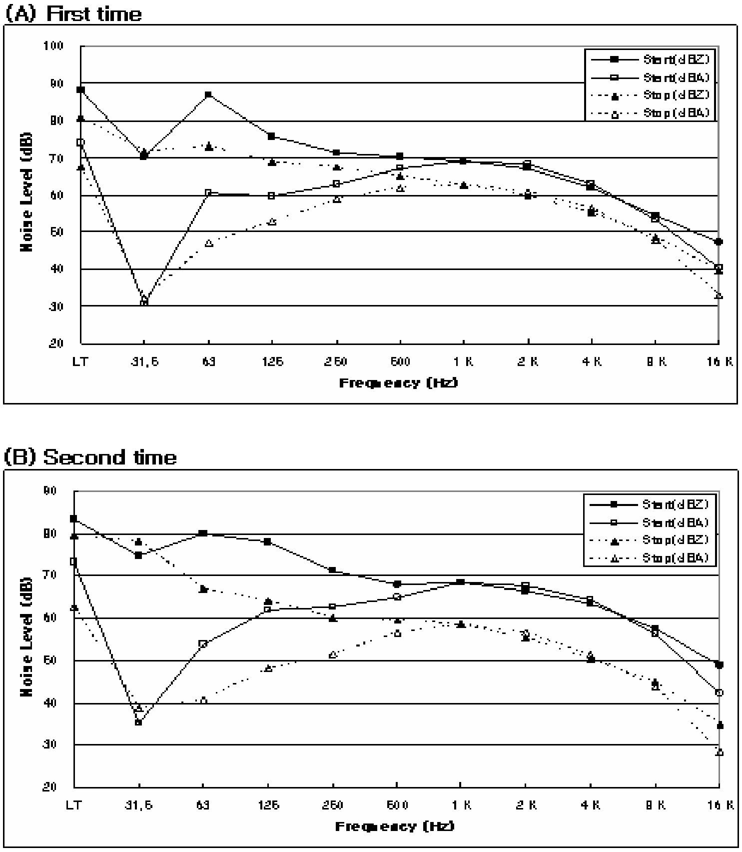


Fig. 46. When normal vehicles start and stop, frequency characteristics of normal vehicles noise.

일반차량의 운행에 따른 정차, 출발 후, 주행 시의 주파수를 비교한 결과는 Fig. 47과 같다.

일반차량이 정차 하였다가 출발할 때의 소음도가 85.7 dB(Z)로 정차와 주행 시 보다 높고 출발할 때는 63 Hz에서 소음도가 높고 250 Hz에서부터 감소하며 정차 시에는 31.5 Hz에서 높은 소음을 배출하는데 이는 엔진소음에 기인한 것으로 판단 된다.

일반 주행 시에는 63 Hz에서 소음도가 높았으며, 1 KHz에서 제2의 peak치를 발생하고 있다.

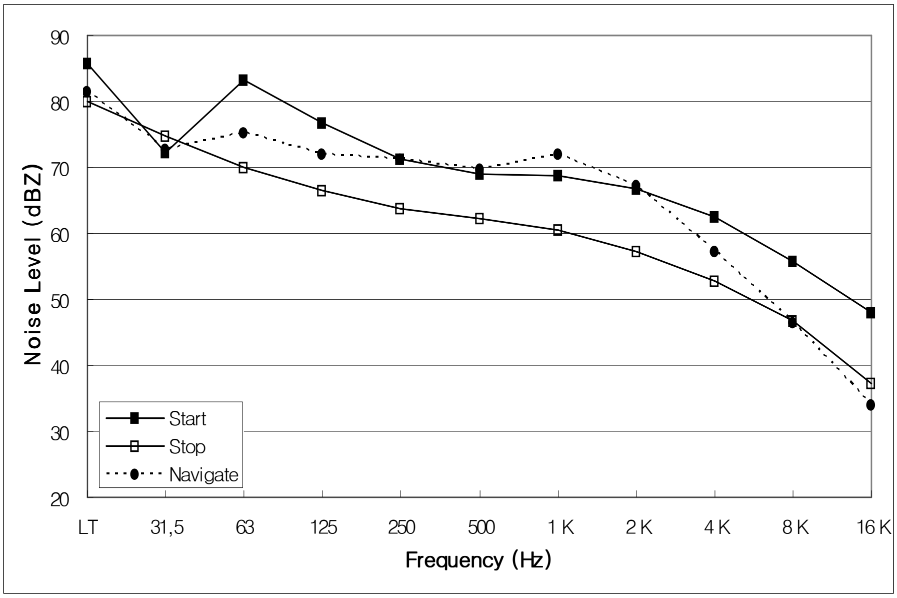


Fig. 47. Frequency comparison of normal vehicles noise in operation of normal vehicles.

라. 일반차량과 버스의 출발 시 주파수 특성 비교

일반차량과 버스의 출발 시와 주행 시의 주파수를 비교한 결과는 Fig. 48과 같다.

버스와 일반차량이 출발 시에 63 Hz에서 버스의 소음도는 82.5 dB(Z) 일반차량의 소음도는 83.4 dB(Z)로 비슷하였으며, 버스는 125 Hz부터 소음도가 증가하여 125, 250, 500 Hz에서 소음도가 높고 1 KHz부터 감소하는 것을 관찰할 수 있고 일반차량은 63 Hz에서 가장 높고 125 Hz부터 소음도가 감소하기 시작하였다.

버스와 일반차량은 운행 시 63 Hz에서 가장 높게 측정되었고, 버스는 250 Hz부터 일반차량은 125 Hz부터 소음도가 감소하고 1 KHz에서 제2의 peak치를 발생하고 있다.

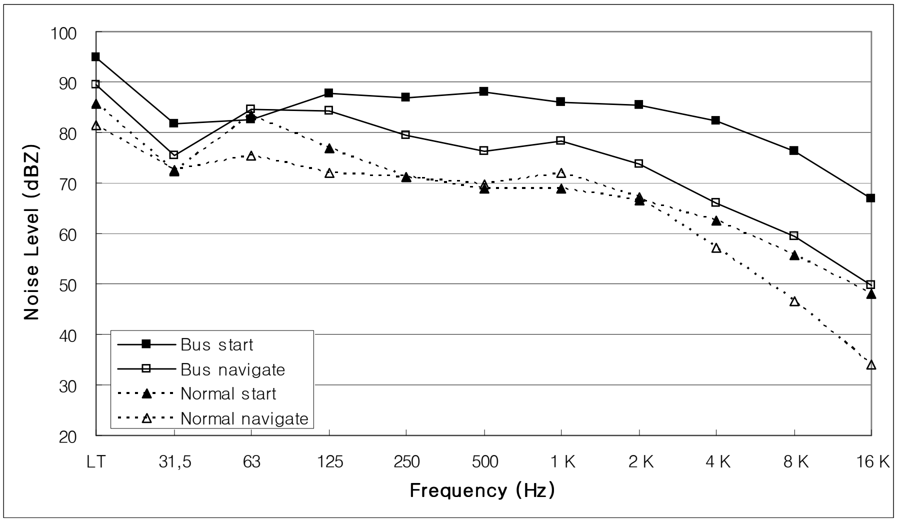


Fig. 48. When vehicles start, frequency comparison of bus and normal vehicles noise.

교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 특정차량이 측정지점을 통과할 때 오토바이를 제외한 차량들은 31.5, 500, 1K, 2K Hz에서 비슷한 분포를 보이고, 버스와 일반차량은 63 Hz에서 가장 높게 측정되었고, 버스는 250 Hz부터 일반차량은 125 Hz부터 소음도가 감소하고 1 KHz에서 제2의 peak치를 발생하고 있다. 승합차와 11 ton 트럭은 125 Hz에서 1 ton 트럭은 63 Hz에서 소음도가 가장 높게 측정되었다.

오토바이는 250 Hz에서 소음도가 96.7 dB(Z)로 가장 높게 측정되었고 500 Hz에서도 소음도가 95.5 dB(Z)로 높게 측정되어 특정차량들 중 가장 높은 소음도를 보였다.

버스와 일반차량이 출발 시에 63 Hz에서 버스의 소음도는 82.5 dB(Z) 일반차량의 소음도는 83.4 dB(Z)로 비슷하였으며, 버스는 125 Hz부터 소음도가 증가하여 125, 250, 500 Hz에서 소음도가 높고 1 KHz부터 감소하는 것을 관찰할 수 있고 일반차량은 63 Hz에서 가장 높고 125 Hz부터 소음도가 감소하기 시작하였다.

이와 같이 교통소음은 특정차량과 주행상태에 따라 특정한 장소와 시간에 주파수의 변화를 가져올 수 있다. 교통소음이 일정하게 발생하면 그 음을 주변 환경소음으로 인식하여 귀에 거슬리지 않는 음이 되겠지만 다양한 주파수대역의 음이 불규칙하게 인간의 귀를 자극하기에 도로교통소음이 규제치에 적합하더라도 주민들은 그 고통을 호소하고 있는 실정이다.

소음저감 대책방안을 수립 시 트럭이 많이 통행하는 공단, 버스가 많이 통행하는 터미널 등 차종분류에 따른 비율을 검토하여 도로교통소음의 특성에 맞는 대책방안을 수립한다면 도시계획, 공단계획 및 주거단지 계획에 효율적인 환경소음 저감대책을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 아파트 공간의 주파수감쇠 특성

환경부에서 정하고 있는 소음의 측정방법 중 측정위치는 피해가 우려되는 곳이 2층 이상의 건물인 경우 소음도가 높은 곳에서 소음원 방향으로 창문 출입문 또는 건물 벽 밖의 0.5 ~ 1m 떨어진 지점으로 규정하고 있다. 또한 아파트에서 생활하고 있는 주민들은 거실에서 생활을 대부분 하고 있기 때문에 교통소음이 주민들에게 미치는 영향을 파악하기 위해서 실외에서 발생한 교통소음이 실내까지 전달되는 과정에서 주파수감쇠 특성을 관찰해야 한다.

교통소음의 이동 경로를 크게 3가지 공간으로 구분할 경우 교통소음이 가장 먼저 도달하는 아파트의 외벽과 중간 이동경로인 발코니 공간 그리고 주민들이 실제 생활하는 거실이다.

각 지점을 아파트의 외벽은 창밖으로, 발코니의 공간은 발코니로, 거실은 거실중앙으로 선정하여 주파수감쇠 특성을 관찰하였다.

4.2.1 창 밖에서 측정 소음레벨

아파트의 외벽에서 주파수 변화 측정은 아파트 발코니의 창문이 없는 상태에서 음원의 방향으로 소음기를 아파트 벽에서 1m 떨어진 지점에 설치하여 각 층에서(1층, 5층, 8층, 11층, 14층) 측정하였고, 주파수 변화에 따른 소음레벨을 Fig. 49, Table 29에 나타내었다.

Z 주파수특성에서 소음도는 1층에서 67.2 dB(Z), 5층 70.3 dB(Z), 8층 70.1 dB(Z), 11층 69.2 dB(Z) 그리고 14층에서 67.7 dB(Z)로 나타나 1층의 소음도가 낮고 5층과 8층의 소음도가 비슷하며 11층부터 소음도가 낮게 측정되었는데 이는 아파트에서 음원 방향에 있는 담에 의하여 1층과 5층의 소음도가 영향을 받고, 11층과 14층은 거리감쇠에 의한 영향으로 사료된다.

전체 주파수 대역에서 5층과 8층에서 소음도가 높고 11층부터 감소하는 경향을 보였다.

각 층에서 주파수별 소음레벨은 250, 500 Hz에서 높게 나타나 중주파수대역에서의 소음도가 지배적임을 알 수 있다.

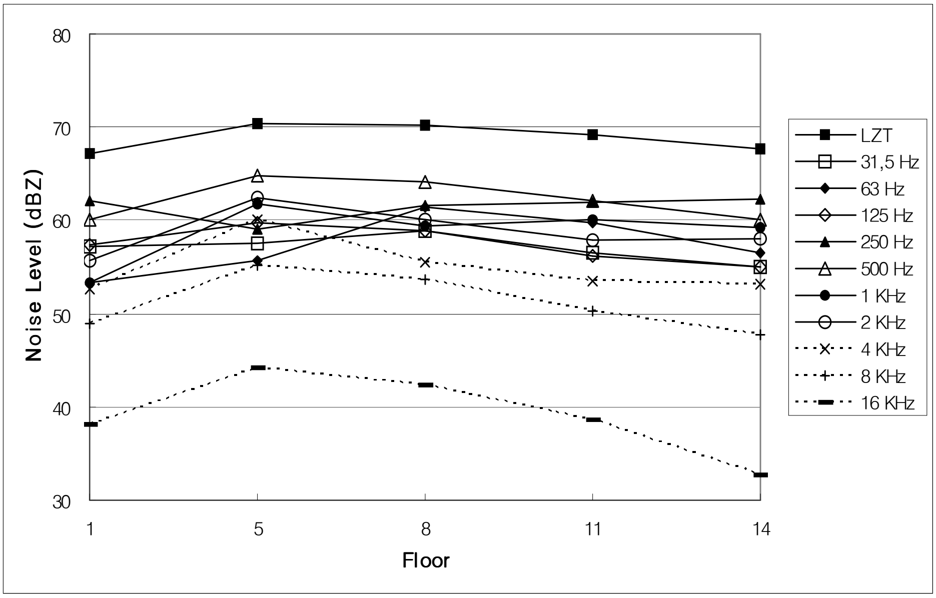


Fig. 49. Frequency variation to window outside by floor.

Table 29. Frequency variation to window outside by floor

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Location	LZT	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	LAT
1 floor	67.2	57.1	53.3	57.4	62.0	60.1	53.3	55.7	52.7	49.0	38.2	62.1
5 floor	70.3	57.6	55.6	59.7	59.0	64.8	61.8	62.5	60.1	55.2	44.1	68.3
8 floor	70.1	58.9	61.5	58.8	61.5	64.1	59.3	60.1	55.5	53.6	42.3	66.1
11 floor	69.2	56.5	59.7	56.2	61.9	62.2	60.1	57.8	53.4	50.2	38.6	64.8
14 floor	67.7	55.0	56.5	55.0	62.2	60.0	59.2	58.0	53.1	47.8	32.7	64.1

각 주파수 대역에서 각 층에 따른 감쇠변화는 아파트와 30m 거리에서 발생된 음원의 소음레벨을 주파수대역에 따라 비교하였고, 관찰한 결과는 Fig. 50, Table 30에 나타내었다.

소음도 값이 클수록 감쇠가 많이 일어난 것으로 나타났으며 저주파대역인 31.5 Hz 에서 1.4 ~ 5.3 dB(Z)로 감쇠가 가장 적게 일어났고 63 Hz에서도 비슷한 경향을 보였다.

125 Hz와 250 Hz에서 감쇠가 증가 하였다가 500 Hz에서 감쇠가 7.9 ~ 12.7 dB(Z)로 감소하고 1 KHz에서부터 감쇠가 일정하게 증가하는 것을 관찰 할 수 있다.

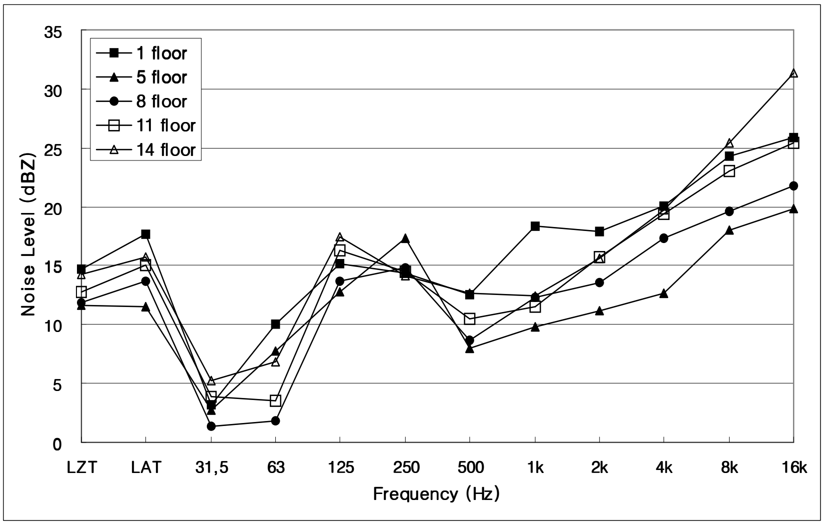


Fig. 50. Variation of frequency attenuation to window outside by floor.

Table 30. Variation of frequency attenuation to window outside by floor

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency Location	LZT	LAT	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
Noise	82.0	79.8	60.3	63.3	72.5	76.4	72.7	71.6	73.6	72.8	73.2	64.0
1 floor	14.8	17.7	3.2	10.0	15.1	14.4	12.6	18.3	17.9	20.1	24.2	25.8
5 floor	11.7	11.5	2.7	7.7	12.8	17.4	7.9	9.8	11.1	12.7	18.1	19.9
8 floor	11.9	13.7	1.4	1.8	13.7	14.9	8.6	12.3	13.5	17.4	19.6	21.7
11 floor	12.8	15.0	3.8	3.6	16.3	14.5	10.5	11.5	15.8	19.4	23.0	25.4
14 floor	14.3	15.7	5.3	6.8	17.5	14.2	12.7	12.4	15.6	19.7	25.4	31.3

4.2.2 발코니에서 측정 소음레벨

아파트 발코니는 창문이 없는 상태이며, 거실방향의 창문도 개방된 상태이다. 발코니 중앙에서 음원의 방향으로 소음기를 설치하고, 각 층에서(1층, 5층, 8층, 11층, 14층) 소음레벨을 측정하였고 주파수 변화는 Fig. 51, Table 31에 나타내었다.

Z 주파수특성에서 소음도는 1층에서 67.7 dB(Z), 5층 69.9 dB(Z), 8층 68.6 dB(Z), 11층 67.4 dB(Z) 그리고 14층에서 66.9 dB(Z)로 1층의 소음도가 낮고 5층에서 소음도가 증가하였다가 8층부터 소음도가 낮게 측정되었다.

31.5, 63, 250, 500, 2KHz의 저주파영역에서는 5층보다 8층의 소음도가 높았으며 4K, 8K, 16KHz의 고주파영역에서는 11층에서 소음도가 가장 높게 관찰 되었다.

이는 아파트에서 음원 방향에 있는 담에 의하여 1층에서 8층까지 영향을 받는 것으로 사료된다.

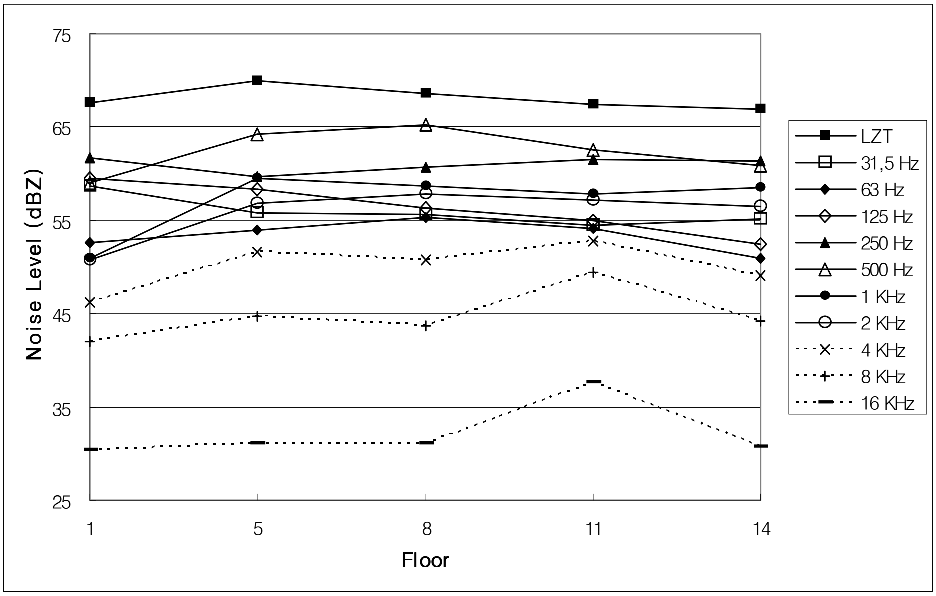


Fig. 51. Frequency variation to balcony by floor.

Table 31. Frequency variation to balcony by floor [Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Location	LZT	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	LAT
1 floor	67.7	58.7	52.6	59.5	61.7	59.0	51.0	50.8	46.2	42.1	30.3	59.5
5 floor	69.9	55.8	53.9	58.3	59.7	64.2	59.4	56.8	51.6	44.6	31.1	64.8
8 floor	68.6	55.7	55.3	56.4	60.7	65.2	58.6	57.8	50.7	43.7	31.1	65.2
11 floor	67.4	54.5	54.2	55.0	61.5	62.5	57.8	57.2	52.8	49.5	37.7	63.9
14 floor	66.9	55.2	51.0	52.5	61.3	60.8	58.6	56.5	49.1	44.3	30.7	63.1

각 주파수 대역에서 각 층에 따른 감쇠변화는 아파트와 30 m 거리에서 발생된 음원의 주파수대역별 소음레벨과 비교하였고 관찰한 결과는 Fig. 52, Table 32에 나타내었다.

소음도 값이 클수록 감쇠가 많이 일어난 것을 나타내었으며, 31.5 Hz 저주파대역에서는 1.6 ~ 5.8 dB(Z)로 감쇠가 가장 적게 일어났고, 63 Hz와 500 Hz 중주파대역에서 2번째로 소음도가 낮게 관찰되었다.

125 Hz와 250 Hz에서 감쇠가 증가 하였다가 500 Hz에서 감쇠가 7.5 ~ 13.7 dB(Z)로 감소하고 1 KHz에서부터 감쇠가 일정하게 증가하는 것을 관찰 할 수 있다.

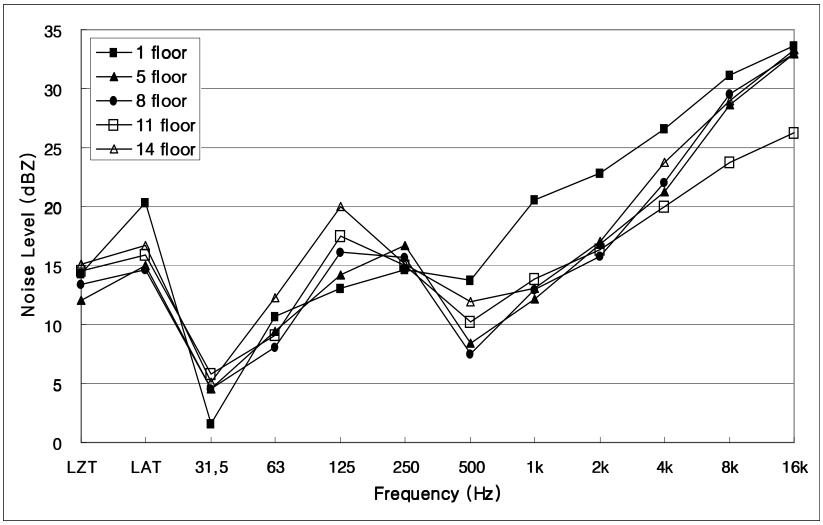


Fig. 52. Variation of frequency attenuation to balcony by floor.

Table 32. Variation of frequency attenuation to balcony by floor

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Location	LZT	LAT	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
Noise	82.0	79.8	60.3	63.3	72.5	76.4	72.7	71.6	73.6	72.8	73.2	64.0
1 floor	14.3	20.3	1.6	10.7	13.0	14.7	13.7	20.6	22.8	26.6	31.1	33.7
5 floor	12.1	15.0	4.5	9.4	14.2	16.7	8.5	12.2	16.8	21.2	28.6	32.9
8 floor	13.4	14.6	4.6	8.0	16.1	15.7	7.5	13.0	15.9	22.1	29.6	32.9
11 floor	14.6	15.9	5.8	9.1	17.5	15.0	10.2	13.8	16.4	20.1	23.8	26.3
14 floor	15.1	16.7	5.2	12.3	20.1	15.1	11.9	13.1	17.1	23.7	28.9	33.3

4.2.3 거실중앙에서 측정 소음레벨

아파트 발코니는 창문이 없는 상태이며 거실방향의 창문도 개방된 상태이다. 거실 중앙에서 음원의 방향으로 소음기를 설치하고 각 층에서(1층, 5층, 8층, 11층, 14층) 소음레벨을 측정하였고 주파수 변화는 Fig. 53, Table 33에 나타내었다.

Z 주파수특성에서 소음도는 1층에서 67.8 dB(Z), 5층 69.3 dB(Z), 8층 69.3 dB(Z), 11층 68.8 dB(Z) 그리고 14층에서 66.9 dB로 1층의 소음도가 낮고 5층과 8층에서 소음도가 증가하였다가 11층부터 소음도가 낮게 측정되었다.

1층에서 31.5 Hz(57.9 dB(Z))와 250 Hz(63 dB(Z))에서 소음도가 높게 관찰되었다. 5층에서 소음도가 가장 높게 관찰된 주파수는 125 Hz(57.6 dB(Z)), 1 KHz(60.1 dB(Z)), 2 KHz(61.5 dB(Z)), 4 KHz(59.7 dB(Z)), 8 KHz(54.0 dB(Z))와 16 KHz(41.7 dB(Z))이다.

8층에서 소음도가 가장 높게 관찰된 주파수는 500Hz(64.7 dB(Z))이고, 11층에서 소음도가 가장 높게 관찰된 주파수는 63 Hz(59.4 dB(Z)), 1 KHz(58.4 dB(Z))이다.

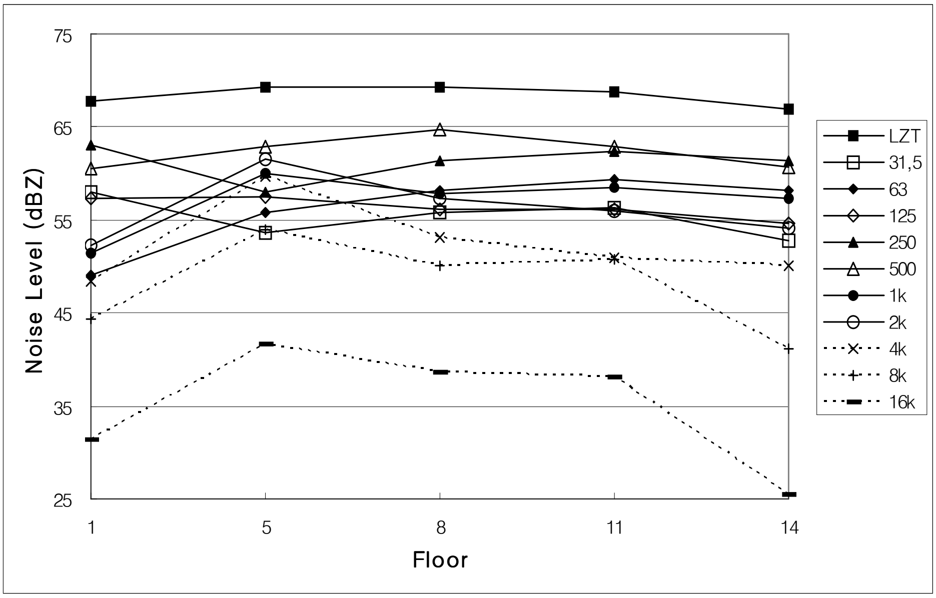


Fig. 53. Frequency variation to livingroom by floor.

Table 33. Frequency variation to livingroom by floor [Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Location	LZT	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	LAT
1 floor	67.7	58.7	52.6	59.5	61.7	59.0	51.0	50.8	46.2	42.1	30.3	59.5
5 floor	69.9	55.8	53.9	58.3	59.7	64.2	59.4	56.8	51.6	44.6	31.1	64.8
8 floor	68.6	55.7	55.3	56.4	60.7	65.2	58.6	57.8	50.7	43.7	31.1	65.2
11 floor	67.4	54.5	54.2	55.0	61.5	62.5	57.8	57.2	52.8	49.5	37.7	63.9
14 floor	66.9	55.2	51.0	52.5	61.3	60.8	58.6	56.5	49.1	44.3	30.7	63.1

각 주파수 대역에서 각 층에 따른 감쇠변화는 아파트와 30m 거리에서 발생된 음원의 소음레벨을 주파수특성에 따라 비교하였고, 관찰한 결과는 Fig. 54, Table 34에 나타내었다.

소음레벨 값이 클수록 감쇠가 많이 일어난 것을 나타내었으며 31.5 Hz 저주파대역에서는 2.4 ~ 7.6 dB(Z)로 감쇠가 가장 적게 일어났고, 63 Hz에서는 1층을 제외한 각 층에서 3.9 ~7.5 dB(Z)로 31.5 Hz와 소음도가 비슷하게 감쇠가 적게 일어났다.

125 Hz와 250 Hz 대역에서 감쇠가 증가 하였다가 500 Hz에서 감쇠가 8 ~ 12.2 dB(Z)로 감소하고 1 KHz 대역에서부터 감쇠가 일정하게 증가하는 것을 관찰할 수 있다.

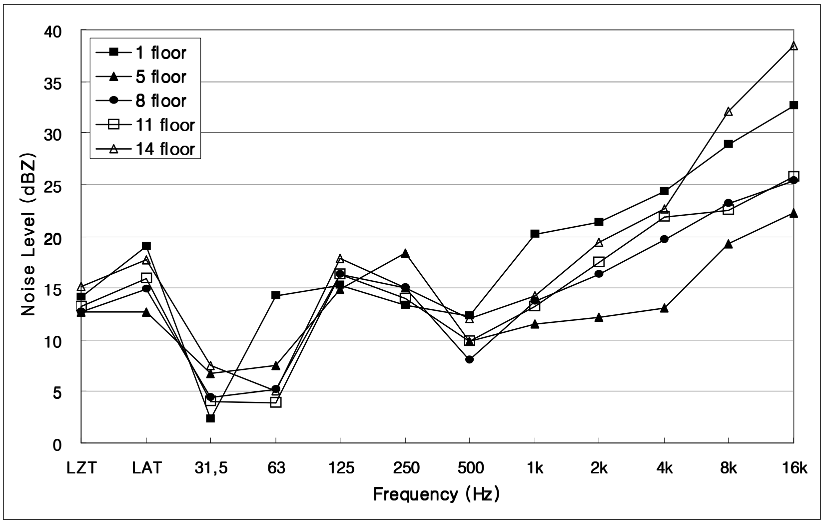


Fig. 54. Variation of frequency attenuation to livingroom by floor.

Table 34. Variation of frequency attenuation to livingroom by floor

[Leq(1 Sec), dB(Z)]

Frequency / Location	LZT	LAT	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
Noise	82.0	79.8	60.3	63.3	72.5	76.4	72.7	71.6	73.6	72.8	73.2	64.0
1 floor	14.2	19.1	2.4	14.3	15.2	13.4	12.2	20.2	21.4	24.4	28.9	32.6
5 floor	12.7	12.7	6.7	7.5	14.9	18.4	9.9	11.5	12.1	13.1	19.2	22.3
8 floor	12.7	14.9	4.4	5.2	16.4	15.1	8.0	13.7	16.3	19.6	23.2	25.3
11 floor	13.2	15.9	4.0	3.9	16.3	14.0	9.8	13.2	17.5	21.9	22.5	25.8
14 floor	15.1	17.7	7.6	5.1	17.9	15.0	12.1	14.3	19.4	22.7	32.1	38.5

4.2.4 공간에 따른 주파수 감쇠 변화

아파트와 30m 거리에서 발생된 음원의 소음레벨이 아파트 외벽, 발코니를 통하여 거실 중앙까지 전달되는 동안 주파수 감쇠 변화를 관찰한 결과는 Fig. 55 ~ Fig. 59와 같다.

아파트 창밖에서 측정된 값을 A, 발코니에서 측정된 값을 B, 거실 중앙에서 측정된 값을 C 라 정하고 아파트 창 밖에서 측정된 값에서 발코니에서 측정된 값의 차(A-B)와 발코니에서 측정된 값에서 거실 중앙에서 측정된 값의 차(B-C)를 비교하였다.

발코니에서 측정된 값에서 거실 중앙에서 측정된 값의 차를 비교하면 62%에 해당하는 값이 - 값을 가졌으며, 이는 발코니는 음이 전달되는 경로이고 거실중앙은 폐쇄된 공간이기에 거실에서 음의 반사와 회절에 의하여 음이 더 높아진 것으로 사료된다.

1층, 5층 그리고 8층에서 공간에 따른 주파수 감쇠변화는 1K Hz 이상에서 주파수가 높아질수록 감쇠현상이 크게 나타났고, 31.5 Hz와 63 Hz에서는 층이 높아질수록 감쇠현상이 커지는 것을 알 수 있다.

11층에서는 63 Hz에서 감쇠현상이 높게 나타나고 전체적으로 비슷하게 감쇠하였다. 14층에서는 1K Hz 이상에서 감쇠현상이 크게 나타났는데 주파수 변화에는 전체적으로 연관성이 없으며 이는 음원에서 발생한 음원에 대한 영향보다는 주변 환경소음의 영향인 것으로 사료된다.

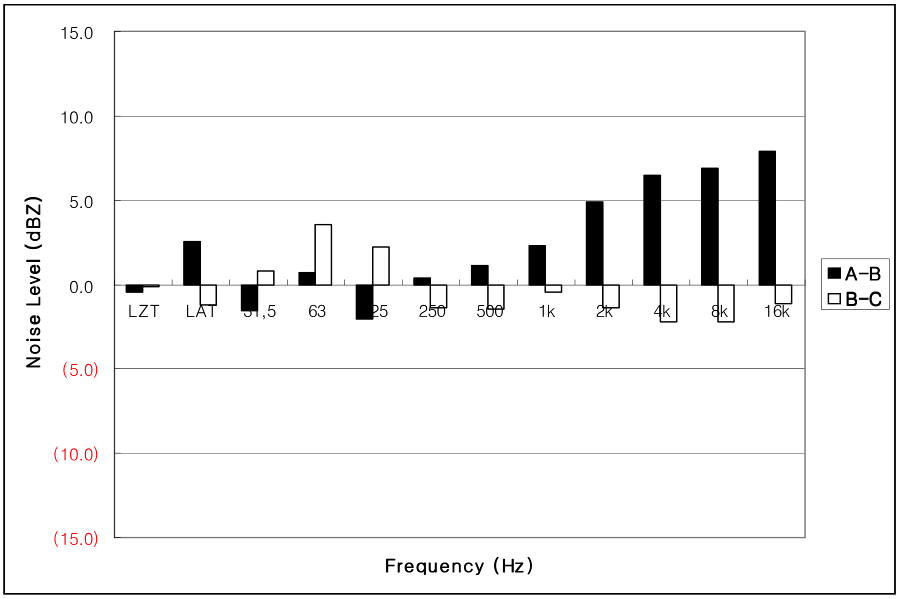


Fig. 55. Variation of frequency attenuation by space(1 floor).

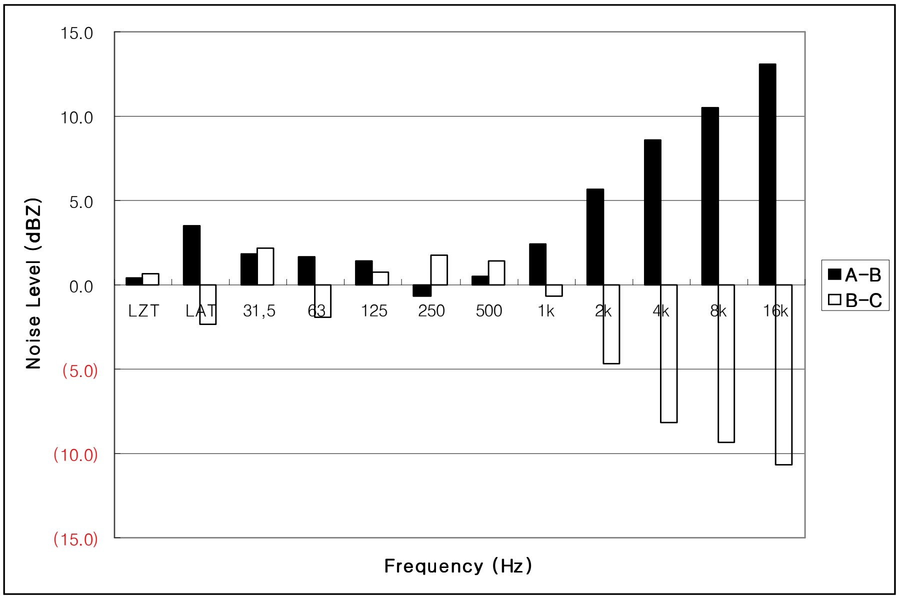


Fig. 56. Variation of frequency attenuation by space(5 floor).

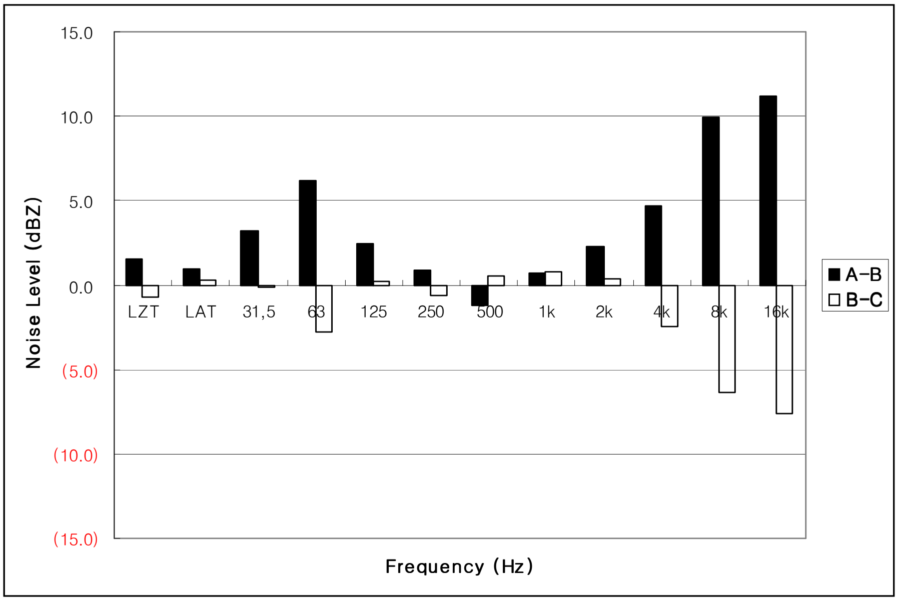


Fig. 57. Variation of frequency attenuation by space(8 floor).

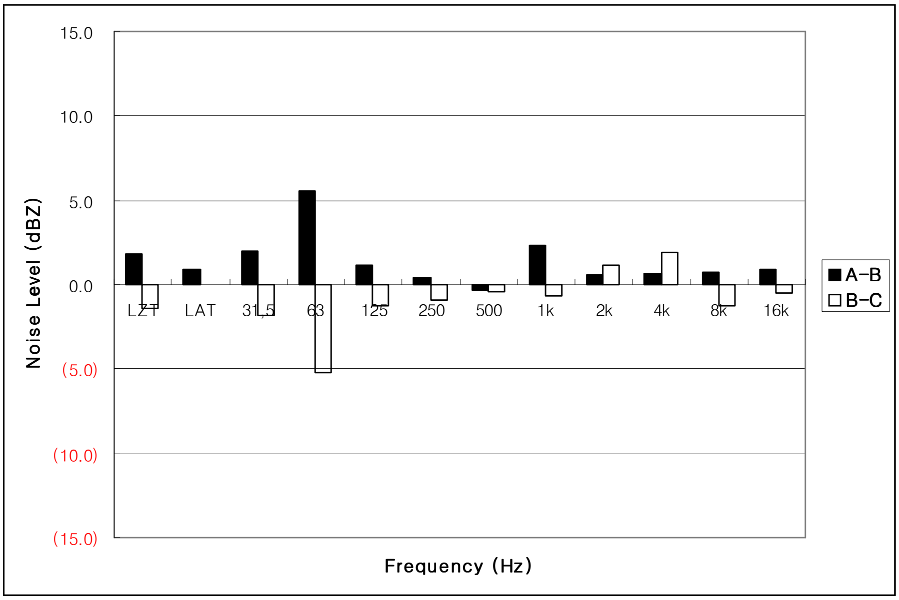


Fig. 58. Variation of frequency attenuation by space(11 floor).

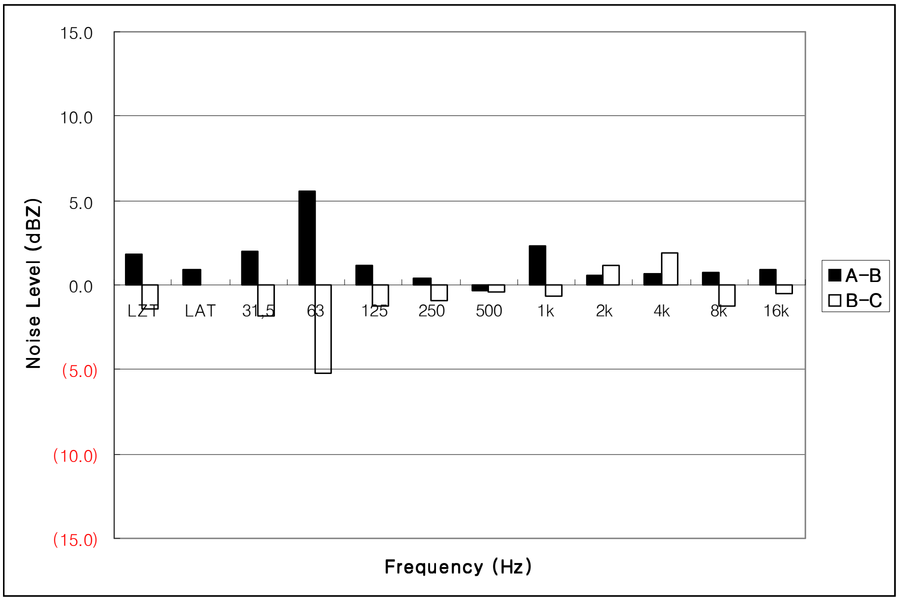


Fig. 59. Variation of frequency attenuation by space(14 floor).

아파트에 일정한 음을 발생하였을 때 아파트 각 층에 따른 외벽, 발코니 그리고 거실에 음이 도달할 때의 주파수 특성 영향을 고려하여 택지개발 사업 시 그리고 공동주택 수립 시 도로로부터 방음벽 높이, 층고 조정, 실내소음 저감 등에 관한 연구가 이루어진다면 주민들의 삶의 질이 향상될 것으로 판단된다.

4.3 RAYNOISE를 이용한 소음도 분석

도로에서 발생한 교통소음이 전달경로에서 아파트 외벽과 발코니를 통하여 거실까지 도달하는데 주파수의 변화를 관찰하고 교통소음 방지대책으로 주민들이 할 수 있는 창문의 열고 닫음의 위치 선정에 따른 소음도의 변화를 알아보고자 한다.

교통소음의 전달경로에 따른 주파수 변화는 크게 3가지로 아파트 외벽(창 밖에서), 발코니의 공간(발코니)과 거실의 공간(거실)으로 구분하였다.

방지대책으로 창문의 열고 닫음의 위치는 거실을 기준으로 침실의 침실창과 침실방면의 외벽 창을 열었을 때와 침실 창은 닫고 침실방면의 외벽 창을 열었을 때로 구분하였다.

4.3.1 창 밖에서의 주파수 특성

아파트 외벽에서 1 m 떨어진 각 층의 바닥으로부터 1 m 높이에 Field Point를 선정하여 70개의 지점을 관찰하였고, 거실에서 음원까지 직선상에 있는 가장 가까운 지점은 각 층의 중앙 지점인 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43, 48, 53, 58, 63, 68 이다.

3차원 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 RAYNOISE를 이용하여 주파수 별로 모델링 한 결과는 Fig. 60, Table 35와 같다.

63 Hz에서 높은 소음도를 나타낸 층은 1층(3 point, 45.2 dB(Z))과 2층(8 point, 43.5 dB(Z))이며, 층이 높아질수록 소음도는 감소하다 6층에서 9층까지 소음도가 증가하고 10층에서부터 다시 감소하기 시작하였다.

125 Hz에서 높은 소음도를 나타낸 층은 1층(3 point, 56.0 dBZ)과 2층(8 point, 51.6 dB(Z))이며, 층이 높아질수록 소음도는 감소하다 7층과 8층에서 소음도가 증가하고 9층에서부터 다시 감소하기 시작하였다.

250 Hz에서 가장 높은 소음도를 나타낸 층은 7층(33 point, 43.7 dB(Z))이고 1층(3 point, 42.9 dB(Z)), 2층(8 point, 42.0 dB(Z)), 9층(43 point, 42.4 dB(Z))과 10층(48 point, 42.7 dB(Z))에서 다음으로 높았다.

500 Hz에서 높은 소음도를 나타낸 층은 8층(38 point, 51.0 dB(Z)), 9층(43 point, 53.2 dB(Z))과 10층(48 point, 51.9 dB(Z))이다.

1 KHz에서 높은 소음도를 나타낸 층은 1층(3 point, 44.0 dB(Z))과 2층(8 point, 45.0 dB(Z))이며 층이 높아질수록 소음도는 감소하다 8층과 10층에서 소음도가 증가하였다.

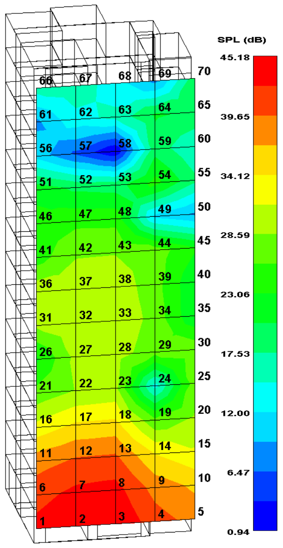
2 KHz에서 높은 소음도를 나타낸 층은 4층(18 point, 41.5 dB(Z))과 5층(23 point, 41.3 dB(Z))이다.

4 KHz와 8 KHz에서 가장 높은 소음도를 나타낸 층은 6층(28 point)이고 각각의 소음도는 45.6과 41.4 dB(Z)이다.

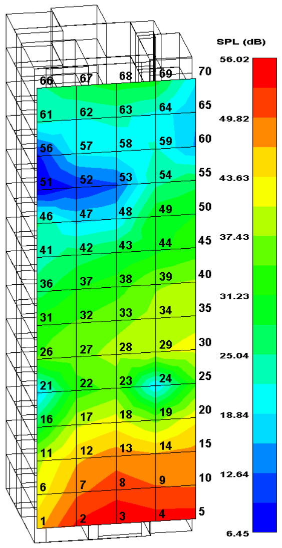
낮은 층에서는 125 Hz 이하의 저주파특성의 소음도가 영향을 미치고 있으며, 중간층에서 다시 소음도가 올라가는 현상을 보이는데 6층에서 10층 사이에서는 고주파특성의 소음도가 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

Table 35. Frequency variation to window outside by floor

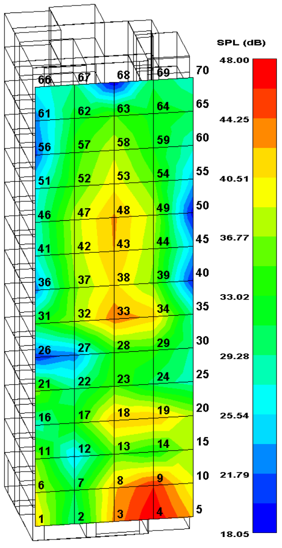
No.	Floor	LZT	LAT	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Noise		82.0	79.8	63.3	72.5	76.4	72.7	71.6	73.6	72.8	73.2
3	1	57.5	49.7	45.2	56.0	42.9	48.6	44.0	28.0	42.0	30.7
8	2	54.7	50.2	43.5	51.6	42.0	46.6	45.0	39.7	43.9	33.0
13	3	50.4	43.7	40.0	48.5	35.0	41.9	29.8	29.5	39.2	32.1
18	4	48.0	45.1	34.6	42.1	42.3	37.7	33.5	41.5	36.6	25.2
23	5	45.0	43.9	29.1	35.4	35.0	38.1	24.2	41.3	26.3	35.3
28	6	48.4	48.1	29.9	38.6	33.3	36.1	29.2	36.0	45.6	41.4
33	7	48.2	44.4	31.0	36.5	43.7	43.9	29.3	31.5	35.7	37.9
38	8	52.1	49.3	30.4	32.8	40.9	51.0	41.7	18.4	36.4	35.0
43	9	53.9	50.7	28.4	28.3	42.4	53.2	39.8	27.6	29.8	38.2
48	10	53.0	50.1	24.9	18.9	42.7	51.9	42.3	36.7	23.4	31.4
53	11	50.2	47.1	18.9	12.0	39.9	49.5	36.4	30.0	28.4	28.2
58	12	45.2	42.5	0.9	20.3	38.2	42.5	34.6	28.8	26.7	36.8
63	13	42.1	40.4	15.4	22.6	35.0	37.5	27.5	31.5	34.5	33.9
68	14	45.1	45.2	13.3	29.5	18.0	38.9	29.0	42.7	30.4	34.3



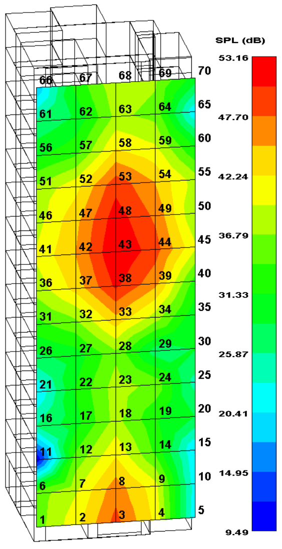
(A) 63 Hz



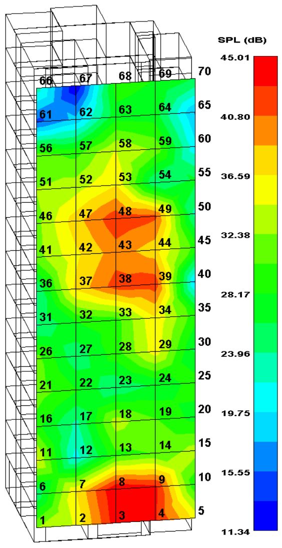
(B) 125 Hz



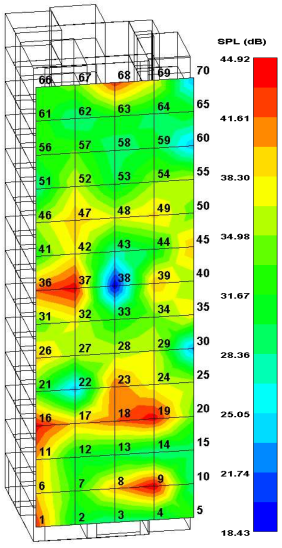
(C) 250 Hz



(D) 500 Hz



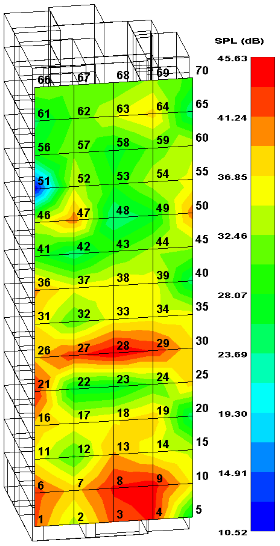
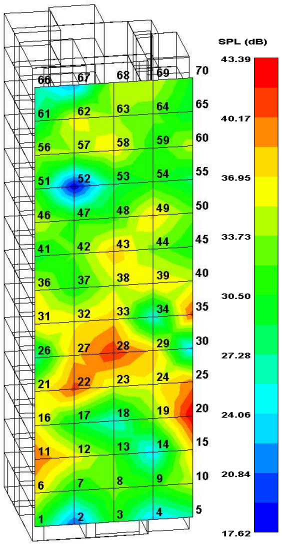
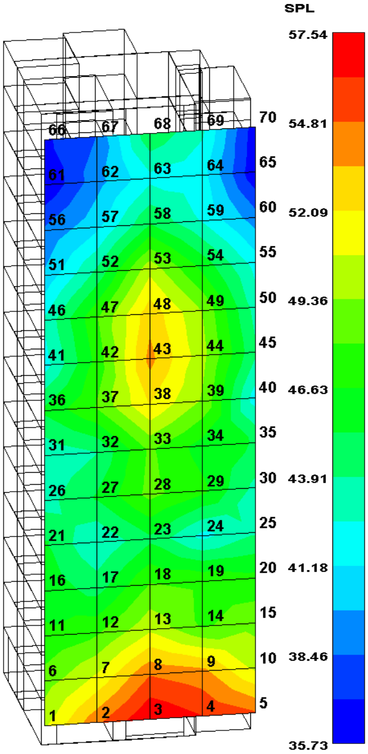
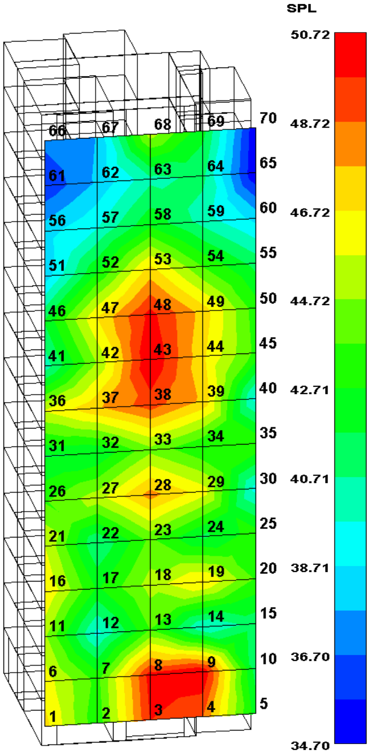
(E) 1000 Hz



(F) 2000 Hz

Fig. 60. Noise level to window outside by floor.

continued

	
(G) 4000 Hz	(H) 8000 Hz
	
(I) dB(Z)	(J) dB(A)

4.3.2 발코니에서의 주파수 특성

발코니 중앙의 각 층 바닥으로부터 1 m 높이에 Field Point를 선정하여 70개의 지점을 관찰하였고, 거실에서 음원까지 직선상에 있는 가장 가까운 지점은 각 층의 중앙 지점인 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43, 48, 53, 58, 63, 68 이다.

3차원 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 RAYNOISE를 이용하여 주파수 별로 모델링한 결과는 Fig. 61, Table 36과 같다.

63 Hz에서 높은 소음도를 나타낸 층은 1층(3 point, 29.3 dB(Z)), 2층(8 point, 29.1 dB(Z))과 3층(13 point, 29.0 dB(Z))이며, 층이 높아질수록 소음도는 감소하다 7층과 8층에서 소음도가 증가하고 9층부터 다시 감소하기 시작하였다.

125 Hz에서 각 층의 가운데 지점에서 높은 소음도를 나타낸 층은 1층(3 point, 38.4 dB(Z)), 2층(8 point, 38.2 dB(Z))과 3층(13 point, 38.1 dB(Z))이며 층이 높아질수록 소음도는 감소하다 7층과 8층에서 소음도가 증가하고 9층부터 다시 감소하기 시작하였다.

250 Hz에서 각 층의 가운데 지점에서 높은 소음도를 나타낸 층은 1층(3 point, 42.2 dB(Z)), 2층(8 point, 42.1 dB(Z))과 3층(13 point, 41.9 dB(Z))이며 층이 높아질수록 소음도는 감소하다 7층과 8층에서 소음도가 증가하고 9층부터 다시 감소하기 시작하였다.

500 Hz에서 각 층의 가운데 지점에서 높은 소음도를 나타낸 층은 1층(3 point, 38.5 dB(Z)), 2층(8 point, 38.4 dB(Z))과 3층(13 point, 38.2 dB(Z))이며 층이 높아질수록 소음도는 감소하다 7층과 8층에서 소음도가 증가하고 9층부터 다시 감소하기 시작하였다.

1 KHz에서 각 층의 가운데 지점에서 높은 소음도를 나타낸 층은 1층(3 point, 37.3 dB(Z)), 2층(8 point, 37.2 dB(Z))과 3층(13 point, 37.0 dB(Z))이며 층이 높아질수록 소음도는 감소하다 7층과 8층에서 소음도가 증가하고 9층부터 다시 감소하기 시작하였다.

2 KHz에서 각 층의 가운데 지점에서 높은 소음도를 나타낸 층은 1층(3 point,

39.1 dB(Z)), 2층(8 point, 39.0 dB(Z))과 3층(13 point, 38.8 dB(Z))이며 층이 높아질수록 소음도는 감소하다 7층과 8층에서 소음도가 증가하고 9층부터 다시 감소하기 시작하였다.

4 KHz에서각 층의 가운데 지점에서 높은 소음도를 나타낸 층은 1층(3 point, 37.7 dB(Z)), 2층(8 point, 37.6 dB(Z))과 3층(13 point, 37.4 dB(Z))이며 층이 높아질수록 소음도는 감소하다 7층과 8층에서 소음도가 증가하고 9층부터 다시 감소하기 시작하였다.

발코니에서 주파수에 따른 소음도 변화는 1층에서 3층까지 소음도가 높았고 층이 높아질수록 감소하다 7층과 8층에서 소음도가 증가하고 9층부터 다시 감소하는 경향을 보이고 있는데 250Hz 및 500Hz 대역의 소음도가 지배적임을 알 수 있다.

Table 36. Frequency variation to balcony by floor

No.	Floor	LZT	LAT	63	125	250	500	1k	2k	4k
Noise		82.0	79.8	63.3	72.5	76.4	72.7	71.6	73.6	72.8
3	1	47.0	44.7	29.3	38.4	42.2	38.5	37.3	39.1	37.7
8	2	46.9	44.6	29.1	38.2	42.1	38.4	37.2	39.0	37.6
13	3	46.8	44.4	29.0	38.1	41.9	38.2	37.0	38.8	37.4
18	4	45.3	42.9	27.5	36.6	40.4	36.7	35.5	37.3	35.9
23	5	41.1	38.6	23.5	32.5	36.3	32.5	31.3	33.0	31.3
28	6	40.2	37.6	22.6	31.6	35.4	31.6	30.4	32.1	30.3
33	7	46.2	43.9	28.4	37.5	41.4	37.6	36.5	38.3	36.9
38	8	46.0	43.7	28.2	37.3	41.2	37.4	36.3	38.1	36.7
43	9	45.3	42.9	27.5	36.6	40.4	36.7	35.5	37.3	35.9
48	10	44.6	42.2	26.8	35.9	39.8	36.0	34.9	36.7	35.3
53	11	44.1	41.7	26.3	35.4	39.3	35.6	34.4	36.2	34.7
58	12	32.7	27.3	17.9	26.4	29.3	24.0	20.6	19.8	15.5
63	13	34.4	29.5	19.6	27.9	30.8	25.8	22.9	22.6	18.5
68	14	35.5	31.5	20.4	28.6	31.5	26.9	24.7	25.3	22.2

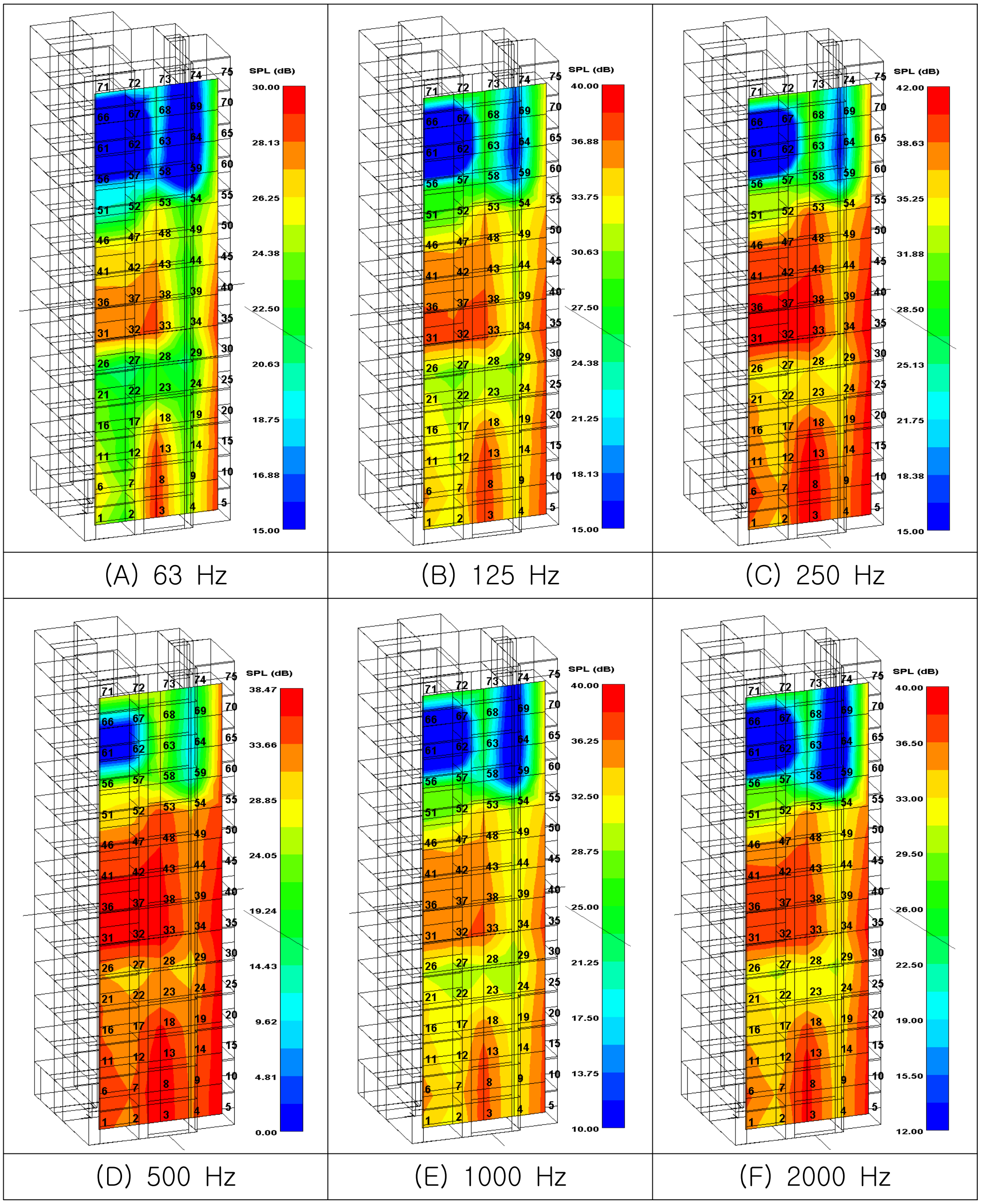
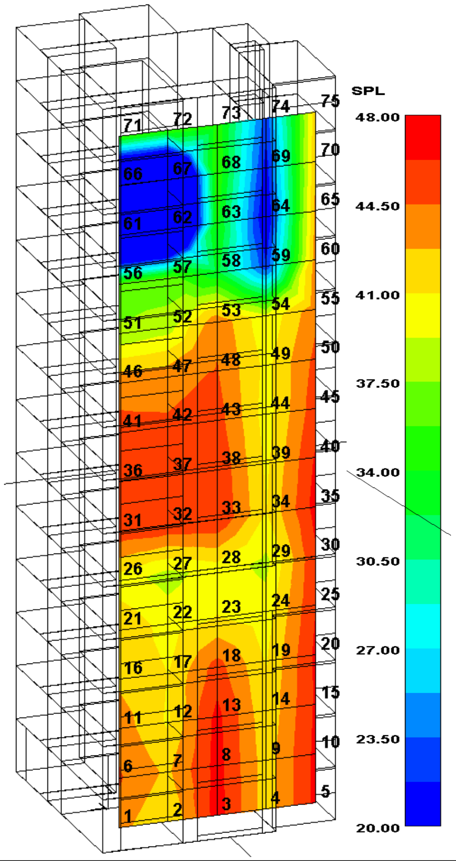
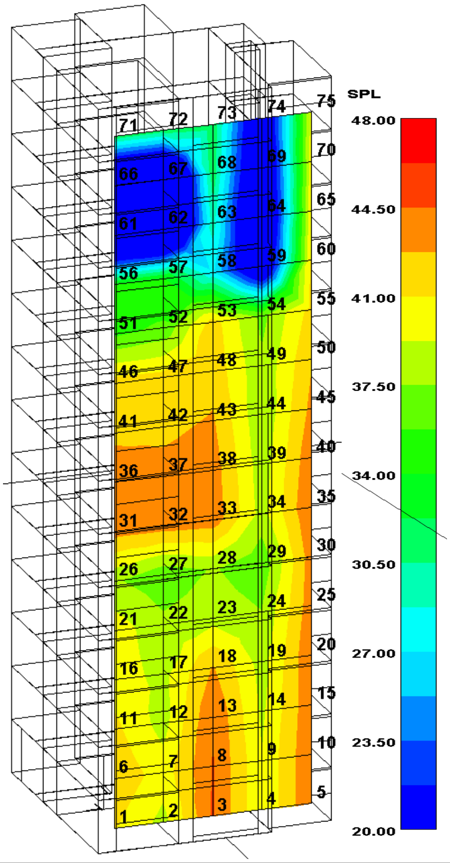


Fig. 61. Noise level to balcony by floor.

continued·

	
(G) dB(Z)	(H) dB(A)

Z주파수 특성과 A 주파수특성을 비교해 볼 때 청감에 가까운 소리보다 물리량이 큰 Z주파수 특성이 높게 나타났다.

4.3.3 거실에서의 주파수 특성

가. 거실방면의 발코니 유리창이 개창일 때

5층에서 침실1, 침실2와 거실 바닥으로부터 1 m 높이에 Field Point를 16개씩 선정하여 48개의 지점을 관찰하였고, 거실의 유리창과 거실 쪽의 발코니 유리창을 열고 침실1과 침실2, 침실 쪽의 유리창은 닫은 상태이다.

도로교통소음이 발코니를 통하여 거실로 바로 들어왔을 때 소음도를 관찰한 것이며 3차원 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 RAYNOISE를 이용하여 주파수 별로 모델링 한 결과는 Fig. 62와 같다.

침실1과 침실2에서는 소음도가 일정하게 낮았으며, 거실에서는 25지점의 모든 주파수 영역에서 소음도가 높게 나타났고, 주변의 소음도가 점차 낮아지는 현상을 보였다.

250 Hz 이하에서는 28번 지점, 29번 지점, 21번 지점 순으로 소음도가 높았으나 500 Hz 이상부터는 29번 지점과 21번지점이 28번지점보다 소음도가 높았다. 이는 250 Hz 이하에서는 거실 안쪽 지점인 28번 지점에서 음의 반사에 의하여 교통소음이 들어오는 입구 부분인 21번 지점과 29번 지점 보다 높았으나 500 Hz 이상부터는 거실 안쪽에서 음의 반사보다는 흡음의 영향이 더 큰 것으로 관찰된다.

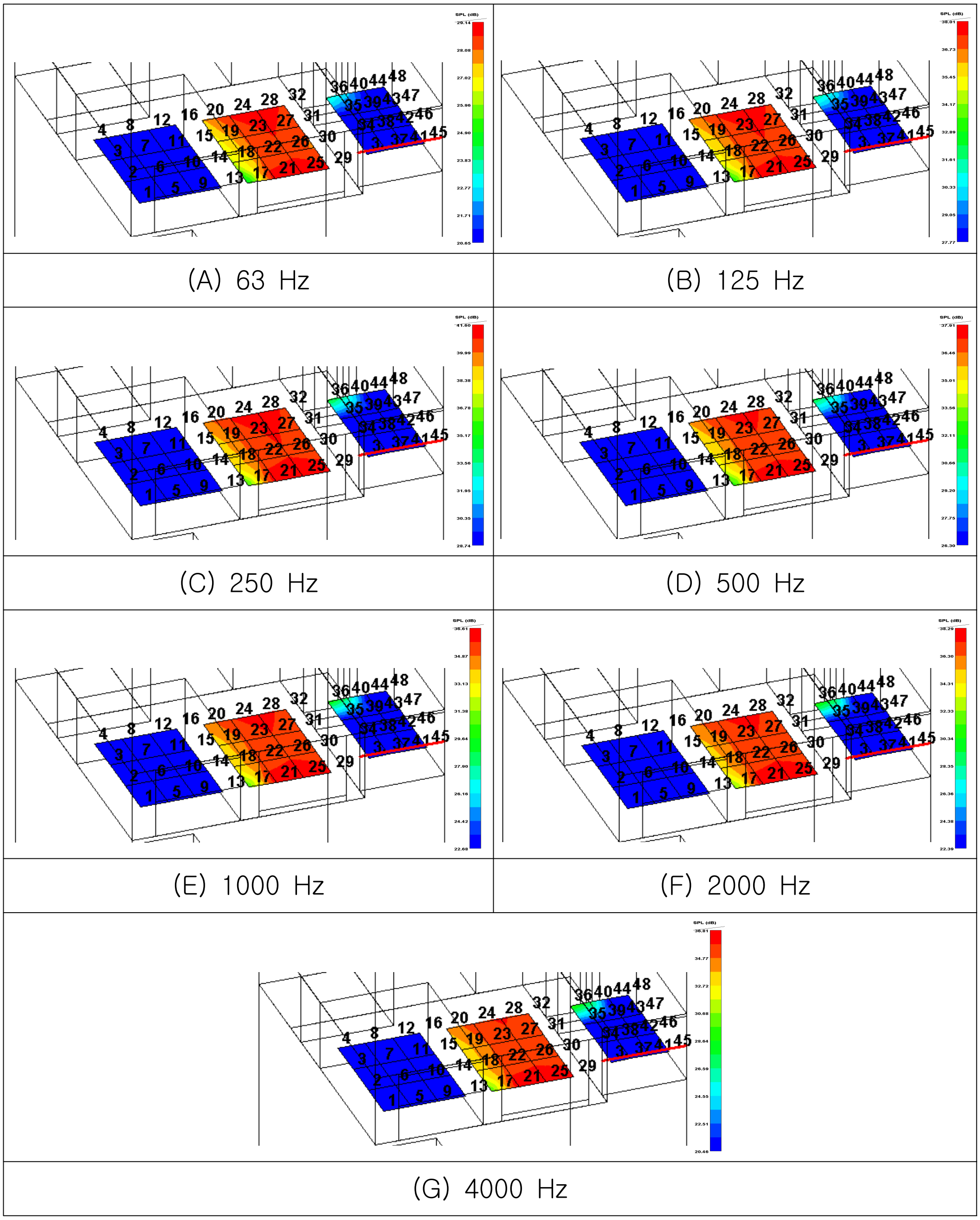
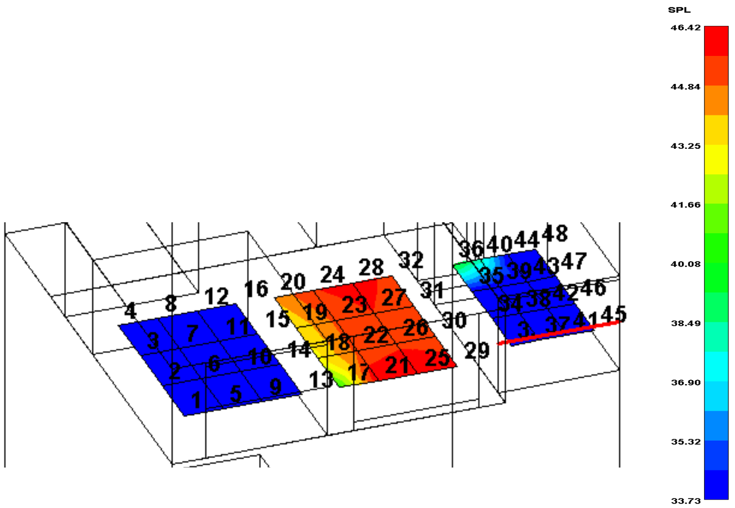
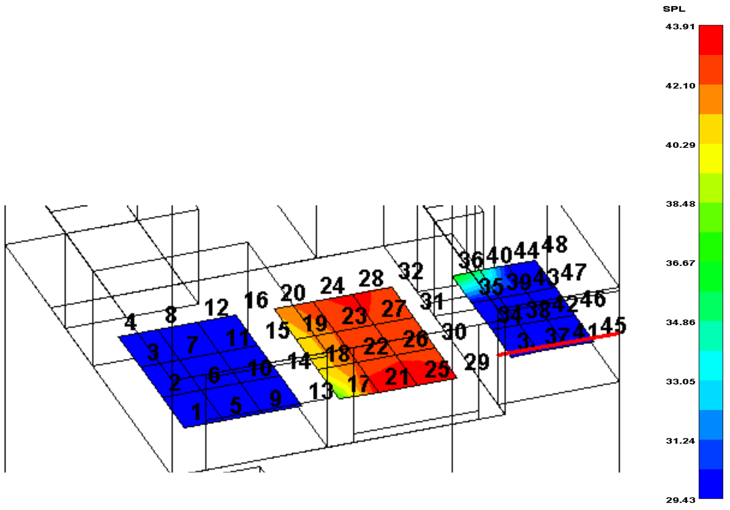


Fig. 62. Variation of noise level to livingroom(balcony window1 opening).

continued



(H) dB(Z)



(I) dB(A)

나. 침실방면의 발코니 유리창과 침실 유리창이 개창일 때

5층에서 침실1, 침실2와 거실 바닥으로부터 1 m 높이에 Field Point를 16개씩 선정하여 48개의 지점을 관찰하였고, 침실1과 거실 쪽의 발코니 유리창은 닫은 상태이며 거실, 침실2, 침실 쪽의 유리창은 개창 상태이다.

도로교통소음이 침실2의 발코니를 통하여 침실2로 바로 들어왔을 때와 거실에 영향을 주는 소음도를 관찰한 것이며, 3차원 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 RAYNOISE를 이용하여 주파수 별로 모델링 한 결과는 Fig. 63과 같다.

침실1에서는 소음도가 일정하게 낮았으며, 거실에서는 250 Hz 이하에서 21, 25, 26, 29, 30지점의 소음도가 높게 나타났고, 주변의 소음도가 점차 낮아지는 현상을 보였으며, 500 Hz 이상부터는 25번 지점과 29번 지점에서 소음도가 높았다.

직접적인 영향을 받는 침실2에서는 전체적으로 소음도가 높게 관찰되었으며, 33지점과 36지점의 소음도가 낮게 관찰되었는데 33지점은 음원에서 전달되는 음의 반사가 다른 지점보다 적은 것으로 관찰되며, 36지점은 거실과 연결되는 문이 있는 곳으로 음이 벽에 반사되지 않고 통과하기 때문에 소음도가 낮은 것으로 사료된다.

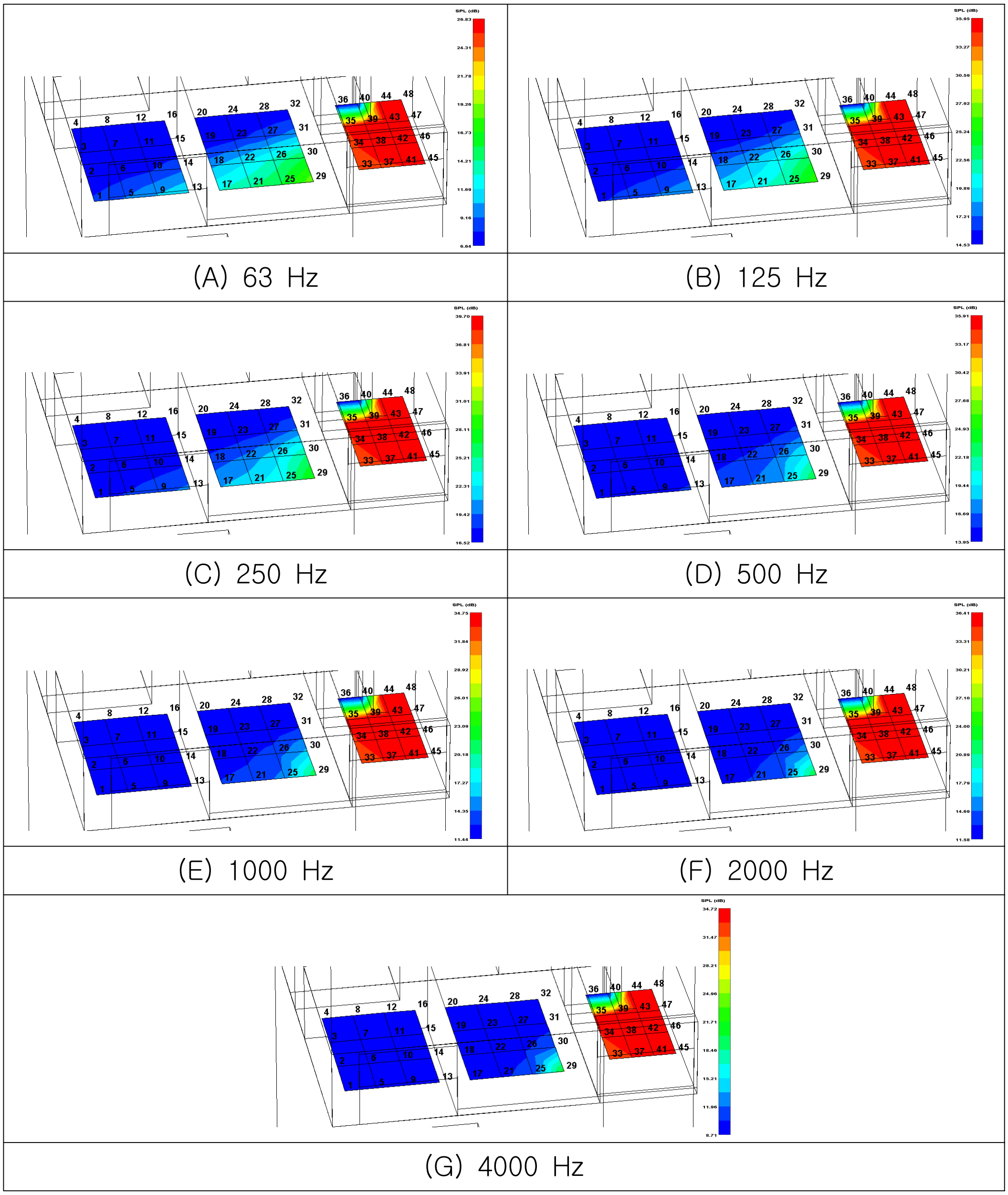
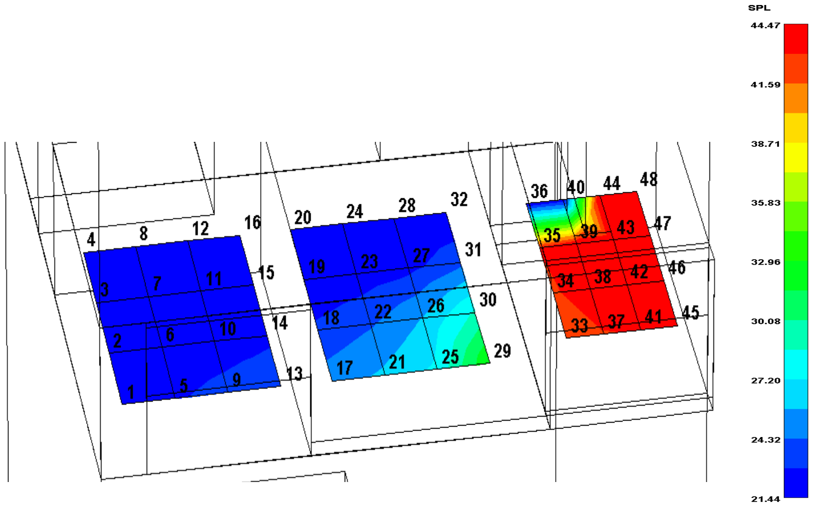
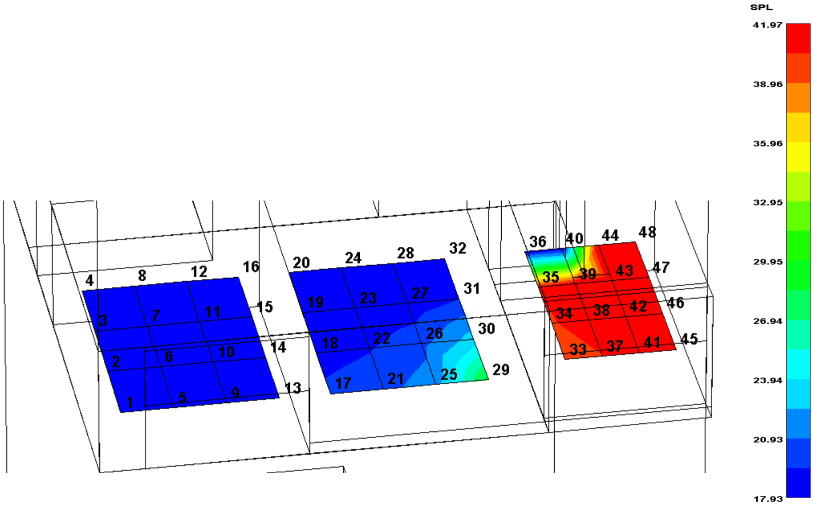


Fig. 63. Variation of noise level to livingroom(balcony window1 closing, balcony window2 opening, bedroom2 window opening).

continued



(H) dB(Z)



(I) dB(A)

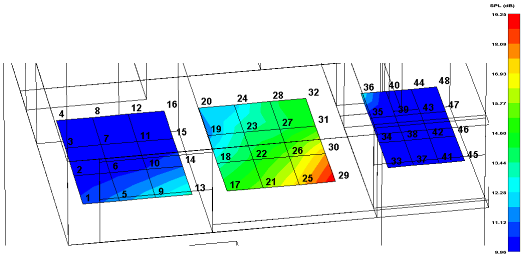
다. 침실방면의 발코니 유리창이 개창, 침실 유리창이 폐창일 때

5층에서 침실1, 침실2와 거실 바닥으로부터 1m 높이에 Field Point를 16개씩 선정하여 48개의 지점을 관찰하였고, 침실1, 침실2와 거실 쪽의 발코니 유리창은 닫은 상태이며 거실, 침실2 쪽의 유리창은 개창 상태이다.

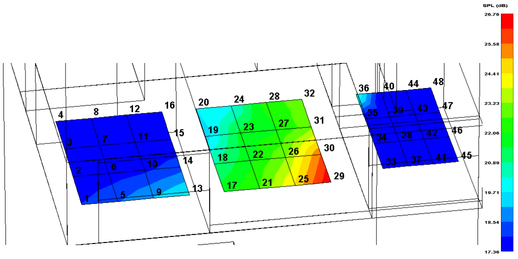
도로교통소음이 침실2의 발코니를 통하여 거실로 들어왔을 때 거실에 영향을 주는 소음도를 관찰한 것이며, 3차원 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 RAYNOISE를 이용하여 주파수 별로 모델링 한 결과는 Fig. 64와 같다.

침실1과 침실2에서의 소음도는 일정하게 낮았으며, 거실에서 250 Hz 이하인 29 지점을 기준으로 소음도가 높게 나오고, 주변의 소음도가 점차 낮아지는 현상을 보였고, 500 Hz 이상부터는 29번 지점과 30번 지점에서 소음도가 높았고 32, 31, 28지점에서 소음도가 약간 높아지는 현상을 보였다.

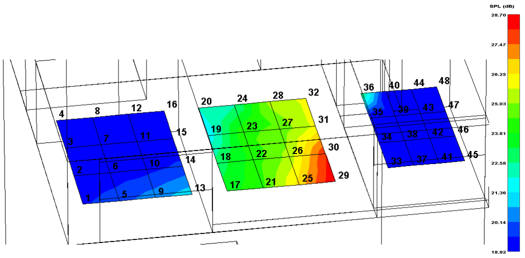
이는 거실에 음이 처음 도달하는 곳이 29지점이기 때문에 전체적으로 소음도가 높았고, 거실의 오른쪽 상단부분에서도 음이 높아지는 것은 참실2의 발코니 유리창에서 들어온 음이 250 Hz이하에서는 회절과 반사에 의하여 그리고 500 Hz이상에서는 반사에 의하여 높은 것으로 사료된다.



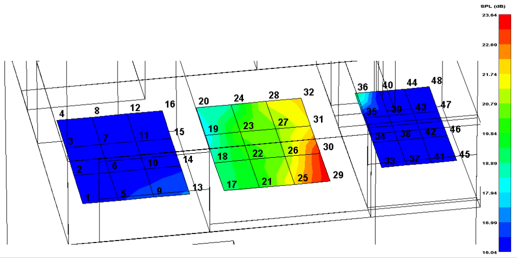
(A) 63 Hz



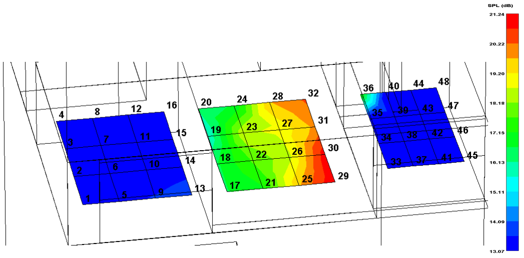
(B) 125 Hz



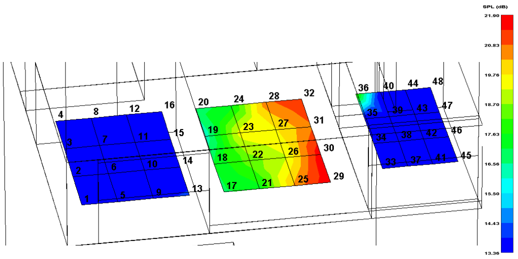
(C) 250 Hz



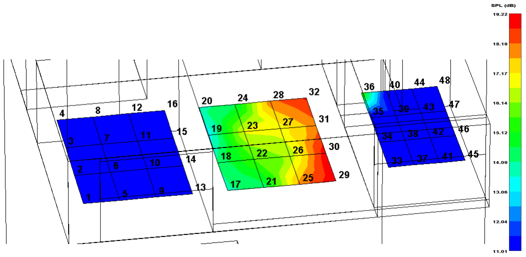
(D) 500 Hz



(E) 1000 Hz



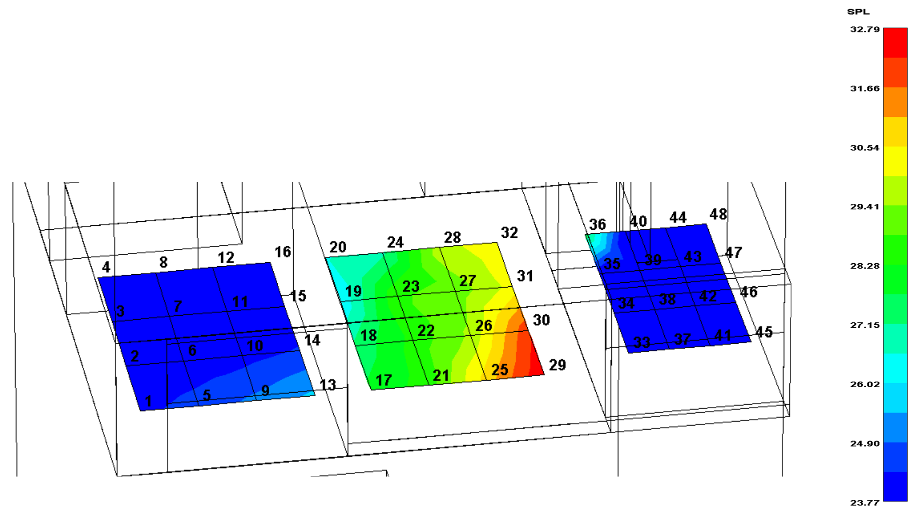
(F) 2000 Hz



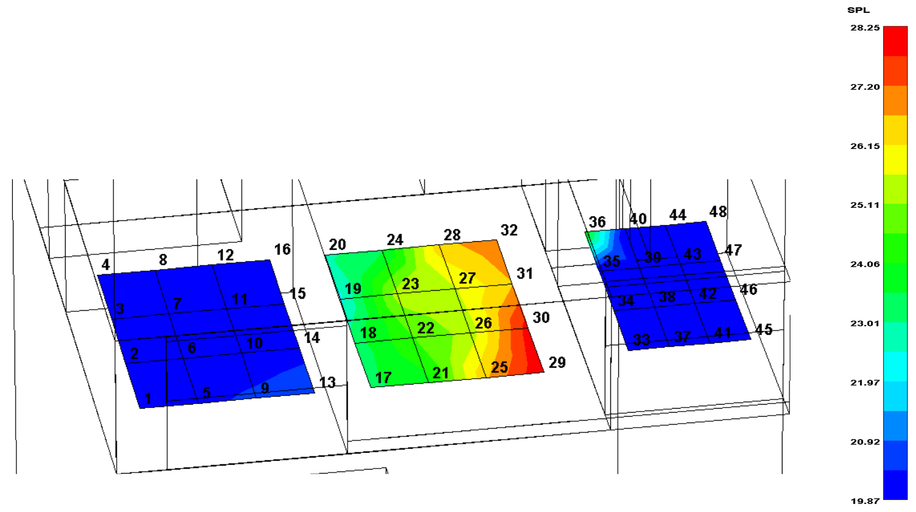
(G) 4000 Hz

Fig. 64. Variation of noise level to livingroom(balcony window1 closing, balcony window2 opening, bedroom2 window closing).

continued



(H) dB(Z)



(I) dB(A)

4.3.4 공간에 따른 주파수 감쇠 변화

가. 창밖, 발코니와 거실에서의 소음도 변화

창밖과 발코니는 5층의 가운데 지점 23 Field Point를 기준으로 정하고, 거실은 중앙의 22, 23, 26, 27 Field Point를 기준으로 정하여 비교하였으며 Table 37, Fig. 65에 나타내었다.

창밖의 소음도를 A, 발코니의 소음도를 B, 거실 중앙의 소음도를 C로 정하고 아파트 창 밖의 소음도와 발코니의 소음도 차(A-B)와 발코니의 소음도와 거실 중앙의 소음도 차(B-C)를 비교하였다.

창 밖의 소음도는 45 dB(Z)로 발코니의 소음도 41.1 dB(Z)보다 높으나 250, 1K 그리고 4K Hz에서는 발코니에서 소음도가 높게 나왔다.

거실의 소음도는 45.3 dB(Z)로 발코니의 소음도 41.1 dB(Z)보다 높고 전체 주파수 대역에서 발코니의 소음도보다 높게 나왔다.

이는 아파트에서 실제로 측정하였을 때 교통소음의 이동 경로인 발코니에서 소음도가 낮고 거실중앙에서 소음도가 높게 측정된 것과 같은 결과이며, 발코니를 통하여 거실로 들어온 교통소음이 거실에서 반사, 회절에 의하여 소음도가 높아지는 것으로 사료된다.

Table 37. Variation of frequency attenuation by space

Frequency / Location	LZT	LAT	63	125	250	500	1k	2k	4k
window outside(A)	45.0	43.9	29.1	35.4	35.0	38.1	24.2	41.3	26.3
balcony(B)	41.1	38.6	23.5	32.5	36.3	32.5	31.3	33.0	31.3
livingroom(C)	45.3	42.6	28.4	37.1	40.6	36.8	35.4	36.9	35.1

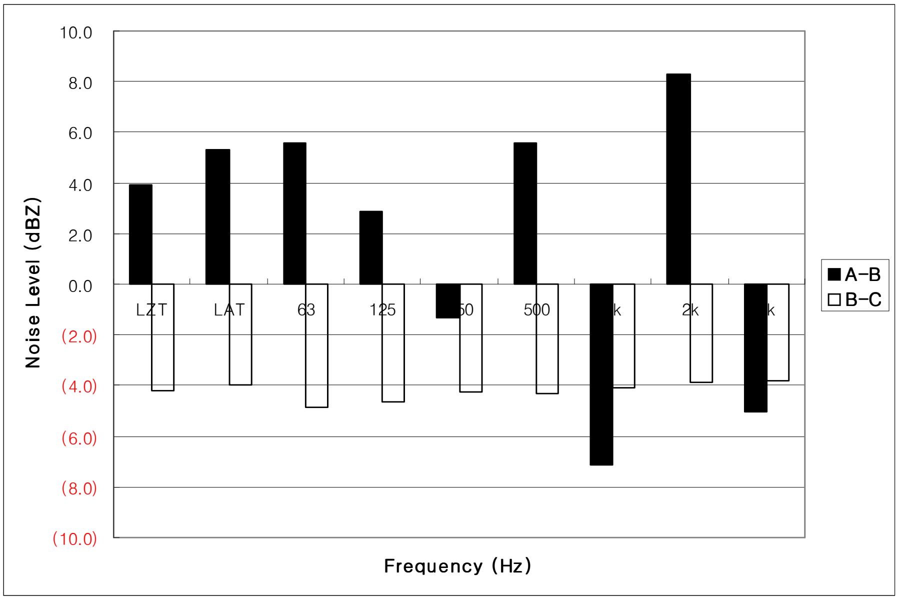


Fig. 65. Variation of frequency attenuation by space.

나. 유리창 개 · 폐에 따른 거실의 소음도 변화

거실중앙의 22, 23, 26, 27 Field Point를 기준으로 정하여 거실유리창은 열린 상태에서 거실 쪽의 발코니유리창이 열렸을 때(A)와 침실2의 유리창은 닫히고 침실 쪽의 유리창이 열렸을 때(B) 소음도를 비교하였으며, Table 38, Fig. 66에 나타내었다.

거실 쪽의 발코니유리창이 열렸을 때 거실중앙의 소음도는 45.0 ~ 45.6 dB(Z)이고 침실 쪽의 유리창이 열렸을 때 거실중앙의 소음도는 28.5 ~ 29.5 dB(Z)로 15.9 ~ 16.6 dB(Z)의 감쇠효과를 나타냈다.

모든 주파수대역에서 비슷한 결과를 가졌으며, A특성에서는 거실중앙의 소음도는 42.2 ~ 42.9 dB(A)이고 침실방면의 유리창이 열렸을 때의 거실중앙의 소음도는 24.5 ~ 25.6 dB(A)로 16.9 ~ 17.9 dB(A)의 감쇠효과를 나타냈다.

생활의 질적 향상으로 많은 가정에서 에어컨을 보유하고 있지만 중간 · 서민층에서는 에어컨보다는 가정에서 창문을 열고 생활하고 있다. 또한, 도로교통소음 문제는 가정에서 창문을 닫고 생활하는 겨울보다는 창문을 열고 생활하는 봄, 여름과 가을에 많이 발생하고 있는 실정이다.

이에 교통소음에 대한 대책으로 수음자인 가정에서 할 수 있는 소음대책은 한정되어 있는 실정이다. 위와 같이 발코니의 창문을 열고 생활을 할 경우에 음이 직접적으로 들어오지 않게 양 옆의 발코니의 창문을 열어 소음도를 저감 시킬 수 있으며 더욱 효율을 높이기 위해서는 발코니에 식물을 키워 교통소음에 대한 저감효율을 가져올 수 있을 것으로 사료된다.

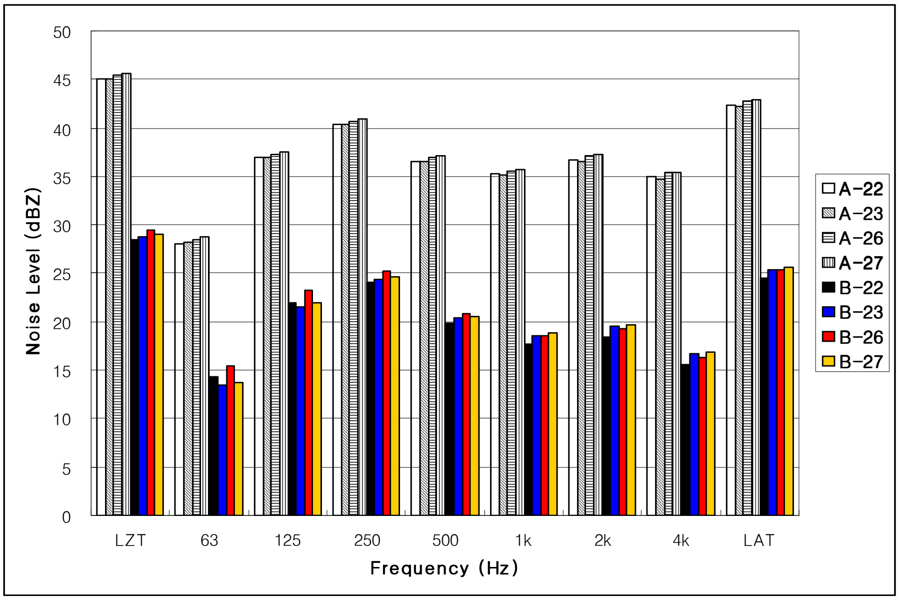


Fig. 66. Variation of frequency by opening and closing of window.

Table 38. Variation of frequency by opening and closing of window

Frequency point	LZT	63	125	250	500	1k	2k	4k	LAT
A-22	45.1	28.1	36.9	40.3	36.6	35.2	36.7	35.0	42.4
A-23	45.0	28.2	36.9	40.3	36.5	35.1	36.5	34.7	42.2
A-26	45.4	28.4	37.2	40.7	37.0	35.6	37.1	35.4	42.8
A-27	45.6	28.7	37.5	40.9	37.1	35.7	37.2	35.4	42.9
B-22	28.5	14.3	21.9	24.1	19.9	17.7	18.4	15.6	24.5
B-23	28.8	13.4	21.6	24.3	20.4	18.6	19.5	16.7	25.3
B-26	29.5	15.5	23.2	25.2	20.8	18.5	19.2	16.3	25.4
B-27	29.0	13.7	22.0	24.6	20.6	18.8	19.7	16.9	25.6

Ⅵ. 결 론

도로교통소음에 대한 수음 점에서의 소음예측을 위해서 발생원에 대한 정량적인 평가와 더불어 소음이 수음 점에 도달하기까지의 전파과정에 대한 차종에 따른 교통소음도와 주파수 특성을 측정하고, 교통소음 대책을 제안하고자 RAYNOISE를 이용하여 아파트의 소음도 분포를 모델링 한 결론은 다음과 같다.

1. 차종별 주파수 특성

주행 시 차종별 주파수 특성

가. 교통흐름 형태가 자유롭게 통행하는 상태에서 일반차량이 주행하는 도로에 버스가 주행하게 되면 교통소음도는 83.1 dB(Z)에서 89.3 dB(Z)로 6.2 dB(Z)의 변화를 나타내었고, 승합차가 주행하게 되면 교통소음도는 81.7 dB(Z)에서 88 dB(Z)로 6.3 dB(Z)의 변화와 1 ton 트럭이 주행하게 되면 교통소음도는 79.5 dB(Z)에서 90.3 dB(Z)로 10.8 dB(Z)의 변화를 나타내었으며, 오토바이가 주행하게 되면 교통소음도는 Z 특성일 때 81.3 dB(Z)에서 99.9 dB(Z)로 18.6 dB(Z)의 변화를 나타내었다.

나. 오토바이를 제외한 차량들은 31.5, 500, 1K, 2K Hz에서 비슷한 소음도를 보였으며 버스는 63 Hz와 125 Hz에서 소음도가 높았고 승합차와 11 ton 트럭은 125 Hz에서 소음도가 가장 높았다. 1 ton 트럭은 63 Hz에서 소음도가 가장 높게 측정되었다.

오토바이는 250 Hz에서 소음도가 96.7 dB로 가장 높게 측정되었고 500 Hz에서도 소음도가 95.5 dB로 높게 측정되어 특정차량들 중 가장 높은 소음도를 보였다.

출발 시 주파수 특성

가. 시내버스가 정차 하였다가 출발할 때의 소음도는 94.6 dB(Z)로 정차와 주행

시 보다 높고 버스가 정차 시에는 일반차량의 주행 시 소음도가 영향을 미치고 출발 후에는 250 Hz와 500 Hz에서 높은 소음을 배출하는데 엔진소음과 배기계 소음에 기인한 것으로 판단된다.

나. 일반차량이 정차 하였다가 출발할 때의 소음도가 85.7 dB(Z)로 정차와 주행 시 보다 높고 출발할 때는 63 Hz에서 소음도가 높고 250 Hz에서부터 감소하며 정차 시에는 31.5 Hz에서 높은 소음을 배출하는데 이는 엔진소음에 기인한 것으로 판단된다.

2. 아파트 공간의 주파수에 따른 소음레벨감쇠 특성

가. 창 밖과 거실 중앙에서 소음도는 1층의 소음도가 낮고 5층과 8층의 소음도가 비슷하며 11층부터 소음도가 낮게 측정되었고 발코니의 소음도는 8층부터 소음도가 낮게 나타났다.

나. 발코니에서 측정된 값에서 거실 중앙에서 측정된 값의 차를 비교하면 62%에 해당하는 값이 - 값을 가졌으며 이는 발코니는 음이 전달되는 경로이고 거실중앙은 폐쇄된 공간이기에 거실에서 음의 반사와 회절에 의하여 음이 더 높아진 것으로 사료된다.

1층, 5층 그리고 8층에서 공간에 따른 주파수 감쇠변화는 1K Hz 이상에서 주파수가 높아질수록 감쇠현상이 크게 나타나고 있고 31.5 Hz와 63 Hz에서는 층이 높아질수록 감쇠현상이 커지는 것을 알 수 있다.

11층에서는 63 Hz에서 감쇠현상이 높게 나타나고 전체적으로 비슷하게 감쇠하였다.

3. 아파트 공간의 소음레벨과 주파수특성을 RAYNOISE를 이용한 모델링

가. 아파트 외벽과 발코니 그리고 거실의 중앙에서 측정한 소음도는 저층에서 저주파대역의 소음도가 높았고 층이 높아질수록 감소하다 7층과 8층에서 높은 주파

수대역의 소음도가 증가하고 9층부터 다시 감소하는 경향을 보였다.

거실의 소음도는 45.3 dB(Z)로 발코니의 소음도 41.1 dB(Z)보다 높게 나타났고 전체 주파수 대역에서도 발코니의 소음도보다 높게 나왔다.

이는 아파트에서 실제 측정하였을 때 교통소음의 이동 경로인 발코니에서는 소음도가 낮고, 거실중앙에서 소음도가 높게 측정되었는데 발코니를 통하여 거실로 들어온 교통소음이 거실에서 반사, 회절에 의하여 소음도가 높아지는 것으로 사료된다.

나. 거실유리창이 열린 상태에서 거실 쪽의 발코니유리창이 열렸을 때와 침실2의 유리창은 닫히고 침실 쪽의 유리창이 열렸을 때 소음도를 비교한 결과

거실 쪽의 발코니유리창이 열렸을 때 거실중앙의 소음도는 45.0 ~ 45.6 dB(Z)이고, 침실 쪽의 유리창이 열렸을 때 거실중앙의 소음도는 28.5 ~ 29.5 dB(Z)로 15.9 ~ 16.6 dB(Z)의 감쇠효과를 나타냈고 A특성에서는 16.9 ~ 17.9 dB(A)의 감쇠효과를 나타냈다.

참 고 문 헌

1) 환경부, 2006, 환경백서, 환경부, 448-455.

2) 환경부, 2006, 환경백서, 환경부, 237-242.

3) 환경부, 2007, 소음 · 진동관리시책, 환경부, 1-6.

4) 강대준 등, 2000, 도로교통 소음 (II), 국립환경연구원보, 22, 187-201.

5) 장서일, 전형준, 고준희, 2006, 국내외 소음지도 제작현황과 활용방안, journal of KSNVE, 16(1), 3-9.

6) 정상철, 2006, 아파트 가격형성인자가 가격에 미치는 영향 분석, 박사학위논문, 부동산학과, 전주대학, 전주

7) 김원필, 2004, 고층아파트 거주자의 주택가격영향 인식에 영향을 미치는 단지 외부공간 계획요소에 관한 연구, 지역사회발전연구지, 29(2), 19-35.

8) 구본창, 송현영, 2001, 아파트 특성에 따른 가격결정모형 연구-분당신도시를 대상으로-, 주택산업연구원, 주산연 2001.

9) 한국도로공사, 1988, 고속도로 소음대책에 관한 연구.

10) 이양규, 1991, 騷音振動對策設計 I · II, 유통방진株式會社, 25.

11) 韓國騷音振動工學會, 騷音振動便覽 -騷音編-, 同化技術, 14.

12) 서울特別市, 1994, 騷音防止對策 樹立에 關한 硏究, 70-77,

13) 韓國騷音振動工學會, 騷音振動便覽 -騷音編-, 同化技術, 46-49.

14) 韓國騷音振動工學會, 1995, 騷音振動便覽, 12, 47-48.

15) 김철환, 장태순, 2007, 도로교통소음의 예측기술동향, journal of KSNVE, 17(4), 9-14

16) 박영민, 2007, 환경소음 예측기술동향, journal of KSNVE, 17(4), 15-18.

17) 장서일, 전형준, 고준희, 국내외 소음지도 제작현황과 활용방안, journal of KSNVE, 16(1), 9-12.

18) 박창수, 1999, 부동산감정론, 범론사, 138.

19) 안정근, 1993, 부동산 평가이론, 법문사, 68.

20) 김영진, 2000, 부동산학 총론, 범론사, 73.
21) AIREA, 1962, Appreaisal Terminoloy and Handbook(fourth), AIREA, Chicago, 161.
22) AIREA, 1964, The Appraisal of Real Estate, Chicago, Illinois, 1.
23) Alfred A. Ring, 1970, The Valuation of Real Estate, 68.
24) 윤창구, 1987, 강정평가론, 범론사, 55~56.
25) 이창석 외 3인, 2000, 부동산 감정평가론, 형설, 94.
26) 허장석, 1991, 감정평가이론, 서울고시사, 172.
27) 이용만, 이상한, 2004, 강남지역의 주택가격이 주변지역의 주택가격을 결정하는가, 대한국토도시학회, 국토계획 39(1), 74.
28) 왕세종, 강민석, 2004, 주택가격의 지역간 상관관계 분석연구, 한국건설산업연구원, 75-76.
29) 장성수, 2004, 주택분양원가 공개 논의에 대한 고찰, 주택산업연구원, 24.
30) 김영용, 2004, 시민단체의 아파트 건축원가 공개 요구의 오류, 자유기업원, NGO모니터, 11.
31) 임덕호, 2004, 아파트 분양원가 공개의 경제학적 고찰, 한양대학교, 57.
32) 이창무, 2004, 아파트 분양가 조정과 개발이익 분배, 한국주택학회, 22.
33) 김현아, 2004, 백성준, 김우영, 아파트 분양가격의 상승원인과 가격결정구조 분석, 한국건설산업연구원, 62.
34) 강장학, 2003, 쾌적성을 중심으로 본 아파트 가격 결정요인의 변화 패턴에 관한 연구-분당 신도시의 경우-, 박사학위논문, 단국대학, 34-35.
35) 최열, 공윤경, 2002, 아파트의 구조적 특성과 단지특성이 아파트 가격에 미치는 영향, 都市硏究報, 12, 55-65.
36) 강대준 등, 1999, 도로교통 소음 (Ⅰ), 국립환경연구원보, 21, 149-162.

저작물 이용 허락서

학 과	환경공학과	학 번	20057421	과 정	박사
성 명	한글: 염 동 익 한문 : 廉 東 益 영문 : Yeom Dong Ik				
주 소	광주광역시 서구 농성1동 117 제일맨션 508호				
연락처	016-608-8000 E-MAIL : ydong8000@hanmail.net				
논문제목	한글 : 고층 아파트의 도로교통소음 전파특성에 관한 연구 영어 : A Study on the Propagation Characteristics of Road Traffic Noise in High-rise Apartment				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집・형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포・전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송・출력을 허락함.

동의여부 : 동의(0) 반대( )

2008 년 08 월 일

저작자: 염 동 익 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하