

## 부산 지하철 2호선 소음 특성 연구

정 경 원 · 윤 나 나 · 김 주 인 · 곽 진 · 김 영 태  
부산광역시보건환경연구원  
(2005년 10월 11일 접수; 2006년 3월 8일 채택)

### The Study of Sound Level Specification of Subway Line II in Busan

Kyung-Won Jeong, Na-Na Yoon, Joo-In Kim, Jin Kwak and Yung-Tae Kim  
Institute of Health & Environment, Busan Metropolitan City, Busan 613-806, Korea  
(Manuscript received 11 October, 2005; accepted 8 March, 2006)

The purpose of this paper is to evaluate the noise level and source, reduce the subway line II noise. As a result of measurement of subway line II in Busan the highest value section of uproad line was from Jigegol to Motgol by 89 dB(A). The sections of conversation and listening interference(over 80 dB(A)) were 21 sections(55%) of 38 sections. Among these sections, 15 sections(71%) were produced rolling noise, 3 sections(14%) squeal noise, 2 sections(10%) braking noise and 1 section(5%) fan noise, and then a main noise source was the rolling noise.

In case of downroad line, the highest value section was from Busan Metro Art Museum to Centum city, Motgol to Jigegol by 88 dB(A). The sections of conversation and listening interference(over 80 dB(A)) were 18 sections(47%) of 38 sections. Among these sections, 15 sections(83%) produced rolling noise, 2 sections(11%) squeal noise and 1 section(6%) braking noise were investigated in this study. and then a main noise source was the rolling noise.

Key Words : Noise level, Rolling noise, Squeal noise, Braking noise

#### 1. 서 론

1985년 1호선 개통을 시작으로 곧 3호선 개통을 앞둔 부산 지하철은 하루평균 이용객 70만명(2004년 기준)으로 가장 편리한 대중교통수단으로 자리 잡았다. 생활수준의 향상으로 승객들은 지하철의 안전성과 정확성뿐만 아니라 쾌적성까지 요구하고 있다. 그러나 현재 운행되는 지하철 노선 중 일부구간은 과도한 소음으로 인해 승객들에게 불쾌감을 일으키고 있다<sup>1)</sup>.

지하철의 소음원은 크게 지하철 주행으로 발생하는 전동소음과 레일 곡선부에서 발생하는 스킵소음으로 대별된다<sup>2)</sup>. 이들 소음은 지하철 주행 중에 발생하여 지하철을 이용승객에게 직접 전달되는 소음

이라는 측면에서 그 심각성이 크다. 따라서 지하철 이용 중 이러한 소음에 노출될 시 일시적인 난청현상 및 대화장애가 발생한다.

부산 지하철 2호선의 경우 곡선주차가 많아 스킵소음의 발생율이 높았는데, 스킵소음이란 차량이 곡선주차를 주행할 때 차륜의 외측과 내측의 회전반경이 달라 발생하는 소음으로 이용승객에게는 킁킁 거리는 소음<sup>3)</sup>으로 들리는데, 이는 사람의 귀에 가장 민감한 주파수대(2~4 KHz) 소음을 발생하기 때문에 승객들이 느끼는 체감은 매우 크다.

또한 2호선이 소음이 높은 이유 중 하나로 유지관리 및 비용측면에서 경제적인 콘크리트 도상을 들 수 있다. 1호선의 경우 자갈도상으로 분진의 발생, 유지관리의 어려움 등은 있으나 자갈과 자갈사이의 공극이 소음을 흡수함으로써 소음 저감 측면에서는 콘크리트 도상보다 우수<sup>4)</sup>하였다.

이렇게 2호선의 경우 여러 가지 이유로 소음이

Corresponding Author : Kyung-Won Jeong, Institute of Health & Environment, Busan Metropolitan City, Busan 613-806, Korea  
Phone: +82-51-757-7507  
E-mail: jkw1187@hanmail.net

높아 차량 내 승객의 의사소통에 어려움을 유발하고 쾌적한 승차감을 해치므로 이에 대한 대책이 시급하다.

지하철의 실내소음 저감을 위한 대책이 필요한 시점에서, 본 연구는 부산지하철 2호선의 구간별 등가소음도 및 최고, 최저 소음도의 특성과악과 문제시 되고 있는 최고 소음도에 대한 주파수 분석으로 소음저감 대책 수립 시 활용될 수 있는 기초 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 측정방법 및 결과

본 연구는 부산의 지하철 2호선을 중심으로 호포⇔장산 76개 구간별 등가소음도 및 최고, 최저 소음도를 측정하였으며, 구간별 최고 소음도에 대한 주파수 분석 및 소음도 분포를 분석하여 지하철 이용승객에 미치는 영향 및 불편감을 주는 소음 저감 방안을 살펴보고자 한다.

### 2.1. 측정방법 및 장비

현재 운행 중인 부산 지하철 2호선을 대상으로 2005년 2월 18일 차량시험운전차량을 이용하여 공차상태에서 측정하였으며, 측정방법은 ISO 3381<sup>5)</sup>에 근거하여 0.2sec 간격으로 600회 이상 측정(한 구간 당 2분 이상 소요)을 원칙으로 지하철 출발 시(출입문 닫힘)와 도착 시(출입문 열림)를 기준으로 한 구간의 등가소음도 및 최고, 최저 소음도를 측정하였다. 지하철 내부 소음도를 측정하기 위한 측정위치는 무동력 차량내부 중 중앙부문(안내방송음의 영향이 적은 위치 선정)의 1.2~1.5m 높이에서 마이크로폰을 삼각대에 설치하였으며, 측정조건은 청감보정 회로는 A특성, 동특성은 fast, 측정 주파수 범위(20Hz~20000Hz), 저장조건은 스펙트럼 및 오디오 저장(Spectrum and Audio record storage) 등으로 측정을 하였다.(Fig. 1 참조) 측정기기는 자동소음측

정기(Symphnie 01dB, 프랑스)를 이용하여 자동 연속 측정하였으며, 주요 발생소음에 대해 녹음 및 주파수 분석을 병행 실시하였다. 또한, 76개 구간별 소음도 평가를 위해 지하철 출발 시(출입문 닫힘)와 도착 시(출입문 열림)를 기준으로 Leq dB(A), Lmax, Lmin, 폭로시간(sec), 주파수 분석을 실시하였다.

### 2.2. 측정결과 및 분석

#### 2.2.1. 과년도 측정자료와 비교

2호선의 경우 과년도 측정결과(2001년 2회, 2002년 1회, 2003년 1회(상행)) 비교하여 상행선 최고 13 dB(A), 하행선 최고 10 dB(A)이 감소한 것으로 조사되었다. 2호선은 1호선과 달리 일부 구간에서는 과년도의 소음도 결과보다 증가한 구간이 있는 것으로 조사되었다. 특히 지계골⇔못골(상·하행 ▲4 증가), 시립미술관⇔동백(상행 ▲1 증가), 덕천⇔구명(상행 ▲1 증가), 수정⇔덕천(상행 ▲1 증가), 남천⇔경성대부경대(하행 ▲1 증가) 구간의 소음도가 증가한 것으로 측정하였으며, 센텀시티⇔시립미술관(상행 80, 하행 81) 구간의 등가소음도가 80 dB(A)이상으로 나타나 대책이 있어야 할 것으로 사료된다.

#### 2.2.2. 측정결과 분석

구간별 최고 소음도를 살펴보면 상행선(호포⇔장산) 중 지계골⇔못골(89), 센텀시티⇔시립미술관(88)이 가장 높게 발생하였으며, 최고 소음원은 곡선구간의 지하철 운행 시 발생하는 전동소음으로 조사되었다. 대화 및 청취장해가 되는 80 dB(A) 이상 소음도 중 폭로시간이 가장 긴 구간은 덕천⇔구명(28sec), 수정⇔덕천(24sec) 순으로 최고 소음도는 87~86 dB(A)인 것으로 측정되었다. 상행선의 최고 소음도 발생구간 중 80 dB(A) 이상인 소음의 발생구간은 전동소음 15개 구간(71%), 스킵소음 3개 구간(14%), 환풍기 1개 구간(5%), 제동소음 2개 구

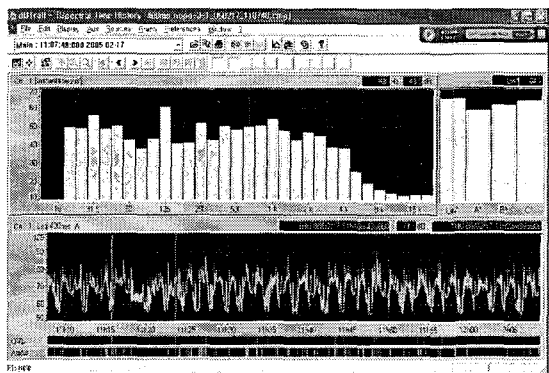
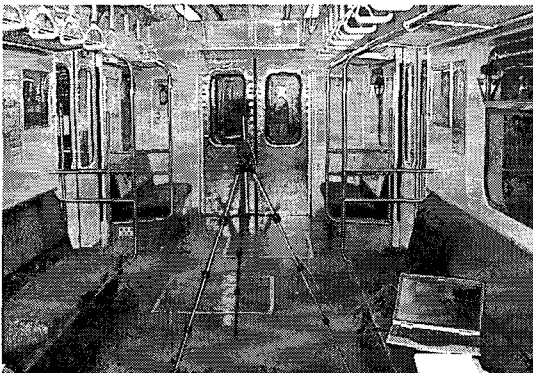


Fig. 1. Noise measurement scene and noise measurement picture.

부산 지하철 2호선 소음 특성 연구

Table 1. Comparison of noise measurement results by subway line II sections

[Unit : Leq dB(A)]

Items	Line II	Up-line					variation	Down-line				
		'01.07	'01.09	'02.08	'03.09	'05.02		'01.07	'01.09	'02.08	'05.02	variation
1	Jungdong ⇔ Jangsan	-	-	-	77	72	▼5	-	-	-	77	-
2	Haeundae ⇔ Jungdong	-	-	-	74	70	▼4	-	-	-	69	-
3	Dongbaek ⇔ Haeundae	-	-	-	79	79	-	-	-	-	74	-
4	Busan Museum of Modern Art ⇔ Dongbaek	-	-	-	74	75	▲1	-	-	-	74	-
5	Centum City ⇔ Busan Museum of Modern Art	-	-	-	81	80	▼1	-	-	-	81	-
6	Millak ⇔ Centum City	-	-	-	77	75	▼2	-	-	-	71	-
7	Suyeong ⇔ Millak	-	-	-	78	72	▼6	-	-	-	71	-
8	Gwangan ⇔ Suyeong	-	-	-	73	70	▼3	-	-	-	71	-
9	Geumnyeonsan⇔Gwangan	-	-	-	75	72	▼3	-	-	-	70	-
10	Namcheon⇔Geumnyeonsan	78	76	74	75	71	▼7~3	78	75	75	70	▼8~5
11	Kyungsung, Pukyong Nat'l Univ. ⇔ Namcheon	77	77	72	73	72	▼5~0	78	74	72	73	▲1~▼5
12	Daeyeon ⇔ Kyungsung, Pukyong Nat'l Univ.	76	76	73	73	71	▼5~2	77	74	73	70	▼7~3
13	Motgol ⇔ Daeyeon	75	76	73	72	69	▼7~3	76	74	72	70	▼6~2
14	Jigegol ⇔ Motgol	78	79	77	76	80	▲4~1	79	76	80	80	▲4~0
15	Munhyeon ⇔ Jigegol	78	81	77	78	73	▼8~4	80	79	80	73	▼7~6
16	Munjeon ⇔ Munhyeon	74	74	72	72	70	▼4~2	75	72	72	68	▼7~4
17	Jeonpo ⇔ Munjeon	77	78	74	77	72	▼6~2	79	76	79	71	▼8~5
18	Seomyeon ⇔ Jeonpo	80	83	77	77	72	▼11~5	80	79	81	73	▼8~6
19	Buam ⇔ Seomyeon	76	74	73	74	71	▼5~2	75	73	72	68	▼7~4
20	Gaya ⇔ Buam	75	74	71	70	69	▼6~1	74	73	73	69	▼5~4
21	Donguei Univ ⇔ Gaya	78	78	74	75	71	▼7~3	75	74	74	72	▼3~2
22	Gaegeum⇔Donguei Univ.	80	78	76	75	70	▼10~5	78	77	75	69	▼9~6
23	Naengjeong ⇔ Gaegeum	78	75	74	70	69	▼9~1	78	76	75	70	▼8~5
24	Jurye ⇔ Naengjeong	76	72	71	73	70	▼6~1	74	73	71	70	▼4~1
25	Gamjeon ⇔ Jurye	80	76	74	75	73	▼7~1	79	77	76	75	▼4~1
26	Sasang ⇔ Gamjeon	76	72	72	74	69	▼7~3	77	75	75	69	▼8~6
27	Deokpo ⇔ Sasang	78	76	75	75	74	▼4~1	81	78	77	74	▼7~3
28	Modeok ⇔ Deokpo	80	78	75	75	70	▼10~5	78	76	76	68	▼10~8
29	Mora ⇔ Modeok	83	80	77	76	70	▼13~6	78	76	75	72	▼6~3
30	Gunam ⇔ Mora	83	78	77	79	76	▼7~1	82	80	79	73	▼9~6
31	Gumyeong ⇔ Gunam	76	75	71	74	71	▼5~0	75	73	74	70	▼5~3
32	Deokcheon ⇔ Gumyeong	84	82	78	76	78	▲2~▼6	84	81	80	79	▼5~1
33	Sujeong ⇔ Deokcheon	82	81	78	76	77	▲1~▼5	81	79	78	76	▼5~2
34	Hwamyong ⇔ Sujeong	80	79	75	75	73	▼7~2	77	75	76	73	▼4~2
35	Yulli ⇔ Hwamyong	78	77	74	75	72	▼6~2	78	76	75	71	▼7~4
36	Dongwon ⇔ Yulli	85	83	78	76	73	▼12~3	82	80	79	74	▼8~5
37	Geumgok ⇔ Dongwon	72	71	69	70	65	▼7~4	70	69	68	66	▼4~2
38	Hopo ⇔ Geumgok	72	72	68	70	64	▼8~4	71	70	71	64	▼7~6

간(10%)으로 주 소음원은 전동소음으로 조사되었다.  
 하행선(장 산⇒호 포)의 경우 최고소음도 발생구  
 간은 장 산⇒중 동(89), 시립미술관⇒센텀시티(88),

못 골⇒지계골(88) 순이었으며, 소음원은 상행선과  
 동일한 전동소음으로 조사되었다.  
 대화 및 청취장해가 되는 80 dB(A)이상 최고소음

Table 2. Equivalence noise level and the highest noise source by subway line II sections [Unit : dB(A)]

Items	Line II	Up-line					Down-line				
		Leq	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>	the highest noise source	Explosive time(sec)	Leq	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>	the highest noise source	Explosive time(sec)
1	Jungdong ⇔ Jangsan	72	50	81	Rolling	5	77	45	89	Rolling	12
2	Haeundae ⇔ Jungdong	70	45	76	-	-	69	50	76	-	-
3	Dongbaek ⇔ Haeundae	79	49	87	Rolling	19	74	45	83	Rolling	11
4	Busan Museum of Modern Art ⇔ Dongbaek	75	48	85	Rolling	9	74	47	85	Rolling	8
5	Centum City ⇔ Busan Museum of Modern Art	80	47	88	Rolling	17	81	44	88	Rolling	26
6	Millak ⇔ Centum City	75	45	84	Rolling	17	71	50	78	-	-
7	Suyeong ⇔ Millak	72	48	80	Squeal	4	71	47	78	-	-
8	Gwangan ⇔ Suyeong	70	47	75	-	-	71	49	77	-	-
9	Geumnyeonsan⇔Gwangan	72	44	79	-	-	70	44	78	-	-
10	Namcheon⇔Geumnyeonsan	71	48	78	-	-	70	47	77	-	-
11	Kyongsung, Pukyong Nat'l Univ. ⇔ Namcheon	72	52	83	Rolling	4	73	44	86	Rolling	4
12	Daeyeon ⇔ Kyongsung, Pukyong Nat'l Univ.	71	50	78	-	-	70	48	77	-	-
13	Motgol ⇔ Daeyeon	69	56	75	-	-	70	47	77	-	-
14	Jigegol ⇔ Motgol	80	45	89	Rolling	19	80	48	88	Rolling	17
15	Munhyeon ⇔ Jigegol	73	48	80	Squeal+Rolling	4	73	48	81	Rolling+Squeal	3
16	Munjeon ⇔ Munhyeon	70	48	75	-	-	68	47	79	-	-
17	Jeonpo ⇔ Munjeon	72	47	83	Squeal	4	71	47	82	Squeal	4
18	Seomyeon ⇔ Jeonpo	72	48	80	Rolling	-	73	48	82	Squeal	12
19	Buam ⇔ Seomyeon	71	48	82	announcements	-	68	47	76	-	-
20	Gaya ⇔ Buam	69	51	75	-	-	69	46	78	-	-
21	Donggeui Univ ⇔ Gaya	71	47	78	-	-	72	49	80	Rolling	1
22	Gaegum ⇔ Donggeui Univ.	70	47	75	-	-	69	56	77	-	-
23	Naengjeong ⇔ Gaegum	69	54	75	-	-	70	48	78	-	-
24	Jurye ⇔ Naengjeong	70	46	77	-	-	70	45	76	-	-
25	Gamjeon ⇔ Jurye	73	49	83	Rolling	7	75	44	86	Rolling	8
26	Sasang ⇔ Gamjeon	69	45	76	-	-	69	56	77	-	-
27	Deokpo ⇔ Sasang	74	46	84	Rolling	7	74	46	83	Rolling	11
28	Modeok ⇔ Deokpo	70	47	83	Brake	-	68	44	78	-	-
29	Mora ⇔ Modeok	70	46	80	Brake	-	72	46	79	-	-
30	Gunam ⇔ Mora	76	46	86	Rolling	14	73	48	80	Rolling	-
31	Gumyeong ⇔ Gunam	71	46	79	-	-	70	52	77	-	-
32	Deokcheon ⇔ Gumyeong	78	49	87	Rolling	28	79	45	87	Rolling	36
33	Sujeong ⇔ Deokcheon	77	48	86	Rolling	24	76	47	87	Rolling	17
34	Hwamyong ⇔ Sujeong	73	46	84	Rolling	4	73	47	84	Rolling	5
35	Yulli ⇔ Hwamyong	72	45	81	Fan	1	71	45	79	-	-
36	Dongwon ⇔ Yulli	73	46	80	Rolling	1	74	44	83	Rolling	7
37	Geumgok ⇔ Dongwon	65	43	75	-	-	66	45	84	Brake	-
38	Hopo ⇔ Geumgok	64	42	75	-	-	64	51	72	-	-
Average		72	47	80	-	-	72	47	81	-	-
Over 80 dB(A)		21 sections*					18 sections*				
Over 85 dB(A)		7 sections*					8 sections*				

※ except announcements

도의 폭로시간이 가장 긴 구간은 구 명⇒덕 천(36sec), 시립미술관⇒센텀시티(26sec) 순으로 최고소음도가 88~87 dB(A)로 측정되었다. 구간별 최고소음도 발생구간은 전동소음 15개 구간(83%), 스킬소음 2개 구간(11%), 제동소음 1개 구간(6%)으로 상행선과 유사한 경향을 나타내었다.

2.2.3. 등가소음도 분포 및 주파수 분석

2호선 상·하행선은 기존 지하철과는 달리 콘크리트도상과 레일 장대화 등으로 지하철 운전으로 2가지 전동소음으로 대별되는데 즉 정차 시 44~47 dB(A)(출입문 개폐 안함)의 소음도와 주행 시 66~71 dB(A) 사이의 소음으로 나타났다. 그러나 최고소음도가 80 dB(A)이상인 구간의 발생율은 전체발생율의 3%이상으로 일부구간에서 지하철 주행으로 인한 전동소음이 높은 것으로 나타났다.(Fig. 2 참조) 그리고 일반적으로 250~1 KHz에서 높은 소음도를 나타내는 주파수 특성을 보였다.(Fig. 3 참조)

한편 지게골⇒못 골 구간은 전동소음이 발생하는 구간으로 주파수 대역별 소음도는 Fig. 4에 나타내었으며, 이 구간의 최고소음도 분포를 보면 250 Hz ~1 KHz 사이의 소음도가 80 dB(A) 이상인 것으로 나타나 추후 방음 재질 선택 시 고려해야 할 것으로 사료된다.

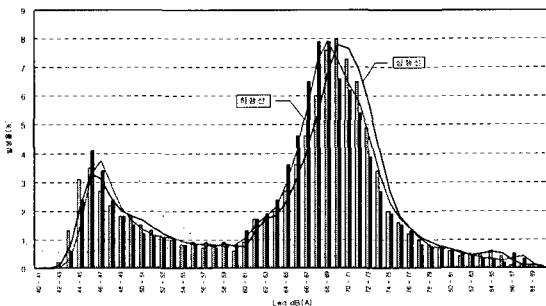


Fig. 2. Distribution of equivalence noise level at subway line II.

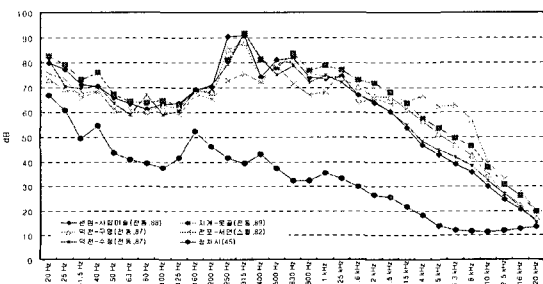


Fig. 3. Frequency specificity of main noise source at subway line II.

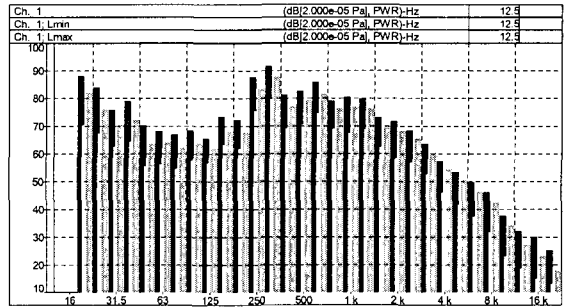


Fig. 4. Frequency analysis of rolling noise from Jigegol to Motgol.

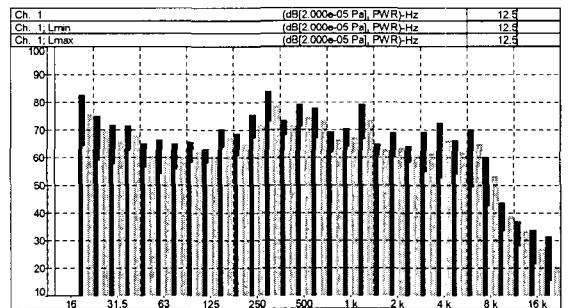


Fig. 5. Frequency analysis of squeal noise from Jeonpo to Seomyeon.

Fig. 5는 전 포⇒서 면 하행구간의 스킬소음의 주파수대역별 발생소음 그림으로 전동소음과 달리 2~4 KHz에서 소음이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 전동소음보다 스킬소음의 영향으로 구간별 등가소음도는 낮으나 고주파대역의 소음발생율이 커 듣는 사람이 불쾌감을 유발한다.

2호선의 레일구조는 설치비 및 관리의 용이성 때문에 콘크리트도상으로 제작되어 지하철 운행 시 전동소음과 반사음이 동시에 발생하는 것으로 조사되었으며, 대부분의 소음이 고주파대역에 발생하여 2호선을 이용승객이 고주파 소음원에 노출되는 것으로 조사되었다. 특히 곡선주차가 많은 구 명⇒덕 천 구간에서는 30sec 이상 고주파 소음에 노출되었다. 따라서 방음대책 수립 시에도 이에 대한 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

3. 고 찰

지하철 소음의 대책은 아래와 같이 단기대책과 중·장기대책으로 나누어 소음원의 차단 및 방음재질의 선택 시 주요 발생소음원에 맞는 맞춤형 방음재질 선택이 중요하다고 판단됨에 따라, 부산 지하철 2호선의 경우 구간별 최고 소음도에 대해 단기 및 중·장기대책으로 구분하여 대책이 세워져야 할

것으로 사료된다. 따라서 단기대책으로 ① 레일 장대화 및 불연속 레일구간 이음새에 방진고무 설치(1호선의 레일 장대화 및 이음새 부분의 재질 검토(저소음)), ② 지하철 차륜과 보조기기 등에 소음방지용 덮개 설치(지하철 주행 시 발생하는 소음과 보조기기 장치 가동소음 차단) ③ 전동소음이 70 dB이하인 구간에 부산의 아름다운 소리 방송(국제적 행사 시 부산의 지역적인 아름다운 소리 방송(중소리, 뱃고동소리 등))등을 시행하여 저비용 및 단기간에 일부구간에서의 소음저감이 이루어질 것으로 사료되며, 중·장기대책으로 ① 차륜의 탄성바퀴 교체(소음저감 10~20 dB<sup>2)</sup>), ② 급곡선 구간에 대하여 소음과 진동흡수가 가능한 목적설치(1호선의 불연속 레일 구간의 충격음 완화), ③ 레일 진동 댐퍼 설치<sup>7)</sup>등은 장기적 계획아래 비용과 시간을 투자하면 소음이 감소될 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 조사결과 지하철 운행으로 인해 발생할 수 있는 소음은 차륜/레일사이의 전동소음 및 스킵소음으로 대별된다. 스킵소음의 주파수 대역은 2~4 KHz 부근에서 가장 큰 소음도를 나타내며 차량의 속도가 증가하면서 없어지는 특징이 있는 반면 전동소음은 500 Hz 부근에서 가장 큰 소음도를 나타내며 차량의 속도가 증가할수록 소음도도 동시에 커지는 특징<sup>6)</sup>이 있다.

2호선 상행선 38개 구간 중 최고소음도가 80 dB 이상은 21개 구간(약 55%)이며 85 dB 이상은 7개 구간(약 18%)으로 동 백⇒해운대(87), 시립미술관⇒동백(85), 센텀시티⇒시립미술관(88), 지게골⇒못골(89), 구 남⇒모라(86), 덕 천⇒구 명(87), 수 정⇒덕 천(86) 구간으로 측정되었다.

2호선은 1호선과는 다른 레일구조(콘크리트도상, 레일의 장대화 등)로 이루어져 지하철 주행 시 소음 특성에서 1호선과 다른 것으로 나타났다. 즉 2호선의 경우 곡선주차가 1호선보다 많고 특히 덕 천⇒구 명(상행-977m, 하행-967m), 수 정⇒덕 천(상행-684m, 하행-607m)의 곡선연장이 길며 소음폭로시간 또한 길어 이용시민의 불편이 있는 것으로 조사되었다. 따라서 2호선 소음저감대책 수립 시 곡선주로의 전동소음을 저감할 수 있는 대책이 수립되어야 할 것으로 사료된다.

2호선의 전동소음의 특징은 곡선주로에서 차륜의

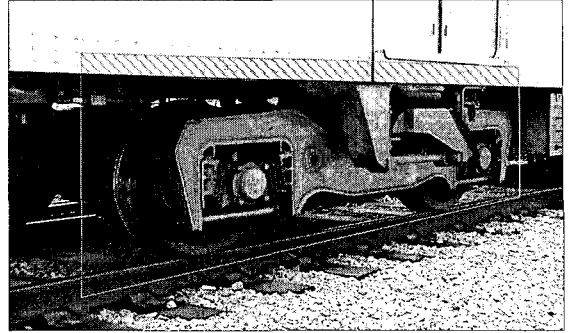


Fig. 6. Scene of setting up wheel cover at subway.

외측과 내측의 회전반경이 상이한 관계로 발생하며, 시공 및 관리상 편리한 콘크리트도상은 자갈도상에 비해 소음의 반사현상이 심해 지하철의 속도가 증가할수록 소음이 커지는(콘크리트도상에 자갈도상에 비해 약 4~10 dB(A) 높게 발생) 것으로 조사되었다. 따라서 1, 2호선 지하철에 공통적으로 전동소음을 저감하는 방안으로 지하철 하부의 차륜과 각종 보조장비를 덮을 수 있는 반투명 재질의 소음방지용 덮개를 설치하여(Fig. 6 참조) 지하철 주행 시 발생하는 전동소음과 스킵소음을 저감할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 김종년, 유동호, 박경환, 1998, 통근형 지하철의 실내소음저감, 한국철도학회, pp.265-266.
- 2) 서울특별시지하철본부, 2003, 지하철 급곡선부 소음저감대책 흡음재 설치 타당성 검토 연구 용역 보고서.
- 3) 김재철, 문경호, 유원희, 2003, 지하철 스킵소음에 관한 연구, 한국철도학회, 6(3), pp.209-215.
- 4) 김재철, 차륜/레일 접촉에 의한 소음과 저감대책 1999, 한국소음진동공학회, 9(3), 443pp.
- 5) ISO(International Organization for Standardization)-3381, 철도차량 내부에서의 소음측정국제기준.
- 6) 장승원, 이용관, 박석태, 김경환, 지하철 실내소음 특성 및 기여도 분석 1999, 1999년도 춘계학술대회 논문집, 203pp.
- 7) 김재철, 문경호, 유원희, 한기홍, 1999, 지하철 소음저감을 위한 방음차륜 적용시험, 한국철도학회, pp.487-495.