

서울메트로 1~4호선 고가역(창동역) 고체소음 저감 사례

The Reduction of Structure-borne Noise in an Elevated Station(Changdong Station) of Seoul Metro Line No. 1~4

공선용*
Kong, Sun-Yong

오희완**
Oh, Hee-Wan

김상진***
Kim, Sang-Jin

ABSTRACT

In the recent railway construction, the concrete slab track is highlighted as the maintenance-free track and the main stream is moving from ballasted track to concrete slab track. However, in spite of many merits of concrete slab track, the higher noise generated from the concrete slab track is a troublesome question to solve and, by this reason, many studies on noise reduction of concrete slab track are carried out.

The railway noise can be classified into the reflection noise emitted from wheel/rail contact and the structure-borne noise transmitted through railway structures. In this presentation, we would like to introduce an example of the successful reduction of structure-borne noise at track retrofitting to maintenance-free concrete slab track in elevated Changdong Station which was built with ballasted track on Rahmen structure.

1. 서 론

최근의 궤도건설에서 생력화 궤도로서 콘크리트궤도가 각광을 받고 있으며, 기존의 자갈궤도에서 콘크리트궤도로 대체되고 있는 추세다. 하지만 이러한 콘크리트궤도의 많은 이점에도 불구하고 가장 큰 단점인 소음증가가 해결해야 할 과제이며, 이로 인해 소음저감에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 철도 소음은 차륜과 레일의 접촉에 의한 반사소음과 철도구조물을 통해 전달되는 고체소음으로 구분할 수 있는데, 본 발표에서는 라멘구조 위에 자갈도상으로 건설된 창동역사를 콘크리트생력화 궤도로 개량하면서 콘크리트도상의 고질적인 문제점인 고체 소음을 성공적으로 저감한 사례를 소개하고자 한다.

2. 4호선 창동역 “B2S” 궤도도상개량 일반

2.1 기존 자갈도상 궤도구조 개요 및 문제점

1985. 4.20일 개통된 4호선 창동역은 총 3층의 라멘교 구조로 3층에는 50kgN레일과 PCT 침목을 사용한 자갈도상궤도가 건설되어져 있고, 2층에는 대합실, 역무실, 편의시설, 현업분소 외 업무시설과 국철(1호선 창동역) 환승 계단이 연결되어 있는 선하역사 구조로 되어 있다.

창동역 단면도 및 궤도부설 전경은 [그림 1]과 같으며, 구조 특성상 열차주행에 의한 진동이 바닥과 벽체를 타고 2층 하부로 전달되어 떨림에 의해 발생하는 고체소음으로 이용 승객과 직원을 비롯한 인근 상업시설과 주민들에게 많은 불편을 초래하고 있었다. 따라서, 이러한 고가 선하역사 구조에 경제적이면서도 고체소음 저감에 효과적인 궤도구조 개량이 절실히 요구되었다.

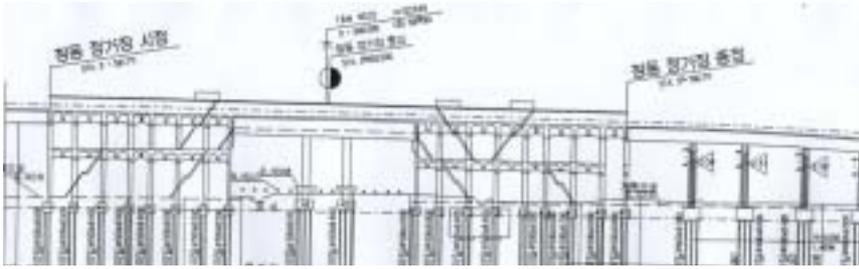
* 서울메트로 철도토목팀 팀장, 정희원

** 서울메트로 철도공사팀 팀장, 정희원

*** 서울메트로 철도토목팀 주임, 정희원

E-mail : smsctrack@paran.com

TEL : (02)520-5748 FAX : (02)520-5759



[그림 1] 4호선 창동역(라멘교) 종단면도 및 궤도부설 전경

2.2 “B2S” 생력화 궤도구조 개량

서울메트로에서의 구조물 진동에 의한 고체 소음·진동 저감 노력은 1998년 마포로 제5구역 재개발 빌딩에서부터 시작되었다. 당 현장 건물은 2호선 충정로~시청역간 구간으로 충정로역에 근접해 있고 (역구내 끝단 34m) 터널 벽체와 거리가 6m 밖에 되지 않아 비록 자갈도상이라 할지라도 열차운행 진동에 의한 고체음이 동 건물에 영향을 줄 수밖에 없었다.

당시 적용된 공법은 일반 콘크리트침목 저부에 PUR(발포폴리우레탄) 패드를 부착한 방진 PC침목을 자갈도상에 부설하여 고체소음의 영향을 최소화 하였으며, 만족할 만한 성과로 2~4호선 고가교에 동 System을 적용하여 현재까지 우수한 성능을 유지하고 있다. 그러나, 동 공법 역시 자갈도상의 큰 틀에서 벗어날 수 없었고, 궤도선형 유지와 자갈보충, 갱환이라는 자갈궤도 고유의 취약점이 항상 내재되어 있어 유지관리 비용이 수반 될 수밖에 없는 문제가 있다.

따라서, 콘크리트 생력화 궤도구조로 개량하면서 고체소음을 최소화 할 수 있는 궤도구조가 요구되었고, 지하부에서 이미 성능이 검증된 “B2S”공법을 적용하여 2006년 12월에 창동역(상선)을 시공하게 되었다. 동 구간에 적용된 궤도구조와 진동저감에 가장 큰 역할을 하고 있는 레일체결장치(방진패드)의 주요제원 및 시공 전경은 [표 1] [그림 2]와 같다.

[표 1] 시공 궤도구조 및 방진패드 제원

| “B2S” Track System (상선) | | | | “Ballasted” Track System (하선) | | | |
|-------------------------|----------------|------|-------------|-------------------------------|-----|-----|----------|
| 레 일 | 침 목 | 도 상 | 체결구 | 레 일 | 침 목 | 자 갈 | 체결구 |
| 50kgN장대 | Pre-cast Panel | 콘크리트 | System300-1 | 50kgN장대 | PCT | 갯자갈 | “e” Clip |

※ 방진패드 주요 제원 ; 재질(발포폴리우레탄, Sylodyn)
 ; 정적스프링계수(17.5 kN/mm);동적스프링계수(정적의 1.5이내);압축영구줄임률(5%미만/70℃/22h)



[그림 2] 4호선 창동역(라멘교) “B2S” 생력화 시공 전경

3. 궤도 구조별 소음·진동 측정 결과

동 구간의 고체소음 저감 효과를 알기 위하여 먼저 동일 지점에서 자갈도상 구간과 “B2S”생력화 구간의 진동을 측정하고 이 저감된 진동량에 의하여 2층 역무실과 화장실의 소음·진동을 측정하여 3층 승강장 진동 저감에 따른 고체소음이 어느 정도 감소되었는지 고찰하였다.

3.1 승강장(3층) 진동측정 결과

(가) 측정일시 : 2007년 2월 28일 [그림 3]

(나) 측정위치 : 3층 역무실 & 화장실 직 상부(선로중심 노반)

(다) 측정방법 : 3층 선로중심 노반에서 상(“B2S”), 하선(자갈도상) 열차 진입/출발 시 진동을 각 7회씩 측정한 후 최대, 최소값을 제외한 중간값 비교



[그림 3] 3층 선로중심 노반 진동측정 위치 및 전경

(라) 진동측정 결과

역무실의 경우[그림 4] 자갈도상의 Peak 진동값은 95.5dB이며, 콘크리트도상(“B2S”)은 80.8dB로 $\Delta 14.7$ dB가 저감 되었다.

| 구 분 | 하선(자갈도상) 열차 진입 시 (7량) | 상선(“B2S”) 열차 출발 시 (7량) |
|----------|-----------------------|------------------------|
| 측정그래프 | | |
| Peak 주파수 | 75 [Hz] | 40 [Hz] |
| Peak 진동값 | 95.5 [dB] | 80.8 [dB] |
| 진동 저감량 | - | $\Delta 14.7$ [dB] |

[그림 4] 역무실 직 상부(선로중심) 진동측정 결과

화장실의 경우[그림 5] 자갈도상의 Peak 진동값은 93.0dB이며, 콘크리트도상(“B2S”)은 79.0dB로 $\Delta 14.0$ dB가 저감되어 “B2S”에 적용된 탄성패드의 진동저감 성능이 확연하게 구분됨을 알 수 있다.

| 구 분 | 하선(자갈도상) 열차 출발 시 (7량) | 상선(“B2S”) 열차 진입 시 (7량) |
|----------|-----------------------|------------------------|
| 측정그래프 | | |
| Peak 주파수 | 90 [Hz] | 40 [Hz] |
| Peak 진동값 | 93.0 [dB] | 79.0 [dB] |
| 진동 저감량 | - | $\Delta 14.0$ [dB] |

[그림 5] 화장실 직 상부(선로중심) 진동측정 결과

3.2 역무실, 화장실(2층) 진동측정 결과

(가) 측정일시 : 2007년 2월 28일 [그림 6]

(나) 측정위치 : 2층 역무실 & 화장실 (3층 선로중심 노반 진동측정 직하부)

(다) 측정방법 : 2층 역무실 & 화장실에서 상(“B2S”), 하선(자갈도상) 열차 진입/출발 시 선로중심부 벽체, 바닥에서 진동을 각 7회씩 측정한 후 최대, 최소값을 제외한 중간값 비교



[그림 6] 선로중심부 역무실 및 화장실 벽체, 바닥 진동측정 위치 및 전경

(라) 진동측정 결과

역무실의 경우[그림 7] 자갈도상의 Peak 진동값은 벽체는 70.1dB, 바닥은 76.9dB이며, 콘크리트도상(“B2S”) 벽체는 61.6dB, 바닥은 67.2dB로 벽체는 $\Delta 8.5$ dB, 바닥은 $\Delta 9.7$ dB가 저감되었다.

| 구 분 | 하선(자갈도상) 열차 진입 시 (7량) | | 상선(“B2S”) 열차 출발 시 (7량) | |
|----------|-----------------------|-----------|------------------------|-------------------|
| 측정그래프 | | | | |
| 측 정 위 치 | 벽체 | 바닥 | 벽체 | 바닥 |
| Peak 주파수 | 75 [Hz] | 75 [Hz] | 100 [Hz] | 65 [Hz] |
| Peak 진동값 | 70.1 [dB] | 76.9 [dB] | 61.6 [dB] | 67.2 [dB] |
| 진동 저감량 | - | - | $\Delta 8.5$ [dB] | $\Delta 9.7$ [dB] |

[그림 7] 역무실 벽체, 바닥 진동측정 그래프(값)

화장실의 경우[그림 8] 자갈도상의 Peak 진동값은 벽체는 60.2dB, 바닥은 61.6dB이며, 콘크리트도상(“B2S”) 벽체는 55.5dB, 바닥은 55.2dB로 벽체는 $\Delta 4.7$ dB, 바닥은 $\Delta 6.4$ dB 저감되었다.

| 구 분 | 하선(자갈도상) 열차 출발 시 (7량) | | 상선(“B2S”) 열차 진입 시 (7량) | |
|----------|-----------------------|-----------|------------------------|-------------------|
| 측정그래프 | | | | |
| 측 정 위 치 | 벽체 | 바닥 | 벽체 | 바닥 |
| Peak 주파수 | 75 [Hz] | 75 [Hz] | 75 [Hz] | 85 [Hz] |
| Peak 진동값 | 60.2 [dB] | 61.6 [dB] | 55.5 [dB] | 55.2 [dB] |
| 진동 저감량 | - | - | $\Delta 4.7$ [dB] | $\Delta 6.4$ [dB] |

[그림 8] 화장실 벽체, 바닥 진동측정 그래프(값)

3.3 역무실, 화장실(2층) 소음측정 결과

(가) 측정일시 : 2007년 3월 2일 [그림 9]

(나) 측정위치 : 선로중심부 역무실 & 화장실 1.5m 높이 (3층 선로중심 노반 진동측정 직하부)

(다) 측정방법 : 2층 역무실 & 화장실에서 상(“B2S”), 하선(자갈도상) 열차 진입/출발 시 선로중심부 벽체, 바닥에서 소음을 15회씩 측정한 후 최대, 최소값을 제외한 13개 data의 평균값 비교



[그림 9] 선로중심부 역무실 및 화장실 소음측정 위치 및 전경

(라) 소음측정 결과

역무실의 경우[그림 10] 자갈도상의 소음 All Pass값은 56.6dB(A)이며, 콘크리트도상(“B2S”)은 52.9dB(A)로 $\Delta 3.7$ dB(A)가 저감되었고,

화장실의 경우[그림 11] 자갈도상의 소음 All Pass값은 63.3dB(A)이며, 콘크리트도상(“B2S”)은 58.3dB(A)로 $\Delta 5.0$ dB(A)가 저감되었다.

| 구 분 | 하선(자갈도상) 열차 진입 시 (7량) | 상선(“B2S”) 열차 출발 시 (7량) |
|--------------------|-----------------------|------------------------|
| 측정그래프 Leq dB(A) | | |
| Peak 주파수 | 250 [Hz] | 400 [Hz] |
| All Pass | 56.6 [dB(A)] | 52.9 [dB(A)] |
| 소음 저감량 | - | $\Delta 3.7$ [dB] |

[그림 10] 역무실 직 상부(선로중심) 소음측정 결과

| 구 분 | 하선(자갈도상) 열차 출발 시 (7량) | 상선(“B2S”) 열차 진입 시 (7량) |
|--------------------|-----------------------|------------------------|
| 측정그래프 Leq dB(A) | | |
| Peak 주파수 | 100 [Hz] | 400 [Hz] |
| All Pass | 63.3 [dB] | 58.3 [dB] |
| 소음 저감량 | - | $\Delta 5.0$ [dB] |

[그림 11] 화장실 직 상부(선로중심) 소음측정 결과

4. 소음·진동 측정결과 고찰

측정된 결과 값을 이용해 3층 승강장에서 감소된 진동량에 따라 2층 역무실과 화장실의 진동과 고체소음이 얼마나 저감되었는지 고찰하였다.

4.1 역무실 진동 저감에 따른 고체소음 저감 효과

역무실의 고체소음 저감 효과는 [표 2]에서 보여 지는 바와 같이 “B2S” 구간이 자갈도상 보다 3층 선로중심에서 $\Delta 14.7\text{dB}$ 감소되어 2층 역무실의 벽체와 바닥에 진동을 저감시켰고 이로 인한 구조물 떨림이 감소되어 실제 고체소음이 $\Delta 3.7\text{dB(A)}$ 감소되었다.

[표 2] 역무실 진동 저감에 따른 고체소음 저감량

| 항목 | 측정위치 | 구 분 | “자갈도상” (하선) | | “B2S” (상선) | | 저 감 량 | |
|----|----------|-----------|-------------|---------|------------|---------|----------------------------|-------------------------|
| | | | 벽체 | 바닥 | 벽체 | 바닥 | 벽체 | 바닥 |
| 진동 | 3층 선로중심 | Peak 주파수 | 75 Hz | | 40 Hz | | - | |
| | | Peak 진동값 | 95.5 dB | | 80.8 dB | | $\Delta 14.7 \text{ dB}$ | |
| | 2층 벽체/바닥 | Peak 주파수 | 75 Hz | 75 Hz | 100 Hz | 65 Hz | - | - |
| | | Peak 진동값 | 95.5 dB | 76.9 dB | 61.6 dB | 67.2 dB | $\Delta 8.5 \text{ dB}$ | $\Delta 9.7 \text{ dB}$ |
| 소음 | 2층 선로중심 | Peak 주파수 | 250 Hz | | 400 Hz | | - | |
| | | All Pass값 | 56.6 dB(A) | | 52.9dB(A) | | $\Delta 3.7 \text{ dB(A)}$ | |

4.2 화장실 진동 저감에 따른 고체소음 효과

화장실의 고체소음 저감 효과는 [표 3]에서 보여 지는 바와 같이 “B2S” 구간이 자갈도상 보다 3층 선로중심에서 $\Delta 14.0\text{dB}$ 감소되어 2층 역무실의 벽체와 바닥에 진동을 저감 시켰고 이로 인한 구조물 떨림이 감소되어 실제 고체소음이 $\Delta 5.0\text{dB(A)}$ 감소되었다.

[표 3] 화장실 진동 저감에 따른 고체소음 저감량

| 항목 | 측정위치 | 구 분 | “자갈도상” (하선) | | “B2S” (상선) | | 저 감 량 | |
|----|----------|-----------|-------------|---------|------------|---------|----------------------------|-------------------------|
| | | | 벽체 | 바닥 | 벽체 | 바닥 | 벽체 | 바닥 |
| 진동 | 3층 선로중심 | Peak 주파수 | 90 Hz | | 40 Hz | | - | |
| | | Peak 진동값 | 93.0 dB | | 79.0 dB | | $\Delta 14.0 \text{ dB}$ | |
| | 2층 벽체/바닥 | Peak 주파수 | 75 Hz | 75 Hz | 75 Hz | 85 Hz | - | - |
| | | Peak 진동값 | 60.2 dB | 61.6 dB | 55.5 dB | 55.2 dB | $\Delta 4.7 \text{ dB}$ | $\Delta 6.4 \text{ dB}$ |
| 소음 | 2층 선로중심 | Peak 주파수 | 100 Hz | | 400 Hz | | - | |
| | | All Pass값 | 63.3 dB(A) | | 58.3dB(A) | | $\Delta 5.0 \text{ dB(A)}$ | |

5. 결 론

서울메트로의 선로여건에 “B2S”(System 300) 시공 시 약 15dB 정도의 진동저감 효과가 해석되었는데 실제 개량 후 측정된 결과 $\Delta 14.0 \sim \Delta 14.7\text{dB}$ 의 저감량을 확인할 수 있었고, 최초로 시공한 한양대 역구내와 동일한($\Delta 14.6\text{dB}$) 진동저감 효과가 계측되어 탄성패드의 성능을 재확인할 수 있었다. 또한, 라멘 구조 위에 콘크리트 생력화 궤도로 개량하면서 콘크리트도상의 고질적인 문제점인 고체소음을 성공적으로 저감($\Delta 3.7 \sim \Delta 5.0\text{dB(A)}$) 시켰고, 탄성체(방진패드)의 성능이 고체소음 저감에 많은 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있었다.

최근 철도건설은 속도 향상과 용지 확보 등의 문제로 고가교 설치가 증가하고 있으며, 역사 구조물 역시 선하역사로 설계, 시공되어 지고 있다. 본 시공 사례가 콘크리트도상 궤도 건설에 활용될 수 있길 기원한다.

향후, 서울메트로에서는 “B2S” 구조를 방진궤도 구조로 더욱 발전시키고 콘크리트도상 구간의 반사소음 저감을 위하여 도상흡음재 등의 연구와 시험을 계획하고 있으며, 빠른 시일 내 성공적인 결실을 맺어 보다 안전하면서도 쾌적한 철도 서비스를 제공 하고자 한다.

본 창동역사 소음, 진동 측정에 협조해 주신 직원 및 관계자 여러분에게 감사드립니다.