

궤도 이상침하의 새로운 모니터링 방법



ㅣ 서 사 범 ㅣ
 삼표이앤씨(주) 기술연구소장
 공학박사 · 철도기술사

I. 머리말

철도연선의 재개발 사업이나 입체교차 사업에 따라 선로 근접개소의 공사가 증가되고 있다. 선로 근접 공사는 궤도에 심각한 변상을 초래할 위험성이 있는 어려운 공사이지만(그림 1, 2), 근년에는 시공기술의 발달에 따라 열차의 운행을 중지하지 않고 시공할 수가 있게 되었다. 이러한 입체교차공사에 따라 생기는 궤도 변형의 실측 예를 그림 3에 나타낸다. 이것은 특히 문제가 없이 종료된 공사이지만 그래도 시공기간 중에는 궤도에 어느 정도의

변형이 생겨 있었던 것을 알 수가 있다. 즉, 선로근접 공사의 시공기술이 고도화됨에 따라서 궤도나 노반의 변형을 높은 정밀도로 리얼타임으로 모니터링하는 기술이 불가결하게 되어 있다.

현재 이와 같은 모니터링은 주로 유선방식 센서(와이어방식 변위계, 경사계 등)나 광학식 자동측량 등으로 수행하고 있다. 이들의 방법은 궤도의 상시 감시시스템으로서 실적을 쌓고 있지만 취급에 전문적인 기술이 필요하기도 하고 코스트가 높은 점 등의 문제가 있기 때문에 소규모의 공사에서 간편하게 사용하기에는 어려운 면이 있다. 따라서 소규모의 근접공사나 열차횡수가 적은 선구인 경우의 대부분은 육안으로 상태를 감시하고 있는 것이 현실이다.

본고에서는 소규모의 근접공사 현장에서도 손쉽게 궤도의 변형을 모니터링하기 위하여 현장작업

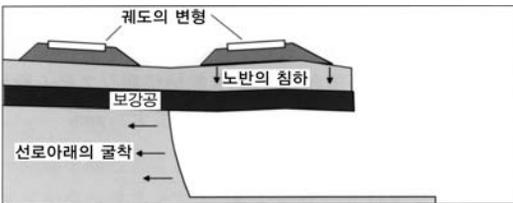


그림 1. 흙 쌓기 비탈면 굴착에 따른 궤도의 변형

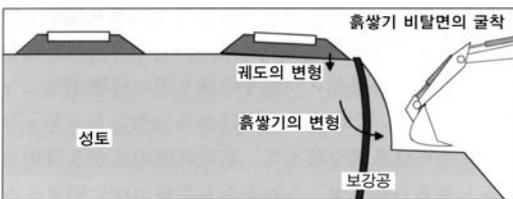


그림 2. 선로아래 굴착에 따른 궤도의 변형

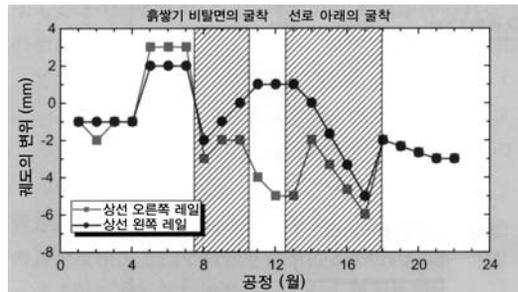


그림 3. 입체교차공사에서 궤도변형의 실측 예

자가 간이하게 사용할 수 있는 저비용의 간편한 궤도변위 상시 감시시스템에 관하여 소개한다.

II. 궤도변형 측정법의 원리

궤도의 변형을 측정하는 방법은 기준점을 취하는 방법에 따라 원리적으로 크게 두 가지로 나뉜다.

하나는 궤도 내에 기준점을 설치하여 궤도의 변형을 측정하는 방법이다(그림 4). 이 방법은 계측기를 궤도에 직접 설치하는 측정법에 적합하고, 궤도의 형상을 비교적 간단하게 측정하는 것이 가능하다. 그러나 기준점이 변위되어 버리면, 궤도의 절대적인 변형량을 파악하는 것이 곤란하게 된다. 또한, 궤도에 설치하는 계측기는 크기나 설치위치에 제약이 있어 통상의 보선작업에 대한 영향이 염려된다.

또 하나는 궤도 바깥의 부동점을 기준으로 하는 방법이다(그림 5). 이 방법에서는 측정치가 항상 궤도의 절대적인 변형량으로 되기 때문에 원리적으로는 궤도의 모니터링 시스템에 적합하다고 할 수 있다. 최근에는 자동적으로 다점(多點) 계측을 하는 광학식 계측기가 보급되어오고 있으므로 높은 범위의 모니터링도 비교적 용이하게 되고 있다.

그러나 계측기의 설치개소에서 측정범위를 육안으로 확인할 수 있어야만 하기 때문에 전망이 나쁜 개소에서는 사용하기가 곤란하게 된다. 또한, 비, 눈, 안개 등으로 시계가 나빠지면 정밀도가 악화되기도 하고 열차밀도가 높은 도시구간의 복복선 등에서는 열차자체가 장애물로 되어버리는 경우도 있다.

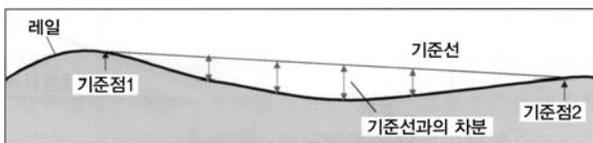


그림 4. 기준점을 궤도 내에 취하는 측정법의 예

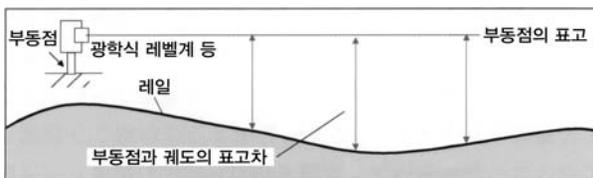


그림 5. 기준점을 궤도 바깥에 취하는 측정법의 예

III. 무선센서 네트워크의 적용

근년에는 무선을 이용한 센서 네트워크를 여러 가지의 상태감시에 사용하도록 시도되고 있지만, 최대의 문제는 배터리만으로는 센서 네트워크를 장기간 연속적으로 구동시키기 곤란한 점이다. 태양전지 등의 발전모듈을 보조적으로 이용하는 것도 시도되고 있지만 신뢰성, 설치개소, 사이즈, 코스트 증가 등의 문제가 더해지기 때문에 적용조건이 극히 한정되고 있다.

그러나 센서유닛에 측정모드와 슬립모드를 필요에 따라서 나누어 사용하는 생(省)전력 기능(그림 6)을 갖게 하면, 배터리만으로도 동작시간을 비약적으로 늘릴 수가 있다, 라고는 하여도 옥외의 환경에서 사용하는 경우는 배터리 자체의 수명도 엄하게 되므로 현상에서는 2~3년이 실용상의 사용한계로 될 것이다.

또한, 저소비 전력형의 마이콤은 데이터의 처리속도가 그다지 빠르지 않으므로 고속의 처리가 필요한 동적인 데이터의 측정에는 적합하지 않다. 따라서 장기간의 상시감시가 가능한 시스템은 현재의 경우에 정적인 데이터의 측정으로 한정된다.

무선센서 네트워크에는 이상과 같은 제약조건이 있지만, 그 한편으로

- ① 선로근접 공사의 상시감시 시스템으로 적용을 한정하게 된다면, 또한 연속하여 수개월 정도의 가동시간을 확보할 수 있다면 충분히 실용성이 있다.
- ② 궤도의 변형을 측정할 뿐이라면, 정적인 데이터의 측정으로 좋으므로 배터리만으로도 수개월의 적용은 가능하다.
- ③ 다수의 센서를 사용하는 것을 고려하면, 데이터 케이

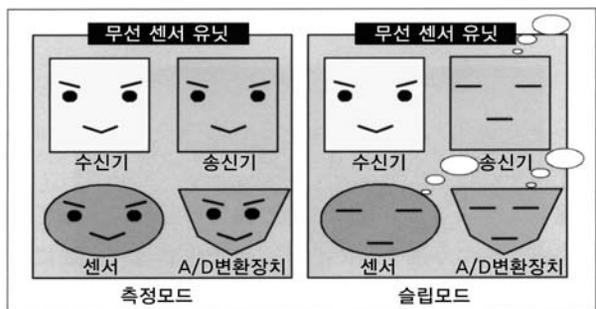


그림 6. 무선 센서 유닛의 생(省)전력기능의 예

블을 생략할 수 있는 메리트가 크다.

- ④ 사용법을 한정하면, 무선 유닛의 쪽이 유선보다도 코스트 면에서 유리하다.
- ⑤ 실용화되면, 장래적으로 여러 가지 상태감시에 응용할 수 있는 가능성이 높다.

IV. 무선센서 유닛을 이용한 궤도변위 상시 감시 시스템의 개요

현재 개발되고 있는 상시감시 시스템의 설치상태를 그림 7에, 그 기본구성을 그림 8에 나타낸다. 본 시스템은 복수의 무선센서 유닛, 배터리, 기지국 유닛 및 제어·측정용의 퍼스컴으로 구성되어 있다.

무선센서 유닛에는 2방향 경사각 센서, 온도센서, A/D



그림 7. 무선 센서 유닛을 이용한 궤도변위 감시시스템의 예

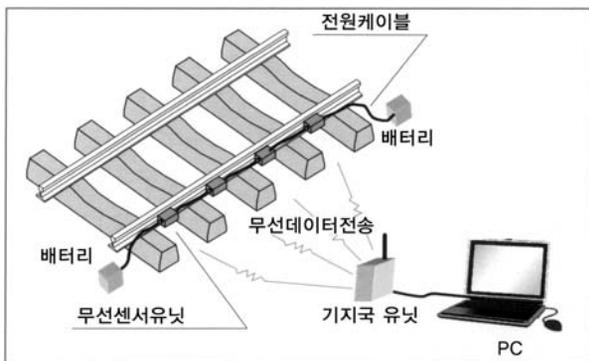


그림 8. 궤도변위 감시시스템의 기본구성

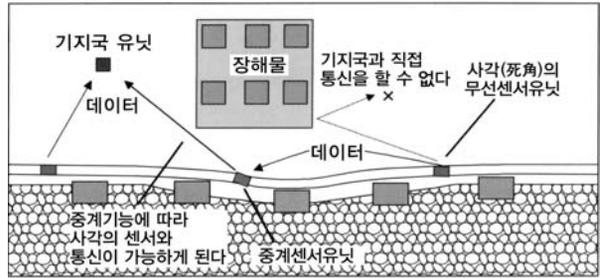


그림 9. 데이터 중계기능의 이미지



그림 10. 무선센서유닛의 예

변환 장치, 무선 송수신 장치를 내장하여 측정데이터를 센서유닛 내에서 디지털 데이터로 변환하고 나서 무선으로 기지국 유닛으로 송신한다. 또한, 각 무선센서 유닛은 데이터 중계기능을 갖고 있어 기지국 유닛과 직접 통신할 수 없는 센서 유닛이라도 중계센서 유닛을 개입시켜 기지국 유닛과 통신할 수가 있다(그림 9). 기지국 유닛에서 수신된 측정 데이터는 퍼스컴 내에서 연산 처리하여 인터페이스 화면에 표시하고, 필요에 따라서 경보를 낼 수가 있다.

무선센서 유닛은 DC전원으로 구동되고 기본적으로는 그림 8에 나타낸 것처럼 각 센서를 전원 케이블로 직렬(cascade) 접속하고 양단에 12 V의 납(鉛)축전지를 접속하여 사용한다. 하나의 센서 군(群)에 2개의 배터리를 사용하며, 전원 케이블이 어딘가 1개소 단선되어도 센서로의 급전이 정지되지는 않는다. 물론, 각 센서에 직접 배터리를 접속하면, 센서 간의 전원 케이블은 불요하게 된다.

무선센서 유닛(그림 10)은 강력한 자석으로 레일에 고정하도록 되어있어 현장작업자가 필요에 따라서 용이하게

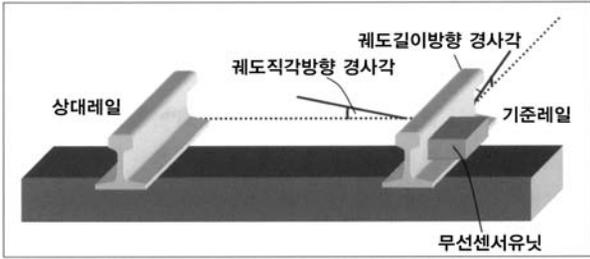


그림 11. 측정되는 궤도의 경사각

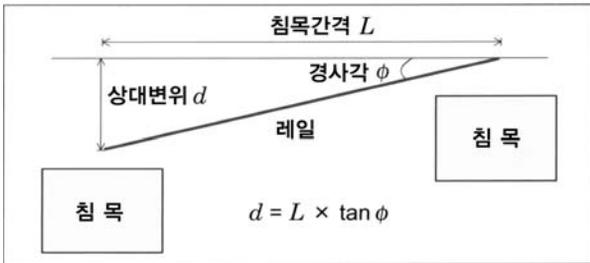


그림 12. 궤도 길이방향 변위량의 계산

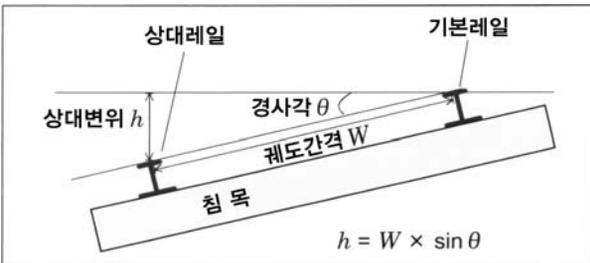


그림 13. 궤도 직각방향 변위량의 계산

탈착할 수가 있다.

이 시스템은 기본적으로 한쪽 레일에 무선센서 유닛을 접속하여 설치하며, 측정되는 경사각은 레일 길이방향을 기준으로 한 궤도 길이방향 경사각과 레일 직각방향을 기준으로 한 궤도 직각방향 경사각의 2 방향이다(그림 11). 여기서, 센서유닛이 설치되어 있는 레일을 기준레일, 또 한쪽의 레일을 상대레일이라고 정의한다. 이 시스템은 기준점을 궤도 내로 택한 측정방법이므로 측정범위 내의 어딘가 1점을 기준점으로 한 상대변위 분포를 측정하는 것으로 된다.

이하에서는 측정된 경사각 분포를 궤도변위 량으로 환산하는 방법을 간략하게 설명한다. 간단하게 하기 위하여 각 센서유닛은 각 침목 사이에 설치되어 있다고 가정하면,

기준레일에서 침목 사이의 궤도 길이방향 변위량은 그림 12와 같이 된다. 또한, 기준레일과 상대레일과의 상대 변위량, 즉 궤도 직각방향 변위량은 그림 13과 같이 된다. 이들의 궤도 변위분포를 기준점부터 순차 가산함으로써 궤도의 2차원적인 형상이 환산된다.

V. 궤도변위 상시감시 시스템의 활용

궤도변위 상시감시 시스템은 기본적으로는 궤도의 변형을 상시 감시하고 있을 뿐이다. 그러나 거기에서 얻어지는 데이터를 잘 활용하면, 궤도의 변형뿐만 아니라 노반상태의 변화를 추측할 수 있다고 생각된다. 이것은 궤도변위 상시감시 시스템이 궤도의 변형량 뿐만 아니라 변형속도를 감시할 수 있기 때문이다.

예를 들어, 어느 점의 궤도가 이상 침하된 경우를 상정한다. 큰 궤도침하가 단시간에 발생된 경우는 그림 14와 같이 노반에 함몰 등의 치명적인 변상이 생겨있을 가능성이 높다고 생각된다. 이 경우는 도상이 노반의 함몰에 추종하여 침하된다.

그러면, 현상에서는 큰 궤도침하량은 없지만, 침하의 진

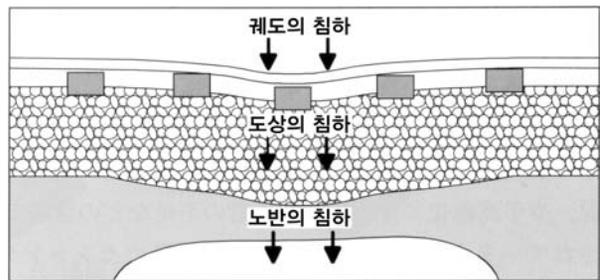


그림 14. 노반의 함몰에 따른 궤도의 침하

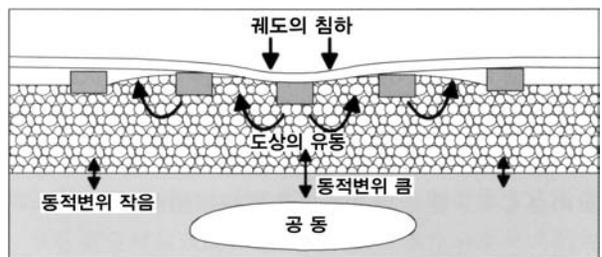


그림 15. 노반 스프링의 변화에 따른 궤도의 침하

행이 이전보다 명백하게 빨라진 경우는 어떠한가? 이 경우는 상기와 마찬가지로 노반의 침하가 진행되고 있을 가능성도 있지만, 노반 내에 국소적인 연약개소나 공동 등이 발생됨에 따라 노반의 스프링치가 저하되어 열차 주행에 따른 노반의 동적 변형량이 증대되고 있을 가능성이 있다. 이 경우는 노반의 침하가 그만큼 크지는 않지만, 노반의 동적 변형에 따라 도상이 유동(流動)되어 결과로서 궤도의 침하가 진행되고 있다(그림 15). 물론, 이러한 공동이 성장하면, 최종적으로는 노반함몰에 이를 가능성이 있으므로 궤도의 침하속도가 명백하게 빨라지거나 한 경우는 노반에 무엇인가의 변상이 발생되고 있다고 의심하는 쪽이 좋을 것이다.

이와 같이 궤도변위 상시감시 시스템은 선로근접 공사

의 모니터링뿐만 아니라 통상의 궤도보수에서의 활용도 기대할 수 있다.

Ⅵ. 맺음말

궤도의 변형을 상시 감시하는 시스템은 네트워크 기술을 조합시킨 것으로 궤도보수 관리의 새로운 툴로 될 가능성이 있다. 향후에는 여러 가지 센서를 통합한 종합감시 시스템을 시야에 넣어 무선센서 네트워크를 이용한 시스템으로 실용화될 것으로 생각된다. ☺