지반탐사 레이더를 이용한 포장두께 측정

김 인 수*·이 경 하**

머리말

본 기술 노트는 GPR(Ground Penetrating Radar)을 이용한 아스팔트포장 두께 측정 과정을 예시하였다. 조사는 포장 탄성계수 역산 입력변수인 포장두께의 확인과 부가적으로 시험시공구간의 특성 파악을 위해 마련되었다.

조사과정은 시공기록조사, 현장 포장상태 육안관측, GPR조사(일반구간포함), 코어를 채취하여 GPR 측정결과와 비교하는 순서로 진행되었고, 조사 구간은 서해안 고속도로의 서창 J/C 부근의 약 200m 직선구간으로 시공자료에 의하면 보조기층 35cm, 기층 20cm, 표층 10cm의 단면구조를 이루고 있는 것으로 나타났다.

1. GPR탐사 이론

GPR 장비는 포장두께 측정과 포장하부층 상태 파악뿐만 아니라 교량바닥판의 건전도 평가 등 이용분야가 광범위하다. 측정원리는 지하로 약 1GHz대역의 전파를 방사시키면 매질이 다른 경계면 에서 전파가 반사되며 이때 수신되는 시간차를 이용하여 각층의 프로파일을 측정하는 것이다. 이 자료를 가지고 조사하려는 포장층 깊이 등의 포장하부층 상태를 알 수 있다. 지반탐사 레이더(GPR) 측정 결과에 큰 영향을 끼치는 지하매질의 물리적인 특성은 상대유전율(dielectric constant)과 전기전도도(electrical conductivity)인데, 전자파의 전파속도는 유전율에 의해, 파의 감쇠는 주로 전기전도도에 크게 영향을 받는다. 이 중에서 유전율은 매질마다 고유한 값이 있고 이 값을 이용 반사 전자파의 속도를 계산하는데 쓰인다. 이 값은 매질의 함수량에 따라 크게 달라진다(표 1 참조). 이의 정확한 측정을 위해 대상물과 일정한 간격을 두고 측정하는 CMP(Common Mid Point)법이 사용되기도 한다.

표 1. 대표적 매질의 상대유전율과 전자파 속도

매 질	상대유전율	전자파속도(m/ns)
공기	1	0.3
담수	81	0.033
해수	81	0.01
건조모래	3-5	0.15
습윤모래	20-30	0.06
석회석	4-8	0.12
아스팔트	3-5	0.12
콘크리트	4-11(5)	0.10
점토	5-40	0.06
화강암	4-6	0.13
얼음	5-6	0.13

* 정회원 · 한국도로공사 도로연구소 연구원
** 정회원 · 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

2. 현장조사

2.1 육안조사

시험포장구간에 대한 포장상태 육안조사결과 조사시점에서 25m까지 아스팔트 덧씌우기가 시공되었고 전차로에 걸친 규모가 큰 횡방향 균열과 3차로에서 1, 2차로까지 발생한 균열을 포함하여 총 7개의 횡방향 균열이 관찰되었다.

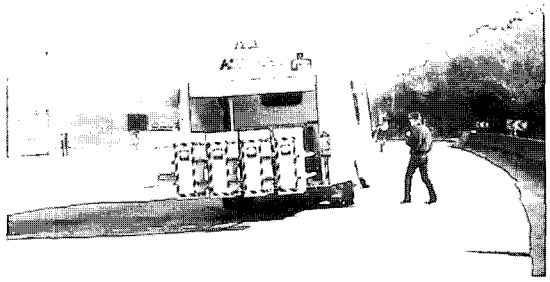

그림 1. GPR 측정

2.2 GPR조사

물의 유전율이 다른 물질에 비하여 상당히 크기 때문에 조사는 될 수 있으면 충분히 건조한 날이 지속된 후에 실시하는 것이 정확한 데이터를 얻는데 가장 이상적이다. 본 조사도 이점에 충분한 주의를 기울여야 했다. 하루 중에도 오전은 포장표면의 습기 때문에 되도록 조사를 피해야 했으며 정확한 조사자료를 얻기 위한 칼리브레이션을 조사 전후에 반복 실시하여야 했다. 또한 인접구간도 GPR 측정을 실시하여 조사구간과 비교하였다. 두 경우 모두 측정속도는 약 30km/h로 하였다. 다음의 그림 2는 조사된 GPR 파일로 가로축은 측정거리, 세로축은 각층에서 전파반사가 일어나 되돌아온 시간(ns)을 나타낸다. 이 세로축은 최종분석과정에서 깊이로 변환되어 찾고자하는 포장층의 두께를 추정할 수 있게 된다. 그림 2에서 일단 전파의 반사가 일어난 각층의 위치를 파악할 수 있게 된다. 가로축의 약 20m 부근에서 경계면이 약간 다르게 표시되는 부분이 표시되는데 이 부분은 육안조사 나타난 오버레이 부분에 포함되는 것을 알 수 있다.

그림 3은 그림 2의 데이터 파일을 칼리브레이션하기 위한 파일로 측정이 끝난 직후 또는 측정 직전에 만드는 것이 정확한 데이터 분석을 위해 가장 바람직하다. 이렇게 만들어진 데이터 파일과 칼리브레이션 파일을 이용하여 전처리를 거쳐 최종분석을 위한 1차 분석결과가 그림 4와 같이 만들어졌다.

그림 4의 1차분석 결과에서 약 2층으로 분류된 점선들이 나타났다. 위층의 점들은 표층 다음에 반사가 일어나 매질의 경계면으로 인식된 결과이다. 또한 아래층의 점들도 반사가 일어났기 때문에 역시 경계면으로 인식하였다. 그러나, 이렇게 측정된 결과는 단순히 분석소프트웨어의 계산에

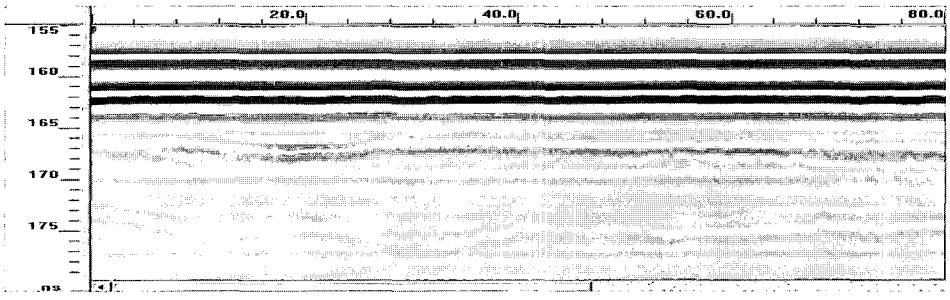

그림 2. GPR로 측정한 조사구간의 아스팔트포장 단면

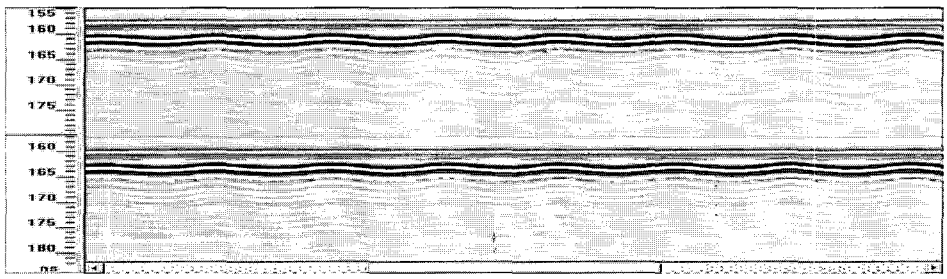

그림 3. 칼리브레이션 파일

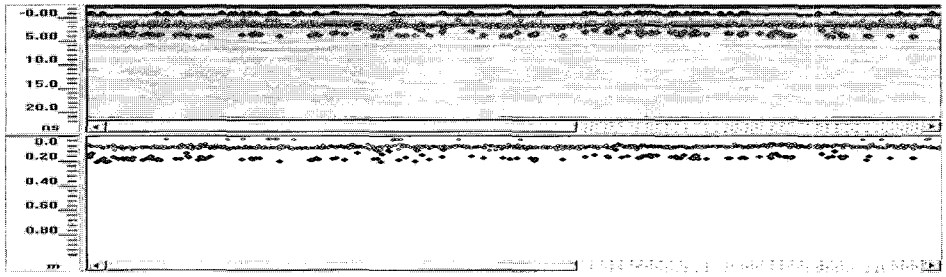

그림 4. 1차 분석결과

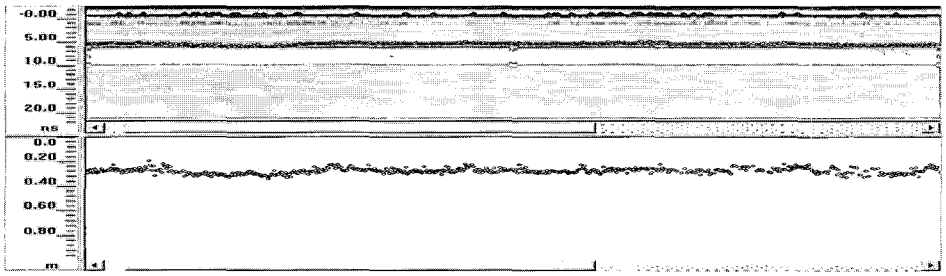

그림 5. 최종분석 결과

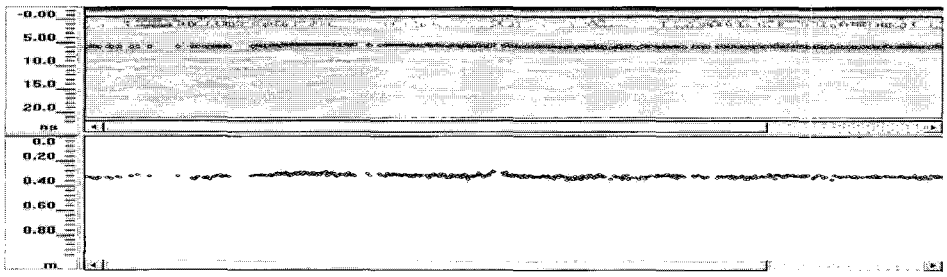

그림 6. 일반구간의 최종분석 결과

의한 것이다. 보편적인 도로기술자가 가지고 있는 정보와 비교할 때 의의 결과는 실제와 상당히 상이한 포장두께를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 그림 4에서 가장 확실하게 보이는 경계면을 육안으로 확인할 수 있고 점들을 이으면 그림 5와 같은 최종분석결과가 나타난다.

물론 분석과정에서 적당한 경계면이 나타나지 않는 경우도 있는데 그런 경우는 포장체로 스며든 습기에 의해 혹은 기타 측정시에 잘못된 기계조작과 칼리브레이션을 적절히 실시하지 않은 경우에 이런 현상이 나타나기 쉽다. 이렇게 분석된 결과는 일반구간과의 비교를 통해 오류사항 혹은 특이점을 찾는 과정을 다시 거치게 된다. 아래 그림 6의 일반구간 조사결과를 그림 5와 비교하면 아스팔트층의 두께가 증가한 것을 알 수 있다.

그림 5와 6의 데이터 포인트를 아스키파일로 읽어 조사한 결과는 다음과 같다(표본수는 568개로 동일).

- 시험포장구간은 평균 30.5cm(표준편차 0.05)
- 일반구간은 31.7cm(표준편자 0.02)

시험포장구간의 두께 30.5cm는 시공기록인 30cm, 코어두께 30cm와 잘 들어맞는 것을 알 수 있고 일반구간의 포장 두께는 약간 더 두껍게 나타났다.

3. 결론 및 향후 보완과제

① 금번 GPR을 이용한 포장 두께 조사결과와 시공기록, 코어 두께가 거의 일치하는 것으로 나타나 고속도로의 아스팔트층 두께 측정에 적용성이 확인되었다.

② 분석결과에 의하면 매질의 종류뿐만 아니라 같은 매질이라도 시공조건에 따라 경계면으로 인식되어 더 세부적인 사항도 충분히 조사가 가능한 것으로 나타났다.

③ 약 1m 정도의 깊이 까지 측정이 가능한 것으로 나타나, 시공기록의 검토 또는 기타 포장 모니터링에도 충분한 사용성을 확인하였다.

④ 세부적인 포장분야 GPR 활용을 위해서는 환경조건에 적절하게 사용될 수 있는 각 매질의 상대유전율 측정이 필요하다.

학회지 광고 모집 안내

학회지에 게재할 포장관련 업계의 광고를 모집합니다.

표 2 (앞표지 안쪽면, 칼라) : 200만원

표 3 (뒷표지 안쪽면, 칼라) : 200만원

표 4 (뒷표지, 칼라) : 300만원

간지 (칼라) : 200만원

위 금액은 4회 게재할 요금임.

연락처 : 학회사무국

☎ 525-7147