

IT기술을 접목한 다짐시공관리 시스템(U-Roller 시스템)

2010.02.05

GS건설 / (주)라이브라컨설턴트

<제목차례>

1. 서론	1
2. 다짐관리 시스템 개요	1
2.1 시스템의 구성	1
2.2 데이터 처리 흐름	2
3. GPS 시스템	3
4. CCV 시스템	3
4.1 CCV 개념	3
4.2 CCV 시스템의 장비구성	4
4.3 CCV 시스템을 이용한 품질관리 기법	6
4.4 CCV 시스템을 이용한 지반반력 시스템의 장점	6
5. 시스템 화면 구성	8
6. 결과 보고서	9

<그림차례>

그림 1. 관리적 구성	1
그림 2. 기계적 구성	2
그림 3. 데이터 흐름도	2
그림 4. VRS 개념도	3
그림 5. CCV 개념도	3
그림 6. 지반 강도에 따른 진동가속도 파형 차이	4
그림 7. FFT변환 후의 스펙트럼 특징	4
그림 8. CCV 시스템	5
그림 9. CCV 시스템의 디스플레이부	5
그림 10. 장착된 센서부	5
그림 11. CCV 시스템을 이용한 시공 개념도	6
그림 12. U-Roller 사용자 화면	8
그림 13. 관리자의 설정화면	8
그림 14. 관리사무실에서의 관리/감독화면	9
그림 15. 각종 보고서	10

1. 서론

토목공사에서 기존의 지반을 파헤치거나 새로운 흙을 쌓아올리는 성토작업이 주를 이룬다. 이때, 쌓아 올린 흙이 일정한 크기 이상의 강도를 가져 자연 침하나 구조물의 하중에 의한 침하가 발생하지 않도록 하기 위하여 다짐 공정이 필수적이다. 이러한 다짐 공정은 성토공정에서 핵심이며 다짐 작업이 불량할 경우 흙의 강도 약화, 투수성 증가, 지지력 감소, 침하현상 발생 등의 진행과정을 거쳐 도로침하, 구조물 붕괴 등의 대형 사고로 이어 질 수 있다. 그럼에도 불구하고 대규모 토목공사 현장에서 다짐공사에 대한 관리는 대부분 상대적으로 대표성이 부족한 들밀도 시험, 평판재하시험 등과 같은 현장시험을 실시함으로써 인해 현장의존도가 크며, 공사 시방에 입각한 관리가 아닌 다짐 작업자 자신의 인위적인 판단에 의한 작업이 진행되고 있다. 이로 인해 다짐시험 및 작업관리가 형식적으로 이루어지고 있으며, 이는 시공 부실로 인한 피해발생시 작업의 구분에 따른 책임소재의 규명이 명확하지 못하는 등의 요인 이므로 많은 문제점을 안고 있다.

본 시스템은 기존의 다짐시공 관리방법을 보완 및 대체할 수 있도록, GPS를 이용하여 작업위치에 대한 위치 데이터를 취득함은 물론 진동가속도센서를 활용하여 다짐작업이 수행된 지반의 강도를 실시간으로 측정하는 등의 IT기술을 접목한 최적화 다짐 시공관리 시스템을 구현하여, 고품질의 시공성을 확보하여 보다 체계적으로 다짐공정관리가 이루어질 수 있도록 하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 다짐관리 시스템 개요

2.1 시스템의 구성

GPS장비를 이용하여 다짐작업을 수행하는 다짐롤러의 위치정보를 기반으로 해서, 진동가속도 센서에서 얻어지는 데이터에 의하여 다짐지반의 강성을 판단한다. 이와 같이 얻어지는 정보를 진동롤러의 작업자가 모니터로 실시간으로 확인을 하며 작업을 수행할 수 있으며, 또한 무선인터넷기술에 의해 관리사무실에 전송되어 다짐작업 상황 및 품질관리를 수행하게 된다. 그림 1은 다짐 관리시스템의 관리적인 측면에서 진동 롤러의 내부에서 작업자가 실시간으로 작업 진행사항을 검사하며 관리 사무소에서 감독 관리하는 시스템의 관리적 구성을 나타내었고, 그림 2는 기계적인 구성에서의 RTK를 이용한 위치 정보수신과 가속도계 센서를 이용한 기계적인 구성을 나타내었다.



그림 1. 관리적 구성

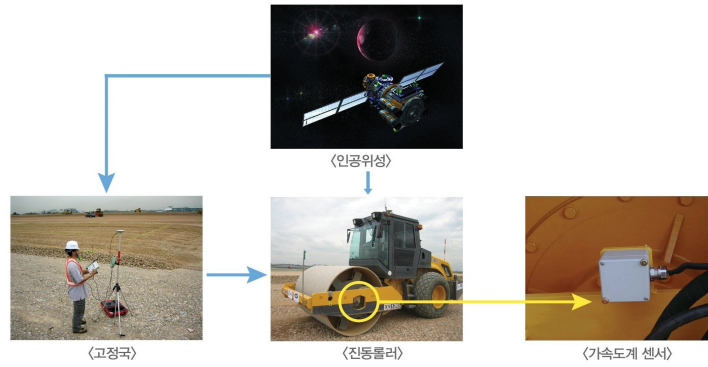


그림 2. 기계적 구성

2.2 데이터 처리 흐름

그림 3은 다짐시공관리시스템의 처리 흐름도이다. 시스템은 크게 Office 와 U-Roller로 구성되어 있다. Office는 작업영역, 배경도, 작업 정보 등의 설정 데이터를 생성하고 그 데이터를 메모리카드를 이용하여 U-Roller에 데이터를 전달한다. 롤러 작업자에 의한 설정이 필요 없게 되므로 효율적이고 오류를 감소할 수 있다. U-Roller에서는 삽입된 메모리카드를 통해서 자동으로 설정데이터를 읽어 들이고 기계적으로 GPS데이터와 CCV데이터를 수신하면서 무선인터넷(CDMA)을 이용하여 Office에 접속한다. U-Roller를 이용하여 실시간으로 처리되어진 정보는 사용자의 화면에 바로 나타나서 현재의 작업 진행에 대한 정보를 보여주면서 동시에 Office에 데이터를 송신하여 관리자들도 또한 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 모든 작업이 완료된 후에는 무선인터넷을 이용하여 결과데이터를 전송 할 수 있고 메모리카드를 이용하여 가져 갈 수도 있다. 작업 결과 데이터를 이용하여 Office에서는 결과처리가 가능하다. 결과처리는 재현, 보고서와 AutoCAD를 이용한 결과 검토 기능이다. 재현은 실제 작업 데이터를 이용하여 당시의 작업 진행사항을 그대로 재현해 볼 수 있는 기능이다. 보고서는 궤적, 다짐횟수, 지반반력, 층두께, 층높이를 보고서로 출력할 수 있고 AutoCAD를 이용하여 작업 층을 3차원으로 확인 하고 층별 중심단면도를 이용하여 층별 높이와 토공량 나타낸다.

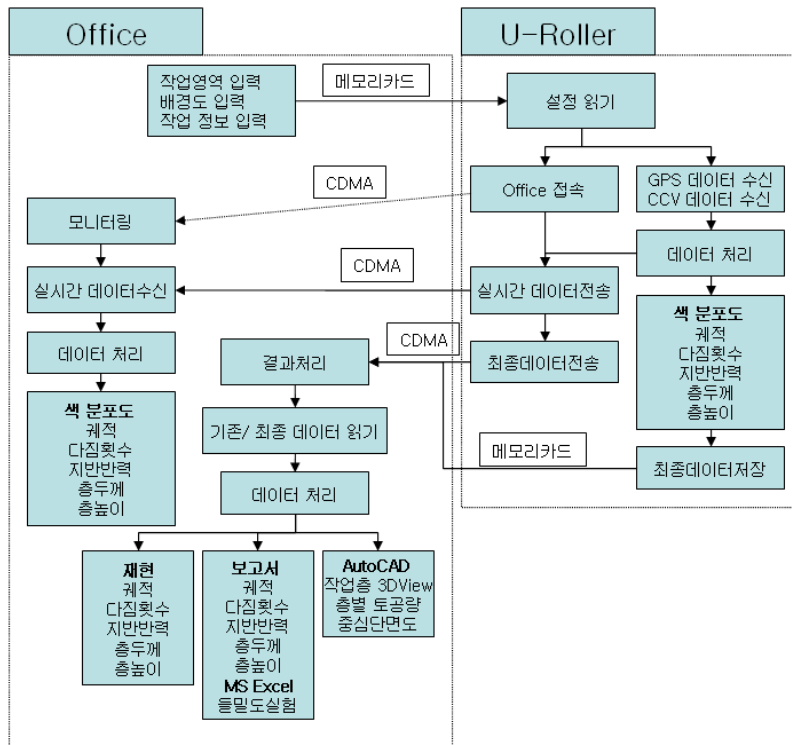


그림 3. 데이터 흐름도

3. GPS시스템

GPS(Global Positioning System)은 여러 산업분야에서 사용되어 지고 있으며, 토목분야에서도 측량, 측지 등의 기본적인 사용목적만이 아니라 교량, 초고층 빌딩 등의 중요구조물에 대한 진동, 변위를 모니터링하는 방법으로도 폭넓게 사용되어지고 있다.

GPS수신기는 3개 이상의 GPS위성으로부터 송신된 신호를 수신하여 위성과 수신기의 위치를 결정한다. 위성에서 송신된 신호와 수신기에서 수신된 신호의 시간차를 측정하면 위성과 수신기 사이의 거리를 구할 수 있고, 이를 이용하여 삼변측량에서와 같은 방법으로 수신기의 위치를 계산 할 수 있다. 또한, 고정밀 이동측량 기법인 RTK-GPS(Real Time Kinematic GPS)는 기존 방식에 비해 정밀도가 높아져서 수 cm의 정밀도를 유지하는 관측치를 얻을 수 있다.

VRS(VIRTUAL REFERENCE STATION, 가상기준점) 측량은 기준국(GPS상시관측소) 3점 이상을 이용하여, 이동국(관측점) 주변에 가상의 기준점을 설정하고 관측오차보정 요소(전리층, 대류권 및 위성궤도 오차 등)를 제거한 데이터를 이동국에 전송함으로써, 측위 정도나 초기화 시간이 기준국(GPS 상시관측소)간 거리에 좌우되지 않는 RTK(Real Time Kinematic) GPS 시스템이다. 국내에서는 현재 국토지리정보원에서 제공하고 있는 VRS를 사용 할 수 있다. 이 VRS는 무선인터넷을 이용하여 접속하여야 하므로 CDMA 모듈을 이용한다. 본 시스템에서는 현장상황에 따라 RTK 및 VRS 중 최적의 것을 선택하여 사용한다.

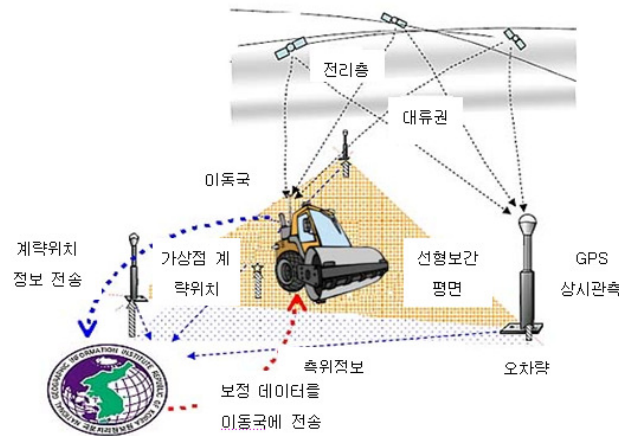


그림 4. VRS 개념도

4. 지반반력도 평가방법

4.1 CCV 개념

지반반력도를 평가하는 장비에는 Case, Bomag, Caterpillar, Dynapac, Sakai 등의 회사에서 각각의 모듈을 개발하였다. 본 시스템에서는 Sakai 중공업에서 제작한 CCV(Compaction Control Value)모듈을 이용하였다. 이 CCV 모듈은 진동가속도 센서를 이용하여 지반반력도를 측정하는 장치이다.

진동롤러의 프레임 안쪽의 회전드럼과 연결되는 롤러 중심축에 진동가속도 센서를 부착하여 센서에서 얻어진 진동가속도의 파형을 분석하여 지반반력도를 구한다. 다음 그림 5는 CCV를 통하여 얻은 지반 반력도를 그래프로 나타낼 경우 지반의 상태에 따라 어떻게 다르게 나타나는지를 나타낸 개념도이다.

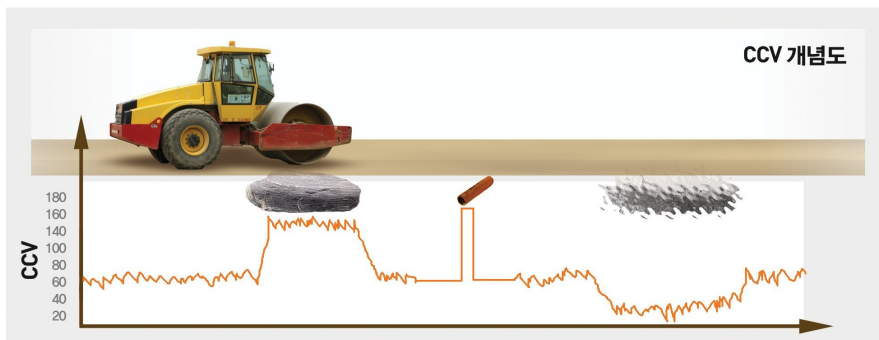


그림 5. CCV 개념도

그림 6의 (a)와 (b)와 같이 진동가속도센서에 얻어진 가속도파형은 지반재료의 강도에 따라 다른 특징을 갖는다. (a)와 같이 강성이 작은 재료의 경우, 진동롤러의 기본 진동수와 유사한 진동파형을 나타내지만, (b)와 같이 강성이 큰 재료는 기본 진동수 외에도 지반강성에 따라 진동파형 및 진폭이 변화하는 것을 알 수 있다.

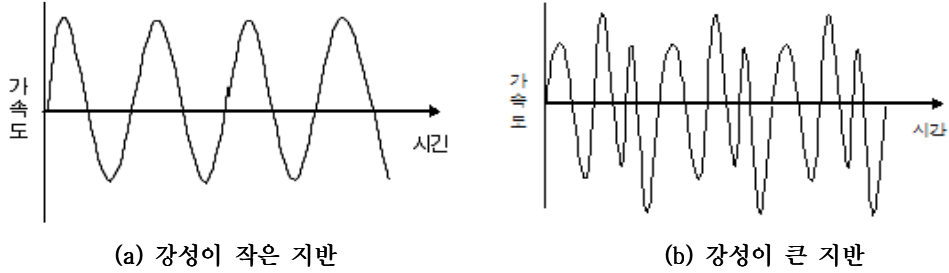


그림 6. 지반 강도에 따른 진동가속도 파형 차이

그림 7은 측정된 가속도파형을 FFT(Fast Fourier transform, 고속 푸리에 변환)에 의해서 가속도 진폭 스펙트럼의 값을 나타낸 것으로, 지반강성을 정량적으로 명확히 할 수 있다. 본 실험에서는 기본 진동수를 포함하여 6종류의 진동수 (1/2배, 1배, 3/2배, 2배, 5/2배, 3배)에 대하여 가속도진폭 스펙트럼의 검출하여 다음과 같은 연산식을 이용하여 지반반력도를 구하였다.

$$\text{지반반력도} = \{(A1 + A3 + A4 + A5 + A6) / (A1 + A2)\} * 100 \quad (1)$$

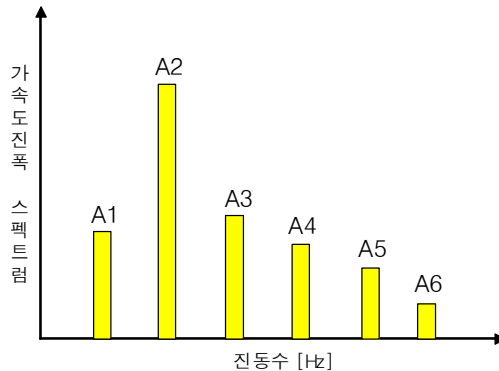


그림 7. FFT변환후의 스펙트럼 특징

4.2 CCV 시스템의 장비 구성

CCV시스템은 진동가속도를 감지하는 센서부분과 이 센서에서 보내진 데이터를 제어하는 제어부 그리고 결과 값을 표시해 주는 디스플레이로 구성되어 있다. 아래의 그림 8 에서는 개념도와 사진이다.

디스플레이 부는 그림 9와 같이 4개의 토글스위치와 한 개의 진동수 표시부와 그래프 표시부로 구성되어 있다.

그림 10은 센서를 부착한 모습이다. 센서는 진동롤러의 드럼의 중앙을 지나는 수직선위에 설치되어야 하고 진동의 완충부분을 거치기 전 드럼에 연결 하여야 한다.

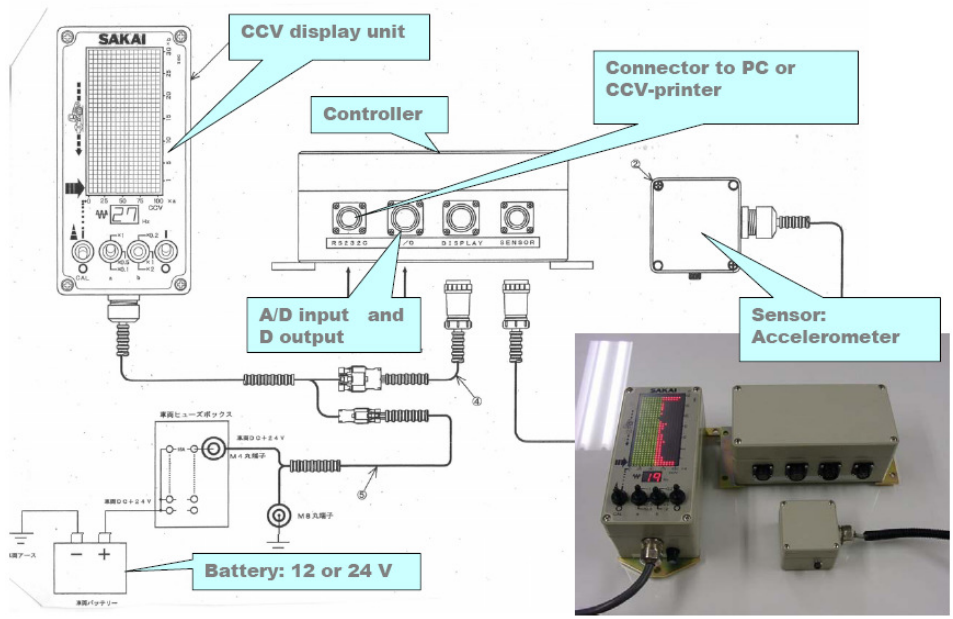


그림 8. CCV시스템

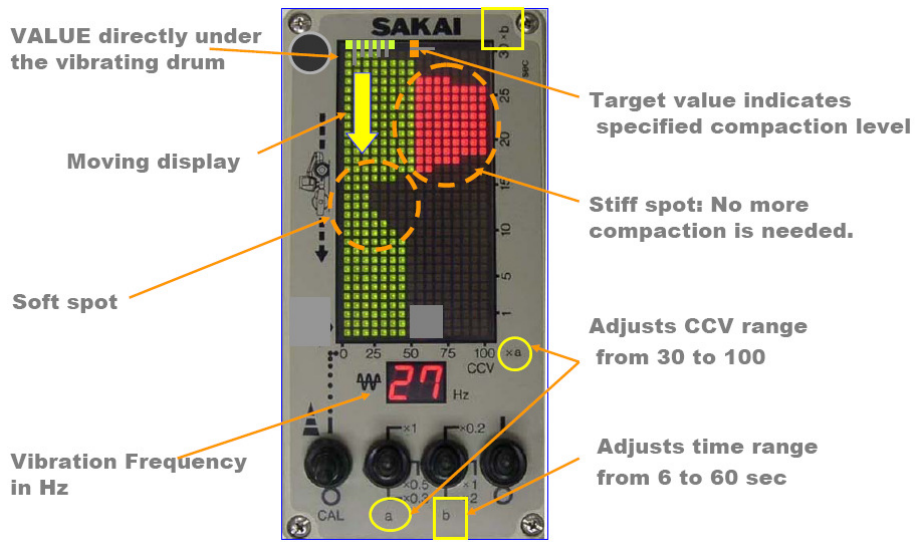


그림 9. CCV시스템의 디스플레이부

<그림 2-10>는 진동가속도 센서의 부착 사진이다. 여기서 붉은색 화살표가 감지할 진동의 방향이 된다.

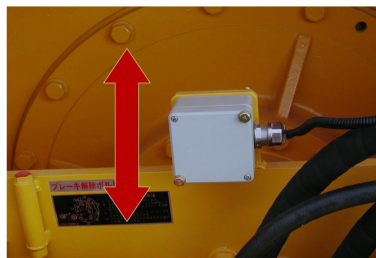


그림 10. 장착된 센서부

4.3 CCV 시스템을 이용한 품질관리 기법

시험 시공으로 지반 응답치에 의한 규정값(지반반력도 규정치)과 규정다짐횟수를 결정해, 실제 운용의 품질 관리에 적용해 나가는 방법이다.

리얼 타임의 계측이 가능하다는 것은 실 시공에서 다짐이 1회 종료할 때마다 품질적인 면에서 다짐완료 판정을 실시할 수가 있다. 즉, 규정다짐횟수에 이르지 않은 경우에도, 지반반력도 규정치에 의한 다짐완료 판정을 실시하여, 각각의 관리 블록의 지반반력도의 평균치가 지반반력도의 규정치를 웃돌고 있으면 규정다짐횟수에 이르지 않아도 다짐은 완료되었다고 판정한다. 한편, 규정다짐횟수에 도달하면 지반반력도의 규정치를 넘지 않아도 다짐을 종료한 것으로 판정한다. 그림 2-11에서 CCV시스템을 이용한 시공 개념도를 표시한다. 본 품질관리 기술의 특징을 다음에 나타낸다.

- CCV시스템에 의해 다짐 지반의 품질을 평가 가능.
- CCV시스템과 GPS를 병용하여 리얼 타임의 품질관리가 가능.
- CCV시스템과 규정다짐횟수와의 병용에 의해, 시공·품질관리의 효율화가 가능.

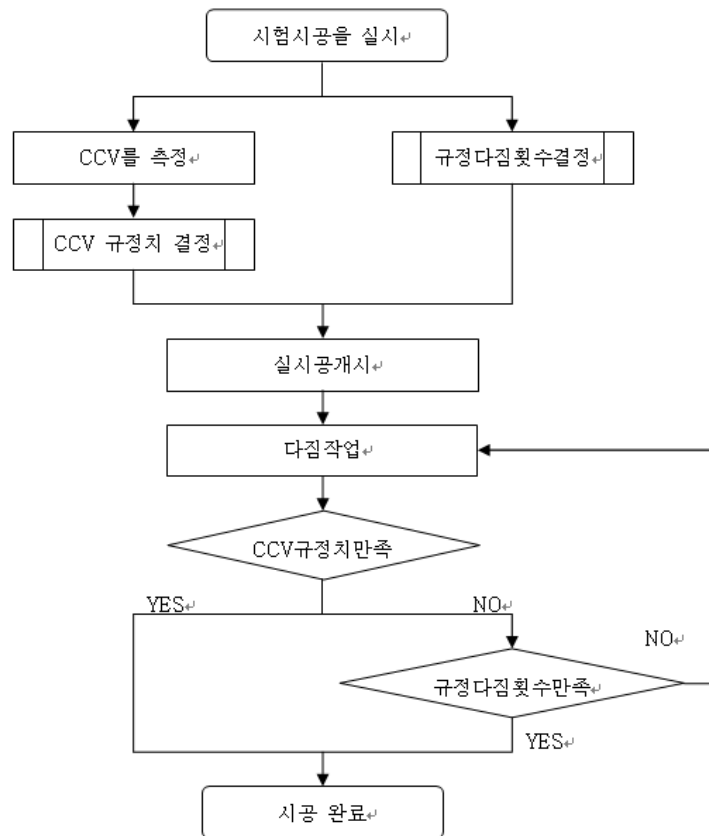


그림 11. CCV 시스템을 이용한 시공 개념도

4.4 CCV 시스템을 이용한 지반반력 시스템의 장점

가. 과학적인 관리로 다짐 시공 품질을 향상시킨다.

기존의 작업방법은 장비작동자의 경험에 따라 다짐의 횟수와 속도, 진동에 대한 관리가 이루어짐으로 부실다짐의 가능성 및 부실다짐구간의 미확인 가능성을 내포하고 있었다.

결국 다짐공사는 롤러의 다짐 횟수와 속도, 진동여부가 성토의 품질을 결정한다고 할 수 있으나 인위적인 방법을 통하여 관리하는 문제로 인하여 다짐작업의 일부 중복 또는 누락이 발생할 수 있고 넓은 지역의 공사 일 경우 전체 다짐면적에 대한 균일한 다짐의 정도를 유지하는 것에 문제가 발생할 가능성이 크다.

본 기술의 경우는 상기의 모든 작업 내용에 대하여 인위적인 문제점이 발생하지 않도록 과학적인 방법으로 관리가 가능하며 따라서 불량발생의 원인을 근본적으로 차단할 수 있다.

첫째 폴리의 위치를 정확히 추적하고 그 궤적데이터를 분석하여 폴리의 작업횟수, 속도, 층 두께 등의 결과를 산출하고, 진동센서로 진동의 유,무를 감지하여 그 결과로 작업의 상태에 대한 보고서가 작성되므로 다짐 작업에 대하여 목시관리로 인한 실수에 대한 확실한 대안이 될 수 있다.

둘째 다짐 전 영역에 대하여 일괄적인 방법으로 관리를 할 수 있기 때문에 들밀도 등의 품질시험으로 확보하지 못하는 다짐 균일도에 대한 보완자료로서 시공시방서에 입각한 공사의 진행에 대한 검증자료로 품질의 보완에 대한 대안이 될 수 있다.

나. 작업 공정 관리가 쉽고 과학적이다.

기존의 작업공정의 관리 방법은 다짐작업 현장의 작업자의 인위적인 판단에 의한 작업으로, 공정관리는 현장의 시공자가 측량작업과 내업 작업으로 물량과 작업고를 기준으로 공정표를 작성하고 도면화하여 시각화하는 방법을 이용하고 있다.

따라서 작업이 현장에서 완료된 후 관리자가 현장의 측량을 통하여 일정한 시간이 경과되어야 관리도 등의 결과물이 발생되고 작업과정 또한 인위적인 실수가 포함될 여지가 많은것이 현실이다.

본 기술의 경우는 공사가 완료된 후 작업 데이터를 기반으로 층 관리기능을 제공하며, 층관리 기능을 이용 전체 공정에 대한 층별, 지역별 구분이 가능하고 현재의 작업상태를 확인할 수 가 있으며 보고서를 출력하게 되어 과학적인 관리가 가능하게 된다.

다. 시공부실로 인한 클레임 발생시 적법한 대응이 가능한 자료가 될 수 있다.

기존의 시공방법과 공사방법은 차후에 시공 부실로 인한 피해발생시 작업의 구분에 따른 책임소재의 규명이 명확하지 못하는 등의 요인으로 많은 문제점이 나타나고 있다.

그러나 본 기술을 적용 하였을 경우 시방서에 따른 공사 진행의 모든 기록이 사실대로로 남아 있기 때문에 부실시공에 대한 원인 추적과 규명 작업 시에 자료로서 사용될 수 있게 된다.

따라서 만일의 경우 시방서 자체의 문제(설계의 문제)에 대한 이의 제기 등 다양한 대응책을 마련 피해를 최소화 할 수 있는 장점이 있다.

라. 공정한 작업관리와 감리가 이루어질 수 있다.

기존의 공사방법은 사람의 인위적인 작업진행과 작업완료 후의 대표시험에 의존한 품질확인으로 감리가 이루어져 왔으며, 이러한 작업이 진행되는 도중 발생할 수 있는 감리자와 시공자간의 이해차이가 발생 하였을 시에 적절하고 공정한 해결방법이 아쉬운 것이 사실이며, 또한 추가비용이 발생할 수 있는 요인으로 시공자의 입장에서는 공기와 추가비용이 감리자의 입장에서는 전체적인 품질확보가 중요하므로 이 모든 문제점을 충족할 수 있는 방법이 절실히 필요하다.

본 기술이 적용되면 감리자는 시공의 상태를 인위적인 판단이 아닌 과학적인 판단에 의거 공정하게 품질의 확보를 위한 재시공을 요청할 수 있고, 시공자의 경우 감리자의 무리한 요구에 대하여 시방서에 입각한 확실한 작업에 대한 공정한 자료를 근거로 거절이 가능하므로 감리자와 시공자 양측에 공정하고 합리적인 시공이 이루어지도록 할 수 있다.

마. 지역적인 공사관리의 한계를 극복할 수 있다.

지금까지의 공사관리는 공사현장에 국한된 지역적인 공사관리만 가능했으며, 전국적으로 많은 공사현장을 운영하는 회사의 경우 서류, 인편에 의한 전체적인 공사관리를 해온 것이 현실이다.

본 기술이 적용되면 인터넷을 통하여 공사의 진행상태(다짐공사에 한정됨)를 파악할 수 있으므로 공사현장이 아닌 원격지에서도 여러 공사현장에 대하여 작업의 유, 무상황, 작업의 진행정도 등에 대하여 전사적인 관리가 가능하여 공사 진행 중 발생하는 문제점에 대한 대비책을 시급히 마련할 수 있는 장점이 있다.

5. U-Roller 시스템의 기능

본 시스템은 이동국에 설치되는 U-Roller 시스템과 사무실에서 관리감독을 위한 U-Roller Office로 나뉘어 있다. U-Roller 시스템의 화면으로 한글 버전과 영문버전을 제공하며, 관리자와 작업자의 화면을 분리하여 작업자의 조작이 간편하다. 작업에 대한 정보는 그림 12와 같이 상부에는 작업영역과 현재 작업 층 번호, 권장다짐횟수, 차량의 진행속도, 현재 시간 및 작업진행 시간을 나타내며, 좌측 하단에 현재 노트북의 배터리와 방위각, 진동의 유무, 화면의 축척도를 나타낸다. 우측의 색상표는 각 다짐횟수 또는 다짐정도 등을 색 분포도로 화면에 나타내었을 때 그 값을 결정짓는 색의 정의한 것이다. 조작 방법은 화면의 축척을 조정할 수 있는 스크롤바와 최대 최소를 한번에 적용할 수 있는 버튼으로 구성되어 있고, 다짐회수, 지반반력도, 층높이 층두께 등을 화면 표시 모드를 변경할 수 있는 버튼과, 기록 시작과 정지를 위한 버튼이 있다.

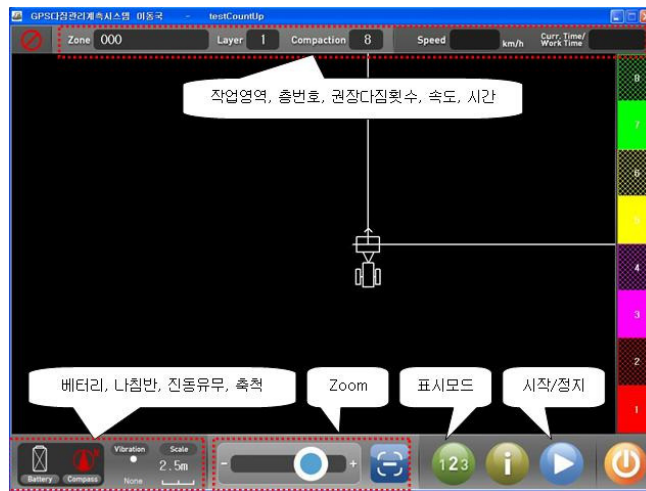


그림 12. U-Roller 사용자 화면

그림 13은 이동국에서 관리자에 의해서 세부적인 설정을 하기 위한 화면을 나타내었다. 이 화면에서는 GPS, CCV, 서버접속, 시공정보 등 필요한 사항을 설정 할 수 있다. 시공정보는 시공범위, 기계정보, 텍스트 데이터, 공사정보를 설정 할 수 있다. 이러한 복잡한 정보는 관리자에 의해서 수정작업을 하면 되는데 이와 같은 설정은 Office 버전에서 모두 지원하므로 설정 데이터를 메모리 카드에 담아 이동국에 연결만 하면 자동으로 읽어 들이므로 사용자의 그림 12의 화면에서 모든 작업을 처리 할 수 있다.

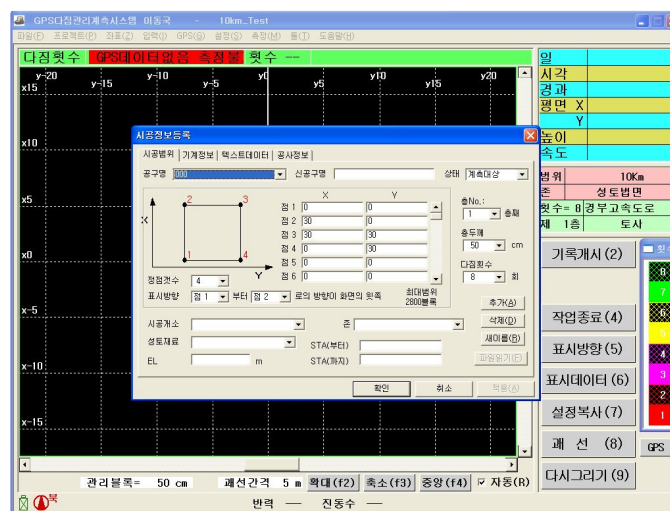


그림 13. 관리자의 설정화면

그림 14는 실시간 모니터링이 가능한 관리자를 위한 Office 버전의 화면을 나타내었다.

Office버전은 무선인터넷(CDMA)를 이용하여 이동국으로부터 데이터를 수신 받아 사무실에서 실시간으로 모니터링이 가능하며, 작업완료 후 또는 중간에도 작업 데이터를 이용하여 진행 상태 및 작업결과를 재현하거나, 보고서를 작성하는 기능을 가지고 있다. 모니터링은 최대 8대까지 연결이 가능하고 한 화면에서는 4대까지 동시에 표시할 수 있다.

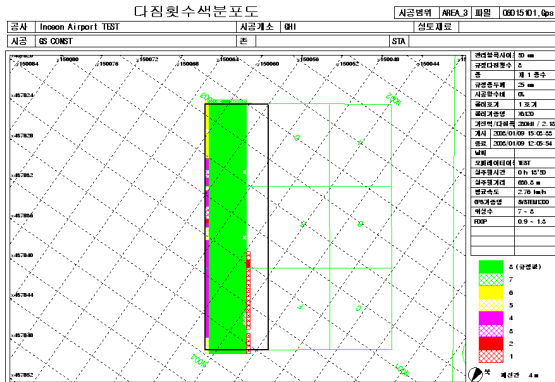


그림 14. 관리자사무실에서 관리/감독화면

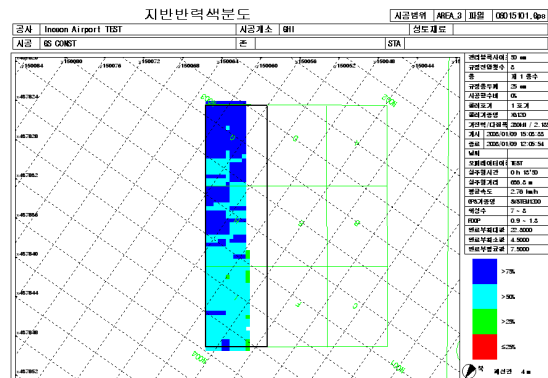
6. U-Roller 시스템의 보고서

U-Roller 시스템에는 층높이, 다짐 횟수, 지반반력, 층두께 및 들밀도 실험 결과 치를 통합관리 하며 보고서를 작성해 주는 기능이 있다. 보고서 작성을 위한 전처리 기능으로 여러 대의 진동롤러에 의해서 작업된 다중 결과물을 통합하여 하나의 작업처럼 처리 할 수 있도록 하는 통합 관리기능과 작업 결과를 기간별로 관리하여 보고서를 작성하는 기능이 지원된다.

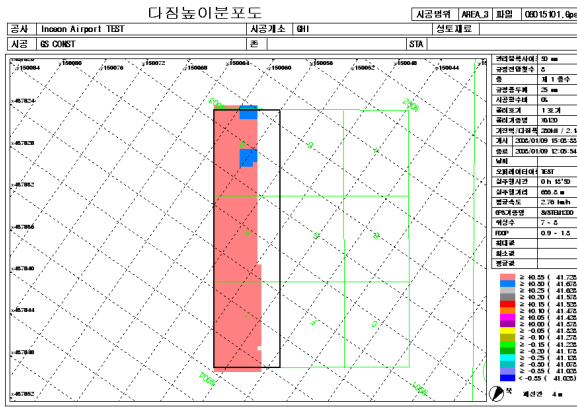
그림 15는 각종 보고서와 AutoCAD를 이용한 결과물이다. 각 보고서는 색상분포도를 기본으로 하는 (a)지반다짐 횟수색분포도, (b)지반반력색분포도, (c)다짐높이분포도 및 AutoCAD를 이용하여 3차원으로 다짐형상을 확인 하는 기능과 단면을 추출하여 단면 형상 및 토공량을 확인 할 수 있다. 그리고 평판재하시험등 현장 시험 성과표를 작성하는 기능이 있다.



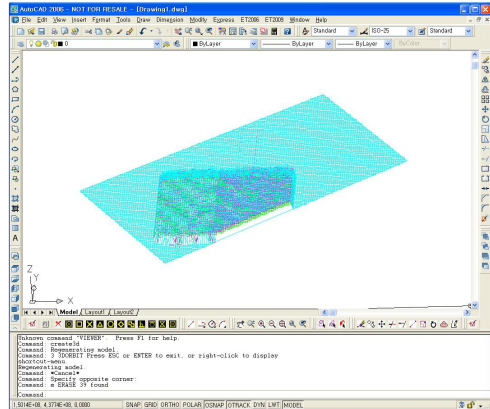
(a)지반다짐 횟수색분포도



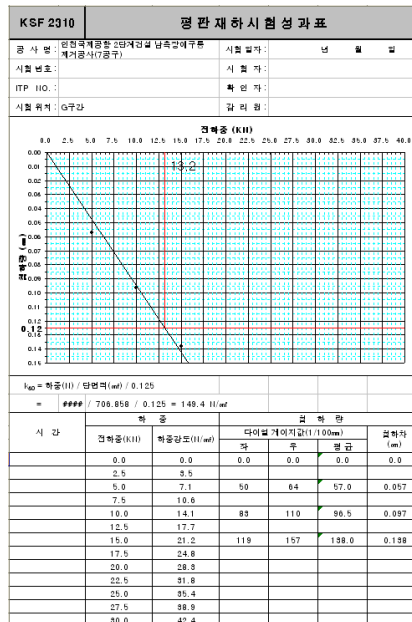
(b)지반반력색분포도



(c) 다짐높이 분포도



(d) AutoCAD 3D



(e) 현장시험 리포트

그림 15. 각종 보고서

6. U-Roller 시스템 도입효과

1. 기존 작업 방법과 U-Roller 시스템의 작업 방식의 비교

기존 작업 방법과 U-Roller 시스템의 작업 방식은 다음 표 1 과 같이 차이를 나타낼 수 있다. 표 1에서 보듯이 기존의 작업 방식은 작업자의 주관적인 판단을 근거로 이루어지며, 감독 방식에서는 작업 완료 후 임의의 몇몇 위치에 대한 현장 실험을 통해서 이루어지며, 결과 보고서는 작업완료 후 수작업으로 작성하여야 하지만 U-Roller 시스템에서는 실시간으로 작업자의 화면에 나타나는 데이터를 이용하여 정밀작업이 이루어지며 감독에서는 전작업 영역에 대한 다짐 횟수 및 층높이 및 반력도를 무선인터넷을 이용한 실시간 관리가 가능하며, 보고서는 작업이 완료된 후 즉시 자동으로 생성이 가능하다.

종류 항목	U-Roller 시스템	기존방법
작업	화면에 나타나는 실시간 데이터를 이용하여 정밀한 작업	작업자의 주관에 따른 작업
감독	전 작업 영역에 대한 다짐 횟수 및 층높이 및 지반반력도 확인	작업 완료 후 임의의 몇몇 위치에 대한 현장 실험
보고서	작업 완료 후 즉시 생성	작업 완료 후 수작업

표 1. 작업 방식 비교

2. U-Roller 시스템의 도입 효과

기존의 작업 방식 비교에서 나타난 것처럼 실시간 과 전체영역에 대한 검증이라는 차이에 의해서 다음과 같은 도입 효과를 기대 할 수 있다.

- RTK를 이용하여 실시간으로 정밀 위치를 얻어 지반다짐 횟수를 확인하고 진동가속도계를 이용한 지반반력도를 확인하므로 추가 검증작업이 필요하지 않다.
- AutoCAD 및 Excel등 보고서 자동 작성 기능을 이용하므로 쉽고 정확한 보고서 작성이 가능하다.
- 사후 공정 품질관리에 대한 문제가 발생 했을 경우 참고 자료로 이용이 가능하다.

이러한 효과는 곧 정밀시공과 효율적인 관리에 의해서 사후 분쟁의 대비 자료로서 가치가 있다.