

스마트건설 토공사 다짐 측정을 위한 IoT 기반의 DCPT 기술개발

박흥기¹, 배경호^{2*}

¹가천대학교 토목환경공학과, ²(주)신한항공 연구소

Development of DCPT Equipment based on IoT for Rod Tamping in Smart Construction

Hong-Gi Park¹, Kyoung-Ho Bae^{2*}

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Gachon University

²Research Institute, Shinhan Aerial Survey CO.,LTD

요약 건설공사 토공사는 건설의 핵심공정으로 거의 모든 공정에서 사용되며 구조물의 안전과 직결된다. 이에 평판재하시험 및 들밀도 시험을 통하여 다짐의 정도를 분석하고 확인은 필수이다. 하지만 현재 다짐측정은 아날로그 방식으로 시행되기 때문에 현장에서 실시간 확인과 정확한 위치정보, 시간정보 및 작업자의 이력관리가 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 이러한 아날로그 방식의 다짐정보 구축의 문제를 해결하기 위하여 스마트건설 환경에 적합한 IoT (Internet of Things) 기반의 DCPT (Dynamic Cone Penetration Test) 기술을 개발하였다. 개발한 DCPT 기술은 국내외 개발현황을 바탕으로 개선사항을 도출하였으며, 디지털 환경에 적합한 IoT 기반의 DCPT를 개발하였다. 스마트폰 환경에서 운영되는 Smart DCPT 체계는 다양한 어플리케이션을 적용할 수 있는 유연성과 저비용, 고효율의 장점을 가지고 있다. IoT 기반의 DCPT는 디지털 다짐정보, 측정 횟수당 다짐정보, 위치정보, 시간정보, 작업자 인적관리 등을 종합적으로 기록하여 현장에서 분석하고 가사화한다. 또한 구축된 다양한 정보는 스마트폰을 통해 관리센터로 실시간 전송되기 때문에 건설공정 관리에 많은 기여가 예상된다.

Abstract Earthwork in the construction field is a core process of construction, and it is used in almost all processes and is connected to the safety of the structure directly. Therefore, it is essential to analyze and confirm the road tamping through a plate bearing test and a field density test. The current analog measurement methods for road tamping measurement is difficult to check in real-time, accurate location information, time information, and the history management of workers in the field. Therefore, IoT (Internet of Things)-based DCPT (Dynamic Cone Penetration Test) was developed for a smart construction environment with a solution to the problem. The Smart DCPT system operated in a smartphone environment is IoT-based. The Smart DCPT system can apply various applications and has advantages of flexibility, low cost, and high efficiency. The IoT-based DCPT records the digital road tamping information, location information, time information, and worker information per measurement count. In addition, the various information is transmitted in real-time to the management center through a smartphone. This system is expected to contribute to the management of the construction process.

Keywords : DCPT, IoT, Rod Tamping, Smart Construction, Real Time

본 연구는 국토교통부 스마트건설기술개발사업의 연구비지원(20SMIP-B156083-01)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Kyoung-Ho Bae(Shinhan Aerial Survey CO.,LTD)

email: qpandora@hanmail.net

Received September 24, 2020

Accepted November 6, 2020

Revised October 15, 2020

Published November 30, 2020

1. 서론

최근의 건설산업은 규모면에서 복잡하고 다양하며 또한 대규모 형태로 발전하고 있다. 관련 기술 역시 과거 아날로그 기반의 관리 및 건설정보 구축이 아닌 각종 센서를 이용한 디지털 형태로 건설정보를 구축하고 이를 관리하고 있다. 이러한 건설환경변화는 4차 산업혁명과 일치하는 스마트건설이라는 새로운 기술로 발전하고 있다.

스마트건설의 핵심은 건설 생산성 향상과 안정성 향상이 가장 중요한 목적이다. 건설 전 공정에서 디지털기반의 설계, 시공, 공정관리 및 장비운영은 인력 중심의 건설 산업에서 첨단과학 중심으로 변화가 가능하며 생산성 향상으로 연결된다. 또한 최근 출산인구 감소와 건설인력의 노령화의 해결책 마련을 위해 각종 센서와 결합한 장비 운영 및 건설정보구축은 건설 안정성 확보에 크게 기여할 것이다. 이러한 시대적 요구와 변화 대응을 위해 정부에서도 각종 기본계획과 연구개발 사업을 추진하고 있다.

토공사는 전체 건설에서 가장 많은 비중을 차지하고 있으며 각종 구조물의 기초가 되는 중요한 공정이다. 이를 위해 건설현장에서는 토공사의 다짐정보를 매성토마다 확인하고 이를 정보화한다. 하지만 현재의 다짐정보 구축은 아날로그 기반의 들밀도시험 및 평판재하시험으로 실시하여 현장에서 정확한 측정위치와 이력관리가 어려운 실정이다. 또한 실시간 검측결과를 확인하지 못하여 공정관리에 제한적으로 사용되고 있다. 이러한 문제해결을 위하여 스마트건설에서는 실시간 디지털 다짐정보 측정 및 관리체계가 필요하며 스마트건설에 적합한 새로운 장비도입이 요구된다.

이에 본 연구에서는 기존 다짐정보 구축 체계 및 관리 현황을 분석하고 위치정보, laser 다짐측정, 실시간 데이터 전송모듈 등으로 구성된 새로운 디지털 다짐정보 구축 및 서비스 방안을 제시하고자 한다.

2. 스마트건설 토공사

2.1 스마트건설 개요

최근 4차 산업혁명기술의 고도화가 진행됨에 따라 자동화 및 디지털화에 대한 요구가 증대되고 있다. 그러나 건설산업분야는 타 분야에 비해 산업환경의 디지털화가 어려우며 낮은 생산성과 시공품질 저하 문제 등의 위기 상황에 직면하고 있다[1]. 뿐만 아니라 가속화되는 저출

산과 노동자의 고령화로 인한 전문 기술 노동 인력에 대한 문제 또한 심화되고 있다[2].

2016년 World Economy Forum (WEF)에서는 건설 인력의 부족 및 생산성 저하 문제를 해결하기 위해 인공지능, 빅데이터, Internet of Things (IoT), Augmented Reality (AR)/Virtual Reality (VR) 등을 활용한 건설산업혁신의 중요성을 강조했다[3].

정부에서는 제6차 건설기술진흥기본계획을 통해 4차 산업혁명 핵심기술을 건설 설계·시공·유지관리 단계별로 융합하는 스마트 건설을 비전으로 설정하여 기술 개발 로드맵을 구체화 하고 있다[4].

스마트건설은 아직 정형화된 형태로 정의하기는 어려우나, 현재까지 정의된 스마트건설기술은 전통적인 토목 기술에 Building Information Modeling (BIM), IoT, 빅데이터, 드론, 로봇 등 스마트 기술이 융합되어 건설 전 과정의 디지털화, 건설장비 자동화, 가상건설, 현장 안전 관리 등 건설 생산성 또는 안전성을 극대화하는 기술로 정의할 수 있다[5]. 설계 단계에서는 3D 가상공간에서 최적 설계와 설계 단계에서의 건설·운영 통합관리가 가능하고, 시공 단계에서는 날씨·민원 등에 영향을 받지 않고 비숙련 인력이 고도의 작업이 가능하도록 장비를 지능화 및 자동화할 수 있으며, 유지관리단계에서는 시공 정보 및 시설물 정보를 실시간 수집하여 객관적·과학적으로 분석할 수 있다[2].

스마트건설이 본격적으로 도입되면 계획 및 설계단계에서는 정보취득 및 설계자동화가 가능하다. 각종 건설장비에 부착된 고성능 센서를 활용하여 지형정보 등의 설계정보를 자동으로 취득하며 이를 이용한 인공지능 설계가 가능하다. 다음으로 시공단계에서는 각종 건설기계와 장비는 머신 가이드스 기술(machine guidance test, 각종 센서와 제어기, 위성항법시스템 등을 활용하여 장비의 자세와 위치, 작업 범위 등을 실시간으로 작업자에게 알려주는 기술)을 활용하게 될 것으로 예상된다. 또한 시설 구축은 정밀 측량성과와 실시간 정보 네트워크를 통하여 효율적으로 구축되며 이런 과정에서 현장 관리 능력은 향상될 것이다(Fig. 1).

시설물 준공 이후에도 기구축된 디지털 정보를 이용하여 시설물의 유지관리 및 점검에 스마트건설 기술은 효율적으로 사용될 것이다. 스마트건설 기술이 적용된 시설물은 빅데이터에 기반한 다양한 시뮬레이션이 가능하며, 예방적 유지관리를 통한 시설물의 수명 연장, 서비스 향상 등을 예상한다.



Fig. 1. Roadmap of Smart Construction[6]

2.2 스마트건설 토공사 동향

건설공사의 토공사는 건설공사에서 가장 많은 빈도로 발생되며 구조물의 안전과 직결되는 건설에서 핵심 공정이며 거의 모든 건설공사에서 발생한다. 일반적으로 건설공사 토공사는 터파기, 흙막이 공사, 성토까지를 포함하며, 공정의 대부분은 토사의 처리 및 운반을 다루는 작업들로 구성된다. 전통적인 건설공사의 토공사는 규준틀 등을 설치하여 건설장비를 이용하여 절·성토를 실시한다. 스마트건설로 전환되면서 가장 많은 생산성 향상이 발생한 부분이 토공사의 측량부분이면 이는 디지털 기반의 3차원 공간정보 구축 및 관리를 통한 생산성이 향상되었기 때문이다. 각종 건설장비에 부착된 센서 정보를 이용하여 토공사 현황분석 및 계획 수립에 활용되며 측량 공정은 재래식 규준틀 및 경계말목 등을 제거하고 3차원 측량성과를 직접적으로 활용하기 때문에 가능하다(Fig. 2).



Fig. 2. Concept map of Smart Earthwork[4]

건설공사 토공사에 대한 스마트 기술적용은 90년대 말부터 연구가 시작되었으며, 현재는 토공현장 관계[7], 건설장비 작업계획[8,9], 토공작업 지원형 AR/VR[1,10] 등 다양한 연구가 이루어지고 있다. 스마트건설 토공사의 핵심기술은 3차원 입체 지형도에 각종 계획도 등 설계도면을 배치하고 이를 실시간 모니터링 및 제어 기술로 발전하고 있다. 이러한 기술개발은 토공사에 대한 실시간 관리 및 성과검증이 가능하다[11-15].

3. 건설현장 다짐정보 현황분석

3.1 국내 건설현장 다짐정보 구축 현황분석

건설공사 토공사의 성토작업은 흙을 쌓아 넓은 부지를 조성하거나 도로 등을 건설하는데 반드시 필요한 공정이다. 성토작업에서 다짐공정은 흙의 물리적, 역학적 특성을 개선하기 위하여 반드시 요구되며 흙을 다짐으로써 강도와 지지력 증가, 투수성 감소, 과도한 침하 방지 및 감소, 동상(frost heave)이나 수축 등 바람직하지 않은 부피변화 억제 등의 효과를 얻을 수 있다[16]. 따라서 다짐공정 중 다짐의 관리와 평가는 매우 중요하며 객관적으로 이루어져야한다.

현재 우리나라의 다짐관리 및 평가는 주로 평판재하시험, 들밀도 시험으로 구분된다[17,18].

평판재하시험은 강성의 재하판에 하중을 가해 시간, 하중, 침하량을 측정하여 노상, 노반의 지지력을 알기 위해 수행한다(Fig. 3)[19]. 시험장치 및 기구는 재하판, 잭, 변위계 침하량 측정장치, 지지력장치, 시계 등으로 구성되어있다[20]. 평판재하시험의 경우 반력 확보를 위한 중차량의 반입이 반드시 필요하고 시험시간이 길고 절차가 번거로워 시험자의 숙련도가 중요하다는 단점을 가진다. 뿐만 아니라 시험시 표층에 국한하여 지지력 계수를 추정하게 되어 실제 다짐도보다 과대평가가 될 가능성이 있다[21].

들밀도 시험은 모래 치환법에 의한 흙의 단위중량 시험으로 원 위치에 흙의 다짐 등을 알기위한 시험이다(Fig. 4). 시험장치 및 기구는 저울, 밀도측정기, 급속함수량시험기, 시험구멍 굴착기구로 구성되어있다[17]. 들밀도 시험의 경우, 평판재하시험과 마찬가지로 시험시 표층에 국한하여 지지력 계수 및 상대 다짐도를 추정하고 경험적 판단에 근거한다는 단점을 가지고 있다.



Fig. 3. Plate Bearing Test[19]



Fig. 4. Field Density Test[23]

3.2 아날로그 기반 건설현장 다짐정보 구축

건설현장에서 다짐정보 구축은 건설 공정관리 및 품질 관리의 핵심 공정중에 하나이다. 하지만 현재의 건설현장 다짐정보 구축은 아날로그 기반의 들밀도시험과 평판재하시험이 주로 수행되고 있다. 이러한 아날로그 기반의 다짐정보 구축은 측정당시의 정확한 위치정보와 작업시간정보 등의 정보가 빈약하여 측정값 역시 아날로그 결과값을 수기로 기록하는 문제가 있다. 또한 감독관 등이 품질관리를 위해 원하는 장소와 시기에 대한 작업지시가 어려워 과학적인 공정관리로 이어지지 못하는 문제가 있다.

4. DCPT 규정 및 개발 현황

4.1 국내 DCPT 규정 및 현황

국내 건설공사 도로포장 다짐관리를 위해 국토교통부에서는 포장 하부구조 다짐관리 잠정지침(2011년 4월)을 제정하여 발간하였다. 기존의 평판재하시험과 같은 경험적이고 아날로그 방식의 다짐정보 관리체계에서 다짐관리 기준, 다짐검사 기준 및 새로운 탄성계수 측정 시험방법을 제시하고 있다. 본 지침서 부록에는 Digital

Cone Penetration Test (DCPT: 동적 콘 관입시험)의 정의 및 장비 외형의 상세조건과 시험방법을 정의하고 있다(Fig. 5,6). DCPT의 정의를 8kg의 해머의 충격 하중이 노상층을 뚫고 들어가는 충격횟수 당 관입량을 측정하는 방법으로 정의하고 있다. 장비의 외형을 상부구조와 하부구조로 구분하여 상세하게 정의하고 있다. 더불어 시험방법과 순서를 상세히 정의하여 현장 적용성을 높이고 있다. 하지만 본 지침서에서 정의된 DCPT 역시 아날로그 기반의 눈금자에 의한 관입량을 측정하고 이를 기록지에 수기로 기록하는 방식으로 다짐시험을 실시한다.

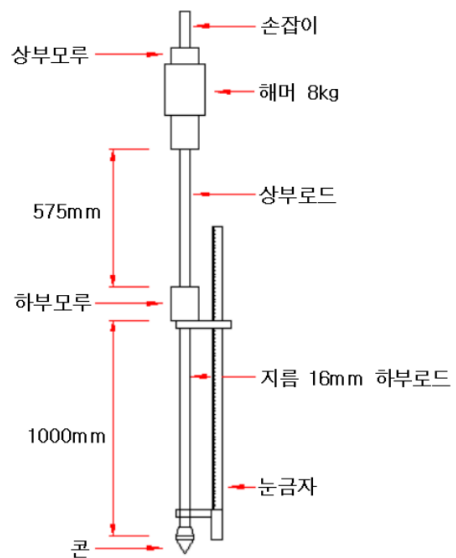


Fig. 5. Domestic DCPT Manual[18]

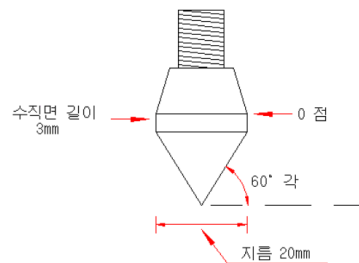


Fig. 6. Cone of DCPT[18]

현재 국내에서는 DCPT 개발보다는 도로포장에서 하부구조의 지지력 평가를 위한 현장적용성 평가를 위한 가능성 중심으로 연구가 수행되었다. DCPT 성능 및 현장적용성을 판단하기 위해 DCPT를 California Bearing Ratio (CBR) 시험, 평판재하시험과 비교분석

하여 현장에서 포장하부구조의 강성과 강도를 측정하는데 활용가능하며 실험방법이 간편하고 빠른 시간내에 수행이 가능하여 시공 품질관리 측면에서 효율적인 장비임을 입증하였다.[22]

4.2 국제 DCPT 규정 및 현황

유럽, 미국, 일본 등 선진국에서는 아날로그 방식의 기존 다짐실험의 문제점을 보완하기 위해 간편성, 신속성, 경제성, 접근성 등이 우수한 DCPT를 개발하여 미연방도로국, 미공병단 등에서 사용하고 있다[23,24].

미국의 American Society for Testing and Materials (ASTM) D6951-03 규정에 따르면 DCPT 시험기는 크게 상부부분, 하부부분과 눈금자로 구성된다. 해머는 철로 구조되어있고 나머지 부분은 부식을 방지하기 위해 스테인레스로 제작되어 있다. 상부부분은 장비를 수직으로 유지시켜주는 핸들과 그 하부에 상부 모루, 그리고 상부 모루에서 하부모루까지 자유 낙하하는 8kg(17.6 lbs.)의 해머, 해머의 자유낙하 운동을 유도하는 지름 16mm, 길이 575mm의 상부 로트로 이루어져 있다. 하부부분은 하부모루의 충격에너지를 온까지 전달하는 지름 16mm, 길이 1,000mm의 하부로트와 그 밑에 지반으로 관입되는 콘으로 구성되어 있다. 콘은 제원은 Fig. 7(b)와 같이 지름 20mm의 원추 각60°로 구성된다. 눈금자는 하부로트 1,000mm와 동일하거나 조금 긴 막대 형태로 되어 있으며, 하부로트 옆에 조립하여 사용하여 1mm 단위로 눈금이 그려져 있다(Fig. 7).

DCPT는 로트 하단에 팽이모양의 콘을 부착하고 상부에 있는 8kg의 해머를 통해 노상에 연속적으로 낙하-관입하여 1회 타격에 대한 관입량을 눈금자로 측정하는 시험방법이다. 일반적으로 현장에서 사용되는 DCPT는 콘이 지반에 관입되는 1회 타격에 대한 관입량을 눈금자로 측정하여 충격횟수 당 관입량인 DCP Index(mm/blow)를 계산한다[17,21]. 계산된 값은 Table 1의 기준에 따라 CBR 값을 계산하여 탄성계수를 구한다.

시험 제한 조건으로는 연속된 낙하 횟수 5회 이상 관입량이 2mm/blow 이하 혹은 시험 중 수직도가 유지되지 않아 관입지점에서 핸들까지의 수평 변위량이 75mm 이상이 되면 시험을 종료하고 기존의 원 관입지점 300mm 이내에서 시험을 다시 수행한다. 또한, 콘에 마모가 발생할 경우 교체하여 사용한다[24,25].

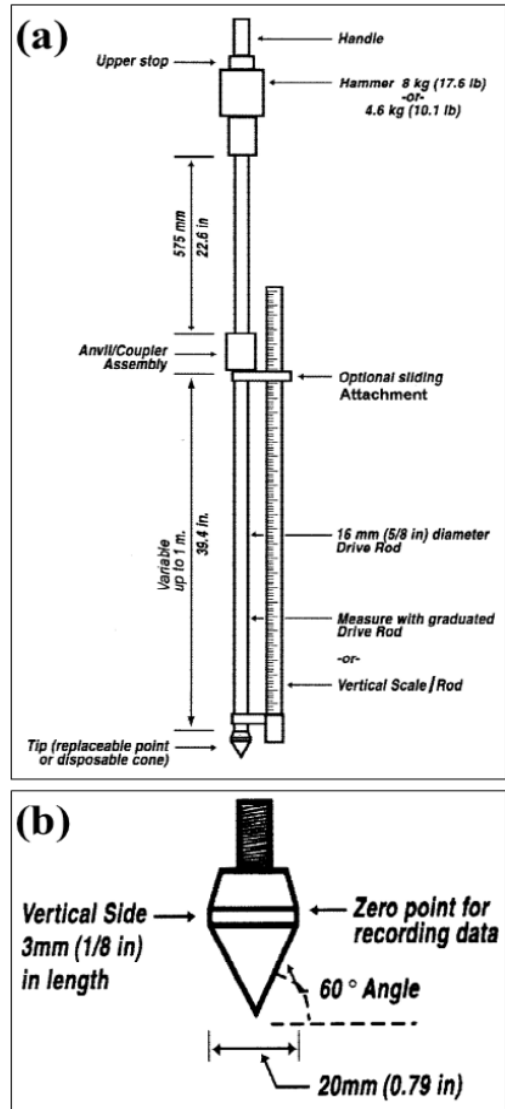


Fig. 7. (a) American dynamic cone penetration test equipment and (b) replaceable point tip[25]

DCPT 시험기는 간편한 휴대성과 시험방법의 장점을 가지고 있지만, 시험시 2명 이상의 인원이 필요하고 다짐 정도를 눈금자로 직접 측정하기 때문에 오차가 발생할 수 있으며 매 타격마다 해머를 수동으로 들어올려야 하는 한계점을 가지고 있다.

Table 1. Tabulated Correlation of CBR versus DCP Index[25]

| DCP index (mm) | CBR (%) | DCP index (mm) | CBR (%) | DCP index (mm) | CBR (%) |
|----------------|---------|----------------|---------|----------------|---------|
| <3 | 100 | 39 | 4.8 | 69-71 | 2.5 |
| 3 | 80 | 40 | 4.7 | 72-74 | 2.4 |
| 4 | 60 | 41 | 4.6 | 75-77 | 2.3 |
| 5 | 50 | 42 | 4.4 | 78-80 | 2.2 |
| 6 | 40 | 43 | 4.3 | 81-83 | 2.1 |
| 7 | 35 | 44 | 4.2 | 84-87 | 2 |
| 8 | 30 | 45 | 4.1 | 88-91 | 1.9 |
| 9 | 25 | 46 | 4 | 92-96 | 1.8 |
| 10-11 | 20 | 47 | 3.9 | 97-101 | 1.7 |
| 12 | 18 | 48 | 3.8 | 102-107 | 1.6 |
| 13 | 16 | 49-50 | 3.7 | 108-114 | 1.5 |
| 14 | 15 | 51 | 3.6 | 115-121 | 1.4 |
| 15 | 14 | 52 | 3.5 | 122-130 | 1.3 |
| 16 | 13 | 53-54 | 3.4 | 131-140 | 1.2 |
| 17 | 12 | 55 | 3.3 | 141-152 | 1.1 |
| 18-19 | 11 | 56-57 | 3.2 | 153-166 | 1 |
| 20-21 | 10 | 58 | 3.1 | 166-183 | 0.9 |
| 22-23 | 9 | 59-60 | 3 | 184-205 | 0.8 |
| 24-26 | 8 | 61-62 | 2.9 | 206-233 | 0.7 |
| 27-29 | 7 | 63-64 | 2.8 | 234-271 | 0.6 |
| 30-34 | 6 | 65-66 | 2.7 | 272-324 | 0.5 |
| 35-38 | 5 | 67-68 | 2.6 | <324 | <0.5 |

5. IoT 기반의 DCPT 기술개발

5.1 IoT 기반 DCPT 개발 적용기술

기존의 평판재하시험 등의 다짐정보 구축에서 가장 큰 한계는 아날로그 기반의 정보를 구축하고 이를 기록하고 다짐공정을 관리하는 것이다. 이에 다짐정보를 취득하는 위치, 시간, 관측값 등이 자동으로 저장되지 못하고 작업자의 숙련도에 따라 작업의 능률이 달리 기록되는 경우가 발생하였다.

이에 IoT 기반의 DCPT는 디지털 기반의 위치정보, 시간정보, 관측값이 자동으로 저장되고 이를 통합관리하는 솔루션이 필요하다. 따라서 본 연구에서 정의된 DCPT 기술개발은 IoT 기술을 적용하여 위치정보 모듈, 측정시간 저장 모듈, 디지털 관입량 측정모듈, 관입량 저장모듈, 측정데이터(위치, 시간, 관입량 등) 실시간 전송 모듈, 측정데이터 현장 실시간 가시화 모듈을 핵심기술로 개발된다(Fig. 8).

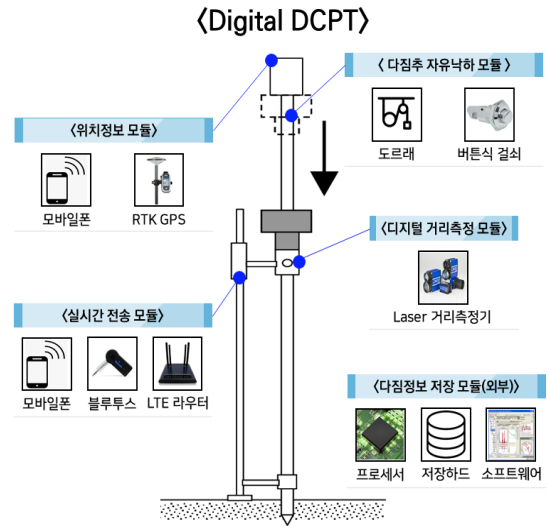


Fig. 8. Proposed Digital DCPT Diagram

다짐추 자유낙하 모듈은 도르래를 통해 반자동으로 다짐추를 낙하시키는 특징을 가지며 버튼식 결쇠를 설치하여 편의성을 높였다. 다짐추 낙하를 통한 다짐깊이 측정은 laser 거리측정기로 구성된 거리측정 모듈을 통해 cm 이내의 정확도로 측정되며 위치정보모듈에서 측정된 위치정보와 함께 외부 다짐정보 저장 모듈로 전송된다. 이때 데이터의 전송은 실시간 전송 모듈을 통해 수행되며 블루투스, LTE 기반으로 편리하고 신속한 자료전달이 가능하다.

5.2 IoT 기반 DCPT 기술개발

IoT 기반 DCPT 기술개발은 국내외 관련 규정을 인용하여 8kg의 해머를 575mm 높이에서 자유낙하 시켜 추의 관입량을 측정하는 것을 핵심 내용으로 개발한다. 적용된 IoT 기술은 센서를 이용하여 자유낙하 당시의 위치정보, 기울기 등 자세정보, 시간정보, 관입량 측정정보, 측정횟수 및 작업자 정보, 블루투스를 이용한 전송센서가 적용된다. 또한 획득된 다짐정보와 위치정보 등의 부속정보를 통합하여 실시간으로 현장에서 다짐정보를 분석하고 가시화 기능을 구현하고자 한다. 최종적으로 구축된 다짐정보를 관리센터로 실시간으로 전송하여 성토 관리를 위한 공정관리에 사용되어야 한다(Fig. 9).

DCPT에 내장된 센서를 이용하여 다짐정보를 블루투스를 이용하여 스마트폰으로 전송하며 Fig. 10과 같이 개발된 API를 이용하여 측정 당시의 위치정보, 시간정보, 현장정보, 작업자 정보 등을 자동으로 기록화한다. 이러

한 정보는 스마트폰에서 일차적인 분석과 현황파악을 실시한다. 또한 실시간 전송기능을 이용하여 관리센터로 다짐정보를 전송되며 센터에서는 현장의 품질관리 및 공정관리를 실시간으로 수행한다.

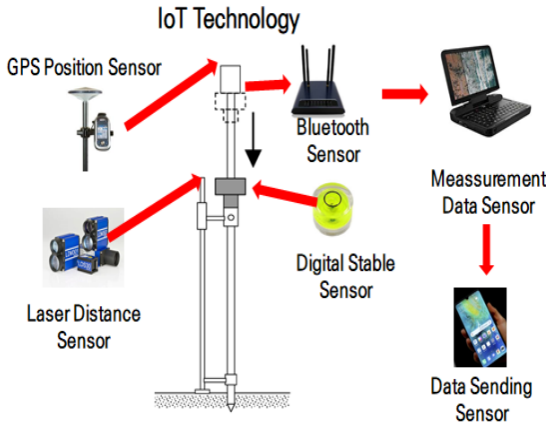


Fig. 9. IoT Technology in DCPT

Smart DCPT API의 핵심기능은 작업현장 선정과 작업자의 입력을 시작으로 해당 프로젝트를 시작한다. 또한 측정당시의 위치정보와 현장사진촬영을 동시에 기록하여 구축정보의 신뢰성과 현실성을 높이고자 한다. 취득된



Fig. 10. Blueprint of Mobile DCPT Application

DCPT 정보는 현장에서 일차적인 분석 및 가시화를 실시하여 현장에서 바로 다짐의 정도 및 문제점을 파악한다. 스마트폰 기반의 DCPT 기술은 블루투스, LTE 실시간 전송방식을 통해 작업시간을 단축시키고 기존에 사용하던 스마트폰에 API를 사용하는 방식으로 경제적 효율성을 가져올 수 있다.

6. 결론

건설분야 생산성 향상을 목표로 하는 스마트건설은 전통적인 아날로그 방식에서 각종 공정의 디지털화 및 실시간 데이터 연동을 목표로 하고 있다. 이를 위해 각종 센서 기반의 디지털 건설정보를 수집하고 이를 분석하고 체계는 스마트건설의 핵심기술이다.

건설공사에서 토공사는 가장 많은 빈도로 수행되는 공정으로 흙쌓기 등 성토작업에서 다짐측정은 건설공정관리의 핵심업무이다. 하지만 현재 평판재하시험과 들밀도 실험 등의 아날로그 방식은 자료의 신뢰성, 실시간관측 및 공사지연 요소로 인식, 측정 당시의 위치 및 시간의 부정확성 등의 문제를 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 이러한 기존 아날로그 방식의 문제를 해결할 수 있는 IoT 기반의 DCPT 기술을 개발하였다. 연구성과로 미국의 DCPT 규정에 대한 분석을 실시하였다. 또한 국내 국토교통부의 포장 하부구조 다짐관리 잠정지침(2011년4월)을 분석하여 IoT 기반의 DCPT 개발요소를 수립하였다. DCPT 개발원칙은 간편성, 신속성, 경제성 및 실시간이 핵심요소로 정의하였다. 이에 따른 DCPT에 필요한 모듈을 정의하였으며 이에 대한 센서별 기능을 정의하였다.

IoT 기반의 DCPT의 핵심모듈은 위치정보, 디지털거리측정장치, 전자기포관, 작업자의 로그인 및 이력관리, 실시간 현장분석 및 가시화 기능 마지막으로 취득된 디지털 다짐정보의 전송기능이다. 본 연구에서 제안하는 IoT 기반의 DCPT는 디지털 다짐정보의 실시간 취득, 관리, 전송기능은 작업자의 효율성 향상과 더불어 관리자의 실시간 공정관리 및 생산성 향상에 크게 기여할 것으로 예상된다.

References

[1] J. W. Park, W. G. Yoon, "3D Geospatial Information

- Model based Smart Construction System in Earthwork". *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.67, No.11, pp.20-27, Nov. 2019.
- [2] J. W. Seo, T. G. Gang, C.H. Choe, "[Field 1] Automation of Construction Equipment and Control Technology", *Construction Engineering and Management*, Vol.21, No.4, pp.4-10, Aug. 2020.
- [3] Shaping the Future of Construction: a Breakthrough in Mindset and Technology. Available From: <https://www.weforum.org/reports/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology> (accessed Sep. 2, 2020)
- [4] C. Choi, J. W. Cho, J. Y. Kim, S. H. Park, C. Chun, S. Shim, "Automated Earthwork Management Technology with Smart Platform". *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, pp.128-129, Oct. 2018.
- [5] J. H. Jeong, S. Y. Hwang, H. J. Yun, U. S. Yu, "[Field 4] Building a Digital Platform of Smart Construction and Test Bed Operation". *Construction Engineering and Management*, Vol.21, No.4, pp.25-30, Aug. 2020.
- [6] Smart Construction Technology Roadmap for Innovation in Construction and Safety, Available From: <http://www.ssvenc.com/file/kor/tech/html/2019/6.%20%ED%8A%B9%EC%A7%91%EA%B8%B0%ED%9A%8D%201.pdf> (accessed Sep. 2, 2020)
- [7] J. S. Park, J. Seo, "Application of Construction Equipment Fleet Management System through the Case Study of Air and Vessel Traffic Control Technology", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 35, no. 2, pp.493-500, 2015. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.2.0493>
- [8] H. Gwak, J. Seo, D. Lee, "Earthmoving Haul-Route Searching Method for Energy Saving based on Evolutionary Algorithm", *Journal of Architectural Institute of Korea*, vol. 31, no. 3, pp.81-88, Feb. 2015. DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2015.31.3.81
- [9] S. Kim, S. Min, "Development of a Work Information Model and a Work Path Simulator for an Intelligent Excavation", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.32, No.3D, pp. 259-267, Apr. 2012. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2012.32.3D.259>
- [10] K. Lee, J. Park, H. Kang, D. Shin, "Superimposition Technique of Virtual Objects for AR System of Excavator Based on Image Processing", *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, Vol.18, No.2, pp.21-29, Mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2017.18.2.021>
- [11] J. W. Park, S. Kim, "Case Study Research in Earthwork Site Digitization for Smart Construction". *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, Vol.22, No.5, pp.529-536, Sep. 2019. DOI: <https://doi.org/10.21289/KSIC.2019.22.5.529>
- [12] J. H. Park, S. W. Kwon, "Analysis of the Relationship between Image Overlap rate and Point Cloud Generation based on Image Processing", *Proc. of 2018 KICEM Conference*, Seoul, Korea, pp.115-116, Nov. 2018.
- [13] D. H. Lee, S. Kim, J. W. Park, S. W. Kwon, "Generation of 3D Terrain Map Using Cell Deviation Algorithm for Earthwork", *Procedia Engineering*, Vol.196, pp.436-440, July 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.221>
- [14] S. Siebert, J. Teizer, "Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle system", *Automation in Construction*, Vol.41, pp.1-14, May 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.01.004>
- [15] J. Wang, H. Gonzalez-Jorge, R. Lindenbergh, P. Arias-Sanchez, M. Meneti, "Automatic Estimation of Excavation Volume from Laser Mobile Mapping Data for Mountain Road Widening", *Remote Sensing*, Vol.5, No.5, pp.4629-4651, Sep. 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs5094629>
- [16] W. K. Yoo, B. I. Kim, J. H. Kim, K. B. Park, "A Study on Various Soil Stiffness Evaluation Methods with Field Test", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.11, No.4, pp.1373-1380, Apr. 2010. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.4.1373>
- [17] J. Lee, J. H. Jeoung, C. Choi, J. Y. Kim, H. Jin, "Analysis of Correlation among Various Compaction Evaluation Methods for Estimating of the Bearing Capacity on Subgrades", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.14, No.4, pp.45-58, Dec. 2015. DOI: <https://doi.org/10.12814/jkgss.2015.14.4.045>
- [18] Provisionally Guide of Pavement Substructure Compaction Management, Available From: https://www.codil.or.kr/filebank/moct2014/201208/MOCT1071_1.PDF?nserialno=1071 (accessed Sep. 2, 2020)
- [19] J. J. Park, H. Shin, D. Kim, S. K. You, J. M. Yun, G. Hong, "A Field Test on Bearing Capacity Characteristics of Materials for Ground Cavity Restoration Based on Plate Bearing Test", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.17, No.4, pp.293-304, Dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.12814/jkgss.2018.17.4.293>
- [20] Korea Industrial Standards (KS) F 2310:2000 Method for Plate Load Test on Soils for Road, Available From: <https://www.standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do?menuId=503&topMenuId=502&ksNo=KSF2310&tmprKsNo=KSF2310&reformNo=10> (accessed Sep. 2, 2020)
- [21] U. G. Kim, L. Zhuang, K. W. Lee, "Development of advanced dynamic cone penetration test apparatus and its application performance evaluation", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.13, No.4, pp.119-131, Dec. 2014. DOI: <https://doi.org/10.12814/jkgss.2014.13.4.119>
- [22] B. I. Kim, S. I. Jeon, M. S. Lee, "Comparison of Field

Capacity Tests to Evaluate the Field Application of Dynamic Cone Penetrometer Test", *Journal of the Korean Society of Road Engineer*, Vol.8, No.4, pp.75-85, Dec. 2006.

- [23] J. S. Choi, "Fundamental Study on Establishing the Subgrade Compaction Control Criteria of DCPT with Laboratory Test and In-situ Tests", *International Journal of Highway Engineering*, Vol.10, No.4, pp.103-116, Dec. 2008
- [24] K. S. Park, S. H. Lee, J. W. Lee, S. Y. Seo, "The Trackbed assurance management technique relation analysis and management reference improvement plan", *Proc. of 2012 The Korean Society for Railway*, Jeonman, Korea, pp.1569-1576, 2012.
- [25] ASTM, D6951-03 Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications, Available From: https://www.academia.edu/24924839/Standard_Test_Method_for_Use_of_the_Dynamic_Cone_Penetrometer_in_Shallow_Pavement_Applications_1 (accessed Sep. 2, 2020)

박 흥 기(Hong-Gi Park)

[정회원]



- 1988년 2월 : 연세대학교 토목공학
학과 (공학박사)
- 1997년 1월 ~ 1997년 12월 : 국
립지리원 전문직공무원
- 1990 3월 ~ 현재 : 가천대학교 토
목환경공학과 교수

<관심분야>

측량정책, 공사측량, 수치지도/공간정보

배 경 호(Kyoung-Ho Bae)

[정회원]



- 2006년 2월 : 동아대학교 토목공
학과 (공학박사)
- 2006년 4월 ~ 2017년 7월 : 공간
정보산업협회 책임연구원
- 2017년 7월 ~ 현재 : ㈜신한항업
연구소장

<관심분야>

공간정보, 지도제작, 정보통신