

댐 시설물의 안전관리를 위한 3차원 거동 모니터링 분석 **Study on 3D Behavior Monitoring for Safety Management of A Dam**

임은상¹⁾, Eun-Sang Im, 신동훈²⁾, Dong-Hoon Shin, 김재홍¹⁾, Jea-Hong Kim, 이종욱¹⁾, Jong-Wook Lee

1) 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원, Senior Researcher, KIWE, K-water

2) 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원, Senior Researcher, KIWE, K-water

SYNOPSIS : For a fill dam, when a long time has passed since its completion, it is very hard to judge its safety and to maintain effectively it due to limitation and restriction in data showing safety status. Conventional method based on a specific point data by surface settlement gauge is commonly used to define deformation characteristic of dam. However, point data-based deformation analysis cannot provide deformation data of the entire dam.

In this study a state-of-the-art terrestrial laser scanning technology is introduced to analyze the entire deformation of dam. As a result, it is known that 3D scanning technique can also be effectively used in evaluating dam safety and then establishing adequate maintain plan.

Key words : 3D scanner, safety, maintain, dam

1. 서 론

우리주변에서 흔히 접할 수 있는 댐에 안전상의 문제가 발생할 경우에는 국민들에게 막대한 인적 물적 피해를 발생시킬 수 있다고 하겠다. 특히 댐이 노후화된 즉 준공 후 상당한 시간이 경과한 댐에 대해서는 체체의 안정성을 판단하거나 관리하는 방법이 극히 제한적인 수밖에 없다고 하겠다. 다시 말하면, 최근에 건설된 댐에 대해서는 내부변위, 간극수압, 응력과 변형률, 침투수량 등의 다양한 측정치를 토대로 댐체의 안정성을 판단하고 관리할 수가 있지만, 이러한 정보를 제공해 주는 매설기기가 일정기간이 경과하게 되면 폐기되어지기 때문에 결국에는 댐체의 변형이나 누수량 등의 제한된 정보만을 가지고 댐체의 안정성을 판단해야 하는 경우가 많다고 하겠다.

그러나 지금까지의 외부변위의 관리는 일반적으로 댐체에 설치된 침하계와 같이 1 point에 대한 변위를 분석하여 그 거동의 경시적인 변위특성을 파악하는데 주안점을 두었지만 댐 전체의 거동 특성을 파악하는 데는 그 한계가 있으므로 본 연구에서는 상기의 지상 레이저 스캐닝 기술을 이용함으로써 경시적인 거동뿐만 아니라 댐체의 공간적인 변형특성을 파악하도록 꾀하였다.

2. 3차원 스캐닝 기술

2.1 적용 스캐닝 원리 및 성능

본 연구에서 사용된 지상 레이저 스캐너(Terrestrial Laser Scanner)는 Time-Of-Flight(TOF) 방식의 스캐너로서 상대적으로 짧은 시간 안에 대상물체 표면을 3차원 공간 좌표를 가지는 수많은 측정군(point-clouds)을 자동

기록하는 방식이다. 이 측정 방법은 그림 1에서 보듯이 대상체에 레이저 빔을 보내는 diode에서 물체 표면위에 laser beam을 투사하여 대상표면에서 반사되어 되어 돌아오는 일부 레이저 광을 receiver로 측정하는 방법이다.

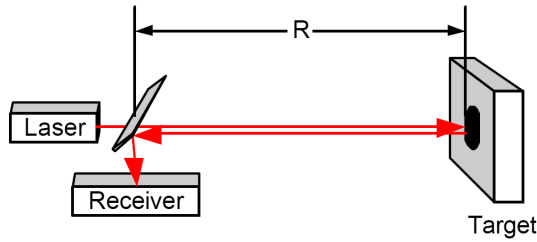


그림 1 Time-of-flight 측정방식

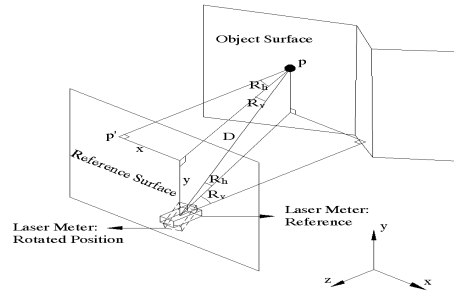


그림 2 좌표값 계산 원리

즉, Time-of-flight 방식은 레이저의 시간차를 이용하여 거리를 측정하는 방식으로 레이저의 송수신부와 전방 물체와의 거리를 R 이라고 할 때, ΔT 는 송신 펄스와 수신 펄스의 시간차이다. 이 시간은 빛이 전방물체에 반사되어 되돌아오는 왕복 시간이므로, 전방 물체와의 거리는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$R = \frac{C \cdot \Delta T}{2} \quad (1)$$

여기서, C : 빛의 속도(3×10^8 m/s), ΔT : 송·수신 펄스간의 시간차

또한, 측정점의 위치는 그림 2에서 보인 것처럼 레이저가 반사되어 돌아오는 시간을 계산하여 거리를 결정하고 R_h 와 R_v 각도만큼 수평, 수직으로 회전하여 측정점 P 위치를 결정하는 방법으로서, 다음과 같이 삼각함수 계산에 따라 정의 될 수 있다. 본 연구에서 사용된 장비는 Trimble사의 GS-200을 이용하였으며, 사용 장비의 성능은 표 1과 같다.

$$\begin{cases} x = D \times \sin(R_h) \\ y = D \times \sin(R_v) \\ z = D \times \cos(R_v) \times \cos(R_h) \end{cases} \quad (2)$$

표 1. Trimble GS-200 성능

Standard range	Scanning speed	Resolution	Accuracy	Field of view	Scan color
2~250m	5000 points/sec	32~60 μ rad	1.4~6.5 mm	360°(H)×60°(V)	green

2.2 스캐닝 결과 처리과정

대상물의 스캐닝 결과 처리과정은 그림 3에서와 같이 현장에서 적절한 point 간격으로 3차원 입체의 각 방향에서 대상물을 측정 후, 각 위치에서의 측정 결과를 정합하게 되는데 본 연구에서는 타겟볼(tooling ball)을 이용하여 정합하는 방식을 사용하였다. 정합이 완료된 3차원 디지털 형상데이터는 상대 좌표로 표현되어 있기 때문에 모니터링 등의 경시적인 거동 분석을 위하여 절대좌표화 과정을 거치게 되는데 이 과정에서는 십자표시가 된 타겟을 사용하게 된다. 이 과정들을 거치면 대상물에 대한 조사 및 분석이 가능하게 되며 대상물의 표면을 형성하기 위하여 각 측정 point사이의 삼각망을 형성하게 되는데 측정점 point가 너무 많으면 처리시간이 너무 길어지거나 고성능의 컴퓨터가 필요하기 때문에 본 연구에서는 sampling한 point에 대한 삼각망을 형성한 후 각 측정 point를 이 삼각망에 투영하여 삼각망을 분할하는 방식을 채택하였다.

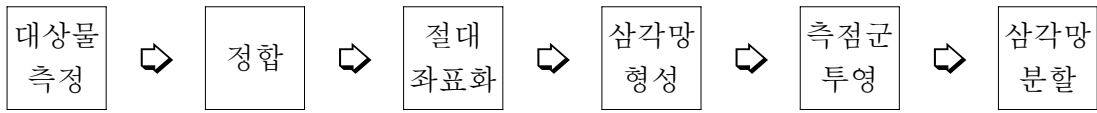


그림 3 스캐닝 결과 처리과정

3. 모니터링 거동분석

3.1 대상댐의 개요

대상댐은 1978년에 완공된 용수전용 댐으로써 준공된 지 28년이 경과한 중앙차수벽식 석괴댐이며, 연평균 공급량이 29,675,000m³에 달하고 댐 높이 67m, 댐 길이 435m, 총 저수량 28,100,000m³이다. 그러나 이 댐은 준공 후 오랜 기간이 경과하면서 댐체의 변형으로 상·하류 사면에 일부 요철이 확인되어, 지속적인 계측관리가 필요하였다.

이에 본 연구에서는 댐체 외부변형의 특성을 파악하기 위한 기초자료를 획득하기 위하여 3차원 레이저 스캐너에 의한 댐체의 3차원 좌표를 취득하여 1차('06.8)와 2차('07.3) 스캐닝 결과에 대한 분석을 수행하였다.



그림 4 취수탑에서의 스캐닝측정 전경

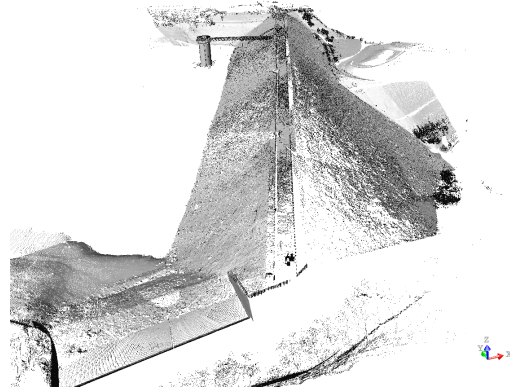


그림 5 대상댐의 스캐닝 결과

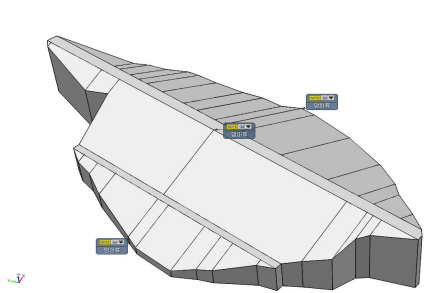


그림 6 대상댐의 3차원 설계도

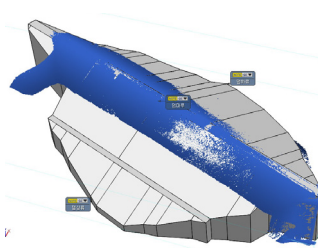


그림 7 1차스캐닝결과 + 3차원 설계도

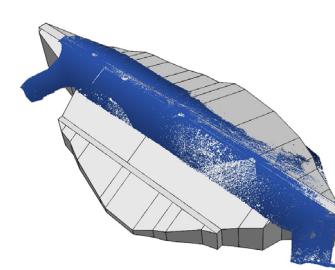


그림 8 2차스캐닝결과 + 3차원설계도

3.2 분석 결과

대상댐의 거동진행성을 파악하기 위하여 1, 2차에 걸쳐서 수행된 스캐닝 결과를 이용하여 거동분석을 수행하였으나 스캐닝의 cloud 자료를 point로 표시되는 자료이기 때문에 1, 2차의 스캐닝 결과를 직접 분석하기가 어렵기 때문에 대상댐의 설계도면으로부터 3차원 설계도를 그림 6에서와 같이 작성하고 이

를 바탕으로 거동 분석을 수행하였다.

그림 7과 8은 상기의 3차원 설계도위에 1, 2차의 스캐닝 결과를 함께 나타낸 것으로서 이 3차원 설계도에 대한 상대 변위 contour를 그림 9와 10에 각각 보이고 있으며, 각 스캐닝 결과에 대한 거동 특성을 살펴보면, 상류사면의 좌안에서 contour 색이 변하고 있다는 것을 관찰할 수 있는데, 이는 약 8개월의 기간 동안에 이 부위에서 다소의 변형이 있는 것을 의미한다고 하겠다.

다만, 이러한 변위의 contour는 3차원 설계도의 제작의 오류를 내보하고 있기 때문에 정량적인 비교를 직접할 수 없다고 하겠다. 따라서 1, 2차의 스캐닝 결과를 직접 비교하여 그 변위량을 정량적으로 산정하기 위하여 그림11에서와 같이 그 변위를 직접할 수 있도록 상류사면 130개 하류사면 177개의 구역을 추출하여 그 구역의 평균 변위를 산정하였다.

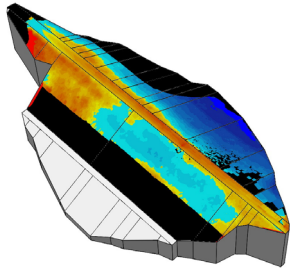


그림 9 1차 거동 분석

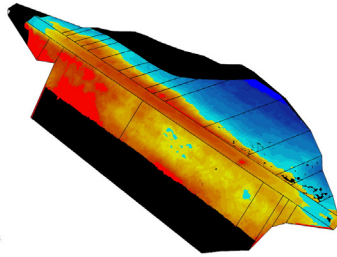


그림 10 2차 거동 분석

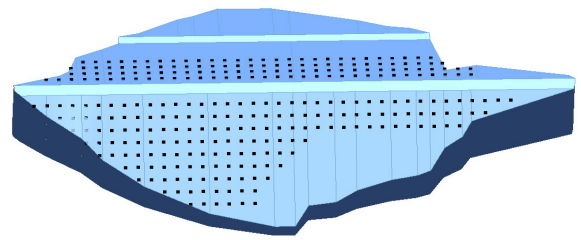


그림 11 정량적 변위량 산정을 위한 구역 추출

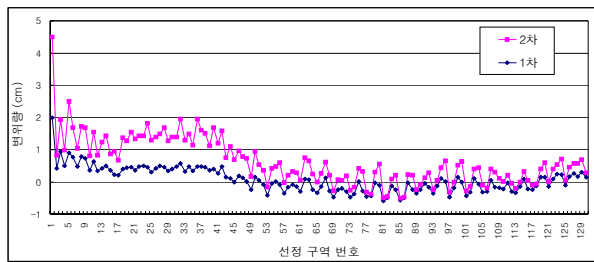


그림 12 상류사면의 정량적 변위량

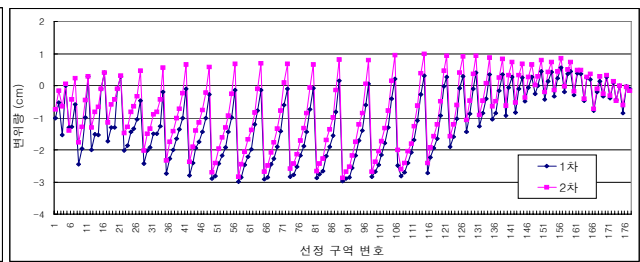


그림 13 하류사면의 정량적 변위량

그 결과, 그림 12에서 보는 것과 같이 상류사면의 좌안사면에서 약 1 ~ 1.5 cm의 미소한 변형이 발생했다는 것을 알 수 있으며 이 부위에 대해서는 비록 미소량의 변형이라 할지라도 다른 부위와 상이한 변형이 있었다는 의미에서 지속적인 관심을 갖고 모니터링을 추가적으로 수행하여야 할 것을 판단된다.

하류사면의 경우에는 그림 13에서 보는 바와 같이 사면의 상부부위에서 수 mm의 변위가 발생했다는 것을 알 수 있는데 이는 스캐닝 장비의 정확도를 고려하였을 때 변위가 오차이하로 발생한 것이기 때문에 특이할 만한 거동은 발생하지 않은 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 지상 레이저 스캐닝 기법을 이용하여 댐체 거동의 진행성을 파악하기 위하여 1, 2차에 걸쳐서 스캐닝 측정을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 8개월동안의 거동특성 및 그 진행성을 파악한 결과, 상류사면의 좌안부위에서 미소하나마 거동이 발생한 것으로 분석되어 이 부위에 대한 지속적인 모니터링 감시가 필요할 것으로 사료되었다.