



아레시보의 붕괴가 동종 마지막 사고가 될 수 있을까?

디지털 트윈 기술로 결함 진단, 예측적 유지보수 및 제품 개발을
변혁하는 방식

기고자: Patrick Bohle, 솔루션 마케팅 담당 부사장, FARO® Technologies, Inc.

www.faro.com

지난 해 마치 불행한 뉴스가 더 필요하거나 한듯 한 해를 마감하면서 잔 세계 과학계가 심각한 타격을 받았습니다. 바로 푸에르토리코에 위치한 아레시보(Arecibo) [전파관측소](#) 붕괴 뉴스입니다.

여름부터 가을까지 관측소에서 케이블 두 개가 고장나, 서둘러 해체 작업 중이었습니다. 초기 케이블 고장으로 관측소의 반사경 접시형 안테나에 1,00ft 길이 균열이 발생해 수리를 위해 관측소가 일시적으로 폐쇄되었습니다. 두 번째 케이블 고장은 11월에 발생하였고, 엔지니어들이 복구가 불가능하다는 결론을 내리게 되면서 아레시보 관측소의 운명이 결정되었습니다. 완전한 대피 명령이 내려진 것입니다.

[한 명 이상의 과학자](#)는 관측소 해체를 “과학적 직격탄이자 시대의 종말”에 비유했습니다.

아레시보의 붕괴는 과학계에 비극적 손실이었고, 대중에게도 커다란 손실이었습니다. 이 보다 더 유명하고 제임스본드 블록버스터 007 골든아이 (GoldenEye), 그리고 1997년 컨택트(Contact) 와 같은 영화에도 등장한 전파 망원경은 없기 때문이었습니다. 이 상징적인 구조물을 잘 알고 있는 사람들에게 아레시보는 다른 세계에서 발신되는 전파 신호 또는 그 기원에 대한 실마리를 찾아 우주의 배경 잡음을 끈기 있게 탐색하면서 하늘을 스캔하는 거대한 접시로 인식되었습니다.

1960년대 초에 세워져 57년간 과학 기술의 걸작으로 꼽히던 이 관측소는 중국에서 FAST(직경 500미터 구면 전파망원경) 작동이 시작된 2016년까지 [단기로는 세계 최대 전파망원경](#)

자리를 지켰습니다.

2016년 폐쇄. 2020년 해체. 최고 자리를 지키던 망원경의 불명예스러운 종말.

“연이은 비극 목도?”

이러한 비극이 다시는 일어나지 않는다면 어떨까요? 조립 부품을 포함하여 구조물 또는 건물 등에 향후 발생할 결함을 구성품의 대량 생산 몇 주 혹은 몇 달 전, 더 나아가 몇 년 전에 예측할 수 있다면 어떻게 될까요? 디지털 트윈 기술을 이용하면 3D 레이저 스캐닝을 통해 물리적 개체를 디지털 복제물로 변환 및 모니터링하고 실시간 클라우드 기반 데이터 분석을 통해 모델링하는 프로세스가 현실로 다가옵니다.

세계 디지털 트윈 시장은 향후 몇 년 안에 [38%](#) 에 육박하는 연평균 성장률(CAGR)을 보이면서 2024년에 164억 달러 규모에 도달할 것으로 전망됩니다. 이러한 성장의 절반에 해당하는 41%는 북미 지역만의 성과이며, 자동차와 항공우주 산업이 지배적일 것으로 예상됩니다.

일반적으로 디지털 트윈 지원 구조적 상태 모니터링 및 예측적 유지보수를 시작으로 세계 도처에 디지털 트윈 기술이 파고들 것으로 전망됩니다. 예를 들어, [최근에 영국의 한 연구](#)에서, 스태퍼드셔(웨스트미들랜즈) 지역의 두 철도 교량 건설 중에 설치된 광섬유 센서를 이용하여 개념 증명 테스트로서 실시간 “변형도/응력 발생” 및 “변형도/응력 분포” 를 측정했습니다. 구조물 상의 센서 데이터를 통해 달성되는 “유한 요소 예측 모델링”과 통합하여, 보고서의 정보를 “성능 기준선 설정에

활용함으로써 후속 센서 데이터가 교량 작동 수명 전반에 걸쳐 수집되므로 장기간 상태 모니터링 및 데이터에 근거한 자산 관리를 실현할 수 있습니다.

다시 말해서, 아레시보에서 발생한(그리고 기타 유사한) 사고와 같은 엔지니어링 결함은 머지 않아 고대 역사로 남을 수도 있습니다.

예를 들어, 아레시보에서 3D 레이저 스캔을 실시하고 모니터링 센서를 탑재하였다면 기본 케이블과 보조 케이블의 인장 강도를 탐지하였을 것이고, 구조물의 장기적 무결성을 추적할 수 있었을 것입니다. 마찬가지로, 모델 시뮬레이션에서 빈번한 지역적 허리케인, 주기적으로 발생하는 지진, 거의 일정한 습도 등에서 유발되는 물리적 응력, 그리고 이러한 응력이 수십 년 작동해온 구조물 성능에 영향을 미치는 양상을 감안하였습니다. 과거 기록과 실시간, 두 가지 모두의 기상 데이터와 지진 데이터로 디지털 시뮬레이션의 정확성을 높였습니다. 엔지니어들은 건설하는 구조물에 이미 정기 검사를 수행하고 있었지만 디지털 트윈 기술 채택으로 거의 즉각적인 통찰력을 확보하고 반응 시간을 훨씬 단축할 수 있습니다.

디지털 트윈 기술은 아레시보와 같은 장기간에 걸쳐 완공된 구조물의 결함 예측과 구조적 상태 모니터링뿐만 아니라 건설 또는 개장 과정에서 새로운 용도 또는 적응된 용도로 모니터링과 모델링이 필요한 그 밖의 일반 구조물(공장 등) 또는 부품(비행기 터빈 등)에도 적용됩니다. 아레시보의 보조 케이블은 1990년대에 예측적 유지보수 장점없이 추가되었습니다. 하지만 20년쯤 후에 차세대 지상 망원경이 중국의 FAST를 밀어내고 디지털 트윈 기술을 활용하여 지상에 세워질 때 무슨 일이 벌어질지 생각해 보십시오.

디지털 트윈을 통한 윈-윈

짧은 응답은 잠재적으로 기록적인 기간에 시장에 인도되는 더 우수하고 강력하며 안전한 제품입니다. 이는 또한 원격으로 더 신속한 데이터 공유함에 있어 보다 나은 유연성을 제공하며, 제조업체들이 전 세계 어디에서든 청사진에 액세스할 수 있도록 지원하며, 물리적 자산과 디지털 자산 간 완벽한 동시성을 이용할 수 있다는 것을 의미합니다.

무엇보다 가장 좋은 점은 소비자는 물론이고

거의 모든 산업이 혜택을 본다는 것입니다. 자동차 업계의 경우, 주행 중 차량으로부터 실시간 디지털 트윈 데이터 수집을 통해 차량 설계를 개선하고, 안전성 및 연료 효율 표준을 향상시키는 데 활용될 귀중한 차량 성능 지표를 확보할 수 있을 것으로 전망되며, 향상된 회생 제동 기술과 결합되어 개선된 배터리 성능을 바탕으로 전기 자동차 채택율을 높이는 촉매 역할도 가능할 것으로 기대됩니다. 제조업계의 경우, 3D 모델이 실제 성능을 시뮬레이션할 수 있는 디지털 영역에서 제품의 전체 수명주기가 시작될 수도 있습니다.



차량 생산 공장 자체의 디지털 전환이 가능하며, 지속 가능성과 성능에서부터 운영 및 유지보수, 더 나아가 사용자/직원의 건강 및 복지에 이르기까지 모든 것을 모니터링할 수 있습니다. 가까운 미래에 모든 유형의 공장에서 기획/건설 수명주기 단축, 차량/모델 전환 시간 단축, 안정성 및 효율성 향상, 자동화 개선, 그리고 가장 흥미로울 수 있는 “현위치에서 빌드” 방식, 즉 실제 공장의 설계 규격을 복사하여 전 세계 어느 곳이나 빌드하는 방식을 채택할 수 있게 됨으로써 수요 시장 접근성 증대 등의 혜택이 실현될 것으로 전망됩니다. 이러한 결정은 엄청난 규모의 영향을 미칠 것입니다.

동일한 예측적 유지보수와 공장 빌드 잠재력이 항공기에도 적용됩니다. 원격 센서와 함께 탑재되고 클라우드를 통해 공유되는 터빈 성능, 유압 컨트롤, 항공기의 환경 제어 시스템(COVID 이후 시대에 특히 중요) 등의 지표를 문제가 발생하기 전에 즉각적으로 모니터링하고 개선할 수 있습니다. 이 분야에서도 디지털 트윈을 통해 극대화된 성능으로 출발할 수 있습니다. 최초 실물 항공기 부품의 조립이 시작되기 전에도 가능한 일입니다.

디지털 트윈에 해당되는 것과 해당되지 않는 것, 그리고 디지털 트윈으로 실현할 수 있는 이점



하지만 디지털 트윈 기술 도입의 핵심은 디지털 트윈과 디지털 모델이 동일하지 않음을 인식하는 데 있습니다.

디지털 모델은 물리적 자산을 가상화한 정적 표현입니다. 디지털 트윈은 1980년대 이후로 채용이 증가하고 있는 기술입니다. 디지털 트윈은 물리적 자산과 동기화된 “살아있는 문서”인 강력한 3D 모델입니다. 물리적 자산에서 변동이 발생하는 경우, 변동에 따른 디지털 모델 업데이트가 클라우드 기반 소프트웨어와 물리적 자산을 증식시키는 다양한 사물인터넷(Internet of Things, IoT) 기술을 통해 실행됩니다. 디지털 트윈 기술을 신속히 도입하려면 이러한 차이를 놓치지 않아야 합니다.

세계적인 건축, 건설 및 엔지니어링 프로젝트에 디지털 트윈 기술의 적용을 통해 다음과 같은 성과를 기대할 수 있습니다.

- 제품 또는 자산 수명주기 전반에서 효율성 증대
- 실시간 고객 사용 패턴을 정확히 통찰하여 3D 디지털 시뮬레이션에 피드백으로 활용함으로써 개선사항 증대
- 모델에 피드백으로 입력되는 실제 데이터를 기반으로 하여 고장 및 유지보수 작업 예측

- 이종 시스템 및 프로세스들이 원격으로 연결될 수 있는 “디지털 스레드” 생성
- 실제 자산으로 이동하지 않고 문제 해결
- 완제품(건물, 항공기, 자동차 등)을 생산하는 시스템들 간 상호관계를 보다 정확히 이해
- 진행 중인 유지보수 또는 정확한 수리를 위해 기존 구조물과 랜드마크 모니터링 및 평가

사물인터넷(IoT) 기술이 확산되면서 2026년에 이르러 시장 점유율이 13억 달러에 달하며, 인터넷에 연결되는 장치가 750억 개 규모로 추정되며, 디지털 트윈 도입 범위가 날로 증대될 것으로 전망합니다. 비록 착수 비용과 데이터 마이그레이션은 불가피한 사항이지만 디지털 트윈 기술의 투자수익률을 볼 때 합당한 결정일 것입니다.

“미래 세계”, 구체화

1963년 아레시보 관측소가 온라인 세계로 들어왔을 때, 완전히 다른 세상이었습니다. 최초 슈퍼컴퓨터 중 하나인 Atlas는 48,000 단어 (메모리 용량 96KB 수준)로 영국에서 작동이 개시되었습니다. 최초 과학 논문들과 네트워크 컴퓨팅에 필요한 실제 하드웨어를 포함한 디지털 시대의 토대는 여전히 4년 후 일어났습니다. 오늘날, 디지털 트윈 기술은 이러한 선구적인 노력의 성과입니다.

전 세계를 휩쓴 팬데믹에서 벗어나기 시작하면서 기업과 제조업체들은 의사결정 시간 단축, 보다 정확한 데이터의 신속한 배포, 전세계 모든 프로젝트 이해관계자들과 정보 공유를 완전히 원격으로 실현하는 데 유용할 혁신적인 솔루션들을 채택함으로써 경쟁력 우위를 선점하기 위한 경쟁에 돌입하고 있습니다.

디지털 트윈 기술은 이러한 목표 달성에 대비할 역동적인 실시간 모델링 접근 방식입니다.

디지털 트윈 전략 개발을 위한 6대 계획

- 1 **자산 평가** - 현재 설비 및 재고 현황을 파악합니다. 현재 유지보수 및 모니터링 비용은 얼마인가? 가동중단 빈도는 어느 수준인가? 가동중단 시간은 얼마나 지속되는가? 비상사태를 해결하는 데 필요한 인력/시간외 비용은 얼마인가? 현재 의사결정 기간은 어느 정도인가?
- 2 **외주 또는 내부 처리** - 디지털 트윈 전략 채택은 완전한 제삼자 외주 방식이거나 내부 업그레이드 진행 방식일 수 있습니다. 상황에 가장 적합한 방식을 결정하고 내부팀으로 해결할 역량이 있는지 여부를 판단합니다.
- 3 **이해관계자 투입물 모색** - 자산 감독과 관련된 모든 당사자 간 일치도를 극대화할 수 있는 지점/방식을 식별합니다. 디지털 트윈 모델링을 기존 워크플로에 어떻게 통합할 것인가? 이러한 이니셔티브에 예상되는 ROI는 어느 수준인가?
- 4 **경쟁사 파악** - 유사/관련 사이트에서 설비 및 운영 관리자들에 진행 중인 작업/위치에 대한 조사를 실시합니다. 자사 운영 지역의 모든 회사에서 디지털 트윈 전략을 채택하고 있는가? 습니까? 해당 주제에 대해 설명하는 게스트 필자명란이나 사례 내 인용문을 제시하는 업계 출판물을 검토합니다. 소셜미디어를 모니터링합니다.
- 5 **벤더 웹사이트 검토** - 시간을 내서 벤더 웹사이트에 게시된 제품 포트폴리오를 파악하고 자사의 요구에 가장 적합한 제품을 판별합니다. 2-3개의 옵션으로 검색 범위를 좁히고 벤더에 연락하여 데모를 요청합니다. 시작부터 완료까지 워크플로를 집중 조명하는 예제 기능이 포함된 데모인지 확인합니다. 마지막으로 시설/물리적 자산의 벤더 개시 현장 스캔 자료를 구합니다.
- 6 **팀 승인 확보** - IT 관리자, 운영 관리자 및 고위 경영진 구성원을 포함시킵니다. 예산이 승인되면 구매 권한이 있는 담당자 또는 CFO와 모든 의사결정을 완결합니다.