

Laser Scanning 기술을 이용한 비정형 건축외피의 As-Planned와 As-Built 비교에 관한 기초적 연구

권순호*, 심현우**, 장현승***, 옥종호****

A Fundamental Study on the Comparison of As-Planned with As-Built of Free-form Building Skins Using Laser Scanning Technology

Soon-Ho Kwen*, Hyoun-Woo Shim**, Hyoun-seung Jang*** and Jong-Ho Ock****

ABSTRACT

The existing approaches to freeform building construction cause many problems. However, recent BIM technique development based on parametric modeling method and improvement of freeform materials manufacturing technology using IT technology encouraged many advanced countries to try experimental projects. Thus, laser scanning technique is in the limelight as a new alternative in the field of freeform building construction and inspection. This study selected a domestic small freeform building and practiced laser scanning and as-planned modeling by using Reverse Engineering. Then each deviation was comparatively analyzed through figures which extracted data by numerically analyzing the newly modeled as-built and Excel spread sheet. Through the process, limits and follow-up research subjects are discussed as well.

Key words : BIM, Digital Project, Laser Scanning, Reverse Engineering, Panelization

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

1990년대 중반까지만 해도 대부분의 비정형 건축물(Free-Form Buildings)들은 2D 도면의 한계, 비정형 외장부재 생산의 어려움, 시공 정밀도 확보의 곤란 등 많은 문제점으로 인해 건축하기에 대단히 어려운 건축물로 인식되어 왔다. 그러나 최근 파라메트릭 모델링 기법을 근간으로 하는 BIM(Building Information Modeling) 기술의 발달과 IT 기술을 접목한 비정형 부재생산기술의 발달 등으로 여러 선진국에서 다양한 비정형 형태의 모뉴먼트적인 건축물이 시도되고 있으며 국내의 경우도 동대문역사문화공원, 부산국제영

화센터, 전곡선사유적박물관 등과 같은 건설이 진행되고 있고 다른 실험적인 프로젝트 사례도 발표되고 있다.

비정형건축물은 건물의 전체 또는 일부가 기존의 사각형 위주에서 벗어나 기울거나 좁아지거나 뒤틀린 형태이거나 자유로운 곡선 형태를 가지고 있는 건물을 말한다(김선우 2009). 이러한 비정형 건축물의 건설에서 가장 어려운 공정은 복잡한 디자인으로 이루어진 외피를 시공하는 것이다. 비정형 건축물의 외피는 Non-Uniform Rational B-Spline(NURBS)¹⁾라 불리는 이중곡률의 곡면부재를 포함하게 된다. 이러한 곡면부재들의 시공품질 확보를 위해서는 도면 및 시

*정회원, 서울과학기술대학교 건설관리공학연구소

**학생회원, 서울과학기술대학교 산업대학원 건축공학과

***정회원, 서울과학기술대학교 건축학부

****교신저자, 종신회원, 서울과학기술대학교 건축학부

- 논문투고일: 2011. 02. 07

- 논문수정일: 2011. 03. 10

- 심사완료일: 2011. 03. 14

¹⁾NURBS는 상용 CAD/CAM 시스템에서 가장 많이 사용하는 곡선/곡면을 표현하는 방법 중의 하나로 제어점(Control Points)과 강도(Weight), 결절(Knots) 값들을 조절함으로써 특정형태로 만들어지게 된다. 마지막 약어인 S를 뜻하는 'Spline' 복잡한 곡면들의 여러 가지 양상을 표현할 수 있는 직접적인 비유의 맥락에서 서구학자들이 차용한 개념이다.

방서대로(As-Planned) 정확하게 곡면 곡률의 형태 및 크기, 길이 등이 시공되었는지에 대한 검측이 필요하나 전통적인 검측방법으로는 NURBS의 As-Built 품질관리가 어려워 최근 실시간으로 As-Built 현황을 검측할 수 있는 3D 레이저 스캐닝 기술의 적용이 논의되고 있다.

그러나 현재까지 레이저 스캐닝 기술은 석탑, 고건축 등 기준도면이 없는 문화재의 As-Built 현황을 추출하는 분야에는 널리 활용되어 왔으나 비정형 건축물의 외장 시공품질관리 분야에는 적용된 사례가 없어 외장부재의 곡률상태, 곡률의 복잡성 정도, 곡률크기 등에 따라 As-Built 검측 결과 어떤 데이터를 얻을 수 있는지, As-Planned와 As-Built 비교를 어떻게 진행하여야 하는지, 비교 시 신뢰할 만한 데이터 확보를 위해 곡률의 종류 및 정도와 관련하여 중점적으로 관리하여야 할 사항이 무엇인지 등에 대해 참고할 만한 자료가 전혀 없는 실정이다.

본 연구는 역공학기법(Reverse Engineering)²⁾과 3D 레이저 스캐닝 기술을 이용하여 비정형 건축물 외피의 As-Planned 대비 As-Built 데이터 확보 프로세스를 정립한다. 또한 비정형 외피의 곡률종류에 따라 As-Built 결과가 어떤 모습을 보이는가를 제시하며 곡면의 시공 품질확보를 위해 건설관리자가 중점 관리하여야 하는 사항이 무엇인가에 대한 데이터를 제공함으로써 향후 보다 발전적인 시공품질관리기법 개발에 활용할 수 있는 레퍼런스를 제공하고자 한다.

1.2 연구의 방법

국내에서 건축되고 있는 비정형 건축물은 앞에서 언급한 바와 같이 동대문역사문화공원, 전곡선사유적 박물관, 킨텍스 제2전시관 등을 들 수 있으나 현재까지 레이저 스캐닝 기술을 적용하여 As-Planned 대비 As-Built 시공품질을 검측한 사례는 없다. 본 연구를 위하여 위 프로젝트의 현장관리자에게 레이저 스캐닝 기술 적용가능성을 문의하였으나 현장 안전상의 문제점과 스캔데이터 추출기간 동안의 공정관리 어려움, 각 기업 시공기술의 유출 등과 같은 문제점이 있어 수행이 어려운 것으로 조사되었다.

이러한 문제점에 대한 대안으로 본 연구는 비정형 건축의장요소를 많이 포함하고 있는 소규모 주택건축

물을 대상으로 연구를 수행하였다. 연구대상 건축물은 연면적 418 m², 철골조 2층 주택 건물로, 2007년 수도권에 완공되었으나 최근 박물관으로 리모델링된 건축물이다. 동 건축물의 외관은 Fig. 1과 같다.

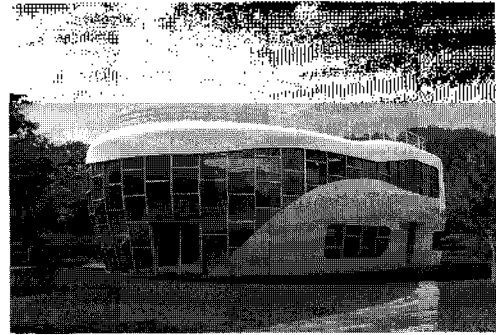


Fig. 1. 연구대상 건축물.

연구대상 건축물은 설계 당시 마야(Maya) 프로그램을 이용하여 3D 형상모델을 구축하고, 2D 기반의 오토캐드로 실시설계를 진행하였던 관계로 본 연구가 필요로 하는 비정형 외장부재의 3차원 엔지니어링 정보와 곡률, 좌표 값 등을 제공하지 못하였다. 본 연구는 비정형 BIM 도구인 DP(Digital Project)³⁾를 활용하여 3차원 속성정보가 입력된 As-Planned 모델을 구축하였다.

또한 레이저스캐닝 기술을 활용한 역공학기법 프로세스를 정립하고 이를 적용하여 연구대상 건축물의 현장스캔 As-Built 데이터를 확보하였다. 선행연구에서 그 활용성이 검증된 중첩비교기법을 활용하여 연구대상 건축물의 As-Planned 데이터와 As-Built 데이터를 비교하여 시공오차를 확인하고 스프레드시트를 활용, 시공오차에 대한 속성정보 값을 추출함으로써 정량적인 비교를 가능하게 하였다.

본 연구를 진행하는 동안 연구대상 건축물을 설계하였던 설계자, 레이저스캐닝 전문가 2인, 비정형 건축물 설계 및 시공경험이 있는 전문가 4인, 비정형 외피패널 제작전문가 3인으로 구성된 워크숍을 운영하여 As-Planned와 As-Built 데이터 생산방법의 적절

²⁾Reverse Engineering이란 도면이 존재하지 않은 대상으로부터 형상이나 색상정보를 획득, 2D 또는 3D 도면제작, 모형제작 등을 함으로서 제품 생산 등에 활용하는 일련의 과정을 말한다.

³⁾Gehry Technology가 개발한 CATIA기반 소프트웨어 응용 프로그램으로 비정형 건축물 BIM도구로 활용되고 있다. CATIA는 프랑스 다쏘에서 개발한 3차원 CAD 프로그램으로 자동차나 항공기를 설계, 개발하는데 주로 사용되었으나, 1992년 프랭크 게리가 Barcelona Fish를 CATIA를 활용해 설계하면서 비정형 설계에 활발히 사용되게 되었다.

성, 데이터 비교방법, 데이터 비교결과와 신뢰성 및 활용성, 향후 연구방향 등에 대하여 조사 분석하였다. 본 연구의 흐름은 Fig. 2에서 보는 바와 같다.

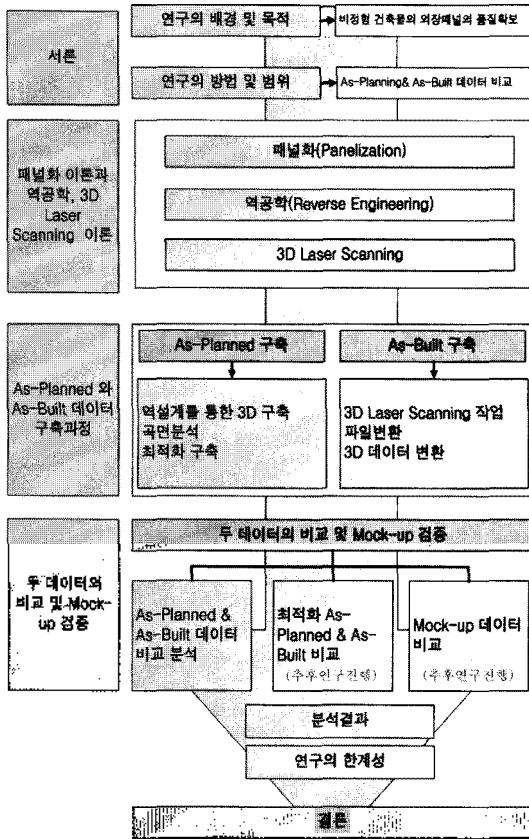


Fig. 2. 연구의 방법 및 흐름.

2. 이론적 고찰

2.1 레이저 스캐닝 기술

레이저 스캐닝 기술은 LIDAR(Light Detection and Ranging), 또는 LADAR(Laser Detection and Ranging)이라고 불리는 측정 기술을 사용해 대상체에 일정 간격으로 레이저 빔을 주사(照射)하여 대상체에서 반사된 빔의 방향과 측정 거리를 이용해 대상체의 외형을 3차원 좌표에 나타내는 방법 및 이를 응용한 기술을 뜻 한다(권순욱 2009).

레이저 스캐의 측정방식은 위상차방식(Phase Based)과 펄스방식(Time of Flight)으로 구분할 수 있다. 위

¹⁾전자총에서 나온 전자 빔이 화면을 형성하기 위해 텔레비전 화면과 카메라 촬상관의 타겟 영역에 처리되는 것.

상차 방식은 60 m 이내의 단거리 측정에 사용되며 발신 레이저와 수신 레이저의 위상차를 해석하여 측정하는 방식으로 유효측정거리는 짧지만 데이터 취득속도는 최대 625,000 pixel/sec의 빠른 속도로 밀도가 높고 복잡한 대상 목적물의 측량에서 높은 해상도로 단시간 내에 스캐닝 할 수 있다. 펄스방식은 레이저가 발신되어 수신기에 도달하는 시간을 측정하는 방식으로 토달스테이션에 주로 사용되는 방법이며, 데이터 취득속도는 최대 12,000 pixel/sec로 느리지만 유효 측정거리가 길어 GIS(Geographic Information System) 데이터 제공을 위한 측량 등에 주로 사용된다.

국외의 경우 레이저스캐닝 기술 활용은 2002년부터 시작하여 점차 증가세를 보이고 있으며 현재 기계, 항공, 조선 등 제품형태에 대한 정밀정보가 필요한 공학 분야는 물론, 의학, 물리학, 범죄수사 등 매우 다양한 분야에 활용되고 있다.

건설부문에 레이저스캐닝 기술을 접목한 해외연구로는 레이저스캐닝 시스템 개발업체인 독일의 라이카와 일본의 탑콘에서 수행한 연구와 Su 등(2006), Shih와 Huang(2006), 권순욱(2009)의 연구를 들 수 있다. 라이카(2005)와 탑콘(2009)의 연구는 레이저스캐닝 기술의 적용범위, 적용기법, 주의사항 등 사용자를 가이드하기 위한 연구가 대부분이었고 Su 등은 도심지역 지하굴착에 따른 지형정보변화를 레이저스캐닝 기술을 이용하여 관측하는 기법을 연구하였으며

Table 1. 레이저스캐닝 관련 국외선행연구

프로젝트	주요내용
토공사 진도관리 (NIST, 미국)	미국 국립 표준연구소에서는 토공사 작업현장을 일정시간 간격으로 레이저스캐닝하고 데이터베이스에 저장하여 토공진도관리에 활용하는 방법에 대해 연구하였음. 스캐너를 통해 획득된 3차원 지형정보는 인터넷을 통해 볼 수 있도록 VRML(Virtual Reality Markup Language)의 형태로 저장, 사용자에게 제공되도록 함.
와세다 대학 중첩비교연구	건축물 사공의 정확성을 확인하기 위해 레이저 스캐닝으로 추출한 데이터와 설계안을 중첩비교한 실험을 하였음. 계단 등을 스캔하고 중첩비교 결과를 컬러코딩으로 표시하여 분석함.
John W. Macdougall Co. 연구	외벽 패널을 제작하는 업체의 경우, 시공된 건물 골조가 오차 등으로 인해 원래 설계와 달라질 경우 여기에 맞춰 납품할 제품을 재설계하거나 심한 경우 이미 만든 제품을 폐기하고 새로 제작하여야 하는 경우가 발생함. John W. Macdougall 사는 납품 대상 건물의 시공 현황을 레이저 스캐너를 이용하여 확인함으로써 원 설계안과 차이가 나는 부분을 확인하고 패널 설계를 변경하여 납품하는 시스템을 마련하였음.

Shih와 Huang은 인터넷 기반의 3차원 레이저스캐닝 정보관리시스템 개발을 제안하였다. 권순욱은 Table 1에서 보는 바와 같이 여러 연구기관에서 수행되었던 연구내용을 정리하였다.

국내에서 건설분야에 3D 레이저스캐닝 기술을 활용하고 있는 내용을 살펴보면 김진수(2007)는 도로의 선형성능을 추출하는 시스템 개발을 제안하였으며 최원호(2003)는 디지털문화재 구축기법에 관한 연구를 수행하였고 김성태(2003)는 대형 경기장 지붕구조물과 기둥구조물의 계절별, 온도별 변화에 따른 연간기동을 분석한 바 있다.

살펴 본 바와 같이 비정형 건축외피의 As-Planned와 As-Built를 비교하기 위해 3D 레이저스캐닝 기술을 적용한 사례는 찾아볼 수 없었으나 와세다대학에서 수행하였던 중첩비교방법을 보다 발전시켜 본 연구에 적용하기로 하였다.

2.2 역공학기법

역공학(Reverse Engineering)이란 하드웨어 또는 소프트웨어에 대한 분해, 분석을 통해 당해 제품에 구현된 아이디어(원리, 기술, 방법, 기능, 알고리즘, 노하우 등을 포함)를 추출해 내는 일련의 행위를 말한다. 일반적인 엔지니어링 작업의 경우 공학적인 해석을 통하여 제품을 설계하고 그 설계도면에 따라서 제품을 생산하게 되지만 역공학에서는 공학적 설계과정 없이 완성된 제품을 보고 거꾸로 설계도면을 생성하게 되며 '역설계', '역분석' 등으로 불리기도 한다(한화택 2009).

최근에는 3D 레이저스캐닝 기술을 활용하여 생산품 혹은 구조물의 외관에 접근 데이터를 획득하고 폴리곤 또는 3D 커브를 BIM 방식으로 디지털 모델을 재구성하고, 그 디지털 모델을 3D 시제품 제작용 장비를 활용하여 제품 생산하는 영역까지 발전하였다.

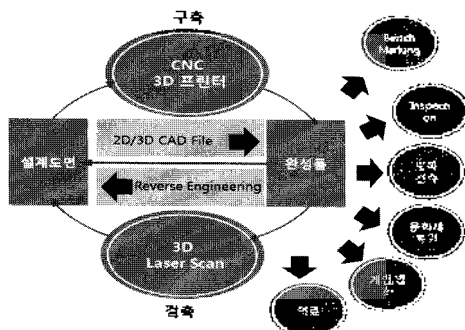


Fig. 3. 최근 Reverse Engineering 적용영역.

건축에서는 문화재의 훼손도 분석 및 복원데이터베이스화 작업에 널리 쓰이고 있고 건축물의 노후진단과 복구에도 역공학 방법을 적용하고 있다. Fig. 3은 최근 가장 널리 인식되고 있는 역공학 기술개념과 산업영역을 보여준다.

3. As-Planned 데이터

3.1 역공학기법 적용

본 연구에서는 두 단계로 역공학기법을 적용하여 연구를 진행하게 된다. 2단계는 레이저스캐닝 기술을 이용하여 As-Built 현장 데이터를 구축하는 과정이고 1단계는 비정형 BIM 도구인 DP를 활용하여 3차원 As-Planned 데이터를 구축하는 과정이며 이 단계에는 DP를 이용한 3D 모델구축과 서피스 패널화가 포함된다.

1단계 역공학적 모델링이 필요한 것은 앞서 언급한 바와 같이 본 연구의 연구대상 건축물 설계당시 마야 프로그램을 이용하여 3D 형상모델이 구축되었고 2D 기반의 오토캐드로 실시설계가 진행되었던 관계로 본 연구가 필요로 하는 비정형 외장부재의 3차원 엔지니어링 정보의 곡률, 좌표 값 등을 제공하지 못한다. 2차원 도면으로는 3D 레이저 스캐닝 결과로 얻어지는 As-Built와 중첩 비교하여 시공오차를 확인할 수 없기 때문에 As-Built 데이터와 같은 환경을 만들어주는 것이 필요하다.

3.2 DP를 이용한 모델 구축

As-Planned 데이터는 앞서 설명한 바와 같이 DP를 활용하여 3차원 속성정보가 입력된 모델로 구성하였다. 연구대상 건축물 설계자의 설계의도를 훼손하지 않고 설계당시의 건축형태를 추출하기 위하여 모델구축 초기 단계부터 설계자의 자문과 크리틱을 반영하였으며 Fig. 4와 같은 과정으로 3D 역공학 설계를 진행하였다.

정확한 As-Planned 데이터 확보를 위해 연구대상 건축물의 실시도면을 작성하였던 엔지니어와 함께 DP 프로그램 작업을 실시하였다. 데이터 구축과정에서는 스케치라는 기본드로잉 기능을 이용하여 3차원 좌표를 설정하고 각 층별 평면을 구축하면서 기존 2D 평면과 오버랩 비교를 통해 정확성을 확보하였다.



Fig. 4. 3D As-Planned 설계.

- (1) X, Y 평면에 그리드를 생성하여 3 포인트를 추가하고 타원을 그린 후 중심라인을 생성한다. 이와 같은 방식으로 2층과 3층 옥상 부분에 라인을 생성한다.
- (2) 수직라인을 기준으로 1층, 2층, 3층 수직 서피스(Surface)를 생성한다. 대상 건축물의 경우 앞부분과 중간부분 뒷부분에 대한 기울기 값이 다르기 때문에 위와 같은 방법으로 나누어서 서피스 모델을 진행하였다. 서피스 부분의 동그라미로 표시되어 있는 부분은 0.5m의 곡률 반지름값을 갖는데 이 값은 연구대상 건축물의 설계당시 지정된 값이다.
- (3) 생성된 중심라인을 기준으로 등분하여 빔포인트를 추가한다. (1)과 같은 방법으로 1층, 2층, 3층의 빔포인트를 추가하고, 각 포인트 마다 평면을 삽입하여 수직라인의 3D 기준좌표의 평면을 잡는다. 이러한 방식으로 각 빔의 선을 생성한다. 생성된 선을 기준으로 곡선 값 0.5m의 곡률 값을 입력하여 준다. 곡률 값을 기준으로 수직부재를 생성하는데 빔과 빔 사이의 라인을 기준으로 균등한 점을 생성하여 수직부재인 멀리언을 생성하고 수평을 기준으로 철골부재를 완성하게 된다.
- (4) 각 층 바닥을 기준으로 스케치 작업을 실시하여 라인을 구축하고, 구축된 라인의 벽체에 BIM 속 성정보를 가진 객체라이브러리를 생성한다. 각 개구부 위치에 벽체 및 창호 등 각각의 건물요소를 파라미터로 조절할 수 있는 관계와 규칙들의 집합으로 되어 있는 모델군 또는 건물요소객체로 구성한다.

3.3 서피스 패널화

비정형 건축물을 시공하기 위해서는 먼저 복잡한 기하학적 형태를 가진 외피를 작은 단위로 나누어야 하는데 이것을 패널화(Panelization)라고 한다. 곡면 형태와 곡률의 정도에 따라 어떤 형태로 패널화하느냐에 따라 외피부재생산과 시공의 난이도가 결정되고 그에 따른 공사비 차이가 크게는 10배 정도 발생하게 되는데 이것은 패널화 과정이 단순히 외피를 자르는 것이 아니라 경제적인 패널의 제작과 시공을 고려하여 이루어져야 하기 때문이다(Gonzalez-Pulido 등, 2002).

연구대상 건축물의 외피는 갈바륨이라는 알루미늄, 아연함금 도금 강판부재로 시공되었는데 시공 당시 패널화 과정을 거치지 않고 현장에서 시공자가 외

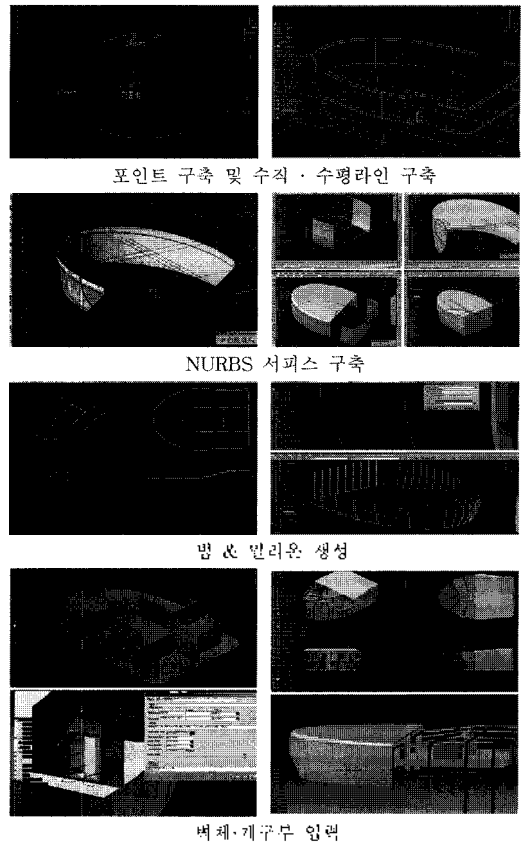


Fig. 5. BIM 구축단계.

관 형태에 맞추어 패널 형태를 제작하고 멀리언에 용접부착한 후 접합부위는 우레탄으로 도장하여 마감하였던 관계로 외장부재 패널화에 대한 정보를 얻을 수 없었다.

본 연구에서 수행하는 패널화는 서피스 곡률이 위치에 따라 다르기 때문에 어떤 곡률에 어떤 형태의 패널이 적합한가, As-Built와 As-Planned를 비교하였을 때 어떤 곡률을 갖는 패널부위가 가장 오차가 크고 이것을 완화하기 위해 패널형태를 어떠한 모습으로 구성하는 것이 좋은가를 분석하기 위한 것이다. 본 연구에서 진행한 서피스 패널화는 다음과 같은 프로세스로 진행되었다.

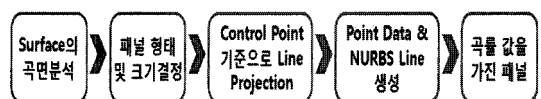


Fig. 6. 서피스 패널화 프로세스.

- (1) 패널분할을 위해 Fig. 7의 ‘서피스의 곡면분석

및 크기형태 결정' 단계에서 보는 바와 같이 서피스 전체에 대한 곡률분석을 실시하였다. 그 결과 서피스 중간부분의 곡률이 가장 심하고 -10도에서 75도까지 차이가 있는 것으로 나타났다.

(2) 서피스 분할을 위한 패널형태 및 크기결정에 있어서는 곡률분석결과와 대상건축물 골조프레임

의 구성에 따라 다양한 패널형태를 사각형, 삼각형, 평행사변형, 오각형 등으로 구성할 수 있다. 본 연구에서는 멀리온 간격 크기의 정사각형(1000×1000 mm) 형태로 분할하는 방식과 삼각형으로 분할하는 방식을 병행 적용하기로 하였다.

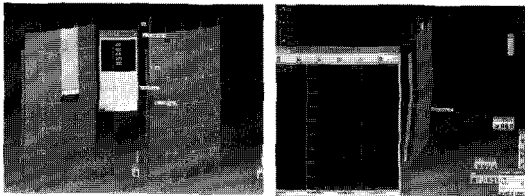
(3) 위 (2)에서 설정한 패널형태를 대상건축물의 서피스에 투영하기 위해 서피스에 기준점을 설정하고 가로 세로 그리드를 형성하였다. 형성된 그리드 좌표는 비활성 좌표이기 때문에 엑셀을 활용하여 변환이 가능한 포인트 데이터로 변환해야 한다. 변환된 포인트를 중심으로 곡률을 갖는 NURBS 라인을 생성하여 면을 구축한다.

(4) 위와 같은 과정을 거쳐 NURBS 면을 형성한 후 설계자가 의도하였던 곡률형태를 확보하였는가를 비교분석한다.

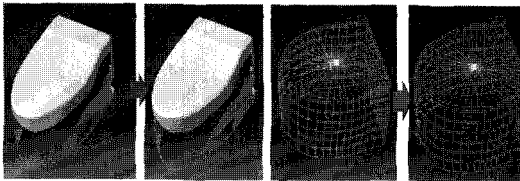
서피스 패널화 결과 연구대상 건축물의 1층과 2층 연결부위, 2층과 옥상 연결부위, 정면부와 후면부에서 심한 곡률의 변화를 볼 수 있었다. 패널형태를 보면 총 553개의 패널로 구성되는데 평균 262개, 일방향 곡률패널 204개(곡률 R = 200 mm 이하), 일방향 곡률패널 63개(곡률 R = 200 mm 이상), 이방향 곡률패널 24개를 포함하였다.

4. As-Built 데이터

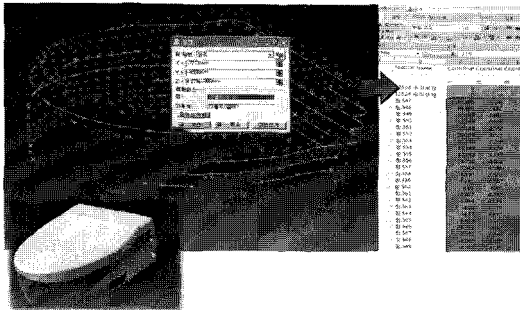
본 연구에 활용된 레이저 스캐닝 장비는 토탈스테이션으로 국내에서 고건축의 복원에 많이 사용되고 있는 제품이다. 레이저 스캐닝 장비에 따라 데이터의



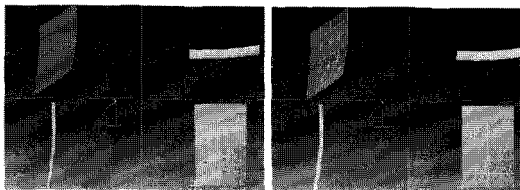
서피스의 곡률분석 및 크기형태 결정



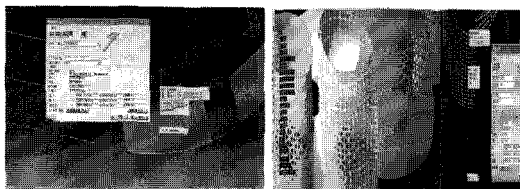
그리드 형성 및 패널 형태 투영



포인트 데이터와 NURBS 라인 생성



NURBS Surface 구축



패널의 곡률 구축 패널화 작업

Fig. 7. 세부 서피스 패널화 내용.

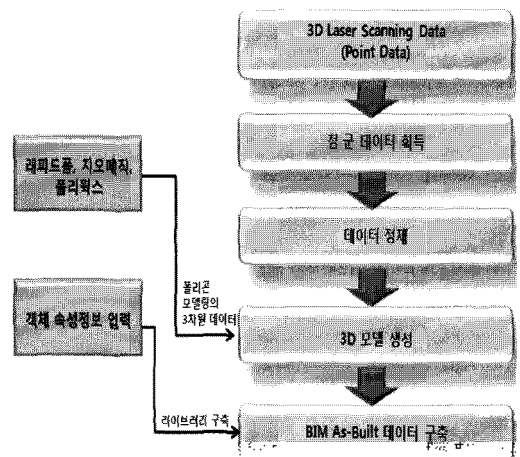


Fig. 8. As-Built 프로세스 구축.

보정작업과 처리 방식이 조금은 다르지만 전체적인 레이저 스캐닝의 흐름과 데이터를 취득하는 방법은 거의 차이가 없기 때문에 본 연구에서는 아래와 같은 프로세스를 구축하여 연구를 진행하였다.

4.1 외곽데이터 추출

레이저 스캐닝 기술로 3D 데이터를 획득하는 과정은 현장에서 이루어지는 건물외곽선 추출작업과 추출된 데이터 보정 및 정제작업으로 나눌 수 있다. Fig. 9은 현장에서 이루어지는 작업을 보여준다. 스캔 대상물의 스캔포인트를 결정하고 스캐너 장비를 고정한 후 스캔 범위를 설정한다. 레이저 빔은 직선으로만 작용하며 보이지 않는 면은 측정할 수 없으므로 스캔범위 설정 시 스캔하는 각 포인트 별로 데이터가 중첩되게 스캔함으로써 획득된 데이터가 손실되지 않도록 한다.

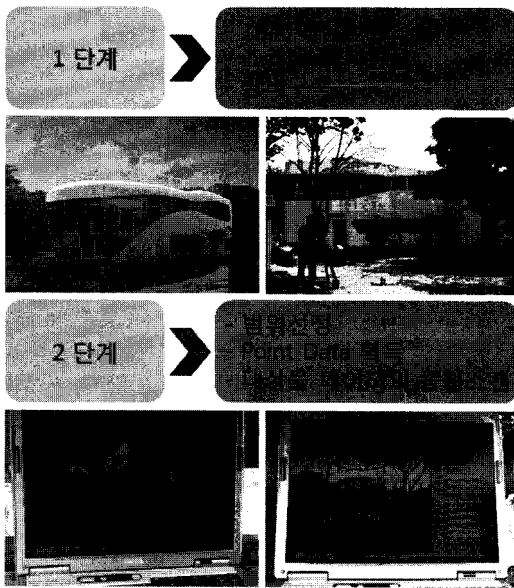


Fig. 9. Laser Scanning 현장작업.

4.2 데이터 보정 및 정제

데이터보정 및 정제작업은 Fig. 10에서 보는 바와 같이 데이터 병합과 서피스 구축작업을 포함한다. 현장작업을 통하여 추출된 여러 스캔데이터는 하나의 스캔파일로 합성되는데 먼저 사진데이터와 점 데이터를 결합하여 시각화된 데이터 부분을 구축하게 되며 이러한 점들로 이루어진 것을 점군(Point Cloud) 데이터라 한다. 점군 데이터는 스캔 대상물의 크기, 모양, 재질, 방해 물체 등을 고려하여 불필요한 노이즈를 제

거하고 병합하는 과정을 거치게 된다.

병합작업이 필요한 것은 스캔 대상물을 중심으로 여러 위치에서 스캐닝을 실시하고 데이터를 추출하기 때문에 스캔하는 각 위치별 데이터의 좌표가 다르고 그에 따라 하나의 좌표계로 데이터를 통합하여야만 필요로 하는 대상 건축물의 전체 윤곽을 얻을 수 있기 때문이다.

병합작업은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 매 스캔위치마다 타겟을 설정하고 그 타겟을 기준으로 데이터를 병합하는 방법이고 다른 하나는 타겟없이 중첩된 데이터를 기준으로 병합하는 방식이다. 본 연구에서는 후자를 이용하여 데이터병합을 실시하였는데 이 방식은 대상의 형상을 바탕으로 같은 부분을 자동으로 찾아서 좌표를 합치는 것이기 때문에 타겟 위치를 설정하기 위한 작업이 불필요한 장점이 있다.

데이터 보정 및 정제의 마지막 작업은 건축물 외곽라인과 서피스를 구축하는 작업이다. 레이저 스캐닝 업체에서는 서피스를 구축하기 위한 도구로써 마야(maya), 래피드폼(rapidform), 지오메직(geomagic), 폴리웍스(polyworks) 등을 사용하고 있다(탑콘 2010). 이들 프로그램들은 스캔장비로부터 대상물의 3D 점군데이터를 전송받아 폴리곤모델을 생성하는 경우가 대부분이다.

그러나 이렇게 생성된 모델들은 단순한 형태의 폴리곤 캐드 파일로서, 서피스의 점, 선, 면 등에 관한 속성정보를 포함하지 못하며 파일의 파라메트릭 변환

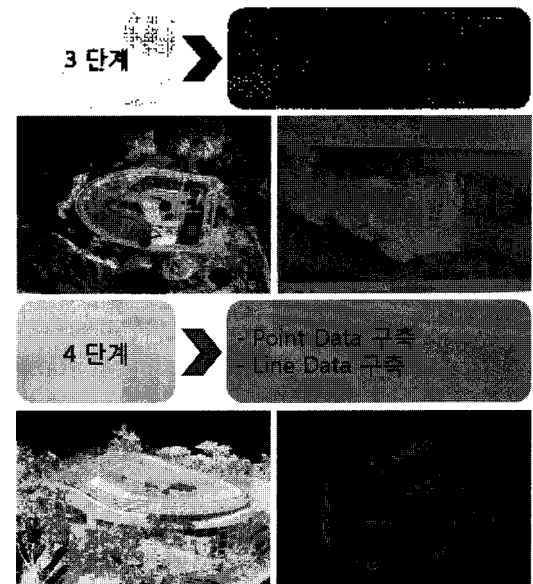


Fig. 10. Laser Scanning 실내작업.

도 불가능하다. 본 연구에서는 As-Planned 데이터를 모델링하였던 DP를 이용하여 건축물 외곽라인과 서피스 구성작업을 수행하였다. 이렇게 구성하게 되면 3장의 '서피스 패넬화' 처리과정을 거쳐 파라메트릭 형태변환과 정보교환이 가능하면서 속성정보를 포함하는 BIM 데이터를 확보하게 된다.

5. As-Planned와 As-Built 비교

5.1 데이터 중첩비교

3장과 4장에서 구축된 As-Planned 데이터와 As-Built 데이터에 중첩비교기법을 적용하여 차이점을 분석하였다. 비교분석은 대상건축물 외장패넬의 곡면형태(평판, 일 방향 곡률, 다중 곡률)와 곡률의 크기 정도에 따라 As-Planned와 As-Built에서 어떤 차이를 보이는가를 중점적으로 관찰하였다. Fig. 11은 비교결과를 입체적으로 보여주는 것이고 Fig. 12은 단면비교를 보여주고 있다.

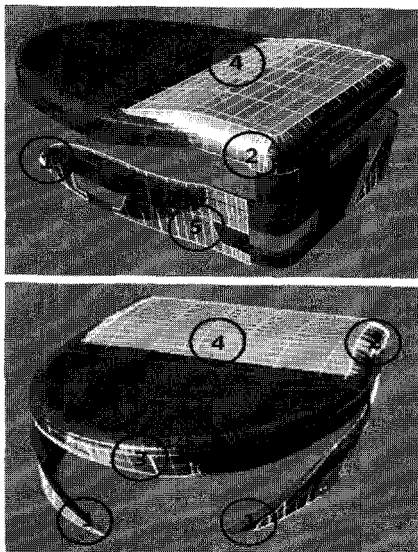


Fig. 11. As-Planned와 As-Built 중첩비교.

중첩비교 결과 Fig. 12에서 보는 바와 같이 ①에서 ⑤까지의 5개 부분에서 As-Planned와 As-Built의 차이를 확인할 수 있었다. 그 차이점을 구체적으로 살펴보면 ①에서는 패넬의 마무리 위치와 길이가, ②에서는 패넬의 크기와 결합위치가, ③에서는 곡률이 시작되는 위치, 곡률의 크기, 패넬의 크기가, ④에서는 패넬의 경사각도가, ⑤에서는 패넬의 결합 위치, 패넬크기, 패넬의 형태에서 차이가 발생하였다.

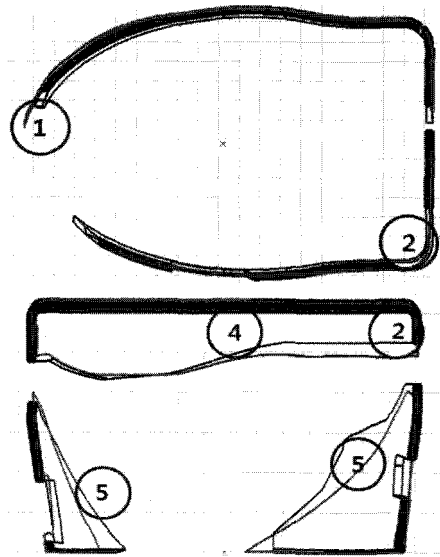


Fig. 12. As-Planned와 As-Built 중첩단면비교(Plan & Section, ■: Built, ■: Planned).

5개 부분 중 ①, ②, ④는 일방향 곡률로 구성된 부분이고 ③, ⑤는 다중곡률로 구성된 부분으로서 곡률이 심할수록, 패넬의 변화가 다양할수록 As-planned와 As-Built 의 차이가 커지는 것을 확인할 수 있었다.

5.2 데이터 정량적 비교

As-Planned와 As-Built 결과를 정량적으로 분석한 예를 살펴보기 위해 스프레드시트를 활용하여 ②부분에 대한 수치적 분석 - 패넬의 좌표, 면적, 곡률 값 등 - 을 실시하였으며 결과는 Fig. 13과 같다.

Fig. 13에서 원으로 표시한 바와 같이 As-Built 좌표점과 As-Planned 좌표점이 다른 위치에 있는 것을 확인할 수 있었다. 즉, X, Y 공간좌표의 경우는 As-Planned와 As-Built의 점1(X=9688, Y=-5788), 점2(X=9188, Y=-6288), 점3(X=9188, Y=-5788)이 동일한 좌표점에 위치하고 있으나 Z 좌표는 As-Planned의 경우 7000, As-Built의 경우는 7050으로 50 mm 차이가 있는 것으로 나타났다.

Z 좌표에서 50 mm가 차이난다는 것은 ②번 영역에 있는 패넬들이 당초 계획된 위치보다 50 mm 높게 시공된 것을 의미하며 ②번 영역에 연결된 다른 패넬들 역시 이 시공오차 때문에 당초의 좌표점보다 약간 뒤늦된 위치에 시공되었음을 유추할 수 있다. 이러한 뒤늦림은 외장패넬을 주 구조프레임이나 서브프레임에 고정할 때 프레임의 장기적인 구조적 강성 때문에 패넬과 패넬 접합부위 늘뜸현상, 누수현상, 외피구성재

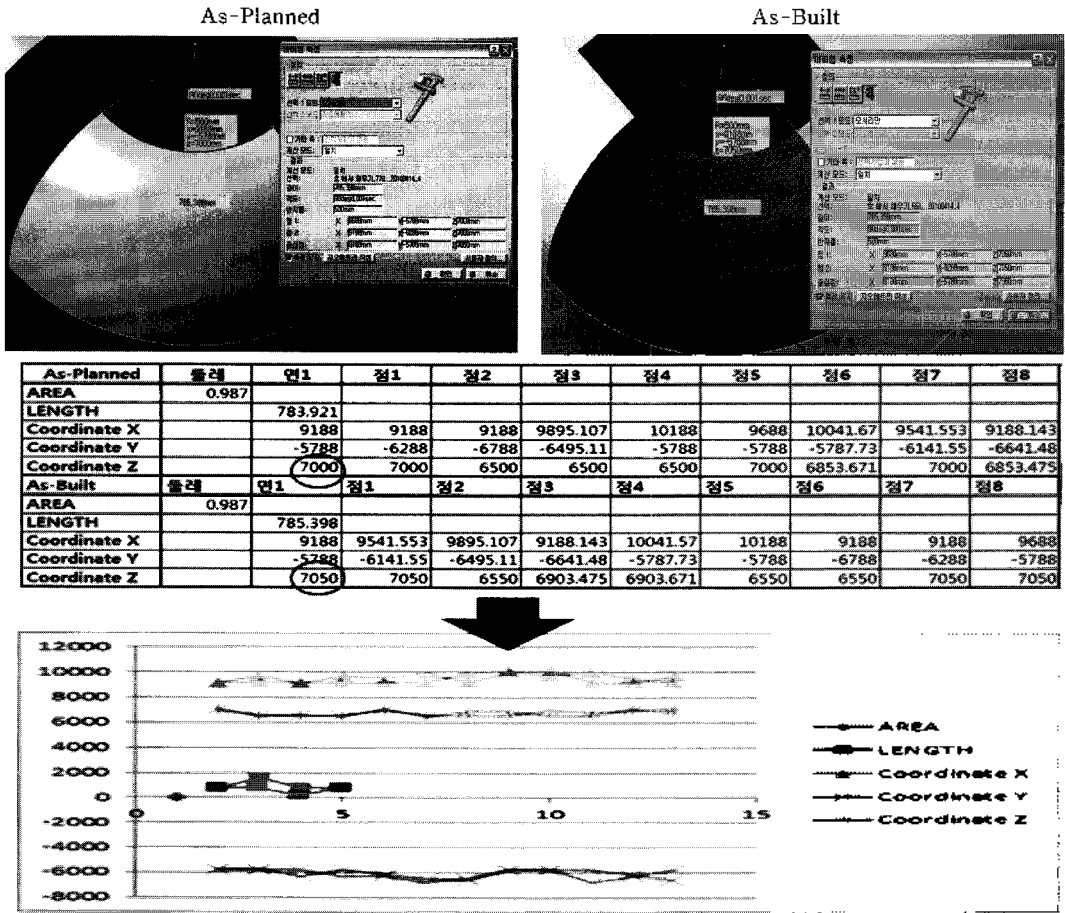


Fig. 13. As-Planned & As-Built 데이터 분석.

료의 탈락현상을 초래하게 된다. 실제 연구대상 건물의 레이저 스캐닝 현장조사 시 ②번 영역을 중심으로 한 건물 외벽부분의 재료파리현상을 확인할 수 있었다.

이러한 문제점을 방지하기 위해서는 비정형건축물의 설계 시 패널생산방법과 시공방법, 건물의 주 프레임에 외장부재를 고정하는 방법, 서브프레임의 구성 방법 등을 함께 시스템적으로 고려함이 필요하다. 비정형건축물의 설계 및 시공과정은 정형건축과 달리 기하학의 설정과 공유과정에 근본적인 차이점이 있으며 그런 과정에 대한 전반적인 이해에 바탕을 둔 설계와 시공의 협업없는 설계의도의 변질, 공기지연, 부실시공, 공사비증가 등의 문제점이 발생하게 된다.

비정형 건축물의 설계와 시공과정의 협업형태는 건축가의 3차원 모델이 설계계약문서로서 설계자가 모델 코디네이터로서 중추적인 역할을 하면서 기하학을 관리하는 방식과 건축가의 3차원 기하학을 시공자가 2차원 도면상의 기하학적 규칙이나 좌표값으로 변환

하여 시공자 책임 하에 모델을 재구축하는 방식으로 구성된다. 어떠한 형태의 협업방식에 참여하든 시공자는 비정형건축물의 구현을 위해 도면생성, 패널화, 현장조립 및 시공, 측량 및 비정형 건물선의 수평, 수직, 적정 각도유지 건축 등을 수행하여야 한다. 본 연구에서 시범적으로 제시한 레이저 스캐닝을 활용한 시공검측방법을 보다 발전적으로 활용함으로써 비정형건축물의 As-Built 시공품질을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

5.3 전문가 워크숍(Workshop)

상기와 같은 분석결과를 중심으로 비정형 건축물 외피설계 및 시공에 있어 중점적으로 관리함이 필요한 사항을 도출하고, 데이터 비교결과의 신뢰성 및 활용성, 향후 연구방향 등을 도출하고자 비정형 건축의 설계 및 시공, 패널 제작에 전문적인 지식을 보유하고 있는 전문가를 대상으로 워크숍을 실시하였다.

워크숍은 연구대상 건축물을 설계하였던 설계자, 레이저스캐닝 전문가 2인, 비정형 건축물 설계 및 시공 경험이 있는 전문가 4인, 비정형 외피패널 제작전문가 3인으로 구성하였다. 워크숍에서 도출된 의견은 다음과 같다.

- (1) 비정형 외장설계 대비 시공품질 확보에 대한 문제점은 충분히 전달되었으나 해결방안 제시가 부족함
- (2) 연구프로세스는 다른 연구자들이 참조할 만한 가이드라인을 제시하고 있으나 연구결과에 있어서는 한 건물만을 대상으로 추출한 자료인 관계로 연구결과가 한정적이고 객관화하기 어려움
바, 향후 연구 대상 프로젝트 수를 증가분석함으로써 보다 신뢰할 수 있는 결과 도출이 필요함.
- (3) 비정형 건축외피의 정밀한 시공품질 확보를 위해서는 외장부재를 주 구조체에 고정시키기 위한 서브프레임도 함께 고려되어야 함.

Table 2는 워크숍 수행하는 과정에서 '5.1 데이터 중첩비교'와 '5.2 데이터 정량적 비교' 결과를 기반으로 비정형 건축물의 설계, 부재생산, 시공 시 최종적인 시공품질 확보를 위해 레이저 스캐닝 기술과 연계하여 중점적으로 확인하고 관리해야 할 사항으로 도출된 내용을 정리한 것이다.

Table 2. 비교결과 및 중점관리사항

비교부분	비교결과	중점관리사항
① 상부 전면부	설계데이터보다 작게 시공	· 건물의 중심점 정보 기준화
② 전체 후면부	평면부에서는 오차는 거의 없을 수 없음	· 곡면부재생산 시 설계 부재 정보 공유 및 확인 · 부재 생산 후 레이저 스캐닝 측정을 통한 곡률 값 확인
③ 상부 후면부	설계 데이터보다 크게 시공	· 외장패널 시공 시 레이저 스캐닝 측정 및 기준 설정
④ 측면부 높이	측면부는 모양과 크기 불일치	· 장호부위와의 접합부분 고려 (3D 상세 모델링)

6. 결 론

본 연구에서는 3D 레이저 스캐닝을 활용하여 비정형 건축물의 시공오차를 확인함으로써 비정형 건축 프로젝트에서 기하학적인 형태를 가진 패널분석을 통한 시공오차 검측을 목표로 연구를 진행하였다.

연구의 진행과정에서 3D BIM 도구인 DP와 역공학 기법을 활용해 As-Planned와 3D 레이저 스캐닝 장비를 활용한 As-Built 데이터를 추출하였으며 데이

터구축과정에서의 프로세스를 정립하였다.

구축된 As-Planned 데이터와 As-Built 데이터를 기반으로 중첩비교와 스프레드 시트를 이용한 정량적 비교분석을 실시하였다. 중첩비교방식에서는 다섯 가지의 중점관리 항목을 도출하였으며 기존의 중첩비교 관련 연구에서는 확인하지 못했던 건축물의 속성정보를 스프레드시트로 추출하여 정량적인 비교가 함께 이루어지도록 연구를 진행하였다.

현재까지 국내에 건축 완료된 비정형 건축물이 거의 없는 관계로 본 연구를 위한 분석 대상 프로젝트 선정에 한계성을 가지고 있었다. 이러한 점을 보완하기 위해 Mock-up 부재 제작을 통한 데이터 셋 구축 연구를 수행하고 있으며 본 연구에서 제시한 비정형 건축물의 시공 중점관리사항의 객관화를 지원할 수 있도록 현재 국내에서 건축되고 있는 비정형 프로젝트 데이터를 확보하여 지속적으로 연구를 수행하고 있다. 또한 본 연구와 연계하여 레이저 스캐닝 기술로 얻어진 점군 데이터와 As-Planned 데이터의 스프레드시트 기반 비교를 통해 비정형 시공품질 검증 체크리스트를 만드는 연구를 진행 중이다.

참고문헌

1. 권순욱, "레이저 스캐닝 기술과 BIM 기술을 이용한 현장정보 획득기술의 건설산업 적용," 건축학회지, 2009. 4.
2. 권순호, "비정형건축물 외장패널의 As-Built 품질정보를 위한 중점관리요소 개발에 관한 연구," 석사학위논문, 서울과학기술대학교, 2011. 2.
3. 권혁도 등, "건설 시공현장의 3D 기반생태역 모델링을 위한 Sensor 기술 분석과 향후 현장 적용모델 연구," 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2007. 11.
4. 김선우, "패널제작방법에 따른 비정형 건축물 패널의 분류와 최적화 방법," 석사학위 논문, 연세대학교, 2009.
5. 김진수, "지상레이저 스캐닝 기법에 의한 도로선형 정보 추출 시스템 개발," 한국지리정보학회지, 제10권, 제4호, pp. 97-110, 2007.
6. 김창완, "효율적인 건설공사와 유지관리를 위한 건설현장에서의 3차원 공간정보 획득," 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2004.
7. 문상덕, "비정형 건축물의 施工管理를 위한 Laser Scanning 기술의 실험적 적용," 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2009. 11.
8. 이강, "비정형 건축의 시공 문제점들," 대한건축학회지 pp. 63-65, 2008. 4.
9. 오재홍, "Laser Scanning Data를 이용한 建物外廓線 抽出에 關한 研究," 석사학위논문, 서울대학교, 2001.

10. 탑콘, 서울과학기술대학교 초청강연, 2010.
11. 최원호, "3차원 스캐닝 시스템을 이용한 디지털 문화재 구축연구," 석사학위논문, 상명대학교, 2003.
12. 한화택, 따라하기@리버스 엔지니어링, 설비저널, 제 38권, 제2호, pp. 43-44, 2009. 2.
13. Gonzalez-Pulido, "Managing the Construction of the Museo Guggenheim Bilbao (B)," Center for Design Informatics, Harvard Design School, 2002.
14. Shih, N.-J. and Huang, S.-T., "3D Scan Information Management System for Construction Management," *Proc. ASME Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 132, No. 2, February 2006, pp. 134-142.
15. Su, Y. Y., Hashash, Y. M. A. and Liu, L. Y., "Integration of Construction As-Built Data via Laser Scanning with Geotechnical Monitoring of Urban Excavation," *Proc. ASME Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 132, No. 12, December 2006, pp. 1234-1241.



권 순 호

2009년 2월 목원대학교 건축공학과 졸업
 2011년 2월 서울과학기술대학교 산업
 대학원 건축공학과 졸업
 관심분야: BIM, Facade Engineering,
 BIL



심 현 우

2009년 2월 서울과학기술대 졸업
 2010년 2월 서울과학기술대학교 산업
 대학원 건축공학과 석사과정
 관심분야: 건설IT, BIM, 비정형



장 현 승

1997년 2월 경원대학교 건축공학과 졸업
 1999년 5월 Arizona State University,
 건설관리 공학석사
 2002년 12월 Univ. of Wisconsin-
 Madison, 건설관리 공학박사
 2010년 7월~ 서울과학기술대학교 건축
 공학과 조교수
 관심분야: 건설사업관리, 해외건설,
 기업경영전략, SCM



옥 종 호

1984년 2월 서울시립대학교 건축학부,
 공학사
 1994년 7월 Univ. of Nebraska-Lincoln,
 공학석사
 1998년 5월 Univ. of Colorado-Boulder,
 공학박사
 2004년 2월~현재 서울과학기술대학교
 건축공학과, 교수
 관심분야: 민자사업 리스크관리, 초고
 층/비정형 Facade Engineering,
 3D Laser Scanning, BIM