

20CTAP-
C141186-
03

s
U
A
V
와
3
D
s
c
a
n
을
연
동
한
B
I
M
기
반
다
목
적
건
설
폐
기
물
관
리
및
자
원
순
환
시
스
템
개
발
최
종
보
고
서
2020
국
토
교
통
부
국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호()

국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

R&D / 20CTAP-C141186-03

sUAV와 3D scan을 연동한 BIM기반 다목적 건설폐기물 관리 및 자원순환 시스템 개발 최종보고서

2021. 1. 19.

주관연구기관 / 강원대학교 삼척산학협력단
공동연구기관 / 주식회사 에프엠웍스

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

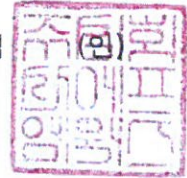
‘sUAV와 3D scan을 연동한 BIM기반 다목적 건설폐기물 관리 및 자원순환 시스템 개발’(연구개발 기간 : 2018. 04. ~ 2020. 12.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2021. 01. 19

주관연구기관명 : 강원대학교 삼척산학협력단 (대표자) 김병식



공동연구기관명 : 주식회사 에프엠웍스 (대표자) 류정림



주관연구기관책임자: 박원준

공동연구기관책임자: 류정림

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	20CTAP-C1411 86-03	해당 단계 연구 기간	2018.04.17.~2 020.12.31.	단계구분	3 / 3
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	국토교통기술촉진연구사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	sUAV와 3D scan을 연동한 BIM기반 다목적 건설폐기물 관리 및 자원순환 시스템 개발			
연구책임자	박원준	해당단계 참여연구원 수	총: 10명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:200,000천원 민간: 75,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:275,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 10명 내부: 명 외부: 명	총 연구비	정부:600,000천원 민간:210,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:810,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	강원대학교 삼척산학협력단			참여기업명 주식회사 에프엠웍스	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반
-------------------------	----

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	노후건축물의 건축폐기물 예측 및 자원순환에 새로운 형태의 기술 개념(3D Scan, BIM, GIS)을 적용하여 실제 현장구현을 통하여 기술의 실용화 가능성을 검증하는 것을 목표로 함. 기존의 이론적, 통계적 및 직간접적 추계방식에 기반한 폐기물 예측이 아닌 3D Scan+BIM역설계 기반의 폐기물 예측과 GIS를 접목한 최적자원순환 시스템을 구축하고 이를 검증하고 실용화 기술로 완성하는 것을 목표로 함. 1. sUAV와 3D scan을 연동한 BIM 역설계와 건축폐기물 자동화 예측모듈기술 1-1. BIM 미적용 노후건축물 대상 sUAV와 3D scan을 연동한 BIM 역설계 기술 1-2. BIM 미적용 노후건축물 대상 BIM 연동모듈과 폐기물 특화 디지털 DB구축 1-3. BIM 역설계 기술 및 노후건축물 유형별 확대적용기술 개발 2. 다목적(해체, 수선, 재난, 긴급, 사전예측) 활용기술 및 최적자원순환 시스템 2-1. 목적별 건축폐기물 예측(DB구축: 발생원단위, 지구, 지역단위) 2-2. GIS를 활용한 최적자원순환 시뮬레이션				
연구개발성과	1. Pilot test-bed 검증을 통하여 경제적, 환경적 효과를 확인. 2. 최종성과물: 3차원 역설계 및 발생량 예측 System, 다목적 최적자원순환 시뮬레이션 모델 (기술실시계약 1, 현장적용 1, 특허 3, SCI급 논문 3, 프로그램 3) (System-1) 노후건축물 유형별 건축폐기물 정밀예측 및 다목적 활용 (System-2) 다목적(해체, 수선, 재난, 긴급) 예측관리시스템은 없는 상황이며, 노후건축물의 유형과 분포를 고려할 때, 개발기술의 전국적인 활용가능성이 큼				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	본 연구의 세부연구목표 중에서 3D Scan/BIM/GIS기반 건축폐기물 평가모듈은 지진, 기상이변과 같은 대형 재난뿐만 아니라 긴급해체, 도시재건축, 재개발과정 등의 다양한 상황에서 발생하는 건설폐기물의 성상과 발생량을 예측하여 최적처리계획, 처리비용, 환경영향, 해체노동자 유해성, 자원재활용성 평가에 충분히 활용될 수 있음. 1. sUAV / 3D Scanning 기반의 BIM 역설계기법은 디지털화된 도면이 존재하지 않는 20년 이상의 노후 건축물의 역설계 및 modeling에 활용하여 국가 노후건축물 DB확보에 기여할 것임. 2. (실내 스캐닝 및 모델링 기반) 생활계 폐기물 평가모듈은 평상시 일반 가정에서 발생할 수 있는 폐기물의 산정에 새로운 방법론을 제공함으로써, 구조체 및 목재류 중심의 기존 해체범위를 초월함.				
국문핵심어 (5개 이내)	sUAV	3D Scan	BIM	건축폐기물	다목적 자원순환
영문핵심어 (5개 이내)	small Unmanned Air Vehicle	3D Scan	BIM	Building waste	Multi-purpose re source circulation

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	5
1-1 연구개발의 필요성	5
1-2 연구개발 대상의 국내외 현황	10
1-3 연구개발의 중요성	14
1-4 선행연구내용 및 결과	16
1-5 연구개발의 목표 및 내용	21
2. 연구수행내용 및 성과	26
2-1 연구개발 추진전략 방법	26
2-2 추진일정	27
2-3 연구개발성과	28
2-4 연구결과	30
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	65
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	69

<별첨> 주관연구기관의 자체 평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발의 필요성

가. 뉴딜정책과 건설폐기물 처리의 중요성

- ✓ **(폐기물 발생량 증가와 향후 해체산업)** 국내의 향후 건설 활동은 노후 주택의 증가와 택지의 부족으로 인한 기존 건축물의 해체 산업의 고성장과 함께 건설폐기물 발생량의 급격한 증가를 가져올 것으로 예상됨. 특히 급속한 경제성장으로 1970~80년대에 지어진 건축물은 대도시 건축물의 약 40%를 차지하고 노후화되었을 뿐만 아니라 안전상의 문제로 리모델링 및 철거, 재건축이 시급한 실정임.
- ✓ 과거 주거안정을 위한 주택의 대량공급이 주요 이슈였다면 향후 주택시장은 재건축, 재개발 등 노후 주택의 정비가 주요한 사회적 이슈로 부각되고 있음.
- ✓ 특히 아파트의 경우 재건축 아파트는 과거 주택가격 상승이 주요 이슈의 대상이었으나 1980년대 이후 집중적으로 공급된 아파트의 노후화 진행으로 대규모 도심 재정비 이슈가 대두되고 있음.
- ✓ 또한, 농어촌 지역의 소규모 주택의 멸실 주택현황은 해마다 증가하는 추세이며, 사용연수가 30년 이상 된 노후기반 시설물(건축물제외)을 포함하면 향후 건설폐기물은 지속적으로 증가할 것이며, 유지관리 또는 해체/재활용에 관한 사회적 요구가 심각하게 대두되고 있음.
- ✓ 사용 연수가 30년 이상 된 노후 기반시설물(건축물 제외)은 2008년 말 기준 8.4%에서 2014년 3월 9.5%로 증가. 2024년에 준공 후 30년 경과 1, 2종 기반 시설물 수는 2014년 대비 2배 이상 급증할 전망이며, 동 시설물의 비중 역시 21.5%에 이룸.



그림 1. 전국 멸실주택 현황(2010~2014) (자료: 통계청)

- ✓ **(폐기물발생 예측과 대응)** 천연자원의 고갈로 인한 자원 재활용의 중요성은 증대되고 있으며, 건축물의 리모델링 및 철거, 재건축은 필수적으로 건설폐기물의 발생을 동반하기 때문에 건설폐기물의 재활용을 위해서 그 성장과, 발생량을 파악하는 것은 매우 중요함.
- ✓ **(다목적관리)** 또한, 사용연한으로 인한 해체가 아닌 리모델링(수선), 재난해체 시, 긴급해체 공사 시 특정 지역, 특정 건축물(또는 단지), 특정 기간(긴급, 재난)에 대응할 건축폐기물 예측기법 및 발생된 폐기물의 지역 내 최적처리 및 자원순환에 대한 기술이 향후 중요하게 요구됨.



그림 2. 준공 후 30년 이상 아파트 증가율(2013~2020)
(자료: KB경영연구소, 2013)

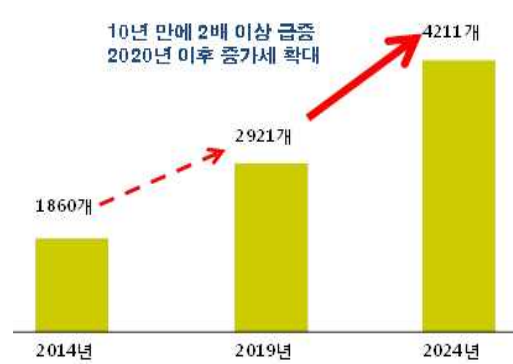


그림 3. 30년 이상 노후 기반시설물 변화추이
(자료: 한국시설안전공단)

- ✓ 폐기물은 발생 유형에 따라 건설폐기물, 생활계폐기물의 복합적인 형태로 존재함. 예를 들어 수해와 화재가 발생하면 생활계폐기물 위주로 존재하며 지진이 발생하면 건설폐기물과 생활계폐기물이 복합적으로 존재할 수 있음. 일반적인 해체, 수선, 재개발/재건축에 따라서도 발생성상이 복합적으로 존재함.
- ✓ 폐기물의 일반적인 처리절차는 총 4단계(①발생량 예측, ②수집, 운반계획 수립, ③임시적환장 운영계획 수립, ④최종처리계획)이며 그 핵심은 정확한 발생량의 예측에 있음.
- ✓ 한편, 상기에서 건축물 기반 폐기물은 일부 연구를 통하여 발생원단위(건설기술연구원 외 7개 원단위 선행연구)로서 예측이 가능함. 하지만, 향후 건축폐기물 발생이 예상되는 대상 건축물의 범위(규모, 용도, 사용연한, 지역, 유형 등)에 비교하여, 과거 수행된 연구는 극히 일부 범위에 국한되었으며, 직접추계 또는 간접추계방식을 적용한 제한적 성격이 강하고 신뢰도(오차가 큼)가 매우 낮은 실정임.

나. 국내 건축폐기물 관리의 사회적 이슈

- ✓ 국내 폐기물 관리, 특히 건설폐기물 자원순환은 아래와 같이 Allbaro시스템으로 구축되어 있으나, 사회적이슈, 복합발생, 대량발생, 장기적 관점의 경제성 접근 측면에서 특정 건설폐기물(콘크리트, 금속, 목재, 아스콘)에 집중되어 있으며, 정상적인 해체과정에 기반하고 행정신고-해체-수집/운반-처리로 국한되었으며, 다양한 성상의 건축/생활폐기물에 대응하지 못하는 한계가 있음.
- ✓ Allbaro System의 경우 수출·입 폐기물의 통관관리를 위해 구축된 시스템으로 GIS기술에 관하여 폐기물처리업체의 위치정보와 경로분석, 폐기물 통계자료 등 기본적인 기능만 있을 뿐 폐기물 종류별·목적별 적정처리 및 자원순환 시뮬레이션에 관한 기능은 아직 없음.



그림 4. Allbaro 시스템

- ✓ **(폐기물과 사회이슈-1)** 건축물의 해체 및 철거, 건설현장에서 건설폐기물의 배출로 인한 소음 및 환경오염 문제, 매립지 선정에 따른 지역민원 등의 문제는 중요한 사회적 이슈지만 별다른 대책이 존재하지 않음. AEC(Architecture, Engineering, Construction)산업은 천연자원소비, 에너지소비 및 CO₂ 배출의 30~40%를 차지하고 AEC산업의 제품인 건축물은 용도와 구조에 따라 배출 특성이 다양하고 불특정하게 나타남.
- ✓ **(대량발생)** 현재 국내 건설폐기물의 발생량은 2000년 이전부터 증가추세를 보이고 2012년에 총 폐기물 발생량 382,009톤/일 중에서 186,629톤/일로 약 48.9%를 차지하고 있음. 현재 주택의 평균수명을 25년으로 가정하고 향후 건축물의 해체시장을 예측하면 2025년까지 연평균 21%의 고도성장을 지속할 것으로 예측됨.

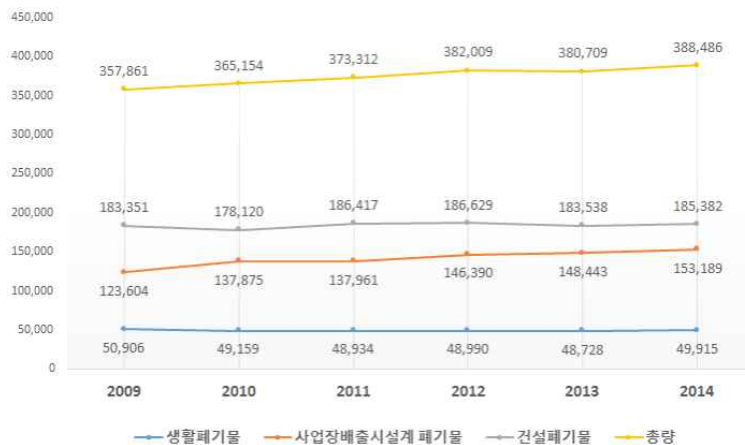


그림 5. 연도별 폐기물 발생 현황

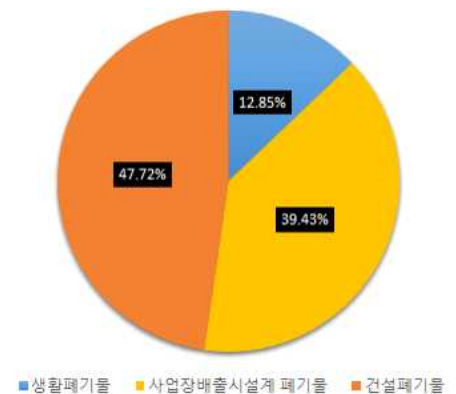


그림 6. 폐기물 종류별 구성비율

- ✓ **(경제적 접근의 필요)** 건축물의 리모델링 및 철거, 재건축은 건축물 생애주기 동안 건설폐기물이 가장 많이 발생하는 공정임. 국내 해체시장은 1990년도 초반부터 형성되어 현재 1조원 규모까지 급증하였고 현재에는 해체대상물이 고층화, 대형화되어 향후 더욱 증가할 것으로 예상되며 그에 따른 건설폐기물도 증가할 것으로 판단됨.

다. BIM/GIS-IT기술의 다각적 활용

- ✓ BIM/GIS 정보융합을 통한 공간정보의 구축은 다양한 시뮬레이션, 도시계획 및 국민안전 등으로 국가차원의 공간정보기술의 발전을 가져올 수 있다는 점에서 유용함.
- ✓ BIM이 적용된 건축물(2016년부터 맞춤형서비스대상 모든 건축물에 의무화)의 정밀한 폐기물 발생량 예측과는 반대로, 노후건축물은 그 형태나 용도 및 규모 등과 상관없이 폐기물 발생량 예측이 매우 어려움.
- ✓ 이제는 건설폐기물의 예측에도 기존의 건축물 정보 데이터나 현장조사를 통한 데이터를 통한 예측보다 BIM이나 3D scan 등 첨단 IT 융합 기술의 적용이 시급히 요구되고 있음.
- ✓ BIM의 경우 장점들이 구체화되고 있기 때문에 현재 세계 각국에서 다양한 접근을 통해 BIM의 적용에 힘쓰고 있으며 국내에도 2013년부터 BIM의 적용이 의무화됨. 또한 3D scan 기술을 적용하여 건축도면이 없는 노후건축물이나 재난재해 등에 의해 훼손된 건축물에 대하여 정보구축 및 유지관리가 가능함.
- ✓ 하지만, 건축물 관련 정보모델분야는 3D스캔기반 BIM에 대한 역설계기법이나 유지관리기술이 없

어 실제 현장에서 설계 및 시공의 어려움이 존재하며 3D스캔기반 BIM에 적합한 기술개발에 어려움이 따름. 따라서 현재 BIM 미적용 노후건축물을 대상으로 한 3D 디지털 DB구축 및 BIM 역설계를 연동한 건설폐기물의 예측기술이 요구되고 있음.

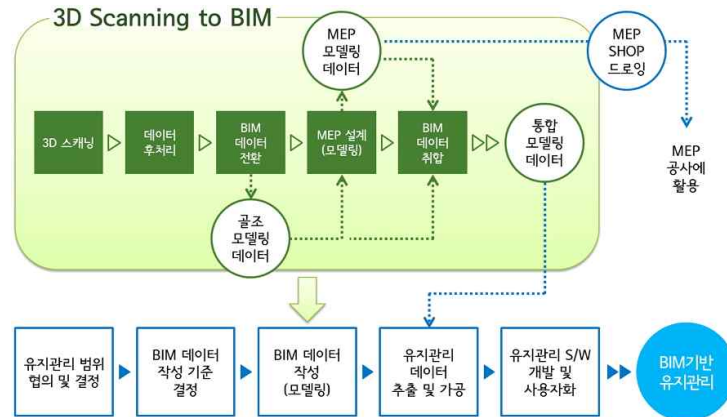


그림 7. 3D Scan과 BIM 연동 프로세스 (자료: All BIM Technologies)

라. 정확한 건설폐기물 발생량 예측 및 국가차원의 사전 DB구축의 필요성

- ✓ 자원 · 에너지 선순환하는 자원순환사회의 실현을 위하여 건설폐기물의 적정처리 및 최적 재활용이 필수적이며 이에 따라 건설폐기물의 정확한 예측이 필요
- ✓ 과거에 일부 연구를 통하여 건축물 면적에 따른 발생원단위로 건설폐기물의 예측이 가능하지만 이는 직접추계 또는 간접추계방식을 적용한 제한적 성격이 강하며, 건물의 규모, 용도, 사용연한, 지역, 유형 등 여러 가지 요인들 중 극히 일부 범위에 국한되었기에 모든 건축물에 적용하기엔 부적합함.
- ✓ 또한 건축물 사용연한으로 인한 해체가 아닌 리모델링, 재해재난 발생 시, 긴급해체공사 시 등 특정 상황에 대응할 건설폐기물의 예측기법이나 발생된 건설폐기물의 최적처리 및 자원순환에 대한 기술과 시스템의 구축이 시급하게 요구됨.

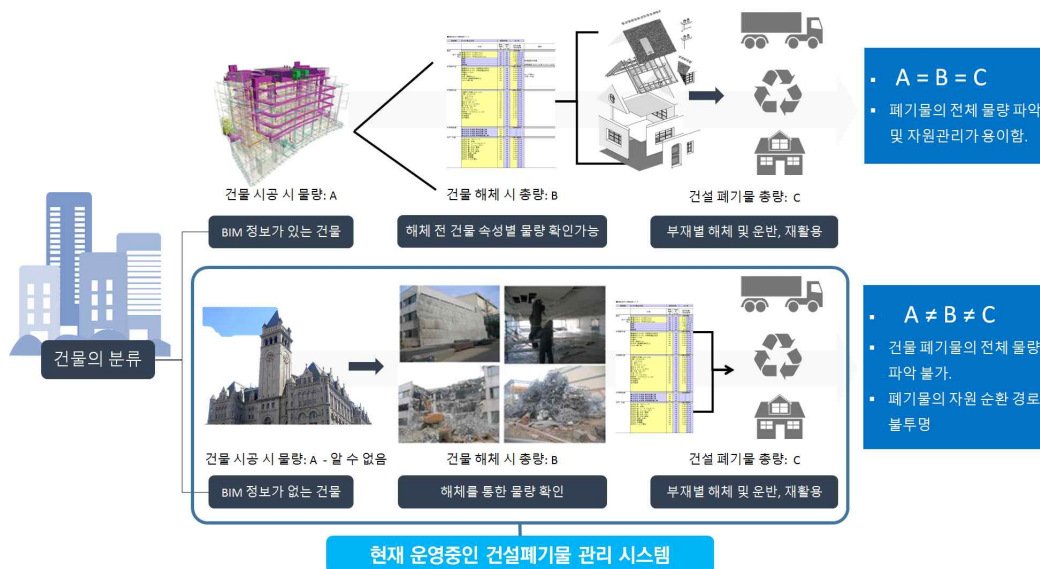


그림 8. 노후건축물 BIM역설계의 필요성

- 도면정보가 있는 RC조 주택 또는 공동주택에 적용시, 신축공사(아파트/플랜트)에 적용에 국한됨.
- 자재투입량=폐기물발생량+재자원화량+최종처분량의 단순화된 통계이며 주요 건설폐기물 분류에 초점
- 노후주택, 지구, 지역별 접근은 불가능함. 발생원단위도 RC조 주택 또는 공동주택에 제한적으로 사용
- 폐기물 발생량 이후의 최적 자원순환에 대한 고려는 없음(국내의 경우).

표 8. 국내의 건설폐기물 발생량 예측 프로그램 비교

구 분		Decon Ver.1				분별해체 간이 발생량 예측 프로그램				AIJ, LCA&LCW				BEAT-Bldg				GEM-21				집합주택 간이 LCA 평가프로그램				eco-MA			
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
평가 범위	시공 단계	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	X	X	○	○	○	○	○	○	○	○
	유지관리 단계	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	X	X	○	○	○	○	X	X	X	X
	폐기 단계	-	○	○	○	-	○	○	○	-	○	○	○	-	○	○	○	-	○	X	X	-	○	○	○	-	○	○	○
개요	형태, 연도	Application, 2010년				Application, 2004년				Microsoft Excel, 2005년				Application, 2007년				Application, 1998년				Microsoft Excel, 2003년				Algorithm, 2007년			
	개발 기관	경남과학기술대학교				한국건설기술연구원				일본건축학회				국토기술정책종합연구소				시미즈 건설				카지마 건설				동경 대학교			
	평가 대상	단독/공동주택				공동주택				모든건축물(단독주택은 별도프로그램으로 산정)				공동주택, 사무소				단독주택, 공동주택, 사무소, 학교, 상점, 호텔, 복합건물				공동주택				건축물, 도로			
	평가 목적	건축물 해체과정 건설폐기물 발생량 예측				건축물 해체과정 건설폐기물 발생량 예측				건축물 전과정 환경부하 평가				건설 리사이클링에 대응하는 설계지원시스템				건축물 전과정 환경부하 평가				건설 리사이클링에 대응하는 설계지원시스템				자재생산 폐기 및 재활용 건설 자재의 자원순환 시뮬레이션을 통한 의사결정 지원도구			
지표	폐기물 분류	주요 건축 자재를 22종의 폐기물로 분류				건폐법에 따른 분류, 5종				일본환경성 폐기물처리법에 따른 분류, 54종				주요 건축 자재를 47종의 폐기물로 분류				일반폐기물, 건설폐기물 (고형폐기물에 한함)				비산업 폐기물, 안정형 산업 폐기물, 관리형 산업 폐기물로 분류, 폐기물 종류는 11종				페콘크리트, 페아스팔트 콘크리트 2종			
	예측 근거	간접추계법-원단위 및 부재치수 입력				국가 기준인 발생원단위 사용				간접추계법-투입자재 손실률				간접추계법-투입자재 손실률				시미즈 건설의 내부 DB 사용으로 추측됨				간접추계법-투입자재 손실률				지역별 발생현황 DB 직접조사 및 Multi-Agent-System 적용			
	원단위	도면 분석을 통하여 회귀식 도출된 원단위 적용				분별해체와 일반해체 발생원단위 사용				복합원단위 적용 건축업협회 실태조사 원단위를 통한 예측 비교수치 제공				복합원단위 적용				시미즈 건설의 내부 DB 사용으로 추측됨.				복합원단위 적용				없음			
입력	입력 과정	건물개요>건축물규모입력(부 재치수)>				건물개요>연면적입력> 세부조건설정				건물개요>물량내역서입력> 세부조건설정				건물개요>물량내역서입력>수 선물, 회수율입력				건물개요>건축구조설비개요> 시공및해체조개요>LCC조건 설정				건물개요>물량내역서입력>복 합원단위 입력>운송거리 적재율 입력				평가지역 설정>건설관련 산업 정보 모델링> 사회적 복합요인 모델링			
	기본 정보	용도, 구조, 연면적, 부재치수				용도, 구조, 연면적, 기타 정보				용도, 구조, 연면적, 평가기간, 재건축, 신축보정				용도, 구조, 연면적, 공용연수				기준총정보, 평면형상, 마감별 공법 재료 선정				연면적(기준안/대책안), 내구수명 (기준안/대책안), 자재 회수율				대상 지역의 건설 관련 산업의 지리적 조건 및 관습을 실태조사			
	세부 정보					운송거리				자원순환조건(재사용율, 재활용율), 운송거리, 적재율				부분별 계획 갱신연수, 환산계수(Zeroeml), 손실률, 회수율				세부 공법 재료 선정, 폐기물 저장 기술 설정				제품사양별 단위면적당 투입물량, 수선물수선주기, 건설폐재 운송거리, 건설폐재 평균적재율				현행 규제 산업 유도 시책적용, 내구수명을 고려한 페콘크리트량 분석, 생산물의 시간적 변화분석			
결과	평가 영역	해체단계 CW				해체단계 CW				LCW, LCR, LCCO ₂ , LCE, LCC				LCW, LCCO ₂ , LCE				LCW, LCCO ₂ , LCE, COD				LCW, LCCO ₂ , LCE				공장 단위/ 공장 종류 단위/지역 규모단위의 폐기물 발생량, 처리비용 평가			
	평가 유형	그래프, 표, 자재목록				그래프, 표				그래프, 표, 자재목록				그래프, 표, 폐기물 군별목록				그래프, 표, 자재목록				그래프, 표, 폐기물 부위별 종류별목록				복합분석 결과 제공			
	저감 방안					분별해체 적용 따른 대안비교				자원순환기술 적용 따른 대안비교				4단계의 재자원화 시나리오 비교				6가지 폐기물 저감 기술 적용에 따른 폐기물 총량 저감				3단계의 재자원화 시나리오 비교				사용자 설정에 따른 저감 시나리오 예측 평가 (정책 평가)			

비고: A(자재투입량), B(폐기물 발생량), C(재자원화량), D(최종 처분량) 출처:국토교통과학기술진흥원, www.ntis.go.kr

1-2. 연구개발 대상의 국내외 현황

가. 건축폐기물 예측 및 관리

○ 국내 현황

- ✓ AEC산업의 3S(Safe, Sustainable, Smart) 발전을 위해서 시공 및 유지관리 단계와 관련되는 연구는 매우 활발한 편이지만 건축물의 해체단계 및 건설활동의 결과로 발생하는 폐기물과 관련된 연구는 매우 부족한 실정.
- ✓ 건축물 기반 폐기물은 일부 연구를 통하여 발생원단위(건설기술연구원 외 7개 원단위 선행연구)로서 예측이 가능함. 하지만, 향후 건축폐기물 발생이 예상되는 대상 건축물의 범위(규모, 용도, 사용연한, 지역, 유형 등)에 비교하여, 과거 수행된 연구는 극히 일부 범위에 국한되었으며, 직접추계 또는 간접추계방식을 적용한 제한적 성격이 강하고 신뢰도(오차가 큼)가 매우 낮은 실정임.
- ✓ 본 연구 관련 키워드를 설정(검색어: 건설폐기물*발생량예측, 건설폐기물*관리시스템)하여 특허정보넷 키프리스(<http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp>)를 참조해 조사한 결과, 총 34개와 492개의 관련 특허가 등록되어 있는 것으로 파악됨. 그 중 본 연구와 관련된 특허는 6개이며, 아래와 같음. 국내 건설폐기물 발생량 예측 및 건설폐기물 관리시스템을 주제로 특허 현황을 분석한 결과, 건설폐기물 종류에 따른 재활용 방법 및 이산화탄소 발생량 추정에 대한 내용이 대부분이었음.

표 9. 국내 특허동향 분석 결과

특허명칭	출원인	출원년
목적지향형 건축물 전생애 환경부하 평가시스템	한양대학교 산학협력단, 롯데건설 주식회사	2011
신축/해체공사시 발생하는 건설폐기물 발생량 예측 장치 및 방법	삼성물산 주식회사	2013
건설폐기물 발생량 데이터베이스(D/B) 구축을 통한 공정유별 건설폐기물 발생원단위 산출 장치 및 방법	삼성물산 주식회사	2014
GIS기반 폐기물 매립량 추정시스템	주식회사 정도유아이티	2014
친환경 건축을 위한 건설 가치공학 통합 관리 시스템(Value Engineering Management System for Green Building)	서울시립대학교 산학협력단	2014
온실가스 발생량 예측 시스템 및 그 방법	경북대학교 산학협력단	2014

○ 국외 현황

본 연구 관련 키워드를 설정(검색어: demolition construction waste management system)해 특허정보넷 키프리스에서 조사한 결과, 총 756개의 특허가 검색되었으며, 그 중 본 연구와 관련된 특허는 미국 및 PCT 1건, 중국 1건으로 미국 및 PCT의 특허는 건축물을 실시간으로 관리하기 위한 시스템 소프트웨어에 대한 내용으로 건물의 전반적인 관리를 목적으로 하고 있어, 건설폐기물에 대한 내용이 상세하게 다루어지지 않음. 중국의 특허는 BIM으로 설계한 건축물을 관리하는데 있어 재료별 구분을 통해 관리 및 제어 방법을 제시하고 있으며, 해체 후 재활용 하는 방법에 대한 내용은 포함되어 있지 않음. 2014년 특허의 경우 지능형 관리시스템을 이용해 건설폐기물의 재활용 방법을 제안하고 있으나, 건물에 대한 기본 정보 없이 해체단계 이후에 대한 언급만 다루고 있음. 2011년 특허는 공간정보를 기반으로 한 시스템으로 GIS를 활용한 폐기물 처리시스템에 대한 내용임.

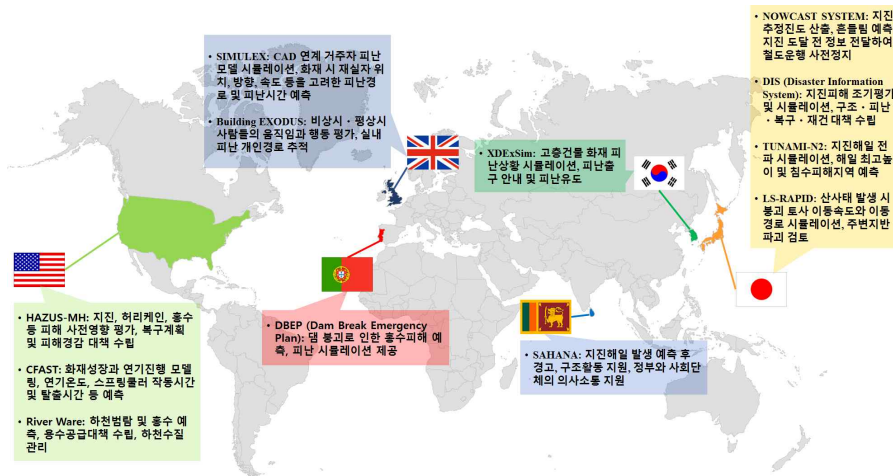


그림 9. 국가별 방재관련 프로그램 개발 현황



그림 10. 건설폐기물 관리시스템 관련 국가별, 연도별 특허 현황

나. BIM/GIS-IT기술의 다각적 활용

- ✓ 국내연구 및 기술개발의 현황은 문화재, 실내건축, 설비, 매립지, 교량 등을 대상으로 스캐닝 시스템개발, 정보화 모델링, 유지관리시스템에 집중되어있음.
- ✓ BIM은 기획, 설계, 시공, 엔지니어링뿐만 아니라 유지관리 및 해체까지의 건축물 전 생애주기 동안 적용되는 모든 정보를 생산하고 관리하는 기술이지만 해체단계 및 해체이후에 발생하는 건설폐기물과 관련된 연구는 전무한 실정임.
- ✓ 실내공간정보를 구축하는 방법으로 Laser Scanning을 활용하는 방법은 단순하게 3차원 객체를 실제 촬영한 사진을 매핑하는 수준으로 객체 스스로를 정의하지 못하기 때문에 BIM과의 연동 필요성이 대두되었고, 이를 기반으로 하는 BIM역설계 기법이 요구됨.
- ✓ BIM과 GIS 두 분야의 개념적, 기술적 통합은 세계적으로 중요한 이슈이며 미래의 개방형 BIM기반의 건설환경에 대비하기 위한 BIM과 GIS의 정보융합은 필수적이지만 BIM의 표준모델인 IFC와 GIS의 표준모델인 CityGML간의 차이점으로 한계가 있음.
- ✓ 건축과 도시의 통합관리를 위해서는 단일 건축물 및 시설물의 건설환경인 BIM기술과 도시단위의 환경인 GIS의 융합은 기술발전에 따른 필연적인 정보화 진화단계임. 이를 통해 도시계획, 시설물계획, 환경관리, 자원관리, 재난관리, 건축물 시공 및 유지관리, 물량산출 및 에너지 시뮬레이션 등이 가능함.

- ✓ BIM과 GIS간의 융합은 다양한 방법으로 시도되었지만 활용목적에 맞게 필요한 공통요소를 추출하여 융합하면 데이터의 경량화에 기여할 수 있으며 기존의 포맷을 활용하면서 새로운 객체의 정의와 시각화 레벨의 결정이 비교적 쉬울 것으로 판단됨.

○ 기술개발 성숙도

※본 연구개발을 통한 최종성과물은 3차원 이미지스캐닝과 BIM 역설계를 통한 노후건축물의 실내외 폐기물 원단위를 산출하고 이를 종합적으로 발생량을 예측해주는 System을 개발하고 GIS와 연동하여 지구(지역)단위 발생량을 추정하여 다목적 최적자원순환 시뮬레이션 모델(프로그램 및 어플리케이션)을 개발하는 것으로 정량적으로 기술실시계약 1건, 현장적용 1건, 특허 3, SCI급 논문 3, 프로그램 3건을 설정하였음.

※최종연구개발 성과물은 IT와 건축폐기물을 융합하여 사회이슈를 해결하는 측면이 강하고, 기존의 이론적 연구의 한계를 극복하고, 실용화 기반 공정(해체 및 폐기물 관리)개발에 기여할 수 있는 시스템개발의 성격이 뚜렷함.

표 10. 기술개발 성숙도

구분		연구 착수	연구 종료	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	✓	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	✓	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	☐	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

- 연구기간 측면: 3년 이내의 달성 가능한 성과목표라고 판단.
- 연구비 측면: 3D Scanner활용, BIM연동 역설계, GIS활용 시스템 구축, 프로그램개발, Pilot-test 실시를 고려하여 설정함.
- 연구자의 역량: 연구 특화분야이며, 건설폐기물 재활용에 관한 다수의 R&D수행
- 자료 수집의 한계: 건축물대장(연도, 구조, 규모)+BIM역설계 기술의 점목, 발생된 폐기물의 자원순환(지역-전국 단위의 업체정보DB구축-GIS)
- 현 단계의 기술수준의 한계: 폐기물대상 3D Scan+BIM역설계 기술의 부재, GIS정보 활용의 용도제한
- 기타 설정근거
 - ✓ 해체를 제외한 다목적(해체, 수선, 재난, 긴급) 예측관리시스템은 없는 상황이며, 노후건축물의 유형과 분포를 고려할 때, 개발기술의 전국적인 활용가능성이 큼, Pilot test-bed 검증을 통하여 경제적, 환경적 효과를 검증하고 사업화 가능성이 큼.

표 11. 주요 연구분야별 최종성과물 및 목표설정 근거

주요 연구분야	최종성과물	기술 성격	목표 설정 근거
노후건축물 3D Scan + BIM역설계 기술을 통한 폐기물 예측	① (논문) -기존: 문화재관리에 부분적 역설계적용 -제안: 실내외 건축물 스캐닝+BIM역설계	기술 제안	♦ 건설폐기물 활용과 관련한 다년간 연구수행 경험(R&D, SCI급 논문, 특허)보유
	② (프로그램, 특허) -기존: 3D스캐닝 + 모델링 -제안: 3D 스캐닝+BIM 연동 원단위 산출 및 폐기물 자동화예측 프로그램	S/W 개발	♦ BIM, GIS 전문 연구인력 확보 (박사후 연구원 3) ♦ 3D Scan-BIM관련 전문업체 공동연구참여
BIM-GIS를 활용한 자원순환 시스템 구축	① (프로그램, 특허, 논문) -기존: 사전신고 기반 자원순환 -제안: 다목적 활용, 지구/지역기반 최적 자원순환	S/W 개발	♦ 건설폐기물-GIS 관련 분야 전문 연구인력 보유 ♦ 재자원화기술에 관련한 연구수행 경험과 관련 특허보유
	② 재자원화 (논문) -범위: 종말처리단계(재활용/최종폐기) -경제성/LCCO ₂ 분석	기술 제안	
다목적 활용모델 및 실용화기술 개발	① 시스템 (프로그램, 특허) -기존: 단일목적(유지관리, 매립지관리) -제안: 일반해체, 긴급, 재난재해, 리모델링을 고려한 다목적 모델	기술 평가 S/W 개발	♦ 관련된 다수의 연구(R&D, SCI급 논문, 특허)경험 보유한 연구진 구축 ♦ 국내외 전문가에 의한 검증

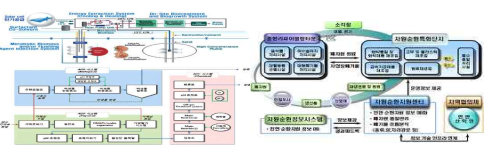
표 12. 최종성과물의 기술성숙도 및 설정근거

최종성과물	기술성숙도		설정근거
	유형	단계	
노후건축물 3D Scan + BIM역설계 기술을 통한 폐기물 예측	시스템	TRL5	3D Scan, BIM, GIS의 활용은 매우 폭넓으나, 건설(건축)분야에서 융합적으로 사용된 사례는 적음. 특히, 본 연구와 같이 건축폐기물에 초점을 둔 활용사례는 없음. 개별적 요소에 대한 이론적, 실용적 검증은 완료된 상태이며, 최종환경(실제 해체현장)과 유사한 상태에서 상기 3가지 요소가 통합되고 기본적인 성능을 시험하는 단계로 판단됨.
BIM-GIS를 활용한 자원순환 시스템 구축	시스템 장비/장치	TRL5	최종 운영 시스템/환경과의 차이점을 고려하여 실험실 규모의 테스트가 아닌 pilot-test bed에서 검증하는 단계임.
다목적 활용모델 및 실용화기술 개발	시스템	TRL6	- 시스템 프로토타입(해체 조건 인식, 3D scan+BIM 연동 자동 역설계, 폐기물량 예측, 지구/지역 특성을 반영한 GIS기반 최적 자원순환)을 최종적으로 구축하고 최종 개발 기술이 실제 해체현장에서 구현 될 수 있도록 발전시키는 단계임. - 적합한 신뢰도를 갖추었는지를 수요자 또는 고객의 실제사용 환경과 유사한 환경에서 검증(3차년도) - 해당 시스템에 대한 특허 출현이 이루어 짐.

1-3. 연구개발의 중요성

- 기존 건축물의 해체를 수반하는 건설 활동이 증가함에 따라 건설폐기물 발생량의 급격한 증가를 가져올 것으로 예상됨. 산업폐기물 종류별 자원순환시스템은 거시적인 관점에서 존재하고 있으나, 건축폐기물에 특화된 건축물 유형별, 지역별, 발생상황 등을 고려한 폐기물 예측 및 자원순환 시스템은 없는 실정임.
- 현재 별도의 건축(생활)폐기물 발생량 예측방법이 부재하기 때문에 유사한 건축연한, 규모 및 용도로 분류되는 건축폐기물 종류별 원단위, 단위부피당 무게, 폐기물 발생면적 등을 참고하여 예측하는 실정
- 기존의 이론적, 통계적 및 직간접적 추계방식에 기반한 폐기물 예측이 아닌 3D Scan+BIM역설계 기반의 폐기물 예측과 GIS를 접목한 최적자원순환 시스템을 구축하고 이를 검증하고 실용화 기술로 완성하는 것은 향후 매우 중요하게 요구됨.
- 국가 정책과 일맥상통함과 동시에, 노후건축물에 대한 3D 기반 디지털 DB구축을 통한 중장기적인 노후건축물에서 발생하는 폐기물관리의 사회적 요구가 대두됨.
- 국제 건설시장의 급격한 변화와 건축물 관리 패러다임의 변화에 대응하기 위하여 3D Scanning/BIM/GIS, IT 기반의 첨단 기술과 융합하고 다목적 건축폐기물 예측 및 순환기술을 개발하여 사회이슈를 해결하고 친환경 건설산업 확산에 기여할 수 있음

표 13. 중점기술의 융합으로 인한 기대효과

Hi-PASS 20 중점기술명	개념	'12 수준	기대효과
		'18 목표	
오염물질 제어 및 처리기술 NT+BT+IT	✓ 토양, 대기, 수자원내 위해성 저감을 위한 집진·정화 기술 및 오염 예방·대응·복원 기술	73.9% (최고수준: 미국)	
		80%	
유용 폐자원 재활용기술 NT+BT	✓ 고부가가치 유용자원을 재활용하여 자원 순환를 제고 및 국가자원 확보에 기여하는 기술	84.1% (최고수준: 일본)	✓ 폐기물 배출 최소화 및 폐자원 활용 공정개발로 제한된 원자재 절약 ✓ 자원순환촉진·적정처리를 통한 지역단위 ✓ 자원순환체계 구축
		90%	

- ✓ (국가정책) 과학기술기본계획과 중점융합기술에 건설폐기물 처리/재활용 요구: 오염물질 제어 및 처리기술, 유용폐자원 재활용기술의 중요성 부각.
- ✓ (국가정책) ‘국민안전 종합대책, 2013’ : 행복, 삶의 질과 안전에 대한 국민적 관심이 향상되고 있으며 IT융합의 확산으로 타 산업과의 혁신과 생산성을 제고하고 복잡해지는 사회 현안이슈를 해결할 수 있는 미래 기술 확보가 요구됨.
- ✓ (국가정책) 국토교통부의 제2차 건축정책기본계획 추진방향에서 건축물의 급속한 노후화로 도시안전 문제를 우려함. 본 과제는 건축물 리뉴얼 및 재건축 촉진 활성화에 기여함.
- ✓ (가치창출) 글로벌 건설시장은 융합화, 극한화, 지능화로 발전하고 있는 첨단 IT기술과 건설산업의 융합으로 생산성 향상 및 새로운 시장 창출을 목표로 하고 있기 때문에 국내 건설분야 또한 IT기술

융합을 통한 시너지 및 고부가가치 창출 추진이 필요함.

- ✓ **(경쟁력강화)** 국제 건설시장의 급격한 변화와 건축물 관리 패러다임의 변화에 대응하기 위하여 BIM/GIS, IT 기반의 첨단 기술과 융합하고 한국형 건축물 관리 기술시장을 확보하고 나아가 해외 건설시장에서 기술 경쟁력 강화에 기여할 수 있음.
- ✓ **(R&D정책)** ‘2014 국토교통기술 연구개발사업 시행계획서’에서 국민이 행복한 공간세상을 창조하는데 목표를 두고 2020년까지 안전한 도시환경 조성을 위한 공간정보구축 및 도시기반시설물의 정보구축에 초점을 맞추고 있음.
- ✓ **(본 연구의 대응)** 효율적인 3D 스캔 및 BIM 적용을 위해서는 IT 기술과의 융합이 필수적이며, 이를 시설물 및 건축물 유지관리 분야가 아닌 폐기물발생 예측 및 최적자원순환에 접목시킨 통합관리시스템의 개발은 전무한 상태.
- ✓ **(융합연구)** 국제 건설시장의 급격한 변화와 건축물 관리 패러다임의 변화에 대응하기 위하여 3D Scanning/BIM/GIS, IT 기반의 첨단 기술과 융합하고 다목적 건축폐기물 예측 및 순환기술을 개발하여 사회이슈를 해결하고 친환경 건설산업 확산에 기여할 수 있음.
- ✓ **(해결방안)** ① BIM기반의 건설폐기물 통합 관리 방법, ② Laser Scanning 기술을 활용한 BIM 역설계 기법, ③ 건설폐기물의 도시단위 관리를 위한 BIM-GIS 연동 관리 기법, ④ 통합 건설폐기물 최적관리 시스템 개발임.

		Strength			Weakness		
내적 요소	외적 요소	다수연구경험	현장투입기술	IT연동 확대	DW정보부족	DW제도 취약	검증방법부재
	Opportunity	• 건설폐기물 발생유형에 따라 연구결과의 실제 현장 적용 방안 제시 • 연구결과의 선진기술을 국외 적극 반출 시도			• 연구책임자의 이전 연구에서 도출한 폐기물 평가 방법론 적극 활용 • 연구결과의 검증을 위한 전문가 패널 구성		
Threat	경제성논리	• 인명구조 후 폐기물관리를 위한 현장적용 시 투입시간, 인력, 비용 등 종합적으로 평가 • 연구의 종료 이후에도 개발된 시스템의 지속적 인 관리 및 타 시스템과 연동 방법 개발			• Post-Disaster단계의 관련 제도 분석 및 개선점 제언 • 평상시뿐만 아니라 재난상황에서 폐기물에 관한 정보를 꾸준히 제공		
	인명구조우선						
	향후 관리						

그림 11. SWOT 분석

1-4. 선행 연구 내용 및 결과

가. 선행연구 과제

○ 국내 현황

- ✓ NTIS(www.ntis.go.kr)에서 세부과제 중복성에 대한 검토를 건축(건설)폐기물, 3D Scan, BIM, GIS 등 키워드의 복수조합으로 실시한 결과, 건축물, 시설물의 측면에서는 중복성이 있으나, 문화재, 실내 건축, 설비, 매립지, 교량 등에 국한되었으며, 유지관리/정보구축이라는 측면에서 본 연구개발과제와 다름. 건축폐기물, 노후건축물, 자원순환 측면에서 볼 때, 관련 연구는 수행된 사례가 없는 것으로 나타남.
- ✓ 또한, 본 과제는 기존 건설폐기물 관련 연구에서 수행되지 않았던 노후건축물 유형별 다목적 상황별(해체, 수선, 재난, 긴급) 건축폐기물 예측과 발생폐기물의 최적 자원순환시스템을 3D Scan+BIM+GIS를 연동/융합하여 개발을 다루고 있기 때문에 이와 관련된 R&D과제 이력은 전무하여 본과제와의 중복성은 없음.
- ✓ 국내의 학술등재지에 게재된 건설폐기물 관련 논문을 분석한 결과, 건설폐기물의 발생량과 재활용을 주제로 한 논문이 비교적 많은 것으로 나타남. 발생량 연구는 대부분 공정별, 폐기물 종류별 원단위 발생량을 산정하였고 그 활용방안에 대하여 제시하였고, 재활용 연구의 선행연구에서는 현황 분석, 재활용의 개선방안 및 활성화에 대하여 제시한 연구들이 대부분임.
- ✓ 폐기물 발생량 예측관련 연구방법으로는 직접 건축물 해체현장 또는 처리현장에서 직접 측정하거나 조사하는 방법을 많이 사용되었으며, BIM이나 GIS를 활용한 건설폐기물의 발생량 예측 및 자원순환에 대한 연구들도 있었지만 콘크리트계 폐기물 중심이거나 석면과 같은 유해성 폐기물에 한정되었으며, DB 구축방법이나 시스템 개선 등에 대하여 기초적으로 다루었을 뿐 현장적용과 시물레이션에 관한 내용은 전무한 실정임.

표 14. 국내 유사 연구과제 분석

연구사업명	과제명	연도	비고
신진연구자지원	스캐너를 이용한 사면 지표조도 측정 기반의 세류간 토양침식 모형개발	2015	3D Scan, 토목
일반연구자지원	석재 표면의 인공 풍화에 의한 석조 문화재 재현과 복원	2012	3D Scan, 문화재
일반연구자지원	시-공간 행태지도 구현을 위한 모델 개발 및 적용	2012	3D Scan, GIS
이공학개인지초	단안 카메라가 장착된 소형 드론의 자율, 고정밀, 3차원 스캐닝 시스템 개발	2016	3D Scan
글로벌프론티어	착용형 실내공간 스캐너 및 자동 지도작성 기반 객체 지향적 실감환경 모델링 기술 개발	2016	3D Scan, GIS, 실내건축
이공학학술연구기반	교량 유지관리 자동화를 위한 As-is BIM 모델 생성 및 손상 정보 추출 스크립	2016	BIM, 시설물
로봇산업클러스터	영상기반 자율 주행형 터널 검사 로봇 시스템	2013	3D Scan, 시설물
신진연구자지원	3D 데이터를 활용한 문화재의 4차원 변위분석방법	2015	3D Scan, 문화재
R&D개발전프로젝트	3D객체 역설계 기반 MEP 설비 유지관리 시스템	2015	3D Scan, BIM, 설비
인문사회기초	건물 리모델링 프로젝트를 위한 건물정보모델링(BIM) 기반 디지털 실내디자인 응용기술에 관한 연구	2015	BIM, 리모델링
중견연구자지원	유지관리 단계의 3D/BIM 기반 통합 의사결정 및 정보관리 시스템 개발	2015	3D Scan, BIM
신진연구자지원	3D 스캔 데이터를 활용한 문화재의 4차원 변위분석방법 개발	2015	3D Scan, 문화재
일반연구자지원	국가 등록문화재로 지정된 근대건축물 내·외부 공간의 디지털 복원 연구 및 디지털 라이브러리 구축	2011	3D Scan, 문화재
신진연구자지원	GIS와 BIM을 이용한 지상과 지하의 정보 구축	2015	3D Scan, GIS, 시설물
차세대에코노메이션	3차원 기법을 이용한 매립지 실시간 관리시스템 개발	2011	3D Scan, 매립지
차세대에코노메이션	매립지 실시간 계측 및 계량분석 기술 개발	2012	3D Scan, 매립지
차세대에코노메이션	GIS기반 3D 매립정보 표출시스템 개발	2011	3D Scan, GIS, 매립지

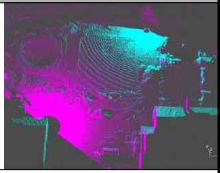
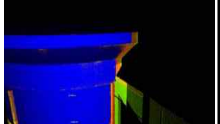
○ 국외 현황

- ✓ **(건설폐기물 발생량예측 관련)** 국외 건설폐기물 발생량에 관한 대표적인 연구들은 대부분이 건설 및 해체현장의 실측조사를 통해 이루어졌으며, 폐기물의 종류별 및 단계별로 건설폐기물의 단위면적당 발생량을 추정하였음.
- ✓ 공통점으로서, 기존 연구결과들은 특정 지역의 특정 건축물에 대한 데이터를 기반으로 하기에 다른 지역의 다른 기술을 사용하여 건설 또는 해체하는 건축물을 대상으로 사용하기엔 적합하지 않은 것으로 판단됨.
- ✓ **(3D 스캐닝 기술 관련)** 건축분야에서 정밀측량, 유지관리 및 역설계 등 분야에 활발히 적용되고 분야 또한 점차 확대되어가고 있음. 하지만, 본 연구의 방향인 3차원 BIM 모델의 형태로 자동변환하거나 작업현장을 스캔하여 현장 내 장애물 또는 자재나 장비의 종류를 자동 인식하는 것은 아직 어려운 것으로 나타남.

표 15. 건설폐기물 발생량 예측 관련 국외 연구현황 분석

연도	제목	저자	연구내용
2012	Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain	Sáez, P. V. 외	- 신축 주거건물의 건설폐기물 발생량 예측 - 몇 개 주택 프로젝트 분석을 통하여 기존의 C & D 폐기물 정량화 도구 개선 - 폐기물 유형 및 건설단계별로 폐기물 발생량 분석
2011	A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list	Llatas, C	- 설계단계에서 C & D 폐기물 예측모델 제시 20개 이상 주거용 건축물의 조사를 통하여 건설폐기물의 요소 분석 - 폐기물의 종류와 출처에 따라 폐기물 발생량 세부적 분석 - 건설폐기물의 발생량은 단위면적당 0.1388㎡으로 추정
2010	A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites	Katz Amnon	10개 주거용 건축물 건설현장을 모니터링한 조사결과를 기반으로 생성된 건설폐기물의 양을 예측 - 시공 단계별로 폐기물 발생량 및 종류에 대한 정보 수집 및 분석 - 건설 초기단계에는 소량의 폐기물이 발생하고 대부분 폐기물이 건설 프로젝트가 끝날 때 발생함 - 폐기물 발생량은 단위면적당 0.2㎡으로 추정
2009	A Spanish model for quantification and management of construction waste	Solis-Guzmán 외	- 건설폐기물 정량 모델 구축 2004년 건설된 100개의 주거 프로젝트에 대한 설문조사를 통하여 건설폐기물의 양을 추정 - 폐기물의 종류에 따른 발생량 분석을 통하여 토양과 혼합폐기물의 발생량 예측 및 처리비용 산정
2008	Composition and Characteristics of Construction Waste Generated by Residential Housing Project	Lau, H. H. 외	- 건축 프로젝트에서 건설폐기물의 발생량 추정 - 건설폐기물의 종류와 출처에 따른 발생량 분석

표 16. 국외 3D 스캐닝 관련 기술현황

적용분야	출처	내용	
토공사 진도관리	NITS (미국국립표준연구소)	- 토공사 작업 현장을 일정 시간 간격으로 레이저 스캔하여 데이터베이스에 저장하여 토공진도관리에 활용하는 방안에 대한 연구를 수행 - 스캐너를 통해 획득된 3차원 지형 정보는 인터넷을 통해 볼 수 있도록 VRML(Virtual Reality Markup Language: 3차원 형상 표시를 위한 인터넷 규약)의 형태로 저장하여 사용자에게 제공	
건축시공 품질관리 및 시공 진도관리	일본 와세다대학교	- 레이저 스캐너 등의 3차원 스캔 장비를 시공현장의 품질 관리에 사용하는데 관련한 연구를 진행 - 실내 내장공사 현장을 스캔하여 설계 시 작성된 BIM 모델과 비교하여 시공오차 확인 - 철골이나 커튼월과 같이 공장에서 미리 제작 반입되는 자재의 경우 인수 이전에 고정밀 스캐너를 이용해 제작 오차여부 확인 가능	
외벽 패널의 설계 및 품질관리	John W. Macdougall Co, Inc	납품 대상 건물의 시공현황을 레이저 스캐너를 이용하여 확인함으로써 원 설계안과 차이가 나는 부분을 확인하고 여기에 맞춰 패널 설계를 변경하여 납품하는 시스템	

✓ (BIM-GIS 관련) 국외 선행연구

표 17. BIM-GIS 관련 국외 연구현황 분석

연도	제목	저자	연구내용
2015	A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration	Niu, S. 외	- BIM과 GIS 융합 에너지 형성 데이터 시각화 시스템의 개발이 목적 - 웹 기반의 건물 에너지 시각화 시스템 개발을 위해 기준이 되는 데이터 정보의 차이 분석 - BIM 및 GIS 기술을 통합하기 위한 데이터 변환 및 시각화 기법에 관한 문제 파악
2014	From BIM to Geo-analysis: View Coverage and Shadow Analysis by BIM/GIS Integration	Rafiee, A. 외	- BIM과 GIS 통합 데이터의 공간계획에 대한 공간 자료가치를 입증하는 것이 목적 - BIM 모델에 지리 정보가 포함된 벡터 그래픽 모델로 변환 - GIS 기능의 그림자 분석결과를 자체 개발한 프로세스를 통해 자동화 적용, BIM과 GIS의 공간 데이터 가치를 입증
2014	Merging BIM and GIS using ontologies application to urban facility management in ACTIVE3D	Miganrd, C. 외	- 지리정보 시스템과 BIM 사이의 이질성을 감소하는 것이 목적 - 시설 관리 ACTIVE3D에 제공된 플랫폼 확장을 위해서 BIM과 GIS의 이질성을 분석 - 해결방안으로 BIM의 의미를 확장시킨 도시 정보 모델화 - 건설공급을 효과적으로 운용하기 위해 BIM과 GIS를 통해 공급현황을 추적
2013	Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management	Javier Irizarry 외	- 물질의 전달을 보장하기 위해 GIS는 넓은 범위의 공간분석 지원 - BIM을 이용하여 시각정보를 제공하는 통합 시스템 개발
2010	Integrating BIM and GIS for 3D city modelling: The case of IFC and CityGML	Mohamed Mekawy	- IFC와 CityGML의 양방향 변환을 위한 통합건물모델을 통해 공간 정보 전송을 용이하게 만들고 통합 플랫폼을 공식화 - 데이터베이스 개발을 위한 테스트와 검증을 진행
2008	Using Open Web Services for urban data management: A testbed resulting from an OGC initiative for offering standard CAD/GIS/BIM services	A. Lapiere 외	- IFC와 WFS의 표준을 활용한 건물정보를 제공하고 웹 서비스를 설명 - CAD/GIS/BIM을 이용하여 얻은 정보들을 OGC 웹서비스에서 정보 표시에 대한 유용성 검증

- ✓ 건물 단위의 세부 정보를 표현하는 BIM과 국토 및 지구단위의 지리 정보를 가지는 GIS를 통합하면 지리 공간을 기반으로 하는 지역 및 도시단위의 정보를 효과적으로 관리하고 분석할 수 있으며 또한 건물정보와 지리정보가 수준별로 융합하여 새로운 위치기반 융복합 서비스를 만들 수 있기 때문에 관련 선행연구는 주로 두 가지 기술의 융합에 대한 연구가 활발함.
- ✓ 하지만 건축물(또는 시설물)을 대상으로 수행된 연구는 도시개발, 유지관리 측면에 국한되었으며, 노후 건설물에 대한 접근은 거의 없는 실정임.
- ✓ (GIS 융합관련) GIS 공간정보 구축 및 개발현황
- ✓ 국외의 경우 GIS 관련 공간정보 기술의 범위를 전 산업분야로 확대하고 있지만 대다수가 위치정보나 지도서비스 제공에 관한 내용으로 아직 본 연구의 방향인 폐기물의 다목적 최적자원순환 시스템 구축 및 활용과 유사한 선행연구는 전무한 실정임.

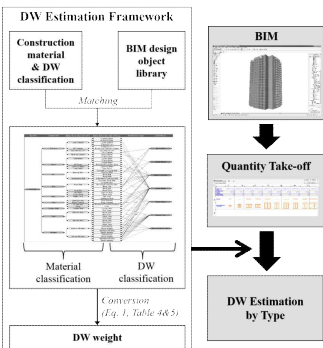
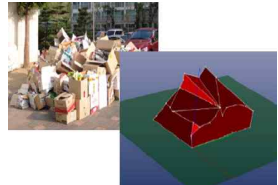
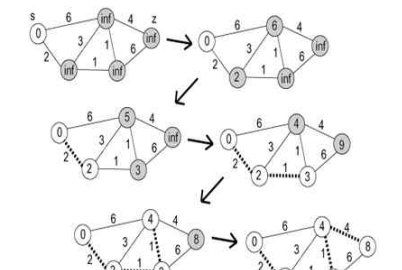
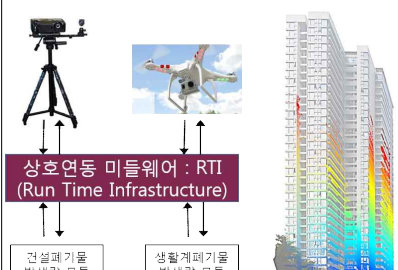
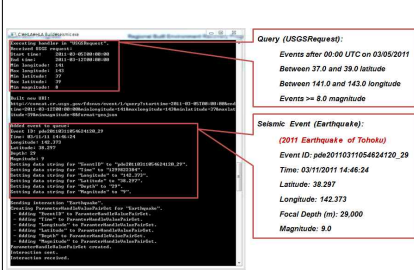
표 18. GIS 융합관련 국외 연구현황 분석

분야	국가/기업	내용
공간정보 활용을 위한 개방형 인프라 구축	일본	- GPS 신호가 없는 실내에서도 이용자의 도보수와 보폭을 이용해 위치를 측정하는 새로운 실내 측위방법을 공개 - 인텔리전트 기준점을 개발하여 보행자에게 이동방향과 거리, 주변 정보를 문자나 음성으로 안내
	미국	260만개의 지상, 위성, 선상 중력자료를 이용하여 지오이드 모델(USGG2003) 개발 - NAVD88 기준으로 처리된 미국 전역 총 14,000여개의 GPS/Leveling 자료를 이용하여 고정밀 GEOID03 모델 개발
	Google	각각 제공하는 공간정보서비스의 Open API를 제공하여 사용자들에게 공간정

	Microsoft Yahoo	보의 응용기반을 제공 • Open Street Map은 지도를 제작할 수 있는 도구를 제공하여 사용자에게 의한 세계지도 제작 프로젝트를 진행 • Foritrus One은 사용자들이 더욱 편하고 구체적인 정보가 담긴 지도를 만들 수 있는 포털 서비스인 GeoCommons를 제공
3차원 GIS 도시구축 기술	미국	• Virtual 3D-City 프로젝트: 카 내비게이션, 응급구조관리, 훈련/홍보 및 교육분야에 3차원 공간정보를 활용하여 도시설계를 진행 • ESC(Environmental Simulation Center): 도시계획이나 도시설계 과정에서 3차원 공간정보 기술을 적용하여 시민의 거주적합성 개선
	영국	• 효과적인 전자정부 실현을 위해 런던대학의 공간분석센터에서 추진중인 프로젝트를 통해 관광, 도시계획 및 대국민홍보 등의 콘텐츠를 적용 • 공간정보 기반의 3차원 예오빌 마을(3D-Yeovil Town)을 구축하고 웹 GIS 서비스를 통해 지역경제 활성화 및 고 건축물 홍보 등 지역 커뮤니티 홍보 및 관광 정보 제공
	핀란드	• 헬싱키 ‘Arena 2000 Real Cyber City’프로젝트에서 가상현실 도시를 구축하여 3차원 GIS 서비스를 통해 교통제어, 화재/사건/사고 감시 및 관광 분야 등에 활용
	Google Microsoft	• ‘Google Earth’, ‘Virtual Earth’ 등 자사의 플랫폼을 기반으로 3차원 지도 데이터를 제공하고 있으며, 3차원 구축영역을 급속히 확대
3차원 지도 데이터 서비스 기술	Google	• 미국항공우주국과 공동으로 진행하고 있는 world wind 프로그램을 통해 Digital Earth를 구현하여 교육 및 과학연구 분야에 시각적 효과 제공 • 다양한 주제의 레이어를 활용하여 Local은 물론 지구전체의 환경·자연·문화·사용자 정보를 레이어로 제공
	Microsoft Yahoo	• 3차원지도 서비스를 추진하여 2차원과 3차원이 통합된 형태의 글로벌 지도 서비스를 제공
	영국	• 폐쇄적인 라이선스 정책과 고가격의 데이터에 대응하여 위키피디아의 성공사례를 벤치마킹하고 시민들 스스로가 지도를 만드는 프로젝트를 시작
Mobile GIS 기술개발	미국	• 공공정보의 개방과 이용 활성화를 위해 공간정보 데이터 기반의 ‘Data.gov’를 2009년 5월부터 시작 • 국가안보 및 재난관리 정책에 가장 적극적으로 Mobile GIS 기술을 적용하여 목적에 따른 정보제공, 상황대응, 예방 및 시민의식 개선과 홍보, 온라인 기부와 재해복구 등 폭넓은 정책에 활용
	유럽	• 국가적인 LBS시장이 이미 활성화 되어있고 무선 인터넷 통신망사업자의 위치 추적 시스템이 계속 구축되고 있으며 위치정보 관련 시스템 구축 및 서비스 업체의 수가 급격하게 증가하고 있는 실정
	영국	• 국가 공식 웹 사이트 ‘Directgov’를 통해 교통정보 등 공간정보를 이용한 서비스를 실시간으로 제공하는 스마트폰 어플리케이션을 구축하고 서비스 실시
	일본	• GPS기반의 LBS를 제공하여 ‘NTT도코모’도 핵심 기술의 국산화를 통해 기상, 교통 등 다양한 응용서비스 제공
	호주	• 공간정보와 Mobile 기술을 통한 시민과의 정보공유와 전달체계를 목적으로 ‘Emergency 2.0 Australia’를 추진하여 각종 재난과 재해 및 위험상황에 대해 중앙정부의 범국가 차원의 공동 통합 운영 체계 마련
	핀란드	• 에너지 수송 부분에 공간정보 기반 Mobile GIS와 Network Information System을 이용하여 서비스 제공

나. 연구개발과제의 차별화 방안

- ✓ 본 과제는 기존 건설폐기물 관련 연구에서 수행되지 않았던 노후건축물 유형별 다목적 상황별(해체, 수선, 재난, 긴급) 건축폐기물 예측과 발생폐기물의 최적 자원순환시스템을 3D Scan+BIM+GIS를 연동/융합하여 개발을 다루고 있기 때문에 이와 관련된 R&D과제 이력은 전무하여 본과제와의 중복성은 없음.
- ✓ 연구대상 차별화: BIM정보가 있는 건축물을 우선적으로 하고 적용대상 확대
- ✓ 접근방법 차별화: 적산/BIM-직간접추계가 아닌 정보모델링 기술(GIS/BIM/3D Scan) 활용
- ✓ 해결과제 차별화: 폐기물 정밀예측을 포함하여 지역단위 장래 발생폐기물 예측/관리 범위
- ✓ 결과활용 차별화: 건설폐기물을 포함하여 실내외 폐기물 예측, 다목적 활용을 염두한 폐기물 예측 관리기법 제시, 지역 및 전국단위의 DB구축의 핵심 기술로서의 활용, 경제성 및 환경성을 고려한 시스템 기술 개발

BIM기반 건설폐기물 발생량 평가 Framework (선행과제-1차년도)	Laser Scanning기반 BIM 역설계 기법개발 (확대과제-2-3차년도)	Laser Scanning기반 생활계폐기물 발생량 평가	폐기물의 처리방법 및 환경영향 평가																																																						
- 건설분류체계와 BIM library 간의 매칭을 통한 한국형 건설폐기물 분류체계 확립 - 폐기물의 발생유형별 부피, 밀도 변화 정도 산정 모듈 (폐기물 성상에 따라 개발) <개발 Framework 예시> 	- 도면이 존재하지 않아서 BIM이 불가능한 노후건축물의 폐기물 정량화 - 국내 3D Scanning기반 BIM 적용을 위한 요구조건 설정 및 환경 구축 <BIM 역설계 예시>  <발생량 평가 예시> 	앞선 단계에서 구축된 폐기물(건설폐기물, 생활폐기물)의 성상별 총량 및 단위 중량을 기반으로 하는 처리비용, 환경영향, 인체유해성, 재활용성을 평가할 수 있는 모듈식을 개발 <모듈식 예시> <table><thead><tr><th></th><th>Coefficient</th><th>Standard error</th><th>t</th><th>Significance probability</th></tr></thead><tbody><tr><td>Corrugation ridge</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Intercept</td><td>6.282</td><td>0.064</td><td>97.941**</td><td>0.000</td></tr><tr><td>Age</td><td>-0.032</td><td>0.002</td><td>-17.162**</td><td>0.000</td></tr><tr><td>F = 294.549* (P-value = 0.000)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>R²(adjusted) = 0.605</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Corrugation bottom</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Intercept</td><td>6.124</td><td>0.060</td><td>102.331**</td><td>0.000</td></tr><tr><td>Age</td><td>-0.036</td><td>0.002</td><td>-14.788**</td><td>0.000</td></tr><tr><td>F = 218.694* (P-value = 0.000)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>R²(adjusted) = 0.531</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table> The result of linear regression analysis of thickness by age at the corrugation ridge and the corrugation bottom: $T_R = 6.282 - 0.032 \times n$ $T_B = 6.124 - 0.036 \times n$ T_R: thickness of slate at the corrugation ridge (mm) T_B: thickness of slate at the corrugation bottom (mm) n: Age of slate		Coefficient	Standard error	t	Significance probability	Corrugation ridge					Intercept	6.282	0.064	97.941**	0.000	Age	-0.032	0.002	-17.162**	0.000	F = 294.549* (P-value = 0.000)					R²(adjusted) = 0.605					Corrugation bottom					Intercept	6.124	0.060	102.331**	0.000	Age	-0.036	0.002	-14.788**	0.000	F = 218.694* (P-value = 0.000)					R²(adjusted) = 0.531				
	Coefficient	Standard error	t	Significance probability																																																					
Corrugation ridge																																																									
Intercept	6.282	0.064	97.941**	0.000																																																					
Age	-0.032	0.002	-17.162**	0.000																																																					
F = 294.549* (P-value = 0.000)																																																									
R²(adjusted) = 0.605																																																									
Corrugation bottom																																																									
Intercept	6.124	0.060	102.331**	0.000																																																					
Age	-0.036	0.002	-14.788**	0.000																																																					
F = 218.694* (P-value = 0.000)																																																									
R²(adjusted) = 0.531																																																									
GIS 기반 발생된 건축 폐기물의 최적자원순환 선정 시뮬레이션	Laser Scanning 기술 간 연동모듈 개발	BIM/GIS-Laser Scanning 통합연동모듈 개발																																																							
다목적 가정하에 발생된 건축폐기물의 총량 및 단위중량, 현장재활용 평가결과를 기반으로 픽업트럭의 필요량을 산정하고 최단거리뿐만 아니라 환경영향 및 인구밀도를 고려한 최적 경로 및 매립지 선정 시뮬레이션 모듈 <개발시뮬레이션의 예시> 	건축물의 내부 모델링을 위한 3D Scanner와 건축물의 외부 모델링을 위한 sUAV-3D Scanner간의 역설계 데이터 추출 및 상호 연동모듈 <연동모듈 개념도> 	- BIM과 GIS는 상이한 플랫폼 등의 문제로 통합이 어려움 - HLA기반 미들웨어 RTI의 활용을 통해 향후 타 시뮬레이터들과의 연결가능성으로 확장성을 기대 <통합연동모듈 예시> 																																																							

1-5 연구개발의 목표 및 내용

가. 연구개발의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	○ 노후건축물의 건축폐기물 예측 및 자원순환에 새로운 형태의 기술 개념(3D Scan, BIM, GIS)을 적용하여 실제 현장구현을 통하여 기술의 실용화 가능성을 검증하는 것을 목표로 함. ○ 기존의 이론적, 통계적 및 직간접적 추계방식에 기반한 폐기물 예측이 아닌 3D Scan+BIM 역설계 기반의 폐기물 예측과 GIS를 접목한 최적자원순환 시스템을 구축하고 이를 검증하고 실용화 기술로 완성하는 것을 목표로 함.
세부 목표	① BIM기반의 건설폐기물 통합 관리 방법, ② Laser Scanning 기술을 활용한 BIM 역설계 기법, ③ 건설폐기물의 도시단위 관리를 위한 BIM-GIS 연동 관리 기법, ④ 다목적 건설폐기물 최적관리 시스템 개발을 제안. ◆ 노후건축물 3D Scan + BIM역설계 기술을 통한 폐기물 예측 (SCI급 논문 1, 특허 1) -3D스캔 기반 BIM을 이용하여 3차원 정보모델구현 -건축물 사용연한, 용도, 구조, 규모 특성을 반영한 원단위 생성 ◆ 최적 자원순환기술 (SCI급 논문 1, 특허 2) -BIM-GIS를 활용한 발생된 폐기물의 최적 자원 시뮬레이션 구축 -자원순환범위: 사전 폐기물 예측-발생지역별 폐기물 최종처분까지의 최적 자원흐름 ◆ 다목적 최적 활용모델 구축 (SCI급 논문 1, 특허 1) -목적기반형 활용모델 개발 및 시스템화 -다목적: 일반해체, 긴급해체, 재난재해, 리모델링 등의 상황에 맞는 활용모델 개발 ◆ 검증 및 상용화 기반 마련 (기술이전 1, S/W개발 3, Pilot Test-bed 1회 이상) -실제 해체현장을 대상으로 검증 및 맞춤형 솔루션 제공(경제성 및 실용성 평가) -실내외 3D Scan+BIM역설계 기반: 원단위 작성, 연면적 200m²/1일 이상 구현 -GIS연동 지구(지역)단위 발생량 예측 및 최적자원순환: Program 및 Application

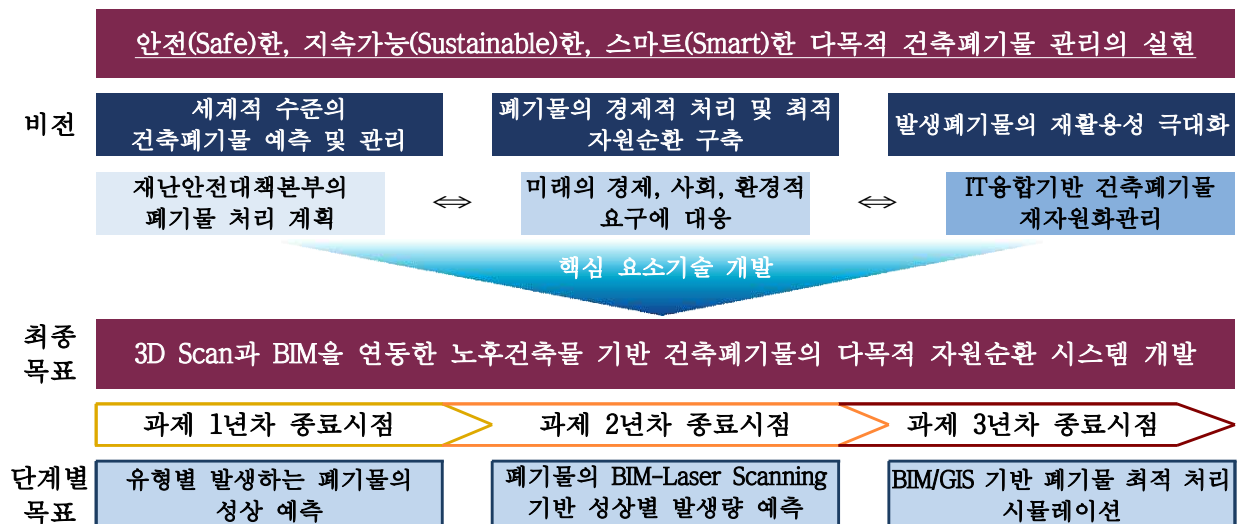


그림 12. 본 연구의 최종목표 및 비전

나. 연차별 연구개발 목표 및 내용

(1) 1차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(강원대학교): BIM library의 한국형 건설폐기물 분류체계 확립 및 BIM 역설계 최적화
- 공동연구기관(FMworks): sUAV와 3D scan을 통한 BIM 역설계 연동 모듈 개발

② 개발 내용 및 범위(그림을 이용하여 시스템 구성도, 구조 등을 구체적으로 표현)



그림 13. 1차년도 기관별 연구 내용 및 시스템

- 주관연구기관(강원대학교):

주요 연구활동	세부 연구내용
■ BIM library의 한국형 건설폐기물 분류체계 확립	- BIM library내에 구축된 건축 재료와 건설폐기물 분류체계 매칭으로 한국형 건설폐기물 분류체계 확립
■ BIM 역설계 최적화	- 공동연구기관에서 구축한 BIM 역설계 연동 모듈에서 건설폐기물 자동화 예측 프로그램 개발

- 공동연구기관(FMworks):

주요 연구활동	세부 연구내용
■ sUAV로 지구단위 스캔	- 노후 건축물 BIM 역설계를 위한 건축물 체적 및 연면적 등 외부 조건 library 구축
■ 건물내부 3D 스캔	- 노후 건축물의 세부 구조 및 재료 확인을 위한 건물 내부 3D 스캔 데이터 프레임 구축
■ BIM 역설계	- sUAV와 3D 스캔을 이용해 BIM으로 구축하기 위한 역설계 연동모듈 개발

(2) 2차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(강원대학교): BIM-GIS를 활용한 자원순환 시스템 구축
- 공동연구기관(FMworks): BIM-GIS 통합연동 모듈 개발

② 개발 내용 및 범위(그림을 이용하여 시스템 구성도, 구조 등을 구체적으로 표현)



그림 14. 2차년도 기관별 연구 내용 및 시스템

- 주관연구기관(강원대학교):

주요 연구활동	세부 연구내용
■ BIM기반 건설폐기물 발생량 평가 Framework 개발	- 건축물 단위의 BIM data에서 건설폐기물 성상별 발생량 평가에 필요한 핵심 요소 추출
■ GIS기반 발생된 건설폐기물의 최적자원순환 선정	- 건설폐기물의 처리방법에 따른 환경성 및 경제성 평가 - 건설폐기물 처리시 최저비용 및 최단거리이동 분석을 통해 자원순환경로 최적 프로세스 개발
■ Pilot-Test	- 공동연구기관에서 개발한 BIM-GIS를 활용한 자원순환 시스템에 Pilot Test 지역을 선정해 시뮬레이션

- 공동연구기관(FMworks):

주요 연구활동	세부 연구내용
■ BIM-GIS 통합연동 모듈 개발	- 1차년도 연구목표로 개발된 프로그램에서 구축된 BIM DB를 바탕으로 건설폐기물 산출 후 이를 GIS와 연동하는 모듈을 개발

(3) 3차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(강원대학교): 다목적 활용모델 개발과 현장적용 최적 프로세스 구축
- 공동연구기관(FMworks): 다목적 최적자원순환 시스템 개발

② 개발 내용 및 범위(그림을 이용하여 시스템 구성도, 구조 등을 구체적으로 표현)

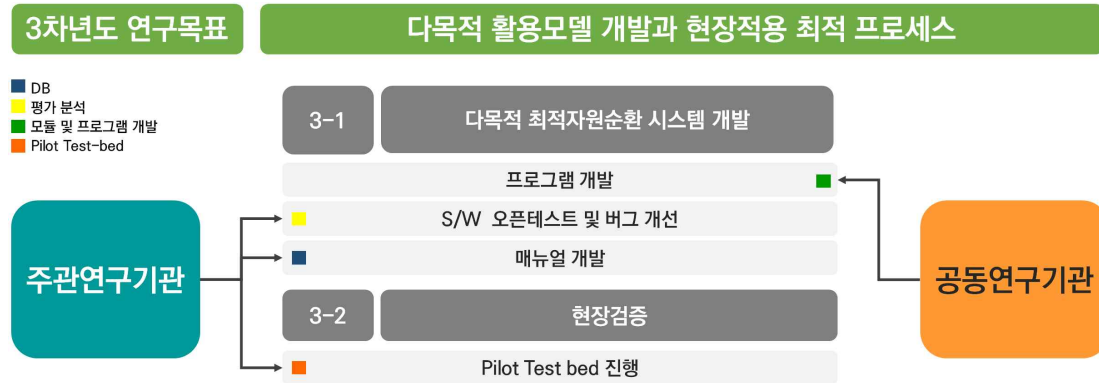


그림 15. 3차년도 기관별 연구 내용 및 시스템

- 주관연구기관(강원대학교):

주요 연구활동	세부 연구내용
■ 다목적 최적자원순환 시스템 개발	- S/W 오픈테스트를 통해 프로그램 시범 구동 및 버그개선과 프로그램 매뉴얼 개발
■ 현장검증	- Pilot Test bed 적용을 통한 프로그램

- 공동연구기관(FMworks):

주요 연구활동	세부 연구내용
■ 다목적 최적자원순환 시스템 개발	- 연차별 달성한 목표를 취합해 지구단위 내 BIM DB 구축 및 건설폐기물 산출 데이터로 최적화 후 GIS로 최적관리할 수 있는 다목적 최적자원순환 시스템 개발

다. 연구개발의 창의성 · 혁신성 등

- ✓ 연구대상 혁신성: BIM정보있는 건축물(1차년)을 기반으로 하고 2-3차년도에 대상확대
- ✓ 접근방법 혁신성: 적산/BIM-직간접추계가 아닌 정보모델링 기술(GIS/BIM/3D Scan) 활용
- ✓ 결과활용 혁신성: 건설폐기물을 포함하여 실내외 폐기물 예측
- ✓ 사회이슈해결의 창의성: 다목적 활용을 염두한 폐기물 예측관리기법 제시, 지역 및 전국단위의 DB 구축의 핵심 기술로서의 활용, 경제성 및 환경성을 고려한 시스템 기술 개발
- ✓ 이상의 창의성과 혁신성은 아래와 같은 3가지의 핵심연구성과로서 진행됨
- ✓ 지진, 기상이변과 같은 대형 재난뿐만 아니라 긴급해체, 도시재건축, 재개발과정 등의 다양한 상황에서 발생하는 건설폐기물의 성상과 발생량을 예측

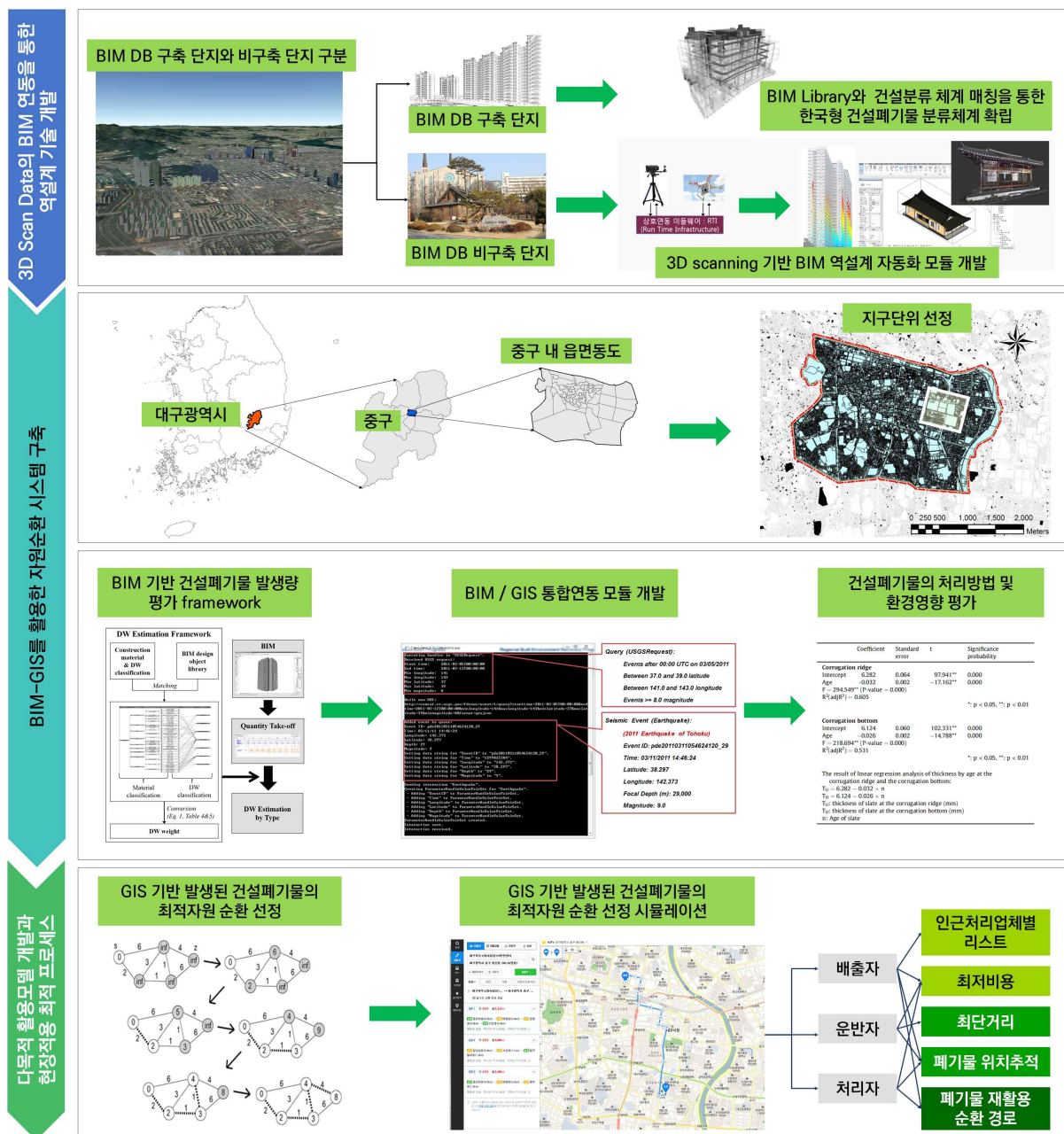


그림 16. 연차별 성과목표에 따른 연구 내용

2. 연구수행내용 및 성과

2-1. 연구개발 추진전략 · 방법

- ◆ 주관연구기관은 건설폐기물 재자원화에 관련된 풍부한 R&D수행과 BIM/GIS 전문 연구원(박사후 연구원 2명)을 포함하여 국내외 전문가 네트워크를 구축하고 있음. 또한 직접 및 간접추계방식의 건설폐기물 예측을 수행한 경험을 바탕으로 본 연구개발 최종성과물의 현장적용 방안에 대한 구체적인 계획을 수립하였음.
- ◆ 한편, 공동연구기관은 sUAV를 활용한 3차원 이미지 스캐닝과 건물정보를 구성하는데 전문인력을 확보하고 다수의 관련 연구를 수행하였음. 실내외 스캐닝 기술로 확대적용하고 주관기관과의 협업(BIM역설계)을 통하여 통합모듈 및 시스템을 구축하는데 중점적인 역할을 수행할 것임.

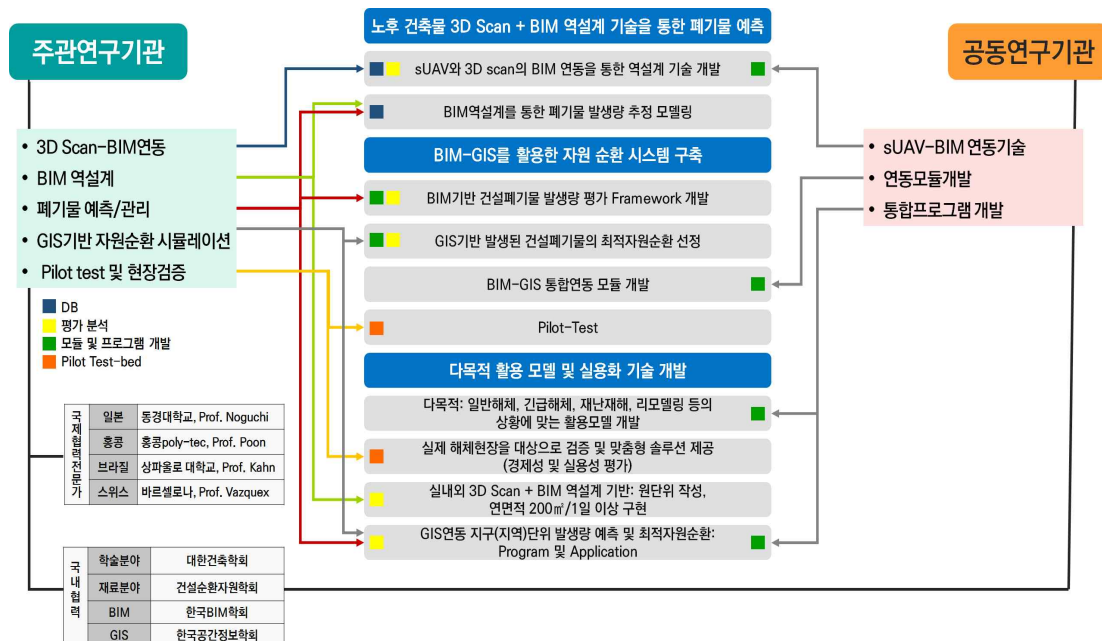


그림 17. 연구수행체계

- ◆ 핵심성과 1, 2, 3과 연계하여 스캐닝, DB구축, Middle ware, 통합시스템, 시뮬레이션, 현장적용, 다목적 관리시스템 순으로 연구를 수행할 예정임.

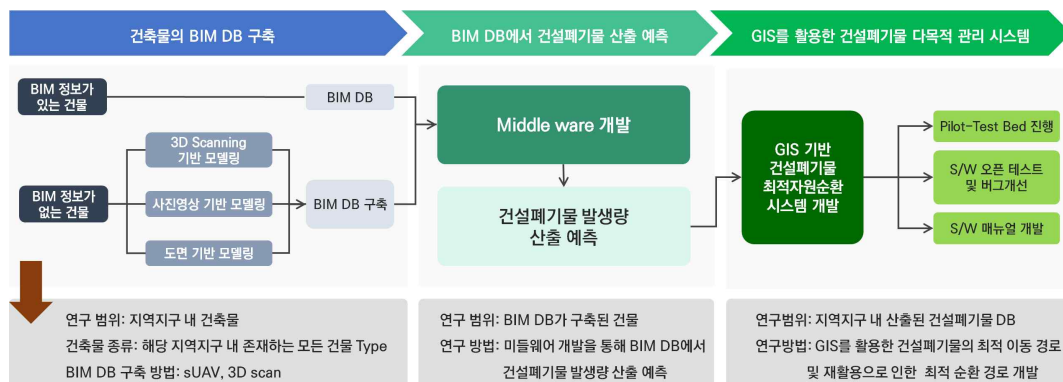


그림 18. 핵심성과의 연구범위 및 추진방법

2-2. 추진일정

구분	연구과제명 (연구 수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
총괄					sUAV와 3D scan을 연동한 BIM기반 다목적 건축폐기물 관리 및 자원순환 시스템 개발 (강원대)	논문: 3 특허: 3 S/W: 3 현장: 1 DB구축	600												
주관	BIM-GIS 활용 건축폐기물 의 다목적 자원순환 시스템 개발	A	A-1	A-1-①	SCI급논문	논문	15												
				A-1-②	BIM 역설계 최적화	알고리즘	10												
			A-2	A-2-①	특허출원	특허	15												
				A-2-②	BIM library의 한국형 건설폐기물 분류체계 확립	비교평가	30												
				A-2-③	BIM DB구축	DB구축	30												
		B	B-1	B-1-①	SCI급논문	논문	10												
				B-1-②	노후건축물의 건설폐기물 원단위 산출	비교평가	6												
				B-1-③	발생량에 따른 환경영향 및 경제성 평가 지표 설정	비교평가	20												
				B-1-④	평가 Framework 개발	알고리즘	10												
			B-2	B-2-①	특허출원	특허	10												
				B-2-②	특허등록	특허	20												
				B-2-③	성상별 처리업체 리스트업	DB구축	10												
				B-2-④	최저비용분석 모듈 개발	알고리즘	10												
				B-2-⑤	최단거리분석 모듈 개발	알고리즘	10												
				B-2-⑥	자원순환경로 최적 프로세스 개발	알고리즘	10												
			B-3	B-3-①	Pilot-Test	Pilot-Test	50												
		C	C-1	C-1-①	특허출원	특허	10												
				C-1-②	SCI급논문	논문	20												
				C-1-③	S/W 오픈테스트 및 버그개선	알고리즘	20												
				C-1-④	매뉴얼 개발	DB구축	10												
			C-2	C-2-①	Pilot Test bed 진행	Pilot-Test	50												
공동	건축폐기물 예측을 위한 sUAV/3D scan-BIM연동 시스템 구축	A	A-2	A-2-⑤	프로그램 개발	S/W	20												
				A-2-⑥	sUAV로 지구단위 스캔	알고리즘	20												
				A-2-⑦	건물내부 3D scan	알고리즘	84												
				A-2-⑧	BIM 역설계	DB구축	50												
		B	B-4	B-4-①	프로그램 개발	S/W	20												
		C	C-1	C-1-①	프로그램 개발	S/W	20												

2-3. 연구개발성과

가. 국내 · 외 논문 게재

번호	SCI/일반	논문명	학술지명	ISBN ISSN	주저자명	Vol. (No)	페이지	게재일자	기여율
1	일반	비행환경 계측과 영상분석을 통한 소방무인기 운용지침 기초연구 GIS를 활용한 국내 에너지	한국화상학회 논문집	1226-0517	이지수	24	15~24	201809	50
2	일반	관련제도와 ASHRAE Standard의 기후기준점 비교분석	한국생태건축학회논문집	2288-968x	김혜미	19	47~52	201902	50
3	SCI	Analysis of Life Cycle Environmental Impact of Recycled Aggregate	Applied sciences	2076-3417	Park, Won-Jun	9(5)	10~21	201902	50
4	SCI	Analysis of Waste Generation Characteristics during New Apartment ConstructionConsidering the Construction Phase	International Journal of Environmental Research and Public Health	1660-4601	Young-Chan Kim	16	1~15	201909	50
5	SCI	Quantifying asbestos fibers in post-disaster situations: Preventive strategies for damage control	International Journal of Disaster Risk Reduction	2212-4209	Young-Chan Kim	48	1~8	202003	50
6	SCI	Analysis of Major Environmental Impact Categories of Road Construction Materials	Sustainability	2071-1050	Park, Won-Jun	12	1~18	202009	50
7	SCI	Development of a Prediction Model for Demolition Waste Generation Using a Random Forest Algorithm Based on Small DataSets	International Journal of Environmental Research and Public Health	1660-4601	Gi-Wook Cha	17	1~15	202010	50
8	SCI	Identifying the Major ConstructionWastes in the Building Construction Phase Based on Life Cycle Assessments	Sustainability	2071-1050	Park, Won-Jun	12	1~14	202010	50

나. 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	국명
1	15th International Conference of Asia Institute of Urban Environment	Estimation of Secondary Scattering Asbestos Fibers Generated from Damaged	20181018	한국
2	2019 한국건설순환자원학회 봄 학술대회	공동주택 신축공사 시 공정별별 건설폐기물 발생 특성	20190403	한국
3	2019 한국건설순환자원학회 봄학술대회	전과정 평가기법을 이용한 콘크리트 혼화재의 환경비용 분석	20190403	한국
4	2019 한국건설순환자원학회 추계 학술대회	건설폐기물 발생예측 및 관리에 대한 새로운 접근	20191121	한국
5	2019 한국건설순환자원학회 추계 학술대회	건설폐기물 예측을 위한 DSM 기반 건축물 체적산출 자동화	20191121	한국
6	2019 한국건설순환자원학회 추계 학술대회	sUAV를 활용한 주택재개발 지구 석면함유물질 사전조사의 문제점	20191121	한국
7	2019 한국건설순환자원학회 추계 학술대회	GIS를 활용한 국내 폐기물 매립지 시계열 분석 및 현황 분석에 관한 연구	20191121	한국
8	2019 한국건설순환자원학회 추계 학술대회	전과정 평가에 기반한 건축물 폐기단계의 온실가스 배출량 평가	20191121	한국
9	2020 한국건설순환자원학회 가을 학술발표	강원도 도시재생사업 관점에서의 폐기물 현황 및 개선방향	20201126	한국
10	2019 한국건설순환자원학회 봄 학술발표	DSM을 이용한 건설폐기물 물량 예측방법	20190403	한국

다. 지식재산권

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원		등록		기여율
			출원일	출원번호	등록일	등록번호	
1	무인항공기의 비행경로 설정방법 및 무인항공기의 비행시스템	대한민국	2020-06-19	10-2020-00747 22	-	-	100
2	드론 영상을 이용한 건설폐기물 예측 방법	대한민국	2018-11-05	10-2018-01341 35			100
3	드론을 이용한 건설폐기물 예측 장치, 방법 및 이를 수행하기 위한 기록매체	대한민국	2018-12-27	10-2018-01700 40	2019-09-19	10-2025144-00 00	100
4	침수생활폐기물량 예측시스템 및 이를 이용한 침수생활폐기물량 예측방법	대한민국	2019-09-03	10-2019-01089 71	2020-06-12	10-2124580-00 00	100
5	실내 스캐너를 이용한 체적기반 실내건축 폐기물량 예측시스템	대한민국	2020-11-24	10-2020-01591 87			100

라. 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	무기계 부산물 기반 리사이클 건재 성능평가 Tool, IBRM_LCA	202004	강원대 삼척산학협 력단	20200827	C-2020-029 171	강원대 삼척산학협 력단	100
2	드론영상 기반 건축물 체적산출 자동화 플러그인	201908	주식회사 에프엠웍스	20191002	C-2019-027 306	주식회사 에프엠웍스	100
3	건설폐기물 관리시스템 (CwMS)	2020	주식회사 에프엠웍스	202101		주식회사 에프엠웍스	100

마. 현장시험 및 검증

번호	현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
1	플러그인 개발을 통한 자동화 및 모의시험	20190701~2 0191031	대구광역시 북구 연암로 40, 대구광역시청 별관 주변지역	테스트베드 진행에 앞서 주관 및 공동기관에서 수행한 DSM (Digital Shape Model), BIM에 관한 사항
2	국토교통 R&D 테스트베드 스마트시티 실증도시 연계	20200301~2 0200531	대구 북구 검단동 금호위터폴리스 개발지구	sUAV(드론)활용 기반의 도시 재개발지구 건설폐기물 발생량 평가 기술

바. 연구홍보 및 기타

번호	내용	시험일	시험장소	주요내용
1	2019국토교통기술대전	201905	일산킨텍스	본 연구과제 기술전시참가
2	업무협약	202012	(사)재난안전산업진흥 협회	국토교통기술촉진연구사업 연구성과 활성화를 위한 업무협약
3	상호협력양해각서	202001	대구도시공사 도시개발처	국토교통기술촉진연구사업 연구성과 활성화를 위한 상호협력양해각서

2-4. 연구결과

2-4-1 sUAV기반 건설폐기물 예측기술

□ 기술개요

드론을 통해 획득한 항공영상을 **DSM(Digital Surface Model)**으로 가공하고 이를 국가공간정보포털에서 제공하는 건축물 정보 및 **DEM(Digital Elevation Model)**과 연산하여 지상물의 체적을 추출함. 또한 체적을 바탕으로 연면적을 연산하여 **건설폐기물 발생량을 예측함**.

□ 기존 기술의 문제점

- ❶ 연면적 기반의 건설폐기물 발생량 산정방법은 건축물 및 시설물의 **도면정보가 필요함**.
- ❷ 건설폐기물 발생지역은 노후지역으로 대부분 **도면정보가 부재함**.
- ❸ 도면이 없는 대상물은 **건축대장의 정보로만 산정하거나 별도의 현장조사를 실시함**.
- ❹ 이를 바탕으로 건설폐기물 발생량을 산정하더라도 **약 ±40% 수준의 차이가 발생함**.

□ 기술의 차별성 및 효과

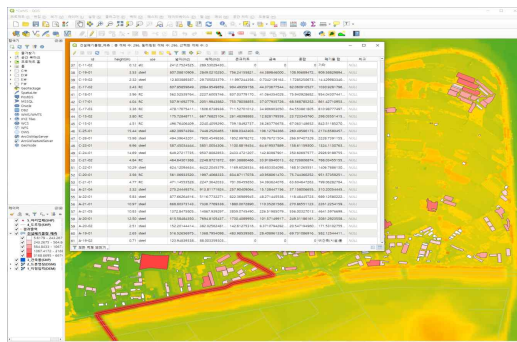
차별성

드론 기반의 **신속한 건설폐기물 예측기술**은 도면이 부재한 노후지역 또는 현장조사가 어려운 대규모 대상지의 건설폐기물 발생량 예측에 효과적이며 저고도 항공촬영을 통해 **고화질의 영상**을 획득하고 **현재 상황**을 반영할 수 있음.

기술적 효과

건설폐기물량 산정시간 50% 단축가능
 건설폐기물량 정확도 20% 향상가능
 항공촬영일의 현재 상황 반영가능
 대상지 측량 및 고화질 영상 동시획득

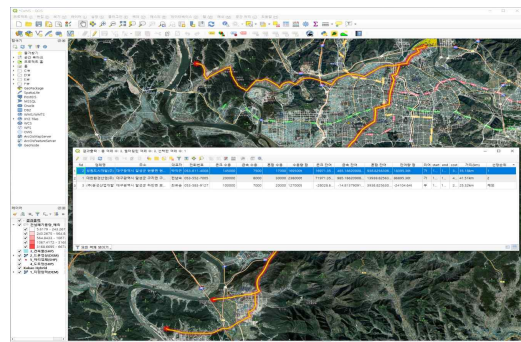
- 도면정보 일치여부, 현장조사 등 시간절감
- 회전익 기준 1번 비행으로 약 1km² 대응
- 건축물 및 시설물의 실제 높이 반영
- 항공측량 기반의 정사영상 제작 동시수행
- 민원 대응 등 고화질 영상 활용



경제적 효과

작업에 필요한 투입자원 30% 절감가능
 건설폐기물 처리 소요예산 절감가능
 건설관련 드론 전문인력 일자리 창출
 자원순환 인프라를 통한 경제효과 기대

- 투입인력, 시간, 비용 절감가능
- 합리적인 건설폐기물 처리업체 선정
- 정확한 건설/복구/정비 사업예산 산정
- 스마트건설 환경에 적합한 일자리 창출
- 국가차원의 자원순환체계 확립



가. sUAV기반 건축물 체적산출 자동화 기술

- ✓ 본 과제에서 개발한 S/W는 드론영상 기반 건축물 체적산출 자동화 플러그인 프로그램으로서, 드론의 비행을 통해 얻은 영상을 정사영상 형태로 가공하고 우리나라 국가공간정보포털에서 제공하는 수치지형도의 건물정보(SHP)를 DSM(Digital Surface Model)과 중첩시켜 건축물 체적을 예측하고자 하는 지역에 해당하는 대상 건물을 추출하여 이를 DEM(Digital Elevation Model)과 연산하여, 최종적으로 건축 체적을 산정한 후 수치화, 시각화하여줌.
- ✓ 본 S/W는 기존 건설폐기물 산정방법에 근거하여 체적기반 건설폐기물량을 예측하는 데이터베이스로서 활용되어 건설폐기물을 예측하고자하는 지역의 건축물 체적 값을 자동으로 산출하여 기존 건설폐기물 산정방법에 근거하여 체적기반 건설폐기물량을 예측할 수 있음.

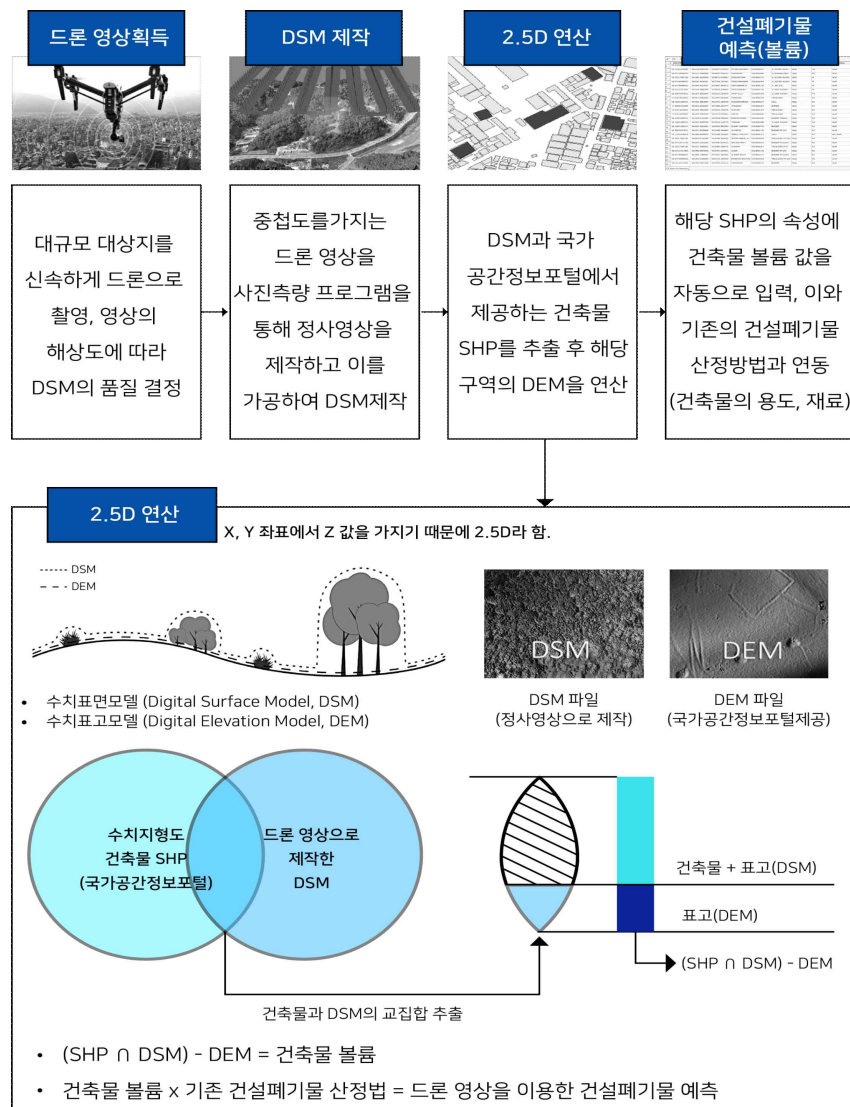


그림 드론영상을 이용한 건설폐기물 예측방법

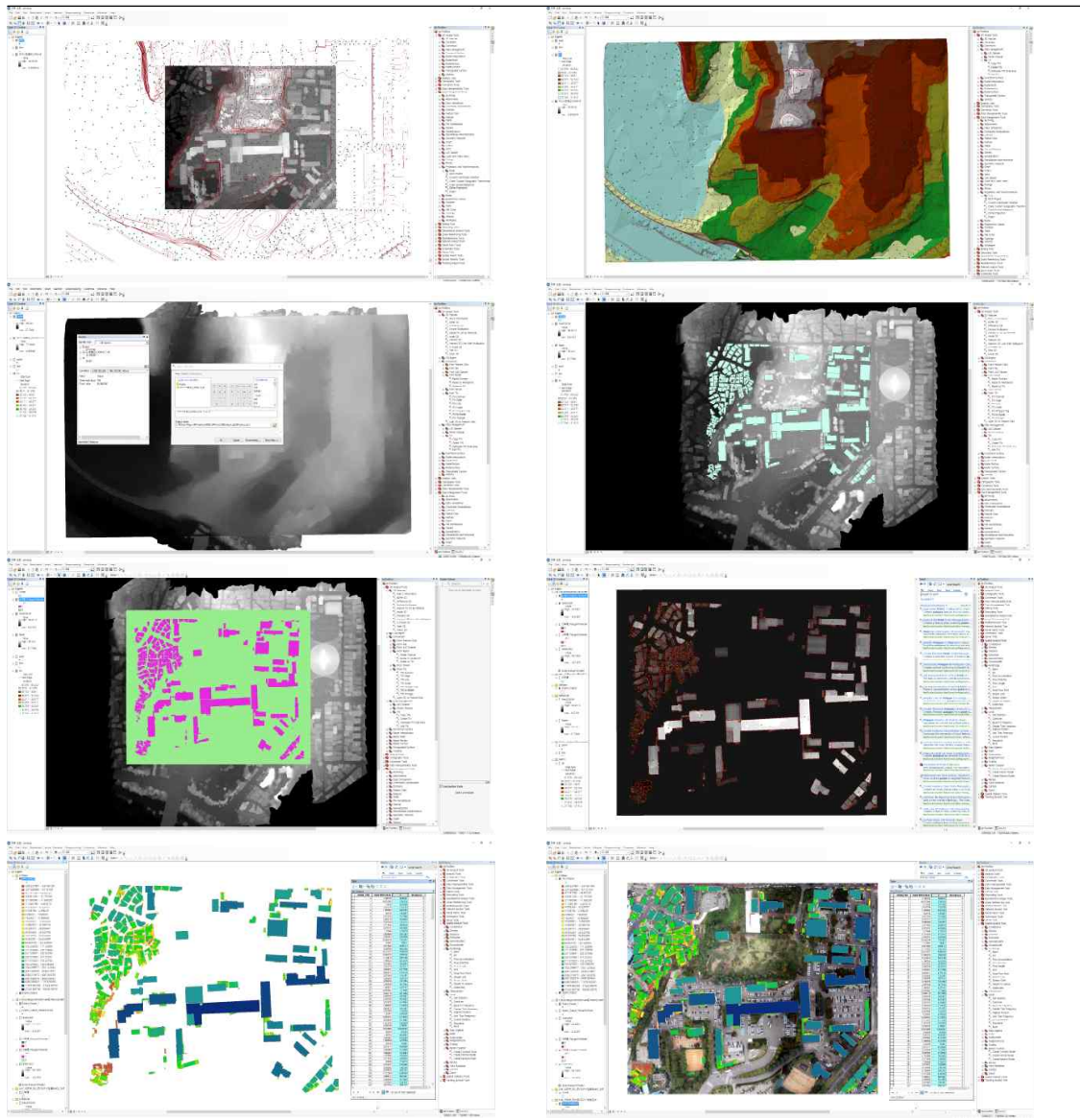


그림 0. 드론영상 기반 건축물 체적산출 자동화 플러그인 연산과정

- ✓ 드론영상 기반 건축물 체적산출 자동화 플러그인 시스템 과정은 GIS툴 기반 공간정보포털에서 제공하는 수치지도와 표고점, 등고선을 실험 대상지의 DSM에 중첩시킨 후 표고점과 등고선을 이용하여 TIN 지형 3D를 제작함. 2.5D(평면이지만 고도 값을 가지고 있는) 연산을 위해서 TIN을 Raster로 전환시킨 다음 대상지 DSM을 수치지도로 생성한 지형 Raster의 고도 값과 동일하게 설정함.
- ✓ 수치지도의 건축물 SHP을 DSM과 중첩시키고, 건축물 SHP을 담을 수 있는 사각형 폴리곤을 추가로 생성한 후 완료된 건축물의 Raster를 확인한다. 대상지의 DSM에서 DEM에 해당하는 높이 값을 제거하여 DSM에서 지형의 고도를 제거함. 지형의 고도를 제거한 DSM을 다시 건축물 Raster와 연산하여 DSM에서 건축물에 해당하는 부분을 추출한 후 건축물의 체적을 계산하기 위해 건축물 최고층 형태의 평균높이로 산정하여 건축물의 체적을 계산함.
- ✓ QGIS에서 건축물의 체적량에 따라 색상이 다르게 표시되고 해당 지역의 정사영상을 중첩시켜 건설 폐기물의 예측 값을 직관적으로 확인할 수 있도록 위의 과정을 자동화하여줌.

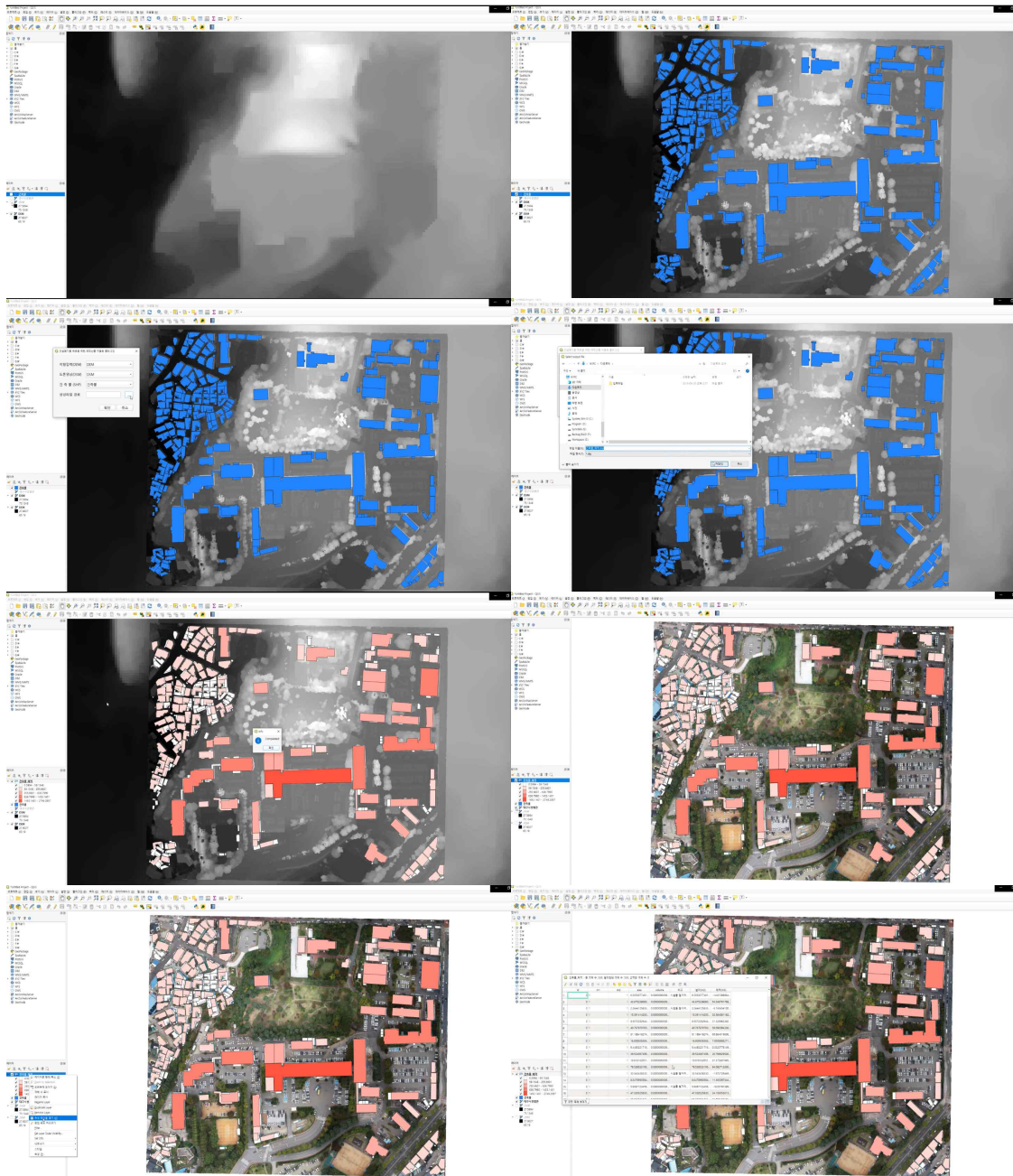


그림 0. 드론영상 기반 건축물 체적산출 자동화 플러그인 실행과정

- ✓ 본 S/W의 사용방법 및 단계는 QGIS에서 건축물 체적을 산출하고자하는 해당지역의 건물정보(SHP), DSM(Digital Surface Model), DEM(Digital Elevation Model)을 불러온 후 드론영상 기반 건축물 체적 산출 자동화 플러그인 아이콘을 클릭함. 지형입력(DEM)에 DEM, 드론영상(DSM)에 DSM, 건축물(SHP)에 건축물의 데이터를 설정한 후 결과 값의 생성파일 경로를 지정한 후 확인을 누름. Info창에서 completed!를 확인한 후 확인을 누름. 레이어에서 결과 값으로 생성된 건축물 체적 레이어를 클릭한 후 속성테이블을 확인하면 해당 건축물의 체적량을 확인할 수 있으며, 다른이름으로 저장할 수 있음. 해당지역 정사영상을 중첩시켜 건축물의 체적량을 직관적으로 확인할 수 있음.

나. sUAV기반 건축물 체적산출 모의시험

- ✓ 개발 완료된 건축물 체적산출 자동화 플러그인의 체적산출 결과 값 검증을 위해 임의의 대상지를 선정하여 실제 체적 값과 비교분석을 진행하였다. 건설폐기물 예측을 위한 건축물 체적산출은 도면이 없는 낙후지역 또는 재개발지역, 지진이 발생지 등에 유용하게 활용될 수 있으므로 테스트를 위한 대상지도 건축도면이 없는 낙후지역을 대상지로 선정하였다. 또한 객관성 확보를 위해 총 500호 이상의 건축물을 포함하는 대규모 대상지를 선정하였다.

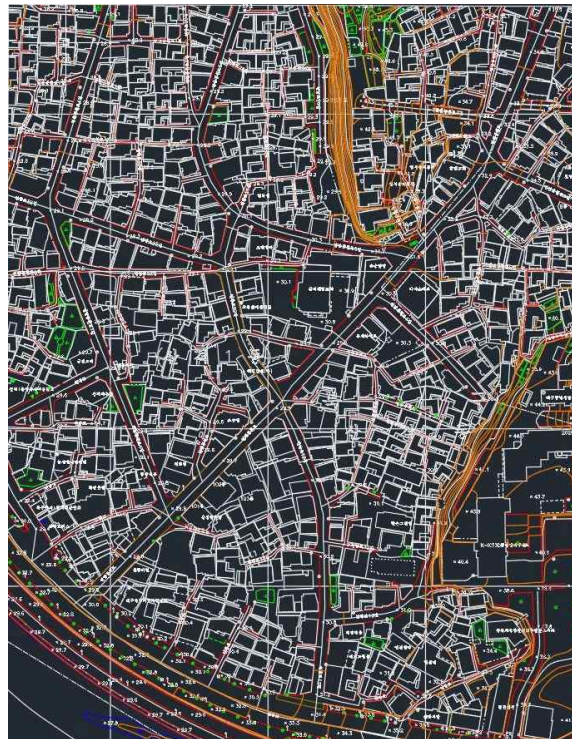


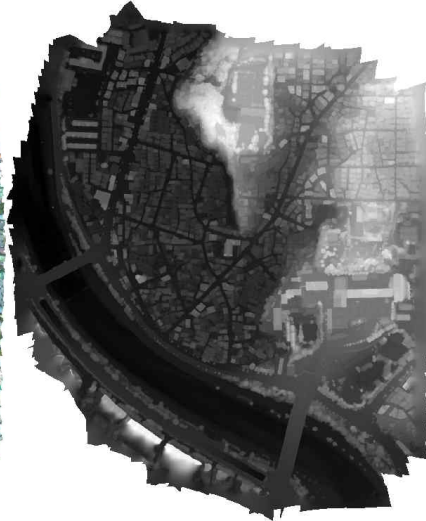
그림 . 대상지 수치지도

- ✓ 국가 공간정보포털에서 제공하는 수치지도에서 건축물 SHP을 추출하고 지형 등고선을 이용하여 DEM Raster 파일을 생성한다. 또한 DSM 생성을 위해 드론 영상을 취득한다. 드론 영상은 4cm급 해상도 확보를 위해 고도 100m에서 비행했으며 4K급 카메라를 이용했다. 위치정확도 확보를 위해 RTK 드론을 이용하여 2cm급의 위치정확도를 확보했다. 드론영상은 중복도 80%로 촬영하여 정사영상을 제작하고 정사영상에서 DSM을 추출했다.
- ✓ 대상지 정사영상 제작을 위해 대상지보다 크게 원시영상을 획득한다. 정사영상 정합과정에서 가장자리는 왜곡이 생기기 때문에 영상의 품질과 위치정확도 확보를 위해 대상지보다 크게 제작하며 국토공간정보 구축 등 공간정보 데이터베이스 구축 시에도 경계지역을 중첩하여 제작한다. 본 연구에서도 대상지 정사영상을 대상지에 비해 여유 있게 제작하여 건축물 체적산출 정확도를 확보하였다.

- ✓ 2.5D 개념의 정사영상에서 추출한 DSM을 추출하였다. DSM은 지형의 높이와 건물의 높이를 합친 고도 값을 가지고 있으며 건축물의 체적을 구하기 위해서는 지형인 DEM의 높이를 제거해야 한다. DEM은 앞서 수치지도를 통해 생성한 DEM을 이용하여 본 연구에서 개발한 프로그램을 이용하면 DSM과 DEM을 레이어에서 선택하고 입력하면 자동으로 지형 값을 제거해서 건축물의 높이만을 가지는 DSM을 생성할 수 있다.

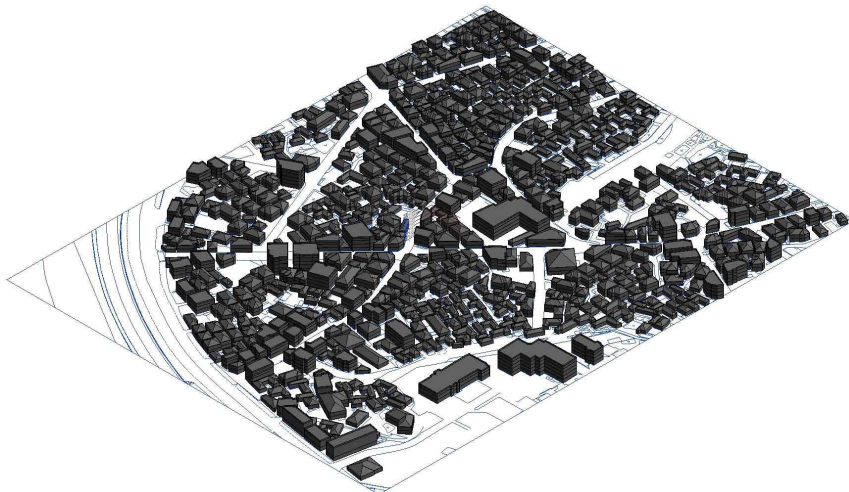


대상지 정사영상 제작



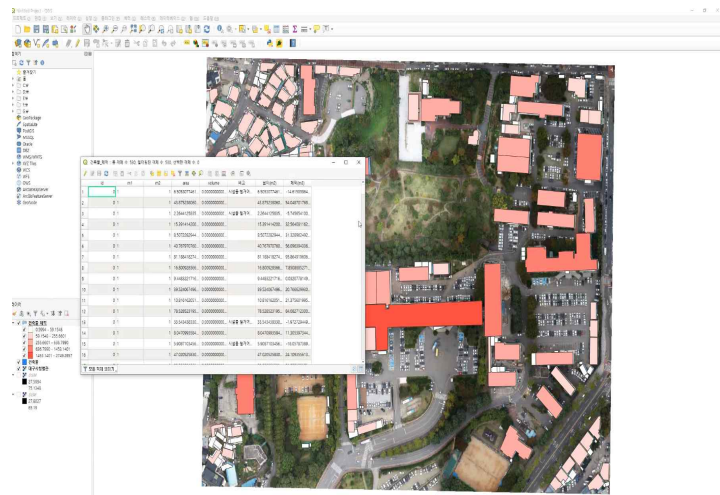
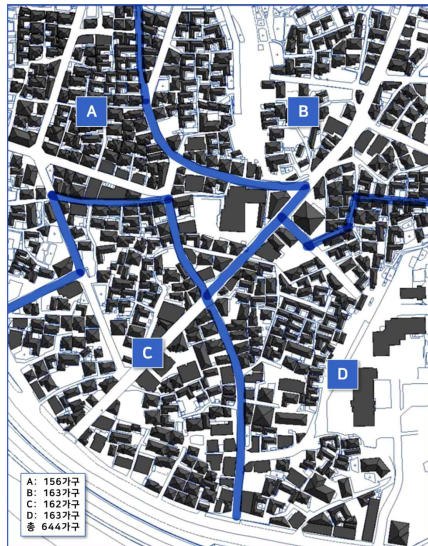
대상지 DSM 제작

- ✓ 검증을 위한 실험의 대상지를 선정하고 DEM, DSM, 건축물SHP를 획득하고 연산은 개발한 프로그램을 통해 자동으로 수행한다. 검증에 필요한 정확한 체적 및 물량은 BIM을 통해 획득한다. BIM은 건축물을 구성하는 객체에 부재의 종류 및 속성정보 등 건설정보 전반에 걸친 정보를 입력함으로써 정확한 수량을 산출할 수 있다. BIM의 수량은 체적산출뿐만 아니라 정확한 값으로 기존의 2D 도면 기반의 수량산출에 비해 정확하다. 본 연구에서 BIM을 활용한 검증을 위해 대상지 전체 총 644호의 건축물을 모델링 했다.



대상지 BIM 모델링

- ✓ BIM 모델은 LOD200 단계로 모델링 하였다. LOD200 단계는 구조와 내력벽, 슬라브, 지붕으로 구성되어 있으며 연구의 목적에 맞게 체적과 수량산출을 위해서 개구부 모델링은 생략했다. 대상지는 A구역 156호와 B구역 163가구, C구역 162가구, D구역 163가구로 지역을 구분하여 검증을 실시했다.



BIM 검증을 위한 대상지 구역 구분 체적산출 qgis 플러그인 개발을 통한 체적 값 출력화면

BIM 데이터와 DSM을 이용한 체적산출 결과비교(표)

1호당 최대오차	1호당 최소오차	4구역 평균	전체 평균
±8%	±0.5%	±4%	±3.5%

- ✓ 출력된 건축물의 체적을 살펴보면 (-)값을 가지는 경우가 종종 발생한다. 이는 최근 발생한 건설행위(철거 등)가 국가공간정보 포털에서 제공하는 수치지형도에 반영되지 않았기 때문이다. 오차를 가지는 건축물에 대해서 현장조사를 실시한 결과 도면과 상이한 형태로 증축되거나 철거되어 있음을 확인하였다. 또한 체적산출에 대한 정확도 검증을 위해 약 160호씩 4개 구역으로 분할하여 총 644호의 건축물을 BIM 모델로 구축하고 체적을 비교한 결과 1호당 최대 ±8%, 최소 ±0.5%내의 정확도를 나타내었으며 구역평균이 ±4%, 전체 평균이 ±3.5% 정확도로 대규모 면적에 유리한 것으로 분석되었다. 이는 지붕의 형태와 건설행위 여부에 대한 오차발생이 면적에 비해 줄어들기 때문이다.
- ✓ 본 연구에서는 DSM 기반 건축물 체적산출 과정을 qgis 플러그인 개발을 통해 자동화하였으며 BIM 모델링과 현장조사를 통해 정확도를 검증한 결과, 전체 평균 ±3.5%의 정확도를 확보하였다. 추후 지붕의 형태와 최근 건설행위의 반영방법 등이 추가로 해결되어야 할 것이다.

2-4-2 다목적 건설폐기물 예측기술

□ 기술개요

3D 스캐너를 이용한 **실내의 체적산출** 방법은 BIM 및 GIS 기술과 연동할 경우 다양한 시뮬레이션이 가능하며 지진, 홍수 등으로 발생하는 **붕괴, 침수피해** 발생 시 **피해규모 및 복구비용 산정, 폐기물 처리**에 있어 객관적인 정보를 제공함으로써 의사결정을 지원함.

□ 기존 기술의 문제점

- ❶ 실내공간 **건축폐기물량** 및 **생활폐기물량**을 정확하게 예측할 방법이 부재함.
- ❷ 대규모 지역에 지진, 홍수 등의 재난발생 시 피해규모 산정에 많은 시간이 소요됨.
- ❸ 갑작스러운 붕괴사고로 발생하는 건설폐기물 처리 및 **복구계획 수립이 지연**됨.
- ❹ 현재 실내건축 폐기물량 산정을 위해서는 **인력바탕**의 직접 조사, 실측이 필요함.

□ 기술의 차별성 및 효과

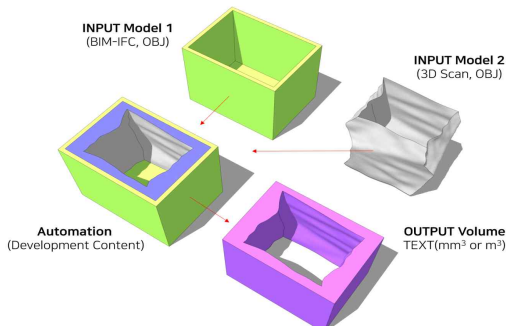
차별성

3D 스캐너를 이용한 **실내의 체적산출** 방법은 재난현장에서 발생하는 **건축폐기물량** 및 **생활폐기물량**을 예측함으로써 대규모 시뮬레이션을 통해 **재난현장 초기대응**이 가능하며 비용절감과 직접조사에 대한 불편함을 감소시킬 수 있음.

기술적 효과

실내폐기물량 실측시간 40% 단축가능
생활폐기물량 조사시간 40% 단축가능
3D 스캐너를 통한 현재 상황 반영가능
스캔 데이터 기반의 모델, 도면 제작가능

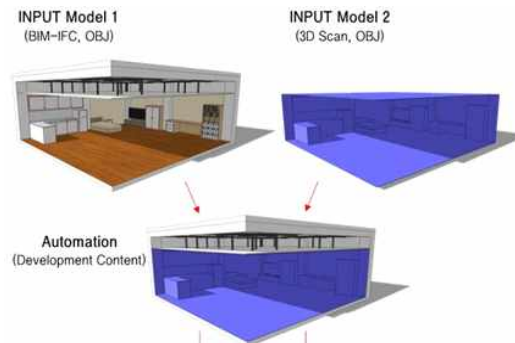
- 도면정보 일치여부, 현장조사 등 시간절감
- 3D 스캐너 15분 운용으로 반경 30m 대응
- 실내외 공간의 실제 환경 반영
- 3D 스캐너 기반의 포인트클라우드 획득
- 민원 대응 등 고화질 영상 활용



경제적 효과

작업에 필요한 투입자원 20% 절감가능
재난현장 대응 소요예산 절감가능
재난관리 전문인력 일자리 창출
자원순환 인프라를 통한 경제효과 기대

- 투입인력, 시간, 비용 절감가능
- 합리적인 재난현장 피해규모 예측
- 재난현장의 정확한 피해복구비용 산정
- 스마트건설 환경에 적합한 일자리 창출
- 국가차원의 자원순환체계 확립



가. 3D 스캐너를 활용한 폐기물 추정

- ✓ 현재 생활폐기물량 예측을 위해서는 각 건물에 해당하는 공간을 방문하여 사람이 직접 조사를 해야 하는 번거로움이 있으며 직접 조사를 하더라도 냉장고, 가구 등의 수량만을 파악하는 한계를 보이고 있음. 생활폐기물매립과 같이 생활폐기물의 양적 파악이 필요한 사항에 관해서는 빠른 파악에 많은 어려움이 있음.
- ✓ 본 과제에서는 실내 3D 스캐너를 이용한 체적기반의 생활폐기물량 산정방법과 시스템 구축 및 통합을 위한 데이터(정보) 흐름, 알고리즘, 시스템의 활용방안을 제시함.



그림 0. 체적기반 실내공간 메쉬 데이터 취득

- ✓ 체적기반 생활폐기물량 예측 시스템은 실내 3D 스캐너를 이용하여 실내공간 데이터베이스를 구축할 경우 수량뿐만 아니라 실측과 동일한 수준의 체적을 계산할 수 있으며 BIM 및 GIS와 연동할 경우 다양한 시뮬레이션이 가능함.

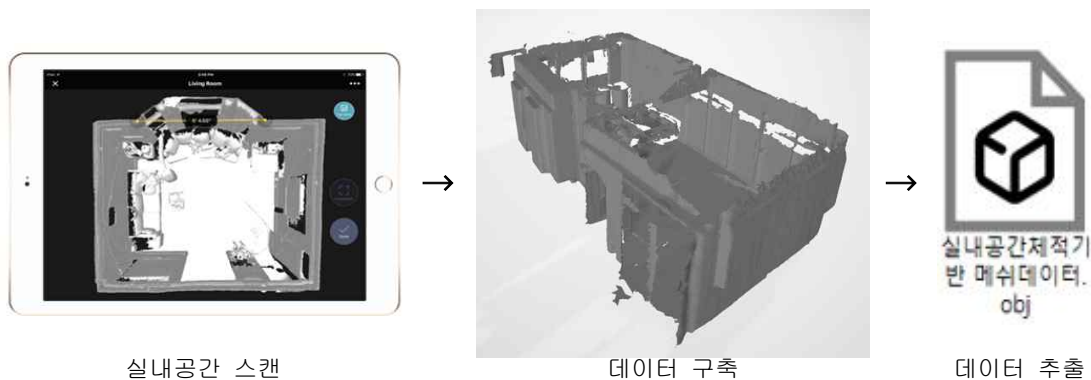


그림 0. 실내공간 데이터 도출과정

- ✓ 실내 3D 스캐너를 이용한 체적기반의 생활폐기물량 예측의 데이터는 실내 3D 스캐너를 이용하여 공간의 메쉬데이터를 취득한 후 실내공간 3D모델로 내보내기하여 데이터의 정리와 호환을 진행함.
- ✓ 실내공간 체적을 연산하는 방법은 실내 3D 스캐너를 이용하여 생성된 실내공간 데이터와 BIM건축물 데이터를 기반으로 실내공간 스캔 데이터와 BIM건축물 데이터를 위치기반으로 정합함. 데이터에 비어있는 공간부분을 제거 후 연산을 진행하여 생활폐기물량체적이 산출됨.
- ✓ 도출된 생활폐기물량 체적은 복합연산부에서 GIS와 연동하여 시뮬레이션을 통해 체적기반 재해 재난, 침수 등의 시뮬레이션을 통해 생활폐기물량을 예측할 수 있음.

- ✓ 예측 후 생활폐기물 매립지의 최단거리 및 교통 정보와 폐기물의 최저 매립가격 및 단가를 제공함. 시스템 구축 및 통합으로 빠른 현황파악이 가능함. 2차년도에는 알고리즘을 구축하고 3차년도에는 산출된 결과 값을 GIS와 연동하는 작업을 진행.

✓

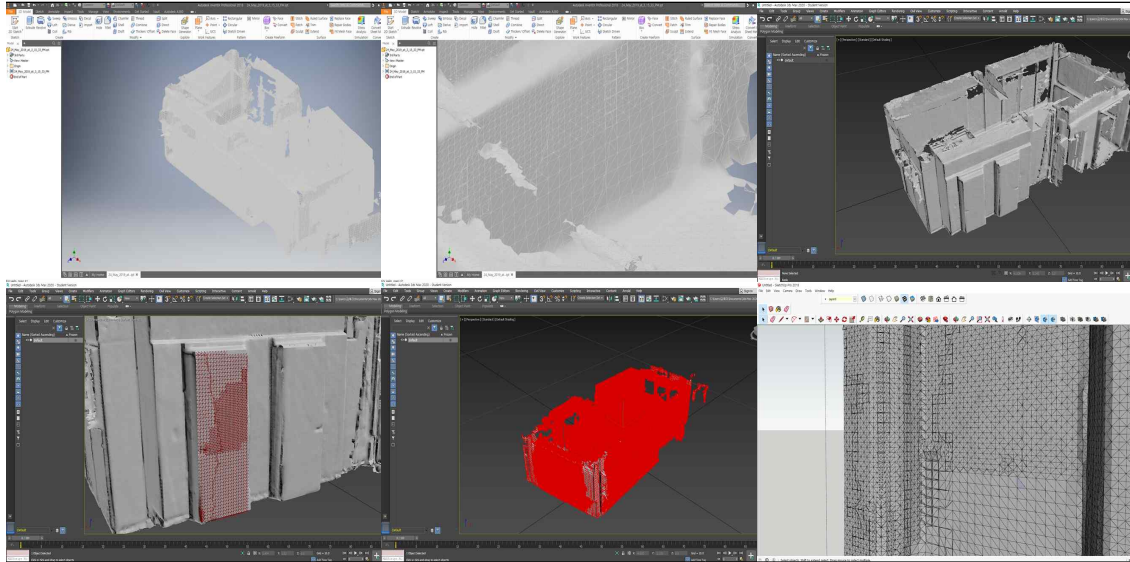


그림 0. 메쉬 데이터 가공 및 호환 테스트

- ✓ 다양한 시뮬레이션 기능으로 예측을 통한 초기대응이 가능하며, 비용절감과 직접조사의 번거로움을 줄일 수 있음. 실제 침수가 발생할 경우 침수지역의 공간정보를 연동하여 피해규모 파악, 단위 폐기물량 매립가격 또는 폐기단가를 적용하여 생활폐기물의 매립처리비용 예측, 복구비용 산정, 복구계획 및 수정, 폐기물의 이동, 적재 등 매립지 최적화가 가능하여 빠른 의사결정을 지원함.

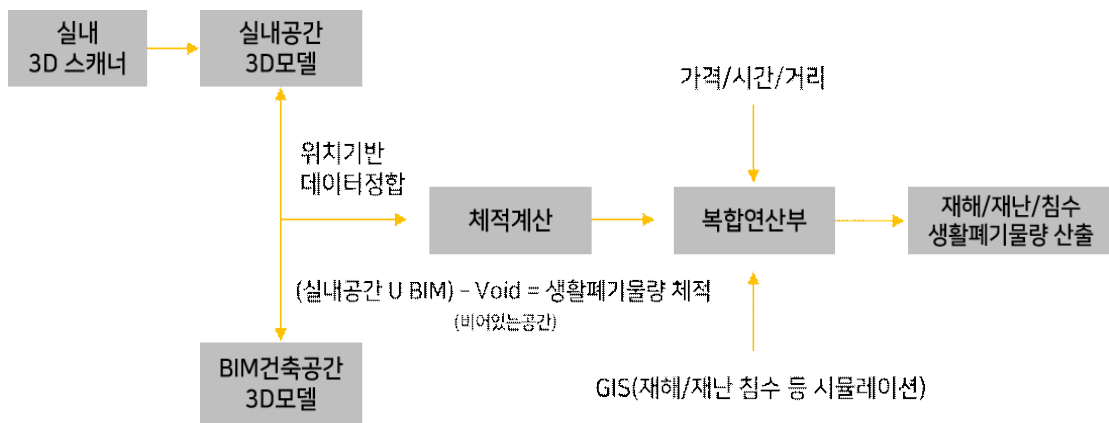


그림 0. 데이터 흐름도

실내공간 데이터와 BIM 건축물 데이터 연산 (Top view)

Step1. 데이터 Import

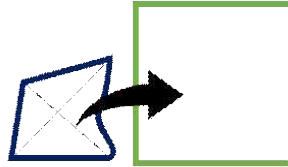


실내공간스캔데이터



BIM 건축물 데이터

Step2. 데이터 정합

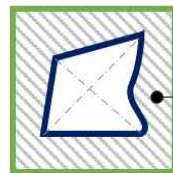


(실내공간 스캔데이터 + BIM 건축물 데이터)

Step3. 데이터 연산

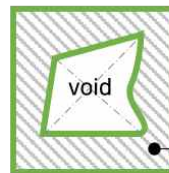


(실내공간 U BIM) - Void = 생활폐기물량 체적
(비어있는공간)



체적
데이터추출

Step4. 생활폐기물량 예측



생활폐기물량
산출

그림 0. 실내공간 데이터와 BIM 건축물 데이터 연산(2D Top view)

실내공간 데이터와 BIM 건축물 데이터 연산 (Front view)

Step1. 데이터 Import



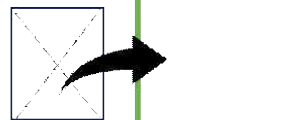
실내공간스캔데이터



BIM 건축물 데이터

G.L

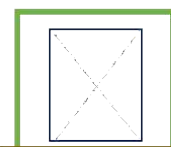
Step2. 데이터 정합



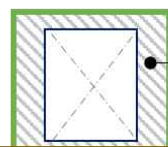
(실내공간 스캔데이터 + BIM 건축물 데이터)

G.L

Step3. 데이터 연산



(실내공간 U BIM) - Void = 생활폐기물량 체적
(비어있는공간)



체적
데이터추출

G.L

Step4. 생활폐기물량 예측



생활폐기물량
산출

G.L

그림 0. 실내공간 데이터와 BIM 건축물 데이터 연산(2D Front view)

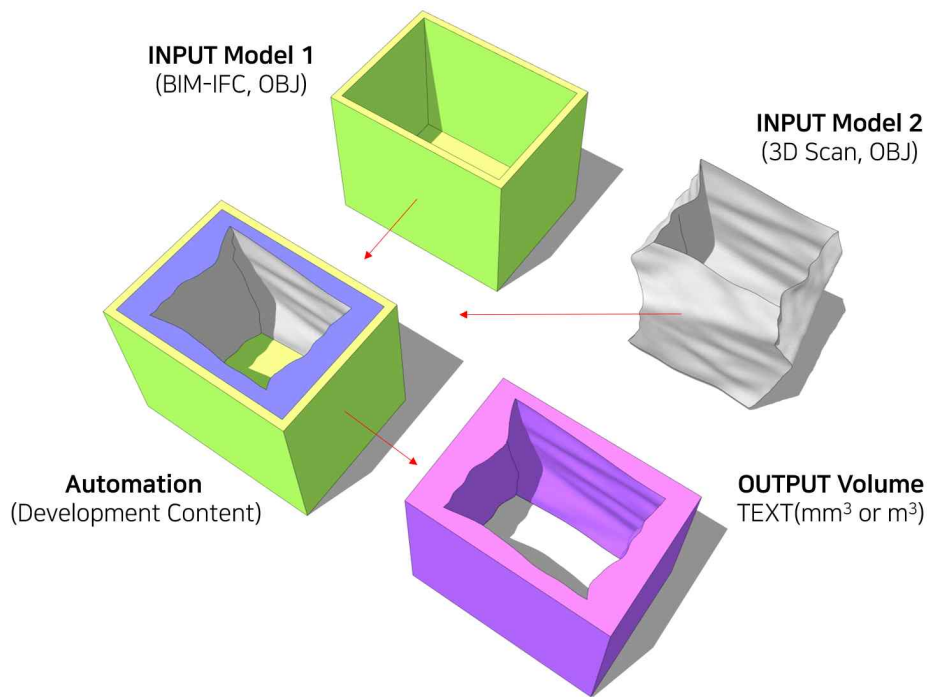


그림 0. 실내공간 데이터와 BIM건축물 데이터 연산(3D view)

- ✓ 실내 3D 스캐너를 이용한 체적기반 생활폐기물량 예측시스템의 연산부 구성은 건축공간에 대한 정보 또는 건축공간 내의 빈 공간인 실내공간에 관련된 바운더리정보를 입력받는 입력부; 입력부로부터 건축공간에 대한 정보 또는 실내공간에 관련된 바운더리정보를 전달받아, 건축공간 내에 배치된 사물이 건축공간에서 차지하는 부분인 점유체적을 산출하고, 점유체적을 토대로 침수생활폐기물량을 예측하는 정보처리부; 및 정보처리부에서 산출된 침수생활폐기물량을 정보처리부로부터 전달 받아서 외부에서 인식할 수 있도록 출력하는 출력부;를 포함함.
- ✓ 예를 들어 호우나 홍수로 인하여 건축물의 방이 침수되었을 때 실내에서 침수로 인해 물에 잠긴 높이 즉, 침수 시 방의 바닥면으로부터 수면까지의 높이가 파악되면, 점유체적 중에서 물에 침수된 체적이 산출됨.
- ✓ 침수로 인하여 실내의 바닥면으로부터 수면까지의 높이가 40cm 라고 가정하면 실내에 배치된 사물들 중 실내 바닥면으로부터 높이가 40cm 미만인 위치에 배치된 사물들 또는 일부 부분이 실내 바닥면으로부터의 높이가 40cm 미만인 사물은 침수된 것으로 예측할 수 있음. 실내 바닥면에 접하여 기립 배치된 나무재질로 된 장롱이나 서랍장, 의자 등은 전체가 물에 잠기는 침수가 된 것은 아니지만, 침수로 인하여 폐기물이 된 것으로 판단하여 침수생활폐기물량 예측에 반영할 수 있음.

나. 3D 스캐너를 활용한 체적기반 실내건축 폐기물예측

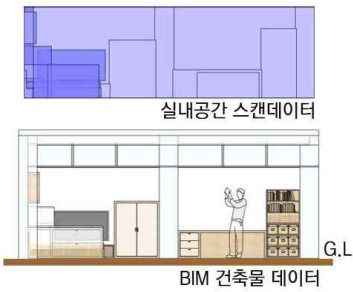
- ✓ 현재 실내건축 폐기물량 예측을 위해서는 각 건물에 해당하는 공간을 방문하여 사람이 직접 조사해야 하는 번거로움이 있으며 직접 조사를 하더라도 가전, 가구 등의 수량만을 파악하고, 건축물을 해체해보지 않는 이상 슬라브 위 설비공간까지 고려할 수 없는 한계를 보임. 하지만 실내스캐너를 이용하여 실내공간 데이터베이스를 구축할 경우 수량뿐만 아니라 실측과 동일한 수준의 체적을 계산할 수 있으며 BIM 및 GIS와 연동할 경우 다양한 시뮬레이션이 가능함. 이에 본 발명에서는 실내스캐너를 이용한 체적기반의 실내건축 폐기물량 산정방법과 시스템 구축 및 통합을 위한 데이터(정보) 흐름, 시스템의 활용방안을 제시함.
- ✓ 본 발명에서는 실내스캐너를 이용하여 생성된 실내공간 데이터와 BIM건축물 데이터를 기반으로 함. 실내공간 스캐너데이터와 BIM건축물 데이터를 위치기반으로 정합함. 정합한 데이터에 비어있는 공간부분과 슬라브, 설비 등과 같은 활용 가능한 영역을 제거 후 연산을 진행하여 실내건축 폐기물량 체적이 산출됨. 산출된 결과 값을 GIS와 연동하여 폐기물 업체 정보를 안내하고 산출 시뮬레이션을 통해 체적기반 실내건축 폐기물량을 예측할 수 있음. 예측 후 실내건축 폐기물 매립지의 최단거리 및 교통 정보와 폐기물의 최저 매립가격 및 단가를 제공함. 시스템 구축 및 통합으로 빠른 현황 파악이 가능함. 실제 주택재개발 및 리모델링 시 공간정보를 연동하여 공사규모 파악, 공사비용 산정, 공사계획 및 수정, 폐기물의 이동, 적재 등 매립지 최적화가 가능하여 빠른 의사결정을 지원함.



그림 실내공간 데이터와 BIM 건축물 데이터 연산

실내공간 데이터와 BIM 건축물 데이터 연산(Front view)

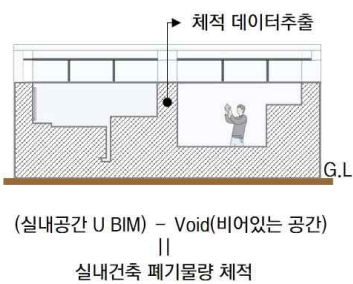
Step1. 데이터 Import



Step2. 데이터 정합



Step3. 데이터 연산



Step4. 실내건축 폐기물량 예측

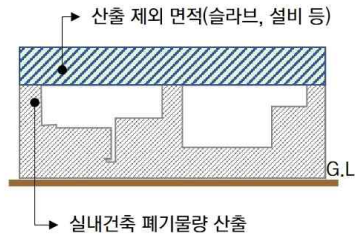


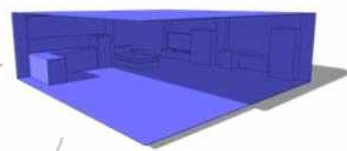
그림 실내공간 데이터와 BIM 건축물 데이터 연산

실내공간 데이터와 BIM 건축물 데이터 연산(3D view)

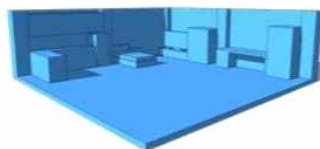
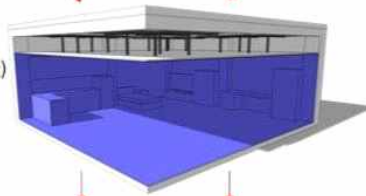
INPUT Model 1 (BIM-IFC, OBJ)



INPUT Model 2 (3D Scan, OBJ)



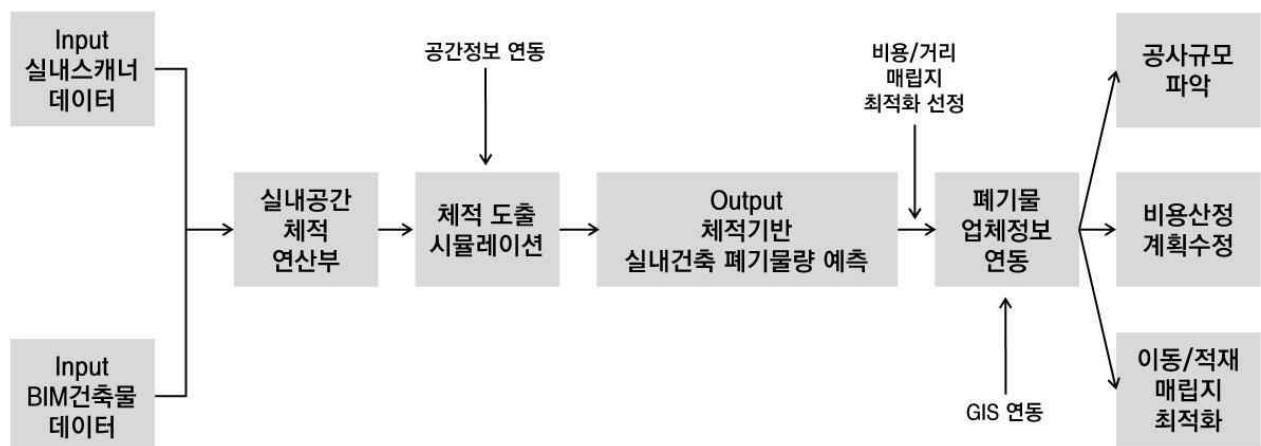
Automation (Development Content)



OUTPUT Volume TEXT(mm³ or m³)

그림 실내공간 데이터와 BIM건축물 데이터 연산

- ✓ 공동주택 BIM 2020 로드맵에 따른 LH는 공동주택 설계 생산성 극대화를 위해 공동주택에 3D설계 (이하 BIM설계) 방식 도입을 확대하고 2024년까지 모든 공동주택 신규설계에 BIM을 도입하는 것을 목표로 함. 또한 BIM 활성화를 통해 건축산업의 디지털화를 촉진하고, 사물인터넷(IoT), 드론 등 4차 산업혁명 기술과의 융합 기반을 확보할 계획임.
- ✓ 2012년부터 500억 이상의 공공건물에 의무 적용해왔고, 2016년부터는 조달청이 발주하는 모든 맞춤형서비스 공공건물 프로젝트까지 BIM 의무화가 확대됨. 국토교통부는 2025년까지 스마트 건설기술 활용기반을 구축하고 2030년 건설자동화의 완성을 목표로 하는 스마트 건설기술 로드맵을 계획하고 있음.
- ✓ 주택재개발 및 리모델링 시 주거방문을 통하여 할 수 있는 전수조사는 한계가 있으며, 슬라브 위 설비부분을 제외한 스캔데이터를 활용하여 본 발명의 기술을 도입하면 명확한 실내건축 폐기물량 예측이 가능함. 또한, 정부 폐기물 정책과 시 생활폐기물 처리 환경 변화에 맞춰 생활폐기물 주요 정책을 변경하여 2020년 5월부터 시행되고 있으며, 인테리어 공사 및 철거 시 발생하는 실내건축 폐기물량에 대한 정책 또한 강화되고 있어 실내건축 폐기물량의 정량화가 필요한 실정임.
- ✓ 본 기술을 통하여 주택재개발 및 리모델링에 활용 가능함. 다양한 시뮬레이션 기능으로 예측을 통한 초기대응이 가능하며, 비용절감과 직접조사의 번거로움을 줄일 수 있음. 4차산업혁명과 스마트 시티에 맞는 실내공간정보 분야 자원순환 시스템에 기여할 것으로 전망.



다. 재난/재해현장의 피해규모 예측 설폐기물 관리 시스템(개발기술) 활용방안

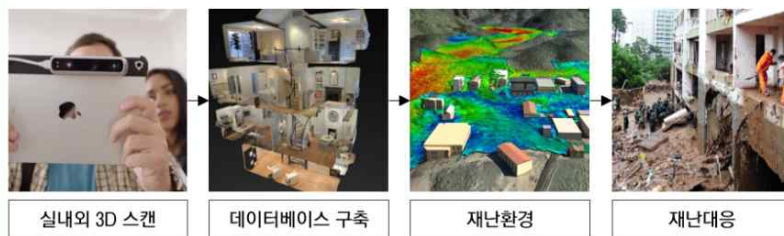
- ✓ 방사능, 화재, 붕괴, 화학 재난 등 국민안전 위협, 이와 같은 극한 상황에서 인적, 물적 피해 최소화를 위한 첨단 재난대응기술의 필요성 증대. 현 유인대응체계에 의한 피해규모 파악 및 폐기물량 예측은 지상관측의 비효율성(현장파악 소요시간의 과다, 구두보고에 의한 정보왜곡의 우려, 전문가 1인에 의한 판단으로 인한 객관성의 부재)으로 인한 재난상황의 장악력 결여 및 골든타임 확보에 한계가 있음.
- ✓ 지진피해 중 붕괴피해의 경우 피해지역이 고스란히 고립될 가능성을 내재하고 있으며 신속한 건설폐기물 처리가 중요함. 붕괴된 건설폐기물 하중으로 2차 피해가 발생할 경우 도시 규모의 참사로 이어질 수 있음. 재난 및 사고현장에서 구조원의 업무량 증대와 현장 접근이 어려운 특수재난의 발생이 증가하면서 기존의 유인대응체계에 의한 현장대응 역량이 제한됨. 현장접근이 신속한 드론의 역할이 필요하며 드론에 3D 스캐너를 탑재할 수 있음.
- ✓ 재난/재해로부터 안전하지 않은 국내 상황을 고려한 건설폐기물 관리 시스템의 활용을 목표로 3D 스캐너와 드론기술을 활용한 건설폐기물량 및 생활폐기물량 예측 기술을 개발함. 또한 이를 시스템화하기 위해 기초기술을 확보하고 현장에 적용하여 개발기술의 실효성을 확보함. 개발기술의 재난현장 활용을 통해 드론 및 디지털트윈 관련 기술의 발전과 신속한 재난현장 피해규모 예측 및 신속한 대응을 목적으로 함.
- ✓ 재난현장에서 드론을 통해 획득한 항공영상을 DSM(Digital Surface Model)으로 가공하고 이를 국가 공간정보포털에서 제공하는 건축물 정보 및 DEM(Digital Elevation Model)과 연산하여 지상물의 체적을 추출함. 완전히 붕괴된 지역의 경우 DEM과의 연산을 이용하여 체적기반의 정확한 건설폐기물량을 산출할 수 있으며 본 연구의 성과인 건설폐기물 관리 시스템과 연동할 경우 최적의 폐기장 선정을 위한 의사결정을 지원함.
- ✓ 3D 스캐너를 이용한 실내외 체적산출 방법은 BIM 및 GIS 기술과 연동할 경우 다양한 시뮬레이션이 가능하며 지진, 홍수 등으로 발생하는 붕괴, 침수피해 발생 시 피해규모 및 복구비용 산정, 폐기물 처리에 있어 객관적인 정보를 제공함으로써 의사결정을 지원함.
- ✓ 재난현장의 붕괴된 건설폐기물량 산정시간을 단축하고 기존 폐기물량 예측방법에 비해 정확도 약 20% 향상 가능함. 또한 재난현장의 항공촬영을 통해 상황을 신속하게 파악함.
- ✓ 3D 스캐너를 이용한 실내건축폐기물량 및 생활폐기물량 예측방법은 사전에 구축되어 있는 데이터 베이스와 통계를 바탕으로 홍수 등 재난사고 발생 시 GIS 강수시뮬레이션을 통해 보다 정확한 피해 규모 산정 및 생활폐기물량 예측이 가능함.

재난현장 건설폐기물량 예측



- Step 1. 재난/재해 발생 시 드론 출동, 중점도 바탕의 항공영상 획득, 고화질 영상 확인
 Step 2. 사진측량학 기반 DSM 제작, 신속한 피해규모 산정, 건설폐기물 체적산출
 Step 3. 체적 기반의 정확한 건설폐기물 처리, 폐기장 연계, GIS 시뮬레이션 연동
 Step 4. 재난현장 건설폐기물량 예측결과 의사결정 활용, 복구계획 수립 등

재난현장 실내폐기물량 예측



- Step 1. 3D 스캐너를 이용한 실내외 공간 스캔 데이터 확보, 고화질 영상 활용
 Step 2. 건축용도별, 공간별 생활폐기물, 실내건축폐기물 발생량 데이터베이스 구축
 Step 3. GIS 연동 실내폐기물 예측 시뮬레이션 및 실제 재난사고 발생 시 발생량 예측
 Step 4. 재난현장 실내폐기물량 예측결과 의사결정 활용, 복구계획 수립 등

- ✓ 재난사고 발생 시 신속한 대응으로 국민안전강화, 인명구조 및 해상인프라 유지관리 분야로 대상을 확대함으로써 다양하고 복잡한 재난으로부터 안전한 환경조성, 기술의 고도화 및 융합적 활용으로 드론의 임무장비, IoT, 빅데이터, AR, VR, MR 등을 통한 신사업 창출효과가 기대됨.
- ✓ 국토부, 행안부 및 관련부처 확대와 인력양성 사업을 통해 3D 스캐너 관련 전문인력 양성, 지속적인 연구개발과 국제 공동연구 협력지원, 국제적 위상 제고를 위한 대규모 연구개발 지원 등 정부와 민간의 공동개발, 기술협력 등 지속적인 발전이 기대됨.
- ✓ 자연재해, 화재사고, 건축 물 및 시설물 붕괴 등 다양한 재난/재해사고 피해금액을 5천억 원 이상 절감할 것으로 예상함, 또한 재난안전산업진흥협회는 (주)에프엠웍스와의 업무협약을 통해 3D 스캐너 운용 인력을 충원하고 데이터를 수집할 계획으로 본 기술을 지속적으로 보완하고 개선할 예정이다.
- ✓ 기존 실내외 건축폐기물량 예측 및 생활폐기물량 예측방법은 의사결정자가 가시적으로 전체를 관제하기 어렵고 조사시간이 소요, 조사하더라도 주관적인 판단에 의존하기 때문에 유인대응체계의 한계가 있으나 본 연구에서 개발한 3D 스캐너를 이용한 조사방법은 정량적인 근거를 바탕으로 재난현장 피해규모를 알 수 있음, 이에 기술수요처에서 효과적으로 적용할 수 있으며 재난대응 끝난 타임을 확보할 수 있음.

2-4-2 건설폐기물 예측 및 관리시스템

가. 시스템설계



나. 시스템 검증대상지 개요



구분	내용
대지위치	대구광역시 북구 검단동 일원
대지면적	1,183,813㎡
설계업체	(주)도화엔지니어링, (주)한도엔지니어링, (주)다산컨설팅
사업계획승인일	2016.11.10.
공사기간	2015.12.15. ~ 2023.12.31.
문의전화	보상관련:053)350-0213, 설계관련:053)350-0135

- 경부고속도로, 중앙고속도로, 익산-포항간 고속도로, 대구-부산간 고속도로 등에서 10km 이내 입지한 광역교통 접근성을 활용한 개발방안 모색. 검단산업단지, 산격유통단지(EXCO) 등과 연계한 도시형 첨단복합산업단지를 조성하여 대구북부권 경쟁력 강화. 금호강의 경관과 고속도로 등 지역자원을 극대화하여 경쟁력을 갖춘 산업단지 조성

다. 스마트시티 실증도시연계 검증

- 드론을 활용하여 재개발지구를 정밀 3D 모델링하여 정확한 건설폐기물 (총량, 종류별 발생량, 재활용성, 자원순환 등)을 평가할 수 있는 장비·장치의 현장적용



- 사업대상지 내 GPS 정보를 활용한 자동비행, 최신 RTK 기술을 활용하여 위치정확도 향상, 금호위터폴리스의 지형적 특성에 맞는 자동고도 비행 및 고해상도(4K) 영상 취득. 사진측량학 기반의 3차원 모델 구현, 드론영상의 중첩도와 좌표정보, 영상의 픽셀을 연산하여 3차원 모델을 생성하고 모델을 바탕으로 DSM을 제작함.
- 최신화 되어있는 건축(시설)물의 고도정보를 바탕으로 연면적과 체적을 연산함. 기존 연면적 방법과 체적을 바탕으로 건설폐기물량을 예측함. 본 장비·장치는 광범위 지역 내 발생량 예측을 신속하게 실행하고 건설폐기물을 처리함에 있어 LCA를 구현함. sUAV의 이미지영상에 3D모델링 기법 및 건물 체적 기반의 건설폐기물 평가를 접목하는 방식이며 자자체 실무에 바로 활용할 수 있는 차별성을 가짐. 대구도시공사 측의 업무협력내용은 항공촬영 및 DSM (Digital Surface Model)제작을 통한 건설폐기물량 예측 및 분석지원, (주)에프엠웍스가 비행 및 촬영허가 승인 후 항공촬영을 실시하였으며 고해상도 정사영상 및 DSM을 공유함.
- DSM분석을 통한 건축물 및 시설물 체적산출을 실시하였으며 현장조사 실측자료 및 BIM 모델링을 통한 물량분석을 병행함. QGIS플러그인 개발을 통한 시스템 구현을 시작으로 지속적인 보완 및 개선을 실시함. 대구도시공사의 협조사항으로는 실증 대상지의 현황도(CAD파일)를 공유하고 기존에 보유한 항공측량용역 지장물도를 공유함. 또한 금호위터폴리스 주요공장 실측규격, 건설폐기물 예측물량, 실제 건설폐기물 발생량(코로나19로 사업지연)을 공유함.

소속기관	대구도시공사	직책(위)	도시개발처 과장
이 름	박노택	연락처	053-350-0132/sunder76@duco.or.kr

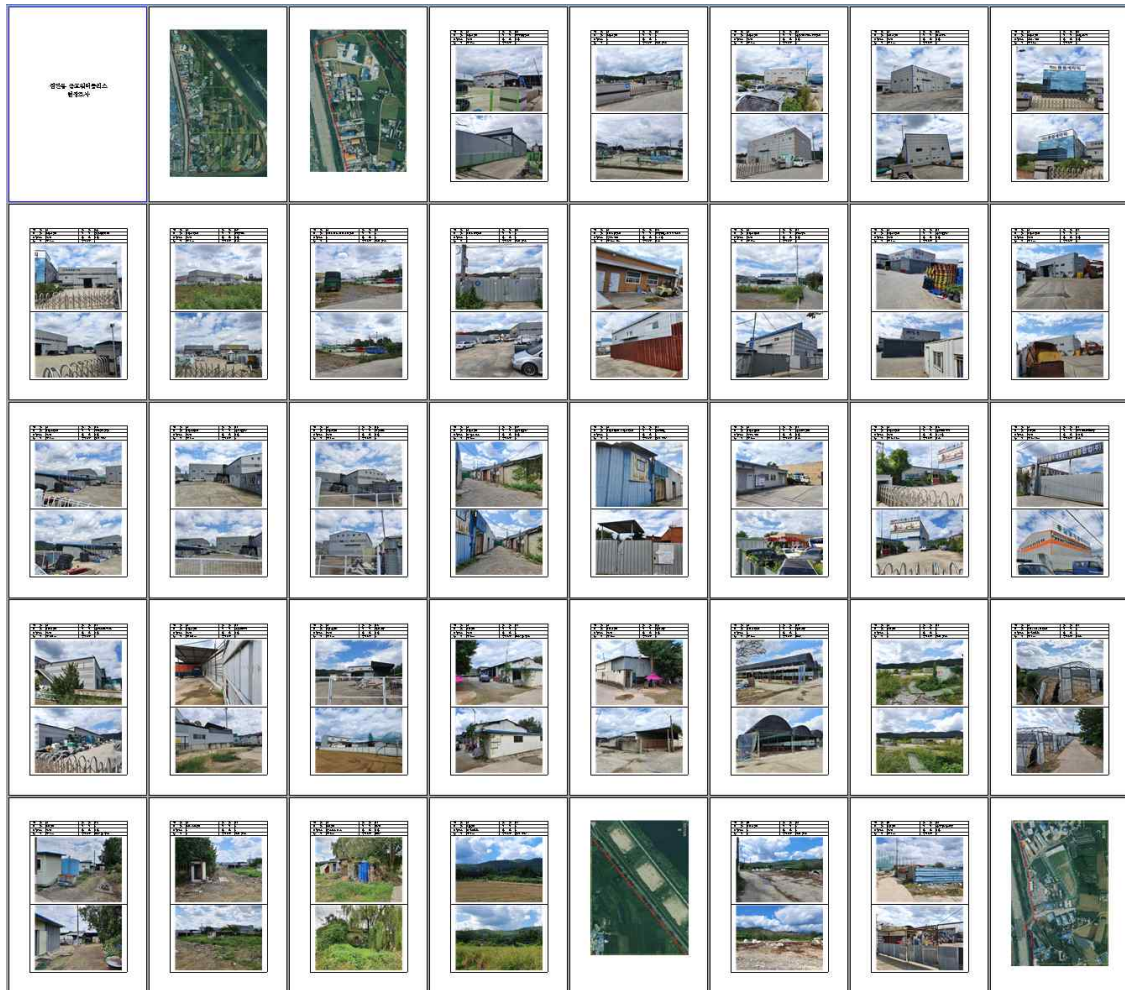
- 항공촬영 및 정사영상 제작, 현황조사



- 금호위터폴리스 DSM 제작

- 현장조사 및 기존 실측자료, BIM 모델링을 통한 건설폐기물량 산출실시, 주요 시설물 및 공장에 대하여 공장 실측자료와 체적을 비교함. 태백스틸, 이산조명, 혜성전기, 미래테크 등 비교적 대규모 시설물에 대하여 표면적(대구도시공사 요구) 산출

- 건축물 및 시설물 체적기준의 DSM을 통한 건설폐기물량 비교분석을 통해 QGIS 플러그인을 통한 연산자동화 및 결과 값 검증함. 검증결과는 시스템 검증부분에서 서술함.
- 기타 상세한 현장조사 결과는 약 110페이지 분량의 부록(별도)으로 제시함.



라. 건설폐기물 처리업체 DB 구축

- 전국 약 400개 이상의 건설폐기물 처리업체 리스트 작성, 모든 업체가 보유한 폐기장의 건설 폐기물 수용량을 확보할 경우 전국단위의 시스템 구현가능, 본 연구에서는 대구경북 중 실증대상지인 금호위터폴리스의 건설폐기물을 처리할 수 있는 곳으로 선정하여 실시함.
- 건설폐기물 수용량은 콘크리트, 철, 복합폐기물로 분류하였으며 폐기물의 종류에 따른 다양화를 위해서는 지속적인 폐기물 발생지 실증연계를 통해 건축물 및 시설물의 용도에 따른 연면적, 제적, 표면적 간의 상호관계를 도출해야함.
- 건설폐기물 처리업체 정보를 GIS 분석에서 사용하기 위해서 리스트를 GIS 속성정보에 데이터베이스 형태로 입력하는 과정이 필요함. 본 연구에서는 QGIS 오픈 프로그램을 이용하여 SHP파일 형태의 데이터베이스를 구축함.
- 건설폐기물 처리업체 DB는 SHP파일 형식 중에서 Point(점) 형태의 정보로 건설폐기물 업체가 관리하는 폐기장의 위치를 지도상의 점으로 표현함. 점의 위치는 폐기장으로 진입하는 입구(도로의 끝)에 위치함.
- 이렇게 구축된 건설폐기물 업체 DB를 통해 사업 대상지와 건설폐기물 폐기장의 최단거리 연산이 가능하며 속성정보에 입력된 각 폐기장의 폐기물 처리 수용량과 연동하여 적합성을 분석할 수 있음.

289	대구경북 (주)청경	경상북도 경주시 외동읍 냉천재내공단길 233	정수영	054-742-8838
290	대구경북 대한환경산업(주)	대구광역시 달성군 구지면 구지서로 10길 19	전남숙	053-552-7005
291	대구경북 성원도시개발(주)	대구광역시 달성군 현풍면 현풍서로 122	박익근	053-611-4008
292	대구경북 (주)우진산업	경상북도 울진군 울진읍 고성리 864-5	박준자	054-783-0705
293	대구경북 (주)세명산업개발	대구광역시 달서구 장기로 251-1 4층	안훈수	053-624-7722
294	대구경북 (주)대흥환경산업	경상북도 안동시 남선면 총효로 4147-19 (주)대흥환경산업	홍순연	054-858-8550
295	대구경북 중앙건설(주)	경상북도 영주시 문수면 문수로 1210	권오윤	054-637-8855
296	대구경북 예스환경주식회사	경상북도 구미시 장천면 강동로 650 1320-1	이재철	054-476-6802
297	대구경북 (주)경북환경	경상북도 예천군 호명면 양궁로 682-9	전금성	054-652-1304
298	대구경북 경북환경(주)	경상북도 구미시 선산읍 죽장리 821	김승이	054-481-9991
299	대구경북 거산산업개발(주)	경상북도 상주시 공성면 상우로 284	방필로	054-533-0891
300	대구경북 세아아스콘(주)	경상북도 김천시 구성면 하강리 327-1번지	이준엽,이	054-434-9506
301	대구경북 광명환경(주)	경상북도 영덕군 영덕읍 화수리 22번지	박경화	054-732-6366
302	대구경북 동부환경(주)	경상북도 안동시 양실3길 130	유하규	054-855-6388
303	대구경북 (주)그린파워텍	경상북도 김천시 남면 사모실길 68	조홍식	054-435-6647
304	대구경북 (주)토종환경	경상북도 구미시 산동면 혁림리 482-10	손재무	054-471-4700
305	대구경북 (주)한동일앤씨	경상북도 포항시 북구 흥해읍 흥해대로 1884	전기화	054-261-5292
306	대구경북 대덕환경산업(주)칠곡지점	경상북도 칠곡군 동명면 학평리 310-1, 310-4	김특경	054-975-0788
307	대구경북 (주)대산파워텍	경상북도 고령군 다산면 송곡리 1036-5	김현구	054-954-0156
308	대구경북 구미녹색환경(주)	경상북도 구미시 고아읍 원대로 325	백광량	054-482-4466
309	대구경북 (주)성지이테크	대구광역시 달성군 화원읍 사문진로 447 3층	한갑수	053-631-3999
310	대구경북 동성환경산업(주)	경상북도 의성군 단촌면 방하리 산 19	이재업	054-833-1231
311	대구경북 세아산업(주)	경상북도 구미시 구미대로 409 1005호	이준엽	054-975-0025
312	대구경북 소백환경	경상북도 영주시 장수면 총효로 2002	노진기	054-638-2525
313	대구경북 (주)경북산업	경상북도 김천시 개령면 개령로 336-12	김석태	054-437-4557
314	대구경북 현대환경(주)	경상북도 영주시 적서동 343-1	강순복	054-632-2626
315	대구경북 (주)상성환경	경상북도 포항시 남구 흥해읍 일월로278번길 74	최윤선	054-727-6000
316	대구경북 더블유아이케이환경(주)고령지점	경상북도 고령군 쌍림면 안림리 방아실길 156	김영호	054-954-0104
317	대구경북 더블유아이케이환경(주)고령지점	경상북도 고령군 쌍림면 안림리 방아실길 154	최창환	054-956-0103
318	대구경북 라인리사이클주식회사	경상북도 안동시 남후면 농공길 67 남후농공단지	조인수	054-843-9920
319	대구경북 동방환경산업(주)	경상북도 안동시 수하동 797-71	김도현	054-859-7979
320	대구경북 (주)해림환경개발	경상북도 경산시 남천면 남성원로 894	김탁동	053-813-5678
321	대구경북 (주)문경환경	경상북도 문경시 산양면 통정리 84	황철희	054-554-1208
322	대구경북 (주)대명환경산업	경상북도 영천시 대창면 사리리 204-1	손종석	054-336-5788
323	대구경북 (주)대명알앤씨	경상북도 영천시 고령면 상계로 259-42	정근섭	054-337-8828
324	대구경북 (주)새재환경	경상북도 문경시 신기동 336번지	조병호	054-554-0603
325	대구경북 우성산업개발(주)	경상북도 예천군 감천면 총효로 934	조관석	054-654-8372
326	대구경북 서현개발(주)	경상북도 포항시 북구 흥해읍 덕장길 218	손명숙	054-278-4491
327	대구경북 예천건설환경주식회사	경상북도 예천군 예천읍 양궁로 378 예천건설환경(주)	배상선	054-654-9932
328	대구경북 ㈜도암산업	경상북도 의성군 비안면 도암리 376-2	황정임	054-834-0020
329	대구경북 건우산업개발(주)	경상북도 문경시 마성면 은성로 1379	신윤교	054-571-2015
330	대구경북 (주)대진이앤씨	대구광역시 북구 침산로21길 23 오피스텔동 307호(침산동, 침산1차푸르지오)	조남호	053-341-0060
331	대구경북 대림산업(주)	경상북도 경주시 천북면 화산공단길 52-52	이경호	054-776-5867
332	대구경북 대성골재(주)	경상북도 안동시 양실2길 83	장영수	054-858-6377
333	대구경북 대진환경(주)	경상북도 영양군 정기면 정기로 1758-9	김재환, 최	054-683-0017
334	대구경북 (주)부호산업개발	경상북도 의성군 단촌면 방하리 217	이형진 이	054-834-7977
335	대구경북 미래개발(주)	경상북도 포항시 남구 연일읍 흥해대로 678	김종애	054-278-4477
336	대구경북 (주)윤성산업개발	대구광역시 달성군 하빈면 모동길 199	최유송	053-583-9127
337	대구경북 (주)새재아스콘	경상북도 문경시 신기동 288-1	조성현	054-554-6060

마. LCA평가시트 고찰

- 건설공사 표준품셈의 건설폐기물 발생량 예측 기준을 확인하여 시스템에 적용함. 건설폐기물량 발생량은 주거용, 업무용, 공공용을 단독주택, 공동주택, 철근콘크리트조, 철골조, 철골콘크리트류로 분류하여 콘크리트류의 폐기물량, 금속 및 철재류의 폐기물량, 혼합폐기물의 폐기물량을 예측함.
- 건설공사 표준품세의 건설폐기물량은 해체공사 연면적을 기준으로 일정한 상수를 적용하며 최종적으로 산출되며 단위는 무게인 톤으로 표시함. 본 연구에서 개발하는 시스템에서도 연면적 기준으로 폐기물량을 산출할 경우 해체공사 폐기물량 산출기준을 적용하여 폐기물량을 예측함.
- 단, 해체공사에 적용되는 연면적 계산에 있어 기존 도면만을 확인하여 적용하는 방식이나 현장조사에 의한 입력방식을 자동으로 전환하고자 드론영상을 통해 획득할 수 있는 최신 고도정보를 활용하여 3m를 기준으로 건축물 및 시설물의 층수를 적용하여 연면적을 계산함.
- 금호위터폴리스 실증대상지의 현장조사를 통해 층수를 모두 검증하였으며 기존 도면과의 비교분석은 도면이 부재한 시설이 많아서 현실적으로 불가능했음. 본 연구에서 개발하는 시스템은 실증대상지인 금호위터폴리스의 시설물을 고려하여 주거용 단독주택과 업무용 철근콘크리트조, 철골조를 적용하여 구현함.
- 연구성과 도출 후에도 대구도시공사와 지속적으로 협력하여 연구성과를 보완, 개선하기로 협의하였으며 코로나19 등으로 지연되어 공유하지 못한 실제 건설폐기물 발생량을 공유하여 시스템을 개선할 것임.

구분		콘크리트	금속/철재	혼합폐기물	계(ton/m ²)
주거용	단독주택	1.409	0.048	0.203	1.660
	공동주택	1.566	0.061	0.169	1.796
업무용	철근콘크리트조	1.488	0.073	0.135	1.696
	철골조	0.937	0.055	0.135	1.127
	철골철근콘크리트류	1.644	0.122	0.152	1.918
공공용	철근콘크리트조	1.409	0.067	0.118	1.594
	철골조	0.937	0.055	0.118	1.110
	철골철근콘크리트류	1.409	0.122	0.118	1.649

바. 최단거리 연산 시스템 구현

- 건설폐기물 관리 시스템의 최단거리 평가자동화 기능 구현실험

① 최단거리 평가자동화 기능 개발

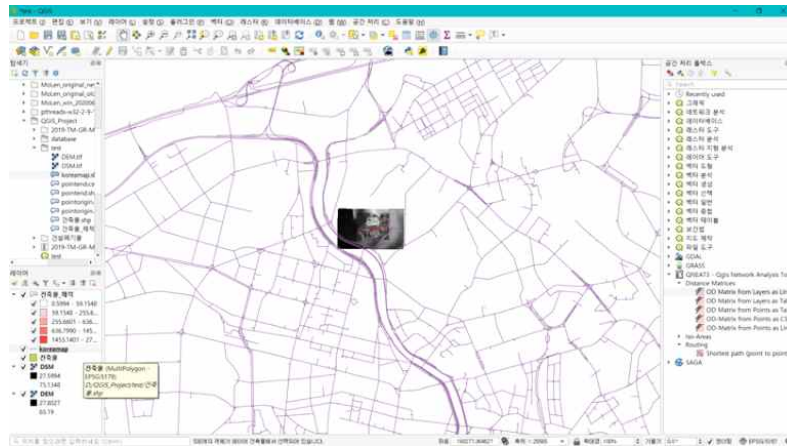


그림 . STEP1: 도로망 불러오기(KOREA MAP Shape파일 로드)

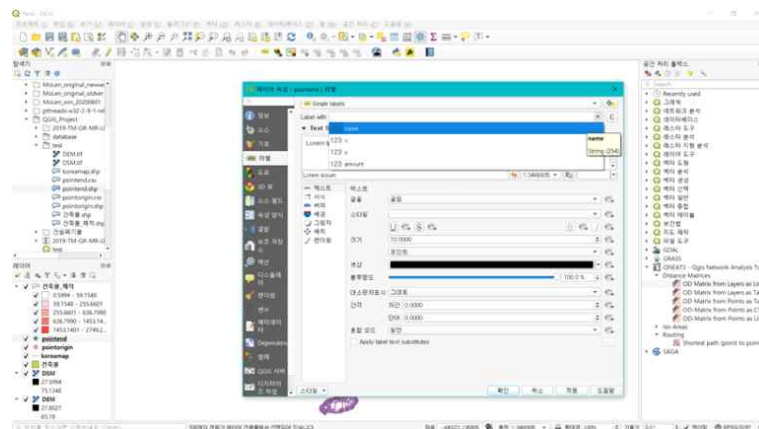


그림 . STEP3: QGIS에서 확인이 쉽도록 이름이 보일 수 있게 라벨 셋팅

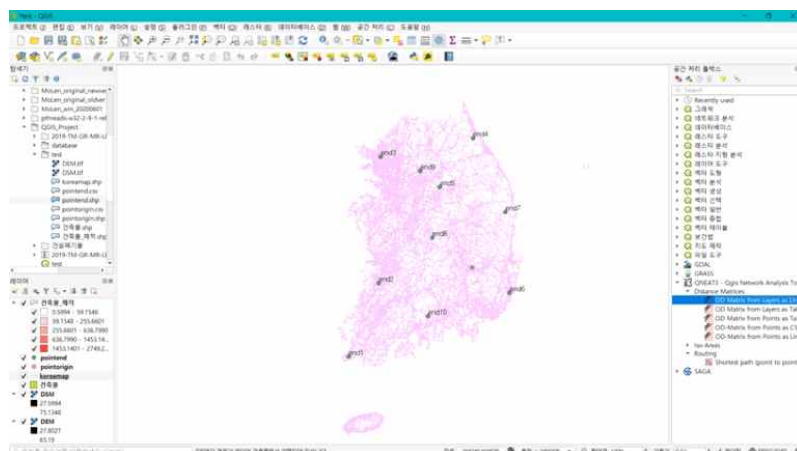


그림 . STEP4: 도로망과 대상점 예시(전국범위에서 디스플레이)

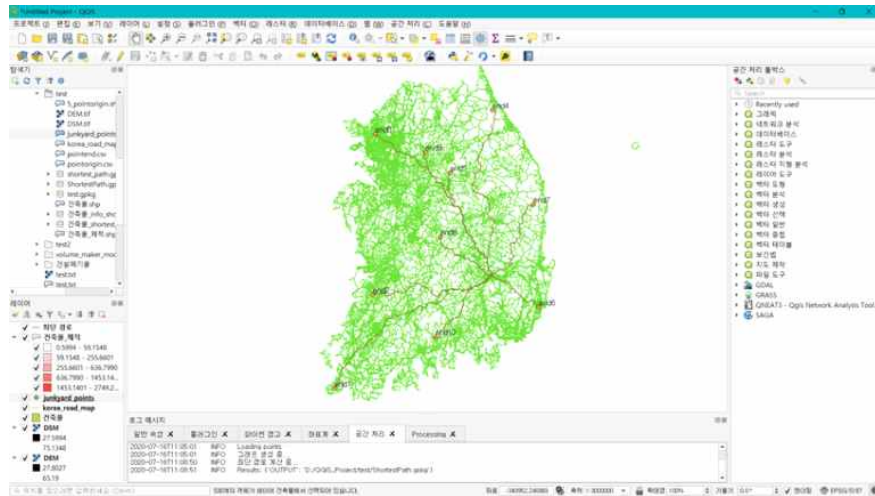


그림 . 최단거리 계산, 계산이 완료된 화면 예시

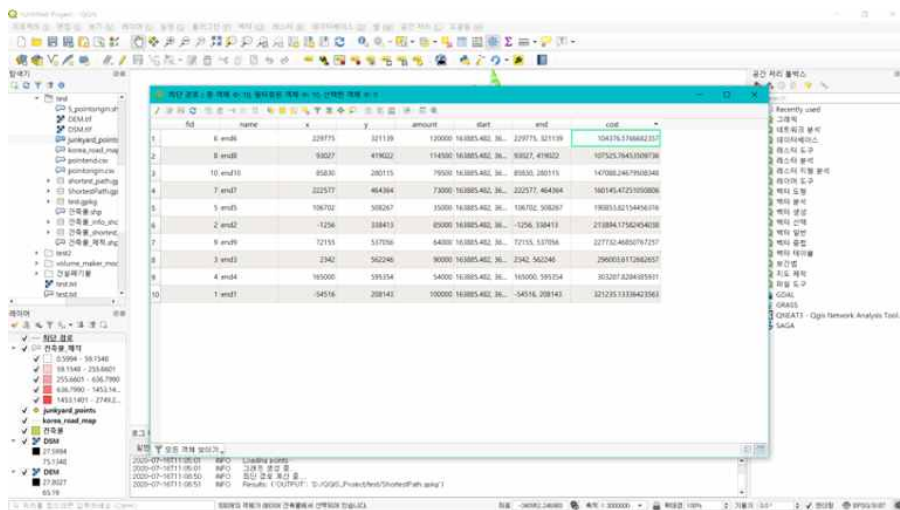


그림 . SHP 속성에서 COST 필드에 분석된 거리정보 자동기입

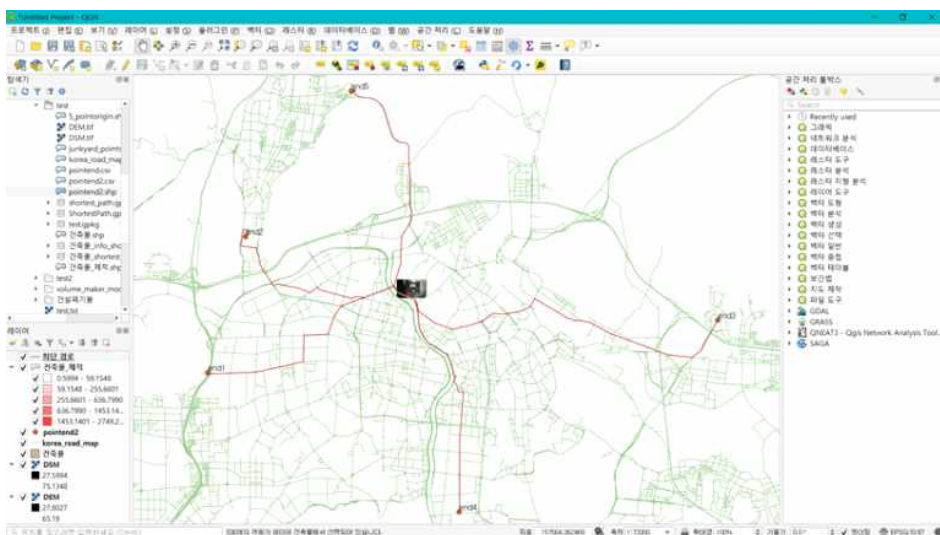


그림 . 대상지 스케일 조절, 사업대상지 규모에서 최단거리 계산

- 최단거리 평가자동화 기능개발을 위해 위 절차를 수행하였으며 QGIS에서 제공하는 플러그인 개발기능을 이용하여 최단거리 평가 기능을 구현함. QGIS의 버전은 3.0대의 안정화 버전을 사용하였으며 64비트 환경에서 개발함.
- 최단거리 연산기능은 본 연구에서 개발하는 건설폐기물 관리 시스템 내에 탑재하기 위해서 파이썬을 이용하여 다시 빌드 함. 기존 자동화 모듈을 패키지단위로 분리하여 QGIS 플러그인 형태로 리빌드 하여 본 시스템 내에 탑재하고 별도의 과정 없이 사용자의 선택에 따라 결과가 도출될 때까지 자동으로 연산함.
- 또한 건설폐기물량 산출을 위한 대상지는 정형적이지 않을 수 있고 전국 단위의 DB가 구축될 경우 시스템 활용성을 높이기 위하여 구축된 DB에서 사용자가 선택하여 건설폐기물량을 산출할 수 있는 형태로 개발함.

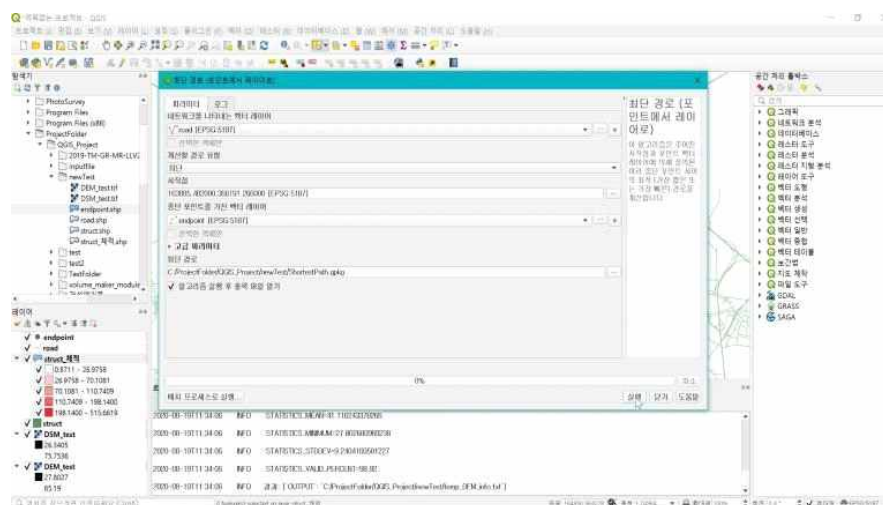


그림 . 최단거리 평가자동화 입력정보 화면

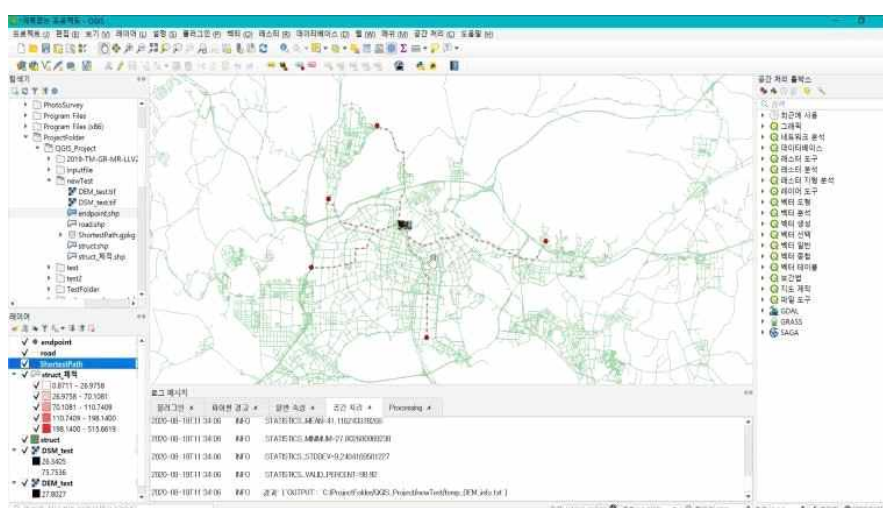


그림 . 최단거리 평가자동화 결과 화면

사. 건설폐기물량 산출 대상지(물) 선택기능 구현

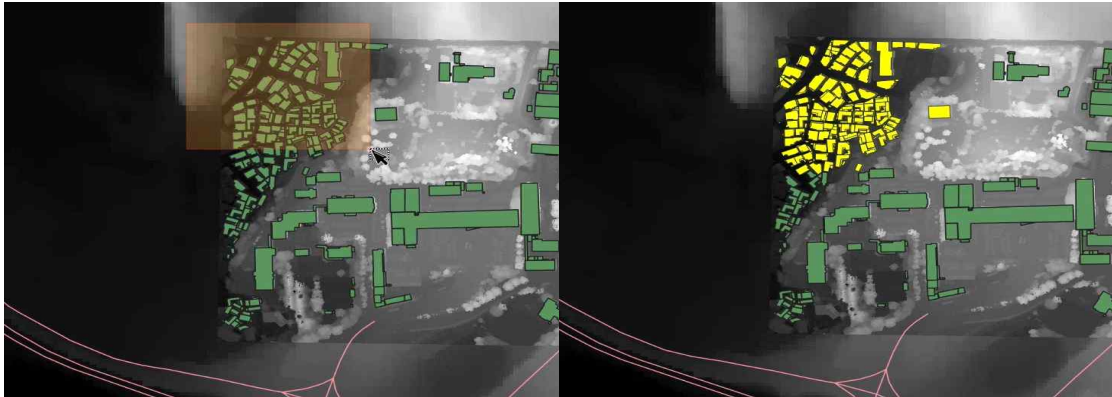


그림 . 건설폐기물 관리 시스템의 대상지 선택 화면

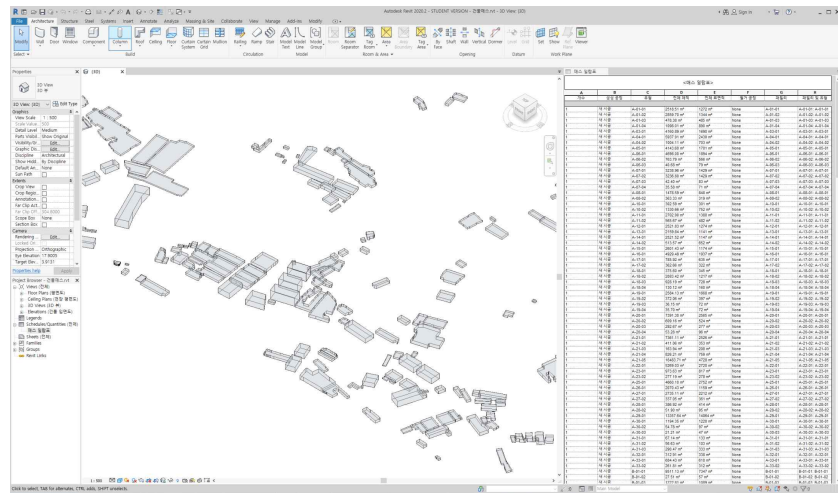
- 최단거리 평가자동화 기능은 구현된 분석 툴은 다양한 용도로 활용할 수 있음. 현재 대구광역시 전체를 대상으로 5개 지점에 대하여 평가를 수행한 결과 5분 이내의 시간이 소요됨.
- 사업실증 대상지인 금호위터폴리스의 경우 3개의 건설폐기물 처리업체와 대구경북 도로망 정도에서 연산한 결과 30초 내외의 시간이 소요됨. 건설폐기물량 산출에 소요되는 시간은 컴퓨터의 사양에 따라 달라질 수 있지만 64비트 QGIS에서 사용하는 램의 한계가 있기 때문에 필요이상의 성능은 분석 소요시간을 줄이는데 관계가 없음.
- 단 QGIS에 의존하지 않고 개별적인 GIS엔진을 사용하여 독립적인 프로그램으로 개발할 경우 속도는 얼마든지 높일 수 있음. 건설폐기물 관리 시스템은 사용자가 원하는 대상지를 선택하여 부분적으로 분석이 가능하도록 구현함. 추후 모든 지역에 공간정보가 구축될 경우 사용자는 건설폐기물량 예측이 필요한 대상지를 선택하여 결과 값을 확인할 수 있으며 건설폐기물 처리업체의 폐기장 거리 분석 또한 사용자가 선택한 대상지를 중심으로 분석함.

아. 드론영상과 BIM 기반의 대상지(물) 체적분석

- 건설폐기물 관리 시스템의 체적계산 정확도 검증을 위해 실증대상지 금호위터폴리스의 현장조사를 바탕으로 BIM 매스모델링을 실시함. 대구도시공사에서 요구하는 시설물의 표면적을 정확한 매스 모델을 바탕으로 산출하였으며 표면적은 대구도시공사의 요청에 따라 시설물의 바닥면적을 제외한 나머지 표면적을 바탕으로 산출함.
- 실증대상지인 금호위터폴리스 사업대상지 내에 건축물 및 시설물의 매수 수는 약 300여개로 이미 철거가 시작된 시설물이 존재하며 연구를 진행함에 따라 데이터를 확보한 시점의 차이로 인하여 도면의 유무, 현장조사 시점, 드론영상 획득시점에서 모두 존재하는 시설물을 대상으로 분석함.
- 도면이 존재하지 않는 시설은 현장조사를 바탕으로 하였으며 도면이 존재하는 시설의 경우에도 실측을 실시, 도면과 실제자료를 분석하여 BIM 모델을 구축함으로써 검증에 필요한 정

확한 모델을 구축함. BIM 모델에는 전체 체적, 전체 표면적, 철거 공정의 실시여부, 고유번호를 기입하여 관리함. 시스템 검증부분에서 BIM 기반의 데이터와 드론영상의 연산을 통한 데이터의 정확도를 비교분석함.

- 본 시스템에서 연산되는 드론영상 기반의 건축물 및 시설물의 체적은 $575,764\text{m}^3$ 이고 BIM 기반의 정확한 모델에서 산출한 건축물 및 시설물의 체적은 $572,811\text{m}^3$ 로 약 9.98m^3 의 차이가 발생함. 정확도를 비율로 환산할 경우 99%의 정확도를 확인함.



자. 블렌더 GIS 시각화 분석

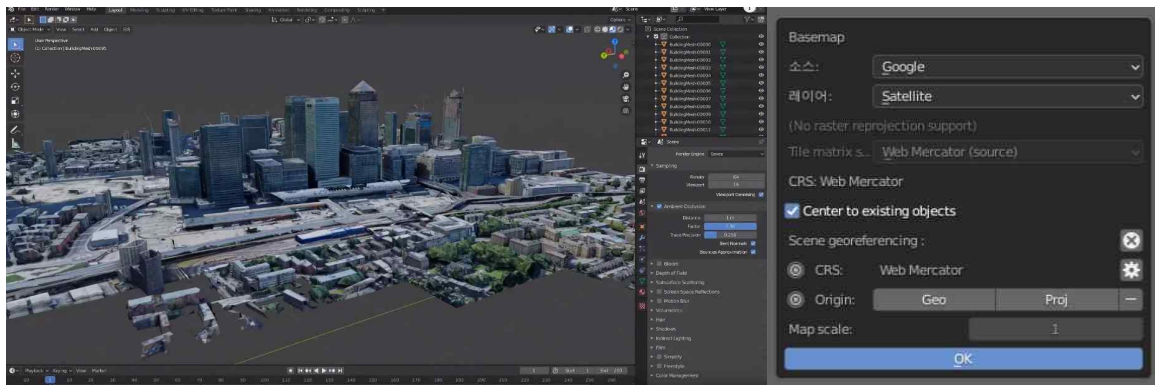


그림 . BlenderGIS의 대표그림(예시)

- 추후 연구성과의 3차원 시각화를 위해 BlenderGIS 엔진의 구현가능성을 분석함. 2020년 GIS 오픈플랫폼으로 소개된 엔진으로 안정화가 이루어졌다고 하지만 아직은 한계가 있음.
- 하지만 2D바탕인 QGIS에 비해 3D 형태로 가시화 할 수 있는 것이 강점임. 3차원 환경은 사용자의 직관적인 의사결정을 지원함. Blender 2.90.1버전에서 구글맵 기반으로 생성한 SRTM으로 바탕지도를 생성할 수 있음을 확인함. 우리나라에 적용할 경우 네이버, 다음 등에서 서비스하는 위성영상을 바탕지도로 사용하는 것을 기대할 수 있음.

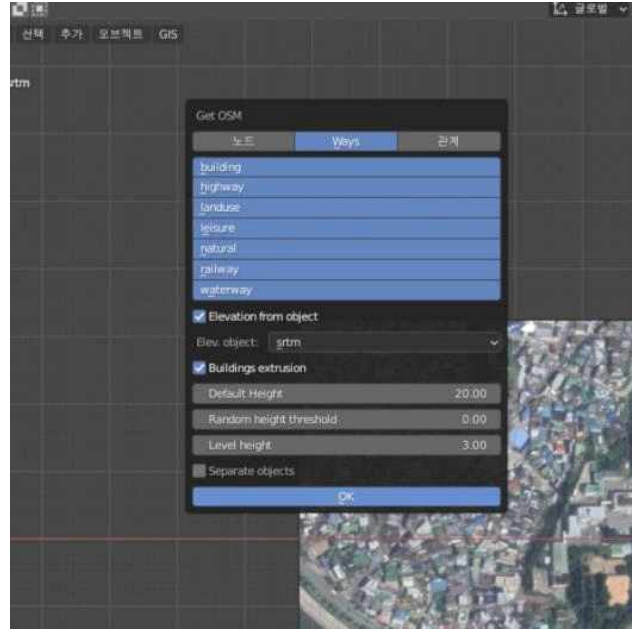


그림 . 구글맵 기반으로 공간정보 생성(예시)

- 3D 오브젝트 생성 시 일부 오브젝트만 생성되는 오류가 발생, 오브젝트가 생성되는 건물보다 그렇지 않은 건물의 비율이 높음. 전체적으로 큰 건물 위주로 오브젝트가 생성되지만 작은 건물임에도 생성되는 경우가 있고 오브젝트가 생성되지 않는 큰 건물도 많이 발생함. 건축물 오브젝트만 생성하는 옵션을 사용해도 동일한 오류가 발생됨.

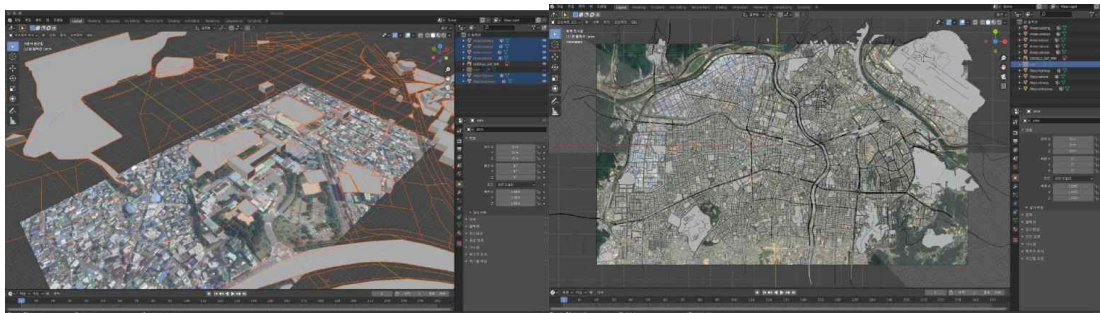


그림 . 건축물 3D 자동생성 오류화면(예시) 그림 . Blender 오브젝트 생성 최대범위(예시)

- 3D 오브젝트 생성이 가능한 최대 넓이가 한정되어 있으며 대구광역시를 기준으로 대구광역시 전체 면적을 수용하지 못함. 또한 구글맵을 사용할 경우 확대 시 해상도 문제가 생김. 하지만 드론의 항공영상을 통해 생성되는 정사영상을 이용할 경우 이러한 부분은 해결될 것으로 파악됨. 최단거리 연산 및 연산결과에 대한 가시화 부분은 충분히 Blender 엔진에서 구현 가능함.

차. 시스템 개발과정의 개선사항

- 공간처리 툴박스에 탑재되어 있는 GDAL 알고리즘이 QGIS가 설치되어 있는 개별 컴퓨터의 환경에 따라 오류가 발생하는 사례가 확인됨. 이에 본 연구개발의 성과인 최종 시스템에 GDAL 알고리즘을 포함하여 설치될 수 있도록 개선함. GDAL 알고리즘은 최단거리 계산을 위해서 지형정보인 DEM 레이어의 중심 정보를 읽어 들이기 위해서 필요한 알고리즘임.

- 또한 시스템에서 입력된 레이어가 아무것도 없는 상태에서 플러그인 버튼을 누르면 에러가 발생하는 부분을 수정 함. 입력 정보가 없는 상태에서 실행시키면 경고창이 팝업 되도록 수정 함. 그리고 동일한 레이어를 선택하거나 잘못된 레이어를 선택 한 경우에도 예외 처리를 했음.
- 하지만 입력정보를 스크립트에서 구분 할 방법이 래스터와 벡터 두 가지 밖에 없어서 한계가 있음. DEM과 DSM은 래스터가 아닐 경우에는 에러 창을 띄우도록 했고 건축물, 도로망, 처리장은 벡터가 아닐 경우에 에러 창을 띄우도록 수정함.

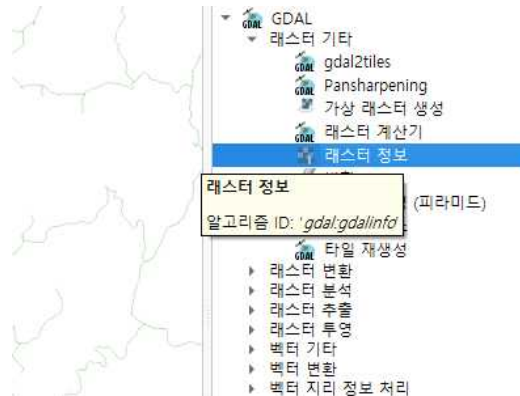


그림 . GDAL 알고리즘

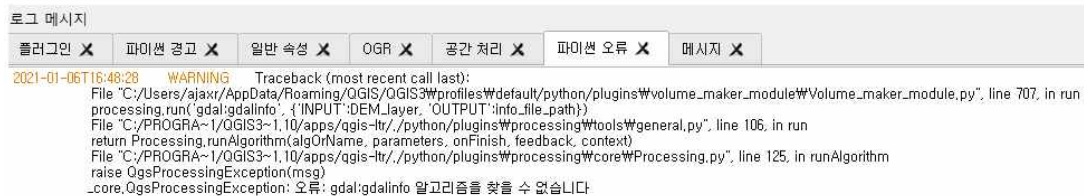


그림 . GDAL 알고리즘 오류발생

카. 건설폐기물 관리 시스템 검증결과

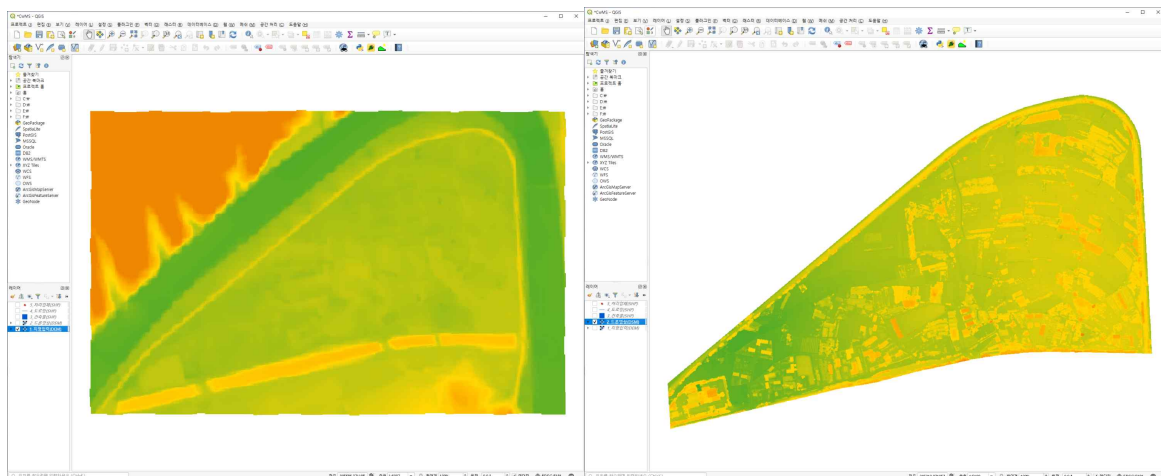


그림 . 대상지의 지형정보(DEM) 입력

그림 . 대상지의 드론영상(DSM) 입력

- 금호위터폴리스의 5m급 지형정보로 DEM의 픽셀마다 고도정보를 가지고 있음. 래스터 파일은 별도로 테이블 형태의 속성정보를 바로 디스플레이 할 수 없지만 이미지의 메타정보에 고도정보를 포함하고 있음. 본 시스템의 실증대상지인 금호위터폴리스 DEM은 주황색 부분이 가장 고도가 높은 지역이며 녹색 부분이 가장 낮은 지역임. 중간색은 노란색으로 표현함.
- 본 연구에서는 실증에 필요한 금호위터폴리스 대상지에 대해서만 DEM을 구축하였지만 이미 전국에 해당하는 DEM이 구축되어 있음. 본 DEM의 이미지에서는 20m 이하인 부분을 녹색, 50m 이상을 주황색으로 표현하였으며 중간색은 노란색은 약 35m 내외인 부분을 표현함.
- 좌표계는 EPSG:5179 - Korea 2000 / Unified CS 기준으로 작성함.
- 금호위터폴리스의 2m급 지표면정보로 DSM의 픽셀마다 고도정보를 가지고 있음. 래스터 파일은 별도로 테이블 형태의 속성정보를 바로 디스플레이 할 수 없지만 이미지의 메타정보에 고도정보를 포함하고 있음.본 시스템의 실증대상지인 금호위터폴리스 DSM은 주황색 부분이 가장 고도가 높은 지역이며 녹색 부분이 가장 낮은 지역임. 중간색은 노란색으로 표현함. 본 연구에서는 실증에 필요한 금호위터폴리스 대상지에 대해서만 DSM을 구축하였으며 동일한 대상지 규모일 경우 항공촬영을 위해 약 1일이 소요됨. 본 DSM의 이미지에서는 20m 이하인 부분을 녹색, 50m 이상을 주황색으로 표현하였으며 중간색은 노란색은 약 35m 내외인 부분을 표현함.
- 좌표계는 EPSG:5179 - Korea 2000 / Unified CS 기준으로 작성함.

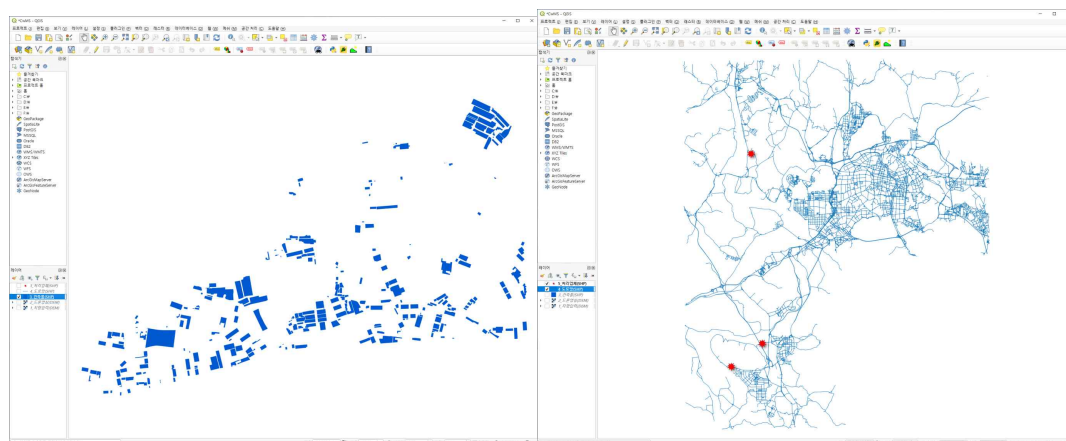


그림 . 대상지의 건축물 및 시설물 정보 그림 . 대상지 및 폐기장 최단거리 분석에

입력

필요한 도로망, 폐기장 정보 입력

- 금호위터폴리스의 건축물 및 시설물 정보는 GIS 데이터베이스 형태의 벡터파일인 SHP파일 형태로 입력함. 건축물 SHP는 국토공간정보포털에서 제공하고 있으며 제공되는 SHP의 속성 정보에 건축물 및 시설물의 용도, 주요재료와 층수가 포함되어 있음.하지만 구축되어 있는 공간정보는 층고를 고려하지 않고 건축대장에서 관리하는 층수만을 정보에 포함하고 있어 실제 건설폐기물량과 차이가 발생함.

- 본 시스템에서는 기 포함되어 있는 층수를 사용하지 않고 DEM과 DSM의 차이에서 발생하는 실제 건축물 및 시설물의 높이를 추출하여 건설폐기물량을 예측함. 연면적 기반의 기존방법에 대해서도 시설물의 높이 3미터를 기준으로 층수를 계산하여 연면적 산출에 사용하였으며 층고 1.5m 이하에 대해서는 시설물에서 제외함. 또한 건축물 용도에 따라 주택의 경우는 3m 이하, 실증대상지에 많이 포함되어 있는 공장시설에 대해서는 4m를 기본 층고로 산출함. (대상지내 특수한 형태 및 사례에 대해서는 현장조사를 병행하여 확인)

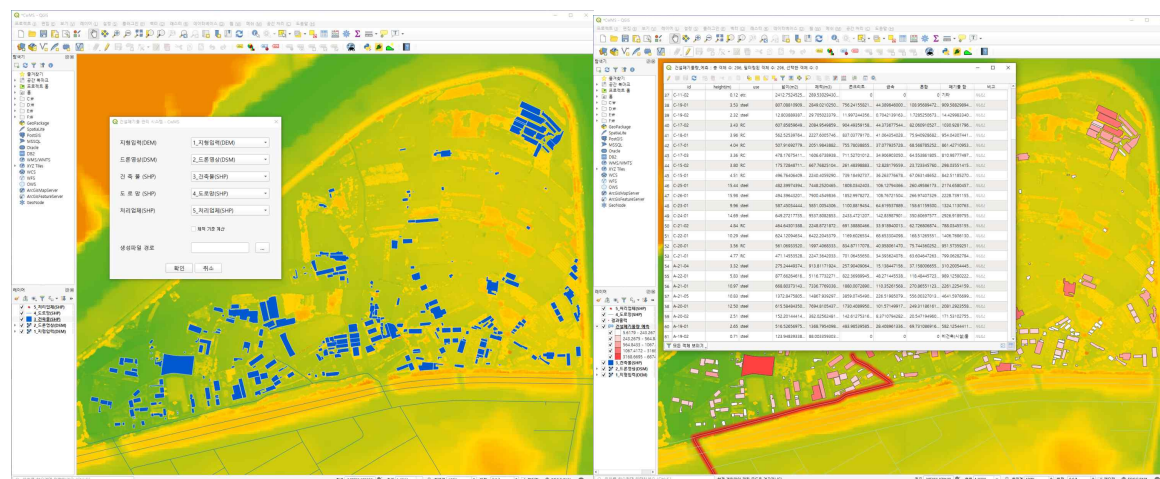


그림 1. 건설폐기물량 예측을 위한 정보(레이어) 그림 2. 각 시설물별 건설폐기물 발생량 예측 결과화면(속성정보)

- 건설폐기물의 건설폐기물 처리업체 선정을 위한 최단거리 연산에 필요한 도로망 정보는 KO REA MAP에서 제공하는 SHP 파일을 이용함. 도로망은 전국 모두 구축되어 있으나 본 연구에서는 처리속도를 높이하고자 대구도시공사 금호위터폴리스 대상지 시물레이션에 필요한 도로망을 편집하여 입력함. 도로망은 선형 SHP형태를 가지며 좌표계는 다른 정보와 마찬가지로 EPSG:5179 - Korea 2000 / Unified CS 기준임.
- 건설폐기물 처리업체 정보는 점(Point)형 SHP형태를 가지며 속성정보에 업체명, 주소, 대표자, 전화번호, 건설폐기물 종류별 수용량과 수용량 합계정보를 가지고 있음. 추후 건설폐기물 업체 통합관리시스템이 구축될 경우 각 업체의 폐기장에서 처리할 수 있는 건설폐기물 종류와 수용량이 실시간으로 피드백될 경우 본 사업성과의 활용도를 높일 수 있음.
- 건설폐기물 관리 시스템을 실행하면 건설폐기물량 예측에 필요한 해당 정보를 입력할 수 있는 창이 팝업 됨. 창에서 필요한 정보의 순서에 따라 해당 항목을 맞게 선택하면 프로세싱을 시작할 수 있으나 정보를 다르게 입력하거나 누락할 경우에 경고창이 팝업 되고 프로세싱을 시작할 수 없음. 본 사례에서는 알아보기 쉽도록 입력되어야 할 정보와 레이어의 이름을 동일하게 설정하여 매칭 함. 정보입력창에서 아래쪽 체크기준을 체크할 경우 체크를 바탕으로 연산함. (기본은 연면적 기준임) 금호위터폴리스의 경우 연산하는데 약 30초 미만의 시간이 소요되었으며 전국 도로망을 사용할 경우 약 5분의 시간이 소요됨.
- 사업대상지가 시군구 규모가 되고 전국에 있는 건설폐기물 업체를 입력하여 시물레이션 하

더라도 QGIS의 메모리 제한에서 해방되어 독립적인 프로그램을 개발 할 경우 컴퓨터의 성능에 따라 수십 초 이내로 결과를 출력할 수 있음.

- 건설폐기물량 시뮬레이션이 완료되면 각 건축물 및 시설물의 건설폐기물량을 속성정보에 포함하고 있는 새로운 레이어가 생성됨. 새로운 결과 레이어의 색상은 체적이 클수록 붉은색으로 표현되며 체적이 작을수록 흰색으로 표현됨. 금호위터폴리스 사례의 경우 체적이 5m³ 보다 작으면 흰색 3,100m³ 보다 크면 가장 붉은색으로 표시됨.
- 새로운 결과 레이어의 속성정보는 최초에 입력된 건축물 SHP 파일을 바탕으로 기존에 가지고 있는 속성정보와 예측한 건설폐기물량을 모두 포함함. 예측한 건설폐기물량은 각 건축물 및 시설물별 콘크리트 물량과 금속 및 철재류 폐기물량, 혼합폐기물량으로 각각 표시되며 마지막 필드에 총 합계 물량이 표시됨. 본 시스템에서는 모든 건축물 및 시설물 형태에 대응하지는 못하지만 금호위터폴리스에서 90% 이상을 차지하는 철근콘크리트조와 철골조에 대해서 건설폐기물량을 예측할 수 있도록 개발함.

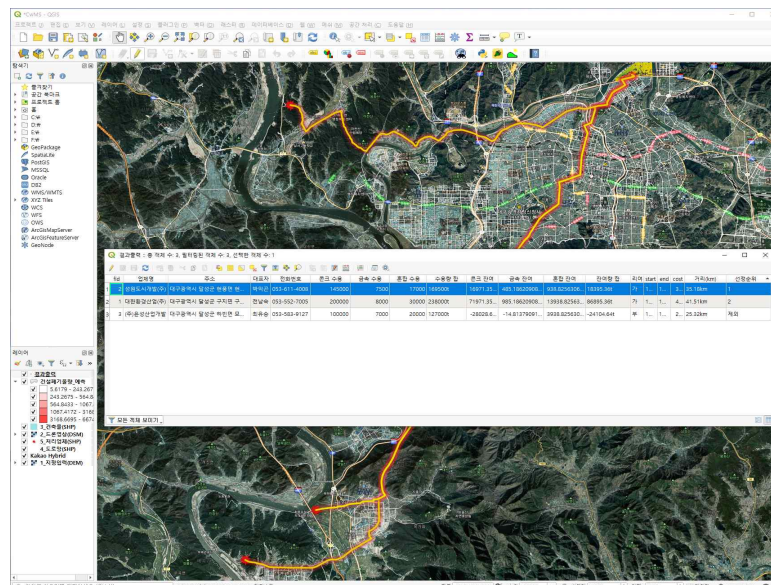


그림 . 각 건설폐기물 업체 우선순위 결과화면(속성정보)

- 건설폐기물 처리업체 선정(순위) 시뮬레이션이 완료되면 결과출력 레이어가 새롭게 생성되며 속성정보에는 최초에 입력한 업체정보 정보를 바탕으로 발생한 건설폐기물량을 처리한 후 처리 가능한 폐기장 용량이 표시됨. 각 건설폐기물 업체 폐기장의 잔여 총량이 마이너스(-)로 표시될 경우 해당 폐기장은 처리용량 미달로 부적합(가/부 표시) 대상임.
- 또한 결과의 속성정보에서 시작(start), 도착(end), 이동거리(cost)는 각각 사업 대상지의 출발위치, 폐기장의 도착위치, 대상지와 폐기장까지의 거리를 나타냄. 우선적으로 건설폐기물 종류별 처리용량과 총 처리용량이 적합한 대상을 찾고 다음으로 대상지와 폐기장의 최단거리를 분석하여 건설폐기물 처리업체 순위를 지정함. 실증대상지 전체 또는 일부, 연면적 기준, 체적 기준 모두 다양하게 시뮬레이션을 실시하였으며 그에 따라 결과가 예상대로 출력됨. 하지만 실제 발생한 폐기물량과의 비교분석을 통해 지속적인 정확도 향상이 필요함.

- 금호위터폴리스를 대상으로 건설폐기물 관리 시스템의 정확도를 검증하였으며 비교한 실제 데이터의 요약 및 주요 내용은 다음과 같음. 금호위터폴리스내 건축물 및 시설물 약 300개 중 수지지형도의 건축정보, 건축대장의 건축정보, 대구도시공사의 현황도, 현장조사 자료, 드론영상 등 데이터의 취득시점에서 모두 정보를 포함하고 있으며 건축물 및 시설물의 높이가 1.5m 이하인 시설물은 시스템 결과에서 제외함.

표 . 현장조사를 병행한 BIM 체적과 드론영상 기반의 시스템 출력 체적의 비교검증

대상물	BIM 체적(m ³)	시스템 체적(m ³)	절대오차(m ³)	오차율(%)
228개	572,811	575,764	2,953	약 0.5

표 . 건설폐기물 관리 시스템을 이용한 금호위터폴리스 폐기물량 예측결과

대상물	콘크리트 물량(t)	금속 물량(t)	혼합 물량(t)	합계(t)
228개	128,028	7,015	16,061	151,104

표 . 건설폐기물 관리시스템과 대구도시공사의 건설폐기물 예측물량 차이비교

대상물	시스템 폐기물량(t)	도시공사 예측물량(t)	물량/시설물 수	오차율(%)
297개	151,104	—	508	약 39
228개	—	83,200	364	

- 종합적으로 기존 방법인 연면적 기준을 적용한 대구도시공사의 건설폐기물량은 83,200톤이며 건설폐기물 관리시스템에서 산출한 건설폐기물량은 151,104톤으로 67,904톤의 물량차이가 발생함. 시설물 수를 적용하여 평균적으로 계산한다면 대구도시공사의 건설폐기물량은 시설당 약 365톤이고 건설폐기물 관리시스템의 건설폐기물량은 약 508톤임.
- 단 대구도시공사의 건설폐기물 예측물량은 297개의 시설을 대상으로 하고 있으며 통합적으로 계산되어 본 연구의 228개에 해당하는 비교자료가 존재하지 않음. 이는 금호위터폴리스의 건축물 및 시설물 중 무허가 창고, 가건물 등이 많이 존재하기 때문임. 실제 2020년 6월부터 지속적으로 철거가 진행되고 있으며 철거 시 예측 물량에 비해 실제 물량이 증가하는 추세임.
- 또한 금호위터폴리스 대상지내 공장의 비율이 높아 재료가 1.5m 이상의 높이로 쌓여있는 적재물이 다수 존재하고 있어 시스템의 폐기물량이 약 2배에 가깝게 산출된 것으로 이해됨. 본 시스템의 정확도를 높이기 위해서는 실제 폐기물량과 비교하여 시스템을 개선하는 지속적인 노력이 필요함. 이에 대구도시공사와 재난안전산업진흥협회와 업무협약을 맺고 지속적으로 시스템 개선과 기술발전을 위해 노력할 예정임.

표 . 기존방법과 건설폐기물 관리시스템의 건설폐기물량 비교분석

비교항목	기존방법	건설폐기물 관리시스템	오차(단위)	오차발생 원인분석
대상지	금호워터폴리스	금호워터폴리스	-	-
대상물(a)	228	297	69(EA)	무허가 시설
폐기물량(b)	83,200	151,104	67,904(t)	대상물 수
(b)÷(a)	364.912	508.767	143.853	건축용도
대상물(대상통일)	228	228	0(EA)	69개 제외
폐기물량 (대상통일)	83,200	115,999	32,799(t)	구조 및 층고
실제 철거 ('21.02.25)	코로나19 등으로 폐기물처리신고 연기			
실제 폐기물 발생량	대구도시공사 자료협조 예정 ('21.12)			

- 기존방법과 건설폐기물 관리시스템의 건설폐기물 발생량 차이는 앞서 설명한 내용과 같이 무허가 건축물 및 시설물, 창고 등에 따른 대상물 수의 차이, 기존방법의 건축용도에 따른 한계점(주거, 업무, 공공), 기존방법의 건축구조에 따른 한계점(철근철골콘크리트, 철근콘크리트, 철골)을 원인으로 하며 가장 큰 원인은 기존 연면적 기반 산출방법의 분류상으로 분류되지 않는 가건물과 공장시설에 따른 층고차이가 주요 원인으로 분석됨. 본 연구개발 성과인 건설폐기물 관리시스템은 이러한 부분의 정확도를 높이고자 공장건물에 대하여 표면적을 함께 산출하여 실제 발생량과 비교할 계획임.
- 본 연구개발 성과를 적용한 대구 금호워터폴리스 대상지는 현재(2021년 2월) 철거가 이루어지고 있으나 철거율이 2%미만으로 실제 폐기물발생량을 연구기간내 비교하기에 한계가 발생함. 이에 대구도시공사와 공동연구기관인 (주)에프엠웍스는 업무협약을 통해 지속적으로 건설폐기물 관리시스템의 개선을 위해 노력함. 코로나19사태 등으로 폐기물처리 신고가 연기됨에 따라 철거가 연기되고 있으나 2021년 12월까지 70%이상 철거를 진행할 계획으로 대구도시공사 측의 자료협조를 통해 시스템 개선을 실시할 예정임. 또한 대구도시공사의 협조가 가능한 수요처를 물색하여 실제 건설폐기물량에 대한 데이터를 축적하고 실제 건설폐기물 발생량 검증에 통해 시스템을 개선함.
- 본 연구를 통해 도출된 건설폐기물 관리 시스템 개선을 위해서 향후 DSM, DEM 체적산출 알고리즘 기반의 BIM 정보를 이용한 건축물 현황과약 응용프로그램 개발이 필요할 것으로 판단됨. 건설폐기물 관리 시스템은 현재 QGIS 플러그인 형태로 자체적인 GIS엔진을 탑재하지 않고 있기 때문에 시·군·구 규모의 자원순환 시스템 구축 시 자체 엔진을 탑재한 별도의 시스템 개발이 필요함. 시스템은 DSM과 DEM 및 구축된 BIM 정보를 연산하여 건축물 및 시설물의 체적, 연면적, 표면적을 산출할 수 있어야 하며 국토교통부의 건축 인허가 시스템인 세움터와 정보교환을 할 수 있어야 함. 또한 건설폐기물 발생량에 대한 빅데이터를 구축하고 장기적인 분석과 검증을 통하여 정확도를 확보하여야 함.

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 정량적 정성적 목표-달성

구분	핵심성과 (CIE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수				
					질적 성과지표	목표 치	달성 치	측정방법	검증방법	가중치					
주관	A	노후 건축물 3D Scan + BIM 역설계 기술을 통한 폐기물 예측	A-1	sUAV와 3D scan의 BIM 연동을 통한 역설계 기술 개발	①	SCI급논문	1	1	논문	SCI급논문	5	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건			
					②	BIM 역설계 최적화	1	1	알고리즘	보고서	3				
			A-2	BIM역설계를 통한 폐기물 발생량 추정 모델링	①	특허출원	1	1	특허	출원증	5				
					②	BIM library의 한국형 건설폐기물 분류체계 확립	1	1	비교평가	보고서	3				
					③	BIM DB구축	1	1	DB구축	보고서	3				
					④	BIM DB구축	1	1	DB구축	보고서	3				
	B	BIM-GIS를 활용한 자원순환 시스템 구축	B-1	BIM기반 건설폐기물 발생량 평가 Framework 개발	①	SCI급논문	1	3	논문	SCI급논문	5	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 SW: 1건			
					②	노후건축물의 건설폐기물 원단위 산출	1	1	비교평가	보고서	3				
					③	발생량에 따른 환경영향 및 경제성 평가 지표 설정	1	1	비교평가	보고서	3				
					④	평가 Framework 개발	1	1	알고리즘	보고서	3				
			B-2	GIS기반 발생된 건설폐기물의 최적자원순환 선정	①	특허출원	1	1	특허	출원증	3				
					②	특허등록	1		특허	등록증	5				
					③	성상별 처리업체 리스트업	1	1	DB구축	보고서	3				
					④	최저비용분석 모듈 개발	1	1	알고리즘	보고서	3				
					⑤	최단거리분석 모듈 개발	1	1	알고리즘	보고서	3				
					⑥	자원순환경로 최적 프로세스 개발	1	1	알고리즘	보고서	3				
			B-3	Pilot-Test	①	Pilot-Test	1	1	Pilot-Test	보고서	3				
			C	다목적 활용모델 개발과 현장적용 최적 프로세스	C-1	다목적 최적자원순환 시스템 개발	①	특허출원	1	2	특허		출원증	3	특허: 출원 1건
							②	SCI급논문	1	4	논문		SCI급논문	5	
							③	SW 오픈테스트 및 버그개선	1	1	알고리즘		보고서	3	
	④	매뉴얼 개발					1	1	DB구축	보고서	3				
C-2	현장검증	①			Pilot Test bed 진행	1	1	Pilot-Test	보고서	3					
		⑤			프로그램 개발	1	1	S/W	출원증	3					
공동	A	노후 건축물 3D Scan + BIM 역설계 기술을 통한 폐기물 예측	A-1	sUAV와 3D scan의 BIM 연동을 통한 역설계 기술 개발	⑥	sUAV로 지구단위 스캔	1	1	알고리즘	보고서	3	특허: 출원 1건 SW: 1건			
					⑦	건물내부 3D scan	1	1	알고리즘	보고서	3				
					⑧	BIM 역설계	1	1	DB구축	보고서	3				
	B	BIM-GIS를 활용한 자원순환 시스템 구축	B-4	BIM-GIS 통합연동 모듈 개발	①	프로그램 개발	1	1	S/W	출원증	5	특허: 출원 1건 SW: 1건			
	C	다목적 활용모델 개발과 현장적용 최적 프로세스	C-1	다목적 최적자원순환 시스템 개발	①	프로그램 개발	1	1	S/W	출원증	10	SW: 1건			
계										100	특허: 출원 3건 등록 1건 논문: 3건 사제품: 1건 SW: 3건				

[1차년도]

구분	핵심성과 (CIE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치		
주관	A	노후 건축물 3D Scan + BIM 역설계 기술을 통한 폐기물 예측	A-1	sUAV와 3D scan의 BIM 연동을 통한 역설계 기술 개발	①	SCI급논문	1	1	논문	SCI급논문	15	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 사제품: 1건 SW: 1건
				②	BIM 역설계 최적화	1	1	알고리즘	보고서	10		
			A-2	BIM역설계를 통한 폐기물 발생량 추정 모델링	①	특허출원	1	1	특허	출원증	15	
					②	BIM library의 한국형 건설 폐기물 분류 체계 확립	1	1	비교평가	보고서	10	
	B	BIM-GIS를 활용한 자원순환 시스템 구축	B-1	BIM기반 건설폐기물 발생량 평가 Framework 개발	②	노후건축물의 건설폐기물 원단위 산출	1	1	비교평가	보고서	5	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 사제품: 1건 SW: 1건
					③	발생량에 따른 환경영향 및 경제성 평가 지표 설정	1	1	비교평가	보고서	5	
			B-2	GIS기반 발생된 건설폐기물의 최적자원순환 선정	③	성상별 처리업체 리스트업	1	1	DB구축	보고서	5	
공동	A	노후 건축물 3D Scan + BIM 역설계 기술을 통한 폐기물 예측	A-2	sUAV와 3D scan의 BIM 연동을 통한 노후건축물 역설계 최적화	⑤	프로그램 개발	1	1	S/W	출원증	15	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 사제품: 1건 SW: 1건
					⑥	sUAV로 지구단위 스캔	1	1	알고리즘	보고서	5	
					⑦	건물내부 3D sc an	1	1	알고리즘	보고서	5	
					⑧	BIM 역설계	1	1	DB구축	보고서	10	
계											100	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 사제품: 1건 SW: 1건

[2차년도]

구분	핵심성과 (CIE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수			
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치				
주관	A	노후 건축물 3D Scan + BIM 역설계 기술을 통한 폐기물 예측	A-2	BIM역설계를 통한 폐기물 발생량 추정 모델링	③	BIM DB구축	1	1	DB구축	보고서	10	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 사제품: 1건 S/W: 1건		
	B	BIM-GIS를 활용한 자원순환 시스템 구축	B-1	BIM기반 건설폐기물 발생량 평가 Framework 개발	①	SCI급논문	1	3	논문	SCI급논문	20	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 사제품: 1건 S/W: 1건		
					④	평가 Framework 개발	1	1	알고리즘	보고서	5			
			B-2	GIS기반 발생된 건설폐기물의 최적자원순환 선정	①	특허출원	1	1	특허	출원증	15			
					④	최저비용분석 모듈 개발	1	1	알고리즘	보고서	5			
					⑤	최단거리분석 모듈 개발	1	1	알고리즘	보고서	5			
					⑥	자원순환경로 최적 프로세스 개발	1	1	알고리즘	보고서	10			
					B-3	Pilot-Test	①	Pilot-Test	1	1	Pilot-Test		보고서	10
	공동	B	BIM-GIS를 활용한 자원순환 시스템 구축	B-4	BIM-GIS 통합연동 모듈 개발	①	프로그램 개발	1	1	S/W	출원증	20	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 사제품: 1건 S/W: 1건	
계											100	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 사제품: 1건 S/W: 1건		

[3차년도]

구분		핵심성과 (CIE)	단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치		
주관	B	BIM-GIS를 활용한 자원순환 시스템 구축	B-2	GIS기반 발생된 건설폐기물의 최적자원순환 선정	②	특허등록	1	1	특허	등록증	15	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u> </u> 건 사제품: <u> </u> 건 S/W: <u> </u> 건
					①	특허출원	1	2	특허	출원증	15	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u> </u> 건 논문: <u> </u> 건 사제품: <u> </u> 건 S/W: <u> </u> 건
	②	SCI급논문	1	4	논문	SCI급논문	20					
	C	다목적 활용모델 개발과 현장적용 최적 프로세스	C-1	다목적 최적자원순환 시스템 개발	③	S/W 오픈테스트 및 버그개선	1	1	알고리즘	보고서	10	
					④	매뉴얼 개발	1	1	DB구축	보고서	10	
					C-2	현장검증	①	Pilot Test bed 진행	1	1	Pilot-Test	보고서
공동	C	다목적 활용모델 개발과 현장적용 최적 프로세스	C-1	다목적 최적자원순환 시스템 개발	①	프로그램 개발	1	1	S/W	출원증	20	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u> </u> 건 논문: <u> </u> 건 사제품: <u> </u> 건 S/W: <u> </u> 건
계											100	특허: 출원 <u>1</u> 건 등록 <u>1</u> 건 논문: <u> </u> 건 사제품: <u> </u> 건 S/W: <u> </u> 건

3-2. 목표 달성여부

○ 양적성과

- 특허출원 목표 3건 대비 5건 초과달성
- 특허등록 목표 1건 대비 2건 초과달성
- 학술논문 목표 3건 대비 8건 초과달성 (SCI-6, 비SCI 2)
- S/W등록 목표 3건 대비 3건 달성
- 국내외 학술발표 10건 추가달성 (국내-9, 국외-1)
- 성과홍보는 2건 추가 달성

성과	계획	실적	비고
특허	출원 3건/ 등록 1건	출원 5건/ 등록 2건	초과달성
논문	SCI 3건	SCI 6건/ 비SCI 2건	초과달성
S/W 등록	3건	3건	
학술발표	-	10건	추가달성
성과홍보	-	2건	추가달성

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

4-1. 활용방안 및 기대효과

- 본 연구의 세부연구목표 중에서 3D Scan/BIM/GIS기반 건설폐기물 평가모듈은 지진, 기상이변과 같은 대형 재난뿐만 아니라 긴급해체, 도시재건축, 재개발과정 등의 다양한 상황 하에서 발생하는 건설폐기물의 성상과 발생량을 예측하여 최적처리계획, 처리비용, 환경영향, 해체노동자 유해성, 자원재활용성 평가에 충분히 활용될 수 있음.

- 도시계획 정부관계자에 건설폐기물과 관련된 정보를 가시적으로 전달가능
 - 주택재개발 및 리모델링 시 건설폐기물의 현장재활용 가능량의 정확한 평가가 가능하여 건설폐기물 재활용률 제고에 기여할 것임
 - 기술수요처에 부합하는 최적 폐기물의 활용방안 제안
 - 최적활용방안: 발생량, 최적 Material Flow(업체정보, 운송, 처리 등), LCC평가
- 3D Scanning 기반의 BIM 역설계기법은 디지털화된 도면이 존재하지 않는 20년 이상의 노후 건축물의 역설계 및 modeling에 활용하여 국가 노후건축물 DB확보에 기여할 것임.
- (실내 스캐닝 및 모델링 기반)생활계 폐기물 평가모듈은 평상시 일반 가정에서 발생할 수 있는 폐기물의 산정에 새로운 방법론을 제공함으로써, 구조체 및 목재류 중심의 기존 해체범위를 초월함.
- 기존 RC구조물 및 폐콘크리트 중심의 구조재료 재활용과 더불어(예)올바로 시스템)한 구조, 규모, 용도, 위치, 지역 재활용업체분포들을 포괄적으로 연계한 방법론제시

구 분	활용 방안
기술수요처	스캐닝+BIM 연동 역설계를 통한 폐기물 발생량 예측 -(지자체)노후건축물 관리가 대두되거나 시급하게 요구되고 있는 지자체 활용 -(지자체)중장기 생활폐기물 또는 건설폐기물 매립지 관리에 DB로서 활용 -(지자체, 건설사)도심재개발, 리모델링에 있어서 발생폐기물 예측 및 처리계획에 활용 BIM+GIS 다목적 최적 자원순환 시스템 -(해체/폐기물처리업체)운송비 절감 및 재자원화율 향상을 통한 최적 자원순환 구현 -(지자체)행정적 처리에 있어서 사전예측-신고-처리의 신속 및 적확성 부여
현장적용	Pilot-test bed구축 및 적용 -개발 시스템 예측량과 실제 발생량(최종처분장 기준) 비교 검토를 통한 신뢰성 제고 -소규모 주택~공동주택까지 연도, 구조, 규모, 용도별 적용
원천기술 확보	특허출원, 프로그램 개발 및 보급
실용화/제품화	시스템(시뮬레이션 프로그램, 어플리케이션) 실용화 기반 보급형(기술사업화) 기술구축
기술전파	원천기술-실용화 방안(시스템/장치) 마련을 통한 수요처에 기술전파 -기술전파를 통한 사회 및 경제적 파급효과 -경제성 및 환경성에 초점을 맞춘 기술로서 사회환경적 파급효과

■ 수요처 측면

- ✓ 수요처 측면의 경제성 분석을 위해 본 연구의 개발성과를 대구도시공사 금호위터폴리스 실무에 활용함. 기존방법과 차이를 알아보기 위해 대구도시공사측은 기존방법대로 건설폐기물량을 산출하였으며 본 연구팀은 연구개발성과를 활용하여 건설폐기물량을 산출함.
- ✓ 경제성 분석을 위해 업무를 자료조사 단계, 현장조사 단계, 건설폐기물 산출단계로 구분하여 투입인력과 소요시간을 측정함. GIS 정보연계를 통한 건설폐기물 처리업체 선정 등 다양한 분석단계는 기존방법에서 없는 단계로 소요시간을 별도로 측정하지 않음. 연구개발성과를 통한 방법에서는 건설폐기물 산출단계에서 생산되는 GIS 데이터를 그대로 분석에 활용할 수 있으며 데이터 생산을 위한 별도의 시간은 불필요함.
- ✓ 대구도시공사의 금호위터폴리스 사례에 적용한 결과로 일반화에 대한 한계가 있음. 또한 드론운용을 위한 초기비용, 교육비용 등의 초기 투자비용은 고려하지 않음. 하지만 대상지의 규모가 커짐에 따라 조사 대상물의 증가로 인력투입 등 투입자원이 함께 증가되기 때문에 연구개발성과를 활용하는 것이 효과적일 것으로 사료됨. 수요처 측면의 경제성 분석결과는 아래의 표와 같으며 결론적으로 50% 이상의 업무효율 향상이 기대됨.

업 무	기존방법		연구개발성과 활용		비고
	조사·분석 방법	소요 시간(H)	소요 시간(H)	조사·분석 방법	
자료조사	대상지 자료조사 (수치지형도, 건축대장 연속지적도 등)	6	4	대상지 자료조사 (수치지형도, 건축대장 연속지적도 등)	기존방법 적용 시 누락 없도록 확인, 연구개발성과 활용 시 산출단계에서 자동으로 누락점사 현실과 다른부분 자동추출 가능
	국가공간정보포털 (DXF, SHP, 등)		-	시스템 구축 시 공간정보포털과 연계 자동화 가능	
현장조사	인력기반의 현장조사 (조사 및 자료정리)	12	2	드론 항공촬영, 측량	대상지(물)가 넓을(많을)수록 유리함
			6	데이터 후처리(인력×)	
건설폐기물 산출	연면적 기준 산출 (엑셀시트 수작업)	4	1	연면적 기준, 체적 및 표면적 기준 옵션에 따라 산출결과 출력	정보입력시간을 포함하여 산출함
GIS연계 정보활용	해당없음	-	-	정사영상 및 DSM과 DEM을 활용한 다양한 GIS 분석지원	건설폐기물량의 직관적인 표현, 의사결정 지원
소요시간 합계(H)	22		7		인력이 투입되지 않는 시간 제외
투입인원 (명)	6 (자료조사1, 현장조사3, 산출2)		4 (자료조사1, 현장조사2, 산출1)		금호위터폴리스 투입인원 기준
업무효율 (시간/인원)	1인 3.66시간 투입= 소요시간(22)÷투입인원(6)		1인 1.75시간 투입= 소요시간(7)÷투입인원(4)		기존방법의 투입자원 100% 기준으로 비교
	100%		약 48%		

■ 국가적 측면

- ✓ 지속가능한 발전과 자원순환형 건설환경 구현을 위한 건설폐기물 관리 및 평가기법 개발을 통해 그 동안 미흡하였던 연구 분야를 개척할 수 있음
- ✓ 건축물 해체 후 건설폐기물의 처리과정에서 발생하는 CO₂ 배출량과 처리비용을 산출함으로써 정부의 2020년 BAU대비 온실가스 감축 목표 달성을 위한 정부/지자체의 건설부분 온실가스 배출량 예측과 평가의 기초자료로 적극 활용가능
- ✓ 건축물의 전생애주기는 일반적으로 설계, 시공, 유지관리, 해체 단계로 구분되지만 해체단계에서의 발생하는 건설폐기물과 관련된 연구는 매우 부족한 실정이기 때문에 국가 LCI D B 및 표준품셈 등 개정에 적극 활용가능
- ✓ 세계적으로 건설폐기물 관리 프로그램은 전무한 실정, 환경선진국에서도 원단위를 활용한 간접추계방법이 대부분이기 때문에 개발기술을 해외 수출가능, 건설폐기물 분야에서 세계 최고의 기술력 확보가능
- ✓ 도시계획 정부관계자에 건설폐기물과 관련된 정보를 가시적으로 전달가능. 주택재개발 및 리모델링 시 건설폐기물의 현장재활용 가능량의 정확한 평가가 가능하여 건설폐기물 재활용률 제고에 기여할 것임. 정부 및 지자체의 노후건축물 관리(국토부 세움터의 건축물대장 보완 및 활용성 제고)에 기여하고 자원재활용과 환경보전이라는 국가 아젠다에 국토교통부의 연구개발이 실용화 및 성과부분에서 주도할 수 있음
- ✓ 국제 건설시장의 급격한 변화와 건축물 관리 패러다임의 변화에 대응하기 위하여 BIM/GIS, IT 기반의 첨단 기술과 융합하고 한국형 건축물 관리 기술시장을 확보하고 나아가 해외 건설시장에서 기술 경쟁력 강화에 기여할 수 있음.

✓

■ 산업, 경제, 사회적 측면

- ✓ 연구개발의 결과물은 해체업체와 재활용업체 및 시공업체에 자원 재활용을 위한 평가 수단을 제공할 수 있음. 건설폐기물의 발생 및 매립으로 인한 환경부하 저감을 통해 지역민들 삶의 질 확보
- ✓ 본 연구의 성공적인 결과의 도출로 기존 도시 내 노후화 건축물에 대한 무분별한 해체가 지양되고 환경 영향을 최소화할 수 있는 해체 및 폐기물 처리계획 기법이 확대될 것으로 기대

국가적 측면	정책, 경제적 측면	융복합적 측면	학문적 측면
• 건축폐기물 발생유형의 다변화에 대응 • 사회이슈에 대응하고 국민안전 확보 및 대국민 국가신뢰성 제고를 위한 노후건축물 기반 발생 폐기물 예측 DB구축 • 안전(Safe)하고 지속가능(Sustainable)하며 스마트(Smart)한 세계 TOP수준의 폐기물/자원관리 실현	• 다목적 대응형 발생폐기물 예측 및 최적자원순환 시스템 구축을 통한 해체 및 폐기물 처리의 행정적 지원 가능 • 사후 처리가 아닌 사전예측/예방을 통한 긴급/재난폐기물의 적정처리 계획마련 • 사후처리 자원 재활용성 향상	• 다목적 발생환경 (재난, 해체, 긴급, 수선) 고려 • 3DScan + BIM연동 역설계 • BIM-GIS 기반 시뮬레이션 • 건설폐기물, 생활계 폐기물, 유해성폐기물 통합	• 학문적 성과목표 - SCI(E)급 : 2편 이상 - 특허출원 : 3건 이상 - 국내외 학술발표 : 4편 이상 - S/W개발 : 2건 (Program or Application) • 기술이전 : 1건 이상 • Pilot-Test bed : 1회 이상

4-2. 핵심연구성과 요약

연번	핵심성과물	성과유형*	핵심성과 개요
1	sUAV와 3D scan의 BIM 연동을 통한 역설계 기술 개발	시스템 공법/기법	- sUAV / 3D스캔 데이터의 지오메트리 형상 최적화 기술 및 정보화 모델링 기술 - sUAV, 3D 기반 디지털 DB 구축 - 도면이 존재하지 않는 노후건축물의 BIM 역설계를 위한 기초작업 - sUAV 활용한 건축물 외부 3D 모델링 및 data 추출기법 - Laser Scanning을 활용한 건축물 내부 3D 모델링 및 data 추출기법 - 건축물 내외부 3D모델링 data를 GPS기반으로 정합하는 표준 process 확립 - Laser Scanning으로 추출된 3D data를 바탕으로 BIM역설계 자동화 기법 개발
	BIM 역설계를 통한 폐기물 발생량 추정 모델링	시스템	3D스캔 데이터의 도면화 및 BIM 역설계 자동화 모듈 - 노후건축물 유형별 폐기물 발생량 추정 모델링 - 기존의 원단위 기반 건설폐기물 발생량 산정의 문제점을 보완하기 위한 - BIM라이브러리와 건설분류체계를 매칭하여 한국형 건설폐기물 통합 분류 체계 확립 - 건축자재의 중량계수 및 건설폐기물 부피변화율을 활용한 투입자재 배출 process평가 - 건축물의 설계단계에서 해체 시 발생할 건설폐기물을 성상별로 발생량을 평가함
2	BIM-GIS를 활용한 자원순환 시스템 구축	시스템	- 단지, 지구, 지역별 특성화 - BIM 및 GIS을 활용한 지구단위 건설폐기물 관리기법 - 유저 인터페이스를 고려한 시각화 프로그램 개발 - 건축물 단위의 BIM data에서 건설폐기물 성상별 발생량 평가에 필요한 핵심 요소 추출 - 지구단위의 GIS data에서 건축물 위치정보 추출 - BIM-GIS 융합으로 지구단위 건설폐기물 발생량 평가가능
			- 예상 폐기물량, 운반, 처리, 재활용을 고려한 최적 자원순환 모델(경제성 및 환경성평가) - 경제성 ①처리방법(재활용, 매립, 소각)을 고려한 건설폐기물의 성상별 처리비용 평가 프로세스 및 모듈개발, ②투입화물차의 종류 및 대수, 상차 및 하차비용, 처리방법에 따른 최적 관리방법 도출, ③매립지까지 거리, 매립지 용량을 고려한 최적 매립지 선정 방법 - 환경성 ①건설폐기물 종류 및 발생 총량에 따른 처리방법 별 온실가스 발생량 평가 모듈, ②지게차를 활용한 건설폐기물 상하차, 이동화물차의 종류 및 톤수, 매립지까지의 거리를 고려한 온실가스 발생량평가 및 최소화 방안
3	다목적 활용모델 개발과 현장적용 최적 프로세스	시스템	- 다목적 모델링: 일반해체, 리모델링, 재난재해, 긴급해체 - 현장적용 및 실용화기반 최적 프로세스개발 - 매뉴얼, 시뮬레이션, S/W구축 - BIM 및 IT기술을 활용한 단일건축물의 건설폐기물 관리기법 (성상별 발생량, 처리비용, 온실가스, 매립지 등) - BIM data의 축적을 통한 건축물 용도, 구조, 지역별 표준 건설폐기물 발생원단위 생성 및 실시간 업데이트 - 향후 표준품셈 및 건설회사별 원단위 개정에 기여하기 위한 - 현재까지 원단위 작성방법인 직접계측방법 및 간접추계방법보다 세 부적이고 정확한 원단위 정보 생성가능

핵심성과 1	3D Scan Data의 BIM 연동을 통한 역설계 및 폐기물 발생량 예측기술 개발	
목적	◆ BIM정보가 있는 건축물, 즉 공사정보(도면, 적산)를 바탕으로 하는 건설폐기물 예측과 선행적으로 수행하고, 도면 또는 BIM정보가 없는 사용연한 20년 이상의 노후건축물을 대상으로 sUAV와 3D scan을 통한 BIM역설로 실내외 발생 폐기물을 정밀하게 예측하는 기술 개발을 통하여 지구/지역단위의 장래 발생량 예측 및 관리를 도모함.	
성능목표	(기존기술 수준): -신축, RC조 주택 및 공동주택에 국한 -폐기물 원단위 산출에 국한, 구조체 및 특정폐기물(구조재, 목재, 금속 등) (개발기술 수준): -건축물 구조 및 용도, 사용연한 (20년 이상)의 노후건축물에 적용 -도심지: 건축물정보가 있는 RC조를 선행을 통한 예측기술 개발 -비도심지: 재개발 예상지역(노후건축물 밀집)을 선행 -폐기물 원단위의 다각화 및 정밀화 -스캔 기술의 다각적 적용을 통한 실외, 실내 폐기물량 예측 -건축물 단위를 포함한 지구/지역단위 향후 폐기물 발생량 예측가능 기술	
성과달성 책임자 (소속기관)	류정림(에프엠웍스)	
소요기간	' 18.04 ~ ' 19.12(1년 9개월, 1-2년차)	
성과달성 확인방법	◆ s-UAV와 3DScan을 BIM과 연동하여 건축폐기물 예측이 가능한 모듈 개발 ◆ 확인방법: 개발 기술의 프로그램화(알고리즘) 및 특허출원/논문 ◆ 주요내용: 발생원단위(건축물 구조, 용도, 연한별 등)DB구축, 현장적용	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원: 1건
	논문	비SCI: 1건, 학술발표 5건
	저작	0건
	S/W	1건
	신기술	0건
	기타	0건

핵심성과 2	BIM-GIS를 활용한 발생된 건축폐기물의 최적자원순환 시스템	
목적	◆ 핵심성과 1(3D Scan Data의 BIM 연동을 통한 역설계 및 폐기물 발생량 예측기술 개발)의 결과를 토대로 GIS 기반 발생된 건축 폐기물의 최적자원순환 선정 시뮬레이션을 구축함. ◆ 또한, 핵심성과 1과 핵심성과 2를 통합하는 BIM/GIS-Laser Scanning통합 연동모듈 개발함을 목적으로 함.	
성능목표	아래의 그림과 같은 건설폐기물 발생량 평가 framework를 구성하고 BIM-GIS연동 모듈 개발을 수행함 ◆ 성능목표 -역설계 기반 폐기물 예측량을 연동시키는 프로그램 개발 -최적자원순환 시뮬레이션 프로그램 개발 ◆ 세부성능목표: 자동화, 폐기물 자원순환과 관련된 LCC 및 LCCO₂ 자동 계산	
성과달성 책임자 (소속기관)	박원준(강원대학교)	
소요기간	‘18.04~’ 20.04 (2년 1개월, 1-3년차)	
성과달성 확인방법	◆ LCC와 LCCO₂ 평가가 고려된 최적자원순환 시스템 개발 ◆ 확인방법: 개발 기술의 프로그램화(알고리즘) 및 특허출원/논문 ◆ 주요내용: 알고리즘, 통합연동모듈, 최적화 시뮬레이션, 현장 적용 GIS 기반 발생된 건축 폐기물의 최적자원순환 선정 시뮬레이션 BIM 기반 건설폐기물 발생량 평가 framework BIM / GIS 통합연동 모듈 개발 BIM / GIS 통합연동 모듈 개발 건설폐기물의 처리방법 및 환경영향 평가 건설폐기물의 처리방법 및 환경영향 평가 GIS 기반 발생된 건설폐기물의 최적자원 순환 선정 GIS 기반 발생된 건설폐기물의 최적자원 순환 선정 GIS 기반 발생된 건설폐기물의 최적자원 순환 선정 시뮬레이션 GIS 기반 발생된 건설폐기물의 최적자원 순환 선정 시뮬레이션 인근처리업체별 리스트 배출자 운반자 처리자 최저비용 최단거리 폐기를 위치추적 폐기물 재활용 순환 경로	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록 논문 저작 S/W 신기술 기타	출원: 1건, 등록: 1건 SCI(E): 4건, 비SCI: 1건, 학술발표 3건 0건 1건 0건 0건

핵심성과 3	다목적(해체, 수선, 재난, 긴급) 활용모델 개발과 현장적용 최적 프로세스	
목적	◆ IT융합(sUAV, 3D Scan, BIM, GIS)으로 구축된 방대한 DB를 활용하는 단계로서 지구/지역단위 내 폐기물 예측과 자원순환 최종단계까지의 다목적 활용모델을 구축하는 것을 목적으로 함.	
성능목표	◆ 목적별 프로세스 구축, DB구축, 알고리즘 -성능목표: 건축물 용도/규모/구조별 활용모델, -대상특정화: 지구 및 지역단위 설정, 노후주택밀집지역에서부터 임의의 건축물을 대상으로 다목적 상황별(폐기물 발생시나리오) 개발기술의 대응과 현장적용을 통한 신뢰성확보	
성과달성 책임자 (소속기관)	박원준(강원대학교)	
소요기간	‘18.10~’ 20.12 (2년 3개월, 2-3년차)	
성과달성 확인방법	◆ 핵심성과 1, 2의 최종활용측면으로서 특허 및 프로그램이 대표적인 ◆ 확인방법: Pilot test, 현장검증 (현장적용 대상지:대구광역시) ◆ 목적별 프로세스 구축 • BIM 및 IT기술을 활용한 단일건축물의 건설폐기물 관리기법 • (성상별 발생량, 처리비용, 온실가스, 매립지 등) 건설폐기물 다목적 예측관리 시스템	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원: 2건, 등록: 1건
	논문	SCI(E): 2건, 학술발표 2건
	저작	0건
	S/W	1건
	신기술	0건
	기타	0건

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.