발간등록번호 11-B552989-000543-01

최종보고서(일반과제용)

보안등급: 일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	국토교통기술혁신연구(사회이슈해결 유형)	
공고번호	공고-제2호	연구개발과제번호		21CTAP-C152065-03	
국가과학기술 표준분류	EI0302	40%	EI0201	40%	EI0303	30%
연구주제	(대분류) 더불어 사는 어울림사회	(중분류) 사회통합		(소분류) 정보격차	

연구개발과제명	국문	인프라 디지털 설계 플랫폼 기반 단면-선형 연동 설계 및 설계변경 자동화 모듈 개발		
	영문	Development of automatic road design and design change modeling module by linking cross section and alignment based on infrastructure digital design platform		
주관연구개발기관	기관명	㈜엔엔에프텍	사업자등록번호	314-86-43765
	주소	(우.34134) 대전광역시 유성구 대학로 99, 301호 501~502	법인등록번호	160111-0340177
주관연구책임자	성명	문성모	직위	수석연구원(대표이사)
	연락처 직장전화	070-4065-1881	휴대전화	010-2369-1882
	연락처 전자우편	010-2369-1882	국가연구자번호	1092 3886
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2년 9개월)		
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 21. 31(9개월)		
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(1년)		
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1년)		

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	600,000	20,500	179,900	-	-	-	-	620,500	179,900	800,400	
1년차	134,000	4,600	40,200	-	-	-	-	138,600	40,200	178,800	-
2년차	135,000	4,700	40,500	-	-	-	-	139,700	40,500	180,200	-
3년차	331,000	11,200	99,200	-	-	-	-	342,200	99,200	441,400	-

공동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구개발기관	㈜동성엔지니어링	신재철	연구소장	010-6368-1143	aachenshin63@naver.com	공동	기타

연구개발담당자 실무담당자	성명	문성모	직위	수석연구원(대표이사)	
	연락처 직장전화	070-4065-1881	휴대전화	010-2369-1882	
	연락처 전자우편	married@daum.net	국가연구자번호	1092 3886	

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 03 월 18 일

연구책임자 : 문 성 모 (직인)

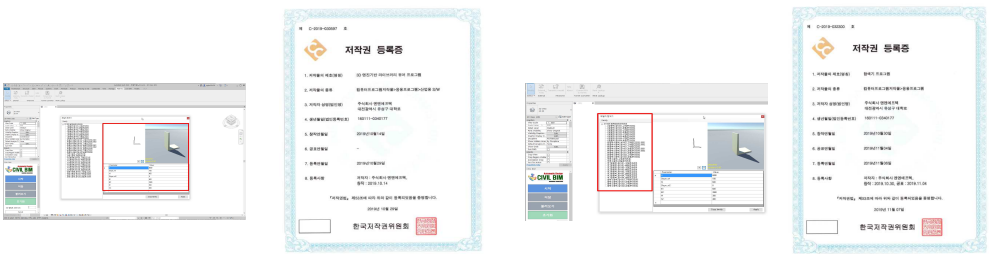
주관연구개발기관의 장 : (주)엔엔에프텍 문 성 모 (직인)

공동연구개발기관의 장 : (주)동성엔지니어링 이 상 규 (직인)

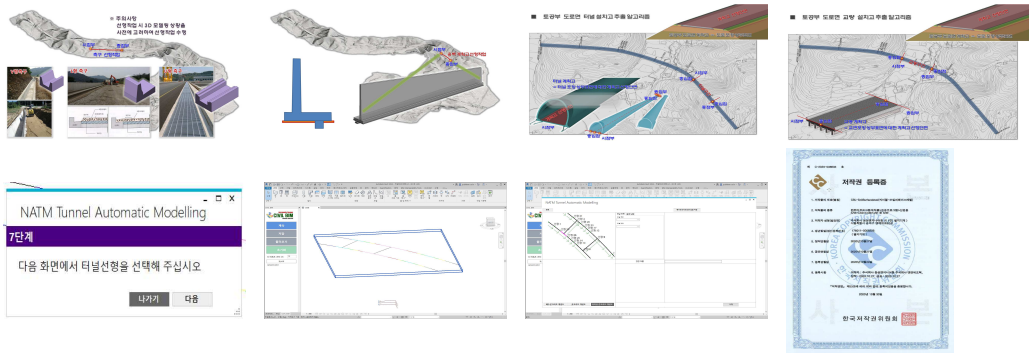
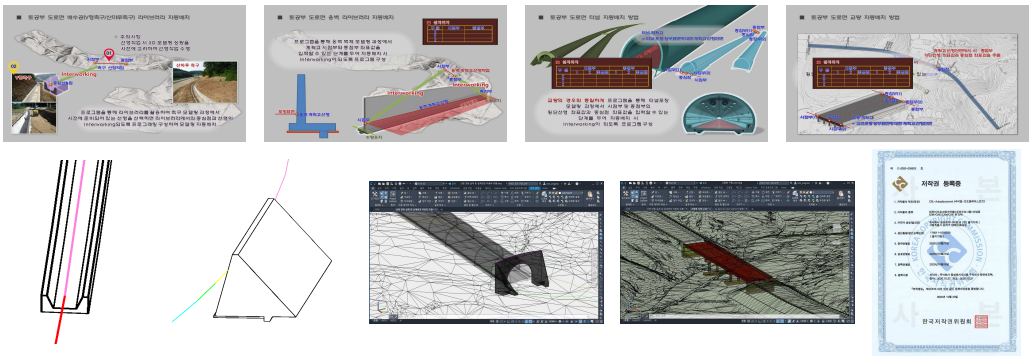
국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

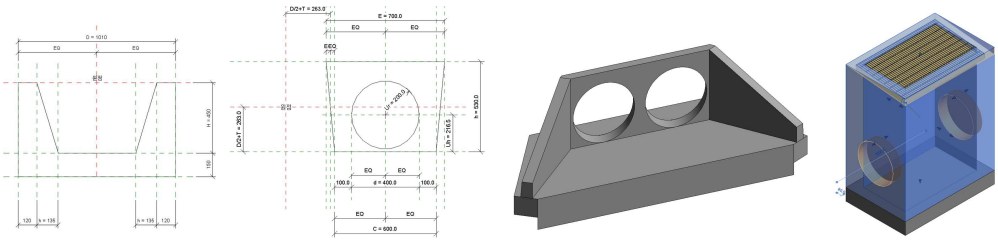
<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="3">국토교통기술촉진연구사업</td><td colspan="2" rowspan="2">연구개발과제번호</td><td colspan="2" rowspan="2">21CTAP-C152065-03</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="3">국토교통기술혁신연구</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술표준분류</td><td>EI0302</td><td>40%</td><td>EI0201</td><td>40%</td><td>EI0303</td><td>30%</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구주제</td><td colspan="2">(대분류) 더불어사는
어울림사회</td><td colspan="2">(중분류) 사회통합</td><td colspan="2">(소분류) 정보격차</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">인프라 디지털 설계 플랫폼 기반 단면-선형 연동 설계 및 설계변경 자동화 모듈 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2년 9개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 800,400 천원
(정부지원연구개발비 : 600,000 천원, 기관부담연구개발비 : 200,400 천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[✔]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td>기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준(4)
종료시점 목표(8)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="6">지정공모 [ ] 자유공모 [✔]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="6">사회이슈 해결</td></tr>
<tr><td rowspan="4">연구개발목표 및 내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">표준도를 근거하여 터널공, 교량공, 배수공, 옹벽에 대한 매개변수형 라이브러리를 구축하고 모듈의 실무 적용성을 확대시키기 위하여 라이브러리 Viewer 및 탐색기를 개발하고자 한다. 그리고 지형정보와 연동시켜 작업기준면을 토공면으로 하는 라이브러리 설치고 추출 및 자동배치 모듈 개발하고, 설계 단계별 후속 작업에 대한 프로세스 의사결정지원 알고리즘을 통해 라이브러리를 자동으로 조합하는 라이브러리 자동조립 및 자동 도면생성이 가능한 인프라 디지털 설계 플랫폼 기반 단면-선형 연동 설계 및 설계변경 자동화 모듈을 개발하고자 한다.</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">• 표준도를 근거하여 매개변수형 라이브러리 구축 및 라이브러리 개발
• 3D엔진기반 라이브러리 Viewer 및 탐색기 모듈 개발
• 라이브러리 자동조립 모듈 개발
• 토공면 라이브러리 설치고 추출 및 자동배치 모듈 개발
• 라이브러리별 도면 자동생성 템플릿 모듈
• 통합 테스트 및 수정보완
• 실무적용 가이드라인 및 설계적용 사례집 작성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1년차</td><td>목표</td><td colspan="6">3D 엔진기반 라이브러리 Viewer / 탐색기 모듈 개발·
도로선형을 고려한 설계 라이브러리개발</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="6">- 3D 엔진기반 라이브러리 Viewer 개발
·사용자가 입력한 속성정보에 따라 Viewer를 통해 매개변수형 라이브러리를 활용하여 모델링 되어가는 과정에서 전체 모델링 형상을 3차원 형태로 조회할 수 있는 3D 엔진기반 라이브러리 Viewer를 개발

- 3D 엔진기반 라이브러리 탐색기 개발
·3D 엔진기반 라이브러리 탐색기는 Revit plugin 용으로 개발한 Revit 패밀리 탐색기로 Revit의 패밀리 요소를 탐색할 수 있는 트리 구조의 탐색기를 개발
 

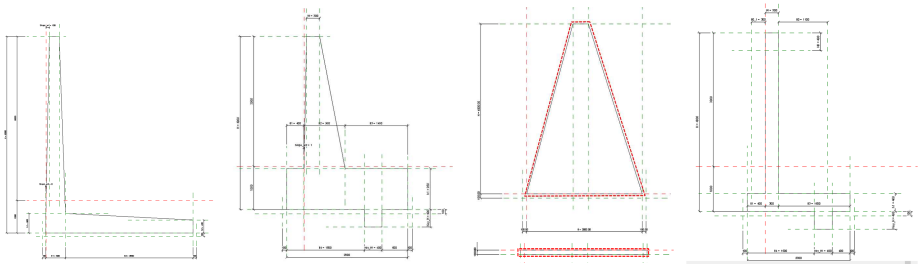
- 도로선형을 고려한 설계 라이브러리개발
·기존 국도 및 고속도로 표준도 분석
·기존사례 문제점 분석 및 개선사항 도출</td></tr>
</table>

			·WBS 분류체계를 고려한 라이브러리 분류체계를 정의 ·분류체계에 의거하여 표준도기반 / 매개변수형 라이브러리 제작 · 배수공 :고속도로 배수공 라이브러리 30% 구축 · 옹벽공 :옹벽공 라이브러리 100% 구축 · 터널공 :터널 단면에 대한 매개변수형 라이브러리 알고리즘 개발 · 교량공 :교량 단면에 대한 매개변수형 라이브러리 알고리즘 개발 ·도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발
	2년차	목표	도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발 · 단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발
		내용	- 도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발 · 분류체계에 의거하여 표준도기반 / 매개변수형 라이브러리 제작 · 배수공/ 옹벽공 :라이브러리 설치고 추출 및 자동 배치를 위한 기준점 추가에 따라 1차년도에 구축한 라이브러리 전체수정 · 터널공 :모듈을 통한 라이브러리 구축 알고리즘 개발 · 교량공 :라이브러리 구축 방법 변경에 따른 라이브러리 구축 알고리즘 개발 및 라이브러리 구축 · 국내토목 설계여건을 고려한 라이브러리 내 속성 입력 - 단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발 · 토공면 라이브러리 설치고 추출모듈 프로그램 개발(성과 목표:SW 1건/달성:SW 1건) · 지형정보와 연동시켜 작업기준면을 토공면으로 하는 라이브러리 설치고 추출  · 설치고에 라이브러리 자동 배치 모듈 개발(성과 목표:SW 1건/달성:SW 1건) · 선형과 라이브러리를 매칭시켜 형상정보를 생성 후 속성정보를 입력하고 3D 지형에 안착 
	3년차	목표	도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발 · 단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발 및 모듈 사용성 검증
		내용	- 도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발 · 분류체계에 의거하여 표준도기반 / 매개변수형 라이브러리 제작 완료 · 국내토목 설계여건을 고려한 라이브러리 내 속성 입력

[배수공 라이브러리 구축]



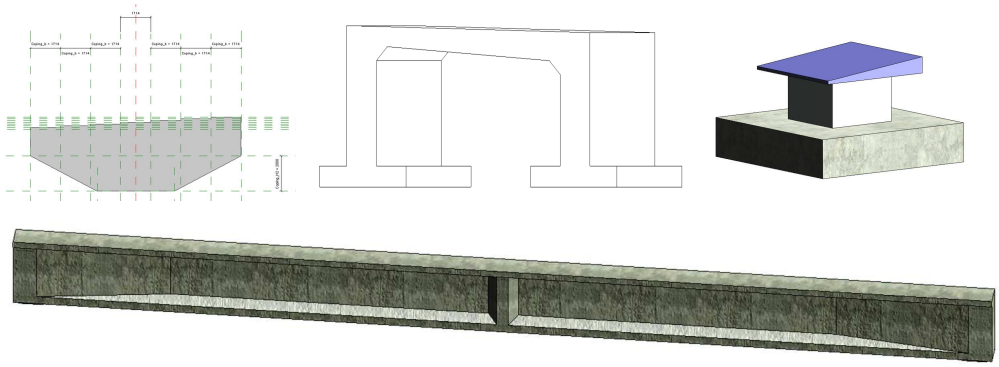
[옹벽공 라이브러리 구축]



[터널공 라이브러리 구축]

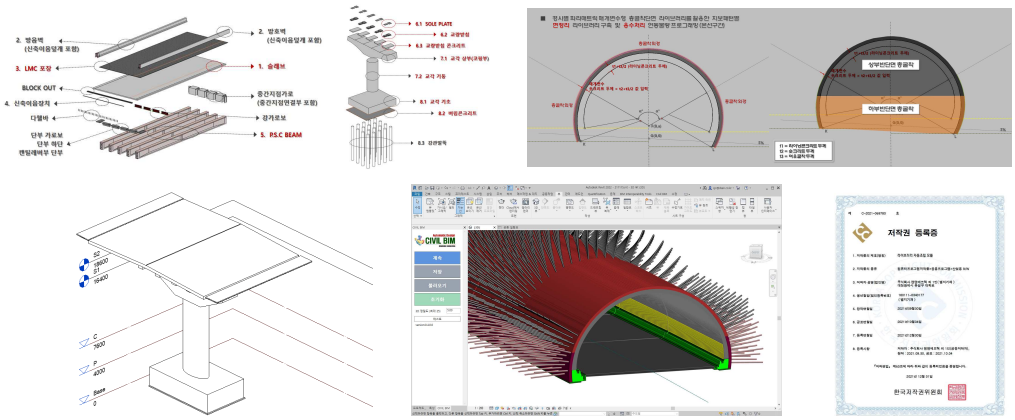
· 터널공에 대한 라이브러리는 3D 객체형 라이브러리, 2D 매개변수형 단면 라이브러리와 개발 프로그램의 단면 자동화 생성 모듈을 통하여 기하학적 특성을 반영한 매개변수형 단면 라이브러리 3가지 방법으로 구축하였다. 라이브러리는 90%이상 본 연구개발 모듈을 통해 구축하도록 개발하였다.

[교량공 라이브러리 구축]

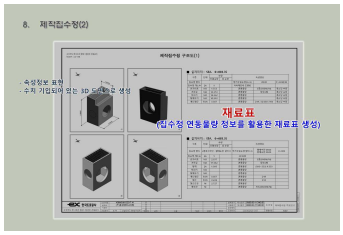
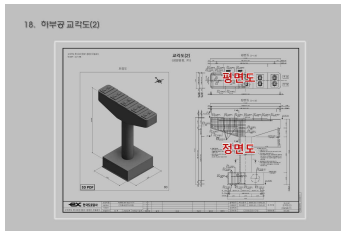
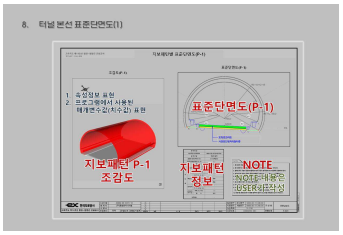
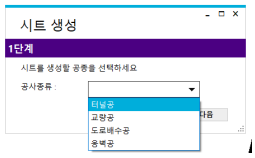
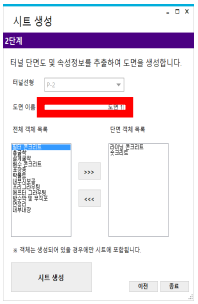
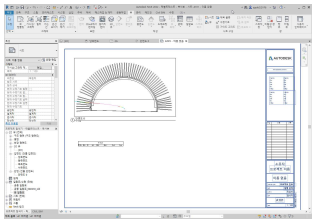


- 단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발

· 라이브러리 자동조립 모듈 개발(성과 목표:SW 1건/달성:SW 1건)



· 라이브러리별 도면 자동생성 템플릿 연동모듈 개발(성과 목표:SW 1건/달성:SW 1건)

<table>
<tr><td colspan="3"></td><td>








- 사용성 검증
· 통합 테스트 및 디버깅 시제품 품질평가 (목표 : 평가점수 80점이상/달성: 90점)
· 시제품 제작
· 라이브러리 실무적용 설계사례집 작성
· 라이브러리 사용 가이드라인 제시
</td></tr>
<tr><td colspan="3">연구개발성과</td><td>
• 도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발
• 3D 엔진기반 라이브러리 Viewer 및 탐색기 모듈 개발
• 단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발
• 사용성 검증
</td></tr>
<tr><td colspan="3">연구개발성과
활용방안 및
기대효과</td><td>본 연구개발은 표준도를 근거하여 터널공, 교량공, 배수공, 옹벽공에 대한 매개변수형 라이브러리를 구축하여 보급·활용에 일조하고, 단면-선형 연동 객체 자동화 모듈 개발을 통해 작업효율성 향상 및 설계변경 용이성 향상 등 신속하고 정확한 고품질의 설계가 가능하므로 국내 도로설계의 고품질 설계 기술력발전에 크게 기여할 것으로 판단되며, 생산성 향상을 통한 고부가가치 창출로 엔지니어의 가치향상 및 SOC분야 경제성 향상에도 기여할 것으로 판단된다.
본 연구개발을 통해 설계사의 업무 효율성을 향상시키고, 시공사에서는 사전시공검토, 설계변경, 공정관리 및 자재관리가 가능하며, 정부기관, 공사·공단에서 효율적인 성과품 관리를 위해 활용될 수 있다.</td></tr>
<tr><td colspan="3">연구개발성과의
비공개여부 및 사유</td><td>해당없음</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">연구개발성과의 등록·
기탁 건수</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">논문</th><th rowspan="2">특허</th><th rowspan="2">보고서
원문</th><th rowspan="2">연구
시설·
장비</th><th rowspan="2">기술
요약
정보</th><th rowspan="2">소프트
웨어</th><th rowspan="2">표준</th><th colspan="2">생명자원</th><th rowspan="2">화합물</th><th colspan="2">신품종</th></tr>
<tr><th>생명
정보</th><th>생물
자원</th><th>정보</th><th>실물</th></tr>
<tr><td>비SCI 1</td><td>출원3
등록1</td><td>1</td><td>-</td><td>-</td><td>7건</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="3">연구시설·장비
종합정보시스템 등록
현황</td><td>
<table>
<tr><th>구입기관</th><th>연구시설·
장비명</th><th>규격
(모델명)</th><th>수량</th><th>구입
연월일</th><th>구입가격
(천원)</th><th>구입처
(전화)</th><th>비고
(설치장
소)</th><th>ZEUS
등록번호</th></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="3">국문핵심어
(5개 이내)</td><td>
<table>
<tr><td>라이브러리 탐색</td><td>자동 배치</td><td>자동 조립</td><td>자동화 모듈</td><td>설계변경</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="3">영문핵심어
(5개 이내)</td><td>
<table>
<tr><td>Library Search</td><td>Automatic
Placement</td><td>Automatic
Assembly</td><td>Automatic
module</td><td>Design Change</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1
1) 연구개발과제의 최종목표 ····· 1
2) 연구개발과제의 연차별 목표 ····· 1

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 4
1) 도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발 ····· 4
2) 3D 엔진기반 라이브러리 Viewer 및 탐색기 모듈개발 ····· 32

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 55
1) 연구수행 결과 ····· 55
2) 목표 달성 수준 ····· 57

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) ····· 58
1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용 ····· 58
2) 자체 보완활동 ····· 59
3) 연구개발 과정의 성실성 ····· 59

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 59

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 60

별첨자료(성과 증빙자료 등)

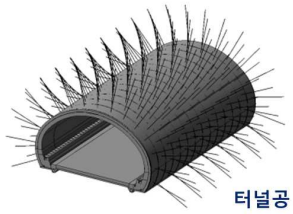
1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

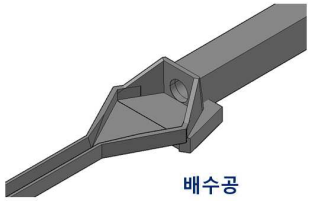
○ 본 연구에서는 표준도를 근거하여 선형에 따라 동일한 단면이 적용되는 터널공, 교량공, 배수공, 옹벽에 대한 인프라 디지털 설계 플랫폼 기반 단면-선형 연동 설계 및 설계변경 자동화 모듈 개발을 최종목표로 한다.

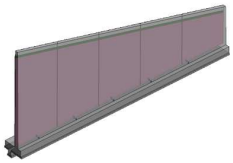
- 표준도를 근거하여 터널공, 교량공, 배수공, 옹벽에 대한 매개변수형 라이브러리를 구축하고 모듈의 실무 적용성을 확대시키기 위하여 라이브러리 Viewer 및 탐색기를 개발하고자 한다. 그리고 지형정보와 연동시켜 작업기준면을 토공면으로 하는 라이브러리 설치고 추출 및 자동배치 모듈 개발하고, 설계 단계별 후속 작업에 대한 프로세스 의사결정지원 알고리즘을 통해 라이브러리를 자동으로 조합하는 라이브러리 자동조립 및 자동 도면생성이 가능한 인프라 디지털 설계 플랫폼 기반 단면-선형 연동 설계 및 설계변경 자동화 모듈을 개발하고자 한다.

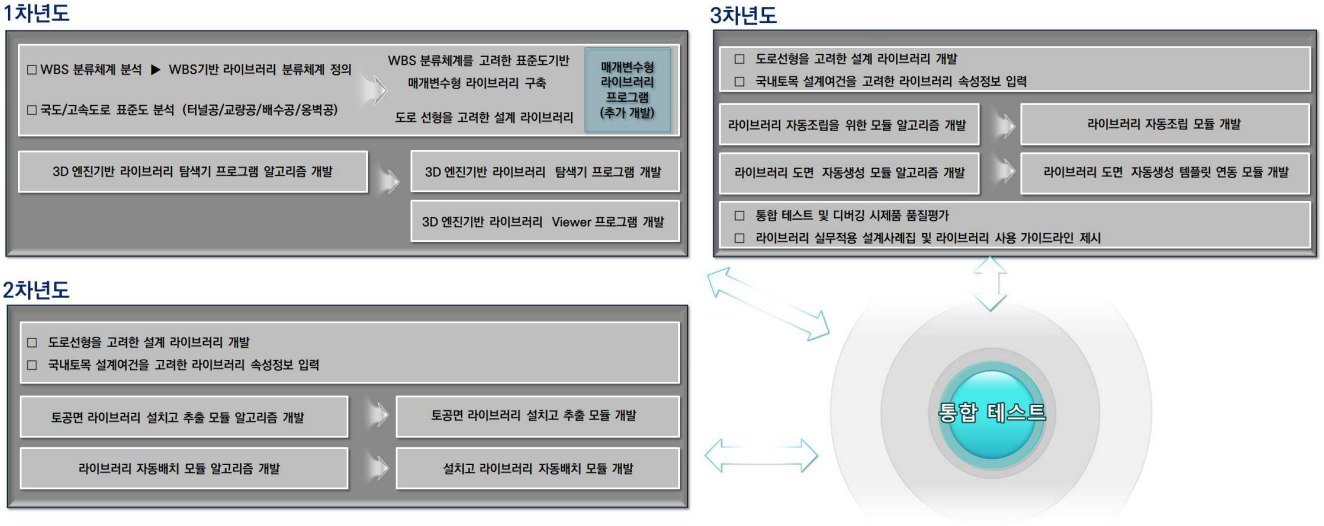
2) 연구개발과제의 연차별 목표


터널공


교량공


배수공


옹벽공



○ 1차년도

▪ 도로선형을 고려한 설계 라이브러리개발

- 기존 국도 및 고속도로 표준도 분석
- 기존사례 문제점 분석 및 개선사항 도출
- WBS 분류체계를 고려한 라이브러리 분류체계를 정의
- 분류체계에 의거하여 표준도기반 / 매개변수형 라이브러리 제작
  · 배수공 :고속도로 배수공 라이브러리 30% 구축
  · 옹벽공 :옹벽공 라이브러리 100% 구축
  · 터널공 :터널 단면에 대한 매개변수형 라이브러리 알고리즘 개발
  · 교량공 :교량 단면에 대한 매개변수형 라이브러리 알고리즘 개발

▪ 3D 엔진기반 라이브러리 Viewer 개발
▪ 3D 엔진기반 라이브러리 탐색기 개발

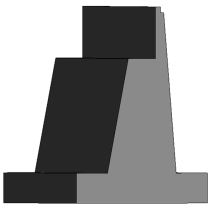
○ 2차년도
▪ 도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발
– 분류체계에 의거하여 표준도기반 / 매개변수형 라이브러리 제작
· 배수공/옹벽공 :라이브러리 설치고 추출 및 자동 배치를 위한 기준점 추가에 따라 라이브러리 전체수정
· 터널공 :모듈을 통한 라이브러리 구축 알고리즘 개발
· 교량공 :라이브러리 구축 방법 변경에 따른 라이브러리 구축 알고리즘 개발 및 라이브러리 구축
– 국내토목 설계여건을 고려한 라이브러리 내 속성 입력

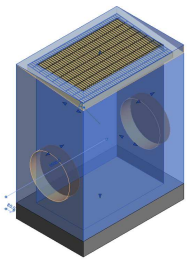
▪ 단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발
– 토공면 라이브러리 설치고 추출모듈 알고리즘 및 프로그램 개발
– 설치고에 라이브러리 자동 배치 모듈 알고리즘 및 프로그램 개발

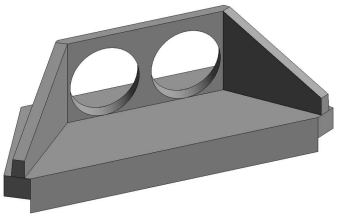
○ 3차년도
▪ 도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발
– 분류체계에 의거하여 표준도기반 / 매개변수형 라이브러리 제작 완료
– 국내토목 설계여건을 고려한 라이브러리 내 속성 입력완료

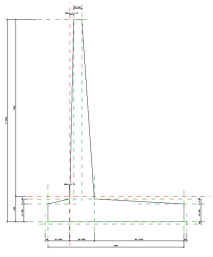
▪ 단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발
– 라이브러리 자동조립 모듈 알고리즘 및 프로그램 개발
– 라이브러리별 도면 자동생성 템플릿 연동모듈 알고리즘 및 프로그램 개발

▪ 사용성 검증
– 통합 테스트 및 디버깅 시제품 품질평가 (목표 : 평가점수 80점이상/달성: 90점)
- 시제품 제작
- 라이브러리 실무적용 설계사례집 작성
- 라이브러리 사용 가이드라인 제시

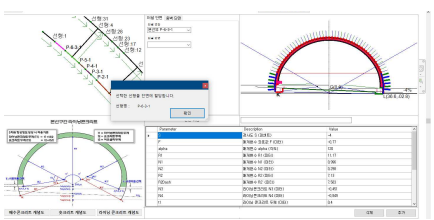
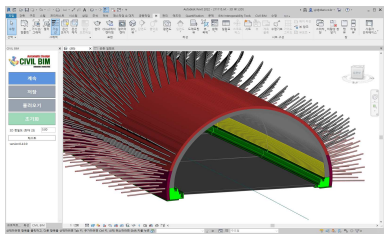
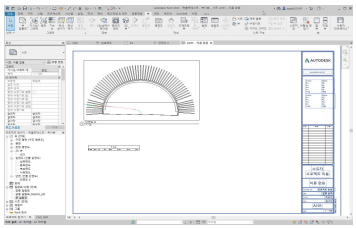

교대(중력식 교대)


깎기부 집수정(종배수관)


배수관 날개벽(2련)


역 T형 옹벽

구축된 라이브러리 예시

개발 프로그램을 통해 터널 모델링 과정 예시

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	3D 엔진기반 라이브러리 Viewer 및 탐색기 모듈 개발	3D 엔진기반 라이브러리 Viewer 개발	3D 엔진기반 라이브러리 Viewer 전무	SW 개발 1건	S/W 등록증	9
		3D 엔진기반 라이브러리 탐색기 개발	3D 엔진기반 라이브러리 탐색기 전무	SW 개발 1건	S/W 등록증	9
	도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발	기존사례 문제점 분석 및 개선 방향 도출	구축된 라이브러리 일부 존재	보고서 1건	개선사항 도출	1.5
		기존 표준도 분석	기존 국도 및 고속도로 표준도 분석	보고서 1건	표준도 분석	1.5
		WBS 분류체계를 고려한 라이브러리 분류체계 정의	BIM 기반 WBS 분류체계를 고려한 라이브러리 건설정보 분류체계 전무	보고서 1건	WBS기반 라이브러리 분류체계 제시	3
		분류체계와 가이드라인에 의거하여 라이브러리 제작	분류체계와 가이드라인에 의거하여 라이브러리 전무	보고서 1건	라이브러리 구축	3
		라이브러리 개발	건설정보 분류체계를 반영한 표준도 기반 매개변수형 라이브러리 전무	보고서 1건	라이브러리 구축 알고리즘 제시	3
2년차 (2020)	단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발	토공면 라이브러리 설치고 추출 모듈 알고리즘 및 모듈 개발	토공면 라이브러리 설치고 추출 모듈 전무	보고서 1건 및 SW 개발 1건	알고리즘 개발 및 S/W 등록증	16
		라이브러리 자동 배치 모듈 알고리즘 및 모듈 개발	라이브러리 자동 배치 모듈 전무	보고서 1건 및 SW 개발 1건	알고리즘 개발 및 S/W 등록증	16
	도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발	분류체계와 가이드라인에 의거하여 라이브러리 제작	분류체계와 가이드라인에 의거하여 라이브러리 전무	보고서 1건	라이브러리 구축 알고리즘 제시	4
		라이브러리 내 속성 입력	개발 프로그램을 통해 속성정보 입력	보고서 1건	라이브러리 내 속성 입력	4
3년차 (2021)	도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발	분류체계와 가이드라인에 의거하여 라이브러리 제작 완료	분류체계와 가이드라인에 의거하여 라이브러리 전무	보고서 1건	라이브러리 구축 알고리즘 제시	0
		라이브러리 내 속성 입력	개발 프로그램을 통해 속성정보 입력	보고서 1건	라이브러리 내 속성 입력	0
	단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발	라이브러리 자동조립 알고리즘 및 모듈 개발	라이브러리 자동조립 모듈 전무	보고서 1건 및 SW 개발 1건	알고리즘 개발 및 S/W 등록증	20
		라이브러리별 도면 자동생성 템플릿 연동모듈 알고리즘 및 모듈 개발	라이브러리별 도면 자동생성 템플릿 연동모듈 전무	보고서 1건 및 SW 개발 1건	알고리즘 개발 및 S/W 등록증	10.4
	사용성 검증	통합 테스트 및 디버깅	개발 모듈 테스트	품질평가 80점 이상	시제품 품질평가	4.8
		라이브러리 실무적용 설계사례집 작성	개발 모듈을 적용한 라이브러리 실무적용 설계사례집 작성	설계 사례집	설계사례집 제시여부	2.4
		라이브러리 사용 가이드라인 제시	라이브러리 사용 가이드라인 제시	가이드라인	가이드라인 제시여부	2.4

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발

(1) 기존사례 문제점 분석 및 개선사항 도출

○ 기존사례 문제점 분석

- 국내외 인프라 디지털 설계 플랫폼 라이브러리는 건축물을 대상으로 자재, 부품, 부재에 대하여 진행되어 토목분야에서 활용하는 데에 무리가 있다. 또한, 건축분야는 자재 생산자가 중심이 되어 라이브러리의 확장이 용이하지만, 토목분야는 이를 확장할 수 있는 생산자가 부족한 실정이다. 이와 같이 건축분야에서는 작업자, 생산자의 주도하에 라이브러리 구축 및 활성화로 관련 설계회사들이 자체적인 3 차원 라이브러리 체계를 구축하여 활용할 수 있는 반면, 토목은 공공적 특성으로 인해 모델링 지침이나 라이브러리 컨텐츠 등을 국가가 초기 자료를 제공해야 한다는 한계가 있다.



그림 1. 국토교통부 개발 라이브러리

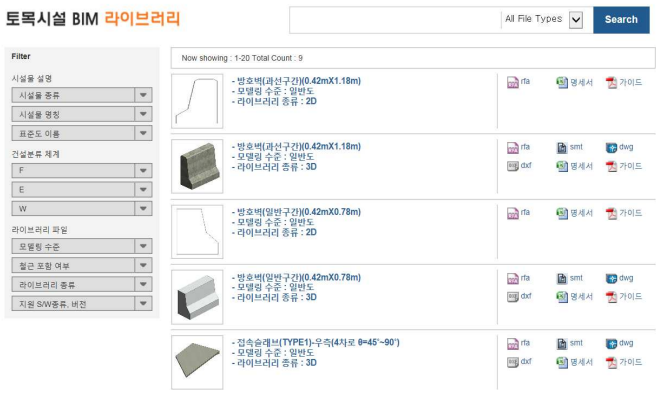


그림 2. 교량공에 대하여 구축된 라이브러리

- 토목분야에 인프라 디지털 설계 플랫폼 적용에 대한 한계점이 존재하나 앞서 언급한 것과 같이 국내·외의 토목공사의 설계와 시공 패러다임이 변화하고 있으며 정부에서 토목분야에 인프라 디지털 설계 플랫폼 적용을 위한 시도가 적극적으로 추진되고 있는 실정이다.
- 이러한 변화에 따라 국토교통부에서는 인프라 디지털 설계 플랫폼 활성화를 위하여『국토교통부 국도건설공사 설계실무 요령 표준도(2013)』를 기반으로 토목시설 라이브러리를 개발하고 무료 배포하여 토목분야에 적용 할 수 있도록 하고 있으나 실제 업무에 사용되기엔 에서 어려움이 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

① 매개변수형이 아닌 표준도에 제시된 형상에 대한 라이브러리 구축

기존 개발된 라이브러리는 매개변수형이 아닌 표준도를 기반으로 정해진 형상에 대하여 구축된 라이브러리로써, 제작된 라이브러리 형상 그대로 설계에 적용해야 한다. 그러나 실제 설계를 수행하다보면 주변 현황에 따라 설계자의 판단하에 표준도를 기반으로 현장에 적합하도록 변경해야 경우가 빈번하게 발생되고 있고, 표준도에 제시된 규격의 구조물만을 이용하여 설계를 할 수 없기 때문에 실제 설계 적용 시, 구축된 라이브러리를 활용이 아닌 새로 작업을 해야하는 경우가 더 많이 발생하고 있어 활용성이 부족한 실정이다.

② 시설물의 중복 및 분산

실제 설계자가 설계를 수행 할 경우, 대공종을 확인하고 하위 공종을 찾아 설계를 수행하는데 개발 라이브러리의 경우 불필요하게 중복되는 공종이 존재하며, 유사한 종류의 공종이 분산 배치되어 있어 설계 시 누락되어 새로 작업을 해야 하는 공종인지 다른 공종분류에 포함되어 찾을 수 없는 공종인지 확인이 어려워 작업시간이 오래 걸려 비효율적이다.

③ 연속성 구조물의 경사설치가 어려움

개발 라이브러리의 경우 옹벽, 측구 등 연속형 구조물의 경우 경사 설치가 매우 어려운 것으로 확인되었다. 그러나 토목에서 시설물, 구조물의 설계는 대부분 도로, 토공면, 토공정지면과 같이 종·횡 경사를

지니고 있는 면을 기준으로 설치되므로 시설물, 구조물 또한 경사로 설치해야 하는 경우가 매우 빈번하게 발생되는데, 이 경우 개발 라이브러리를 활용하기에는 어려움이 있다.

- 이와 같이 국토교통부에서 토목분야의 인프라 디지털 플랫폼의 활성화를 위해 라이브러리를 개발하고 배포하여 사용할 수 있도록 하였으나, 실무에 적용을 위해서는 개발된 라이브러리에 대한 숙지와 그대로 사용하는 것이 아닌 수정과정이 필요하여 활용성이 부족한 것으로 판단된다.

○ 개선사항 도출 및 이를 반영한 모듈 개발

- 본 연구에서는 이러한 기존 문제점을 개선하고, 작업 효율성 향상 및 국내 설계기술 발전을 위해 고속도로 및 국도 표준도를 기반으로 매개변수형 라이브러리를 구축하고 작업 기준면을 토공면으로 하는 라이브러리 설치고 추출 및 자동배치, 설계 단계별 후속 작업에 대한 프로세스 의사결정 지원을 통해 라이브러리 자동조립 및 자동 도면생성이 가능한 인프라 디지털 설계 플랫폼 기반 단면-선형 연동 설계 및 설계변경 자동화 모듈을 개발하고자 한다.

① 고속도로와 국도의 터널공, 교량공, 배수공, 옹벽에 대한 표준도를 근거하여 매개변수형 라이브러리 구축

부족한 라이브러리에 대한 문제점을 해결하기 위하여 고속도로와 국도의 터널공, 교량공, 배수공, 옹벽에 대한 표준도를 근거하여 매개변수형 라이브러리 구축하고자 한다. 또한, 단순 표준도 라이브러리 구축이 아닌, 표준도를 기반으로 표준도에 없는 치수 등을 매개변수를 적용하여 현장여건에 따라 작업자가 단면을 설정하여 설계가 가능하도록 인프라 디지털 설계 플랫폼 라이브러리를 구축하고자 한다.

② 객체 모델링의 정위치 배치를 위하여 작업 기준면을 토공면으로 하는 라이브러리 자동배치 모듈 개발

구축된 라이브러리를 기반으로 토목 선형구조물 특성을 고려하여 토공면에서 라이브러리 설치고를 추출하고 라이브러리를 자동 배치하는 모듈을 개발하고자 한다.

③ 단계별 후속작업에 대한 의사결정지원을 통해 라이브러리 자동조립 모듈 개발

터널공, 교량공, 배수공, 옹벽에 대한 기본적인 설계순서에 대한 알고리즘을 개발하고, 기본 설계 프로세스를 지원하고자 한다. 모듈에서 제공하는 프로세스에 따라 설계 시, 기본적인 터널공, 교량공, 배수공, 옹벽의 설계가 가능하며, 현장여건과 발주처의 요구에 따른 별도의 추가설계 또한 가능하다. 이와 같이 후속작업에 대한 프로세스 정보를 제공하여 작업자의 실수로 인해 누락이 되는 설계과정이 없이 고품질의 설계가 가능하다.

④ 단면과 선형을 연동하여 자동 설계가 가능한 모듈 개발

단면을 작성하고 시·종점을 설정해주면 선형에 따라 자동 모델링이 가능한 설계 자동화 모듈을 개발하여, 선형에 따라 동일한 단면이 적용되는 터널공, 교량공, 배수공, 옹벽에 대하여 본 연구 개발 모듈 적용을 통해 신속하고 정확한 설계변경이 가능하며 작업 효율성을 향상시키고 휴먼에러를 최소화하여 고품질의 설계가 가능한 기술이다.

- 변경된 노선에 따라 일일이 설계도면을 수정해주는 것이 아니라 모듈을 통해 단면과 선형이 자동으로 연동되어 모델링이 가능하므로 매우 신속하고 간편하게 설계변경이 가능하다. 또한, 설계 자동화 모듈을 통해 작업자의 단순반복 수정작업 시간을 단축시켜 작업 효율성을 높이고, 휴먼 에러를 최소화 시켜 고품질의 설계가 가능하다.

- 본 연구개발은 작업 효율성을 높이고 설계변경에 대하여 매우 유용하게 대응할 수 있는 기술로써, 사회적 비용을 절감시키고 설계 자동화 기술로 휴먼에러를 최소화시켜 고품질의 설계가 가능한 국내·외에서 최초의 기술로 창의적이고, 혁신적인 기술이라 할 수 있다. 최종 개발 모듈은 통합 테스트 및 디버깅을 통해 사용성을 검증하여 토목분야의 인프라 디지털 설계 플랫폼 도입 활성화에 일조하고자 한다.

(2) 기존 표준도 분석

- 본 연구에서는 인프라 디지털 설계 플랫폼 기반 단면-선형 연동 설계 및 설계변경 자동화 모듈 개발을 위해 한국도로공사에서 발행한 『고속도로 건설공사 표준도(2017)』와 국토교통부에서 발행한 『국도건설공사 표준도(2016)』를 분석하고 이를 근거하여 각 터널공, 교량공, 배수공, 옹벽에 대한 라이브러리를 구축하고자 한다.
- 배수공의 경우 겹치는 항목이 가장 많았으나 표준도의 내용은 형식, 단면치수, 재료표의 내용 등에 차이가 있었다.

  V형 측구의 경우, 다음 그림과 같이 형상은 동일하나 간격들의 치수가 다른 것을 알 수 있다. 또한 국도의 V형측구 단면은 형식1,2,3으로 구분되지만 고속도로는 형식 1,2 그리고 형식 3을 3-1,3-2 으로 나누어 국도와 다른 것을 확인하였다. 재료표의 경우, 다음그림과 같이 철근을 제외한 값이 서로 다른 것을 알 수 있었다. 콘크리트 규격은 국도의 경우 하나의 규격을 적용하지만 고속도로에서는 2종,3종 두 가지 규격을 적용하였으며, 국도에서는 되메우기를 인력으로 공사하고 고속도로에서는 기계를 사용하는 등 차이점을 확인 할 수 있었다.

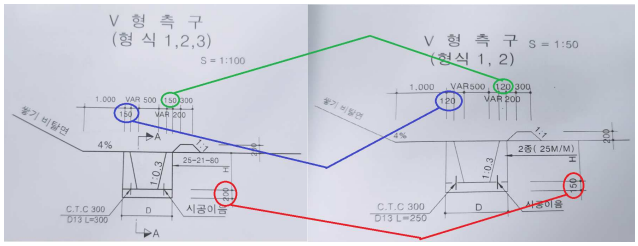


그림 3. 치수 비교 (좌)국도 표준도, 우)고속도로 표준도)



그림 4. 재료표 비교(상)국도 표준도, 하)고속도로 표준도)

- L형 측구의 경우, 다양한 형식의 측구 단면이 있는데 국도 L형측구 단면은 형식 1에서 형식 5까지의 단면이 있는 반면 고속도로에서는 형식1부터 형식7까지의 단면을 가지고 있고 완화 측구 또한 국도는 2개의 형식이 있는 반면에 고속도로에서는 3개의 형식을 가지고 있어서 형식 개수의 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 형식 1의 단면과 재료표 비교결과, 다음 그림처럼 단면의 형상이 다르며 그 치수 또한 다름을 확인하였으며 두 재료표를 비교한 결과, 콘크리트 규격, 뒷채움, 부직포 재료표 등 차이가 많음을 확인 할 수 있었다.

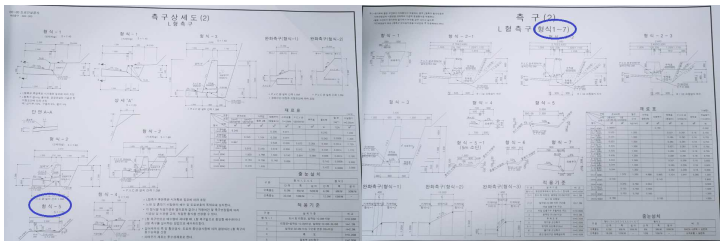


그림 5. 형식비교 (좌)국도 표준도, 우)고속도로 표준도)

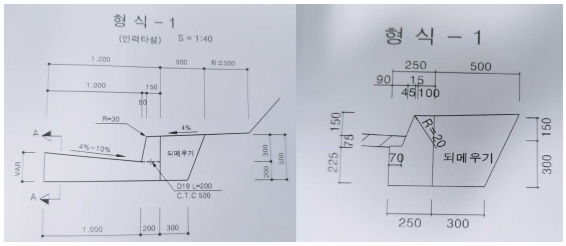


그림 6. 형식1 비교 (좌)국도 표준도, 우)고속도로 표준도)

- 배수공에 대하여 국도, 고속도로의 측구, 맹암거, 관 등을 비교분석한 결과 많은 내용이 유사하면서도 다른 것을 확인 할 수 있었다.
- 배수공을 비교분석한 것과 같이 구조물공, 터널공, 포장공, 교통안전시설공, 비탈면 안전공에 대한 비교분석을 수행하였다.

  구조물공의 경우 겹치는 항목이 없었으며, 터널공은 겹치는 항목이 2개 있었다. 배수상세도 / 자연환기는 내용이 동일하였으며 배수상세도 / 공동구 덮개의 경우 단면치수 및 재료표가 다름을 확인 할 수 있었다. 포장공의 경우 국도보다 고속도로가 더 자세하고 많은 부분을 다루었는데 단면의 모양 및 치수가 달랐으며, 적용 각도, 철근 치수가 다름을 확인 할 수 있었다. 교통안전시설공과 비탈면 안전공에 대한 표준도는 국도에만 존재함을 확인 할 수 있었다.

(3) WBS 분류체계를 고려한 라이브러리 분류체계 정의

- 본 연구에서는 한국도로공사의 표준 작업분류체계(WBS : Work Breakdown Structure, 이하 WBS), 수량산출지침서, 고속도로 및 국도 표준도, 고속도로와 국도의 수량산출서를 분석하여 건설 정보분류 체계를 개선하였다.
- WBS란 PERT/CPM 이론을 기반으로 한 건설공사의 범위를 체계적으로 조직하고 정의하기 위하여 각 구성요소들을 업무중심의 과업단위를 분류, 표시한 계층적 구조이다. 건설공사의 범위를 체계적으로 조직하고 정의하기 위하여 각 구성요소들을 업무중심으로 과업단위를 계층적 구조로 분류한 것으로 계획, 설계, 시공, 유지관리 등 건설 프로젝트의 전 단계에서 활용되는 기술정보와 데이터의 분류기준 제시하는데 시설물(F), 공간(S), 부위(E), 공종(W), 자원(R)에 대한 분류체계와 코드를 제시하고 있다. 건설사업 과정에서 발생되는 정보를 분류목적에 따라 체계적으로 분류하고 고유코드를 부여하여 PMIS(Project Management Information System) 등 각종 시스템과 응용 소프트웨어에서 활용함으로써 건설정보의 상호교환 및 활용 촉진을 목적으로 한다.
- 본 연구에서는 한국도로공사에서 분류한 WBS를 분석하고 참고하여 WBS기반 건설정보 분류체계를 정의하였다.

○ 터널공

- 터널의 단면은 경사와 지보패턴에 따라 계속 변화되므로 모든 경우에 대하여 정형화된 단면 라이브러리를 구축하는 것은 불가능할 뿐만 아니라 설계자의 판단에 의해 결정되는 경우에는 적용이 불가능 하므로 실질적 활용성이 부족하다.
- 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 WBS, 수량산출지침서, 고속도로 및 국도 표준도, 고속도로와 국도의 수량산출서 그리고 라이브러리 조립순서를 분석하여 건설 정보분류 체계를 개선하였다. BIM기반 NATM 터널에 대한 건설정보 분류체계를 개선하였으며 이는 라이브러리 자동조립 및 속성정보 입력을 위한 알고리즘이기도 하다.

구 분	입 력 방 법	입 력 내 용		세부공종(1)	속성정보 입력(1) 지보패턴	속성정보 입력(2) 형식입력	속성정보 입력(3) 물량산출방법	속성정보 입력(4) 연동물량산출방법	속성정보 입력(5) 연동물량산출방법	속성정보 입력(6)	모델링 순서
공종	선택입력 (프로그램에서)	터널공 교량공 배수공 옹벽공									1
공사현장	수동입력	사업명									2
시설물	수동입력	터널명									3
도로시설	선택입력 (프로그램에서)	본선									4
방광공간	선택입력 (프로그램에서)	상행 하행 공통									5
확장공간	선택입력 (프로그램에서)	터널연장 본선부 접속부 개착터널 피난연락갱 수직구 터널부속시설물 부대공									6
작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	터널연장	본선부 접속부 개착부 시점 개착부 종점 수직구	터널연장(M)	P-1 P-2 P-3 P-4 P-5 P-6 RP 직접입력		사용자 선형 모델링				7
작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	터널연장	피난연락갱	터널연장(M)	Type-1 Type-2 Type-3 Type-4 Type-5 직접입력	대인용 차량용	사용자 선형 모델링				
작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	내공단면	본선부 접속부 개착부 시점 개착부 종점 수직구		P-1 P-2 P-3 P-4 P-5 P-6 RP		사용자 라이브러리 구축				

1 페이지

그림 7. 터널공사_WBS기반 건설 정보분류 체계 정의

- 설계하고자 하는 터널의 기본정보(공종,공사현장,터널명 등)를 구분하여 정리하고 터널의 3D 형상 모델링 순서를 고려하여 내공단면, 라이닝 콘크리트, 숏크리트 등으로 구분한 뒤 각각의 세부공종에 대한 속성정보 입력방식, 물량산출방법을 정의하였으며, 이를 기반으로 하는 라이브러리 생성계획을 수립하였다.
- 터널공 라이브러리는 개발 모듈을 통해 단면이 생성되고 라이브러리로 구축되어 단면과 선형이 연동되어 모델링이 수행되도록 개발하고자 한다. 이를 위하여 모델링 순서를 정립하였으며, 이는 터널공 관련 모듈개발 알고리즘과도 연결된다.

○ 배수공

- 설계하고자 하는 배수공의 기본정보(공종, 공사현장 등)를 구분하여 정리하고 각각의 세부공종에 대한 속성정보, 속성정보 입력방식, 물량산출방법을 정의하였다.

순서	구 분	입 력 방 법	입 력 내 용			세부공종(1)	속성정보 입력(1)	속성정보 입력(2)	속성정보 입력(3)	속성정보 입력(5)	속성정보 입력(6)	기 준	라이브러리명
1	공종	선택입력 (프로그램에서)	터널공 교량공 도로배수공 옹벽공									한국도로공사 WBS	
2	공사현장	수동입력	사업명									한국도로공사 WBS	
3	시설물	선택입력 (프로그램에서)	교량 터널 본선 IC 간이IC JC 부체도로 고속도로 국도									한국도로공사 WBS	
4	도로시설	선택입력 (프로그램에서)	도로									한국도로공사 WBS	
5	방향공간	선택입력 (프로그램에서)	상행 하행 공통									한국도로공사 WBS	
6	확장공간	선택입력 (프로그램에서)	측구 배수관 배수구조물 직접입력									한국도로공사 WBS	
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	측구	V형측구	형식 1 (H=450M/M)	측구길이(M)	저판폭(D)=1010 M/M		선형 파라메트릭 모델링			고속도로표준도 2017.01	V형측구_형식1_H450.rfa
						콘크리트(M3)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연동물량	2종(Ø25M/M)		고속도로표준도 2017.01	
						수작거푸집(M2)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연동물량	합판4회		고속도로표준도 2017.01	
						경사거푸집(M2)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연동물량	합판4회		고속도로표준도 2017.01	
						터파기(M3)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연동물량	인력		고속도로표준도 2017.01	
						되메우기(M3)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연동물량	기계		고속도로표준도 2017.01	
						유용토(M3)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연동물량			고속도로표준도 2017.01	
						철근(Ton)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연동물량	SD30, D13		고속도로표준도 2017.01	

그림 8. 고속도로 배수공_WBS기반 건설 정보분류 체계 정의

- 배수시설물의 종류별 특성을 고려하여 단면과 도로 선형에 따라 3D 형상이 작성되는 2D 매개변수형 라이브러리의 경우 구조물의 길이를 기준으로 모든 시설물에 대한 콘크리트, 터파기, 되메우기, 철근 등의 물량을 해당 구조물의 길이 1m에 따라 산술식을 정의하였다.
- 날개벽과 집수정과 같은 3D 객체형 라이브러리의 경우, 사용자가 직접 모델링한 개소수를 카운팅하고 이를 활용하여 연동물량으로 수식에 의해 산출되어 일람표에 저장된다. 그리고 개발 프로그램에서 라이브러리와 연동할 수 있도록 라이브러리 명을 지정하였다.

○ 옹벽공

- 한국도로공사의 WBS, 수량산출지침서, 고속도로 및 국도 표준도, 고속도로와 국도의 수량산출서를 분석하여 건설 정보분류 체계를 개선하고 각각의 세부공종에 대한 속성정보 입력방식, 물량산출방법을 정의하였다.
- 옹벽공은 2D 단면 매개변수형 라이브러리로 구축되며 단면과 도로 선형에 따라 3D 형상이 작성된다. 물량은 옹벽의 모델링을 활용하여 프로그램에서 물량을 산출하는 방법과 라이브러리의 단면 치수를 활용하여 연동물량으로 산출하는 방법으로 정의하였다. 단면 치수를 활용하여 연동물량으로 산출하는 항목은 버림콘크리트가 이에 해당한다.

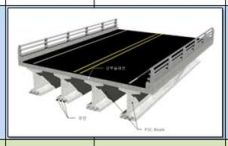
순서	구 분	입 력 방 법	입 력 내 용			세부공종	속성정보 입력(1)	속성정보 입력(2)	속성정보 입력(3)	속성정보 입력(4)	속성정보 입력(5)	속성정보 입력(6)	기준	모델링 순서
1	공종	선택입력 (프로그램에서)	터널공 교량공 배수공 옹벽공											
2	공사현장	수동입력	사업명											
3	시설물	선택입력 (프로그램에서)	고속도로 국도 지방도로 직접입력											
4	도로시설	선택입력 (프로그램에서)	옹벽											
5	방향공간	선택입력 (프로그램에서)	상행선 하행선 상·하행선(공통)											
6	확장공간	선택입력 (프로그램에서)	중력식 옹벽 반중력식 옹벽 역T형 옹벽 L형 옹벽 부벽식 옹벽											
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	중력식 옹벽	형식 1		콘크리트(M3)	적용높이 : 1.5M-4.0M	무근콘크리트	매개변수형 라이브러리 모델링			뒤채움토의 내부마찰각 = 30° 뒤채움토 단위중량 = 19.0kN/M3 무근콘크리트 단위중량 = 23.0kN/M3 콘크리트 설계기준강도 = 18.0MPa 상시 허용지지력 = 300kN/M2 흙과콘크리트 지반마찰계수 = 0.5	도로옹벽표준도 2008	
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	중력식 옹벽	형식 1		버림콘크리트(M3)	적용높이 : 1.5M-4.0M		연동블럭	버림콘크리트=(B+0.2)x0.1	fck = 16MPa		도로옹벽표준도 2008	
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	중력식 옹벽	형식 2	1 : 1.8 1 : 1.5	콘크리트(M3)	적용높이 : 1.5M-4.0M	무근콘크리트	매개변수형 라이브러리 모델링	뒤채움토의 내부마찰각 = 30° 뒤채움토의 내부마찰각 = 35°	뒤채움토 단위중량 = 19.0kN/M3 뒤채움토 단위중량 = 20.0kN/M3	무근콘크리트 단위중량 = 23.0kN/M3 콘크리트 설계기준강도 = 18.0MPa 상시 허용지지력 = 300kN/M2 흙과콘크리트 지반마찰계수 = 0.5	도로옹벽표준도 2008	
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	중력식 옹벽	형식 2		버림콘크리트(M3)	적용높이 : 1.5M-4.0M		연동블럭	버림콘크리트 =(B1+B2+2C)x0.1	fck = 16MPa		도로옹벽표준도 2008	
	작업											뒤채움토의 내부마찰각 = 30° 뒤채움토 단위중량 = 19.0kN/M3 철근콘크리트 단위중량 = 24.5kN/M3 콘크리트 설계기준강도 = 21.0MPa		

1 페이지

그림 9. 옹벽공사_WBS기반 건설 정보분류 체계 정의

○ 교량공

- 한국도로공사의 WBS, 수량산출지침서, 고속도로 및 국도 표준도, 고속도로와 국도의 수량산출서를 분석하여 건설 정보분류 체계를 개선하고 각각의 세부공종에 대한 속성정보 입력방식, 물량산출방법, 모델링 순서에 대하여 정의하였다.

순서	구 분	입 력 방 법	입 력 내 용		세부공종	속성정보 입력(1)	속성정보 입력(2)	속성정보 입력(3)	속성정보 입력(4)	속성정보 입력(5)	속성정보 입력(6)	속성정보 입력(7)	속성정보 입력(8)	속성정보 입력(N)	비 고	모델링 순서
1	공종	선택입력 (프로그램에서)	터널공 교량공 배수공 옹벽공												프로그램에서 질문창이 나오면 작업자가 선택하여 자동으로 입력되는 방법 예) 교량공	1
2	공사현장	수동입력	사업명													2
3	시설물	수동입력	교량명													3
4	도로시설	선택입력 (프로그램에서)	본선 IC 간이IC JC													4
5	방향공간	선택입력 (프로그램에서)	상행 하행 공통													5
6	확장공간	선택입력 (프로그램에서)	PSC거더교 상부공 PSC거더교 하부공 RC라멘교 통로암거													6
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	PSC거더교 상부공	바닥판	A1-P1 P1-P2 P2-P3 P3-P4 P4-P5 P5-A2 직접입력	현장타설 콘크리트 프리캐스트 바닥판 직접입력	무근콘크리트 철근콘크리트 프리스트레스 콘크리트 직접입력	매개변수형 라이브러리 모델링	일반콘크리트 경량콘크리트 필터콘크리트 특수콘크리트 직접입력	슬럼프 2.5 슬럼프 5 슬럼프 6.5 슬럼프 8 슬럼프 12 슬럼프 15 슬럼프 18 슬럼프 21 직접입력	강도 15 강도 16 강도 18 강도 21 강도 24 강도 27 강도 30 강도 35 강도 40 직접입력	최대골재 13 최대골재 15 최대골재 19 최대골재 20 최대골재 25 최대골재 30 최대골재 32 최대골재 40 최대골재 50 직접입력	인력타설 기계타설			7
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	PSC거더교 상부공	교량난간 및 중앙분리대	중앙분리대	일체형 중앙분리대 분리형 중앙분리대 직접입력		매개변수형 라이브러리 모델링								8
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	PSC거더교 상부공	교량난간 및 중앙분리대	방호벽	일반방호벽 철대방호벽 직접입력	무근콘크리트 철근콘크리트 프리스트레스 콘크리트 직접입력	매개변수형 라이브러리 모델링	일반콘크리트 경량콘크리트 필터콘크리트 특수콘크리트 직접입력	슬럼프 2.5 슬럼프 5 슬럼프 6.5 슬럼프 8 슬럼프 12 슬럼프 15 슬럼프 18 슬럼프 21 직접입력	강도 15 강도 16 강도 18 강도 21 강도 24 강도 27 강도 30 강도 35 강도 40 직접입력	최대골재 13 최대골재 15 최대골재 19 최대골재 20 최대골재 25 최대골재 30 최대골재 32 최대골재 40 최대골재 50 직접입력	인력타설 기계타설			

1 페이지

그림 10. 교량공사_WBS기반 건설 정보분류 체계 정의

- 설계하고자 하는 교량의 기본정보(공종,공사현장,터널명 등)를 구분하여 정리하고 교량의 3D 형상 모델링 순서를 고려하여 각각의 세부공종에 대한 속성정보 입력방식, 물량산출방법을 정의하였으며, 이를 기반으로 하는 라이브러리 생성계획을 수립하였다.
- 교량에서 가장 중요한 것은 모델링 순서이다. 교량공은 각 세부공종에 대하여 라이브러리를 구축하고, 기준점을 정립하여 조립으로 모델링을 수행하고자 한다.

(4) 라이브러리 개발

- 본 연구를 통해 개발하고자 하는 자동화 모듈개발은 폐쇄형 BIM기반의 자동화 모듈로써, 이는 벤더사 사이의 IFC의 호환성에 있어 객체정보에 대한 호환성은 상당한 진전이 있는 상황이나, 본 연구에서 개발하고자 하는 매개변수형 라이브러리 내의 속성정보의 호환성에 대한 문제점을 고려하여 폐쇄형 BIM기반으로 진행하고자 한다. 현재의 기술로서는 IFC의 호환성 문제가 있으므로 IFC기반의 개방형 BIM기반 자동화 모듈 사용 시 매개변수에 대한 속성정보에 대한 완벽한 호환성을 장담할 수 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 향후 호환성 향상을 고려하여 폐쇄형 라이브러리를 제작하고, IFC 파일로 저장하여 DB를 구축하고자 한다.

○ 배수공에 대한 라이브러리 개발

- 도로의 배수시설은 측구, 도수로, 집수정, 배수관 및 배수암거와 그 부속물로 구성되어있다. 본 연구에서는 국토해양부에서 발행한 국도건설공사 표준도(2016)와 한국도로공사에서 발행한 고속도로건설공사 표준도(2017)를 분석하고 WBS를 참고하여 개발한 건설정보 분류체계를 기반으로 크게 2D단면에 대한 매개변수형 라이브러리와 3D 객체형 라이브러리 2가지 방법으로 혼합하여 구축하고자 한다.

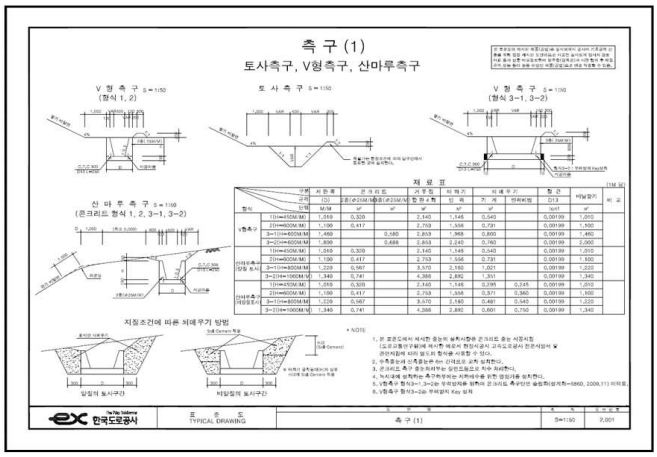


그림 11. 고속도로 표준도

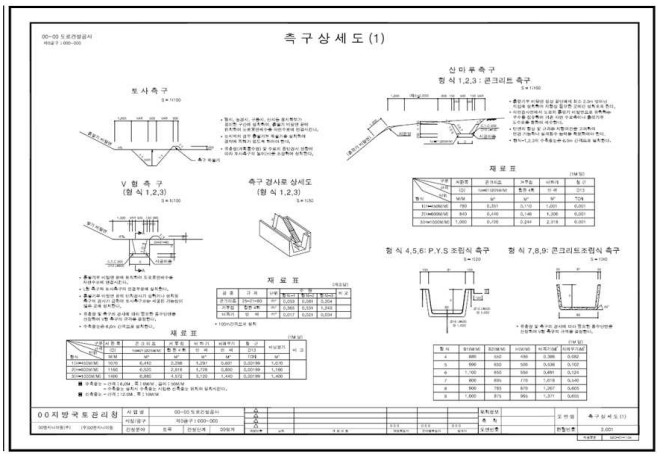


그림 12. 국도 표준도

- 배수공에 대한 고속도로 및 국도 표준도를 분석한 결과, 고속도로의 경우 측구 36개, 맹암거 10개, 쌓기부 다이크 5개, 배수관 122개, 집수정 47개, 도수로 129개 총 349개의 라이브러리가 필요하고, 국도 배수공의 경우 측구 32개, 맹암거 8개, 배수관 104개, 집수정 38개, 흙쌓기부 도수로 52개, 용수개거 18개, 기타 5개로 총 257개의 라이브러리가 필요함을 확인하였다.

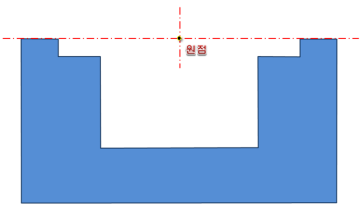


그림 13. U형 측구

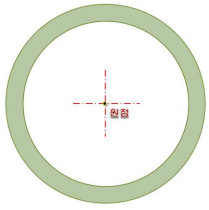


그림 14. 종배수관

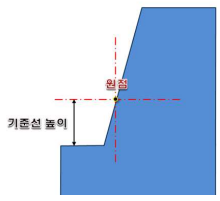


그림 15. 쌓기부 다이크

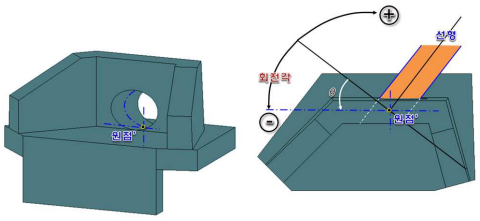


그림 16. 배수관 날개벽

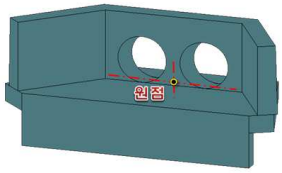


그림 17. 2련 배수관 날개벽

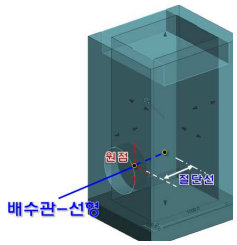


그림 18. 집수정

- 도로 선형에 따라 단면이 생성되는 측구, 배수관, 다이크 등과 같은 구조물은 2D 단면 매개변수형 라이브러리로 제작하고, 집수정, 날개벽과 같은 구조물은 3D 객체형 라이브러리로 제작하여 해당위치에 배치할 수 있도록 개발하고자 한다.
- 제작된 배수공 라이브러리는 개발 프로그램을 통해 3차원 형상정보를 구현하기 위하여 모든 라이브러리에 기준점을 지정하였다. 기준점이 없을 경우 전혀 의도와 다르게 배치되거나 빈 공간이 발생될 수 있으며 이는 수량산출에 영향을 줄 수 있으므로 위의 그림과 같이 기준점을 지정하였다.
- 배수시설은 크게 지하시설물과 지상 시설물, 접속시설물로 나눌 수 있는데, 지하시설물인 배관의 경우 관의 중심을 기준점으로 정하였고, 지상시설물인 배수로의 경우 설치기준 토공면을 기준점으로 정하였다. 접속시설물인 집수정의 경우 접속되는 주 메인 배관 또는 접속 배수시설물의 기준점을 공유하도록 지정하였다.

○ 옹벽공에 대한 라이브러리 개발
- 옹벽은 도로건설 시 성토와 절토 등으로 자연사면을 유지할 수 없는 경우, 안정성을 확보하기 위하여 설치되는 구조물로서 도로 계획시 설계빈도가 많고 공법 및 설계기준 등이 동일한 경우가 많아 설계 조건별, 규격별로 구조를 표준화하고 있으나, 설계조건이 국토교통부 도로옹벽표준도(2008)의 조건과 상이한 경우 표준도를 그대로 적용할 수 없으며 별도 검토를 수행한 후 적용하도록 명시하고 있다.
- 표준도 적용의 제한이 있는 조건은 다음과 같다.

① 기초지반 조건
· 연약지반에 옹벽이 설치되어 최대지반 반력이 허용지지력 이상이거나 저판폭의 2배 이내에 연약층이 존재하는 경우
· 활동 안전율이 최소 안전율 이하일 경우
· 장기적인 침하의 우려가 있거나 원호활동 파괴에 대하여 충분한 안전율을 확보하지 못한 경우
· 옹벽의 길이 방향으로 지반조건이 크게 상이하거나 강성이 큰 구조물에 접속되어 있을 경우

② 배면조건
· 배면의 형상이 설계조건과 상이하거나 절토사면에 설치되는 옹벽으로 배면토압이 설계시 토압보다 크게 작용하는 경우
· 뒤채움 흙이 점성토인 경우 또는 내부 마찰각이 설계조건을 만족시키지 못할 경우

③ 하중조건
· 표준도 작성 시 적용된 노면활하중(q=10Kn/㎡, 도로설계기준 2005)보다 큰 상재하중이 작용하는 경우
· 방음벽이 설치되어 풍하중이 작용하는 경우
· 배면의 배수가 곤란하여 수압이 작용할 우려가 있는 경우

④ 기초형식
· 직접 확대기초가 아닌 경우(파일 기초 등)
· 경사지반에 기초가 설치되는 경우

- 이와 같이 옹벽에 대한 표준도는 존재하나 옹벽이 적용되는 각 조건에 대하여 활동, 전도, 지반지지력 및 부재강도가 필요한 안전도를 갖도록 별도로 설계하여야 한다. 그러나 현재 개발되어있는 옹벽의 라이브러리의 경우 표준도를 기반으로 2D 단면에 대한 라이브러리가 구축되어있다. 이는 표준도에 적합한 조건에서만 적용이 가능하므로 활용성이 매우 저조하다.
- 따라서, 옹벽에 대한 표준도는 존재하나 옹벽이 적용되는 각 조건에 대하여 활동, 전도, 지반지지력 및 부재강도가 필요한 안전도를 갖도록 별도로 설계하여야 한다. 그러나 현재 개발되어있는 옹벽의 라이브러리의 경우 표준도를 기반으로 2D 단면에 대한 라이브러리가 구축되어있다. 이는 표준도에 적합한 조건에서만 적용이 가능하므로 활용성이 매우 저조하여 옹벽 라이브러리의 활용성과 설계자의 편의성, 생

산성 향상을 위해서는 설계조건을 고려하여 설계자의 검토 결과에 따라 옹벽 모델링을 용이하게 변경하여 사용이 가능한 매개변수형 라이브러리 개발이 필요한 실정이다.

- 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 설계자의 검토 결과에 따라 옹벽 모델링을 용이하게 변경하여 사용 가능하도록 국토해양부에서 발행한 도로옹벽 표준도(2008)를 기반으로 총 14개의 2D단면에 대한 매개변수형 라이브러리를 구축하였다.
- 라이브러리를 구축하기 위하여 다음 그림과 같이 국토교통부 도로옹벽표준도(2008)를 분석하였다.

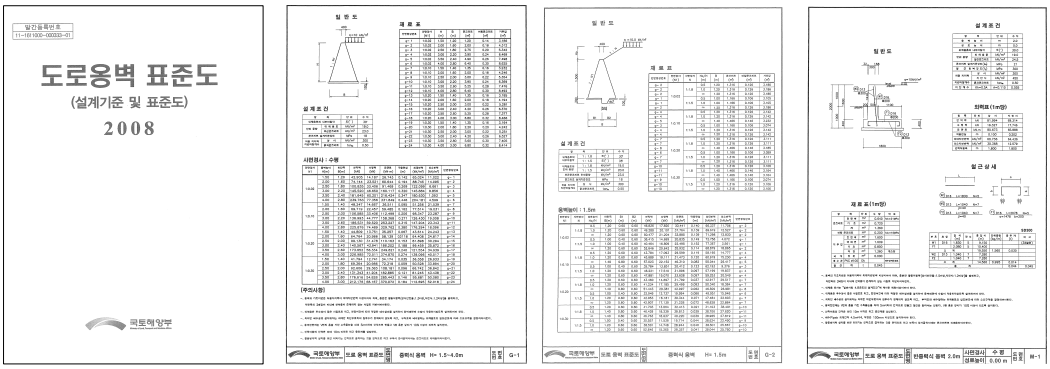


그림 19. 도로옹벽 표준도(국토해양부, 2008)

- 표준도에 따르면 옹벽은 중력식, 반중력식, 역T형, L형 4개 타입으로 구성되어 있다. 각 타입의 옹벽은 표준도와 같이 형상치수의 변화에 따라 여러가지 유형으로 분류된다. 중력식은 4개의 형태 114개 유형, 반중력식은 2개의 형태 35개 유형, 역T 형은 4개의 형태 165개 유형, L형은 4개의 형태 133개 유형으로 나뉘는데, 본 연구에서는 각 옹벽의 형상의 유사성을 기준으로 중력식 2개, 반중력식 2개, 역T형 4개, L형 4개, 부벽식 2개 총 14개의 2D단면에 대한 매개변수형 라이브러리를 구축하고자 하며, 옹벽 라이브러리 구축 알고리즘은 다음과 같다.

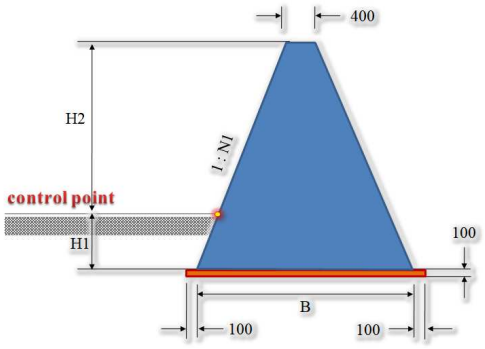


그림 20. 중력식 옹벽

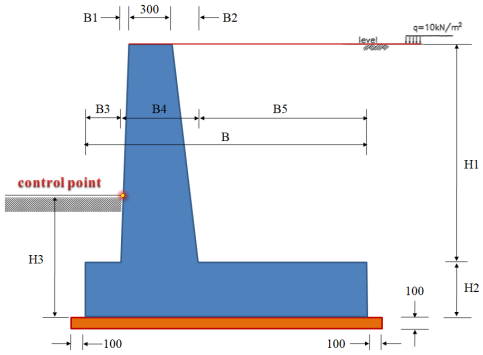


그림 21. 반 중력식 옹벽

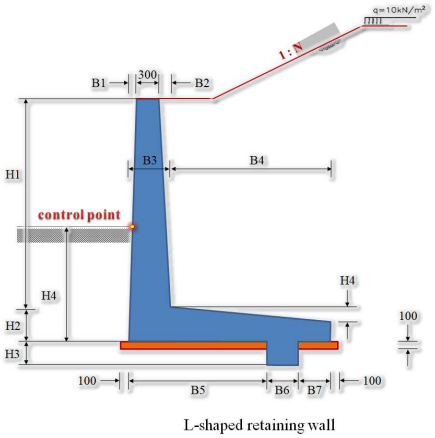


그림 22. L형 옹벽

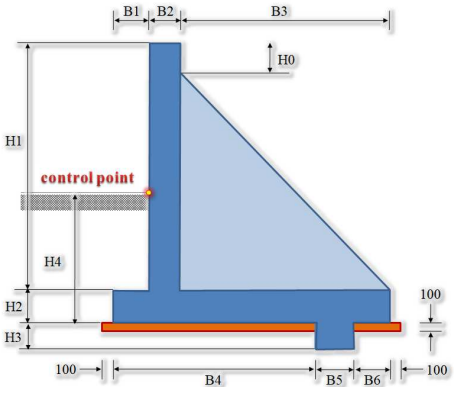


그림 23. 부벽식 옹벽

○ 터널공에 대한 라이브러리 개발

- 터널의 경우, 터널의 라이브러리의 약 95% 이상을 본 연구개발 설계 및 설계변경 자동화 모듈 통해 각 지보패턴에 대한 매개변수를 입력하면 단면을 생성되고 라이브러리로 저장되어 향후 설계자가 필요시 사용 가능하도록 구축하고자 한다.
- 터널은 지보패턴에 따라 단면이 계속 변화하는데 8.6km 내에 약 200번의 지보패턴이 변화가 발생하는 경우도 있을 만큼 지보패턴의 변화는 예측할 수 없을 뿐만 아니라 굉장히 빈번하게 발생되고 있으며 지보패턴이 변경 될 때마다 즉시 이를 반영하여 설계변경이 이루어 져야 한다. 이러한 발생되는 모든 경우에 대하여 정형화된 라이브러리를 구축하는 것은 불가능할 뿐만 아니라 설계자의 판단에 의해 결정되어 변경되는 경우에는 적용이 불가능 하므로 실질적 활용성이 매우 저조하다.
- 터널공법으로는 재래식 공법(American Steel Supported Method;ASSM)공법, NATM(New Austrian Tunnelling Method)공법, TBM(Tunnel Boring Machine)공법, shield공법, 개착식 공법, 침매공법 등이 있다. 국내 지질은 대부분 경 암반층으로 터널 공법 중 NATM 공법이 가장 많이 적용되고 있다. NATM 공법은 1980년대 초반부터 국내에서 본격적으로 적용되어 현재 대부분의 도로, 철도, 지하철 터널에 적용되고 있다. TBM 공법은 화약장전에 의한 발파 작업이 불가능한 지역 (해저터널, 지반이 약한 지역)에 주로 적용되는 공법으로 발파공법에 비해 굴진의 안정성이 우수하고, 지반 및 환경피해, 소음 및 진동 발생을 줄일 수 있다는 장점이 있어 적용 사례가 점진적으로 늘어나고 있는 추세이나 지질조건에 따라 공사비와 공사기간이 증가하는 등의 문제점이 제기되고 있다(이영준, 2015, 윤영민, 2018).
- 고속국도의 터널은 한국도로공사에서 관리하고 있으며, 2009년부터 2019년까지 지난 10년간 준공완료되어 유지보수 중인 터널과 건설 중인 터널에 대한 터널 공법 현황은 다음 표와 같다. 유지보수 터널의 경우 터널공법을 NATM, 개착식, 난형, NATM과 TBM 동시적용, 기타로 분류하였으며 그 중 NATM 이 94%를 차지하였다. 현재 건설 중인 터널의 경우 NATM과 개착식 공법으로 적용되고 있는 것으로 나타났으며, 전체적으로 NATM 이 92.5%, 개착식이 3.9% 로 대부분 NATM을 적용하고 있는 것으로 나타났다.

표 1. 고속도로 터널 적용 공법 현황

터널 공법	총 계		유지관리		건설 중	
	개소	%	개소	%	개소	%
NATM	906	92.54	778	94.07	128	97.71
개착식	39	3.98	38	4.35	3	2.29
기타	8	0.82	8	0.97	-	-
난형	4	0.41	4	0.48	-	-
NATM + TBM	1	0.10	1	0.12	-	-
총계	958	100.00	827	100.00	131	100.00

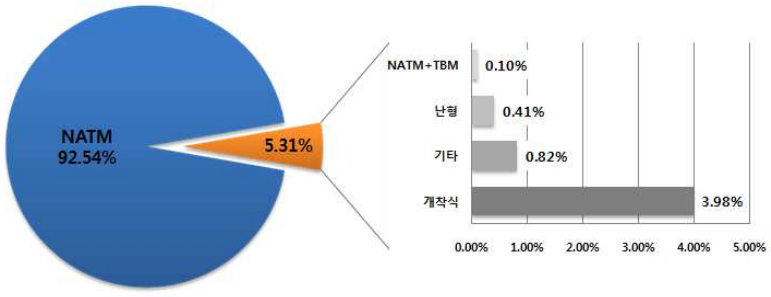


그림 24. 고속도로 터널 적용 공법 현황 비교

- 국도의 터널공법 적용 현황 조사결과, 국토부, 건기연 그리고 국가 정보공개 포털을 이용하여 5개 국토관리청 (서울 지방국토관리청, 원주 지방국토관리청, 대전 지방국토관리청, 익산 지방국토관리청, 부산 지방국토관리청)으로 문의를 하였으나 현재 국도 관련 터널에 대한 적용공법에 대한 관리 및 자료정리를 따로 하지 있지 않는 것으로 나타났다.

국토관리청에서 터널 적용 공법에 대한 정보를 확인하기 위해서는 이전 터널 준공자료를 검토하여 별도의 정리가 필요하며, 각 국토관리청의 담당자 확인결과, 터널 적용 공법의 경우 고속국도와 같이 대부분 NATM 공법을 적용하고 있는 것으로 파악되었다.

- 본 연구에서는 국내 고속도로와 국도 터널현황을 조사하여 국내에 많이 적용되고 있는 NATM 공법에 대하여 설계자가 라이브러리 구축 알고리즘 순서에 따라 지보패턴에 대해 각각의 매개변수를 입력함으로써 자동으로 단면을 생성하고 라이브러리로 저장하여 설계자가 필요에 따라 사용 할 수 있도록 개발하였다.
- 이를 위하여 터널공에 대한 한국도로공사 WBS, 수량산출지침서, 고속도로 및 국도 표준도와 이를 반영한 고속도로와 국도의 수량산출서 샘플, 본 연구에서 개발한 건설정보 분류체계들을 분석하여 3D 객체형 라이브러리, 2D 매개변수형 단면 라이브러리와 개발 프로그램의 단면 자동화 생성 모듈을 통하여 기하학적 특성을 반영한 매개변수형 단면 라이브러리 3가지 방법으로 구축하였다.

① 3D 객체형 라이브러리

소화기, 소화기함과 같이 크기가 정해져 있고, 단순 형상만 필요한 경우 3D 객체형 라이브러리로 구축하여 필요시 해당위치에 설계자가 직접 배치할 수 있도록 개발하였다.

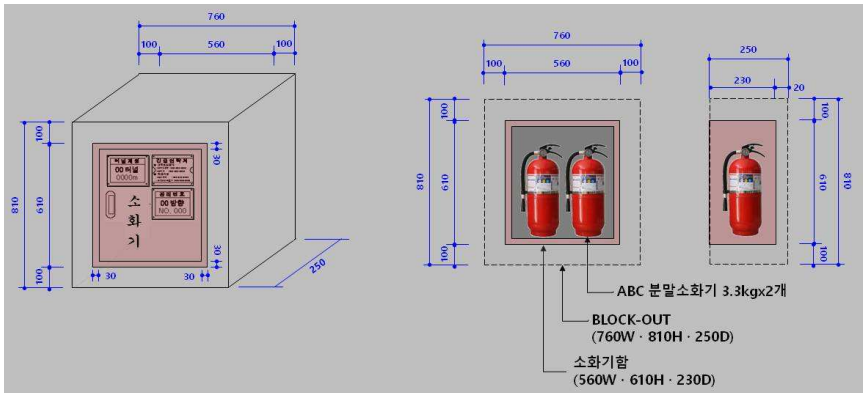


그림 25. 3D 객체형 라이브러리

② 2D 매개변수형 단면 라이브러리

상황에 따라 결정되어야 하는 부재인 터널내부 설치되는 관, 공동구 덮개의 경우 2D 단면에 대한 매개변수형 라이브러리로 구축하였다. 그리고 설계자가 필요시 매개변수 입력을 통해 단면을 변경 후, 개발 프로그램에서 라이브러리를 불러들여 터널의 선형과 매칭하여 모델링이 가능하도록 개발하였다.

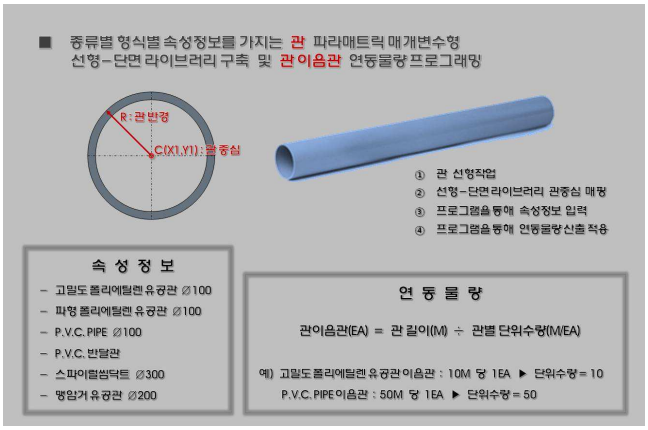


그림 26. 터널내부 설치 관

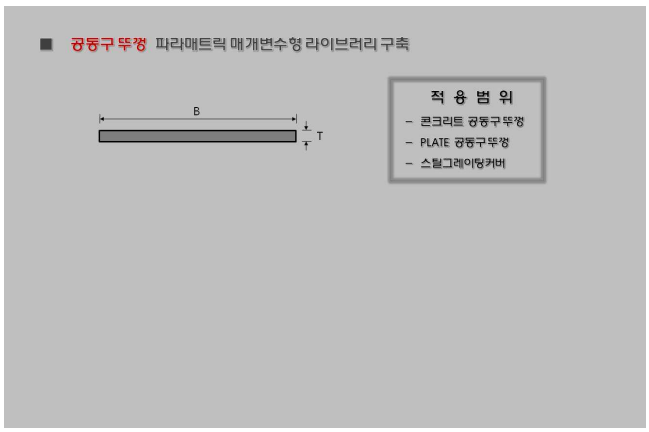


그림 27. 공동구 뚜껑

③ 개발 모듈을 이용하여 기하학적 특성을 반영한 매개변수형 단면 라이브러리

- 터널공에 대한 전체 라이브러리의 약 95% 이상은 개발 모듈을 통해 구축하는 방법으로 결정하였는데, 이는 프로그램을 통해 매개변수를 입력함으로써 각 지보패턴에 대한 단면 라이브러리를 생성하고, 저장하여 2D 매개변수형 단면 라이브러리와 마찬가지로 설계자가 필요 시 불러들여 사용 할 수 있도록 하였다.
- 입력되는 매개변수는 설계자가 2D 터널 설계 시 수행하는 연산 및 작도를 포함한 모든 설계 작업과 건설정보 분류체계에서 정의한 모델링 순서를 분석하여 내공단면, 라이닝 콘크리트, 신축이음과 시공이음, 숏크리트, 배수시설, 락볼트 등 터널 단면의 기하학적 특성이 반영된 터널의 단면을 설계하기 위해 필요한 수치로 정의된 속성정보와 함께 입력하면 단면을 자동으로 생성하고 라이브러리로 구축하고자 한다.

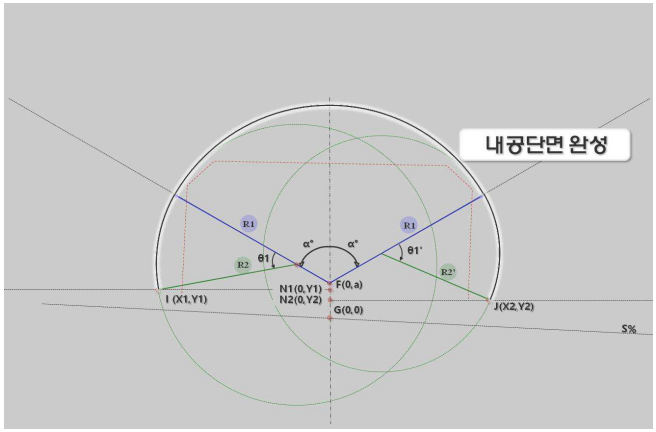


그림 28. 내공단면 작성

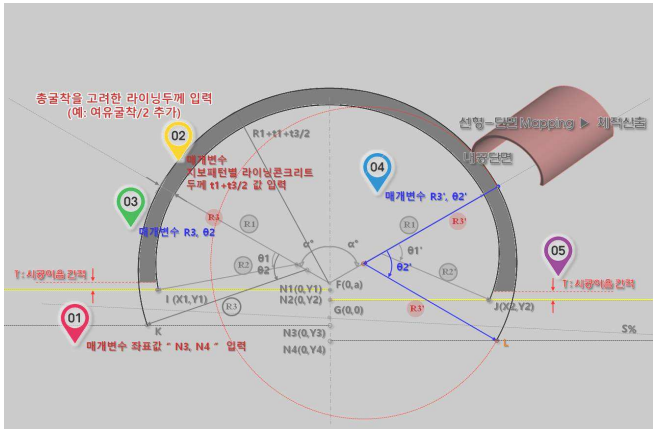


그림 29. 라이팅 콘크리트 작성

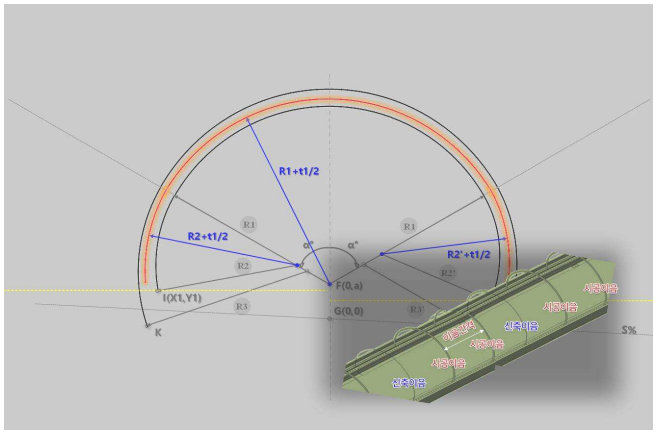


그림 30. 신축이음 및 시공이음 작성

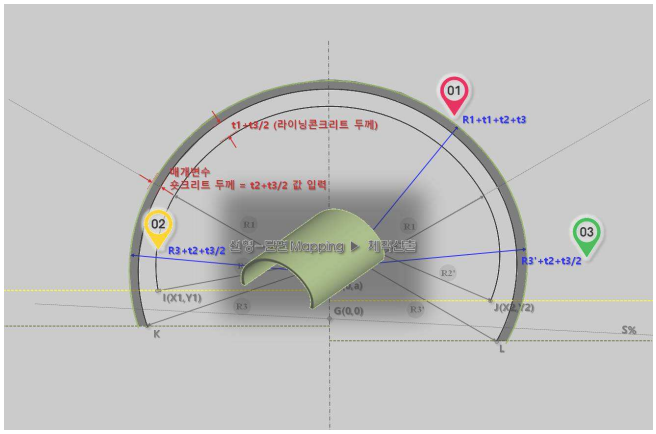


그림 31. 숏크리트 작성

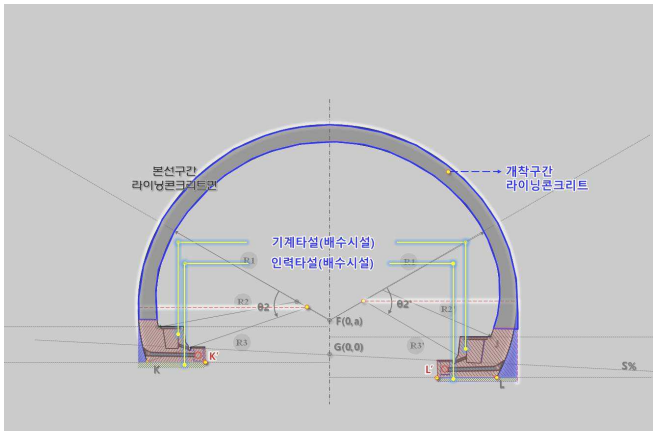


그림 32. 배수콘크리트 작성

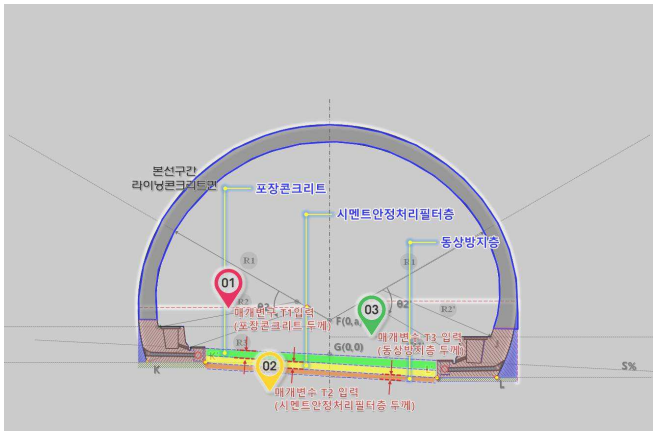


그림 33. 포장층 작성

○ 교량공에 대한 라이브러리 개발

- 고속도로에 적용된 교량 공법 중, 지난 10년간 라멘교, PSC I형교가 가장 많이 적용됨을 알 수 있었다. 2011년 까지는 라멘교 적용률이 전체 교량 중 가장 많았으나, 2012년부터 PSC I형교의 적용률이 가장 높은 것으로 나타났다. 2018년 기준, PSC I형교 36.95%, 라멘교는 27.26%, 강상자형교 17.8%로 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다.
- 국도에 적용된 교량 공법 역시 고속도로와 마찬가지로 라멘교, PSC I형교가 가장 많이 적용되었으며, 2011년 까지는 라멘교 적용률이 전체 교량 중 가장 많았으나, 2012년부터 PSC I형교의 적용률이 가장 높은 것으로 나타났다. 2018년 기준, PSC I형교 28.57%, 라멘교는 23.38%, 강상자형교 22.27%, RC 슬래브교 14.07% 로 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 고속도로와 달리 국도에서는 RC 슬래브교에 대한 적용율이 높게 나타났다.
- 고속도로 및 국도 교량 공법 현황을 조사한 결과, PSC I형교, 라멘교는, 강상자형교, RC슬래브교가 가장 많이 적용되어지고 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 국내 적용성이 높은 PSC-I형교, RC슬래브교 및 RC라멘교 공법을 대상으로 라이브러리를 구축하고자 한다.
- 이를 위하여 교량공에 대한 한국도로공사 WBS, 수량산출지침서, 고속도로 및 국도 표준도와 이를 반영한 고속도로와 국도의 수량산출서 샘플, 본 연구에서 개발한 건설정보 분류체계들을 분석하여 2D 매개변수형 단면 라이브러리와 3D 객체형 라이브러리로 구축하여 기준점을 기준으로 조립하여 3D형상정보를 생성하고자 한다.

① 2D 매개변수형 단면 라이브러리

교량의 표준도와 건설정보 분류체계에서 정의한 모델링 순서를 분석하여 2D 단면에 대한 매개변수형 라이브러리를 구축하고자 한다. 표준도를 분석하여 매개변수를 적용하여 라이브러리를 개발하고, 모델링 순서와 시공 과정을 분석하여 기준점을 설정하고, 이후 라이브러리 자동조립 모듈을 통해 모델링을 완료하고자 한다. 교면포장, 슬래브, 교량받침, 교각, 교대, 거더 등에 대하여 설계자가 필요시 매개변수 입력을 통해 단면을 변경 후, 개발 프로그램에서 라이브러리를 불러들여 교량의 선형과 매칭하여 모델링이 가능하도록 개발하였다.

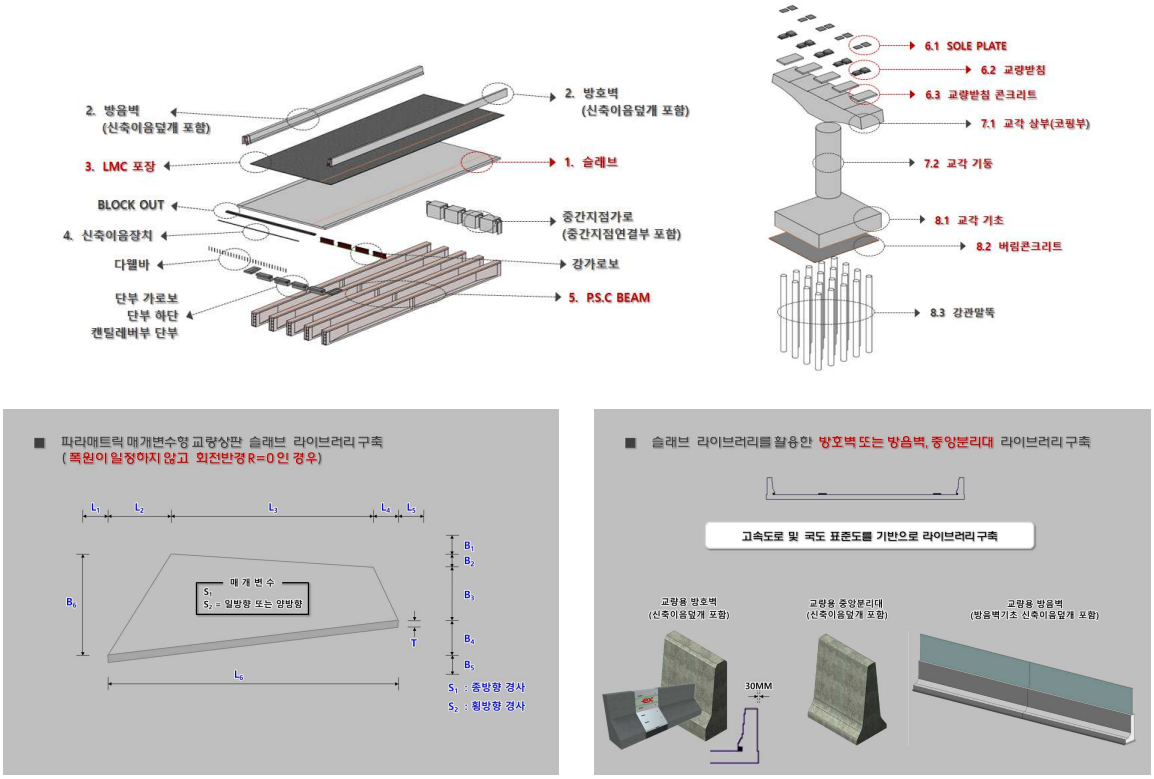


그림 34. 교량공 2D 매개변수형 단면 라이브러리 알고리즘 (1)

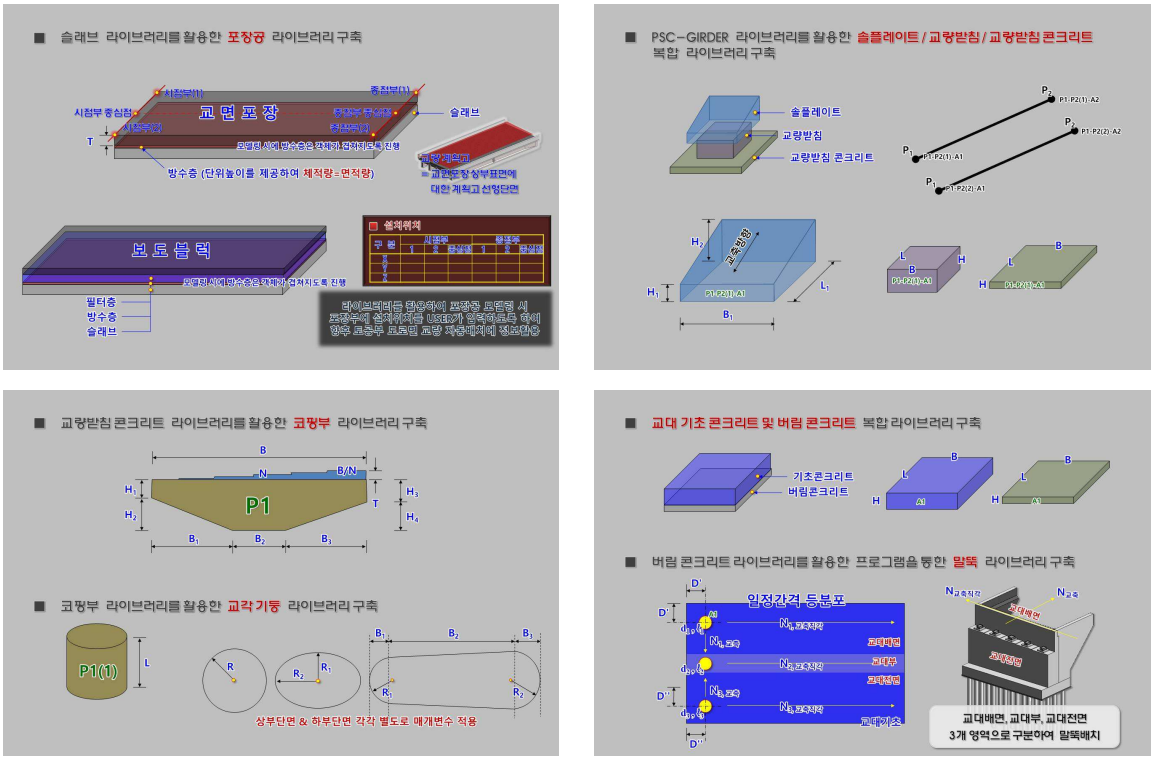


그림 35. 교량공 2D 매개변수형 단면 라이브러리 알고리즘 (2)

② 3D 객체형 라이브러리

RC 라멘교, 통로암거, 인도용 교량난간은 3D 객체형 라이브러리로 구축하여 적용하고자 하는 지점에 배치할 수 있도록 개발하였다. RC 라멘교, 통로암거는 3D 객체형 라이브러리인데 매개변수형 라이브러리로 2D 매개변수형 단면 라이브러리와 같이 설계자가 필요시 매개변수 입력을 통해 단면을 변경 후, 개발 프로그램에서 라이브러리를 불러들여 원점과 좌표를 이용하여 해당위치에 설계자가 직접 배치할 수 있록 개발하였다. 인도용 교량난간의 경우 터널공의 소화기함과 같이 3D 객체로 제작하여 해당위치에 배치하고자 한다.

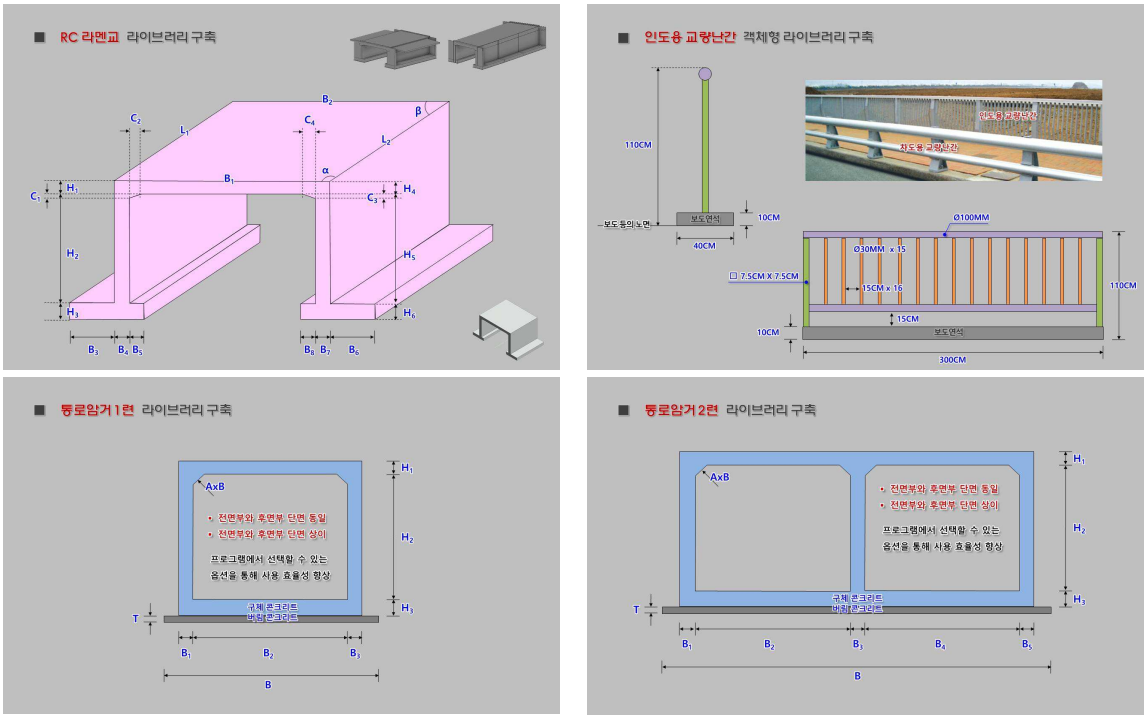


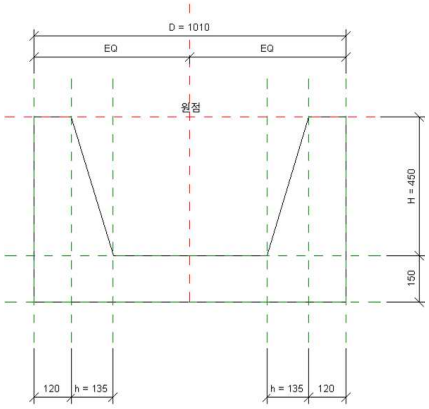
그림 36. 교량공 3D 객체형 라이브러리 알고리즘

(5) 분류체계와 가이드라인에 의거하여 라이브러리 제작

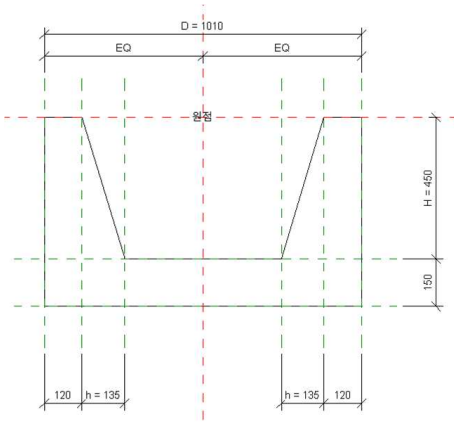
○ 배수공

- 표준도를 분석하고 분류체계와 가이드라인에 의거하여 라이브러리를 다음과 같이 제작하였다.
  - 측구 : v형 측구, 산마루측구, L형 측구, U형 측구, 쌓기부 다이크
  - 배수관 : 횡단 배수관, 종배수관, 면벽, 배수관 날개벽
  - 배수구조물 : 맹암거, 집수정, 집수거, 도수로, 방수거

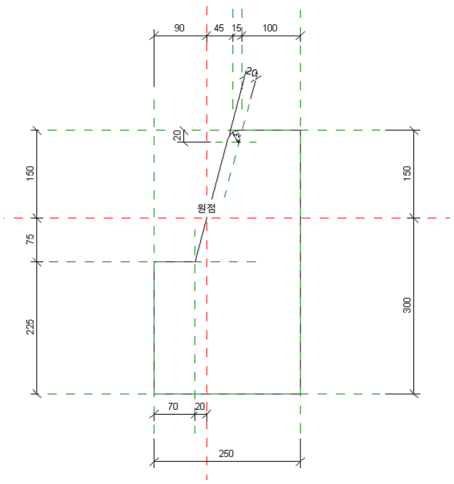
- 측구



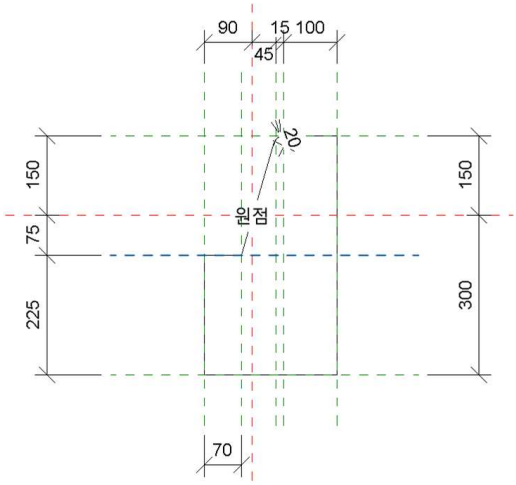
V형 측구



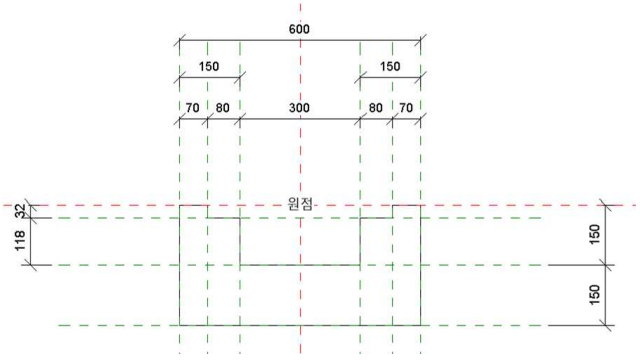
산마루 측구



L형 측구



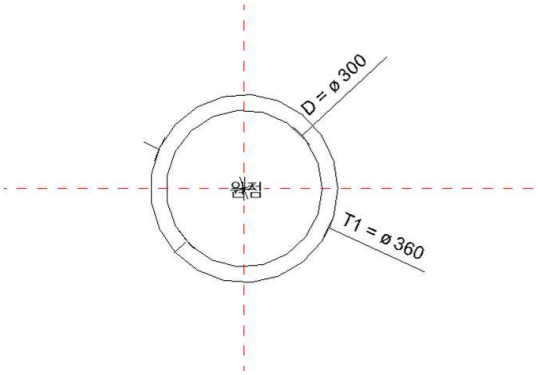
쌓기부 다이크



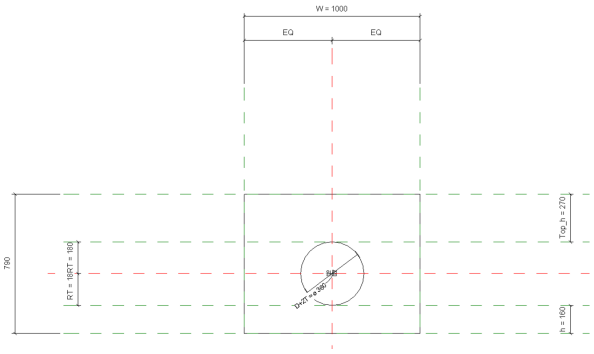
U형 측구

그림 37. 배수공 라이브러리 제작 (측구 대표 라이브러리)

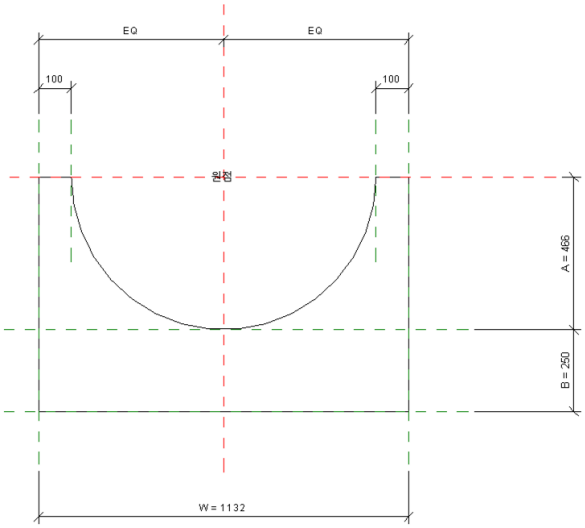
- 배수관



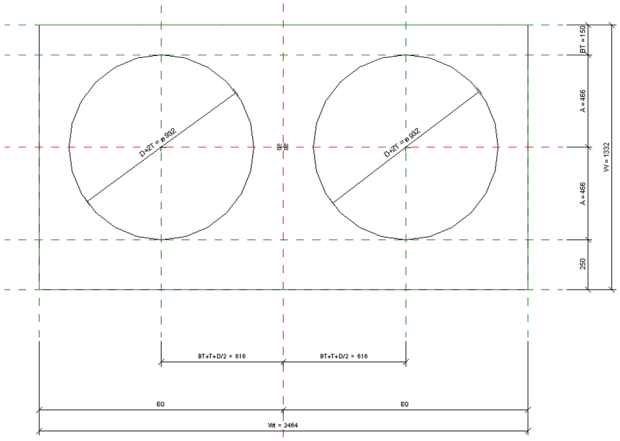
관



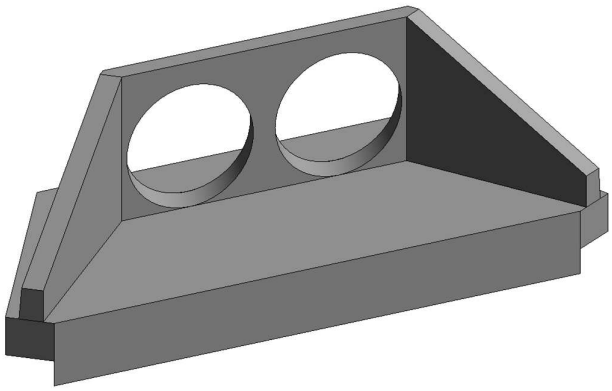
종배수관(면벽)



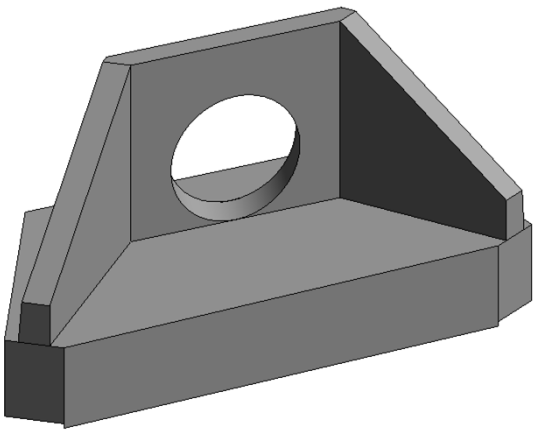
횡단배수관 (관기초)



횡단배수관 (관보강)



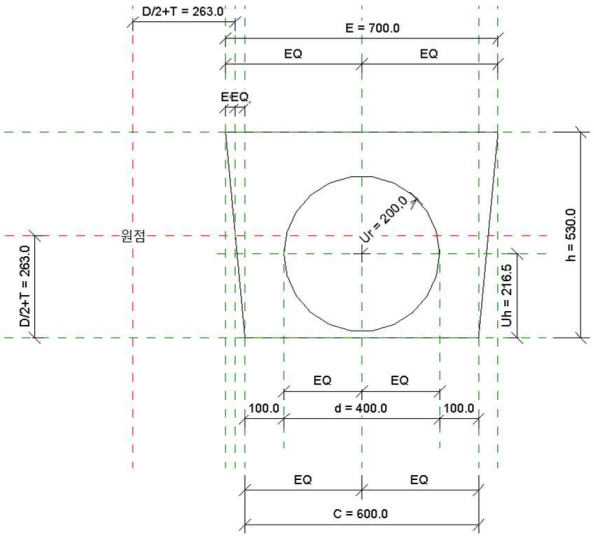
배수관 날개벽(2련)



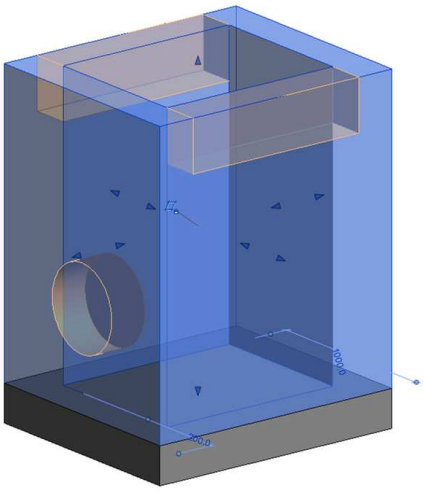
배수관 날개벽(1련)

그림 38 배수공 라이브러리 제작 (배수관 대표 라이브러리)

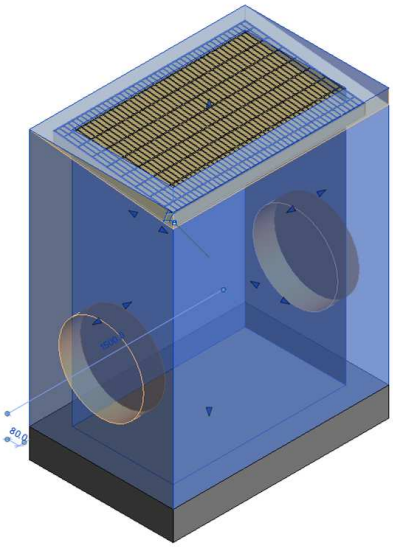
- 배수구조물



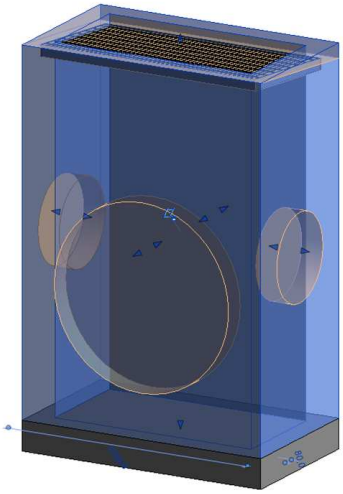
맹암거



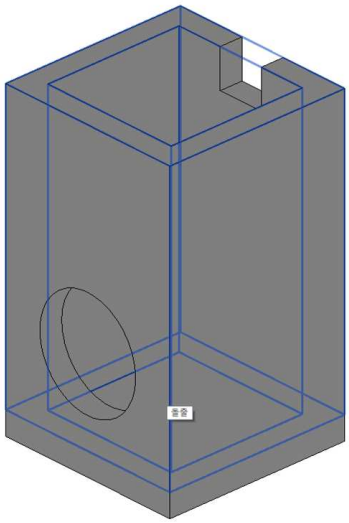
쌓기부 집수정



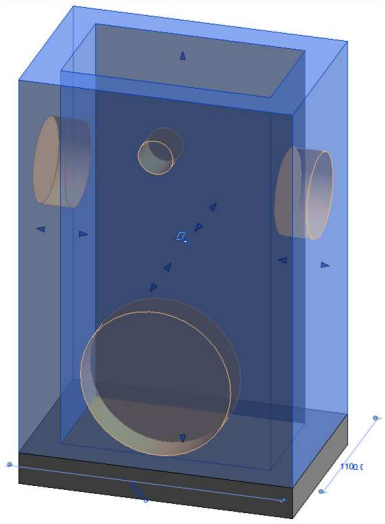
깎기부 집수정(종배수관)



깎기부 집수정(횡배수관)

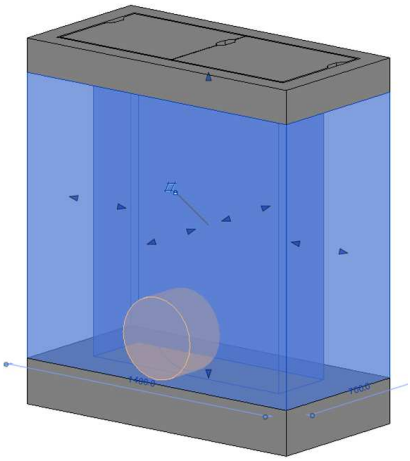


깎기부 집수정(도수로)

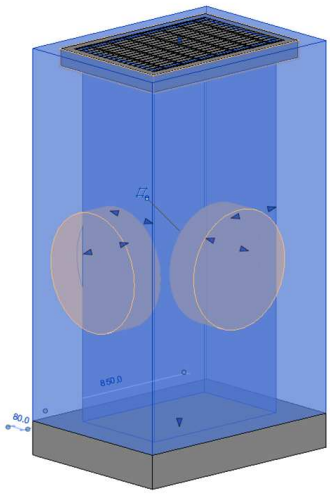


깎기부 집수정(횡배수관+종배수관)

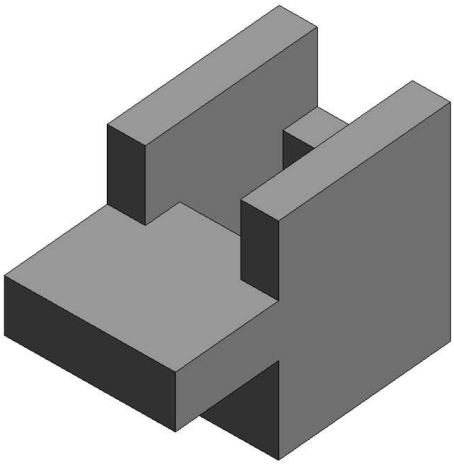
그림 39. 배수공 라이브러리 제작 (배수 구조물 대표 라이브러리)



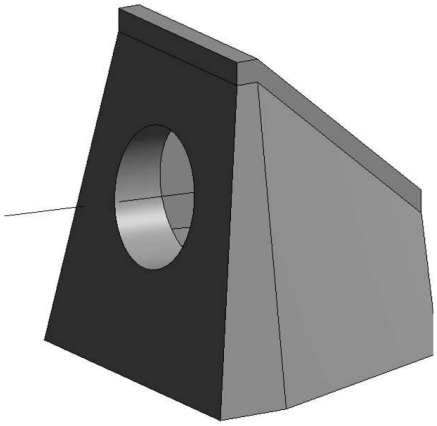
부체 도로용 집수정



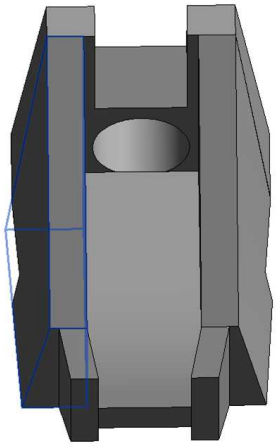
중분대용 집수정(좌측 연결관)



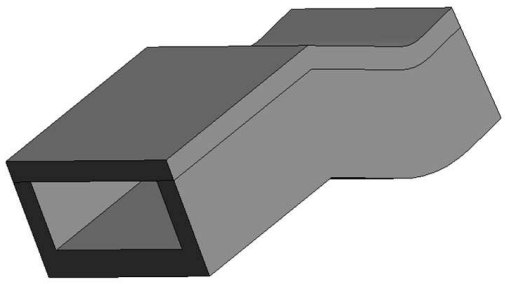
쌓기부 도수로(중분대 배수용 집수정)



쌓기부 도수로 (횡배수용 집수거)

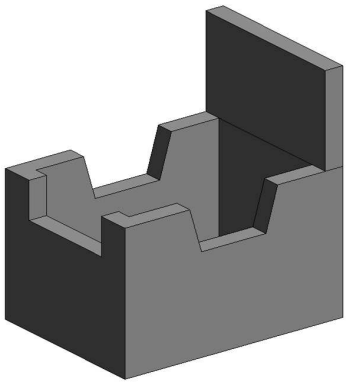


쌓기부 도수로 (노면-중분대배수용_집수거)

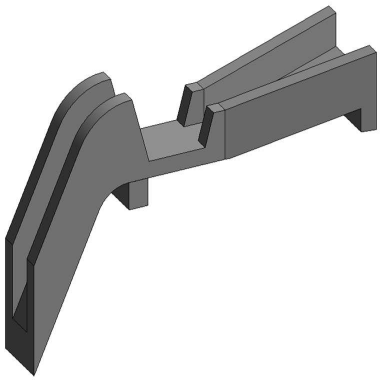


쌓기부도수로 (덮개구간_횡배수용도수로)

그림 40. 배수공 라이브러리 제작 (배수 구조물 대표 라이브러리)



쌓기부도수로 (방수거_V형측구)



깎기부도수로 (집수거 도수로)

그림 41. 배수공 라이브러리 제작 (배수 구조물 대표 라이브러리)

○ 본 연구에서는 다음 그림과 같이 배수공을 크게 측구, 배수관, 배수구조물로 나누고, 라이브러리를 구축하였다. 위의 그림은 각 라이브러리 종류 중 대표도만 나타낸 것으로, 전체 라이브러리에 대하여서는 부록에 첨부하였다.

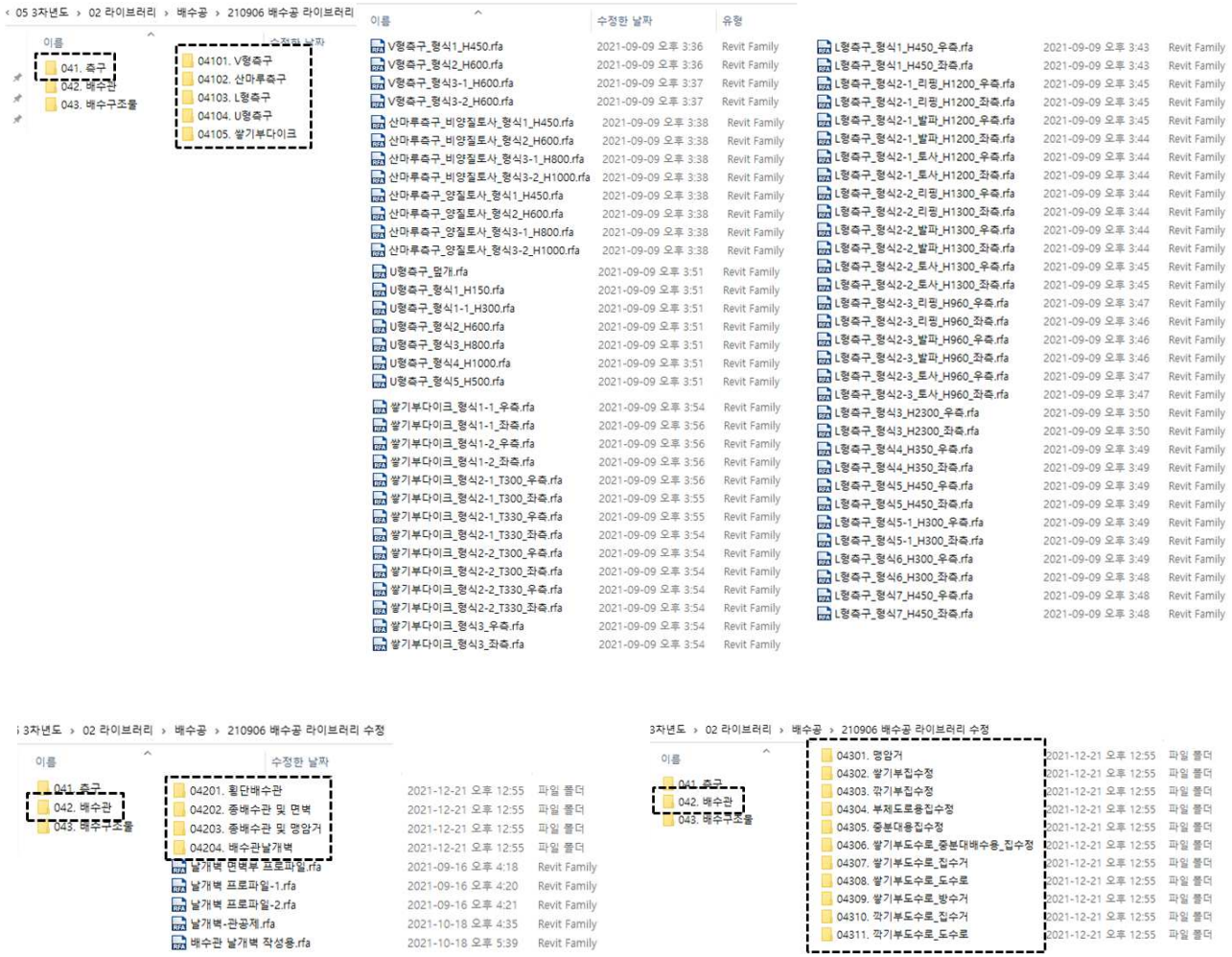
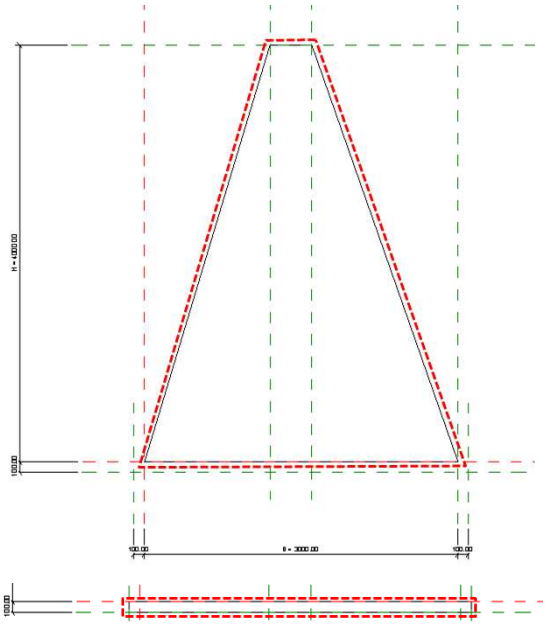


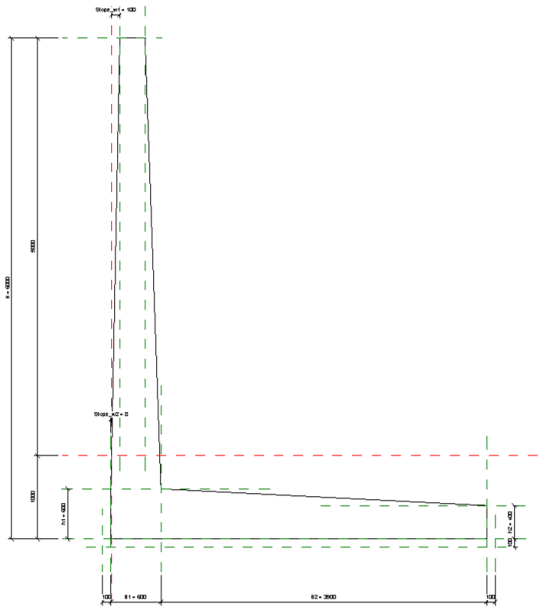
그림 42. 배수공 라이브러리 구축 폴더

○ 옹벽공

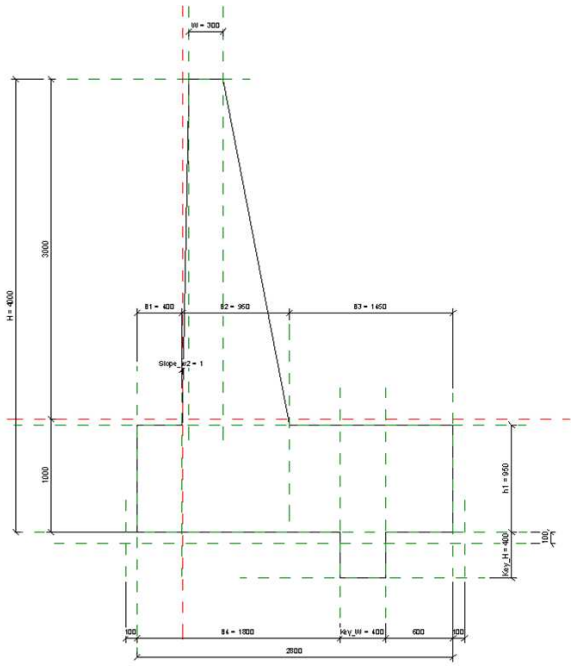
- 표준도를 분석하여 각 옹벽의 형상의 유사성을 기준으로 중력식 2개, 반중력식 2개, 역T형 4개, L형 4개, 부벽식 1개 총 13형식의 2D단면에 대한 매개변수형 라이브러리를 구축하였다.
- 옹벽의 라이브러리는 다음 그림과 같이 모두 2D 단면에 대한 매개변수형 라이브러리로 구축하였다. 라이브러리 구축 시 중력식 옹벽과 같이 모든 라이브러리는 구체 콘크리트(본 옹벽 구조체)와 버림 콘크리트를 나누어 두 개의 라이브러리로 개발하였다. 버림 콘크리트는 굴착 후 본 옹벽 구조체를 세우기 위해 지반 평탄화를 위해 저강도 콘크리트로 타설되는 바닥판로 물량산출 시 본 옹벽 구조체와 분리하여 작성하기 위해 라이브러리를 별도로 각각 제작하고 동일한 기준점을 적용하도록 설정하였다.



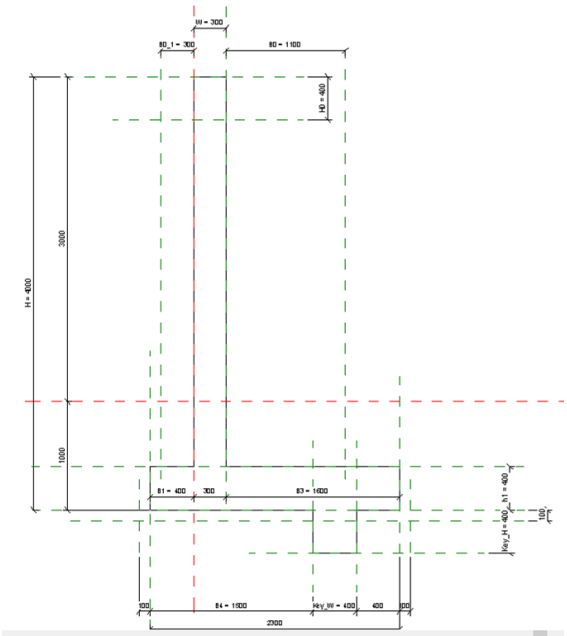
중력식 옹벽 (구체콘크리트 + 버림콘크리트)



L형식 옹벽

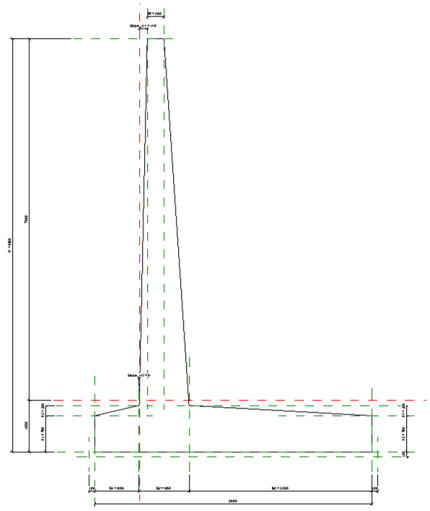


반중력식 옹벽



부벽식 옹벽

그림 43. 옹벽공 라이브러리 제작 (대표 라이브러리)



역 T형 옹벽

그림 44. 옹벽공 라이브러리 제작 (대표 라이브러리)

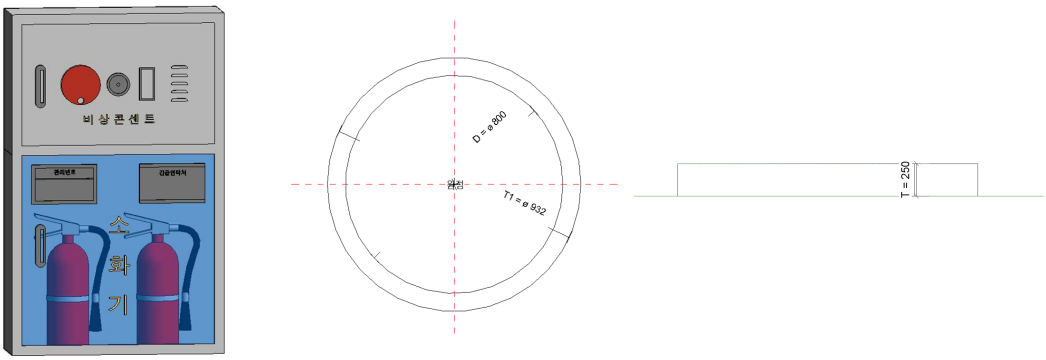
○ 본 연구에서는 다음 그림과 같이 옹벽공에 대한 라이브러리를 구축하였다. 위의 그림은 각 라이브러리 종류 중 대표도만 나타낸 것으로, 전체 라이브러리에 대하여서는 부록에 첨부하였다.



그림 45. 옹벽공 라이브러리 구축 폴더

○ 터널공

- 터널공에 대한 라이브러리는 3D 객체형 라이브러리, 2D 매개변수형 단면 라이브러리와 개발 프로그램의 단면 자동화 생성 모듈을 통하여 기하학적 특성을 반영한 매개변수형 단면 라이브러리 3가지 방법으로 구축하였다. 라이브러리는 90%이상 본 연구개발 모듈을 통해 구축하도록 개발하였다.
  구축한 라이브러리는 3D 객체형의 소화기, 소화기함 그리고, 관이 전부이다.

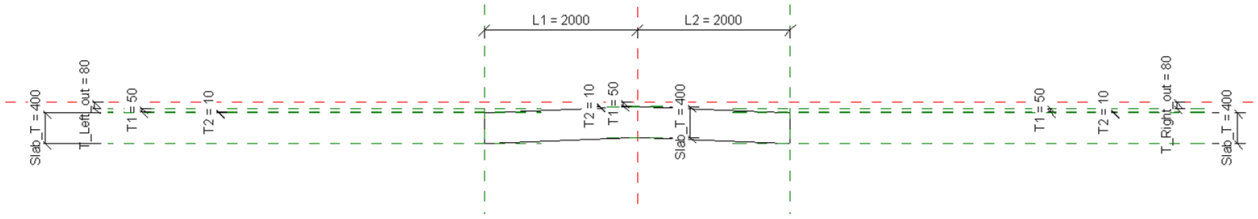


소화기함 관 공동구 뚜껑

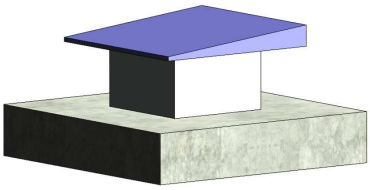
그림 46. 터널공 라이브러리 제작

○ 교량공

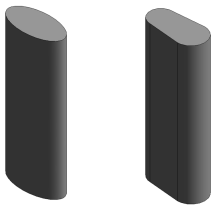
- 교량공에 대한 라이브러리는 2D 매개변수형 단면 라이브러리와 3D 객체형 라이브러리로 나누어 다음과 같이 제작하였다.



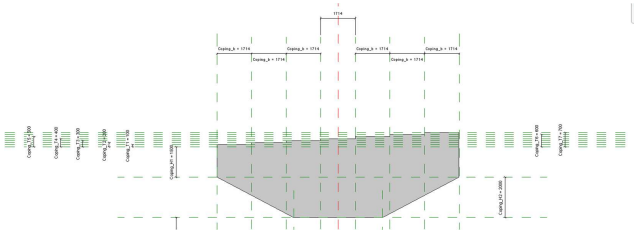
슬래브



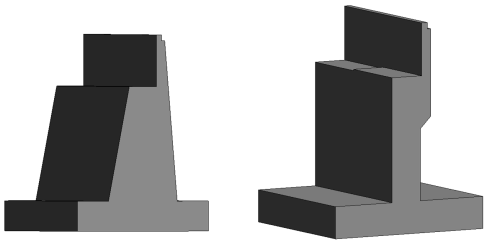
교량받침



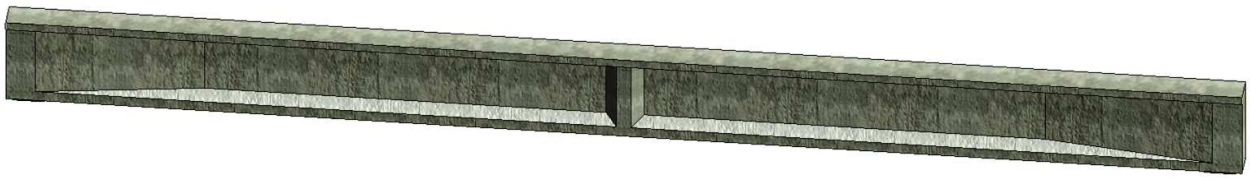
교각



코핑부

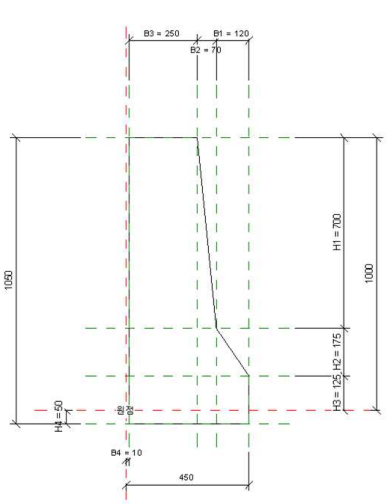


교대(좌:중력식 교대, 우: 역T형 교대)

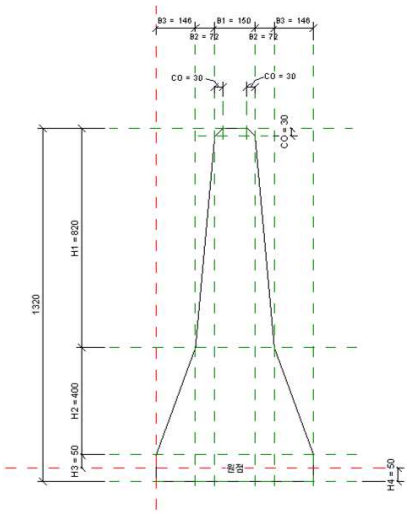


PSC거더

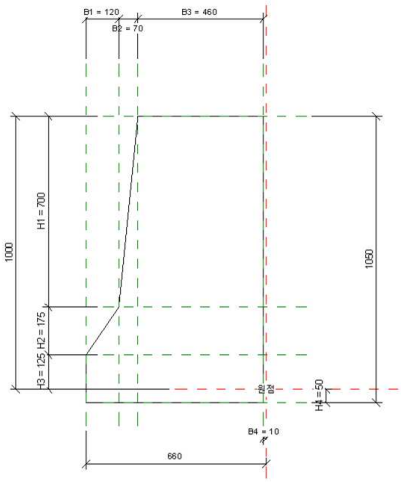
그림 47. 교량 본체 라이브러리 제작 (대표 라이브러리)



방호벽

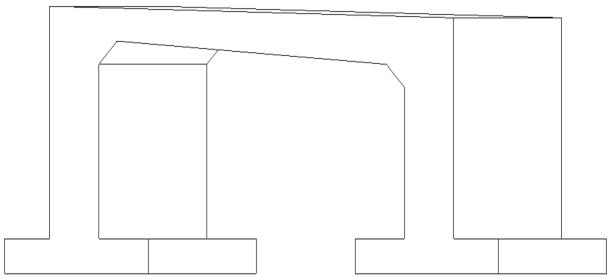


중앙분리대

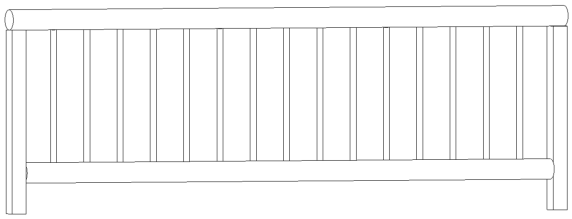


방음벽 기초

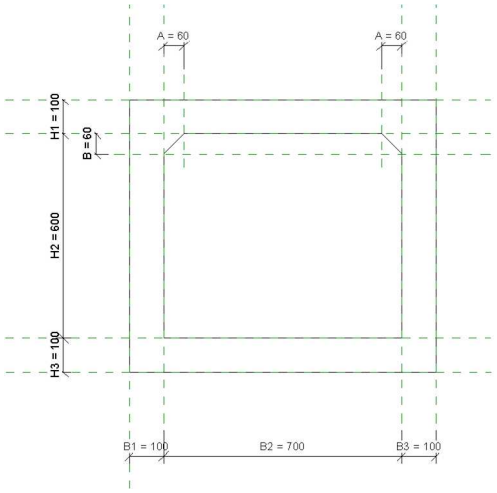
그림 48. 부대시설 라이브러릴 구축



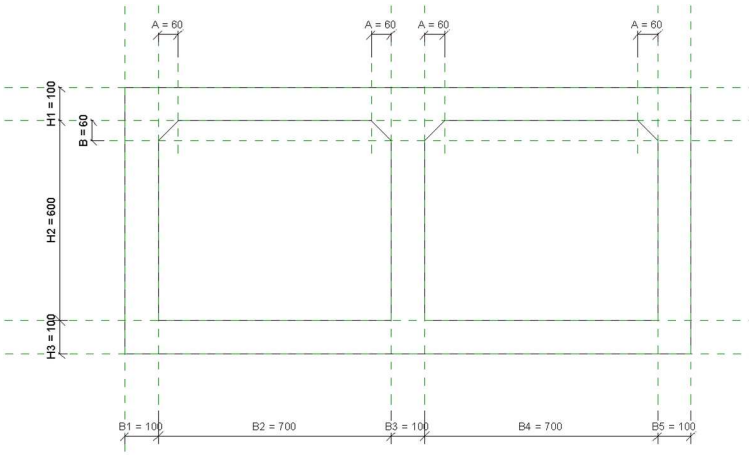
RC 라멘교



인도용 교량 난간



통로암거 1련



통로암거 2련

그림 49. 옹벽공 라이브러리 제작 (대표 라이브러리)

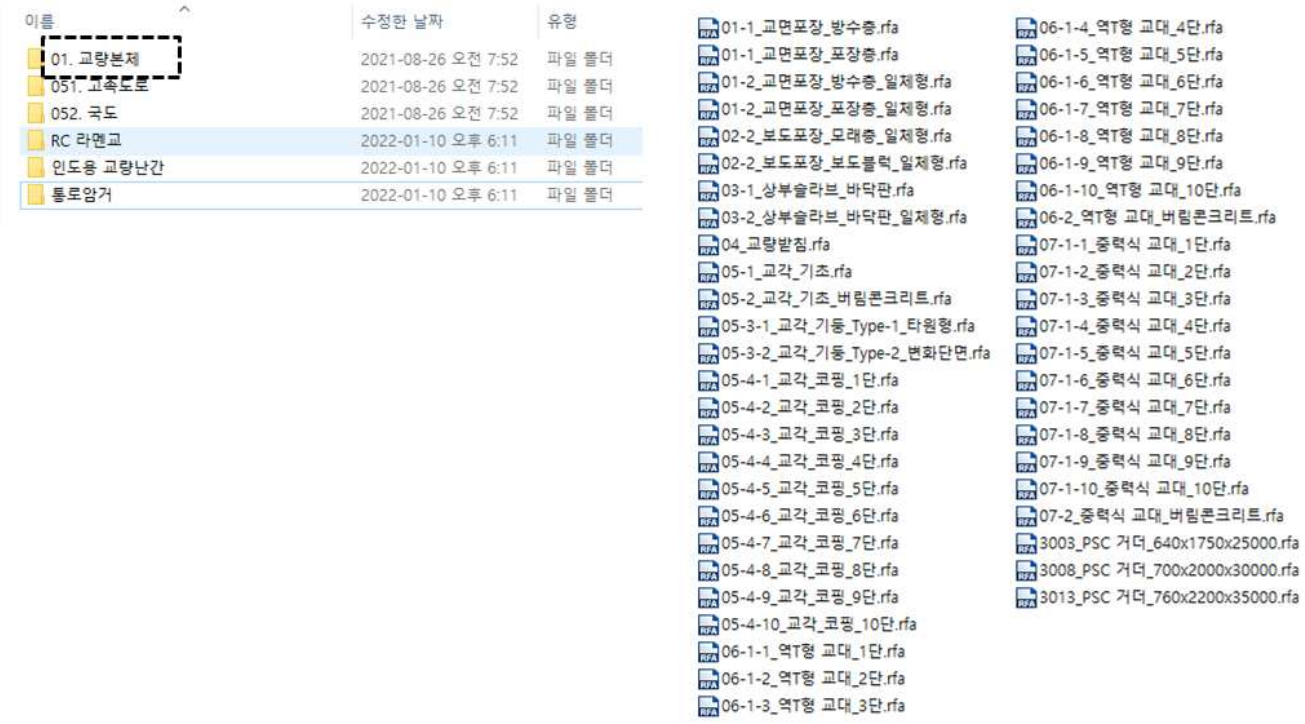


그림 50. 교량공 이브러리 구축 폴더

(6) 라이브러리 내 속성 입력

- 본 연구에서는 속성정보를 본 연구에서 개발하고자 하는 설계 및 설계변경 자동화 모듈을 통해 모델링에 대한 속성정보가 포함된 3차원 형상정보 생성으로 라이브러리 내 속성정보를 입력하였다.
- 각 배수공, 배수공, 터널공, 배수공에 대하여 입력되어야 하는 속성정보 항목, 내용은 본 연구에서 WBS를 고려하여 개발한 건설 정보분류 체계에 상세하게 작성하였다. 건설 정보분류 체계에 따라 모델링이 진행되면서 함께 입력되어야 하는 속성정보를 정의하여 모델링이 완성된 후, 별도로 속성정보를 입력하는 것이 아니라 모델링과 함께 속성정보가 함께 입력되도록 개발하였다.

○ 배수공

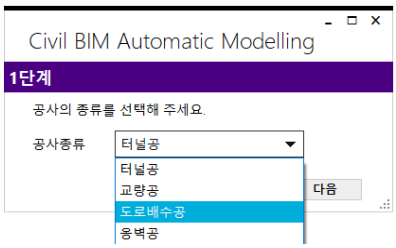
- WBS를 고려한 건설 분류 체계에 따른 각 공정별 속성정보 정의

① 기본정보 입력

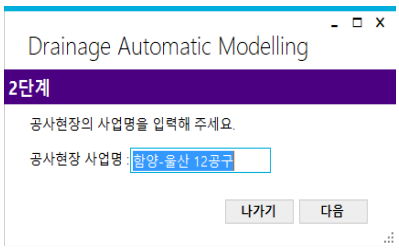
- 기본정보 입력에 대하여서는 다음 그림과 같이 정의하였다.



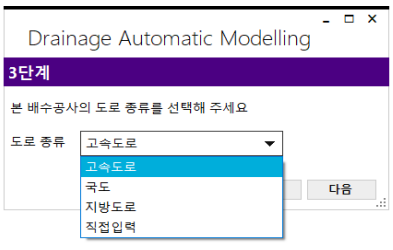
그림 51. 기본정보 입력 항목



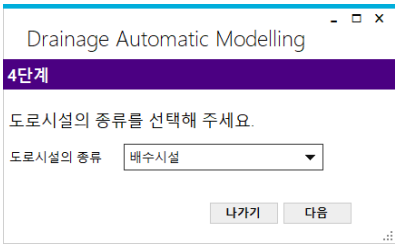
① 공사의 종류 선택



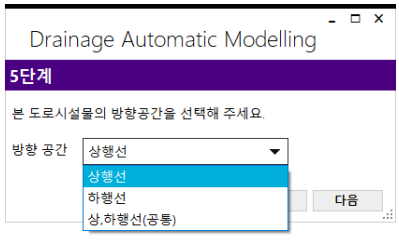
② 공사현장의 사업명 입력



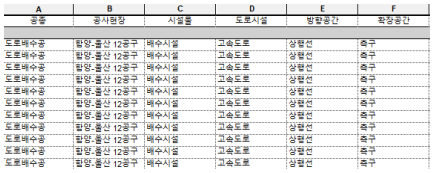
③ 도로종류선택(고속도로,국도 등)



④ 도로시설: 배수시설 선택



⑤ 도로 방향선택(상행선,하행선)



⑥일람표 작성

그림 52. 프로그램에서 배수공 기본정보 입력 프로세스

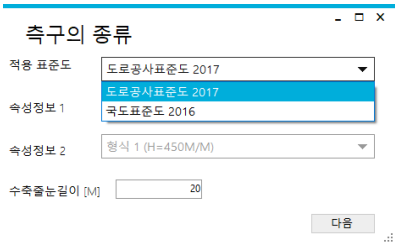
② 세부정보 입력

- 각 세부항목에 대한 속성정보 입력내용은 다음과 같다.



순서	구 분	입력방법	입력내용			세부공종(1)	속성정보 입력(1)	속성정보 입력(2)	속성정보 입력(3)	속성정보 입력(5)	속성정보 입력(6)	기 준	라이브러리명
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	측구	V형측구	형식 1 (H=450M/M)	측구길이(M)	저판폭(D)=1010 M/M		선형 파라메트릭 모델로			고속도로표준도 2017.01	V형측구_형식1_H450.rfa
						콘크리트(M3)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연종물량	2종(Ø25M/M)		고속도로표준도 2017.01	
						수직거푸집(M2)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연종물량	합판4회		고속도로표준도 2017.01	
						경사거푸집(M2)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연종물량	합판4회		고속도로표준도 2017.01	
						타파기(M3)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연종물량	인력		고속도로표준도 2017.01	
						되메우기(M3)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연종물량	기계		고속도로표준도 2017.01	
						유용토(M3)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연종물량			고속도로표준도 2017.01	
						철근(Ton)	저판폭(D)=1010 M/M	측구길이 1M당 수량	연종물량	SD30, D13		고속도로표준도 2017.01	

그림 53. 세부항목에 대한 속성정보 입력내용



① 속성정보 입력

G	H	I	J	K	L	M	N	O
세부공정	속성정보(1)	속성정보(2)	속성정보(3)	속성정보(4)	속성정보(5)	속성정보(6)	속성정보(7)	속성정보(8)
V형측구	형식 1	(H=450M/M)	선형:1	도로공사표준도 20	측구길이(M)			
V형측구	형식 1	(H=450M/M)	선형:1	도로공사표준도 20	콘크리트(M3)	저판폭(D)=1010 M/	0.32	2종(Ø25M/M)
V형측구	형식 1	(H=450M/M)	선형:1	도로공사표준도 20	수직거푸집(M2)	저판폭(D)=1010 M/	1.3	합판4회
V형측구	형식 1	(H=450M/M)	선형:1	도로공사표준도 20	경사거푸집(M2)	저판폭(D)=1010 M/	0.84	합판4회
V형측구	형식 1	(H=450M/M)	선형:1	도로공사표준도 20	타파기(M3)	저판폭(D)=1010 M/	1.146	인력
V형측구	형식 1	(H=450M/M)	선형:1	도로공사표준도 20	되메우기(M3)	저판폭(D)=1010 M/	0.54	기계
V형측구	형식 1	(H=450M/M)	선형:1	도로공사표준도 20	유용토(M3)	저판폭(D)=1010 M/	0.606	
V형측구	형식 1	(H=450M/M)	선형:1	도로공사표준도 20	철근(Ton)	저판폭(D)=1010 M/	0.00199	SD30, D13
V형측구	형식 1	(H=450M/M)	선형:1	도로공사표준도 20	비닐깔기(M2)	저판폭(D)=1010 M/	1.01	
V형측구	형식 1	(H=450M/M)	선형:1	도로공사표준도 20	신축이음(M2)	저판폭(D)=1010 M/	0.026666666666666	콘크리트 단위수량
V형측구	형식 1	(H=450M/M)	선형:1	도로공사표준도 20	수축줄눈(M)	저판폭(D)=1010 M/	0.138952756799491	H=0.45, L=0.3*H, D

② 일람표 – 프로그램 내 자동 입력

그림 54. 프로그램에서 배수공 세부정보 입력 프로세스

○ 옹벽공

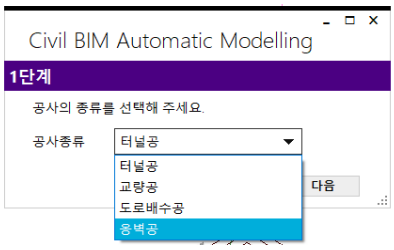
- WBS를 고려한 건설 분류 체계에 따른 각 공정별 속성정보 정의

① 기본정보 입력

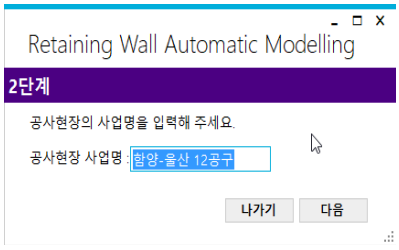
- 기본정보 입력에 대하여서는 다음 그림과 같이 정의하였다.

순서	구 분	입력방법	입력내용
1	공종	선택입력 (프로그램에서)	터널공 교량공 배수공 옹벽공
2	공사현장	수동입력	사업명
3	시설물	선택입력 (프로그램에서)	고속도로 국도 지방도로 직접입력
4	도로시설	선택입력 (프로그램에서)	옹벽
5	방향공간	선택입력 (프로그램에서)	상행선 하행선 상·하행선(공통)
6	확장공간	선택입력 (프로그램에서)	중력식 옹벽 반중력식 옹벽 역T형 옹벽 L형 옹벽 부벽식 옹벽

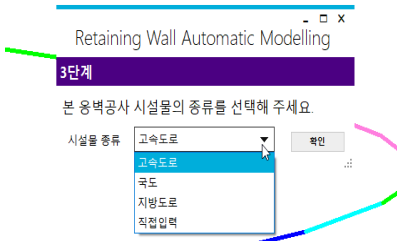
그림 55. 기본정보 입력



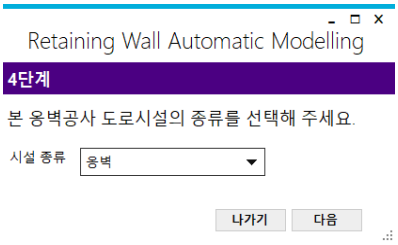
① 공사의 종류 선택



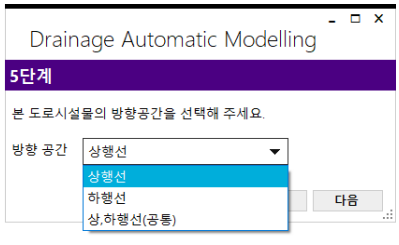
② 공사현장의 사업명 입력



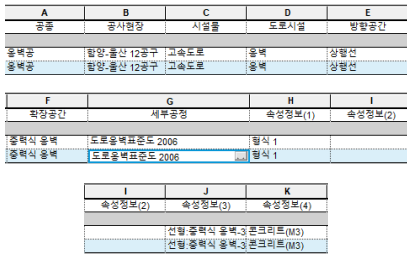
③ 도로종류선택(고속도로,국도 등)



④ 도로시설: 배수시설 선택



⑤ 도로 방향선택(상행선,하행선)



A	B	C	D	E
공종	공사현장	시설물	도로시설	방향공간
옹벽공	함양-울산 12공구	고속도로	옹벽	상행선
옹벽공	함양-울산 12공구	고속도로	옹벽	상행선

F	G	H	I
확장공간	세부공정	속성정보(1)	속성정보(2)
중력식 옹벽	도로옹벽표준도 2006	형식 1	
중력식 옹벽	도로옹벽표준도 2006	형식 1	

I	J	K
속성정보(2)	속성정보(3)	속성정보(4)
		선형:중력식 옹벽-3 콘크리트(M3)
		선형:중력식 옹벽-3 콘크리트(M3)

⑥일람표 작성

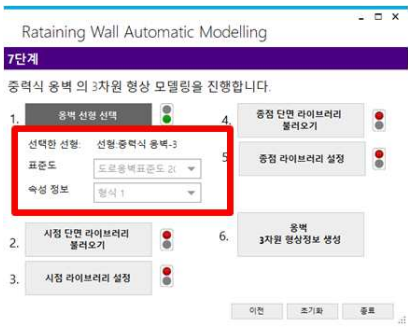
그림 56. 프로그램에서 옹벽공 기본정보 입력 프로세스

② 세부정보 입력

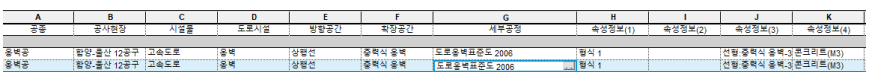
- 옹벽공의 경우, 속성정보는 다음과 같다.

입 력 내 용			세부공종	속성정보 입력(1)	속성정보 입력(2)	속성정보 입력(3)	속성정보 입력(4)	속성정보 입력(5)	속성정보 입력(6)	기준
중력식 옹벽	형식 1		버림콘크리트(M3)	적용높이 : 1.5M-4.0M		연동물량	버림콘크리트=(B+0.2)x0.1	fck = 16MPa		도로옹벽표준도 2008
중력식 옹벽	형식 2	1 : 1.8 1 : 1.5	콘크리트(M3)	적용높이 : 1.5M-4.0M	무근콘크리트	매개변수형 라이브러리 모델링	뒤채움토의 내부마찰각 = 30° 뒤채움토의 내부마찰각 = 35°	뒤채움토 단위중량 = 19.0kN/M3 뒤채움토 단위중량 = 20.0kN/M3	무근콘크리트 단위중량 = 23.0kN/M3 콘크리트 설계기준강도 = 18.0MPa 상시 허용지력 = 300kN/M2 흙과콘크리트 지반마찰계수 = 0.5	도로옹벽표준도 2008
중력식 옹벽	형식 2		버림콘크리트(M3)	적용높이 : 1.5M-4.0M		연동물량	버림콘크리트=(B1+B2+2C)x0.1	fck = 16MPa		도로옹벽표준도 2008
반중력식 옹벽	형식 1		콘크리트(M3)	적용높이 : 2.0M-4.0M	철근콘크리트	매개변수형 라이브러리 모델링			뒤채움토의 내부마찰각 = 30° 뒤채움토 단위중량 = 19.0kN/M3 철근콘크리트 단위중량 = 24.5kN/M3 콘크리트 설계기준강도 = 21.0MPa 철근항복강도 = 300MPa 상시 허용지력 = 300kN/M2 지진시 허용지력 = 450kN/M2 흙과콘크리트 지반마찰계수 = 0.5 지진계수(Kh=0.5A) = 0.055(A=0.110)	도로옹벽표준도 2008

그림 57.세부항목에 대한 속성정보 입력내용



① 속성정보 입력



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
공종	공사현장	시설물	도로시설	방향공간	확장공간	세부공정	속성정보(1)	속성정보(2)	속성정보(3)	속성정보(4)
옹벽공	함양-울산 12공구	고속도로	옹벽	상행선	중력식 옹벽	도로옹벽표준도 2006	형식 1		선형:중력식 옹벽-3 콘크리트(M3)	
옹벽공	함양-울산 12공구	고속도로	옹벽	상행선	중력식 옹벽	도로옹벽표준도 2006	형식 1		선형:중력식 옹벽-3 콘크리트(M3)	

② 일람표 – 프로그램 내 자동 입력

그림 58. 프로그램에서 옹벽공 세부정보 입력 프로세스

○ 터널공

- WBS를 고려한 건설 분류 체계에 따른 각 공정별 속성정보 정의

① 기본정보 입력

- 기본정보 입력에 대하여서는 다음 그림과 같이 정의하였다.

순서	구 분	입력방법	입력내용
1	공종	선택입력 (프로그램에서)	터널공 교량공 배수공 옹벽공
2	공사현장	수동입력	사업명
3	시설물	수동입력	터널명
4	도로시설	선택입력 (프로그램에서)	본선
5	방향공간	선택입력 (프로그램에서)	상행 하행 공통
6	확장공간	선택입력 (프로그램에서)	터널연장 본선부 접속부 개착터널 피난연락갱

그림 59. 기본정보 입력

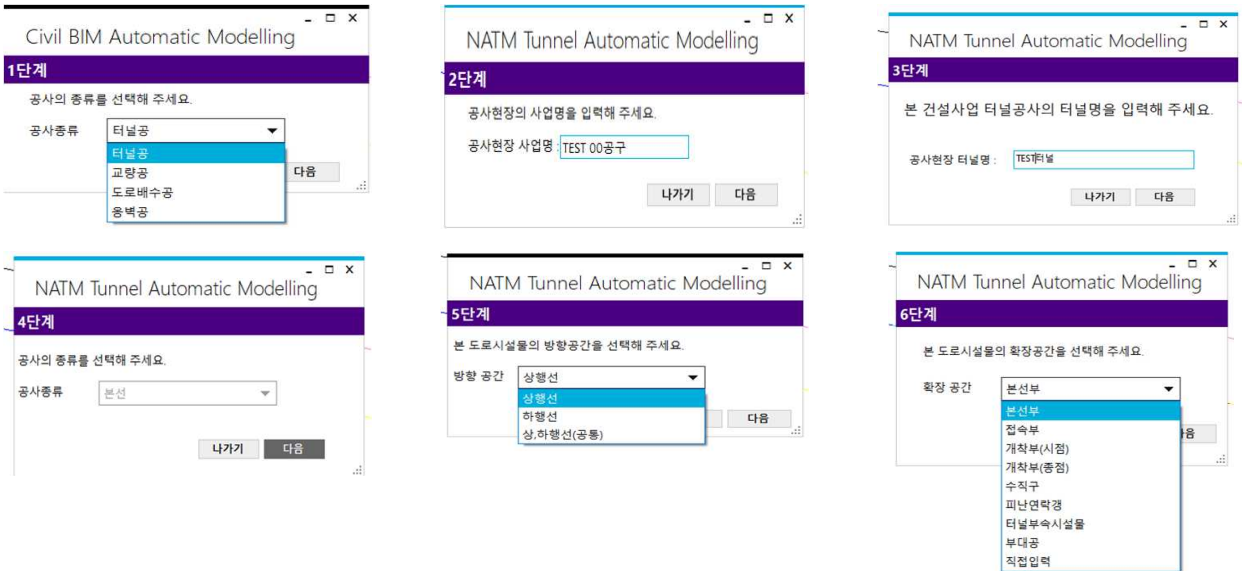


그림 60. 프로그램에서 터널공 기본정보 입력 프로세스

② 세부정보 입력

- 각 세부항목에 대한 속성정보 입력내용은 다음과 같다.

순서	구 분	입력방법	입력내용		세부공종(1)	속성정보 입력(1) 지보패턴	속성정보 입력(2) 형식입력	속성정보 입력(3) 물량산출방법	속성정보 입력(4) 연동물량산출방법	속성정보 입력(5) 연동물량산출방법
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	터널연장	본선부 접속부 개착부 시점 개착부 종점 수직구	터널연장(M)	P-1 P-2 P-3 P-4 P-5 P-6 RP 직접입력		사용자 선형 모델링		
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	터널연장	피난연락갱	터널연장(M)	Type-1 Type-2 Type-3 Type-4 Type-5 직접입력	대인용 차량용	사용자 선형 모델링		
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	내공단면	본선부 접속부 개착부 시점 개착부 종점 수직구		P-1 P-2 P-3 P-4 P-5 P-6 RP 직접입력		사용자 라이브러리 구축		
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	내공단면	피난연락갱		Type-1 Type-2 Type-3 Type-4 Type-5 직접입력	대인용 차량용	매개변수형 라이브러리 구축		
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	본선부	현장타설 콘크리트라이닝 / 라이닝콘크리트	라이닝콘크리트(M3)	P-1 P-2 P-3 P-4 P-5		프로그램을 통한 라이브러리 구축	철근 무근	

그림 61. 세부항목에 대한 속성정보 입력내용

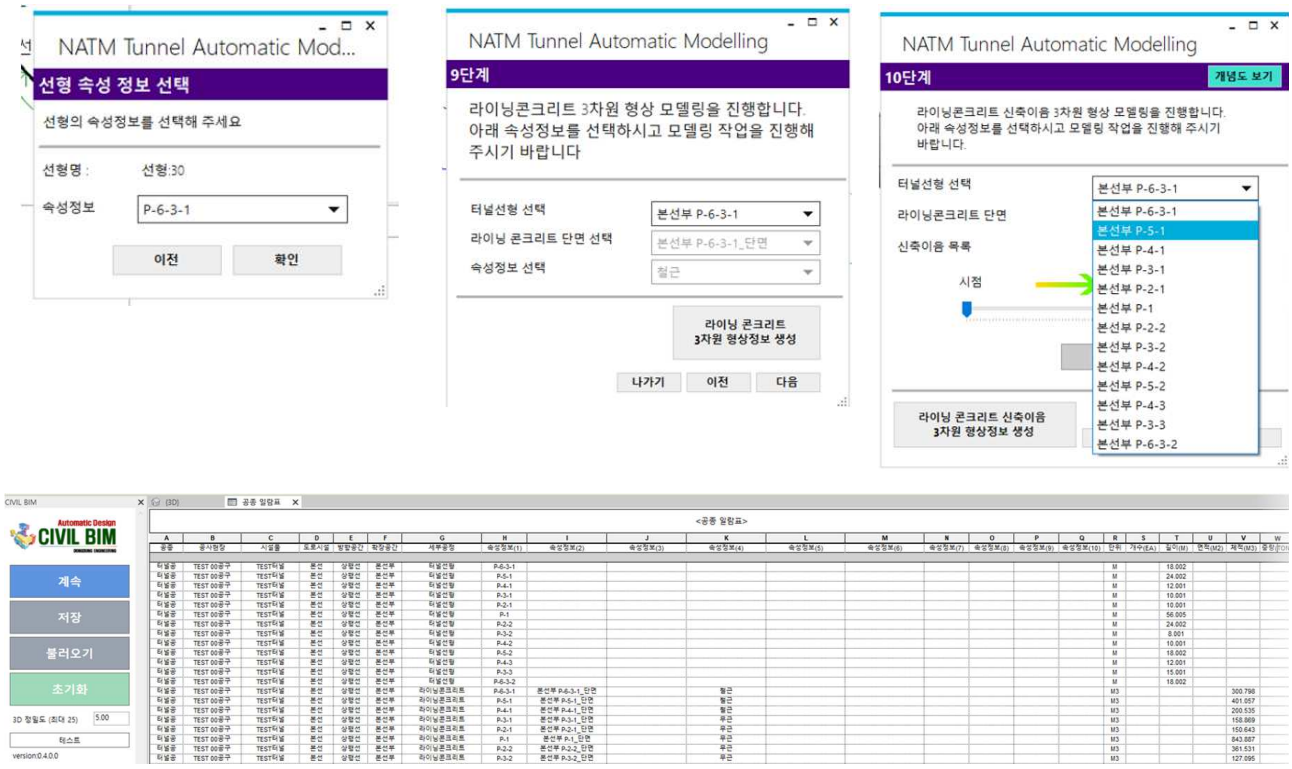


그림 62. 프로그램을 통해 모델링을 수행하면서 속성정보 입력 및 일람표 작성

○ 교량공

- WBS를 고려한 건설 분류 체계에 따른 각 공정별 속성정보 정의

① 기본정보 입력

- 기본정보 입력에 대하여서는 다음 그림과 같이 정의하였다.

순서	구 분	입 력 방 법	입 력 내 용
1	공종	선택입력 (프로그램에서)	터널공 교량공 배수공 옹벽공
2	공사현장	수동입력	사업명
3	시설물	수동입력	교량명
4	도로시설	선택입력 (프로그램에서)	본선 IC 간이IC JC
5	방향공간	선택입력 (프로그램에서)	상행 하행 공통

그림 63. 기본정보 입력

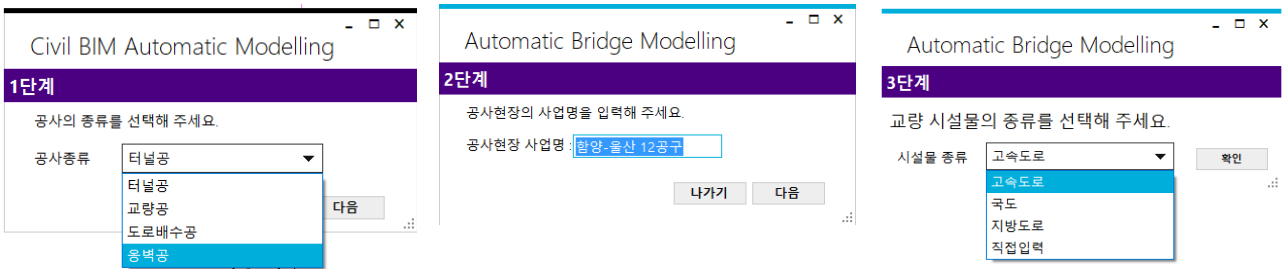


그림 64. 프로그램에서 교량공 기본정보 입력 프로세스

2) 3D 엔진기반 라이브러리 Viewer 및 탐색기 모듈개발

○ 3D 엔진기반 라이브러리 Viewer 개발

- 본 연구에서는 사용자가 입력한 속성정보에 따라 Viwer를 통해 매개변수형 라이브러리를 활용하여 모델링 되어가는 과정에서 전체 모델링 형상을 3차원 형태로 조회할 수 있는 3D 엔진기반 라이브러리 Viewer(이하,viewer)를 개발하여 사용자가 손쉽게 확인 가능하도록 지원하고자 한다.
- Viewer는 Revit 패밀리의 형상 정보를 3D로 시각화 하는 프로그램으로 라이브러리의 형상을 디테일 하게 볼 수 있는 3D 엔진으로 개발하였으며, 3D 엔진은 현재 게임 시장에서 많이 사용하는 Unity3D를 사용하였다.
  - 사용 언어: C#
  - 개발환경: Unity 3D
  - 동작환경: Windows 7 32bit 이상 CPU i3 3세대 이상 RAM 4G 이상
  - GUI 구성 요소 : 각 패밀리의 속성을 조회할 수 있는 detail view control

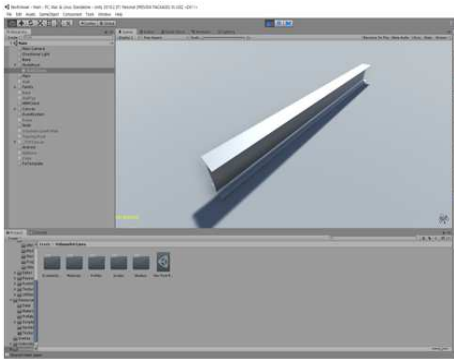


그림 65. 3D 엔진기반 라이브러리 Viewer 개발화면

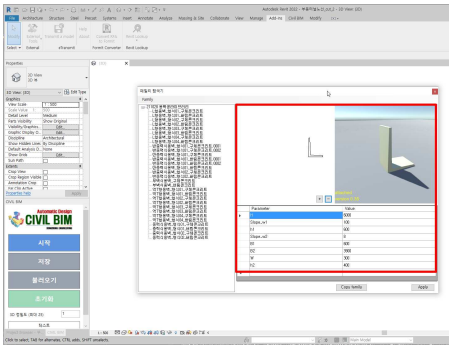


그림 66. 3D 엔진기반 라이브러리 Viewer 개발



그림 67. sw 등록증

○ 3D 엔진기반 라이브러리 탐색기

- 본 연구에서는 개발모듈의 실무 적용성을 확대시키기 위하여 라이브러리 Viewer 및 탐색기를 개발하여 사용자가 손쉽게 라이브러리를 탐색하고 사용할 수 있도록 지원하고자 한다. 탐색기는 Tree구조의 카테고리로 구성되어있으며 라이브러리 검색, 매개변수 값 확인 및 사이즈 선택 등의 기능을 포함하고 있다.
- 3D 엔진기반 라이브러리 탐색기(이하, 탐색기)는 Revit plugin 용으로 개발한 Revit 패밀리 탐색기로 Revit의 패밀리 요소를 탐색할 수 있는 트리 구조의 탐색기이다. 본 연구개발 탐색기 내에서 각 패밀리의 2D 형상 및 속성을 조회할 수 있다.
  - 사용 언어: C#
  - 개발환경: Windows 10, Visual studio 2017 professional, Revit 2017 API
  - 동작환경: Windows 7 32bit 이상 CPU i3 3세대 이상 RAM 4G 이상
  - GUI 구성 요소 : 각 패밀리를 탐색하기 위한 Tree형 탐색기, Tree의 2D 형상을 볼 수 있는 Image Box, 3D 뷰어를 탑재할 Panel

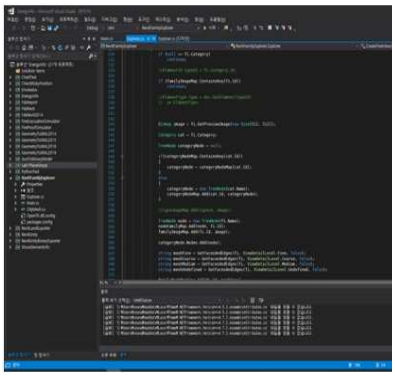


그림 68. 개발환경 화면

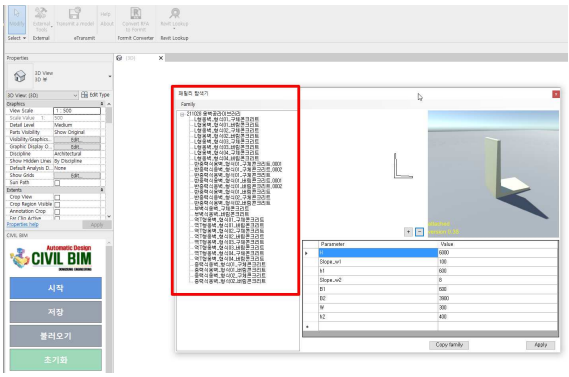


그림 69. 3D 엔진기반 라이브러리 탐색기



그림 70. sw 등록증

3) 단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발

- 본 연구에서 개발하고자 하는 모듈은 본 연구에서 구축한 라이브러리를 활용하여 개발 라이브러리 및 모듈의 실무 적용성을 확대시키기 위하여 라이브러리 Viewer 및 탐색기를 개발하고 지형정보와 연동시켜 작업기준면을 토공면으로 하는 라이브러리 설치고 추출 및 자동배치 모듈과 설계 단계별 후속 작업에 대한 프로세스 의사결정지원 알고리즘을 통해 라이브러리를 자동으로 조합하는 라이브러리 자동조립 및 자동 도면생성이 가능한 『인프라 디지털 설계 플랫폼 기반 단면-선형 연동 설계 및 설계변경 자동화 모듈』이다.
- 최종적으로는 하나의 모듈 『인프라 디지털 설계 플랫폼 기반 단면-선형 연동 설계 및 설계변경 자동화 모듈』내에 ① 라이브러리 Viewer 및 탐색기, ②라이브러리 설치고 추출 모듈 ③ 라이브러리 자동배치 모듈 ④라이브러리 자동조립 모듈 ⑤라이브러리 자동 도면생성이 모두 포함되어 있으며 모듈은 각 독립적으로 수행되는 것이 아니라 상호연결되어 다음단계에 영향을 준다. 5개의 모듈은 배수공, 옹벽공, 터널공, 교량공에 대하여 각각 개별적으로 적용되므로 최종적으로 모듈은 20개의 모듈이 집합된 설계 및 설계변경 자동화 모듈이다.
- 도로 설계는 선형을 기준으로 도로가 생성되고 교량, 터널, 옹벽, 배수구조물 등 도로에 필요한 구조물을 배치하므로 선형이 가장 중요하다. 설계변경 또한 선형을 중심으로 발생된다. 당초 계획한 선형으로 설계를 수행하였으나 환경여건과 주민의 반대 등 다양한 사유로 인해 선형은 수 없이 변동되며, 선형 변동이 발생할 때 마다 설계자는 설계변경을 해야 한다. 본 연구에서는 선형-단면 매핑을 통한 설계자동화 프로그램 개발 건으로 설계변경 시 해당 선형에 대한 기존단면을 변경단면으로 매핑 변경을 진행할 경우 설계변경이 가능하므로 설계 및 설계변경 자동화 모듈이라 할 수 있다.

(1) 토공면 라이브러리 설치고 추출 모듈 개발

○ 토공면 라이브러리 설치고 추출 알고리즘 개발

- 라이브러리 설치고는 배수공, 옹벽공, 교량공, 터널공에 대한 포장표면을 기준으로 각 공정에 대한 3D 지형의 토공면의 설치고를 추출하고자 한다. 각 공정의 특성을 분석하여 3D 지형의 라이브러리 설치고 추출을 위한 선형기준을 결정하였다.

① 3D 계획고 선형단면 작업

- 토공면에서 라이브러리 설치고를 추출하기위해 우선적으로 수치지형도 작업이 수행되어야 한다. 수치지형도란 지표면, 지하, 수중 및 공간의 위치와 지형, 지물 및 지명 등의 각종 지형공간정보를 일정한 축척에 의하여 기호나 문자 등으로 표시한 것으로, 전산시스템을 이용하여 이를 분석·편집 및 입·출력할 수 있도록 제작된 지도로 국토지리정보원 홈페이지에서 전국지도 축척별 발급이 가능하다.
- 3D 지형 모델링을 위하여 삼각망 구축 작업을 수행 후, 토사·리핑·발파에 대한 토공량 물량 산출을 위하여 암지형에 대한 모델링을 통해 지형과 지층에 대한 모델링을 수행 한 후, 설계하고자 하는 도로에 대한 계획고에 대한 선형작업을 수행한다.

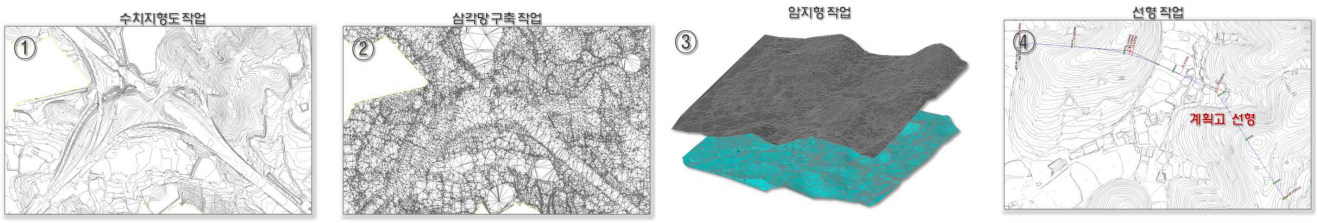


그림 71. 3D 계획고 선형단면 작업

② 3D 계획고 선형단면 작업

- 최종 결정된 노선에 대한 계획고 선형단면의 기준은 도로포장 상부표면으로 결정하였다. 3D 지형모델링 완료 후, 도로 선형을 작성하고 설계도로 폭원을 적용하여 3D 계획고 선형단면 작업을 수행한다.
- 본 연구개발 모듈은 모두 서로 맞물려 영향을 주지만, 배수공, 옹벽공, 터널공, 교량공에 대하여서는 각각 개별적으로 적용된다. 따라서 라이브러리 설치고 추출 모듈의 경우 3D 계획고 선형단면 작업까지는 배수공, 옹벽공, 터널공, 교량공이 모두 동일하게 적용되어지나, 실제 공종에 적용되어 라이브러 설치고 추출 및 선형에 대한 기준은 각 공종의 특성을 분석하여 적합하도록 기준을 결정하였다.

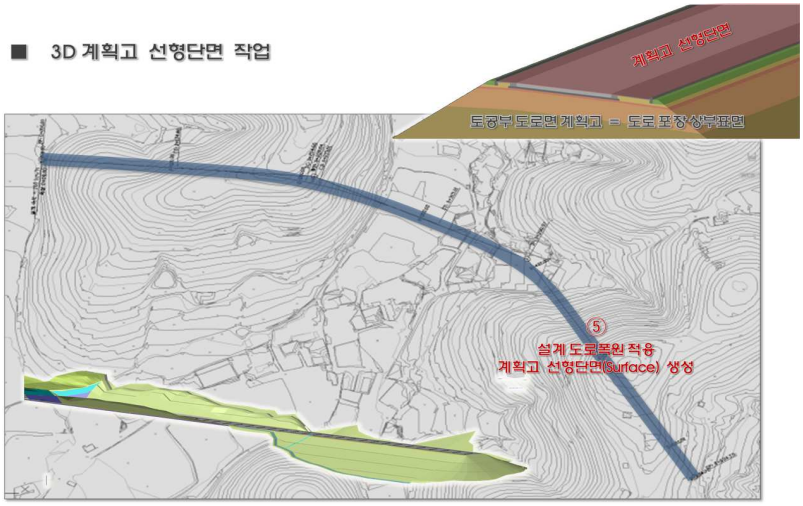


그림 72. 3D 계획고 선형단면 작업

③ 배수공 라이브러리 설치고 추출 모듈 알고리즘 개발

- 배수공의 라이브러리 설치고 추출의 기준선은 배수공이 설치될 위치에 별도의 선형작업이 필요하다. 여기서 선형의 위치는 앞서 설명한 것과 같이 포장표면, 지표면으로 각 라이브러리에서 지정한 원점과 맞물려 모델링이 수행된다. 설치고 추출을 위한 선형은 라이브러리 자동배치와 맞물리는데 이를 고려하기 위하여 선형 작업 시, 3D 모델링 상황을 사전에 고려하여 선형작업을 수행되어야 한다.

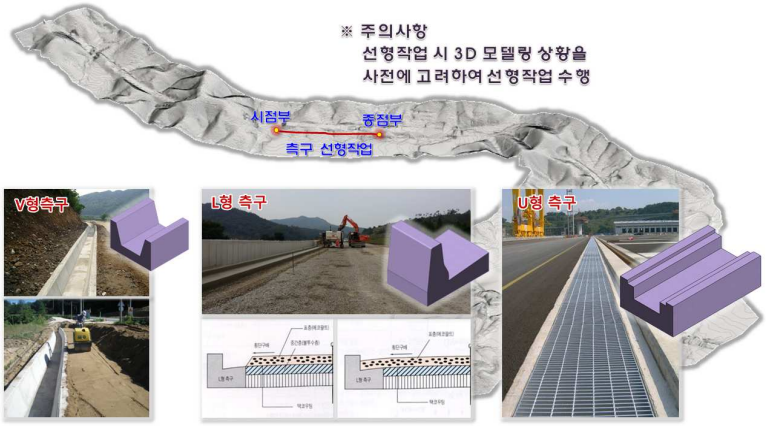


그림 73. 배수공 라이브러리 설치고 추출 알고리즘

④ 옹벽공 라이브러리 설치고 추출 모듈 알고리즘 개발

- 옹벽공의 라이브러리 설치고 추출의 기준선은 배수공과 동일한 알고리즘으로 적용된다. 설치될 위치에 별도의 선형작업이 수행되어야 하며, 설치고 추출을 위한 선형은 라이브러리 자동배치와 맞물리는데 이를 고려하기 위하여 선형 작업 시, 3D 모델링 상황을 사전에 고려하여 선형작업을 수행되어야 한다.

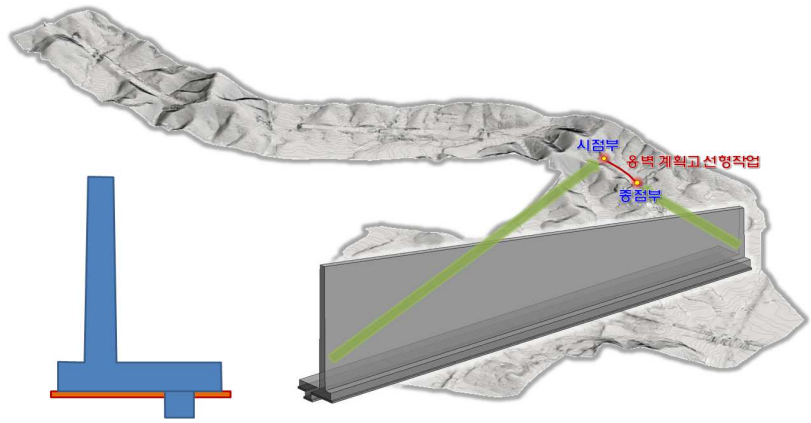


그림 74. 옹벽공 라이브러리 설치고 추출 알고리즘

⑤ 터널공 라이브러리 설치고 추출 모듈 알고리즘 개발

- 터널공은 배수공, 옹벽공과 달리 라이브러리를 구축하고 설치고 추출, 자동배치, 자동조립을 모두 본 연구개발 설계 및 설계변경 모듈을 통해 모델링이 완성된다. 설치고 추출 및 자동배치를 위한 3D 선형작업은 동일하게 수행되는데, 터널이 설계될 구간의 도로중심을 기준으로 선형작업을 사전에 작업해주어야 한다.

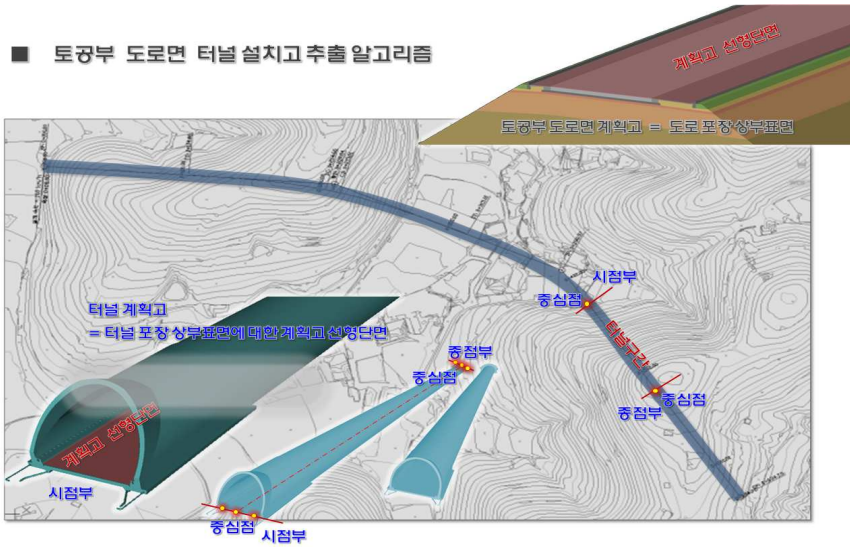


그림 75. 터널공 라이브러리 설치고 추출 알고리즘

- 배수공, 옹벽공, 교량공과 다른 것은 터널공은 지보패턴에 대한 고려가 필요하다. 라이브러리 구축 또한 지보패턴에 대하여 각각 생성토록 개발하였으므로, 이를 위해 가장 먼저 선형을 사전 조사를 통해 추정되는 지보패턴에 따라 나누어 작업하는 과정이 필요하다.
- 지보패턴에 따른 선형 구분은 추정에 의한 것으로 향후 터널 굴착을 통해 지보패턴이 변경될 경우, 이에 대한 선형구간 또한 함께 변경되어야 한다.

③ 교량공 라이브러리 설치고 추출 모듈 알고리즘 개발

- 교량공은 터널공과 유사하다. 그러나 교량공 또한 설치고 추출 및 자동배치를 위한 3D 선형작업은 동일하게 수행되어야 한다. 교량공에 대한 라이브러리 설치고는 교량이 설계될 구간의 도로중심을 기준으로 선형작업이 수행되어야 하며, 설치고 추출을 위한 선형은 라이브러리 자동배치와 맞물리는데 이를 고려하기 위하여 선형 작업 시, 3D 모델링 상황을 사전에 고려하여 선형작업을 수행되어야 한다.

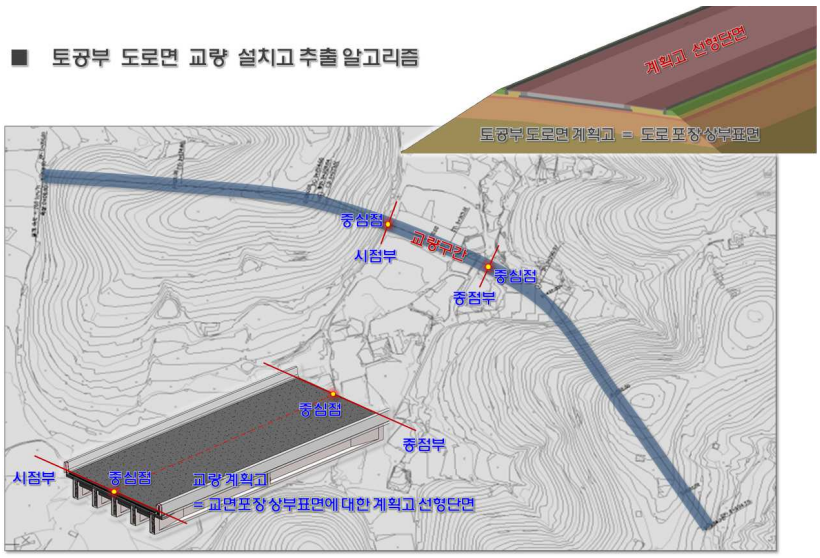


그림 76. 교량공 라이브러리 설치고 추출 알고리즘

○ 토공면 라이브러리 설치고 추출 모듈 개발

- 토목구조물의 경우 지표면을 작업 기준면으로 하여 구조물을 설치하므로 라이브러리 또한 작업 기준면을 토공면으로 해야 한다. 그러나 국토교통부에서 제공하는 라이브러리의 경우 작업 기준면이 토공면이 아니라 기준면을 지정해줘야 하는 불편함이 있다.
- 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 개선하고 작업 효율성을 향상시키고자 토공면 라이브러리 설치고 추출 알고리즘에 따라 구축된 배수공, 옹벽공, 교량공, 터널공 라이브러리를 기반으로 포장표면을 기준으로 한 각 공정에 대하여 3D 지형의 토공면에서 라이브러리 설치고를 추출하는 토공면 라이브러리 설치고 추출모듈 프로그램(CBL-SoilSurfacelevel)을 개발하였다.

  ▪ 사용OS : Window10
  ▪ 사용언어 : C#
  ▪ 필요한 프로그램 : Autodesk Revit 2020

- 터널공, 배수공, 옹벽공, 교량공은 모두 라이브러리 구축하고 불러들인 선형은 어떻게 활용하여 모델링은 수행하는 것에 대한 차이점은 있으나 선형을 사전에 미리 작업하고, 선형의 정보를 불러들여서 활용하는 것에 있어서는 모두 동일하다. 터널공에 대한 설치고 추출 모듈은 다음과 그림과 같다.

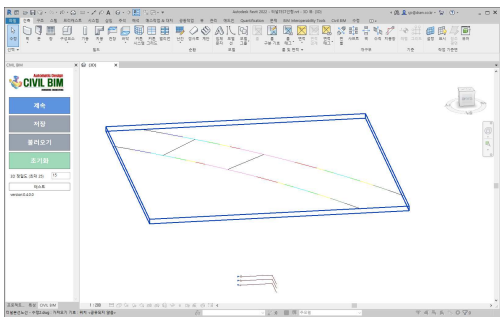


그림 77. 개발모듈에서 선형 선택

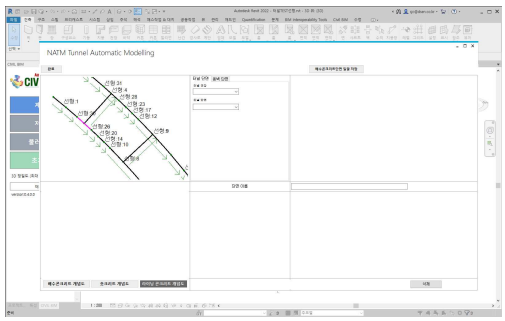


그림 78. 개발 모듈에서 선형정보 input



그림 79.. sw 등록증

(2) 설치고에 라이브러리 자동 배치 모듈 개발

○ 라이브러리 자동배치 알고리즘 개발

- 사전에 모델이 배치 될 3D지형의 계획고 선형을 작업하고, 본 선형정보를 활용함으로써 토공면 라이브러리 설치고를 추출하여 선형과 라이브러리의 원점, 기준을 매칭시켜 완성된 모델이 3D 지형에 자동배치 되도록 라이브러리 자동배치 알고리즘을 개발하였다.
- 설치고 추출 모듈에서는 3D 지형의 토공면의 설치고를 추출하고, 작성된 선형정보는 라이브러리 자동배치 모듈을 통해 지형에 자동배치 되도록 개발하였다. 개발 프로그램을 통해 모델링이 완료된 배수공, 옹벽, 터널, 교량은 각각의 선형정보를 활용함으로써 토공면 라이브러리 설치고를 추출하여 터널 모델이 3D 지형에 자동배치되는 라이브러리 자동배치 모듈을 개발하였다.
- 배수공, 옹벽, 터널, 교량은은 도로의 구조물로써 단독으로 설계가 진행되는 경우는 없고 도로과업에 속해 있으므로 Autodesk사의 Revit을 이용하여 모델링을 완료 후 최종적으로는 Autodesk사의 도로 설계에 최적화된 프로그램인 Civil 3D에 취합되어야 한다. 이를 고려하여 각 모델링 수행시 사용하는 선형은 Civil 3D를 활용하는 도로설계 선형에서 직접 추출하여 모델링에 활용하였는데 이는 Civil 3D 코리더 모델에서 추출한 도로 중심선(3D 폴리선, Z값 적용)을 적용하여 모델링을 진행하였다.
- 선형을 이용하여 계획고에서 모델링이 완료된 각 배수, 옹벽, 터널 교량의 각 횡단면 시종점의 최소 3개의 좌표를 추출하여 향후 완료된 모델을 Civil 3D에서 수행한 도로설계에 각 구조물이 위치하게 될 자리에 그대로 배치하여 사용 할 수 있도록 개발하였다. 이는 설계 변경 발생 시 Revit에서 모델 변경 및 검토 완료 후 도로에 안착시키면 되므로 신속하고 용이하게 설계변경 대응이 가능하다.

① 배수공

- 배수공 자동배치 알고리즘은 다음과 같다.

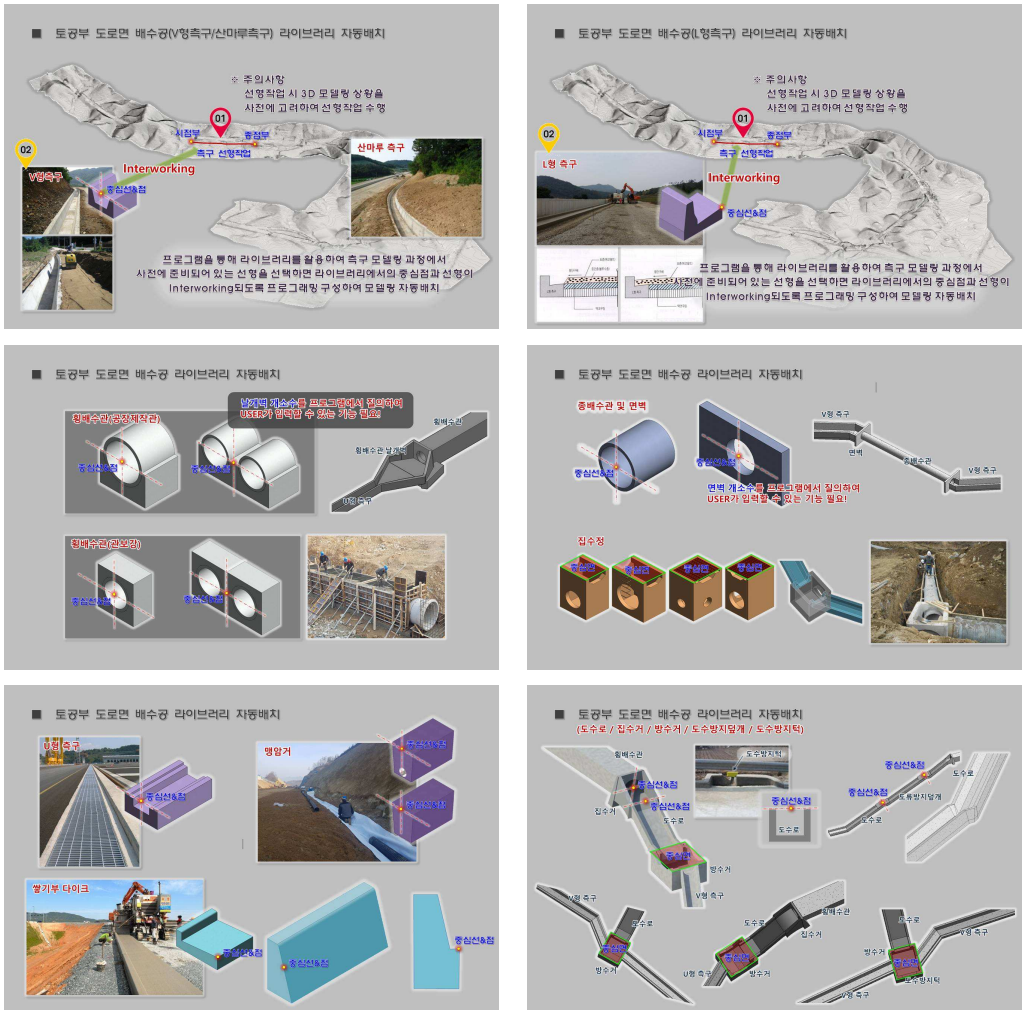


그림 80. 배수공 자동배치 알고리즘

- 배수공은 표준도를 기반으로 구축된 매개변수형 라이브러리와 매칭된 선형은 라이브러리의 원점(기준점)과 매칭된다. 기준점은 이를 고려하여 토공면을 기준으로 작성하였다.

② 옹벽공

- 옹벽공 자동배치 알고리즘은 다음과 같다.

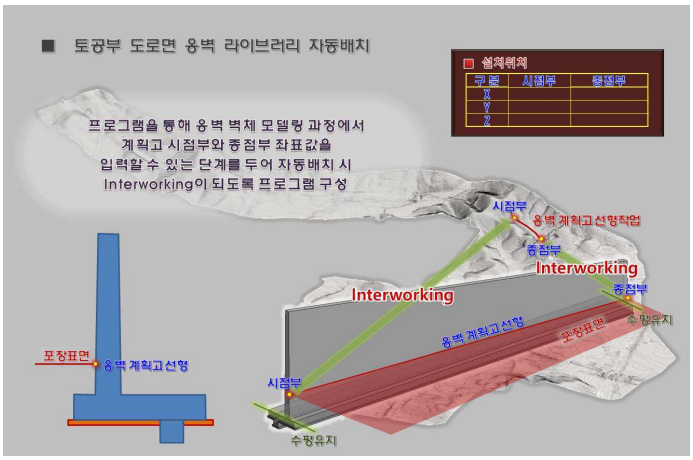


그림 81. 옹벽공 자동배치 알고리즘 개념도

③ 터널공

- 터널공 자동배치 알고리즘은 다음과 같다.

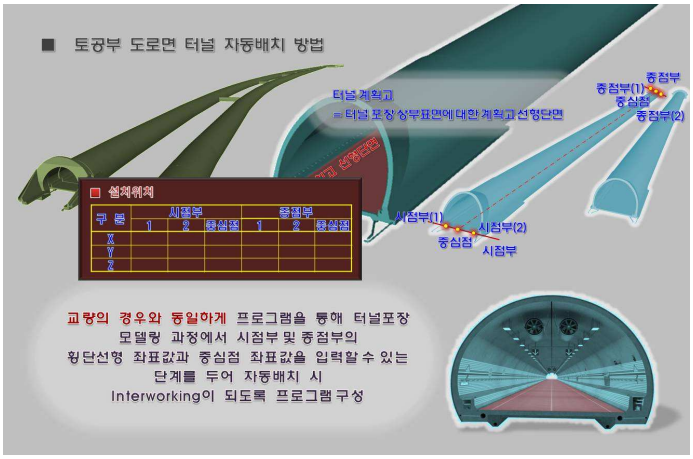
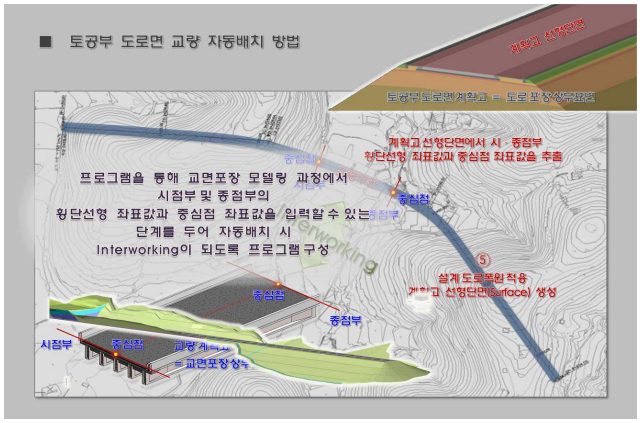


그림 82. 터널공 자동배치 알고리즘 개념도

④ 교량공

- 교량공 자동배치 알고리즘은 다음과 같다.



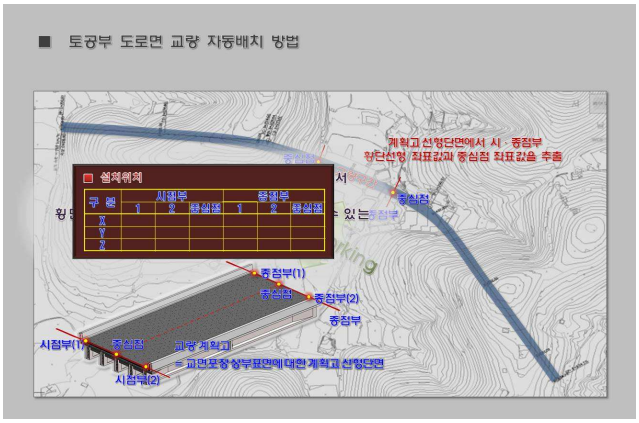
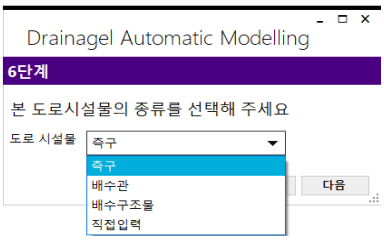


그림 83. 교량공 자동배치 알고리즘 개념도

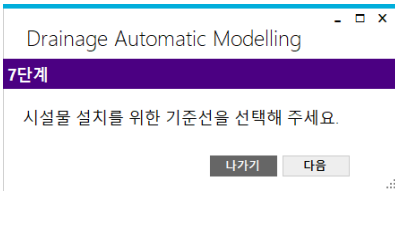
○ 라이브러리 자동배치 알고리즘 개발

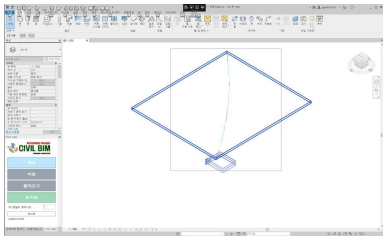
① 배수공

- 배수공은 조립단계 없이 선형과 라이브러리를 매칭시켜 형상정보를 생성 후 속성정보를 입력하고 3D 지형에 안착시키면 완료이다.

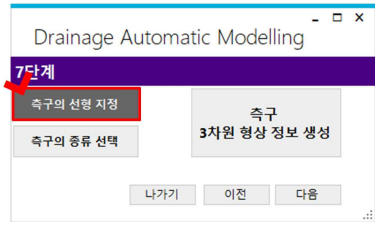


① 배수공의 종류 선택

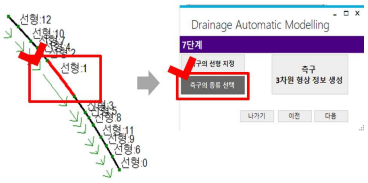




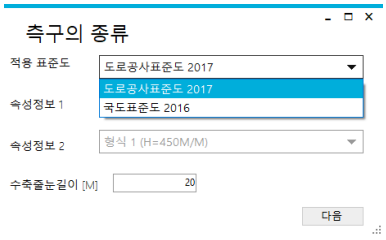
② 기준 선형 선택



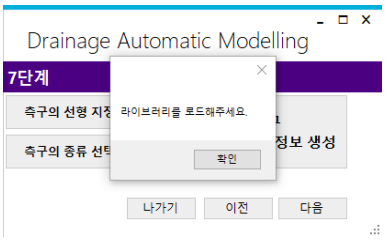
③ 측구의 선형 지정



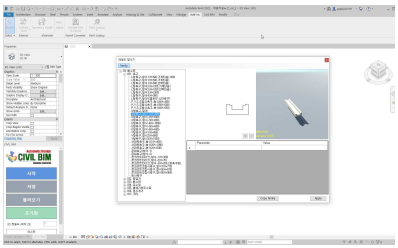
④ 해당 선형 선택



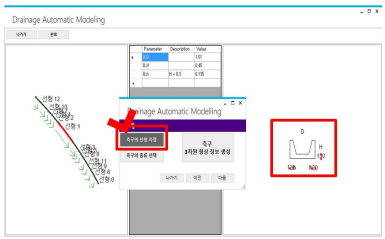
⑤ 속성정보 입력



⑥ 라이브러리 로드



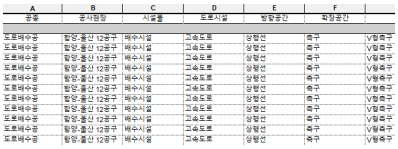
⑦ 라이브러리 불러오기



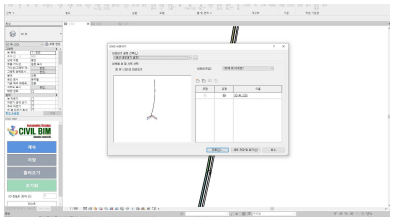
⑧ 3차원 형상정보 생성



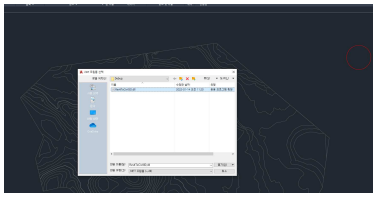
⑨ 3차원 형상정보 구현



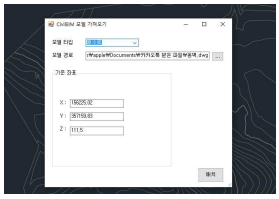
⑩ 일람표 작성 완료



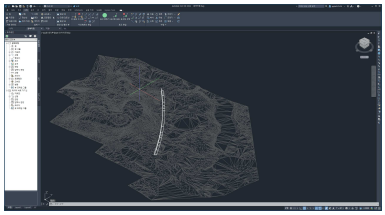
⑪ 모델 File을 DWG로 export



⑫ plugin 로드



⑪ 좌표입력을 통한 배치



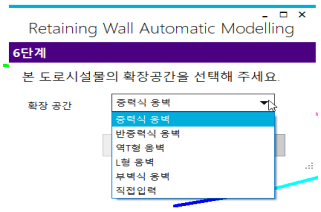
⑪ Civil 3D 배치

그림 84. 배수공에 대한 모델링 프로세스 및 Civil 3D 자동배치 예시

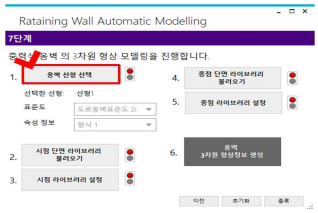
- 프로그램 프로세스에 따라 배수공의 종류를 선택하고 사전에 작업한 전체 선형을 선택한다. 선형은 적용되는 배수공에 따라 나누어져있는데 작업하고자 하는 배수공에 해당하는 선형을 선택한다. 선형에 적용 배수공에 대한 속성정보를 입력 후, 라이브러리를 로드한다. 라이브러리를 로드하면 개발 프로그램에 라이브러리 형상에 대한 개념도와 매개변수 입력창이 뜬다. 배수공에 대한 단면생성을 위해 해당 치수를 개발 프로그램을 통해 입력해도 되고, 사전에 미리 적용 라이브러리를 수정 후 로드해도 된다. 설계자가 현장에 적합하도록 단면의 매개변수를 입력하면 해당 단면 라이브러리가 생성되고, 라이브러리의 기준점과 선택한 3차원 비정형적 선형과 매칭됨으로써 3차원 형상정보가 구현된다. 그리고 완성된 모델은 설치고에 라이브러리 자동 배치 모듈을 통해 Civil 3D지형에 자동배치 되도록 개발하였다.

② 옹벽공

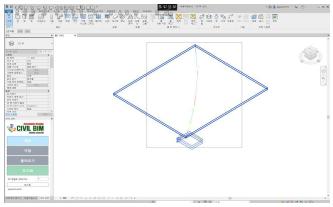
– 옹벽공은 배수공과 동일하게 조립단계 없이 선형과 라이브러리를 매칭시켜 형상정보를 생성 후 속성정보를 입력하고 3D 지형에 안착시키면 완료이다.

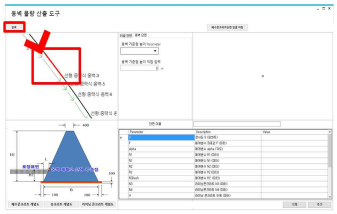


① 옹벽공의 종류 선택

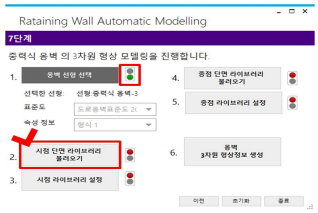


② 기준 선형 선택

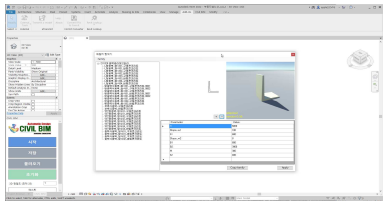




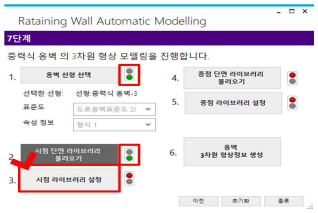
③ 옹벽의 선형 선택



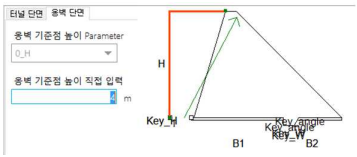
④ 시점 단면 불러오기



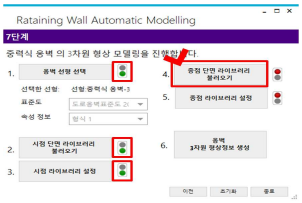
⑤ 라이브러리 불러오기



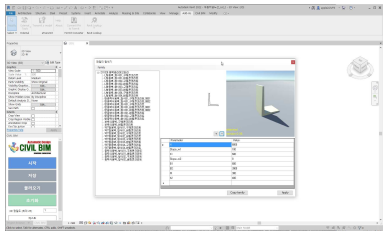
⑥ 시점 단면 설정



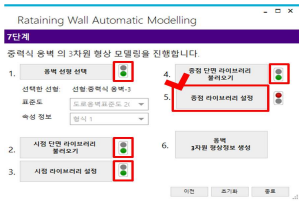
⑦ 기준점 매개변수 입력



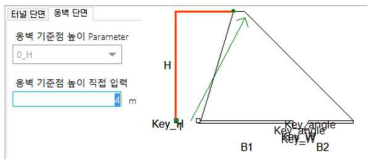
⑧ 종점 단면 불러오기



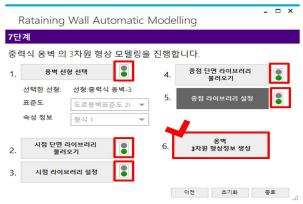
⑨ 라이브러리 불러오기



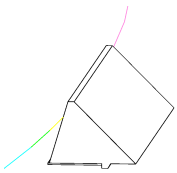
⑩ 종점 단면 설정



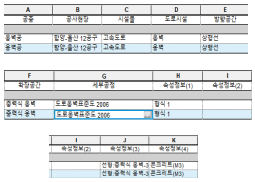
⑪ 기준점 개변수 입력



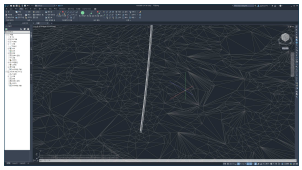
⑫ 3차원 형상정보 생성



⑬ 3차원 형상정보 구현



⑭ 일람표 작성



⑮ Civil 3D 배치

– 개발 프로그램 프로세스에 따라 옹벽공의 종류를 선택한다. 그리고 사전에 작업한 전체 선형을 선택하고, 작업하고자 하는 옹벽에 해당하는 선형을 선택한다. 옹벽은 시점단면과 종점 단면이 다를 수 있으므로 프로그램에서 시점과 종점 단면을 각각 설정하여 모델링이 되도록 개발하였다. 시점 단면을 선택하고 라이브러리를 불러온다. 라이브러리를 로드하면 라이브러리 형상에 대한 개념도와 매개변수 입력창이 뜨는데 해당 치수를 개발 프로그램을 통해 입력해도 되고, 미리 작업한 라이브러리를 로드해도 된다. 그리고 기준점을 설정하는데 배수공과 달리 설계자가 직접 지정할 수 있다. 시점 단면설정에서 옹벽 기준점 높이를 직접 입력하면 기준점이 변경된다. 설계자가 현장에 적합하도록 단면의 매개변수를 입력하면 시점 단면 라이브러리가 생성되고, 종점 단면도 동일한 방법으로 단면 라이브러리를 생성한다. 마지막으로 3차원 형상정보 형성을 선택하면 라이브러리의 기준점과 선택한 3차원 비정형적 선형과 매칭됨으로써 3차원 형상정보가 구현된다. 그리고 완성된 모델은 설치고에 라이브러리 자동 배치 모듈을 통해 지형에 자동배치 되도록 개발하였으며, 자동배치 방법은 배수공과 동일하다.

③ 터널공

- 사전에 3D지형의 계획고 선형을 작업하고, 생성된 라이브러리를 개발 모듈을 통해 라이브러리 설치고를 추출하여 터널공 모델링 과정에서 설치 될 선형과 모델을 매칭시킴으로써 지형에 터널을 자동배치 되도록 개발하였다. 3D지형의 계획고 선형은 터널의 포장면 중심선을 기준으로 지보패턴에 따라 선형을 나누어 사전에 작업 후, 터널 단면에 대한 모델링이 완료되면 지보패턴에 따른 선형과 해당 단면이 자동배치 되도록 하였으며, 자동배치 방법은 배수공과 동일하다.

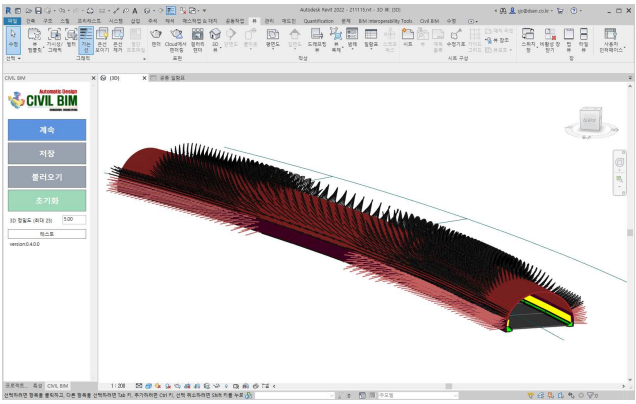


그림 85. 개발 모듈을 이용하여 설계된 터널 형상정보

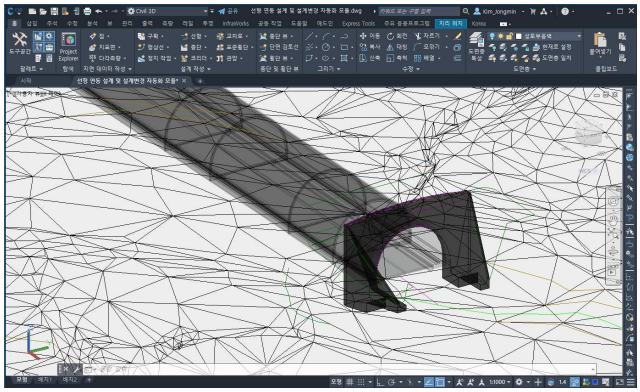


그림 86 . 개발 모듈을 이용하여 3D 지형에 자동배치

- 개발 프로그램 프로세스에 따라 라이브러리를 생성 및 조립하여 터널에 대한 모델링을 수행하고, 작업선형이 3D 지형에 자동배치 되도록 개발하였다.

④ 교량공

- 교량공은 터널공과 매우 유사하다. 완성된 3D 형상정보의 작업 선형이 3D 지형에 자동배치 되도록 개발하였으며, 자동배치 방법은 배수공과 동일하다.

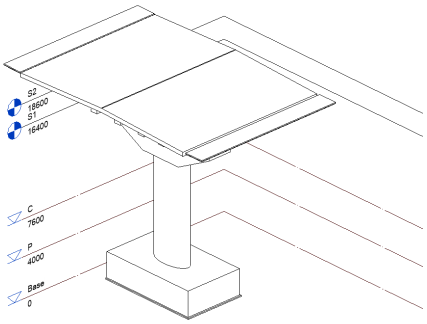


그림 87 . 개발 모듈을 이용하여 교량 형상정보 생성

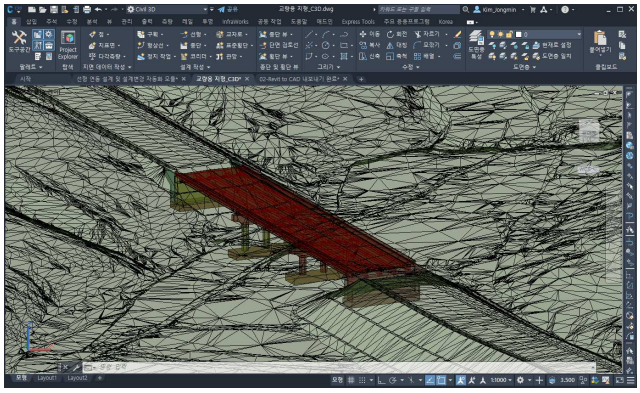


그림 88. 개발 모듈을 이용하여 3D 지형에 자동배치



그림 89. 라이브러리 자동배치 모듈 개발sw 등록증

(3) 라이브러리 자동조립 모듈 개발

- 터널공과 교량공은 단면 생성과 라이브러리 조립이 동시에 작업이 진행된다. 본 연구에서 개발한 건설정보 분류체계에 따라 라이브러리 자동조립 순서를 결정하고 이에 해당하는 터널단면을 단면 자동화 생성 모듈을 통해 단면 생성 및 라이브러리를 구축한 뒤, 라이브러리를 조립하여 자동으로 모델링이 가능토록 개발하였다.
- 3D 객체형 라이브러리 또는 2D 매개변수형 단면 라이브러리로 구축한 경우 라이브러리 조립 순서에 따라 해당 라이브러리를 불러들일 수 있도록 개발하였고, 2D 단면 라이브러리의 경우 선형과 매칭시킴으로써 3차원 형상을 구현 할 수 있도록 개발하였다.
- 라이브러리를 자동으로 조립하기 위해 각 라이브러리에 기준점을 지정하였다. 기준점이 없을 경우 전혀 다른 곳에 조립되거나 빈 공간이 발생될 수 있으며 이는 수량산출에 영향을 줄 수 있으므로 기준점을 지정하였다.

○ 후속 작업에 대한 프로세스 의사결정 지원 알고리즘 개발

- 터널과 교량의 공정의 특성과 모델링 과정 분석을 통해 후속 작업에 대한 프로세스에 대한 알고리즘을 개발하였는데, 이는 본 연구에서 개발한 건설정보 분류체계의 모델링 순서로 프로그램을 통한 설계 프로세스와 동일하다.

① 터널공

- 터널공에 대한 후속 작업에 대한 프로세스 의사결정 지원 알고리즘은 다음과 같다.

순서	구 분	입 력 방 법	입 력 내 용		세부공종(1)	속성정보 입력(1) 지보패턴	속성정보 입력(2) 형식입력	속성정보 입력(3) 물량산출방법	속성정보 입력(4) 연동물량산출방법	모델링 순서
1	공종	선택입력 (프로그램에서)	터널공 교량공 배수공							1
2	공사현장	수동입력	사업명							2
3	시설물	수동입력	터널명							3
4	도로시설	선택입력 (프로그램에서)	본선							4
5	방향공간	선택입력 (프로그램에서)	상행 하행 공통							5
6	확장공간	선택입력 (프로그램에서)	터널연장 본선부 접속부							6
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	터널연장	본선부 접속부 개착부 시점 개착부 종점 수직구	터널연장(M)	P-1 P-2 P-3 P-4 P-5		사용자 선형 모델링		7
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	터널연장	피난연락갱	터널연장(M)	Type-1 Type-2 Type-3 Type-4 Type-5	대인용 차량용	사용자 선형 모델링		
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	내공단면	본선부 접속부 개착부 시점 개착부 종점 수직구		P-1 P-2 P-3 P-4 P-5 P-6		사용자 라이브러리 구축		8
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	내공단면	피난연락갱		Type-1 Type-2 Type-3 Type-4 Type-5 직접입력	대인용 차량용	매개변수형 라이브러리 구축		

그림 90. 건설정보 분류체계에서 정의한 모델링 순서

- 터널공은 기본정보를 입력하고 터널의 연장이 선택완료 되면, 가장 먼저 프로그램에서 내공단면을 생성하고, 매개변수 입력을 통해 라이닝 콘크리트를 생성한다. 라이닝 콘크리트 생성 후 신축이음과 시공이음을 수행토록 하였다. 그리고 숏크리트를 생성하도록 하였다. 이후 작업은 필터콘크리트인데 이는 모델링은 생성되지 않고, 연동물량만 산출되도록 개발하고자 한다. 이와같이 터널 설계 시 필요한 모든 과정을 분석하여 총 25단계의 후속 작업에 대한 프로세스 의사결정 지원 알고리즘을 개발하였으며, 이에대한 상세한 내용은 부록에 수록된 건설정보 분류체계에서 확인 가능하다.

② 교량공

- 교량공에 대한 후속 작업에 대한 프로세스 의사결정 지원 알고리즘은 다음과 같다.

순서	구 분	입 력 방 법	입 력 내 용		세부공종	속성정보 입력(1)	속성정보 입력(2)	속성정보 입력(3)	속성정보 입력(4)	모델링 순서
1	공종	선택입력 (프로그램에서)	터널공 교량공 배수공							1
2	공사현장	수동입력	사업명							2
3	시설물	수동입력	교량명							3
4	도로시설	선택입력 (프로그램에서)	본선 IC 간이IC							4
5	방향공간	선택입력 (프로그램에서)	상행 하행 공통							5
6	확장공간	선택입력 (프로그램에서)	PSC거더교 상부공 PSC거더교 하부공 RC라멘교							6
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	PSC거더교 상부공	바닥판	A1-P1 P1-P2 P2-P3 P3-P4 P4-P5	현장타설 콘크리트 프리캐스트 바닥판 직접입력	무근콘크리트 철근콘크리트 프리스트레스 콘크리트 직접입력	매개변수형 라이브러리 모델링	일반콘크리트 경량콘크리트 필터콘크리트 특수콘크리트 직접입력	7
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	PSC거더교 상부공	교량난간 및 중앙분리대	중앙분리대	일체형 중앙분리대 분리형 중앙분리대 직접입력		매개변수형 라이브러리 모델링		8
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	PSC거더교 상부공	교량난간 및 중앙분리대	방음벽	흡음형 방음벽 반사형 방음벽 직접입력	방음벽 기초 방음벽 판넬 방음벽 지주 직접입력	매개변수형 라이브러리 모델링	H=2m 이하 H=2~3m H=3~4m H=4~5m	
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	PSC거더교 상부공	교량난간 및 중앙분리대	인도용 난간	난간형식 직접입력		객체형 라이브러리 모델링		9
7	작업 관리 단위	선택입력 (프로그램에서)	PSC거더교 상부공	교량난간 및 중앙분리대	차량방호책겸용 난간	난간형식 직접입력		객체형 라이브러리 모델링		

그림 91. 건설정보 분류체계에서 정의한 모델링 순서

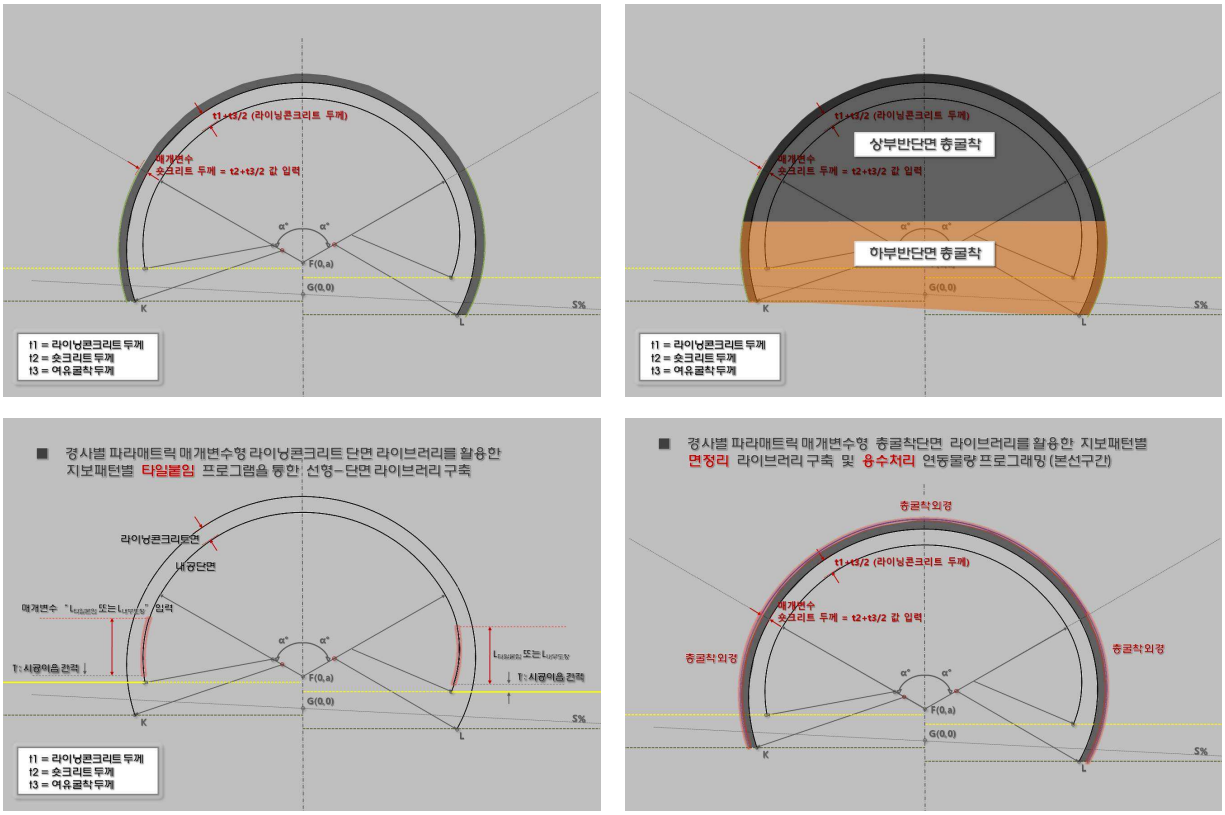
- 기본정보를 입력하고 선형이 선택완료 되면, 포장면에서 위에서 아래로 내려오는 순서로 모델링이 수행되도록 하였다. 이는 기준면이 도로 포장면이기 때문에 첫 시작을 도로 바닥판으로 결정했으며 이에 대한 상세 내용은 부록에 수록된 건설정보 분류체계에서 확인 가능하다.

○ 라이브러리 자동조립을 위한 알고리즘 개발

- 터널공과 교량공은 개발 모듈을 통해 단면 생성과 라이브러리 조립이 동시에 작업이 진행되므로 라이브러리 개발 알고리즘과 라이브러리 자동조립을 위한 알고리즘은 거의 동일하다고 볼 수 있다.
  자동조립을 위하여 기준점이 반드시 필요한데 이는 라이브러리 개발 및 제작 당시 자동조립을 고려하여 라이브러리에 지정해 두었으므로 앞서 정의한 후속 작업에 대한 프로세스에 따라 라이브러리를 생성하고, 기준점을 적용하여 자동조립을 수행하면 3D 형상정보가 생성된다.

① 터널공

- 터널공의 자동조립을 위한 알고리즘은 앞서 설명한 라이브러리 개발 알고리즘과 동일하다.
- 자동조립을 위해서는 전혀 다른 곳에 위치하지 않고 착오없이 모델링이 진행 될 수 있도록 기준이 필요한데 터널의 단면생성 및 자동조립을 위한 첫 기준은 라이닝 콘크리트 생성을 위해 프로그램에 입력하는 매개변수이다. 이는 터널 설계 시 수행되는 연산 및 작도를 포함한 터널 단면의 기하학적 특성이 반영된 터널의 단면을 설계하기 위해 필요한 수치이다.
- 매개변수를 입력하면 이를 이용하여 라이닝 콘크리트 단면이 생성되고, 라이닝 콘크리트는 다음 라이브러리 구축의 기준이 되어 다음 그림과 같이 라이닝 콘크리트를 기준으로 숏크리트, 타일붙임 등이 생성된다. 면정리 및 용수처리는 총굴착 단면 라리브러리를 활용하여 생성된다.
- 이와같이 터널은 라이브러리의 어느 한 포인트가 기준점이 아닌 전 단계의 단면을 활용하여 새로운 라이브러리 단면을 생성하고 조립되어 3D 형상정보가 완성되도록 개발하였다.



② 교량공

- 교량공의 자동조립을 위해서는 전혀 다른 곳에 위치하지 않고 착오없이 모델링이 진행 될 수 있도록 기준이 필요하다. 교량은 구축된 라이브러리를 블록처럼 조립하는 방식으로 모델링이 수행되므로 하나의 기준점을 설정하였다. 기준점은 모델링 순서와 시공을 고려하여 활용되는 토공면을 기준으로 작성하였는데 교대, 교각과 같은 하부공은 터파기 이후 기초 기준면을 기준으로 설정하였고, 슬라브, 거더, 포장층과 같은 상부공은 도로계획고를 기준으로 설정하였다. 그리고 방음벽, 중앙분리대와 같은 부대공은 시설물이 설치되는 설치 기준면을 기준으로 하였다.

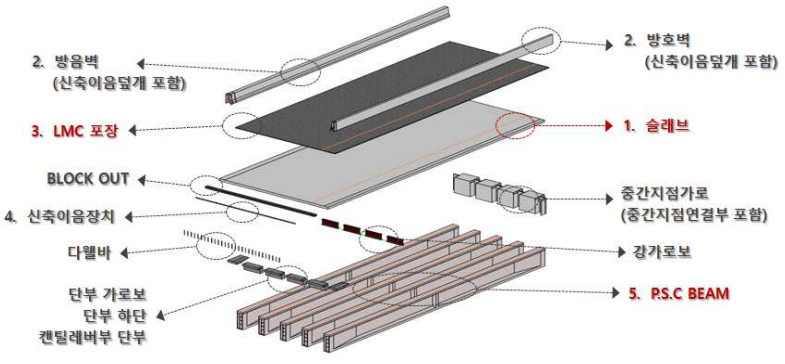


그림 92. 상부공 라이브러리 조립 개념도

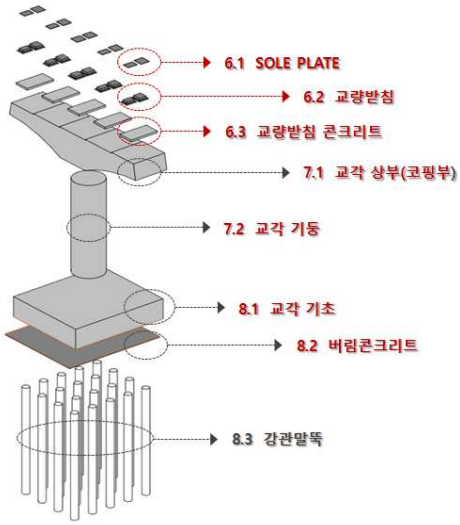


그림 93. 하부공 라이브러리 조립 개념도

○ 라이브러리 자동조립 모듈 프로그램 알고리즘 개발

① 터널공

- 터널공에 대한 자동조립 모듈을 개발하기 위한 알고리즘(시나리오)는 다음과 같다.

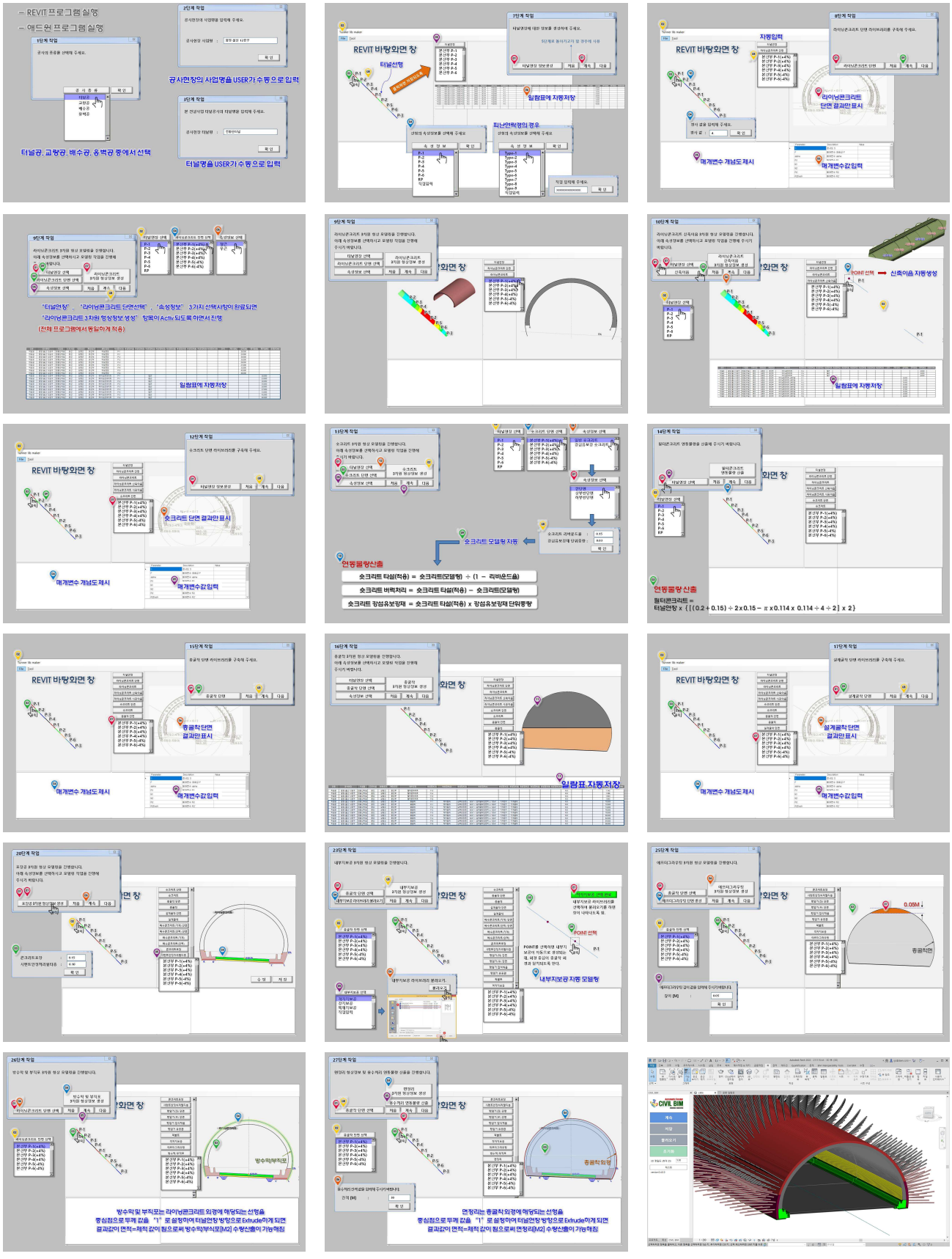


그림 94. 터널공 자동조립 모듈 프로그램 알고리즘 개발

② 교량공

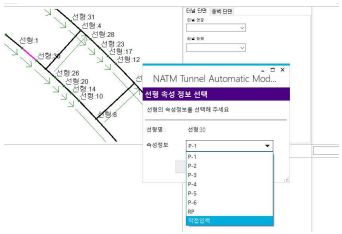
- 교량공에 대한 자동조립 모듈을 개발하기 위한 알고리즘(시나리오)는 다음과 같다.



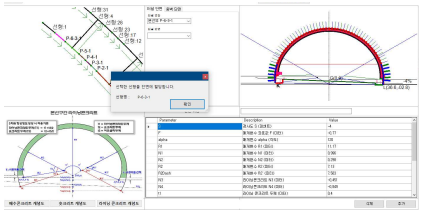
그림 95. 교량공 자동조립 모듈 프로그램 알고리즘 개발

○ 라이브러리 자동조립 모듈 프로그램 개발

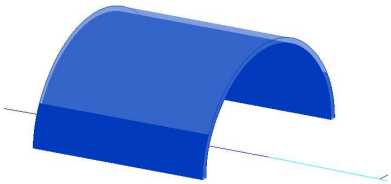
① 터널공



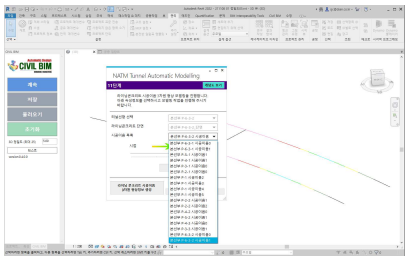
선형선택



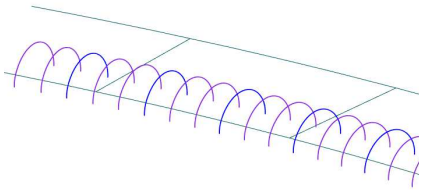
매개변수 입력



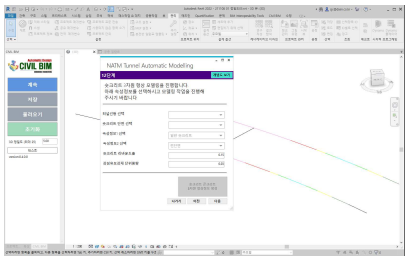
라이닝 콘크리트 생성



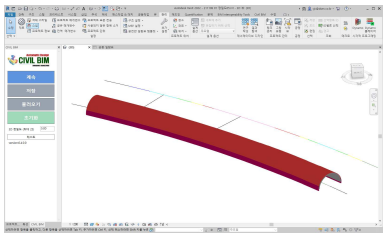
시공이음 및 신축이음 속성정보 입력



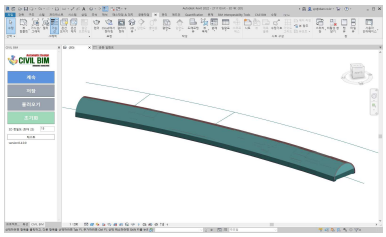
시공이음 및 신축이음 생성



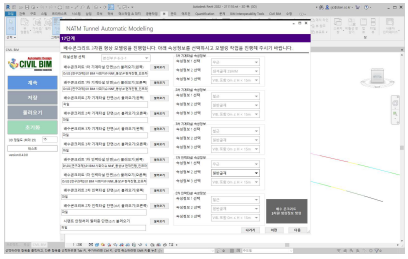
숏크리트 속성정보 입력



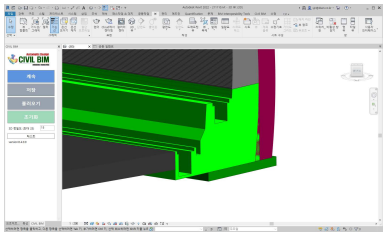
숏크리트 생성



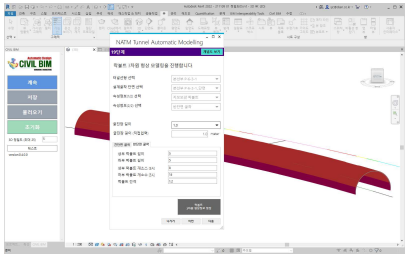
총굴착 생성



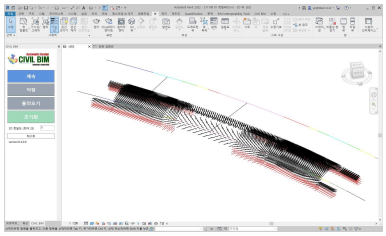
배수콘크리트 단면 불러오기



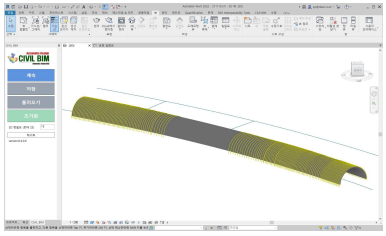
배수콘크리트 생성



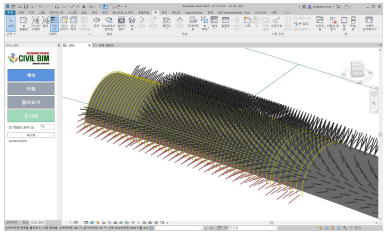
락볼트 매개변수 입력

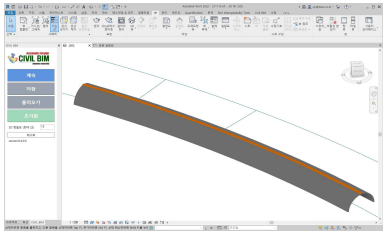


락볼트 생성

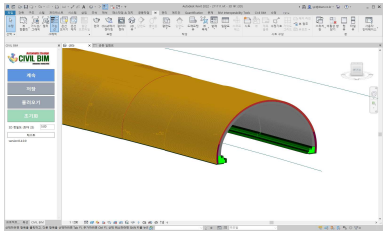


내부지보공 생성

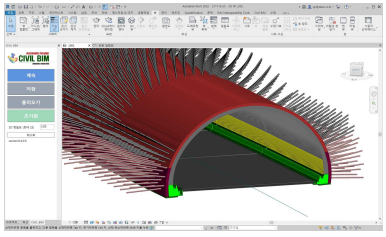




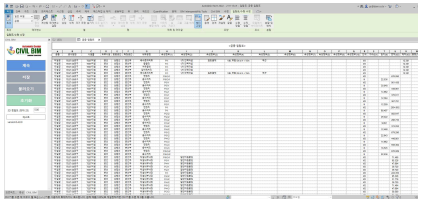
애프터 그라우팅 생성



용수처리 및 면정리

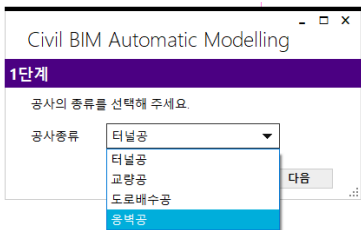


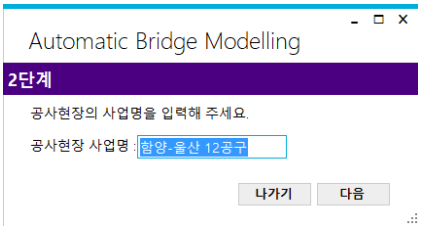
최종 모델링 완성

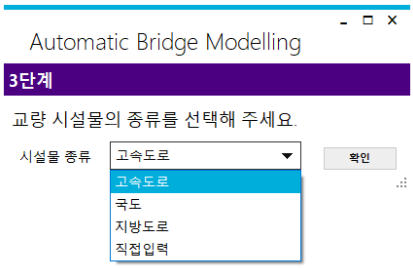


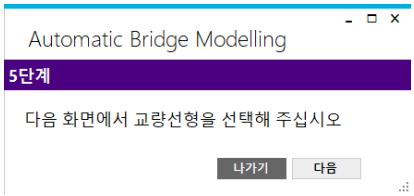
일람표 작성

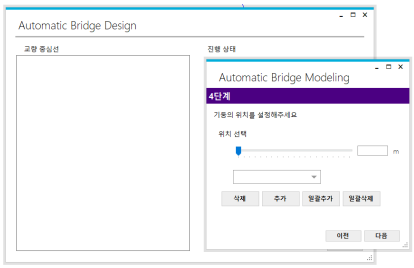
② 교량공

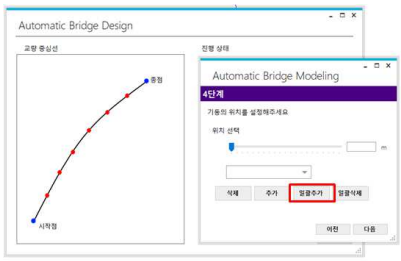


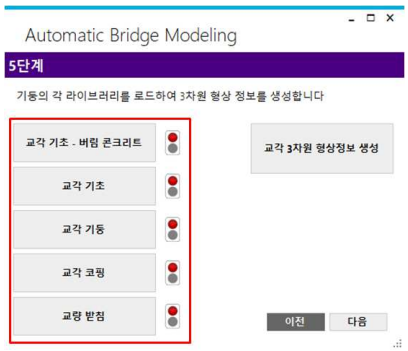


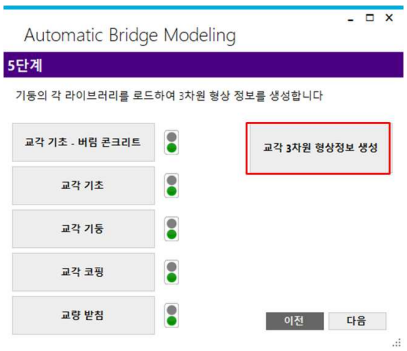




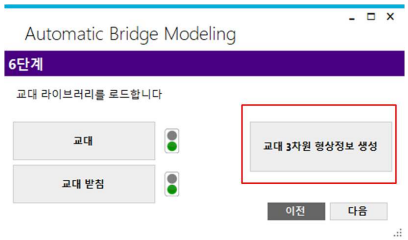


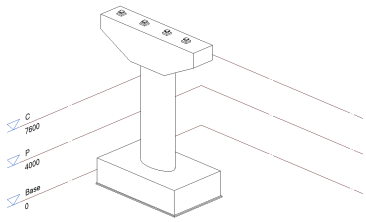


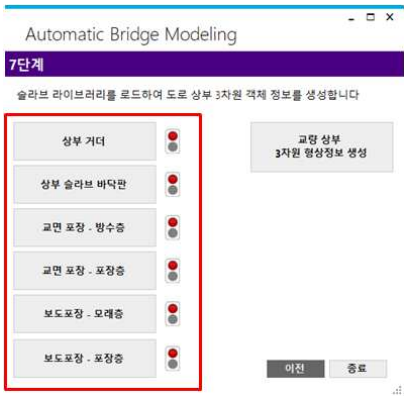


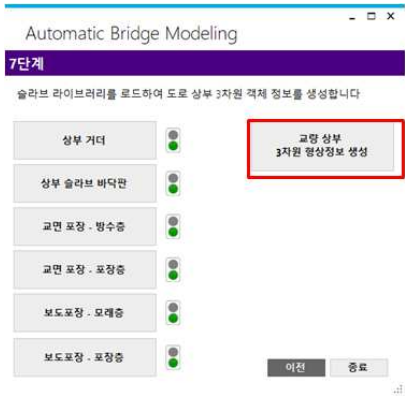












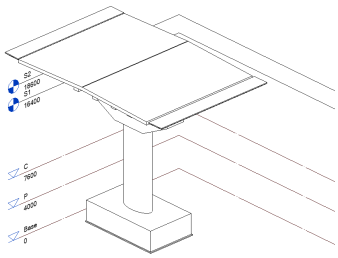




그림 96. 라이브러리 자동조립 sw 등록증

(4) 라이브러리별 도면 자동생성 템플릿 연동모듈 개발

○ 도면자동 생성 알고리즘 개발

- 본 연구에서는 용이한 설계변경과 작업 효율성 향상 및 국내 설계기술 발전을 위해 고속도로 및 국도 표준도를 기반으로 매개변수형 라이브러리를 구축하고 작업 기준면을 토공면으로 하는 라이브러리 설치고 추출 및 자동배치, 설계 단계별 후속 작업에 대한 프로세스 의사결정 지원을 통해 라이브러리 자동조립을 통해 배수공, 옹벽공, 터널공, 교량공에 대한 3D 설계가 가능한 모듈로, 최종적으로 개발 모듈을 이용하여 생성된 각 모델을 활용하여 도면이 생성되도록 개발하였다,

① 배수공

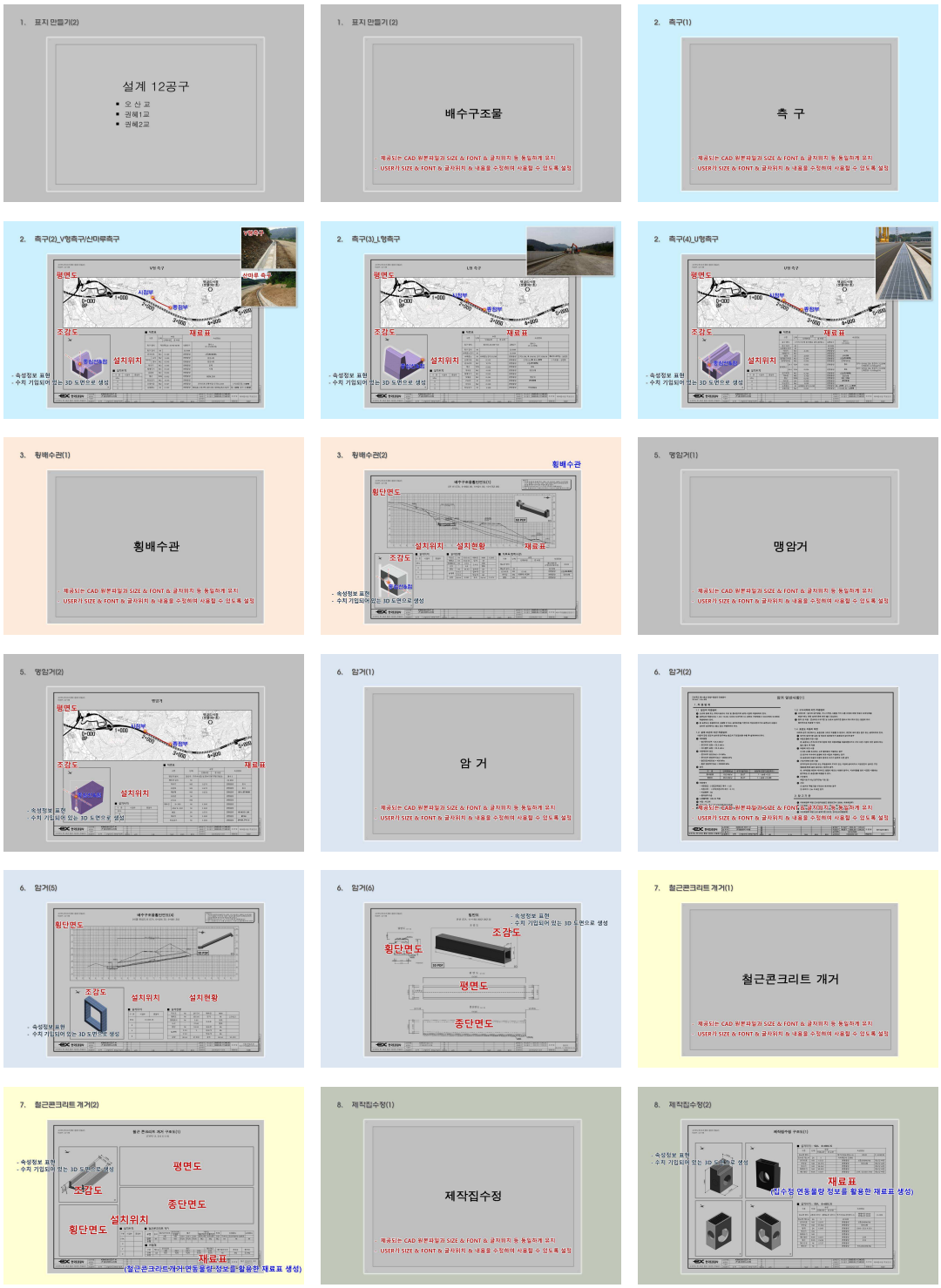
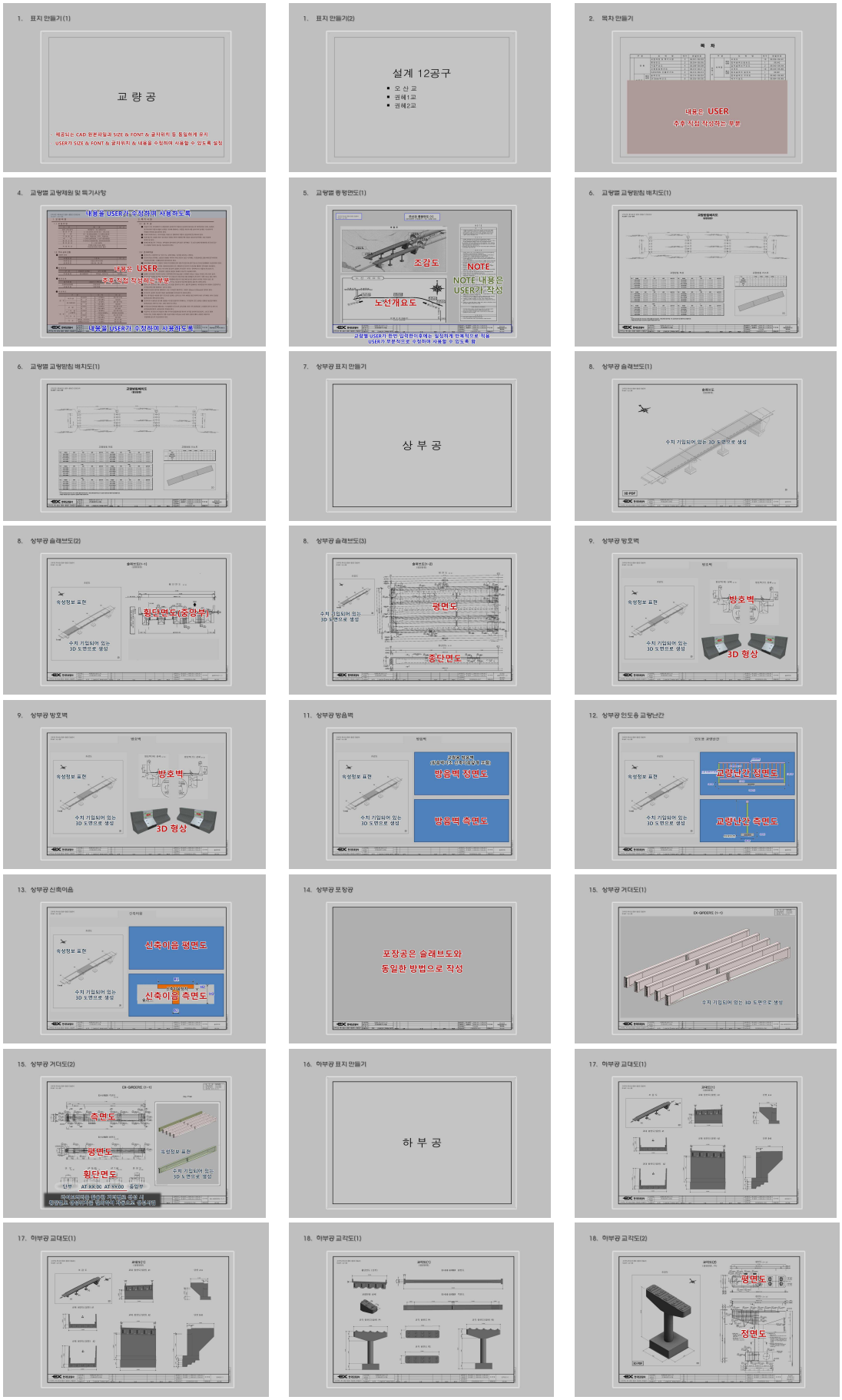
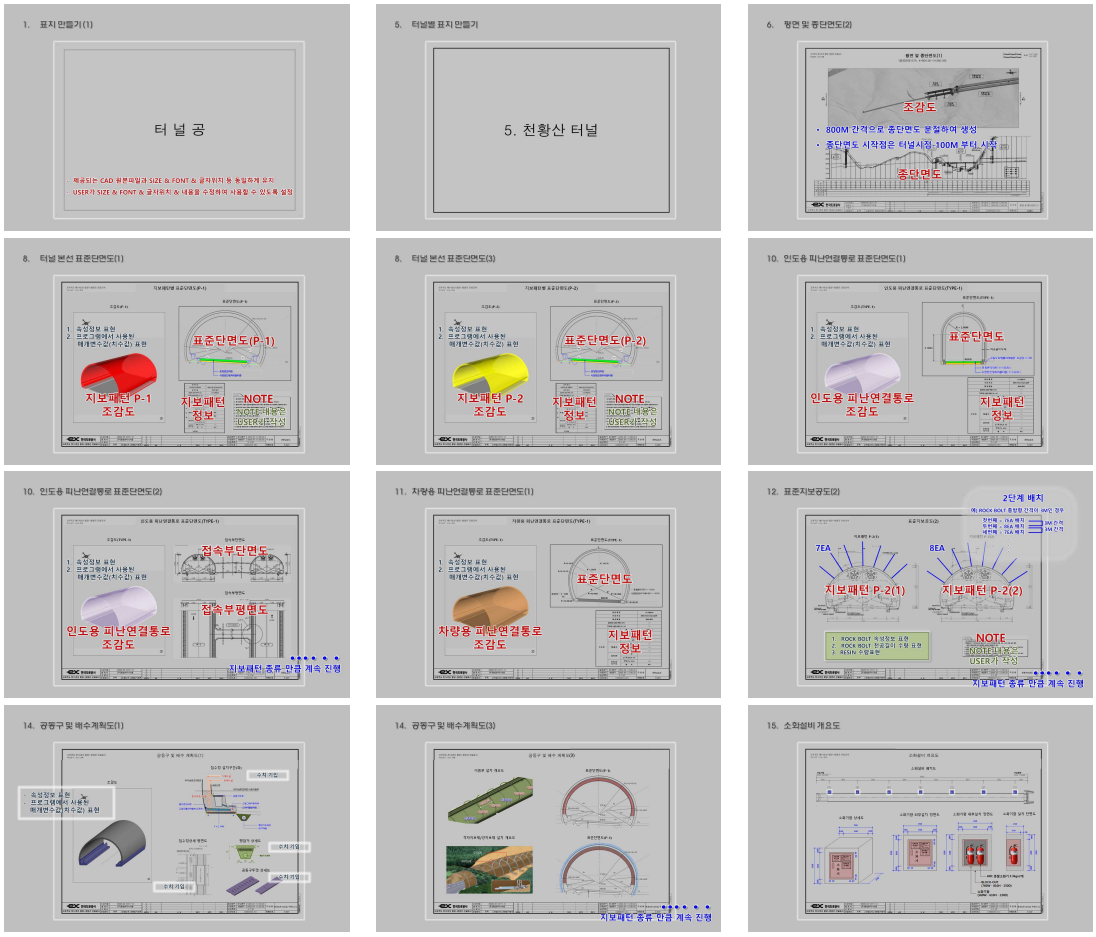


그림 97. 베수공 도면생성 알고리즘 개발

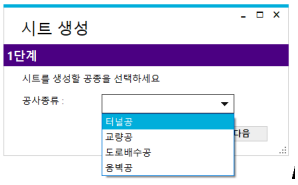
② 교량공


1. 표지 만들기(1)
교 량 공
1. 표지 만들기(2)
설계 12공구
오 산 교
권에1교
권에2교
2. 목차 만들기
내용은 USER
수동 식점 작성하는 부분
4. 교량별 교량제원 및 특기사항
내용은 USER
5. 교량별 종평면도(1)
조감도
NOTE
NOTE 내용은 USER가 작성
노선개요도
6. 교량별 교량받침 배치도(1)
7. 상부공 표지 만들기
상 부 공
8. 상부공 슬래브도(1)
8. 상부공 슬래브도(2)
횡단면도(중앙부)
8. 상부공 슬래브도(3)
평면도
중단면도
9. 상부공 방호벽
방호벽
3D 형상
11. 상부공 방음벽
방음벽 정면도
방음벽 측면도
12. 상부공 인도등 교량난간
교량난간 정면도
교량난간 측면도
13. 상부공 신축이음
신축이음 평면도
신축이음 측면도
14. 상부공 포장공
포장공은 슬래브와
동일한 방법으로 작성
15. 상부공 거더도(1)
15. 상부공 거더도(2)
측면도
평면도
횡단면도
16. 하부공 표지 만들기
하 부 공
17. 하부공 교대도(1)
18. 하부공 교각도(1)
18. 하부공 교각도(2)
평면도
정면도

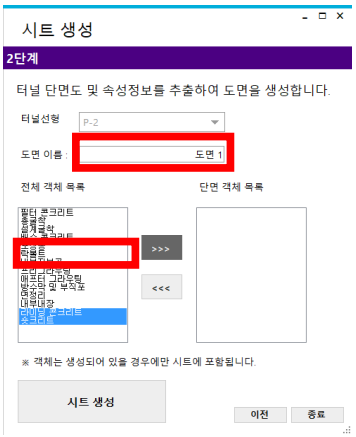
③ 터널공



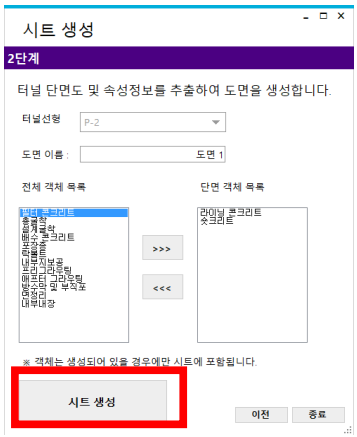
○ 도면 자동 생성 탬플릿 연동 모듈 프로그램 개발



① 공정 선택



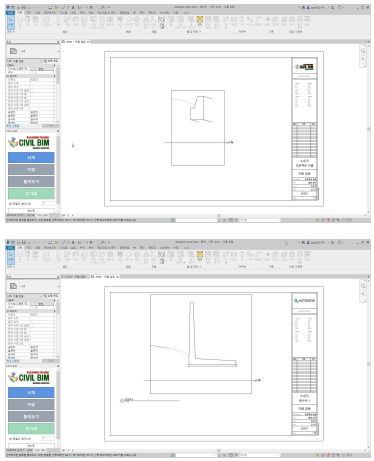
② 도면 이름 작성



③ 단면도를 생성할 객체 선택



그림 98. 도면생성 sw 등록증



4) 통합 테스트 및 디버깅

○ 통합 테스트 및 디버깅 시제품 품질평가

- 본 연구에서는 개발한 모듈의 시제품을 제작하고 사용성과 실무 적용성에 대한 검증을 위하여 타 설계사의 BIM 전문가에게 개발 모듈에 대하여 시연회를 개최하고 이에 대한 품질평가를 수행하였다. 총 8개사-3명의 전문가의 평가와 의견을 반영하여 프로그램의 개선사항을 도출하고 수정보완하여 최종 시제품을 제작하였다. 시제품의 품질평가 결과는 다음과 같다.

<표> 시제품 품질평가결과

NO	설계사	자문위원	평가 점수	의견
1	A	1	82	모듈의 구성이 엔지니어 기반의 프로세스 기반으로 잘 구성되어있음 모델 수정에 따른 재생성 과정이 단순하여 쉽게 보정할 수 있고, 도면화가 가능하므로 실용성 부분에도 접근성이 높음
2		2	85	시제품의 대화창 구성은 실제 설계프로세스를 UI의 섹션으로 구분하여 사용자로 하여금 변수 입력의 시퀀스를 위배하지 않도록 유도하고 있는 것으로 보임. 모든 시설을 모델로 구현하지 않고 기 입력된 데이터와 기 생성된 모델에서 도출된 설계데이터를 바탕으로 수식으로 처리할 수 있는 시설을 '연동물량' 으로 구분하여 연산처리 및 그래픽 구현에 대한 효율성을 확보한 것으로 보임. 입력정보를 사용자가 명확히 인지할 수 있도록 보완이 필요할 것으로 보임.
3	B	1	95	터널 BIM 모델에 속성정보를 입력할 수 있도록 매개변수가 잘 정의되어 있음. 생성된 속성정보에 WBS(작업분류체계) 정보를 자동으로 입력하여 관리 할 수 있을 것으로 보여짐. 프로그램에서 산출되는 터널의 수량 정보가 현재 실무에서 산출되는 수준으로 반영이 되어 있어 실무에서 바로 사용이 가능할 것으로 보임. 상세수준이 높을때는 모든 객체가 표현이 되고, 상세수준이 낮을때는 객체를 단순화하여 모델링을 표현할 수 있도록 설정하여 관리를 더욱 효율적으로 할 수 있을것으로 판단됨
4		2	85	터널 설계 Flow에 따라 BIM설계가 진행되도록 프로그램화 되어 있어 설계 단계를 확인하기가 편리해 보임. 3D모델에서 산출이 되지 않는 수량의 정보를 추가하여 설계 단계를 통해 누락이 발생하지 않도록 가이드를 하고 있음. 모델 용량의 저감을 통해 설계시 편의성이 증대되었음. 다만 IFC 변환에 따른 호환성 검증과 용량 최적화 방안 제시 필요.
5	C	1	89	선형기반으로 터널 설계 프로세스에 대해 BIM 설계가 수행될 수 있도록 개발되어있어 초급기술자도 개발된 모듈을 따라 설계정보와 매개변수를 입력하여 BIM 설계 수행 가능할 것으로 보임 모듈에 대한 가이드라인 제시가 필요할 것으로 보임
6	D	1	90	반복작업 및 오류 최소화 등에 대한 장점이 있으며, 선형+단면의 조합으로 연산과정에서 소요되는 시간을 상당부분 단축한 것이 가장 큰 장점으로 사료됨. 현장상황을 반영한 잦은 설계변경에 즉시적 대응에 효과적인 모듈로 판단됨. 시공단계에 따른 단면 변경 및 공정 중복 체크, 수량산출 등의 기능 탑재에 대한 고려가 필요함.
7		2	90	BIM 모델링 및 수량산출 잡업시 인력투입이 감소될 것으로 사료되며 터널설계 실무자들이 다소 쉽게 적용할 수 있을 것으로 사료됨. 도면작성에 대하여 다소 보완사항이 있으나 단면 작성에는 무리가 없는 것으로 사료됨
8		3	90	BIM 모델링시 반복적인 작업, 선형에 다른 배치 등의 문제를 해결하여 사용자가 직관저긍로 사용하기 적합한 것으로 판단되며 입력단계에서 수치를 입력후 결과물에 대한 확인이 바로 가능하여 사용자의 후처리 및 의사결정이 QKf라직 것으로 판단됨. 터널 모듈은 25단계로 구정되어 있으나 LOD에 따라 생략할 수 있는 부분, 단계를 추려 줄일 수 있도록 하는 것이 타당한 것으로 판단됨.

NO	설계사	자문위원	평가 점수	의견
9	E	1	95	초급 유저들도 쉽게 모델링이 가능할 것으로 판단됨. 콘크리트의 특성(강도, 골재치수, 슬럼프)에 대한 입력을 할수 있다면 작업속도가 양호해질 것으로 판단됨
10	F	1	90	전체적으로 실무자 입장에서 자동화 모듈을 개발하여 추진방향이 잘 정립되어 있는 것으로 판단 됨 BIM 설계 시 실무자의 모델링 작업에 투자되는 과다한 시간을 줄이는 것이 목적으로 보이며, 이를 위해서는 설계 기준에 부합되는 정확한 모델링 자동화가 필요한데, 본 자동화 모듈 이용 시 이 목적에 부합되는 성과를 보이는 것으로 판단 되며, 추후 연구의 고도화 및 실무자의 활용성 증대를 위한 추가적인 검토(ex.메뉴얼 작성, 설계기준 확인 등)가 필요함
11	G	1	96	초급 엔지니어도 쉽게 사용이 가능토록 개발되었으며 지보패턴 및 구간에 따라 단면설정과 보강공법 등에 관한 정보를 셋팅하면 자동 모델 생성과 수량산출이 이루어져 생산성이 향상될 것으로 기대됨 향후 추가개발 시 터널 확폭구간, 2-arch 단면 등 다양한 단면 반영이 가능토록 개선된다면 더울 활용도가 높아질 것으로 기대함
12		2	90	도로분야 설계 중 NATM 터널구간에 대하여 설계엔지니어와 협업을 통해, 2D와 BIM S/W의 합리적인 연계방안을 제시함으로써, 3D 모델링 및 수량산출을 위해 효과적으로 활용이 가능함. 표준 NATM터널 설계단계 고려해야할 다양한 변수를 적절히 반영하였고, 설계변수의 변경에 유연하게 대처하도록 사용자 인터페이스를 작성하였음. 특히 실시설계단계에서 시·종점의 변화없이 터널 중간의 다양한 변화에 대한 대응이 용이하도록 구축되어 있음.
13	H	1	95	터널모델 생성프로세스가 설계관점에서 패턴별로 제원 위치 등을 조정하여 모델링이 가능한 인터페이스는 우수해 보임 기본설계의 경우 CAD 터널 단면에 대한 프로파일을 입력하여 LOD 200 수준의 모델 자동 생성시 사용성이 좋아 보임 편경사가 터널내에서 역전되는 경우 종단의 위치선정에 오류가 , 발생할 것으로 보이므로 터널중심선과 모델중심선이 일치 또는 연동되어야 함
평균			90.15	

- 본 연구에서는 개발 모듈을 통해 신속· 정확하게 설계변경이 가능하며 작업 효율성을 향상시키고 휴먼 에러를 최소화하여 고품질의 설계가 가능할 뿐만 아니라 기술로 실제 설계자가 실무에 적용 가능한 기술개발을 목표로 하고 있다.
- 시제품 시연 및 품질평가 결과, 모든 전문가들이 공통적으로 개발모듈을 이용한 설계 편의성, 사용성과 실무 적용성이 매우 우수하다고 평가하였으며 설계 프로세스를 잘 반영함으로써 초급기술자도 개발된 모듈을 따라 매개변수를 입력하여 BIM 설계 수행 가능할 것이라는 평가를 받아 본 연구에서 개발하고자 하였던 목적을 모두 달성함을 확인하였다.
  개발 모듈의 품질향상을 위해 다양한 개선사항이 도출되었으며 이를 분석하여 즉시 반영사항/ 향후 기간을 두고 계획을 세워 반영사항/ 실질적으로 반영이 어려운 사항 등으로 분류하고 모듈을 수정 및 보완하여 최종 시제품을 제작하고자 한다.

○ 수정보완 및 시제품 제작

- 품질평가를 통해 다양한 개선사항이 도출되었으며, 개선사항에 대하여 공통된 사항으로 분류하여 크게 다음과 같이 정리하였다.

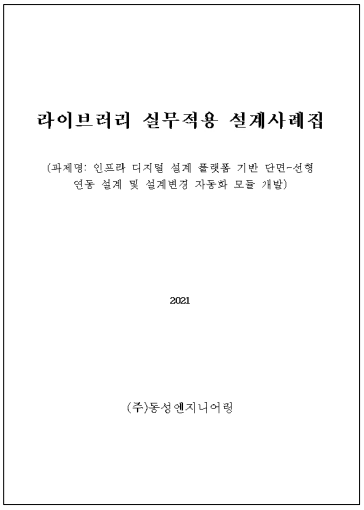
No	개선사항	비고
1	입력정보에 대한 추가설명, 가이드라인이 필요함	가이드라인 작성 및 입력정보에 대하여 구체화하며 UI 수정 보완하였음
2	LOD 단계에 따른 모델링 생략/단순화 할 수 있도록 설정 기능 필요함	설계자가 필요에 따라 해당 모델링을 수행하지 않고 다음단계로 넘어 갈 수 있도록 수정하였음
3	IFC 변환에 따른 호환성 검증과 용량 최적화 방안 제시 필요	방안을 모색하여 추후 개선할 수 있도록 하겠음
4	모듈에 대한 가이드라인 제시가 필요함	가이드라인 제시
5	터널 확폭구간, 2-arch 단면 등 다양한 단면 반영 가능토록 개선 시 활용도가 더 높아질 것으로 기대됨	이에대한 프로세스 분석 및 프로그램 추가 개발 등이 필요하므로 고려하여 추후 개선 시 반영 할 수 있도록 하겠음
6	터널중심선과 모델중심선이 일치 또는 연동되어야 함	현재 터널의 포장면의 중심을 기준으로 선형-단면이 매칭되어 모델링이 수행되고 있음

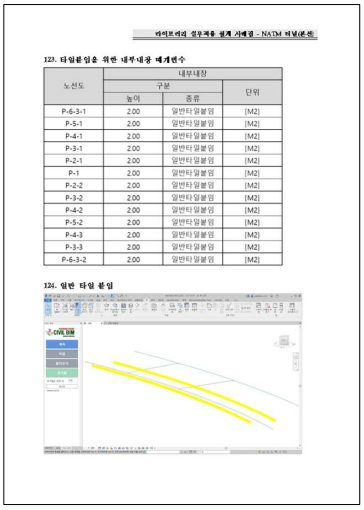
○ 라이브러리 실무적용 설계사례집 작성

- 개발된 최종 시제품을 사용하여 수행하였던 프로젝트를 참고하여 가상의 프로젝트에 대한 실 설계를 수행하였으며, 이는 부록에 첨부하였다.

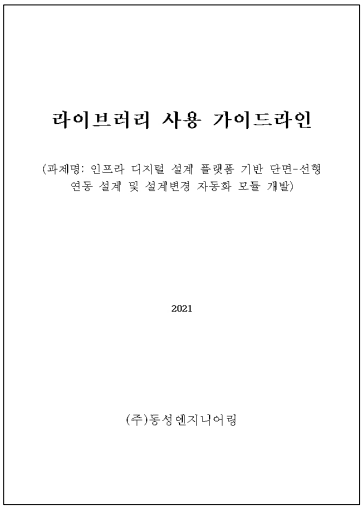
○ 라이브러리 사용 가이드라인 제시

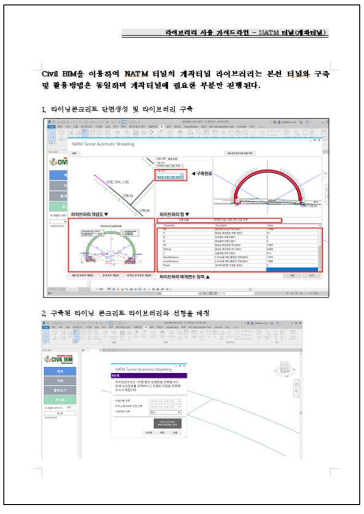
- 초급 엔지니어링과 본 모듈을 처음으로 접하는 설계자를 위하여 개발된 모듈과 라이브러리에 대한 가이드라인을 작성하였으며 이는 부록에 첨부하였다.

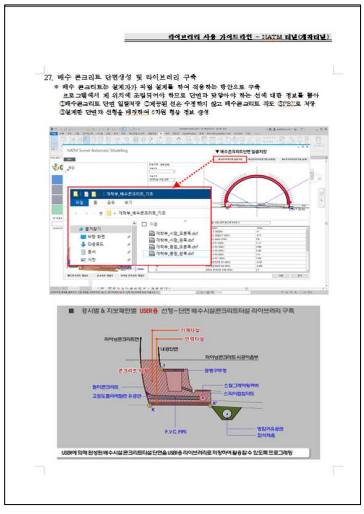












3. 연구개발과제의 수행 결과 및 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 정성적 연구개발성과 100% 달성

○ 도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발 (100% 달성)
- WBS 분류체계를 고려한 라이브러리 분류체계 정의
- 분류체계와 가이드라인에 의거하여 라이브러리 제작 (표준도 기반 / 매개변수형)
- 라이브러리 개발

○ 단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발 (100% 달성)
- 토공면 라이브러리 설치고 추출 모듈 개발
- 설치고에 라이브러리 자동 배치 모듈 개발
- 라이브러리 자동조립 모듈 개발
- 라이브러리별 도면 자동생성 템플릿 연동모듈 개발

○ 사용성 검증 (100% 달성)
- 통합 테스트 및 디버깅 시제품 품질평가 (목표:80점 이상/ 달성치: 90점)
- 시제품제작
- 라이브러리 실무적용 설계사례집 작성
- 라이브러리 사용 가이드라인 제시

(2) 정량적 연구개발성과

○ 본 연구의 정량적 연구개발 성과에 대한 목표와 달성은 다음과 같다.

내용	목표	달성	비고
SCI 논문	1건	-	투고완료(12.30)
비SCI 논문	1건	1건	100% 달성
학술발표	3건	2건	미달성
특허출원	2건	3건	초과달성
특허등록	1건	1건	100% 달성
기술실시계약	1건	1건	㈜동성엔지니어링 자체 기술실시계약
시제품	1건	1건	100% 달성
SW	6건	7건	초과달성

- SCI 논문 : 대한토목학회 SCIE 투고 완료(21년 12월 30일)
토목 설계와 IT 기술을 융합한 기술로 상호 전문분야가 다르므로 원활한 개발을 위하여 많은 회의와 중간 시연 등이 필요하였으나 COVID-19의 영향으로 대면회의보다 화상회의로 대체 진행하였으나 이는 상호 완벽한 이해에 대한 어려움이 발생하였다. 이로인해 본 연구개발 모듈의 개발완료 시점이 계획시점대비 다소 늦어짐에 따라 SCI 논문 작성도 일정이 늦어져 게재까지는 물리적 시간이 부족하였으며, 본 연구개발 내용으로 투고까지 완료한 상태이다.

- 학술발표 : 학술 발표의 경우, 1차년도 1건, 2차년도 2건 총 3건을 목표를 달성하였는데 1차년도 논문에 사사 미기재로 인해 성과 불인정이 발생하였다.

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	BIM기반 NATM 터널 라이브러리 구축 및 설계 자동화 모듈개발	한국도로학회	신재철	Vol 23. No 6.	대한민국	한국도로학회	비SCI	2021.12	1738-7159	100%
2	Building Information Modeling-based Design Support Automation Program Using Parametric Libraries	대한토목학회	백유진	-	대한민국	대한토목학회	SCI	-	-	-

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2020 한국도로학회 온라인 학술대회	BIM기반 모델링 자동화 모듈 적용을 위한 옹벽, 배수공 및 터널공에 대한 매개변수형 라이브러리 구축	신재철	2020.09	온라인	대한민국
2	2020 대한토목학회	BIM기반 매개변수형 옹벽과 배수공 라이브러리 구축 및 모델링 자동화 시스템 알고리즘 개발 연구	신재철	2020.10	제주	대한민국

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	3차원 옹벽 설계 자동화 프로그램	대한민국	(주)동성엔지니어링	2020.10.28	10-2020-0141474				100%	
2	특허	3차원 터널 설계 자동화 프로그램	대한민국	(주)동성엔지니어링	2020.10.28	10-2020-0141475	(주)동성엔지니어링	2021.12.30	10-2347207	100%	
3	특허	3차원 배수측구 설계 방법	대한민국	(주)동성엔지니어링	2021.12.30	10-2021-0193179				100%	

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	3D 엔진기반 라이브러리 뷰어 프로그램	2019.10.14	(주)엔엔에프텍	2019.10.29	C-2019-030597	(주)엔엔에프텍	100%
2	탐색기 프로그램	2019.10.30	(주)엔엔에프텍	2019.11.06	C-2019-032300	(주)엔엔에프텍	100%
3	매개변수형 라이브러리 프로그램	2019.11.01	(주)동성엔지니어링	2019.11.05	C-2019-032049	(주)동성엔지니어링	100%
4	CBL-Autoplacemnet (씨비엘-오토플레이스먼트)	2020.10.27	(주)동성엔지니어링, (주)엔엔에프텍	2020.10.29	C-2020-038602	(주)동성엔지니어링, (주)엔엔에프텍	100%
5	CBL-SoilSurfacelevel (씨비엘-쏘일써페이스레벨)	2020.10.27	(주)동성엔지니어링, (주)엔엔에프텍	2020.10.29	C-2020-038603	(주)동성엔지니어링, (주)엔엔에프텍	100%
6	라이브러리 자동조립 모듈	2021.09.30	(주)엔엔에프텍, (주)동성엔지니어링	2021.12.30	C-2021-059783	(주)엔엔에프텍, (주)동성엔지니어링	100%
7	라이브러리별 도면 자동 생성 템플릿 연동 모듈	2021.10.01	(주)엔엔에프텍, (주)동성엔지니어링	2022.01.11	C-2022-004516	(주)엔엔에프텍, (주)동성엔지니어링	100%

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	Automatic Design Civil BIM	2021.09.23	(주)엔엔에프텍	㈜엔엔에프텍/㈜동성엔지니어링	BIM 기반 도로설계	2년	-	-

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

[사회적 성과]

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)
1	(주)동성엔지니어링	2019.03.01	19.04.19 - 21.04.15	1	1
2	(주)동성엔지니어링	2020.01.01	20.01.01 - 21.12.31	1	1
3	(주)동성엔지니어링	2020.11.23	21.04.16 - 21.12.31	1	1
4	(주)동성엔지니어링	2020.10.01	21.01.01 - 21.12.31	1	0

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

○ 해당사함 없음

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○ 해당사함 없음

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도 (%)
○ 도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발 - WBS 분류체계를 고려한 라이브러리 분류체계 정의 - 분류체계와 가이드라인에 의거하여 라이브러리 제작 (표준도 기반 / 매개변수형) - 라이브러리 개발	○ 도로선형을 고려한 설계 라이브러리 개발 - WBS 분류체계를 고려한 라이브러리 분류체계 정의 : 한국도로공사에서 분류한 터널공에 대한 WBS, 수량산출지침서, 고속도로 및 국도 표준도와 고속도로와 국도의 수량산출서 샘플들을 분석하여 각 공정에 대한 건설정보 분류체계를 개발 - 라이브러리 개발 : 각 공정에 대한 특성을 분석하여 라이브러리 제작 알고리즘 개발 - 분류체계와 가이드라인에 의거하여 라이브러리 제작 : 배수공, 옹벽공, 터널공, 교량공에 대한 라이브러리 제작 완료	100%
○ 단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발 - 토공면 라이브러리 설치고 추출 모듈 개발 - 설치고에 라이브러리 자동 배치 모듈 개발 - 라이브러리 자동조립 모듈 개발 - 라이브러리별 도면 자동생성 템플릿 연동 모듈 개발	○ 단면-선형 연동 자동배치 모듈 개발 완료 - 토공면 라이브러리 설치고 추출 모듈 개발 완료 - 설치고에 라이브러리 자동 배치 모듈 개발 완료 - 라이브러리 자동조립 모듈 개발 완료 - 라이브러리별 도면 자동생성 템플릿 연동모듈 개발 완료	100%
○ 사용성 검증 - 통합 테스트 및 디버깅 시제품 품질평가 - 시제품제작 - 라이브러리 실무적용 설계사례집 - 라이브러리 사용 가이드라	○ 사용성 검증 - 통합 테스트 및 디버깅 시제품 품질평가 :목표 80점이상 / 달성치 90점 - 시제품제작 완료 - 라이브러리 실무적용 설계사례집 작성 - 라이브러리 사용 가이드라인 제시	90%

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○ 정성적 연구개발성과 100% 달성

○ 정량적 연구개발성과 SCI 논문 미달성
- SCI 논문 : 대한토목학회 SCIE 투고 완료(21년 12월 30일)

토목 설계와 IT 기술을 융합한 기술로 상호 전문분야가 다르므로 원활한 개발을 위하여 많은 회의와 중간 시연 등이 필요하였으나 COVID-19의 영향으로 대면회의보다 화상회의로 대체 진행하였으나 이는 상호 완벽한 이해에 대한 어려움이 발생하였다.

본 연구개발 목표한 모듈은 개발완료 하였으나 개발완료 시점이 계획시점대비 다소 늦어짐에 따라 SCI 논문 작성도 일정이 늦어져 게재까지는 물리적 시간이 부족하였으나, 본 연구개발 내용으로 투고까지 완료한 상태이다.

2) 자체 보완활동

○ SCI 논문 : 대한토목학회 SCIE 투고 완료(21년 12월 30일)
- 본 연구개발 내용으로 투고까지 완료한 상태이므로, 심사결과에 따라 수정 보완하여 연구과제 종료 후 게재를 완료하고자 한다.

3) 연구개발 과정의 성실성

○ IT와 토목 엔지니어링사로 서로 원활한 개발을 위해 많은 회의가 필요하였으나 COVID-19의 여파로 대면 회의대신 화상회의 진행함에 있어 개발 및 의사전달에 어려움이 발생하였으나 공동연구기관인 ㈜동성엔지니어링에서 프로그램개발을 상세 알고리즘 개발 및 시나리오 작성과 주관기관인 엔엔에프텍에서 프로그램 개발에 대한 개발 및 신속한 피드백 등 연구개발을 위하여 적극적인 참여로 개발 완료하였다.

○ 본 연구에서는 시제품을 제작하고 이에 대한 품질평가를 통해 사용성 검증, 실무 적용성 평가를 수행하고 이를 통해 개선사항을 도출하고자 하였다.

- 시제품 품질평가의 경우 더 많은 전문가와 함께 모여 의견을 나누고 하는 세미나 자리를 마련하고자 하였으나 COVID-19의 영향으로 인원제한에 따라 국가 방역지침을 준수하며 각 전문가를 찾아가 총 8번의 시연과 설명을 하였으며 이에대한 품질평가 수행하는 등 연구개발 성과 달성을 위해 적극 추진하고 연구에 임하여 연구개발 수행의 성실도는 우수하다고 판단된다.

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 기술적 파급효과

- 표준도를 근거하여 선형에 따라 동일한 단면이 적용되는 터널공, 교량공, 배수공, 옹벽에 대한 매개변수형 인프라 디지털 설계 플랫폼 라이브러리를 구축하여 토목분야의 라이브러리 구축 부족함을 보완하고, 표준도에 따른 단면설계 뿐만 아니라 작업자에 따라 매개변수를 적용하여 다양한 단면설계가 가능하므로 현장의 영향을 많이 받는 도로공사의 특징을 반영한 기술로써 실무 적용성을 향상시켰다.

- 구축된 라이브러리를 통해 단면-선형 연동 설계·조립 자동화모듈 및 설계지원 모듈을 개발하여 반복되는 작업량을 절감시켜 작업효율성을 높이고 선형에 따라 자동 모델링이 가능하므로 설계변경에 매우 용이하며, 토목분야의 설계 자동화 수준 향상 및 기술 발전의 교두보가 될 것으로 기대된다.

- 설계 단계별 후속 작업에 대한 프로세스 의사결정 지원을 통해 토목시설물 별 라이브러리 자동조립이 가능한 모듈 개발로 휴먼에러를 최소화 시켜 고품질의 설계가 가능한 기술로, 최종적으로 개발된 모듈은 시제품 품질평가를 통해 사용성에 대한 우수한 평가를 받았다.

○ 경제적 파급효과

- 개발 모듈을 통해 작업효율성 향상 및 생산성 향상뿐만 아니라 설계 자료의 시공단계 연동 활용이 용이한 기술로 투명한 시공 및 유지관리를 통해 공사비 관리가 가능할 것으로 기대된다.

○ 사회적 파급효과

- 국내의 정부기관 및 공사·공단에서는 인프라 디지털 설계 플랫폼의 현장적용 활성화를 위해 지속적인 관심을 갖고 노력하고 있으나 국가 건설기술 경쟁력 강화를 위하여 필요한 기술이나 건축분야와 비교하면 체계성이 아직 성립되어 있지 않은 실정이므로 기술의 보급 및 활성화를 위해서 본 연구개발의 인프라 디지털 설계 플랫폼 기반 단면-선형 연동 설계 및 설계변경 자동화 모듈은 그 의미가 크다고 할 수 있다.

- 본 연구에서는 단순 개발이 아닌 통합 테스트 및 디버깅를 통해 사용성을 검토하고, 구축된 라이브러리 사용 가이드라인을 제시하는 동시에 이를 활용한 도로설계 실무적용 설계 사례집을 제공하고자 한다. 사용자의 편리성을 제공하여 인프라 디지털 설계 플랫폼 도입을 준비하지 못한 설계 용역사 또는 시공사 기술자들이 빠른 시간 내에 기술력을 습득할 수 있도록 기술 노하우를 제공해 줌으로서 인프라 디지털 설계 플랫폼의 활성화를 기대할 수 있을 것이라 판단되며, 국가 정책에 부합하는 기술이라 할 수 있다.

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 본 연구개발 성과물은 정부로부터 연구비를 지원받아 개발되는 만큼 건설분야 기술발전에 기여하고자 설계사 및 시공사 등 필요로 하는 모든 관련업계에 무료로 배포할 계획이며, 건설분야 기술변화에 능동적으로 대처하기 위하여 신속하고 지속적인 라이브러리 업로드 및 시스템 개선을 진행하고자 한다.

○ 향후, 표준도에 대한 업그레이드 사항 발생 시 이는 국가 용역 및 연구과제를 통해 모듈의 버전 업그레이드를 수행하고, 업그레이드 버전 또한 무료배포 하여 지속적으로 인프라 디지털 플랫폼 활성화에 기여하고 국가 기술 발전에 이바지하고자 한다.

○ 본 연구개발 라이브러리는 사용목적에 따라 확장성이 다양하다. 건설 설계원가 절감과 시공 중 시공오류 감소가 가능하며 유지관리를 위한 라이브러리 속성입력을 확장하여 예방적 유지관리로 활용할 수 있다.

○ 개발된 모듈은 설계사, 시공사에서 업무를 위해 활용 가능할 뿐 아니라, 정부기관, 공사·공단에서 효율적인 설계 성과품 관리를 위해 활용 될 수 있다.

- 설계사 ▹ 설계업무 효율성 향상
- 시공사 ▹ 사전시공검토, 설계변경, 공정관리 및 자재관리 가능
- 정부기관 및 공사·공단 ▹ 설계 성과품에 대한 효율적 관리 가능
- 해외 설계시장 ▹ 라이브러리 지적재산권을 이용하여 라이브러리 판매

○ 본 연구개발 성과물은 프로그램만 무료 배포할 예정이다. 배포 타겟은 도로분야 설계용역 기관을 대상으로 하며 프로그램에서 필요로 하는 라이브러리(패밀리) 구축이 지속적으로 업로드가 필요함에 따라 배포한 설계 용역기관과 상호 라이브러리 공동소유 및 프로그램 공동 유지관리를 전제로 무료배포 함으로써 방대한 라이브러리 구축 비용 절감을 통한 수익을 창출 하고자 한다.

< 별첨 >

별첨 자료
1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료
2. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료 (총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '국토교통기술촉진연구사업' 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.